미래철도기술개발사업(기초원천형)

R&D/12PRTD-C064009-01

# KTX산천 전자파간섭 해소기술개발 최종보고서

2014. 4.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국철도공사
공동연구기관 / 현대로템(주)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

# 제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "KTX-산천 전자파간섭 해소기술 개발에 관한 연구"과제의 보고서로 제출합니다.

2014. 4.


주관연구기관명 : 한국철도공사
주관연구책임자 : 최재식 책임연구원
참여연구원 : 김광모 수석연구원
" : 조철희 수석연구원
" : 이시빈 수석연구원
" : 오용석 수석연구원
" : 김봉래 수석연구원
" : 권성일 책임연구원
" : 김범곤 책임연구원
" : 박삼종 책임연구원
" : 백승영 책임연구원
" : 조성구 책임연구원
" : 이석주 선임연구원
" : 이태훈 선임연구원
" : 홍래균 선임연구원

공동연구기관명 : 현대로템(주)
공동연구책임자 : 공명상 책임연구원
참여연구원 : 강찬용 수석연구원
" : 조치환 책임연구원
" : 윤용진 주임연구원
" : 김형복 연구원
" : 강치용 연구원

# 보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>12PRTD-C063968-01<br>13PRTD-C063968-02</td><td>해 당 단 계<br>연 구 기 간</td><td>2012.10.26.<br>~2014.04.25</td><td>단 계 구 분</td><td>최종보고서</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">건설교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위<br>과 제 명</td><td colspan="4">KTX-산천 전자파간섭 해소기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단위과제명</td><td colspan="4">KTX산천 전자파간섭 해소를 위한 시험평가기준 마련</td></tr>
<tr><td colspan="4">KTX산천 전자파간섭 해소를 위한 차내시험 분석</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>최재식</td><td>총연구기간<br>참 여<br>연구원수</td><td>총 : 20명<br>내부 : 14명<br>외부 : 6명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 200,000천원<br>기업 : 200,000천원<br>계 : 400,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및<br>소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국철도공사 연구원</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">현대로템(주)</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">현재 국내철도는 2004년 고속철도개통이후 KTX와 KTX산천 고속차량이 일반선과 고속선구에 운용중에 있다. 2010년 경부고속2단계 개통당시 국내기술로 제작한 KTX산천차량이 투입되어 고속선과 일반선을 운행하고 있었으나 일반선 운행구간에서 반대편 운행구간의 궤도회로가 부정동작하는 사례가 발생하였다. 고장원인은 KTX산천에서 발생되는 전자파와 궤도회로에 사용하고 있는 신호주파수가 중첩되어 궤도회로가 오작동하는 문제가 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 KTX산천차량과 궤도회로에서 사용하는 신호주파수에 대해 상호간 최소한 허용할 수 있는 전류제한 권고치를 제시하고 또한 향후 제작되는 KTX고속차량에 대해 궤도회로주파수의 영향을 최소화할 수 있는 고조파 저감대책을 제시토록 하여 차량과 시설인프라간 상호 효율적이고 안정적인 운영을 도모하기 위함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어<br>(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">KTX-산천, 궤도회로, 전자파간섭, 전자파방해, 전자파호환성</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">KTX-Sancheonanchun, Track circuit, Electromagnetic,</td></tr>
</table>

# 요 약 문

## Ⅰ. 제 목

○ KTX산천 전자파간섭 해소기술 개발

## Ⅱ. 연구개발과제 개요

○ 2010. 2월 이후, 호남 하행선에서 KTX-산천 시운전 할 때에 열차가 없는 상행선 TI-21궤도회로(C-type) 구간에서 궤도점유현상 발생하였으며 궤도점유구간에 열차 진입 할 때에 비상제동 작동하여 열차정지 장애 발생하였다. KTX산천 차량이 운행하면서 발생하는 33차 고조파인 1,980㎐(기본주파수 60㎐ × 33배)와 “C” Type AF궤도회로에서 사용하는 1,979㎐(1,977~1,980㎐)가 일치하여 궤도점유를 검지하는 궤도계전기 동작(낙하)하였고 장애개소는 어느 특정부분이 아닌 전국에서 나타났으며 5천 여건으로 조사되어 장애에 대한 심각성이 나타남을 알 수 있다.

○ AF궤도회로의 장애에 대하여 아래와 같은 개선방안을 모색하였으나 각각의 개선방안에 대해 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. AF궤도회로 구성품중 고조파노이즈에 취약한 구형수신기를 아날로그방식에서 디지털방식으로 개선하여 고조파노이즈에 대한 분석능력을 강화하였으며, 2011.10.08. 276개소 전량을 교체하였다.

○ 현재 KTX산천 고속차량이 신규로 제작되어 새롭게 건설되는 신규노선 또는 개량선구간에 확대 투입되어 운영되고 있지만 아직까지도 차량과 궤도회로간 전자파간섭에 대한 기본적인 제한규정이 없어 영업시운전시 그에 상응하는 정량적인 성능평가가 수행되고 있지 않았다.

○ 따라서 본 연구에서는 KTX산천과 AF궤도회로간 전자파간섭에 대한 영향 분석을 통하여 국외에서 현재 설치운영중인 동일한 TI21형 궤도회로에 대해 차량과 궤도회로간 설치운영 기술에 대하여 분석하고 이를 시뮬레이션 툴을 활용하여 현재 사용중인 궤도회로에 대한 기본적인 변수값을 적용하여 궤도회로에 흘릴 수 있는 최소한의 레일전류를 정의하였다.

○ 시뮬레이션 결과를 근간으로 국내환경에 맞는 새로운 레일전류와 열차전류에 대한 기준값을 제시토록 하였으며 또한 중장기적으로 KTX차량과 AF궤도회로가 최적화된 환경에서 안정적으로 운영될 수 있도록 고조파저감대책에 대하여 연구하였다.

## Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

○ KTX산천 전자파 특성분석

전원주파수 영역을 제외하고, 차량의 고조파가 1980Hz(33차 고조파)에서 가장 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있으며, 이 주파수는 TI-21의 C-type Low frequency 사용주파수 대역(1979Hz)과 일치함.

○ AF궤도회로 전자파 특성분석

철도용 전기자기 적합성과 관련하여 철도신호용 제품은 IEC62236-2, IEC62236-3-1, IEC62236-4, IEC62236-5의 국제규격을 따르고 있으며, AF궤도회로 납품검사시 국내규격(KRS SG 0038-09R) 절차에 따라 송, 수신 궤도회로 1조에 대해 외부기관의 전자파 적합성 공인 시험성적서로 기능양부를 확인 할 수 있음.

○ KTX-산천 귀선전류고조파 이동경로 분석방안 제시

궤도계전기 부정동작의 원인인 KTX산천 고속차량의 귀선전류고조파가 어떤 경로로 유입되어 궤도회로 장애를 일으키는지에 대해 현장시험 및 기술자문을 분석한 결과 KTX을 통하여 분석한 결과 KTX-산천 고속열차가 주행방향 운행시 해당 궤도회로의 전차선귀선전류는 임피던스본드의 특성에 의해 전기적 손실 없이 100%의 전차선 귀선전류가 임피던스본드의 중성점을 통해서 매설접지로 귀선하게 되며 이 때, 귀선 전류 중 일부가 공동매설접지에 연결된 반대편 궤도회로에 위치한 임피던스본드의 중성점으로 유입되어 임피던스본드의 양단으로 흐르게 된다는 것을 확인하였다.

○ KTX산천 및 AF궤도회로 성능기준 제시

KTX산천차량과 TI21 AF궤도회로간 전자파간섭 허용기준은 현재 유럽에서 활용하고 있는 레일전류 기준값과 추가로 AF궤도회로 내성시험에서 산출된 값을 바탕으로 레일전류 제한치를 산정하였다.

○ KTX산천 귀선전류고조파 저감대책 제안

2011년 하반기까지 TI-21 AF궤도회로에 영향을 주었던 차량의 1980Hz 33차 고조파는 9펄스 스위칭을 적용하는 경우 필연적으로 발생하는 고조파 전류이다. 차량의 고조파 전류를 줄이는 현실적인 적용방안은 스위칭 주파수의 변경으로 판단할 수 있으며, 냉각특성을 고려하여 스위칭주파수를 변경하기 9펄스 방식에서 11 또는 13 펄스 방식으로 변경하여 적용하는 것을 고려할 수 있는 것으로 사료된다.

## Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

○ KTX산천 귀선전류고조파 이동경로 검증

KTX산천에서 발생하는 귀선전류에 포함된 고조파는 변전소에서 전차선, 팬터그래프를 매개체로 하여 차량에 전력이 공급되어 차륜, 레일을 통해서 변전소로 회귀한다. 이때 차량의 견인장치(MB)의 스위칭주파수에서 발생하는 노이즈가 운행선 임피던스본드의 특성에 의해 전기적 손실 없이 100%의 전차선귀선전류가 임피던스본드의 중성점을 통해서 매설접지로 귀선되며 일부가 매설접지에 공동으로 접지된 반대편 궤도회로와 연결된 임피던스본드 중성점으로 유입되는 것을 증명함.

○ KTX산천 전자파간섭시험 평가기준 제시

KTX산천 고속차량의 전자파간섭시험중 전도성 간섭시험은 차량의 전력변환장치에서 고조파성분을 측정하여 지상신호설비와의 적합성을 확인하기 위한 시험으로 차량에 의해 발생되는 고조파성분은 변전소 또는 보조급전구분소 인근의 임피던스본드의 출력단에서 측정하게 되며 TI21 궤도회로 신호주파수별 기준치는 외국에서 적용하고 있는 기준과 레일환경 변수를 적용한 시뮬레이션 및 현장시험 결과를 바탕으로 최악의 조건을 고려하여 기준값을 정하였으며 적용시점은 KTX산천 고속차량의 스위칭주파수를 변경한 이후가 될 것이다.

○ KTX산천 고조파 저감대책 제안

2011년 하반기까지 TI-21 AF궤도회로에 영향을 주었던 차량의 1980Hz 33차 고조파는 9펄스 스위칭을 적용하는 경우 필연적으로 발생하는 고조파 전류이다. 차량의 고조파 전류를 줄이는 현실적인 적용방안은 스위칭 주파수를 당초 9펄스방식에서 11 또는 13펄스 방식으로 변경하여 신규차량 제작시 적용토록 함.

○ TI21 AF궤도회로 고조파 저감대책 제안

TI21 AF궤도회로에서 열차검지용으로 사용하고 있는 신호주파수는 전체 8종류이며 이중 국내에는 현재 4종류(A, B, C, D)만 사용중에 있는데 이중 C주파수에서 차량과 고조파노이즈가 크므로 문제가 되는 C, D주파수를 고조파노이즈가 적은 E, F 주파수로 개선할 것이며 향후 신규노선 건설 및 노후선구 개량할 때 적용할 것이다.

## Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

○ 이 연구개발은 현재 KTX산천 고속차량과 TI21용 AF궤도회로간 상호 전자파간섭 성능 시험기준이 없어 정량적인 성능평가가 제대로 시행되고 있지 않았던 것을 정량적인 성능평가가 될 수 있도록 차량과 신호간 전자파간섭 시험에 필요한 기준값을 제시토록 하였으며

○ 또한 KTX산천 차량에서 발생하는 노이즈 주요성분인 스위칭주파수를 당초 9펄스에서 13펄스방식으로 개선하여 고조파전류를 최소화하여 궤도회로와의 전자파간섭을 사전에 예방할 수 있을 것으로 사료됨.

## Ⅵ. 연구성과 활용계획

○ 신규로 제작되는 KTX산천의 성능시험평가시 EMI/EMC에 대한 정량적인 기준값을 제시하여 KTX산천과 AF궤도회로간 상호전자파간섭에 대한 성능을 확인할 수 있도록 할 것임.

○ 최근 신규로 제작될 예정인 원주~강릉간 KTX산천 차량 기본설계시 스위칭주파수를 9펄스에서 11 또는 13펄스로 개선토록 할 것이며 향후 신설노선에 제작되는 KTX산천 차량에 확대 적용할 것임.

○ 또한 KTX산천 고조파 저감대책 일환으로 TI21 AF궤도회로에 사용하고 있는 신호주파수 범위를 기존 A, B, C, D 방식에서 A, B, E, F 방식으로 개선하여 차량과 신호간 전자파간섭에 대해 상호 보호할 수 있도록 신규로 건설되는 선구에 적용토록 코레일 주관부서와 철도시설공단 주관부서에 권고할 것임.

# SUMMARY

## Ⅰ. TITLE

○ KTX-Sancheon electromagnetic wave interference dissolution technology development

## Ⅱ. Outline of research and development project

○ Since February, 2010, when KTX-Sancheon has had a trial run at the Honam southbound lane, orbital occupation occurred at the northbound line TI-21 track circuit (C-type) which there is no train. Also, train stop happened by operating emergency brake when train enters at orbital occupation section. As 33 high frequency 1,980 Hz (fundamental frequency 60 Hz x 33 times) which happens when KTX-Sancheon operates corresponds with 1,979 Hz (1,977~1,980 Hz) used in "C" Type AF track circuit, track relay detects orbital occupation has fallen and obstacle place has occurred all over the country and five thousands obstacles occurred; it shows the seriousness of obstacle.

○ Even though improvement measure like below has sought about obstacle of AF track circuit, however, each improvement measure has following problems. As old type receiver which is weak at higher harmonic noise among components of AF track circuit has improved from analog method to digital method, it strengthens analysis ability about higher harmonic noise; the entire quantity of 276 parts has changed on 8, October, 2011.

○ Even though it has operated by expending to improved section and to the new line built as current KTX-Sancheon high speed vehicle newly designed, since there is still no fundamental regulation of limit about electromagnetic wave interference between vehicle and track circuit, quantitative performance evaluation has not implemented corresponding to trial trip.

○ Therefore, this research analyses about technology of installation and operation between vehicle and track circuit about TI21 track circuit recently installing and operating in overseas country through analysis of effect about electromagnetic wave interference between KTX-Sancheon and AF track circuit and utilizes simulation tool

of it. Through it, it defines minimal rail current by applying fundamental variable value about track circuit currently using.

○ Based on the result of simulation, it has suggested standard value about new rail current suitable for domestic environment and also, it has researched about reduction measure of harmonic wave to operate KTX and AF track circuit stably at optimized environment in the medium and long term.

## Ⅲ. Performance detail of research and development and result

○ Analysis of KTX-Sancheon electromagnetic wave characteristic

Except power frequency area, it has confirmed that higher harmonic of vehicle is the highest at 1980 Hz (33 vehicle higher harmonic) and this frequency corresponds to C-type Low frequency 1979 Hz of TI-21.

○ Analysis of AF track circuit electromagnetic wave characteristic

Regarding suitability of railroad electro-magnetic, railroad signal product follows international standard of IEC62236-2, IEC62236-3-1, IEC62236-4, IEC62236-5 and in case of acceptance trials of AF track circuit, according to the KRS SG 0038-09R which is domestic standard, it is able to confirm function quality by electromagnetic wave suitability public test report of external organization about transmit receive track circuit.

○ Suggestion of analysis measure of KTX-Sancheon return current higher harmonic movement route

It has been analyzed site test and technical advice that which route return current higher harmonic of KTX-Sancheon high speed vehicle major cause of track relay illicit operation inflows and caused obstacle of track circuit. The result shows that in case of KTX-Sancheon high speed railroad operates in driving direction, tramway return current of that track circuit returns to laying ground connection through neutral of impedance bond without any electrical loss by characteristic of impedance bond. It has confirmed that some of return currents inflows to neutral point of impedance bond located opposite of track circuit and flow both side of impedance bond.

○ Suggestion of performance standard of AF track circuit and KTX-Sancheon

In terms of maintenance and operation between KTX-Sancheon and TI21 AF track circuit, return current higher harmonic occurred from KTX-Sancheon calculates allowable rail current limit by considering 10% of unbalance return current managed by track circuit.

○ Suggestion of reduction measure of KTX-Sancheon return current higher harmonic

1980Hz 33 higher harmonic of vehicle which affects to TI-21 AF track circuit until the second half year of 2011 is higher harmonic occurred as a necessity when 9 pulse switching applies. The real application measure to reduce higher harmonic current of vehicle is changing switching frequency and it considers that it applies as switching frequency changes from 9 pulse method to 11 or 13 pulses by considering cooling feature.

## Ⅳ. Final research performance and application actual result

○ Inspection of KTX-Sancheon return current higher harmonic movement route

Higher harmonic included in return current occurred in KTX-Sancheon return to substation through rail and wheel by supplying electricity to vehicle. In this regards, noise occurred in switching frequency of MB and 100% of tramway return current of that track circuit returns to laying ground connection through neutral of impedance bond without any electrical loss by characteristic of impedance bond. It has proved that some of return currents inflows to neutral point of impedance bond connected with opposite of track circuit jointly connected to laying ground connection.

○ Suggestion of KTX-Sancheon electromagnetic wave interference test evaluation standard

Conductivity interference test among electromagnetic wave interference test of KTX-Sancheon high speed vehicle measures harmonic content at power converter of vehicle and confirm suitability with ground signal facility. Harmonic content occurred by vehicle is measured at substation or output terminal of impedance bond and standard of TI21 track circuit by signal frequency is decided by considering the

worst condition based on the site test result and simulation applying rail environment variable and standard applied in overseas, optimal timing will be after switching frequency of KTX-Sancheon high speed vehicle has changed.

○ Suggestion of reduction of KTX-Sancheon higher harmonic

1980Hz 33 higher harmonic of vehicle which affects to TI-21 AF track circuit until the second half year of 2011 is higher harmonic occurred as a necessity when 9 pulse switching applies. The real application measure to reduce higher harmonic current of vehicle is changing switching frequency from 9 pulse method to 11 or 13 pulses and it applies when new vehicle is designed.

○ Suggestion of TI21 AF track circuit higher harmonic reduction measure

Signal frequency used for rail inspection at TI21 AF track circuit is 8 different types. Currently, only 4 types (A,B,C,D) has been used in Korea and vehicle and higher harmonic noise is loud at C frequency, thus, it will be improved from C,D frequency which has problems to E,F frequency which has less higher harmonic noise and also, it will apply when new line is designed.

## Ⅴ. Application of research performance and Necessity of additional research

○ This research development suggest the standard value necessary for vehicle and electromagnetic wave interference test between signals to implement quantitative performance evaluation without electromagnetic wave interference performance test standard between TI21 AF track circuits and KTX-Sancheon high speed vehicle.

○ Furthermore, as switching frequency which is major component of noise caused in KTX-Sancheon vehicle has improved from 9 pulse to 11 or 13 pulse, it minimizes harmonic current, then, it is able to prevent electronic circuit interference with track circuit beforehand.

## Ⅵ. Application plan of future research performance

○ When performance test evaluation of KTX-Sancheon newly designed has implemented, it suggest quantitative standard value about EMI/EMC; then, it is able to confirm the performance about mutual electromagnetic wave interference between KTX-Sancheon and AF track circuits

○ When KTX-Sancheon between Wonju~Gangneung which has newly planned to manufacture designs the fundamental step, switching frequency will be planned to improve from 9 pulse to 11 or 13 pulse and it will apply to KTX-Sancheon vehicle which will be manufactured to new line.

○ Also, The range of signal frequency is used for TI21 AF track circuit for reduction higher harmonic of KTX-Sancheon will be improved from original A, B, C, D method to A, B, E, F, method and then, it has recommended to the supervising department of KORAIL and the supervising department of Korea Rail Network Authority to protect mutually vehicle and electromagnetic wave interference between signals.

# Contents

**Ⅰ. Outline of research and development project**

1. The objective of research and development and necessity
2. Definition, range and characteristic of research and development
3. The status of domestic and oversea technology development

**Ⅱ. Performance detail of research and development and result**

1. Strategic and method of research performance
2. Analysis of the characteristic of KTS-S electromagnetic wave
3. Analysis of the characteristic of AF track circuit electromagnetic wave
4. Analysis of electromagnetic compatibility between KTX-Sancheon and AF track circuit
5. Analysis of traction return current higher harmonic between KTX-Sancheon and AF track circuit
6. Suggestion of performance criteria of AF track circuit electromagnetic wave interference
7. Suggestion of performance criteria of KTX-Sancheon electromagnetic wave interference

**Ⅲ. Final research performance and application actual result**

1. Final research performance
2. Application actual result

**Ⅳ. Achievement of research objective and effectiveness**

1. Achievement of final objective of research development
2. Analysis of technology effectiveness of research development performance
3. Analysis of social and economy effect of research development performance

**Ⅴ. Application of research performance and Necessity of additional research**

1. Application plan of future research performance
2. Necessity of additional research

**[Reference List]**

**[Appendix]**

# <목 차>

[국문 요약문] ····· iii
[영문 요약문] ····· vii
[영문 목차] ····· xii
제1장 연구개발과제 개요 ····· 2
1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 2
2절 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 7
3절 국내외 기술개발 현황 ····· 8
4절 일본철도의 방해허용전류와 평가방법 ····· 38
제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 74
1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 74
2절 KTX-산천 전자파 특성분석 ····· 75
3절 AF궤도회로 전자파 특성분석 ····· 86
4절 KTX-산천과 AF궤도회로간 전기적합성 분석 ····· 118
5절 KTX-산천과 AF궤도회로간 전차선 귀선전류고조파 분석 ····· 128
6절 AF궤도회로 전자파 간섭 성능기준 제시 ····· 200
7절 KTX-산천 전자파 간섭 성능기준 제시 ····· 213
제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 231
1절 최종 연구성과 ····· 232
2절 적용실적 ····· 233
제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 234
1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 235
2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 237
3절 연구개발 성과의 사회·경제적 효과분석 ····· 238
제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 239
1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 240
2절 추가연구 필요성 ····· 240

[참고 문헌] ····· 241
[부 록] ····· 246

# <표 목차>


표 1 AF궤도회로의 주파수 ····· 3
표 2 고조파 간섭을 최소화 하는 검토사항 ····· 6
표 3 규범 문헌 ····· 9
표 4 궤도회로 장치의 종류 ····· 11
표 5 TI 21-I 궤도회로의 작동 주파수 ····· 13
표 6 TI21-M 궤도회로 작동 주파수 ····· 15
표 7 TI21 궤도회로 작동 주파수 ····· 16
표 8 TI 21 궤도회로 작동 주파수 ····· 23
표 9 TI 21 궤도회로 채널 할당 ····· 23
표 10 수신기 입력 전류 15mA에서 요구되는 레일 전류(ETU가 설비된 궤도회로의 공칭값 사용) · 31
표 11 수신기 입력 전류 15mA에 대해 요구되는 레일 전류(TTU가 설비된 궤도회로의 공칭값 사용) · 32
표 12 수신기 입력 전류 15mA에서 요구하는 차축 대 차축 전압(S형 임피던스 본드의 공칭값을 사용) 36
표 13 수신기 입력 전류 15mA에서 요구하는 차축 대 차축 전압 ····· 37
표 14 신호설비 방해허용치(일본) ····· 39
표 15 신호보안설비 종류와 방해허용치 ····· 48
표 16 트랜스폰더 방해허용치 ····· 51
표 17 차축검지기의 방해허용치 ····· 52
표 18 신호보안설비 종류와 방해허용치 ····· 53
표 19 TASC장치 방해허용치 ····· 56
표 20 신호 보안설비 종류와 방해 허용치 ····· 58
표 21 정보전송장치의 송수신장치 방해허용치 ····· 60
표 22 궤도회로장치 종류와 방해허용치 ····· 62
표 23 ATS-SN 지상장치의 방해허용치 ····· 63
표 24 ATS-SN 차상장치의 방해 허용치 ····· 63
표 25 트랜스폰더(ATS-P) 방해허용치 ····· 64
표 26 방해허용치 ····· 66
표 27 트랜스폰더에 대한 방해허용치 ····· 67
표 28 LPF의 감쇠성능(25형) ····· 70
표 29 80Hz 코드궤도회로 방해허용치 ····· 72
표 30 프랑스와 한국의 UM71 사용주파수 비교 ····· 75
표 31 한국의 TI-21 사용주파수 ····· 76
표 32 궤도회로의 종류 ····· 76
표 33 스위칭주파수에 따른 컨버터 스택 발열량 비교표 ····· 84
표 34 스위칭 주파수에 따른 K-factor ····· 84
표 35 펄스별 손실계산 ····· 85
표 36 무선 주파수 별 대역폭 ····· 90
표 37 측정에 사용되는 주파수 대역과 대역폭 ····· 91

표 38 주파수 범위 별 n 값 ····· 94
표 39 시험장비 목록 ····· 102
표 40 시험 장비 목록 ····· 111
표 41 무절연(AF) 궤도회로장치 검사 절차서 ····· 112
표 42 시험데이터 ····· 114
표 43 2차 시험 데이터 ····· 116
표 44 필터부 출력 전압 측정표 ····· 117
표 45 시험 데이터 ····· 118
표 46 서울역 – 광명역 구간 ····· 119
표 47 광명역 – 오송역 구간 ····· 120
표 48 오송역 – 서대전역 구간 ····· 120
표 49 대전역 – 논산역 구간 ····· 120
표 50 논산역 – 익산역 구간 ····· 120
표 51 익산역 – 전주역 구간 ····· 120
표 52 전주역 – 순천역 구간 ····· 120
표 53 순천역 – 여천역 구간 ····· 121
표 54 여천역 – 여수역 구간 ····· 121
표 55 궤도회로 길이와 케이블의 길이 ····· 131
표 56 송신모듈 특성 ····· 132
표 57 송신모듈 발진주파수 ····· 132
표 58 공급전압에 따른 송신모듈 출력전압(AC) ····· 132
표 59 수신모듈 특성 ····· 133
표 60 수신입력 전류 ····· 133
표 61 전송모듈 특성 ····· 133
표 62 주파수 유형별 궤도전압 ····· 134
표 63 주파수 유형별 인접궤도 허용전압 ····· 134
표 64 주파수 유형별 저출력 궤도전압 ····· 134
표 65 주파수 유형별 궤도전압 ····· 135
표 66 주파수 유형별 저출력 궤도전압 ····· 135
표 67 아날로그 변조방식과 디지털 변조방식 ····· 138
표 68 싸이리스터 응용기기와 대분류 ····· 143
표 69 고조파 발생원 ····· 143
표 70 고조파의 영향 ····· 144
표 71 차량의 전자파 간섭 시험 ····· 150
표 72 시험 장비 ····· 150
표 73 컨버터 스팩 열용량 분석 ····· 151
표 74 K-factor ····· 151
표 75 펄스별 변압기 손실 ····· 151
표 76 시험장소 ····· 152

표 77 참여 인력 ····· 152
표 78 기관별 장비보유현황 ····· 153
표 79 계측 일정 ····· 153
표 80 계측 인원 투입 계획 ····· 154
표 81 계측 장비 ····· 155
표 82 현장실증시험(2차) 시험 장소 ····· 172
표 83 현장실증시험(2차) 참여 인력 ····· 172
표 84 기관별 주요 장비 현황 ····· 172
표 85 계측 일정 ····· 173
표 86 계측 장비 ····· 174
표 87 측정1, 현장 시험 내용 ····· 176
표 88 측정2, 현장 시험 내용 ····· 177
표 89 측정3, 현장 측정 내용 ····· 178
표 90 수신기 교체 일정 및 열차 운행 현황 ····· 181
표 91 장애현황 1 ····· 181
표 92 장애현황 2 ····· 181
표 93 현장실증시험(3차) 시험 장소 ····· 184
표 94 현장실증시험(3차) 참여 인력 ····· 185
표 95 기관별 주요 장비 현황 ····· 185
표 96 계측 일정 ····· 186
표 97 계측 장비 ····· 187
표 98 차량이 상행 운행시 하행으로의 전류 전달 비율 ····· 191
표 99 차량이 하행 운행시 상행으로의 전류 전달 비율 ····· 193
표 100 차량이 상행 운행시 하행으로의 전류 전달 비율 ····· 196
표 101 차량이 하행 운행시 상행으로의 전류 전달 비율 ····· 199
표 102 시험장비 상세 ····· 200
표 103 노이즈 인가위치에 따른 레일 전류 및 튜닝유니트 수신기의 전류 한계치 ····· 204
표 104 TI-21 AF 궤도회로 신호 주파수 ····· 216
표 105 조합시험 결과, TI-21 AF궤도회로 신호주파수 ····· 217
표 106 스위칭주파수에 따른 컨버터 스택 발열량 비교표 ····· 225
표 107 스위칭 주파수에 따른 K-factor ····· 225
표 108 TI21을 위한 사용주파수 ····· 227
표 109 허용 가능한 차량의 고조파 전류 ····· 227
표 110 허용 가능한 차량의 고조파 전류 ····· 230
표 102 TI21 AF궤도회로 성능 기준 ····· 232
표 103 연구개발 수행 진도율 ····· 235
표 104 연구개발 목표 달성도 ····· 236
표 105 논문개제 성과 ····· 236
표 106 학술대회 발표 성과 ····· 236

# <그림 목차>

그림 1 KTX-산천 시운행 시 비정상적 궤도점유 현상 ····· 2
그림 2 궤도계전기의 부정 동작 ····· 2
그림 3. 측정장소 : 호남선 장성 ~ 임곡역 구간 ····· 3
그림 4 TI-21형 AF궤도회로 지상시험 구성도 ····· 4
그림 5 KTX-산천 차내시험 구성도 ····· 4
그림 6 귀선전류 유입경로 (장성-임곡, B3372T) ····· 5
그림 7 필터 특성의 예시 ····· 11
그림 8 대역통과여파기(band pass filter)의 스펙트럼 ····· 14
그림 9 개별 TI 21 채널의 일반적인 주파수 응답 ····· 14
그림 10 개별 TI21 채널의 전형적인 주파수 응답 ····· 17
그림 11 송신기의 블록선도 ····· 24
그림 12 TI 21 수신기의 블록선도 ····· 24
그림 13 TI 21 궤도회로의 기본 구성 ····· 25
그림 14 크로스 본드 연결 시, TI 21 임피던스 본드의 배열 ····· 26
그림 15 ETU가 설비된 궤도회로의 모델 ····· 29
그림 16 TTU가 설비된 궤도회로의 모델 ····· 30
그림 17 차축 대 차축 분석 시 고려된 사례에 대한 기본 구성 ····· 33
그림 18 허용된 차축 대 차축 전압 계산 시 사용된 모델(B3/500 임피던스 본드 사용) ····· 34
그림 19 허용된 차축 대 차축 전압 계산시 사용된 모델(S형 임피던스 본드 사용) ····· 35
그림 20 귀선전류 ····· 41
그림 21 차체 간에 흐르는 노이즈 ····· 41
그림 22 차상기기에서 발생하는 직달 노이즈 ····· 41
그림 23 지상에서의 귀선전류 측정 ····· 42
그림 24 차상에서의 귀선전류 측정 ····· 42
그림 25 로고스키코일 외관 ····· 43
그림 26 주파수특성 주파수 ····· 43
그림 27 건널목 제어자용 측정회로 예 ····· 44
그림 28 건널목 제어자 측정 데이터 예 ····· 45
그림 29 ATC 차상수신기 시험 방법 예 ····· 46
그림 30 유전원 지상자 시험 방법 예 ····· 46
그림 31 유전원 차상자 시험 방법 예 ····· 46
그림 32 레일전류에 의해 수전기에 발생하는 자계 ····· 47
그림 33 ATC 차상수전기 주파수 특성 ····· 49
그림 34 ATC차상수신기에 대한 방해 시험 방법 ····· 50
그림 35 1.708MHz 트랜스폰더 시험 방법 ····· 51

그림 36 3.0MHz 트랜스폰더 시험 방법 ····· 51
그림 37 차축검지기 시험 방법 ····· 53
그림 38 ATC차상수전기 주파수 특성(레일전류 100mA 시) ····· 54
그림 39 ATC차상수신기에 대한 방해 시험 방법 ····· 54
그림 40 귀선잡음 데이터 수록 ····· 55
그림 41 TD장치 잡음 레벨 측정 ····· 55
그림 42 전자식 궤도 릴레이에 대한 방해 시험 방법 ····· 56
그림 43 유전원 지상자에 대한 방해 시험 방법 ····· 56
그림 44 유전원 차상자에 대한 방해 시험 방법 ····· 57
그림 45 무전원 지(차)상자에 대한 방해 시험 방법 ····· 57
그림 46 ATC차상수전기 주파수 특성(레일전류 100mA 시) ····· 58
그림 47 ATC차상수신에 대한 방애 시험 방법기 ····· 59
그림 48 직달잡음 데이터 수록 ····· 59
그림 49 상용주파수 궤도회로 시험 방법 ····· 60
그림 50 유전원 지상자 방해 시험 방법 ····· 60
그림 51 유전원 차상자의 방해 시험 방법 ····· 61
그림 52 무전원 지상자 방해 시험 방법 ····· 61
그림 53 SD코일 시험 방법 ····· 64
그림 54 루프코일 시험 방법 ····· 64
그림 55 유전원 지상자 시험 방법 ····· 65
그림 56 유전원 차상자 시험 방법 ····· 65
그림 57 ATC 방해전류 측정회로 ····· 66
그림 58 차상측정 전기차전류의 고조파전류 측정치 ····· 68
그림 59 변전소 측정 귀선전류 고조파(차량 정상동작 시) ····· 69
그림 60 직류전화구간 1궤도회로 구성도 ····· 69
그림 61 장대수신기(25Hz) LPF 감쇠주파수 특성 예 ····· 70
그림 62 전기차전류 저주파 영역 주파수 분석 예 ····· 71
그림 63 직류전류와 30Hz 성분 시간변화 측정 예 ····· 71
그림 64 기기집중식 궤도회로 구성 ····· 72
그림 65 연구수행 전략 및 방법론 ····· 74
그림 66 게이팅 개략도 ····· 79
그림 67 게이팅 차이의 전압에 따른 전류 ····· 80
그림 68 7펄스시 고조파 전류 스펙트럼 분석 ····· 81
그림 69 9펄스시 고조파 전류 스펙트럼 분석> ····· 82
그림 70 11펄스시 고조파 전류 스펙트럼 분석> ····· 83
그림 71 9㎑~1㎓ 주파수 범위에서 방출 한계값 ····· 89
그림 72 변전소의 방출 한계값 ····· 90
그림 73 9㎑~30㎒ 주파수 대역에서 자기장을 측정하기 위한 안테나의 위치 ····· 92
그림 74 30~300㎒ 주파수 대역에서 전기장을 측정하기 위한 안테나의 위치(수직 편파) ····· 92

그림 75 300㎒~1㎓ 주파수 대역에서 전기장을 측정하기 위한 안테나의 위치(수직 편파) ···· 93
그림 76 시험장비 목록 ···· 103
그림 77 수신기 전류레벨 측정 ···· 103
그림 78 C-Type 수신TU 레일측 전류 측정값 ···· 104
그림 79 C-Type 수신TU 레일측 고조파 33차 성분 1,980Hz 노이즈 인가 시험 구성 ···· 104
그림 80 C-Type 수신TU 레일측 고조파 33차 성분 1,980Hz 노이즈 인가 전류 ···· 105
그림 81 C-Type 수신TU 레일측 고조파 33차 성분 1,980Hz 노이즈 인가 전류측정 데이터 105
그림 82 C-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 시험 ···· 105
그림 83 C-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 전류 ···· 106
그림 84 C-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 전류 측정 데이터 ···· 106
그림 85 D-Type 수신TU 레일측 노이즈 인가 시험 구성 ···· 107
그림 86 D-Type 수신기TU 레일 측 수신기 전류레벨 측정 ···· 107
그림 87 D-Type 수신기TU 레일 측 수신기 전류레벨 측정 데이터 ···· 107
그림 88 D-Type 수신TU 레일측 노이즈(2,576㎐ & 2,610㎐) 인가 시험 구성 ···· 108
그림 89 D-Type 수신TU 레일측 노이즈(2,576㎐ & 2,610㎐) 전류 ···· 108
그림 90 D-Type 수신TU 레일측 노이즈(2,576㎐ & 2,610㎐) 전류 측정 데이터 ···· 108
그림 91 D-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 시험 구성 ···· 109
그림 92 D-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 전류 ···· 109
그림 93 D-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 전류 측정 데이터 ···· 109
그림 94 시험 성적서 ···· 110
그림 95 측정 사진 ···· 111
그림 96 측정데이터 ···· 112
그림 97 시험 구성 및 방법 ···· 114
그림 98 필터부의 정상동작파형 ···· 115
그림 99 외부 신호의 영향을 받은 파형 ···· 115
그림 100 2차 시험 구성 ···· 115
그림 101 시험 구성 ···· 116
그림 102 시험 구성 및 방법 ···· 117
그림 103 필터 특성 그래프 ···· 118
그림 104 KTX-산천 동력차 601N, 601N-1 위치 ···· 119
그림 105 동력차1(PC1), 동력차2(PC2)의 고조파 전류 주파수 스펙트럼 ···· 122
그림 106 저주파(1682Hz)의 종류 ···· 122
그림 107 고주파(1716Hz)의 종류 ···· 123
그림 108 B-Type 저주파 (2279Hz) ···· 123
그림 109 B-Type 고주파(2313Hz) ···· 124
그림 110 C-Type 저주파(1979Hz) ···· 124
그림 111 C-Type 고주파(2013Hz) ···· 125
그림 112 D-Type 저주파(2576Hz) ···· 125
그림 113 D-Type 고주파(2610Hz) ···· 126

그림 114 KTX고조파 특성 ····· 127
그림 115 KTX산천 고조파 특성 ····· 127
그림 116 주파수 변조 방식 ····· 136
그림 117 각 디지털 변조방식의 변조 파형 ····· 138
그림 118 각 디지털 변조기의 구성 ····· 139
그림 119 PLL을 사용한 FSK변조기에서의 주파수 인출 ····· 139
그림 120 ASK방식 ····· 139
그림 121 4진 ASK방식 ····· 140
그림 122 FSK 방식 ····· 140
그림 123 PSK방식 ····· 141
그림 124 고조파를 전류원으로 해석 ····· 141
그림 125 고조파 파형 발생 ····· 142
그림 126 전차선 전류 순환 ····· 147
그림 127 전원공급 개략도 ····· 147
그림 128  단상 전원공급 개통도 ····· 148
그림 129 전류 순환 ····· 148
그림 130 차량과 고조파의 등가 회로 ····· 149
그림 131 관구도 ····· 156
그림 132 현장설비 배치도 ····· 157
그림 133 장성-임곡 측정 내용 ····· 158
그림 134 임곡-하남 측정 내용 ····· 159
그림 135 장성-임곡 측정 기록지 ····· 160
그림 136 임곡-하남 측정 기록지 ····· 160
그림 137 1차 현장실증 계측분석 ····· 161
그림 138 임피던스본드의 귀선전류 변전소 귀환 ····· 161
그림 139 1차 현장 측정 ····· 162
그림 140 장성-임곡, C-Type 수신기의 Default 그래프 ····· 162
그림 141 임곡-하남, C-Type 수신기의 Default 그래프 ····· 162
그림 142 장성-임곡, 상선 C-Type 수신기 측정 구성 ····· 163
그림 143 KTX산천 열차 상행 주행 시, 상선 C-Type 수신기의 비교 측정 데이터 ····· 163
그림 144 임곡-하남, 상선 C-Type 수신기 측정 구성 ····· 164
그림 145 KTX산천 열차 하행 주행 시, 상선 C-Type 수신기의 비교 측정 데이터 ····· 165
그림 146 C-Type 궤도회로에 간섭 확인 분석 ····· 165
그림 147 임곡-하남, KTX산천 603열차 측정구성 ····· 165
그림 148 임곡-하남, KTX산천 603열차 측정 데이터 ····· 166
그림 149 임곡-하남, KTX산천 505열차 측정데이터 ····· 167
그림 150 장성-임곡, KTX산천 609열차 측정구성 ····· 167
그림 151 장성-임곡, KTX산천 609열차 측정 데이터 ····· 168
그림 152 장성-임곡, KTX산천 611열차 측정데이터 ····· 169

그림 153 임곡-하남 측정구성 ····· 169
그림 154 임곡-하남 측정 데이터 ····· 170
그림 155 상선 C-TYPE 내의 임피던스본드(B1)의 귀선전류 고조파 분석 ····· 170
그림 156 KTX산천 상선 주행시 33차 고조파 성분 ····· 171
그림 157 흑석리역-계룡역 관구도 ····· 175
그림 158 흑석리-계룡역 현장설비 배치도 ····· 175
그림 159 측정1, 현장 시험 구성 내용 ····· 176
그림 160 측정2, 현장 시험 구성 내용 ····· 177
그림 161 측정3, 현장 시험 구성 내용 ····· 178
그림 162 시험 기록지 양식 ····· 179
그림 163 KTX산천 609&707 병합열차 하선 주행 시, 측정된 고조파 파형 ····· 180
그림 164 KTX산천 509&705 병합열차 하선 주행 시, 측정된 고조파 파형 ····· 180
그림 165 상7 궤도 아날로그 수신기 교체 후 장애사항 ····· 181
그림 166 고조파 수신기 파형 분석 ····· 182
그림 167 상7 궤도 측정 파형 ····· 182
그림 168 아날로그 수신기의 저차부파수 파형의 일그러짐과 삼각파의 일그러짐 현상 ····· 183
그림 169 임피던스본드 레일간 기본 파형 ····· 183
그림 170 전기기관차 측정 파형 ····· 184
그림 171  KTX산천 층정 파형 ····· 184
그림 172 측정위치: 상선 D-type 및 하선 A-type B1임피던스 본드 ····· 188
그림 173 측정위치: 상선 C&D-type 및 하선 B-type B1임피던스 본드 ····· 188
그림 174 시험 방법 ····· 189
그림 175 측정 시간 ····· 189
그림 176 차량이 상행 운행시 상/하선 B1본드 전류 ····· 189
그림 177 차량이 상행 운행시 TI-21 A-Type 대역 B1본드 전류 ····· 190
그림 178 차량이 상행 운행시 TI-21 B-type 대역 B1본드 전류 ····· 190
그림 179 차량이 상행 운행시 TI-21 C-type 대역 B1본드 전류 ····· 190
그림 180 그림이 상행 운행시 TI-21 D-type 대역 B1본드 전류 ····· 191
그림 181 차량이 상행 운행시 TI-21 주파수타입 별 상/하 B1본드 전류 ····· 191
그림 182 차량이 하행 운행시 상/하선 B1본드 전류 ····· 192
그림 183 차량이 하행 운행시 TI-21 A-type 대역 B1본드 전류 ····· 192
그림 184 차량이 하행 운행시 TI-21 B-type 대역 B1본드 전류 ····· 192
그림 185 차량이 하행 운행시 TI-21 C-type 대역 B1본드 전류 ····· 193
그림 186 차량이 하행 운행시 TI-21 D-type 대역 B1본드 전류 ····· 193
그림 187 차량이 하행 운행시 TI-21 주파수타입 별 상/하 B1본드 전류 ····· 194
그림 188 차량이 항생 운행시 상/하선 B1본드 전류 ····· 194
그림 189 차량이 상행 운행시 TI-21 A-type 대역 B1본드 전류 ····· 195
그림 190 차량이 상행 운행시 TI-21 B-type 대역 B1본드 전류 ····· 195
그림 191 차량이 상행 운행시 TI-21 C-type 대역 B1본드 전류 ····· 195

그림 192 차량이 상행 운행시 TI-21 D-type 대역 B1본드 전류 ····· 196
그림 193 차량이 상행 운행시 TI-21 주파수타입 별 상/하 B1본드 전류 ····· 196
그림 194 차량이 하행 운행시 상/하선 B1본드 전류 ····· 197
그림 195 차량이 하행 운행시 TI-21 A-type 대역 B1본드 전류 ····· 197
그림 196 차량이 하행 운행시 TI-21 B-type 대역 B1본드 전류 ····· 197
그림 197 차량이 하행 운행시 TI-21 C-type 대역 B1본드 전류 ····· 198
그림 198 차량이 하행 운행시 TI-21 D-type 대역 B1본드 전류 ····· 198
그림 199 차량이 하행 운행시 TI-21 주파수타입 별 상/하 B1본드 전류 ····· 199
그림 200 해당 궤도회로 주파수 구간에 노이즈 인가 시,튜닝 유니트 수신기 한계 시험 구성 ··· 202
그림 201 궤도회로 동조구간의 노이즈 인가 시, 튜닝유니트 수신기 한계 시험 구성 ····· 203
그림 202 AF궤도회로 하선구간에 KTX-산천 열차 하행 주행시 발생하는 33차 고조파 ····· 204
그림 203 하행 시, 측정 위치 별 귀선전류의 고조파 ····· 205
그림 204 하행 시, 측정 위치 별 귀선전류의 33차 고조파(1980Hz) ····· 205
그림 205 측정 위치 ····· 206
그림 206 상행 시, 측정 위치 별 귀선전류의 고조파 ····· 206
그림 207 하행 시, 측정 위치 별 귀선전류의 33차 고조파(1980Hz) ····· 207
그림 208 측정 위치 ····· 207
그림 209 주행시, 측정 위치 별 반대 궤도로의 하선 A-Type 임피던스본드 양단(1, 2) 귀선전류의 고조파 ····· 208
그림 210 주행시, 측정 위치 별 반대 궤도로의 A-Type 임피던스본드 양단(1, 2) 귀선전류의 33차 고조파(1,980Hz) ····· 208
그림 211 주행 시, 측정 위치 별 반대 궤도로의 상선 C-Type 임피던스본드 양단(3,4)의 귀선전류의 고조파 ····· 209
그림 212 주행 시, 측정 위치 별 반대 궤도로의 상선 C-Type 임피던스본드 양단(3,4)의 귀선전류의 고조파 ····· 209
그림 213 측정 위치 ····· 210
그림 214 상선 주행시, C-TYPE 임피던스본드 양단(1,2)의 귀선전류의 고조파 ····· 210
그림 215 상선 주행시, C-TYPE 임피던스본드 양단(1,2)의 귀선전류의 33차 고조파(1,980Hz) 211
그림 216 상선 주행시, 하선 A-TYPE 임피던스본드 양단(3,4)의 귀선전류의 고조파 ····· 211
그림 217 상선 주행 시, 하선 A-TYPE 임피던스본드 양단(3,4)의 귀선전류의 33차 고조파 ·· 212
그림 218 구성도 ····· 212
그림 219 현대로템 전장품시험동 조합시험 ····· 213
그림 220 9펄스 모드 부하 동작파형 ····· 214
그림 221 11펄스 모드 부하 동작파형 ····· 214
그림 222 9펄스 모드 관성부하 시험 ····· 215
그림 223 11펄스 모드 관성부하 시험 ····· 215
그림 224 TI-21 A-type 주파수 대역 고조파 분석 결과 ····· 218
그림 225 TI-21 B-type 주파수 대역 고조파 분석 결과 ····· 220
그림 226 TI-21 C-type 주파수 대역 고조파 분석 결과 ····· 221

그림 227 TI-21 D-type 주파수 대역 고조파 분석 결과 ····· 222
그림 228 9, 11, 13 펄스 별 주파수 스펙트럼 ····· 224
그림 229 리액터와 캐패시터로 구성되는 필터회로 ····· 224
그림 230 고조파 전류 측정 위치 ····· 226
그림 231 상선과 하선의 횡단접속선의 임피던스를 크게 하여 단선을 구현 ····· 228
그림 232 상선과 하선의 횡단접속선의 임피던스를 작게 하여 복선을 구현 ····· 229

# 제1장 연구개발과제 개요

# 제1장 연구개발과제 개요

## 1절 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발의 목적

가. 연구배경

2010. 2월 이후, 호남 하행선에서 KTX-산천 시운전 시 열차가 없는 상행선 TI-21 궤도회로(C-type) 구간에서 비정상적으로 궤도점유현상이 발생하였다. 만약 궤도점유구간에 열차가 진입하였을 경우 안전 측 동작으로 열차는 비상제동이 작동하여 열차가 자동으로 정지되는 현상이 발생하였을 것이다. 다행히 그 당시 반대편 열차가 교행하지 않아 비상 정차하는 사례는 없었다.

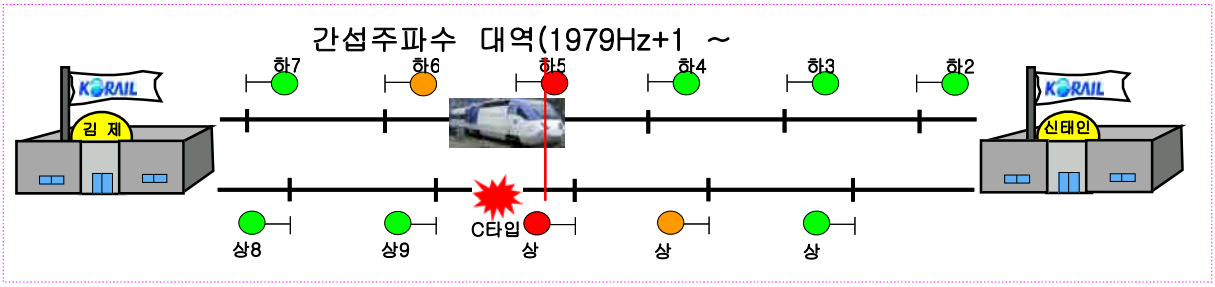



그림 1 KTX-산천 시운행 시 비정상적 궤도점유 현상

나. 발생원인

KTX산천 차량이 운행하면서 발생하는 33차 고조파인 1,980Hz(기본주파수 60Hz×33배)와 “C" Type AF궤도회로에서 사용하는 1,979Hz(1,977~1,980Hz)가 일치하여 궤도점유를 검지하는 궤도계전기가 부정 동작하는 사례가 발생하였다.

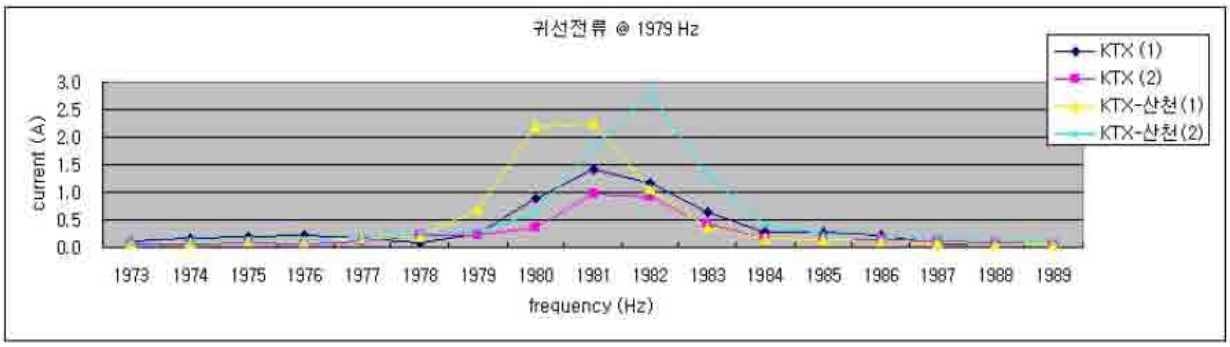



그림 2 궤도계전기의 부정 동작

AF궤도회로에 사용하는 주파수는 아래 표와 같다.

표 1 AF궤도회로의 주파수

| 궤도 | 주파수 Type | 공칭주파수 (Hz) | 실제사용주파수(Hz) | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Low Side | High Side | |
| 1(하행선) | A | 1,699 | 1,682 | 1,716 | |
| | B | 2,296 | 2,279 | 2,313 | |
| 2(상행선) | C | 1,996 | 1,979 | 2,013 | |
| | D | 2,593 | 2,576 | 2,610 | |

다. 원인분석경위

(1) 궤도회로의 전자파장애 시험기준 설정을 위한 현장 측정 3회 실시

호남선 장성-임곡간(2011.8.23.~25), 충북선 소이역(2012.3.19.~24) 및 호남선 5개소(2012.4.16.~20)에서 코레일(신호제어처, 엔지니어링센터), 시설공단, 철도기술연구원, 현대로템, 궤도회로장치 제작사(혁신, 신우, 유경)와 공동으로 현장에서 계측기를 이용하여 부정동작 원인에 대해 조사를 하였다.



그림 3. 측정장소 : 호남선 장성 ~ 임곡역 구간

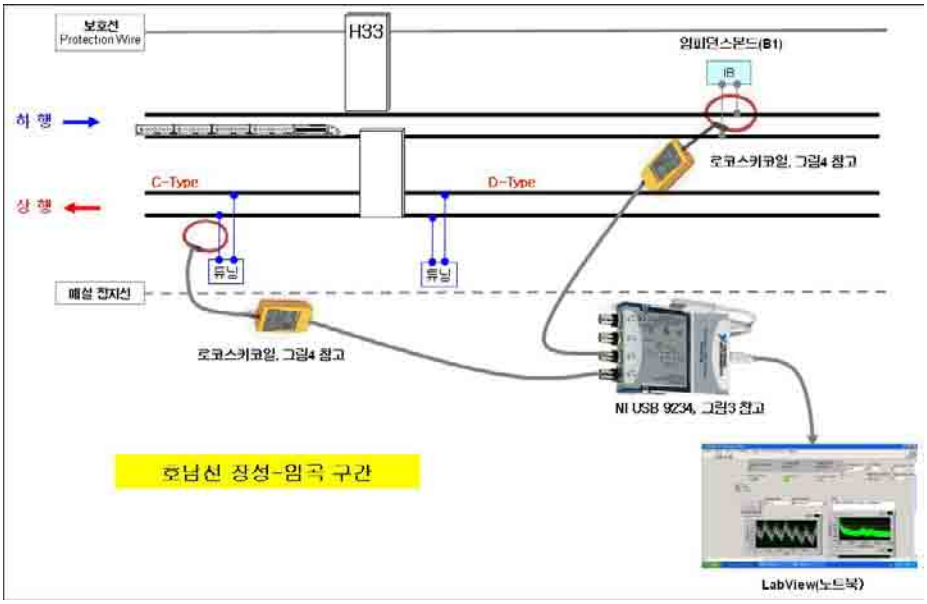



그림 4 TI-21형 AF궤도회로 지상시험 구성도

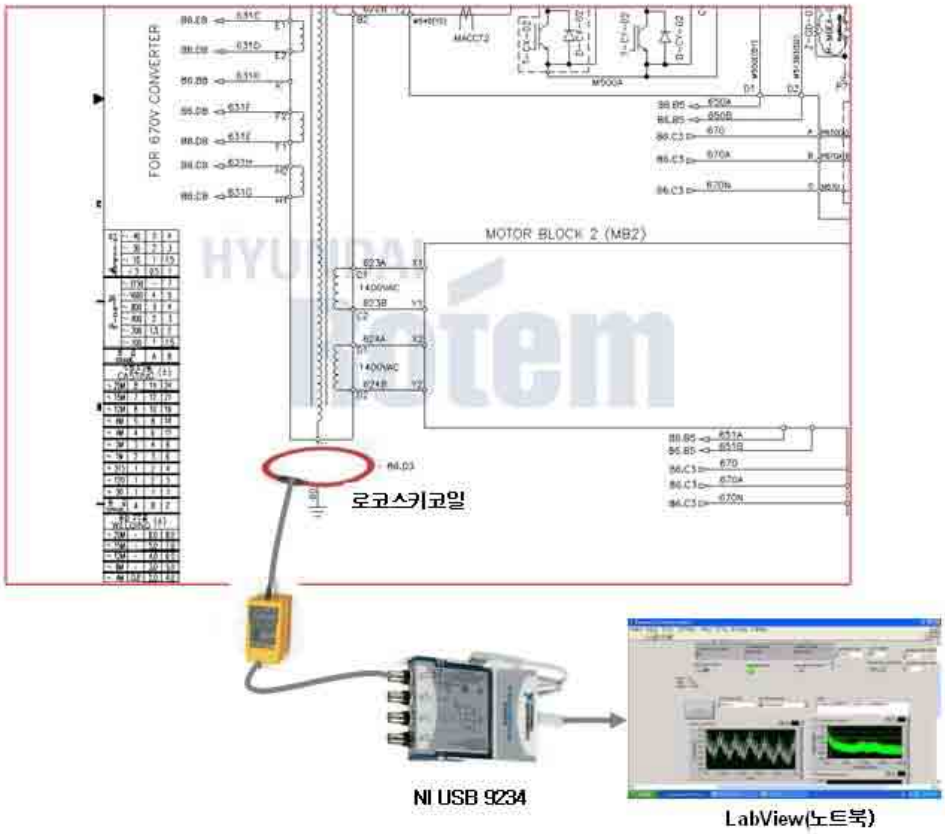



그림 5 KTX-산천 차내시험 구성도

(2) C타입 궤도회로수신기 개량

문제해결을 위해 2011.7.28.일 철도공사 및 차·지상장치설치자 합동회의를 통해 에러가 발생하는 C-TYPE 수신기 교체를 결정하였으며 2011.10.8.일 아날로그형을 디지털형으로 276개소에 대하여 전량 교체 완료하였다.

(3) 특정감사결과 처분요구

2011년 고속철도 운영실태점검 시 감사원 특정감사결과에 의거 “전자파간섭시험에 대해 적정 수행토록 TI-21 궤도회로장치 시험기준 마련”처분이 내려졌다.

## 2. 연구개발의 필요성

가. 전자파 간섭의 경로

(1) 복사성 간섭 검토 9kHz(λλ:33,333m)~1GHz(λλ:0.3m)의 주파수 범위를 측정하는 것을 원칙으로 함 (관련규격 : IEC62236-2, IEC62236-3-1), AF궤도회로 주파수 영역은 1682kHz(λλ:178km)~2610Hz(λλ:115km)로 그 파장이 최소 100km 이상임을 고려할 때 AF궤도회로가 수신안테나로써 차량의 운행에 따른 복사성 간섭노이즈를 수신하는 것은 불가능하다. 9kHz대역에서 허용 가능한 기준치가 80dBuA/m(0.01A/m)를 초과하지 않는 매우 미약한 수준으로 인접 궤도회로에 영향을 주는 것은 불가능하다.

(2) 전도성 간섭 검토

저항이 높은 공기(377Ω)를 통한 복사성 간섭이 아닌, 전기적으로 연결되어 있는 도체를 통한 전도성 간섭으로 고려하는 것이 타당하다. 전도성 간섭의 전달경로는 ‘레일(하선)-임피던스본드-접지단자함-횡단접지선(지중배선)-접지단자함-임피던스본드-레일(상선)으로 추정하였다.

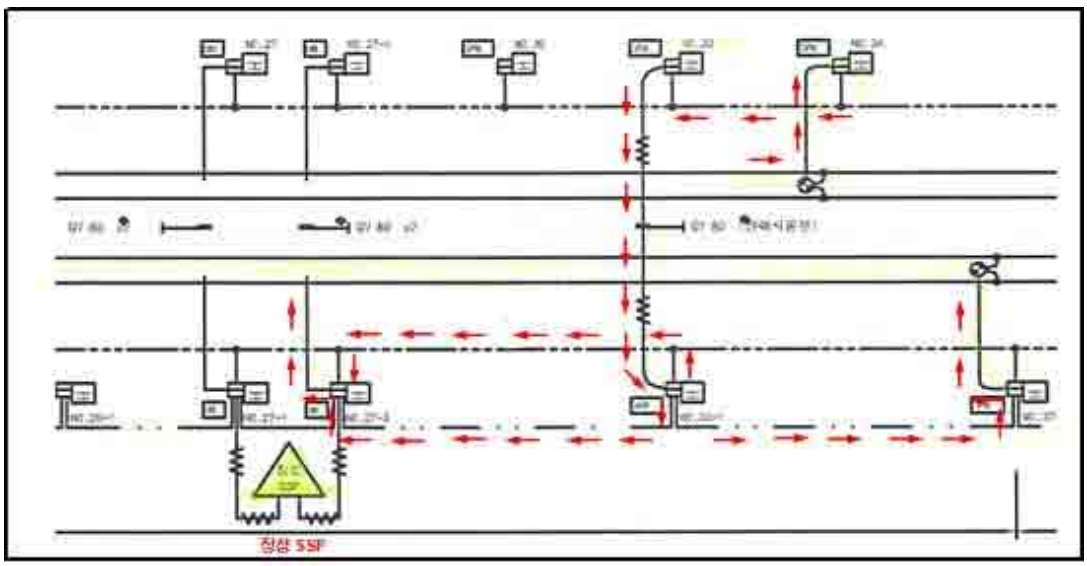


그림 6 귀선전류 유입경로 (장성-임곡, B3372T)

나. 전자파 관리 국내외사례

선진국 사례는 AF궤도회로의 신호주파수는 전원주파수의 홀수차 고조파를 피하도록 설계하고 있으나 우리나라는 기존선에 AF궤도회로 도입 시, 유럽의 50Hz 전원에서 적용하는 신호주파수를 그대로 적용함으로써 TI21 C타입 궤도회로의 신호주파수(1996±17)와 우리나라 전원주파수인 60Hz의 33차고조파(1980Hz)가 중첩되는 현상이 발생하였다. 궤도회로 수신기의 동작 전류치에 대한 궤도회로 고조파 제한치가 정해져 있지 않았다.

고속선 궤도회로 UM71의 경우, 경부고속철도 건설 시, 한국의 60Hz 전원환경에 맞도록 60Hz의 짝수차 고조파대역 신호주파수로 변경도입 ☞ 2040Hz, 2400Hz, 2760Hz, 3120Hz

다. 기타 검토사항

아래 표와 같이 그 당시 궤도회로에 대한 고조파간섭을 최소화하는 방법이 여러 분야에서 검토되었지만 가장 단기적으로 현실성 있게 접근되어졌던 것이 아래에 제시된 다양한 개선대책 방법 중 문제가 되었던 C타입 궤도회로 수신기를 개량하여 부정동작을 해소한 사례가 있었다.

표 2 고조파 간섭을 최소화 하는 검토사항

| 구분 | 개선방안 | 문제점 |
|---|---|---|
| 차량 | ◦ **LC 필터설치**<br>- 필터 1m*1m*4m 크기 1.6톤중량 | 설치불가 |
| | ◦ **페라이트코아 설치**<br>- 120uH에서 135uH로 용량변경에 따른 개선효과 확인 | 효과미비 |
| | ◦ **스위칭주파수 변경**<br>- 추진제어장치의 스위칭주파수 변경 | 성능보증,온도상승,장시간소요(1년) |
| 신호 | ◦ **임피던스본드 추가 설치**<br>- 임피던스본드 추가(3km에서 1.2km 간격) | 비용과다 |
| | ◦ **접지시스템 개선**<br>- 매설접지선과 보호선간 연결선(250m에서 50m 간격)<br>- 매설접지선(한쪽선로에서 양쪽선로) | -비용과다<br>-효과미비<br>(양쪽선로에서도 장애발생) |
| | ◦ **궤도회로주파수 변경**<br>- 신호주파수 변경(예, C타입 low주파수 1979Hz를 1975Hz) | 비용과다 |
| | ◦ **궤도회로 Type 변경**<br>- C & D 타입에서 G & H 타입으로 변경 | 비용과다 및 간섭 |

## 2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

### 1. 연구개발의 정의

본 연구에서는 특정 제품을 개발하는 것이 아니며 현재 국내 철도에서 운용되고 있는 KTX 산천 고속차량과 AF궤도회로(TI21)간 전자파간섭에 대한 이론을 정립하고 이에 대한 효율적인 운용을 위하여 상호간의 전자파간섭에 대해 국내외 적용하고 있는 관련기술을 조사하고 해외에서 설치운용하고 있는 TI21 AF궤도회로에 대한 방해전류 한계치 산출을 위한 시뮬레이션수행, 시뮬레이션 결과 값의 신뢰성 확보를 위하여 실제 현장실증시험을 통하여 이론값과 실측값을 비교분석하여 국내환경에 적용할 수 있는 레일전류 기준치를 산정하였으며 또한 KTX산천 고속차량과 AF궤도회로의 전자파에 대한 저감 대책에 대해 제안하였다.

### 2. 연구개발의 범위

본 연구개발에서는 KTX산천 차량과 TI21형 AF궤도회로의 전자파 특성을 분석하고 상호간 전자파간섭 영향을 분석하였으며, KTX산천 차량에서 발생하는 전자파가 AF궤도회로에 영향을 미치는 방해허용전류를 제시토록하여 새롭게 제작되는 KTX산천 차량의 성능시험에 적용토록 할 것이며, KTX산천 차량과 AF궤도회로간 고조파 저감대책에 대하여 방안을 제시토록 하였다.

### 3. 연구개발의 특징

본 연구개발은 차량과 신호 설비 간 상호전자파간섭에 대한 국내외 규격을 검토하고 외국에서 실제 사용 중인 동일한 TI21 AF궤도회로의 방해전류 권고치에 대하여 국내에 적용가능한지는 변수 값을 적용한 시뮬레이션 및 현장실증시험을 통하여 국내환경에 적합한 방해전류 허용치를 제시하고, 또한 향후 KTX산천과 신호 설비 간 안정적인 운영을 위하여 KTX산천과 AF궤도회로의 고조파 저감 대책 방안을 수립하였다.

## 3절 국내외 기술개발 현황

철도선진국으로 불리는 유럽 EU국가와 일본을 기술개발 사례에 대해 중점적으로 연구하였다. 특히 유럽의 경우 여러 국가에서 사용하고 있는 궤도회로 종류에 따른 방해전류 허용치에 대하여 설명하였으며 일본의 경우 선로변에 설치되어 열차운영에 사용 중인 각종 궤도회로와 신호설비에 대해 외부로부터 영향 받을 수 있는 허용기준에 대해 각각 연구하였다.

### 1. 전자파간섭관련 유럽규격 조사(CLC/TR 50507)

가. 범위

이 기술 보고서는 유럽철도에서 사용하고 있는 기존 궤도회로의 간섭 한계를 정의하기 위해 작성되었다. 이 기술 보고서의 목적은 다른 규격서 및 현재 작성 중인 규격서에 대한 개요, 참조, 소스(원천)을 제공하기 위함이다. CENELEC 규칙에서 요구하는 것처럼, 필요 시 보고서를 개정하여, 최종적으로 미래 사양서 또는 규격으로 대체될 전망이다. CENELEC 규칙에 따르면, 기존 국가 규격에서는 이 기술 보고서의 교체를 요구하고 있지 않다. 기존 사양서는 국가별 차량 승인을 위한 토대로서 사용될 예정이다. 국가 사양서는 이 기술 보고서의 부록 A를 참조하였다.

이 기술 보고서는 크게 두 부분으로 구분된다.

유럽 궤도회로 장치 목록

국가 부록(National Annex)

위 내용은 철도 시설 대표(railway infrastructure representatives)에서 제공하였다. 모든 EU 국가들이 정보를 제공하지 않았으며, 일부 경우 정보가 불충분할 수도 있다. 4.5장에서는 상호운용 노선의 미래 사용과 관련하여, 궤도회로를 선호형과 비선호형으로 구분하였다(TSI CCS에 정의되어 있는 바에 따르면 이전에는 Class A 및 Class B로 구분). 이 정의에서는 새로운 신호 과제에서 선호되는 궤도회로 종류를 제시하고 있다.

부록 A에는 간 CENELEC가 작성한 샘플(템플릿)에 간섭 한계 및 시험 사양서를 정의하였다. 그 의도는 광범위한 공통 내용을 보장하면서 국가 사양서들을 쉽게 비교하기 위함이다. 부록 A의 내용은 기존 국가 사양서의 내용을 기초로 한다.

이 기술 보고서는 사양서로 교체될 때까지는 정보성 문서로 활용될 것이다. 그러나 예컨대 국가 사양서 개정과 같이 요구사항 정의를 위한 기초로서 사용될 수도 있다. 만약 이 내용을 TSI에서 사용하는 경우, TSI 문서에는 요구사항 결과를 명확하게 정의해 두어야 한다. EN50238에 정의되어 있는 것처럼 철도차량은 차량 운행 노선에서 사용되는 궤도회로와 호환되기만 하면 된다. 일반적으로 승인 증명서(Approval certificate)는 이들 노선 또는 국가로 제한될 것이다.

나. 규범 문헌

다음 참조 문헌은 이 문서 적용 시 없어서는 안 되는 필수 문서이다. 날짜가 기명된 문헌의 경우, 인용된 버전만 적용한다. 날짜가 무기명된 문헌의 경우, 참조된 문서의 최신 버전(개정 포함)을 적용한다.

표 3 규범 문헌

| | |
|---|---|
| • EN 50238 | • 철도응용- 차량과 열차검지장치간 호환성(Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems) |
| • UIC leaflet 512 | • 차량-궤도회로 및 디딤판 작동 시 난관을 피하기 위해 충족해야 하는 조건(Rolling stock – Conditions to be fulfilled in order to avoid difficulties in the operation of track circuits and treadles) |
| • TSI CCS AAA1 | • 차량과의 호환성을 위해 필요한 열차검지장치 특성(Train detection systems characteristics necessary to be compatible with rolling stock) |

다. 사양서 요약

(1) 일반

궤도회로의 중요 특성을 표 형식으로 기재하였다. 부록(Annexes)에는 궤도회로에 대해 명시된 간섭 한계(Gabarits)과 차량 시험 사양서가 포함되어 있다.

(2) 가바릿(Gabarits)

가바릿 세트 및 관련 시험 사양서를 다음의 견인 매개변수에 따라 분류하였다.

견인 주파수(traction frequency)

견인 전압(traction voltage)

견인 시스템은 다음과 같다.

- 25kV, 50Hz;
- 15kV, 16.7Hz;
- 3kV, DC;
- 1500V, DC;
- 750V, DC;
- 비전철화(non-electrified)

불필요한 비관적 간섭 레벨을 피하고, 견인 주파수와 전압에 대한 함수로서 고조파량을 고려하기 위해서는 이러한 구분이 필요하다. 가바릿은 주파수 대역폭에서 작동하는 궤도회로에서 허용되는 최대 간섭 전류를 정의한다. 동차/기관차의 영향 계산을 위한 공식을 정의한다. 이를 이용해 차량 제조사 또는 시험사는 단일 기관차, 여객차량의 전력변환기(power converter) 또는 전체 열차에 대한 최대 간섭 전류를 수립할 수 있을 것이다. 가바릿은 현재 상태 그대로의 기존 국가 사양서의 요구사항을 고려한다.

(3) 시험 사양서 (Test specifications)

시험 사양서는 시험 결과에 일관성이 있고, 다른 위치에서 적용할 수 있다는 것을 보장하기 위함이다. 특히 다음과 같은 측면들을 고려해야 한다.

(가) 차량 측정 방법 :

- 차량의 전류 집전장치를 통해 흐르는 누적 전류는 적절한 필터를 통해 전류 집전장치와 최대한 가깝게 측정되어야 한다(예: 100Hz 궤도회로 시험의 경우, 100Hz)
- 주파수 및 대역폭 매개변수/대역통과여파기(bandpass filter)특성

(나) 차량 시험 조건:

- 속도(Velocity): 차량 정차 시부터 최대속도까지의 전체 범위
- 견인 모드: 가속 편차, 정지모드 및 타력모드(coasting mode), 등속도(constant velocity), 제동 모드, 제동에 반하는 기동
- 정상 모드 및 고장 모드
- 보조 공급장치(무부하~전부하)
- TSI CC AAA1 준수(차륜간 전기적 임피던스)
- 승인 시험을 거친 장치의 HW/SW의 구성관리

(다) 시험 위치:

- 전원장치 배열 시 설명
- 적용 가능할 경우, 참조 시험선 또는 진로의 정의

(라) 측정 횟수:

- 장시간에 걸친 일련의 시험이 요구되는 중요 영역을 식별하기 위해서는 차량 모드당 최소 수회의 측정이 요구된다.

(마) 시험 결과의 분석 및 평가:

- 최종 분석은 일반적으로 시간 영역(time domain)내에서 제공된다. 일부 철도기관(Rail Administrations)에서는 주파수 영역(frequency domain) 분석을 요구할 수 있다.
- 적분시간(시간창의 길이) 또는 평활 시간상수(smoothing time constant)는 잘못된 결과 도출을 피하기 위해 요구되는 최대 허용 간섭 시간을 고려한다.
  공급망의 공진 주파수, DC 전원 공급 시 리플 또는 AC 전원 공급 시 고조파 같은 견인 공급 특성의 차이 때문에 서로 다른 시설에서 시험을 수행하는 경우에는 시험 결과에 편차가 발생한다는 것을 예상하고 있어야 한다. 동일한 기본 견인 전압과 주파수를 가지는 다양한 국가들을 대표하는 최악의 시험 현장을 찾는 작업은 사소한 일이 아니며, 다양한 국가의 특정 시험선 또는 진로에서 시험하도록 요구할 수 있다.

(4) 필터 예시

(가) 그림 7의 $f_K$는 100Hz와 같고, B는 4Hz와 같은 100Hz 궤도회로 호환성 시험에 대한 필터 특성을 예로 든 것이다.

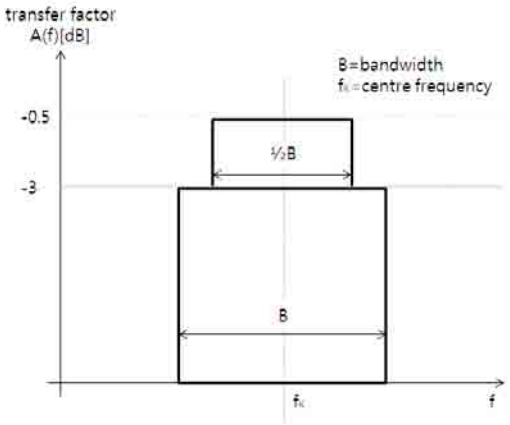



그림 7 필터 특성의 예시

(5) 유럽 궤도회로 장치 목록

(가) 표 4에는 현재 유럽 철도에서 사용되고 있는 궤도회로 장치의 종류를 정의한 목록을 제시하였다. “선호”로 구분된 유형들은 미래의 신호 개량 사업에서 사용하도록 지정되었다.

표 4 궤도회로 장치의 종류

| 국가 | 정보 소스 | 종류 | 제조사 | 작동 주파수 | 견인 전압 |
|---|---|---|---|---|---|
| NO | Jernbaneverket | TI 21 | Bombardier | 1532-2610Hz | 15kV |
| ES | ADIF | TI 21 I/M | Bombardier | 1,5-2,6 / 5-9㎑ | 3kV DC 25kV 50Hz |
| UK | NetworkRail | TI 21 | Bombardier | 1532-2610Hz | 25kV, 750V |

NO : 노르웨이, ES : 스페인, UK : 영국

라. 노르웨이, JBV 사양서

(1) 사양서의 범위

사양서는 EN50238과 함께 적용되어야 한다. 여기서, EN50238에서는 대개 안전성/호환성 사례의 작성도 포괄한다. 이 사양서의 범위는 열차에서의 전기운전(electric traction) 및 기타 전기 장치에 대한 전자기 간섭 한계와 시험 사양서의 정의에 국한한다.

(2) 가바릿(Gabarits)

가바릿 세트와 관련 시험 사양서가 요구되며, 다음과 같은 견인 매개변수에 따라 구분하였다

.

- 견인 주파수 : 16,7Hz;
- 견인 전압 : 15kV.

각 가바릿은 주파수 함수로서 최대 간섭 전류 그래프로 구성된다. 각 사례 또는 주파수 범위에 대해 시간 제약을 정의해야 한다. 가바릿은 궤도회로의 작동 주파수 대역폭

에 대해 허용되는 최대 간섭 전류를 정의한다. 동차/기관차의 영향 계산을 위한 공식을 정의한다. 이를 이용해 차량 제조사 또는 시험사는 단일 기관차, 여객차량의 전력 변환기(power converter) 또는 전체 열차에 대한 최대 간섭 전류를 수립할 수 있을 것이다. 가바릿은 기존 국가 사양서의 요구사항을 고려한다. 기존 사양서를 변경이 예상되어서는 안 된다. 간섭 값들을 원래 정의하였을 당시, 이전 단락에서 언급된 규칙을 철도에 따라 적용하지 않았다면, 사양서에서 기존 사양서의 간섭 값이 수정만 될 것이다.

- 봄바르디아 T1 21 궤도회로에 대한 간섭 한계
  국가 철도기관에서는 구체적 성명을 제시하지 않았다. 이러한 이유 때문에 어떤 값도 가바릿에 삽입되지 않았다.

마. 스페인, ADIF 사양서

(1) 사양서의 목적

사양서는 EN50238과 함께 적용되어야 한다. 여기서, EN50238에서는 대개 안전성/호환성 사례의 작성도 포괄한다. 이 사양서의 범위에서는 ADIF 철도망에서 차량과 궤도회로 간의 호환성이 보장되도록 전자기 간섭 한계를 정의한다. 이런 이유로, 이 사양서는 이 철도망에서 순환 운행하는 차량을 준수해야 한다.

(2) 사양서의 범위

이 사양서는 ADIF 철도망을 통해 순환 운행하는 차량에 대해 충족되어야 한다.

(3) 가바릿(Gabarits)

가바릿은 궤도회로의 작동 주파수 대역폭에서 정상 상태에 대한 최대 간섭 전류를 정의한다. 이를 이용해 차량 제조사 또는 시험사는 단일 기관차, 여객차량의 전력 변환기(power converter) 또는 전체 열차에 대한 최대 간섭 전류를 수립할 수 있을 것이다. 가바릿 세트와 관련 시험 사양서가 요구되며, 다음과 같은 매개변수 견인 전압-견인 주파수에 따라 구분하였다. ADIF에서 고려하고 있는 사항은 다음과 같다.

- 3kV DC;
- 25kV, 50Hz.

정의: 영향을 미치는 장치는 영향을 미치는 복합적인 소스(원천)들로 구성되어 있을 수 있기 때문에, 영향을 미치는 장치에서 전력공급망으로 방출된 간섭 전류가 가바릿 값을 초과하지 않는다는 점이 보장되어야 한다. DC 궤도회로의 경우, 과도 이벤트(transients)를 단기간, 비반복적 사건으로 정의한다. 예컨대, 최소 1.5s로 이벤트를 구분한다.

(4) TI 21 I/M 무이음매 궤도회로

TI 21 궤도회로류는 AF 무이음매 형으로, 높은 간섭 레벨(주로 50Hz 고조파에서 발생)이 존재할 수 있는 AC 및 DC 전철화 구간에서 사용하기 위해 설계된 것이다. T1 21 류는 다음과 같은 2개의 포괄형(generic types)으로 구성된다.

- 주로 선로 설치를 위한 TI 21-I
- 간선의 정거장 구간에 설치하기 위한 TI 21-M

- TI 21-I 궤도회로

T1 21-I 궤도회로는 1532Hz~2610Hz 범위의 AF 대역에서 작동되는 무이음매 궤도이다. 이 궤도회로 타입은 주로 역간 선로에 설치된다. 각 궤도회로는 [표 5]에 나타나 있는 것처럼 34Hz로 분리되는 2개 주파수를 사용한다. 인접 궤도회로는 인접 궤도회로간의 절연을 위해 서로 다른 주파수 쌍을 사용한다.

표 5 TI 21-I 궤도회로의 작동 주파수

| 궤도회로 주파수 코드 | 공칭 주파수 Hz | 작동 주파수 | |
|---|---|---|---|
| | | 저주파수 Hz | 고주파수 Hz |
| A | 1699 | 1682 | 1716 |
| B | 2296 | 2279 | 2313 |
| C | 1996 | 1979 | 2013 |
| D | 2593 | 2576 | 2610 |
| E | 1549 | 1532 | 1566 |
| F | 2146 | 2129 | 2163 |
| G | 1848 | 1831 | 1865 |
| H | 2445 | 2428 | 2462 |

(가) 대역폭

- 각 중심주파수로부터 ±6Hz에서 -3dB
- 각 중심주파수로부터 ±30Hz에서 -20d

(나) 영향을 미치는 장치의 최대 전류

- 모든 작동 주파수에 대해 $I_{IUTI21-I}$=91,4mA
- r.m.s. 통합시간을 2s로 선택함.

(다) 견인 장치의 최대전류는 견인 차량의 종류에 따라 달라지지만, 일반적인 사례인 12량 동차의 경우, 4량 장치(견인 장치)의 최대 전류는 53mA가 된다.

(라) 전동차 계산 규칙:

- 견인 장치 간에 동기화가 없다면, 합의 제곱근을 사용하여 동차를 합한다. 동기화가 될 경우, 산술적 덧셈을 사용해야 한다. 그러나 어떤 동기화도 없다고 가정하면, 다음과 같이 동차를 합산한다.
- $I_{IUTI21-I}$=[n($I_{IUTI21}$)2] n: 견인 동차의 수량

측정 장치는 전체 견인 전류를 감시하는 열차에서 적절한 위치에 배치한다. 기관차의 경우, 팬터의 주전원 케이블을 빙 두른 위치가 적당할 수 있다. 전동차의 경우, 한 대의 견인 동차(4량)에 대한 전체 견인 전류를 측정하는 것만이 현실적일 수 있다. 그런 다음, 최대 12량 차량(영향을 미치는 장치)에 대한 최대 견인 전류를 결정하기 위해서는 산술적 덧셈이 필요할 것이다. 측정 장치는 그림 9에 나타나 있는 것처럼 측정 대역폭(각 중심주파수로부터 -3dB ±6Hz 및 -20dB ±30Hz)을 사용해야 한다. 표6 에는 중심 주파수(공칭)를 나타내었다.

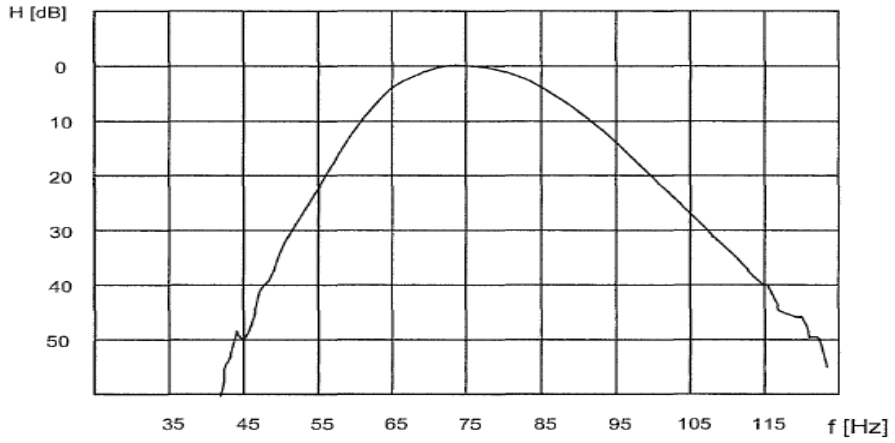



그림 8 대역통과여파기(band pass filter)의 스펙트럼

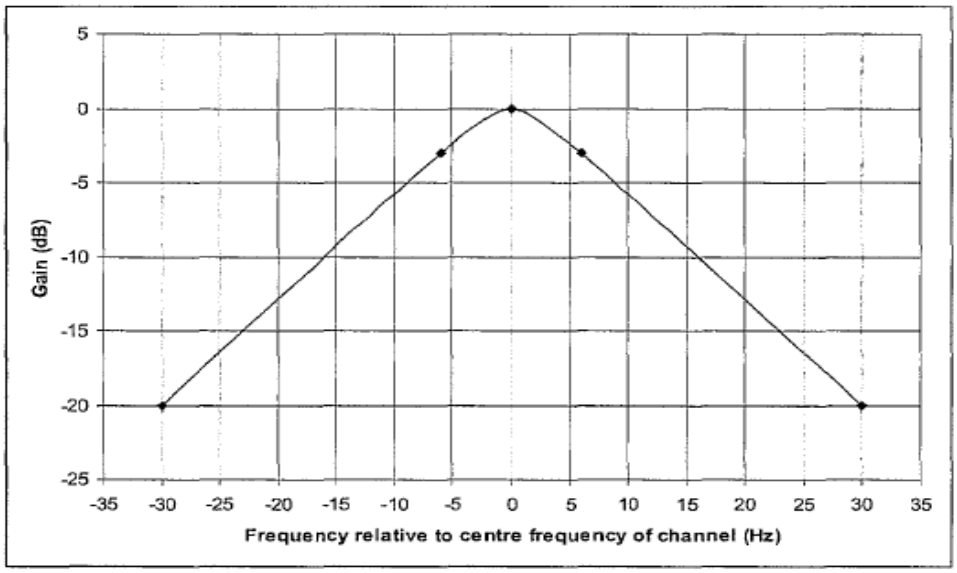



그림 9 개별 TI 21 채널의 일반적인 주파수 응답

정상 상태의 열차 방출 데이터를 모든 정상 작동 조건에 대해 TI 21의 간섭 한계와 관련하여, 앞서 정의되어 있는 한계와 비교해야 한다. 이 한계들은 모델에서처럼 100% 불균형 상황을 발생시킬 수 있는 유일한 상황인 실질적으로 고장이 발생한 시설을 기초로 하며, 이와 같이 철도에서 맞닥뜨리기 쉬운 모든 시설 조건들을 포함한다. 정상 작동 조건에서 이 한계들을 위반해서는 안 된다.

허용가능 레벨은 TI 21 궤도회로 수신기를 취득하기 위해 필요한 변조 신호보다 순음(pure tone)을 기초로 하기 때문에, 호환성 사례 구축 시 이 레벨을 초과된 한계와 비교할 수 있다. 대부분의 견인 시스템이 단순한 레벨 비교를 준수하리라고 예상된다. 의견 완화 시, 한계를 초과한 주파수 및 2s 이상 초과된 규모와 지속기간도 고려해야 한다.

과도 간섭이 2s(계전기가 주파수를 포착하기 전에 2개 주파수 채널이 존재한다는 것을 확인하기 위한 수신기의최소 내재적 지연 시간) 미만으로 존재한다면 과도 간섭(Transient Interference)은 TI 21 궤도회로에서는 문제가 안 된다.

공급망의 공진 주파수, DC 전원 공급 시 리플 또는 AC 전원 공급 시 고조파 같은 견인 공급 특성의 차이 때문에 서로 다른 시설에서 시험을 수행하는 경우에는 시험 결과에 편차가 발생한다는 것을 예상하고 있어야 한다. 동일한 기본 견인 전압과 주파수를 가지는 다양한 국가들을 대표하는 최악의 시험 현장을 찾는 작업은 사소한 일이 아니라는 점을 알아야 한다.

(3) TI 21-M 궤도회로

T1 21-M 궤도회로는 5200Hz~8600Hz 범위의 AF 대역에서 작동되는 무이음매 궤도이다. 이 궤도회로 타입은 주로 역간 선로에 설치된다. 각 궤도회로는 표 6에 나타나 있는 것처럼 200Hz로 분리되는 2개 주파수를 사용한다. 인접 궤도회로는 인접 궤도회로간의 절연을 위해 서로 다른 주파수 쌍을 사용한다. 이런 종류의 궤도회로는 짧은 조정 구간이 필요한 선로전환기(points)로 구성되기 때문에, 정거장 구간에 적용된다.

표 6 TI21-M 궤도회로 작동 주파수

| 궤도회로 주파수 코드 | 공칭 주파수[Hz] | 작동 주파수 | |
|---|---|---|---|
| | | 저주파수[Hz] | 고주파수[Hz] |
| F1 | 6100 | 6000 | 6200 |
| F2 | 7700 | 7600 | 7800 |
| F3 | 6900 | 6800 | 7000 |
| F4 | 8500 | 8400 | 8600 |
| F5 | 5700 | 5600 | 5800 |
| F6 | 7300 | 7200 | 7400 |
| F7 | 6500 | 6400 | 8600 |
| F8 | 8100 | 8000 | 8200 |
| F9 | 5300 | 5200 | 5400 |

TI 21-M은 궤도회로 경계 정의의 기본 요구사항을 충족한다.

바. 영국, Network Rail 사양서

(1) 사양서의 범위

사양서는 EN50238과 함께 적용되어야 한다. 여기서, EN50238에서는 대개 안전성/호환성 사례의 작성도 포괄한다. 이 사양서의 범위는 AC 25kW 전철화 구간과 DC 750V 전철화 구간에 설치된 Network Rail 전기운전(electric traction) 및 기타 전기장치에 대한 전자기 간섭 한계와 시험 사양서의 정의에 국한한다. 이 문서는 Network Rail Company Specification RT/E/C/50008 제1호(2003년 2월)을 기초로 하며, TI 21 궤도회로와의 호환성 입증 관련 정의 부분을 고려해야 한다.

(2) 가바릿(Gabarits)

이 가바릿은 DC 750V 제3궤도 및 25kV 50Hz 전철화를 위한 것이다. 이 가바릿에서는 Network Rail 시설물의 무이음매 복선레일에만 설치되어 있는 TI 21 궤도회로에 대한 최대 정상 상태 간선 전류를 정의한다. 이를 이용해 차량 제조사 또는 시험사는 완전 열

차(complete train)의 최대 간섭전류 또는 단일 기관차 지정 절차에 따라 열차의 일부를 구성하는 여객 열차의 전력변환기를 수립할 수 있다.

(3) 정의

영향을 미치는 장치는 영향을 미치는 복합적인 소스(원천)들로 구성되어 있을 수 있기 때문에, 영향을 미치는 장치에서 전력공급망으로 방출된 간섭 전류가 가바릿 값을 초과하지 않는다는 점이 보장되어야 한다.

(4) TI 21 궤도회로에 대한 간섭 한계

T1 21 궤도회로는 1532Hz~2610Hz 범위의 AF 대역에서 작동되는 무이음매 궤도이다. 각 궤도회로는 표7 에 나타나 있는 것처럼 34Hz로 분리되는 2개 주파수를 사용한다. 인접 궤도회로는 인접 궤도회로간의 절연을 위해 서로 다른 주파수 쌍을 사용한다.

대역폭은 다음과 같다:

- 각 중심주파수로부터 ±6Hz에서 -3dB
- 각 중심주파수로부터 ±30Hz에서 -20dB

표 7 TI21 궤도회로 작동 주파수

| 궤도회로 주파수 코드 | 공칭 주파수[Hz] | 작동 주파수 | |
|---|---|---|---|
| | | 저주파수[Hz] | 고주파수[Hz] |
| A | 1699 | 1682 | 1716 |
| B | 2296 | 2279 | 2313 |
| C | 1996 | 1979 | 2013 |
| D | 2593 | 2576 | 2610 |
| E | 1549 | 1532 | 1566 |
| F | 2146 | 2129 | 2163 |
| G | 1848 | 1831 | 1865 |
| H | 2445 | 2428 | 2462 |

a) 영향을 미치는 장치의 최대 전류 :

- 모든 작동 주파수에 대해 $I_{IUTI21-I}$=91,4mA
- r.m.s. 통합시간을 2s로 선택함.

b) 견인 장치의 최대전류 :

- 견인 차량의 종류에 따라 달라지지만, 일반적인 사례인 12량 동차의 경우, 4량 장치(견인 장치)의 최대 전류는 53mA가 된다.

c) 전동차 계산 규칙:

- 견인 장치 간에 동기화가 없다면, 합의 제곱근을 사용하여 동차를 합한다. 동기화가 될 경우, 산술적 덧셈을 사용해야 한다. 그러나 어떤 동기화도 없다고 가정하면, 다음과 같이 동차를 합산한다.

- $I_{IUTI21}=\sqrt{[n(I_{TUT21})2]}$ n: 전동차 수량

(5) 시험 사양서

측정 장치는 전체 견인 전류를 감시하는 열차에서 적절한 위치에 배치한다. 기관차의 경우, 팬터의 주전원 케이블을 빙 두른 위치가 적당할 수 있다. 전동차의 경우, 한 대의 견인 동차(4량)에 대한 전체 견인 전류를 측정하는 것만이 현실적일 수 있다. 그런 다음, 최대 12량 차량(영향을 미치는 장치)에 대한 최대 견인 전류를 결정하기 위해서는 산술적 덧셈이 필요할 것이다. 측정 장치는 그림 10에 나타나 있는 것처럼 측정 대역폭(각 중심주파수로부터 ±6Hz에서 -3dB 및 ±30Hz에서 -20dB)을 사용해야 한다.

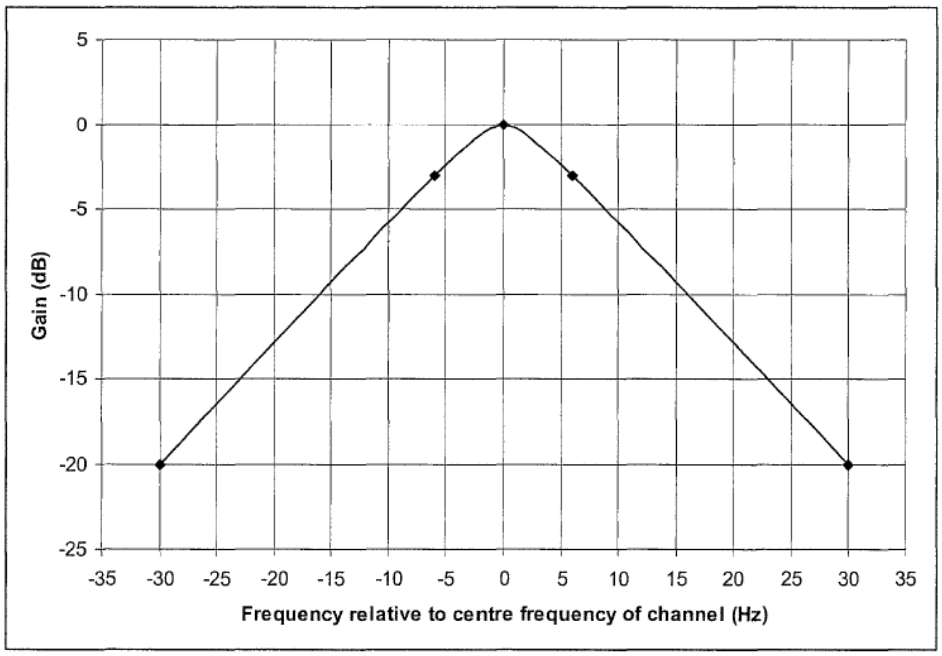



그림 10 개별 TI21 채널의 전형적인 주파수 응답

모든 정상 작동 조건에 대해 정상 상태의 열차 방출 데이터를 A.15.5.2.2에 정의되어 있는 한계와 비교해야 한다. 이 한계들은 모델에서처럼 100% 불균형 상황을 발생시킬 수 있는 유일한 상황인 실질적으로 고장이 발생한 시설을 기초로 하며, 이와 같이 철도에서 맞닥뜨리기 쉬운 모든 시설 조건들을 포함한다. 정상 작동 조건에서 이 한계들을 위반해서는 안 된다.

허용가능 레벨은 TI 21 궤도회로 수신기를 취득하기 위해 필요한 변조 신호보다 순음(pure tone)을 기초로 하기 때문에, 호환성 사례 구축 시 이 레벨을 초과된 한계와 비교할 수 있다. 대부분의 견인 시스템이 단순한 레벨 비교를 준수하리라고 예상된다. 의견 완화 시, 한계를 초과한 주파수 및 2s 이상 초과된 규모와 지속기간도 고려해야 한다.

과도 간섭이 2s(계전기가 주파수를 포착하기 전에 2개 주파수 채널이 존재한다는 것을 확인하기 위한 수신기의최소 내재적 지연 시간) 미만으로 존재한다면 과도 간섭

(Transient Interference)은 TI 21 궤도회로에서는 문제가 안 된다. 공급망의 공진 주파수, DC 전원 공급 시 리플 또는 AC 전원 공급 시 고조파 같은 견인 공급 특성의 차이 때문에 서로 다른 시설에서 시험을 수행하는 경우에는 시험 결과에 편차가 발생한다는 것을 예상하고 있어야 한다. 동일한 기본 견인 전압과 주파수를 가지는 다양한 국가들을 대표하는 최악의 시험 현장을 찾는 작업은 사소한 일이 아니라는 점을 알아야 한다.

1. TI21 AF궤도회로와의 호환성 입증방법(RT/E/C/50008)

가. 서론

(1) 목적

이 절차서의 목적은 안전한 허용가능 최대 전기적 간섭 레벨 계산 방법을 제공하기 위함이다. 이 전기적 간섭은 T1 궤도회로를 사용하는 궤도에서 사용하기 위해 설계된 전동열차에 의해 생성될 수 있다. 이 절차서에는 고려해야 하는 시설적 측면, TI 21 궤도회로의 특성, 발생 가능한 고장 모드가 제시되어 있다. 견인 전류로 인한 최대 허용가능 전기적 간섭과 차축 대 차축 전압 계산을 위한 작업 예시를 제시하였다.

(2) 범위

이 절차서의 목적은 TI 21 궤도회로에서 전동차 운행을 위한 안전성 사례를 지지하는 계산식에 대한 방법을 제공하는 것이다. TI 21 궤도회로와 관련된 모든 구성요소를 고려한다.

이 문서는 균형 있는 접지 연결을 이용한 복선 구성만을 고려한다.
설치된 전철화는 표준배열이며, 단권변압기(auto transformer) 급전 구간은 포함되어 있지 않다. 견인 본딩(traction bonding)은 RT/E/PS/11761의 요구사항을 준수한다고 가정한다.

(3) 이 문서에서 취급하고 있는 설치 유형

이 절차서는 AC 25kV 또는 DC 750V 선로에서의 열차 운행을 위해 사용할 수 있다. 도출된 레벨은 단일 열차에 의해 생성된 최대 허용 간섭 레벨을 정의한다. 복선 종단 급전 및 중간 급전 TI 21 궤도회로를 고려한다.

A.C. 전철화 구간에서 전철주 및 기타 선로변 금속 구조물은 견인 귀선레일에 연결되어 있다. 이 문서는 복선 설치하고만 관련이 있으며, 일반적으로 이 설치들은 균형을 이룬다. TI 21 궤도회로에서는 대지 전압에 대해 레일이 균형을 이루고 있고, 각 레일에 전류가 흐르도록 요구하고 있다. 따라서 TI 21 구간에서는, 전차선 지지 구조물이 종종 임피던스 본드를 통해 레일에 연결되어 있는 전용 접지선에 결합되어 있다.

DC 전철화 구간에서는 어떤 레일도 지상(earth)에 일부러 접합시킨 경우가 없기 때문에 균형이 유지된다. 완전히 균형을 이룬 상황에서는 TI 21 궤도회로가 이론상으로는 견인전류 또는 열차에 의해 생성된 간섭의 량이 어느 정도가 되든 내성을 가지고 있다.

(4) 이 문서에 포함되어 있는 장치 유형

이 문서에 포함되어 있는 장치 유형은 영국에서 사용하도록 지정된 TI21-I 타입이다. 이 장치는 무이음매 구성인 복선에만 설치된다고 가정한다.

## 3. 문서 출처

가. 관련 철도 규격

(1) 'AC 전류에 대한 궤도회로 요구사항- 실무 코드(Track Circuit Requirements for AC Traction-Code of Practice)', Safety & Standards Directorate, Railtrack, Fitzroy House, 355 Euston Road, London NWI3AG, Reference GK/RC 0753, Issue 1, June 1996.

(2) 'Railtrack line product specification TI.21 Audio Frequency Track Circuits.", Railtrack, Reference RT/E/PS/11761, Issue 1, December 2000.

나. 이전 안전 사례 문서(Previous Safety case documentation)

4. 'GEC Alsthom Juniper Project TI21 Track Circuit Interference Limits AC and DC Routes' AEA Technology Rail, Issue 2, 7 January 1999, Report reference PRJ-SCSE(JUN)-RP-7

5. Track parameters for Interference studies" N Rambukwella, AEAT Rail Report number STG-D-EPS(373)RP-18, Issue 1, January 1995.

6. 'Class 92 Locomotive EMC Safety Assessment – Volume 5 TI21 Track Circuits, Fleet Operation on the Route between Crewe and Doncaster', AEA Technology ref. 120-dr0459, version b0, dated February 1999.

7. "TI21 Track Circuit Proof of Safety", ABB Signal Ltd, dated 11th October 1993.

## 4. 인프라 시설 가정(Infrastructure Assumptions)

본 분석의 주된 가정을 요약하면 다음과 같다.

- TTU(Track Tuning Unit)를 이용한 궤도회로의 경우, 동조 유니트에서 허용가능 대우(allowable pairing)의 다른 주파수에 인접한 TI 21 주파수 각각에 대해 분석을 수행한다.
- ETU(End Termination Unit)를 이용한 궤도회로의 경우, TI 21 주파수 각각에 대해 분석을 수행한다.
- TI 21 주파수 대역에서 레일 저항 1Ω/km, 레일 인덕턴스 675μH/km를 사용한다. 이것

은 이음매 궤도(jointed track)에 대한 허용오차를 이용하여 BS113a에 대한 측정 매개변수를 따른다.

- 100% 불균형 하다고 가정한다. 이것은 AC 25kV 전력 공급 시에는 공칭 불균형값 60%/40%, DC 750V 전력 공급 시에는 70%/30%와 비교해 보았을 때 낙관적이다[4].
- 다른 궤도회로들은 균형을 이룬다고 가정한다. 따라서 다른 궤도회로에서 열차로부터 발생된 간섭 전류는 분석된 궤도에서의 간섭보다 상당히 작을 것이며, 이 간섭은 간섭 허용오차에 포함될 것이다.
- 크로스 본드에서 사용된 케이블 임피던스는 무시된다.
- (의도적 또는 누설을 원인으로 하든 간에)대지 귀선전류(earth return current)로 인한 레인 전류의 감소는 무시할 수 있다. 즉, 모든 귀선전류가 레일에 있다는 것을 의미한다. 따라서 최악의 경우의 간섭 전파를 고려하도록 한다.
- 복합적인 간섭 소스는 간섭 허용오차에 포함되기 때문에, 이로 인한 영향은 무시할 수 있다.
- 모든 궤도회로 구성요소가 철도 그룹 규격(Railway Group standards)에 맞추어 설치된다고 가정하고, 구성요소는 공칭 값에 있다.
- AC 및 DC 견인 시스템 각각에 대해 본드 타입 ABB B3/500과 웨스팅하우스 스타일(Westinghouse Style) S를 분석한다. 이 유형들은 대표적인 유형으로 간주한다.
- 고려된 최대 길이는 Ref. 2에 언급되어 있는 1km이다.
- 수신기는 가장 민감한 설정으로 설정된다고 가정한다(총 13개 설정이 있다).
- 사용 중인 침목은 콘크리트 또는 목재라고 가정하고, 철침목은 여기 제시되어 있는 분석에는 포함되어 있지 않다.
- UIC 60 레일은 제시된 평가서에는 포함되어 있지 않다. 여기 주어진 방법론을 적용할 수는 있지만, 이 Interest의 주파수에서는 레일 종류의 매개변수를 적절한 계산식에서 결정하여 사용하도록 할 필요가 있을 것이다.
- 궤도 흡상 커패시턴스(Track boosting capacitances)는 이 평가서의 범위에서 배제시켰다.
- 견인 본드(Traction bonding)가 RT/E/PS/11761의 요구사항을 준수한다고 가정한다.

차축 대 차축 전압 평가 시, 다음과 같이 가정하였다.

- 열차에서 생성되는 차축 대 차축 전압은 크로스 본드 간격과 동일한 간격으로 떨어져 있다. 열차와 열차하부 선로의 전류 흐름은 고려하지 않는다.

- 최소 크로스 본드간격은 100m이다.
- 열차에서 생성되는 간섭은 해당 궤도회로가 설치된 궤도에 인접한 궤도 에 있으며, 이것이 유일한 평행 궤도이다.

가. 불평형(Imbalance)

복선 T1 21 궤도회로의 목적은 균형 잡힌 시스템 운용이다. 이런 종류의 궤도회로를 사용하는 모든 25kV 전류 기법의 경우, 궤도회로의 불균형을 유발할 수 있는 레일과의 연결을 피함으로써 균형을 유지한다. 구조물 본드 연결용 접지선을 사용하여 이러한 균형을 달성할 수 있다. 주행 레일에 대한 접지 및 귀선전류 접속은 임피던스 본드를 통해서 이루어 진다. 그러나 각각의 견인 귀선 레일과 접지선 간의 서로 다른 상호 인덕턴스 때문에, 견인 귀선 전류의 불균형(및 열차 간섭 전류)이 발생하게 될 것이다. 이 불균형의 확률값은 위 가정에 언급되어 있다. 또한 잡음 전류의 불균형 구성요소가 T1 21 궤도회로를 흐를 것이라고 가정한다.

제3궤도의 DC 전차선 구간에서는 어던 레일도 접지되어 있지 않고, 견인 귀선은 T1 21 임피던스 본드를 통해서 연결된다. 궤도회로가 충분히 균형이 잡히면, 귀선전류가 궤도회로 수신기의 각 입력 단자와 동일하게 나타나면서도 그 작동에는 아무런 영향도 미치지 않을 것이다. 간섭으로 인해 발생되는 궤도회로의 결함측고장(Wrong side failure)은 불균형이 나타날 경우에만 발생할 수 있다.

궤도회로 주파수의 불균형은 다음을 원인으로 발생할 수 있다.

1. 발라스트를 통한 각 레일의 불균형 접지
2. 가드레일(check rail) 또는 이와 동등한 레일의 존재
3. 레일의 전기적 특성, 각 레일 간의 본딩 차이 또는 직렬 본딩의 차이
4. 레일의 접지
5. 주행레일과 관련이 있는 도체 레일 또는 전차선의 비대칭 위치
6. 선로 곡선(Track curvature)

레일 절손(예: 연속성의 전기적 공백)은 아마도 궤도회로에 안전측고장(right side of failure)을 발생시킬 것이다. 따라서 단시간 내에 레일 절손이 검지될 것이다. 불균형의 또 다른 원인은 그 중요성이 덜 하지만, 실질적인 불균형 정도는 예측하기가 어렵다.

모든 크로스 본드가 임피던스 본드를 통해서 연결되어 있기 때문에 크로스 본드는 궤도회로에 어떠한 직접적인 영향도 미치지 않는다. 임피던스 본드의 크로스 본드 중앙 간격과 레일간의 임피던스가 견인 전류 주파수(DC 또는 50Hz)보다 낮을 경우, T1 21 주파수에서는 다소 높게 나타낸다. 크로스 본드가 한쪽 레일과 직접 연결되어 있는 임피던스 본드 내에 단락이 발생될 경우, 임피던스 본드의 공진 주파수가 감소하게 될 것이다. T1 21 주파수에서의 임피던스가 상당량 감소되고, 궤도회로가 입환될 것이다. 이로 인해 안전 측 고장(right side failure)이 발생되고 검지될 것이다.

포인트 부와 크로싱 부에서는 T1 21 구간이 임피던스 본드를 통해서 다른 종류의 궤도회로에 연결될 것이다. 따라서 이들 본드에 고장이 발생하게 되면 안전측고장(right

side failure)도 발생하게 될 것이다. 균형 시스템에서는 크로스 본드를 통해서 간섭 전류가 순환할 가능성은 없다. 그 이유는 T1 21 주파수에서 임피던스 본드가 상대적으로 높은 임피던스를 가지기 때문이다. 임피던스 본드 고장이 검지되지 않기 때문에, 복합적 고장이 상당량 발생한다고 간주하여 이를 분석하지 않는다. T1 21 주파수에서의 레일 임피던스는 상대적으로 높고, 궤도회로 외부에서 열차에 의해 생성된 불균형 간섭은 레일 임피던스에 의해 감쇄되고 동조 유니트에 의해 입환될 것이다.

게다가, 100% 불균형인 열차의 궤도회로 점유 같은 유일한 단일 고장모드를 분석해야 한다.

T1 21 주파수 (공칭 2kHz)에서는 계산식에서 레일 저항 1Ω/km, 총 레일 인덕턴스 675μH/km를 사용한다. 주파수 범위에서 일련의 시험을 통해 레일 저항 0.72 Ω/km과 레일 인덕턴스 677μH/km도 취득하였다.

이 절차에서는 이음매 궤도에서 레일 본드의 영향 고려 시, 레일 저항 1Ω/km을 부정적 가정으로 간주한다.

이 분석에서 발라스트 커패시턴스의 영향을 고려하였음에도 불구하고, 발라스트 저항이 무한하기 때문에 발라스트 저항의 영향은 무시할 수 있다. 무한한 발라스트 저항은 이 분석의 간섭 전파에 대한 최악의 사례이다. 발라스트 저항의 존재는 간섭 전류를 입환시키고, 수신기에 도달하는 간섭의 량을 감소시킬 수 있다.

## 5. 궤도회로 설명(Description of Track Circuit)

T1 21은 주파수 범위 1532Hz~2610Hz인 AF 주파수에서 작동되는 무이음매 궤도회로이다. Railtrack의 통제 시설에 장착되어 있는 T1 21 궤도회로는 다른 국가에서 사용되는 T1 21 장치와 차별화시키기 위해 T1 21-I라고 지정하였다. 다른 종류 간 주된 차이는 작동 주파수와 변조 속도이다. 고려한 장치는 다음과 같이 구성된다.

- T1 21-I 송신기
- T1 21-I 수신기 및 계전기
- 궤도 동조 유니트
- 임피던스 본드
- 종단 단말장치(end termination unit)

### 가. 궤도회로 주파수 범위 및 대역(Track Circuit Frequency Range and Bandwidth)

각 궤도회로는 아래 표 8에서처럼 34Hz로 분리된 2개 주파수를 사용한다. 인접 궤도회로 간 절연을 위해 이 대역을 선택한다.

대역:

- 각 중심 주파수로부터 ±6Hz인 경우 -3dB
- 각 중심 주파수로부터 ±30Hz인 경우 -20dB

표 8 TI 21 궤도회로 작동 주파수

| 궤도회로 파수 코드 | 공칭 주파수 [Hz] | 작동 주파수[Hz] | |
|---|---|---|---|
| | | 저주파수 | 고주파수 |
| A | 1699 | 1682 | 1716 |
| B | 2296 | 2279 | 2313 |
| C | 1996 | 1979 | 2013 |
| D | 2593 | 2576 | 2610 |
| E | 1549 | 1532 | 1566 |
| F | 2146 | 2129 | 2163 |
| G | 1848 | 1831 | 1865 |
| H | 2445 | 2428 | 2462 |

(1) 주파수 할당(Frequency Allocation)

각 궤도에 신호를 보내기 위해 2개의 공칭 주파수를 사용한다. 이 주파수들은 절연되도록 번간아 발생된다. 표9에는 허용가능 주파수 조합과 할당을 표시한다.

표 9 TI 21 궤도회로 채널 할당

| **궤도회로 주파수 코드** | **사용** | |
|---|---|---|
| A | 하선 | 2개 궤도회로 구간에서 사용되는 주파수 |
| B | 하선 | |
| C | 상선 | |
| D | 상선 | |
| E | 하선 | 4개 궤도회로 구간에서 사용되는 추가 주파수 |
| F | 하선 | |
| G | 상선 | |
| H | 상선 | |

나. 궤도회로 구성요소(Track circuit components)

(1) T1 21 송신기(T1 21 Transmitter)

간섭 평가에서 송신기(Tx)를 고려하지 않았음에도 불구하고, 작동 설명 시 명확성을 기하기 위하여 여기에는 세부 내용을 포함시켰다. 그림 11에는 T1 21 송신기의 블록 선도를 나타내었다.

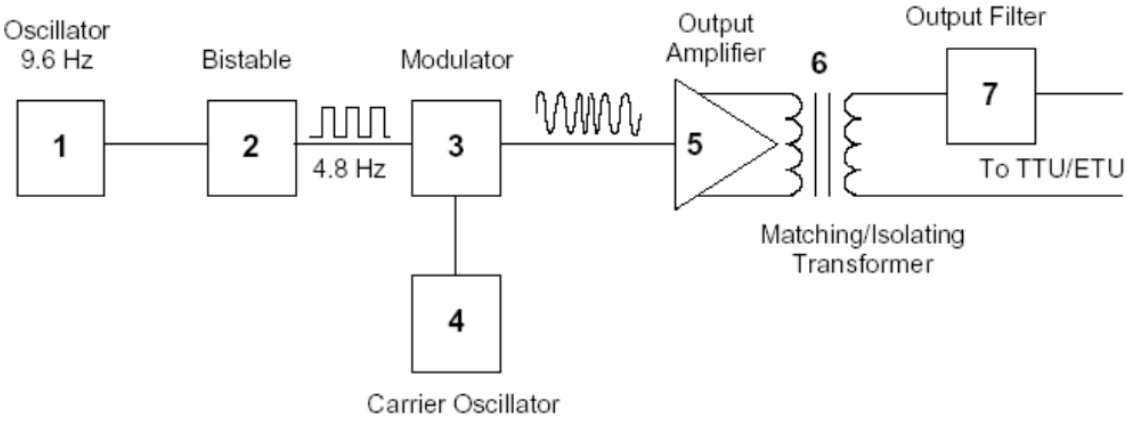



그림 11 송신기의 블록선도

쌍안정(2)는 9.6Hz에서 4.8Hz 구형파로 완화 발진기(relaxation oscillator)(1)의 출력을 변환한다. 변조기(3)는 발진기 출력 변조를 위해 이 주파수를 사용한다(4). 발진기는 4.8Hz 속도의 ±17Hz 반송 주파수로 교번하는 신호를 생성한다. 증폭기(5)는 이 신호를 궤도 전송에 적당한 전력 레벨로 증가시킨다. 변압기(6)는 부하에 대한 증폭기 출력과 대등하다. 필터(7)는 본 장치를 원하지 않는 A.C. 전압 및 D.C. 전압으로부터 분리시킨다. 이심 케이블을 통해 신호가 관련 궤도 동조 유니트(TTU) 또는 ETU(End Termination Unit)로 전송된다.

(2) T1 21 수신기 및 계전기

궤도 주파수는 TTU 또는 ETU를 통해서 AC 내성, DC 중성, 궤도 계전기(TR) 역할을 하는 50V 궤도 계전기를 구동하는 수신기(Rx)로 전송된다. 그림 12에는 TI 21 수신기의 블록선도를 나타내었다.

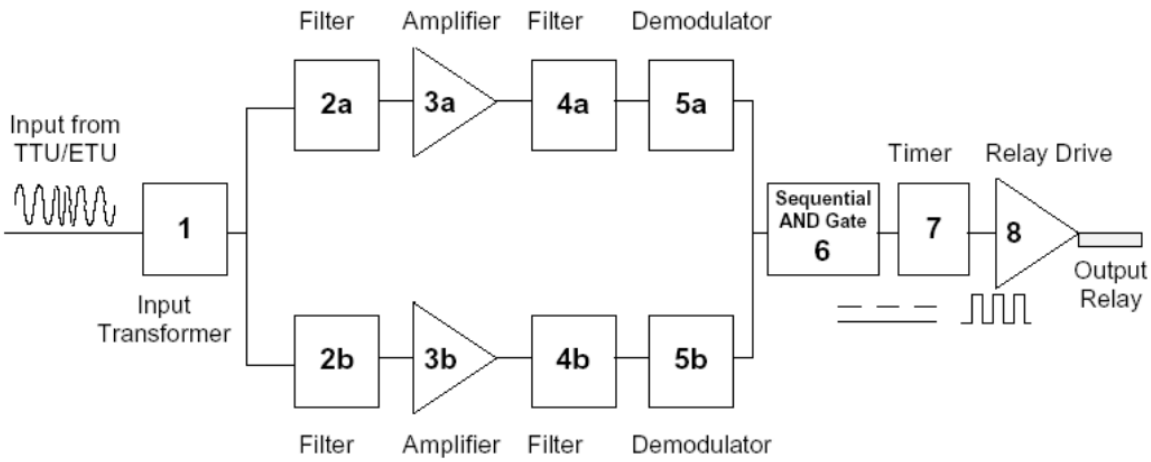



그림 12 TI 21 수신기의 블록선도

TTU/ETU로부터 입력 신호가 TTU/ETU의 수신기에 필적하는 입력 변압기(1)로 전송되고, 전체 수신기 증폭률(receiver gain) 설정 수단을 제공한다. 수신기는 2개의 병렬 채널을 가진다. 하나는 고주파수, 다른 하나는 저주파수에 동조되어 있다. 각 채널에서 신호를 필터(2), 증폭(3), 다시 필터링(4)하여 마지막으로 복조한다(5). 그 결과, 역위상 구형파를 순차 AND 게이트에

적용된다(6).
순차 AND 게이트는 이 두 구형파가 역위상(anti-phase)에서 서로 존재할 때, 요구되는 일정한 마이너스 출력만을 제공한다. 이 마이너스 출력(negative output)은 커패시터 타이머(7)로 급전되며, 커패시터 타이머는 지연시간 후에 공칭 DC 50V를 외부 출력 데이터로 적용된다(8).
계전기를 여자(energization)하기 전에 최소 2초간은 정확하게 변조된 2개의 주파수가 필요하기 때문에, 간섭으로 인해 내성이 생기게 된다. 단기간 동안에는 열차 입환 또는 다른 이유로 인한 수신 장치의 부재는 계전기 구동 출력을 불능상태로 만들 것이다.
명시된 송신기의 변조 범위 밖에서 수신기가 신호에 응답할 것이다. T1 21 개발 초기 단계에서는 수신기가 차상신호/ATP 시스템의 일부로서 다양한 변조 속도에 응답해야 하고, 수신기 설계가 이를 반영한다. 수신기는 1.7Hz~36Hz 변조 속도에 응답할 것이다. 수신기는 최대 1:18 비율의 입력 신호 사용률로 작동할 수 있다. 그러나 이것은 극한의 변조 속도로 지속될 수는 없다[4].

다. TI 21 궤도회로 장치

2개의 T1 21 궤도회로가 만나는 레일의 송신기 또는 수신기에 연결하기 위해 TTU를 사용한다. 동조 구역(tuned zone)의 레일 인덕턴스와 더불어, TTU는 궤도회로의 종단을 정의하기 위한 동조 회로(tuned circuit)를 구성하고, 여기에는 송신기 또는 수신기로부터 레일 접속을 절연시키기 위한 변압기가 포함된다. 동조 유니트를 인접 궤도회로 주파수에 대한 단락 역할을 하도록 동조시킨다. 지정된 주파수 쌍의 궤도회로만이 동조 구역에 따라 결합될 수 있으며, 따라서 단일 공칭 주파수가 단락되도록 각 동조 유니트를 동조시키기만 하면 되다. 따라서 두 궤도회로간의 경계를 20m 간격으로 떨어져 있는 2개의 TTU에 따라 정의한다. 궤도회로의 종단이 두 개 TTU 중간에 있다고 가정할 수 있다[2]. 그림 13은 TI 21 궤도회로 간의 경계에 있는 전형적인 동조 유니트 배치를 보인 것이다.

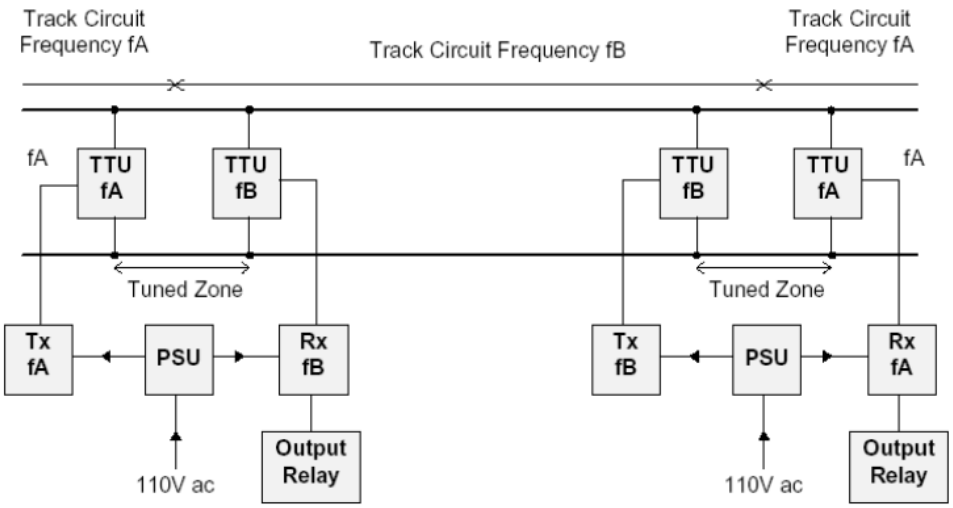



그림 13 TI 21 궤도회로의 기본 구성

라. TI 21 종단단말장치(TI21 End Termination Unit)

ETU는 TI 21 궤도회로가 단일 궤도회로 또는 비궤도회로 노선과 인접해 있는 TTU와 레일 인덕턴스를 대신한다. 각 레일의 절연 이음매는 궤도회로의 종단을 정의하고, 견인 전류 본딩(traction current bonding)은 임피던스 본드를 사용하여 유지된다. 또한 중앙 급전 방식의 구성에서 송신기 연결 시에도 ETU를 사용한다. 그림 14는 TI 21 궤도회로와 단일 궤도회로 간 경계에서의 ETU 사용법을 보인 것이다.

마. TI 21 임피던스본드(TI 21 Impendance Bond)

견인 귀선전류 본딩은 임피던스 본드를 사용하여 달성된다. 임피던스 본드는 각 궤도회로의 공칭 주파수에서 공명한다. 또한 이 본드들은 TI 21 궤도회로가 단일 궤도회로 또는 비궤도회로 노선과 인접해 있는 개소에 위치한다. 각 임피던스 본드는 TI 21 주파수에서 임피던스가 약 12Ω인 궤도회로를 입환시킨다. 따라서 궤도회로에 연결될 수 있는 수량이 제한된다.

그림 14는 임피던스 본드를 레일에 연결하는 다양한 방법을 보인 것이다. 본드 연결의 불이행으로 고장이 발생한 경우에는 배열 (a)가 선호되지만, AC 철도에서는 반드시 그러하지는 않다. 그러나 배열 (b)와 (c)가 실무적으로 알려져 있다.

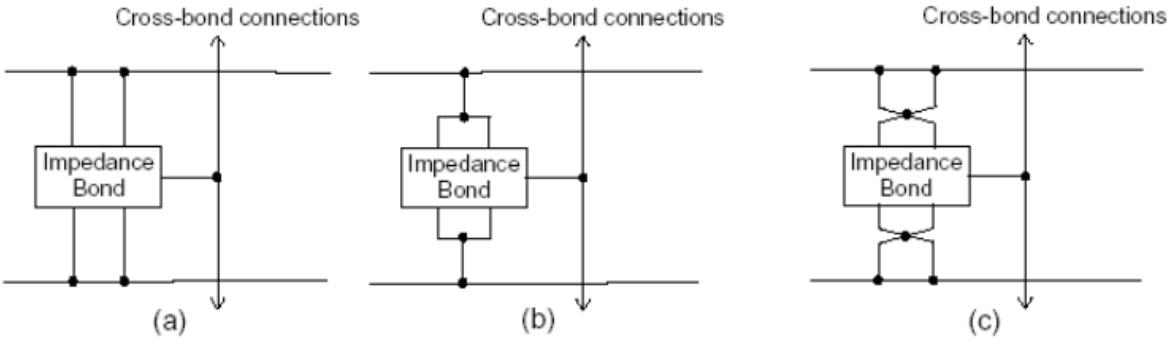



그림 14 크로스 본드 연결 시, TI 21 임피던스 본드의 배열

그림 18와 19에는 임피던스 본드 등가 회로에 관한 세부 내용을 나타내었다.

## 6. 감도 한계(Susceptibility Limits)

가. 과도 간섭(Transient Interference)

TI 21 궤도회로는 신호기를 여자(energization)시킬 때, 일반적으로 2초간 수신기에 변조 신호를 적용하도록 요구한다. 그 이유는 수신기가 궤도회로가 비점유(clear) 상태인 것을 표시하기 전에 수신기에 내장된 지연 시간이 최소 2초이기 때문이다. 따라서 궤도회로는 2초 미만으로 지속되는 송신기 신호를 광범위하게 모방하지 않는 과도 간섭에 대해 본질적으로 내성을 가지고 있다.

나. 안정 상태의 한계(steady state limits)

궤도회로 수신기를 여자(energization)시킬 때 요구되는 TI 21 주파수에서의 최소 레일 전류는 궤도회로 수신기와 관련 구성요소를 모델로 하여 계산할 수 있다. 허용 간섭 전류 레벨은 적절한 간섭 허용오차를 적용한 값에서 도출된다. 수신기를 여자(energization)시킬 때 알려진 속도의 변조가 신호 시스템의 안전측고장(wrong side failure)를 유발할 정도로 충분히 길게 지속되지 않는다면, 높은 수준의 간섭 전류를 허용할 수 있다.

앞서 설명되어 있는 궤도회로 구성요소는 모델의 궤도회로로 나타내어야 한다.
한 쌍의 레일로 궤도를 모델화시키기 위해서 필요할 뿐이다. 즉, 발라스트 저항을 모델화 시킬 필요가 없기 때문에, 전철화 시스템과 독립적으로 궤도를 모델화 한다. Interest의 주파수 범위가 상대적으로 좁기 때문에, 각 레일을 직렬 저항과 인덕턴스로서 단순히 모델화 한다.
먼저, 수신기를 작동시키기 위해서는 동조 구역 (또는 ETU)의 초반에 레일 전류를 계산할 필요가 있다. 수신기 입력 감도는 궤도회로에 대해 유일하게 정의된 입력 레벨이다. 간섭 전류를 레일에 직접 삽입한다. 예컨대, 어떠한 병렬 '입환' 경로도 가정하지 않는다.

(1) 모델링에 대한 비고(Notes on the modeling)

모델과 관련하여 숙지해야 하는 일반적인 관점을 다음에 제시했다.

- 부록 A에는 구성요소 값이 포함된다.
- 인용된 구성요소 값들은 공칭 값들이다.
- 열차에서 생성된 간섭과 수신기를 흐르는 전류를 측정하기 위해 모델 내에 시험 지점을 제공한다.
- 수신기 내 센서의 순수한 전자적 속성 때문에, TI 21 수신기 모델링이 적합하며, 과거에 성공적으로 사용된 바 있다.

다. 간섭 허용오차(Interference Allowances)

추가적인 간섭 소스를 허용하도록 허용 간섭 레벨에 간섭 허용오차를 적용한다. 전도 간섭(conducted interference)의 경우, 간섭 허용오차 50%를 사용한다[4]. (예: 간섭의 추가 소스에 대한 허용오차는 전체의 1/2이다).
차축 대 차축 전압의 경우, 간섭 허용오차 33%를 사용한다[4]. (예: 간섭의 추가 소스에 대한 허용오차는 전체의 1/3이고, 열차에서 허용가능 차축 대 차축 전압은 전체의 2/3이다). 이에 대한 내용은 아래에서 논의하였다.
간섭 허용오차는 다음과 같은 간섭 소스를 고려한다.

- (동일 궤도회로로부터의) Transmitter feed-through
- (주파수가 동일한 다른 궤도회로로부터의) Transmitter feed-through

- 평행 궤도에서 열차의 차축 대 차축 전압 및 전도 간섭
- 열차가 궤도회로에서 멀리 떨어져 있지만, 동일한 급전구간에 있음.
- 다른 소스로 인한 일반적인 배경 소음

송신기 피드쓰루(Transmitter feed-through)의 레벨은 대개 열차 입환 임피던스와 독립적이며, 임피던스가 증가하면 임피던스도 증가하게 된다. 열차에 의해 생성된 간섭은 위상에서 주파수가 동일해야 하며, 송신기가 문제가 되려면 동일 속도로 변조되어야 한다. 이것은 가장 발생가능성이 적다.

다른 궤도회로의 피드쓰루(feed-through)는 기반시설이 온전한 수신기에서 8mA로 제한되고, 궤도회로의 설계와 배치도에 따라 축소된다.

송신기 스위치를 끈 상태에서 궤도회로 운용 시, 작동 주파수에서 궤도회로 수신기를 흐르는 전류 레벨을 측정한다. 만약 이 전류가 8mA를 초과하게 될 경우에는 이 시험은 실패한 것으로 간주되고, 시험을 통과할 때까지는 궤도회로를 작동시킬 수 없다. 특정 궤도회로를 흐르는 간섭 전류의 레벨을 궤도회로 기록 카드(Track Circuit Record Card)에 기록한다[2]. 인접 동조 유니트의 차단은 '현시된 고장(revealed failure)'이며, 수리될 때까지 피드쓰루(feed-through)가 증가될 수 있다. 그러나 특히 결함측고장(Wrong side failure) (2초)을 유발하는데 필요한 지속기간을 고려할 때, 열 주파수의 피드쓰루(feed-through)와 필적하는 차가 생성하는 간섭의 개연성, 위상, 변조속도는 무시 가능한 것으로 가정한다.

열차를 크로스 본드로 배열할 때, 병렬 궤도에서 열차의 차축 대 차축 전압은 상당한 영향을 미치기만 할 뿐이다.

궤도회로에서 멀리 떨어져 있는 열차로 인한 기여도는 작을 것이다. 이들 소스는 위상에서 주파수가 동일해야 하며, 이것이 문제가 되려면 분석된 열차의 간섭과 유사한 속도로 변조도어야 한다. 이것은 가장 발생가능성이 적다.

주파수, 위상, 열차에 의해 생성된 간섭의 변조 속도와 일치하는 요구사항 때문에, 다른 소스로 인한 일반적인 배경 소음이 하찮은 것으로 간주될 수 있다.

중요 임피던스 본드 값과 케이블 길이, 동조 구역을 포함하는 동조 유니트 구성요소의 차이를 감도 분석에서 설명하였다. 그 결과는 아래와 같다.

라. TI 21 궤도회로에 대한 전류 임계치(Current Threshold for TI 21 track circuits)

TI 21 수신기의 레벨 감지는 순수 전자식이다. 인상전류(pick-up current) 및 낙하전류(drop-away current) 레벨도 동일하다. 이것은 수신기 내에서는 어떠한 히스테리시스(hysteresis)에도 가깝지 않다. 수신기 증가 설정(receiver gain setting)은 궤도회로 길이와 임피던스 본드의 존재 유무에 따라 좌우된다. 최대 증가 설정은 13단계이며, 이는 수신기 입력에서 여자 전류(energization current) 15mA에 해당된다. 낙하 전류가 상당할 경우, 궤도회로는 먼저 송신기에 의해 여자되고 난후, 간섭으로 인해 지연된다(예: 중단 없이 여자 레벨(energisation level)을 초과하는 간섭을 일컬음. 주파수 및 변조는 모두 같은 위상이다). 이것은 발생가능성이 없는 것으로 본다. 이 분석을 위해, 중심 급전식 궤도회로(center-fed track circuits)를 종단 급전식 궤도회로(end-fed

track circuits)로 취급할 수 있다. 만약 15mA 임계치 이하의 신호를 궤도회로 수신기에 적용할 경우, 신호는 변조에도 불구하고 수신기를 여자시키지 않을 것이다.

마. 열차 전류 제한(Train current limits)

최악의 불균형 100%에 대해 열차 전류 제한을 계산한다. 이것은 시설물이 파손된 조건에서 효과적이다.

(1) ETU가 설비된 궤도회로(Track circuit with ETU)

일반적인 궤도회로 모델을 그림 15에 나타내었다. 이 모델은 ETU가 설비된 TI 21 궤도회로에서의 최대 허용 유도간섭 레벨을 명시하기 위해 생성한 것이다. 이 그림에 표시된 회로는 주파수 코드 A와 수신기에 대한 ETU이다. 100% 불균형 가정이 임피던스 본드의 측면 연결부(점퍼) 단선을 요구할 경우, 임피던스 본드를 모델화 할 필요는 없다.

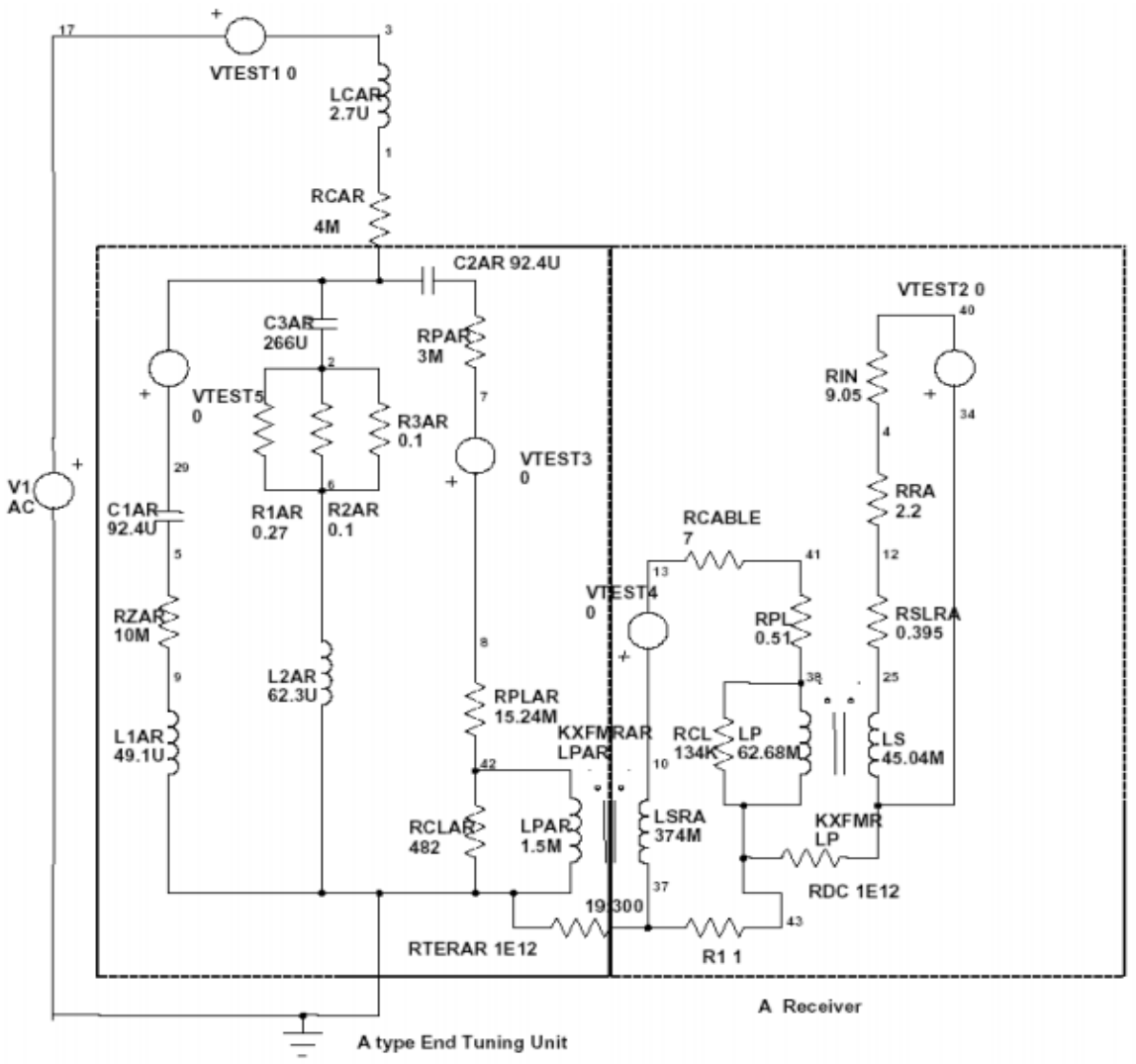



그림 15 ETU가 설비된 궤도회로의 모델

(2) TTU가 설비된 궤도회로 (Track circuit with TTU)

그림 16는 TTU가 설비된 궤도회로 분석을 위한 모델의 회로도를 보인 것이다. 이 회로는 주파수 코드 A 및 수신기에 대한 TTU, 주파수 코드 B 및 수신기에 대한 TTU를 보인 것이며, 궤도 길이에 따라 구분시킨 것이다.

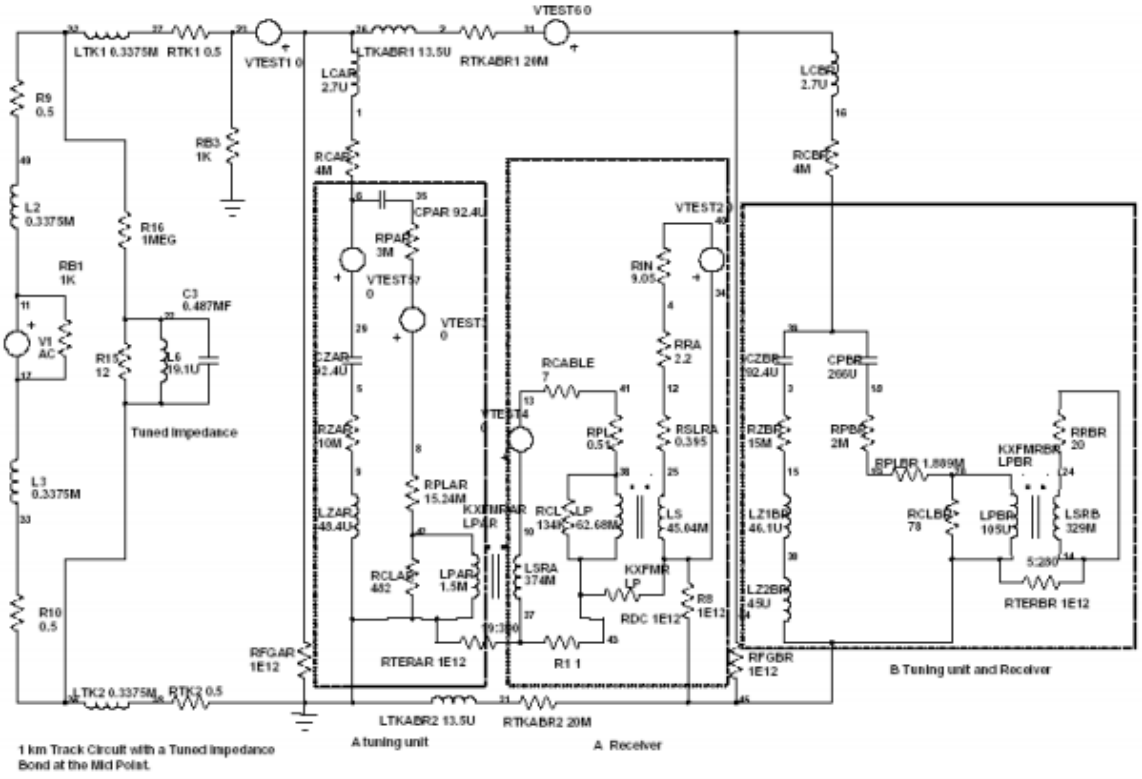



그림 16 TTU가 설비된 궤도회로의 모델

(3) 열차 전류 제한의 계산(Calculation of train current limits)

일련의 모델들을 사용하였으며, 그림 16과 그림 17은 다양한 작동 주파수에 적합하도록 변경시킨 TTU/ETU가 설비된 발생가능한 모든 궤도회로 구성을 분석하기 위해 사용된 예시이다.

허용가능 레일 전류를 결정하기 위한 방법론은 다음과 같다.

그림 16과 그림 17에 표시된 모델의 경우, 전압 V1을 A.C. 5.5V로 설정하였다.

VTEST1에서는 레일 전류를 측정하고, VTEST4에서는 수신기 입력 전류를 측정하였다.

각 궤도회로 주파수 코드에 대한 고주파수 및 저주파수에서 이들 전류를 계산하였다.

각 주파수에서 수신기 입력 전류 15mA를 생성하는데 필요한 레일 전류를 다음 등식을 이용하여 계산하였다.

$$Rail\ Current\ (mA) = \frac{I(VTEST1)}{I(VTEST4)} \times 15 \qquad (1)$$

그림 15과 그림 16에 보인 회로 모델은 TI 21 주파수 각각에 대해 작동된다. 그림 17의 모델은 각각의 허용 주파수, 궤도회로 수신기 및 인접 TI 21 궤도회로의 구성에 대해서도 작동한다. 각 구동에서, 부록 A에 명시되어 있는 구성요소 값을 사용하였다.

또한, 인터레일(inter-rail) 커패시턴스 및 레일 절손도 조사해야 한다. 모델에 커패시터를 추가하여 인터레일 커패시턴스를 모델화한다. 현재 예시에서 320nF 수치를 동조 구역에 있는 레일 사이에 투입한다(이것은 16μF/km와 동일하다). 10MΩ 저항기를 직렬로 배치하여 레일 절손을 모델화한다. 이때 저항기 중 하나는 동조 구역의 레일을 나타낸다.

(4) ETU가 설비된 궤도회로에 대한 열차 전류 제한

표3은 전형적 시나리오로서, 수신기에서 15mA 입력 전류를 생성하기 위해 필요한 레일 전류를 보인 것이다. 이 결과들은 궤도회로 매개변수의 공칭값을 사용하여 취득한 것이다. 두 주파수들은 수신기 여자를 위해 정확한 변조로 존재해야 하기 때문에, 주파수 중 한 개 주파수에서의 입력이 수신기 여자를 방지하도록 존재하는 것이 아니라는 것을 보장하기 위해 필요한 것뿐이다. 게다가, 수신기를 여자시키기 위해 요구되는 최소 전류는 두 개 주파수 중 한쪽에서 요구되는 전류보다 더 높다. 표에서처럼 각각의 경우에서 고주파수에서는 더 높은 전류가 요구되고, 이것이 허용가능 한계라는 것을 알 수 있다. 6절에 기재되어 있는 모델링 과정에서의 부정적 가정 때문에 더 높은 허용가능 전류 한계를 사용하는 것이 타당하다.

표10은 주파수 코드 C에 대해 ETU가 설비된 궤도회로는 수신기 여자를 위해 최소 간섭 전류가 필요하다는 것을 보여준다.

표 10 수신기 입력 전류 15mA에서 요구되는 레일 전류(ETU가 설비된 궤도회로의 공칭값 사용)

| Frequency code of ETU being analysed | Rail Current, mA, at frequency code of track circuit being analysed (lowest current in **bold**) | |
|---|---|---|
| | Lower Frequency | Upper Frequency |
| A | 178.9 | 202.2 |
| B | 237.5 | 264.0 |
| C | **157.6** | **182.8** |
| D | 314.0 | 334.3 |
| E | 242.6 | 268.7 |
| F | 269.1 | 295.6 |
| G | 231.6 | 284.2 |
| H | 261.4 | 285.8 |

(5) TTU가 설비된 궤도회로에 대한 열차 전류 한계

표 11은 수신기 여자를 위해 요구되는 레일 전류를 보여준다. 궤도회로 매개변수의 공칭값을 사용하여, 이 결과들은 주파수 코드 D에 대한 TTU에 인접한 주파수 코드 C에 대한 TTU 구성은 수신기 여자를 위해 최소 전류가 필요하다는 것을 보여준다.

표 11 수신기 입력 전류 15mA에 대해 요구되는 레일 전류(TTU가 설비된 궤도회로의 공칭값 사용)

| Track Circuit Frequency Code | | Rail Current, mA, at frequency of track circuit being analysed (lowest current in **bold**) | |
|---|---|---|---|
| Rx being analysed | Rx (adjacent tuning unit) | Lower Frequency | Upper Frequency |
| A | B | 205.9 | 233.0 |
| C | D | **176.9** | **209.2** |
| E | F | 226.6 | 249.0 |
| G | H | 189.3 | 219.6 |
| B | A | 246.9 | 268.5 |
| D | C | 230.0 | 264.8 |
| F | E | 228.8 | 262.8 |
| H | G | 225.1 | 247.4 |

(6) 안전측 고장 조건(Right Side Failure Condition)

레일에서의 최소 송신기 신호 전류는 3.4 A이다. 따라서 간섭전류가 이 신호 전류를 임계치 수준 이하로 감소시켜야 한다는 규정을 따른다. 이를 위해서는 간섭이 특정 채널의 작동 주파수이면서 역위상이 되어야 한다. 일반적인 균형 조건에서는 전류 레벨이 앞선 절에 계산된 대로 100% 불균형 조건에서 결함 측 고장(Wrong side failure)(182.8mA)을 유발하는 데 필요한 전류를 초과한다. 이 허용가능 레벨이 TI 21 궤도회로 수신기를 '포착(pick up)'하는데 필요한 변조 신호보다 순음(pure tone)을 기초로 하기 때문에, 이 레벨을 결함 측 고장을 유발하는 데 필요한 레벨과 비교할 수 있다. 이 허용가능 전류는 레일에서 최소 송신기 신호의 5.4%만을 나타내며, 안전 측 고장 사례는 이 레벨에 포함되어 있다.

(7) 최악의 경우의 열차 전류 한계(Worst case train current limits)

TI 21 궤도회로에 대한 최대 허용 간섭 전류를 명시하기 위해서는 최악의 경우를 고려해야 한다. 표3과 표4에서처럼 궤도회로는 주파수 코드 C에 대해 ETU가 설비된 사례를 대표한다는 것을 알 수 있다.

50% 간섭 허용오차를 적용하여, 단일 열차가 허용하는 최대 레일 전류가 91.4mA가 된다. 이것은 주파수 코드 C에 대해 ETU가 설비된 궤도회로의 고주파수에 대해 계산된 182.8mA의 50%를 나타낸다.

부록 A에 주어진 공칭 구성요소 값과 3절에 기재되어 있는 부정적 가정을 사용하여 이를 계산한다. 간섭 허용오차에는 구성요소 이동으로 인한 변화도 포함된다.

바. 허용된 차축 대 차축 전압의 계산(Calculation of permitted axle-to-axle voltage)

TI 21 궤도회로 설치 시, 위에서 설명한 대로 공진 임피던스 본드를 통해 모든 크로스 본드를 연결한다. 복합적인 고장이 없다면, TI 21 주파수가 다른 궤도회로를 통해 순환할 가능성은 없다. 수신기로 전파를 하기 위한 차축 대 차축 전압의 경우, 궤도회로에서 상당한 불균형이 요구된다. 최악의 시나리오는 한 쌍의 인접 크로스 본드를 통해서 전류가 순환하는 것이며, 궤도회로의 간섭에 의해 잘못 여자된 수신기는 100% 불균형이다.

(1) 차축 대 차축 전압 모델(Axle-Axle Voltage Model)

조사한 시나리오 중 하나로는 궤도회로 내에서의 레일절손과 차축 대 차축 전압을 생성하는 인접 궤도 위의 열차를 들 수 있다. 이것은 궤도회로 수신기를 여자 시키면서, 레일 절손이 검지되지 않도록 하여, 궤도회로에 진입하는 열차로 검지되지 않게 된다. 그림 17은 위에서 설명한 것처럼 최악의 시나리오를 보인 것이다. 이 모델에서는 최소 크로스 본드 간격 100m[4]를 사용한다. 이것은 최소 레일 임피던스를 고려한다는 의미이며, 따라서 본 모델은 차축 대 차축 전압에 더 민감하다. 차축 대 차축 전압을 생성하는 열차 차축 간의 거리가 크로스 본드 간의 거리와 같다고 가정한다. 궤도는 2세트의 임피던스 본드로 끝난다.

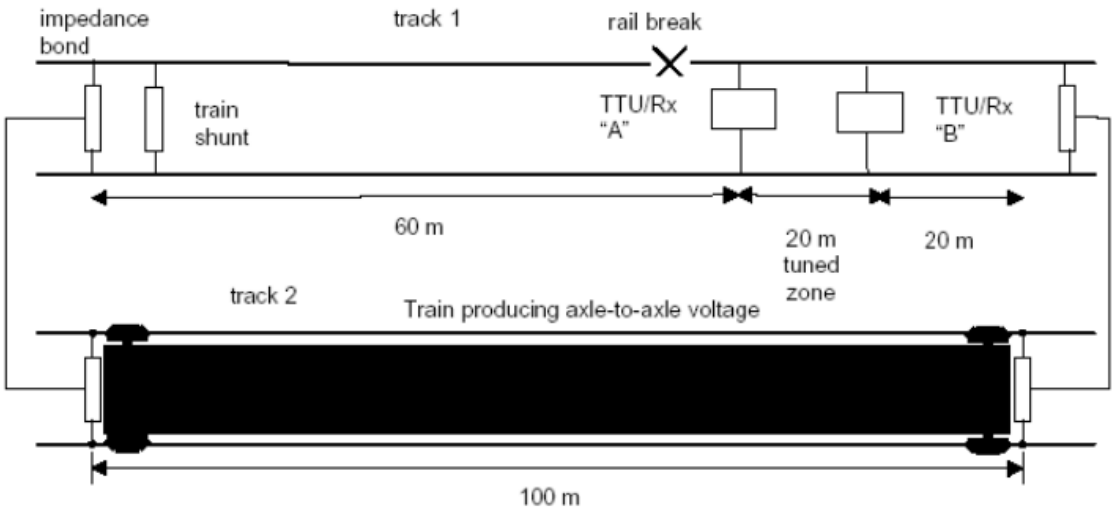



그림 17 차축 대 차축 분석 시 고려된 사례에 대한 기본 구성

그림18과 그림19는 AC 및 DC 전철화 노선에 적용된 서로 다른 2종의 임피던스 본드에 해당하는 회로 모델을 보여준다. 이 모델에는 궤도 I 구간의 한쪽 끝에 있는 A 타입과 B 타입 TTU와 수신기로 구성되는 동조 구간이 포함된다(아래 지점 d 참조).

간섭에 의해 영향을 받는 궤도회로 상의 열차는 레일 절손 구간에서 가장 멀리 떨어져 있는 임피던스 본드에서 0.1Ω 열차 입환으로 표시된다.

추가적인 가정을 하자면 다음과 같다.

(a) 간섭 열차는 제로 임피던스(zero impedance)의 순 전압 소스이다. 이것은 부정적인 것이며, 열차가 제로 임피던스를 가진다고 가정한다.

(b) TI 21 수신기가 최대 감도로 작동한다. 예컨대, 15mA는 임계 전류이다.
(c) 간섭 열차는 정차하고 있으며, 2개 임피던스 본드 간 공간을 정확하게 채우고 있다. 이것은 다시 말해 매우 부정적인 것이다. TI 21 수신기가 최소 2초간 정확하게 변조된 입력을 요구하기 때문에, 정차된 열차로 이러한 이벤트가 발생할 확률을 매우 낮다.
(d) 모든 주파수에서 설계를 수행하지만, 최악의 경우는 레일 절손이 포함된 궤도회로에 대한 주파수 코드는 A이다.

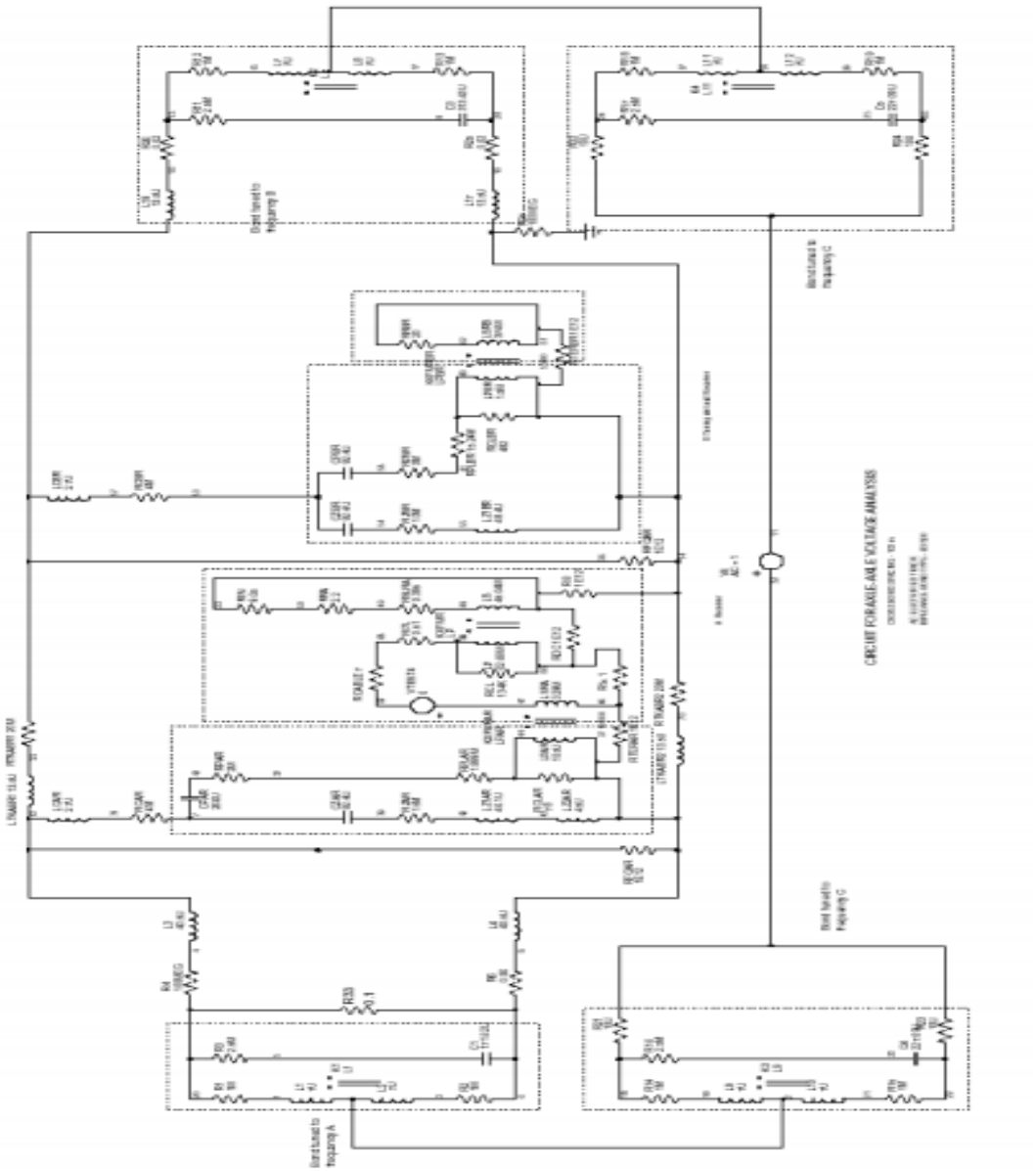


그림 18 허용된 차축 대 차축 전압 계산 시 사용된 모델(B3/500 임피던스 본드 사용)

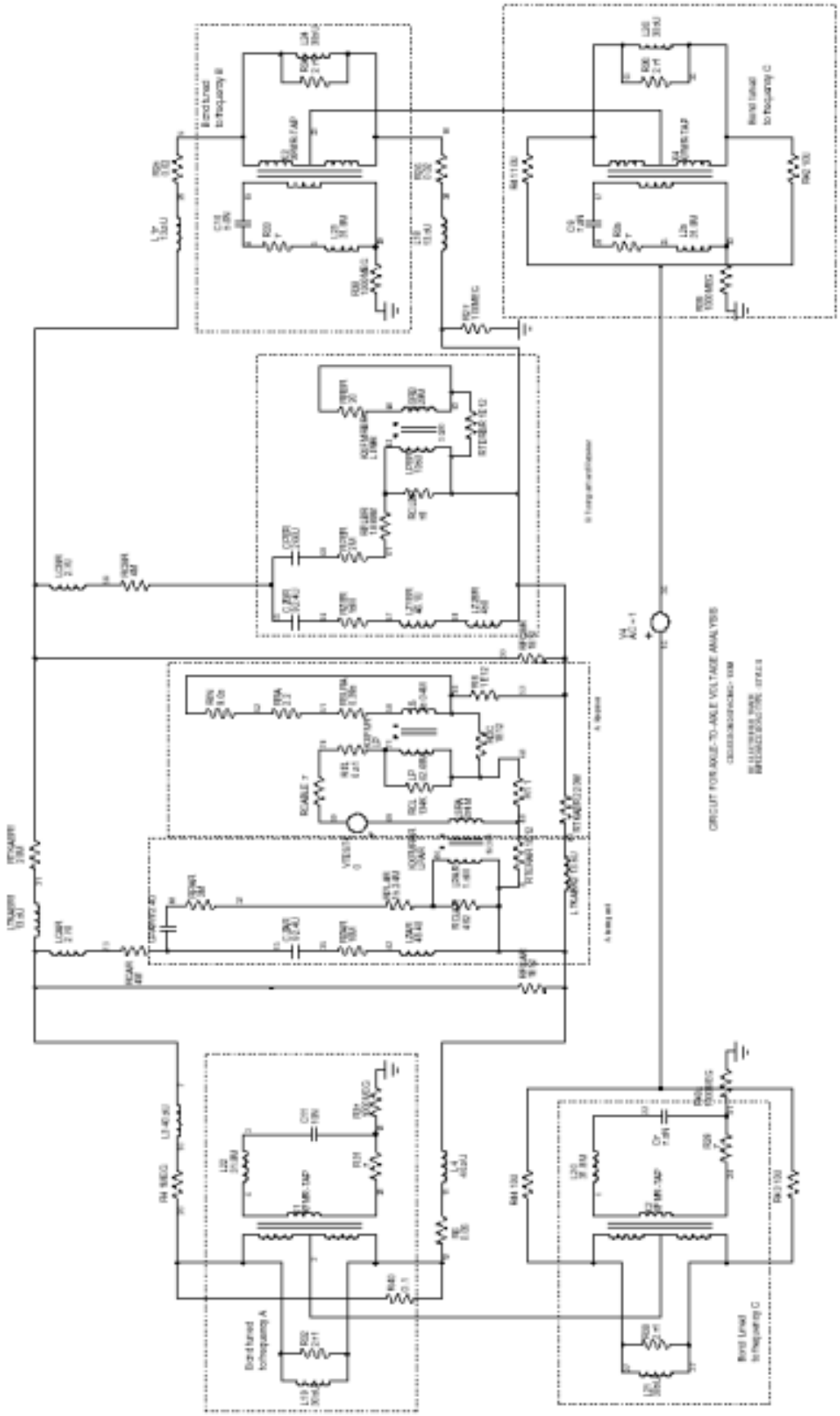


그림 19 허용된 차축 대 차축 전압 계산시 사용된 모델(S형 임피던스 본드 사용)

(2) 허용가능 차축 대 차축 전압 계산(Permissible axle-axle voltage calculation)
그림 18 와 그림 19 의 궤도회로는 회로 분석 프로그램을 사용하여 모델화할 수 있다. 최대 허용가능 차축 대 차축 전압을 결정하기 위한 방법은 다음과 같다.

- 전압 V4 를 1 V AC 로 설정하였다. 모든 허용가능 주파수 코드 조합을 이용하여 본 모델을 구동한다.
- 그런 다음에, VTEST4 에서의 레일 전류를 2 개 주파수(고주파수, 저주파수)에서 측정한다. 궤도회로의 주파수 코드에 대한 저주파수 및 고주파수에는 레일 절손이 포함된다.
- 각 주파수에서 최대 수신기 입력 전류 15mA 를 생성하는데 필요한 간섭 전압을 다음과 같은 등식을 이용하여 계산한다.

$$Axle-to-axle\ voltage\,(mV)=\frac{1}{I(VTEST4)}\times 15 \qquad (2)$$

각 궤도의 임피던스 본드를 해당 궤도의 주파수 코드로 동조시킨다.

(3) 차축 대 차축 전압 한계
주파수 코드 A~D를 사용하여 차축 대 차축 전압 분석을 수행한다. 이 주파수 코드들은 선로가 2개만 있는 구간에서 선호되는 값들이다. 간섭 전류에 대해 보다 평행인 귀선 경로를 내재적으로 보유하고 있기 때문에, 궤도가 2개 이상인 구간은 간섭에 덜 민감하다. 아래 표12와 표13은 DC 및 AC형 임피던스 본드를 사용할 때, 수신기 입력 전류 15mA를 생성하기 위해 요구되는 최소 차축 대 차축 전압을 보인 것이다. 이 결과들은 임피던스 본드 매개변수의 공칭 값을 사용하여 얻은 것이다.

표 12 수신기 입력 전류 15mA에서 요구하는 차축 대 차축 전압(S형 임피던스 본드의 공칭값을 사용)

| Frequency code of the broken rail | Frequency code of the adjacent track | Axle-to-axle voltage, mV, at frequency code of the broken rail (limiting voltage in **bold**) | |
|---|---|---|---|
| | | Lower Frequency | Upper Frequency |
| A | C | **225.2** | **258.9** |
| A | D | **225.2** | **258.9** |
| B | C | 342.3 | 372.6 |
| B | D | 342.3 | 372.6 |
| C | A | 219.7 | 261.1 |
| C | B | 219.7 | 261.1 |
| D | A | 347.9 | 410.2 |
| D | B | 347.9 | 410.2 |

표 13 수신기 입력 전류 15mA에서 요구하는 차축 대 차축 전압(B3/500 임피던스 본드 매개변수의 공칭 값을 사용)

| Frequency code of the broken rail | Frequency code of the adjacent track | Axle-to-axle voltage, V, at frequency code of the broken rail (limiting voltage in **bold**) | |
|---|---|---|---|
| | | Lower Frequency | Upper Frequency |
| A | C | **226.2** | **259.1** |
| A | D | **226.2** | **259.1** |
| B | C | 316.3 | 364.2 |
| B | D | 316.3 | 364.2 |
| C | A | 220.5 | 261.6 |
| C | B | 220.5 | 261.6 |
| D | A | 344.3 | 408.3 |
| D | B | 344.3 | 408.3 |

이 2개 표는 절손 레일이 주파수 코드 A를 이용하는 궤도회로 위에 있을 때, 허용가능 최소 차축 대 차축 전압을 취득한 결과를 보인 것이다. 인접 궤도에서 궤도회로의 주파수 코드는 이 결과에 아무런 영향을 미치지 않는다.

유도 간섭과 함께, 최소 차축 대 차축 전압은 고주파수 또는 저주파수에서 요구되는 주파수보다 더 높다. 표5 및 표6를 보면, DC 임피던스 본드 사용 시, 임의의 차축 쌍간의 TI 21 주파수에서 최대 허용가능 차축 대 차축 전압(VAA)이 259mV 라는 점을 명백한다.

이 결과는 최대 허용가능 차축 대 차축 전압 173mV를 나타내며, 다른 간섭 소스에 대해 33%의 간섭 허용오차를 허용한다.

최대 허용 차축 대 차축 전류 IAA를 VAA로부터 계산할 수 있으며, 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$I_{AA} = \frac{V_{AA}}{Z_{TR}} mA \qquad (3)$$

i.e.

$$I_{AA} = \frac{173}{Z_{TR}} mA \text{ using a 33\% interference allowance.} \qquad (4)$$

ZTR이 계산식이 작성된 한 쌍의 차축 사이의 적절한 열차 임피던스를 나타낸다. 열차 외부의 회로에 대한 추가 부하가 포함되어 있지 않기 때문에 이 결과는 부정적일 것이다.

## 7. 호환성 입증을 위한 방법(Methodology for demonstration of compatibility)

궤도회로가 복선이면서 무이음매 모드에만 설치된다는 점을 확인해야 한다.

본 분석은 가장 민감한 수신기 설정을 기초로 한다. 따라서 진로상에서 궤도회로 수신기를 미래에 조정 시, 제한을 두는 어떠한 요구사항도 없다.

일반 열차(Normal Train)

정차상태의 열차 방출 데이터는 모든 일반 운행 조건에 대해 앞서 정의되어 있는 한계와 비교해야 한다. 이 한계들은 모델화 한대로 100% 불균형 상황을 발생시킬 수 있는 유일한 상황인

효과적으로 고장이 발생한 기반시설을 기초로 하며, 이 결과에는 모든 철도에서 맞닥뜨리게 될 것 같은 모든 기반시설 조건이 포함될 것이다. 정상적인 작동 조건에서는 이 한계들을 다루어서는 안 된다.
만약 앞에 정의되어 있는 절대적 레벨을 충족시킬 수 없다면, 호환성 입증 시 정확한 타입의 변조를 사용할 수 없다. 대부분의 견인 시스템은 단순 레벨 비교를 준수할 것이라고 예상된다. 만약 앞서 논의한 바대로 2초 미만으로 과도 전류가 존재하는 경우에는, TI 21 궤도회로에 대해서 과도 전류는 문제가 안 된다.

가. 열차 결함(Faulty Train)

고장률 분석을 수행한다. 논란 완화 시, 초과량이 2초 이상일 때, 한계를 초과하는 주파수와 이 같은 초과량의 규모 및 지속시간, 궤도회로의 변조 요구사항을 고려해야 한다.

나. 차축 대 차축 전압 한계(Axle-Axle voltage limits)

열차는 모든 정상 작동 조건에서 앞서 계산되어 있는 한계를 준수해야 한다. 모든 신뢰성 있는 결함 조건에 대해 초과율을 계산해야 한다.

다. 안전성 목표(Safety Targets)

방출 데이터와 위에서 설명한 정의된 한계를 비교하여, 전체 초과율을 구해야 한다. 이 총초과율을 본 프로젝트의 안전성 요구사항 맥락에서 ALARP(as low as reasonably practicable)으로 표시해야 한다.

## 4절 일본철도의 방해허용전류와 평가방법

### 1. 방해허용치 고려사항

차량과 신호장치와의 EMC에 관해 방해 레벨로서 차량에서 발생하는 전자 노이즈 등으로 신호장치 일부가 손상을 받는 레벨이 있고 다음으로 신호장치 송신기와 수신기 간에서의 통신(신호 유무만 체크하는 것을 포함)을 저해하거나 정상적인 통신 확률을 악화시키는 레벨(안전 동작 저해), 혹은 통신하고 있지 않은데도 불구하고 노이즈 등으로 의사소통이 성립되어버리는 레벨(위험 측 오동작)이 있다. 방해에 대해서 어느 정도의 내량(耐量)이 있는지는 다음에 제시하는 신호 변복조(모뎀) 방식, 사용주파수, 신호레벨 등 다양한 파라미터로 영향을 받는다.

① 신호의 변복조(變復調) 방식과 시간특성
CW(무변조 연속파), AM(단속, SSB), FM(FS전송, FSK, MSK 등), SS(스펙트럼 확산)
② 동작/복구시소(復舊時素), 전송속도
③ 사용주파수 대역
④ 신호레벨과 계속시간
⑤ 기기 동작 레벨(동작 측/복구 측)

노이즈 등의 방해가 위에 기술한 파라미터에 관해서 수신기에 어떻게 혼입했을 때, 어떤 영향을 받는지에 대한 특성을 명확히 하는 것이 중요하다. 다시 말하면, 바라는 전송품질을 확보하기 위한 각 변복조 방식의 S/N, 허용 가능한 노이즈 레벨과 계속시간 등을 명확히 하는 것이 필요하다. 동일한 노이즈에서도 정상적인 신호가 존재할 때와 존재하지 않을 때

그 내량이 다를 수가 있다.

또한 사용대역 외의 노이즈에 대한 내량을 파악해두는 것도 중요하다. 또 방해내량은 최종적으로는 수신기 입력으로 평가되지만 차량 측으로는 레일전류 등 현장에서의 동작레벨로 환산하여 판단할 필요가 있다. 이때 임피던스 본드의 포화특성을 고려하는 경우가 있다. 궤도회로는 날씨 변화로 수신레벨이 저하하는 경우가 있으므로 저하된 경우의 수신레벨을 전제로 한 노이즈 허용치를 고려할 필요가 있다.

## 2. 방해허용치 현황

현재 어떤 신호설비에 있어서 차량에서 발생하는 노이즈에 대하여 방해내량이 과제가 되는 것은 신호방식이 무변조인 것을 말한다. 그 중에서도 장대 궤도회로와 AF 궤도회로는 레일 상에서의 수전전력이 작게 되어 있다. 미래의 설비에 있어서는 차량 노이즈 발생량이 밝혀지면 이에 견딜 수 있는 신호설비로 경신되는 것이 바람직하다. 건널목 AF의 예를 들면 신호변조방식은 무변조 → AM 변조, FM 변조 → FSK 변조 식으로 내(耐) 노이즈성이 높은 것이 시대와 더불어 개발되어 있다.

표 14 신호설비 방해허용치(일본)

| 궤도회로 종별 | 주파수[Hz] | 안전동작 저해 방지 | 위험 측 오동작 방지 |
|---|---|---|---|
| 분주·분배주 | 25/30 | 신호파 성분 18A | 신호파 성분 1.8A |
| 장대 | 25/30 | 신호파 성분 3A | 신호파 성분 0.3A |
| 상용 | 50/60 | 신호파 성분 7A | 신호파 성분 0.7A |
| MG | 83.3/100 | 신호파 성분 9A/8A | 신호파 성분 0.9A/0.8A |
| 배주 | 100/120 | 신호파 성분 6A | 신호파 성분 0.6A |
| AF3위 1중 | AM 720~1,200 | 고조파 성분 0.6A | 비트파 성분 21mA |
| AF3위 2중 | AM 700, 900, 1,150, 1500 | 고조파 성분 1.2A | 비트파 성분 43mA |

| 궤도회로 종별 | 주파수[Hz] | 안전동작 저해 방지 | 위험 측 오동작 방지 |
|---|---|---|---|
| AF2주파 | 전원비동기 570~920 | 고조파 성분 18A | 비동기 성분 동시 2파 23mA |
| TD혼시/ 신칸몬/세이칸 | 전원동기 SSB 1,140, 1,560, 1,550, 1,700 | 고조파 성분 20A | 비동기 성분 27mA |
| 3선식 | 1,475~1,825 | 고조파 성분 6A | 비동기 성분 100mA |
| 신칸센 ATC | 전원동기SSB 730~1,238.5 | 고조파 성분 20A | 비동기 성분 동시 2파 100mA(차상) |
| 재래 ATC | AM 2,850, 3,150, 3,450, 3,750 | 고조파 성분 야마테 0.86A 도키와 0.43A | 피트파 성분 43mA 26mA |
| ATC-W | AM 6,750, 7,100, 7,300, 7,600, 8,000 | 고조파 성분 0.36A | 피트파 성분 18mA |
| 급전구분 제어 | 3,925 4,225(동부 조에쓰) 7,825~9,325(호쿠리쿠) | 고조파 성분 0.57A 0.33A | 비트파 성분 80mA 16.5mA |
| 건널목 제어자 구형 | 무변조 14, 20kHz 30, 40 | 신호파 성분 60mA 170mA | 신호파 성분 6mA 17mA |
| 건널목 제어자 H형 | 무변조 8.5~10.5kHz | 신호파 성분 1A | 신호파 성분 100mA |

### 3. 평가 시험 방법

측정 결과나 시뮬레이션 등으로 차량에서 발생하는 방해의 최악치를 가늠하는 것이 중요하다. 반드시 최대 방해를 측정과 시뮬레이션을 실시하고 있다고는 할 수 없으므로 안전계수를 정하여 신호장치의 방해내량에 대하여 그 분량의 여유를 예상한 노이즈량을 평가시험 방해허용치로 한다.

가. 방해원(妨害原)

(1) 신호장치에 대한 방해원으로서는 차량의 제어기기(인버터, 컨버터, SIV), 변전소 리플, 노치 ON/OFF나 팬터그래프의 이선 등에 의한 전류의 급격한 변화, 귀선전류의 불평형 전류의 증대 등이 있다. 이러한 발생량을 파악할 필요가 있다.

나. 전달형태

(1) 방해가 궤도회로 등의 신호설비에 영향을 주는 전달은 다음의 형태를 열거 할 수 있다.

(가) 귀선전류(변전소-전차선-차량-레일-변전소)

그림 20에 제시한 것처럼 변전소에서 전차선, 팬터그래프를 매개체로 하여 차량에 전력이 공급되어 차륜, 레일을 통해서 변전소로 되돌아간다. 이때 변전소 공급전력에 포함되는 리플, 혹은 차량의 주회로나 보조전원에서 발생하는 노이즈가 궤도회로나 건널

목 제어자 등 레일을 전기회로의 일부로 사용하고 있는 궤도회로, 건널목 제어자나 레일 근방에 설치된 ATS 지상자, 차축검지기 등에 영향을 미치는 수가 있다.

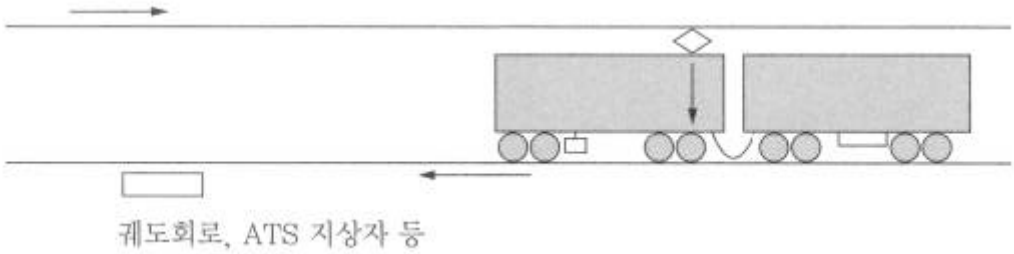



그림 20 귀선전류

(나) 차체 간(차상기기-차체·대차-레일-차체·대차-차상기기)

그림 21 에 제시한 것처럼 차체 간을 흐르는 전류가 레일에 흘러 궤도회로 등에 영향을 미치는 경우가 있다.

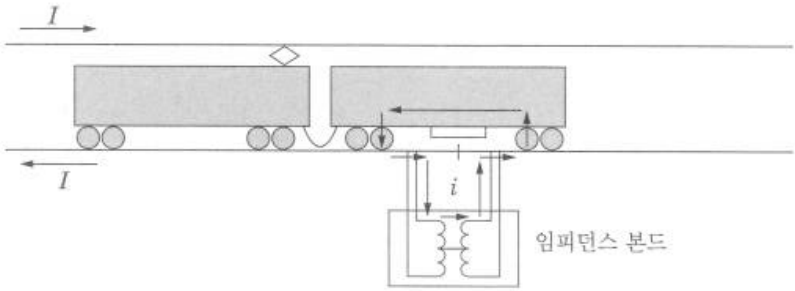



그림 21 차체 간에 흐르는 노이즈

(다) 차상기기에서 발생하는 직달자계

그림 22에 제시한 것처럼 차상의 주회로 제어기기 등과 그 배선에 흐르는 전류고조파가 발생시키는 전자계가 레일 부근에 설치된 ATS 지상자, 건널목 제어자, 차축검지기 등의 기기에 영향을 주는 경우가 있다.

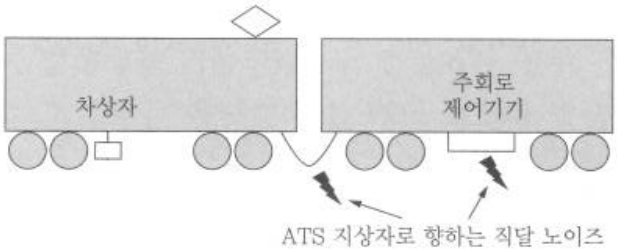



그림 22 차상기기에서 발생하는 직달 노이즈

다. 귀선전류 측정

(1) 임피던스 본드의 한쪽을 분리해서 실제로 레일 파단과 동일한 상태를 발생시켜 그 구간에 시험 열차를 주행시켜 궤도회로가 오동작하지 않는지 확인하는 방법과 열차의 전기차전류를 측정하여 그 고조파 분석 결과로 최악으로 어느 정도 궤도회로에 영향이

있는지 가늠하는 방법이 있다.

(2) 궤도회로 종류가 적은 경우는 전자의 방법으로 대응이 가능하지만 그래도 최악의 조건을 설정하기 위해서는 상당히 대규모의 시험이 된다. 후자는 전기차 전류의 고조파 측정을 지상에서 하는 경우와 차상에서 하는 경우가 있다.

(3) 지상에서 하는 경우는 귀선전류를 궤도회로 경계나 변전소의 흡상용 임피던스본드 중성점(中性點)에 전류센서를 부착하여 측정한다. 차상에서 측정하는 경우는 귀선전류가 흐르는 케이블에 전류센서를 부착한다.

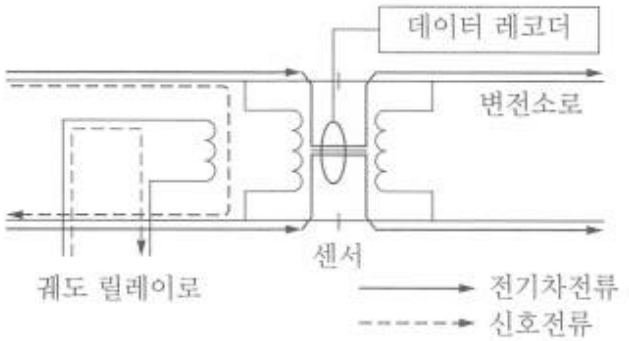



그림 23 지상에서의 귀선전류 측정

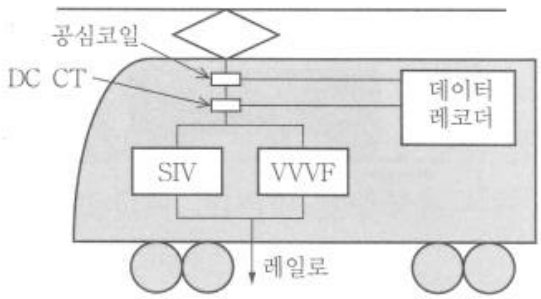



그림 24 차상에서의 귀선전류 측정

(4) 전류센서는 전기차 전류에서 포화되지 않은 공심코일(로고스키코일)을 사용하고 있다. 로고스키코일 외관을 그림 25에 주파수 특성 예를 그림 26에 제시한다.

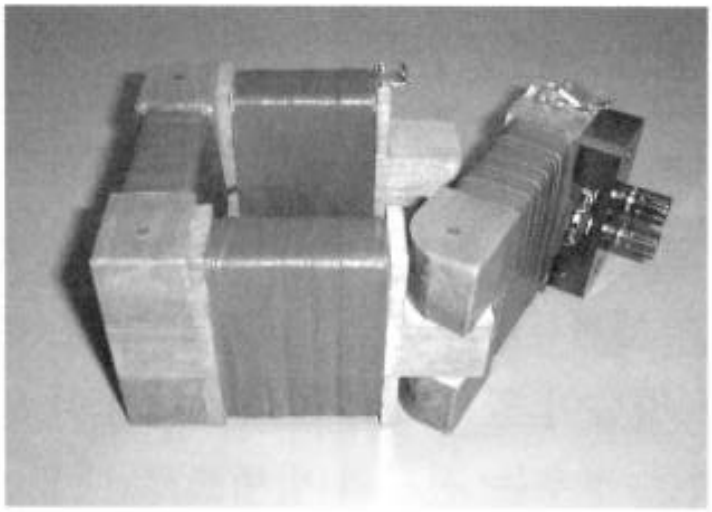


그림 25 로고스키코일 외관

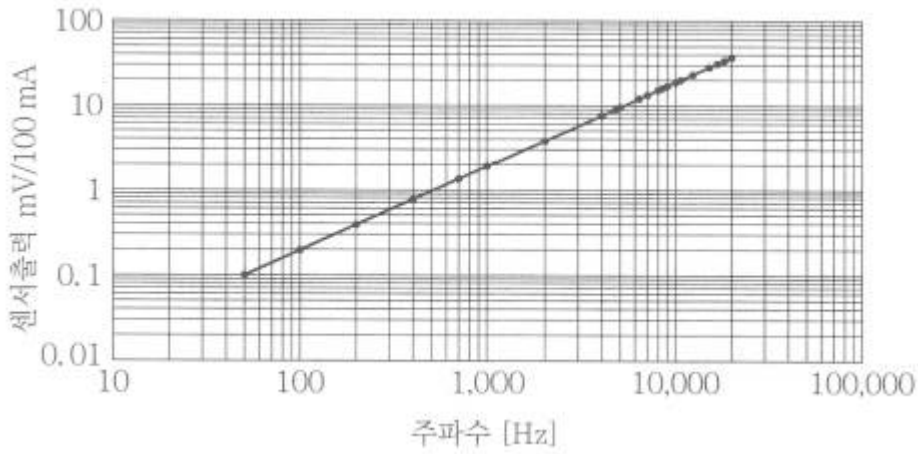



그림 26 주파수특성 주파수

(5) 전기차 전류 고조파는 역행 시/회생브레이크 동작 시, 노치의 ON/OFF시, 브레이크가 동작하기 시작할 때, 주행속도 등에서 발생 방법이 다르기 때문에 모든 운전 모드에서의 측정이 기본적으로는 필요하게 된다.

(6) 차상에서 전류를 측정하는 경우에 특정 유닛(unit)의 전기차 전류만 측정할 때는 편성으로서의 고조파 발생량을 가늠할 필요가 있다. 열차에 따라 유닛 간에서 주회로 제어 반송파 위상을 조금 이동해서 고조파를 저감하는 것도 있다. 그와 같은 경우는 시뮬레이션 결과 등을 참조하여 측정한 유닛 고조파에서 편성 고조파 발생량을 가늠한다. 또 편성에서 일부 유닛컷하여 운전하는 수도 있으므로 그 경우는 유닛컷 했을 때의 고조파 발생량을 측정하는 것도 필요하다. 고조파 분석에는 발생 레벨 외에 궤도회로에서 사용할 주파수 대역폭, 동작/복구 시간 특성, 변복조 방식과 복조에 필요한 S/N 등을 고려하여 분석할 필요가 있다.

(7) 차체 간을 흐르는 측정은 유도코일을 레일에 부착하여 차량 통과 시 고조파전류를 측정한다. 열차 주행 중 측정은 유도코일이 부착된 곳을 통과할 때, 측정하고 싶은 차량의 제어상태를 실현해야 하고 또 유도코일에 대한 차상에서 발생하는 직달 노이즈 영

향을 제거할 필요 등이 있으나 정확한 측정은 어렵다.

라. 직달자계 측정

(1) 차상기기에서 발생하는 직달자계 측정에 있어 건널목 제어자 같은 궤도회로와 ATS 지상자 등의 측정이 있다. 실제의 장치 대신 수신회로를 모의(模擬)하여 조사하는 경우가 있지만 지상자 수신코일의 형상치수, 권수, 수신기임피던스 등을 합해서 실시하면 거의 등가 측정이 가능하다.

(2) 직달자계만을 측정하기 위해서는 측정구간 바깥쪽의 전기차 전류 등의 영향을 저감하기 위한 입력선에서 각각의 일정 거리가 떨어진 지점을 단락하고 레일 단락의 영향을 제외하기 위한 레일 표면을 연마한다. 측정 구간 상에서 역행이나 회생브레이크 동작 상태 등의 직달자계가 발생하는 상태에서 통과하여, 그때 제어자나 ATS 지상자에 발생하는 릴레이 전압 등을 측정한다.

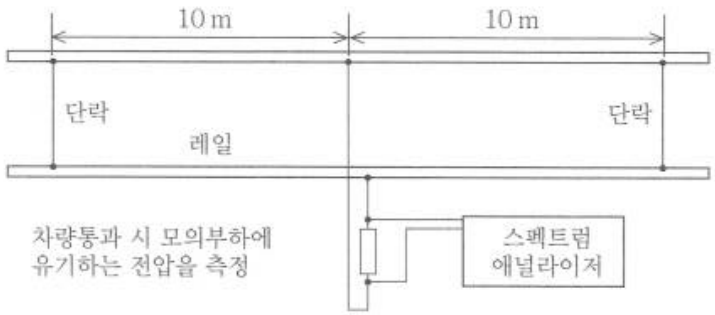



그림 27 건널목 제어자용 측정회로 예

(3) 제어자나 ATS 수신기와 동등한 저항으로 종단하여 그 주파수 성분 발생량을 확인하는 경우 해석할 FFT 대역 등을 실제의 기기에 맞추는 것이 중요하다. 건널목 제어자에서의 측정 예를 그림 28에 제시한다. 차상기기에서 발생하는 직달자계는 기기 배치, 기기간의 배선, 차폐 판의 유무 등에 의해서도 발생 방법이 다르다.

(4) 따라서 최종적인 의장 상태에서 확인할 필요가 있다.

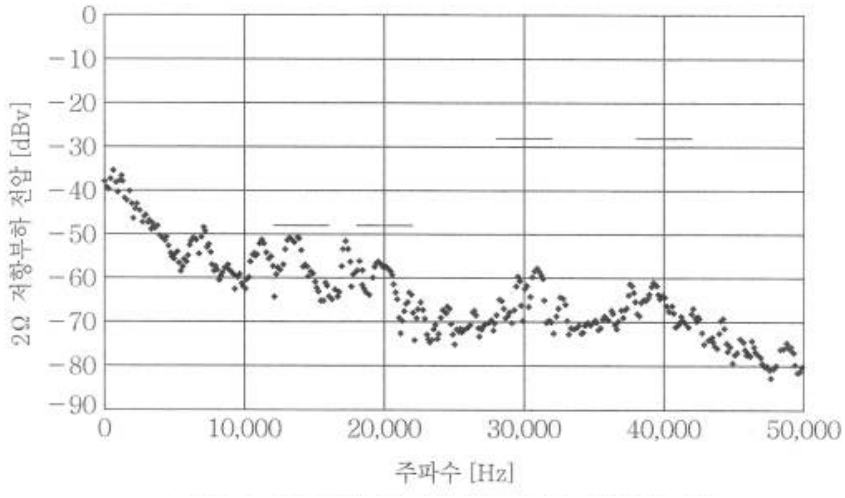



그림 28 건널목 제어자 측정 데이터 예

## 4. 신호자치들의 시험 구성 사례

여기서는 대표적인 신호장치이다. 상용주파수 궤도회로·차상 ATC 수신기 그림29·트랜스폰더 유전원 지상자 그림 30·트랜스폰더 유전원 차상자 그림 31에 관한 시험 구성 사례를 제시한다.

### 가. 상용주파수 궤도회로

임피던스 본드의 한쪽을 분리해서 실제로 레일 파단과 동일한 상태를 발생시키고 그 구간에 시험 열차를 주행시켜서 궤도회로가 오동작하지 않는지 확인하는 방법과 열차의 전기차 전류를 측정하여 그 고조파 분석 결과로 최악의 경우 어느 정도 궤도회로에 영향이 있는지 가늠하는 방법이 있다.

### 나. 차상 ATC수신기

그림 29는 재래선 에서의 사례이다. 측정 대상에 따라 궤간이나 레일·수전기 간격·회로 구성이 다른 경우가 있다.

### 다. 트랜스폰더 유전원 지상자

그림 30에 제시한 것처럼 시험할 지상자와 노이즈 시험 대상 간에 실제의 차량에 없는 전자계에 영향을 주는 것을 설치하지 않도록 한다. 또 설치 위치는 단지 하나의 예이므로 대상이 될 기기의 설비 기준에 따라 시험해야 한다.

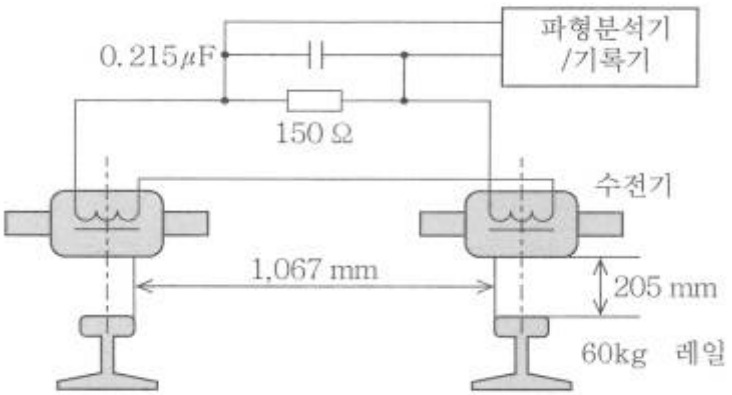



그림 29 ATC 차상수신기 시험 방법 예

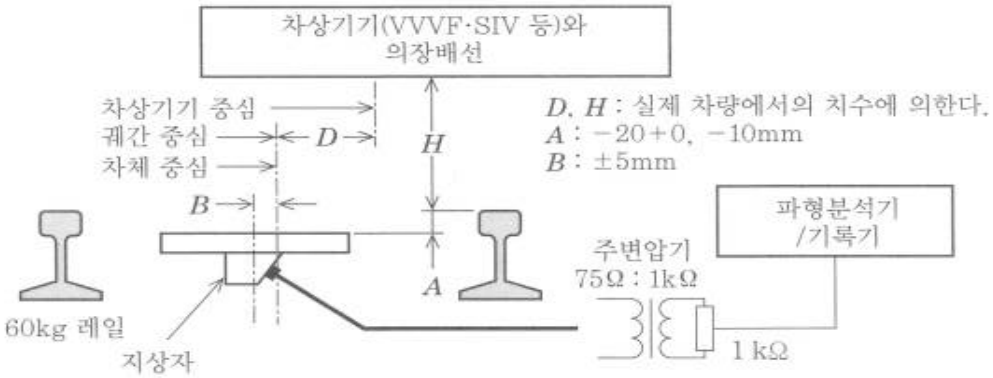



그림 30 유전원 지상자 시험 방법 예

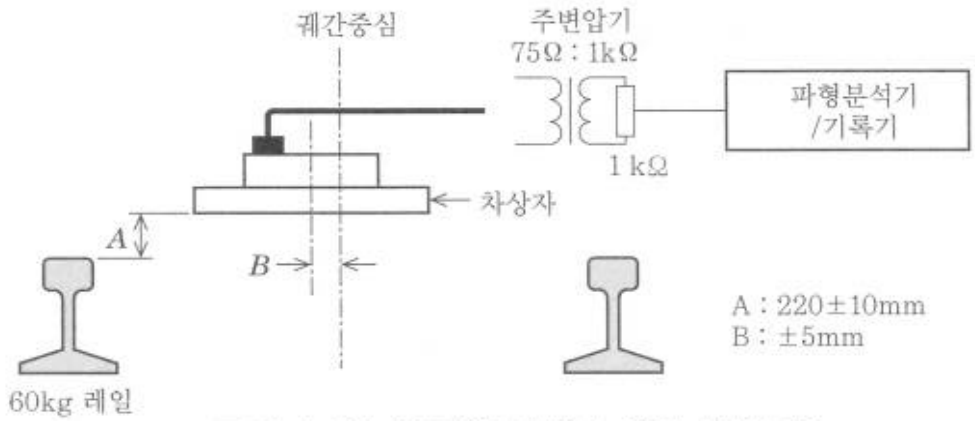



그림 31 유전원 차상자 시험 방법 예

라. 트랜스폰더 유전원 차상자

그림 31에 제시한 것처럼 시험할 차상자와 노이즈 시험 대상 간에 실제의 차량에 없는 전자계에 영향을 주는 것을 설치하지 않도록 한다. 또 설치 위치는 단지 하나의 예이므로 대상이 될 기기의 설비 기준에 따라 시험해야 한다.

## 5. 일본철도의 설비 사례들

### 가. 방해허용치 고려사항

방해허용치로 제시하는 값은 어디까지나 신호 측이 받는 허용치를 제시하는 것이며 발생한 도치를 규정하고 있는 것은 아니다. 즉, 급전회로의 공진현상 등에 의해서 발생량의 몇 배나 되는 방해전류가 레일 등에 흐르는 경우가 있음에 유의할 필요가 있다. 다시 말하면 여기서는 궤도회로에서 사용하고 있는 주파수 대역에 관해서 기기 필터(이하 BPF라고 함) 특성에 주목하여 규정한 것이고 주변 환경에 관한 방해허용치에 관해서는 언급하고 있지 않은 점은 미리 양해 바란다. 또 실제로 신호사용 대역 외에 있어서는 기기 및 보수하는 사람에 대한 보호를 위해 별도로 정하는 규정치 이상의 전류가 흐른 경우는 피뢰기 등의 보호 장치가 동작한다.

#### (1) ATC차상장치에 대한 방해허용치

레일에 흐르는 ATC전류의 자계가 차체 선두부 레일 바로 위에 설치한 수전기에 전압을 유기하여 ATC차상수신기에 입력된다. 레일 전류에 의한 자계와 수전기 전압과의 관계를 그림 32에 제시한다. 신호전류는 좌우 레일에서 역위상의 환류전류이기 때문에 차동(差動)접속한 수전기에서의 출력은 화동(和動)이 된다. 한편, 전기차가 발생시키는 고조파전류는 레일의 동위상 종방향 전류가 주성분이므로 레일 전류의 불평형 성분이 유기된다. ATC 차상수신기의 최소동작 전압이 방해내량이 되고 일반적으로는 1/2이 방해허용치가 된다. ATC 차상수신기에 대한 방해는 수전기를 경유한 것이므로 귀선전류만이 아니고 그 밖의 급전회로를 구성하는 도체나 차체 등에 흐르는 전류에 의해 발생하는 직달전계의 방해를 받는 것을 평가할 필요가 있다.

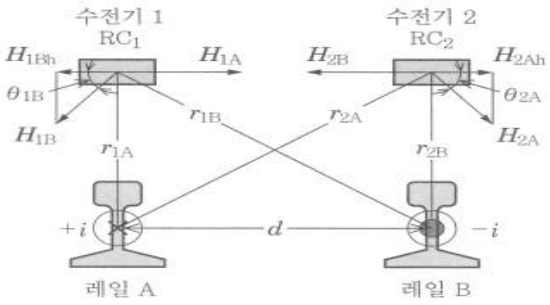



그림 32 레일전류에 의해 수전기에 발생하는 자계

#### (2) 방해전류치 측정 방법과 측정상의 주의점

방해전류 등에 관해서 측정하는 경우, 측정기 종류와 설정 등도 측정치 평가에 영향을 주므로 이러한 것들을 규정할 필요가 있다. 이 값과 레일 전류와 급전회로의 도체에 의해 발생하는 방해의 합성치가 최종적인 방해량이 된다. 레일 전류의 불평형률을 포함한 방해량 측정 방법에 관해서는 앞으로 검토가 필요하다.

트랜스폰더에 대한 방해파는 비교적 고조파이므로 레일의 귀선전류만이 아니라 차체 혹은 제어장치에서 발생하는 직달자계에 특히 유의할 필요가 있다. 또 수 MHz대 신호를 다루므로 시험회로는 정합변성기를 조합시키고, 케이블 등도 배려하여 측정오차가 생기지

않도록 유의할 필요가 있다.

나. 신호보안설비의 방해허용치 및 확인 방법(일본신칸센)

(1) 궤도회로에 대한 방해허용치

레일을 사용하여 열차검지와 신호전달을 하는 궤도회로의 방해허용치를 표 15에 제시한다.

표 15 신호보안설비 종류와 방해허용치

| 장치종별 | | 주파수 [Hz] | 방해허용치 (대역내 : 레일전류환산치) | 방해허용치 (대역외 : 레일전류환산치) |
|---|---|---|---|---|
| 분배주궤도회로 | | 25 | 1.8A (100% 불평형) | 180A (100% 불평형) |
| ATC 차상장치 | $0_3$ (하행선) | 1,238.5 | 20A | 600A (대역외±9.5Hz) |
| | $0_3$ (상행선) | 1,161.5 | | |
| | ATC/TD (하행선) | 1,500±48 | 448mA | 448A (대역외±48Hz) |
| | ATC/TD (상행선) | 1,600±48 | | |
| ATC 지상장치 | ATC/TD (하행선) | 1,500±48 | 224mA* | 224A* (대역외±48Hz) |
| | ATC/TD (상행선) | 1,600±48 | | |
| 급전구분 제어궤도 회로 | MF (상행선) (100% 불평형) | 7,825 | 61.2mA (대역내±20Hz) | 15.4A (대역외±600Hz) |
| | MF (하행선) (100% 불평형) | 8,125 | 30.6mA (대역내±20Hz) | 7.69A (대역외±600Hz) |

*차상장치 허용치에서 정한 참고치

(2) 차상 ATC장치의 방해허용치

본선 구간의 ATC장치가 사용하는 주파수대는 1,500Hz 및 1,600Hz이다.

차상장치의 ATC신호의 최소단락전류는 환류레일 전류 환산으로 100mA로 규정되어 있고 MSK변조에 대한 CN비를 확보하기 위한 13dB을 고려하면, 환류레일에 환산한 노이즈 전류 허용치는 22.4mA가 된다. 이 값은 ATC 신호대역 내에서의 전류치이며 이것을 수전기에서의 레일 불평형률을 포함한 불평형률 10%를 고려한다. 즉 귀산 종방향 전류에 환산하면 방해허용치는 448mA가 된다.

차상 수전기의 주파수 특성을 그림 33에 제시한다. 수전기는 비공진식으로 저주파수대(~500Hz)에서 유기 레벨이 저감된다. 수전기는 동경(東北)·조에쓰(上越) 신칸센에 사용하고 있는 ATC-1D 형용과 동일하다. ATC 신호대역 외의 고조파는 그림의 차상 수전기 주파수 특성에 의해 저감된 후, 대역 외 감쇠도(減衰度) 60dB의 BPF를 통과하기 위해

모든 대역의 고조파 총 합계가 귀선전류 환산으로 448A 이하라면 영향은 발생하지 않는다.

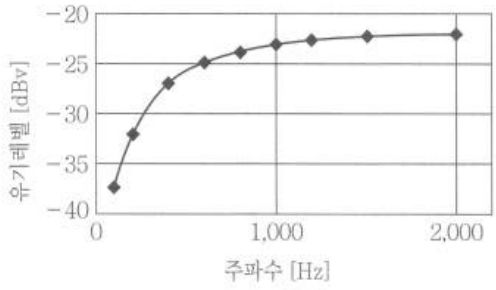



그림 33 ATC 차상수전기 주파수 특성

또한 장내(場內)진로 및 출발진로 바깥쪽에는 안쪽 진로에 대한 잘못된 진입방지를 위해 무조건 정지구간용 설비($0_3$장치)가 설치되어 있다. $0_3$장치는 레일 복부에 첨선을 설비하여 진로가 개통되어 있지 않을 때는 절대정지신호($0_3$신호)를 송신하고 있다.

$0_3$파의 사용주파수는 1,161.5Hz 및 1,238.5Hz이며 $0_3$파에 대한 차상 측의 최소동작 레벨은 1A이다. 신호전류를 흘려보내는 방법이 레일 환류 전류와 동일하기 때문에 레일 불평형분을 고려하였다. $0_3$신호 대역 내의 방해허용치는 20A가 된다. $0_3$신호 대역 외에 관해서는 전원동기(電源同期) SSB방식이므로 방해허용 전류는 600A가 된다.

또한 ATC장치에 관해서 주파수가 기재되어 있는 값은 전원동기식을 채택하고 있기 때문에 전원 주파수가 50,000Hz 경우이다. 실제로 전원주파수는 항상 변동하기 때문에 변동분에 대해서만 주파수를 변위해야 한다.

(3) 지상 ATC장치 방해허용치

ATC지상장치 측에서의 열차가 선로에 없을 때의 최소 동작레벨은 궤도회로 길이, 케이블 길이, 날씨에 따른 전송손실 변동 등에 의해 다르며 일정한 값으로 정해지지 않는다. 그러나 굳이 값을 나타내기 위해 차상장치의 최소 단락전류 100mA의 1/2인 50mA를 평상전류로 한 경우를 예시한다. 실제 평상전류는 이것과 다른 경우가 있음에 주의할 필요가 있다. MSK변조에서의 CN비 13dB을 고려하면, 레일 환류 전류에 해당하는 허용치는 11.2mA가 된다.

이 값을 귀선전류에 환산하면 224mA가 된다. 또 대역외 주파수에 대해서는 DSP부에 배치된 BPF 감쇠특성(-60dB)에서 방해허용전류는 224A가 된다. 이런 경우 50Hz에 대해서는 보안기 블록에 저지필터를 부가하고 있기 때문에 제외한다. 지상 ATC수신기에서는 귀선전류에 기인하는 방해전류에 의한 것이 지배적이다.

(4) 급전구분 제어 궤도회로 장치의 방해허용치

MF궤도회로에서 사용하는 주파수대는 7,825Hz 및 8,125Hz이다. 신호 대역 내의 방해내량 산출에는 궤도회로 불평형률 100%일 때를 고려하여 사용주파수 대역의 수신입력이 -8dBm 입력된 경우에도 정상 동작하는 걸로 하였다.

이러한 것들을 귀선전류로 환산하면 7,825Hz에서 61.2mA, 8,125Hz에서 30.6mA이다.

또 궤도회로 불평형 100%일 때의 경우 대역 외 주파수도 고려한다. 전원주파수에 대해서는 100dB의 BPF가, ATC에 대해서는 80dB의 BPF가 삽입되어 있기 때문에 충분한 내량이 있다.

또 그것 이외의 대역 외에 대해서는 48dB의 BPF가 삽입되어 있기 때문에 귀선전류 환산 고조파의 총 합계 허용치는 상행선 15.4A, 하행선 7.69A이다. MF궤도회로 신호파는 전원 비동기식을 채택하고 있기 때문에 주파수는 표기 값을 채택한다.

(5) 분배주 궤도회로

분배주 궤도회로에 있어서 레일로 흘려보내는 전류주파수는 전원주파수를 분주한 25Hz이다. 대역 내에서는 복궤조에서 100% 불평형 상태이며 궤도 릴레이 낙하전류 1/2이 발생하는 방해전류를 방해허용 레벨로 하여 그 값은 1.8A이다. 50Hz 전원주파수에 대해서는 40dB의 BPF 특성을 갖기 때문에, 귀선 전류환산 방해허용 레벨은 고조파 총 합계로 180A가 된다.

또한 25Hz이하 방해허용치에 관해서는 불분명한 점이 있으므로 앞으로 조사할 예정이다.

(6) ATC차상수신기에 대한 직달자계에 의한 방해전류 측정방법

레일 전류와 차상 ATC수신기에 대한 유기전압은 그림 32에 제시하는 것과 관계가 있지만 차체나 의장전선이 발생시키는 직달자계 측정은 그림 34에 제시하는 위치관계에서 수전기에 유기되는 전압을 측정하여 레일 전류에 환산한다.

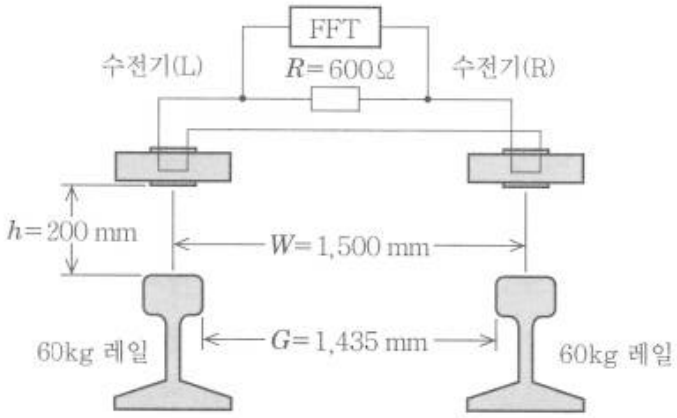



그림 34 ATC차상수신기에 대한 방해 시험 방법

(7) 트랜스폰더에 대한 방해허용치

트랜스폰더를 사용하여 신호전달을 하는 신호보안설비에 대한 방해허용치를 표16에 제시한다.

표 16 트랜스폰더 방해허용치

| 장치종별 | | 주파수 [kHz] | 방해허용치 [dBv] |
|---|---|---|---|
| 유전원 지상자 | 지상→차상 전송파 | 1,708±32 | -53 |
| | 차상→지상 전송파 | 3,000±32 | -53 |
| 무전원 지상자 | 지상→차상 전송파 | 1,708±32 | -53 |
| | 차상→지상 전송파 | 3,000±32 | -53 |
| | 전력파 | 757 | -40 |

(가) 무전원 지상자·열번(列番)

지상자 방해허용치 무전원 지상자 및 열 번 지상자는 1.708MHz 및 3.0MHz 주파수를 사용하고 있다. 이러한 것들의 방해허용치는 -53dBv(1V=0dBv[1kΩ])이다. 또한 무전원 지상자 전원은 차상 측에서 송신하는 757kHz 전력파이며 지상자 측에 전력수신부가 배치되어 있다. 전력수신부 방해허용치는 -40dBm이다.

(나) 무전원 지상자·열번 지상자 시험 방법

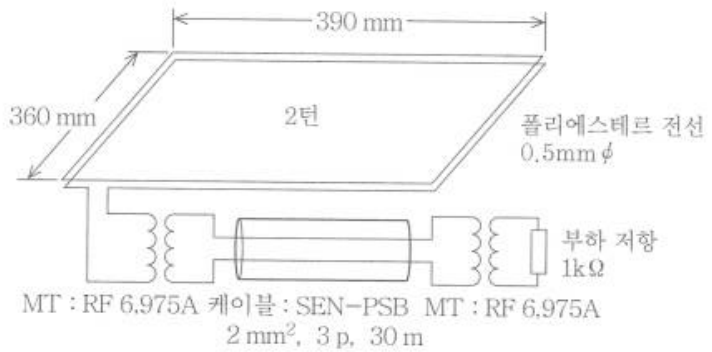



그림 35 1.708MHz 트랜스폰더 시험 방법

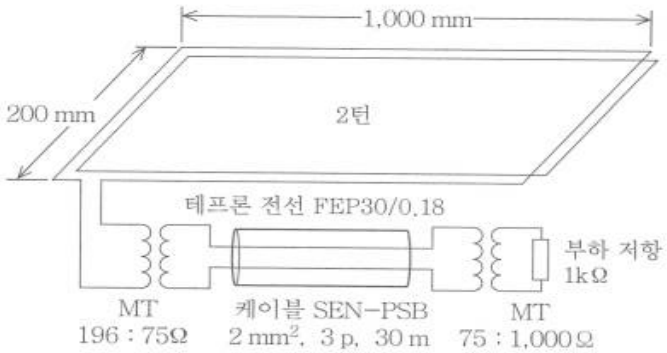



그림 36 3.0MHz 트랜스폰더 시험 방법

(8) 차축검지자에 대한 방해허용치

(가) 차축검지자 방해허용치

차축검지자에 사용하고 있는 주파수는 33~41kHz대 및 60~69kHz대이다. 수신전압 변동분에 여유를 가미하여 수신기 출력전압이 평상치를 3V 이상을 밑돌았을 때를 차축 있음으로 판정한다. 사용주파수 대역 내에서 허용되는 방해허용치는 표 17에 제시한 것처럼 주파수에 의해서 약간 다르며 -53~-56dBv 이하로 되어 있다.

이것을 귀선전류로 환산하면 사용주파수 대역 내에서 56~80mA가 된다. 사용주파수 대역 외에서는 주파수에 따라 BPF가 삽입되어 있기 때문에 귀선전류로 환산한 방해허용치는 33kHz대에서 4A 정도, 60kHz대에서 900mA정도이다.

차축검지기 사용 주파수대는 지금까지 방해파가 적다고 생각되었지만 최근 조사에서는 변전소 등에서의 VCB 개폐 시에 발생하는 서지전류와 전기차가 발생시키는 고조파도 일정한 정도로 존재한다는 것이 밝혀져 주의를 요한다. 또 차량의 제어장치의 반송파의 고조파에 의한 직달전자계에 관해서는 특히 고조파 주파수가 합쳐지는 경우 주의가 필요하다.

표 17 차축검지기의 방해허용치

| 장치종별 | | 주파수 [kHz] | 방해허용치 (대역내 : 레일전류환산치) | 방해허용치 (대역내 : 레일전류환산치 |
|---|---|---|---|---|
| 차축 검지기 | DT1 | 69.0 | 80mA (중심주파수±250Hz) | 898mA (중심주파수±4kHz) |
| | DT2 | 69.0 | | |
| | DT3 | 63.5 | | |
| | DT4 | 33.0 | 56mA (중심주파수±250Hz) | 3,964mA (중심주파수±3kHz) |
| | DT5 | 36.0 | 63mA (중심주파수±250Hz) | 4,460mA (중심주파수±3kHz) |
| | DT6 | 41.0 | 71mA (중심주파수±250Hz) | 5,026mA (중심주파수±3kHz) |

(나) 차축검지기 시험 방법

그림 37에 시험회로 예를 제시한다. 차량에서 발생하는 직달자계 측정은 차축검지기를 규정으로 레일에 부착하고 수신 코일을 300Ω 로 종단함으로써 한다. 또한 이 측정은 차량 측의 의장 상태의 영향을 받기 때문에 실제의 차축검지기 설비 위치에 일치시킨 시험이 필요하다.

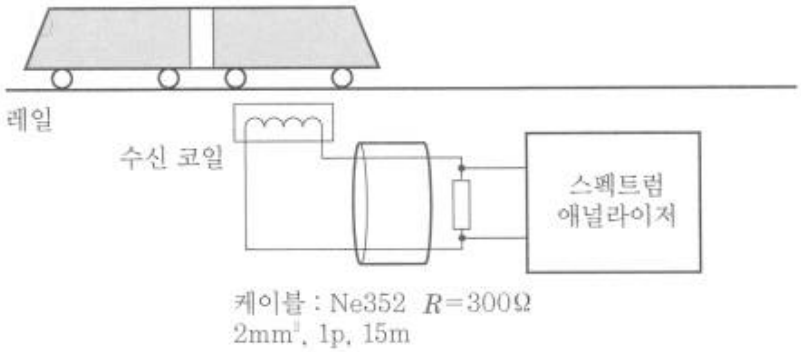



그림 37 차축검지기 시험 방법

다. 지하철 신호보안설비의 방해허용치 및 확인 방법

(1) 궤도회로에 대한 방해 허용치

(가) 지하철 A선에서 사용하고 있는 신호설비 방해허용치를 표 18에 제시한다.

표 18 신호보안설비 종류와 방해허용치

| 장치종별 | | 주파수 | 방해허용치 (대역내 : 레일전류환산치) | 방해허용치 (대역외 : 레일전류환산치) |
|---|---|---|---|---|
| 전자식 궤도 릴레이 | | 0.06±0.005 | 1.4A | 3.9A (30Hz 이하)<br>14A (120Hz 이하) |
| ATC 차상장치 | 주신호 | 10.0±0.15 | 600mA | 6A<br>(중심주파수±800Hz) |
| | 부신호 | 11.5±0.15 | | |
| TD장치 | 채널 1 | 18.2±0.12 | 121mA | 12.1A<br>(중심주파수±750Hz) |
| | 채널 2 | 19.7±0.12 | 103mA | 10.3A<br>(중심주파수±750Hz) |
| | 채널 3 | 20.9±0.12 | 92mA | 9.2A<br>(중심주파수±750Hz) |
| | 채널 4 | 22.4±0.12 | 80mA | 8.0A<br>(중심주파수±750Hz) |
| | 채널 5 | 24.2±0.12 | 68mA | 6.8A<br>(중심주파수±750Hz) |

(9) 차상ATC장치의 방해허용치

ATC장치에서 사용하는 주파수대는 10.0kHz 및 11.5kHz이다. 차상ATC수신기 방해허용치는 최소동작 레일전류에서 구해지며 그의 1/2로 규정하고 있다. 최소동작 레일전류가 60mA이므로 30mA가 레일을 환류하는 방해허용치이다. 궤도회로 불평형률 100%일 때를 고려하면 방해허용치는 60mA가 된다. 차상수전기 주파수 특성을 그림 38에 제시한다. 수전기는 2kHz보다 낮은 주파수대에서 유기레벨이 저감된다.

ATC신호대역외 고조파는 그림의 차상수전기 주파수 특성에 의해 저감된 후, 대역 외 감쇠량 40dB의 BPF를 통과하기 때문에 모든 대역의 고조파 총합계가 귀선전류의 환

산이 6A 이하이면 영향은 발생하지 않는다.

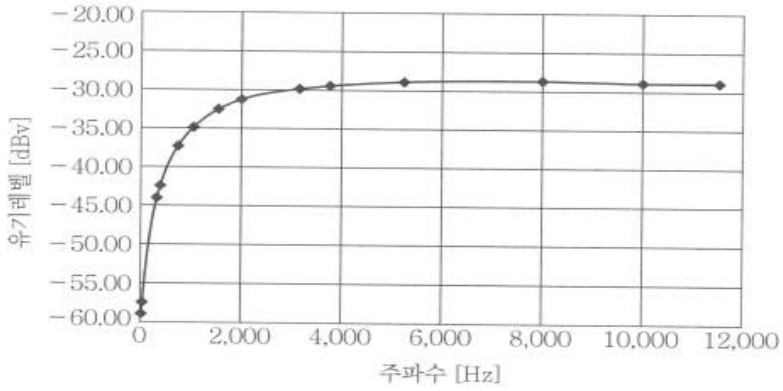



그림 38 ATC차상수전기 주파수 특성(레일전류 100mA 시)

(가) ATC차상수신기에 대한 직달자계로 인한 방해 측정 방법

레일 전류와 차상ATC수신기에 대한 유기전압은 그림 31에 제시하는 관계가 있지만 리니어 모터(linear motor) 방식에서는 대차에 부착한 유도전동기 1차 측이나 의장 배선에서 발생하는 잡음이 종래의 유도전동기와 구조가 다르기 때문에 대차 부근에 부착하는 ATC수전기 등의 안테나 종류에 대한 직달자계 측정은 불가결하다. 그림 38에 제시하는 위치관계에서 수전기에 유기되는 전압을 측정하여 레일 전류로 환산한다. 이 값과 레일 전류와 급전회로 도체에 의해 발생하는 방해와의 합성치가 방해가 된다.

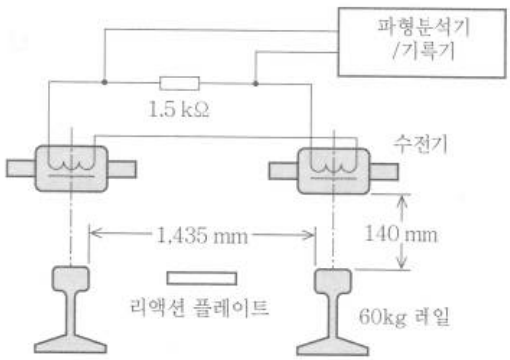



그림 39 ATC차상수신기에 대한 방해 시험 방법

(나) TD장치의 방해허용치

TD장치에 대한 방해허용치는 동일한 리니어(linear)방식의 B선으로 시험을 하여 잡음전류가 10kHz에서 20mA 이하였으므로 이것을 기준으로 하여 고조파 저감률을 $1/n^2$(n은 변전소 정류작용으로 수반하여 발생하는 전원주파수 6배를 고조파를 기본으로 한 고조파 차수)를 토대로 사용하는 5채널 각각에 관해서 규정하였다. 앞선 표는 좌우 레일 불평형률로서 10%를 고려하여 귀선 종방향 전류로 환산한 방해허용치이다. 또 대역 외 주파수에 대해서는 수신 BPF 감쇠 특성이 -40dB이므로 방해허용치는 각각 100배가 된다.

(다) TD장치 시험 방법

TD장치에서는 귀선전류에 기인하는 방해전류가 지배적이기 때문에 잡음 시험을

① 잡음 데이터 수록(공장 내 또는 실제 차량 주행)

② 수록된 데이터를 재생하여 TD장치에 주입하여 열차검지기능에 영향을 주는 잡음이 내부에 침입하는지 여부를 측정한다.

로 나누어 실시하는 것이 가능하다. 그림 40은 공장 내에서 잡음 데이터를 수록하는 예를, 그림 41은 수록한 잡음 데이터를 재생하여 TD장치에 주입하는 예를 제시한 것이다.

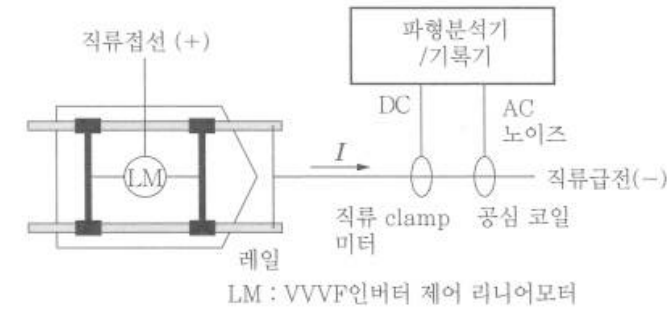



그림 40 귀선잡음 데이터 수록




그림 41 TD장치 잡음 레벨 측정

(라) 전자식 궤도 릴레이 방해허용치

전자식 릴레이는 전자화되어 있지만 종래의 2원형 교류릴레이에 가까운 동작 특성을 갖고 있다. 사용주파수 대역의 60Hz±5Hz에서는 열차 검지 릴레이 낙하전압의 1/2이 발생할 때의 레일에 흐르는 방해전류를 허용치로 하고 그 값은 1.4A이다. 사용주파수 대역 외는 장치에 내장하는 BPF의 감쇠 특성에 의해 30Hz 이하에 대해서 9dB, 120Hz 이상에 대해서 20dB 방해허용치가 향상되어 있다.

(마) 전자식 궤도릴레이 시험 방법

전자식 궤도 릴레이에서는 TD장치와 동일하게 귀선전류에 기인하는 방해전류가 지배적이지만

① 잡음 데이터 수록

② 실제 기기에서의 잡음측정을 분리하지 않고 동시에 한다.

쪽이 효율이 좋고 현실적이라고 생각된다. 그 이유는 직류전화의 경우, 360Hz 이하의 저주파 영역에서는 잡음전류 레벨이 크기 때문에 수록한 잡음을 재생할 때의 시험 설비가 대형이 되는데, 잡음 영향이 현저해지는 궤도회로 불평형률이 100%인 상황 하에서는 임피던스 본드(이하 'ZB'라고 함)가 귀선전류로 포화되고 귀선잡음이 완화되어

전자식 릴레이에 입력된다.

따라서 잡음 데이터를 수록하여 100% 불평형 시에 환산하면 실제로 맞지 않다. ZB 포화특성이랑 귀선전류 직류성분 크기와 방해전류 관계를 고려하여 시험할 필요가 있다. 그림 42는 공장 내에서의 시험 방법의 예이다. 시험에서는 전자식 궤도 릴레이 입력에 해당 T-BPF에 인가되는 상용주파수 성분 레벨 $V_t$를 측정하여 가부를 판단한다.

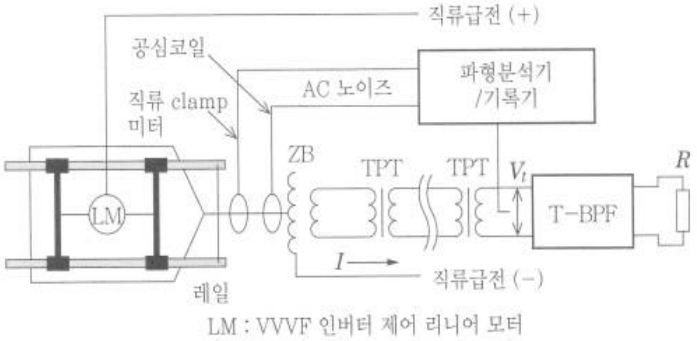



그림 42 전자식 궤도 릴레이에 대한 방해 시험 방법

(바) TASC장치에 대한 방해허용치

TASC장치에 사용하는 트랜스폰더의 방해허용치를 표 19에 제시한다.

표 19 TASC장치 방해허용치

| 장치종별 | | 주파수 [kHz] | 방해허용치 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 대역내[dBv] | 대역외[dBv] |
| 유전원지상자 | 지상→차상전송파 | 1,708±100 | -44.2 | -14.2 (중심주파수±400kHz) |
| | 차상→지상전송파 | 3,000±100 | -44.2 | -14.2 (중심주파수±400kHz) |
| 무전원지상자 | 전력파 | 275.0 | +14.7 | - |
| | | 257.5 | +14.7 | - |

① 유전원 지상자 방해허용치와 시험 방법 : 유전원 지상자 수신 주파수는 3MHz이고 방해허용치는 -44.2dBv(1V=0dBv)이다. 시험은 그림 43 위치관계에서 하고 부하저항 1kΩ 단에서 측정한다.

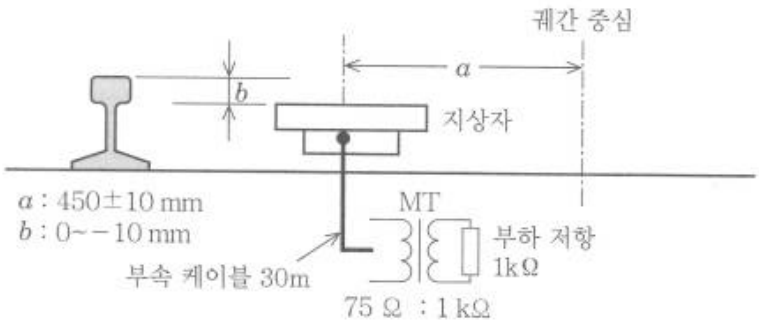



그림 43 유전원 지상자에 대한 방해 시험 방법

② 유전원 차상자 방해허용치와 시험 방법 : 유전원 차상자 수신주파수는 1.708MHz이고 방해허용치는 -44.2dBv(1V=0dBv)이다. 시험은 그림 44 위치관계에서 하고 부하저항 1kΩ 단으로 측정한다.

③ 무전원 지상자(차상자) 방해허용치와 시험 방법 : 무전원 지상자는 275kHz(무전원 차상자는 257.5kHz) 전력파를 차상자에서 수신하여 반신정보를 송신한다. 무전원 지상자가 차상에서 전력파를 수신하고 있을 때, 본래의 전력파와 역위상의 허용치 이상의 잡음이 침입하면, 양파가 서로 부정하여 송신전력을 수신할 수 없게 된다. 시험은 무전원 지상자 및 차상자 내부 그림 45에 제시하는 측정 지점에서 판단하기 때문에 측정 전용 지상자 및 차상자를 필요로 한다.

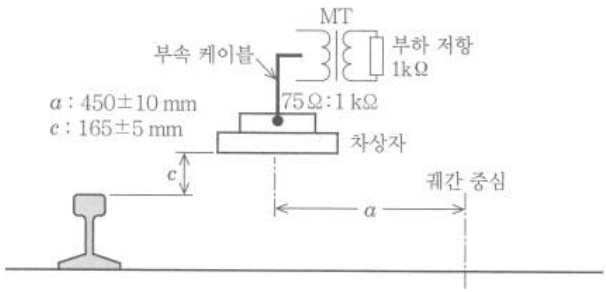



그림 44 유전원 차상자에 대한 방해 시험 방법

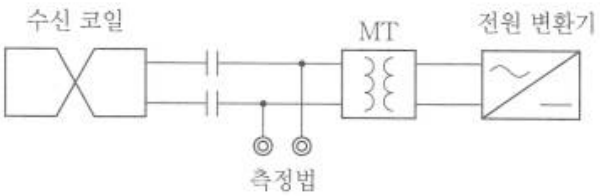



그림 45 무전원 지(차)상자에 대한 방해 시험 방법

라. 민간철도 신호 보안설비의 방해허용치 및 확인 방법 사례

(1) 궤도회로에 대한 방해 허용치

민간철도 A선에서 사용하고 있는 신호설비의 방해허용치를 표 20에 제시한다.

표 20 신호 보안설비 종류와 방해 허용치

| 장치종별 | 최소 동작 레벨 | | 방해허용치 | |
|---|---|---|---|---|
| | 주파수 [kHz] | 전류치 [mA] | 대역내 [mA] | 대역외 [A] |
| 상용 주파수 궤도회로 장치 | 0.05±0.01 | - | 700 | - |
| ATC 차상장치 | $f_0$±0.01 | 50 | 50 | $0.281^{(주1)}$ $5.00^{(주2)}$ |
| | $f_0 = 2.85/3.15/3.45/3.75/5.25$ | | | |
| TD장치 | 10.8±0.1 | 20 | 20 | $4.47^{(주3)}$ |
| | 11.8±0.1 | 18 | 18 | $4.02^{(주3)}$ |
| | 13.3±0.1 | 16 | 16 | $3.58^{(주3)}$ |
| | 15.4±0.1 | 14 | 14 | $3.13^{(주3)}$ |
| | 16.8±0.1 | 13 | 13 | $2.91^{(주3)}$ |
| 건널목 제어용 궤도회로장치 | 2.85±0.1 | 265 | 265 | $83.8^{(주4)}$ |
| | 3.15±0.1 | 244 | 244 | $77.1^{(주4)}$ |
| | 3.45±0.1 | 227 | 227 | $71.7^{(주4)}$ |
| | 3.75±0.1 | 212 | 212 | $67.0^{(주4)}$ |
| | 4.10±0.1 | 197 | 197 | $62.2^{(주4)}$ |
| | 4.60±0.1 | 179 | 179 | $56.6^{(주4)}$ |
| | 4.95±0.1 | 168 | 168 | $53.1^{(주4)}$ |

(주1) : 중심주파수±150Hz (주2) : 중심주파수±600Hz

(주3) : 중심주파수±300Hz (주4) : 중심주파수±300Hz

(가) 차상ATC장치 방해허용치

차상ATC수신기 방해허용치는 귀선 종방향 전류로 환산한 값으로 50mA이다. 표 20에 최소동작 레벨과 신호대역내외에 대한 방해허용치를 제시한다. 차상수전기 주파수 특성을 그림 46에 제시한다. 수전기는 신호주파수 부근에서 공진시켜 신호대역 외의 잡음에 대한 유기전압을 저감시키고 있다.

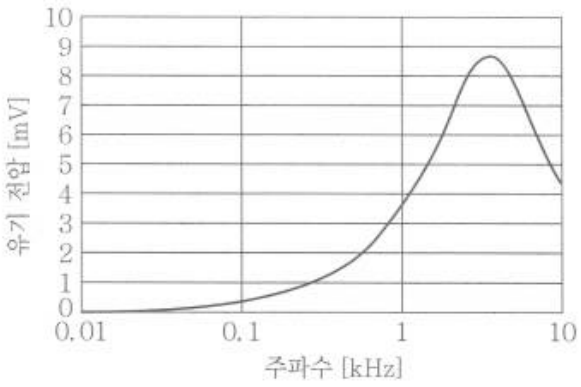



그림 46 ATC차상수전기 주파수 특성(레일전류 100mA 시)

(나) ATC차상수신기에 대한 직달자계에 의한 방해 측정 방법

그림 47에 제시하는 위치관계에서 수전기에 유기되는 직달 잡음전압을 측정하여 레일 전류로 환산한다. 이 값과 레일 잡음 전류와의 합성치가 방해가 된다.

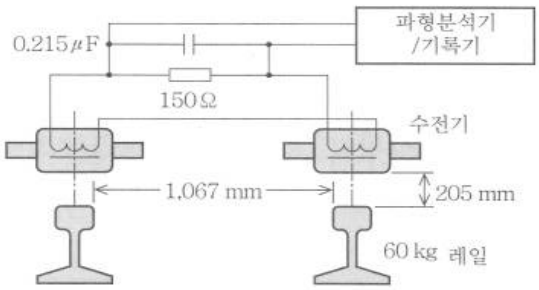



그림 47 ATC차상수신에 대한 방애 시험 방법기

(다) TD장치의 방해허용치와 잡음 시험 방법

TD장치에 대한 최소동작레벨과 방해허용치를 표 20에 제시하였다. TD장치 귀선잡음 시험방법은 앞서 그림에 제시한 방법과 동일하다.

(라) 건널목 제어용 궤도회로 장치의 방해허용치와 잡음 시험 방법

건널목 제어용 궤도회로장치에 대한 최소 동작 레벨과 방해허용치는 표 20에 제시하였다. 귀선잡음 시험 방법은 TD장치와 동일하지만 수신회로에 루프코일을 사용하고 있으며 직달잡음 영향도 받기 때문에 그림 47에 제시하는 직달잡음 측정도 필요하다. 잡음측정은 귀선잡음과 직달잡음 데이터를 가산하여 인가하는 방법 외에 귀선/직달 잡음 측정을 단독으로 하여 양쪽 잡음 레벨의 2승 평균치로 평가하는 방법을 고려할 수 있다.

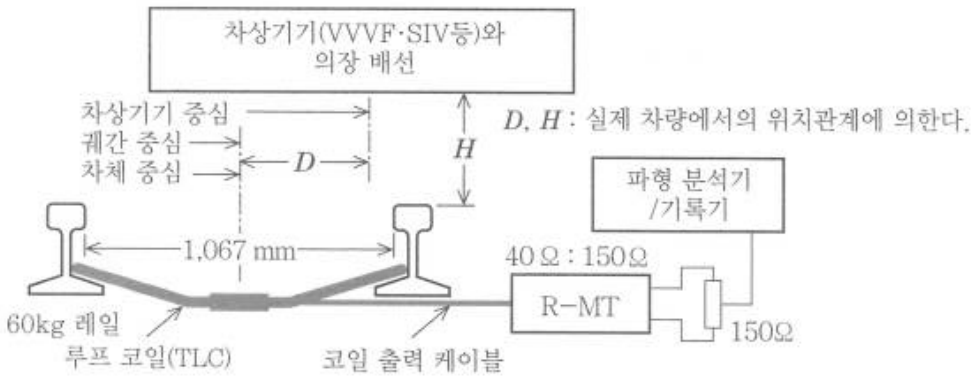



그림 48 직달잡음 데이터 수록

(마) 상용주파수 궤도회로 장치의 방해허용치와 시험 방법

사용주파수대역 50Hz±10Hz에서 열차검지 릴레이 낙하전압의 1/2이 발생할 때의 레일에 흐르는 방해전류가 허용치이며 그 값은 0.7A이다. 상용주파수 궤도회로는 앞서 언급한 전자식 궤도릴레이 시험 방법과 동일하며 그림 49에 의한다. 시험에서는 릴레이에 인가되는 상용주파수 성분레벨 $V_t$의 50Hz 성분을 측정하여 가부를 판단한다.

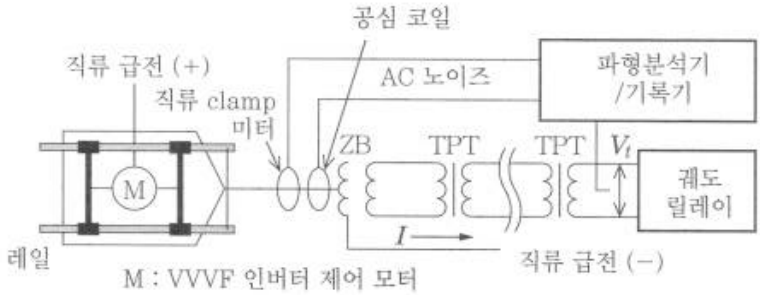



그림 49 상용주파수 궤도회로 시험 방법

(2) 정보전송장치에 대한 방해허용치

정보전송장치에 사용하는 트랜스폰더 방해허용치를 표 21에 제시한다.

표 21 정보전송장치의 송수신장치 방해허용치

| 장치종별 | | 주파수 [kHz] | 방해허용치[dBv] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 대역내 | 대역외 |
| 유전원 지상자 및 차상자 | 지상→ 차상 전송파 | 1,708±10 0 | ① 연속 노이즈 : −49.5<br>② 간헐 노이즈 : −39.5<br>노이즈 펄스 폭 : 1.3m 이내<br>노이즈 발생 간격 : 15s 이상 | −19 |
| | 차상→ 지상 전송파 | 3,000±10 0 | | |
| 무전원 지상자 및 차상자 | 전력파 | 256 | ① 연속 노이즈 : −40<br>② 간헐 노이즈 : −30<br>노이즈 펄스 폭 : 2m 이내<br>노이즈 발생 간격 : 5s 이상 | − |

(가) 유전원 지상자 및 차상자의 방해허용치와 시험 방법

유전원 지상자의 수신주파수는 3MHz, 유전원 차상자 수신주파수는 1,708MHz에서 방해허용치는 어느 것이나 연속노이즈로 −49.5dBv(1V=0dBv)이다. 펄스성 노이즈에 관해서는 펄스 폭 1.3ms 이하, 주기 15s 이상의 조건에서 −39.5dBv까지 허용한다. 시험은 그림 50 및 그림 51의 위치 관계에서 하고 부하저항 1kΩ 양단 측정한다.

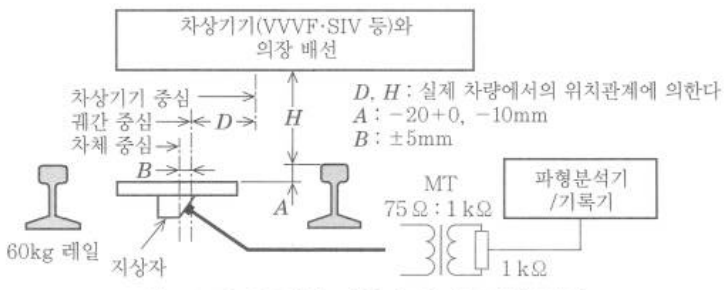



그림 50 유전원 지상자 방해 시험 방법

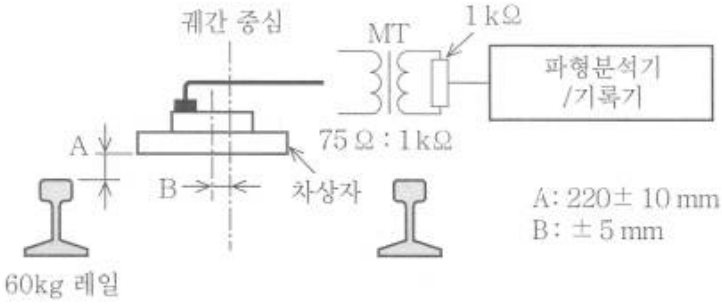



그림 51 유전원 차상자의 방해 시험 방법

(나) 무전원 지상자 방해허용치와 시험 방법

무전원 지상자는 256kHz의 전력파를 차상자에서 수신하여 반신(返信) 정보를 송신한다. 무전원 지상자가 차상자에서 전력파를 수신하고 있을 때, 본래의 전력파와 역위상 허용치 이상의 잡음이 침입하면 양측의 파가 서로 상쇄하여 반신전력을 수신할 수 없게 된다. 그림 52에 측정회로를 제시한다.

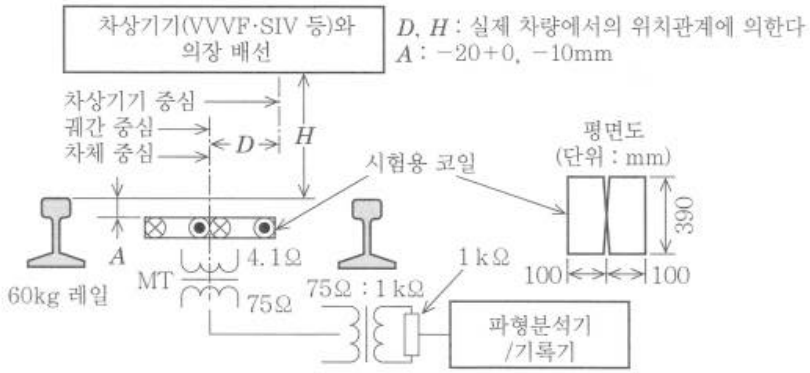



그림 52 무전원 지상자 방해 시험 방법

마. 신호보안설비의 방해허용치 및 시험 방법 사례(일본 JR재래선)

(1) 궤도회로에 대한 방해허용치

레일을 사용하여 열차검지와 신호전송을 하는 궤로회로 방해허용치를 표 22에 제시한다. 여기서 소개하는 장치에서는 3종류(SMET장치, TD장치, 건널 제어용 궤도회로 AFO(Autio Frequency Overlay)장치가 있다.

표 22 궤도회로장치 종류와 방해허용치

| 장치종별 | 주파수 [kHz] | 방해허용치 (대역내 : 레일전류환산치) | 방해허용치 (대역외 : 레일전류환산치) |
|---|---|---|---|
| SMET 장치 | 120±10<br>144±10 | 0.14A (중심주파수±20Hz) | - |
| TD장치 | 4,150±10<br>5,800±10<br>6,400±10 | 18mA (중심주파수±28Hz) | 18A (중심주파수±300Hz) |
| | 7,050±10<br>7,650±10 | 18mA (중심주파수±28Hz) | 18A (중심주파수±400Hz) |
| 건널목 제어용 궤도회로 | 2,300±10 | 140mA (중심주파수±15Hz) | 14A (중심주파수±100Hz) |
| | 3,700±10<br>4,150±10<br>5,800±10<br>6,400±10<br>7,650±10 | 100mA (중심주파수±15Hz) | 10A (중심주파수±100Hz) |
| | 8,550±10<br>9,820±10<br>10,950±10 | 70mA (중심주파수±15Hz) | 7A (중심주파수±100Hz) |

(2) SMET장치의 방해허용치

SMET장치는 역 구내에서 사용된다. 사용주파수대는 120Hz 및 144Hz이다. 노이즈를 신호로 인식할 가능성이 있기 때문에 귀선 불평형도가 100%인 경우(노이즈에서 신호가 없는데도 '신호가 있음'이라고 하는 경우)와 10%인 경우(노이즈에서 신호가 있는데도 '신호가 없음'이라고 하는 경우)를 생각하지만 방해내량이 작은 것은 100% 불평형 시의 값이기 때문에 100% 불평형시의 값으로 평가한다. 방해허용치는 표 22에 의한다.

(3) TD장치의 방해허용치

TD장치는 역 중간에서 사용된다. 신호는 FSK변조방식을 채택하고 있으며 수신한 각각의 반송파를 협대역에서 선별함과 동시에 상보성을 검정하여 열차의 유무를 판정한다. 이 때문에 잡음에 의해 오동작할(선로에 열차가 있을 때, '열차 없음'이라고 판정) 가능성은 지극히 낮다. 따라서 방해내량은 노이즈로 신호가 있는데도 '신호가 없음'이라고 판단하는 경우를 고려한다. TD장치에서 열차가 없을 때의 최소 동작 레벨은 장치사양에서 정의된 최소가 되는 평상전압으로 규정하여 레일전류 환산치는 8.9mA가 된다. 평상시와 최소 동작 시의 레벨 차를 14dB로 하고 궤도회로 불평형률 10%를 통상적으로 있을 수 있는 최악의 조건으로 하면, 최소 동작 전류와 동일한 값이 되는 귀선전류는 36mA가 된다. 귀선전류에 대한 허용치는 최소 동작 전류의 절반으로 규정하여 18mA가 된다.

(4) AFO장치의 방해허용치

건널목 제어용 궤도회로는 TD장치와 동일한 FSK변조방식을 채택하고 있고 수신한 각각의 반송파를 협대역에서 선별함과 동시에 상보성을 검정하여 열차의 유무를 판정한다. 또 이 장치의 궤도회로 수신점은 궤도에 루프코일을 부설하기 때문에 귀선전류에 의한 잡음과 차량에서 발생하는 직달 잡음이 영향을 끼치게 되지만 앞서 언급했듯이 잡음에

강한 신호방식을 채택하고 있기 때문에 잡음에 의해 오동작 할(열차가 선로에 있는데도 '열차 없음'이라고 판정) 가능성은 지극히 낮다. 그 때문에 루프코일에 차량에서 발생하는 직달 잡음에 의한 방해를 받아도 그 때는 이미 열차검지('열차 있음'이라고 판정)하고 있기 때문에 위험 측 동작이 되지 않는다. 그러므로 방해내량은 노이즈 신호가 있는데도 '신호 없음'이라고 판단하는 경우를 고려하여 귀선전류에 의해 규정한다. AFO장치 측에서 열차가 없을 때의 최소 동작하는 귀선전류 환산치는 2.3kHz의 경우를 예로 들면, 14mA이고 방해허용치는 7mA가 된다. 궤도회로 불평형률 10%일 때, 허용방해전류치에 상당하는 귀선전류 환산치는 140mH가 된다.

(5) ATS-SN장치의 방해허용치와 시험 방법

지상장치 측의 방해허용치를 표 25에 차상장치 측의 방해허용치를 표 26에 제시한다. 유도장애시험은 차상에서 수신하는 지상자(SD형) 및 루프코일에 관해서 열차가 정지해 있을 때 및 열차가 통과할 때 유기하는 전압(BPF 출력)을 측정한다. 그림 53에 루프코일 시험 방법을 제시한다.

표 23 ATS-SN 지상장치의 방해허용치

| 장치종별 | 주파수 [kHz] | 방해허용치 (대역내) | 방해허용치 (대역외) |
|---|---|---|---|
| 지상자 수신기 | 67 | 13mV (중심주파수±2kHz) | 1,300mV (중심주파수±3.5kHz) |
| | 105 | 13mV (중심주파수±2kHz) | 1,300mV (중심주파수±9kHz) |
| 루프코일 수신기 | 105 | 6mV (중심주파수±5kHz) | 600mV (중심주파수±9kHz) |

표 24 ATS-SN 차상장치의 방해 허용치

| 장치종별 | 주파수[kHz] | 방해허용치(대역내) | 방해허용치(대역외) |
|---|---|---|---|
| ATS수신기 | 105 | 0.72V (중심주파수±5kHz) | 40.5V (중심주파수±9kHz) |

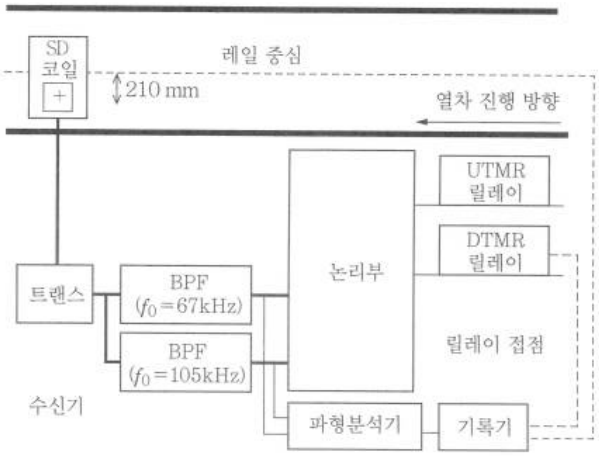



그림 53 SD코일 시험 방법

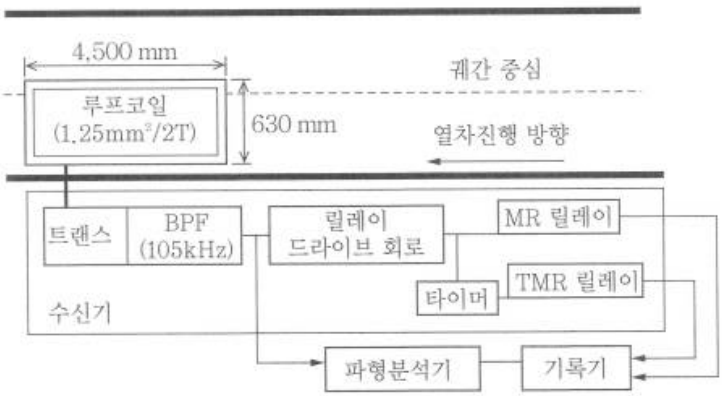



그림 54 루프코일 시험 방법

(6) ATS-P장치에 대한 방해허용치

ATS-P장치에 사용하고 있는 트랜스폰더의 방해허용치를 표 25에 제시한다.

표 25 트랜스폰더(ATS-P) 방해허용치

| 장치종별 | | 주파수 [kHz] | 방해허용치[dBv] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 대역내 | 대역외 |
| 유전원 | 차상자 | 1,708±100 | -44.2dBv | -14.2dBv (중심주파수±400Hz) |
| | 지상자 | 3,000±100 | -44.2dBv | -14.2dBv (중심주파수±500Hz) |

(7) 유전원 지상자의 방해허용치와 시험 방법

유전원 지상자의 수신 주파수는 3MHz이고 허용치는 -44.2dBb(1V=0dBv)이다. 이것은 지상자의 최소 CD검지 동작 레벨에 대해 -8dB, 최대 CD검지복구레벨에 대해 -8dB, 최대 검지 복구 레벨에 대해 3dB의 여유를 확보하고 있다. 잡음 시험은 그림 55 위치 관계에서 한다.

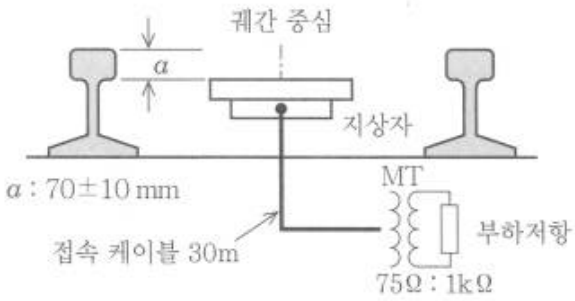



그림 55 유전원 지상자 시험 방법

(8) 유전원 차상자의 방해허용치와 잡음 시험 방법

유전원 차상자 수신주파수는 1,708MHz이고 방해허용치는 -44.2dBv(1V=0dBv)이다. 이것은 차상의 최소 동작 레벨에 대하여 -6dBv의 여유를 확보하고 있다. 잡음 시험은 그림 56 위치 관계에서 한다.

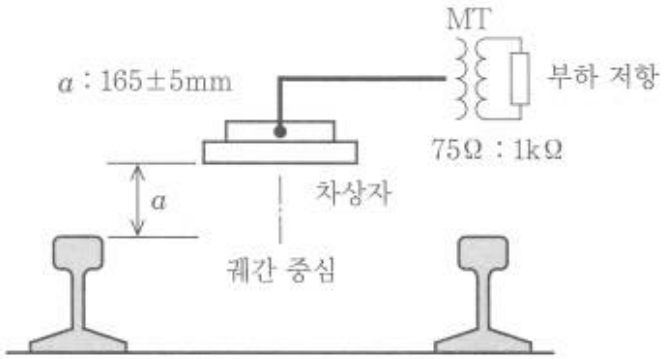



그림 56 유전원 차상자 시험 방법

바. 신호 보안설비의 방해허용치 및 시험 방법 사례(일본 츠쿠바 익스프레스)

(1) 방해허용치와 측정 방법의 제시

종래 차량으로 신호설비에 대한 영향조사 시험은 신호설비 담당 측(이하 신호 측이라고 함)이 실시하고 있었다. 신호설비 방해허용치도 일부 밝혀졌지만 차량담당 측(이하 차량 측이라고 함)에서 신호설비에 대한 영향을 측정하는 것은 아니고 평가·대책 입안상의 효율이 손상되었다. 그래서 츠쿠바 익스프레스선을 건설할 때쯤, 사전에 교류구간에서 차량의 PWM 컨버터·인버터 반송주파수로 고조파 전류를 시뮬레이션으로 예측함과 동시에 ATC/TD 주파수로 확보 가능한 전류값을 구하고 필요한 방해내량을 얻을 수 있는 쌍방 주파수를 선정하였다. 또한 차량 측에서 공장 내 시험을 실시 가능하게 하기 위하여 다음에 제시하는 EMC 시험 항목, 측정 방법 및 평가 방법을 책정하여 신호 측에서 차량 측으로 제시하였다.

① 신호기기(ATC/TD, 트랜스폰더)의 방해허용치

② 수신기 입력부까지의 전기·전자적 접속회로와 레일전류 등으로부터 수신기 입력전압에 대한 환산식

③ 수신기 입력전압·방해전류/전압치의 측정 방법

④ 측정치로부터의 평가 방법

차상 ATC수신기는 수신기의 최소 동작 전압이 방해허용치가 된다. 귀선전류에서의 허용치는 이 전압으로 환산하기 때문에 귀선전류와 수신기 입력전압 관계를 명시하였다. 또 측정기 종류와 설정 등도 측정치 평가에 영향을 주기 때문에 이러한 것들도 규정하였다.

(2) 제시한 방해허용치와 측정회로

표 26에 ATC/TD의 방해허용치를 제시한다. ATC수신기에 대한 허용치는 최소 단락전류 110mA에서 산출하였다. 그림 57에 측정회로를 제시한다. 궤도회로와 수전기 합계 불평형률을 10%로 하면 귀선전류 허용치는 224mA가 된다. TD수신기에 관해서는 레일환류 최소 전류인 15.4mA에서 방해허용치로서 78mA를 규정하였다.

표 26 방해허용치

| 장치종별 | 주파수 [kHz] | 방해허용치[mA] | |
|---|---|---|---|
| | | 수신기입력 환산치 | 레일전류 환산치 |
| ATC 차상수신기 | 5.1<br>6.3 | 11.2 | 224 |
| TD 지상수신기 | 10.55, 12.85,<br>13.35,<br>13.95, 14.45,<br>15.80 | 3.9 | 78 |

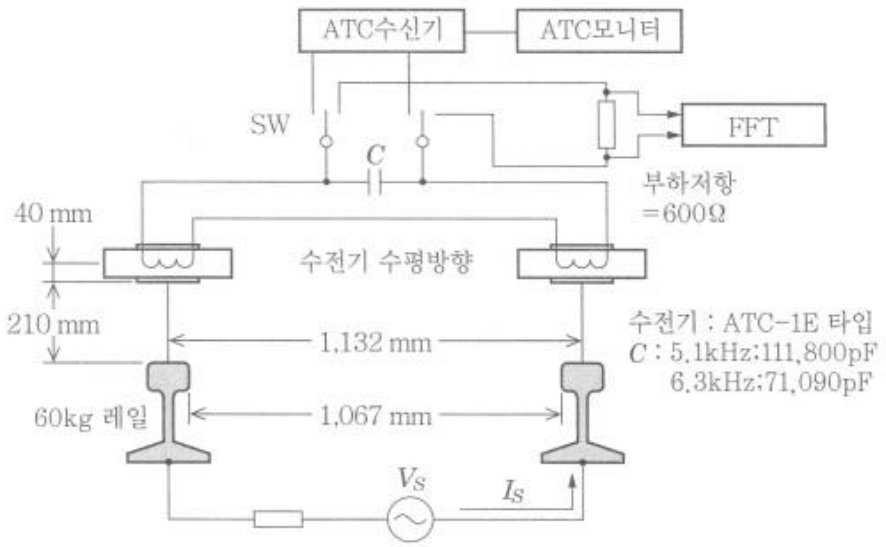



그림 57 ATC 방해전류 측정회로

표 27 트랜스폰더에 대한 방해허용치

| No | 종별 | 구분 | | 주파수 [kHz] |
|---|---|---|---|---|
| | | 연속파 | 간헐파 | |
| 1 | 정보파 지상→차상 | -48dBm | -38dBm | 1,708 |
| 2 | 정보파 차상→지상 | -48dBm | -38dBm | 3,000 |
| 3 | 전력파 | -40dBm | -38dBm | 256 |

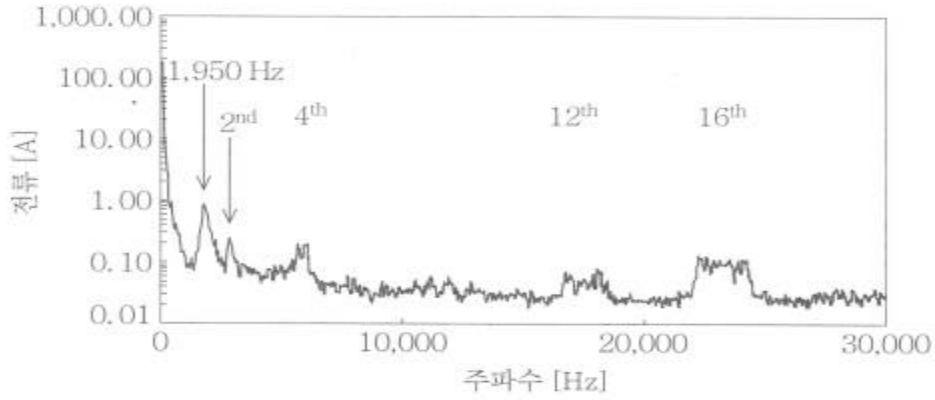
다음 표 27에 제시한 것처럼 트랜스폰더에 대한 방해허용치를 정보주파수 2파와 전력파 1파에 관해서 책정하였다. 이 선구에는 ATC 및 자동운전장치(ATO)의 위치 보정용 등에 트랜스폰더를 사용하고 있다. 이 방식은 다른 선구에서 많이 이용되고 있는 자동열차정지장치(ATS-P)와 ATO 등에 사용되고 있는 것과 동일하다. 특정 지점에서만 동작하는 설비이기 때문에 항상 장치의 건전성을 자기조사하는 조사신호를 일정주기로 시간 윈도를 설치하여 송수신하고 있으므로 일정 조건 하에서의 간헐적인 방해파에 대하여 연속파보다도 10dB 높은 값을 허용하였다. 공장 내에서의 시험 결과, 방해전류는 허용치 이하임이 확인되었다.

(3) 실제 차량시험과 그 결과

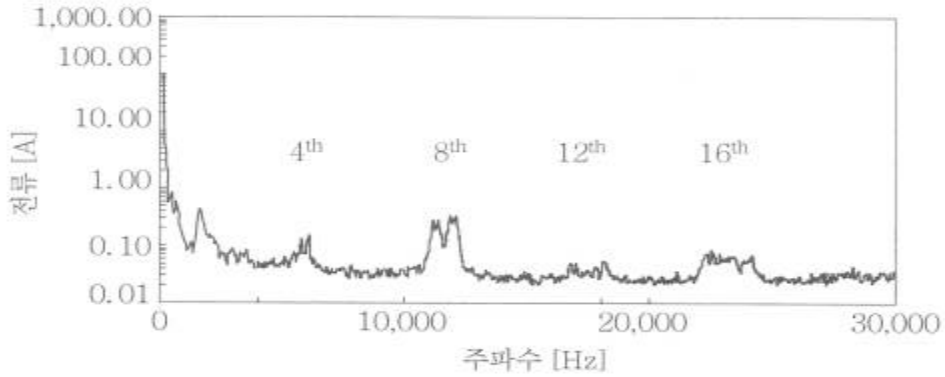
해당 선구는 도쿄 쪽은 직류 1,500V 급전이고 츠쿠바 쪽은 교류 50Hz, 20,000V 급전의 복급전 방식이 채택되었다. 직류구간에서는 직류변전소 및 차량이 발생시키는 고조파가, 교류구간에서는 차량이 발생시키는 고조파가 대상이 된다.

직류구간에서는 실제 측정한 결과, 변전소의 PWM 컨버터가 발생시키는 고조파 전류가 레일에 흐르는 것이 확인되었다. 이것은 PWM 컨버터와 대지 사이에 부유용량에 의해 유출하는 고조파 전류이고 TD주파수대에서는 허용치에 가까운 값이 실제 측정되었기 때문에 필터를 귀선회로에 삽입하여 허용치 이하로 하였다.

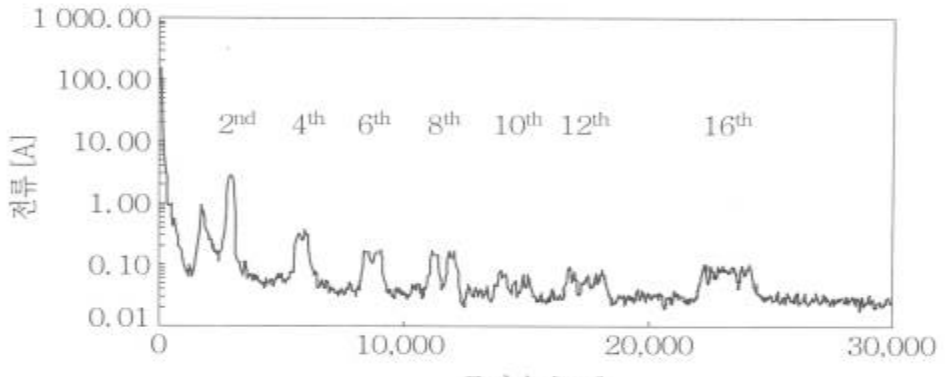
한편 교류구간에서의 고조파 전류는 차량의 PWM 컨버터·인버터가 발생시키는 것이지만 PWM 제어의 위상차 운전에서 고조파 전류를 억제하고 있기 때문에 일부 PWM 컨버터가 고장에 의해서 분리되면 저차 고조전류가 증대한다. 그래서 실제 차량 시험에 있어 일부 PWM 컨버터를 정지시키고 차상에서 발생하는 고조파 전류 측정을 하였다. 측정 결과를 그림 58에 제시한다. 또 변전소에서 귀선전류의 고조파 전류도 동시에 측정하였다. ATC파에 사용하고 있는 5~6kHz 전후에서의 컨버터 1대가 분리된 경우, 정상동작일 때의 4차 고조파 발생량의 최대치가 0.2A에서 0.6A로 3배 정도 증가하지만 ATC 신호 부근에서는 최대 0.05A 정도밖에 증가하지 않아 방해허용치 이하였다. 또 그림 59에 제시하는 변전소 측정에서는 차량이 정상동작할 때 발생시키는 고조파가 선로 공진현상에 의해 11.6kHz 부근의 고조파가 5배 정도 확대된다. 이 그림은 정상동작일 때 차상 측정한 것으로 그림 58(a)에 대응한다. 이 부근의 고조파는 1유닛(컨버터 4대) 분리 시에 특히 증대하고 변전소 측정에서는 최대 1A에 달하지만 가장 근접하는 TD파대의 최대치는 0.06A로 허용치 이하이다.




(a) 정상동작 시




(b) 1유닛 1M 분리할 때 전류




(c) C/11대 분리할 때

그림 58 차상측정 전기차전류의 고조파전류 측정치

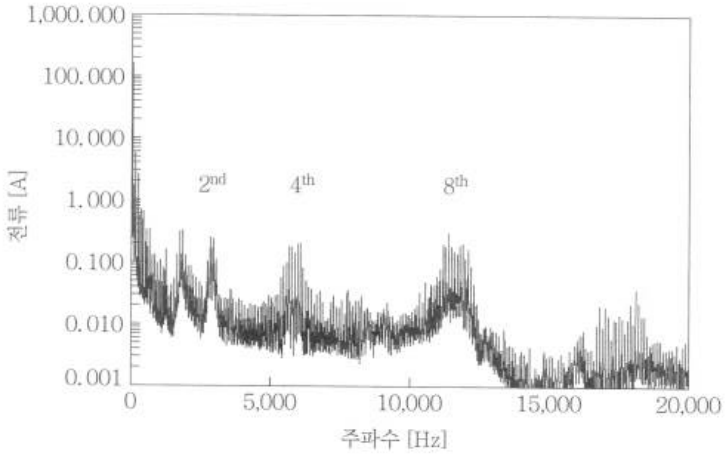



그림 59 변전소 측정 귀선전류 고조파(차량 정상동작 시)

사. 장대(長大)궤도회로

(1) 장대궤도회로

(가) 개요

장대궤도회로(25Hz, 30Hz)는 한산한 선구를 대상으로 저렴화된 근대적인 간이자동폐색장치에 적용하는 역 중간 열차검지장치로서 탄생했다.

한산한 선구의 역 중간구간을 보다 적은 궤도회로장치로 제어 가능하게 하고, 제어 길이가 전화구간에서 5km, 비전화구간에서 6km로 되어 있다. 이와 같은 거리를 전송 가능하게 하기 위해 궤도전송 손실이 작아지는 30Hz 이하의 주파수를 이용하고 있다. 최근에 차량제어 보조전원장치가 경신됨으로써, 이 궤도회로장치에 사용하고 있는 주파수 성분이 귀선전류에 나타나는 데이터도 측정하고 있다.

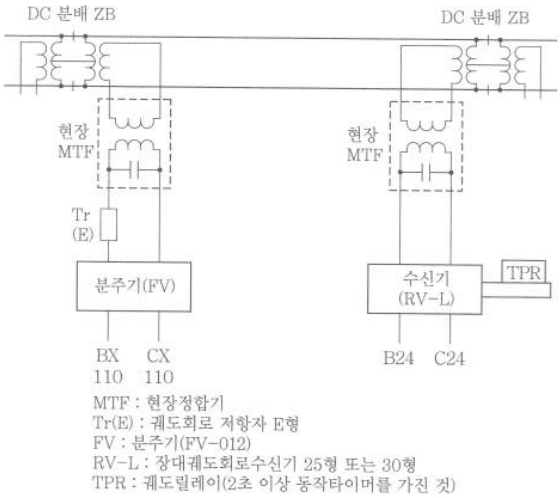



그림 60 직류전화구간 1궤도회로 구성도

(나) 구성

직류 전화구간의 1궤도회로 구성의 구성도를 그림 60에 제시했다. 수신기는 1원형으로 레일에서 발생하는 과도적인 서지에 의해 오동작을 방지하기 위한 2초 이상의 타이머 릴레이(TPR)를 사용하고, 시스템 안정도를 높이고 있으며 수신기 조건은 모두 TPR

에서 선택하는 방법으로 되어 있다.

또 수신기(RV-L) 내에 상용주파수(50Hz, 60Hz)를 제거할 목적으로 저주파 통과 필터(LPF)가 있다. 수신기 내 LPF 감쇠성능(25Hz)을 표 28에 LPF의 특성 예를 그림 61에 제시했다.

표 28 LPF의 감쇠성능(25형)

| 주파수[Hz] | 감쇠량[dB] |
|---|---|
| 25 | 5 이하 |
| 50 | 32 이상 |
| 100 | 28 이상 |

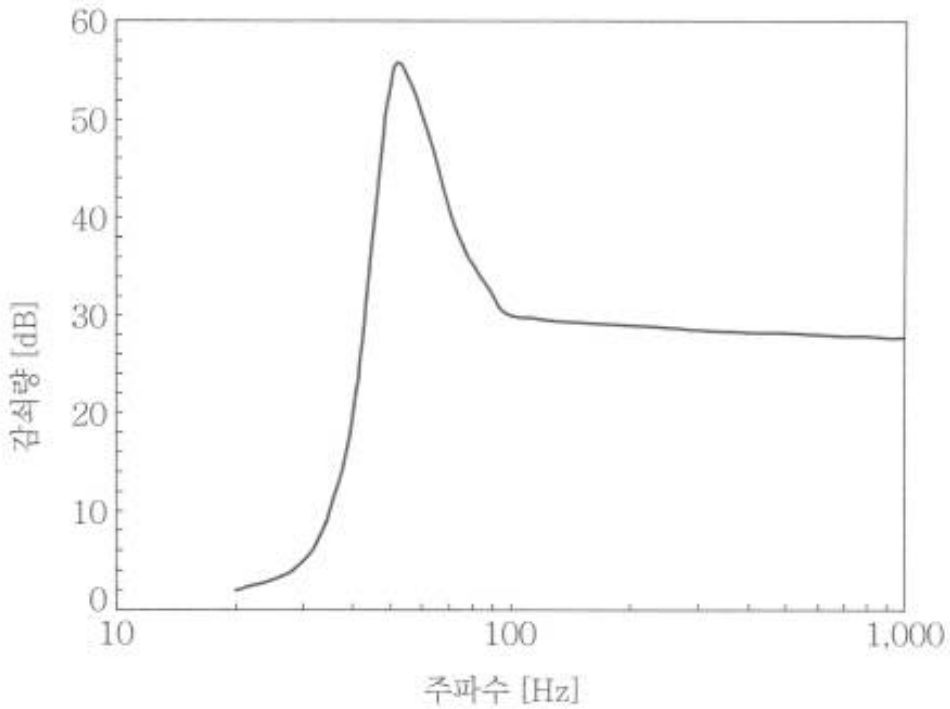



그림 61 장대수신기(25Hz) LPF 감쇠주파수 특성 예

(다) 방해허용치

장대궤도회로는 사용하는 주파수에서 귀선전류가 작다는 전제로 개발되었다. 이 때문에 신호전류 자체가 작아 귀선전류에 대한 위험측 동작 허용치는 0.3A이고 안전 측 오동작 방지허용치는 3A로 되어있다. 또 앞서 언급했듯이 수신기의 신호분별기능에 있어서는 상용주파수에서의 규정이 되기 때문에 신호에 사용하고 있는 25Hz, 30Hz 부근의 주파수에 있어서도 오동작에 대한 배려가 필요하다.

(라) 최근의 귀선전류 데이터 예와 장대궤도회로에 대한 영향

그림 62에 장대궤도회로를 주행하는 열차의 전기차 전류 주파수 분석 결과를 제시한다. 저주파일수록 노이즈가 크고 이와 같은 영역에서 위험 측 동작허용치를 클리어(clear)하는 것이 곤란한 상황이 되었다. 또 그림 61에 장대궤도회로에서 사용하는 30Hz 성분의 시간 변화 측정 결과를 제시한다. 장시간 계속하지 않은 것이 순간적으로 커지는 수가 있다.

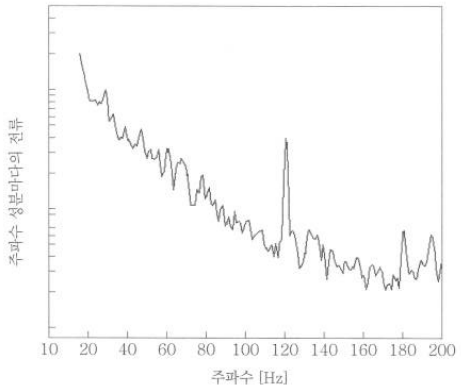



그림 62 전기차전류 저주파 영역 주파수 분석 예

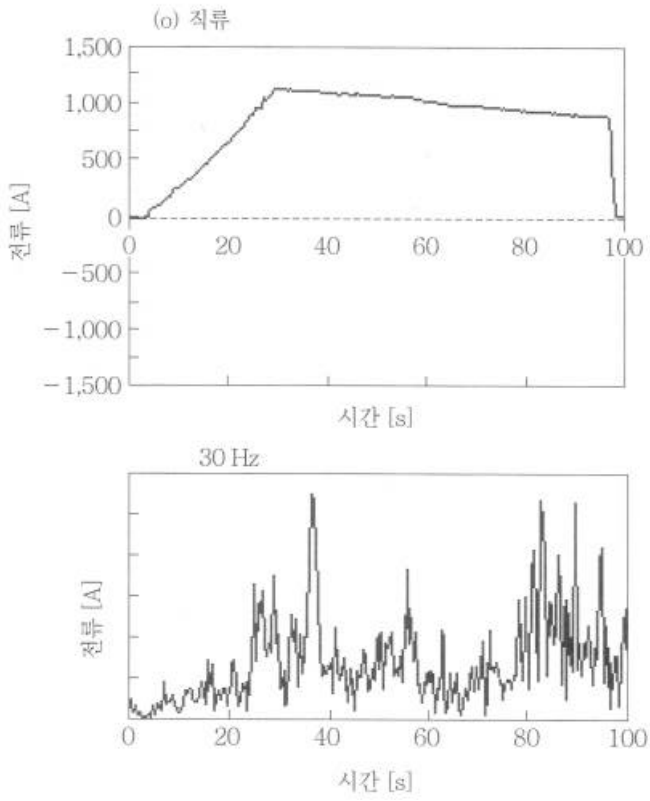



그림 63 직류전류와 30Hz 성분 시간변화 측정 예

(2) 80Hz 궤도회로

(가) 개요

80Hz 코드궤도회로는 종래의 상용주파수 궤도회로, 분배주 궤도회로, 장대궤도회로,

83/100Hz INV 궤도회로 등 저주파의 궤도회로에 치환되는 궤도회로로 개발되어 신호주파수(이하 반송파)는 상용주파수와 그 고조파를 피한 80Hz이고 비전화구간, 직류전화구간(신칸센 유도지장구간을 포함), 교류전화구간의 구별 없이 사용할 수 있다. 또 단속변조방식으로 3위 제어를 가능하게 하기 위한 4개의 코드파를 보유하고 있다.

(나) 궤도회로 구성

80Hz 코드궤도회로는 기본적으로 단락감도의 확보와 단락불량을 방지하기 위하여 임피던스 본드(ZB)의 3차 권선을 사용하여 커패시터를 병렬로 접속하여 공진회로를 구성하고 있다.

기기 집중식 궤도회로 구성 예를 그림 64에 제시한다.

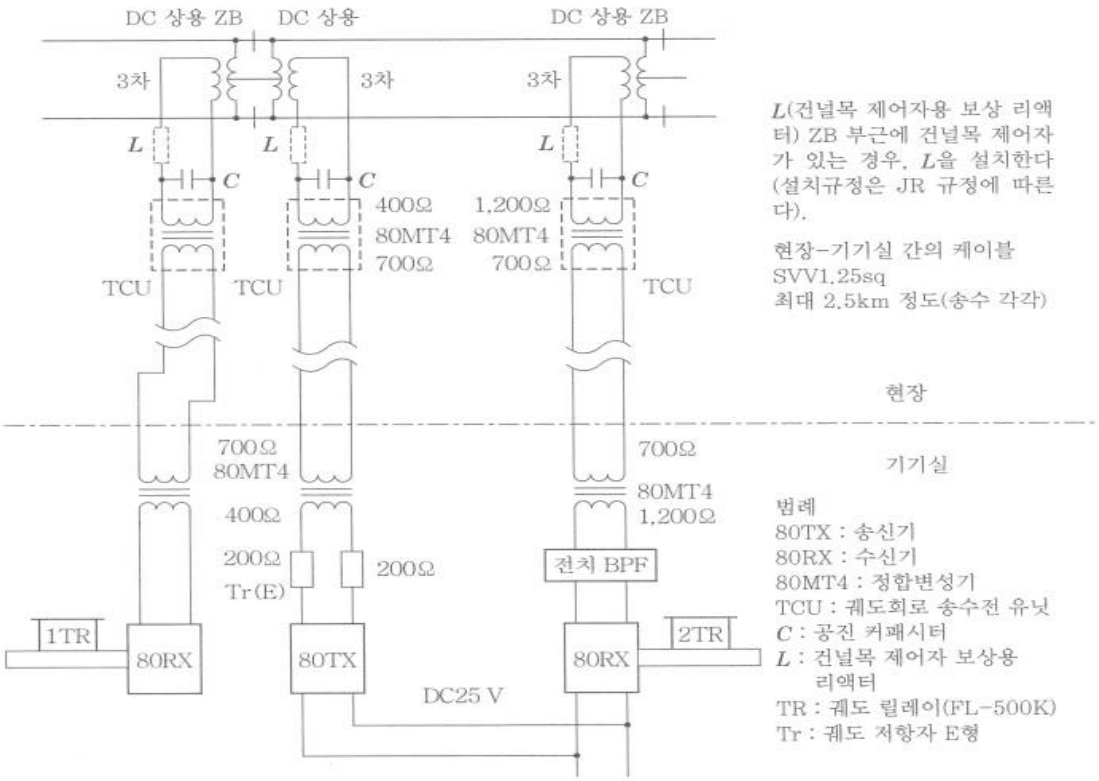



그림 64 기기집중식 궤도회로 구성

(다) 성능 및 방해허용치

표 29에 80Hz 코드궤도회로의 방해허용치를 제시한다.

표 29 80Hz 코드궤도회로 방해허용치

| | | |
|---|---|---|
| 안정 동작 확보 | 허용치 | 4.44A |
| | 평가대상 주파수 | 74~86Hz |
| | 순시초과 허용조건 | 225ms 이하 또는 최대 26.6A 이하 |
| 위험 측 오동작 방지 | 허용치 | 0.444A |
| | 평가대상 주파수 | 74~86Hz |
| | 순시초과 허용조건 | 250ms이하 또는 최대 2.66A 이하 |

# 제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

# 제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

## 1절 연구수행 전략 및 방법론

본 연구의 특징은 특정 제품을 개발하는 것이 아니라 고속차량과 신호설비간 운용상 인터페이스 기술을 확보하는 것으로 현재 운영기관에는 각각의 시스템에 EMI/EMC 규격이 적용되어 설치되고 있지만 상호간 인터페이스에 대한 특별한 규정이 없어 차량과 신호간 인터페이스 기술이 서로 각자에게 유리한 측면에서 해석되어 대립화되면 양상으로 안정적인 열차운영을 위하여 반드시 상호간에 허용되는 EMC/EMC 기준이 마련되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 차량과 신호설비간 인터페이스에 대한 국내외 현황을 조사분석한 후 상호간 양립성을 토대로 공장시험, 시뮬레이션, 현장실증시험을 통하여 국내환경에 적합한 차량과 신호간 EMI/EMC 인터페이스에 대한 적정한 기준치가 제시되어야 할 것으로 사료되며 아래 그림은 본 연구에 대한 연구수행 전략 및 방법론에 대하여 나타내었다.

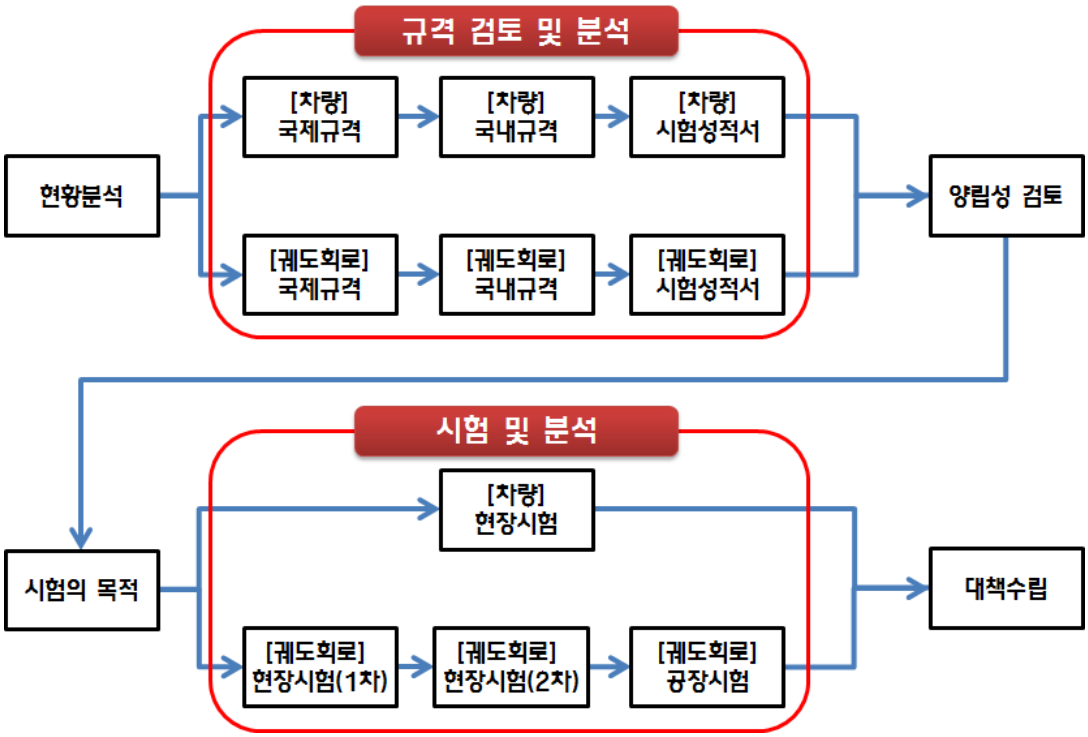



그림 65 연구수행 전략 및 방법론

## 2절 KTX-산천 전자파 특성분석

### 1. 철도차량(KTX-산천)용 EMI/EMC에 관한 국제규격 조사분석

가. 궤도회로와 관련된 철도차량용 EMI/EMC 국제규격은 KTX-산천이 운행하는 구간에 설치된 AF궤도회로(Audio Frequency Track Circuit)인 UM71(고속구간), TI-21(저속구간)과 관련된 내용으로 조사하였다.

(1) IEC 62236-3-1

제 6.1: 신호, 열차 무선 및 다른 철도 시스템들(차축카운터, 궤도회로, 기타 열차제어 시스템 등)은 주파수와 파형이 운용하는 국가들마다 다르다. 따라서, 방출 요구 사항은 신호 및 통신 시스템에서 사용되는 종류에 따라 규정되어야 한다.(IEC 62427 참조)

요구 사항은 접속 불량, 팬터그래프 바운싱, 삼궤조 레일 틈새 등으로 인한 과도효과, 열차 무선 및 신호 시스템 자체를 포함한 철도 차량 이외의 다른 원인을 고려할 것을 필요로 한다.

(2) IEC 62427

소개: 열차 검지 시스템과 철도 차량과의 호환성 문제는 유럽 철도 차량의 상호 수용에 중요 장애물이다. 불행하게도 모든 국가에 유효한 간섭의 최고 레벨에 대한 일반적인 규정을 설정할 수 없다. 이러한 이유는 유럽에 설치된 철도 차량, 전원 공급과 귀선전류 시스템, 열차 검지시스템의 다양성 때문이다. 이 다양성이 특정 경로에 대해 불필요하게 제한 사항을 피할 수 있게 철도 차량과 열차 검지 시스템 간의 호환성 문제를 고려하게 만든다.

호환성은 물리적, 전자적 모두 고려하여 결정된다. EMC와 관련하여 간섭을 허용하는 최대 레벨의 일반적인 값이 필요하지는 않지만, 편리한 방법을 위해 특정 경로에 대한 간섭을 허용하는 레벨을 지정한다.

(3) CLC/TR 50507

유럽(프랑스)은 50Hz의 전원주파수를 사용하므로, UM71의 경우 60Hz의 전원주파수를 사용하는 한국에 도입 당시 아래 표와 같이 주파수가 변경 되어 도입되었다.

표 30 프랑스와 한국의 UM71 사용주파수 비교

| Type | Operating Frequency | |
|---|---|---|
| UM71 | 프랑스 | 한국 |
| | 1700Hz | 2040Hz |
| | 2000Hz | 2400Hz |
| | 2300Hz | 2760Hz |
| | 2600Hz | 3120Hz |

반면, TI-21의 경우 표 31와 같이 주파수 변경 없이 유럽과 동일한 주파수를 사용한다. 그 결과, 현재 KTX-산천의 33차고조파(1980Hz)가 TI-21 AF 궤도회로의 C-Type Low frequency(1979Hz)와 간섭현상이 발생되어, 그 원인 규명 및 차량의 고조파 저감 대책 필요하다.

표 31 한국의 TI-21 사용주파수

| Type | Track circuit Frequency code | Nominal frequency | Operating Frequency | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Lower frequency | Upper frequency |
| TI-21 | A | 1699Hz | 1682Hz | 1716Hz |
| | B | 2296Hz | 2279Hz | 2313Hz |
| | C | 1996Hz | 1979Hz | 2013Hz |
| | D | 2593Hz | 2576Hz | 2610Hz |
| | E | 1549Hz | 1532Hz | 1566Hz |
| | F | 2146Hz | 2129Hz | 2163Hz |
| | G | 1848Hz | 1831Hz | 1865Hz |
| | H | 2445Hz | 2428Hz | 2462Hz |

표 32 궤도회로의 종류

**Table 1 – Types of track circuit equipment** *(continued)*

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FR 프랑스 | SNCF/IG.SF | 50 Hz | CSEE/Transport- Alstom - C.F.S.W - Mors - Saxby | 50 Hz | See A.6 (Cf Gabarits) | 1,5 kV DC | Interoperable (conv & detour) | |
| | | 83 Hz | CSEE/Transport- Alstom - Aster - C.F.S.W - Mors -Saxby | 83 Hz | | 25 kV AC | | |
| | | UM71C | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | 1,5 kV DC, 25 kV AC | | |
| | SNCF/IG.SF | UM71 CB | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | | | Preferred |
| | | UM 71 C TVM PSE | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | 25 kV AC | Interoperable (HS) | |
| | SNCF/IG.SF | UM71 C TVM 300 | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | 1,5 kV DC, 25 kV AC | | |
| | | UM 71 C TVM 430 | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | 25 kV AC | | |
| | | UM71 C TVM SEI | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | | | Preferred |
| | SNCF/IG.SF | HVI Track Circuit | Alstom | 3 Hz pulse rate | No | 1,5 kV DC, 25 kV AC | Interoperable (conv & detour) | Preferred |
| | | 300/850 Hz | CSEE/Transport | 300, 850 Hz | | 25 kV AC | | |
| | SNCF/IG.SF | DC | CSEE/Transport | DC pulsed at 175 Hz | No | | no | |
| | | DC | CSEE/Transport- Silec Thomson - C.F.S.W - | DC | | | | |
| FR | RATP | CVCM | Alstom | 8 200, 8 600, 9 200, 10 000, 10 600, 11 000, 12 300 Hz - FSK ± 75 Hz | No | | Suburban railway | |

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NL | ProRail BV | | GRS | 50 Hz | Yes | | No | |
| | | Overlay OTC45 10kHz | | 10 kHz | Not applicable | Diesel, 1,5 kV DC | Interoperable | |
| | | Low frequency track circuit 50 Hz | GRS | 5 Hz | See A.9 | Diesel | | |
| | | Low frequency track circuit 75 Hz with ATP codes | GRS | 75 Hz | See A.9 (Regards Train Detection as well as ATP) | Diesel; 1,5 kV DC | | Preferred |
| | | HVI Impulse Track Circuit | Alstom | 10 Hz pulse rate | No | Diesel; 1,5 kV DC; 15 kV 16,7 Hz | | Preferred |
| | | FTGS 46 | Siemens | 4,75 - 6,25 kHz | See A.9 | 1,5 kV DC; 15 kV 16,7 Hz | | Preferred |
| | | FTGS 917 | Siemens | 9,5 – 16,5 kHz | | | | Preferred |
| | | Jade AF – Havenspoorlijn (Jointless Track Circuit) | Alstom | 2 206, 2 500, 2 841, 3 157 Hz FSK f0 ± 40 Hz | | Diesel; 25 kV 50 Hz | | Preferred |
| | | Jade HF – Havenspoorlijn (Jointless Track Circuit) | Alstom | 49 082, 67 232 Hz f0 ± 500 Hz | | | | Preferred |
| | | Jade LF – A15 Tracé Havenspoorlijn (Jointless Track Circuit) | Alstom | f0 = 1 600, 1 900, 2 200, 2 500 Hz | | Diesel; 1 500 V DC, 25 kV 50 Hz | | Preferred |
| NO<br>노르웨이 | Jernbaneverket | FTGS | Siemens | 4 750...6 250 Hz, 9 500...16 500 Hz | See A.10 | 15 kV | Interoperable | Preferred |
| | | TI 21 | Bombardier | 1 532 - 2 610 Hz | | | | Preferred |
| | | Motor relay VT1 | Westinghouse | 95, 105 Hz | | | | |
| | | Motor relay JRV | Bombardier | 95, 105 Hz | | | | |
| | | DC JRK | Bombardier | DC | | Diesel | | |

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PL | PKP PLK S.A | OTZ | Bombardier-ZWUS | 50 Hz | See A.11 | | Interoperable | |
| | | OTS | Bombardier-ZWUS | 50 Hz | | | | |
| | | OTL | Bombardier-ZWUS | 50 Hz | | | | |
| | | SOT-1 | Bombardier-ZWUS | 1 580, 1 860, 2 170, 2 470, 2 800 Hz | | | | |
| | | SOT-2 | Bombardier-ZWUS | 7 000, 8 000, 10 000, 12 150, 14 600, 16 700 Hz | | | | |
| | | EOC | Bombardier-ZWUS | 26 150, 28 700, 31 500 Hz | | | | |
| ES<br>에스파냐 | ADIF | 50 Hz | Alcatel | 50 Hz | See A.12 | 3 kV DC | Interoperable (conv.) | |
| | | Short SJ-24S | Alstom | 800 Hz | | | | |
| | | 50 Hz | Alstom (GRS) | 50 Hz | | | | |
| | | HVI (High Voltage Impulse) | Alstom (Jeumont & Schneider) | 10 Hz | | | | |
| | | TI 21 I / M | Bombardier | 1,5-2,6 / 5-9 kHz | | 3 kV DC 25 kV 50 Hz | Interoperable (HS & conv.) | |
| | | 50 Hz | Bombardier | 50 Hz | | 3 kV DC | Interoperable (conv.) | |
| | | UM 71/2000 | CSEE/Transport | 1 700 - 2 600 Hz | | 25 kV 50 Hz | Interoperable (HS) | |
| | | 50 Hz | Dimetronic | 50 Hz | | 3 kV DC | Interoperable (conv.) | |
| | | FS 2000/3000/5000 | Dimetronic | 1 700-2 600 / 4 000 -7 500 / 4 080 - 6 000 Hz | | 3 kV DC 25 kV 50 Hz | Interoperable (HS & conv.) | |
| | | Short ME 3015 / 3047 / 3091 | Electrans | 15 / 14,5 / 11-19 kHz | | 3 kV DC | Interoperable (conv.) | |
| | | 50 Hz | Enyse (SICE) | 50 Hz | | 3 kV DC | | |
| | | 50 Hz | Siemens | 50 Hz | | 3 kV DC | | |
| | | FTGS 46 / 917 | Siemens | 4-6 / 9-17 kHz | | 3 kV DC 25 kV 50 Hz | Interoperable (HS & conv.) | |

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UK<br>영국 | Network Rail | 50 Hz Double Rail | Various | 50 Hz | See A.15 | 750 V | Interoperable | Preferred |
| | | 50 Hz Single Rail | Various | 50 Hz | | | | |
| | | Reed on the AC Railway | GEC (Alstom) | 363 Hz - 423 Hz | See A.15 (Single Rail only) | | | |
| | | Reed on the DC Railway | GEC (Alstom) | 363 - 423 Hz | See A.15 (Double Rail only) | 750 V | | |
| | | TI 21 | Bombardier | 1 532 - 2 610 Hz | See A.15 (TI 21-1 Only) | 25 kV, 750 V | | Preferred |
| | | HVI Track Circuit | Alstom | 3 Hz pulse rate | See A.15 (NCO.RTV.600/UK only) | 25 kV, 750 V | | |
| | | FS 2600 | Westinghouse | 371,8 - 525,8 Hz | See A.15 (Double Rail only) | 750 V | | |
| | | DC (non AC immune) | Various | DC | No | Diesel | | |
| | | DC (AC immune) | Various | DC | See A.15 | 25 kV | | |
| | | Aster | | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | No | Diesel | | |
| | | WR Quick Release | Various | 50 Hz | | | | |
| | | Lucas Pulsing | Girling Ltd | 14 pulses/sec, 0,5 ms | | | | |
| | | UM71 CTVM430 | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | See A.15 (Cf Gabarits) | 25 kV AC | Interoperable (channel tunnel) | Preferred |

## 2. KTX-산천 전자파/고조파 특성분석

### 가. 컨버터 제어 방법

(1) KTX-산천 주전력 변환장치의 제어기능은 AC25,000V를 입력받아 전원전압과 동상인 전류가 흐르도록 역률제어를 수행하면서 직류전압 DC2,800V를 생성하는 PWM 컨버터의 제어와 이 직류전압을 이용하여 두 대의 견인전동기에 교류전압을 인가하여 추진력을 제어하는 인버터의 견인력제어 기능으로 이루어진다.

PWM 컨버터는 전원투입 시 다이오드 정류기로 동작하여 충전회로를 통해 DC 링크 커패시터를 일정 전압까지 충전시킨다. 충전이 완료되면 컨버터는 PWM 스위칭을 시작하여 2,800V를 출력하고 직류 전압이 확립되면 인버터는 기관사의 운전석 마스콘(Mascon) 명령에 따라 견인력 제어를 수행한다.

PWM 컨버터는 직류전압제어가 가능하며 입력 역률을 전압과 전류의 위상이 같은 단위역률에 근접하도록 제어하고 회생 제동시에 에너지를 입력 측으로 별도의 부가 회로 없이 환원할 수 있다. 또한 입력전류를 정현파 형태로 할 수 있으며 병렬로 연결된 컨버터의 스위칭 위상 조절을 통해 입력 측 고조파 성분을 줄일 수 있다.

주전력 변환장치의 컨버터 회로는 아래 그림에서와 같이 단상 컨버터를 2대 병렬 운전하는 구조로 되어 있다.

컨버터 병렬운전 시 각 컨버터 위상차를 두고 제어하는 기법을 사용한다. 이와 같이 변조하면 전류의 기본파 성분은 서로 더해지고 전류의 리플성분은 서로 상쇄되어 전원 측 전류파형은 더욱 정현파에 가깝게 된다.

컨버터 m대를 병렬운전 시에 각 컨버터를 스위칭 주기 $2T_s$ 내에서 스위칭 주기 $2T_s/2m$ 만큼의 위상차를 두어 스위칭을 수행한다. 만약 2대의 경우는 스위칭주기 $T_s/2$ 만큼의 위상차를 두어 수행한다.

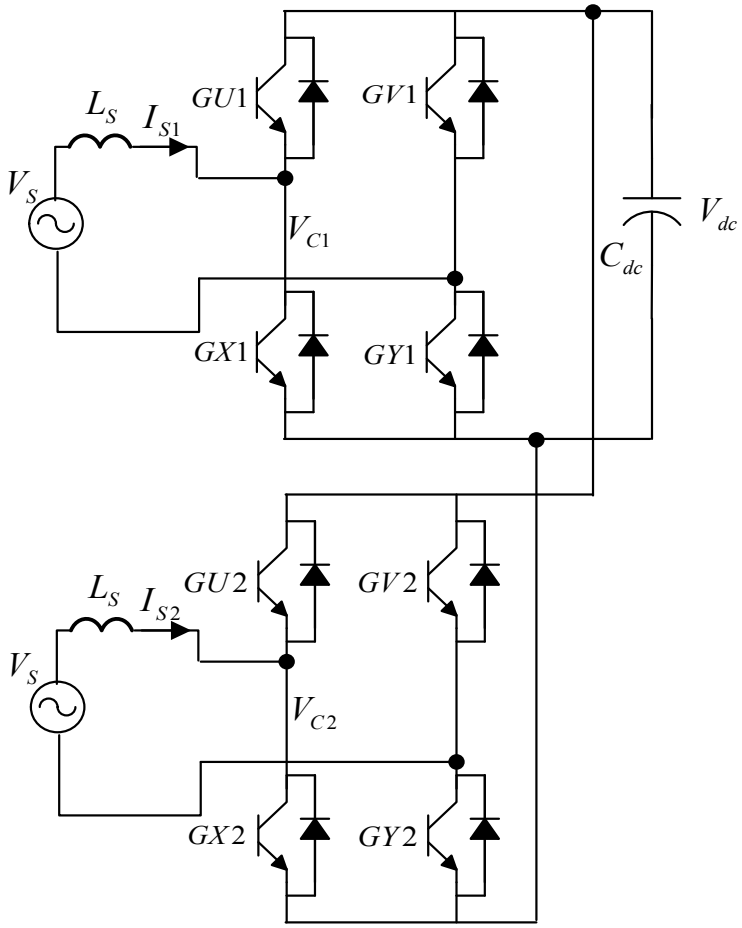



그림 66 게이팅 개략도

위 그림은 컨버터 2대 병렬 운전 시 게이팅 개략도를 나타내고 있다. PWM 제어주기 Ts 에 대하여 $T_s/2$ 의 시간지연을 두고 1군 컨버터와 2군 컨버터에 대하여 게이팅을 할 때에 1군의 스위칭 스테이트(State) 와 1군의 스테이트는 $T_s/2$ 의 시간지연을 갖도록 제어를 한다. 그러면 GU1과 GV1의 게이팅에 의한 차이의 전압에 의하여 $i_{S1}$의 전류가 흐르게 된다. 마찬가지로 2군에서도 GU2와 GV2의 게이팅에 의한  전압에 의하여 $i_{S2}$의 전류가 흐르게 된다. 결국 1군과 2군의 전류가 90°의 위상차를 가지고 흐르게 되므로 변압기의 1차 측에서는 정현파에 가까운 전류가 흐르게 된다.

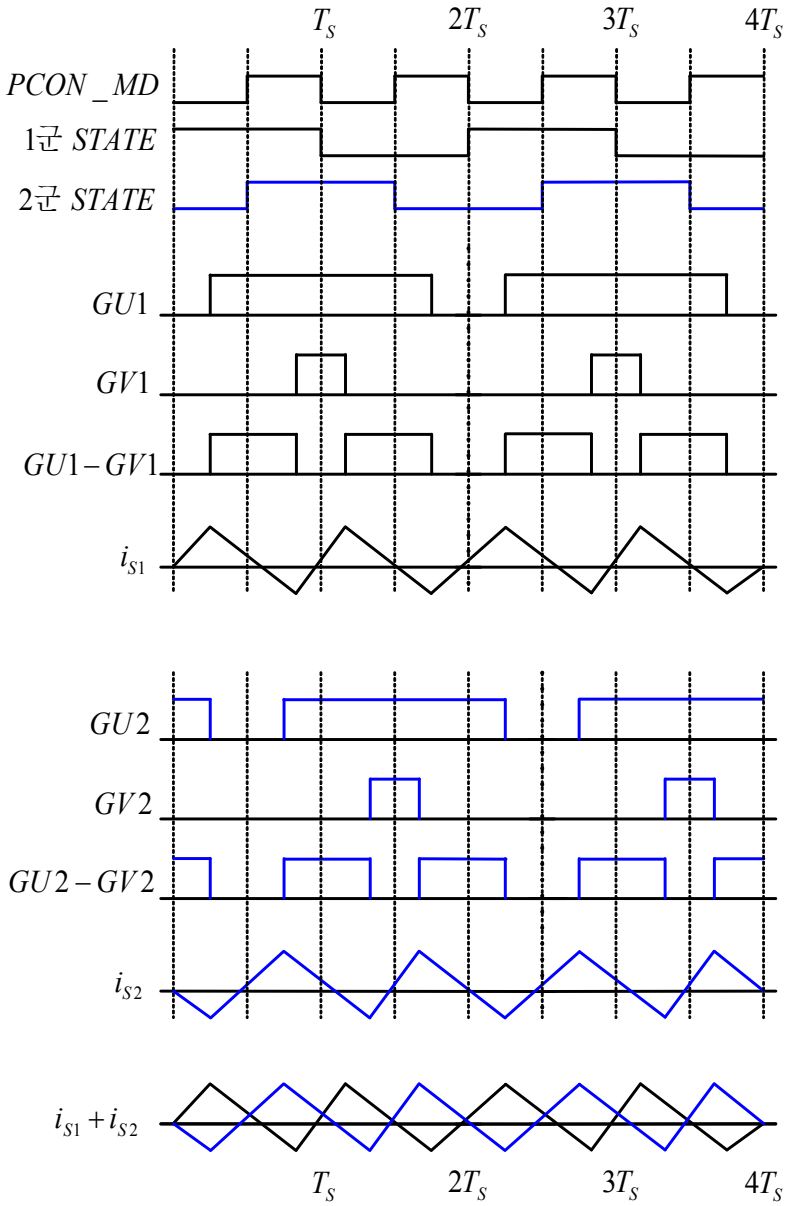



그림 67 게이팅 차이의 전압에 따른 전류

나. 컨버터 입력측 고조파 전류 분석 시뮬레이션

컨버터 입력전류 즉 1차 측 변압기에 흐르는 전류에 대하여 고조파 전류 스펙트럼을 분석하였다. 고속선 궤도에 설치된 UM71에 대하여는 간섭을 발생시키는 고조파 전류는 없는 것으로 시험을 통하여 입증이 되었다. 그러나 저속선 궤도에 설치된 TI-21 신호 장치에 대하여 1980Hz 즉 33차 고조파가 신호 장치에 영향을 주는 것으로 분석이 되었다. PWM 컨버터의 스위칭 주파수를 변경하면서 고조파 전류 스펙트럼 분석을 하고자 한다.

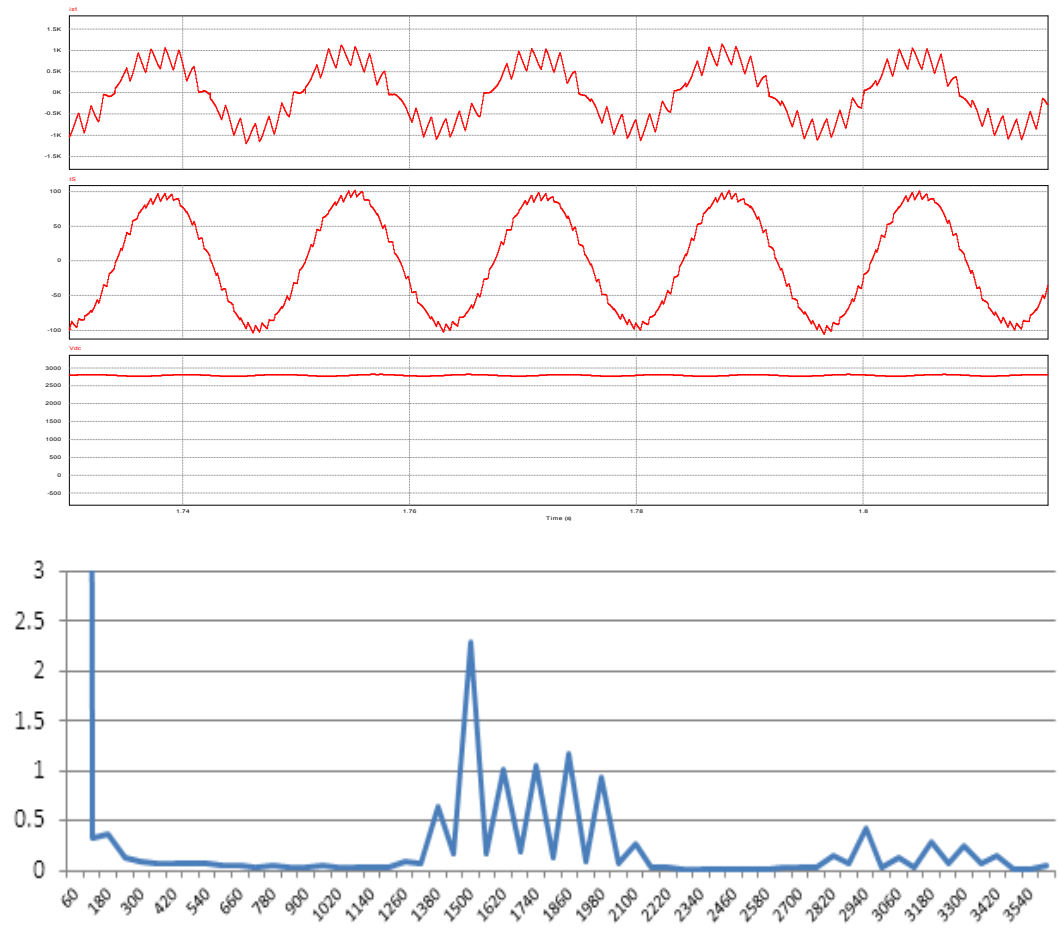


그림 68 7펄스시 고조파 전류 스펙트럼 분석

| 주파수 | 1380 | 1500 | 1620 | 1740 | 1860 | 1980 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 전류크기 | 0.642 | 2.292 | 1.006 | 1.064 | 1.174 | 0.938 |
| | | | | 1699(A)<br>1680~1683<br>1715~1718 | | 1996(C)<br>1977~1980<br>2012~2015 |

위의 그림과 표는 컨버터의 스위칭 주파수를 7펄스 420Hz 일대의 고조파 전류 분석이다. 고조파 전류가 제일 큰 1500Hz 및 1860Hz는 TI-21에는 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 그러나 1740Hz의 주파수가 1682~1716Hz 대역에서 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 1980Hz의 주파수가 1979~2013Hz 대역에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

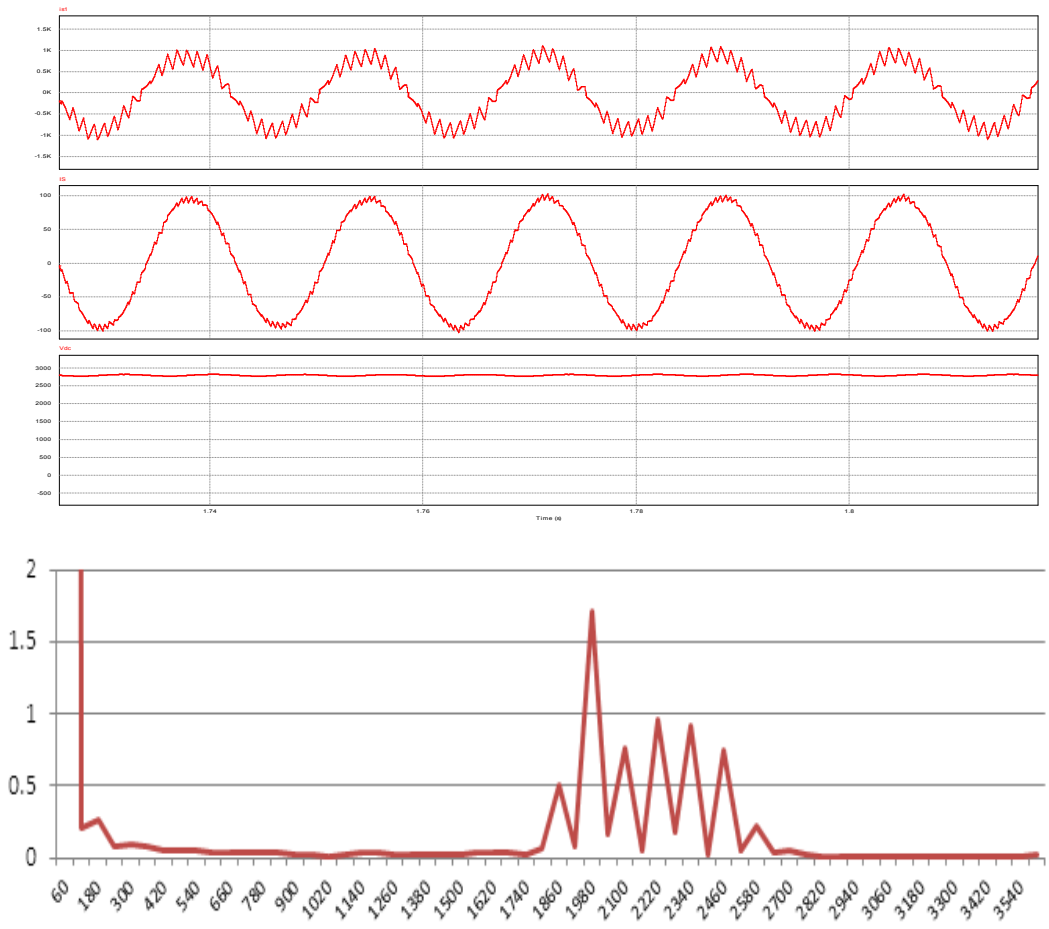



그림 69 9펄스시 고조파 전류 스펙트럼 분석>

| 주파수 | 1860 | 1980 | 2100 | 2220 | 2340 | 2460 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 전류크기 | 0.504 | 1.723 | 0.761 | 0.955 | 0.921 | 0.742 |
| | | 1996(C)<br>1977~1980<br>2012~2015 | | | | |

위의 그림과 표는 현재 컨버터에서 사용하는 9펄스 540Hz 일대의 고조파 전류 분석이다. 1980Hz에서 약 1.723A 의 고조파 전류가 신호장치에 영향을 주는 것으로 판단된다.

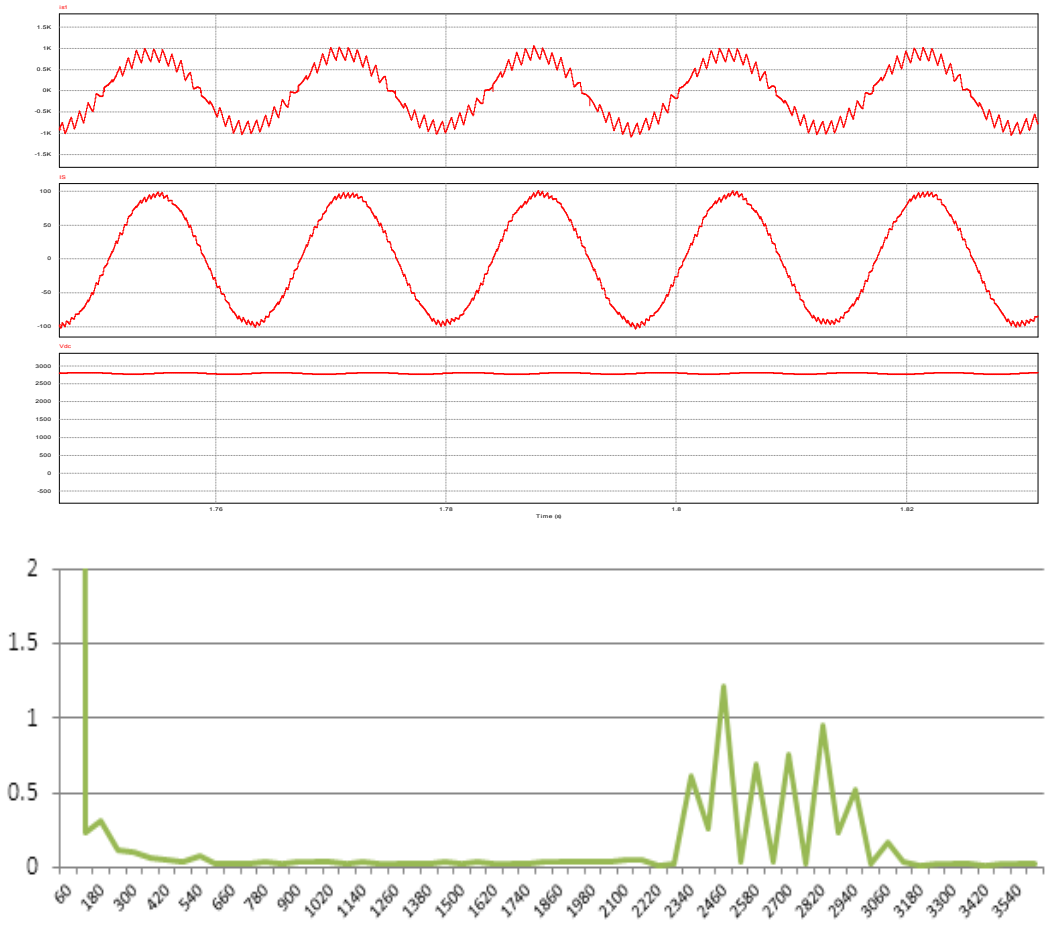



그림 70 11펄스시 고조파 전류 스펙트럼 분석>

| 차량주파수 [Hz] | 1980 | 2340 | 2460 | 2580 | 2700 | 2820 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 전류크기 [A] | 0.033 | 0.612 | 1.21 | 0.684 | 0.757 | 0.946 |
| 신호주파수 [Hz] | 1996(C)<br>1977~1980<br>2012~2015 | 2296(B)<br>2277~2280<br>2312~2315 | | 2593(D)<br>2574~2577<br>2609~2612 | | |

위의 그림과 표는 컨버터의 스위칭 주파수를 11펄스 660Hz 일대의 고조파 전류 분석이다. 9펄스에서 가장 큰 주파수대인 1980Hz의 고조파전류가 33mA로 감소하는 효과를 나타내고 있다. 이 크기는 TI-21에는 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 고조파 전류가 제일 큰 2460Hz는 TI-21에는 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 그러나 2340Hz의 주파수가 2279~2313Hz 대역에서 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 2580Hz의 주파수가 2576~2610Hz 대역에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

다. 컨버터 스택 열용량 분석

컨버터의 스위칭 주파수 변경에 따른 컨버터 스택 발열량에 대하여 아래 표에 나타내었다. 540Hz 일때 컨버터 스택의 스택당 발열량은 최대 7684W 이다. 스위칭 주파수를 7펄스 420Hz 로 적용하면 열용량은 6662W로 설계치 7684W내에 있으므로 열적으로는 문제가 발생치 않는다. 스위칭 주파수를 11펄스로 적용시 최대 발열량은 8704W로 설계치 7684W를 벗어난다. 열용량은 만족하면서 11펄스 구동을 위해서는 컨버터의 정격전류치를 80%로 낮추면 7582W로 설계치 7684W 내에 있으므로 안정적으로 동작시킬 수 있을 것으로 판단된다.

표 33 스위칭주파수에 따른 컨버터 스택 발열량 비교표

| 스위칭주파수 | | 540Hz | | 420Hz | | 660Hz | | 660Hz | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PWM 펄스수량 | | 9펄스 | | 7펄스 | | 11펄스 | | 11펄스 | |
| 전류정격 | | 100% | | 100% | | 100% | | 80% | |
| 발열량(주1) | | 최대 | 평균 | 최대 | 평균 | 최대 | 평균 | 최대 | 평균 |
| 컨버터 | IGBT | 2274 | 1535 | 1978 | 1328 | 2570 | 1742 | 2245 | 1514 |
| | Diode | 1568 | 1062 | 1353 | 912 | 1782 | 1212 | 1546 | 1047 |
| | 암당 | 3842 | 2597 | 3331 | 2240 | 4352 | 2954 | 3791 | 2561 |
| | 스택당 | 7684 | 5194 | 6662 | 4480 | 8704 | 5908 | 7582 | 5122 |

라. 변압기 손실 분석

컨버터의 스위칭 주파수 변경이 변압기에 미치는 영향에 대하여 분석한다. 우선 모터 블록의 스위칭 주파수 변경은 K-factor를 변화시키며, 이는 변압기의 손실에 영향을 끼치게 된다. 스위칭 주파수에 따른 k-factor를 계산하면 아래 표와 같이 계산된다.

표 34 스위칭 주파수에 따른 K-factor

| | 7펄스(420Hz) | 9펄스(540hz) | 11펄스(660hz) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| *K-factor | 5.73 | 5.51 | 5.33 | Eddy loss 에 영향 |
| | 1.15 | 1.09 | 1.07 | Stray loss 에 영향 |

** K-factor : Harmonic loss factor 라고도 하며, 국제규격 IEEE, IEC에서 고조파 전류가 변압기에 유입될 때 변압기의 증가하는 손실을 반영하기 위해서 eddy-current losses 및 stray losses에 곱해지는 factor임.*

7펄스 시 K-factor는 9펄스에 비하여 증가하고 11펄스는 감소하는 경향을 나타낸다. K-factor 변경에 대해서 7펄스를 기존의 9펄스와 비교하여 변압기의 손실을 재계산하면 아래 표와 같이 계산된다.

9펄스와 비교하여 7펄스는 약 2% 증가한 327kW로 변압기의 손실에 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 11펄스는 손실이 감소할 것으로 예상되어 계산하지 않는다.

표 35 펄스별 손실계산

| 7펄스 | 9펄스 | Base |
|---|---|---|
| 327kW | 320kW | 6,200kVA |

# 3절 AF궤도회로 전자파 특성분석

## 1. 철도신호(궤도회로) EMI/EMC 국제규격분석

### 가. 일반사항(KS C IEC 62236-1)

(1) 적용 범위

(가) 이 규격에서는 전체 시리즈의 구성과 목차를 기술하고 있다.

- 부속서 A는 전기 자기 적합성(EMC) 거동에 영향을 미치는 철도 시스템의 특성을 설명한다.
- 부속서 B는 철도 기반 시설과 열차 간의 EMC를 달성하기 위한 관리 절차를 규정한다.
- 전체 규격 시리즈의 목적은 철도 제품 및 철도 설비에 대한 EM 방출 및 내성 요구사항을 규정하는 것이다.
- 시리즈에서 제외된 현상은 핵전자파 펄스, 비정상 동작 조건, 직접 낙뢰의 유도 효과이다.
- 철도 경계에서 방출 한계값은 철도 경계 내의 의도성 송신기에 적용하지 않는다.
- 안전 관련 사항은 이 규격 시리즈에서 다루지 않는다.
- 이 규격에서는 비전리 방사선의 생물학적 영향과 심장 박동기와 같은 의료 보조 장비는 고려하지 않는다.

(나) 이 규격은 다음의 개별 규격을 참조하여 보완하고 있다.

- KS C IEC 62236－2 철도용 전기 자기 적합성－제2부 : 전체 철도 시스템에서 외부로 나가는 방출
- KS C IEC 62236－3－1 철도용 전기 자기 적합성－제3-1부 : 철도 차량－열차 및 공차
- KS C IEC 62236－3－2 철도용 전기 자기 적합성－제3-2부 : 철도 차량－장치
- KS C IEC 62236－4 철도용 전기 자기 적합성－제4부 : 신호 처리 및 통신 장치의 방출 및 내성
- KS C IEC 62236－5 철도용 전기 자기 적합성－제5부 : 고정 전력 공급 설비와 장치의 방출 및 내성

(2) 인용 규격

(가) 다음의 인용 규격은 이 규격을 적용하는데 필수적인 문서이다. 날짜가 기입된 인용 규격의 경우에는, 언급한 판만을 적용한다. 날짜가 기입되지 않은 인용 규격의 경우, 관련 규격의 최신판(수정판 포함)을 적용한다.

- KS C IEC 60050－161 국제 전기 용어－제161장 : 전기 자기 적합성
- KS C IEC 61000－6－2 전기 자기 적합성(EMC)－제6부 : 일반 기준－제2절 : 산업용 환경에서 사용하는 기기의 전기 자기 내성 기준

(3) 정의

(가) 이 규격에서 적용하고 있는 EMC 관련 용어와 관련 현상에 대한 용어는 KS C IEC 60050－161에서 규정하고 있다. 이 규격의 다른 부에 특정한 정의가 포함될 수 있다.

(4) 성능 기준

- 이 절은 KS C IEC 61000-6-2에 근거하고 있다. 이 규격의 범위에 속하는 장치는 매우 다양하기 때문에 내성 시험 결과를 평가할 수 있는 정확한 기준을 정의하기가 어렵다.
- 이 규격에서 정의하는 시험을 적용한 결과, 장치가 위험하게 되거나 불안전하게 되면, 그 장치는 시험에 불합격한 것으로 간주한다.
- EMC 시험 중에 또는 시험이 끝난 후 제조자는 다음의 기준에 근거하여 기능 설명과 성능 기준을 정의하고 시험 성적서에 기록해야 한다.
  - 성능 기준 A : 시험 중과 시험 후에도 본래의 의도된 용도대로 장치를 계속 조작할 수 있어야 한다. 장치를 본래의 용도대로 사용했을 때 제조자가 규정한 성능 수준 이하로 성능이 저하되거나 기능이 손실되는 것은 허용되지 않는다. 성능 수준은 허용 가능한 성능 손실로 대체할 수 있다. 제조자가 최소 성능 수준 또는 허용 가능한 성능 손실을 규정하지 않은 경우, 이를 제품 설명이나 문서 그리고 이후 본래의 용도로 사용한 경우에 장치에서 사용자가 합리적으로 예상할 수 있는 것으로부터 유도할 수 있다.
  - 성능 기준 B : 시험 후에도 본래의 용도대로 장치를 계속 조작할 수 있어야 한다. 장치를 본래의 용도대로 사용했을 때 제조자가 규정한 성능 수준 이하로 성능이 저하되거나 기능이 손실되는 것은 허용되지 않는다. 성능 수준은 허용 가능한 성능 손실로 대체할 수 있다. 그러나 시험 중에 발생한 성능 저하는 허용된다. 실제 동작 상태나 저장된 데이터의 변화는 허용되지 않는다. 제조자가 최소 성능 수준 또는 허용 가능한 성능 손실을 규정하지 않은 경우, 이를 제품 설명이나 문서 그리고 이후 본래의 용도로 사용한 경우, 장치에서 사용자가 합리적으로 예상할 수 있는 것으로부터 유도할 수 있다.
  - 성능 기준 C : 기능이 자체 회복되거나 제어 장치를 동작시켜 복구할 수 있다면, 일시적인 기능 손실은 허용된다.

(5) EMC의 관리

- 철도는 전자파 에너지원이 움직이는 복잡한 설비로, KS C IEC 62236 시리즈에 EMC 표준을 적용한다고 해서 만족스러운 성능이 보증되는 것은 아니다. 장치가 제한 공간에 위치하거나 기존의 어셈블리에 추가되어야 하는 경우가 있을 수 있으며, 이때 비정상적으로 가혹한 환경을 생성할 수 있다. EMC 관리를 위해서는 공식적인 계획에서 모든 경우를 고려해야 한다. 이러한 계획은 가능한 한 프로젝트의 초기 단계에서 수립되어야 하며, 부속서 B에서 이러한 관리 계획을 자세하게 설명하고 있다.
- 부속서 B는 적용 범위가 제한된 규정이다. 단, 이 적용 범위를 벗어난 동작 시 관리 계획의 사용이 유익한지를 고려해야 한다.

나. 전체 철도 시스템에서 외부로 나가는 방출(KS C IEC 62236-2)

(1) 적용 범위

- 이 규격은 도심지에서 이용하는 도시 차량 등 전체 철도 시스템에서 발생하는 방출 한계값을 설정하고, 방출을 검증하는 측정 방법을 설명하며, 가장 빈번하게 발생하는 전

자기장의 작도값(cartography value)을 제공한다.

- 이 개별 규정은 KS C IEC 62236－1의 일반 규정과 함께 사용해야 한다.
- 한계값은 (5)와 부속서 A에서 정의한 특정 측정점을 참조한다. 방출은 외부 전화된 철도 궤도의 중심선에서 10 m 떨어진 또는 변전소의 울타리에서 10 m 떨어진 수직면의 모든 지점에 존재하는 것으로 가정한다.
- 철도 위와 아래 구역도 전자파 방출에 의해 영향을 받을 수 있으므로, 특수한 경우를 개별적으로 고려해야 한다.
- 일반 산업 방출 표준 KS C IEC 61000－6－4[전기 자기 적합성(EMC)－제6부 : 일반 기준－제4절 : 산업용 환경에서 사용하는 기기의 전기 자기 장해 기준]에 부합하는 장치는 이 한계값에서 제외된다.

(2) 인용 규격

(가) 다음의 인용 규격은 이 규격을 적용하는데 있어 필수적인 규격이다. 날짜가 기입된 인용 규격의 경우에는, 언급한 판만을 적용한다. 날짜가 기입되지 않은 인용 규격의 경우, 인용 규격의 최신판(수정판 포함)을 적용한다.

- KS C IEC 62236－1 철도용 전기 자기 적합성－제1부 : 일반 사항
- KS C IEC 62236－3－1 철도용 전기 자기 적합성－제3－1부 : 철도 차량－열차 및 공차
- KS C CISPR 16(모든 부) 전기 자기 장해 및 내성 측정 장비 및 측정 방법
- KS C CISPR 18(모든 부) 전기 자기 적합성(EMC)－가공 전력선 및 고전압 설비의 전기 자기 장해 특성
- CISPR 22 정보 기기의 무선 방해 특성에 대한 측정 방법 및 한계

(3) 정의

(가) 이 규격에서는 KS C IEC 60050(국제 전기 기술 용어)의 정의와 함께 다음 용어의 정의를 적용한다.

(나) 장치(apparatus)

고정 철도 설비에 구현되는 고유 기능을 갖춘 전기 전자 제품

(다) 환경(environment)

시스템 거동에 영향을 줄 수 있고 시스템에 의해 영향을 받을 수 있는 주위 물체나 영역

(라) 외부 경계(external Interface)

어떤 시스템이 다른 시스템과 상호 작용하거나 어떤 시스템이 그 환경과 상호 작용하는 경계

(마) 변전소(railway substation)

주요 기능이 주공급 시스템의 전압, 경우에 따라, 주파수가 접촉선의 전압과 주파수로 변환되는 접촉선 시스템을 제공하는 설비

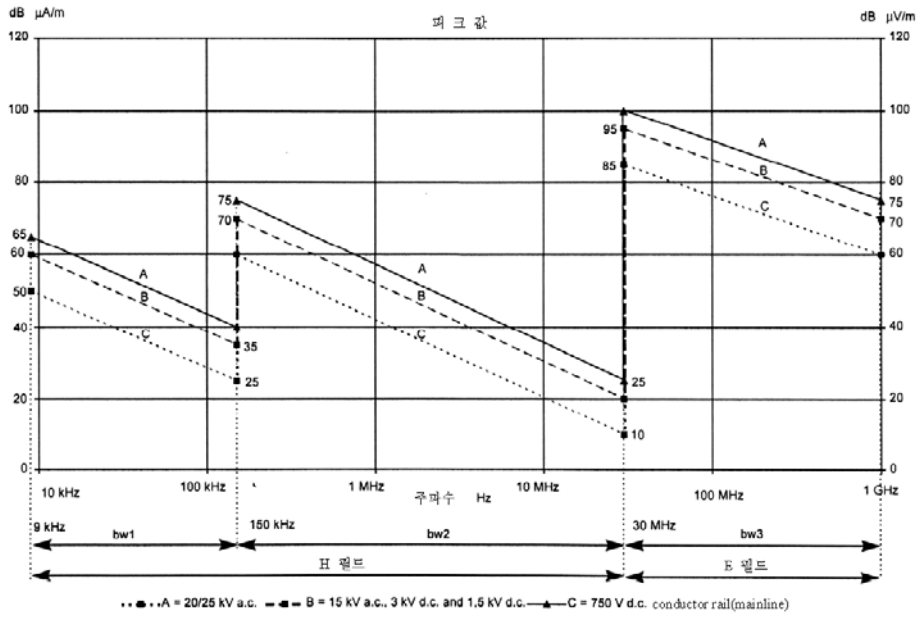
(바) 공급선로(railway supply lines)

철도에만 전력을 공급하고 철도 시스템 전압에서 통전되지 않는, 철도 경계 내에 있는 도체

(4) 방출 한계값

(가) 열차 운행 중에 개방된 철도 경로에서 발생하는 방출

- 9 kHz～1 GHz 주파수 범위의 방출 한계값이 다음 그림에 나타나 있으며, 그 측정 방법이 (5)에 정의되어 있다. 전화되지 않은 선로의 경우, 그 한계값은 750 V d.c.에 대해 주어진 값이다.
- 부속서 C는 각 전화 시스템의 기본 주파수에서 발생할 수 있는 대표적인 최대 전자기장의 값에 대한 유도값을 제공한다. 이 유도값은 기반 시설 관리자에게서 입수할 수 있는 기하학적 변수와 동작 변수에 따라 달라진다.
- 도시의 거리에서 운행하는 도시 차량의 경우, 750V d.c.의 제3레일에 대해 그림 71에 주어진 방출 한계값을 초과하지 않아야 한다.




비 고 1. 곡선의 불연속은 측정 수신기 대역폭의 변화로 인한 것이다. bw1 = 200 Hz, bw2 = 9 kHz, bw3 = 120 kHz

2. 철도 궤도에서 10 m 떨어진 값이다.

그림 71 9㎑~1㎓ 주파수 범위에서 방출 한계값

(나) 변전소에서 발생하는 무선 주파수 방출

- 부속서 A에서 정의한 방법에 따라 측정한, 변전소에서 외부환경으로 나가는 무선 주파수 잡음 방출은 그림 71의 한계값을 초과해서는 안 된다. 한계값은 준피크값으로 정의되며 대역폭은 KS C CISPR 16－1에서 사용된 값이다.

표 36 무선 주파수 별 대역폭

| 주파수 | 대역폭 |
|---|---|
| 150㎑ 이하 주파수 | 200Hz |
| 150㎑~30㎒ 주파수 | 9㎑ |
| 30㎒ 초과 주파수 | 120㎑ |

- 부속서 A에 정의된 10m 거리는 변전소 울타리에서 측정한다. 울타리가 없으면, 해당 장치에서 또는 둘러싸여 있는 경우 인클로저의 외부 표면에서부터 10m 떨어져 측정을 실시한다. 열차의 방출은 측정에는 포함되지 않는다.
-

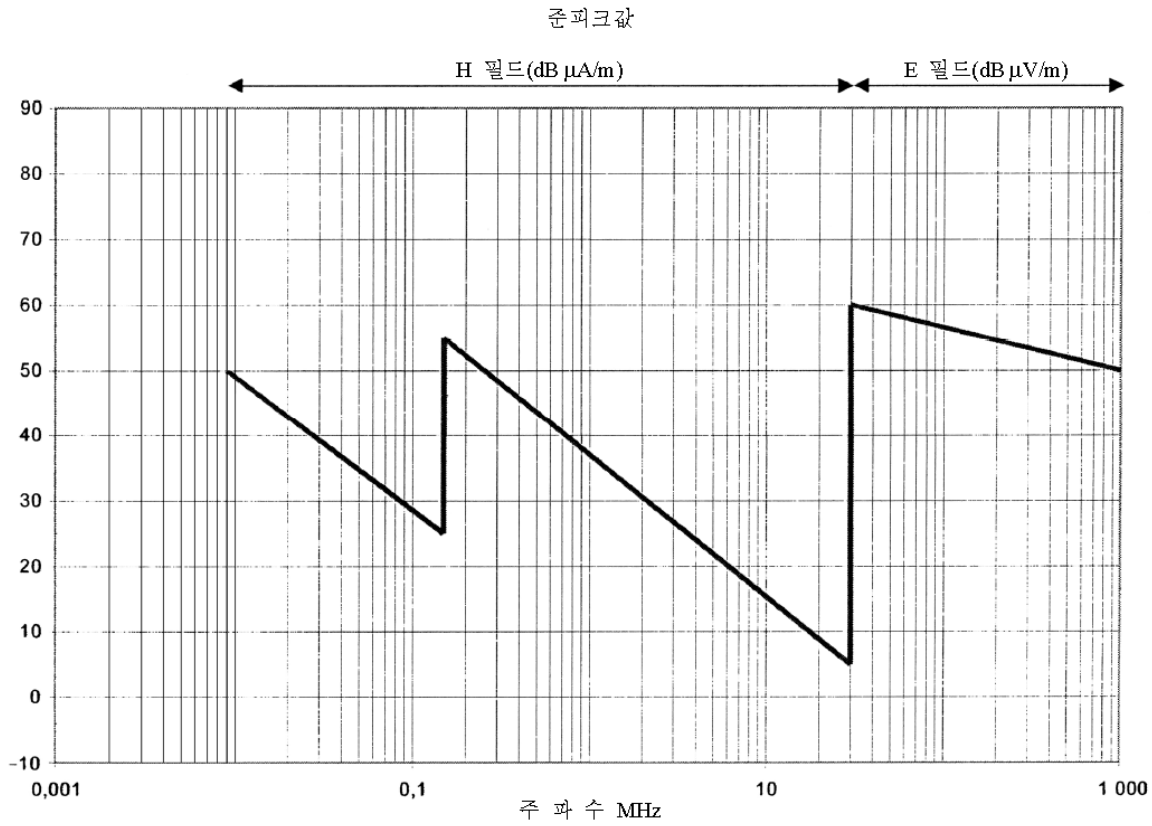



그림 72 변전소의 방출 한계값

(다) 무선 주파수에서 공급 선로에서 발생하는 방출

철도 시스템 전압에 있지 않고 철도 경계에 있는 공급선로는 KS C CISPR 18의 요구사항에 부합해야 한다. KS C CISPR 18-1은 일반 정보를 다루며, KS C CISPR 18-2는 보호 거리 개념을 도입하고, KS CISPR 18-3은 방출 완화에 관한 정보를 제공한다.

(5) 움직이는 열차에서 발생하는 방출의 측정 방법

측정 방법은 움직이는 차량이 있는 철도 시스템에 대해 KS C CISPR 16-1에서 채택한 방법을 사용한다. 이 측정 방법의 배경이 부속서 B에 명시되어 있다. 철도망에서 운행할 때 레일 차량에서 발생한 전자기장은 서로 다르게 설정된 주파수로 전자기장 세기 측정기를 사용하여 측정한다. 궤도에 수직하는 자기장의 수평 성분과 복사된 전기장의 수직 및 수평 성분(궤도에 평행)을 측정한다.

(가) 측정 변수

① 피크값 측정 방법을 이용한다. 선택한 주파수에서의 지속 기간은 정확한 판독값을 얻는데 있어 충분해야 한다. 지속 기간은 측정기의 함수로서 권장값은 50㎳이다.

② -6 dB에서 측정에 사용되는 주파수 대역과 대역폭은 KS C CISPR 16-1에 따른다.

표 37 측정에 사용되는 주파수 대역과 대역폭

| 주파수 대역 | 9~150㎑ | 0.15~30㎒ | 30~300㎒ | 300㎒~1㎓ |
|---|---|---|---|---|
| 대역폭 | 200㎐ | 9㎑ | 120㎑ | 120㎑ |

③ 안테나에 연결할 때, 일정한 정현파 전자기장 세기의 측정 오차는 KS C CISPR 16-1의 장비와 ±4.0㏈ 이상 차이가 나지 않아야 한다.

④ 견인 차량이 측정점을 통과할 때 잡음이 최대값에 도달하지 않을 수 있지만, 견인 차량이 장거리를 진행하면 최대값에 도달할 수 있다. 따라서, 측정기는 최대 잡음 레벨을 기록할 수 있도록 차량이 통과하기 전과 후에 충분한 지속 기간 동안 측정 가능 상태에 있어야 한다.

⑤ 주파수 범위를 포함하려면, 설계가 다른 안테나가 필요하다. 대표적인 장비를 아래에서 설명한다.

- 9㎑~30㎒의 경우, 루프 또는 프레임 안테나를 사용하여 자기장을 측정한다(그림 73 참조).
- 30~300㎒의 경우, 바이코니컬 안테나를 사용하여 전기장을 측정한다(그림 74 참조).
- 300㎒~1.0㎓의 경우, 대수 주기 안테나를 사용하여 전기장을 측정한다(그림 75 참조).

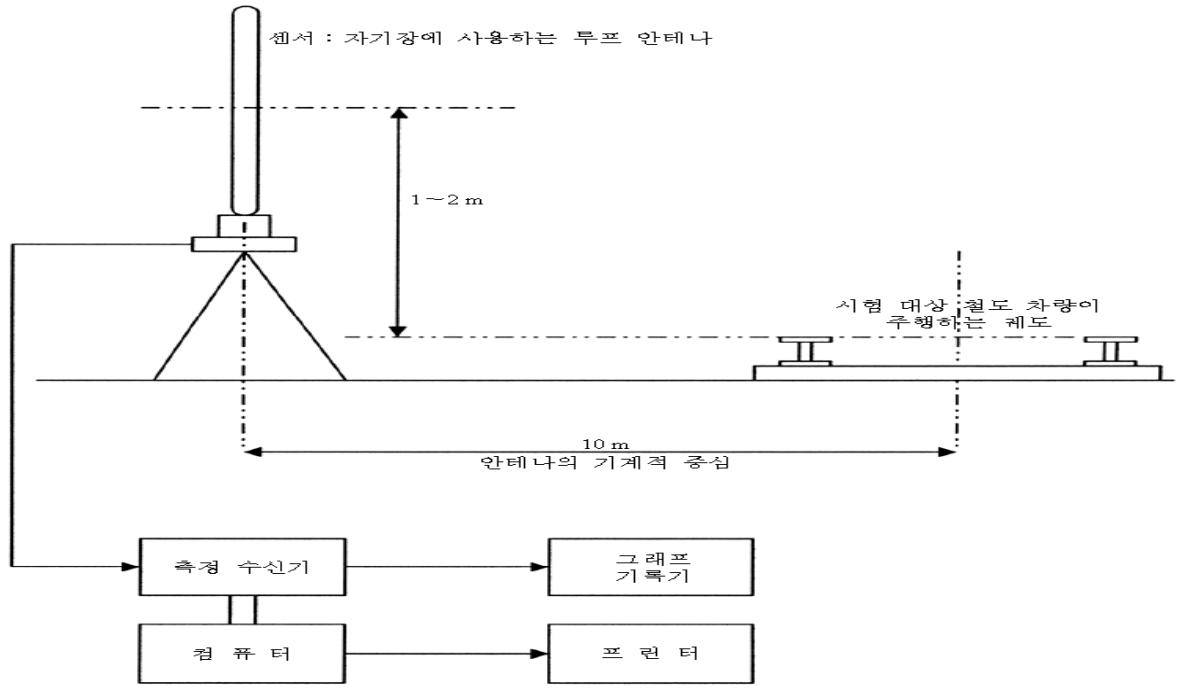



그림 73 9㎑~30㎒ 주파수 대역에서 자기장을 측정하기 위한 안테나의 위치

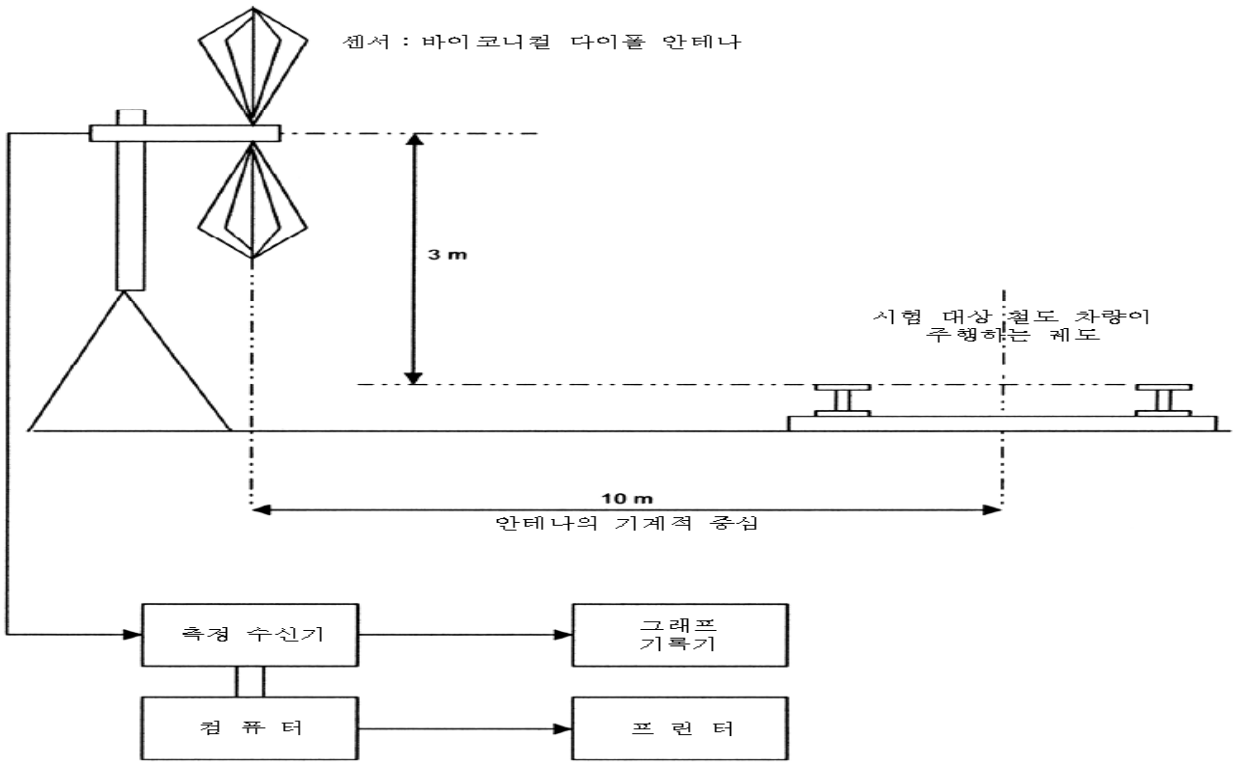



그림 74 30~300㎒ 주파수 대역에서 전기장을 측정하기 위한 안테나의 위치(수직 편파)

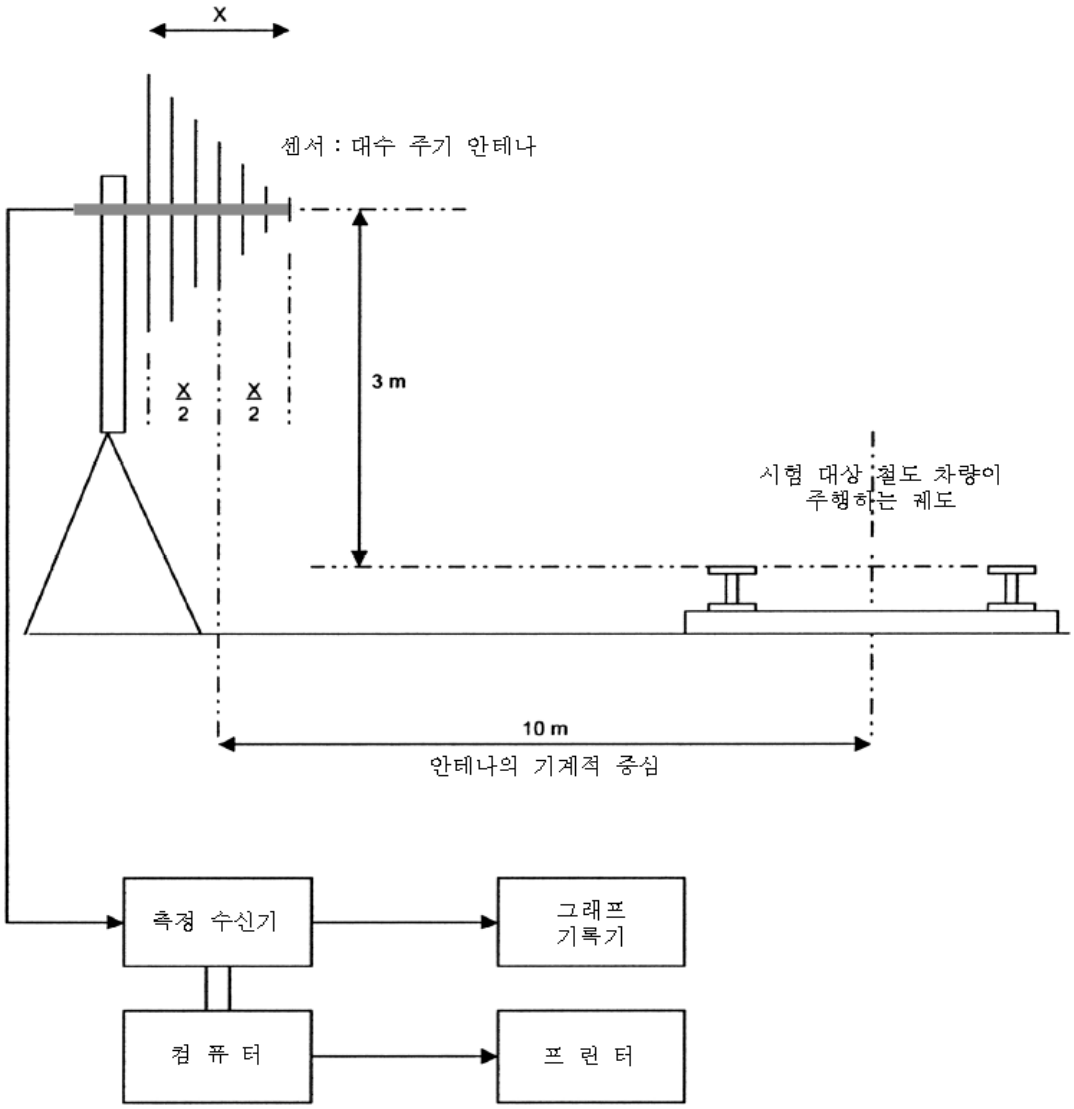



그림 75 300MHz~1GHz 주파수 대역에서 전기장을 측정하기 위한 안테나의 위치(수직 편파)

⑥ 차량이 움직이는 궤도의 중심선에서부터 측정 안테나의 표준 거리는 10m이다. 대수 주기 안테나의 경우, 해당 배열의 기계적 중심까지 10m 거리를 측정한다. 양쪽에 서로 다른 장치가 포함되어 있더라도, 대부분의 방출은 열차가 움직이면 측선 접점에서 발생하기 때문에, 차량의 양쪽을 검사하기 위해 시험을 두 번 실시할 필요는 없다. 안테나가 궤도 중심선에서 10m 떨어지지 않은 경우를 제외하고, 모든 권고 기준을 충족하는 현장에서 시험을 실시하는 경우, 그 결과는 다음 공식을 이용하여 10m에 해당하는 값으로 변환할 수 있다.

- $E_{10} = E_x + n \log_{10}(D/10)$
  - 여기에서 $E_{10}$ : 10m에서의 값
  - $E_x$ : $D$m에서 측정한 값
  - $n$ : 다음 표에서 선택한 계수

표 38 주파수 범위 별 n 값

| 주파수 범위 | *n* |
|---|---|
| 0.15~0.4㎒ | 1.8 |
| 0.4~1.6㎒ | 1.65 |
| 1.6~110㎒ | 1.2 |
| 110~1000㎒ | 1.0 |

(등가의 10 m 거리에서) 측정한 값은 해당 시스템 전압에 대해 그림 71에 표시된 한계값을 초과하지 않아야 한다. 철도의 물리적 배치로 인해 기준 거리를 완전히 이용할 수 없는 경우, 특정한 상황에 적합한 방법을 합의해야 한다. 예를 들어, 철도가 터널에 있는 경우, 터널의 벽에 소형 안테나를 사용할 수 있다. 이러한 경우, 측정 방법을 고려하여 한계값을 선택해야 한다.

⑦ 레일면 위의 높이는 루프 안테나의 경우 1.0～2.0m의 범위, 다이폴 또는 대수 주기 안테나의 경우는 2.5～3.5m 이내의 범위이어야 한다. 안테나의 지표면이 레일면과 0.5m 이상 차이가 난다면, 실제값을 시험 성적서에 기재해야 한다. 그림 75는 안테나의 위치와 수직 정렬을 나타낸다.

⑧ 고가 철도 시스템의 경우, 위에서 규정한 안테나 높이가 불가능하다면, 안테나 중심 높이는 레일면 대신에 지표면을 기준으로 할 수 있다. ⑥의 변환 공식을 사용해야 하며, 이 때 D는 열차와 안테나 사이의 경사 거리이다. 안테나의 위치에서 열차를 볼 수 있어야 하며, 안테나 축은 열차를 직접 가리키도록 들어 올려야 한다. 매우 높은 고가 철도의 경우에는 열차 중심선에서 30m의 측정 거리를 표준으로 한다. 시험 구성에 대한 자세한 내용을 시험 성적서에 기재한다.

⑨ 가공 전화 공급 선로가 있는 철도에서 시험을 실시하는 경우, 측정점은 가공 선로의 전주들 사이의 중간점이어야 하며 전차선이 불연속하는 점이어서는 안 된다. 무선 주파수에서 가공 시스템에 공진이 존재할 수 있으며, 공진으로 인해 측정을 위해 선택한 주파수 값을 바꿀 필요가 있다는 것을 인식하고 있어야 한다. 공진이 존재하면, 이를 시험 성적서에 기재해야 한다. 무선 주파수 방출은 철도 공급 시스템의 상태에 의해 영향을 받을 수 있다. 급전소 스위칭과 가설 공사는 시스템 반응에 영향을 주게 된다. 따라서, 시험 성적서에 시스템의 상태를 기록해야 하며, 가능한 경우 유사한 모든 시험을 동일한 작업일 내에 실시해야 한다. 철도에 궤로변 제3레일 전력 공급기가 있는 경우, 집전기 접점의 개폐와 관련된 과도 전자기장이 포함되지 않도록 시험 위치는 레일의 갭에서 최소한 100m 떨어져야 한다.

⑩ 시험 현장은 가공 구조물, 레일, 현수선에 영향을 받기 때문에 방해가 전혀 없는 현장의 정의와 일치하지 않는다. 그러나 가능한 경우, 안테나는 반사 물체에서 충분히 떨어뜨려 놓아야 한다. 가공 전력선이 인접해 있다면, 철도망의 일부가 아닌 것은

시험 현장에서 100m 이내에 있어야 한다.

⑪ 측정한 값은 다음과 같이 표현한다.

- 자기장은 dBμA/m
- 전기장은 dBμV/m

이 값은 해당 안테나 계수와 변환 인자를 사용하여 구한다.

⑫ 배경 잡음은 열차 영향이 없는 시험 현장에서 측정해야 한다. 배경 잡음은 전류가 통하는 전원 공급 도체에서 잡음값을 제공한다. 잡음값이 클 경우, 시험 현장에서 100m 떨어진 곳에서 측정하여 철도 이외에서 발생한 높은 잡음원을 파악할 것이 권고된다.

(나) 주파수 선택

① 선택 주파수

측정할 실제 주파수의 선택은 시험 현장의 상황에 따라 달라진다. 예를 들어 공공 방송국에서 높은 신호가 존재하면, 이를 고려하여 시험 주파수를 선택해야 한다. 10개 중 최소한 3개의 주파수가 존재하도록 시험 주파수를 선택할 것을 권고한다.

② 소인 주파수

열차가 한 번 통과할 때 측정에 사용할 수 있는 시간이 짧기 때문에, 소인 주파수 측정 기법을 사용하면(주파수가 변할 때 피크값 유지 회로를 이용하여 피크값 잡음을 측정한다.), 잡음 발생에 관한 정보를 얻을 수 있다. 주파수 변화율은 대역폭의 함수이기 때문에 정확성을 고려한다면 여전히 열차가 한 번 통과할 때 측정에 사용할 수 있는 시간이 짧기 때문에, 소인 주파수 측정 기법을 사용하면 잡음 발생에 관한 정보를 얻을 수 있다. 주파수 변화율은 대역폭의 함수이기 때문에 정확성을 고려한다면 여전히 시간의 문제가 남아 있다. 소인 분석기는 대개 이 요구사항을 충족할 수 있는 자체 소인율을 설정한다. 이 방법을 사용할 경우, 소인율 뿐만 아니라 대역폭도 기재해야 한다.

③ 과도 현상

시험 중에, 스위칭으로 인한 과도 현상(전력 회로 차단기의 동작에 의해 발생하는)이 검출될 수 있다. 시험에서 발견한 최대 신호 레벨을 선택할 때 이 과도 현상은 무시한다.

(다) 측정 조건

① 기후 조건

기후가 측정값에 미치는 영향을 최소화하기 위해, 건조한 날씨(0.1㎜ 이하의 비가 오고 24시간 후)에서 최소한 5℃의 온도에서, 10m/s 미만의 풍속에서 측정을 실시한다. 습도는 전력 공급 도체의 응결을 방지할 수 있도록 충분히 낮아야 한다. 기후 조건을 알게 되기 전에 시험을 계획해야 하므로, 목표 조건에 부합하지 않는 기후 조건에서 시험을 실시해야 할 것이다. 이러한 상황에서는 실제 기후 조건을 시험 결과와 함께 기록해야 한다.

② 철도 운행 방식

견인 방식에 대해 두 가지 시험 조건을 규정한다.

- (집전 역학이 잡음 레벨에 포함되도록) 최대 속도의 90%를 초과하는 속도에서 그리고 해당 속도에서 전달될 수 있는 최대 전력에서 측정한다.

- (특히 낮은 주파수가 관련되는 경우) 최대 정격 전력에서, 그리고 선택한 속도에서 측정한다. 차량이 전기 제동을 할 수 있다면, 정격 최대 제동력의 최소 80%의 제동력에서 시험을 실시해야 한다.

③ 원격 열차에서 발생하는 복수의 발생원

한계값에서, 시험 구역의 외부에 “물리적으로 멀리 그러나 전기적으로 가까운” 차량의 존재는 무선 잡음을 고려할 때 중요하지 않은 것으로 간주한다.

(라) 시험 성적서

시험 성적서에는 다음 정보를 기재해야 한다.

- 현장의 설명
- 측정 시스템의 설명
- 철도 차량의 설명(유형과 구성)
- 수치적 결과
- 해당하는 경우 그래픽 결과(대역폭, 날짜, 시간 정보가 포함되어야 한다.)
- 기후 상태
- 현장 책임자 이름

(마) 안테나 위치

그림 73는 9㎑~30㎒ 주파수 대역에서 자기장을 측정하기 위한 안테나 위치를 보여준다. 그림 74는 30~300㎒ 주파수 대역에서 전기장을 측정하기 위한 안테나 위치를 보여준다. 궤도에 평행한 수평 전자기장을 측정하려면, 안테나를 90。 돌린다. 그림 75는 300㎒~1㎓ 주파수 대역에서 전기장을 측정하기 위한 안테나 위치(수직 편파)를 나타낸다. 궤도에 평행한 수평 전자기장을 측정하려면, 안테나를 90。 돌린다.

(6) 관련성 검토

(가) 본 연구과제에서 진행하고 있는 궤도회로 전자파의 국외 기준에 대한 자료로 한국산업표준규격에서 제시하는 KS C IEC 62236-2에서 명시하고 있는 철도시스템에서 외부로 방출되는 전자파는 인근에 있는 일반장비에 대한 장애를 일으키지 않도록 되어있으며, 규격에서 제시한 KS C IEC 61000[전기자기적합성]은 한국철도표준규격(KRS SG0038-09(R))에서 제시하는 전기자기 적합성에 대한 기준인 IEC 61000과 부합되므로 본 연구용역과 관련성이 있다.

다. 신호 처리 및 통신 장치의 방출 및 내성(KS C IEC 62236-4)

(1) 적용 범위

- 이 규격은 철도 환경에 설치된 신호 처리 및 통신 장치에 적용된다. 차량에 장착된 신호 처리 및 통신 장치는 KS C IEC 62236-3-2에서 다루고 있다. 이 규격은 철도 환경에서 다른 장치에 장해를 일으키거나 해당 표준에 정의된 한계값을 초과하여 철도 환경에 대한 총 방출을 증가시킬 수 있는 신호 처리 및 통신(S&T) 장치에 대한 방출 및 내성 한계값을 규정하고 성능 기준을 제시한다. KS C IEC 61000-6-4의 방출 수준에 부합하는 장치는, d.c. 전력 포트에서 발생한 방출이 a.c. 전력 포트에 대해 규정

된 방출 한계값 내에 있다고 가정하면, 이 표준의 방출 요구 사항을 충족하는 것이다. 장치에 대해 주어진 내성 수준은 대부분의 경우에 철도 환경에서 장치가 본래의 용도대로 기능할 수 있게 한다(비고 참조). 내성 수준은 장치 및 이와 관련된 케이블이 무선 주파장에 직접 노출되어 발생한 장해에 놓여 있을 때 또는 원격 발생원에서 발생한 장해와 결합되었을 때 해당 장치의 성능을 평가하기 위한 공통 기준을 이룬다. 포트가 무선 통신(의도성 복사기, 예를 들어 트랜스폰더 시스템)을 송수신하도록 설계된 경우, 통신 주파수에 이 표준의 방출 및 내성 한계값은 적용하지 않는다. 이 표준은 감전 보호, 불안전한 조작, 절연 협조 및 관련 유전 시험과 같이 장치에 대한 기본적인 안전요구 사항은 규정하지 않는다. 이 요구 사항은 정상 조건에서 동작할 때 장치 세트를 위해 개발되었으며, 이런 장치 세트에 적용할 수 있다. 장치의 고장 조건은 고려하지 않는다. 이 요구 사항과 시험 방법은 피시험 기기(EUT)에 연결된 신호 처리·통신 데이터 및 전력선에 적용한다. 방출 및 내성 요구 사항에 대한 주파수 한계는 d.c.에서 400㎓까지이다. 현재 150㎑ 미만(견인 기본 주파수 제외) 2㎓ 초과 주파수에 대한 시험은 정의되어 있지 않다. KS C IEC 61000－3－2 또는 KS C IEC 61000－3－3의 범위에 있는 제품에는 이 표준의 요구 사항을 적용한다. 시험 방법은 인용 규격에 열거된 기본 표준에 명시되어 있다.

(2) 인용 규격

- KS C IEC 61000－3－2 전기 자기 적합성(EMC)－제3부 : 한계값－제2절 : 고조파 전류의 한계값(기기의 입력 전류 상당 16A 이하)
- KS C IEC 61000－3－3 전기 자기 적합성(EMC)－플리커와 전압 변동에 대한 한계값(상당 16 A 이하)
- KS C IEC 61000－4－2 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제2절 : 정전기 방전 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－3 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제3절 : 전기 자기 방사 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－4 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제4절 : 전기적 빠른 과도 현상 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－5 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제5절 : 서지 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－6 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제6절 : 전자기장 전도 내성 시험－EMC 관련 규격
- KS C IEC 61000－4－8 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제8절 : 전원 주파수 자계 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－9 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제9절 : 펄스 자계 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－16 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제16절 : 주파수 범위 0㎐～150㎑에서 전도성, 공통 모드 방해에 대한 내성 시험
- KS C IEC 61000－6－2 전기 자기 적합성(EMC)－제6부 : 일반 기준－제2절 : 산업용

환경에서 사용하는 기기의 전기 자기 내성 기준
- KS C IEC 61000－6－4 전기 자기 적합성(EMC)－제6부 : 일반 기준－제4절 : 산업용 환경에서 사용하는 기기의 전기 자기 장해 기준
- KS C IEC 62236－1 철도용 전기 자기 적합성－제1부 : 일반 사항
- KS C IEC 62236－3－2 철도용 전기 자기 적합성－제3－2부 : 철도 차량－장치

(3) 정의

(가) 포트(port)
- 외부 환경과 규정된 장치와의 특저 인터페이스. 예를 들어 a.c. 전력 포트, d.c. 전력 포트, I/O(입출력) 포트

(나) 인클로저 포트(enclosure port)
- 전자기장이 방출되거나 영향을 미칠 수 있는 장치의 물리적 경계

(4) 위치의 설명
- 철도 환경은 KS C IEC 62236－1에 설명된 특성을 갖는다. 가장 근접한 궤도의 중심선에서 3m 이내에 설치하도록 의도된 장치에 대해 특별히 고려해야 할 사항을 이 표준에서 명시한다.

(5) 장치에 대한 방출 한계값
- KS C IEC 61000－6－4에서 허용된 최대 방출 한계값을 준수해야 한다. 전도 방출 한계값은 a.c. 및 d.c. 전력 포트에 모두 적용해야 한다. 측정 거리 10m를 이용하여, 인클로저 포트의 복사 방출 한계값을 10㏈ 증가시킬 수 있다. 장치가 철도 환경 이외의 환경에서 사용되도록 설계된 경우, 해당 표준에 명시된 방출 한계값을 적용해야 한다.

(6) 내성

(가) 성능 기준
- 이 표준의 범위 내에 있는 장치를 평가할 수 있는 정확한 기준을 정의하는 것은 불가능하지만, 별도로 규정하지 않는 경우 KS C IEC 62236－1에 규정된 성능 기준을 적용한다.

(나) 시험 요구 사항
- 이 표준에서 다루는 장치의 내성 요구 사항은 포트를 기준으로 하여 특정 포트에 주어진다. 시험은 정의가 명확하고 재현 가능한 방법으로 실시한다. 시험은 순서대로 단일 시험으로 실시한다. 시험 순서는 선택할 수 있다. 시험의 설명, 시험 방법, 시험 셋업은 기본 표준에 명시되어 있으며, 표 2-3-14에서 표 2-3-18은 기본 표준을 참조한 것이다. 장치에 유사하게 연결된 유사한 포트가 많은 경우, 실제 동작 조건을 모의 시험할 수 있고 모든 서로 다른 유형의 단자를 포함할 수 있도록 충분한 수를 선택해야 한다. 기본 표준의 내용을 여기에서 반복하지는 않지만, 시험의 실제 응용에 필요한 수정 사항이나 추가 정보를 이 표준에 명시하고 있다

라. 고정 전력 공급 설비와 장치의 방출 및 내성(KS C IEC 62236-5)

(1) 적용 범위

- 전력을 철도에 전달하는 변전소 경계 내
- 역률 보정 및 필터링을 포함하여 철도 전력 공급을 제어하거나 조절할 목적으로 궤도변
- 접촉 전류 교정에 사용된 도체와 관련 귀선 도체에 의한 것 외에 전력을 철도에 공급할 목적으로 궤도를 따라 전압이 철도 시스템 전압으로 저감되는 변전소에 공급하는 철도 경계 내에 있는 고전압 급전선 시스템이 포함된다.
- 보조 철도용으로 전력 공급을 제어하거나 조절하기 위해 궤도변에. 이 범주에는 조차작업장과 유지 보수 차고에 대한 전력 공급이 포함된다.
- 철도 견인과 공유되는 철도원에서 기타 각종 비견인 전원주거지나 상업 지역으로 설명할 수 있는 환경에 있는 장치와 시스템은 철도 변전소의 물리적 경계 내에 위치하더라도 일반적인 국제 EMC 규격을 준수해야 한다.

(가)

(2) 인용 규격

- KS C CISPR 16－1 전기 자기 장해・내성 측정 장비 및 측정 방법－제1부 : 전기 자기 장해 및 내성 측정 방법
- KS C CISPR 22 정보 기기의 무선 방해 특성에 대한 측정 방법 및 한계값
- KS C IEC 61000－3－2 전기 자기 적합성(EMC)－제3부 : 한계값－제2절 : 고조파 전류의 한계값(기기의 입력 전류 상당 16A 이하)
- KS C IEC 61000－3－3 전기 자기 적합성(EMC)－플리커와 전압 변동에 대한 한계값(상당 16A이하)
- KS C IEC 61000－4－2 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제2절 : 정전기 방전 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－3 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제3절 : 전기 자기 방사 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－4 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제4절 : 전기적 빠른 과도 현상 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－5 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제5절 : 서지 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－6 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제6절 : 전자기장 전도 내성 시험－EMC 관련 규격
- KS C IEC 61000－4－8 전기 자기 적합성(EMC)－제4장 : 시험 및 측정 기술－제8부 : 전원 주파수 자계 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－12 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 방법－제12절 : 진동파 내성 시험
- KS C IEC 61000－4－16 전기 자기 적합성(EMC)－제4부 : 시험 및 측정 기술－제16절 : 주파수 범위 0㎐～150㎑에서 전도성, 공통 모드 방해에 대한 내성 시험
- KS C IEC 61000－6－2 전기 자기 적합성(EMC)－제6부 : 일반 기준－제2절 : 산업용

환경에서 사용하는 기기의 전기 자기 내성 기준
- KS C IEC 61000－6－4 전기 자기 적합성(EMC)－제6부 : 일반 기준－제4절 : 산업용 환경에서 사용하는 기기의 전기 자기 장해 기준
- KS C IEC 62236－1 철도용 전기 자기 적합성－제1부 : 일반 사항
- KS C IEC 62236－3－2 철도용 전기 자기 적합성－제3－2부 : 철도 차량－장치

(3) 정의

(가) 장치(apparatus)
- 고정 철도 설비에 구현하도록 설계된 고유 기능을 가진 전기·전자 제품

(나) 환경(environment)
- 시스템의 거동에 영향을 미치거나 시스템에 의해 영향을 받을 수 있는 주위 물체나 영역

(다) 외부 경계면(external Interface)
- 어떤 시스템이 다른 시스템과 상호 작용하거나 어떤 시스템이 그 환경과 상호 작용하는 경계

(라) 변전소(railway substation)
- 주요 기능이 주요 공급 시스템의 전압, 경우에 따라 주파수가 접촉선의 전압과 주파수로 변환되는 접촉선 시스템을 제공하는 설비

(마) 공급 선로(railway supply lines)
- 철도에만 전력을 공급하고 철도 시스템 전압에서 통전되지 않는, 철도 경계 내에 있는 도체

(4) 성능 기준
- 이 규격의 범위에 있는 장치는 다양하기 때문에 내성 시험 결과를 평가할 수 있는 정확한 기준을 정의하기가 어렵다. 따라서 KS C IEC 62236－1에 정의된 세 가지 수준의 성능을 사용한다.

(5) 방출 시험과 한계값

(가) 변전소에서 외부 세계로 나가는 방출
- 9㎑～1㎓ 주파수 범위에 걸쳐 이 방출에 대한 한계값이 KS C IEC 62236－2에 명시되어 있다.

(나) 1000V r.m.s. a.c.에서 동작하는 장치에 대한 방출 시험
- 이 규격에 포함되며 1000V r.m.s. 미만의 전압으로 전력을 공급받는 장치의 방출 한계값은 KS C IEC 61000－6－4의 표 1에서 포트를 기준으로 특정 포트에 주어진다.

(다) 변전소 경계 내에서 방출값
- 변전소의 설계와 시공에 대한 선택권이 다양하기 때문에 변전소 경계 내부에 있는 일반 경계 내의 방출에 대한 한계값은 제시하지 않는다. 실제로 측정한 유도값이 부속서 A에 명시되어 있다. 이 유도값은 정보를 제공하기 위함이며, 이 규격 내용의 일부는 아니다.

(6) 내성 시험과 한계값

- 이 규격에 포함된 장치의 내성 시험 요구 사항은 앞선 표의 포트를 기준으로 하여 특정 포트에 주어진다. 시험은 정의가 명확하고 재현 가능한 방법으로 실시한다. 시험은 순서대로 단일 시험으로 실시한다. 시험 순서는 선택할 수 있다. 시험의 설명, 시험 방법, 시험 셋업은 기본 규격에 명시되어 있으며, 앞선 표는 기본 규격을 참조한 것이다. 기본 규격의 내용을 여기에서 반복하지는 않지만, 시험의 실제 적용에 필요한 수정 사항이나 추가 정보를 이 규격에 명시하고 있다. 가능한 경우, 조사 중인 주파수 대역에서 잡음에 대한 최대 감응성을 낼 수 있도록 선택된 일반적인 동작 모드에서 시험을 실시한다. 제조자는 시험 계획서에 시험 조건을 정의해야 한다. 시험 중에 구성 및 동작 모드를 시험 성적서에 정확하게 기재해야 한다. 가장 중요한 동작 모드를 선택해야 하는 경우에 장치의 모든 기능을 시험하는 것이 항상 가능한 것은 아니다. 장치의 규정 동작 범위와 그 정격 전원 전압 내에서 시험을 실시해야 한다. 일부 내성 레벨은 중공업 일반 규격의 레벨보다 더 높은데, 이것은 실제로 필요한 것으로 밝혀졌다.

(7) 철도 견인용으로 사용하지 않는 철도 자산에 대한 고정 전원

(가) 기타 다양한 전원

- 비철도 공급원에서 공급된 것. 예로 지역 전기 공급자 또는 개별 발전기에서 공급된 것을 들 수 있다. 이것은 이 규격의 범위에 포함되지 않는다. KS C IEC 61000-3-2 또는 KS C IEC 61000-3-3의 범위에 있는 제품의 경우, 이 규격의 요구 사항을 적용한다.
- 철도 견인과 공유되는 철도 공급원에서 공급된 것. 예로 정류기 변압기의 3차 권선에서 또는 변압기를 통해 철도 a.c. 가공선에서 공급된 것(아래 항목 참조).

(나) 철도 견인 시스템 전압에 연결된 발생원에서 공급된 장치

- 다양한 교란 조건에서 공급할 수 있는 다양한 선택권이 있으며, 현재 국제 한계값을 설정할 수 없다. 전원 전압은 견인 차량의 종류에 따라 상당한 고조파 함유량을 가질 수 있다. 이것은 EMC를 보장할 내성 및 방출 수준을 수립하기 위해 장치를 사용하는 단체의 책임이다. 이 항목은 이런 경우에 대한 한계값을 규정할 목적으로, 경험에 비추어 검토되어야 한다. 규정 한계값이 없는 경우, 일반 규격 KS C IEC 61000-6-4와 KS C IEC 61000-6-2의 관련 부분을 충족하는 장치를 사용한다.

## 2. AF궤도회로 송수신 EMI/EMC 시험

### 마. 가상궤도회로 공장시험

#### (1) 개요

(가) 시험일정

2013년 11월 19일

(나) 시험장소

혁신전공사 용인연구소

(다) 시험방법

가상의 궤도회로에 저항 박스를 조정하여 궤도 수신감도를 수신기의 최소 수신레벨이 15㎃가 되도록 조정한다.

함수 발생기에 해당 노이즈(예: 1,980㎐)를 설정한 후 증폭기를 통하여 레일의 설정된 지점(수신TU 레일 양단, 20m 동조구간의 송신TU 레일 양단)에 각각 연결하여 증폭기의 전류를 서서히 증가시켜 궤도계전기가 낙하될 때 노이즈 인가 전류 및 수신TU의 노이즈 전류값을 측정한다.

(라) 시험장비

표 39 시험장비 목록

| 장비사진 | 장비명 | 수량 | 장비사진 | 장비명 | 수량 |
|---|---|---|---|---|---|
|  | 오디오 전력 증폭기 | 1ea |  | TI21 Test Meter | 2ea |
|  | 함수 발생기 | 1ea |  | 전류 코일 | 1ea |
|  | 멀티미터 | 2ea |  | USB DAQ | 1ea |

(마) 시험내용 및 결과

C-Type 수신기 전류 측정

-

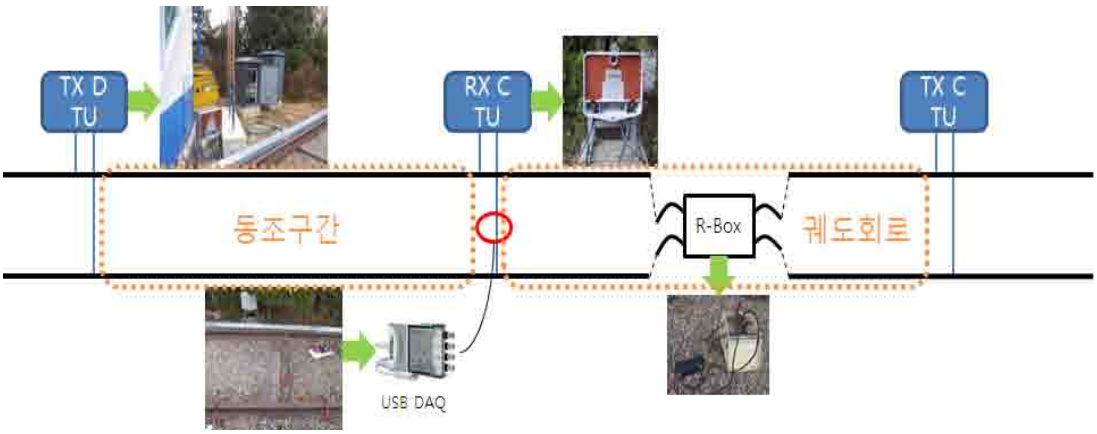



그림 76 시험장비 목록

- 시험 내용
- 가상궤도회로의 저항박스를 조정하여 C-Type 수신기의 전류레벨이 최소 15.4㎃가 되도록 조정 후 전류코일을 통하여 레일전류와 수신TU의 레일측 전류를 측정




그림 77 수신기 전류레벨 측정

- 측정 데이터

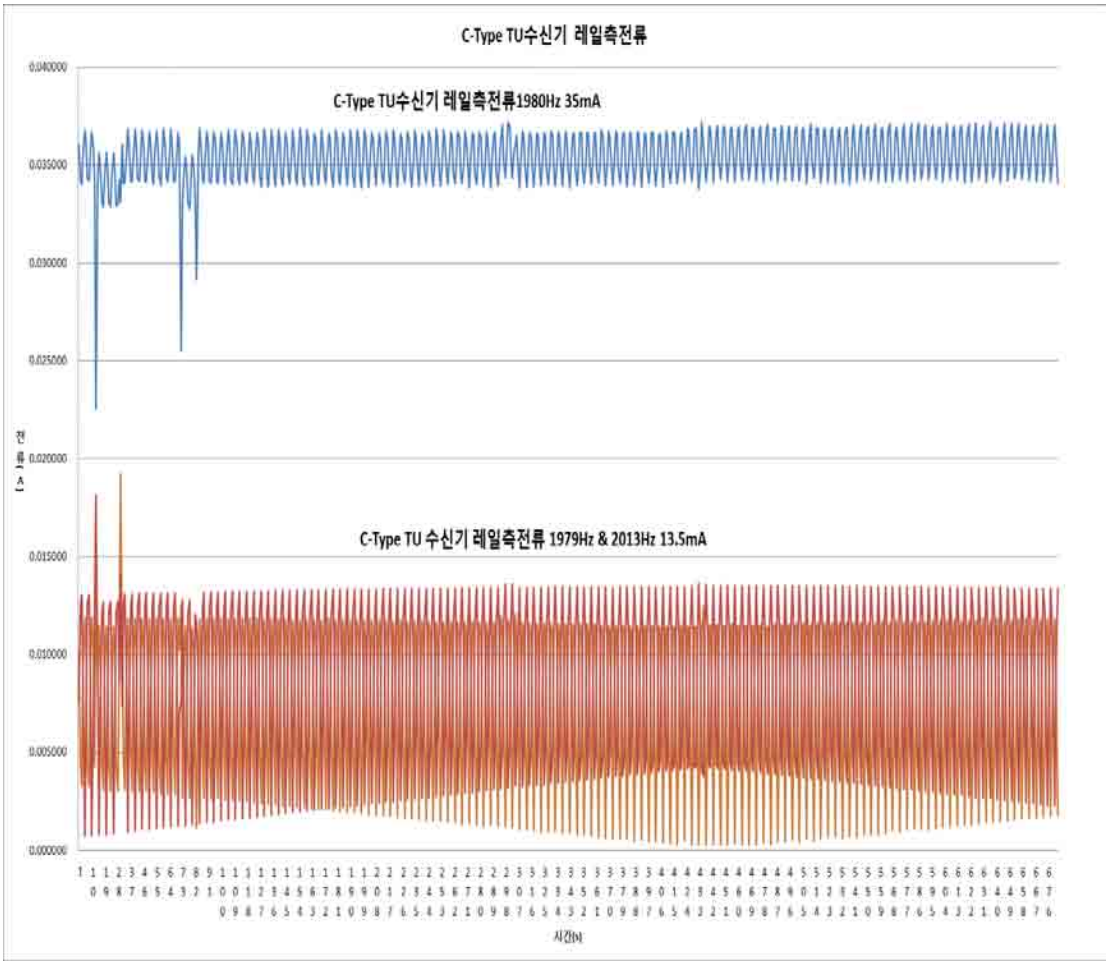



그림 78 C-Type 수신TU 레일측 전류 측정값

C-Type 수신TU 레일측 고조파 33차 성분 1,980Hz 노이즈 인가 시험

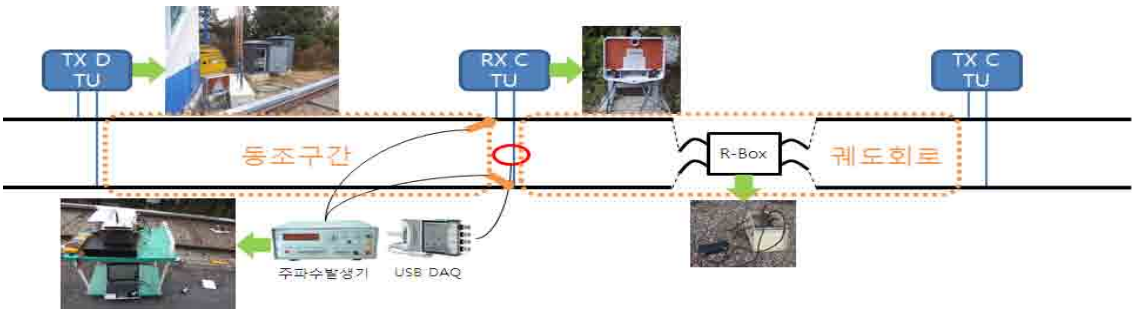



그림 79 C-Type 수신TU 레일측 고조파 33차 성분 1,980Hz 노이즈 인가 시험 구성

- 시험 내용

·C-Type 수신TU 레일양단에 노이즈(1,980Hz) 인가

·궤도계전기 낙하 시 노이즈 인가 전류 91㎃

·수신TU 레일측 전류 약 100㎃




그림 80 C-Type 수신TU 레일측 고조파 33차 성분 1,980Hz 노이즈 인가 전류

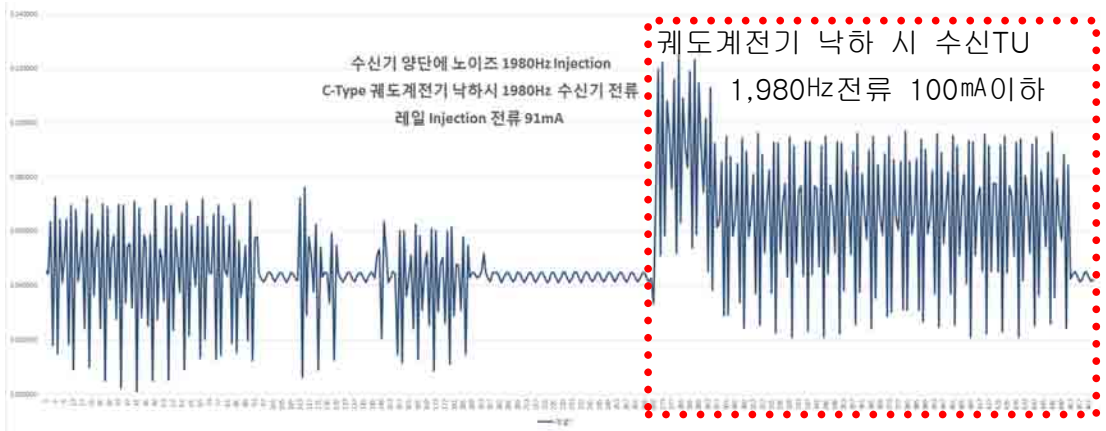



그림 81 C-Type 수신TU 레일측 고조파 33차 성분 1,980Hz 노이즈 인가 전류측정 데이터

## C-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 시험

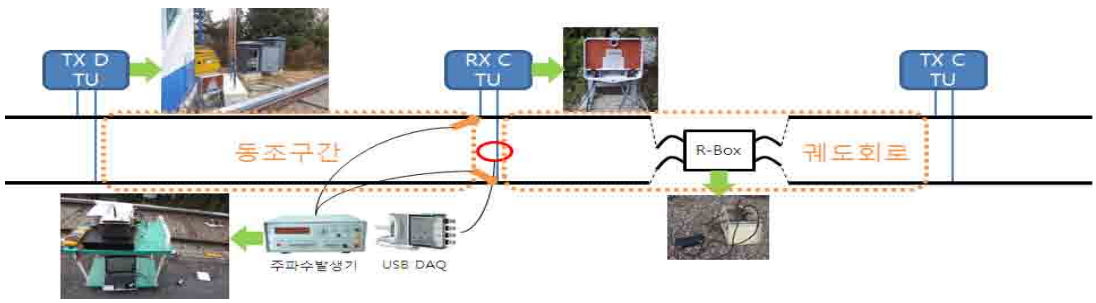



그림 82 C-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 시험

- 시험 내용

·C-Type 동조구간 D-Type 송신TU 레일양단에 노이즈(1,980㎐) 인가

·궤도계전기 낙하 시 노이즈 인가 전류 1,354㎃

·수신TU 레일측 전류 약 250㎃




그림 83 C-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 전류

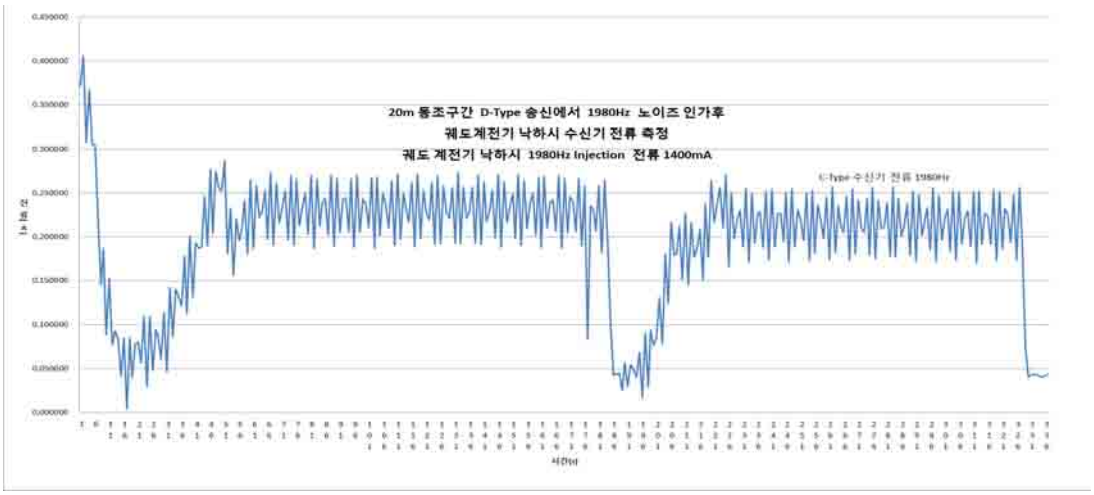



그림 84 C-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 전류 측정 데이터

D-Type 수신TU 레일측 노이즈 인가 시험

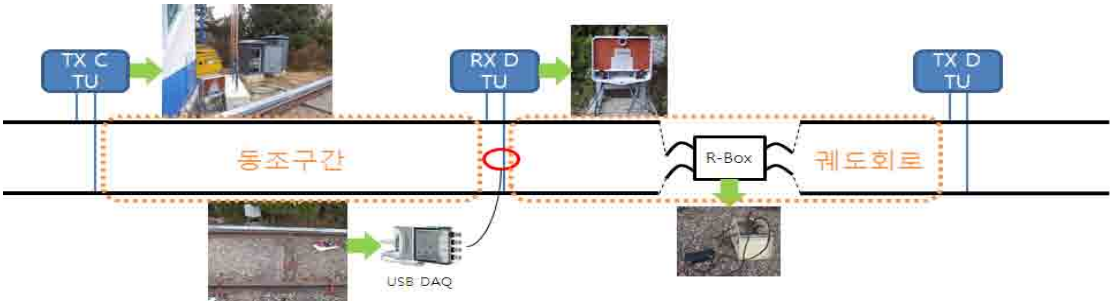



그림 85 D-Type 수신TU 레일측 노이즈 인가 시험 구성

- 시험 내용

가상궤도회로의 저항박스를 조정하여 D-Type 수신기의 전류레벨이 최소 16.3㎃가 되도록 조정한 후 전류코일을 통하여 레일전류와 수신TU의 레일측 전류를 측정

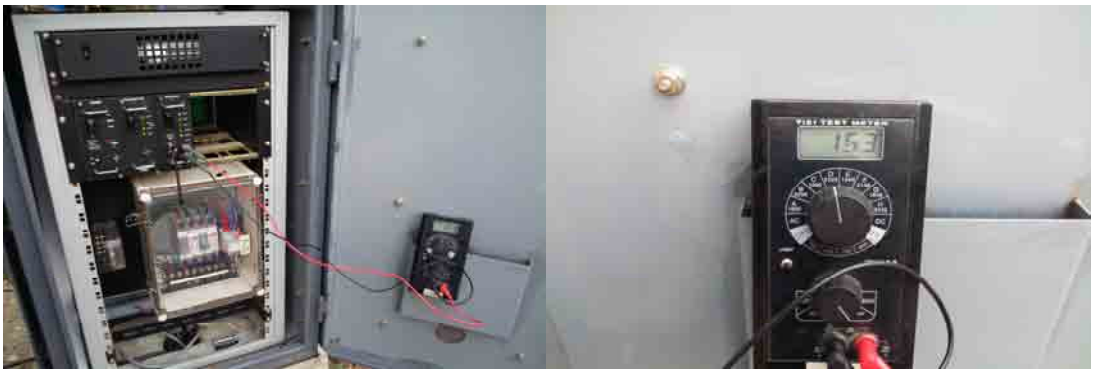


그림 86 D-Type 수신기TU 레일 측 수신기 전류레벨 측정

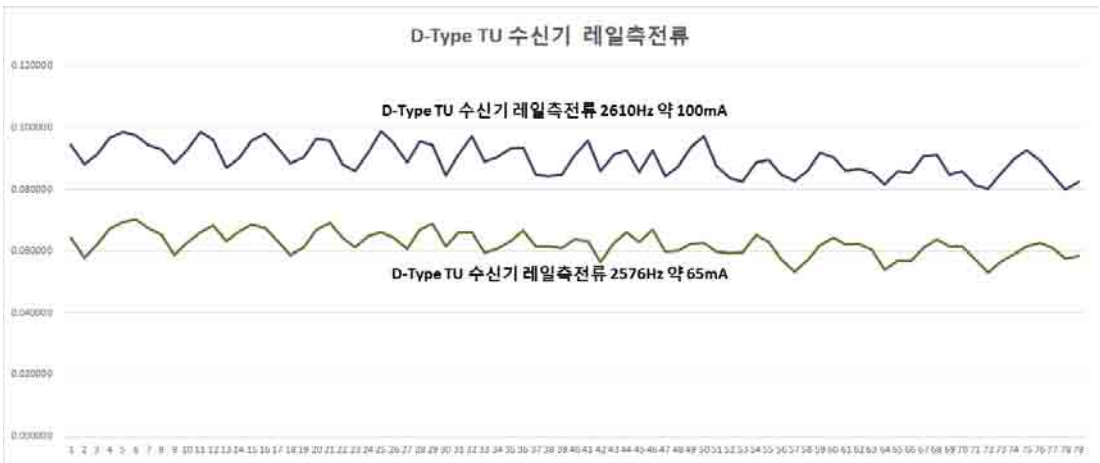



그림 87 D-Type 수신기TU 레일 측 수신기 전류레벨 측정 데이터

D-Type 수신TU 레일측 노이즈(2,576㎐ & 2,610㎐) 인가 시험

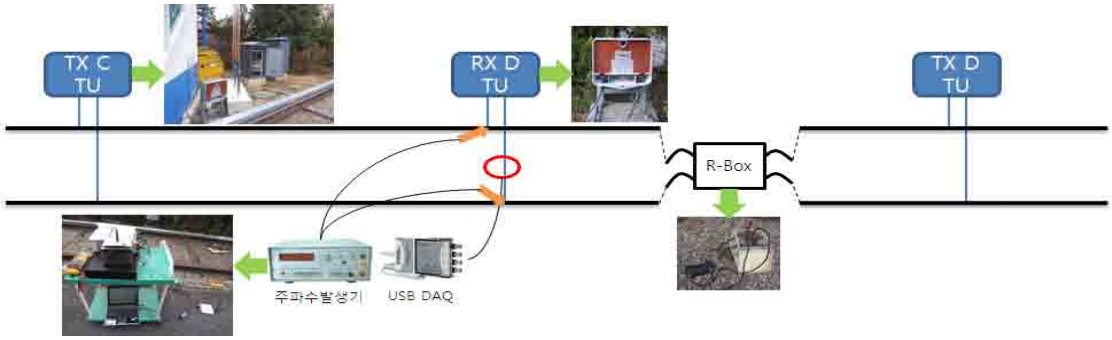



그림 88 D-Type 수신TU 레일측 노이즈(2,576Hz & 2,610Hz) 인가 시험 구성

- 시험 내용



그림 89 D-Type 수신TU 레일측 노이즈(2,576Hz & 2,610Hz) 전류

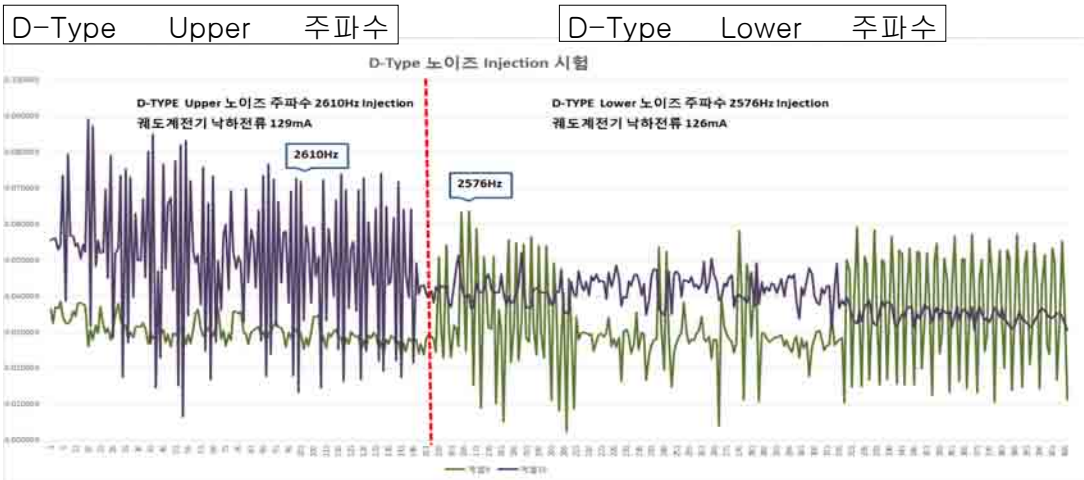



그림 90 D-Type 수신TU 레일측 노이즈(2,576Hz & 2,610Hz) 전류 측정 데이터

D-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 시험

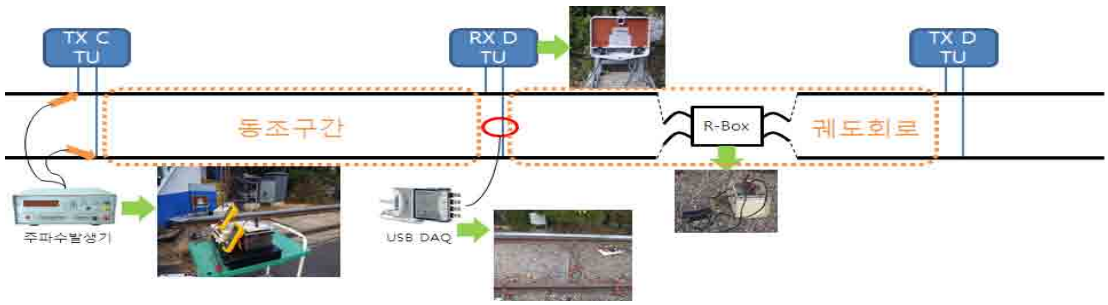



그림 91 D-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 시험 구성

- 시험 내용

·D-Type 동조구간 C-Type 송신TU 레일양단에 노이즈(2,576㎐) 인가

·궤도계전기 낙하 시 노이즈 인가 전류 1,078㎃

·수신TU 레일측 전류 약 200㎃

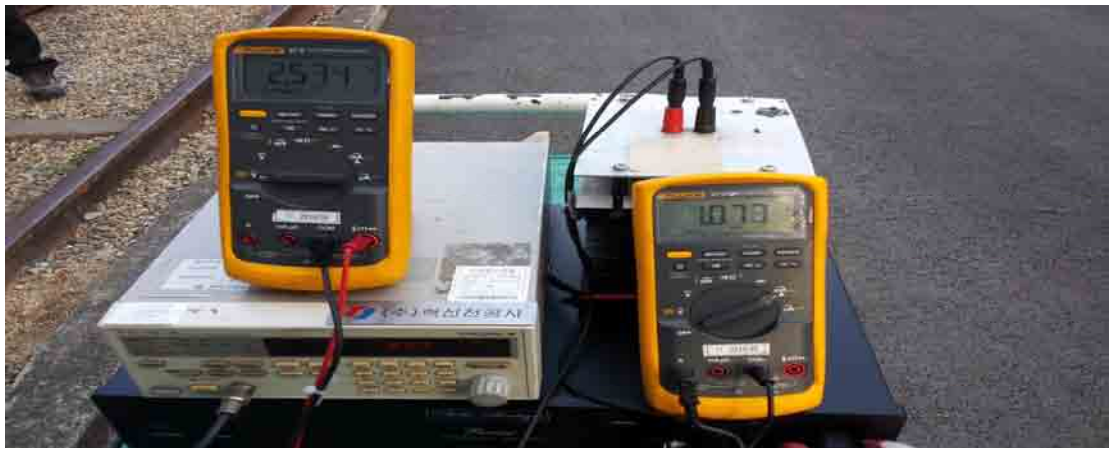


그림 92 D-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 전류

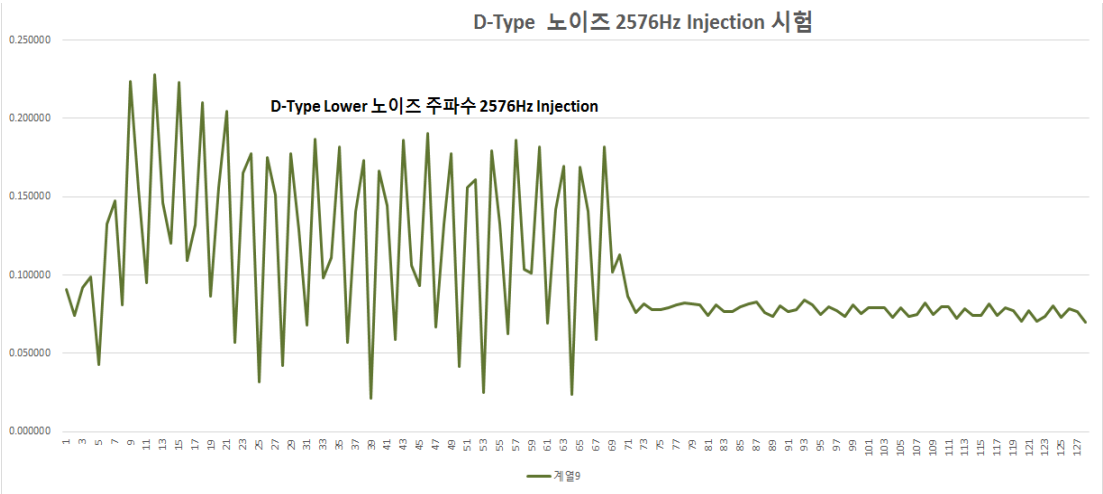



그림 93 D-Type 동조구간 20m 레일 노이즈 인가 전류 측정 데이터

바. 시험성적서

(1) 시험성적서 발급 사유

- 한국철도표준규격에 맞는 시험을 하여 한국철도에 사용하기 위함.

(2) 한국철도표준규격(KRS SG 0038-09(R))

(가) 적용범위

- 열차의 유무를 검지하는 궤도회로에 있어서 정거장 구내 및 폐색구간에서 공통적으로 사용 할 수 있으며 속도코드를 수반하지 않는 무절연 가정주파수(AF) 궤도회로 장치에 대해 적용한다.



시 험 성 적 서

주식회사 케이이에스
경기도 안양시 동안구 [illegible]
Tel : 82-31-420-6300
Fax : 82-31-424-0460

성적서번호 : KES-EI-120445
페이지( 1 ) / ( 총 35 )

1. 신 청 인
○ 기 관 명 : 유경제어㈜
○ 주 소 : 서울 금천구 가산동 470-12
○ 의뢰일자 : 2012 년 05 월 21 일

2. 제 조 자 : 유경제어㈜

3. 제 품 명 : 무절연 AF 궤도회로장치

4. 모 델 명 : 폐색구간용

5. 시험기간 : 2012 년 05 월 25 일 ~ 2012 년 05 월 29 일

6. 시험방법 : 한국철도표준규격 - KRS SG 0038-09R

7. 시험환경 : 시험데이터 참조

8. 시험성적서 용도 : 품질인증용

9. 시험결과 : ■ 적합 □ 부적합

이 성적서 내의 내용은 시험의뢰인에 의해 제공된 시료에 한하며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

| 확인 | 시험자 | 승인자 (시험책임자) |
|---|---|---|
| | 성명 : 장 동 호 | 성명 : 김 원 욱 |

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2012 년 05 월 30 일

주식회사 케이 이 에스 (인)

본 시험성적서는 KES에서 이 제스의 서면 동의없이 무단 복제 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

KES-P-5101-11 Rev. 0 KES A4

그림 94 시험 성적서

사. 임피던스본드 시험

(2) 개요

(가) 시험일정

2014년 2월 24일

(나) 시험장소

혁신전공사 용인연구소

(다) 시험방법

궤도회로 성능 시험을 위해 주파수 발생기에 1,979㎐ 및 2,015㎐를 설정한 후 증폭기를 통하여 임피던스 본드에 연결하여 측정한다.

(라) 시험장비

표 40 시험 장비 목록

| 장비사진 | 장비명 | 수량 | 장비사진 | 장비명 | 수량 |
|---|---|---|---|---|---|
|  | 오디오 전력 증폭기 | 1ea |  | TI21 Test Meter | 2ea |
|  | 주파수 발생기 | 1ea |  | 멀티미터 | 2ea |

(마) 시험결과



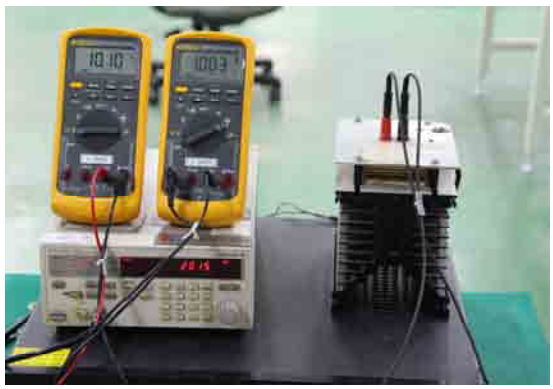


그림 95 측정 사진

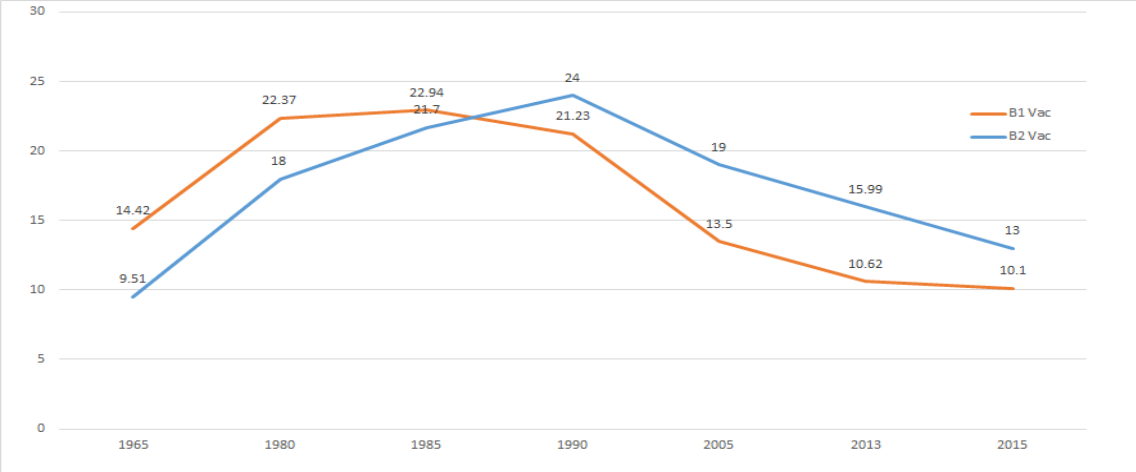



그림 96 측정데이터

(바) 검사 절차서

표 41 무절연(AF) 궤도회로장치 검사 절차서

<table>
<tr><td colspan="6">무절연(AF)궤도회로장치 검 사 절 차 서</td><td>NO.</td><td>43</td><td>3/5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구 분</td><td>ITC 번호</td><td>HSAF-B3</td><td>Rev.</td><td>A</td><td>규 격</td><td colspan="3">철도규격, 제작승인도, 승인도면</td></tr>
<tr><td>해 당 시험항목</td><td colspan="7">B3임피던스본드 주파수별 출력전압 시험</td></tr>
<tr><td>설 명</td><td colspan="8">B3임피던스본드의 공칭주파수, 고주파수, 저주파수별 출력전압을 검사한다.</td></tr>
<tr><td>확인 및 시험방법</td><td colspan="8">시험구성도와 같이 시험 장비들을 연결하고 전압계 및 전류계를 ON시킨후 각각 AC볼트 및 AC전류로 설정한다.<br>주파수 발진기를 켜고 시험하고자 하는 본드의 공칭주파수로 설정한다.<br>전원증폭기를 켠 후 전류 값이 1A가 되도록 조정한 후 공칭주파수, 고주파, 저주파로 변환하며 AC전압계가 나타내는 전압을 확인한다.<br>공칭주파수 전압이 고주파 전압 혹은 저주파 전압보다 큰지 확인한다.<br>5. 주파수별 전압 한계 표
<table>
<tr><td rowspan="2">주파수 유형</td><td rowspan="2">공칭주파수 (Hz)</td><td>고주파</td><td>저주파</td><td rowspan="2">VOLTAGE 1A ± 0.01A</td></tr>
<tr><td>허용범위 (Hz)</td><td>허용한계범위 (Hz)</td></tr>
<tr><td>A</td><td>1699</td><td>1715 ~ 1717</td><td>1680 ~ 1684</td><td>6V 이상</td></tr>
<tr><td>B</td><td>2296</td><td>2312 ~ 2324</td><td>2277 ~ 2281</td><td>9V 이상</td></tr>
<tr><td>C</td><td>1996</td><td>2012 ~ 2014</td><td>1977 ~ 1981</td><td>7V 이상</td></tr>
<tr><td>D</td><td>2593</td><td>2599 ~ 2011</td><td>2574 ~ 2578</td><td>11V 이상</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

| 무절연(AF)궤도회로장치 검 사 절 차 서 | | | | | | NO. | 44 | 4/5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 구 분 | ITC 번호 | HSAF-B3 | Rev. | A | 규 격 | 철도규격, 제작승인도, 승인도면 | | |
| | 해 당 시험항목 | B3임피던스본드 주파수별 출력전압 시험 | | | | | | |
| 시험장비 및 계측기 | | AC전류계, AC전압계, 주파수 발진기, 전원증폭기 | | | | | | |
| 확인 및 시험방법 | |  <br>☞ 주기<br>① : AC전류계,<br>② : AC전압계,<br>③ : 주파수 발진기<br>④ : B3임피던스 본드 | | | | TYPE : B<br>공칭주파수 : 2296 Hz<br>지시전압 : 22.1V<br>  <br>TYPE : B<br>고주파수 : 2313Hz<br>지시전압 : 14.6V<br>  <br>TYPE : B<br>저주파수 : 2279Hz<br>지시전압 : 21.7V<br>  | | |

| 무절연(AF)궤도회로장치 검 사 절 차 서 | | | | | | NO. | 45 | 5/5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 구 분 | ITC 번호 | HSAF-B3 | Rev. | A | 규 격 | 철도규격, 제작승인도, 승인도면 | | |
| | 해 당 시험항목 | B3임피던스본드 정격전류 시험 | | | | | | |
| 설 명 | | B3임피던스본드의 연속정격전류를 검사한다. | | | | | | |
| 확인 및 시험방법 | | 임피던스본드 양단에 정격전류 시험기의 R상, S상을 연결하고 중성부에 T상을 연결한다.<br>정격전류 시험기의 전원스위치를 ON하여 임피던스본드 양단에 연결된 상의 전류를 상승시켜 중성부에서 600A가 되도록 한다.<br>전류가 가압된 후 2분간 시험을 한 후 임피던스의 특성을 테스트해 가압 전.후 특성을 기록한다. | | | | | | |

## 3. AF궤도회로 감쇄율 및 주파수 선택도 분석 시험

### 가. 2580Hz의 AF궤도 회로장치 간섭 시험(2576Hz±10Hz)

(1) 개요

AF궤도회로장치 D타입의 특정 주파수에 대한 수신모듈의 간섭에 관한 시험.

(2) 시험 업체

혁신전공사

(3) 1차 시험

(가) 구성 및 방법

수신모듈 D TYPE 내부의 필터의 특성을 측정하기 위한 시험구성은 아래와 같으며 Function Generator로 입력신호를 가변하면서 출력신호의 변화를 측정함.

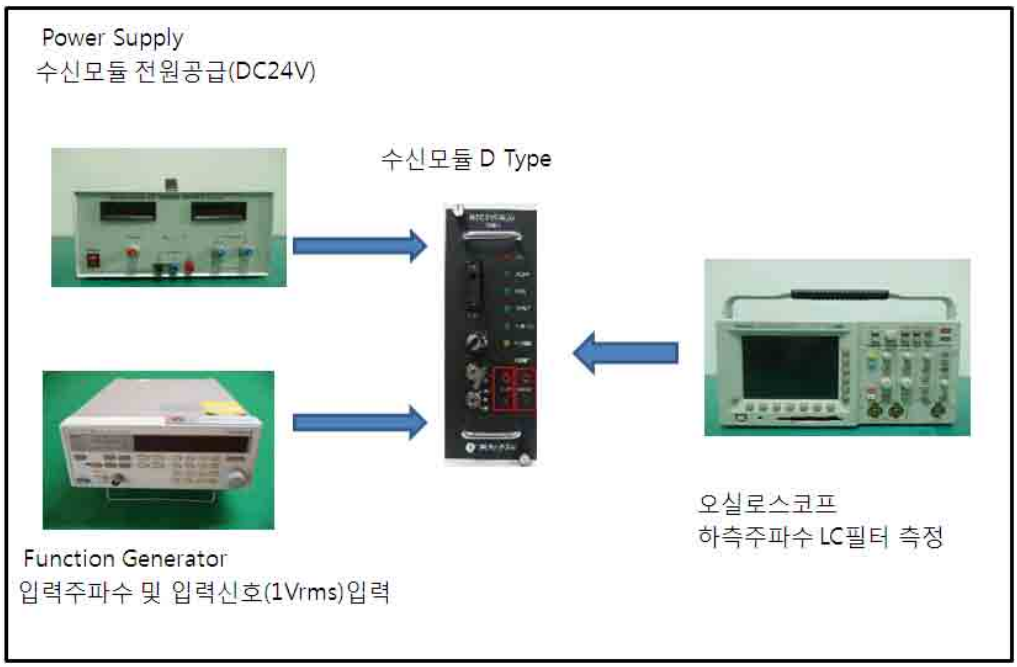



**그림 97 시험 구성 및 방법**

(나) 시험데이터

입력주파수변화(입력신호 level: 1Vrms)에 따른 필터부 출력신호의 측정값임.

**표 42 시험데이터**

| Freq | 2565 | 2566 | 2567 | 2568 | 2569 | 2570 | 2571 | 2572 | 2573 | 2574 | 2575 | ref |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vrms | 3.29v | 3.59v | 4.00v | 4.54v | 5.10v | 5.69v | 6.28v | 6.81v | 7.23v | 7.50v | 7.61v | |
| Freq | 2576 | 2577 | 2578 | 2579 | 2580 | 2581 | 2582 | 2583 | 2584 | 2585 | 2586 | ref |
| Vrms | 7.59v | 7.41v | 7.17v | 6.87v | 6.52v | 6.15v | 5.75v | 5.38v | 5.01v | 4.62v | 4.31v | |

(다) 필터부의 정상동작파형으로 고르게 신호가 출력

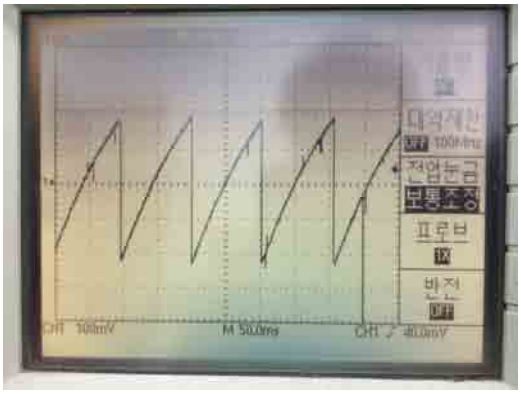



**그림 98 필터부의 정상동작파형**

(나) 2565Hz에서 2586Hz까지의 신호를 수신모듈에 인가시 변하는 필터부의 파형

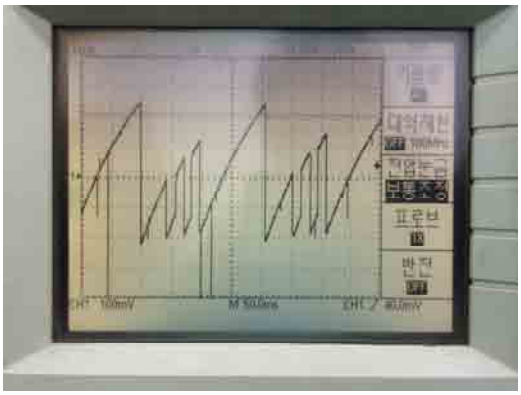



**그림 99 외부 신호의 영향을 받은 파형**

(4) 2차 시험

(가) 구성 및 방법

수신모듈 D타입을 기능 구현하여 Function Generator에 신호를 입력하여 수신모듈에 인가 후 측정 장비에서 수신전류를 가변하여 궤도계전기출력전압이 낙하되는 정도를 측정함.

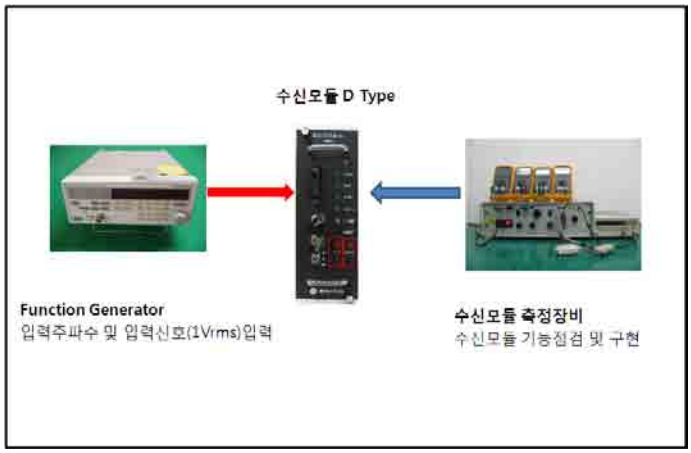



**그림 100 2차 시험 구성**

(나) 시험데이터

입력주파수변화(입력신호 level: 1Vrms)에 따른 궤도계전기 구동신호 발생 유무.

**표 43 2차 시험 데이터**

| | 2565 | 2566 | 2567 | 2568 | 2569 | 2570 | 2571 | 2572 | 2573 | 2574 | 2575 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 발생 유무 | 여자 | 여자 | 여자 | 여자 | 낙하 | 낙하 | 낙하 | 낙하 | 낙하 | 낙하 | 낙하 | |
| | 2576 | 2577 | 2578 | 2579 | 2580 | 2581 | 2582 | 2583 | 2584 | 2585 | 2586 | 비고 |
| 발생 유무 | 낙하 | 낙하 | 낙하 | 낙하 | 낙하 | 낙하 | 낙하 | 낙하 | 여자 | 여자 | 여자 | |

(5) 시험 결과

(가) 중심주파수에 가까울수록 계전기 구동전압이 발생함. (2569~2583Hz)

(나) 최소동작전류가 높을수록 외부 신호에 영향을 더 많이 받음.

(다) 수신감도에 따른 수신 전류의 값이 내려가면 궤도계전기가 낙하됨.

나. 무절연 AF궤도회로장치 감쇄율 측정 시험

(1) 개요

무절연 AF궤도회로장치의 D타입에서의 특정 주파수에 대한 수신 모듈의 필터부 특성에 관한 시험이다.

(2) 시험 업체

유경 제어(주)

(3) 시험 구성 및 방법

수신모듈(D Type) 내부의 필터의 특성을 측정하기 위한 시험 구성은 아래와 같으며, 시험은 Function Generator로 입력신호를 가변하면서 출력신호의 변화를 측정하는 방법을 사용한다.

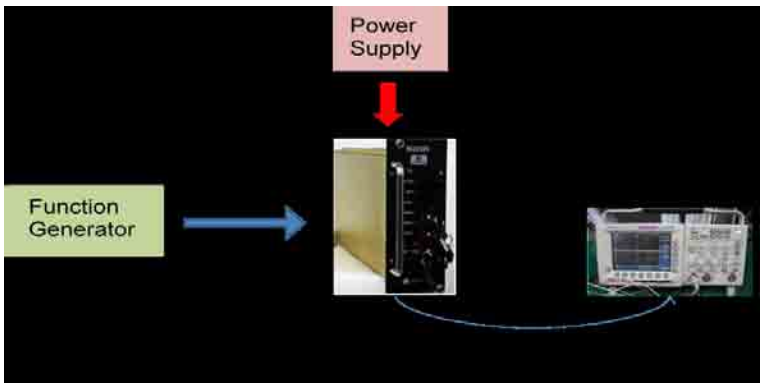



**그림 101 시험 구성**

(4) 시험 데이터

**표 44 필터부 출력 전압 측정표**

| 주파수(Hz) | 2565 | 2566 | 2567 | 2568 | 2569 | 2570 | 2571 | 2572 | 2573 | 2574 | 2575 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 필터부 출력 전압($V_{rms}$) | 1.86 | 2.08 | 2.29 | 2.51 | 2.75 | 2.98 | 2.98 | 3.24 | 3.45 | 3.66 | 3.69 | |
| 주파수(Hz) | 2576 | 2577 | 2578 | 2579 | 2580 | 2581 | 2582 | 2583 | 2584 | 2585 | 2586 | 비고 |
| 필터부 출력 전압($V_{rms}$) | 3.94 | 3.94 | 3.94 | 3.94 | 3.94 | 3.86 | 3.56 | 3.38 | 3.20 | 3.00 | 2.81 | |

(5) 시험 결과

D주파수의 수신모듈의 하측 주파수 필터의 중심 주파수가 2756이 아닌 약 2578Hz로 설정된 것으로 나타났다. 이는 LC 공진을 이용한 것이기 때문에, 제품 별로 약 ±4Hz의 오차를 갖고 있다. 따라서 차량에서 2580Hz의 노이즈 인입시 이에 대한 감쇄율은 거의 없다고 보아야 한다. 아래는 표44의 데이터를 근간으로 계산된 필터의 선택도 이다.

Q(선택도)= 공진 주파수/3dB 대역폭≒2578(2586-2569)≒151

다. 무절연 AF 궤도회로장치 감쇄율 측정시험 보고서

(1) 개요

무절연 AF궤도회로 장치“D”타입의 특정 주파수에 대한 수신 모듈의 필터부 특성에 관한 시험이다.

(2) 시험 업체

신우이엔지(주)

(3) 시험 구성 및 방법

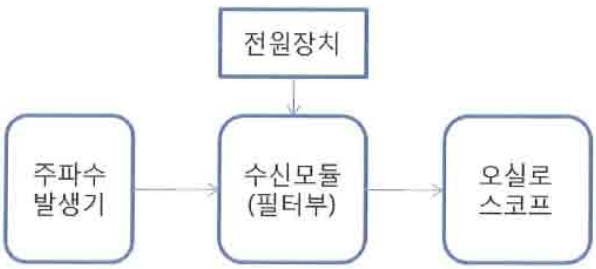



**그림 102 시험 구성 및 방법**

(4) 시험 데이터

**표 45 시험 데이터**

| 주파수(Hz) | 2565 | 2566 | 2567 | 2568 | 2569 | 2570 | 2571 | 2572 | 2573 | 2574 | 2575 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 출력전압(V) | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| 주파수(Hz) | 2576 | 2577 | 2578 | 2579 | 2580 | 2581 | 2582 | 2583 | 2584 | 2585 | 2586 |
| 출력전압(V) | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |

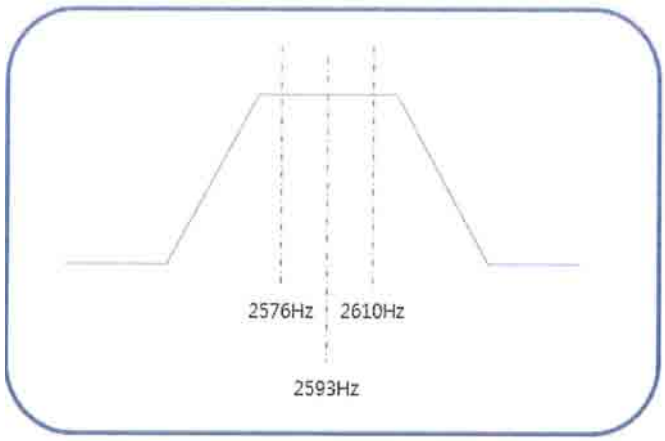



**그림 103 필터 특성 그래프**

수신모듈의 주파수 특성은 공칭 주파수 2593Hz를 기준으로 제작이 되어 위의 그림 103에서처럼 특성 그래프가 만들어 지므로 ±17Hz인 주파수 특성은 차단됨이 없이 모두다 통과시키는 형태를 보인다. - 2566~ 2620Hz의 주파수는 모두 통과시키는 형태이다.

(5) 시험 결과

상기 결과로 시험된 "D"주파수의 하측 주파수인 2576Hz의 필터회로에서 차량에서 2580Hz의 주파수 인입시 필터회로에서의 감쇄율은 "0"이다. 결과적으로 2580Hz가 인입시 필터회로에서는 차단이 불가능 하다.

# 4절 KTX-산천과 AF궤도회로간 전기적합성 분석

## 1. KTX-산천 고조파의 AF궤도회로 고조파간섭 분석

가. KTX-산천에서 발생하는 고조파 전류가 AF궤도회로에 미치는 영향을 분석하기 위하여 차량의 고조파 전류를 측정하였다. 실측데이터를 바탕으로 AF궤도회로 고조파간섭 분석을 실시하였으며, 차량의 고조파 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 실측 데이터는 컨버터의 스위칭 주파수 9펄스 상태의 KTX-산천이 운행할 때 측정되어졌다.

나. 측정개요

(1) 일시 : 2013. 05. 14.
(2) 대상 차량 : KTX-산천 24호
(3) 측정 구간 : 서울~여수
(4) 측정방법
- KTX-산천 PC1, PC2주변압기 (-)단의 고조파 전류(Harmonic return current) 측정
- 선번호 601N, 601N-1에 로고스키코일 설치 후 전류 측정

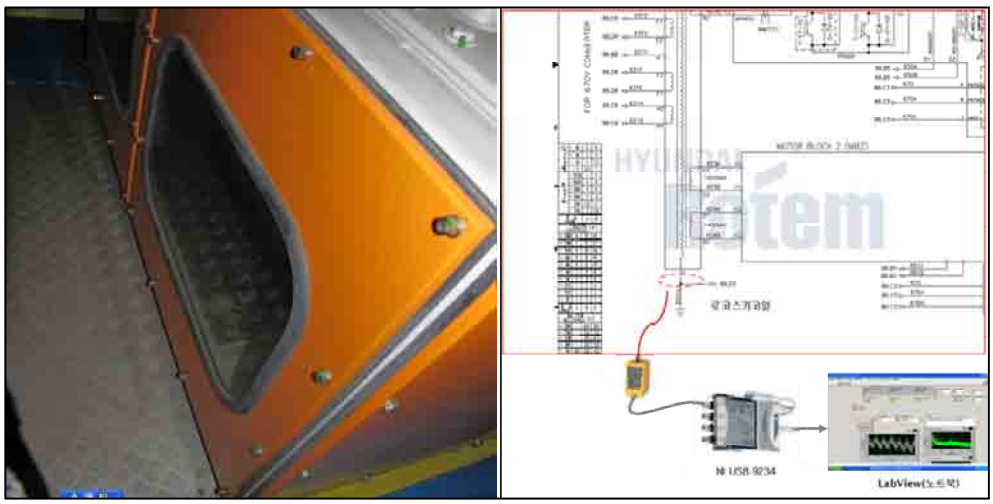


그림 104 KTX-산천 동력차 601N, 601N-1 위치

다. 측정결과 요약

KTX-산천의 실측 고조파 데이터 분석 결과, 시뮬레이션 조건과 차량의 운행 환경의 차이로 인해 고조파 전류의 직접적인 비교는 불가능하지만, 시뮬레이션 결과와 동일하게 TI-21 AF궤도회로의 C-type Low frequency 사용주파수 대역(1979Hz)에서 고조파가 많이 발생되는 것을 확인할 수 있다. 각 구간별 TI-21 AF궤도회로 사용주파수의 고조파 전류 Peak값은 아래 표와 같다.

표 46 서울역 - 광명역 구간

| 측정주파수 / 측정구간 | | 60Hz | A-Type(1699Hz) | | B-Type(2296Hz) | | C-Type(1996Hz) | | D-Type(2593Hz) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Low 1680~1683Hz | High 1715~1718Hz | Low 2277~2280Hz | High 2312~2315Hz | Low 1977~1980Hz | High 2012~2015Hz | Low 2574~2577Hz | High 2609~2612Hz |
| 서울 - 광명 | PC1 | 165 A | 266 mA | 93 mA | 59 mA | 30 mA | 3,481 mA | 42 mA | 239 mA | 23 mA |
| | PC2 | 80 A | 88 mA | 20 mA | 92 mA | 22 mA | 2,692 mA | 35 mA | 103 mA | 12 mA |

표 47 광명역 – 오송역 구간

| 측정구간 \ 측정주파수 | | 60Hz | A-Type(1699Hz) | | B-Type(2296Hz) | | C-Type(1996Hz) | | D-Type(2593Hz) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Low 1680~1683Hz | High 1715~1718Hz | Low 2277~2280Hz | High 2312~2315Hz | Low 1977~1980Hz | High 2012~2015Hz | Low 2574~2577Hz | High 2609~2612Hz |
| 광명 - 오송 | PC1 | 182 A | 261 mA | 52 mA | 65 mA | 29 mA | **5,175 mA** | 37 mA | 148 mA | 80 mA |
| | PC2 | 144 A | 195 mA | 52 mA | 128 mA | 20 mA | **4,753 mA** | 35 mA | 227 mA | 44 mA |

표 48 오송역 – 서대전역 구간

| 측정구간 \ 측정주파수 | | 60Hz | A-Type(1699Hz) | | B-Type(2296Hz) | | C-Type(1996Hz) | | D-Type(2593Hz) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Low 1680~1683Hz | High 1715~1718Hz | Low 2277~2280Hz | High 2312~2315Hz | Low 1977~1980Hz | High 2012~2015Hz | Low 2574~2577Hz | High 2609~2612Hz |
| 오송 - 서대전 | PC1 | 168 A | 277 mA | 69 mA | 71 mA | 26 mA | 4,877 mA | 38 mA | 221 mA | 92 mA |
| | PC2 | 132 A | 209 mA | 38 mA | 147 mA | 17 mA | 4,403 mA | 24 mA | 207 mA | 22 mA |

표 49 대전역 – 논산역 구간

| 측정구간 \ 측정주파수 | | 60Hz | A-Type(1699Hz) | | B-Type(2296Hz) | | C-Type(1996Hz) | | D-Type(2593Hz) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Low 1680~1683Hz | High 1715~1718Hz | Low 2277~2280Hz | High 2312~2315Hz | Low 1977~1980Hz | High 2012~2015Hz | Low 2574~2577Hz | High 2609~2612Hz |
| 서대전 - 논산 | PC1 | 113 A | 289 mA | 73 mA | 78 mA | 51 mA | 3,009 mA | 56 mA | 460 mA | 46 mA |
| | PC2 | 87 A | 183 mA | 45 mA | 92 mA | 22 mA | 2,807 mA | 34 mA | 447 mA | 19 mA |

표 50 논산역 – 익산역 구간

| 측정구간 \ 측정주파수 | | 60Hz | A-Type(1699Hz) | | B-Type(2296Hz) | | C-Type(1996Hz) | | D-Type(2593Hz) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Low 1680~1683Hz | High 1715~1718Hz | Low 2277~2280Hz | High 2312~2315Hz | Low 1977~1980Hz | High 2012~2015Hz | Low 2574~2577Hz | High 2609~2612Hz |
| 논산 - 익산 | PC1 | 107 A | 261 mA | 78 mA | 80 mA | 49 mA | 2,933 mA | 65 mA | 155 mA | 50 mA |
| | PC2 | 84 A | 131 mA | 41 mA | 112 mA | 27 mA | 2,723 mA | 25 mA | 110 mA | 17 mA |

표 51 익산역 – 전주역 구간

| 측정구간 \ 측정주파수 | | 60Hz | A-Type(1699Hz) | | B-Type(2296Hz) | | C-Type(1996Hz) | | D-Type(2593Hz) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Low 1680~1683Hz | High 1715~1718Hz | Low 2277~2280Hz | High 2312~2315Hz | Low 1977~1980Hz | High 2012~2015Hz | Low 2574~2577Hz | High 2609~2612Hz |
| 익산 - 전주 | PC1 | 132 A | 265 mA | 174 mA | 60 mA | 34 mA | 3,277 mA | 42 mA | 101 mA | 46 mA |
| | PC2 | 106 A | 114 mA | 73 mA | 93 mA | 42 mA | 3,006 mA | 37 mA | 90 mA | 36 mA |

표 52 전주역 – 순천역 구간

| 측정구간 \ 측정주파수 | | 60Hz | A-Type(1699Hz) | | B-Type(2296Hz) | | C-Type(1996Hz) | | D-Type(2593Hz) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Low 1680~1683Hz | High 1715~1718Hz | Low 2277~2280Hz | High 2312~2315Hz | Low 1977~1980Hz | High 2012~2015Hz | Low 2574~2577Hz | High 2609~2612Hz |
| 전주 - 순천 | PC1 | 131 A | 250 mA | 113 mA | 120 mA | 49 mA | 3,136 mA | 71 mA | 341 mA | 65 mA |
| | PC2 | 104 A | 105 mA | 70 mA | 214 mA | 25 mA | 2,576 mA | 58 mA | 366 mA | 39 mA |

표 53 순천역 – 여천역 구간

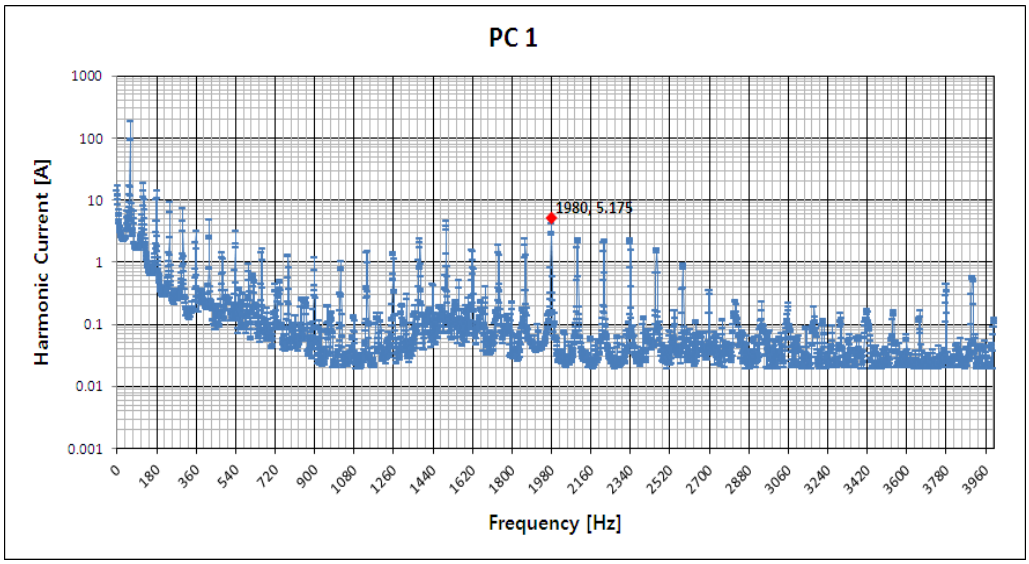
| 측정구간 \ 측정주파수 | | 60Hz | A-Type(1699Hz) | | B-Type(2296Hz) | | C-Type(1996Hz) | | D-Type(2593Hz) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Low 1680~1683Hz | High 1715~1718Hz | Low 2277~2280Hz | High 2312~2315Hz | Low 1977~1980Hz | High 2012~2015Hz | Low 2574~2577Hz | High 2609~2612Hz |
| 순천 - 여천 | PC1 | 129 A | 163 mA | 158 mA | 77 mA | 41 mA | 3,694 mA | 46 mA | 300 mA | 78 mA |
| | PC2 | 103 A | 60 mA | 68 mA | 67 mA | 22 mA | 3,419 mA | 29 mA | 280 mA | 48 mA |

표 54 여천역 – 여수역 구간

| 측정구간 \ 측정주파수 | | 60Hz | A-Type(1699Hz) | | B-Type(2296Hz) | | C-Type(1996Hz) | | D-Type(2593Hz) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Low 1680~1683Hz | High 1715~1718Hz | Low 2277~2280Hz | High 2312~2315Hz | Low 1977~1980Hz | High 2012~2015Hz | Low 2574~2577Hz | High 2609~2612Hz |
| 여천 - 여수 | PC1 | 113 A | 212 mA | 126 mA | 49 mA | 19 mA | 3,033 mA | 27 mA | 90 mA | 21 mA |
| | PC2 | 84 A | 98 mA | 26 mA | 67 mA | 25 mA | 2,718 mA | 25 mA | 114 mA | 13 mA |

라. 고조파 전류 주파수 스펙트럼

KTX-산천이 운행할 때 측정된 데이터 중 33차(1980Hz)고조파가 가장 높게 측정된 구간(광명역-오송역)의 데이터를 분석하였다. 차량의 고조파가 1980Hz(33차 고조파)에서 가장 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있으며, 이 주파수는 TI-21의 C-type Low frequency 사용주파수 대역(1979Hz)과 일치한다. 아래 그림은 동력차1(PC1), 동력차2(PC2)의 고조파 전류 주파수 스펙트럼을 나타낸다.



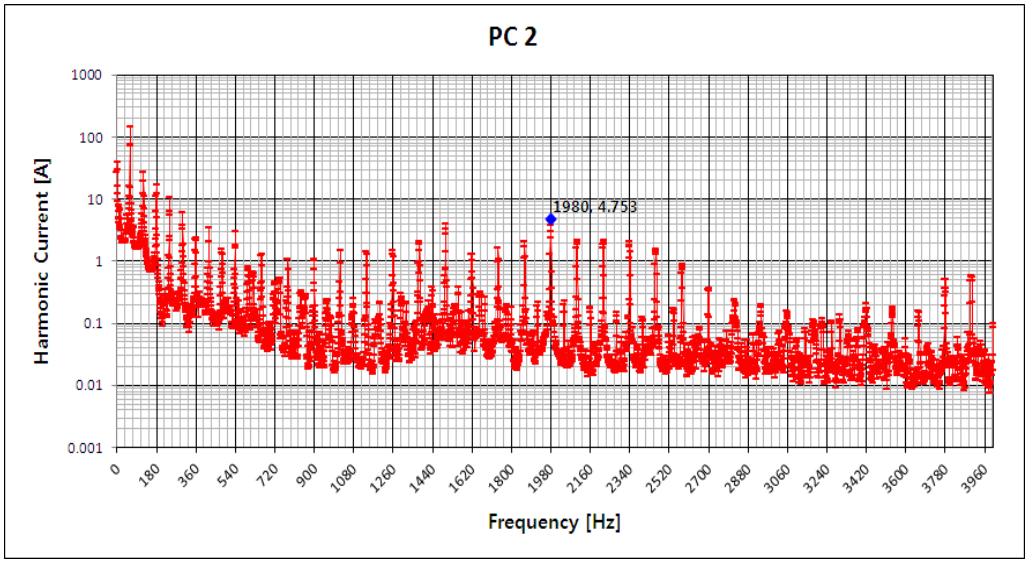



그림 105 동력차1(PC1), 동력차2(PC2)의 고조파 전류 주파수 스펙트럼

마. 시간 분석

KTX-산천의 고조파 중, TI-21 AF궤도회로의 사용주파수 대역만 시간 분석을 하였다. 그 결과 C-type Low frequency 대역(1979Hz) 외에는 차량의 고조파 전류가 매우 낮게 나타난 것을 확인할 수 있다. 또한 차량의 운행조건(powering, braking, coasting)에 따라 차량의 C-type Low frequency 대역(1979Hz) 고조파가 변동하는 것을 확인 할 수 있다.

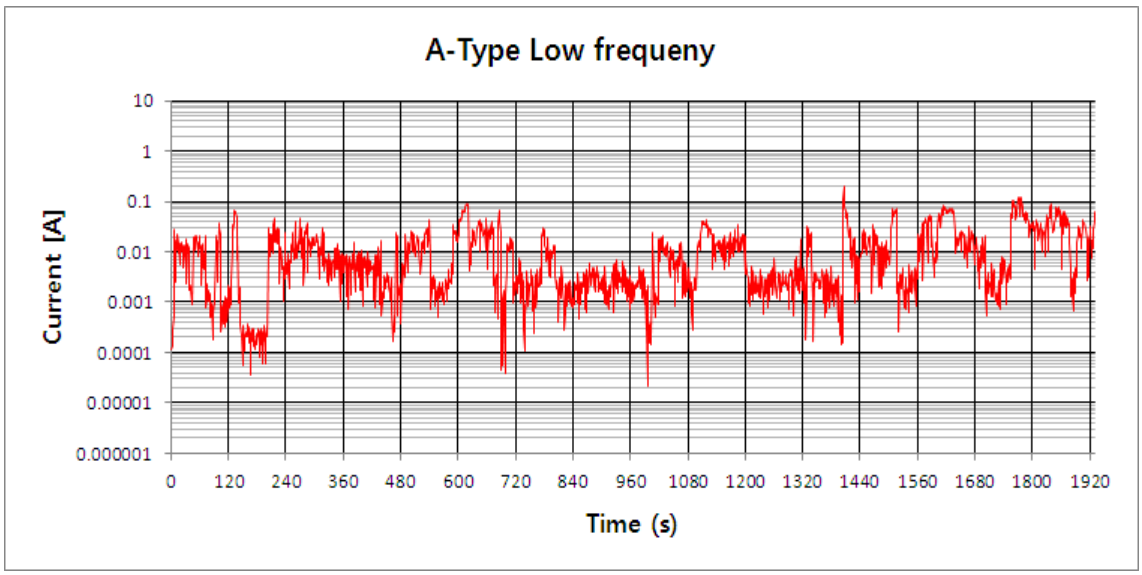



그림 106 저주파(1682Hz)의 종류

상기 그래프는 1682Hz 성분의 시간변화를 나타낸 것으로 전원주파수인 60Hz 성분과 같이 역행 시에는 증가를 보이다가, 타행으로 주행하게 되면 이 주파수성분 또한 감소함을 나타내고 있다. 다만 1682Hz는 전원주파수 및 스위칭주파수(540Hz)의 고조파에 해당되지 않아 그 크기가 상대적으로 작음을 알 수 있다.

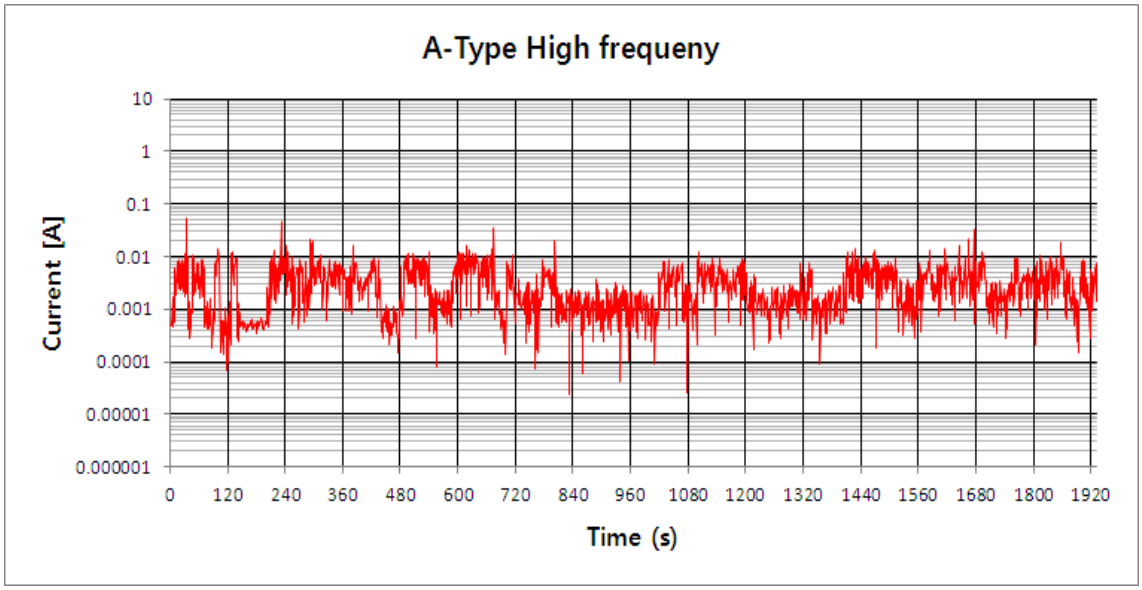



그림 107 고주파(1716Hz)의 종류

상기 그래프는 1716Hz 성분의 시간변화를 나타낸 것으로 전원주파수인 60Hz 성분과 같이 역행 시에는 증가를 보이다가, 타행으로 주행하게 되면 이 주파수성분 또한 감소함을 나타내고 있다. 다만 1716Hz는 전원주파수 및 스위칭주파수(540Hz)의 고조파에 해당되지 않아 그 크기가 상대적으로 작음을 알 수 있다.

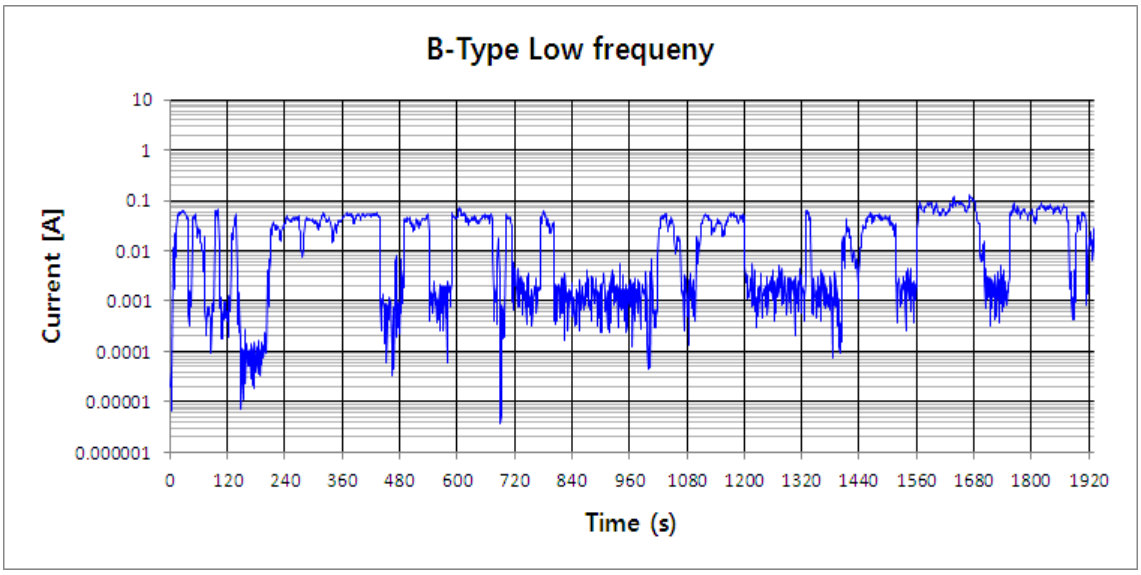



그림 108 B-Type 저주파 (2279Hz)

상기 그래프는 2279Hz 성분의 시간변화를 나타낸 것으로 전원주파수인 60Hz 성분과 같이 역행시에는 증가를 보이다가, 타행으로 주행하게 되면 이 주파수성분 또한 감소함을 나타내고 있다. 다만 2279Hz는 전원주파수 및 스위칭주파수(540Hz)의 고조파에 해당되지 않아 그 크기가 상대적으로 작음을 알 수 있다.

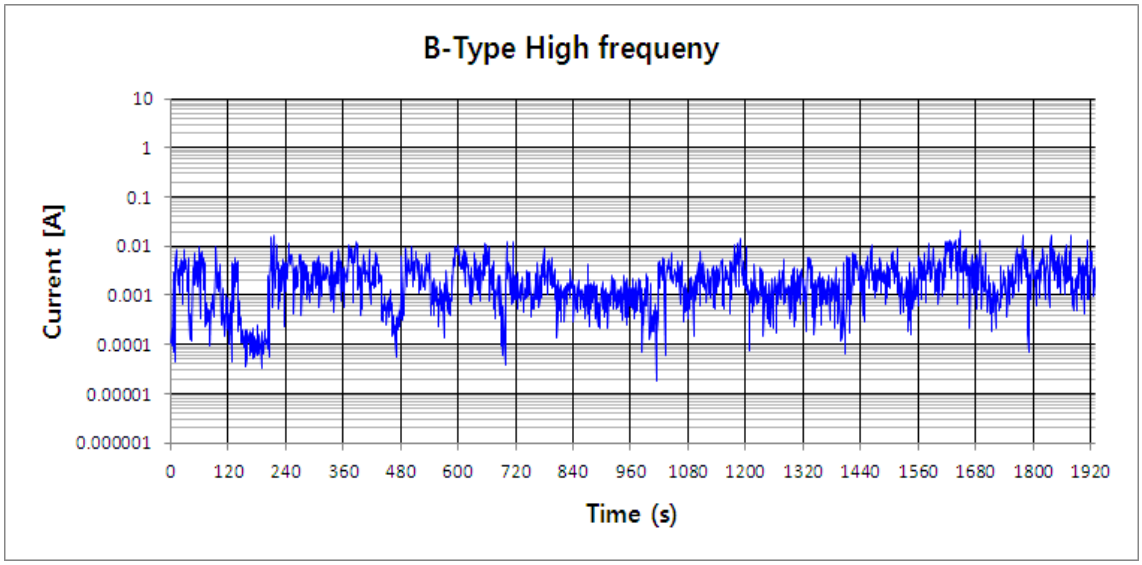



그림 109 B-Type 고주파(2313Hz)

상기 그래프는 2513Hz 성분의 시간변화를 나타낸 것으로 전원주파수인 60Hz 성분과 같이 역행시에는 증가를 보이다가, 타행으로 주행하게 되면 이 주파수성분 또한 감소함을 나타내고 있다. 다만 2513Hz는 전원주파수 및 스위칭주파수(540Hz)의 고조파에 해당되지 않아 그 크기가 상대적으로 작음을 알 수 있다.

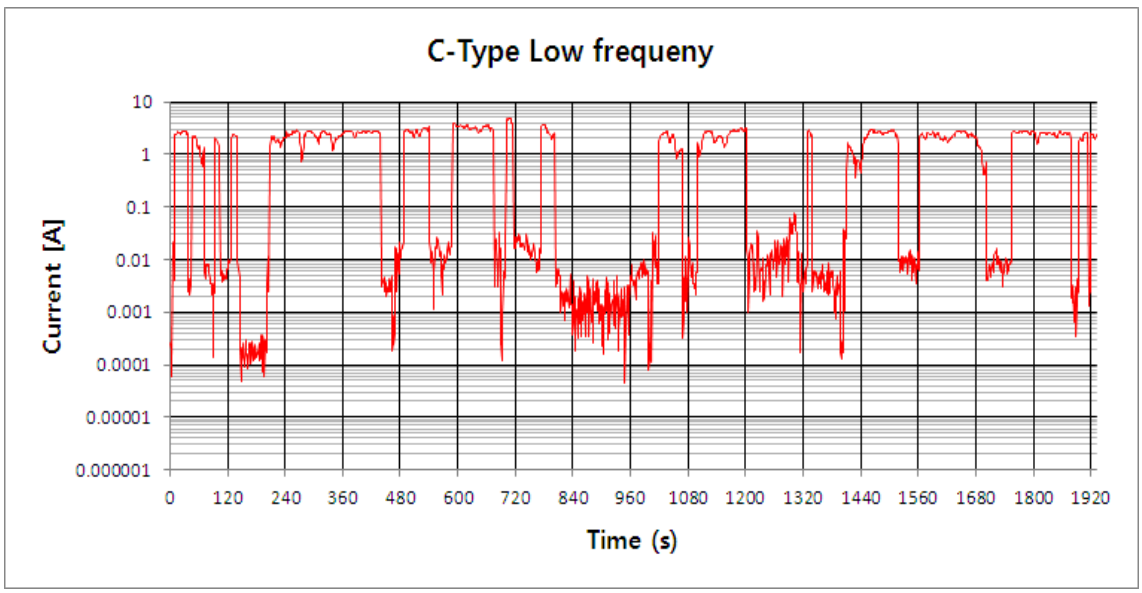



그림 110 C-Type 저주파(1979Hz)

상기 그래프는 1979Hz 성분의 시간변화를 나타낸 것으로 전원주파수인 60Hz 성분과 같이 역행시에는 증가를 보이다가, 타행으로 주행하게 되면 이 주파수성분 또한 감소함을 나타내고 있다. 다만 1979Hz는 전원주파수 및 스위칭주파수(540Hz)의 고조파인 1980Hz에 매우 근접하여 그 크기가 매우 크다는 것을 알 수 있다.

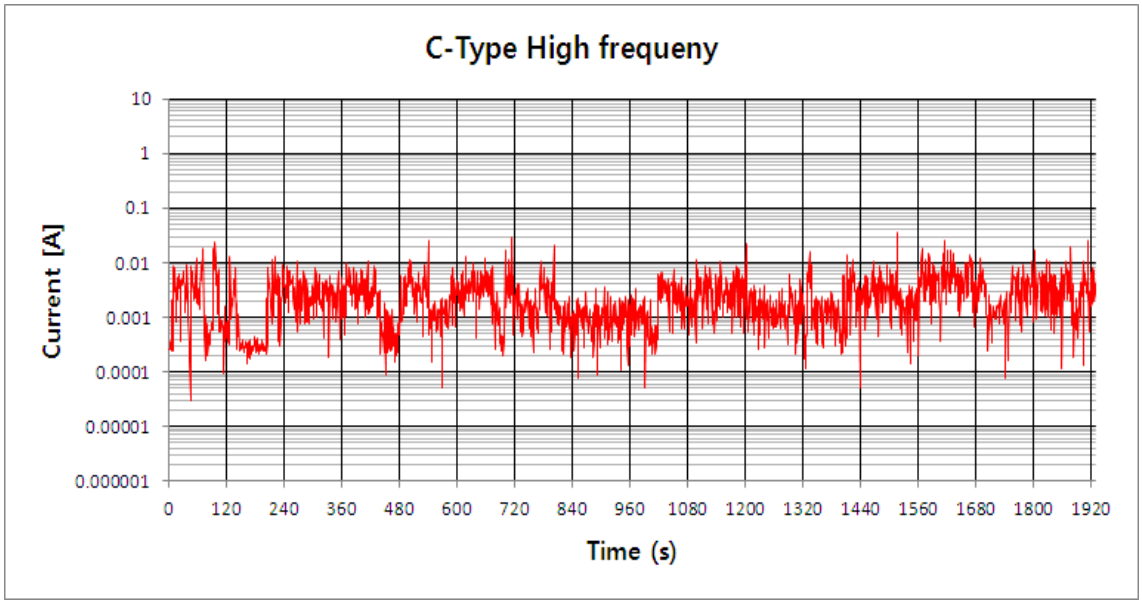



그림 111 C-Type 고주파(2013Hz)

상기 그래프는 2013Hz 성분의 시간변화를 나타낸 것으로 전원주파수인 60Hz 성분과 같이 역행시에는 증가를 보이다가, 타행으로 주행하게 되면 이 주파수성분 또한 감소함을 나타내고 있다. 다만 2013Hz는 전원주파수 및 스위칭주파수(540Hz)의 고조파에 해당되지 않아 그 크기가 상대적으로 작음을 알 수 있다.

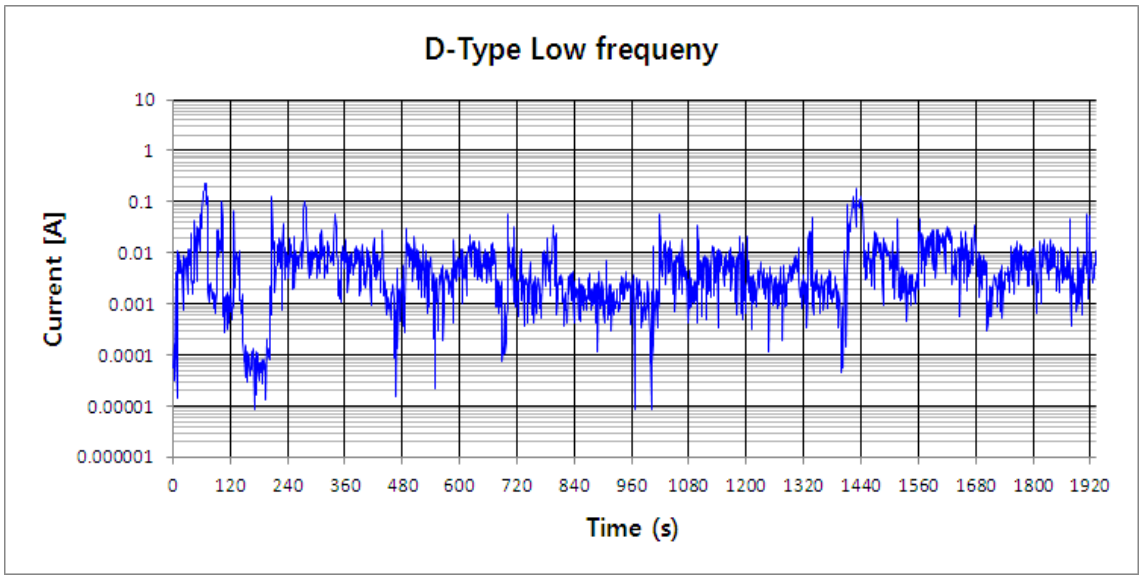



그림 112 D-Type 저주파(2576Hz)

상기 그래프는 2572Hz 성분의 시간변화를 나타낸 것으로 전원주파수인 60Hz 성분과 같이 역행시에는 증가를 보이다가, 타행으로 주행하게 되면 이 주파수성분 또한 감소함을 나타내고 있다. 다만 2572Hz는 전원주파수 및 스위칭주파수(540Hz)의 고조파에 해당되지 않아 그 크기가 상대적으로 작음을 알 수 있다.

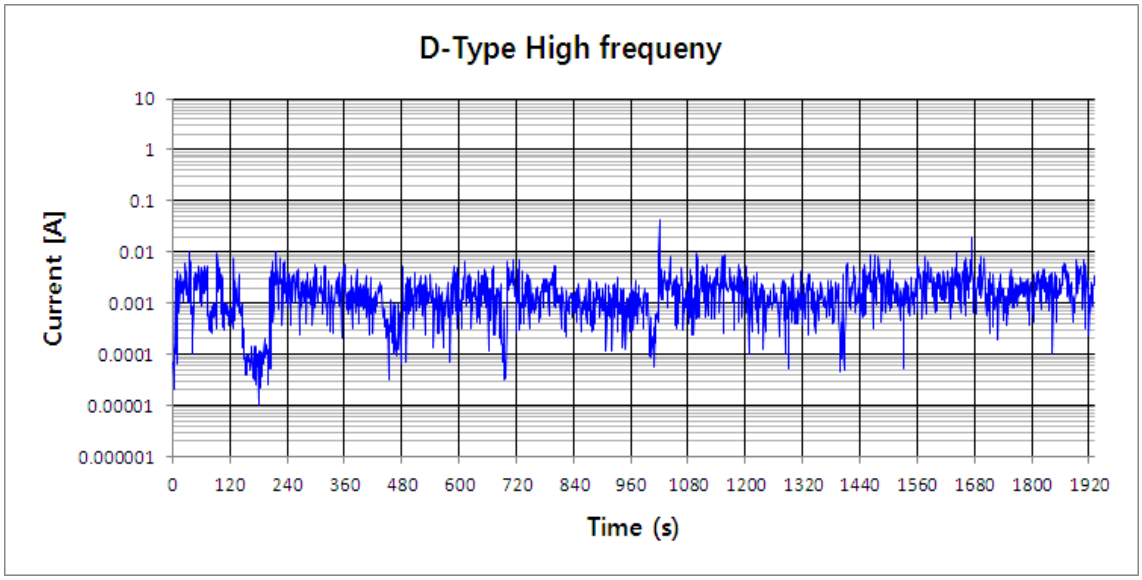



그림 113 D-Type 고주파(2610Hz)

상기 그래프는 2610Hz 성분의 시간변화를 나타낸 것으로 전원주파수인 60Hz 성분과 같이 역행시에는 증가를 보이다가, 타행으로 주행하게 되면 이 주파수성분 또한 감소함을 나타내고 있다. 다만 2610Hz는 전원주파수 및 스위칭주파수(540Hz)의 고조파에 해당되지 않아 그 크기가 상대적으로 작음을 알 수 있다.

바. KTX vs KTX-산천 고조파 비교

KTX는 추진제어 방식으로 위상제어를 사용한다. 위상제어 방식은 소음을 많이 발생시키고 시스템의 소형화에 불리한 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 KTX-산천은 IGBT를 사용한 PWM 제어 방식을 택하였으며, 결과적으로 소음저감, 시스템의 소형화, 에너지 절감 및 고효율화의 장점이 있다. KTX와 KTX-산천의 고조파 특성은 아래 그림과 같다.

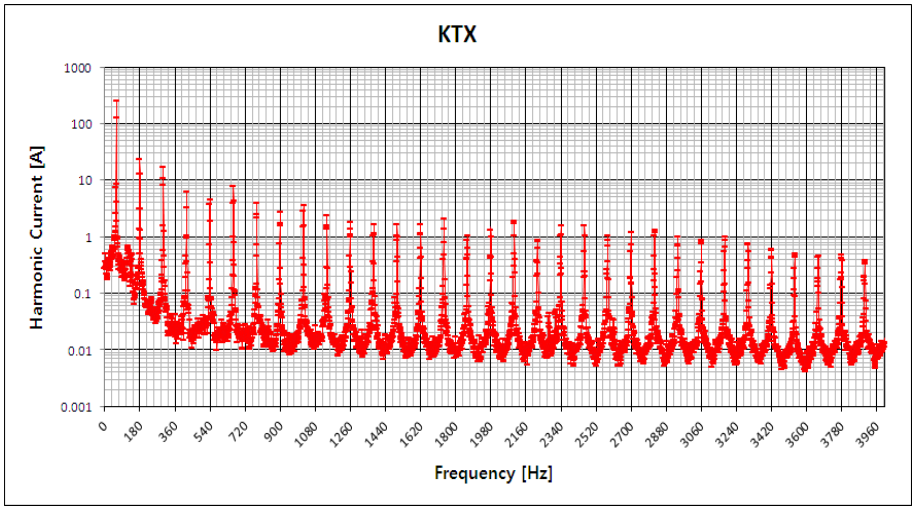



그림 114 KTX고조파 특성

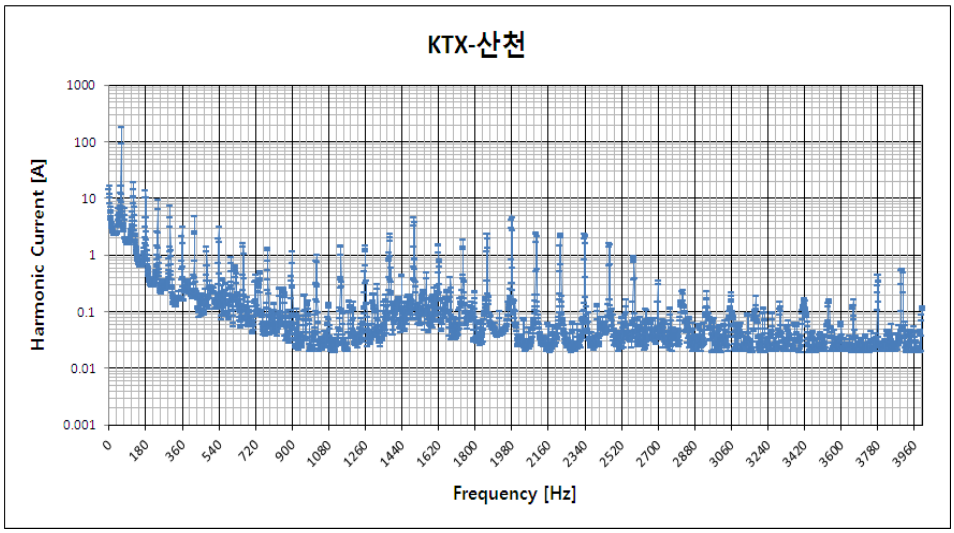



그림 115 KTX산천 고조파 특성

이전의 시간영역에서 주파수 성분별 전류의 변화를 살펴본 바와 같이 KTX차량의 경우에는 주파수가 증가함에 따라 지속적으로 그 크기가 감소하고 있으나, KTX-산천의 경우에는 IGBT 스위칭 소자를 사용함에 따라 특정 주파수 영역에서 상대적으로 높은 고조파를 나타냄을 확인 할 수 있다. 다만, KTX-산천의 경우에 1kHz~3kHz의 주파수영역에서 고조파전류의 크기가 상대적으로 크지만, 전체적인 고조파의 크기는 KTX차량이 크다는 것을 또한 알 수 있다.

바. 결론

KTX-산천의 실측 고조파 전류를 분석한 결과, 현재 문제가 되고 있는 KTX-산천의 33차고조파(1980Hz)가 상대적으로 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 33차 고조파는 IGBT, 9펄스의 추진 제어 방식을 사용하는 KTX-산천에서 필연적으로 발생되는 고조파이다. KTX-산천과 TI-21 AF궤도회로의 전자파적합성을 확립하기 위해, 차량의 고조파가

TI-21 AF궤도회로에 간섭을 일으키는 직접적인 원인규명과 더불어 차량의 고조파 저감을 위한 다양한 기술검토 (필터 설치, 스위칭 주파수 변경, 견인력 저감, 컨버터 펄스수 변경 등)가 조사되어야 할 것이다.

## 5절 KTX-산천과 AF궤도회로간 전차선 귀선전류고조파 분석

### 1. AF궤도회로 조사

가. TI21용 디지털 교체 모듈

최신 TI21 모듈은 아날로그 기술에 기반을 두고 있으며 이 모듈은 이제 가장 최근의 디지털 기술을 사용하는 모듈로 직접 교체할 수 있다.

이 모듈은 래킹(racking)이나 와이어링(wiring) 배열을 변경하지 않고도 기존의 TI21 상당 장치를 개별적으로 교체할 수 있습니다. 새 교체 송신기 및 수신기 모듈을 장착할 때 기존의 TI21 튜닝 장치 배열을 변경할 필요가 없다.

(1) 디지털 송신기 TI21형

TI21 송신기는 표면에 장착된 디지털 부품으로 업그레이드된 것 이외에 외관상 변화는 없으며 전기적 특성과 단자 배열은 지금까지와 동일하다.

(2) 디지털 송신기 EBI Track 200형

(가) TI21 송신기 교체품 역시 표면에 장착된 디지털 부품으로 업그레이드되었으나 케이스 크기는 줄어들었고 “EBI Track 200 수신기”로 통한다. 교체품 EBI Track 200 수신기도 종전 TI21 수신기와 마찬가지의 랙 설비를 사용할 수 있는 어댑터 판이 제공된다.

(나) 이러한 유형의 설계에 사용되는 디지털 기술의 활용폭을 더욱 넓혀 여분의 유용 기술을 통합시켰다.

(다) 일반 수신기 장치가 사용되며 착탈식 키를 사용하여 작동 채널 주파수(8개 중1개)를 선택한다.

(라) 조정 버튼과 함께 사용되는 내장형 상태 모니터링 디스플레이가 제공되어 주요 수신기 특성을 모니터링하고 자동으로 게인(gain)을 조정할 수 있다.

(마) 가장 최근의 궤도점유 표시와 더불어 주요 궤도 회로 특성의 로그가 착탈식 키에 기록됩니다. 이 키를 이용하여 나중에 컴퓨터를 통해 로그를 읽어낼 수 있다.

(바) 연속 원격 모니터링이 촉진되도록 RS485및RS232 인터페이스가 있는 출력 소켓이 제공된다.

(3) EBI Track 200/TI21 메이팅 커넥터

(가) EBI Track 200 수신기는 플러그가 연결되어 있어서 적절한 메이팅 커넥터를 통하여 기존 와이어링에 조립할 수 있습니다. TI21 수신기에 연결할 수 있는 모든 일반적인 방법에 적절한 대체 유형도 있다.

나. 디지털/Coded 궤도 회로 EBI Track 400형

이 제품은 2008년3월11일 버밍햄 Infrarail 전시회 때 출시된 새 디지털/비트 코드화 궤도 회로다.

송신기와 수신기는 표면에 장착된 디지털 부품을 구현하고 있습니다. 이 특징을 활용하여 안정성 높은 다중비트 코딩 기술을 제공한다. 이 기술 덕분에 종전 궤도 회로 설계에 비하여 안전성이 훨씬 높다.

송신기 및 수신기 모듈은 TI21에 비하여 적은 랙 공간을 차지한다. TI21 모듈을 직접 교체해야 할 곳에는 적절한 어댑터 판이 제공된다.

송신기는 두 개의 하위 모듈에 있다. 하나는 캐리어/코딩 발생 부분으로서 송신기라고 하고 다른 하나는 출력을 확장하고 로드에 일치시키는 출력부분으로서 송신기 출력 모듈이라고 한다.

BI Track 400 궤도 회로는 TI21 궤도 회로와 동일한 튜닝 장치를 활용하고 있으며 모든 트랙사이드 케이블링 또한 동일하다.

(1) EBI Track 400 송신기

EBI Track 400 송신기는 표면에 장착된 디지털 설계를 전체적으로 사용하며 다음과 같은 기능을 구현한다.

- 착탈식 코딩 키를 사용한 캐리어 주파수 및 정밀한 작동 코드 선택 수단
- 내장 푸시 버튼과 영문자 디스플레이의 도움을 통한 상태 모니터링
- 연속 원격 모니터링이 가능하도록 RS485및RS232 인터페이스가 있는 전면 패널에 장착된 별도의 소켓

해밍거리가 있는 텔레그램 형식으로 각각 송신되는 7000개 이상의 코드 중에서 어느 한 개라도 선택할 수 있다. 이로서 위험 상태(Wrong-side- failure) 확률 4.8 x 10 -190. 를 보장한다.

(2) 송신기 출력장치 EBI Track 400

이 장치는 송신기 출력을 확장하여 로드에 일치시키며 주파수에 특정적이다(즉, 채널 A부터 H까지 각각에 대하여 8가지 버전이 있다.).

교체 출력 단자가 80와트 이상의 출력 수준을 제공합니다. 이 수치는 TI21 송신기 출력 수준의 두 배가 넘는다. 따라서 트랙사이드와 송신기 간에 7km 이상 원격 작동 기능이 보장된다.

(3) 수신기 EBI Track 400형

전체적으로 사용된 디지털 기법을 활용하여 많은 유용한 기술을 통합시킨다.

일반 수신기 장치가 사용되며 착탈식 키를 사용하여 작동 채널 주파수(8개 중1개)를 선택한다.

조정 버튼과 함께 사용되는 내장형 상태 모니터링 디스플레이가 제공되어 주요 수신기 특성을 모니터링하고 자동으로 게인(gain)을 조정할 수 있다.

가장 최근의 궤도점유 표시와 더불어 주요 궤도 회로 특성의 로그가 착탈식 키에 기록된

다. 이 키를 이용하여 나중에 컴퓨터를 통해 로그를 읽어낼 수 있다.
또한 연속 원격 모니터링이 촉진되도록 RS485및RS232 인터페이스가 있는 출력 소켓이 제공된다. 이를 통해 주요 궤도 회로 상태의 동향을 기록할 수 있는 수단이 제공됨에 따라 진행 중인 품질 저하에 관한 고급 정보가 제공된다(예: 짐을 싣지 않은 상태).
코딩 시스템은 고급 위성 상관(correlation) 기술을 사용하여, 시끄러운 궤도 회로 환경에서 우수한 코드 인식 성능을 제공한다. 인밴드 트랙션(in-band traction) 또는 기타 궤도 회로 신호 수준까지의 간섭은 성가신 고장이 발생되지 않고 용납될 수 있으므로 종전 유형의 오디오 주파수 궤도 회로에 비하여 성능이 크게 향상된다.

(4) 다양한 EBI Track 400/TI21 메이팅 커넥터
EBI Track 400 모듈은 플러그가 연결되어 있어서 적절한 메이팅 커넥터를 통하여 기존 TI21 와이어링에 조립할 수 있다. 일반적인 모든 TI21랙 와이어링에 맞는 대체 유형도 있다.

나. EBI의 장점
(1) 디지털화
아날로그 기술에 비해 디지털 기술은 복잡한 안전 기능에 훨씬 더 적합하다. 그 주된 이유는 안전성은 수학적으로 더 쉽게 입증할 수 있기 때문이다. 또한 보조 기능을 더욱 손쉽게 추가할 수 있다. 종전 아날로그 TI21 설계에서는 찾아볼 수 없는 이러한 특징은 앞서 설명했다.
모든 새로운 설계는 더욱 높은 안전성 요건에 맞게 승인이 돼야 한다. 따라서 아날로그 대신 디지털 기술을 구현하는 것이 매우 바람직하다.
(2) 부품 노후화
아날로그 설계는 특히 부품 노후화 문제에 직면할 가능성이 높다.
반면 디지털은 그러한 문제에 대한 내성이 훨씬 높게 설계할 수 있으며 이 목적을 달성하기 위하여 새 설계에 주의를 기울여 왔다.
(3) 개선된 모니터링 설비
EBI Track 200및400 모듈에는 대폭 개선된 모니터링 설비가 포함되어 있습니다. 따라서 설치, 작동, 유지보수 절차가 훨씬 용이하다. 연속적인 궤도 회로 상태 모니터링과 데이터 로깅을 위한 출력 포트가 제공된다. 따라서 궤도 회로 고장이 발생하기 전에 문제 진단이 가능하다.
(4) 코딩
EBI Track 400은 뛰어난 Coded 캐리어 신호를 사용하여 캐리어 주파수 당 7000개가 넘는 궤도 회로 각각을 독보적이면서도 안전하게 식별할 수 있는 수단을 제공한다. 따라서 수신기는 수신기 고유의 송신기로부터 이외에는 작동하지 않는다. 즉, 이러한 기술이 의미하는 것은 EBI Track 400이 특히 가장 복잡한 다중궤도 교차점과 대형 역 지역에서 사용할 때 매력적이라는 점이다.
코딩의 품질은 지금보다 훨씬 높은 수준의 트랙션 간섭이 인밴드에서조차 용납될 수 있다.

(5) TI21와의 상호교환성

모든 새 모듈은 랙 와이어링을 변경하지 않고도 TI21 모듈과 직접 상호 교환할 수 있도록 설계되었습니다. 모든 TI21 트랙사이드 케이블링은 변경되지 않았으며 TI21 튜닝 장치 역시 변경 사항이 없다.

(6) 원격 작동 거리 증대

EBI Track 400의 경우, 송신기 동력 증대 덕분에 원격 작동 거리가7km 이상 가능하다.

## 2. AF궤도회로 설계 수신레벨 검토

가. 성능 및 특성

(1) 일반사항

(가) 각종 제어장치에 사용하는 주파수는 차량, 통신 등 타 장치와 서로 간섭하지 않도록 하여야 하며 관계법(전파법 등)에 위배되지 않아야 한다.

(나) 궤도회로의 제어거리는 누설 콘덕턴스가 0.5~0.1 mho/km일 때 별도 부가설비 없이 50~1,000m를 유지할 수 있어야 하며 최대 제어거리는 1,500m 이상이어야 한다.

궤도회로 길이별 송수신 케이블 길이는 다음과 같다.

표 55 궤도회로 길이와 케이블의 길이

| 궤도회로 길이 | 송신케이블 길이(최대) | 비고 |
|---|---|---|
| 50m~300m | 950m | 수신케이블 길이: 480m, 사용케이블: 2.5㎟의 경우 표준수치로서 현장조건에 따라 달라질 수 있음 |
| 300m~600m | 480m | |
| 600m~800m | 220m | |
| 800m~900m | 120m | |
| 900m~1,000m | 30m | |

(다) 궤도회로의 단락감도는 0.1Ω~1.7Ω이어야 한다.

(라) 중첩궤도(Post shunt 및 Pre shunt) 전기절연의 허용범위는 동조구역 내(인접한 TU 상호간)에서 최대 10m~최소 0.5m 범위 내에서 조정이 가능하여야 하며 역구내에서는 2m 이하로 하여야 한다.

(마) 차량에서 발생되는 노이즈 또는 고조파에 의하여 궤도계전기가 오동작하지 않도록 하여야하며 지락 또는 뇌해로부터 장치가 보호될 수 있도록 반드시 보호회로를 구비하여야 한다.

(바) 궤도회로 경계구간을 정확하게 설정하여 열차가 통과할 때 순간적인 사구간이 발생하지 않아야한다.

(2) 송신모듈

송신모듈 특성은 다음과 같다.

표 56 송신모듈 특성

| | |
|---|---|
| 정격전압 | DC 24V |
| 동작전압 | DC 22.5~30.5V |
| 소비전류 | 2.2A 이하 |
| 출력전류 | 3~40W |
| 변조속도 | 174ms~260ms(4.8Hz±20%) |
| 절연저항 | DC 500V/50㏁ |

송신모듈 주파수 유형별 발진주파수는 다음과 같다.

표 57 송신모듈 발진주파수

| 주파수유형 | 공칭주파수(Hz) | 저주파수<br>(−2Hz ~ +1Hz) | 고주파수<br>(+2Hz ~ −1Hz) |
|---|---|---|---|
| A | 1,699 | 1,682 | 1,716 |
| B | 2,296 | 2,279 | 2,313 |
| C | 1,996 | 1,979 | 2,013 |
| D | 2,593 | 2,576 | 2,610 |
| E | 1,549 | 1,532 | 1,566 |
| F | 2,146 | 2,129 | 2,163 |
| G | 1,848 | 1,831 | 1,865 |
| H | 2,445 | 2,428 | 2,462 |

송신모듈에 공급되는 DC전압에 따른 주파수 유형별 출력전압은 다음과 같다.

표 58 공급전압에 따른 송신모듈 출력전압(AC)

| 주파수 유형 | 송신모듈 공급전압 | |
|---|---|---|
| | DC 22.5V(±0.1V) | DC 30.5V(±0.1V) |
| A | 9.4V ~ 11.0V | 8.5V ~ 10.8V |
| B | 9.5V ~ 11.1V | 9.0V ~ 10.9V |
| C | 9.4V ~ 11.0V | 8.4V ~ 10.8V |
| D | 9.0V ~ 10.9V | 8.5V ~ 10.7V |
| E | 9.4V ~ 10.9V | 9.3V ~ 10.7V |
| F | 9.1V ~ 10.7V | 8.2V ~ 10.5V |
| G | 9.3V ~ 10.7V | 8.4V ~ 10.5V |
| H | 9.1V ~ 10.6V | 8.3V ~ 10.4V |

(3) 수신모듈

TU으로부터 수신한 주파수에서 해당 주파수를 선택 증폭하여 궤도계전기 동작전원을 생성하여야 한다.

수신모듈의 특성은 다음과 같다.

표 59 수신모듈 특성

| | |
|---|---|
| 전원특성 | 정격전압: DC 24V<br>동작전압: DC 22.5V ~ 30.5V, 소비전류: 1A 이하 |
| 계전기 동작전원<br>출력지연시간 | 여 자: 2초 ±0.5초<br>무여자: 1ms 이하 |
| 계전기 출력전압 | 정격 동작전압범위에서 DC 19.2 ~ 31.2V |
| 절연저항 | DC 500V / 50MΩ 이상 |

계전기 동작에 필요한 수신입력전류는 다음과 같다.

표 60 수신입력 전류

| 수신감도 | 입력전류 |
|---|---|
| 1 | 172mA 이상 |
| 2 | 86mA 이상 |
| 3 | 57mA 이상 |
| 6 | 28mA 이상 |
| 9 | 19mA 이상 |
| 13 | 14mA 이상 |

(4) 전송모듈

전송모듈의 특성은 다음과 같다.

표 61 전송모듈 특성

| | |
|---|---|
| 전원특성 | 정격전압: DC 24V<br>최소동작전압: DC 22.5V 이상, 정격전류: 500mA 이하 |
| 통신방식 | 수신모듈 – 전송모듈간: 직렬통신(시리얼 통신)<br>전송모듈 – 전송모듈간: 전송거리 4km 이상 |
| 절연저항 | DC 500V / 50MΩ 이상 |

(5) TU (일반용)

주파수 유형별로 출력되는 궤도전압의 범위는 다음과 같다.

표 62 주파수 유형별 궤도전압

| 주파수유형 | 공칭주파수(Hz) | 저주파수(Hz) | 고주파수(Hz) | 궤도전압(V) | 저•고주파 전압편차(V) |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 1,699 | 1,682 | 1,716 | 2.4 ~ 3.5 | 0.18 이하 |
| B | 2,296 | 2,279 | 2,313 | 3.4 ~ 5.1 | 0.27 이하 |
| C | 1,996 | 1,979 | 2,013 | 2.5 ~ 3.7 | 0.20 이하 |
| D | 2,593 | 2,576 | 2,610 | 3.7 ~ 5.6 | 0.30 이하 |
| E | 1,549 | 1,532 | 1,566 | 2.2 ~ 3.3 | 0.17 이하 |
| F | 2,146 | 2,129 | 2,163 | 3.1 ~ 4.8 | 0.26 이하 |
| G | 1,848 | 1,831 | 1,865 | 2.4 ~ 3.6 | 0.20 이하 |
| H | 2,445 | 2,428 | 2,462 | 3.5 ~ 5.3 | 0.29 이하 |

궤도회로의 전기적 절연을 구성하기 위하여 A/B, C/D, E/F, G/H 쌍으로 이루어지며 A형 TU에 B형 TU의 주파수전압을 인가 시 유입되는 전압인 인접궤도 허용전압은 주파수 유형별로 다음과 같다.

표 63 주파수 유형별 인접궤도 허용전압

| 주파수 유형 | 인접주파수(Hz) | | | 인접궤도전압(㎷) | 저•고주파 전압편차(㎷) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 공칭주파수(Hz) | 저주파수(Hz) | 고주파수(Hz) | | |
| A | 2,296 | 2,279 | 2,313 | 50 이하 | 15 이하 |
| B | 1,699 | 1,682 | 1,716 | 65 이하 | 20 이하 |
| C | 2,593 | 2,576 | 2,610 | 50 이하 | 15 이하 |
| D | 1,996 | 1,979 | 2,013 | 65 이하 | 20 이하 |
| E | 2,146 | 2,129 | 2,163 | 50 이하 | 15 이하 |
| F | 1,549 | 1,532 | 1,566 | 65 이하 | 20 이하 |
| G | 2,445 | 2,428 | 2,462 | 50 이하 | 15 이하 |
| H | 1,848 | 1,831 | 1,865 | 65 이하 | 20 이하 |

궤도회로 길이가 짧은 구간에서 사용하는 저출력 궤도전압은 다음과 같다.

표 64 주파수 유형별 저출력 궤도전압

| 주파수유형 | 시험주파수(Hz) | 궤도전압(V) |
|---|---|---|
| A | 1,699 | 0.7 ~ 1.4 |
| B | 2,296 | 1.0 ~ 1.9 |
| C | 1,996 | 0.8 ~ 1.4 |
| D | 2,593 | 1.2 ~ 2.1 |
| E | 1,549 | 0.6 ~ 1.3 |
| F | 2,146 | 0.9 ~ 1.8 |
| G | 1,848 | 0.8 ~ 1.4 |
| H | 2,445 | 1.0 ~ 2.0 |

(6) TU (종단용)

무절연으로 구성할 수 없는 궤도회로에서 궤조절연을 사용하여 궤도회로를 구성할 경우 사용하는 것으로 주파수 유형별 궤도전압은 다음과 같다.

표 65 주파수 유형별 궤도전압

| 주파수유형 | 공칭주파수(Hz) | 저주파수(Hz) | 고주파수(Hz) | 궤도전압(V) | 저•고주파 전압편차(V) |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 1,699 | 1,682 | 1,716 | 2.4 ~ 3.5 | 0.18 이하 |
| B | 2,296 | 2,279 | 2,313 | 2.9 ~ 4.4 | 0.23 이하 |
| C | 1,996 | 1,979 | 2,013 | 2.4 ~ 3.5 | 0.19 이하 |
| D | 2,593 | 2,576 | 2,610 | 3.2 ~ 4.9 | 0.26 이하 |
| E | 1,549 | 1,532 | 1,566 | 2.0 ~ 3.0 | 0.16 이하 |
| F | 2,146 | 2,129 | 2,163 | 2.9 ~ 4.4 | 0.23 이하 |
| G | 1,848 | 1,831 | 1,865 | 2.2 ~ 3.3 | 0.17 이하 |
| H | 2,445 | 2,428 | 2,462 | 3.5 ~ 5.3 | 0.27 이하 |

궤도회로 길이가 짧은 구간에서 사용하는 저출력 궤도전압은 다음과 같다.

표 66 주파수 유형별 저출력 궤도전압

| 주파수유형 | 시험주파수(Hz) | 궤도전압(V) |
|---|---|---|
| A | 1,699 | 0.7 ~ 1.3 |
| B | 2,296 | 1.0 ~ 1.8 |
| C | 1,996 | 0.8 ~ 1.4 |
| D | 2,593 | 1.2 ~ 2.0 |
| E | 1,549 | 0.6 ~ 1.2 |
| F | 2,146 | 1.0 ~ 1.8 |
| G | 1,848 | 0.7 ~ 1.3 |
| H | 2,445 | 1.2 ~ 2.1 |

(7) 임피던스본드(B1)

(가) 성능

- 임피던스본드는 KRS SG0031-06(고전압 임펄스궤도회로장치)에 적합하게 사용할 수 있어야 한다.
- 임피던스본드에 흐르는 전차선 귀선 전류의 허용 범위는 평상시 430A 이상, 피크시 800A 이상을 흘릴 수 있어야 한다.

- 본드는 주위온도 -25℃ ~ +70℃ 범위에서 성능에 영향을 받지 않고 사용할 수 있어야 한다.

나. 임피던스본드의 특성

(가) 전차선전류와 신호전류가 동일한 궤도를 사용하며, 이때 신호전류는 1개의 궤도회로 내에만 흘러야 하고 전차선전류는 변전소까지 연속으로 회로가 구성되어야 한다. 이를 위해 임피던스본드는 궤도회로 경계지점에서 전차선전류는 통과시키고, 신호전류는 차단시킨다.

(나) 전차선전류는 (-)극성이 레일의 양쪽에 반반씩 반대 방향으로 흐르므로 임피던스본드의 철심은 자화되지 못하여 2차 코일로는 유기되지 못하고 중성점을 거쳐 인근 궤도회로로 흐른다. 신호전류는 한 방향으로만 흐르므로 철심을 자화시켜 2차 코일에 전압을 유기 후 계전기를 여자시킨다. 이 때 철심의 전기적 중성점에는 전위차가 발생하지 않으므로 인접 궤도회로로 신호전류는 유출되지 않는다.

(다) 이런 특성에 의해 전원주파수의 33차 고조파(1,980㎐) 성분이 신호전류나 귀선전류에 동일하게 존재하더라도 신호전류에 포함된 33차 고조파 성분은 필터링 가능하다. 그리고 서로 다른 폐색구간의 경계지점에서 신호전류가 차단되기 때문에 해당 타입의 주파수는 차단된다. 또한 차량의 유무에 관계없이 임피던스본드는 이와 같은 특성을 유지한다.

## 3. 변조방식 검토

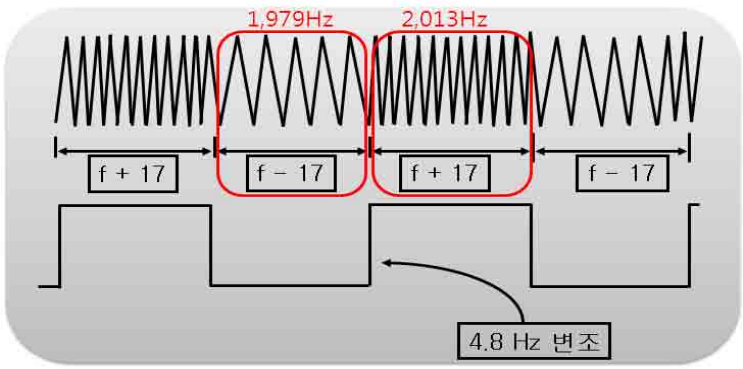



그림 116 주파수 변조 방식

가. 정의

- 디지털신호에 따라 진폭은 일정하나, 여러 이산적인 주파수로 편이 변조하는 방식

(가) ·반송파의 주파수 정보를 이용하는 변조 방식

- 두 개의 이진값에 서로 다른 반송파의 주파수를 적용(진폭은 동일)
- 데이터 표현

(나) ·낮은 주파수는 '0', 높은 주파수는 '1'

나. 특징

- ASK(진폭편이변조)에 비해 잡음 등의 레벨 변동을 받지 않음

- 변조된 파형의 진폭이 일정
- 채널 통과 시 생기는 진폭 변화의 영향을 적게 받음
- 신호의 생성과 검출이 쉬움
- 현재까지 가장 널리 쓰이는 디지털 변조의 형태

다. 아날로그 변조에서 디지털 변조로

- 디지털 변조라 할지라도 전술한 아날로그 변조방식을 기본으로 하고 있다. 별도로 어려운 것은 없다. [표 67]와 같이 비교하면 일목요연하다. 이들 변조방식 가운데 FSK방식과 PSK방식이 현재의 디지털 변조의 주류를 이루고 있다.
- [표 67]의 설명을 실제의 신호로 나타낸 것이 [그림 117]이다. [그림 117] (a)는 ASK방식의 변조파형이다. 전송하고 싶은 데이터의 1.0에 대응하여 반송파의 진폭이 커지거나 작아진다. 물론 1, 0에 대응하여 반송파의 진폭이 커지거나 작아진다. 물론 1, 0 과 진폭과의 대응은 송수신기 사이에 정해 놓으면 반대로도 상관이 없다.
- [그림 117] (b)는 FSK 방식의 변조 파형이다. ASK 방식과 같이 FSK 방식인 경우는 입력의 송신 데이터에 대해 반송파의 주파수를 변경하여 변조한다.
- FSK 방식인 경우는 일반적으로 다음과 같은 식의 변조지수 m을 0.5~1 정도로 하여 변조한다.

$$m = \frac{\triangle f}{S}$$

- Δf : 주파수 변화량 [Hz], S : 데이터 속도 [bps]
- 여기서 구하는 주파수 변화량은 반송파 주파수의 영향을 받지 않고 입력되는 데이터 속도로 결정된다. 예를 들어 m=0.5, m=9,600bps로 하면 입력 송신 데이터 1, 0에 대한 주파수 변화량 Δf 는 4,800Hz로 된다.
- 주파수는 반송파의 중심 주파수에 대하여 ±2,400Hz와 같이 상하로 절반씩 변화시킨다. 또한 m=0.5일 때 MSK(Minimum Shift Keying) 라 한다.

표 67 아날로그 변조방식과 디지털 변조방식

| 변조방식 | 아날로그 변조 | 디지털 변조 | 사용 예 |
|---|---|---|---|
| 진폭을 바꾼다 | AM | ASK(Amplitude Shift Keying)<br>진폭 시프트 키잉 | 무선 원격 조정, 리모콘 |
| 주파수를 바꾼다 | FM | FSK(Frequency Shift Keying)<br>주파수 시프트 키잉 | 특정 소전력 데이터 통신용 무선기, GSM(유럽의 휴대전화) |
| 위상을 바꾼다 | FM | PSK(Phase Shift Keying)<br>위상 시프트 키잉 | 위성방송의 음성신호,<br>PDC/PHS (일본의 휴대전화) |

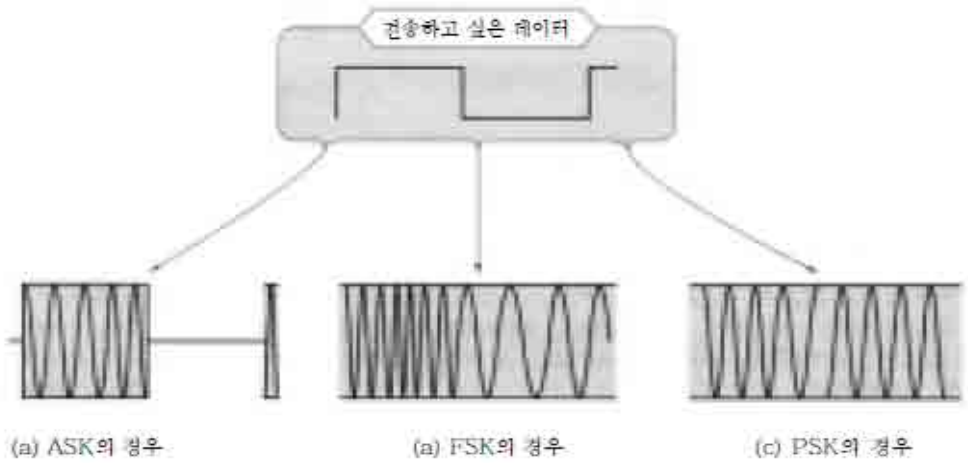



그림 117 각 디지털 변조방식의 변조 파형

라. FSK 방식

- FSK 방식은 반송파의 주파수를 변화시키면 변조된다. 2개의 발진기를 준비하고 송신 데이터에 따라 발진기를 교체하는 방법을 생각할 수 있는데 현재, 일반적으로 사용하는 데에는 현실적이지 못하다.
- 일반적으로는 그림 119 (b)와 같이 반송파 주파수에 로크하여, PLL(Phase Locked Loop) 의 VCO(Voltage Contr olled Oscillator) 의 발진 주파수를 송신 데이터로 강제적으로 가변한다.
- PLL은 얻고자 하는 주파수에 로크되도록 피드백이 걸려 있지만 외부에서 전압을 가하여 강제적으로 FSK방식의 1, 0 에 대응하는 주파수로 만든다.
- 이처럼 피드백 루프의 응답속도에 대해 송신 데이터의 속도가 충분히 빠르지 않으면 제대로 변조가 걸리지 않게 된다. 반대로 연속적으로 같은 송신 데이터가 입력되면 피드백

루프가 응답하여 반송파 주파수에 인입되어 버린다. 이것을 충분히 고려해서 설계할 필요가 있다. 아래 그림에 이 상태를 설명하고 있다. 또 후술하는 PSKIQ 변조기를 사용해도 만들어진다.

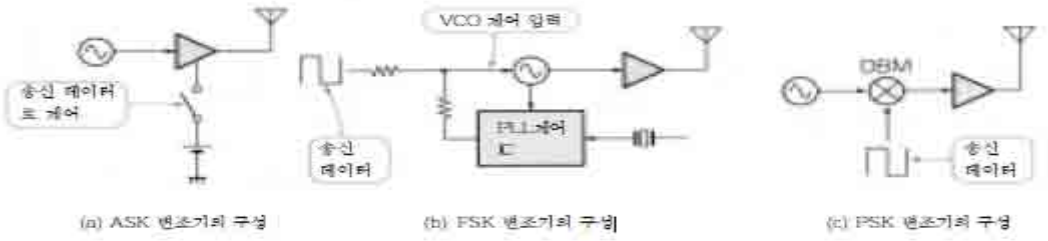



그림 118 각 디지털 변조기의 구성

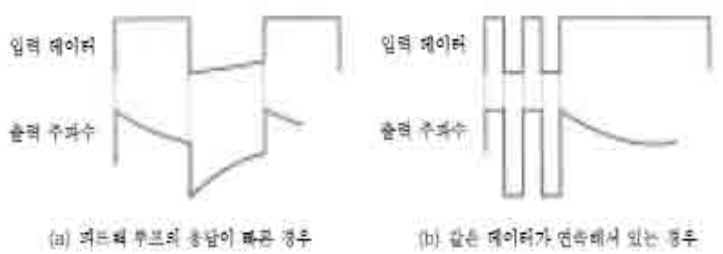



그림 119 PLL을 사용한 FSK변조기에서의 주파수 인출

마. ASK(Amplitude Shift keying)

- 아날로그 통신 방법도 그렇지만, 세상에서 가장 간단한 통신 변조 방법은 바로 이 진폭(Amplitude) 변조들일 겁니다. 전자 및 전기 기기에서 이 진폭 변화는 전압의 변화로 표시됩니다. 그래서, 아날로그의 AM과 마찬가지로, 디지털 변조에서도 이러한 진폭 변조인 ASK가 먼저 논의되다.
- 이 진폭 변조는 잡음에 매우 취약한 합니다. 그래서, 실제적으로 ASK는 쓰이지 않는다.
- 진폭이 0V보다 크면 1, 작으면(-값이면) 0이라고 정의하고 통신을 보내는 것이다.

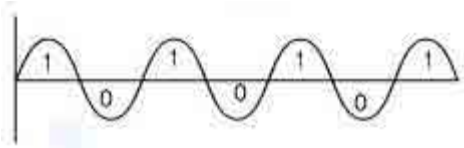



그림 120 ASK방식

- 이것이 ASK방식이다. 이것은 두 개의 진폭(+와 -V)만 사용했으므로, 2진 ASK 혹은 On-Off ASK라고도 불리운다.(구형파 형에서는 -V대신 0V로 표기됩니다.)
- 진폭을 4개 대입해서 사용하면 4진 ASK가 된다.

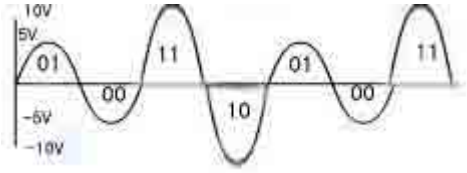



그림 121 4진 ASK방식

- 5V는 01, -5V는 00, -10V는 10, 10V는 11이라고 각각 정하고 통신을 한다면 바로 위와 같은 방법이 된다. 이렇게 했을때의 장점은 보다 빠른 통신이 가능하다는 점이다. 왜냐하면 기존의 On-Off ASK방식으로는 한번에 0이나 1 하나만 보낼 수 있는 반면에 이러한 4진 ASK는 한 번에 두 비트를 보낼 수 있는 것이다. 8진 방식이라면 세 개를 한 번에 보낼 수 있다.

바. FSK(Frequancy Shift keying)

- ASK가 이전에 배웠던 AM과 비슷하다면, 이 FSK는 FM과 비슷하다. 사실상 디지털 변조에서의 FM이라고 보면 된다. 주파수가 빠르냐 느리냐에 따라서 0과 1을 대입하면 그것이 ASK때와 마찬가지로 2진 FSK가 되고, 00과 11, 01, 10을 대입하면 4진 FSK가 되는 것이다.

아래의 그림 122는 0과 1로 이루어진 2진 FSK이 그림이다.

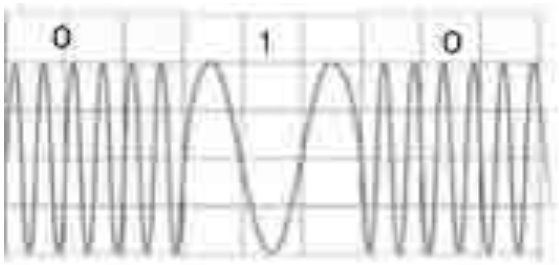



그림 122 FSK 방식

- FSK는 ASK와는 달리 단독으로 많이 쓰인다. ASK와 달리 주파수 변조 방식이기 때문에, 충격성 잡음에도 강하다.
- 다만, 이것은 주파수를 변조해서 각각 0과 1로 대입해서 전송하는 방식이라 주파수를 변조하는 그 시간 텀 때문에 다소 지연이 발생하게 된다. 확실히 저속의 전화 모뎀방식에는 유용하지만, 초고속 인터넷 통신 방식에는 상당히 제약을 가진다. 또한, 충격성 잡음에는 강한 반면에 지연 잡음(전파가 늦게 도착하는)에는 상당히 애로 사항이 많은 통신 방식이기도 하다. 때문에 현재는 많은 통신방식이 PSK방식을 사용하는 추세이기도 하다.

사. PSK(Phase Shift keying)

- PSK는 위상(Phase)이라는 말처럼 변조된 주파수의 위상차이를 가지고 0과 1로 구분지어서 전송하는 방식이다. 여기서 말하는 위상차라는 것은 몇 도 차이를 말하는가를 뜻한다.

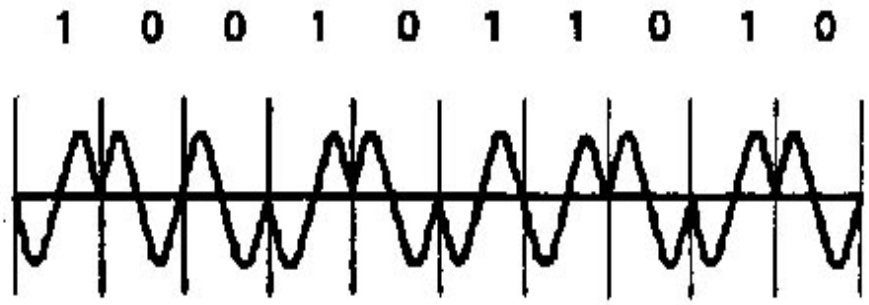



그림 123 PSK방식

- 이 방식은 FSK에 비해서 주파수 변동이 없기 때문에 고른 통신 통신을 보장한다. 다시 말해서, 안정적으로 고속 통신이 가능하다는 말이 된다.
- PSK는 90도 위상 차이로 4진 PSK를 구성할 수도 있다. 또한, 45도로 차이를 내서 하게 되면, 8진 PSK가 된다.
- 현재 대부분의 통신 방식이 APK(혹은 QAM이라도 한다.) 방식을 사용하고 있다. PSK 방식이라고 앞서 말했지만, 실상은 진폭 변조가 들어간 바로 QAM을 휴대폰에서 사용하고 있다.

**4. 고조파의 발생원리와 설비에 미치는 영향**

- 최근 문제가 되고 있는 전기 사용 장소의 고조파 장애 현상을 쉽게 이해하는 방법은 그림 124 와 같이 고조파를 전류원으로 보고 해석하는 것이다. 전력변환기기, 인버터, OA기기 등 반도체 응용기기와 같이 비선형 특성을 같은 부하에 정현파 전압을 인가하면 흐르는 전류는 일반적으로 고조파 함유율이 있는 왜형파의 형태가 된다. 이 전류를 분해하면 아래 식과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

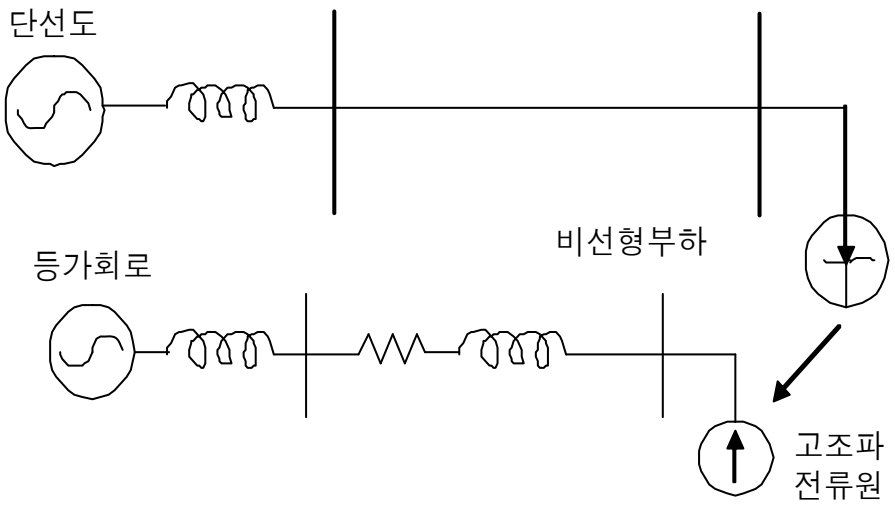



그림 124 고조파를 전류원으로 해석

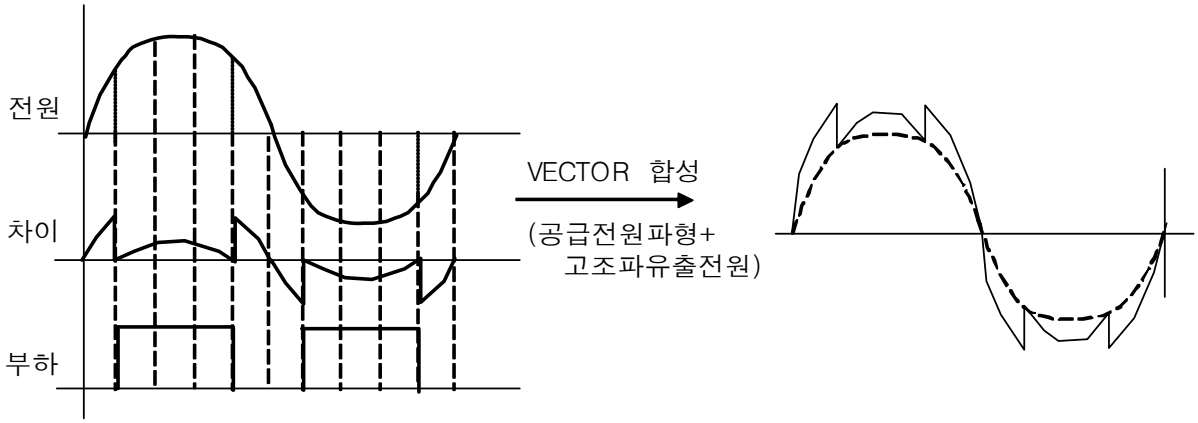



그림 125 고조파 파형 발생

즉, 전류 I는,

$$I = \sqrt{2}\ I_1 \sin(wt + \Phi_1) + \sum_{2}^{\infty} I_n \sin(nwt + \Phi_n)$$

- 위의 식처럼 상용주파수 성분(I1)과 그 정수배의 주파수 성분(In)과 합성된 파형으로 나타난다. 즉, 왜형파 전류는 각 고조파 성분의 중첩으로서 표현할 수 있다.
- 이러한 고조파 발생원을 전류원으로서 다루면 고조파 전류는 다음과 같은 특성을 갖는다.
- 고조파 전류원은 차수마다 존재하며 발생한 전류는 부하단에서 전력계통 및 타부하단으로 유출된다.
- 고조파 전류는 임피던스에 비례하여 분류되며, 전 계통에 걸쳐서 흐른다.
- 계통 임피던스는 주파수에 의해서 변하기 때문에 고조파 회로는 발생차수 만큼 존재한다.
- 실제 회로의 파형은 기본파와 복수 고조파의 순시치가 합성된 것이다.
- 배전계통의 고조파 전압은 계통의 여러 곳에서 유입하는 고조파 전류와 계통의 임피던스에 의해서 발생한다.

가. 고조파의 발생원과 영향

- 부하설비, 전기기기 중 정현파의 상용 주파 전압을 인가해서 변형파 전류를 흘리는 것은 모두 고조파 전류의 발생원이다. 이중 대표적인 것은 표 67 및 표 68에서와 같은 싸이리스터 응용의 전력변환장치, 교류아크로와 같은 전기로, 일반 가전, 사무용 기기와 같은 전기기기를 생각할 수 있다. 또한 이렇게 발생된 고조파가 전기기기에 미치는 영향과 주요 문제점에 대해서 다음 표 69에 나타내었다.

표 68 싸이리스터 응용기기와 대분류

| 입력 → 출력 | 명칭과 기능 |
|---|---|
| AC → DC | 정류기 (순변환기) |
| DC → AC | 인버터 (역변환기) |
| AC → AC | 교류전력조정기 (전압변환)<br>사이크로 컨버터 (주파수변환) |
| DC → DC | 초퍼 (전압변환) |

표 69 고조파 발생원

| 발생원 | 주된 회로 방식 | 품명 예 |
|---|---|---|
| 전력용 변환장치 | 6상 정류 | Inverter (VVVF) |
| | 12상 정류 | 무정전전원장치(UPS) |
| | 24상 정류 | 싸이리스터 모터 |
| | 교류전력조정 | 히터제어 |
| 전기로 | 위상제어 | 교류아크로 |
| 사무용, 가정용 기기 | 전파정류 콘덴서 평활 | 무정전전원장치<br>OA기기(PC, 프린터 등)<br>전자식 전구형 형광등 |
| | 전파배전압 정류 평활 | 룸 에어콘(인버터, 보통형) |
| | 전파위상제어 | 백열 전구용 조광기 |
| 기타 | 유도기기의 여자전류 | 변압기 |

표 70 고조파의 영향

| 기 기 명 | 영 향 의 내 용 |
|---|---|
| 콘덴서 및 직렬 리액터 | ■ 고조파 전류에 대한 회로의 임피던스가 공진현상 등에 의해 감소하여 대전류가 유입하고 과열, 소손 또는 진동, 소음의 발생 |
| 케이블 | ■ 3상4선식 회로의 중성선에 고조파 전류 유입에 의한 중성선 과열 |
| 변압기 | ■ 고조파 전류에 의한 철심의 자화현상으로 소음 발생<br>■ 고조파 전류·전압에 의한 철손·동손의 증가로 용량 감소 |
| 형광등 | ■ 고조파 전류에 대한 임피던스 감소로 과전류가 역률개선용 콘덴서나 초크코일에 유입됨으로 인한 과열·소손 |
| 통신선 | ■ 전자유도에 의한 잡음 전압의 발생 |
| 유도 전동기 | ■ 고조파 전류 때문에 정상 진동 토크가 발생하여 회전수가 주기적으로 변동<br>■ 철손·동손 등 손실 증가 |
| 계기용 변성기 | ■ 계기용 변성기에 초기 위상오차 있는 경우 $\pm\delta \tan\varphi$($\varphi$는 사이리스터 위상제어등 제어전류의 위상각)의 영향으로 측정 정밀도 저하 |
| 적산 전력계 | ■ 유효자속이 비선형 특성으로 자속변화가 완전히 적응하지 못하므로 측정오차 발생<br>■ 고조파 전류의 과대한 유입에 의한 전류코일 소손 |
| 음향기기 (TV, Radio) | ■ 고조파 전류·전압에 의한 다이오드, 트랜지스터, 콘덴서등 부품의 고장, 수명저하, 성능의 열화<br>■ 잡음, 영상이 흔들림 |
| 보호계전기 | ■ 고조파 전류 혹은 전압에 의한 설정레벨의 초과<br>■ 위상변화에 의한 오동작·오부동작 |
| Power Fuse | ■ 과대한 고조파 전류에 의한 용단 |
| MCCB | ■ 과대한 고조파 전류에 의한 오동작 |
| 정 류 기 각종제어장치 | ■ 제어신호의 위상 어긋남에 의한 오동작, 제어불능 등 |
| 부 하 집 중 제 어 장 치 | ■ 제어신호의 교란에 의한 수신기의 오·부동작 |
| 비상용발전기 | ■ 회전자 제동권선의 과열, 소손 및 계자권선의 과열 |
| 지시계기 | ■ 평균치 정류형 교류전압, 전류계는 제3고조파의 영향을 받음 |

나. 고조파 종류별 미치는 영향

- 가장 큰 영향은 역시 철손과 동손의 증가에 의한 과열이며 효율의 저하 뿐만 아니라 전동기의 토크에도 영향을 주게 된다.
- 전동기에 유입된 고조파 전류는 정현파에 의한 운전시보다 더 높은 주파수대의 소음을 유발시킬 뿐만 아니라 공극내에서 고조파 자속을 만들어 냄으로써 코깅(cogging)현상과 크롤링(crawling)현상을 유발시켜 유연한 기동이 어렵고 슬립을 비정상적으로 크게 만드는 악영향을 준다.
- 제5고조파와 제7고조파와 같은 복수의 고조파가 있는 경우 이 고조파의 기전력에 의해 전동기나 발전기가 기계적 진동을 일으켜 정속도 운전을 어렵게 만든다. 이 진동은 기본파에 의한 자계와 고조파 전류가 기계적 공진 주파수를 형성시킴으로써 발생이 된다.
- 예로써 제5고조파와 제7고조파는 발전기나 전동기의 회전자에서 제6고조파 주파수에 해당하는 기계적 음력을 발생시키고 이 응력이 기계적 공진주파수에 근접하게 되면 매우 큰 기계적 스트레스를 받기가 쉽다.
- 제5,7,11차 고조파와 같은 각각의 고조파 전압은 고정자 내에서 고조파 전류를 발생시켜 전체 전류에 더해져 흐름으로써 고정자 권선의 과열 원인이 된다.
- 회전자에서의 고조파 전류는 다른 문제를 유발시킬 수 있는데 이는 고정자에 흐르는 정산분과 역상분 고조파 전류의 유도 작용에 의해 발생되는 것으로 정방향이나 역방향성의 회전력을 갖게 된다.
- 고정자의 제5고조파 전류는(역상 성분) 역방향으로 흐르게 되고 이 주파수에 상응하는 고조파 전류가 회전자에 유기되어 공극내의 기본파 자계와 상호 작용함으로써 제6고조파 전류를 형성 시키게 된다.
- 또한, 고정자의 제7고조파 전류는 (정상 성분) 순방향으로 흐르고 마찬가지 원리로 회전자에서 제6고조파 전류를 형성 시키게 된다.
- 따라서 제5차, 7차 고조파 전류는 고정자에서 발열을 일으키고 제6고조파 전류는 회전자에서 발열을 일으키게 되는데 다시 정리하면, 회전자의 고조파 전류는 회전자의 과열과 토크의 저하와 맥동을 발생 시킨다.
- 발열의 정도는 농형 회전자보다 권선형의 회전자에서, 또 dip bar형 농형 회전자에서 심한 영향을 받게 된다. 고조파에 의한 효율 저하와 수명단축은 정현파 운전시에 비해 약 90%수준인 것으로 밝혀져 있다.
- 또한 맥동 현상은 섬유공정 혹은 박막가공공정과 같이 정밀도를 요구하는 공장의 품질문제를 야기 시키게 됩으로 주의를 기울여야 한다. 동시에 전동기나 발전기의 회전자 축에서 기계적 공진에 의한 진동을 발생시켜 회전자 축을 구성하는 조립부위의 수명을 단축시키게 된다.

## 5. 전자파 [ electromagnetic wave ]

가. 정의

- 전자장의 진동이 파동의 형태로 전파되는 현상. 영국의 물리학자 맥스웰은 전하나 전류가 존재하지 않는 공간 속에서도 전장과 자장이 서로 도와가며 파동모양으로 전파될 수 있다는 것을 예언했다. 이것이 전자파로서 얼마 후 헤르츠에 의해 실증되었다. 전자파는 파의 진행 방향과 수직이며 또한 서로 수직인 방향으로 진동하는 전장과 자장으로 이루어져 있다. 전자파는 가속도 운동을 하는 하전립자에서 발생하며, 그 성질은 맥스웰의 방정식에 의해 기술된다. 컴퓨터등 마이크로 전자 기술의 진전과 더불어 외부에서의 전자파의 영향에 민감한 고집적화된 디지털 기기나 고감도의 장치들이 광범위하게 이용되고 있다. 이러한 고속처리 능력을 갖춘 디지털 기기는 광대역의 불요 전자파를 발생하여 다른 기기에 큰 영향을 미칠 뿐 아니라 이러한 기기는 외부 불요 전자파에 아주 취약하여 장해의 다발과 다양화를 유발시키고 있다.

나. 전자파의 종류

- 전자파는 주파수(초당 파동수) 크기에 따라 주파수가 낮은 순서대로 전파(장파, 중파, 단파, 초단파, 극초단파, 마이크로파) ·적외선·가시광선(빛)·자외선·X선·감마선 등으로 구분된다.
- 전파는 주파수가 3000GHz (초당 3조번 진동)이하의 전자파를 말한다.
- 즉, 태양빛, 적외선, 자외선도 알고보면 전자파의 일종이다. 지구도 자체에서 전자파를 발생시킨다. 또한 우리 생활주변의 의도적인 전파 발생원은 방송이나 통신용 안테나(방송국 및 중계소, 기지국, 선박이나 항공 통신용 송신장치, 인공위성 등), 이동전화 단말기(휴대폰, 워키토키 등), 레이다, 온열 치료용 의료기기 등이 있다.

다. 전자파의 유해성

- 에너지가 강한 X선, 감마선 등의 방사선의 위험성이나 자외선이 피부암 등의 여러 질병을 일으킨다는 것은 이미 널리 알려진 바이다.
- 최근의 전자파 유해성 논란의 대상은 송배전 선로나 가전제품 등에서의 '극저주파'(Extremely Low Ferquency: ELF)와 이동통신 단말기 사용과 기지국 시설의 증가에 따른 무선 주파수에서의 '고주파'(Radio Frequency: RF)이다.
- UN산하 국제암연구기구(IARC) 는 99년에 전자파를 발암인자 2등급으로 분류, '발암가능성이 있는 물질' 로 규정했다.
- 세계보건기구(WHO)에서는 1996년부터 2005년까지 1년에 약 60만불의 연구비를 사용하여, 0-300 GHz 사이의 전자파 노출에 대하여 국제적으로 일치된 기준을 마련하기 위해 건강영향평가와 환경영향평가 연구를 수행하고 있다.

## 6. 전차선 귀선전류가 신호시스템에 미치는 영향분석

가. 개요

- 전차선 전류는 변전소로부터 공급을 받는다. 전차선로에서 팬터그래프로 픽업한 전차선 전류는 견인 전동기에 공급을 하고 나서, 견인 장치 자체로, 레일과 대지를 통해 그것의

차축, 휠-레일접점을 변전소로 다시 급전한다. 레일과 대지가 전차선 전류를 영구적으로 변전소로 회귀시키는 회로가 구성된다.

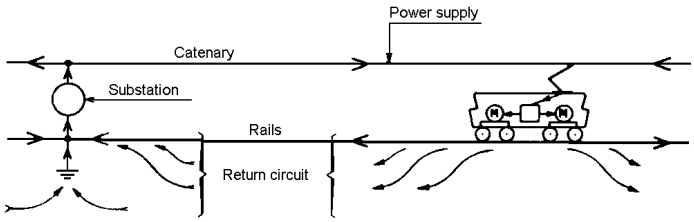



그림 126 전차선 전류 순환

나. 운용 원리

- 단상 25,000V/50Hz 전류로 전철화된 선로는 EDF 3상 네트워크에 연결된 단상 분기에 의해 공급을 받는다. SNCF 변전소에서 낮춘 전압은 그림 127의 단순화한 불록도에 따라 전차선로에 공급을 한다.

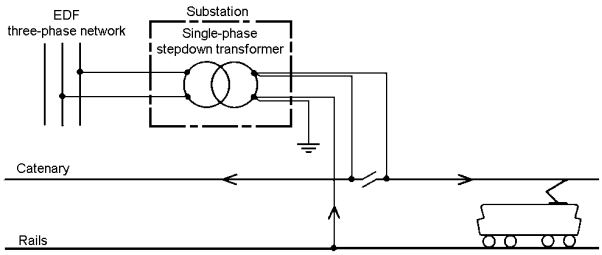



그림 127 전원공급 개략도

- 이런 유형의 전차선에서 궤도의 세로 임피던스 즉 50 Hz에서 레일 인덕터는 높아진다. 전차선 전류는 변전소로 회귀하기 위해 저 임피던스인 대지를 통해서 흐른다. 궤도/대지 절연이 감소함에 따라 레일/대지 전압이 감소한다.
- 전차선 귀선전류 지점인 변성기 2차 권선의 중성선은 항상 접지부에 연결되어 있어야 한다.
- 평균 간격이 60~80km이므로 일반적으로 상이 다른 변전소의 양쪽에서 전차선로에 전원을 공급한다. 따라서 일반적으로 연결되지 않는 갭 색션이 두 개의 변전소 간에 필요하다.

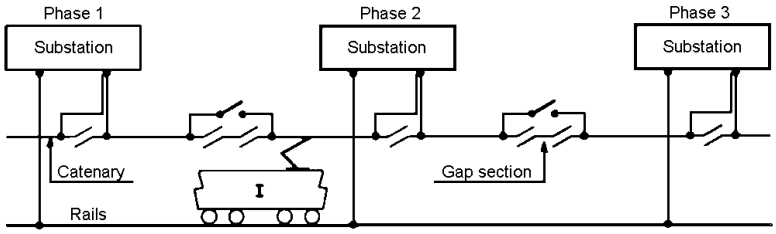



그림 128 단상 전원공급 개통도

- 그림 128에 나타난 바와 같이 팬터그라프에 phase2 변전소에서만 공급하므로, 이론적으로 회귀는 이 변전소를 향해서만 일어날 수 있다. 그러나, 만일 이 변전소를 삭제하면, phase 1 변전소나 phase 3 변전소에서만(사구간 연결) 팬터그라프가 공급을 받을 수 있으며 두 변전소 중 한 개를 향해서 회귀를 확보해야 한다.
- 견인 장치는 전체 회선을 따라서 움직이므로 단속되지 않은 전차선 귀선전류 회로를 확보해야 하며, 특히 고 유도 전류가 이 전철화 시스템의 레일 내에서 영구적으로 순환하는지도 확실히 해야 한다.
- 이 전철화 시스템 내에서는 레일 내에서 순환하는 전도되고 유도된 전류로 충분히 보상되지 않은 전차선로 내에 순환하는 전류는 인접한 회로 내에서 고 유도 전류를 발생시킬 수 있다.

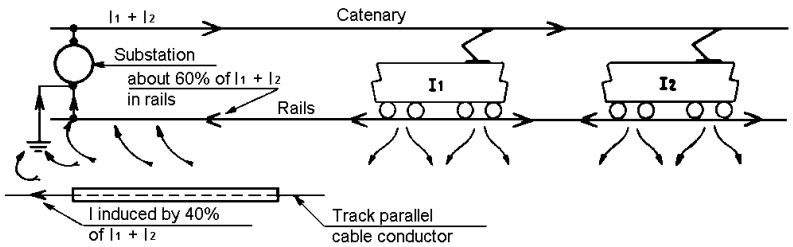



그림 129 전류 순환

다. 검토결과

- 전차선 귀선전류는 변전소에서 회귀를 확보하여 영구적으로 레일에 순환한다면 신호시설물에 별다른 이상이 없을 것으로 사료된다.

## 7. 전차선귀선전류에 의한 전자파 노이즈 전파경로 분석

가. 개요

- 국내에서 운영되는 KTX-산천에서 발생되는 전자파에 의한 문제점을 검토하고 이에 대한 국내 운영현황을 파악하는데 그 목적이 있다. 따라서 차량에서 발생되는 전자파의 종류와 크기 및 검측방법에 대한 검토와 발생 원인에 따른 이동경로를 파악하여 이에 대한 분석을 통한 시뮬레이션 분석 방안을 검토하였다.

나. 전기차의 전자파 노이즈

- 철도차량의 운행에 있어서 궤도회로(Track circuit)는 차량위치검지를 통한 신호기제어, 선로전환기제어, 차량의 간격 조정, 차량 접근 예고를 통한 충돌사고 예방 등 안전운행을 위한 필수적인 시스템이다. 따라서 철도차량과 궤도회로의 전자파적합성(Electromagnetic compatibility, EMC)의 확인은 철도차량의 운행에 있어 필수적이다. 철도차량과 궤도회로의 전자파적합성을 위해 전자파 노이즈의 source인 차량의 전자파/고조파 특성 및 Victim인 궤도회로의 전자파 특성 분석이 필요하다.
- 전기철도의 차량에서 발생된 고조파전류는 급전계통의 임피던스 특성에 의해 특정 조파에서 공진되어 고조파전류 확대현상을 일으켜 각종 문제를 야기 시킨다. 즉 고조파전류는 인접 통신선에서의 유도장애를 일으키고 철도신호장애의 원인이 될 뿐만 아니라 전원계통에 유입되는 경우에는 전력용콘덴서의 과열/진동을 유발시키고 보호계전기를 오동작 시킬 우려가 있다.
- 철도급전시스템의 주된 고조파 발생원은 차량이고, 차량에서 발생된 고조파는 전차선로의 레일과 전차선 사이에서 주입되는 전류원으로 취급할 수 있으므로 다음과 같은 등가회로로 나타낼 수 있다.

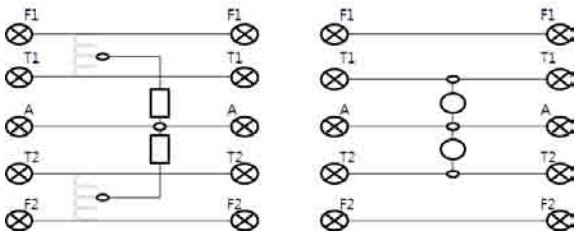



그림 130 차량과 고조파의 등가 회로

다. 검측방법

(1) 적용범위

- 본 절차서는 KTX-II 동적 인수시험의 전자파 간섭시험에 대하여 적용한다.

(2) 관련 자료

- IEC62236-2 “Emission of the whole railway system to the outside world”(전체 철도 시스템의 외부 방출)
- IEC62236-3-1 Rolling stock - “Train and complete vehicle”(열차와 철도차량)
- IEC 61000-4-7 “시험과 측정기술”

(3) 시험 항목

- 차량의 전자파간섭시험은 아래의 네 가지 시험으로 구분되어 실시한다.

표 71 차량의 전자파 간섭 시험

| 항목 | 시험 항목 | 형식시험 | 전수시험 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 전도성 간섭시험 | ◉ | | |
| 2 | 유도성 간섭시험 | ◉ | | |
| 3 | 복사성 간섭시험 | ◉ | | |
| 4 | 전압왜형율 시험 | ◉ | | |

(4) 시험 장비

표 72 시험 장비

| 항목 | 시험 항목 | 시험 장비 | 사양 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 전도성 간섭시험 | -PKI-4462<br>-Rogoswki Coil<br>-Labview 8.2 | 24bit,204,8KS/S<br>24″,20㎑<br>Program | |
| 2 | 유도성 간섭시험 | -pxi-4462<br>-Rogoswki Coil<br>-Labview 8.2 | 24bit,204,8KS/S<br>24″,20㎑<br>Program | |
| 3 | 복사성 간섭시험 | -EMI Test Receiver<br>-Loop Antenna<br>-LOG-Biconical Antenna | ESCS30<br>9㎑-30㎒, 30㎒-1㎓<br>Program | |
| 4 | 전압왜형율 시험 | -전력분석기<br>(Reliable Power Meters. BMI3030) | 9채널(전압:4,전류:5)<br>0-63rd harmonic, phase angle, magnitude | |

(5) 시험 조건

- 시험은 차량 기동상태에서 시행한다.
- 시험 절차와 안전에 유의하여 시험을 진행 시킨다.
- 전도성간섭시험은 레일에서 지상신호가 검지되지 않는(지상신호 Off)상태에서 변전소 귀선에 측정장비를 설치한다.
- 복사성간섭시험은 레일 중앙에서 10m 떨어진 개활지에서 측정장비를 설치하여 실시한다.
- 유도성 간섭시험은 차량 내에서 측정한다.
- 전압왜형율 측정시험의 경우 경부선 및 호남선 두 곳의 변전소에서 측정한다.

(6) 시험방법

(가) 전도성 간섭시험

① 개요

- 전도성 간섭시험은 차량에서 전도방사되는 고조파를 측정하여 궤도회로와의 전자파적합성을 확인하기 위한 시험이다.
- 차량에 의해 발생되는 고조파 성분은 차량이 변전소의 귀선부근에서 운행할 때 가장 많이 발생함으로 차량의 운행은 변전소 부근에서 실시된다.

- 전도성 간섭시험을 위한 장비설정 및 데이터습득은 그림에 따라서 설치 및 기록한다.

## 8. 시뮬레이션

표 73 컨버터 스팩 열용량 분석

| 스위칭주파수 | | 540Hz | | 420Hz | | 660Hz | | 660Hz | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PWM 펄스수량 | | 9펄스 | | 7펄스 | | 11펄스 | | 11펄스 | |
| 전류정격 | | 100% | | 100% | | 100% | | 80% | |
| 발열량(주1) | | 최대 | 평균 | 최대 | 평균 | 최대 | 평균 | 최대 | 평균 |
| 컨버터 | IGBT | 2274 | 1535 | 1978 | 1328 | 2570 | 1742 | 2245 | 1514 |
| | Diode | 1568 | 1062 | 1353 | 912 | 1782 | 1212 | 1546 | 1047 |
| | 암당 | 3842 | 2597 | 3331 | 2240 | 4352 | 2954 | 3791 | 2561 |
| | 스택당 | 7684 | 5194 | 6662 | 4480 | 8704 | 5908 | 7582 | 5122 |

가. 변압기 손실 분석

(1) K-factor (Harmonic loss factor)

- 국제규격 IEEE, IEC에서 고조파 전류가 변압기에 유입될 때, 변압기의 증가하는 손실을 반영하기 위해서 eddy-current losses 및 stray losses에 곱해지는 factor임.

표 74 K-factor

| 구분 | 7펄스(420Hz) | 9펄스(540hz) | 11펄스(660hz) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| K-factor | 5.73 | 5.51 | 5.33 | Eddy loss 에 영향 |
| | 1.15 | 1.09 | 1.07 | Stray loss 에 영향 |

(2) 변압기 손실

- 스위칭 주파수가 낮아질수록 손실은 커지며 9펄스와 비교하여 7펄스는 약 2% 손실값이 증가하나 변압기의 손실에 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

표 75 펄스별 변압기 손실

| 7펄스 | 9펄스 | Base |
|---|---|---|
| 327kW | 320kW | 6,200kVA |

- PWM 컨버터의 스위칭 주파수가 7펄스 일 경우, 발열량이 가장 적음
- 하지만 펄스가 낮을수록 소모전력이 증가(7펄스 일 때 327kW, 9펄스 일 때 320kW)
- 따라서 9펄스 일 경우 1,980Hz에는 영향을 미치지만 컨버터의 효율은 가장 좋다.

## 9. 현장실증시험(1차)

가. 계측일정

2013년 4월 29일 ~ 5월 2일 (4일간)

표 76 시험장소

| No. | 궤도회로명 | 구간 | 일자 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | B3372T | 장성-임곡 | 4월 29 ~ 30일 | |
| 2 | B3400T | 임곡-하남 | 5월 1 ~ 2일 | |

표 77 참여 인력

| 참여기관 | 담당자 | 업무 |
|---|---|---|
| 한국철도공사 | 최재식 차장 | 총괄 책임 |
| ㈜에이알텍 | 이수주 이사 | 현장시험 및 공장시험 |
| 한국교통대학교 | 김백 교수 | 시뮬레이션 결과 및 분석 자문 |
| 한국철도기술연구원 | 백종현 박사 | 현장시험 지원 및 결과 분석 자문 |
| | 한문섭 박사 | 시뮬레이션 프로그램 |
| 현대로템(주) | 공명상 차장 | 차상시험 지원 |
| | 김형복 연구원 | |
| ㈜혁신전공사 | 김동준 부장 | 현장시험 및 공장시험 지원 |
| 유경제어(주) | 지정근 부장 | |
| 신우이엔지(주) | 황보원 이사 | |

나. 현장계측 상세계획

(1) 측정 장비

(가) 필요장비

- 데이터수집장비(DAQ) : NI USB 9234
- 전류센서(Rogowski Coil)
- 계측기(PXI)
- 오실로스코프(Digital Storage Oscilloscope)
- 스펙트럼 분석기

표 78 기관별 장비보유현황

| 항목 | 기관 | | |
|---|---|---|---|
| | 에이알텍 | 현대로템 | 한국철도기술연구원 |
| DAQ | | 1ea | 1ea |
| Rogowski coil | | 4ea | 4ea |
| PXI | | 1ea | 1ea |
| Digital Storage Oscilloscope | 1ea | | |

표 79 계측 일정

| 시 간 | | 장 소 | 계측내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 4/28 | 18:00 ~ 19:00 | 본사 | 출발준비 | |
| | 19:00 ~ 22:00 | 이동 및 저녁식사 | | |
| | 22:00 ~ 23:00 | 광주역 | 내부 협의 | |
| 4/29 | 08:00 ~ 08:30 | 장성역 | 현장 계측 협의 | |
| | 08:30 ~ 08:50 | 장성-임곡구간 | 실험 장비 설치 | |
| | 08:57 ~ 12:10 | | A type 실험(TU2, TU8, IB①) | |
| | 12:10 ~ 13:10 | | 이동 및 점심식사 | |
| | 13:19 ~ 16:50 | | B type 실험(TU4, TU6, IB①) | |
| | 17:00 ~ 18:00 | | 저녁식사 | |
| | 18:19 ~ 00:08 | | C type 실험(TU4, TU6, IB①) | |

| 시 간 | | 장 소 | 계측내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 4/30 | 08:00 ~ 08:30 | 장성역 | 현장 계측 협의 | |
| | 08:30 ~ 08:50 | 장성-임곡구간 | 실험 장비 설치 | |
| | 08:57 ~ 12:10 | | A type 실험(TU2, TU8, IB①) | |
| | 12:10 ~ 13:10 | | 이동 및 점심식사 | |
| | 13:19 ~ 16:50 | | B type 실험(TU4, TU6, IB①) | |
| | 17:00 ~ 18:00 | | 저녁식사 | |
| | 18:19 ~ 00:08 | | C type 실험(TU4, TU6, IB①) | |
| 5/1 | 08:00 ~ 08:30 | 장성역 | 현장 계측 협의 | |
| | 08:30 ~ 08:50 | 임곡-하남구간 | 실험 장비 설치 | |
| | 08:57 ~ 12:15 | | A type 실험(TU10, IB③, IB④) | |
| | 12:15 ~ 13:30 | | 이동 및 점심식사 | |
| | 13:33 ~ 16:50 | | B type 실험(TU14, IB③, IB④) | |
| | 17:00 ~ 18:00 | | 저녁식사 | |
| | 18:19 ~ 00:08 | | B type 실험(TU14, IB③, IB④) | |
| 5/2 | 08:00 ~ 08:30 | 장성역 | 현장 계측 협의 | |
| | 08:30 ~ 08:50 | 임곡-하남구간 | 실험 장비 설치 | |
| | 08:57 ~ 12:15 | | A type 실험(TU10, IB③, IB④) | |
| | 12:15 ~ 13:30 | | 이동 및 점심식사 | |
| | 13:33 ~ 16:50 | | B type 실험(TU14, IB③, IB④) | |
| | 17:00 ~ 18:00 | | 저녁식사 | |
| | 18:19 ~ 00:08 | | B type 실험(TU14, IB③, IB④) | |

표 80 계측 인원 투입 계획

| 구분 | 투입인원 | 명단 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1조 | 2명 | 이수주 이사, 최대한 사원 | |
| 2조 | 2명 | 이수환 상무, 김태완 사원 | |
| 3조 | 2명 | 이정원 이사, 김예지 사원 | |

표 81 계측 장비

| | 장비명 | | 기능 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | PXI 계측기 |  | 측정, 데이터 수집 및 자동화 시스템<br>노트북에서 직접 제어 가능 | |
| 2 | NI USB 9234 |  | 측정, 데이터 수집 및 자동화 시스템<br>-PXI 계측기 축소용(프로그램 설치 필요) | |
| 4 | 전력 증폭기 |  | -일그러짐이 적고, 높은 효율로 전력 부하 공급 | |
| 5 | 오디오 임피던스 측정기 |  | -1kHz 스피커 시스템의 실제 임피던스·트루 측정 | |
| 6 | 오실로스코프 |  | -시간에 따른 입력전압의 변화를 화면에 출력하는 장치<br>-전기진동이나 펄스처럼 시간적 변화가 빠른 신호 관측 | |
| 7 | 주파수 발생기 |  | -필요한 정확한 출력레벨과 주파수 신호 발생하는 장치 | |
| 8 | 멀티미터 |  | -전압, 전류, 저항, 커패시턴스, 주파수, 다이오드 측정<br>-온도 측정 가능 | |
| 9 | 전류센서 (코일) |  | -밀집된 도선들 전류 측정 | |
| 10 | 클램프미터 |  | -집게용 누설 전류 측정 | |

다. 현장측정 내용 및 목적

(1) 현장시험조건

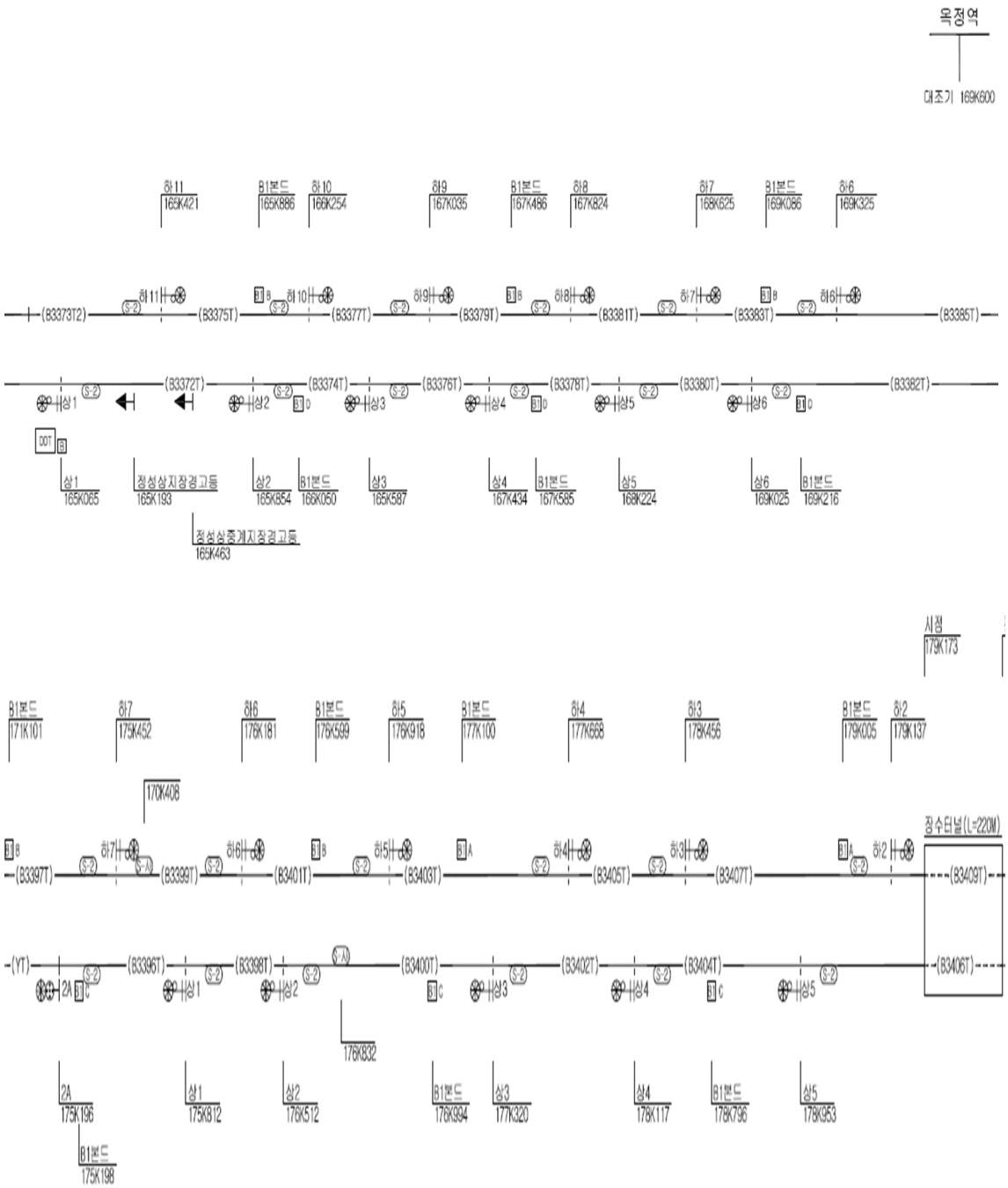



그림 131 관구도

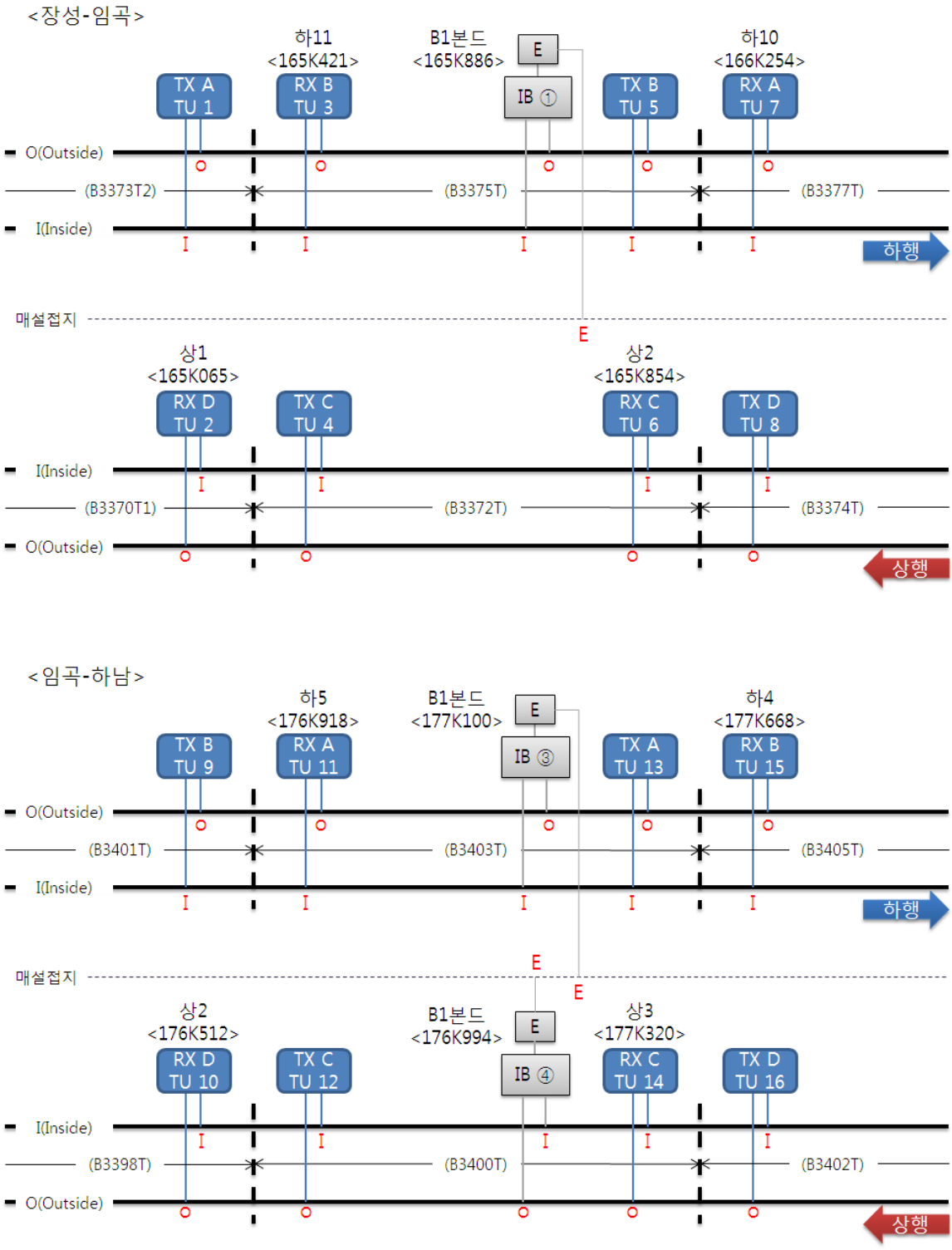
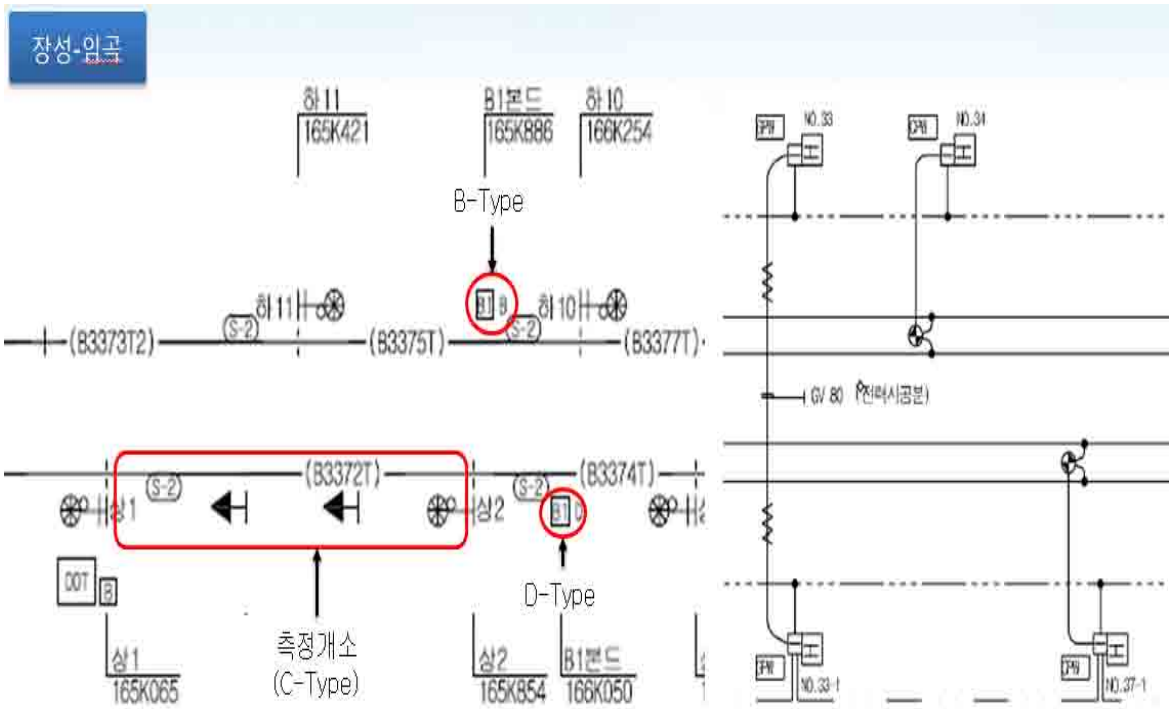



그림 132 현장설비 배치도

(가) 현장계측

① 장성-임곡

- 하선에 KTX산천 주행 시 임피던스본드를 통하여 흘러나간 고조파가 매설접지를 통해 상선의 C-Type 궤도회로 수신기에 미치는 영향 측정.




**〈장성-임곡 주파수 인입 시험〉**

1. 주파수 발생기를 통하여 2[KHz]의 주파수를 발생
2. 오디오 증폭기를 통하여 증폭 후, 하행 임피던스 본드① 레일측에 인가
3. 상선 튜닝 유니트의 주파수 데이터 수집

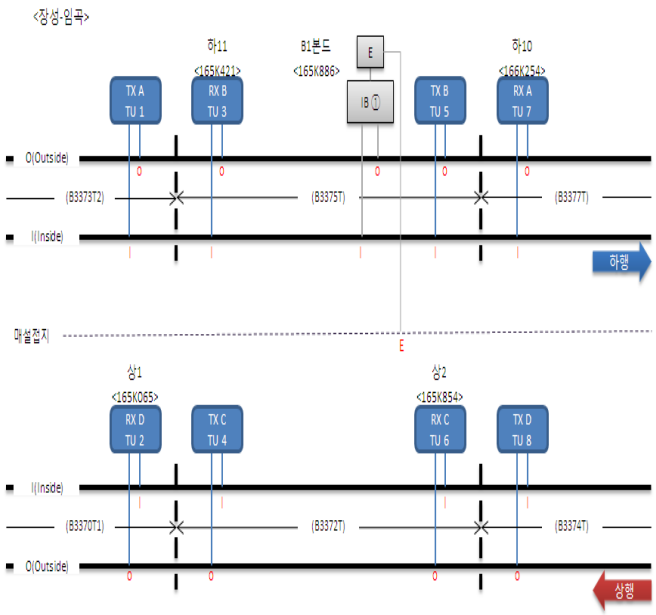
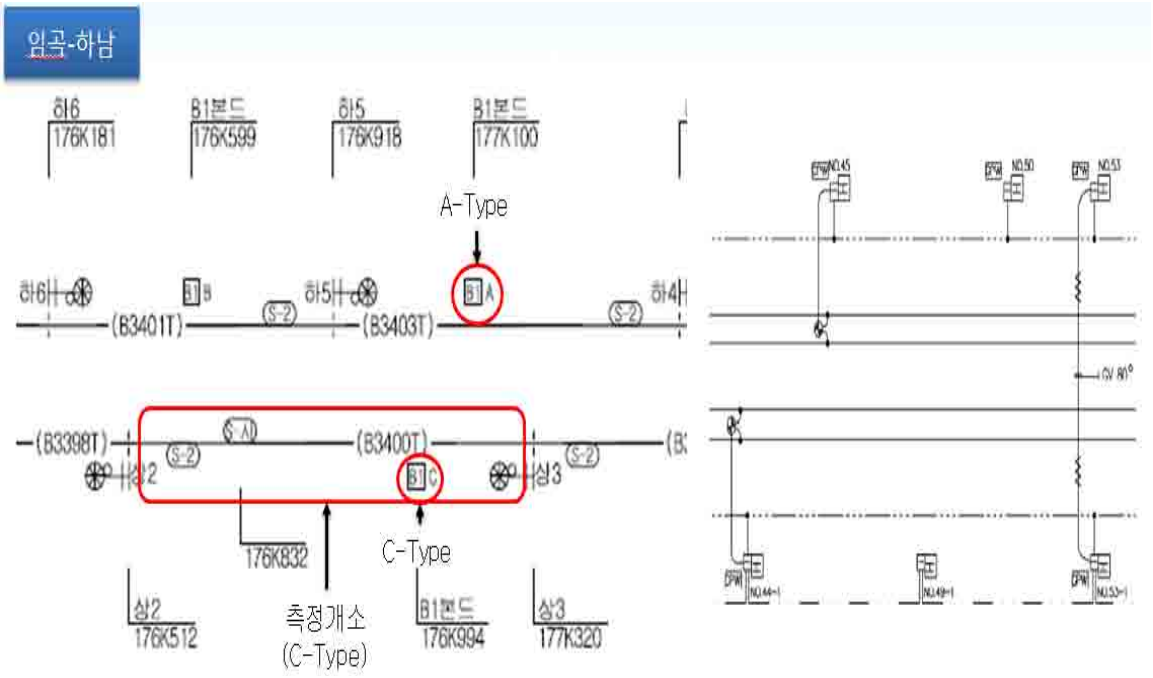



그림 133 장성-임곡 측정 내용

② 임곡-하남

- 하선에 KTX산천 주행 시 하선 궤도회로의 임피던스본드를 통하여 흐르는 관련 고조파가 인접한 상선의 C-Type 임피던스본드로의 고조파 이동경로 및 열차 진행시간에 따른 상/하선 임피던스본드와 C-Type 수신기의 전류 변화 측정.




**〈 임곡-하남 주파수 인입 시험 〉**

1. 주파수 발생기를 통하여 2[KHz]의 주파수를 발생
2. 오디오 증폭기를 통하여 증폭 후, 하행 임피던스 본드③, 상행 임피던스 본드④ 레일측에 인가
3. 상선 튜닝 유니트의 주파수 데이터 수집

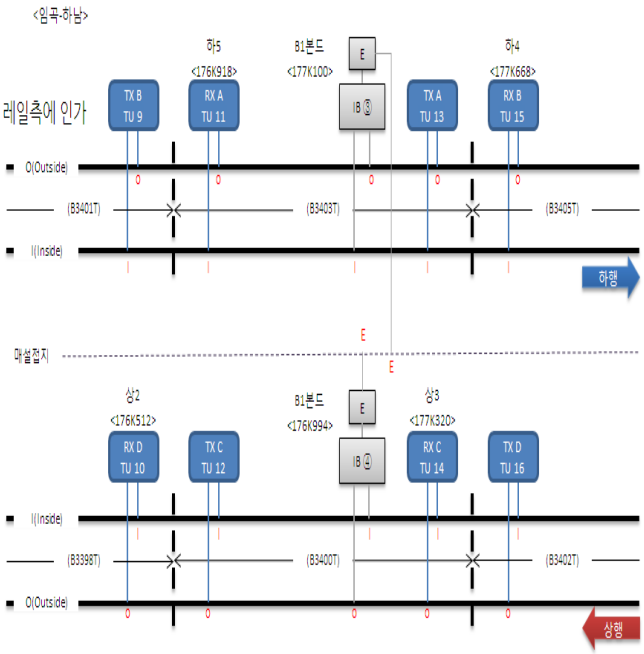



그림 134 임곡-하남 측정 내용

(나) 시험 기록

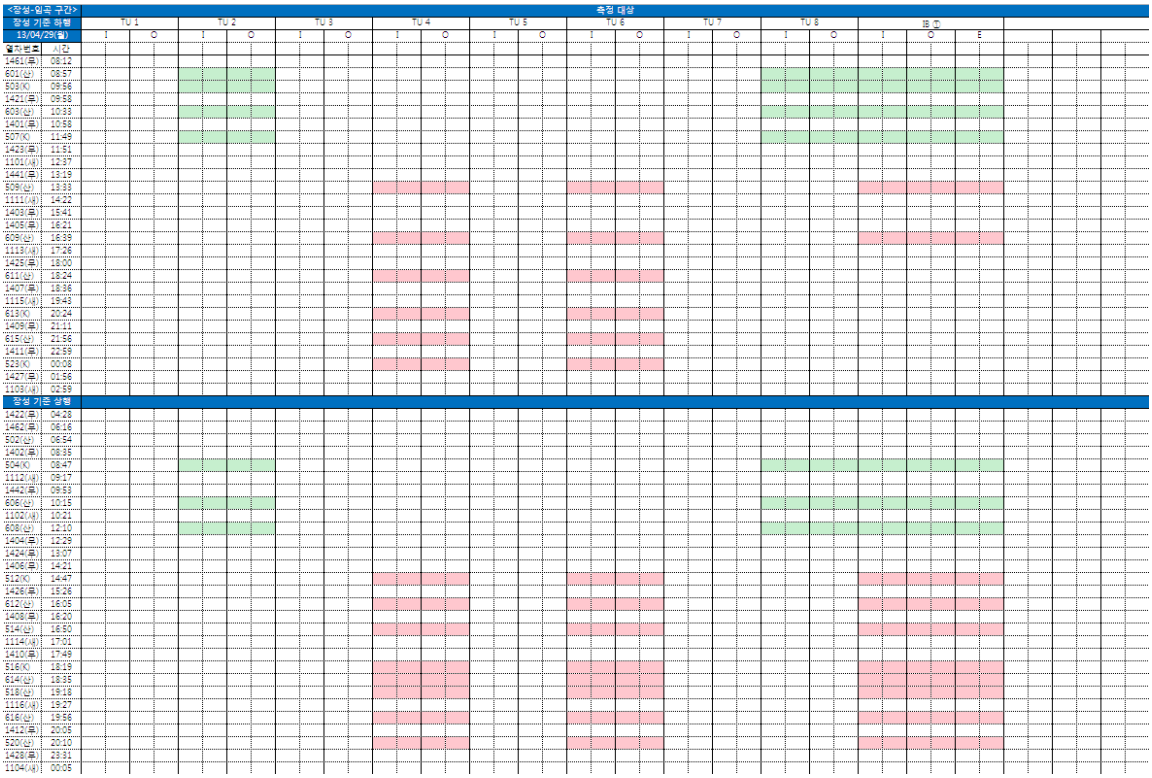



그림 135 장성-임곡 측정 기록지




그림 136 임곡-하남 측정 기록지

라. 1차 현장실증 시험분석 결과

(1) 계측분석

- 현장계측을 통하여 확보된 계측 자료를 분석함으로서 KTX산천 차량이 하행선을 주행 시 인접 궤도인 상행선의 C-Type에 부정단락을 유발하는 고조파인 1,980Hz의 유입경로를 파악함으로서 AF궤도회로(TI21)의 신뢰성을 확보하고 열차의 안전운행과 정시성을 확보하고자 한다.

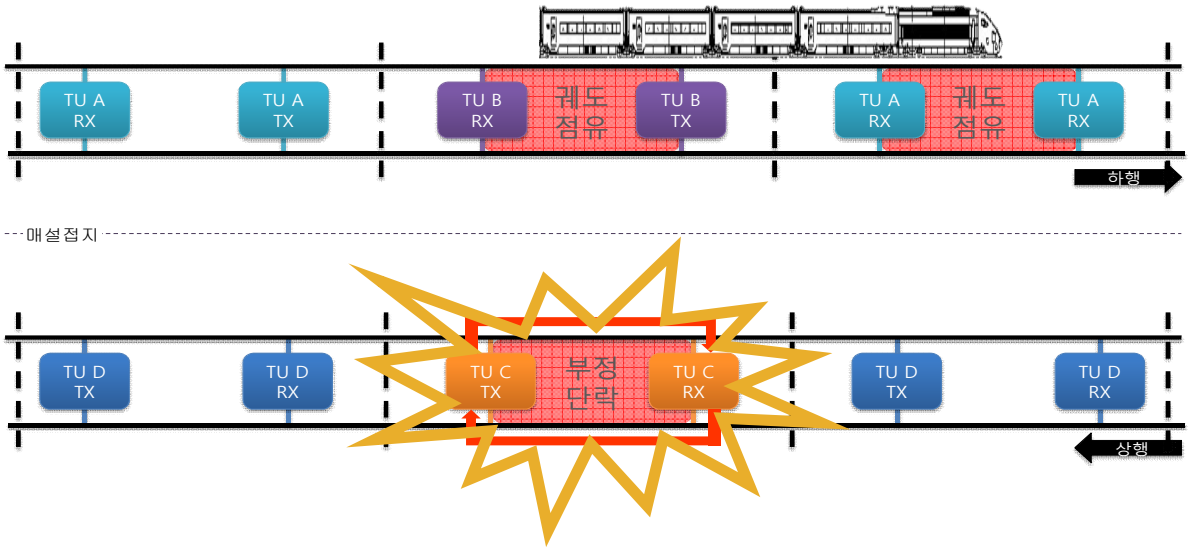



그림 137 1차 현장실증 계측분석

- AF궤도회로(TI21)는 궤도회로 간 절연이 없는 타입으로 국내에는 하행선에 A/B 타입을 상행선에 C/D 타입을 가청주파수 대역인 1500~2500Hz을 교번으로 설치하며 궤도회로 내 일정구간(약 3㎞)마다 설치된 임피던스본드(B1)는 자신의 궤도회로 주파수는 바이패스 시키고 궤도에 흐르는 귀선전류를 중성점을 통하여 매설접지에 연결하여 변전소로 귀환시킨다.

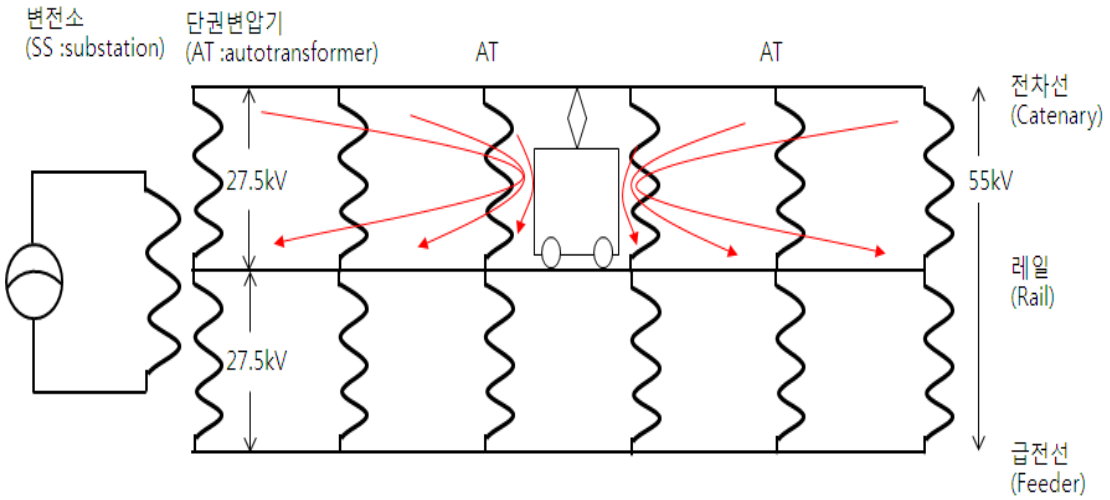



그림 138 임피던스본드의 귀선전류 변전소 귀환

(2) 현장측정

- 측정의 분석은 다음의 두 가지로 요약하여 분석함으로서 KTX산천차량에서 발생하는 고조파인 1980㎐의 이동경로를 파악해보고자 한다.

  (가) KTX산천 열차가 상행선을 주행 시 D-Type의 전방 혹은 후방 AF궤도회로의 C-Type에 - C-Type의 저차주파수(LSB)인 1979㎐와 인접한 차량의 관련고조파인 1980㎐성분이 궤도를 통하여 유입될 수 있는지 분석을 통하여 확인해 본다.

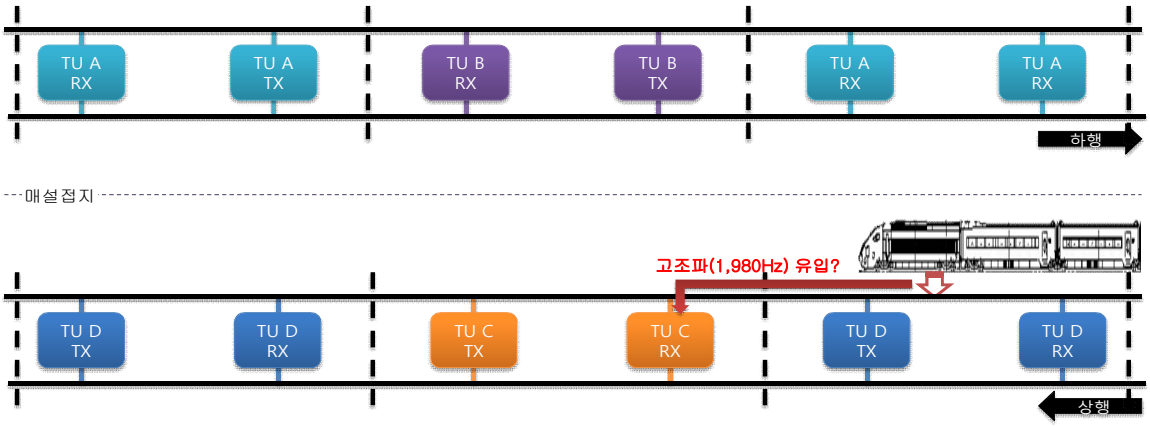



그림 139 1차 현장 측정

- 측정 개소별 Default 측정 결과

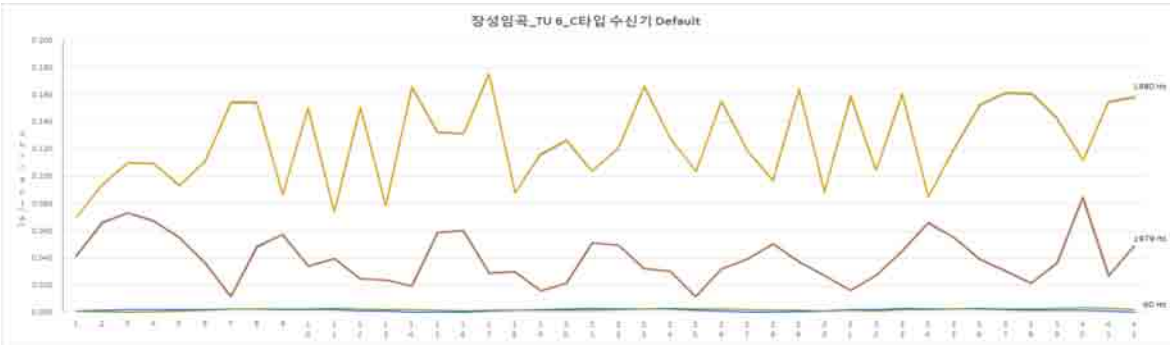



그림 140 장성-임곡, C-Type 수신기의 Default 그래프

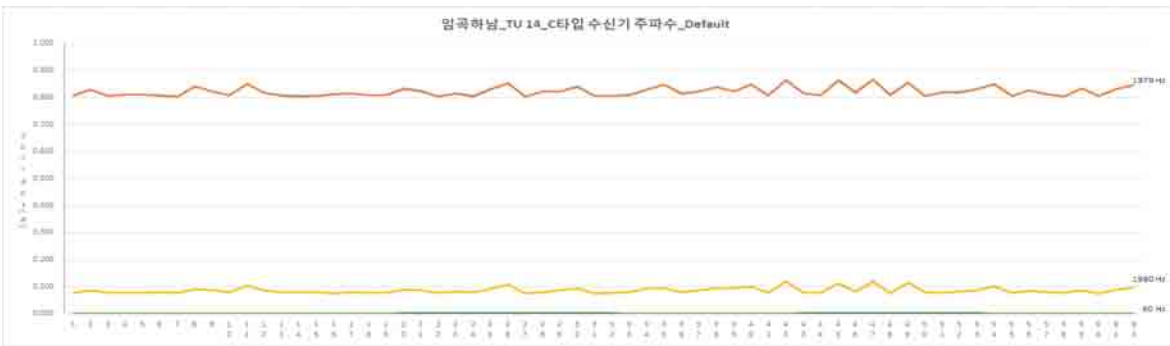



그림 141 임곡-하남, C-Type 수신기의 Default 그래프

(3) 측정 결과

(가) KTX산천 열차의 상행 주행 시, 상선 C-Type 수신기의 비교

- 장성-임곡 측정구성

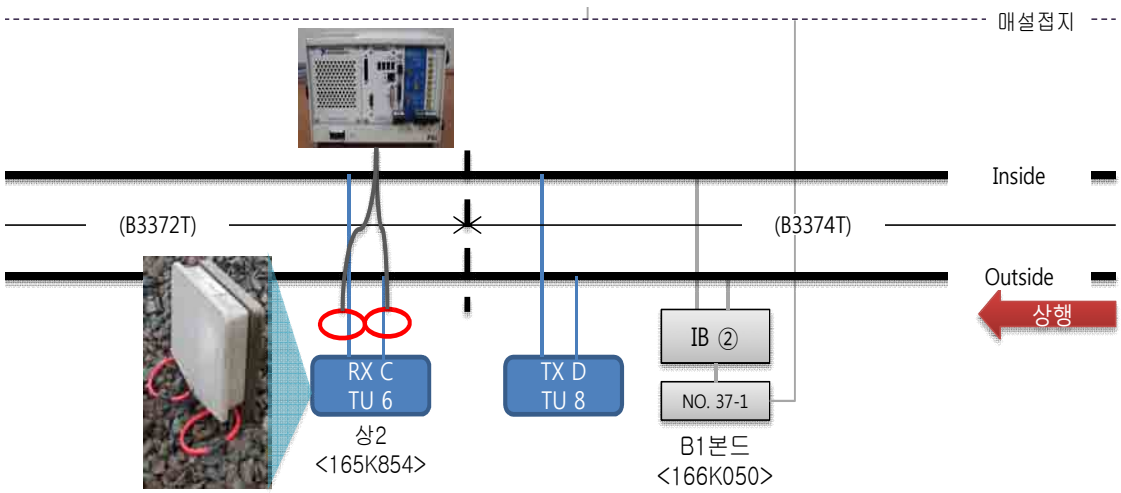



그림 142 장성-임곡, 상선 C-Type 수신기 측정 구성

- 측정데이터




그림 143 KTX산천 열차 상행 주행 시, 상선 C-Type 수신기의 비교 측정 데이터

- 임곡-하남 측정구성

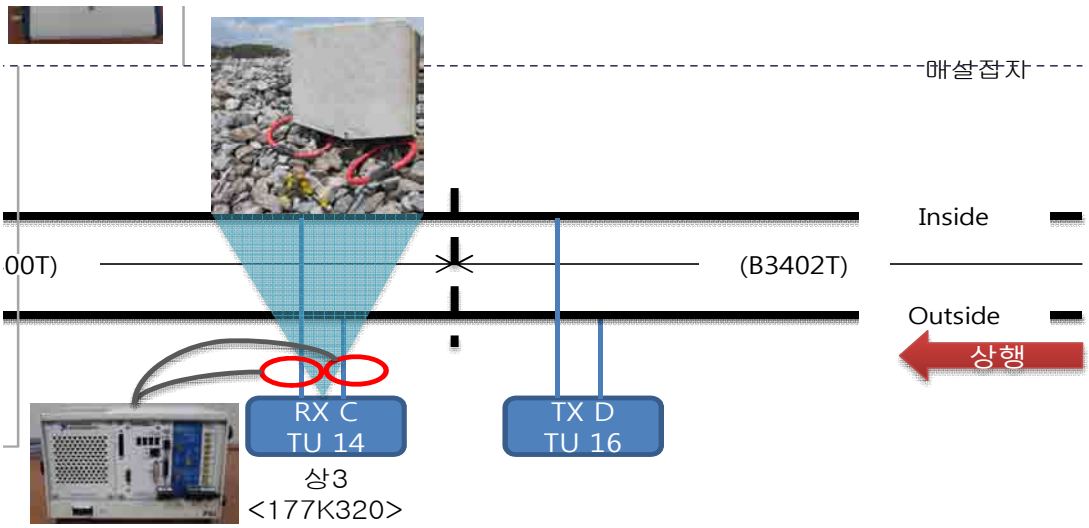
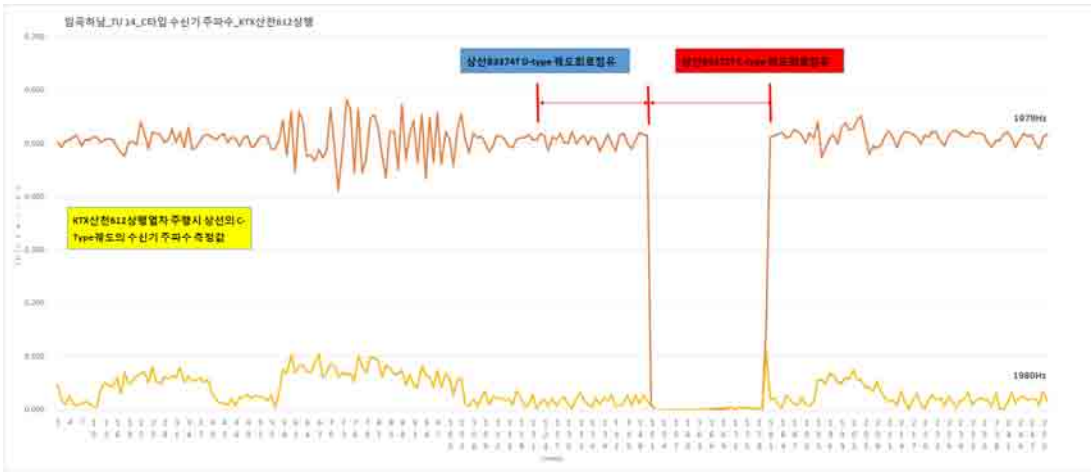



그림 144 임곡-하남, 상선 C-Type 수신기 측정 구성

- 측정데이터



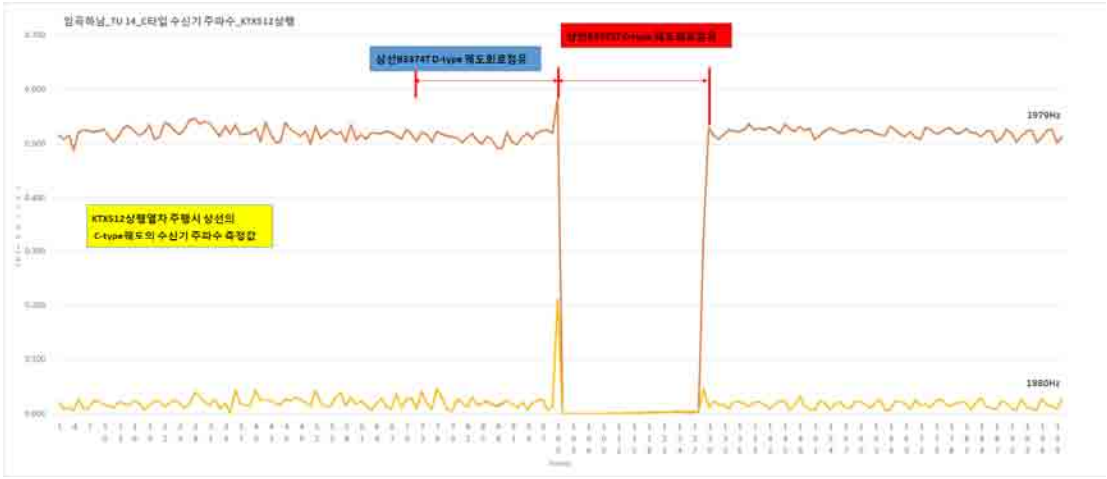



그림 145 KTX산천 열차 하행 주행 시, 상선 C-Type 수신기의 비교 측정 데이터

(나) KTX산천 열차가 하행선을 주행 시 임피던스본드(B1)를 통하여 흐르는 귀선전류의 고조파 성분이 매설접지선을 통하여 상행선의 임피던스본드(B1)를 거쳐 C-Type의 궤도회로에 간섭을 주는지 분석을 통하여 확인해 본다.

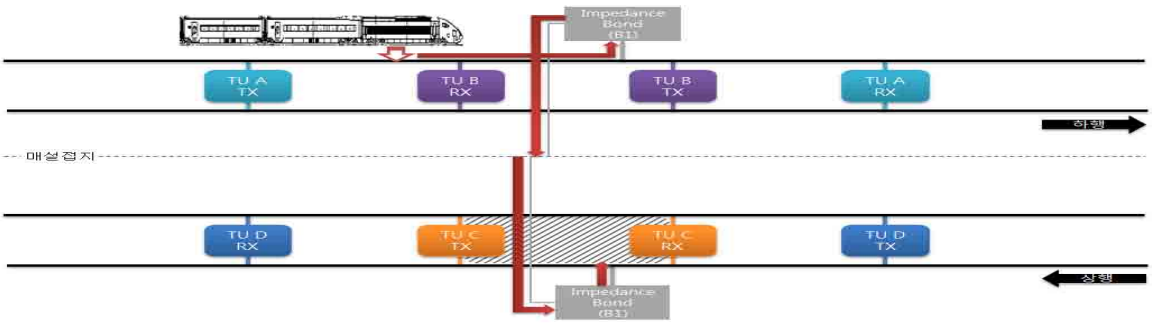



그림 146 C-Type 궤도회로에 간섭 확인 분석

(4) 측정 결과

(가) KTX산천 열차의 하행 주행 시, 상·하선 임피던스본드(B1)의 비교

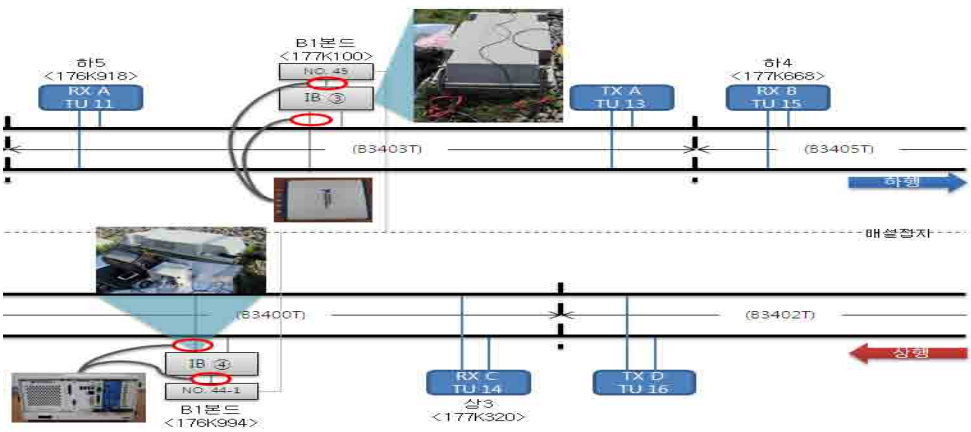
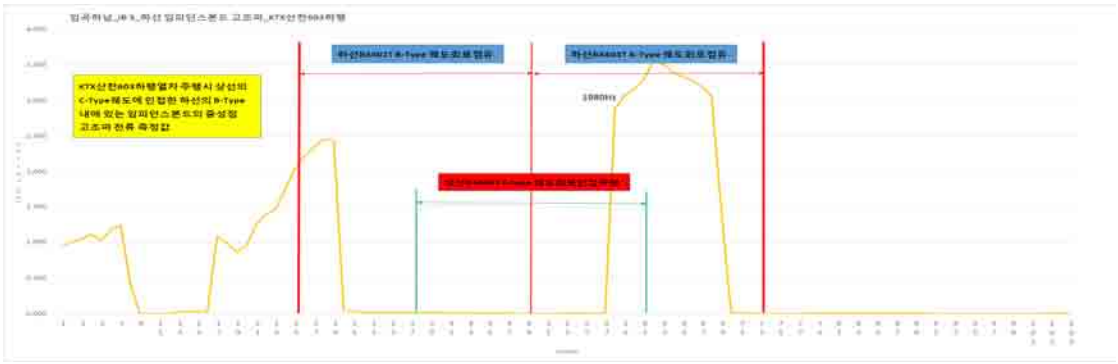



그림 147 임곡-하남, KTX산천 603열차 측정구성



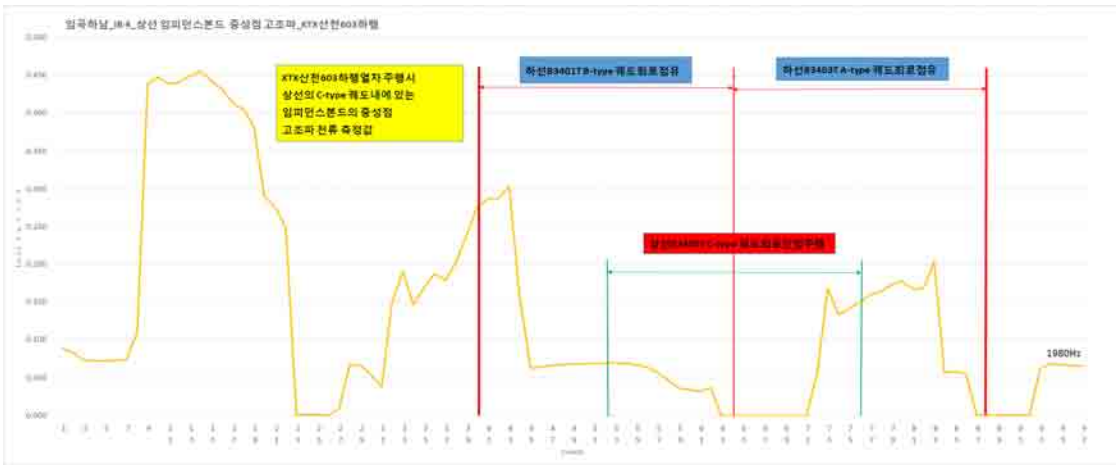
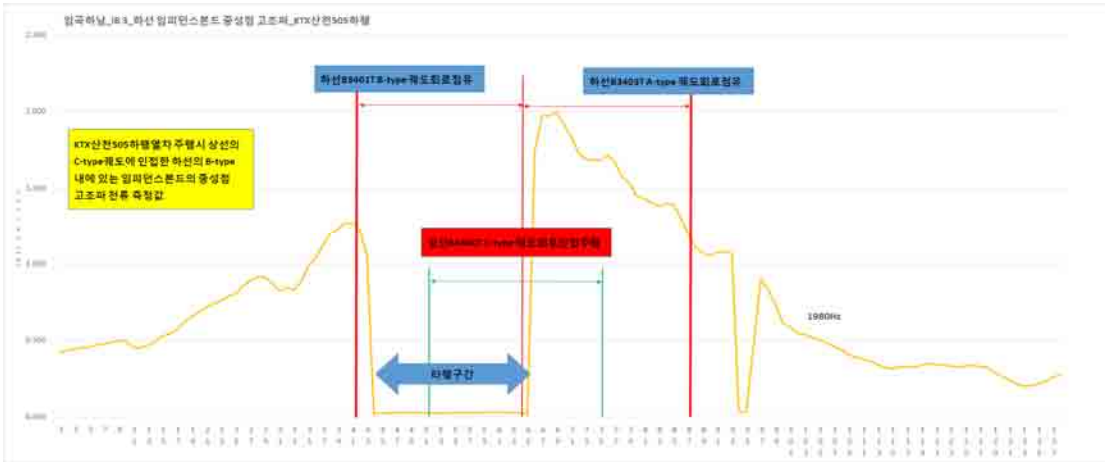




그림 148 임곡-하남, KTX산천 603열차 측정 데이터



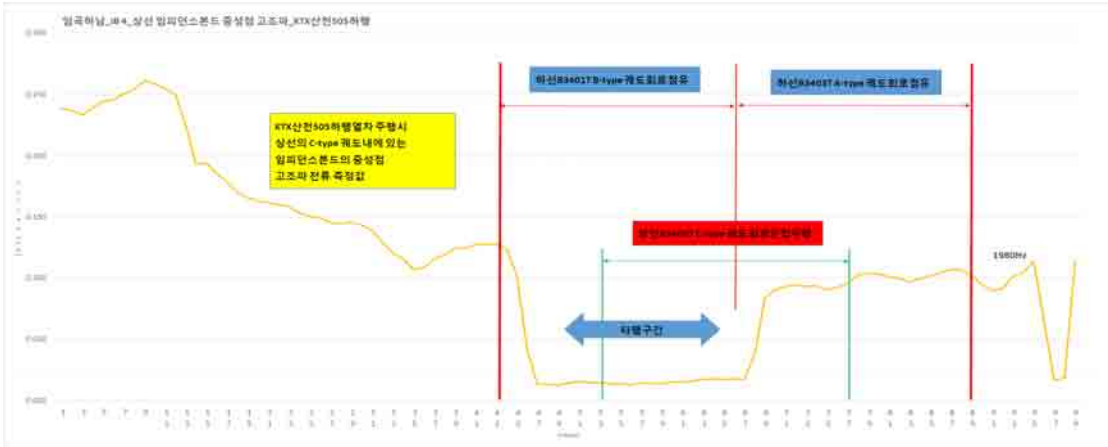



그림 149 임곡-하남, KTX산천 505열차 측정데이터

(나) KTX산천 열차의 하행 주행 시, 하선 임피던스본드(B1)와 상선 C-Type 수신기의 비교

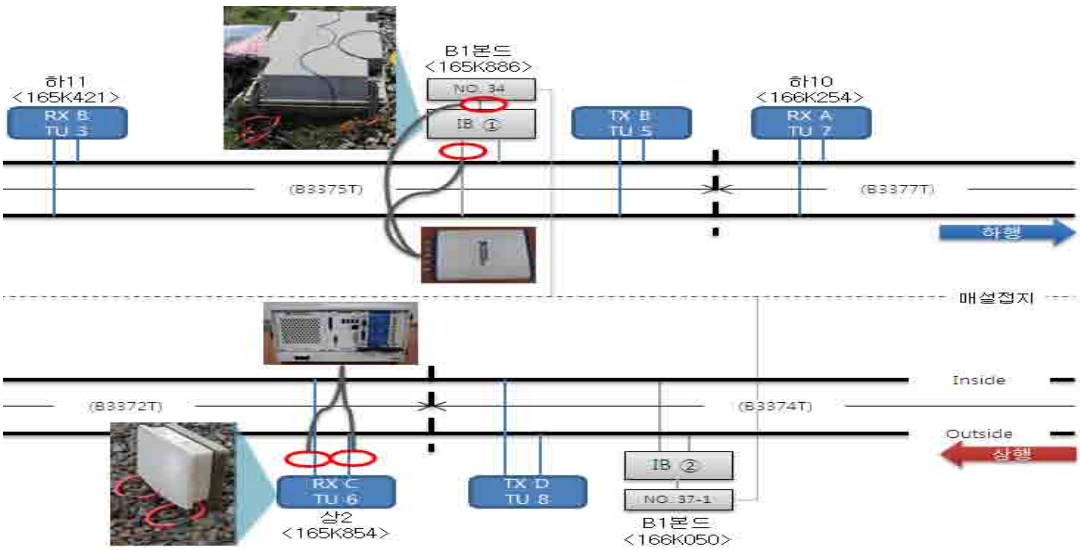



그림 150 장성-임곡, KTX산천 609열차 측정구성

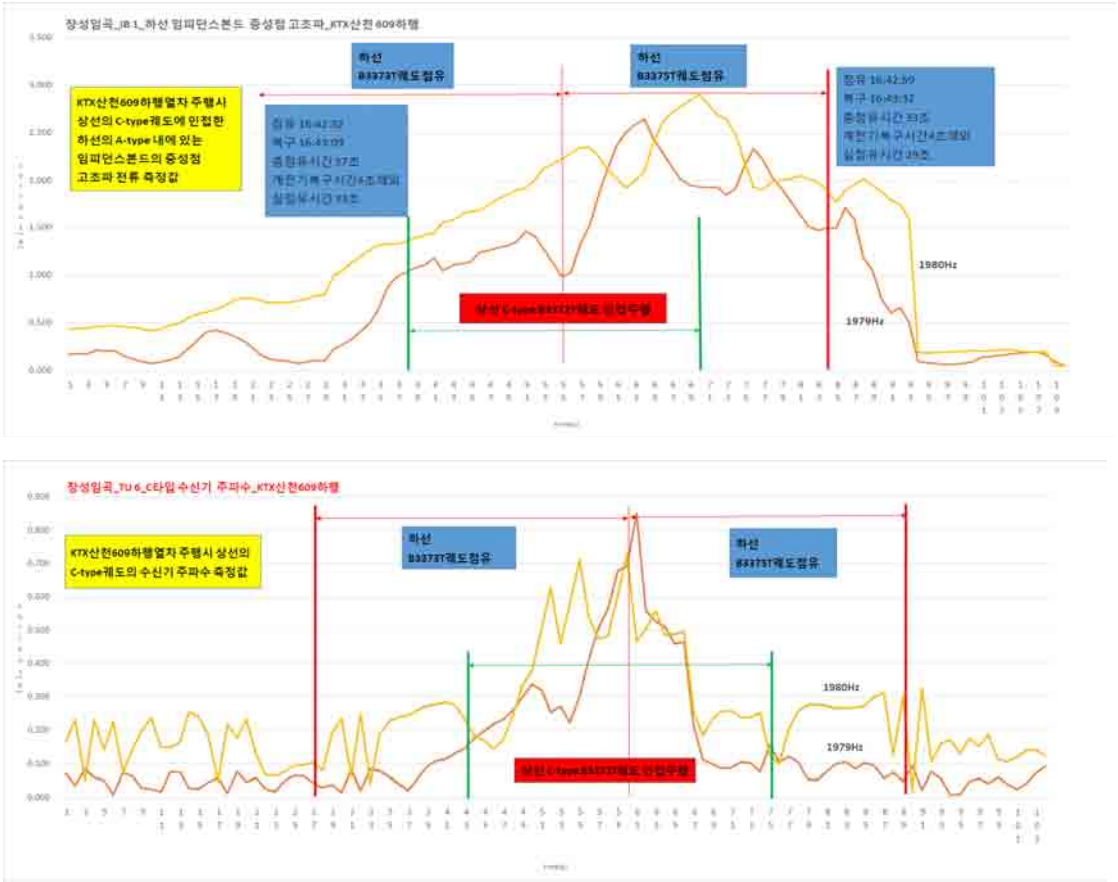



그림 151 장성-임곡, KTX산천 609열차 측정 데이터






그림 152 장성-임곡, KTX산천 611열차 측정데이터

① KTX산천 열차의 하행 주행 시, 상선 임피던스본드(B1)와 상선 C-TYPE 수신기의 비교

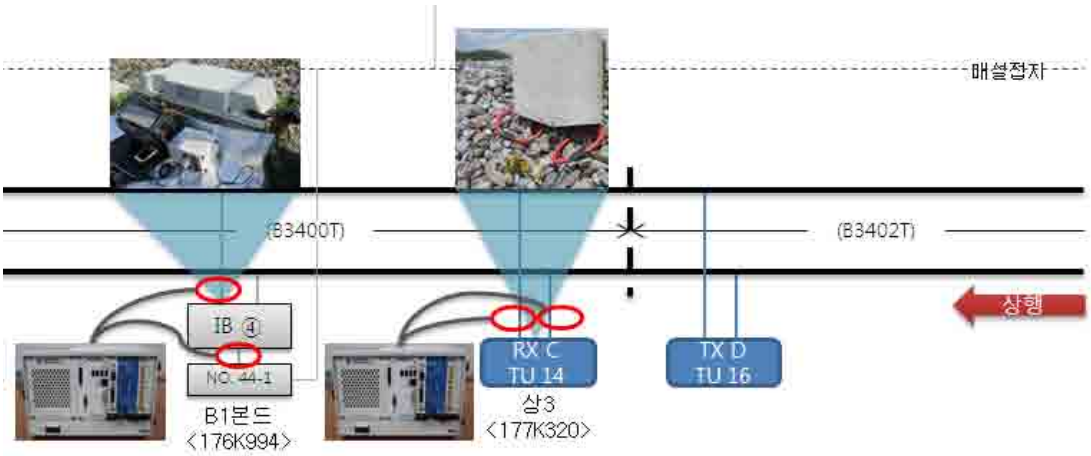



그림 153 임곡-하남 측정구성



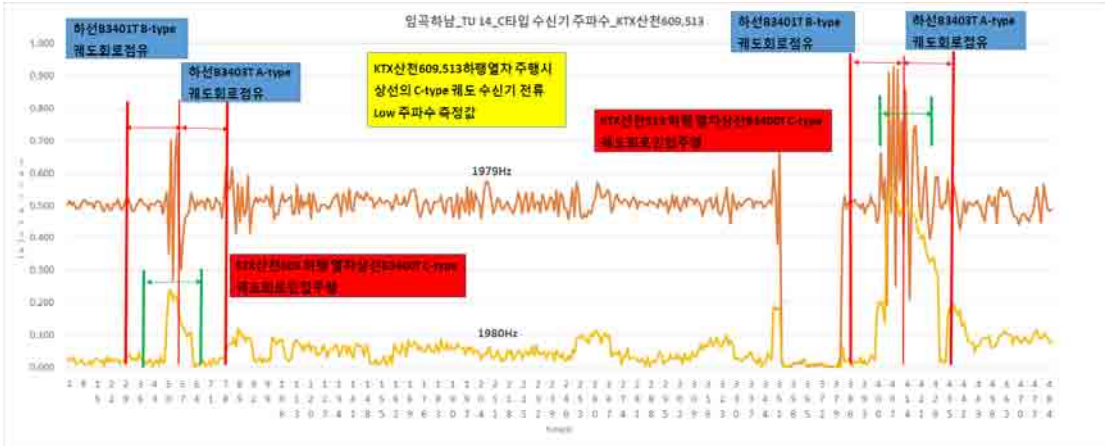



그림 154 임곡-하남 측정 데이터

② KTX-산천 열차의 상행 주행 시, 상선 C-TYPE 내의 임피던스본드(B1)의 귀선전류 고조파 분석




그림 155 상선 C-TYPE 내의 임피던스본드(B1)의 귀선전류 고조파 분석

(5) 측정 분석

- 측정 자료의 분석 결과, KTX산천의 하선 주행 시, 33차 고조파(1980㎐)의 영향으로 상선의 AF궤도회로의 수신기 주파수(1979㎐)에 미치는 영향은 KTX산천이 상선의 C-Type 궤도 인접을 주행할 때 특히 수신기의 주파수가 불안정한 형태를 나타낸다.
- 아래 그림 156과 같이, KTX산천이 상선을 주행 시 C-Type 내에 있는 임피던스본드(B1)를 통하여 귀선되는 전차선의 전류 중 AF궤도회로의 C-Type 저차(LSB) 주파수에 해당하는 33차 고조파(1980㎐) 성분이 최고 4A 이상이 흐른다.

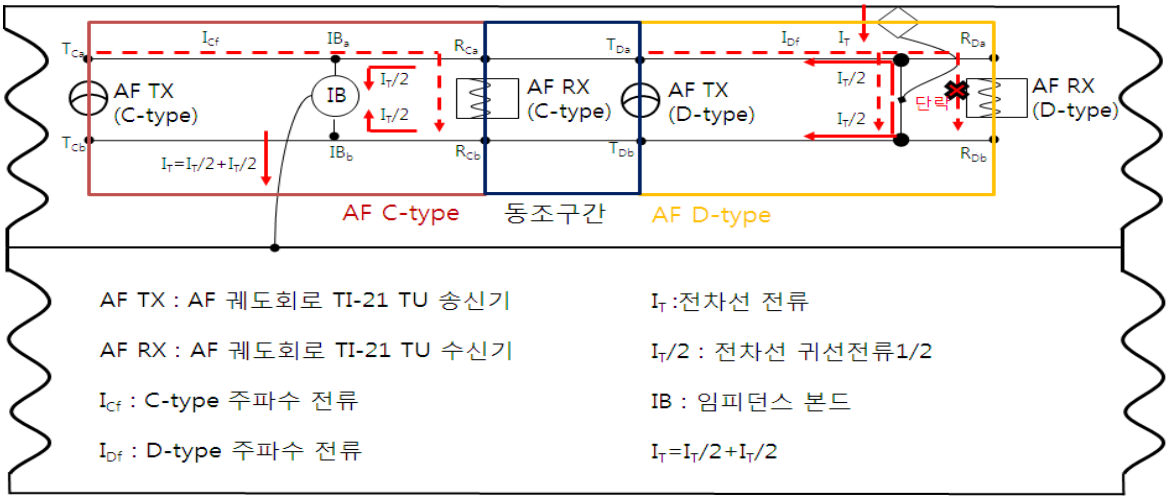



그림 156 KTX산천 상선 주행시 33차 고조파 성분

- KTX산천이 하선 주행 시 관련 고조파(1980㎐)가 전도성으로 선로를 통하여 AF궤도회로의 수신기에 영향을 준다는 가정을 한다면 KTX산천이 상선 주행 시 귀선전류에 포함된 고조파가 AF궤도회로의 C-TYPE 수신기에 영향을 주어 부정단락이 발생해야 하지만 KTX산천이 상선 주행 시에는 전방 혹은 후방 CTYPE의 AF궤도회로에는 고조파의 영향으로 인한 부정 단락이 발생하지 않는다.
- KTX-산천에서 발생한 고조파(1980㎐)가 어떠한 경로(유도성 혹은 전도성)를 통하여 영향을 미치는지에 대해서 면밀한 분석이 필요하며 측정 자료에 대한 이론적인 해석을 외부자문을 통하여 규명함으로서 고조파의 이동경로에 대해 2차 현장 측정 및 분석을 준비하고자 한다.
- 향후 진행 계획
- KTX-산천이 상선 주행 시 발생하는 고조파(1,980Hz)가 AF궤도회로 C-TYPE 수신기에 영향을 주지 않는 부분에 대하여 이론적인 해석을 함으로서 KTX-산천의 하선 주행 시 33차 고조파(1,980Hz)가 어떤 경로를 통하여 AF궤도회로의 C-TYPE 수신기에 영향을 주는지 규명한다.
- 이에 따라 2차 현장 측정은 외부자문의 결과를 토대로 KTX-산천의 하선 주행 시 AF궤도회로의 상선 수신기 다수를 동시에 측정하여 열차위치에 따른 수신기의 주파수 변화를 측정하여 자료를 분석하고자 한다.

## 10. 현장실증시험(2차)

가. 계측일정

2013년 9월 30일 ~ 10월 2일 (3일간)

표 82 현장실증시험(2차) 시험 장소

| No. | 궤도회로명 | 구간 | 일자 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | B3035T~B3052T | 흑석리-계룡 | 9월 30일~10월 2일 | |

표 83 현장실증시험(2차) 참여 인력

| 참여기관 | 담당자 | 업무 |
|---|---|---|
| 한국철도공사 | 최재식 차장 | 작업 책임 |
| | 소준혁 연구원 | 상선 TI21 수신기 파형 측정 |
| ㈜에이알텍 | 이남형 전무 | 철도운행안전관리 |
| | 이수주 이사 | TI21 수신, B1본드의<br>고조파, 삼각파 및 레일 전압 측정 |
| | 김예지 사원 | |
| | 김태완 사원 | |
| | 장재민 사원 | |
| | 이정철 사원 | |

나. 현장계측 상세계획

(1) 측정 장비

표 84 기관별 주요 장비 현황

| 항목 | 기관 | | | 합계 |
|---|---|---|---|---|
| | 한국철도공사 | ㈜에이알텍 | 현대로템(주) | |
| DAQ(NI USB 9234) | - | 1ea(대여) | 1ea(보유) | 2ea |
| 전류센서<br>(Rogowski coil) | 4ea(보유) | 4ea(보유)<br>4ea(대여) | 4ea(보유) | 12ea |
| PXI | - | 1ea(대여) | - | 1ea |
| Digital Storage Oscilloscope | - | 1ea(보유) | - | 1ea |
| 전력품질분석기 | 1ea(보유) | - | - | 1ea |
| Scope meter | 1ea(보유) | - | - | 1ea |

표 85 계측 일정

| 시 간 | | 장 소 | 계측내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 9/29 | 18:00 ~ 19:00 | 본사 | 출발 준비 | |
| | 19:00 ~ 22:00 | 저녁식사 및 이동 | | |
| | 22:00 ~ 23:00 | 계룡역 | 내부 협의 | |
| 9/30 | 08:00 ~ 08:30 | 계룡역 | 현장 계측 협의 | |
| | 08:30 ~ 08:50 | 흑석리-계룡 구간 | 작업안전 교육 | |
| | 09:00 ~ 12:20 | | TI21 수신, B1본드 고조파 측정 및 레일 전압 측정 | |
| | 12:30 ~ 13:20 | | 점심식사 | |
| | 13:30 ~ 18:00 | | TI21 수신, B1본드 고조파 측정 및 레일 전압 측정 | |
| | 18:10 ~ 18:50 | | 장비 정리 및 숙소 이동 | |
| | 19:00 ~ 21:00 | | 저녁 식사 및 내부 회의 | |
| 10/1 | 08:00 ~ 08:30 | 계룡역 | 현장 계측 협의 | |
| | 08:30 ~ 08:50 | 흑석리-계룡 구간 | 작업안전 교육 | |
| | 09:00 ~ 12:20 | | TI21 수신, B1본드 고조파 측정 및 레일 전압 측정 | |
| | 12:30 ~ 13:20 | | 점심식사 | |
| | 13:30 ~ 18:00 | | TI21 수신, B1본드 고조파 측정 및 레일 전압 측정 | |
| | 18:10 ~ 18:50 | | 장비 정리 및 숙소 이동 | |
| | 19:00 ~ 21:00 | | 저녁 식사 및 내부 회의 | |
| 10/2 | 08:00 ~ 08:30 | 계룡역 | 현장 계측 협의 | |
| | 08:30 ~ 08:50 | 흑석리-계룡 구간 | 작업안전 교육 | |
| | 09:00 ~ 12:20 | | TI21 수신, B1본드 고조파 측정 및 레일 전압 측정 | |
| | 12:30 ~ 13:20 | | 점심식사 | |
| | 13:30 ~ 18:00 | | TI21 수신, B1본드 고조파 측정 및 레일 전압 측정 | |
| | 18:10 ~ 18:50 | | 장비 정리 및 숙소 이동 | |
| | 19:00 ~ 21:00 | | 저녁 식사 및 내부 회의 | |

표 86 계측 장비

| | 장비명 | | 기능 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | PXI 계측기 |  | 측정, 데이터 수집 및 자동화 시스템<br>노트북에서 직접 컨트롤 가능 | |
| 2 | NI USB 9234 |  | 측정, 데이터 수집 및 자동화 시스템<br>-PXI 계측기 축소용(프로그램 설치 필요) | |
| 4 | 오실로스코프 |  | -시간에 따른 입력전압의 변화를 화면에 출력하는 장치<br>-전기진동이나 펄스처럼 시간적 변화가 빠른 신호 관측 | |
| 5 | 멀티미터 |  | -전압, 전류, 저항, 캐패시턴스, 주파수, 다이오드 측정<br>-온도 측정 가능 | |
| 6 | 전류센서<br>(로코스키코일) |  | -밀집된 도선들 전류 측정 | |

다. 현장측정 내용 및 목적

(1) 현장시험조건

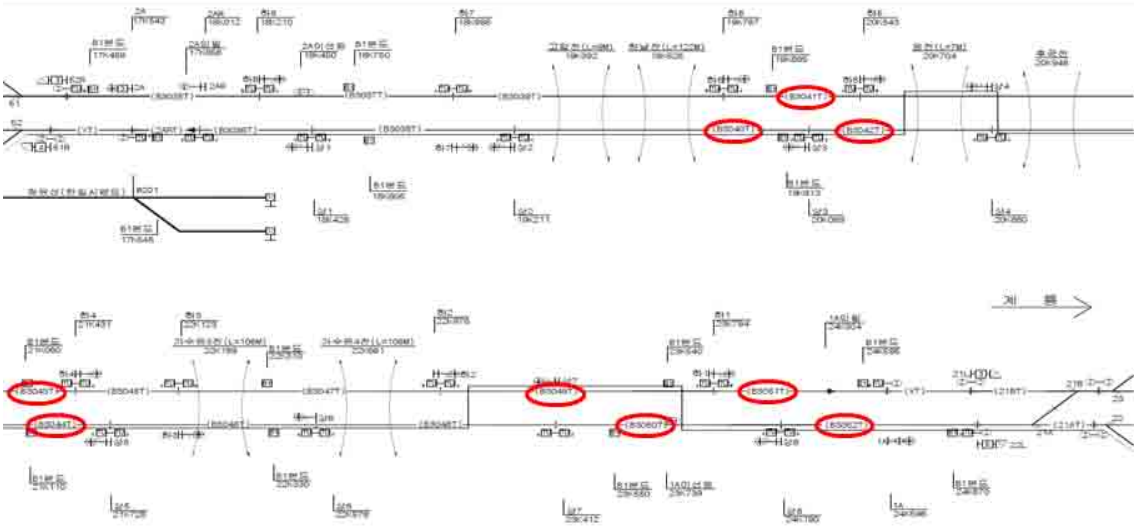


그림 157 흑석리역-계룡역 관구도

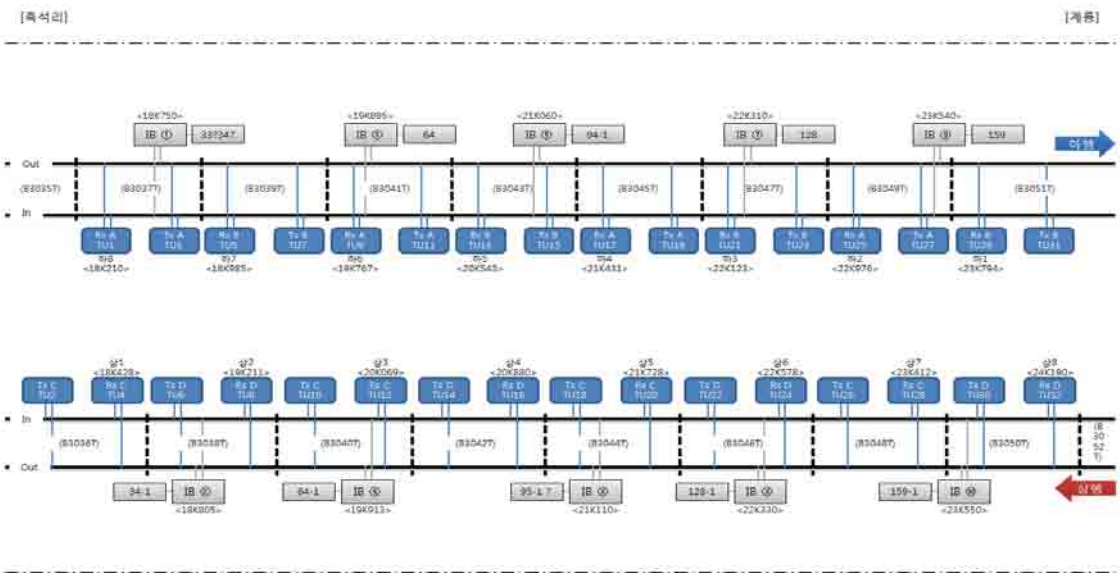



그림 158 흑석리-계룡역 현장설비 배치도

(1) 현장시험 내용

(가) 측정 1

① 측정 방향

- 상3 궤도 송신기 차단 후,
- 하선 KTX산천 주행 시 상선 임피던스본드 양단의 고조파 측정.
- 상3 궤도 수신TU의 고조파 변화를 측정.
- 상3 수신기 수신감도설정 : 54㎃

② 측정 진행

- 전류 코일을 그림 159과 같이 연결.

표 87 측정1, 현장 시험 내용

| | |
|---|---|
| **상3 송신기 차단** | 15시 13분 22초 |
| **KTX산천 병합열차 609&707** | 하6 점유 : 15시 17분 59초<br>하6 복구 : 15시 18분 41초 |
| **상3 송신기 복구** | 15시 18분 43초 |
| **총 차단시간** | 321초 |

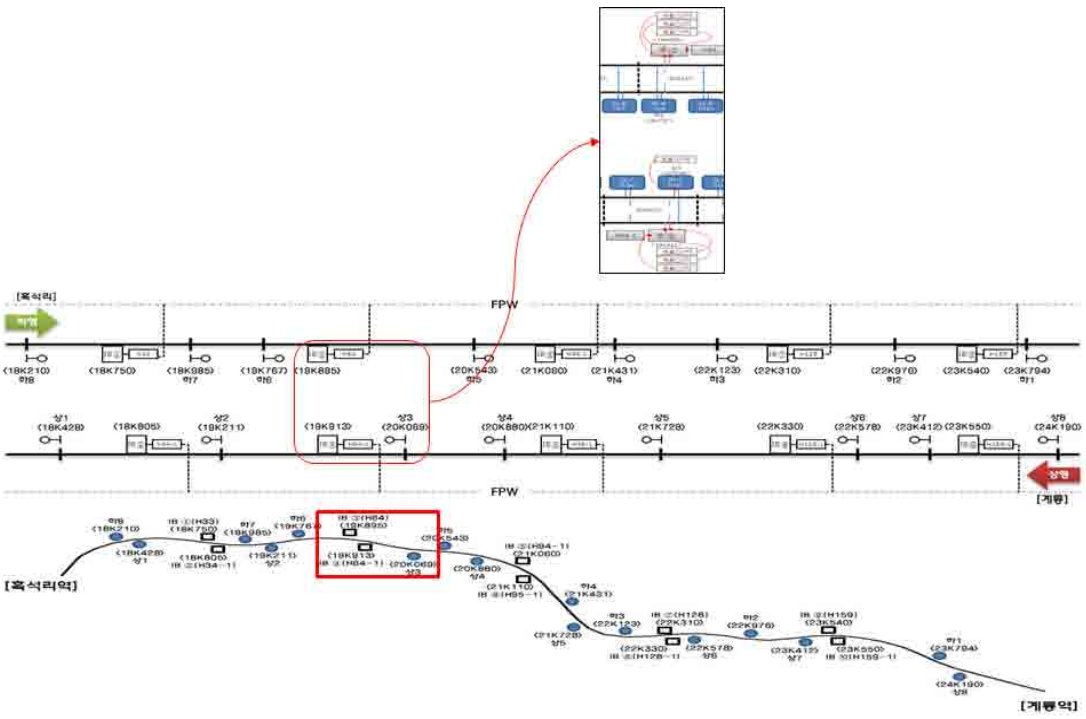



그림 159 측정1, 현장 시험 구성 내용

(나) 측정 2

① 측정 방향

- 상5 궤도 열차 비점유 상태,
- 하선 KTX산천 주행 시 상선 임피던스본드 양단의 고조파 측정.
- 상3 궤도 수신TU의 고조파 변화를 측정
- 상3 수신기 수신감도설정 : 54㎃

② 측정 진행

- 전류 코일을 그림 160과 같이 연결.

표 88 측정2, 현장 시험 내용

| | |
|---|---|
| KTX산천 병합열차 509&705 | 하4 점유 : 12시 10분 12초<br>하3 점유 : 12시 10분 40초 |

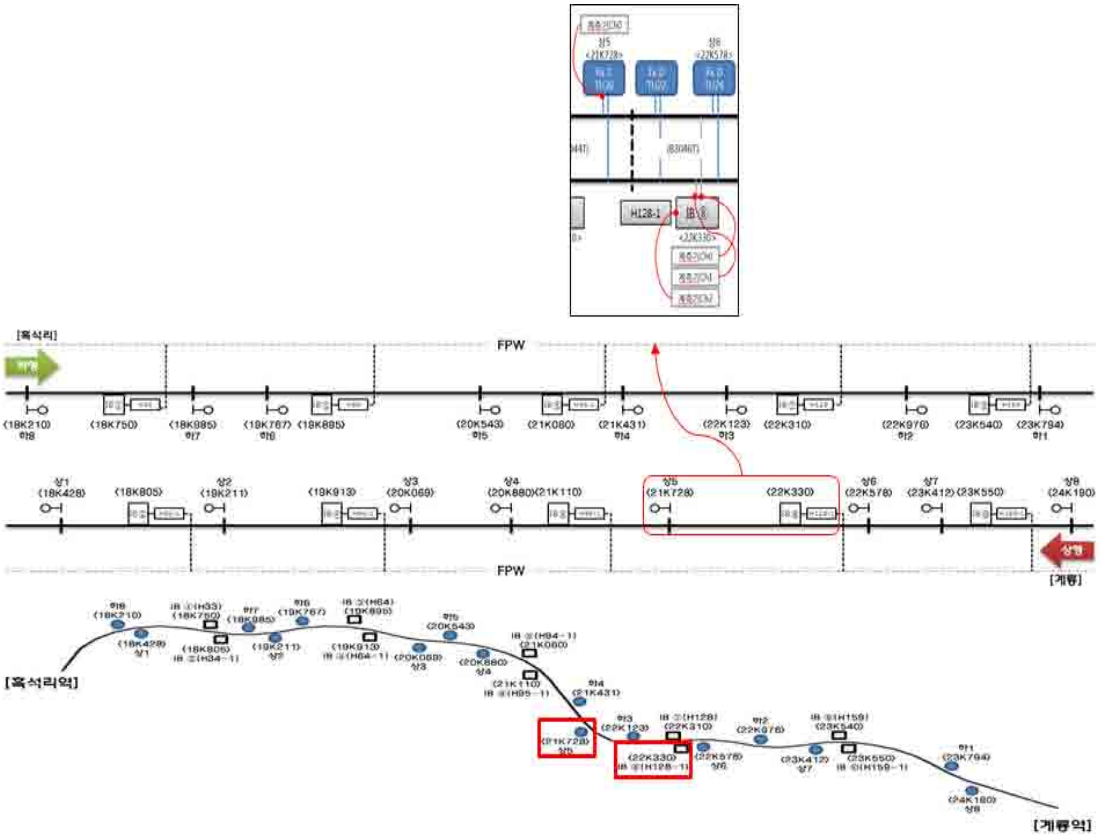



그림 160 측정2, 현장 시험 구성 내용

(다) 측정 3

① 측정 방향

- 상7 수신기를 구형 아날로그 타입으로 교체 후,
- 하선 KTX산천 주행 시 수신기의 주파수 변화를 측정.
- 하선 KTX산천 주행 시 삼각파의 상태를 측정.
- 상7 수신기 수신감도설정 : 58㎃.

② 측정 진행

- 전류 코일을 그림 161과 같이 연결.

표 89 측정3, 현장 측정 내용

| | |
|---|---|
| **상7 궤도 화물열차** | 점유 : 16시 37분 36초<br>복구 : 16시 38분 26초 |
| **KTX산천 병합열차 509&705 교행** | 하2 점유 : 16시 37분 42초<br>하2 복구 : 16시 38분 37초 |

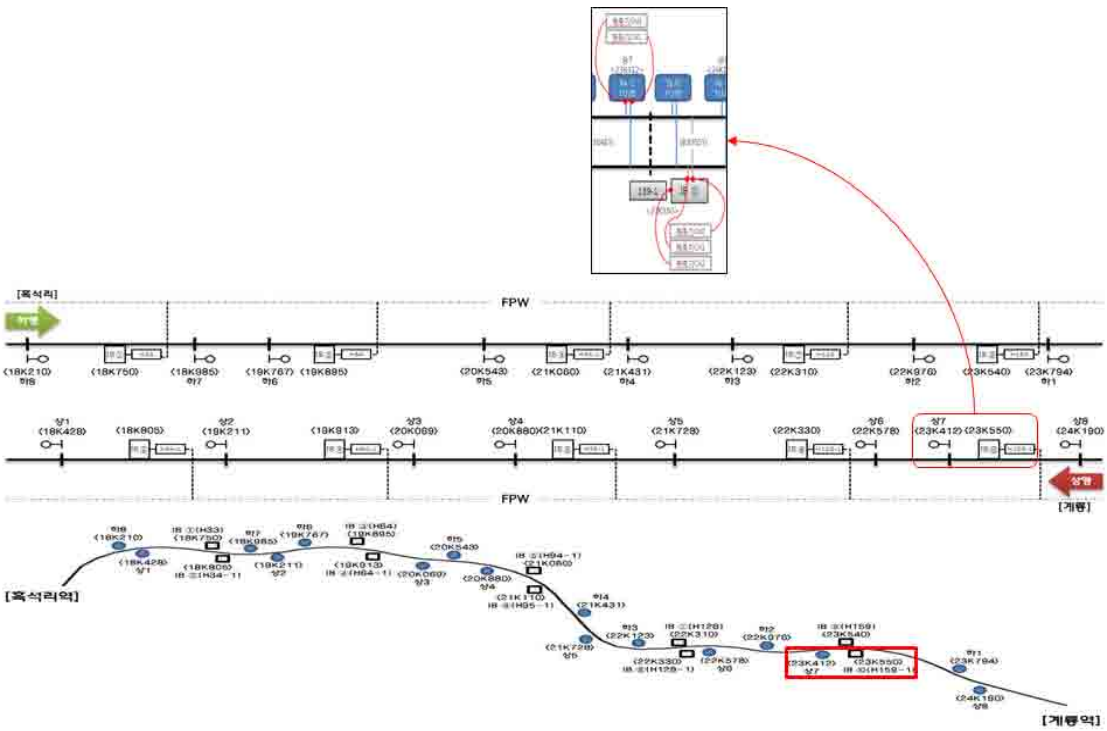



그림 161 측정3, 현장 시험 구성 내용

| | | | | | | | | | | | | | | | 측정자 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 열차 번호 | 열차 종별 | 방향 | 시발역 | 종착역 | 착발 구분 | 도착시각 | | 출발시각 | | 측정 위치 | 측정시작 (5분 전) | 통과시간 | 레일 간 전압 | 레일 1 전압 | 레일 2 전압 | 파일명 | 측정위치 + 열차번호 |
| | | | | | | 도착 일자 | 도착 시간 | 출발 일자 | 출발 시간 | | | | | | | | |
| 524 | KTX | 상 | 목포 | 용산 | 통과 | | | 2013-09-30 | 00:13:00 | | | | | | | | |
| 501 | KTX-산천 | 하 | 용산 | 목포 | 통과 | | | 2013-09-30 | 06:36:00 | | | | | | | | |
| 701 | KTX-산천 | 하 | 용산 | 엑스포 | 통과 | | | 2013-09-30 | 06:36:00 | | | | | | | | |
| 602 | KTX | 상 | 광주 | 용산 | 통과 | | | 2013-09-30 | 06:59:30 | | | | | | | | |
| 702 | KTX-산천 | 상 | 엑스포 | 용산 | 통과 | | | 2013-09-30 | 07:33:30 | | | | | | | | |
| 601 | KTX-산천 | 하 | 용산 | 광주 | 통과 | | | 2013-09-30 | 07:36:00 | | | | | | | | |
| 502 | KTX-산천 | 상 | 목포 | 용산 | 정차 | 2013-09-30 | 08:16:00 | 2013-09-30 | 08:17:00 | | | | | | | | |
| 503 | KTX | 하 | 용산 | 목포 | 통과 | | | 2013-09-30 | 08:40:00 | | | | | | | | |
| 4003 | KTX-산천 | 하 | 행신 | 순천 | 정차 | 2013-09-30 | 09:07:00 | 2013-09-30 | 09:08:00 | | 09:03 | | | | | | |
| 603 | KTX-산천 | 하 | 행신 | 광주 | 정차 | 2013-09-30 | 09:07:00 | 2013-09-30 | 09:08:00 | | | | | | | | |
| 604 | KTX-산천 | 상 | 광주 | 행신 | 통과 | | | 2013-09-30 | 09:11:30 | | 09:06 | | | | | | |
| 505 | KTX-산천 | 하 | 용산 | 목포 | 통과 | | | 2013-09-30 | 09:36:00 | | 09:31 | | | | | | |
| 703 | KTX-산천 | 하 | 용산 | 엑스포 | 통과 | | | 2013-09-30 | 09:36:00 | | | | | | | | |
| 714 | KTX-산천 | 상 | 엑스포 | 용산 | 통과 | | | 2013-09-30 | 09:41:45 | | 09:36 | | | | | | |
| 504 | KTX | 상 | 목포 | 용산 | 정차 | 2013-09-30 | 10:04:00 | 2013-09-30 | 10:05:00 | | 10:00 | | | | | | |
| 507 | KTX | 하 | 용산 | 목포 | 정차 | 2013-09-30 | 10:32:00 | 2013-09-30 | 10:33:00 | | 10:28 | | | | | | |
| 606 | KTX-산천 | 상 | 광주 | 용산 | 정차 | 2013-09-30 | 11:33:00 | 2013-09-30 | 11:34:00 | | 11:29 | | | | | | |
| 605 | KTX | 하 | 용산 | 광주 | 통과 | | | 2013-09-30 | 11:35:00 | | 11:30 | | | | | | |
| 704 | KTX-산천 | 상 | 엑스포 | 용산 | 정차 | 2013-09-30 | 12:03:00 | 2013-09-30 | 12:04:00 | | 11:59 | | | | | | |

그림 162 시험 기록지 양식

라. 2차 현장실증 시험분석결과

(1) 측정 1의 결과

- KTX산천 609&707 병합열차의 하선 주행 시, 귀선전류에 포함된 33차 고조파(1980㎐) 성분이 상선 임피던스본드 양단에서 측정된 고조파 파형

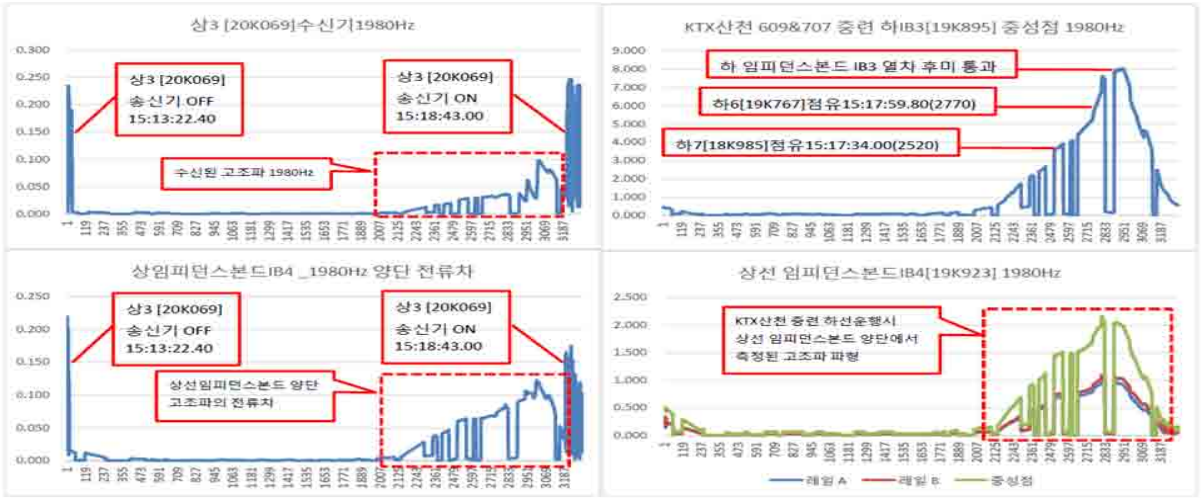



그림 163 KTX산천 609&707 병합열차 하선 주행 시, 측정된 고조파 파형

(2) 측정 2의 결과

- KTX산천 509&705 병합열차의 하선 주행 시, 귀선전류에 포함된 33차 고조파(1980㎐) 성분이 상선 임피던스본드 양단에서 측정된 고조파 파형

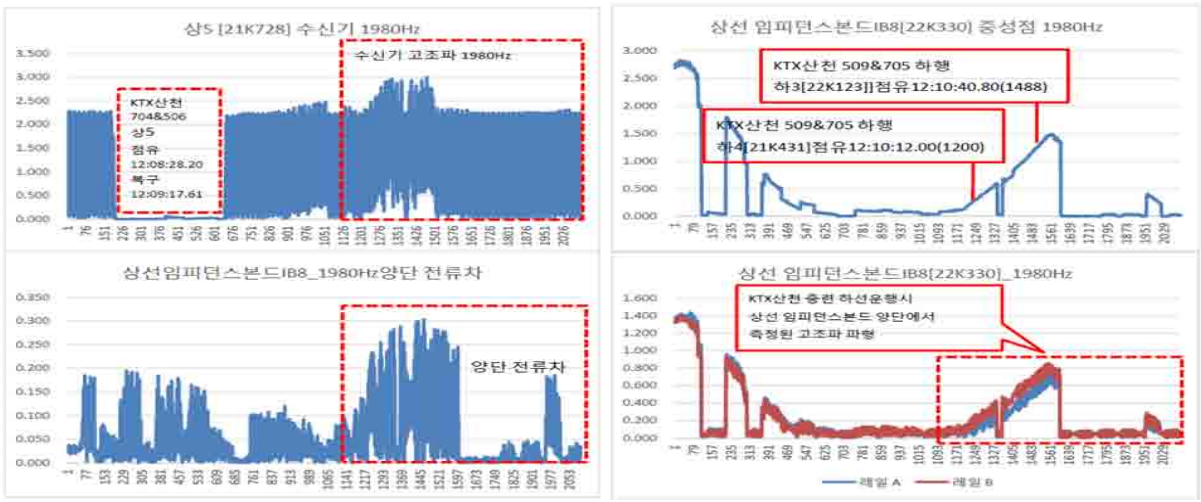



그림 164 KTX산천 509&705 병합열차 하선 주행 시, 측정된 고조파 파형

(3) 측정 3의 결과

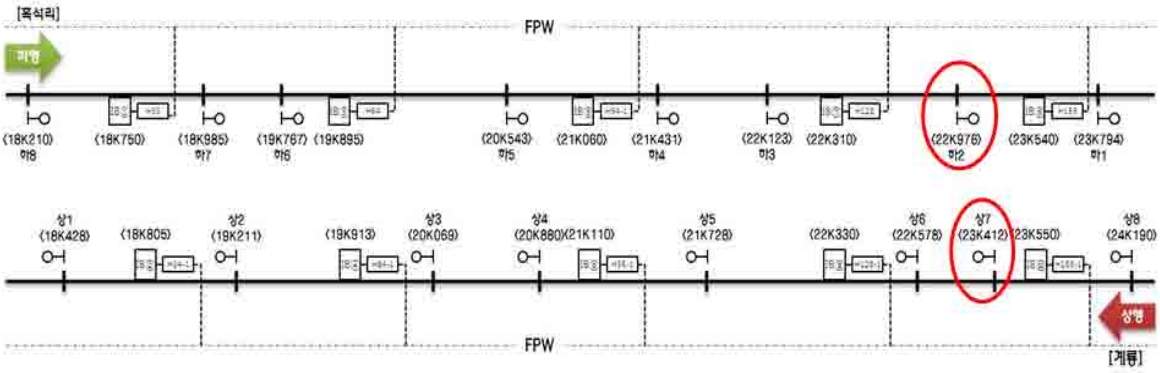



그림 165 상7 궤도 아날로그 수신기 교체 후 장애사항

표 90 수신기 교체 일정 및 열차 운행 현황

| | |
|---|---|
| 상7 수신기 아날로그 타입으로 교체 | 10월 2일 03시 |
| 아날로그 수신기 교체 후 하선 KTX산천 통과 | KTX산천 : 4회<br>KTX산천 병합 : 6회 |
| 상7 수신기 정상교체 | 10월 2일 17시 15분 53초 |

표 91 장애현황 1

| | |
|---|---|
| KTX산천 병합열차 4003&603(계룡역 정차) | 장애발생 : 09시 10분 53초<br>장애복구 : 09시 10분 57초 |
| 장애시간 | 4초 |
| 장애발생 시 하선 KTX산천의 위치 | 하2 점유 : 09시 10분 35초 후<br>18초 주행 시 장애발생 |

표 92 장애현황 2

| | |
|---|---|
| KTX산천 병합열차 705&509(계룡역 정차) | 장애발생 : 12시 11분 33초<br>장애복구 : 12시 11분 37초 |
| 장애시간 | 4초 |
| 장애발생 시 하선 KTX산천의 위치 | 하2 점유 : 12시 11분 15초 후<br>18초 주행 시 장애발생 |

(4) 측정 분석

- 상7 궤도 수신기 아날로그 타입 교체 후, 상행 화물열차 상7 궤도 점유 중 하행 KTX산천 4005&515 병합열차 주행 시 상선으로 유입된 고조파의 수신기 파형을 분석

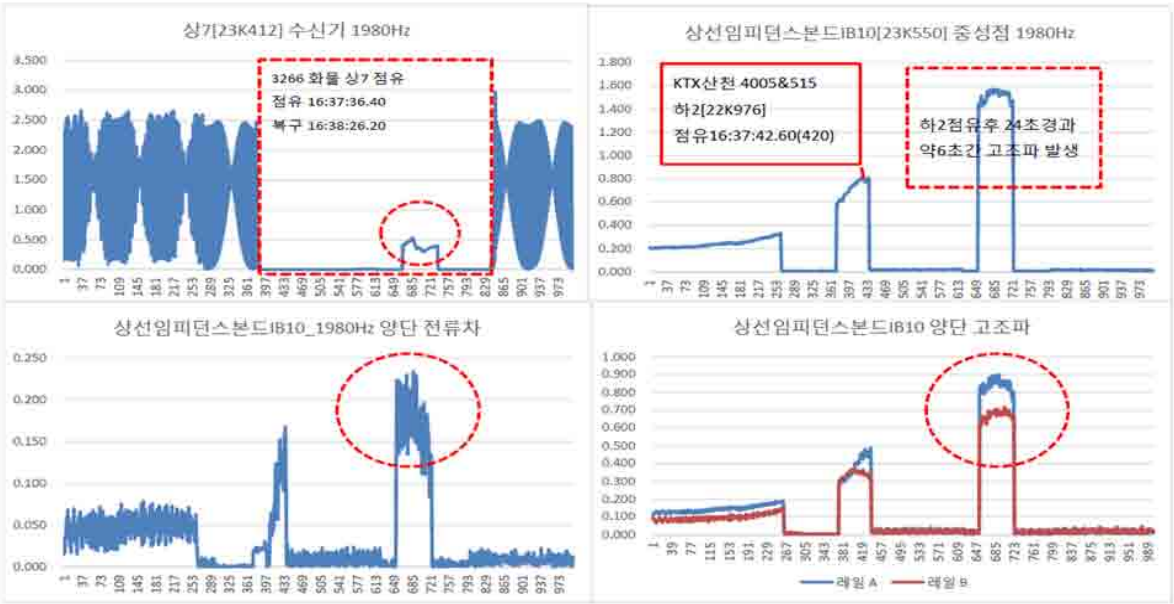



그림 166 고조파 수신기 파형 분석

(5) 측정 파형

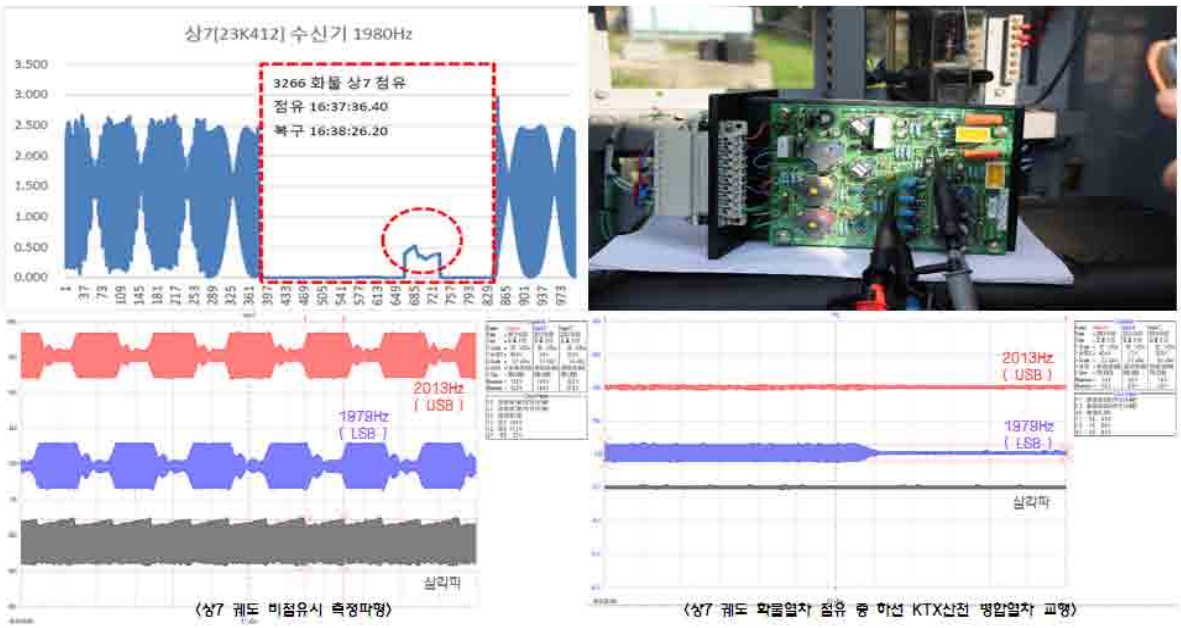



그림 167 상7 궤도 측정 파형

(6) 측정 결과 분석

(7) 상7 C-Type 수신기의 정상 파형과 고조파 유입 시 파형 비교

(가) 상7 궤도 수신기 아날로그 타입으로 교체 후, KTX산천 611열차 하선 주행 시 유입된 33차 고조파(1980㎐) 성분으로 인해 아날로그 수신기의 저차주파수 파형의 일그러짐과 삼각파의 일그러짐 현상에 대하여 설명

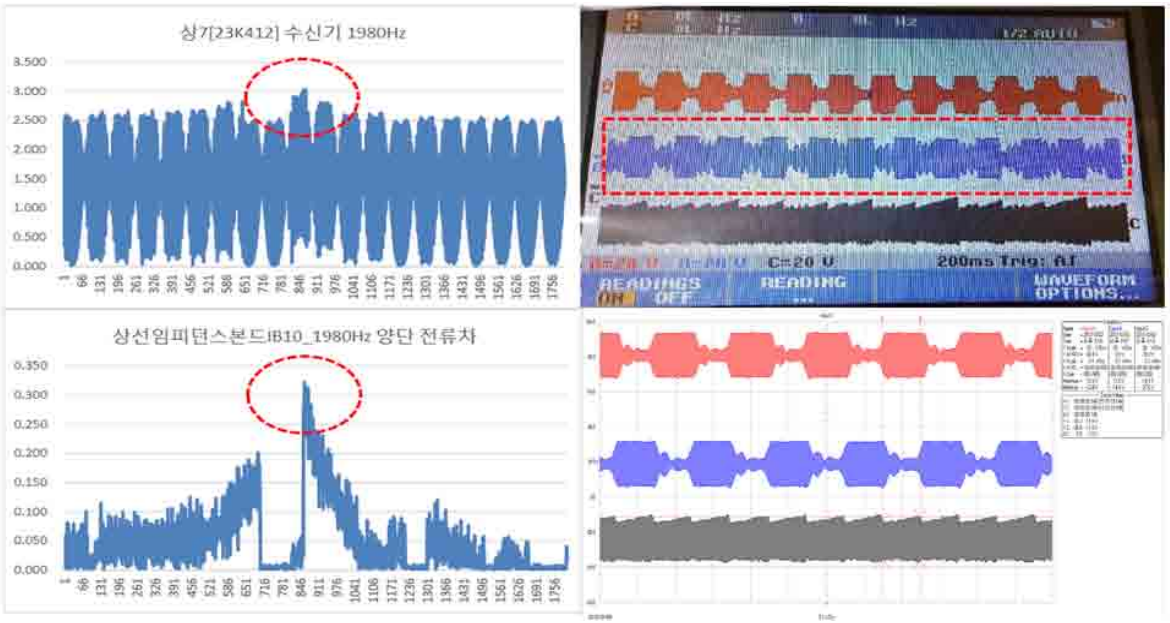



그림 168 아날로그 수신기의 저차부파수 파형의 일그러짐과 삼각파의 일그러짐 현상

(가) 임피던스본드 측정 파형

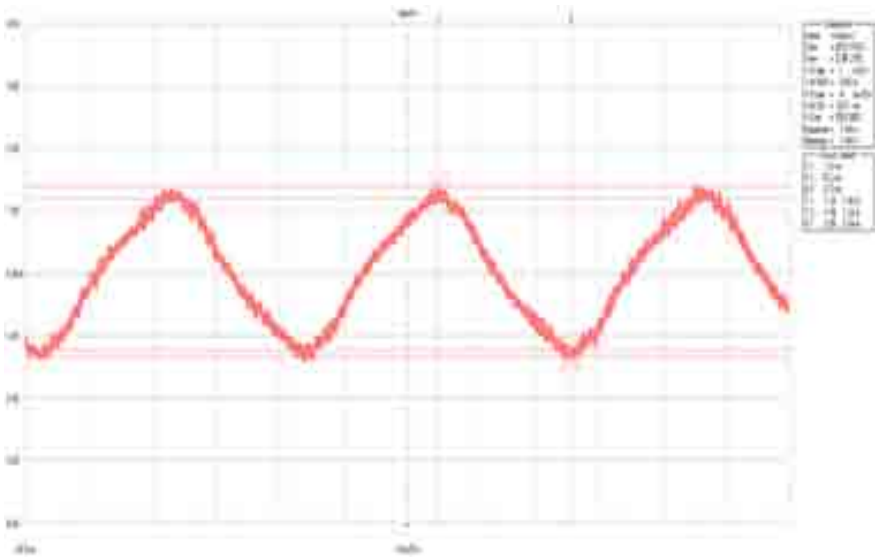


그림 169 임피던스본드 레일간 기본 파형

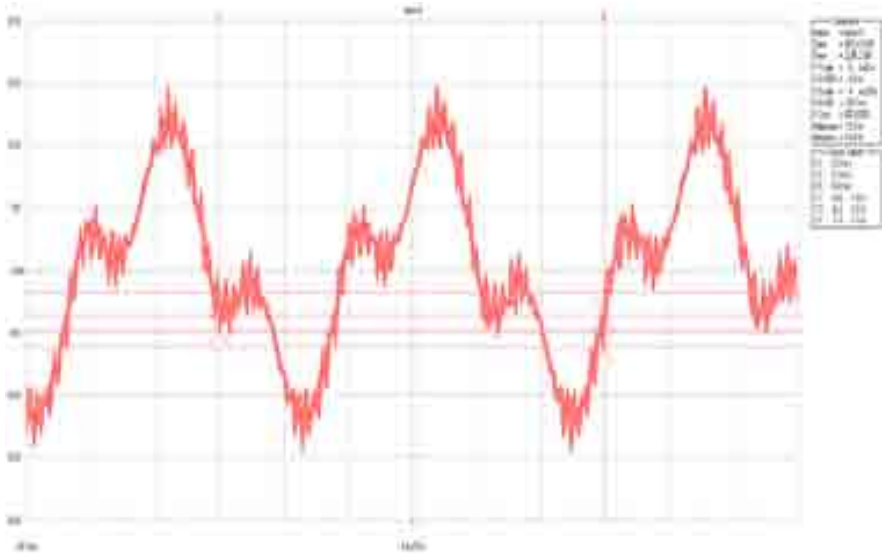


그림 170 전기기관차 측정 파형

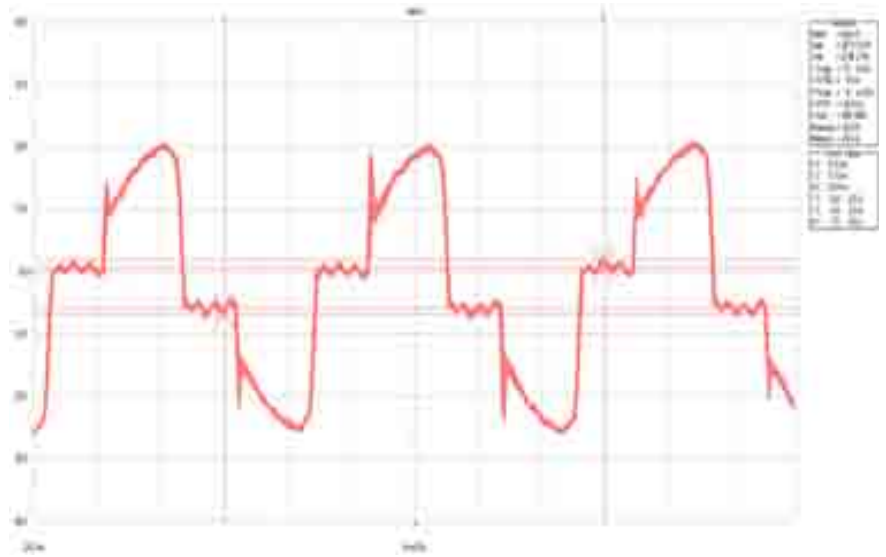


그림 171 KTX산천 층정 파형

## 11. 현장실증시험(3차)

가. 계측일정

2014년 2월 22일 ~ 2월 23일 (2일간)

**표 93 현장실증시험(3차) 시험 장소**

| No. | 궤도회로명 | 구간 | 일자 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | B3348T~B3355T | 백양사-장성 | 2월 22일~2월23일 | |

표 94 현장실증시험(3차) 참여 인력

| 참여기관 | 담당자 | 업무 |
|---|---|---|
| 한국철도공사 | 최재식 차장 | 작업 책임 |
| | 조성구 차장 | KTX산천 레일 전류 측정 |
| ㈜에이알텍 | 이남형 전무 | 철도운행안전관리 |
| | 이수주 이사 | TI21 수신, B1본드의 고조파, 삼각파 및 레일 전압 측정. |
| | 김태완 연구원 | |
| 현대로템(주) | 공명상 책임연구원 | |
| | 김형복 연구원 | |

나. 현장계측 상세계획

(1) 측정장비

표 95 기관별 주요 장비 현황

| 항목 | 기관 | | | 합계 |
|---|---|---|---|---|
| | 한국철도공사 | ㈜에이알텍 | 현대로템(주) | |
| DAQ(NI USB 9234) | - | 1ea(대여) | 1ea(보유) | 2ea |
| 전류센서 (Rogowski coil) | 4ea(보유) | 4ea(보유)<br>4ea(대여) | 4ea(보유) | 12ea |
| PXI | - | 1ea(대여) | - | 1ea |
| Digital Storage Oscilloscope | - | 1ea(보유) | - | 1ea |
| 전력품질분석기 | 1ea(보유) | - | - | 1ea |
| Scope meter | 1ea(보유) | - | - | 1ea |

**표 96 계측 일정**

| 시 간 | | 장 소 | 계측내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 2/21 | 18:00 ~ 19:00 | 본사 | 출발 준비 | |
| | 19:00 ~ 22:00 | 저녁식사 및 이동 | | |
| | 22:00 ~ 23:00 | 광주전기사무소 | 업무 협의 및 무전기 협조(3대) | |
| | 23:00 ~ 24:00 | | 작업 안전 교육 및 현장 계측 협의 | |
| 2/22 | 00:50 ~ 01:28 | 장성-백양사 구간 | 차량 하행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 02:07 ~ 02:32 | 백양사-장성 구간 | 차량 상행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 03:06 ~ 03:23 | 장성-백양사 구간 | 차량 하행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 03:28 ~ 03:45 | 백양사-장성 구간 | 차량 상행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 03:47 ~ 04:05 | 장성-백양사 구간 | 차량 하행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 04:41 ~ 04:56 | 백양사-장성 구간 | 차량 상행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 05:00 ~ 06:00 | 광주전기사무소 | 장비 정리 및 숙소 이동 | |
| | 06:00 ~ 07:00 | | 식사 및 내부 회의 | |
| | 23:00 ~ 24:00 | | 작업 안전 교육 및 현장 계측 협의 | |
| 2/23 | 00:50 ~ 01:28 | 장성-백양사 구간 | 차량 하행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 02:07 ~ 02:32 | 백양사-장성 구간 | 차량 상행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 03:06 ~ 03:23 | 장성-백양사 구간 | 차량 하행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 03:28 ~ 03:45 | 백양사-장성 구간 | 차량 상행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 03:47 ~ 04:05 | 장성-백양사 구간 | 차량 하행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 04:41 ~ 04:56 | 백양사-장성 구간 | 차량 상행 운행시 상/하행<br>임피던스본드 출력단 전류 동시 측정 | |
| | 05:00 ~ 06:00 | 광주전기사무소 | 장비 정리 및 숙소 이동 | |
| | 06:00 ~ 07:00 | 식사 및 내부 회의 | 식사 및 내부 회의 | |

**표 97 계측 장비**

| | 장비명 | | 기능 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | PXI 계측기 |  | 측정, 데이터 수집 및 자동화 시스템<br>노트북에서 직접 컨드롤 가능 | |
| 2 | NI USB 9234 |  | 측정, 데이터 수집 및 자동화 시스템<br>-PXI 계측기 축소용(프로그램 설치 필요) | |
| 4 | 오실로스코프 |  | -시간에 따른 입력전압의 변화를 화면에 출력하는 장치<br>-전기진동이나 펄스처럼 시간적 변화가 빠른 신호 관측 | |
| 5 | 멀티미터 |  | -전압, 전류, 저항, 캐패시턴스, 주파수, 다이오드 측정<br>-온도 측정 가능 | |
| 6 | 전류센서<br>(로코스키코일) |  | -밀집된 도선들 전류 측정 | |

다. 현장측정 내용 및 목적

(1) 현장시험조건




**그림 172 측정위치: 상선 D-type 및 하선 A-type B1임피던스 본드**

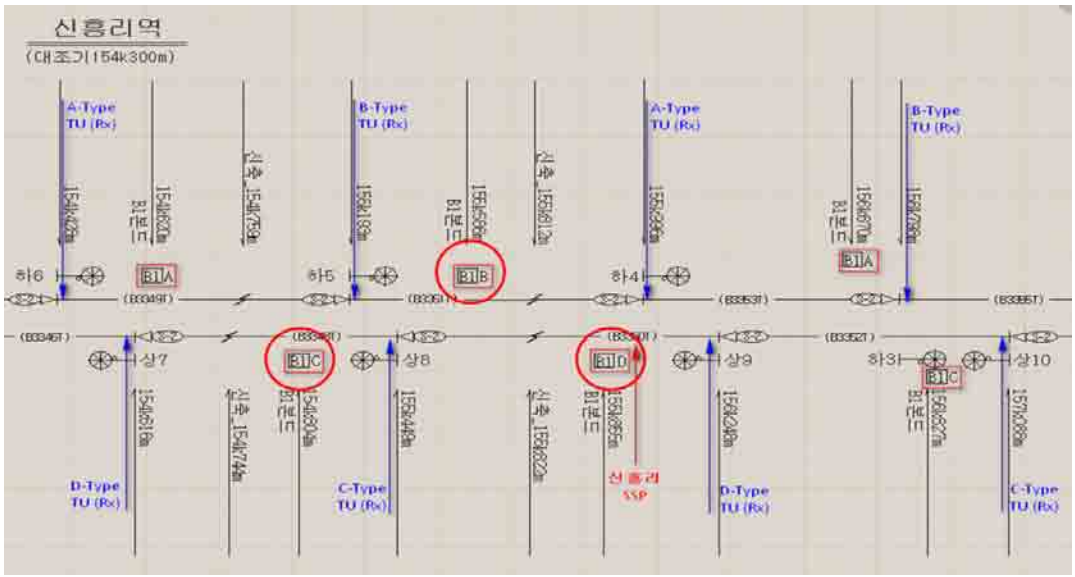



**그림 173 측정위치: 상선 C&D-type 및 하선 B-type B1임피던스 본드**

(2) 현장시험내용

(가) 현장계측

① 장성↔백양사

KTX-산천 차량의 귀선전류 고조파 허용 기준을 제시하기 위해, KTX-산천(10량 1편성) 차량이 상선 또는 하행 운행시 상/하행 임피던스 본드 출력단 전류를 동시에 측정한다.

- KTX-산천의 전두부를 KP155.2 지점에 위치하도록 정차
- 궤도회로 B3348T ~ B3355T 튜닝유니트 0.5위치의 양 레일에 Rogowski Coil 설치
- KTX-산천 운행: 최대견인력으로 60kph까지 역행 → 1초 타행 → 최대회생제동력으로 제동

- 백양사역으로 이동 후 방향 전환
- 장성역으로 이동 후 방향 전환
- 상기 항목을 6회 반복




**그림 174 시험 방법**




**그림 175 측정 시간**

라. 3차 현장실증 시험분석 결과

(1) 계측분석

① 상선 D-Type 및 하선 A-Type B1임피던스 본드에서 차량이 상행 운행시 측정 결과

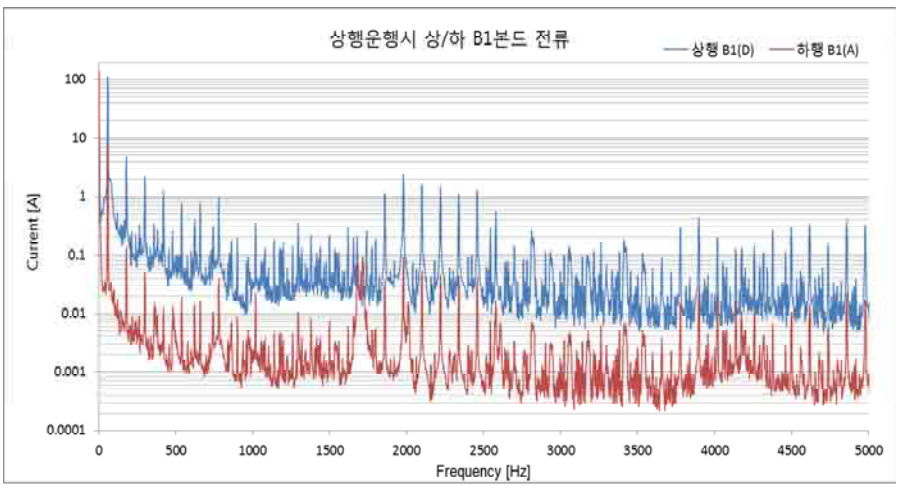



**그림 176 차량이 상행 운행시 상/하선 B1본드 전류**

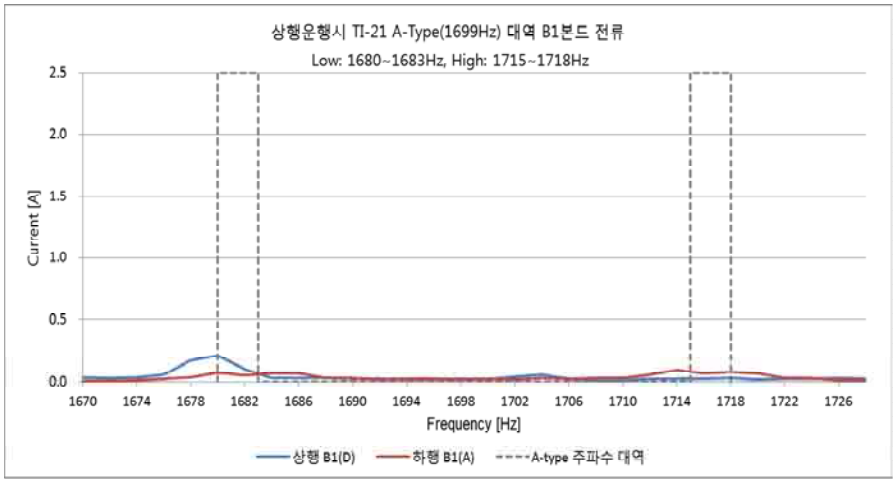



그림 177 차량이 상행 운행시 TI-21 A-Type 대역 B1본드 전류

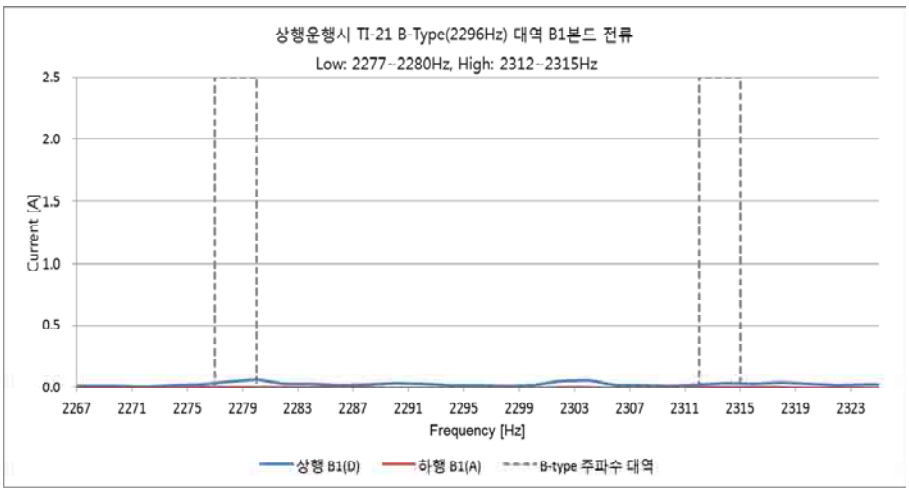



그림 178 차량이 상행 운행시 TI-21 B-type 대역 B1본드 전류

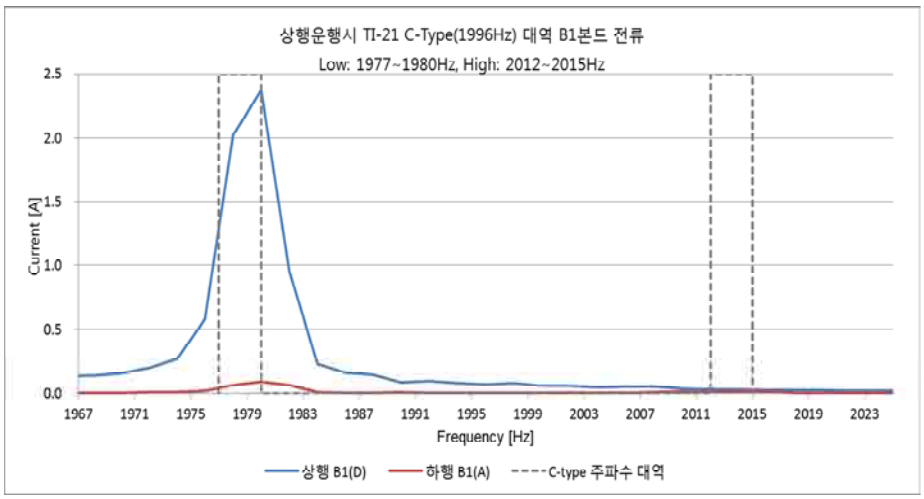



그림 179 차량이 상행 운행시 TI-21 C-type 대역 B1본드 전류

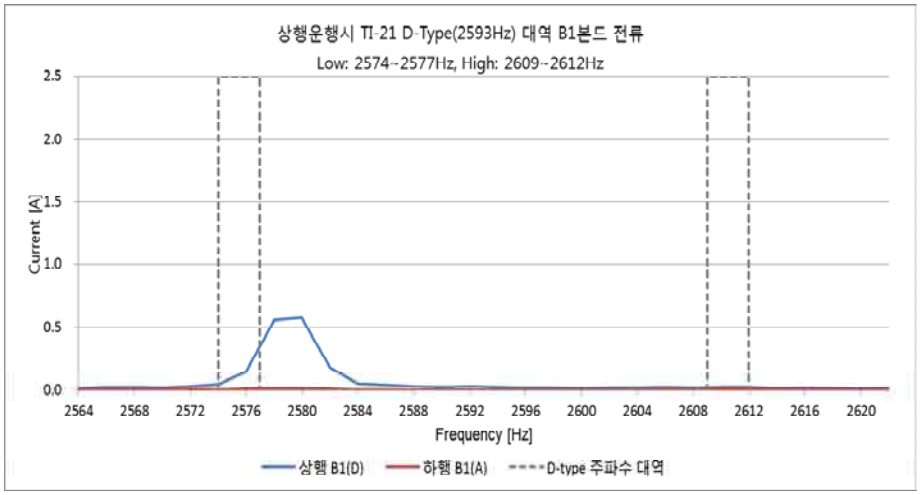



**그림 180 그림이 상행 운행시 TI-21 D-type 대역 B1본드 전류**

**표 98 차량이 상행 운행시 하행으로의 전류 전달 비율**

| 주파수 | 상행 B1(D) | 하행 B1(A) | 전달비율 |
|---|---|---|---|
| 60Hz | 111.4 A | 7.6 A | 7 % |
| A-type | 0.208 A | 0.071 A | **34 %** |
| B-type | 0.063 A | 0.002 A | 3 % |
| C-type | 2.370 A | 0.092 A | 4 % |
| D-type | 0.144 A | 0.007 A | 5 % |

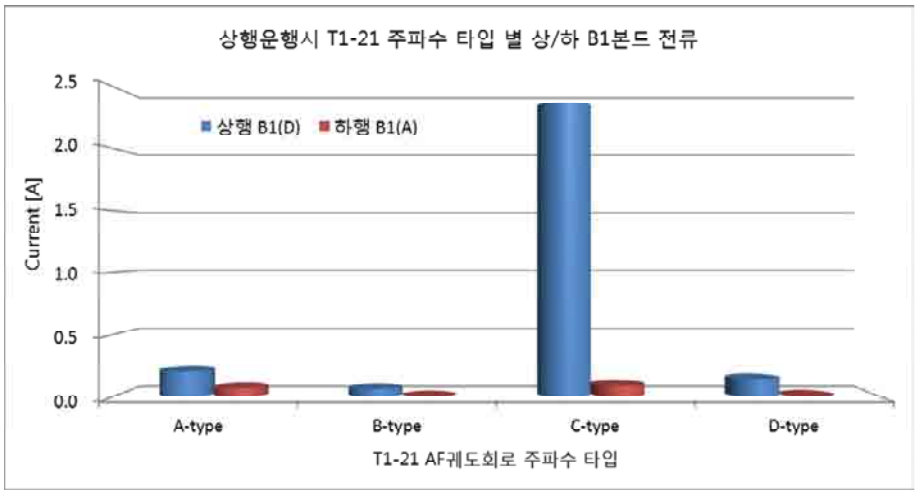



**그림 181 차량이 상행 운행시 TI-21 주파수타입 별 상/하 B1본드 전류**

② 상선 D-Type 및 하선 A-Type B1임피던스 본드에서 차량이 하행 운행시 측정 결과

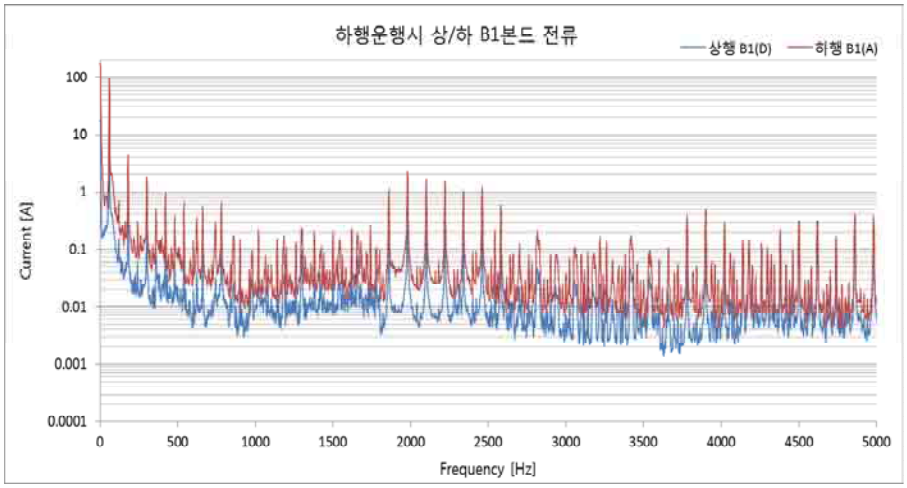



그림 182 차량이 하행 운행시 상/하선 B1본드 전류

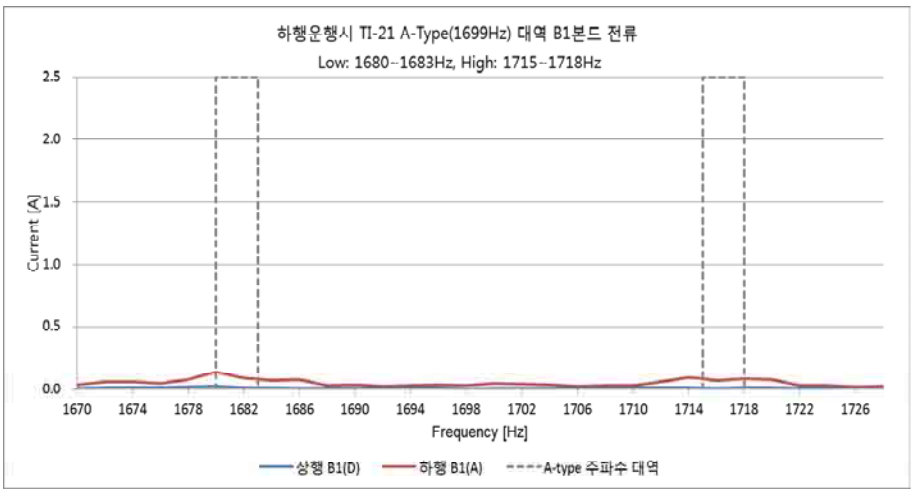



그림 183 차량이 하행 운행시 TI-21 A-type 대역 B1본드 전류

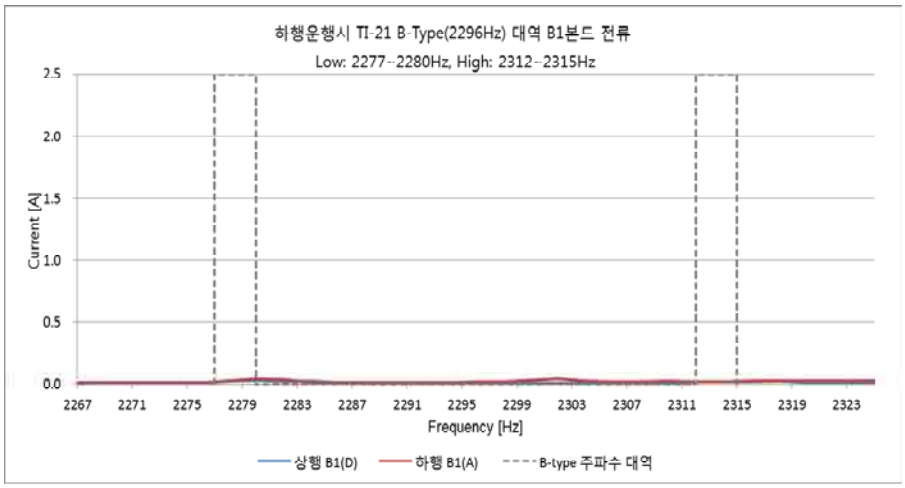



그림 184 차량이 하행 운행시 TI-21 B-type 대역 B1본드 전류

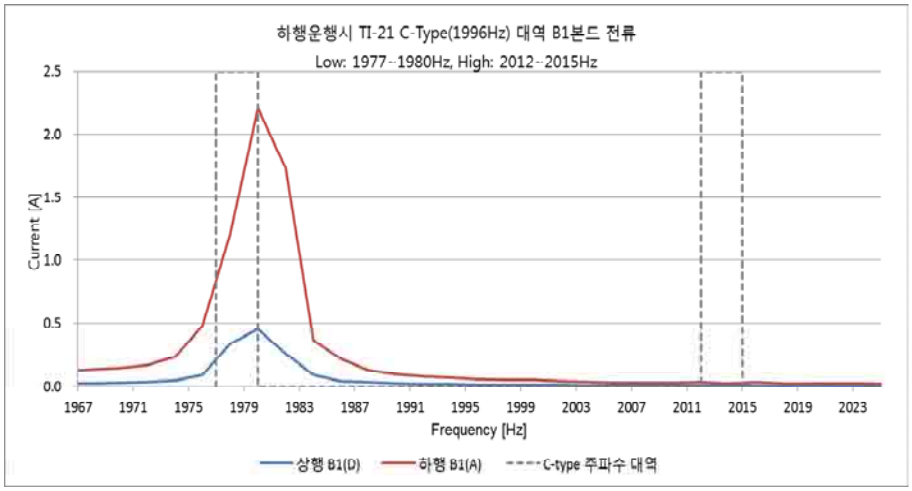



**그림 185 차량이 하행 운행시 TI-21 C-type 대역 B1본드 전류**

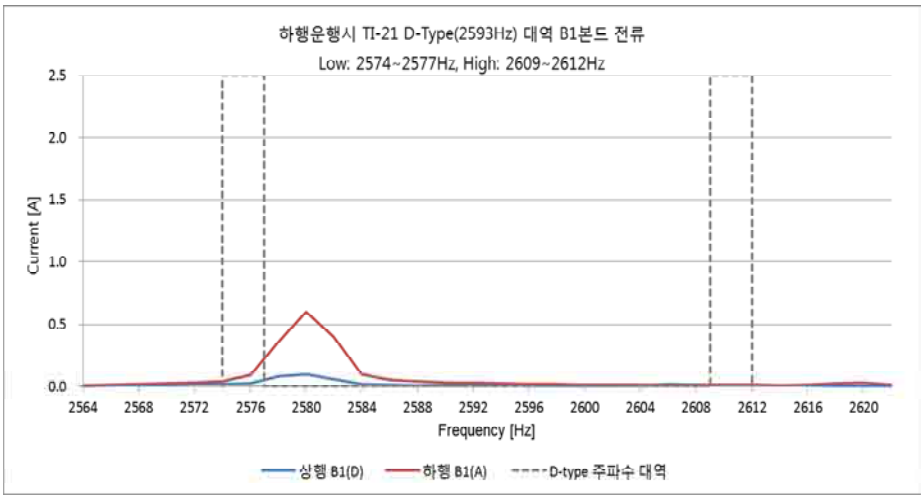



**그림 186 차량이 하행 운행시 TI-21 D-type 대역 B1본드 전류**

**표 99 차량이 하행 운행시 상행으로의 전류 전달 비율**

| 주파수 | 상행 B1(D) | 하행 B1(A) | 전달비율 |
|---|---|---|---|
| 60Hz | 33.3 A | 94.2 A | 35 % |
| A-type | 0.026 A | 0.137 A | 19 % |
| B-type | 0.030 A | 0.042 A | ~~71 %~~ |
| C-type | 0.455 A | 2.206 A | **21 %** |
| D-type | 0.030 A | 0.097 A | ~~31 %~~ |

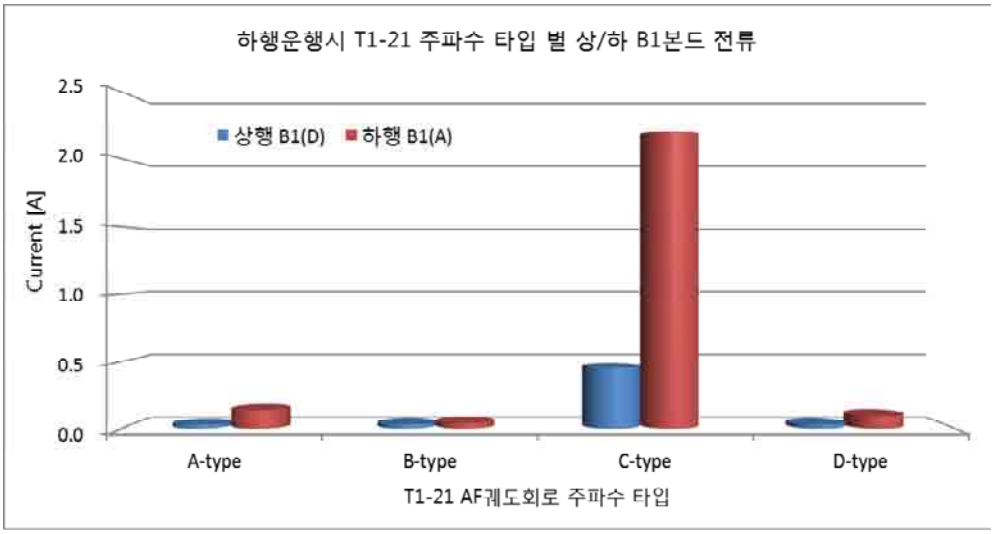



**그림 187 차량이 하행 운행시 TI-21 주파수타입 별 상/하 B1본드 전류**

③ 상선 C&D-Type 및 하선 B-Type B1임피던스 본드에서 차량이 상행 운행시 측정 결과

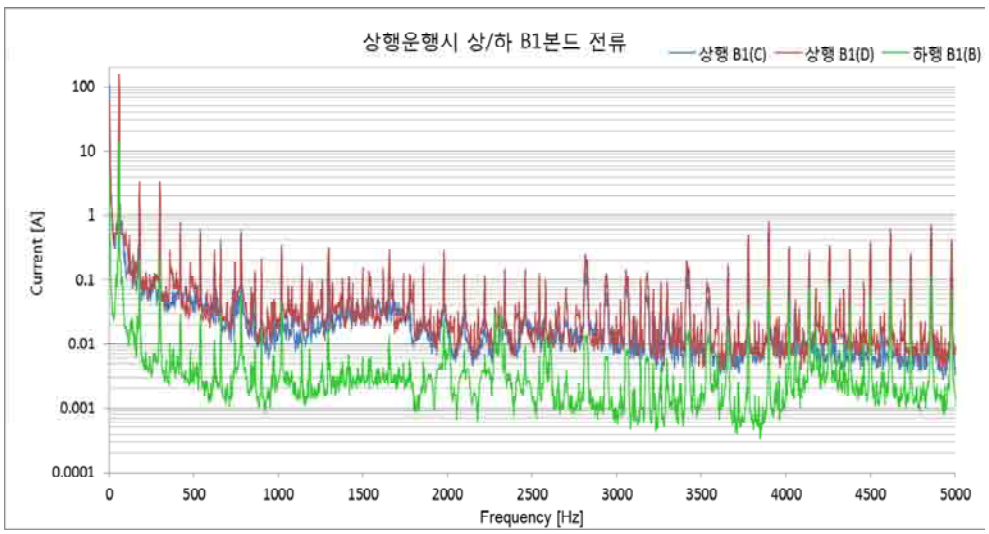



**그림 188 차량이 항생 운행시 상/하선 B1본드 전류**

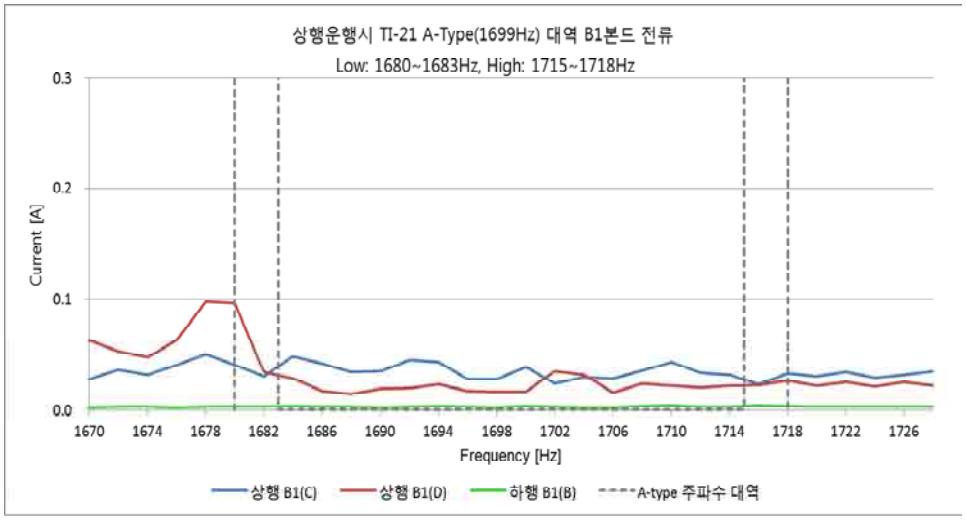



그림 189 차량이 상행 운행시 TI-21 A-type 대역 B1본드 전류

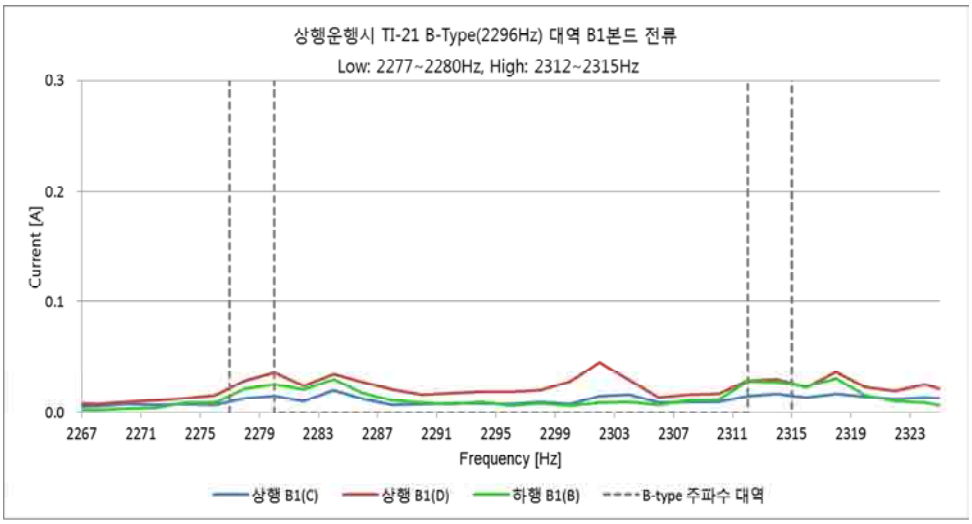



그림 190 차량이 상행 운행시 TI-21 B-type 대역 B1본드 전류

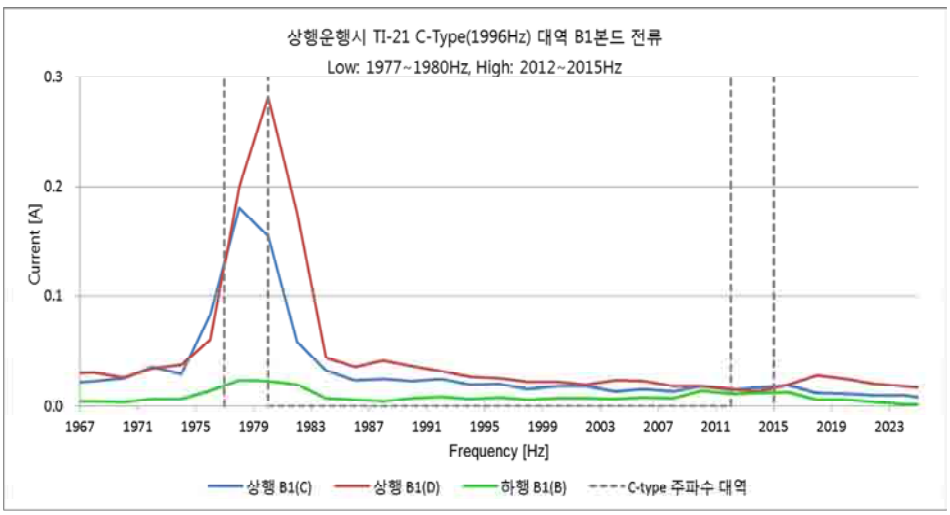



그림 191 차량이 상행 운행시 TI-21 C-type 대역 B1본드 전류

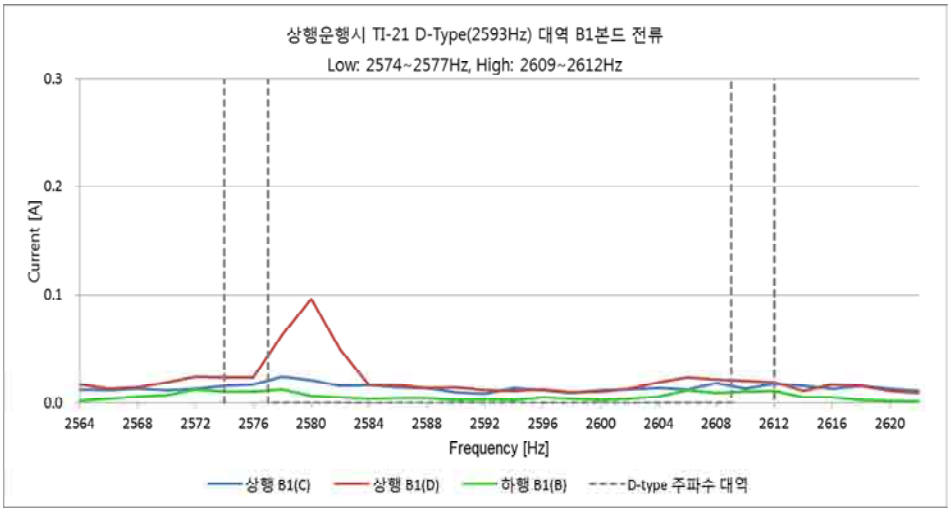



**그림 192 차량이 상행 운행시 TI-21 D-type 대역 B1본드 전류**




**그림 193 차량이 상행 운행시 TI-21 주파수타입 별 상/하 B1본드 전류**

**표 100 차량이 상행 운행시 하행으로의 전류 전달 비율**

| 주파수 | 상행 B1(C) | 상행 B1(D) | 하행 B1(B) | 전달비율 |
|---|---|---|---|---|
| 60Hz | 125.8 A | 154.2 A | 13.7 A | 9 % |
| A-type | 0.049 A | 0.097 A | 0.004 A | 4 % |
| B-type | 0.017 A | 0.036 A | 0.025 A | ~~69 %~~ |
| C-type | 0.181 A | 0.281 A | 0.023 A | **8 %** |
| D-type | 0.017 A | 0.024 A | 0.013 A | ~~54 %~~ |

④ 상선 C&D-Type 및 하선 B-Type B1임피던스 본드에서 차량이 상행 운행시 측정 결과

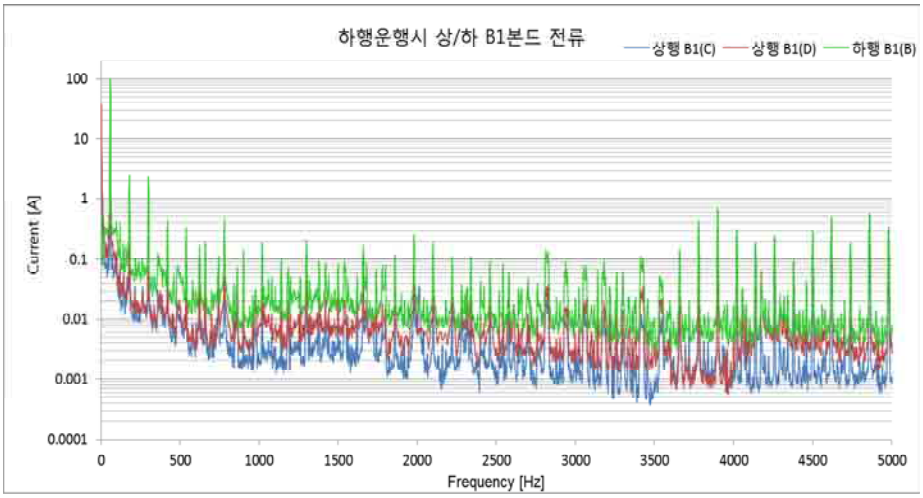



**그림 194 차량이 하행 운행시 상/하선 B1본드 전류**

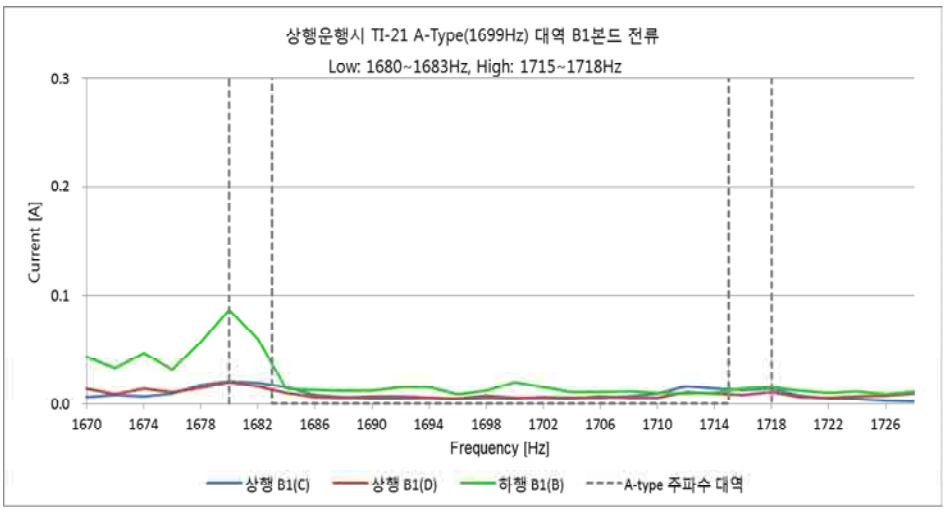



**그림 195 차량이 하행 운행시 TI-21 A-type 대역 B1본드 전류**

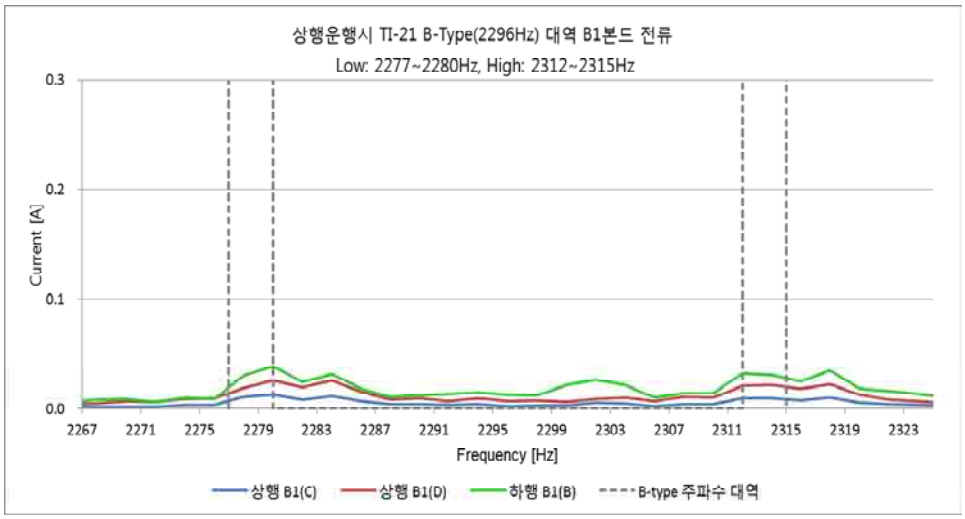



**그림 196 차량이 하행 운행시 TI-21 B-type 대역 B1본드 전류**

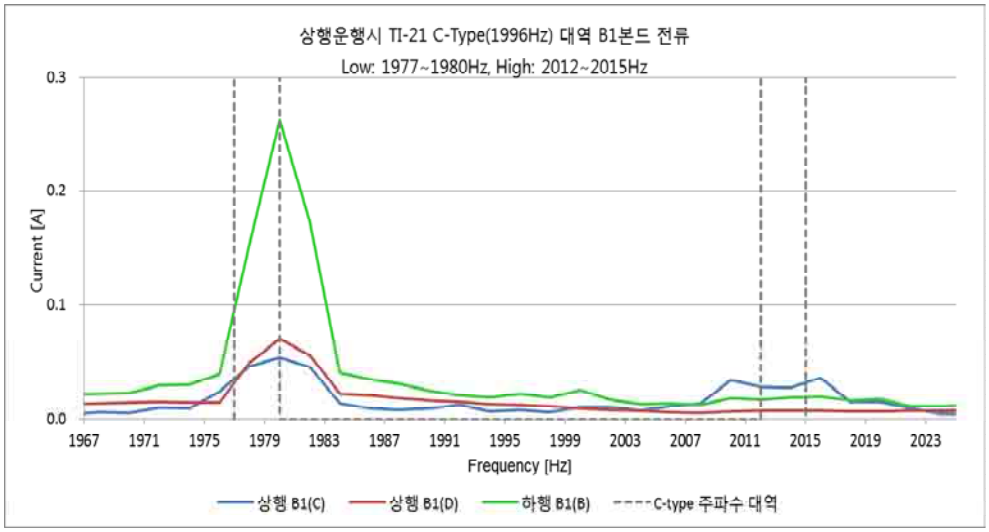



**그림 197 차량이 하행 운행시 TI-21 C-type 대역 B1본드 전류**

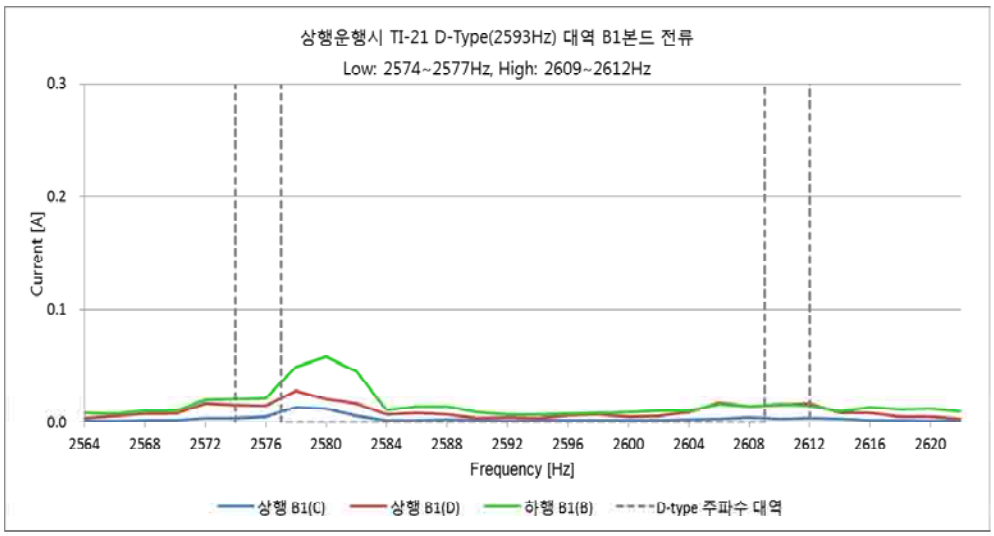



**그림 198 차량이 하행 운행시 TI-21 D-type 대역 B1본드 전류**




**그림 199 차량이 하행 운행시 TI-21 주파수타입 별 상/하 B1본드 전류**

**표 101 차량이 하행 운행시 상행으로의 전류 전달 비율**

| 주파수 | 상행 B1(C) | 상행 B1(D) | 하행 B1(B) | 전달비율 |
|---|---|---|---|---|
| 60Hz | 19.3 A | 29 A | 102 A | 28% |
| A-type | 0.020 A | 0.020 A | 0.087 A | 23% |
| B-type | 0.013 A | 0.026 A | 0.039 A | ~~67%~~ |
| C-type | 0.054 A | 0.071 A | 0.262 A | **27%** |
| D-type | 0.005 A | 0.017 A | 0.022 A | ~~77%~~ |

(2) 시험 분석 결과

그림174, 180, 188, 194로 부터 차량이 하선 운행시 상선으로 전도되는 고조파전류의 상대적이 양이 큰 것을 확인 할 수 있다. 이러한 결과의 원인은 상선에만 매설접지선이 설치되어 있기 때문인 것으로 판단되며, 하선에 매설접지를 추가 설치하는 것이 차량의 고조파 전류가 반대편 선로로 전도되어 궤도계전기의 부정낙하를 일으키는 문제를 해결할 수 있는 방안이 될 수 있다.

또한 그림 177, 183, 191, 197로 부터 KTX-산천에서 발생되는 고조파 전류가 TI-21 AF궤도회로의 C-type 사용주파수 대역에서 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 9펄스의 컨버터 스위칭 주파수를 사용하는 차량에서 필연적으로 발생하므로, 컨버터 스위칭 주파수를 변경하는 것도 또한 궤도계전기의 부정낙하를 일으키는 문제를 해결할 수 있는 방안이 될 수 있다.

표 98~101 로부터 차량이 상선 또는 하선 운행시 반대편 선로로 전달되는 비율은 최대 34% 가 되는 것으로 측정 결과 확인 되었다.

# 6절 AF궤도회로 전자파 간섭 성능기준 제시

## 1. AF궤도회로 고조파간섭 시험절차서 제시

라. 서론

(1) 2010년 2월 이후 호남 하행선 KTX-산천 열차의 운행 시, 열차가 없는 상행선 AF궤도회로(C-Type) 구간에서 궤도계전기의 부정동작에 의한 궤도점유현상이 발생하였다.

(2) 장애 구간의 궤도계전기 부정동작 원인은 KTX-산천 열차의 운행 시 발생되는 고조파(1,980㎐)의 전류가 C-Type의 저차 주파수(1,979㎐)에 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

(3) AF궤도회로 관련 한국철도표준규격에 따르면 “차량에서 발생되는 노이즈 또는 고조파에 의하여 궤도계전기가 오동작하지 않아야한다.”고 명시되어 있지만, 주파수 유형별 궤도전압만 명시되어 있다.

(4) 따라서 본 항에서는 부정동작 원인분석을 위해 실시한 공장시험과 현장시험을 바탕으로 KTX-산천 열차의 운행 시 발생하는 고조파가 AF궤도회로 부정동작에 영향을 미치는 전류 한계치와 고조파간섭 시험절차를 제시하고자 한다.

마. 시험장비

표 102 시험장비 상세

| 장비사진 | 장비명 | 재원 |
|---|---|---|
|  | 전력 증폭기<br>(EPA-2243) | ▪ 정격 출력 : 240W(RMS)<br>▪ 입력감도/임피던스 : 1V/20㏀<br>▪ 출력전압/임피던스<br>로우 임피던스: 31V/4Ω<br>44V/8Ω<br>62V/16Ω<br>하이 임피던스: 70V/20.4Ω<br>100V/41.7Ω<br>▪ 주파수 특성 : 80㎐~17㎑ ±3㏈<br>▪ 전고조파 의율 : 0.5% 이하<br>▪ 신호대 잡음비 : 85㏈ 이상<br>▪ 저역필터(Switch ON) : 400㎐ -3㏈<br>▪ 전원 : AC220V 60㎐, DC 24V<br>▪ 소비전력 : 570W |
|  | DAQ<br>(NI) | |

| | | |
|---|---|---|
|  | 전류 코일<br>(Fluke i3000s) | ▪ 전류범위 : 30A, 300A, 3000A RMS<br>▪ 출력신호 : 100㎷, 10㎷, 1㎷<br>▪ 주파수 대역 : 10㎐ ~ 50㎑<br>▪ 헤드의 길이 : 610㎜(24inch)<br>▪ 케이블 길이 : 2m |
|  | TI21<br>테스트미터 | ▪ 주파수 대역 : 5㎐ ~ 10㎑<br>▪ 정밀도 : ±10% of full scale<br>▪ 입력신호 : 0~20㎷ 0~20V<br>0~200㎷ 0~200V<br>0~2V<br>▪ 최대 입력 전압 : 250V AC rms /<br>250V DC<br>▪ 동작 온도 : 0~40℃<br>▪ 상대습도 : 0~95% non condensing<br>▪ 보호등급 : IP54 |
|  | 함수 발생기<br>(FG110) | ▪ 신호출력수 : 1Ch<br>▪ 출력 파형 : 정현파, 방형파<br>(duty cycle 50% 고정)<br>ramp파, 펄스파<br>(duty cycle 5~95% 가변)<br>▪ 작동 모드 : 연속발진, 트리거 발진,<br>게이트 발진, 직류 출력<br>▪ 발진주파수범위<br>정현파, 방형파: 0.001m㎐~2㎒<br>삼각파, ramp파, 펄스파:<br>0.001m㎐~100㎑<br>▪ 주파수 분해능 : 1μ㎐ 또는 최대 10digit<br>▪ 최대 출력 전압 : ±10V<br>▪ 출력 임피던스 : 50Ω±1% |
|  | 멀티미터<br>(Fluke 177) | ▪ True RMS : AC<br>▪ DC전압 측정 : 0.1㎷~1000V<br>▪ DC전압 정확도 : 0.09%<br>▪ AC전압 측정 : 0.1㎷~1000V<br>▪ AC전압 정확도 : 1~2%<br>▪ DC전류 측정 : 0.01A~10A<br>▪ DC전류 정확도 :1 %<br>▪ AC전류 측정 : 0.01A~10A<br>▪ AC전류 정확도 :1 .5%<br>▪ 저항 측정 : 0.1Ω~50㏁<br>▪ 저항 정확도 : 0.9%<br>▪ 커패시터 측정 : 1㎋~9999㎌<br>▪ 커패시터 정확도 : 1.2%<br>▪ 다이오드 테스트 : Yes<br>▪ 주파수 측정 : 0.01㎐~99.99㎑ |

바. 시험방법

(1) 해당 궤도회로 주파수 구간에 노이즈 인가 시, 튜닝유니트 수신기 한계 시험

(가) 시험 구성

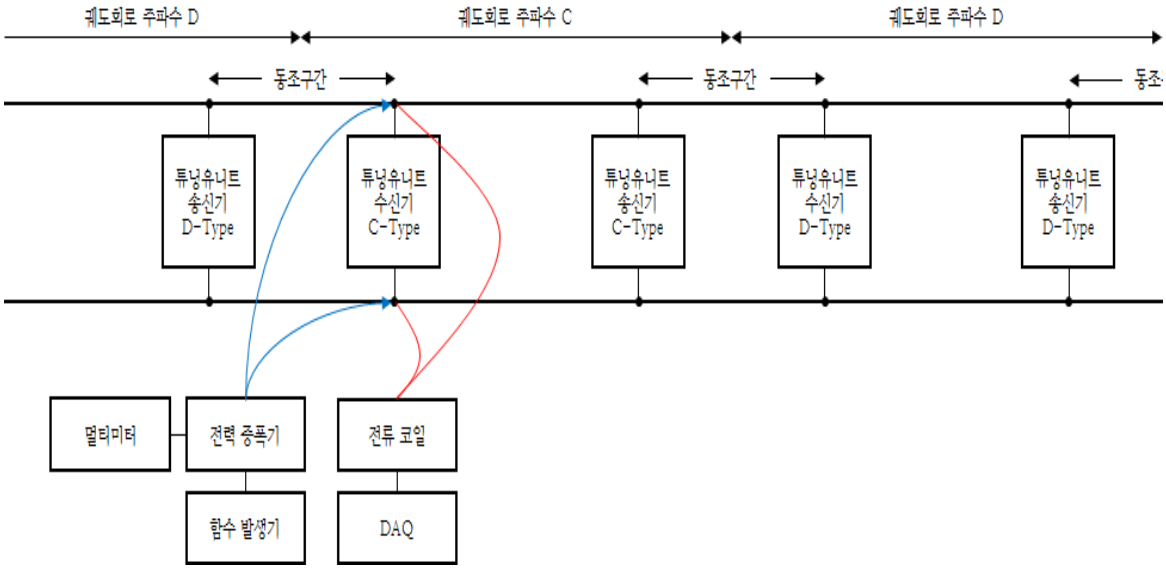



그림 200 해당 궤도회로 주파수 구간에 노이즈 인가 시,튜닝 유니트 수신기 한계 시험 구성

(나) 시험장비 목록

TI21 테스트미터 1개

멀티미터 1개

전류코일 2개

함수 발생기 1대

전력 증폭기 1대

DAQ 1대

(다) 시험 절차

시험 시작 전, 최소 30분 동안 모든 장비를 예열한다.

AF궤도랙의 수신 모듈에 TI21 테스트미터를 연결한 뒤, 최소 수신감도(13)에 해당하는 입력전류(14㎃ 이상)가 흐르는 것을 확인한다.

함수 발생기와 전력 증폭기를 연결하고 멀티미터를 전력증폭기에 연결한 뒤 해당 주파수 타입의 수신기 측 레일 양단에 체결한다. DAQ와 전류코일을 연결하여 시험하고자 하는 튜닝유니트 수신기의 레일 양측에 해당하는 부분을 연결한다.

함수 발생기는 시험하고자 하는 튜닝유니트 수신기의 타입에 맞는 주파수(저주파수, 공칭주파수, 고주파수)로 설정한다.

전력 증폭기의 입력레벨 조절기를 사용하여 함수 발생기에 설정된 노이즈의 전류레벨을 서서히 높이며 레일에 인가한다.

⑤의 과정 중 궤도계전기가 낙하할 시, 전력 증폭기의 입력레벨의 증가를 멈추고 멀티미터의 AC전류값을 확인한다.

(2) 궤도회로 동조구간의 노이즈 인가 시, 튜닝유니트 수신기 한계 시험

(가) 시험 구성

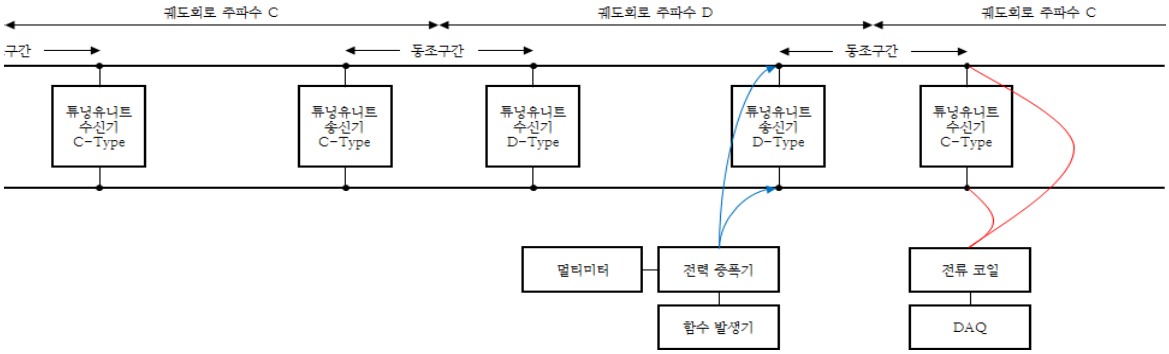



그림 201 궤도회로 동조구간의 노이즈 인가 시, 튜닝유니트 수신기 한계 시험 구성

(나) 시험장비 목록

TI21 테스트미터 1개
멀티미터 1개
전류코일 2개
함수 발생기 1대
전력 증폭기 1대
DAQ 1대

(다) 시험 절차

시험 시작 전, 최소 30분 동안 모든 장비를 예열한다.

AF궤도랙의 수신 모듈에 TI21 테스트미터를 연결한 뒤, 최소 수신감도(13)에 해당하는 입력전류(14㎃ 이상)가 흐르는 것을 확인한다.

함수 발생기와 전력 증폭기를 연결하고 멀티미터를 전력증폭기에 연결한 뒤 동조구간 송신기 측 레일 양단에 체결한다. DAQ와 전류코일을 연결하여 시험하고자 하는 튜닝유니트 수신기의 레일 양측에 해당하는 부분을 연결한다.

함수 발생기는 시험하고자 하는 튜닝유니트 수신기의 타입에 맞는 주파수(저주파수, 공칭주파수, 고주파수)로 설정한다.

전력 증폭기의 입력레벨 조절기를 사용하여 함수 발생기에 설정된 노이즈의 전류레벨을 서서히 높이며 레일에 인가한다.

⑤의 과정 중 궤도계전기가 낙하할 시, 전력 증폭기의 입력레벨의 증가를 멈추고 멀티미터의 AC전류값을 확인한다.

사. 입력 전류 한계치

(1) 상기와 같은 시험 절차를 통해 타입별 시험을 마친 후, 궤도계전기가 낙하되는 튜닝유니트 수신기의 입력 전류 한계치를 다음 표와 같이 정리하였다.

표 103 노이즈 인가위치에 따른 레일 전류 및 튜닝유니트 수신기의 전류 한계치

| 노이즈 인가 / 전류 측정 | | 튜닝유니트 수신기측 레일 양단 | | 동조구간의 송신기측 레일 양단 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | C-Type | D-Type | C-Type | D-Type |
| 레일 전류 | | 91㎃ | 126~129㎃ | 1,078㎃ | 1,354㎃ |
| 튜닝유니트 수신기 | C-Type | 100㎃ | | 200㎃ | 250㎃ |

2. AF궤도회로 고조파간섭 이동경로 분석방안 제시

가. 서론

(1) 여기서는 궤도계전기 부정동작의 원인인 KTX-산천 열차의 고조파가 어떤 경로로 유입이 되어 장애를 일으키는지에 대한 분석과 검증을 다룬다.

(2) 이 분석방안은 고조파 이동경로를 찾기 위해 실시한 현장시험과 기술자문을 토대로 작성되었다.

나. KTX-산천 열차의 주행 궤도상에서의 귀선전류 이동

(1) AF궤도회로 하선 구간에 KTX-산천 열차가 하행 주행

(가) KTX-산천 열차의 하선 주행 시, 레일을 따라 흐르는 귀선전류는 하선 A-Type의 임피던스본드 양단을 지나 중성점을 통하여 매설접지로 귀선된다. 이 때, KTX-산천 열차에서 발생하는 33차 고조파도 포함되어 귀선된다.

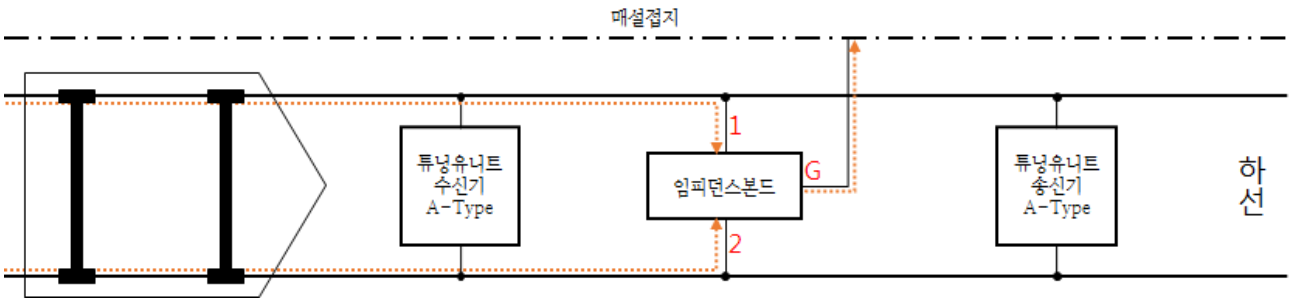



그림 202 AF궤도회로 하선구간에 KTX-산천 열차 하행 주행시 발생하는 33차 고조파

(나) 측정 결과

임피던스본드 양단(1, 2)의 귀선전류(60㎐)가 중성점(G)에서 합쳐져서 나타난다.

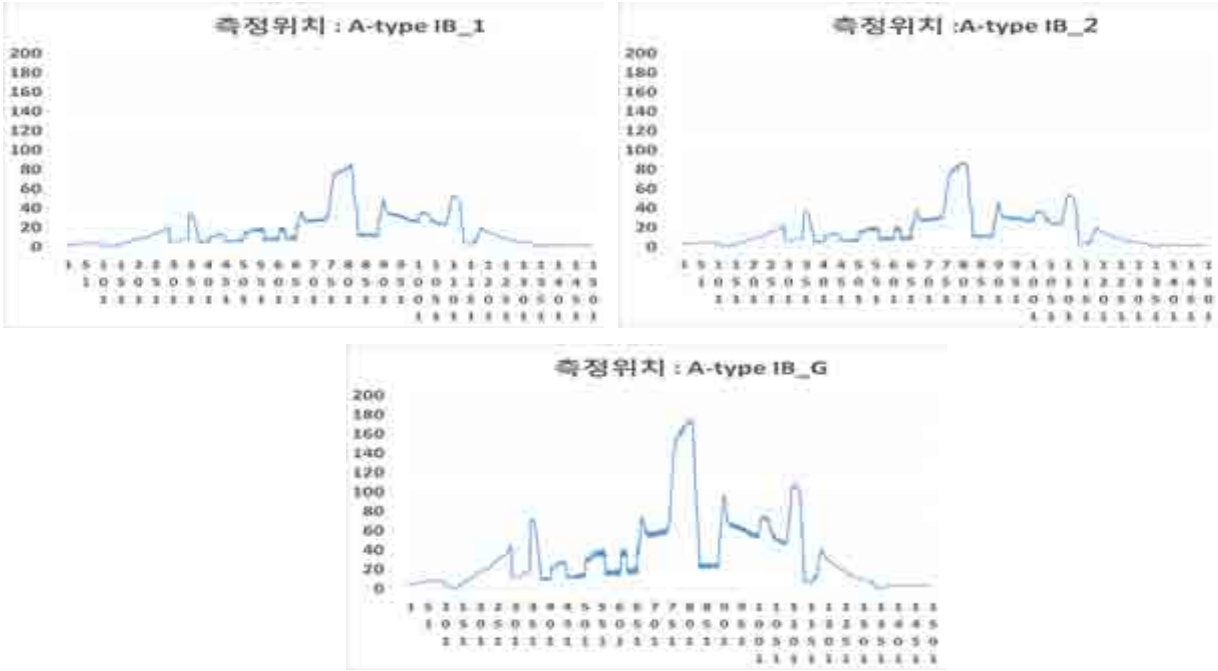



그림 203 하행 시, 측정 위치 별 귀선전류의 고조파

귀선전류에 33차 고조파(1,980㎐)도 포함되어 나타난다.

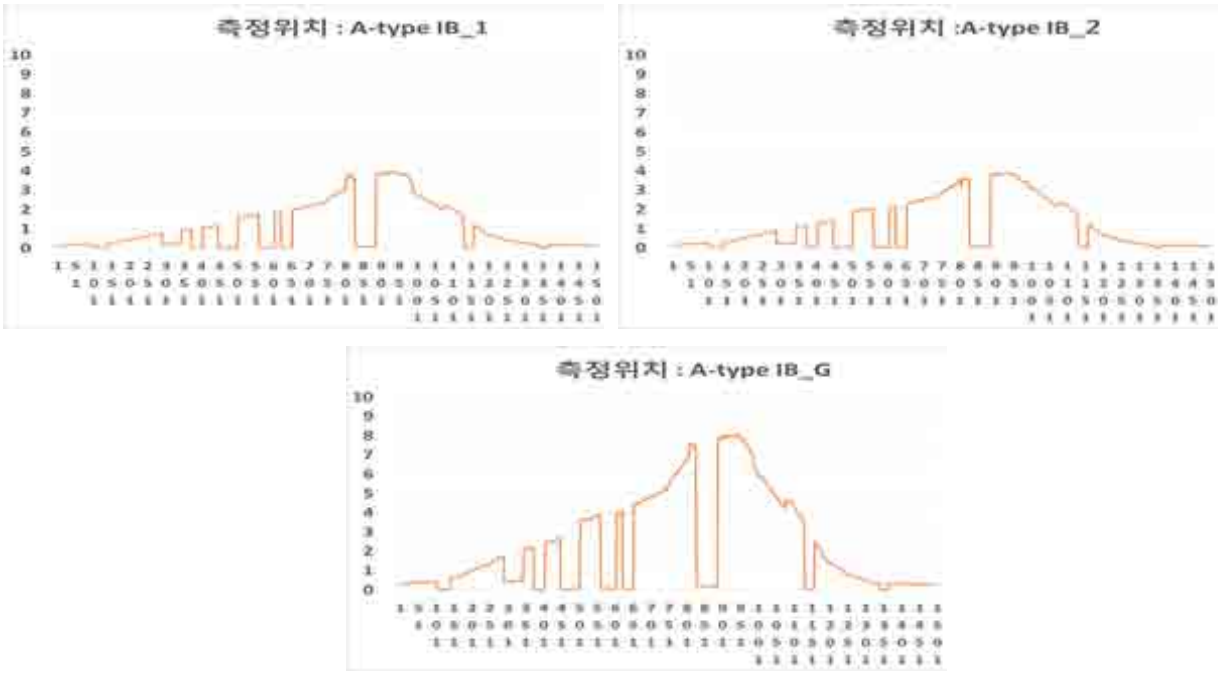



그림 204 하행 시, 측정 위치 별 귀선전류의 33차 고조파(1980Hz)

(2) AF궤도회로 상선 구간에 KTX-산천 열차가 상행 주행

(가) KTX-산천 열차의 상선 주행 시, 레일을 따라 흐르는 귀선전류는 상선 C-Type의 임피던스본드 양단을 지나 중성점을 통하여 매설접지로 귀선된다. 이 때, KTX-산천

열차에서 발생하는 33차 고조파도 포함되어 귀선된다.

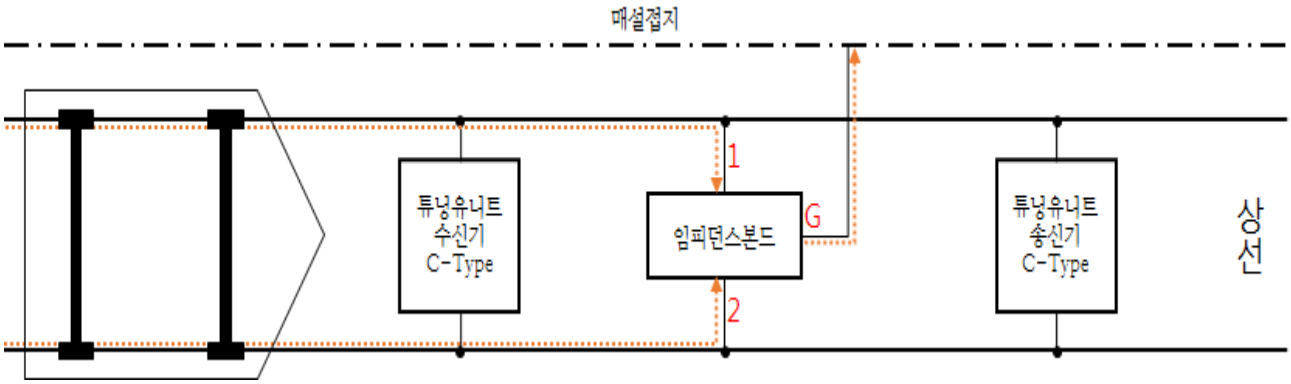



그림 205 측정 위치

(나) 측정 결과

임피던스본드 양단(1, 2)의 귀선전류(60㎐)가 중성점(G)에서 합쳐져서 나타난다.

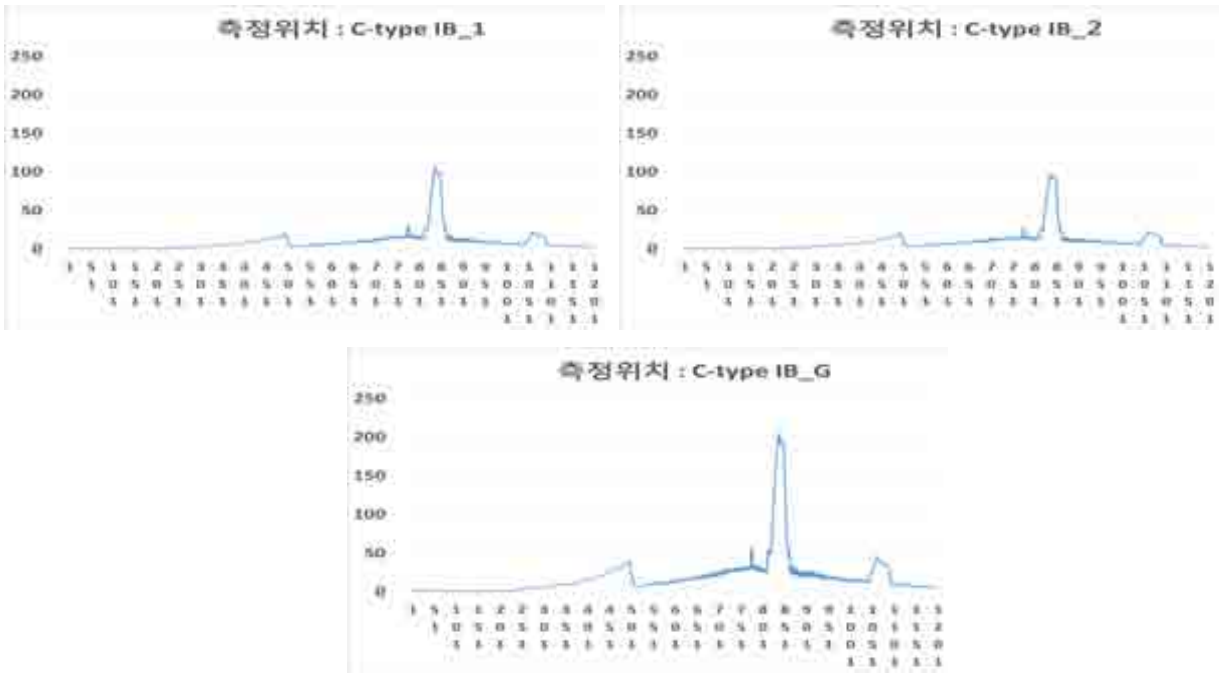



그림 206 상행 시, 측정 위치 별 귀선전류의 고조파

귀선전류에 33차 고조파(1,980㎐)도 포함되어 나타난다.

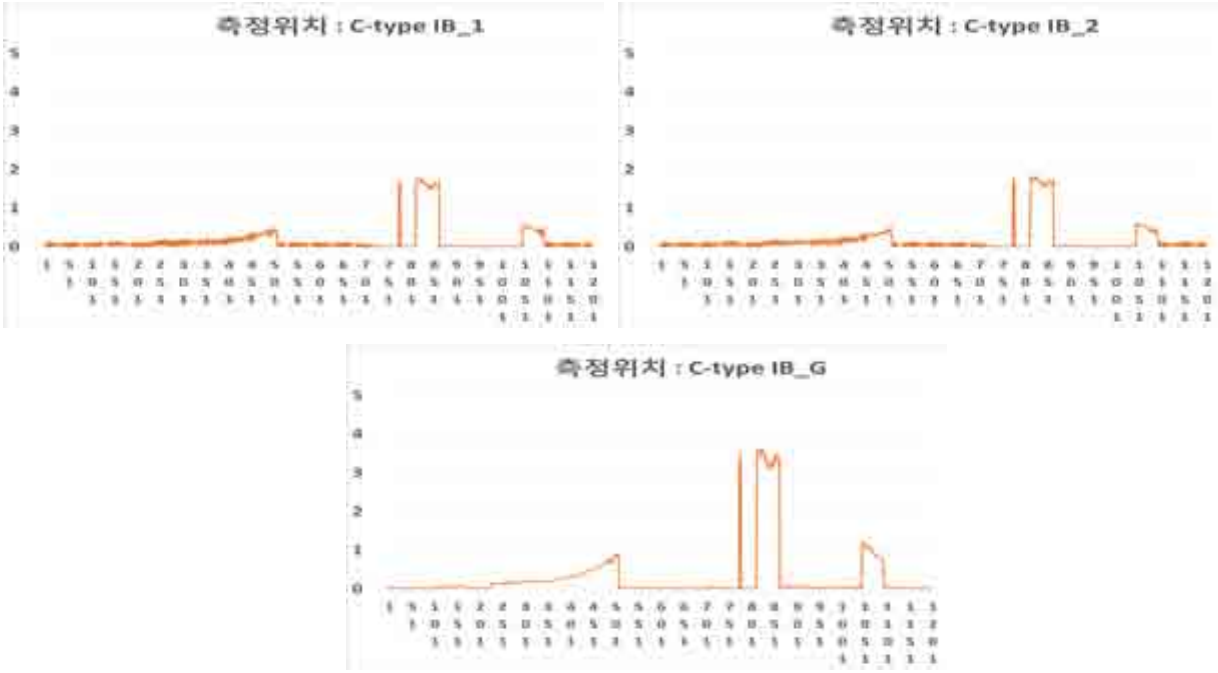



그림 207 하행 시, 측정 위치 별 귀선전류의 33차 고조파(1980Hz)

가. KTX-산천 열차의 주행 시 주행 궤도에서 반대 궤도로의 귀선전류 이동

(1) AF궤도회로 하선 구간에 KTX-산천 열차가 하행 주행

(가) KTX-산천 열차의 하선 주행 시 하선 A-Type 임피던스본드를 통하여 귀선된 전류 중 일부가 매설접지에 공동 연결된 상선 C-Type 임피던스본드로 유입된다.

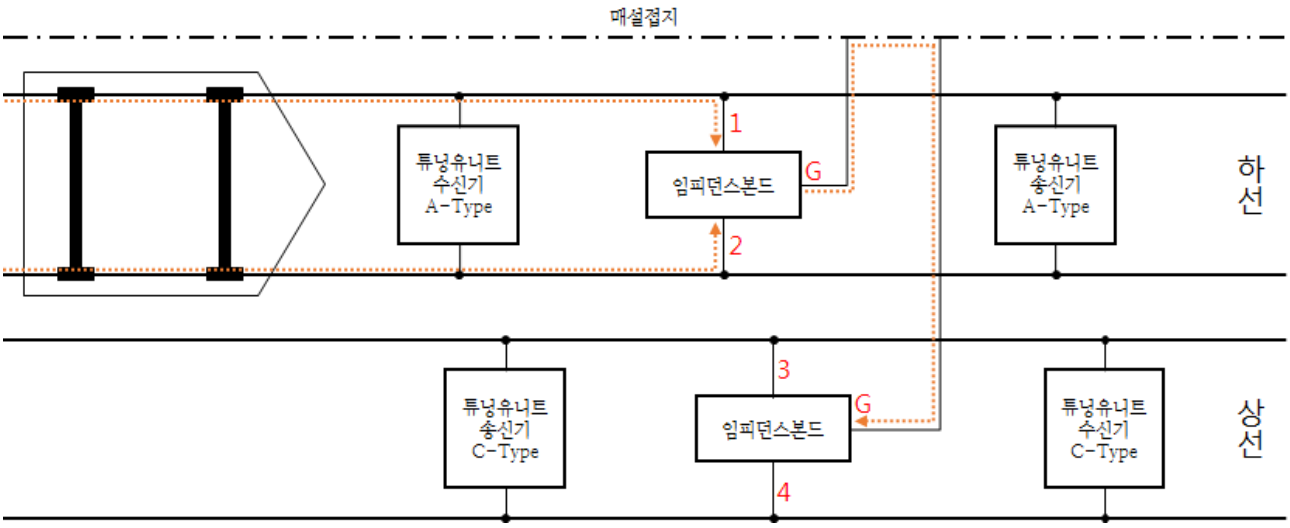



그림 208 측정 위치

(나) 측정 결과

하선 A-Type 임피던스본드 양단(1, 2)의 귀선전류(60㎐)가 중성점(G)에서 합쳐져서 나타난다.

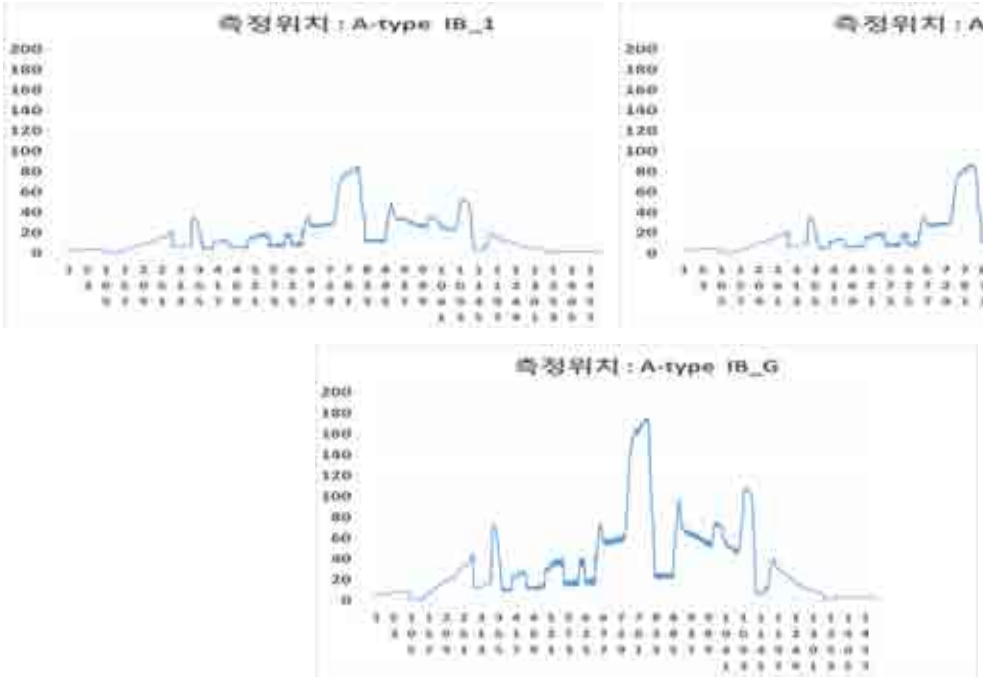



그림 209 주행시, 측정 위치 별 반대 궤도로의 하선 A-Type 임피던스본드 양단(1, 2) 귀선전류의 고조파

33차 고조파(1,980㎐)도 동일한 양상을 띤다.

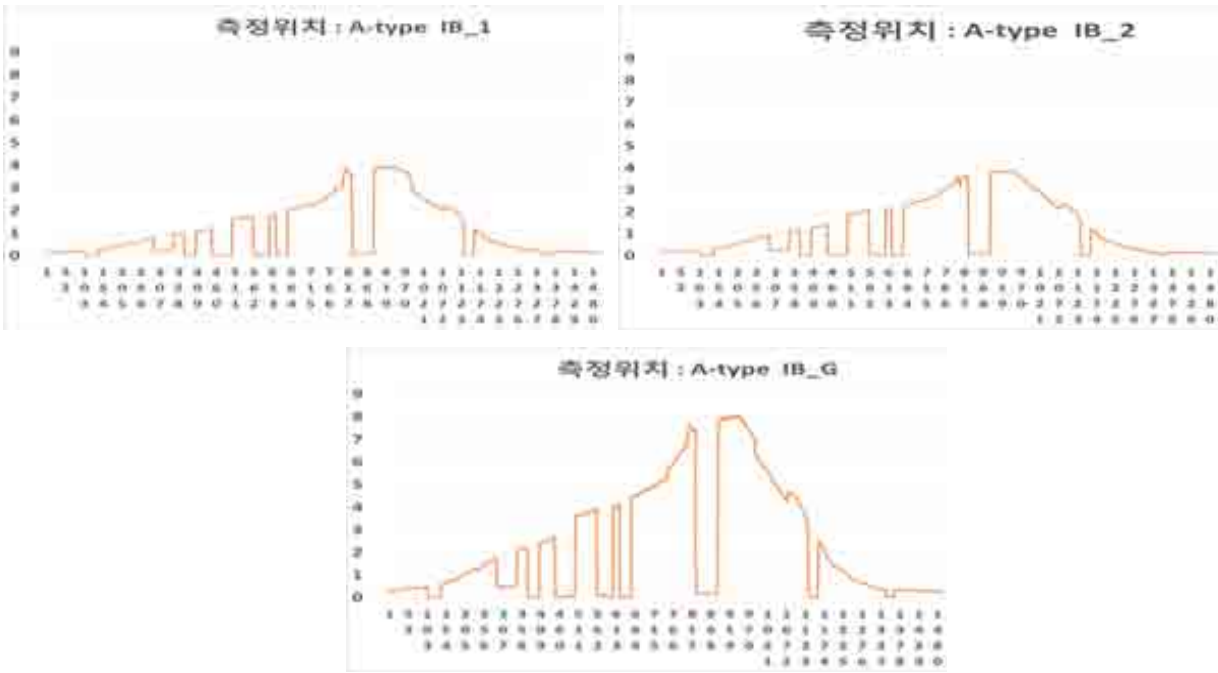



그림 210 주행시, 측정 위치 별 반대 궤도로의 A-Type 임피던스본드 양단(1, 2) 귀선전류의 33차 고조파(1,980Hz)

상선 C-Type 임피던스본드 양단(3, 4)의 귀선전류(60㎐)가 중성점(G)에서 합쳐져서 나타난다.

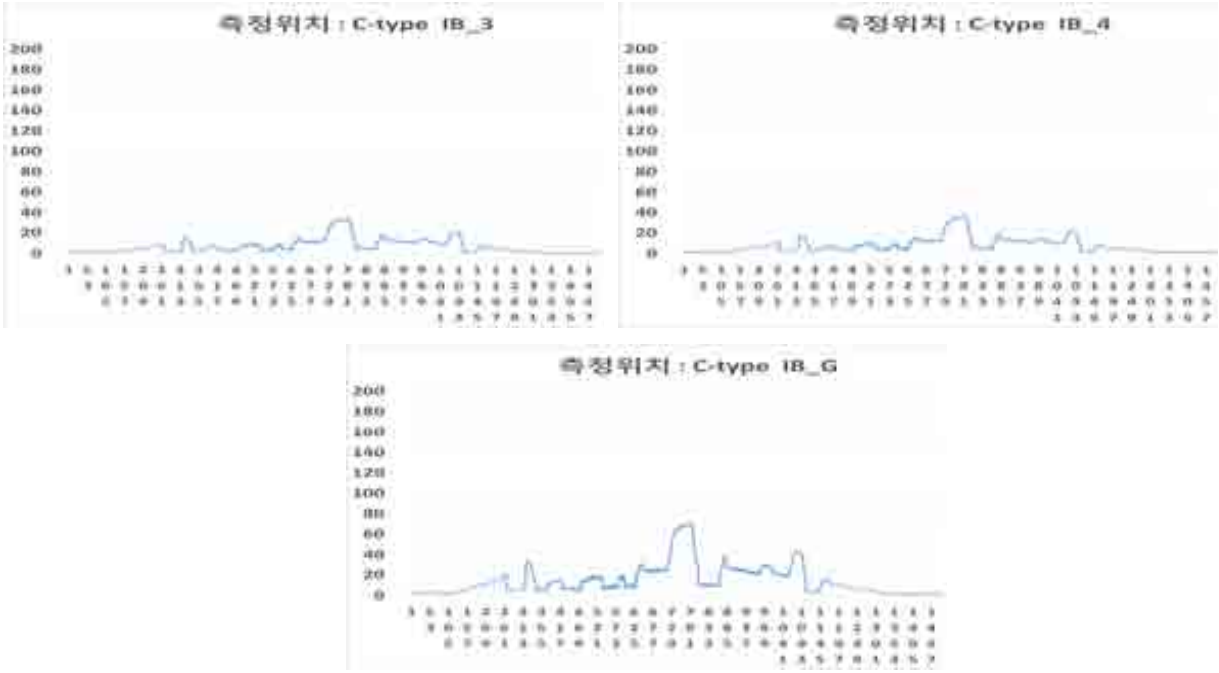



그림 211 주행 시, 측정 위치 별 반대 궤도로의 상선
C-Type 임피던스본드 양단(3,4)의 귀선전류의 고조파

33차 고조파(1,980Hz)도 동일한 양상을 띤다.

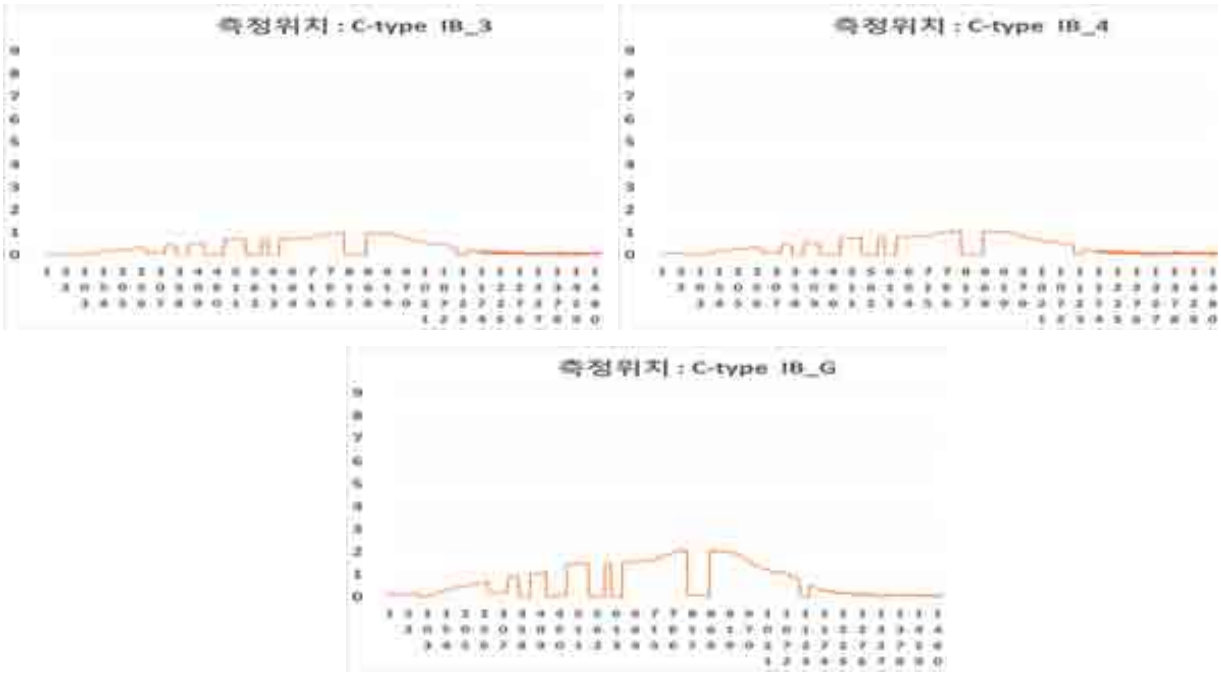



그림 212 주행 시, 측정 위치 별 반대 궤도로의 상선
C-Type 임피던스본드 양단(3,4)의 귀선전류의 고조파

(2) AF궤도회로 상선 구간에 KTX-산천 열차가 상행 주행

(가) KTX-산천 열차의 상선 주행 시 상선 A-Type 임피던스본드를 통하여 귀선된 전류 중 일부가 매설접지에 공동 연결된 하선 C-Type 임피던스본드로 유입된다.

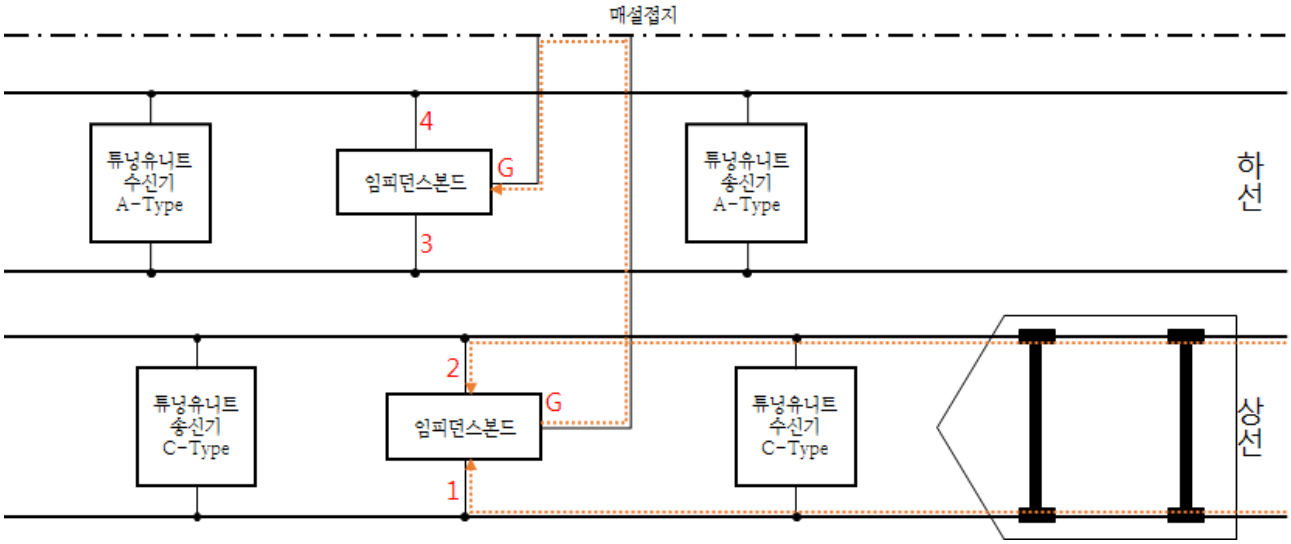
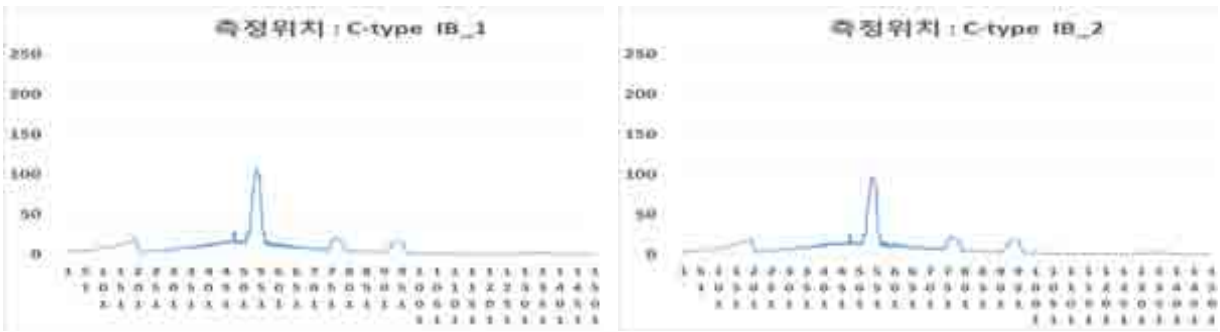



그림 213 측정 위치

(나) 측정 결과

상선 C-Type 임피던스본드 양단(1, 2)의 귀선전류(60㎐)가 중성점(G)에서 합쳐져서 나타난다.



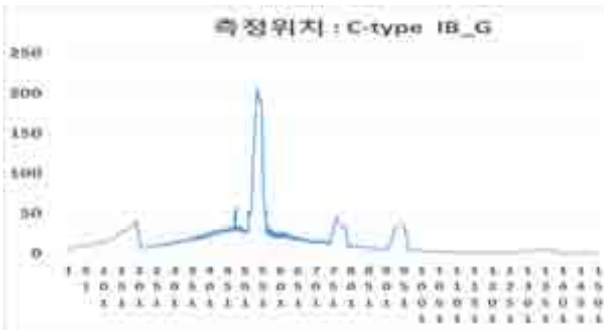




그림 214 상선 주행시, C-TYPE 임피던스본드 양단(1,2)의 귀선전류의 고조파

33차 고조파(1,980㎐)도 동일한 양상을 띤다.

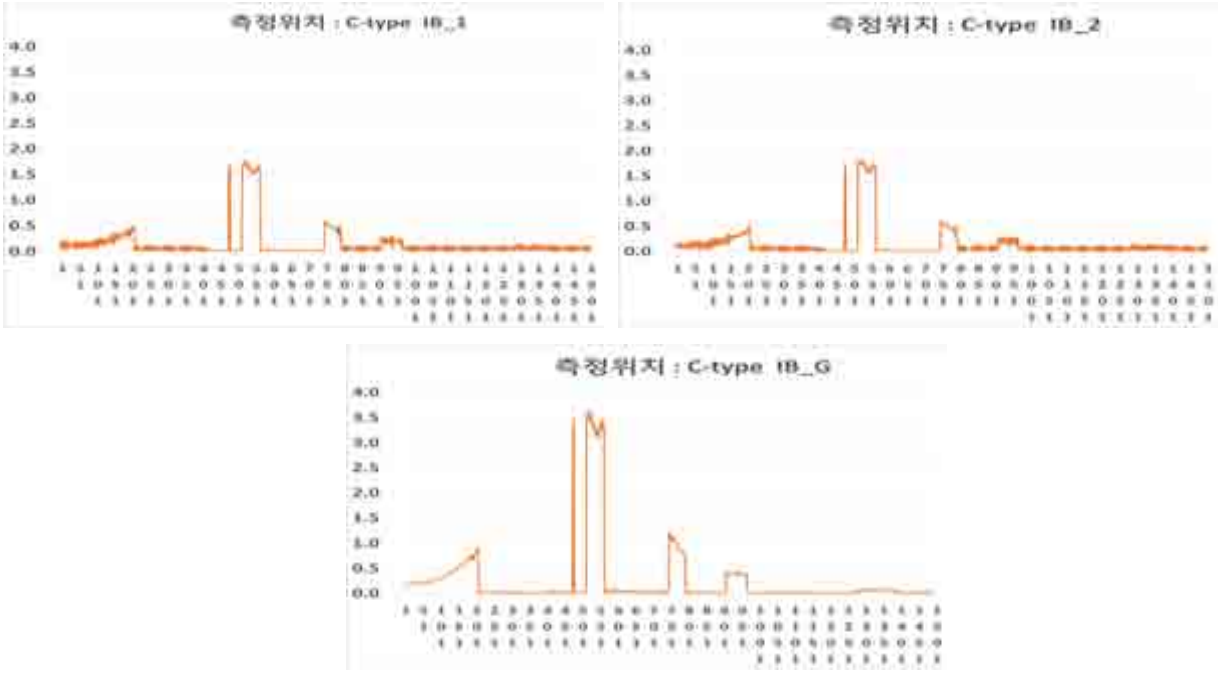



그림 215 상선 주행시, C-TYPE 임피던스본드
양단(1,2)의 귀선전류의 33차 고조파(1,980Hz)

하선 A-Type 임피던스본드 양단(3, 4)의 귀선전류(60㎐)가 중성점(G)에서 합쳐져서 나타난다.

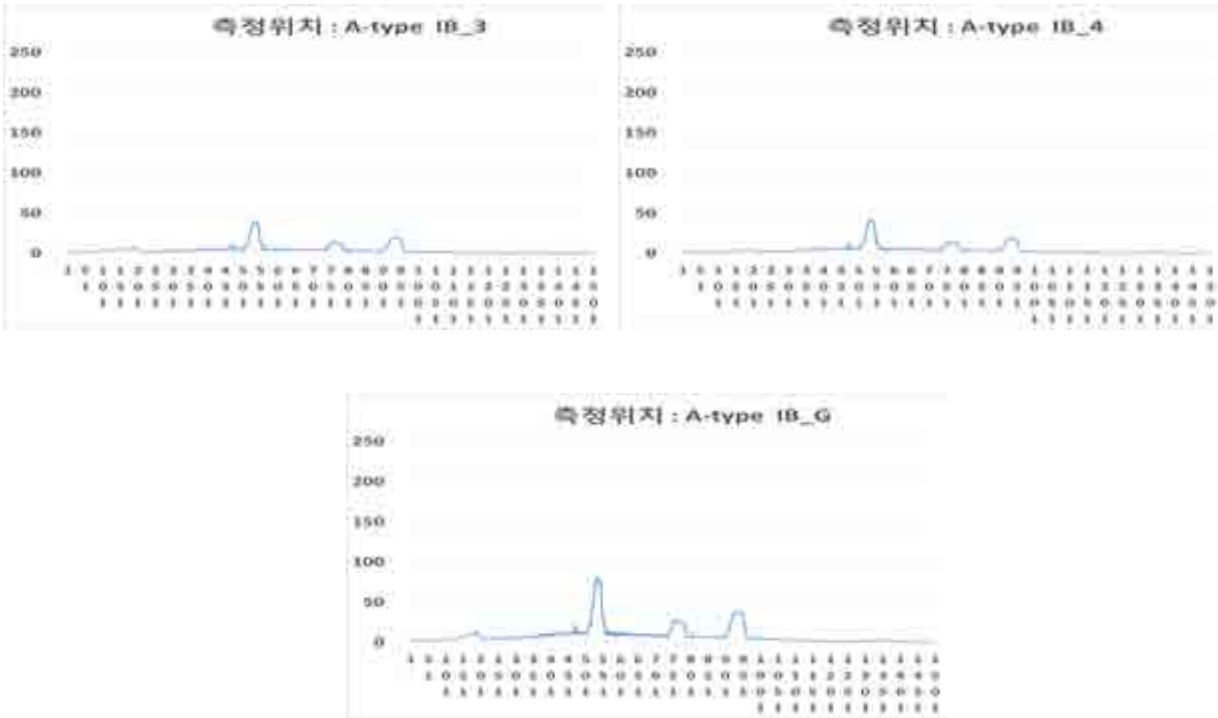



그림 216 상선 주행시, 하선 A-TYPE 임피던스본드
양단(3,4)의 귀선전류의 고조파

33차 고조파(1,980Hz)도 동일한 양상을 띤다.

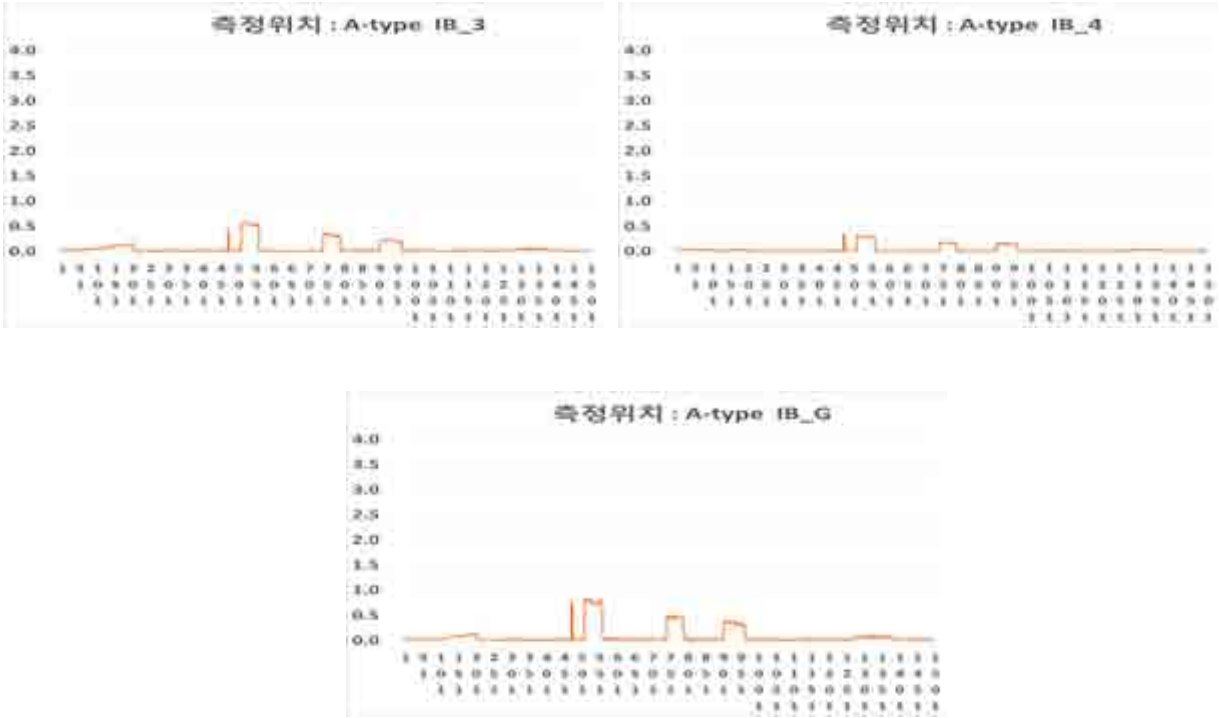



그림 217 상선 주행 시, 하선 A-TYPE 임피던스본드
양단(3,4)의 귀선전류의 33차 고조파

나. AF궤도회로 고조파간섭 이동경로

(1) 앞서 상황별 귀선전류 이동에 대한 분석을 통한 고조파간섭 이동경로는 다음과 같다.

(2) KTX-산천 열차가 주행 시, 주행 궤도의 전차선 전류는 임피던스본드의 특성에 의해 전기적 손실 없이 100%의 전차선 전류가 임피던스본드의 중성점을 통해서 매설접지로 귀선한다.

(3) 이 때, 귀선 전류 중 일부가 매설접지에 공동 접지된 임피던스본드(주행 궤도의 반대편 궤도에 있는)의 중성점으로 유입되어 임피던스본드의 양단으로 향한다.

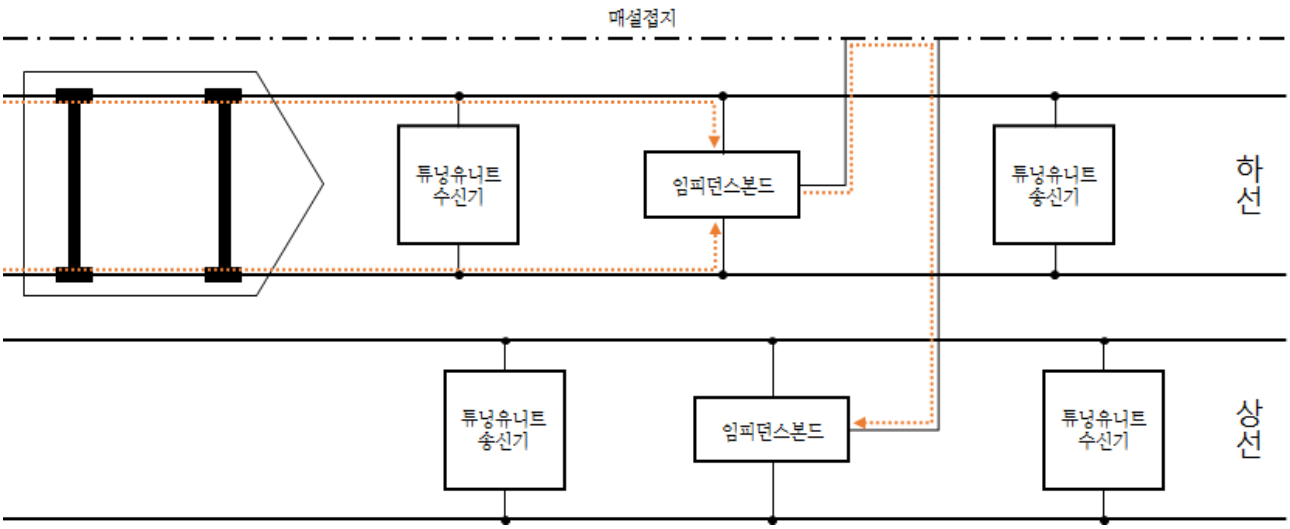



그림 218 구성도

# 7절 KTX-산천 전자파 간섭 성능기준 제시

## 1. 시뮬레이션 검증 종합시험

KTX-산천 차량의 주전력변환장치에서 발생되는 1980Hz의 고조파 저감을 위하여 주전력변환장치의 견인력을 감소하는 방안과 동시에 컨버터의 스위칭 주파수를 9펄스, 11펄스, 13펄스로 변경하여 발생되는 고조파량을 관성부하 시험을 통하여 실시하였다.

(1) 장소: 현대로템 전장품시험동
(2) 시험내용: 컨버터의 스위칭 주파수가 9, 11, 13 펄스 일 경우, 주변압기 (-)단의 return current 측정
(3) 시험모드: powering, braking
(4) 시험속도: 200kph (0~80kph: 100% traction effort, 80~200kph: 80% traction effort)



그림 219 현대로템 전장품시험동 조합시험

호남 220량 신규 고속차량의 주전력변환장치 관성부하 조합시험 기간 동안 컨버터부의 동작모드를 9, 11, 13펄스로 변경하여 주전력변환장치 정상동작 여부를 확인하였으며, 주변압기 1차 측에서 측정한 가선 전류 측정과 고조파 분석을 통하여 궤도회로 신호 주파수 대역의 영향 가능성을 검토하였다.

아래의 그림은 컨버터부가 9펄스 및 11펄스 모드로 동작한 경우의 부하 전류 파형이다. 그림에서 알 수 있듯이 펄스 모드 증가에 따라 컨버터 입력 전류 리플의 크기와 주파수가 변경된다.

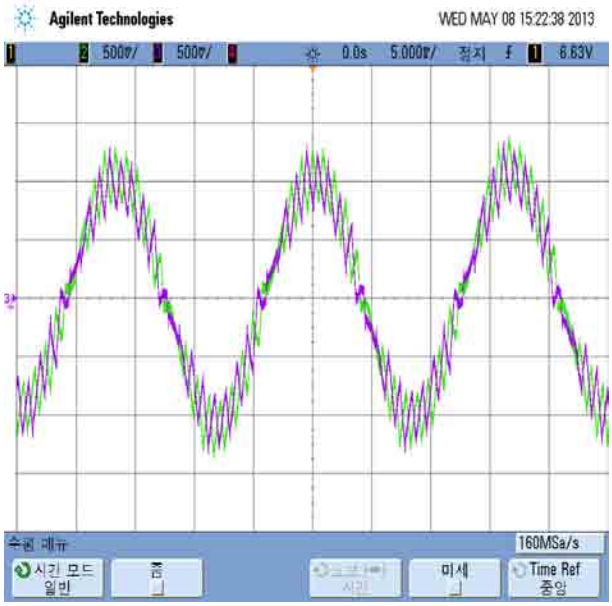



그림 220 9펄스 모드 부하 동작파형

(CH2 : 1군 컨버터 전류[500A/div], CH3 : 2군 컨버터 전류[500A/div])

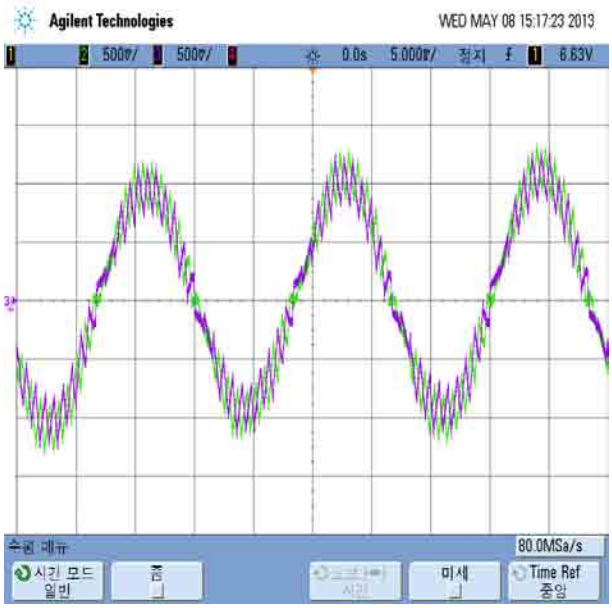



그림 221 11펄스 모드 부하 동작파형

(CH2 : 1군 컨버터 전류[500A/div], CH3 : 2군 컨버터 전류[500A/div])

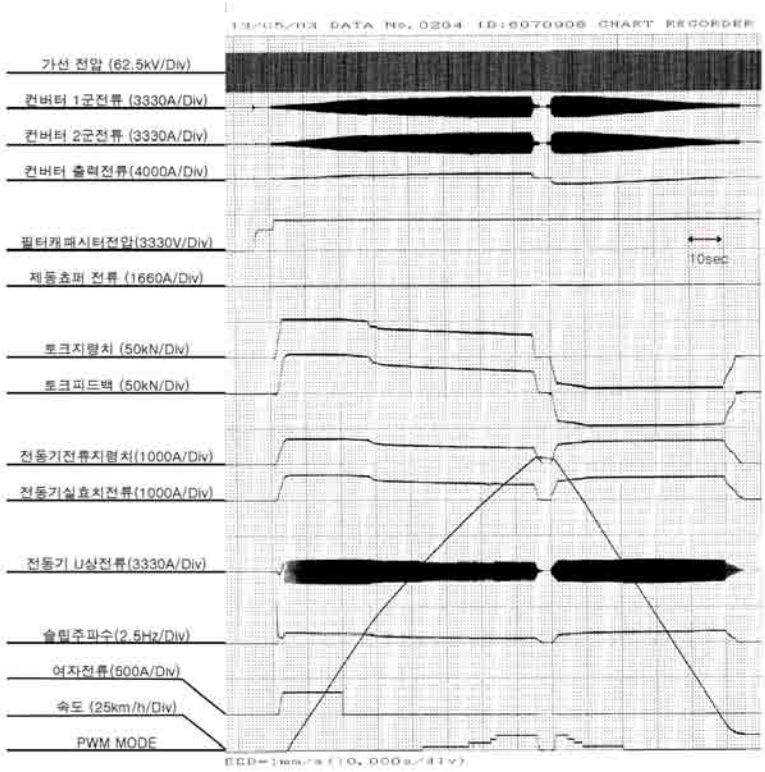



그림 222 9펄스 모드 관성부하 시험

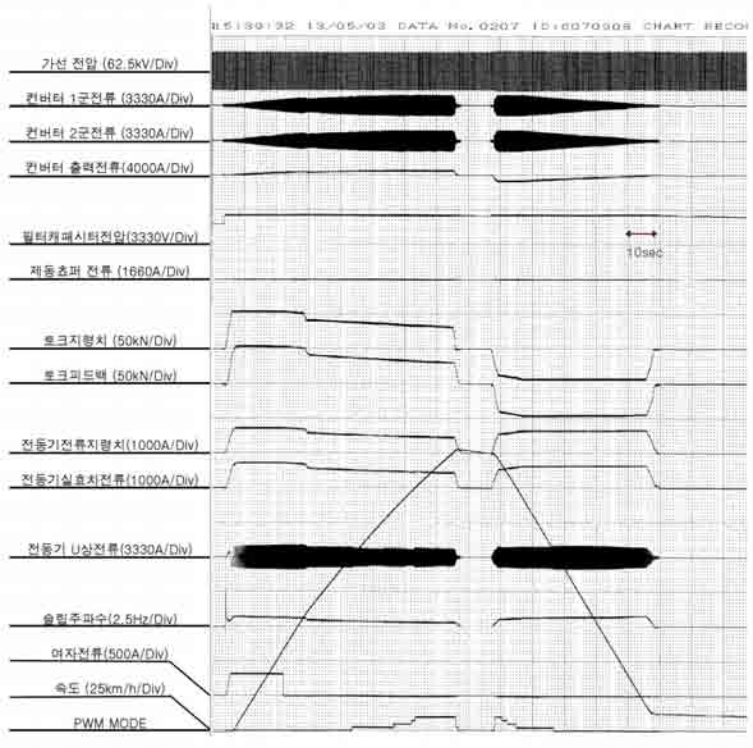



그림 223 11펄스 모드 관성부하 시험

아래의 표는 컨버터부 펄스 모드 변경에 따라 TI-21 AF궤도회로 신호 주파수와 인접한 추진제어장치에서 발생되는 고조파 전류 주파수를 나타낸다. 표에서 알 수 있듯이 9펄스 모드로 동작하는 경우 고조파 발생 주파수 1980Hz와 TI-21 AF궤도회로 C-type 신호의 Lower frequency 1979Hz가 거의 일치하기 때문에 간섭현상이 발생하였으나 11펄스의 경우에는 고조파 발생 주파수 대역 중에서 2460Hz가 나타나므로 1980Hz를 회피할 수 있다. 또한 13펄스의 경우는 고조파 발생 주파수 대역이 TI-21 AF궤도회로 사용주파수를 벗어나므로 차량의 고조파 전류가 신호 장치에 영향을 미치지 않을 것이다.

표 104 TI-21 AF 궤도회로 신호 주파수

| Track cirucuit frequency code | Norminal frequency [Hz] | Operating frequency [Hz] | | 고조파 발생 주파수 [Hz] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Lower frequency | Upper frequency | 9펄스 | 11펄스 | 13펄스 |
| A | 1699 | 1682 | 1716 | 1860 | 2340 | 2820 |
| B | 2996 | 2279 | 2313 | **1980** | 2460 | 2940 |
| C | 1996 | **1979** | 2013 | 2100 | **2580** | 3060 |
| D | 2593 | **2576** | 2610 | 2220 | 2700 | 3180 |

호남 신규 고속차량 주전력변환장치의 관성부하 조합시험 중에 주변압기 1차측 전류를 측정하여 FFT 분석을 실시한 결과는 아래 표와 같다. 표에서 알 수 있듯이 9펄스 모드 동작은 1996Hz 주파수 대역에서 1.418A의 고조파 전류가 발생하고 있다. 11펄스, 13펄스로 동작하면 사용주파수 대역에서의 고조파 전류는 11펄스의 경우에 최대 66mA, 13펄스의 경우에 34mA로 감쇄되는 것을 알 수 있다.

표 105 조합시험 결과, TI-21 AF궤도회로 신호주파수

| 궤도 회로 | 사용주파수 대역 | 현재 기준치 | 9펄스 (1980,2340Hz) | 11펄스 (2460,2820Hz) | 13펄스 (2940,3300Hz) |
|---|---|---|---|---|---|
| TI-21 | A-Type(1699Hz) | 200mA | - | - | - |
| | Low: 1680~1683Hz | | 118mA | 18mA | 18mA |
| | High: 1715~1718Hz | | 40mA | 32mA | 9mA |
| | B-Type(2296Hz) | 195mA | - | - | - |
| | Low: 2277~2280Hz | | 31mA | 67mA | 24mA |
| | High: 2312~2315Hz | | 20mA | 14mA | 18mA |
| | C-Type(1996Hz) | 600mA | - | - | - |
| | Low: 1977~1980Hz | | 1.418A | 66mA | 34mA |
| | High: 2012~2015Hz | | 46mA | 24mA | 20mA |
| | D-Type(2593Hz) | 185mA | - | - | - |
| | Low: 2574~2577Hz | | 33mA (0.265A at 2579Hz) | 60mA (0.708A at 2580Hz) | 36mA (0.098A at 2580Hz) |
| | High: 2609~2612Hz | | 14mA | 11mA | 22mA |
| | 최대값 | - | 1.418A at 1980Hz | 1.130A at 2460Hz | 0.978A at 2940Hz |
| | | | 1.057A at 2340Hz | 0.879A at 2820Hz | 0.742A at 3300Hz |

아래의 그림들은 각각 TI-21 AF궤도회로 A-type, B-type, C-type, D-type 주파수 대역의 주변압기 1차측 전류 FFT 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 기존선에서 컨버터 펄스 모드를 11, 13으로 변경하면 TI-21 AF궤도회로의 사용 주파수 대역에 차량의 주전력변환장치에서 발생되는 고조파 전류가 영향을 미치지 않을 것이다.

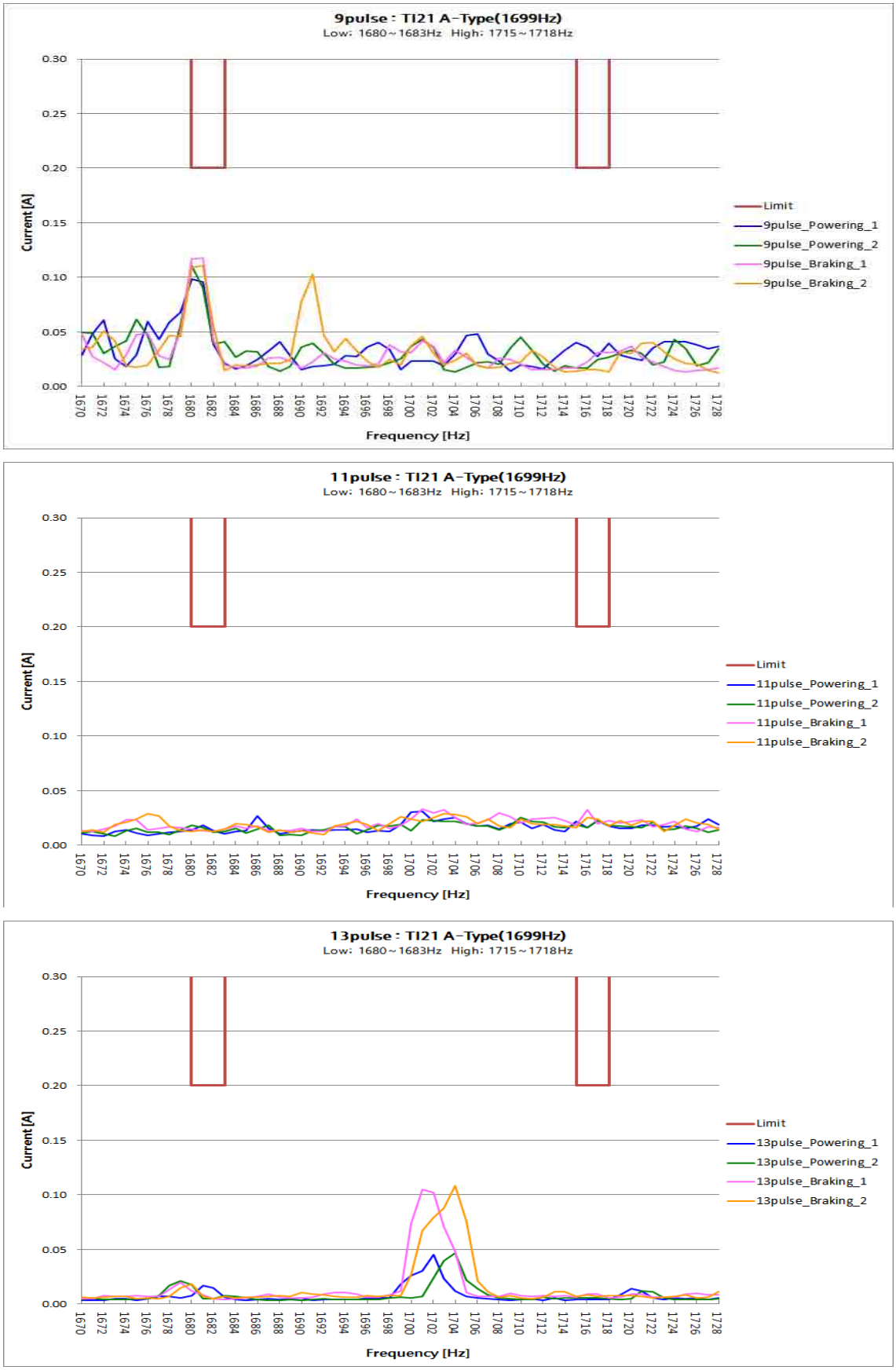
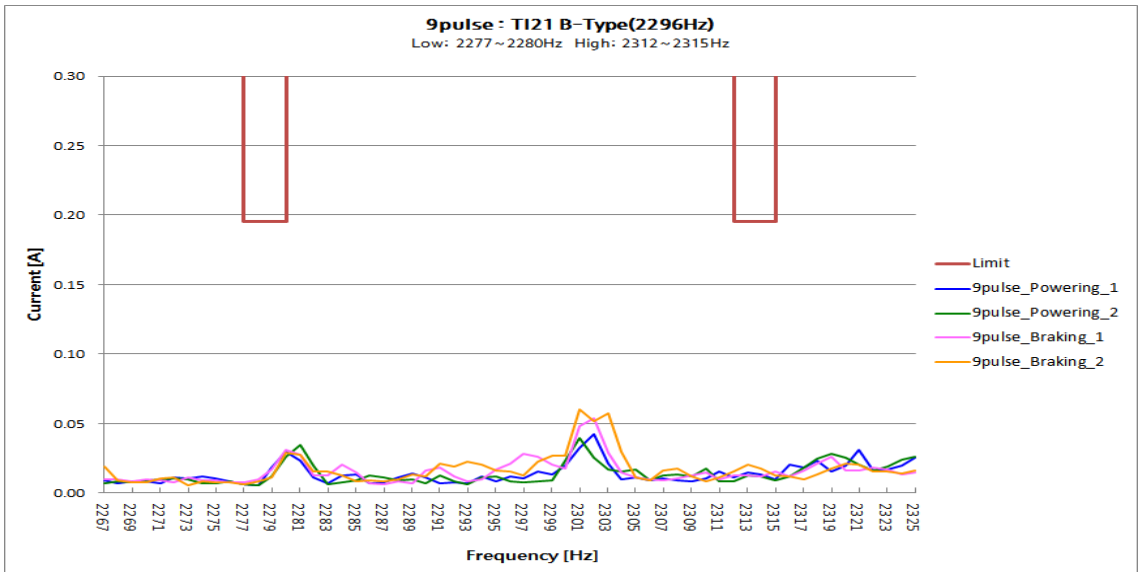
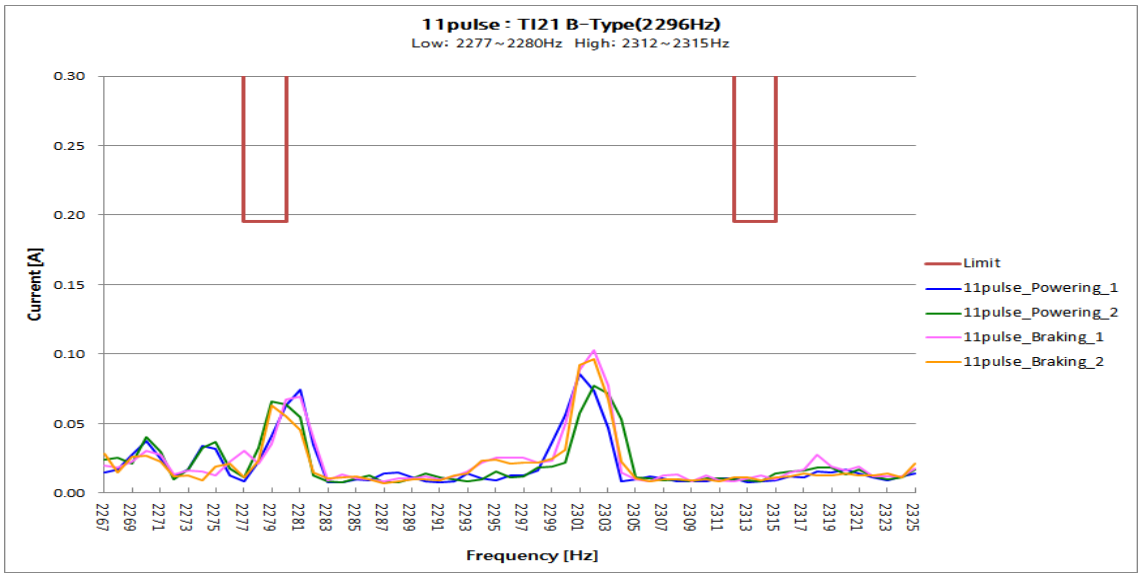



그림 224 TI-21 A-type 주파수 대역 고조파 분석 결과

A-Type의 경우에는 해당 주파수 영역에서 차량의 고조파 전류가 200mA의 절반 수준에도 미치지 않는 상대적으로 작은 고조파 전류가 측정되었다. 따라서 A-Type의 경우에는 주변환장치의 스위칭주파수(펄스수)에 관계없이 간섭문제가 발생하지 않을 것으로 판단할 수 있다.



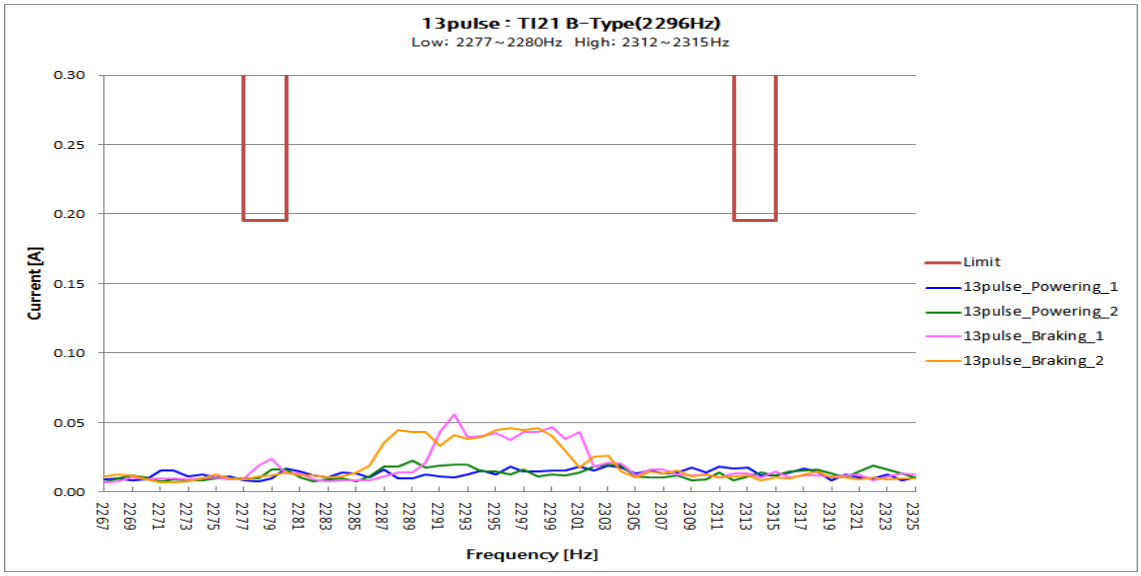
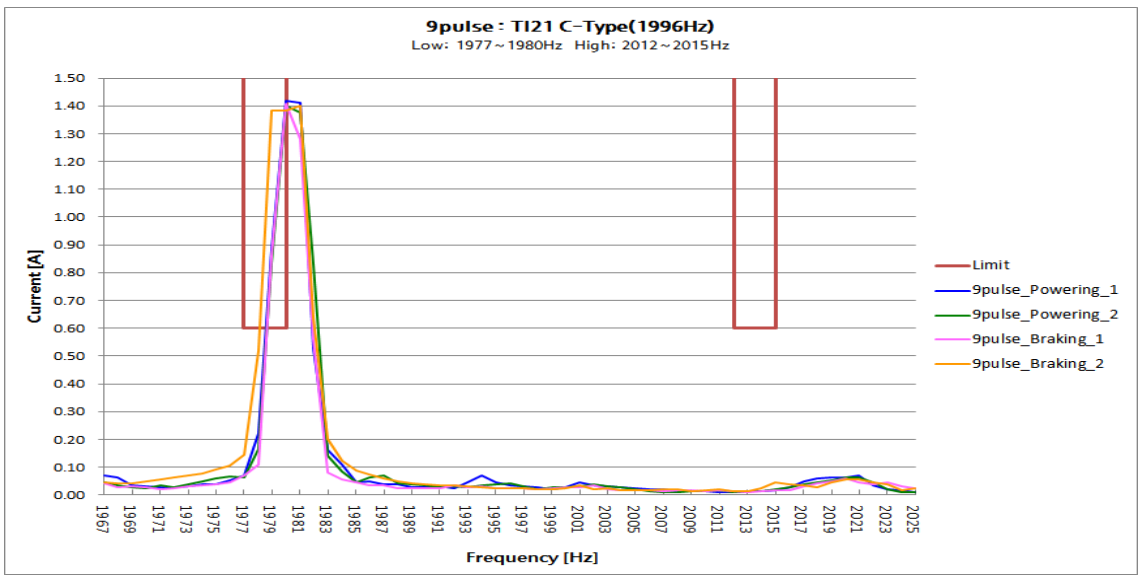
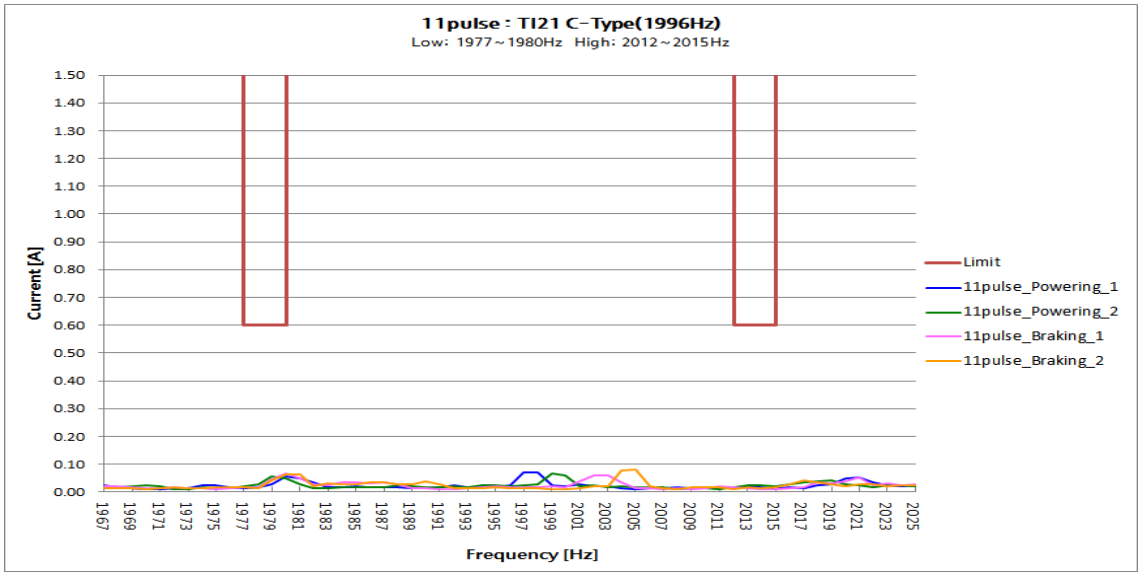



그림 225 TI-21 B-type 주파수 대역 고조파 분석 결과

B-Type의 경우에도 해당 주파수 영역에서 차량의 고조파 전류가 200mA의 절반 수준에도 미치지 않는 상대적으로 작은 고조파 전류가 측정되었다. 따라서 B-Type의 경우에는 주변환장치의 스위칭주파수(펄스수)에 관계없이 간섭문제가 발생하지 않을 것으로 판단할 수 있다.





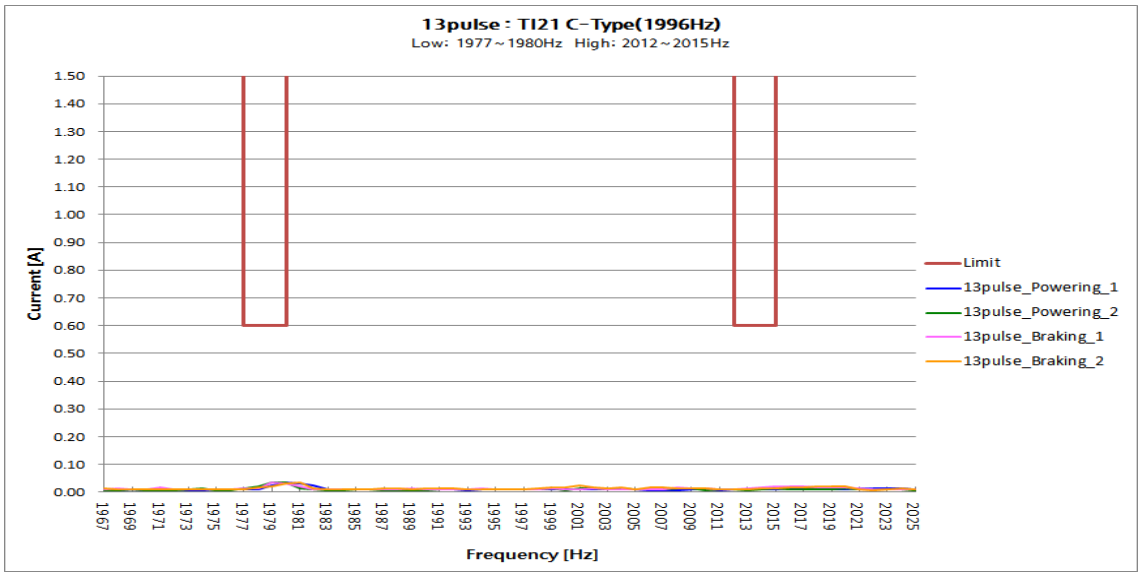



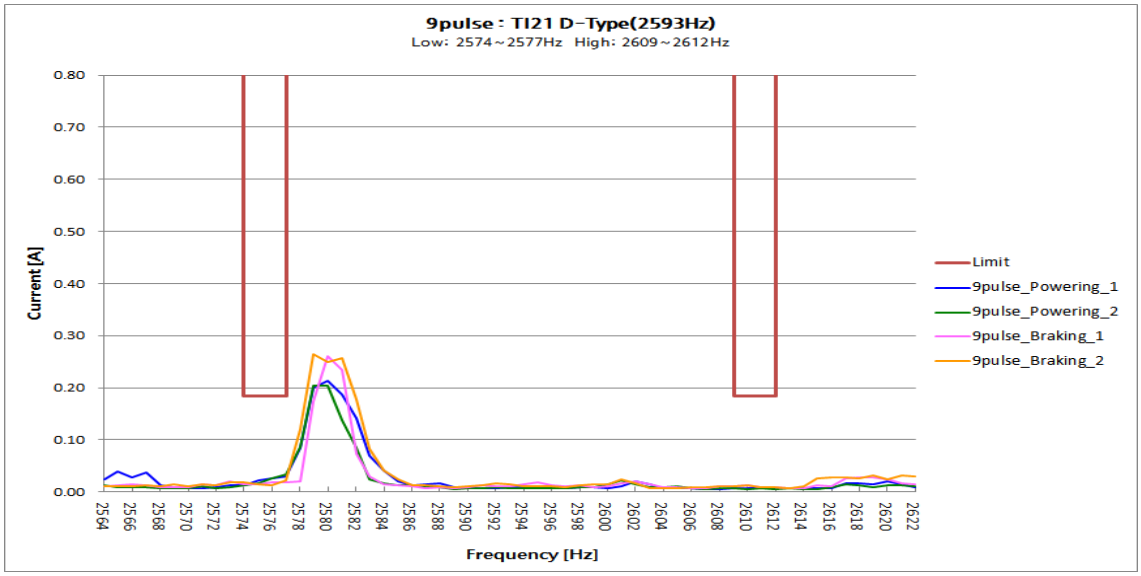

그림 226 TI-21 C-type 주파수 대역 고조파 분석 결과

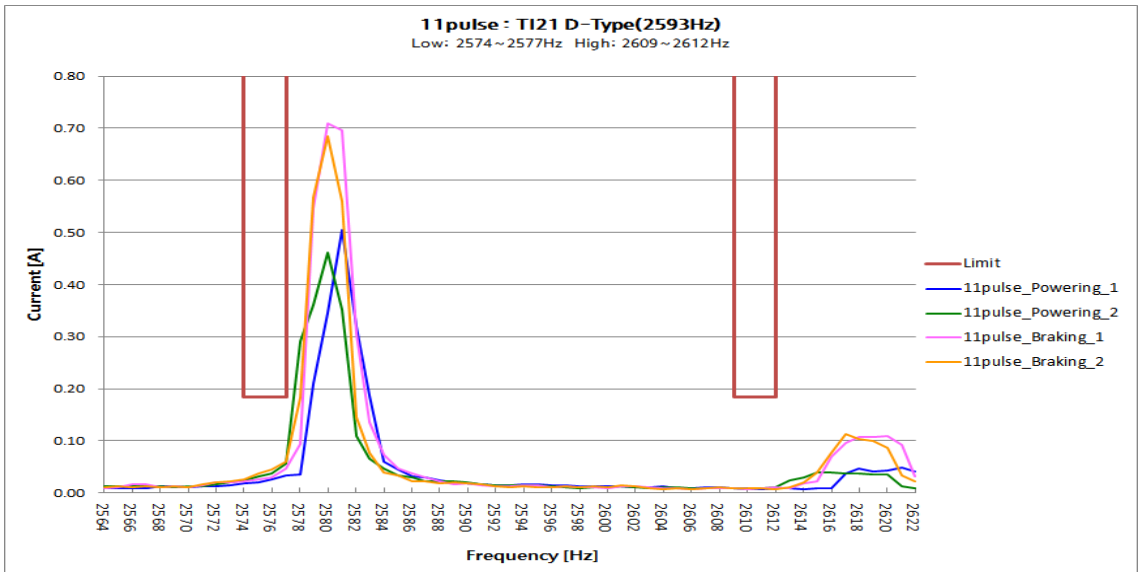
<TI-21 C-type 주파수 대역 고조파 분석 결과>

C-Type의 경우에는 9펄스로 동작시에 해당 주파수 영역에서 차량의 고조파 전류가 200mA를 크게 상회함을 확인할 수 있다. 이러한 이유로 기존의 아날로스 수신기의 경우에는 고조파 전류의 크기에 따라서 간섭문제가 간헐적으로 발생하였음을 확인 할 수 있다.

따라서 C-Type의 경우에는 주변환장치의 스위칭주파수를 고조파 전류가 높은 9펄스가 아닌, 11펄스나 13펄스로 변경하는 것을 고려하는 것이 바람직해 보인다.

다만 현재는 대부분의 아날로그 수신기를 차량의 노이즈에 상대적으로 강한 내성을 갖는 디지털수신기로 이미 교체하였고, 더 이상 간섭문제가 발생하고 있지 않음에 고려하여, 중장기적 관점에서 차량의 노이즈를 줄이는 방안과 신호장치의 내성을 강화하는 방안을 종합적으로 검토하여야 할 것이다.



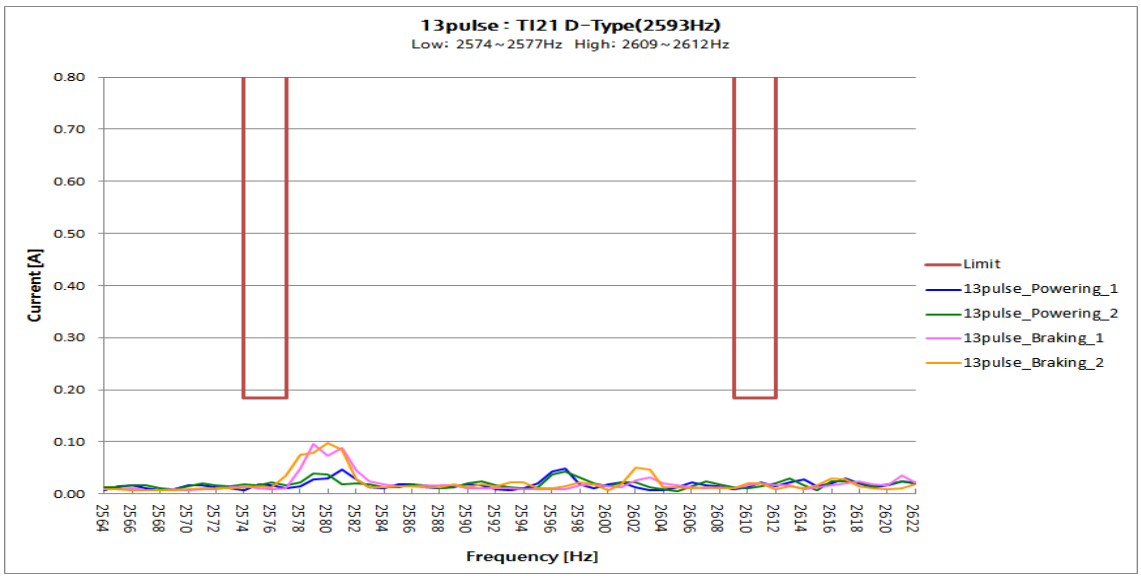
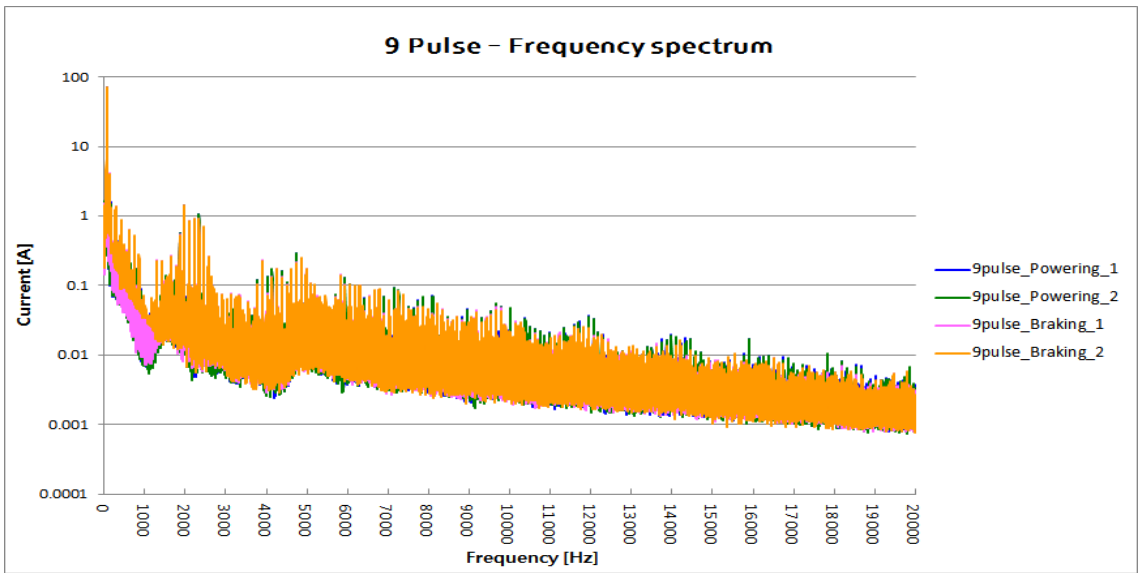



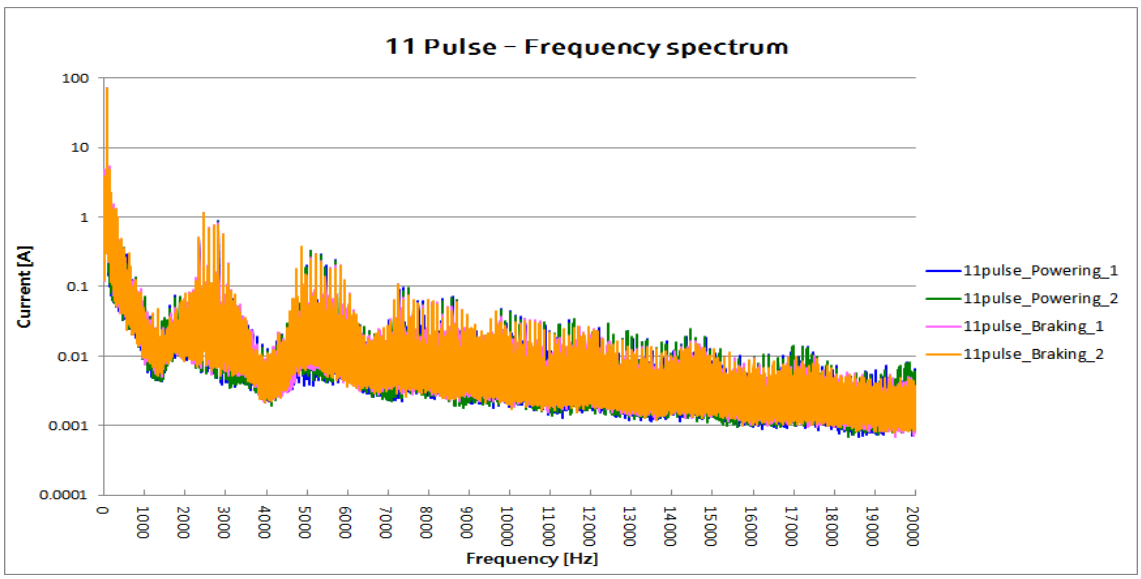

그림 227 TI-21 D-type 주파수 대역 고조파 분석 결과

<TI-21 D-type 주파수 대역 고조파 분석 결과>

D-Type의 경우에는 9펄스로 동작시에 해당 주파수 영역에서 차량의 고조파 전류가 200mA 보다 작지만, 11펄스를 적용할 경우에는 궤도회로 사용주파수인 2576Hz(2575Hz~2577Hz)과 매우 가까운 2580Hz에서 200mA를 크게 상회함을 확인할 수 있다. 그러나 실제 간섭문제가 간헐적으로 발생하였던 C-Type(9펄스)의 1980Hz 성분 크기가 1.4A (조합시험 기준) 이상으로 판단할 때, D-Type(11펄스)의 2580Hz 성분의 크기는 이것의 1/2에 해당하는 0.7A 수준이므로 간섭문제는 발생하지 않을 것으로 판단할 수 있다.

따라서 D-Type의 경우에는 주변환장치의 스위칭주파수(펄스수)에 관계없이 간섭문제가 발생하지 않을 것으로 판단할 수 있다.



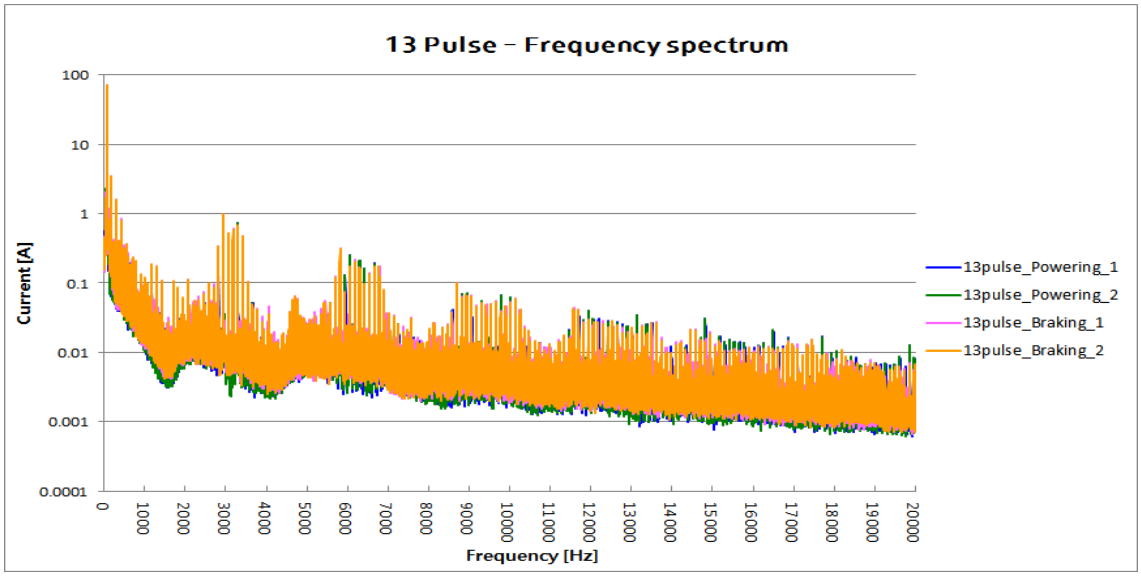



그림 228 9, 11, 13 펄스 별 주파수 스펙트럼

## 2. KTX-산천 고조파 저감대책 제안

주전력변환장치에서 발생되는 고조파 저감 방안을 위하여 컨버터 입력단 필터리액터 설치, 컨버터의 스위칭 주파수 변경에 따른 고조파 스펙트럼 분석, 스택 열용량 분석, 변압기의 손실분석, 저속선 견인력 저감 방안, 컨버터 스위칭 주파수 변경에 대하여 검토하였다.

(1) 컨버터의 입력단에 리액터와 캐패시터로 구성되는 필터회로를 추가하는 방안은 적용하더라도 효과를 보증하기가 어렵고, 과도한 설치공간과(1m*1m*1m*4EA) 과중한 중량(400kg*4EA)으로 KTX-산천의 동력차에 설치가 현실적으로 불가능한 것으로 판단된다.

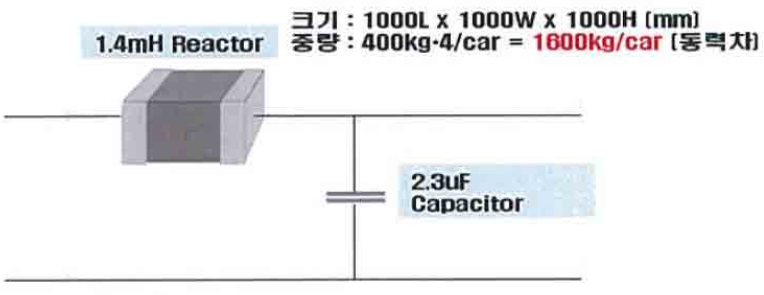



그림 229 리액터와 캐패시터로 구성되는 필터회로

(2) 주변환장치의 스위칭 주파수가 9펄스인 경우에는 차량의 고조파 전류가 TI-21 AF궤도회로 중에서 C-Type에 영향을 주는 것으로 고조파분석 결과가 나타났다. 9펄스를 11펄스 또는 13펄스로 변경하는 경우 1980Hz 성분의 고조파전류는 일부 감소하나, KTX-산천의 추진제어장치의 냉각용량이 5,194W로 컨버터 스위칭에 따른 발열량이 허용 가능한 냉각용량을 초과할 우려가 있어 KTX-산천 차량의 추진제어장치의 스위칭주파수 증가는 위험할 수

있는 것으로 판단된다.

다만 호남고속차량의 경우에는 냉각용량이 7600W, 원강선 고속차량의 경우에는 8000W에 이르고 있어 KTX-산천과 비교하면 상대적으로 크게 증가한 냉각용량을 나타내고 있다. 호남고속차량의 경우에는 46% 냉각용량 증가를 나타내고 있으며, 원강선 고속차량의 경우에는 54% 냉각용량 증가시켜 설계할 계획을 가지고 있다. 따라서 호남고속차량이나 수서고속차량의 경우에는 스위칭주파수를 11펄스로 바꿈으로써 660Hz의 스위칭 주파수를 적용하여도 문제가 없을 것으로 사료된다.

반대로 주변환장치의 스위칭 주파수를 낮추는 경우에는 7펄스, 420Hz로 낮추는 것을 고려할 수 있는데, 이 경우에는 변압기 측면에서 K-factor 가 증가하여 에너지 손실이 크게 증가하는 문제점이 발생한다.

표 106 스위칭주파수에 따른 컨버터 스택 발열량 비교표

| 스위칭주파수 | | 540Hz | | 420Hz | | 660Hz | | 660Hz | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PWM 펄스수량 | | 9펄스 | | 7펄스 | | 11펄스 | | 11펄스 | |
| 전류정격 | | 100% | | 100% | | 100% | | 80% | |
| 발열량(주1) | | 최대 | 평균 | 최대 | 평균 | 최대 | 평균 | 최대 | 평균 |
| 컨버터 | IGBT | 2274 | 1535 | 1978 | 1328 | 2570 | 1742 | 2245 | 1514 |
| | Diode | 1568 | 1062 | 1353 | 912 | 1782 | 1212 | 1546 | 1047 |
| | 암당 | 3842 | 2597 | 3331 | 2240 | 4352 | 2954 | 3791 | 2561 |
| | 스택당 | 7684 | 5194 | 6662 | 4480 | 8704 | 5908 | 7582 | 5122 |

표 107 스위칭 주파수에 따른 K-factor

| | 7펄스(420Hz) | 9펄스(540Hz) | 11펄스(660Hz) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| K-factor | 5.73 | 5.51 | 5.33 | Eddy loss 에 영향 |
| | 1.15 | 1.09 | 1.07 | Stray loss 에 영향 |

(3) KTX-산천이 TI21 AF궤도회로가 설치되어 있는 저속구간을 운행하는 경우에는 80km/h 이상에서 주행할 때 견인력을 80%로 저감하여 운행하는 함으로써 전체적으로 차량에서 발생하는 고조파전류를 감소시키고 있다.

### 3. KTX-산천 전자파간섭 성능평가절차서 제시

가. 성능평가 개요

차량의 운행 시 전력변환장치 등으로부터 발생되는 고조파 전류를 측정하여 지상신호설비와의 적합성을 확인한다. 차량에 의하여 발생되는 고조파 전류는 아래 그림과 같이 전철변전소 또는 (보조)급전구분소 인근의 임피던스본드의 출력단(중성점)에서 측정하며, 차량의 운행선로 상에 설치되어 있는 임피던스에서 측정한다.




그림 230 고조파 전류 측정 위치

나. 시험절차

주파수분석기와 전류측정기를 임피던스본드 출력단(중성점)에 설치한 후, 아래의 절차가 진행되는 동안 고조파 전류를 측정한다.

(1) 정지상태에서 차량의 운행속도가 160kph 가 될 때 까지 100% 견인력으로 역행한다.

(2) 운행속도가 160kph 이내에서 약 2~3초간 타행으로 운행한다.

(3) 타행 후, 100% 회생제동력으로 제동한다.

(4) 상기의 시험을 추진제어장치의 정상상태와 추진제어장치 1개의 비동작상태(개방모드)로 분리하여 측정한다.

가. 고조파 전류 제한치

다양한 현장조사 및 시물레이션결과를 바탕으로 TI21 궤도회로(EBI 200)에 대하여 10%~100%의 다양한 불평형 조건에서 조사하고 이를 모델링 기법을 사용하여 그래픽적 분석을 수행하고 평가하였다. 대부분의 교류전기철도 에서는 상선과 하선은 임피던스본드, 매설접지선, 횡단접지선(cross bond)를 통하여 연결되어 있으므로 하선에서 상선으로 또는 상선에서 하선으로 전도성 노이즈에 의한 영향을 줄 수 있다.

시뮬레이션 결과는 단선 및 복선에 한 편성의 차량이 TI21 AF궤도회로의 해당 주파수대역에서의 최대 허용할 수 있는 고조파전류를 예측하고 있으며, 이 결과는 TI21 궤도회로를 가장 많이 사용하고 있는 나라중의 하나인 영국의 Railtrack Company Standard - RT/E/C/50008 Methodology for the Demonstration of Compatibility with TI21 track circuits - 에서 언급된 제한치와 사실상 동일함을 알 수 있다.

TI21을 위한 사용주파수는 표99와 같다.

표 108 TI21을 위한 사용주파수

| Track Circuit Frequency Code | Nominal Frequency, Hz | Operating Frequency, Hz | |
|---|---|---|---|
| | | Lower Frequency | Upper Frequency |
| A | 1699 | 1682 | 1716 |
| B | 2296 | 2279 | 2313 |
| C | 1996 | 1979 | 2013 |
| D | 2593 | 2576 | 2610 |
| E | 1549 | 1532 | 1566 |
| F | 2146 | 2129 | 2163 |
| G | 1848 | 1831 | 1865 |
| H | 2445 | 2428 | 2462 |

본 연구는 레일간의 임피던스 불평형이 100%(broken rail)인 조건, 70%/30% 조건, 60%/40% 조건, 55%/45%(전형적인 한국철도에서의 유지보수 기준)에서의

허용 가능한 차량의 고조파전류를 살펴보았다.

표 109 허용 가능한 차량의 고조파 전류

| | Permissible Train Current | | | |
|---|---|---|---|---|
| Imbalance | Band A (A) | Band B (A) | Band C (A) | Band D (A) |
| 100% | 0.286 | 0.224 | 0.255 | 0.2015 |
| 70/30 | 0.717 | 0.561 | 0.637 | 0.499 |
| 60/40 | 1.449 | 1.131 | 1.283 | 1.004 |
| 55/45 | 2.912 | 2.27 | 2.576 | 2.013 |
| 50/50 = 0% | $>1x10^8$ | $>1x10^8$ | $>1x10^8$ | $>1x10^8$ |

영국의 Railtrack Company Standard - RT/E/C/50008에서는 100% 불평형을 바탕으로 레일전류 제한치를 공급하고 있으며, TI21의 내성에 대한 시뮬레이션 방법과 관련 파라메터 등을 공급하고 있다. RT/E/C/50008 보고서에서 언급된 바와 같이 TTU는 20m 동조구간을 가지고 전기적으로 분리되며, 다른 타입의 근접 궤도회로에 인터페이스 하기 위해서는 ETU를 적용한다. 시뮬레이션은 RT 규격서에서 적용한 방법에 따라 다양한 불평형조건에서의 허용 가능한 차량전류를 평가하고 있다.

이 독립적인 모델링을 유효하게 하기 위하여 RT 규격서에서 정의된 바와 같이 TI21에 대한 Worst Case Scenario를 확인하는 것이 필요하며, Worst Case Scenario는 차량이 접근할 때 임피던스본드의 케이블의 단선이나 레일이 파손되어 전기적으로 연결되지 않는 경우

에 발생한다.

복선에 대한 시뮬레이션은 1Km를 기준으로 한 것이며, 상선과 하선 사이의 횡단접속선의 저항을 매우 크게 함으로써 단선의 시뮬레이션을 활용할 수 있다.

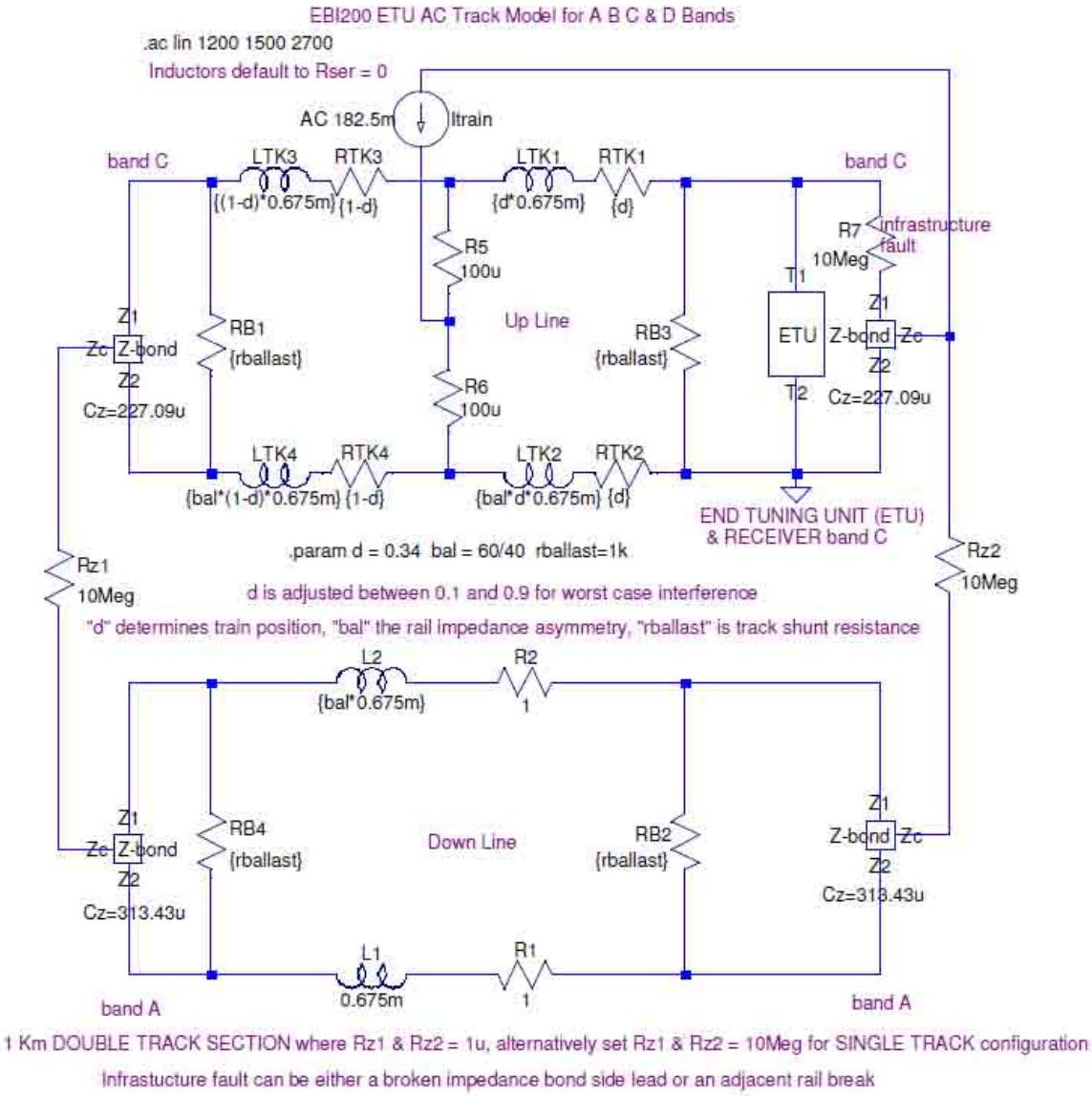



그림 231 상선과 하선의 횡단접속선의 임피던스를 크게 하여 단선을 구현

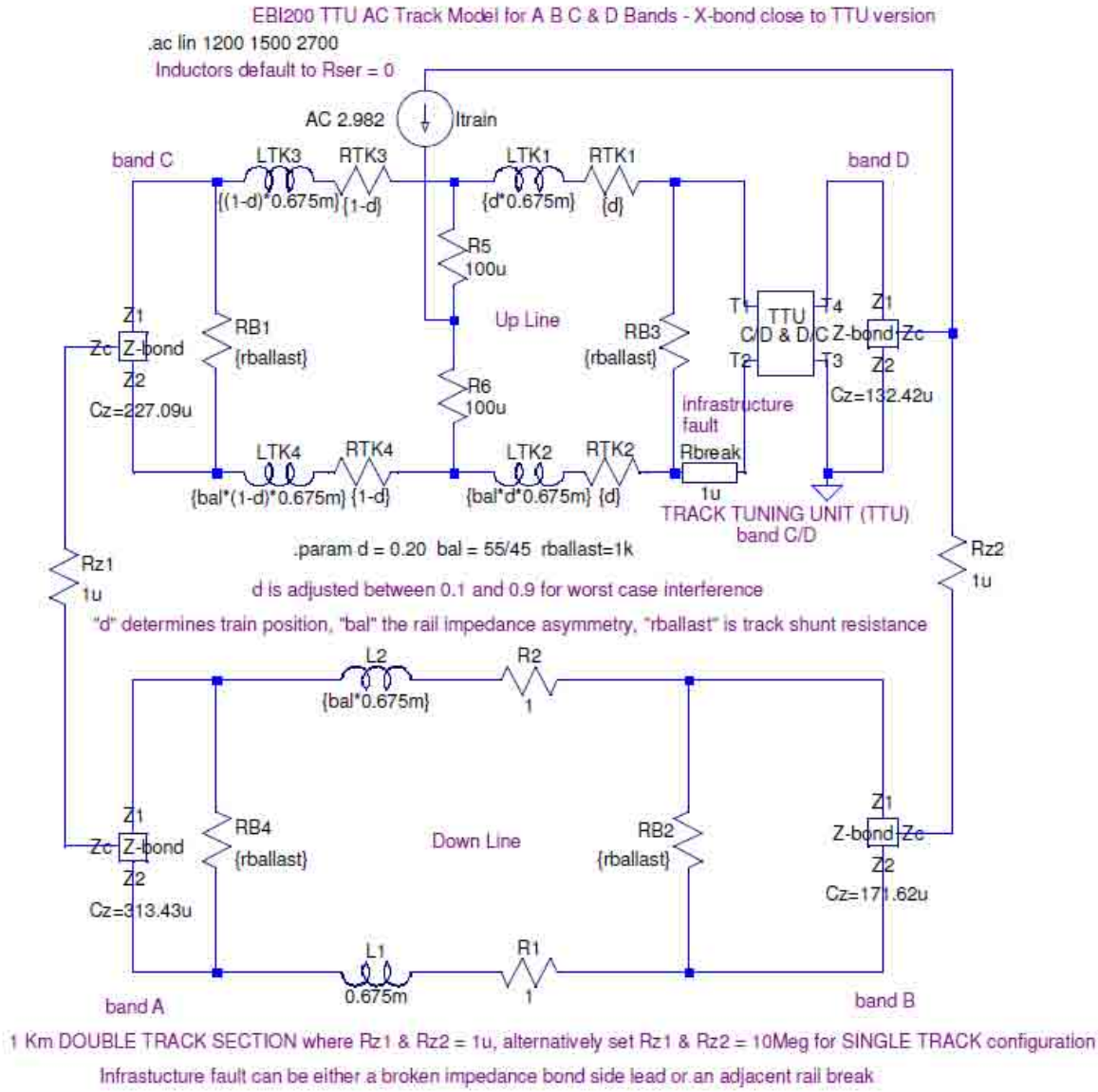



그림 232 상선과 하선의 횡단접속선의 임피던스를 작게 하여 복선을 구현

시뮬레이션 결과에 따르면 2013Hz에서의 182.5mA는 RT 규격서(RT/E/C/50008)의 시뮬레이션 결과인 2013Hz에서의 182.8mA와 사실상 동일함을 확인할 수 있다.

안전에 대한 마진2를 적용하면 182.8mA의 1/2에 해당하는 91.4mA가 되는데, 이는 수신기의 전류를 15mA로 가정하여 계산한 것이므로, 현실적으로 수신기의 전류를 30mA 이상으로 관리함을 고려할 때, 실제 허용 가능한 전류는 약 2배 가량 큰 전류값을 허용할 수 있다.

다만, 이 값은 레일간에 100% 불평형이 발생하는 경우를 바탕으로 시뮬레이션 한 결과이므로 한국에서 적용하고 있는 유지보수의 기준으로 삼고 있는 10% 불평형(45/55) 조건에서

추가적인 조사를 수행하여야 한다. 그림 204는 레일간의 불평형이 다른 조건하에서 허용 가능한 차량의 고조파전류를 시뮬레이션을 통해 계산한 결과이다.

표 110 허용 가능한 차량의 고조파 전류

| | Permissible Train Current | | | |
|---|---|---|---|---|
| Imbalance | Band A (A) | Band B (A) | Band C (A) | Band D (A) |
| 100% | 0.286 | 0.224 | 0.255 | 0.2015 |
| 70/30 | 0.717 | 0.561 | 0.637 | 0.499 |
| 60/40 | 1.449 | 1.131 | 1.283 | 1.004 |
| 55/45 | 2.912 | 2.27 | 2.576 | 2.013 |
| 50/50 = 0% | $>1x10^8$ | $>1x10^8$ | $>1x10^8$ | $>1x10^8$ |

복선을 기준으로 레일간 불평형이 45%, 55%의 조건에서 시뮬레이션 결과에 따르면, C-Type 궤도회로의 경우에 해당주파수 영역에서 단선인 경우에 2.58A를 허용가능하나 복선인 경우에는 약 16% 증가한 2.99A의 차량전류를 허용할 수 있다.

다만 한쪽 레일이 파괴되어 레일을 통해 궤도회로 주파수를 더 이상 전달할 수 없는 경우인 100%와 불평형이 전혀 없는 0%사이의 경우의 수를 감안하여 상대적으로 엄격한 기준이 적용되어야 하며, 이 경우 C-Type 궤도회로의 경우에 해당주파수 영역에서 단선인 경우 0.255A를 허용할 수 있다.

# 제3장 최종 연구성과 및 적용실적

# 제3장 최종 연구성과 및 적용실적

## 1절 최종 연구성과

### 1. TI21 AF궤도회로 성능기준

TI21 AF 궤도회로 성능기준은 10~100% 레일간의 불평형을 기준으로 운행선로의 임피던스 본드에서 측정하였을 때 아래의 기준을 적용할 수 있다. 다만 적용시기는 향후 KTX산천 스위칭주파수를 당초 9펄스에서 11 또는 13펄스로 변경하여 고조파저감대책이 검증된 이후 적용해야 할 것이다.

표 102 TI21 AF궤도회로 성능 기준

| 적용대상 | 주파수 | 기준치<br>(100%~10%) |
|---|---|---|
| KRS<br>SG 0038<br>궤도회로<br>(TI21)<br><br>160km/h<br>(저속선로) | A-Type(1699Hz)<br>Low:1680～1683Hz<br>High:1715～1718Hz | 286mA~2.9A |
| | B-Type(2296Hz)<br>Low:2277～2280Hz<br>High:2312～2315Hz | 224mA~2.27A |
| | C-Type(1996Hz)<br>Low:1977～1980Hz<br>High:2012～2015Hz | 255mA~2.57A |
| | D-Type(2593Hz)<br>Low:2574～2577Hz<br>High:2609～2612Hz | 202mA~2.03A |

### 2. KTX-산천의 노이즈 저감대책

2011년 하반기까지 TI-21 AF궤도회로에 영향을 주었던 차량의 1980Hz 33차 고조파는 9펄스 스위칭을 적용하는 경우 필연적으로 발생하는 고조파 전류이다. 차량의 고조파 전류를 줄이는 현실적인 적용방안은 스위칭 주파수의 변경으로 판단할 수 있으며, 냉각특성을 고려하여 스위칭주파수를 변경하기 9펄스 방식에서 11 또는 13펄스 방식으로 변경하여 적용하는 것을 고려할 수 있는 것으로 사료된다.

### 3. TI-21형 AF궤도회로의 노이즈 저감대책

현재 TI-21형 AF궤도회로에는 상하선별로 4종류(A,B,C,D)의 신호주파수를 사용하여 하선에는 A, B, 상선에는 C, D방식이 설치되어 있다. 현재 문제가 되는 주파수는 C형이고 향후 11 또는 13펄스로 KTX산천 차량이 개선될 경우에 D형이 다소 주파수간섭 발생이 우려되므로 확실히 간섭을 배제하기 위하여 기존에 사용하고 있는 주파수대역을 A,B,E,F로 개선토록하여 차량과 신호간 상호 전자파간섭에서 더욱 자유롭게 될 것으로 사료된

다. 향후 건설되는 새로운 노선 또는 선구별로 궤도회로장치가 개량되는 개소에는 새로운 신호주파수를 사용할 수 있도록 공단과 코레일 주관부서에 권고토록 할 것이다.

### 4. 결론

가. 차량의 고조파 전류에 대하여 신호장치가 오동작을 유발하지 않도록 근본적으로 개선하기 위해서는 차량의 노이즈가 60Hz 전원주파수의 홀수배에서만 발생하므로 지상신호장치가 전원주파수의 짝수배에 해당하는 주파수만을 지상신호장치의 사용주파수로 적용하는 기본원칙을 준수하여야 한다. 이를 위해서는 TI-21의 적용주파수를 A, B, C, D-Type이 아닌, A, B, E, F로 변경하는 방안을 장기적으로 고려할 수 있다.

나. 철도차량의 측면에서 현실적으로 적용 가능한 개선방안으로는 고조파 전류를 전체적으로 감소시키기 위하여 추진제어장치의 PWM 제어를 위한 스위칭주파수를 9펄스가 아닌 11 또는 13펄스 등으로 바꾸어 해당주파수 영역에서 노이즈가 발생하는 것을 감소시키는 것을 고려 할 수 있다.

다. 지상신호장치의 측면에서는 궤도회로의 내성을 강화하는 방안으로 레일의 불평형이 0인 경우에 사실상 무한대의 고조파전류를 허용할 수 있으므로 가능한 레일간의 평형을 유지하는 것이 중요하며, 장기적으로는 내노이즈성이 우수한 주파수코드분할방식으로 개선하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

## 2절 적용실적

본 연구개발은 어떤 특정 제품을 개발하는 것이 아니라 차량과 신호설비간 상호전자파간섭에 대한 상호양립성 기준을 제시하여 정량적으로 EMC성능시험평가를 수행토록 하여 객관적인 성능검증자료로 활용토록 할 것이며, 차량과 신호설비간 전자파간섭을 최소화할 수 있도록 고조파 저감대책 방안으로 제시된 개선과제에 대하여 향후 신규로 설계 제작되는 차량과 궤도회로에 대해 적용토록 할 것이다.

# 제4장 연구목표 달성 및 효과

# 제4장 연구목표 달성 및 효과

## 1절 연구개발 최종목표 달성도

### 1. 연구개발 수행 진도율

표 103 연구개발 수행 진도율

| 구분 / 개발내용 | | 연구개발기간 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 진도(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KTX산천 전자파 특성분석 | - 철도차량(KTX산천)용 EMI/EMC에 관한 국제규격 조사분석<br>- KTX-산천 고조파 특성분석 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 15 |
| AF궤도회로 전자파 특성분석 | - 철도신호(궤도회로)의 EMI/EMC에 관한 국제규격 조사분석<br>- AF궤도회로 송수신기 EMI/EMC 시험 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 15 |
| KTX-산천과 AF궤도회로 영향분석 | - KTX-산천 고조파의 AF궤도회로 간섭분석<br>- 전차선귀선전류가 신호시스템에 미치는 영향분석<br>- 전차선귀선전류에 의한 전자파노이즈 전파경로 분석<br>- 시뮬레이션 및 현장실증시험 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 20 |
| AF궤도회로 성능기준제시 | - 시뮬레이션 및 현장실증시험<br>- AF궤도회로 고조파간섭 시험절차서 제시<br>- AF궤도회로 고조파간섭 이동경로 분석방안 제시 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 25 |
| KTX-산천 성능기준제시 | - 시뮬레이션 검증 종합시험 (9펄스,11펄스,13펄스간의 비교시험)<br>- KTX산천 고조파 저감대책 제안<br>- KTX산천 고조파간섭 성능평가절차서 제시(전자파간섭 성능평가절차서 작성) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 25 |
| 총 진도율 | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 90 | 100 | 100 |

당초계획
실 적

## 2. 연구개발 목표달성도

표 104 연구개발 목표 달성도

| 목 표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|
| KTX산천 전자파 특성분석 | 100 | (1)철도차량(KTX산천)용 EMI/EMC 국제규격 조사<br>(2)KTX-산천 전자파/고조파 특성분석(시뮬레이션)<br>(3)KTX-산천 전자파/고조파 특성분석(실측) |
| AF궤도회로 전자파 특성분석 | 100 | (1)철도신호(궤도회로)의 EMI/EMC에 관한 국제규격 조사분석<br>(2)AF궤도회로 송수신기 EMI/EMC 시험 |
| KTX-산천과 AF궤도회로 영향분석 | 100 | (1)KTX-산천 고조파의 AF궤도회로 간섭분석<br>(2)전차선 귀선전류가 신호시스템에 미치는 영향분석<br>(3)전차선귀선전류에 의한 전자파 노이즈 전파경로 분석<br>(4)시뮬레이션 및 현장실증시험 |
| AF궤도회로 성능기준제시 | 100 | (1) 시뮬레이션 및 현장실증시험<br>(2) AF궤도회로 고조파간섭 시험절차서 제시<br>(3) AF궤도회로 고조파간섭 이동경로 분석방안 제시 |
| KTX-산천 성능기준제시 | 100 | (1) 시뮬레이션 검증 종합시험<br>(9펄스,11펄스,13펄스간의 비교시험)<br>(2) KTX산천 고조파 저감대책 제안<br>(3) KTX산천 고조파간섭 성능평가절차서 제시<br>(전자파간섭 성능평가절차서 작성) |

## 3. 연구성과

표 105 논문개제 성과

| 게재 연도 | 논문명 | 저 자 | | | 학술지명 | Vol.(No.) | 국내외 구분 | SCI구분 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 주저자 | 교신 저자 | 공동저자 | | | | |
| 2014 | KTX산천과 TI21 AF궤도회로간 귀선전류 고조파 영향분석 | 최재식 | 최재식 | 김희식 | 한국철도학회 | 논문투고 (14.5.27), 논문심사중 | 국내 | |

표 106 학술대회 발표 성과

| 발표일 | 발표명 | 저자 | 학술대회명 | 국내외 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2013.05.23 | KTX산천운행시 발생되는 전자파노이즈에 대한 AF궤도회로(TI-21) 신뢰성 확보방안 기술연구 | 최재식 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2013.11.08 | 철도차량과 지상신호장치와의 간섭문제에 관한 연구 | 공명상 | 한국철도학회 추계학술대회 | 국내 |
| 2014.05.15 | KTX산천 운행에 따른 전철변전소 고조파 분석 | 김형복 | 한국조명전기설비학회 춘계학술대회 | 국내 |
| 2014.05.22 | KTX산천과 TI21무절연AF궤도회로간 귀선전류고조파 이동경로 분석연구 | 최재식 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 국내 |

## 2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

○ KTX산천 고속차량에서 발생되는 노이즈성분이 AF궤도회로의 부정동작을 일으키는 주요 원인에 대한 현장계측을 통하여 분석한 결과 차량에서 발생되는 전자파가 직접적으로 레일에 유도되는 것이 아니라 귀선전류에 고조파가 포함되어 레일에 전달된다는 것을 도출하였으며 또한 전달매개체가 정상적인 운행선로상의 임피던스본드를 통하여 반대편 선로의 임피던스본드를 통하여 해당 궤도회로의 수신기에 영향을 준다는 사실을 밝혀냈다. 이 같은 사실은 앞으로 차량과 신호설비간 전자파간섭에 대한 상호적합성을 위하여 공동으로 대응해야 할 것으로 판단된다.

○ KTX산천차량과 TI21 AF궤도회로간 상호전자파간섭에 대한 정량적인 성능시험평가 기준이 없어 객관적인 성능검증을 할 수 없었으나 이번 연구개발을 통하여 취득한 전자파간섭 기준을 적용하여 보다 신뢰성 있고 객관적인 성능입증자료로 활용할 수 있게 되었다. 따라서 향후 도입되는 KTX산천 차량에 대하여 AF궤도회로간 전자파간섭 상호운용시험을 할 경우 해당하는 레일전류 제한치를 기준으로 성능시험을 하게 될 것이다.

○ 또한 현재 TI21 AF궤도회로의 신호주파수로 사용하고 있는 주파수대역을 KTX산천 차량에서 발생하고 있는 노이즈성분의 고조파대역을 고려하여 최소한의 간섭을 허용할 수 있도록 기존 A, B, C, D 타입에서 차량과의 고조파간섭 문제가 있는 C, D 타입을 E, F 타입으로 개선토록 할 것이다. 현재 기존 궤도회로 규격에도 전체 8종류의 주파수를 사용할 수 있게 되어있으므로 별도의 규격개정을 할 필요가 없다. 다만 기존에 설치된 시스템을 교체하는 것은 유지보수와 경제적 측면에서 효과가 없으므로 향후 새롭게 건설되는 신규노선 또는 선구 전체를 개량하는 장소에 전체 궤도회로를 기존 A, B, C, D 타입에서 A, B, E, F 타입으로 개량할 경우 거의 초과비용없이 매우 큰 효과를 얻을 것으로 판단된다. 따라서 신규노선 건설을 담당하고 있는 철도시설공단에 본 보고서 결과를 공유하여 향후 건설되는 신규노선에 적용될 수 있도록 권고협조가 필요하다.

○ KTX산천 주전력변환장치의 컨버터를 제어할 때 AF궤도회로에 영향을 주는 노이즈성분이 많이 발생하고 있다. 따라서 컨버터제어시 스위칭주파수를 기존의 9펄스에서 11 또는 13펄스방식으로 개선할 경우 노이즈성분인 고조파전류가 감소되어 궤도회로 주파수와의 간섭을 피할 수 있게 된다. 따라서 향후 신규로 설계 제작되는 KTX산천은 스위칭주파수방식을 개선토록 할 것이다.

## 3절 연구개발 성과의 사회·경제적 효과분석

○ 본 연구를 통해 KTX산천 고속차량과 TI21 AF궤도회로와의 전자파상호간섭에 대한 중요한 팩터에 대하여 분석하는 계기가 되었으며 향후 우리가 어떻게 해야되는지도 다시 한번 고민하는 연구과제가 되었다. 원인을 하나둘씩 찾아가면서 기술적인 노하우가 쌓이고 또한 우리가 알지못했던 분야에 대하여 더한층 세부적인 전자파기술에 대하여 아는 계기가 되었으며 사회적으로 전자파간섭이 어느 한 분야만 해결해야 하는 과제가 아니라 차량과 인프라가 함께 고민해서 풀어가야할 과제라는 것을 알게 되었다.

○ 철도는 차량, 전기, 시설, 운전, 영업 등 종합적인 시스템으로 구성되어있다. 이러한 시스템이 함께 공존하기 위해서는 종합적인 시스템을 하나의 덩어리로 합체할 수 있는 인터페이스기술이 발전해야 된다.

○ 지금까지는 개별적으로 차량과 인프라 구축에서 국내기술이 개별적으로 첨단기술을 활용하여 선진국 반열에 올라왔다고 하지만 이 연구과제에서 나온 결과와 같이 어느 한쪽의 기술이 우수하다고 전체적인 시스템이 뛰어나다고는 말할수 없다. 차량과 신호설비간 상호 전자파간섭에 대한 적합성과 운용성이 맞아야 안전한 시스템이라고 사료된다.

○ 금번 연구과제를 통하여 차량과 신호간 공동연구를 통하여 함께 공존할 수 있는 계기가 되었다는 것이 가장 큰 수확이라고 할 것이다. 차량분야에서는 스위칭주파수를 변경시켜 노이즈성분인 고조파전류를 최소화하도록 하였으며 신호분야에서는 차량주파수와 중복을 피할 수 있는 신호주파수대를 사용하도록 권고하므로써 차량과 신호 상호간에 전자파에 대한 간섭대책에 대하여 함께 고민하는 연구가 되었다.

○ 금번 연구과제에서 처럼 차량과 신호간 전자파에 대한 문제점을 공유하고 이에 대한 인터페이스 기술을 함께 고민하고 해결책을 모색한다면 향후 제작되는 차량 및 신호설비가 더욱 완벽하고 안전한 시스템으로 거듭나기 때문에 국내 철도기술의 위상이 제고될것이며, 고속차량이 국내뿐아니라 해외에도 수출할 경우 경제적으로 우리나라에 많은 도움이 될것이지만 인프라부분도 같이 수출하게 된다면 더욱더 시너지 효과를 얻게 될것이다.

# 제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

# 제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

## 1절 연구성과 향후 활용방안

○ 본 연구를 통하여 KTX산천과 TI21형 AF궤도회로간 전자파간섭에 대한 상호적합성 시험에 필요한 시험절차 및 정량적인 기준값을 제시하였다. 향후 신규노선 건설 및 차량 도입시 성능시험 절차 및 기준값을 근거로 성능평가를 하게 될 것이다.

○ KTX산천에 대한 고조파저감대책으로 이 연구과제에서 KTX산천 주전력변환장치 스위칭주파수에 대한 시뮬레이션 결과를 토대로 향후 제작되는 고속차량에는 스위칭주파수를 기존 9펄스방식에서 11펄스 또는 13펄스 방식으로 개선토록 할 것이며 시기는  현차 실측시험을 통해 성공할 경우 원주~강릉간 투입될 예정인 KTX산천 고속차량에 노이즈성분인 고조파전류를 최소화하도록 설계될 것이다.

○ TI21 AF궤도회로장치의 고조파저감대책으로 향후 신규노선 건설 또는 기존선구 궤도회로장치 개량시 KTX산천에서 발생되는 고조파전류에 대한 전자파간섭이 최소화되는 신호주파수대역으로 변경토록 할 것이다.

## 2절 추가연구 필요성

○ 본 연구를 통해 취득한 TI21 AF궤도회로의 레일전류 제한값 취득을 위한 시뮬레이션은 해외 기술자문을 통하여 영국에서 만든 프로그램을 가지고 시뮬레이션을 수행하였다. 따라서 향후 본 과제에서 얻은 결과물을 바탕으로 국내에서 TI21 AF궤도회로에 대한 독자적인 시뮬레이션 툴을 개발하여 제품에 대한 성능을 검증토록 해야될 것이며

○ KTX산천에 대한 스위칭주파수 변경에 대해서는 본 연구개발에서 시행한 시뮬레이션 결과값을 가지고 향후 실제 현차에 적용하여 시운전한 결과와 함께 비교분석을 통하여 시뮬레이션에 대한 검증절차가 반드시 필요하며 그 이후에 모든 KTX차량에 확대 적용해야 할 것이다.

○ 또한 이번 연구과제는 KTX산천과 TI21 AF궤도회로에 대한 전자파상호간섭에 대해서만 연구하였지만 최근 KTX산천 고속차량처럼 차량이 고속화되면서 차량의 속도를 제어하는 장치가 전자화, 고도화되면서 부득이하게 예전 시스템보다 노이즈성분인 고조파전류를 많이 배출하는 스위칭방법을 쓰고있는 것은 현실적으로 막지는 못하고 있다. 따라서 차량이 고속화되고 전자화되면서 TI21궤도회로뿐만 아니라 선로변에 있는 다른 신호설비에도 많은 전자파 영향을 초래할 것으로 예상되므로 열차자동정지장치, 열차자동방호장치, 건널목경보장치, 차축카운터 등 선로변에 설치된 많은 신호설비에 대해 외부 전자파간섭으로부터 자기가 가지고 있는 내성에 대해 기준값을 제시하도록 각각의 시험방법 및 기준값 설정에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

# 참 고 문 헌

# [참고 문헌]


1. 김진철외 8명, (2013), KTX산천 전자파간섭 현장계측 및 설비기준 마련 연구용역, 에이알텍.
2. 김백, (2013), KTX산천 전자파간섭 해소기술에 대한 자문보고서, 한국교통대학교.
3. Dr. Mike Ramsbottom, (2014), TI21 AF궤도회로 레일전류 한계치 시뮬레이션, 레일네트워크
4. 최재식외 4명, (2013), KTX산천운행시 발생되는 전자파노이즈에 대한 AF궤도회로(TI21) 신뢰성 확보방안 기술연구, 한국철도학회 춘계학술대회논문집
5. Tae-hoon Lee, See-bin Lee, Hyun-pro Hong, Hee-soon Lee, Ki-bum Park(2011) "A review of the train position detection method for neutral section with energized condition", Proceedings of the Korean Society for Railway Conference, pp1100-1105
6. Yong-kyu Kim, Jong-hyun Baek, Chang-keun Ryu(2004), "A Study on the track circuit characteristic in electrified classical line", Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers Conference, 2004.7.14~16
7. Yung-tae Kim, "철도신호제어시스템", 개정4판, 테크노미디어, 2006
8. Jae-young Park, 홍원식, 전병록, 철도신호공학", 개정2판, 2007
9. KOERAN RAILWAY STANDARDS (2006), "Non-insulated Audio Frequency Track Circuit", KRS SG 0038-09(R)
10. HYUKSHIN(2003), TI21 Track circuit Technical Manual(M6/5/21-4/118931),
11. KOREA RAILROAD 신호제어처(2011), "경부, 호남선 KTX산천운행구간 AF궤도회로 안정화를 위한 개선대책(안) 보고서
12. Yong-kyu Kim(2001), 기존선의 TI21 AF궤도회로 고조파 특성 검토보고서, Korea Railroad Research Institute
13. 공명상외 1명, (2013), 철도차량과 지상신호장치와의 간섭문제에 관한 연구, 한국철도학회 추계학술대회논문집
14. 철도기술심의위원회 (2006) 한국철도표준규격 KRS SG 0038 - 09 (R) 무절연가청주파수(AF)궤도회로 Non-insulated Audio Frequency Track Circuit.
15. CENELEC TC 9X (2007) TechnicalReport CLC/TR 50507 Railway applications - Interference Limits of existing track circuit used on European Railways.
16. 김형복외 3명, (2014), KTX산천 운행에 따른 전철변전소 고조파분석, 한국조명.전기설비학회 춘계학술대회논문집
17. 한국전력공사 “기본공급약관시행세칙 (2013년 11월 21일 시행”, 제26조 3항의 2

18. IEC 61000-3-6 “Electromagnetic Compatibility(EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EV power systems.”

19. IEC 61000-4-7 “Electromagnetic Compatibility(EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto”

20 Jae-Sik Choi, See-Bin Lee, Bum-gon Kim, Tea-Hoon Lee, Joon-Young Ko(2013) "A Study onReliability Insurance Plan of AF Track Circuit(TI-21) about KTX-Sancheonancheon Electromagnetic Interference ", Korean Society for Railway

21. 전기자기적합성(EMC)-제4-2부:시험 및 측정기술-정전기 방전내성시험(KSC IEC 61000-4-2:2010)

22. 전기자기적합성(EMC)-제4-3부:시험 치 측정기술-방사 무선주파수 전기자기장 내성시험(KSC IEC 61000-4-3:2013)

23. 전기자기적합성(EMC)-제4-4부:시험 치 측정기술-전기적 빠른 과도현상/버스트 내성시험(KSC IEC 61000-4-4:2013)

24. 철도용 전기자기 적합성-제1부 : 일반사항(KSC IEC 62236-1:2006)

25. 철도용 전기자기 적합성-제2부 : 전체 철도시스템에서 외부로 나가는 방출(KSC IEC 62236-2:2006)

26. 철도용 전기자기 적합성-제3-1부 : 철도차량-열차 및 공차(KSC IEC 62236-3-1:2006)

27. 철도용 전기자기 적합성-제3-2부 : 철도차량-장치(KSC IEC 62236-3-2:2006)

28. 철도용 전기자기 적합성-제4부 : 신호처리 및 통신장치의 방출 및 내성(KSC IEC 62236-4:2006)

29. 철도용 전기자기 적합성-제5부 : 고정전력 공급설비와 장치의 방출 및 내성(KSC IEC 62236-5:2006)

30. railway applications-Electromagnetic compatibility Part1:General (CENELEC EN50121-1), IEC62236-1

31. railway applications-Electromagnetic compatibility Part2:Emission of the railway system to the outside world (CENELEC EN50121-2), IEC62236-2

32. railway applications-Electromagnetic compatibility Part3-1:Rolling stock-Train complete vehicle(IEC 62236-3-1)

33. railway applications-Electromagnetic compatibility Part3-2:Rolling stock-Apparatus(CENELEC EN50121-3-2), IEC62236-3-2

34. railway applications-Electromagnetic compatibility Part4:Emission and immunity of the

signalling and telecommunications apparatus(CENELEC EN50121-4), IEC62236-4

35. railway applications-Electromagnetic compatibility Part5:Emission and immunity of fixed supply installations and apparatus(CENELEC EN50121-5), IEC62236-5

36. railway applications-Compatibility between rolling stock and train detection systems part2 : Compatibility with track circuits(CENELEC EN50238-2)

37. 상시자문검토결과보고서_한국철도기술연구원(2001)

38. “AF궤도회로 유도장애” 제3자 검토보고서_한국철도기술연구원 백종현(2012)

39. 김용규외1명(2002), 2*25kV 급전방식에서의 공동접지망 적용에 따른 귀선전류의 영향, 대한전기학회논문집 51B권 9호

40. 백종현외4명(2013), ITX차량 운행에 의한 AF무절연궤도회로의 귀선전류 영향분석,대한전기학회논문집 Vol.62. No.4, pp.584-590

41. 김용규외 1명(2010), 경부선 전철화 구간에서의 공동접지에 의한 귀선전류 분석, 한국산학기술학회논문지 Vol.11, No. 12 pp.4968-4974

42. 이동수외 2명, 고속철도차량의 고조파 영향분석 및 저감대책에 관한 연구

43. 백종현(2012), 전기철도시스템에서 궤도회로 측면의 귀선전류 고조파분석, 대한전기학회 Vol.61, No 5, pp.698-704

44. 지정근외 1명(2010), 무절연 가청주파수 궤도회로의 이상현상에 관한 연구, 한국철도학회 춘계학술대회논문집

# [부 록]

# [목 록]

1. 자체평가 의견서
2. 연구개발활용계획서
3. 성과총람원고
4. 성과점검기준표
   - 성과점검기준표(2차년도)
   - 논문발표
   - 논문게재
5. 해외입수자료
6. 시험성적서
   - TI-21 궤도회로 EMI시험성적서
   - RFI 성적서

# 1. 자체평가의견서

[별첨]

# 자체평가 의견서

1. 과제현황

| 과제코드 | 12PRTD-C064009-01 |
|---|---|

| 사 업 명 | 미래철도기술개발사업 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 과 제 명 | KTX-산천 전자파 간섭 해소 기술 개발 | | | | | |
| 연 구 기 관 | 한국철도공사 | | 연 구 책 임 자 | | 최 재 식 | |
| 연 구 기 간<br>연 구 비<br>(천원) | 연 차 | 기 간 | 정 부<br>출 연 금 | 기 업<br>부 담 금 | 정 부 외<br>출 연 금 | 계 |
| | 1차연도 | '12.10.26<br>~'13.7.25 | 100,000 | 100,000 | 0 | 200,000 |
| | 2차연도 | '13.7.26<br>~'14.4.25 | 100,000 | 100,000 | 0 | 200,000 |
| | 계 | '12.10.26<br>~'14.4.25 | 200,000 | 200,000 | 0 | 400,000 |
| 참 여 기 업 | 현대로템 | | | | | |
| 상 대 국 | | 상대국 연구기관 | | | | |

2. 작 성 일 : 2014. 06. 30

3. 연구책임자

| 소 속 | 직 위 | 성 명 |
|---|---|---|
| 한국철도공사 연구원 | 차장 | 최 재 식 |

4. 연구책임자 확인

본인은 평가대상 과제의 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 이 자료가 전문가 및 전문기관 평가시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다

| 확 약 | 최 재 식 (인) |
|---|---|

Ⅰ. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성 및 창의성

ㅇ KTX산천 전자파간섭시험 평가기준 제시
- 전력변환장치에서 고조파성분을 측정해 지상신호설비와의 적합성 확인
- 레일 환경 변수를 적용한 시뮬레이션 및 현장시험 결과를 바탕으로 기준 값 입증
- AF궤도회로 고조파간섭 이동경로 분석방안 제시
- AF궤도회로 고조파간섭 시험절차서 제시
- 연구를 통해 취득한 전자파 간섭 기준을 적용해, 보다 신뢰성 있는 자료로 활용 가능

ㅇ KTX산천 고조파 저감 대책 제안
- KTX-산천 귀선전류고조파 이동경로 검증
- KTX-산천용 EMI/EMC에 관한 국제 규격 분석 및 적용
- KTX-산천 전자파/고조파 특성분석
- 당초 9펄스방식에서 11펄스 또는 13펄스 방식으로 변경해 신규차량 제작 시 적용
- 11펄스 또는 13펄스로 개선할 경우, 노이즈 성분이 감소돼 궤도회로 주파수 간섭을 피할 수 있음

ㅇ TI-21 AF궤도회로 고조파 저감 대책 제안
- TI-21형 AF궤도회로의 신호 주파수 측정 시험을 통해 간섭 주파수 확인
- C형, D형 주파수의 주파수 간섭을 배제 하기 위해 A, B, E, F로 개선

2. 연구개발결과의 파급효과

ㅇ 고조파 간섭 문제가 있는 C, D 타입을 E, F 타입으로 개선하므로서 별도의 규격을 개정할 필요가 없어 매우 큰 효과를 얻을 수 있음
ㅇ 9펄스에서 11펄스 또는 13펄스 방식으로 개선 할 경우, 노이즈 성분이 감소되어 궤도회로 주파수와의 간섭을 피할 수 있음
ㅇ 향후 신규로 설계 제작되는 차량 및 궤도회로에 대해 적용 가능

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

ㅇ 전자파 간섭에 대한 상호 적합성 시험에 필요한 시험 절차 및 기준 값 제시
ㅇ KTX산천에 발생되는 고조파 전류에 대한 전자파 간섭이 최소화 되는 신호 주파수대역으로 변경토록 함
ㅇ 기존에 9펄스 방식에서 11펄스 또는 13펄스 방식으로 개선토록 하여 원주~강릉간 투입 될 예정인 KTX산천 고속차량에 노이즈 성분인 고조파전류를 최소화 하도록 설계 될 것임

4. 연구개발 수행노력의 성실도

ㅇ 정확한 기준을 제시하기 위해 다양한 분석 실시
- EMI/EMC 국제규격 분석, KTX-산천용 EMI/EMC에 관한 국제규격 조사 분석, AF궤도회로 고조파간섭 분석, 전자파 귀선전류가 신호시스템에 미치는 영향 분석, 전자파 귀선전류가 신호시스템에 미치는 영향 분석

5. 공개발표된 연구개발성과(논문·지적재산권·발표회 개최 등)

ㅇ 국내논문발표: 4건
ㅇ 국내논문게재: 1건
ㅇ 특허출원 및 등록 : 출원 0건, 등록 0건

II. 연구목표 달성도

| 번호 | 세 부 연 구 목 표 | 달 성 내 용 | 달성도(%) |
|---|---|---|---|
| 1 | oKTX-산천에 발생하는 고조파의 영향을 최소화 하는 궤도회로 주파수 검토<br><br>oKTX-산천 전자파/고조파 특성 분석 | ◦ 컨버터 제어 방법으로 수행<br>◦ 컨버터 입력 측 고조파 전류 분석<br>◦ 컨버터 스택 열용량 분석<br>◦ 변압기 손실 분석<br>◦ AF궤도회로 송수신 EMI/EMC 시험<br>◦ 가상 궤도회로 공장 시험 실시<br>◦ 임피던스본드 주파수별 출력전압 시험 | 100 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | oAF궤도회로 전자파 특성 분석<br><br>oKTX-산천과 AF궤도회로 영향 분석 | ◦ KTX-산천 차량의 고조파 전류 측정<br>◦ 고조파 전류 주파수 스펙트럼 검토<br>◦ KTX-산천과 KTX차량 고조파 비교<br>◦ AF궤도회로 설계 수신레벨 검토<br>◦ AF궤도회로 고조파간섭 이동경로 분석방안 제시<br>◦ AF궤도회로 고조파간섭 시험절차서 제시 | |
| 2 | o차량과 신호간 전자파 간섭 시험에 필요한 기준 값을 제시<br><br>o철도차량(KTX-산천)용 EMI/EMC에 관한 국제 규격 조사 분석<br><br>o인터페이스 및 안전성과 운행과 시험에 필요한 사항 검토 | ◦ 고속열차 운행 구간에 설치된 AF 궤도회로인 UM71, TI-21과 관련된 주파수 및 내용 조사<br>◦ 유럽의 주파수 검토<br>◦ EMC 거동에 영향을 미치는 철도 시스템의 특성 검증<br>◦ 물리적, 전자적인 부분을 고려해, 특정 경로에 대한 간섭을 허용하는 레벨 지정<br>◦ 실증시험 대상구간 협의 및 절차, 관련규정 검토<br>◦ 안전운행방안 수립<br>◦ 운행시 측정에 방해되는 요소 검토<br>◦ 분야별 요구사양 분석 및 수정 보완확정<br>◦ 궤도회로의 일반적인 주파수와 작동 주파수 확인 | 100 |
| 3 | oKTX-산천 성능 기준 제시<br><br>oKTX-산천 고조파 저감대책 제안<br><br>oKTX-산천 전자파 간섭 성 | ◦ 시뮬레이션 검증 종합 시험 실시<br>◦ KTX산천 차량에서 발생하는 노이즈 주요성분인 스위칭 주파수를 당초 9펄스에서 11 또는 13펄스 방식으로 개선하여 고조파 전류를 최소화 | 100 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 능평가절차서 제시 | ◦ 열차운행 관련 시험평가절차서 작성<br>◦ 지상신호설비와의 적합성 확인<br>◦ TI21을 위한 사용 주파수 확인<br>◦ 상선과 하선의 횡단접속선의 임피던스를 작게 해 복선 구현<br>◦ 상선과 하선의 횡단접속선의 임피던스를 크게 하여 단선을 구현<br>◦ TI21 궤도회로의 다양한 불평형 조건 조사 | |

Ⅲ. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

본 연구는 2차년 과제의 마지막 단계로써,

- 향후 전자파 간섭에 대한 상호 적합성 시험에 필요한 시험 절차 및 정량적인 기준 값을 제시 하였으며,
- KTX산천 고조파 저감대책으로 기존 스위칭주파수를 당초 9펄스에서 11 또는 13펄스로 개선하여 AF궤도회로 주파수와의 간섭을 피할 수 있도록 조합시험을 통하여 입증하였으며,
-기존 AF궤도회로에서 문제가 되었던 주파수 범위를 당초 C형에서 E형으로 변경 토록 하므로서 KTX산천과의 주파수간섭 문제를 해결토록 하였다.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

본 연구개발 결과물은 크게 두가지로 KTX산천 전자파간섭시험 평가기준 제시 및 KTX산천과 AF궤도회로의 고조파 저감대책을 제시한 것임. 이중에서 특히 주안점을 가지고 평가할 부문은 향후 신규로 제작되는 고속차량과 AF궤도회로에 적용할 수 있는 전자파간섭 해소기술분야임.

3. 연구개발결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

본 연구개발에서 도출한 결과물 즉 전자파간섭시험 평가기준과 KTX산천 및 AF궤도회로 고조파 저감대책에 대해 곧바로 KTX산천차량 및 AF궤도회로에 적용하기 위해서는 향후 현차시험 및 현장시험을 추가로 수행하여 완벽한 검증이 완료된 이후 적용토록 해야 하므로 연구개발 결과의 활용시기에 대해 충분히 고려되어야 한다.

## Ⅳ. 보안성 검토

### 1. 연구책임자의 의견

ㅇ 연구개발규정에 의거하여 연구용역을 함에 있어 코레일 내부적으로 보안성을 충분히 검토하여 자료조사와 현장계측 업무가 추진되었음.

### 2. 연구기관 자체의 검토결과

ㅇ 연구개발 규정에 의거하여 적법하게 수행하였음.

# 2. 연구개발결과 활용계획서

# 연구개발결과 활용계획서(보고서)

<table>
<tr><td>사 업 명</td><td colspan="2">미래철도기술개발사업</td><td>과 제 번 호</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>과 제 유 형</td><td colspan="2">■기초 □응용 □개발</td><td>실용화대상여부</td><td colspan="2">■실용화 □비실용화</td></tr>
<tr><td>연 구 과 제 명</td><td colspan="3">KTX-산천 전자파간섭 해소기술 개발</td><td>과제구분</td><td>■일반 □연구단 □사업단</td></tr>
<tr><td>세 부 과 제 명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>주 관 연 구 기 관</td><td colspan="3">한국철도공사</td><td>연구책임자</td><td>최 재 식</td></tr>
<tr><td>총 연 구 기 간</td><td colspan="5">2012년 10 월 26일 ~ 2014년 4월 25일 (1년 6개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">총 연구개발비<br>(단위 : 천원)</td><td>정부출연금</td><td>민간부담금</td><td>정부외 출연금</td><td colspan="2">합계</td></tr>
<tr><td>100,000</td><td>100,000</td><td></td><td colspan="2">200,000</td></tr>
<tr><td>협 동 연 구 기 관</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>참 여 기 업</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>구 분</td><td colspan="2">성과활용책임자</td><td colspan="3">성과활용실무자</td></tr>
<tr><td>성 명</td><td colspan="2">최 재 식</td><td colspan="3">최 재 식</td></tr>
<tr><td>소속기관/부서</td><td colspan="2">한국철도공사/연구원</td><td colspan="3">한국철도공사/연구원</td></tr>
<tr><td>E-mail</td><td colspan="2">kshrman@korail.com</td><td colspan="3">kshrman@korail.com</td></tr>
<tr><td>연락처</td><td colspan="2">042-615-4710</td><td colspan="3">042-615-4710</td></tr>
</table>

국토해양부소관 연구개발사업 운영규정 제35조(연구개발결과의 보고) 제2항에 의거 연구개발결과 활용계획서를 제출합니다.

붙임 : 성과총람 원고 1부.

2014 년 4 월 25 일

주관연구기관장 : 최 연 혜 (직인)

## 1. 연구개발 개요

| | |
|---|---|
| 연구개발<br>최종목표 | ◦ 향후 제작 차량에 대해서는 냉각성능이 충분한 경우에 한하여 펄스수의 변경 등을 통한 노이즈 저감을 기대할 수 있음.<br>◦ KTX-산천 차량이 기존에 사용하고 있는 주파수대역을 A,B,E,F로 개선토록 하여 차량과 신호 간 상호 전자파간섭에서 더욱 자유롭게 될 것임.<br>◦ 고조파 저감 대책 방안으로 제시된 개선과제에 대하여 향후 신규로 설계 제작되는 차량과 궤도회로에 대해 적용토록 할 것. |
| 연구개발<br>개요 | ◦ 철도차량의 운행에 있어서 궤도회로는 차량위치검지를 통한 신호기제어, 선로전환기제어, 차량의 간격 조정, 차량 접근 예고를 통한 충돌사고 예방 등 안전운행을 위한 필수적인 시스템이다. 따라서 철도차량과 궤도회로의 전자파적합성의 확인은 철도 차량의 운행에 있어 필수적임.<br>◦ 2010년 경부고속2단계 개통 당시 국내 기술로 제작한 KTX산천차량이 투입되어 고속선과 일반 선을 운행하고 있었으나 일반선 운행구간에서 반대편 운행구간의 궤도회로가 부정 동작되는 사례가 발생. 고장 원인은 KTX 산천에서 발생되는 전자파와 궤도회로에 사용하고 있는 신호주파수가 중첩되어 궤도회로가 오작동 했기 때문.<br>◦ 이에 본 연구개발 과제는 KTX산천차량과 궤도회로에서 사용하는 신호주파수에 대해 상호간 최소한 허용할 수 있는 전류제한 권고치를 제시하고, 향후 제작되는 KTX고속차량에 대해 궤도회로주파수의 영향을 최소화 할 수 있는 고조파 저감대책을 제시토록 하여 차량과 시설 인프라간 상호 효율적이고 안정적인 운영을 도모하기 위함. |

## 2. 연구개발 결과물

### 2-1. 연구개발 결과(핵심기술 개발 내용)

| 기술명 | KTX-산천 전자파간섭 해소기술 개발 |
|---|---|
| 기술개요 | ◦ 현재 TI-21형 AF궤도회로에는 상하선별로 4종류(A, B, C, D)의 신호주파수를 사용하여 하선에는 A, B 상선에는 C, D 방식이 설치 돼 있음. 현재 문제가 되는 주파수는 C형이고 향후 13펄스로 차량이 개선될 경우, D형이 다소 주파수 간섭 발생이 우려 되므로 확실히 간섭을 배제하기 위해 기존에 사용하고 있는 주파수 대역 A, B, E, F로 개선토록 하여 상호 전자파 간섭에 더욱 자유로워 질 것으로 사료됨.<br>◦ 향 후 건설되는 새로운 노선 또는 선구별로 궤도회로장치가 개량되는 개소에는 새로운 신호주파수를 사용할 수 있도록 공단과 코레일 주관부서에 권고토록 할 것.<br>◦ KTX-산천의 고조파 중, TI-21 AF궤도회로의 사용주파수 대역의 시간 분석 |

| | |
|---|---|
| | 을 실시 하였고, 그 결과 C-type Low frequency 대역(1979Hz)외에는 차량의 고조파 전류가 매우 낮게 나타난 것을 확인. 또한 차량의 운행조건에 따라 고조파가 변동하는 것을 확인함. 따라서 33차 고조파는 IGBT, 9펄스의 추진 제어 방식을 사용하는 KTX-산천에서 필연적으로 발생되는 고조파임. 따라서 냉각 특성을 고려하여 스위칭주파수를 변경하기 위한 9펄스 방식에서 13펄스 방식으로 변경해 적용하는 것을 고려 할 수 있음. |
| 기술 실용화단계 | ■실용화 진행 □실용화 완료 □실용화 보류 □실용화 중단 □비대상<br>[세부내용]<br>KTX산천 주 전력변환장치 스위칭 주파수에 대한 시뮬레이션 결과를 토대로 향후 제작되는 고속차량에는 스위칭주파수를 기존 9펄스방식에서 11펄스 또는 13펄스 방식으로 개선토록 할 것이며, 현장실측시험을 통해 성공할 경우 원주~강릉간 투입될 예정인 KTX산천 고속차량에 노이즈성분인 고조파전류를 최소화하도록 설계될 것임. |
| 기술 수명주기 | ■기술개념 정립기 □기술 실험기 □기술적용 시작기 □기술적용 성장기 □기술적용 성숙기 □기술적용 쇠퇴기 |
| 관련 연구개발 성과 (지재권 등) | 국내 등재지 논문게재 1건<br>- KTX산천 운행에 따른 전철변전소 고조파 분석, 전기조명학회<br>국내 학술대회 논문발표 4건<br>- KTX산천 운행 시 발생되는 전자파 노이즈에 대한 AF궤도회로(TI-21) 신뢰성 확보방안 기술 연구, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집 (2013.05.23)<br>- 철도차량과 지상신호장치의 간섭 문제에 관한 연구, 한국철도학회 추계학술대회(2013.11.08.)<br>- KTX산천 운행에 따른 전철변전소 고조파 분석, 한국조명전기설비학회(2014.05.15.)<br>- KTX산천과 TI21무절연AF궤도회로간 귀선전류고조파 이동경로 분석연구, 한국철도학회 추계학술대회(2014.05.22.) |
| 기대효과 | 향후 제작 차량에 대해서는 냉각성능이 충분한 경우에 한하여 펄스수의 변경 등을 통한 노이즈 저감을 기대할 수 있음.<br>KTX-산천 차량이 기존에 사용하고 있는 주파수대역을 A,B,E,F로 개선토록 하여 차량과 신호 간 상호 전자파간섭에서 더욱 자유롭게 될 것임.<br>고조파 저감 대책 방안으로 제시된 개선과제에 대하여 향후 신규로 설계 제작되는 차량과 궤도회로에 대해 적용토록 할 것. |

## 2-2. 연구개발 성과

| 구 분 | | | 실적(건) |
|---|---|---|---|
| 공공적 성과 | 법 제정 및 개선 | | |
| | 설계기준, 시방서, 지침에 제안 | | |
| | 설계기준, 시방서, 지침에 반영 | | |
| | 정책제안 | | |
| | 정책채택 | | |
| 기술적 성과 | 특허 | 출원 | |
| | | 등록 | |
| | 실용신안 | 출원 | |
| | | 등록 | |
| | 디자인 | 출원 | |
| | | 등록 | |
| | 소프트웨어(S/W) | | |
| | 기타 성과(상표, 서비스 등) | | |
| | 신기술 지정 | | |
| 학술적 성과 | 국내외 학술지 게재 | 일반학술지 | 2 |
| | | SCI(E)학술지 | |
| | 국내외 학술회의 발표 | | 1 |
| 경제적 성과 | 기술실시계약 | | |
| | 사업화/제품화 | | |
| | 현장적용에 의한 비용절감 | | |

## 3. 주요 연구개발 성과 활용계획

| 구 분 | 활용목표 | 활용계획 |
|---|---|---|
| 공공적 성과 | 전자파간섭 기준을 적용한 성능입증 자료로 활용 | KTX산천차량과 TI21 AF궤도회로간 상호전자파간섭에 대한 정량적인 성능시험평가 기준이 없어 객관적인 성능검증을 할 수 없었으나 이번 연구개발을 통해 취득한 전자파간섭 기준을 적용하여 보다 신뢰성 있고 객관적인 성능입증자료로 활용 |
| 기술적 성과 | 스위칭 주파수 개선을 통해 노이즈 성분 감소하여, 주파수 간섭 제한 | KTX산천 주 전력변환장치의 컨버터를 제어할 때 AF궤도회로에 영향을 주는 노이즈성분이 많이 발생하고 있다. 따라서 컨버터 제어 시 스위칭 주파수를 9펄스에서 13펄스방식으로 개선할 경우, 노이즈 성분이 감소되어 궤도회로 주파수와의 간섭을 피할 수 있게 됨. 따라서 향후 신규 설계 제작되는 KTX산천은 스위칭주파수 방식을 개선토록 할 것 |
| 학술적 성과 | 논문게재 1건 | 연구개발의 내용이 향후 고속철도의 전자파 간섭 해소를 위해 공동의 협력이 필요한 관련 기관·단체·학교 구성원에게 적극적으로 활용이 되는 것을 목표 |
| 경제적 성과 | 상호 협력하여 해결책 모색을 기반한 시너지 효과 | 차량과 신호간 전자파에 대한 문제점을 공유하고 이에 대한 인터페이스 기술을 함께 고민하고 해결책을 모색한다면 향후 제작되는 차량 및 신호설비가 더욱 완벽하고 안전한 시스템으로 거듭나기 때문에 국내 철도기술의 위상이 제고 될 것이며, 고속차량이 국내 뿐 아니라 해외에도 수출할 경우 경제적으로 우리나라에 많은 도움이 될 것 이지만 인프라 부분도 같이 수출하게 된다면 더욱 더 시너지 효과를 얻게 될 것. |

## 4. 추적평가시기

| | |
|---|---|
| 희망시기 | □ 과제종료후 3년 □ 과제종료후 4년 □ 과제종료후 5년 ■ 평가면제 |
| 면제신청시 사유 | 철도정책을 지원하기 위한 이론적 아이디어 및 정책지원 수단을 개발하고자 하는 창조형모험 공모과제 |

## 【 연구개발 성과 세부 현황 】

### □ 공공적 성과

◎ 법 제정 및 개선

| 순번 | 구분 | 활용구분 | 명칭 | 시행일시 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |

◎ 설계기준, 시방서, 지침에 제안

| 순번 | 구분 | 활용구분 | 설계기준/시방서/지침 명칭 | 제안일시 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |

◎ 설계기준, 시방서, 지침에 반영

| 순번 | 구분 | 활용구분 | 설계기준/시방서/지침 명칭 | 반영일시 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |

◎ 정책제안

| 순번 | 시책명(제안명) | 담당부처·팀 | 제안일시 | 제안내용 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |

◎ 정책채택

| 순번 | 시책명 | 담당부처·팀 | 시행일시 | 채택내용 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |

### □ 기술적 성과

◎ 특허

| 순번 | 출원/등록 구분 | 특허 명칭 | 출원일 | 출원번호 | 등록일 | 등록번호 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |

◎ 실용신안

| 순번 | 출원/등록 구분 | 실용신안 명칭 | 출원일 | 출원번호 | 등록일 | 등록번호 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |

◎ 디자인

| 순번 | 출원/등록 구분 | 디자인 명칭 | 출원일 | 출원번호 | 등록일 | 등록번호 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |

◎ 소프트웨어(S/W)

| 순번 | S/W 명칭 | 창작일 | 등록일 | 등록번호 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |

◎ 기타 성과(상표, 서비스 등)

| 순번 | 구분 | 출원/등록 구분 | 명칭 | 출원일 | 출원번호 | 등록일 | 등록번호 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |

## □ 학술적 성과

◎ 국내외 학술지 게재

| 순번 | SCI(E)/일반학술지 구분 | 학술지명 | 논문제목 | 게제일 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 국내 등재학술지 | 한국철도학회 | KTX산천과 TI21 AF 궤도회로간 귀선전류 고조파 영향 분석 | 2014년 7월(등재 예정) |

◎ 국내외 학술회의 발표

| 순번 | 국내/국외 구분 | 학술회의 명칭 | 학술회의 개최국명 | 발표일 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 국내 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 대한민국 | 2013.05.23 |
| 2 | 국내 | 한국철도학회 추계학술대회 | 대한민국 | 2013.10.11 |
| 3 | 국내 | 한국조명전기설비학회 춘계학술대회 | 대한민국 | 2014.05.15 |
| 4 | 국내 | 한국철도학회 춘계학술대회 | 대한민국 | 2014.05.22 |

## □ 경제적 성과

◎ 기술실시계약

| 순번 | 기술실시계약 명칭 | 기술실시계약체결일 | 실시기업명 | 징수금액(천원) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |

◎ 사업화/제품화

| 순번 | 사업화명 | 업체명 | 사업화형태 | 매출액(백만원) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |

◎ 현장적용에 의한 비용절감

| 순번 | R&D기술 적용현장명 | 공사기간(시작일~종료일) | 시공업체명 | 총 비용절감액(천원) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |

# 3. 성과총람

# 국토해양기술연구개발사업
# 성과총람 원고

| | |
|---|---|
| 주관연구기관명 | 한국철도공사 |
| 연 구 책 임 자 명 | 최 재 식 |

## Ⅰ. 과제 기본정보

| | | |
|---|---|---|
| **사업명** | 철도기술연구사업 | |
| **최상위과제명** | KTX-산천 전자파간섭 해소기술 개발 | |
| **(핵심·세부) 과제명** | KTX-산천 전자파간섭 해소기술 개발 | |
| **연구책임자 정보** | (성 명) 최 재 식<br>(전 화) 042-615-4710<br>(이메일) kshrman@korail.com<br>(소 속) 한국철도공사 연구원 | **증명사진**<br>(화일크기 : 1MB 정도) |

## Ⅱ. 연구개발 배경 및 목표

### 1. 연구배경

○ 철도차량의 운행에 있어서 궤도회로는 차량위치검지를 통한 신호기제어, 선로전환기제어, 차량의 간격 조정, 차량 접근 예고를 통한 충돌사고 예방 등 안전운행을 위한 필수적인 시스템이다. 따라서 철도차량과 궤도회로의 전자파적합성의 확인은 철도 차량의 운행에 있어 필수적임.

○ 2010년 경부고속2단계 개통 당시 국내 기술로 제작한 KTX산천차량이 투입되어 고속선과 일반 선을 운행하고 있었으나 일반선 운행구간에서 반대편 운행구간의 궤도회로가 부정 동작되는 사례가 발생. 고장 원인은 KTX 산천에서 발생되는 전자파와 궤도회로에 사용하고 있는 신호주파수가 중첩되어 궤도회로가 오작동 했기 때문.

○ 이에 본 연구개발 과제는 KTX산천차량과 궤도회로에서 사용하는 신호주파수에 대해 상호간 최소한 허용할 수 있는 전류제한 권고치를 제시하고, 향후 제작되는 KTX고속차량에 대해 궤도회로주파수의 영향을 최소화 할 수 있는 고조파 저감 대책을 제시토록 하여 차량과 시설 인프라간 상호 효율적이고 안정적인 운영을 도모하기 위함.

## 2. 연구목표

○ KTX-산천에 발생하는 고조파의 영향을 최소화하는 궤도회로 주파수 검토.

○ 현재 KTX산천 고속차량과 TI21용 AF궤도회로 간 상호 전자파간섭 성능 시험기준이 없어 정량적인 성능평가가 제대로 시행되고 있지 않았던 것을 정량적인 성능평가가 될 수 있도록 차량과 신호 간 전자파간섭 시험에 필요한 기준 값을 제시토록 하였음.

○ KTX산천 차량에서 발생하는 노이즈 주요성분인 스위칭 주파수를 당초 9펄스에서 13펄스 방식으로 개선하여 고조파 전류를 최소화하여, 궤도회로와의 전자파 간섭을 사전에 예방 할 수 있을 것으로 사료됨.

# Ⅲ. 연구개발 내용 및 결과물

## 1. 주요 연구내용

**(1) KTX-산천 전자파 특성 분석**

○ KTX-산천용 EMI/EMC에 관한 국제규격 조사 분석.

○ KTX-산천 전자파/고조파 특성분석(시뮬레이션 포함).

**(2) AF궤도회로 전자파 특성 분석**

○ 철도신호(궤도회로) EMI/EMC 국제규격분석.

○ AF궤도회로 송수신 EMI/EMC 시험

**(3) KTX-산천과 AF궤도회로 영향분석**

○ AF궤도회로 조사

○ KTX-산천 고조파의 AF궤도회로 고조파간섭 분석

○ AF궤도회로 설계 수신레벨 검토

○ 변조방식 검토

○ 전자파 귀선전류가 신호시스템에 미치는 영향 분석

○ 시뮬레이션 및 현장실증시험

**(4) AF궤도회로 성능기준 제시**

○ AF궤도회로 고조파간섭 시험절차서 제시.

○ AF궤도회로 고조파간섭 이동경로 분석방안 제시.

**(5) KTX-산천 성능기준 제시**

○ 시뮬레이션 검증 종합 시험.

○ KTX-산천 전자파간섭 성능평가절차서 제시

## 2. 연구개발 결과

### (1) KTX-산천 발생 고조파 전류가 AF궤도회로에 미치는 영향 분석 결과

○ KTX-산천이 운행할 때 측정된 데이터를 바탕으로 33차(1980Hz)고조파가 가장 높게 측정된 구간(광명역-오송역)의 데이터를 분석. 이 주파수는 TI-21의 C-type Low frequency 사용 주파수 대역(1979Hz)과 일치.

○ KTX-산천의 고조파 중, TI-21 AF궤도회로의 사용주파수 대역의 시간 분석을 실시 하였고, 그 결과 C-type Low frequency 대역(1979Hz)외에는 차량의 고조파 전류가 매우 낮게 나타난 것을 확인. 또한 차량의 운행조건에 따라 고조파가 변동하는 것을 확인.

○ 33차 고조파는 IGBT, 9펄스의 추진 제어 방식을 사용하는 KTX-산천에서 필연적으로 발생되는 고조파임. 따라서 냉각 특성을 고려하여 스위칭주파수를 변경하기 위한 9펄스 방식에서 13펄스 방식으로 변경해 적용하는 것을 고려 할 수 있음.

### (2) TI-21형 AF궤도회로의 노이즈 저감대책

○ 현재 TI-21형 AF궤도회로에는 상하선별로 4종류(A, B, C, D)의 신호주파수를 사용하여 하선에는 A, B 상선에는 C, D 방식이 설치 돼 있음. 현재 문제가 되는 주파수는 C형이고 향후 13펄스로 차량이 개선될 경우, D형이 다소 주파수 간섭 발생이 우려 되므로 확실히 간섭을 배제하기 위해 기존에 사용하고 있는 주파수 대역 A, B, E, F로 개선토록 하여 상호 전자파 간섭에 더욱 자유로워 질 것으로 사료됨.

○ 향 후 건설되는 새로운 노선 또는 선구별로 궤도회로장치가 개량되는 개소에는 새로운 신호주파수를 사용할 수 있도록 공단과 코레일 주관부서에 권고토록 할 것.

## 3. 연구개발 성과

### (1) 공공적 성과

○ KTX산천차량과 TI21 AF궤도회로간 상호전자파간섭에 대한 정량적인 성능시험평가 기준이 없어 객관적인 성능검증을 할 수 없었으나 이번 연구개발을 통해 취득한 전자파간섭 기준을 적용하여 보다 신뢰성 있고 객관적인 성능입증자료로 활용될 것으로 사료됨.

### (2) 기술적 성과

○ KTX산천 차량에서 발생하고 있는 노이즈 성분의 고조파 대역을 고려하여 최소한의 간섭을 허용 할 수 있도록 기존 A, B, C, D 타입에서 차량과 고조파 간섭 문제가 있는 C, D 타입을 E, F 타입으로 개선토록 함. 따라서 별도의 규격개정을 할 필요가 없고, 초과 비용 없이 매우 큰 효과를 얻을 것으로 판단 됨.

○ KTX산천 주 전력변환장치의 컨버터를 제어할 때 AF궤도회로에 영향을 주는 노이즈성분이 많이 발생하고 있다. 따라서 컨버터 제어 시 스위칭 주파수를 9펄스에서 13펄스방식으로 개선할 경우, 노이즈 성분이 감소되어 궤도회로 주파수와의 간섭을 피할 수 있게 됨. 따라서 향후 신규 설계 제작되는 KTX산천은 스위칭주파수 방식을 개선토록 할 것.

### (3) 학술적 성과

○ 연구개발의 내용이 향후 고속철도의 전자파간섭 해소를 위해 공동의 협력이 필요한 관련 기관·단체·학교 구성원에게 적극적으로 활용될 수 있도록 1건의 논문 게재외 4건의 학술대회 논문 발표를 시행함

○ KTX산천 운행에 따른 전철변전소 고조파 분석, 전기조명학회(2014년 5월 등재 예정)

○ KTX산천 운행 시 발생되는 전자파 노이즈에 대한 AF궤도회로(TI-21) 신뢰성 확보방안 기술 연구, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집 (2013.05.23)

○ 철도차량과 지상신호장치의 간섭 문제에 관한 연구, 한국철도학회 추계학술대회 (2013.11.08.)

○ KTX산천 운행에 따른 전철변전소 고조파 분석, 한국조명전기설비학회(2014.05.15.)

○ KTX산천과 TI21무절연AF궤도회로간 귀선전류고조파 이동경로 분석연구, 한국철도학회 추계학술대회(2014.05.22.)

### (4) 경제적 성과

○ 차량과 신호간 전자파에 대한 문제점을 공유하고 이에 대한 인터페이스 기술을 함께 고민하고 해결책을 모색한다면 향후 제작되는 차량 및 신호설비가 더욱 완벽하고 안전한 시스템으로 거듭나기 때문에 국내 철도기술의 위상이 제고 될 것이며, 고속차량이 국내 뿐 아니라 해외에도 수출할 경우 경제적으로 우리나라에 많은 도움이 될 것 이지만 인프라 부분도 같이 수출하게 된다면 더욱 더 시너지 효과를 얻게 될 것.

## Ⅳ. 활용계획 및 기대효과

### 1. 활용계획

○ KTX산천과 TI21형 AF궤도회로간 전자파 간섭에 대한 상호 적합성 시험에 필요한 시험절차 및 정량적인 기준 값을 제시 함. 향후 신규 노선 건설 및 차량 도입 시 성능시험 절차 및 기준값을 근거로 성능 평가를 하게 될 것임.

○ TI21 AF궤도회로장치의 고조파저감대책으로 향후 신규노선 건설 또는 기존선구 궤도회로장치 개량시 KTX산천에서 발생되는 고조파전류에 대한 전자파간섭이 최소화되는 신호주파수대역으로 변경토록 할 것.

○ KTX산천 주전력변환장치 스위칭 주파수에 대한 시뮬레이션 결과를 토대로 향후 제작되는 고속차량에는 스위칭주파수를 기존 9펄스방식에서 11펄스 또는 13펄스 방식으로 개선토록 할 것이며 시기는  현차실측시험을 통해 성공할 경우 원주~강릉간 투입될 예정인 KTX산천 고속차량에 노이즈성분인 고조파전류를 최소화하도록 설계될 것임.

### 2. 기대효과

○ 향후 제작 차량에 대해서는 냉각성능이 충분한 경우에 한하여 펄스수의 변경 등을 통한 노이즈 저감을 기대할 수 있음.

○ KTX-산천 차량이 기존에 사용하고 있는 주파수대역을 A,B,E,F로 개선토록 하여 차량과 신호 간 상호 전자파간섭에서 더욱 자유롭게 될 것임.

○ 고조파 저감 대책 방안으로 제시된 개선과제에 대하여 향후 신규로 설계 제작되는 차량과 궤도회로에 대해 적용토록 할 것.

### 3. 선진 기술수준과의 기술격차 해소

○ 국내와 국외를 비교해 봤을 때, 개별적으로 차량과 인프라 구축에서 국내기술이 개별적으로 첨단기술을 활용하여 선진국 반열에 올라왔다고 하지만 이 연구과제에서 나온 결과와 같이 어느 한쪽의 기술이 우수하다고 전체적인 시스템이 뛰어나다고는 말할 수 없음. 따라서 차량과 신호 설비간 상호 전자파간섭에 대한 적합성과 운용성이 맞아야 안전한 시스템이라고 사료됨.

# 4. 성과점검기준표

# (KTX산천 전자파간섭 해소기술 개발) 성과점검기준표 (2차년도)

** 작성시 유의사항
1) 협약시 제출한 성과점검기준표와 동일하게 작성
2) 필요시 줄(행) 삽입
3) 분홍색 셀에만 입력

| | 과제명 | 성과목표 | | 성과지표 | | 성과검증 기준 | | | | 가중치 (총 20점) | 달성평점 (1~5) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 목표수준 | | 측정방법 | 검증 방법 | | | |
| | | | | | | 목표치 | 달성치 | | | | | |
| 성과 질적 목표 점검 | KTX산천 전자파간섭 해소기술 개발 | 1-1 | KTX산천 전자파 특성분석 | ① | KTX전자파 특성분석 | 1매 | 1매 | 보고서 | 보고서 | 1 | 5 | 보고서75p |
| | | | | ② | KTX고조파 특성분석 | 1매 | 1매 | 보고서 | 보고서 | 1 | 5 | 보고서78p |
| | | 1-2 | AF궤도회로 전자파특성분석 | ① | 철도신호(궤도회로) EMI/EMC 국제규격분석 | 1매 | 1매 | 보고서 | 보고서 | 1 | 5 | 보고서86p |
| | | | | ② | AF궤도회로송수신 EMI/EMC 시험 | 1매 | 1매 | 보고서 | 보고서 | 1 | 5 | 보고서102p |
| | | 1-3 | KTX산천과 AF궤도회로영향분석 | ① | KTX산천/궤도회로 고조파간섭분석 | 1매 | 1매 | 보고서 | 보고서 | 1 | 5 | 보고서118p |
| | | | | ② | 전차선귀선전류 영향분석 | 1매 | 1매 | 보고서 | 보고서 | 1 | 5 | 보고서128p |
| | | | | ③ | 현장실증시험 | 1매 | 1매 | 보고서 | 보고서 | 3 | 5 | 보고서152p |
| | | | | ④ | 논문발표 | 1건 | 1건 | 논문 | 논문 | 1 | 5 | 보고서 부록 |
| | | 2-1 | AF궤도회로 성능기준제시 | ① | 시뮬레이션 및 현장실증시험 | 보고서 1매 (시뮬레이션과 현장실증시험 과의 일 | 보고서 1매 (시뮬레이션과 현장실증시험 과의 일 | 시험 데이터 | 시험 데이터 | 1 | 5 | 보고서152p |
| | | | | ② | AF궤도회로 고조파간섭 시험절차서 제시 | 보고서 1매 (활용가능한 시험절차서 제시) | 보고서 1매 (활용가능한 시험절차서 제시) | 절차서 | 절차서 | 2 | 5 | 보고서200p |
| | | | | ③ | AF궤도회로 고조파간섭 이동경로 분석방안 제시 | 보고서 1매 (검증된 | 보고서 1매 (검증된 | 시뮬레이션 | 시뮬레이션 | 2 | 5 | 보고서204p |
| | | 2-2 | KTX산천 성능기준 제시 | ① | 시뮬레이션 검증 종합시험(9펄스와 11펄스간의 비교측 | 보고서 1매 (종합시 | 보고서 1매 (종합시 | 시뮬레이션결과 검토 | 시뮬레이션결과검토 | 1 | 5 | 보고서213p |
| | | | | ② | KTX-산천 고조파 저감대책 제안 | 보고서 1매 (고조파 | 보고서 1매 (고조파 | 전자파간섭 성능평가서 검토 | 전자파간섭 성능평가서 검토 | 2 | 5 | 보고서224p |
| | | | | ③ | KTX산천 고조파간섭 성능평가절차서 제시(전자파간섭 | 보고서 1매 (활용가 | 보고서 1매 (활용가 | 펄스간비교측정검토 | 펄스간비교측정검토 | 2 | 5 | 보고서225p |
| | 질적목표 종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치) | | | | | | | | | 20 | 100 | |
| | 환산점수 | | | | | | | | | | 5.0 | |

| | 사업연계지표 | 목표 | 목표건수 | 달성건수 | 증빙 | 인정건수 | 달성율 | 가중치 (총 20점) | 달성평점 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 양적 지표 점검 | | 논문게재 | 1 | 1 | 최종보고서 | | 0 | 20 | 5 | 보고서 부록 |
| | | | | | | | | | 0 | |
| | | | | | | | | | 0 | |
| | 양적목표 종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치) | | | | | | | 20 | 100 | |
| | 환산점수 | | | | | | | | 5.0 | |

# 4.2. 논문자료

# KTX 산천운행시 발생되는 전자파노이즈에 대한 AF궤도회로(TI-21) 신뢰성 확보방안 기술연구

## A Study on Reliability Insurance Plan of AF Track Circuit(TI-21) about KTX-Sancheon Electromagnetic Interference

최재식*†, 이시빈*, 김범곤*, 이태훈*, 고준영**

Jae-Sik Choi*†, See-Bin Lee*, Bum-gon Kim*, Tea-Hoon Lee*, Joon-Young Ko**

**Abstract** KTX-Sancheon, developed with Korean Technology, has been operated on Gyeongbu, Honam, Gyeongjeon normal lines and Geongbu high speed line. When the high speed trains were made a trial run on Gyeongbu and Honam downbound normal lines in 2010, The signals stop occurred since specific track circuits such as C type AF track circuits didn't work properly on the upbound line opposite. To deal with this problem, we improved C type AF track circuit receivers from analog into digital type which have a noise analysis function so that the problem didn't occur any longer. In this paper, we aimed at defining principles, a test and a way of verification about electromagnetic noise analysis function of the improved track circuit receivers.

***Keywords*** **:** KTX-Sancheon, AF Track circuit(TI-21), EMI

**초 록** KTX산천차량이 국내기술로 개발되어 현재 경부고속철도와 기존선구간인 경부선과 호남선, 경전선을 운행하고 있다. 2010년 KTX산천 영업시운전 당시 일반철도구간 경부선 및 호남선 하선구간 운행시 반대편 인근 상선의 특정한 궤도회로(AF궤도회로 "C" TYPE)가 오동작하여 신호기가 정지하는 현상이 발생하였으며 이에 대한 해결방안으로 "C" type AF궤도회로 수신기에 대해 노이즈 해석능력을 갖춘 디지털방식으로 개선하여 현재는 이와 같은 오동작 현상은 더 이상 발생하지 않고 있다. 본 논문에서는 개선된 궤도회로 수신기의 전자파노이즈 분해능력 원리, 시험 및 검증방법에 대하여 논하고자 한다.

**주요어** : KTX-산천, AF궤도회로(TI-21), 전자파간섭

## 1. 서 론

궤도회로는 1869년에 미국의 윌리암 로빈슨이 발명하여 오늘에 이르고 있으며 레일을 전기회로의 일부로 이용하여 회로를 구성하고 그 회로에 열차가 진입하게 되면 차축에 의해서 양쪽 레일의 전기적인 회로가 단락함에 따라 열차 또는 차량의 점유 유·무를 검지하여 신호기, 선로전환기, 연동장치 등 신호 기기를 직접 또는 간접으로 제어할 목적으로 설치하며, 주로 열차검지, 속도정보의 전송, 레일절손 검지, 귀선전류 귀환 등에 사용된다.

† 교신저자: 한국철도공사 연구원 기술연구처(khsrman@korail.com)
* 한국철도공사 연구원 기술연구처
** 한국철도공사 전기기술단 신호제어처

궤도회로는 레일을 적당한 구간으로 구분하여 인접 궤도회로와 전기적으로 절연하기 위하여 궤도절연을 설치한다. 궤도회로내의 궤도이음매 부분의 접속저항을 적게하기 위하여 본드로 접속한 다음 한쪽에는 전원을 부하쪽에는 궤도계전기를 연결하여 전기회로를 구성한 것이다.

궤도회로 내에 열차가 없을 때에는 전원으로부터 흐르는 전류에 의하여 계전기가 여자되고 궤도회로내에 열차가 진입하면 차축에 의하여 전기회로가 단락되어 계전기는 무여자가되며 궤도회로가 고장났을 때에도 계전기는 무여자가 된다. 또 신호기는 궤도계전기가 여자될 때는 녹색등이 현시되고 무여자일 때는 적색등이 현시되는데 이와 같은 원리로 열차에 의하여 자동적으로 신호가 제어된다.

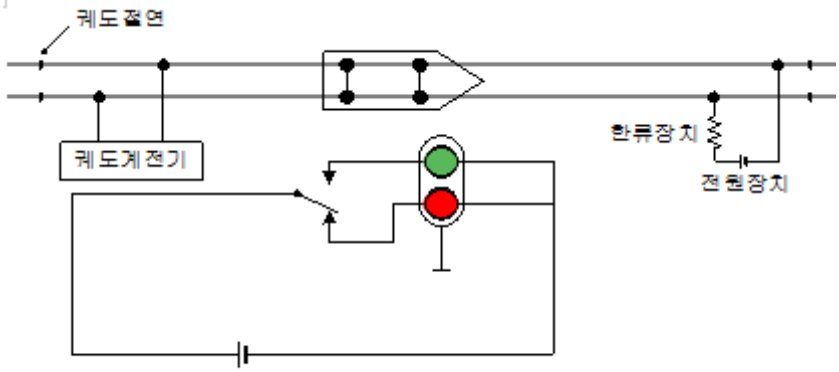



**Fig 1** Principle of Track Circuit

궤도회로는 주로 사용전원, 회로구성, 궤도 절연에 따라 분류한다. 사용 전원에 따른 궤도회로는 직류, 교류, 정류, 코드, 가청주파수(AF:Audio Frequency) 등이 있다. 이중 코드분할궤도회로는 궤도에 흐르는 신호전류를 임의의 코드(부호)로 전송하고, 이 코드 전류가 코드 계전기를 동작시킨 다음 복조기를 통하여 정규의 코드(부호)일 때에만 코드반응 계전기를 동작하도록 하는 원리를 사용한다. 이러한 궤도회로의 특징은 궤도회로 제어거리의 증대, 열차 궤도단락감도 향상 및 미소전류에 의한 오동작을 방지한다. AF궤도회로는 신호전류에 1[kHz]가량의 가청주파수를 변조기로 변조하여 송신하고 수신단에서는 변조된 주파수중 선택증폭기로 해당주파수를 증폭, 정류하여 궤도계전기를 동작시키는 방식이다. 현재 지하철을 제외한 국철구간 AF궤도회로는 고속선에 사용하고 있는 UM71궤도회로와 기존선에 사용되고 있는 TI21궤도회로로 분류된다. 구분된다. 국내에서는 경부고속선의 UM71C궤도회로와 기존선 전철화에 따른 역간, 역구내 TI21형로 구분된다.

2004년 고속철도가 개통된 이래 현재 3억6천만명의 승객을 KTX차량으로 운송하고 있다. 2010년에는 국내기술로 KTX산천차량을 국산화하여 마찬가지로 KTX와 KTX산천차량이 기존선(경부선, 호남선, 경전선 등)과 경부고속선에 나란히 운행되고 있으며, 향후 건설되는 고속철도에도 KTX산천차량이 운행될 전망이다.

**Table 1** TI21 Track circuit Frequency

| 궤도 | 주파수 유 형 | 공 칭 주파수(Hz) | 저주파수 (-2Hz~+1Hz) | 고주파수 (+2Hz~-1Hz) | 복선 경우 | 복복선 경우 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | A | 1,699 | 1,682 | 1,716 | 상선 | 상1선 |
| | B | 2,296 | 2,279 | 2,313 | | |
| 2 | C | 1,996 | 1,979 | 2,013 | 하선 | 하1선 |
| | D | 2,593 | 2,576 | 2,610 | | |
| 3 | E | 1,549 | 1,532 | 1,566 | - | 상2선 |
| | F | 2,146 | 2,129 | 2,163 | | |
| 4 | G | 1,848 | 1,831 | 1,865 | | 하2선 |
| | H | 2,445 | 2,428 | 2,462 | | |

하지만 2010년 KTX산천 영업시운전 당시 뜻하지 않은 문제점이 발생하였다. 일반철도구간인 경부선과 호남선 하선운행시 반대편 인근 상선의 “C” 타입 궤도회로가 오동작하여 신호기가 일시 정지하는 현상이 발생되어 선로변에 설치된 “C” type AF궤도회로 수신기(아날로그방식)에 대해 노이즈 해석능력을 갖춘 수신기(디지털방식)로 교체하여 현재는 이와 같은 오동작 현상은 더 이상 발생되지 않고 있다. 본 논문에서는 개선된 궤도회로 수신기의 전자파 노이즈 분해능력 원리, 시험 및 검증방법에 대하여 세부적으로 논하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 무절연AF궤도회로(TI21) 특성

2.1.1 구조

TI21형 무절연AF궤도회로는 교류 또는 직류 전철화 구간에서 무절연식 궤도회로로 구성하여 역간 및 역구내에 광범위하게 설치하도록 구성되었으며 1,549~2,593[Hz]범위 내의 8종류 가청 주파수를 사용한다. 8개의 공칭 주파수는 단선과 복선 및 복복선에 따라 한 개의 쌍은 각 궤도별로 사용되며 각 궤도에서 주파수는 교대로 사용된다. 이때 동일궤도에 연속되는 구간과 반대편 선로궤도와의 주파수 영향을 최소화하기 위하여 주파수범위를 최대한 고려하여 지그재그로 설치한다. 표 1과 같이 A~H 8종류의 AF 궤도회로 주파수를 A/B, C/D, E/F 및 G/H의 4조로 구성하여 사용한다. 4조로 구성된 TI21 무절연 궤도회로는 하나의 궤도에 1조씩을 구분해서 A와 B를 교대로 사용한다. 동일한 선로에는 동일한 1조의 주파수를 교대로 사용하며 2조의 주파수를 동일한 선로에 설치하지 않는다. 그림 2와 같이 궤도회로는 무절연이고, 인접 궤도회로의 전기적 분리는 두 개의 동조유니트를 사용하여 20[m]궤도의 인덕턴스를 동조시킴으로 구성되어 있다.

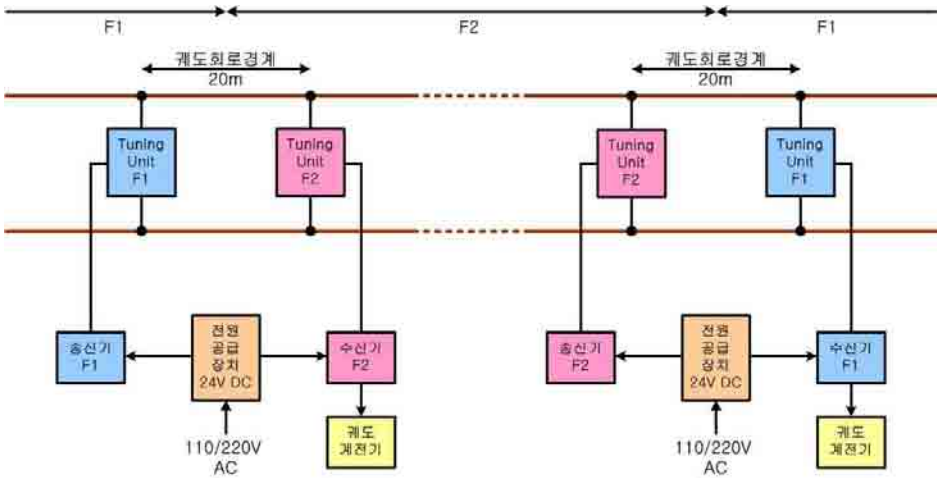



**Fig. 2** Structure of the non-insulated track circuit

## 2.2 무절연AF궤도회로(TI21) 전자파간섭 해소대책

2010년 KTX-산천 영업시운전할 때 일반선구간(경부선, 호남선) 하선 운행시 반대편 선로(상선)의 특정 폐색구간( “C” Type)내 열차가 점유하지 않아도 궤도가 부정 낙하되는 현상이 간헐적으로 발생하였다.

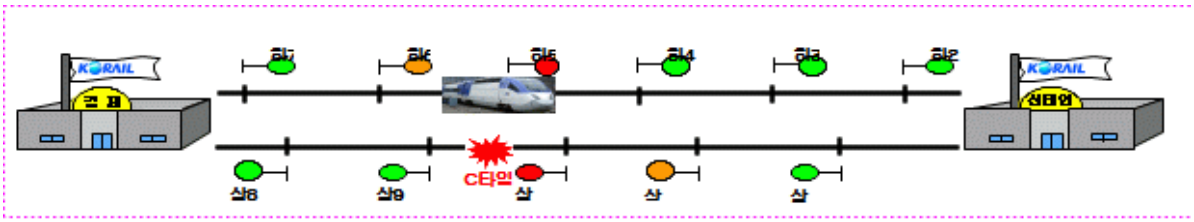



**Fig. 3** AF Track Circuit**(** “C” Type TI21) Fault status when KTX-Sancheon Service Classical line

### 2.2.1 발생원인

KTX산천 차량이 운행하면서 발생하는 33차 고조파인 1,980Hz (기본주파수 60Hz×33배)와 “C" Type AF궤도회로에서 사용하는 1,979Hz(1,977~1,980Hz)가 일치하여 열차를 검지하는 궤도계전기가 부정 동작(낙하)하게 되었다.

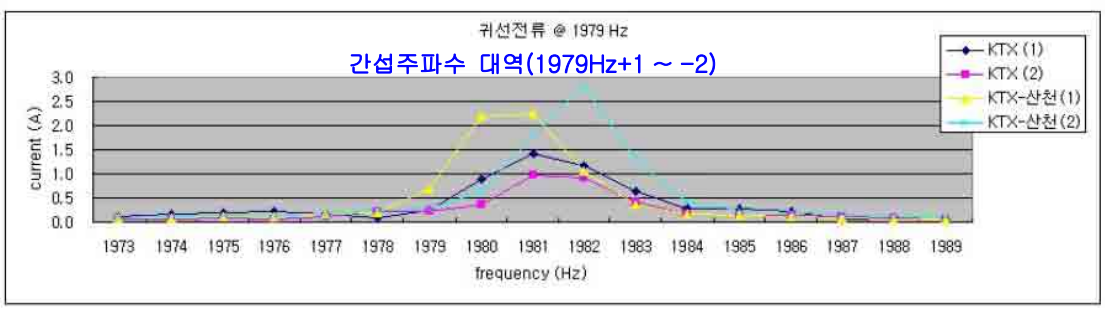



**Fig. 4** return current Frequency status of Fault track circuits

### 2.2.2 문제점

경부, 호남선 KTX산천운행구간 1,656개소중 72개소(4.5%) 부정낙하 발생하였으며 KTX산천 중련운행 이후 95개소(5.7%)로 23개소가 추가로 발생하였으며’ 10.8.18 호남선 돗골외 9개소 궤도회로 부정낙하로 인한 건널목보안장치 오동작은 회로를 보완하여 사고가 발생하지 않도록 조치하였다.

### 2.2.3 현장시험

- 점검기간 : 2010. 04. 06 ~ 04. 10(5 일간)
- 점 검 자 : 전북본부 전기팀 이정양, 정읍신호제어사업소장 외 4 명
  ㈜혁신전공사 김동준부장 외 1명

**(1) 신호분석기를 통한 “C타입” 주파수대역 분석**

“C 타입”은 HI(2,013 Hz) 주파수와 LOW(1,979 Hz) 주파수가 4.8 Hz의 주기로 반복되며 궤도회로의 이상유무를 점검하였다.

- 시험개소 : 부용~김제간 상 8 호주 폐색구간
- 시험방법 : 송신 제거 후 KTX-산천 통과 시 주파수 변화측정
- 시험목적 : KTX-산천 통과 시 “C 타입”의 동작주파수와 동일한 신호가 발생되어 유입되는지 확인

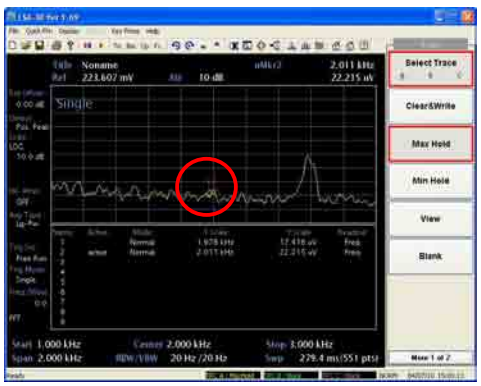



**Fig. 5** Track Circuit C Transmitter Signal remove wave(Normal)

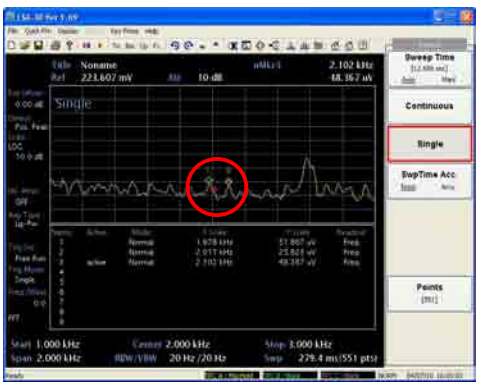



**Fig. 6** Track Circuit C Transmitter Signal remove wave(KTX-Sancheon Occupancy)

- 시험결과 : KTX-산천 운행시 “C 타입”의 LOW 주파수와 동일한 신호가 미세하게 발생하여 유입됨을 확인

**Table 2 “C”** type Track Circuit Frequency Voltage Status on Service KTX-Sancheon

| | LOW(1,978Hz) | 증 감 | HI(2,011Hz) | 증 감 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 평상시 | 17.416㎶ | | 22.215㎶ | | |
| KTX-산천 | 51.867㎶ | +34,451㎶ | 25.623㎶ | 3.408㎶ | |

### (2) 송신기의 변조(Modulation)주파수 점검

실험 1)에서 외부로부터 LOW 주파수에 간섭이 발생됨이 확인되었기에 송신기의 변조 주파수(4.8Hz)가 정상적으로 발진되는지 여부를 점검하였다.

- 시험개소 : 부용~김제간 상2호 폐색구간
- 시험방법 : HMU(감시유닛) 입력단자를 수신기 어레스터에 연결 변조 주파수 측정
- 시험목적 : KTX-산천 통과 시 변조주파수에 영향을 주는지 확인




**Fig. 7** Transmitter tuning frequency 4.8Hz (Normal)




**Fig. 8** Transmitter tuning frequency 0 Hz (KTX-Sancheon Occupancy )

- 시험결과 : KTX-산천 운행시 송신기의 동조주파수가 4.8Hz→0.0Hz로 바뀌면서 동조주파수를 발생하지 못함을 확인하였다.

### (3) 수신기의 복조(Demodulation)주파수 점검

실험 1)과 실험 2)를 통해 외부로부터 발생.유입되는 주파수간섭으로 AF 궤도회로 정상동작에 지장이 발생될 수 있음을 확인하였으며 변.복조 불량 시 AF 궤도회로 계전기는 낙하된다.
AF 궤도회로는 4.8 Hz(변조주파수)의 주기를 계속적으로 감지하다가 외부요인으로 주파수 간섭이 발생되면 궤도계전기를 낙하시키며, 다시 정상적인 4.8Hz가 입력되면 복귀된다.
궤도계전기가 낙하되면 정상신호 감지 및 동작을 위해 2 초간 계전기 낙하를 유지하고 전자연동장치에서 부정입력 확인을 위해 2 초간 궤도낙하를 표시하여 총 4 초(궤도회로 2 초 + 전자연동 2 초) 장애가 발생됨을 확인하였다.

- 시험개소 : 부용~김제 상8호 폐색구간
- 시험방법 : 수신기 내부에 입력된 HI, LOW주파수가 복조기를 통과 후 신호결합기 후단 (TP3) 파형측정

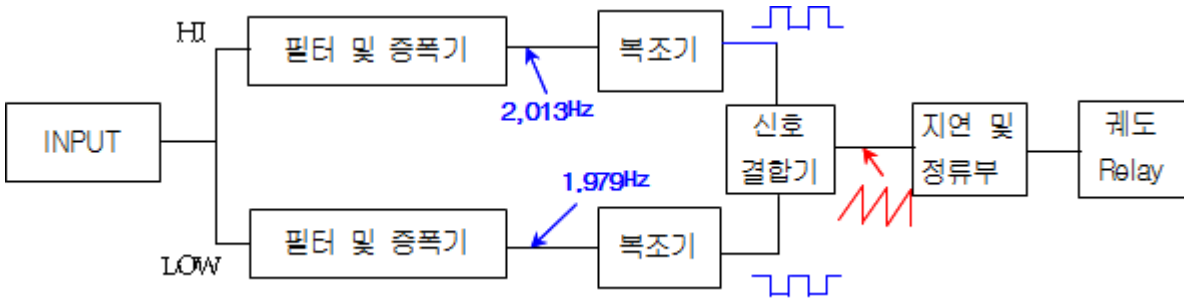



**Fig. 9** Receiver Frequency Demodulation**2** Structure

- 시험목적 : TP3에서 삼각톱니파의 주기 및 일그러짐 확인

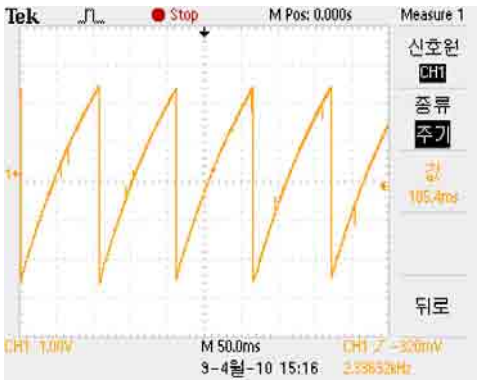



**Fig.10** waveform of TP3 (Normal)

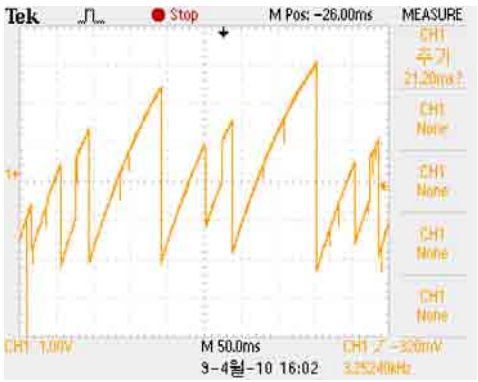



**Fig.11** waveform of TP3

(KTX-Sancheon Occupancy)

- 시험결과 : KTX-산천 운행시 수신기의 TP3 에서 외부 주파수 유입으로 톱니파의 주기 및 파형의 일그러짐 현상이 발생하였다.




**Fig.12** "C type" waveform

(KTX-Sancheon Occupancy)

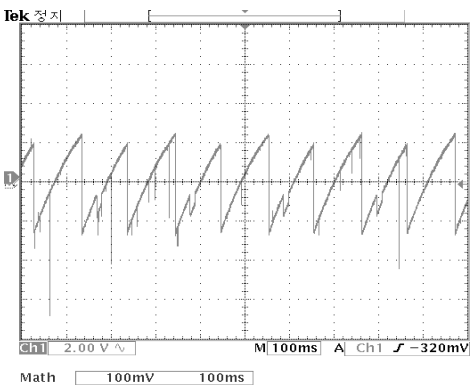



**Fig.13** "D type" waveform

(KTX-Sancheon Occupancy)

### 2.2.4 개선내용

#### (1) 궤도회로수신기 성능향상

KTX-산천에서 발생되는 1980 Hz의 영향으로 기존의 수신기 변주주파수 검지 방식[LSB(LOW 주파수)와 USB(HI 주파수)의 변조여부 동시확인]을 변경하여 수신기에서 1980 Hz성분에 대한 주파수검지를 500 ㎳동안 분석 한 후 이상유무를 판단하여 계전기를 제어하도록 제작하였다.

**○ LSB(LOW 주파수)와 USB(HI 주파수)의 검지분리**

H/W 에 의한 Bandpass Filter 와 Software 에 의한 Bandpass Filter 를 이용하여 신호검지 분리

**○ LSB(LOW 주파수)의 신호파형을 분석하여 변조 여부 확인(USB 동일방식)**

- ▸ 이전신호와 현재신호간의 상대적인 비율에 의해 일정시간내의 신호 가부를 판단하여 변조 상태 파악
- ▸ 신호가 이전 값보다 일정 비율이상 크면 신호가 있는 것으로 판단하고 일정비율이상 적으면 신호가 없는 것으로 판단

**○ 변조 주파수 분석 비교 후 계전기 제어**

USB 와 LSB 가 동시에 또는 둘 중 하나라도 오랜 시간 동안 변조가 없을 경우 비정상으로 판단하여 계전기 낙하

USB 나 LSB 중 하나의 파형이 일정시간 동안 변조가 없는 경우에는 정상으로 판단 하여 계전기 여자

**○ 변조 주파수 검지에 따른 비교분석 방법**

- 현재 : HI-LOW-HI-LOW 로 주파수가 교대로 검지되어야 정상동작
  HI-HI-LOW-HI 로 검지 시 계전기낙하(비정상판단)
- 수정 : HI-HI-HI-LOW 로 주파수가 검지 시 정상동작
  HI-HI-HI-HI 주파수 검지 시 비정상 처리 궤도계전기 낙하
  전압 강하 시 즉시 궤도계전기 낙하

#### (2) 성능입증시험

- 방법 : 송신 C-TYPE, 수신 C-TYPE 궤도 구성 후 수신 입력단에 LOW 주파수 1980 Hz에 노이즈 성분 첨가(약 68 ㎃)후 수신기 동작상태 확인 및 정상상태와 노이즈 투입시의 변조 주파수 파형측정
- 구성도 : 가상레일을 이용 궤도를 구성 후 노이즈 시험
- 측정파형 : 노이즈 첨가 전, 후 파형

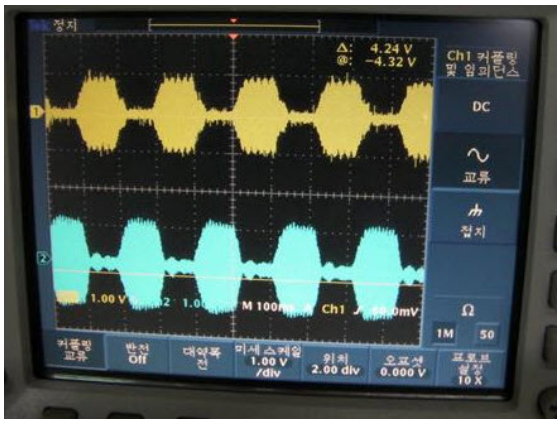



**Fig.14** “C type” waveform with Noise (before)

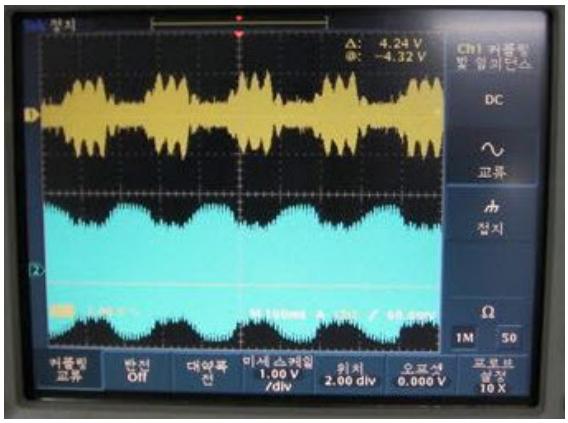



**Fig.15** “C type” waveform with Noise (after)

- KTX-산천 운행개소(경부, 호남선) C-TYPE 수신기 전량교체

## 3. 결 론

2011년 9월 해당 궤도회로수신기(272개소)를 전량교체 이후 현재 반대편선로 “C” 형 주파수가 오동작하는 사례는 발생하지 않았다. 다만 이와 같은 개선사항이 전자파간섭으로부터 KTX산천과 궤도회로간 영향을 완벽하게 해결했다고는 판단되지 않는다. 또한 “전자파 간섭시험을 적정하게 수행할 수 있도록 연구용역 등을 통해 KTX산천과 AF궤도회로장치의 시험기준을 마련”하도록 2011년 감사원 개선권고사항에 따라 현재 “KTX산천 및 무절연AF궤도회로간 전자파 상호간섭에 대한 현장시험분석과 시험기준 마련을 위하여 연구개발을 지속 추진할 것이다.

## 후 기

본 연구는 2012년 국토교통부산하 국토교통과학기술진흥원에서 국가연구개발사업 자유공모과제로 수행되고 있으며 담당기관에 감사드립니다.

## 참고문헌

[1] Tae-hoon Lee, See-bin Lee, Hyun-pro Hong, Hee-soon Lee, Ki-bum Park(2011) “A review of the train position detection method for neutral section with energized condition”, Proceedings of the Korean Society for Railway Conference, pp1100-1105

[2] Yong-kyu Kim, Jong-hyun Baek, Chang-keun Ryu(2004), “A Study on the track circuit characteristic in electrified classical line”, Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers Conference, 2004.7.14~16

[3] Yung-tae Kim, “철도신호제어시스템”, 개정 4 판, 테크노미디어, 2006

[4] Jae-young Park, 홍원식, 전병록, 철도신호공학”, 개정2판, 2007

[5] KOERAN RAILWAY STANDARDS (2006), “Non-insulated Audio Frequency Track Circuit”, KRS

SG 0038-09(R)
[6] HYUKSHIN(2003), TI21 Track circuit Technical Manual(M6/5/21-4/118931),
[7] KOREA RAILROAD 신호제어처(2011), “경부, 호남선 KTX산천운행구간 AF궤도회로 안정화를 위한 개선대책(안) 보고서
[8] Yong-kyu Kim(2001), 기존선의 TI21 AF궤도회로 고조파 특성 검토보고서, Korea Railroad Research Institute

2013 년도 한국철도학회 추계학술대회 논문집 KSR2013A073

# 철도차량과 지상신호장치와의 간섭문제에 관한 연구

Electromagnetic Compatibility between Rolling Stock and Trackside Signaling System

공명상*†, 김형복*

Myong-Sang Kong*†, Hyung-Bok Kim*

**초 록** 본 논문은 한국철도의 전철구간에서 운용되고 있는 고속전철, 전기기관차, 간선형 전동차, 일반전동차 등과 지상신호장치로써 운용되고 있는 다양한 신호장치간에 발생할 수 있는 전자기적 간섭을 중심으로 현재의 운영상태과 향후 고려해야 할 사항에 대하여 살펴보기로 한다. 지상의 신호장치 가운데 차량과 전자기적 간섭문제에 대한 주요 고려대상으로는 고전압 임펄스 궤도회로(High Voltage Impulse Track Circuit), 유절연 가청주파수(AF) 궤도회로 (Insulated Audio Frequency Track Circuit), 무절연 가청주파수(Insulated Audio Frequency Track Circuit) 궤도회로 등으로 나눌 수 있으며, 이중에서도 고전압을 사용함으로써 기본적으로 간섭문제를 최소화 하고 있는 임펄스 궤도회로 보다는, 전원주파수의 고조파를 궤도회로의 반송파 주파수로 채택하고 있는 가청주파수 궤도회로를 중심으로 전자기적 간섭문제의 관점에서 살펴보고자 한다.

**주요어** : KTX-산천, 전자파, 고조파, 간섭, TI21

## 1. 서 론

차량의 위치를 검지하기 위한 지상의 무절연 가청주파수(Insulated Audio Frequency Track Circuit) 궤도회로(이하에서는 TI21)는 교류나 직류전원을 사용하는 전철화구간에서 4개의 주파수 대역으로 나누어 신호기제어, 선로절환기제어, 차량의 운행간격 조정 등에 사용되고 있다. 이 궤도회로가 KTX-산천의 운행에 따라 영향을 받아 부정낙하(궤도점유)가 2010년 이후에 발생하여 문제가 발생하였다. 현재는 수신기를 교체하고 대책을 세워 문제가 없지만, 근본적인 원인 및 주파수 관점에서 기술검토하고, 향후 간섭문제에 대한 대책을 살펴보고자 한다.

† 교신저자: 현대로템㈜ 시스템기술팀 (mskong@hyundai-rotem.co.kr)
* 현대로템㈜ 시스템기술팀

## 2. 철도차량과 지상신호장치(TI21)의 간섭문제

### 2.1 지상신호장치(TI21)

유럽은 50Hz 전원주파수로 사용하고 있으며, 전원주파수의 스위칭에 따라 동반되는 차량의 추진제어장치로부터 발생하는 고조파와의 간섭문제를 최소화 하기 위하여 기본적으로 전원주파수의 홀수 차수에 해당하는 주파수 영역을 지상신호의 주파수로 사용하지 않고 있다. 우리나라의 경우에도 고속철도가 고속으로 운행되는 구간에 설치되어 있는 UM71 궤도회로의 경우에는 전원주파수의 고조파에 의한 영향을 최소화 하기 위하여 시스템의 도입 당시 표 1과 같이 주파수가 변경되어 도입되었다.

표 1 UM71의 사용주파수

| 명칭 | 사용주파수 | |
|---|---|---|
| UM71 | 프랑스 | 한국 |
| | 1700Hz | 2040Hz |
| | 2000Hz | 2400Hz |
| | 2300Hz | 2760Hz |
| | 2600Hz | 3120Hz |

반면, TI21의 경우 주파수의 변경 없이 유럽(50Hz 전원주파수) 등과 동일한 주파수를 사용하고 있다. 조사결과에 따르면 현재 KTX-산천의 33차 홀수고조파(1980Hz)가 TI-21 AF궤도회로의 C-Type Low frequency(1979Hz)와 사실상 주파수가 일치하여 간섭현상이 발생되고 있는 것으로 조사되었고, 그 정확한 원인에 대한 조사 및 차량의 고조파 저감에 관한 검토가 필요하여 다양한 조사 및 대책이 이루어져왔다.

T121이 사용하는 주파수는 아래와 같으며, 우리나라의 경우에는 A, B, C, D 주파수만을 사용하고 있다.

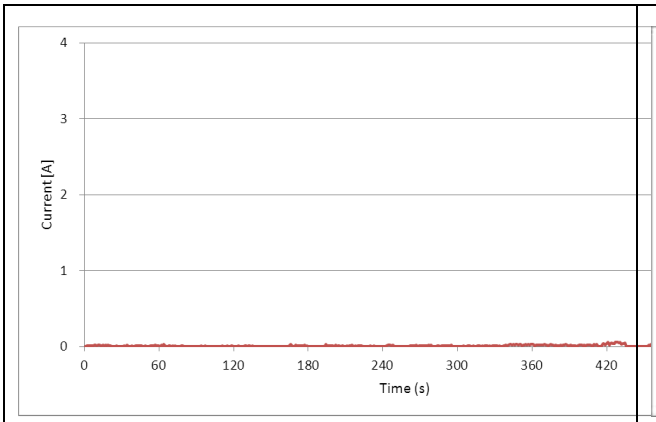
표 2 TI21 사용주파수

| 명칭 | 궤도회로 주파수코드 | 공칭주파수 | 사용주파수 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Lower Frequency | Upper Frequency |
| TI21 | A | 1699Hz | 1682Hz | 1716Hz |
| | B | 2296Hz | 2279Hz | 2313Hz |

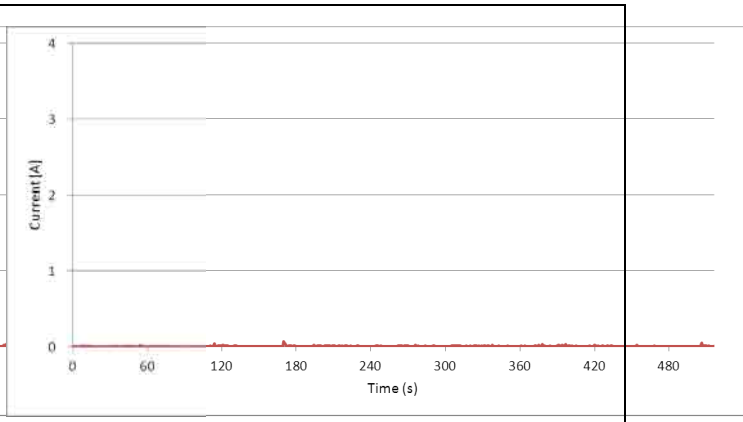
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | C | 1996Hz | 1979Hz | 2013Hz |
| | D | 2593Hz | 2576Hz | 2610Hz |
| | E | 1549Hz | 1532Hz | 1566Hz |
| | F | 2146Hz | 2129Hz | 2163Hz |
| | G | 1848Hz | 1831Hz | 1865Hz |
| | H | 2445Hz | 2428Hz | 2462Hz |

## 2.1 KTX-산천의 주파수 특성

다음은 KTX-산천의 운행에 따라 발생하는 주파수 분석결과를 설명하고 있다. 측정결과는 순천~여수구간에서 주행하는 KTX-산천 차량의 주변압기 1차측에서 측정한 결과로써, 중심 Low Frequency 해당주파수 영역(-2Hz~+1Hz)에서 가장 큰 값에 대한 시간변화를 정리하였고, 중심 High Frequency 해당주파수 영역(-1Hz~+2Hz)에서도 동일한 방법으로 가장 큰 전류 값에 대한 시간변화를 정리하였다. C-type Low Frequency에서만 3A를 초과하는 상대적으로 높은 고조파를 확인하였으며, 이는 고속스위칭 IBGT 차량의 특성중의 하나로써 이해되어야 한다.




A-type Low Freq.




A-type High Freq.

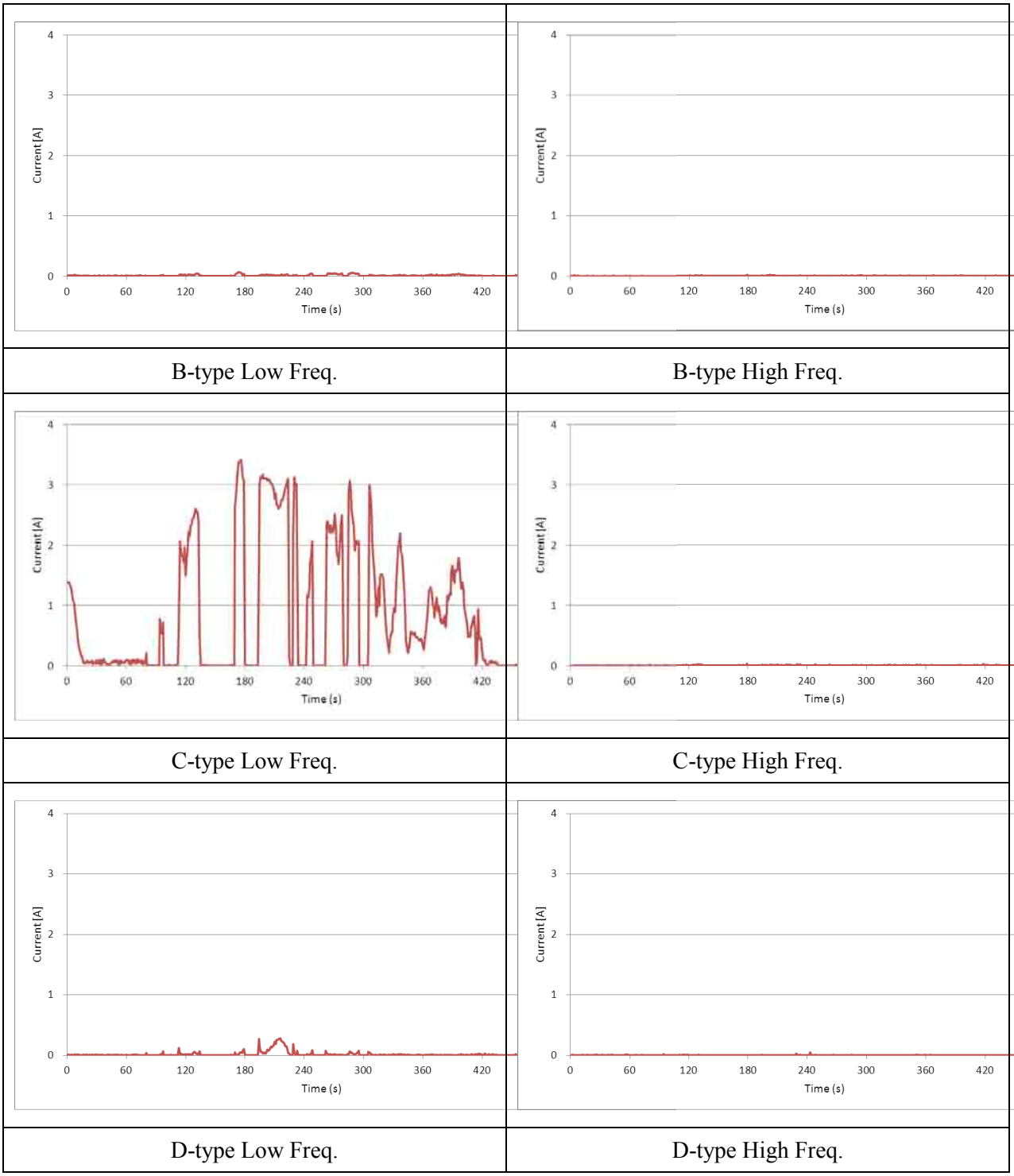



그림 1 KTX-산천에서 측정한 TI21 사용주파수 영역에서의 전류 값.

다음의 측정결과는 호남선 장성역 ~ 임곡역 사이의 상행선에 있는 궤도회로(B3372T)의 간섭 문제를 조사하기 위하여 2011년05월18일, 19일 주간에 KTX 및 KTX-산천 차량이 하행선을 주행하는 동안 하행선 임피던스 본드에 흐르는 전류의 크기와 상행선 C-TYPE 궤도회로 부정낙하와의 상관관계를 살펴보기 위하여 조사한 내용이다. 측정은 검/교정이 완료된 로고스키코일과

FFT기능을 갖는 NI사의DAQ 그리고 Labview 프로그램으로 수행하였다.

측정결과에 따르면, 하선의 임피던스본드에 흐르는 전류가 약 3.5A 이상으로 측정될 때, 상선의 궤도회로에서 고장(부정낙하)가 발생함을 확인할 수 있었다.

따라서 전자파 간섭문제는 노이즈와 신호의 사용주파수가 동일하고, 노이즈의 크기가 일정 이상이며, 노이즈가 일정시간 지속될 때 발생한다고 할 수 있다.

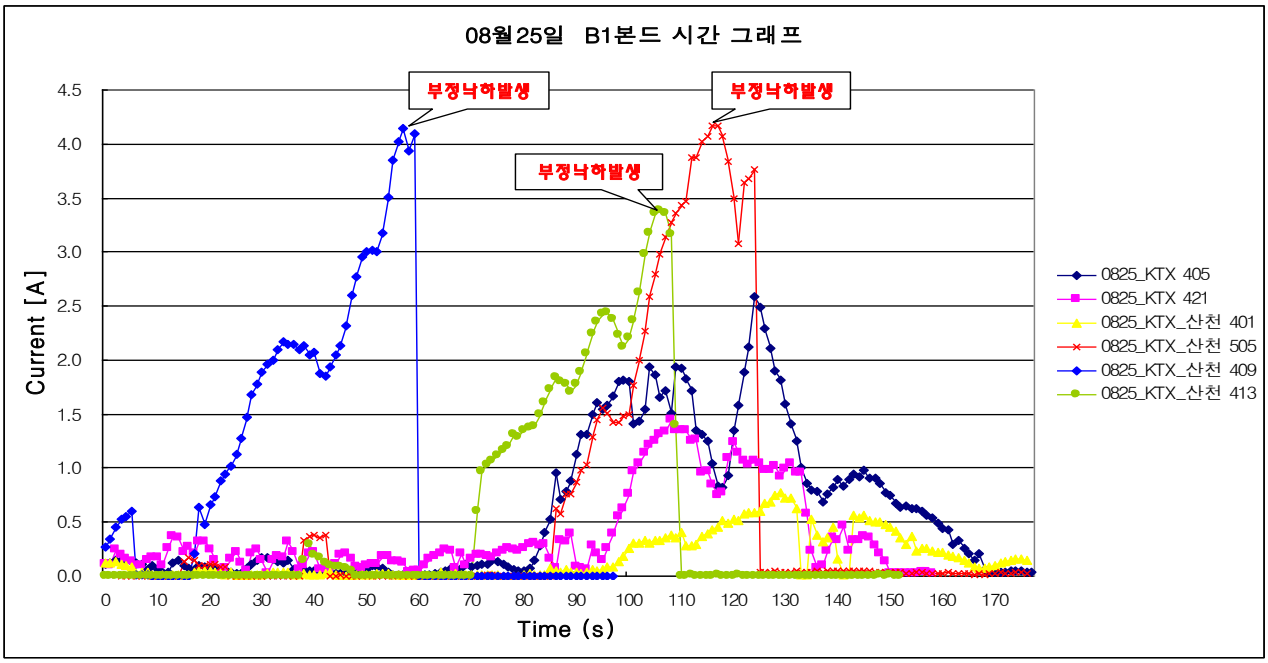



그림 2 지상의 임피던스본드에서 측정한 KTX-산천의 1980Hz 성분의 전류 크기

## 3. 결 론

이상에서 살펴 본 바와 같이 전원주파수의 33차 홀수고조파와 동일한 주파수를 사용하는 지상 신호장치(TI21)가 있고, 특별히 KTX-산천의 33차 고조파가 상태적으로 커서 발생하는 간섭현상으로 이해 할 수 있으며, 현재는 C-Type의 수신기를 디지털화하여 고장이 발생하지 않도록 조치하여 사용하고 있다.

향후에는 좀 더 장기적인 관점에서 고장발생에 대한 원인규명과 간섭문제에 대한 대책을 프로젝트 초기에 수립하여 이러한 문제가 재발되지 않도록 종합적인 계획이 필요한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

[1] 철도기술심의위원회 (2006) 한국철도표준규격 KRS SG 0038 – 09 (R) 무절연가청주파수(AF) 궤도회로 Non-insulated Audio Frequency Track Circuit.

[2] CENELEC TC 9X (2007) Technical Report CLC/TR 50507 Railway applications – Interference Limits of existing track circuit used on European Railways.

# KTX 산천과 TI21 무절연 AF 궤도회로간 귀선전류고조파 이동경로 분석연구

# A Study on Analysis Travel Path Return Current Harmonics Between KTX SanChun and TI21 AF Track Circuit

최재식*†, 김희식**, 공명상***, 이수주*****, 손운락*****

JaeSik Choi*†, HieSik Kim**, MyongSang Kong***, SooJoo Lee****, UnRak Son*****

**Abstract** KTX-Sancheon, developed with Korean Technology, has been operated on Gyeongbu, Honam, Gyeongjeon normal lines and Geongbu high speed line. When the high speed trains were made a trial run on Gyeongbu and Honam downbound normal lines in 2010, The signals stop occurred since specific track circuits such as C type AF track circuits didn't work properly on the upbound line opposite. To deal with this problem, we improved C type AF track circuit receivers from analog into digital type which have a noise analysis function so that the problem didn't occur any longer. In this paper, we aimed at defining principles, a test and a way of verification about electromagnetic noise analysis function of the improved track circuit receivers.

***Keywords*** **:** KTX-Sancheon, AF Track circuit(TI-21), Return Current Harmonics

**초 록** 최근 KTX산천에서 사용하는 전력변환시스템은 전력전자기술, 고속 대용량 반도체 소자 및 마이크로프로세서의 기술발달에 힘입어 높은 성능과 승차감, 효율, 안전성, 에너지 소비측면에서 뛰어난 제어능력을 갖추게 되었다. 하지만 고속스위칭소자인 IGBT를 사용함에 따라 발생하는 고조파로 인해 전기차량은 물론 변전소, 신호시스템, 데이터전송 및 감시시스템에 영향을 주게된다. 특히 전력변환장치의 정수배 근방 주파수에서 발생하는 귀선전류 고조파의 영향으로 TI21무절연AF궤도회로가 부정동작하는 사례가 발생되었다. 본 논문에서는 고속전기차량과 궤도회로간 귀선전류고조파 이동경로 분석에 대해 논한다.

**주요어** : KTX-산천, AF궤도회로(TI-21), 귀선전류고조파

## 1. 서 론

국내에서 운영되는 KTX산천 고속차량에서 발생되는 전자파에 의한 문제점을 검토하고 이에 대한 국내 운영현황을 파악하는데 그 목적이 있다. 고속차량에서 발생되는 전자파의 종류와 크기 및 검측방법에 대한 검토와 발생원인에 따른 이동경로를 파악하여 이에 대한 분석을 통한 시뮬레이션 분석방안을 검토하였다.

*† 교신저자: 서울시립대학교, 한국철도공사 연구원(khsrman@korail.com)
** 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 교수
*** 현대로템(주)
**** ㈜에이알텍
***** 전 한국철도공사

철도차량의 운행에 있어서 궤도회로는 차량위치 검지를 통한 신호기제어, 선로전환기제어, 차량의 간격조정, 차량접근 예고를 통한 충동사고 예방 등 안전운행을 위한 필수적인 시스템이다. 따라서 철도차량과 궤도회로의 전자파적합성(Electromagnetic Compatibility, 뜻)의 확인은 철도차량의 운행에 있어서 필수적이다. 철도차량과 궤도회로의 전자파적합성을 위해 전자파노이즈의 발생원인 차량의 전자파/고조파 특성 및 전자파의 영향권에 있는 궤도회로의 전자파 특성분석이 필요하다. 전기차량에서 발생된 고조파전류는 급전계통의 임피던스 특성에 의해 특정조파에서 공진되어 고조파전류 확대현상을 일으켜 각종문제를 야기시킨다. 즉 고조파전류는 인접 통신선에서의 유도장애를 일으키고 철도신호장애의 원인이 될 뿐만 아니라 전원계통에 유입되는 경우에는 전력용콘덴서의 과열 및 진동을 유발시키고 해당계전기를 오동작 시킬 위험성을 지니고 있다. 본 논문에서는 호남선 구간에 대한 체계적이고신뢰성을  높은 귀선전류 및 귀선전류 고조파의 측정방법을 제시하였으며 이에 따른 시험 결과를 토대로 귀선전류고조파에 대한 이동경로를 확인하였다.

현장계측을 통하여 확보된 계측 자료를 분석함으로서 KTX산천 차량이 하행선을 주행 시 인접궤도인 상행선의 C타입에 부정단락을 유발하는 고조파인 1980Hz의 유입경로를 파악함으로서 TI21 AF궤도회로의 신뢰성을 확보하고 열차의 안전운행과 정시성을 확보하고자 한다. Fig 1은 실제 호남선구간 하선 KTX산천 운행시 상선 궤도회로C타입에서 부정동작했던 상황을 나타내었다.

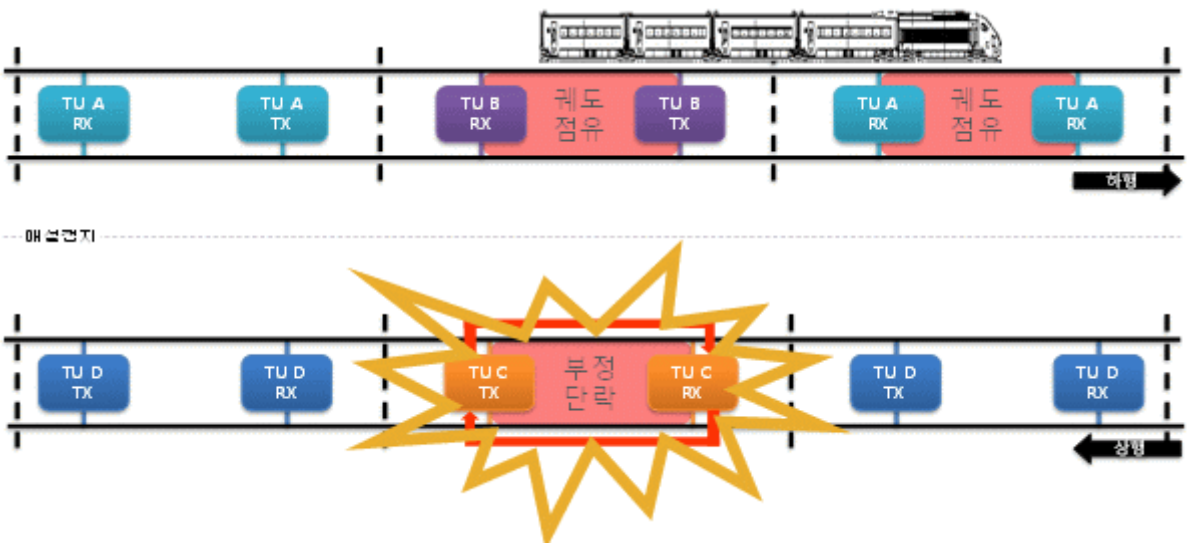



**Fig. 1** AF Track Circuit( “C” Type TI21) Fault status when KTX-Sancheon Service Classical line

AF궤도회로(TI21)는 궤도회로 간 절연이 없는 타입으로 국내에는 하행선에 A/B 타입을 상행선에 C/D 타입을 가청주파수 대역인 1500~2500Hz을 교번으로 설치하며 궤도회로 내 일정구간(약 3㎞)마다 설치된 임피던스본드(B1)는 자신의 궤도회로 주파수는 바이패스

시키고 궤도에 흐르는 귀선전류를 중성점을 통하여 매설접지에 연결하여 변전소로 귀환시킨다. Fig 2는 단권변압기(AT)구간에서 전기차량 운행시 전차선귀선전류의 흐름도를 나타낸다.

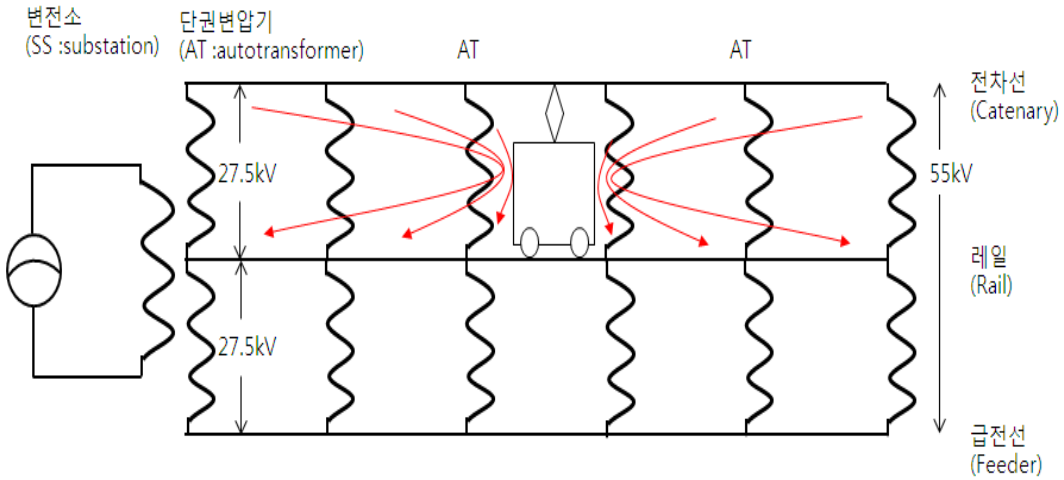



**Fig.** 2 Configuration of AT(autotransformer) section return current

## 2. 본 론

호남선 흑석리~계룡간 B3035T~B3052T 궤도회로구간에서 PXI, NI장비와 로코스키코일, 오실로스코프 등을 사용하여 귀선전류고조파에 대하여 측정하였다. Fig 3은 현장신호설비 궤도회로 배치도를 나타낸다.

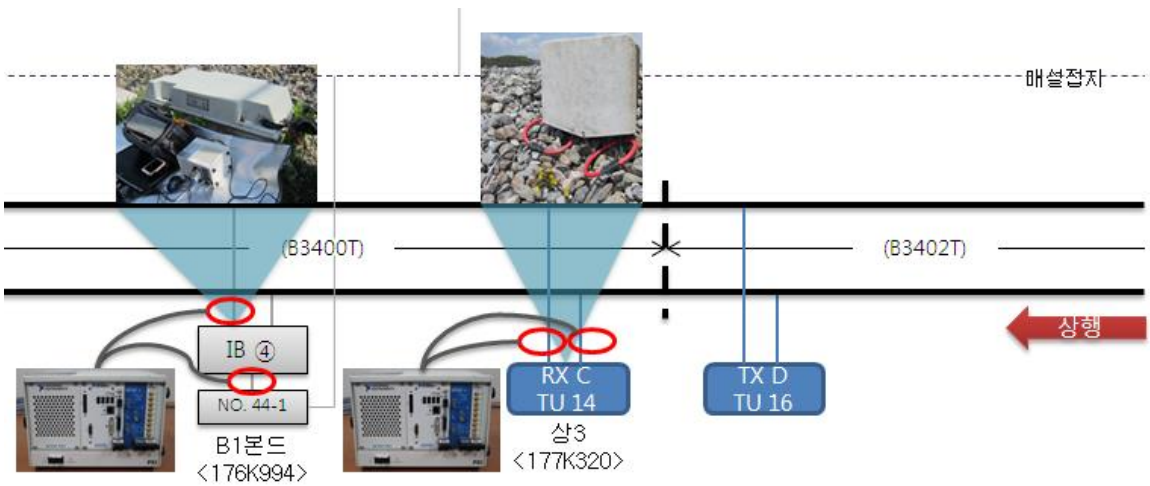



Fig 3 measured point of return current and harmonic Ffrequency

### 2.1 KTX산천열차의 운행선로상에서의 귀선전류 이동경로

KTX산천 열차의 하선주행시, 레일을 따라 흐르는 귀선전류는 하선A타입의 임피던스본드양단을 지나 중성점을 통하여 매설접지로 귀선된다. 이때, KTX산천 열차에서 발생되는 33차 고조파도 포함되어 귀선으로 흐르게 된다. Fig 4는 KTX산천 열차가 자기 궤도를 운행할 때 TI21 궤도회로에 흐르는 귀선전류 이동경로에 대해 나타낸다.

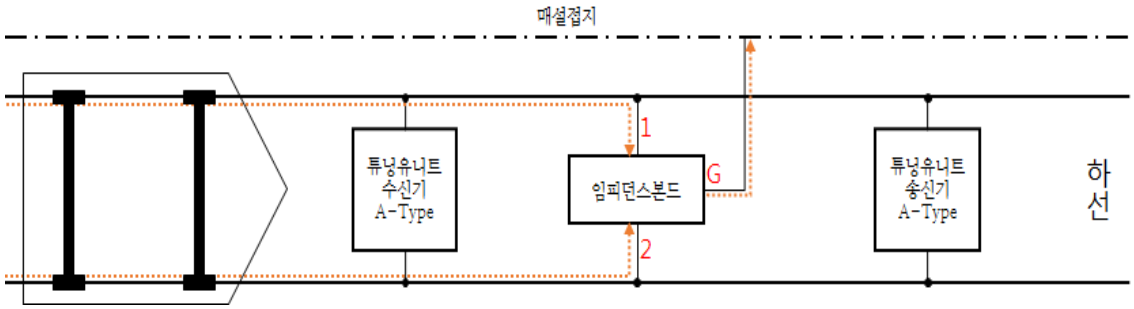



Fig 4 Principle Travel Path of TI21 Track Circuit Return Current

귀선전류를 측정한 결과 임피던스 양단(1, 2)의 귀선전류 60Hz성분이 중성점(G)에서 합쳐져서 나타난다. Fig 5는 임피던스본드를 통하여 귀선전류에 포함된 60Hz성분이 흐르는 것을 나타난다.

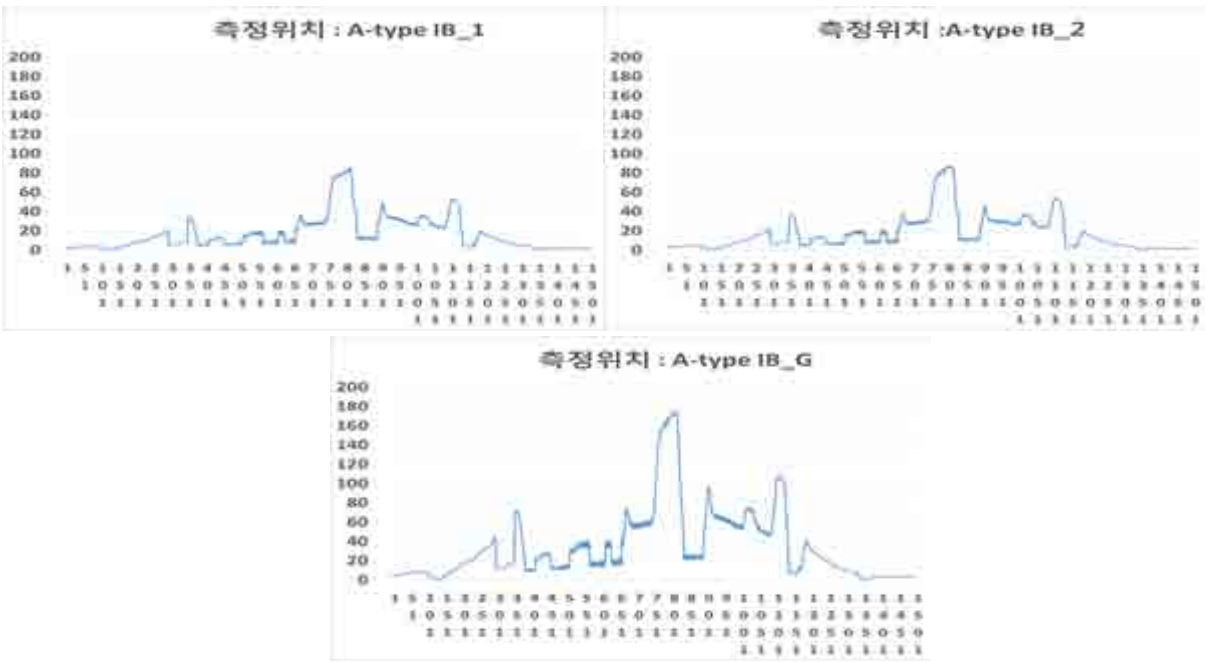



**Fig 5** Measured value grape of TI21 Track Circuit Return Current Basic Frequency(60Hz)

Fig 6은 귀선전류에 33차 고조파(1980Hz)가 포함되어 흐르는 것을 보여준다.

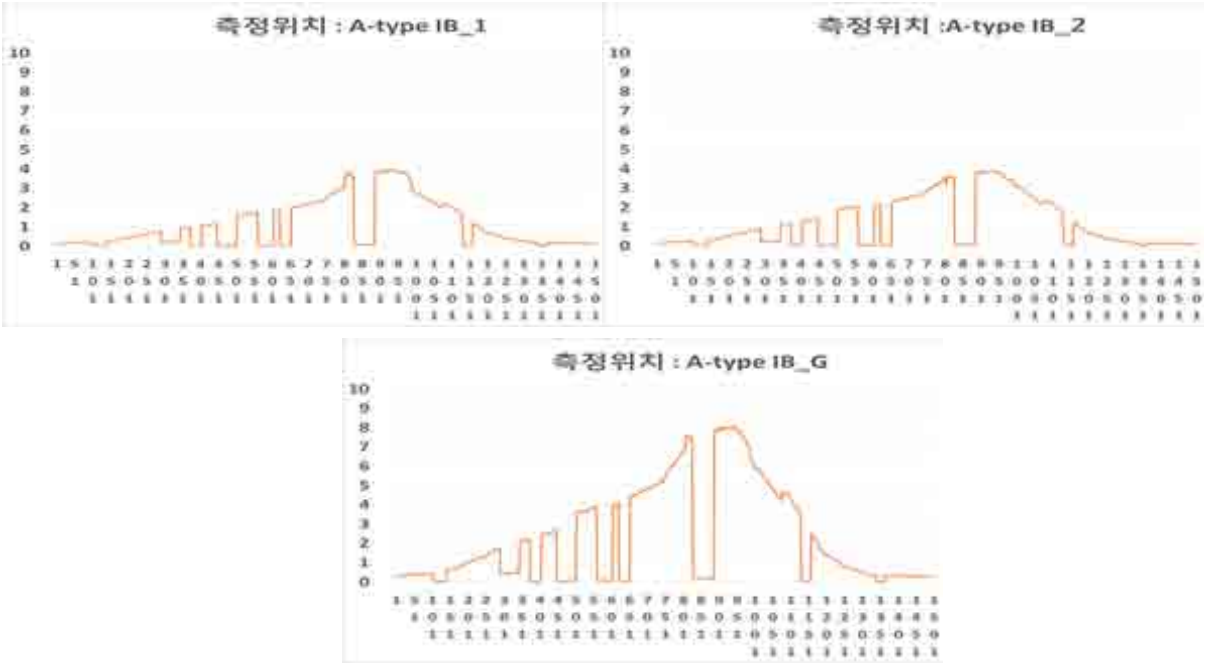



**Fig 6** Measured value grape of TI21 Track Circuit Return Current 33th Harmonic(1980Hz)

## 2.2 KTX산천열차 주행시 반대 선로로의 귀선전류 이동경로

KTX산천 열차의 하선주행시, 하선 A-Type 임피던스본드를 통하여 귀선된 전류 중 일부가 매설접지에 공동 연결된 상선 C-Type 임피던스본드로 유입된다. Fig7은

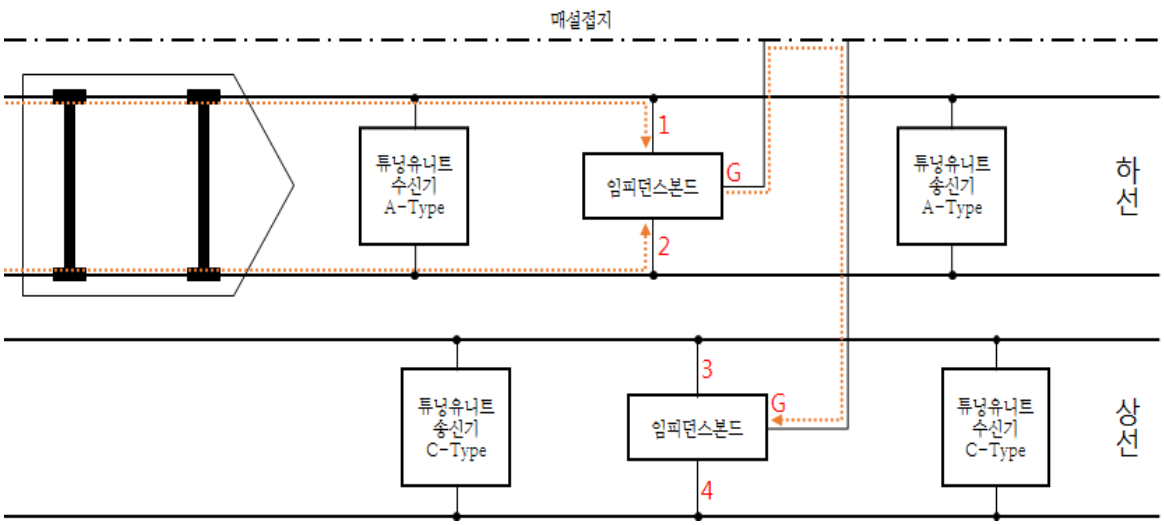



Fig 7 Principle Travel Path of TI21 Track Circuit Return Current

Fig 8는 하선 A타입 임피던스본드 양단(1,2)의 귀선전류(60Hz)가 중성점(G)에서 합쳐져서 나타난다.

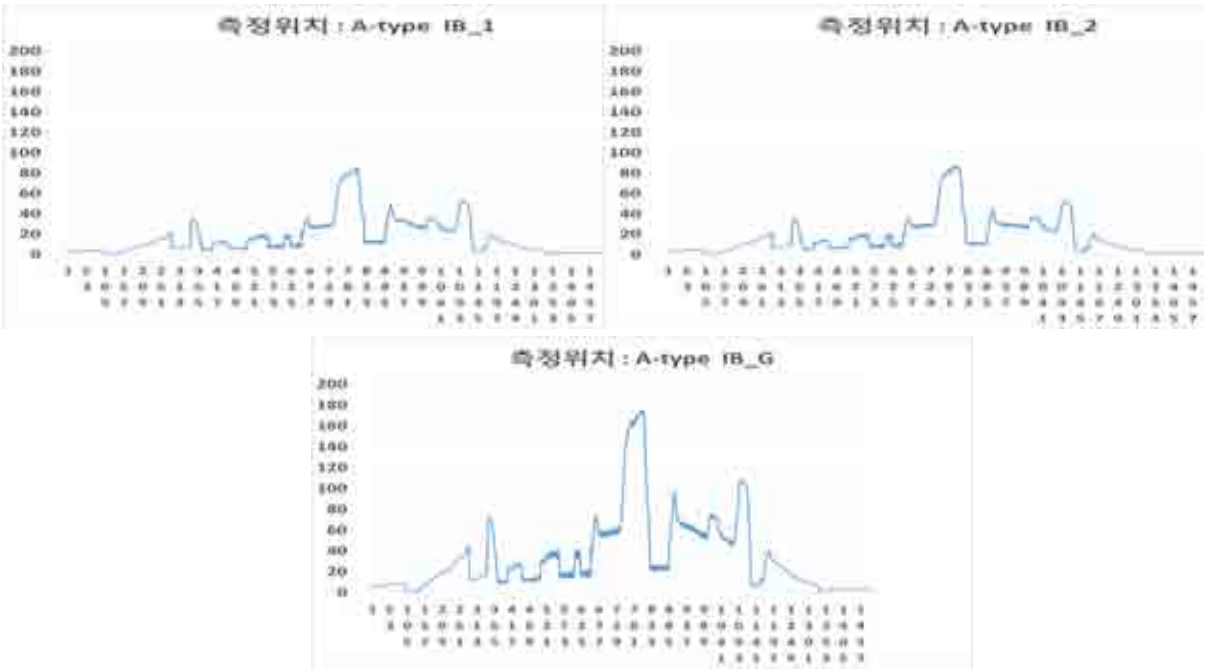



**Fig 8** Measured value grape of TI21 Track Circuit Return Current Basic Frequency(60Hz)

Fig 9는 귀선전류에 33차 고조파(1980Hz)가 포함되어 흐르는 것을 보여준다.

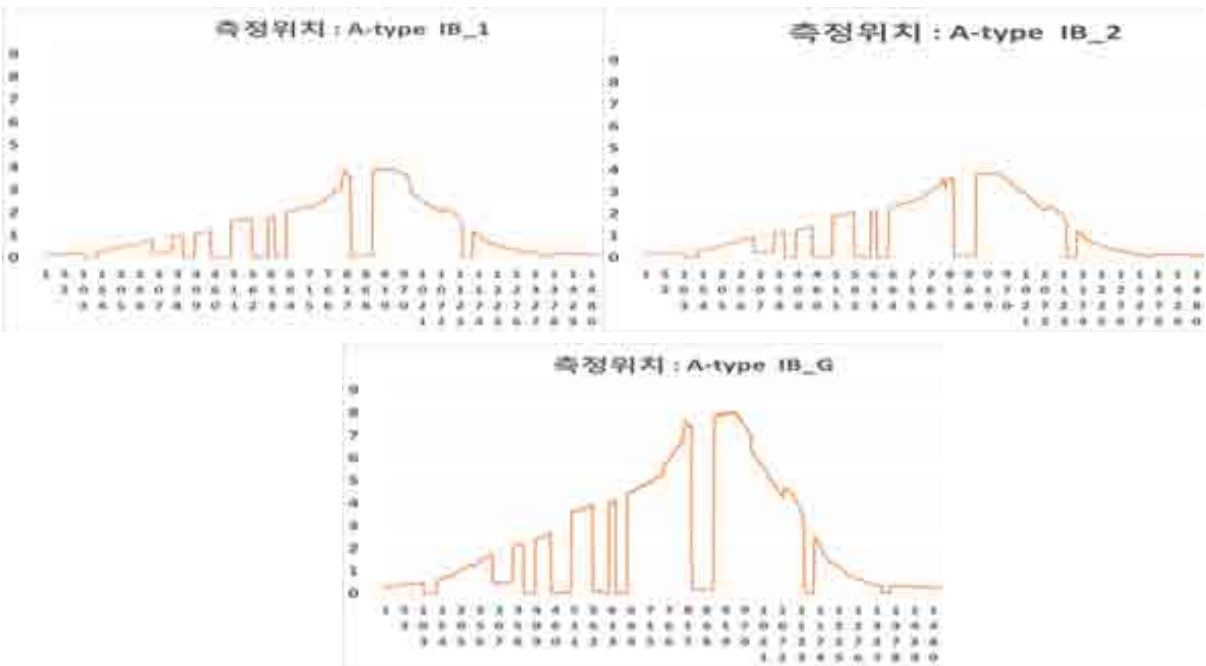



**Fig 9** Measured value grape of TI21 Track Circuit Return Current 33th Harmonic(1980Hz)

상선 C타입 임피던스본드 양단(3,4)의 귀선전류(60Hz)가 중성점(G)에서 합쳐져서 나타난다.

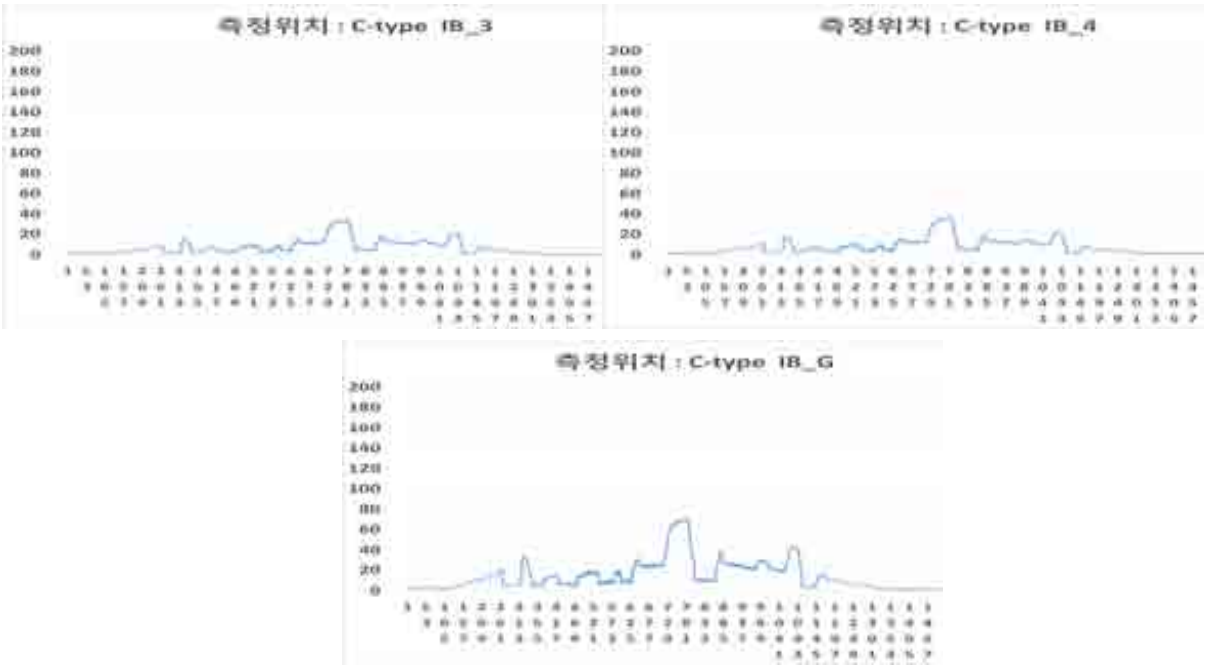



**Fig10** Measured value grape of TI21 Track Circuit Return Current 33th Harmonic(1980Hz)

33차 고조파(1980Hz)도 동일한 양상을 나타난다.

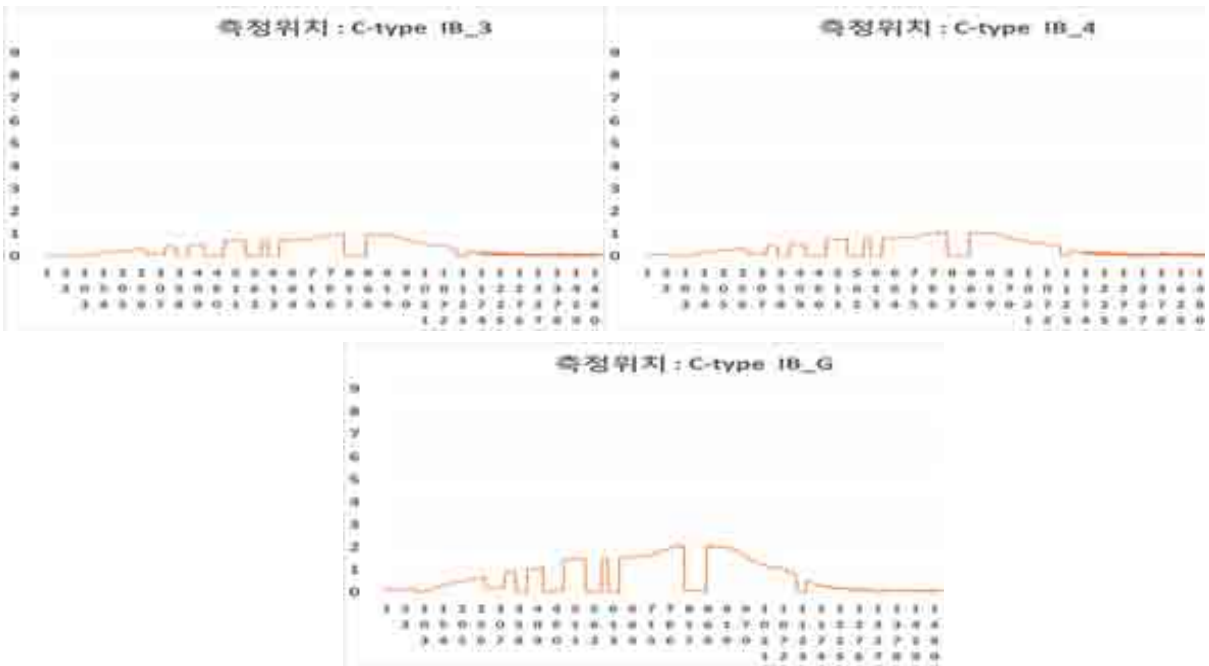



**Fig11** Measured value grape of TI21 Track Circuit Return Current 33th Harmonic(1980Hz)

## 3. 결 론

앞서 상황별 귀선전류 이동에 대한 분석을 통한 고조파간섭 이동경로는 다음과 같다. KTX-산

천 열차가 주행 시, 주행 궤도의 전차선 전류는 임피던스본드의 특성에 의해 전기적 손실 없이 100%의 전차선 전류가 임피던스본드의 중성점을 통해서 매설접지로 귀선한다. 이 때, 귀선 전류 중 일부가 매설접지에 공동 접지된 임피던스본드(주행 궤도의 반대편 궤도에 있는)의 중성점으로 유입되어 임피던스본드의 양단으로 향한다는 것을 증명하였으며 향후 귀선전류에 포함된 고조파를 측정하는 기준 및 측정방법에 대하여 연구하고자 한다.

## 후 기

본 연구는 2012년 국토교통부산하 국토교통과학기술진흥원에서 국가연구개발사업 자유공모과제로 수행되고 있으며 담당기관에 감사드립니다.

## 참고문헌

[1] Tae-hoon Lee, See-bin Lee, Hyun-pro Hong, Hee-soon Lee, Ki-bum Park(2011) “A review of the train position detection method for neutral section with energized condition”, Proceedings of the Korean Society for Railway Conference, pp1100-1105

[2] Yong-kyu Kim, Jong-hyun Baek, Chang-keun Ryu(2004), “A Study on the track circuit characteristic in electrified classical line”, Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers Conference, 2004.7.14~16

[3] Yung-tae Kim, “철도신호제어시스템”, 개정 4 판, 테크노미디어, 2006

[4] Jae-young Park, 홍원식, 전병록, 철도신호공학”, 개정2판, 2007

[5] KOERAN RAILWAY STANDARDS (2006), “Non-insulated Audio Frequency Track Circuit”, KRS SG 0038-09(R)

[6] HYUKSHIN(2003), TI21 Track circuit Technical Manual(M6/5/21-4/118931),

[7] KOREA RAILROAD 신호제어처(2011), “경부, 호남선 KTX산천운행구간 AF궤도회로 안정화를 위한 개선대책(안) 보고서

[8] Yong-kyu Kim(2001), 기존선의 TI21 AF궤도회로 고조파 특성 검토보고서, Korea Railroad Research Institute

[9] Jae-Sik Choi, See-Bin Lee, Bum-gon Kim, Tea-Hoon Lee, Joon-Young Ko(2013) “A Study on Reliability Insurance Plan of AF Track Circuit(TI-21) about KTX-Sancheon Electromagnetic Interference ”, Korean Society for Railway

# KTX-산천 운행에 따른 전철변전소 고조파 분석

(A Study on Measurement and Analysis of Harmonics in Substation)

김형복* · 공명상

(Hyung-Bok Kim · Myong-Sang Kong)

## Abstract

Korea Electric Power Corporation (KEPCO) gives the limit values for each voltage harmonics, and Korea Railroad Corporation (Korail) requires that the new high speed trains should satisfy the limit values for each voltage harmonics given by KEPCO. This paper analysed the harmonics measured at the substations when KTX-Sancheon runs on the railway, and we compared the measured voltage harmonics with the limit values given by KEPCO. In conclusion, all measured voltage harmonics satisfied the limit values, so there is no need to consider additional countermeasures.

## 1. 서 론

KTX 차량 도입 후 고조파와 관련된 많은 연구가 진행되었으며, 아직 많은 연구가 진행 중이다. 고조파전압과 관련해서, 한국전력공사(이하 “한전”)는 기본공급약관시행세칙 제26조 3항의 2를 통하여 전철변전소의 고조파 허용 기준치를 제시하고 있으며, 그 기준은 점점 엄격해지고 있는 실정이다. 한전의 고조파 허용 기준치는 차수별 고조파전압과 종합 고조파 왜형률(THD, Total Harmonic Distortion)을 함께 제시하였으나, 최근 개정된 한전 기본공급약관시행세칙[1]은 종합 고조파 왜형률에 대한 기준치는 삭제하고 차수별 고조파전압에 대한 기준치만 제시하고 있으며, 그 기준치는 더욱 엄격해졌다. 한국철도공사에서 발주하는 고속차량의 경우 기존에는 종합 고조파 왜형률을 1.5% 이하로 관리해야 된다는 요구사항만 있었으나, 최근 발주되는 고속차량의 경우는 한전 기본공급약관시행세칙 제26조 3항의 2를 준수하도록 명시하고 있으며, 이에 따른 대책이 필요한 실정이다.

본 논문은 KTX-산천 운행에 따른 전철변전소의 고조파를 분석하여, 한전에서 규정하는 고조파 허용 기준치와 비교하였다.

## 2. 본 론

### 2.1. 측정대상

KTX-산천이 운행하는 고속구간(300km/h)과 저속구간(150km/h) 전철변전소 각각 1개소를 선정하였으며, 경부고속선의 평택변전소와 호남선의 계룡변전소에서 고조파전압을 측정하였다.

### 2.2. 측정방법

그림 1 과 같이 전력분석기(DEWETRON, DEWE-571)를 전철변전소 154kV 수전측의 PTT(Potential Test Terminal, PT Ratio: 154kV/100V)에 연결하여 고조파전압을 측정하였으며, 단전조건 일 때와 KTX-산천 운행조건 일 때의 고조파전압을 각각 측정하였다.

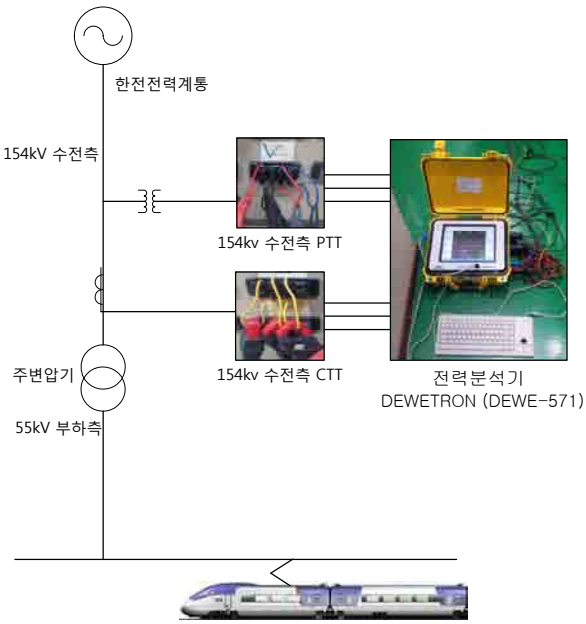



그림 1 검측용 PTT

Fig 1. PTT for measurement

### 2.3. 측정결과

평택 변전소의 경우 전압왜형률이 IEC 기준 최대 1.25%(순시값 기준 최대 2.26%)로 측정되었으며, 계룡변전소는 IEC 기준 0.61%(순시값 기준 최대 0.84%)로 한전 기본공급약관시행세칙 개정 이전 기준치였던 3%를 만족하고 있다.

**표 1. 종합 고조파 왜형률**
**Table 1. Total harmonic distortion**

| 변전소 | 상 | 종합 고조파 왜형률(THD, 단위: %) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 무부하 | 순시값 | IEC기준 |
| 평택 | A상 | 0.60 | 1.99 | 1.18 |
| | B상 | 0.62 | 2.26 | 1.25 |
| | C상 | 0.58 | 1.66 | 0.94 |
| 계룡 | A상 | 0.43 | 0.80 | 0.58 |
| | B상 | 0.47 | 0.84 | 0.61 |
| | C상 | 0.43 | 0.65 | 0.52 |

평택변전소의 차수별 고조파전압 분석 결과 순시치 기준 9, 10, 11, 15, 17 차수에서 기준치를 최대 0.9% 초과하고 있으나, IEC 기준으로는 모든 차수에서 기준치를 만족하는 것으로 나타났다.

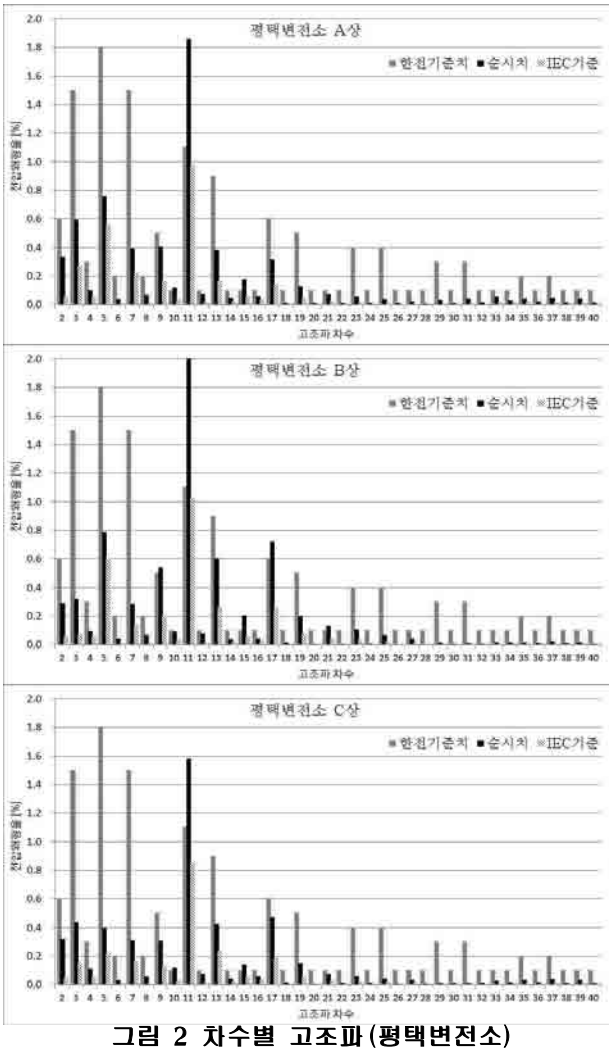



**그림 2 차수별 고조파(평택변전소)**
**Fig 2. The harmonics(Pyeongtaek substation)**

계룡변전소의 차수별 고조파전압 분석 결과 순시치 기준 15, 21 차수에서 기준치를 최대 0.1% 초과하고 있으나, IEC 기준으로는 모든 차수에서 기준치를 만족하는 것으로 나타났다.

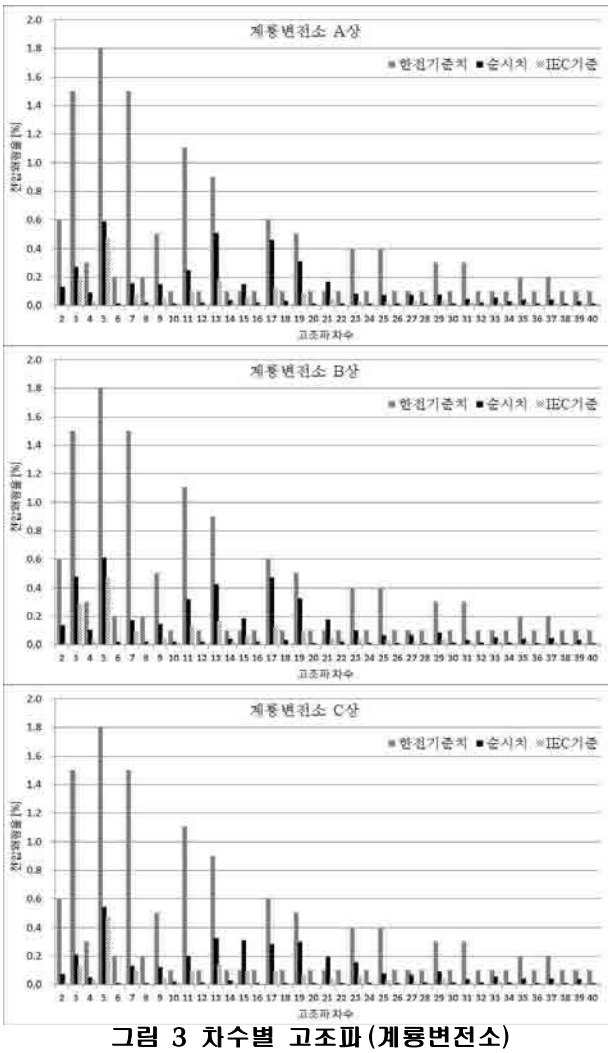



**그림 3 차수별 고조파(계룡변전소)**
**Fig 3. The harmonics(Gyeryong substation)**

## 3. 결 론

경부고속선의 평택변전소와 호남선의 계룡변전소에서 측정된 고조파를 분석하여, 한전이 규정하고 있는 차수별 고조파전압 기준치와 비교하였으며, IEC 기준으로 모든 차수의 고조파가 기준치를 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 고조파전압 저감을 위해 전철변전소와 차량에 추가적인 대책은 필요하지 않을 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌


[1] 한국전력공사 "기본공급약관시행세칙 (2013년 11월 21일 시행", 제26조 3항의 2

[2] IEC 61000-3-6 "Electromagnetic Compatibility(EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EV power systems."

[3] IEC 61000-4-7 "Electromagnetic Compatibility(EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto"

# KTX 산천과 TI21 AF궤도회로간 귀선전류 고조파 영향 분석

## Effect Analysis of Return Current Harmonics between KTX-Sanchoen and TI21 AF track circuit

최재식[1] 김희식[2]

Jae Sik Choi · Hie Sik Kim

**Abstract** KTX-Sancheon, developed with Korean Technology, has been operated on Gyeongbu, Honam, Gyeongjeon normal lines and Geongbu high speed line. When the high speed trains were made a trial run on Gyeongbu and Honam downbound normal lines in 2010, The signals stop occurred since specific track circuits such as C type AF track circuits didn't work properly on the upbound line opposite. To deal with this problem, we improved C type AF track circuit receivers from analog into digital type which have a noise analysis function so that the problem didn't occur any longer. In this paper, we aimed at defining principles, a test and a way of verification about electromagnetic noise analysis function of the improved track circuit receivers.
***Keywords*** **:** KTX-Sancheon, AF Track circuit(TI-21), Return Current Harmonics

**초 록** 철도 차량의 운행에 있어서 궤도회로는 차량위치검지를 통한 신호기제어, 선로전환기 제어, 차량의 간격 조정, 차량 접근 예고를 통한 충돌사고 예방 등 안전운행을 위한 필수적인 시스템이다. 따라서 철도차량과 궤도회로의 전자파적 합성의 원인은 철도 차량의 운행에 있어 필수적이다. 본 논문은 KTX산천차량과 궤도회로에서 사용하는 신호주파수에 대해 상호간 최소한 허용 할 수 있는 전류제한 권고치를 제시하고, 향후 제작되는 KTX 고속 차량에 대해 궤도회로 주파수의 영향을 최소화 할 수 있는 고조파를 조사 하여 차량과 시설 인프라간 상호 효율적이고 안정적인 운영을 도모할 것이다.

**주요어** : KTX-산천, AF궤도회로(TI-21), 귀선전류고조파

## 1. 서 론

2010년 2월 이후, 호남선 하행선에서 KTX-산천 운행 시, 열차가 없는 상행선 TI-21 AF궤도회로(C-type) 구간에서 궤도회로 점유를 검지하는 궤도 계전기의 부정낙하 현상이 발행하였다. 이러한 현상의 원인으로, KTX-산천 차량이 운행하면서 발생하는 고조파 귀선전류(Harmonic return current)의 33차 고조파인 1980Hz와 TI-21 AF궤도회로 C-type Low-side 주파수인 1977~1980Hz가 일치하여 발생하는 것으로 확인되었다. 이 문제를 해결하기 위해, TI-21 AF궤도회로의 수신기를 아날로그타입에서 디지털타입으로 교체하였으며, 수신기 교체 이후 동일한 문제가 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 그러나 이것은 단기적인 해결책으로, 장기적인 관점에서는 차량의 고조파전류 저감, 궤도회로 주파수 변경, 궤도의 접지 개선 등에 대한 연구가 필요하다.

## 2. 본 론

TI-21 AF궤도회로는 '무절연' 형으로 인접 궤도회로와의 전기적 분리는 2개의 Tuning unit를 사용하여 약 20m 궤도구간에 인덕턴스 동조 회로를 구성하는 방식을 사용한다. 또한 B1임피던스 본드를 궤도회로에 설치하며, TI-21 AF궤도회로 사용 주파수는 차단하여 신호의 흐름을 유지시키고, 차량의 고조파 귀선전류는 접지와 연결된 임피던스본드를 통해 흘러 나가게 한다. 때문에, 차량 운행시 발생하는 고조파전류는 해당 운행선로에 설치되어 있는 궤도회로에 전자파간섭을 일으키지 않는 구조를 가진다.

† 교신저자 : 한국철도공사 연구원 차장 E-mail : khsrman@korail.com
[1] 한국철도공사 연구원, 차장
[2] 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 교수

상선과 하선은 임피던스본드, 매설접지선, 횡단접지선를 통하여 연결되어 있으므로 하선에서 상선으로 또는 상선에서 하선으로 전도되는 고조파전류에 의한 영향을 줄 수 있다. 따라서, 열차가 하선을 운행 시 열차가 없는 상선 궤도회로 구간에서 궤도회로 점유를 검지하는 계전기의 부정낙하 발생 원인은 반대편 레일에서 전도된 고조파 전류로 판단되며, 실제 측정 결과 차량이 운행하는 레일의 고조파전류가 반대편으로 전도되는 사실을 확인 할 수 있었으며, 그 결과는 다음과 같다.

### 2.1 측정장소: 호남선 신흥리SSP(보조급전구분소) 인근

### 2.2 측정방법: KTX-산천(10량 1편성) 차량이 상선 또는 하행 운행시 상/하행 임피던스본드 출력단 전류 동시 측정

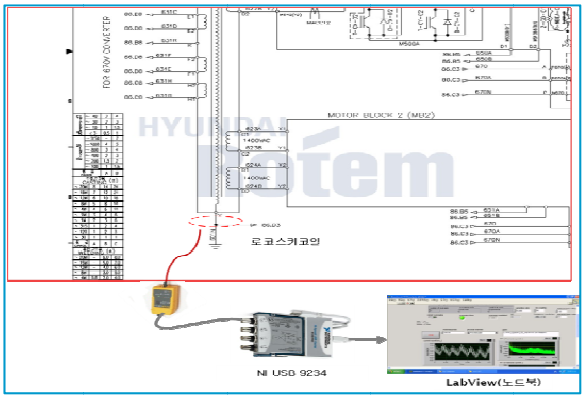



Figure 1 변압기 1차측 귀선전류 측정방법

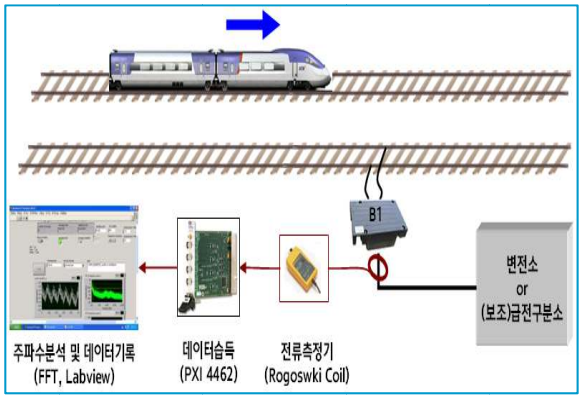



Figure 2 궤도회로 임피던스측 귀선전류 측정방법

### 2.3 측정위치: 상선 D-type 및 하선 A-type B1임피던스본드

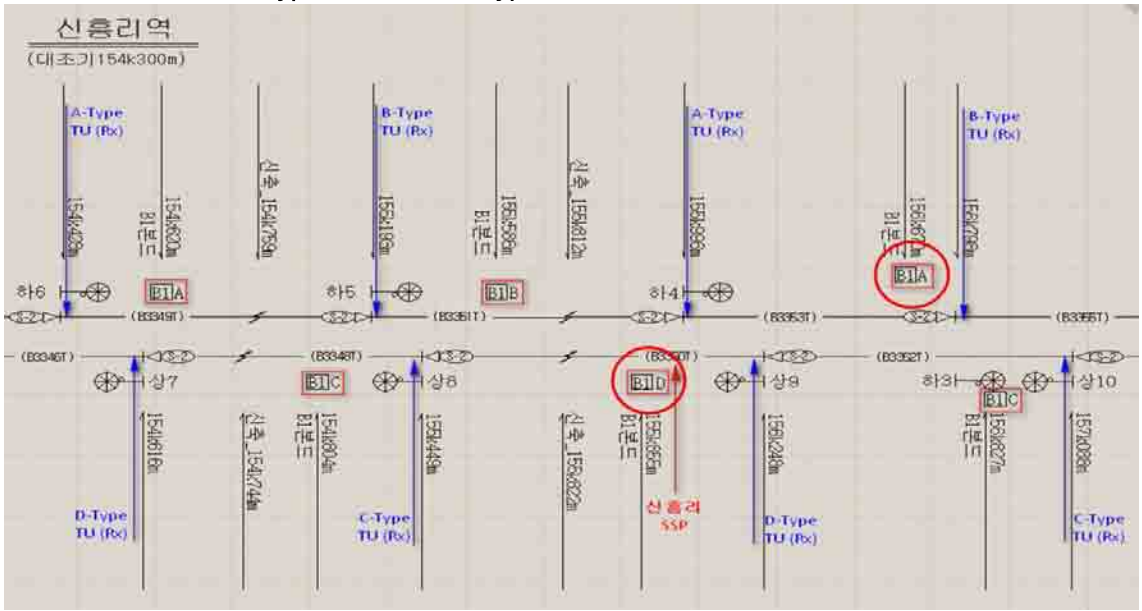



Figure 3 측정위치: 상선 D-type 및 하선 A-type B1임피던스본드

#### 2.3.1 차량이 상행 운행시 측정 결과

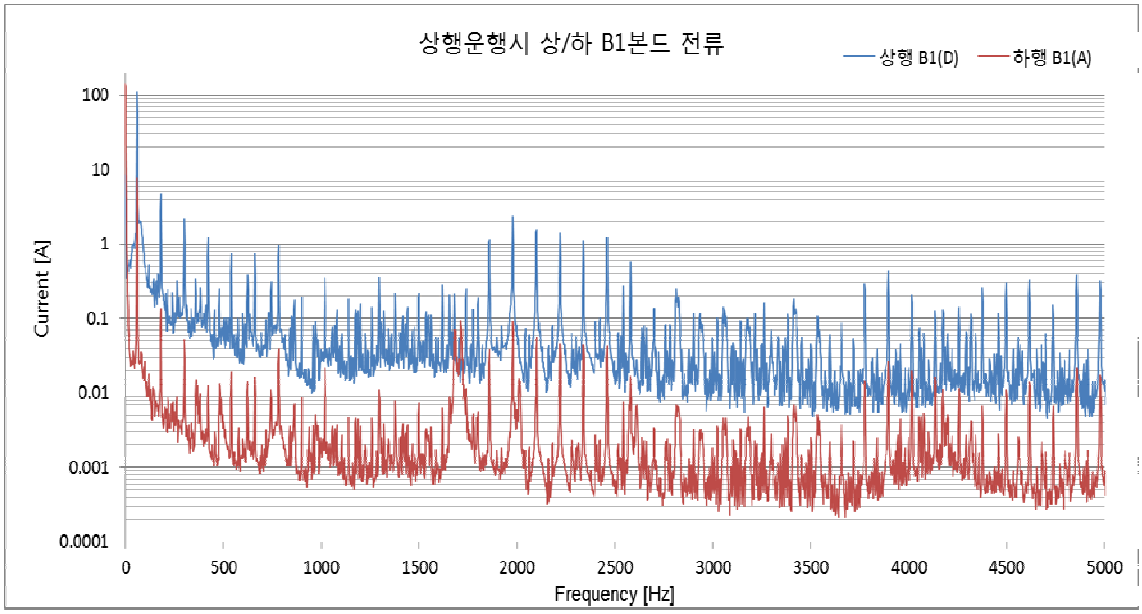



Figure 4 차량이 상행 운행시 상/하선 B1본드 전류

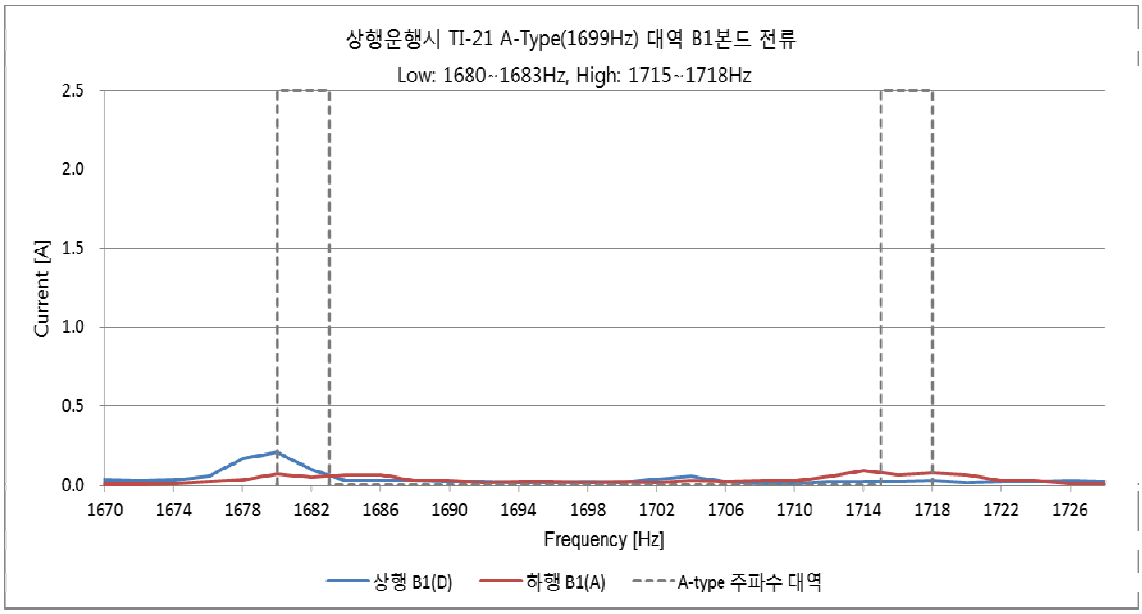



Figure 5 차량이 상행 운행시 TI-21 A-type 대역 B1본드 전류

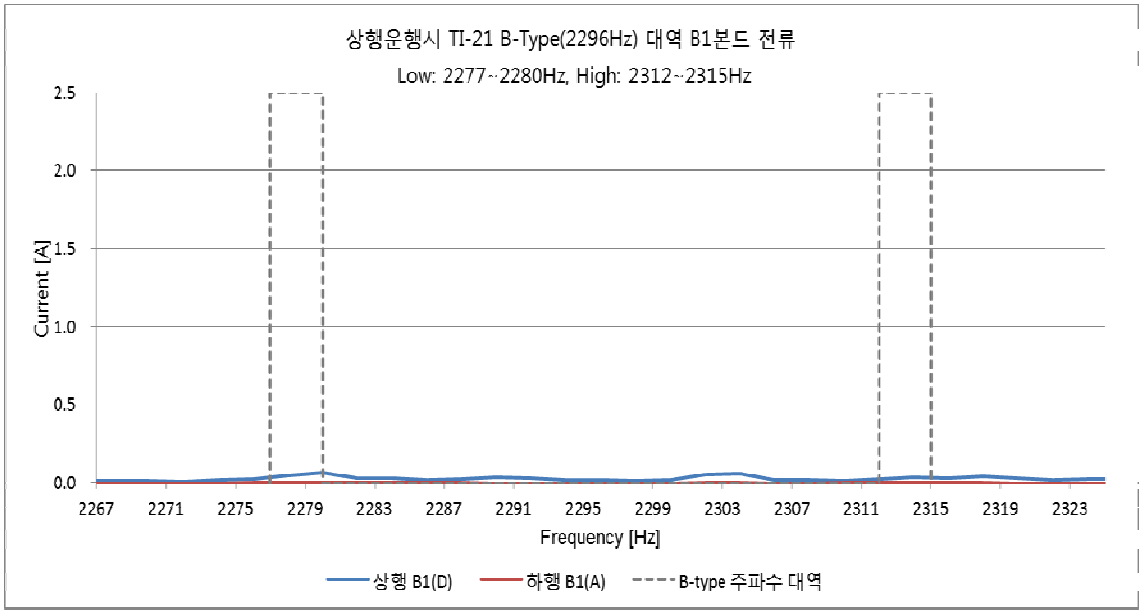



Figure 6 차량이 상행 운행시 TI-21 B-type 대역 B1본드 전류

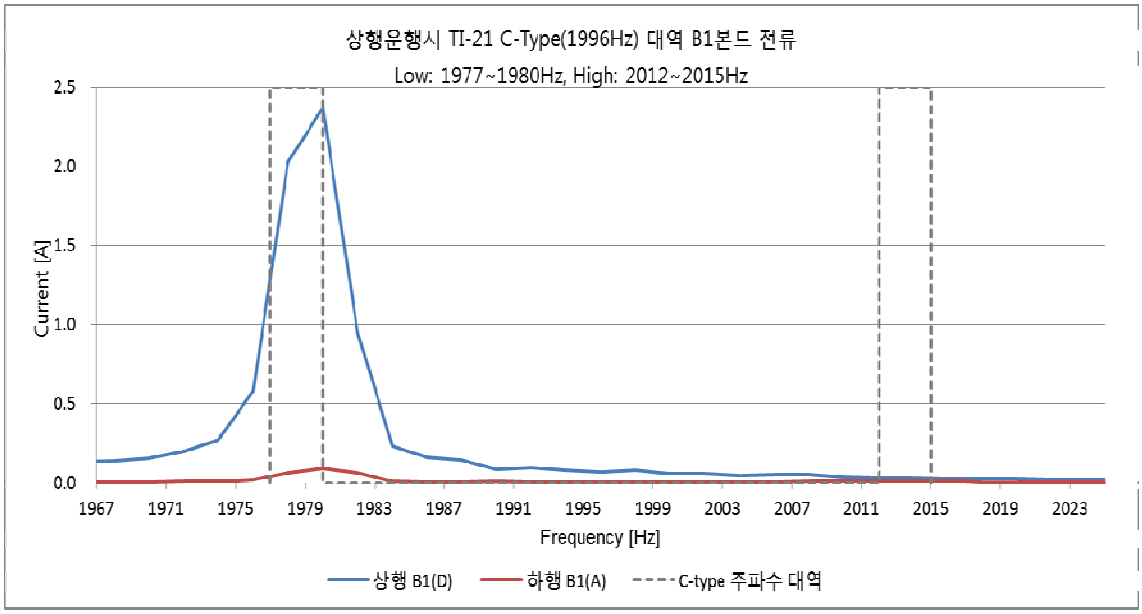



Figure 7 차량이 상행 운행시 TI-21 C-type 대역 B1본드 전류

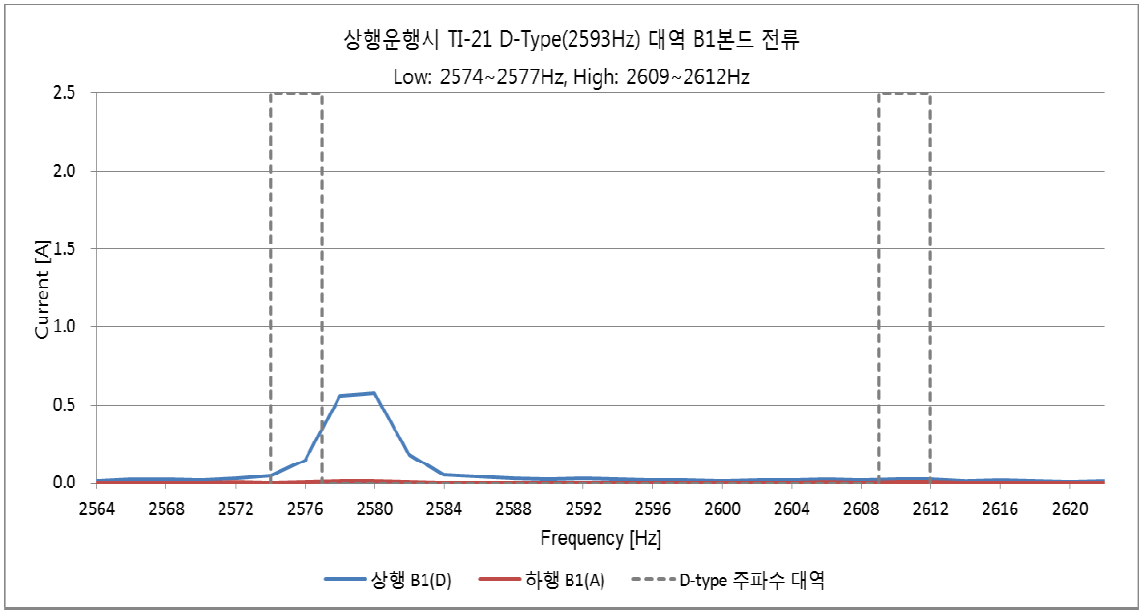



Figure 8 차량이 상행 운행시 TI-21 D-type 대역 B1본드 전류

Table 1 차량이 상행 운행시 하행으로의 전류 전달 비율

| 주파수 | 상행 B1(D) | 하행 B1(A) | 전달비율 |
|---|---|---|---|
| 60Hz | 111.4 A | 7.6 A | 7 % |
| A-type | 0.208 A | 0.071 A | **34 %** |
| B-type | 0.063 A | 0.002 A | 3 % |
| C-type | 2.370 A | 0.092 A | 4 % |
| D-type | 0.144 A | 0.007 A | 5 % |

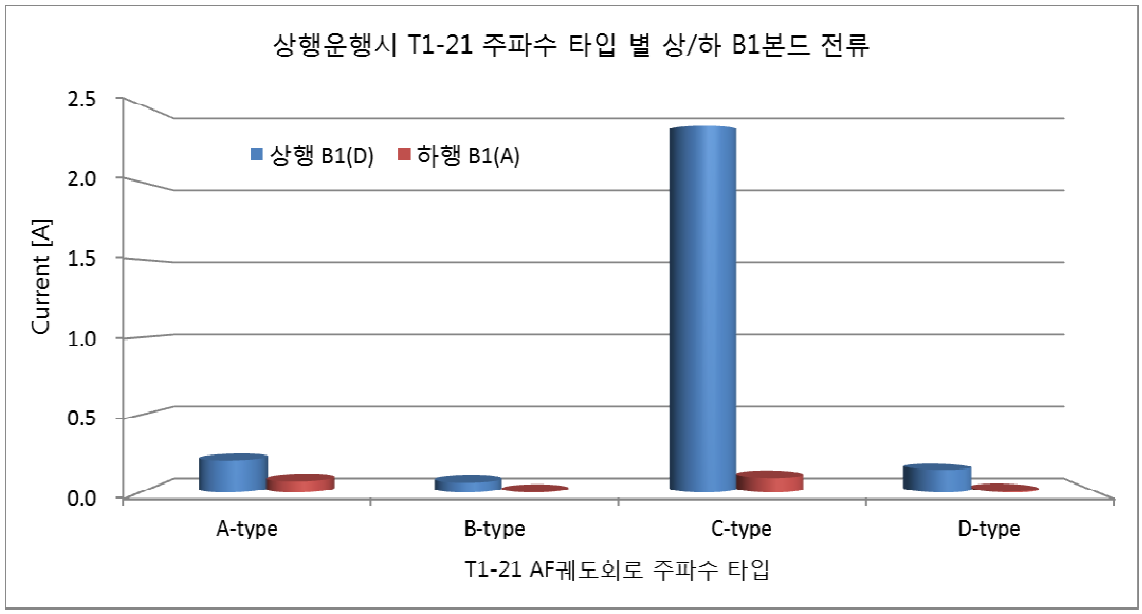



Figure 9 차량이 상행 운행시 TI-21 주파수타입 별 상/하 B1본드 전류

### 2.3.2 차량이 하행 운행시 측정 결과

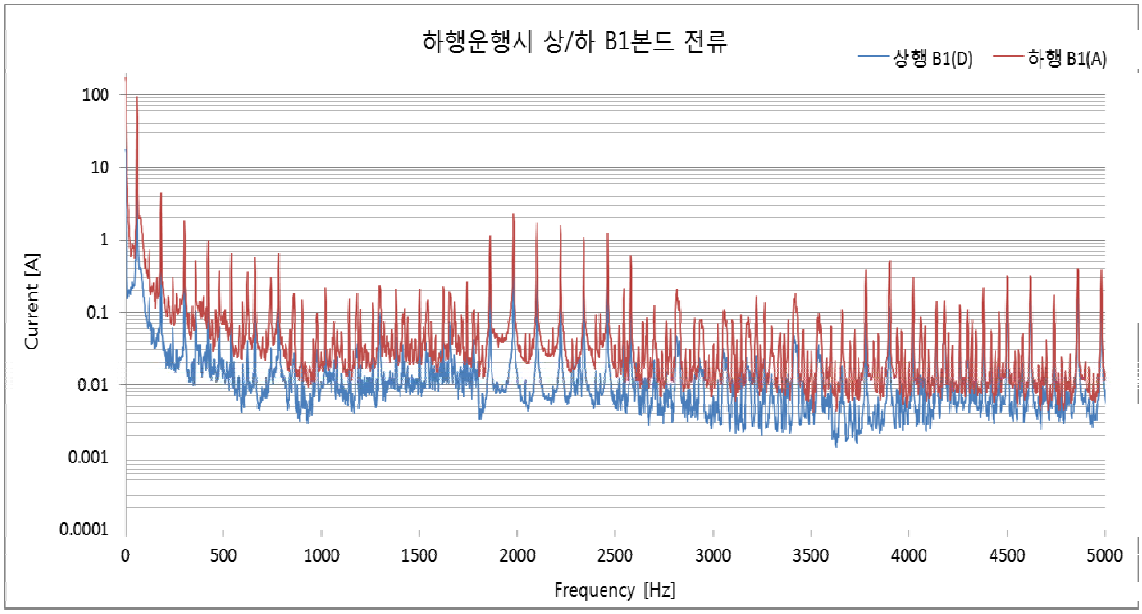



Figure 10 차량이 하행 운행시 상/하선 B1본드 전류

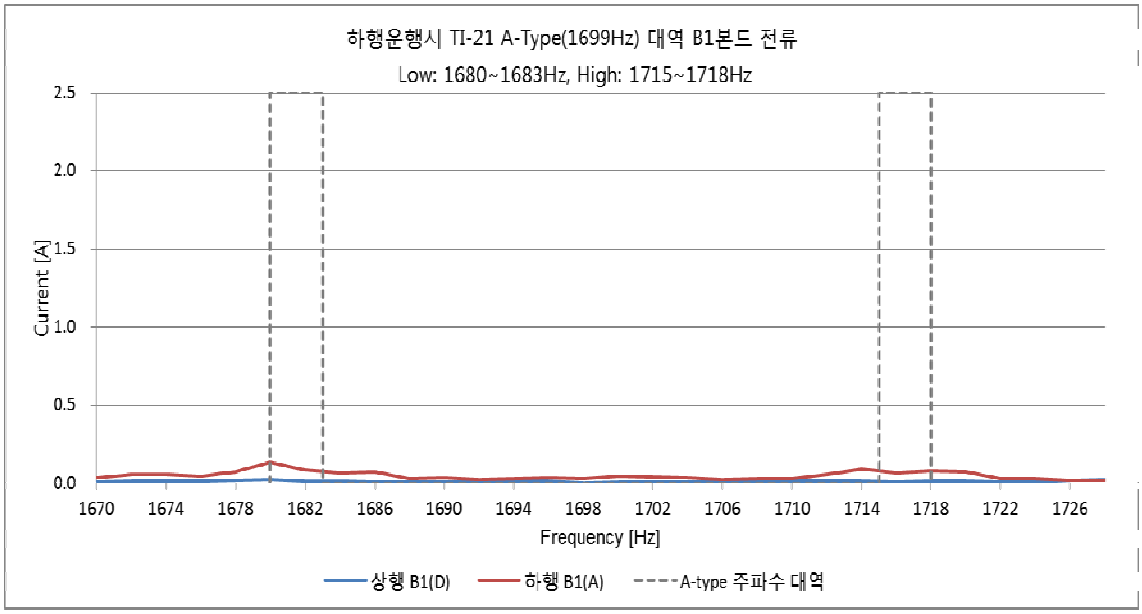



Figure 11 차량이 하행 운행시 TI-21 A-type 대역 B1본드 전류

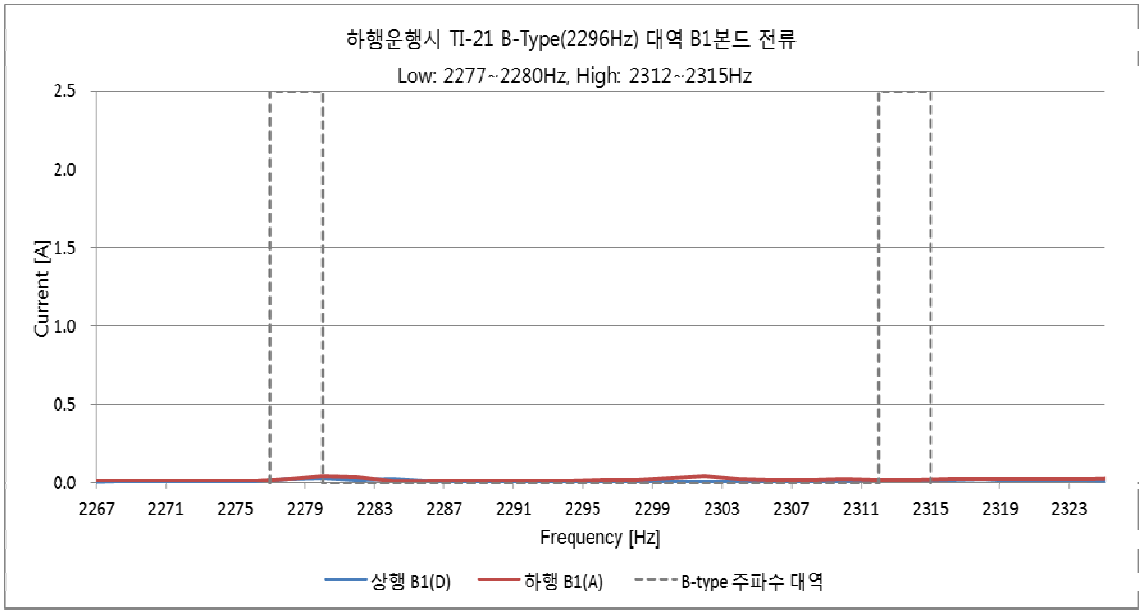



Figure 2 차량이 하행 운행시 TI-21 B-type 대역 B1본드 전류

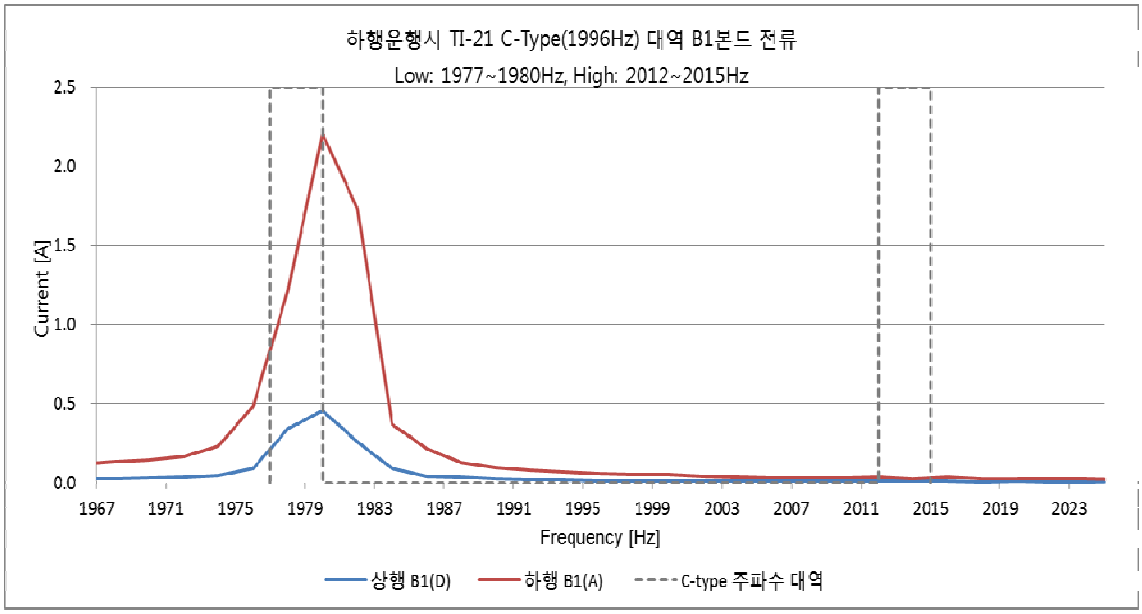



Figure 3 차량이 하행 운행시 TI-21 C-type 대역 B1본드 전류

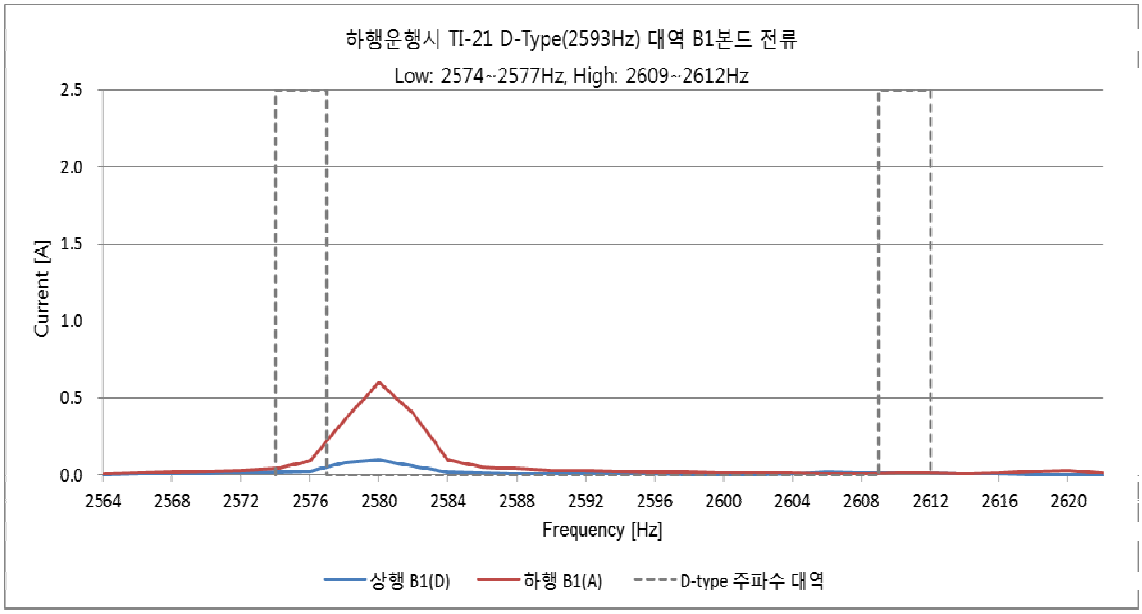



Figure 4 차량이 하행 운행시 TI-21 D-type 대역 B1본드 전류

Table 2 차량이 하행 운행시 상행으로의 전류 전달 비율

| 주파수 | 상행 B1(D) | 하행 B1(A) | 전달비율 |
|---|---|---|---|
| 60Hz | 33.3 A | 94.2 A | 35 % |
| A-type | 0.026 A | 0.137 A | 19 % |
| B-type | 0.030 A | 0.042 A | ~~71 %~~ |
| C-type | 0.455 A | 2.206 A | **21 %** |
| D-type | 0.030 A | 0.097 A | ~~31 %~~ |

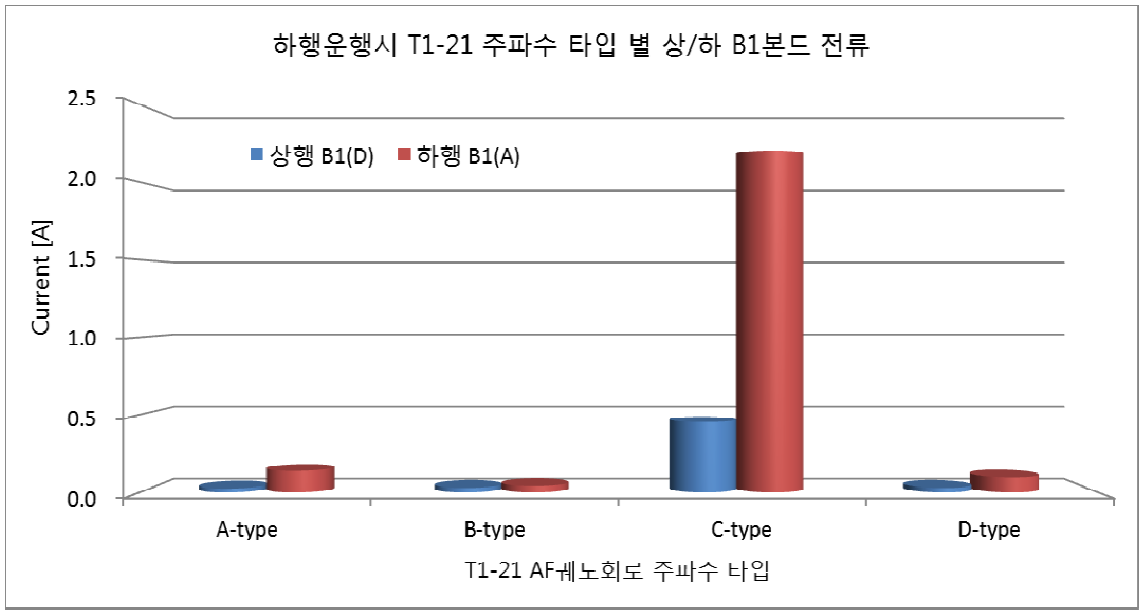



Figure 5 차량이 하행 운행시 TI-21 주파수타입 별 상/하 B1본드 전류

## 3. 결 론

그림 4,10으로 부터 차량이 하선 운행시 상선으로 전도되는 고조파전류의 상대적인이 양이 큰 것을 확인 할 수 있다. 이러한 결과의 원인은 상선에만 매설접지선이 설치되어 있기 때문인 것으로 판단되며, 하선에 매설접지를 추가 설치할 경우 전기차량의 귀선전류에 포함된 고

조파전류가 반대편 선로로 전도되어 AF궤도회로의 부정동작을 일으키는 문제를 어느정도 해소 할 수 있는 방안이 될 수 있다.

그림 7, 13로부터 KTX-산천에서 발생되는 고조파 전류가 TI-21 AF궤도회로의 C-type 사용주파수 대역에서 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 9펄스의 컨버터 스위칭 주파수를 사용하는 차량에서 필연적으로 발생하므로, 컨버터 스위칭 주파수를 변경하는 것도 또한 궤도회로의 부정동작을 일으키는 문제를 해결할 수 있는 또다른 방안으로 판단된다.

표 1, 2로부터 차량이 상선 또는 하선 운행시 반대편 선로로 전달되는 비율은 최대 34%가 되는 것으로 측정 결과 확인 되었다. 이는 향후 전기차량과 궤도회로간 전자파간섭시험에 해당하는 전도성 간섭시험의 레일전류 한계치 판단기준을 정립할 때 필요한 팩터라고 할 수 있다.

## 참고문헌


[1] Dr. Mike Ramsbottom, (2014), TI21 AF궤도회로 레일 전류 한계치 시뮬레이션, 레일 네트워크

[2] 최재식 외 4 명, (2013), KTX 산천 운행시 발생되는 전자파 노이즈에 대한 AF 궤도회로(TI21) 신뢰성 확보방안 기술 연구, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집

[3] Yung -tae Kim, “철도신호제어시스템”, 개정4판, 테크노미디어, 2006

[4] Jae-yung Park, 홍원식, 전병록, “철도신호공학”, 개정2판, 2007

[5] KOREAN RAILWAY STANDARDS (2006), “Non-insulated Audio Frequency Track Circuit”, KRS SG 0038-09®

[6] HYUKSHIN(2003), TI21 Track circuit Technical Manual(M6/5/21-4/118931).

[7] KOREA RAILROAD 신호제어처(2011), “경부, 호남선 KTX산천운행구간 AF궤도회로 안정화를 위한 개선대책(안) 보고서

[8] Yong-kyu Kim(2001), 기존선의 TI21 AF궤도회로 고조파 특성 검토보고서, Korea Railroad Research Institute

[9] 김형복 외 3명, (2014), KTX 산천 운행에 따른 전철변전소 고조파분석, 한국조명, 전기설비학회 춘계학술대회논문집

[10] 최재식외 4명, (2014), KTX산천과 TI21 무절연AF궤도회로간 귀선전류고조파 이동경로 분석연구, 한국철도학회 춘계학술대회논문집

[11] 최재식외 4명, (2013), KTX산천운행시 발생되는 전자파노이즈에 대한 AF궤도회로(TI21) 신뢰성 확보방안 기술연구, 한국철도학회 춘계학술대회논문집

[12] Yong-kyu Kim, Jong-hyun Baek, Chang-keun Ryu(2004), "A Study on the track circuit characteristic in electrified classical line", Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers Conference, 2004.7.14~16

[13] Yong-kyu Kim(2001), 기존선의 TI21 AF궤도회로 고조파 특성 검토보고서, Korea Railroad Research Institute

[14] 공명상외 1명, (2013), 철도차량과 지상신호장치와의 간섭문제에 관한 연구, 한국철도학회 추계학술대회논문집

# 5. 해외입수자료

# 철도응용-유럽철도에 사용된 기존 궤도회로의 간섭 한계

(Railway applications-Interference limits of existing track circuits used on European railways)

## 철도 설명서 - 유럽 철도에 사용되는 기존 궤도회로방해 제한

이 설명서는 2007년 1월 16일에 CENELEC로부터 승인 됐다.

이 기술 지원서는 신호와 처리 시스템, 철도에 전기 지원 그리고 전기적인 SC 9XA에 의해 준비 되었다.

각 나라에 현재 사용되는 궤도회로를 위해 몇 유럽 철도 기관 관계자들에 의해 기초한 이 초안은 CENELEC의 CLC/TR 50507에 의해 2007년 1월 16일에 투표와 승인을 위해 제출 될 것이다.

**내용**

1 범위
2 일반적인 참조
3 정의
4 설명의 요약
 4-1 일반
 4-2 규격
 4-3 테스트 설명
 4-4 필터의 예시
 4-5 유럽 궤도 회로 장비의 리스트

**Annex A (유익한) 국제 설명**
 A.1 오스트리아. OBB 설명
 A.2 벨기에, INFRABEL 설명
 A.3 체코, SZDC 설명
 A.4 덴마크, BS 설명
 A.5 핀란드, RHK 설명
 A.6 프랑스, SNCF 설명
 A.7 독일, DB 설명
 A.8 이탈리아, RFI 설명
 A.9 네델란드, ProRail 설명
 A.10 노르웨이, JBV 설명
 A.11 폴란드, PKP 설명
 A.12 스페인, ADIF 설명
 A.13 스웨덴, BV 설명

A.14 스위스, SBB 설명
A.15 영국, Network Rail 설명

**그림**

그림 1 – 필터 특성 예시
그림 A.1 – 궤도 회로 호환성 테스트를 위한 필터 특성
그림 A.2 – 주입 전류의 평가에 사용 되는 필터의 예시
그림 A.3 – 측정하는 변압기의 위치
그림 A.4 – 필터 특성
그림 A.5 – 대역 통과 필터의 예
그림 A.6 – 50 Hz 규격 (일반적인 선 1500V)
그림 A.7 – 83 Hz 규격 (전기 철도차량에 적용되는 일반적인 25kV 선)
그림 A.8 – 83 Hz 규격 (엔진에 적용되는 일반적인 25kV 선)
그림 A.10 – UM71 CTVM 430, UM71 SEI
그림 A.11 – 42Hz, 50Hz, 100Hz 궤도 회로 호환성 테스트를 위한 필터 특성
그림 A.12 – 다른 (가청 주파수 범위) DB 궤도회로 호환성 테스트를 위한 필터 특성
그림 A.13 – 고속 25kV 50Hz 선 호환성을 위한 규격
그림 A.14 – 50Hz 3kV 규격
그림 A.15 – 새 규격 범위
그림 A.16 – HCL 장비의 대역 통과 필터
그림 A.17 – 전류 방해와 열차 임피던스
그림 A.18 – 테스트 배치
그림 A.19 – 대역 통과 필터의 스펙트럼
그림 A.20 – 각 TI 21 채널의 일반적인 주파수 반응
그림 A.21 – 직류 궤도 회로의 주파수 반응
그림 A.22 – 50 Hz 단일 궤도 회로의 주파수 반응
그림 A.23 – 50 Hz 이중 궤도 회로의 주파수 반응
그림 A.24 – 각 FS 2600 채널의 일반적은 주파수 반응
그림 A.25 – 각 TI 21 채널의 일반적인 주파수 반응

**표**

표 1 – 궤도 회로 장비의 종류
표 A.1 – 직류 3kV의 계산 규칙
표 A.2 – 25 kV 50Hz의 계산 규칙
표 A.3 – 규격 수치 (체코)
표 A.4 – FTGS 46
표 A.5 – FTGS 917
표 A.6 – 영향을 주는 장치과 견인차량의 최대 허용 방해 전류
표 A.7 – 대역 통과 필터 특성
표 A.8 – UM71 과 UM71 CTVM 궤도 회로의 케이스
표 A.9 – 단일 단계 전원 공급 장치 네트 워크

표 A.10 - FTGS 46
표 A.11 - GLS 9/15
표 A.12 - EON7
표 A.13 - FTGS 917
표 A.14 - 25 kV 50 Hz DIGICODE 견인차량 규격(Alstom 궤도회로)
표 A.15 - 50 Hz, 직류 3kV 궤도회로의 규격 수치 (이탈리아 FS/96)
표 A.16 - 83.3 Hz, 직류 3kV 궤도회로의 규격 수치 (이탈리아 FS/96)
표 A.17 - 새 규격 범위의 수치
표 A.18 - 가설의 다른 종류를 위해 허용된 초과량
표 A.19 - Jade AF “Havenspoorijn”에 규격 수치
표 A.20 - Jade HF “Havenspoorijn”에 규격 수치
표 A.21 - Jade AF “A15 TRACE”에 규격 수치
표 A.22 - ATB-EG에 75Hz 궤도회로를 위한 규격 수치
표 A.23 - Overlay 궤도회로 OTC45를 위한 규격 수치
표 A.24 - OTL, OTS, OTZ 궤도회로를 위한 규격 수치
표 A.25 - SOT-1 궤도회로를 위한 규격 수치
표 A.26 - SOT-2 궤도회로를 위한 규격 수치
표 A.27 - EOC 궤도회로를 위한 규격 수치
표 A.28 - Alcatel 50Hz 궤도회로를 위한 규격 수치
표 A.29 - Alcatel 50Hz궤도회로의 시간 제한
표 A.30 - 3kV 50Hz 직류를 위한 규격 수치
표 A.31 - 50 Hz 궤도 회로 (SICE) 궤도회로를 위한 규격 수치
표 A.32 - FTGS 46
표 A.33 - FTGS 917을 위한 규격 수치
표 A.34 - 직류 3kV에 FS 2000 전기화를 위한 규격 수치
표 A.35 - 직류 3kV에 FS 3000 전기화를 위한 규격 수치
표 A.36 - 직류 25kV 50Hz에 FS 3000 전기화를 위한 규격 수치
표 A.37 - 직류 3kV에 FS 5000 전기화를 위한 규격 수치
표 A.38 - TI 21-I 궤도 회로 작동 주파수
표 A.39 - TI 21-M 궤도 회로 작동 주파수
표 A.40 - UM 71/2000 이음매 없는 궤도회로를 위한 규격 수치
표 A.41 - ME 3015/3047/3091 궤도회로를 위한 규격 수치
표 A.42 - 스위스를 위한 규격 수치
표 A.43 - J78로 덮힌 궤도회로의 제한
표 A.44 - DC 계전기의 측정된 시간 정수
표 A.45 - 열차 분석에 사용되는 일반적인 경우
표 A.46 - 변압기 돌입 매개변수, 허가할수 있는 수치
표 A.47 - 철도 임피던스 데이터
표 A.48 - VT1 계전기 임피던스
표 A.49 - 열차 일시적 분석에 사용되는 일반적인 경우
표 A.50 - 50Hz에 옴에서 임피던스 본드 매개 변수

표 A.51 – 열차 일시적 분석에 사용되는 일반적인 경우
표 A.52 - FS 2600 궤도회로 신호 주파수
표 A.53 - TI 21 궤도회로 작동 주파수

## 1 범위

이 기술 보고서는 유럽 철도에 사용되는 기존 궤도회로의 방해 제한을 정의하기 위해 쓰여졌다. 이 기술 보고서의 목적은 근간에 존재하는 다른 설명서를 위해 정보의 원천과 참고서를 검토를 제공한다. 이것은 필요 대로 업데이트 될 것이고, 미래 설명 또는 기준에 의해 재 구성 될 것이다.

CENELEC에 따르면, 기존 국제 설명은 이 기술 보고서에 의해 재 구성 되는 것을 요구하지 않았다. 그것들은 각 도시의 차량의 승인들에 기초하여 사용 될 것이다. 국제 설명서는 이 기술 보고서의 Annex A를 참조 한다.

이 기술 보고서의 두가지 주요 요인은:
1) 유럽 궤도 회로 장비의 리스트
2) National Annex

이 두 가지 요인의 내용은 철도 기관 대표자들에 의해 제공 됐다. 꼭 모든 EU 국가가 불완전한 정보와 정보를 제공했다고 볼 순 없다.

4.5에서 이 궤도회로는 선호와 비 선호 유형으로 분류 된다. 상호 운용 가능한 라인에서 향후의 사용에 관하여. 이 정의는 새 신호 프로젝트를 위해 선호 될 궤도 회로의 종류의 지침을 제공한다.

Annex A에서, 방해 제한과 테스트 설명은 CENELEC에 의해 준비된 사본에 정의 돼 있다. 이는 국제 설명서 사이의 비교를 용이하게 하기 위함과, 흔한 내용의 넓은 범위를 보증 한다.
Annex A 의 내용은 기존의 국제 설명서를 기초한다.

이 기술 보고서는 유익한 요소를 유지할 것이고, 설명서에 의해 재 구성 될 것이다. 하지만, 예를 들어, 개선된 국제 설명에서 요구 사항을 정의하기 위한 기초 대로 사용 되어질 것이다. 만약 내용이 TSI에서 사용되는 경우, TSI 문서는 명백히 요구의 결과물로 정의 될 것이다. 차량이 EN 50238에서 명시 된 대로 그들이 운행하는 선로에 사용되는 궤도 회로에 호환되는지 확인 해야 한다. 일반적으로 승인 확인서는 그들의 선로와 나라에 한 해서 제한 될 것이다.

## 2. 규범 문헌

이후 규범 된 문서는 이 문서에 지원에 필수 적 이다. 날짜가 쓰여 있지 않은 문헌은 참고

문헌 지원서의 최신 판이다.

EN 50238, 철도 지원 - 철도 차량과 열차 감지 시스템 사이의 호환성

UIC leaflet 512, 철도 차량 - 궤도회로와 발판의 작동의 어려움을 피하기 위해 충족 조건

TSI CCA AA1; 철도 차량과 호환 되는 열차 감지 시스템 특성 필요

## 3. 정의

이 문서의 목적은, 따르는 종류와 정의를 사용한다.

### 3.1
**수용 본체**
본체는 호환성 케이스를 평가하고, 수용 확인서를 발행할 책임을 진다.

### 3.2
**수용 확인서**
서비스를 시행하기 위해 새롭거나 변형된 시스템을 허가하는 호환성 테스트인 수용 본체로부터 작성된 인가

### 3.3
**호환성 케이스**
구체적 루트 또는 구체적 철도 네트워크의 열차 감지 시스템과 제동력 지원 장치, 철도 차량 사이의 호환성의 정도를 증명하는 증거를 기록한 타당한 문서

### 3.4
**연결 차량 (CV)**
견인 하부시스템을 제외한 영향을 주는 장치의 부분

### 3.5
**저하 모드**
철도 차량의 설계에서 예측 된 결함 존재로 작동하는 모드

### 3.6
**규격**
열차검지장치에서 노출 되는 주파수와 내구성, 방해 신호의 최대 허가 규격

### 3.7
**영향을 주는 장치 (IU)**
기관에 영향을 받는 철도 차량

NOTE 이 구성요소는 모두 연결된 차량이다. 즉, 단일 혹은 다수의 견인계수, 단일 차량, 다수로 연결된 차량으로 형성된 완성된 차량

3.8
**우측 결함**
권장보다 더 많은 신호의 움직임을 위한 더 제한된 상태의 결과를 낳은 신호 시스템의 결함

3.9
**견인 보조시스템**
견인력 또는 전기 제동력을 생성하는 견인 장치의 일부

3.10
**견인유니트**
영향을 주는 장치의 일부
NOTE 모든 견인 부 시스템이 포함하는 부가 지원 장치와 수집기/팬터그래프에 의해 꺼질수 있는 전원 공급 장치.

3.11
**잘못된 측면의 고장**
권장 사양보다 교통의 움직임에 덜 제한된 조건의 결과를 낳는 신호 시스템의 결함

## 4 설명 요약

### 4.1 일반

궤도 회로의 필수 수치는 표로 정리된 양식에 등재 되 있다. 부수 서류는 궤도회로의 구체적인 방해 제한과 차량의 테스트 설명을 포함한다.

### 4.2 규격

규격의 종류와 그들이 연관된 테스트는 아래의 견인 매개 변수에 따라 그룹화 될 것이다.

– 견인 주파수
– 견인 전압

견인시스템은

– 25 kV, 50 Hz
– 15 kV, 16.7 Hz
– 3 kV, DC

– 1500V DC
– 750V DC
– 비전철

이 차이는 견인 주파수와 전압의 기능을 갖는 저주파를 고려하고, 불 필요한 비관적인 방해 규모를 피하기 위해 필요하다.

각 규격은 주파수의 기능인 최대 방해 전류의 그래프로 나타 나 있다. 시간 제한은 각 상황과 주파수 범위에 따라 정의된다.

규격은 궤도 회로 주파수 대역 폭에 허가된 최대 방해 전류를 정의 한다. 다양한 열차/기관차의 영향을 계산하는 공식은 정의 될 것이다. 이는 완성된 열차나 여객 열차의 전원 변압기, 단일 기관차의 최대 방해 전류를 결정하는 차량 제조자 혹은 테스터에 이용 가능할 것이다.

이 규격은 그들의 기준 대로의 기존 국제 설명서에 요구를 고려할 것이다.

### 4.3 테스트 설명서

이 테스트 설명서는 다른 지역 지원을 가정할 것이고, 테스트 결과물은 일시 적일 것을 보장할 것이다. 특히 아래 관점이 고려 된다.

a) 차량을 어떻게 측정 할 것인가:
– 차량에 전류 수집기 전체를 통해 흐르는 적산 전류는 적합한 필터에 흐르는 전류 수집기에 가능한 가까히 측정해야 한다. (즉, 100Hz 궤도 회로 테스트의 경우 100Hz)
– 주파수와 대역폭 매개변수/대역 통과 필터 특성 (4.4 참조)

b) 차량 시험 조건
– 속도 : 최고 속도 까지의 넓은 범위
– 견인 모드: 가속의 다양성, 정지 관성 주행모드, 일정한 속도, 제동 모드, 제동에 대한 시작
– 일반 모드, 결함 모드
– 부수 장치 - 적재 한 것이 없는 것부터 가득 적재 한 것 까지
– TSI CCS AAA1을 준수 (바퀴 사이 전기적 임피던스)
– 테스트에 승인된 장치의 소프르 웨어와 하드웨어의 구성 관리

c) 테스트 지역
– 전원 공급 장치 배열의 기술
– 참고 시험 궤도 또는 루트의 정의, 지원 가능 한 경우

d) 측정의 수
– 각 차량 모드의 몇 몇의 측정 요소의 최소량은 더 긴 테스트가 요구되는 임계 지역을 확인

하는 것이 요구 된다.

e) 분석 그리고 테스트 결과의 평가

– 최종 분석은 일반적으로 시간 영역에서 제공되고 있다. 몇 철도 기관은 주파수 영역에서 분석을 요구 한다.

DC 공급전원 리플 또는 AC공급전원 고조파, 전원공급망의 공진주파수와 같이 견인특성이 다르기 때문에, 이 시험은 다른 기관에서 수행되는 경우에 시험 결과의 편차가 발생할 수 있다는 것을 예상 할 수 있다. 같은 기반의 견인 전압과 주파수를 가진 서로 다른 도시의 대표적 최악의 상황 구역에서 찾아내는 것의 어려움은 사소하지 않다는 것을 인지 해야 한다.

### 4.4 필터의 예

그림 1은 100Hz 궤도회로 호환성 테스트에 필터 특성이다. $F_K$는 100Hz이고 $B$는 4Hz 와 같다.

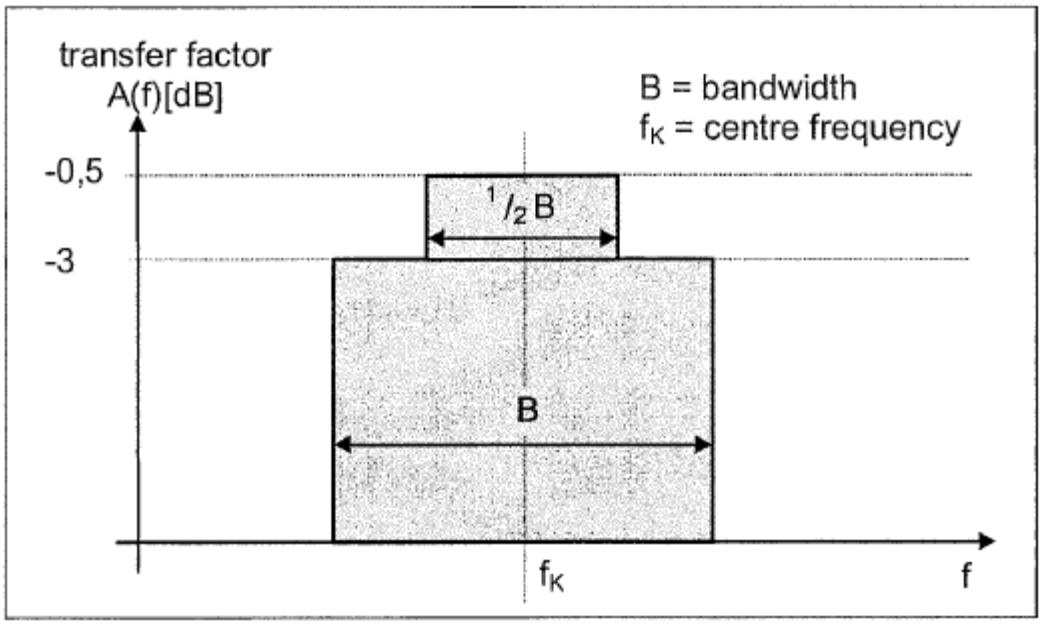



**Figure 1 – Example of filter characteristics**

### 4.5 유럽 궤도회로장치 종류

표 1은 현재 유럽 철도에서 사용하는 궤도회로장치의 종류 정의를 제공한다. 선호하는 것으로 분류된 종류는 미래 재 신호 계획에 사용 되기 위해 설계 됐다.

**Table 1 – Types of track circuit equipment**

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AT | ÖBB GB-ST | 2-Lagen Motorgleisrelais BsSk 1722/8 | Siemens | 100 Hz | See A.1 | | Interoperable | Preferred |
| | | 3-Lagen Motorgleisrelais BsSk 1722/4 | Siemens | | | | | |
| | | Transistorgleisrelais S 50108914 | Alcatel | 100 Hz; 106,7 Hz | | | | Preferred |
| | ÖBB GB-ST | Gleichstromgleisrelais 960 90760 | Alcatel / Zelisko | DC | No | | | |
| | | Gleichstromgleisrelais V25427 | Siemens | | | | | |
| | | Gleichstromgleisrelais Z70 | Siemens | | | | | |
| | | Gleichstromgleisrelais 001183 | SBW | | | | | |
| | | Gleichstromgleisrelais 590040202 | Zelisko | | | | | |
| | | Tonfrequenzgleisstromkreise uncodiert | Siemens | ~ 10 KHz | | | | |
| BE | INFRABEL, I.I.3 Signalling DPt | Jointless Track Circuit | Alstom | $f_0$ = 1 600, 1 900, 2 200, 2 500 Hz | See A.2 | 3 kV, 25 kV | Interoperable | Preferred |
| | INFRABEL | HFJointless Track Circuit ER428 | Acec | 15 kHz | No | 3 kV | | |
| | | 50 Hz Track Circuit Birail | Acec, Area, Automation,.. | 50 Hz | See A.2 | | | |
| | | 50 Hz Track Circuit Monorail | Acec, Area, Automation,.. | 50 Hz | | | | |
| | | High Voltage Track Circuit | Acec | 4 Hz pulse rate | Not applicable | 3 kV, 25 kV | | Preferred |
| | INFRABEL | DC Track Circuits | Acec | DC | No | Diesel | No | |
| | INFRABEL | UM 71 C TVM 430 | CSEE Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | See A.2 (Cf Gabarits) | 25 kV | Interoperable (HSL 1) | |
| CZ | SZDC | KO-1583/KO-1599 | | 25 Hz | See A.3 | | no | |
| | | KO-2491/KO-2796 | | 50 Hz | | | | |
| | SZDC | KO-3595/KO-3599 | | 75 Hz | See A.3 | 3 kV, 25 kV | Interoperable | |
| | | KO-31/KO-32 | AZD | | | | | |
| | | KO-34/KO-35/KO-36 | AZD | | | | | |
| | | KO-3102/KO-3103 | AZD | | | | | |
| | | KO-43 | AZD | 275 Hz | | | | |

**Table 1 – Types of track circuit equipment** *(continued)*

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DK | Denmark Railway Network | DC track circuit | Bombardier | DC | See A.4 | 25 kV | Interoperable | Preferred |
| | | 77 Hz track circuit | Bombardier | 77 Hz | | | | Preferred |
| | | FTGS 46, FTGS 917 | Siemens | 4 750-6 250 Hz, 9 500-16 500 Hz | | | | Preferred |
| FI | RHK | JZE 53500 | Adtranz | DC | < 20 A/s (DC) | | | |
| | | JZE 53100 | Adtranz | DC | < 20 A/s (DC) | | | |
| | | DC | VR | DC | | | | |
| | | DC | Ganz | DC | | | | |
| | | DC, diode | VR | DC | | | | |
| | | 125 Hz Single Rail, Motor Relay | Siemens | 125 Hz | | | | |
| | | 126 Hz Double Rail, Motor Relay | Siemens | 125 Hz | | | | |
| | | FTGS46 | Siemens | 4,75 - 6,25 kHz | | | | |
| | | FTGS917 | Siemens | 9,6 - 16 kHz | | | | |
| | | ? | Russia | 25 Hz | | | | |

**Table 1 – Types of track circuit equipment** *(continued)*

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FR | SNCF/IG.SF | 50 Hz | CSEE/Transport- Alstom - C.F.S.W - Mors - Saxby | 50 Hz | See A.6 (Cf Gabarits) | 1,5 kV DC | Interoperable (conv & detour) | |
| | | 83 Hz | CSEE/Transport- Alstom - Aster - C.F.S.W - Mors -Saxby | 83 Hz | | 25 kV AC | | |
| | | UM71C | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | 1,5 kV DC, 25 kV AC | | |
| | SNCF/IG.SF | UM71 CB | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | | | Preferred |
| | | UM 71 C TVM PSE | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | 25 kV AC | Interoperable (HS) | |
| | SNCF/IG.SF | UM71 C TVM 300 | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | 1,5 kV DC, 25 kV AC | | |
| | | UM 71 C TVM 430 | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | 25 kV AC | | |
| | SNCF/IG.SF | UM71 C TVM SEI | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | | | | Preferred |
| | | HVI Track Circuit | Alstom | 3 Hz pulse rate | No | 1,5 kV DC, 25 kV AC | Interoperable (conv & detour) | Preferred |
| | | 300/850 Hz | CSEE/Transport | 300, 850 Hz | | 25 kV AC | | |
| | SNCF/IG.SF | DC | CSEE/Transport | DC pulsed at 175 Hz | No | | no | |
| | | DC | CSEE/Transport- Silec Thomson - C.F.S.W - | DC | | | | |
| FR | RATP | CVCM | Alstom | 8 200, 8 600, 9 200, 10 000, 10 600, 11 000, 12 300 Hz - FSK ± 75 Hz | No | | Suburban railway | |

**Table 1 – Types of track circuit equipment** *(continued)*

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DE | DB Netz | DC Track Circuit | WSSB, Siemens | DC | No | Diesel | Interoperable (conv) | |
| | | 42 Hz | WSSB, Siemens | 42 Hz | See A.7 | 15 kV | Interoperable (HS detour & conv.) | |
| | | 50 Hz | WSSB, Siemens | 50 Hz | | Diesel | Interoperable (conv.) | |
| | | 100 Hz | WSSB, Siemens | 100 Hz | | 15 kV | Interoperable (HS detour & conv.) | |
| | | 100 Hz | Alcatel SEL | 100 Hz | | | | |
| | | TF-Gsk | Siemens | 10 kHz | No | | | |
| | | TF-Gsk | WSSB, Siemens | 16 kHz | | | | |
| | | EON 1 and 3 | WSSB, Siemens | 7, 8, 10, 12, 15 kHz | See A.7 | | Interoperable (conv.) | |
| | | EON 7 | ZWUS, Bombardier-ZWUS | 14,6; 16,8 kHz | | | | |
| | | GLS 9/15 | Siemens | 9-15 KHz | | | Interoperable (HS & conv.) | |
| | | FTGS | Siemens | 4 750...6 250 Hz, 9 500...16 500 Hz | | | | (Proposed to be preferred) |

**Table 1 – Types of track circuit equipment** *(continued)*

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IT | RFI | ATIS Track Circuit | Ansaldo | | No | 25 kV 50 Hz | Interoperable | Preferred |
| | | CGSD | Alstom | 50 Hz Track Circuit Birail | | 3 kV DC | | Preferred |
| | | BACCUS | GE Transportation Systems | 50 Hz Track Circuit Birail | | | | Preferred |
| | | Staticode 85 | Ansaldo | 50 Hz Track Circuit Birail | See A.8 | | | |
| | | Staticode 85 | Ansaldo | 83,3 Hz Track Circuit Birail | | | | |
| | | JZB121-801-802-803-804 | Fatme - ADTRANZ | 50 Hz/83,3 Hz Track Circuit Birail | | | | |
| | | S.1 - S.2 - S.3 - S.4 | Sasib - ALSTOM | 50 Hz/83,3 Hz Track Circuit Birail | | | | |
| | | W1 -W.2- W.3 - W.4 - W.5 - W.6 | Westinghouse - ANSALDO | 50 Hz/83,3 Hz Track Circuit Birail | | | | |
| | | Cdb FS con relè a disco | Alstom, Site, Bombardier, Ansaldo | 50-83,3 Hz Track Circuit Mono and Birail | | | | |
| | | Digicode DTC24-1 track circuit | Sasib - ALSTOM | 1 900…4 300 Hz | No | 25 kV 50 Hz | | Preferred |
| | | Overlay SASIB AM 85 | Sasib | Track Circuit Birail (Amplitude Modulation) | See A.8 | 3 kV DC | | |
| | | Overlay SASIB FSK | Sasib | Track Circuit Birail FSK Modulation | | | | |
| | | Overlay SASIB FSK ISOLA 93 | Sasib | Track Circuit Birail FSKModulation | | | | |
| | | SILAFO FSK | SILIANI - GETS | Track Circuit Birail FSKModulation | | | | |
| | | Short circuit joint control | Alstom, Site, Bombardier, Westinghouse-Ansaldo | 8, 10, 12, 18 kHz | No | | | |
| | | High Frequency Track Circuit HF 01 | Westinghouse-Ansaldo | 12, 15, 21 kHz | See A.8 | | | |

**Table 1 – Types of track circuit equipment** *(continued)*

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NL | ProRail BV | | GRS | 50 Hz | Yes | | No | |
| | | Overlay OTC45 10kHz | | 10 kHz | Not applicable | Diesel, 1,5 kV DC | Interoperable | |
| | | Low frequency track circuit 50 Hz | GRS | 5 Hz | See A.9 | Diesel | | |
| | | Low frequency track circuit 75 Hz with ATP codes | GRS | 75 Hz | See A.9 (Regards Train Detection as well as ATP) | Diesel; 1,5 kV DC | | Preferred |
| | | HVI Impulse Track Circuit | Alstom | 10 Hz pulse rate | No | Diesel; 1,5 kV DC; 15 kV 16,7 Hz | | Preferred |
| | | FTGS 46 | Siemens | 4,75 - 6,25 kHz | See A.9 | 1,5 kV DC; 15 kV 16,7 Hz | | Preferred |
| | | FTGS 917 | Siemens | 9,5 – 16,5 kHz | | | | Preferred |
| | | Jade AF – Havenspoorlijn (Jointless Track Circuit) | Alstom | 2 206, 2 500, 2 841, 3 157 Hz FSK f0 ± 40 Hz | | Diesel; 25 kV 50 Hz | | Preferred |
| | | Jade HF – Havenspoorlijn (Jointless Track Circuit) | Alstom | 49 082, 67 232 Hz f0 ± 500 Hz | | | | Preferred |
| | | Jade LF – A15 Tracé Havenspoorlijn (Jointless Track Circuit) | Alstom | f0 = 1 600, 1 900, 2 200, 2 500 Hz | | Diesel; 1 500 V DC, 25 kV 50 Hz | | Preferred |
| NO | Jernbaneverket | FTGS | Siemens | 4 750...6 250 Hz, 9 500...16 500 Hz | See A.10 | 15 kV | Interoperable | Preferred |
| | | TI 21 | Bombardier | 1 532 - 2 610 Hz | | | | Preferred |
| | | Motor relay VT1 | Westinghouse | 95, 105 Hz | | | | |
| | | Motor relay JRV | Bombardier | 95, 105 Hz | | | | |
| | | DC JRK | Bombardier | DC | | Diesel | | |

**Table 1 – Types of track circuit equipment** *(continued)*

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PL | PKP PLK S.A. | OTZ | Bombardier-ZWUS | 50 Hz | See A.11 | | Interoperable | |
| | | OTS | Bombardier-ZWUS | 50 Hz | | | | |
| | | OTL | Bombardier-ZWUS | 50 Hz | | | | |
| | | SOT-1 | Bombardier-ZWUS | 1 580, 1 860, 2 170, 2 470, 2 800 Hz | | | | |
| | | SOT-2 | Bombardier-ZWUS | 7 000, 8 000, 10 000, 12 150, 14 600, 16 700 Hz | | | | |
| | | EOC | Bombardier-ZWUS | 26 150, 28 700, 31 500 Hz | | | | |
| ES | ADIF | 50 Hz | Alcatel | 50 Hz | See A.12 | 3 kV DC | Interoperable (conv.) | |
| | | Short SJ-24S | Alstom | 800 Hz | | | | |
| | | 50 Hz | Alstom (GRS) | 50 Hz | | | | |
| | | HVI (High Voltage Impulse) | Alstom (Jeumont & Schneider) | 10 Hz | | | | |
| | | TI 21 I / M | Bombardier | 1,5-2,6 / 5-9 kHz | | 3 kV DC 25 kV 50 Hz | Interoperable (HS & conv.) | |
| | | 50 Hz | Bombardier | 50 Hz | | 3 kV DC | Interoperable (conv.) | |
| | | UM 71/2000 | CSEE/Transport | 1 700 - 2 600 Hz | | 25 kV 50 Hz | Interoperable (HS) | |
| | | 50 Hz | Dimetronic | 50 Hz | | 3 kV DC | Interoperable (conv.) | |
| | | FS 2000/3000/5000 | Dimetronic | 1 700-2 600 / 4 000 -7 500 / 4 080 - 6 000 Hz | | 3 kV DC 25 kV 50 Hz | Interoperable (HS & conv.) | |
| | | Short ME 3015 / 3047 / 3091 | Electrans | 15 / 14,5 / 11-19 kHz | | 3 kV DC | Interoperable (conv.) | |
| | | 50 Hz | Enyse (SICE) | 50 Hz | | 3 kV DC | | |
| | | 50 Hz | Siemens | 50 Hz | | 3 kV DC | | |
| | | FTGS 46 / 917 | Siemens | 4-6 / 9-17 kHz | | 3 kV DC 25 kV 50 Hz | Interoperable (HS & conv.) | |

**Table 1 – Types of track circuit equipment** *(continued)*

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SE | Banverket | JRK 10470 | Bombardier Sweden | DC | See A.13 | 15 kV | Interoperable | Preferred |
| | | JZE 54500/1, JZE 54100 | Banverket | DC | Yes | | | |
| CH | Siemens CH (HTZ-79/567) | 12V= | Siemens Schweiz AG | DC | See A.14 55 Aeff (0 Hz) | | | |
| | Siemens CH (HTZ-79/567) | QC1008-9 | Siemens Schweiz AG | DC | See A.14 18 Aeff (0 Hz) | | | |
| | Siemens CH (HTZ-79/567) | QL57-2 | Siemens Schweiz AG | 80 kHz | No | | | |
| | Siemens CH (HTZ-79/567) | GLS42-125 | Siemens Schweiz AG | 42 Hz, 100 Hz, 125 Hz | See A.14 2 Aeff (100 Hz) | 15 kV | Interoperable | |
| | Siemens CH (HTZ-79/567) | FTGS46 | Siemens Schweiz AG | 5,5 kHz | See A.14 1 Aeff (5,5 Khz) | | | |
| | Siemens CH (HTZ-79/567) | FTGS917 | Siemens Schweiz AG | 13 kHz | See A.14 0,5 Aeff (13 Khz) | | | |
| | Siemens CH (HTA-494/111) | UGSK-95 | Siemens Schweiz AG | 137 Hz to 225 Hz | See A.14 5 Aeff (137 Hz, 175 Hz, 225 Hz) | 15 kV | Interoperable | Preferred |
| | Alcatel CH (3EF 00003 0004) | A6231 | Alcatel Schweiz AG | 100 Hz | No | | | |
| | SBB | NS1-RUTA | Alstom | 3 Hz | No | | | |
| | SBB | TMn726/TMn701 | Siemens Schweiz AG | 125 Hz | See A.14 5 Aeff (125 Hz) | | | |

Table 1 – Types of track circuit equipment *(continued)*

| Country | Information source | Type | Manufacturer | Operating frequency | Interference limits | Traction voltage | Application | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UK | Network Rail | 50 Hz Double Rail | Various | 50 Hz | See A.15 | 750 V | Interoperable | Preferred |
| | | 50 Hz Single Rail | Various | 50 Hz | | | | |
| | | Reed on the AC Railway | GEC (Alstom) | 363 Hz - 423 Hz | See A.15 (Single Rail only) | | | |
| | | Reed on the DC Railway | GEC (Alstom) | 363 - 423 Hz | See A.15 (Double Rail only) | 750 V | | |
| | | TI 21 | Bombardier | 1 532 - 2 610 Hz | See A.15 (TI 21-1 Only) | 25 kV, 750 V | | Preferred |
| | | HVI Track Circuit | Alstom | 3 Hz pulse rate | See A.15 (NCO.RTV.600/UK only) | 25 kV, 750 V | | |
| | | FS 2600 | Westinghouse | 371,8 - 525,8 Hz | See A.15 (Double Rail only) | 750 V | | |
| | | DC (non AC immune) | Various | DC | No | Diesel | | |
| | | DC (AC immune) | Various | DC | See A.15 | 25 kV | | |
| | | Aster | | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | No | Diesel | | |
| | | WR Quick Release | Various | 50 Hz | | | | |
| | | Lucas Pulsing | Girling Ltd | 14 pulses/sec, 0,5 ms | | | | |
| | | UM71 CTVM430 | CSEE/Transport | 1 700, 2 000, 2 300, 2 600 Hz | See A.15 (Cf Gabarits) | 25 kV AC | Interoperable (channel tunnel) | Preferred |

## A.1 오스트리아, OBB 설명서

### A.1.1 설명서의 범위

이 설명서는 안전/호환성의 상황을 다루는 EN5023과 함께 지원 된다.

이 설명서의 범위는 전자파 장애 제한 및 열차에 전기 마찰력 및 기타 전기 기기의 시험 규격을 정의하는 것으로 제한됩니다.

### A.1.2 규격

규격의 세트 그리고 테스트 설명과 연관된 그것들이 요구되고, 아래에 견인 변수에 따라 그룹화 되어야 한다.

- 견인 주파수 : 16.7 Hz
- 견인 전압 : 15 kV

각 수치는 주파수로서의 최대 방해 전류의 그래프들에 의해 구성되어 있다. 시간적 제약은 각각의 경우 또는 주파수 대역에 대해 정의한다. 규격은 궤도 회로의 동작 주파수 대역을 위한 최대 허용 방해 전류를 제시할 것이다. 여러 기차 / 기관차의 효과를 계산하는 공식은 정의될 것이다. 이는 단일 기관차나 여객열차의 변전기, 열차의 최대 간섭 전류를 설정하는 차량 제조업체 나 테스터를 이용 할 수 있을 것이다.

규격은 기존의 철도 설명서에 있는 요구사항을 고려 해야 한다. 기존의 설명은 바뀌지 않았다. 이전에 설명한 규칙은 방해 수치가 원래 정의 된 철도에 의해 인가되지 않은 경우, 기존 설명의 방해 수치만 설명이 변경 될 것이다.

100Hz와 106.7 Hz 궤도회로에서 방해 제한(on OBB 선에서):

a) 영향을 주는 장치에서 최대 전류
- $I_{\max 100IU} = 2.8A$
- r.m.s 종합 시간 0.5초

b) 견인 장치의 최대 전류
- $I_{\max 100TU}$ =2.0A
- r.m.s 종합 시간 0.5초

c) 다양한 견인 장치의 계산 공식

$$I_{n100TU} = \frac{2.8A}{\sqrt{n}} \text{ for } 1 \le n \le 3 \; n: Nmber of \; Traction \; Units$$

측정된 영향을 주는 전류의 가산이 언급된 계산 규칙과 맞지 않을 경우, 최대 전류는 전체 영향을 주는 장치에 제한을 충족 시키기 위해 줄여야만 한다.

d)필터의 특성
- B 대역폭 = 4 Hz;
- $f_k$ 중심 주파수 = 100Hz 또는 106.7Hz

### A.1.3 테스트 설명

테스트 설명서는 다른 지역 지원을 가정할 것이고, 테스트 결과물은 일시 적일 것을 보장할 것이다. 특히 아래 관점이 고려 된다.

- 차량을 어떻게 측정 할 것인가:
  - 차량에 전류 수집기 전체를 통해 흐르는 적산 전류는 적합한 필터에 흐르는 전류 수집기에 가능한 가까히 측정해야 한다. (즉, 100Hz 궤도 회로 테스트의 경우 100Hz)
  - 주파수와 대역폭 매개변수/대역 통과 필터 특성 (4.4 참조)

- 차량 시험 조건
  - 속도 : 최고 속도 까지의 넓은 범위
  - 견인 모드: 가속의 다양성, 정지 관성 주행모드, 일정한 속도, 제동 모드, 제동에 대한

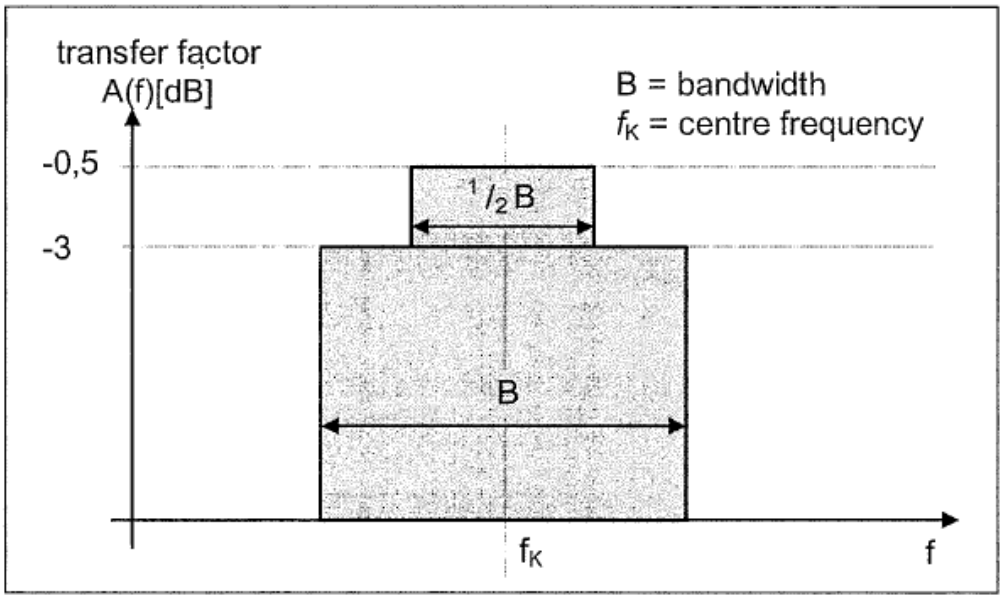



**Figure A.1 – Filter characteristics for track circuit compatibility test**

시작

- 일반 모드, 결함 모드
- 기관차가 시험 중일 때 열차 가열을 탑재하지 말 것.
- 실험중인 여객열차가 정의될 때 가열선 탑재

- 시험 지역과 시험 조건
  - 오스트리아 가장자리 근처의 역에서 정지 시험
  - OBB-네트워크와 견인 모드의 전체 임계 지역을 포함하는 몇 몇의 OBB 측정의 전체 네트워크를 위한 승인
  - 특정 선로에서만 승인이 요구되는 경우, 측정은 이 전선에 제한 될 것이다.
  - OBB 네트워크에서 다른 종류의 차량들의 작동 때문에, 16.7Hz 견인 주파수에서 매우 높은 고조파를 가진 가공선의 전압이 고려 될 것이다.
- 실험 결과의 분석과 평가
  - 테스트 동안 최초 분석은 실험 장비는 규격 수치에 관한 적합한 신호/잡음 비율을 제공하는 것과 초과 적재량이 넘지 않을 보장이 요구된다.
  - 시간 영역에서의 최종 분석이 요구 된다. 주파수 영역에서의 분석은 시간을 참조 하기 어렵기 때문에 추천하지 않는다.
  - 고조파 전류를 거르는 대역통과는 유동적인 r.m.s에 따라 나타 나야 한다.
  - 종합 시간 또는 평활 시간 상수는 뜻하지 않은 결과를 피하는 요구된 최대 허용 방해 내구성을 가질 것 이다.
- r.m.s 수치는 아래에 따라 계산 된다.
  - 실 r.m.s(종합)
  - 측정 수치에 1.11을 곱셈
- 실효값이 시간 영역에서 측정된 값으로 계산 되는 경우, 순차적인 시간의 중복은 적어도 50%가 될 것이다.

AC 공급 장치의 DC 공급 장치 또는 고조파에 잔물결을 공급하는 네트워크의 공진 주파수 같은 공급 되는 견인 수치가 다르기 때문에, 이 시험은 다른 기관에서 수행되는 경우에 시험 결과의 편차가 발생할 수 있다는 것을 예상 할 수 있다. 같은 기반의 마찰 전압과 주파수를 가진 서로 다른 도시의 대표적 최악의 상황 구역에서 찾아내는 것의 어려움은 사소하지 않다는 것을 인지 해야 한다.

## A.2 벨기에, INFRABEL 설명서

### A.1.1 설명서의 범위

이 설명서는 안전/호환성의 상황을 다루는 EN5023과 함께 지원 된다.

이 설명서의 범위는 전자파 장애 제한 및 열차에 전기 마찰력 및 기타 전기 기기의 시험 규격을 정의하는 것으로 제한됩니다.

### A.1.2 규격

규격의 세트 그리고 테스트 설명과 연관된 그것들이 요구되고, 아래에 견인 변수에 따라 그룹화 되어야 한다.

- 견인 주파수
- 견인 전압

INFRABEL에서 다음의 규격은 고려 할 것이다.

- 직류 3kV의 규격의 세트1
- 50Hz, 25kV에서 규격의 세트2

### A.2.2.1 정의

화물열차(FT)는 최대 2대의 견인장치를 가질 수 있다.

여객열차(PT)는 최대 16량의 객차와 1대의 견인장치를 가질 수 있다.

영향을 주는 것은 다양한 영향의 원천들을 구성하고 있기 때문에, 이는 전력 공급 네트워크에 영향을 주는 유닛에 의해 방출된 방해 전류 규격 값을 초과하지 않을 것을 보장한다.

### A.2.2.2 직류 3kV에 규격

a) 영향을 주는 장치에서 최대 전류(e에 따른 계산 공식)

- $I_{AC} = 20A (35Hz < 1 < 60Hz)$
  $I_{AC} = 50A\ (35Hz < f)$
  $I_{AC,\ TS,\ MINIMUM} > 0.5A$
  $I_{AC,CV,MINIMUM} > 0.5A$

b) 영향을 주는 장치에 최대 50Hz 전류

- $I_{50} \leq 4A\ (48.5Hz < f < 51.5Hz)$
- $I_{50} \geq 4A (48.5Hz < f < 51.5Hz)$

c) 견인 장치의 최대 일시 전류

- $|\triangle I/\triangle t| < 2500A/s\ (f < 35\,Hz)$

d)영향을 주는 장치에 최대 전류 (1500Hz<f<3000Hz)

- $I_t < 500mA\ (1500Hz < f < 3000Hz)$
- $I_t < 3A\ (f = 6n \times 50Hz \pm 55Hz, n = 5, 6, 7, 8, 9, 10)$

e) 표 A.1에 계산 규칙이 주어졌다.

**Table A.1 – Calculation rules for 3 kV DC**

| Frequency | Possibility of synchronisation between the perturbation sources | Calculation rule |
|---|---|---|
| < 1 000 Hz | - | Summation for the same $f$ |
| ≥ 1 000 Hz | Yes | Summation for the same $f$ |
| ≥ 1 000 Hz | No | Quadratic summation for same $f$ |
| $f$ | - | Quadratic summation for different $f$ |

A.2.2.3 25kV, 50Hz 규격

a) 영향을 주는 장치에 최대 전류 (1500Hz < f < 3000Hz)

- $I_f < 500mA\ (1500Hz < f < 3000Hz)$
- $I_f < 3A\ (f = (2n+1) \times 50Hz \pm 10Hz, n = 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23)$
- $I_f < 2.2A\ (f = (2n+1) \times 50Hz \pm 10Hz, n = 24, 25, 26, 27, 28, 29)$

b) 표 4.2에 계산 규칙이 주어 졌다.

**Table A.2 – Calculation rules for 25 kV 50 Hz**

| Frequency | Possibility of synchronisation between the perturbation sources | Calculation rule |
|---|---|---|
| < 1 000 Hz | - | Summation for the same $f$ |
| ≥ 1 000 Hz | Yes | Summation for the same $f$ |
| ≥ 1 000 Hz | No | Quadratic summation for same $f$ |
| $f$ | - | Quadratic summation for different $f$ |

### A.2.3 테스트 설명

전철 차량과 생성되는 방해의 설명은 분석 되야 한다.

- 적절한 측정과 귀환 회로에 주입 전류를 분석하는 장비를 싣은 차량.
- 레일에서 측정 코일과 적절히 적응된 열차 방호 시스템

### A.2.3.1 궤도 주입전류

연결된 차량에 전력 분배 시스템에서 주입된 전류 분석에 의해 위 언급된 제한의 확인은 행해질 것 이다. 전차선에서 TU까지 흐르는 적산 전류는 가공선/전차선를 통해 적합한 필터에 가능한 가까이 측정 되어야 한다. 차량은 UIC550에서 확인되어야 한다.

측정은 아래에 조건에 따라 수행 되어야 한다.

- 차량 테스트 조건
  - 속도: 10% 단계로 절감된 전력에서 정지 상태에서 최고 속도까지의 전체 범위
  - 견인 모드: 가속의 다양성 특히, 속도를 내기 어려운 정지 또는 해안 모드, 지속적인 속도, 제동 모드
  - 전차선 전압의 변동 동안의 작용
  - 슬립하는동안의 작용
  - 특정 거리에서 견인 장치 또는 견인 장치의 전원 스위치 닫기

이 측정은 견인 장비, 그리고 전기 에너지의 분배 시스템의 다른 일반적인 배열에서 수행 되어야 한다.

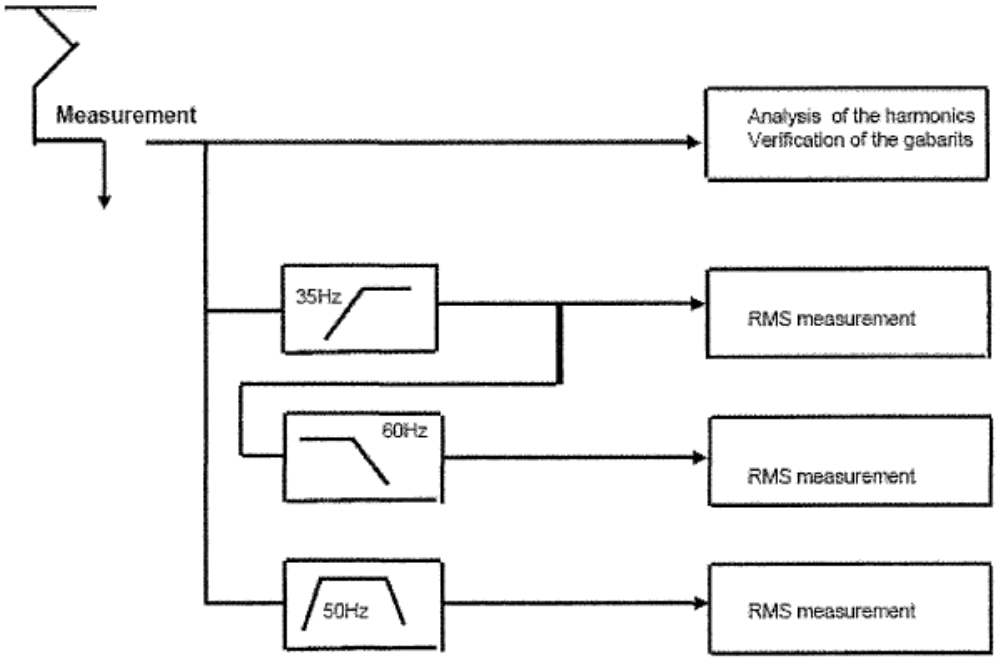
- 모든 시스템의 배열
- 하위 모드에서의 상용중이 아닌 몇 몇의 시스템 배열

위 언급된 제한의 조절이 필요한 완성된 측정 장비(측정 센서와 장비, 데이터 저장 장비, 등)는 세밀하게 묘사 되어야 한다. 측정을 시작하기 전에, 완성된 측정 장비는 INFRABEL의 직원에 의해 검사 되어야 한다.

- 검사 지역:
  - 3kV DC에 전력 공급장치의 설명
  - 표시 거리 46,400 지역 “Bois du Coucou, 참조 테스트 전선 94의 정의
- 측정의 수
  - 각 차량 테스트 조건의 몇 몇의 측정의 최소량은 더 정교한 테스트가 요구되는 임계 구역의 확인이 요구된다.
- 분석과 테스트 결과의 평가
  - 궤도회로에 전자기 견인 호환성은 지역 자체에서 평가 한다. 가장 역동적인 철로에 사용되는 철도 차량의 존재 하는 테스트와 외부 섭동에 가장 민감한 철로에서 변형되고 조정된 궤도회로.

– 적합한 필터를 통해 흐르는 전차선에 가능한 가까이 측정된 궤도에 주입전류의 평가

**A.2.3.2 Example of the filter(s) used for the evaluation of the injected currents**




–측정의 위치

– 궤도의 주입 전류는 전차선와 가능한 가까히 측정 되어야 한다.

– 전류 측정은 전체 주파수 범위(30Hz에서 3000Hz까지)에서 적어도 2.5%의 정밀함을 가져야 한다.

– 35Hz와 60Hz 필터

– 필터는 Butterworth 8번째 순서 이다.

– 35Hz 고주파 대역 통과 필터는 25Hz의 주파수에서 최소 20dB의 감소를 필요로 한다.

– 60Hz 저주파 대역 통과 필터는 85Hz의 주파수에서 최소 20dB의 감소를 필요로 한다.

– 필터는 예상되는 견인 전류에 의해 포화되지 않는다.

– 50Hz 필터

– 이 필터는 Butterworth 8번째 순서 혹은 타원이다.

– 50Hz 대역 통과 필터는 83Hz와 30Hz의 주파수에서 최소 80dB의 감소를 필요로 한다.

– 필터는 예상되는 견인 전류에 의해 포화되지 않는다.

## A.2.4 참조

[1]철도차량과 열차검지장치, 절연회로에 대한 전송장치간의 전자기적합성, Ref MI.01-EMC-75.2.0 버전 1.1,4.03.2002.

A.3 체코, SZDC 설명
A.3.1 설명의 범위

아래의 호환성을 지원하는 국제 기준:

체코에서 이 설명서와 그들의 지원 방법은 CSN 34 2613:1998 구형 설명서에 기초한 아래에 설명 돼 있다. 이 설명서는 새로운 것(CNS 34 2613:2007)으로 재 구성 될 예정이다.

### A.3.2 규격

이 규격은 궤도회로의 방해 제한이다. 주파수와 대역폭은 고려 될 것이다.

규격은 궤도회로 주파수 대역 폭에 허가된 최대 방해전류를 정의한다. 다양한 열차/기관차의 영향을 계산하는 공식은 정의 될 것이다. 이는 완성된 열차나 여객 열차의 전원 변압기, 단일 기관차의 최대 방해전류를 결정하는 차량 제조자 혹은 테스터에 이용 가능할 것이다.

UIC leaflet 512 (특히 바퀴와 바퀴 사이의 저항)은 지원 되어야 한다.

#### A.3.2.1 정의

견인 장치는 전기적 견인 또는 가열에 필요한 전기적 전력공급장치의 베어링이 있는 차량이다.

객차는 견인이 없는 차량이다.

#### A.3.2.2 견인전압과 주파수 - 방해 제한

달리 정하지 않는 한, 아래 명시된 규격은 체코에서 사용되는 견인 시스템에 유효하다.

이 설명서에서 궤도회로의 모든 종류는 하위 조항에 주어질 것이다.

견인 장치는 표 A.3에 주어진 수치보다 높은 수치일 경우, 0.1초 보다 긴 시간에서 주파수 대역이 주어진 견인 시스템으로 흐르는 방해 전류를 흘려 보내지 않을 것 이다.

객차는 0.1A 보다 높은 수치일 경우, 0.1초 보다 긴 시간에서 주파수 대역이 주어진 견인 시스템으로 흐르는 방해 전류를 흘려 보내지 않을 것 이다.

궤도회로를 통해 흐르는 전차선귀선전류의 위의 주파수 대역폭으로 가산된 전체 전류는

**Table A.3 – Values of gabarit (Czech Republic)**

| Frequency band<br>Hz | $I_d$<br>A |
|---|---|
| 44 - 56 [a] | 0,1 |
| 68 - 82 | 0,1 |
| 118 - 132 | 0,1 |
| 168 - 182 | 0,1 |
| 268 - 282 | 0,1 |
| [a] The limitation in this band does not apply for vehicles on lines electrified with the 25 kV 50 Hz system. | |

0.167A를 넘지 않을 것 이다.

궤도와 궤도 사이 와 지면 사이에 전류 분류를 고려해, 그것은 비상관 방해의 2개의 원천으로부터 가다듬은 하나의 전력 구분에서 하나의 궤도를 통해 흐르는 전체 가산 방해 전류를 가정할 것이다.

위 가정은 변치 않을 것 이다. 그러므로 영역에 차량의 수를 기초한 각 각의 계산은 없다.

방해 전류는 전력 변전소에서 방해의 원천으로부터 흐르는 견인 전류의 길에 위치한 어떠한 궤도 회로에 영향을 미칠 것이다.

모든 언급된 제한은 효과적인 수치들 이다.

### A.3.3 테스트 설명

하위 설명은 궤도회로와 호환되는 차량의 확인을 위한 테스트 설명을 포함 한다. 이는 측정 매개변수의 정의와 절차의 설명을 포함한다.

#### A.3.3.1 테스트 배치

##### A.3.3.1.1 견인 장치

방해 전류는 바람직하게 현재 분할 영역의 위치에 가장 가깝고 전혀 교류 경로가 존재하지 않는 곳의 위치로 돌아가 견인 전류 도체에서 측정된다.(그림 A.3 참조) 전류는 앞에서 먼저 대체 경로를 구성 할 수 있는 차량 프레임과 연결 각 대차 (차축)과의 분할 영역 측정 된다.

기술적 이유로, 만약 측정이 귀선전류 도체로 하지 않은 경우에는 수신 도체 (location A)로 측정 할 수 있도록 되어 있다. 그러나 이 경우 필요한 조치는 영향 요소을 결정하기 위해 취해야한다. 그러나 이 경우 필요한 조치는 전압 차에 의해 발생하는 자기장의 영향 비율을 결정하기 위해 취해야하며, 뿐만 아니라 직원의 건강 보호를 위함과 측정 체인의 보호를 위한

측정이다.

두 개의 접근 방법은 같은 것으로 생각 된다.

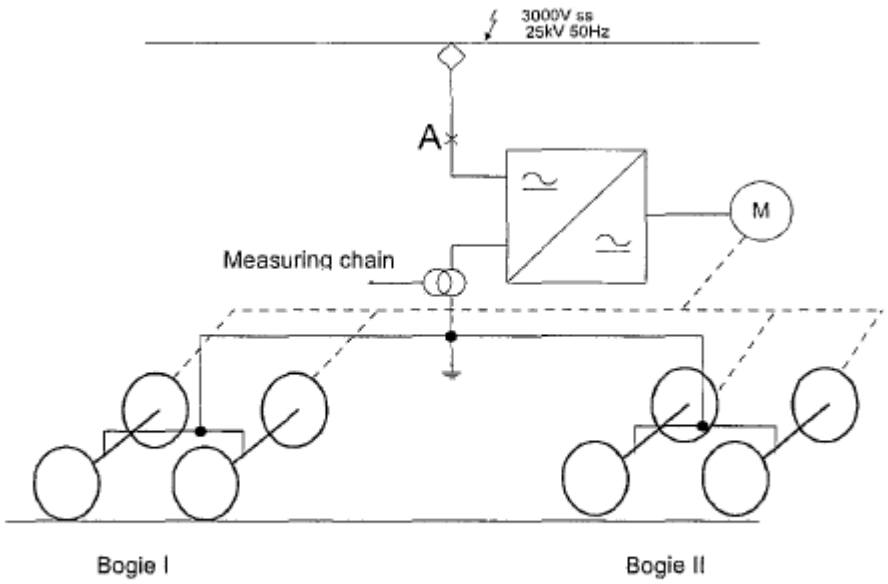



**Figure A.3 – Placement of measuring converter**

계측장비를 포함한 잡음 비율은 한계 수치의 10%와 0.005A, 어느 쪽을 넘지 않는 것으로 한다.

### A.3.3.1.2 여객차

이 측정은 비슷한 배열에서 사용되는 가열도체에서 시행 되어야 한다.

### A.3.3.2 테스트 조건

모든 추진력 (견인, 보조)는 테스트 차량의 운영 특성의 모든 영역에서 연결되어 작동 할 때. 이 측정은 작동의 하위 모드와 일반 모드에서 시행 된다.
동작 상태의 성격을 나타내는 적절한 변수의 등록이 이루어진 테스트 차량의 조작하는 경우의 위치를 기록하기 위해, 즉 :

- 차량 속도
- 견인 전류
- 관계된 동력
- 부 전력 소비(차량 가열, 등)

### A.3.3.3 시험 지역

VUZ 테스트 링은 체코의 작동 차량의 측정을 위한 기준 궤도로 작동한다. 테스트 링은 다른 에너지 소비의 아주 작은 영향이 사양의 전력 공급 상태를 보장합니다. 측정 일의 측정 결과 종속성은 고로 존재하지 않는다.

### A.3.3.4 측정의 수

각 종류에 임의의 효과의 몇 가지 측정 시험 결과의 독립성을 보장하는 것이 필요하다.

### A.3.3.5 분석과 시험 결과 평가

분석은 2가지 영역에서 시행 된다.

-임계 조건을 찾는 측정 과정 동안, 첫째
- 테스트의 완료 이후 기록된 세부 분석, 둘째

방해 전류 진폭에 대한 평가는 단독으로 협 대역 여과를 이용하여 시간 영역에서 평가에 근거한다.(아날로그 혹은 디지털 중 하나)

주파수 영역에서의 평가는 보조 의미가 있고 한계를 국한시키는 데 도움이 된다.

주파수 영역에서의 작동 방법은 시간 범위와 달리 방해 전류의 지속성을 평가하는데 사용된다.

### A.3.3.6 필터 정의

측정 데이터의 평가에 필터 전달 특성은 그림 A.4에 보이는 내성 계획에 따라 선택 된다. 여기서 변동 가능한 수치 주파수 $f_0$, $\triangle f = 3Hz$. 평균 주파수는 투과 필터 대역이 완전히 주어진 주파수 대역 내에되도록 표 A.3에 주어진 주파수 대역에 따라 선택 된다.

측정 체인은 실효값 감자기를 사용한다; 시작 시간(0.1초)의 통합을 위한 필터에서, 슬라이딩 윈도우 방법이 사용되는 경우, 최소의 중복이 50 %이어야 한다.

## A.4 덴마크, BS 설명서

### A.4.1 설명서의 범위

이 설명서는 안전/호환성의 상황을 다루는 EN5023과 함께 지원 된다.

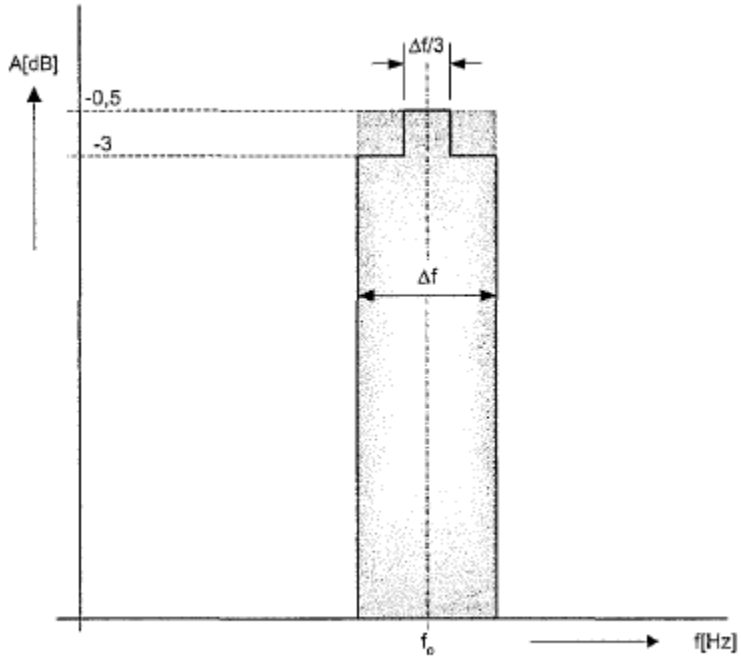



**Figure A.4 – Filter characteristic**

이 설명서의 범위는 전자파 장애 제한 및 열차에 전기 마찰력 및 기타 전기 기기의 시험 규격을 정의하는 것으로 제한된다.

### A.4.2 규격

규격의 세트 그리고 테스트 설명과 연관된 그것들이 요구되고, 아래에 견인 변수에 따라 그룹화 되어야 한다.

- 견인 주파수 : 50 Hz
- 견인 전압 : 25 kV

각 수치는 주파수로서의 최대 방해 전류의 그래프들에 의해 구성되어 있다. 시간적 제약은 각각의 경우 또는 주파수 대역에 대해 정의한다. 규격은 궤도 회로의 동작 주파수 대역을 위한 최대 허용 방해 전류를 제시할 것이다. 여러 기차 / 기관차의 효과를 계산하는 공식은 정의될 것이다. 이는 단일 기관차나 여객열차의 변전기, 열차의 최대 간섭 전류를 설정하는 차량 제조업체 나 테스터를 이용 할 수 있을 것이다.

규격은 기존의 철도 설명서에 있는 요구사항을 고려 해야 한다. 기존의 설명은 바뀌지 않았다. 이전에 설명한 규칙은 방해 수치가 원래 정의 된 철도에 의해 인가되지 않은 경우, 기존 설명의 방해 수치만 설명이 변경 될 것이다.

#### A.4.2.1 정의

영향을 주는 것은 다양한 영향의 원천들을 구성하고 있기 때문에, 이는 전력 공급 네트워크에 영향을 주는 유닛에 의해 방출된 방해 전류 규격 값을 초과하지 않을 것을 보장 한다.

### A.4.2.2 다수의 견인장치에 대한 계산

1kHz(궤도 회로) 이하의 방해 전류를 생산하는 견인 장치로 부터의 전류 계산 규칙:

$$I_{n\,TUfg} = \frac{I_{gabarit}}{\sqrt{n}} \leq I_{TUfg}\ 1 < n \leq 6 \quad n : Nmber\,of\,traction\,units$$

fg는 규격에 정의된 주파수.

### A.4.2.3 25kV, 50Hz 에 규격

#### A.4.2.3.1 직류 궤도 회로에 방해 제한

직류, 지속 > 1.5 초 <4A

최대 돌입 전류 DC− 구성 후 1.5초 < 15A.

#### A.4.2.3.2 77Hz 궤도회로에 방해 제한

77 Hz 지속 > 1초 4A, 3dB 대역폭 70Hz에서 85Hz.

#### A.4.2.3.3 DK 라인에 FTGS 46 궤도 회로에서 다양한 견인 방해 제한과 규칙

**Table A.4 – FTGS 46**

| Channel centre frequency $f_K$<br>Hz | Measured interval<br>Hz | Maximum current for an influencing unit for 3 dB real channel bandwidth<br>A |
|---|---|---|
| 4 750 | 300 | 1,4 |
| 5 250 | 300 | 1,4 |
| 5 750 | 300 | 1,4 |
| 6 250 | 300 | 1,4 |

계산된 레벨에 제한은 1.40A 이다.

A.4.2.3.4 DK 라인에 FTGS 917 궤도 회로에서 다양한 견인 방해 제한과 규칙

**Table A.5 – FTGS 917**

| Channel centre frequency $f_K$<br>Hz | Measured interval<br>Hz | Maximum current for an influencing unit for 3 dB real channel bandwidth<br>A |
|---|---|---|
| 9 500 | 500 | 0,700 |
| 10 500 | 500 | 0,700 |
| 11 500 | 500 | 0,700 |
| 12 500 | 500 | 0,700 |
| 13 500 | 500 | 0,700 |
| 14 500 | 500 | 0,700 |
| 15 500 | 500 | 0,700 |
| 16 500 | 500 | 0,700 |

계산된 레벨에 제한은 0.70A 이다.

### A.4.2.3.5 100 kHz 궤도 회로

고주파 궤도회로 장비 100kHz±40kHz 28mA

### A.4.3 테스트 설명

이 테스트 설명서는 다른 지역 지원을 가정할 것이고, 테스트 결과물은 일시 적일 것을 보장할 것이다. 특히 아래 관점이 고려된다.

a) 차량을 어떻게 측정 할 것인가:
- 차량에 전류 수집기 전체를 통해 흐르는 적산 전류는 적합한 필터에 흐르는 전류 수집기에 가능한 가까히 측정해야 한다. (즉, 100Hz 궤도 회로 테스트의 경우 100Hz)
- 주파수와 대역폭 매개변수/대역 통과 필터 특성 (4.4 참조)

b) 차량 시험 조건
  - 속도 : 최고 속도 까지의 넓은 범위
  - 견인 모드: 가속의 다양성, 정지 관성 주행모드, 일정한 속도, 제동 모드, 제동에 대한 시작
  - 일반 모드, 결함 모드 EN 50388에 따라
  - 기관차가 시험 중일 때 그 선로에 다른 열차가 없을 것
  - 실험중인 여객열차가 정의될 때 가열선 탑재. UIC 550은 이를 위해 기반을 제공할 것이다.
  - UIC 512를 준수 할 것 (바퀴와 바퀴 사이의 전기적 저항)

- 전력 공급 장치:

- 시험은 하나의 변전소 및 이중 공급 라인의 서로 다른 거리에서 실시되어야 한다.
- 가능한 공진 등의 철도 차량에 필터를 고려하여야 한다.

- 테스트 지역
  - 25kV 50Hz에서 전력 공급 배열의 설명
  - 라인 26. Vojens-Tinglev 최대 180km/h, 테스트 라인 참조의 설명
- 측정의 수
  - 하루에 여러 번 각 차량 모드를 측정하는 최소 횟수는 더 긴 테스트 시리즈를 필요로 하는 중요한 지역을 확인하는 것을 요구한다.

테스트 결과의 분석 및 평가
- 테스트 시리즈 중 초기 분석을 확인하는 데 필요하다. 예를 들어, 테스트 장비는 적합한 신호/잡음 수치 비율을 제공한다. (규격 또는 5mA 의 10%, 혹은 더 큰 무언가) 그리고 더 이상 과부하가 발생 되지 않는다.
- 최종 분석은 시간 범위 내에서 요구된다. 주파수 범위 분석은 시간 기준을 맞추기 어렵기 때문에 허가 되지 않는다.
- 고조파 전류를 필터링 대역 통과 부동 RMS로 표시 할 수 있다.
- 종합 시간 또는 시간 정수를 평활히 하는 것은 잘못된 결과를 방지하기 위한 기간에 필요한 최대 허용 전파 장애 기간을 갖는다.

실효값은 아래에 따라 계산될 것이다.
- 실 r.m.s 값 (종합);
- 1,11을 곱하여 반영 된 값을 의미한다.
- 참고하자면, r.m.s. 값이 평균 시간에 의해 계산 될 경우, 연속된 시간의 중첩은 적어도 50% 이하가 될 것이다.

AC 공급 장치의 DC 공급 장치 또는 고조파에 잔물결을 공급하는 네트워크의 공진 주파수 같은 공곱되는 견인 수치가 다르기 때문에, 이 시험은 다른 기관에서 수행되는 경우에 시험 결과의 편차가 발생할 수 있다는 것을 예상 할 수 있다. 같은 기반의 마찰 전압과 주파수를 가진 서로 다른 도시의 대표적 최악의 상황 구역에서 찾아내는 것의 어려움은 사소하지 않다는 것을 인지 해야 한다.

### A.4.4 필터의 예, 신호 처리와 측정

#### A.4.4.1 직류 궤도 회로

대역 통과 필터는 3번째 순서 고대역 통과 필터, 종합시간 1초, 측정 신호의 2.5Hz r.m.s에 의한 -3 dB에 5번째 순서 고 대역 통과 필터와 0.1Hz에 의한 -3 dB.

#### A.4.4.2 77Hz 궤도회로

대역 통과 필터, 8번째 순서(2x4) 타원형 필터, 종합 시간 1초, 측정 신호의 85Hz r.m.s와

70Hz로부터의 -3 dB.

### A.4.4.3 FTGS 46 궤도 회로

스펙트럼 분석 및 처리 측정을 위한 보완적인 의견.

스펙트럼 분석.

기록된 신호는 다음에 따라 분광 분석 된다.

- 주파수 범위: 0~20kHz
- 주파수 분해 25Hz (BIN 사이의 거리)
- FFT-window: 해닝, 40ms
- 따르는 window의 중복 : ≥80%
- 출력: 측정 내구성에 "Peak-Hold"의 실효값

R.M.S 계산 9kHz에서 17kHz.

간격 9.25kHz에서 9.75kHz(포괄적) 각 간격, 간격 10.25kHz에서 10.75kHz(포괄적) 각 간격, 간격 11.25kHz에서 11.75kHz(포괄적) 각 간격, 간격 12.25kHz에서 12.75kHz(포괄적) 각 간격,간격 13.25kHz에서 13.75kHz(포괄적) 각 간격, 간격 14.25kHz에서 14.75kHz(포괄적) 각 간격, 간격 15.25kHz에서 15.75kHz(포괄적) 각 간격, 간격 16.25kHz에서 16.75kHz(포괄적) 각 간격에서 빈의 루트-덧셈-곱셈,

계산된 레벨에 제한은 0.70A이다.

## A.5 핀란드, RHK 설명

### A.5.1 설명서의 범위

이 설명은 EN 50238와 함께 지원 된다. EN 50238은 크게 안전 / 호환성 케이스의 준비 방법을 다룬다.

이 문서는 Finnish Railway Administration에 의해 주어진 LISO 1.8 문서에 기초 한다.

본 설명서의 범위는 전자 간섭 한계와 전기적 견인력과 열차들의 전기적 장비의 테스트 설명을 정의 하는 데 제한한다.

### A.5.2 규격

규격의 종류와 그들이 연관된 테스트는 아래의 견인 매개 변수에 따라 그룹화 될 것이다.

- 견인 주파수
- 견인 전압

핀란드에서 아래의 규격의 종류는 고려하는 것이 필요하다.

- 견인 주파수 50Hz
- 견인 전압 25kV

이 규격은 기존 철도 설명서에 요구사항을 고려 할 것이다.

### A.5.2.1 정의

영향을 주는 것은 다양한 영향의 원천들을 구성하고 있기 때문에, 이는 전력 공급 네트워크에 영향을 주는 유닛에 의해 방출된 방해 전류 규격 값을 초과하지 않을 것을 보장한다.

### A.5.2.2. 방해 제한

여기 제시된 제한은 최악의 시나리오에 기초 됐다.

영구적인 조건으로, DC 전류에서 최대 허용 수치는 3A이다. 짧은 시간 간격의 최대 전류와 그들의 RMS 주파수 대역의 세트에 대한 통합 시간은 표 A.6에서 정의된다. 수치가 하나의 견인 장치에 의해 야기된 전류와 동시에 같은 궤도 부분에 여러 장치에 기인한 총 전류에 모두 적용된다. 주파수 대역은 (0Hz, 25Hz, 75Hz, 83Hz, 125Hz) 측정되기 요구되는 각 주파수에 제시된 주파수 대역 이다. R.M.S 통합 시간은 전류가 10 초 동안 통합 된 경우에는 DC 전류에 가까운 제외하고 1초 이다.

**Table A.6 – Maximum allowed interference currents for influencing and traction units**

| Frequency band (- 3 dB)<br>Hz | Current (r.m.s.)<br>A | RM.S. Integration Time<br>s |
|---|---|---|
| DC to 2,4 | 3,8 | 10 |
| 22 to 28 | 1 | 1 |
| 72 to 78 | 1 | 1 |
| 80 to 86 | 1 | 1 |
| 122 to 128 | 1 | 1 |

고조파는 최대 허용 수치 이하가 필요하다. 오직 고조파의 1%만 일정 한도를 넘을 수 있고, 50% 이상의 제한은 초과 할 수 없다.

### A.5.3 테스트 설명

이 테스트 설명서는 다른 지역 지원을 가정할 것이고, 테스트 결과물은 일시 적일 것을 보장할 것이다. 특히 아래 관점이 고려 된다.

테스트 되는 철도 차량은 최종 버전이어야 한다. 테스트 주행 하는 차량이 일반적인 사용으로 작동 되는 동안. 전차선에 눈과 얼음이 없는 우수한 조건을 위해 이 문서에 제시된 수치는 계산 될 것이다. 만약 테스트 주행이 나쁜 상황을 필요 한 경우, 결과는 특별한 케이스로 평가 되야 된다.

- 측정 :
  - 0Hz, 25Hz, 75Hz, 83Hz, 125Hz와 그들의 고조파에서 전류 실효값
  - 50Hz의 기본 주파수에 20kHz와 100Hz 사이의 고조파에서 전류 실효값
  - 측정 값의 정확성을 확인하기 위해 라인 전압 왜곡, 동 변전소를 사용하는 경우, 다른 열차가 있을 수 있다. 비례 왜곡이 3 %보다 큰 경우, 측정을 반복 할 수 있다.
  - 차량을 어떻게 측정 할 것인가:
  - 차량에 전류 수집기 전체를 통해 흐르는 적산 전류는 적합한 필터에 흐르는 전류 수집기에 가능한 가까히 측정해야 한다. (즉, 100Hz 궤도 회로 테스트의 경우 100Hz)
  - 주파수와 대역폭 매개변수/대역 통과 필터 특성 (3.1 참조)
- 차량 시험 조건
  - 속도 : 최고 속도 까지의 넓은 범위
  - 견인 모드: 가속의 다양성, 정지 관성 주행모드, 일정한 속도, 제동 모드, 제동에 대한 시작
- 일반 모드, 결함 모드
  - 기관차가 시험 중일 때 열차 가열을 탑재하지 말 것.
  - 실험중인 여객열차가 정의될 때 가열선 탑재. UIC 550은 이를 위해 기반을 제공할 것이다.
  - UIC 512를 준수 할 것 (바퀴와 바퀴 사이의 전기적 저항)
- 테스트에 승인된 장치의 소프르 웨어와 하드웨어의 구성 관리
- 테스트 지역
  - 명확한 경우 정확한 테스트 지역이 결정되어야 한다.
  - 전력 공급 시스템은 25kV, 50Hz이다.
  - 테스트 주행의 길이는 대략 200km가 요구된다.
- 측정의 수
  - 각 차량 모드의 몇 몇의 측정 요소의 최소량은 더 긴 테스트가 요구되는 임계 지역을 확인하는 것이 요구 된다.
- 실험 결과의 분석과 평가
  - 테스트 동안 최초 분석은 실험 장비는 규격 수치에 관한 적합한 신호/잡음 비율을 제공하는 것과 초과 적재량이 넘지 않을 보장이 요구된다.
  - 시간 영역에서의 최종 분석이 요구 된다. 주파수 영역에서의 분석은 시간을 참조 하기 어렵기 때문에 추천하지 않는다.

- 고조파 전류를 거르는 대역통과는 유동적인 r.m.s에 따라 나타 나야 한다.
- 종합 시간 또는 평활 시간 상수는 뜻하지 않은 결과를 피하는 요구된 최대 허용 방해 내구성을 가질 것 이다.

- r.m.s 수치는 아래에 따라 계산 된다.
  - 실 r.m.s(종합)
  - 측정 수치에 1.11을 곱셈
  - 실효값이 시간 영역에서 측정된 값으로 계산 되는 경우, 순차적인 시간의 중복은 적어도 50%가 될 것이다.

AC 공급 장치의 DC 공급 장치 또는 고조파에 잔물결을 공급하는 네트워크의 공진 주파수 같은 공급 되는 견인 수치가 다르기 때문에, 이 시험은 다른 기관에서 수행되는 경우에 시험 결과의 편차가 발생할 수 있다는 것을 예상 할 수 있다. 같은 기반의 마찰 전압과 주파수를 가진 서로 다른 도시의 대표적 최악의 상황 구역에서 찾아내는 것의 어려움은 사소하지 않다는 것을 인지 해야 한다.

### A.5.4 필터 특성

이 수치는 적합한 필터를 통해 이루어 져야 한다.  DC 성분은 2.4Hz의 절점 주파수(감쇠 3dB)를 갖는 저역 통과 필터를 사용하여 측정된다. 다른 주파수의 측정을 위해, 대역 통과 필터는 이용 될 것이다. 표 4.7에 그들의 특성이 정의 됐다. 주파수 영역에서 대역 통과 필터의 예시는 그림 A.5에 나타난다.

## A.6 프랑스 SNCF 규격(France, SNCF specification)

### A.6.1 문서의 목적

본 규격서에서는 프랑스 철도 네트워크에서 사용되는 차량과 궤도회로간의 호환성을 보장하기 위해 전자기 장해 측면에서 준수해야 하는 요구사항을 명확하게 설명하고자 한다.

### A.6.2 문서의 범위

본 규격서는 프랑스 철도 네트워크에서 운행될 모든 차량에 적용된다. A.6.3/A.6.4/A.6.5에 제공된 정보는 국가 규격 IN2724에서 발췌한 것이다.

A.6.3  표준 규격(Gabarits)

철도 차량에서 생성된 고조파 전류(current harmonics)에 민감한 모든 궤도회로 종별의 경유, 전류의 허용한계값(진폭 및 주파수)을 A.6.8에 표준 규격(gabarits)으로 설명하였다.

A.6.8의 그림 A.7 및 A.8에 달리 명시되어 있지 않는 한, 열차 전체에서 생성된 교란 전류(Perturbing currents)를 고려하였다.

**Table A.7 – Band-pass filter characteristics**

| Centre frequency<br>Hz | Bandwidth (- 3 dB)<br>Hz |
|---|---|
| 25 | 22 to 28 |
| 75 | 72 to 78 |
| 83 | 80 to 86 |
| 125 | 122 to 128 |

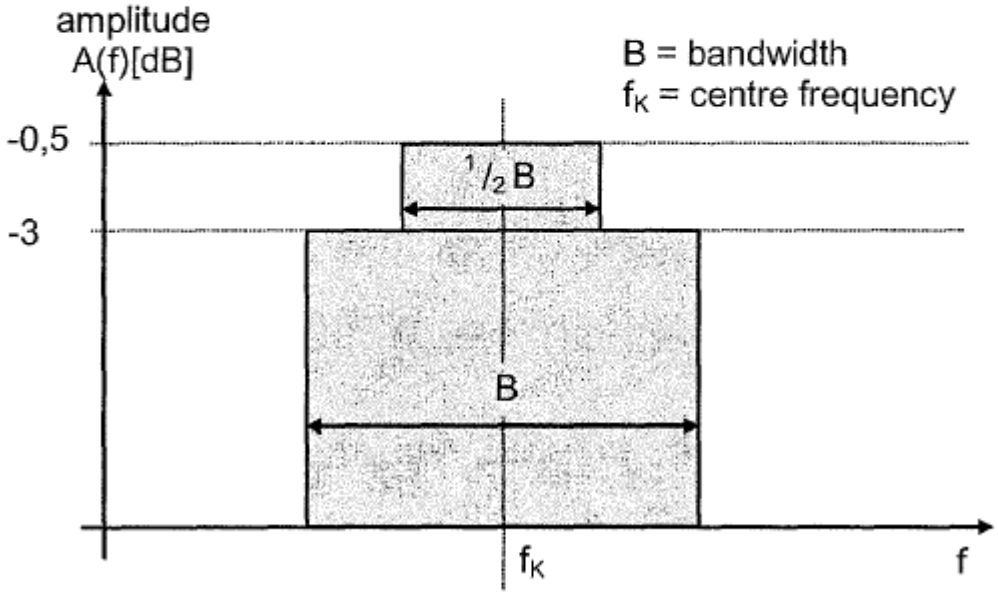



**Figure A.5 – Example of a band-pass filter**

시험 시, 0.5초 이상의 시간 영역(temporal domain)에서 어느 한 표준 규격(gabarits)을 초과하는 모든 값들은 본 시험 보고서에 언급해야 하며, 환경 조건에 관한 설명을 곁들인 체계적 분석의 목적이기도 한다. 주파수 분석을 통해 궤도회로 수신기를 섭동시킬 수 있는 조파 구성요소를 식별할 수 있다. 표준 규격(gabarits)에 비해 조파 내용을 통해 시험 차량을 다음 차트의 기준에 따라 승인 또는 거절 여부를 결정할 수 있다.

궤도회로는 장해(disturbance)의 진폭 및 기간뿐 아니라 장해의 반복에도 민감하다. 이들 기준에 따라, 표 A.8에 제시된 도표에 당해 사례에서 고려해야 하는 행동들을 설명하였다.

### A.6.3.1 UM71 사례 및 UM71CTVM 궤도회로

| 교란(perturbation) 기간 | 교란의 진폭(Amplitude of the perturbation) | |
|---|---|---|
| | 표준 규격(gabarits) 내 | 표준 규격(gabarits) 외 |

| | | |
|---|---|---|
| < 0,5 s | 장치 승인 | 장치 승인 |
| 0,5 s< < 1 s | | 장치 승인. 장치 허가를 위해 지원자에 의한 원인 탐색 |
| > 1 s | | 장치 거절 |
| 비고: 표준 규격이 초과된 이유를 탐색할 때, '측정전압/측정전류' 비율과 견인 장치의 입력 임피던스 간의 비교하여, 차량이 교란(disturbance)를 생성 또는 수신하는지 여부를 결정할 수 있다. 이런 차이는 단상 강제절체 변환기를 사용하는 견인장치에서 전압이 DC 1,500V ~ AC 25,000V인 경우에만 발생할 수 있다. | | |

**표 A.8: UM71 사례 및 UM71CTVM 궤도회로**

발생 가능한 원인(예): 반대 방향에서의 열차 통과, 회로차단기를 온/오프로 변환, 집전, 역률 보정기(power factor corrector) 사용

### A.6.3.2 50Hz 및 83Hz형 궤도회로 관련 사례

A.6.8에는 표준규격(gabarits)을 제시하였다. 특별한 과도상태로 확인된 경우를 제외하고는 어떠한 표준규격 초과도 허용하지 않는다. 예컨대, 회로 차단기를 온으로 전환하는 기간, 팬터그래프 차단 또는 전력회로 사용 등이 있다. 이 모든 사례에서 표준규격 한계는 0.5s 미만 동안만 초과할 수 있다.

## A.6.4 계산 규칙(Calculation rules)

### A.6.4.1 단상 전력 공급망(Single-phase power supply network)

| | 자연 전환 모드[a] (Natural switch mode) | 강제절체모드[b] 비동기화 | 강제절체모드[b] 동기화 |
|---|---|---|---|
| 전력공급망의 기본주파수 50Hz | □+[c] | □+ | □+ |
| 짝수차 주파수 (even frequency) | UIC 550 Leaflet EN50238에 따름 | □□[d] | f < 1 000 Hz 인 경우, □+<br>f >1 000 Hz 인 경우, □□ |
| 홀수차 주파수 (odd frequency) | | □□ | □+ |
| 기타 주파수 | | □ | f < 1 000 Hz 인 경우, □+<br>f >1 000 Hz 인 경우, □□ |
| a 자연변환모드에서 사용된 입력 변환기:예컨대, 다이오드(diode) 또는 사이리스터(thyristor)<br>b 강제절체모드에서 사용된 입력 변환기: 사사분면 변환기(4-quadrant converter)<br>c 산술 합계(Arithmetic sum)<br>d 이차 합계(Quadratic sum) | | | |

**표 A.9 : 단상 전력망**

동기화는 입력 변환기 간의 위상(phase)과 관련이 있다.

### A.6.4.2 DC 전력공급망(DC power supply network)

DC 전력공급망의 경우, 1000Hz 이하의 주파수에 대해서는 교란전류(disturbance current)를 산술합계로 산출하고, 1000Hz과 동일하거나 이상인 주파수에 대해서는 이차합계(quadratic summation)로 계산한다.

## A.6.5 안전성, 가용성, 신뢰성에 관한 요구사항

그림 A.9 및 A.10을 참조하기 바란다.
주파수 대역 $F_0 \pm 45Hz$ 외의 주파수에 대한 시험 계획에서 예상되는 하향전환 모드에서는 표준규격 초과가 허용된다.

### A.6.6 승인 시험(Admission tests)

#### A.6.6.1 전문(Preamble)

이 장에서는 차량과 궤도회로간의 호환성 검증을 위해 차량에 적용가능한 시험 조건 및 절차를 설명한다.

#### A.6.6.2 시험 구현 조건(Tests implementation conditions)

##### A.6.6.2.1 차량 버전

최신 차량 기종으로 시험해야 한다. 시험 중에는 변경이 허용되지 않는다.

만약 도메인 전문가들이 시험을 시행하기로 결정한 경우, 파워 드라이브(power driver) 또는 보조장치를 감시하는 소프트웨어를 수정하게 될 경우 궤도회로와의 전자기 호환성이 이미 입증된 차량에서 비회귀 시험을 수행할 수 있다.

##### A.6.6.2.2 시험 현장(Test site)

선별된 현장인 국가 네트워크에서 시험을 수행하여, 환경이 어떠한 교란(disturbance)도 발생시키지 않도록 해야 한다.

##### A.6.6.2.3 승인(Accreditation)

국가 철도 네트워크에 따른 공인 기관(notified body)만이 시험을 시행한다.

#### A.6.6.3 시험 절차(Tests procedures)

##### A.6.6.3.1 시험 구성

이 시험들은 미리 규정된 시험 계획을 준수하여 시행해야 한다.

보조 장치의 혁신적 서비스를 포함하는 차량의 모든 실질적 운영 구성들(공칭 모드 및 하향조정 모드)을 적어도 2번은 시험해야 한다.

##### A.6.6.3.2 전압 공급(Voltage supply)

시험 차량과 호환되는 프랑스 철도 네트워크에서 모든 종류의 전압으로 시험을 수행해야 한다.

##### A.6.6.3.3 주파수(Frequencies)

각각의 적정 전압(suitable voltage)에 대한 분석에는 표준 규격 내에 규정되어 있는 모든 주파수가 포함된다.

### A.6.6.3.4 전력(power)

각 차량 구성의 경우, 다음 전력에서 가능한 많은 시험들을 수행해야 한다.

$P_{min}$
$P_{max}/4$
$P_{max}$ / 2
$P_{max}$

### A.6.6.3.5 속도 및 가속(Speed and acceleration)

전기 제동을 사용하여 0 km/h에서 최대 견인 시험속도인 $V_{max_test}$까지와 $V_{max_test}$에서 0 km/h까지를 포함하는 속도에서 시험을 수행해야 한다.
$V_{max\_test}$=K x $V_{max\_vehicle}$ 관계에 따라 $V_{max_test}$를 규정한다. 여기서 K는 시험 차량에 장착된 차륜 직경과 마모한계에 다다른 차륜 직경간의 비율이다. 전체 속도 범위를 정확하게 검사하기 위해서는 시험 편성열차의 가속도값은 다음과 같아야 한다.

- 중량 열차의 경우, 3 $cm/s^2$~$7cm/s^2$
- 여객 열차의 경우, 5 $cm/s^2$~$10cm/s^2$

### A.6.6.4 분석 원리(Analysis principles)

#### A.6.6.4.1 교란 전류 측정에 적용된 절차(Process applied for measuring perturbing currents)

다음과 같은 2가지 분석 방법을 시행해야 한다.

- 시간 분석(temporal analysis)
- 주파수 분석(frequency analysis)

#### A.6.6.4.1.1 시간 분석(temporal analysis)

전류 센서에서 출력 신호의 시간적 처리 시, 표준규격을 반영한 필터(예: 주파수 선택 전압계)를 사용하여 특정 주파수 대역에서의 전류의 실효치(rms)를 정의한다.

이 후, 입수된 값을 허용한계값과 비교한다.

본 분석은 시간 분석에서 입수된 값이 초과될 경우, 참조된 문서에 정의되어 있는 한계 진폭(limit amplitude)과 한계 기간(limit durations)을 초과하는 그래픽 기록을 바탕으로, 주파수 선택 전압계 (또는 동등 기계)에서 생성된 실효치를 구하는 방법이다.

이 후, 1개 또는 몇 개의 주파수가 실제로 허용 시간 동안 표준규격을 초과하는지 여부를 결정하기 위하여 주파수 분석은 고려된 궤도회로 주파수 범위에서 수행해야 한다.

#### A.6.6.4.1.2 주파수 분석(Frequency analysis)

전류 센서에서 출력 신호의 주파수 처리는 특정 주파수 대역에서의 전류의 주파수 분석

시행으로 구성된다.

이 후, 전류 신호에서 주파수 구성요소의 실효치(rms) 진폭을 표준규격과 비교해야 할 것이다.

#### A.6.6.4.2 주파수 서명(Frequency signature)

시험 차량의 조파 서명(harmonic signature)을 식별하기 위해 주파수 분석(측정 체인 기능에 따라 0Hz~5 Hz 또는 10 Hz)이 필요하다. 다음과 같은 시험 규정에 미리 규정되어 있는 다양한 속도로 몇 가지 특징적 작동점(characteristic operating point)에서 본 분석들을 시행해야 한다.

- 최대 전류 강도에서의 견인력(공칭 모드 및 하향조정 모드)
- 자유 송신(freewheeling)
- 회생 제동 및 발전 제동에 따른 동적 제동
- 작동 중인 보조 장치 작동 중단

### A.6.6.5 취득 체인(Acquisition chain)

#### A.6.6.5.1 요구사항

사용된 체인(chain)은 실시간 취득, 교란전류의 처리 및 분석, 유예된 처리 및 분석에 대한 데이터의 기록 및 저장이 가능하도록 해야 한다. 모든 유예된 처리 기간은 실시간 처리만큼 정확해야 한다.

시험 차량의 작동 매개변수 및 철도 네트워크에서 교통의 속도 및 위치를 주요 공급(main supply) 에서처럼 동시에 취득 및 기록한다. 이 항목들은 차량 기능의 특성화를 가능하게 하며, 분석에 도움이 된다.

기록 및 분석을 통해 한계값을 초과할 때 명확한 값과 기간의 결정이 가능해야 한다.

스펙트럼 분석은 다음과 같은 특성을 가지고 있어야 한다.

- 실효치(rms) 모드
- 시간적 해닝 윈도우(temporal HANNING window)
- 최대 주파수 해상도(frequency resolution) 1Hz
- 최소 샘플링 주파수(sampling frequency) 16kHz
- 80% 이상의 2개 스펙트럼 포함

#### A.6.6.5.2 구현(Implementation)

##### A.6.6.5.2.1 센서 설정

다음 항목 중 하나를 시험하기 위한 장치의 공급 회로에 전류 센서를 설정해야 한다.

- 가급적이면, 팬터그래프에 가능한 가깝게 고전압쪽에 설정한다. 즉, 전차선로에서 전류가 전류가 분리되기 전을 일컫는다.
- 다시 말해, 전류 센서를 차량 측면의 전기 회로에 설정되어야 한다(예컨대, 단상

전력 공급). 이 전기회로에서 시험 기계에 흡수되는 전차선로의 모든 출력 전류를 특정 접근가능 지점인 “냉점(cold point)”(예: 귀선전류) 쪽에서 측정할 수 있다.

### A.6.6.5.2.2 측정 체인(Measuring chain)

측정 체인의 동적 범위는 적어도 100dB이 되어야 한다. 분석 대상인 모든 주파수가 포함되도록 통과대역 폭을 선택해야 한다.

측정 체인은 몇몇 아날로그 또는 디지털 장치로 구성될 수 있다.

신호 처리를 다음과 같은 단계로 구분할 수 있다.

- 입력 신호 조절(필터링, 적응, 등)
- 신호의 시간적 기록(temporal recording of the signals)
- 신호의 시간적 처리(temporal processing of the signals)
- 신호의 주파수 처리(frequency processing of the signals)

### A.6.6.5.2.3 주요 전력 공급 신호의 필터링

아날로그 체인의 경우, 원하는 신호(조파 내용)를 조정하기 위해서는 기록하기 전에 필터링이 필요하다.

교란 전류(perturbing currents)의 측정을 수행하는 전력공급 종별에 따라, 측정 체인에서 기록을 하기 전에 다음과 같이 조절됨을 알 수 있다.

- 1 500V 전원 공급: 고역 필터(high-pass filter). 이 필터는 변전소(300 Hz, 600Hz, 등)의 정류기 때문에 주요 주파수(principal frequency) 구성요소를 억제하기 위해서는 차단 주파수(cut-off frequency)를 최소 감쇠 48dB/oct로 1kHz에 맞춘다. 이것은 1kHz 이상의 주파수에서 기능하는 궤도회로를 이용하여 추가 분석을 시행하기 위한 것이다.

- 25kV 전원 공급: 고역 필터(high-pass filter). 이 필터는 기본 주파수 및 첫 번째 짝수차 조파(50 Hz, 150 Hz, 250 Hz, 등)를 억제하기 위해서는 차단 주파수(cut-off frequency)를 최소 감쇠 48dB/oct로 1kHz에 맞춘다. 이것은 1kHz 이상의 주파수에서 기능하는 궤도회로로 추가 분석을 시행하기 위한 것이다. 70Hz~140Hz 주파수 간의 통과대역 필터. 이 통과대역 필터는 강한 감쇠를 가지며, 기본 주파수 및 짝수차 조파를 억제하기 위해 130dB/oct에서처럼 동일한 순서를 가진다. 이것은 50Hz~150Hz 주파수에서 기능하는 궤도회로를 이용하여 추가 분석을 시행하기 위한 것이다.

### A.6.6.5.2.4 신호 추적(Tracing out signals)

관련 환경 조건을 이용하여 감시된 각각의 주파수 대역에 대한 발전 과정을 알아보기 위해 그래픽 기록장치에 처리된 모든 신호를 실시간으로 구성해야 한다. 또한, 철도 네트워크에서의 차량 위치도 작동 매개변수와 환경 조건에 따라 동시에 기록해야 하며, 이로서 지연된 분석을 수행할 수 있다.

### A.6.6.5.2.5 측정 체인에서의 잡음 레벨 결정(Determination of the level of noise on the measuring chain)

견인 철도차량의 기술적 입증을 위해 궤도에서 현장 시험을 수행하는 경우, 시험 초기 단계에서 사용된 측정 체인의 종류와 무관하게 전체 측정 체인에 대한 잡음 레벨을 정의할 필요가 있다.

감시된 각각의 주파수 대역에서의 잡음 레벨이 측정된 최소 전류값 보다 훨씬 낮다는 것을 보장하기 위하여, 교란 전류(perturbing currents) 측정 기간 동안, 특정 구성에 센서를 배치한다.

RFF 네트워크의 궤도회로 관련 주파수 대역에 인가된 잡음 레벨은 다음과 같다.
50Hz~83Hz 궤도회로: 주파수 대역 $f_0 \pm 25$Hz에서 잡음(noise)<10mA r.m.s
UM71 궤도회로 : 주파수 대역 $f_0 \pm 45$Hz에서 잡음(noise)<1mA r.m.s

### A.6.7 결과 제출(Presentation of the results)

시험 보고서는 적어도 다음 항목으로 구성된다.

- 시험 구성 및 각각의 시험 구성에 관한 설명
- 주파수 분석(A.6.4.1.2) 및 주파수 서명(A.6.4.2)
- 표준규격(gabarits)을 초과하는 값이 있을 경우, 시간적 분석 및 주파수 분석
- 시험 계획의 참조
- 시험 구성
- 각 견인 장치 및 보조장치에 관한 소프트웨어 버전

A.6.8 부록
표준규격(gabarits)을 그림 A.6~A.10에 제시하였다.
**비고: 교란(Perturbing)과 장해(disturbance)는 같은 의미로 본다. 따라서 전류의 경우, 문맥상 교란 전류(Perturbing current)로 해석하는 것이 적절하고 전자기적 측면에서는 장해(disturbance)라고 해석하였다.

## A.7 독일, DB 설명서

### A.7.1 설명의 범위

이 설명은 DB 설명들에 따른 초록이다. :

- 807.0200 ~ 807.0205 독일어로 된 설명이므로 생략했다.

이 설명은 정보의 수집체이다. 보장할 순 없지만, 모든 적합한 정보는 이 설명서에 포함되어 있다. DB 네트워크에 접근 할 수 있는 호환성을 증명하기 위해서는, DB 설명서의 810번을 기초로 참조해라. 그리고 설명서에 일부, 또는 위에 나열된 810 DB 설명은 810 DB 설명을 참조한 것이다. 이 설명의 범위는 전자 간섭 허용치, 전기적 견인력과 기차의 다른 전기 장비의 규명에 제한된다.

### A.7.2 규격

규격은 궤도회로에서 작동하는 주파수 대역폭의 현재 허용하는 최대 방해 전류를 규명할 것이다. 다수의 기관차/열차의 영향에 따라 계산되는 공식은 정의될 것이다. 이것은 열차 제조자 및 하나의 차량의 최대 방해 전류를 측정하려는 시험 자, 객차 또는 완성된 열차에 전력 변환장치에 이용 할 수 있을 것이다.

UIC 안내문 512 (특히 바퀴와 바퀴 사이의 저항)은 배포 해야 한다.

#### A.7.2.1 정의

**먼 거리의 방해**

영향을 받는 궤도 회로는 변전소와 영향을 주는 차량 사이에 위치 하고 있다.

**인근 거리의 방해**

영향을 받는 궤도 회로는 가까운 레일 또는 열차 밑에 위치하고 있다.

#### A.7.2.2 15kV 16,7 Hz 네트워크에서 DB 규격

아래 명시된 규격은 오직 견인력 한도에 따른 DB 네트워크에서만 유효하다.

- 견인 주파수 : 16,7 Hz;
- 견인 전압 : 15kV.

명시된 규격은 전기 차량의 “먼 거리의 방해” 규격이다.

15kV 16,7 Hz 네트워크에서 작동하는 디젤 차량은 A.7.2.3 에서 볼 수 있다.

최대 전류는 누적된 전류에 걸러진 대역폭의 실효값 이다. (A7.3 참고)

### A.7.2.2.1 100Hz 궤도회로(대역폭 4 Hz)에서 다양한 견인력에 대한 전파 장애 제한과 규칙

a) 영향을 주는 요소에 최대 전류

– *IIu100* = 2,8 A;
r. m.s. integration time 0,5 s;

b) 정지마찰력의 최대 전류

– ITU100 = 2,0 A;
– r.m.s. integration time 0,5 s;

c) 다수의 견인력 계산 규칙

–정지마찰력 계수는 직접 100Hz 고조파를 만든다.

–정지마찰력 계수는 직접 100Hz 고조파를 만들지 못한다.

–도시 교통을 위한 쵸퍼 컨트롤러의 다양한 전기적 구성들

### A.7.2.2.2 42Hz 궤도회로(대역폭 4 Hz)에서 다양한 견인력에 대한 간섭 제한과 규칙

a) 영향을 주는 요소의 최대 전류

b) 정지마찰력 계수의 최대 전류

c) 다양한 견인력 계수의 계산 규칙

### A.7.2.2.3 FTGS 46 궤도회로에서 다양한 견인력에 대한 전파 장애 제한과 규칙

표 A.10 – FTGS 46

| 채널 중심 주파수<br>*fK*<br>Hz | 3 dB 실 대역폭<br>BK<br>Hz | 영향을 주는 요소의 최대 전류 3dB 실 채널 대역폭<br>A |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| 4750 | 200 | 1 |
| 5250 | 206 | 1 |
| 5750 | 214 | 1 |
| 6250 | 220 | 1 |

규격은 영향을 주는 요소들 뿐 만 아니라 견인력 계수에도 유효하다.

*1* """ *π .$ 1* max *JU* r.m.s. integration time 40 ms.

다양한 견인력 계수를 위한 계산 법칙

### A.7.2.2.4 GLS 9/15 궤도회로에서의 다양한 정지마찰력에 대한 전파 장애 제한과 규칙

**표 A.11-GLS 9/15**

| **채널 중심 주파수**<br>***fK***<br>Hz | **3 dB 실 대역폭**<br>**BK**<br>Hz | **영향을 주는 요소의 최대 전류 3dB 실 채널 대역폭**<br>A |
|---|---|---|
| 9500 | 410 | 113 |
| 10500 | 500 | 104 |
| 11500 | 535 | 91 |
| 12500 | 635 | 86 |
| 13500 | 565 | 71 |
| 14500 | 660 | 67 |

규격은 영향을 주는 요소들 뿐 만 아니라 견인력 계수에도 유효하다.

*1* max *TU* ~ *1* max *IU* r.m.s. integration time 40 ms.

다양한 견인력 계수를 위한 계산 법칙

### A.7.2.2.5 EON7 궤도회로에서의 다양한 정지마찰력에 대한 전파 장애 제한과 규칙

표 A.12-EON7

| 채널 중심 주파수<br>*fK*<br>Hz | 3 dB 실 대역폭<br>BK<br>Hz | 영향을 주는 요소의 최대 전류 3dB 실 채널 대역폭<br>A |
|---|---|---|
| 7000 | 195 | 106 |
| 8000 | 235 | 95 |
| 10000 | 280 | 74 |
| 12150 | 330 | 59 |
| 14600 | 375 | 48 |
| 16800 | 460 | 44 |

규격은 영향을 주는 요소들 뿐 만 아니라 견인력 계수에도 유효하다.

*1 maxTU::; 1 maxIU* r.m.s. integration time 40 ms.

다양한 견인력 계수를 위한 계산 법칙

### A.7.2.2.6 FTGS917 궤도회로에서의 다양한 정지마찰력에 대한 전파 장애 제한과 규칙

표 A.12-EON7

| 채널 중심 주파수<br>*fK*<br>Hz | 3 dB 실 대역폭<br>BK<br>Hz | 영향을 주는 요소의 최대 전류 3dB 실 채널 대역폭<br>A |
|---|---|---|
| 9500 | 360 | 330 |

| | | |
|---|---|---|
| 10500 | 380 | 330 |
| 11500 | 400 | 330 |
| 12500 | 425 | 330 |
| 13500 | 445 | 330 |
| 14500 | 470 | 330 |
| 15500 | 490 | 330 |
| 16500 | 510 | 330 |

규격은 영향을 주는 요소들 뿐 만 아니라 견인력 계수에도 유효하다.

*1 maxTU:::; 1 maxlU* r.m.s. integration time 40 ms.

다양한 견인력 계수를 위한 계산 법칙

### A.7.2.3 전기적으로 움직이지 않는 선들에 대한 DB 규격

열차 가열선이 없는 디젤 열차는 제한이 없다.

규격 그리고 시험 상태는 고려중에 있다.

기차 발열선이 아닌 전기적으로 작동하지 않는 선에서 작동하는 디젤 열차의 경우에만 가까운 거리에 있는 간섭 조건이 적용된다.

42Hz, 50Hz, 100Hz 궤도회로를 방해하는 가열 진동수의 고조파를 막기 위한 기차 가열선 진동수는 22Hz를 선호한다.

근거리 전파 방해에 영향을 주는 요소에 유효한 이 규격은 15 kV, 16.7 Hz 전선의 전기적 차량에서 원거리 전파 장애와 같다. 추가적으로 A.7.2.3.1에 나와 있다.

### A.7.2.4 전기적이지 않은 DB 라인의 50Hz 궤도회로(대역폭 4Hz)에 전파 방해 제한

디젤 열차의 최대 전류
22Hz보다 다른 가열 열차 전선이 있는 디젤 열차의 시험 상태는 고려중에 있고, 기초 공사 실행자와 협력해야 한다.

### A.7.3 실험 설명

#### A.7.3.1 15kV 16.7 Hz 네트워크

이 시험 설명서는 15kV, 16.7Hz DB네트워크에서의 차량의 견인력(기관차, 전기적 모터)에 대한 호환성 테스트를 지원한다. 테스트 설명서는 테스트 결과의 일관성을 보장하기 위한 것이다. 특히 다음의 관점을 포괄한다. :

차량을 측정하는 방법:

- 전차선에서 차량으로 흐르는 누적전류는 적절한 필터를 통해 가공선/전차선 모양에 가능한 가장 가깝게 측정 되어야 한다.
- 주파수 및 대역폭 파라미터 / 대역 통과 필터 특성;

차량 테스트 상태:

- 속도; 정지 상태에서 최고 속도까지 전 범위;
- 견인력 모드 : 가속의 변화, 정지 또는 프리 런 모드, 일정한 속도, 브레이크 모드
- 일반 모드 그리고 실패 모드;
- 기관차를 테스트 할 때 열차 가열 전선은 탑재 되지 않는다.
- UIC Leaflet 512를 준수한다.(바퀴와 바퀴 사이의 전기적 저항)
- 테스트 할 수 있도록 승인된 소프트웨어 및 하드웨어의 구성 관리

테스트 장소:

- 기존 테스트 라인:
- 160km/h까지 : 라인 Platting-Straaubing;
- 280km/h까지 : 라인 Wuerzbug-Fulda(추가적으로);

수치:

- 하루에 여러 번 각 차량 모드를 측정하는 최소 횟수는 더 긴 테스트 시리즈를 필요로 하는 중요한 지역을 확인하는 것을 요구한다.

테스트 결과의 분석 및 평가

- 테스트 시리즈 중 초기 분석을 확인하는 데 필요하다. 예를 들어, 테스트 장비는 적합한 신호/잡음 수치 비율을 제공한다. (규격 또는 5mA 의 10%, 혹은 더 큰 무언가) 그리고 더 이상 과부하가 발생 되지 않는다.
- 최종 분석은 시간 범위 내에서 요구된다. 주파수 범위 분석은 시간 기준을 맞추기 어렵기 때문에 허가 되지 않는다.
- 고조파 전류를 필터링 대역 통과 부동 RMS로 표시 할 수 있다.
- 종합 시간 또는 시간 정수를 평활히 하는 것은 잘못된 결과를 방지하기 위한 기간에 필요한 최대 허용 전파 장애 기간을 갖는다.

실효값은 아래에 따라 계산될 것이다.

- 실 r.m.s 값 (종합);
- 1,11을 곱하여 반영 된 값을 의미한다.

참고하자면, r.m.s. 값이 평균 시간에 의해 계산 될 경우, 연속된 시간의 중첩은 적어도 50% 이하가 될 것이다.

### A.7.3.2 필터 정의

**그림 A.11– 42 Hz, 50 Hz 궤도 훼로 호환성 테스트의 필터 수치**

**그림 A.12 - 다른(가청 주파수 범위) DB 궤도 회로 호환성 테스트의 필터 수치**

**그림 A.13 - 고속 25kV 50Hz 전선 호환성의 규격**

### A.8.4 3kV, 직류에서의 규격

### A.8.4.1 50Hz, 83.3Hz 궤도훼로들의 제한

표 A.15는 3kV–50Hz 궤도회로 장비들의 제한된 수치를 나타낸다.

표 A.16은 새로운 83.3 Hz 회로에 사용될 25kV–50Hz 에서 구동되는 고속 전선과 평행하게 설치되 있는 전선과 유사한 수치를 보여준다.

주요사항:

- 시간제한이 없다: 방해 전류는 허가된 확률 따른 수치에 따라 제한할 것이다.
- 각 기관차는 4로 나누어 주어진 데이터 값을 토대로 국가적 EMC 표준(Gabrit FS/96)을 충족해야 한다.
- 각 기관차는 50Hz 고조파 전류 제한기를 갖추고 있어야 한다.(A.8.4.3을 참고해라.)
- 열차(객차를 포함하는 기관차)임피던스는 주파수(f> 32 Hz)를 유도 한다.

**표 A.15 - 3kV 직류 정지마찰 계수, 50Hz 궤도회로에서 규격의 수치(ITALY FS/96)**

| Frequency<br>Hz | I<br>mA |
|---|---|
| 3 | 64000 |
| 12 | 40000 |
| 16 | 28000 |
| 20 | 10000 |

| | |
|---|---|
| 28 | 8000 |
| 31 | 6400 |
| 33 | 3600 |
| 38 | 2800 |
| 43 | 2400 |
| 46 | 1600 |
| 65 | 10000 |
| 297 | 20000 |
| 302 | 10000 |
| 1300 | 180 |
| 1985 | 60 |

65Hz에서 1300Hz 까지는 몇몇의 추가적 제한이 있다. 65Hz, 97.5Hz의 주파수를 갖는 단일 고조파에서의 최대치인 64A에 도달하는 것은 가능하다. 1300Hz부터 1300Hz+130Hz(e.g 1300Hz, 1430Hz, 1560Hz, 기타) 에서의 주파수 값에서 고조파가 있을 수 있습니다. 표 A.16은 추가적인 제한의 크기는 나타나지 않는다.

**표 A.15 – 새 규격 범위**

각 범위의 R i의 경우 우리는 그것들 모두가 R 범위 내에 있는 경우에만 PiMAX를 초과 개수를 받아 들이는 추가적 제한과 초과하는 PiMAX 의 허용 된 수를 연결한다.

새로운 규격은 레벨에 따른 각각의 범위를 가진다.

**표 A.17 – 새 규격 범위의 수치**

| 범위 | 범위 수치 | 초과량($P_{iMAX}$) |
|---|---|---|
| R0 | I0 | --------- |
| R1 | $I_0$ to 1.5 $I_0$ | 7.77 x $10^{-2}$ |
| R2 | 1.5$I_0$ to 1.75 $I_0$ | 2.62 x $10^{-3}$ |
| R3 | 1.75 $I_0$ to 2.5 $I_0$ | 3.46 x $10^{-5}$ |
| R4 | 2.5 $I_0$ to 3.5 $I_0$ | 7.96 x $10^{-11}$ |

우리가 다른 범위에서 초과량을 가질 때, 우리는 일반화된 방법을 따라서 사용 한다.
NJ, *N2, N3* 그리고 *N4* 은 M의 측정량에서 측정 된 초과량이다. 우리는 수치 Pim 확률을 정의한다.

### A.8.4.2.2 PiMAX 수치들

궤도 회로를 깨끗한 상태로 생성하는 조건은 통계적으로 균일한 분포와 함께 독립적이다. 연관된 국제적 기호는 P*tot* 이다.
이 계산은 아래 설명에 따라 기초한다.

- 각 기관차는 50Hz 폭의 단일 고조파 방해를 만들어 낸다.
- 2개의 연속적인 전력 관리 사이에 우리는 최대 4개의 기관차를 가질 수 있다.
- "일반" 기관차는 400mA의 노이즈 전류를 배출한다.
- "잡음" 기관차는 고려되는 범위 내에 최대 수치의 방해 전류를 방출한다. 예를 들어 R2 범위에서 잡음 전류 수치는 700mA이지만, R3 범위에서는 1000mA이고, R4 범위에서는 1400mA 이다.

(Pi)은 아래 가설과 연관된 확률이다.

- (P1): 2개 궤도회로 레일이 부서졌다.
- (P2): 4개의 고조파 사이의 상관 주파수
- (P3): 4개의 고조파 사이의 상관 단계
- (P4): 4개의 고조파의 동시 존재

국제 기호 P*tot* 은 그러므로:
P*tot* = P1 x P2 x P3 x P4

이탈리아 철도는 확률의 수치인 P*tot* 을 이와 동등한 $10^{-17}$을 사용하는 것을 결정 했다.

표 A.18은 가설의 네 종류를 기초로 한 허용된 초과량을 나타낸다. 예를 들어, 동 시간에 600mA의 고조파 전류를 배출하는 "4개의 기관차들"의 $7.77\times10^{-2}$(행 R1)이라는 확률 수치를 받아 들였다.

**표 A.18 - 가설 종류별 P4i 허용된 초과량**

| 범위 | 범위 수치 | 초과량 | 초과량을 부여하기 위해 전파 간섭은 아래 종류의 기관차들을 가져야 한다. |
|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| R0 | I0 | | --------- | |
| R1 | $I_0$ to 1.5 $I_0$ | 400 to 600 | $7.77 \times 10^{-2}$ | 4 잡음 |
| R2 | 1.5$I_0$ to 1.75 $I_0$ | 600 to 700 | $2.62 \times 10^{-3}$ | 3 잡음 + 1 일반 |
| R3 | 1.75 $I_0$ to 2.5 $I_0$ | 700 to 1000 | $3.46 \times 10^{-5}$ | 2 잡음 + 2 일반 |
| R4 | 2.5 $I_0$ to 3.5 $I_0$ | 1000 to 1400 | $7.96 \times 10^{-11}$ | 1 잡음 + 3 일반 |

### A.8.4.2.3 테스트 조건 및 취득 체인

이 실험은 자연에 어떠한 방해도 주지 않기 위해서 선택된 지역에서 실행 돼야 한다. 오직 Arezzo - Chiusi DD 전선의 3kV 시스템의 순간.

테스트는 아래에 따른 모든 상태에서 시행 될 것이다.

- 속도: 0부터 최대 속도까지의 견인력, 그리고 최대 속도에서 0까지 전기적 제동력 (발전 혹은 회생)
- 가속, 차량이 사용 될 수 있는 전선과 조성물이 이용 할 수 있는 0부터 최대치
- 전체 범위를 포함하는 다른 속도 0에서 최대치까지 정지마찰 또는 제동력(전기적),
- 또한 자동 트랙션 컨트롤을 사용할 것 (에를 들면 전류 제한, 속도 규정 등)
- 다운 그레이드 된 모델이 충분한 효율을 내다가 최악의 조건을 나타냄, 견인력 또는 보조 컨버터의 결함을 시뮬레이션 할 것.

고조파 방출을 위한 중요한 조건을 모색 해야 한다.

사용되는 체인은 실제 시간을 지켜야한다 : 수집, 처리 및 방해 전류의 분석뿐만 아니라 기록과 차이 처리 및 분석을 위한 데이터의 저장

스펙트럼 규격의 초과량을 평가하기 위해 (이산 푸리에 변환) 분석은 이러한 설정을 실시한다.

- 스펙트럼 해상도 1Hz;
- 시간 기록 1초
- 50% 겹친 평균 6번의 기록

이 방법은 1 스펙트럼마다 3초씩 실시 한다.

위의 방법은 기관차를 확인하는 데 사용 된다. 정상 상태에서 외부 간섭으로 인한 EMC 문제가 발생할 것이고, ( 예를들어, 철도 경계 또는 선을 넘은 고전압 50 Hz에서의 라인) 기관차의 전력 조절 회로의 실패 또한 발생 할 것이다. 철도 기관은 각각 기관차에 설치 될

HCL(고조파 전류 제한기)라는 전자 장치를 통해 가능한 간섭을 제한 할 수 있다. 이 장치는 기관차의 3KV DC 전원 스위치 50 Hz에서 고조파를 전환 할 수 있는 능력을 가지고 있다.

HCL은 50±3 Hz 폭으로부터의 상호간 모든 주파수들을 차단 할 수 있는 50Hz의 대역 필터를 통과 할 수 있다.

그림 A.15는 대역 필터를 통과하는 첫 주파수 응답을 나타낸다.

## A.9 네델란드, ProRall 설명서

### A.9.1 설명의 범위

이 설명은 EN 50238와 함께 지원 된다. EN 50238은 크게 안전 / 호환성 케이스의 준비 방법을 다룬다.

본 설명서의 범위는 전자 간섭 한계와 전기적 견인력과 다른 열차의 전기적 장비의 테스트 설명을 정의 하는 데 제한한다. 이는 ProRail 궤도회로와 관계있다.

이 문서는 다음과 같은 법률을 기반으로 하고 궤도회로와의 호환성의 증명에 결정적인 자료가 될 것이다.

- Spoorwegwet(철도 법률 – 건물, 관리, 접근 및 철도 교통을 포함한 철도의 적용에 관한 일반 규칙) 공공 번호 Stb. 2006. 24;
- Memorie van Toelichting(철도 법률에 관한 설명 각서) 숫자 27 482
- Besluit keuring spoorvoertuigen(철도 차량의 승인에 결의안) AmvB 공공 번호 Stb. 2004, 660
- MR의 keuring spoorvoertuigen(철도 차량의 승인을 위한 정부의 요구) 번호 HDJZ / S & W2004-2882 아래를 포함한다:
  - Bijlagen (부록)
  - Bijlage (부록) 7번
- 003 버전과 같은 ProRail 규정 RLN00024(이 설명은 EMC 전파 장애 제한 및 임피던스에 대한 철도 차량의 저주파 호환성에 주의한다.)

네덜란드의 국립 기관 승인 권한을 가지는 RST는 Inspectie Verkeer EN Waterstaat이다.

정의:

Traction Group (TG)는 동일한 스펙트럼에서 현재 비동기전동기을 가지는 하나 혹은 그 이상의 견인력 계수를 가지고 있다.

ITU는 특정 정지마찰 그룹에 속하는 정지마찰력 단위 이다.

귀선레일: 공급하는 레일을 사용하는 영향을 미치는 단위를 사용하는 모든 전류.

ATB-EG는 트랙 코드 ATP 시스템이다.

### A.9.2 규격

규격 및 연관된 테스트의 설명은 다음의 견인 파라미터에 따라 그룹화가 요구된다.

- 견인 주파수
- 견인 전압

네델란드 기관은 규격의 세트를 다음과 같이 지원한다.

- 25kV, 50Hz 에서의 규격의 세트1
- 15kV, 16.7Hz 에서의 규격의 세트2
- 3kV, 직류 에서의 규격의 세트3
- 1500V, 직류 에서의 규격의 세트4
- 비전기적 라인들에 대한 규격의 세트5

#### A.9.2.1 연결된 차량의 대한 계산 규칙

##### A.9.2.1.1 방해 전류

영향을 주는 것은 다양한 영향의 원천들을 구성하고 있기 때문에, 이는 전력 공급 네트워크에 영향을 주는 유닛에 의해 방출된 방해 전류 규격 값을 초과하지 않을 것을 보장한다. 계산 방법은 A.9.3을 참조.

##### A.9.2.1.2 최대 임피던스

네덜란드의 저주파에 사용된 주요 ATP 시스템은 ATB-EG이다. 이 시스템은 일반적으로 흔히 사용하는 75Hz 궤도회로의 일부분이다. 이 시스템들은 같은 주파수를 생성한다. 각기 다른 레일에서 다른 전류가 흐를 가능성이 있는 실패를 막기 위해, 영향을 주는 유닛은 앞선 전차선들과 레일들 사이에서 최소 임피던스를 가질 것이다. 일반적으로 견인력 유닛들의 임피던스는 알려져 있다. 영향을 주는 유닛은 하나 이상의 견인력 유닛으로 구성 되어 있기 때문이다. 요구되는 수치의 최소량 보다 많은 영향을 주는 유닛의 임피던스의 결과물은 보장 될 것이다. 임피던스의 병렬 회로에 대한 일반적인 정리 적용에 영향을 미치는 유닛의 임피던스를 계산합니다. 더 자세한 설명은 A.9.3 참조

영향을 주는 유닛의 임피던스는 ATB-EG의 75Hz 궤도회로에서 작동하는 주파수에 의해 결정 되어야 한다.

#### A.9.2.2 25 kV, 50 Hz 에서의 규격

### A.9.2.2.1 Jade AF “Havenspoorlijn”

이 방해 제한은 25kV, 50Hz에서 Europoort의 항구 전차선을 사용되는 ProRail Jade 가청 주파수와 이어진 궤도회로를 위한 것이다.

제조자 : Aistom

작동 주파수 : 2206Hz, 2500Hz, 2841Hz, 3157Hz

방해 제한:

영향의 주는 유닛의 방해 규모는 표 A.19에 명시된 5ms 에서의 견인 전류 Ilu의 실효값을 초과하지 않을 것이다.

표 A.19 - Jade AF “Havenspoorlijn”의 규격 수치

| **주파수**<br><br>**Hz** | **최대 전류 $I_{lu}$**<br><br>**A** |
|---|---|
| 2206 | 0.8 |
| 2206 ± 40 | 1.5 |
| 2500 | 0.7 |
| 2500 ± 40 | 1.3 |
| 2841 | 0.7 |
| 2841 ± 40 | 1.2 |
| 3157 | 0.6 |
| 3157 ± 40 | 1.1 |

A.9.2.2. Jade HF “Havenspoorlijn

이 방해 제한은 25kV, 50Hz의 Europoort 의 항구 전차선에 사용되는 궤도회로와 이어진 ProRail Jade 고주파를 위한 것이다.

제조자 : Alstom

작동 주파수 : 49082 Hz, 67232 Hz

방해 제한:

영향의 주는 유닛의 방해 규모는 표 A.20에 명시된 5ms 에서의 견인 전류 Ilu의 실효값을 초과하지 않을 것이다.

표 A.20 – Jade AF “Havenspoorlijn”의 규격 수치

| 주파수<br>Hz | 최대 전류 $I_{lu}$<br>A |
|---|---|
| 49082 | 0.31 |
| 49082 ± 500 | 0.4 |
| 67232 | 0.27 |
| 67232 ± 500 | 0.4 |

### A.9.2.2.3 Jade AF “A15 Trace”

이 방해 제한은 25kV, 50Hz의 Betuwe Route(A15고속도로의 병렬)에 사용되는 궤도회로와 이어진 ProRail Jade 가청 주파수를 위한 것이다.

제조자 : Alstom

작동 주파수 : 1595 Hz, 1894 Hz, 2206 Hz, 2500 Hz

방해 제한:

영향의 주는 유닛의 방해 규모는 표 A.21에 명시된 5ms 에서의 견인 전류 Ilu의 실효값을 초과하지 않을 것이다.

표 A.21 – Jade AF “A15 Trace”의 규격 수치

| 주파수<br>Hz | 최대 전류 $I_{lu}$<br>A |
|---|---|

| | |
|---|---|
| 1595 ± 40 | 0.5 |
| 1595 ± (40>60) | 3.0 |
| 1894 ± 40 | 0.5 |
| 1894 ± (40>60) | 3.0 |
| 2206 ± 40 | 0.5 |
| 2206 ±(40>60) | 3.0 |
| 2500 ± 40 | 0.5 |
| 2500 ± (40>60) | 3.0 |

### A.9.2.3 15 kV, 16.7 Hz 에서의 규격

#### A.9.2.3.1 FTGS 46

이 방해 제한들은 15kV, 16.7Hz에서 동작하는 독일의 전차선을 사용하는 궤도회로와 이어진 ProRail FTGS 46을 위한 것이다.

제조자 : Siemens

작동 주파수 : 4.75 kHz, 5.25 kHz, 5.75 kHz, 6.25 kHz

방해 제한 : Prorail는 FTGS에 대한 스스로의 방해 제한이 없다. 방해 제한과 규칙에 대한 것이 명시된 A.7.2.2.6을 참조.

#### A.9.2.3.2 FTGS 917

이 방해 제한들은 15kV, 16.7Hz에서 동작하는 독일의 전차선을 사용하는 궤도회로와 이어진 ProRail FTGS 917을 위한 것이다.

제조자: Siemens

작동 주파수 : 9.5 kHz, 16.5 kHz

방해 제한 : Prorail는 FTGS에 대한 스스로의 방해 제한이 없다. 방해 제한과 규칙에 대한

것이 명시된 A.7.2.2.6을 참조.

### A.9.2.4 3kV, 직류에서 규격

#### A.9.2.4.1 ATB-EG에 사용되는 75Hz 궤도회로의 방해 규모

이 방해 제한들은 3kV 직류에서 동작하는 벨기에의 전차선을 사용하는 ATB-EG 궤도회로와 이어진 ProRail 75Hz 궤도회로를 위한 것이다. 이는 관련된 시간 75 Hz에서 궤도 회로에 대한 제약 등 주파수의 함수로서 최대 방해 전류를 정의한다.(A.9.2.5.1 참조)

#### A.9.2.4.2 ATB-EG의 75Hz 궤도회로에서 임피던스

자동 열차 보호 장치와 궤도회로는 한 개의 회로와 같은 주파수에서 동작(75Hz)하기 때문에, 동등하지 않은 전류가 레일에 흐를 수 있어서, ATP-code를 방해 할수 있다. 그러므로 영향을 주는 유닛의 임피던스 A가 요구된다. (A.9.3.3을 참조)

### A.9.2.5 1500V 직류에서의 규격

#### A.9.2.5.1 ATB-EG의 75Hz 궤도회로에서 방해 규모

이 방해 제한은 직류 1500V의 견인 전압 설명에 ATB-EG와 ProRail 75Hz에서의 궤도회로에 대한 것입니다. 이는 관련된 시간 75 Hz에서 궤도 회로에 대한 제약 등 주파수의 함수로서 최대 간섭 전류를 정의한다.

제작자 : GRS

작동 주파수 : 75 Hz

방해 제한 :

영향을 주는 유닛의 방해 규격은 그림 A.18에 정의된 특정 주파수만 지나는 필터로 측정된 0.2초 동안 50Hz-100Hz의 범위 안에 견인 전류 IIu 의 실효값을 초과하지 않을 것이다. 표 A.23 에 설명되 있다.

표 A.22 ATB-EG의 75Hz 궤도회로에 규격 수치

| **주파수**<br><br>**Hz** | **최대 전류 $I_{IU}$**<br><br>**A** |
|---|---|
| 50 | 6.9 |

| | |
|---|---|
| 55 | 4 |
| 60 | 3 |
| 65 | 1 |
| 70 | 0.5 |
| 75 | 0.5 |
| 80 | 0.5 |
| 85 | 1 |
| 90 | 2.5 |
| 95 | 3.2 |
| 100 | 4.7 |

방해 전류 검출기는 의무적이지만, 승인의 확인된 지원서가 감지기가 불필요하다고 증명 한다면 생략할수도 있다.

### A.9.2.5.2 ATB-EG의 75Hz 궤도회로에서 임피던스

자동 열차 보호 장치와 궤도회로는 한 개의 회로와 같은 주파수에서 동작(75Hz)하기 때문에, 동등하지 않은 전류가 레일에 흐를 수 있어서, ATP-code를 방해 할수 있다. 그러므로 영향을 주는 유닛의 임피던스 Z가 요구된다.(A.9.3.3 참조). 최소 임피던스는 정의된 단일 궤도회로의 요구를 기초로 한다.

영향을 주는 유닛의 총 임피던스는 75Hz ± 3Hz에서 유도된 0.40Ω보다 크거나 같을 것이다. 이 임피던스는 레일과 가공지선 사이에서 측정됐다.

**그림 A.17 - 전류 방해와 열차 임피던스**

### A.9.2.5.3 Jade AF “A15 Trace”

이 방해 제한은 직류 1500V에서 Betuwe Route의 가입자선에 사용되는 궤도회로를 이은 ProRail Jade 가청주파수를 위한 것이다. A.9.2.2.3 참조

### A.9.2.5.4 FTGS 46

이 방해 제한은 직류 1500V에서 독일의 전선 궤도 회로와 이어진 FTG 46을 위한 것이다. (A.9.2.3.1 참조)

### A.9.2.5.5 FTGS 917

이 방해 제한은 직류 1500V에서 독일의 전선 궤도 회로와 이어진 FTG 46을 위한 것이다. (A.9.2.3.2 참조)

### A.9.2.5.6 Overlay Track Circuit OTC45

제조자

작동 주파수 : 10 kHz

방해 제한:

영향을 주는 유닛의 방해 규모는 5ms 동안 견인 전류 IIu의 실효값을 초과하지 않는다. 표 A.23에 명시돼 있다.

**표 A.23 Overlay Track Circuit OTC45의 규격 수치**

| **주파수**<br><br>**Hz** | **최대 전류 Iiu**<br><br>**A** |
|---|---|
| 10 | 결정 돼야 한다. |
| 10±1 | 결정 돼야 한다. |

### A.9.2.6 전기적이지 않은 것

### A.9.2.6.1 ATB-EG의 75Hz 궤도회로에서 방해 규모

A.9.2.5.1 참조

### A.9.2.6.2 Jade AF “Havenspoorlijn”

이 방해 제한은 Europoort의 비전기적 항구의 전선에서 사용하는 궤도회로와 이어진 ProRail Jade 가청주파수를 위한 것이다. (A.9.2.2.1 참조)

#### A.9.2.6.3 Jade AF "Havenspoorlijn"

이 방해 제한은 Europoort의 비전기적 항구의 전선에서 사용하는 궤도회로와 이어진 ProRail Jade 가청주파수를 위한 것이다. (A.9.2.2.2 참조)

#### A.9.2.6.4 Jade TF "A15 Trace"

이 방해 제한은 Betuwe Route의 비전기적 전선에서 사용하는 궤도회로와 이어진 ProRail Jade 가청주파수를 위한 것이다. (A.9.2.2.3 참조)

#### A.9.2.6.5 FTGS 46

이 방해 제한은 독일에 대전 선에 ProRail FTGS 46 이어진 궤도회로를 위한 것이다. (A.9.2.3.1 참조)

#### A.9.2.6.6 FTGS 917

이 방해 제한은 독일에 대전 선에 ProRail FTGS 917 이어진 궤도회로를 위한 것이다. (A.9.2.3.2 참조)

#### A.9.2.6.7 Overlay Track Circuit OTC45

A.9.2.5.6 참조

### A.9.3 테스트 설명서

이 테스트 설명서는 기차 검지, 전자 전파 장애 제한에 관한 검사 결과를 규정 한다. 최소 한의 기차 임피던스와 열차에 전기 마찰력 및 기타 전기 장비에 대한 테스트 설명은 네덜란드의 기관에 철도 차량에 대한 수용의 인증서에 대한 전제 조건으로 제시한다.

이러한 테스트는 NEN-EN 50121-3-1와 NEN-EN 50121-3-2의 요구 사항에 따라 미

리 형성해야 한다. 테스트 사이트가 NEN-EN 50121-3-1의 필요를 충족시키지 못 한다면, 각각의 방해 테스트 후의 시험 장소의 환경 조건을 측정하기 위해 필요하다. 이유는 테스트의 환경 조건의 영향을 결정하고, 적절한 경우, 방해 시험의 결과를 조정하는 것이다.

테스트 조건

1) 마찰력을 위한 전력 공급원은 다른 것들과 떨어져 고립되 있어야 한다.
2) 모든 기차 탐지 및 연동 설치 스위치 오프 되어야 하며 경로가 확보되어야한다.

3)테스트 전선은 다른 영향을 주는 유닛들에 의해 사용되어야 한다.

4) 테스트를 하고 있는 영향을 주는 유닛은 UIC 512 책자를 준수한다. (바퀴와 바퀴 세트 사이의 전기적 저항)

이러한 목적으로, 영향을 주는 유닛이 테스트 중이라면 결정 되어야 할 것은:

1) 방해 전류
2) 임피던스

### A.9.3.2 방해 전류

이 방해 실험은 AnnexB의 EN 50238를 준수해야 한다.

이 측정 장비는 전체의 견인 전류를 감시하기 위해서 열차에 적합한 위치에 있어야 한다. 영향을 주는 유닛의 경우, 단 하나의 정지마찰 유닛에 대한 방해 전류를 측정하는 것이 실용적일수 있다. 전체 기차 유닛을 형성 할 수 있는 견인 유닛의 최대 개수에 대한 최대 견인 전류를 결정하는 것이 필요 할 것이다.
다음의 도표는 영향을 주는 유닛이 가지는 견인 전류의 실효값을 측정하기 위해 사용되고 허가된 방해 규모를 결정하는 특정 주파수 필터기의 특성을 나타낼 것이다. 특정 주파수를 통과하는 필터의 스펙트럼은 ATB-EG 뿐만 아니라 75Hz 궤도회로의 방해 규모를 결정하는데 유효할 것이다. 영향을 주는 유닛의 전체 방해 전류의 계산 절차는 다음과 같다:

견인력 유닛에 가공선에서 흐르는 선 전류는 가능한 가공선과 가까이 측정 되야 한다.선 전류를 측정하는 것이 귀선 레일을 측정 하는 것 보다 더 선호된다. 왜냐하면 귀선 전류는 영향을 주는 유닛에 분포 돼 있고, 결정하기 어렵기 때문이다. 신호 생성은 A.9.3.3에 테스트를 위해 요구된다.

그림 A.18 - 테스트 구성

측정은 실험중인 영향을 주는 유닛과 함께 이루어 져야 한다. 아래에 포함된 정상 동작 모드 전부를 동작하도록 경로를 통해 전송한다.

a) 시작/종료
b)전체 보조 부하 (난방/냉방 기타)
c)드라이버에 의해 선택된 모든 전원 노치를 통과, 정지에서 최대 속도에 대한 전체 속도 범위,
d)견인 모드: 가속의 변화, 정지 및 프리 런 모드, 일정한 속도, 브레이크 모드.
e)기관차가 실험 중 일 때는 기차 가열 선을 싣지 말 것
f)실험중인 여객열차가 정의될 때 가열선 탑재
g)회로 차단기 이동
h)회로 차단기 닫음
I)회로 차단기 자동 닫음
j)발전 제동
k)회생 제동
l)전력 온/오프 스위치
m)기차 하위 시스템의 분리, 모두 조합.

방해의 경우, 다음의 분석을 수행할 것:

75 Hz에서 궤도 회로의 방해 측정의 목적을 위해, 그림 A. 17 테스트 구성은 신호 발생기없이 사용 되며, 그림A. 18에 도시된 특성을 갖는 대역 통과 필터를 사용 한다.

그림 19-특정 주파수를 통과하는 필터의 주파수

방해 측정의 부정확성은 5% 미만 이어야 한다.

### A.9.3.3 임피던스

ATB-EG에 더 잘못된 실패가 발생될 경우 이 실험이 결정될 것이 요구된다.

임피던스 측정은 AnnexD의 EN50238을 준수해야 한다.

이 측정 장비는 전체의 견인 전류를 감시하기 위해서 열차에 적합한 위치에 있어야 한다. 영향을 주는 유닛의 경우, 단 하나의 정지마찰 유닛에 대한 방해 전류를 측정하는 것이 실용적일수 있다. 영향을 주는 유닛이 구성 될 수 있는 정지마찰력 유닛의 최대 개수에 대한 임피던스를 계산할 필요가 있을 것이다. 임피던스의 병렬 회로에 대한 일반적인 정리 부과에 영향을 미치는 장치의 임피던스를 계산한다.

알아야 할 것 : 영향을 주는 유닛의 임피던스는 ATB-EG의 75Hz 궤도회로의 작동 주파수 정도에서 결정되어야만 한다.

임피던스 테스트는 영향을 주는 유닛이 실험 중일 때 수행 하여야 한다.

임피던스 측정 변수 신호 발생기(표 A.17의 40Hz−110Hz 주파수 범위에서 보여진다. 정현파 전류 파형을 공급, 아래에 조건이 지원 되어야만 한다.

- 다음 결과는 비교 시간 척도를 사용하고, 40Hz−110Hz 5Hz의 신호 발생기의 주파수 증가를 그래프나 다른 비슷한 것으로 기록 되어야 할 것이다.
- 영향을 주는 유닛의 임피던스를 결정하기 위해서, 다음에 나오는 것들로 구성된 영향을 주는 유닛이 구성 될 수 있는 각각의 견인 유닛의 탄성률 및 인자를 결정한다.
- 기차 임피던스에 대한 10%의 부정확성이 허용된다.

## A.10 노르웨이, JBV 설명서

### A.10.1 설명의 범위

이 설명서는 안전/호환성의 상황을 다루는 EN5023과 함께 지원 된다.

이 설명서의 범위는 전자파 장애 제한 및 열차에 전기 마찰력 및 기타 전기 기기의 시험 규격을 정의하는 것으로 제한됩니다.

### A.10.2 규격

규격의 세트 그리고 테스트 설명과 연관된 그것들이 요구되고, 아래에 견인 변수에 따라 그룹화 되어야 한다.

- 견인 주파수 : 16.7 Hz
- 견인 전압 : 15 kV

각 수치는 주파수로서의 최대 방해 전류의 그래프들에 의해 구성되어 있다. 시간적 제약은 각각의 경우 또는 주파수 대역에 대해 정의한다. 규격은 궤도 회로의 동작 주파수 대역을 위한 최대 허용 방해 전류를 제시할 것이다. 여러 기차 / 기관차의 효과를 계산하는 공식은 정의될 것이다. 이는 단일 기관차나 여객열차의 변전기, 열차의 최대 간섭 전류를 설정하는 차량 제조업체 나 테스터를 이용 할 수 있을 것이다.

규격은 기존의 철도 설명서에 있는 요구사항을 고려 해야 한다. 기존의 설명은 바뀌지 않았다. 이전에 설명한 규칙은 방해 수치가 원래 정의 된 철도에 의해 인가되지 않은 경우, 기존 설명의 방해 수치만 설명이 변경 될 것이다.

#### A.10.2.1 95/105 Hz 궤도회로의 방해 제한

방해 제한 : $I_{rms} \leq 1A$.

방해에 대한 추가적인 측정:

- 철도 차량이 만약 현재 92Hz에서 98Hz 그리고 102Hz에서 108Hz 간격 안에서 1Hz 대역폭이 1초 동안 2A를 초과하는 경우 자동적으로 주요 스위치는 끊어질 것 이다.

### A.10.2.2 Bombardier TI21 궤도회로의 방해 제한

명시된 설명은 국제철도학회로부터 얻은 것이 아니다.
이러한 이유로 규격의 수치가 명시되 있지 않다.

### A.10.2.3 Siemens FTGS 궤도회로의 방해 제한

업체로부터 부여된 방해 제한;

- FTGS46:Irms≤1A, 공칭 궤도 회로의 주파수에서 측정, 대역폭=250 Hz
- FTGS917:Irms≤0.5A, 공칭 궤도 회로의 주파수에서 측정, 대역폭=500 Hz

문제는 100mA 및 200mA 사이의 방해 전류에 의해 FTGS46 에서 발생 됐다.
문제에 대한 예비 해결책은 구현 됐다.

저러한 이유 때문에, 규격에 대한 구체적 수치는 명시 되어 있지 않다.

## A.11 폴란드, PKP 설명서
### A.11.1 설명의 범위

이 설명서는 안전/호환성의 상황을 다루는 EN50238과 함께 지원 된다.

이 설명서의 범위는 전자파 장애 제한 및 열차에 전기 마찰력 및 기타 전기 기기의 시험 규격을 정의하는 것으로 제한됩니다.

### A.11.2 규격

규격의 세트 그리고 테스트 설명과 연관된 그것들이 요구되고, 아래에 견인 변수에 따라 그룹화 되어야 한다.

- 견인 주파수 :
- 견인 전압 :

직류 3kV 지원 시스템은 PKP 네트워크에 사용된다. 규격은 오직 이 시스템만 지원하는 설명서에 제시되어 있다.

규격은 궤도 회로의 동작 주파수 대역을 위한 최대 허용 방해 전류를 제시할 것이다. 여러 기차 / 기관차의 효과를 계산하는 공식은 정의될 것이다. 이는 단일 기관차나 여객열차의 변전기, 열차의 최대 간섭 전류를 설정하는 차량 제조업체 나 테스터를 이용 할 수 있을 것이다.

규격은 기존의 철도 설명서에 있는 요구사항을 고려 해야 한다. 기존의 설명은 바뀌지 않았다. 이전에 설명한 규칙은 방해 수치가 원래 정의 된 철도에 의해 인가되지 않은 경우, 기존 설명의 방해 수치만 설명이 변경 될 것이다.

### A.11.2.1 정의

여객 열차는 16 UIC coaches의 최대량으로 구성 되어 있다.

영향을 주는 것은 다양한 영향의 원천들을 구성하고 있기 때문에, 이는 전력 공급 네트워크에 영향을 주는 유닛에 의해 방출된 방해 전류 규격 값을 초과하지 않을 것을 보장한다.

### A.11.2.2 PKP 궤도회로의 규격

PKP 철도 네트워크에서 사용되는 궤도 회로의 몇몇 기본 유형에 대해서는 허용 된 값의 간섭 전류는 다음의 주파수 범위에 대해 정의 된다 :

- OTL, OTS, OTZ 궤도회로의 2Hz에서 60Hz;
- SOT-1 궤도회로의 1380Hz에서 3000Hz
- SOT-2 궤도회로의 6200Hz에서 18000Hz
- EOC 궤도회로의 24900Hz에서 32700Hz

### A.11.2.2.1 OTL, OTS, OTZ 궤도회로의 규격

OTL, OTS, OTZ 궤도회로에 현재 ITC 방해의 최대값은 표 A.24에 제시되어있다.

**표 A.24 - OTL, OTS, OTZ 궤도회로에 규격 수치**

| 주파수 대역<br><br>Hz | 최대 방해 전류 수치<br>$I_{rc}$<br>mA |
|---|---|
| 2~40 | 30000 |
| 40~45 | 6220 |
| 45~48 | 4100 |

| | |
|---|---|
| 48~52 | 2400 |
| 52~55 | 4100 |
| 55~60 | 6220 |

모든 수치는 200ms 이상 지속 간섭 전류에 대해 정의된다.

### A.11.2.2.2 SOT-1 궤도회로에 규격

SOT-1 궤도회로에 현재 ITC 방해의 최대값은 표 A.25에 제시되어있다.

**표 A.25 - SOT-1 궤도회로에 규격 수치**

| 주파수 대역<br>Hz | 최대 방해 전류 수치<br>$I_{rc}$<br>mA |
|---|---|
| 1380~1420 | 310 |
| 1420~1480 | 160 |
| 1480~1500 | 42 |
| 1500~1660 | 28 |
| 1660~1760 | 160 |
| 1760~1780 | 42 |
| 1780~1980 | 28 |
| 1980~2070 | 160 |
| 2070~2090 | 42 |
| 2090~2250 | 28 |
| 2250~2370 | 160 |
| 2370~2390 | 42 |
| 2390~2550 | 28 |
| 2550~2720 | 160 |

| | |
|---|---|
| 2720~2880 | 28 |
| 2880~2900 | 42 |
| 2900~2960 | 160 |
| 2960~3000 | 310 |

모든 수치는 200ms 이상 지속 간섭 전류에 대해 정의된다.

### A.11.2.2.3 SOT-2 궤도회로에 규격

SOT-2 궤도회로에 현재 ITC 방해의 최대값은 표 A.26에 제시되어있다.

**표 A.26 - SOT-2 궤도회로에 규격 수치**

| 주파수 대역<br>Hz | 최대 방해 전류 수치<br>$I_{rc}$<br>mA |
|---|---|
| 6200~6600 | 160 |
| 6600~6620 | 47.7 |
| 6620~7380 | 41 |
| 7380~7400 | 47.7 |
| 7400~7600 | 160 |
| 7600~7620 | 47.7 |
| 7620~8380 | 41 |
| 8380~8400 | 170 |
| 8400~9600 | 160 |
| 9600~9620 | 47.7 |
| 9620~10380 | 41 |
| 10380~10400 | 47.7 |

| | |
|---|---|
| 10400~11750 | 160 |
| 11750~11770 | 47.7 |
| 11770~12530 | 41 |
| 12530~12650 | 47.7 |
| 12650~14000 | 160 |
| 14000~15200 | 41 |
| 15200~16200 | 160 |
| 16200~17400 | 41 |
| 17400~17600 | 160 |
| 17600~18000 | 170 |

모든 수치는 200ms 이상 지속 간섭 전류에 대해 정의된다.

### A.11.2.2.4 EOC 궤도회로에 규격

EOC 궤도회로에 현재 ITC 방해의 최대값은 표 A.27에 제시되어있다.

**표 A.27 - EOC 궤도회로에 규격 수치**

| 주파수 대역<br><br>Hz | 최대 방해 전류 수치<br>$I_{rc}$<br>mA |
|---|---|
| 24900~25600 | 250 |
| 25600~26700 | 78 |
| 26700~28100 | 250 |
| 28100~29300 | 78 |
| 29300~30900 | 250 |
| 30900~32100 | 78 |

| | |
|---|---|
| 32100~32700 | 250 |

모든 수치는 200ms 이상 지속 간섭 전류에 대해 정의된다.

### A.11.2.3 정지마찰 유닛에 방해 제한

견인 유닛에서 방해 전류의 최대 수치는 다음의 공식을 사용하여 계산된다:

$$I_C = I_{TU} / \sqrt{16} = I_{IU} / 4$$

여기서

$I_C$ =단일 여객에서 최대 방해 전류
$I_{TU}$ = 정지마찰 유닛에서 최대 방해 전류

### A.11.3 전기 마찰 차량에 테스트 설명

공급되는 전원의 최대치, 최소치, 정격치에 공급 시스템에 공급되는 간섭 전류 값 및 주파수를 측정 해야 한다. 전압이 값에 대한 테스트는 변전소 필터 장치가 ON과 OFF 스위치로 실시한다. 이러한 모든 경우에 대한 시험은 아래에 제시된 조건하에 수행되어야 한다.

테스트 조건:

a) 마찰 차량의 작동 모드 : 지속적인 속도를 가속: 지속적인 속도로 달림; 회생 제동, 이 측정은 차량의 견인 힘이 큰 범위에서 실행 되어야만 한다.
b) 마찰 변환기의 상태 : 정상 작동, 고장 모드
c) 속력 : 지속적인 가속력으로 0부터 최대 속도까지; (10km 간격으로)
d) 보조 변환기: 대기 모드; 준비 - 정격출력의 10%, 50%, 100%

테스트는 대표적인 PKP 라인에서 수행되어야 한다.

측정 된 값은 고조파 전류 및 시간 영역에서 각각의 고조파 성분의 규모를 결정하기 위해 분석되어야한다.

### A.11.4 참조

영어가 아님.

## A.12 스페인, ADIF 설명서

### A.12.1 설명서의 목적

이 설명서는 안전/호환성의 상황을 다루는 EN50238과 함께 지원 된다.

이 설명서의 범위는 전자파 장애 제한과 전차와 ADIF의 레일 네트워크의 궤도회로사이의 호환성을 확신하기 위해 정의됐다. 이 때문에, 이 설명서는 이 네트워크를 통해 순환하는 철도 차량에 적합해야 한다.

### A.12.2 설명의 범위

이 설명서는 ADIF의 레일 네트워크를 통해 순환하는 철도 차량에 충족되어야 한다.

### A.12.3 규격

규격은 궤도 회로의 동작 대역폭의 주파수에서, 정상 상태의 최대 간섭 전류를 정의한다. 이는 단일 기관차나 여객열차의 변전기, 열차의 최대 간섭 전류를 설정하는 차량 제조업체 나 테스터를 이용 할 수 있을 것이다.

규격의 세트 그리고 테스트 설명과 연관된 그것들이 요구되고, 아래에 견인 전압에 따라 그룹화 되어야 한다. ADIF의 레일 네트워크에서 고려되는 것은:

– 직류 3 kV
– 50Hz, 25 kV

정의:

영향을 주는 것은 다양한 영향의 원천들을 구성하고 있기 때문에, 이는 전력 공급 네트워크에 영향을 주는 유닛에 의해 방출된 방해 규격 수치를 초과하지 않을 것을 보장한다.

직류 궤도회로의 경우에는, 일시적인 상황에 적어도 1,5초로 구분하여 짧은 기간, 비 반복적인 상황으로 정의된다.

### A.12.4 50Hz 궤도회로

#### A.12.4.1 Alcatel 50Hz 궤도회로

궤도 회로의 민감성은 기반 시설 구성에 매우 의존적이다. 표 A.28에 표시된 제한은 최악의 상황으로부터 발생된 것이다.

**표 A.28 – Alcatel 50Hz 궤도회로에서 규격 수치**

| 종류 | 주파수<br>Hz | 릴레이 전류<br>I<br>mA |
|---|---|---|
| 단일 레일 | 50 | 35 |
| 이중 레일 | 50 | 50 |

전자 궤도회로의 규제 규범에 따라 설치된 릴레이 Drl 56 은 고려 될 것이다.
표 A.29는 이러한 유형의 릴레이의 시간 상수를 보여준다.

| **릴레이 종류** | **시간 상수**<br>**ms** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | T1<br>방출 | T2<br>방출 | T1<br>작동 | T2<br>작동 |
| Drl 56 | 8 | 200 | 8 | 60 |

### A.12.4.2 Alstom 50 Hz 궤도회로(GRS)

제조자: Alstom

궤도 회로 작동 주파수 : 50Hz

견인 : 디젤 / 직류 3 k / 25 kV 50 Hz

방해 규모는 이탈리아의 50Hz와 비슷하다. 이탈리아의 철도 기관은 전파 장애를 제한하기 위해, HCL이라 불리는 전기적 장비를 요구했다. 그것은 스페인에는 존재하지 않는다.

표 A.30 - 직류 3 kV 50Hz에서 규격의 수치 (이탈리아 FS/96

| **주파수**<br>**Hz** | **I**<br>**mA** |
|---|---|
| 3 | 64000 |
| 12 | 40000 |
| 16 | 28000 |

| | |
|---|---|
| 20 | 10000 |
| 28 | 8000 |
| 31 | 6400 |
| 33 | 3600 |
| 38 | 2800 |
| 43 | 2400 |
| 46 | 1600 |
| 65 | 10000 |
| 297 | 20000 |
| 302 | 10000 |
| 1300 | 180 |
| 1985 | 60 |

65Hz부터 1300Hz까지 몇 개의 추가적 제한이 있다. 65Hz, 97.5Hz에서 주파수가 단일 고조파 64A의 최대 값에 도달 할 수 있다.

### A.12.4.3 Bombardier 50Hz 궤도 회로

궤도 회로 계전기 JRV 10207는 두 개의 코일의 전기 계전기다. 이 계전기는 코일(지역 및 궤도)에 적용 되는 장력(전압)의 제품에 따라 활성화된다.

장력 (전압)으로, 50 Hz에서 50Hz 궤도회로에 인가된 궤도의 진행 상황, 다른 현상의 결과와 같은 다른 장력은 생략 할 수 있다. : 기타 작용 (병렬 회로)의 유도로, 트랙션 회로의 교란을 발생시킬 수 있다. 궤도의 4 극의 네트워크 특성의 전류 변화를 반환한다.

50 Hz에서 궤도 회로의 올바른 작동을 보장하기 위해, 선명한 측면 50 Hz의 통과 대역 수동 필터가 삽입됩니다.

### A.12.4.4 Dimetronic 50Hz 궤도회로

이러한 궤도 회로에 마찰 현재 반환 간섭의 한계를 들어, UT1(50Hz 두 개의 레일과 50Hz의 단일 레일)궤도회로에 대한 영국 설명서를 참조.

### A.12.4.5 Enyse 50Hz 궤도 회로(SICE)

서로 다른 종류의 열차와 다른 요소들에 의해 생성된 전류 때문에, 궤도의 원천으로부터 생성된 간섭의 영향력은 표 A.31에 나타나는 영향의 전류 이하 여야 한다.

표 A.31 Enyse 50 Hz 궤도 회로에 규격 수치 (SICE)

| Frequency<br><br>Hz | 계전기의 안전에 기한 최대 전류<br>I<br>mA |
|---|---|
| 35 | 23 |
| 40 | 25 |
| 50 | 21.7 |
| 60 | 18.7 |
| 70 | 16.5 |

우리는 일반 궤도 계전기 Ms-46553의 규정대로 일반 장력과 궤도회로 종류 SICE 의 규정에 대한 기술적 교육에 따라 고려했다.

100Hz에서 1000Hz 까지의 주파수들은 계전기 궤도회로에 방해가 없다.

이 수치는 270mA의 대부분 궤도에 장애를 갖는 것으로 간주됐다.

### A.12.5 고전압 임펄스 궤도 회로 (ITE)

제조자 : GEC ALSTOM;

작동 주파수 : 3 Hz;

트랙션 : 디젤; 3 kV DC; 25kV-50Hz.

이 궤도회로의 전파 장애에 대한 내성 때문에, 전파 장애 제한은 없다.

### A.12.6 FTGS 이음매가 없는 궤도회로

이 수치는 독일의 궤도회로에 전자 마찰 호환성 변수에 대한 DB 설명서에서 직접 발췌한 것이다.

#### A.12.6.1 FTGS 46

표 A.32 - FTGS 46

| 채널 중심 주파수 | 3dB 실 대역폭 | 3dB 실 채널 대역폭에서 |
|---|---|---|

| Hz | Bk<br>Hz | 영향을 미치는 유닛의 최대 전류<br>A |
|---|---|---|
| 4750 | 200 | 1 |
| 5250 | 206 | 1 |
| 5750 | 214 | 1 |
| 6250 | 220 | 1 |

이 규격은 영향을 주는 유닛 뿐만 아니라 견인 유닛에도 유효하다.
$I_{\max TU} \leq I_{\max IU}$ r.m.s 종합 시간 40ms

다양한 정지마찰 유닛의 계산 공식은:

$$I_{nTUchannel} = \frac{Gabarit_{channel}}{\sqrt{n}} 1 < n \leq 6 \; n : \nu mber of taction units$$

A.12.6.2 FTGS 917

표 A.33– FTGS 917에 규격 수치

| 채널 중심 주파수<br>Hz | 3dB 실 대역폭<br>Bk<br>Hz | 3dB 실 채널 대역폭에서 영향을 미치는 유닛의 최대 전류<br>mA |
|---|---|---|
| 9500 | 360 | 330 |
| 10500 | 380 | 330 |
| 11500 | 400 | 330 |
| 12500 | 425 | 330 |
| 13500 | 445 | 330 |
| 14500 | 470 | 330 |
| 15500 | 490 | 330 |
| 16500 | 510 | 330 |

이 수치는 영향을 주는 유닛 뿐만 아니라 견인 계수 유닛에도 유효하다.

$I_{\max TU} \le I_{\max IU}$ r.m.s 종합 시간 40ms

다양한 정지마찰 유닛의 계산 공식은:

$$I_{nTUchannel} = \frac{Gabarit_{channel}}{\sqrt{n}} \; 1 < n \le 6 \; n : \nu mber of taction units$$

### A.12.7 FS 2000/3000/5000 이음매가 없는 궤도 회로

궤도 회로 구현에 대해 서로 다른 토폴로지를 연구하는 것은 다방면(직류 3 kV의 전기적 궤도와 25kV 50Hz에서 전기적 궤도)에서 고려되어 왔다. 아래 데이터는 최악의 경우(최소 규모를 받아들이는)를 보여준다.

#### A.12.7.1 직류 3 kV에서 FS2000 - Electrification

FS 2000 이음매 궤도 회로에 의해 사용되는 신호는 FSK 변조를 사용하여 체계화된다. 궤도 회로의 주파수 대역에서 잡음 레벨 신호가 1 / 5 을 초과하면, 궤도 회로 수신기로의 성능이 저하되고, 그것은 유효한 것으로 인정되지 않는다. 이 경우, 잡음이 남아있는 동안 궤도 회로 점령 된 궤도 상태를 표시한다. 안전에 도움이 되기 행동이다.

궤도회로에서 각 주파수 마다의 잡음 레벨은 아래에 따라 저하 될 것이다.

레일들 사이의 귀환 전류의 불균형 마찰 전류가 없다면, 최대 전류는 15A를 초과할 것이다. 레일들 사이의 임피던스 불균형이 1%면, 각 궤도회로 주파수에 최대 마찰 전류는 표 A.34와 같이 주어질 것 이다.

| 반송파 주파수<br><br>Hz | 대역폭<br><br>Hz | 최대 전류<br><br>A |
|---|---|---|
| 1700 | 40 | 3.7 |
| 2000 | 40 | 3.2 |
| 2300 | 40 | 3.3 |
| 2600 | 40 | 2.8 |

레일 사이의 5%의 임피던스 불균형이 있다면, 이때 최대 전류는 600mA 그리고 770mA사이로 떨어질 것 이다.

수치는 영향을 주는 유닛 뿐만 아니라 견인 계수 유닛에도 유효하다.

$I_{\max TU} \le I_{\max IU}$

다양한 정지마찰 유닛의 계산 공식은:

$$I_{nTUchannel} = \frac{Gabarit_{channel}}{\sqrt{n}} 1 < n \le 6 \; n : \nu mber of taction units$$

### A.12.7.2 FS3000

FS 3000 이음매 궤도 회로는 위상 변조 QOPSK 신호를 사용하고 디지털 코드화한다. 궤도 회로 주파수대역폭에서 이런 종류의 신호에 의해 허용되는 잡음 레벨은 신호의 실효값의 1 / 3이다. 반송파 신호 대역폭 견인 잡음 궤도 회로 신호의 1 / 3을 초과하는 경우, 잡음이 남아 있는 동안이 트랙 회로는 점령 된 상태를 표시한다. 안전을 위해 행동한다.

측정은 반송파 주파수 주변의 240 Hz에서 대역에 스펙트럼 분석기에 의해 수행 될 것이다. 240 Hz에서 대역폭에 대한 현재 유효 값을 측정한다.

궤도 회로가 영향을 받게 될 각 FS 3000 궤도 회로 주파수에서 마찰력이 돌아오는 결과로 얻을 전류 레벨은 다음과 같다. 이러한 데이터는 스페인에서 사용되는 전력화 종류에 해당한다.

#### A.12.7.2.1 직류 3 kV에서 전력화

각 궤도 회로 주파수에서 최대 마찰 전류는 표 A.35에 명시되 있다.

#### A.12.7.2.2 25 kV - 50 Hz에서 전기화

**Table A.35 – Values of gabarit for FS 3000 Electrification at 3 kV DC**

| Carrier frequency<br>Hz | Bandwidth<br>Hz | Maximum current<br>mA |
|---|---|---|
| 4 080 | 240 | 660 |
| 4 320 | 240 | 590 |
| 4 560 | 240 | 525 |
| 5 040 | 240 | 660 |
| 5 280 | 240 | 345 |
| 5 520 | 240 | 325 |
| 6 000 | 240 | 310 |
| 6 480 | 240 | 280 |
| 6 720 | 240 | 270 |
| 7 200 | 240 | 260 |

The gabarit is valid for a traction unit as well as for an influencing unit:

$$I_{\max TU} \leq I_{\max IU}$$

Calculation rule for multiple traction units:

$$I_{nTU\,channel} = \frac{Gabarit_{channel}}{\sqrt{n}} \quad 1 < n \leq 6 \quad n : number\,of\,traction\,units$$

이 연구는 2개의 25 kV 전기화 시스템을 기반으로 했고, 반환 케이블 및 외부 레일 궤도 회로의 모든 위치에서 각 450m 귀환 케이블에 합류했다.

각 궤도 회로 주파수에서 최대 마찰 전류는 표 A.36에 명시 돼 있다.

### A.12.7.3 직류 3 kV에서 FS 5000 전기화

FS 5000 이음매 궤도 회로에 사용되는 신호는 FSK를 체계화한다. 궤도 회로의 주파수 대역에서 잡음 레벨 신호가 1 / 5 을 초과하면, 궤도 회로 수신기로의 성능이 저하되고, 그것은 유효한 것으로 인정되지 않는다. 이 경우, 잡음이 남아있는 동안 궤도 회로 점령 된 궤도 상태를 표시한다. 안전에 도움이 되기 행동이다.

궤도회로에서 각 주파수 마다의 잡음 레벨은 아래에 따라 저하 될 것이다.

각 궤도 회로 주파수에서 최대 마찰 전류는 표 A.36에 명시 돼 있다.

**Table A.36 – Values of gabarit for FS 3000 Electrification at 25 kV 50 Hz**

| Carrier frequency<br>Hz | Bandwidth<br>Hz | Maximum current<br>mA |
|---|---|---|
| 4 080 | 240 | 525 |
| 4 320 | 240 | 450 |
| 4 560 | 240 | 390 |
| 5 040 | 240 | 660 |
| 5 280 | 240 | 275 |
| 5 520 | 240 | 270 |
| 6 000 | 240 | 260 |
| 6 480 | 240 | 250 |
| 6 720 | 240 | 245 |
| 7 200 | 240 | 240 |

The gabarit is valid for a traction unit as well as for an influencing unit:

$$I_{maxTU} \leq I_{maxIU}$$

Calculation rule for multiple traction units:

$$I_{nTU\ channel} = \frac{Gabarit_{\ channel}}{\sqrt{n}} \quad 1 < n \leq 6 \quad n : number\ of\ traction\ units$$

## A.12.8 TI 21 I/M 이음매 궤도 회로

TI 21 궤도 회로 제품군은 가청 주파수 이음매 종류이다. 전파 장애의 규모가 큰 전기적 지역(50 Hz에서 고조파에서 주로 발생)에 AC, DC으로 사용되기 위해 제작 된 이음매 종류는 제시 될 것이다. TI 21 제품군은 두 가지 일반적인 유형으로 구성 :

a) 전선 트랙에 주로 설치하는 TI 21-1
b) 주요 전선의 역 구역에 설치 하는 TI 21-M

### A.12.8.1 TI 21-I 궤도 회로

TI 21-1 궤도 회로는 가청 주파수 대역(1532Hz~2610Hz)에서 동작하는 이음매 궤도이다. 이 궤도 회로 종류는 역 사이의 전선 궤도에 주로 설치 된다. 각 궤도회로는 표 A.38에 보여진 대로, 34Hz로부터 분리된 2개의 주파수를 사용한다. 인접 궤도 회로는 인접 트랙 회로 사이의 절연 제공하기 위해 서로 다른 주파수 쌍을 사용한다.

a) 대역폭;

**Table A.37 – Values of gabarit for FS 5000 Electrification at 3 kV DC**

| Carrier Frequency<br>Hz | Bandwidth<br>Hz | Maximum Current<br>A |
|---|---|---|
| 4 080 | 160 | 0,5 |
| 4 320 | 160 | 0,5 |
| 4 560 | 160 | 0,5 |
| 5 040 | 160 | 0,5 |
| 5 280 | 160 | 0,5 |
| 5 520 | 160 | 0,5 |
| 6 000 | 160 | 0,5 |

The gabarit is valid for a traction unit as well as for an influencing unit:

$$I_{\max TU} \leq I_{\max IU}$$

Calculation rule for multiple traction units:

$$I_{nTU\ channel} = \frac{Gabarit_{\ channel}}{\sqrt{n}} \quad 1 < n \leq 6 \quad n : number\ of\ traction\ \ units$$

**Table A.38 – TI 21-I track circuit operating frequencies**

| Track circuit frequency code | Nominal frequency<br>Hz | Operating frequency | |
|---|---|---|---|
| | | Lower frequency<br>Hz | Upper frequency<br>Hz |
| A | 1 699 | 1 682 | 1 716 |
| B | 2 296 | 2 279 | 2 313 |
| C | 1 996 | 1 979 | 2 013 |
| D | 2 593 | 2 576 | 2 610 |
| E | 1 549 | 1 532 | 1 566 |
| F | 2 146 | 2 129 | 2 163 |
| G | 1 848 | 1 831 | 1 865 |
| H | 2 445 | 2 428 | 2 462 |

- 각 주파수 대역폭의 중심으로부터 −3 dB ± 6Hz
- 각 주파수 대역폭의 중심으로부터 −3 dB ± 6Hz

b) 영향을 주는 것의 최대 전류;

- 모든 작동하는 주파수 경우, $I_{IUTI21-1} = 91.4mA$
- r.m.s 종합 시간은 2초에 발생될 것이다.

c) 견인 장치에 대한 최대 전류는, 견인 차량의 특성에 의존 할 것이다. 하지만 다수 유닛의 전형적인 경우에는, 4개 차량 유닛의 최대 전류는 아마 53mA가 될 것이다.

d) 다양한 견인 유닛의 계산 규칙

- 여러 마찰 장치는 루트 제곱 합계 이외에 트랙션 유닛 사이에 동기화가 없는 것을 제공하여 합산된다. 동기화가 있다면 산술 가산이 사용되어야한다. 어떠한 동기 방법도 가정되지 않으면, 다음에 따라 여러 마찰 장치가 합산 된다.
- $I_{IUTF21-I} = [n(I_{TUTF21})2] \quad n: \nu mber of traction units.$

이러한 측정 장비는 견인 전류를 감시 할 수 있게 열차의 적합한 위치에 놓여 있어야 한다. 기관차의 경우 팬터그래프의 주요 공급 케이블의 둘레에 위치가 적합 할 수있다. 다수의 전기적 유닛의 경우, 그것은 오직 하나의 마찰 유닛을 위해, 전체 견인 전류를 측정하는 것이 실용적 일수 있다. 그러므로 최대 12 차량 유닛의 최대 견인 전류를 결정하기 위하여 산술 가산을 사용하는 것은 필요하다. 그림 A.19에 나타낸 바와 같이 측정 장치는 측정 대역폭(각 중심 주파수로부터 −3dB ± 6Hz 그리고 -20 ± 30Hz)을 사용한다. (공칭) 중심 주파수는 표 A. 38에 나타낸다.

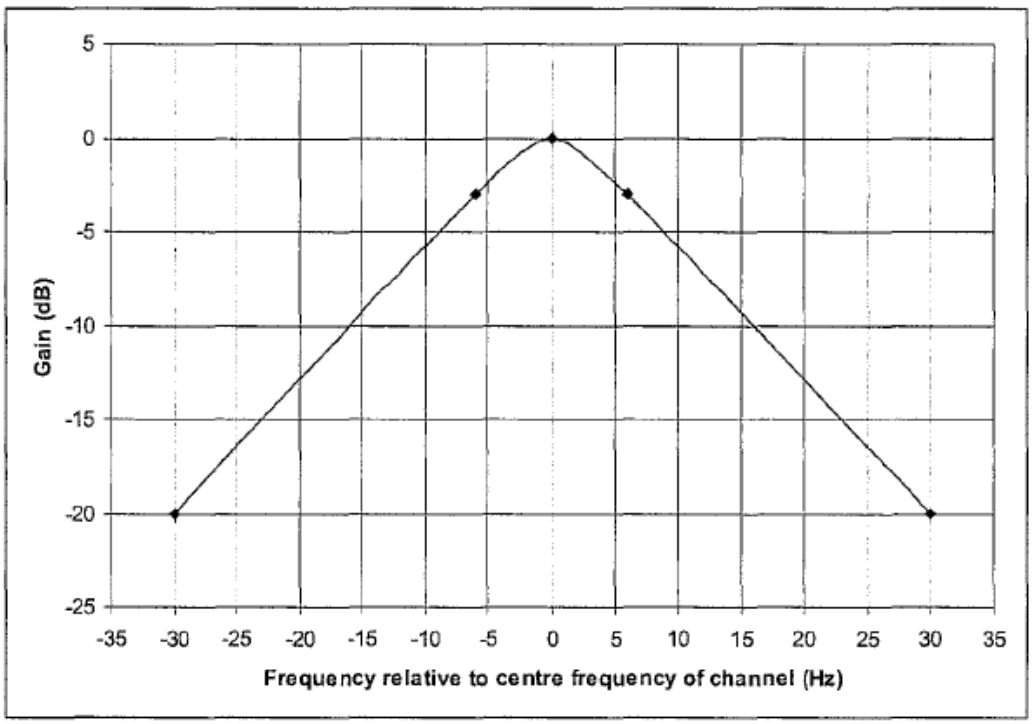



**Figure A.20 – Typical frequency response of an individual TI 21 channel**

안정 상태의 열차 배출 데이터는 정상 작동 상태인 TI 21의 방해 제한을 나타내는 A.12.8에 정의된 한계와 비교 되어야 한다. 이러한 제한은 모델링으로서, 철도에 발생 할 것 같은 모든 기반 조건을 포함한 100 % 불균형 상황을 발생 할 수 있는 유일한 상황에서 효과적으로 장애가 발생한 인프라를 기초로 하고 있다. 이러한 제한은 정상 작동 조건에서 위반 한 것으로 한다.

허용 규격은 궤도 회로에 선택되는 필요한 변조된 신호보다 순수한 신호음을 기초로 한다. 이 규격은 호환성 케이스를 만들 때 초과되는 제한과 비교된다. 대부분의 마찰 시스템은 단순한 규격 비교 문을 준수할 것으로 예측된다. 크기와 2초 이상 지속되는 시간과 함께 초과된 제한을 가진 주파수는 완화된 상태를 구축 할 때 주파수도 고려되어야한다.

계전기가 선택되기 전에, 기존에 내장 된 2 개의 채널 주파수의 존재를 확인하기 위해 수신기의 시간 지연 최소 2초 미만의 경우, 일시적인 방해는 TI21 궤도 회로에 문제되지 않는다.

직류제품에서의 잔뮬결파 혹은 교류제품의 고조파를 제공하는 망의 공명 주파수 같은 마찰 수치가 다르기 때문에, 테스트는 다른 시설에서 실행되는 경우, 시험 결과의 편차가 발생할 수 있을 것이라 예측된다. 같은 기반의 마찰 전압과 주파수를 가진 서로 다른 도시의 대표적 최악의 상황 구역에서 찾아내는 것의 어려움은 사소하지 않다는 것을 인지 해야 한다.

TI 21-M 궤도회로는 가청 주파수 대역(5200Hz~8600Hz 범위)에서 작동하는 이음매가 없는 궤도이다. 각각의 궤도회로는 표 A.39에 나타난 것처럼 200Hz마다 분리된 2개의 주파수를 사용한다. 인접 궤도 회로는 인접 궤도 회로 사이의 절연을 제공하기 위해 서로 다른 주파수 쌍을 사용한다. 귀환 지역이 요구되는 지점을 갖는 구성 때문에, 궤도회로의 이러한 종류들은 역 주변에서 적용된다.

**Table A.39 – TI 21-M track circuit operating frequencies**

| Track circuit Frequency code | Nominal frequency | Operating frequency | |
|---|---|---|---|
| | | Lower frequency | Upper frequency |
| | Hz | Hz | Hz |
| F1 | 6 100 | 6 000 | 6 200 |
| F2 | 7 700 | 7 600 | 7 800 |
| F3 | 6 900 | 6 800 | 7 000 |
| F4 | 8 500 | 8 400 | 8 600 |
| F5 | 5 700 | 5 600 | 5 800 |
| F6 | 7 300 | 7 200 | 7 400 |
| F7 | 6 500 | 6 400 | 6 600 |
| F8 | 8 100 | 8 000 | 8 200 |
| F9 | 5 300 | 5 200 | 5 400 |

### A.12.9 Um 71/2000 이음매가 없는 궤도 회로

### A.12.10 짧은 궤도 회로 규격 건널목

A.12.10.1 LX사의 short SJ-24S

제조자 : GEC Alstom

### A.12.9 UM 71/2000 jointless track circuit

Table A.40 – Values of gabarit for UM 71/2000 jointless track circuit

| Centre frequency<br>Hz | Theoretical bandwidth<br>Hz | Used bandwidth 1 dB | Maximum current for security<br>mA |
|---|---|---|---|
| 1 700 | 136 | 80 | 600 |
| 2 000 | 136 | 80 | 600 |
| 2 300 | 136 | 80 | 600 |
| 2 600 | 136 | 80 | 600 |

작동 주파수 : 780 Hz < F < 820 Hz

트랙션 : 디젤; 직류 1.5 kV; 25kV 50Hz

궤도회로에 방해에 내성 때문에, 방해 제한은 없다.

### A.12.10.2 궤도 회로 ME 3015/3047/3091

Table A.41 – Values of gabarit for ME 3015/3047/3091 track circuits

| Track circuit | Operating frequency<br>Hz | 3 dB bandwidth<br>Hz | Maximum current for 3 dB bandwidth<br>A |
|---|---|---|---|
| ME-3015 | 15 000 | 1 200 | 1 |
| ME-3047 | 14 500 | 1 000 | 0,5 |
| ME-3091 | 11 000 | 1 200 | 1,5 |
| | 12 000 | 1 400 | 1,5 |
| | 13 000 | 1 600 | 1,5 |
| | 14 000 | 1 600 | 1,2 |
| | 15 000 | 1 800 | 1,2 |
| | 16 000 | 2 000 | 1,2 |
| | 17 000 | 2 600 | 1 |
| | 18 000 | 2 800 | 1 |
| | 19 000 | 3 000 | 1 |

## A.13 스웨덴, BV 설명서

### A.13.1 설명의 범위

이 설명은 EN 50238와 함께 지원 된다. EN 50238은 크게 안전 / 호환성 케이스의 준비 방법을 다룬다.

본 설명서의 범위는 전자 간섭 한계와 전기적 견인력과 다른 열차의 전기적 장비의 테스트 설명을 정의 하는 데 제한한다.

국제 설명들은 승인들에 기초하여 기록 되어있다. 전화, 라디오, 그리고 신호 방해에 관한 트랙 바운딩 차량에 대한 BVS 560.1201 EMC 요구사항이다.

## 13.2 규격

규격의 세트 그리고 테스트 설명과 연관된 그것들이 요구되고, 아래에 견인 변수에 따라 그룹화 되어야 한다.

- 견인 주파수 : 16.7 Hz
- 견인 전압 : 15 kV

각 수치는 주파수로서의 최대 방해 전류의 그래프들에 의해 구성되어 있다. 시간적 제약은 각각의 경우 또는 주파수 대역에 대해 정의한다.

규격은 궤도 회로의 동작 주파수 대역을 위한 최대 허용 방해 전류를 제시할 것이다. 여러 기차 / 기관차의 효과를 계산하는 공식은 정의될 것이다. 이는 단일 기관차나 여객열차의 변전기, 열차의 최대 간섭 전류를 설정하는 차량 제조업체 나 테스터를 이용 할 수 있을 것이다.

규격은 기존의 철도 설명서에 있는 요구사항을 고려 해야 한다. 기존의 설명은 바뀌지 않았다. 이전에 설명한 규칙은 방해 수치가 원래 정의 된 철도에 의해 인가되지 않은 경우, 기존 설명의 방해 수치만 설명이 변경 될 것이다.

### A.13.2.1 정의

Clause 3 참조

### A.13.2.2 직류 궤도회로 방해 제한

영향을 주는 유닛에 최대 전류

- $I_{IU-DC}$ = 10A(이 수치는 조사를 진행함으로써 후에 증가될 것이다.)
- 대역폭 = 0Hz~2Hz

## A.14 스위스, SBB 설명서

### A.14.1 설명의 범위

이 설명은 EN 50238와 함께 지원 된다. EN 50238은 크게 안전 / 호환성 케이스의 준비 방법을 다룬다.

본 설명서의 범위는 전자 간섭 한계와 전기적 견인력과 열차들의 전기적 장비의 테스트 설명을 정의 하는 데 제한한다.

## 14.2 스위스의 “J78”에 따른 규격

규격의 세트 그리고 테스트 설명과 연관된 그것들이 요구되고, 아래에 견인 변수에 따라 그룹화 되어야 한다.

- 견인 주파수 : 16.7 Hz
- 견인 전압 : 15 kV

이 차이는 높은 견인 전압에 대한 필요 이상 비관적 방해 규모를 피해 견인 주파수의 함수로서 고조파를 고려하는 것이 필요하다.

각 수치는 주파수로서의 최대 방해 전류의 그래프들에 의해 구성되어 있다. 시간적 제약은 각각의 경우 또는 주파수 대역에 대해 정의한다.

규격은 궤도회로에서 작동하는 주파수 대역폭의 현재 허용하는 최대 방해 전류를 규명할 것이다. 다수의 기관차/열차의 영향에 따라 계산되는 공식은 정의될 것이다. 이것은 열차 제조자 및 하나의 차량의 최대 방해 전류를 측정하려는 시험 자, 객차 또는 완성된 열차에 전력 변환장치에 이용 할 수 있을 것이다.

규격은 기존의 철도 설명서에 있는 요구사항을 고려 해야 한다. 기존의 설명은 바뀌지 않았다. 이전에 설명한 규칙은 방해 수치가 원래 정의 된 철도에 의해 인가되지 않은 경우, 기존 설명의 방해 수치만 설명이 변경 될 것이다.

## A.14.3 협대역과 광대역 분석

A14.4-A14.6에서 언급된 모든 수치가 표시된 통합 시간에 오름 차순 필터에 의해 측정 된 협 대역 제한이다.

또한 영향을 미치는 장치의 모든 관련 동작 모드 이상의 시간 동안 100 kHz까지 10Hz 대역에서 광대역 측정이 이루어져야 한다.

평가는 반드시 스펙트럼 에너지가 없는 방대한 양의 협 대역 측정의 옆에 존재하지 않도록 waterfalldiagram를 사용하여 수행 된다.

## A.14.4 제한 수치가 고려되는 매개 변수

-최악의 경우의 정의

-신호대 잡음비
-궤도 회로 섹터의 최대 길이
-현재와 접지 조건을 반환한다.
-밸러스트와 레일의 임피던스
-1 또는 두 레일 고립 된 영역에 궤도 회로의 전기적 적용
-손상된 레일의 상태
-축에 의해 단락된 임피던스와 위치
-궤도 회로의 전압 공급의 내성
-궤도 회로 수신기의 반응 전압
-안전 계수

### A.14.5 추측되는 영향을 주는 유닛 (UIC 추천서에 따른 IU)

표 안의 모든 값은 IU의 이전의 가정에 근거한다. 2개의 마찰 유닛이 항상 존재한다.

- 하나의 여객열차와 단일 기관차 (예를 들면 전차선에 탑재 되는) = 2개의 견인 유닛
- 두개의 여객열차와 화물 열차 (예를 들면 전차선에 탑재 되지 않는)= 2개의 견인 유닛

이 가정은 편리한 이유로 정지형 변환기를 사용하는 것 때문이 아니라 상호 작용 해야 된다.

영향을 주는 유닛이 3개 혹은 그 이상의 마찰 유닛으로 구성 되어 있다면, 수치는 곱셈, 선형 방법을 사용함 으로서 계산 되어야 할 필요가 있다.

견인 유닛이 동기화 된 위상 각에 있는 경우에 선형 방식을 사용 한다. 마찰 유닛이 무작위로 상호간 작동 할 경우나, 다른 위상 각에 있을 경우에는 곱셈 방식을 사용 한다.

만약 오직 한 개의 견인 유닛이 열차에 있을 경우에는 400Hz에서 제한 수치는 증가 되는 것이 허락되지 않을 것이다.

**Table A.42 – Values of gabarit for Switzerland**

| Number $I_n$ of TU in the IU | Theoretical value $I_{IU(1..6TU)}$ A | $I_{n\,TU}$ in case of linear addition A | $I_{n\,TU}$ in case of square addition A |
|---|---|---|---|
| 1 | 2,0 x √ 2 = 2,8 A | Fixed value: 2,0 | Fixed value: 2,0 |
| 2 | 2,0 x √2 = 2,8 A | 2,8 / 2 = 1,4 | 2,8 / √ 2 = 2,0 |
| 3 | 2,0 x √ 2 = 2,8 A | 2,8 / 3 = 0,93 | 2,8 / √3 = 1,6 |
| 4 | 2,0 x √ 2 = 2,8 A | 2,8 / 4 = 0,70 | 2,8 / √ 4 = 1,4 |
| 5 | 2,0 x √2 = 2,8 A | 2,8 / 5 = 0,56 | 2,8 / √5 = 1,3 |
| 6 | 2,0 x √2 = 2,8 A | 2,8 / 6 = 0,47 | 2,8 / √ 6 = 1,1 |

### A.14.6 “J78” 에 궤도회로의 제한

**Table A.43 – Limits of track circuits covered by "J78"**

| System | Frequency<br>Hz | Interference current in the rail $I_{IU\ (>2\ TU)}$<br>A | r.m.s.-integration time<br>ms | Bandwidth<br>Hz |
|---|---|---|---|---|
| „DC" and "Umrichter" (Siemens Schweiz) | 0 (DC) | 17,700 | | |
| | 10 | 423,000 | 500 | 2 |
| | 16,7 | No limit | | |
| "Motorrelais" (Siemens) and "6231" (Alcatel) | 42 | 2,000 | 500 | 2 |
| | 100 | 2,000 | 500 | 4 |
| | 105,5 | 2,000 | 500 | 4 |
| | 125 | 2,000 | 500 | 4 |
| "UGSK" and „125 Hz" (Siemens Schweiz) | 137,5 | 4,000 | 500 | 4 |
| | 175 | 4,000 | 500 | 4 |
| | 225 | 4,000 | 500 | 4 |
| "Jade" (Alstom) | 1 595 | 0,500 | 500 | 90 |
| | 2 206 | 0,500 | 500 | 90 |
| | 2 500 | 0,500 | 500 | 90 |
| | 2 841 | 0,500 | 500 | 90 |
| | 3 157 | 0,500 | 500 | 90 |
| | 3 472 | 0,500 | 500 | 90 |
| | 3 750 | 0,500 | 500 | 90 |
| "FTGS 46" (Siemens) | 4 750 | 1,000 | 500 | 200 |
| | 5 250 | 1,000 | 500 | 206 |
| | 5 750 | 1,000 | 500 | 214 |
| | 6 250 | 1,000 | 500 | 220 |
| "FTGS 917" (Siemens) | 9 500 | 0,330 | 500 | 360 |
| | 10 500 | 0,330 | 500 | 380 |
| | 11 500 | 0,330 | 500 | 400 |
| | 12 500 | 0,330 | 500 | 425 |
| | 13 500 | 0,330 | 500 | 445 |
| | 14 500 | 0,330 | 500 | 470 |
| | 15 500 | 0,330 | 500 | 490 |
| | 16 500 | 0,330 | 500 | 510 |
| "QL 57" and "QL 57-2" (Siemens Schweiz) | 80 000 | 0,400 | 1 200 | 200 |
| | 100 000 | 0,400 | 1 200 | 200 |

## A.15 영국, Network Rail 설명서

### A.15.1 직류 궤도회로

#### A.15.1.1 설명의 범위

이 설명은 EN 50238와 함께 지원 된다. EN 50238은 크게 안전 / 호환성 케이스의 준비 방법을 다룬다.

본 설명서의 범위는 직류 궤도 회로와 관련하여 전자 간섭 한계와 전기적 견인력과 열차들의 전기적 장비의 테스트 설명을 정의 하는 데 제한한다.

이 문서는 2008년 4월 2일에 발행된, 네트워크 레일 회사 설명서 NR/SP/SIG/50004에 기초한다. 이 규격은 최근 발행된 값을 기초로 한다. 이 네트워크 레일 설명서는 직류 궤도회로에서의 호환성을 증명하는 정의된 설명이 고려 되어야 한다.

#### A.15.1.2 규격

25kV 50Hz 전기화를 위한 규격이다. 그것은 네트워크 레일이 운영하는 기반에 단일 레일에 있는 DC궤도 회로에서의 지속적인 방해 전류의 최대량을 정의한다.

규격은 궤도 회로의 동작 주파수 대역을 위한 최대 허용 방해 전류를 제시할 것이다. 여러 기차 / 기관차의 효과를 계산하는 공식은 정의될 것이다. 이는 단일 기관차나 여객열차의 변전기, 열차의 최대 간섭 전류를 설정하는 차량 제조업체 나 테스터를 이용 할 수 있을 것이다.

##### A.15.1.2.1 정의

영향을 주는 것은 다양한 영향의 원천들을 구성하고 있기 때문에, 이는 전력 공급 네트워크에 영향을 주는 유닛에 의해 방출된 방해 전류 규격 값을 초과하지 않을 것을 보장한다.

##### A.15.1.2.2 직류 회로에서 방해 제한

직류 궤도의 원리는 간단하다 : 전력 구역의 끝에 레일에인가되고 한쪽 끝이 DC 트럭 계전기에 레일을 통해 전송된다. 단일 레일 구성이 각 구역의 끝에 IRJs(레일 이음매에 결합 된)와 맞는 경우 궤도회로는 전기적으로 나눠 질 것 이다. 이 제시된 제한은 CAA04 궤도 계전기와

궤도 회로의 600m 길이에 기초 한다.

DC의 궤도 회로의 감도는 기반 구성에 크게 의존한다. 여기에서 제시된 제한은 최악의 경우 전체 기반의 시나리오(즉, 이중 궤도 레일, 합류된 레일과 귀환 레일)로부터 발생 할 수 있다.

a) 영향을 주는 유닛의 최대 전류
– $I_{IUDC} = 1.56A$ 20% 차이 포함

b) 견인 유닛의 최대 전류
– 견인 장치에 대한 최대 전류는, 견인 차량의 특성에 의존 할 것이다. 하지만 다수 유닛의 전형적인 경우에는, 4개 차량 유닛의 최대 전류는 아마 0.52A가 될 것이다.
– 궤도회로의 직류 동작 때문에, 간단한 산술 덧셈은 여러 장치에 적용된다

**A.15.1.3 테스트 설명**

**A.15.1.3.1 주파수 반응**

차량에 DC 및 저주파 방해 수준을 측정 할 때 적절한 측정 대역폭은 DC 궤도 계전기의 주파수 응답에 따라 정의 할 필요가 있다. 적용되는 필터는 따라서 두 가지 기준을 충족해야한다.

–아주 느린 계전기가 반응 할 수 있도록 DC를 변화시킨 사례를 기록하는 데 충분한 넓이.
–의미있는 검사를 가능하게 하기 위해, 적합한 50 Hz 제거가 얻게 될 것을 보장하기 위해 충분히 좁야 한다,

궤도 계전기의 주파수 반응은 그들의 시간 반응과 관계 있다. 직류 궤도 계전기 메카니즘의 반응 시간은 계전기의 종류마다 다양하다. 계전기는 시리즈중 두개의 일차 시간 상수로서 설계 되어야 하고, 두 시간 상수는 계전기 비교적 빠른 초기 응답 그리고 최종 동작과 비 동작 상태에 접근하는 계전기로서의 느린 반응을 나타낸다.

계전기의 시간 반응은 t0의 반 주기의 효율적인 대역폭으로서 표현 된다. 여기서 t0는 시간 상수이다. 표 A.44에 사용되는 수치는 특정 계전기 유형이 적절한 측정 대역폭을 정의하는 루트에 존재하는 것으로 알려져 있다. 이 대역폭의 사용은 경로 상에 존재할 수 있는 특정 DC 궤도 계전기의 주파수 응답에 따라 결정되는 견인력 전류 파형의 실효 DC 함유량을 가능하게 한다.

저주파와 이 직류를 결정하는 다른 방법은 네트워크 레일에 존재하는 모든 중계 타입의 응답의 각 주파수 촬영 계정에 가장 민감한 값에 따라 설계 된다. 그림 A.20에 나타나는 복합 응답 곡선과 일치한다. 이러한 필터는 그림 A.20 그래프의 복합 주파수 응답 정합 필터로 나타나고 있다. 복합 응답 곡선은 2 개의 단극, 버터와 저역 필터 – (0,5 Hz에서 4,14 Hz에서 3dB 지점)의 계단식로 모델링 할 수 있으며, 이것은 예를 들어 주어진 필터의 모든 구현은

**Table A.44 – Measured time constant of DC relays**

| Type of relay | Minimum measured time constants | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $t_1$ (drop away) ms | $t_2$ (drop away) ms | $t_1$ (pick up) ms | $t_2$ (pick up) ms |
| BR939A | 29 | 158 | 31 | 210 |
| BR966 F2 | 21 | 169 | 27 | 216 |
| B1 | 107 | 598 | 111 | 938 |
| NT2A | 159 | 593 | 210 | 682 |
| D6 | 110 | 849 | 198 | 1 004 |

복합 응답 곡선과 일치로 허용된다.

이 측정 장비는 전체의 견인 전류를 감시하기 위해서 열차에 적합한 위치에 있어야 한다. 영향을 주는 유닛의 경우, 단 하나의 정지마찰 유닛에 대한 방해 전류를 측정하는 것이 실용적일수 있다. 전체 기차 유닛을 형성 할 수 있는 견인 유닛의 최대 개수에 대한 최대 견인 전류를 결정하는 것이 필요 할 것이다.

측정 장비는 그림 A.21에 명시된 대역폭 측정에 사용해야 한다.(BR966F2이 가장 취약 유형 릴레이로 가장 멀리 DC에서 모든 주파수에 민감하고 CAA04 픽업 전압에 참조 된 응답에 기초 한다.)

A.15.1.3.2 과도상태

과도 상태 동안, 모든 범위의 기차가 고려되는 필요를 생성해 낼 수 있는 과도 전류이다. 표 A.45은 과도 현상을 초래할 경우와, 고려 되어야 할 경우의 열차의 상황을 제공한다. 모든 비슷한 상황을 분석하고 확인하는데에 이것은 필요 할 것이다.

과도의 주파수와 심각도는 경로에서 작동하고 기존 열차보다 나 빠지지 않는 것이 입증되어야 한다. 그리고 이는 다음에 따라 측정 되어야 한다.

- 임계 값에 한도(1.54A) 이상의 평균 시간은 경로에서 작동하는 기존 전철 차량의 미만이어야 한다.
- 한계 제한 이상 단일 초과량은 경로에서 작동하고 기존 차량 이상 이어야야 한다.
- 독립적으로 고려되는 경우, 규모는 적어도 1.5초 동안의 한계점 이하여야 한다.

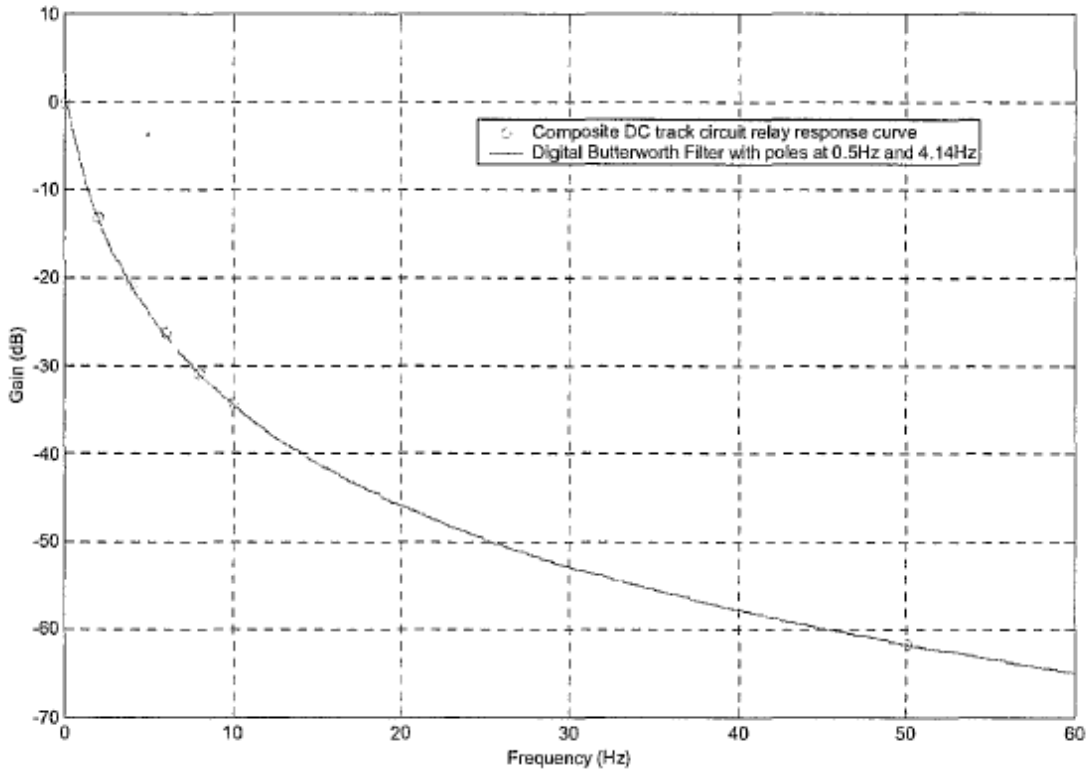



**Figure A.21 – Frequency response of the DC track circuit**

일반적으로 직류 궤도 회로에서 발생한 최악의 경우의 과도는 25 kV의 전원에서의 통전으로 견인 변압기의 돌입과 관련된 것이다. 합리적인 최악의 경우를 표현하는 테스트를 위해, 그들은 효과적인 원래의 임피던스를 최소화하기 위해 공급 장치 역에 가까운 전철로 실시해야한다. 테스트 동안 기록된 OHLE 공급 전압이 제공될 것이고, 이어서, 다른 전원 전압의 예상 돌입 전류는 시험 결과에서 추정 할 수 있다. 최대 돌입 값은 결과의 통계 분석에서 결정할 수 있다는 것을 보증하기 위해, 충분한 검사가 진행 되어야 할 것 이다. (일반적으로 50; 적어도 2 최고 돌입 값은 테스트 중에 발생해야 한다.) 돌입된 과도 그리고 직류 궤도회로의 호환성의 절대적 입증은 불가능 하고, 그러므로, 요구사항은 기존의 차량에서 가장 나은 돌입 특성을 가지는 최신 차량을 확증 하는 것이다. 즉, 호환성을 입증하는 주요 방법은 기존의 유사한 차량과 비교하면 된다. 시험 조건은 가능한 만들어 질 유효한 비교를 가능하게하기 위해 동일해야 한다. 전원 전압은 다른 모든 관련 시험 조건과 함께 기록되어야 한다. 테스트는 최대 값, 최소값, 철도 운송의 공칭 두 부하를 포함해야 한다.

최고 돌입 전류는 하나의 요인이며, 상당히 빠른 돌입 전류의 감쇠 시간을 확보하는 것도 중요하다. 이러한 이유로 1초 후 직류 레벨이 정의 되고, A.15.1.3.1로부터 결정된 적정한 대역폭 측정기를 사용하여 측정된다. 직류 방해 전류의 규모가 증가되지 않게 하기 위해서, 표 A.46의 돌입 전압기의 수치는 교류로 운행하고 수년 동안 운행되어 오고, 그리고 과도하지 않아야 하는 현재 수치를 가지는 전철 차량의 종류의 범위를 기초로 한다.

**Table A.45 – Typical events to be used In train analysis**

| Number | Event |
|---|---|
| 1 | Start up, loaded |
| 2 | Acceleration, loaded |
| 3 | Circuit breaker trip |
| 4 | Circuit breaker closure |
| 5 | Circuit breaker auto closure |
| 6 | Pantograph bounce |
| 7 | Gapping |
| 8 | Bad adhesion condition / Wheel slip |
| 9 | Rheo-static braking |
| 10 | Regenerative braking |
| 11 | Bad current collection conditions / Contact problems |
| 12 | Power on / power off switching |
| 13 | Isolation of train sub systems – all combinations |

**Table A.46 – Transformer inrush parameters, permissible value**

| Parameter | EMU value<br>A | Locomotive value<br>A |
|---|---|---|
| First peak | < 300 | < 400 |
| DC current 1 s after DC inrush peak | < 6,3 | < 20 |

이 수치는 최대 기차 구성 또는 영향을 주는 유닛에 적용 된다. 여러 전철 유닛에 VCB 폐쇄의 Robustly 제어 시퀀싱은 이러한 기준을 충족하기 위해 사용될 수 있다.

위를 얻을 수 없는 경우, 현재 궤도 회로의 과도 간섭의 증거 없이 경로 상에서 동작하는 특정 차량에 대한 위험 요소의 비교를 고려하는 것이 필요할 것이다.

빙판의 조건하에 직류 궤도회로가 호환성이 확정되기만 하면, 주요 기차의 직류 저항 변환기는 이미 사용되는 길에 비교하는 것을 보장하는 것은 필요하다. 이는 새롭거나 변형된 전철 차량에 의해 증가 된 위험이 아니 라는 것이 확실해 질 것 이다.

현재의 질 나쁜 차량들에 관련된 다른 이슈들이 없다는 것을 확신하기 위해, 현재 질 나쁜 차량들의 상황에서의 하나와, 새로운 열차의 영향을 비교하는 테스트를 실행하는 것은 필요 할 것이다.

## A.15.2 50Hz 단일 레일 궤도 회로

### A.15.2.1 설명의 범위

이 설명은 EN 50238와 함께 지원 된다. EN 50238은 크게 안전 / 호환성 케이스의 준비 방법을 다룬다.

본 설명서의 범위는 전자 간섭 한계와 전기적 견인력과 다른 열차의 전기적 장비의 테스트 설명을 정의 하는 데 제한한다. 이는 네트워크 레일의 50Hz 단일 궤도회로와 관계있다.

이 문서는 2003년 2월 1일에 발행된, 네트워크 레일 회사 설명서 NR/SP/SIG/50005에 기초한다. 이 네트워크 레일 설명서는 50Hz 단일 궤도회로에서의 호환성을 증명하는 정의된 설명이 고려 되어야 한다.

### A.15.2.2 규격

750V 직류 3번째 레일의 전기화를 위한 규격이다. 그것은 네트워크 레일이 운영하는 기반에 단일 레일에 있는 50Hz 단일 궤도 회로에서의 지속적인 방해 전류의 최대량을 정의한다.

이는 단일 기관차나 여객열차의 변전기, 열차의 최대 간섭 전류를 설정하는 차량 제조업체 나 테스터를 이용 할 수 있을 것이다.

#### A.15.2.2.1 정의

영향을 주는 것은 다양한 영향의 원천들을 구성하고 있기 때문에, 이는 전력 공급 네트워크에 영향을 주는 유닛에 의해 방출된 방해 전류 규격 값을 초과하지 않을 것을 보장한다.

#### A.15.2.2.2 50Hz 단일 레일 궤도 회로에서 방해 제한

50Hz의 단일 궤도 회로 수신기는 두 요소 베인 계전기이다. 계전기의 하나의 코일은 신호를 제공하는 곳과 연결 되 있고, 다른 하나는 가동 중인 레일들을 가로지른다. 궤도 회로는 신호 레일의 절연 레일 조인트의 사용에 의해 분리된다. 작동 요소는 2 개의 코일에 의해 생성되는 자속의 충분한 크기이다. 날개는 올리고 궤도 회로는 명확하게 보여준다. 두 코일이 정확히 동일한 주파수로 공급되는 경우는 잔여 계전기가 선택될 결과를 초래하는 조건이다. 코일의 전류가 동일하지 않은 경우는 진동 토크가 진동 주파수에서 생성 된 궤도 회로를 번갈아 통과가 차지하고 나타납니다,

작동 특성 때문에 단순 필터 특성이 완전히 궤도 회로의 작동 매개 변수를 나타낼 수가 없다. 특히 과도 효과의 치료에 대한 새로운 지침은 RT/E/C/5005에서 찾을 수 있다.

영향을 주는 최대 전류:

– $I_{IU50HzSR} = 1.96A$
– r.m.s 종합 시간은 1초 안에 실시 되어야 한다.(5 회 이상 안정된 상태의 기준 계전기 역동적 시간 상수을 충족시키기 위해 받아 들여 진 시간.)

견인 유닛의 최대 전류
– 이는 견인 차량의 특성에 의존 할 것이다. 견인 장치에 대한 최대 전류는, 견인 차량의 특성에 의존 할 것이다. 하지만 다수 유닛의 전형적인 경우에는, 4개 차량 유닛의 최대 전류는 아마 660mA가 될 것이다. 궤도회로의 작동의 저주파와 궤도회로의 작동, 50Hz의 전쥬의 주된 원천은 전원 자체라는 사실 때문에, 간단한 산술 계산을 여러 장치에 적용 된다.

견인 유닛에 계산 공식
– 여러 견인 장치는 간단한 산술 계산을 사용하여 가산된다. 다음과 같이 여러 장치가 추가된다.
– $I_{IU50HzSR} = n \times I_{TU50HzSR}$ $n$ : 정지마찰장치의 개수

### A.15.2.3 테스트 설명

국소 코일에 인가 되는 50Hz의 전류가 전원으로 부터 파생하고 있기 때문에 그에 관련된 허용 범위 또는 그와 관련된 주파수 편차를 제공한다. 이 편차는 ± 2Hz 이다.

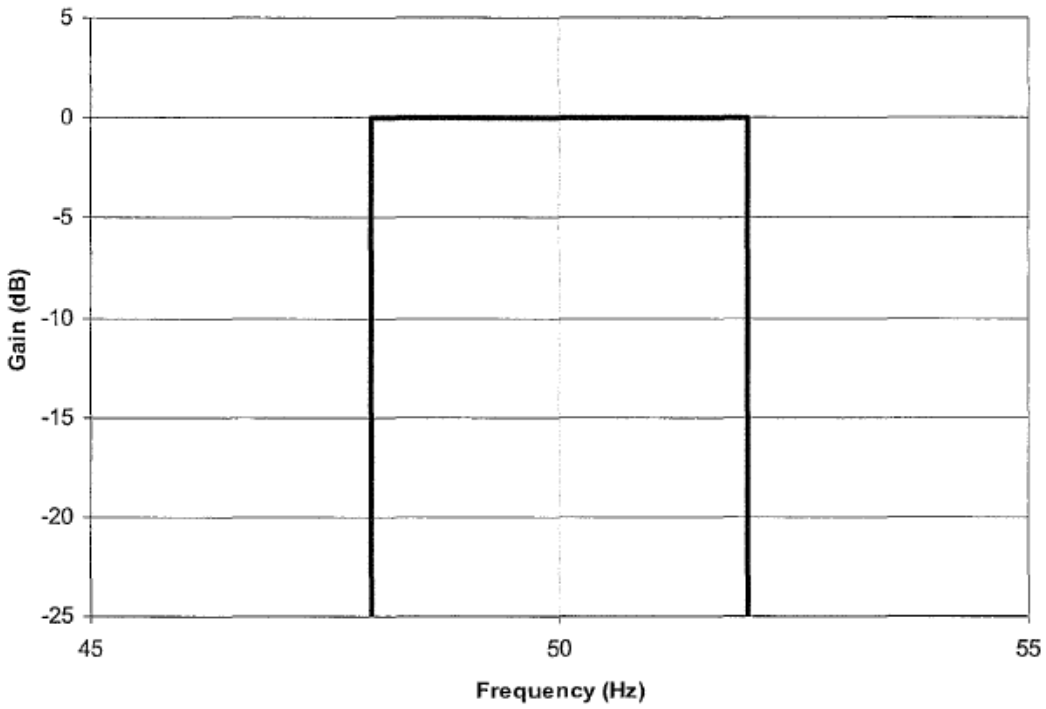



**Figure A.22 – Frequency response of 50 Hz single rail track circuit**

50 Hz 궤도 회로 계전기의 반응은 필터 수치에 의해 적절히 표시 될 수 있다. 이는 그림 A.21에 나와 있다.

이 측정 장비는 전체의 견인 전류를 감시하기 위해서 열차에 적합한 위치에 있어야 한다. 기관차의 경우 수집기의 주전원 케이블 주변 위치가 적합 할 것이다. 전기 다중화 부에 는, 그것은 하나의 견인 장치의 완전한 마찰 전류를 측정하는 데 실용적이다. 그런 다음 전체 열차부를 형성 할 수 있는 견인 장치의 최대 개수의 최대 견인 전류를 결정하는 산술 계산을 사용하는 것이 필요 할 것이다.

전류는 1kHz의 대역폭을 나타내는 2kHz의 최소 샘플링 주파수로 디지털 데이터 수집 시스템을 사용하여 단일 구동 및 보조 시스템에서 측정 됐다. 그 후, 고속 푸리에 변환 분석을 사용하여 50Hz(정확히 48Hz−52Hz)의 성분을 결정한다.:

− 1 윈도우 지속 시간 윈도우 길이 (5 배 이상 안정된 상태의 기준 계전기의 역동적 시간 상수를 충족시킬수 있ㄷ록 받아 들여진 시간.)
− 해닝 윈도우 (spectralleakage 을 제한하는)
− 50% 오버랩 (실효갑의 계산에 모든 관련 상황이 포착되는 것을 보장하기 위해)

정상 상태의 간섭의 한계를 결정하기 위해 최악의 경우에는 고려하여야 한다, 따라서 분석은 최대 방해가 제시된 퀘도 회로의 공급 단에 있는 기차에서 수행되어야 한다.

제조자는 다음 조건에서 열차의 최대 정상 전류를 확보하기 위한 것이다. :

− 결함 없는 완벽한 기능
− 고립되거나 꺼지는 다양한 보조시스템의 하위 모드가 없는 기능
− 제시된 결함이 없는 기능

상기 조건은 기차 구성, 기기 설정 및 작동 조건 모든 조합에 적용된다. 보조시스템 뿐만 아니라 견인 운행 시스템에서도 고려 될 것 이다. 전류는 A.15.2.2.2 에 제한된 것을 초과하면 안된다.

### A.15.2.3.2 동기화 조건

다중 주파수 전달 함수의 검증은 최선의 대표적인 샘플을 비롯한 소정의 견인 데이터 입력을 위해 시뮬레이션 된 제어 전류에 대한 측정을 비교함으로써 달성된다. 데이터의 길이는 대략 60초 정도 지속될 것을 추천한다.

#### A.15.2.3.2 Transient conditions

The frequency dependant transfer impedance of a worst-case longest track circuit is given by:

$$Z_{Transfer} = \frac{Z_{Tr}}{Z_{Tr} + Z_{Sig} + Z_{Rx}}$$

where

$Z_{Tr}$ is the impedance of traction return rail;

$Z_{Sig}$ is the impedance of signal rail;

$Z_{Rx}$ is the relay impedance, see Table A.48.

For normal track circuit, value for $Z_{Tr}$ at 50 Hz in Ω is:

$$Z_{Tr} = Z_{Sig} = L \times \left(1{,}694 \times 10^{-4} + j \times 3{,}48 \times 10^{-4}\right)$$

where

$L$ is the length of track circuit.

For other frequencies, values for $Z_{Tr} = Z_{Sig}$ per unit length can be taken from Table A.47;

The maximum length of track circuit is 200 m.

**Table A.47 – Rail impedance data**

| $f$<br>Hz | $Z_{rail}(f)$<br>Ω/km |
|---|---|
| 0 | 0,035 |
| 50 | 0,3 |
| 400 | 2,5 |
| 2 000 | 10 |

궤도회로 계전기의 역동적인 수치 때문에, 방해 시간의 최대 수치는 주어지지 않았다. 그것은 이미 경로에서 작동하는 새로운 기차와 기존 열차 간의 비교 분석은 경로상의 새로운 열차의 도입이 기존의 위험 수준을 증가하지 않는 것을 보여주기 위해 실시하길 권장 합니다. 기존 및 새 열차의 두 과도 성능이 측정 될 것 이고, 기록될 것이다. 그 다음 네트워크 레일이 소유한 궤도 회로를 통과 할 것이다.

이 분석을 위해 기차에서 생성 할 과도의 전체 범위를 고려할 필요가 있다. 표 A.49을 고려하면 과도 현상과 가능성이 일부 열차의 상태를 제공합니다. 그것은 과도를 초래할 수 있는 모든 이러한 현상을 식별 및 분석하는 것이 필요하다. 각 과도 현상 상황의 결합의 효과를 평

**Table A.48 – VT1 relay impedance**

| *f*<br>Hz | *R*<br>Ω | *X*<br>Ω |
|---|---|---|
| 0 | 0,5 | 0,11 |
| 20 | 0,59 | 0,58 |
| 30 | 0,82 | 1,04 |
| 35 | 1,11 | 1,32 |
| 40 | 1,73 | 1,63 |
| 45 | 2,83 | 1,36 |
| 50 | 3,36 | 0,228 |
| 55 | 3,0 | - 0,761 |
| 60 | 2,23 | - 1,14 |
| 65 | 1,78 | - 1,13 |
| 70 | 1,48 | - 1,06 |
| 75 | 1,28 | - 0,95 |
| 80 | 1,12 | - 0,82 |
| 90 | 0,98 | - 0,68 |
| 100 | 0,88 | - 0,55 |
| 150 | 0,746 | - 0,162 |
| 200 | 0,68 | 0,020 1 |
| 300 | 0,627 | 0,264 |
| 400 | 0,633 | 0,454 |
| 500 | 0,66 | 0,62 |
| 700 | 0,685 | 0,956 |
| 1 000 | 0,67 | 1,46 |

가하는 데 사용되는 가산 방법은, e.s 또는 산술은 지원하는 기기에 적합하도록 타당 해야 한다.

이 방법은 식을 사용하여 측정 된 열차의 데이터에서 계전기 제어 코일 전류를 유도하고 전압 한계치를 떨어뜨려 예산 VT1 계전기에 계전기 전압 레벨을 비교 한 모델을 통해 그것을 실행하는 것이다.

과도 EMI 응답의 대안적인 평가 :

- 과도 전류의 전체 범위를 보장하기 위해 새 열차의 시운전 중에 기록됐다. MATLAB 같은 수학적 소프트 웨어를 사용하여 분석하기 위해, 측정된 전류는 호환되는 파일 형식에 기록되어 있으며, 샘플링 한 비율은 2kHz 와 같이 충분히 높을 것이다.
- 푸리에 과도 현상의 주파수 스펙트럼을 얻기 위하여 기록 된 트랙션 전류를 변환 한다;
- 계전기 전압의 주파수 스펙트럼은 견인 전류의 주파수 스펙트럼에 주어지고, 전달 함수를

**Table A.49 – Typical events to be used in train transient analysis**

| Number | Event |
|---|---|
| 1 | Start up, loaded |
| 2 | Acceleration, loaded |
| 3 | Circuit breaker trip |
| 4 | Circuit breaker closure |
| 5 | Circuit breaker auto closure |
| 6 | Shoe bounce |
| 7 | Gapping |
| 8 | Bad adhesion condition / Wheel slip |
| 9 | Rheostatic braking |
| 10 | Regenerative braking |
| 11 | Bad current collection conditions / Contact problems |
| 12 | Power on / power off switching |
| 13 | Isolation of train sub systems – all combinations |

적용하여 산출된다.

- 계전기의 최소 픽업 시간에 해당하는 이동 시간 윈도우를 이용하여 릴레이 전압 파형의 실효 값을 결정한다.
- VT 계전기 낙하 전압 레벨에 전압 임계 값에 계전기 전압 레벨을 비교합니다.

낙하 전압 임계 값을 초과하지 않는 경우의 두 경우에서 계전기 날개는 이동하지 않는다. 임계 값을 초과하면 얻을 수있는 날개의 편향은 지속 시간 및 초과의 수준에 달려있다. 이 예상치 못한 사태에 비교해 새로운 열차 성능에서 그것을 대체하는 기차 사이에서 만들어 져야한다. 이는 대표적인 시험 조건에서 궤도의 구역에 동작하는 두 개의 기차 결과를 비교함으로써 이루어진다. 새로운 열차가 허용 가능하다고 되어 있는 경우, 얻어진 비교 예의 인수는 이벤트의 수를 기준에서 새로운 기차 과도 성능을 입증해야한다.

### A.15.3 50Hz 양측 레일 궤도 회로

#### A.15.3.1 설명의 범위

이 설명은 EN 50238와 함께 지원 된다. EN 50238은 크게 안전 / 호환성 케이스의 준비 방법을 다룬다.

본 설명서의 범위는 전자 간섭 한계와 전기적 견인력과 다른 열차의 전기적 장비의 테스트 설명을 정의 하는 데 제한한다. 이는 네트워크 레일의 50Hz 양측 궤도회로와 관계있다.

이 문서는 2006년 4월 1에 발행된, 네트워크 레일 회사 설명서 NR/SP/SIG/50006에 기초한

다. 이 네트워크 레일 설명서는 50Hz 단일 궤도회로에서의 호환성을 증명하는 정의된 설명이 고려 되어야 한다.

### A.15.3.2 규격

750V 직류 3번째 레일의 전기화를 위한 규격이다. 그것은 네트워크 레일이 운영하는 기반에 단일 레일에 있는 50Hz 단일 궤도 회로에서의 지속적인 방해 전류의 최대량을 정의한다.

이는 단일 기관차나 여객열차의 변전기, 열차의 최대 간섭 전류를 설정하는 차량 제조업체 나 테스터를 이용 할 수 있을 것이다.

### A.15.3.2.1 정의

영향을 주는 것은 다양한 영향의 원천들을 구성하고 있기 때문에, 이는 전력 공급 네트워크에 영향을 주는 유닛에 의해 방출된 방해 전류 규격 값을 초과하지 않을 것을 보장한다.

### A.15.3.2.2 50Hz 양측 레일 궤도회로에서 방해 제한

50Hz의 양측 궤도 회로 수신기는 두 요소 베인 계전기이다. 계전기의 하나의 코일은 신호를 제공하는 곳과 연결 되 있고, 다른 하나는 가동 중인 레일들을 가로지른다. 궤도 회로는 신호 레일의 절연 레일 조인트의 사용에 의해 분리된다. 작동 요소는 2 개의 코일에 의해 생성되는 자속의 충분한 크기이다. 날개는 올리고 궤도 회로는 명확하게 보여준다. 두 코일이 정확히 동일한 주파수로 공급되는 경우는 잔여 계전기가 선택될 결과를 초래하는 조건이다. 코일의 전류가 동일하지 않은 경우는 진동 토크가 진동 주파수에서 생성 된 궤도 회로를 번갈아 통과가 차지하고 나타납니다,

작동 특성 때문에 단순 필터 특성이 완전히 궤도 회로의 작동 매개 변수를 나타낼 수가 없다. 특히 과도 효과의 치료에 대한 새로운 지침은 RT/E/C/5005에서 찾을 수 있다.

a)영향을 주는 최대 전류:

- $I_{IU50IIzDR} = 4A$
- r.m.s 종합 시간은 1초 안에 실시 되어야 한다.(5 회 이상 안정된 상태의 기준 계전기 역동적 시간 상수을 충족시키기 위해 받아 들여 진 시간.)

b)견인 유닛의 최대 전류

- 이는 견인 차량의 특성에 의존 할 것이다. 견인 장치에 대한 최대 전류는, 견인 차량의 특성에 의존 할 것이다. 하지만 다수 유닛의 전형적인 경우에는, 4개 차량 유닛의 최대 전류는 아마 1.33A가 될 것이다. 궤도회로의 작동의 저주파와 궤도회로의 작동, 50Hz로부터 파생된 주된 원천은 전원 자체라는 사실 때문에, 간단한 산술 계산을 여러 장치에 적용 된다.

c)견인 유닛에 계산 공식

– 여러 견인 장치는 간단한 산술 계산을 사용하여 가산된다. 다음과 같이 여러 장치가 추가 된다.

– $I_{IU50HzDR} = n \times I_{TU50HzDR}$ $n$ : 정지마찰 장치의 개수

### A.15.3.3 테스트 설명

안정된 상태의 열차 데이터 처리.

국소 코일에 인가 되는 50Hz의 전류가 전원으로 부터 파생하고 있기 때문에 그에 관련된 허용 범위 또는 그와 관련된 주파수 편차를 제공한다. 이 편차는 ± 2Hz 이다.

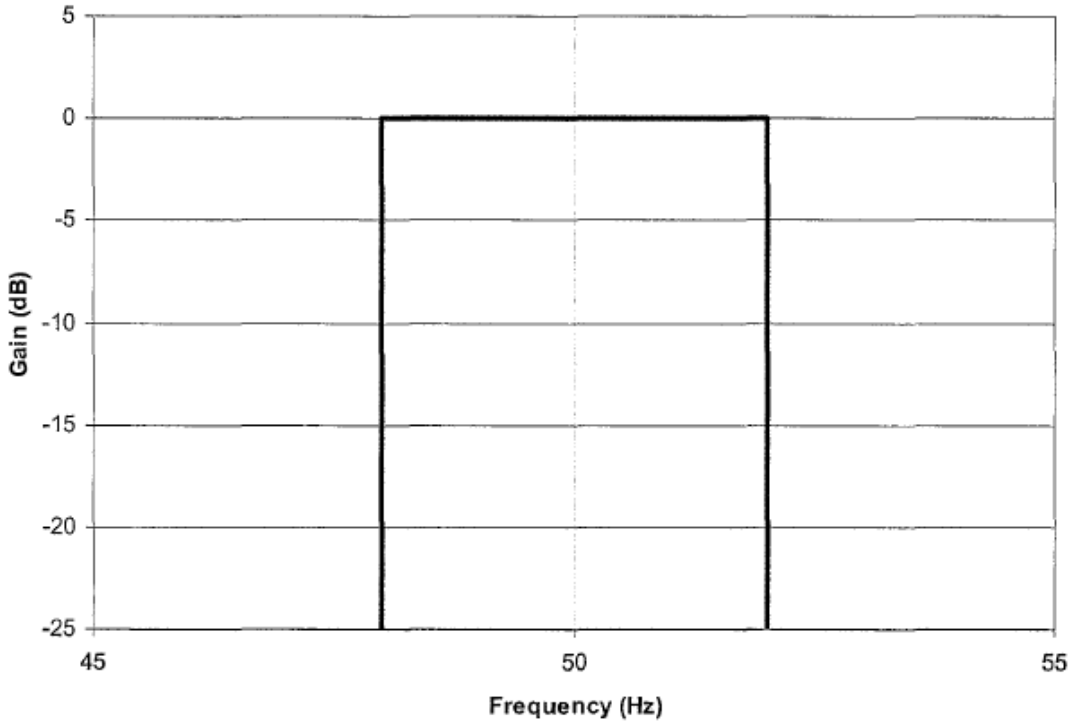



**Figure A.23 – Frequency response of 50 Hz double rail track circuit**

50 Hz 궤도 회로 계전기의 반응은 필터 수치에 의해 적절히 표시 될 수 있다. 이는 그림 A.21에 나와 있다.

이 측정 장비는 전체의 견인 전류를 감시하기 위해서 열차에 적합한 위치에 있어야 한다. 기관차의 경우 수집기의 주전원 케이블 주변 위치가 적합 할 것이다. 전기 다중화 부에 는, 그것은 하나의 견인 장치의 완전한 마찰 전류를 측정하는 데 실용적이다. 그런 다음 전체 열차부를 형성 할 수 있는 견인 장치의 최대 개수의 최대 견인 전류를 결정하는 산술 계산을 사용

하는 것이 필요 할 것이다.

전류는 1kHz의 대역폭을 나타내는 2kHz의 최소 샘플링 주파수로 디지털 데이터 수집 시스템을 사용하여 단일 구동 및 보조 시스템에서 측정 됐다. 그 후, 고속 푸리에 변환 분석을 사용하여 50Hz(정확히 48Hz−52Hz)의 성분을 결정한다.:

- 1 윈도우 지속 시간 윈도우 길이 (5 배 이상 안정된 상태의 기준 계전기의 역동적 시간 상수를 충족시킬수 있ㄷ록 받아 들여진 시간.)
- 해닝 윈도우 (spectralleakage 을 제한하는)
- 50% 오버랩 (실효갑의 계산에 모든 관련 상황이 포착되는 것을 보장하기 위해)

분석의 목적은 가장 민감한 상태에서 작동 궤도 회로의 동작에서 기차 최대 정상 상태의 간섭 전류의 영향을 고려하기 위해서 이다. 이 조건은 일반적으로 철도에서 발생하는 예상대로 의 하나로서 정의된다. A.15.3.2.2에 명시된 것처럼, 이중 궤도 회로의 경우, 그것은 용량 값의 최적의 설정 및 연결부의 레일과의 임피던스의 변화 사이의 상호 인덕턴스에 의한 50Hz의 전류 불균형의 미치는 영향 미만을 포함해야한다.

### A.15.3.3 동기화 조건

일반적인 궤도회로의 최악의 상황에서의 전달함수에 의존하는 주파수는 다음과 같다.

$$Z_{transfer} = 0.0469 * \frac{j(2\pi f)L_{at0} \bullet R_{Rx}}{R_{aa} + j(2\pi f) \bullet L_{aa} + R_{Rx} + [j(2\pi f)C]^{-1}}$$

여기서,

$R_{aa}, L_{aa}, L_{at0}$ 표 A.50에 따른 임피던스 본드 변수

$R_{Rx}$ 계전기 저항; VT1 계전기 $R_{Rx} = 3.5\Omega$, 이는 계전기의 피크 값과 분석에서 최악의 상황을 제시할 경우;

C 동조 커페시턴드

궤도회로 계전기의 역동적인 수치 때문에, 방해 시간의 최대 수치는 주어지지 않았다. 그것은 이미 경로에서 작동하는 새로운 기차와 기존 열차 간의 비교 분석은 경로상의 새로운 열차의 도입이 기존의 위험 수준을 증가하지 않는 것을 보여주기 위해 실시하길 권장 합니다. 기존 및 새 열차의 두 과도 성능이 측정 될 것 이고, 기록될 것이다. 그 다음 네트워크 레일이 소유한 궤도 회로를 통과 할 것이다.

이 분석을 위해 기차에서 생성 할 과도의 전체 범위를 고려할 필요가 있다. 표 A.51을 고려

**Table A.50 – Impedance bond parameters in ohms at 50 Hz**

| Style | P3 | M5 | DE | S | WH3 | WH3 | DD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Manufacturer | Westinghouse | Westinghouse | Siemens General Electric | Westinghouse | Westinghouse | Howells | Siemens General Electric |
| Type | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| $R_{aa}$ | 2,73E+01 | 2,41E+01 | 2,32E+01 | 1,31E+01 | 1,15E+01 | 1,30E+01 | 2,55E+01 |
| $X$aa | 3,46E+02 | 3,60E+02 | 2,82E+02 | 3,33E+02 | 3,21E+02 | 3,84E+02 | 3,22E+02 |
| $R_{t0}$ | 5,28E-03 | 3,26E-03 | 3,46E-03 | 8,47E-04 | 6,21E-04 | 7,70E-04 | 4,00E-03 |
| $X_{t0}$ | 5,03E-02 | 4,30E-02 | 4,51E-02 | 2,78E-02 | 2,58E-02 | 3,08E-02 | 4,86E-02 |
| $R_{t1}$ | 4,11E-03 | 3,80E-03 | 4,37E-03 | 7,75E-04 | 6,11E-04 | 7,27E-04 | 4,05E-03 |
| $X_{t1}$ | 4,78E-02 | 4,63E-02 | 4,62E-02 | 2,78E-02 | 2,58E-02 | 3,07E-02 | 4,95E-02 |
| $R_{at0}$ | 1,85E-01 | 1,62E-01 | 1,42E-01 | 5,18E-02 | 4,40E-02 | 5,95E-02 | 1,65E-01 |
| $X_{at0}$ | 3,43E+00 | 3,24E+00 | 3,13E+00 | 2,86E+00 | 2,74E+00 | 3,30E+00 | 3,59E+00 |
| $R_{at1}$ | 1,86E-01 | 1,61E-01 | 1,42E-01 | 5,19E-02 | 4,39E-02 | 5,95E-02 | 1,65E-01 |
| $X_{at1}$ | 3,45E+00 | 3,22E+00 | 3,14E+00 | 2,86E+00 | 2,74E+00 | 3,30E+00 | 3,59E+00 |
| $R_{t0t1}$ | 2,05E-03 | 1,65E-03 | 1,71E-03 | 4,63E-04 | 3,87E-04 | 5,25E-04 | 1,97E-03 |
| $X_{t0t1}$ | 3,80E-02 | 3,29E-02 | 3,78E-02 | 2,55E-02 | 2,41E-02 | 2,91E-02 | 4,29E-02 |

하면 과도 현상과 가능성이 일부 열차의 상태를 제공합니다. 그것은 과도를 초래할 수 있는 모든 이러한 현상을 식별 및 분석하는 것이 필요하다. 각 과도 현상 상황의 결합의 효과를 평가하는 데 사용되는 가산 방법은 산술은 지원하는 기기에 적합하도록 타당 해야 한다.

**Table A.51 – Typical events to be used in train transient analysis**

| Number | Event |
|---|---|
| 1 | Start up, loaded |
| 2 | Acceleration, loaded |
| 3 | Circuit breaker trip |
| 4 | Circuit breaker closure |
| 5 | Circuit breaker auto closure |
| 6 | Shoe bounce |
| 7 | Gapping |
| 8 | Bad adhesion condition / Wheel slip |
| 9 | Rheostatic braking |
| 10 | Regenerative braking |
| 11 | Bad current collection conditions / Contact problems |
| 12 | Power on / power off switching |
| 13 | Isolation of train sub systems – all combinations |

이 방법은 식을 사용하여 측정 된 열차의 데이터에서 계전기 제어 코일 전류를 유도하고 전압

한계치를 떨어뜨려 예산 VT1 계전기에 계전기 전압 레벨(0.15V)을 비교 한 모델을 통해 그것을 실행하는 것이다.

과도 EMI 응답의 대안적인 평가 :

- 과도 전류의 전체 범위를 보장하기 위해 새 열차의 시운전 중에 기록됐다. MATLAB 같은 수학적 소프트 웨어를 사용하여 분석하기 위해, 측정된 전류는 호환되는 파일 형식에 기록되어 있으며, 샘플링 한 비율은 2kHz 와 같이 충분히 높을 것이다.
- 푸리에 과도 현상의 주파수 스펙트럼을 얻기 위하여 기록 된 트랙션 전류를 변환 한다;
- 계전기 전압의 주파수 스펙트럼은 견인 전류의 주파수 스펙트럼에 주어지고, 전달 함수(A.4 참조)를 적용하여 산출된다.
- 역 푸리에 변환은 시간 영역에서 릴레이 전압을 얻기 위해 계전기 전압 스펙트럼에 적용되는 변환을 한다.
- 계전기의 최소 픽업 시간에 해당하는 이동 시간 윈도우를 이용하여 릴레이 전압 파형의 실효 값을 결정한다.(10ms)
- VT 계전기 낙하 전압 레벨에 전압 임계 값에 계전기 전압 레벨을 비교합니다.

낙하 전압 임계 값을 초과하지 않는 경우의 두 경우에서 계전기 날개는 이동하지 않는다. 임계 값을 초과하면 얻을 수 있는 날개의 편향은 지속 시간 및 초과의 수준에 달려있다. 이 예상치 못한 사태에 비교해 새로운 열차 성능에서 그것을 대체하는 기차 사이에서 만들어 져야 한다. 이는 대표적인 시험 조건에서 궤도의 구역에 동작하는 두 개의 기차 결과를 비교함으로써 이루어진다. 새로운 열차가 허용 가능하다고 되어 있는 경우, 얻어진 비교 예의 인수는 이벤트의 수를 기준에서 새로운 기차 과도 성능을 입증해야한다.

### A.15.4 FS 2600 궤도회로

#### A.15.4.1 설명의 범위

이 설명은 EN 50238와 함께 지원 된다. EN 50238은 크게 안전 / 호환성 케이스의 준비 방법을 다룬다.

본 설명서의 범위는 전자 간섭 한계와 전기적 견인력과 다른 열차의 전기적 장비의 테스트 설명을 정의 하는 데 제한한다. 이는 네트워크 레일의 50Hz 단일 궤도회로와 관계있다.

이 문서는 2003년 2월 1일에 발행된, 네트워크 레일 회사 설명서 NR/SP/SIG/50005에 기초한다. 이 네트워크 레일 설명서는 FS 2600 궤도회로에서의 호환성을 증명하는 정의된 설명이 고려 되어야 한다.

#### A.15.4.2 규격

750V 직류 3번째 레일의 전기화를 위한 규격이다. 그것은 네트워크 레일이 운영하는 기반에 단일 레일에 있는 FS 2600 궤도 회로에서의 지속적인 방해 전류의 최대량을 정의한다.

이는 단일 기관차나 여객열차의 변전기, 열차의 최대 간섭 전류를 설정하는 차량 제조업체 나 테스터를 이용 할 수 있을 것이다.

### A.15.4.2.1 정의

영향을 주는 것은 다양한 영향의 원천들을 구성하고 있기 때문에, 이는 전력 공급 네트워크에 영향을 주는 유닛에 의해 방출된 방해 전류 규격 값을 초과하지 않을 것을 보장한다.

### A.15.4.2.2 FS 2600 궤도 회로에서 방해 제한

FS 2600 궤도회로는 직류 전기적 궤도의 이중 레일 구성으로 설치 되었고, 371.8Hz~525.8Hz 범위에서 작동하는 궤도회로 이다. 각 궤도회로는 두 개로 분리된 주파수 ( 변조된 FSK인 $F_{lower}$ 과 $F_{upper}$)에 송신에 의해 작동한다.

수신기는 수신 신호를 분석하는 디지털 신호 프로세서 (DSP)를 포함하고 정격 값으로부터 2.4Hz가 접근하면 신호를 거부한다. DSP는 FFT 분석에 근거하기 때문에, 수신기는 매우 선택적이다.

표 A.52에 나타난 범위에 사용되는 열 개의 주파수들이 있다.

**Table A.52 – FS 2600 track circuit signal frequencies**

| Channel | $F_{lower}$ | $F_{upper}$ | Lower side band () | Carrier () | Upper side band () |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Hz | Hz | Hz |
| 1 | 371,8 | 405,8 | 373,2 | 388,8 | 404,4 |
| 2 | 386,2 | 420,2 | 387,6 | 403,2 | 418,8 |
| 3 | 400,6 | 434,6 | 402,0 | 417,6 | 433,2 |
| 4 | 415,0 | 449,0 | 416,4 | 432,0 | 447,6 |
| 5 | 424,6 | 458,6 | 426,0 | 441,6 | 457,2 |
| 6 | 439,0 | 473,0 | 440,4 | 456,0 | 471,6 |
| 7 | 453,4 | 487,4 | 454,8 | 470,4 | 486,0 |
| 8 | 467,8 | 501,8 | 469,2 | 484,8 | 500,4 |
| 9 | 477,4 | 511,4 | 478,8 | 494,4 | 510,0 |
| 10 | 491,8 | 525,8 | 493,2 | 508,8 | 524,4 |

a) 영향을 주는 유닛에 최대 전류

- $I_{IUFS2600} = 472mA$, 모든 작동 주파수
- 긴 궤도 회로의 제한은, 일반적인 기반 그리고 이 수치에 적합하지 않은 것은 안전한 3의 여유이다. r.m.s 종합 시간은 944ms 에 실시 되야 한다.

b) 견인 유닛의 최대 전류
견인 장치에 대한 최대 전류는, 견인 차량의 특성에 의존 할 것이다. 하지만 다수 유닛의 전형적인 경우에는, 4개 차량 유닛의 최대 전류는 아마 272mA가 될 것이다.

d) 다양한 견인 유닛의 게산 규칙
- 여러 마찰 장치는 루트 제곱 합계 이외에 트랙션 유닛 사이에 동기화가 없는 것을 제공하여 합산된다. 동기화가 있다면 산술 가산이 사용되어야한다. 어떠한 동기 방법도 가정되지 않으면, 다음에 따라 여러 마찰 장치가 합산 된다.
- $I_{IUFS2600} = [n(I_{TUFS2600})2] \quad n: \nu mber of traction units.$

### A.15.4.3 테스트 설명

이러한 측정 장비는 견인 전류를 감시 할 수 있게 열차의 적합한 위치에 놓여 있어야 한다. 기관차의 경우 팬터그래프의 주요 공급 케이블의 둘레에 위치가 적합 할 수 있다. 다수의 전기적 유닛의 경우, 그것은 오직 하나의 마찰 유닛을 위해, 전체 견인 전류를 측정하는 것이 실용적 일수 있다. 그러므로 최대 12 차량 유닛의 최대 견인 전류를 결정하기 위하여 산술 가산을 사용하는 것은 필요하다.

이 측정 장비는 그림 A.23에 보여진 것 과 같은 수치로서 사용 되어야 한다. 이 경우의 주파수들은 표 A.52에 주어진 $F_{lower}$ 와 $F_{upper}$이다. 이 수치는 208.3ms의 윈도우 길이를 사용한 FFT 분석에서 얻을수 있다.

측정은 아래에 포함된 정상 동작 모드 전부를 동작하도록 경로를 통해 전송하도록 이루어 져야 한다.

- 시작/종료
- 전체 보조 부하 ( 난방, 에어컨 등)
- 정지 상태에서 최고 속도의 전체 범위.
- 견인 모드 : 가속의 다양성, 대기 모드, 지속적인 속도, 감속 모드
- 기관차가 시험 중일 때 열차 가열을 탑재하지 말 것.
- 실험중인 여객열차가 정의될 때 가열선 탑재
- 하드웨어 및 테스트 장치 승인 소프트웨어 구성 관리.A.15.4 FS 2600 궤도회로

A.15.5 TI 21

### A.15.5.1 설명의 범위

이 설명은 EN 50238와 함께 지원 된다. EN 50238은 크게 안전 / 호환성 케이스의 준비 방법을 다룬다.

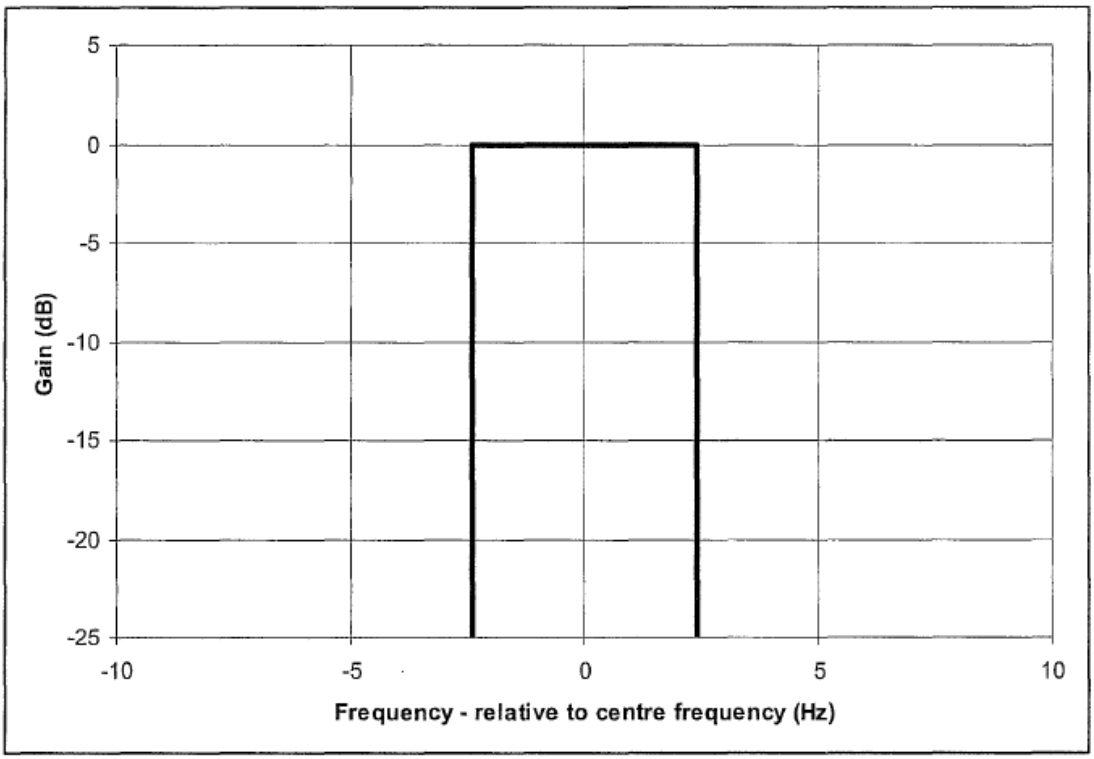



**Figure A.24 – Typical frequency response of an individual FS 2600 channel**

본 설명서의 범위는 전자 간섭 한계와 전기적 견인력과 다른 열차의 전기적 장비의 테스트 설명을 정의 하는 데 제한한다. 이는 네트워크 레일의 50Hz 단일 궤도회로와 관계있다.

이 문서는 2003년 2월 1일에 발행된, 네트워크 레일 회사 설명서 NR/SP/SIG/50005에 기초한다. 이 네트워크 레일 설명서는 FS 2600 궤도회로에서의 호환성을 증명하는 정의된 설명이 고려 되어야 한다.

### A.15.5.2 규격

750V 직류 3번째 레일과 25kV 50Hz의 전기화를 위한 규격이다. 그것은 네트워크 레일이 운영하는 기반에 양측 레일에 있는 TI 21 궤도 회로에서의 지속적인 방해 전류의 최대량을 정의한다.

이는 단일 기관차나 여객열차의 변전기, 열차의 최대 간섭 전류를 설정하는 차량 제조업체 나 테스터를 이용 할 수 있을 것이다.

#### A.15.5.2.1 정의

영향을 주는 것은 다양한 영향의 원천들을 구성하고 있기 때문에, 이는 전력 공급 네트워크에 영향을 주는 유닛에 의해 방출된 방해 전류 규격 값을 초과하지 않을 것을 보장한다.

### A.15.5.2.2 TI21 궤도 회로에서 방해 제한

TI21 궤도회로는 1532Hz에서 2610Hz의 범위안의 가청 주파수 영역에서 작동하는 이음매가 없는 궤도이다. 각 궤도회로는 표 A.53에 명시된 대로 34Hz로 분리 된 2개의 주파수를 사용한다. 인접한 트랙 회로는 인접 트랙 사이에서 회로 절연을 제공하기 위해 상이한 주파수 쌍을 사용한다.

대역 폭은:

- 각 중심 주파수로부터 −3 dB ± 6Hz
- 각 중심 주파수로부터 -20 dB ± 30 Hz

**Table A.53 – TI 21 track circuit operating frequencies**

| Track circuit frequency code | Nominal frequency | Operating frequency | |
|---|---|---|---|
| | | Lower frequency | Upper frequency |
| | Hz | Hz | Hz |
| A | 1 699 | 1 682 | 1 716 |
| B | 2 296 | 2 279 | 2 313 |
| C | 1 996 | 1 979 | 2 013 |
| D | 2 593 | 2 576 | 2 610 |
| E | 1 549 | 1 532 | 1 566 |
| F | 2 146 | 2 129 | 2 163 |
| G | 1 848 | 1 831 | 1 865 |
| H | 2 445 | 2 428 | 2 462 |

a) 영향을 주는 유닛에 최대 전류
- $I_{IUTI21} = 91.4mA$, 모든 작동 주파수
- r.m.s 종합 시간은 2s 에 실시 되야 한다.

b) 견인 유닛의 최대 전류
견인 장치에 대한 최대 전류는, 견인 차량의 특성에 의존 할 것이다. 하지만 다수 유닛의 전형적인 경우에는, 4개 차량 유닛의 최대 전류는 아마53mA가 될 것이다.

d) 다양한 견인 유닛의 계산 규칙
- 여러 마찰 장치는 루트 제곱 합계 이외에 트랙션 유닛 사이에 동기화가 없는 것을 제공하여 합산된다. 동기화가 있다면 산술 가산이 사용되어야한다. 어떠한 동기 방법도 가정되지 않으면, 다음에 따라 여러 마찰 장치가 합산 된다.
- $I_{IUTI21} = [n(I_{TUTI21})2]$ $n: \nu mber of traction units.$

A.15.5.3 테스트 설명

이러한 측정 장비는 견인 전류를 감시 할 수 있게 열차의 적합한 위치에 놓여 있어야 한다. 기관차의 경우 팬터그래프의 주요 공급 케이블의 둘레에 위치가 적합 할 수있다. 다수의 전기적 유닛의 경우, 그것은 오직 하나의 마찰 유닛을 위해, 전체 견인 전류를 측정하는 것이 실용적 일수 있다. 그러므로 최대 12 차량 유닛의 최대 견인 전류를 결정하기 위하여 산술 가산을 사용하는 것은 필요하다.

이 측정 장비는 표 A.24에 나온 측정 대역폭(각 중심 주파수로부터 −3 dB ± 6Hz, -20 dB ± 30 Hz)을 사용해야 한다.

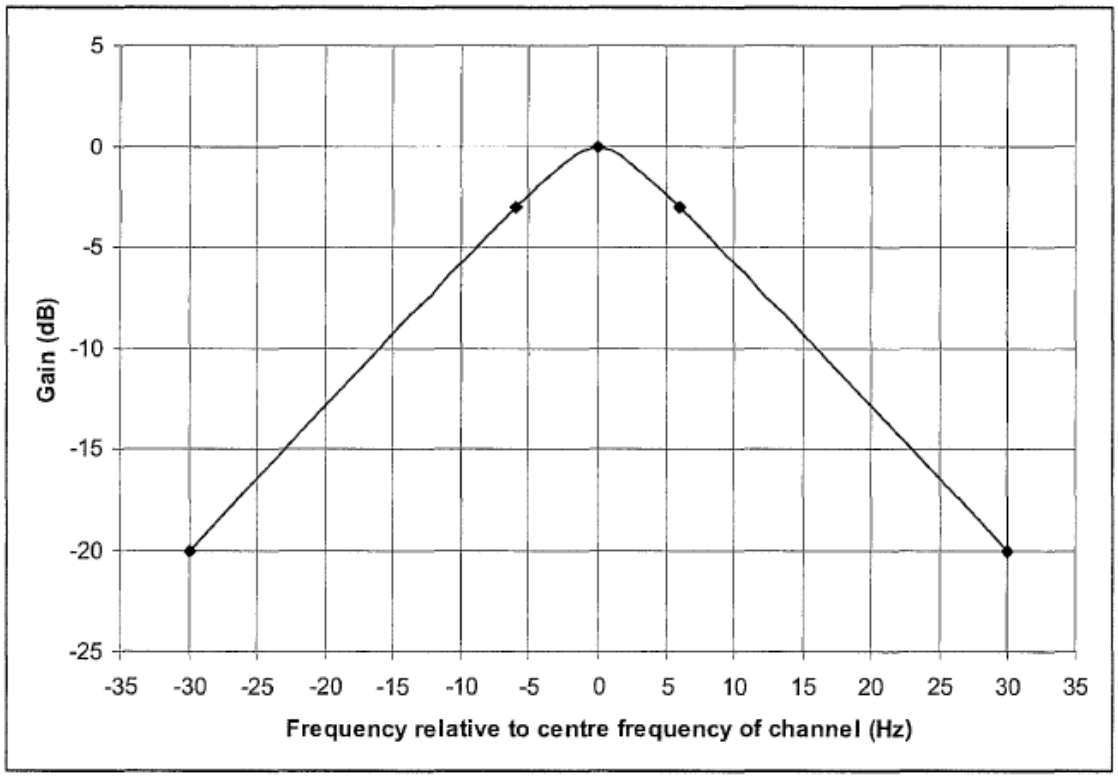



**Figure A.25 – Typical frequency response of an individual TI 21 channel**

안정 상태의 열차 배출 데이터는 정상 작동 상태인 A.15.5.2.2에 정의된 한계와 비교 되어야 한다. 이러한 제한은 모델링으로서, 철도에 발생 할 것 같은 모든 기반 조건을 포함한 100 % 불균형 상황을 발생 할 수 있는 유일한 상황에서 효과적으로 장애가 발생한 인프라를 기초로 하고 있다. 이러한 제한은 정상 작동 조건에서 위반 한 것으로한다.

허용 규격은 T21 궤도 회로에 선택되는 필요한 변조된 신호보다 순수한 신호음을 기초로 한다. 이 규격은 호환성 케이스를 만들 때 초과되는 제한과 비교된다. 대부분의 마찰 시스템은

단순한 규격 비교 문을 준수할 것으로 예측된다. 크기와 2초 이상 지속되는 시간과 함께 초과된 제한을 가진 주파수는 완화된 상태를 구축 할 때 주파수도 고려되어야한다.

계전기가 선택되기 전에, 기존에 내장 된 2 개의 채널 주파수의 존재를 확인하기 위해 수신기의 시간 지연 최소 2초 미만의 경우, 일시적인 방해는 TI21 궤도 회로에 문제되지 않는다.

AC 공급 장치의 DC 공급 장치 또는 고조파에 잔물결을 공급하는 네트워크의 공진 주파수 같은 공곱되는 견인 수치가 다르기 때문에, 이 시험은 다른 기관에서 수행되는 경우에 시험 결과의 편차가 발생할 수 있다는 것을 예상 할 수 있다. 같은 기반의 마찰 전압과 주파수를 가진 서로 다른 도시의 대표적 최악의 상황 구역에서 찾아내는 것의 어려움은 사소하지 않다는 것을 인지 해야 한다.

**TI 21 궤도 회로와의 호환성 입증을 위한 방법(전신, RT/E/C/50008)**

**Methodology for the demonstration of compatibility with TI 21 궤도회로**

**(Formerly RT/E/C/50008)**

## 1. 서론

### 1.1 목적

이 절차서의 목적은 안전한 허용가능 최대 전기적 간섭 레벨 계산 방법을 제공하기 위함이다. 이 전기적 간섭은 T1 궤도회로를 사용하는 궤도에서 사용하기 위해 설계된 전동열차에 의해 생성될 수 있다. 이 절차서에는 고려해야 하는 시설적 측면, TI 21 궤도회로의 특성, 발생 가능한 고장 모드가 제시되어 있다. 견인 전류로 인한 최대 허용가능 전기적 간섭과 차축 대 차축 전압 계산을 위한 작업 예시를 제시하였다.

### 1.2 범위

이 절차서의 목적은 TI 21 궤도회로에서 전동차 운행을 위한 안전성 사례를 지지하는 계산식에 대한 방법을 제공하는 것이다. TI 21 궤도회로와 관련된 모든 구성요소를 고려한다.

이 문서는 균형 있는 접지 연결을 이용한 복선 구성만을 고려한다.

설치된 전철화는 표준배열이며, 단권변압기(auto transformer) 급전 구간은 포함되어 있지 않다.

견인 본딩(traction bonding)은 RT/E/PS/11761의 요구사항을 준수한다고 가정한다[2].

### 1.3 이 문서에서 취급하고 있는 설치 유형

이 절차서는 AC 25kV 또는 DC 750V 선로에서의 열차 운행을 위해 사용할 수 있다. 도출된 레벨은 단일 열차에 의해 생성된 최대 허용 간섭 레벨을 정의한다. 복선 종단 급전 및 중간 급전 TI 21 궤도회로를 고려한다.

A.C. 전철화 구간에서 전철주 및 기타 선로변 금속 구조물은 견인 귀선레일에 연결되어 있다. 이 문서는 복선 설치하고만 관련이 있으며, 일반적으로 이 설치들은 균형을 이룬다. TI 21 궤도회로에서는 대지 전압에 대해 레일이 균형을 이루고 있고, 각 레일에 전류가 흐르도록 요구하고 있다. 따라서 TI 21 구간에서는, 전차선 지지 구조물이 종종 임피던스 본드를 통해 레일에 연결되어 있는 전용 접지선에 결합되어 있다[1].

DC 전철화 구간에서는 어떤 레일도 지상(earth)에 일부러 접합시킨 경우가 없기 때문에 균형이 유지된다. 완전히 균형을 이룬 상황에서는 TI 21 궤도회로가 이론상으로는 견인전류 또는 열차에 의해 생성된 간섭의 량이 어느 정도가 되든 내성을 가지고 있다.

### 1.4 이 문서에 포함되어 있는 장치 유형

이 문서에 포함되어 있는 장치 유형은 영국에서 사용하도록 지정된 TI21-I 타입이다. 이 장치는 무이음매 구성인 복선에만 설치된다고 가정한다.

## 2. 문서 출처(Source Documents)

### 2.1 관련 철도 규격

1. 'AC 전류에 대한 궤도회로 요구사항- 실무 코드(Track Circuit Requirements for AC Traction- Code of Practice)', Safety & Standards Directorate, Railtrack, Fitzroy House, 355 Euston Road, London NWI3AG, Reference GK/RC 0753, Issue 1, June 1996.

2. 'Railtrack line product specification TI.21 Audio Frequency Track Circuits.", Railtrack, Reference RT/E/PS/11761, Issue 1, December 2000.

### 2.2 이전 안전 사례 문서(Previous Safety case documentation)

4. 'GEC Alsthom Juniper Project TI21 Track Circuit Interference Limits AC and DC Routes' AEA Technology Rail, Issue 2, 7 January 1999, Report reference PRJ-SCSE(JUN)-RP-7

5. Track parameters for Interference studies" N Rambukwella, AEAT Rail Report number STG-D-EPS(373)RP-18, Issue 1, January 1995.

6. 'Class 92 Locomotive EMC Safety Assessment – Volume 5 TI21 Track Circuits, Fleet Operation on the Route between Crewe and Doncaster', AEA Technology ref. 120-dr0459, version b0, dated February 1999.

7. "TI21 Track Circuit Proof of Safety", ABB Signal Ltd, dated 11th October 1993.

## 3. 인프라 시설 가정(Infrastructure Assumptions)

본 분석의 주된 가정을 요약하면 다음과 같다.

- TTU(Track Tuning Unit)를 이용한 궤도회로의 경우, 동조 유니트에서 허용가능 대우(allowable pairing)의 다른 주파수에 인접한 TI 21 주파수 각각에 대해 분석을 수행한다.
- ETU(End Termination Unit)를 이용한 궤도회로의 경우, TI 21 주파수 각각에 대해 분석을 수행한다.
- TI 21 주파수 대역에서 레일 저항 1Ω/km, 레일 인덕턴스 675μH/km를 사용한다. 이것은 이음매 궤도(jointed track)에 대한 허용오차를 이용하여 BS113a에 대한 측정 매개변수를 따른다.
- 100% 불균형 하다고 가정한다. 이것은 AC 25kV 전력 공급 시에는 공칭 불균형값 60%/40%, DC 750V 전력 공급 시에는 70%/30%와 비교해 보았을 때 낙관적이다[4].
- 다른 궤도회로들은 균형을 이룬다고 가정한다. 따라서 다른 궤도회로에서 열차로부터 발생된 간섭 전류는 분석된 궤도에서의 간섭보다 상당히 작을 것이며, 이 간섭은 간섭 허용오차에 포함될 것이다.
- 크로스 본드에서 사용된 케이블 임피던스는 무시된다.
- (의도적 또는 누설을 원인으로 하든 간에)대지 귀선전류(earth return current)로 인한 레인 전류의 감소는 무시할 수 있다. 즉, 모든 귀선전류가 레일에 있다는 것을 의미한다. 따라서 최악의 경우의 간섭 전파를 고려하도록 한다.
- 복합적인 간섭 소스는 간섭 허용오차에 포함되기 때문에, 이로 인한 영향은 무시할 수 있다.
- 모든 궤도회로 구성요소가 철도 그룹 규격(Railway Group standards)에 맞추어 설치된다고 가정하고, 구성요소는 공칭값에 있다.
- AC 및 DC 견인 시스템 각각에 대해 본드 타입 ABB B3/500과 웨스팅하우스 스타일(Westinghouse Style) S를 분석한다. 이 유형들은 대표적인 유형으로 간주한다.
- 고려된 최대 길이는 Ref. 2에 언급되어 있는 1km이다.
- 수신기는 가장 민감한 설정으로 설정된다고 가정한다(총 13개 설정이 있다).
- 사용 중인 침목은 콘크리트 또는 목재라고 가정하고, 철침목은 여기 제시되어 있는 분석에는 포함되어 있지 않다.

- UIC 60 레일은 제시된 평가서에는 포함되어 있지 않다. 여기 주어진 방법론을 적용할 수는 있지만, 이 Interest의 주파수에서는 레일 종류의 매개변수를 적절한 계산식에서 결정하여 사용하도록 할 필요가 있을 것이다.
- 궤도 흡상 커패시턴스(Track boosting capacitances)는 이 평가서의 범위에서 배제시켰다.
- 견인 본드(Traction bonding)가 RT/E/PS/11761의 요구사항을 준수한다고 가정한다[2].

차축 대 차축 전압 평가 시, 다음과 같이 가정하였다.

- 열차에서 생성되는 차축 대 차축 전압은 크로스 본드 간격과 동일한 간격으로 떨어져 있다. 열차와 열차하부 선로의 전류 흐름은 고려하지 않는다[4].
- 최소 크로스 본드간격은 100m이다. [4]
- 열차에서 생성되는 간섭은 해당 궤도회로가 설치된 궤도에 인접한 궤도 에 있으며, 이것이 유일한 평행 궤도이다.

### 3.1 불균형(Imbalance)

복선 T1 21 궤도회로의 목적은 균형 잡힌 시스템 운용이다. 이런 종류의 궤도회로를 사용하는 모든 25kV 전류 기법의 경우, 궤도회로의 불균형을 유발할 수 있는 레일과의 연결을 피함으로써 균형을 유지한다. 구조물 본드 연결용 접지선을 사용하여 이러한 균형을 달성할 수 있다. 주행 레일에 대한 접지 및 귀선전류 접속은 임피던스 본드를 통해서 이루어 진다. 그러나 각각의 견인 귀선 레일과 접지선 간의 서로 다른 상호 인덕턴스 때문에, 견인 귀선 전류의 불균형(및 열차 간섭 전류)이 발생하게 될 것이다. 이 불균형의 확률값은 위 가정에 언급되어 있다. 또한 잡음 전류의 불균형 구성요소가 T1 21 궤도회로를 흐를 것이라고 가정한다.

제3궤도의 DC 전차선 구간에서는 어던 레일도 접지되어 있지 않고, 견인 귀선은 T1 21 임피던스 본드를 통해서 연결된다. 궤도회로가 충분히 균형이 잡히면, 귀선전류가 궤도회로 수신기의 각 입력 단자와 동일하게 나타나면서도 그 작동에는 아무런 영향도 미치지 않을 것이다. 간섭으로 인해 발생되는 궤도회로의 결함측고장(Wrong side failure)은 불균형이 나타날 경우에만 발생할 수 있다.

궤도회로 주파수의 불균형은 다음을 원인으로 발생할 수 있다.

1. 발라스트를 통한 각 레일의 불균형 접지

2. 가드레일(check rail) 또는 이와 동등한 레일의 존재

3. 레일의 전기적 특성, 각 레일 간의 본딩 차이 또는 직렬 본딩의 차이

4. 레일의 접지

5. 주행레일과 관련이 있는 도체 레일 또는 전차선의 비대칭 위치

6. 선로 곡선(Track curvature)

레일 절손(예: 연속성의 전기적 공백)은 아마도 궤도회로에 안전측고장(right side of failure)을 발생시킬 것이다. 따라서 단시간 내에 레일 절손이 검지될 것이다. 불균형의 또 다른 원인은 그 중요성이 덜 하지만, 실질적인 불균형 정도는 예측하기가 어렵다.

모든 크로스 본드가 임피던스 본드를 통해서 연결되어 있기 때문에 크로스 본드는 궤도회로에 어떠한 직접적인 영향도 미치지 않는다. 임피던스 본드의 크로스 본드 중앙 간격과 레일간의 임피던스가 견인 전류 주파수(DC 또는 50Hz)보다 낮을 경우, T1 21 주파수에서는 다소 높게 나타낸다. 크로스 본드가 한쪽 레일과 직접 연결되어 있는 임피던스 본드 내에 단락이 발생될 경우, 임피던스 본드의 공진 주파수가 감소하게 될 것이다. T1 21 주파수에서의 임피던스가 상당량 감소되고, 궤도회로가 입환될 것이다. 이로 인해 안전측고장(right side failure)이 발생되고 검지될 것이다.

포인트 부와 크로싱 부에서는 T1 21 구간이 임피던스 본드를 통해서 다른 종류의 궤도회로에 연결될 것이다. 따라서 이들 본드에 고장이 발생하게 되면 안전측고장(right side failure)도 발생하게 될 것이다. 균형 시스템에서는 크로스 본드를 통해서 간섭 전류가 순환할 가능성은 없다. 그 이유는 T1 21 주파수에서 임피던스 본드가 상대적으로 높은 임피던스를 가지기 때문이다. 임피던스 본드 고장이 검지되지 않기 때문에, 복합적 고장이 상당량 발생한다고 간주하여 이를 분석하지 않는다. T1 21 주파수에서의 레일 임피던스는 상대적으로 높고, 궤도회로 외부에서 열차에 의해 생성된 불균형 간섭은 레일 임피던스에 의해 감쇄되고 동조 유니트에 의해 입환될 것이다.

게다가, 100% 불균형인 열차의 궤도회로 점유 같은 유일한 단일 고장모드를 분석해야 한다.

T1 21 주파수 (공칭 2kHz)에서는 계산식에서 레일 저항 1Ω/km, 총 레일 인덕턴스 675μH/km를 사용한다. 주파수 범위에서 일련의 시험을 통해 레일 저항 0.72 Ω/km과 레일 인덕턴스 677μH/km도 취득하였다.

이 절차에서는 이음매 궤도에서 레일 본드의 영향 고려 시, 레일 저항 1Ω/km을 부정적 가정으로 간주한다.

이 분석에서 발라스트 커패시턴스의 영향을 고려하였음에도 불구하고, 발라스트 저항이 무한하기 때문에 발라스트 저항의 영향은 무시할 수 있다. 무한한 발라스트 저항은 이 분석의 간섭 전파에

대한 최악의 사례이다. 발라스트 저항의 존재는 간섭 전류를 입환시키고, 수신기에 도달하는 간섭의 량을 감소시킬 수 있다 [4].

## 4. 궤도회로 설명(Description of Track Circuit)

T1 21은 주파수 범위 1532Hz~2610Hz인 AF 주파수에서 작동되는 무이음매 궤도회로이다. Railtrack의 통제 시설에 장착되어 있는 T1 21 궤도회로는 다른 국가에서 사용되는 T1 21 장치와 차별화시키기 위해 T1 21-I라고 지정하였다. 다른 종류 간 주된 차이는 작동 주파수와 변조 속도이다. 고려한 장치는 다음과 같이 구성된다.

- T1 21-I 송신기
- T1 21-I 수신기 및 계전기
- 궤도 동조 유니트
- 임피던스 본드
- 종단 단말장치(end termination unit)

### 4.1 궤도회로 주파수 범위 및 대역(Track Circuit Frequency Range and Bandwidth)

각 궤도회로는 아래 표 1에서처럼 34Hz로 분리된 2개 주파수를 사용한다. 인접 궤도회로 간 절연을 위해 이 대역을 선택한다.

대역:

- 각 중심 주파수로부터 ±6Hz인 경우 -3dB
- 각 중심 주파수로부터 ±30Hz인 경우 -20dB

| 궤도회로 주파수 코드 | 공칭 주파수 [Hz] | 작동 주파수[Hz] | |
|---|---|---|---|
| | | 저주파수 | 고주파수 |
| A | 1699 | 1682 | 1716 |
| B | 2296 | 2279 | 2313 |
| C | 1996 | 1979 | 2013 |
| D | 2593 | 2576 | 2610 |
| E | 1549 | 1532 | 1566 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| F | 2146 | 2129 | 2163 |
| G | 1848 | 1831 | 1865 |
| H | 2445 | 2428 | 2462 |

**표 1: T1 21 궤도회로 작동 주파수**

#### 4.1.1 주파수 할당(Frequency Allocation)

각 궤도에 신호를 보내기 위해 2개의 공칭 주파수를 사용한다. 이 주파수들은 절연되도록 번간아 발생된다. 표2에는 허용가능 주파수 조합과 할당을 표시하고 [2]로부터 복사한 것이다.

| 궤도회로 주파수 코드 | 사용 | |
|---|---|---|
| A | 하선 | 2개 궤도회로 구간에서 사용되는 주파수 |
| B | 하선 | |
| C | 상선 | |
| D | 상선 | |
| E | 하선 | 4개 궤도회로 구간에서 사용되는 추가 주파수 |
| F | 하선 | |
| G | 상선 | |
| H | 상선 | |

**표 2: T1 21 궤도회로 채널 할당**

### 4.2 궤도회로 구성요소(Track circuit components)

#### 4.2.1 T1 21 송신기(T1 21 Transmitter)

간섭 평가에서 송신기(Tx)를 고려하지 않았음에도 불구하고, 작동 설명 시 명확성을 기하기 위하여 여기에는 세부 내용을 포함시켰다. 그림 1에는 T1 21 송신기의 블록선도를 나타내었다.

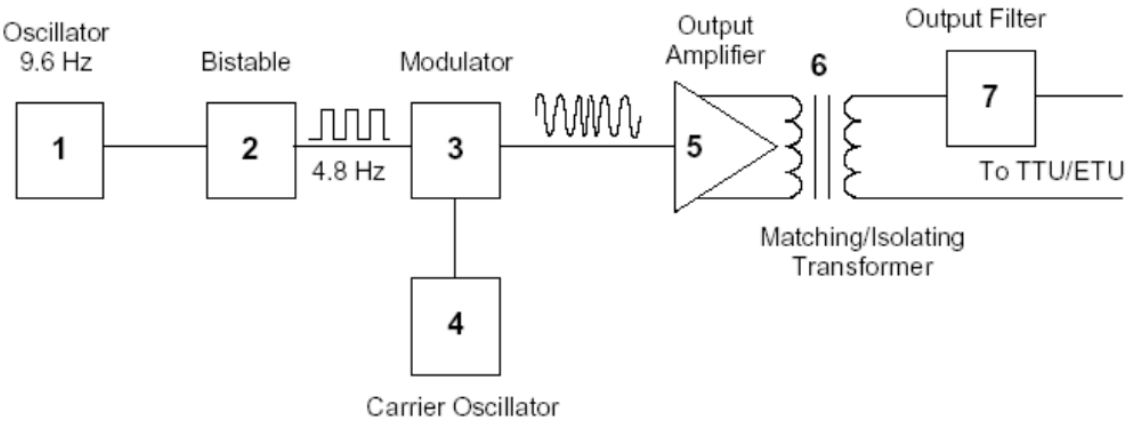



**그림 1: T1 21 송신기의 블록선도**

쌍안정(2)는 9.6Hz에서 4.8Hz 구형파로 완화 발진기(relaxation oscillator)(1)의 출력을 변환한다. 변조기(3)는 발진기 출력 변조를 위해 이 주파수를 사용한다(4). 발진기는 4.8Hz 속도의 ±17Hz 반송 주파수로 교번하는 신호를 생성한다. 증폭기(5)는 이 신호를 궤도 전송에 적당한 전력 레벨로 증가시킨다. 변압기(6)는 부하에 대한 증폭기 출력과 대등하다. 필터(7)는 본 장치를 원하지 않는 A.C. 전압 및 D.C. 전압으로부터 분리시킨다. 이심 케이블을 통해 신호가 관련 궤도 동조 유니트(TTU) 또는 ETU(End Termination Unit)로 전송된다.

### 4.2.2 T1 21 수신기 및 계전기

궤도 주파수는 TTU 또는 ETU를 통해서 AC 내성, DC 중성, 궤도 계전기(TR) 역할을 하는 50V 궤도 계전기를 구동하는 수신기(Rx)로 전송된다. 그림 2에는 TI 21 수신기의 블록선도를 나타내었다.

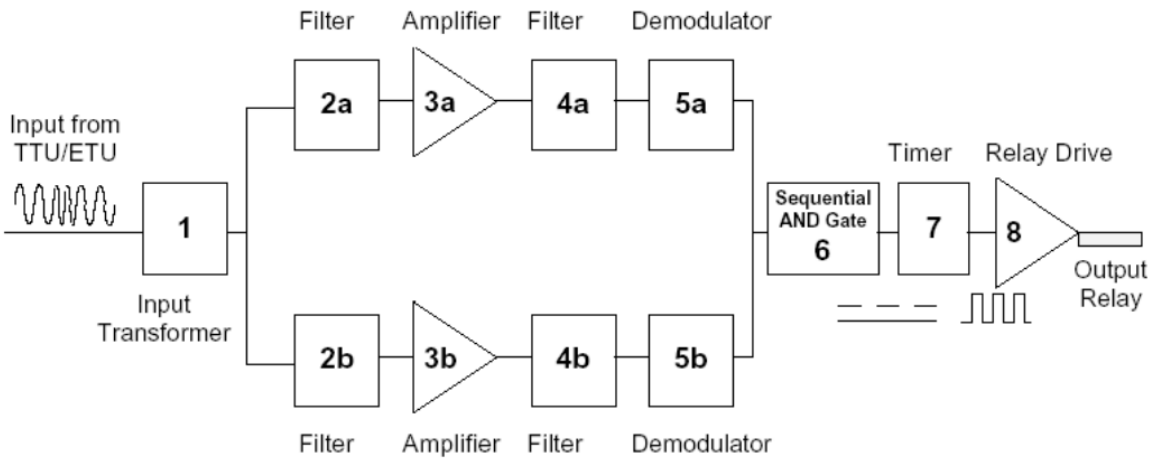



**그림 2: TI 21 수신기의 블록선도**

TTU/ETU로부터 입력 신호가 TTU/ETU의 수신기에 필적하는 입력 변압기(1)로 전송되고, 전체 수신기 증폭률(receiver gain) 설정 수단을 제공한다. 수신기는 2개의 병렬 채널을 가진다. 하나는 고주파수, 다른 하나는 저주파수에 동조되어 있다. 각 채널에서 신호를 필터(2), 증폭(3), 다시 필터링(4)하여 마지막으로 복조한다(5). 그 결과, 역위상 구형파를 순차 AND 게이트에 적용된다(6).

순차 AND 게이트는 이 두 구형파가 역위상(anti-phase)에서 서로 존재할 때, 요구되는 일정한 마이너스 출력만을 제공한다. 이 마이너스 출력(negative output)은 커패시터 타이머(7)로 급전되며, 커패시터 타이머는 지연시간 후에 공칭 DC 50V를 외부 출력 데이터로 적용된다(8).

계전기를 여자(energization)하기 전에 최소 2초간은 정확하게 변조된 2개의 주파수가 필요하기 때문에, 간섭으로 인해 내성이 생기게 된다. 단기간 동안에는 열차 입환 또는 다른 이유로 인한 수신 장치의 부재는 계전기 구동 출력을 불능상태로 만들 것이다.

명시된 송신기의 변조 범위 밖에서 수신기가 신호에 응답할 것이다. T1 21 개발 초기 단계에서는 수신기가 차상신호/ATP 시스템의 일부로서 다양한 변조 속도에 응답해야 하고, 수신기 설계가 이를 반영한다. 수신기는 1.7Hz~36Hz 변조 속도에 응답할 것이다. 수신기는 최대 1:18 비율의 입력 신호 사용률로 작동할 수 있다. 그러나 이것은 극한의 변조 속도로 지속될 수는 없다[4].

#### 4.2.3 TI 21 궤도회로 장치

2개의 T1 21 궤도회로가 만나는 레일의 송신기 또는 수신기에 연결하기 위해 TTU를 사용한다. 동조 구역(tuned zone)의 레일 인덕턴스와 더불어, TTU는 궤도회로의 종단을 정의하기 위한 동조 회로(tuned circuit)를 구성하고, 여기에는 송신기 또는 수신기로부터 레일 접속을 절연시키기 위한 변압기가 포함된다. 동조 유니트를 인접 궤도회로 주파수에 대한 단락 역할을 하도록 동조시킨다. 지정된 주파수 쌍의 궤도회로만이 동조 구역에 따라 결합될 수 있으며, 따라서 단일 공칭 주파수가 단락되도록 각 동조 유니트를 동조시키기만 하면 되다. 따라서 두 궤도회로간의 경계를 20m 간격으로 떨어져 있는 2개의 TTU에 따라 정의한다. 궤도회로의 종단이 두 개 TTU 중간에 있다고 가정할 수 있다[2]. 그림 3은 TI 21 궤도회로 간의 경계에 있는 전형적인 동조 유니트 배치를 보인 것이다.

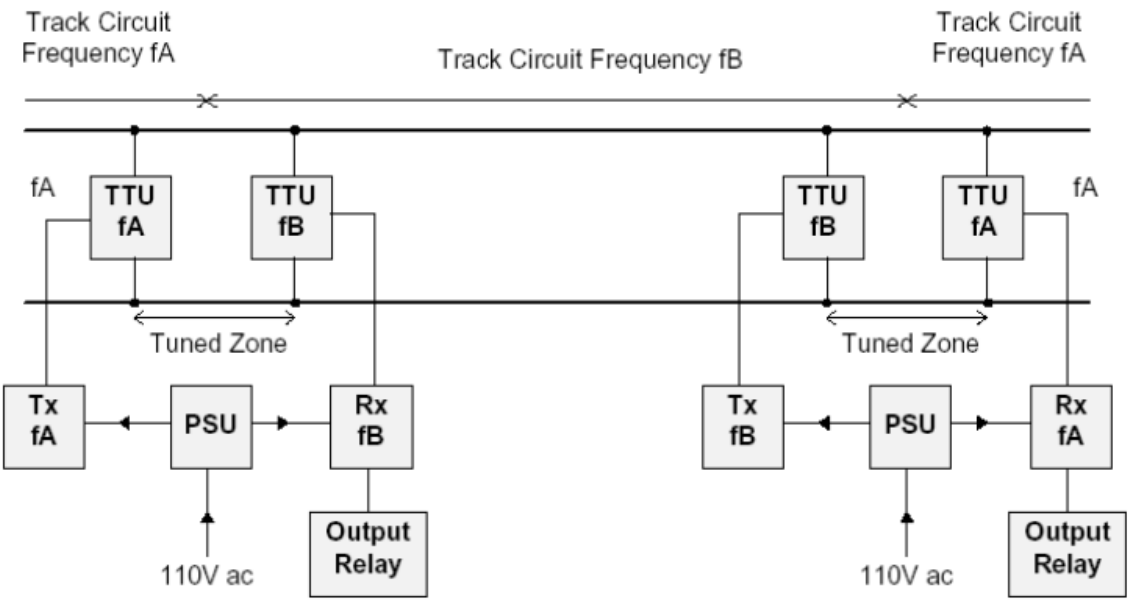



**그림 3: TI 21 궤도회로의 기본 구성**

#### 4.2.4 TI 21 종단 단말 장치(TI 21 End Termination Unit)

ETU는 TI 21 궤도회로가 단일 궤도회로 또는 비궤도회로 노선과 인접해 있는 TTU와 레일 인덕턴스를 대신한다. 각 레일의 절연 이음매는 궤도회로의 종단을 정의하고, 견인 전류 본딩(traction current bonding)은 임피던스 본드를 사용하여 유지된다. 또한 중앙 급전 방식의 구성에서 송신기 연결 시에도 ETU를 사용한다. 그림 4는 TI 21 궤도회로와 단일 궤도회로 간 경계에서의 ETU 사용법을 보인 것이다.

#### 4.2.5 TI 21 임피던스 본드(TI 21 Impendance Bond)

견인 귀선전류 본딩은 임피던스 본드를 사용하여 달성된다. 임피던스 본드는 각 궤도회로의 공칭 주파수에서 공명한다. 또한 이 본드들은 TI 21 궤도회로가 단일 궤도회로 또는 비궤도회로 노선과 인접해 있는 개소에 위치한다. 각 임피던스 본드는 TI 21 주파수에서 임피던스가 약 12Ω인 궤도회로를 입환시킨다. 따라서 궤도회로에 연결될 수 있는 수량이 제한된다.

그림 5는 임피던스 본드를 레일에 연결하는 다양한 방법을 보인 것이다. 본드 연결의 불이행으로 고장이 발생한 경우에는 배열 (a)가 선호되지만, AC 철도에서는 반드시 그러하지는 않다. 그러나 배열 (b)와 (c)가 실무적으로 알려져 있다.

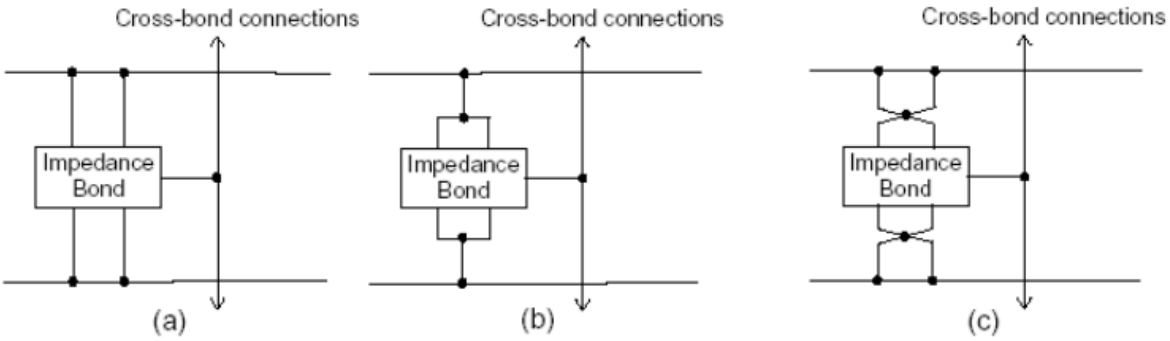



**그림 5: 크로스 본드 연결 시, TI 21 임피던스 본드의 배열**

그림 9와 10에는 임피던스 본드 등가 회로에 관한 세부 내용을 나타내었다.

## 5.0 감도 한계(Susceptibility Limits)

### 5.1 과도 간섭(Transient Interference)

TI 21 궤도회로는 신호기를 여자(energization)시킬 때, 일반적으로 2초간 수신기에 변조 신호를 적용하도록 요구한다. 그 이유는 수신기가 궤도회로가 비점유(clear) 상태인 것을 표시하기 전에 수신기에 내장된 지연 시간이 최소 2초이기 때문이다[6]. 따라서 궤도회로는 2초 미만으로 지속되는 송신기 신호를 광범위하게 모방하지 않는 과도 간섭에 대해 본질적으로 내성을 가지고 있다.

### 5.2 안정 상태의 한계(steady state limits)

궤도회로 수신기를 여자(energization)시킬 때 요구되는 TI 21 주파수에서의 최소 레일 전류는 궤도회로 수신기와 관련 구성요소를 모델로 하여 계산할 수 있다. 허용 간섭 전류 레벨은 적절한 간섭 허용오차를 적용한 값에서 도출된다. 수신기를 여자(energization)시킬 때 알려진 속도의 변조가 신호 시스템의 안전측고장(wrong side failure)를 유발할 정도로 충분히 길게 지속되지 않는다면, 높은 수준의 간섭 전류를 허용할 수 있다.

4.2절에 설명되어 있는 궤도회로 구성요소는 모델의 궤도회로로 나타내어야 한다.

한 쌍의 레일로 궤도를 모델화시키기 위해서 필요할 뿐이다. 즉, 발라스트 저항을 모델화 시킬 필요가 없기 때문에, 전철화 시스템과 독립적으로 궤도를 모델화 한다. Interest의 주파수 범위가 상대적으로 좁기 때문에, 각 레일을 직렬 저항과 인덕턴스로서 단순히 모델화 한다.

먼저, 수신기를 작동시키기 위해서는 동조 구역 (또는 ETU)의 초반에 레일 전류를 계산할 필요가 있다. 수신기 입력 감도는 궤도회로에 대해 유일하게 정의된 입력 레벨이다. 간섭 전류를 레일에 직접 삽입한다. 예컨대, 어떠한 병렬 '입환' 경로도 가정하지 않는다.

#### 5.2.1 모델링에 대한 비고(Notes on the modeling)

모델과 관련하여 숙지해야 하는 일반적인 관점을 다음에 제시하였다.

- 부록 A에는 구성요소 값이 포함된다.
- 인용된 구성요소 값들은 공칭 값들이다.
- 열차에서 생성된 간섭과 수신기를 흐르는 전류를 측정하기 위해 모델 내에 시험 지점을 제공한다.
- 수신기 내 센서의 순수한 전자적 속성 때문에, TI 21 수신기 모델링이 적합하며, 과거에 성공적으로 사용된 바 있다[4].

### 5.3 간섭 허용오차(Interference Allowances)

추가적인 간섭 소스를 허용하도록 허용 간섭 레벨에 간섭 허용오차를 적용한다. 전도 간섭(conducted interference)의 경우, 간섭 허용오차 50%를 사용한다[4]. (예: 간섭의 추가 소스에 대한 허용오차는 전체의 1/2이다).

차축 대 차축 전압의 경우, 간섭 허용오차 33%를 사용한다[4]. (예: 간섭의 추가 소스에 대한 허용

오차는 전체의 1/3이고, 열차에서 허용가능 차축 대 차축 전압은 전체의 2/3이다). 이에 대한 내용은 아래에서 논의하였다.

간섭 허용오차는 다음과 같은 간섭 소스를 고려한다.

- (동일 궤도회로로부터의) Transmitter feed-through
- (주파수가 동일한 다른 궤도회로로부터의) Transmitter feed-through
- 평행 궤도에서 열차의 차축 대 차축 전압 및 전도 간섭
- 열차가 궤도회로에서 멀리 떨어져 있지만, 동일한 급전구간에 있음.
- 다른 소스로 인한 일반적인 배경 소음

송신기 피드쓰루(Transmitter feed-through)의 레벨은 대개 열차 입환 임피던스와 독립적이며, 임피던스가 증가하면 임피던스도 증가하게 된다. 열차에 의해 생성된 간섭은 위상에서 주파수가 동일해야 하며, 송신기가 문제가 되려면 동일 속도로 변조되어야 한다. 이것은 가장 발생가능성이 적다.

다른 궤도회로의 피드쓰루(feed-through)는 기반시설이 온전한 수신기에서 8mA로 제한되고, 궤도회로의 설계와 배치도에 따라 축소된다.

송신기 스위치를 끈 상태에서 궤도회로 운용 시, 작동 주파수에서 궤도회로 수신기를 흐르는 전류 레벨을 측정한다. 만약 이 전류가 8mA를 초과하게 될 경우에는 이 시험은 실패한 것으로 간주되고, 시험을 통과할 때까지는 궤도회로를 작동시킬 수 없다. 특정 궤도회로를 흐르는 간섭 전류의 레벨을 궤도회로 기록 카드(Track Circuit Record Card)에 기록한다[2]. 인접 동조 유니트의 차단은 '현시된 고장(revealed failure)'이며, 수리될 때까지 피드쓰루(feed-through)가 증가될 수 있다. 그러나 특히 결함측고장(Wrong side failure) (2초)을 유발하는데 필요한 지속기간을 고려할 때, 열주파수의 피드쓰루(feed-through)와 필적하는 차가 생성하는 간섭의 개연성, 위상, 변조속도는 무시 가능한 것으로 가정한다.

열차를 크로스 본드로 배열할 때, 병렬 궤도에서 열차의 차축 대 차축 전압은 상당한 영향을 미치기만 할 뿐이다.

궤도회로에서 멀리 떨어져 있는 열차로 인한 기여도는 작을 것이다. 이들 소스는 위상에서 주파수가 동일해야 하며, 이것이 문제가 되려면 분석된 열차의 간섭과 유사한 속도로 변조도어야 한다. 이것은 가장 발생가능성이 적다.

주파수, 위상, 열차에 의해 생성된 간섭의 변조 속도와 일치하는 요구사항 때문에, 다른 소스로

인한 일반적인 배경 소음이 하찮은 것으로 간주될 수 있다.

중요 임피던스 본드 값과 케이블 길이, 동조 구역을 포함하는 동조 유니트 구성요소의 차이를 감도 분석에서 설명하였다. 그 결과는 아래와 같다.

### 5.4 TI 21 궤도회로에 대한 전류 임계치(Current Threshold for TI 21 track circuits)

TI 21 수신기의 레벨 감지는 순수 전자식이다. 인상전류(pick-up current) 및 낙하전류(drop-away current) 레벨도 동일하다. 이것은 수신기 내에서는 어떠한 히스테리시스(hysteresis)에도 가깝지 않다. 수신기 증가 설정(receiver gain setting)은 궤도회로 길이와 임피던스 본드의 존재 유무에 따라 좌우된다. 최대 증가 설정은 13단계이며, 이는 수신기 입력에서 여자 전류(energization current) 15mA에 해당된다. 낙하 전류가 상당할 경우, 궤도회로는 먼저 송신기에 의해 여자되고 난후, 간섭으로 인해 지연된다(예: 중단 없이 여자 레벨(energisation level)을 초과하는 간섭을 일컬음. 주파수 및 변조는 모두 같은 위상이다). 이것은 발생가능성이 없는 것으로 본다. 이 분석을 위해, 중심 급전식 궤도회로(center-fed track circuits)를 종단 급전식 궤도회로(end-fed track circuits)로 취급할 수 있다. 만약 15mA 임계치 이하의 신호를 궤도회로 수신기에 적용할 경우, 신호는 변조에도 불구하고 수신기를 여자시키지 않을 것이다.

### 5.5 열차 전류 제한(Train current limits)

최악의 불균형 100%에 대해 열차 전류 제한을 계산한다. 이것은 시설물이 파손된 조건에서 효과적이다.

#### 5.5.1 ETU가 설비된 궤도회로(Track circuit with ETU)

일반적인 궤도회로 모델을 그림 6에 나타내었다. 이 모델은 ETU가 설비된 TI 21 궤도회로에서의 최대 허용 유도간섭 레벨을 명시하기 위해 생성한 것이다. 이 그림에 표시된 회로는 주파수 코드 A와 수신기에 대한 ETU이다. 100% 불균형 가정이 임피던스 본드의 측면 연결부(점퍼) 단선을 요구할 경우, 임피던스 본드를 모델화 할 필요는 없다.

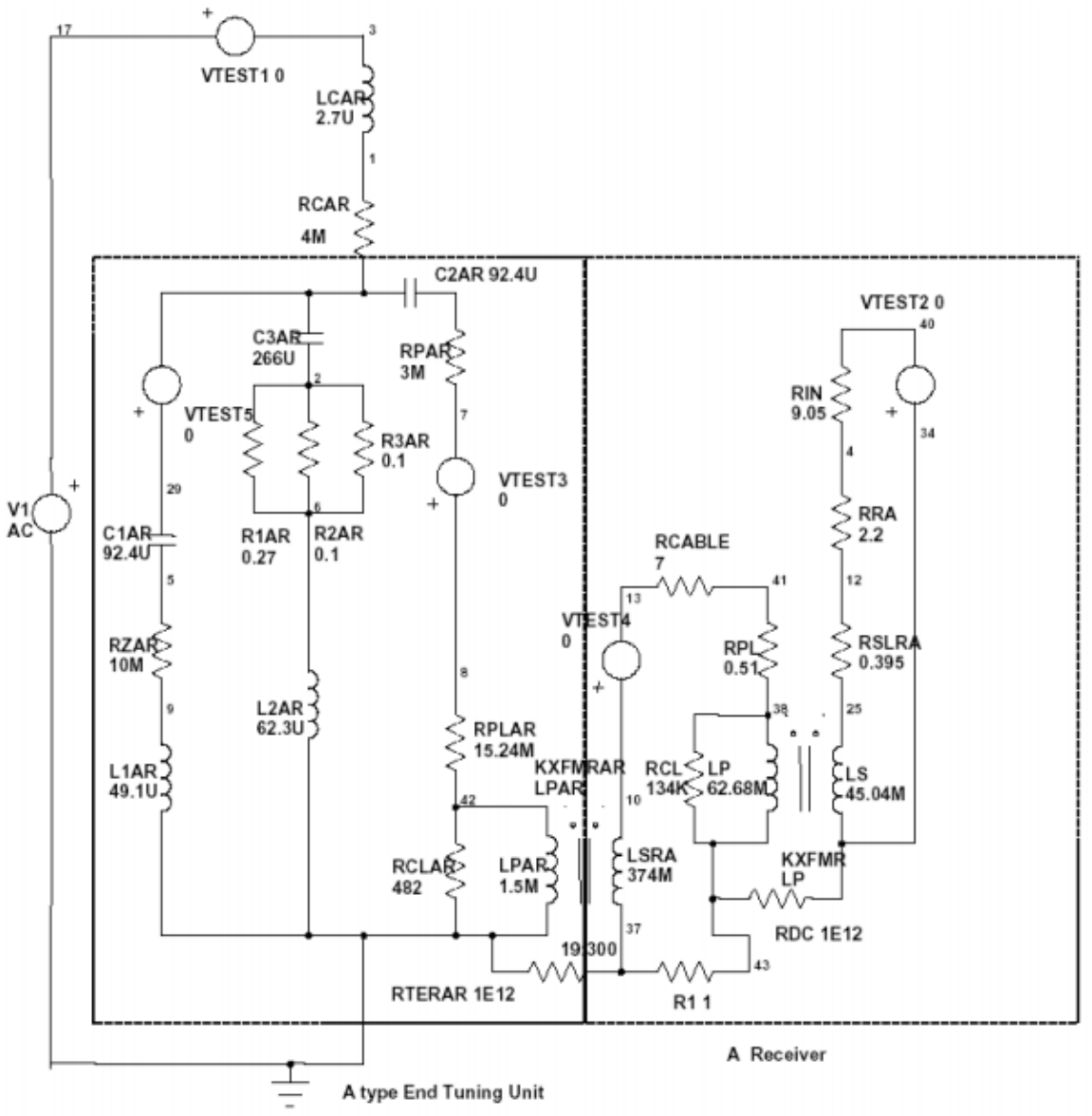



**그림 6: ETU가 설비된 궤도회로의 모델**

### 5.5.2 TTU가 설비된 궤도회로 (Track circuit with TTU)

그림 7은 TTU가 설비된 궤도회로 분석을 위한 모델의 회로도를 보인 것이다. 이 회로는 주파수 코드 A 및 수신기에 대한 TTU, 주파수 코드 B 및 수신기에 대한 TTU를 보인 것이며, 궤도 길이에 따라 구분시킨 것이다.

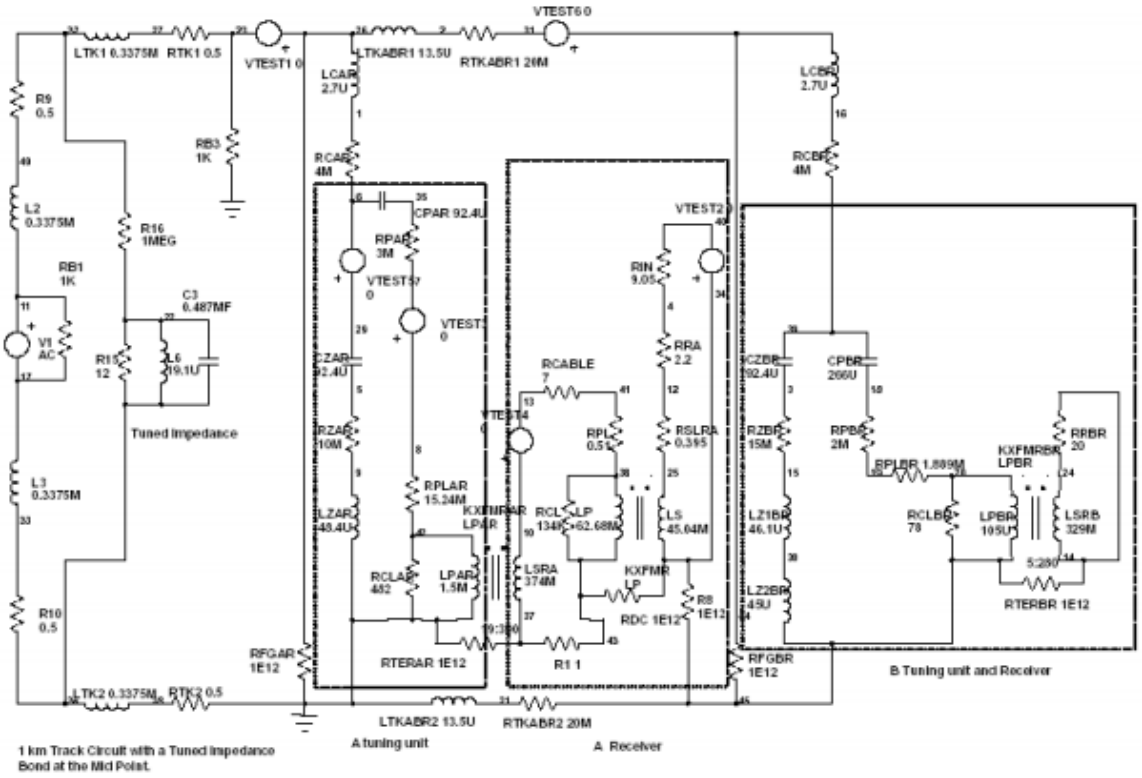



**그림 7: TTU가 설비된 궤도회로의 모델**

### 5.5.3 열차 전류 제한의 계산(Calculation of train current limits)

일련의 모델들을 사용하였으며, 그림 6과 그림 7은 다양한 작동 주파수에 적합하도록 변경시킨 TTU/ETU가 설비된 발생가능한 모든 궤도회로 구성을 분석하기 위해 사용된 예시이다.

허용가능 레일 전류를 결정하기 위한 방법론은 다음과 같다.

- 그림 6과 그림 7에 표시된 모델의 경우, 전압 *V1*을 A.C. 5.5V로 설정하였다.
- *VTEST1*에서는 레일 전류를 측정하고, *VTEST4*에서는 수신기 입력 전류를 측정하였다.
- 각 궤도회로 주파수 코드에 대한 고주파수 및 저주파수에서 이들 전류를 계산하였다.
- 각 주파수에서 수신기 입력 전류 15mA를 생성하는데 필요한 레일 전류를 다음 등식을 이용하여 계산하였다.

$$Rail\ Current\ (mA) = \frac{I(VTEST1)}{I(VTEST4)} \times 15 \qquad (1)$$

그림 6과 그림 7에 보인 회로 모델은 TI 21 주파수 각각에 대해 작동된다. 그림 7의 모델은 각각의 허용 주파수, 궤도회로 수신기 및 인접 TI 21 궤도회로의 구성에 대해서도 작동한다. 각 구동에서, 부록 A에 명시되어 있는 구성요소 값을 사용하였다.

또한, 인터레일(inter-rail) 커패시턴스 및 레일 절손도 조사해야 한다. 모델에 커패시터를 추가하여 인터레일 커패시턴스를 모델화한다. 현재 예시에서 320nF 수치를 동조 구역에 있는 레일 사이에 투입한다(이것은 16μF/km와 동일하다). 10MΩ 저항기를 직렬로 배치하여 레일 절손을 모델화한다. 이때 저항기 중 하나는 동조 구역의 레일을 나타낸다.

**5.5.4 ETU가 설비된 궤도회로에 대한 열차 전류 제한**

표3은 전형적 시나리오로서, 수신기에서 15mA 입력 전류를 생성하기 위해 필요한 레일 전류를 보인 것이다. 이 결과들은 궤도회로 매개변수의 공칭값을 사용하여 취득한 것이다. 두 주파수들은 수신기 여자를 위해 정확한 변조로 존재해야 하기 때문에, 주파수 중 한 개 주파수에서의 입력이 수신기 여자를 방지하도록 존재하는 것이 아니라는 것을 보장하기 위해 필요한 것뿐이다. 게다가, 수신기를 여자시키기 위해 요구되는 최소 전류는 두 개 주파수 중 한쪽에서 요구되는 전류보다 더 높다. 표에서처럼 각각의 경우에서 고주파수에서는 더 높은 전류가 요구되고, 이것이 허용가능 한계라는 것을 알 수 있다. 6절에 기재되어 있는 모델링 과정에서의 부정적 가정 때문에 더 높은 허용가능 전류 한계를 사용하는 것이 타당하다.

표3은 주파수 코드 C에 대해 ETU가 설비된 궤도회로는 수신기 여자를 위해 최소 간섭 전류가 필요하다는 것을 보여준다.

| Frequency code of ETU being analysed | Rail Current, mA, at frequency code of track circuit being analysed (lowest current in **bold**) | |
|---|---|---|
| | Lower Frequency | Upper Frequency |
| A | 178.9 | 202.2 |
| B | 237.5 | 264.0 |
| C | **157.6** | **182.8** |
| D | 314.0 | 334.3 |
| E | 242.6 | 268.7 |
| F | 269.1 | 295.6 |
| G | 231.6 | 284.2 |
| H | 261.4 | 285.8 |

**표 3: 수신기 입력 전류 15mA에서 요구되는 레일 전류(ETU가 설비된 궤도회로의 공칭값 사용)**

### 5.5.5 TTU가 설비된 궤도회로에 대한 열차 전류 한계

표4는 수신기 여자를 위해 요구되는 레일 전류를 보여준다. 궤도회로 매개변수의 공칭값을 사용하여, 이 결과들은 주파수 코드 D에 대한 TTU에 인접한 주파수 코드 C에 대한 TTU 구성은 수신기 여자를 위해 최소 전류가 필요하다는 것을 보여준다.

| Track Circuit Frequency Code | | Rail Current, mA, at frequency of track circuit being analysed (lowest current in **bold**) | |
|---|---|---|---|
| Rx being analysed | Rx (adjacent tuning unit) | Lower Frequency | Upper Frequency |
| A | B | 205.9 | 233.0 |
| C | D | **176.9** | **209.2** |
| E | F | 226.6 | 249.0 |
| G | H | 189.3 | 219.6 |
| B | A | 246.9 | 268.5 |
| D | C | 230.0 | 264.8 |
| F | E | 228.8 | 262.8 |
| H | G | 225.1 | 247.4 |

**표 4: 수신기 입력 전류 15mA에 대해 요구되는 레일 전류(TTU가 설비된 궤도회로의 공칭값 사용)**

### 5.5.6 안전측 고장 조건(Right Side Failure Condition)

Ref. 7에 따르면 레일에서의 최소 송신기 신호 전류는 3.4 A이다. 따라서 간섭전류가 이 신호 전류를 임계치 수준 이하로 감소시켜야 한다는 규정을 따른다. 이를 위해서는 간섭이 특정 채널의 작동 주파수이면서 역위상이 되어야 한다. 일반적인 균형 조건에서는 전류 레벨이 5.5.5절에 계산된 대로 100% 불균형 조건에서 결함측고장(Wrong side failure)(182.8mA)을 유발하는 데 필요한 전류를 초과한다. 이 허용가능 레벨이 TI 21 궤도회로 수신기를 '포착(pick up)'하는데 필요한 변조 신호보다 순음(pure tone)을 기초로 하기 때문에, 이 레벨을 결함측고장을 유발하는 데 필요한 레벨과 비교할 수 있다. 이 허용가능 전류는 레일에서 최소 송신기 신호의 5.4%만을 나타내며, 안전측 고장 사례는 이 레벨에 포함되어 있다.

### 5.5.7 최악의 경우의 열차 전류 한계(Worst case train current limits)

TI 21 궤도회로에 대한 최대 허용 간섭 전류를 명시하기 위해서는 최악의 경우를 고려해야 한다. 표3과 표4에서처럼 궤도회로는 주파수 코드 C에 대해 ETU가 설비된 사례를 대표한다는 것을 알 수 있다.

50% 간섭 허용오차를 적용하여, 단일 열차가 허용하는 최대 레일 전류가 91.4mA가 된다. 이것은 주파수 코드 C에 대해 ETU가 설비된 궤도회로의 고주파수에 대해 계산된 182.8mA의 50%를 나타낸다.

부록 A에 주어진 공칭 구성요소 값과 3절에 기재되어 있는 부정적 가정을 사용하여 이를 계산한다. 간섭 허용오차에는 구성요소 이동으로 인한 변화도 포함된다.

### 5.6 허용된 차축 대 차축 전압의 계산(Calculation of permitted axle-to-axle voltage)

TI 21 궤도회로 설치 시, 위에서 설명한 대로 공진 임피던스 본드를 통해 모든 크로스 본드를 연결한다. 복합적인 고장이 없다면, TI 21 주파수가 다른 궤도회로를 통해 순환할 가능성은 없다. 수신기로 전파를 하기 위한 차축 대 차축 전압의 경우, 궤도회로에서 상당한 불균형이 요구된다. 최악의 시나리오는 한 쌍의 인접 크로스 본드를 통해서 전류가 순환하는 것이며, 궤도회로의 간섭에 의해 잘못 여자된 수신기는 100% 불균형이다.

#### 5.6.1 차축 대 차축 전압 모델(Axle-Axle Voltage Model)

조사한 시나리오 중 하나로는 궤도회로 내에서의 레일절손과 차축 대 차축 전압을 생성하는 인접 궤도 위의 열차를 들 수 있다. 이것은 궤도회로 수신기를 여자시키면서, 레일 절손이 검지되지 않도록 하여, 궤도회로에 진입하는 열차로 검지되지 않게 된다.

그림 8은 위에서 위에서 설명한 것처럼 최악의 시나리오를 보인 것이다. 이 모델에서는 최소 크로스 본드 간격 100m[4]를 사용한다. 이것은 최소 레일 임피던스를 고려한다는 의미이며, 따라서 본 모델은 차축 대 차축 전압에 더 민감하다. 차축 대 차축 전압을 생성하는 열차 차축 간의 거리가 크로스 본드 간의 거리와 같다고 가정한다. 궤도는 2세트의 임피던스 본드로 끝난다.

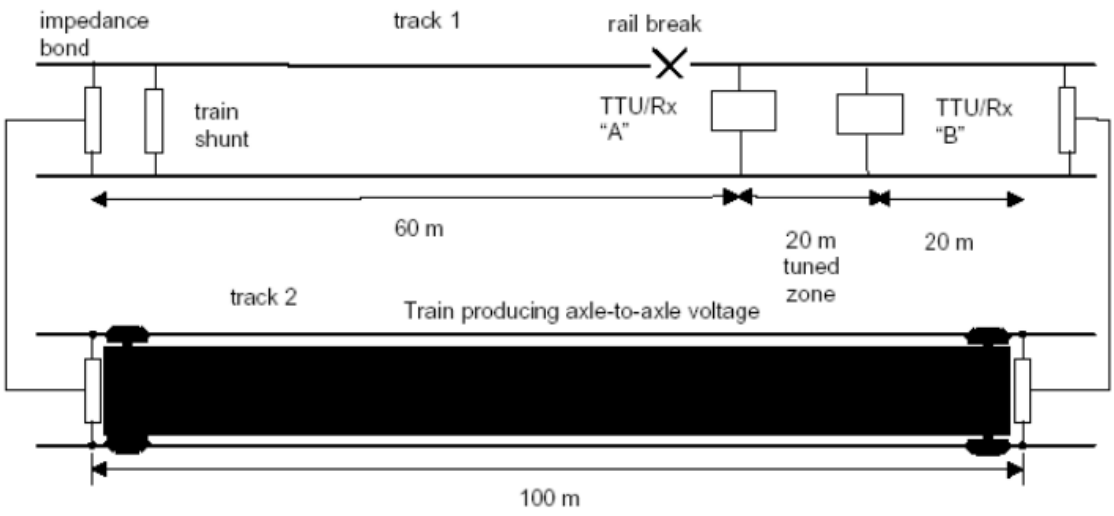



**그림 4: 차축 대 차축 분석 시 고려된 사례에 대한 기본 구성**

그림9와 그림10은 AC 및 DC 전철화 노선에 적용된 서로 다른 2종의 임피던스 본드에 해당하는 회로 모델을 보여준다. 이 모델에는 궤도 I 구간의 한쪽 끝에 있는 A 타입과 B 타입 TTU와 수신기로 구성되는 동조 구간이 포함된다(아래 지점 d 참조).

간섭에 의해 영향을 받는 궤도회로 상의 열차는 레일 절손 구간에서 가장 멀리 떨어져 있는 임피던스 본드에서 0.1Ω 열차 입환으로 표시된다.

추가적인 가정을 하자면 다음과 같다.

(a) 간섭 열차는 제로 임피던스(zero impedance)의 순 전압 소스이다. 이것은 극도로 부정적인 것이며, 열차가 제로 임피던스를 가진다고 가정한다.

(b) TI 21 수신기가 최대 감도로 작동한다. 예컨대, 15mA는 임계 전류이다.

(c) 간섭 열차는 정차하고 있으며, 2개 임피던스 본드 간 공간을 정확하게 채우고 있다. 이것은 다시 말해 매우 부정적인 것이다. TI 21 수신기가 최소 2초간 정확하게 변조된 입력을 요구하기 때문에, 정차된 열차로 이러한 이벤트가 발생할 확률을 매우 낮다.

(d) 모든 주파수에서 모델링을 수행하지만, 최악의 경우는 레일 절손이 포함된 궤도회로에 대한 주파수 코드 A이다. 이것은 최악의 경우이다[4].

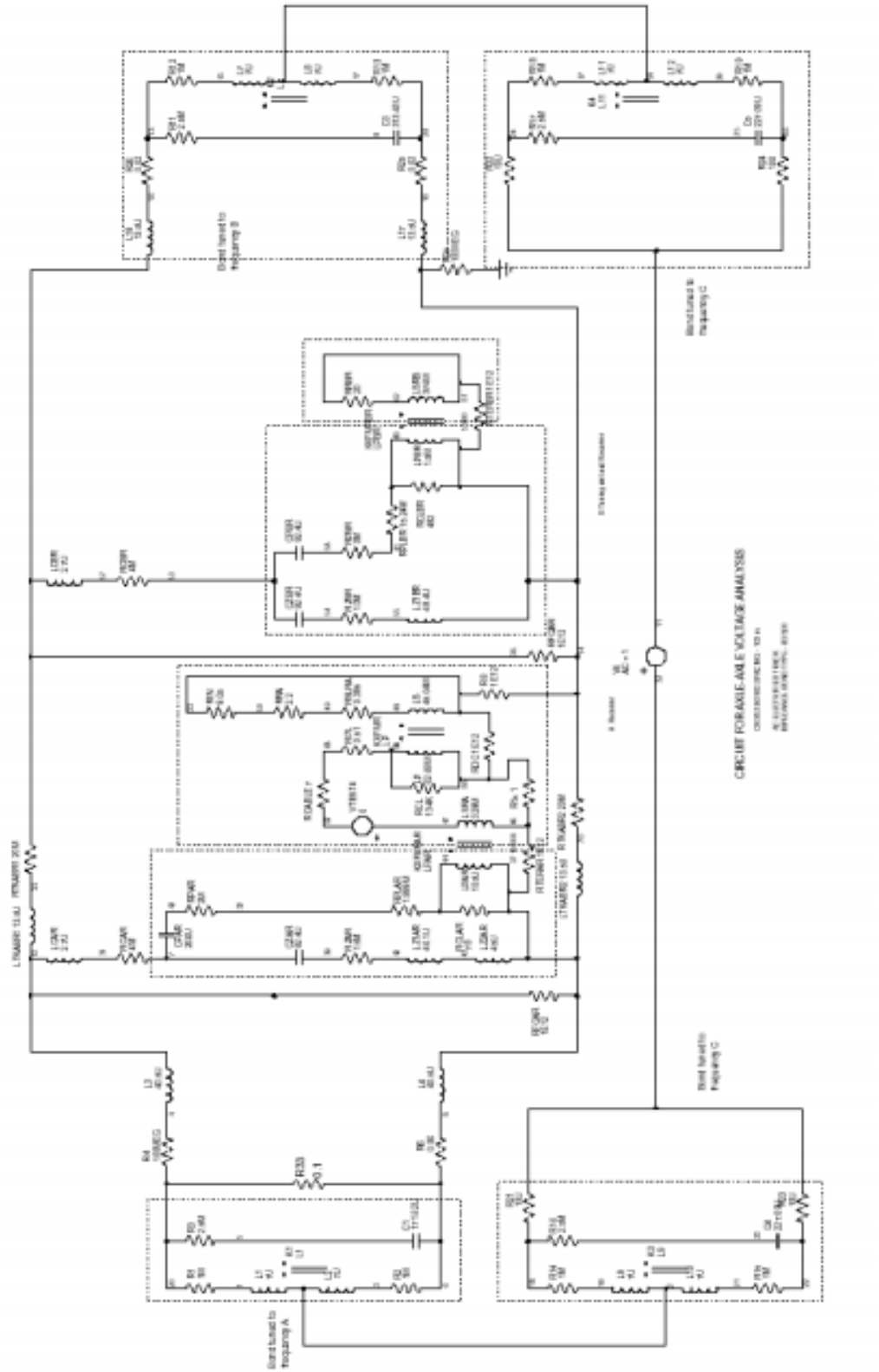


**그림 9: 허용된 차축 대 차축 전압 계산시 사용된 모델(B3/500 임피던스 본드 사용)**

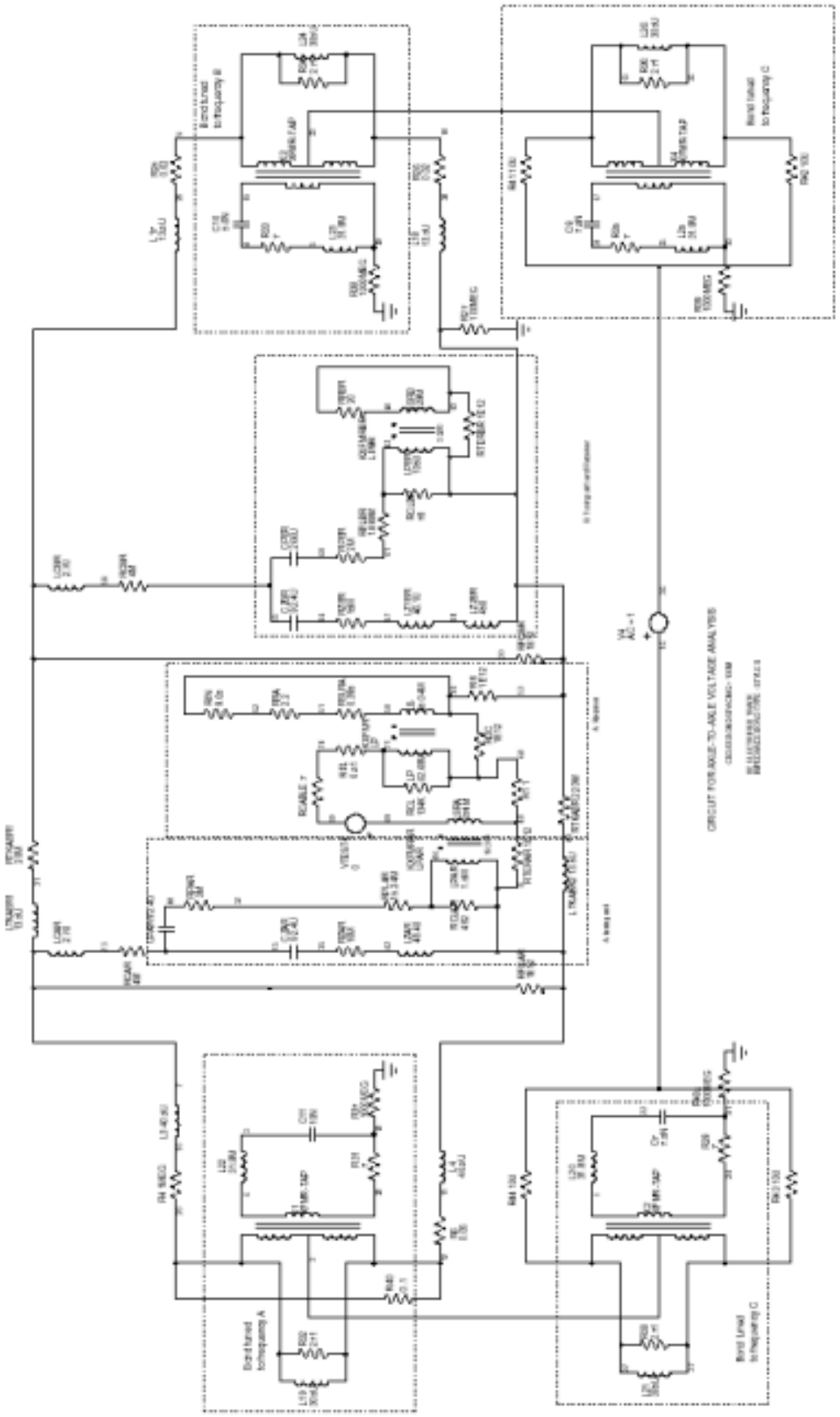


**그림 10: 허용된 차축 대 차축 전압 계산시 사용된 모델(S형 임피던스 본드 사용)**

### 5.6.2 허용가능 차축 대 차축 전압 계산(Permissible axle-axle voltage calculation)

그림 9 와 그림 10 의 궤도회로는 회로 분석 프로그램을 사용하여 모델화할 수 있다. 최대 허용가능 차축 대 차축 전압을 결정하기 위한 방법은 다음과 같다.

- 전압 V4 를 1 V AC 로 설정하였다. 모든 허용가능 주파수 코드 조합을 이용하여 본 모델을 구동한다.
- 그런 다음에, VTEST4 에서의 레일 전류를 2 개 주파수(고주파수, 저주파수)에서 측정한다. 궤도회로의 주파수 코드에 대한 저주파수 및 고주파수에는 레일 절손이 포함된다.
- 각 주파수에서 최대 수신기 입력 전류 15mA 를 생성하는데 필요한 간섭 전압을 다음과 같은 등식을 이용하여 계산한다.

$$Axle-to-axle\ voltage\,(mV)=\frac{1}{I(VTEST4)}\times 15 \qquad (2)$$

각 궤도의 임피던스 본드를 해당 궤도의 주파수 코드로 동조시킨다.

### 5.6.3 차축 대 차축 전압 한계

주파수 코드 A~D 를 사용하여 차축 대 차축 전압 분석을 수행한다. 이 주파수 코드들은 선로가 2 개만 있는 구간에서 선호되는 값들이다. 간섭 전류에 대해 보다 평행인 귀선 경로를 내재적으로 보유하고 있기 때문에, 궤도가 2 개 이상인 구간은 간섭에 덜 민감하다.

아래 표 5 와 표 6 은 DC 및 AC 형 임피던스 본드를 사용할 때, 수신기 입력 전류 15mA 를 생성하기 위해 요구되는 최소 차축 대 차축 전압을 보인 것이다. 이 결과들은 임피던스 본드 매개변수의 공칭 값을 사용하여 얻은 것이다.

| Frequency code of the broken rail | Frequency code of the adjacent track | Axle-to-axle voltage, mV, at frequency code of the broken rail (limiting voltage in **bold**) | |
|---|---|---|---|
| | | Lower Frequency | Upper Frequency |
| A | C | **225.2** | **258.9** |
| A | D | **225.2** | **258.9** |
| B | C | 342.3 | 372.6 |
| B | D | 342.3 | 372.6 |
| C | A | 219.7 | 261.1 |
| C | B | 219.7 | 261.1 |
| D | A | 347.9 | 410.2 |
| D | B | 347.9 | 410.2 |

**표 5: 수신기 입력 전류 15mA에서 요구하는 차축 대 차축 전압(S형 임피던스 본드의 공칭값을 사용)**

| Frequency code of the broken rail | Frequency code of the adjacent track | Axle-to-axle voltage, V, at frequency code of the broken rail (limiting voltage in **bold**) | |
|---|---|---|---|
| | | Lower Frequency | Upper Frequency |
| A | C | **226.2** | **259.1** |
| A | D | **226.2** | **259.1** |
| B | C | 316.3 | 364.2 |
| B | D | 316.3 | 364.2 |
| C | A | 220.5 | 261.6 |
| C | B | 220.5 | 261.6 |
| D | A | 344.3 | 408.3 |
| D | B | 344.3 | 408.3 |

**표 6: 수신기 입력 전류 15mA에서 요구하는 차축 대 차축 전압(B3/500 임피던스 본드 매개변수의 공칭값을 사용)**

이 2 개 표는 절손 레일이 주파수 코드 A 를 이용하는 궤도회로 위에 있을 때, 허용가능 최소 차축 대 차축 전압을 취득한 결과를 보인 것이다. 인접 궤도에서 궤도회로의 주파수 코드는 이 결과에 아무런 영향을 미치지 않는다.

유도 간섭과 함께, 최소 차축 대 차축 전압은 고주파수 또는 저주파수에서 요구되는 주파수보다 더 높다. 표 5 및 표 6 를 보면, DC 임피던스 본드 사용 시, 임의의 차축 쌍간의 TI 21 주파수에서 최대 허용가능 차축 대 차축 전압($V_{AA}$)이 259mV 라는 점을 명백한다.

이 결과는 최대 허용가능 차축 대 차축 전압 173mV 를 나타내며, 다른 간섭 소스에 대해 33%의 간섭 허용오차를 허용한다.

최대 허용 차축 대 차축 전류 $I_{AA}$ 를 $V_{AA}$ 로부터 계산할 수 있으며, 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$I_{AA} = \frac{V_{AA}}{Z_{TR}} mA \qquad (3)$$

i.e.

$$I_{AA} = \frac{173}{Z_{TR}} mA \text{ using a 33\% interference allowance.} \qquad (4)$$

$Z_{TR}$ 이 계산식이 작성된 한 쌍의 차축 사이의 적절한 열차 임피던스를 나타낸다. 열차 외부의 회로에 대한 추가 부하가 포함되어 있지 않기 때문에 이 결과는 부정적일 것이다.

**6.0 호환성 입증을 위한 방법(Methodology for demonstration of compatibility)**

궤도회로가 복선이면서 무이음매 모드에만 설치된다는 점을 확인해야 한다.

본 분석은 가장 민감한 수신기 설정을 기초로 한다. 따라서 진로상에서 궤도회로 수신기를 미래에 조정 시, 제한을 두는 어떠한 요구사항도 없다.

**6.1 일반 열차(Normal Train)**

정차상태의 열차 방출 데이터는 모든 일반 운행 조건에 대해 5.5 절에 정의되어 있는 한계와 비교해야 한다. 이 한계들은

모델화 한대로 100% 불균형 상황을 발생시킬 수 있는 유일한 상황인 효과적으로 고장이 발생한 기반시설을 기초로 하며, 이 결과에는 모든 철도에서 맞닥뜨리게 될 것 같은 모든 기반시설 조건이 포함될 것이다. 정상적인 작동 조건에서는 이 한계들을 다루어서는 안 된다.

만야 5.5 절에 정의되어 있는 절대적 레벨을 충족시킬 수 없다면, 호환성 입증 시 정확한 타입의 변조를 사용할 수 없다. 대부분의 견인 시스템은 단순 레벨 비교를 준수할 것이라고 예상된다.

만약 5.1 절에서 논의한 바대로 2 초 미만으로 과도 전류가 존재하는 경우에는, TI 21 궤도회로에 대해서 과도 전류는 문제가 안 된다.

**6.2 열차 결함(Faulty Train)**

고장률 분석을 수행한다. 논란 완화 시, 초과량이 2 초 이상일 때, 한계를 초과하는 주파수와 이 같은 초과량의 규모 및 지속시간, 궤도회로의 변조 요구사항을 고려해야 한다.

### 6.3 차축 대 차축 전압 한계(Axle-Axle voltage limits)

열차는 모든 정상 작동 조건에서 5.6 절에 계산되어 있는 한계를 준수해야 한다. 모든 신뢰성 있는 결함 조건에 대해 초과율을 계산해야 한다.

### 6.4 안전성 목표(Safety Targets)

방출 데이터와 위에서 설명한 정의된 한계를 비교하여, 전체 초과율을 구해야 한다. 이 총초과율을 본 프로젝트의 안전성 요구사항 맥락에서 ALARP(as low as reasonably practicable)으로 표시해야 한다.

# 1 서론(Introduction)

봄바디어는 'EBI Track 400' 이라는 새로운 궤도회로를 만들었다.

승인 절차[2]의 일환으로 Network Rail은 ET400 궤도회로에서 동작하는 철도차량에 의해 주로 발생되는 견인 전류 전도 간섭의 RSF 내성에 관한 연구를 수행하도록 요청했다. 이 연구의 목표는 RSF 간섭 원리에 기인한 ET400 전도 간섭 한계치를 알아내는 것이다.

철도차량 및 EBI Track 400 궤도회로의 적합성을 위한 내성 한계치 평가 계획은 간섭 한계치 연산을 위해 제안된 방법론으로 설정되었으며, 이 방법론은 다음과 같은 주요 단계로 구성된다.

1) 실험실 테스트에 의한 수신기 입력에서의 간섭 전류에 대한 수신기 내성의 결정

2) 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 견인 전류 및 수신기 입력 전류 사이의 전달 함수 계산

3) 전달 함수와 수신기 입력 전류 한계치의 결합에 의한 전체 한계치 계산

이 문서는 실험실 테스트 환경 (step 1)에서의 수신기 내성 시험에 관한 것만 다루고 있다. 시험의 목표는, 예를 들면 간섭신호가 이미 여자 상태(궤도 비점유)인 수신기에 적용되는 경우처럼, RSF 간섭 원리에 위반되는 수신기(Rx)의 내성을 특성화하기 위한 것이다.

[4]에서 논의된 바와 같이 WSF 원리는 엄청난 것으로 검토된다.

# 2 개정 이력(Revision history)

| Issue | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| From | To | 날짜 | 개정 사유 | ECR No | Sig. |
| - | 00.1 | 13/11/2012 | 대역내 본선 주파수의 정상 상태 시험 결과의 초안 작성 | - | YB |
| 00.1 | 00.2 | 16/11/2012 | 채널 F1과 F2의 대역내 기지 주파수의 정상 상태 시험에 대한 결과 초안을 갱신 | | YB |
| 00.2 | 00.3 | 30/11/2012 | 채널 F1-F8의 대역내 기지 주파수의 정상 상태 시험에 대한 결과 초안을 갱신 | | YB |
| 00.3 | 00.5 | 21/01/2013 | 채널 A의 버스트 시험 결과를 갱신 | | YB |
| 00.5 | 00.6 | 12/02/2013 | 채널 A-H의 버스트 시험 결과(50Hz를 제외한 채널 A-H의 고조파 정상 상태에 대한 시험결과)의 갱신 | | YB |
| 00.6 | 00.7 | 23/04/2013 | 새로운 전송속도에서 동작하는 기지 주파수의 시험 결과를 갱신 | | YB |
| 0.7 | 1 | 16/05/13 | 공식 발행, 각주 1개 추가, 양식과 오타 수정 | 6-62596 | CM |

## 3 용어(Terminology)

| 용어/약어 | 정의 |
|---|---|
| EMC | 전자기 적합성(Electromagnetic Compatibility) |
| ET400 | EBI Track 400 |
| ETU | 종단 유니트 (End Termination Unit) |
| Mainline frequencies<br>(본선 주파수) | 주파수 A~H의 중심주파수 (Centre Frequencies) 값 :<br>A = 1699Hz B = 2296Hz C = 1996Hz D = 2593Hz<br>E = 1549Hz F = 2146Hz G = 1848Hz H = 2445Hz |
| RSF | 긍정적 고장(Right Side Failure):<br>신호시스템이 제공하는 보호수준에 도달하지 않는 고장 |
| TC | 궤도회로(Track Circuit) |
| TU | 튜닝유니트(Tuning Unit) |
| Station frequencies<br>(기지 주파수) | 주파수 F1~F8의 중심주파수 값 :<br>F1 = 6100Hz F2 = 7700Hz F3 = 6900Hz F4 = 8500Hz<br>F5 = 5700Hz F6 = 7300Hz F7 = 6500Hz F8 = 8100Hz |
| WSF | 결함측 고장(Wrong Side Failure):<br>열차 운행에 위험을 유발할 수 있는 장비 고장 |

## 4 참고문헌(References)

| No | 문서 번호 | 문서 제목 | 개정/이슈 | 날짜 |
|---|---|---|---|---|
| [1] | TR580051687A4 | EBI Track 400, 철도차량의 호환성에 대한 자화율 한계의 평가 계획 | 2 | |
| [2] | QP580051693A4 | 네트워크 레일에 EBI Track 400 에 대한 수용 계획 | 2 | |
| [3] | M580001232A4 | EBI Track 400 암호화된 궤도회로. 오픈 라인 어플리케이션을 위한 기술 매뉴얼 | 1 | |
| [4] | DS580012797A4 | EBI Track 400 궤도회로 안전 사례 | 4 | |
| [5] | M580001318A4 | EBI Track 400 암호화된 궤도회로. 기지 영역의 보완에 대한 기술 매뉴얼 | 1 | |
| [6] | TR580054344A4 | EBI Track 400, EMC 수용 사례 | | |

# 5 궤도회로 정보(Track Circuit Information)

## 5.1 주파수 할당(Frequency Allocation)

EBI Track 400는 2개의 주파수 집합을 사용한다: 본선 주파수와 기지 주파수.

### 5.1.1 본선 주파수(Mainline frequencies)

본선 주파수 [3]는 문자로 참조되는 8개의 채널과 1549Hz~2593Hz 범위의 중심주파수로 구성된다. 채널과 각각의 중심주파수는 다음과 같다:
A=1699Hz; B=2296Hz; C=1996Hz; D=2593Hz;
E=1549Hz; F=2146Hz; G=1848Hz; H=2445Hz.

EBI Track 400 궤도회로는 주로 50~2000m의 구간 길이가 요구되는 본선 적용에 사용된다.

EBI Track 400은 오랜 기간 정착되어 있었던 TI21 궤도회로의 중요한 업그레이드버전으로 개발되었다. 따라서 궤도 인터페이스 구성품(TU/ETU)은 일반적으로 TI21의 구성품으로써 소인이 찍힌다. TTM 및 shunt box와 같은 여러 테스트 장비들도 동일하다.

본선 주파수에서, 8개의 공칭 주파수는 4개의 쌍으로 묶인다: A/B, C/D, E/F, G/H. 하나의 쌍은 궤도 별로 사용되고 주파수는 교차하여 사용된다. (예를 들면 '주파수 A 궤도회로', '주파수 B 궤도회로', 다시 '주파수 A 궤도회로' 식으로 계속 됨)

일반적으로 2개의 주파수 쌍인 A/B와 C/D는 복선 궤도를 위한 주요 주파수로 간주되며, 이 2개의 주파수 쌍은 2개 궤도 이상일 때 반복된다. 주파수 쌍 E/F와 G/H는 일반적으로 사용되지는 않지만, 특수한 상황일 때는 사용된다. EBI Track 400의 부호화된 독특한 성질 때문에 궤도회로간의 어떠한 혼선도 위험측 고장[1]을 초래하지 않을 것이라는 것은 명시되어야 한다. 궤도회로 할당은 표시될 때에 긍정적 고장을 야기하는 혼선의 가능성을 피하기 위해 적절한 간격으로 공급되어야 한다 [3].

---

[1] 위험측 고장 : 시스템, 기기, 부품 등을 대상으로 하는 것에서 발생하는 고장 중, 인명의 손상이나 중대한 사회적 혼란을 야기할 가능성이 있는 것. 일반적으로는 복수(複數)의 고장 모드(mode)를 위험측 고장과 그 이외의 안전측 고장으로 분류하는 경우에 사용된다. 예를 들면, 릴레이에 의한 안전논리를 구성하는 경우에는 릴레이의 고장 모드 중, 발생 빈도를 매우 작게 할 수 있는 접점용착(接點溶着) 등이 위험측 고장이 되도록 논리를 할당한다.

### 5.1.2 기지 주파수

기지 주파수[5]는 5700Hz~8500Hz 범위의 중심주파수 코드로 참조되는 채널로 구성되며, 채널과 각각의 중심주파수는 다음과 같다:

F1=6100Hz; F2=7700Hz; F3=6900Hz; F4=8500Hz;

F5=5700Hz; F6=7300Hz; F7=6500Hz; F8=8100Hz.

EBI Track 400의 역 구내 변조형(station area variant)은 일반적으로 구간 길이가 500m 이상 되지 않는 곳에 제한하여 사용된다.

## 5.2 궤도 회로 수신기(Track circuit receiver)

ET400 궤도회로 수신기는 본선과 기지 적용 시 모두 동일한 구조를 가진다. 수신기의 블록 다이어그램은 그림 1과 같다.

궤도 튜닝유니트로부터의 신호는 프런트-엔드[2] 블록에 공급되는데, 이것은 수신기 회로를 튜닝유니트로부터 격리하는 입력 트랜스[3]를 포함하고 있다. 신호는 디지털 포맷 (ADC block)으로 변환되고, DSP 단계에 의해 필터되며, 신호 진폭과 코드 상관관계 요인을 복구하기 위해 복조된다. 마지막으로, 레벨 비교는 신호 진폭과 코드 상관관계 요인이 검지기준치(detection threshold) 이상이라는 확인을 위해 수행된다. 만약 측정값이 2초 이상 지속적으로 참값이 된다면, 궤도 비점유 현시 출력이 TRUE로 설정된다.

---

[2] 프런트-엔드 : 수퍼헤테로다인 장치에서 안테나와 IF 증폭기의 중간단. 텔레비전 수상기 등의 튜너로, RF 증폭기, 국부 발진기, 믹서 및 채널 동조 회로 등을 수용한 부분.

[3] 입력 트랜스 : 증폭기의 입력측에 접속되는 임피던스가 너무 높아서 그대로는 충분한 입력이 얻어지지 않을 때 등에 임피던스의 정합을 취하기 위하여 사용한다. 그 밖에 입력 장치와 증폭기를 직류적으로 절연하기 위한 경우 등에도 사용된다.

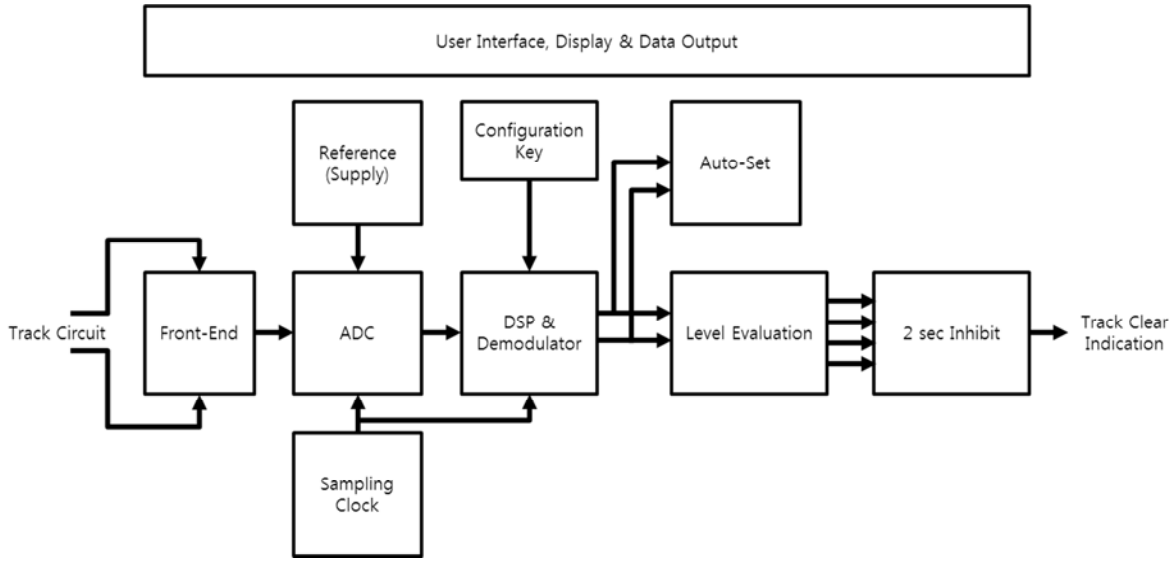



**그림 1: 수신기 블록 다이어그램**

주요 특징:

- 공용 수신기 유니트에는 EBI Track 400 주파수 16개 (A-H or F1-F8) 중 하나와 주파수 및 코드 키에 의한 하나의 고유한 코드가 할당된다.
- 자동-설정 기능은 감도-설정 straps을 위한 요구사항을 제거함으로써 궤도 설정 절차와 프런트-엔드 회로를 단순화한다.
- 4가지 특성 화면을 통해, 그리고 9-way 'D-type' connector 상의 독립된 시리얼 데이터로써, 상태 감시와 진단 정보는 유효하게 된다.
- 궤도 비점유 출력은 별도의 계전기 구동 신호이다.

## 6 시험 설정과 장비(Test set-up and equipment)

그림 2와 그림 3은 본선 주파수와 기지 주파수 각각에 대한 수신기 실험실 테스트 설정을 나타낸다. 두 설정 간의 유일한 차이점은, 기지 주파수가 IPC와 IP2 터미널(95Ω 레지스터)에 걸쳐 연결된 것에 비해, 본선 주파수 입력 신호는 IPC와 IP1 터미널(1Ω 레지스터)에 걸쳐 연결된다는 것이다.

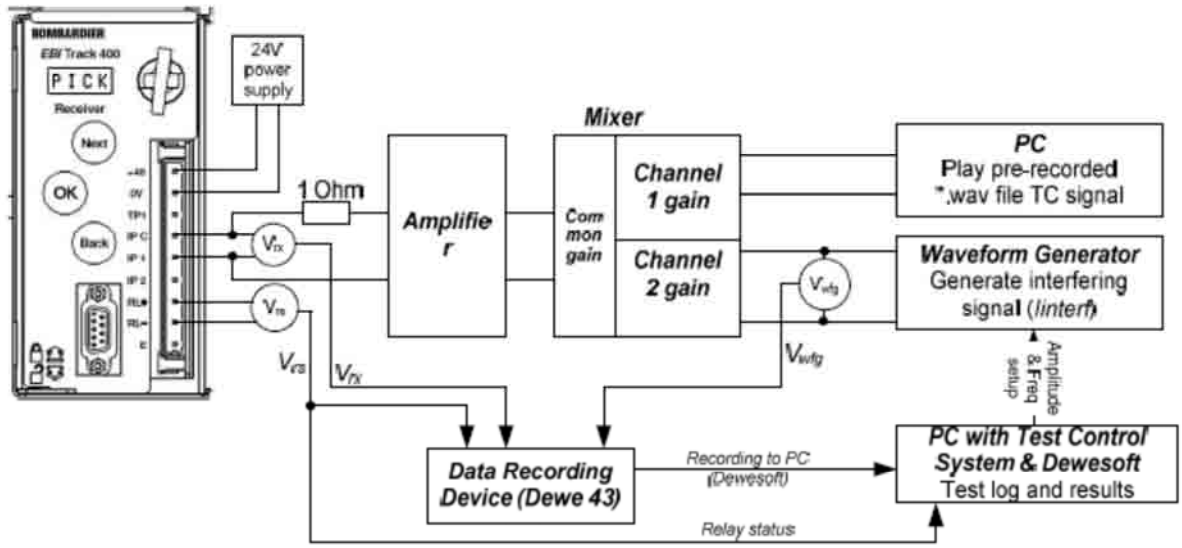



**그림 2: 본선 주파수의 수신기 시험에 대한 설정(신호 입력은 IPC와 IP1 터미널을 경유)**

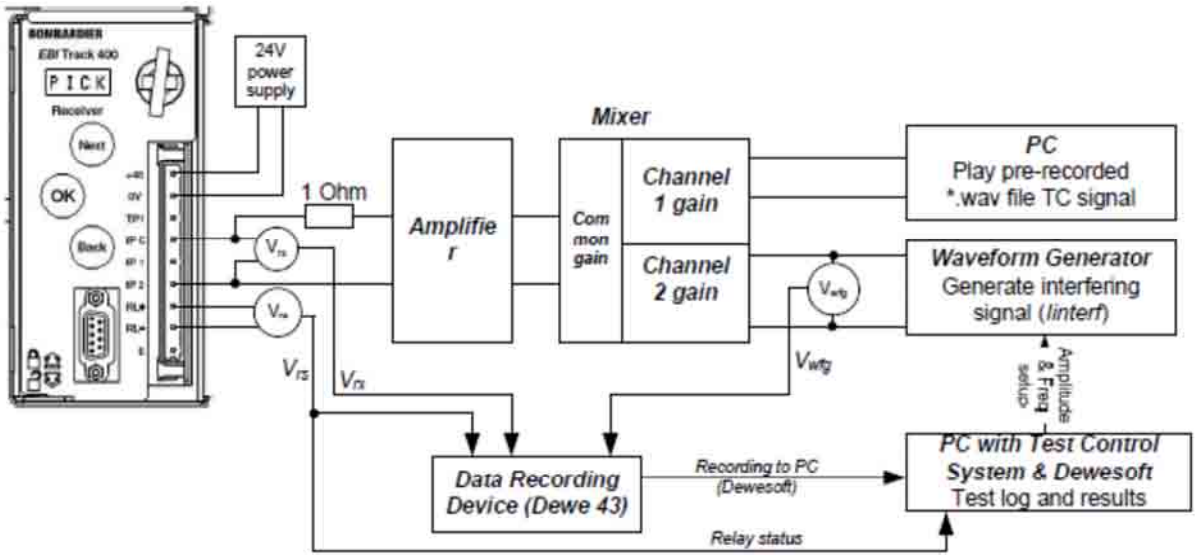



**그림 3: 기지 주파수의 수신기 시험에 대한 설정(신호 입력은 IPC와 IP2 터미널을 경유)**

시험 설정 동작은 다음과 같다.

랩탑 컴퓨터는 각 주파수 대역(A-H 또는 F1-F8)에서 미리 녹음된 ET 400 코드 송신 신호를 증폭기에 연결된 믹서로 틀어준다. 이 증폭기는 safety 1Ω 레지스터를 통해 각각의 주파수 터미널에

연결되어 있다. 송신 신호의 진폭은 믹서에 의해 설정되는데 이는, ET400 수신기에 요구되는 궤도 비점유 전류를 생성하고, 수신기를 여자 상태로 만들기 위함이다.

테스트 중에, 프로그램이 가능한 파형발생기는 선택된 진폭의 사인파 간섭과 주파수를 믹서의 두 번째 채널 안으로 생성하는데, 이곳은 송신기 신호 위에 서로 겹쳐져서 수신기 입력에서 "수신기 +간섭" 신호 복합물을 생성하는 곳이다.

테스트는 Matlab 방식을 사용함으로써 일부 자동화되었는데, Matlab 방식은 신호 발생기 주파수 및 진폭을 제어하고 ET400 수신기의 계전기 구동 출력 상태를 감시한다. 자동화된 테스트 방법은 7.2에서 설명한다.

시험에 사용된 장비들은 표 1과 같다.

**표 1: 수신기 시험에 사용된 장비**

| **종류** | **제조사** | **시리얼넘버** | **켈리브레이션** |
|---|---|---|---|
| 궤도신호 재생용 PC | 휴렛팩커드 노트북 | 해당없음 | 해당없음 |
| 시험제어 시스템과 Dewesoft를 위한 PC | 델 | 해당없음 | 해당없음 |
| 파형 생성기 | PicoScope 4226 | A0479-177 | In cal |
| 데이터 녹화 장비; Vrs를 위한전압 변환기 | Dewe-43, PC에 연결된 | D0201AD2; D01FF284 | In cal |
| 증폭기 | QSC PLx3102 | 030752727 | 해당없음 |
| 음량조절장치 | LTO-Professional ZMX52 | (21)UT1203101512796 | 해당없음 |
| 수신기 하부 시험 | EBI Track 400 수신기, 소프트웨어 SW580019506, 버전 2.00, 빌드 150, Mod:1, 30/01/2012 | 524535 | 해당없음 |

각각의 테스트에서, 다음의 채널들은 Dewe43 시스템을 사용해 녹음되었다:

- Vwfg, 웨이브폼 생성기 출력 전압, V
- Vrx = 수신기 전역의 전압, V (Rrx = 1Ω 이면 Irx=Vrx, Rrx=100Ω[4] 이면 Irx=Vrx/100)
- Vrs = 출력 릴레이 상태, V

[4] $R_{rx}$는 조건에서 100Ω일지라도 사실 95Ω이다. 그러므로 $Irx_{actual}$=Vrx/95 또는 $Irx_{actual}$=$Irx_{report}$ x 100/95이다. 따라서 수신기는 이 보고서에서 제안하는 전류보다 5% 더 노출되어 있다. 이 에러는 경고의 측면이다.

모든 채널은 시간영역에서 다음과 같은 최소 샘플링 비율로 동시 녹음되었다:

주파수 : 10kS/s, 기지 주파수 : 24kS/s

채널은 Dewesoft 7.0.4를 사용해 녹음되는데, 이 장치는 Dewe 43 데이터 수집 장치로부터 요구 신호를 읽어내며, 컴퓨터와는 USB 케이블로 연결된다. 그림 4에서는 Dewesoft 측정 설정 화면의 예를 보여준다.

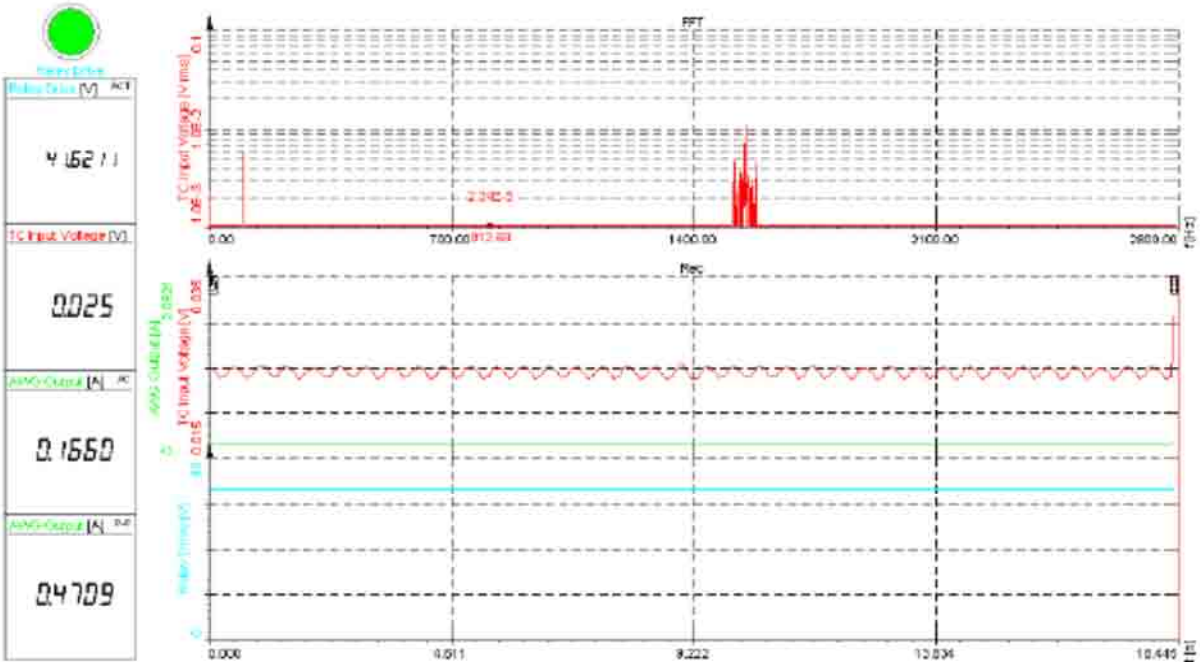



**그림 4: 측정된 채널 E 신호의 Dewesoft 측정 설정 화면**

# 7 본선 주파수 수신기 시험(Mainline frequency receiver testing)

이 부분은 ET400 본선 주파수의 채널 A-H의 시험 절차 및 결과를 다루고 있다.

## 7.1 시험 조건 및 RSF 기준

초기 수신기 동작 조건:

- 수신기 기준점은 15mA (Rx 최소 감도 레벨)로 설정한다.
- 수신기 궤도 비점유 전류는 22.5mA로 설정한다. 시험된 Rx 감도 레벨은 50% 이상이며, 이는 통상적인 궤도회로 설정이다. 이 신호는 채널 A-H 각각에서의 모든 시험을 통해 지속적으로 재생된다.
- Rx의 궤도 계전기 출력은 궤도 비점유를 가리킨다.(계전기 여자).

수신기 안전측 고장(RSF: Right Side Failure)에 대한 기준:

- 특정 주파수 및 진폭으로 된 간섭 신호를 적용한 후, 10초 이내 발생된 간섭 신호로 인한 계전기 낙하 (궤도 계전기는 궤도 점유를 가리킨다).

## 7.2 정상상태의 간섭신호(Steady state interference testing)

### 7.2.1 시험 간격 및 허용오차

Matlab 방식을 사용하여 각 채널에 대한 시험을 수행하며, 이 방식은 프로그램이 가능한 임의 파형 발생기(AWG)의 주파수 및 진폭을 제어하고 ET400 수신기 계전기 구동을 감시한다.

AWG는 0.5Vptp~4Vptp 범위의 출력 전압을 가진다. 따라서 이 범위를 넘는 변화는 간섭 전류 채널에 대해 믹서진폭조정기를 조정하여 수동으로 동작시켜야 한다.

수동 조정은 시간이 소요되며 많은 매개변수의 이동을 야기하기 때문에, 간섭 신호의 수동 조작은 최소화하는 것이 바람직하다. 이를 위하여, 하나의 진폭 범위에서 모든 A-H 채널을 테스트하고나서, 그 이후에만 수동으로 진폭범위를 조정하는 것을 추천한다. 테스트를 위한 범위는 아래의 표에 나와있다.

계전기 낙하시의 간섭 진폭은 정의된 허용오차까지의 간섭레벨을 찾는 이진탐색 알고리즘(binary search algorithm)을 사용하여 구한다. 허용오차가 작아질수록, 특정 주파수에 대한 간섭레벨을 찾기 위해 더 많은 시간이 필요하게 된다. 명확하게는, 간섭 한계치가 높아질수록 덜 정확한 허용오차가 요구되는 것이다. 허용오차는 진폭의 비율이기 때문이다. 그러므로 테스트의 속도를 높이기 위해, 진폭 범위에 따라 검색 허용오차는 범위내의 최저 경계 레벨의 5% 이상이거나 또는 같도록 결정된다. 아래에 허용오차 수치에 대한 표가 나와 있다.

적정 테스트 시간은 5초이다. 그러나 예비테스트에서는 5초안에 계전기의 여자와 무여자를 확실하게 보여주지 못했다. 즉 특정한 주파수 및 진폭에서 수신기가 낙하(무여자)될 수 있으며, 그 후 간섭 신호가 적용되고 5초가 지난 뒤 여자될지도 모른다. 대신, 테스트 시간을 30초로 했을 때는 계전기 낙하를 정확하게 확인하는데 충분했다. 그렇지만 이 시간은 테스트 시간을 현저히 늦추게 한다.

이는 테스트의 시간과 테스트의 요구되는 정확도 사이의 결정으로서, 가장 민감한 주파수 밴드(중심 주파수 근처)에서 테스트 시간은 30초까지 증가될 것이며, 중심 주파수로부터 멀어질수록 10초까지 증가될 것이다.

**표 2: 본선 주파수 수신기 시험의 진폭 범위와 내성**

| | 진폭 범위 (근사치) | 내성 | 제시된 주파수 범위 | 시험 시간 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 낮은 범위 | 6mA-48mA (0.5V-4V at AWG) | 0.3mA | ±40Hz of fc | 10초 | 최소 한계(6mA)는 각 채널의 중심 주파수에 의해 결정된다-Rx는 반드시 이 레벨에서 선택, 유지되어야 한다. |
| 중간 범위 | 40mA-320mA (0.5V-4V at AWG) | 2mA | ±(40 to 50Hz) of fc; | 10초 | |
| 높은 범위 | 212mA-1.4A (0.5V-4V at AWG) | 10mA | 50Hz 배수 대역 외 | 5초 | 최대 한계(1.4A)는 (Irx<1.4A, Rx 포화 및 오작동)이 허용되는 최대 수신 입력 전류에 의해 결정된다 |

### 7.2.2 테스트 절차

테스트를 시작하기 앞서,

1) 최소 30분동안 모든 장비를 예열한다.
2) 컴퓨터, 믹서, 그리고 진폭 레벨을 조정하여 수신기가 Iclear = 22.5mA(ET400 Monitor s/w를 사용하여 체크)가 되도록 Rx는 여자상태를 유지하도록 한다.

일반적인 테스트 절차는 다음과 같다.

1) mixer linterf channel knob를 이용해 key/signal의 한가지 범위(표2를 참조)로 설정한다.
2) Rx에 주파수 키를 넣고, 컴퓨터에 각각의 채널 신호를 재생한다.
3) Dewetron FFT 스펙트럼을 이용해, AWG 출력전압 1V 1kHz에서 Rx 전류와 AWG 출력전압 사이의 이득을 확인 및 기록한다.
4) V에서 요구되는 오차범위(표2를 참조)를 결정한다.

5) 'PicoTest' Matlab routine에서
   - 엑셀파일과 시트의 이름을 정한다.
   - V에서 오차범위를 설정한다(4단계 참조).
   - 테스트 시간을 설정한다(표2 참조).
   - 테스트 주파수 범위를 설정한다(표2 참조).
6) 'PicoTest' Matlab routine(그림 5 참조)을 실행하고 Dewetron recording을 시작한다.
7) 'PicoTest' Matlab routine이 멈췄을 경우, Dewetron recording을 중지한다.
8) AWG 출력 전압과 Rx 전류 사이의 이득을 확인 및 기록한다.
9) 각 채널 A-H마다 2단계에서 8단계까지 반복한다.
10) 각 진폭 범위마다 1단계에서 9단계까지 반복한다.(표 2를 참조)

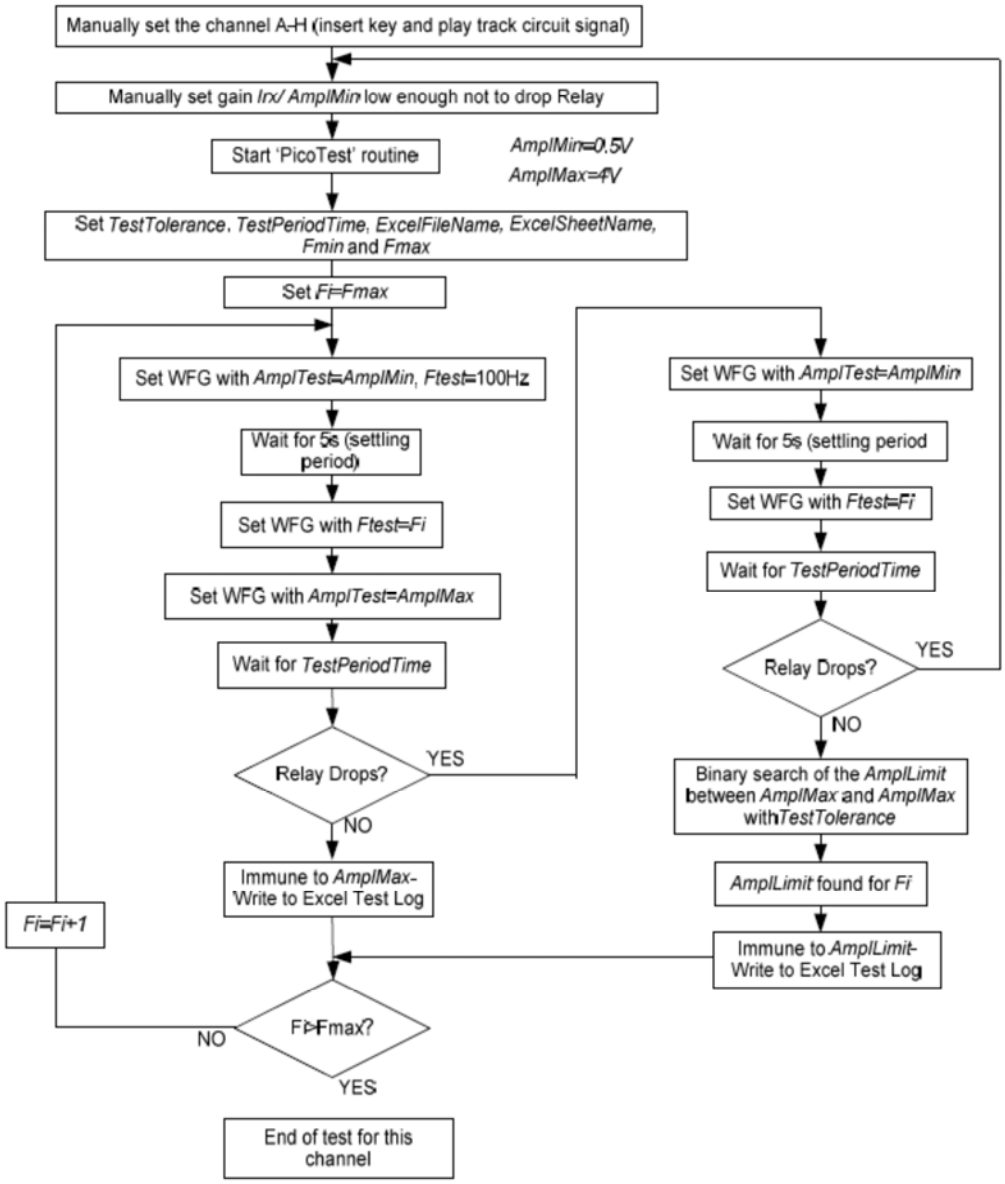



**그림 5: 시험 절차에 대한 흐름도**

### 7.2.3 대역 내(In-band) 테스트 결과

대역 내 내성은 $f_{centre}$ ± 40Hz에서 테스트되었으며, $f_{centre}$ 는 채널 A-H의 중심주파수이다. 테스트 결과는 그림 6과 부록 1에서 그래프와 표로 나타냈다. 각 채널에 대한 그래프의 모양은 동일하지만 주파수에서는 전환된다.

그림 7은 채널A를 통해 보다 상세히 RSF 내성을 볼 수 있도록 확대된 그래프를 보여준다. 그래프는 곡선의 가장 민감한 부분(약 9mA의 내성 레벨)이 실질적으로 8Hz 폭이라는 것을 입증하며, 1699Hz의 중심 주파수의 정중앙에 있다는 것을 입증한다. 스펙트럼의 나머지는 적어도 예를 들어 25mA 또는 그 이상보다 2.5배는 더 크다.

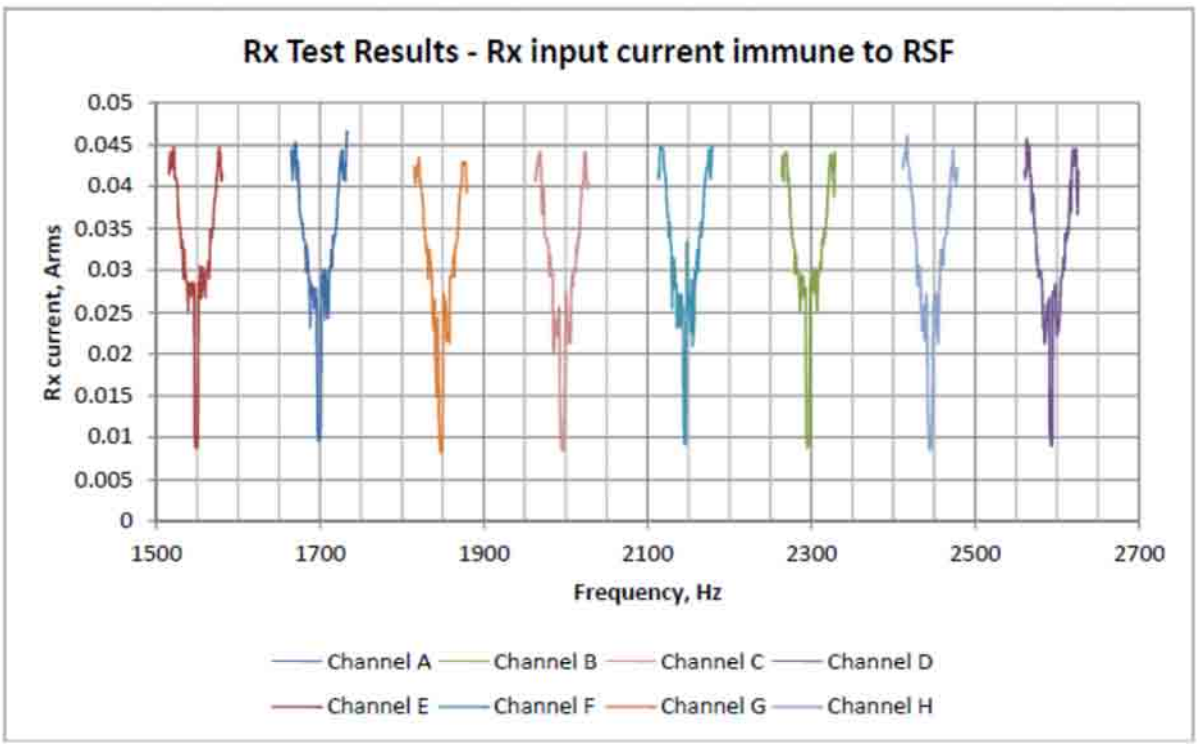



**그림 6: 본선 주파수의 Rx RSF 안정 상태 면역 시험 결과**

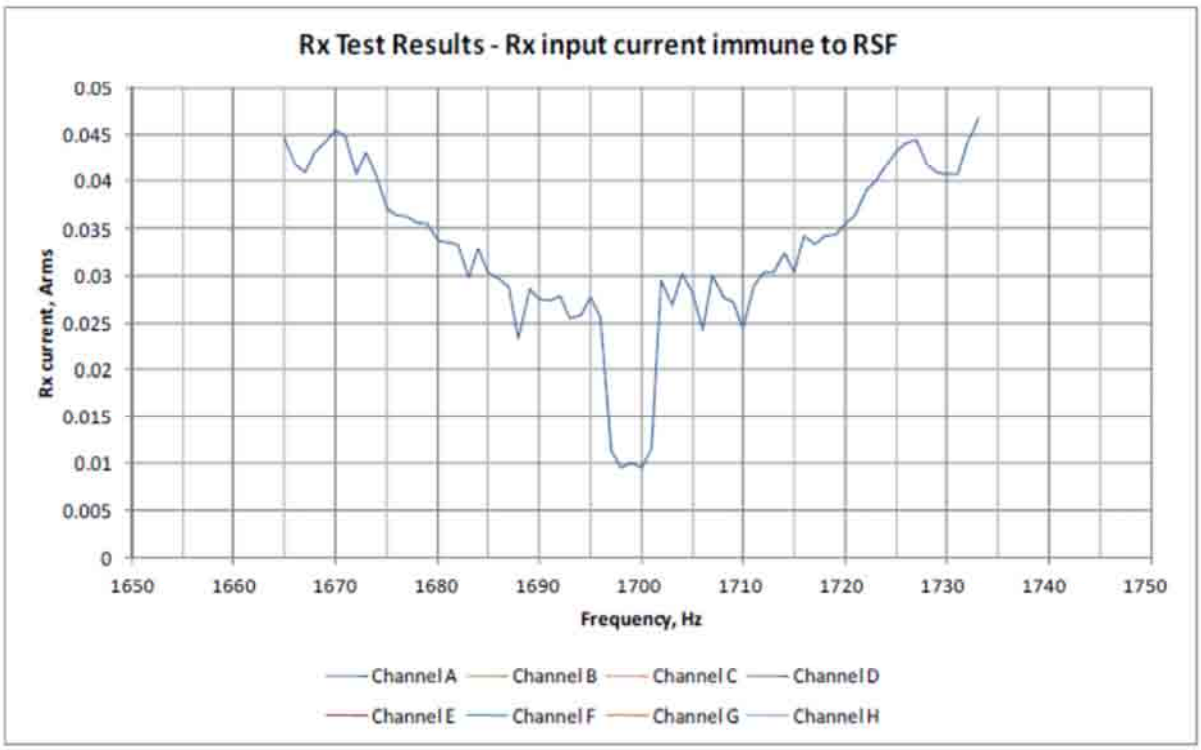



**그림 7: 본선 주파수의 Rx RSF 안정 상태 면역 시험 결과-채널 A 확대**

### 7.2.4 50Hz 고조파(Harmonic) 테스트 결과

50Hz~50kHz까지 대역 범위 밖의 모든 50Hz 고조파 간섭에 대한 수신기 내성을 테스트하기 위해 요구사항이 있다. 테스트는 각 채널 A~H에서 반복된다.

50Hz~50kHz 전역에 걸쳐 테스트는 파형 발생기를 가지고 실행되었다. 이 파형 발생기는 낮은 주파수 범위(1kHz 이하)에서 1.4A의 수신기 간섭전류와 동등한 출력전압을 가지고 있다.

높은 주파수에서 아날로그 믹서/증폭기(20kHz까지의 가청 주파수 대에서 작동하도록 설계됨)는 손실이 증가되기 때문에, 높은 주파수에서 간섭전류는 0.6A 50kHz로 점점 감소하며 약해졌다는 것에 주의해야 한다. 이러한 감쇠는 이 레벨이 각각의 중심 주파수에 근접한 50Hz 고조파에서의 레벨보다 상당히 높기 때문에 허용할 수 있는 것으로 고려된다.

테스트 절차는 7.2.2.에 상세히 표현된다.

테스트 결과는 그림 8과 표3에 그래프로 나타내었다.

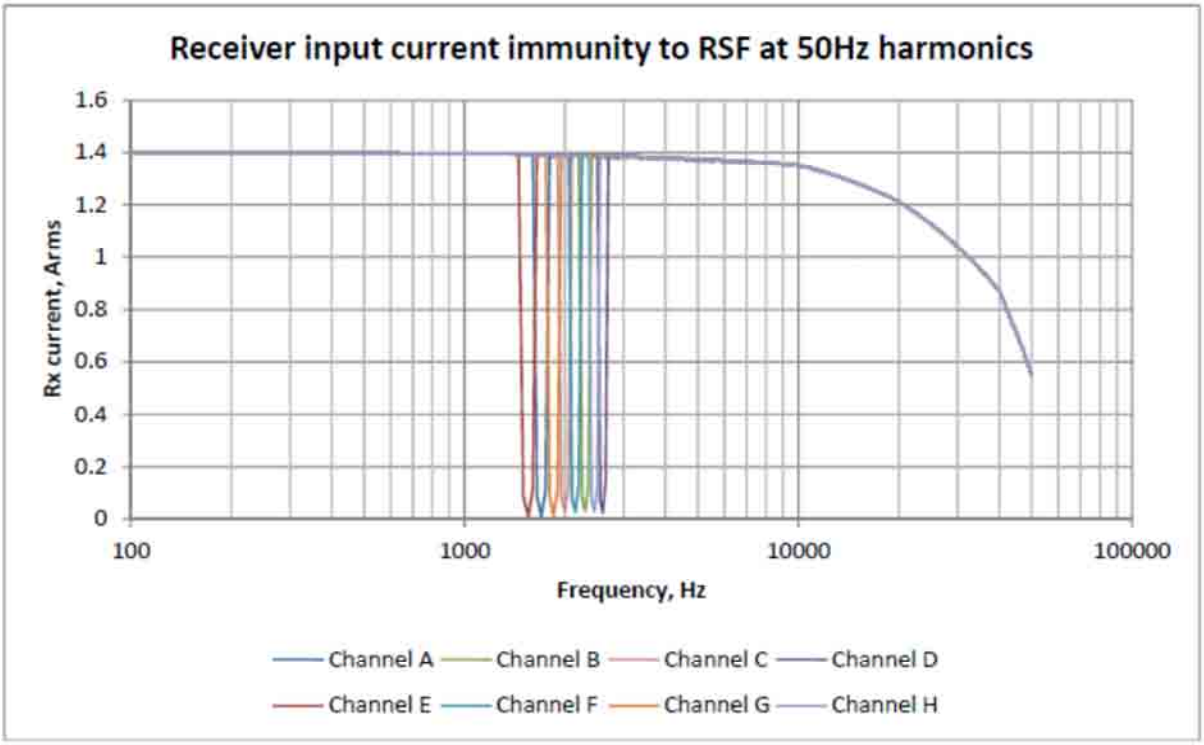



**그림 8: 50Hz 고조파 안정상태 수신기 면역 시험 결과**

**표 3: 1450Hz-2700Hz범위의 50Hz 고조파 안정 상태 수신기 면역 시험 결과**

| 주파수, Hz | 최소 Rx 면역 레벨, Arms | 채널의 최소 Rx 면역 레벨 |
|---|---|---|
| 50-1450 | 1.4 | 모든 채널 |
| 1500 | 0.086 | 채널 E |
| 1550 | 0.009 | |
| 1600 | 0.110 | |
| 1650 | 0.080 | 채널 A |
| 1700 | 0.010 | |
| 1750 | 0.109 | |
| 1800 | 0.085 | 채널 G |
| 1850 | 0.010 | |
| 1900 | 0.114 | |
| 1950 | 0.080 | 채널 C |
| 2000 | 0.027 | |
| 2050 | 0.130 | |
| 2100 | 0.076 | 채널 F |
| 2150 | 0.026 | |
| 2200 | 0.131 | |
| 2250 | 0.079 | 채널 B |

| | | |
|---|---|---|
| 2300 | 0.030 | |
| 2350 | 0.128 | |
| 2400 | 0.070 | 채널 H |
| 2450 | 0.026 | |
| 2500 | 0.131 | |
| 2550 | 0.070 | 채널 D |
| 2600 | 0.022 | |
| 2650 | 0.149 | |
| 2700-50000 | 2700Hz에서 1.4A는 점차 감소하여 50kHz에서 0.6A | 모든 채널 |

## 7.3 Burst 간섭 테스트

### 7.3.1 테스트 절차

Dynamic(burst) 테스트는 ET400 궤도회로 수신기에서 다양한 견인 전류의 영향을 보여준다.

Burst 수신기 입력 전류의 레벨은 실질적으로 다음과 같이 결정된다.

1. 테스트는 10개의 연속적인 burst 간섭신호 중 하나의 종류로 구성되어야 한다.
   - 수신기 중심 주파수에서 설정
   - Bust 길이는 10ms, 20ms, 50ms, 100ms, 150ms, 200ms로 설정
   - burst 사이의 간격은 500ms, 200ms, 100ms, 50ms, 20ms로 설정
   - 초기 진폭은 본선 주파수에서는(수신기 입력의 한계로 인해) 1.7A로 설정하고, 기지 주파수에서는 (수신기 저항 전력등급의 한계로 인해) 158mA로 설정

2. 10개의 연속되는 burst 신호의 시리즈 중에서
   - 만약 계전기가 여자된 상태라면(궤도 비점유를 가리킴), 수신기는 수신기 간섭 신호 진폭에 내성이 있는 것으로 여겨진다. 테스트는 다음단계의 테스트 주파수로 반복되어야 한다.
   - 만약 계전기가 낙하했다면, 수신기는 10%의 정확도로 분석될 것이다.

모든 궤도 회로 수신기 중심 주파수(즉 A~H, F1~F8)에 대해서 내성(step)이 결정되어야 한다.

Burst 테스트를 위한 테스트 절차는 7.2.2에 명시되어있는 것과 비슷하며, 그림 5의 테스트 흐름도에서 약간의 차이점이 있다.

- 한 채널에서의 테스트 주파수는 오직 해당 채널을 위한 중심주파수였다. (예를 들면 채널 A에서는 1699Hz);

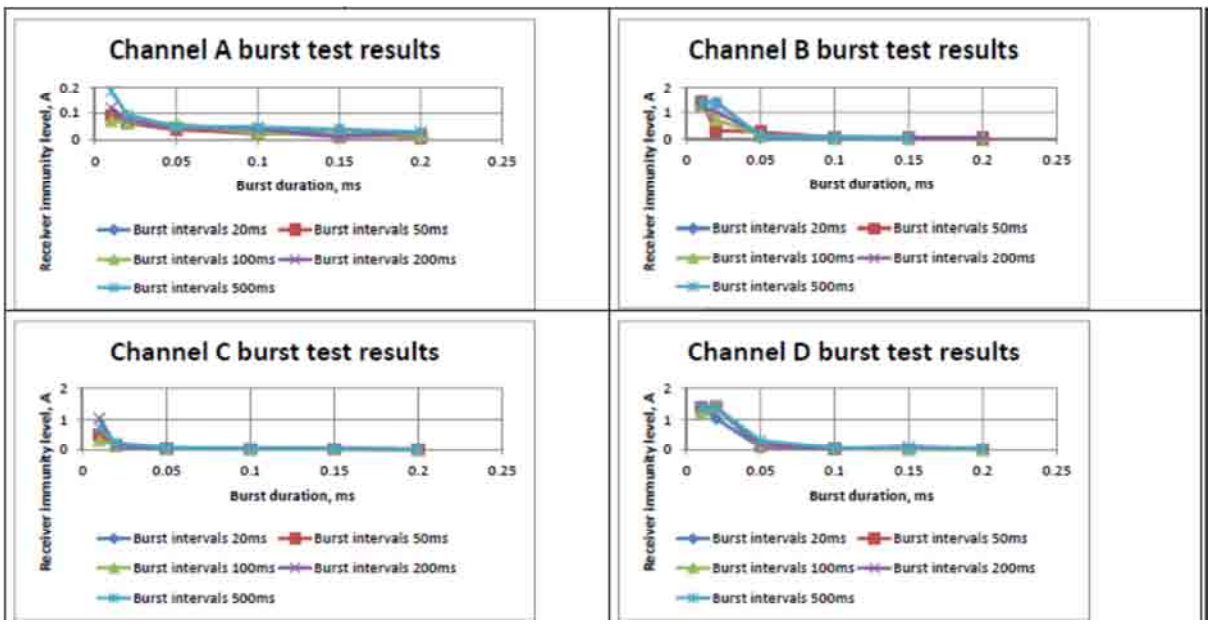
- 총 30개 테스트 조합 가운데, burst 길이와 burst 간격의 각 조합에서 한계치가 발견되었다. (예 : 10ms의 지속기간과 500ms 간격, 10ms 지속기간과 200ms 간격 등)
- 한가지 조합에서 한계치가 발견된 후에, 테스트는 다음단계 조합으로 진행되었다.
- 확실하게 최소 내성 레벨을 얻기 위해 각 채널에서의 테스트는 두 번씩 반복되었고, 두 번의 반복 중 최소값이 내성 레벨로 채택되었다.

이러한 burst 테스트의 진행절차는 각각의 중심 주파수에서 본선 주파수 A~H와 기지 주파수 F1~F8의 테스트 과정이 완전히 같다.

### 7.3.2 Burst 테스트 결과

본선 주파수 A~H에서의 테스트 결과는 표4에서 그래픽으로 보여진다.

**표 4: 본선 주파수 A-H의 버스트 시험 결과**



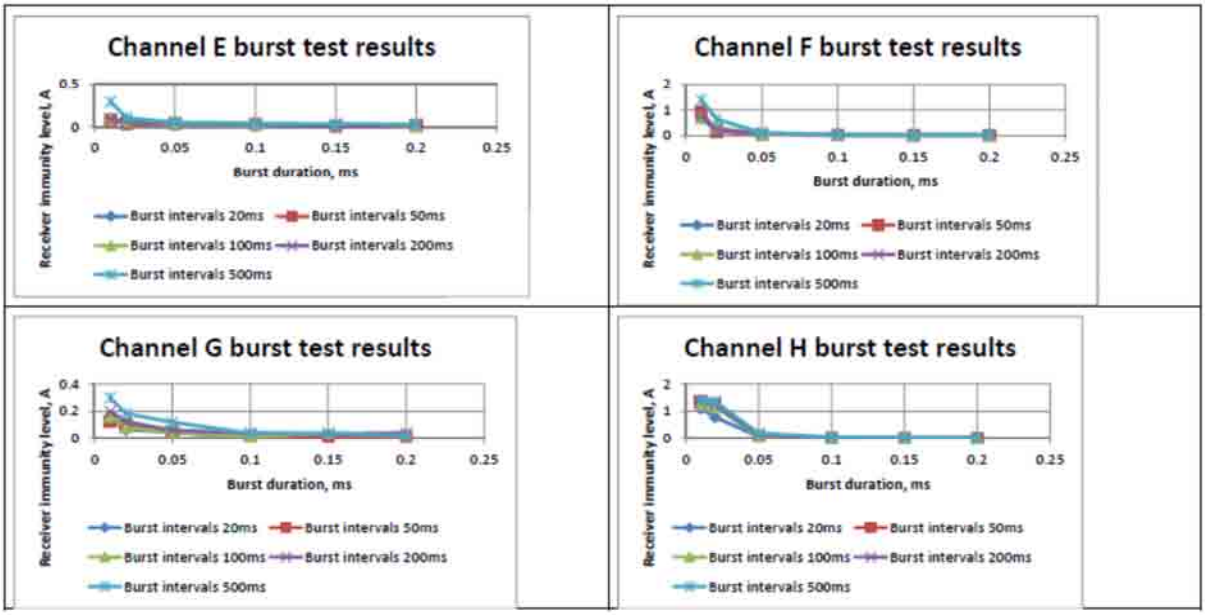



표4의 결과는 다음을 시사한다.

- Burst 지속기간이 짧을수록 수신기 내성은 더 높아진다.
- Burst 간격이 500ms보다 더 긴 테스트는 Burst 지속시간이 20ms 또는 10ms 인 테스트에서만 높은 내성을 입증했다; 지속시간이 더 길어질 경우 burst 간격에는 큰 변화가 없었다.

Burst 테스트 결과는 표5에 나타나있다.

**표 5: 본선 주파수 버스트 시험에서 버스트 간섭 면역 레벨**

| **버스트 간격** | **버스트 주기, 초** | **Ch A** | **Ch B** | **Ch C** | **Ch D** | **Ch E** | **Ch F** | **Ch G** | **Ch H** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 버스트 간격 20ms 미만 | <0.01 | 0.096 | 0.072 | 1.252 | 0.319 | 1.223 | 0.080 | 0.687 | 0.126 |
| | 0.01-0.02 | 0.056 | 0.063 | 0.319 | 0.107 | 1.014 | 0.041 | 0.175 | 0.067 |
| | 0.02-0.05 | 0.047 | 0.037 | 0.072 | 0.037 | 0.109 | 0.037 | 0.040 | 0.046 |
| | 0.05-0.1 | 0.041 | 0.021 | 0.040 | 0.011 | 0.04. | 0.012 | 0.032 | 0.013 |
| | 0.1-0.15 | 0.025 | 0.011 | 0.011 | 0.012 | 0.016 | 0.009 | 0.010 | 0.012 |
| | 0.15-0.2 | 0.021 | 0.012 | 0.010 | 0.009 | 0.011 | 0.011 | 0.015 | 0.011 |
| 싱글 버스트, 또는 버스트 간격 500ms 이상 | <0.01 | 0.153 | 0.185 | 1.400 | 0.744 | 1.400 | 0.297 | 1.400 | 0.299 |
| | 0.01-0.02 | 0.142 | 0.094 | 1.400 | 0.247 | 1.400 | 0.107 | 0.639 | 0.183 |
| | 0.02-0.05 | 0.052 | 0.048 | 0.107 | 0.074 | 0.320 | 0.056 | 0.120 | 0.120 |
| | 0.05-0.1 | 0.037 | 0.048 | 0.056 | 0.043 | 0.070 | 0.044 | 0.041 | 0.040 |
| | 0.1-0.15 | 0.052 | 0.039 | 0.040 | 0.036 | 0.059 | 0.038 | 0.016 | 0.040 |
| | 0.15-0.2 | 0.026 | 0.029 | 0.010 | 0.022 | 0.037 | 0.034 | 0.039 | 0.020 |

# 8 기지 주파수 수신기 테스트

여기서는 채널 F1~F8의 ET400 기지 주파수 테스트 절차와 결과를 다룬다.

## 8.1 테스트 조건 및 RSF 기준

초기 수신기 동작 조건:

- 수신기 기준점은 8mA(최소 Rx 감도레벨)로 설정한다.
- 수신기 궤도 비점유 전류는 14mA(통상적인 궤도회로 설정)로 설정된다. 이 신호는 채널 F1~F8 각각에서 모든 테스트를 통해 연속적으로 재생된다.
- Rx에서 궤도 계전기 출력은 비점유를 가리킨다(계전기 여자).

수신기 긍정적 고장의 기준(RSF) :

- 특정 주파수 및 진폭의 간섭신호를 적용한 후 10초 간격내의 간섭신호 때문에 계전기 낙하.(궤도 계전기는 궤도 점유를 나타냄)

## 8.2 정상상태 간섭 테스트(Steady state interference testing)

### 8.2.1 테스트 간격 및 오차범위

각 테스트 주파수에서의 테스트들은 10초의 간섭 신호 간격과 5%의 오차범위에서 수행될 것이다.(상세한 사항은 7.2.1 참조)

기지 주파수 검사에서 파형 발생기 진폭 범위 및 진폭 검색 오차는 표 6에 나열되어 있다.

**표 6: 기지 주파수 시험의 진폭 범위와 내성**

| | 진폭 범위 (근사치) | 내성 | 제시된 주파수 범위 | 시험 시간 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 낮은 범위 | Irx=5mA-42mA (0.5V-4V at AWG) | 0.3mA | ±100Hz of $f_{centre}$ in-band | 10초 | 최소 한계(5mA)는 각 채널의 중심 주파수에 의해 결정된다-Rx는 반드시 이 레벨에서 선택, 유지되어야 한다. |
| 중간 범위 | Irx=16mA-126mA (0.5V-4V at AWG) | 2mA | ±100Hz of $f_{centre}$ in-band | 10초 | 최대 한계(126mA)는 수신기 레지스터의 전력 등급 제한에 의해 결정된다 |

### 8.2.2 테스트 절차

기지 주파수 수신기 테스트를 위해 사용된 테스트 절차는 본선 주파수 테스트와 완전히 동일하며, 7.2.2에 자세히 나온다.

### 8.2.3 대역 내(In-band) 테스트 결과

대역 내 내성은 $f_{centre} \pm 100Hz$ 주파수 범위에서 테스트 되었다. 새로운 전송 속도와 함께 개선된 코딩신호의 테스트에서만 가능한 제한된 시간 때문에, $f_{centre}$ 는 단지 채널 F4와 F5의 중심주파수로만 적용한다. 채널 F4와 F5에 대한 테스트 결과는 두 채널 모두 같은 주파수 반응 모양을 보여주지만 설계에서 의도한 주파수로 이동돼 있는 것을 보여준다. 그러므로 테스트되지 않은 채널 F1-F3과 F6-F8에서의 반응 곡선은 채널 F5와 같다고 추정한다. 테스트 결과는 그림 9와 부록 2에 표시되어 있다.

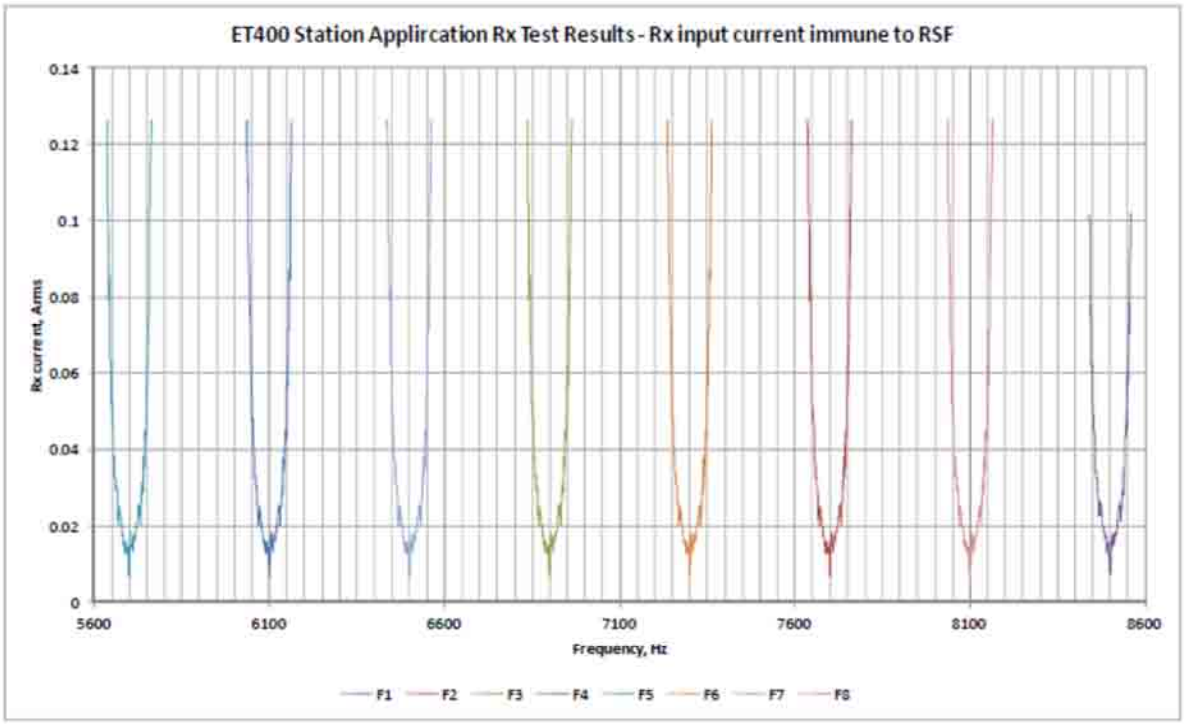



**그림 9: 기지 주파수의 Rx RSF 안정 상태 면역 시험 결과**

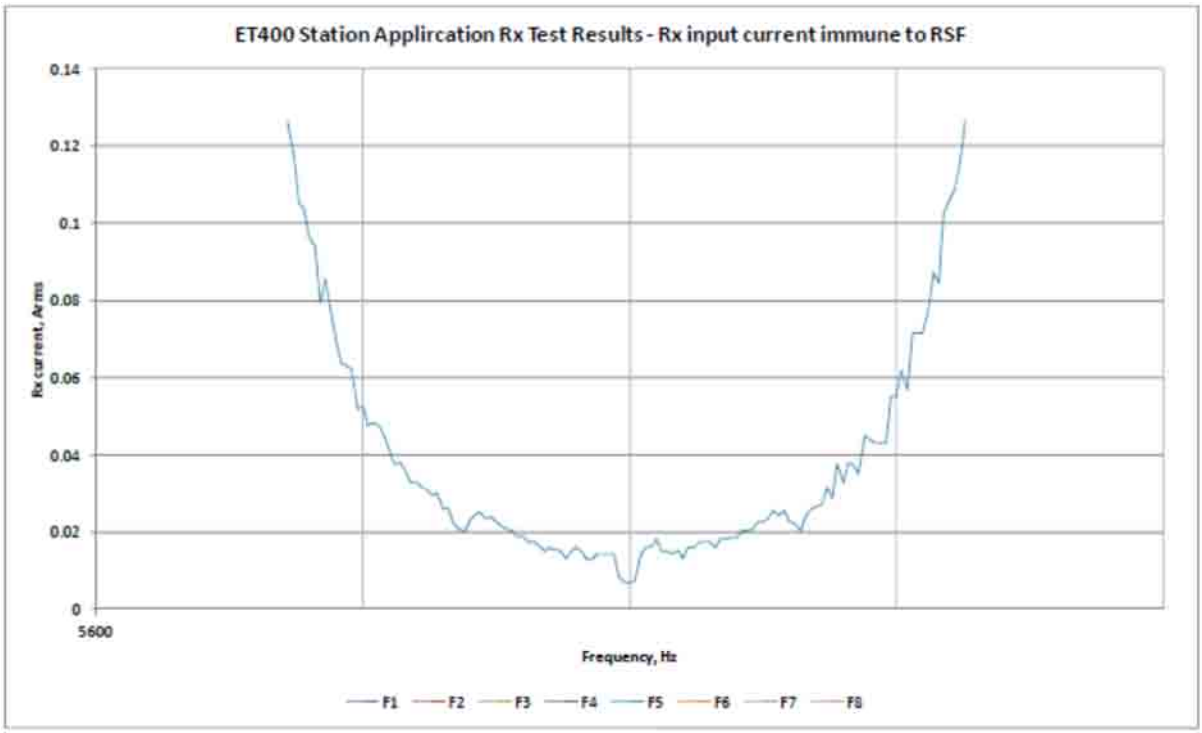



**그림 10: 기지 주파수의 Rx RSF 언정 상태 면역 시험 결과-채널 F5만 확대**

### 8.2.4 50Hz 고조파 테스트 결과

대역 내 범위를 벗어나는 50Hz부터 50kHz까지 모든 50Hz 고조파에 간섭하는 수신기 내성을 테스트하기 위한 요구사항이 있다.

테스트는 파형 발생기를 가지고 50Hz~50kHz까지 전체 범위에서 수행되었다. 이 파형 발생기는 낮은 주파수 범위(1kHz)에서 0.105A의 수신기 간섭 전류에 상응하는 출력전압을 갖는다.

높은 주파수에서 아날로그 믹서/증폭기의 손실이 증가되기 때문에, 높은 주파수에서는 간섭 전류는 0.074A 50kHz로 서서히 감소하며 약해졌다는 것에 주의해야 한다. 이러한 감쇠는 이 레벨이 여전히 기지 주변 채널들의 중심주파수의 레벨보다 상당히 높기 때문에 허용할 수 있는 것으로 고려된다.

테스트 절차는 8.2.2에 명시되어있다.

테스트 결과는 그림 11과 표7에 나와있다.

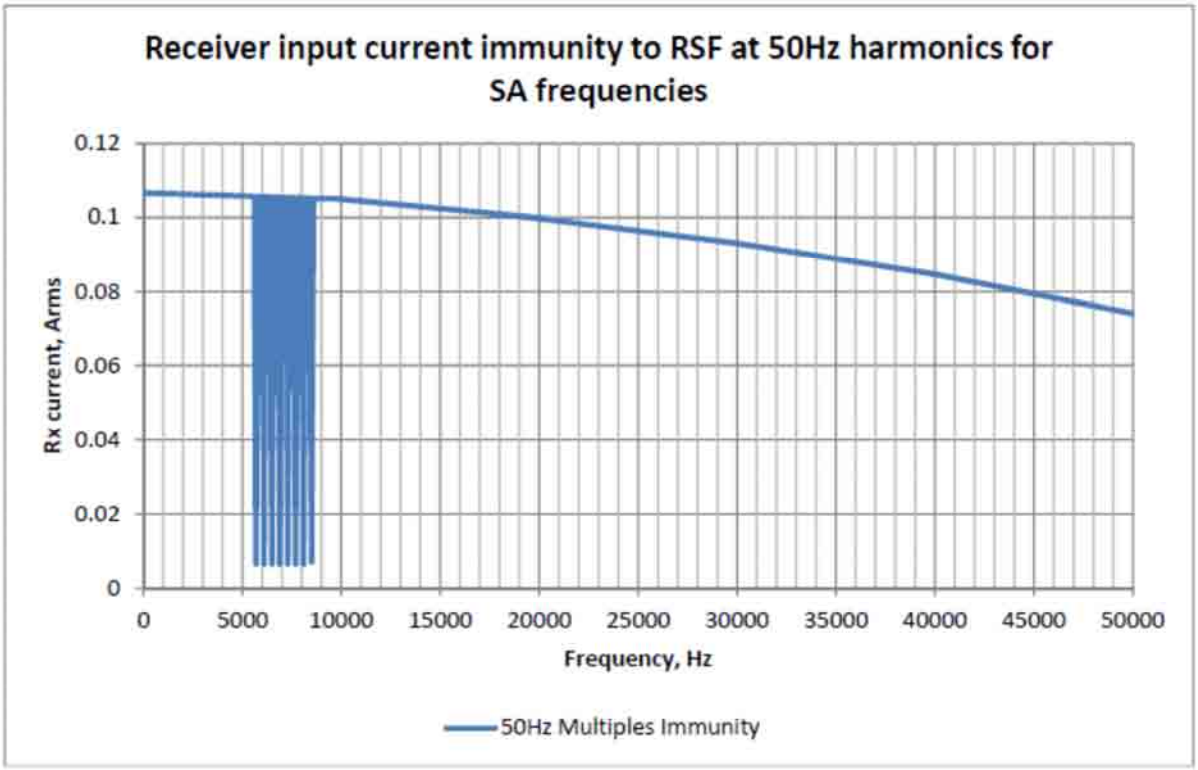



**그림 11: 50Hz 고조파 안정 상태 수신기 면역 시험 결과**

**표 7: 50Hz 고조파 안정 상태 수신기 면역 시험 결과**

| 주파수, Hz | 최소 Rx 면역 레벨, Arms | 채널의 최소 Rx 면역 레벨 |
|---|---|---|
| 50-5650 | 0.105 | 모든 채널 |
| 5650 | 0.052 | 채널 F5 |
| 5700 | 0.007 | |
| 5750 | 0.055 | |
| 5800-6000 | 0.105 | 모든 채널 |
| 6050 | 0.052 | 채널 F1 |
| 6100 | 0.007 | |
| 6150 | 0.055 | |
| 6200-6400 | 0.105 | 모든 채널 |
| 6450 | 0.052 | 채널 F7 |
| 6500 | 0.007 | |
| 6550 | 0.055 | |
| 6600-6800 | 0.105 | 모든 채널 |
| 6850 | 0.052 | 채널 F3 |
| 6900 | 0.007 | |
| 6950 | 0.055 | |
| 7000-7200 | 0.105 | 모든 채널 |

| | | |
|---|---|---|
| 7250 | 0.052 | 채널 F6 |
| 7300 | 0.007 | |
| 7350 | 0.055 | |
| 7400-7600 | 0.105 | 모든 채널 |
| 7650 | 0.052 | 채널 F2 |
| 7700 | 0.007 | |
| 7750 | 0.055 | |
| 7800-8000 | 0.105 | 모든 채널 |
| 8050 | 0.052 | 채널 F8 |
| 8100 | 0.007 | |
| 8150 | 0.055 | |
| 8200-8400 | 0.105 | 모든 채널 |
| 8450 | 0.055 | 채널 F4 |
| 8500 | 0.007 | |
| 8550 | 0.053 | |
| 8600-50000 | 8600Hz에서 0.105A는 점차 감소하여 50kHz에서 0.074A | 모든 채널 |

## 8.3 Burst 간섭 테스트

기지 지역 주파수의 Burst 테스트를 하기 위한 절차는 7.3.1에 설명되어 있다.

기지 지역 주파수 채널 F1-F8에서의 테스트 결과는 표8에 나와있다.

Burst 테스트 결과는, 모든 채널에서 burst 내성 레벨(158mA)이 정상상태 내성 레벨(7mA)보다 현저히 높게 나왔기 때문에, burst 간섭에 내성이 잘 되었다는 것을 보여준다.

**표 8: 시험에서 버스트 간섭 면역 레벨**

| 채널과 주파수 대역 | 중심 주파수, Hz | 최소 면역 레벨, A, 모든 버스트 시리즈(버스트 주기와 간격의 모든 조합) |
|---|---|---|
| 채널 F5 | 5700 | 0.158 |
| 채널 F1 | 6100 | 0.158 |
| 채널 F7 | 6500 | 0.158 |
| 채널 F3 | 6900 | 0.158 |
| 채널 F6 | 7300 | 0.158 |
| 채널 F2 | 7700 | 0.158 |
| 채널 F8 | 8100 | 0.158 |
| 채널 F4 | 8500 | 0.158 |

# 9 결론

ET400 궤도회로 수신기는 간섭 신호의 다음과 같은 타입에서 RSF 내성에 대하여 [2]에 있는 테스트 사양에 따라 종합적으로 테스트 되었다:

- 대역 내 정상상태 간섭 본선 주파수;
  (Mainline Frequency in-band steady state interference)
- 대역 외 50Hz 고조파 정상상태 간섭 본선 주파수;
  (Mainline Frequency out of band 50Hz harmonics steady state interference)
- Burst 간섭 본선 주파수;
  (Mainline Frequency burst interference)
- 대역 내 정상상태 간섭 기지 주파수;
  (Station Frequency in-band steady state interference)
- 대역 외 50Hz 고조파 정상상태 간섭 기지 주파수;
  (Station Frequency out of band 50Hz harmonics steady state interference)
- Burst 간섭 기지 주파수;
  (Station Frequency burst interference)

이 문서 내에 보고된 테스트 결과는 [6]에 있는 간섭 한계치 계산에서 자료가 된다.

## 1. TI21 용 디지털 교체 모듈

최신 TI21 모듈은 아날로그 기술에 기반을 두고 있으며 이 모듈은 이제 가장 최근의 디지털 기술을 사용하는 모듈로 직접 교체할 수 있습니다.
이 모듈은 래킹(racking)이나 와이어링(wiring) 배열을 변경하지 않고도 기존의 TI21 상당 장치를 개별적으로 교체할 수 있습니다. 새 교체 송신기 및 수신기 모듈을 장착할 때 기존의 TI21 튜닝 장치 배열을 변경할 필요가 없습니다.

### 1 (a). 디지털 송신기 TI21 형.

TI21 송신기는 표면에 장착된 디지털 부품으로 업그레이드된 것 이외에 외관상 변화는 없으며 전기적 특성과 단자 배열은 지금까지와 동일합니다.

### 1. (c). 디지털 송신기 EBI Track 200 형.

TI21 송신기 교체품 역시 표면에 장착된 디지털 부품으로 업그레이드되었으나 케이스 크기는 줄어들었고 “EBI Track 200 수신기”로 통합니다. 교체품 EBI Track 200 수신기도 종전 TI21 수신기와 마찬가지의 랙 설비를 사용할 수 있는 어댑터 판이 제공됩니다.
이러한 유형의 설계에 사용되는 디지털 기술의 활용폭을 더욱 넓혀 여분의 유용 기술을 통합시켰습니다.
일반 수신기 장치가 사용되며 착탈식 키를 사용하여 작동 채널 주파수(8 개 중 1 개)를 선택합니다.

조정 버튼과 함께 사용되는 내장형 상태 모니터링 디스플레이가 제공되어 주요 수신기 특성을 모니터링하고 자동으로 게인(gain)을 조정할 수 있습니다.

가장 최근의 궤도점유 표시와 더불어 주요 궤도 회로 특성의 로그가 착탈식 키에 기록됩니다. 이 키를 이용하여 나중에 컴퓨터를 통해 로그를 읽어낼 수 있습니다.

또한 연속 원격 모니터링이 촉진되도록 RS485 및 RS232 인터페이스가 있는 출력 소켓이 제공됩니다.

### 1 (d). EBI Track 200/TI21 메이팅 커넥터.

EBI Track 200 수신기는 플러그가 연결되어 있어서 적절한 메이팅 커넥터를 통하여 기존 와이어링에 조립할 수 있습니다. TI21 수신기에 연결할 수 있는 모든 일반적인 방법에 적절한 대체 유형도 있습니다.

## 2. 디지털/Coded 궤도 회로 EBI Track 400 형.

이 제품은 2008 년 3 월 11 일 버밍햄 Infrarail 전시회 때 출시된 새 디지털/비트 코드화 궤도 회로입니다.
송신기와 수신기는 표면에 장착된 디지털 부품을 구현하고 있습니다. 이 특징을 활용하여 안정성 높은 다중비트 코딩 기술을 제공합니다. 이 기술 덕분에 종전 궤도 회로 설계에 비하여 안전성이 훨씬 높습니다.

송신기 및 수신기 모듈은 TI21 에 비하여 적은 랙 공간을 차지합니다. TI21 모듈을 직접 교체해야 할 곳에는 적절한 어댑터 판이 제공됩니다.

송신기는 두 개의 하위 모듈에 있습니다. 하나는 캐리어/코딩 발생 부분으로서 송신기라고 하고 다른 하나는 출력을 확장하고 로드에 일치시키는 출력부분으로서 송신기 출력 모듈이라고 합니다.
EBI Track 400 궤도 회로는 TI21 궤도 회로와 동일한 튜닝 장치를 활용하고 있으며 모든 트랙사이드 케이블링 또한 동일합니다.

## 2 (a). EBI Track 400 송신기.

EBI Track 400 송신기는 표면에 장착된 디지털 설계를 전체적으로 사용하며 다음과 같은 기능을 구현합니다.

a) 착탈식 코딩 키를 사용한 캐리어 주파수 및 정밀한 작동 코드 선택 수단
b) 내장 푸시 버튼과 영문자 디스플레이의 도움을 통한 상태 모니터링
c) 연속 원격 모니터링이 가능하도록 RS485 및 RS232 인터페이스가 있는 전면 패널에 장착된 별도의 소켓

해밍거리가 있는 텔레그램 형식으로 각각 송신되는 7000 개 이상의 코드 중에서 어느 한 개라도 선택할 수 있습니다. 이로서 위험 상태(Wrong-side- failure) 확률 $4.8 \times 10^{-190}$ 를 보장합니다.

## 2 (b). 송신기 출력장치 EBI Track 400.

이 장치는 송신기 출력을 확장하여 로드에 일치시키며 주파수에 특정적입니다(즉, 채널 A 부터 H 까지 각각에 대하여 8 가지 버전이 있습니다.)

.
교체 출력 단자가 80 와트 이상의 출력 수준을 제공합니다. 이 수치는 TI21 송신기 출력 수준의 두 배가 넘습니다. 따라서 트랙사이드와 송신기 간에 7km 이상 원격 작동 기능이 보장됩니다.

**2 (c). 수신기 EBI Track 400 형.**

전체적으로 사용된 디지털 기법을 활용하여 많은 유용한 기술을 통합시킵니다.

일반 수신기 장치가 사용되며 착탈식 키를 사용하여 작동 채널 주파수(8 개 중 1 개)를 선택합니다.

조정 버튼과 함께 사용되는 내장형 상태 모니터링 디스플레이가 제공되어 주요 수신기 특성을 모니터링하고 자동으로 게인(gain)을 조정할 수 있습니다.

가장 최근의 궤도점유 표시와 더불어 주요 궤도 회로 특성의 로그가 착탈식 키에 기록됩니다. 이 키를 이용하여 나중에 컴퓨터를 통해 로그를 읽어낼 수 있습니다.

또한 연속 원격 모니터링이 촉진되도록 RS485 및 RS232 인터페이스가 있는 출력 소켓이 제공됩니다. 이를 통해 주요 궤도 회로 상태의 동향을 기록할 수 있는 수단이 제공됨에 따라 진행 중인 품질 저하에 관한 고급 정보가 제공됩니다(예: 짐을 싣지 않은 상태).

코딩 시스템은 고급 위성 상관(correlation) 기술을 사용하여, 시끄러운 궤도 회로 환경에서 우수한 코드 인식 성능을 제공합니다. 인밴드 트랙션(in-band traction) 또는 기타 궤도 회로 신호 수준까지의 간섭은 성가신 고장이 발생되지 않고 용납될 수 있으므로 종전 유형의 오디오 주파수 궤도 회로에 비하여 성능이 크게 향상됩니다.

**2 (d). 다양한 EBI Track 400/TI21 메이팅 커넥터**

EBI Track 400 모듈은 플러그가 연결되어 있어서 적절한 메이팅 커넥터를 통하여 기존 TI21 와이어링에 조립할 수 있습니다. 일반적인 모든 TI21 랙 와이어링에 맞는 대체 유형도 있습니다.

## 3. 혁신전공사와 한국철도공사에게 특히 매력적인 특징 요약

### 3.1. 디지털화.

아날로그 기술에 비해 디지털 기술은 복잡한 안전 기능에 훨씬 더 적합합니다. 그 주된 이유는 안전성은 수학적으로 더 쉽게 입증할 수 있기 때문입니다. 또한 보조 기능을 더욱 손쉽게 추가할 수 있습니다. 종전 아날로그 TI21 설계에서는 찾아볼 수 없는 이러한 특징은 앞서 설명하였습니다.

모든 새로운 설계는 더욱 높은 안전성 요건에 맞게 승인이 되어야 합니다. 따라서 아날로그 대신 디지털 기술을 구현하는 것이 매우 바람직합니다.

**3.2. 부품 노후화.**
아날로그 설계는 특히 부품 노후화 문제에 직면할 가능성이 높습니다.
반면 디지털은 그러한 문제에 대한 내성이 훨씬 높게 설계할 수 있으며 이 목적을 달성하기 위하여 새 설계에 주의를 기울여 왔습니다.

**3.3. 개선된 모니터링 설비.**
EBI Track 200 및 400 모듈에는 대폭 개선된 모니터링 설비가 포함되어 있습니다. 따라서 설치, 작동, 유지보수 절차가 훨씬 용이합니다. 연속적인 궤도 회로 상태 모니터링과 데이터 로깅을 위한 출력 포트가 제공됩니다. 따라서 궤도 회로 고장이 발생하기 전에 문제 진단이 가능합니다.

**3.4. 코딩**
EBI Track 400 은 뛰어난 Coded 캐리어 신호를 사용하여 캐리어 주파수 당 7000 개가 넘는 궤도 회로 각각을 독보적이면서도 안전하게 식별할 수 있는 수단을 제공합니다. 따라서 수신기는 수신기 고유의 송신기로부터 이외에는 작동하지 않습니다. 즉, 이러한 기술이 의미하는 것은 EBI Track 400 이 특히 가장 복잡한 다중궤도 교차점과 대형 역 지역에서 사용할 때 매력적이라는 점입니다.

코딩의 품질은 지금보다 훨씬 높은 수준의 트랙션 간섭이 인밴드에서조차 용납될 수 있습니다.

**3.5. TI21 와의 상호교환성**
모든 새 모듈은 랙 와이어링을 변경하지 않고도 TI21 모듈과 직접 상호 교환할 수 있도록 설계되었습니다. 모든 TI21 트랙사이드 케이블링은 변경되지 않았으며 TI21 튜닝 장치 역시 변경 사항이 없습니다.

**3.6. 원격 작동 거리 증대.**
EBI Track 400 의 경우, 송신기 동력 증대 덕분에 원격 작동 거리가 7km 이상 가능합니다.

# EBI 궤도회로 감도 설계에 대한 그래프 레포트

## 목적

이것은 교류 전기 철도 궤도 레일 인덕턴스 불균형의 다양한 크기를 위해 EBI 트랙 200 (구 TI21)의 궤도 회로의 방해를 전도하는 정지마찰에 대한 감도을 이해하는 것이 필요하다. EBI200 주파수 대역 A, B, C 그리고 D는 복선 궤도 설치소에서 분석 된다. 정지 마찰 방출 특성 때문에 특히 대역 C에 강조 된다.

## 배경

EBI200 궤도회로는 주파수 대역 A,B,C,D의 복선 궤도 구성을 사용하는 비전기선에 설치 됐다. 그 선은 60Hz로 전기화 된 AC에 있고, 단권 변압기와 새 KTX 기차는 대역C의 RSF를 야기한다. 대역 C 중심 반송 주파수는 1996Hz이고, 각각 1979Hz와 2013Hz에 작동하는 낮고 높은 측파대를 가진다. 3과 5 A 사이와 1980Hz에서 열차로부터 오는 제33 고조파가 존재한다. 상하 트랙은 교류 철도의 E200의 설치 방법을 권장하는 매장지 도체에 연결된 임피던스 본드로 접착된 면적이다. 이 배열은 진폭이 감소하면서도 한 궤도에 열차가 인접 트랙 레일에서 운행 배출을 생성할 수 있다는 것을 의미한다.

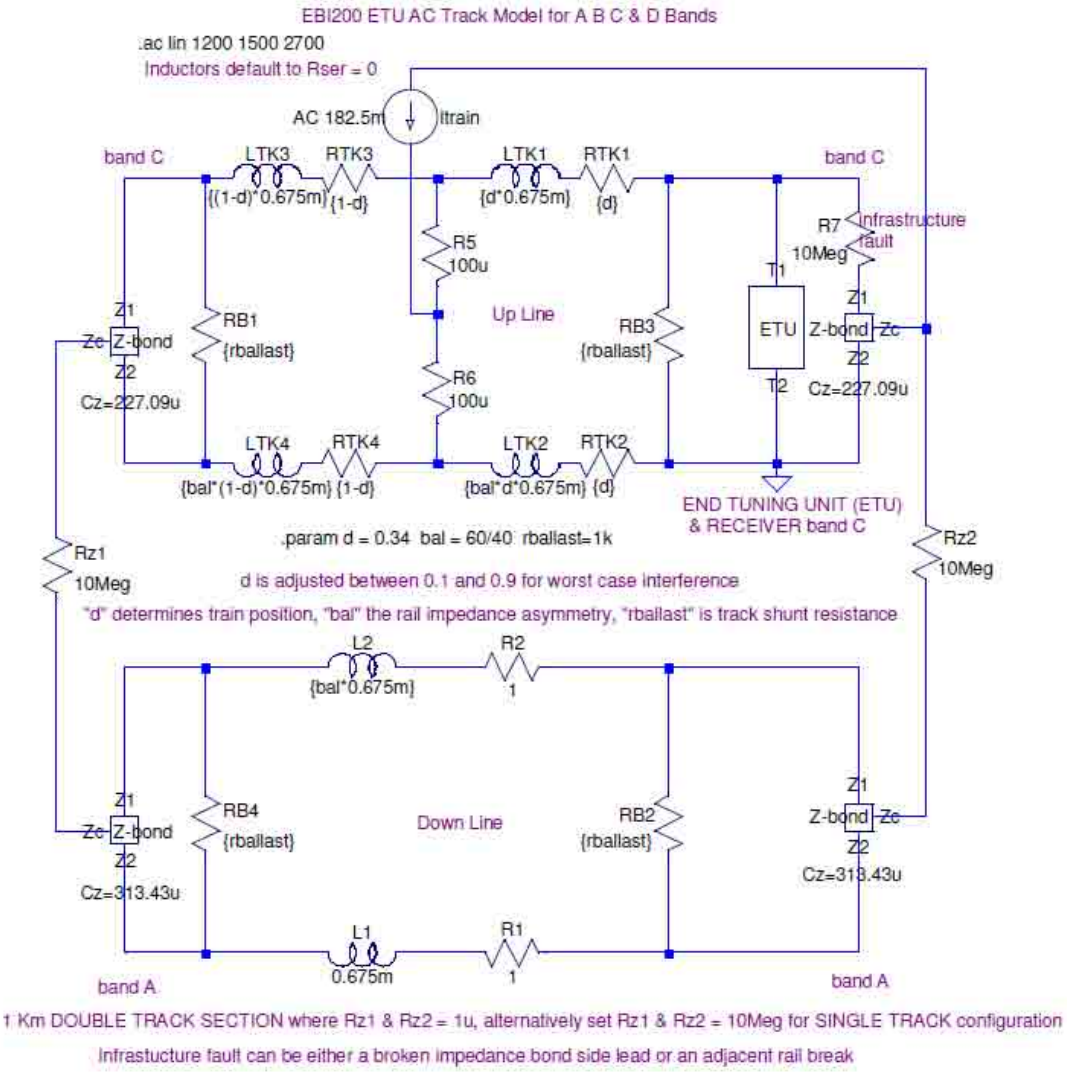
공급 및 반환 전도체의 접근에 따라 궤도는 몇 가지 레일 임피던스 불균형을 나타내게 된다. 이 연구는 완전히 균형 잡힌 100 %의 불균형(한 레일에서 모든 정지 마찰 귀환 전류)에서 복선 교류 전기 철도 용 불균형과 EBI200 감도의 변화를 결정한다(두 레일 사이에서 정지마찰 귀환전류는 동등하게 공유된다). 교류 철도에서 표준의 유도하는 불균형은 일반적으로 60/40이 되는 것이고, 한 레일에서 정지 마찰 전류의 40%의 결과를 가지고, 다른 것은 60% 이다.하지만, 45/55%의 레일 전류 불균형에 허가하는 열차 전류는 분명히 요구 된다.

영국 Network Rail(NR) 문서 NR/GN/SIG/50008(2003년 2월 1일 발행)는 100% 불균형에 열차 방해 전류를 유도했고, 시뮬레이션 방법과 EBI200 감도를 분석하기 위한 매개 변수를 제공한다. NR/GN/SIG/50008은 두 설치 배열에 두 가능성을 고려한다; TTU를 갖춘 20M 조정 구역으로부터 고립된 인접 EBI200 궤도회로의 한 종류, 그리고 ETU가 다른 유형의 인접 궤도회로를 접속하는데 사용 되는 장소로 사용된다. NR/GN/SIG/50008은 ETU 배열이 TTU 보다 더 감도가 좋다는 것을 입증한다.100% 불균형 상태를 다루는 것을 제하고, NR 문서는 보편적으로 허용하는 기차 전류에 도달하는 AC 및 DC 전기화와 단선 및 복선 궤도의 사용을 조합 한 것이다. 그러므로, 일부 시나리오에서는 NR 한계가 제한됐다고 조언했다. 연구(NR 방

법을 사용한)에 따르면, 금지항목을 확인하고, 어떠한 불균형 상태에 허가된 열차 전류를 평가해야 한다.

### 시뮬레이션 분석

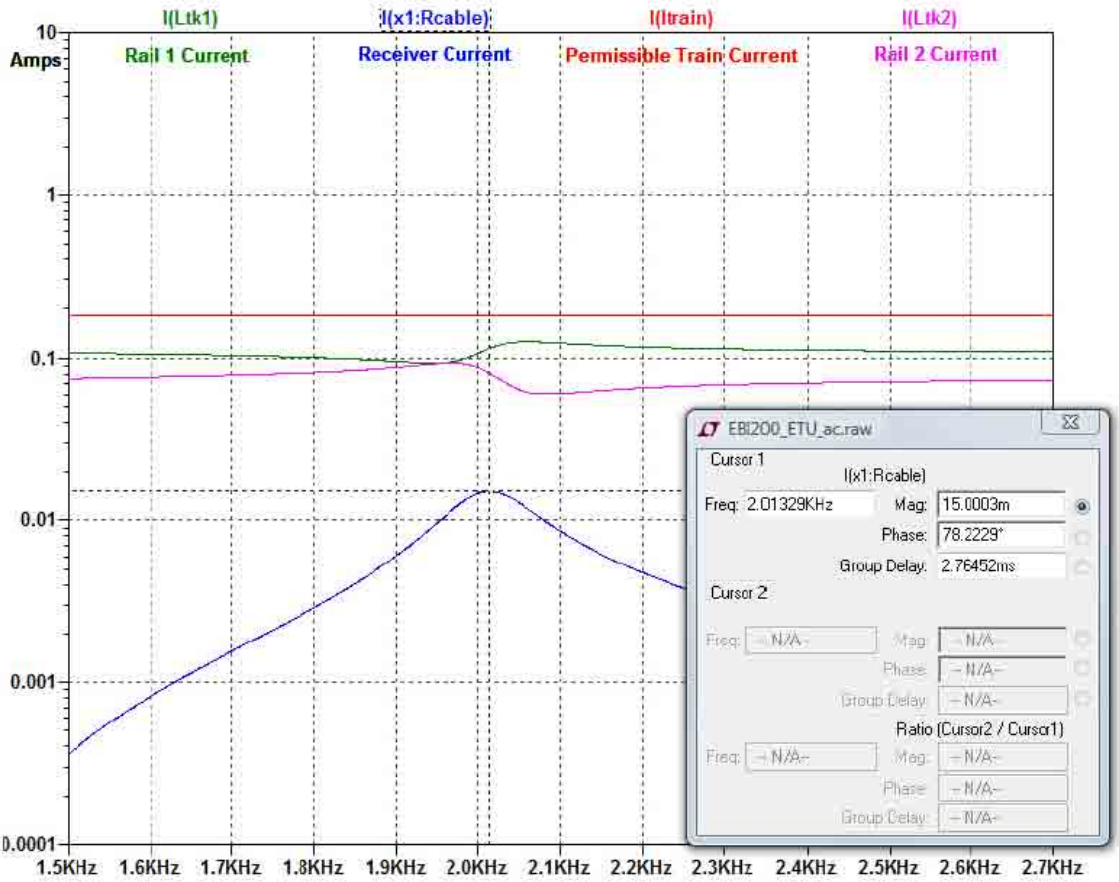
독립 모델의 타당성을 구축하기 위해서, NR/GN/SIG/50008에 확인된 EBI200에 최악의 경우를 확인하는 것이 우선 순위이다. 이는 ETU와 임피던스 본드 사이에 부서진 레일 혹은 측면부 결함을 갖는 인접 임피던스 본드와 ETU에 가까운 열차가 있을 때, 단선 궤도에 존재한다. 이 시나리오는 아래 다이아그램에 묘사돼 있다.




이 1km 복선 궤도 모델은 인위적으로 높은 수치의 크로스본드 케이블 저항 설정으로서 단선 모드에 사용된다. 열차 원천은 최악의 경우에 위치한다.(이 경우

d=0.34) 그리고 레일 임피던스는 교류 액면수치로, 불균형한 60/40이다. 기반 결함은 임피던스 본드 측선에 고저항으로서 설계됐다. 최소 허용 기차 전류를 발생시키는 C 대역은 이 예를 위해 사용된다.

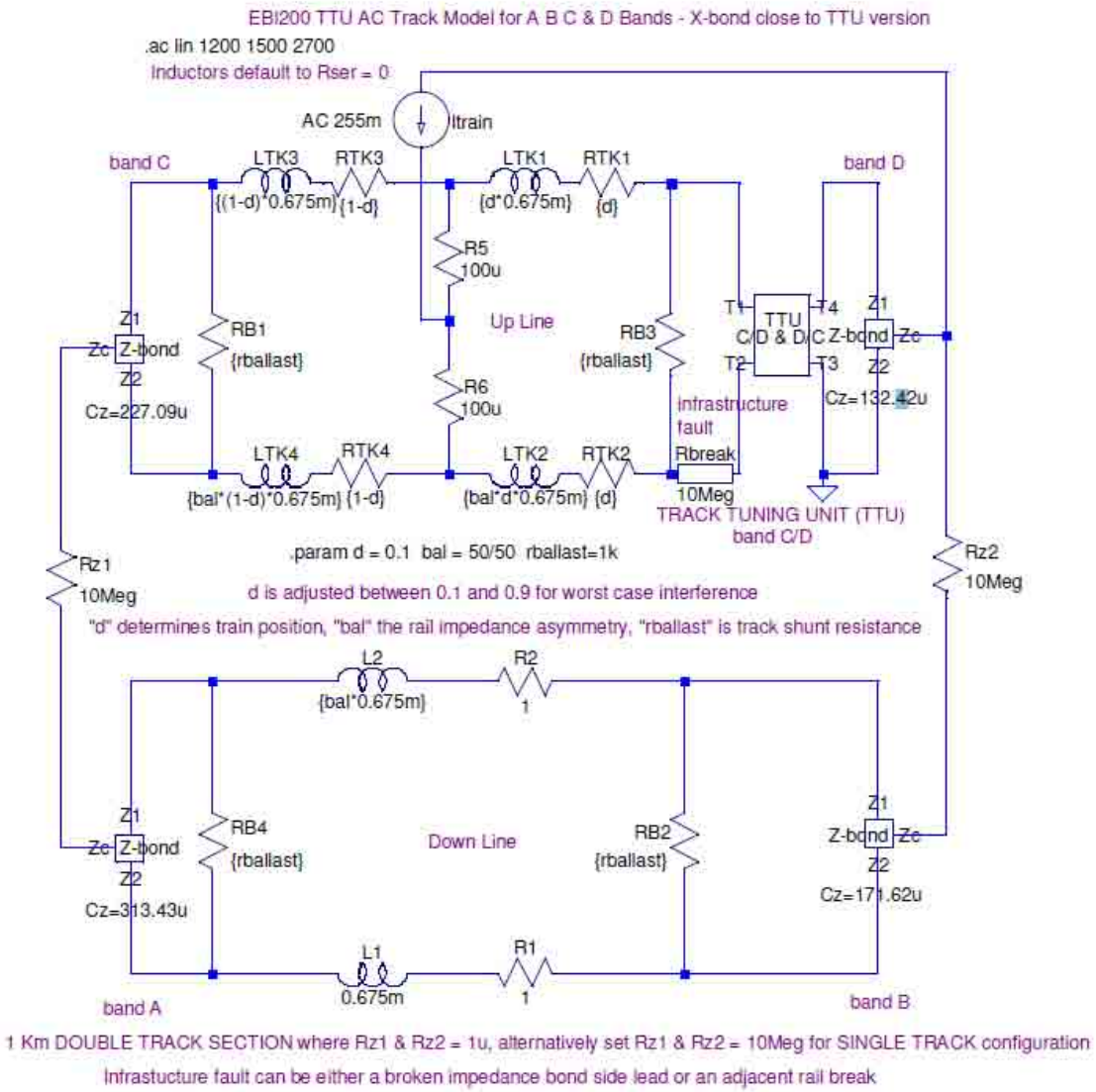
ETU에서 수신기의 최대 감도는 15mA이다; 그러므로 정확히 15mA는 지정된 주파수에 도달될 때 까지 열차 전류 원천(위쪽 중심부)은 조정된다. 주파수 분석은 해당되는 전체 주파수 범위를 포함하는, 1500Hz에서 2700Hz까지 1Hz 단위로 검사한다. 이 대역C의 위쪽 측면 대역의 해당하는 도표 결과는 다음 그래프에 나타난다.




파란색 선은 2013kHz의 위쪽 측면부 주파수에 15mA와 C 대역에 수신기의 주파수 선택 특성을 보여준다. 초록 그리고 핑크색 곡선은 EBI200 주파수 대역 주변에 60/40 불균형이 드러나지 않는 두 레일 전류이다. 그러나 다른 주파수는 나타난다. 빨간 선은 확인된 주파수 범위를 지나는 182.5mA의 상수를 갖는 허가 열차 전류이다.

2013Hz에 182.5의 수치는 위쪽 주파수인 ETU 대역 C, 표3, NR/GN/SIG/50008에 명시된 182.8mA의 수치에 동의한다. 그것은 많은 준수 평가에 사용되는 일반 91 mA의 허용 전류 제한을 제공하는 안전 계수 2를 적용한 후의 값이다.

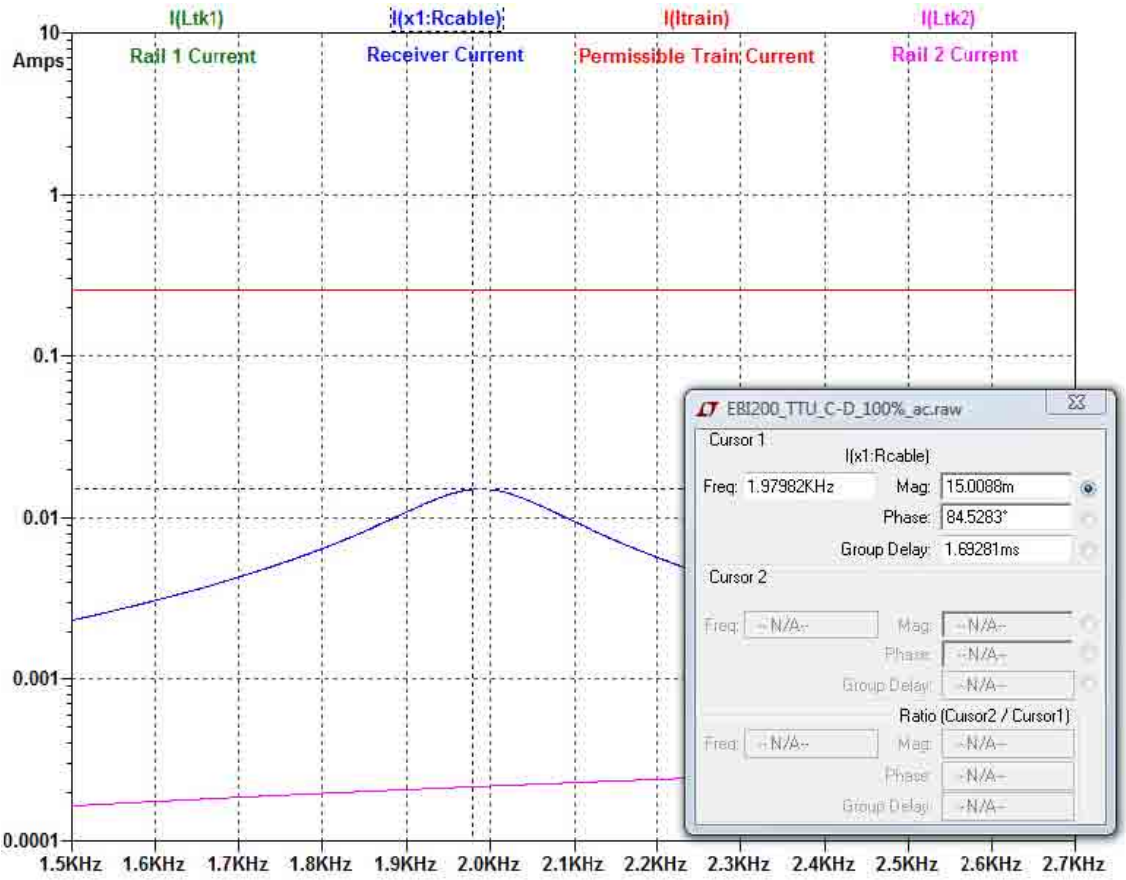
하지만, 모델의 최악의 경우의 타당성을 증명한 것은, 이 실험은 교류 철도의 TTU 지원과 이 구성으로부터 초래한 허가 열차 전류에 초점을 맞춘다. 이 배열은 다음 다이아그램에 나타난다.




이 모델은 여전히 단일 궤도 모드에 실행되지만, C/D 동조 구역 TTU 모델은 타당성 실험의 ETU 모델을 재배치 한다. 이 특성에서 중요한 기반 결함 모드는 열차와 TTU 사이와, TTU에 인접한 레일 파손되는 NR/GN/SIG/50008에 의해 권고 된다.

이 결함 모드는 저항기 Rbreak의 모델에 실행되고. 최고 수치를 설정하고, 또한 100% 불균형에 부합한다. 특히 레일 임피던스 불균형의 수치 시나리오와 열차 지역은 동조 구역의 T1 터미널과 관계 없다. TTU에 근접한 임피던스 본드는 결과에 영향을 가지고 있고, 인접한 D영역 궤도 회로에 단순히 동조 영역을 넘어 위치한 D영역에 동조된다.

이 설계된 TTU 시나리오로부터의 결과는 다음 다이아그램에 제시된다.




또한 레일 2(핑크색 선)의 전류는 매우 작고 한정된 밸라스트 저항에 기한 것임을 명심해야 한다. 레일 1 전류는 그래프에서 레일1 전류에 초록 선을 지운 열차 전류의 빨간 선과 거의 동일하다. 100% 불균형은, 255mA로서 시뮬레이트된 허가 열차 전류이다. 직류 철도가 TTU 결과를 좌우하기 때문에, 이 수치는 NR/GN/SIG/50008에 이용 가능하지 않다. 교류와 직류 철도 결과 사이에 차이점은 TTU 모델에 분명히 드러난다. 왜냐하면 직류와 교류 전기화에 차이를 갖는 임피던스 본드 특성은, EBI200 감도에 영향을 미친다. 이전에 ETU 타당성 결과는 임피던스 본드 측면에 차이를 방지하는 개회로를 가진다.

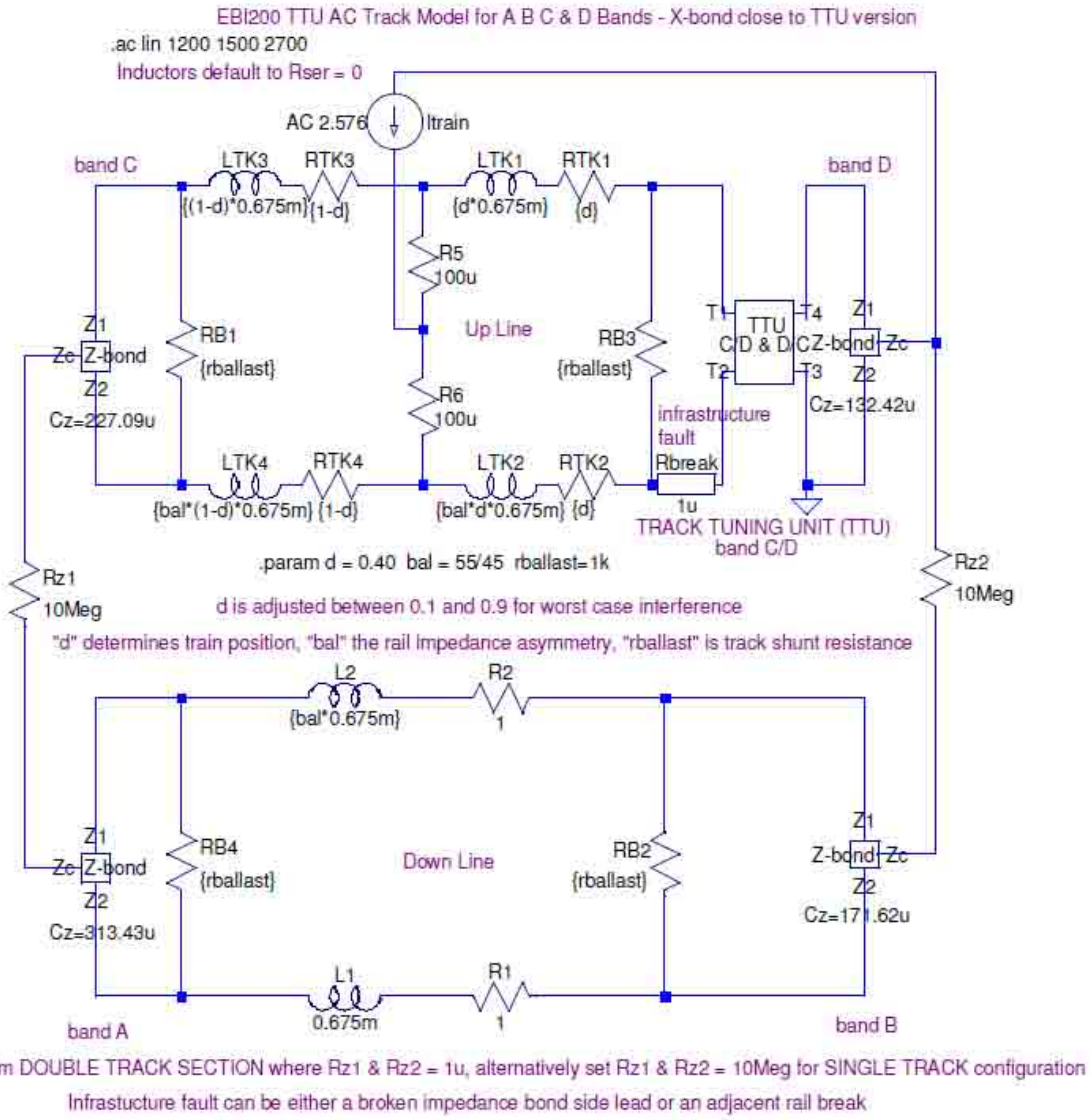
동일한 단일 트랙 100 % 불균형 시뮬레이션은 다음 최악의 결과와 측 대역의 대역

A, B 및 D에 대해 반복된다.

| Band A (lower 1682Hz) | Band B (lower 2279Hz) | Band C (lower 1979Hz) | Band D (lower 2576Hz) |
|---|---|---|---|
| 286mA | 224mA | 255mA | 201.4mA |

가장 높은 주파수 대역인 D는 가장 민감한 대역임을 알아야 한다. 또한 결과의 신뢰성을 추가하는 놀랍지 않은 방식에 주파수와 감도 증가는 관찰된다.

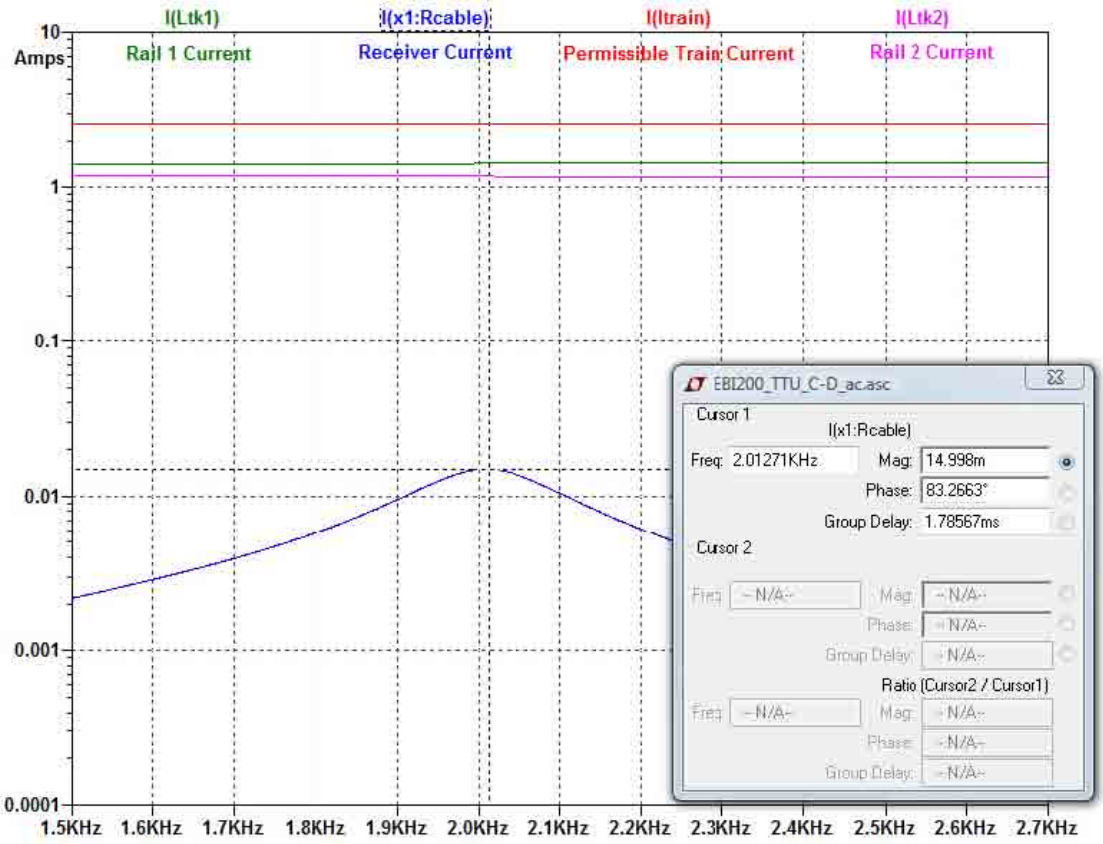
다음 과정은 55/45에 주안점을 둔 100%부터 고려 중인 다른 중요한 수치까지 불균형을 감소한다. 예시로 대역C를 사용하고, 모델은 다음 도식에 따라 개정된다.




이 레일 브레이크 저항은 55/45으로 설정된 불균형과 미미한 1uΩ를 갖추고 있다.

하지만, d는 더 이상 둔감하지 않으며, 최대 감도에서 최악의 경우는 0.1과 0.9의 권고된 극치들 사이에 존재한다. 이 경우 d=0.40 이다. 연구는 최악의 경우의 수치를 찾기 위해 매개변수 d에 수행됐고, 그런 다음 열차 전류 원천은 15mA의 수신기 전류를 주기위해 조정된다.

단일 궤도의 결과, 55/45 불균형, 대역 C 모델은 다음 그래프에 나타난다.



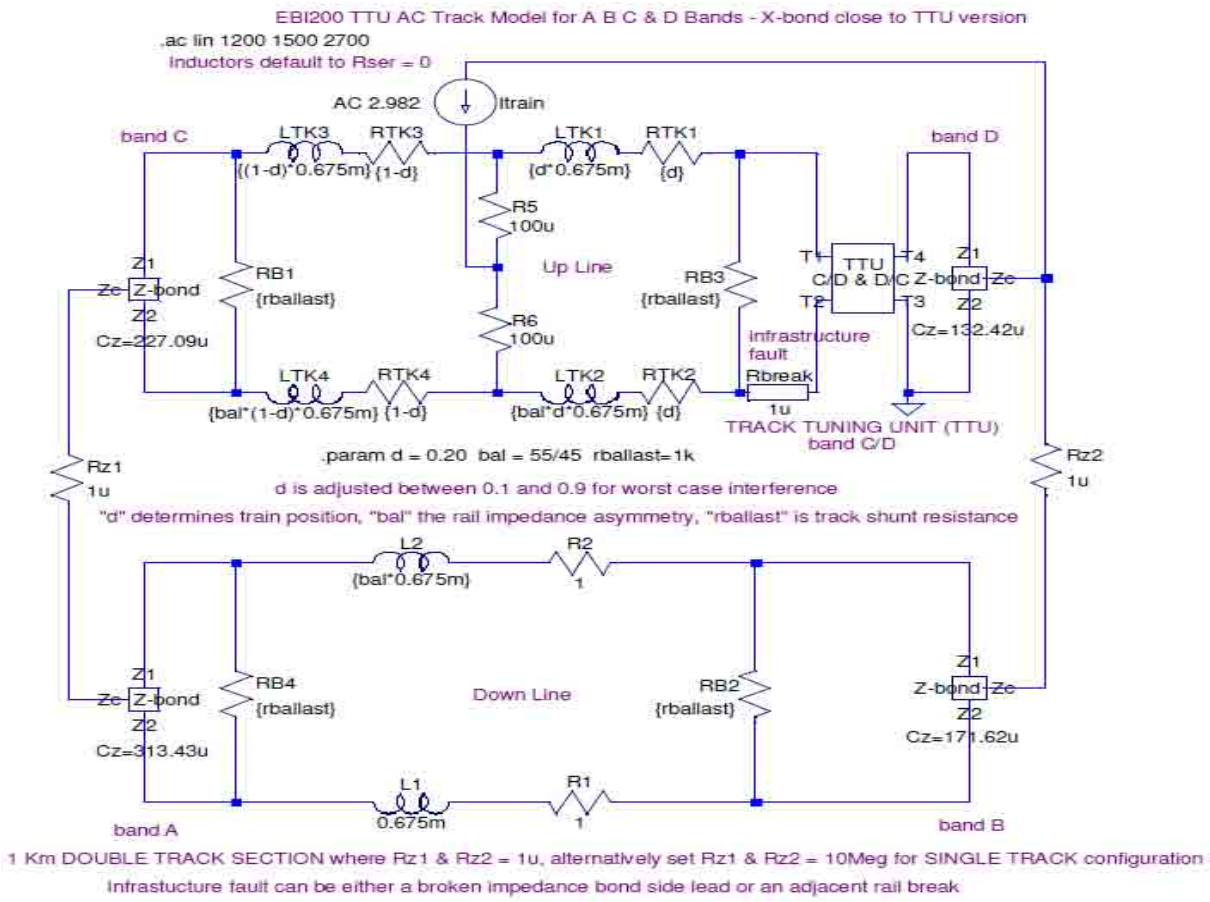

대부분에 안정된 상태 두 레일 전류(초록색과 핑크색 선)는 더 균일하고 레일 임피던스 비율과 가깝고, 심지어 동조 주파수에서도 그렇다. 허가 열차 전류는 100% 불균형 전류보다 더 큰 10의 요소인 2.576A까지 증가한다.

모든 EBI200 대역에 70/30 불균형과 60/40에 같은 접근을 채택하는 것과, 결과의 표는 만들어졌고, 허가 열차 전류에 주파수 대역과 불균형의 영향을 보여준다. 완벽한 단일 궤도 교류 철도 연구의 결과는 다음 표에 나타난다.

| | Permissible Train Current | | | |
|---|---|---|---|---|
| Imbalance | Band A (A) | Band B (A) | Band C (A) | Band D (A) |
| 100% | 0.286 | 0.224 | 0.255 | 0.2015 |
| 70/30 | 0.717 | 0.561 | 0.637 | 0.499 |
| 60/40 | 1.449 | 1.131 | 1.283 | 1.004 |
| 55/45 | 2.912 | 2.27 | 2.576 | 2.013 |
| 50/50 = 0% | $>1x10^8$ | $>1x10^8$ | $>1x10^8$ | $>1x10^8$ |

EBI200 Susceptibility with Imbalance and Frequency

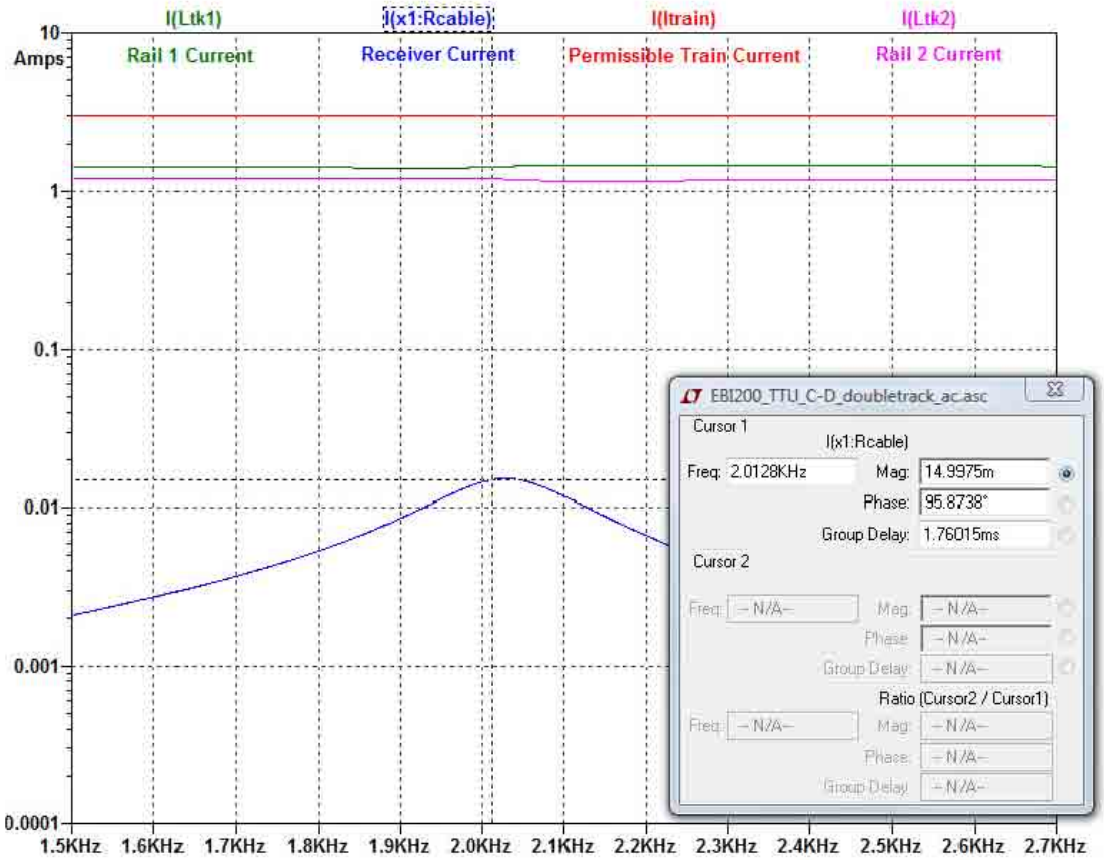
이 결과는 단일 궤도 시나리오를 대표하는 고 저한 크로스 밴드에 기초한다. 50/50 경우는 신뢰성을 체크하는 설계로서 포함된다. 임피던스 본드의 전체적 신뢰성이 확신 된다면, 그리고 나서 크로스 본드 저항은 대체 할만 한 귀환 전류 진로를 사용할 수 있는 아주 작은 수치로 줄어들 수 있다. 이는 다음 대역C를 위한 도식에 묘사돼 있다.



이 복선 궤도 배열은 교대로 한 라인(모델에 윗 라인)에서 교대로 C와 D영역 궤도 회로를 사용하고 A와 B 대역은 아랫 라인에서 교대로 사용한다. 임피던스 본드의 최악의 경우 위치는 설계된 배열의 인접한 궤도회로에 TTU가 가까이 있을 때다.

대체적인 귀환 전류 진로는 설계된 TTU에 가깝게 움직이는 열차 원천의 최악의 경우를 가지는 지역으로 변경될 것이 예상된다. 불균형은 반드시 가공 공급 시스템의 대칭 및 매립 접지 도체에 따라 좌우되지 않는다 병렬 궤도에 동일한 값으로 간주된다.

복선 궤도의 결과, 55/45 불균형, 대역C 모델은 다음 그래프에 나타난다.




이 결과는 C대역 단일 궤도 경우와 약간 비슷하게 보인다. 하지만 허가 열차 전류는 거의 16%의 이익인 2.576A에서 2.982A까지 증가 했다. 하지만, 이는 1km 이하 분류에서 음향 임피던스 결합을 갖는 양 궤도에 55/45 불균형을 의존한다. A,B 그리고 D 대역에서 16%의 해당하는 증가가 기대된다. 비록 이는 확인되지 않았다. 하지만, 다른 안전 여유가 적용되지 않는 경우, 가정으로 설계된 복선 궤도에 의해

초래된 여분의 불확실성 때문에, 단일 궤도 수치는 채택되는 것은 추천 될 것이다.

**결과**

제공되는 기차 배출량은 전류가 이전에 표 “불균형과 주파수에 EBI200 감도”에 전류가 파생될 때와 주파수가 비관적인 RSF 허가 기차 전류 제한을 구성하고 있을 때, 주파수 변조를 함유하고 있지 않다. 다른 주요 요인은 예견된 열차 전류에서 RFS를 방지 해야 한다:

EBI200 수신기가 가장 민감한 15mA 설정으로 설치되어 있지 않을 때.
궤도회로 길이가 1Km 미만일 때.
나눠진 구간보다 짧은 크로스본드.
주요 주파수 정지 마찰 고조파 배출량의 감소가 대역C에서 2.98A 미만일 때.

마치며, 교류 열차가 배출하는 예견된 둔감도는 궤도 균형이 개선됨에 따라, EBI200 대역 A,B,C,D에 한정됐다.

# 6. 시험성적서

# 시 험 성 적 서

주식회사 케이이에스
경기도 안양시 동안구 관양동 889-1
동일테크노타운 C-3701
Tel. : 482-31-425-8200
Fax : 482-31-424-0450
http://www.kes.co.kr

성적서번호 : KES-E1-120445



1. 신 청 인
   - ○ 기 관 명 : 유경제어㈜
   - ○ 주　　소 : 서울 금천구 가산동 470-12
   - ○ 의뢰일자 : 2012 년 05 월 21 일
2. 제 조 자 : 유경제어㈜
3. 제 품 명 : 무절연 AF 궤도회로장치
4. 모 델 명 : 폐색구간용
5. 시험기간 : 2012 년 05 월 25 일 ~ 2012 년 05 월 29 일
6. 시험방법 : 한국철도표준규격 - KRS SG 0038-09R
7. 시험환경 : 시험데이터 참조
8. 시험성적서 용도 : 품질인증용
9. 시험결과 : ■ 적합　　□ 부적합

이 성적서 위의 내용은 시험의뢰인에 의해 제공된 시료에 한하며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

| 확인 | 시험자 | 승인자 (시험책임자) |
|---|---|---|
| | 성명 : 장 동 훈 | 성명 : 김 원 석 |

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2012 년 05 월 30 일

주식회사 케이 이 에스 (인)

본 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

# 1 시험기관

## 1.1 시험기관 소개

| | |
|---|---|
| 기관명 | 주식회사 케이이에스 |
| 대표이사 | 김영래 |
| 주소 | 경기도 안양시 동안구 관양동 889-1 |
| 전화번호 | 031-425-6200 |
| 팩스번호 | 031-424-0450 |
| E-Mail | thrukang@kes.co.kr |

## 1.2 시험장소재지

| | |
|---|---|
| 주소 | 경기도 안양시 동안구 관양동 889-1<br>경기도 여주군 여주읍 하거리 477-6 |
| 전화번호 | 031-425-6200 |
| 팩스번호 | 031-424-0450 |

## 1.3 시험기관 지정 사항

**주요지정현황**

- 방송통신위원회전파연구소 (방송통신기기시험기관의지정및관리에관한고시 (KR0100))
- 연방통신위원회 [Federal Communications Commission] (시험기관등록번호: KR0100)
- 캐나다산업성 [IC : Industry Canada] (시험기관등록번호: 4769B-1)

본 시험성적서는 케이이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

## 2 일반정보

### 2.1 신청인

상　　호 : 유경제어㈜
주　　소 : 서울 금천구 가산동 470-12
전화번호 : 02-830-7900
팩스번호 : 02-830-7917

### 2.2 시험기기

제 품 명 : **무접점AF레도회로장치**
모 델 명 : **폐색구간용**
제조번호 : **00006, 00007**
제 조 자 : **유경제어㈜**
제조국가 : **한국**

### 2.3 시험기기의 기술 제원

| 구분 | 주요 사항 및 특성 |
|---|---|
| 전원 | 220 V (ac) / 60 Hz |
| 기타 | 매뉴얼참조 |


본 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

# 3 시험방법

## 3.1 시험규격

**한국철도표준규격 : KRS SG 0038-09R**

**EMI 시험규격**

| | |
|---|---|
| * 전자파전도시험 | : KS C CISPR 11:2005 Class A |
| * 전자파방사시험 | : KS C CISPR 11:2005 Class A |

**EMS 시험규격**

| | |
|---|---|
| * 정전기방전 내구성시험 | : KS C IEC 61000-4-2:2005 |
| * 방사고주파전자계 내성시험 | : KS C IEC 61000-4-3:2003 |
| * 전기적과도현상 내구성시험 | : KS C IEC 61000-4-4:2003 |
| * 서지 내성시험 | : KS C IEC 61000-4-5:2008 |
| * 고주파전자계유도전도방해 내성시험 | : KS C IEC 61000-4-6:2008 |

- 신청인, 제조자 제시 규격

## 3.2 성능평가기준

대상기기에 대한 내성시험 중 또는 내성시험 종료 후에 적용하는 성능평가 기준은 다음과 같다.

**성능평가기준A** : 시험이거나 시험 종료 후에도 당해 기기의 사양에서 정한 성능을 유지하는 상태
**성능평가기준B** : 시험에는 기기의 성능이 떨어지나 시험 종료 후 정상적으로 동작하는 상태
**성능평가기준C** : 시험에는 기기의 성능이 떨어지나 시험 종료 후 전원개폐 또는 재 시동 등에 의해 정상적으로 복원되는 상태

본 시험성적서는 KES 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

### 3.3 시험결과요약

시험기간 : 2012년 05월 25일 ~ 2012년 05월 29일
제품구분 : Class A

#### 3.3.1 전자파장해허용기준

| Emission | Port | Class | Limits and Test methods | 시험결과 |
|---|---|---|---|---|
| 전자파전도시험 | AC Power | A | KS C CISPR 11 | 적합 |
| 전자파방사시험 | Enclosure | A | KS C CISPR 11 | 적합 |

#### 3.3.2 전자파보호기준

| Immunity | Ports | | Test methods | 성능평가 기준 | Result / Criteria |
|---|---|---|---|---|---|
| 정전기방전 내구성시험 | Enclosure | ± 2 kV, ± 4 kV (Contact) ± 2 kV, ± 4 kV, ± 8 kV (Air) | KS C IEC 61000-4-2 | A | 적합 / A |
| 방사고주파 전자계내성시험 | Frequency Range [Enclosure] | 80 ㎒ ~ 1 000 ㎒ [10 V/m] | KS C IEC 61000-4-3 | A | 적합 / A |
| 전기적과도현상 내구성시험 | AC Input | ± 4 kV | KS C IEC 61000-4-4 | A | 적합 / A |
| 서지내성시험 | AC Input | ± 4 kV | KS C IEC 61000-4-5 | A | 적합 / A |
| 고주파 전자계유도 전도방해 내성시험 | AC Input | 10 V | KS C IEC 61000-4-6 | A | 적합 / A |
| | Frequency Range | 0.15 ㎒ ~ 80 ㎒ | | | |

* 성능 평가 기준에 대한설명은 5 페이지**3.2 성능평가기준**참고바람.
* 이 성적서의 성능 평가 기준은 신청인과 제조자에 의해 규정되었음.

본 시험성적서는 케이이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 물품에 한합니다.

# 4 시험기기 구성 및 배치

## 4.1 전체구성

| 기기명 | 형식명 | 제조번호 | 제작사 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 무결연AF궤도회로장치 | 폐색구간용 | 00006, 00007 | 유경제어㈜ | 시험기기 |
| 무극선조계전기 | SL 24600 | N/A | 유경제어㈜ | - |
| AF1000 TU | TU C(1) | 120008 | 유경제어㈜ | - |
| | TU C(2) | 120016 | 유경제어㈜ | - |
| | TU D(1) | 120008 | 유경제어㈜ | - |
| | TU D(2) | 120011 | 유경제어㈜ | - |
| 가상레일 1 | N/A | N/A | 유경제어㈜ | - |
| 가상레일 2 | N/A | N/A | 유경제어㈜ | - |
| 가상레일 3 | N/A | N/A | 유경제어㈜ | - |
| 더미 | N/A | N/A | 유경제어㈜ | - |

## 4.2 시스템 구성 (시험기기)

| 기기명 | | 형식명 | 제조번호 | 제작사 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 무결연AF궤도회로장치 (00006) | Power Supply | N/A | N/A | 유경제어㈜ | - |
| | Receiver | Receiver D | N/A | 유경제어㈜ | - |
| 무결연AF궤도회로장치 (00007) | Power Supply | N/A | N/A | 유경제어㈜ | - |
| | Transmitter | Transmitter D | N/A | 유경제어㈜ | - |

본 시험성적서는 워터마이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

### 4.3 접속케이블

| 접속시작장치 | | 접속끝장치 | | 케이블규격 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 명칭 | I/O Port | 명칭 | I/O Port | 길이(m) | 차폐여부 |
| 무결연AF 레도희로장치 (시험기기) 00006 | 4-PIN PORT | 무극선조계전기 | 4-PIN PORT | 0.5 | Unshielded |
| | LINE1, LINE2 | AF1000 TU TU D(1) | 2-PIN PORT | 2.4 | Unshielded |
| AF1000 TU TU D(1) | 2-PIN PORT | 가상레일 1 | 2-PIN PORT | 0.3 | Unshielded |
| AF1000 TU TU D(1) | 2-PIN PORT | 가상레일 3 | 2-PIN PORT | 0.8 | Unshielded |
| 가상레일 1 | 2-PIN PORT | AF1000 TU TU C(2) | 2-PIN PORT | 0.3 | Unshielded |
| 가상레일 3 | 단자 | 더미 | 단자 | 0.8 | Unshielded |
| 무결연AF 레도희로장치 (시험기기) 00007 | TX1, TX2 | AF1000 TU TU D(2) | 2-PIN PORT | 2.4 | Unshielded |
| AF1000 TU TU D(2) | 2-PIN PORT | 가상레일 2 | 2-PIN PORT | 0.3 | Unshielded |
| AF1000 TU TU D(2) | 2-PIN PORT | 가상레일 3 | 2-PIN PORT | 0.8 | Unshielded |
| 가상레일 2 | 2-PIN PORT | AF1000 TU TU C(1) | 2-PIN PORT | 0.3 | Unshielded |
| 가상레일 3 | 단자 | 더미 | 단자 | 0.8 | Unshielded |

본 시험성적서는 케이이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

# 5 시험방법 및 결과

## 5.1 전도시험

전도시험은 다음과 같은 환경에서 측정하였다.

■측정설비

| 사용장비 | 모델명 | 제조자 | 제조번호 | 차기교정일 | 사용여부 |
|---|---|---|---|---|---|
| EMI TEST RECEIVER | ESHS10 | Rohde & Schwarz | 862970/018 | 2013.05.04 | ■ |
| LISN | ENV216 | Rohde & Schwarz | 101137 | 2013.02.27 | ■ |
| LISN | 3810/2 | EMCO | 2228 | 2013.04.18 | □ |
| LISN | NSLK8126 | Schwarzbeck | 8126157 | 2012.11.21 | □ |
| 전자파차폐실 | | 한국쉴드룸 | | | ■ |

* 사용된 모든 시험장비는 정기적으로 교정되었음.

■시험장소 : 전자파차폐실

■환경조건 : 온도 (23.0 ± 2.0) °C, 습도(43.0 ± 10.0) % R.H.

■전도시험 기준

| 주파수범위 (㎒) | 허용기준(dB㎶) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Class B | | Class A | |
| | 준-첨두치 | 평균치 | 준-첨두치 | 평균치 |
| 0.15 ~ 0.5 | 66 –56 | 56 – 46 | 79 | 66 |
| 0.5 ~ 5 | 56 | 46 | 73 | 60 |
| 5 ~ 30 | 60 | 50 | 73 | 60 |

■시험결과

| 전도시험, 150 ㎑ - 30 ㎒ | ■ - 적합 | □ - 부적합 |
|---|---|---|

최소 limit margin 3.090 dB at 0.150 ㎒

Remarks: 전도시험은 시험기기의 대표적인 동작모드에서 측정하였고
시험기기의 최대레벨은 Neutral, Av모드에서 측정되었음. 시험측정데이터첨부.


본 시험성적서는 워터마이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

## 5.2 방사시험

**방사시험은 다음과 같은 환경에서 측정하였다.**

**■측정설비**

| 사용장비 | 모델명 | 제조자 | 제조번호 | 차기교정일 | 사용여부 |
|---|---|---|---|---|---|
| EMI TEST Receiver | ESVS10 | R&S | 826008/014 | 2013.05.04 | ■ |
| EMI TEST Receiver | ISA-80 | LIG NEXI | L0912K014 | 2012.08.05 | □ |
| EMC ANALYZER | E7405A | Agilent | US41160306 | 2012.08.22 | ■ |
| Trilog-Broadband ANT | VULB 9168 | Schwarzbeck | 9168-385 | 2013.04.28 | ■ |
| Debug CHAMBER | - | (주)케이이에스 | - | - | ■ |
| OATS | - | (주)케이이에스 | - | - | ■ |
| 안테나마스트 | - | 대일EMC | - | - | ■ |
| 턴테이블 | - | 대일EMC | - | - | ■ |
| 안테나마스트 | - | 대일EMC | - | - | ■ |
| 턴테이블 | - | 대일EMC | - | - | ■ |

* 사용된 모든 시험장비는 정기적으로 교정되었음.

**■시험장소** : 10 m 야외시험장

**■환경조건** : 온도 (24.2 ± 5.0) °C, 습도(41.0 ± 10.0) % R.H.

**■방사시험기준**

| 주파수범위 (㎒) | 허용기준(dBμV/m) | |
|---|---|---|
| | Class B (10 m) | Class A (10 m) |
| 30 ~ 230 | 30 | 40 |
| 230 ~ 1 000 | 37 | 47 |

**■시험결과**

| 방사시험, 30 ㎒ - 1 000 ㎒ | ■- 적합 | □ - 부적합 |
|---|---|---|

최소 limit margin 4.990 dB at 30.600 ㎒

Remarks: 방사시험은 시험기기의 대표적인 동작모드에서 측정하였고
시험기기의 최대레벨은 Horizontal 모드에서 측정되었음. 시험측정데이터첨부.


본 시험성적서는 ㈜케이이에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

## 5.3 정전기방전 내구성시험

**정전기방전 내구성시험은 다음과 같은 환경에서 측정하였다.**

**■측정설비**

| 사용장비 | 모델명 | 제조자 | 제조번호 | 차기교정일 | 사용여부 |
|---|---|---|---|---|---|
| ESD Simulator | ESS-2000 | Noise Ken | ESS01Z0454 | 2012.09.08 | ■ |
| HCP | N/A | (주)케이이에스 | N/A | N/A | ■ |
| VCP | N/A | (주)케이이에스 | N/A | N/A | ■ |

* 사용된 모든 시험장비는 정기적으로 교정되었음.

**■시험장소 :** 시험실

**■시 험 일 :** 2012년 05월 26일

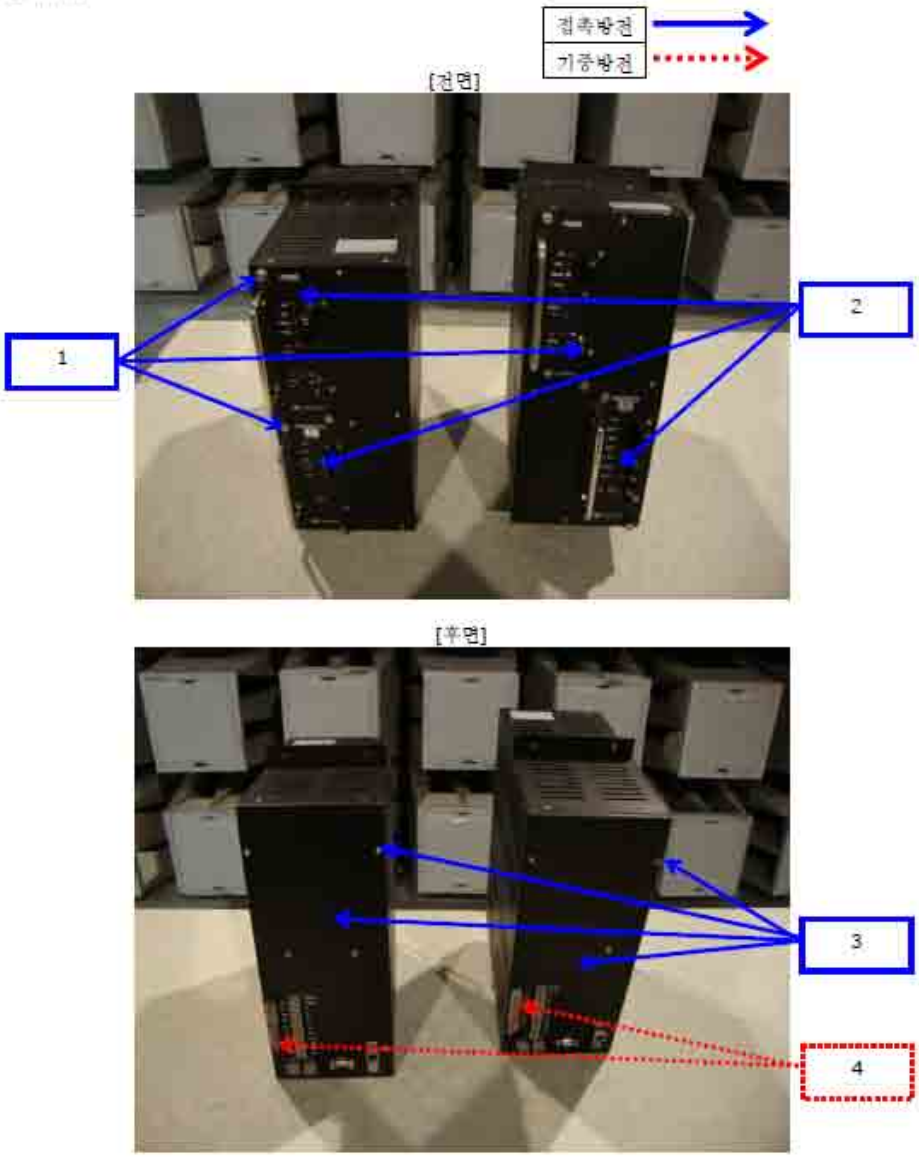
**■환경조건 :** 온도 (21.9 ± 2.0) ℃, 습도(40.0 ± 10.0) % R.H., 기압 100.1 kPa

**■시험조건**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 접촉방전: | ■ - 2 kV | ■ - 4 kV | □ - 6 kV |
| 기중방전: | ■ - 2 kV | ■ - 4 kV | ■ - 8 kV |
| 방전임피던스 : | ■ - 330 Ω / 150 pF | □ - 150 Ω / 150 pF | |
| 방전간격 : | ■ - 1회 / 1초 | | |
| 방전회수 : | ■ - 인가부위당 10회 이상 | | |
| 방전종류 : | ■ - 기중방전<br>■ - 직접방전 | ■ - 접촉방전<br>■ - 간접방전 | |
| 극성 : | ■ - + | ■ - - | |
| 정전기위치 : | ■ - 손으로 만질 수 있는 표면에 있는 각각의 위치<br>■ - 수평 연결면(HCP)<br>■ - 수직 연결면(VCP)<br>■ - 나사, 커넥터 | | |


본 시험성적서는 위케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

■인가부위





본 시험성적서는 싸이에이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

■시험결과

| 인가방식 | 인가부위 | 방전방법 | 성능평가기준 | 성능평가결과 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 간접인가 | 수평결합면 | 접촉방전 | A | A | - |
| | 수직결합면 | | A | A | - |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 직접인가 | 1 | 시험기기 전면 나사 | 접촉방전 | A | A | - |
| | 2 | 시험기기 전면 | 접촉방전 | A | A | - |
| | 3 | 시험기기 후면, 나사 | 접촉방전 | A | A | - |
| | 4 | 시험기기 후면 단자 | 기중방전 | A | A | - |
| | - | - | - | - | - | - |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

■시험자 의견

■ - 정상동작 - 성능평가기준 A – 성능저하 없음
□ - 성능저하 - 성능평가기준 B – 자동복귀
□ - 성능저하 - 성능평가기준 C – 수동복귀
□ - 성능상실 - 성능평가기준 D – 회복불능

Remarks: 경전기방전 내구성시험시 정상동작 유무를 확인하였으나 이상 없음.


본 시험성적서는 케이이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

## 5.4 방사고주파전자계 내성시험

방사고주파전자계 내성시험은 다음과 같은 환경에서 측정하였다.

■측정설비

| 사용장비 | 모델명 | 제조자 | 제조번호 | 차기교정일 | 사용여부 |
|---|---|---|---|---|---|
| Average Power Sensor | E9301A | Agilent | MY41498011 | 2012.09.15 | ■ |
| Average Power Sensor | E9301A | Agilent | - | 2012.09.15 | ■ |
| Signal Generator | ESG-3000A | HP | US37040210 | 2012.09.15 | ■ |
| Power Meter | E4419B | Agilent | MY45101506 | 2012.09.15 | ■ |
| Power Amplifier | ITA0300-200 | Infinitech | - | 2012.09.15 | ■ |
| Power Amplifier | ITA0750-200 | Infinitech | - | 2012.09.15 | ■ |
| Power Amplifier | ITA1500-100 | Infinitech | - | 2012.09.15 | ■ |
| Power Amplifier | ITA2500-100 | Infinitech | - | 2012.09.15 | ■ |
| Stacked Log-Per.Antenna | STLP9128 D | Schwarzbeck | 9128D038 | - | ■ |
| Electric Field Probe | ETS | HI-6105USB | 00110086 | 2011.12.02 | □ |
| Probe Stand | PS 2000 | AR | - | - | □ |
| Load Termination | Bird Electronic Corporation | 300-T-MN | 1033774 | 2012.08.22 | □ |
| 3 m Full CHAMBER | (주)케이 이 에스 | - | - | - | ■ |

* 사용된 모든 시험장비는 정기적으로 교정되었음.

■시험장소 : 3 m Full CHAMBER

■시 험 일 : 2012년 05월 29일

■ 환경조건 : 온도 (27.8 ± 4.0) °C, 습도(46.0 ± 10.0) % R.H., 기압 100.4 kPa

■시험조건

주파수범위 : ■ - 80 ㎒ – 1 000 ㎒
□ - 1 400 ㎒ – 2 000 ㎒
□ - 2 000 ㎒ – 2 700 ㎒
□ - 900 ㎒ ± 5 ㎒

전계강도 : ■ - 10 V/m

안테나거리 – 시험기기 : ■ - 3 m

본 시험성적서는 (주)케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

■**시험조건** : 방사고주파전자계 내성시험

| | | | |
|---|---|---|---|
| 변조 : | ■ - AM:<br>□ - FM:<br>■ - Sine wave:<br>□ - Unmodulated<br>□ - Pulse | 80 %<br>%<br>1 ㎑<br><br>1 Hz (0.5 s, On : 0.5 s, Off) | |
| 스위프율 : | ■ - 0.015 decades / s | | |
| 주파수스텝 : | ■ - 1 % / 3 s | □ - 1 % / 1 s | |
| 안테나극성 : | ■ - 수평 | ■ - 수직 | □ - 원형 |
| 인가부위 : | ■ - 4면 | | |

■**시험결과**

| 인가부위 | 기 준 | 성능평가결과 | |
|---|---|---|---|
| | | 수평 | 수직 |
| 전면 | A | A | A |
| 후면 | A | A | A |
| 우측면 | A | A | A |
| 좌측면 | A | A | A |

■**시험자 의견**

■ - 정상동작 - 성능평가기준 A – 성능저하 없음
□ - 성능저하 - 성능평가기준 B – 자동복귀
□ - 성능저하 - 성능평가기준 C – 수동복귀
□ - 성능상실 - 성능평가기준 D – 회복불능

Remarks. 방사고주파전자계 내성시험시 정상동작 유무를 확인 하였으나 이상 없음.


본 시험성적서는 워터마이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

## 5.5 전기적과도현상 내구성시험

**전기적과도현상 내구성시험은 다음과 같은 환경에서 측정하였다.**

**■측정설비**

| 사용장비 | 모델명 | 제조자 | 제조번호 | 차기교정일 | 사용여부 |
|---|---|---|---|---|---|
| Ultra Compact Simulator | UCS 500 N5 | EM TEST | V0936105120 | 2012.08.22 | ■ |
| Capacitive Coupling Clamp | HFK | EM TEST | 070925 | 2012.08.22 | □ |
| MotorVariac | MV216 | EM TEST | V0936105123 | 2012.08.22 | ■ |

* 사용된 모든 시험장비는 정기적으로 교정되었음.

**■시험장소** : 시험실

**■시 험 일** : 2012년 05월 26일

**■환경조건** : 온도 (21.9 ± 2.0) °C, 습도(40.0 ± 10.0) % R.H., 기압 100.1 kPa

**■시험조건**

| | | |
|---|---|---|
| 인가 전압- 입력 교류 전원단자 | □ - 0.5 kV<br>□ - 2.0 kV | □ - 1.0 kV<br>■ - 4.0 kV |
| 인가 전압- 입력 직류 전원단자 | □ - 0.25 kV<br>□ - 1.0 kV | □ - 0.5 kV<br>□ - 2.0 kV |
| 인가 전압 – 신호선 및 통신단자 | □ - 0.25 kV<br>□ - 1.0 kV | □ - 0.5 kV<br>□- 2.0 kV |
| 임펄스 반복률 : | ■ - 2.5 kHz | ■ - 5.0 kHz □ - ___ kHz |
| 임펄스 상승시간 | ■ - 5 ns ± 30 % | |
| 임펄스 주기 | ■ - 50 ns ± 30 % | |
| 버스트 지속 시간 | ■ - 15 ms ± 20 % | |
| 버스트 주기 | ■ - 300 ms ± 20 % | |
| 인가 시간 : | □ - 60 s | □ - 120 s ■ - 300 s |
| 인가 방법 : | ■ - 결합/감결합회로망 (입력 교류 전원단자) | □ - 용량성결합클램프 (입력 교류 전원단자 외) |
| 극성 : | ■ - + | ■ - - |


본 시험성적서는 KES의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

■**시험결과** : 전기적과도현상 내구성시험

■ -[입력 교류 전원단자]

| 적 용 부 분 | 기 준 | 성능평가결과 | |
|---|---|---|---|
| | | (+) 버스트 | (-) 버스트 |
| L1 | A | A | A |
| L2 | A | A | A |
| L1 – L2 | A | A | A |

□ -[입력 직류 전원단자]

| 적 용 부 분 | 기 준 | 성능평가결과 | |
|---|---|---|---|
| | | (+) 버스트 | (-) 버스트 |
| - | A | - | - |
| | A | | |

□ -[신호선 및 통신단자]

| 적 용 부 분 | 기 준 | 성능평가결과 | |
|---|---|---|---|
| | | (+) 버스트 | (-) 버스트 |
| - | A | - | - |
| | A | | |

■**시험자 의견**

■ - 정상동작 - 성능평가기준 A – 성능저하 없음
□ - 성능저하 - 성능평가기준 B – 자동복귀
□ - 성능저하 - 성능평가기준 C – 수동복귀
□ - 성능상실 - 성능평가기준 D – 회복불능

Remarks 전기적과도현상 내구성시험시 정상동작 유무를 확인 하였으나 이상 없음.


본 시험성적서는 위케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

## 5.6 서지 내성시험

서지 내성시험은 다음과 같은 환경에서 측정하였다.

■측정설비

| 사용장비 | 모델명 | 제조자 | 제조번호 | 차기교정일 | 사용여부 |
|---|---|---|---|---|---|
| Ultra Compact Simulator | UCS 500 N5 | EM TEST | V0936105120 | 2012.08.22 | ■ |
| MotorVariac | MV216 | EM TEST | V0936105123 | 2012.08.22 | ■ |

* 사용된 모든 시험장비는 정기적으로 교정되었음.

■시험장소 : 시험실

■시 험 일 : 2012년 05월 26일

■ 환경조건 : 온도 (21.9 ± 3.0) ℃, 습도(40.0 ± 10.0) % R.H., 기압 100.1 kPa

■시험조건

| | | |
|---|---|---|
| 서지전압- 입력 교류 전원단자: | □ - 0.5 kV<br>□ - 2.0 kV | □ - 1.0 kV<br>■ - 4.0 kV |
| 서지전압- 입력 직류 전원단자: | □ - 0.25 kV<br>□ - 1.0 kV | □ - 0.5 kV<br>□ - 2.0 kV |
| 서지전압 – 신호선 및 통신단자: | □ - 0.25 kV<br>□ - 1.0 kV | □ - 0.5 kV<br>□ - 2.0 kV |
| 소스임피던스 : | ■ - 2 Ω + 18 μF<br>□ - 42 Ω + 0.1 μF | □ - 12 Ω + 9 μF<br>□ - 42 Ω + 0.5 μF |
| 전압파형 : | ■ - 1.2 / 50 μs | □ - 10 / 700 μs |
| 전류파형 : | ■ - 8 / 20 μs | |
| 인가회수 : | ■ - 5 surges | □ - ___ surges /angle |
| 위상 : | ■ - 0°<br>■ - 180° | ■ - 90°<br>■ - 270° |
| 반복률 : | ■ - 60 s | □ - ___ s |
| 극성 : | ■ - + | ■ - - |

본 시험성적서는 싸베이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

■**시험결과** : 서지 내성시험

■ -[입력 교류 전원단자]

| 적 용 부 분 | 기 준 | 성능평가결과 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | | (+) 서지 | (-) 서지 | |
| L1 – L2 | A | A | A | - |
| - | A | - | - | - |
| | A | | | |

□ -[입력 직류 전원단자]

| 적 용 부 분 | 기 준 | 성능평가결과 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | | (+) 서지 | (-) 서지 | |
| - | A | - | - | - |
| | A | | | |

□ -[신호선 및 통신단자]

| 적 용 부 분 | 기 준 | 성능평가결과 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | | (+) 서지 | (-) 서지 | |
| - | A | - | - | - |
| | A | | | |

■**시험자 의견**

■ - 정상동작 - 성능평가기준 A – 성능저하 없음
□ - 성능저하 - 성능평가기준 B – 자동복귀
□ - 성능저하 - 성능평가기준 C – 수동복귀
□ - 성능상실 - 성능평가기준 D – 회복불능

Remarks: 서지 내성시험시 정상동작 유무를 확인 하였으나 이상 없음.


본 시험성적서는 케이이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

## 5.7 고주파전자계유도전도방해 내성시험

고주파전자계유도전도방해 내성시험은 다음과 같은 환경에서 측정하였다.

■측정설비

| 사용장비 | 모델명 | 제조자 | 제조번호 | 차기교정일 | 사용여부 |
|---|---|---|---|---|---|
| Continuous Wave Generator | CWS 500N1 | EM TEST | V0936105119 | 2012.08.22 | ■ |
| 6dB Attenuator | ATT6 | EM TEST | 1208-34 | 2012.08.22 | ■ |
| CDN IMPEDANCE ADAPTER | R100 | EM TEST | 0209-182 | 2012.08.22 | □ |
| CDN IMPEDANCE ADAPTER | R100 | EM TEST | 0209-183 | 2012.08.22 | □ |
| CDN IMPEDANCE ADAPTER | R100 | EM TEST | 0209-184 | 2012.08.22 | □ |
| CDN | CDN-M2/M3N | EM TEST | 0909-06 | 2012.08.22 | ■ |
| CDN | CDN-T2-RJ11 | EM TEST | 0909-07 | 2012.08.22 | □ |
| CDN | CDN-T4 | EM TEST | 0909-08 | 2012.08.22 | □ |
| CDN | CDN-T8RJ45 | EM TEST | 0909-09 | 2012.08.22 | □ |
| CDN | CDN-AF2 | EM TEST | 0909-10 | 2012.08.22 | □ |
| EM Injection Clamp | EM 101 | EM TEST | 35943 | 2012.11.21 | □ |

* 사용된 모든 시험장비는 정기적으로 교정되었음.

■**시험장소** : 시험실

■**시 험 일** : 2012년 05월 26일

■ **환경조건** : 온도 (21.9 ± 2.0) ℃, 습도(40.0 ± 10.0) % R.H, 기압 100.1 ㎪

■**시험조건**

| | | |
|---|---|---|
| 범위: | ■ - 0.15 ㎒ – 80 ㎒ | □ - 0.15 ㎒ – 100 ㎒ |
| 전계강도 : | □ - 1 V<br>■ - 10 V | □ - 3 V<br>□ - _ V |
| 변조 : | ■ - AM: 80 %<br>□ - FM: __ ㎑ dev. ___ ㎑<br>■ - Sine wave: 1 ㎑<br>□ - Un-modulated<br>□ - Pulse 1 Hz On / Off(0.5 s) | |
| 스위프율 : | ■ - 0.015 decades / s | |
| 주파수스텝 : | ■- 1 % / 3 s | □- 1 % / 1 s |

본 시험성적서는 케이이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

■**시험결과** :고주파전자계유도전도방해 내성시험

■ -[입력 교류 전원단자]

| 인가부위 | 인가방법 | 기준 | 성능평가결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| L1 – L2 | CDN-M2/M3N | A | A | - |

□ -[입력 직류 전원단자]

| 인가부위 | 인가방법 | 기준 | 성능평가결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| - | CDN-M2/M3N | A | - | - |
| | CDN-M2/M3N | A | | |

□ -[신호선 및 통신단자]

| 인가부위 | 인가방법 | 기준 | 성능평가결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| - | EM Injection Clamp | A | - | - |
| | EM Injection Clamp | A | | |

■**시험자 의견**

■ - 정상동작 - 성능평가기준 A – 성능저하 없음
□ - 성능저하 - 성능평가기준 B – 자동복귀
□ - 성능저하 - 성능평가기준 C – 수동복귀
□ - 성능상실 - 성능평가기준 D – 회복불능

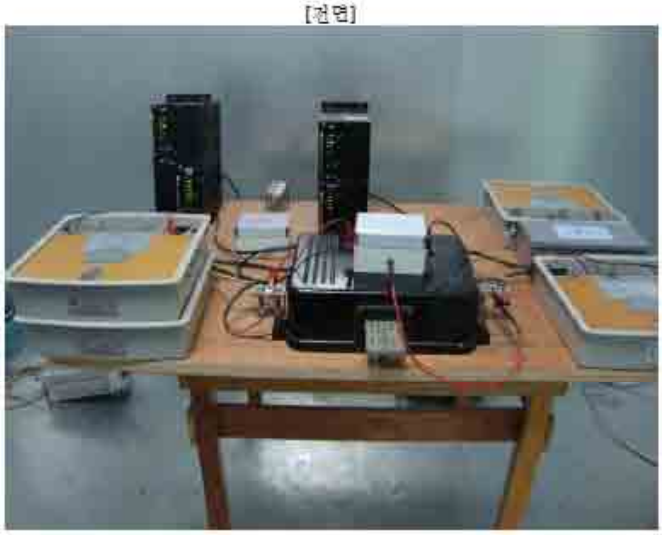
Remarks 고주파전자계유도전도방해 내성시험시 정상동작 유무를 확인 하였으나 이상 없음.


본 시험성적서는 워테이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

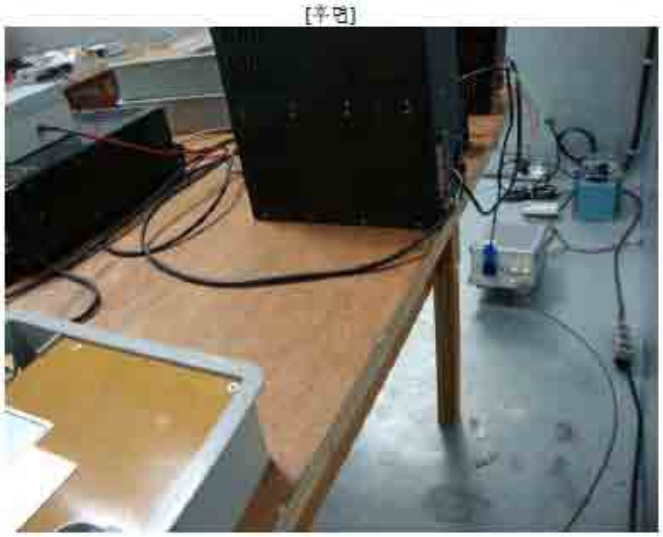
## Appendix A – 시험사진

### ■전도시험

[전면]



[후면]



본 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

■방사시험

[전면]



[후면]



본 시험성적서는 뒤에이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

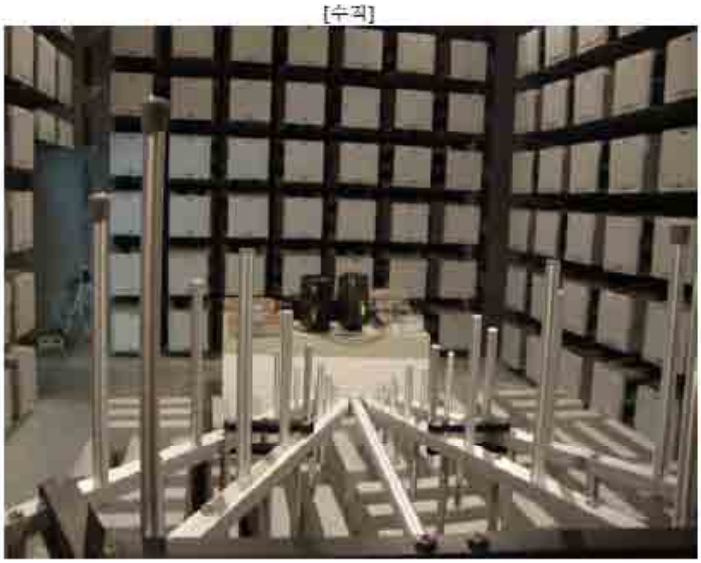
■정전기방전 내구성시험



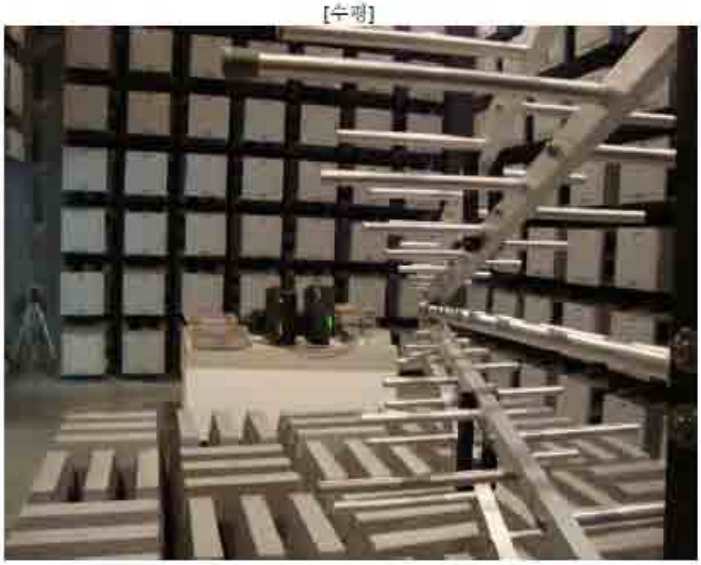

본 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

■방사고주파전자계 내성시험

[수직]



[수평]




본 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 물품에 한합니다.

■전기적과도현상 내구성시험

[전원라인]



[신호라인]

N/A

본 시험성적서는 ㈜케이이에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

■서지 내성시험

[전원라인]




[신호라인]

N/A

본 시험성적서는 KES의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

■고주파전자계유도전도방해 내성시험

[전원라인]



[신호라인]

N/A


본 시험성적서는 ㈜케이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

## Appendix B – 시험기기 사진

[전면]



[후면]



본 시험성적서는 워페이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

[라벨 - 00006]




[라벨 - 00007]





본 시험성적서는 케이이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

[내부-00006]



[내부-00007]




본 시험성적서는 케이이 이 에스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

# 시 험 성 적 서

(주)한국 EMC 연구소
경기도 화성시 정남면 모산길 28 (우)445-963
Tel : 031-286-5881 Fax : 031-8059-1154
www.koreaemc.com

성적서번호:
KEL12-A04085-1


KEL
Korea EMC Laboratory

1. 의 뢰 자
   - 기 관 명 : 한국철도기술연구원
   - 성 명 : 김명룡 책임연구원
   - 주 소 : 경기도 의왕시 월암동 360-1
2. 시험명 : KTX-산천(50량) 고속철도 RFI 시험
3. 제조사 / 제조국 : 현대로템 주식회사 / 한국
4. 시험기간 2012년 05월 22일 - 2012년 06월 20일
5. 시험방법 : IEC 62236-3-1:2008 (EN50121-3-1:2006)
   IEC 62236-2:2008 (EN50121-2:2006)
6. 시험장소 : 장성 신흥리 폐역, 천안 고등터널 고속철도 선로 구간
7. 시험결과 : 12 - 69 Page 참조

| 확 인 | 작성자<br>성 명 : 안 경 훈 (서명) | 승인자<br>직위 : 기술책임자<br>성 명 : 문 수 길 (서명) |
|---|---|---|

2012년 06월 25일

(주)한국EMC연구소 대표이사 (인)
President, Korea EMC Laboratory Co., Ltd.

본 성적서의 시험결과는 상기 의뢰자로 부터 제공된 시험품에만 적용되며, 당 연구소의 사전서면승인 없이는 본 성적서의 전부 혹은 일부를 복사하여 사용할 수 없음.

# 목 차

**1.0 시험기관 ..... 5**

1.1 일반현황 ..... 5
1.2 시험기관 지정사항 ..... 5

**2.0 측정설비 및 기술기준 ..... 6**

2.1 개요 ..... 6
2.2 장소 ..... 6
2.3 측정설비 ..... 7
2.4 Setup 구성도 ..... 8
2.5 시험 규격 ..... 9
2.7 기술기준 ..... 11

**3.0 시험 및 결과 ..... 12**

**3.1 정차동력차모드 Data ..... 12**
3.1.1 정차동력차모드 Data (9 kHz-65 kHz) - Ver. ..... 12
3.1.2 정차동력차모드 Data (9 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 13
3.1.3 정차동력차모드 Data (65 kHz-121kHz) - Ver. ..... 14
3.1.4 정차동력차모드 Data (65 kHz-121kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 15
3.1.5 정차동력차모드 Data (121 kHz-150 kHz) - Ver. ..... 16
3.1.6 정차동력차모드 Data (121 kHz-150 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 17
3.1.7 정차동력차모드 Data (150 kHz-30 MHz) - Ver. ..... 18
3.1.8 정차동력차모드 Data (150 kHz-30 MHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 19
3.1.9 정차동력차모드 (PANTO) Data (9 kHz-65 kHz) - Ver. ..... 23
3.1.10 정차동력차모드 (PANTO) Data (9 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 24
3.1.11 정차동력차모드 (PANTO) Data (65 kHz-121kHz) - Ver. ..... 25
3.1.12 정차동력차모드 (PANTO) Data (65 kHz-121kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 26
3.1.13 정차동력차모드 (PANTO) Data (121 kHz-150 kHz) - Ver. ..... 27
3.1.14 정차동력차모드 (PANTO) Data (121 kHz-150 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 28
3.1.15 정차동력차모드 (PANTO) Data Data (150 kHz-30 MHz) - Ver. ..... 29
3.1.16 정차동력차모드 (PANTO) Data Data (150 kHz-30 MHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 30
**3.2 저속(50 kph) 회생 Data ..... 33**
3.2.1 저속(50 kph) 역행 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. ..... 33
3.2.2 저속(50 kph) 역행 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 34
3.2.3 저속(50 kph) 역행 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. ..... 35
3.2.4 저속(50 kph) 역행 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 36

3.2.5 저속(50 kph) 역행 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. ..... 37
3.2.6 저속(50 kph) 역행 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 38
3.2.7 저속(50 kph) 역행 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. ..... 39
3.2.8 저속(50 kph) 역행 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 39
3.2.9 저속(50 kph) 회생 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. ..... 40
3.2.10 저속(50 kph) 회생 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 41
3.2.11 저속(50 kph) 회생 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. ..... 42
3.2.12 저속(50 kph) 회생 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 43
3.2.13 저속(50 kph) 회생 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. ..... 44
3.2.14 저속(50 kph) 회생 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 44
3.2.15 저속(50 kph) 회생 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. ..... 45
3.2.16 저속(50 kph) 회생 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 45
**3.3 고속(60 kph) 역행 Data** ..... 46
3.3.1 고속(60 kph) 역행 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. ..... 46
3.3.2 고속(60 kph) 역행 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 47
3.3.3 고속(60 kph) 역행 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. ..... 48
3.3.4 고속(60 kph) 역행 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 48
3.3.5 고속(60 kph) 역행 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. ..... 49
3.3.6 고속(60 kph) 역행 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 49
3.3.7 고속(60 kph) 역행 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. ..... 50
3.3.8 고속(60 kph) 역행 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 50
**3.4 고속(160 kph) 회생 Data** ..... 51
3.4.1 고속(160 kph) 회생 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. ..... 51
3.4.2 고속(160 kph) 회생 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 51
3.4.3 고속(160 kph) 회생 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. ..... 52
3.4.4 고속(160 kph) 회생 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 52
3.4.5 고속(160 kph) 회생 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. ..... 53
3.4.6 고속(160 kph) 회생 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 53
3.4.7 고속(160 kph) 회생 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. ..... 54
3.4.8 고속(160 kph) 회생 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 54
**3.5 고속(270 kph) 역행 Data** ..... 55
3.5.1 고속(270 kph) 역행 Data (9 kHz-32.5 kHz)- Ver. ..... 55
3.5.2 고속(270 kph) 역행 Data (9 kHz-32.5 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 55
3.5.3 고속(270 kph) 역행 Data (32.5 kHz-56 kHz) - Hor. ..... 56
3.5.4 고속(270 kph) 역행 Data (32.5 kHz-56 kHz) - Hor. vs 환경잡음 ..... 57
3.5.5 고속(270 kph) 역행 Data (56.0 kHz-79.5 kHz) - Ver. ..... 58
3.5.6 고속(270 kph) 역행 Data (56.0 kHz-79.5 kHz) - Ver. vs 환경잡음 ..... 59
3.5.7 고속(270 kph) 역행 Data (79.5 kHz-103.0 kHz) - Hor. ..... 60

3.5.8 고속(270 kph) 역행 Data (79.5 kHz-103.0 kHz) - Hor. vs 환경잡음.....60
3.5.9 고속(270 kph) 역행 Data (103.0 kHz-126.5 kHz) - Ver. .....61
3.5.10 고속(270 kph) 역행 Data (103.0 kHz-126.5 kHz) - Ver. vs 환경잡음.....62
3.5.11 고속(270 kph) 역행 Data (126.5 kHz-150 kHz) - Hor.....63
3.5.12 고속(270 kph) 역행 Data (126.5 kHz-150 kHz) - Hor. vs 환경잡음.....64
3.5.13 고속(270 kph) 역행 Data (150.0 kHz-30.0 MHz)- Ver. .....65
3.5.14 고속(270 kph) 역행 Data (150.0 kHz-30.0 MHz) - Ver. vs 환경잡음.....65
3.5.15 고속(270 kph) 역행 Data (30 MHz-1 GHz) - Hor.....66
3.5.16 고속(270 kph) 역행 Data (30 MHz-1 GHz) - Hor. vs 환경잡음.....66
3.5.17 고속(270 kph) 역행 Data (30 MHz-1 GHz) - Ver.....68
3.5.18 고속(270 kph) 역행 Data (30 MHz-1 GHz) - Ver. vs 환경잡음 .....68

**4.0 측정장면 사진.....70**

4.1 측정장면 Setup 사진 .....70

**5.0 별첨자료 .....72**

5.1 Ambient 분할표.....72
5.2 검토의견.....73

# 1.0 시험기관

## 1.1 일반현황

| | |
|---|---|
| 기 관 명 | (주)한국EMC연구소 |
| 대 표 이 사 | 오 원 향 |
| 주 소 | 경기도 화성시 정남면 모산길 28 (우)445-963 |
| 전 화 번 호 | 031) 286-5881 |
| 팩 스 번 호 | 031) 8059-1154 |
| E-Mail | webmaster@koreaemc.com |

## 1.2 시험기관 지정사항

| 인정기관 및 인정항목 | 근 거 | 인정번호 | 마 크 |
|---|---|---|---|
| **전파연구소 지정시험기관 인증항목**<br>전자파장해(Radiated & Conducted emission)<br>전자파내성(Radiated Immunity)<br>전기안전(Safety)<br>무선(Radio Communication Part) | No. 2012-07<br>(2012. 03. 12) | KR0002 | 방송통신위원회 |
| **한국인정기구(KOLAS)**<br>전자파장해(Radiated & Conducted emission)<br>전자파내성(Radiated Immunity)<br>전기안전(Safety)<br>자동차 전장품(EMC)<br>군사용 제품(MIL-STD-461E) | KS Q ISO/IEC<br>17025:2006 | No. 154 | KOLAS |
| **FCC Part 15 & 18**<br>전자파장해<br>(Radiated & Conducted emission) | ANSI 63.4:2003 | 90751<br>(KR0002) | FC |
| **VCCI**<br>EMI(Radiated & Conducted emission) | VCCI | C-2314<br>R-2139<br>R-2140 | VCCI |
| **UL Korea Ltd.**<br>Safety | Star Alliance<br>Program | - | c UL us |
| **European Conformity**<br>EMC & Safety | 2004/108/EC<br>2006/95/EC | - | CE |
| **TUV SUD Certification after Recognition of Agent's Testing**<br>EMC | ISO/IEC<br>17025:2005 | ROK1106C | TÜV SÜD<br>Product Service |

# 2.0 측정설비 및 기술기준

## 2.1 개요

KTX-산천(50량) 고속철도 운행시 발생하는 전자파가 기술기준치에 부합 하는지에 대한 평가 자료로 활용 하고자 함.

## 2.2 장소

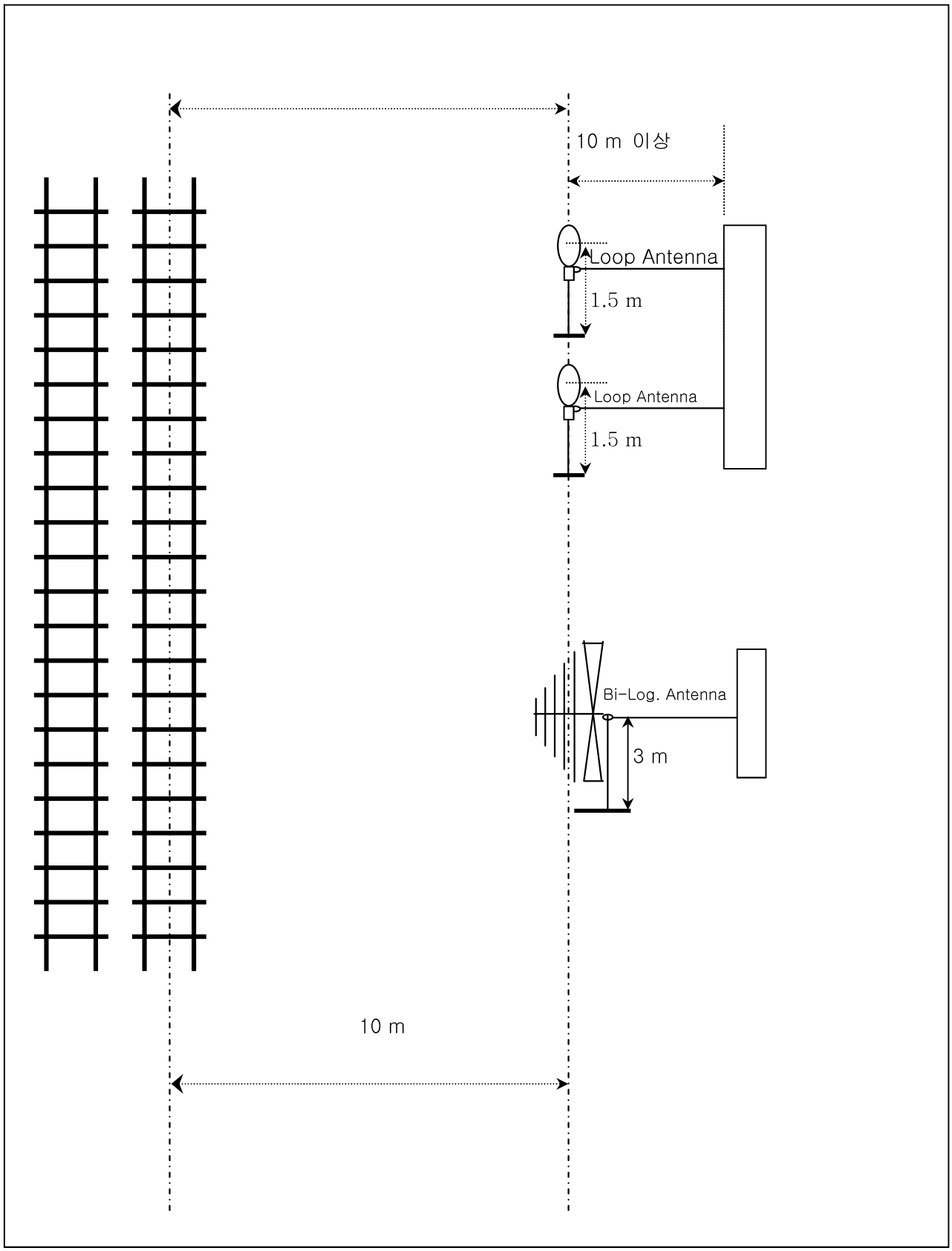
1) 신흥리 폐역 (전라남도 장성군 북일면 신흥리)
2) 천안 고등 터널 고속 철도 선로 구간 (충청남도 연기군 소정면 대곡리)

| 항목 | | 주파수 | | | | | | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Low Bands | | | | | | High Bands | | |
| | | RBW 200 Hz | | | | | RBW 9 kHz | Hor. | Ver. | |
| | | 9k-37k (1.45 s) | 37k-65k (1.45 s) | 65k-93k (1.45 s) | 93k-121k (1.45 s) | 121k-150k (1.5 s) | 150k-30M (740 ms) | 30-1000M (165 ms) | 30-1000M (165 ms) | |
| 정차 모드 | PC | 신흥리 폐역 (2012.06.18) | | | | | | - | - | |
| | PC PANTO | 신흥리 폐역 (2012.06.18) | | | | | | - | - | |
| 저속 모드 | 50 km/h 역행 | 신흥리 폐역 (2012.06.18) | | | | | - | - | - | |
| | 50 km/h 회생 | 신흥리 폐역 (2012.06.18) | | | | | - | - | - | |
| 고속 | 60 km/h 역행 | 신흥리 폐역 (2012.06.18) | | | | | - | - | - | |
| | 160 km/h, 회생 | 신흥리 폐역 (2012.06.18) | | | | | | - | - | |
| | 270 km/h 역행 | 천안 고등터널 고속 철도 선로 (2012.05.22-24) | | | | | | 천안 고등터널 고속 철도 선로 (2012.06.19-20) | | |
| Note | | | | | | | | | | |

## 2.3 측정설비

| No. | 장비명 | 모델명 | 제조사 | 제조번호 | 교정일자 /교정주기 | | 사용 여부 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | EMI TEST RECEIVER | ESCI | R&S | 100561 | 2011.10.04 | 1Y | ☒ |
| 2 | EMI TEST RECEIVER | ESU26 | R&S | 100318 | 2012.01.10 | 1Y | ☒ |
| 4 | LOOP ANTENNA | HFH2-Z2 | R&S | 100120 | 2011.09.19 | 1Y | ☒ |
| 5 | LOOP ANTENNA | EMCO 6507 | EMCO | 1435 | 2011.02.18 | 2Y | ☒ |
| 6 | BI-LOG ANTENNA | VULB9160 | Schwarzbeck | 3121 | 2011.12.09 | 2Y | ☒ |

## 2.4 Setup 구성도


10 m 이상
Loop Antenna
1.5 m
Loop Antenna
1.5 m
Bi-Log. Antenna
3 m
10 m

## 2.5 시험 규격

안테나로부터 계측기까지의 감쇠특성 및 계측기의 신호분석을 위한 주파수 범위 및 간격은 다음과 같다.
아래의 규정은 CISPR16-1-1(EN55016-1-1)에 따라 선정되었다.

| For RFI measurement the frequency band and bandwidth | | | |
|---|---|---|---|
| Frequency band | 9 kHz to 150 kHz | 150 kHz to 30 MHz | 30 MHz to 1GHz |
| Resolution Bandwidth | 200 Hz | 9 kHz | 120 kHz |

신호검지 및 측정장비의 특성은 아래와 같이 설정한 후 시험 하였음.

1) Low Bands: 정차(TC, TC PANTO), 저속(50 kph 역행, 회생)
고속(60 kph 역행, 160 kph 회생)

| Frequencies | | Settings | | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Start | Stop | RBW | VBW | S-Time | Detector | |
| 9 kHz | 37 kHz | 200 Hz | Auto(1 kHz) | Auto (1.45 s) | PK | ESCI (VER) |
| 37 kHz | 65 kHz | 200 Hz | Auto(1 kHz) | Auto (1.45 s) | PK | |
| 65 kHz | 93 kHz | 200 Hz | Auto(1 kHz) | Auto (1.45 s) | PK | |
| 93 kHz | 121 kHz | 200 Hz | Auto(1 kHz) | Auto (1.45 s) | PK | |
| 121 kHz | 150 kHz | 200 Hz | Auto(1 kHz) | Auto (1.5 s) | PK | |
| 150 kHz | 30 MHz | 9 kHz | Auto (30 kHz) | Auto (0.74 s) | PK | |
| IF Filter : 6 dB<br>Sweep points : 8001 | | | | | | |

2) Low Bands: 고속(270 kph) 역행

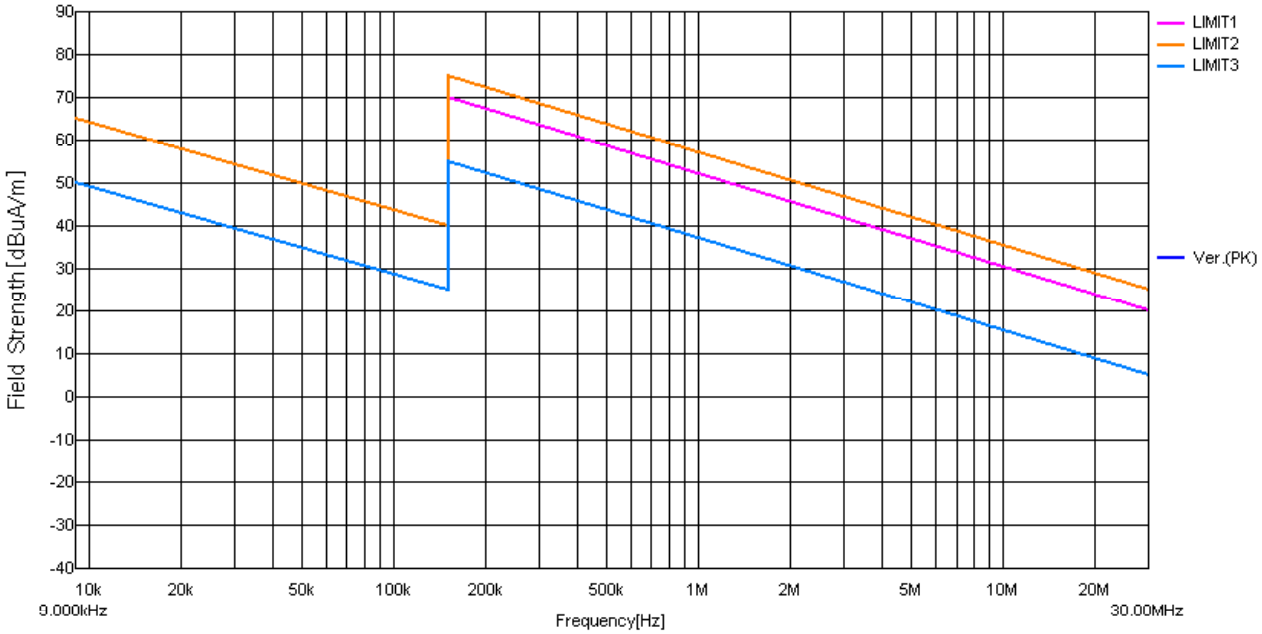
| Frequencies | | Settings | | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Start | Stop | RBW | VBW | S-Time | Detector | |
| 9 kHz | 32.5 kHz | 200 Hz | Auto(1 kHz) | Auto (1.2 s) | PK | ESCI/ ESU 26 (VER) |
| 32.5 kHz | 56 kHz | 200 Hz | Auto(1 kHz) | Auto (1.2 s) | PK | |
| 56 kHz | 79.5 kHz | 200 Hz | Auto(1 kHz) | Auto (1.2 s) | PK | |
| 79.5 kHz | 103 kHz | 200 Hz | Auto(1 kHz) | Auto (1.2 s) | PK | |
| 103 kHz | 126.5 kHz | 200 Hz | Auto(1 kHz) | Auto (1.2 s) | PK | |
| 126.5 kHz | 150 kHz | 200 Hz | Auto(1 kHz) | Auto (1.2 s) | PK | |
| 150 kHz | 30 MHz | 9 kHz | Auto (30 kHz) | Auto (0.74 s) | PK | |
| IF Filter : 6 dB<br>Sweep points : 8001 | | | | | | |

3) High Bands: 160 kph 역행, 270 kph 역행)

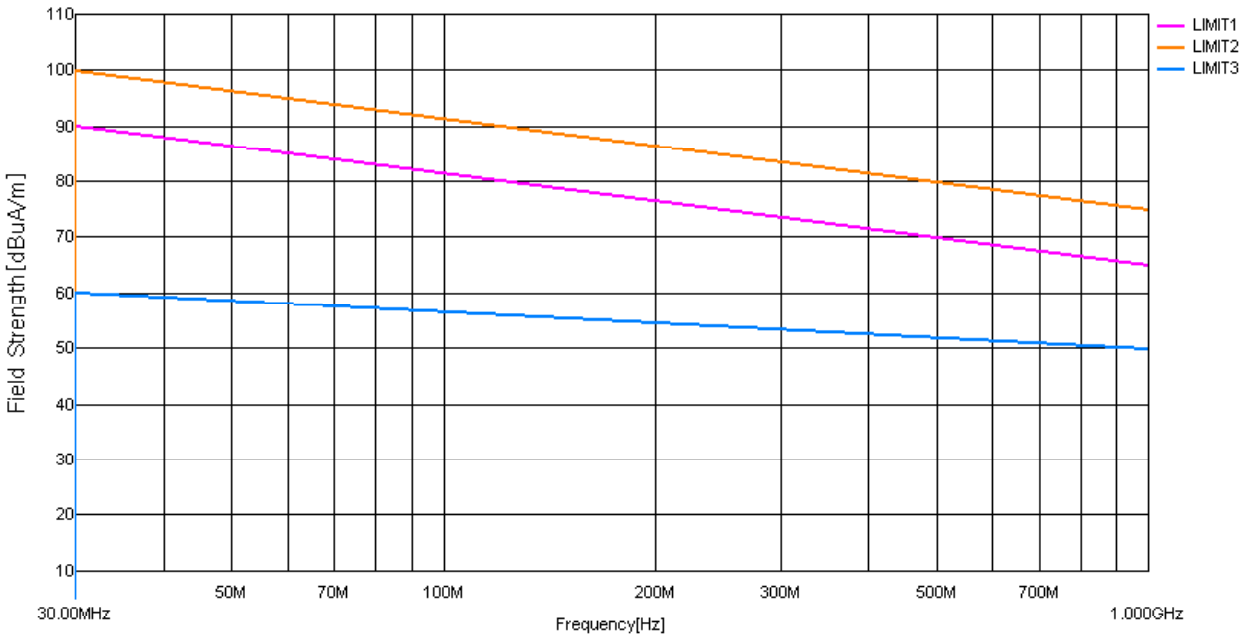
| Frequencies | | Settings | | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Start | Stop | RBW | VBW | S-Time | Detector | |
| 30 MHz | 1000 MHz | 120 kHz | Auto (300 kHz) | Auto (165 ms) | PK | ESU 26 (HOR/VER) |
| IF Filter : 6 dB<br>Sweep points : 30001 | | | | | | |

## 2.7 기술기준

25 kV ac Limits 적용




[ 9 kHz – 30 MHz]

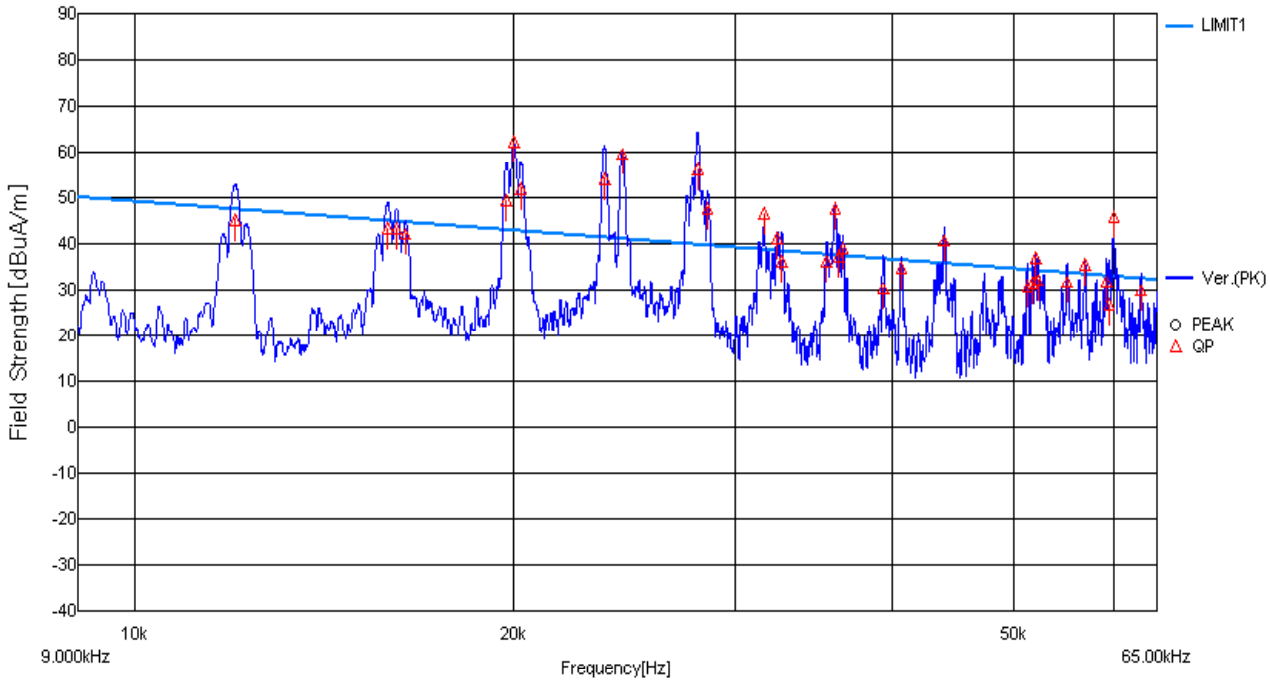



[ 30 MHz – 1000 MHz]

# 3.0 시험 및 결과

## 3.1 정차동력차 모드 Data

### 3.1.1 정차동력차 모드 Data (9 kHz-65 kHz) - Ver.

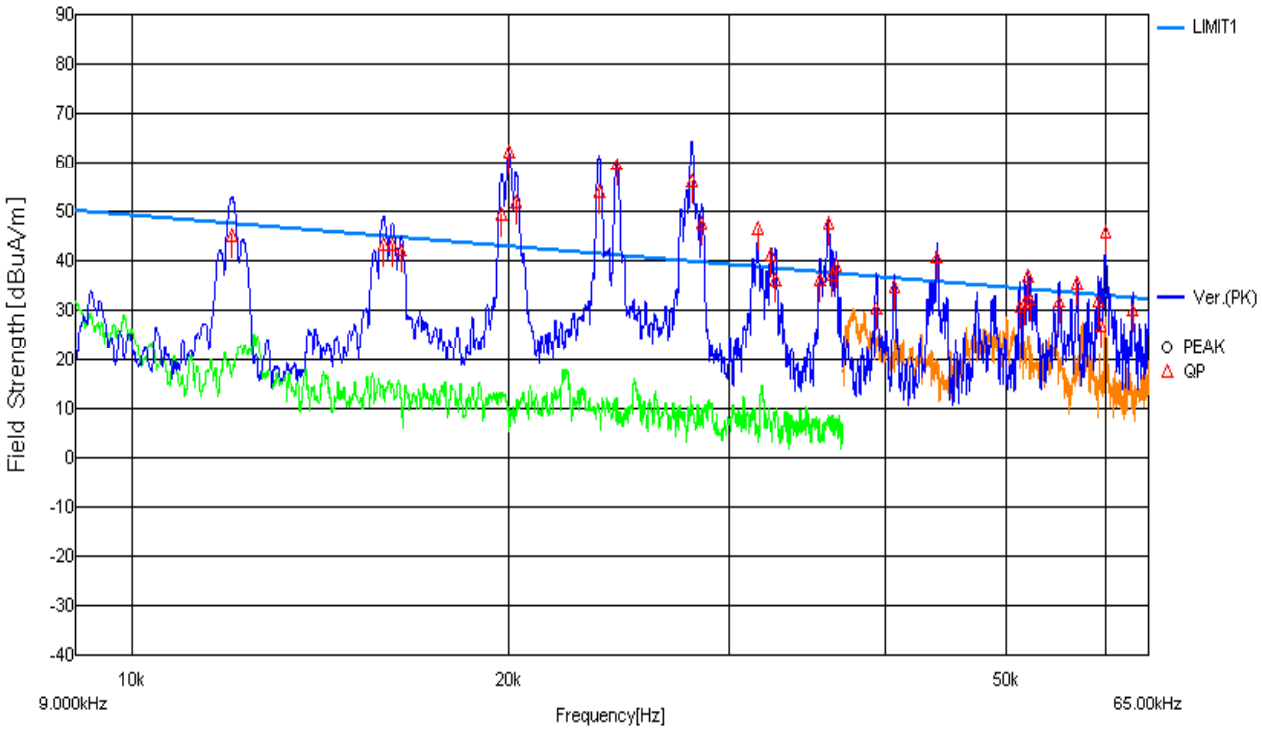



| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.012010 | Ver. | --- | --- | 74.8 | 21.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 45.2 | -- | 47.4 | 2.2 | OK |
| 0.015874 | Ver. | --- | --- | 74.0 | 20.7 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 43.3 | -- | 45.0 | 1.6 | OK |
| 0.016133 | Ver. | --- | --- | 74.0 | 20.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 43.3 | -- | 44.8 | 1.5 | OK |
| 0.016399 | Ver. | --- | --- | 73.0 | 20.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 42.1 | -- | 44.7 | 2.5 | OK |
| 0.019731 | Ver. | --- | --- | 81.0 | 19.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 49.4 | -- | 43.0 | -6.4 | |
| 0.020004 | Ver. | --- | --- | 93.9 | 19.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 62.3 | -- | 42.9 | -19.4 | |
| 0.020263 | Ver. | --- | --- | 83.7 | 19.7 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 52.0 | -- | 42.8 | -9.2 | |
| 0.023616 | Ver. | --- | --- | 86.5 | 19.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 54.2 | -- | 41.4 | -12.8 | |
| 0.024400 | Ver. | --- | --- | 92.0 | 19.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 59.6 | -- | 41.1 | -18.4 | |
| 0.027998 | Ver. | --- | --- | 89.1 | 18.4 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 56.1 | -- | 39.9 | -16.2 | |
| 0.028516 | Ver. | --- | --- | 80.8 | 18.3 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 47.7 | -- | 39.8 | -8.0 | |
| 0.031617 | Ver. | --- | --- | 79.8 | 18.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 46.5 | -- | 38.8 | -7.7 | |
| 0.032387 | Ver. | --- | --- | 74.5 | 18.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 41.2 | -- | 38.6 | -2.6 | |
| 0.032660 | Ver. | --- | --- | 69.6 | 18.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 36.2 | -- | 38.5 | 2.3 | OK |
| 0.035453 | Ver. | --- | --- | 69.7 | 18.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 36.3 | -- | 37.8 | 1.5 | OK |
| 0.036006 | Ver. | --- | --- | 81.1 | 18.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 47.7 | -- | 37.7 | -10.0 | |
| 0.036258 | Ver. | --- | --- | 70.7 | 18.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 37.3 | -- | 37.6 | 0.3 | OK |
| 0.036545 | Ver. | --- | --- | 72.4 | 17.9 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 39.0 | -- | 37.5 | -1.4 | |
| 0.039352 | Ver. | --- | --- | 63.8 | 17.9 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.3 | -- | 36.9 | 6.6 | OK |
| 0.040661 | Ver. | --- | --- | 68.3 | 17.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 34.7 | -- | 36.6 | 1.9 | OK |
| 0.043979 | Ver. | --- | --- | 74.3 | 17.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 40.7 | -- | 35.9 | -4.8 | |
| 0.051231 | Ver. | --- | --- | 64.6 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.8 | -- | 34.5 | 3.7 | OK |
| 0.051714 | Ver. | --- | --- | 65.4 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 31.6 | -- | 34.5 | 2.9 | OK |
| 0.052008 | Ver. | --- | --- | 70.8 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 37.0 | -- | 34.4 | -2.6 | |
| 0.052260 | Ver. | --- | --- | 65.8 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 32.0 | -- | 34.4 | 2.3 | OK |
| 0.055088 | Ver. | --- | --- | 65.5 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 31.7 | -- | 33.9 | 2.2 | OK |

[9 kHz - 65 kHz]

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음1 (녹색) |
| | 환경잡음2 (주황색) |

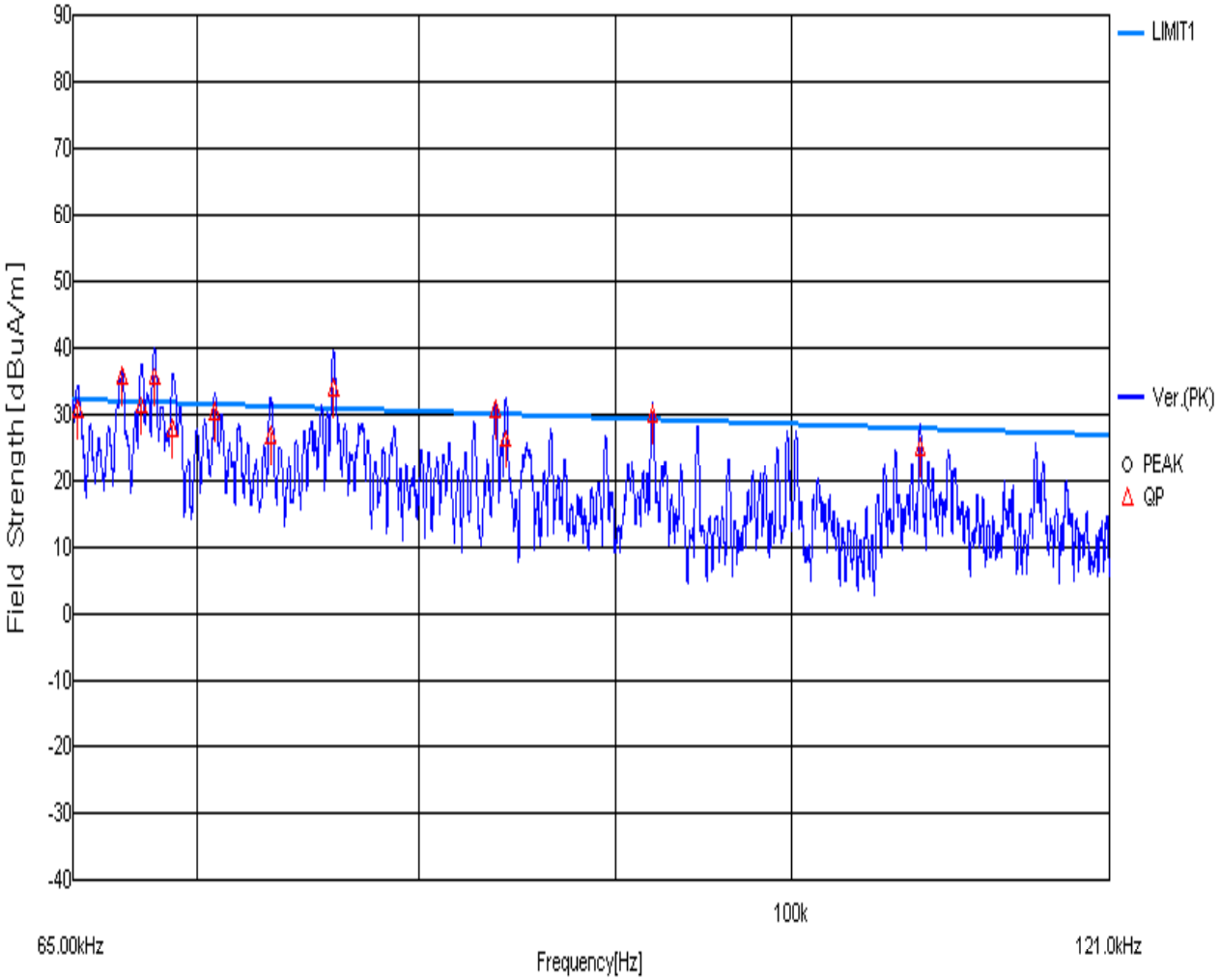
### 3.1.2 정차동력차 모드 Data (9 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음




| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.012010 | Ver. | --- | --- | 74.8 | 21.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 45.2 | -- | 47.4 | 2.2 | OK |
| 0.015874 | Ver. | --- | --- | 74.0 | 20.7 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 43.3 | -- | 45.0 | 1.6 | OK |
| 0.016133 | Ver. | --- | --- | 74.0 | 20.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 43.3 | -- | 44.8 | 1.5 | OK |
| 0.016399 | Ver. | --- | --- | 73.0 | 20.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 42.1 | -- | 44.7 | 2.5 | OK |
| 0.019731 | Ver. | --- | --- | 81.0 | 19.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 49.4 | -- | 43.0 | -6.4 | |
| 0.020004 | Ver. | --- | --- | 93.9 | 19.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 62.3 | -- | 42.9 | -19.4 | |
| 0.020263 | Ver. | --- | --- | 83.7 | 19.7 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 52.0 | -- | 42.8 | -9.2 | |
| 0.023616 | Ver. | --- | --- | 86.5 | 19.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 54.2 | -- | 41.4 | -12.8 | |
| 0.024400 | Ver. | --- | --- | 92.0 | 19.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 59.6 | -- | 41.1 | -18.4 | |
| 0.027998 | Ver. | --- | --- | 89.1 | 18.4 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 56.1 | -- | 39.9 | -16.2 | |
| 0.028516 | Ver. | --- | --- | 80.8 | 18.3 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 47.7 | -- | 39.8 | -8.0 | |
| 0.031617 | Ver. | --- | --- | 79.8 | 18.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 46.5 | -- | 38.8 | -7.7 | |
| 0.032387 | Ver. | --- | --- | 74.5 | 18.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 41.2 | -- | 38.6 | -2.6 | |
| 0.032660 | Ver. | --- | --- | 69.6 | 18.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 36.2 | -- | 38.5 | 2.3 | OK |
| 0.035453 | Ver. | --- | --- | 69.7 | 18.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 36.3 | -- | 37.8 | 1.5 | OK |
| 0.036006 | Ver. | --- | --- | 81.1 | 18.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 47.7 | -- | 37.7 | -10.0 | |
| 0.036258 | Ver. | --- | --- | 70.7 | 18.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 37.3 | -- | 37.6 | 0.3 | OK |
| 0.036545 | Ver. | --- | --- | 72.4 | 17.9 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 39.0 | -- | 37.5 | -1.4 | |
| 0.039352 | Ver. | --- | --- | 63.8 | 17.9 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.3 | -- | 36.9 | 6.6 | OK |
| 0.040661 | Ver. | --- | --- | 68.3 | 17.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 34.7 | -- | 36.6 | 1.9 | OK |
| 0.043979 | Ver. | --- | --- | 74.3 | 17.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 40.7 | -- | 35.9 | -4.8 | |
| 0.051231 | Ver. | --- | --- | 64.6 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.8 | -- | 34.5 | 3.7 | OK |
| 0.051714 | Ver. | --- | --- | 65.4 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 31.6 | -- | 34.5 | 2.9 | OK |
| 0.052008 | Ver. | --- | --- | 70.8 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 37.0 | -- | 34.4 | -2.6 | |
| 0.052260 | Ver. | --- | --- | 65.8 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 32.0 | -- | 34.4 | 2.3 | OK |
| 0.055088 | Ver. | --- | --- | 65.5 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 31.7 | -- | 33.9 | 2.2 | OK |

[9 kHz - 65 kHz]

### 3.1.3 정차동력차 모드 Data (65 kHz-121kHz) - Ver.

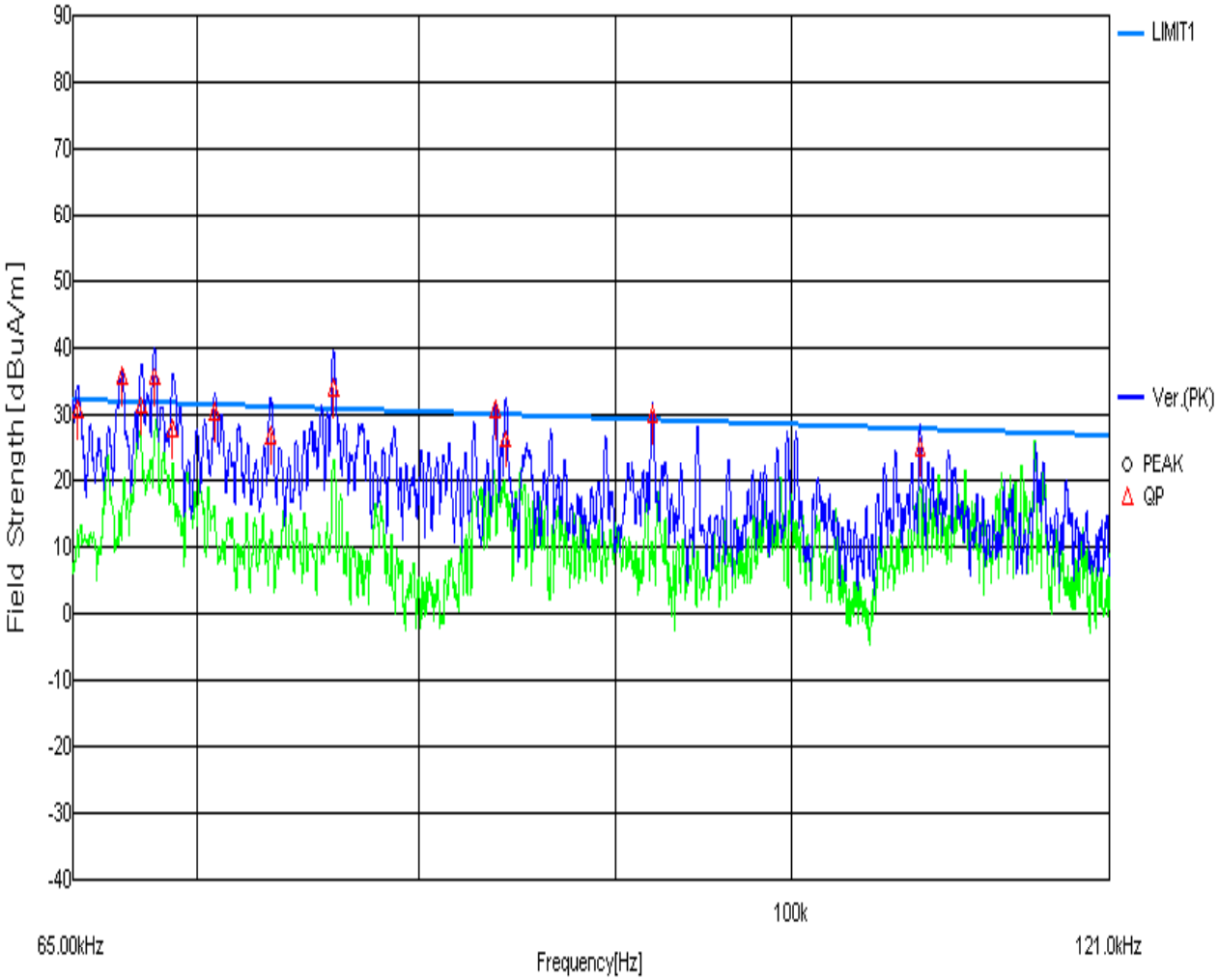



| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.065 | Ver. | --- | --- | 63.8 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.8 | -- | 32.4 | 1.6 | OK |
| 0.067 | Ver. | --- | --- | 68.6 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 35.7 | -- | 32.2 | -3.6 | NOK |
| 0.068 | Ver. | --- | --- | 64.3 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 31.4 | -- | 32.1 | 0.7 | OK |
| 0.068 | Ver. | --- | --- | 68.6 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 35.7 | -- | 32.0 | -3.7 | NOK |
| 0.069 | Ver. | --- | --- | 60.9 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 28.0 | -- | 31.9 | 3.9 | OK |
| 0.071 | Ver. | --- | --- | 63.4 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.5 | -- | 31.7 | 1.2 | OK |
| 0.073 | Ver. | --- | --- | 59.9 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 27.0 | -- | 31.4 | 4.4 | OK |
| 0.076 | Ver. | --- | --- | 66.9 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 34.0 | -- | 31.0 | -3.0 | NOK |
| 0.084 | Ver. | --- | --- | 63.7 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.9 | -- | 30.2 | -0.7 | NOK |
| 0.084 | Ver. | --- | --- | 59.2 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 26.4 | -- | 30.1 | 3.8 | OK |
| 0.092 | Ver. | --- | --- | 63.0 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.1 | -- | 29.3 | -0.8 | NOK |
| 0.108 | Ver. | --- | --- | 57.9 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 25.1 | -- | 27.9 | 2.9 | OK |

[65 kHz - 121 kHz]

### 3.1.4 정차동력차 모드 Data (65 kHz-121kHz) - Ver. vs 환경잡음

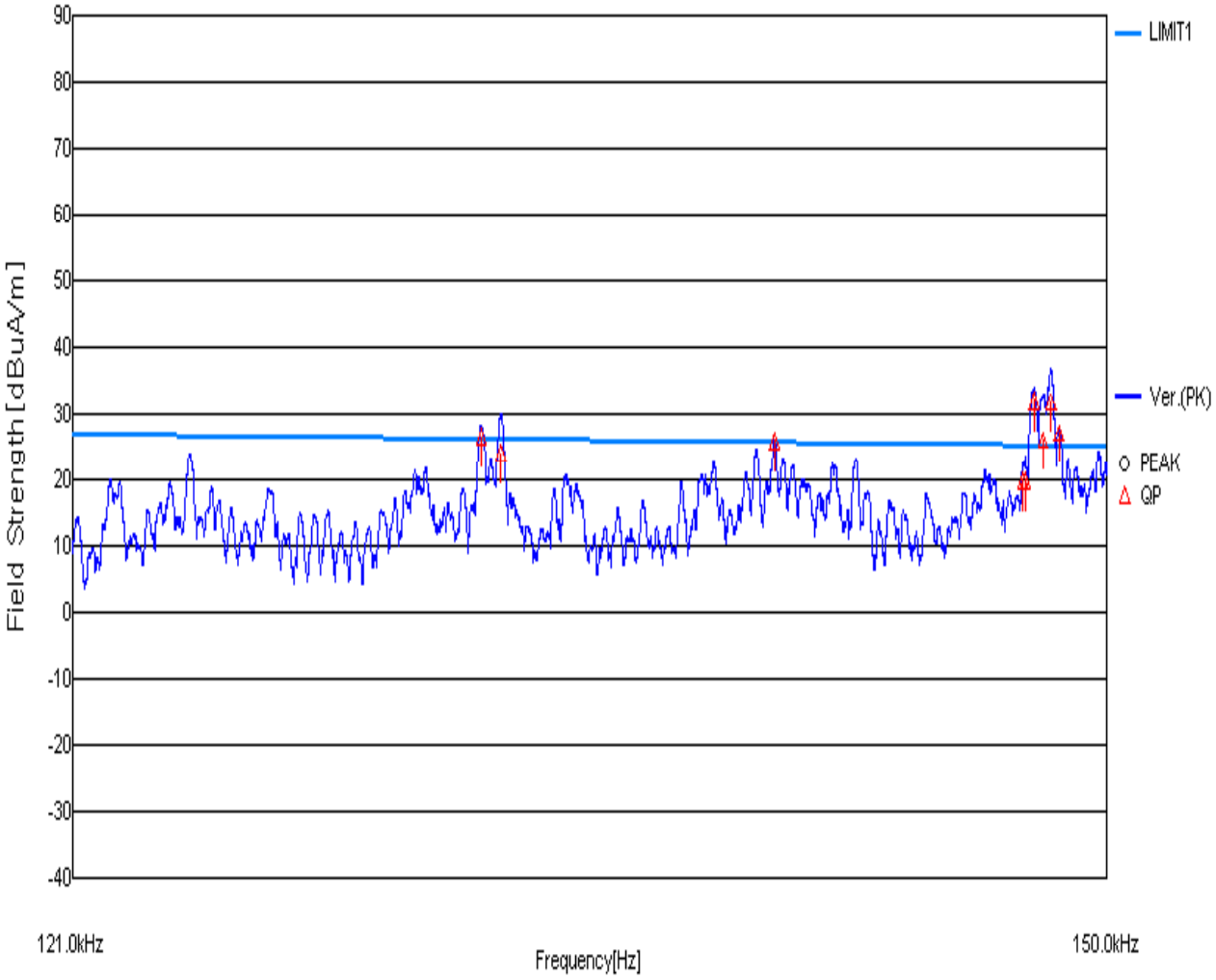
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.065 | Ver. | --- | --- | 63.8 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.8 | -- | 32.4 | 1.6 | OK |
| 0.067 | Ver. | --- | --- | 68.6 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 35.7 | -- | 32.2 | -3.6 | NOK |
| 0.068 | Ver. | --- | --- | 64.3 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 31.4 | -- | 32.1 | 0.7 | OK |
| 0.068 | Ver. | --- | --- | 68.6 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 35.7 | -- | 32.0 | -3.7 | NOK |
| 0.069 | Ver. | --- | --- | 60.9 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 28.0 | -- | 31.9 | 3.9 | OK |
| 0.071 | Ver. | --- | --- | 63.4 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.5 | -- | 31.7 | 1.2 | OK |
| 0.073 | Ver. | --- | --- | 59.9 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 27.0 | -- | 31.4 | 4.4 | OK |
| 0.076 | Ver. | --- | --- | 66.9 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 34.0 | -- | 31.0 | -3.0 | NOK |
| 0.084 | Ver. | --- | --- | 63.7 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.9 | -- | 30.2 | -0.7 | NOK |
| 0.084 | Ver. | --- | --- | 59.2 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 26.4 | -- | 30.1 | 3.8 | OK |
| 0.092 | Ver. | --- | --- | 63.0 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 30.1 | -- | 29.3 | -0.8 | NOK |
| 0.108 | Ver. | --- | --- | 57.9 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 25.1 | -- | 27.9 | 2.9 | OK |

[65 kHz - 121 kHz]

### 3.1.5 정차동력차 모드 Data (121 kHz-150 kHz) - Ver.

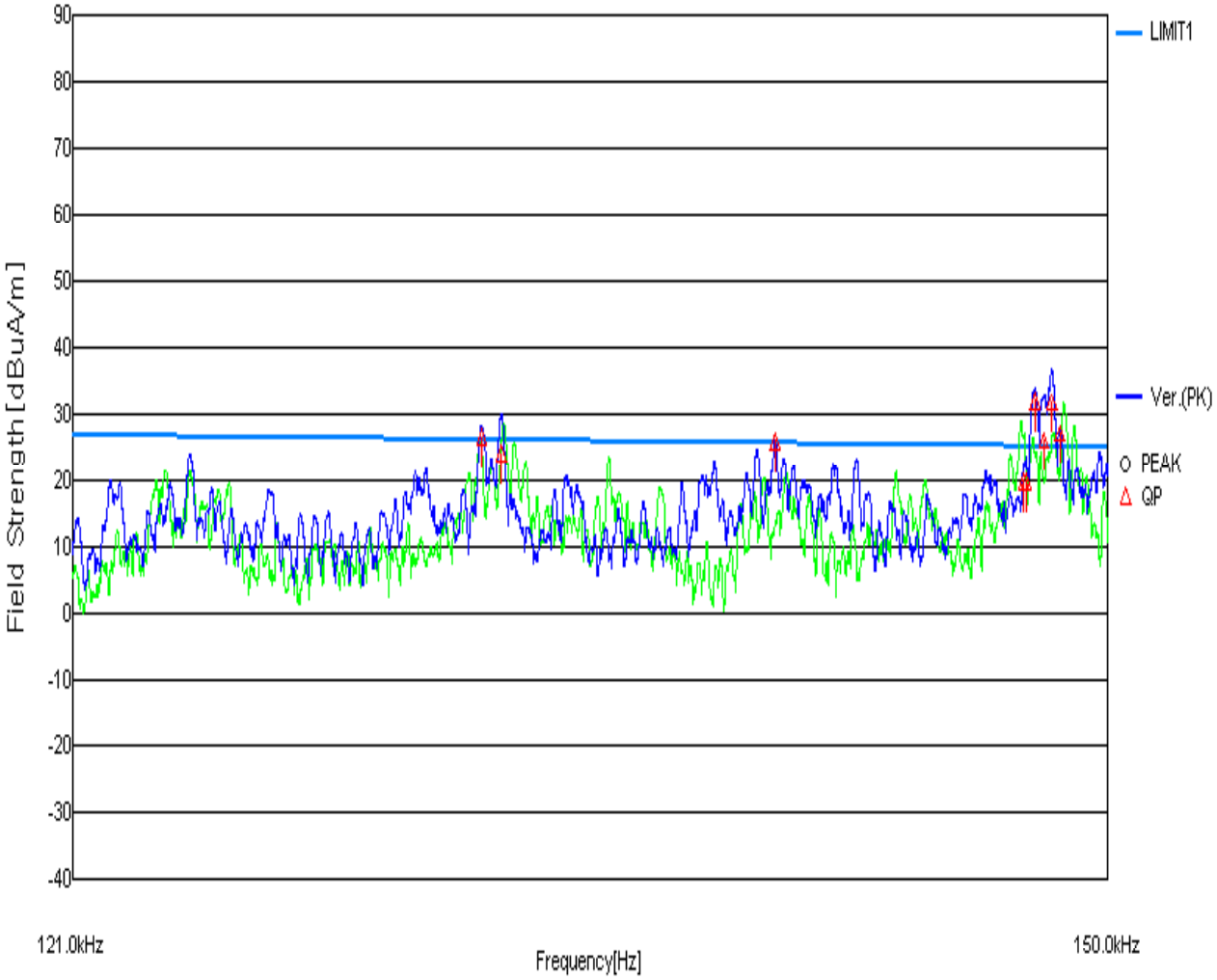



| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.132 | Ver. | --- | --- | 59.4 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 26.5 | -- | 26.2 | -0.4 | NOK |
| 0.132 | Ver. | --- | --- | 56.8 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 24.0 | -- | 26.1 | 2.1 | OK |
| 0.140 | Ver. | --- | --- | 58.7 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 25.9 | -- | 25.6 | -0.2 | NOK |
| 0.147 | Ver. | --- | --- | 52.6 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 19.8 | -- | 25.2 | 5.3 | OK |
| 0.147 | Ver. | --- | --- | 52.5 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 19.7 | -- | 25.2 | 5.5 | OK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 64.8 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 32.0 | -- | 25.1 | -6.9 | NOK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 58.9 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 26.1 | -- | 25.1 | -0.9 | NOK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 64.6 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 31.8 | -- | 25.1 | -6.7 | NOK |
| 0.149 | Ver. | --- | --- | 60.0 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 27.1 | -- | 25.1 | -2.0 | NOK |

[121 kHz - 150 kHz]

### 3.1.6 정차동력차 모드 Data (121 kHz-150 kHz) - Ver. vs 환경잡음

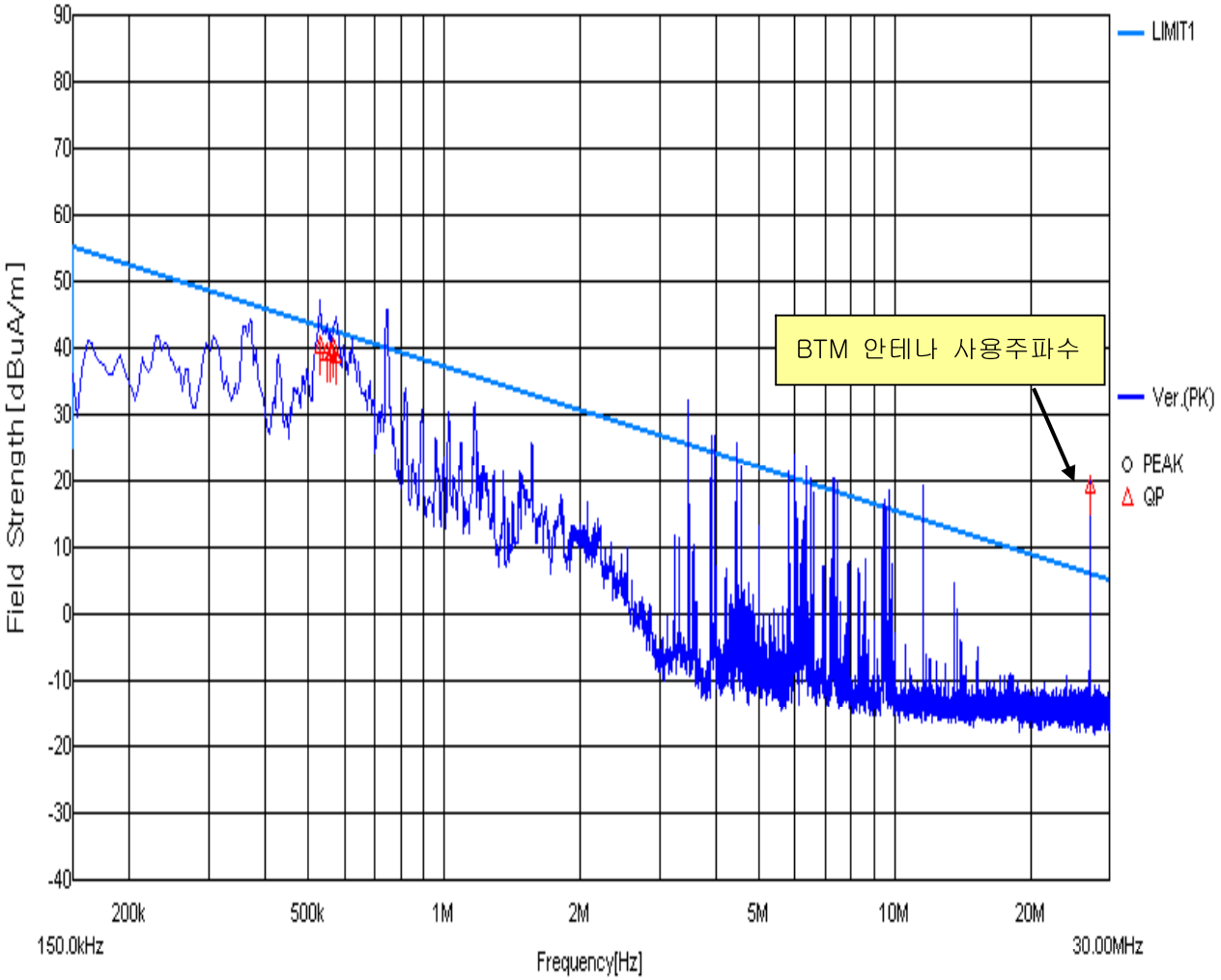
| | |
|---|---|
| ——— | 측정 Data (청색) |
| ——— | 환경잡음 (녹색) |




| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.132 | Ver. | --- | --- | 59.4 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 26.5 | -- | 26.2 | -0.4 | NOK |
| 0.132 | Ver. | --- | --- | 56.8 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 24.0 | -- | 26.1 | 2.1 | OK |
| 0.140 | Ver. | --- | --- | 58.7 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 25.9 | -- | 25.6 | -0.2 | NOK |
| 0.147 | Ver. | --- | --- | 52.6 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 19.8 | -- | 25.2 | 5.3 | OK |
| 0.147 | Ver. | --- | --- | 52.5 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 19.7 | -- | 25.2 | 5.5 | OK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 64.8 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 32.0 | -- | 25.1 | -6.9 | NOK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 58.9 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 26.1 | -- | 25.1 | -0.9 | NOK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 64.6 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 31.8 | -- | 25.1 | -6.7 | NOK |
| 0.149 | Ver. | --- | --- | 60.0 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 27.1 | -- | 25.1 | -2.0 | NOK |

[121 kHz - 150 kHz]

### 3.1.7 정차동력차 모드 Data (150 kHz-30 MHz) - Ver.

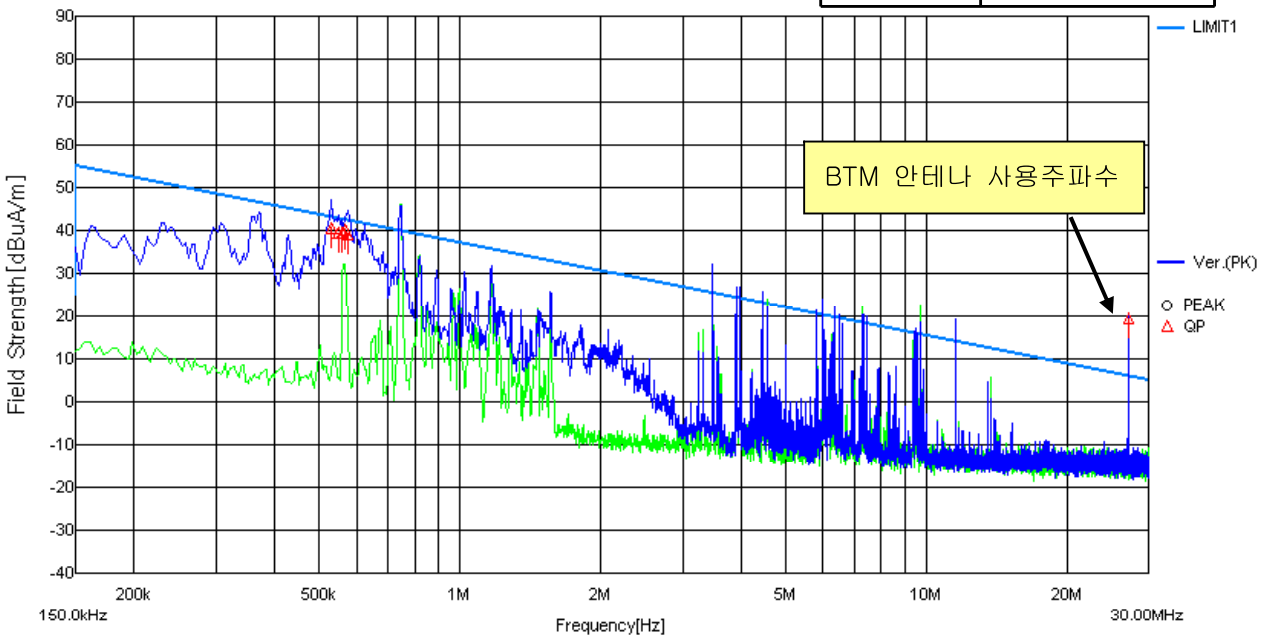



| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.531 | Ver. | --- | --- | 74.8 | 17.2 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 40.5 | -- | 43.1 | 2.5 | OK |
| 0.549 | Ver. | --- | --- | 73.6 | 17.2 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 39.3 | -- | 42.8 | 3.4 | OK |
| 0.560 | Ver. | --- | --- | 73.7 | 17.2 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 39.4 | -- | 42.6 | 3.1 | OK |
| 0.568 | Ver. | --- | --- | 74.5 | 17.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 40.2 | -- | 42.4 | 2.2 | OK |
| 0.575 | Ver. | --- | --- | 73.4 | 17.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 39.2 | -- | 42.3 | 3.2 | OK |
| 27.097 | Ver. | --- | --- | 55.7 | 14.1 | -50.4 | 0.0 | --- | --- | 19.4 | -- | 6.0 | -13.4 | |

[150 kHz - 30 MHz]

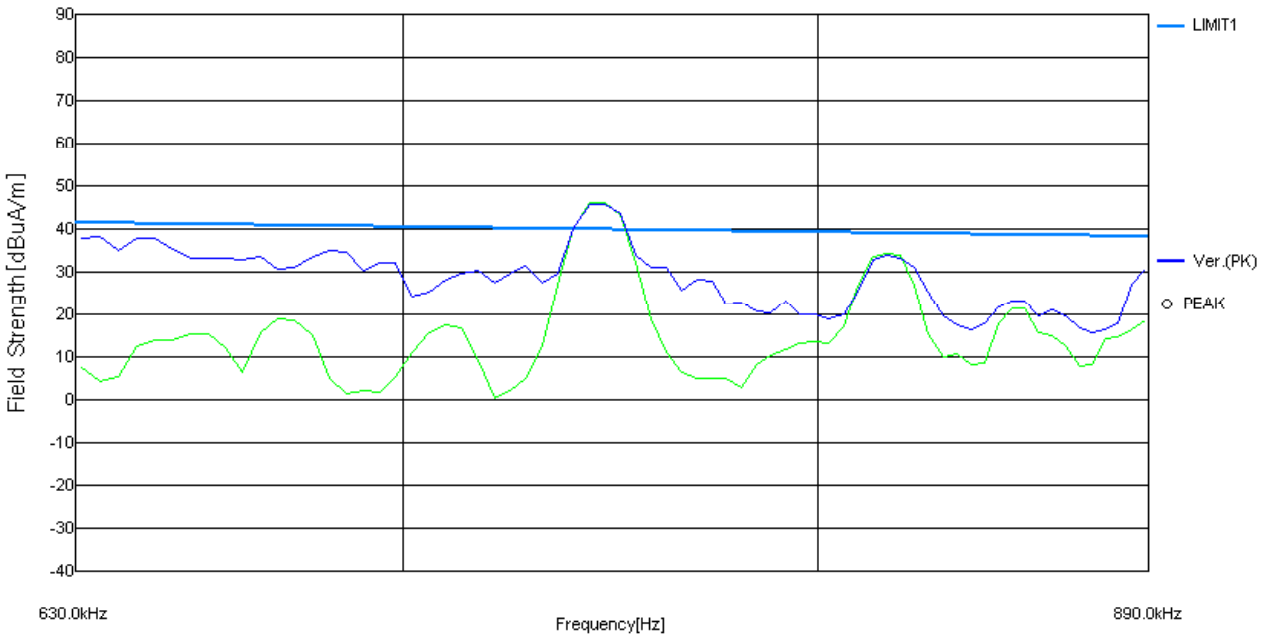
### 3.1.8 정차동력차 모드 Data (150 kHz-30 MHz) - Ver. vs 환경잡음

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

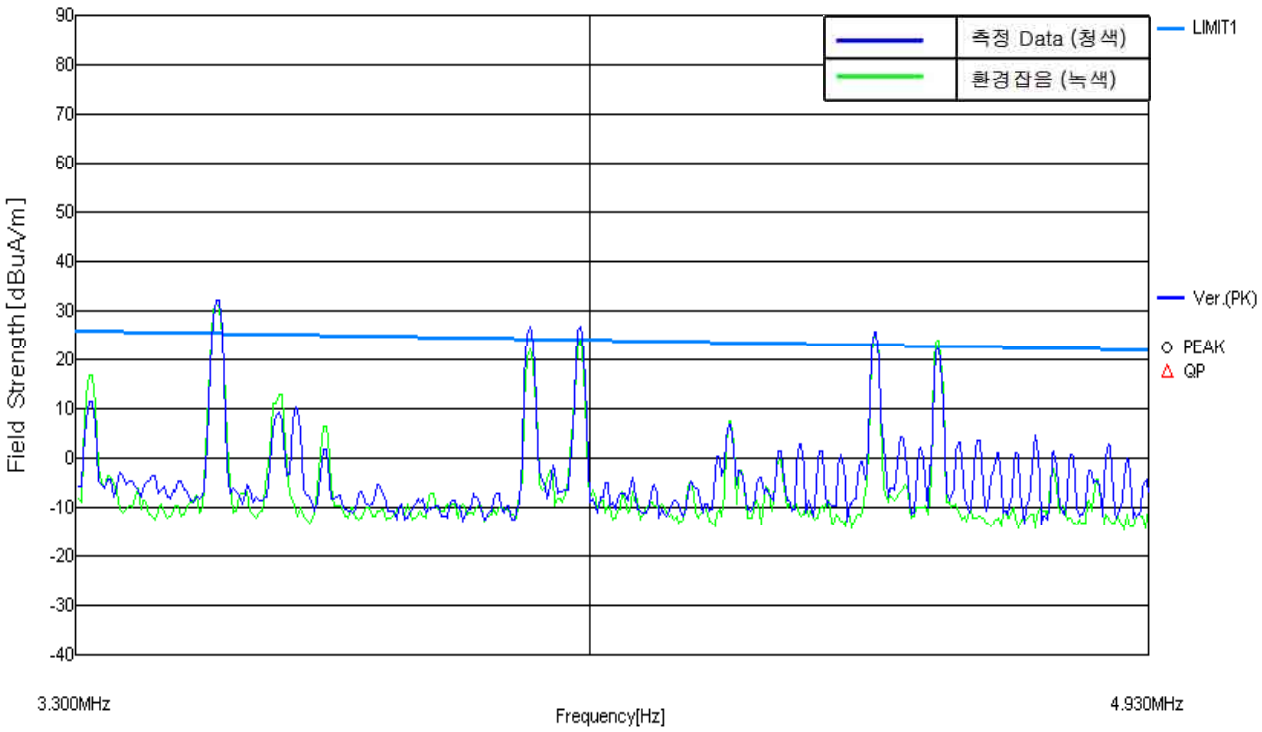



| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.531 | Ver. | --- | --- | 74.8 | 17.2 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 40.5 | -- | 43.1 | 2.5 | OK |
| 0.549 | Ver. | --- | --- | 73.6 | 17.2 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 39.3 | -- | 42.8 | 3.4 | OK |
| 0.560 | Ver. | --- | --- | 73.7 | 17.2 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 39.4 | -- | 42.6 | 3.1 | OK |
| 0.568 | Ver. | --- | --- | 74.5 | 17.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 40.2 | -- | 42.4 | 2.2 | OK |
| 0.575 | Ver. | --- | --- | 73.4 | 17.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 39.2 | -- | 42.3 | 3.2 | OK |
| 27.097 | Ver. | --- | --- | 55.7 | 14.1 | -50.4 | 0.0 | --- | --- | 19.4 | -- | 6.0 | -13.4 | |

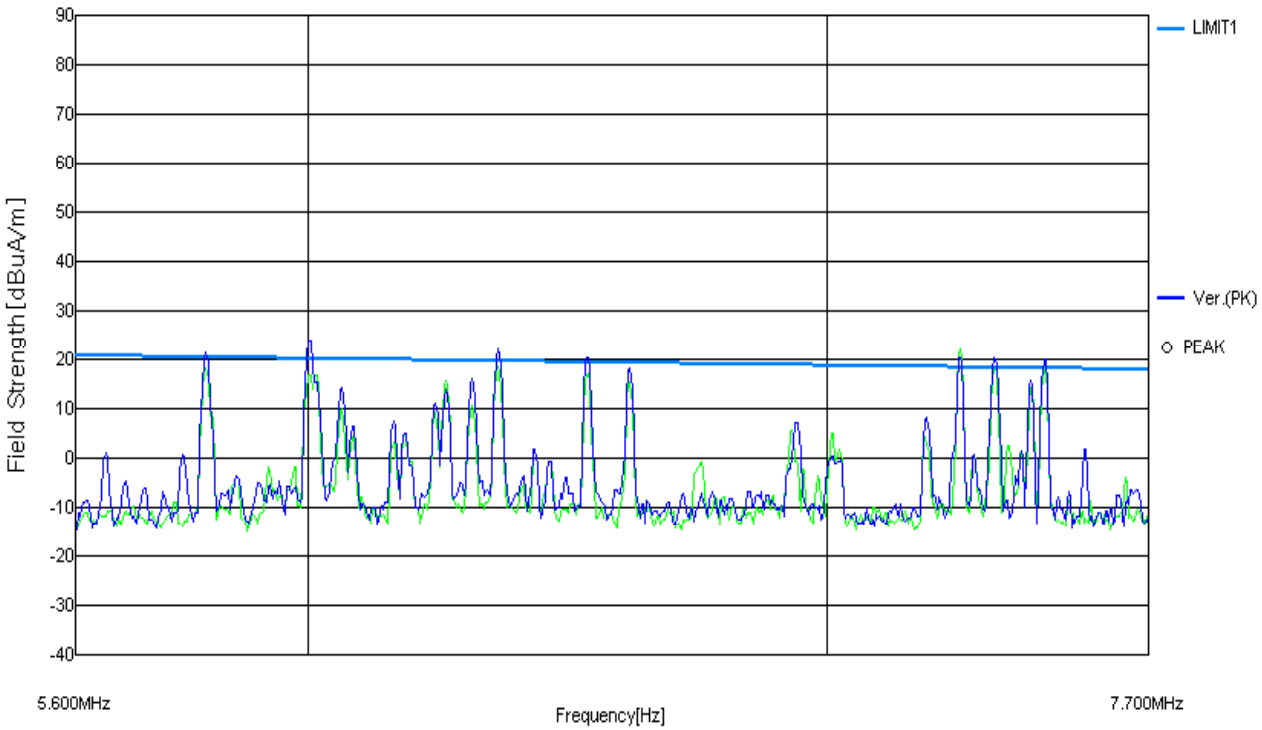
[150 kHz - 30 MHz]



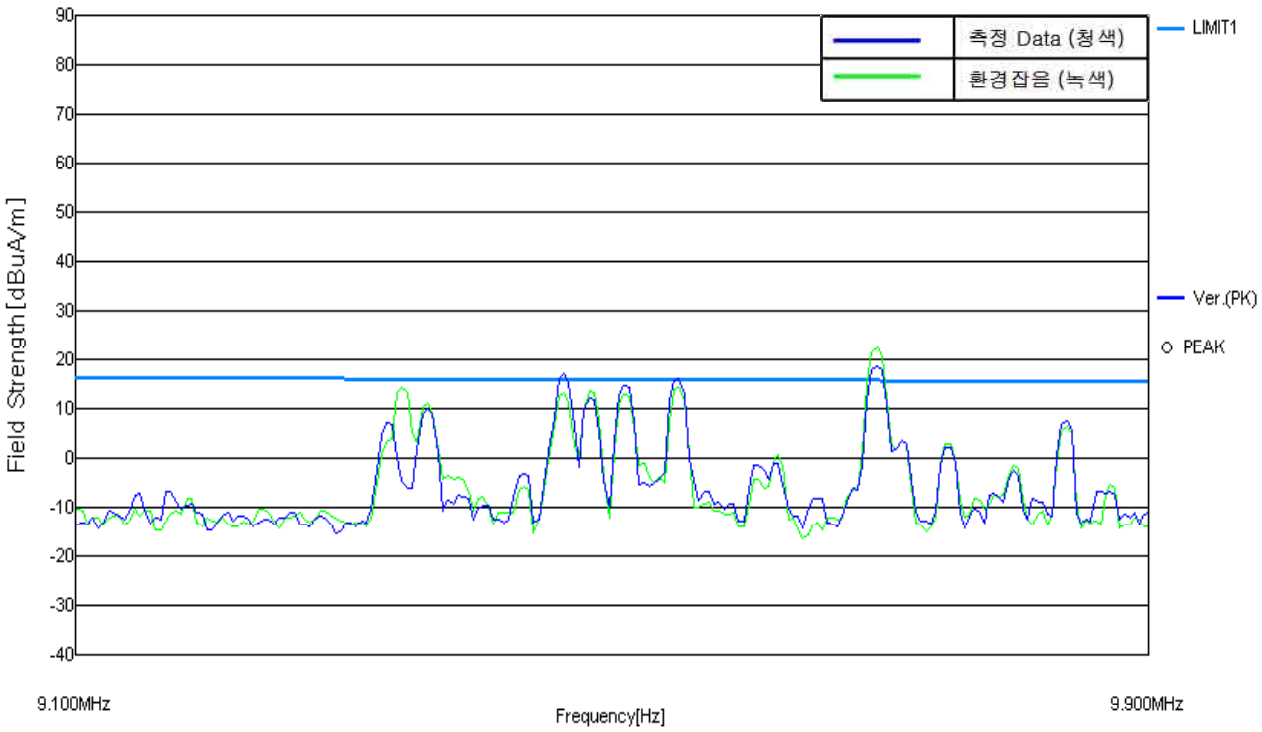

[630 kHz - 890 MHz]



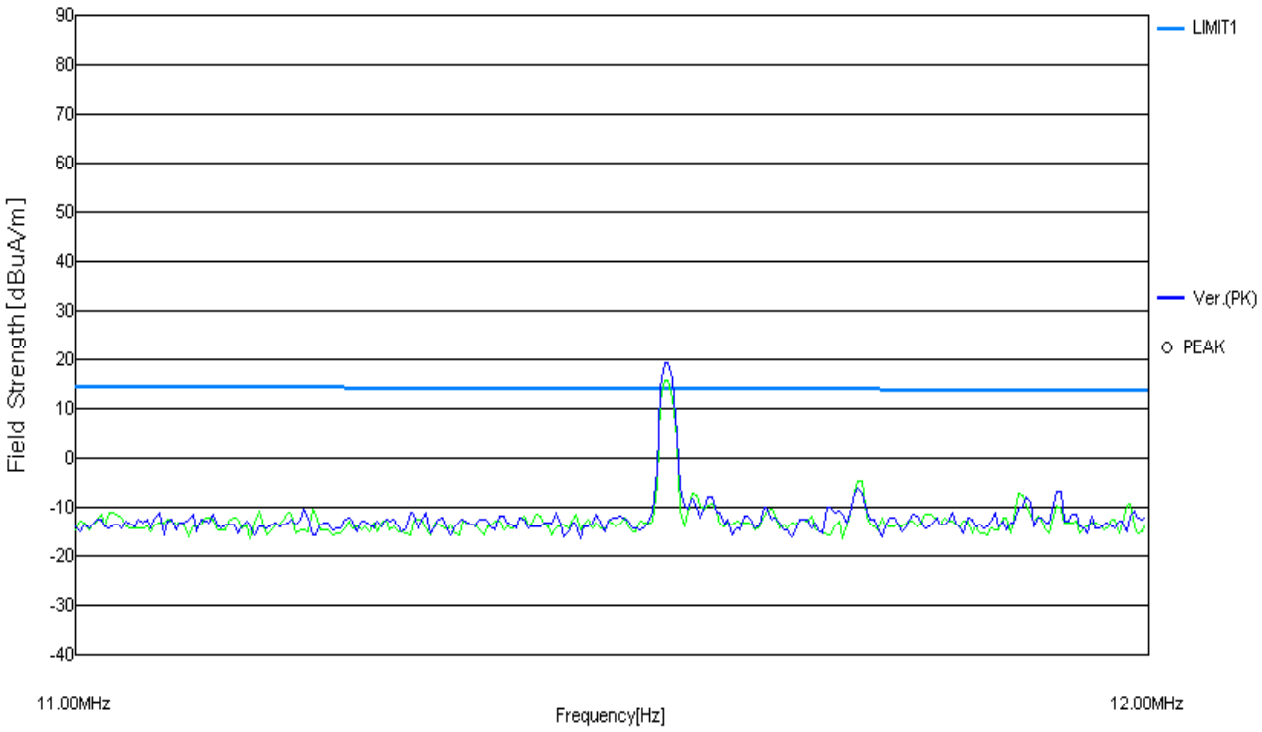

[3.3 MHz – 4.93 MHz]



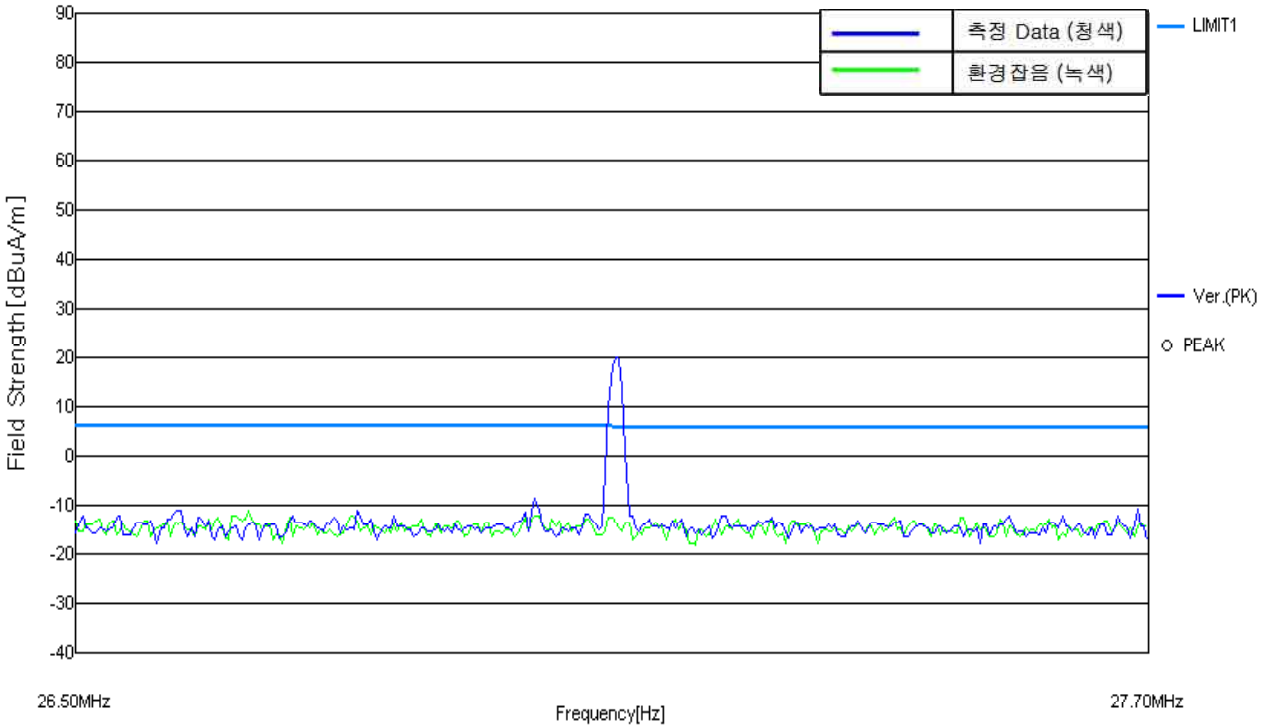

[5.6 MHz – 7.7 MHz]




[9.1 MHz – 9.9 MHz]

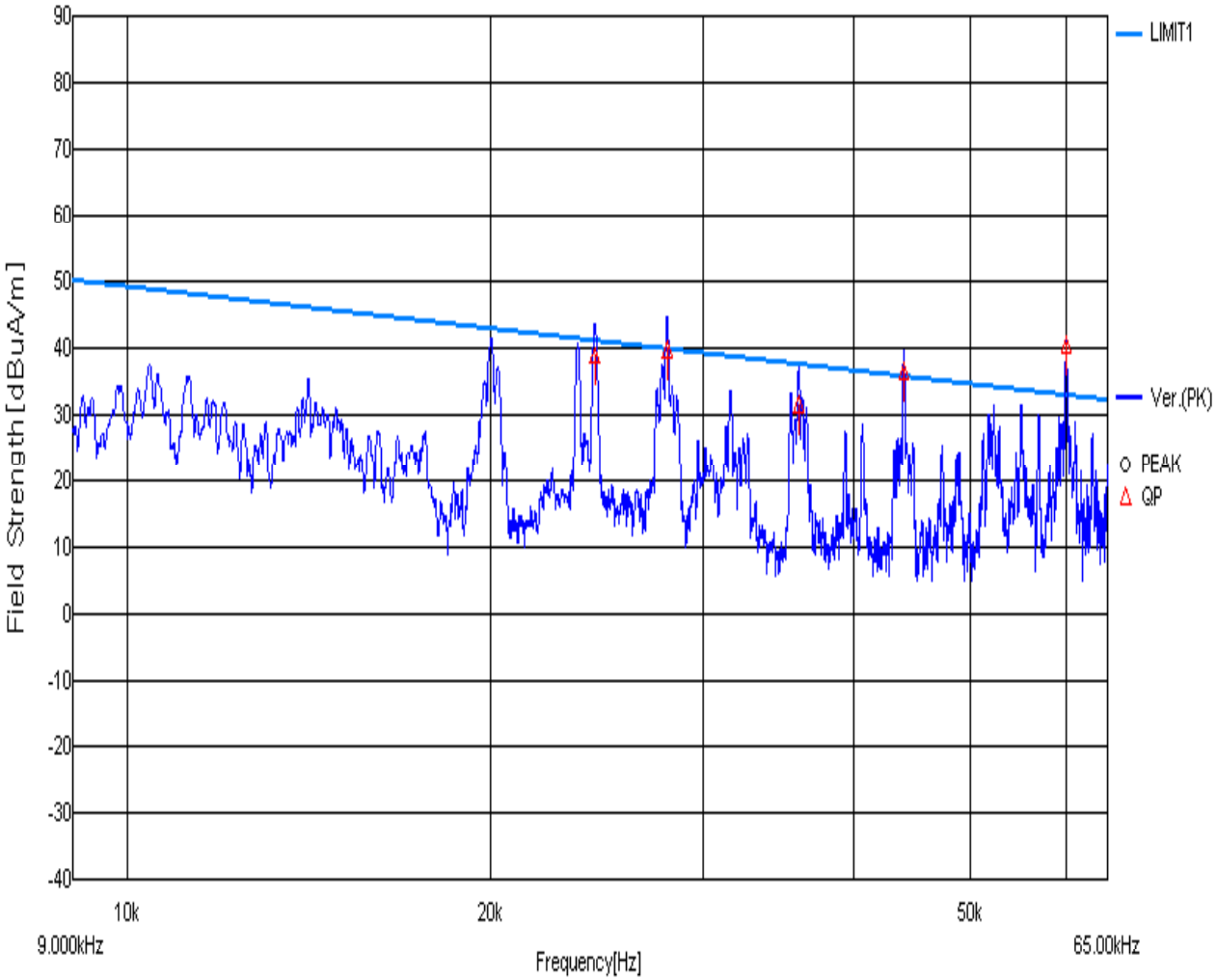



[11 MHz – 12 MHz]




[26.5 MHz - 27.7 MHz]

### 3.1.9 정차동력차 모드 (PANTO) Data (9 kHz-65 kHz) - Ver.

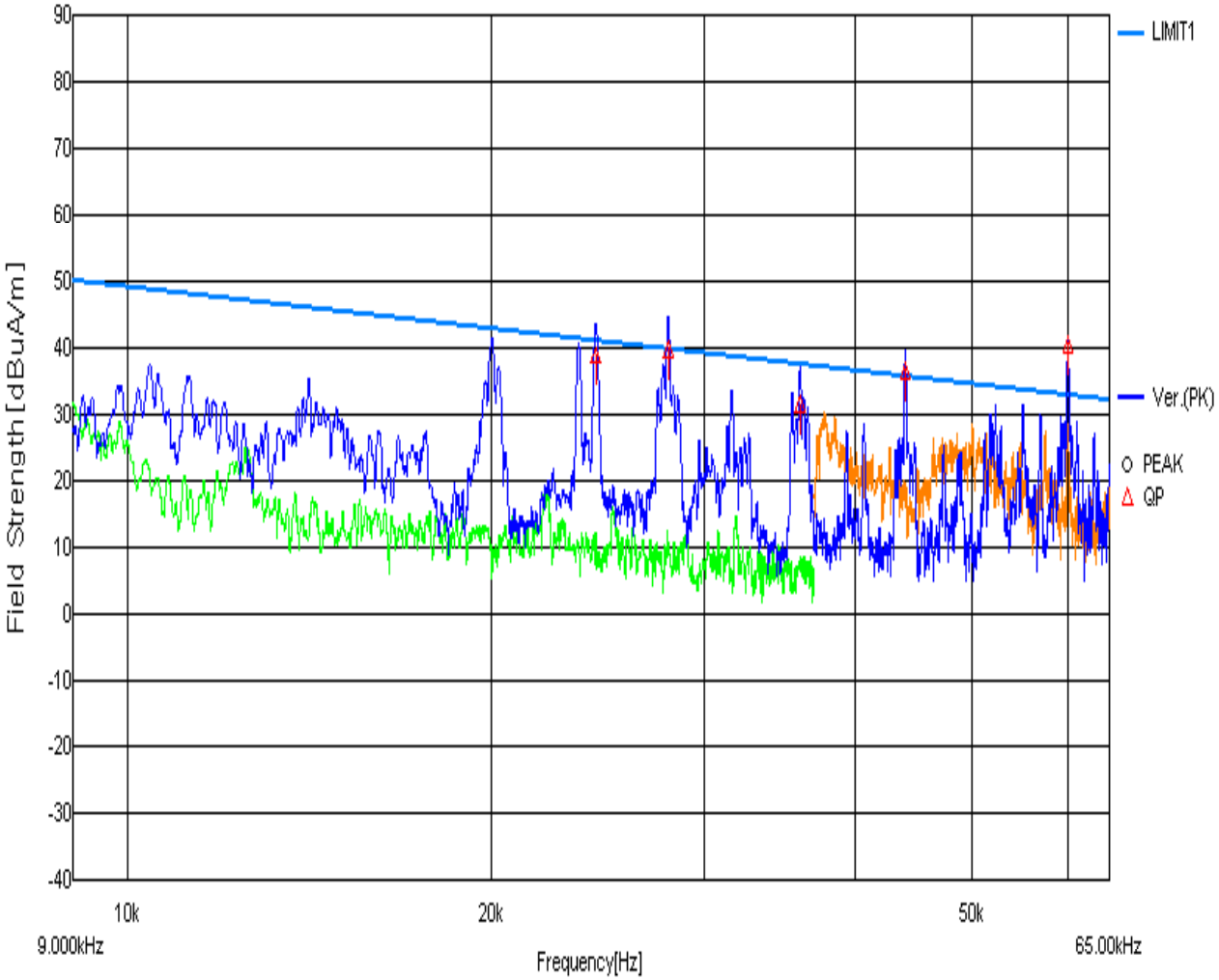



| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.024393 | Ver. | --- | --- | 71.3 | 19.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 38.9 | -- | 41.1 | 2.2 | OK |
| 0.028005 | Ver. | --- | --- | 72.8 | 18.4 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 39.8 | -- | 39.9 | 0.1 | OK |
| 0.035992 | Ver. | --- | --- | 64.9 | 18.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 31.5 | -- | 37.7 | 6.2 | OK |
| 0.044000 | Ver. | --- | --- | 70.3 | 17.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 36.6 | -- | 35.9 | -0.7 | |
| 0.060009 | Ver. | --- | --- | 74.4 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 40.6 | -- | 33.1 | -7.4 | |

[9 kHz - 65 kHz]

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음1 (녹색) |
| | 환경잡음2 (주황색) |

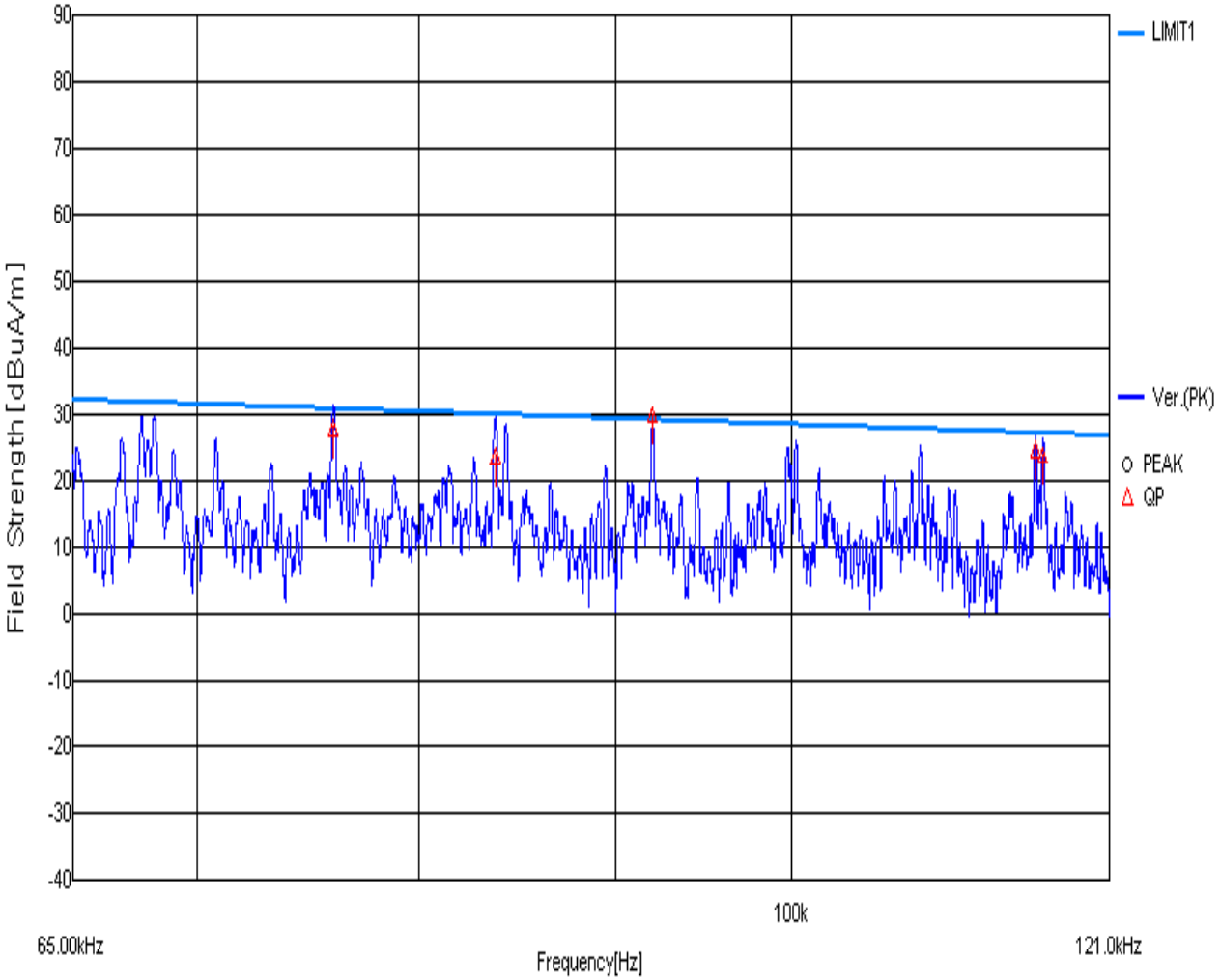
### 3.1.10 정차동력차 모드 (PANTO) Data (9 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음




| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.024393 | Ver. | --- | --- | 71.3 | 19.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 38.9 | -- | 41.1 | 2.2 | OK |
| 0.028005 | Ver. | --- | --- | 72.8 | 18.4 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 39.8 | -- | 39.9 | 0.1 | OK |
| 0.035992 | Ver. | --- | --- | 64.9 | 18.0 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 31.5 | -- | 37.7 | 6.2 | OK |
| 0.044000 | Ver. | --- | --- | 70.3 | 17.8 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 36.6 | -- | 35.9 | -0.7 | |
| 0.060009 | Ver. | --- | --- | 74.4 | 17.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 40.6 | -- | 33.1 | -7.4 | |

[9 kHz - 65 kHz]

### 3.1.11 정차동력차 모드 (PANTO) Data (65 kHz-121kHz) - Ver.

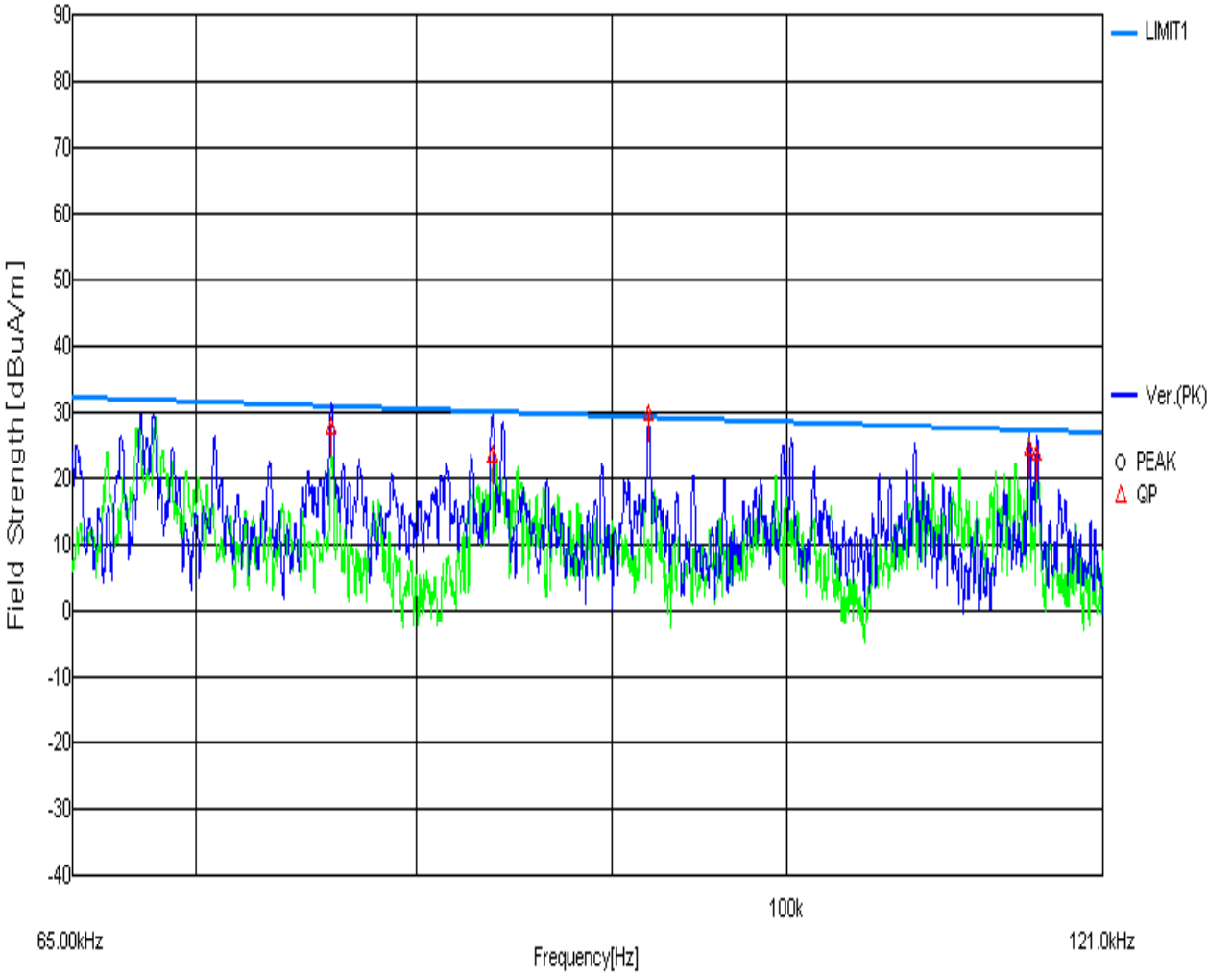



| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.076 | Ver. | --- | --- | 60.9 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 28.0 | -- | 31.0 | 3.0 | OK |
| 0.084 | Ver. | --- | --- | 56.6 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 23.7 | -- | 30.2 | 6.4 | OK |
| 0.092 | Ver. | --- | --- | 62.7 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 29.9 | -- | 29.3 | -0.6 | NOK |
| 0.116 | Ver. | --- | --- | 57.5 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 24.7 | -- | 27.3 | 2.6 | OK |
| 0.116 | Ver. | --- | --- | 56.7 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 23.9 | -- | 27.3 | 3.4 | OK |

[65 kHz - 121 kHz]

### 3.1.12 정차동력차 모드 (PANTO) Data (65 kHz-121kHz) - Ver. vs 환경잡음

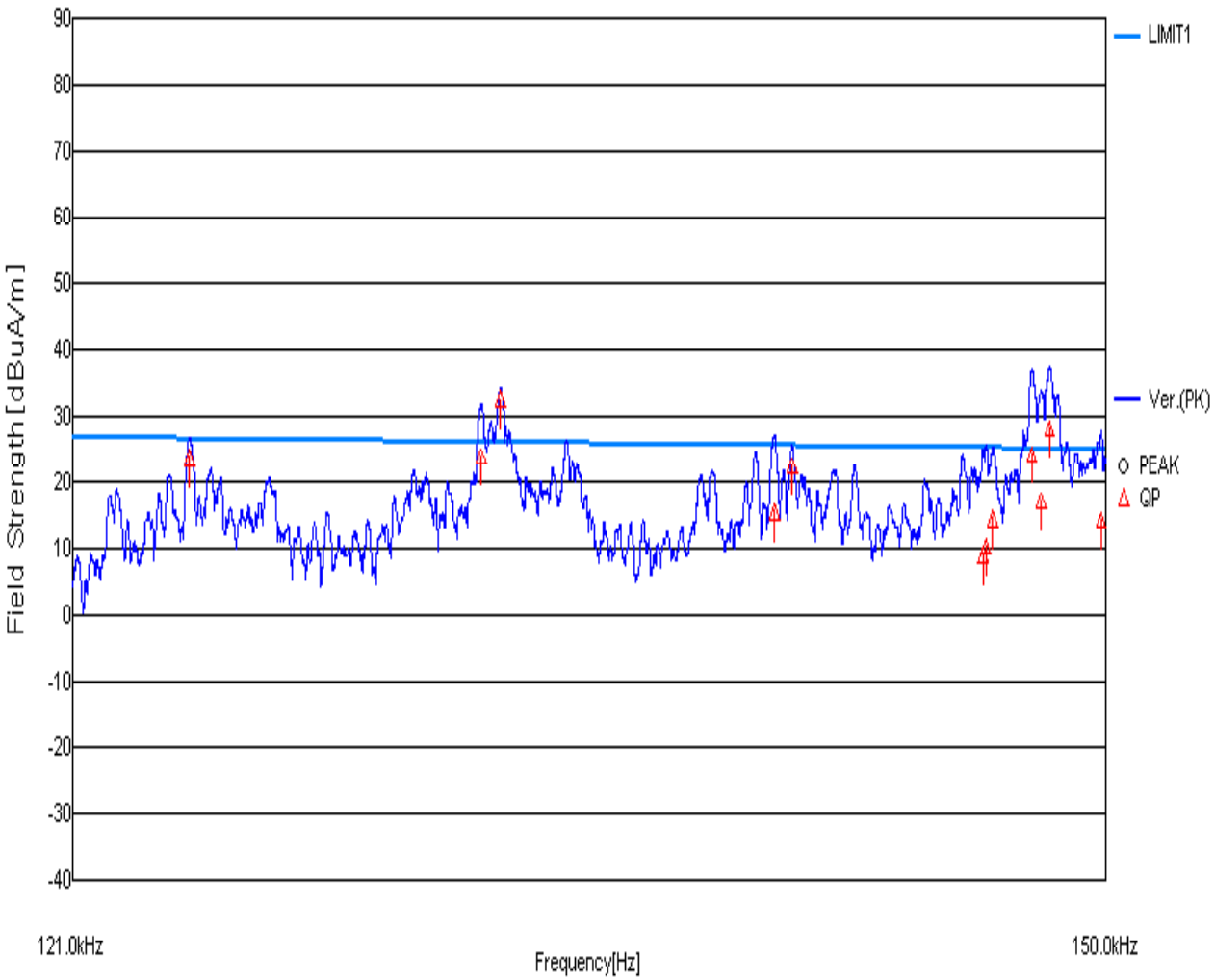
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.076 | Ver. | --- | --- | 60.9 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 28.0 | -- | 31.0 | 3.0 | OK |
| 0.084 | Ver. | --- | --- | 56.6 | 18.5 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 23.7 | -- | 30.2 | 6.4 | OK |
| 0.092 | Ver. | --- | --- | 62.7 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 29.9 | -- | 29.3 | -0.6 | NOK |
| 0.116 | Ver. | --- | --- | 57.5 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 24.7 | -- | 27.3 | 2.6 | OK |
| 0.116 | Ver. | --- | --- | 56.7 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 23.9 | -- | 27.3 | 3.4 | OK |

[65 kHz - 121 kHz]

### 3.1.13 정차동력차 모드 (PANTO) Data (121 kHz-150 kHz) - Ver.

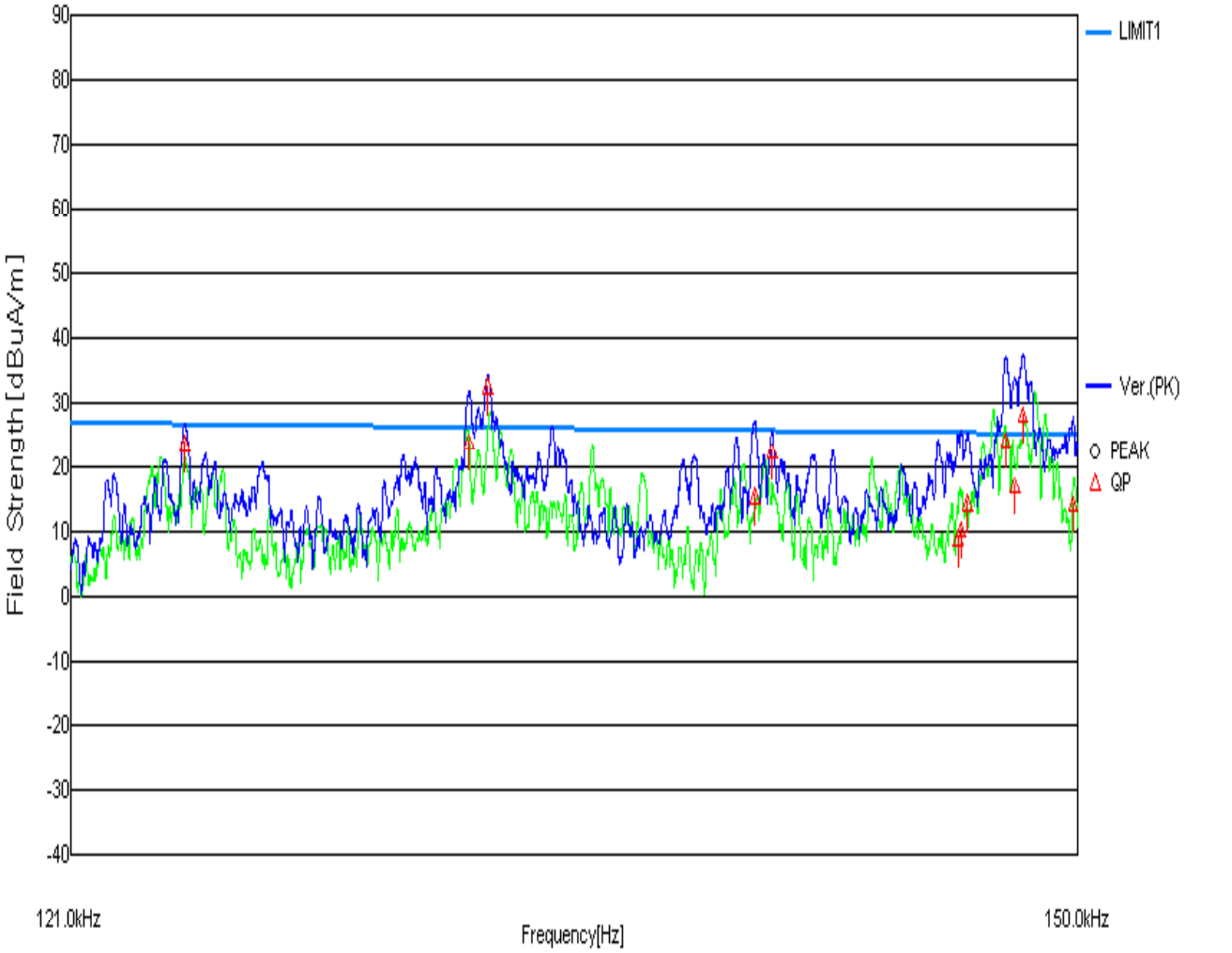



| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.124 | Ver. | --- | --- | 56.5 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 23.7 | -- | 26.7 | 3.0 | OK |
| 0.132 | Ver. | --- | --- | 56.7 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 23.8 | -- | 26.2 | 2.3 | OK |
| 0.132 | Ver. | --- | --- | 65.4 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 32.6 | -- | 26.1 | -6.5 | NOK |
| 0.140 | Ver. | --- | --- | 48.3 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 15.5 | -- | 25.6 | 10.1 | OK |
| 0.141 | Ver. | --- | --- | 55.3 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 22.5 | -- | 25.6 | 3.1 | OK |
| 0.146 | Ver. | --- | --- | 41.9 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 9.0 | -- | 25.2 | 16.2 | OK |
| 0.146 | Ver. | --- | --- | 43.2 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 10.3 | -- | 25.2 | 14.9 | OK |
| 0.147 | Ver. | --- | --- | 47.2 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 14.4 | -- | 25.2 | 10.8 | OK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 57.1 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 24.2 | -- | 25.1 | 0.9 | OK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 49.9 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 17.1 | -- | 25.1 | 8.1 | OK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 61.0 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 28.1 | -- | 25.1 | -3.0 | NOK |
| 0.150 | Ver. | --- | --- | 47.0 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 14.2 | -- | 25.0 | 10.8 | OK |

[121 kHz - 150 kHz]

### 3.1.14 정차동력차 모드 (PANTO) Data (121 kHz-150 kHz) - Ver. vs 환경잡음

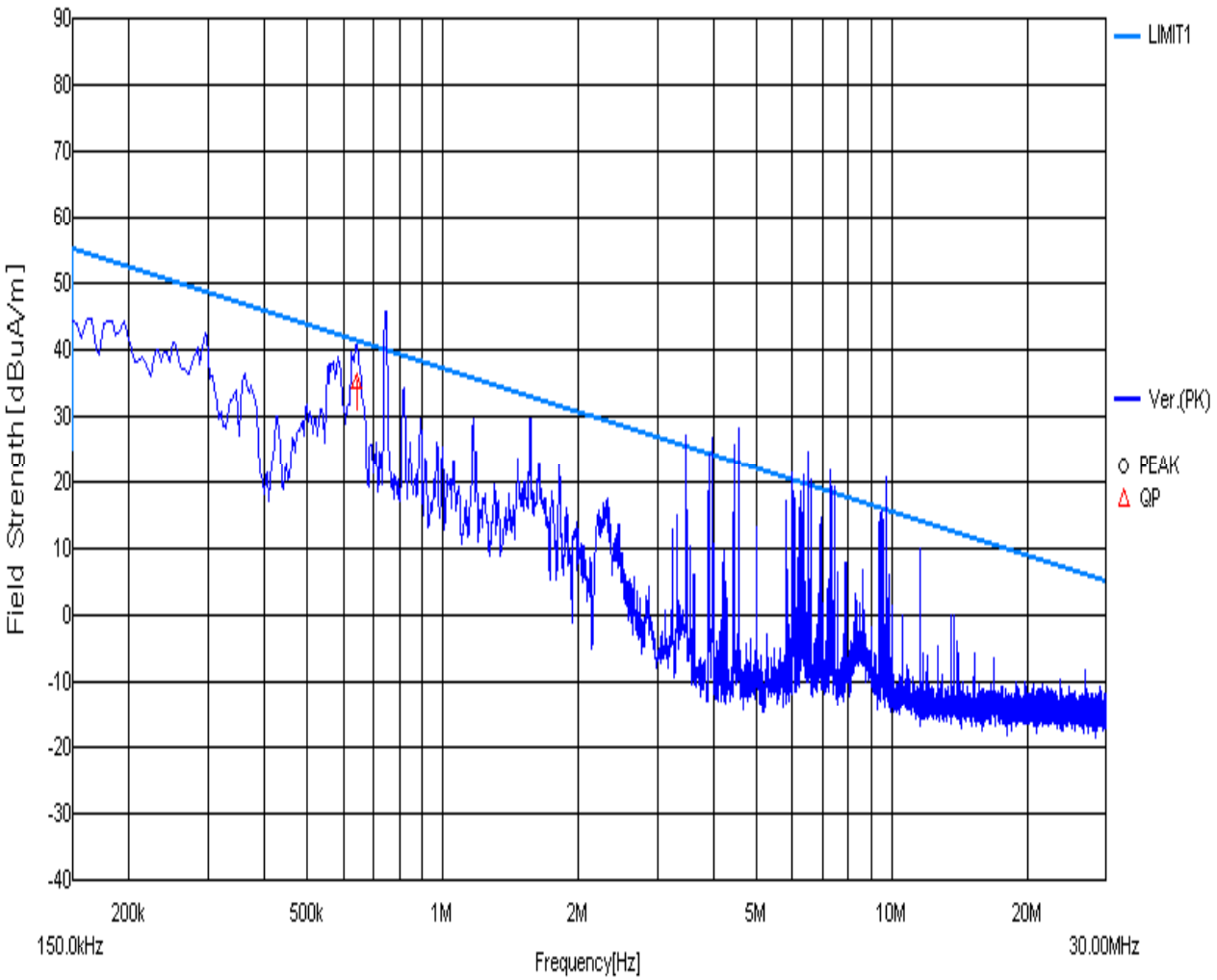
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.124 | Ver. | --- | --- | 56.5 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 23.7 | -- | 26.7 | 3.0 | OK |
| 0.132 | Ver. | --- | --- | 56.7 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 23.8 | -- | 26.2 | 2.3 | OK |
| 0.132 | Ver. | --- | --- | 65.4 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 32.6 | -- | 26.1 | -6.5 | NOK |
| 0.140 | Ver. | --- | --- | 48.3 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 15.5 | -- | 25.6 | 10.1 | OK |
| 0.141 | Ver. | --- | --- | 55.3 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 22.5 | -- | 25.6 | 3.1 | OK |
| 0.146 | Ver. | --- | --- | 41.9 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 9.0 | -- | 25.2 | 16.2 | OK |
| 0.146 | Ver. | --- | --- | 43.2 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 10.3 | -- | 25.2 | 14.9 | OK |
| 0.147 | Ver. | --- | --- | 47.2 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 14.4 | -- | 25.2 | 10.8 | OK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 57.1 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 24.2 | -- | 25.1 | 0.9 | OK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 49.9 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 17.1 | -- | 25.1 | 8.1 | OK |
| 0.148 | Ver. | --- | --- | 61.0 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 28.1 | -- | 25.1 | -3.0 | NOK |
| 0.150 | Ver. | --- | --- | 47.0 | 18.6 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 14.2 | -- | 25.0 | 10.8 | OK |

[121 kHz - 150 kHz]

3.1.15 정차동력차 모드 (PANTO) Data Data (150 kHz-30 MHz) - Ver.

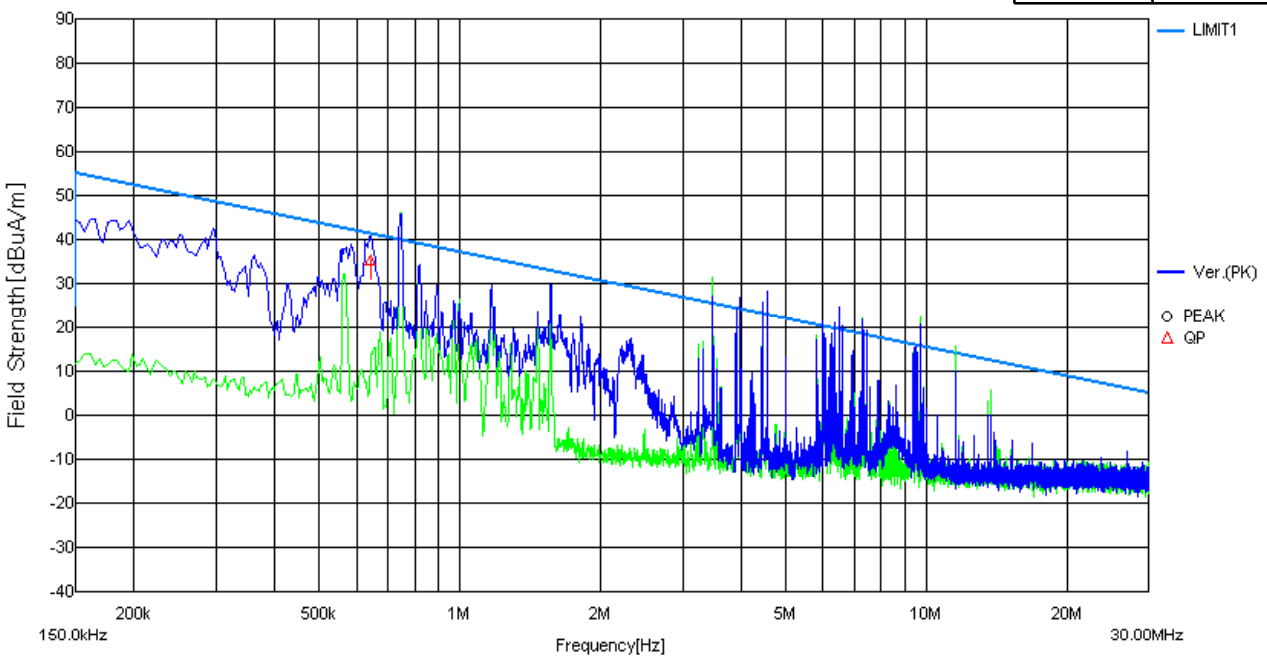



| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.643 | Ver. | --- | --- | 69.6 | 17.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 35.3 | -- | 41.3 | 6.0 | OK |

[150 kHz - 30 MHz]

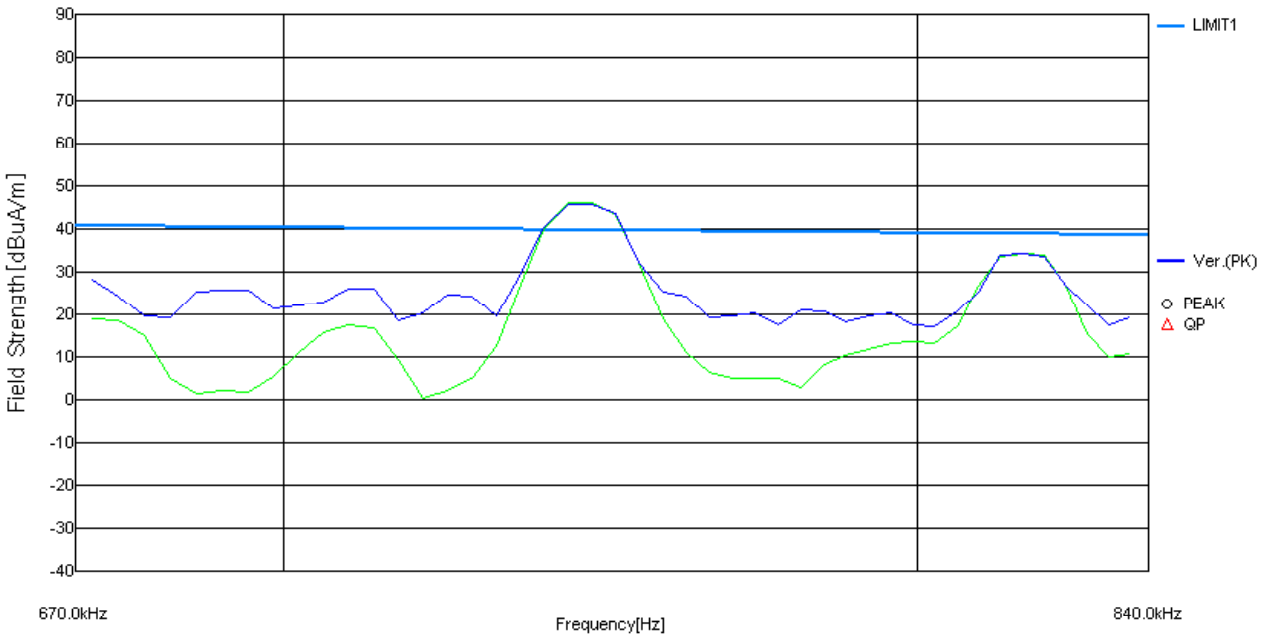
| | 측정 Data (청색) |
|---|---|
| | 환경잡음 (녹색) |

### 3.1.16 정차동력차 모드 (PANTO) Data Data (150 kHz-30 MHz) - Ver. vs 환경잡음

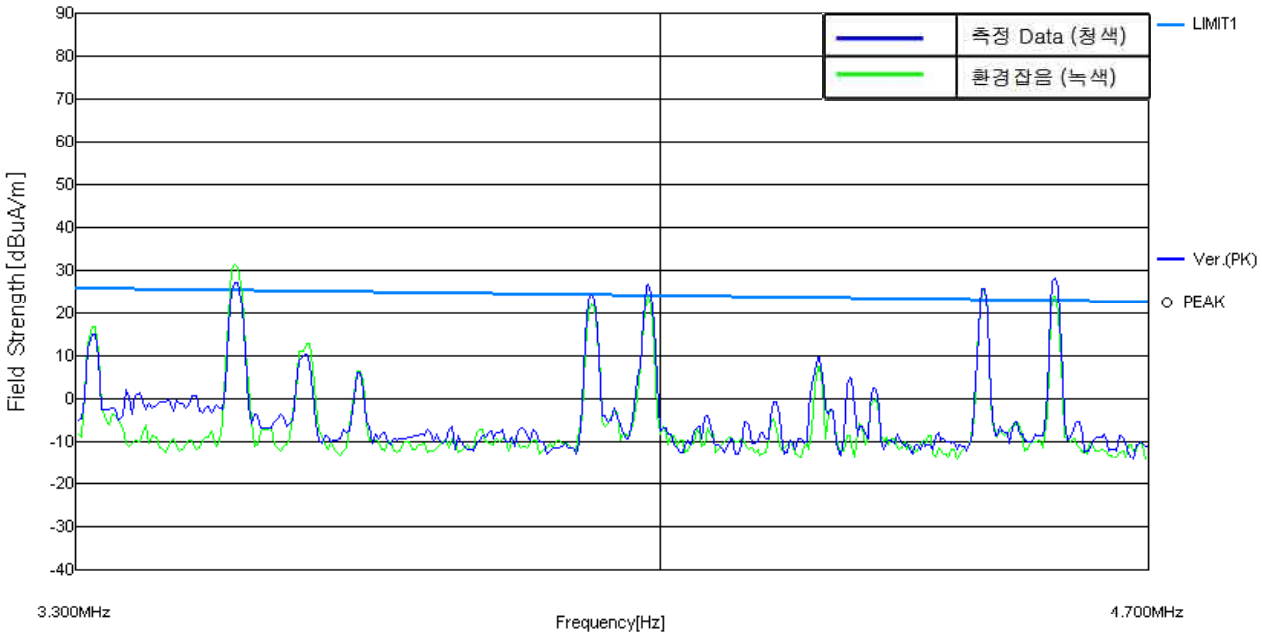



| Freq. | Pol | Level | | | Factor | | | PEAK | AV | QP | NB/BB | Limit | Margin | OK/NG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | | | | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.643 | Ver. | --- | --- | 69.6 | 17.1 | -51.4 | 0.0 | --- | --- | 35.3 | -- | 41.3 | 6.0 | OK |

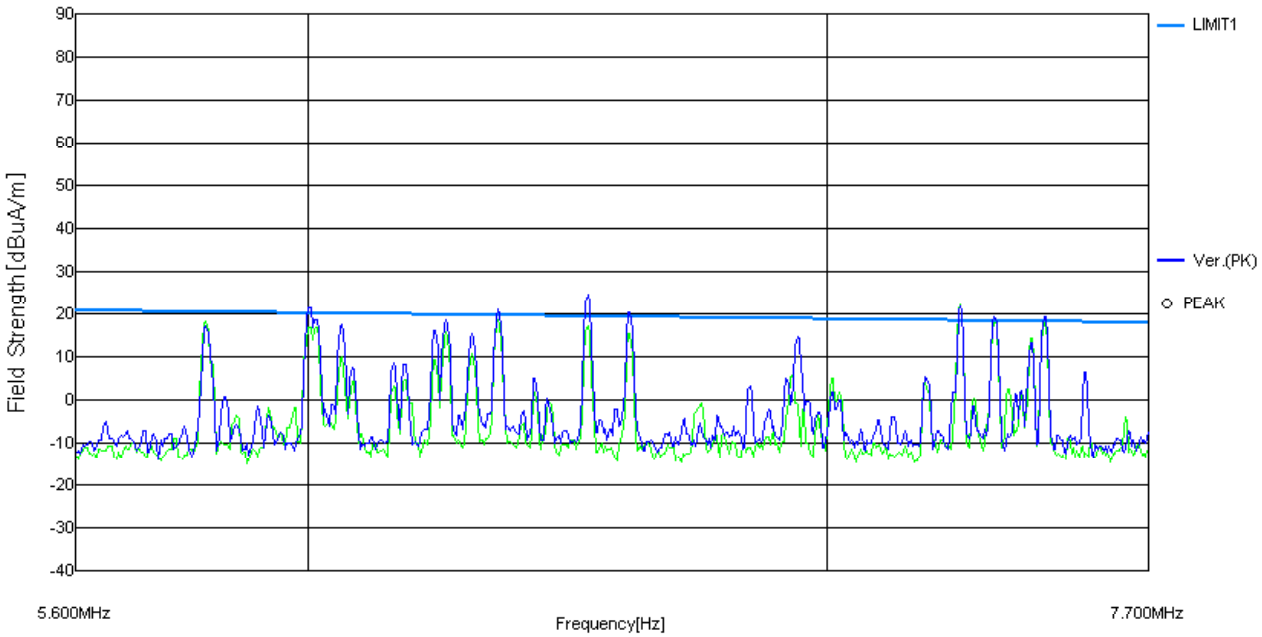
[150 kHz - 30 MHz]



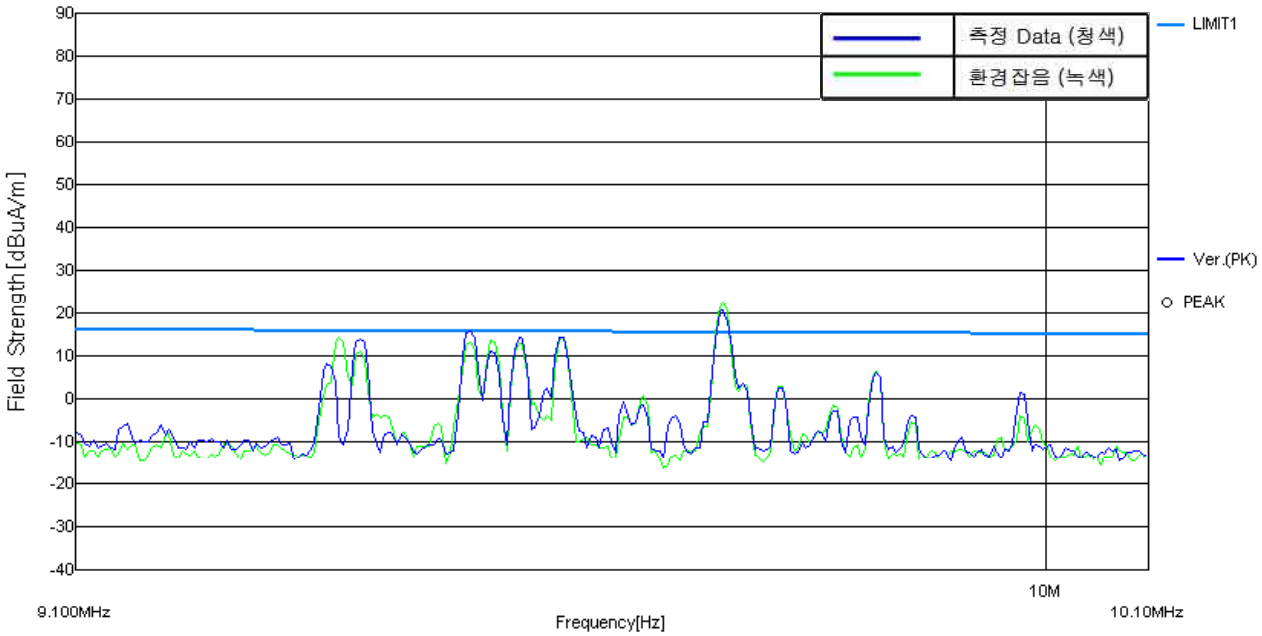

[670 kHz - 840 kHz]




[3.3 MHz – 4.7 MHz]



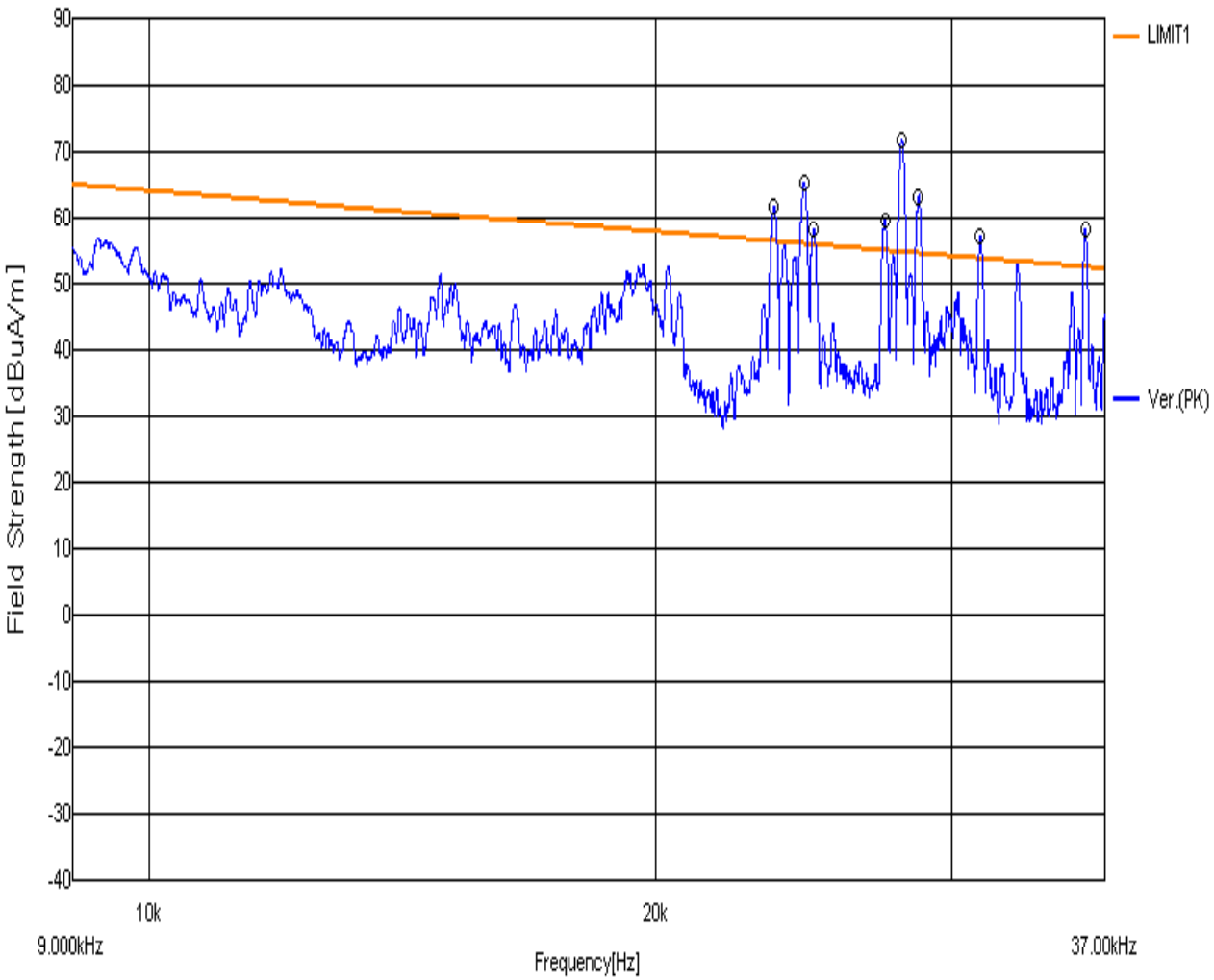

[5.6 MHz – 7.7 MHz]




[9.1 MHz - 10.1 MHz]

## 3.2 저속(50 kph) 역행 Data

### 3.2.1 저속(50 kph) 역행 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver.

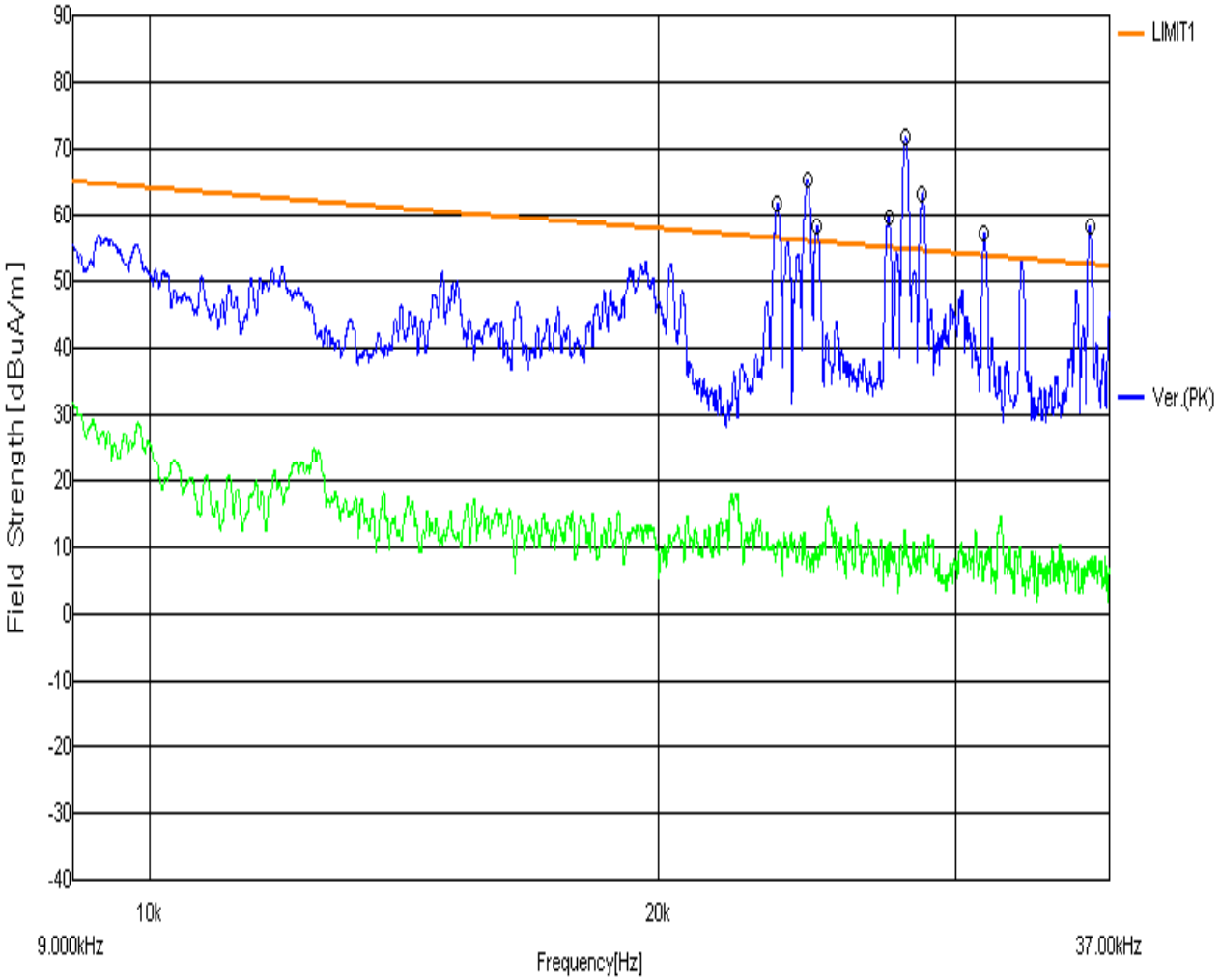



| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/ BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/ m] | [dB] | | [dBuA/ m] | | | | [dBuA/ m] | [dB] | |
| 0.023511 | Ver. | 93.9 | --- | --- | 19.1 | -51.4 | 0.0 | 61.7 | --- | --- | -- | 56.5 | -5.2 | NOK |
| 0.024505 | Ver. | 97.9 | --- | --- | 19.0 | -51.4 | 0.0 | 65.4 | --- | --- | -- | 56.1 | -9.3 | NOK |
| 0.024820 | Ver. | 90.6 | --- | --- | 18.9 | -51.4 | 0.0 | 58.1 | --- | --- | -- | 56.0 | -2.1 | NOK |
| 0.027361 | Ver. | 92.5 | --- | --- | 18.5 | -51.4 | 0.0 | 59.6 | --- | --- | -- | 55.1 | -4.5 | NOK |
| 0.028002 | Ver. | 104.9 | --- | --- | 18.4 | -51.4 | 0.0 | 71.9 | --- | --- | -- | 54.9 | -17.0 | NOK |
| 0.028646 | Ver. | 96.4 | --- | --- | 18.3 | -51.4 | 0.0 | 63.3 | --- | --- | -- | 54.7 | -8.6 | NOK |
| 0.031183 | Ver. | 90.4 | --- | --- | 18.1 | -51.4 | 0.0 | 57.1 | --- | --- | -- | 54.0 | -3.2 | NOK |
| 0.036006 | Ver. | 91.7 | --- | --- | 18.0 | -51.4 | 0.0 | 58.2 | --- | --- | -- | 52.7 | -5.6 | NOK |

[9 kHz - 37 kHz]

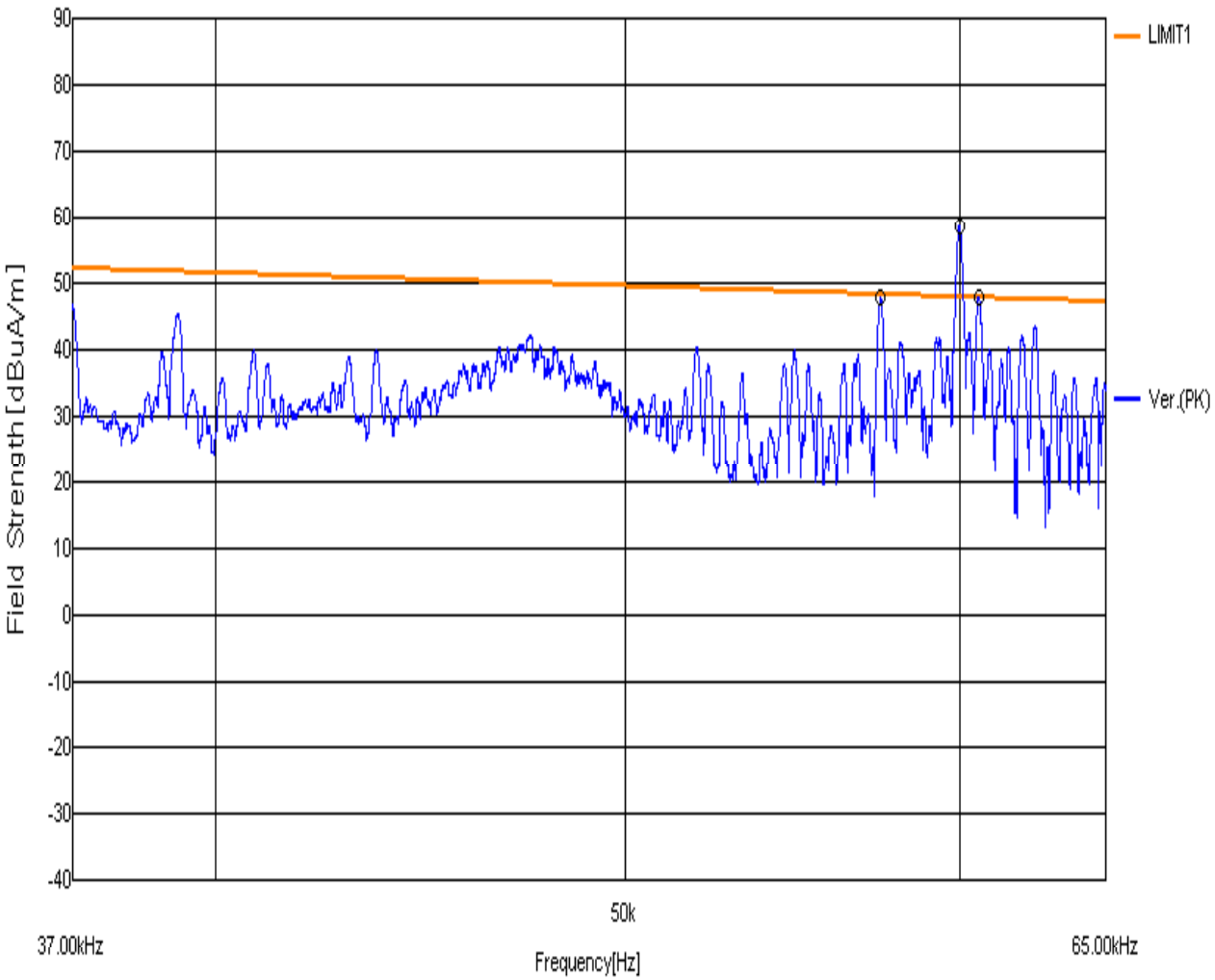
### 3.2.2 저속(50 kph) 역행 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. vs 환경잡음

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/ BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/ m] | [dB] | | [dBuA/ m] | | | | [dBuA/ m] | [dB] | |
| 0.023511 | Ver. | 93.9 | --- | --- | 19.1 | -51.4 | 0.0 | 61.7 | --- | --- | -- | 56.5 | -5.2 | NOK |
| 0.024505 | Ver. | 97.9 | --- | --- | 19.0 | -51.4 | 0.0 | 65.4 | --- | --- | -- | 56.1 | -9.3 | NOK |
| 0.024820 | Ver. | 90.6 | --- | --- | 18.9 | -51.4 | 0.0 | 58.1 | --- | --- | -- | 56.0 | -2.1 | NOK |
| 0.027361 | Ver. | 92.5 | --- | --- | 18.5 | -51.4 | 0.0 | 59.6 | --- | --- | -- | 55.1 | -4.5 | NOK |
| 0.028002 | Ver. | 104.9 | --- | --- | 18.4 | -51.4 | 0.0 | 71.9 | --- | --- | -- | 54.9 | -17.0 | NOK |
| 0.028646 | Ver. | 96.4 | --- | --- | 18.3 | -51.4 | 0.0 | 63.3 | --- | --- | -- | 54.7 | -8.6 | NOK |
| 0.031183 | Ver. | 90.4 | --- | --- | 18.1 | -51.4 | 0.0 | 57.1 | --- | --- | -- | 54.0 | -3.2 | NOK |
| 0.036006 | Ver. | 91.7 | --- | --- | 18.0 | -51.4 | 0.0 | 58.2 | --- | --- | -- | 52.7 | -5.6 | NOK |

### 3.2.3 저속(50 kph) 역행 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver.

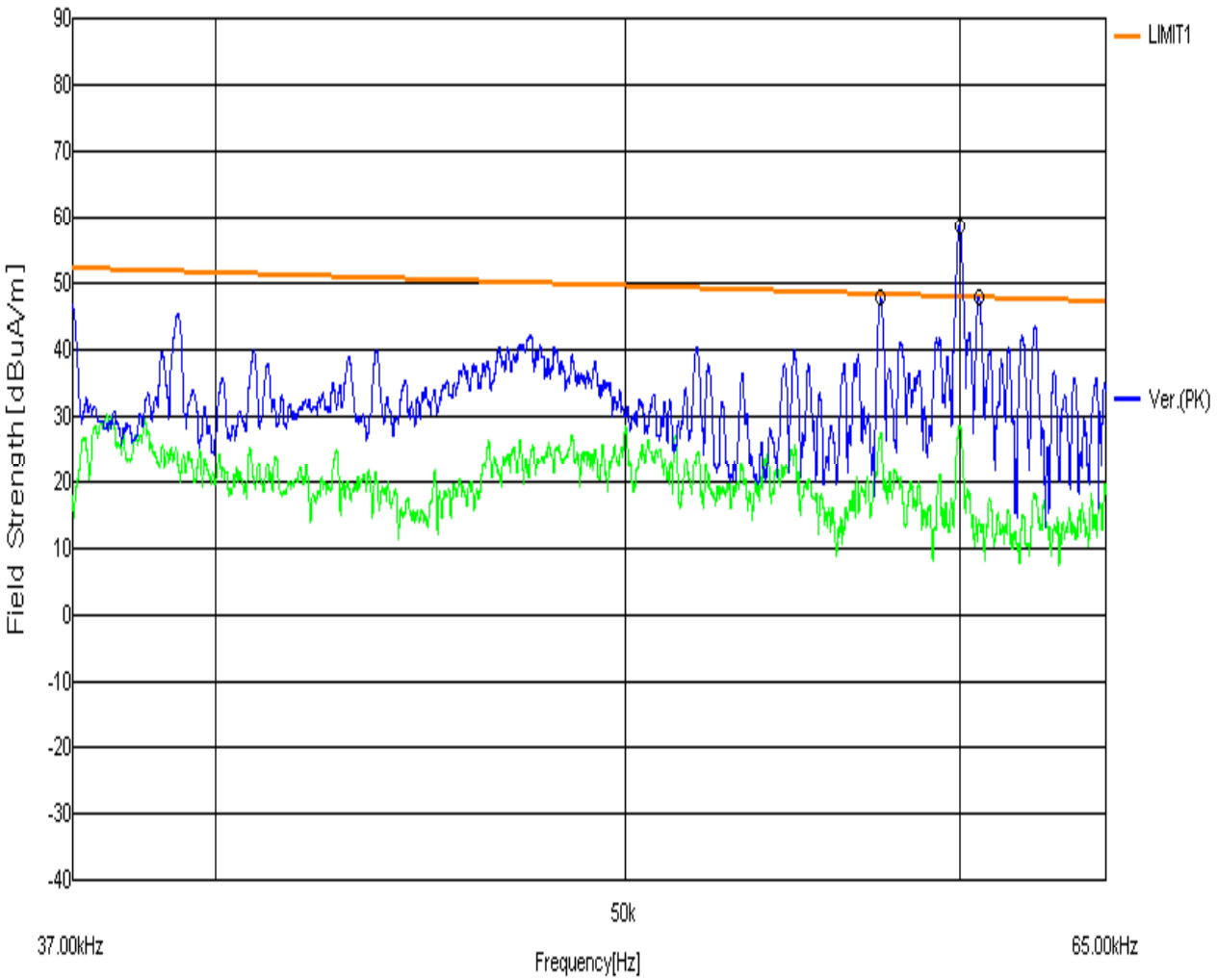



| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.057475 | Ver. | 80.6 | --- | --- | 18.4 | -51.4 | 0.0 | 47.7 | --- | --- | -- | 48.5 | 0.8 | OK |
| 0.059995 | Ver. | 91.6 | --- | --- | 18.5 | -51.4 | 0.0 | 58.6 | --- | --- | -- | 48.1 | -10.5 | NOK |
| 0.060646 | Ver. | 80.8 | --- | --- | 18.5 | -51.4 | 0.0 | 47.9 | --- | --- | -- | 48.1 | 0.2 | OK |

[37 kHz - 65 kHz]

### 3.2.4 저속(50 kph) 역행 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음

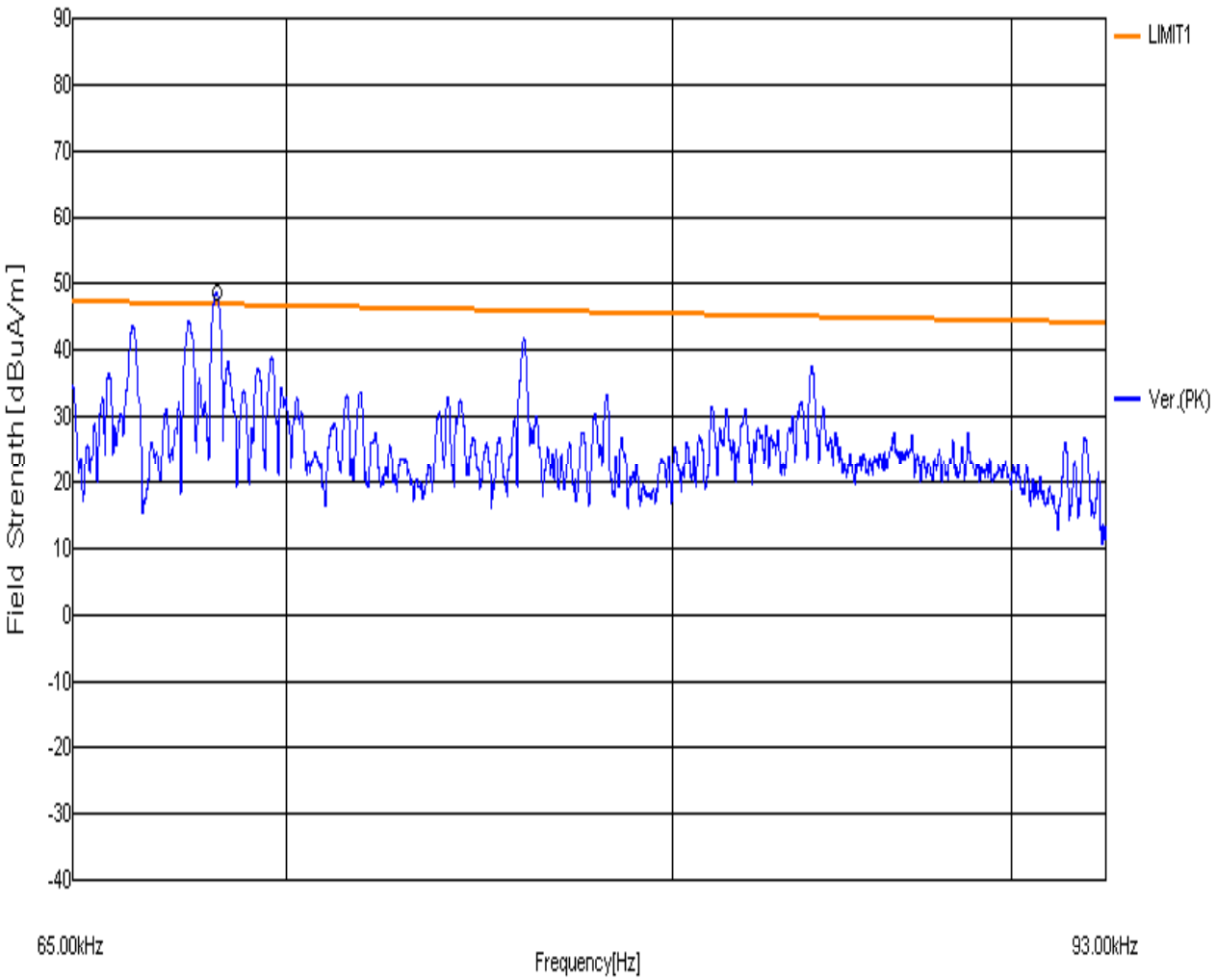
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.057475 | Ver. | 80.6 | --- | --- | 18.4 | -51.4 | 0.0 | 47.7 | --- | --- | -- | 48.5 | 0.8 | OK |
| 0.059995 | Ver. | 91.6 | --- | --- | 18.5 | -51.4 | 0.0 | 58.6 | --- | --- | -- | 48.1 | -10.5 | NOK |
| 0.060646 | Ver. | 80.8 | --- | --- | 18.5 | -51.4 | 0.0 | 47.9 | --- | --- | -- | 48.1 | 0.2 | OK |

[37 kHz - 65 kHz]

3.2.5 저속(50 kph) 역행 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver.

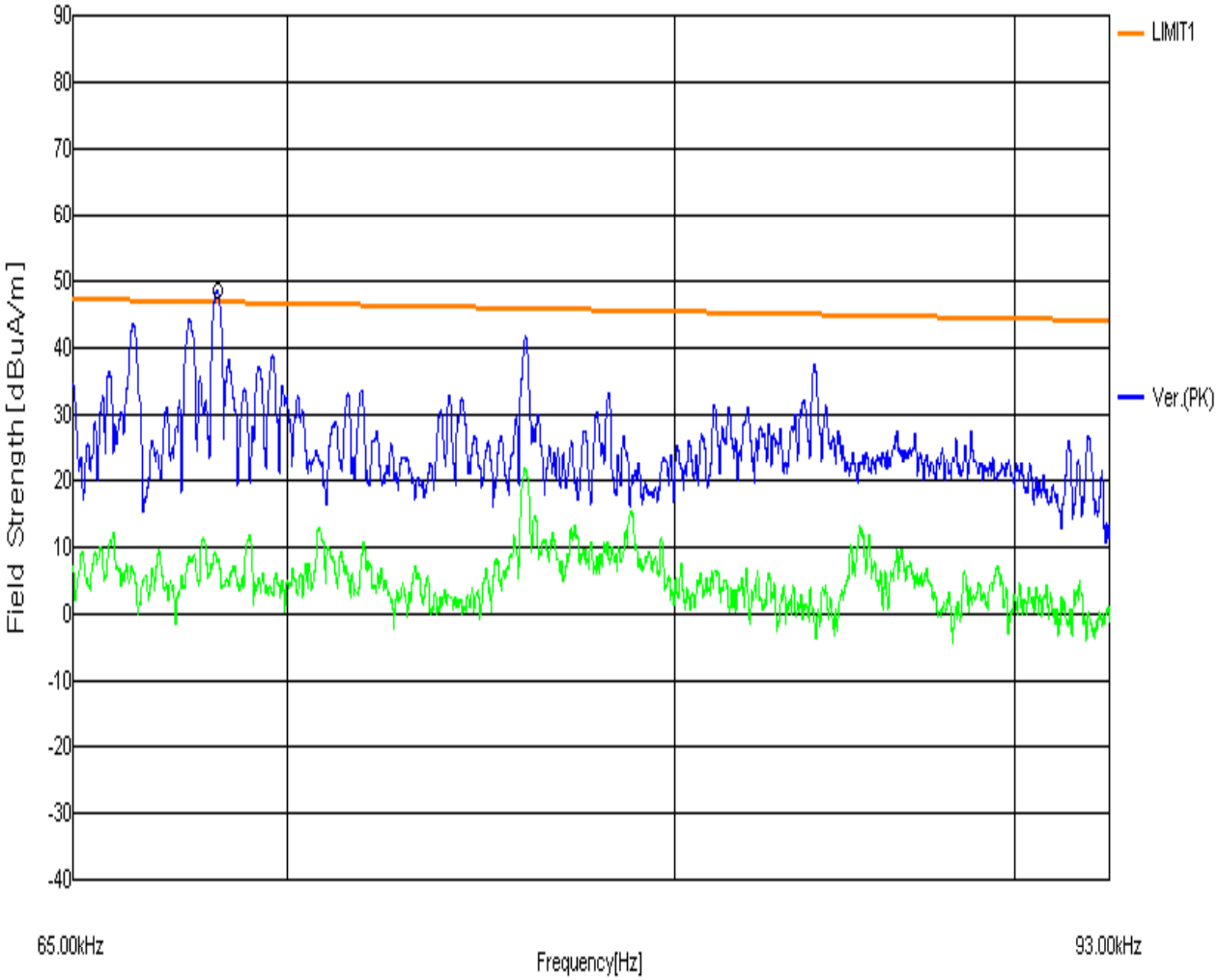



| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.068325 | Ver. | 82.4 | --- | --- | 17.5 | -51.4 | 0.0 | 48.5 | --- | --- | -- | 47.0 | -1.6 | NOK |

[65 kHz - 93 kHz]

### 3.2.6 저속(50 kph) 역행 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. vs 환경잡음

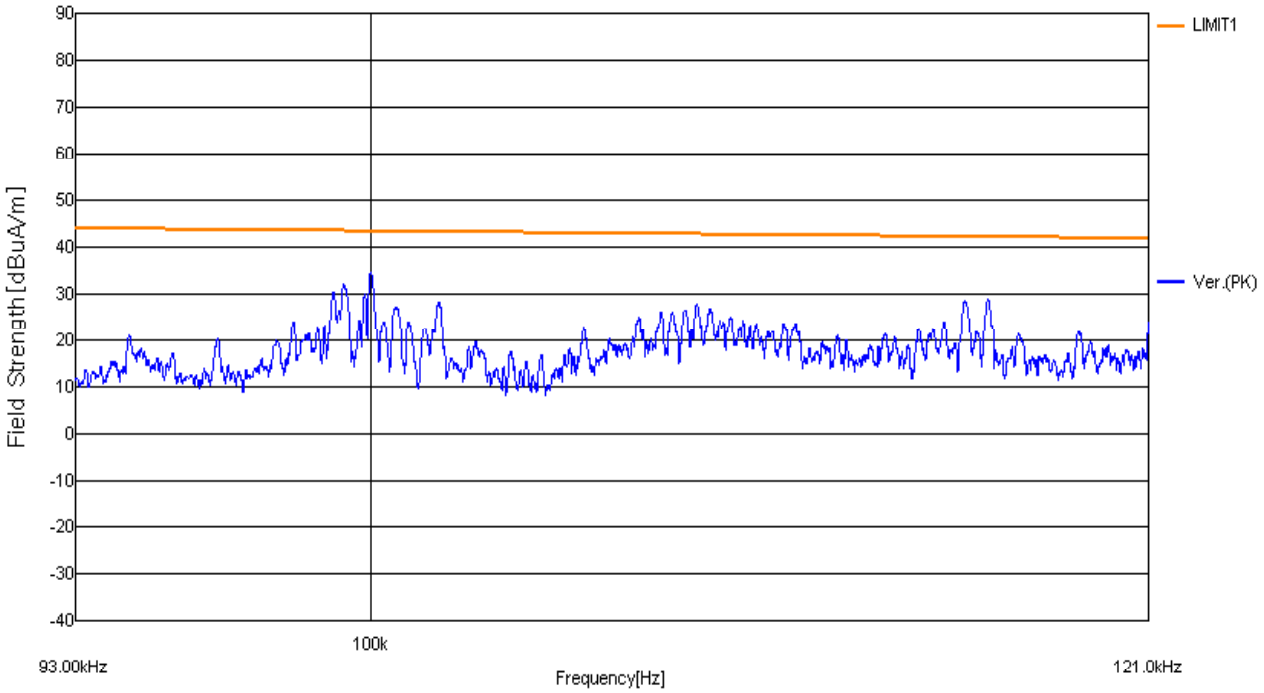
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.068325 | Ver. | 82.4 | --- | --- | 17.5 | -51.4 | 0.0 | 48.5 | --- | --- | -- | 47.0 | -1.6 | NOK |

[65 kHz - 93 kHz]

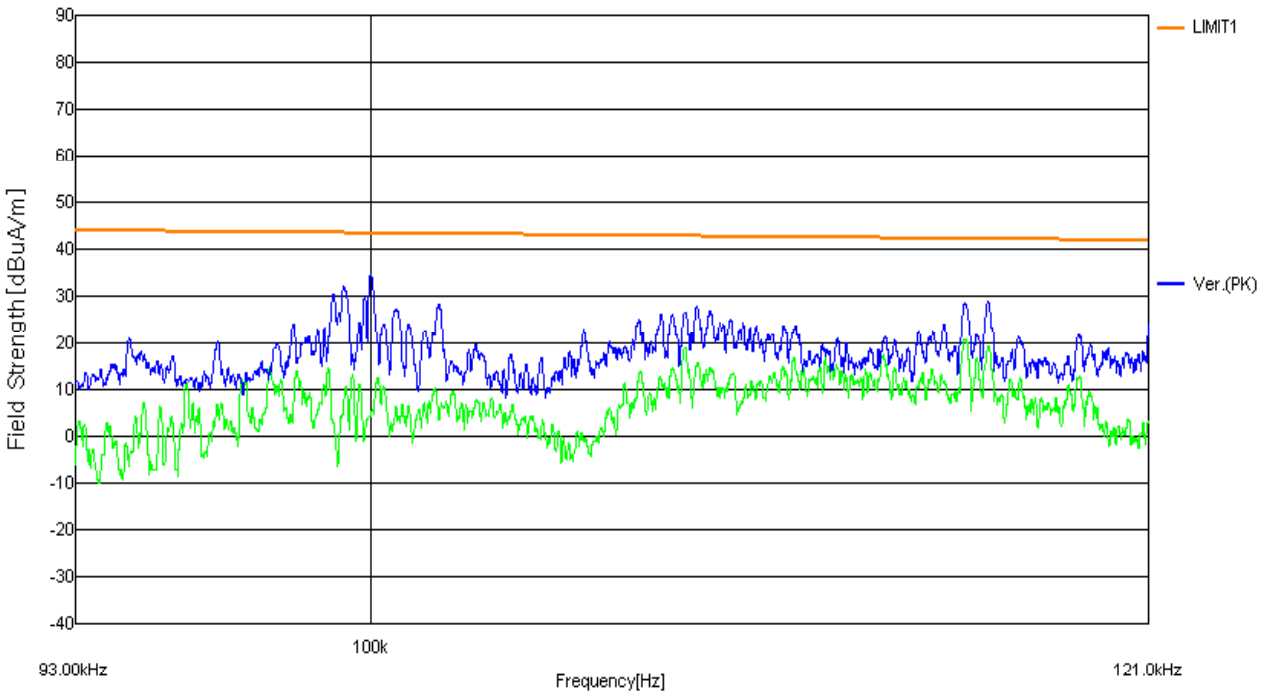
### 3.2.7 저속(50 kph) 역행 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver.




[93 kHz - 121 kHz]

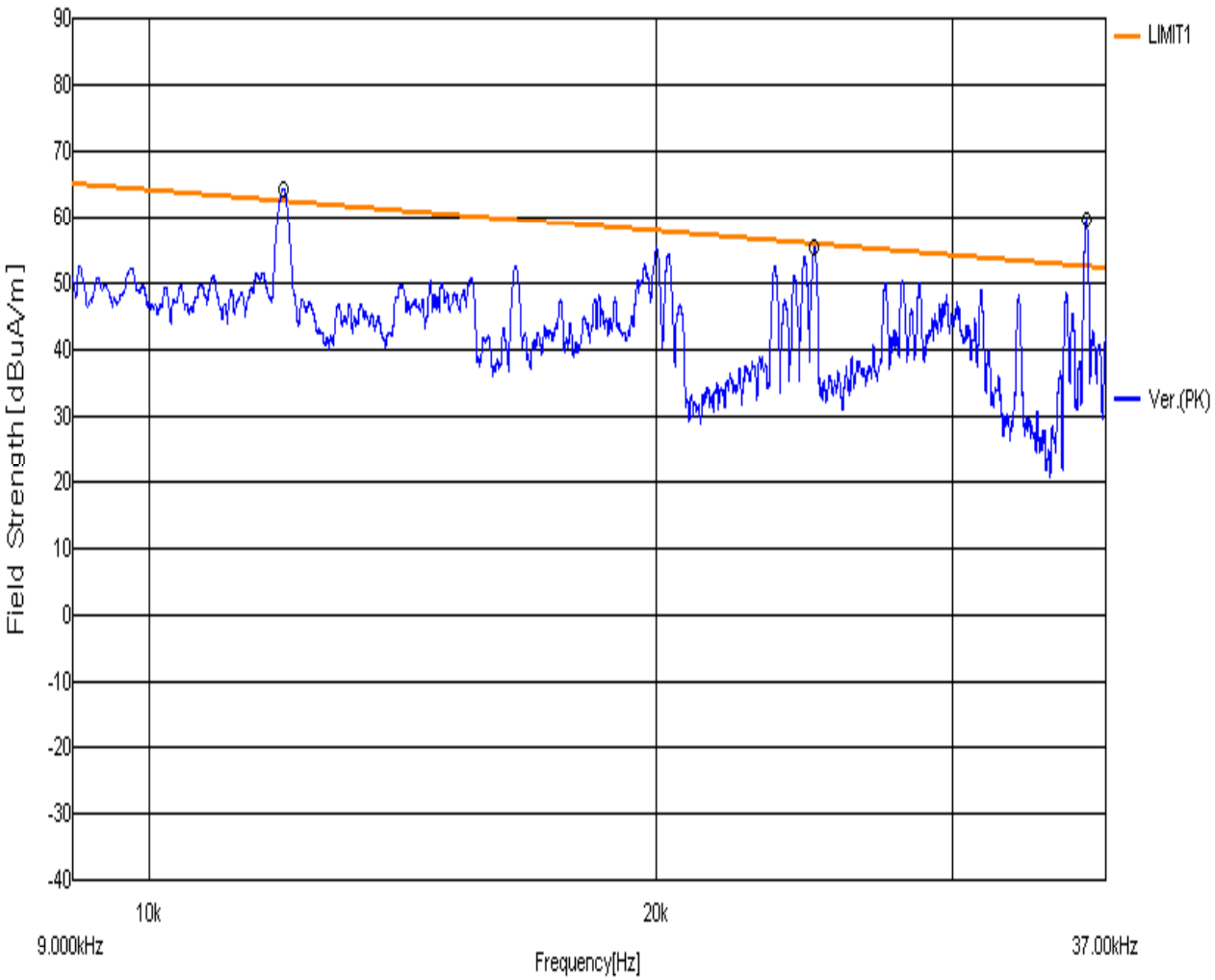
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

### 3.2.8 저속(50 kph) 역행 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. vs 환경잡음




[93 kHz - 121 kHz]

### 3.2.9 저속(50 kph) 회생 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver.

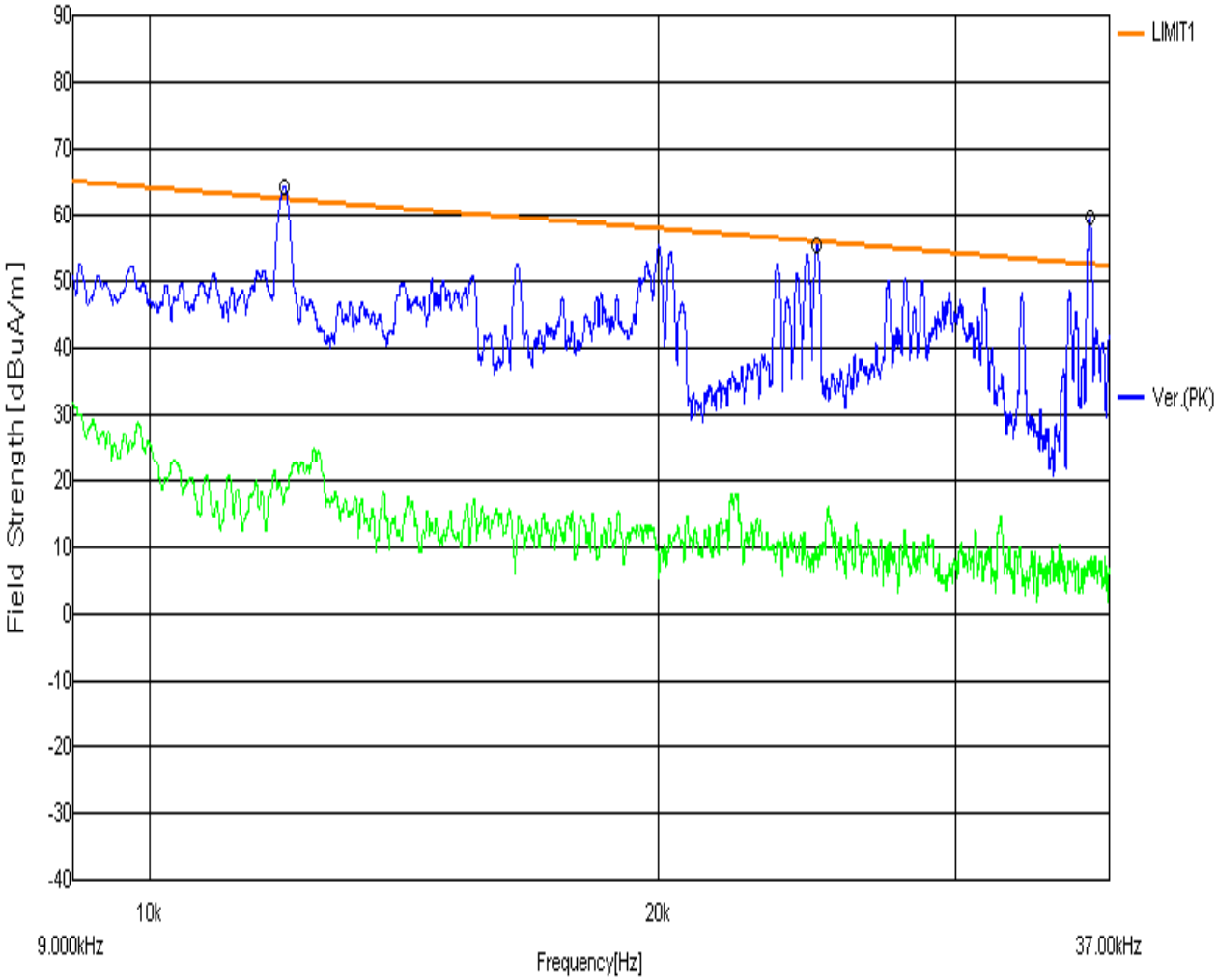



| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.012000 | Ver. | 94.0 | --- | --- | 21.8 | -51.4 | 0.0 | 64.4 | --- | --- | -- | 62.4 | -1.9 | NOK |
| 0.024820 | Ver. | 87.9 | --- | --- | 18.9 | -51.4 | 0.0 | 55.4 | --- | --- | -- | 56.0 | 0.6 | OK |
| 0.036010 | Ver. | 93.2 | --- | --- | 18.0 | -51.4 | 0.0 | 59.8 | --- | --- | -- | 52.7 | -7.1 | NOK |

[9 kHz - 37 kHz]

### 3.2.10 저속(50 kph) 회생 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. vs 환경잡음

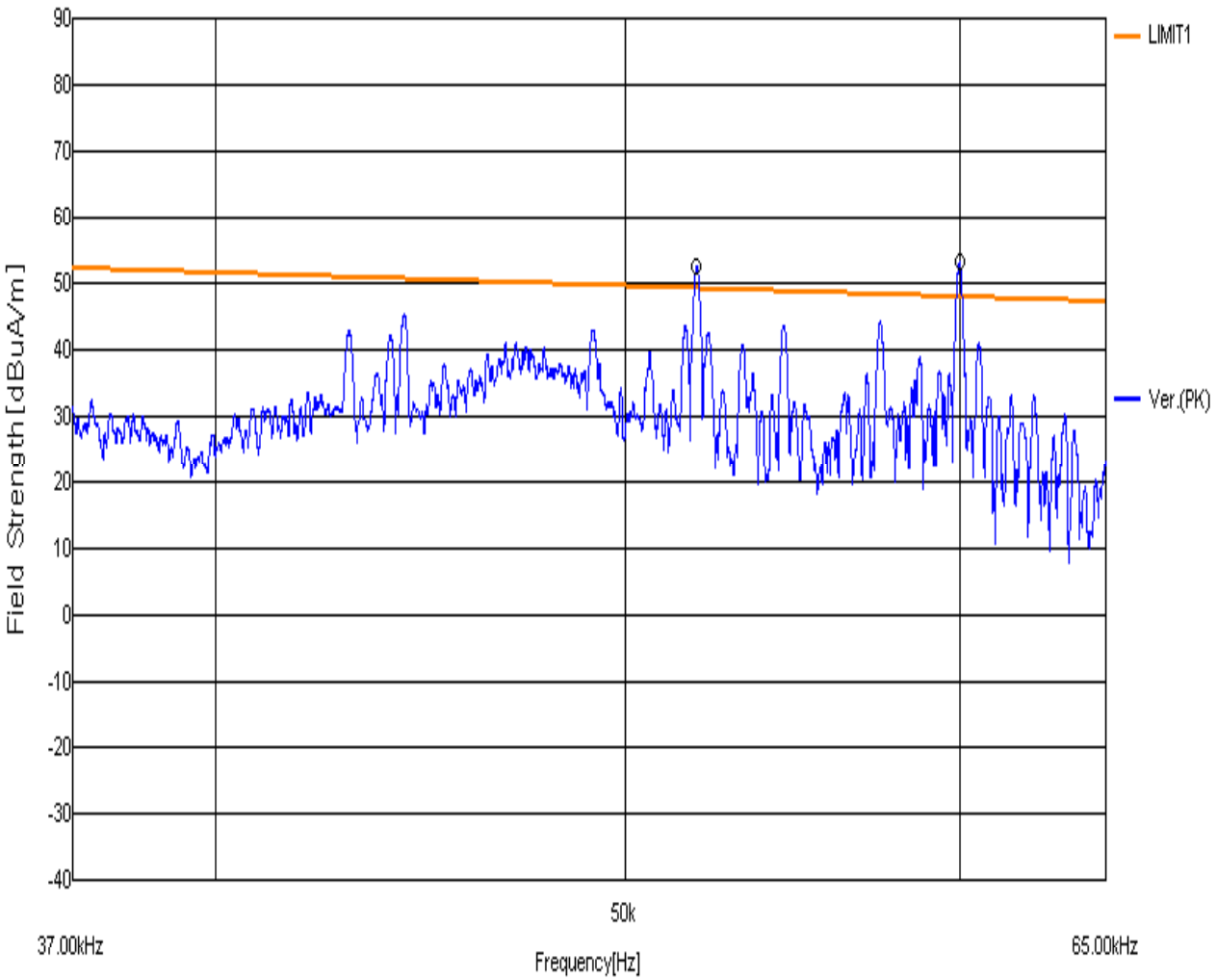
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/ BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/ m] | [dB] | | [dBuA/ m] | | | | [dBuA/ m] | [dB] | |
| 0.012000 | Ver. | 94.0 | --- | --- | 21.8 | -51.4 | 0.0 | 64.4 | --- | --- | -- | 62.4 | -1.9 | NOK |
| 0.024820 | Ver. | 87.9 | --- | --- | 18.9 | -51.4 | 0.0 | 55.4 | --- | --- | -- | 56.0 | 0.6 | OK |
| 0.036010 | Ver. | 93.2 | --- | --- | 18.0 | -51.4 | 0.0 | 59.8 | --- | --- | -- | 52.7 | -7.1 | NOK |

[9 kHz - 37 kHz]

### 3.2.11 저속(50 kph) 회생 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver.

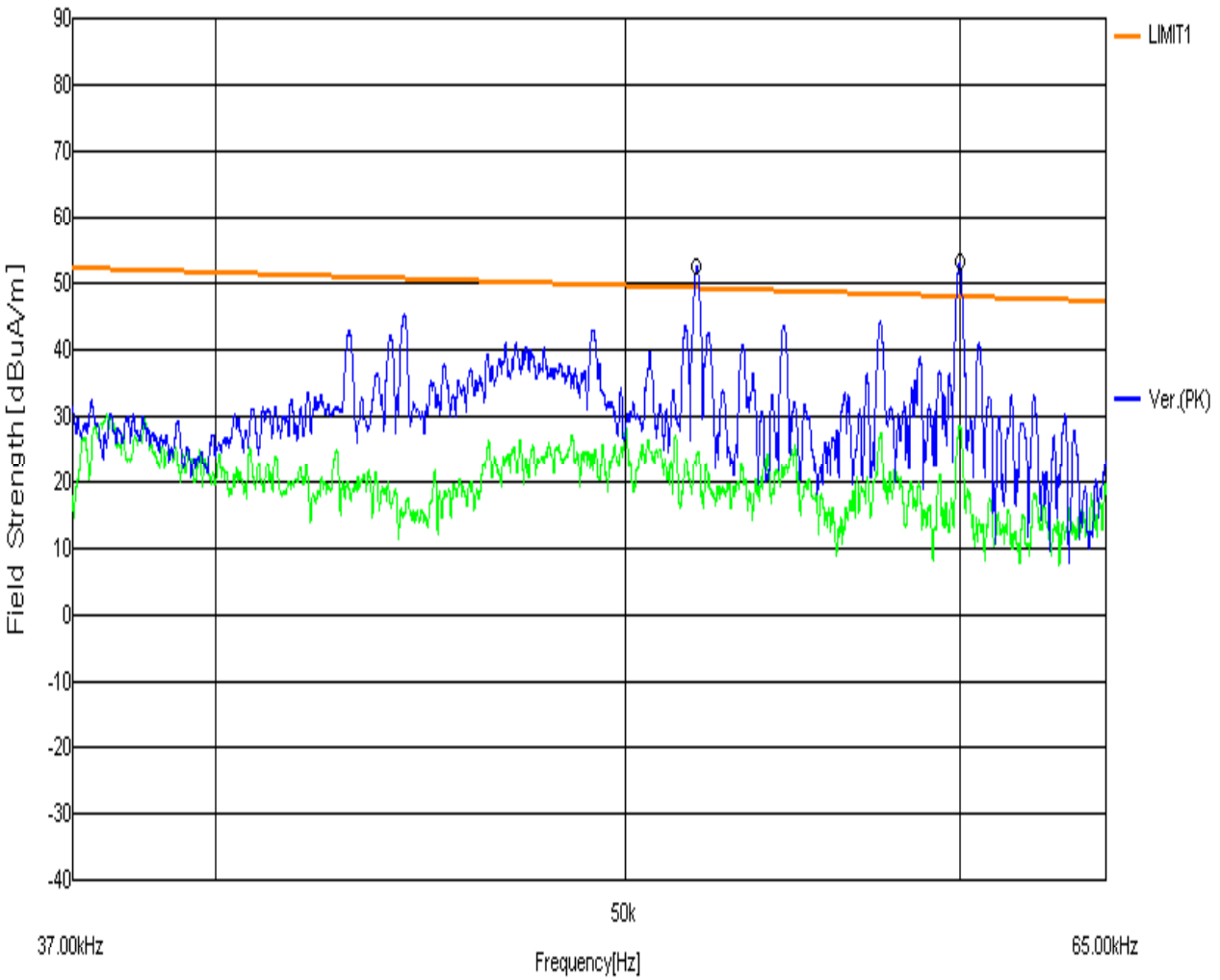



| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.051990 | Ver. | 85.4 | --- | --- | 18.4 | -51.4 | 0.0 | 52.5 | --- | --- | -- | 49.4 | -3.0 | NOK |
| 0.060010 | Ver. | 86.0 | --- | --- | 18.5 | -51.4 | 0.0 | 53.1 | --- | --- | -- | 48.1 | -5.0 | NOK |

[37 kHz - 65 kHz]

### 3.2.12 저속(50 kph) 회생 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음

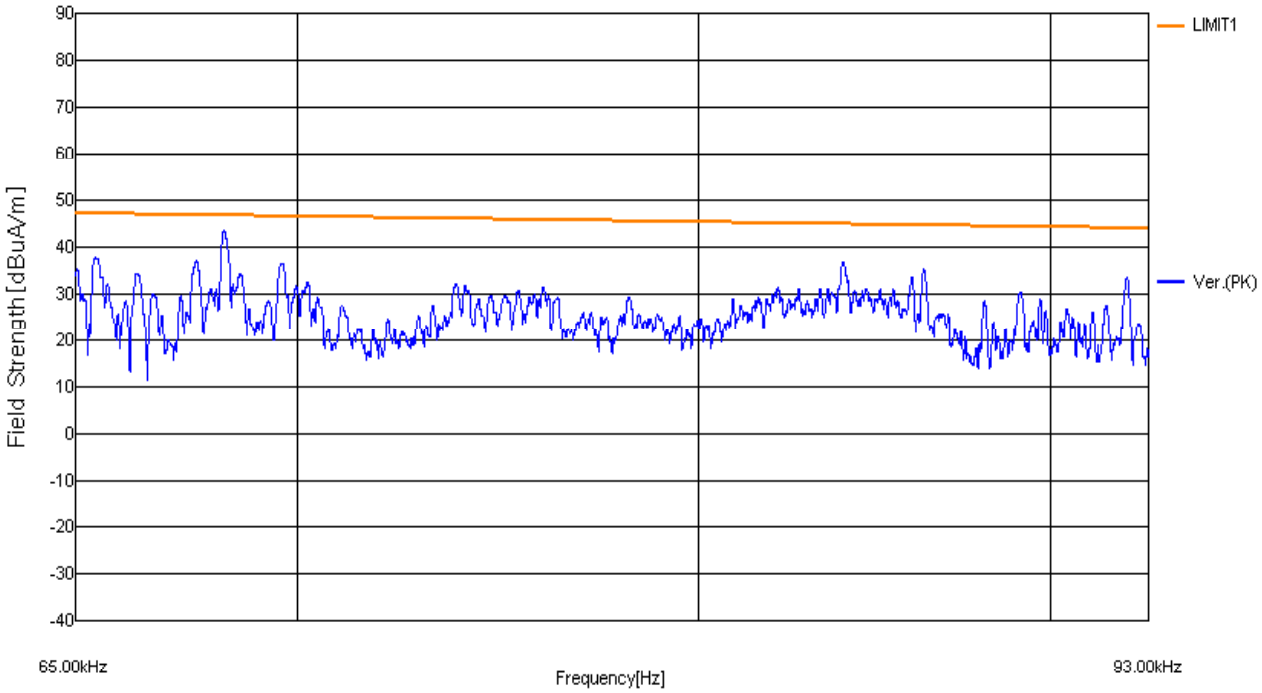
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.051990 | Ver. | 85.4 | --- | --- | 18.4 | -51.4 | 0.0 | 52.5 | --- | --- | -- | 49.4 | -3.0 | NOK |
| 0.060010 | Ver. | 86.0 | --- | --- | 18.5 | -51.4 | 0.0 | 53.1 | --- | --- | -- | 48.1 | -5.0 | NOK |

[37 kHz - 65 kHz]

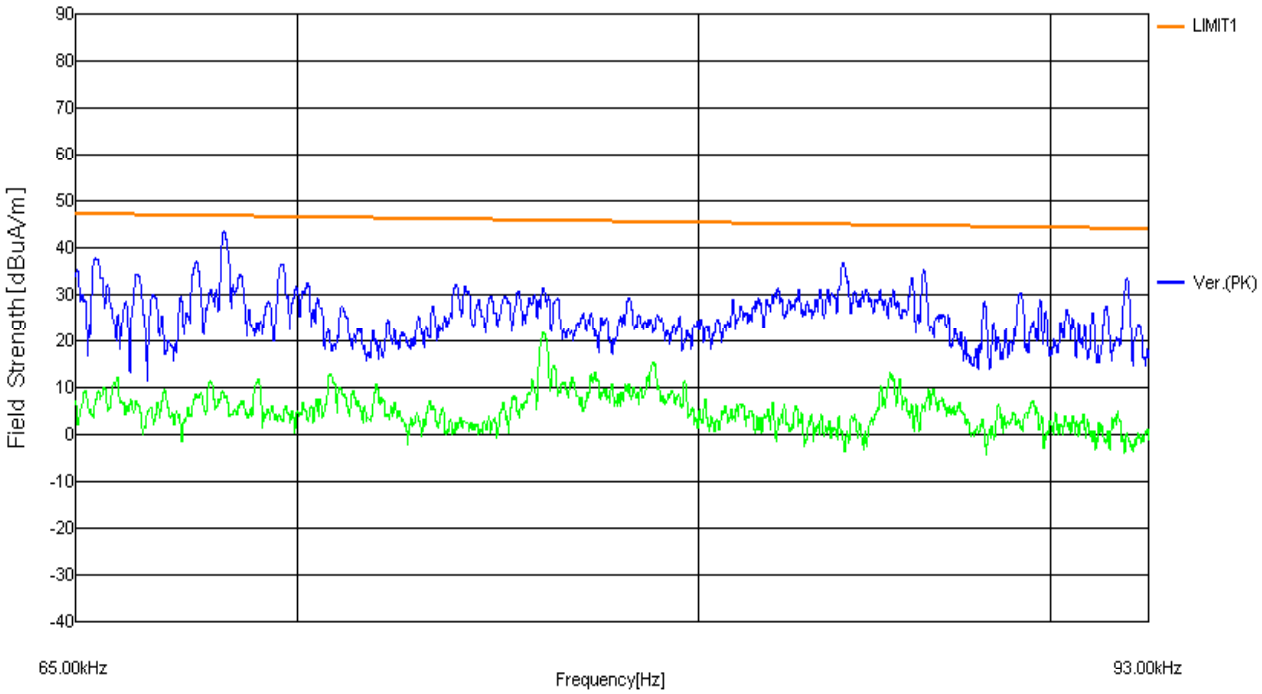
### 3.2.13 저속(50 kph) 회생 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver.




[65 kHz - 93 kHz]

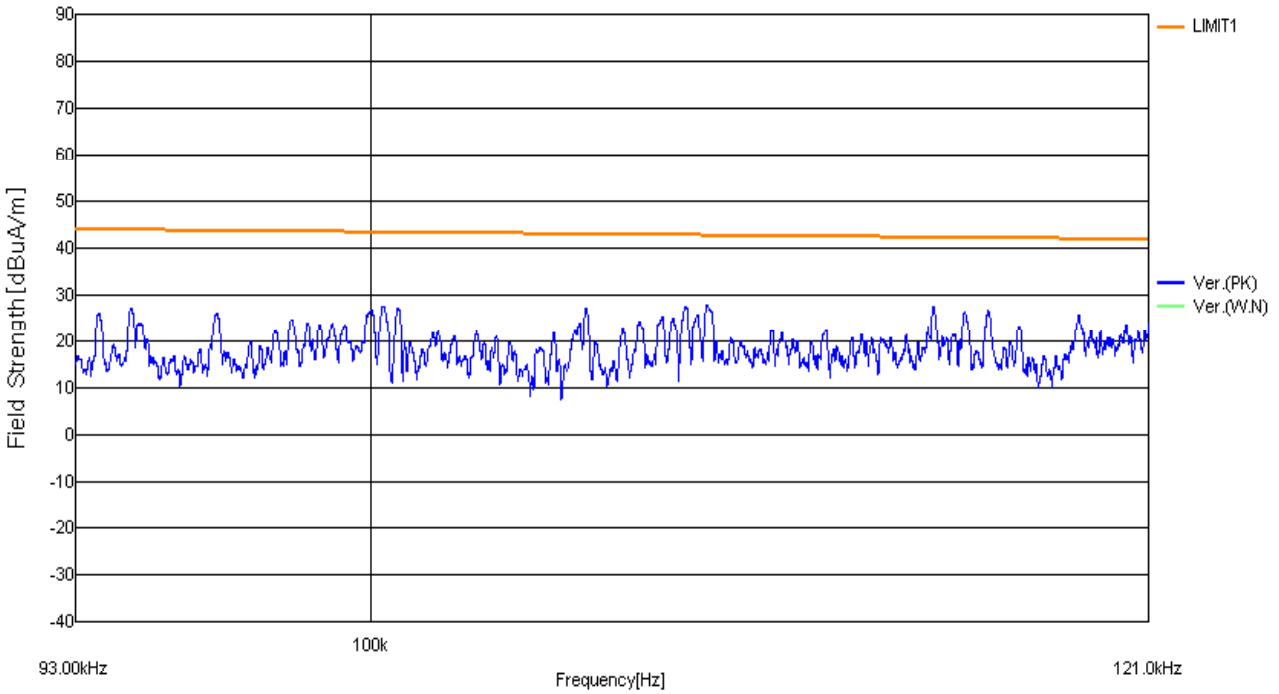
### 3.2.14 저속(50 kph) 회생 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. vs 환경잡음

| | |
|---|---|
| ——— | 측정 Data (청색) |
| ——— | 환경잡음 (녹색) |




[65 kHz - 93 kHz]

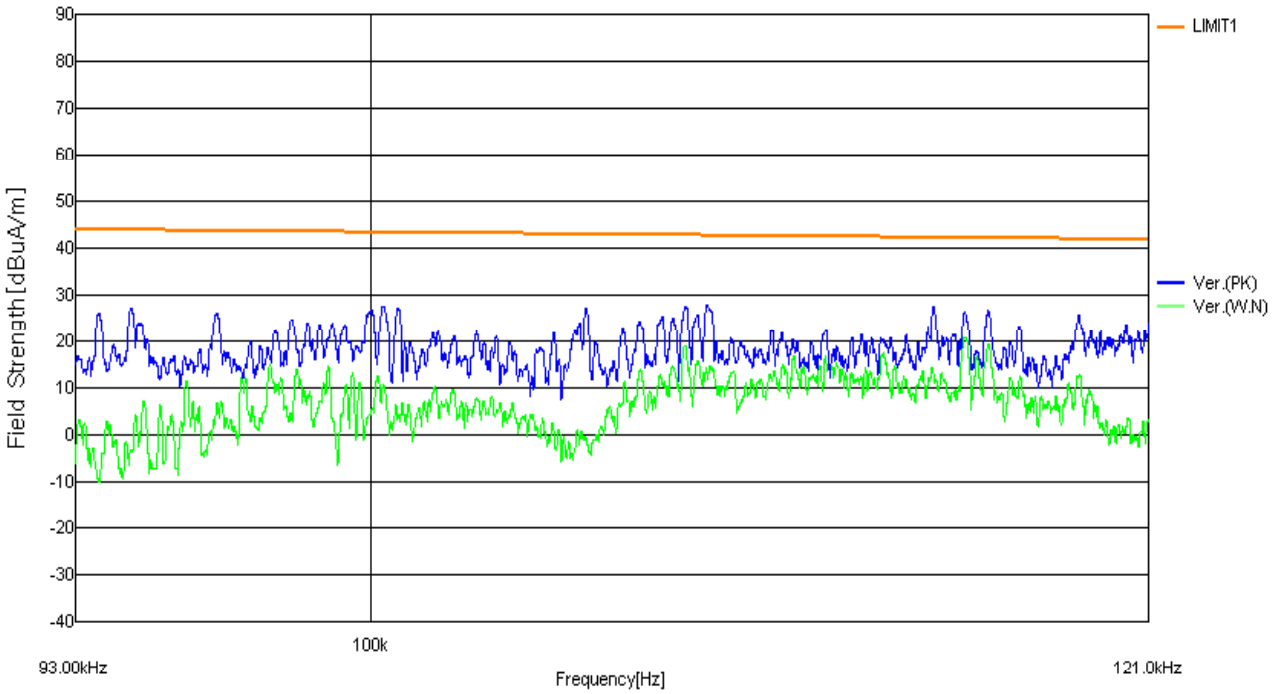
### 3.2.15 저속(50 kph) 회생 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver.




[93 kHz - 121 kHz]

### 3.2.16 저속(50 kph) 회생 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. vs 환경잡음

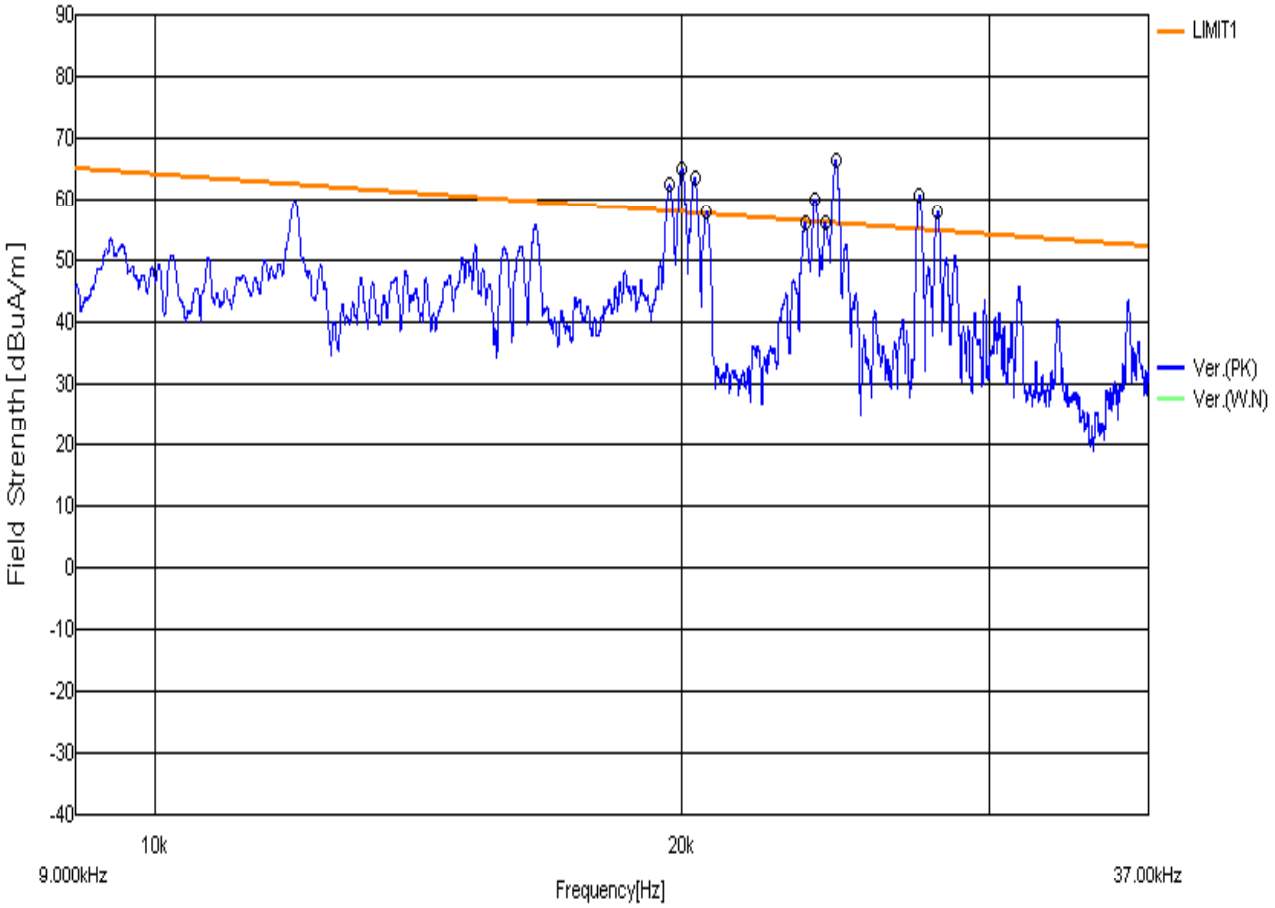
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




[93 kHz - 121 kHz]

## 3.3 고속(60 kph) 역행 Data

### 3.3.1 고속(60 kph) 역행 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver.

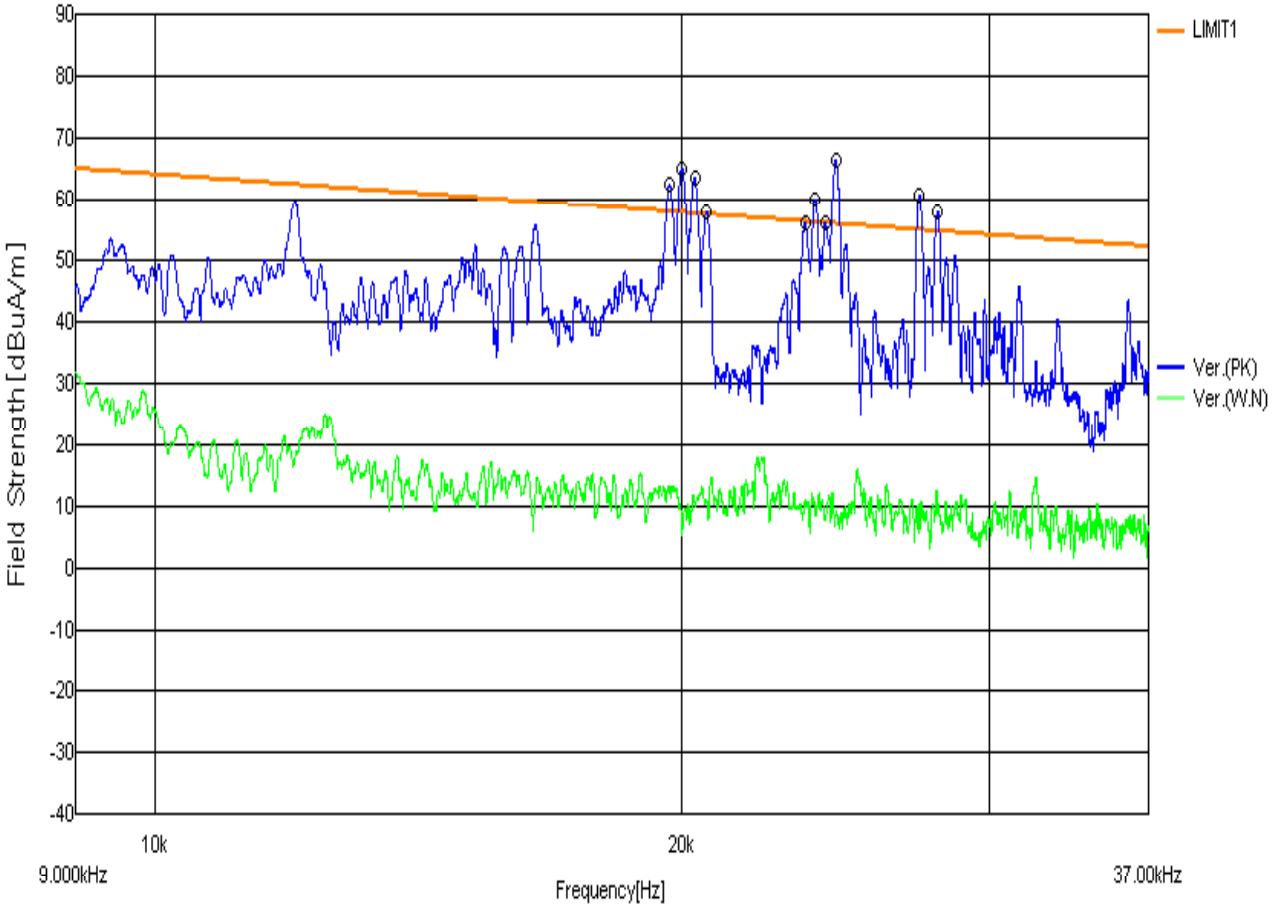



| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.019680 | Ver. | 93.9 | --- | --- | 19.8 | -51.4 | 0.0 | 62.4 | --- | --- | -- | 58.1 | -4.3 | NOK |
| 0.020000 | Ver. | 96.7 | --- | --- | 19.8 | -51.4 | 0.0 | 65.0 | --- | --- | -- | 57.9 | -7.1 | NOK |
| 0.020340 | Ver. | 95.2 | --- | --- | 19.7 | -51.4 | 0.0 | 63.5 | --- | --- | -- | 57.8 | -5.8 | NOK |
| 0.020660 | Ver. | 89.6 | --- | --- | 19.6 | -51.4 | 0.0 | 57.9 | --- | --- | -- | 57.6 | -0.2 | NOK |
| 0.023530 | Ver. | 88.2 | --- | --- | 19.1 | -51.4 | 0.0 | 56.0 | --- | --- | -- | 56.5 | 0.5 | OK |
| 0.023840 | Ver. | 92.4 | --- | --- | 19.1 | -51.4 | 0.0 | 60.1 | --- | --- | -- | 56.3 | -3.7 | NOK |
| 0.024170 | Ver. | 88.4 | --- | --- | 19.0 | -51.4 | 0.0 | 56.0 | --- | --- | -- | 56.2 | 0.2 | OK |
| 0.024500 | Ver. | 98.9 | --- | --- | 19.0 | -51.4 | 0.0 | 66.5 | --- | --- | -- | 56.1 | -10.4 | NOK |
| 0.027350 | Ver. | 93.5 | --- | --- | 18.5 | -51.4 | 0.0 | 60.6 | --- | --- | -- | 55.1 | -5.5 | NOK |
| 0.028010 | Ver. | 90.9 | --- | --- | 18.4 | -51.4 | 0.0 | 57.9 | --- | --- | -- | 54.9 | -3.0 | NOK |

[9 kHz - 37 kHz]

| | 측정 Data (청색) |
|---|---|
| | 환경잡음 (녹색) |

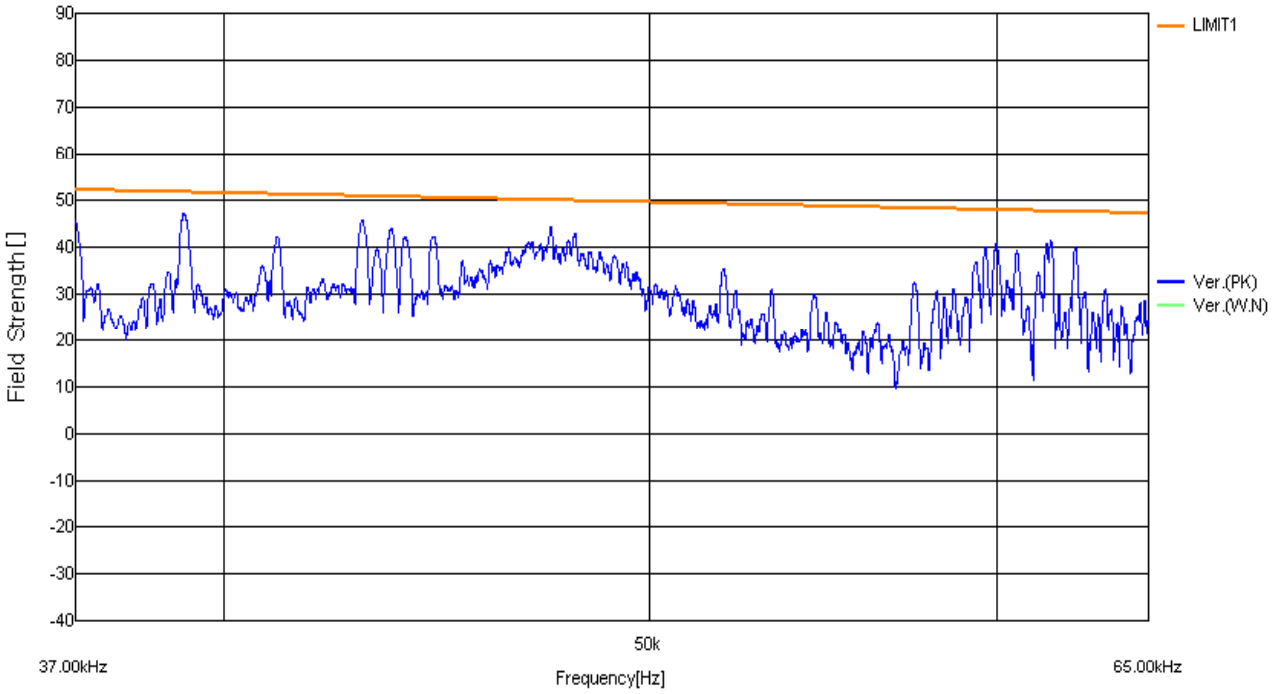
### 3.3.2 고속(60 kph) 역행 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. vs 환경잡음




| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.019680 | Ver. | 93.9 | --- | --- | 19.8 | -51.4 | 0.0 | 62.4 | --- | --- | -- | 58.1 | -4.3 | NOK |
| 0.020000 | Ver. | 96.7 | --- | --- | 19.8 | -51.4 | 0.0 | 65.0 | --- | --- | -- | 57.9 | -7.1 | NOK |
| 0.020340 | Ver. | 95.2 | --- | --- | 19.7 | -51.4 | 0.0 | 63.5 | --- | --- | -- | 57.8 | -5.8 | NOK |
| 0.020660 | Ver. | 89.6 | --- | --- | 19.6 | -51.4 | 0.0 | 57.9 | --- | --- | -- | 57.6 | -0.2 | NOK |
| 0.023530 | Ver. | 88.2 | --- | --- | 19.1 | -51.4 | 0.0 | 56.0 | --- | --- | -- | 56.5 | 0.5 | OK |
| 0.023840 | Ver. | 92.4 | --- | --- | 19.1 | -51.4 | 0.0 | 60.1 | --- | --- | -- | 56.3 | -3.7 | NOK |
| 0.024170 | Ver. | 88.4 | --- | --- | 19.0 | -51.4 | 0.0 | 56.0 | --- | --- | -- | 56.2 | 0.2 | OK |
| 0.024500 | Ver. | 98.9 | --- | --- | 19.0 | -51.4 | 0.0 | 66.5 | --- | --- | -- | 56.1 | -10.4 | NOK |
| 0.027350 | Ver. | 93.5 | --- | --- | 18.5 | -51.4 | 0.0 | 60.6 | --- | --- | -- | 55.1 | -5.5 | NOK |
| 0.028010 | Ver. | 90.9 | --- | --- | 18.4 | -51.4 | 0.0 | 57.9 | --- | --- | -- | 54.9 | -3.0 | NOK |

[9 kHz - 37 kHz]

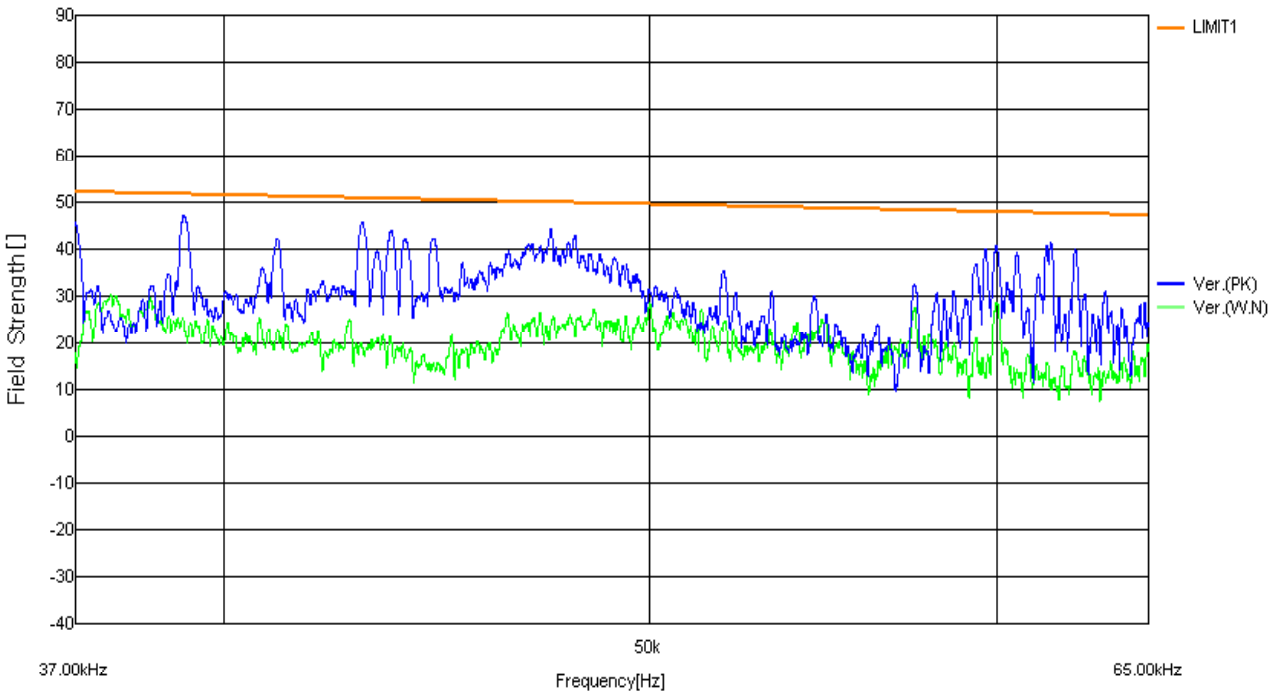
### 3.3.3 고속(60 kph) 역행 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver.




[37 kHz - 65 kHz]

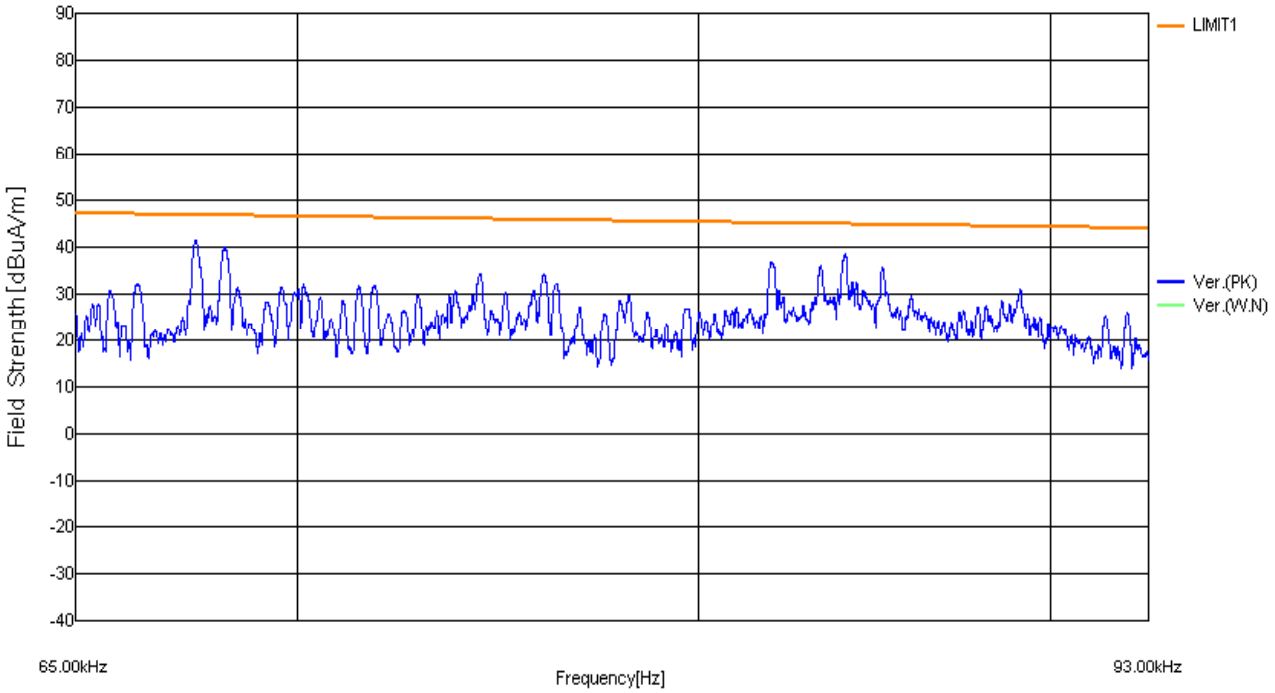
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

### 3.3.4 고속(60 kph) 역행 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음




[37 kHz - 65 kHz]

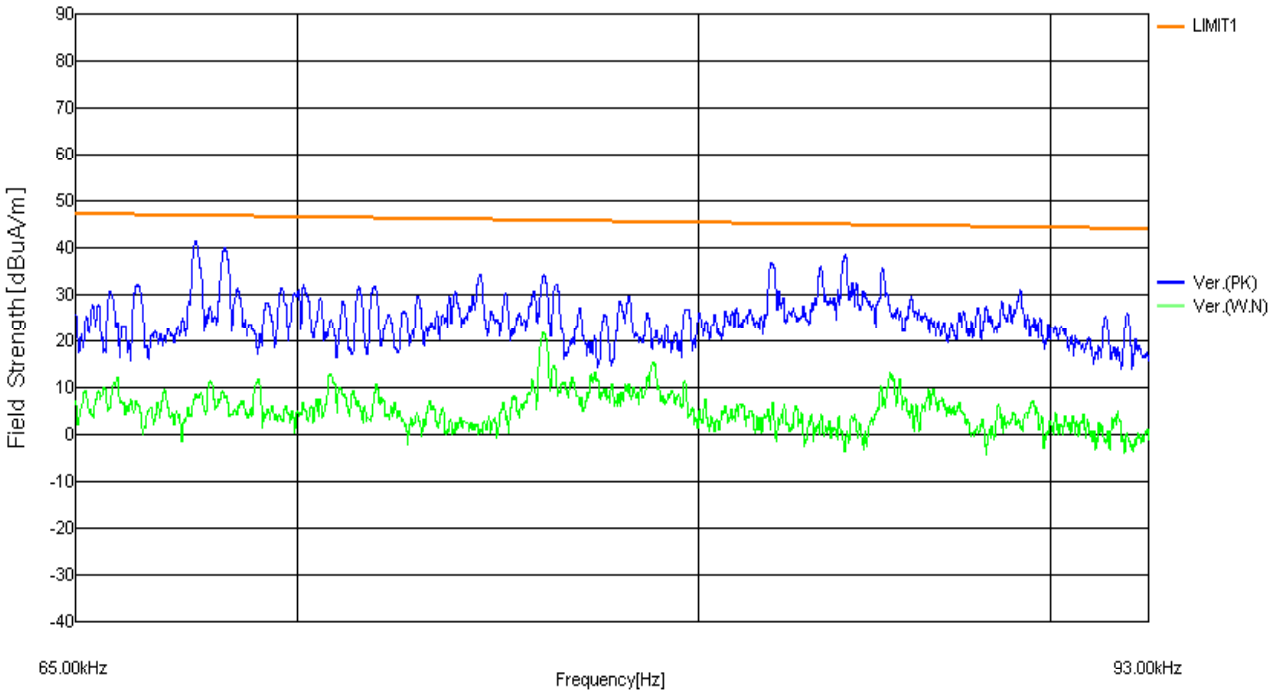
### 3.3.5 고속(60 kph) 역행 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver.




[65 kHz - 93 kHz]

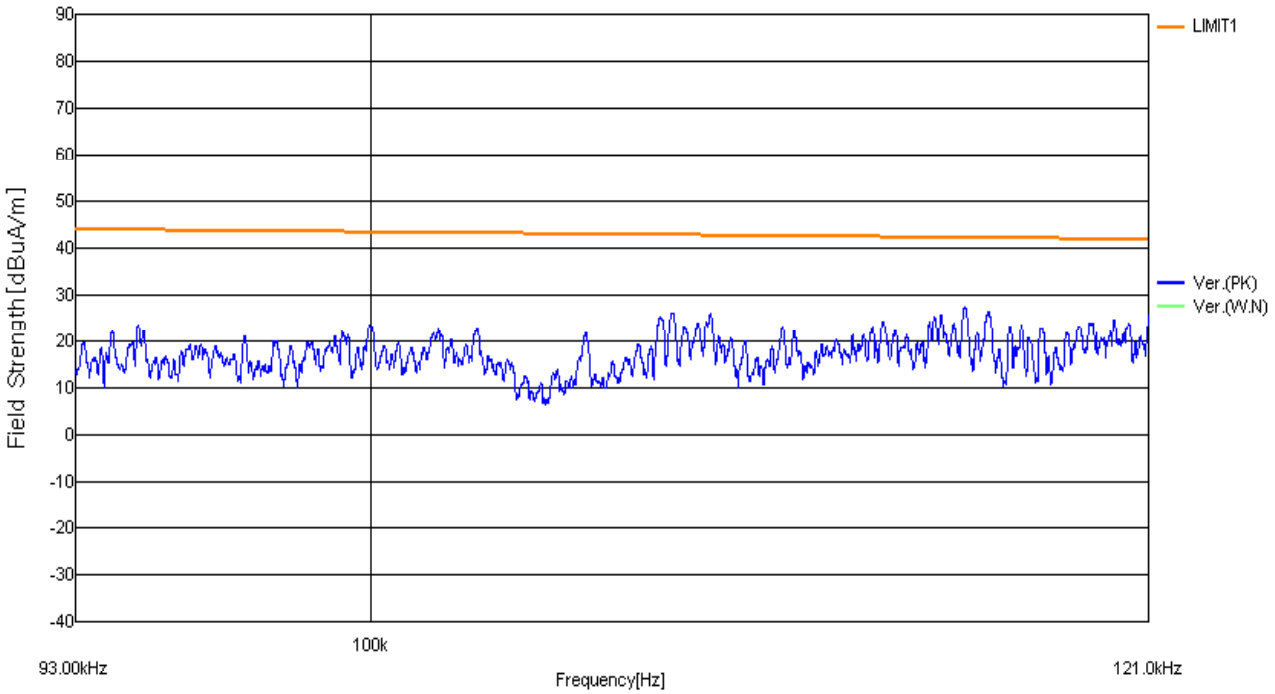
| | |
|---|---|
| ——— | 측정 Data (청색) |
| ——— | 환경잡음 (녹색) |

### 3.3.6 고속(60 kph) 역행 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. vs 환경잡음




[65 kHz - 93 kHz]

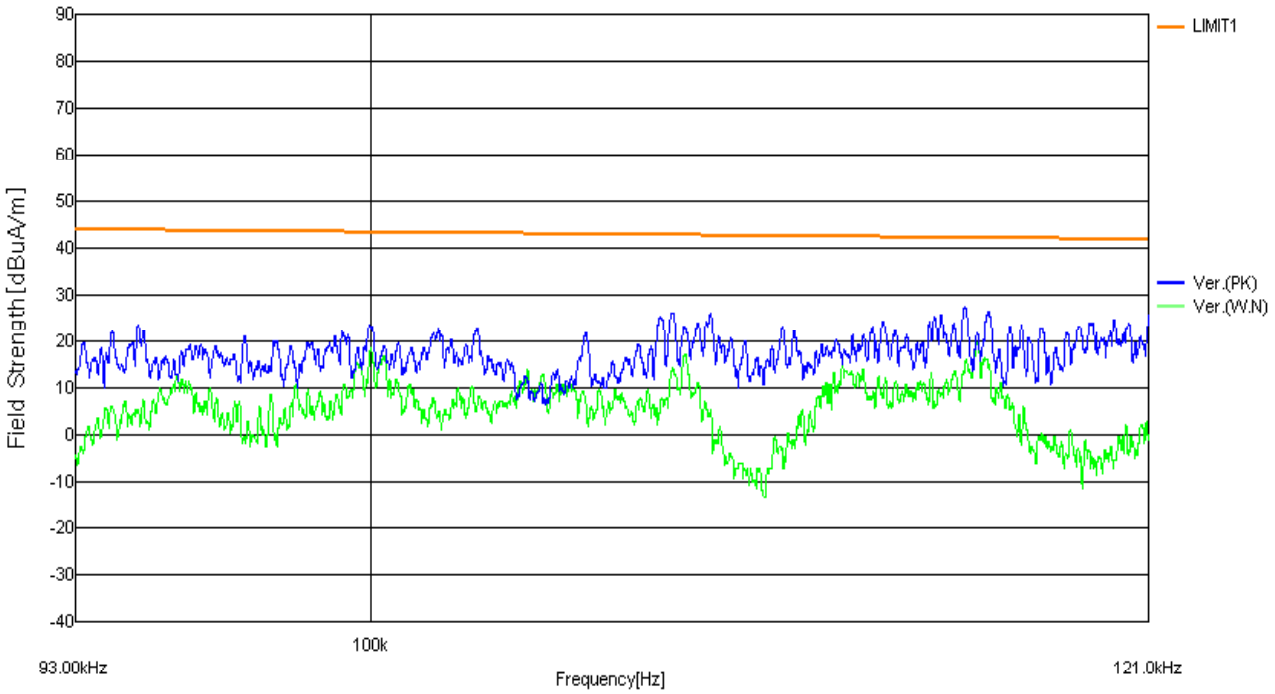
### 3.3.7 고속(60 kph) 역행 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver.




[93 kHz - 121 kHz]

### 3.3.8 고속(60 kph) 역행 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. vs 환경잡음

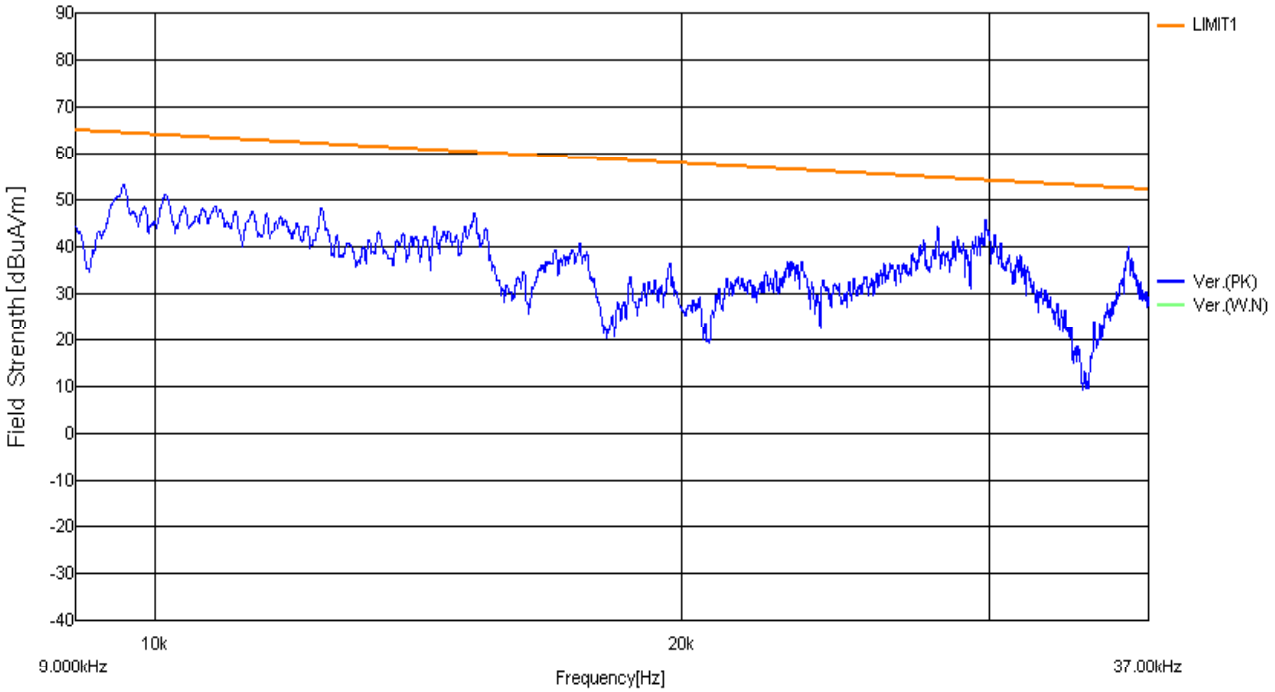
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




[93 kHz - 121 kHz]

## 3.4 고속(160 kph) 회생 Data

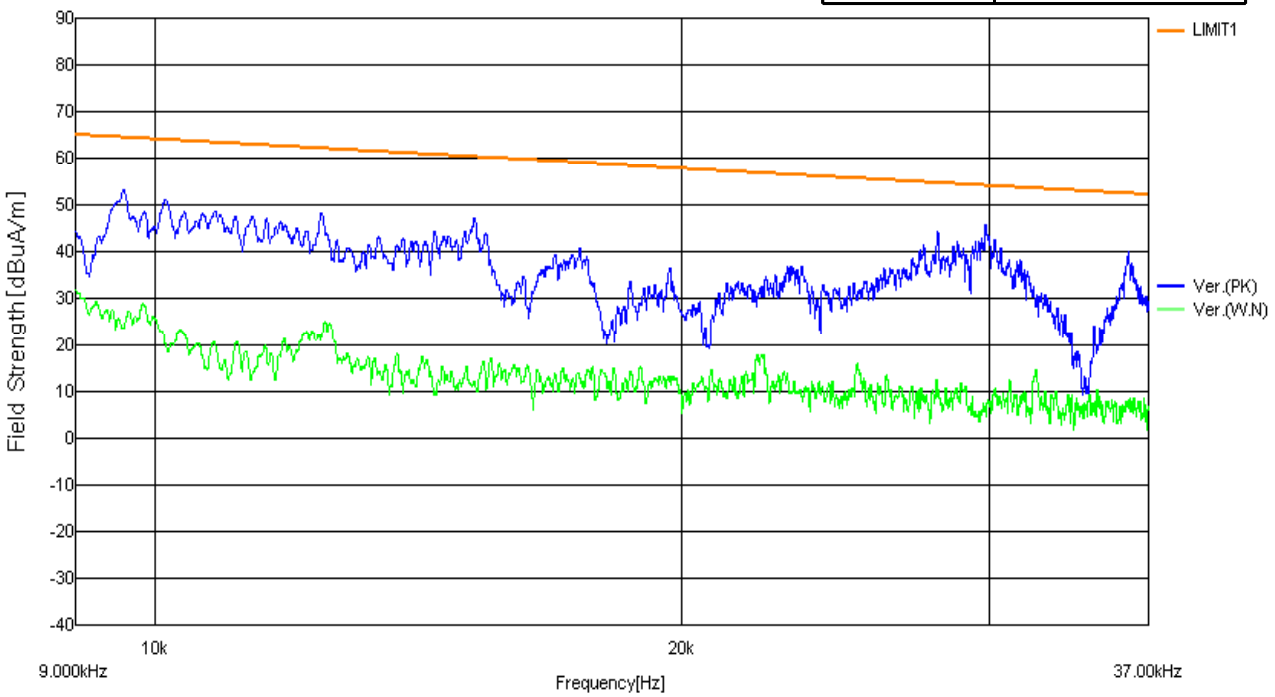
### 3.4.1 고속(160 kph) 회생 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver.




[9 kHz - 37 kHz]

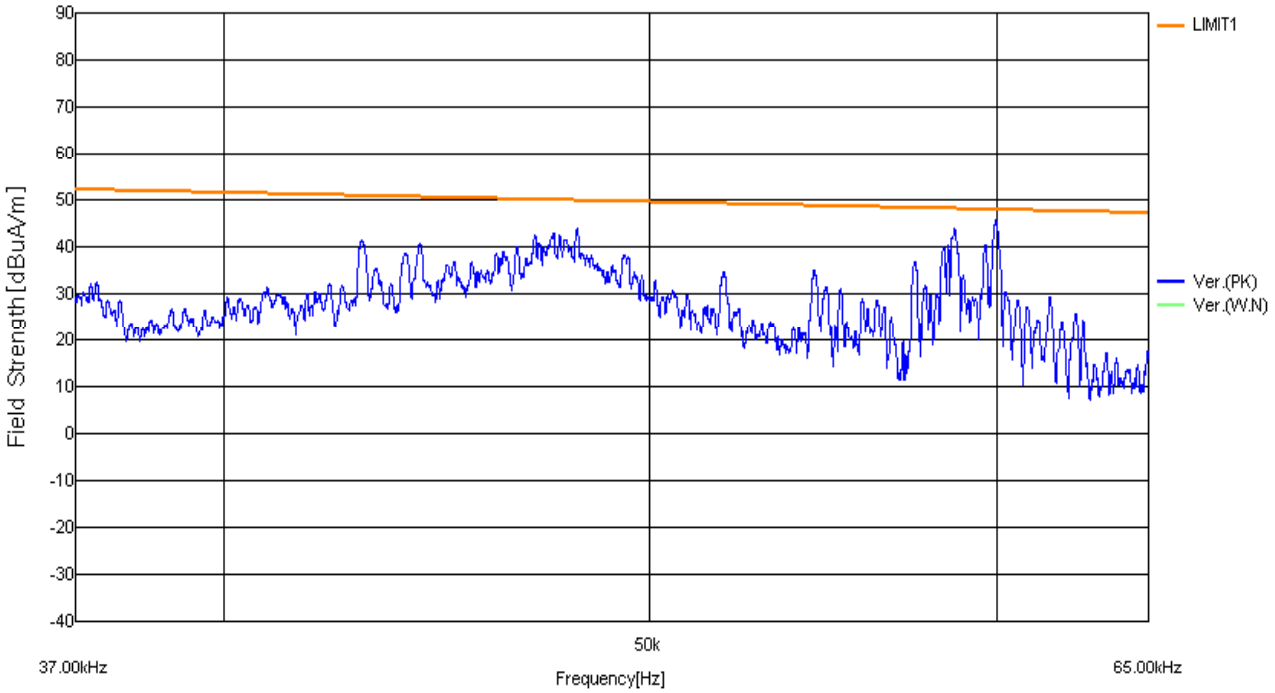
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

### 3.4.2 고속(160 kph) 회생 Data (9 kHz-37 kHz) - Ver. vs 환경잡음




[9 kHz - 37 kHz]

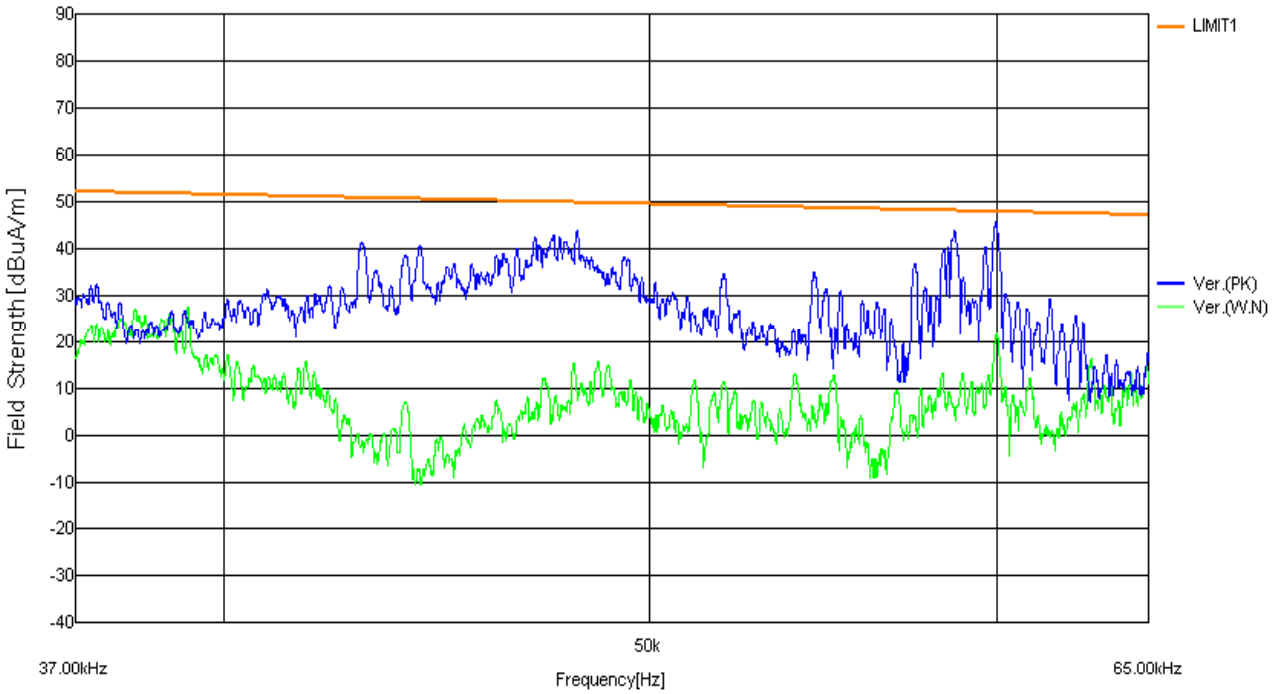
### 3.4.3 고속(160 kph) 회생 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver.




[37 kHz - 65 kHz]

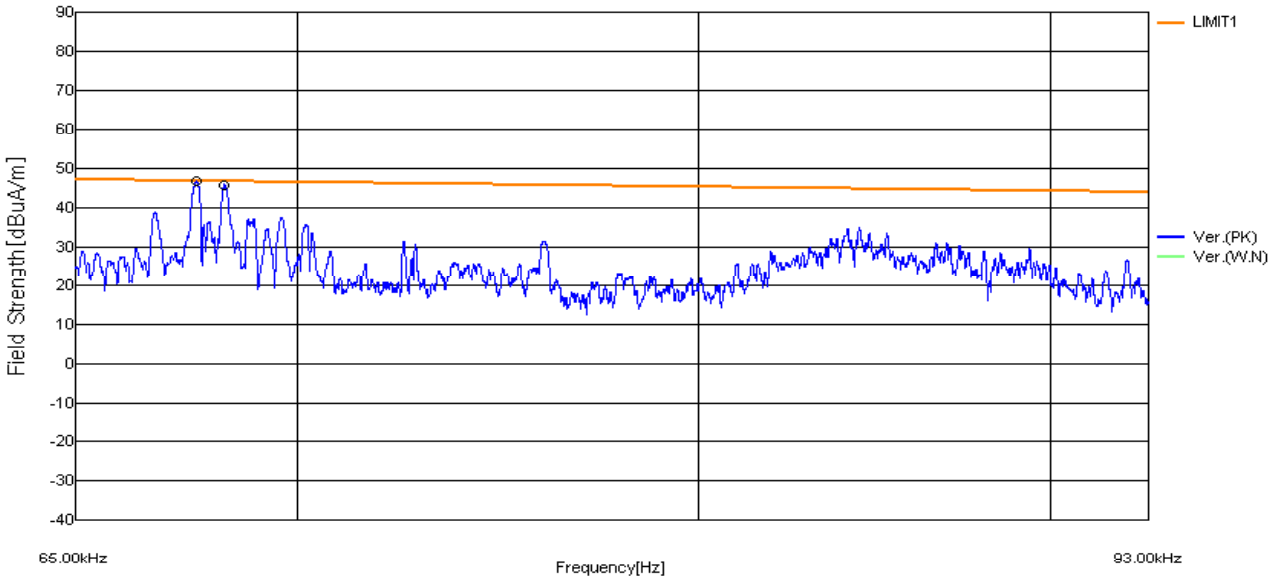
| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

### 3.4.4 고속(160 kph) 회생 Data (37 kHz-65 kHz) - Ver. vs 환경잡음




[37 kHz - 65 kHz]

### 3.4.5 고속(160 kph) 회생 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver.

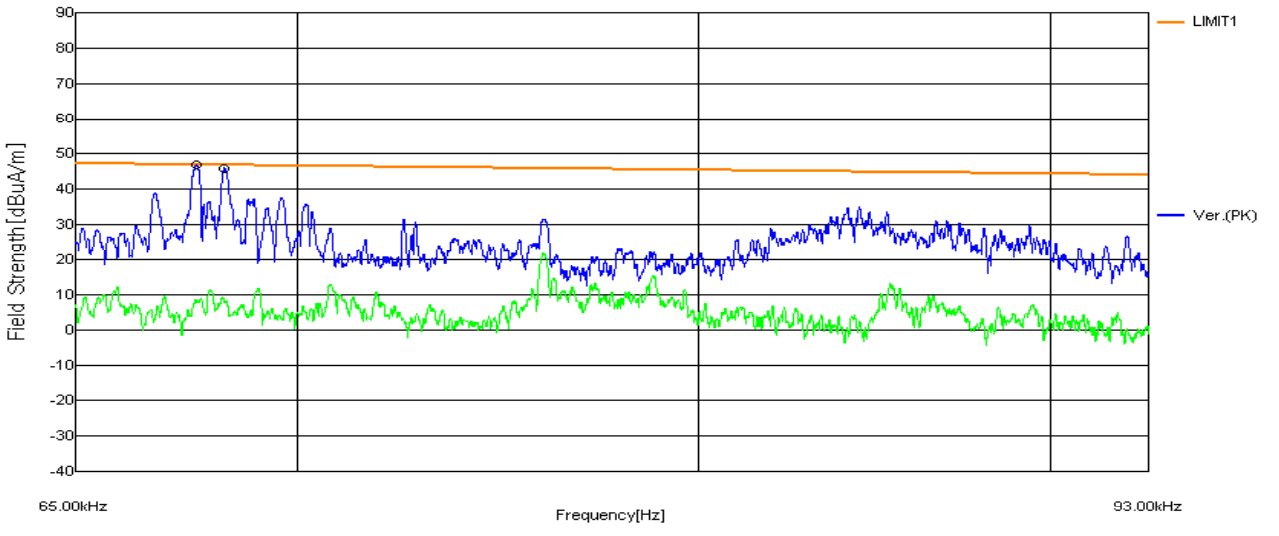



| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.067678 | Ver. | 80.5 | --- | --- | 17.6 | -51.4 | 0.0 | 46.6 | --- | --- | -- | 47.1 | 0.5 | OK |
| 0.068315 | Ver. | 79.7 | --- | --- | 17.5 | -51.4 | 0.0 | 45.9 | --- | --- | -- | 47.0 | 1.1 | OK |

[65 kHz - 93 kHz]

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

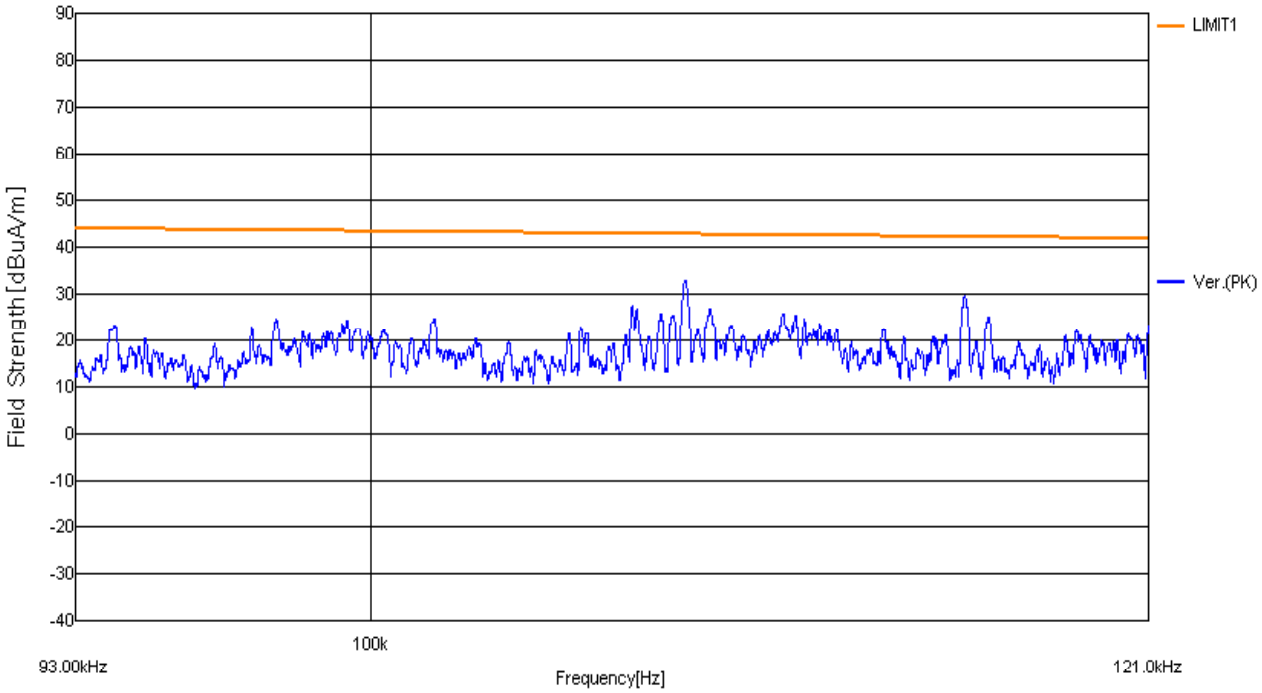
### 3.4.6 고속(160 kph) 회생 Data (65 kHz-93 kHz) - Ver. vs 환경잡음




| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.067678 | Ver. | 80.5 | --- | --- | 17.6 | -51.4 | 0.0 | 46.6 | --- | --- | -- | 47.1 | 0.5 | OK |
| 0.068315 | Ver. | 79.7 | --- | --- | 17.5 | -51.4 | 0.0 | 45.9 | --- | --- | -- | 47.0 | 1.1 | OK |

[65 kHz - 93 kHz]

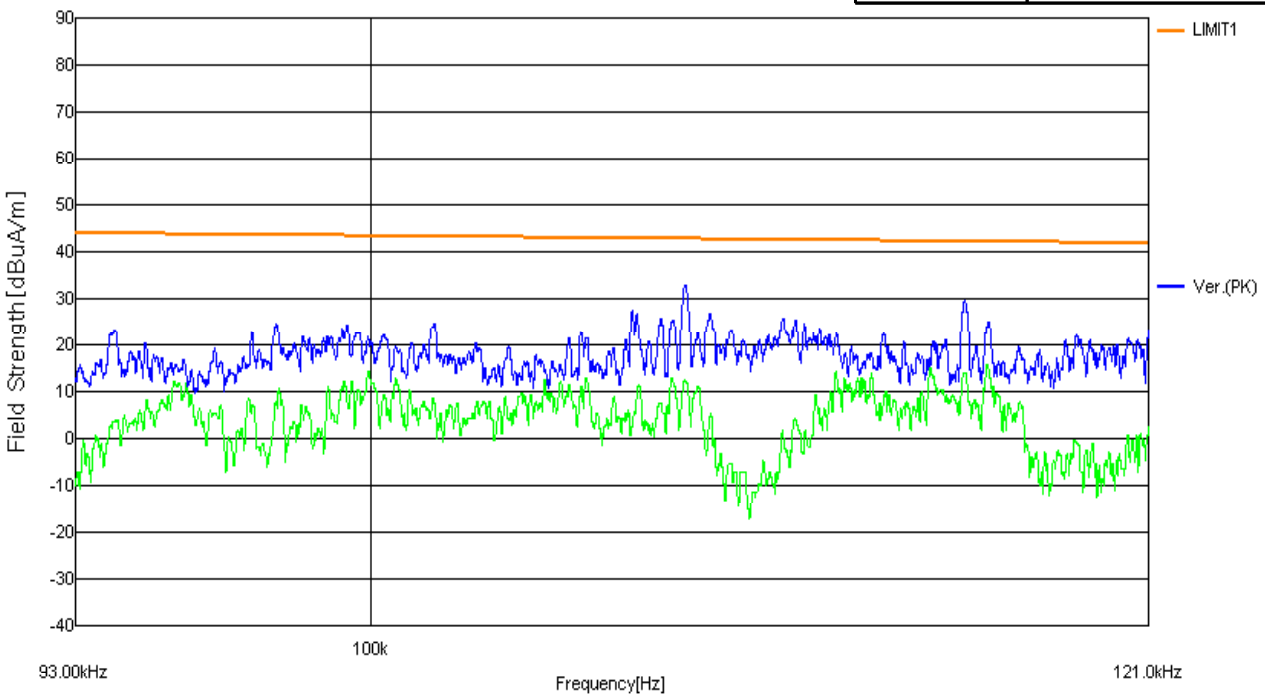
### 3.4.7 고속(160 kph) 회생 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver.




[93 kHz - 121 kHz]

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

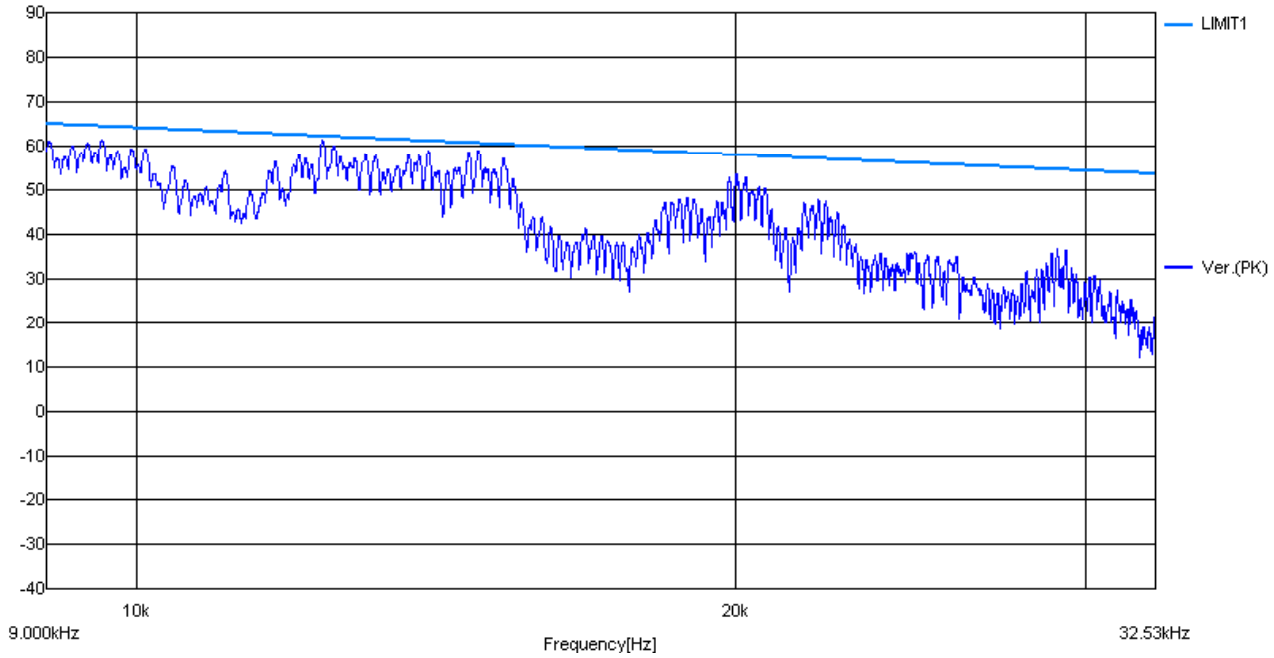
### 3.4.8 고속(160 kph) 회생 Data (93 kHz-121 kHz) - Ver. vs 환경잡음




[93 kHz - 121 kHz]

## 3.5 고속(270 kph) 역행 Data

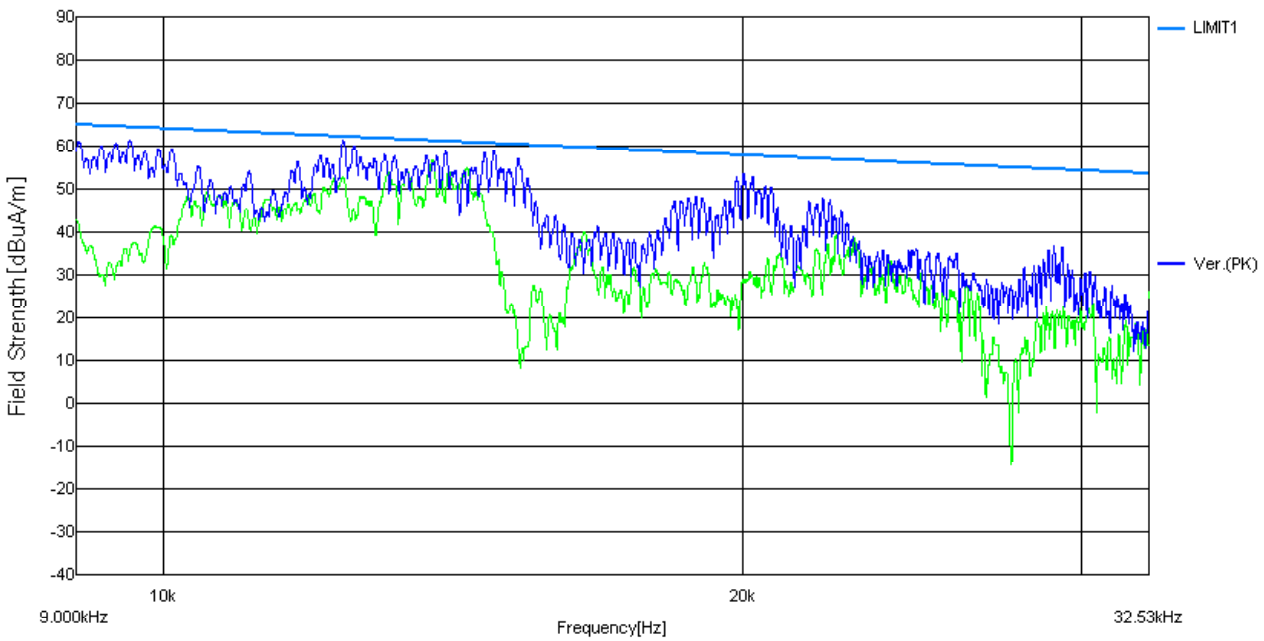
### 3.5.1 고속 (270 kph) 역행 Data (9 kHz-32.5 kHz) - Ver.




[9 kHz - 32.5 MHz]

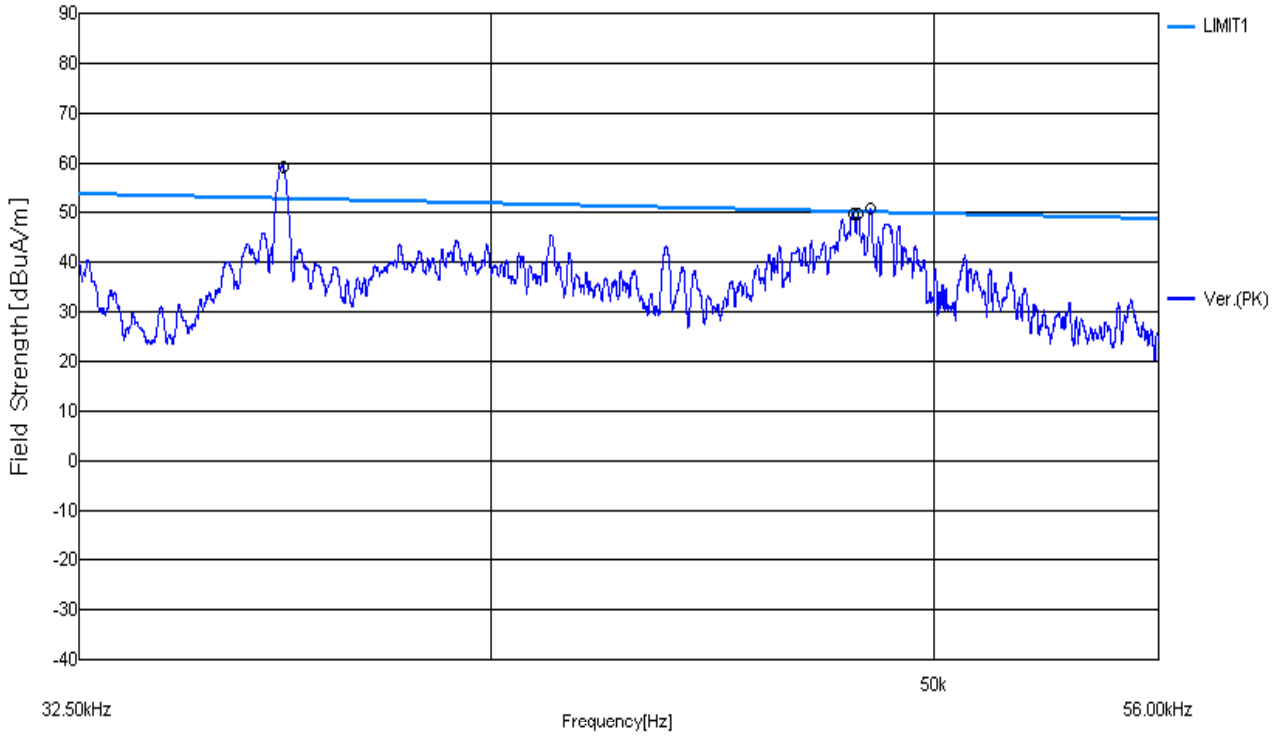
### 3.5.2 고속 (270 kph) 역행 Data (9 kHz-32.5 kHz) - Ver. vs 환경잡음

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




[9 kHz - 32.5 MHz]

### 3.5.3 고속 (270 kph) 역행 Data (32.5 kHz-56 kHz) - Ver.



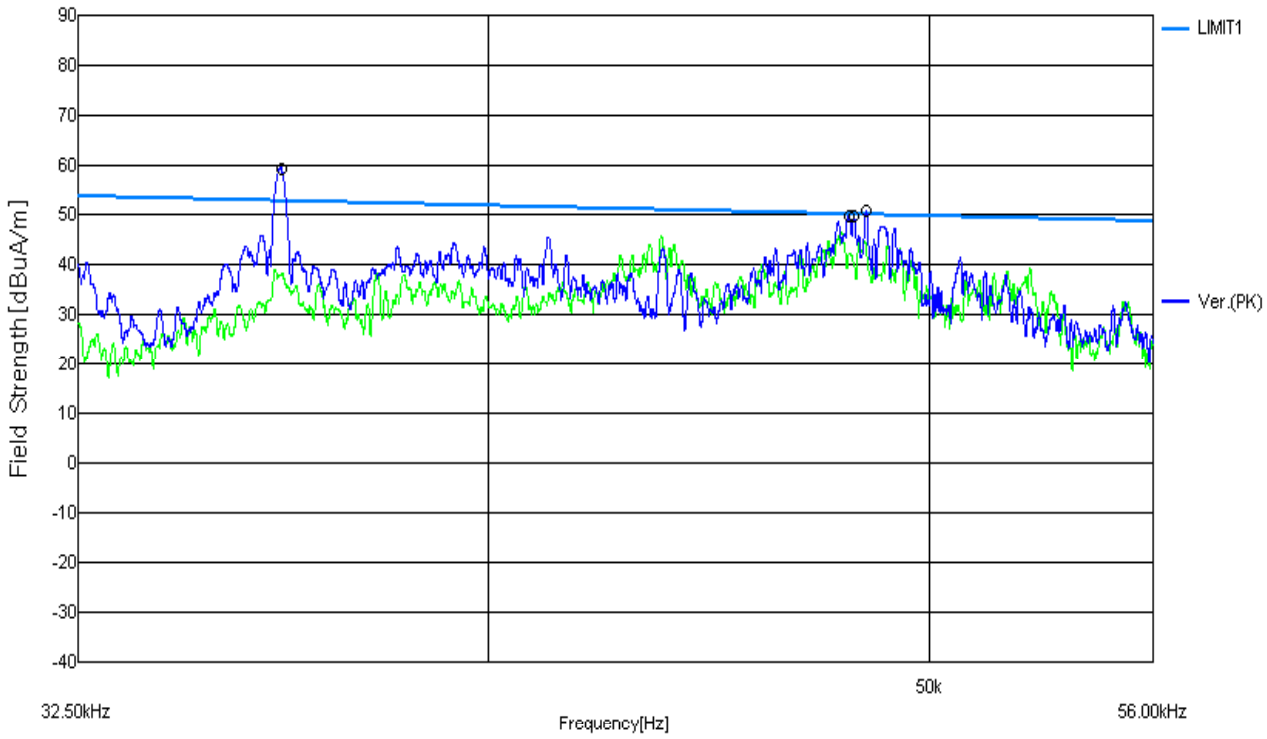

PEAK List | Final List

| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.036020 | Ver. | 92.7 | --- | --- | 18.0 | -51.4 | 0.0 | 59.3 | --- | --- | -- | 52.7 | -6.6 | NOK |
| 0.047990 | Ver. | 83.2 | --- | --- | 17.7 | -51.4 | 0.0 | 49.5 | --- | --- | -- | 50.1 | 0.6 | OK |
| 0.048130 | Ver. | 83.2 | --- | --- | 17.7 | -51.4 | 0.0 | 49.5 | --- | --- | -- | 50.1 | 0.6 | OK |
| 0.048420 | Ver. | 84.3 | --- | --- | 17.7 | -51.4 | 0.0 | 50.6 | --- | --- | -- | 50.1 | -0.6 | NOK |

[32.5 kHz - 56.0 kHz]

### 3.5.4 고속 (270 kph) 역행 Data (32.5 kHz-56.0 kHz) - Ver. vs 환경잡음

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

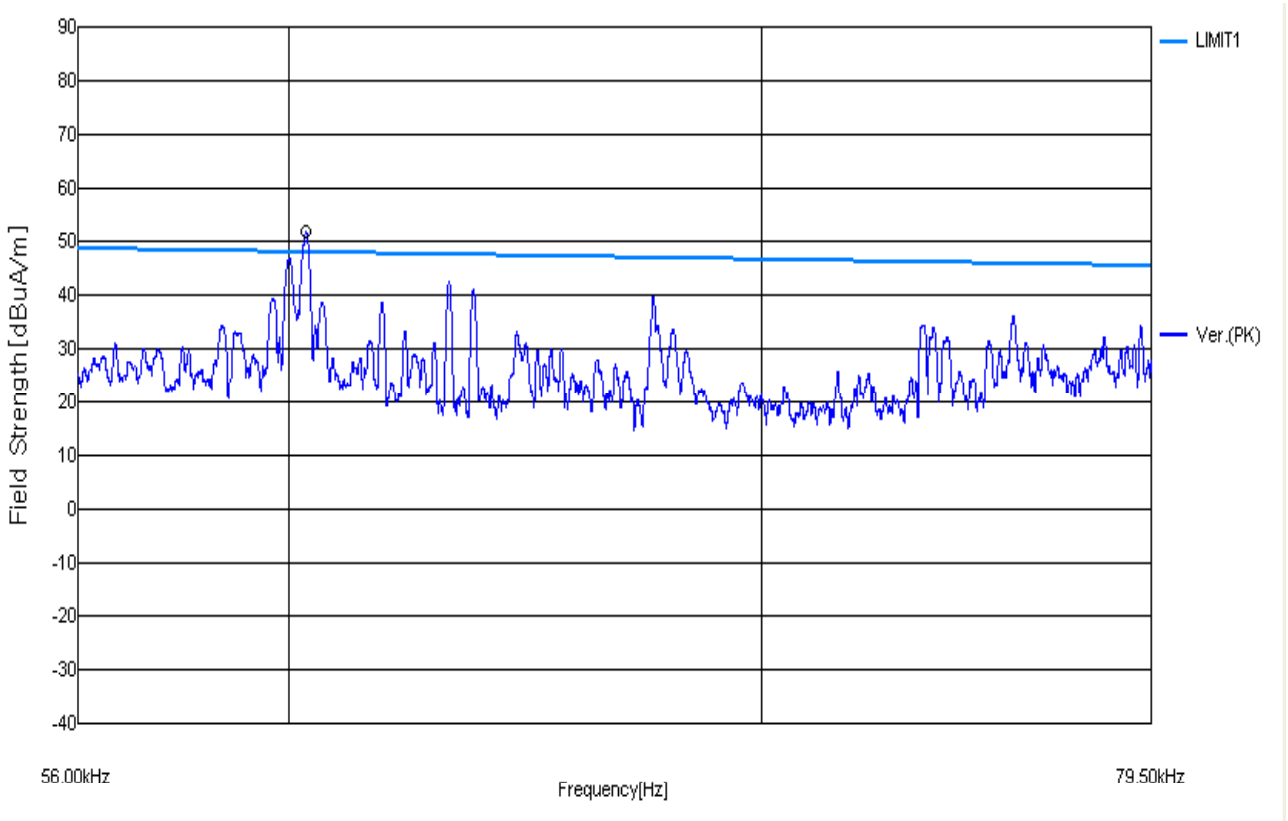



PEAK List | Final List

| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.036020 | Ver. | 92.7 | --- | --- | 18.0 | -51.4 | 0.0 | 59.3 | --- | --- | -- | 52.7 | -6.6 | NOK |
| 0.047990 | Ver. | 83.2 | --- | --- | 17.7 | -51.4 | 0.0 | 49.5 | --- | --- | -- | 50.1 | 0.6 | OK |
| 0.048130 | Ver. | 83.2 | --- | --- | 17.7 | -51.4 | 0.0 | 49.5 | --- | --- | -- | 50.1 | 0.6 | OK |
| 0.048420 | Ver. | 84.3 | --- | --- | 17.7 | -51.4 | 0.0 | 50.6 | --- | --- | -- | 50.1 | -0.6 | NOK |

[32.5 kHz - 56.0 kHz]

3.5.5 고속 (270 kph) 역행 Data (56.0 kHz-79.5 kHz) - Ver.



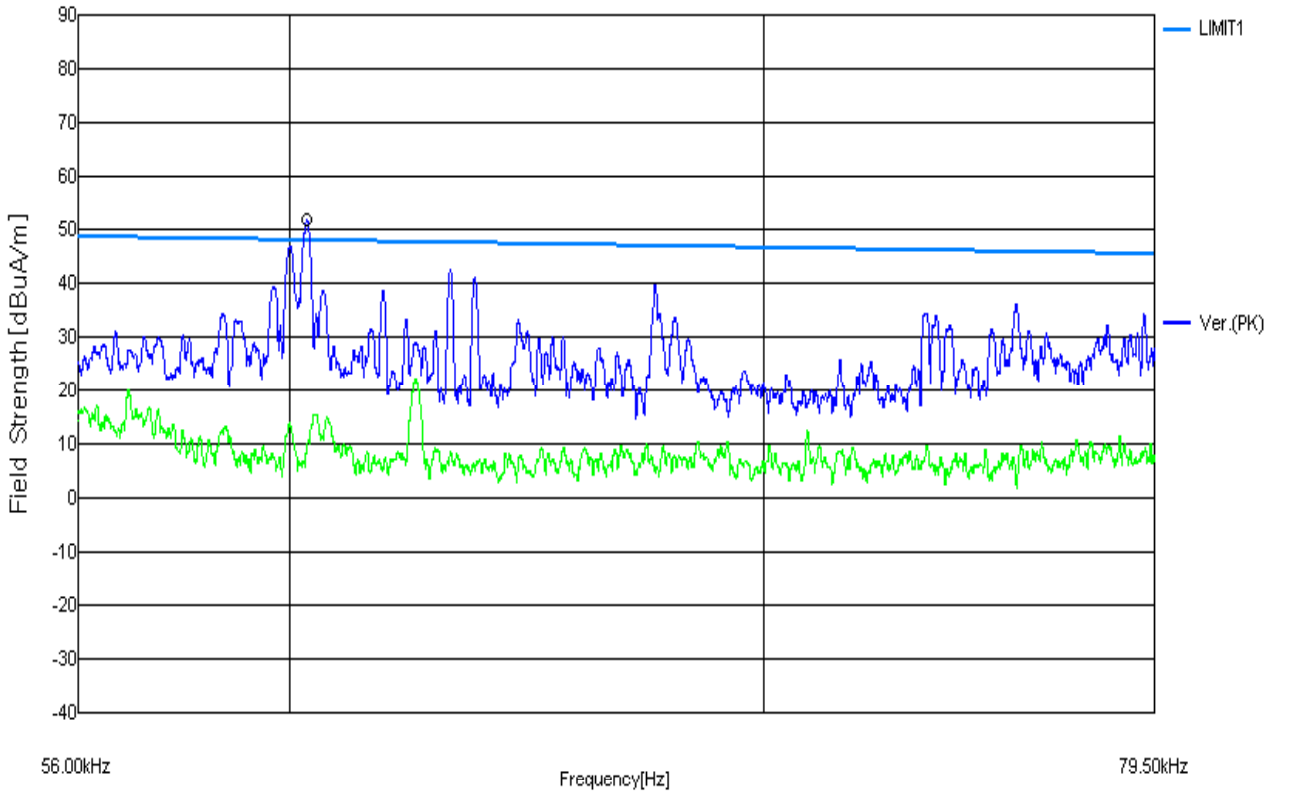

PEAK List | Final List

| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.060330 | Ver. | 85.6 | --- | --- | 17.6 | -51.4 | 0.0 | 51.8 | --- | --- | -- | 48.1 | -3.7 | NOK |

[56.0 kHz - 79.5 kHz]

### 3.5.6 고속 (270 kph) 역행 Data (56.0 kHz-79.5 kHz) - Ver. vs 환경잡음

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

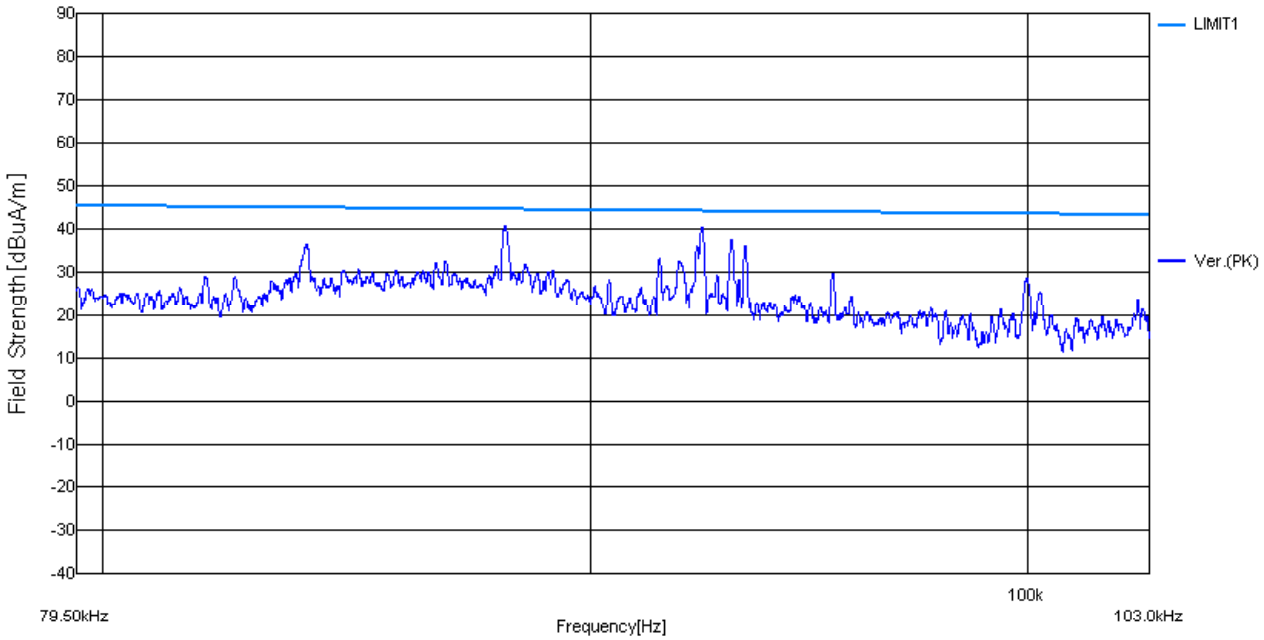



PEAK List | Final List

| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.060330 | Ver. | 85.6 | --- | --- | 17.6 | -51.4 | 0.0 | 51.8 | --- | --- | -- | 48.1 | -3.7 | NOK |

[56.0 kHz - 79.5 kHz]

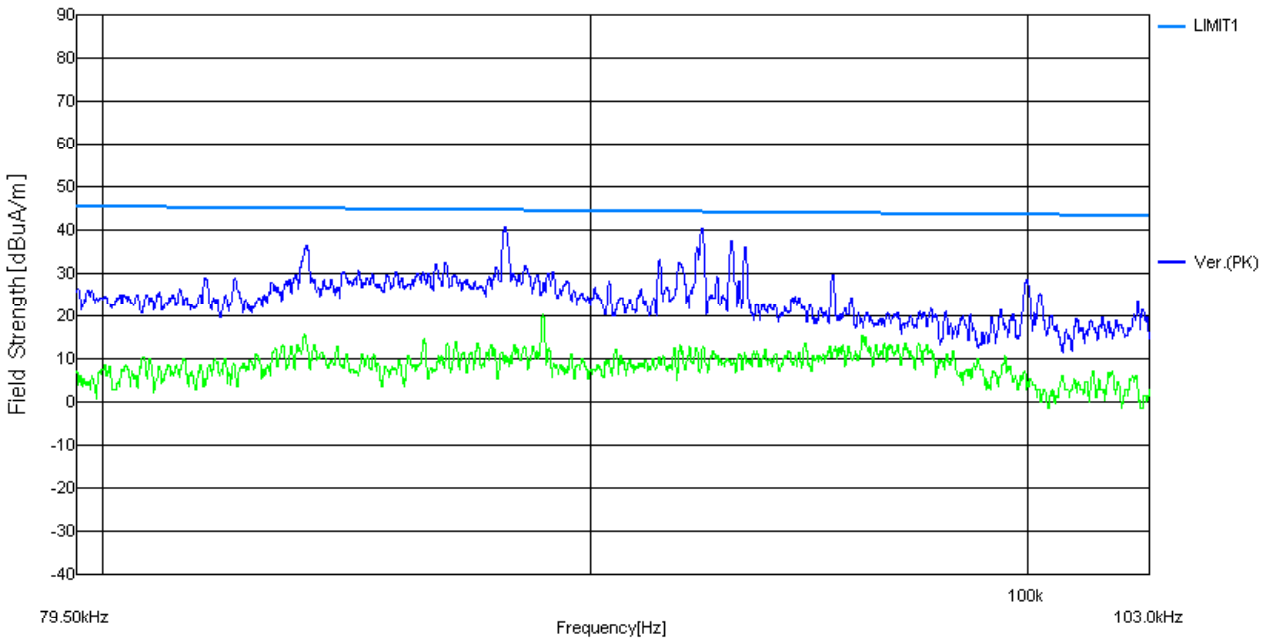
### 3.5.7 고속 (270 kph) 역행 Data (79.5 kHz-103.0 kHz) - Ver.




[79.5 kHz - 103.0 kHz]

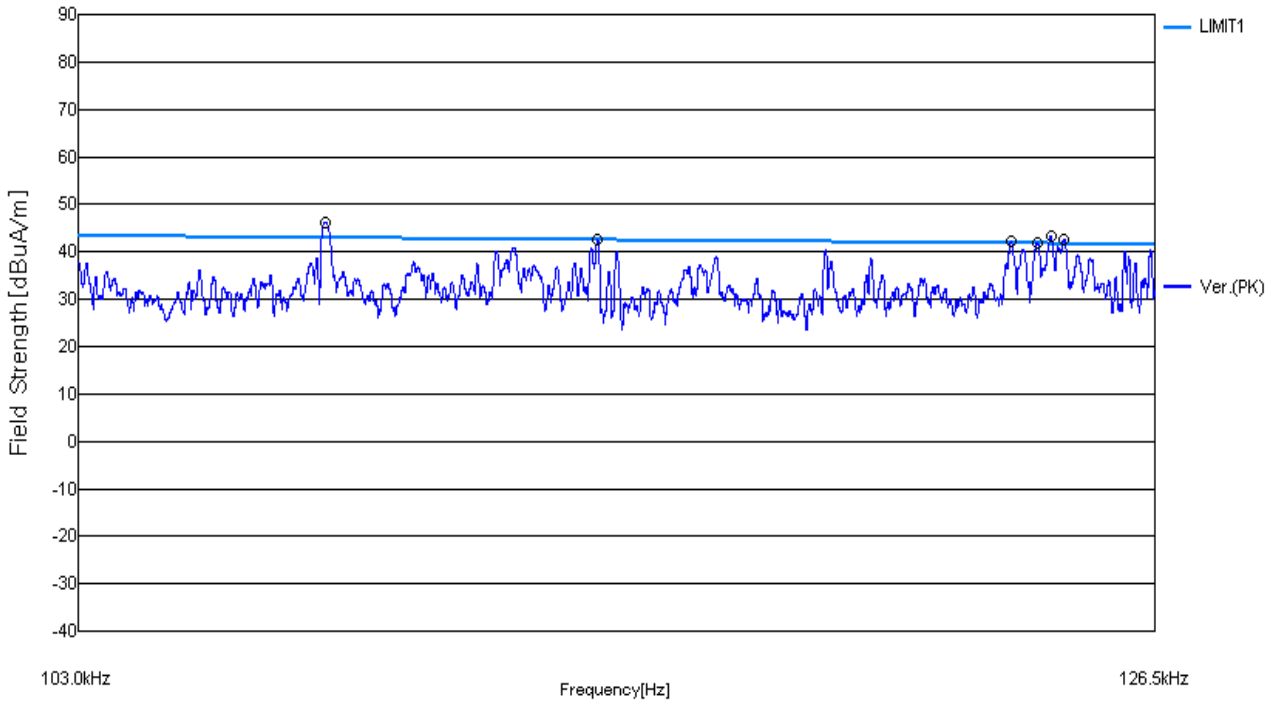
### 3.5.8 고속 (270 kph) 역행 Data (79.5 kHz-103.0 kHz) - Ver. vs 환경잡음

| | |
|---|---|
| ——— | 측정 Data (청색) |
| ——— | 환경잡음 (녹색) |




[79.5 MHz - 103.0MHz]

### 3.5.9 고속 (270 kph) 역행 Data (103.0 kHz-126.5 kHz) - Ver.



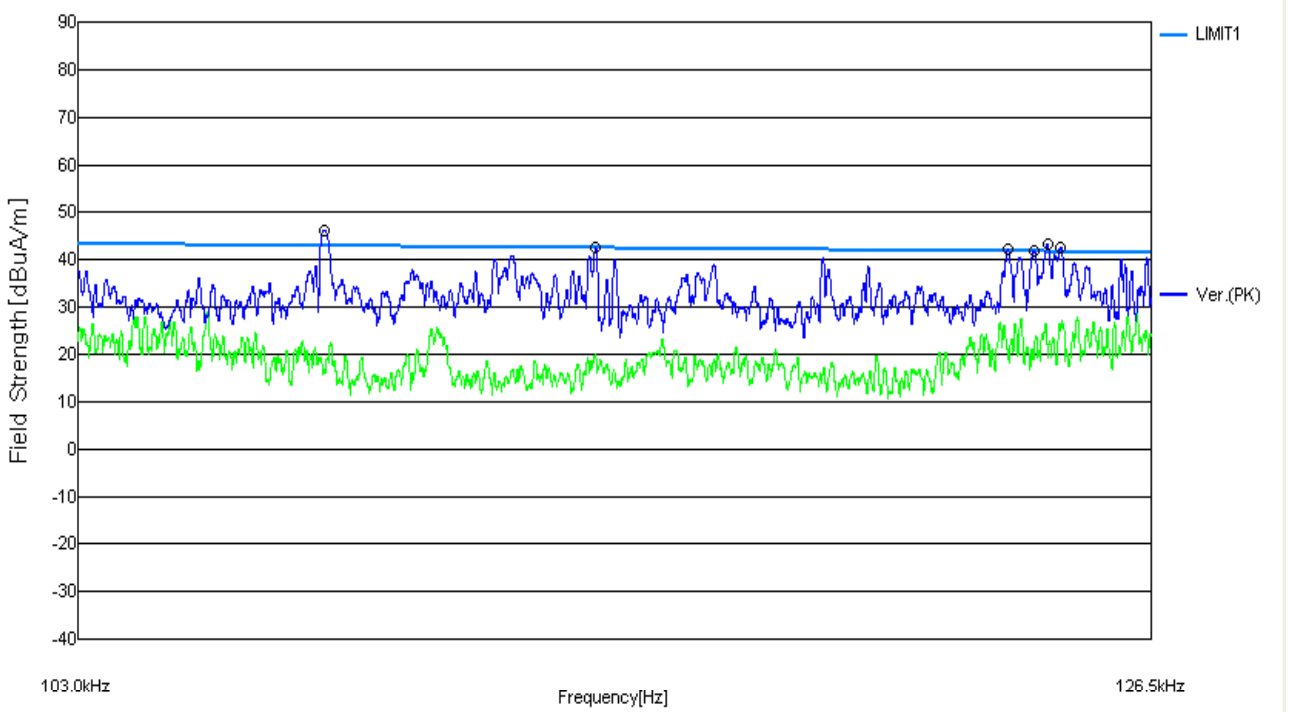

PEAK List | Final List

| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.10797 | Ver. | 79.9 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 46.0 | --- | --- | -- | 42.9 | **-3.1** | **NOK** |
| 0.11372 | Ver. | 76.3 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 42.4 | --- | --- | -- | 42.5 | 0.1 | OK |
| 0.12306 | Ver. | 75.9 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 42.0 | --- | --- | -- | 41.8 | **-0.2** | **NOK** |
| 0.12369 | Ver. | 75.7 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 41.7 | --- | --- | -- | 41.7 | 0.0 | OK |
| 0.12401 | Ver. | 77.1 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 43.2 | --- | --- | -- | 41.7 | **-1.5** | **NOK** |
| 0.12431 | Ver. | 76.4 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 42.5 | --- | --- | -- | 41.7 | **-0.8** | **NOK** |

[103.0 kHz - 126.5 kHz]

### 3.5.10 고속 (270 kph) 역행 Data (103.0 kHz-126.5 kHz) - Ver. vs 환경잡음

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

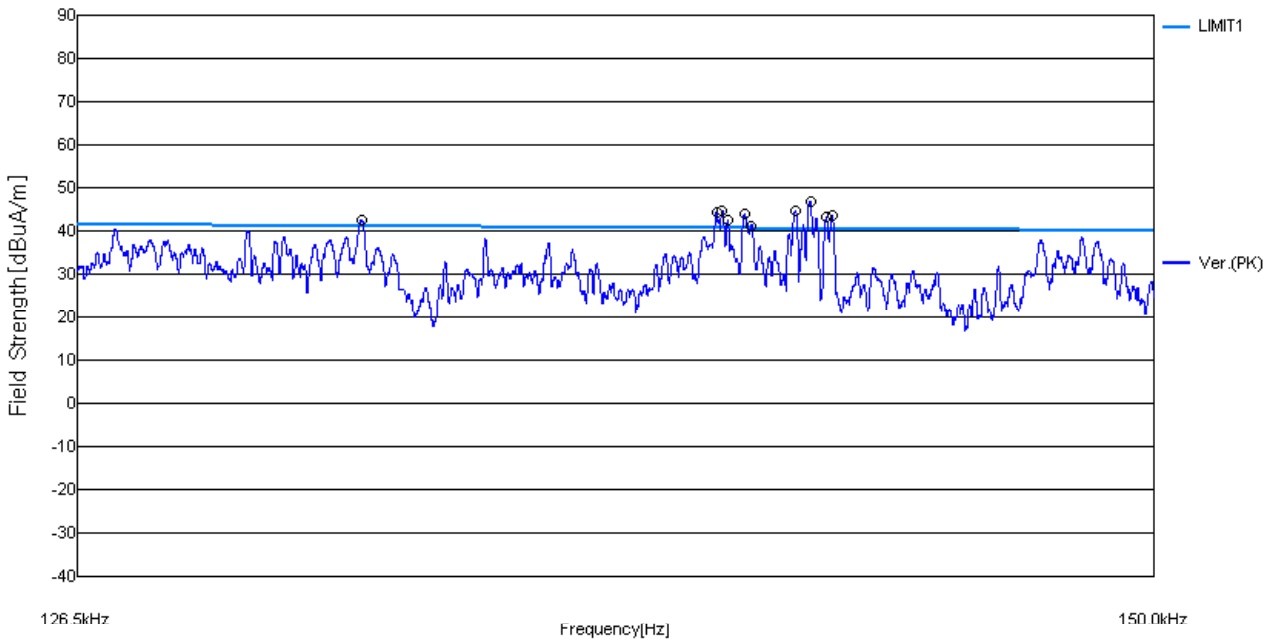



PEAK List | Final List

| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.10797 | Ver. | 79.9 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 46.0 | --- | --- | -- | 42.9 | -3.1 | NOK |
| 0.11372 | Ver. | 76.3 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 42.4 | --- | --- | -- | 42.5 | 0.1 | OK |
| 0.12306 | Ver. | 75.9 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 42.0 | --- | --- | -- | 41.8 | -0.2 | NOK |
| 0.12369 | Ver. | 75.7 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 41.7 | --- | --- | -- | 41.7 | 0.0 | OK |
| 0.12401 | Ver. | 77.1 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 43.2 | --- | --- | -- | 41.7 | -1.5 | NOK |
| 0.12431 | Ver. | 76.4 | --- | --- | 17.4 | -51.3 | 0.0 | 42.5 | --- | --- | -- | 41.7 | -0.8 | NOK |

[103.0 kHz - 126.5 kHz]

### 3.5.11 고속 (270 kph) 역행 Data (126.5 kHz-150.0 kHz) - Ver.



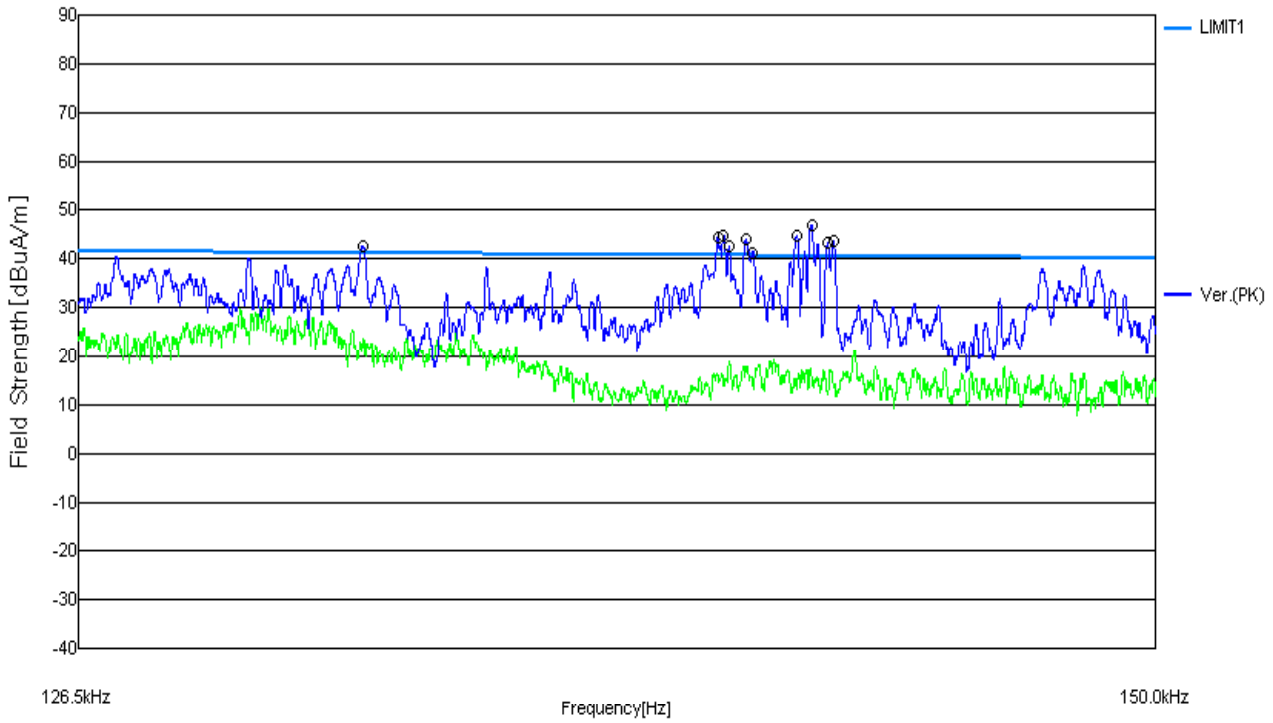

PEAK List | Final List

| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.13231 | Ver. | 75.4 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 42.6 | --- | --- | -- | 41.1 | -1.5 | NOK |
| 0.13996 | Ver. | 77.2 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 44.4 | --- | --- | -- | 40.6 | -3.8 | NOK |
| 0.14009 | Ver. | 77.4 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 44.6 | --- | --- | -- | 40.6 | -3.9 | NOK |
| 0.14021 | Ver. | 75.1 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 42.3 | --- | --- | -- | 40.6 | -1.7 | NOK |
| 0.14058 | Ver. | 76.6 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 43.7 | --- | --- | -- | 40.6 | -3.2 | NOK |
| 0.14073 | Ver. | 74.0 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 41.2 | --- | --- | -- | 40.6 | -0.6 | NOK |
| 0.14172 | Ver. | 77.5 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 44.7 | --- | --- | -- | 40.5 | -4.2 | NOK |
| 0.14205 | Ver. | 79.5 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 46.7 | --- | --- | -- | 40.5 | -6.2 | NOK |
| 0.14241 | Ver. | 75.9 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 43.1 | --- | --- | -- | 40.5 | -2.6 | NOK |
| 0.14254 | Ver. | 76.4 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 43.6 | --- | --- | -- | 40.5 | -3.1 | NOK |

[126.5 kHz - 150.0 kHz]

### 3.5.12 고속 (270 kph) 역행 Data (126.5 kHz-150 kHz) - Ver. vs 환경잡음

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

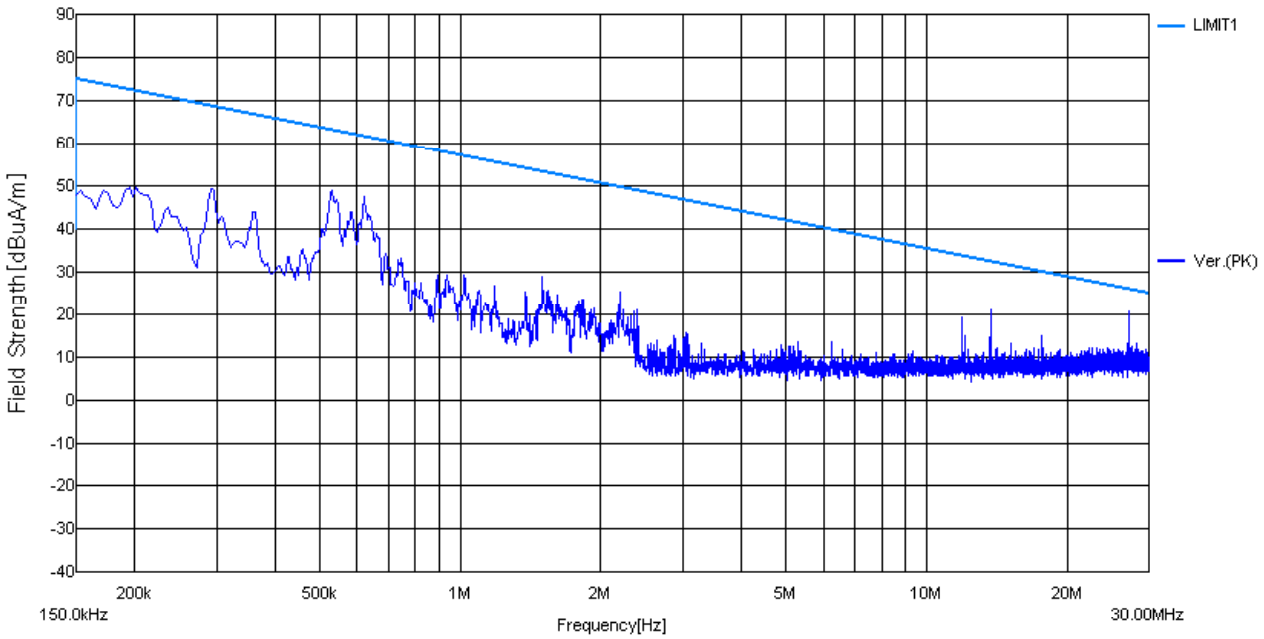



PEAK List | Final List

| Frequency | Polar | Level | | | Factor | | | Results | | | NB/BB | Limits | Margin | Judge |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PEAK | AV | QP | Ant. | Loss | Gain | PEAK | AV | QP | | | | |
| [MHz] | | [dBuV] | | | [dB/m] | [dB] | | [dBuA/m] | | | | [dBuA/m] | [dB] | |
| 0.13231 | Ver. | 75.4 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 42.6 | --- | --- | -- | 41.1 | -1.5 | NOK |
| 0.13996 | Ver. | 77.2 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 44.4 | --- | --- | -- | 40.6 | -3.8 | NOK |
| 0.14009 | Ver. | 77.4 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 44.6 | --- | --- | -- | 40.6 | -3.9 | NOK |
| 0.14021 | Ver. | 75.1 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 42.3 | --- | --- | -- | 40.6 | -1.7 | NOK |
| 0.14058 | Ver. | 76.6 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 43.7 | --- | --- | -- | 40.6 | -3.2 | NOK |
| 0.14073 | Ver. | 74.0 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 41.2 | --- | --- | -- | 40.6 | -0.6 | NOK |
| 0.14172 | Ver. | 77.5 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 44.7 | --- | --- | -- | 40.5 | -4.2 | NOK |
| 0.14205 | Ver. | 79.5 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 46.7 | --- | --- | -- | 40.5 | -6.2 | NOK |
| 0.14241 | Ver. | 75.9 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 43.1 | --- | --- | -- | 40.5 | -2.6 | NOK |
| 0.14254 | Ver. | 76.4 | --- | --- | 18.6 | -51.4 | 0.0 | 43.6 | --- | --- | -- | 40.5 | -3.1 | NOK |

[126.5 kHz - 150.0 kHz]

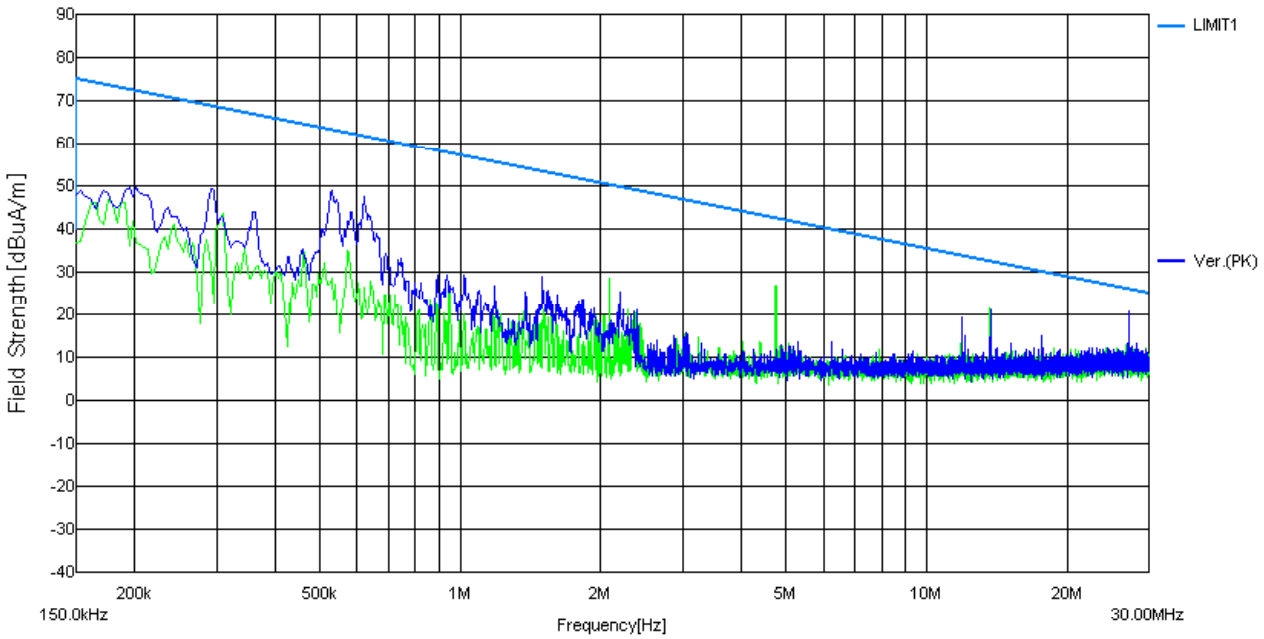
### 3.5.13 고속 (270 kph) 역행 Data (150.0 kHz-30.0 MHz) - Ver.




[150.0 kHz - 30.0 MHz]

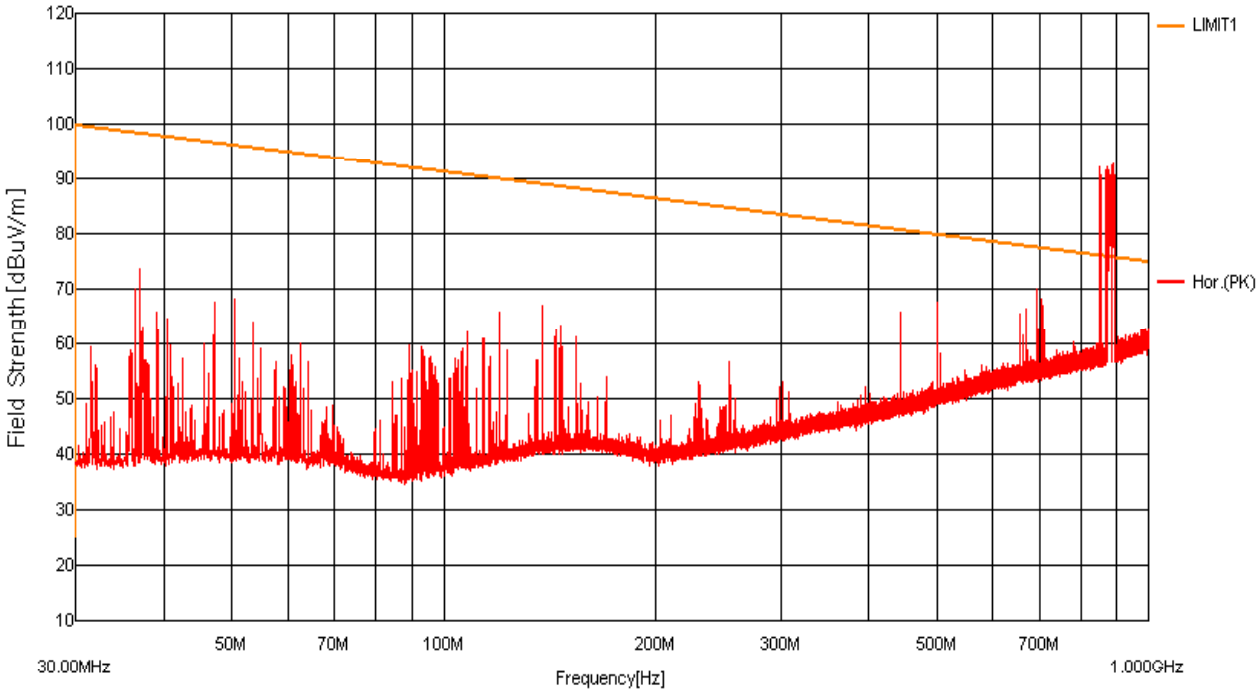
### 3.5.14 고속 (270 kph) 역행 Data (150.0 kHz-30.0 MHz) - Ver. vs 환경잡음

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |




[150.0 kHz - 30.0 MHz]

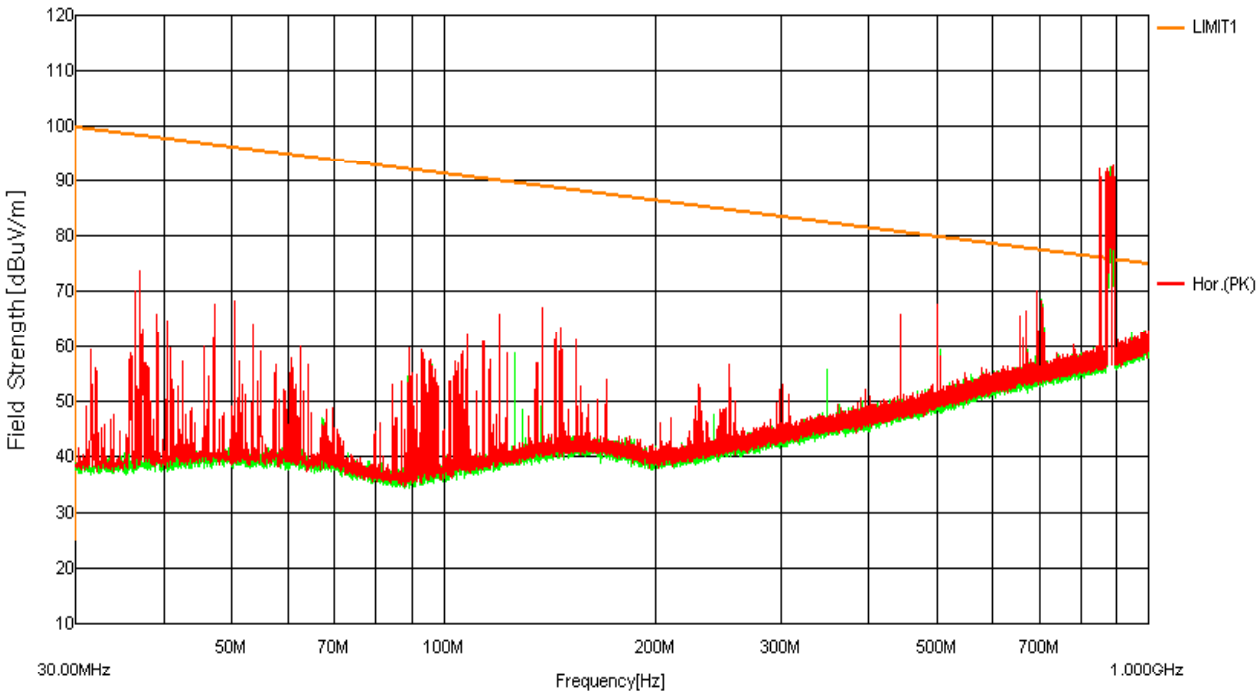
### 3.5.15 고속(270 kph) 역행 Data (30 MHz-1 GHz) - Hor.



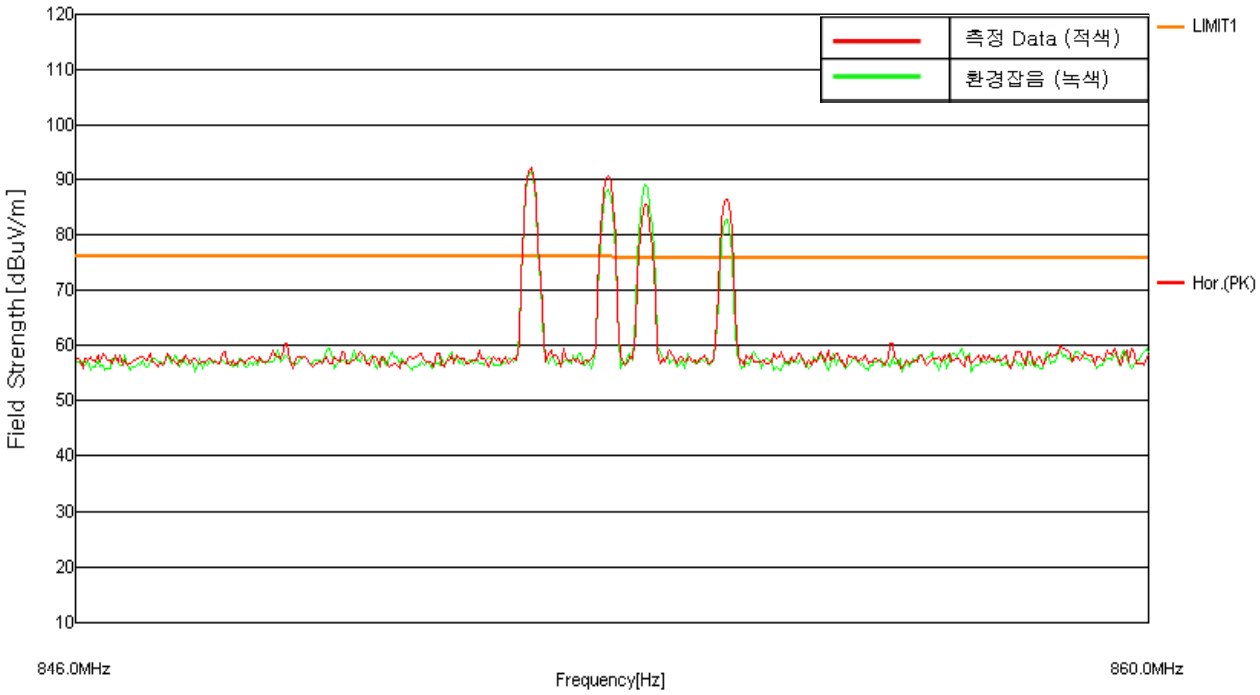

[30 MHz - 1GHz]

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (적색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

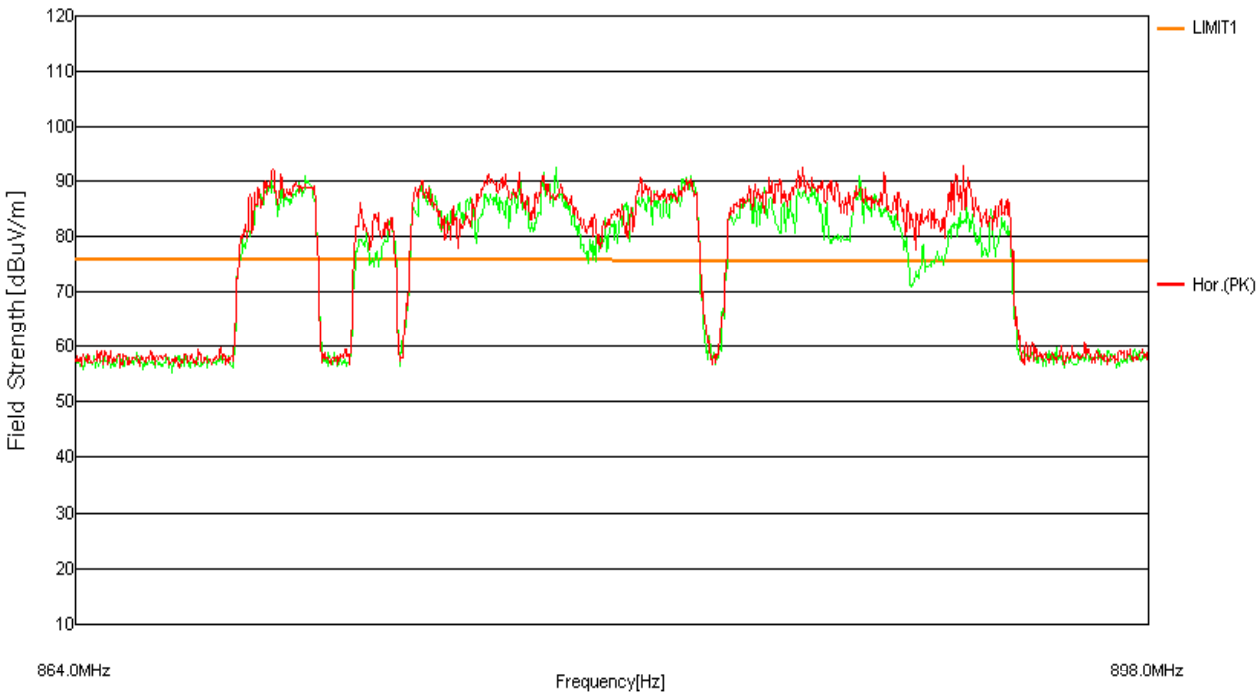
### 3.5.16 고속(270 kph) 역행 Data (30 MHz-1 GHz) - Hor. vs 환경잡음




[30 MHz - 1GHz]

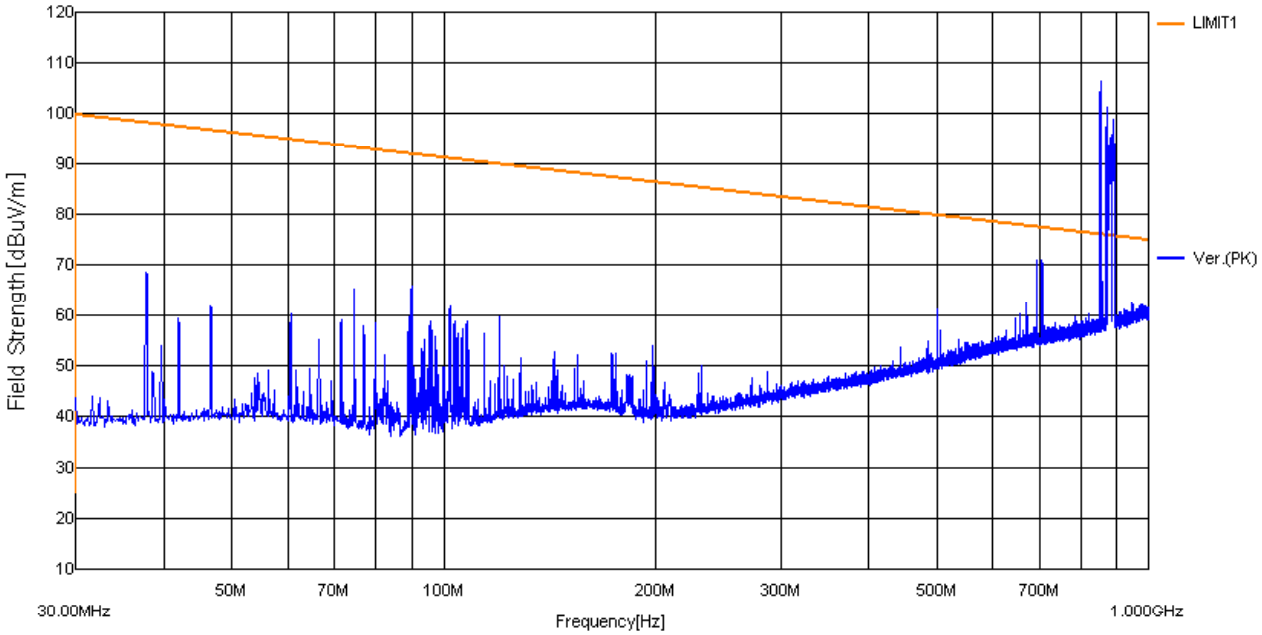



[846 MHz – 860 MHz]




[864 MHz – 898 MHz]

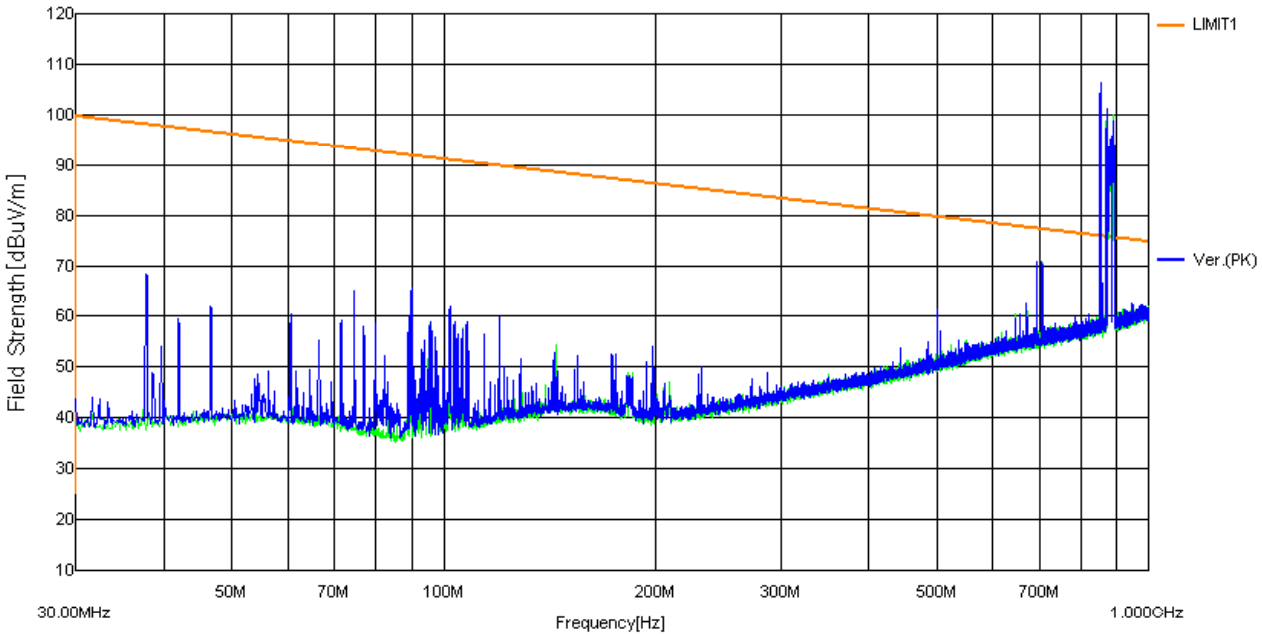
### 3.5.17 고속(270 kph) 역행 Data (30 MHz-1 GHz) - Ver.



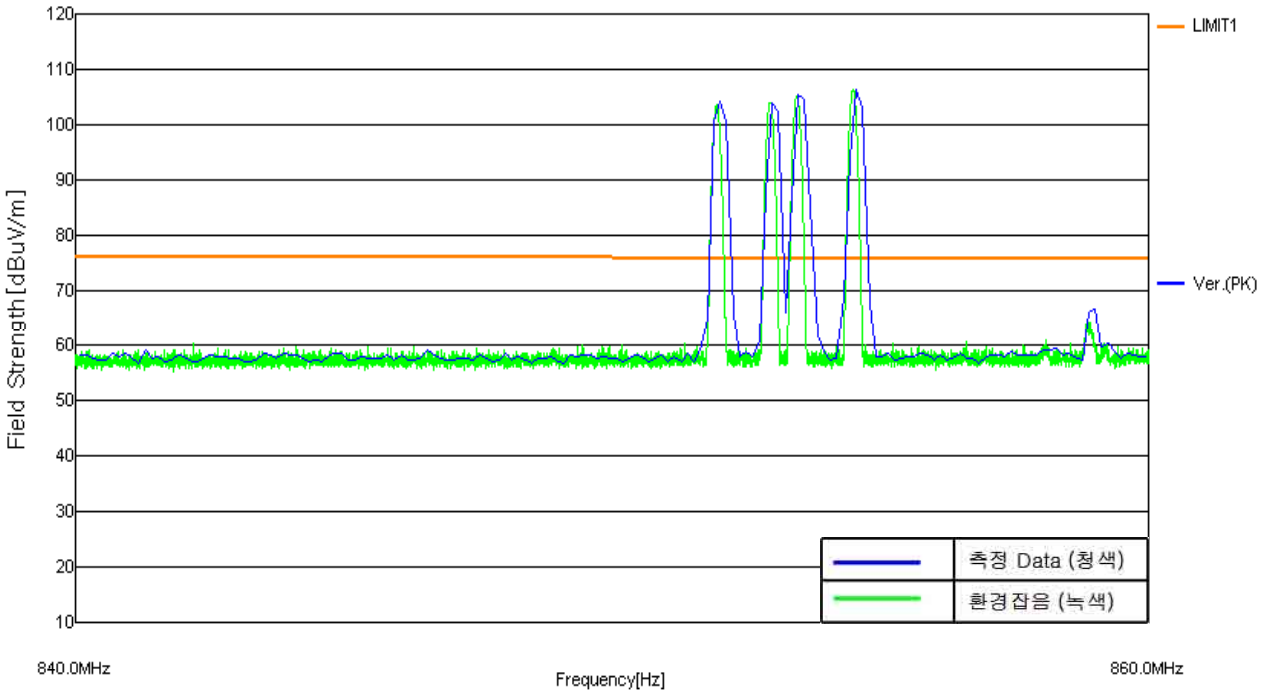

[30 MHz - 1GHz]

| | |
|---|---|
| | 측정 Data (청색) |
| | 환경잡음 (녹색) |

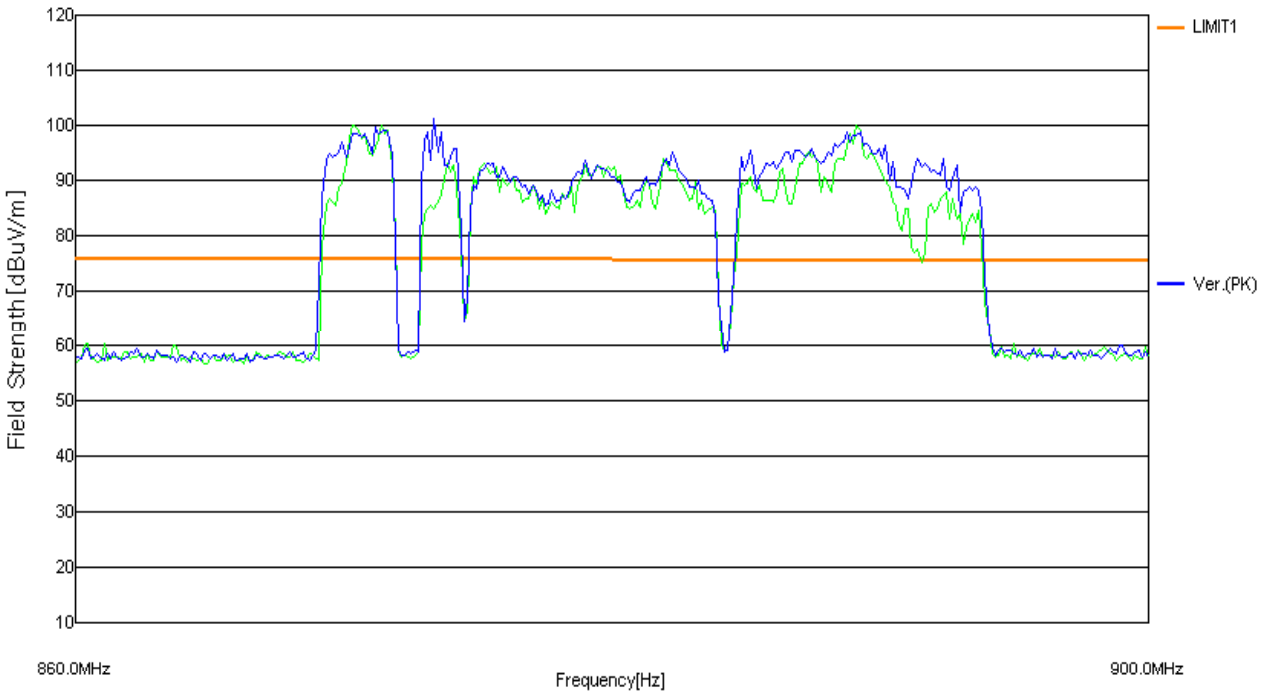
### 3.5.18 고속(270 kph) 역행 Data (30 MHz-1 GHz) - Ver. vs 환경잡음




[30 MHz - 1GHz]




[840 MHz - 860 MHz]




[860 MHz - 900 MHz]

# 4.0 측정장면 사진

## 4.1 측정장면 Setup 사진 (장성 신흥리 폐역)





## 4.1 측정장면 Setup 사진 (천안 고등터널 고속철도 선로 구간)





# 5.0 별첨자료

## 5.1 Ambient 분할표

| Freq. (MHz) | Remark |
|---|---|
| 0.526KHz ~ 1.606MHz | AM 라디오 |
| 1.606MHz ~ 50.000MHz | 해상, 선박, 항공, 아마추어 무선, 완구, 모형기, 주파수 |
| 50.000MHz ~ 54.000MHz | 아마추어 무선 주파수 |
| 54.000MHz ~ 72.000MHz | TV 방송용 |
| 72.000MHz ~ 76.000MHz | 모형기기, 홍수예-경보, 소출력 무선 |
| 76.000MHz ~ 88.000MHz | TV 방송용 |
| 88.000MHz ~ 108.000MHz | FM 방송용 |
| 108.000MHz ~ 137.000MHz | 항공운항, 실험용 주파수 |
| 137.000MHz ~ 138.000MHz | 위성이동통신 서비스 GMPCS |
| 138.000MHz ~ 144.000MHz | 지역별 업무 주파수 |
| 144.000MHz ~ 146.000MHz | 아마추어 무선 주파수 |
| 146.000MHz ~ 174.000MHz | 지역별 업무 주파수 |
| 174.000MHz ~ 216.000MHz | TV 방송용 |
| 216.000MHz ~ 322.000MHz | 지역별 업무 주파수 |
| 322.000MHz ~ 328.600MHz | 012 호출기 주파수 |
| 328.600MHz ~ 371.500MHz | 특정 소출력 무선 |
| 371.500MHz ~ 381.500MHz | 주파수 공용 통신 TRS (이동국 송신) |
| 389.500MHz ~ 399.500MHz | 주파수 공용 통신 TRS (기지국 송신) |
| 399.500MHz ~ 420.000MHz | 도청의혹 주파수 (90%) |
| 422.000MHz ~ 430.000MHz | 간이 무선국용 주파수 |
| 430.000MHz ~ 440.000MHz | 아마추어 무선 주파수 |
| 440.000MHz ~ 470.000MHz | 지역별 업무 주파수, 열차방호장치 |
| 470.000MHz ~ 752.000MHz | TV 방송용 |
| 752.000MHz ~ 806.000MHz | 실험, 방송, 도서 통신 |
| 806.000MHz ~ 821.000MHz | 주파수 고용 통신 TRS ( 이동국 송신) |
| 821.000MHz ~ 824.000MHz | 공항통신용 주파수(이동국 송신) |
| 824.000MHz ~ 849.000MHz | 011(이동전화대역)주파수(이동국송신) |
| 851.000MHz ~ 866.000MHz | 주파수 공용 통신 TRS(기지국송신) |
| 866.000MHz ~ 869.000MHz | 공항통신용 주파수(기지국 송신) |
| 869.000MHz ~ 894.000MHz | 011(이동전화대역)주파수(기지국송신) |

| | |
|---|---|
| 894.000MHz ~ 898.000MHz | 이동통신 |
| 898.000MHz ~ 900.000MHz | 무선 데이터 통신 주파수(이동국 송신) |
| 900.000MHz ~ 938.000MHz | 방송, 소출력, 무선전화기(900 MHz 대역) |
| 938.000MHz ~ 940.000MHz | 무선 데이터 통신 주파수(기지국 송신) |
| 940.000MHz ~ 960.000MHz | 방송, 소출력, 무선전화기(900 MHz 대역) |
| 960.000MHz ~ 1000.00MHz | 무선전화기(900 MHz 대역), 항공무선 |

위의 사항은 Ambient Noise의 수평,수직극성을 가지는 방사 노이즈다, 또한 제한치를 초과하거나 근접한 주파수대를 표로 작성표기 하였다.
환경잡음은 측정장소 주변의 전자파 환경에 의하여 발생하는 전자파로서 시간과 기후조건 등에 의하여 지속적으로 변화되는 값이다, 따라서 시험결과에 그대로 반영되어 시험 대상으로부터 발생하는 전자파의 정확한 세기를 판단하기 어렵게 한다, 시간이나 일정에 관계없이 비주기적으로 발생하는 환경잡음의 경우에는 잡음과 신호를 분리하여 평가하기가 난해하다, 그러므로 실제목표가 되는 전자파세기로부터 정확한 평가를 얻기 위하여, 환경잡음을 최대로 측정한 후 실제 시험대상으로부터의 얻은 데이터를 비교하는 방법을 사용한다.

### 5.2 검토의견

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="4">항목</td><td colspan="4">주파수</td><td rowspan="4">비고</td></tr>
<tr><td colspan="3">Low Bands</td><td colspan="2">High Bands</td></tr>
<tr><td colspan="2">RBW 200 Hz</td><td>RBW 9 kHz</td><td>Hor.</td><td>Ver.</td></tr>
<tr><td>9k-121k</td><td>121k-150k</td><td>150k-30M</td><td>30-1000M</td><td>30-1000M</td></tr>
<tr><td rowspan="2">정차 모드</td><td>TC</td><td colspan="3">(12p-19p 참조)</td><td colspan="2" rowspan="4">-</td><td></td></tr>
<tr><td>TC PANTO</td><td colspan="3">(23p-30p 참조)</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">저속 모드</td><td>50 km/h 역행</td><td colspan="2">(33p-39p 참조)</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td>50 km/h 회생</td><td colspan="2">(40p-45p 참조)</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">고속</td><td>60 km/h 역행</td><td colspan="2">(46p-50p 참조)</td><td>-</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td>160 km/h, 회생</td><td colspan="2">(51p-54p 참조)</td><td>-</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td>270 km/h 역행</td><td colspan="3">(55p-65p 참조)</td><td colspan="2">(66p-68p 참조)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">Note</td></tr>
</table>

국립중앙도서관 출판예정도서목록(CIP)

KTX산천 전자파간섭 해소기술개발 최종보고서 : 미래철도기술개발사업(기초원천형) / 주관연구기관: 한국철도공사 ; 공동연구기관: 현대로템. -- [세종] : 국토교통부 ;[안양] : 국토교통과학기술진흥원, 2014
p. ; cm. -- (R&D ; 12PRTD-C064009-01)

참고문헌 수록
영어 요약 있음
ISBN 979-11-953219-7-1 93530 : 비매품

철도 공학[鐵道工學]
전자기파[電磁氣波]

535-KDC5
625-DDC21 CIP2014022746