제6절 LSM 추진제어 기술 개발

1. 개요

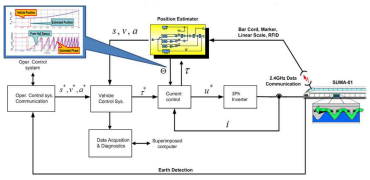
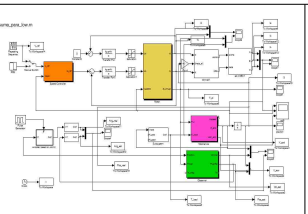
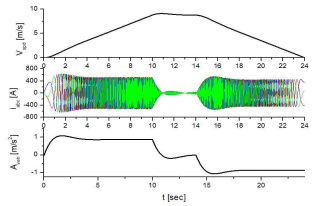
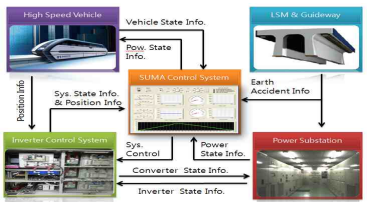
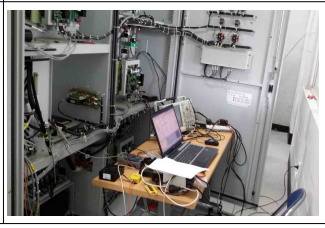
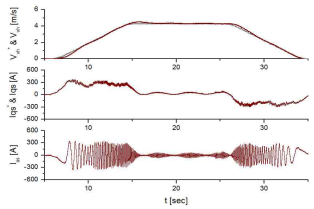
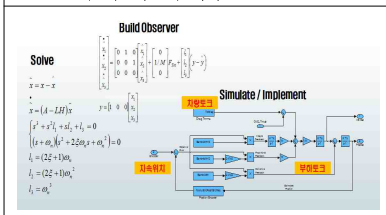
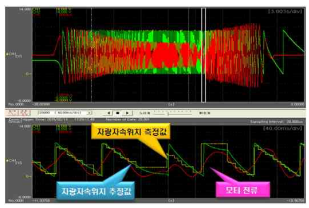
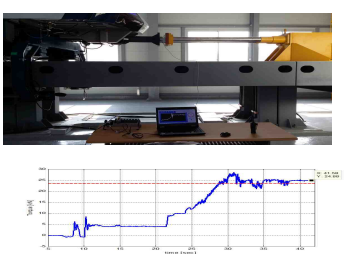
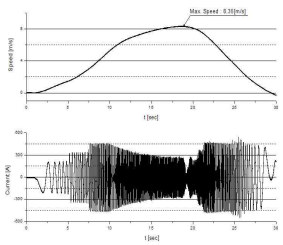
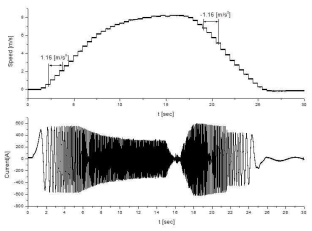
초고속 자기부상철도는 기존 휠온레일 고속철도의 초고속화에 따른 차량의 추진전력 급전문제, 추진전력변환장치 소형/경량화문제 등을 해결하기 위해 지상 1차 추진 선형동기모터 시스템을 채택하고 있다. 지상1차 선형 동기모터(Long Stator Linear Synchronous Motor)는 저속뿐만 아니라 초고속에서도 추진효율이 높고, 대용량 추진 전력변환장치를 지상에 구축하게 됨으로 초고속 자기부상열차의 하중에 부담을 주지 않는다. 그러나 지상 1차 선형동기모터는 이동자의 자속과 지상 1차 선형동기전동기의 이동자계의 동기가 매우 중요하며, 이를 추진효율과 밀접한 관계가 있다. 본 연구에서는 LSM 추진제어기술중 LSM 제어기술 뿐만 아니라 차량으로부터 수신되는 차량자속위치 정보를 기반으로 고정밀 위치를 추정하는 기술을 개발하고 단거리 시험선을 통해 성능을 검증하고자 한다.

2. 목표

본 연구에서 LSM 추진제어기술 목표는 LSM 추진시스템의 추진력 제어를 위해서 차량으로부터 1msec마다 수집된 1mm 분해능의 차량 자속위치정보로부터, 선형적인 위치를 추정하고 여 추진제어(500usec주기)에 요구되는 고정밀 위치정보를 추정하여 고효율의 추진력을 발생시키는 것이며, 년차별 연구목표는 다음과 같다.

연차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	Long Stator LSM 인버터 제어 알고리즘 분석	▪ Long Stator LSM 제어기술 조사 및 분석 ▪ LSM 제어기술 개발을 위한 시뮬레이션 모델개발 ▪ 인버터 제어기술 분석
2차년도	Long Stator LSM 인버터 제어 알고리즘 시뮬레이션 및 검증	▪ LSM 추진제어 시뮬레이션 모델을 통한 알고리즘 검증 ▪ 시뮬레이션을 통한 추진인버터 파라미터 검증 ▪ 제어기 제작 및 기능시험
3차년도	Long Stator LSM 인버터 제어 알고리즘 시험 (테스트 장비)	▪ 제어알고리즘 포팅 및 시험 ▪ 테스트 장비를 통한 알고리즘 시험 및 분석
4차년도	1MVA급 Long Stator LSM 인버터 시험 및 평가(단거리 시험선)	▪ 추진시스템 제어알고리즘 시험 및 결과분석 ▪ 차량자속위치추정기 성능시험 및 성능검증 ▪ LSM 추진시스템 종합성능시험 및 평가

3. 개발 내용 요약

<table>
<tr><td>연구목표</td><td colspan="3">차량으로부터 5msec마다 수집된 5mm 분해능의 차량 자속위치정보로부터, 선형적인 위치를 추정하여 추진제어(500usec주기)에 요구되는 위치정보를 제공하고 이를 통해 고효율의 추진력을 발생시키는 것</td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="3">▪ 기술 조사, 시스템 요구사항 도출 및 추진제어기 기본 설계
▪ 추진 인버터 설계 시뮬레이션을 통한 시스템 파라미터 검증
▪ 추진제어기 개발 및 단거리 시험선에서 주행시험을 통한 추진제어알고리즘 검증</td></tr>
<tr><td>수행과정</td><td colspan="3">▪ 국내외 초고속자기부상열차 추진제어기술관련 논문 및 연구보고서 분석을 통한 기술 동향 분석
▪ 국내외 관련 전문가 미팅 및 자문을 통한 기술개발방향 설정
▪ LS-LSM추진시스템 시뮬레이션 모델 개발 및 시뮬레이션을 통한 알고리즘 검토
▪ 단거리 시험선에서 추진제어알고리즘 시험 및 평가 및 추진제어기술 정립</td></tr>
<tr><td rowspan="11">연구결과</td><td>▪ 제어알고리즘 개발</td><td colspan="2">▪ 시뮬레이션 모델개발 및 알고리즘 검증</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>▪ 차량 통합 운영 시스템 개발</td><td>▪ LSM추진제어 시스템 개발</td><td>▪ 속도프로파일에 의한 자동 운전</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="3">초고속 자기부상열차의 자속위치 추정기 관련 성능시험 결과</td></tr>
<tr><td>▪ 최대 추력시험</td><td>▪ 최대 추력시험</td><td>▪ 최대 추력시험</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="3">LSM 추진시스템관련 종합 성능평가 결과</td></tr>
<tr><td>▪ 최대 추력 24.88kN달성</td><td>▪ 최고 속도 8.45m/s달성</td><td>▪ 최고 가감속 도 1.16m/s^2 1.75m/s^2</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

4. 상세 개발 내용

가. LSM 추진 인버터 제어기술 조사 및 분석(1차년도)

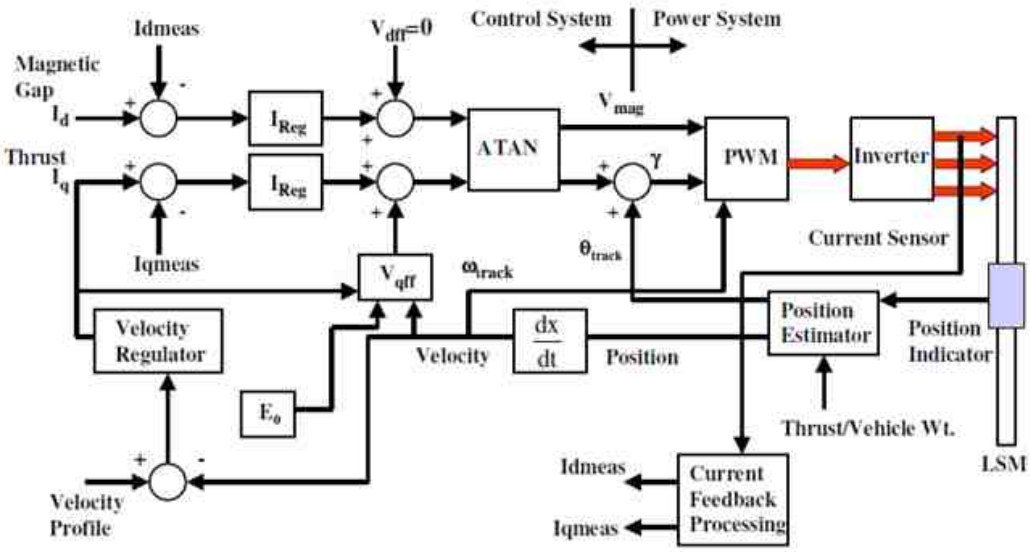
(1) Long Stator LSM 제어기술 조사 및 분석

국외 상전도 흡인식 초고속 자기부상열차는 철심형 장 전기자 선형 동기 모터에 의해 추진력이 발생되며, 추진장치는 차상에 설치되는 것이 아니라 궤도를 따라 가이드웨이에 설치된다. 이러한 장전기자 선형 추진시스템의 특징은 직선형의 구동력을 직접 발생시키므로 기계적인 변환장치가 전혀 필요하지 않기 때문에, 기계적 마찰에 의한 에너지 손실이나 소음이 발생하지 않고 운전속도에도 제한을 받지 않는 등의 장점이 있다.

이러한 장전기자형 선형동기전동기를 기반으로하는 운송시스템에 대하여 국외 선행기술에 대하여 독일 트랜스래피드, 미국 General Atomics 사의 영구자석 반발식 추진시스템 등에 대하여 시스템의 제어기술을 조사하고 특장점에 대하여 분석하였다.

(가) G.A.(General Atomics)사 추진제어기술 분석

미국 GA사의 자기부상열차의 추진시스템은 장전기자형 추진방식으로 LSM 추진제어를 위해 LSM의 전류를 검출받아 자속성분과 토크성분으로 분리하여 제어를 수행하고 있다. 여기에서 D축 전류는 영구자석 반발식 자기부상열차의 부상력을 조절하는 기능을 수행하고, Q축 전류는 차량의 추진력을 제어하는 구조로 설계되어져 있다.



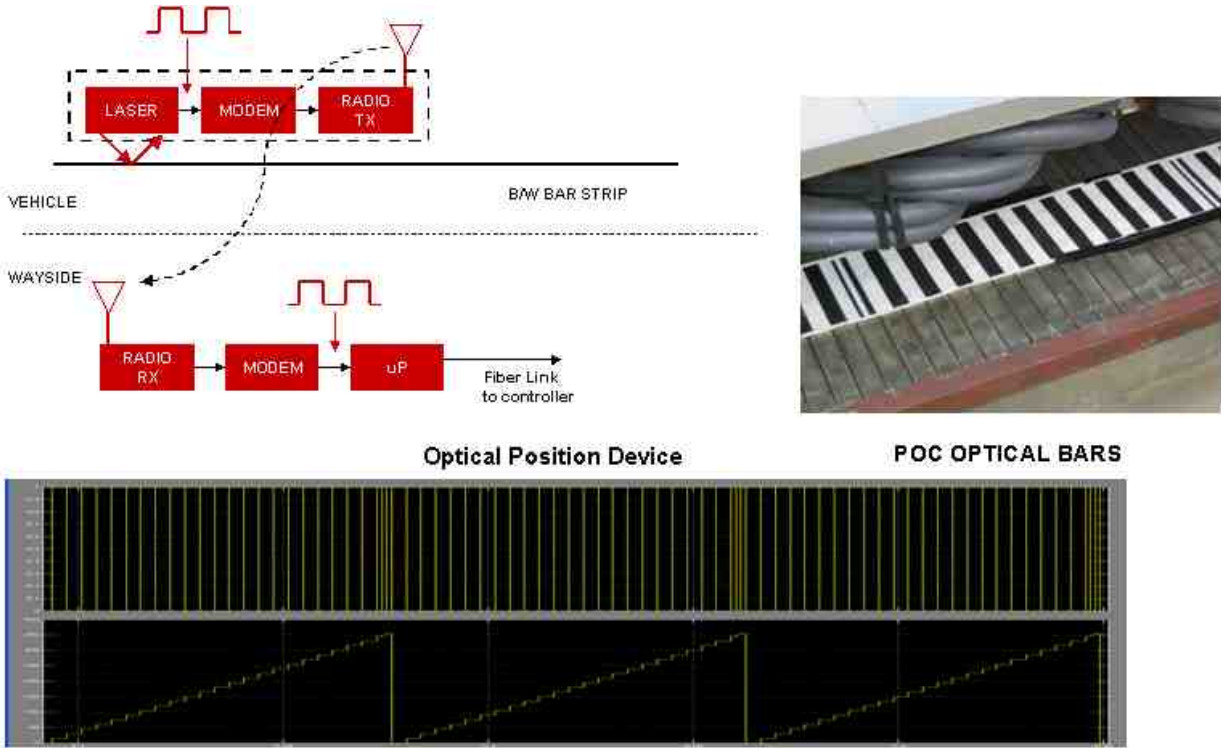
[그림 2.6.1] GA사의 추진제어 블럭도

이러한 장전기자형 선형동기모터의 제어시스템은 기존 차량에서 추진력을 발생시키는 시스템과 달리 차량의 추진력을 발생시키기 위한 위치정보를 차량에서 검출하여 통신시스템을 통해 지상 추진 인버터에 제공된다. 따라서 G.A.(General Atomics)사

의 자기부상열차 초기모델은 지상 1차 LSM 추진시스템의 위치검지를 위해 광학식(Piano Key) 엔코더를 사용하여 위치를 측정하였다.

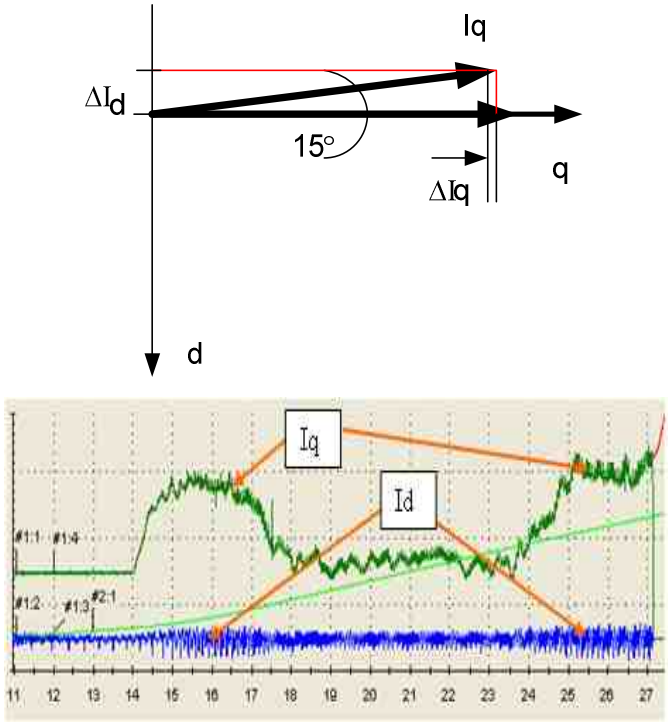
차상에서 위치검출방식은 차상에 설치되어져 있는 레이저 센서로 가이드웨이에 설치되어져 있는 피아노 건반과 같은 상대위치정보를 취득하여 무선 라디오 주파수를 이용하여 지상측 인버터로 송신하는 구조이다. 여기에서 펄스형태의 위치신호는 Up-counter를 이용하여 LSM 모터의 계자 위상각을 산출하고 위치 입력신호 중 한 주기가 끝나는 시점에서 Double Pulse가 발생되며 위상각 zero로 판단한다.

G.A사의 광학식 위치 검지시스템은 차량이 최소 0.2cm/s 이동되어야만 위치검지가 가능하다는 단점과 광학식 엔코더는 주의 환경에 민감한 단점이 있어 이를 개선하기 위한 노력이 진행 중이다.



[그림 2.6.2] G.A사의 자기부상열차 위치검지 관련 사진

G.A.(General Atomics)사 위치검지시스템과 추진전력과의 상관관계는 다음과 같다. 위치검지시스템에 있어서 위상각 15°오차발생시 토크분 전류 Id는 26%, Iq는 3.4%의 에러가 발생되어 부상력에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. [그림 6.3]은 위치검지시스템의 위치정보에 대한 위상각 오차가 15°정도가 발생 되었을때 나타나는 현상을 추진전류에 대한 벡터적인 해석과 실제 추진시스템의 D축, Q축 전류성분에 나타나는 영향에 대하여 나타내고 있다.



[그림 2.6.3] 15°의 위상각 오차에 대한 전류 벡터도 및 추진전류의 변화

상기 서술된 바와 같이 장전기자형 선형전동기를 구동함에 있어 위치정보에 대한 분해능은 높아야 한다. 그러나 측정된 위치정보에 대하여 분해능을 높이기 위해서는 고속주행시 센서의 밴드폭이 매우 높아야 하는 문제점이 발생된다. 따라서 측정된 펄스 또는 정현파 신호를 체배하는 방법이 활용된다.

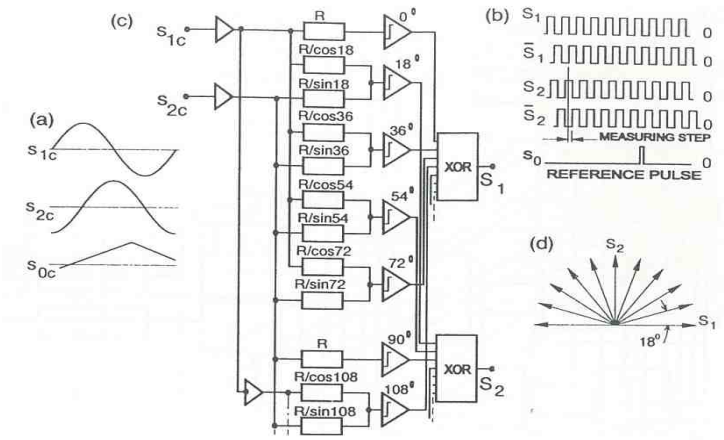
가이드웨이에 설치된 LSM 코일에 대하여 위치정보를 얻기 위해서는 LSM 코일에 별도의 권선을 설치하고 해당 권선에 고주파 전류를 흘려 고주파 자기장을 검출하는 방식이 이용된다. 이때 자기장을 검출하는 센서로써 Hall sensor가 널리 활용된다.

Hall sensor 등과 같이 사인형태의 출력신호를 제어용 위치신호로 사용하는 경우, 신호의 분해능 증가효과, 전체적인 정밀도 향상을 위해 보간된 신호장치를 전기회로에 추가로 설치하는 것이 바람직하다. Signal Interpolation Process 는 측정된 위치정현파 신호를 [그림 2.6.4]와 같이 Interpolation 장치를 통해 구형파 형태로 변환시킨다.



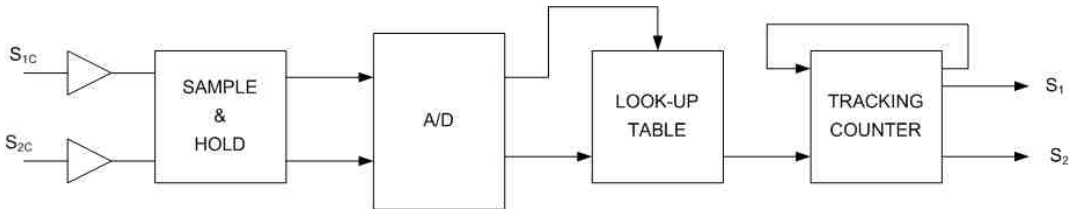
[그림 2.6.4] Heidenhain사의 5-fold interpolaton의 입출력 파형

일반적으로 사용되는 Interpolation 방법은 3가지 방식으로 나뉘어 질수 있으며, 저항 네트워크를 이용하는 아날로그-디지탈 인터폴레이션 방식, 트레킹 카운터와 룩업 테이블을 활용하는 디지탈 인터폴레이션 방식, acr-tangent 계산기에 의한 디지탈 인터폴레이션 방식이 있다. 다음은 저항 네트워크를 이용하는 아날로그-디지탈 인터폴레이션 방식 중에 하나로 아날로그 방식의 5 fold interpolation 방식은 90°위상각을 갖는 신호 입력(S1c, S2c)가 입력이 되면 OP-AMP에 저항값을 조절하여 18°위상 각도를 이동시킨 신호를 발생시키는 구조이다.

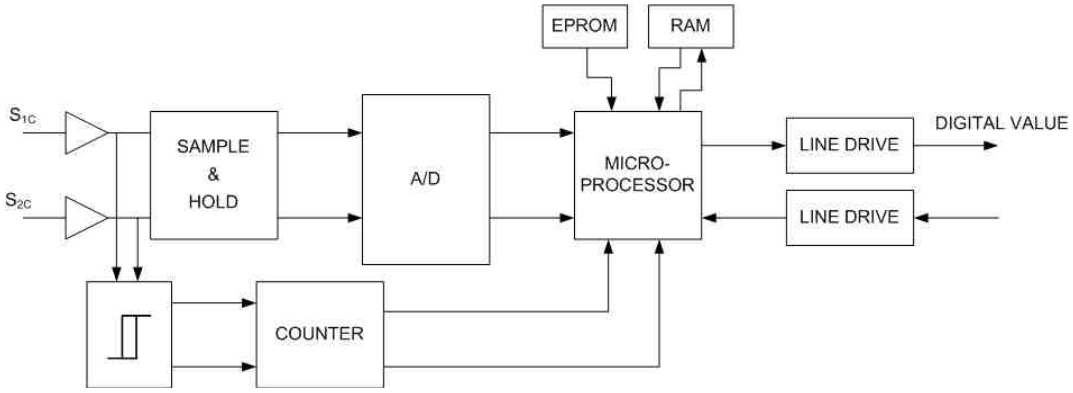


[그림 2.6.5] 저항 및 OP-AMP를 이용한 Interpolation 처리회로

Interpolation 처리방법에 있어서 보다 높은 체배를 위해서는 디지탈 방법이 요구된다. [그림 2.6.6]~[그림 2.6.7]은 디지탈 Interpolation 방식을 나타내고 있다. 두 개의 검출된 신호는 첫번째로 증폭이 되고, 그 다음으로 샘플앤 홀드 회로에서 카운팅이 가능하도록 변형되며 마지막으로 A/D 컨버터에 의해 일정한 간격으로 이산화 신호로 변형된다. 이러한 이산화된 신호값은 순시 위치에 대한 룩업테이블을 통해 단일 값으로 결정된다. 실제 위치값은 이전 트래킹 카운터에 저장된 이전 사이클에서 결정된 값과 비교된다. 트랙킹 카운터는 이전위치와 현재위치간의 차이로부터 증분된 사각신호를 발생시킨다. 이러한 룩업 테이플 방식인 Interpolation 방식은 EXE650에서 활용되고 있다.



[그림 2.6.6] 룩업 테이블과 트랙킹 카운터를 이용하는 디지털 인터폴레이션방식



[그림 2.6.7] Arctan 값을 계산하기위해 MPU를 이용하는 디지털 인터폴레이션 방식

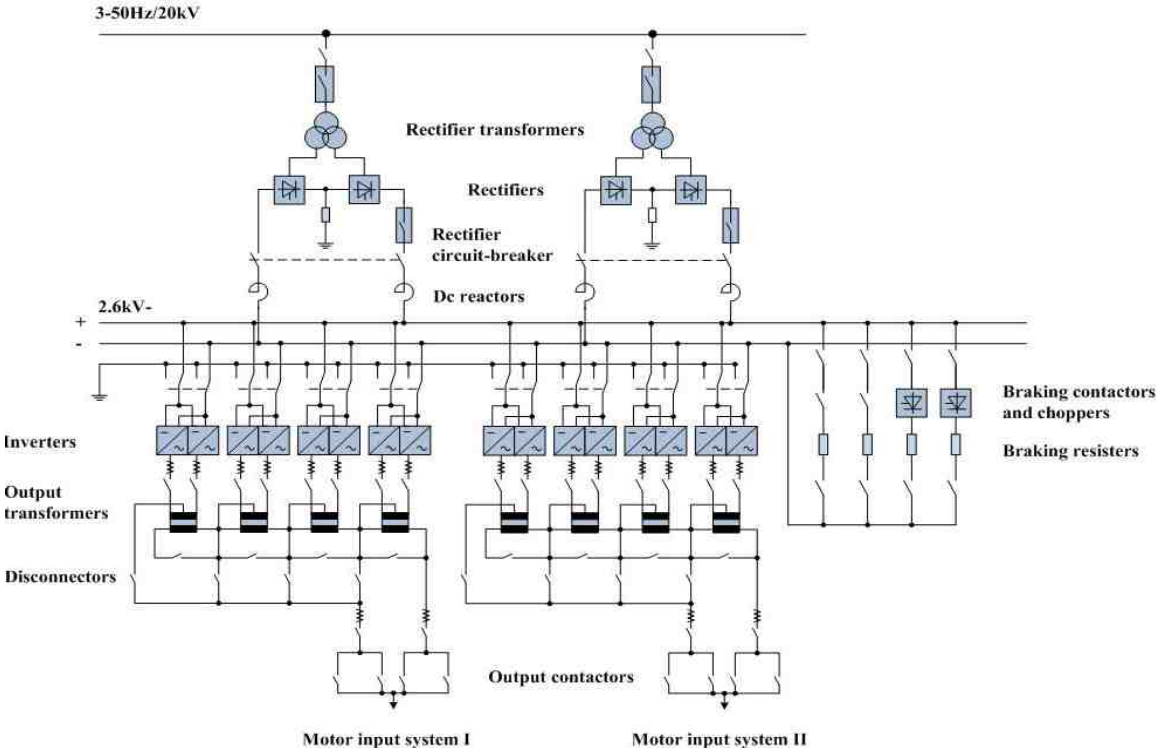
가장 진보된 Interpolation 방식은 마이크로프로세서를 이용하는 기술이다. [그림 2.6.7]은 arc-tangent 계산기 기능이 있는 디지탈 Interpolation 프로세서를 나타낸다. 이러한 마이크로프로세서는 두개의 디지털화된 입력 전압값으로부터 tangent S1/S2를 계산한다. 한 주기에서 위치를 나타내는 해당 위상각 값은 EPROM에 저장된 테이블로부터 얻어진다.

아날로그 입력신호 S1c와 S2c는 동시에 사각파형으로 변환되며 신호 주기가 결정된다. 실제 위치는 계산된 위상각과 추정된 주기로부터 결정된다. 마지막으로 시스템 에러에 대한 보상을 위해서 적절히 보정된 값이 RAM에 저장되어져 있는 테이블로부터 읽혀지게 된다. 에러 보정후에 디지탈 신호는 모션 제어 유닛으로 전송된다.

(나) TRANSRAPID 추진제어기술 분석

Transrapid 06 자기부상열차는 자기부상시스템과 결합된 철심형 장 전기자 선형모터에 의해 추진력이 발생된다. 이러한 장 전기자 선형모터의 장점은 판토그라프, 컨버터 등과 같은 차상 추진 장치에 대한 필요성을 제거할 수 있다는 데 있다. 특히 추진 성능면에 있어서 고속에서 얻을 수 있는 장점은 이러한 디자인은 차량의 높은 유효하중 비를 보장한다는 것이다.

독일 TVE Test Facility는 다음과 같다. 110kV급 상용전력으로부터 수전 받아 두 대의 20kV/1.2kV 정류용 변압기를 통해 1.2kV로 변환되며, 병렬로 연결되어져 있는 두 대의 위상제어 정류기 시스템을 통해 2.6kV(2×33kA)의 인버터 DC링크 전압을 발생시킨다.



[그림 2.6.8] TVE의 전력변환시스템에 대한 기본회로 블록도

평활용 리액터(smoothing reactors)와 보호용 DC 고속회로차단기는 DC링크 회로의 입력 단에 설치되어 있으며, 일정한 DC링크의 전압은 PWM 인버터에 의해 0~2,027V 범위의 출력전압과 0~215Hz 범위의 주파수로 변환되며 0~55Hz범위의 모터 주파수대역에서 3상 전압은 LSM에 직접 접속된다.



[그림 2.6.9] 입력 변압기 (20kV-1040V, 4MVA x2EA)

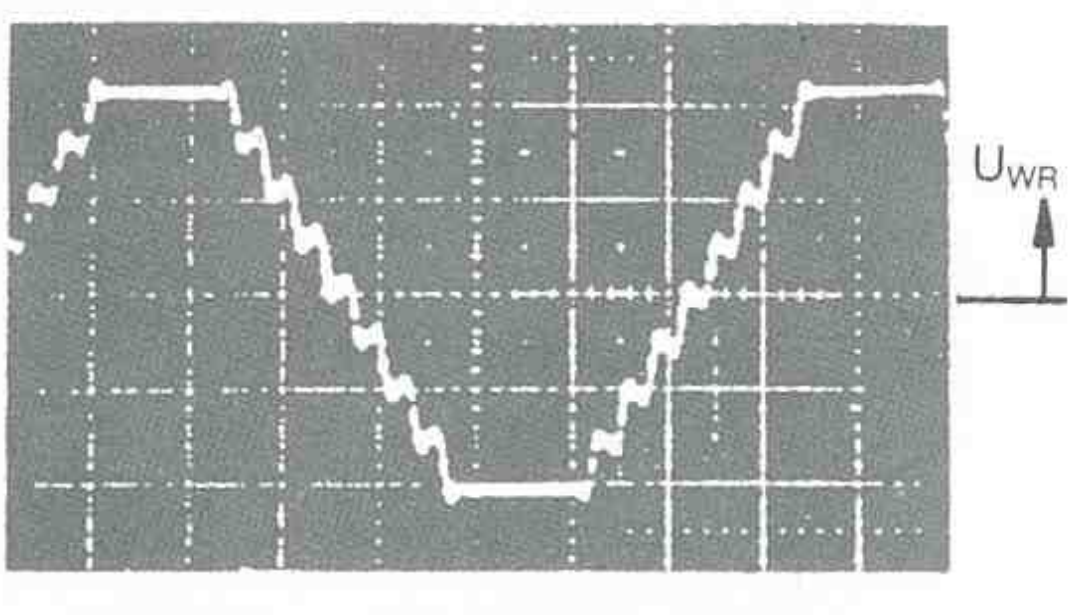
보다 높은 주파수에서는 출력 변압기가 최대 7,800V까지 모터전압을 증가시키며, 이때 최대 모터 전류는 1,200A이다. TR06 차량은 전기적으로 제동할 때, 변전소에 축적되는 에너지는 DC링크로 회생되어 브레이킹 초퍼를 통해 부분적으로 브레이킹 저항에 공급되고 부분적으로는 브레이킹 스위치를 통해 브레이킹 저항에 공급된다. 정

류용 변압기는 각각 2대의 직렬로 접속된 위상정류기에 접속되어 12상 정류 전압을 만들며 두 대의 위상제어정류기의 중간지점은 고임피던스의 저항을 통해 접지되어져 있어 DC링크회로의 균등전위를 보장할 수 있도록 되어져 있다.

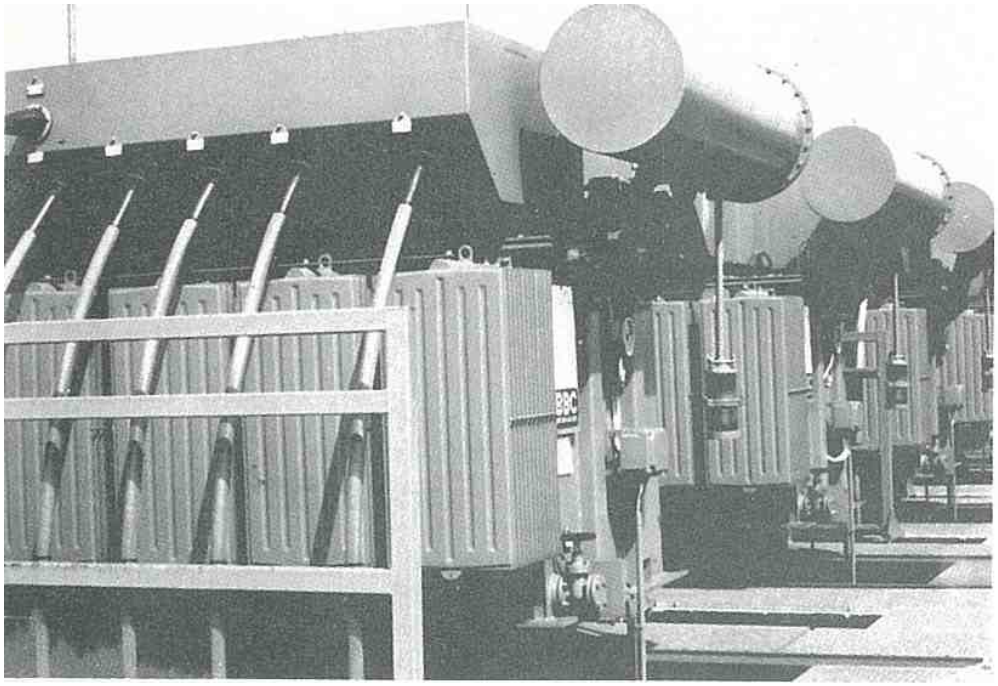
접지 단에 연결된 지락사고 모니터는 모든 케이블시스템에 대하여 절연파괴로 인한 지락사고를 검지할 수 있으며, 정류기의 제어시스템은 높은 동특성을 갖고 있어 부하 또는 공급전원에 의한 외란(fluctuation)에도 2,600V의 일정한 전압을 유지할 수 있다. 모든 컨버터의 기본 기능을 위한 유닛구성은 출력변압기를 함께 공유하는 한 쌍의 인버터이며, 4개의 이러한 유닛이 출력 변압기를 통해 직렬로 연결되어져 있고, 모터의 입력 시스템 I과 모터의 입력시스템 II는 출력 컨텍터들을 통해 공급한다.

저주파수범위(≤55Hz)에서 인버터 쌍은 병렬로 운전되며, 출력 변압기의 1차측은 전류를 분배하는 리액터로써의 역할을 수행하고, 2차측은 동작하지 않는 상태를 유지한다. 보다 높은 주파수(≥55Hz)에서는 출력변압기 2차측이 직렬로 연결되고 개별 인버터는 정격의 출력 설정에서 항시 운전한다.

전압은 추진시스템의 요구 지령에 따라 조절되며 하나의 기본 단위인 2대의 인버터 출력 전압의 위상각의 서로 반대로 쉬프트 되어져 있다. 4개의 출력 변압기의 전압은 위상이 서로 조금씩 이동되어져 있어, 접속된 급전 케이블의 높은 지구의 정전용량으로 인해 모터 기본파 전류에 나타나는 전류 고조파를 상당부분 줄일 수 있으며 다음 그림은 최대 출력 시 변전소 출력전압의 파형을 나타내고 있다.



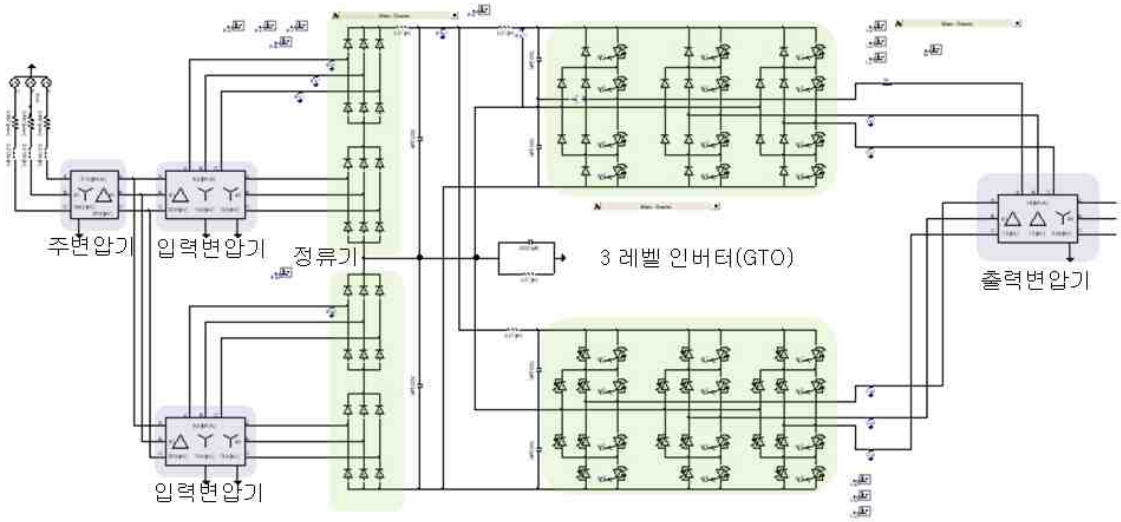
[그림 2.6.10] 변압기 전력모드에 대한 파형 - 100% 출력설정



[그림 2.6.11] 출력 변압기 블럭

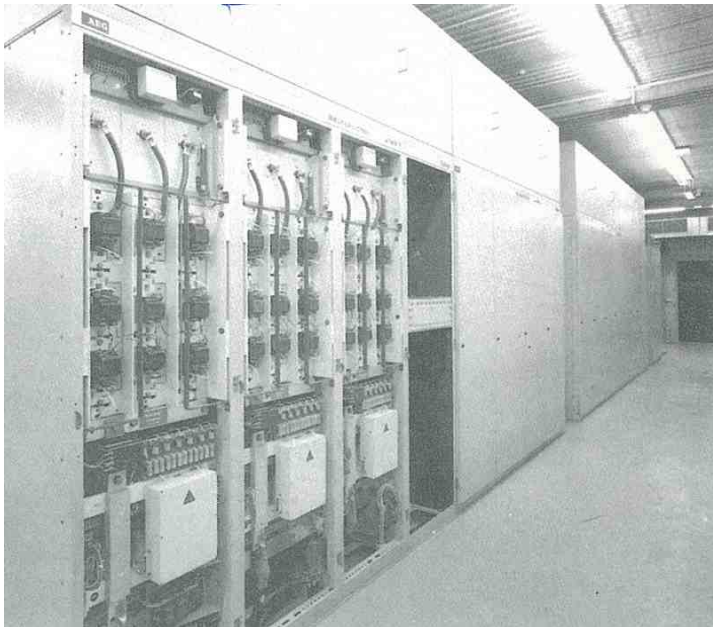
고장사고 발생시 단로기(disconnectors)는 하나의 기본유닛을 선택적 차단함으로써 보다 낮은 전압에서 추진시스템의 연속운전이 가능하도록 할 수 있으며, 이때 상응하는 출력변압기의 2차측은 단락회로로 구성된다. 제동시스템은 4개의 제동저항으로 이루어져 있으며, 모두를 합한 정격은 대략 8MW 정도이며, 2개의 제동저항은 컨텍터를 통해 DC링크회로와 연결되어져 있고, 제동용 초퍼는 DC링크회로에 발생되는 과전압을 제한할 목적으로 제동에너지를 정밀 제어한다.

인버터는 2개의 쌍으로 구성된 인버터가 4개의 블록으로 각각의 변전소에 설치되며, 2,600V의 DC링크전압을 제어하기 위해서 3개의 T670F2000 사이리스터가 각각의 DC링크 회로에 직렬로 접속되어져 있다.



[그림 2.6.12] 급전 시스템 PSCAD 부분 회로도

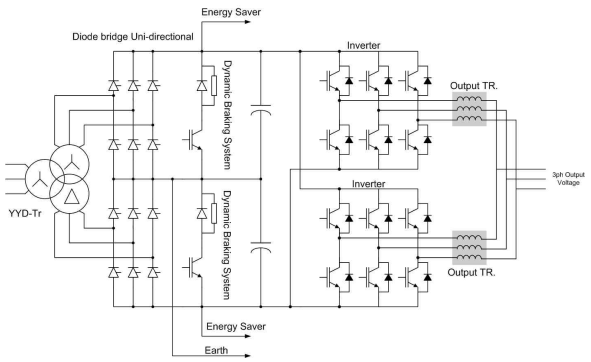
전체 16개의 인버터는 가각 2.2MVA, 전체 용량은 대략 35MVA이며, 다음 그림은 한 블록의 인버터 세트를 나타내고 있으며, 인버터 중 1개는 도어가 제거되어져 있는 상태이다.

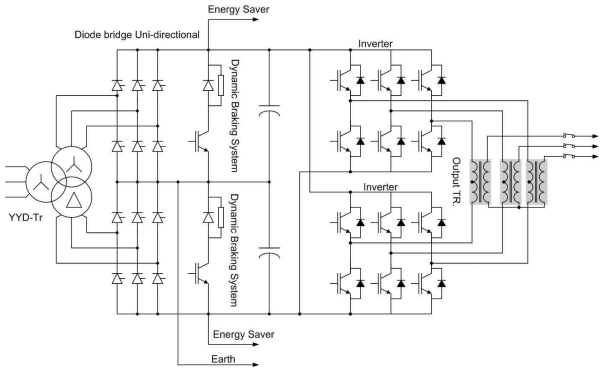


[그림 2.6.13] 4개의 PWM 인버터 블록

인버터는 자연냉각방식이며, 냉각용 에어는 인버터에 부착된 팬에 의해 아래쪽으로 빨려나가고 반도체 모듈의 방열판을 수용하고 있는 냉각용 닥트를 통해 위쪽에서 불어오는 구조이며, 이 공기는 인버터의 측면에 설치되어져 있는 냉각기 격실에서 공기를 물로 열 교환할 수 있는 폐회로 시스템에 의해 재사용된다.

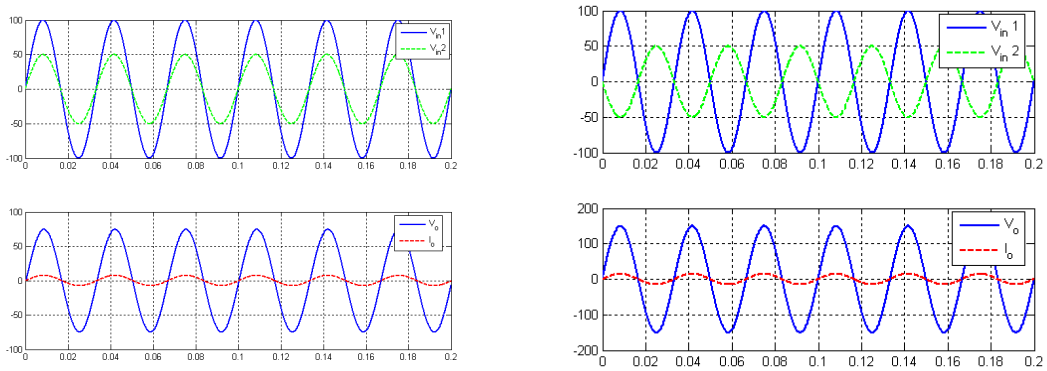
전체 16개의 인버터는 각각 2.2MVA, 전체 용량은 대략 35MVA이며, 인버터의 출력전압주파수가 낮은 경우(50Hz이하) 출력변압기의 1차측 권선은 분할 리액터로 동작되어 병렬운전되며, 출력전압주파수가 높은 경우(50Hz이상) 출력변압기를 통해 두 대의 인버터가 직렬연결되어 고전압을 발생시킬 수 있는 구조이다.





< 저주파수 전압출력의 경우 인버터 구성 > < 고주파수 전압출력의 경우 인버터 구성 >

[그림 2.6.14] LSM 추진인버터의 모드별 동작

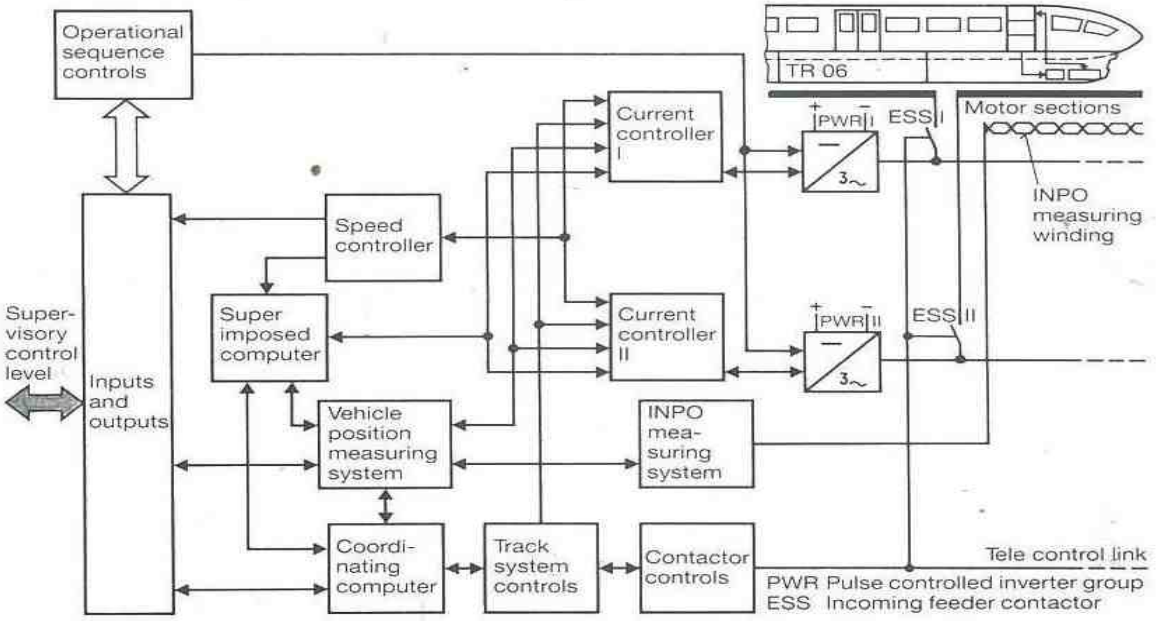


< 저주파수 전압출력의 경우 출력 파형 > < 고주파수 전압출력의 경우 출력 파형 >

[그림 2.6.15] LSM 추진인버터의 모드별 출력 전압파형

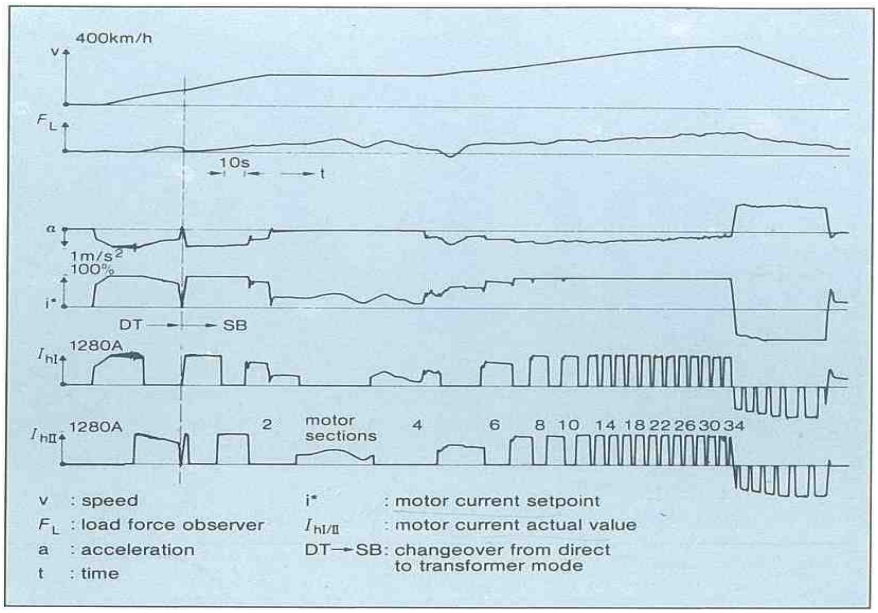
모터 입력시스템 I,II에 공급하는 두 그룹의 인버터를 위해, 구동제어시스템은 주행 품질(가속도≤1.5m/s^2, jerk≤0.5m/s^2)에 대한 요구조건과 시스템 사양 제한(모터 전압 및 전류)치를 고려하여 감시제어레벨(supervisory control level)에 의해 규정된 속도 설정값으로부터 제어신호를 발생시킨다. 이때 모터 섹션의 접속 및 분리, 불가피한 중복 등은 최적 전력소비가 될수 있도록 제어된다.

Super Imposed Computer는 제어시스템중 하위시스템을 제어 및 모니터하고, Coordinating computer는 차량의 속도 및 위치에 따라 각각의 모터 섹션을 On/Off 시키는 시스템으로 두 개의 전류제어기는 할당된 PWM 인버터에 제어 신호를 발생시키다. 전류 제어를 위해 고정자 권선에 대한 모터의 여자의 위치는 정밀하게 측정되어져야 하며 정밀도는 위창각 편차가 8°이하이며, 고정자 주기가 516mm를 고려하면 Longitudinal deviation은 12mm이하이다.



[그림 2.6.16] 구동제어에 대한 블록도

TR06의 최대속도까지의 구동 특성 분석하면 다음과 같다. 다음 그림은 최대속도 412.6km/h 달성시까지의 가속구간에 대한 특성값을 나타내며, 모터 전류 및 두 대가 서로 교번하여 활성화되는 전력 공급시스템의 유효전력이 주행 속도에 대한 함수로써 나타내어져 있다. 모터 여자는 차량 중량에 따른 결과로써 거의 일정(quasi-constant)하기 때문에 추진력은 모터전류에 비례하며, 최대 추력 100kN은 트랜스포머 모드에서 거의 최대 속도까지 활용 가능하다.



[그림 2.6.17] 가속구간의 구동특성(최대속도 412.6km/h)

(다) 기타 추진제어기술 분석

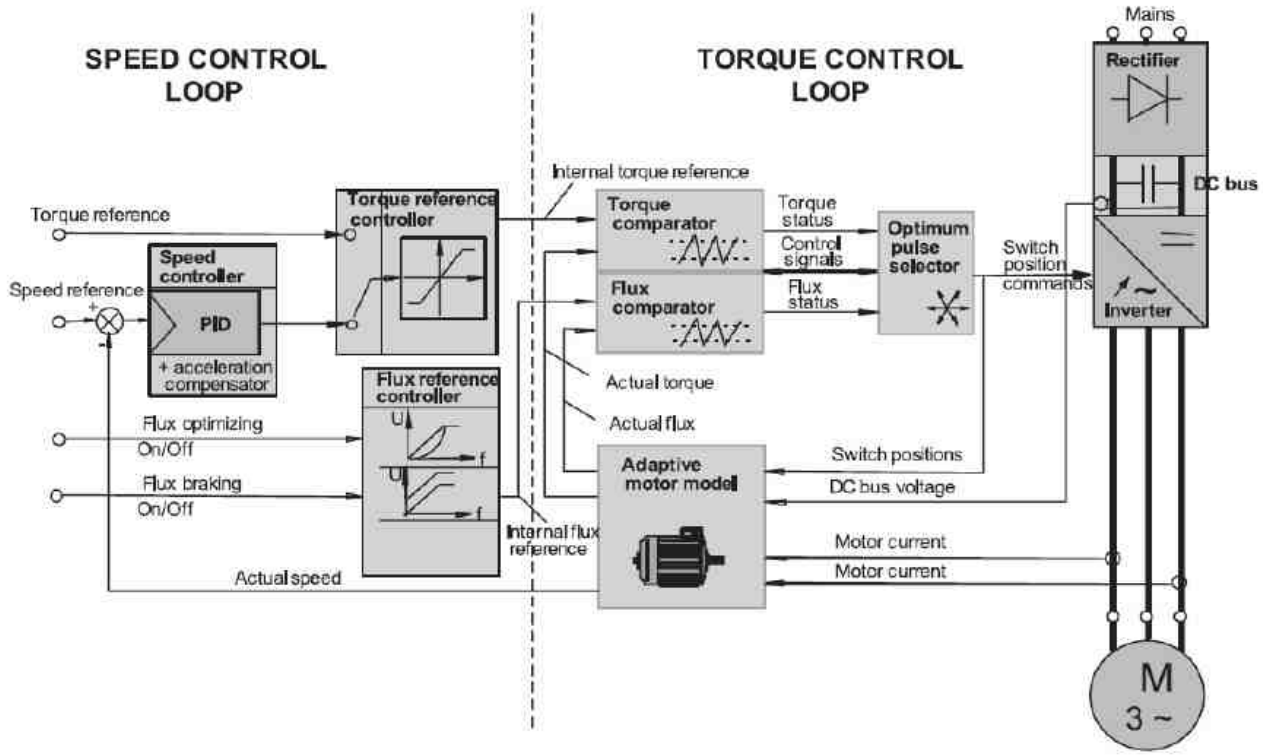
LSM 동기화는 측정된 차량의 위치와 동기화된 고정자 전류 패턴을 얻도록 전력 인버터를 제어함으로 유지될 수 있다. 차량 위치가 변함에 따라 고정자 전류는 차량의 자속 배열과 가이드웨이 고정자 권선에서의 전류패턴사이에서 고정되거나 또는 동기화된 관계를 유지할 수 있도록 조절된다. 이러한 방법은 “자속기준제어”와 같은 것을 참조하면 되며, 모터가 토크 위상각 90°에서 동작될 수 있도록 한다.

이러한 토크각으로 운전될 때 모터는 고정자 전류에 대하여 최대로 가능한 추력을 발생시킨다. 개루프 모터 운전은 정속도 모터시스템에서 일반적이며 안정한 동기 운전을 보증할 수 있도록 낮은 효율의 토크각에서 운전되어져야만 한다. 부가적으로 모터는 공칭 토크각에 대하여 외란과 관계된 헌팅을 안정화 할수 있도록 회전자에 댐퍼 권선세트를 구비하여야만 한다. 댐퍼 권선이 없는 동기모터의 난조(hunting transient)는 모터를 불안정하게 할 수 있다. 댐퍼 권선은 계자를 발생시키는 코일로 초전도 코일을 활용하는 모터에서는 초전도 코일이 일정 자속원으로 동작하기 때문에 적절하게 동작하지 않아서, 패루프 디자인이 바람직하다.

최적효율을 달성하기 위해서 가이드웨이의 다상권선에 차량의 계자 이동에 의한 고정자 권선에 유도되는 역 EMF와 유사한 형태를 갖는 전류파형을 공급하는 것이 바람직하다. 이러한 파형은 종종 정현파이지만 가이드웨이 권선과 차량의 계자 마그네트와의 구조배치가 다른 형상을 나타낼 수 있도록 설계될 수도 있다. 모터구동기술에 대한 설계 및 분석과 관련된 연구논문은 쉽게 활용할 수 있다.

직접 추력제어(DTFC, Direct Thrust Force Control)는 선형 AC 모터에 대하여 회전형 AC 기기의 직접토크제어방법을 적용하는 것이다. DTC는 3상 AC 모터에 있어서 토크를 제어하는데 있어서 가변 주파수 구동기를 이용하는 앞선 구동기술이다.

DTC와 같은 이러한 아이디어는 1980년대 중반 독일에서 Manfred Depenbrock에 의해 소개되어졌으며 동시대에 일본 Isao Takahashi 와 Toshihiko Noguchi에 의해서도 소개되었다. 본 아이디어는 모터의 자속이 쇄교에 가능하면 직접적으로 영향을 주어 기기에 의해 발생되는 토크를 제어하는 것이다. DTC의 주요 동작은 다음 그림에서 볼 수 있다.



[그림 2.6.18] 직접 토크제어 (ABB 1999)

나. LSM 추진 인버터 제어용 시뮬레이션 모델개발 (2차년도)

(1) 선형 동기모터의 모델링

(가) 공간벡터 이론, 좌표계 시스템 및 변환

3상 기기에서 각 상들은 서로 120°전기적 위상각을 갖고 있다. 그래서 위상 각 연산자 α는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\alpha = e^{j\frac{2\pi}{3}} \tag{2.6.1}$$

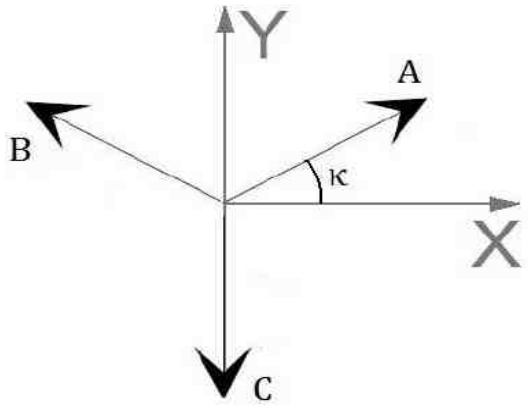
이 연산자는 각 상의 순시치 전류로부터 합성 인가 전류에 대한 벡터 합성법으로 구하면 다음과 같다.

$$i_s = \frac{2}{3}[\alpha^0 i_{sA}(t) + \alpha^1 i_{sB}(t) + \alpha^2 i_{sC}(t)] \tag{2.6.2}$$

이러한 공간 벡터는 권선에 의해 함께 발생되는 3상 전류에 의한 결과로 표현할 수 있다. 인수 2/3은 기기의 실제 등가회로의 파라미터를 벡터 합성법에 적용가능하게 하는 인자이다. 고정자 전류 i_s와 마찬가지로 공간전압벡터 u_s, 고정자 전류 linkage에 대한 공간벡터 θ_s 그리고 쇄교자속 공간벡터 ψ_s는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} u_s &= \frac{2}{3}[\alpha^0 u_{sA}(t) + \alpha^1 u_{sB}(t) + \alpha^2 u_{sC}(t)] \\ \theta_s &= \frac{2}{3}[\alpha^0 \theta_{sA}(t) + \alpha^1 \theta_{sB}(t) + \alpha^2 \theta_{sC}(t)] \\ \psi_s &= \frac{2}{3}[\alpha^0 \psi_{sA}(t) + \alpha^1 \psi_{sB}(t) + \alpha^2 \psi_{sC}(t)] \end{aligned} \tag{2.6.3}$$

이러한 값은 공간벡터 2축 좌표계로 변환시킬 수 있다. 고정자 권선이 고정자내에 고정되어져 있다면 2축을 3축과 같은 고정된 좌표계 시스템에 표현하면 [그림 2.6.19]과 같이 표현될 수 있다.



[그림 2.6.19] ABC축과 XY축

3상 A, B, C성분은 2상 XY-축 성분으로 수학적 변환을 할 수 있다. 다음 방정식은 고정자 전류에 대하여 좌표변환한 것으로 해당 변환방식은 전압 및 자속성분의 좌표변환에도 활용될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_{sX} \\ i_{sY} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos k & \cos(k+120^\circ) & \cos(k+240^\circ) \\ \sin k & \sin(k+120^\circ) & \sin(k+240^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sA} \\ i_{sB} \\ i_{sC} \end{bmatrix} \tag{2.6.4}$$

여기에서 k는 A와 X 축사이의 각을 나타낸다. 만일 k가 0으로 설정된다면 다음과 같은 공식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_{sx} \\ i_{sY} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sA} \\ i_{sB} \\ i_{sC} \end{bmatrix} \tag{2.6.5}$$

2상 좌표계를 3상 좌표계로 역변환 하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} i_{sA} \\ i_{sB} \\ i_{sC} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos k & \sin k \\ \cos(k+120^\circ) & \sin(k+120^\circ) \\ \cos(k+240^\circ) & \sin(k+240^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sX} \\ i_{sY} \end{bmatrix} \tag{2.6.6}$$

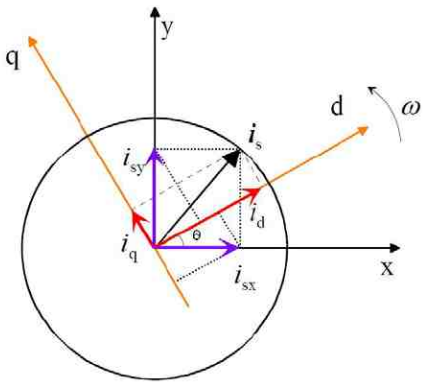
만일 k가 0으로 설정된다면 다음과 같은 공식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_{sA} \\ i_{sB} \\ i_{sC} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sX} \\ i_{sY} \end{bmatrix} \tag{2.6.7}$$

전자석을 갖는 선형동기전동기의 모델은 [그림 2.6.20]의 d-q 좌표축에 모델로 표현할 수 있다. 이 좌표축은 정지 고정 XY 좌표계에 대하여 동기 각속도 ω_{el}만큼 회전되어져 있다. 여기에서 ω_{el}은 다음 방정식에서 이용하는 선형 속도 v_{lin}으로 표현될 수 있다.

$$\omega_{el} = \frac{\pi}{\tau} v_{lin} \tag{2.6.8}$$

모든 변수들은 동기속도로 회전하는 직각 직교 좌표축에 표현될 수 있다. d축은 자속 축에 일치되어져 있고, q축은 회전방향으로 90도 정도 앞서 있으며 반 시계방향으로 회전하는 것으로 가정한다.



[그림 2.6.20] dq 좌표축

다음 방정식은 공간 벡터를 고정된 XY 축에서 회전좌표계로 변환하는데 이용된다.

$$i_d(t) = i_{sx}\cos\theta + i_{sy}\sin\theta \tag{2.6.9}$$

$$i_q(t) = i_{sx}\sin\theta + i_{sy}\cos\theta \tag{2.6.10}$$

여기에서 θ는 X축과 d축 사이의 위상각이다.

(나) 기본 모터 모델

AC 모터의 제어 알고리즘은 흔히 AC 기기의 d-q축 모델을 이용한다. d-q축 모터 모델을 유도하기 위해서 고정자 전압 방정식은 다음과 같이 둘 수 있다.

$$u_d(t) = Ri_d + d\frac{\psi_d}{dt} - \omega\psi_q \tag{2.6.11}$$

$$u_q(t) = Ri_q + d\frac{\psi_q}{dt} + \omega\psi_d \tag{2.6.12}$$

여기에서 u_d와 u_q는 고정자 공간전압벡터의 d축과 q축 성분으로, i_d와 i_q는 계자 전류 벡터의 d축과 q축 성분을, R은 전기자 상저항을 나타낸다. 전기자 권선 d축과 q축 쇄교자속 ψ_d와 ψ_q는 다음과 같다.

$$\psi_d = L_d i_d + \psi_{EM} \tag{2.6.13}$$

$$\psi_q = L_q i_q \tag{2.6.14}$$

여기에서 L_d와 L_q는 d축과 q축 전기자 인덕턱스이고 ψ_{EM}은 차량 전자석의 쇄교자속이다.

3상 전기자에 대한 순시 입력전력은

$$P = u_A i_A + u_B i_B + u_c i_C = \frac{3}{2}(u_d i_d + u_q i_q) \tag{2.6.15}$$

여기에서 u_A, u_B와 u_C는 순시 상전압이고, i_A, i_B와 i_C는 순시 상전류, 그리고 u_d와 u_q는 d축과 q축 전압성분, i_d, i_q는 d축과 q축 전류성분이다. 전력 방정식은 고정자 전압 방정식 (2.6.13)과 (2.6.14)로부터 얻을 수 있다.

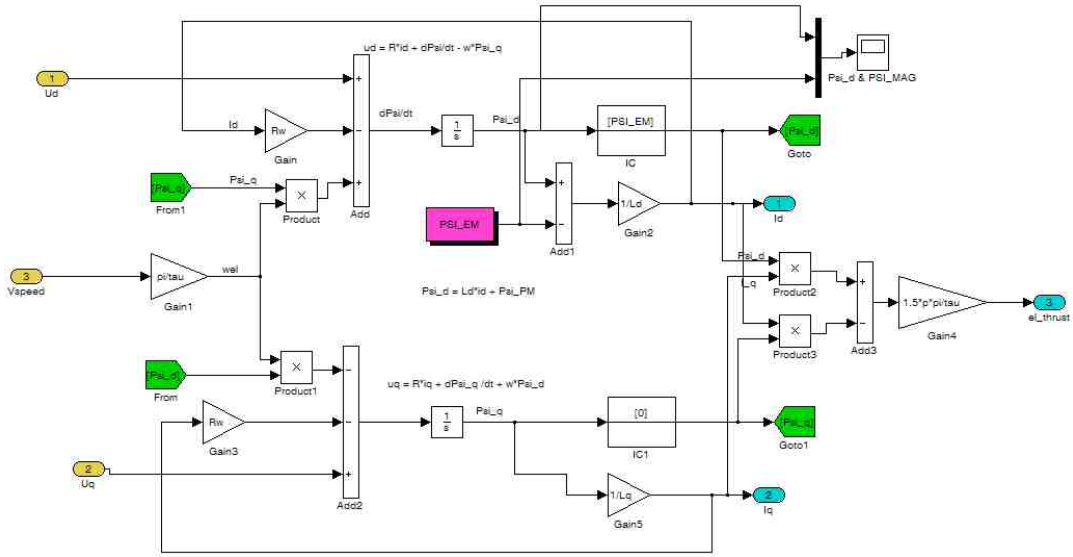
$$u_d i_d + u_q i_q = R i_d^2 + \frac{d\psi_d}{dt} i_d + R i_q^2 + \frac{d\psi_q}{dt} i_q + \omega(\psi_d i_q - \psi_q i_d) \tag{2.6.16}$$

마지막 항은 단상 2극 동기모터의 전자기력을 나타내며, 3상 기기에 대해서는 다음과 같다.

$$P_{elm} = \frac{3}{2}\omega(\psi_d i_q - \psi_q i_d) = \frac{3}{2}\omega[\psi_{EM} + (L_d - L_q) i_d] i_q \tag{2.6.17}$$

여기에서 L_d와 L_q는 전기자 인덕턴스이다. p개의 극을 갖는 Long Stator LSM의 전자기적 추진력 F_{thurst}은 방정식 (2.6.10)에 선형속도 v_{lin}으로 전자기적 전력 P_{elm}을 나누고 여기에 극수 p를 곱한 것이다.

방정식 (2.6.13)~(2.6.16)으로부터 선형 동기모터의 기본적인 수학적 모델을 구성할 수 있다. 다음은 모터 모델에 대한 Simulink 블럭다이어그램을 [그림 2.6.21]와 같이 나타내었다.



[그림 2.6.21] Simulink 모터 모델 블럭

자기부상차량에 설치되어져 있는 전자석의 쇄교자석은 모터 추력상수 K를 이용하여 식 (2.6.18)처럼 나타낼 수 있다.

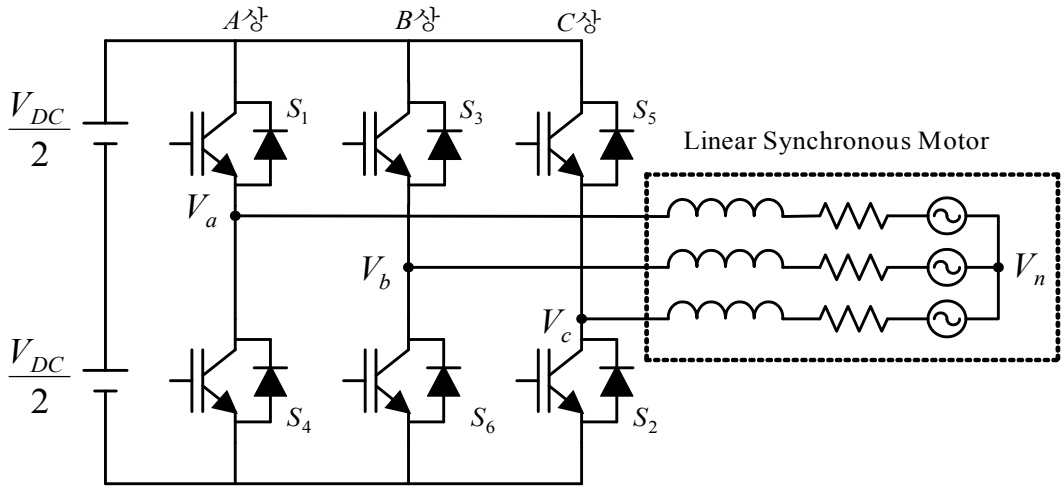
$$\psi_{EM} = \frac{\tau}{\pi}\frac{2}{3}\frac{1}{p}\frac{F_{thrust}}{i_s} = \frac{\tau}{\pi}\frac{2}{3}\frac{1}{p}K \qquad (2.6.18)$$

이 모델은 전자석에 의해 자속을 발생시키는 선형동기전동기에 해당한다.

(2) LSM 추진인버터의 전압변조(SVPWM)

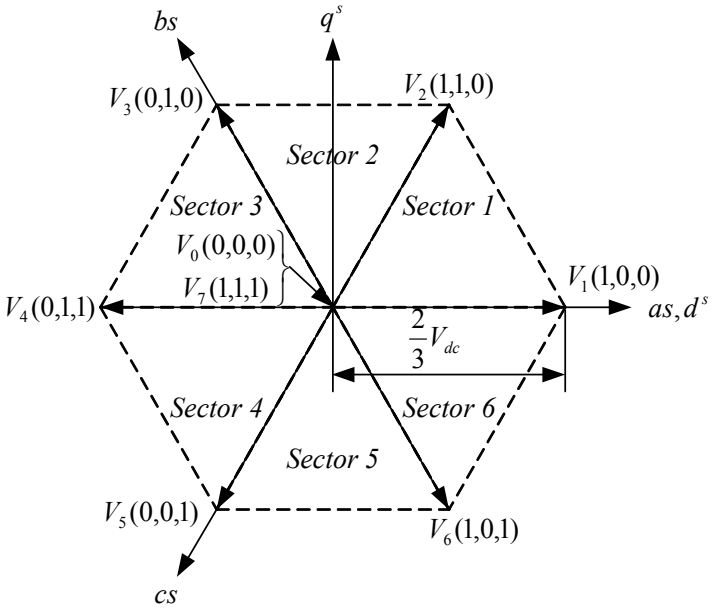
PWM의 궁극적인 목적은 주어진 지령 전압과 동일한 주파수와 크기를 갖는 기본파 전압을 발생하도록 각 상 스위치의 구동 펄스를 생성하는 것으로 출력 전압의 크기와 주파수를 제어할 수 있다. 3상 전압형 PWM 인버터는 6개의 스위칭 소자로 구성되며 단일 직류 입력 전원으로부터 3상 교류 출력전압을 발생하여 3상 부하에 공급하는 기능을 한다. 여기에서, S_a, S_b, S_c 는 각각 3상의 양방향 전력 스위치의 스위칭 함수로서, $S_a = 1$은 a상 위쪽 스위치가 도통함을 의미하고, $S_a = 0$은 a상 아래쪽 스위치가 도통함을 의미한다.

3상 인버터에서 부하에 전압을 인가할 수 있는 방법으로는 각 스위칭 상태에 따라서 6개의 유효전압 벡터($V_1 \sim V_6$)와 2개의 영전압 벡터(V_0, V_7)가 있을 수 있다. 영전압이란 인버터의 스위칭 소자 중에서 위쪽(V_0)혹은 아래쪽(V_7) 소자들이 모두 On 되는 상황으로 어느 경우에서든 전동기의 단자가 모두 한 포인트에서 단락되는 효과를 나타낸다.



[그림 2.6.22] 3상 PWM 인버터

영전압 벡터를 제외한 6개의 벡터는 서로 각기 다른 유효전압을 전동기에 공급할 수 있는 벡터로써 유효 벡터라 불리며, 이 6개의 전압이 차례대로 전동기에 인가되면 시간적으로 한 주기 즉, 2π[rad]로 회전하는 전압이 전동기에 인가되는 효과를 얻을 수 있다. 전압 벡터 $V_1 \sim V_6$은 유효 전압 벡터(active voltage vector)로 그 크기는 $\frac{2}{3}V_{dc}$로 동일하며 차례대로 60° 의 위상차를 갖는다. 이에 비해 전압 벡터 V_0와 V_7은 부하에 유효한 전압을 인가하지 않기 때문에 영 전압 벡터(zero voltage vector)라 한다.

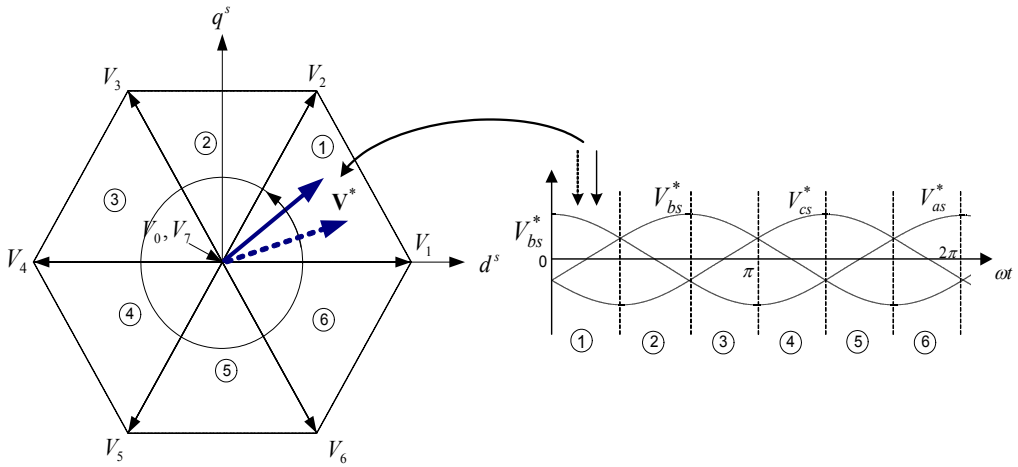


[그림 2.6.23] 3상 PWM 인버터 출력 전압 벡터

다음 그림은 기본적인 공간 벡터 전압 변조 기법의 동작 원리를 나타낸다. [그림 2.6.24]과 같이 지령 a, b, c 상전압의 시간에 따른 지령 전압 벡터는 복소수 공간(정

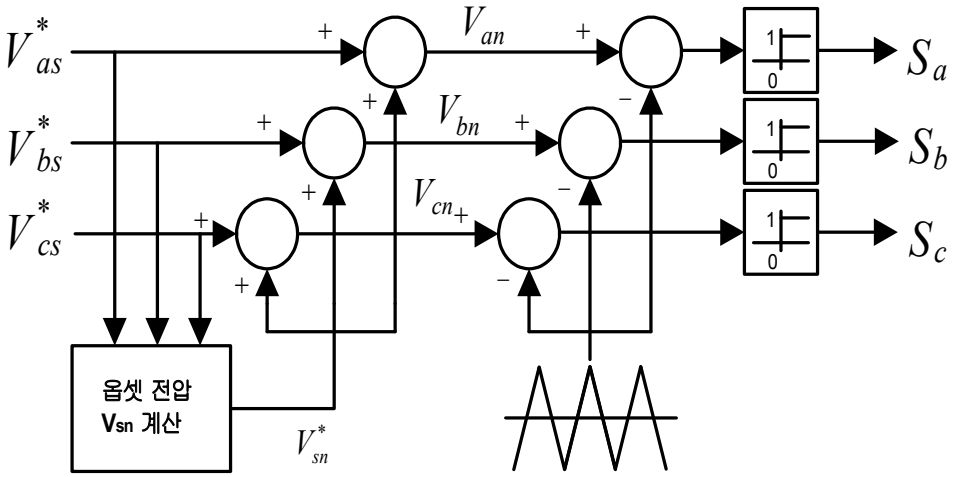
지 좌표계)상에서 시간에 따라 반시계 방향으로 회전한다.

공간 벡터 전압 변조 방식에서는 일정한 제어 주기 T_s 동안 인버터에서 발생시킬 수 있는 8개의 출력 전압 벡터들을 합성하여 지령 전압 벡터 V^*와 평균적으로 동일한 전압을 생성하게 된다.



[그림 2.6.24] 지령 전압 벡터

옵셋 전압(offset voltage) V_{sn}을 이용하여 기존에 알려진 여러 PWM 기법들을 삼각파 비교 방식으로 구현할 수 있다. [그림 2.6.25] 옵셋 전압을 이용한 전압 변조 방식을 나타낸다.



[그림 2.6.25] 옵셋 전압을 이용한 전압 변조 방식

극전압(V_{an}, V_{bn}, V_{cn}), 상전압(V_{as}, V_{bs}, V_{cs}) 그리고 옵셋 전압(V_{sn})의 관계식은 다음과 같다.

$$V_{an} = V_{as} + V_{sn}$$
$$V_{bn} = V_{bs} + V_{sn} \quad (2.6.19)$$
$$V_{cn} = V_{cs} + V_{sn}$$

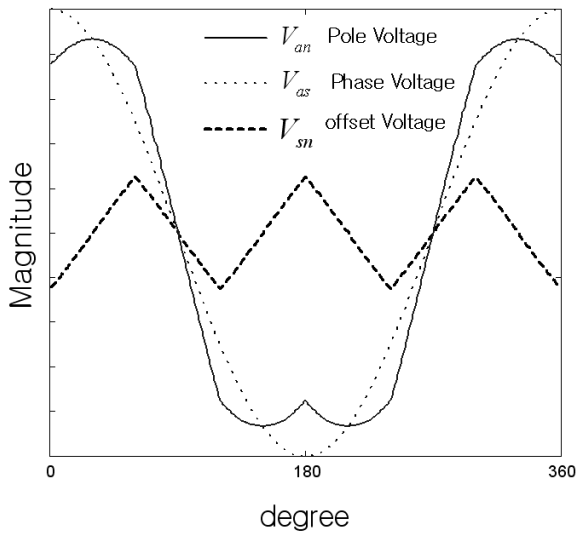
식 2.6.19으로부터 극전압 지령은 상전압 지령과 옵셋 전압의 합으로 주어진다는 것을 알 수 있다. 따라서, 유효한 극전압의 범위는 식 2.6.20을 만족해야 한다.

$$-\frac{V_{dc}}{2} \le V_{an}^*,\ V_{bn}^*,\ V_{cn}^* \le \frac{V_{dc}}{2} \quad (2.6.20)$$

식 2.6.20으로부터 선택 가능한 옵셋 전압의 범위는 다음과 같다.

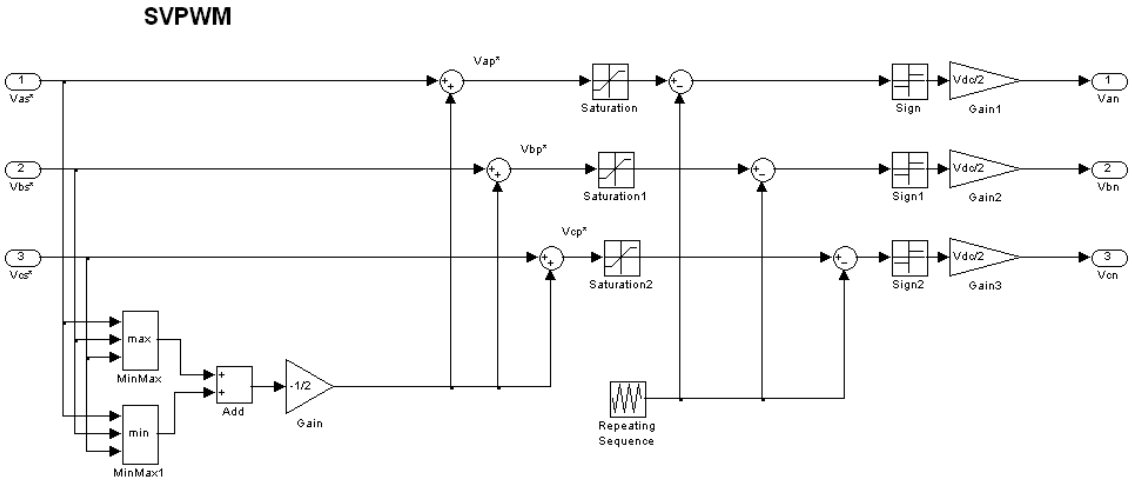
$$-\frac{V_{dc}}{2} - V_{\min}^* \le V_{sn} \le \frac{V_{dc}}{2} - V_{\max}^* \quad (2.6.21)$$

여기서, $V_{\max}^*$와 $V_{\min}^*$은 각각 3상 상전압 치령치 중에 최대와 최소인 것을 의미한다. 극전압은 기준 상전압에 옵셋전압을 더하여 얻어진다. 선형영역에서 극전압의 최대 크기는 $V_{dc}/2$이므로 최대 상전압의 크기는 6-스텝 모드의 약 90.7%인 $V_{dc}/\sqrt{3}$이다.



[그림 2.6.26] SVPWM의 변조 파형

시뮬레이션 모델은 각 전압 지령에 대해 삼각파 비교 부분 및 최대, 최소 비교 부분 그리고 극전압 출력 부분으로 구성이 되어 있다.

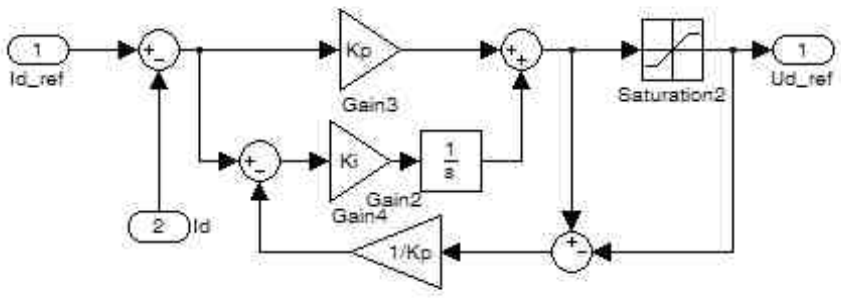


[그림 2.6.27] 옵셋전압을 이용한 PWM 모델

(3) 각종 제어기 구성방식

(가) 안티 와인드업(Anti-Windup) 전류제어기

물리적인 입력과 출력은 물리적인 제한에 의해 전부 상한(Upper Limit), 하한(Lower Limit) 값을 가진다. 전류제어기의 출력은 인버터의 입력으로 연결되어 선형 동기모터의 단자전압이 된다. 인버터는 DC 링크전압에 의해 출력할 수 있는 전압의 최대, 최소값이 제한됨으로 전류제어기의 출력을 이에 따라 적절히 제한할 필요가 있다. 이러한 제어기 출력의 제한은 제한기를 이용하여 간단히 구현될 수 있으나, 전류 제어기에 적분기가 포함되어 있을 경우 적분기의 전분 값은 그 값이 제한되지 않고 제어기의 제한폭을 넘어 쌓이게(wind-up) 된다. 이 경우 제어기 입력의 부호가 반전될 경우에도 쌓여있는 적분기의 내부 적분 값으로 인하여 제어기 출력이 입력에 대해 제대로 반응하지 않거나 그 응답이 느려지는 현상이 발생하게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위해 적분기 내부의 값을 제어기 출력의 제한 값에 따라 적절히 제한할 필요가 있다. [그림 2.6.28]은 안티 와인드업 전류제어기에 대한 블럭선도를 나타낸다.

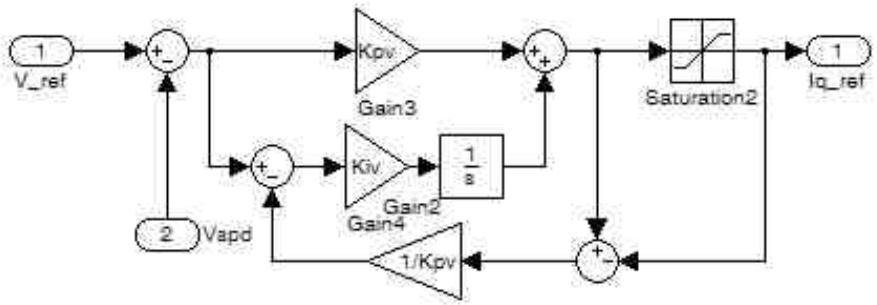


[그림 2.6.28] 안티 와인드업 기능을 갖는 전류제어기 블럭도

(나) 안티 와인드업(Anti-Windup) 속도제어기

전동기 토크는 전동기 자체에 의해 제한되거나 또는 전력변환 장치의 전류제한에 의해 제한됨으로 속도 제어기의 출력역시 제한되어져야 한다. 이러한 제한에 의해 속도 제어기의 성능은 외란이 크거나 기준 속도의 변동이 심할 경우 설계된 성능보다 떨어지게 된다. 이러한 성능 악화는 안티 와인드업 제어기를 부가함으로써 어느 정도 개선될 수 있다.

안티와인드업 제어기의 이득은 전류제어기에서의 경우와 마찬가지로 속도제어기의 비례이득의 역수 값을 기준으로 원하는 제어성능에 따라 가변하여 결정될 수 있다. 이러한 안티 와인드업 속도제어기는 [그림 2.6.29]에 나타나 있다.



[그림 2.6.29] 안티와인드업 기능을 갖는 속도제어기 블럭도

(다) 위치 관측기 설계

LS-LSM의 토크를 제어하기 위해서는 Mover의 마그넷 위치정보를 정확히 알 수 있어야 한다. 그러나 LS-LSM 추진시스템을 기반으로 하는 자기부상열차는 위치검지시스템의 비용절감을 위해 궤도를 따라 위치센서를 설치하지 않고, 차량에서 LSM 고저자 슬롯 갯수를 카운트하는 방식으로 적분하여 위치값을 연산하게 된다.

이렇게 연산된 위치정보는 지상의 추진 인버터에 무선 통신망을 통하여 전송하게 된다. 따라서 전송된 위치정보는 시간지연이 발생하고, 추진제어기에서 요구하는 주기의 위치정보를 제공하지 못한다. 따라서 차량의 위치를 추진제어기가 요구하는 수준의 정보를 제공하기 위해서는 위치 관측기 설계가 필요하다.

위치를 추정하는 방식 중 가장 대표적이고 간단하게 적용할 수 있는 방식은 Lag range interpolation 원리를 이용한 위치 추정 방식이다. 상하이 자기부상열차의 차량에서 검출한 절대위치신호는 512kbps의 transmission rate와 20ms 주기로 RS-485 통신프로토콜을 이용하여 무선을 통해 지상으로 전송한다.

무선통신방식으로 20ms 주기로 수신된 위치신호는 실시간 추진제어를 위해 적합하지 않다. 상기 문제점을 보완하기 위한 Lagrange interpolation을 적용한 interpolation 알고리즘은 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$\frac{V}{f} = \Delta S$$
$$\Delta \frac{S}{\tau_s} 2\pi = \Delta\theta \qquad (2.6.22)$$
$$\theta_{\neq w} = \theta + \Delta\theta + \omega T_d$$

다음은 속도 관측기를 이용한 차량의 위치 추정방식을 나타낸다.

시스템 모델은 식 2.6.23과 같이 표현이 가능하다.

$$a = \frac{F_{Tot}}{m}$$
$$x_1 = \text{velocity}$$
$$x_2 = \text{acceleration} \qquad (2.6.23)$$

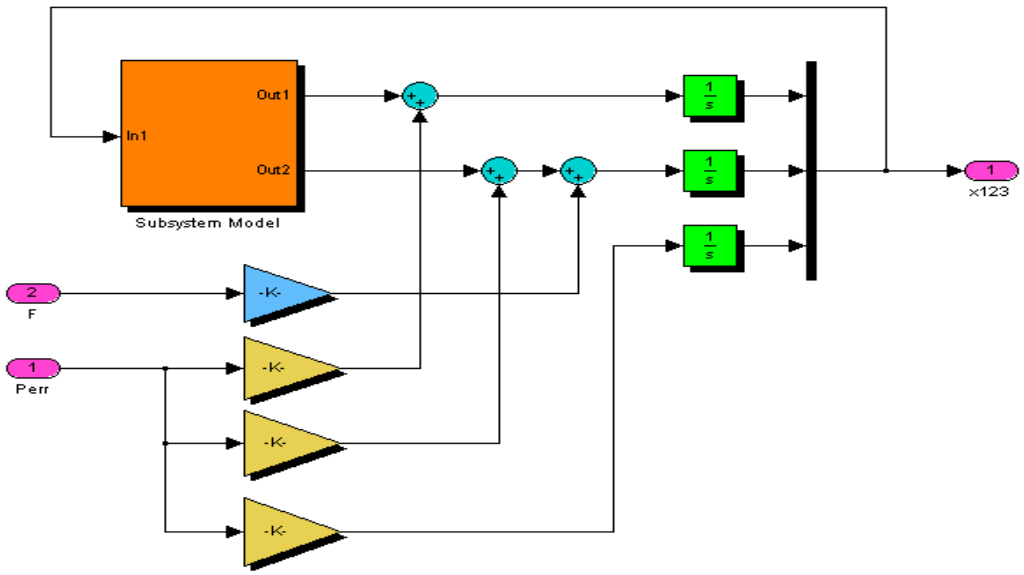
식 2.6.23을 상태방적식으로 나타내면 식 2.6.24와 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/M \end{bmatrix} F_{Tot}$$
$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \qquad (2.6.24)$$

식 2.6.24를 기반으로 전차원 관측기를 설계하면 식 2.6.25와 같다.

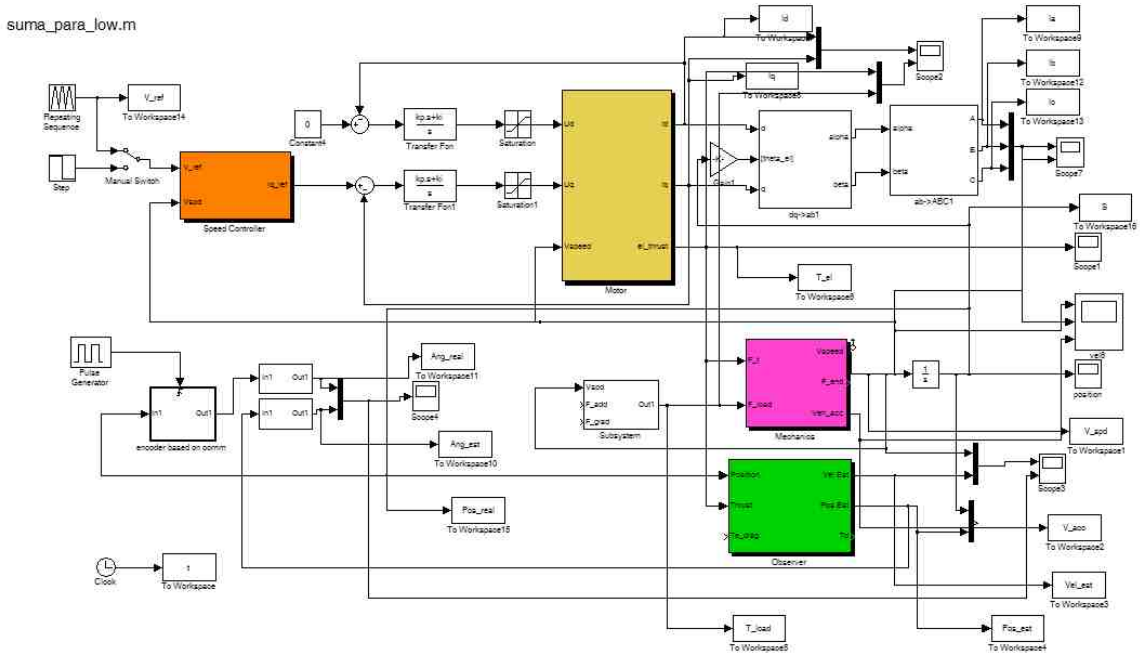
$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{x}}_1 \\ \dot{\hat{x}}_2 \\ \dot{\hat{x}}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{x}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/M \\ 0 \end{bmatrix} F_{Tot} + \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{bmatrix} \left(y - \hat{y} \right)$$
$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \qquad (2.6.25)$$

식 2.6.25를 기반으로 Matlab/Simulink 제어블럭으로 표현하면 [그림 2.6.12]과 같이 표현될 수 있다.



[그림 2.6.30] 위치 Estimator 블럭도

상기 도출된 수식으로부터 LS-LSM에 대한 전체적인 시뮬레이션 블럭도를 구성하였다. [그림 2.6.31]은 전차원 관측기를 적용한 LS-LSM 제어 시스템의 전체적인 시뮬레이션 모델을 나타낸다.



[그림 2.6.31] 전차원 관측기를 적용한 LS-LSM 제어 시스템의 시뮬레이션 모델

(2) LSM 시뮬레이션을 통한 알고리즘 검증

LSM 추진제어시스템의 가용성 및 성능분석을 위해 Matlab/Simulink를 이용하여

시뮬레이션을 수행하였다. 시스템의 주요 구성은 LSM 모델, 전류제어기, 속도제어기 및 자속위치 관측기 등이 있다. 제어방식은 선형동기모터에 대한 벡터제어를 수행하였으며, 제어기는 Anti-windup 기능을 갖는 PI 제어기를 구성하였다.

이때 LSM의 주요 파라미터는 [표 2.6.1]과 같다.

[표 2.6.1] LSM 주요 파라미터

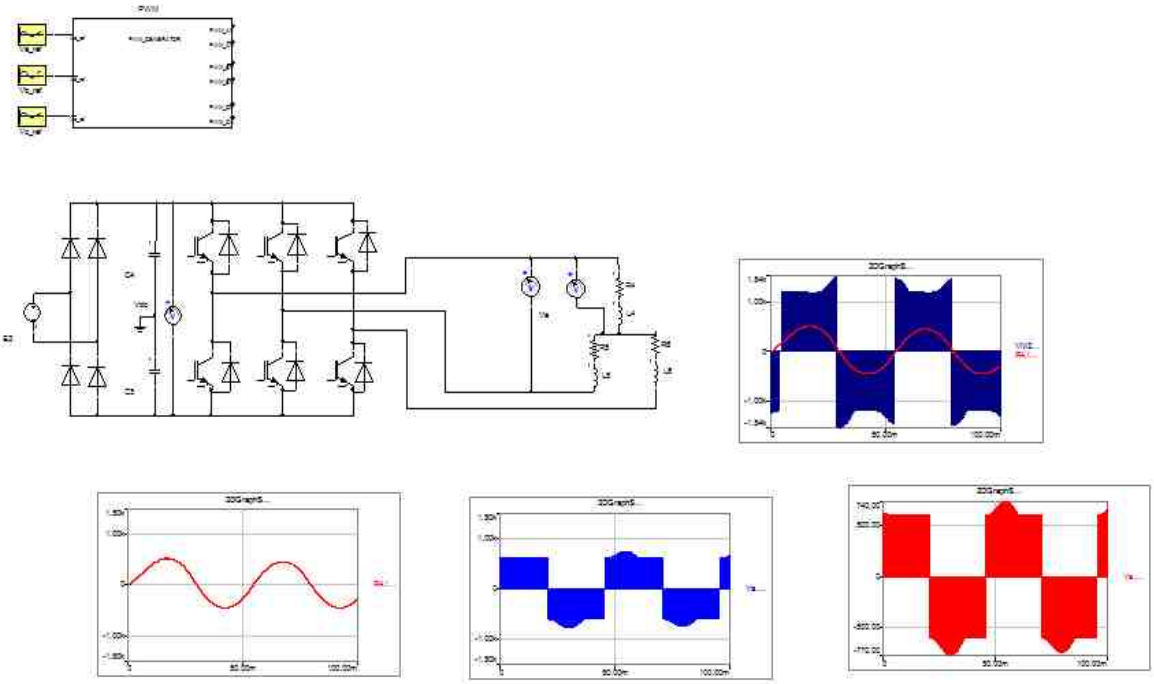
Symbol	Value	Parameter
R_w	0.36[ohm]	Phase resistance
L_d	7.9[mH]	d-axis inductance
L_q	7.9[mH]	q-axis inductance
p	1	number of pole pairs
τ	0.24[m]	Magnet pole pitch
K_{end}	0.01%	Magnet drag force

[표 2.6.3]는 인버터 및 제어기에 대한 주요 파라미터를 나타낸다.

[표 2.6.2] 추진인버터 및 제어기 파라미터

Symbol	Value	Parameter
V_{dc}	950[V]	DC link Voltage
I_{rated}	340[Arms]	Rated Current
K_{π}	100	Propotional Gain for current controller
$K_{ii}^{*}\,T_{si}^{*}$	50,000	Integral Gain for current controller
K_{pv}	1,000	Propotional Gain for speed controller
$K_{iv}^{*}\,T_{sv}$	1,000	Integral Gain for speed controller

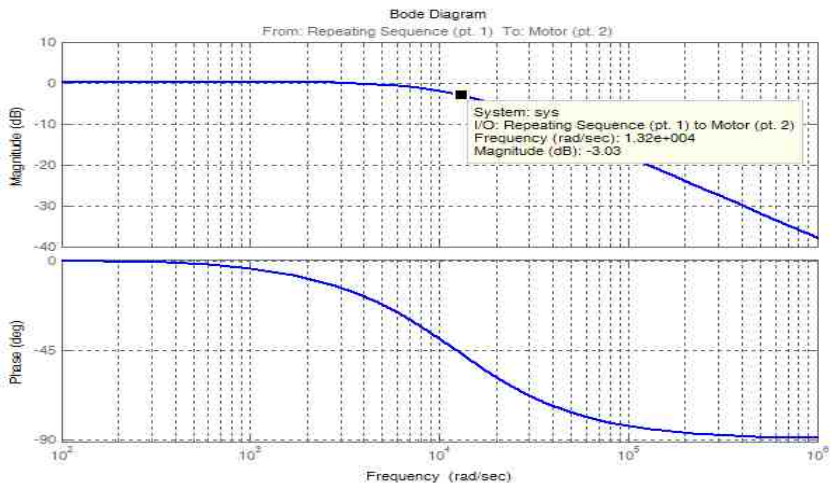
시뮬레이션은 제어기 파트와 전력변환 파트를 구별하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시스템의 전력변환부 주요 구성은 [그림 2.6.32]와 같으며 인버터의 출력과 스위칭 손실 등을 분석하여 인버터 스택 디자인에 활용할 수 있도록 하였다.



[그림 2.6.32] 전력변환기 시뮬레이션 모델

(1) 안티 와인드업 전류제어기의 응답특성분석

시스템 제어기의 동특성 및 제어시스템의 안정도를 판별하기 위해서는 Bode 선도가 주로 활용된다. 다음 [그림 2.6.33]은 LS-LSM 제어시스템에 적용된 안티 와인드업 전류제어기의 특성을 분석하기 위해 보드선도로 나타내었다. [그림 2.6.20]의 보드선도로부터 해당전류제어기는 무한한 위상마진으로 전류제어시스템의 안정도를 확인할 수 있다. 또한 해당시스템의 전류제어기 대역폭은 $1.32e^{-4}$[rad/sec]으로 속도제어기의 응답특성이 수십 rad/sec인 것을 감안하면 충분한 제어 응답특성을 보여주고 있다.

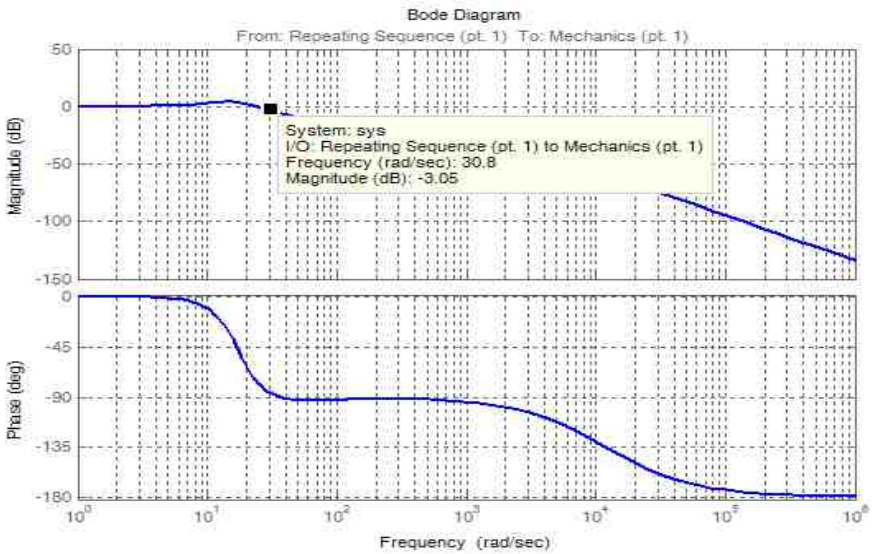


[그림 2.6.33] 안티 와인드업 전류 제어기 보드선도

(2) 안티 와인드업 속도제어기의 응답특성분석

다음은 자기부상열차의 ATO 운전을 위한 속도제어기의 응답특성에 대하여 분석하였다. [그림 2.6.34]는 속도제어기에 대한 보드선도를 나타낸 것으로 90°이상의 위상마진을 나타낸다. 따라서 시스템의 안정도는 충분한 것으로 나타났다.

속도제어기 대역폭은 30.8[rad/sec]으로 나타나고 있으며 magnitute가 0dB 에서 -20dB/dec 로 감쇠하고 있음으로 제어의 응답특성은 약간의 오버슈트를 갖고 제어기의 지령속도를 잘 추종할 수 있는 것을 보드선도로부터 추정할 수 있다. 이상과 같이 각각의 제어기는 전체 시스템 운영에 필요한 필요조건을 충분히 만족시키는 것을 알 수 있다.



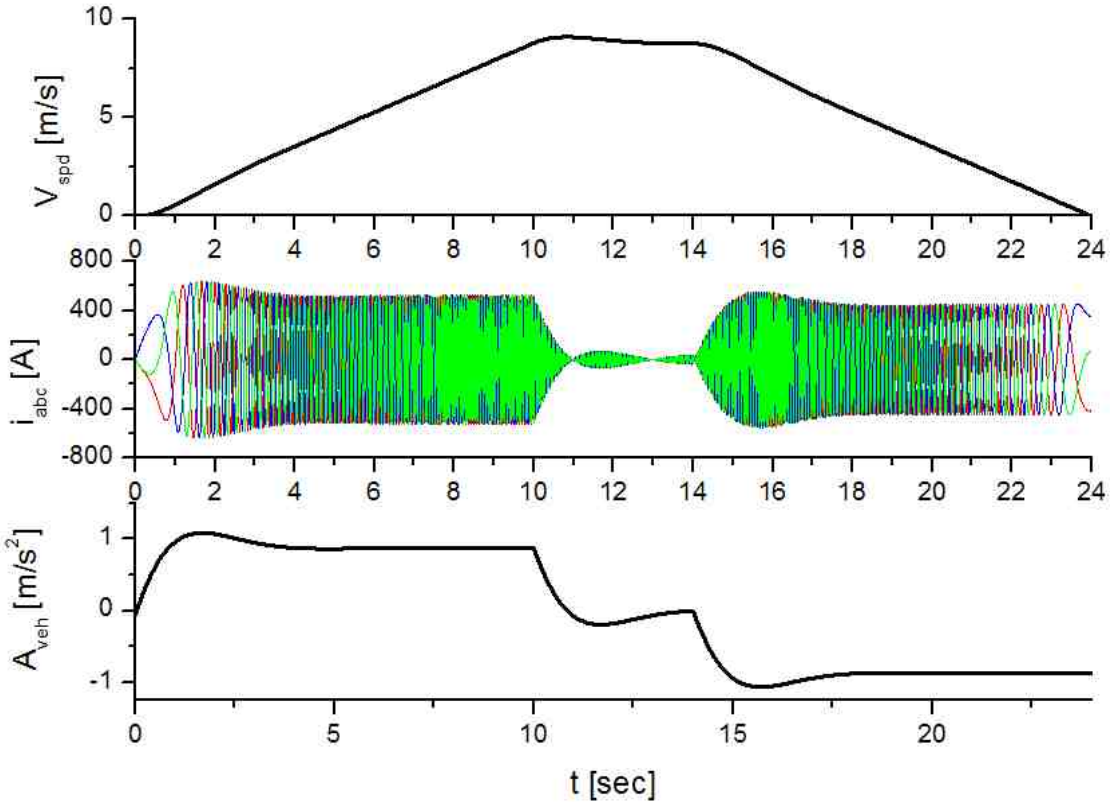
[그림 2.6.34] 안티와인드업 속도제어기에 대한 보드선도

(3) LSM 제어기의 응답특성분석

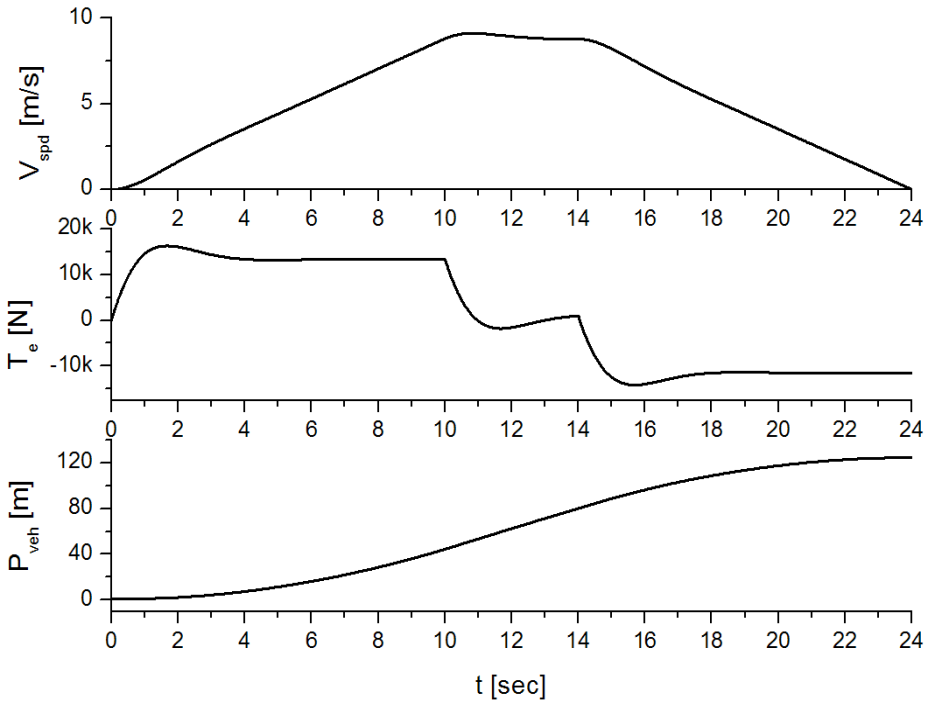
다음은 Matlab/Simlink를 이용한 LS-LSM 제어 블럭도는 시뮬레이션 모델에 대한 결과를 나타낸다. 첫번째로 150m 단거리 시험선에서 최고 목표속도인 8m/sec의 주행에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 주행 지령 프로파일의 구성은 가속시간 10초 8m/sec 유지시간 4초 10초 감속으로 하였다. 이때 시뮬레이션 결과파형은 [그림 2.6.35]에 나타나 있으며 [그림 2.6.35]의 (상)은 차량 속도지령과 실제속도를 나타내고 있다. 그리고 해당 주행조건에 대한 출력 전류(중)과 차량의 이동거리(하)가 다음과 같이 나타난다.

해당 시뮬레이션 결과로부터 제어모델은 지령한 속도제어에 대하여 매우 적은 오차범위 내에서 ATO 운전을 수행하고 있는 것을 알 수 있다. 속도의 응답특성은 [그림 2.6.36]의 보드선도로부터 예측할 수 있듯이 약간의 오버슈트를 갖고 지령 속도에 도달하는 것을 확인할 수 있었다. [그림 2.6.36]은 [그림 2.6.35]와 같은 조건에서의 차량의 최고속도(상), 토크(중) 및 이동거리(하)를 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과로부터 단거리 시험선에서의 최고속도는 8.8m/s이며 이때 이동거리는 120m내외이다. 이 때

토크(중)는 마그넷 단위모듈에서의 추력을 나타낸다.

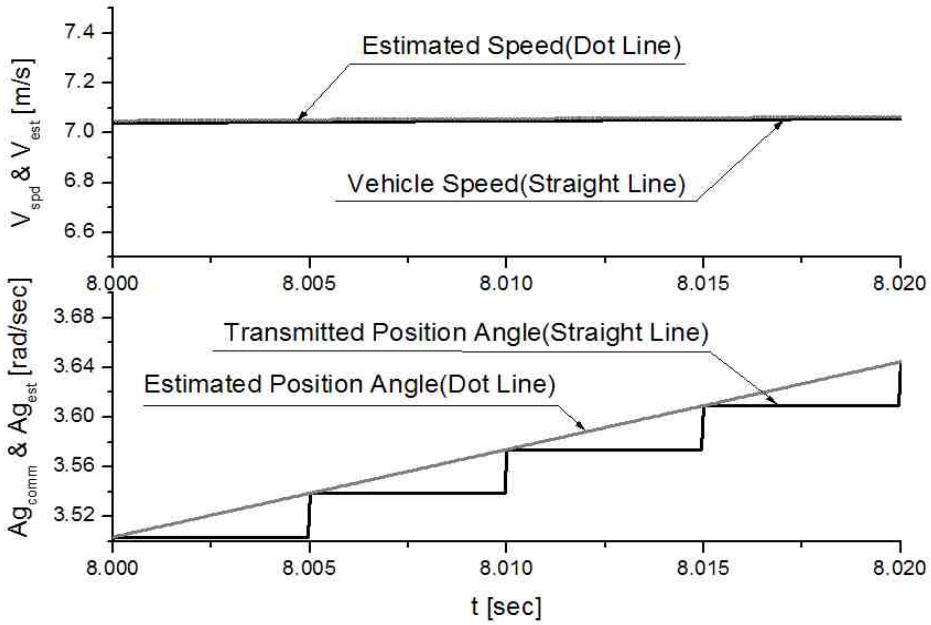


[그림 2.6.35] 차량의 속도(상), 전류(중) 및 가속도(하)



[그림 2.6.36] 차량의 최고속도(상), 토크(중) 및 이동거리(하)

[그림 2.6.37]는 전차원 관측기를 이용한 위치관측기의 위치 및 속도추정 결과 중 8초~8.03초 시간범위대역을 나타내고 있다. [그림 2.6.37]의 시뮬레이션 결과로부터 실제속도와 추정속도가 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 또한 [그림 2.6.37]의 아래쪽 그림으로부터 차량의 실제위치와 관측기가 추정한 속도가 대체적으로 일치하는 것을 알 수 있다. 실제 위상각이 불연속적으로 제공하는 시점에서 위치 관측기가 추정한 위치정보가 일치하는 것으로부터 제시한 위치관측기가 해당 시스템에 적합한 것을 알 수 있다.



[그림 2.6.37] 차량의 속도(실선)및 추정속도(점선)와 측정위상각(실선) 및 추정위상각(점선)

다. LSM 추진인버터 제어프로그램 개발 (3차년도)

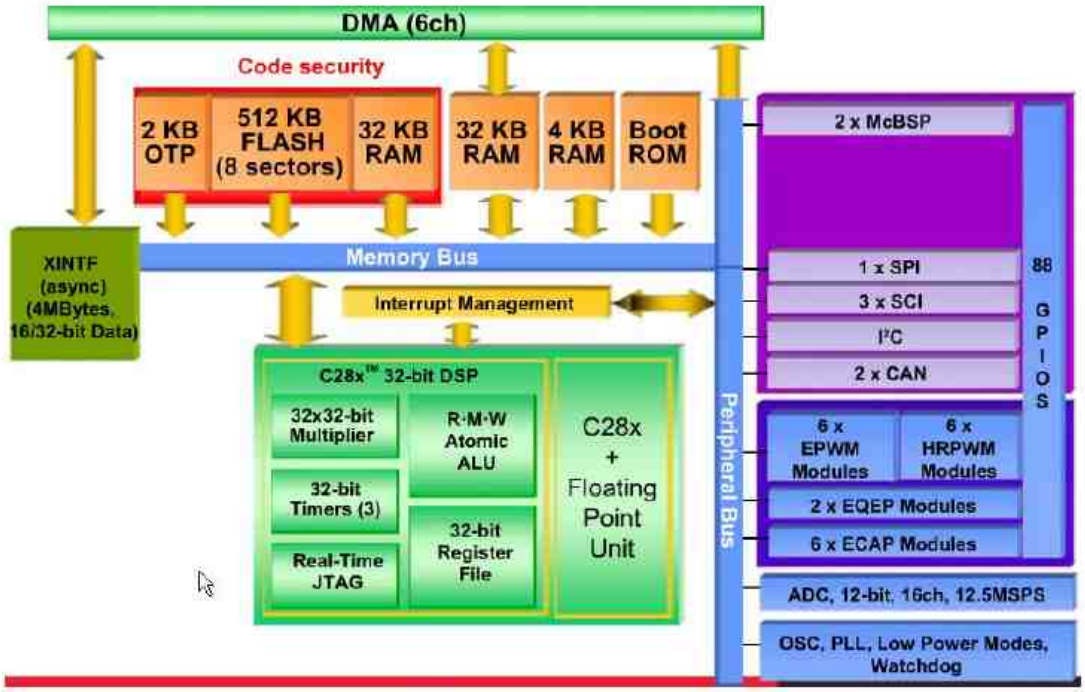
(1) LSM 추진 제어 시스템

(가) TMS320F28335 제어기 특성

① TMS320F2833x 특징

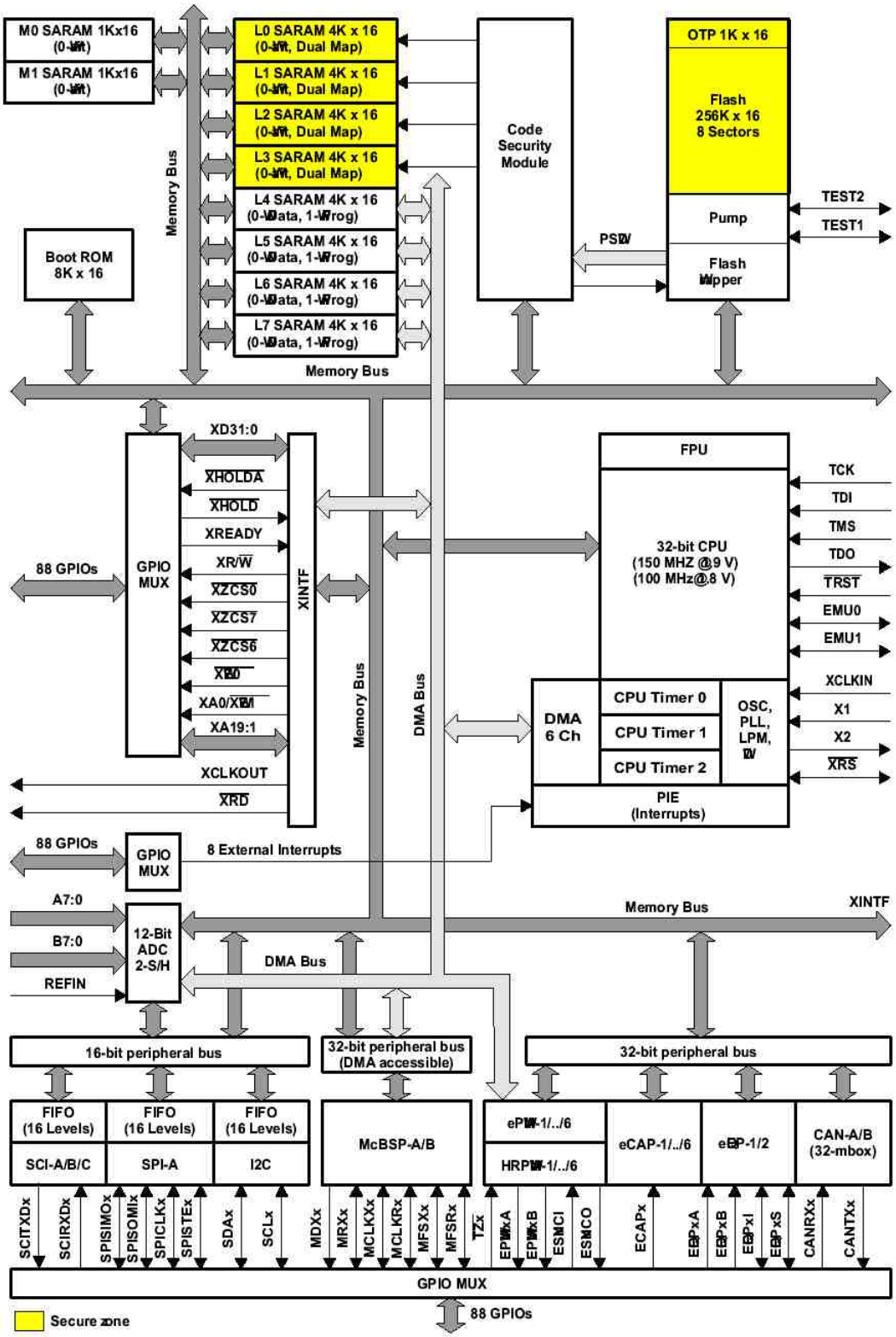
초고속 자기부상철도용 추진제어기는 LS-LSM을 구동하기 위한 PWM 발생부, 아날로그 신호처리부, 주변기기와의 디지털 신호를 처리할 수 있는 GPIO, 차량으로부터 차량의 절대위치를 송수신할 CAN 통신부 및 이러한 모든 신호를 빠르게 처리할 수 있는 32Bit DSP등의 기능이 필요하다. TMS320F28335x는 Single Floating가 지원되는 32비트 고속 DSP로서 150MIPS 고속 처리 능력 및 풍부한 내부 자원

을 가지고 있다.



[그림 2.6.38] TMS320F28335 내부 블록도

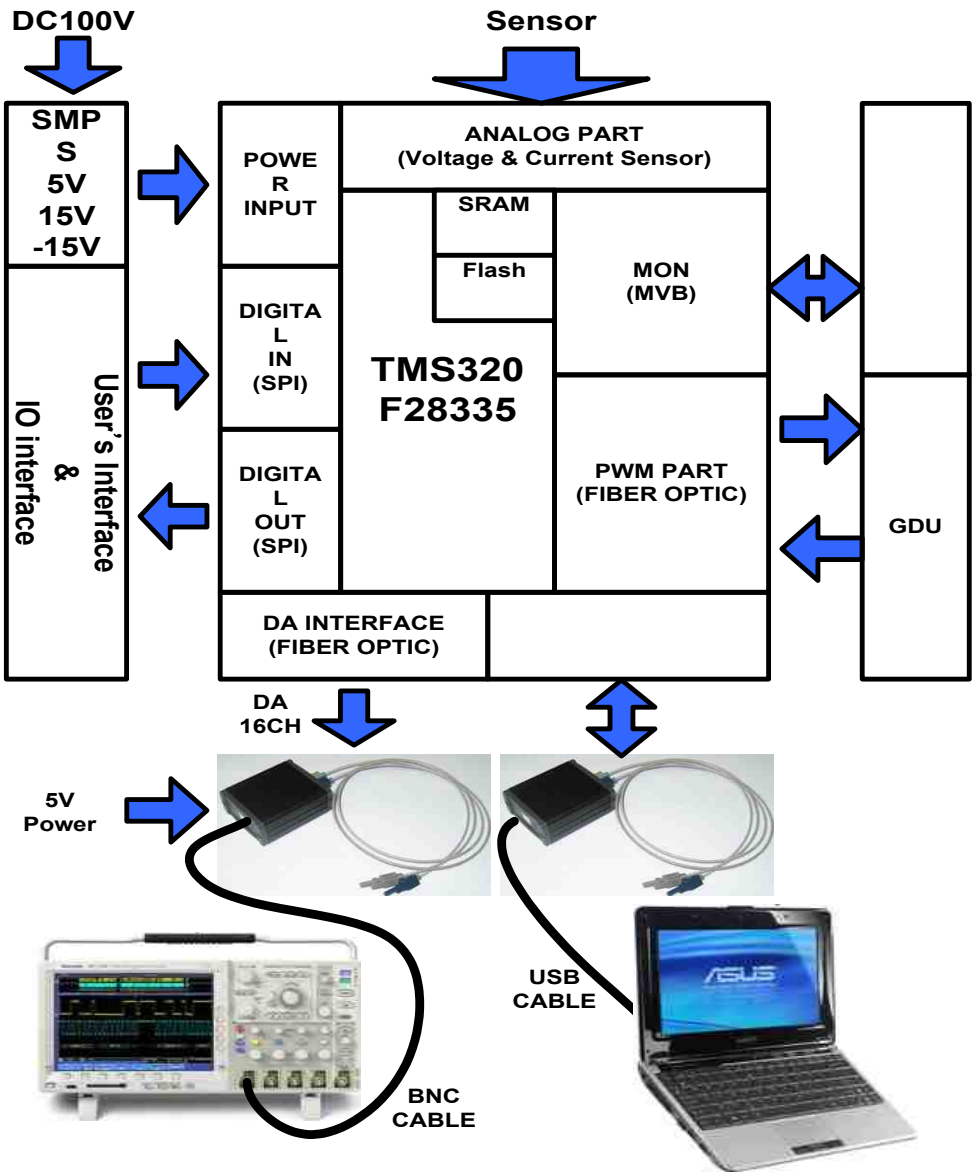
[그림 2.6.38]는 TMS320F28335의 기능을 나타낸 것이며 주요 기능은 아래와 같다. 외부 클럭 30MHz는 내부 PLL을 통하여 5배 증분된 150MHz로 동작하고, 외부 버스는 16비트 또는 32비트 모드로 소프트웨어적으로 설정하여 사용되며, TMS320F28335의 인터럽트는 8개씩 그룹으로 묶은 1~12 마스커블 인터럽트 라인으로 구성되어 있으며 96개의 주변장치 인터럽트를 지원한다.



[그림 2.6.39] TMS320F28335의 기능

(나) 제어기 및 주변장치 하드웨어 설계

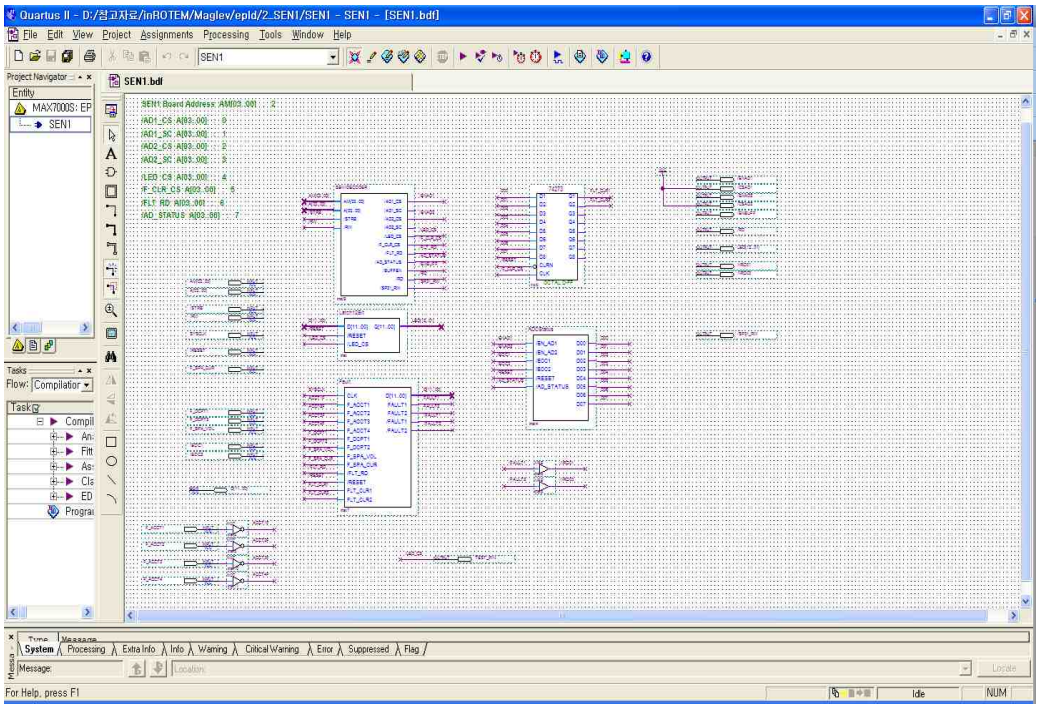
TMS320F28335를 이용한 초고속 추진제어기를 구성하기위해는 DSP를 실시간 모니터링하고 디버깅할 수 있는 툴을 구성하여야 한다. 그러나 추진제어시스템은 전력실에 설치되어져야 하고, 추진제어기 프로그래밍은 관제실에서 제어가 이루어짐에 따라 제어기와 제어용 PC와의 거리가 멀어져 노이즈에 취약해지는 문제가 있다. 이를 개선하기 위해 본 과제에서는 추진제어기와 제어용 PC간에 디버깅 툴은 광케이블로 구성하였다.



[그림 2.6.40] 제어기 설계 구성도

(다) LSM 추진제어기 Firmware 개발

Analog to Digital converter Board의 Firmware 개발하였다. AD 컨버터는 AD 7891소자로써, 8CH입력이 가능하고 입력전압범위는 ±10V로 아날로그 신호 입력전압 레벨이 높아 고전압에 의한 노이즈에 강인한 것이 특징이다. [그림 2.6.41]는 ADC board의 FPGA 프로그램 화면을 나타낸다.

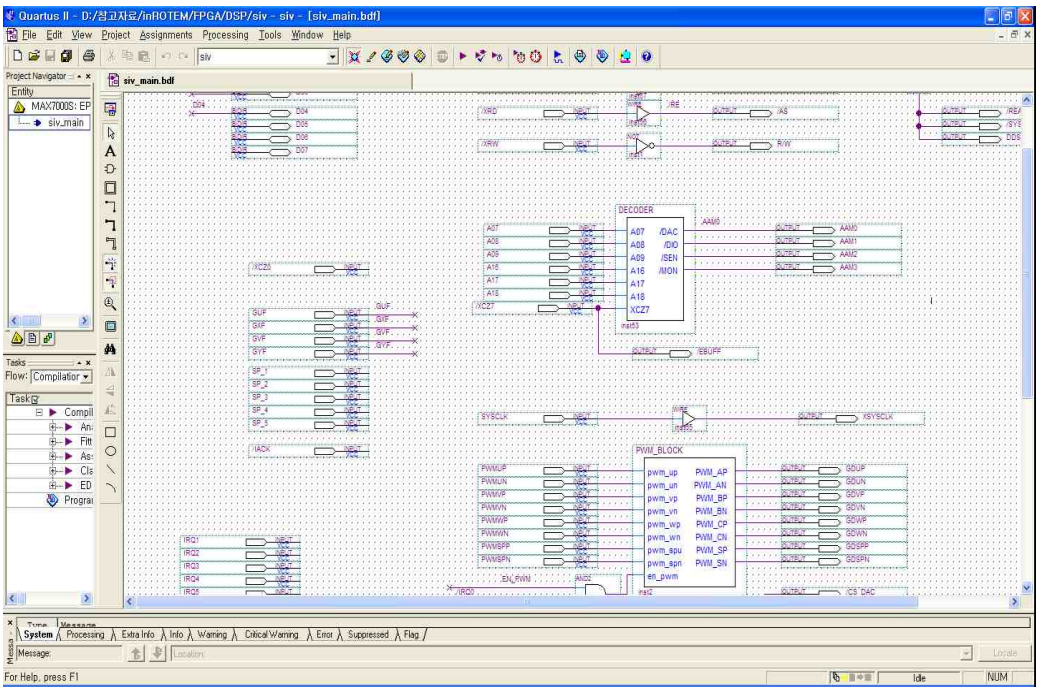


[그림 2.6.41] ADC Board Firmware 개발



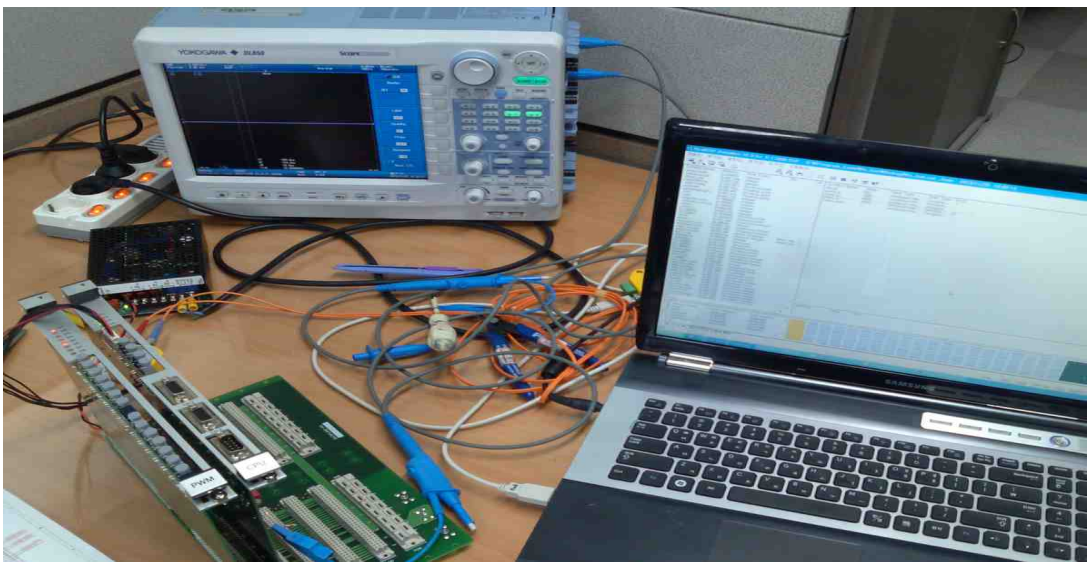
[그림 2.6.42] AD board Check

초고속 자기부상철도의 추진시스템은 전압원 인버터로써 추진모터에 흐르는 전류를 제어하기 위해서 추진인버터에서는 PWM을 발생시킨다. 기존에는 DSP에서 PWM을 발생시키기 위해 EPLD나 PWM 전용 발생 IC등을 이용하였으나, 본 과제에서 개발한 TMS320F28335 IC는 chip 내부에 12개 채널의 PWM port가 내장되어져 있어 FPGA에서는 과전류발생시 PWM을 차단하기 위한 회로만 구성하면 된다.



[그림 2.6.43] 제어기의 PWM part Firmware 개발

[그림 2.6.42]~[그림 2.6.43]은 제어기중 PWM 보드의 Firmware를 개발하기 위한 것으로, 각종 사고 Event 발생시에 시스템이 안전하게 Shut Down 되도록 Firmware 개발이 요구된다.



[그림 2.6.44] PWM board Check

(라) LSM 추진 제어시스템과 주변기기와의 인터페이스

LS-LSM 추진용 인버터의 제어기는 장전기자형 선형동기전동기(LS-LSM, Long Stator-Linear Synchronous Motor) 기반의 상전도흡인식 자기부상철도 시스템의 추진 인버터용으로 설계하며, 궤도를 따라 설치되어져 있는 LS-LSM에 추진전류를 공급하여 차량에 추진력을 발생시키는데 이용된다. LS-LSM은 유도성부하로써 LS-LSM의 전류는 0~1500Arms 범위 내에 있으며 공급 전압은 0~502Vrms이다. LS-LSM용 추진인버터는 검수고내에 위치하며 정류기로부터 1000VDC를 공급받고, 추진용 인버터로부터의 회생전력은 DC 링크에 접속되어져있는 에너지세이버에 의해 흡수될 수 있다. 추진용 인버터는 대지와 접지하지 않은 형태의 potential-free 이며, LS-LSM에 의한 지락사고시 직렬로 구성된 정류용 컨버터의 중성점과 대지 간에 고임피던스로 접속되어져 있는 지락전류를 검출하여, 인버터의 출력을 차단할 수 있도록한다. 추진용 인버터는 단락회로 구성시 각 인버터 Gate Drive에서 차단하며, Gate Drive로부터 DRV_FAULT신호를 받아 추진력 발생을 정지시키고, DC LINK 컨택터를 이용하여 고전압회로와 인버터를 전기적으로 분리시킨다.

본 시스템의 설계규칙은 추진용 인버터시스템을 운용함에 있어 최상의 성능을 발휘 시킬 수 있도록 것으로써, 다음과 같은 설계규칙을 따른다.

- 추진인버터의 크기는 기존 시스템의 치수 또는 그 이하로 한다.
- 누설 전자장 또는 전기장으로부터 충분한 내성을 갖도록 한다.
- 추진인버터는 두 대의 인버터에 의해 추진력이 발생할 수 있도록 회로를 구성한다.
- 보호시스템 및 모니터링 유닛은 단순하며 강인하도록 설계한다.
- 자기진단 및 유지보수를 고려한 인터페이스 설계를 한다.
- 외부에서 파라미터 설정없이 자기기동이 가능하도록 한다.

[표 2.6.3] 추진인버터 처리신호 및 전원레벨범위

Value				Remark
Name	Description	Range	Form	
VDC	Input DC Link Voltage	0 ≤ VDC ≤ 1kV	Cont.	
IDC	Input DC Link Current	0 ≤ IDC ≤ 1.6kA	Chopped	
VOUT_INV	Output Inverter Voltage	-610VAC ≤ VOUT_INV ≤ 610VAC	Chopped	
IOUT_INV	Output Inverter Current	-1.2kAC ≤ IOUT_INV ≤ 1.2kAC	Cont.	
f_n	Chopping Frequency	$f_n \geq 4kHz$		
VDC_M	Measuring value Input DC link voltage	0V ≤ VDC_M ≤ +10V	Analog	Ts ≤ 250us
IDC_M	Measuring value Input DC link current	-10V ≤ IDC_M ≤ +10V	Analog	Ts ≤ 250us
IOUT_M	Measuring value output DC link current	-10V ≤ IOUT_M ≤ +10V	Analog	Ts ≤ 250us

[표 2.6.4] 추진인버터 기능 요구사항

Function Requirements	Device	
	Description	Value
Buffering power supply	Battery of capacitors	$C \geq 5mF$
Protection power supply	Input fuse	$I_{\max} \geq 1{,}500A$
Galvanic separation of power supply and Propulsion 3phase Inverter	2-pole DC contactor	$U_{\max} > 5{,}000\,V$ (only input)
Automatic turn-on routine afer feeding the power supply voltage	Turn-on routine with "READY" signal	
Separatio from supply in case of failure	Failure detecting and Switch OFF	
Capacitor discharging	Dummy Resistor between +VDC and GND of DC link capacotor	
Three phase Inverter	▪ PWM three- phase inverter ▪ Control function for three phase put put voltages in magnitude and fre quency with an essentially constant input voltage VDC	-900VAC ≤ VOUT_INV ≤ 900VAC -1.2kAC ≤ IOUT_INV ≤ 1.2kAC

[표 2.6.5] 추진인버터 마스터 컨트롤 유닛의 기능 요구사항

Function Requirements	Device	Signal	
		Command	Message
Output Torque control	Controller (low pass 1st order) - band width : $0 \leq f_{cont} \leq 200$Hz		
Blocking	- blocking of the drivers of all of power swiches	PWM_BLK	
Switch-on	Release of commnand T_ref	INV_TREF	
Stand-by	Checking operate-ability of components		INV_M_OK
Failure message - arm short-circuit - excess temperature - power unit - control unit (watchdog timer) - low voltage power supply	 - DESAT test of IGBT - T > 80°C (will be defined) - Comparison of command/switch cond. - function monitoring - function monitoring		INV_DRVF INV_OHF INV_SQF INV_M_CONTF INV_LVF

[표 2.6.6] 추진인버터 슬레이브 컨트롤 유닛에 대한 기능 요구사항

Function Requirements	Device	Signal	
		Command	Message
Output Currnent control	Controller (low pass 1st order) - band width : $0 \leq f_{cont} \leq 1$kHz		
Blocking	- blocking of the drivers of all of power swiches	PWM_BLK	
Switch-on	Release of commnand I_ref	INV_IREF	
Stand-by	Checking operate-ability of components		INV_S_OK
Failure message - control unit (watchdog timer) -low voltage power supply	 - function monitoring - function monitoring		INV_S_CONTF INV_S_LVF

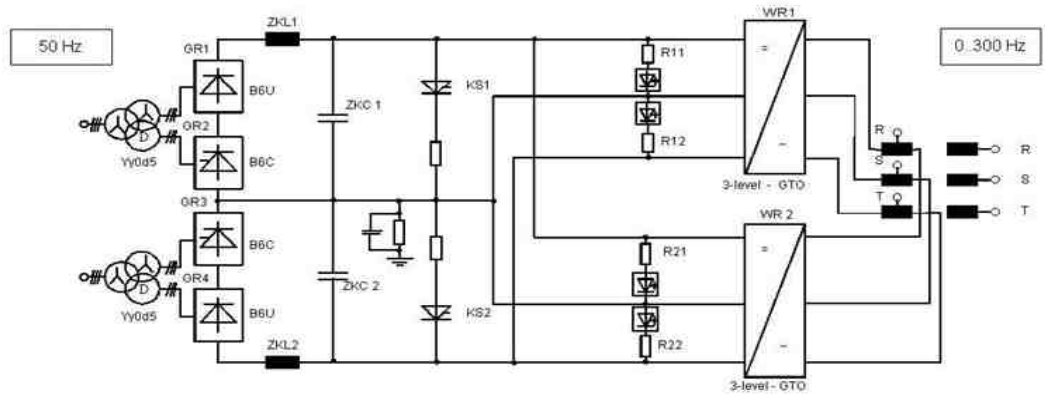
(2) 추진제어 알고리즘

(가) 초고속 자기부상열차 추진제어기술 분석

지상1차 선형전동기 기반의 초고속 자기부상철도로 가장 앞선 기술로 구현된 시스

템은 독일에서 개발한 트랜스래피드이다. 트랜스래피드의 전력변환장치의 특징은 다음과 같다. 모듈 추진 시스템의 주요 장점은 프로젝트의 요구사항에 대하여 전체 시스템에 대한 영향을 주는 것 없이 변화시킬 수 있다는 것과 현재는 차량 가속도 및 요구속도에 따라 컨버터의 출력을 선택할 수 있도록 3가지 다른 종류의 컨버터 전력 섹션이 구비되어져 있는 것이다. 최고 고출력 컨버터의 정격용량은 15.6MVA이고, 전력 컨버터는 트랙 양쪽에 2개의 자려 전류식 인버터가 설치되어 있다. 인버터는 3레벨 타입이고 출력 트랜스포머가 연결되어져 있으며, 인버터는 4kA급 GTOs로 구성되어져 있다.

DC링크에는 인버터 GTO모듈을 기반으로 하는 브레이크 쵸퍼(DBS)가 설치되어져 있고, DC링크의 공급측에는 6펄스 다이오드와 사이리스터 브릿지로 구성된 정류기(GR)이 이용된다. 제동시 에너지를 계통전원쪽으로 회생을 위해, 트랙측에 이용되는 것과 동일한 인버터 1대가 이용되고 있으며, 입력변압기는 3상 20kV/50Hz 교류전력을 1.084kV의 3상 교류전력으로 변환하여 정류기에 공급한다. 각 전력변환장치는 두 개의 입력 변압기가 설치되어져 있고 정류기는 1.084kV의 3상 교류 전력을 두 개의 정류기 그룹에 직렬 연결하여 1.5~2.7kV로 정류하며, 클램퍼는 GTO와 제동저항의 직렬연결로 구성하여 직류 전압을 일정하게 유지시킨다. [그림 2.6.45]은 H형 추진인버터 블럭을 나타낸다.



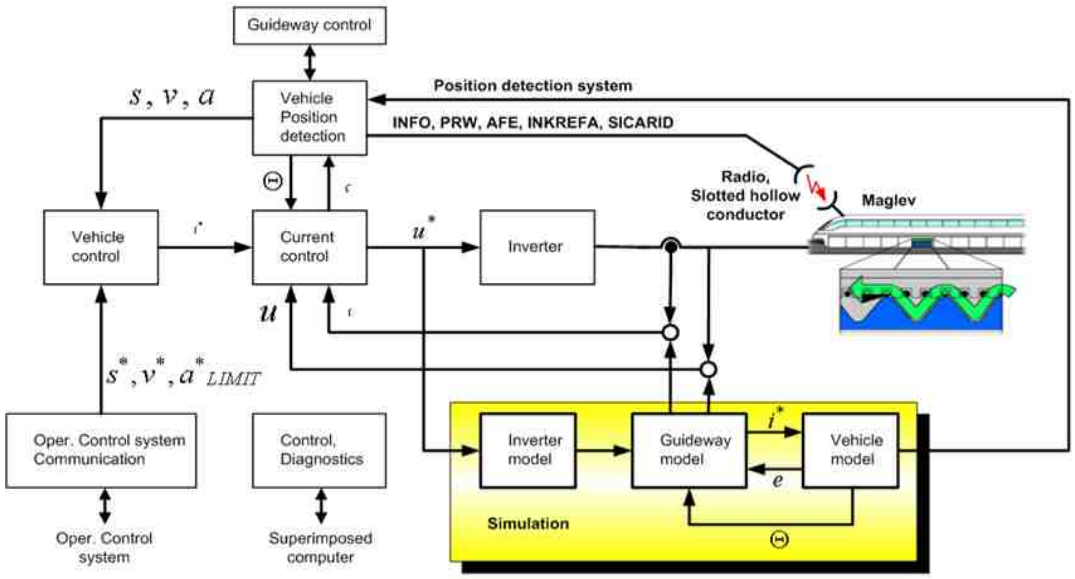
[그림 2.6.45] H형 추진인버터 블럭

낮은 용량의 컨버터(1.2MVA)는 3레벨 컨버터와 유사한 전기적 회로를 갖지만, IGBT가 이용되며, 모든 컨버터는 수냉식을 채택하고 있다.

독일 트랜스라피드의 구동시스템은 [그림 2.6.46]과 같이 구성되어져 있다. 구동제어시스템의 트랜스라피드 제어기는 전류제어, 속도제어, 가속도 값을 이용한 져크제어부로 구성되어져 있다. 추진인버터의 전류제어를 위한 차량의 위치(위상)검출은 차량의 INKREFA (INCREMENTAL VEHICLE LOCATION SYSTEM)와 차량위치 관측기를 통해 차량의 위상 추정한다.

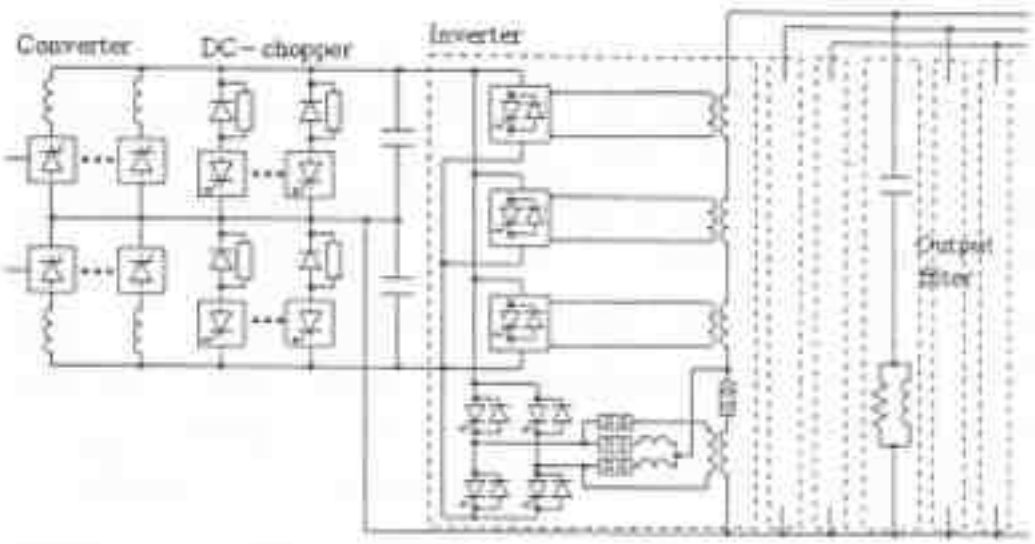
INKREFA 시스템은 400m마다 절대위치검지와 고정자 슬롯의 갯수를 증분하여 차량의 절대위치연산하고, 차량위치 관측기 구성은 인버터 모델, 가이드에이모델, 차량모델로 구성되어져 있으며 해당 시뮬레이션 블럭의 입력으로 인버터 입력전압을 적

용한다. 차량 위치 검출기는 차량위치 관측기로부터의 위치와 차량으로부터 무선으로 수신된 절대위치정보를 통해 차량가속도, 속도, 이동위치를 연산하여 차량 제어기로 송부하고, 차량 제어기는 운영제어시스템으로부터 지령 위치, 지령속도, 가속도의 한계값을 지령받아 현재차량의 지령전류를 연산한다.



[그림 2.6.46] Transrapid 구동제어 블록

다음은 일본 초고속 자기부상열차에 대하여 나타내었다. 야마나시 시험선의 전력변환장치는 North Line 전력변환장치와 South Line 전력변환장치로 구분되며, North Line 전력변환장치의 주회로는 [그림 2.6.47]과 같다.



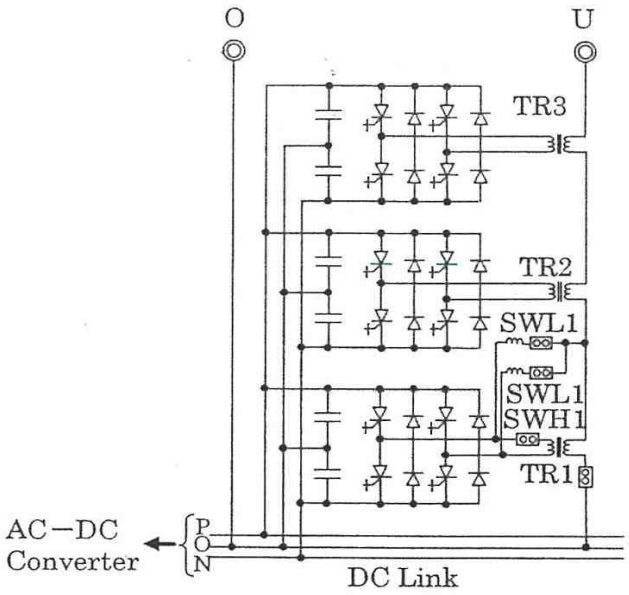
[그림 2.6.47] North Line 전력변환장치의 주회로

North Line의 추진전력 컨버터는 정류기로 싸이리스터를 사용한 컨버터를 사용하

고, South Line 에서는 GTO를 사용한 컨버터를 채용하고 있다. 컨버터는 69MW의 병렬로 설치되어 있는 24펄스 타입의 싸이리스터 정류기이다. 싸이리스터 컨버터는 무효전력과 고조파 전류를 전원 입력단에 발생시키기 때문에 North Line에서는 무효전력과 고조파 전류를 억제하기 위해서 정지형 무효전력 보상기와 능동 필터를 입력단에 운용하고 있다. 정지형 무효전력보상기는 병렬 커패시터와 사이리스터로 제어하는 리액터로 구성된다.

추진전력시스템 중 직류 초퍼는 신뢰성 향상을 위해 5개의 초퍼 유니트가 병렬로 설치되어져 있다. 직류초퍼의 기능은 회생제동시 발생한 전력을 저항기에서 소진하는 것, DC 링크단의 전압을 안정화 시키는 것, 그리고 인버터가 정지한 경우 싸이리스터 정류기의 최소 동작전류를 소비하는 것이다. South Line의 초퍼는 3개의 유닛으로 구성되며, GTO 컨버터를 사용하는 관계로 North Line에 비해 용량이 적다.

MLX의 추진 인버터는 고조파 성분이 적으면서도 고압을 발생시키기 위해 인버터는 출력변압기를 포함하는 4개의 유닛트 인버터로 구성되어져 있다. 각 변압기는 직렬로 연결되어져 있으며 PWM 주파수는 500Hz이다. 출력전류의 고조파를 저감시키기 위해서 각 유니트 인버터의 케리어 주파수는 각각 45도씩 쉬프트 되어져 있어 PWM 주파수는 4kHz로 나타난다. [그림 2.6.48]는 인버터의 주회로의 구성을 나타내고 있다.



[그림 2.6.48] South-Line 인버터 주회로

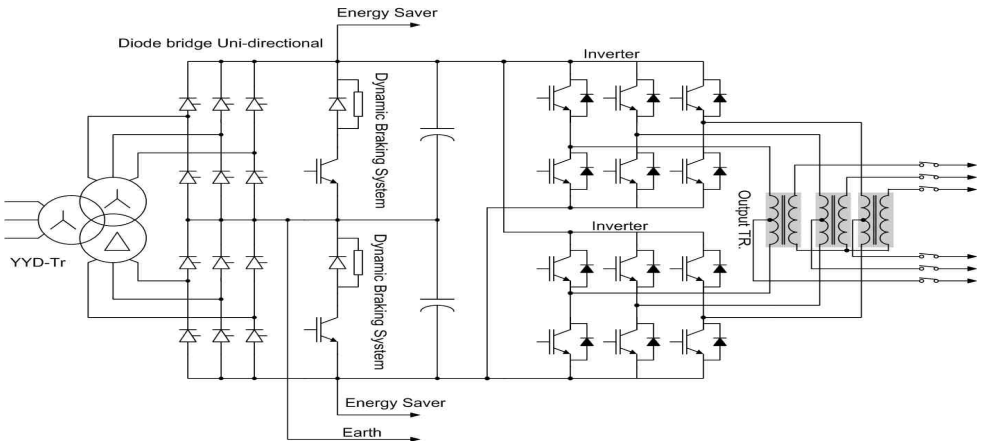
인버터의 출력단 전압을 합치시키는 출력 변압기는 선형전동기를 구동하기 위해서 아주 낮은 주파수에서 구동되기도 하고, 비동기 PWM 제어에 의해 포지티비와 네가티브 사이에 비대칭 출력전압에 발생될 수도 있기 때문에 변압기 철심은 포화가 되거나 편자가 발생할 수 있다. 철심의 자화를 방지하기 위해 자속밀도는 1T이하가 되도록 설계하며, 기동시의 전류 상승과 정지시의 전류감소에 소요되는 시간을 출력주파수의 정수배가 되도록 하며, 잔류 자속이 철심에 남지 않도록 하고 있다.

추진 인버터의 필터부는 PWM 인버터의 출력전압에는 많은 고조파성분이 포함되

어있어 고조파를 저감시키기 위해 리액터, 커패시터 그리고 댐핑저항으로 구성된 필터가 PWM 출력단에 설치되어있다. 필터는 고조파 저감에 사용될 뿐만 아니라 피딩 회로의 고조파 공진을 억제시키는 기능도 수행한다.

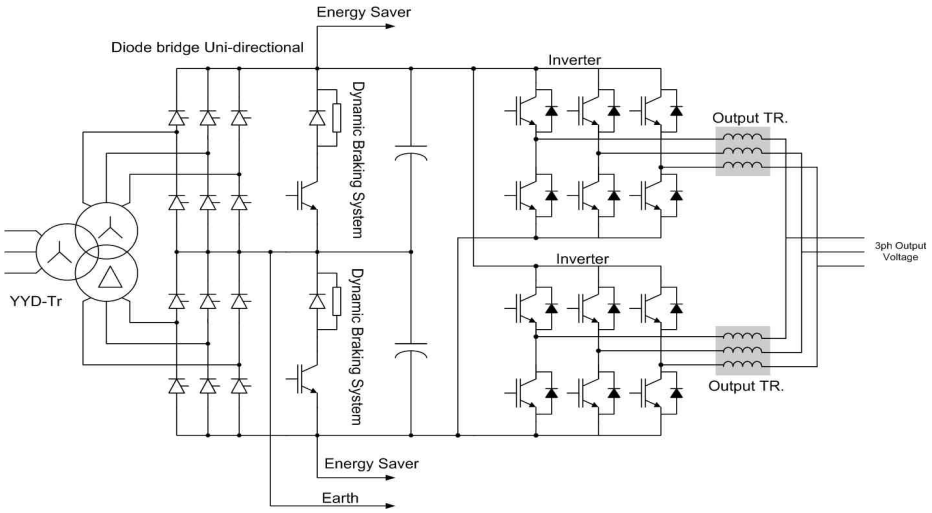
(나) 초고속자기부상열차(SUMA) 추진제어기술

앞서 독일식과 일본식에서 기술한바와 같이 초고속 자기부상철도의 추진시스템은 선형동기모터의 높은 임피던스를 고려하여 다중 인버터의 출력전압을 직렬로 묶을 수 있도록 인버터의 출력단에 변압기를 설치하고, 각각의 변압기 1차측은 각각의 인버터에 연결하고 변압기 출력단은 서로 직렬로 구성하여 높은 전압을 발생시켰다. 본 과제에서는 지상 1차 LSM의 선로길이가 150m 내외로 단거리임에 따라 LSM의 낮은 임피던스가 문제가 되어 슬롯 당 4턴으로 구성한 상태임으로 상기 언급된 다중변압기의 직렬 조합시스템이 필요하지는 않다. 그러나 향후 해당 인버터의 메카니즘을 고려하여 3상 인버터 2대를 구성하고 출력변압기를 구성하여 [그림 2.6.49]과 같이 다중인버터 조합시험이 가능하도록 하였다.



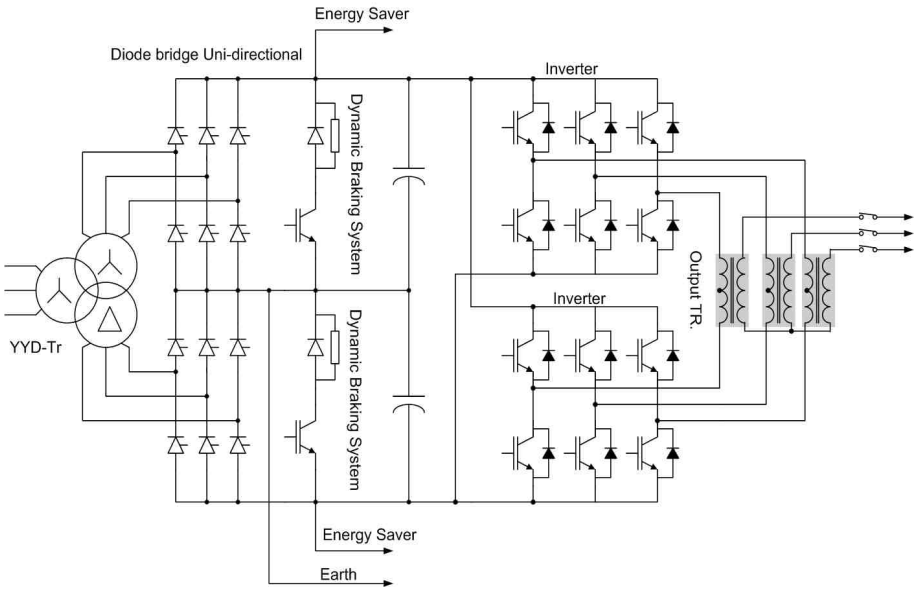
[그림 2.6.49] 2대의 인버터와 추진 제어기 I/O 구성

추진 인버터는 각각 500KVA이며 전체 용량은 대략 1,000KVA이다. 인버터는 출력전압주파수가 낮은 경우(50Hz이하) 출력변압기의 1차측 권선은 분할 리액터로 동작되어 병렬운전되며 [그림 2.6.50]와 같이 구성된다.



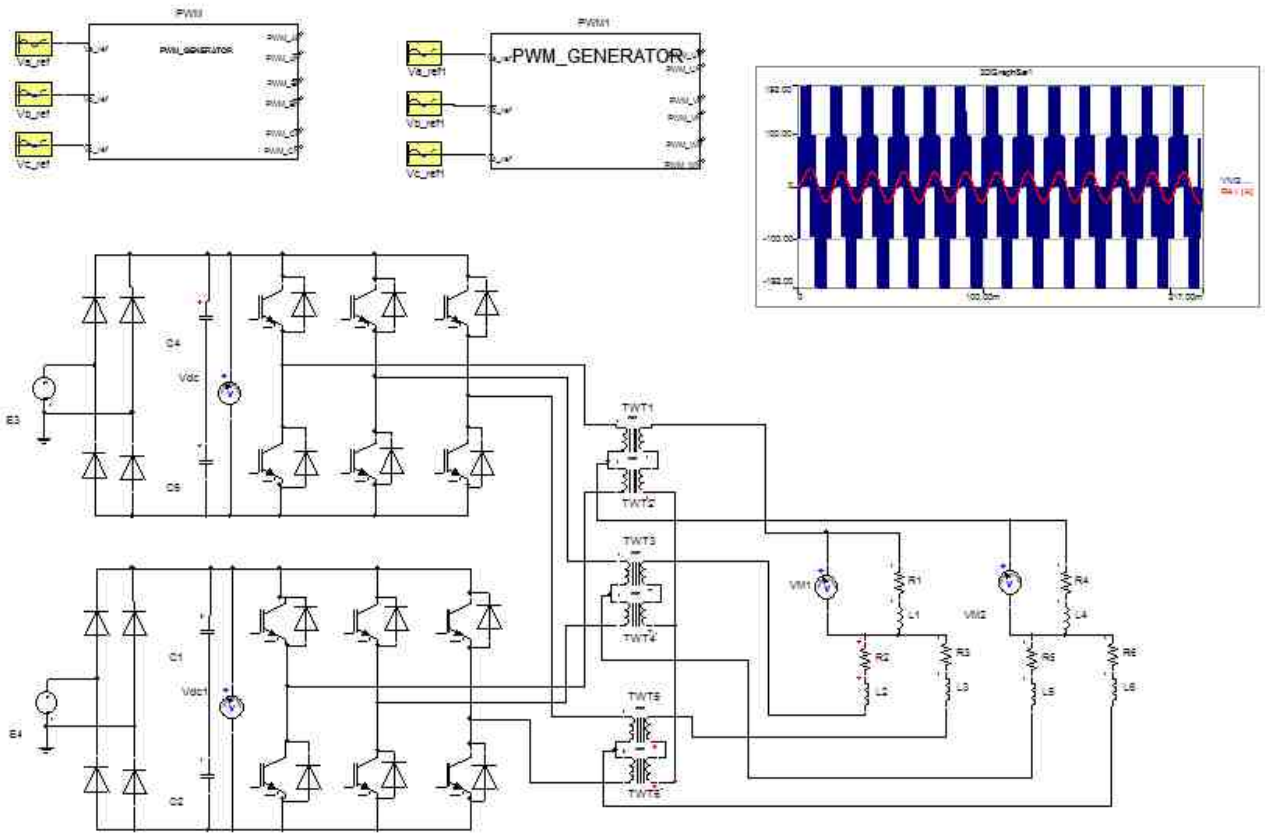
[그림 2.6.50] 저주파수 전압출력의 경우 인버터 구성

추진인버터의 출력전압주파수가 높은 경우(50Hz이상) [그림 2.6.49]와 같이 출력변압기를 통해 두 대의 인버터가 직렬연결되어 고전압을 발생시킬 수 있는 구조이다. 이를 위해 두 대의 인버터는 출력전압위상이 서로 180도 위상차가 되도록 인버터의 출력전압을 제어하게 된다.



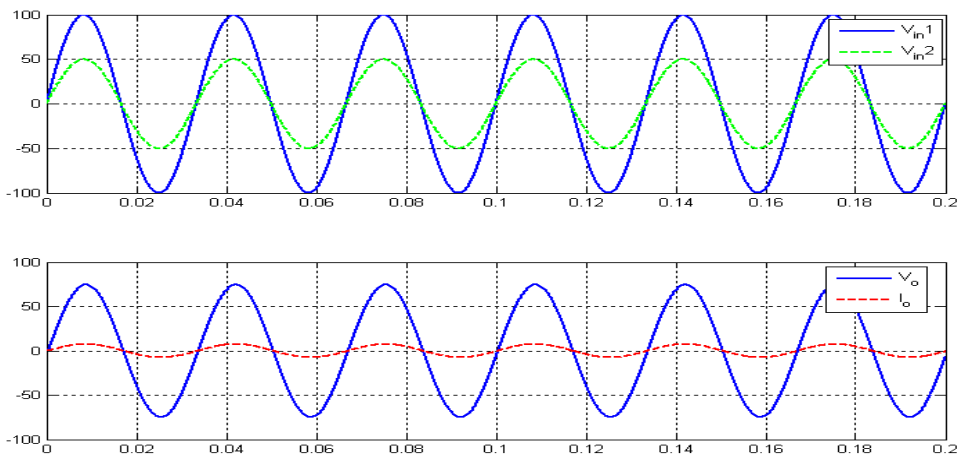
[그림 2.6.51] 고주파수 전압출력의 경우 인버터 구성

[그림 2.6.51]는 추진인버터의 출력전압주파수가 55Hz보다 낮은 경우 두 대의 PWM 인버터 출력을 동상으로 하여 출력한 경우 출력전류와 두 대의 PWM 인버터 출력의 위상이 역상인 경우 출력에 대하여 다음과 같이 시뮬레이션을 수행하였다.



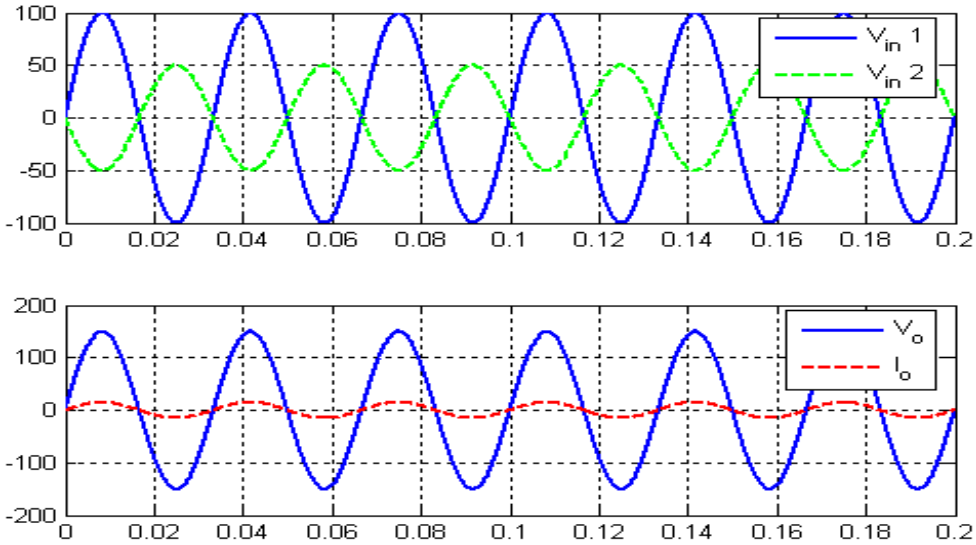
[그림 2.6.52] 고주파수 전압출력의 경우 인버터 구성

다음은 [그림 2.6.51]와 같이 추진인버터가 구성되어져 있는 경우 각각 인버터의 출력 V_n^1, V_n^2과 출력전류 I_o를 [그림 2.6.51]과 같다. 두 대의 인버터로부터 동위상의 출력전압을 발생시 변압기는 두 권선 간의 전위차에 의해 변압기 출력전압은 [그림 2.6.51]과 같이 $V_n^1 - V_n^2$의 전압이 출력되며, 이 전압에 의해 I_o 전류가 부하 측에 흐르게 된다.



[그림 2.6.53] 저주파수 전압출력의 경우 출력 파형

다음은 [그림 2.6.54]과 같이 추진인버터가 구성되어져 있는 경우, 각각 인버터의 출력 V_n^1, V_n^2과 출력전류 I_o를 [그림 2.6.54]과 같다. 두 대의 인버터로부터 역 위상의 출력전압을 발생시 변압기는 두 권선 간의 전위차에 의해 변압기 출력전압은 [그림 2.6.54]과 같이 V_n^1 - V_n^2에 의한 150VAC 전압이 출력되며, 이 전압에 의해 I_o 전류가 부하 측에 흐르게 된다.



[그림 2.6.54] 고주파수 전압출력의 경우 출력 파형

시뮬레이션 결과 두 대의 인버터 출력의 위상이 동상인 경우 변압기는 리액터로 역할을 수행하고, 위상이 서로 역상인 경우 출력 변압기는 변압기 고유의 특성으로 운전됨을 확인할 수 있었다.

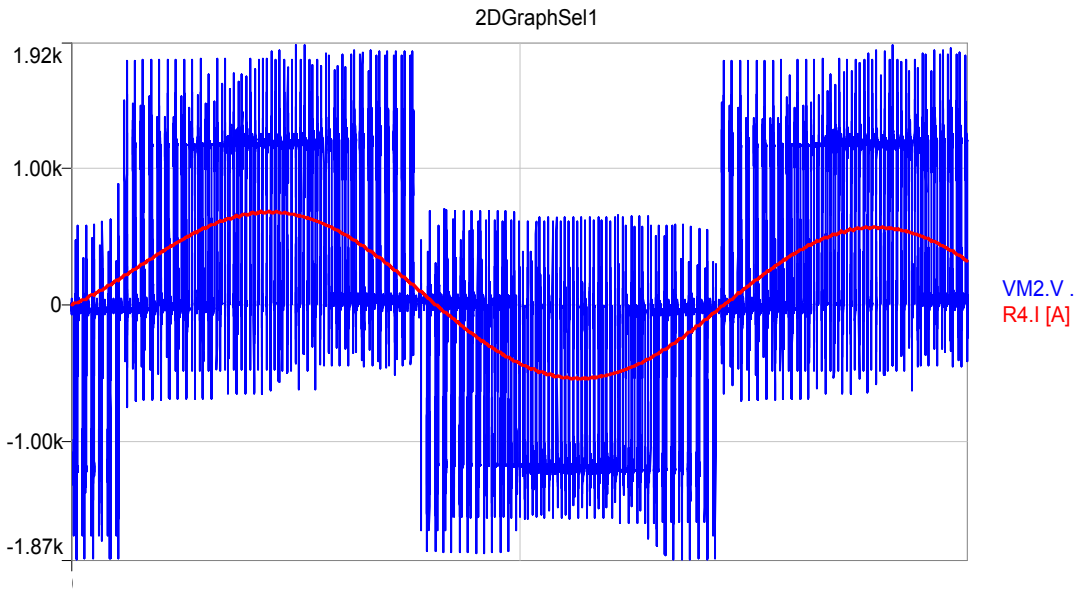
다음은 시험선로의 LSM 케이블 도체에 걸리는 전압 및 전류를 검토하여 도체의 절연 내전압 사양을 도출하고자 한다. LSM의 모터 사양은 다음 [표 2.6.7]과 같다.

[표 2.6.7] 추진시스템 사양

구분	항목	파라미터
LSM	Phase resistance	0.36 [ohm]
	motor inductance	7.9 [mH]
	rated current	340 [A]
Inveter	DC link Voltage	1200 [V]
Line Conditions	Leakage inductance per a line	0.5 [mH]
	Capacitance for a line to ground	3 [nF]

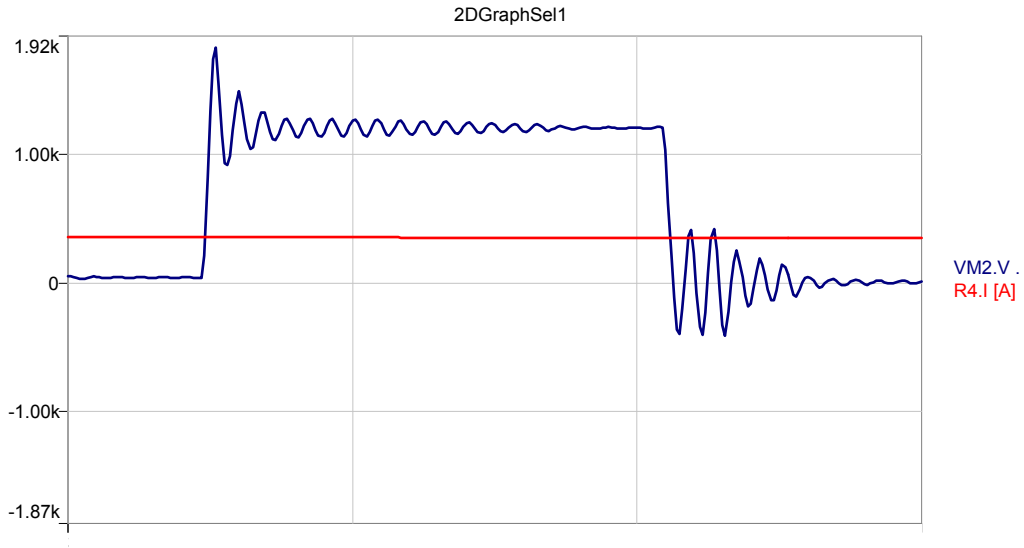
※ 단, 해당 결과는 예상되는 LSM 모터 입력 전압 및 출력 전압이며, 케이블 설치 조건에 따라 달라질 수 있음

[그림 2.6.55]은 인버터와 LSM 권선 간의 라인 Leakage Inductance 및 Capacitance를 반영한 LSM 권선에 나타나는 전압이다. 그림에서와 같이 인버터 DC 링크 전압이 1200VDC 일 경우 IGBT 턴오프 전압은 1900V까지 상승하는 것을 알 수 있으며, 이에 대한 상세파형은 [그림 2.6.43]에 나타나 있다.



[그림 2.6.55] 인버터 출력 PWM 전압 (Blue) 및 인버터 출력 전류(Red)

[그림 2.6.56]에서와 같이 LSM 권선전압에는 고주파 전압 오실레이션이 발생되며, 이런 오실레이션 전압은 권선 절연체의 절연내력 약화에 크게 영향을 주기 때문에, 이에 대한 주파수 분석을 통하여 케이블 절연체 요구사항에 반영될 필요가 있다.



[그림 2.6.56] 인버터 출력 PWM 전압(Blue) 및 인버터 출력 전류(Red)

(다) 초고속자기부상철도 위치검지 방식 및 위치 관측기 설계

초고속 자기부상철도의 선형 동기 전동기는 직접토크제어를 위해서는 차량의 계자의 위치에 대하여 고정자 전류를 동기시켜 제어하여야 한다. 따라서 선형동기전동기 고정자의 상대위치정보가 충분히 정밀하여야 정격 추력이 발생된다. 이를 위해 이동차량은 차량의 절대위치를 검출하여 통신에 의해 지상 추진인버터에 위치 정보를 제공하나 위치검출센서의 낮은 분해능 및 통신전송속도등의 한계에 의해 지상 추진인버터에서 요구하는 고정밀의 차량 절대위치정보를 제공하는데 많은 어려움이 있다. 다음은 국외 초고속 자기부상열차의 위치검지방식에 대하여 검토하고 SUMA에 대한 위치 검지방식에 대하여 검토하였다.

① Lagrange interpolation 방식

LS-LSM의 토크를 제어하기 위해서는 Mover의 마그넷 위치정보를 정확히 알 수 있어야 한다. 그러나 LS-LSM 추진시스템을 기반으로 하는 자기부상열차는 위치검지시스템의 비용절감을 위해 궤도를 따라 위치센서를 설치하지 않고, 차량에서 LSM 고정자 슬롯갯수를 카운트하는 방식으로 적분하여 위치값을 연산하게 된다. 이렇게 연산된 위치정보는 지상의 추진 인버터에 무선 통신망을 통하여 전송하게 된다. 그러나 전송된 위치정보는 시간지연이 발생하고, 추진제어기에서 요구하는 주기의 위치정보를 제공하지 못한다. 따라서 차량의 위치를 추진제어기가 요구하는 수준의 정보를 제공하기 위해서는 위치 관측기 설계가 필요하다.

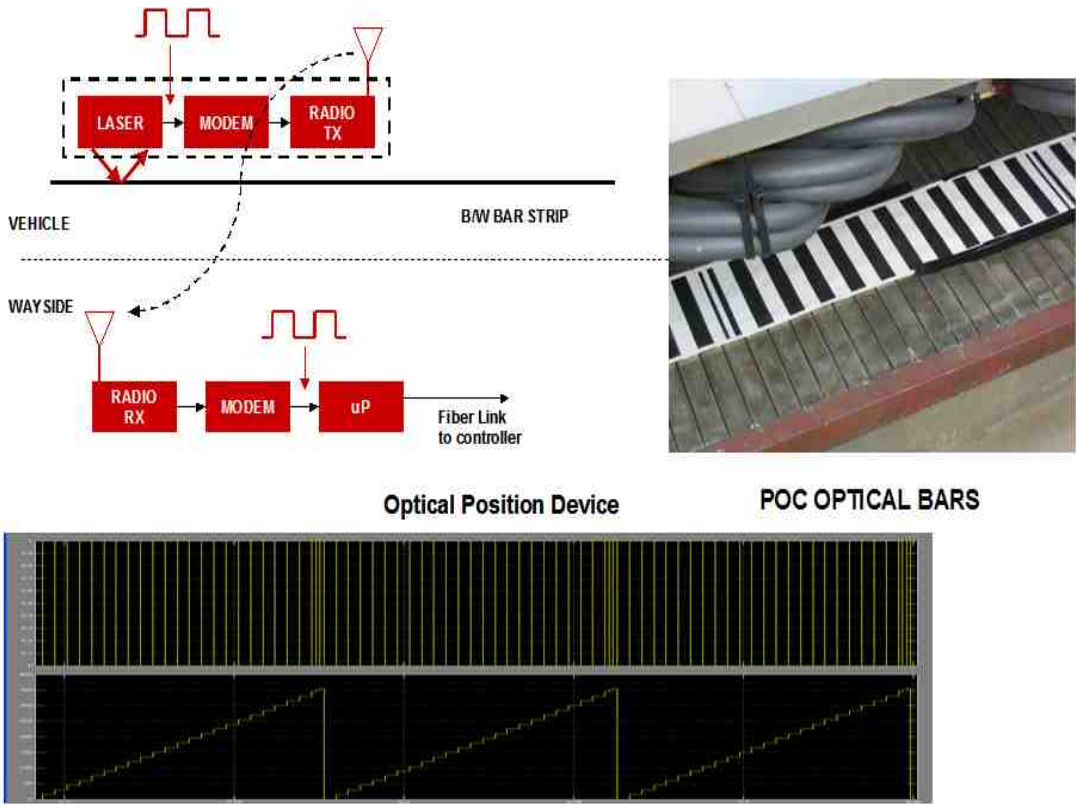
위치를 추정하는 방식 중 가장 대표적이고 간단하게 적용할 수 있는 방식은 Lagrange interpolation 원리를 이용한 위치 추정 방식이다. 상하이 자기부상열차의 차량에서 검출한 절대위치신호는 512kbps의 transmission rate와 20ms 주기로 RS-485 통신프로토콜을 이용하여 무선을 통해 지상으로 전송한다. 무선통신방식으

로 20ms 주기로 수신된 위치신호는 실시간 추진제어를 위해 적합하지 않다. 상기 문제점을 보완하기 위한 Lagrange interpolation을 적용한 interpolation 알고리즘은 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$\frac{V}{f} = \Delta S$$
$$\Delta \frac{S}{\tau_s} 2\pi = \Delta\theta \qquad (2.6.26)$$
$$\theta_{\neq w} = \theta + \Delta\theta + \omega T_d$$

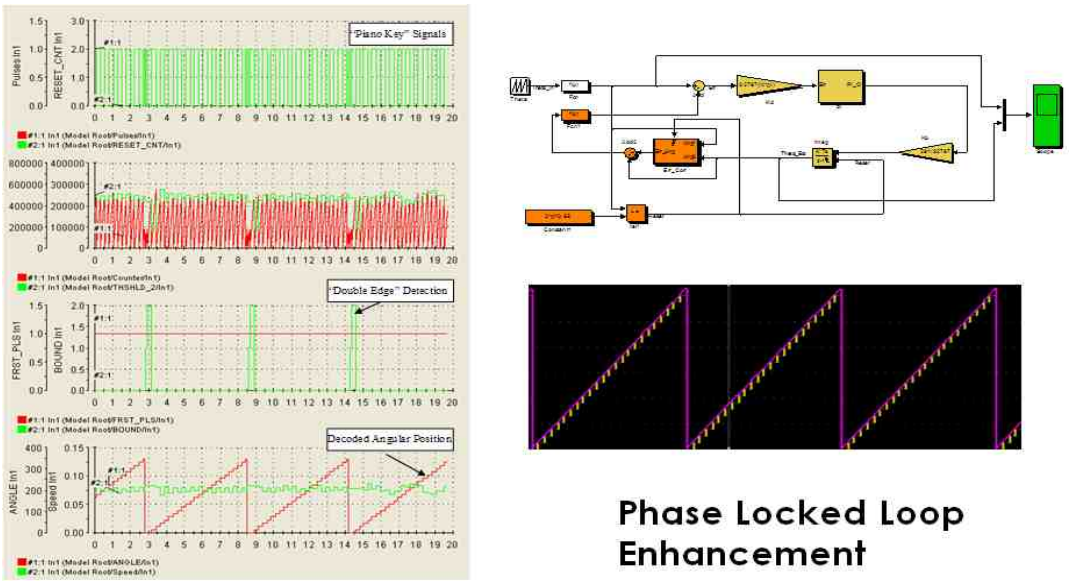
② 광센서 및 PLL을 이용한 위치검지시스템

미국 GA사에서는 Urban maglev를 개발 중에 있다. GA사의 자기부상열차는 영구자석 반발에 의해 부상하고 지상1차 선형동기전동기에 의해 추진력을 발생시킨다. 따라서 해당 시스템도 고 추력의 토크로 LSM을 구동하기 위해 위치검지시스템을 다음과 같이 구성하였다. Urban maglev의 위치검지시스템은 차량에 설치되어져 있는 레이저에 의해 Bar Strip을 스캔하고 차량 Modem을 통한 신호변조를 통해 지상으로 무선 송출한다. 지상 인버터 무선 신호 수신 및 Modem을 통한 변조하고, 마이크로프로세서를 통한 위치 인식하는 구조로서 [그림 2.6.57]과 같다.



[그림 2.6.57] 전력변환기와 제어기간의 wiring

즉, GA Urban maglev 위치검지시스템 신호처리 방식은 “Piano Key” signal 수신방식으로써 마이크로프로세서 내부 카운터에 의한 수신펄스주기 연산하고, “Double Edge” 신호 검출을 통한 위상 Reset 을 수행하며 수신 펄스의 up count를 통한 위상각 변조를 수행한다. 또한 고정밀의 차량 자속의 위상 동기를 위해 PLL(Phase Locked Loop)을 활용한다.



[그림 2.6.58] 수신신호 및 PLL제어회로구성과 결과파형

③ 시스템 모델베이스 전차원 관측기를 통한 위치추정 방식

시스템 모델은 식2.6.25과 같이 표현이 가능하다.

식 2.6.25에서 l_1, l_2 및 l_3의 이득을 구하면 식 2.6.26과 같다.

$$\tilde{x} = x - \hat{x}$$

$$\dot{\tilde{x}} = (A - LH)\tilde{x}$$

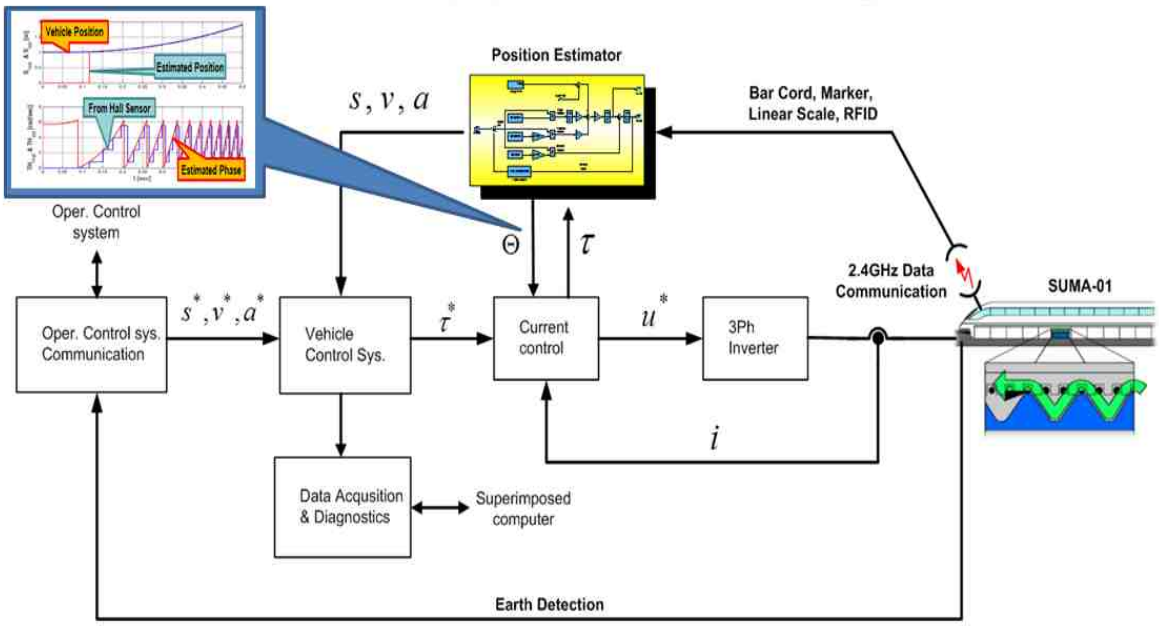
$$\begin{cases} s^3 + s^2 l_1 + s l_2 + l_3 = 0 \\ (s + \omega_n)(s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n{}^2) = 0 \end{cases}$$

$$l_1 = (2\xi + 1)\omega_n$$

$$l_2 = (2\xi + 1)\omega_n{}^2 \qquad (2.6.26)$$

$$l_3 = \omega_n{}^3$$

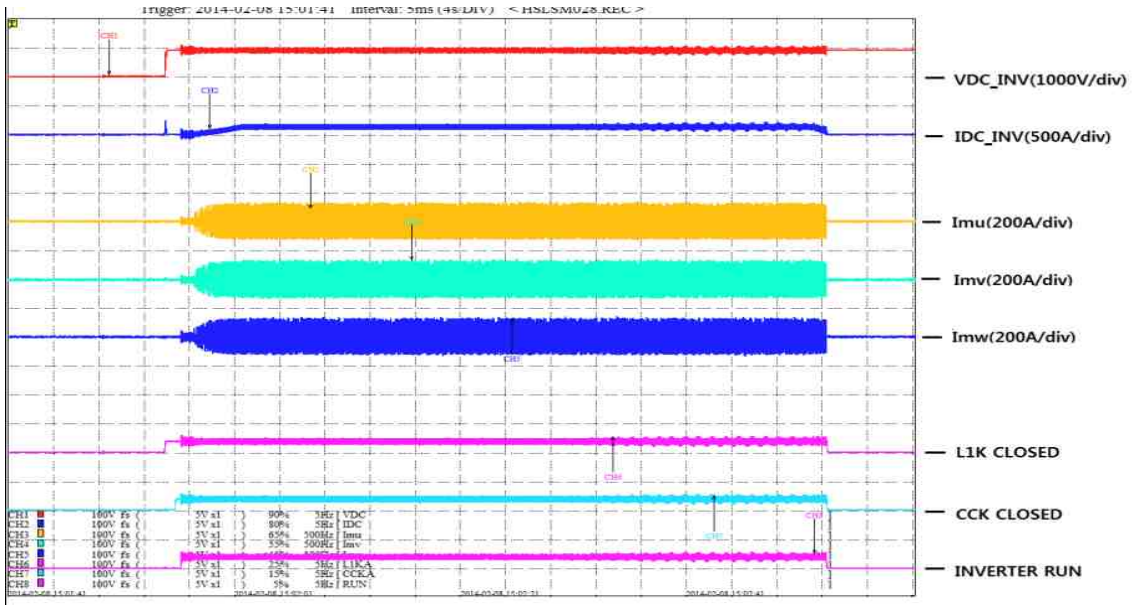
상기 도출된 수식으로부터 LS-LSM에 대한 전체적인 시뮬레이션 블럭도를 구성하였다. [그림 2.6.59]은 전차원 관측기를 적용한 LS-LSM 제어시스템의 전체적인 시뮬레이션 모델을 나타낸다.



[그림 2.6.59] 전차원 관측기를 적용한 LS-LSM 제어 시스템

(라) LSM인버터 추진제어기 조합시험 결과

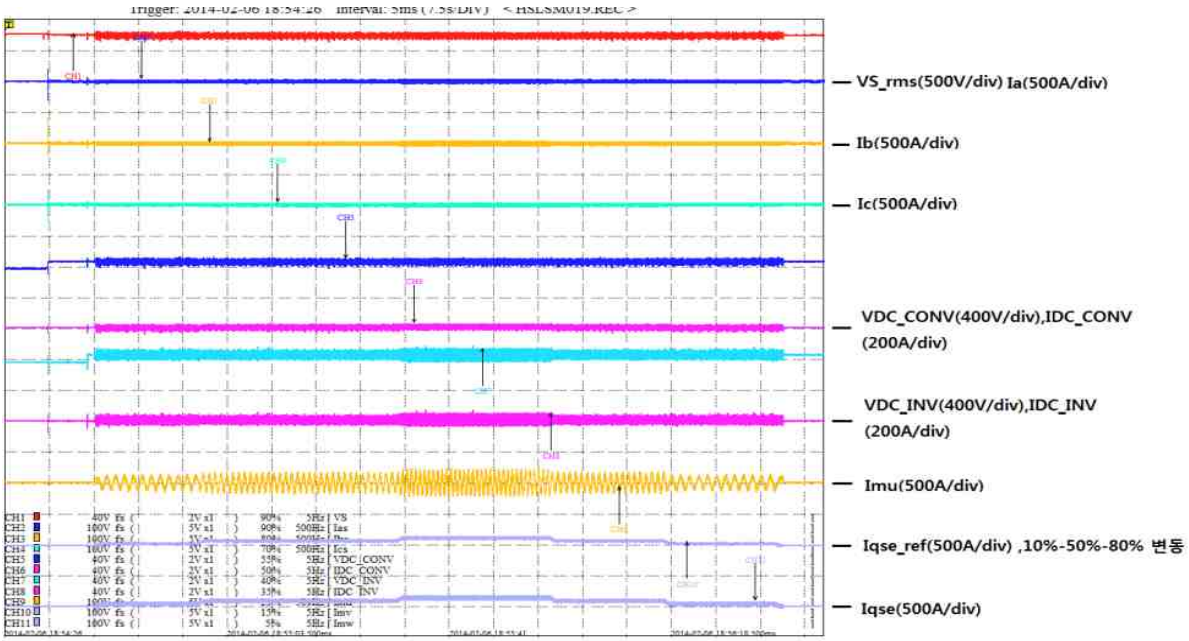
추진제어기와 주변 기기간의 인터페이스 검증과 제어기의 기본 성능을 시험하기 위해 전력컨버터, ESS와 추진인버터를 조합하여 시험을 수행하였다. [그림 2.6.60]는 추진인버터 기본 운전특성 파악하기 위한 것으로써, 위로부터 인버터 DC 링크단의 전압 900VDC와 인버터의 DC단에 흐르는 전류(100[A])를 나타내고 있다.



[그림 2.6.60] 추진인버터 기본 운전특성

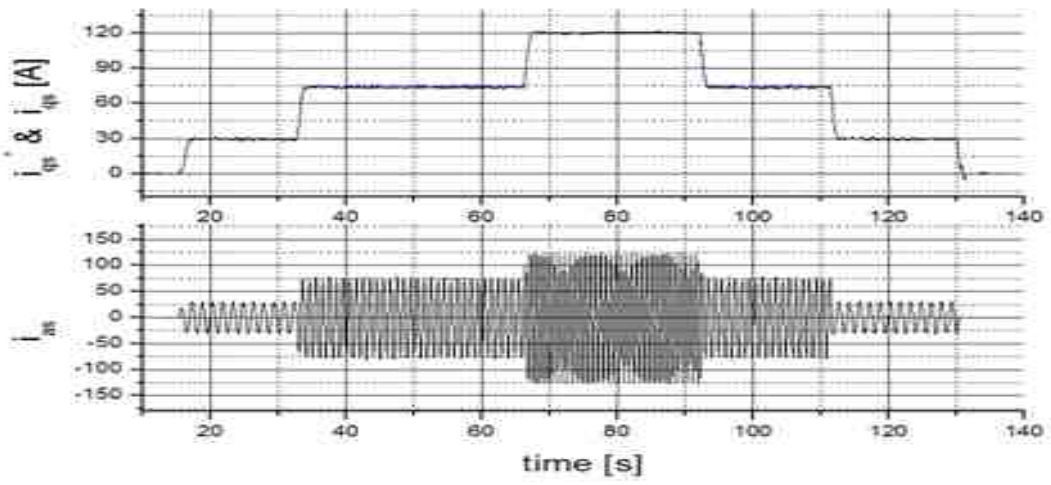
인버터의 보조접점스위치(CCK)와 주 접점 스위치(L1K)의 동작되고, 인버터 가동

신호(IN VERTER RUN)가 그림처럼 인가된 경우, 인버터의 3상 전류는 Imu, Imv, Imw 와 같이 나타난다. [그림 2.6.61]은 추진인버터의 전류제어기 특성을 확인하기 위한 것이다. 그림은 위에서부터 입력 전압(VS_rms)과 입력전류(Ia, Ib, Ic)를 나타내고 있으며, 이때 PWM 컨버터의 DC 링크전압(VDC_CONV)와 DC 링크 전류(IDC_CONV)를 나타낸다. 다음은 추진인버터의 DC 링크 전압(VDC_INV)와 전류(IDC_INV)를 나타내고 있으며, 이때 토크성분전류 지령치(Iqse_ref)와 피드벡 전류(Iqse)를 나타내고 있으며, 인버터 U상 출력전류(Imu)가 그림처럼 나타난다.



[그림 2.6.61] 추진인버터 전류제어기 특성시험

실험 결과로부터 지령전류를 10%, 50%, 80%로 변경시 이에 상응하여 부하전류가 변경되는 것을 확인하였다. 그러나, 제한된 DC링크 전압과 높은 임피던스의 부하로 인해 전류제어응답특성분석은 이루어지지 않았다.



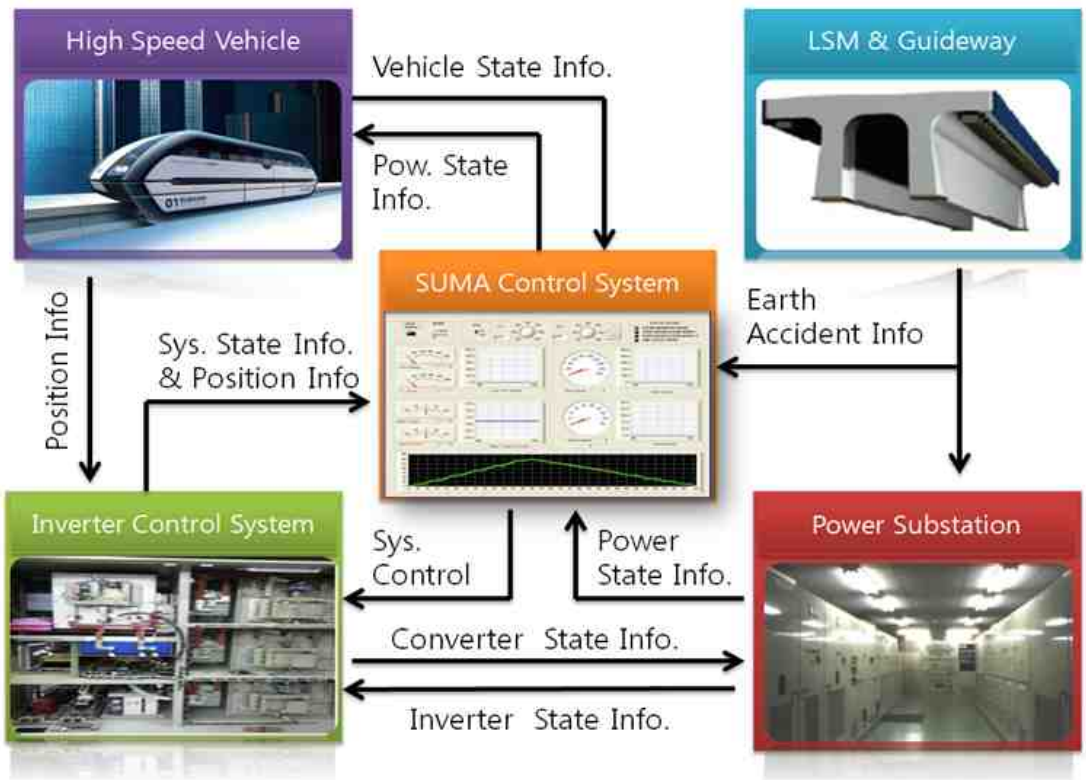
[그림 2.6.62] 추진인버터 전류제어기 특성시험

라. 종합 성능시험

(1) LSM 추진시스템 구성

초고속 자기부상철도 추진시스템의 전력시스템 구성은 계통으로 25,000VAC전압을 590 VAC로 변환시켜주는 주변압기, 입력 590VAC를 DC 출력 950VDC로 변환시켜주는 PWM 컨버터, LSM에 추진력을 발생시키는 인버터로 구성된다. [그림 2.6.63]은 차량을 추진시켜주기 위한 시스템 구성을 나타낸 것으로 중앙 관제시스템에서 초고속 자기부상열차의 속도 및 토크를 조절하도록 되어져 있다.

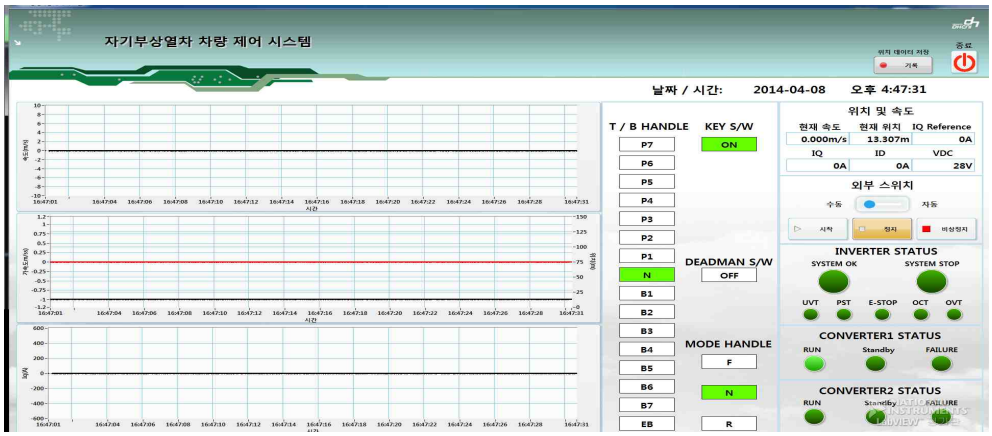
추진 전력시스템은 관제시스템에 전력시스템 정보를 제공하며, 전력시스템의 정상 기동시 추진인버터 시스템에 운전자의 조작에 따라 추진 준비신로를 전송한다. 추진인버터는 차량으로 부터 차량위치신호를 전달받아 이상이 없는 경우 추진준비 완료신호를 전송한다. 운전자가 추진레버를 조작하거나, ATO 자동운전을 시작하는 경우 차량 자속위치정보를 차량으로부터 무전으로 입력받아 차량의 자속과 동기된 LSM위상 전류를 가이드웨이의 LSM 권선에 공급하여 차량에 추진력을 발생시킨다. 차량 운행 또는 시스템 대기상태중 지락사고 발생시 SCADA 시스템은 가이드웨이 지락신호를 검출받아 관제시스템에 전송하여 추진시스템의 동작유무와 관계없이 정지시키고, 해당 차단기를 모두 차단하여 인체 위해 및 검수고설비에 2차 사고를 방지하도록 조치하게 된다.



[그림 2.6.63] 추진인버터 전류제어기 특성시험

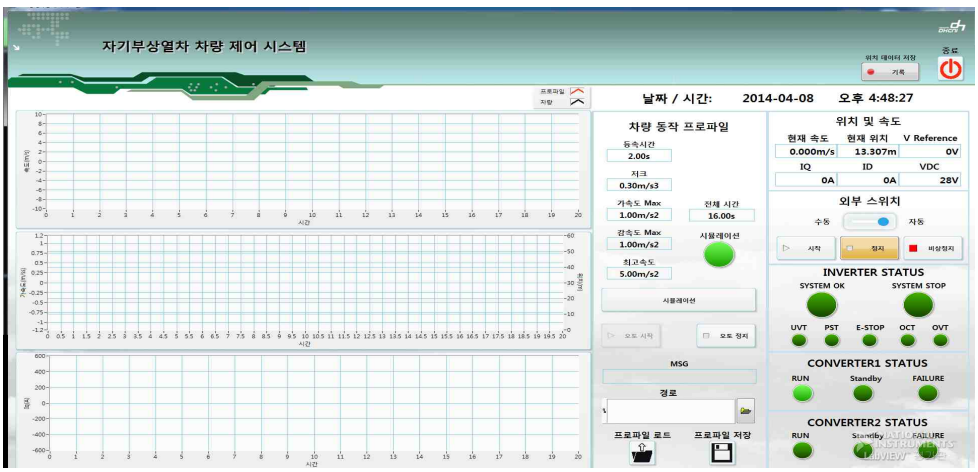
[그림 2.6.64]는 관제시스템 추진제어 모니터링 시스템 제어환경을 나타낸다. 모니터링시스템은 차량의 각종 시스템 정보뿐만 아니라 부상, 착지, 도어 컨트롤 등이 가능하다. 추진제어 시스템 모니터링에는 차량의 현재위치, 현재속도, LSM의 지령전류 및 현재 Iqs, Ids 전류, 추진인버터 DC전압이 현시되고 있으며, 인버터 및 컨버터의 상태 모니터링도 가능하다.

LSM의 추진력 제어는 두 가지 방식으로 한가지는 마스콘에 의한 메뉴얼 제어와, 자동운전에 의한 ATO 운전제어가 있다. 마스콘에 의한 LSM의 추력은 추진방향쪽 7단계와, 역방향쪽 7단계 추진력 제어가 가능하며, 비상시 E8모드에서는 차량의 비상착지를 유도하여 차량을 강제정지시키는 기능이 있다.



[그림 2.6.64] Manual 제어모드

[그림 2.6.65]는 차량의 자동운전모드에 대하여 기술한다. 차량의 자동운전은 속도제어를 통해 이루어지며 차량의 승차감 및 운전최대속도, 이동거리 등을 감안하여 다음과 같은 차량 운전입력정보를 필요로 한다. 차량 운전 프로파일작성을 위한 세부 항목으로는 차량의 등속시간, 저크한계, 가속도, 감속도, 최고속도이다. 이에 대한 정보 입력후 시뮬레이션 버튼을 클릭하면 차량 속도 주행패턴이 생성되며, 오토시작 버튼을 클릭하면 차량의 속도 프로파일에 따라 운전하게 된다.



[그림 2.6.65] ATO 제어모드

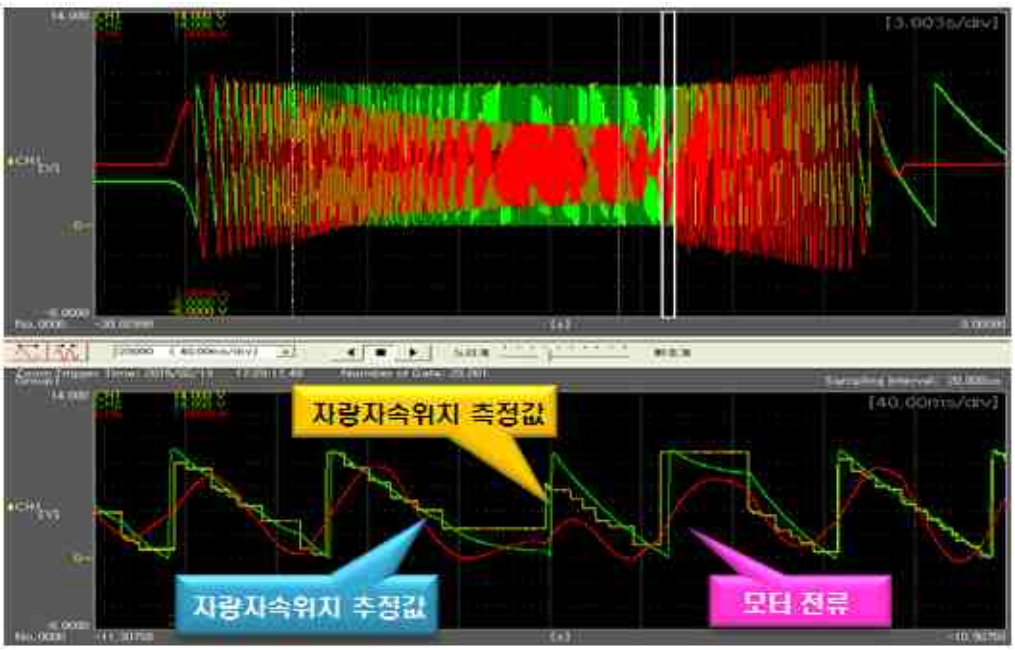
(2) LSM 추진 알고리즘 실험

LSM에 의해 추진되는 자기부상철도 시스템은 차량의 추진력 제어를 위해 차량의 자속위치와 동기된 위상정보를 추진인버터에 의해 제어한다. 즉, 차량에서 수집된 차량 위치정보는 차량 통신시스템을 통하여 지상 추진인버터에 전달하게 되고, 이를 기반으로 추진인버터는 차량에 필요한 전류위상을 연산하여 추진전류를 제어한다. 따라서, 차량으로 부터 수집된 차량의 위상정보는 매우 정밀하고 위치신호 지연이 없는 정보가 필요하나, 통신에 의한 신호전달의 특성상 차량의 위치정보 업데이트 주기가 늦고, 시간지연 및 통신장애에 의한 수집정보 왜곡 등이 발생된다. 따라서 추진인버터를 차량으로부터 수집된 위치정보를 기반으로 차량의 전류위상값을 정밀하게 추정할 필요가 있으며, 이를 위한 여러가지 연구들이 진행되고 있다.

본 연구에서는 차량 시스템 상태방정식을 기반으로 하는 차량자속위치 위치 추정기를 개발하여 활용하였다. 위치 추정기의 입력정보로는 차량 토크, 차량 위치정보이며, 자속위치 추정기의 출력으로는 차량 속도, 차량위치, 차량의 부하토크 등이 있다.

[그림 2.6.66]은 차량으로부터 2msec 마다 수신된 차량자속위치 정보를 기반으로 차량을 최고속도 7m/s로 주행시킨 경우, 추진인버터 시스템 각부의 출력을 나타내고 있다. 출력파형은 각각 차량 자속의 위상 정보값(Yellow), 차량자속위치 추정값(Green) 및 LSM의 U상 전류(Red)를 나타낸다. [그림 2.6.67]으로부터 차량 최고속도영역에서 차량 자속위치정보(Yellow)가 불연속적으로 발생되었으며, 이 때 LSM의 U상 전류(Red)가 왜곡되는 것을 확인할 수 있다.

[그림 2.6.67]은 추진제어기의 차량 자속위치 추정기 정보를 기반으로 차량을 최고속도 7m/s로 주행시킨 경우 추진인버터 시스템 각부의 출력을 나타내고 있다. 출력파형 정보는 [그림 2.6.66]과 같으며, 차량 최고속도영역에서 차량 자속위치정보(Yellow)가 불연속적으로 발생되고 있음을 알 수 있다. 이 때 차량 자속위치 추정기의 자속위상각 신호는 미소의 변형된 상태에서 선형적으로 발생되고 있어 LSM의 U상 전류(Red)가 왜곡되지 않고 정현파로 발생되는 것을 확인할 수 있다.



[그림 2.6.66] 차량 주행시 전류(바코드 적용)



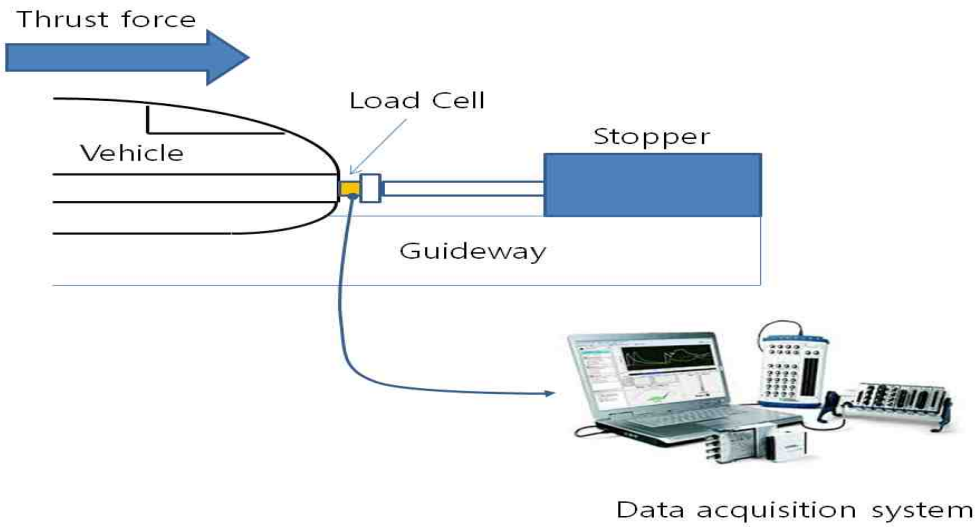
[그림 2.6.67] 차량 주행시 전류(위치추정기 적용)

(3) LSM 형식시험 결과

(가) LSM 추진력 시험

LSM 추진력 시험은 초고속 자기부상철도의 설계 사양에 대한 추진제어시스템의 성능 검증을 위해 초고속 자기부상철도 시스템 기본 사양에 명시된 최고 추력, 단거리 시험선내에서의 최고속도 및 최고 가(감)속도 성능을 검증하는데 있다. 초고속 자기부상열차의 면 마찰식 제동 성능시험은 오송에 위치한 한국철도시설공단 시설장비사무소 부지 내 초고속 자기부상철도 단거리시험선에서 수행하였다. 시험 방법은 평

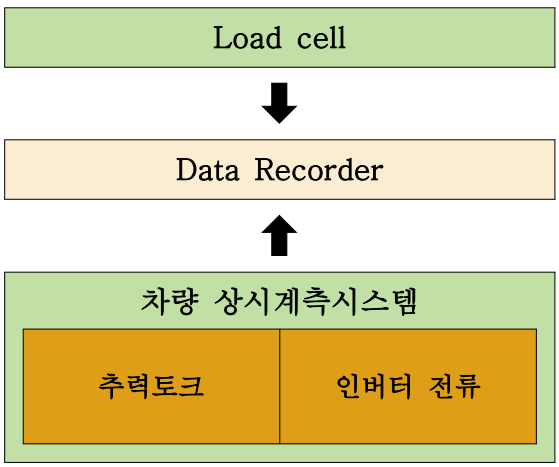
탄하고 직선인 선로에서 실시하며, 시험회수는 최고주행속도에서 2회 이상 실시하는 것을 원칙으로 하며, 필요에 따라 다르게 적용하였다. 시험차량은 개발 중인 1량을 기준으로 하며, 공차 또는 만차 하중에 대하여 수행하도록 하였다.



[그림 2.6.68] 추진인버터 추력시험

LSM 추진시스템의 추력 측정 항목은 인버터로 입력되는 전압 및 전류, 지상 1차 선형동기전동기 출력 전류의 순시치 및 실효치, 견인력 지령치 및 연산 토크, 로드셀 출력값이다. [그림 2.6.68]은 LSM 추진시스템 추력 측정을 위한 시험세트 구성도를 나타낸다. LSM의 최대 추력을 측정하기 위해서 차량과 스토퍼 사이에 로드셀을 설치하였다. 로드셀은 정격 측정치가 100kN으로 측정하고자 하는 추력토크 24kN에 충분한 측정여유가 있다.

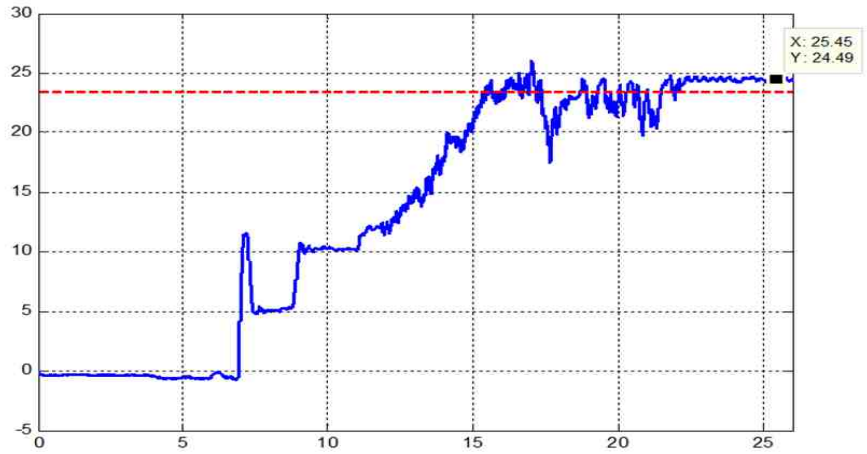
추진인버터 전류제어기 특성시험은 [그림 2.6.69]과 같은 흐름도로 나타낸다. 1축 로드셀의 엠프로부터 출력된 신호값은 데이터 레코드 시스템의 아날로그 입력측에 접속하여 데이터 취득장치로 입력을 받는다. 취득된 장치는 시험 시작부터 기록하여 시험이 종료되는 순간까지의 데이터를 저장한다.



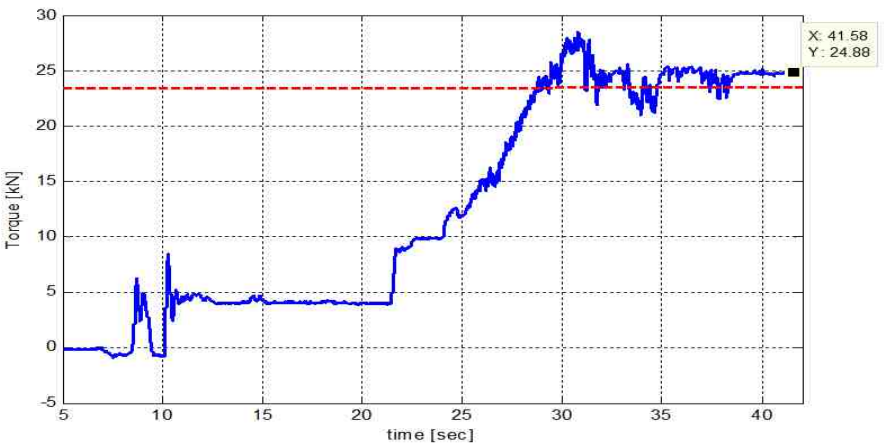
[그림 2.6.69] 추진인버터 전류제어기 특성시험

최고추력 측정 시험방법은 우선 차량을 가이드웨이 한쪽 측면으로 위치시킨 후 차량과 stopper사이에 차량 추력 측정용 로드셀을 설치하였다. 그리고 추진인버터의 출력 실효치를 정격값이 되도록 증가시키며 위의 측정항목을 기록하였다. 회전좌표계 q 측 추진전류값이 실효치 정격전류의 최대값이되면 3초 이상의 일정시간 이후 추진인버터의 추력 토크를 확인하고 감소시킨다. 추진인버터의 정격 전류인가 시 추력토크는 정상상태가 되어야 하며, 시험은 3회 실시하고 시험결과는 모두 기준치를 만족해야 한다.

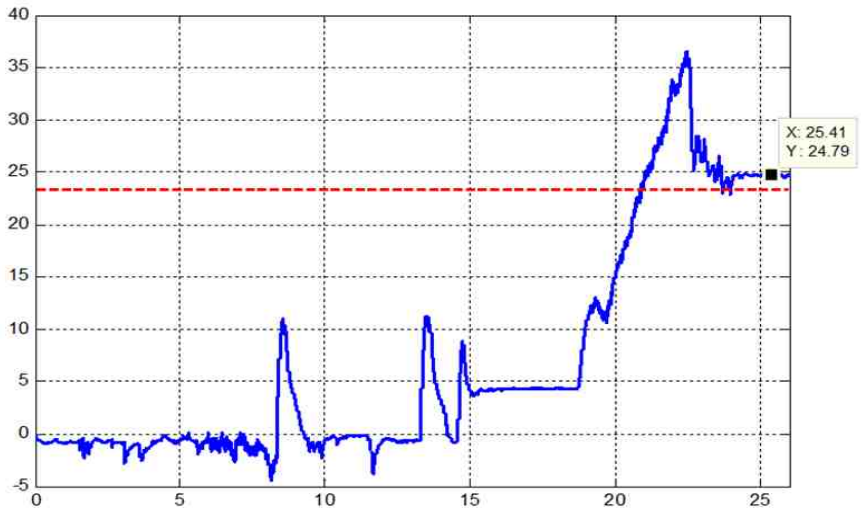
LSM 추력시험의 판정기준은 측정된 최고 추력값은 연구개발사업의 설계사양인 23.7kN(단위마그넷모듈당 : 3.92kN)을 만족시켜야 한다. [그림 2.6.70]~[그림 2.6.72]는 3차례 LSM 추진시험을 실시한 후 취득된 추력토크 결과이다. 시험의 최대 정적 추력토크는 각각 24.49kN, 24.88kN 및 24.79kN이다. 이 값은 설계값인 23.7kN에 매우 근접한 값으로 LSM은 설계치와 매우 가깝게 제작되었다는 것을 의미하며, 다소의 오차는 차량의 중량이 실제 설계치 중량과 다소 상이하여 LSM의 추진력을 결정하는 마그넷 자속값에 오차가 발생되어 나타난 것으로 추정된다.



[그림 2.6.70] 추진인버터 1차 추력시험



[그림 2.6.71] 추진인버터 2차 추력시험



[그림 2.6.72] 추진인버터 3차 추력시험

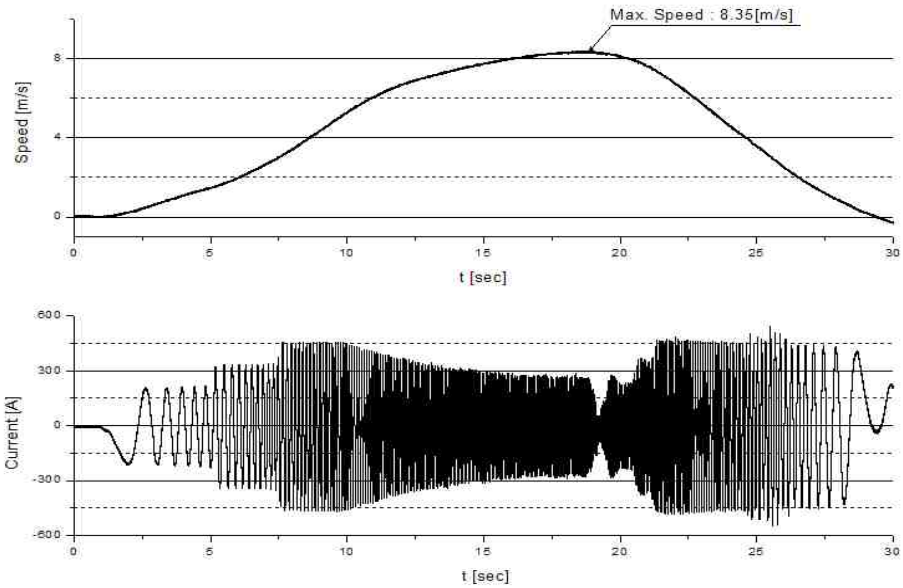
(나) 최고속도 측정

단거리 시험선은 총연장 150m의 길이이며, 가이드웨이 양끝단 스토퍼 및 검수고 기지내 절연 구간을 고려하면 실제 유효한 주행거리는 130m 내외이다. 따라서 차량 설계 최고 가속도인 1.1m/s^{2}으로 가감속을 수행하는 경우, 달성 최고 속도는 대략 8m/s이므로 이를 성능평가를 위한 최고속도 목표값으로 설정하였다.

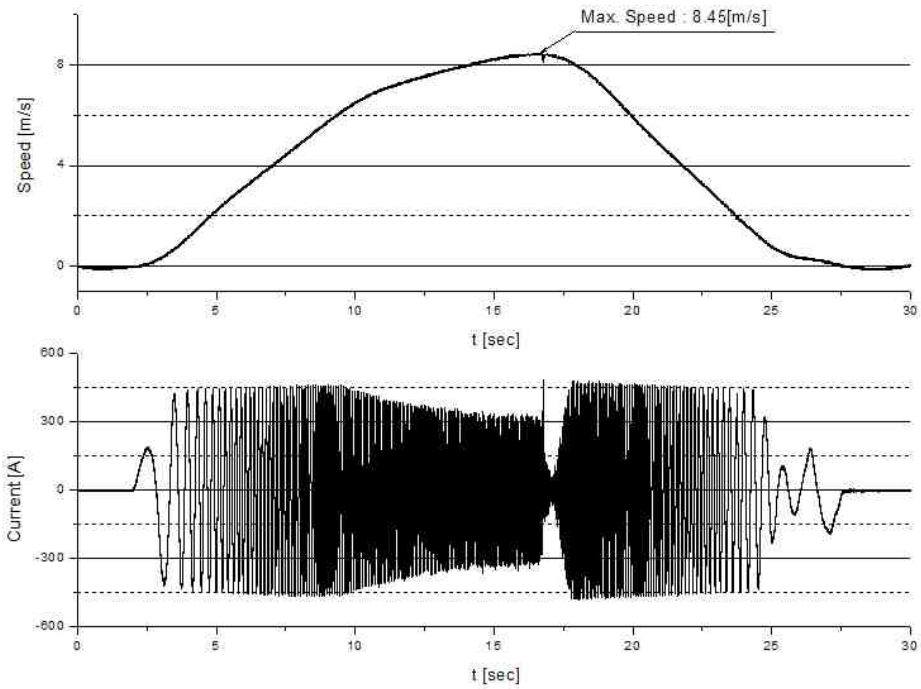
다음은 차량 최고속도 측정을 위한 측정 절차를 나타낸다. 첫째로 차량 주행 속도 프로파일을 단거리시험선 최고속도(8m/s)까지 설정하여 차량을 가속시키며, 위의 측정항목을 기록한다. 둘째, 차량의 최고속도 도달을 확인한다. 셋째 최고속도 주행 중 각 기기의 동작 및 상태가 정상적이어야 하며, 주행 최고속도시험은 3회 실시하며, 시험결과는 모두 기준치 8m/s 이상를 만족하여야로 한다.

최고 속도 측정 시험시 주요 측정항목으로는 인버터로 입력되는 전압 및 전류, 지상 1차 선형동기전동기 출력 전류의 순시치 및 실효치, 견인력 지령치 및 연산 토크, 차량의 주행속도 및 차량의 주행거리이며, 실제 기록된 표현된 데이터는 측정 값중 속도와 LSM의 U상전류만을 도식하였다.

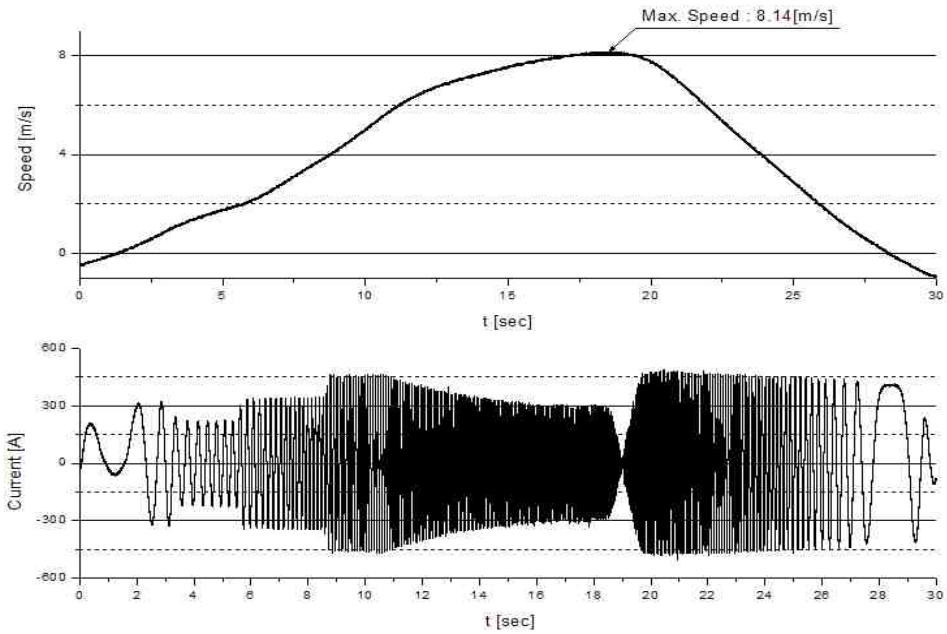
[그림 2.6.73]~[그림 2.6.75]은 3차례 차량 최고속도 추진시험을 실시한 후, 취득된 속도 및 LSM의 u상 출력전류를 나타내고 있다. 시험의 최대 속도는 각각 8.35m/s, 8.45m/s 및 8.14m/s이다. 이 값은 시뮬레이션에서 검토한 목표값이 8m/s를 초과하는 값으로 목표 속도를 달성함을 알 수 있다. 차량의 가속도는 속도가 증가함에 따라 감소되는 것을 볼 수 있으며 이는 차량 주행에 따른 차량 역기전력 발생 및 차량 주행 속도 증가에 따른 LSM 출력전류의 주파수 증가가 의한다. 따라서 추진 토크전류는 속도의 2배에 반비례하여 감소한다.



[그림 2.6.73] 1차 최고속도 시험시 차량 속도 및 LSM u상 전류



[그림 2.6.74] 2차 최고속도 시험시 차량 속도 및 LSM u상 전류

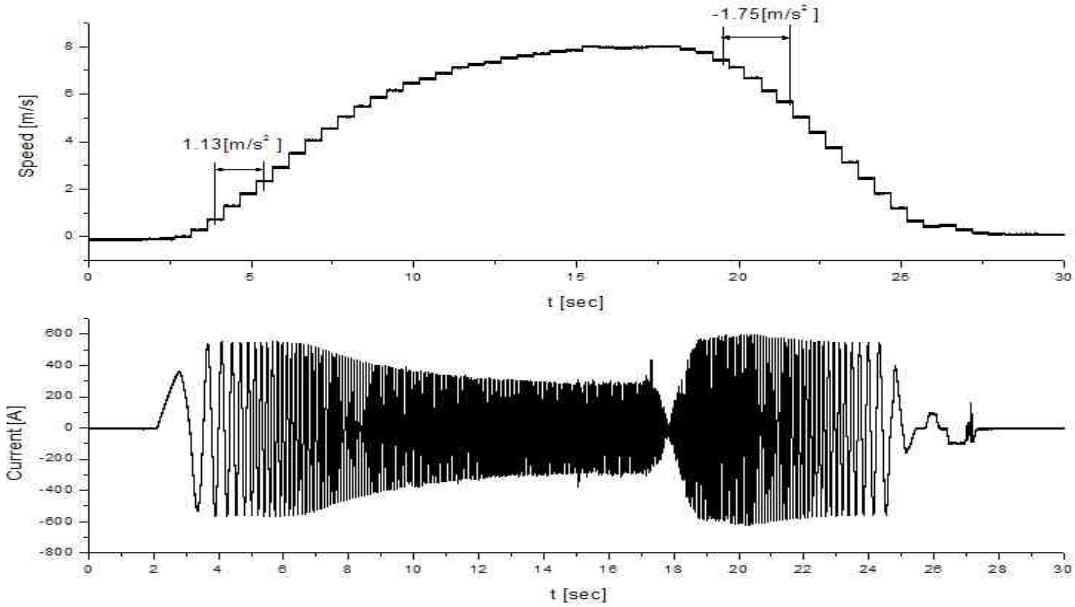


[그림 2.6.75] 3차 최고속도 시험시 차량 속도 및 LSM u상 전류

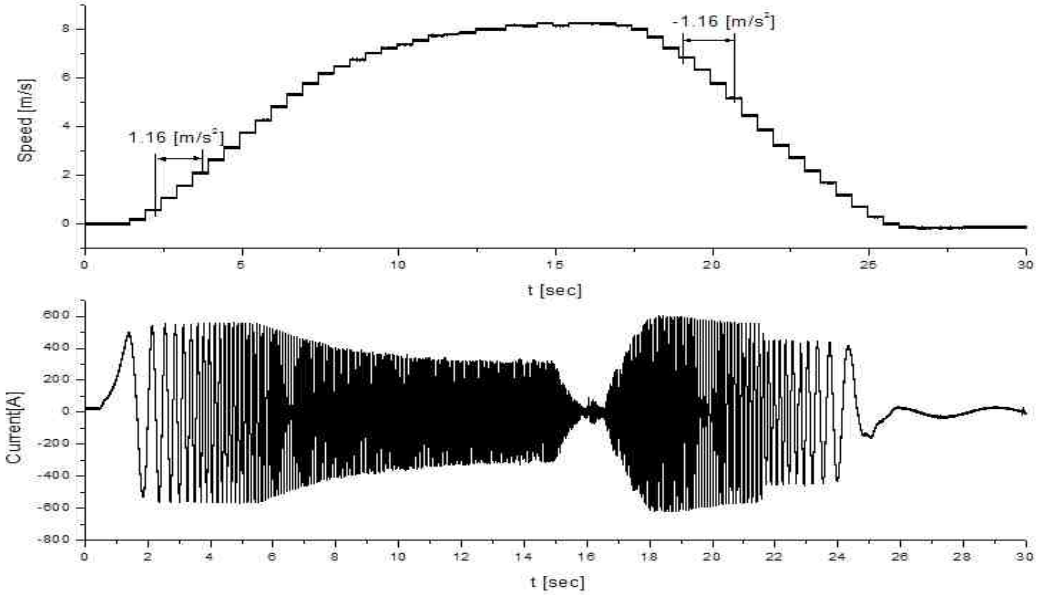
(다) 최고 가(감)속도 측정

차량의 최대 토크는 차량 가감속 특성과 관계가 있다. 차량의 가감속 특성을 향상시킬 경우 차량 운영 측면에서 차량 헤드웨이를 최소화할 수 있어 운행밀도를 높일 수 있는 장점이 있다. 자기부상철도차량은 기존 휠레일 방식에 의한 점접촉 추진방식이 아닌 지상 1차 LSM코어와 차량의 부상 마그넷 폴페이스와의 상호작용하는 면적에 따라 추진력이 발생되기 때문에, 높은 가감속도를 얻을 수 있는 것이 장점이다. 본 LSM 추진시스템에 의한 초고속 자기부상철도 차량의 최대 가감속 목표속도는 각각 1.1m/s^{2}이다. 본 시험은 차량의 최고 가감속도를 측정하기 위해 차량을 급가감속시킨 경우 차량의 가감속도가 1.1m/s^{2}이상을 만족시키는지 가감속도를 측정하는 것이다.

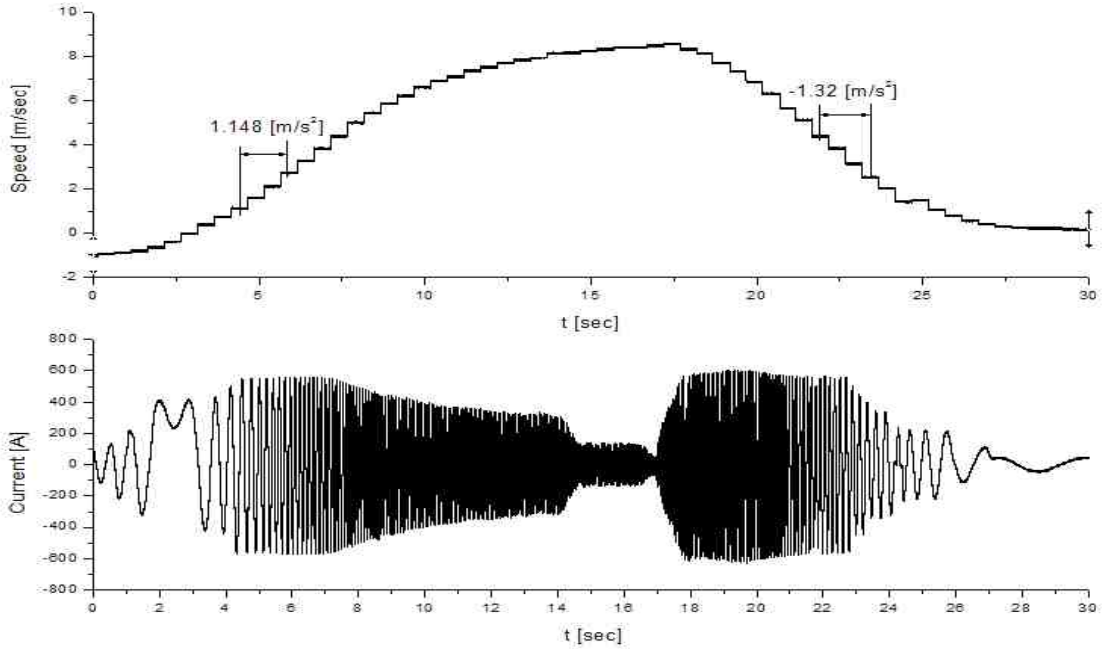
최고 가(감)속도 측정 시험 항목으로는 인버터로 입력되는 전압 및 전류, 지상 1차 선형동기전동기 출력 전류의 순시치, 견인력 지령치 및 연산 토크, 차량의 주행가속도, 차량의 주행속도 등이 있다. 최고 가(감)속도 측정 방법으로는 차량 주행 속도프로파일을 단거리시험선 최고속도까지 설정하고, 차량은 최고토크로 가속시키며, 위의 측정항목을 기록하며, 차량의 최고가(감)속도를 확인한다. 이때 최고속도 주행 중 각 기기의 동작 및 상태가 정상적이어야 하며, 주행 최고가(감)속도시험은 3회 실시하며 시험결과는 모두 기준치를 만족해야 한다.



[그림 2.6.76] 1차 가감속 시험시 속도 및 LSM의 U상 전류



[그림 2.6.77] 2차 가감속 시험시 속도 및 LSM의 U상 전류

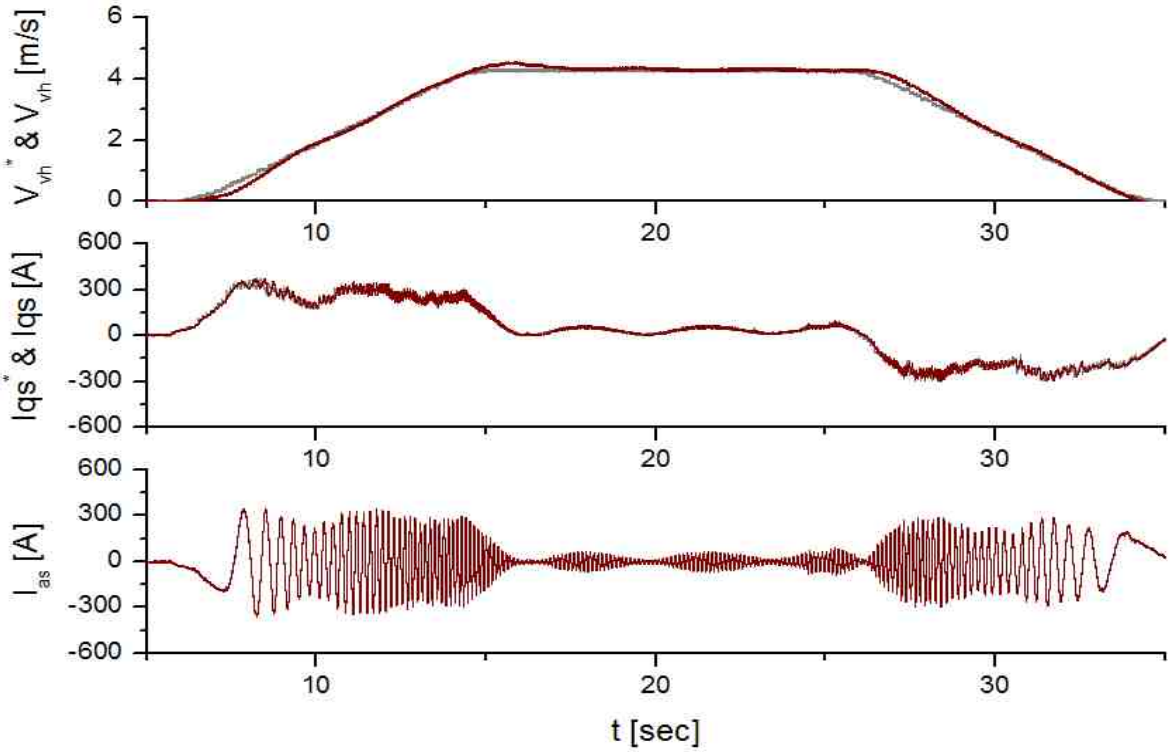


[그림 2.6.78] 3차 가감속 시험시 속도 및 LSM의 U상 전류

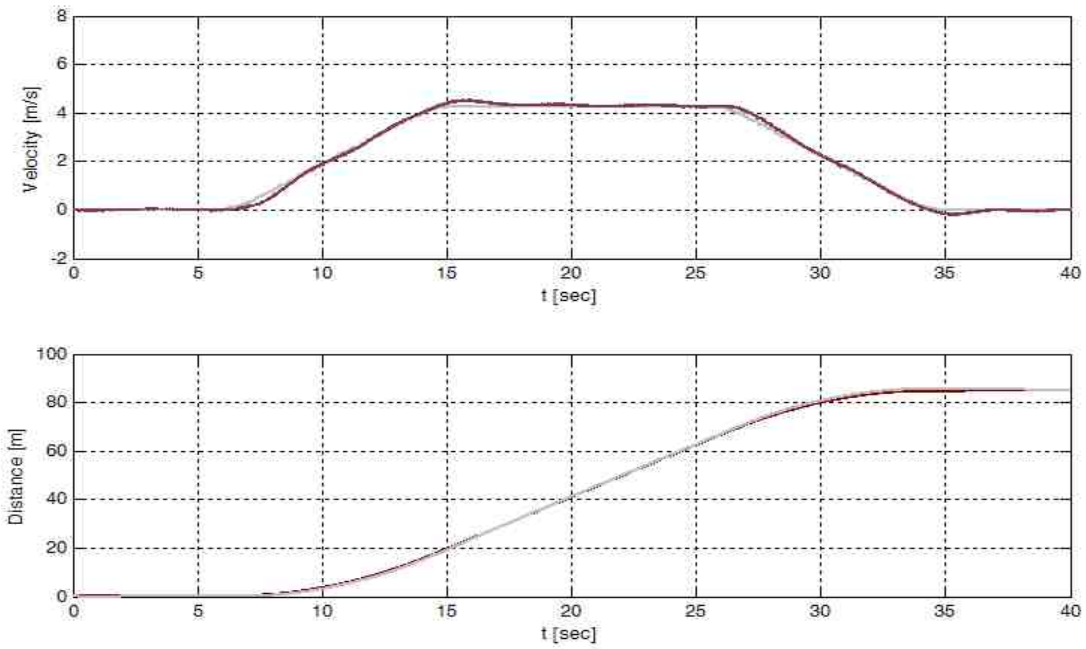
(라) ATO 운전실험

선로 길이가 150m로 유한 길이를 갖는 초고속 자기부상철도 단거리 시험선에서는 차량의 폭주에 의한 스토퍼 충돌을 피하기 위해서 지령 속도 프로파일에 의해 운전되며, 이때의 승차감 만족을 위해 속도프로파일 작성시, 가감속 져크 한계치, 최대속도, 최대가속도를 파라미터로 하여 속도 지령 프로파일을 생성한다. [그림 2.6.79]는 ATO 운전시 속도지령 및 속도, 토크지령 및 토크, U상전류를 나타내고 있으며, 이때 져크 한계치는 0.5m/s^3, 최대속도 4.2m/s, 최대 가속도 0.5m/s^{2}로 설정하였다.

ATO 시험 결과 속도 오차는 5%이내이며, 이때 속도지령 프로파일에 의한 이동거리 및 실제 이동거리는 [그림 2.6.67]에 나타나 있다. ATO운전 오차율을 구하기 위해 실제 이동거리 지령치 및 실제 이동거리는 지령속도와 차량속도를 각각 적분하여 연산된 값을 활용하였다. 연산결과 속도지령 프로파일에 의한 이동거리는 84.78m, 실제 이동거리는 85.22m으로 이동거리 오차율은 0.52% 정도로 나타났으며, 이는 ATO 오차율 계산시 적용되는 이동구간사이에 차량 도착시간 오차율과 유사한 값이 된다. 따라서 해당 시스템의 ATO 오차율은 대략 0.5% 이내에 해당된다.



[그림 2.6.79] ATO 운전시 속도지령 및 속도, 토크지령 및 토크, U상전류



[그림 2.6.80] ATO 운전시 속도지령 및 속도, 이동위치 지령 및 차량 이동위치

제7절 추진인버터장치 개발

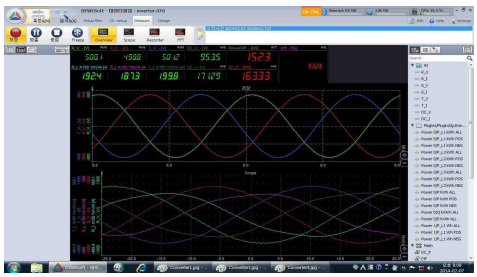
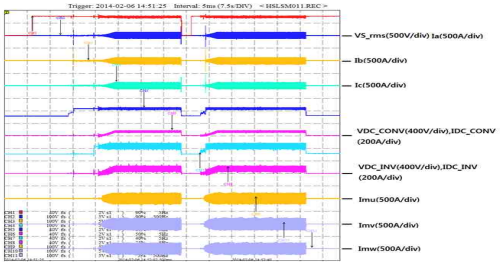
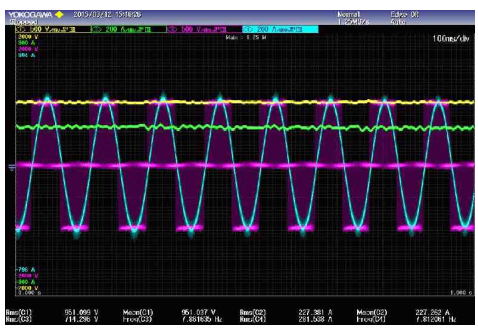
1. 개요

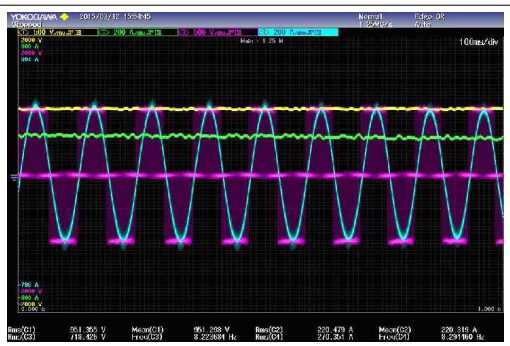
자기부상 변전시스템에서 추진 제어장치(인버터)는 전력 컨버터로부터 넘어온 DC 950V를 입력받아 LSM에 필요한 전압과 전류를 공급하여 운전자가 요구하는 견인력을 발생하기 위한 교류 가변속 장치이다.

2. 목표

초고속 자기부상열차의 추진인버터장치는 전력변환부 신뢰성을 향상시키기 위해 3상 DC/AC 전력변환 시스템의 상태를 지속적으로 모니터링하여 외부환경에 따른 운전 조건에 대해서 항상 높은 안정성과 신뢰성을 보장하는데 그 목적이 있다.

3. 개발 내용 요약

<table>
<tr><td>연구목표</td><td colspan="2">단거리 시험선 LSM 구동용 2레벨 인버터의 제어 알고리즘 연구 및 인버터의 시제품의 제어 특성 확인을 통한 제어 안정성 검증 및 확인</td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="2">▪ 단거리 시험용의 추진 인버터 시제품 제작
▪ 시제품 제작에 의한 컨버터장치와의 연계 시험
▪ 조합시험을 통한 특성 확인 및 단거리 시험선 연계시험</td></tr>
<tr><td>수행과정</td><td colspan="2">▪ 추진 인버터의 등가 회로를 통한 제어 기법 정립
▪ 시제품의 기능 및 성능 확인
▪ 전력컨버터장치와 조합시험 및 단거리시험선에서의 LSM 연계시험</td></tr>
<tr><td rowspan="4">연구결과</td><td colspan="2">▪ 전력 컨버터와의 인버터 장치 조합시험</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>조합시험시
인버터장치효율 (93.26%)</td><td>순간 정전 시험</td></tr>
<tr><td>


단거리 시험선의 인버터 효율
(1회:92.6%)
</td><td>


단거리 시험선의 인버터 효율
인버터장치효율 (2회:92.3%)
</td></tr>
</table>

4. 인버터 장치 개발 내용

가. LSM용 인버터 분석 및 설계

(1) 초고속 자기부상철도의 대용량 인버터 제어

대용량, 고전력의 전력변환부에 적합하도록 3-level NPC type의 인버터가 병렬연결로 사용된다. 이를 위해 3-level NPC type 인버터의 중성점 전압제어를 비롯한 안정적인 구동 알고리즘이 필요하며 효과적인 인버터의 구동을 위해서는 전압벡터 변조기법을 사용하여 효율을 높일 수 있다. 그리고 실제 구현시 DSP의 메모리 여유와 빠른 연산을 위해 지령전압벡터를 수정하여 일반적인 2레벨 인버터의 전압벡터 변조방식으로 표현할 수 있는 간단한 SVPWM 기법을 사용하는 변조방식의 제어가 적합하다.

또한 병렬 연결시 각상의 출력전압 및 전류는 스위칭이 동기 되어야하며, 이를 위하여 제어보드에서 병렬적인 구조로 각 스위치에 신호를 연결할 수 있다. 하지만 낮은 주파수에서 구동시 출력단의 높은 고조파성분의 발생으로 출력품질에 문제를 야기한다. 따라서 이를 보완하기 위해 높은 필터사양이 필요하게 되는데 이를 멀티-레벨(Multi-Level) 전력변환회로의 스위칭기법 중 CPS(Carrier Phase Shift)-PWM으로 병렬연결 된 각각의 전력변환회로에 스위칭 신호를 인가하여 출력파형을 개선할 수 있다. 결국 출력단의 고조파 성분을 저감할 수 있어 필터의 용량 및 가격 문제를 해소할 수 있다.

철도차량의 경우, 다양한 외부 환경에 따른 운전 조건에 대해서 항상 높은 안정성과 신뢰성이 보장되어야 한다. 이에 따라 최근 대용량 3상 DC/AC 전력변환장치의 안정성을 증가시킬 수 있는 방안에 대해 연구가 활발히 진행되고 있다.

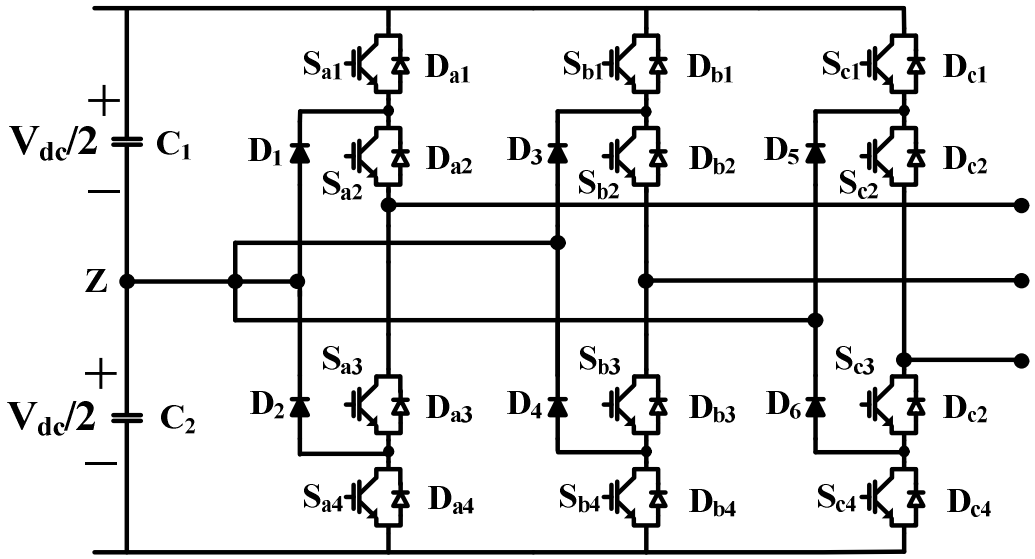
전력변환부 신뢰성을 향상시키기 위해 3상 DC/AC 전력변환 시스템의 상태를 지속적으로 모니터링하여 어떤 고장이 발생하였을 때, 정확한 진단을 내릴 수 있는 진단기법과 고장 상황에서도 시스템을 동작시킬 수 있는 고장 허용기법에 대한 개발이 필요하다. 이러한 고장 진단 및 허용기법은 자기부상형 철도차량과 같은 대용량 시스템에서 더욱 필요성이 대두되는데 시스템 운전시 갑작스러운 고장발생은 경제적, 시간적인 큰 손실이 발생하며, 고속 운전시의 고장은 큰 인명피해를 발생시킬 수 있기 때문이다.

또한 고장 원인을 찾는 작업은 시간과 비용이 많이 드는 일이며 시스템의 구성이 복잡해짐에 따라 그 작업은 더욱 어렵게 된다. 따라서 자기부상형 철도 운전의 고장을 방지하기 위해 정기적인 유지 보수가 필수적이며, 최근 활발히 연구 중인 상태모니터링(condition monitoring)과 초기 고장 검출 기술(incipient fault detection technology) 등을 적용하여 갑작스런 전력변환부의 고장을 사전 예방하고 큰 사고로의 발전을 방지할 수 있다.

(2) LSM 구동 알고리즘

NPC 3-레벨 DC/AC 전력변환 시스템의 전체 구성이다. NPC 3-레벨 DC/AC 전력변환 시스템은 2개의 직류단 커패시터, 12개의 전력반도체 스위치 그리고 6개의 클램핑 다이오드로 구성되어 있다. 클램핑 다이오드는 직류단의 중성점과 연결되어 중성점을 클램핑 하고 각 레그의 4개의 전력반도체 스위치는 각각 N, O, P-전압벡터를 구현한다. 각 레그에 전력반도체 스위치가 4개이기 때문에, 스위치의 전압 내량은 직류

단 전압의 절반이 되어 고전압 시스템 적용에 유리하고 중성점의 클램핑되어 출력 극 전압이 3-레벨의 파형을 가지기 때문에 출력 THD특성이 우수하다.



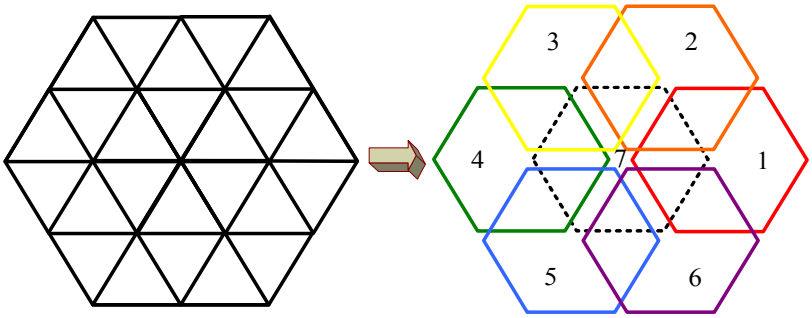
[그림 2.7.1] NPC 3-레벨 DC/AC 전력변환 시스템

(가) 전압변조기법 개발

3-레벨 인버터의 공간전압벡터의 변조시에는 동일한 전압지령 벡터를 나타낼 수 있는 전압벡터들의 조합이 다양하기 때문에, 전압지령벡터가 위치하는 영역에 따라 시간 계산식이 달라진다. 이로 인하여 실제 스위칭 구현시 시퀀스를 미리 테이블화 하여 저장하고 지령벡터의 위치에 따라 시간계산을 수행해야 한다. 이는 복잡한 계산과정과 많은 계산시간을 요구한다. 따라서 본 과제에서는 3레벨의 공간전압 다이어그램을 7개의 2레벨 공간전압 벡터 다이어그램의 조합으로 분류하고 지령전압벡터를 수정하여 일반적인 2레벨 인버터의 전압벡터 변조법으로 표현할 수 있는 간단한 SVPWM 방법을 사용한다.

① 변조법의 기본원리

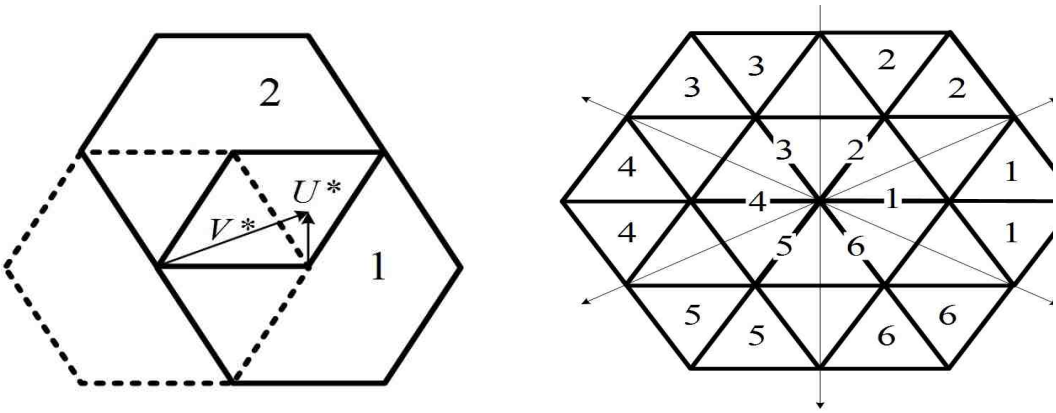
[그림 2.7.2]는 본 과제에서 적용되는 벡터 변조법 사용을 위한 7개의 2레벨 벡터도로 변환하는 방법을 나타낸다. 3레벨 인버터의 벡터도를 구성하는 6개의 외부 육각형은 내부 육각형의 외각 꼭지점을 중심으로 위치한다. 이 6개의 외부 육각형을 내부 육각형으로 Vdc/3만큼 이동시키면 3레벨 인버터의 벡터도를 2레벨 인버터의 벡터도로 변환시킬 수 있다. 변환을 위해서는 먼저 기존지령전압벡터를 포함하는 하나의 외부 육각형을 선택하고 기존의 전압지령벡터에서 선택된 외부 육각형의 중심을 나타내는 전압 벡터의 양만큼을 빼야 한다. 이렇게 2레벨 전압 벡터도로 변환하여 2레벨 공간전압 벡터 변조와 동일하게 시간 계산과 스위칭 시퀀스를 결정한다. 이 때 중첩되는 영역에서의 전압 벡터는 어떠한 벡터를 중심으로 하는 공간 벡터도로 변환하여도 무관하다.



[그림 2.7.2] 3레벨 SVPWM 전압벡터도의 구분

② 전압지령 벡터의 변환

기존지령전압벡터의 변환을 조금 더 자세하게 설명한다. 주어진 기존지령전압벡터의 위치에 의해 3레벨 인버터 벡터도를 이루는 6개의 외부 육각형 중 하나가 선택되는데 이 기존지령전압벡터는 선택된 육각형의 내부에 위치해야 한다. 아래 그림에서 구분하는 6개의 육각형은 S로 표현하고 1부터 6까지 정의한다. 기존지령전압벡터는 아래와 같이 중첩되는 영역에 포함되기도 하는데 이런 경우는 중첩되는 부분을 포함하는 어떤 영역(S=1,2)에 포함시키더라도 같은 출력 전압을 내보낼 수 있다.



(a) 지령전압벡터의 중첩영역 (b) 변환에 필요한 영역구분

[그림 2.7.3] 3레벨 SVPWM 전압벡터도의 영역구분

위 그림과 같이, S의 값이 결정되면 기존전압지령 벡터의 중심을 선택된 외부 육각형의 중심으로 변환하여 2레벨의 새로운 지령전압 벡터를 생성한다.

예를 들면, 전압지령벡터가 중복으로 포함되어 있을 때, 변환에 필요한 S는 1,2 두 가지 값이 가능하다. S값을 1로 선택할 경우에는 기존전압지령 벡터(V^*)를 선택된 영역(S=1)의 중심을 기준으로 하는 새로운 지령전압 벡터(U^*)를 생성하고 그에 따른 유효시간을 계산한다. 다음 표는 기존지령전압벡터를 2레벨 시스템의 지령전압 벡터로 변환했을 때의 지령전압 벡터를 테이블화한 것이다.

[표 2.7.1] 사령 연계 신호 LIST 지령전압 벡터

S	Uas_ref=	Ubs_ref=	Ucs_ref=
1	Vas_ref - Vdc/3	Vbs_ref+Vdc/6	-(Uas_ref+Ubs_ref)
2	Vas_ref - Vdc/6	Vbs_ref-Vdc/6	
3	Vas_ref+Vdc/6	Vbs_ref-Vdc/3	
4	Vas_ref+Vdc/3	Vbs_ref-Vdc/6	
5	Vas_ref+Vdc/6	Vbs_ref+Vdc/6	
6	Vas_ref - Vdc/6	Vbs_ref+Vdc/3	

③ 유효시간의 계산

지령전압을 선택된 S에 따라 새로 정의하면 유효시간은 2레벨 SVPWM에서와 같은 방법으로 계산한다. 유효시간을 계산할 때 2레벨 SVPWM과 3레벨 SVPWM의 차이점은 factor 2가 곱해진다는 것이다. 이는 기존지령전압벡터의 변환 후 표현되는 새로운 전압지령 벡터를 나타낼 때 사용되는 유효벡터의 전압 크기가 기존보다 절반으로 줄어들기 때문이다. 그러므로 유효시간을 계산할 때는 아래 식과 같이 factor 2를 곱하여 구한다.

$$T_a = 2 \times U_{as\_ref} \times T_{samp} / V_{dc} \tag{2.7.1}$$

$$T_b = 2 \times U_{bs\_ref} \times T_{samp} / V_{dc} \tag{2.7.2}$$

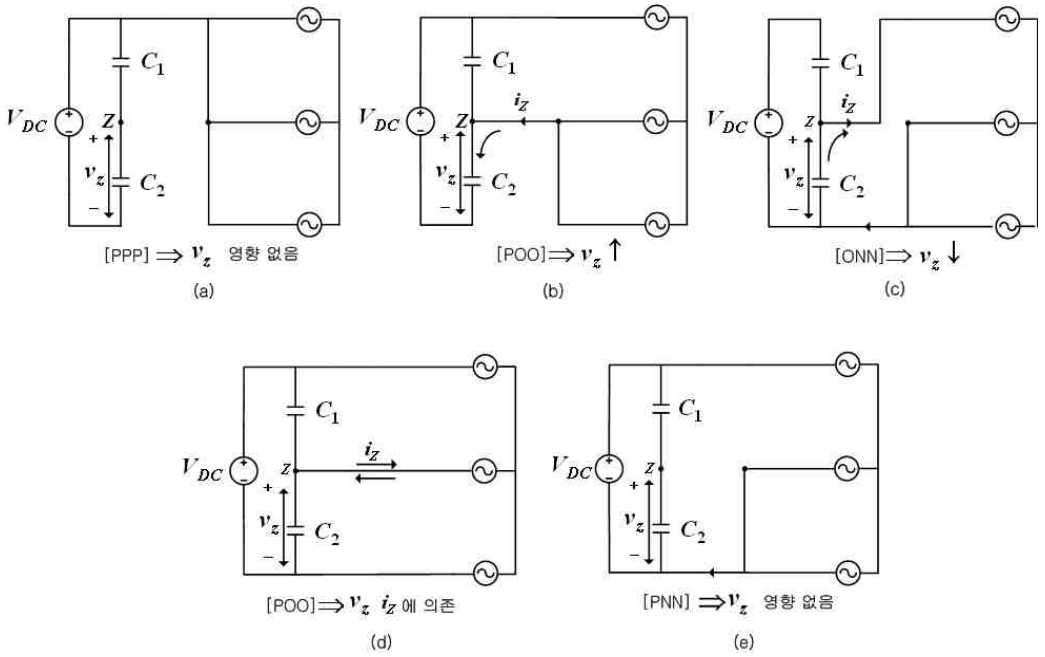
$$T_c = -(T_a + T_b) \tag{2.7.3}$$

유효시간이 계산되면 그에 따라 스위칭 시퀀스도 결정되어야 한다. 스위칭 시퀀스는 S값에 의해 자동으로 결정된다. 선택된 육각형의 기준 전압을 기준으로 스위칭 시퀀스는 일반적인 2레벨 인버터 시스템에서와 동일하게 선정한다. 예를 들어 [그림 2.7.3]에서 섹터I-2에 지령전압이 존재할 때의 스위칭 시퀀스는 2레벨 인버터 시스템과 같은 (POO) - (PON) - (OON) - (ONN)이다.

(나) 중성점 전압제어

① 중성점 전압에 대한 전압벡터의 영향

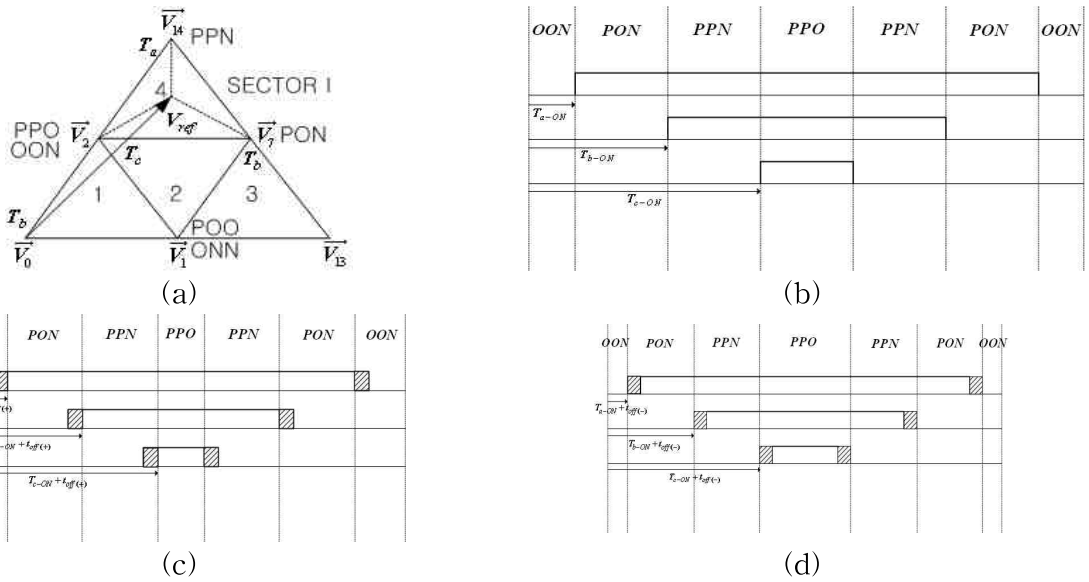
3레벨 인버터는 스위칭 상태에 따라 27가지의 전압벡터가 존재하며, 이를 크기에 따라 영, 작은, 중간, 큰 전압벡터로 전압 벡터로 나눌 수 있으며, 이 전압벡터들은 중성점 전압에 영향을 준다. [그림 2.7.4]는 전압벡터에 따른 중성점 전압의 변화를 보여준다.



[그림 2.7.4] 전압벡터에 대한 중성점 전압의 영향
(a) 영 전압벡터, (b) P-type 작은 전압벡터,
(c) N-type 작은 전압벡터 (d) 중간 전압벡터, (e) 큰 전압벡터

[그림 2.7.4]의 (a)는 영 전압벡터일 때의 계통연계 인버터를 나타내며 3상 모두 (+)직류 단에 연결되어 있으므로 중성점 전압에 영향을 주지 않는다. 작은 전압벡터는 다시 P-type과 N-type 작은 전압벡터로 나눌 수 있으며, [그림 2.7.4]의 (b)는 P-type 작은 전압벡터일 때를 나타낸다. 모든 상이 (+) 직류단과 중성점에 연결되어 있어 중성점 전류가 중성점으로 흘러 들어가며 이는 하단의 커패시터 전압을 상승시킨다.

이와 반대로 N-type 작은 전압벡터일 때의 인버터를 살펴보면, 3상이 중성점과 (-)직류 단에 연결되어 있어 중성점 전류는 중성점에서 흘러나오며, 이는 하단의 커패시터 전압을 감소시킨다. N-type 작은 전압 벡터일 때의 인버터는 [그림 2.7.4]의 (c)에 나타나있다. [그림 2.7.4]의 (d)와 같이 중간 전압벡터 역시 중성점 전압 변동에 영향을 주지만 이는 중성점 전류의 방향에 따라 결정되므로 정의할 수 없다. [그림 2.7.4]의 (e)와 같은 큰 전압벡터 또한 직류 단 양 단에 모든 상이 연결되어 있으므로 중성점 전압에 영향을 주지 않는다.



[그림 2.7.5] 시간오프셋에 따른 N-type, P-type small 전압벡터 인가시간의 변화
(a) 지령전압 벡터, (b) 시간오프셋이 없을 때의 스위칭 상태,
(c) 양의 시간오프셋을 추가하였을 때의 스위칭 상태,
(d) 음의 시간오프셋을 추가하였을 때의 스위칭 상태

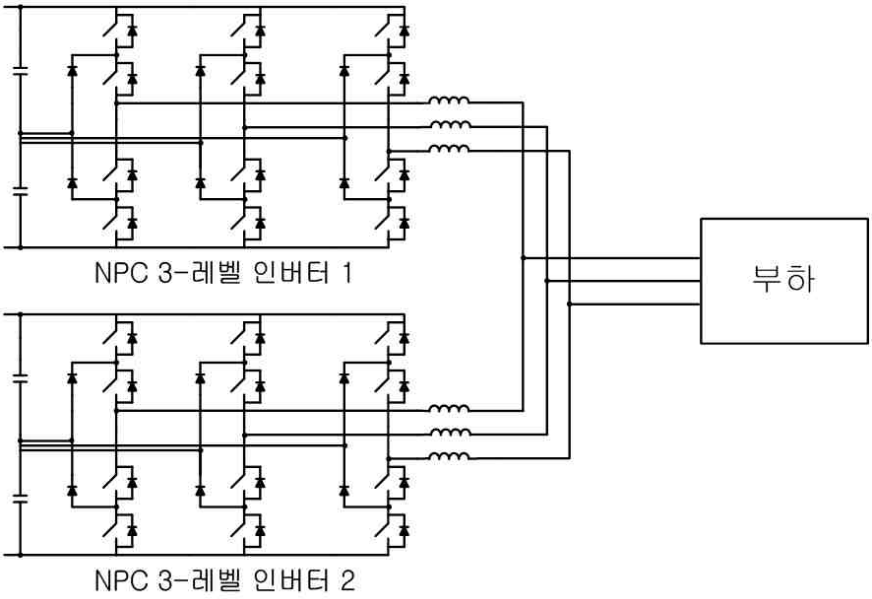
② 시간오프셋에 따른 중성점 전압의 변화

앞의 설명과 같이 작은 전압 벡터가 중성점 전압의 변화에 영향을 주며, 중성점 전압을 균일하게 유지하기 위해서는 이 P-type 작은 전압벡터와 N-type 작은 전압벡터의 인가시간이 같아야 한다. 이는 다시 말하면 중성점 전압의 불균형이 발생하였을 경우, 이 두 전압벡터의 인가시간을 조절함으로써 중성점 전압을 제어할 수 있다는 것을 의미한다.

이 두 전압벡터의 인가시간은 스위치 ON시간에 시간오프셋을 추가함으로써 조절 가능하며, 이는 [그림 2.7.5]에 나타나 있다.

(다) 병중렬운전기법

자기부상형 철도차량의 구동장치는 고내압 고전력 시스템으로 전력변환 시스템 설계에 어려움이 따른다. 따라서 [그림 2.7.6]과 같이 두 개 이상의 전력변환회로를 발전기와 계통 사이에 병렬로 연결함으로써 각각의 전력변환시스템 용량을 작게 설계할 수 있다. 이러한 병렬로 연결된 2개 이상의 전력변환회로를 스위칭 하는데 각 스위칭신호를 동일하게 할 수도 있으나 이것은 낮은 스위칭 주파수 하에 출력단의 높은 고조파를 야기하여 출력의 품질을 떨어뜨리고 높은 필터사양을 요구하게 된다. 이때 멀티-레벨(Multi-Level) 전력변환회로의 스위칭 기법 중 하나인 CPS(Carrier Phase Shift)-PWM을 통하여 각각의 전력변환회로에 스위칭신호를 인가하면 출력파형을 개선하고, 출력의 고조파를 저감할 수 있어 결과적으로 필터의 용량과 가격을 줄일 수 있다.



[그림 2.7.6] 자기부상형 철도차량 구동시스템

(라) NPC 3-레벨 DC/AC 전력변환 장치의 개방성 고장진단

① 스위치 고장에 따른 평균 상 전류값의 변화

측정된 3상전류(i_a,i_b,i_c)를 정지 좌표계(i_α,i_β)로 변환한 전류를 이용하여 식 2.7.4과 같이 표준화한다.

$$
\begin{aligned}
i_\alpha &= \frac{2}{3} i_a - \frac{1}{3}(i_b + i_c) \\
i_\beta &= \frac{1}{\sqrt{3}}(i_b - i_c) \\
\left|\overline{i_s}\right| &= \sqrt{(i_\alpha)^2 + (i_\beta)^2} \\
i_{xN} &= \frac{i_x}{\left|\overline{i_s}\right|} \times 10 \qquad x = a, b, c
\end{aligned}
\tag{2.7.4}
$$

위의 식 2.7.4을 통해 10A로 표준화된 3상 전류의 평균값은 아래 식을 이용하여 구한다.

$$
i_{xN-avg} = \frac{1}{T}\int_0^T i_{xN}\, dt \tag{2.7.5}
$$

고장이 발생하지 않으면 전류파형은 정현파이므로 그 평균값은 0이 된다. 하지만 스위치에 고장이 발생하면 전류파형에 왜곡이 발생하게 되고 표준화된 전류의 평균값은 0이 아닌 값을 갖게 된다. SX1, SX2스위치에 고장이 발생하면 고장이 발생한 상의 양의 전류에 왜곡이 발생하므로 그 상의 표준화된 전류의 평균은 음의 값이

되며 다른 상의 평균 전류는 양의 값이 된다. 반대로 SX3, SX4스위치에 고장이 발생하면 고장이 발생한 상의 음의 전류에 왜곡이 발생하므로, 그 상의 표준화된 전류의 평균은 양의 값이 되며, 다른 상의 평균 전류는 음이 된다.

② 스위치 고장에 따른 캐패시터 전압의 변화

공간 전압벡터는 그 크기에 따라 영, 작은, 중간, 큰 전압벡터로 나눌 수 있다. 이 중에서 중성점 전압에 영향을 주는 벡터는 작은 전압벡터와 중간 전압벡터이다. P형 작은 전압벡터는 중성점 전압을 증가시키며 N형 작은 전압 벡터는 중성점 전압을 감소시킨다. 중간 전압벡터는 전류의 방향에 따라 중성점 전압을 증가 혹은 감소시킨다.

- SX1스위치 고장

  SX1에 개방성 고장이 발생하면 P 스위칭 상태가 불가능하다. 레그 A에 고장이 발생하였다고 가정한다면 P형 작은 전압벡터 [PPO], [POO], [POP]가 불가능 하고 N형 작은 전압벡터는 모두 가능하므로 VDC1의 전압 이 VDC2의 전압보다 크게 된다.
- SX2스위치 고장

  양의 전류가 흐를 경우 O 스위칭 상태는 불가능하지만 음의 전류가 흐를 경우에는 SX3스위치와 DX2다이오드를 통하여 전류가 흐를 수 있으므로 O 스위칭 상태가 가능하다. 레그 A의 Sa2스위치에 고장이 발생 하였다고 가정한다면 P형 작은 전압벡터는 모두 가능하지만 N형 작은 전압벡터 [ONN], [OON], [ONO]는 불가능하므로 VDC1의 전압이 VDC2의 전압보다 작게 된다.
- SX3스위치 고장

  음의 전류가 흐를 경우 O 스위칭 상태는 불가능하지만 양의 전류가 흐를 경우에는 SX2스위치와 DX3다이오드를 통하여 전류가 흐를 수 있으므로 O 스위칭 상태가 가능하다. P형 작은 전압벡터 [OPO], [OPP], [OOP]가 불가능하므로 VDC1의 전압이 VDC2의 전압보다 크게 된다.
- SX4스위치 고장

  SX4에 개방성 고장이 발생하면 N 스위칭 상태가 불가능하다. 레그 A에 고장이 발생하였다고 가정한다면 P형 작은 전압벡터는 모두 가능하고 N형 작은 전압벡터 [NON], [NOO], [NNO]가 불가능하므로 VDC1의 전압이 VDC2의 전압보다 작게 된다.

③ 표준화된 전류의 평균값과 전압차를 이용한 고장진단

NPC 3-레벨 인버터의 개방성 고장진단의 절차는 다음과 같다.

- 표준화된 전류의 평균 값 계산
- 전류의 평균값을 이용하여 고장난 레그를 판별하고 (SX1, SX2) 혹은 (SX3, SX4) 스위치 중에 고장이 발생 하였는지 판별
- 총 전류가 정격전류를 넘지 않도록 음의 무효전류를 추가적으로 주입

▪ 커패시터 전압 차이를 측정하여 고장난 스위치의 위치 판별

고장진단에 사용되는 변수는 식 2.7.6과 같은 조건에 의해서 정의되며 ixN_avg_th, Vdif_th는 제안하는 방법의 신뢰도를 향상시키기 위해 설정한 임계값이다.

$$\begin{aligned} &i_{xN\_avg} > i_{xN\_avg\_th} && :\mu_x = 1 \\ &i_{xN\_avg} < -i_{xN\_avg\_th} && :\mu_x = -1 \\ &-i_{xN\_avg\_th} < i_{xN\_avg} < i_{xN\_avg\_th} && :\mu_x = 0 \end{aligned} \qquad (2.7.6)$$

$$\begin{aligned} &V_{DC1} - V_{DC2} > V_{dif\_th} && :V_{dif} = 1 \\ &V_{DC1} - V_{DC2} < -V_{dif\_th} && :V_{dif} = -1 \\ &-V_{dif\_th} < V_{DC1} - V_{DC2} < V_{dif\_th} && :V_{dif} = 0 \end{aligned}$$

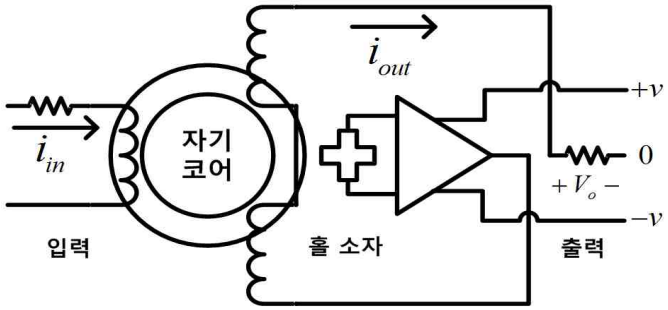
[표 2.7.2] 고장진단 변수

	고장스위치											
Diagnosis Variables	S_{a1}	S_{a2}	S_{a3}	S_{a4}	S_{b1}	S_{b2}	S_{b3}	S_{b4}	S_{c1}	S_{c2}	S_{c3}	S_{c4}
μ_a	−1	−1	+1	+1	−1	−1	+1	+1	+1	+1	−1	−1
μ_b	+1	+1	−1	−1	−1	−1	+1	+1	+1	+1	−1	−1
μ_c	+1	+1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	−1	−1	+1	+1
V_{dif}	+1	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1

(마) 직류단 전압센서 고장진단 및 허용제어

① 직류단 전압센서 고장진단

전압 센서의 내부구조는 [그림 2.7.7]과 같다. 입력 전압과 외부 저항에 의해 만들어지는 입력 전류는 자속을 형성한다. 자속은 자기 회로에 연결되어 있으며 자기 회로를 거친 자기량은 홀 소자에 의해 전압으로 바뀌고 전류 증폭기에 의해 출력 전류로 변환된다. 이 출력 전류는 2차 권선수에 비례하고 1차 자속을 상쇄시킨다. 따라서 출력전류는 항상 입력전류에 비례하게 되고 출력 전압은 측정 저항에서 감지한다. 이러한 전압센서의 구조에서 비례상수(이득)가 정확하게 설정이 되면 실제 전압과 측정 전압값은 항상 일치하게 된다. 그러나 전압센서가 열이나 과전류 등으로 고장이 나면 이득고장, 오프셋고장이 생길 수 있다.



[그림 2.7.7] 전압센서의 내부구조

전압센서가 고장이 나면 추정값과 측정값을 비교하여 고장 여부를 판단할 수 있다. 고장을 판단하기 위한 오차율 계산식은 식 2.7.7과 같다.

$$v_{err} = \frac{v_{dc} - \hat{v}_{dc}}{\hat{v}_{dc}} \tag{2.7.7}$$

식 2.7.7로부터 계산된 오차율과 미리 설정된 전압 오차 범위 K값과 비교하여 식 2.7.8와 같이 전압 센서 고장 여부를 판단한다.

$$\left| v_{err} \right| \geq K \tag{2.7.8}$$

② 고장 허용 제어

직류단 전압 센서리스 제어 기법을 적용하기 위해 $\hat{v}_{dc}$ 와 $F'(i_{d,q}(n))$ 비례적분 제어기을 넣어서 식 2.7.9와 같은 비선형 방정식을 만들 수 있다.

$$\begin{cases} \dfrac{\hat{v}_{dc}(n)}{v_{dc}(n)} v_d^*(n) = R\dfrac{i_d^*(n)+i_d(n)}{2} + L\dfrac{i_d^*(n)-i_d(n)}{T_s} \\ \quad -\omega L\dfrac{i_q^*(n)+i_q(n)}{2} + e_d(n) + F(i_d(n)) + F'(i_d(n)) \\ \dfrac{\hat{v}_{dc}(n)}{v_{dc}(n)} v_q^*(n) = R\dfrac{i_q^*(n)+i_q(n)}{2} + L\dfrac{i_q^*(n)-i_q(n)}{T_s} \\ \quad +\omega L\dfrac{i_d^*(n)+i_d(n)}{2} + e_q(n) + F(i_q(n)) + F'(i_q(n)) \end{cases} \tag{2.7.9}$$

$$\begin{cases} v_d^*(n) = R\dfrac{i_d^*(n)+i_d(n)}{2} + L\dfrac{i_d^*(n)-i_d(n)}{T_s} - \omega L\dfrac{i_q^*(n)+i_q(n)}{2} \\ \qquad +e_d(n)+F(i_d(n)) \\ v_q^*(n) = R\dfrac{i_q^*(n)+i_q(n)}{2} + L\dfrac{i_q^*(n)-i_q(n)}{T_s} + \omega L\dfrac{i_d^*(n)+i_d(n)}{2} \\ \qquad +e_q(n)+F(i_q(n)) \end{cases} \quad (2.7.10)$$

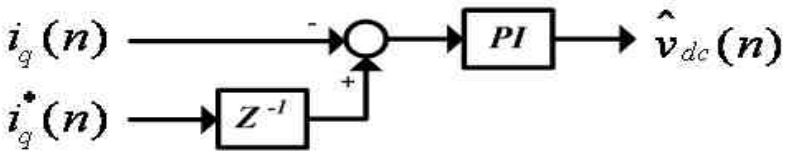
데드비트 전류제어기 식 2.7.9를 식 2.7.10에 대입하면 식 2.7.1)과 같다.

$$\begin{cases} \dfrac{v_{dc}(n)-\hat{v}_{dc}(n)}{v_{dc}(n)} v_d^*(n) = F'(i_d(n)) \\ \dfrac{v_{dc}(n)-\hat{v}_{dc}(n)}{v_{dc}(n)} v_q^*(n) = F'(i_q(n)) \end{cases} \quad (2.7.11)$$

q축을 유효성분으로 설정했기 때문에 $\hat{v}_{dc}$을 기준으로 q축 성분만 식을 정리하면 식 2.7.12와 같다.

$$\hat{v}_{dc}(n) = v_{dc}(n) - \frac{v_{dc}(n)}{v_q^*(n)} F'(i_q(n)) \quad (2.7.12)$$

이 식은 추정값이 $i_q(n)$에 대한 함수로 나타낼 수 있다는 것을 의미하며 비례적분 제어기 출력이 0이라면 추정값과 실제값이 같다는 것을 의미한다. 이런 관계에서 데드비트 제어를 적용하면 [그림 2.7.8]과 같이 제안된 직류단 전압 추정 비례적분 제어기와 식 2.7.13로 정리된다.



[그림 2.7.8] 직류단 전압 추정 비례적분 제어기

$$\begin{aligned} \hat{v}_{dc}(n) = \hat{v}_{dc}(n-1) - (K_P + K_I T_s)(i_q^*(n-1) - i_q(n)) \\ +K_P(i_q^*(n-2) - i_q(n-1)) \end{aligned} \quad 2.7.13$$

데드비트 제어기에 의해 $i_q(n)=i_q^*(n-1)$ 이 만족된다면 $v_{dc}(n)=\hat{v}_{dc}(n)$ 과 $F'(i_q(n))=0$ 이 성립하여 제안된 비례적분 제어기는 직류단 전압을 정확하게 추정한다. 따라서, 직류단 전압 센서가 없이 이 제안된 비례적분 제어기로 정확한 v_{dc} 정보를 제공하여 전체 시스템을 동작할 수 있다.

③ 전력변환 회로를 고려한 전동기의 수학적 모델링

120도 도통형 운전방식으로 구동되는 전동기의 3상 바이폴라 구동방식에서 이상적으로는 항상 2상 도통이지만, Commutation 구간에서 인덕턴스에 의한 환류작용이 발생하여 3상 모두 통전되는 구간이 발생한다. 따라서, DMAC 전동기의 동특성 해석에서는 2상 통전시, Free-Wheeling Diode의 동작을 고려한 3상 통전시를 각각 고려하여 해석을 수행하여야 한다.

전동기의 각 상 전기자 권선의 등가식은 전동기가 운전되고 있을 때, 상호 인덕턴스가 불변한다는 가정하에 식 2.7.14와 같이 표현할 수 있다.

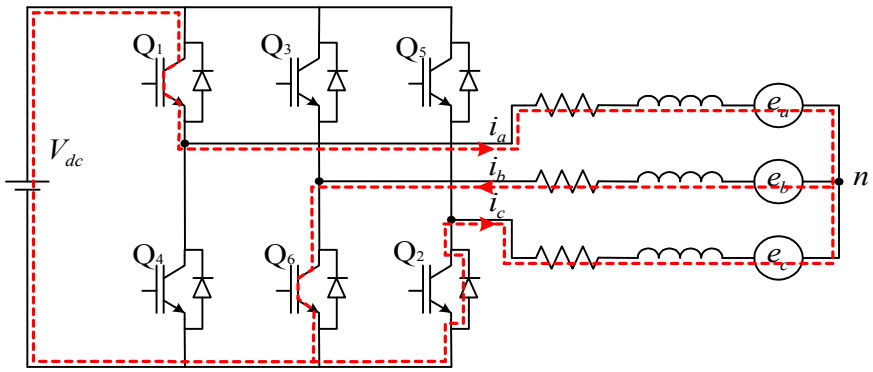
$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \tag{2.7.14}$$

여기서, $L=L_a=L_b=L_c$ 이고, $R=R_a=R_b=R_c$ 이다.

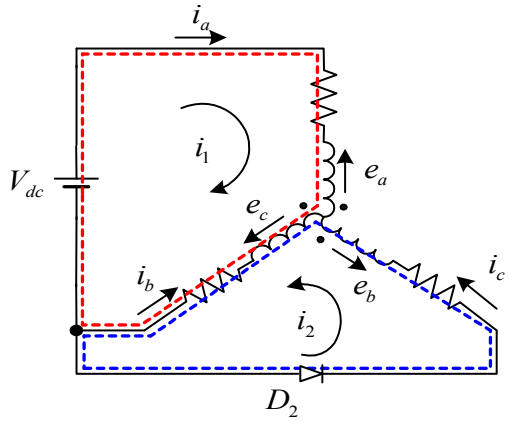
그리고 축이 Coreless 형태를 갖는 표면부착형 Halbach Array 영구자석 DMAC 전동기에서 릴럭턴스 토크를 무시할 수 있으므로, 전체 발생 토크 T_e 는 식(2.7.15)와 같다.

$$T_e = \frac{1}{\omega_m}\left(e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c\right) \tag{2.7.15}$$

그런데, C상의 전류가 Turn-off 되고, A상이 Turn-on 되었을 경우 C상의 인덕턴스 성분에 의한 전류가 완전히 소멸될 때까지의 등가회로는 [그림 2.7.9]와 같다.



(a) 3상 통전 회로



(b) (a)의 간략화된 등가회로

[그림 2.7.9] A-C상 통전 → A-B상 통전시 등가회로 및 전류흐름도

[그림 2.7.9]의 동작 모드에서 전동기의 전압방정식은 식 (2.7.16), 식(2.7.17)과 같다.

$$e_a - e_b + 2Ri_1 + Ri_2 + 2(L-M)\frac{di_1}{dt} + (L-M)\frac{di_2}{dt} = V_{dc} \qquad (2.7.16)$$

$$e_c - e_b + Ri_1 + 2Ri_2 + (L-M)\frac{di_1}{dt} + 2(L-M)\frac{di_2}{dt} = 0 \qquad (2.7.17)$$

여기서,

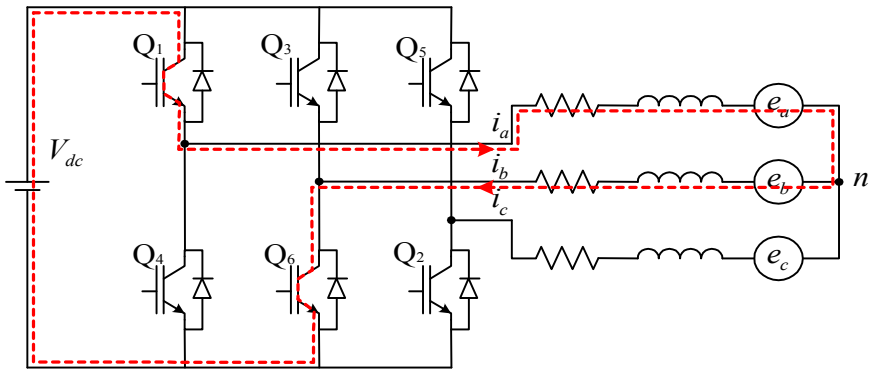
$$i_b = -i_a - i_c = -i_1 - i_2$$

$$i_a = i_1$$

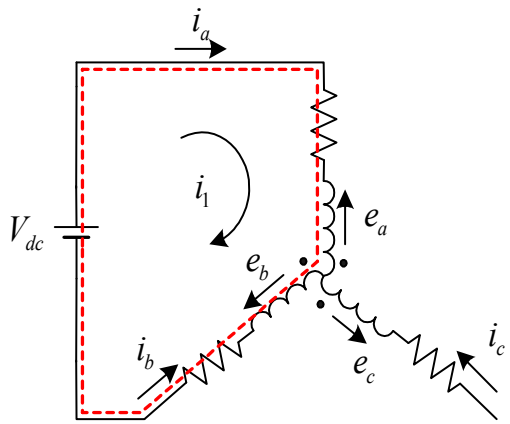
$$i_c = i_2$$

▪ Q_1 Turn-on 시 전력변환장치 등가회로 및 수학적 모델링

한편, Q_1이 Turn-on 되어 A-B 상 통전으로 동작 모드가 완전히 전환되었을 경우 전력변환장치의 3상 통전회로 및 등가회로는 [그림 2.7.10]의 (a), (b)와 같다.



(a) 3상 통전회로



(b) (a)의 간략화된 등가회로

[그림 2.7.10] A-C상 통전시 등가회로 및 전류흐름도

[그림 2.7.10]의 (a), (b)에서 전력용 반도체 소자 IGBT와 동일 소자에 삽입되어 있는 환류 다이오드가 이상적이라 가정할 때, 소자에 의한 전압강하는 없으므로, 전압방정식은 식 (2.7.18)과 같이 쓸 수 있다.

$$v_a - v_b = (Ri_a + \frac{d}{dt}(L-M)i_a + e_a) - (Ri_b + \frac{d}{dt}(L-M)i_b + e_b) \qquad (2.7.18)$$

여기서, $v_a - v_b = V_{dc}$ 이고, $i_1 = i_a = -i_b$ 할 때 식 2.7.18은 식 2.7.19와 같이 쓸 수 있다.

$$V_{dc} = 2Ri_1 + 2(L-M)\frac{di_1}{dt} + e_a - e_b \qquad (2.7.19)$$

그리고, 이 회로에서 $i_c = 0$ 이다.

A상과 B상의 역기전력의 크기는 같고 부호만 반대이므로, 식 2.7.20을 정의할 수 있다.

$$R_a i_a + L\frac{di_a}{dt} + E = \frac{V_{dc}}{2} \tag{2.7.20}$$

여기서, $E = e_a = -e_b$이고, $e_b - e_a = e_{ab}$ 로 선간 역기전력이다.

따라서, 전류에 관한 식으로 다시 표현해보면, 식 2.7.21과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{1}{2(L-M)}(V_{dc} - e_{ab} - 2Ri_a) \tag{2.7.21}$$

$$v_n = Ri_a + L\frac{di_a}{dt} + E \tag{2.7.22}$$

따라서, 중성점 전압 v_n은 식 2.7.23으로 쓸 수 있다.

$$v_n = \frac{V_d}{2} \tag{2.7.23}$$

c 상의 단자전압 v_c^t 는 중성점 전압과 c상의 역기전력의 합인 식 2.7.24로 쓰여진다.

$$v_c^t = v_n + e_c \tag{2.7.24}$$

따라서, Q_1이 온 되었을때, c상의 단자전압 v_c^t 는 식 2.7.25와 같이 구해진다.

$$v_c^t = \frac{V_d}{2} + e_c \tag{2.7.25}$$

▪ Q_6 Turn-off 시 전력변환장치 등가회로 및 수학적 모델링

[그림 2.7.11]에서 순간적으로 b상의 전류는 D_3다이오드를 통해 환류하게 되고, 이 때의 전압 방정식은 식 (2.7.26)으로 쓰여질 수 있다.

$$2Ri_1 + 2(L-M)\frac{di_1}{dt} + e_a - e_b = 0 \tag{2.7.26}$$

여기서, $i_1 = i_a = -i_b$

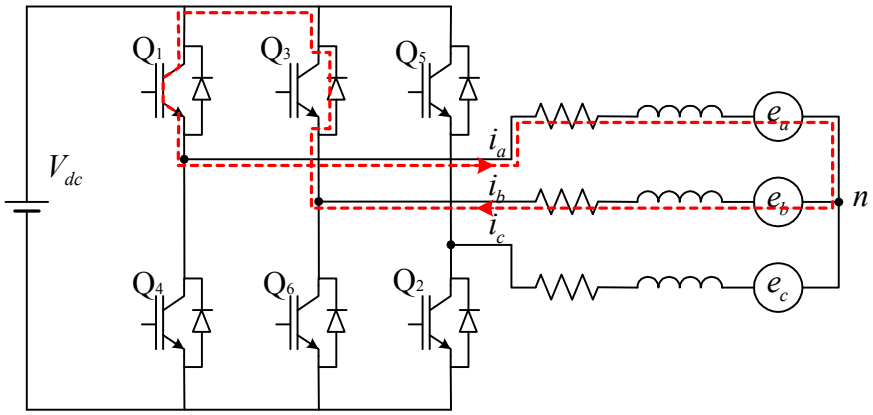
따라서, 식 2.7.26을 식 2.7.27과 같이 표현할 수 있다.

$$Ri_1+(L-M)\frac{di_1}{dt}+E=0 \tag{2.7.27}$$

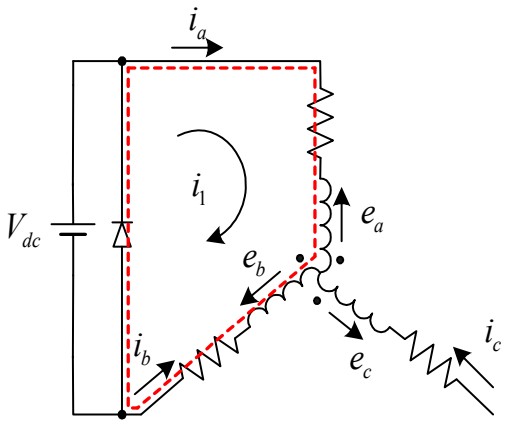
그리고, 식 2.7.24에서 식 2.7.28을 정의 할 수 있다.

$$v_c^t=v_n+e_c=e_c \tag{2.7.28}$$

만일, e_c가 음이 되는 경우, 식 2.7.28에서 단자전압 v_c^t는 인버터의 전원 접지보다 낮아지게 되므로, D_2다이오드가 도통하게 되고, c상에는 역기전력에 의한 전류가 발생한다.



(a) 3상 통전회로



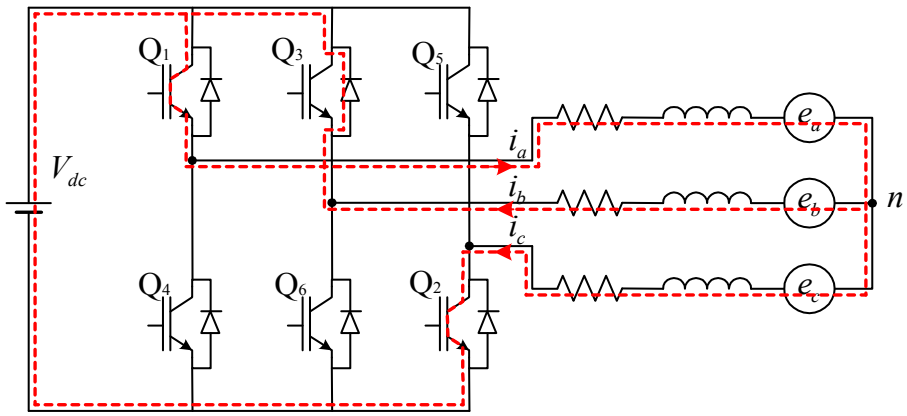
(b) (a)의 등가회로

[그림 2.7.11] A-C상 통전 → C상 Off시 등가회로 및 전류흐름도

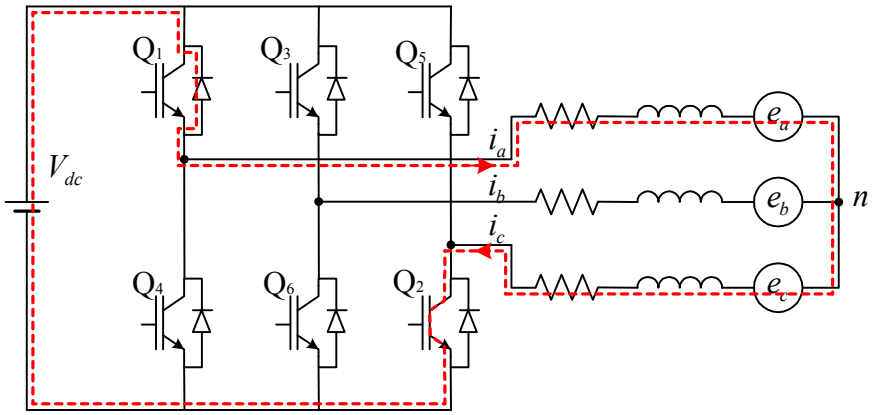
▪ Q_2 Turn-on 시 전력변환장치 등가회로 및 수학적 모델링

다시 Q2 Turn-on 시 전동기를 포함하는 전력변환장치의 등가회로 및 전류 통전은 [그림 2.7.12]와 같다. 통전 모드에 대한 전압방정식은 [그림 2.7.5]의 동작모드와 동일하므로, 식 2.7.16과 식 2.7.17에서 상전압 및 상전류의 치환으로 방정식이 얻어질 수 있다.

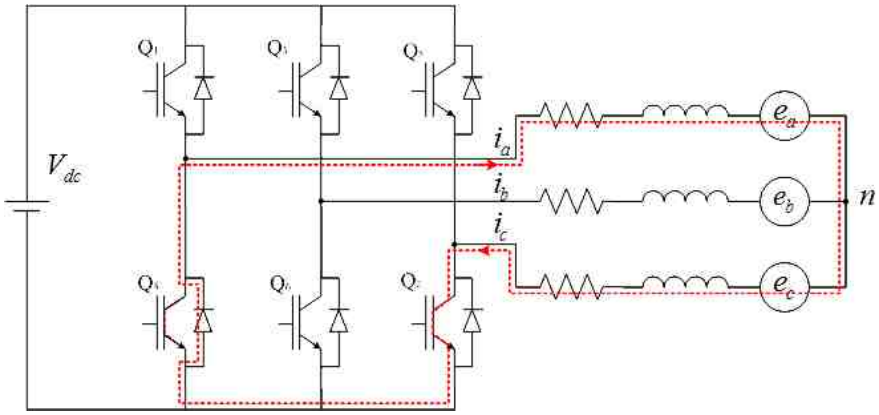
전동기를 포함하는 전력변환장치의 다른 동작모드에 대한 전류 통전 및 등가회로 전압방정식은 [그림 2.7.12]~[그림 2.7.16]에 나타낸 바와 같다.



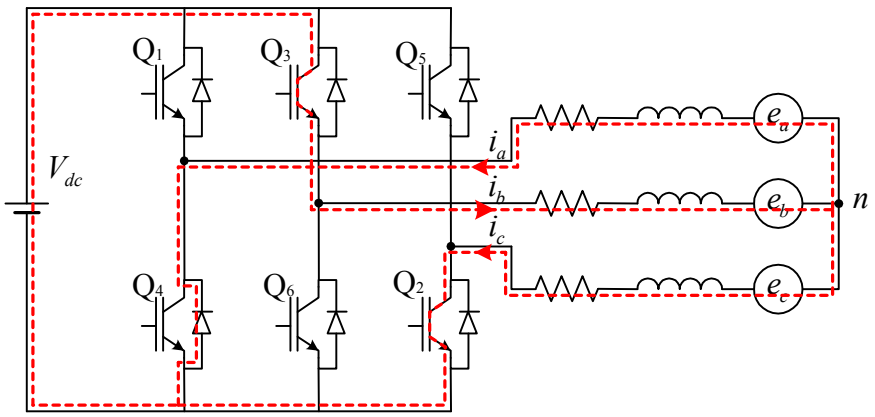
[그림 2.7.12] B-C상 통전 → A-C상 통전시
등가회로 및 전류흐름도



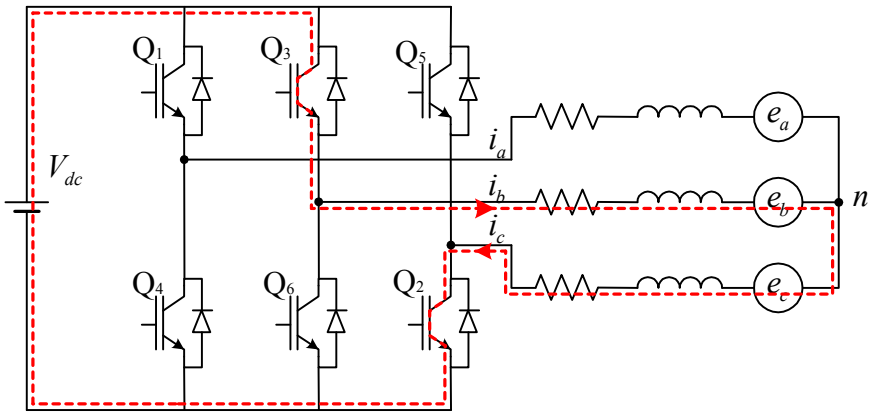
[그림 2.7.13] A-C상 통전시 등가회로 및 전류흐름도



[그림 2.7.14] A-C상 통전 → Q1 off시
등가회로 및 전류흐름도



[그림 2.7.15] A-C상 통전 → B-C상 통전시
등가회로 및 전류흐름도



[그림 2.7.16] B-C상 통전시 등가회로 및 전류흐름도

(3) INVERTER 장치 규격

전력 컨버터장치로부터 일정 전원(950V)을 공급받아 LSM을 제어하는 장치로써, 내부 부품 사양은 다음과 같다.

(가) 입력단 Filter 부

스위칭에 의해 발생되는 고조파가 전원공급 및 컨버터시스템으로 유입되는 것을 막아 주기 위하여 Filter Capacitor를 설치한다.

- DCF : 4,500uF/2,000VDC 급 이상

(나) Inverter Unit

Inverter Unit는 벡터제어 및 SVPWM 방식을 구현하여, 모터의 순시토크제어가 가능하고, 스위칭 및 고조파에 의한 손실을 최소화해야 한다. 전력반도체 소자인 IGBT의 구동을 위해 광 신호를 Gating signal로 변환시켜주는 Gate Driver를 사용한다.

- IGBT : 3,300V/1,200A
- 제어방식 : SVPWM INVERTER
- 냉각용량 : 2kW 이상

(다) Control Unit(제어장치)

제어 장치의 주기능은 컨텍터 및 보호동작을 수행할 수 있는 SEQUENCE 제어, 보호기능 및 PWM CONVERTER GATE 제어, VVVF INVERTER GATE 제어 및 고장에 대한 독출기능을 포함하여야 한다.

- 32 bit급 이상 DSP (TMS320VC33 또는 동등 성능 이상)
- 디지털입력 : 24채널 이상
- 디지털 출력 : 8채널 이상
- 아날로그 입력 : 24채널 이상
- 아날로그 출력 : 16채널 이상
- RS-485 또는 232 통신 가능
- PWM 출력 : PWM용 광신호 출력 가능해야 함
- 노이즈 최소화 : 플라이휠은 다양한 센서가 많기 때문에 노이즈를 최소화하기 위하여 노이즈 차폐, 접지 등의 조치를 취하여야 한다.

(라) Power Supply Unit

Power supply는 컨택터의 보조접점을 동작시키기 위한 100VDC전원과 Gate Power를 동작시키기 위한 24VDC 그리고 제어기의 전원을 공급하기 위한 ±15V, 5V가 필요하다. 이때 컨택터의 보조접점 동작을 위한 100VDC전원은 보조접점 동작 시 많은 양의 전류를 요구하기 때문에 충분히 큰 용량의 Power supply를 사용하여야 한다.

- Power Supply : 220VAC/110VDC, 16A 이상
- Power Supply : 220VAC/24VDC, 9.5A이상
- Power Supply : 110VDC/5VDC, 8A이상
- Power Supply : 110VDC/15VDC, 1.5A이상

단, 제어전원을 항상 감시하여 전원 이상시 보호동작을 수행하여야 한다.

(4) 인버터 장치의 하드웨어 구성

(가) DC-Link LC Filter의 선정

입력단 LC필터는 공진주파수 30Hz미만, quality factor를 10미만인 조건을 충족하도록 설계하였다.

[전력변환장치 기동 조건]

입력전압 레벨 : 1590~1800 (900~1000)

입력전류 범위 : 250~699 (420~540)

리플 주파수 : 360Hz

출력전압 : 360V

스위칭 주파수 : 2kHz

설계된 전력변환장치의 조건은 위와 같고, 이를 이용하여 조건을 만족하는 필터를 식 2.7.29와 식 2.7.30을 통하여 계산할 수 있다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2.7.29}$$

$$Q = 2\pi fRC \tag{2.7.30}$$

캐패시턴스를 결정하기위하여 부하평균 R 값을 계산하면 식 2.7.31과 같다.

$$\frac{\frac{1800}{250}+\frac{1590}{699}}{2} = 4.74 \tag{2.7.31}$$

식 2.7.30을 사용하여 캐패시턴스를 구하면 식 2.7.32와 같다.

$$C = \frac{Q}{2\pi fR} = \frac{10}{2\pi\times 30\times 4.74} = 11192\,uF \tag{2.7.32}$$

또 식 2.7.29를 사용하여 L 값을 계산하면

$$L = \frac{1}{C\times(2\pi f)^2} = \frac{1}{11192\times 10^{-6}\times(2\pi\times 30)^2} = 2.515\,mH \tag{2.7.33}$$

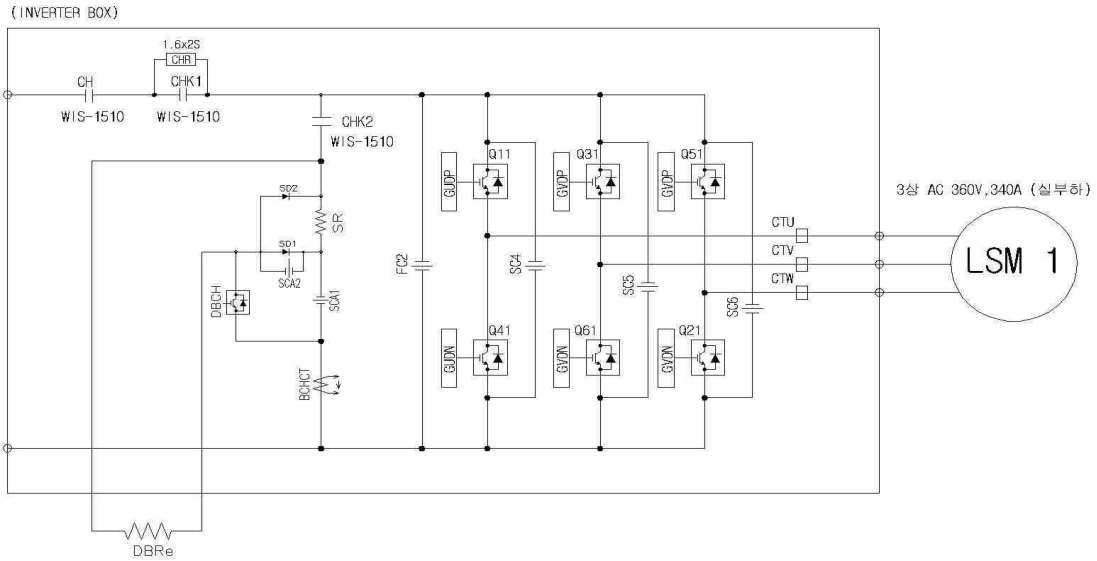
조건을 만족하는 LC값은 식 2.7.32, 식 2.7.33와 같이 계산되나 실제적으로 사용할 수 있는 소자의 값에 맞추어 캐패시턴스는 병렬구성으로 4500uF×3EA, L은 4.5mH/700A로 선정하며, 이 값으로 f와 Q값을 계산하면 식 2.7.34와 같다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{4.5e^{-3} \times 13500e^{-6}}} = 20.4\,Hz$$
$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} = 8.2 \qquad (2.7.34)$$

식 2.7.34와 같이 설계조건을 충족한다.

나. 인버터 장치 제작

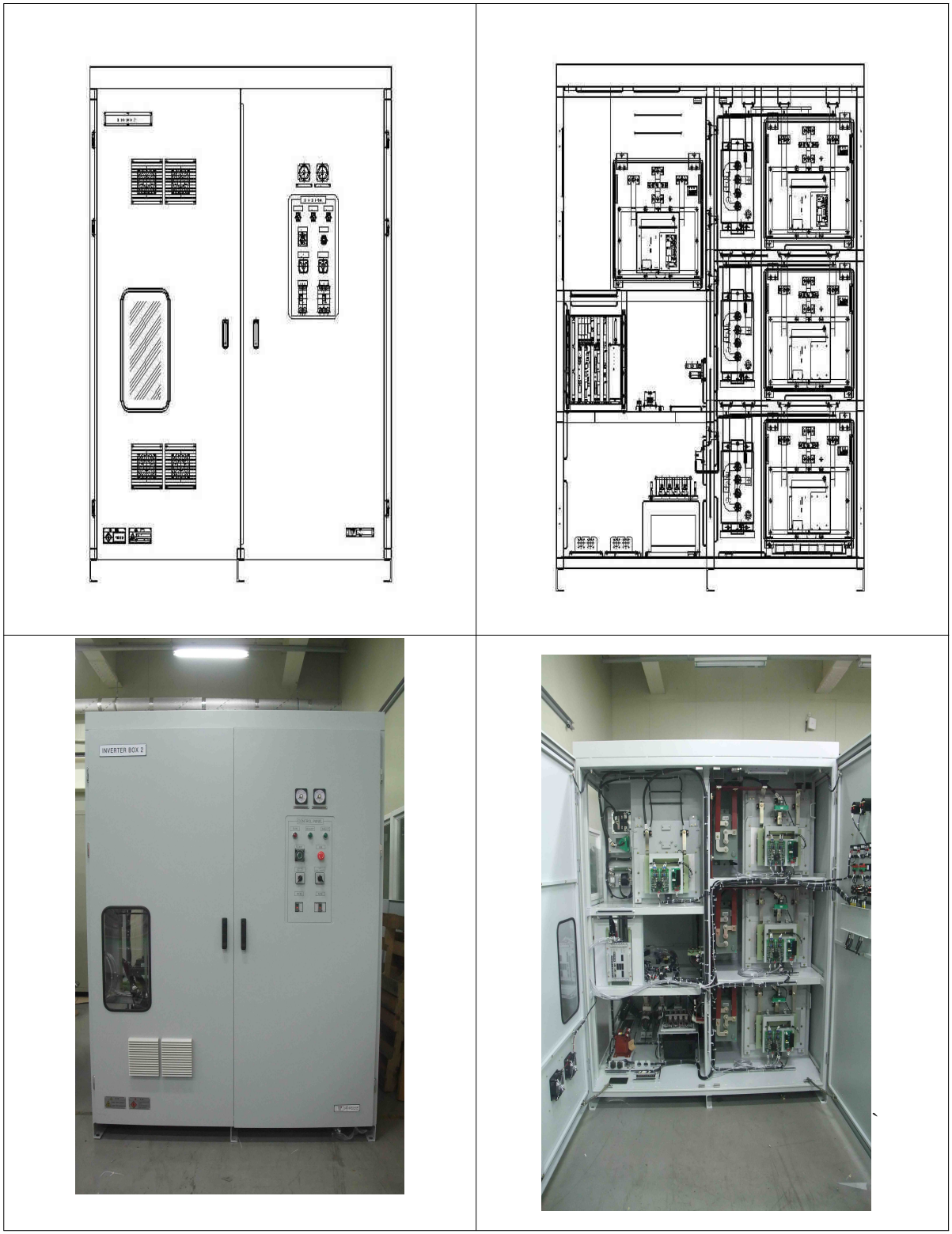
- 각 부품은 사용에 유해한 흠, 녹 등 기타 결함이 없어야 하며 필요한 부분에는 방청처리를 하여야 한다.
- 고압회로 및 저압회로의 배선작업은 절연거리를 유지하고 중간 결선이 없어야 한다.
- 노이즈가 발생할 가능성이 있는 배선에는 차폐를 하여야 한다.
- 인버터에서 발생된 노이즈는 주변기기에 영향을 주지 않아야 하며, 장치의 외부 노이즈에 대하여도 내성을 갖는 구조로 제작하여 정상기능에 확보에 지장이 없어야 한다.



[그림 2.7.17] 추진 인버터의 주회로

(1) 인버터 장치의 사양

항 목		사 양
제어 방식		Voltage-Fed Converter/Inverter
전압 제어		PWM 제어
냉각 방식		Heat pipe
정격 용량		500KVA
상대 습도		30~90% (단, 결로가 없을 것)
입력	입력 전원	950VDC±5%
	최대 효율	More than 90%
출력	출력 전압	3상, 360V
	출력 전류	3상, 340A
전압 검출기		1,500VDC/10VDC
Power Unit		IGBT Module : 4500V, 1200A × 3군
스누버 캐패시터		2000V, 200uF-3군
전원 Unit		Gate전원 : 24VAC 50㎐ Gate 전원용 DC 전원 : 24VDC 1A



[그림 2.7.18] 인버터 외형

다. 인버터 장치 구성품 시험 및 검사

추진인버터의 구조와 치수검사, 조립품 체결검사 등은 공장 내에서 수행하며, 컨버터 장치 및 R-L 부하로 조합시험 항목 실시한다.

(1) 시험 항목

구 분	시 험 항 목	판 정 기 즌	비고
1	외관구조검사		
2	측정시험		
3	보호검출 기능시험		
4	제어 기능시험		
5	경부하 시험		
6	소음시험		조합시험
7	온도상승시험		조합시험
8	효율측정시험		조합시험
9	공급 과전압 과도 에너지시험		조합시험
10	절연저항시험		
11	내전압시험		
12	전자파 시험		인증기관
13	환경시험		
14	검출기 특성 시험		

(2) 시험방법 및 판정기준

(가) 외관 및 구조 검사

추진 인버터장치의 전기 배선 등 제작상태와 전선 및 부품의 식별표시가 도면에 적합하고 구조상 손상이나 결함여부를 확인하여 이상이 없어야 한다.

(나) 측정 시험

도면에 기재되어 있는 치수와 중량을 측정하여 약 1,900kg ± 10% 범위에 있는지 확인한다.

(다) 보호회로 기능 시험

① 시험조건

추진 인버터 장치에 정격제어전압을 인가하여 시험한다.

② 시험방법

등가 신호를 입력하여 보호 동작 일람표에 의한 동작을 하는지 확인한다.

NO	보호 항목	설 명	경고장	중고장
1	입력 과전류 (ZDOC)	인버터 전류(IAU1, IAW1)등이 600A이상 상승했을 때 보호 동작한다.		○
2	출력 과전류 (MMOC)	부하측에 이상이 발생한 경우(부하단락, 지락 등)에 인버터 출력 측에 과전류가 흐른다. 이 보호는 출력전류를 감시하면서, 출력전류 800A 이상 시 동작한다.		○
3	입력 과전압 (VDOV)	FC 전압 DC1140V 이상의 순시치에서 보호 동작한다.	○	
4	입력 저전압 (VDLV)	FC 전압 DC600V 이하의 순시치에서 보호 동작한다.	○	
5	INVERTER 게이트 드라이버 고장	INVERTER의 게이트 드라이버는 상단락 및 과전압에 대해서 자체 보호동작을 갖고 있다. 고장신호는 각상의 드라이버에서 제어기로 보내주어 보호 동작한다.	○	
6	입력 이상 (MFR)	기동 후, 가선전압 확인 후, 3초 이상 경과해도 전압이 확립하지 않는 경우에는 입력 이상으로 하여 고장 TRIP하고, 중고장 LOCK OUT한다.		○

(라) 제어기능 시험

① 시험조건

㉮ 입력전압은 정격전압으로 한다.

② 측정항목

㉮ 광량측정

㉯ IGBT 게이트 전원특성

㉰ IGBT 게이트 특성

㉱ 주회로 동작

③ 시험방법

㉮ 광량측정 시험

▪ 광파이버의 GATE 측에 광량을 측정하여 -24 dBm 이상의 광량을 유지하는지 확인한다.

㉯ IGBT 게이트 전원특성시험

▪ 교류출력이 AC 48 V ± 3 %, 15 kHz ± 10 % 이내

㉰ IGBT 게이트 특성시험(게이트 파형 첨부)

▪ INVERTER 파형

▪ Gate ON = + 15 V ± 2.2 V

▪ Gate OFF = - 15 V ± 2.2 V

▪ Dead Time = 12 μs ± 2 μs

▪ 최소 ON 펄스폭 = 20 μs 이상

㉱ 주회로 동작시험

▪ 게이트 확인: 기동 스위치 조작 및 동작시에 게이트(U,X,V,Y,W,Z) 출력이 정상일 것

(마) 경부하 시험

컨버터장치에 정격전압을 인가하고 출력단에 3상 R-L 부하를 연결하여 출력 전류 100 A ± 5 %에서 이상 없이 정상 동작해야 한다.

(바) 소음 시험

정상동작 상태에서 장치 중앙으로부터 1m 이격된 좌, 우, 전, 후에서 악조건인 전부하 조건에서 소음계로 측정하여 85dB 이하가 되어야 한다. 세부 소음 규정은 IEC 61287-1의 소음측정에 따르며 이 시험은 조합시험에서 실시한다.

(사) 온도상승시험

정격 동작시 각 부 온도가 다음 표의 허용치 이하 이어야 한다. 운행 조건 패턴으로 30분 이상 동작시 Inverter 장치의 Heat Pipe 및 주요 기기의 온도가 포화될 때까지 운전하여 측정한다. 이 시험은 조합시험에서 실시한다.

순번	부 위	측 정 POINT	허용온도 (℃)	허용상승치 (K)	비 고
1	BOX 외부	외기 온도	45	-	
2	Stack	인버터 unit U상 Heat Pipe	100	55	
3	Stack	인버터 unit V상 Heat Pipe	100	55	
4	Stack	인버터 unit W상 Heat Pipe	100	55	
5	Bus bar	인버터 입력/출력 Bus bar	150	105	
6	캐패시터	필터캐패시터	100	55	

(아) 공급 과전압과 과도 에너지 시험(공급전압 변동시험)

입력되는 범위를 변동시켜 정상동작 상태를 확인하여 이상이 없어야 한다.

(입력전압 DC 950V ± 10 %)

(자) 절연저항시험

① 시험조건

㉮ 절연저항시험은 내전압시험 전후에 각각 시험한다.

㉯ 추진인버터장치 내부의 전기적인 회로는 전압별로 고압회로, 저압(제어회로) 회로로 구분하여 시험전압이 인가되도록 서로 연결하여 시험한다.

㉰ 시험회로에 연결되지 않은 구성품이나 세부부품(예로 제어회로, 견인전동기 및 팬)은 절연저항시험 동안 접지시켜 시험전압으로부터 보호되도록 한다.

② 측정항목

㉮ 고압회로 - 접지

㉯ 저압(제어)회로 - 접지

㉰ 고압회로 - 저압(제어)회로

③ 시험방법

㉮ 고압회로에는 직류 1000V 절연저항계를 저압 및 제어회로에는 직류 500V 절연저항계를 사용한다.

㉯ 결과는 다음을 만족해야 하며 내전압시험 전후에 측정한 값에 현저한 변화가 없어야 한다.

시험부위	시험기준	비 고
고압회로(주회로) - 접지	100 ㏁ 이상	1000 Vdc-Megger
저압회로(제어회로) - 접지	30 ㏁ 이상	500 Vdc-Megger

(차) 내전압 시험

① 시험조건

㉮ 내전압시험은 실시하기 전후에 절연저항시험을 반드시 실시하여 절연저항에 이상이 없음을 확인하여야 한다.

㉯ 추진인버터장치 내부의 전기적인 회로는 전압별로 고압회로, 저압(제어회로)회로로 구분하여 시험전압이 인가되도록 서로 연결하여 시험한다.

㉰ 시험회로에 연결되지 않은 구성품이나 세부부품(예로 제어회로, 견인전동기 및 팬)은 절연저항 시험 동안 접지시켜 시험전압으로부터 보호되도록 한다.

② 측정항목

㉮ 전기적으로 절연된 통전부

㉯ 접지와 통전부

㉰ 기타 성능확인을 위한 필요부위를 시험하되 ㉮와 ㉯의 시험 외에 대하여는 시험전압을 장치에 무리가 없는 범위에서 설정하도록 한다.

③ 시험방법

㉮ 집단으로 설치되는 장치는 조합하여 연결된 상태에서 실시할 수 있다.

㉯ 주파수는 상용주파수, 시간은 1분으로 한다.

㉰ U는 정격전압 이며, 회로의 접지에 영구적으로 연결되는 중성점이 포함되어 있으면 U는 공급전압의 1/2로 한다.

㉱ 상온에서 10초 이상 연속으로 전압을 상승시켜 전시험전압에 도달시키고 1분간 유지한다. 이때, 시험되지 않는 다른 회로는 접지되어야 한다.

㉲ 시험전압은 실효치(r.m.s) 값으로 다음과 같이 정해진다.

$$U_p = \frac{2U_m}{\sqrt{2}} + 1000[V]$$

여기에서 공칭전압 Um은 내전압을 인가하는 두 단자사이의 최소 반복 피크 동작전압이다. 어떤 이유로든 이 시험을 반복할 필요가 있는 경우 두번째 시험의 전압값은 절연에 미치는 영향을 고려하여 시험전압 Up의 85 %정도로 감소하여 실시한다.

- 고압도전부 ↔ 저압회로 및 대지간(3400VAC/60Hz/1분 견딜 것)
- 저압회로 ↔ 대지간(1200VAC/60Hz/1분 견딜 것)

(카) 전자파 시험

아래 표의 기준을 만족하여야 하여야 하며, 제어장치만 실시한다.

Test항목	기본 규격	시험단자	시험		EN 50121-3-2	
					시험조건	평가 기준
무선주파 수진폭변 조전자장 RS	IEC/EN 61000-4-3	기기외함	시험레벨		20V/m	A
			주파수		(80~1000)MHz	
			변조방식		80 % AM(1kHz)	
RS from Digital Radio telephones			시험레벨		10V/m / 5V/m	
			주파수		(1400~2100)MHz / (2100~2500)MHz	
			변조방식		80% AM(1kHz)	
빠른 과도 EFT/Burst	IEC/EN 61000-4-4	I/O단자	시험레벨		± 2kV	A
			Tr / Th		5 / 50ns	
			반복주파수		5kHz	
		전원단자	시험레벨		± 2kV	
			Tr / Th		5 / 50ns	
			반복율		5kHz	
서지시험 Surge	IEC/EN 61000-4-5	전원단자	시험레벨	선과접지	± 2kV	B
				선과 선	± 1kV	
			Tr / Th		1.2 / 50ns	
무선주파수 공통모드 CS	IEC/EN 61000-4-6	I/O, 전원단자	주파수		10 V	A
			시험레벨		(0.15~80)MHz	
			변조방식		80% AM(1kHz)	

(타) 환경 시험

추진인버터장치의 Control Unit을 다음과 같이 시험하여 정상동작 여부를 확인하여 이상이 없어야 한다.

구분	적용규격	시험조건	방치시간
저온시험	KS C 0220	-25°C	8 또는 16시간
고온시험	KS C 0221	70°C	8 또는 16시간
온습도 사이클 시험 (12+12시간 사이클)시험	KS C 0227	55°C/90%	24시간 (24시간 1 Cycle)

(파) 검출기 특성 시험

① 전류검출기 특성 시험

CT의 1차 측에 시험전류를 인가하고 출력단에 2±0.02kΩ의 저항을 연결하여 출력전압을 확인한다.

구 분	CT 1차전류(A)	출력전압(V)	비고
- 컨버터입력전류 (ACCT) - 컨버터 출력전류 (DCCT)	3000 1500 0	10.0 ± 0.2 5.0 ± 0.2 0.0 ± 0.2	CT 변환비 3000A : 10V

② 전압검출기 특성시험

PT의 1차 측에 시험전압을 인가하고 출력단에 (10 ± 0.1) kΩ의 저항을 연결하여 출력 전압을 확인한다.

구 분	PT 1차전압(V)	출력전압(V)	비 고
DCPT	0 1500 3000	0.0 ± 0.2 5.0 ± 0.2 10.0 ± 0.2	PT 변환비 3000V : 10V

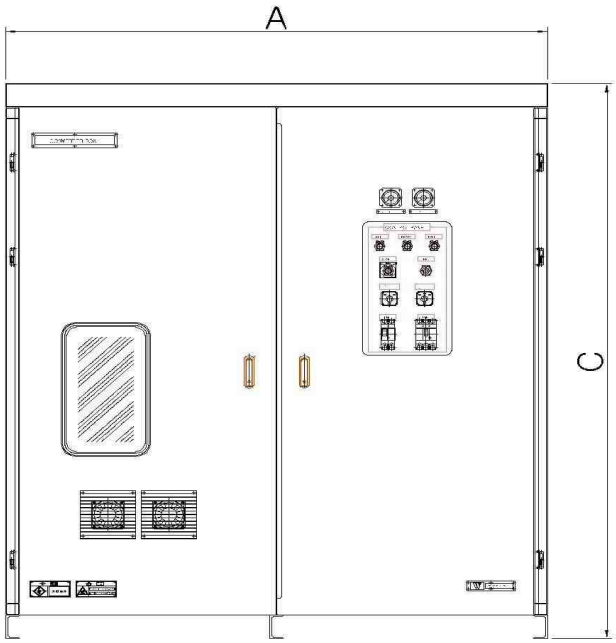
③ 입력전압 검출기 특성시험

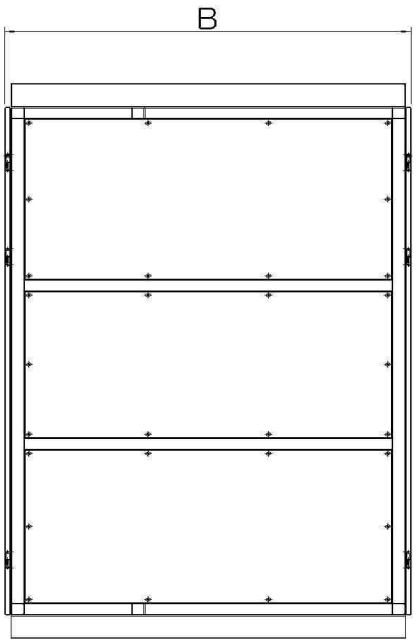
PT의 1차측에 시험전압을 인가하고 출력전압을 확인한다.

구 분	PT 1차전압(V)	출력전압(V)	비 고
DCPT	0 1500 3000	0.0 ± 0.2 5.0 ± 0.2 10.0 ± 0.2	PT 변환비 3000V : 10V

(3) 검사 기준서

공 사 명	초고속 자기 부상 열차			한국철도 기술연구 원	검 사	검 토	승 인
제 작 사	(주) 우 진 산 전						
품 명	추진 인버터 장치			제 작 사	검 사 자		확 인 자
도면 및 근거							
차 호		차종					
검 사 일				판 정			
계측 장비							





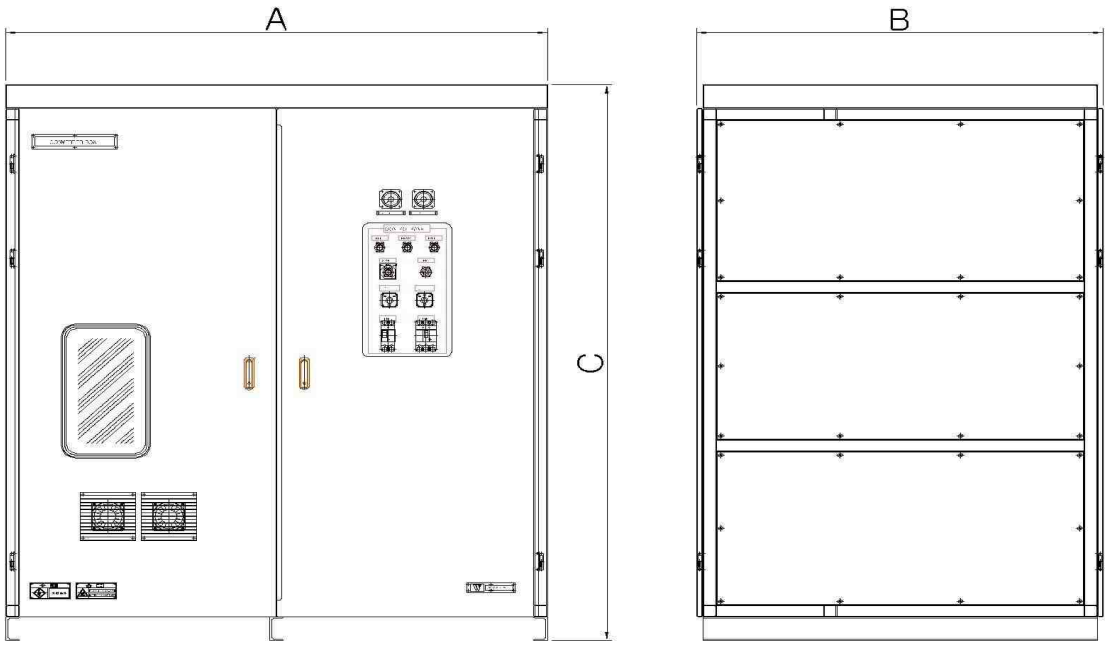
NO	항 목	기 준 치	결 과	비고
1	외관검사	사용상에 유해한 흠, 균열, 녹 등이 없을 것		
2	구조검사	A) 부품 : 각 부품의 취부상태를 확인시 양호할 것		
		B) 도장 : 반광 확인시 양호할 것		
		C) 배선 : 각 배선의 처리상태를 확인시 양호할 것		
3	중량측정시험	BOX의 무게를 측정하여 기준치 이내일 것		
특기사항 :				

<table>
<tr><th>NO</th><th>항 목</th><th>기 준 치</th><th>결 과</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>4</td><td>치수검사</td><td>승인도면에 의거 각부를 측정, 기준치 이내일 것
<table>
<tr><th>측정위치</th><th>기준값</th><th>측정값</th></tr>
<tr><td>A</td><td>2000mm ±4</td><td>2001mm</td></tr>
<tr><td>B</td><td>1500mm ±4</td><td>1500mm</td></tr>
<tr><td>C</td><td>2350 mm ±5</td><td>2351mm</td></tr>
</table></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td>보호회로
기능시험</td><td>보호회로 동작표에 의거 보호회로 동작시 양호할 것
고장표시, RESET확인</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td>제어 기능 시험</td><td>*광량측정 시험
- 24 dBm 이상의 광량을 유지
*IGBT 게이트 전원특성시험
- 교류출력이 AC 48 V ± 3 %, 15 kHz ± 10 % 이내인지 확인
*IGBT 게이트 특성시험(게이트 파형 첨부)
- Gate ON = + 15 V ± 2.2 V
- Gate OFF = - 15 V± 2.2 V
- Dead Time = 12 μs ± 2 μs
- 최소 ON 펄스폭 = 20 μs 이상인지 확인
*주회로 동작 시험
- 역행, 회생시 게이트 출력이 정상인지 확인
- U,V,W 상의 순서로 120°씩의 위상차로 지연되는지 확인</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td>경부하 시험</td><td>1) 입력 DC 950V 상태에서 정격부하의 10%인 상태로 3상 출력단이 R-S-T 상순이어야 한다.
2) 출력주파수 60Hz±1%, 위상각 120°±5%이어야 한다.</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td>소음 시험</td><td>입력전압 950V 정격부하에서 확인시 85dB이하 일것</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td>온도상승시험
시험</td><td>운행조건으로 10분간 운전하여 주요기기의 온도를 측정 한다.</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>10</td><td>효율 측정 시험</td><td>입력전압 950V 정격부하에서 확인시 90% 이상일 것</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>11</td><td>공급 과전압과
과도 에너지
시험</td><td>추진인버터장치의 손상이 없어야 하며 정상 동작 하여야 한다.</td><td></td><td></td></tr>
</table>

NO	항 목	기 준 치	결 과	비고
12	절연저항시험	고압도전부 - 프레임간 1000[V]메거로 100[MΩ] 이상 제어회로부 - 프레임간 500[V] 메거로 30[MΩ] 이상		
13	내전압시험	고압도전부 ↔ 저압회로 및 대지간 : AC 3400V, 60Hz, 1분간 저압회로 ↔ 대지간 : AC 1200V, 60Hz, 1분간		
14	전자파 시험	IEC 61000-4-3,4,5,6 실시하여 이상 없어야 한다.		
15	환경시험	KS C 0220 (저온시험) KS C 0221 (고온시험) KS C 0227 (온습도 싸이클 시험) 실시하여 이상이 없어야 한다.		
16	검출기 특성시험	전압, 전류센서의 특성을 확인한다.		
특기사항 :				

(4) 검사 성적서

공 사 명	초고속 자기 부상 열차			한국철도기술연구원	검 사	검 토	승 인
제 작 사	(주) 우 진 산 전						
품 명	추진 인버터 장치			제 작 사	검 사 자	확 인 자	
도면 및 근거	R1B001603						
차 호		차종					
검 사 일	2014년 1월 28일 ~ 2014년 2월 7일			판 정			
계측 장비	Digital Multimeter, Oscilloscope, Memory Hi Coder, High Voltage Differential Probe						



NO	항 목	기 준 치	결 과	비고
1	외관검사	사용상에 유해한 흠, 균열, 녹 등이 없을 것	양호	
2	구조검사	A) 부품 :각부품의 취부상태를 확인시 양호할 것	양호	
		B) 도장 : 반광 확인시 양호할 것	양호	
		C) 배선 : 각 배선의 처리상태를 확인시 양호할 것	양호	
3	중량측정시험	BOX의 무게를 측정하여 기준치 이내일 것	1,535Kg	

특기사항 :

<table>
<tr><th>NO</th><th>항 목</th><th>기 준 치</th><th>결 과</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>4</td><td>치수검사</td><td>승인도면에 의거 각부를 측정, 기준치 이내일 것.
<table>
<tr><th>측정위치</th><th>기준값</th><th>측정값</th></tr>
<tr><td>A</td><td>2000mm ±4</td><td>2001mm</td></tr>
<tr><td>B</td><td>1500mm ±4</td><td>1500mm</td></tr>
<tr><td>C</td><td>2350 mm ±5</td><td>2351mm</td></tr>
</table></td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td>보호회로
기능시험</td><td>보호회로 동작표에 의거 보호회로 동작시 양호할 것
고장표시, RESET확인</td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td>제어 기능
시험</td><td>* 광량측정 시험
- 24 dBm 이상의 광량을 유지
* IGBT 게이트 전원특성시험
- 교류출력이 AC 48 V ± 3 %, 15 kHz ± 10 % 이내인지 확인
* IGBT 게이트 특성시험(게이트 파형 첨부)
- Gate ON = + 15 V ± 2.2 V
- Gate OFF = - 15 V± 2.2 V
- Dead Time = 12 μs ± 2 μs
- 최소 ON 펄스폭 = 20 μs 이상인지 확인
* 주회로 동작 시험
- 역행,회생시 게이트 출력이 정상인지 확인
- U,V,W 상의 순서로 120°씩의 위상차로 지연 되는지 확인</td><td>
-16.1
-16.2

47.42V
15.49KHz

양호

양호

</td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td>경부하 시험</td><td>1) 입력 DC 950V 상태에서 정격부하의 10%인 상태로 3상 출력단이 R-S-T 상순이어야 한다.
2) 출력주파수 60Hz±1%, 위상각 120°±5%이어야 한다.</td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td>소음 시험</td><td>입력전압 950V 정격부하에서 확인시 85dB이하일 것</td><td>양호
(조합시험)</td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td>온도상승시험
시험</td><td>운행조건으로 10분간 운전하여 주요기기의 온도를 측정한다.</td><td>양호
(조합시험)</td><td></td></tr>
<tr><td>10</td><td>효율 측정
시험</td><td>입력전압 950V 정격부하에서 확인시 90% 이상일 것</td><td>양호
(조합시험)</td><td></td></tr>
<tr><td>11</td><td>공급 과전압과
과도 에너지 시험</td><td>추진인버터장치의 손상이 없어야 하며 정상 동작하여야 한다.</td><td>양호
(조합시험)</td><td></td></tr>
</table>

NO	항 목	기 준 치	결 과	비고
12	절연저항시험	고압도전부 - 프레임간 1000[V]메거로 100[MΩ] 이상 제어회로부 - 프레임간 500[V] 메거로 30[MΩ] 이상	∞ ∞	
13	내전압시험	고압도전부 ↔ 저압회로 및 대지간 : AC 3400V, 60Hz, 1분간 저압회로 ↔ 대지간 : AC 1200V, 60Hz, 1분간	3400V 20.1mA 1200V 12.9mA	
14	전자파 시험	IEC 61000-4-3,4,5,6 실시하여 이상 없어야 한다.	성적서 첨부	
15	환경시험	KS C 0220 (저온시험) KS C 0221 (고온시험) KS C 0227 (온습도 싸이클 시험) 실시하여 이상이 없어야 한다.	양호 (온도 그래프 첨부)	
16	검출기 특성시험	전압, 전류센서의 특성을 확인한다.	전류 검출기 10.01V 4.98V 전압 검출기 4.99V 10V 입력전압 검출기 5V 10.02V	
특기사항 :				

첨부 시험 진행 사진 (구성품 시험)



외관 검사



치수 검사



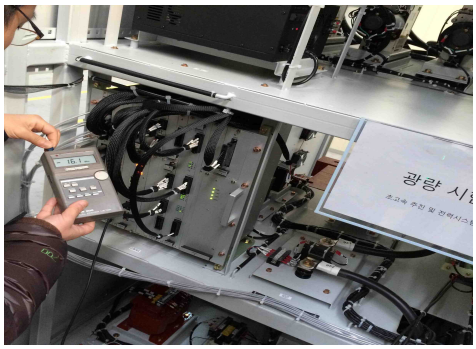
중량 측정



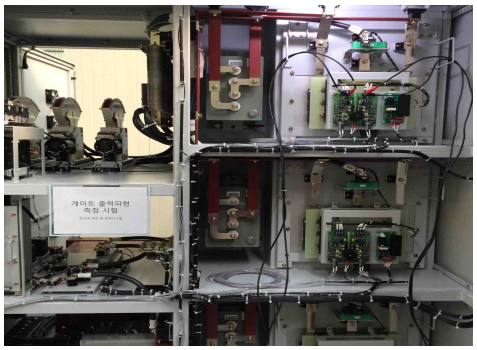
중량 측정



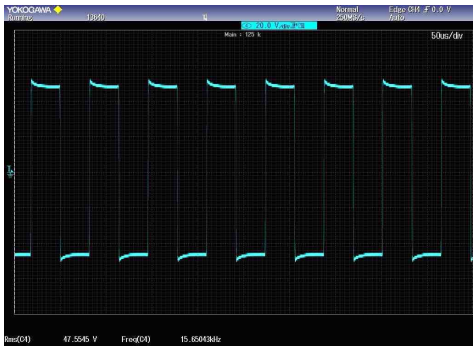
보호회로 기능시험



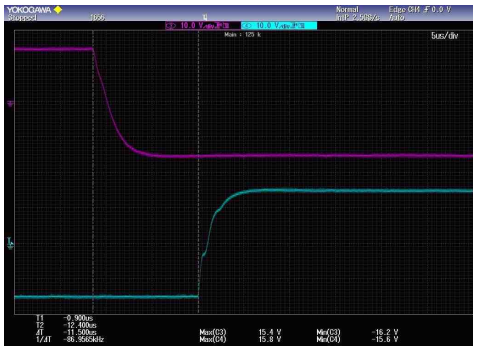
제어기능 시험 (광량시험)



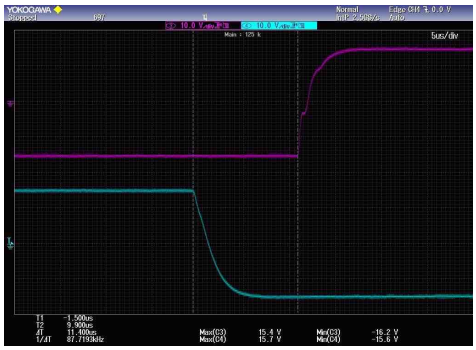
제어기능 시험
(게이트 출력파형 측정 시험)



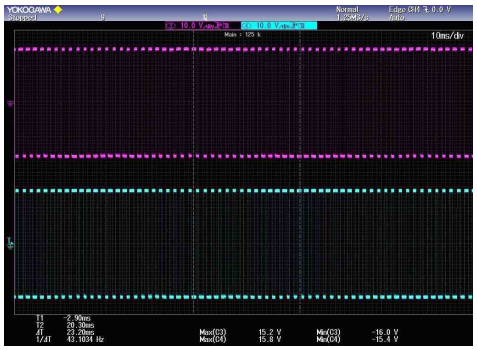
제어기능 시험 (게이트 전원특성 시험)



제어기능 시험
(게이트 출력파형 측정 시험)



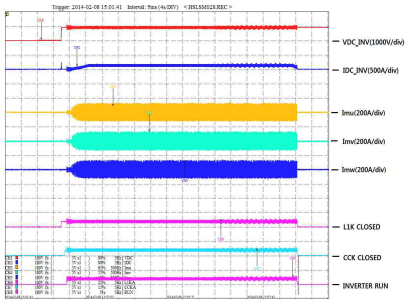
제어기능 시험
(게이트 출력파형 측정 시험)



제어기능 시험
(게이트 출력파형 측정 시험)



제어기능 시험 (주회로 동작 시험)



경부하 시험



전자파 시험



전자파 시험



환경 시험



절연 저항 시험



내전압 시험

첨부 시험 전자파시험 성적서

전자파 적합성 시험성적서

신청인	상 호	㈜우진산전		
	주 소	충청북도 괴산군 사리면 사리로 95		
	전화번호	043-820-4292	팩스번호	043-836-7653
	담당자	천 형 환	AGR No.	A142A-085
시험기기	명 칭	초고속 자기부상열차 추진시스템 추진 인버터		
	형 명	추진인버터 (Control Unit)	제조번호	14002
	제 조 자	㈜우진산전	제조국가	한 국
시 험 기 간		2014년 02월 12일 ~ 2014년 02월 13일	접 수 일	2014년 02월 12일
시 험 규 격		IEC 61000-4-4: 2011, IEC 61000-4-5: 2005, IEC 61000-4-6: 2008		
시 험 장 소		㈜ 원텍		

시험자 김 강 혁 연구원

확인자 남 승 현 수석 연구원

신청인이 제출한 시료의 시험 결과에 대한
시험 성적서를 발급합니다.

2014년 02월 18일

(주)원 텍 대표이사

본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

2. 시험 기준

2.2 시험항목 및 결과

시험 항목	기본 규격	시 험 결 과
전기적빠른과도현상내성시험	IEC 61000-4-4: 2011	■ 적합 □ 부적합
서지 내성시험	IEC 61000-4-5: 2005	■ 적합 □ 부적합
전기자기 전도내성시험	IEC 61000-4-6: 2008	■ 적합 □ 부적합

-. 상기 시험 항목은 신청인의 요청에 따른 시험 항목임.
-. 신청인의 요청에 따라 상기 시험 항목은 수검기기의 제어장치에만 적용 하였음.

2.3 수검기기의 보완내용

-. 해당 없음

3. 수검기기의 기술제원

구 분	주 요 사 항 및 특 성	
정격전원	입력	DC 950 V ⎓ 5 %, 368 A
	출력	3Φ 360V ±10 %, 340 A 효율 90 % 이상
I/O포트	AC Input	

4. 시험기기 구성 및 배치

4.1 전체구성

모 델 명	제 작 사	기 기 명	연 결
4.4절 참조			

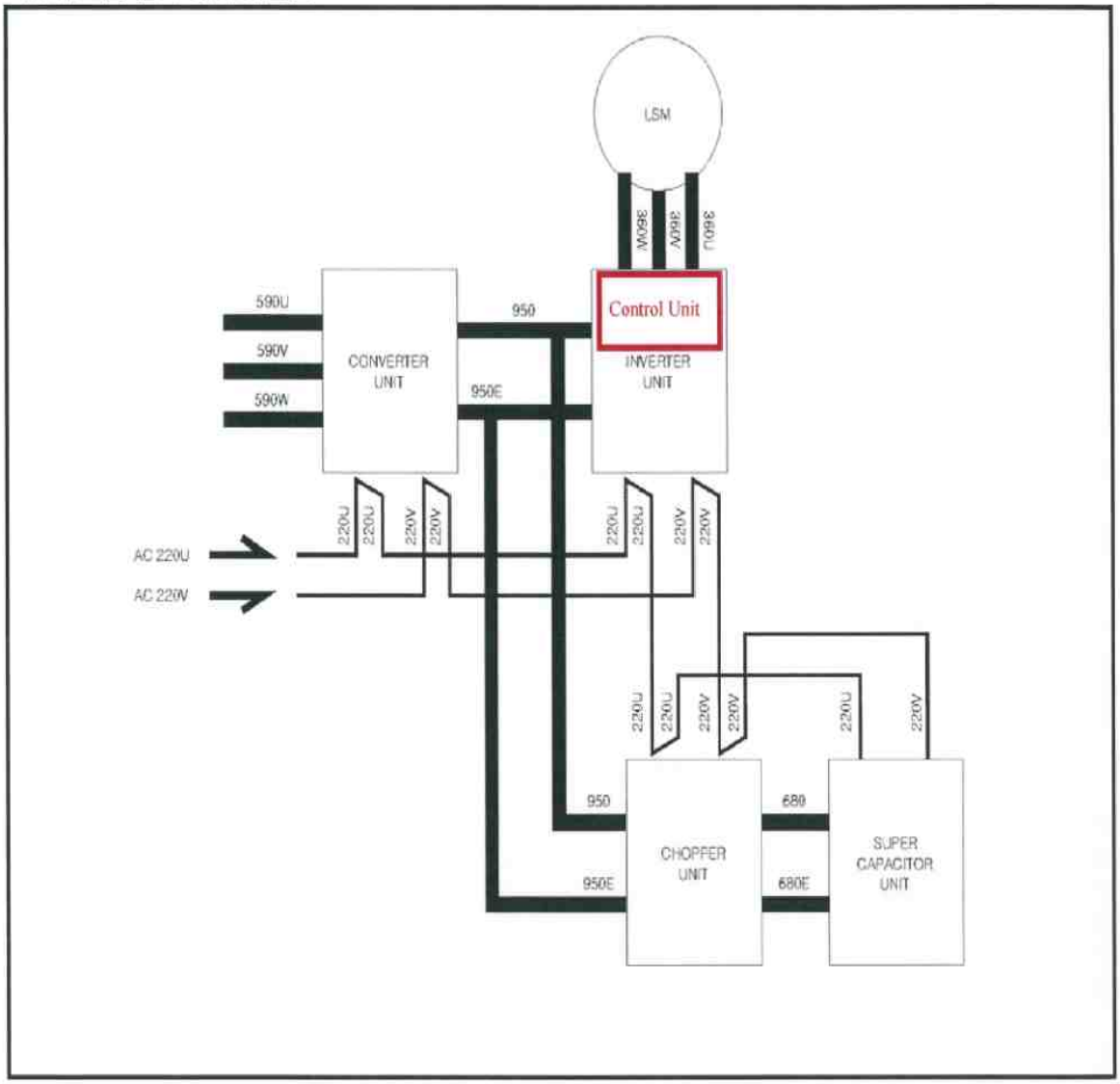
4.2 수검기기의 동작상태

-. 본 수검기기는 초고속 자기부상열차 추진시스템 추진 인버터의 제어장치로서 run mode에서 LED의 동작상태를 확인하며 시험 하였음

4.3 접속 케이블

접속 시작 장치		접속 끝 장치		케 이 블 규 격	
명칭	I/O Port	명칭	I/O Port	길이(m)	차폐여부
초고속 자기부상열차 추진시스템 추진 인버터의 제어장치(수검기기)	AC Input	DC POWER SUPPLY	DC Output	1.0	비차폐형

4.4 시스템 블록 다이어그램



7. 시험장면 사진

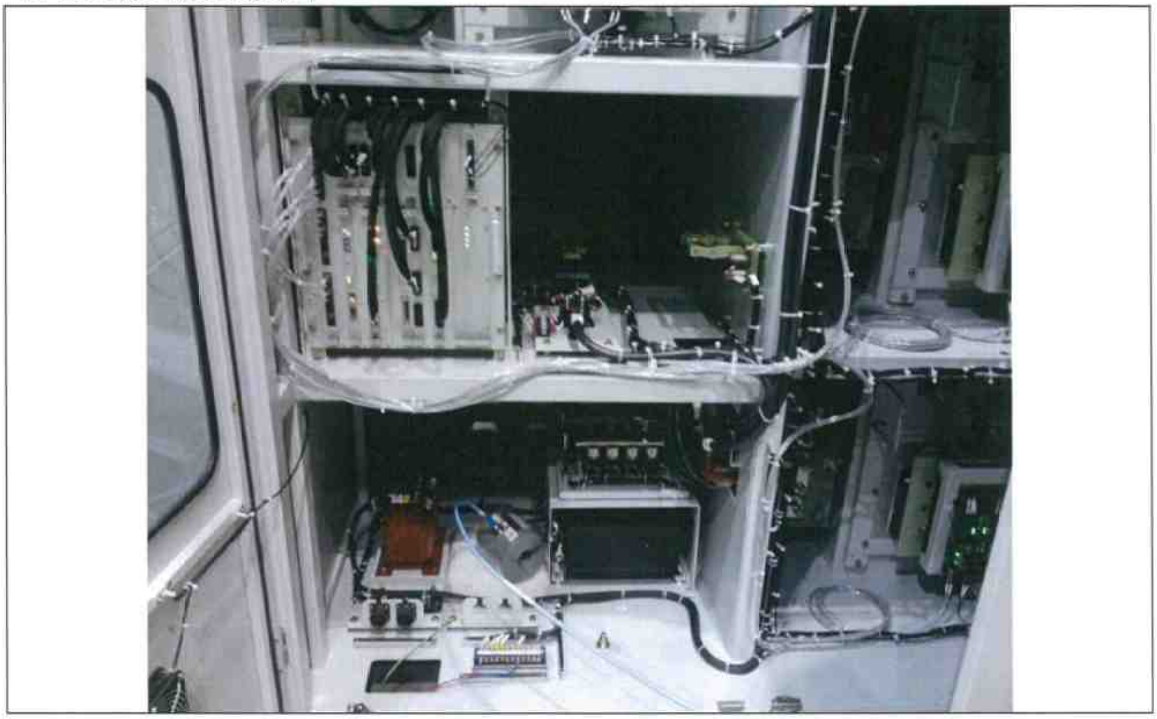
7.1 전기적빠른과도응답 내성시험



7.2 서지 내성시험



7.3 전기자기 전도내성시험



라. 종합시험(단거리 시험선) 절차서 및 기록서

미래철도기술개발사업	초고속 차량 핵심 기술 개발

추진 인버터 성능시험절차서

Rev.	날짜	개정 사유
00.00	2014.10.13	최초작성

승 인	2014.10.13	이 영 호	
검 토	2014.10.13	송 영 신	
작 성	2014.10.13	천 형 환	
	일 자	성 명	서 명

파 일 명	추진 인버터 성능시험절차서(14.10.13, Rev.00.00)		
워드프로세서	훈글 2010		
문 서 번 호		시험항목코드	

- 개정 이력

Rev.	페이지	변경사유	변경내용		개정일자
			~을	~(으)로	
00.00		최초 작성	최초 작성		'14.10.13

목 차

1. 적용 범위 ---- 4
2. 적용 규격 ---- 4
   2.1. 적용 문서 ---- 4
   2.2. 용어 정의 ---- 4
3. 시험의 목적 및 방법 ---- 4
   3.1. 시험 목적 ---- 4
   3.2. 시험 장소 ---- 4
   3.3. 시험 항목 ---- 5
   3.4. 시험 방법 ---- 5
4. 판정 기준 ---- 7
   4.1. 기동시험 ---- 7
   4.2. 기능시험 ---- 7
   4.3. 효율 측정 ---- 7

별첨 1. 추진 인버터 검사 및 시험 기록지 ---- 8

1. 적용 범위

본 절차서는 초고속 자기부상열차 단거리시험선에서 초고속 자기부상철도 핵심기술개발 연구단과제를 통하여 개발되는 "초고속 자기부상열차용 추진 인버터 성능시험"을 위한 시험 절차 및 기준에 대하여 규정한다.

2. 적용 규격

2.1. 적용 문서

1) 초고속 자기부상철도 시스템 기본 사양

2.2. 용어 정의

1) 2중 루프 제어방식 : 전압제어 및 역률제어 + 전류제어방식.
2) PWM : 단상 혹은 3상 PWM(Pulse Width Modulation) IGBT를 이용한 전력변환장치
3) LSM : 초고속형 선형동기 전동기

3. 시험의 목적 및 방법

3.1. 시험 목적

초고속 자기부상열차의 지상변전실에 설치되어있는 추진 인버터 사양을 검증하는 데에 있다.

3.2. 시험 장소

초고속 자기부상열차의 추진인버터 성능시험은 오송에 위치한 한국철도시설공단 시설장비사무소 부지 내 초고속 자기부상철도 단거리시험선에서 수행한다.

3.3. 시험 항목

순번	시 험 항 목	측정항목	정차시험	공차시험	만차시험
1	기동시험	IGBT 게이트 전원특성시험	◎	-	-
		IGBT 게이트 특성시험			
2	기능시험	게이트 확인	-	◎	◎
		상회전 확인			
3	효율측정	효율측정	-	-	◎

3.4. 시험 방법

3.4.1. 시험 조건

1) 제어용 전원을 인버터제어기에 연결한다.
2) 제어기 동작조건은 시험 모드에서 한다.
3) 모의 신호발생기에 의해 제어신호를 인가할 수 있어야 한다.
4) 차량 주전원 및 제어전원을 인가한 상태, 주간제어기의 전진/후진 상태에서 주행 방향을 확인한다.

3.4.2. 측정 항목

1) 게이트 구동전압
2) 역행 및 회생신호
3) 열차 속도
4) 인버터 입력 전압 및 전류
5) 인버터 출력 전압 및 전류

3.4.3. 측정 장비

표 2. 측정 시험장비

No.	장비명	모델명	비 고
1	TRUE RMS MULTIMETER	FLUKE 177	
2	DIGITAL OSCILLOSCOPE	DL9140	
3	MEMORY HI CORDER	HIOKI 8826	
4	HIGH VOLTAGE DIFFERENTIAL PROBE	SI9010	

3.4.4. 시험 방법

1) 기동 시험

가) 입력전압(DC 1050V)을 인가하지 않은 상태에서 제어전원만 인가한 상태에서 .추진제어인버터 내부 구성모듈의 입력전원전압, 제어 전원장치 출력전압, 전력반도체소자 구동신호의 파형, 제어기 동작을 측정하여 규정치 이내이여야 한다.

(1) IGBT 게이트 전원특성시험

교류출력이 AC 48 V ± 3 %, 15 kHz ± 10 % 이내 일 것.

(2) IGBT 게이트 특성시험

Gate ON = + 15 V ± 2.2 V, Gate OFF = - 15 V ± 2.2 V,

Dead Time = 12 ㎲ ± 2 ㎲

최소 ON 펄스폭 = 20 ㎲ 이상 일 것.

2) 기능 시험

가) 입력전압(DC 1050V)을 인가한 상태에서 전진 신호시 정상적으로 열차가 이동하고 후진 신호인가시 정상적으로 후진하는지 확인한다.

(1) 주회로 동작시험

① 게이트 확인 : 역행 동작시에 게이트 출력이 정상 일 것.

② 상회전 확인 : U, V, W 상의 순서로 120° 씩의 위상차로 지연 될 것.

3) 효율 측정

가) 전력컨버터를 동작 시킨 상태의 차량 주행시의 인버터장치를 기동하여 추진시 최대 전력시의 효율(인버터 입력 전력/인버터 출력 전력)을 측정하여 규정치를 만족하는지 확인한다.

4. 판정기준

4.1. 기동 시험

1) 추진제어인버터 입력전원전압
2) 추진제어인버터 제어 전원장치 출력전압
3) 전력반도체소자 구동신호의 파형

4.2. 기능 시험

1) 전진 및 후진 신호
3) 역행 및 제동 신호

4.3. 효율 측정

인버터 입력 전력/인버터 출력전력비가 90% 이상

별첨 1. 추진인버터 시험 기록지

시 험 품	초고속 자기부상열차 SUMA 550-01		확인자	KRRI(신헌철)	
시험일시	2015 년 2 월 13 일~2015 년 2 월 13 일		시험자	손경민(우진산전)	
시험장소	단거리시험선 검수고 & 본선				
시험환경	온도 12 ℃	습도 45 % R.H		날씨 : 맑음	

1. 기동 시험

순번	시험항목	시험기준	시험결과	비고
1	제어장치의 기본 동작 특성 확인	게이트 전원 전압	24V	
		주회로 소자 구동신호 파형		
		주회로 입력 전압	DC 950V ±10 %	

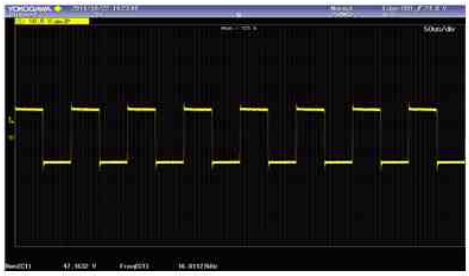
2. 기능 시험

순번	시험항목	시험기준	시험결과	비고
1	전진/후진 상태에서 주행방향 확인	전진 및 후진	양호	
		역행 및 제동신호	양호	

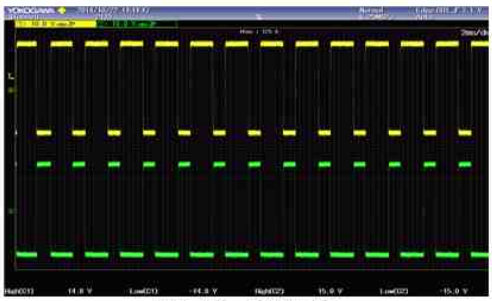
3. 효율 측정

순번	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			1회	2회	
1	추진시 최대 전력시의 효율	인버터 출력전력/입력전력 90% 이상 (LSM 효율: 80% LSM 역율: 72%)	92.6%	92.3%	

첨 부 시험 진행 사진



제어기능 시험 (게이트 전원 확인)



IU1,IX1 ON/OFF



제어기능 시험 (데드타임)



인버터 입력전압 및 스위칭 파형



인버터 효율측정 1회 92.6%



인버터 효율측정 2회 92.3%

제8절 전력컨버터 개발

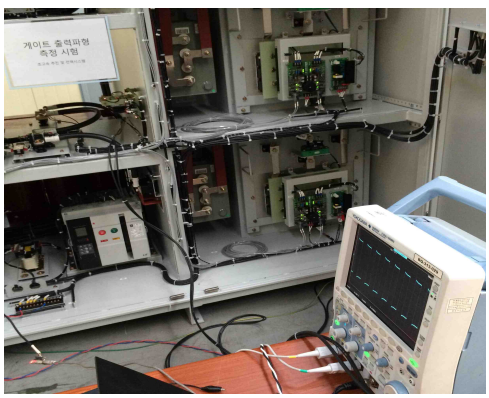
1. 개요

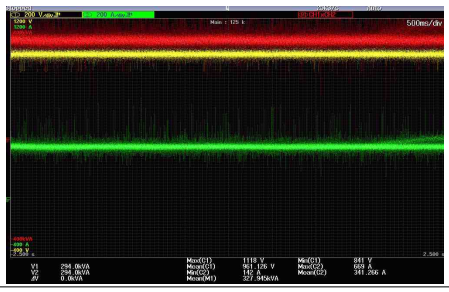
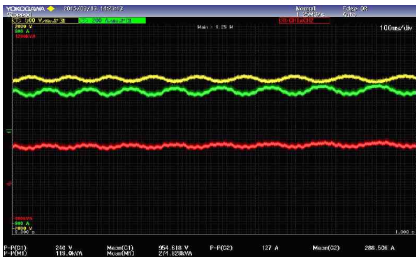
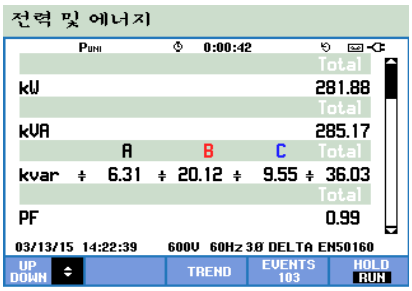
자기부상 변전시스템에서 추진 제어장치(인버터)의 전원 공급은 3상 22.9kV의 전원을 주변압기를 이용하여 590VAC로 강압한 후 정류기를 통하여 950VDC의 전압을 발생시키는 구조로 되어 있다. 하지만 정류기를 사용하여 DC전원을 공급하는 시스템은 전원공급 시에 맥동성분 요소에 대한 성분을 피할 수 없으며, 이는 추진 제어장치에 사용되는 인버터에 제어특성에 좋지 못한 영향을 줄 수 있다. 또한 정류기 부하에 의한 비선형 특성에 의하여 한전의 계통라인에는 정류부하에 의한 6n±1의 고조파 성분을 발생시킴으로서 계통전력에도 좋지 못한 영향을 발생하게 된다.

2. 목표

본 기술개발 목적은 추진제어장치의 DC 전원 공급에 사용되는 정류기를 PWM컨버터를 사용하여 제어함으로서 부하변동에 따른 안정적인 DC전원을 공급하고, 이와 더불어 PWM 컨버터의 입력단의 전류를 단위 역률 제어함으로서 기존의 정류기 사용 시에 비해 THD 및 역률을 개선시키고자 하는데 그 목적이 있다.

3. 개발 내용 요약

<table>
<tr><td>연구목표</td><td colspan="2">초고속자기부상열차의 DC 전원공급에 사용되는 정류기를 PWM컨버터를 사용하여 제어함으로서 부하변동에 따른 안정적인 DC전원을 공급하고, 이와 더불어 PWM 컨버터의 입력단의 전류를 단위 역률 제어함으로서 기존의 정류기 사용시에 비해 THD 및 역률을 개선 알고리즘 개발</td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="2">▪ 단거리 시험용의 전력 컨버터 시제품 제작
▪ 단거리 시험용의 전력 컨버터 시험계획서 수립
▪ 전력 컨버터의 조합시험 및 단거리 시험선의 연계시험</td></tr>
<tr><td>수행과정</td><td colspan="2">▪ 전력 변환 회로의 주회로 인터페이스 회로 설계냉각용량 설계
▪ PWM 컨버터 제어장치 설계 및 시제품 제작
▪ 전력 컨버터 제작에 따른 기능 동작 및 조합 시험
▪ 단거리시험선의 전력설비와의 연계 시험</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구결과</td><td colspan="2">▪ 전력 컨버터의 장치의 조합시험 및 연계시험</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

	보호회로 기능시험	제어기능 시험
	 	 
	공차주행시 효율측정 (327KVA/340KVA=96%)	만차 주행시 효율측정 (274KVA/285KVA=96%)

4. 상세 개발 내용

가. 3상 PWM 컨버터를 이용한 전압제어 시스템

(1) 3상 PWM 컨버터 구조 및 구동원리

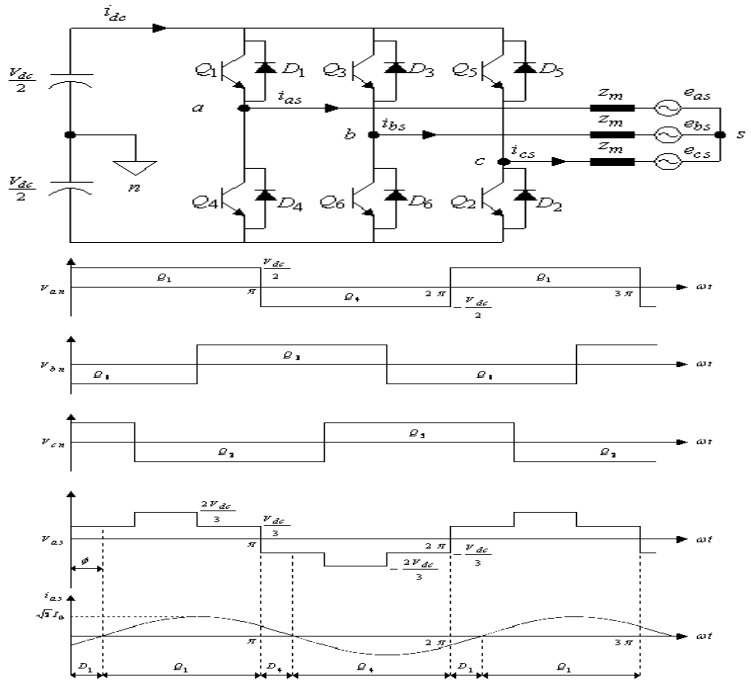
3상 PWM 컨버터는 AC 전력을 DC 전력으로 변환시키는 역할을 수행하는 장치이다. 시스템의 구성 및 기본 동작은 아래의 그림과 같다.

(2) 3상 PWM 컨버터 제어 시스템

(가) 개요

3상 PWM 컨버터는 IGBT를 이용한 전력 변환 장치로서 AC전력을 DC전력으로 변환시키는 역할을 수행한다. 3상 PWM 컨버터의 특징은 다음과 같다.

- 다이오드 브리지와 비교하면, IGBT의 방향이 역으로 될지라도, AC전력을 DC전력으로 변환한다.
- DC 출력 전압은 AC 입력 전압의 크기보다 더 크게 증가시킬 수 있다.
- AC 입력 측에 리액턴스가 존재하더라도, 단위 역률 제어 수행이 가능하다.
- AC 전력이나 DC 부하가 변할 때에도, DC 출력 전압을 일정하게 유지될 수 있도록 능동 제어가 가능하다.



[그림 2.8.1] 3상 PWM 컨버터의 기본회로 및 동작원리

(나) 3상 PWM 컨버터 제어블록도

3상 PWM 컨버터는 안정한 직류 전압을 공급하는 전력 공급기로서 제어 시스템은 [그림 2.8.2]의 제어 블록도에서 보는 것과 같이, 외부 제어기에는 DC링크 전압을 제어하기 위한 전압제어기와 역률제어기가 구성되고, 내부 제어기는 외부 제어기의 출력 전류 지령을 제어하기 위한 전류제어기로 구성된다.

PWM 컨버터는 순시적으로 DC 출력 전압을 모니터링하고, DC 전압의 감소와 증가에 비례해서 AC 전류를 증가시키거나 감소하는 제어를 한다. 또한 주변압기의 1차측 전류를 전압의 위상과 같도록 PWM 컨버터가 역률제어를 위한 위상제어도 병행하여 수행한다.

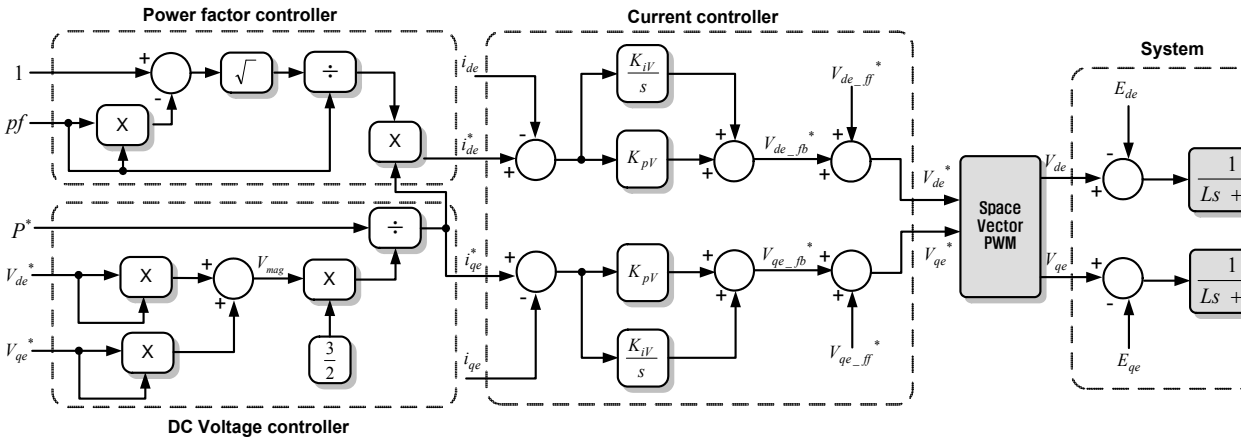
① 전압제어기(IP 제어기)

외부 루프 제어기인 전압제어기는 전원 측에서 공급되는 입력전력이 부하에서 소비하는 출력전류보다 클 경우에는 DC-link전압이 증가하고, 반대의 경우에는 DC-link의 전압이 감소하므로 입력전력을 제어함으로서 DC-link전압을 일정하게 제어할 수 있다. 이는 곧 전류(전력분)를 제어함으로서 DC-link전압을 제어하는 것과 동일하다. 일반적으로 q축 전류 지령치를 DC-link전압을 일정하게 유지하기 위하여 부하측에서 소비하는 전력에 대한 전향 보상(feed - forward)항과 DC-link전압의 오차에 대한 궤환(feedback)항으로 구성할 수 있다. 궤환 제어기로서 IP제어기를 사용하는 경우 식 (2.8.1)과 같이 표현할 수 있다.

$$i_q^{e*} = \left[-K_p V_{dc} + K_i \int \left(V_{dc}^* - V_{dc} \right) dt \right] + P_{out} / \left(\frac{3}{2} E \right) \qquad (2.8.1)$$

여기서, 부하 측에서 소비하는 전력은 부하 측의 전류와 전압 정보로부터 구할 수 있다. 직류 출력 전압에 관한 방정식은 식 2.8.2와 같다.

$$\frac{C}{2}\frac{dV_{dc}^2}{dt} = P_{in} - P_{out} \tag{2.8.2}$$



[그림 2.8.2] 3상 PWM 컨버터 제어 블럭도

여기서, C는 DC-link 캐패시턴스이다.

만약 내부 제어기에 의한 전류 제어와, 부하 측에서 소비하는 전력에 대한 보상이 완벽하다면 식 2.8.3을 구할 수 있다.

$$\frac{C}{2}\frac{dV_{dc}^2}{dt} = \frac{3}{2}E\left[-K_p V_{dc} + K_i \int \left(V_{dc}^* - V_{dc}\right)dt\right] \tag{2.8.3}$$

직류 출력 전압의 동작점(V_{dc0})에서 직류링크 전압의 제곱을 테일러 급수로 전개한 후 2차 이상을 무시하여 구하면 식 2.8.4와 같이 계산된다.

$$V_{dc}^2 = V_{dc0}^2 + 2V_{dc0}\left(V_{dc} - V_{dc0}\right) \tag{2.8.4}$$

식 2.8.4에 식 2.8.3을 대입하면 식 2.8.5가 된다.

$$CV_{dc0}^2\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{3}{2}E\left[-K_p V_{dc} + K_i \int \left(V_{dc}^* - V_{dc}\right)dt\right] \tag{2.8.5}$$

식 2.8.5를 전달함수 형태로 변환하면 식 2.8.6과 같이 계산된다.

$$\frac{V_{dc}(s)}{V_{dc}^{*}(s)}=\frac{\frac{\frac{3}{2}EK_i}{CV_{dc0}}}{s^2+\frac{\frac{3}{2}EK_p}{CV_{dc0}}s+\frac{\frac{3}{2}EK_i}{CV_{dc0}}}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2} \tag{2.8.6}$$

여기서, ω_n, ζ은 절점 주파수는 감쇠비이다.

IP 제어기는 주파수 영역의 해석을 통하여 구할 수 있다. 이 때, 직류 링크 전압 제어가 원활히 수행되는 경우에는 직류링크 전압의 동작점을 직류 링크 전압 지령치라고 생각할 수 있으므로, 비례이득과 적분이득은 식 2.8.7과 같이 구할 수 있다.

$$K_p=2\zeta\omega_n\frac{CV_{dc}^{*}}{\frac{3}{2}E},\quad K_i=\omega_n^2\frac{CV_{dc}^{*}}{\frac{3}{2}E} \tag{2.8.7}$$

$$BW=\omega_n\sqrt{(1-2\zeta^2)+\sqrt{4\zeta^4-4\zeta^2+2}} \tag{2.8.8}$$

이 때, 직류 링크 전압 제어가 원활히 수행되는 경우에는 직류 링크의 동작점을 직류 링크 전압 지령치라고 생각 할 수 있으므로, 비례이득과 적분이득은 식 2.8.7과 같이 구할 수 있고 제어기의 대역폭(bandwidth)은 식 2.8.8과 같이 정해진다.

② 역률 제어기

전원 전압과 전류가 정현파인 경우에, 역률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$pf=\frac{e_{dqe}\bullet i_{dqe}}{|e_{dq}||i_{dq}|}=\frac{\sqrt{e_{de}^2i_{de}^2+e_{qe}^2i_{qe}^2}}{\sqrt{e_{de}^2+e_{qe}^2}\sqrt{i_{de}^2+i_{qe}^2}}=\frac{i_{qe}}{\sqrt{i_{de}^2+i_{qe}^2}} \tag{2.8.9}$$

그러므로 역률제어를 행하기 위해서는 d축 전류 지령치를 식과 같이 생성하면 된다.

$$i_{de}^{*}=i_{qe}^{*}\frac{\sqrt{1-pf^2}}{pf} \tag{2.8.10}$$

즉, 단위 역률 제어를 수행하는 경우에는 d축 전류를 0으로 제어하면 된다.

③ 전류제어기 구성(PI-제어기)

3상 컨버터 입력 전류는 전원과 컨버터 사이의 전압차에 의해 결정된다. 실제 전류가 전류지령치를 추종하기 위한 전류 제어기의 인터페이스 인덕터 전압에 해당된

다. dq동기 좌표계에서의 전압방정식은 식 2.8.11, 2.8.12와 같다.

$$V_d^e = e_d^e - L_i\frac{di_d^e}{dt} + \omega L_i i_q^e \tag{2.8.11}$$

$$V_q^e = e_q^e - L_i\frac{di_q^e}{dt} - \omega L_i i_d^e \tag{2.8.12}$$

일반적으로 제어기는 외란을 보상하기 위한 전향 보상항(v_{ff}^*)과 오차를 제거하기 위한 궤환항(v_{fb}^*)으로 구성된다. 이 두 항을 합하여 식 2.8.13과 같이 제어전압을 구성한다.

$$V_c^* = -v_{fb}^* + v_{ff}^* \tag{2.8.13}$$

여기서, V_c^*는 지령 전압이다. 전향 보상항은 전원전압과 d-q축 간 상호 간섭항으로 식 2.8.14, 2.8.15와 같다.

$$V_{d-ff}^e = e_d^e + \omega L_i i_q^e \tag{2.8.14}$$

$$V_{q-ff}^e = e_q^e - \omega L_i i_d^e \tag{2.8.15}$$

그리고 궤환 제어기는 PI제어기를 사용한다. 제한기에 의해서 전류제어기의 출력은 제한되며 적분기의 발산을 방지하기 위해서 안티 와인드업(anti-windup) 기능을 추가한다. 안티 와이드업을 포함한 궤환제어기의 출력은 식 2.8.16과 같이 표현된다.

$$v_{fb}^* = K_p(i^* - i) + K_i\int\left[(i^* - i) + K_a(v^* - v_{sw}^*)\right]dt \tag{2.8.16}$$

안티와인드업 항을 무시하고 전향보상이 잘 이루어진다면, 전달함수는 식 2.8.17과 같이 된다.

$$\frac{i_{sc}(s)}{i_{sc}^*(s)} = \frac{\frac{K_p}{L_i}s + \frac{K_i}{L_i}}{s^2 + \frac{K_p}{L_i}s + \frac{K_i}{L_i}} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \tag{2.8.17}$$

여기서, 비례이득과 적분이득은 식 (2.8.18)과 같다.

$$K_p = 2\zeta\omega_n L_i \ , \ K_i = \omega_n^2 L_i \tag{2.8.18}$$

(3) 3상 PWM 컨버터 제어를 위한 위상 검출기

(가) 개요

3상 PWM 컨버터에 있어 입력 AC전압과의 동기화를 맞추어 단위 역률 제어를 수행하는 것은 매우 중요한 요소 중 하나이다. 그 이유는 단위 역률 제어를 통하여 발생되는 무효전력 성분을 제거함으로서 입력 전원의 피상전력을 감소시키는 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 이러한 측면에서 보았을 때, 입력전압에 대한 위상 동기화를 위한 위상 검출기의 역할은 매우 크다.

특히 정확하고 빠른 입력전원의 위상각 추정은 전체시스템 제어에서 반드시 필요하다. 이 정보는 유효전력과 무효전력의 제어와 역률제어 등에서 전류나 전압의 지령치 계산에 사용될 수 있다.

이러한 위상 동기화 기법은 입력전압이 평형인 경우에 이용될 수 있는 여러 종류의 동기화 방법이 연구되었다. 영전압 교차(zero-crossing)점을 이용한 방법은 매우 간단하지만 왜곡된 계통전압에 대해 매우 민감하다는 단점이 있다. 정지좌표계 또는 동기좌표계에서 컨버터 입력전압의 필터링를 통해 컨버터 입력의 위상각을 추정하는 방법은 영전압 교차점을 이용한 방법보다 성능이 향상되었지만 컨버터 입력이 변동되거나 고장이 발생하면 위상각을 추출하기 어렵다. 최근에는 동기좌표계를 이용한 PLL방법이 주로 사용되며, 이 방법은 매우 간단하고 안정적이다. 하지만 컨버터 입력의 사고에 의한 불평형 전압 조건에서는 저차의 고조파 전압이 발생되므로, 왜곡전압이 발생하는 컨버터 입력전압 조건에는 적합하지 못하다.

컨버터 입력전압이 불평형인 경우에 정확한 위상각을 추정하기 위해서는 컨버터 입력 전압으로부터 정상분 전압을 빠르고 정확하게 추출하는 것이 중요하다. 컨버터 입력전압으로부터 정상분 전압을 추출하는 방법에는 3상 전원으로부터 정상분 전압을 직접 추출하는 방법과 정지좌표계에서 APF를 이용하여 추출하는 방법 그리고 두 동기 좌표계를 이용하여 정상분을 추출하는 방법(DSRF)이 연구되었다.

제안된 알고리즘은 불평형 컨버터 입력전압 조건에 강인하고, 빠른 동특성을 갖는 정상분 전압을 검출하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 동기 좌표계에서 APF를 적용하여 연산하는 방법으로 구현되었다. 또한 일반적으로 측정된 전원에 센서의 노이즈 때문에 포함되는 PLL 피드백 루프에 LPF를 고려한 PLL시스템의 모델링을 제안하였다.

(나) SRF-PLL 위상동기화 기법

① 불평형 AC 전원해석

불평형 3상 전압은 식 2.8.19와 같이 두 개의 평형한 3상 전압인 정상분 전압과 역상분 전압의 합으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = V_p \begin{bmatrix} \cos(\omega t + \phi_p) \\ \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \phi_p\right) \\ \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \phi_p\right) \end{bmatrix} + V_n \begin{bmatrix} \cos(\omega t + \phi_n) \\ \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \phi_n\right) \\ \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \phi_n\right) \end{bmatrix} \tag{2.8.19}$$

식 2.8.19를 복소수 형태로 나타내면 식 2.8.20과 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{v}_{abc} = \vec{v}_{dqs} = V_p e^{j(\omega t + \phi_p)} + V_n e^{-j(\omega t + \phi_n)} \tag{2.8.20}$$

여기서 p와 n은 각각의 정상분 변수와 역상분 변수를 의미하며, 3상 3선식을 가정하여 영상분 전압은 고려하지 않았다.

$$\vec{v}_{dqe} = v_{de} + jv_{qe} = V_p e^{j(\omega t + \phi_p - \theta_e)} + V_n e^{-j(\omega t + \phi_n + \theta_e)} \tag{2.8.21}$$

$$\begin{cases} v_{de} = V_p \cos(\omega t + \phi_p - \theta_e) + V_n \cos(\omega t + \phi_n + \theta_e) \\ v_{qe} = V_p \sin(\omega t + \phi_p - \theta_e) - V_n \sin(\omega t + \phi_n + \theta_e) \end{cases} \tag{2.8.22}$$

식 2.8.19로부터 동기 좌표계로 변환하면 식 2.8.20과 같이 표현되고, 식 2.8.21을 d-q축으로 나누어 계산하면 오일러 공식에 의해 식 2.8.22와 같이 계산할 수 있다. 만약 SRF-PLL시스템의 PI제어기가 회전각 $\theta_e = \omega t$가 되도록 이상적으로 제어한다면 식 2.8.23와 같이 표현된다.

$$\begin{cases} v_{de} = V_p \cos\phi_p + V_n \cos(2\omega t + \phi_n) \\ v_{qe} = V_p \sin\phi_p - V_n \sin(2\omega t + \phi_n) \end{cases} \tag{2.8.23}$$

식 2.8.23에서 알 수 있듯이 컨버터 입력전압에 불균형이 발생하면 역상분 전압으로 인해 동기좌표계 전압에는 2ω의 전압 맥동 성분이 발생함을 알 수 있다.

② 역상분 제거 알고리즘

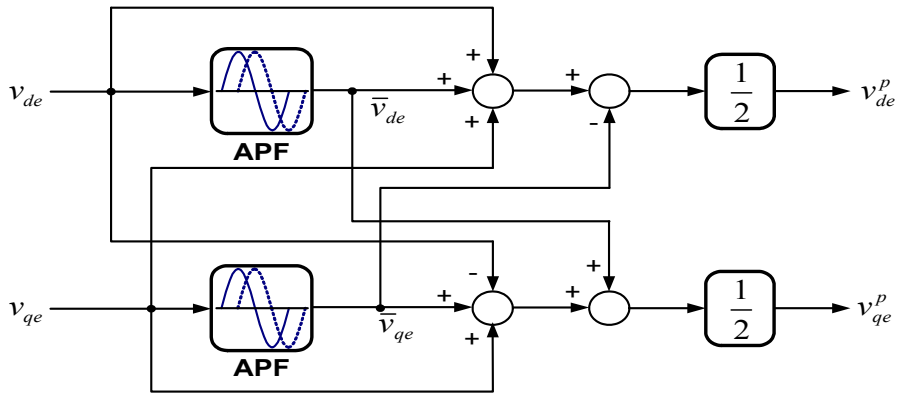
역상분에 의한 고조파를 제거하기 위해 식 2.8.23에 APF(all pass filter)를 적용하면 식 2.8.24와 같이 계산할 수 있다. 이때 APF의 차단 주파수는 역상분의 2ω의 전압 맥동 성분을 90도 위상지연을 적용하기 위해 컨버터 입력전원 주파수의 2배로 설정한다.

$$\begin{cases} \bar{v}_{de} = V_p\cos\phi_p + V_n\cos\left(2\omega t + \phi_n - \dfrac{\pi}{2}\right) = V_p\cos\phi_p + V_n\sin\left(2\omega t + \phi_n\right) \\ \bar{v}_{qe} = V_p\sin\phi_p - V_n\sin\left(2\omega t + \phi_n - \dfrac{\pi}{2}\right) = V_p\sin\phi_p + V_n\cos\left(2\omega t + \phi_n\right) \end{cases} \quad (2.8.24)$$

식 2.8.23과 식 2.8.24를 적용하여 정상분 전압을 식 2.8.25과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{cases} v_{de}^{p} = V_p\cos\phi_p = \dfrac{1}{2}\left(v_{de} + v_{qe} + \bar{v}_{de} - \bar{v}_{qe}\right) \\ v_{qe}^{p} = V_p\sin\phi_p = \dfrac{1}{2}\left(-v_{de} + v_{qe} + \bar{v}_{de} + \bar{v}_{qe}\right) \end{cases} \quad (2.8.25)$$

[그림 2.8.3]는 정상분 전압 추출에 대한 블록도를 보여주고 있다.

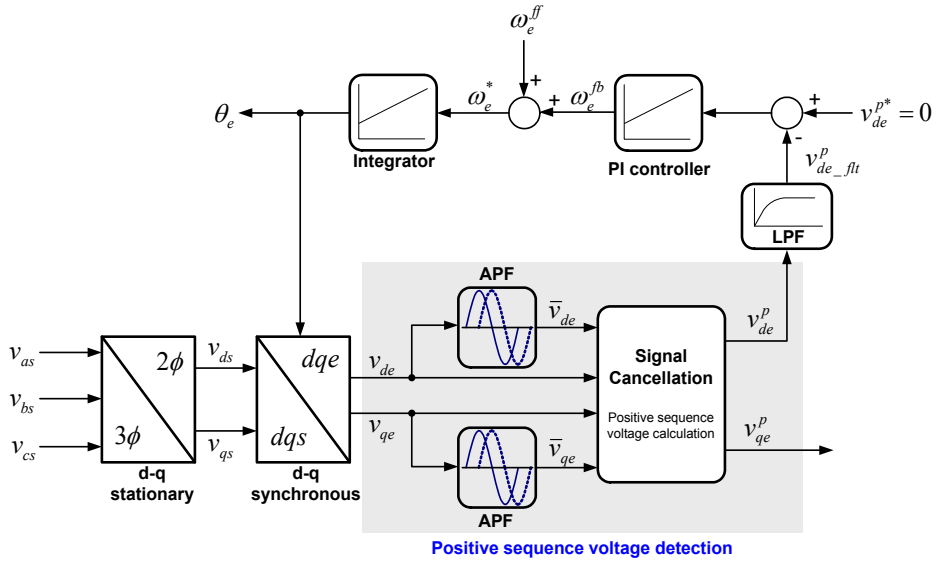


[그림 2.8.3] 정상분 전압 추출 블록도

③ SRF-PLL 모델링

SRF-PLL는 컨버터 입력의 3상 전원으로부터 d-q 동기좌표계로 변환 후 2.2절에서 설명한 컨버터 입력 전원의 역상분 제거 알고리즘을 적용하여 추출된 동기좌표계에서의 정상분 d축 전압을 계산하고 계산된 정상분 d축 전압에 대해서 센서에 대한 노이즈나 전압왜곡 현상을 방지하기 위하여 LPF를 사용하게 된다. 이렇게 LPF를 거친 정상분 d축 전압은 PI 제어기를 통하여 제어하고, 이미 알고 있는 시스템의 정격 주파수를 전향 보상함으로 사용한다.

전향 보상항이 포함된 PI 제어기의 출력인 각 주파수는 적분하여 최종적으로 위상각을 제어하게 된다. 이렇게 구현된 SRF-PLL의 블록도는 [그림 2.8.4]에서 보는 것과 같다. SRF-PLL 블록도에서 보여지는 것과 같이 안정된 위상 검출을 위해 전압 측정값에 필수적으로 사용되고 있는 저역통과필터(Low Pass Filter, LPF)의 특성을 고려하여 PLL 시스템 전체의 동특성을 설계하고 그 응답 성능을 개선하도록 하였다.



[그림 2.8.4] Advanced SRF-PLL 제어블록도

▪ LPF가 없는 PLL 시스템

[그림 2.8.5]의 블록도에서 만약 충분히 작은 위상각 범위에서 $\sin\theta_e \approx \theta_e$이므로 동기좌표계 d축 전압의 오차는 위상각의 오차를 나타내는 것으로 선형화하여 모델링 할 수 있다. 또한 3상 좌표계 변환과정이 이상적이고 LPF의 차단주파수는 시스템 제어기 응답 주파수 보다 충분히 높다고 가정하면 [그림 2.8.5]과 같이 간략히 선형화된 피드백 제어루프로 모델링 할 수 있다. [그림 2.8.2]으로부터 개루프 전달함수는 식 2.8.26과 같이 계산되어진다.

$$G(s) = V_p\left(K_p\frac{1+s\tau}{s\tau}\right)\frac{1}{s} \tag{2.8.26}$$

여기서 K_p는 PI 제어기의 비례이득이고, τ는 PI 제어기의 시정수이다.
식 2.8.26에 의해 폐루프 전달함수는 식 2.8.27와 같이 계산된다.

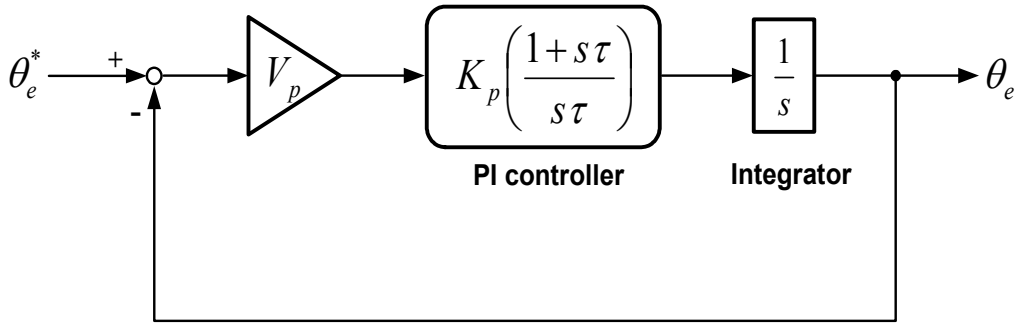
$$H(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)} = \frac{V_pK_ps + \frac{V_pK_p}{\tau}}{s^2 + V_pK_ps + \frac{V_pK_p}{\tau}} \tag{2.8.27}$$

PLL 시스템의 폐루프 전달함수($H(s)$)를 일반적인 2차 제어 시스템 모델과 같아지도록 식 2.8.28로 정리할 수 있다.

$$H(s)_{model} = \frac{2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \tag{2.8.28}$$

여기서 PLL 시스템의 대역폭 ω_n을 원하는 값으로 설정하면 PI 제어기의 게인은 식 2.8.29와 같이 설계할 수 있다.

$$K_p = \frac{2\zeta\omega_n}{V_p} \qquad \tau = \frac{K_p V_p}{\omega_n^2} \tag{2.8.29}$$



[그림 2.8.5] LPF가 없는 PLL시스템의 제어기 모델링

- LPF가 있는 PLL 시스템

PLL 시스템을 간략화 하여 모델링하고 그에 따라 PLL제어기의 게인을 선정하는 방법은 LPF있는 경우에는 정확히 원하는 특성을 갖지 못하게 된다. 왜냐하면 실제 PLL의 구현 시에는 전압 센싱이나 기타 노이즈가 있고 또한 전원 전압 왜곡이 존재하므로 동기 좌표계 d축 전압에 LPF를 사용하는 것이 일반적이다.

전원의 급격한 변동을 대상으로 전원 위상과 크기를 정확히 알아내기 위해서는 이러한 LPF가 시스템의 응답특성에 미치는 영향을 분석하고 이를 제어기 설계에 반영할 필요가 있다. [그림 2.8.7]은 LPF를 고려한 PLL 시스템의 모델링을 나타내며 LPF는 식 2.8.30와 같이 1차 지연요소로 볼 수 있다.

$$K(s)_{LPF} = \frac{\omega_c}{s+\omega_c} \tag{2.8.30}$$

[그림 2.8.6]의 위상각 제어 시스템에서 개루프 전달함수는 식 2.8.26과 같고, LPF를 고려한 PLL 시스템의 폐루프 전달함수는 식 2.8.31과 같이 계산된다.

$$H(s)_{LPF} = \frac{G(s)}{1+G(s)K(s)_{LPF}} = \frac{V_p K_p\left[s^2+\left(\omega_c+\frac{1}{\tau}\right)s+\frac{\omega_c}{\tau}\right]}{s^3+\omega_c s^2+V_p K_p \omega_c s+\frac{V_p K_p \omega_c}{\tau}} \tag{2.8.31}$$

여기서 K_p는 PI 제어기의 비례이득이고, τ는 PI 제어기의 시정수이다. 또한 ω_c는 LPF의 대역폭이다.

PLL 시스템의 페루프 전달함수를 일반적인 2차 제어 시스템 모델과 같아지도록 하기위해 근사적으로 극점과 영점을 상쇄될 수 있도록 하면, 식 2.8.32와 같이 ζ, ω_n에 의해 임의로 설계할 수 있다.

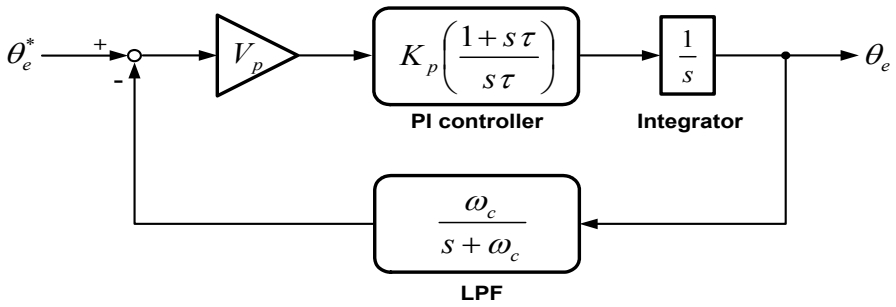
$$H(s)_{model\_LPF} \cong \frac{(s+\alpha)}{(s+\alpha)} \frac{2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$
$$= \frac{2\zeta\omega_n s^2+\left(2\zeta\omega_n\alpha+\omega_n^2\right)s+\alpha\omega_n^2}{s^3+\left(2\zeta\omega_n+\alpha\right)s^2+\left(2\zeta\omega_n\alpha+\omega_n^2\right)s+\alpha\omega_n^2} \quad (2.8.32)$$

여기서 ζ는 제동비이고 ω_n는 PI 제어기의 대역폭이다.

이러한 관계를 이용하기 위하여 $\alpha=1$인 경우로 가정하고, 식 2.8.31과 식 2.8.32를 비교하면 다음과 같이 식 2.8.33과 식 2.8.34를 유도 할 수 있다. 따라서 전체 시스템 대역폭 ω_n을 설정하면 식 2.8.33에 의해 적절한 LPF을 설정할 수 있으며, 식 2.8.34에 의해 LPF를 고려한 PLL 시스템의 PI 게인을 설정 할 수 있다.

$$\omega_c = 1+2\zeta\omega_n \quad (2.8.33)$$

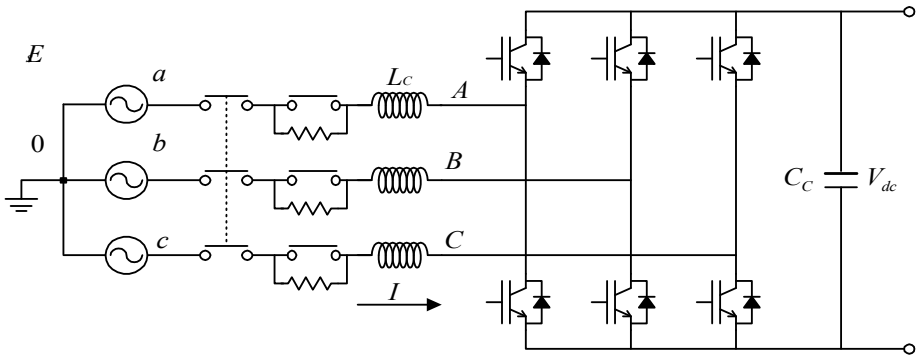
$$K_p = \frac{2\zeta\omega_n}{V_p} \qquad \tau = \frac{K_p V_p \omega_c}{\omega_n^2} \quad (2.8.34)$$



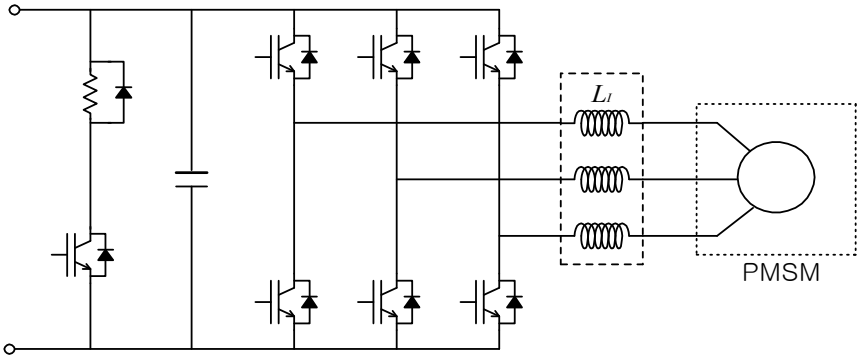
[그림 2.8.6] LPF를 고려한 PLL시스템의 제어기 모델링

나. 전력 컨버터 설계

전력을 전력계통으로 전송하기 위한 PWM 컨버터와, LSM의 제어를 담당하는 인버터가 DC Link 커패시터를 공유하고 있는 형태의 Topology로 전력변환기를 제작하였고, 주회로는 [그림 2.8.7]과 같이 구성하였다. 그리고 여기서는, 본 과제의 개발 대상 중 AC/DC 승압형 PWM 컨버터에 대한 전력 시스템을 설명한다.



(a) 컨버터 구성



(b)인버터 구성

[그림 2.8.7] 초고속 자기부상열차용 전력변환기

(1) PWM 컨버터 시뮬레이션

(가) PWM 컨버터 시스템 구성

여기서는 Matlab/Simulink를 이용하여 초고속 자기부상열차용 전력 컨버터장치의 시뮬레이션을 수행하였다. [그림 2.8.12]는 시뮬레이션에 적용할 컨버터 시스템 모델을 나타내고 있다. 시스템 구성은 전원과 승압용 리액터 그리고 3상 전력회로 및 DC link 커패시터로 구성되어져 있다.

(나) PWM 컨버터의 상태 방정식

PWM컨버터의 수학적 모델링 방법은 구동 및 회생 운전시 모두 표현 가능하도록 상태방정식을 정립하여야 한다. [그림 2.8.7]에 대한 수식적인 모델링은 식 2.8.35～식 2.8.37과 같다.

$$E_R = L_{SM}\frac{di_{as}}{dt} + Ri_{as} + V_{as} \tag{2.8.35}$$

$$E_S = L_{SM}\frac{di_{bs}}{dt} + Ri_{bs} + V_{bs} \tag{2.8.36}$$

$$E_T = L_{SM}\frac{di_{cs}}{dt} + Ri_{cs} + V_{cs} \tag{2.8.37}$$

컨버터의 정지좌표계 식은 식 2.8.38과 식 2.8.39과 같다.

$$E_{dss} = L_{SM}\frac{di_{dss}}{dt} + Ri_{dss} + V_{dss} \tag{2.8.38}$$

$$E_{qss} = L_{SM}\frac{di_{qss}}{dt} + Ri_{qss} + V_{qss} \tag{2.8.39}$$

정지 좌표계의 d-q 변수를 회전 좌표계의 d-q 변수로 변환시키는 행렬 T는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{pmatrix} f_{dse} \\ f_{qse} \end{pmatrix} = T\begin{pmatrix} f_{dss} \\ f_{qss} \end{pmatrix} \qquad T = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \tag{2.8.40}$$

T의 특성은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= \frac{dT}{d\theta}\frac{d\theta}{dt} \\ &= \omega_e\begin{pmatrix} -\sin\theta & \cos\theta \\ -\cos\theta & -\sin\theta \end{pmatrix} \\ &= -\omega_e\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \tag{2.8.41}$$

$$T\frac{df_{dss}}{dt} = \frac{d}{dt}(T \cdot f_{dss}) - \frac{dT}{dt}f_{dss} = \frac{df_{dse}}{dt} - \omega_e f_{qse} \tag{2.8.42}$$

$$T\frac{df_{qss}}{dt} = \frac{d}{dt}(T \cdot f_{qss}) - \frac{dT}{dt}f_{qss} = \frac{df_{qse}}{dt} + \omega_e f_{dse} \tag{2.8.43}$$

정지좌표계 식의 양변에 T를 곱하여 회전좌표계 식을 유도한다.

$$TE_{dss} = L_{SM}T\frac{di_{dss}}{dt} + TRi_{dss} + TV_{dss} \tag{2.8.44}$$

$$TE_{qss} = L_{SM}T\frac{di_{qss}}{dt} + TRi_{qss} + TV_{qss} \tag{2.8.45}$$

$$E_{dse} = L_{SM}\frac{di_{dse}}{dt} - \omega_e L_{SM} i_{qse} + R i_{dse} + V_{dse} \tag{2.8.46}$$

$$E_{qse} = L_{SM}\frac{di_{qse}}{dt} + \omega_e L_{SM} i_{dse} + R i_{qse} + V_{qse} \tag{2.8.47}$$

3상의 정지좌표계로 표현된 수식을 2상의 정지좌표계로 변환하고, 다시 ω로 회전하는 2상의 회전좌표계로 표현하면 식 2.8.48과 같다. 이때 ωL_{SM}이 포함된 항은 좌표축이 회전함으로써 생기는 속도전압(speed voltage)으로 정의된다.

$$\begin{bmatrix} E_{dse} \\ E_{qse} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{SM}s + R & -\omega_e L_{SM} \\ \omega_e L_{SM} & L_{SM}s + R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dse} \\ i_{qse} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{dse} \\ V_{qse} \end{bmatrix} \tag{2.8.48}$$

DC링크 콘덴서의 전압 변동에 관한 수식과 컨버터 입력전류와 출력 전력과의 관계는 식 2.8.49과 식 2.8.50과 같이 표현될 수 있다.

$$C\frac{dV_{REC}}{dt} = i_i - i_L \tag{2.8.49}$$

$$V_{REC} i_i = \frac{3}{2}(V_{dse} i_{dse} + V_{qse} i_{qse}) \tag{2.8.50}$$

(다) PWM 컨버터의 제어

PWM 컨버터 및 제어기의 구성은 [그림 2.8.8]와 같다. 즉, 리액터, DC링크 커패시터, 그리고 전력용 소자인 IGBT로 구성되어 있는 전력 회로부, 전원 전압과의 위상을 동기시키는 PLL회로, 2상-3상 및 정지-회전 좌표 변환기, 그리고 전력소자를 PWM 형태로 구동하는 게이트 구동회로로 구성되어 있다.

기본적인 동작은 다음과 같다. 우선 3상 전압검출기를 통하여, E_R, E_S, E_T 상의 위상을 검출한다. 그리고 전원의 전압 벡터가 회전 좌표축상의 q축에 일치하도록 회전좌표계의 회전 각속도 ω_e및 회전각 Θ를 설정한다. 3상전류를 검출하여 A/D 변환하고, 프로세서에 입력된 3상전류를 3상-2상 변환 및 정지좌표-회전좌표 변환을 통해서 회전좌표계의 d, q로 표현한다. d축 전류를 0으로 제어하기 위해 PI 전류제어를 행하고 PI 전류제어기 출력에 q축의 간섭분을 보상하여 d축 전압 지령을 만든다. 이때 전류를 증가시키고자 할 때는 컨버터의 스위칭 전압이 작아져야 하기 때문에 PI 전류제어기 출력의 부호가 음(-)으로 된다. 그리고 제어기 출력에 d축의 간섭분을 보상하여 q축 전압 지령을 만든다. 이때 q축 PI 전류제어기 출력은 d축에서와 마찬가

지로 마이너스(-)가 곱해진다. d, q축의 전압지령을 이번에는 역으로 회전좌표-정지좌표 변환 및 2상-3상 변환을 한 다음 중앙 집중 방식의 PWM 신호를 발생시켜 게이트 구동회로를 통해 전력소자인 IGBT를 스위칭 한다.

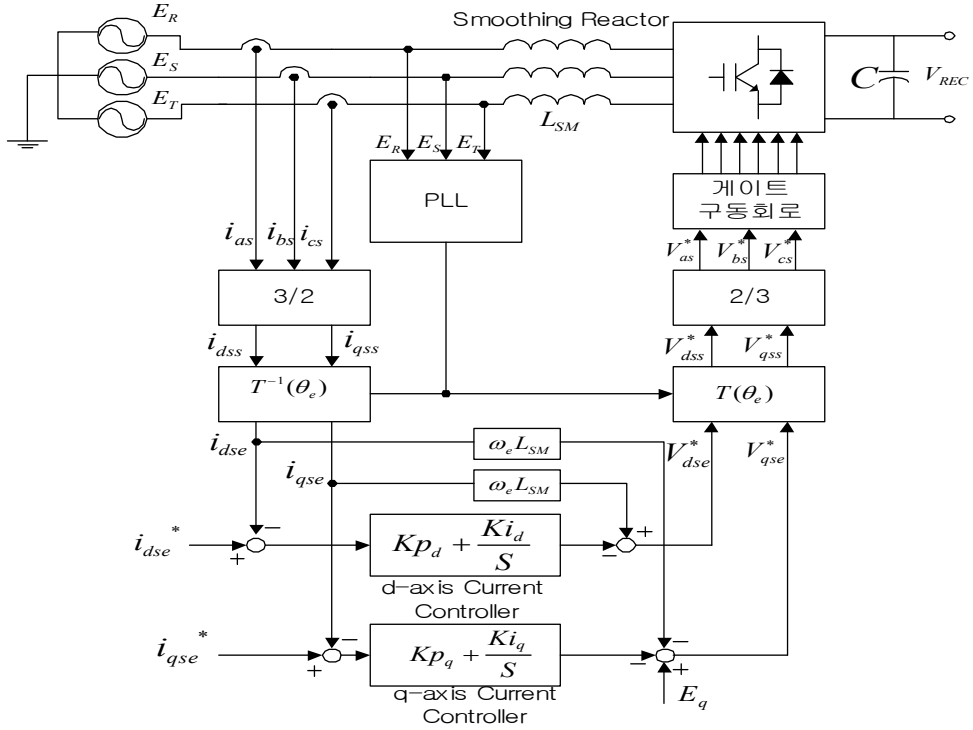
(라) PWM 컨버터의 제어

식 2.8.46과 식 2.8.47을 전류에 관한 식으로 풀어보면 식 2.8.51과 식 2.8.52과 같이 쓸 수 있다.

$$L_{SM}\frac{di_{dse}}{dt} = -i_{dse}R + E_{dse} - V_{dse} + \omega L i_{qse} \tag{2.8.51}$$

$$L_{SM}\frac{di_{qse}}{dt} = -i_{qse}R + E_{qse} - V_{qse} - \omega L i_{dse} \tag{2.8.52}$$

식 2.8.51과 식 2.8.18으로부터 알 수 있듯이, d-q축상의 전류제어계에 있어서 d축에서 q축으로의 간섭분 $-\omega_e L_{SM} i_{dse}$ 와 q축에서 d축으로의 간섭분 $\omega_e L_{SM} i_{qse}$가 존재하게 된다. 이러한 영향을 상쇄하기 위하여 간섭분을 미리 보상하는 비간섭 전류제어를 행한다. 이때 q축 전류제어기에 전원전압 성분 E_{qse}도 피드포워드 보상한다. [그림 2.8.10]은 d-q 축의 비간섭 전류제어계를 보여주고 있으며, R은 전력선의 등가의 동선저항이다.



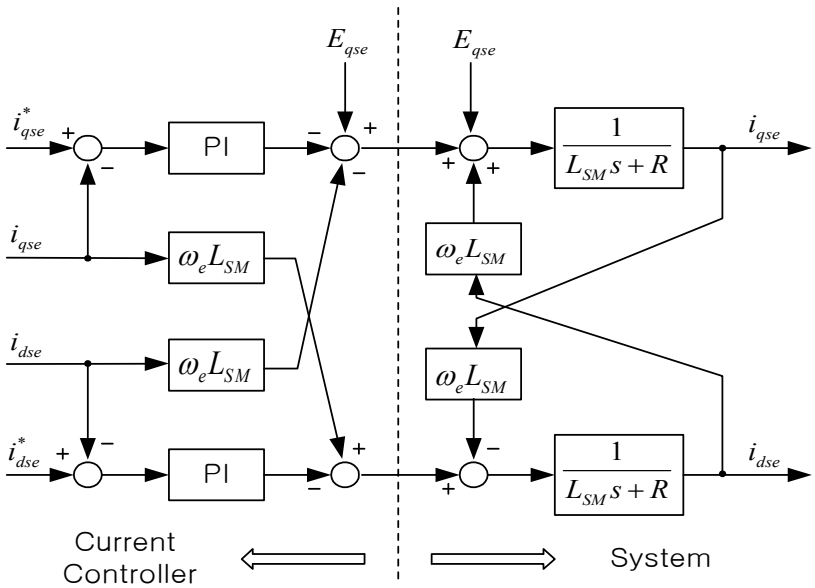
[그림 2.8.8] PWM컨버터의 제어블록도

전류제어계의 개(開)루프 전달함수 $G_{co}(s)$는 식 2.8.53과 같고 $G_{co}(s)$의 보드선도는 [그림 2.8.9]과 같다. [그림 2.8.10]는 비간섭 전류제어기를 행했을 때 q축 성분 전류제어계의 블록선도를 보여주고 있다.

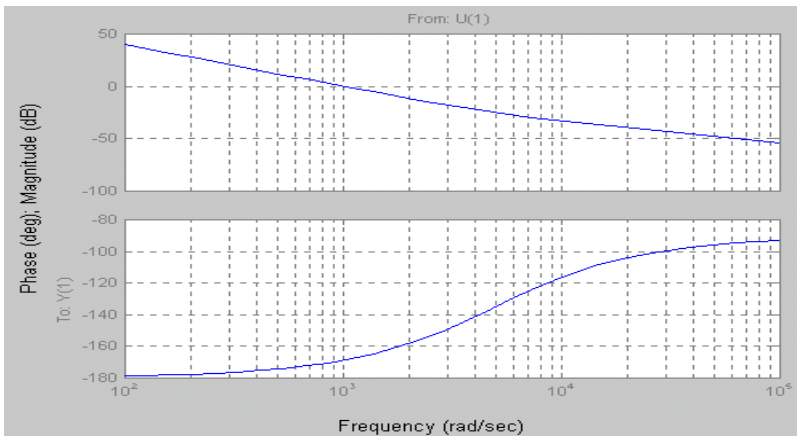
$$G_{co}(s) = \frac{Kp_q s + Ki_q}{s} \cdot \frac{1}{L_{SM} s + R} \tag{2.8.53}$$

또한, 이 경우에 폐(閉)루프 전달함수 $G_{cc}(s)$는 식 2.8.54와 같다.

$$G_{cc}(s) = \frac{Kp_q s + Ki_q}{L_{SM} s^2 + (Kp_q + R)s + Ki_q} \tag{2.8.54}$$

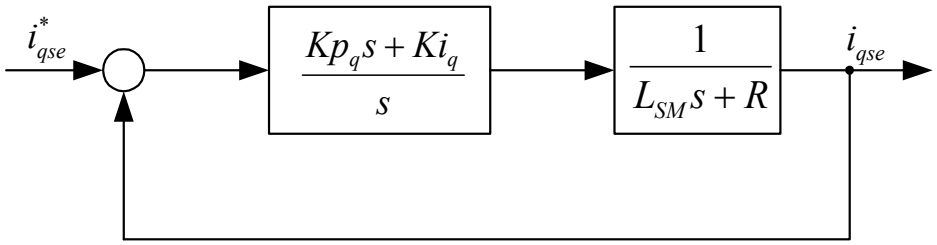


[그림 2.8.9] 비간섭 전류제어기



[그림 2.8.10] $G_{co}(s)$의 보드선도

이때 $Kp_q s + Ki_q = \frac{1}{T} \cdot (L_{SM} s + R)$로 하면 $G_{cc}(s)$는 $\frac{1}{1+Ts}$가 되어 1차 지연 특성을 갖게 되며, 이 때 전류제어기의 이득은 각각 $Kp_q = \frac{L_{SM}}{T}$, $Ki_q = \frac{R}{T}$ 로 선택될 수 있다. d축 전류제어기도 q축과 동일하다. 그러나 저항성분 R이 전선의 저항성분만인 경우는 그 값이 매우 작고 측정하기 어려우므로 위와 같은 이득 설정 방법은 사용하기 곤란하다.



[그림 2.8.11] PWM 컨버터의 전류제어 블록도

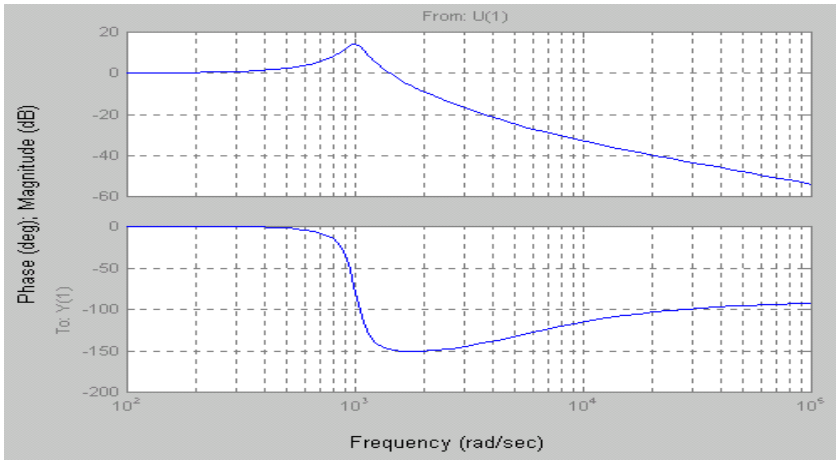
따라서 본 시스템의 제어기는 진동계수(Damping factor) ζ와 고유 주파수(Natural Frequency) ω_n을 이용한 이득설정 방법을 이용하였다. 보통 2차의 시스템 전달함수는 식 2.8.55으로 표현된다.

$$H(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \tag{2.8.55}$$

$\zeta = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$일 때 전달함수의 스텝 응답에 오버슈트(Overshoot)가 없고 전달함수의 BW(Bandwidth)는 ω_n과 일치하게 된다. 식 2.8.56과 식 2.8.57의 극(Pole)이 같도록 하면 다음과 같은 이득이 얻어진다.

$$Kp_q = 2\zeta\omega_n L_{SM} - R \cong 2\zeta\omega_n L_{SM} \tag{2.8.56}$$

$$Ki_d = \omega_n^2 L_{SM} \tag{2.8.57}$$



[그림 2.8.12] $G_{cc}(s)$의 bode 선도

(마) 전력변환 회로의 설계

① 전력변환 회로의 요구사양

전력 회로의 용량은 LSM 입출력 전류용량을 바탕으로 산정되었으며, 각각 3상 AC 입력에 대한 컨버터부, 직류부로 구성되어 있다. 컨버터부는 승압용 리액터와 입출력 Surge 전압 억제용 Varistor, 직류부는 평활용 Capacitor, Capacitor 돌입전류 방지용 저항 및 SCR Switch, 전류/전압 검출용 Hall CT 등으로 구성하였다.

• LSM 사양

설계된 LSM의 설계 사양은 [표 2.8.1]과 같다.

정격전류 : 340 A(1열기준)

정격전압 : 361 V(1열 기준,상전압)

정격토크 : 32.44 KN (가속도 1.1m/s^2)

정격출력 : 259.6Kw (가속도 1.1m/s^2)

효율 : 0.95

역률 : 0.98

DC-Link 전압 : 950 VDC

쇄교수 : 312, 4 Turn (단거리 시험선)

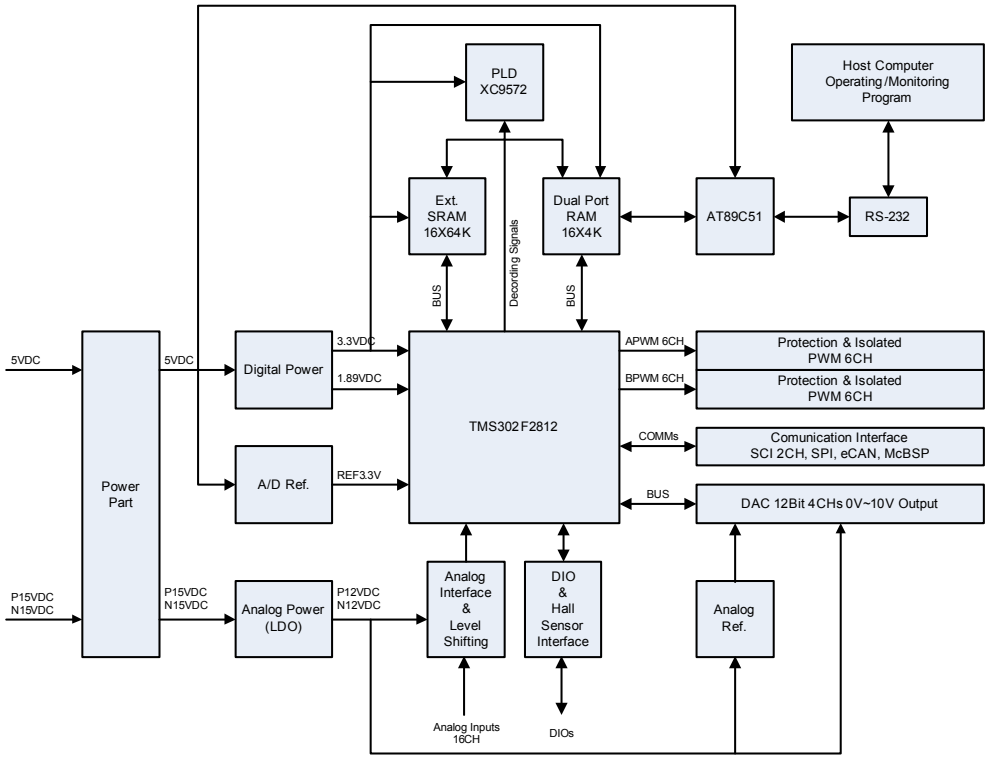
[표 2.8.1] LSM 파라미터

구 분	값	단위
상저항 (R)	@75℃ 0.36	ohm
리액턴스 (L)	4.47	mH

② 주 제어 보드 설계

본 연구에서 개발하는 전동기의 최고 운전주파수가 약 16.67Hz이고, 전동기의 토크 맥동 성분을 줄이기 위해서, 빠른 제어 주기로 전류를 제어하는 운전이 이루어

져야 하며, 이를 위해서는 주 제어보드에서의 고속연산이 가능하여야 한다. 주 고속연산이 가능한 CPU로 TI사의 TMS320F2812 DSP를 사용하였다. TMS320F2812는 150 MIPS의 고속 연산이 가능한 DSP이며, 전동기 제어를 위해 필요한 PWM Timer, A/D Converter, 통신 port, Analog I/O Port, Digital I/O Port 등의 Peripheral 이 내장되어 있어 전동기 제어에 최적의 성능을 지니고 있으며, 본 연구에서는 이러한 TMS320F2812의 장점을 최대한 활용하였다.

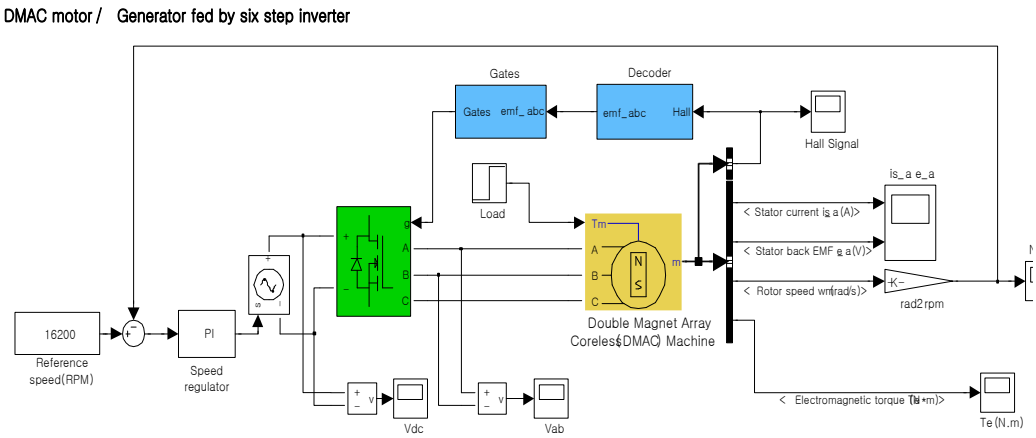


[그림 2.8.13] TI TMS320F2812 주 제어기 블록도

(바) 전력변환장치의 시뮬레이션

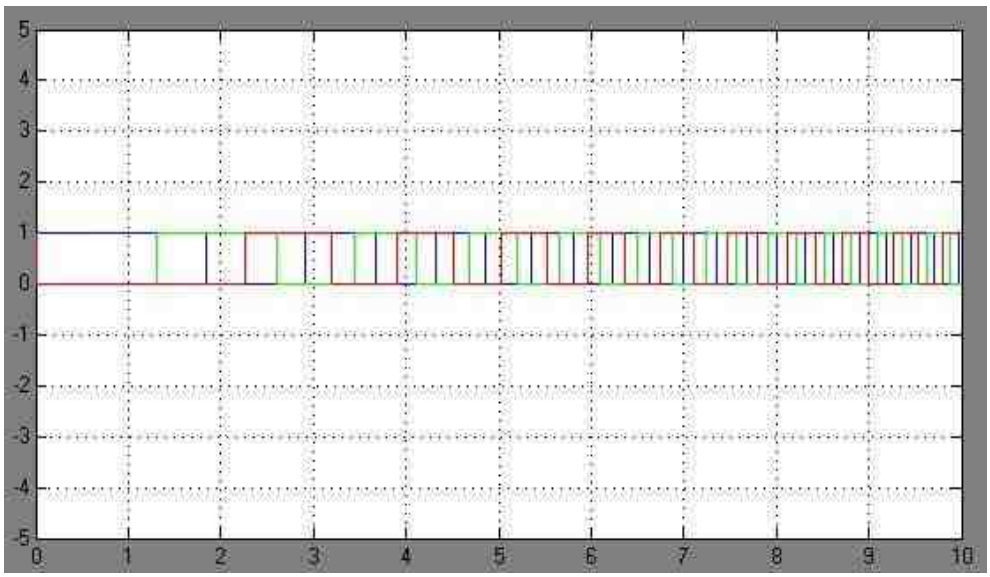
① 견인모드 시뮬레이션

LSM를 포함하는 120도 도통형 전력변환장치의 시뮬레이션을 위하여 MATLAB/SIM ULINK 를 이용하여 히스테리시스 전류제어기를 갖는 전동모드 모델링 수행하고, 이를 [그림 2.8.15]에 나타내었다.



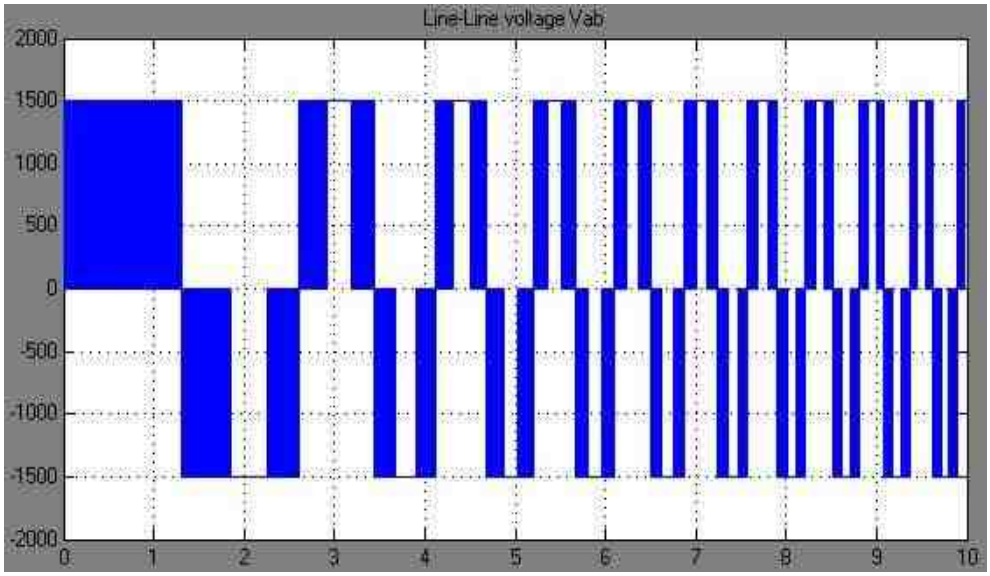
[그림 2.8.14] LSM 전동기의 MATLAB/SIMLINK 모델

[그림 2.8.14]에서 LSM 전동기의 모델은 120 도통형 모델링에 의한 회로방정식으로 구성되었으며, 각 상의 Back-EMF 는 이상적 120° 도통형 운전을 위한 사다리꼴(Trape zoidal) 파형으로 가정되었고, 전동기의 속도와 위상각 등을 이용하여 구하도록 구성되었다.



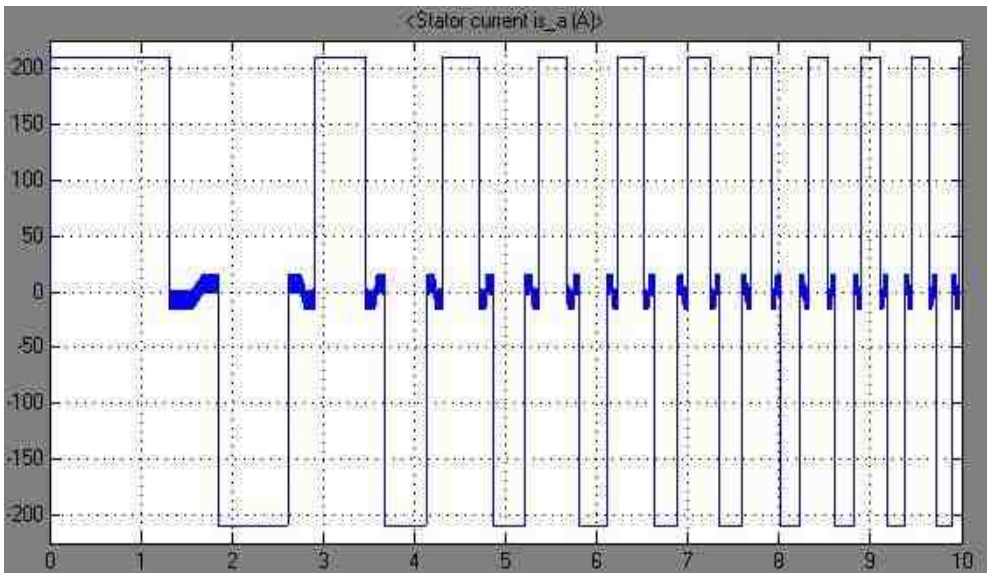
[그림 2.8.15] 기동시 센서 입력신호

X축 : 시간(초), Y축 : 디지털 레벨 (0 또는 1)

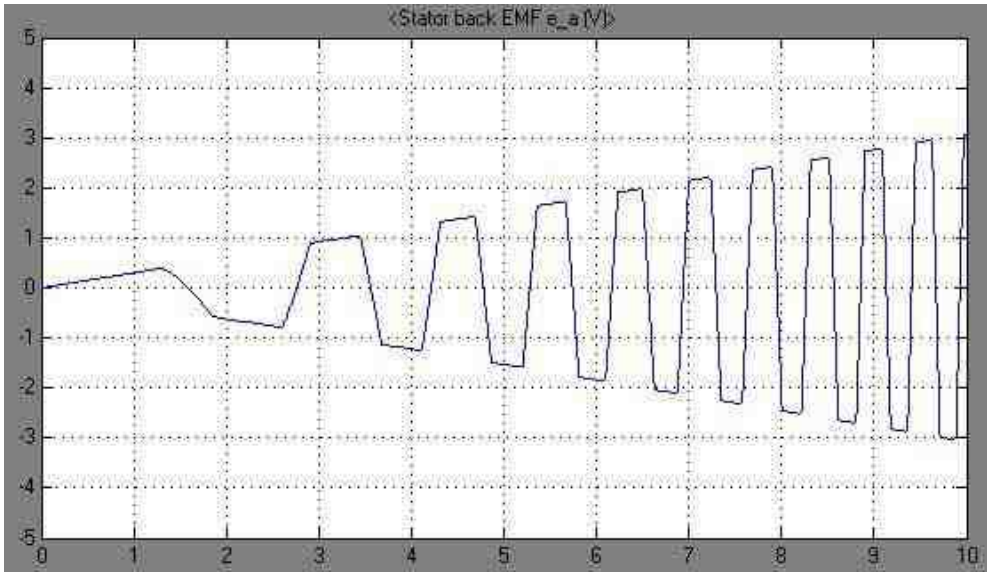


[그림 2.8.16] 기동시 LSM의 선간 입력 전압
X축 : 시간(초), Y축 : 입력 전압 (V-LL)

[그림 2.8.15]은 기동시 LSM의 위치섹터 판독을 위한 자기 유도식 센서 신호를 나타내며, [그림 2.8.16]은 DC-Link 전압이 1000V 입력일 때, LSM 입력 선간 전압을 나타낸다. [그림 2.8.18]과 [그림 2.8.19]는 각각 120° 도통형 구동방식으로 운전되는 LSM의 전류 및 역기전력 파형을 각각 나타낸다.



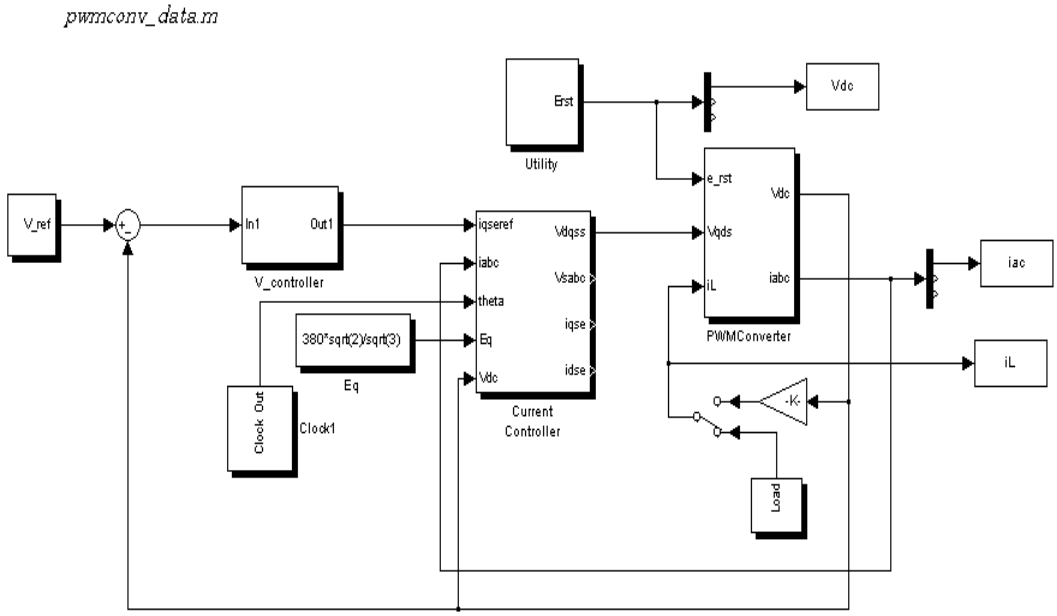
[그림 2.8.17] 기동시 LSM의 입력 전류 특성
X축 : 시간(초), Y축 : 전류(A)



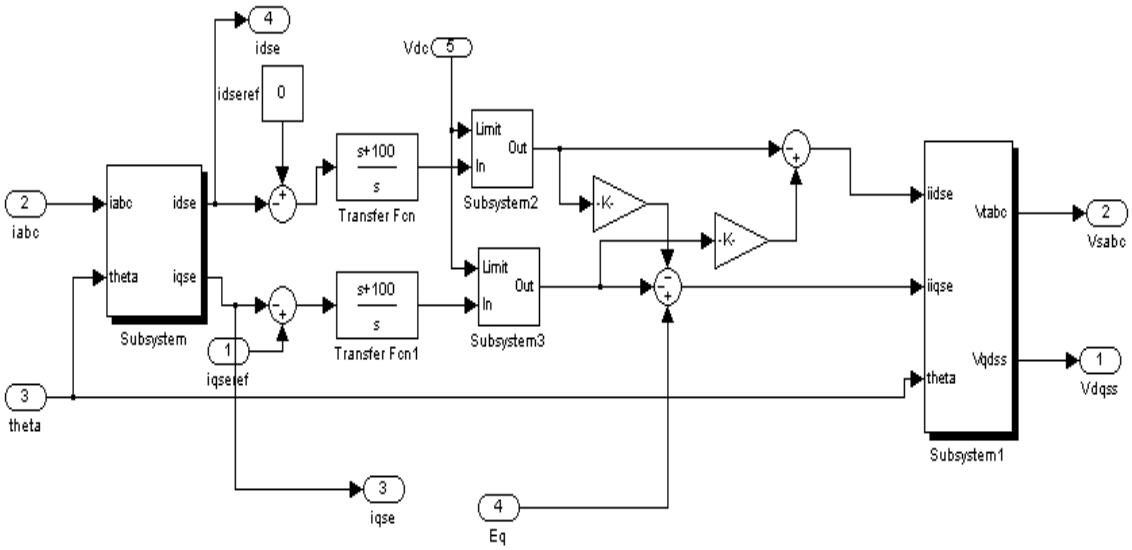
[그림 2.8.18] 기동시 LSMD의역기전력 특성
X축 : 시간(초), Y축 : 역기전력 (V-LL)

② 발전모드 시뮬레이션

[그림 2.8.19]은 PWM 컨버터의 Simlunk 블록도를 나타내고 있으며 전압 및 전류 제어를 수행하고 있다. [그림 2.8.20]은 AC/DC 승압형 컨버터의 전류제어 부분 및 전력부분을 나타내고 있다. 전류제어는 회전좌표계에서 PI제어를 수행하고 있으며, 비간섭 제어가 이루어지고 있다.

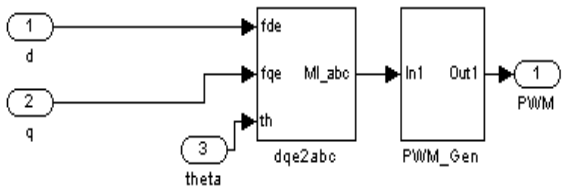


[그림 2.8.19] PWM 컨버터의 Simulink 블록도

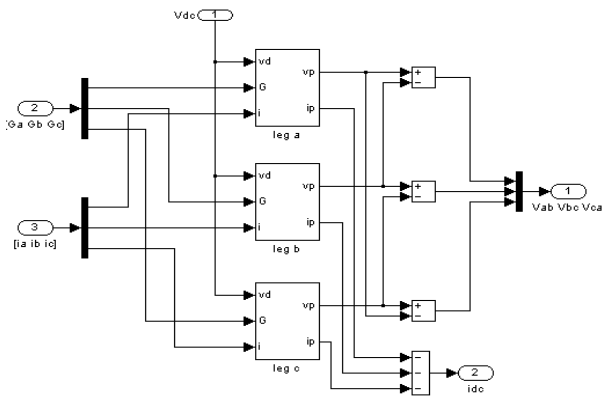


[그림 2.8.20] AC/DC 승압형 컨버터의 전력부문 Simulink 모델

[그림 2.8.21]는 IGBT로 이루어진 인버터의 PWM 발생부에 대한 블록도를 나타내고 있다. 이 블록의 기능은 회전좌표계에서 연산된 d-q축 전압을 PWM 신호로 변환시켜주는 기능을 담당한다. [그림 2.8.22]은 전력변환부 스위칭 소자의 각 ARM에 대한 블록도를 나타내고 있으며, 이 블록의 기능은 게이트 신호로부터 출력전압을 발생시킨다.

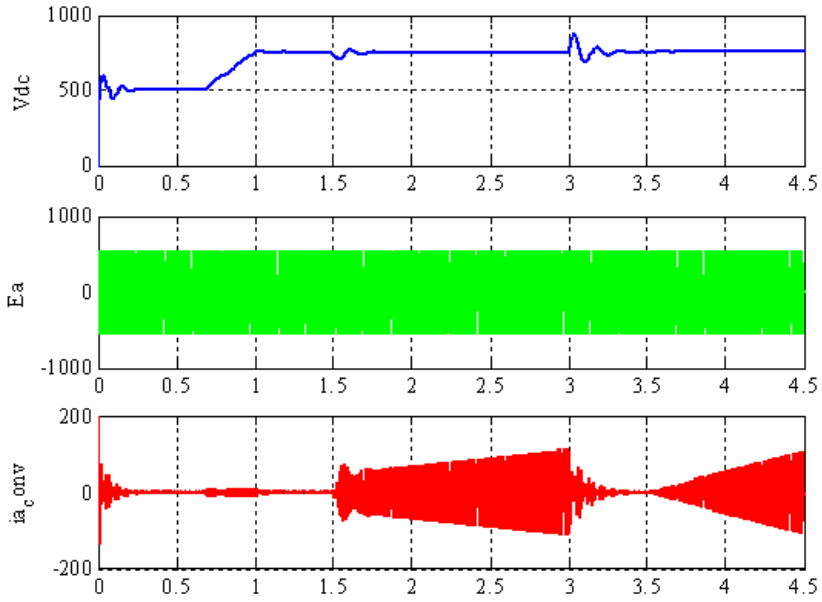


[그림 2.8.21] PWM 발생부

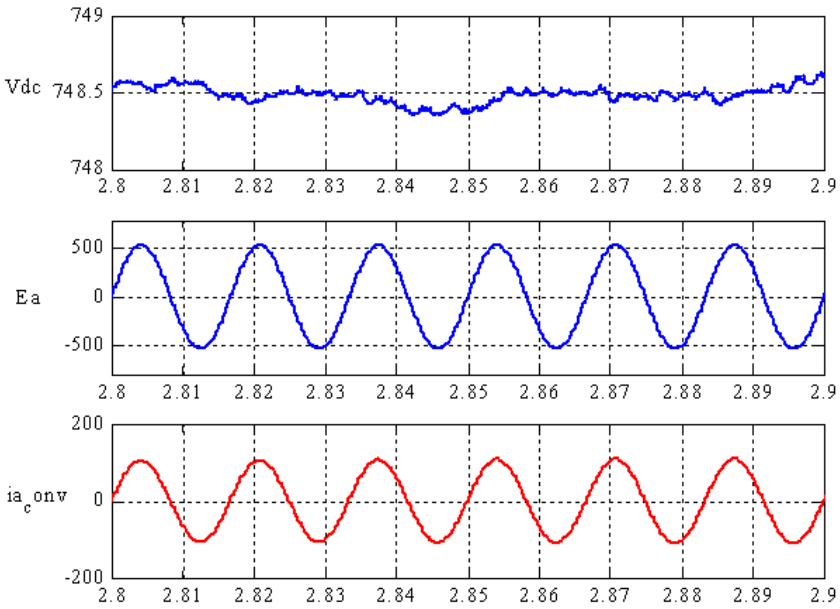


[그림 2.8.22] 3상 전력변환부 블록도

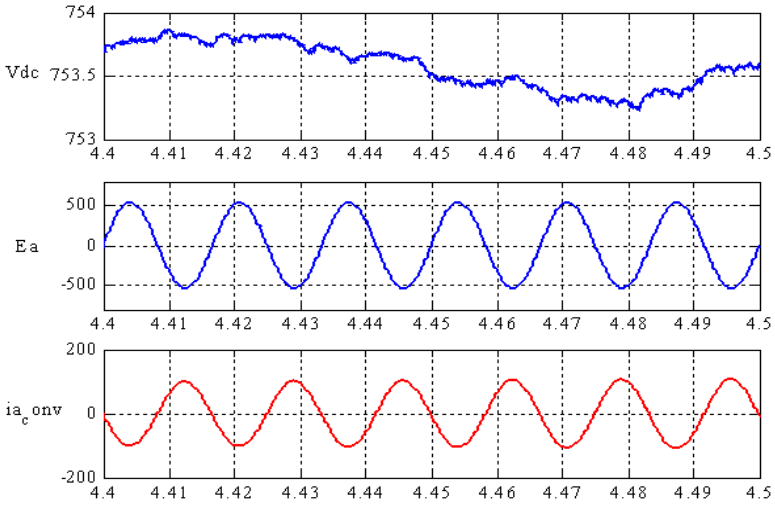
[그림 2.8.23] ~ [그림 2.8.25]은 PWM 컨버터의 기동 및 에너지 입력 그리고 출력에 대한 시뮬레이션 결과이다. [그림 2.8.23]는 PWM 컨버터가 1초간 소프트 스타트로 전압을 상승시키며 1.5초 ~ 3초까지 부하전류 50[A]에서 100[A]까지 상승시키며, 3초 ~ 3.5초 사이에는 에너지공급을 차단하고 3.5초 ~ 4.5초까지는 0[A]에서 100[A]까지 에너지 회생전류를 상승시키는 경우이다.



[그림 2.8.23] PWM 컨버터의 기동 및 운전시 각부파형



[그림 2.8.24] PWM 컨버터 구동시 각부파형



[그림 2.8.25] PWM 컨버터 회생시 각부파형

다. 전력 컨버터 장치 제작

(1) 적용

본 규격서는 초고속 자기부상열차용 전력 컨버터에 대하여 규정한다.

(2) 필요조건

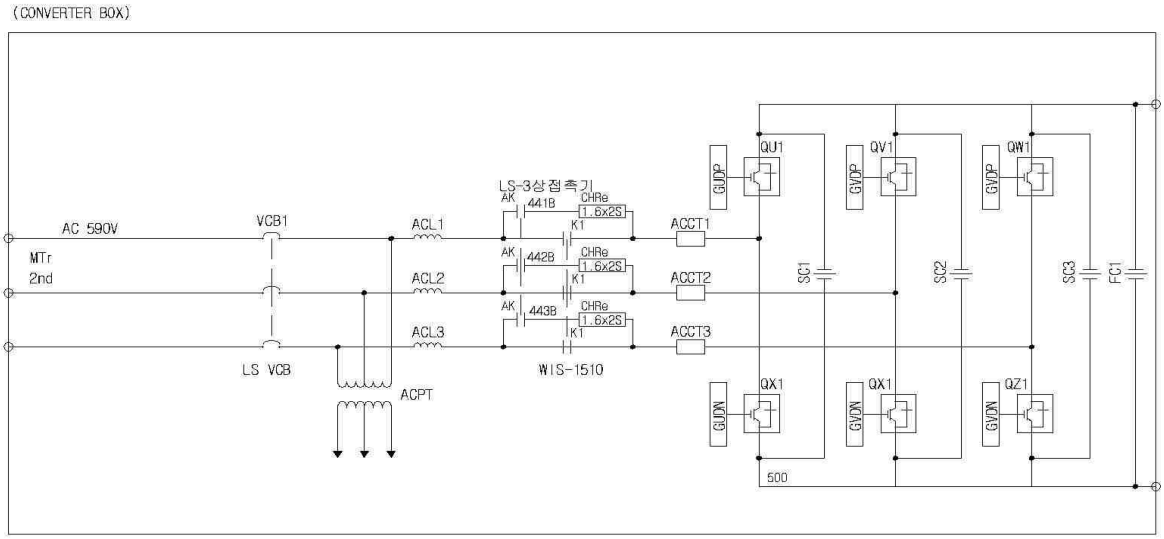
(가) 재질

BOX 구조물은 일반 강으로 제작 한다.

(나) 제조 및 가공

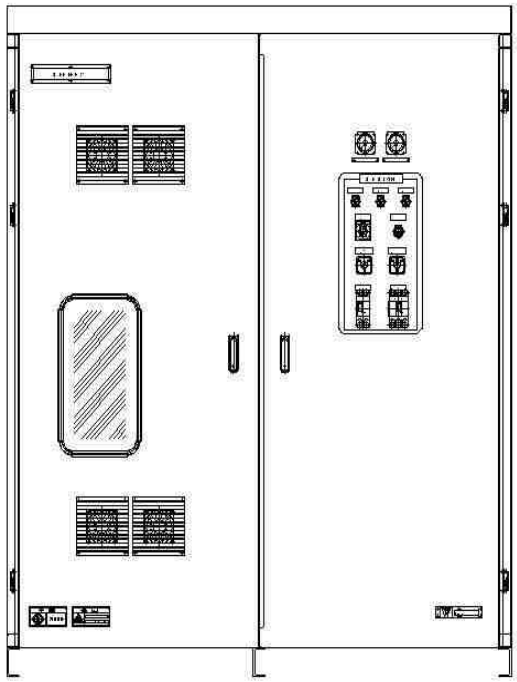
각 부품은 사용에 유해한 흠, 녹 등 기타 결함이 없어야 하며 필요한 부분에는 방청처리를 하여야 한다. 고압회로 및 저압회로의 배선작업은 절연거리를 유지하고 중간 결선이 없어야 한다. 노이즈가 발생할 가능성이 있는 배선에는 차폐를 하여야 한다. 컨버터에서 발생된 노이즈는 주변기기에 영향을 주지 않아야 하며, 장치의 외부 노이즈에 대하여도 내성을 갖는 구조로 제작하여 정상기능에 확보에 지장이 없어야 한다.

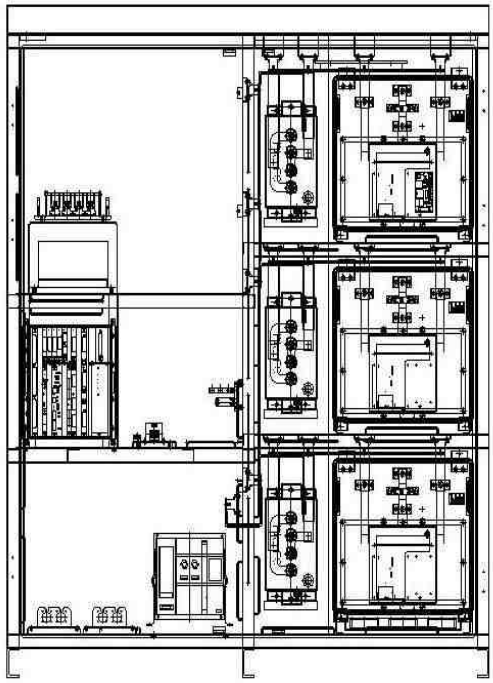
(다) 컨버터의 주회로



(라) 성능(사양)

항 목		사 양
제어 방식		2중 루프 제어방식 (전압제어 및 역률제어 + 전류제어방식)
전압 제어		SVPWM기법
냉각 방식		Heat pipe
정격 용량		350KVA, 1유니트당, 최대 1MVA
상대 습도		30~90% (단, 결로가 없을 것)
입력	입력 전원	3상 590Vrms(선간전압), 또는 440V
	입력 전원 변동	590VDC ± 5[%]
	최대 효율	More than 90[%]
출력	정격 전압	950VDC
	정격 전류	368A 최대 DC1052A
단 류 기		K, AK
Boost Reactor (FL)		0.5mH, 100A 정격
충전 저항기		CHGRe (15Ω : 7.5Ω × 2S1P)
DCPT		1,500VDC / 10V
Power Unit		IGBT Module : 4500V, 1200A x 3군
Filter Capacitor		6,800㎌
전원 Unit		Gate전원 : 24VAC 50㎑ Gate 전원용 DC 전원 : 24VDC 1A









전력컨버터의 외형

라. 구성품 시험 및 검사

전력컨버터의의 구조와 치수검사, 조립품 체결검사 등은 공장 내에서 수행하며, 주변압기가 완료되면 향후에 조합시험 항목 실시한다.

(1) 시험 항목

구 분	시 험 항 목	판 정 기 준	비고
1	외관구조검사		
2	측정시험		
3	보호회로 기능시험		
4	제어 기능시험		
5	경 부하 시험		
6	소음시험		조합시험
7	온도상승시험		조합시험
8	효율측정시험		조합시험
9	공급 과전압 과도 에너지시험		
10	절연저항시험		
11	내전압시험		
12	전자파 시험		인증기관
13	환경시험		
14	검출기 특성 시험		

(2) 시험방법 및 판정기준

(가) 외관 및 구조 검사

전력 컨버터장치의 전기 배선 등 제작상태와 전선 및 부품의 식별표시가 도면에 적합하고 구조상 손상이나 결함여부를 확인하여 이상이 없어야 한다.

(나) 측정 시험

도면에 기재되어 있는 치수와 중량을 측정하여 약 1,900kg ± 10% 범위에 있는지 확인한다.

(다) 보호회로 기능 시험

① 시험조건

전력 컨버터 장치에 정격제어전압을 인가하여 시험한다.

② 시험방법

등가 신호를 입력하여 보호 동작 일람표에 의한 동작을 하는지 확인한다.

NO	보호 항목	설 명	경고장	중고장
1	출력 과전류 (IDOC)	부하측에 이상이 발생한 경우(부하단락, 지락 등)에 출력 측에 과전류가 흐른다. 출력 전류를 감시하면서, 출력전류가 160%(631Arms) 이상시 보호 동작한다.		○
2	출력 과부하 (IDOL)	부하측이 과부하로 된 경우, 출력전류를 감시하면서, 고장 TRIP하고, 중고장 LOCK OUT 한다. 출력전류 150%(578Arms)이상, 60초 지속시 보호동작한다.		○
3	출력 전압 이상 (VDOA)	출력전압을 감시하면서, 출력 전압 정도 ± 10% (1045VDC,855VDC)를 초과, 60초간 계속한 조건에서 고장 TRIP하고, 중고장으로 LOCK OUT 한다.		○
4	출력 과전압 (VDOV)	출력전압을 감시하면서, 출력전압 130% (1,235V) 이상의 순시치에서 보호 동작한다.	○	
5	출력 저전압 (VDLV)	출력전압을 감시하면서, 출력전압 80%(760V)이하에서 , 1초간 지속시 보호 동작한다.	○	
6	CONVERTER 게이트 드라이버 고장 (암단락) (CFDC)	CONVERTER의 게이트 드라이버는 상단락 및 과전압에 대해서 자체 보호동작을 갖고 있다. 고장신호는 각 상의 드라이버에서 제어기로 보내주어 보호 동작한다.	○	
7	입력 과전압 (VSOV)	정격 입력 전압(590VAC)의 130%(767VAC) 이상일 경우 보호 동작한다.	○	
8	입력 이상 (MFR)	기동 스위치 조작 후 3초 이상 경과해도 전압이 확립하지 않는 경우에는 입력 이상으로 하여 고장 TRIP하고, 중고장 LOCK OUT한다.		○

(라) 제어기능 시험

① 시험조건

㉮ 입력전압은 정격전압으로 한다.

② 측정항목

㉮ 광량측정

㉯ IGBT 게이트 전원특성

㉰ IGBT 게이트 특성

㉱ 주회로 동작

③ 시험방법

㉮ 광량측정 시험

▪ 광파이버의 GATE 측에 광량을 측정하여 -24 dBm 이상의 광량을 유지하는지 확인한다.

㉯ IGBT 게이트 전원특성시험

▪ 교류출력이 AC 48 V ± 3 %, 15 kHz ± 10 % 이내

㉰ IGBT 게이트 특성시험(게이트 파형 첨부)

▪ INVERTER 파형

▪ Gate ON = + 15 V ± 2.2 V

▪ Gate OFF = - 15 V ± 2.2 V

▪ Dead Time = 12 ㎲ ± 2 ㎲

▪ 최소 ON 펄스폭 = 20 ㎲ 이상

㉮ 주회로 동작시험

▪ 게이트 확인: 기동 스위치 조작 및 동작시에 게이트(U,X,V,Y,W,Z) 출력이 정상 일 것

(마) 경부하 시험

컨버터장치에 정격전압을 인가하고 출력단에 3상 R-L 부하를 연결하여 출력 전류 100 A ± 5 %에서 이상 없이 정상 동작해야 한다.

(바) 소음 시험

정상동작 상태에서 장치 중앙으로부터 1m 이격된 좌, 우, 전, 후에서 악조건인 전부하 조건에서 소음계로 측정하여 85dB 이하가 되어야 한다. 세부 소음 규정은 IEC 61287-1의 소음측정에 따르며 이 시험은 조합시험에서 실시한다.

(사) 온도상승시험

정격 동작시 각 부 온도가 다음 표의 허용치 이하이어야 한다. 운행 조건 패턴으로 30분 이상 동작시 Converter 장치의 Heat Pipe 및 주요 기기의 온도가 포화될 때까지 운전하여 측정한다.

이 시험은 조합시험에서 실시한다.

순번	부 위	측 정 POINT	허용온도 (℃)	허용상승치 (K)	비 고
1	BOX 외부	외기 온도	45	-	
2	Stack	컨버터 unit U상 Heat Pipe	100	55	
3	Stack	컨버터 unit V상 Heat Pipe	100	55	
4	Stack	컨버터 unit W상 Heat Pipe	100	55	
5	Bus bar	컨버터 입력/출력 Bus bar	150	105	
6	리액터	컨버터 리액터	180	135	
7	캐패시터	필터캐패시터	100	55	

(아) 공급 과전압과 과도 에너지 시험 (공급전압 변동시험)

입력되는 범위를 변동시켜 정상동작 상태를 확인하여 이상이 없어야 한다.

(입력전압 AC 590V ± 10 %)

(자) 절연저항시험

① 시험조건

㉮ 절연저항시험은 내전압시험 전후에 각각 시험한다.

㉯ 전력 컨버터장치 내부의 전기적인 회로는 전압별로 고압회로, 저압(제어회로) 회로로 구분하여 시험전압이 인가되도록 서로 연결하여 시험한다.

㉰ 시험회로에 연결되지 않은 구성품이나 세부부품(예로 제어회로, 견인전동기 및 팬)은 절연저항시험 동안 접지시켜 시험전압으로부터 보호되도록 한다.

② 측정항목

㉮ 고압회로 - 접지

㉯ 저압(제어)회로 - 접지

㉰ 고압회로 - 저압(제어)회로

③ 시험방법

㉮ 고압회로에는 직류 1000V 절연저항계를 저압 및 제어회로에는 직류 500V 절연저항계를 사용한다.

㉯ 결과는 다음을 만족해야 하며 내전압시험 전후에 측정한 값에 현저한 변화가 없어야 한다.

시험부위	시험기준	비 고
고압회로(주회로) - 접지	100 ㏁ 이상	1000 VDC-Megger
저압회로(제어회로) - 접지	30 ㏁ 이상	500 VDC-Megger

(차) 내전압 시험

① 시험조건

㉮ 내전압시험은 실시하기 전후에 절연저항시험을 반드시 실시하여 절연저항에 이상이 없음을 확인하여야 한다.

㉯ 전력컨버터 장치 내부의 전기적인 회로는 전압별로 고압회로, 저압(제어회로)회로로 구분하여 시험전압이 인가되도록 서로 연결하여 시험한다.

㉰ 시험회로에 연결되지 않은 구성품이나 세부부품(예로 제어회로, 견인전동기 및 팬)은 절연저항 시험 동안 접지시켜 시험전압으로부터 보호되도록 한다.

② 측정항목

㉮ 전기적으로 절연된 통전부

㉯ 접지와 통전부

㉰ 기타 성능확인을 위한 필요부위를 시험하되 ㉮와 ㉯의 시험 외에 대하여는 시험전압을 장치에 무리가 없는 범위에서 설정하도록 한다.

③ 시험방법

㉮ 집단으로 설치되는 장치는 조합하여 연결된 상태에서 실시할 수 있다.

㉯ 주파수는 상용주파수, 시간은 1분으로 한다.

㉰ U는 정격전압 이며, 회로의 접지에 영구적으로 연결되는 중성점이 포함되어 있으면 U는 공급전압의 1/2로 한다.

㉱ 상온에서 10초 이상 연속으로 전압을 상승시켜 전시험전압에 도달시키고 1분간 유지한다. 이때, 시험되지 않는 다른 회로는 접지되어야 한다.

㉲ 시험전압은 실효치(r.m.s) 값으로 다음과 같이 정해진다.

$$U_p = \frac{2\,U_m}{\sqrt{2}} + 1000\ V$$

여기에서 공칭전압 Um은 내전압을 인가하는 두 단자사이의 최소 반복 피크 동

작전압이다. 어떤 이유로든 이 시험을 반복할 필요가 있는 경우 두번째 시험의 전압값은 절연에 미치는 영향을 고려하여 시험전압 Up의 85 %정도로 감소하여 실시한다.

- 고압도전부 ↔ 저압회로 및 대지간(3400VAC/60Hz/1분 견딜 것)
- 저압회로 ↔ 대지간(1200VAC/60Hz/1분 견딜 것)

(카) 전자파 시험

아래 표의 기준을 만족하여야 하여야 하며, 제어장치만 실시한다.

Test항목	기본 규격	시험단자	시험		EN 50121-3-2	
					시험조건	평가기준
무선주파수 진폭변조전자장 RS	IEC/EN 61000-4-3	기기외함	시험레벨		20V/m	A
			주파수		(80～1000)MHz	
			변조방식		80 % AM(1 kHz)	
RS from Digital Radio telephones			시험레벨		10V/m / 5V/m	
			주파수		(1400～2100)MHz /(2100～2500)MHz	
			변조방식		80% AM(1kHz)	
빠른 과도 EFT/Burst	IEC/EN 61000-4-4	I/O단자	시험레벨		± 2kV	A
			Tr / Th		5 / 50ns	
			반복주파수		5kHz	
		전원단자	시험레벨		± 2kV	
			Tr / Th		5 / 50ns	
			반복율		5 kHz	
서지시험 Surge	IEC/EN 61000-4-5	전원단자	시험레벨	선과접지	± 2 kV	B
				선과 선	± 1 kV	
			Tr / Th		1.2 / 50 ns	
무선주파수 공통모드 CS	IEC/EN 61000-4-6	I/O, 전원단자	주파수		10 V	A
			시험레벨		(0.15～8)MHz	
			변조방식		80% AM(1kHz)	

(타) 환경 시험

컨버터 장치의 Control Unit을 다음과 같이 시험하여 정상동작 여부를 확인하여 이상이 없어야 한다.

구분	적용규격	시험조건	방치시간
저온시험	KS C 0220	-25°C	8 또는 16시간
고온시험	KS C 0221	70°C	8 또는 16시간
온습도 사이클 시험 (12+12시간 사이클)시험	KS C 0227	55°C/90%	24시간 (24시간 1 Cycle)

(파) 검출기 특성 시험

① 전류검출기 특성 시험

CT의 1차 측에 시험전류를 인가하고 출력단에 2 ± 0.02kΩ의 저항을 연결하여 출력전압을 확인한다.

구 분	CT 1차전류(A)	출력전압(V)	비고
- 컨버터입력전류 (ACCT) - 컨버터 출력전류 (DCCT)	3000 1500 0	10.0 ± 0.2 5.0 ± 0.2 0.0 ± 0.2	CT 변환비 3000A : 10V

② 전압검출기 특성시험

PT의 1차 측에 시험전압을 인가하고 출력단에 (10 ± 0.1)kΩ의 저항을 연결하여 출력 전압을 확인한다.

구 분	PT 1차전압(V)	출력전압(V)	비 고
DCPT	0 1500 3000	0.0 ± 0.2 5.0 ± 0.2 10.0 ± 0.2	PT 변환비 3000V : 10V

③ 입력전압 검출기 특성시험

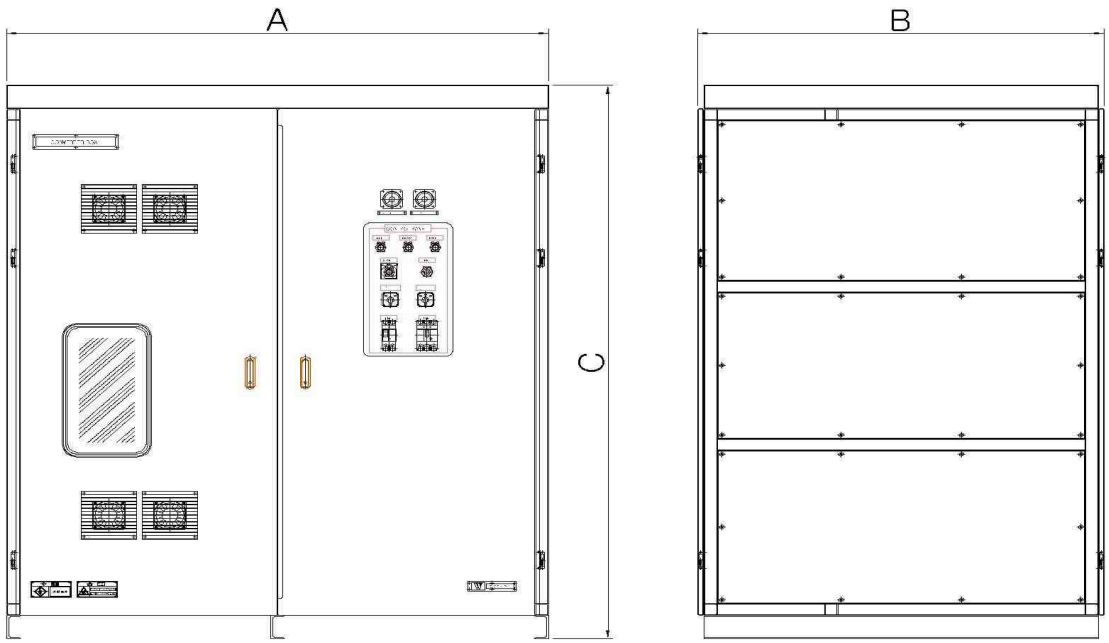
PT의 1차 측에 시험전압을 인가하고 출력전압을 확인한다.

구 분	PT1차 전압(V)	출력전압 VS1(V)	비 고
ACPT	0 30 590	0 ± 0.2 5 ± 0.2 10 ± 0.2	PT 변환비 590V : 10V

(3) 구성품 검사 기준서

검사 성적서

공 사 명	초고속 자기 부상 열차			한국철도 기술연구원	검 사	검 토	승 인
제 작 사	(주) 우 진 산 전						
품 명	전력 컨버터 장치						
도면 및 근거				제 작 사	검 사 자		확 인 자
차 호		차종					
검 사 일				판 정			
계측 장비							



NO	항 목	기 준 치	결 과	비 고
1	외관검사	사용상에 유해한 흠, 균열, 녹 등이 없을 것		
2	구조검사	A) 부품 :각부품의 취부상태를 확인시 양호할 것		
		B) 도장 : 반광 확인시 양호할 것		
		C) 배선 : 각 배선의 처리상태를 확인시 양호할 것		
3	중량측정시험	BOX의 무게를 측정하여 기준치(1,900Kg±10%) 이내일 것		
특기사항 :				

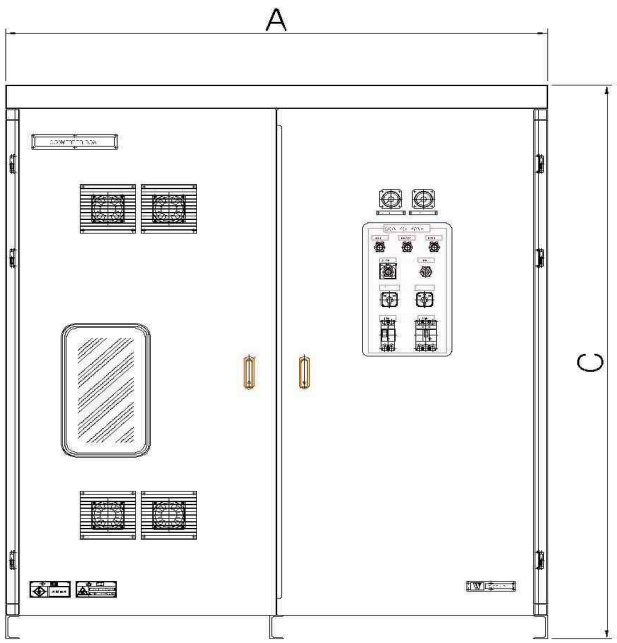
<table>
<tr><th>NO</th><th>항 목</th><th>기 준 치</th><th>결 과</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>4</td><td>치수검사</td><td>승인도면에 의거 각부를 측정, 기준치 이내일 것
<table>
<tr><th>측정위치</th><th>기준값</th><th>측정값</th></tr>
<tr><td>A</td><td>2000mm ± 4</td><td>2000mm</td></tr>
<tr><td>B</td><td>1500mm ± 4</td><td>1501mm</td></tr>
<tr><td>C</td><td>2350mm ± 5</td><td>2354mm</td></tr>
</table></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td>보호회로
기능시험</td><td>보호회로 동작표에 의거 보호회로 동작시 양호할 것
고장표시, RESET확인</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td>제어 기능
시험</td><td>* 광량측정 시험
- 24dBm 이상의 광량을 유지
* IGBT 게이트 전원특성시험
- 교류출력이 48VAC ± 3%, 15kHz ± 10% 이내 인지 확인
* IGBT 게이트 특성시험(게이트 파형 첨부)
- Gate ON = + 15V ± 2.2V
- Gate OFF = - 15V± 2.2V
- Dead Time = 12μs ± 2μs
- 최소 ON 펄스폭 = 20μs 이상인지 확인
*주회로 동작 시험
- 게이트 출력이 정상인지 확인
- U,V,W 상의 순서로 120°씩의 위상차로 지연 되는지 확인</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td>경부하 시험</td><td>1) 정력 입력전압에서 정격부하의 10%인 상태로 3상 출력단이 R-S-T 상순이어야 하며 정격 출력전압 950V ± 10% 이내일 것</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td>소음 시험</td><td>입력전압, 정격부하에서 확인시 85dB이하일 것</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td>온도상승시험</td><td>운행조건으로 10분간 운전하여 주요기기의 온도를 측정한다.</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>10</td><td>효율 측정
시험</td><td>입력전압, 정격부하에서 확인시 90% 이상일 것</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>11</td><td>공급 과전압과
과도에너지 시험</td><td>전력 컨버터장치의 손상이 없어야 하며 정상 동작하여야 한다.</td><td></td><td></td></tr>
</table>

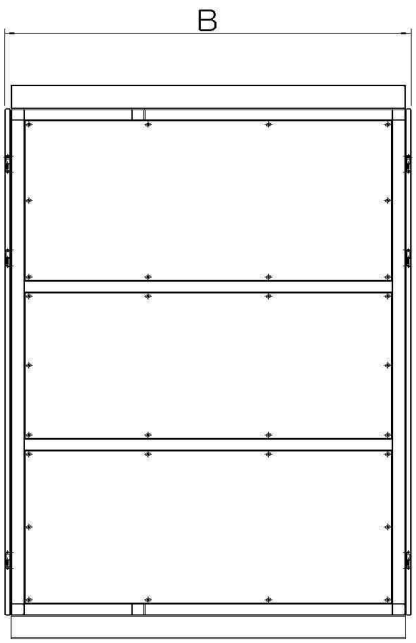
NO	항 목	기 준 치	결 과	비고
13	절연저항시험	고압도전부 - 프레임간 1000V메거로 100MΩ 이상 제어회로부 - 프레임간 500V메거로 30MΩ 이상		
14	내전압시험	고압도전부 ↔ 저압회로 및 대지간 : 3400VAC, 60Hz, 1분간 저압회로 ↔ 대지간 : 1200VAC, 60Hz, 1분간		
15	전자파 시험	IEC 61000-4-3,4,5,6 실시하여 이상이 없어야 한다.		
16	환경시험	KS C 0220 (저온시험) KS C 0221 (고온시험) KS C 0227 (온습도 싸이클 시험) 실시하여 이상이 없어야 한다.		
17	검출기 특성시험	전압, 전류 센서의 특성을 확인한다.		
특기사항 :				

(4) 구성품 검사 성적서

검사 성적서

공 사 명	초고속 자기 부상 열차			한국철도 기술연구원	검 사	검 토	승 인
제 작 사	(주) 우 진 산 전						
품 명	전력 컨버터 장치						
도면 및 근거	R1B001598			제 작 사	검 사 자		확 인 자
차 호		차종					
검 사 일	2014년 1월 28일 ~ 2014년 2월 7일			판 정			
계측 장비	Digital Multimeter, Oscilloscope, Memory Hi Coder, High Voltage Differential Probe						





NO	항 목	기 준 치	결 과	비고
1	외관검사	사용상에 유해한 흠, 균열, 녹 등이 없을 것	양호	
2	구조검사	A) 부품 : 각부품의 취부상태를 확인시 양호할 것	양호	
		B) 도장 : 반광 확인시 양호할 것	양호	
		C) 배선 : 각 배선의 처리상태를 확인시 양호할 것	양호	
3	중량측정시험	BOX의 무게를 측정하여 기준치(1,900Kg±10%) 이내일 것	1,910Kg	
특기사항 :				

<table>
<tr><th>NO</th><th>항 목</th><th>기 준 치</th><th>결 과</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>4</td><td>치수검사</td><td>승인도면에 의거 각부를 측정, 기준치 이내일 것
<table>
<tr><th>측정위치</th><th>기준값</th><th>측정값</th></tr>
<tr><td>A</td><td>2000mm ±4</td><td>2000mm</td></tr>
<tr><td>B</td><td>1500mm ±4</td><td>1501mm</td></tr>
<tr><td>C</td><td>2350 mm ±5</td><td>2354mm</td></tr>
</table></td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td>보호회로
기능시험</td><td>보호회로 동작표에 의거 보호회로 동작시 양호할 것
고장표시, RESET확인</td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td>제어 기능
시험</td><td>* 광량측정 시험
- 24dBm 이상의 광량을 유지
* IGBT 게이트 전원특성시험
- 교류출력이 48VAC ± 3%, 15kHz ± 10% 이내 인지 확인
* IGBT 게이트 특성시험(게이트 파형 첨부)
- Gate ON = + 15V ± 2.2V
- Gate OFF = - 15V± 2.2V
- Dead Time = 12㎲ ± 2㎲
- 최소 ON 펄스폭 = 20㎲ 이상인지 확인
* 주회로 동작 시험
- 게이트 출력이 정상인지 확인
- U,V,W 상의 순서로 120°씩의 위상차로 지연 되는지 확인</td><td>-16.1
-16.4
47.42V
15.65
kHz
양호
양호</td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td>경부하 시험</td><td>1) 정력 입력전압에서 정격부하의 10%인 상태로 3상 출력단이 R-S-T 상순이어야 하며 정격 출력압 950V ± 10% 이내일 것</td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td>소음 시험</td><td>입력전압, 정격부하에서 확인시 85dB이하 일 것</td><td>양호
(조합
시험)</td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td>온도상승시험</td><td>운행조건으로 10분간 운전하여 주요기기의 온도를 측정한다.</td><td>양호
(조합
시험)</td><td></td></tr>
<tr><td>10</td><td>효율 측정
시험</td><td>입력전압, 정격부하에서 확인시 90% 이상 일 것</td><td>양호
(조합
시험)</td><td></td></tr>
<tr><td>11</td><td>공급 과전압과
과도에너지 시험</td><td>전력 컨버터장치의 손상이 없어야 하며 정상 동작 하여야 한다.</td><td>양호
(조합
시험)</td><td></td></tr>
</table>

NO	항 목	기 준 치	결 과	비고
13	절연저항시험	고압도전부 - 프레임간 1000V메거로 100MΩ 이상 제어회로부 - 프레임간 500V메거로 30MΩ 이상	∞ ∞	
14	내전압시험	고압도전부 ↔ 저압회로 및 대지간 : 3400VAC, 60Hz, 1분간 저압회로 ↔ 대지간 : 1200VAC, 60Hz, 1분간	3400V 17.1mA 1200V 11.8mA	
15	전자파 시험	IEC 61000-4-3,4,5,6 실시하여 이상 없어야 한다.	성적서 첨부	
16	환경시험	KS C 0220 (저온시험) KS C 0221 (고온시험) KS C 0227 (온습도 싸이클 시험) 실시하여 이상이 없어야 한다.	양호 (온도 그래프 첨부)	
17	검출기 특성시험	전압, 전류센서의 특성을 확인한다.	전류 검출기 9.98V 5.0V 전압 검출기 4.99V 9.99V 입력 전압 검출기 4.99V 10.01V	
특기사항 :				

첨부 시험 진행 사진(구성품시험)



외관 검사



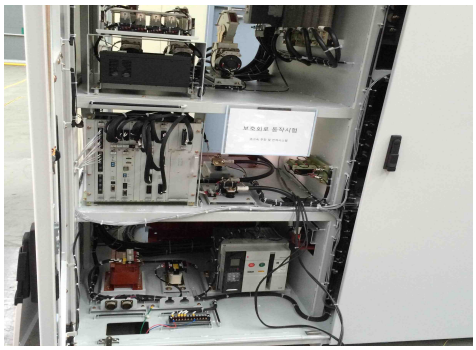
치수 검사



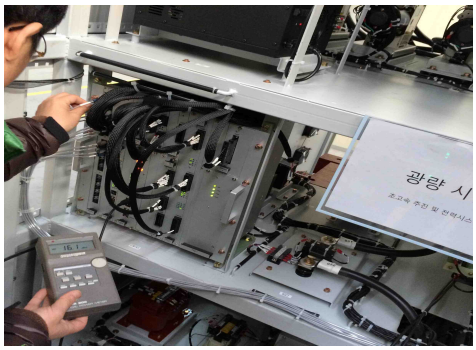
중량 측정



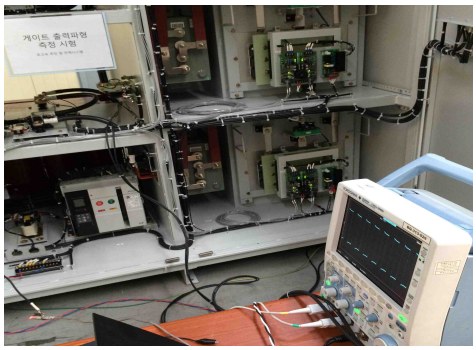
중량 측정



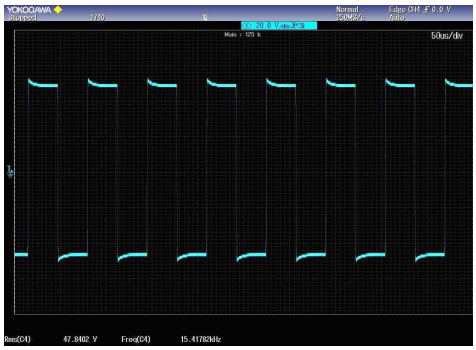
보호회로 기능시험



제어기능 시험 (광량시험)



제어기능 시험
(게이트 출력파형 측정 시험)



제어기능 시험 (게이트 전원특성 시험)



제어기능 시험
(게이트 출력파형 측정 시험)



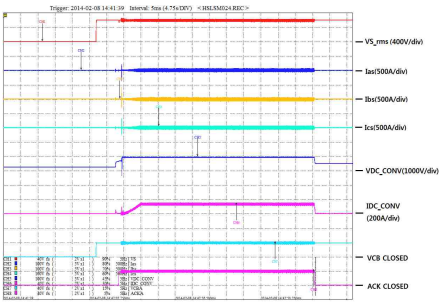
제어기능 시험
(게이트 출력파형 측정 시험)



제어기능 시험
(게이트 출력파형 측정 시험)



제어기능 시험 (주회로 동작 시험)



경부하 시험



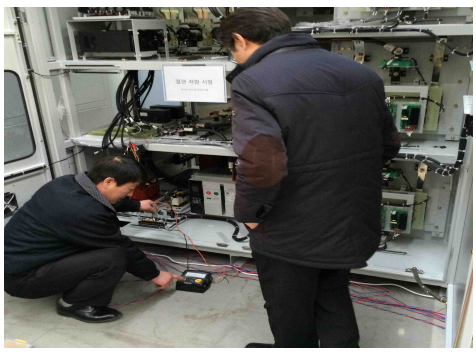
전자파 시험



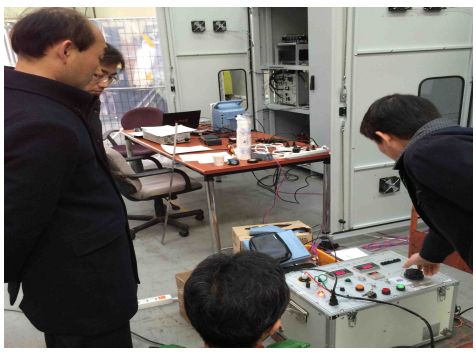
전자파 시험



환경 시험



절연 저항 시험



내전압 시험

첨부 시험 전자파시험 성적서

전자파 적합성 시험성적서

신청인	상 호	㈜우진산전		
	주 소	충청북도 괴산군 사리면 사리로 95		
	전화번호	043-820-4292	팩스번호	043-836-7653
	담당자	천 형 환	AGR No.	A142A-085
시험기기	명 칭	초고속 자기부상열차 추진시스템 전력컨버터		
	형 명	전력 컨버터(Control Unit)	제조번호	14001
	제 조 자	㈜우진산전	제조국가	한 국
시 험 기 간		2014년 02월 12일 ~ 2014년 02월 13일	접 수 일	2014년 02월 12일
시 험 규 격		IEC 61000-4-4: 2011, IEC 61000-4-5: 2005, IEC 61000-4-6: 2008		
시 험 장 소		㈜우진산전		

시험자 김 강 혁 연구원

확인자 남 승 현 수석 연구원

신청인이 제출한 시료의 시험 결과에 대한
시험 성적서를 발급합니다.

2014년 02월 18일

(주)원 텍 대표이사

본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

2. 시험 기준

2.2 시험항목 및 결과

시험 항목	기본 규격	시 험 결 과
전기적빠른과도현상내성시험	IEC 61000-4-4: 2011	■ 적합 □ 부적합
서지 내성시험	IEC 61000-4-5: 2005	■ 적합 □ 부적합
전기자기 전도내성시험	IEC 61000-4-6: 2008	■ 적합 □ 부적합

-. 상기 시험 항목은 신청인의 요청에 따른 시험 항목임.
-. 신청인의 요청에 따라 상기 시험 항목은 수검기기의 제어장치에만 적용 하였음.

2.3 수검기기의 보완내용

-. 해당 없음

3. 수검기기의 기술제원

구 분	주 요 사 항 및 특 성	
정격전원	입력	590 [V rms] , 590 A , 60 Hz
	출력	DC 950 V ±5 %, 368 A 효율 90 % 이상
I/O포트	AC Input	

4. 시험기기 구성 및 배치

4.1 전체구성

모 델 명	제 작 사	기 기 명	연 결
4.4절 참조			

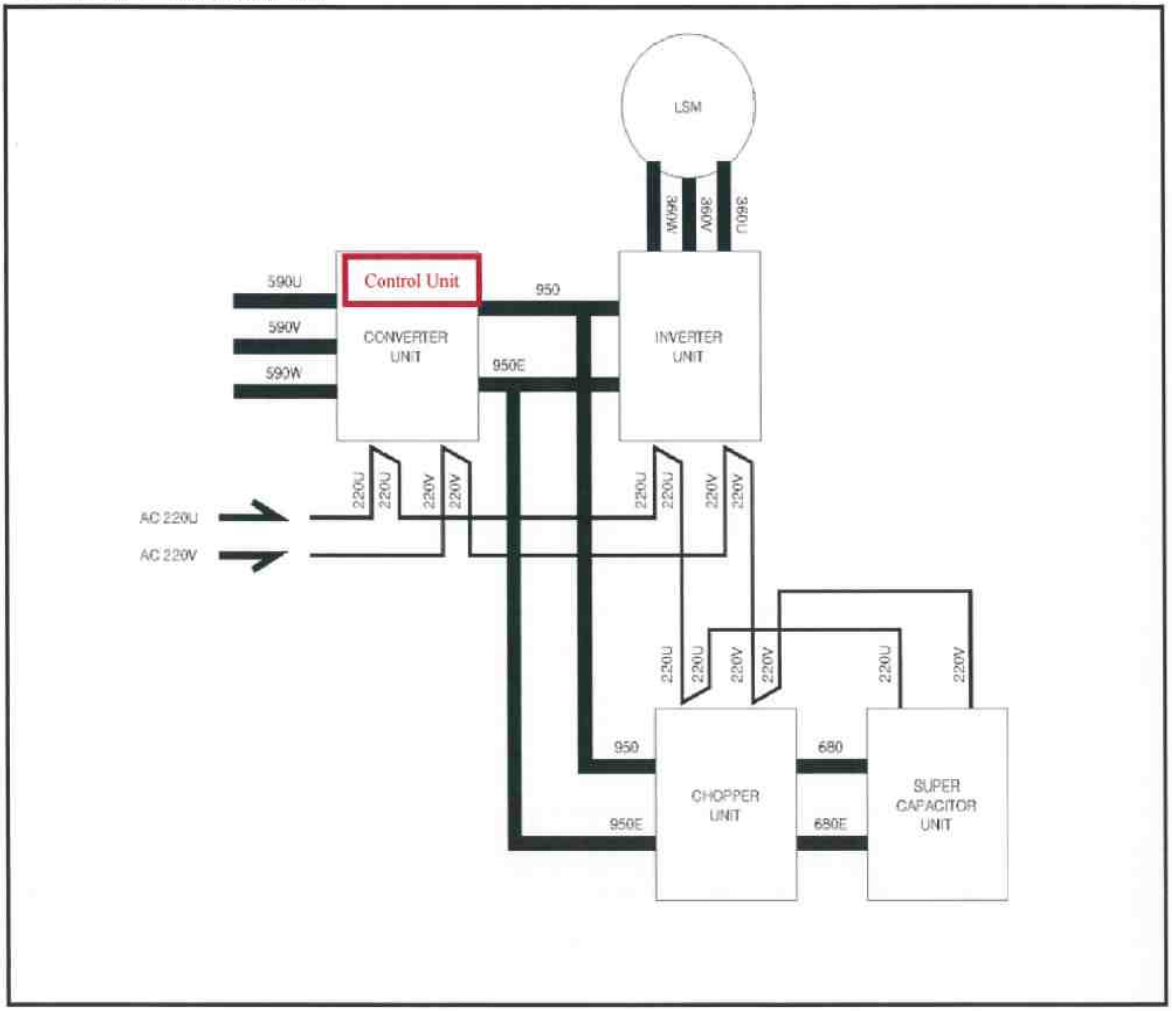
4.2 수검기기의 동작상태

-. 본 수검기기는 초고속 자기부상열차 추진시스템 전력컨버터의 제어장치로서 run mode에서 LED의 동작상태를 확인하며 시험 하였음

4.3 접속 케이블

접속 시작 장치		접속 끝 장치		케 이 블 규 격	
명칭	I/O Port	명칭	I/O Port	길이(m)	차폐여부
초고속 자기부상열차 추진시스템 전력컨버터의 제어장치 (수검기기)	AC Input	DC POWER SUPPLY	DC Output	1.0	비차폐형

4.4 시스템 블록 다이어그램



7. 시험장면 사진

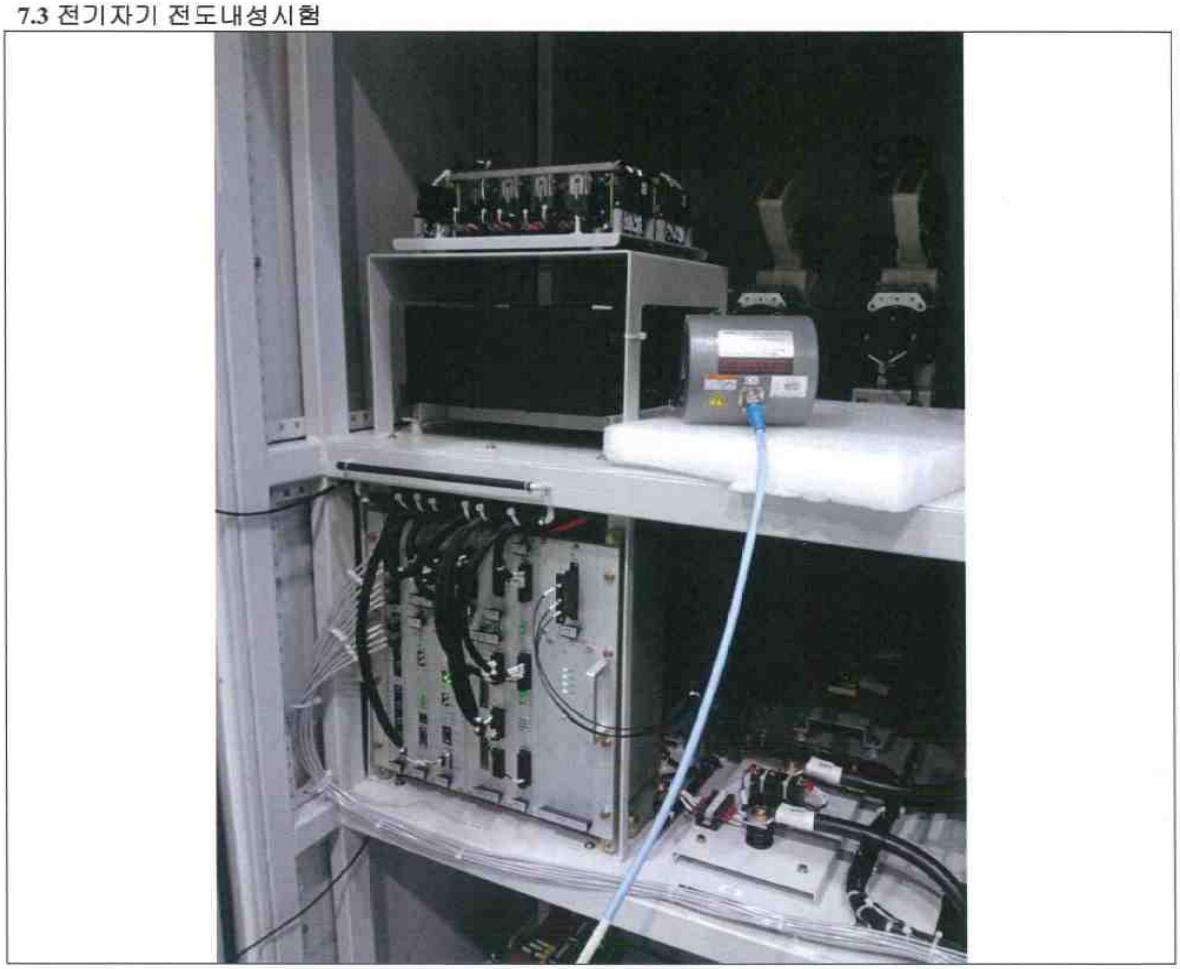
7.1 전기적빠른과도응답 내성시험



7.2 서지 내성시험



7.3 전기자기 전도내성시험



라. 종합시험(단거리시험선) 시험절차서 및 기록서

미래철도기술개발사업	초고속 차량 핵심 기술 개발

전력 컨버터 성능시험절차서

Rev.	날짜	개정 사유
00.00	2014.10.13	최초작성

승 인	2014.10.13	이 영 호	
검 토	2014.10.13	송 영 신	
작 성	2014.10.13	천 형 환	
	일 자	성 명	서 명

파 일 명	전력 컨버터 성능시험 절차서		
워드프로세서	훈글 2010		
문 서 번 호		시험항목코드	

- 개정 이력

Rev.	페이지	변경사유	변경내용		개정일자
			~을	~(으)로	
00.00		최초 작성	최초 작성		'14.10.13

목 차

1. 적용 범위 ---- 4
2. 적용 규격 ---- 4
   2.1. 적용 문서 ---- 4
   2.2. 용어 정의 ---- 4
3. 시험의 목적 및 방법 ---- 4
   3.1. 시험 목적 ---- 4
   3.2. 시험 장소 ---- 4
   3.3. 시험 항목 ---- 5
   3.4. 시험 방법 ---- 5
4. 판정 기준 ---- 7
   4.1. 무부하시의 출력전압 측정 ---- 7
   4.2. 동작시험 ---- 7
   4.3. 효율 측정 ---- 7

별첨 1. 전력 컨버터 검사 및 시험 기록지 ---- 8

1. 적용 범위

본 절차서는 초고속 자기부상열차 단거리시험선에서 초고속 자기부상철도 핵심기술개발 연구단과제를 통하여 개발되는 "초고속 자기부상열차용 전력 컨버터 성능시험"을 위한 시험 절차 및 기준에 대하여 규정한다.

2. 적용 규격

2.1. 적용 문서

1) 초고속 자기부상철도 시스템 기본 사양

2.2. 용어 정의

1) 2중 루프 제어방식 : 전압제어 및 역률제어 + 전류제어방식.
2) PWM 컨버터 : 단상 혹은 3상 PWM(Pulse Width Modulation) IGBT를 이용한 전력변환장치

3. 시험의 목적 및 방법

3.1. 시험 목적

초고속 자기부상열차의 지상변전실에 설치되어있는 전력 컨버터 사양을 검증하는 데에 있다.

3.2. 시험 장소

초고속 자기부상열차의 전력컨버터 성능시험은 오송에 위치한 한국철도시설공단 시설장비사무소 부지 내 초고속 자기부상철도 단거리시험선에서 수행한다.

3.3. 시험 항목

표 1. 시험 항목

순번	시 험 항 목	측정항목	정차시험	공차시험	만차시험
1	무부하 운전시의 출력전압	시퀜스 시험	◎	-	-
		기능시험			
		출력전압 및 리플율			
2	동작 시험 (역행 및 제동시)	출력전압 확인	-	◎	◎
		리플율			
3	효율측정	효율측정	-	-	◎

3.4. 시험 방법

3.4.1. 시험 조건

1) 전력용 변압기의 정격 전압을 인가 한 상태로 시험을 실시한다.
2) 시제차량이 단거리시험선에 주행하고 최대 전력 상태에서 시험을 진행한다.
3) 사용되는 측정 장비는 국가 표준기본법에 의한 인정기구가 인정한 교정기관의 교정이 완료된 장비임이 확인되어야 한다.
4) 주변압기(RTR/1 기동 순서: EHV/2의 VCB → CB/1 VCB 투입 (X-GPAM) 후 입출력 전압 확인
5) 컨버터(SR/1) 기동 순서: 제어장치 제어전원 및 송풍기 전원인가 (NFB1, NFB2 ON) "START" S/W ON 시 컨버터 기동
6) 인버터 연계 순서: 인버터실의 HB/1 DS, HSCB 투입 → HB/2 DS, HSCB 투입 후 인버터의 입력전압 확인

3.4.2. 측정 항목

1) 컨버터 입력 전압 및 전류
2) 컨버터 출력 전압 및 전류

3.4.3. 측정 장비

표 2. 측정 시험장비

No.	장비명	모델명	비 고
1	TRUE RMS MULTIMETER	FLUKE 177	
2	DIGITAL OSCILLOSCOPE	DL9140	
3	MEMORY HI CORDER	HIOKI 8826	
4	HIGH VOLTAGE DIFFERENTIAL PROBE	SI9010	

3.4.4. 시험 방법

1) 무부하시의 출력전압

가) 전력용 변압기의 정격전압을 인가 한 상태 컨버터 장치의 출력을 측정하여 규정치 이내인지 확인한다.

나) 컨버터장치의 기동 및 정지 동작을 확인한다.

다) 컨버터장치의 기동이 완료된 상태에서 최소 동작 부하 상태에서 운전되도록 한다.

2) 동작시험

가) 전력용 변압기의 정격전압을 인가 한 상태, 인버터 장치를 기동하여 역행시(P1 or P4)의 컨버터 장치의 출력 전압을 측정하여 규정치 이내인지 확인한다.

나) 전력용 변압기의 정격전압을 인가 한 상태, 인버터 장치를 기동하여 제동시(B1 or B7)의 출력 전압을 측정하여 규정치 이내인지 확인한다.

다) 전력용 변압기의 정격전압을 인가 한 상태, 인버터 장치의 최고속도(시험선의 최대 운행 가능 속도)운행 조건에서의 출력 전압을 측정하여 규정치 이내인지 확인한다.

3) 효율 측정

가) 전력용 변압기의 정격전압을 인가 한 상태, 인버터 장치를 기동하여 추진 최대 전력시 효율(컨버터 출력 전력/컨버터 입력 전력)을 측정하여 규정치를 만족하는지 확인한다.

4. 판정기준

4.1. 무부하시의 출력전압

1) 컨버터 입력 전압 : AC 590V
2) 컨버터 출력 전압 : DC 950 ± 10% 이내
3) 컨버터 출력 리플율 : 10% 이하

4.2. 동작시험

1) 컨버터 입력 전압 : AC 590V
2) 컨버터 출력 전압 : DC 950V ± 10% 이내

4.3. 효율 측정

컨버터 효율(출력 전력/입력 전력) : 90% 이상

별첨 1. 전력컨버터 시험 기록지

시 험 품	초고속 자기부상열차 SUMA 550-01		확인자	KRRI(신헌철)	
시험일시	2015 년 2 월 12 일~2015 년 2 월 12 일		시험자	손경민(우진산전)	
시험장소	단거리시험선 검수고 & 본선				
시험환경	온도 11 ℃	습도 45 % R.H		날씨 : 맑음	

1. 무부하시의 출력전압

1.1 시퀜스 및 기능시험

순번	시험항목	판정기준	시험결과	비고
1	시퀜스 및 기능시험	제어기 LED 확인 (VCB on → AK on → K on → AK off)	양호	
2	제어기능시험 (게이트 전원 확인)	교류출력이 AC 48 V ± 3 %, 15 kHz ± 10 % 이내 일 것.	양호	

1.2 보호 동작 시험

순번	시험항목	판정기준	시험결과	비고
1	보호동작	GDU 광케이블 Opne시 게이트 드라이버 고장 LED 점등.	양호 (CFDC)	

1.3 무부하시 출력 전압 확인

순번	시험항목	판정기준	시험결과		비고
			1회	2회	
1	출력전압확인	정격 입력시 출력전압을 측정하여 DC 950V ± 10% 이내	956V	955V	
2	리플율	10% 이하	6.2%	6.2%	

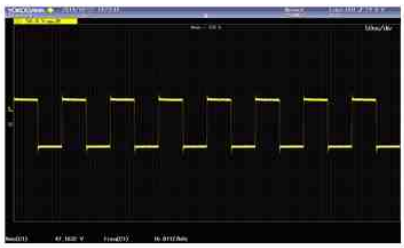
2. 동작 시험

순번	시험항목	판정기준	시험결과	비고
1	출력전압확인 (공차역행)	정격 입력시 출력전압을 측정하여 DC 950V ± 10% 이내	952.102V	
2	출력전압확인 (공차제동)	정격 입력시 출력전압을 측정하여 DC 950V ± 10% 이내	953.535V	
3	출력전압확인 (만차역행)	정격 입력시 출력전압을 측정하여 DC 950V ± 10% 이내	951.829V	
4	출력전압확인 (만차제동)	정격 입력시 출력전압을 측정하여 DC 950V ± 10% 이내	951.758V	

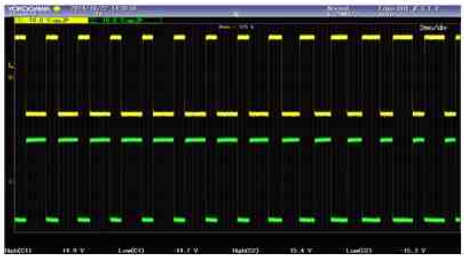
3. 효율 측정

순번	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			1차	2차	
1	효율(공차)	컨버터 효율 90% 이상 (입력전력/출력전력)	96%	94%	
1	효율(만차)	컨버터 효율 90% 이상 (입력전력/출력전력)	94%	96%	

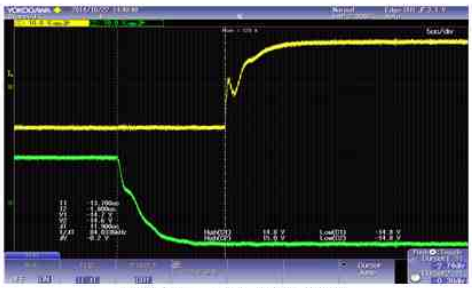
첨 부 시험 진행 사진



제어기능 시험 (게이트 전원 확인)



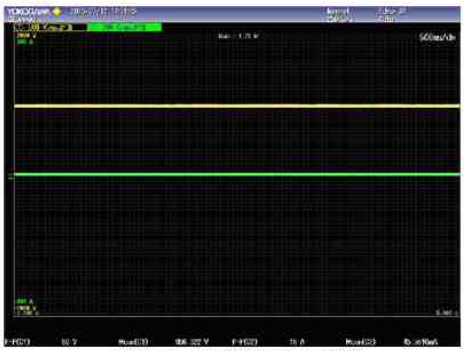
IU1,IX1 ON/OFF



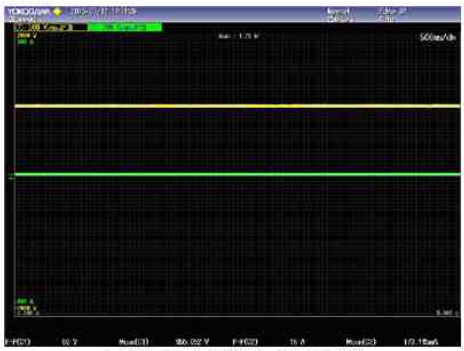
제어기능 시험 (데드타임)



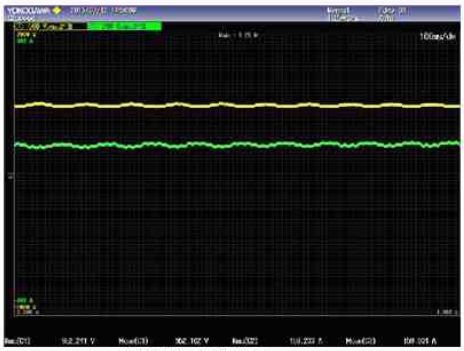
시퀀스 시험(VCB on→AK on→K on→AK off)



무부하시 출력전압 956.322V



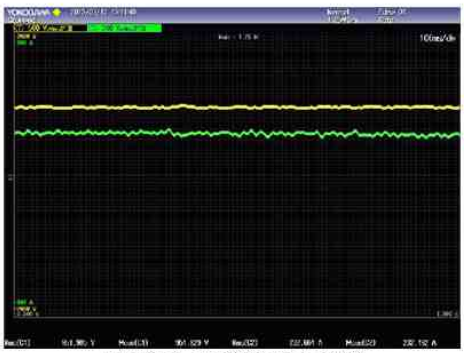
무부하시 출력전압 955.052V



공차역행 출력전압 952.102V



공차제동 출력전압 953.535V



만차역행 출력전압 951.829V

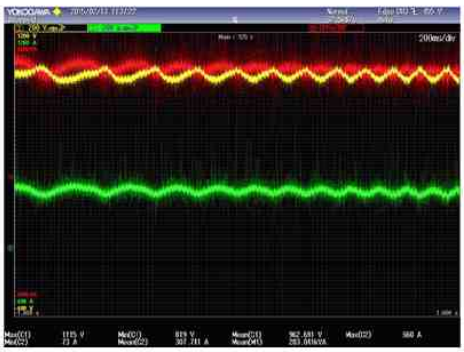


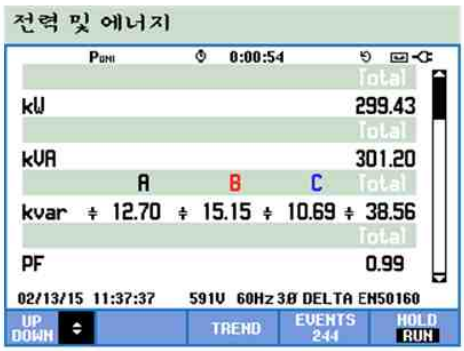
만차제동 출력전압 951.758V



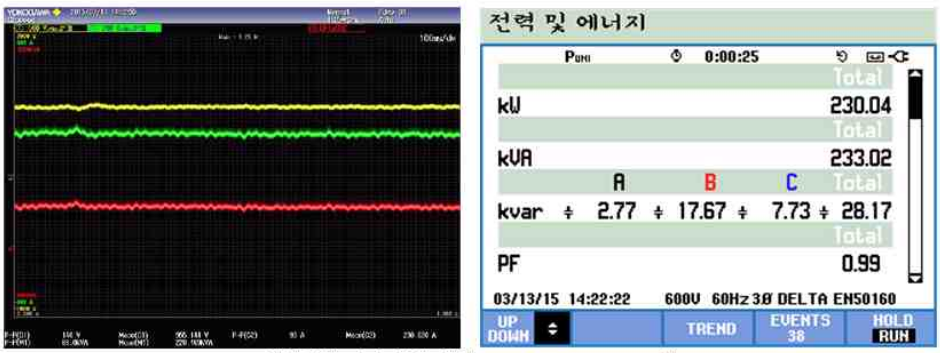


공차주행 효율측정1회 (327KVA/340KVA=96%)





공차주행 효율측정2회(283KVA/301KVA=94%)



만차주행 효율측정1회 (220KVA/233KVA=94%)



만차주행 효율측정2회 (274KVA/285KVA=96%)

제9절 에너지세이버 개발

1. 개요

에너지의 재활용을 위한 저장방식으로는 플라이휠 방식과 이차전지를 이용한 방식 그리고 슈퍼 캐패시터를 이용한 방식이 선진국을 중심으로 연구되어 왔다. 플라이휠의 경우, 회전부분 및 진동의 발생부분이 많기 때문에 유지보수를 위한 부분이 단점으로 지적되고 있으며, 이차전지의 경우는 짧은 수명으로 인해 유지보수를 위한 비용이 많이 발생하는 단점이 있다. 개발 비용의 측면에서도 대용량의 플라이휠장치가 비용이 가장 많이 드는 것으로 알려져 있다.

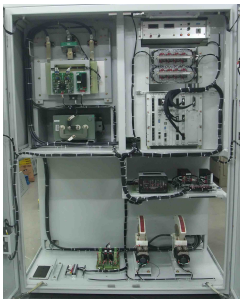
에너지를 저장하는 매체에 있어서, 현재까지는 그 주력에 에너지의 밀도 및 충방전 효율, 응답특성 그리고 유지보수의 관점에서 슈퍼 캐패시터를 이용한 방법과 플라이휠의 방식이 우위에 있다고 할 수 있다. 하지만 국내의 기술 발전 방향과 개발비용, 제작비용을 검토하면 플라이휠의 경우가 보다 높은 개발 비용이 소요된다. 또한 고속 회전 및 베어링의 기술적 접근이 쉽지 않은 반면에, 슈퍼 캐패시터는 기술적인 접근이 용이하다는 장점과 더불어 유지보수, 개발비용에 장점을 가지고 있다.

2. 목표

본 기술개발 목적은 전동차의 회생에너지를 저장하고 차량의 역행 시 공급하여 저장되는 에너지만큼 전력비용을 감소하고 가선전압을 안정화 하는데 그 목적이 잇다.

3. 개발 내용 요약

연구목표	초고속 자기부상열차의 회생 전력을 재활용하는 저장장치 시스템을 구축하여 실용화시 에너지 저감을 위한 에너지 저장장치 시스템 제어 알고리즘 개발 및 시제품 제작에 의한 성능 확인
연구내용	▪ 확장성을 고려한 병렬 운전 제어장치 개발 ▪ ESS 장치의 상태 확인을 위한 화면 설계 ▪ 에너지 저장 장치 시스템 시제품 제작 및 성능 확인 ▪ 에너지 저장 장치 시스템의 연계시험을 통한 효율 검증
수행과정	▪ 에너지 저장 장치 제어장치 제작 ▪ 슈퍼캐패시터의 상태 확인을 인터페이스 보드, 상태 화면 구현 ▪ 양방향 쵸퍼의 성능 확인 및 저장매체와 충방전 연계 시험
연구결과	▪ 에너지 저장장치 시제품 제작 및 조합시험 및 연계시험을 통한 쵸퍼 장치 효율 검증

	 	
	에너지 저장장치 시제품 제작	제어기능 시험 (보호동작시험)
		
	쵸퍼 장치 충전시험 및 효율 측정(96%)	쵸퍼 장치 방전시험 및 효율 측정(97%)

4. 상세 개발 내용

가. 에너지 저장장치 사양

(1) 슈퍼 캐패시터의 용량산정

초고속 자기부상철도용 에너지 저장장치의 전력변환장치 용량은 다음과 같이 산정된다. 모터의 과부하조건 등을 고려하여 정격용량의 약 1.8배를 과부하용량으로 산정하고, 회생율 20%, 설계여유율 110%를 고려하여 전력변환장치의 용량을 산정한다.

- 총 용량 $P_L = 200kW \times 1.8 \times 0.4 \times 1.1 = 158.4kW$
- 총 전력량 $W_L = 158.4kW \times 10s = 1{,}584kJ$

슈퍼 캐패시터는 전력컨버터 출력 전압 및 용량 확장성을 고려하여 14직렬/2병렬로 구성하며, 캐패시턴스는 다음과 같다.

- $C = 165F/14 \times 2 = 23.58F$

산정된 슈퍼캐패시터 캐패시턴스와 충전 및 방전 종지 전압을 고려한 에너지 저장 시스템의 용량 W_c는 아래와 같다.

▪ $W_c = \frac{1}{2} C(V_1^2 - V_2^2) = 3.2MJ$

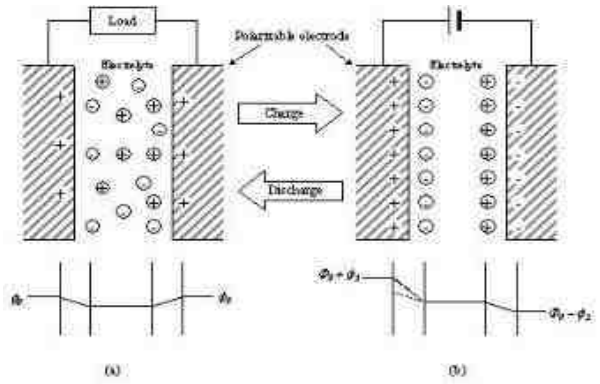
위와 같이 에너지 저장시스템의 전력변환장치 DC/DC 쵸퍼의 용량은 충분한 부하 공급이 가능한 3.2MJ의 용량으로 이루어져 있다.

(2) 에너지 저장매체 구조

(가) 슈퍼 캐패시터 셀 구조

① EDLC의 원리 및 구조

두 개의 평판 전극으로 이루어진 전기이중층 캐퍼시터의 충방전 원리는 [그림 2.9.1]과 같으며 전극-용액 계면에 전하가 배열된다.

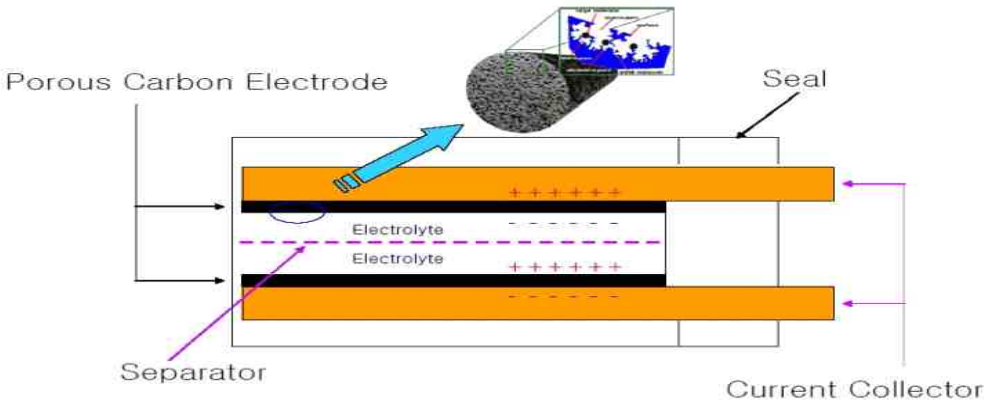


[그림 2.9.1] Electrochemical capacitor의 원리 (a)부하 (b)충전

일반 캐패시터보다 거대한 용량을 지닌 슈퍼 캐패시터는 1995년에 일본, 러시아, 미국 등에서 상품화 되었으며, 고기능성의 활성탄소 섬유, 고분자 금속 화합물 등의 첨단 신소재 기술의 발전에 따라 그 용량 및 사용범위가 더욱 넓어지고 있어 세계 각국에서 앞다투어 개발을 진행하고 있는 새로운 범주의 캐패시터로 차세대 에너지 저장 장치로 각광받고 있다. 보다 효율적인 에너지 저장 및 이용을 위해서 슈퍼캐패시터의 에너지 밀도를 높이는 연구와 자기방전 및 누설전류의 감소를 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 슈퍼캐패시터의 기본 구조는 다공성전극(Electrode), 전해질(Electrolyte), 집전체(Current Collector), 격리막(Separator)으로 이루어져 있으며, 단위 셀전극의 양단에 수 볼트의 전압을 가해 전해액내의 이온들이 전기장을 따라 이동하여 전극표면에 흡착되어 발생되는 전기 화학적 메카니즘을 작동원리로 한다.

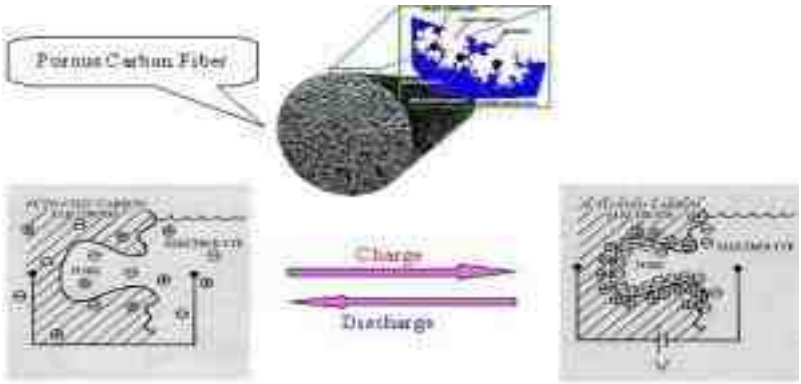
② EDLC의 구성재료캐패시터의 구조

EDLC의 구성재료캐퍼시터의 구조는 [그림 2.9.2]와 같이 다공성 전극, 격리막, 전해질, 집전체 및 case로 이루어져 있으며 각 구성 재료들이 갖추어야 될 조건은 다음에 각각 설명된다.



[그림 2.9.2] 커패시터의 구조

▪ 전극 재료 특성 고용량 : 전기에 사용되는 전극소재로는 다음과 같은 두 가지의 요구조건을 만족시켜야 한다. 첫째, 전기이중층의 계면에 전하를 축적시키기 위해서는 사용하고자 하는 전위범위에서 전극과 용액 간에 전하의 이동이 없는 전극을 사용하여야 한다. 둘째로는 정전용량이 전극의 표면적에 비례하므로 큰 비표면적을 갖는 전극재료가 요구된다. 비표면적을 획기적으로 증가시킨 다공성 활성탄소재료는 이러한 요구조건에 적합하며 powder 및 fiber를 직조한 cloth 형태로서 현재 많이 사용되고 있다. [그림 2.9.3]에 다공성 탄소전극의 전하축적 개요를 나타내었다.



[그림 2.9.3] 다공성 탄소 전극에서의 전하축적 개념

▪ 전해질 : 특성수용액전해질과 비수용성전해질인 유기 전해질로 구분할 수가 있다. 수용성 전해질은 H2SO4, KOH, NaOH, KCl 등의 산, 염기 또는 무기염을 사용할 수가 있으며 사용 전압범위는 voltage balancing에 따라 다를 수 있지만 대략 1.0V를 넘기가 어렵다. 수용성전해질을 사용하는 경우는 용액의 이온전도도가 유기전해질의 경우보다 크므로 출력특성이 양호하며 제작이 용이하다는 장점이 있다. 반면에 유기용액(AN, EC, PC, DMC, DEC, etc)과 무기염(리튬, 4차 암모늄 및 포스포늄 염)을 사용하는 비수용성 전해질은 다루기는 까다롭지만 3V정도의 전압범위에서 사용 가능하므로 에너지 측면에서는 수용성전해질 보다 훨씬 유리하다. 일반적으로 전기화학에 사용되는 acetonitrile(AN) 용매는 -41℃~81.6℃에서 액체로 존재하며 비중은 0.7868이며 비교적 큰 유전율과 낮은 점도 특성을 가진다.

▪ 격리막 : 특성격리막(separator)의 특성으로서는 전하의 이동은 원활하게 이루어지지만 자가방전특성이 적으며 사용 전압 범위 내에서 전기화학적으로 안정하며, 전해질 및 전극물질과 화학적으로 반응하지 않는 고분자 막이 주로 사용된다.

▪ 집전체 : 특성을 사용하고자 하는 전압범위에서 반응이 없어야 하며 전기전도성이 뛰어나고 가벼운 재료가 바람직하다.

▪ Case 및 Sealing : 재료특성내부의 전해액의 누액이 되는 것을 방지해야 할뿐만 아니라 특히 유기계 커패시터에서는 습기가 수명 및 용량에 큰 영향을 미치게 되므로 외부의 습기나 증기상의 물질들이 셀 내부로 침입하는 것을 완벽하게 차단해야 하는 구조로 이루어져야 한다. 케이스의 재질은 사용하는 전해질에 대하여 내약품성을 가져야 하며 무게가 가벼워야 한다. 또한 케이스를 터미널로 사용하고자 하는 경우에 전위안정성을 고려하여 집전체와 같은 재질을 고려할 수 있다.

[표 2.9.1] 캐패시터의 특성비교

분 류	슈퍼캐패시터	배터리
방전시간	<수 분	0.3~3시간
충전시간	수 초~수 분	시 간
에너지밀도(Wh/Kg)	0.8~10	20~150
출력밀도(W/Kg)	500~4,000	50~300
효 율	>0.9~0.95	0.75~0.85
수 명	>1000,000	<1000
충전회로	단 순	복 잡

[표 2.9.1]은 전원장치 등에 사용되는 전기 화학적 에너지 저장장치인 일반적인 캐패시터 및 2차 전지와의 특성을 슈퍼 캐패시터와 비교한 것이다. 슈퍼 캐패시터는 기존 캐패시터와 2차전지의 중간적인 저전압 고용량의 특성을 가지고 있으며, 충·방전의 특성은 2차전치보다 월등하지만 에너지밀도는 2차전지보다 낮은 특성을 가지고 있다.
슈퍼 캐패시터에 사용되는 전극 및 메카니즘에 따라 크게 3가지로 구분되는데,

▪ 활성탄소를 전극으로 사용하고 전기이중층 전하흡착을 메카니즘으로 갖는 전기이중층 캐패시터(EDLC, Electrical Double Layer Capacitor)
▪ 금속산화물과 전도성고분자를 전극재료로 사용하고 유사용량(pseudo-capacitance)을 메카니즘으로 갖는 금속산화물 전극 Pseudocapacitor (Redox 캐패시터라고도 함)

▪ EDLC와 전해캐패시터의 중간적인 특성을 지닌 하이브리드 캐패시터로 나누어진다.

Pseudocapacitor는 EDLC에 비해 축전용량이 3~4 배 정도 크지만, 고가의 금속 산화물을 전극활물질로 사용한다는 단점과, 제조상의 난이도, 높은 ESR(equivalent series resis tance) 등의 문제점을 가지고 있고, 하이브리드 캐패시터의 에너지 밀도는 EDLC 보다 높을 수 있으나, 충·방전 등의 특성들이 이상적이지 않고 비선형성으로 인해 보편화되지 못하고 있다. 따라서 활성탄소를 전극으로 사용하여 환경친화적일뿐만 아니라 충·방전이 용이하고 제조상의 이점을 지닌 EDLC가 주류를 이루고 있다.

(나) 슈퍼 캐패시터 모듈구조

슈퍼 캐패시터 모듈은 2.7V/3,000F의 단위셀이 직렬로 18개가 접속되어 총 전압 및 용량은 48.6V/166.7F으로 구성되어 있다. (+) 단자와 (-) 단자는 대각선으로 위치되어 접속시 단락의 위험이 없으며, 외함은 단단한 구조로 외부의 충격에 강하게 설계되어 있다. 상부에 Balancing Circuit이 접속되어 있어 각 단위셀의 과전압에 대해 보호동작을 수행할 수 있도록 외부에 디지털 접점이 출력된다. 또한 셀 중앙의 (+) 단자 위치부근에 NTC type의 써미스터가 부착되어 있어 온도에 대한 모니터링을 수행할 수 있도록 설계되어 있다.

[표 2.9.2] 슈퍼 캐패시터 모듈 사양

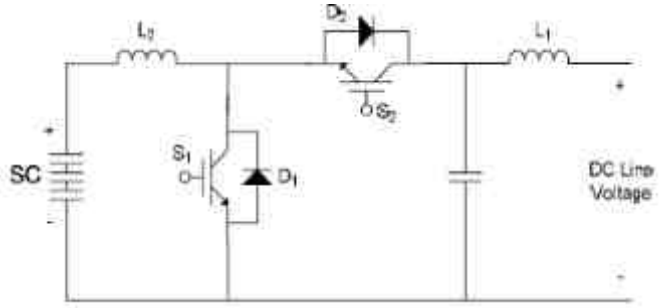
전압 (V)	48.6
최대전류(A)	200
용량 (F)	165
내부저항	8.6mΩ
작동 온도 범위 (℃)	-40 65
Size (mm)	L416 × W190 × H160
Energy density	3.81Wh/kg
Power density	2600W/kg
무게 (kg)	14.2
부피 (L)	12.6
구성	2.7V 3,000F 18 직렬



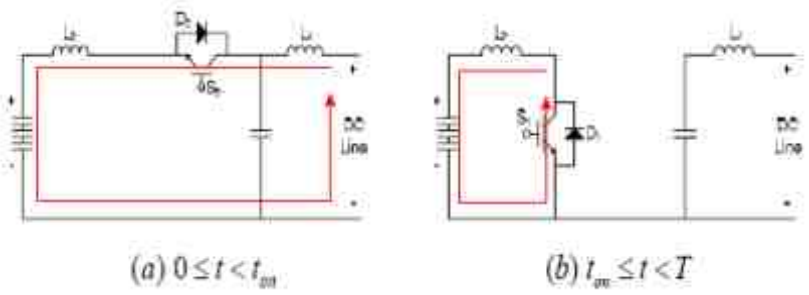
(3) DC/DC Buck-Boost 쵸퍼 동작 설명

DC/DC Buck-Boost 쵸퍼는 양방향 전류의 흐름이 가능하며 Buck 모드는 DC Line에서 SC(슈퍼 캐패시터)로 충전하는 동작이며, Boost 모드는 SC(슈퍼 캐패시터)로부

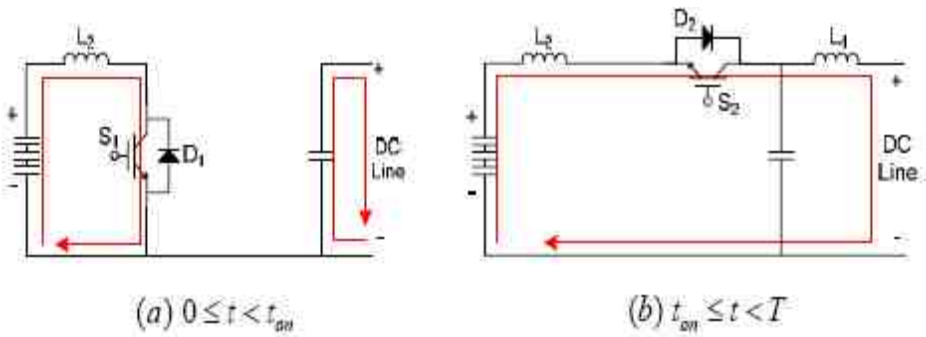
터 DC Line으로 방전하는 모드로 동작된다.



[그림 2.9.4] DC/DC Buck-Boost 쵸퍼의 구성



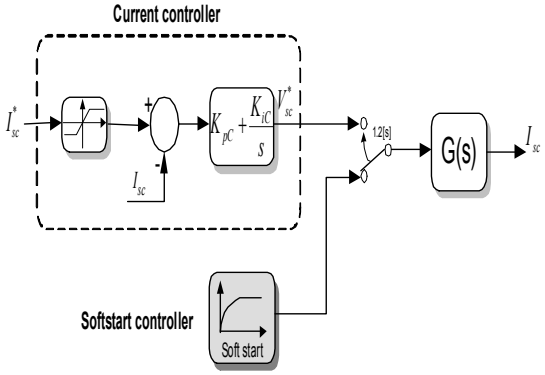
[그림 2.9.5] Buck 모드에서의 전류의 흐름



[그림 2.9.6] Boost 모드에서의 전류의 흐름

(가) 충전모드시 제어 알고리즘

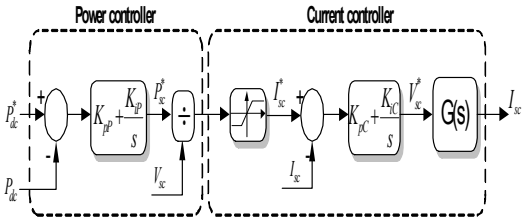
충전시 제어 알고리즘은 슈퍼 캐패시터의 초기 충전시 과전류를 제한하기 위한 소프트 기동과 정전류 충전을 하기 위한 전류제어기로 구성된다. 소프트 기동은 슈퍼 캐패시터의 완전 방전상태에서 충전 초기에 약 1초~1.2초 정도 최소펄스로 시작하여 슈퍼 캐패시터로 유입되는 과전류를 제한하는 목적으로 사용된다. 전류제어기는 슈퍼 캐패시터에 일정 전류로 충전하기 위한 제어기로 PI 제어기를 사용하여 에러값에 대해 보정하고 적분제어기를 통해 정상상태의 오차를 줄이도록 하였다.



[그림 2.9.7] 초기 충전시 제어 기법

(나) 전력모드 시 제어 알고리즘

초기 충전모드로 슈퍼 캐패시터에 일정전압이 충전된 후 제어 장치는 전력모드로 제어된다. 전력모드는 정의된 기준전압 레벨보다 입력전압이 높아지는 경우는 충전모드로 동작되며, 기준전압 레벨보다 입력전압이 낮은 경우는 방전모드로 동작된다. [그림 2.9.8]은 전력제어기의 제어 블록도를 보인다. 정의된 기준전압과 입력전압의 오차를 PI 제어기를 통하여 슈퍼캐패시터로부터 충·방전되는 전류 기준값을 생성한다. 이 값은 실제 슈퍼캐패시터의 유입되는 전류를 기준 전류값에 추종하도록 전류 제어기(PI)를 거쳐 PWM의 듀티비를 정하게 된다.



[그림 2.9.8] 전력모드 제어 기법

(다) 시스템

제어직류 전원의 과전압 또는 저전압 검지는 가선 전원 전압을 실시간으로 계산하여 검지하며, 동작 레벨 검지시 컨버터의 제어 전압 기준값을 변경하여 DC/DC 컨버터를 통하여 충방전 제어를 수행하게 된다.

① 초기 충전 모드

변전소 내 정류기 출력인 직류 전원이 감지되면 필터 캐패시터의 전압은 DC1500V의 전압으로 충전된다. 충전 전압이 안정화된 후, DC/DC 컨버터는 에너지 저장매체인 슈퍼 캐패시터의 전압이 700V에 달할 때까지 에너지를 충전시킨다. 슈퍼 캐패시터의 전압이 700V에 도달하면 초기 충전 완료 상태가 되어 DC/DC 컨버터의 스위칭은 멈추고 가선 전압을 감시(저전압 또는 과전압)하는 모드로 전환된다.

② 전력 모드

에너지저장시스템은 초기충전모드 진행이 완료되면 전력모드에서 동작하게 된다. 전력모드에서는 에너지저장시스템이 항시 가선 전원의 실효값을 검지하여 이 값이 충전개시전압 이상으로 상승하는지 또는 방전개시전압 이하로 하강하는지 여부를 판단하고 그에 따른 동작을 수행하게 된다. 가선 전압이 충전개시전압 이상으로 상승하게 되면 에너지저장시스템의 전력변환장치는 가선 전원에서 슈퍼 캐패시터로 전류가 흐를 수 있는 회로 루트를 형성하여 슈퍼 캐패시터가 충전하는 동작을 수행한다.

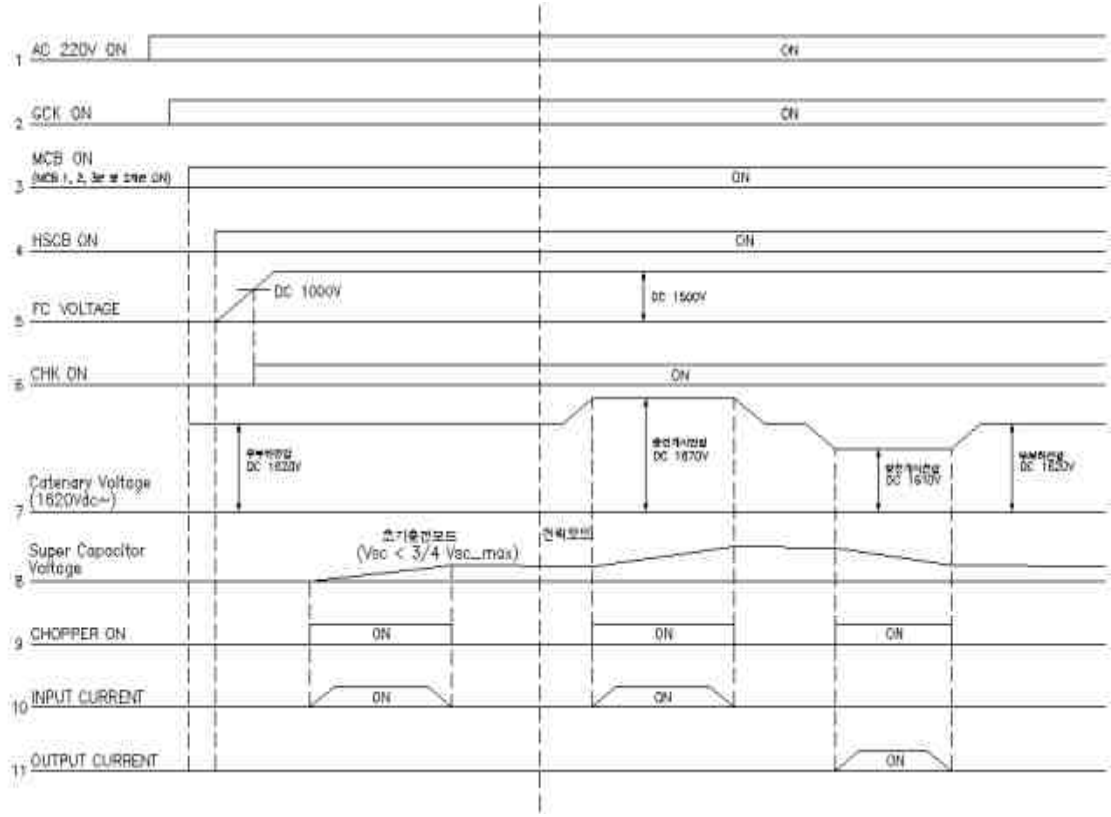
이 동작을 수행하는 동안 전력변환장치는 가선전압이 설정된 유지 전압 이상으로 상승하지 않도록 제한하며, 설정된 리셋 전압 이하가 되면 충전 동작을 중단한다. 가선 전압이 방전개시전압 이하로 하강하게 되면 에너지저장 시스템의 전력변환장치는 슈퍼 캐패시터로부터 가선전원으로 전류가 흐를 수 있는 회로 루트를 형성하여 슈퍼 캐패시터가 방전하는 동작을 수행한다. 이 동작을 수행하는 동안 전력변환장치는 가선전압이 설정된 유지 전압 이하로 하강하지 않도록 제한하며, 설정된 리셋 전압 이상이 되면 방전 동작을 중단한다.

(라) 동작시퀀스

① 정상동작시

에너지 저장시스템은 아래의 그림과 같은 시퀀스에 의해 동작한다. 제어기전원인 AC220V가 ON상태이고, 전면 조작부의 기동/정지 조작 버튼을 누르면 GCK 접점이 ON 상태가 되며, 변전소 측 MCB ON 상태를 검지하게 된다. 일반적으로 변전소 측 MCB 1 중 2개군이 ON상태임 을 검지하게 되면 에너지저장장치의 HSCB 접점이 ON이 되고 가선전압에 의해 FC 전압이 충전된다. 충전전압이 일정 전압에 도달할 때까지 FC 전압은 충전저항에 의해 제한된 충전전류를 가지고 충전을 하게 되며 일정 전압에 도달하게 되면 CHK의 접점이 ON상태가 되어 슈퍼커패시터의 초기 충전모드로 들어가게 된다.

이 모드에서 초기에 슈퍼커패시터는 전력변환 장치의 스위칭 동작에 의해 초기충전모드로 동작을 한다. 초기충전모드는 슈퍼커패시터의 전압이 700V가 될 때까지 진행되며 이후 전력변환장치의 모드가 전력모드로 전환되어 가선전압의 상태에 따라 스위칭 동작의 방향을 전환하며 슈퍼커패시터는 충전 또는 방전동작을 수행한다.

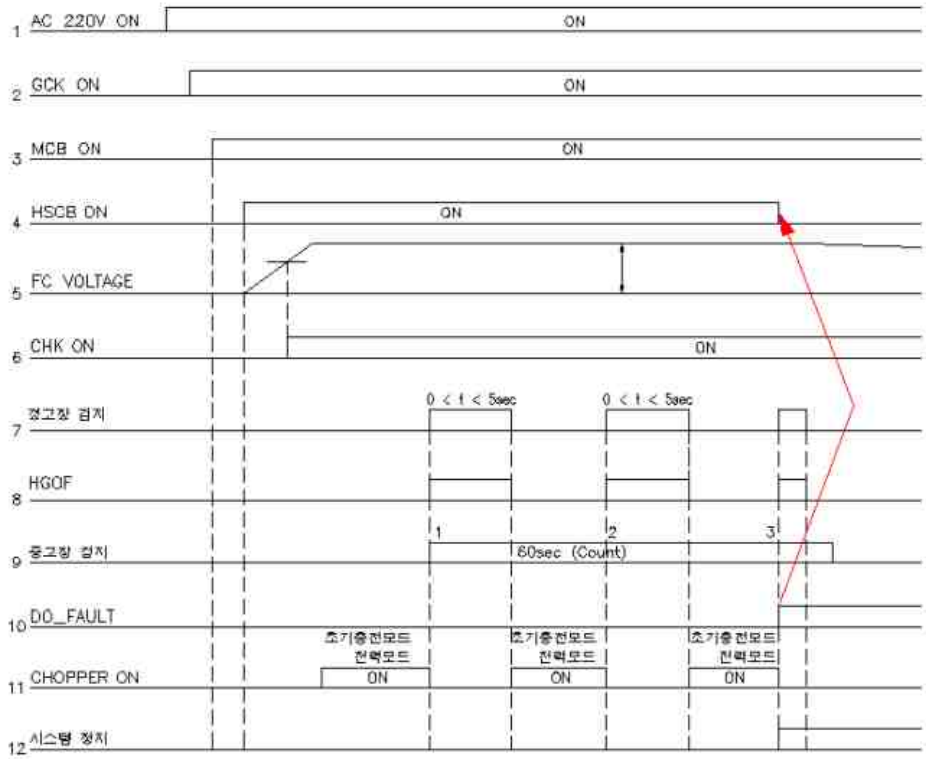


[그림 2.9.9] 에너지 저장 시스템 동작시퀀스(정상동작시)

② 보호동작

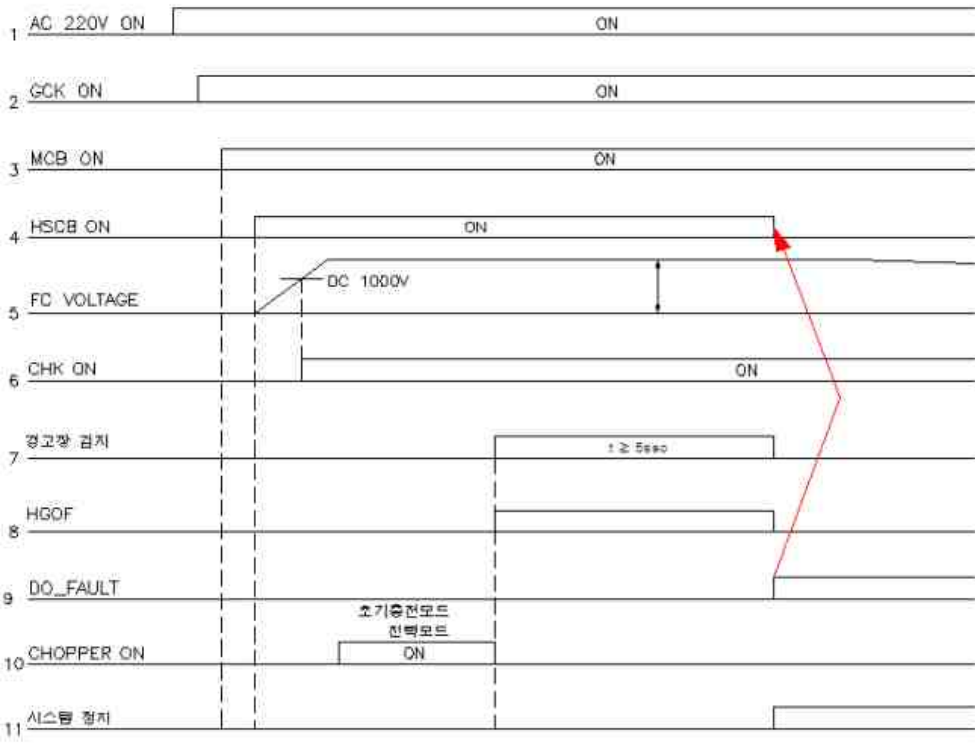
에너지 저장 시스템은 고장 시 아래 그림의 시퀀스와 같이 두 가지 조건에 대해 보호동작을 수행한다.

▪ 조건 1 : 시스템은 정상동작시의 시퀀스에 따라 동작 중에, 5초 이내의 시간 동안 지속되는 짧은 고장이 발생시(5초 이내에 정상동작으로 회복되는 고장) 시스템 재기동을 하게 된다. 이 때 중고장 검지 카운터가 동작하게 되고, 처음 고장 발생시의 60초 이내에 5초 이내의 짧은 고장이 재발생되어 중고장 검지 카운터가 3회가 되면 시스템은 동작을 멈추게 된다.



[그림 2.9.10] 에너지 저장 시스템 보호동작시퀀스(조건 1)

▪ 조건 2 : 시스템은 정상동작시의 시퀀스에 따라 동작 중에 5초 이상의 시간 동안 지속되는 고장이 발생시 시스템은 동작을 멈추게 된다.

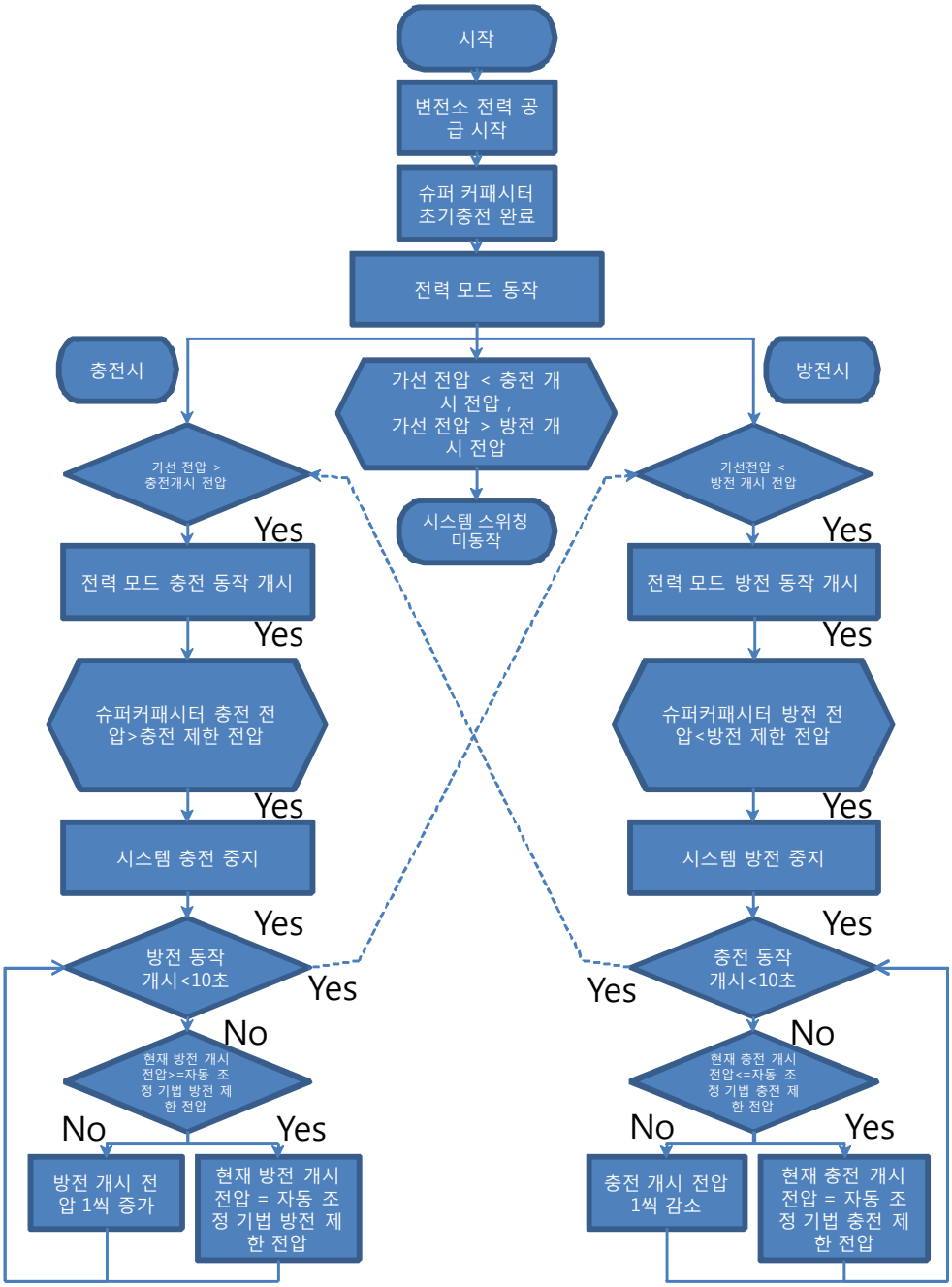


[그림 2.9.11] 에너지 저장 시스템 보호동작시퀀스(조건 2)

(마) 충, 방전 설정 전압 자동 조정 기법

에너지 저장시스템은 에너지 저장 시스템의 입력으로 들어오는 변전소 정류기의 출력 가선 직류전압을 센싱하여 충전 및 방전 모드를 결정하여 동작한다. 그런데 이러한 가선 직류전압은 차량의 운행상태(역행/타행/제동)에 따라 극명하게 일정한 값으로 구분되는 이상적인 형태의 환경으로 존재하지 않고 일정하지 않은 변동 폭을 가지고 움직이는 양상을 띄고 있다. 다시 말해 충전과 방전을 시행할 때 반드시 고려되어야 할 사항으로 가선의 변동 폭 및 그에 따른 충전과 방전의 개시, 유지전압의 변동은 필수라고 할 수 있다.

에너지 저장시스템은 변전소 정류기 출력전압의 유동을 면밀하게 분석하여 시스템 충전시 변전소 전원으로 충전되면 안되며, 방전 개시전압을 너무 높게 선정하여 상시방전 체계로 선정하여서는 안된다. 따라서, 에너지저장시스템의 충, 방전 개시전압을 고정하게 되면 변전소 전원의 변동 및 열차운행에 따라 슈퍼캐패시터는 충전량에 비해 방전량이 많아지거나 방전량에 비해 충전량이 많아져 과충전, 과방전상태에 머물게 되므로 에너지 절감율은 떨어질 수밖에 없게 된다. 다음은 충, 방전 설정 전압 자동 조정 기법을 적용한 에너지저장시스템의 충, 방전 제어 블럭도를 나타낸다.



[그림 2.9.12] 충, 방전 설정 전압 자동 조정 기법 제어 블록도

[그림 2.9.10]의 충, 방전 설정 전압 자동 조정 기법 제어 블럭도에서 알 수 있듯이, 모선 전원의 변동에 따라 슈퍼 개패시터의 과방전 또는 과충전 상태에서 일정시간동안 충전 또는 방전동작이 개시되지 않을 경우, 가선의 Normal 전압이 변동된 것으로 예측, 판단하여 충, 방전개시전압을 단계별로 상승 또는 하강시켜 충전과 방전을 개시하게 된다. 결과적으로 충, 방전의 횟수를 증가시켜 에너지저장시스템의 이용율을 높임으로서, 시스템의 효율을 극대화하도록 설계하였다.

(4) DC/DC 쵸퍼의 용량

DC/DC 쵸퍼의 스위치는 1,700V/800A의 IGBT와 IGBT구동을 위해 광 신호를 Gating signal로 변환시켜주는 Gate Driver 및 Gate Power Unit로 구성된다. DC/DC 컨버터는 슈퍼 캐패시터 1병렬 운전을 제어하도록 구성되어 있다.

(가) 전압 변환부

① 정격

- 입력/출력 전압 : DC 900V / DC 680V 이하
- 입력/출력 전류 : 400A 이하 / 400A 이하

DC/DC쵸퍼부는 가선/부하측의 입력/출력전압에 대해 DC→DC로 변환하는 구조로 이루어져있으며 부하측 전원과 병렬급전 조건을 이루고 있다.

(나) 에너지 저장부

① 부하 공급의 적정성

초고속 자기부상열차용 에너지 저장장치의 전력변환장치 용량은 다음과 같이 산정된다. 모터의 과부하조건 등을 고려하여 정격용량의 약 1.8배를 과부하용량으로 산정하고, 회생율 20%, 설계여유률 110%를 고려하여 전력변환장치의 용량을 산정한다.

- 총 용량 $W_L = 200[kW] \times 1.8 \times 0.4 \times 1.1 = 158.4[kW]$
- 총 전력량 $W_L = 158.4[kW] \times 10[s] = 1{,}584[kJ]$

슈퍼 캐패시터는 전력컨버터 출력 전압 및 용량 확장성을 고려하여 14직렬/2병렬로 구성하며, 캐패시턴스는 다음과 같다.

$$C = 165[F]/14 \times 2 = 23.58[F]$$

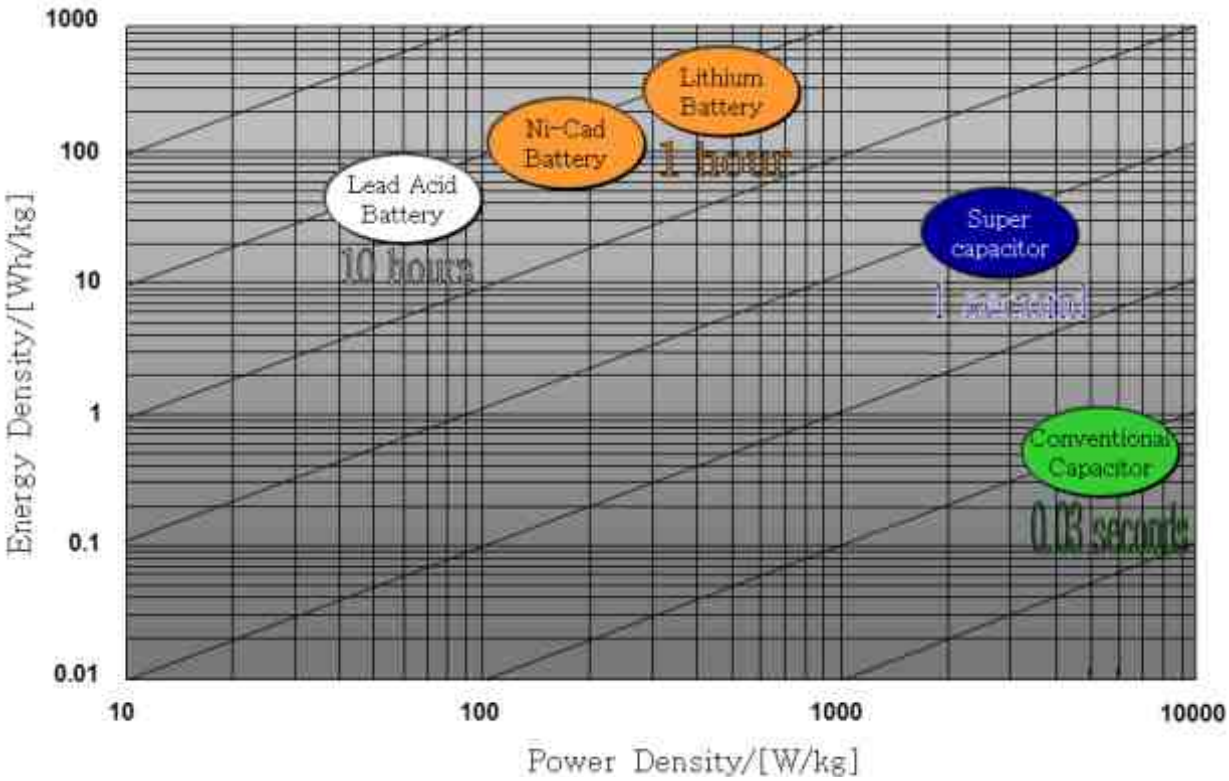
산정된 슈퍼 캐패시터 캐패시턴스와 충전 및 방전 종지 전압을 고려한 에너지 저장시스템의 용량 W_c는 아래와 같다.

$$W_c = \frac{1}{2} C(V_1^2 - V_2^2) = 3.2[MJ]$$

위와 같이 에너지 저장시스템의 전력변환장치 DC/DC 쵸퍼의 용량은 충분한 부하공급이 가능한 3.2[MJ]의 용량으로 이루어져 있다.

② 재충전 시간의 적정성

노선 길이가 짧은 시험선에서의 자기부상열차의 추진 및 제동 시간이 수십초 이내로 단시간내에 고출력의 에너지를 충전했다가 방전해야하므로, 에너지 저장시스템에 적용되는 슈퍼 캐패시터의 전력밀도와 충전시간은 [그림 2.9.11]에서와 같이 1200[W/kg], 1[sec]의 높은 전력밀도 및 빠른 속응성 특성을 가지며, 1분 이내에 충전 및 방전을 수행한다. 따라서, 자기부상철도의 회생전력량과 운행 패턴을 고려하여 에너지 저장시스템은 원활한 충·방전이 가능한 구조이다.



[그림 2.9.13] 슈퍼 캐패시터의 전력밀도와 충전시간

나. 에너지세이버 제작

(1) 적용

본 규격서는 초고속 자기부상열차용 에너지 저장장치에 대하여 규정한다.

(2) 필요조건

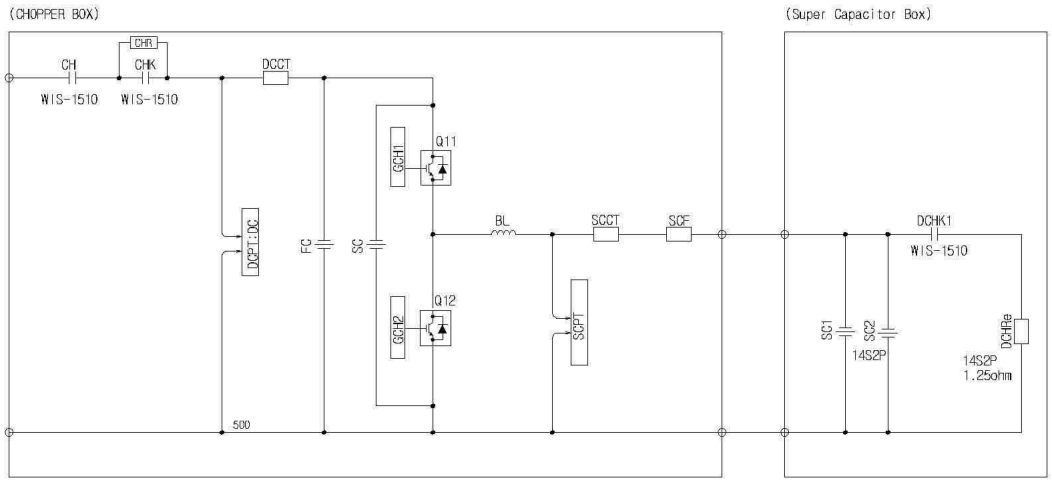
(가) 재질

BOX 구조물은 일반 강으로 제작하여야 한다.

(나) 제조 및 가공

각 부품은 사용에 유해한 흠, 녹 등 기타 결함이 없어야 하며 필요한 부분에는 방청처리를 하여야 한다. 고압회로 및 저압회로의 배선작업은 절연거리를 유지하고 중간 결선이 없어야 한다. 노이즈가 발생할 가능성이 있는 배선에는 차폐를 하여야 한다. 컨버터에서 발생된 노이즈는 주변기기에 영향을 주지 않아야 하며, 장치의 외부 노이즈에 대하여도 내성을 갖는 구조로 제작하여 정상기능에 확보에 지장이 없어야 한다.

(다) 에너지 저장장치 주회로



(라) 성능(사양)

항 목		사 양	
제어 방식		Voltage-Fed Converter/Inverter	
전압 제어		PWM 제어	
냉각 방식		Heat pipe	
정격 용량		350[KVA]	
상대 습도		30~90[%] (단, 결로가 없을 것)	
입력	입력 전원	DC 950V±5[%]	
	최대 효율	More than 90[%]	
출력	출력 전압	3상, 360V	
	출력 전류	3상, 340A	
전압 검출기		DC 1,500V/10V	
Power Unit		IGBT Module : 4500V, 1200A × 3군	
스누버 캐패시터		2000V, 200uF- 3군	
전원 Unit		Gate전원 : AC 24V 50㎑ Gate 전원용 DC 전원 : DC 24V 1A	
슈퍼 캐패시터	전기적 특성	최대전압	680.4 [V]
		최대전류	400 [A]
		캐패시턴스	23.58 [F]
		용량	3.2 [MJ]
방전저항		저항	8.75 [Ω]
		최대전류	68.6 [A]

다. 에너지저장장치 구성품 시험 및 검사

에너지저장장치의 구조와 치수검사, 조립품 체결검사 등은 공장 내에서 수행하며, 주변압기가 완료되면 향후에 조합시험 항목 실시한다.

(1) 시험 항목

구 분	시 험 항 목	판 정 기 즌	비고
1	외관 및 구조검사		
2	측정시험		
3	절연 저항 시험		
4	상용주파 내전압 시험		
5	저항치 측정 시험		
6	검출기 특성시험		
7	광량 측정 시험		
8	게이트 출력파형 측정 시험		
9	보호회로 동작시험		
10	충전시험		
11	방전시험		
12	전자파 시험		인증기관
13	환경 시험		

(2) 시험방법 및 판정기준

(가) 외관 및 구조 검사

에너지 저장장치(ESS)의 조립상태, 전기 배선 등 제작상태와 전선 및 부품의 식별표시가 도면에 적합하고 구조상 손상이나 결함여부를 확인하여 이상이 없어야 한다.

(나) 측정 시험

도면에 기재되어 있는 치수와 중량을 측정하여 약 1,900kg ± 10% 범위에 있는지 확인한다.

(다) 절연 저항 시험

① 시험조건

㉮ 절연저항시험은 내전압시험 전후에 각각 시험한다.

㉯ 에너지저장장치 내부의 전기적인 회로는 전압별로 고압회로, 고압도 전부, 제어회로부로 구분하여 시험전압이 인가되도록 서로 연결하여 시험한다.

㉰ 시험회로에 연결되지 않은 구성품이나 세부부품(예로 제어회로, 견인전동기 및 팬)은 절연저항시험 동안 접지시켜 시험전압으로부터 보호되도록 한다.

② 측정항목

㉮ 고압회로 - 접지

㉯ 고압도전부 - 접지

㉰ 고압회로 - 제어회로부

③ 시험방법

㉮ 고압회로에는 직류 1000V 절연저항계를 저압 및 제어회로에는 직류 500V 절연저항계를 사용한다.

㉯ 결과는 다음을 만족해야 하며 내전압시험 전후에 측정한 값에 현저한 변화가 없어야 한다.

- 고압회로 -제어회로부간 1000[V] 메거로 20[MΩ] 이상일 것.
- 고압도전부 - 프레임간 1000[V] 메거로 20[MΩ] 이상일 것.
- 제어회로부 - 프레임간 500[V] 메거로 1[MΩ] 이상일 것.

(라) 제어기능 시험

① 시험조건

㉮ 입력전압은 정격전압으로 한다.

② 측정항목

㉮ 광량측정

㉯ IGBT 게이트 전원특성

㉰ IGBT 게이트 특성

㉱ 주회로 동작

③ 시험방법

㉮ 광량측정 시험

- 광파이버의 GATE 측에 광량을 측정하여 -24 dBm 이상의 광량을 유지하는지 확인한다.

㉯ IGBT 게이트 전원특성시험

- 교류출력이 AC 48 V ± 3 %, 15 kHz ± 10 % 이내

㉰ IGBT 게이트 특성시험(게이트 파형 첨부)

- INVERTER 파형
- Gate ON = + 15 V ± 2.2 V
- Gate OFF = - 15 V ± 2.2 V
- Dead Time = 12 μs ± 2 μs
- 최소 ON 펄스폭 = 20 μs 이상

㉱ 주회로 동작시험

- 게이트 확인: 기동 스위치 조작 및 동작시에 게이트(U,X,V,Y,W,Z) 출력이 정상일 것

(마) 상용주파 내전압 시험

① 시험조건

㉮ 내전압시험은 실시하기 전후에 절연저항시험을 반드시 실시하여 절연저항에 이상이 없음을 확인하여야 한다.

㉯ 에너지저장장치 내부의 전기적인 회로는 전압별로 고압회로, 고압도전부, 제어회로부로 구분하여 시험전압이 인가되도록 서로 연결하여 시험한다.

㉰ 시험회로에 연결되지 않은 구성품이나 세부부품(예로 제어회로, 견인전동기 및

팬)은 절연저항시험동안 접지시켜 시험전압으로부터 보호되도록 한다.

② 측정항목

㉮ 전기적으로 절연된 통전부

㉯ 접지와 통전부

㉰ 기타 성능확인을 위한 필요부위를 시험하되 ㉮와㉯의 시험 외에 대하여는 시험전압을 장치에 무리가 없는 범위에서 설정하도록 한다.

③ 시험방법

㉮ 집단으로 설치되는 장치는 조합하여 연결된 상태에서 실시할 수 있다.

㉯ 주파수는 상용주파수, 시간은 1분으로 한다.

- 고압도전부 ↔ 저압회로 및 대지간(AC 3400V/60Hz/1분 견딜 것)
- 저압회로 ↔ 대지간(AC1200V/60Hz/1분 견딜 것)

(바) 저항치 측정 시험

① 시험조건

㉮ 측정 단위는 Ω으로 표시 하고, 인증기관에서 인증한 검출기로 측정한다.

② 측정항목

㉮ 각 저항의 측정값

③ 시험방법

㉮ 집단으로 설치되는 장치는 조합하여 연결된 상태에서 실시할 수 있다.

- 충전저항기 : 3.2Ω(1.6Ω 2S) ± 10%
- 방전저항기 : 8.75Ω(1.6Ω 14P 2S)± 10%의 저항값을 측정한다.

(사) 검출기 특성 시험

① 시험조건

㉮ 인증기관에서 인증한 검출기로 측정한다.

㉯ 입력전압은 정격전압으로 한다.

② 측정항목

㉮ 전압 검출기 및 전류 검출기 출력 값

③ 시험방법

㉮ 집단으로 설치되는 장치는 조합하여 연결된 상태에서 실시할 수 있다.

㉯ 에너지저장장치를 정격부하인 상태에서 운전시키며 전압 검출기 및 전류검출기 출력을 확인한다.

(아) 광량 측정 시험

① 시험조건

㉮ 정격 제어 전원을 인가하여 이상이 없는지 확인 후 시험 한다.

② 측정항목

㉮ Gate 광량 측정

㉯ Feed Back 광량 측정

③ 시험방법

㉮ Gate 광량 측정

▪ 광은 레이저를 사용하여 육안으로는 식별되지 않으므로 광량계로 확인한다.

▪ 모의 시험기를 통해 광신호를 출력시키고 Gate Amp측에서 Gate 광량을 측정한다.

㈏ Feed Back 광량 측정

▪ Gate Amp측의 광케이블을 광커넥터에 삽입하고 제어유니트 측에서 Feed Back 광량을 측정한다.

구 분	광케이블	Gate 광량	Feed Back 광량
전력변환부	Q1, Q2	-24dBm이상	-24dBm이상

(자) 게이트 출력파형 측정 시험

① 시험조건

㉮ 정격 제어 전원을 인가하여 이상이 없는지 확인 후 시험 한다.

② 측정항목

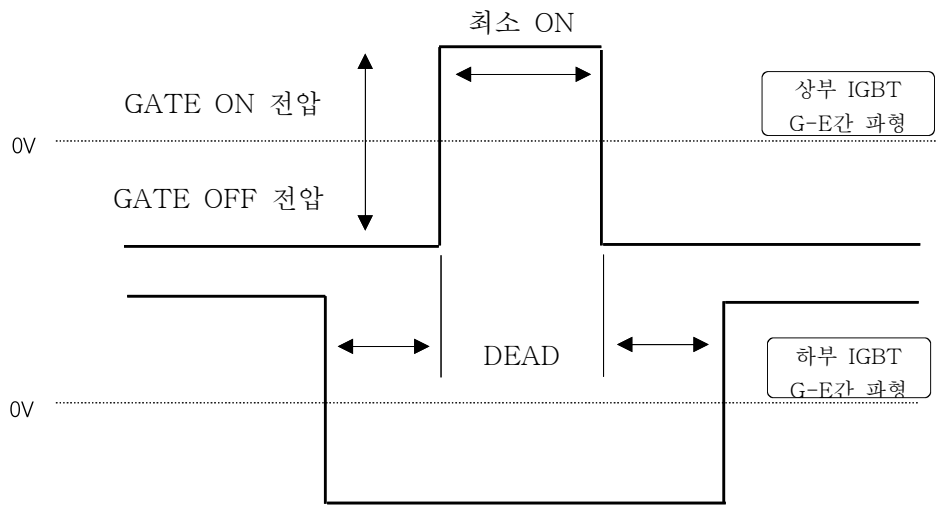
㉮ IGBT의 G-E간의 역바이어스 전압이 규정치

㉯ 상하 소자의 DEAD TIME 규정치

③ 시험방법

㉮ 제어전원을 토입한 후 IGBT의 G-E간의 역바이어스 전압이 규정치 이내임을 확인한다.

㉯ 저전압시험을 수행하여 전력변환장치를 기동시켜 IGBT의 G-E간의 전압이 규정치 이내임을 확인하고, 상하 소자의 GATE PULSE를 동시에 측정하여, DEAD TIME이 규정치 이내임을 확인한다. GATE 파형은 아래 그림과 같습니다.



(차) 보호회로 동작시험

① 시험조건

㉮ 정격 제어 전원을 인가하여 이상이 없는지 확인 후 시험 한다.

② 시험방법

㉮ 등가 신호를 입력하여 보호 동작 일람표에 의한 동작을 하는지 확인한다.

항목	고장항목	고장명	검출기	SET	판단기준		비고
					CHK	GATE	
1	DC-link 저전압	VDLV	DCPT	2.50V±5% (500V)	OFF	OFF	
2	DC-link 과전압	VDOV	DCPT	5.00V±5% (950V)	OFF	OFF	
3	DC-link 과전류	DCOC	DCCT	1.33V±5% (400A)	OFF	OFF	
4	슈퍼캡 과전압	VSO1	SCPT1	1.60V±5% (700V)	OFF	OFF	
5	슈퍼캡 과전류	ISO1	SCCT1	3.33V±5% (250A)	OFF	OFF	
6	슈퍼캡 퓨즈개방	SCF1	SC1 FUSE	1군 슈퍼캡 퓨즈 접점인식	OFF	OFF	
7	Chop IGBT이상	CFD2	Chop G/D, 제어기	GATE FEEDBACK 불일치	OFF	OFF	

(카) 충전시험

① 시험조건

㉮ 정격 제어 전원을 인가하여 이상이 없는지 확인 후 시험 한다.

② 측정항목

㉮ 캐패시터 전압 충전

③ 시험방법

㉮ 충전 시험은 제어 전원이 투입된 후 캐패시터의 전압이 일정레벨 이상으로 충전되어 있지 않은 경우에 대해서 동작되므로, 시험전 캐패시터 전압이 충전되어있는 경우, 방전 컨텍터를 ON시켜 슈퍼 캐패시터에 충전되어 있는 전압을 완전 방전시킨 후 시험을 시작한다.

(타) 방전시험

① 시험조건

㉮ 입력전압은 정격전압으로 한다.

② 측정항목

㉮ 캐패시터 전압 방전

③ 시험방법

㉮ 방전시험은 가선전압(직류 링크 전압)이 방전개시전압의 기준치 이하의 경우에 대해서 슈퍼 캐패시터로부터 가선으로 에너지를 공급하는 형태로 진행된다. 따라서, 슈퍼 캐패시터의 전압을 일정레벨이상 충전상태로 유지 후 시험을 시작한다. 충전 상태는 제어장치를 통해 유지되어야 하는 가선전압 기준치를 낮추어서 만들 수 있다.

(파) 전자파시험

아래 표의 기준을 만족하여야 하며, 제어장치만 실시한다.

Test항목	기본 규격	시험단자	시험		EN 50121-3-2	
					시험조건	평가 기준
무선주파수 진폭변조전자장 RS	IEC/EN 61000-4-3	기기외함	시험레벨		20V/m	A
			주파수		(80~1000)MHz	
			변조방식		80% AM(1kHz)	
RS from Digital Radio telephones			시험레벨		10V/m / 5V/m	
			주파수		(1400~2100)MHz /(2100~2500)MHz	
			변조방식		80% AM(1kHz)	
빠른 과도 EFT/Burst	IEC/EN 61000-4-4	I/O단자	시험레벨		± 2kV	A
			Tr / Th		5 / 50ns	
			반복주파수		5kHz	
		전원단자	시험레벨		± 2kV	
			Tr / Th		5 / 50ns	
			반복율		5kHz	
서지시험 Surge	IEC/EN 61000-4-5	전원단자	시험레벨	선과접지	± 2kV	B
				선과 선	± 1kV	
			Tr / Th		1.2 / 50ns	
무선주파수 공통모드 CS	IEC/EN 61000-4-6	I/O, 전원단자	주파수		10V	A
			시험레벨		(0.15~80)MHz	
			변조방식		80% AM (1kHz)	

(하) 환경시험

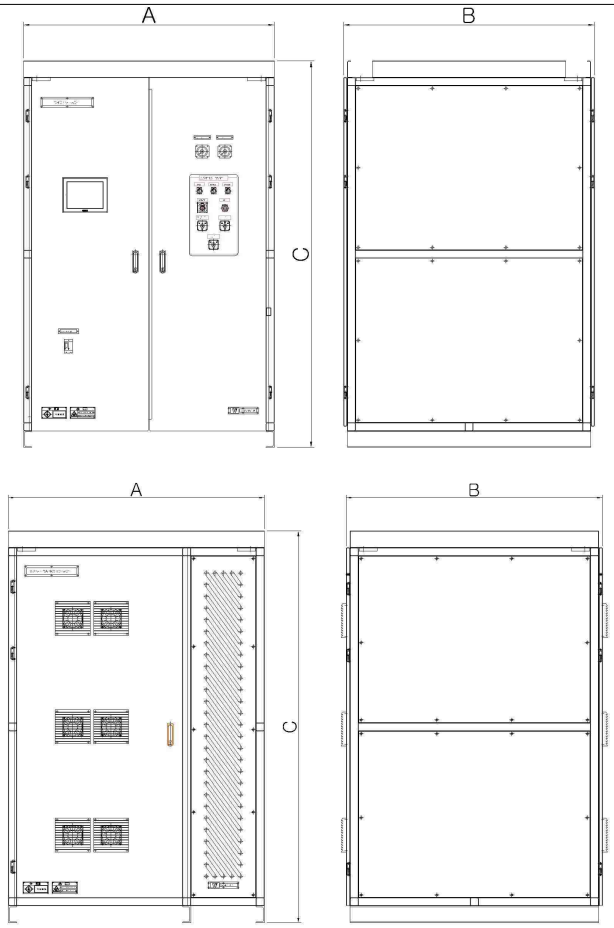
에너지저장장치의 Control Unit을 다음과 같이 시험하여 정상동작 여부를 확인하여 이상이 없어야 한다.

구분	적용규격	시험조건	방치시간
저온시험	KS C 0220	-25°C	8 또는 16시간
고온시험	KS C 0221	70°C	8 또는 16시간
온습도 사이클 시험 (12+12시간 사이클)시험	KS C 0227	55°C / 90%	24시간 (24시간 1 Cycle)

(3) 검사 기준서

검사 성적서

공 사 명	초고속 자기 부상 열차			한국철도 기술연구원	검 사	검 토	승 인
제 작 사	(주) 우 진 산 전						
품 명	에너지 저장장치			제 작 사	검 사 자		확 인 자
도면 및 근거							
차 호		차종					
검 사 일				판 정			
계측 장비							



CHOPPER BOX SUPER CAP. BOX

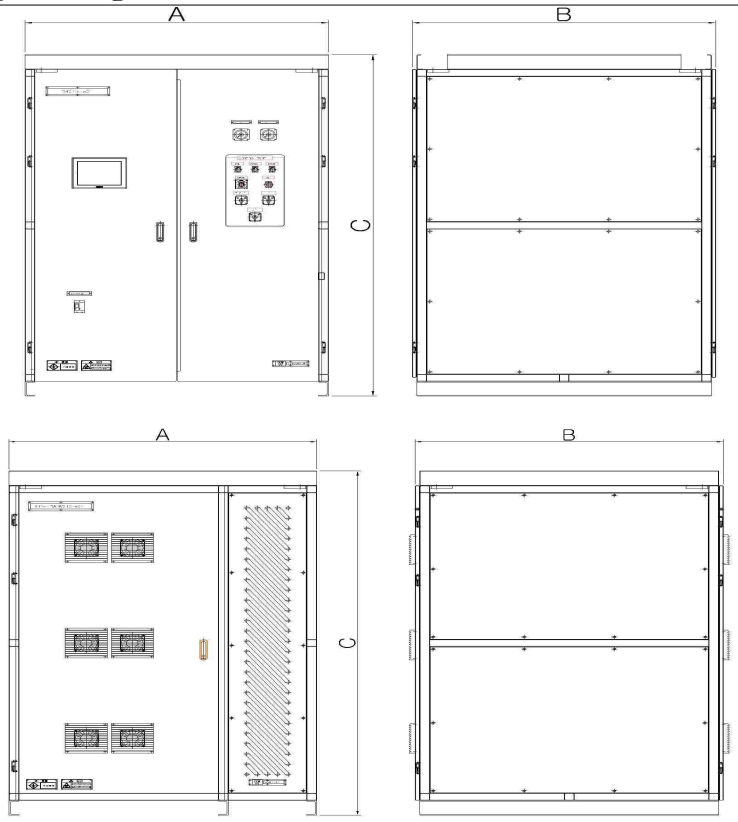
NO	항 목	기 준 치	결 과	비고
1	외관검사	사용상에 유해한 흠, 균열, 녹 등이 없을 것.		
2	구조검사	A) 부품 :각부품의 취부상태를 확인시 양호할 것.		
		B) 도장 : 반광 확인시 양호할 것.		
		C) 배선 : 각 배선의 처리상태를 확인시 양호할 것.		
3	중량측정시험	BOX의 무게를 측정하여 기준치 이내일 것.	초퍼 슈퍼캡	

<table>
<tr><th>NO</th><th>항 목</th><th>기 준 치</th><th>결 과</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>4</td><td>치수검사</td><td>승인도면에 의거 각부를 측정, 기준치 이내일 것.
<table>
<tr><th colspan="2">측정위치</th><th>기준값</th><th>측정값</th></tr>
<tr><td rowspan="3">쵸퍼</td><td>A</td><td>1500mm±4</td><td>1500mm</td></tr>
<tr><td>B</td><td>1500mm±4</td><td>1500mm</td></tr>
<tr><td>C</td><td>2350mm±5</td><td>2349mm</td></tr>
<tr><td rowspan="3">슈퍼캡</td><td>A</td><td>1500mm±4</td><td>1501mm</td></tr>
<tr><td>B</td><td>1500m±4</td><td>1502mm</td></tr>
<tr><td>C</td><td>2350mm±5</td><td>2352mm</td></tr>
</table></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td>절연 저항 시험</td><td>고압회로- 제어회로부간 1000V메거로 20MΩ이상
고압도전부- 프레임간 1000V메거로 20MΩ이상
제어회로부- 프레임간 500V 메거로 1MΩ 이상</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td>상용주파 내전압 시험</td><td>고압도전부 ↔ 저압회로 및 대지간
(3400VAC/60Hz/1분)
저압회로 ↔ 대지간(1200VAC/60Hz/1분)</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td>저항치 측정시험</td><td>충전저항기 : 3.2Ω ± 10%
방전저항기 : 11.2Ω ± 10%의 저항값을 측정한다.</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td>검출기 특성시험</td><td>전압 검출기 및 전류 검출기 출력 값</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td>광량 시험</td><td>Gate 광량 측정 값
Feed Back 광량 측정</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>10</td><td>게이트 출력파형 측정 시험</td><td>IGBT의 G-E간의 역바이어스 전압이 규정치
상하 소자의 DEAD TIME 규정치</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>11</td><td>보로회로 동작시험</td><td>보호회로 동작표에 의거 보호회로 동작시 양호할 것.
고장표시, RESET확인</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>12</td><td>충전시험</td><td>캐패시터의 전압이 충전 하는지 확인</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>13</td><td>방전시험</td><td>캐패시터의 전압이 가선전압으로 공급하는지 확인</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>14</td><td>전자파 시험</td><td>IEC 61000-4-3,4,5,6 실시하여 이상 없어야 한다.</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>15</td><td>환경시험</td><td>KS C 0220 (저온시험)
KS C 0221 (고온시험)
KS C 0227 (온습도 싸이클 시험) 실시하여 이상이 없어야 한다.</td><td></td><td></td></tr>
</table>

(4) 검사 성적서

검사 성적서

공 사 명	초고속 자기 부상 열차		한국철도 기술연구원	검 사	검 토	승 인
제 작 사	(주) 우 진 산 전					
품 명	에너지 저장장치		제 작 사	검 사 자		확 인 자
도면 및 근거	R1B001608/ R1B001613					
차 호		차종				
검 사 일	2014년 1월 28일 ~ 2014년 2월 7일		판 정			
계측 장비	Digital Multimeter, Oscilloscope, Memory Hi Coder High Voltage Differential Probe					



CHOPPER BOX SUPER CAP. BOX

NO	항 목	기 준 치	결 과	비고
1	외관검사	사용상에 유해한 흠, 균열, 녹 등이 없을 것	양호	
2	구조검사	A) 부품 :각부품의 취부상태를 확인시 양호할 것	양호	
		B) 도장 : 반광 확인시 양호할 것	양호	
		C) 배선 : 각 배선의 처리상태를 확인시 양호할 것	양호	
3	중량측정시험	BOX의 무게를 측정하여 기준치 이내일 것	초퍼 1,340Kg 슈퍼캡 1,360Kg	

<table>
<tr><th>NO</th><th>항 목</th><th>기 준 치</th><th>결 과</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>4</td><td>치수검사</td><td>승인도면에 의거 각부를 측정, 기준치 이내일 것.
<table>
<tr><th colspan="2">측정위치</th><th>기준값</th><th>측정값</th></tr>
<tr><td rowspan="3">쵸퍼</td><td>A</td><td>1500mm±4</td><td>1500mm</td></tr>
<tr><td>B</td><td>1500mm±4</td><td>1500mm</td></tr>
<tr><td>C</td><td>2350mm±5</td><td>2349mm</td></tr>
<tr><td rowspan="3">슈퍼캡</td><td>A</td><td>1500mm±4</td><td>1501mm</td></tr>
<tr><td>B</td><td>1500m±4</td><td>1502mm</td></tr>
<tr><td>C</td><td>2350mm±5</td><td>2352mm</td></tr>
</table></td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td>절연 저항
시험</td><td>고압회로- 제어회로부간 1000V메거로 20MΩ이상
고압도전부- 프레임간 1000V메거로 20MΩ이상
제어회로부- 프레임간 500V메거로 1MΩ이상</td><td>∞
∞
∞</td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td>상용주파
내전압 시험</td><td>고압도전부 ↔ 저압회로 및 대지간
(3400VAC/60Hz/1분)
저압회로 ↔ 대지간(1200VAC/60Hz/1분)</td><td>3400V
8.3mA
1200V
9.4mA</td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td>저항치
측정시험</td><td>충전저항기 : 3.2Ω ± 10%
방전저항기 : 8.75Ω ± 10%의 저항값을 측정한다.</td><td>충전
저항기
3.4Ω
방전
저항기
9.1Ω</td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td>검출기
특성시험</td><td>전압 검출기 및 전류 검출기 출력 값</td><td>전류
검출기
9.99V
4.99V
전압
검출기
4.98V
10.01V
입력전압
검출기
8.99V
10.01V</td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td>광량 시험</td><td>Gate 광량 측정 값
Feed Back 광량 측정</td><td>-16.22
-16.23</td><td></td></tr>
<tr><td>10</td><td>게이트 출력
파형 측정 시험</td><td>IGBT의 G-E간의 역바이어스 전압이 규정치
상하 소자의 DEAD TIME 규정치</td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>11</td><td>보로회로
동작시험</td><td>보호회로 동작표에 의거 보호회로 동작시 양호할 것
고장표시, RESET확인</td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>12</td><td>충전시험</td><td>캐패시터의 전압이 충전 하는지 확인</td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>13</td><td>방전시험</td><td>캐패시터의 전압이 가선전압으로 공급하는지 확인</td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>14</td><td>전자파 시험</td><td>IEC 61000-4-3,4,5,6 실시하여 이상 없어야 한다.</td><td>성적서첨부</td><td></td></tr>
<tr><td>15</td><td>환경시험</td><td>KS C 0220 (저온시험)
KS C 0221 (고온시험)
KS C 0227 (온습도 싸이클 시험) 실시하여 이상이 없어야 한다.</td><td>양호
(온도
그래프
첨부)</td><td></td></tr>
</table>

첨부 시험 진행 사진 (구성품 시험)



외관 검사



치수 검사



중량 측정



중량 측정



절연저항 시험



내 전압 시험



저항치 측정 시험



저항치 측정 시험



광량 시험



제어기능 시험
(게이트 출력파형 측정 시험)



제어기능 시험
(게이트 출력파형 측정 시험)



(게이트 출력파형 측정 시험)



제어기능 시험 (주회로 동작 시험)



전자파 시험



전자파 시험



환경 시험

첨부 시험 전자파시험 성적서

전자파 적합성 시험성적서

신청인	상 호	㈜우진산전		
	주 소	충청북도 괴산군 사리면 사리로 95		
	전화번호	043-820-4292	팩스번호	043-836-7653
	담당자	천 형 환	AGR No.	A142A-085
시험기기	명 칭	초고속 자기부상열차 추진시스템 에너지 저장장치		
	형 명	에너지 저장장치 (Control Unit)	제조번호	14001
	제 조 자	㈜우진산전	제조국가	한 국
시 험 기 간		2014년 02월 12일 ~ 2014년 02월 13일	접 수 일	2014년 02월 12일
시 험 규 격		IEC 61000-4-4: 2011, IEC 61000-4-5: 2005, IEC 61000-4-6: 2008		
시 험 장 소		㈜우진산전		

시험자 김 강 혁 연구원

확인자 남 승 현 수석 연구원

신청인이 제출한 시료의 시험 결과에 대한
시험 성적서를 발급합니다.

2014년 02월 18일

(주)원 텍 대표이사

본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

2. 시험 기준

2.2 시험항목 및 결과

시험 항목	기본 규격	시 험 결 과
전기적빠른과도현상내성시험	IEC 61000-4-4: 2011	■ 적합 □ 부적합
서지 내성시험	IEC 61000-4-5: 2005	■ 적합 □ 부적합
전기자기 전도내성시험	IEC 61000-4-6: 2008	■ 적합 □ 부적합

-. 상기 시험 항목은 신청인의 요청에 따른 시험 항목임.
-. 신청인의 요청에 따라 상기 시험 항목은 수검기기의 제어장치에만 적용 하였음.

2.3 수검기기의 보완내용

-. 해당 없음

3. 수검기기의 기술제원

구 분	주 요 사 항 및 특 성	
정격전원	입력	DC 950 V ± 5 %, 368 A
	출력	DC 680 V ± 5 %, 400 A, 용량 3.2 [MJ]
I/O포트	AC Input , DC output	

4. 시험기기 구성 및 배치

4.1 전체구성

모 델 명	제 작 사	기 기 명	연 결
4.4절 참조			

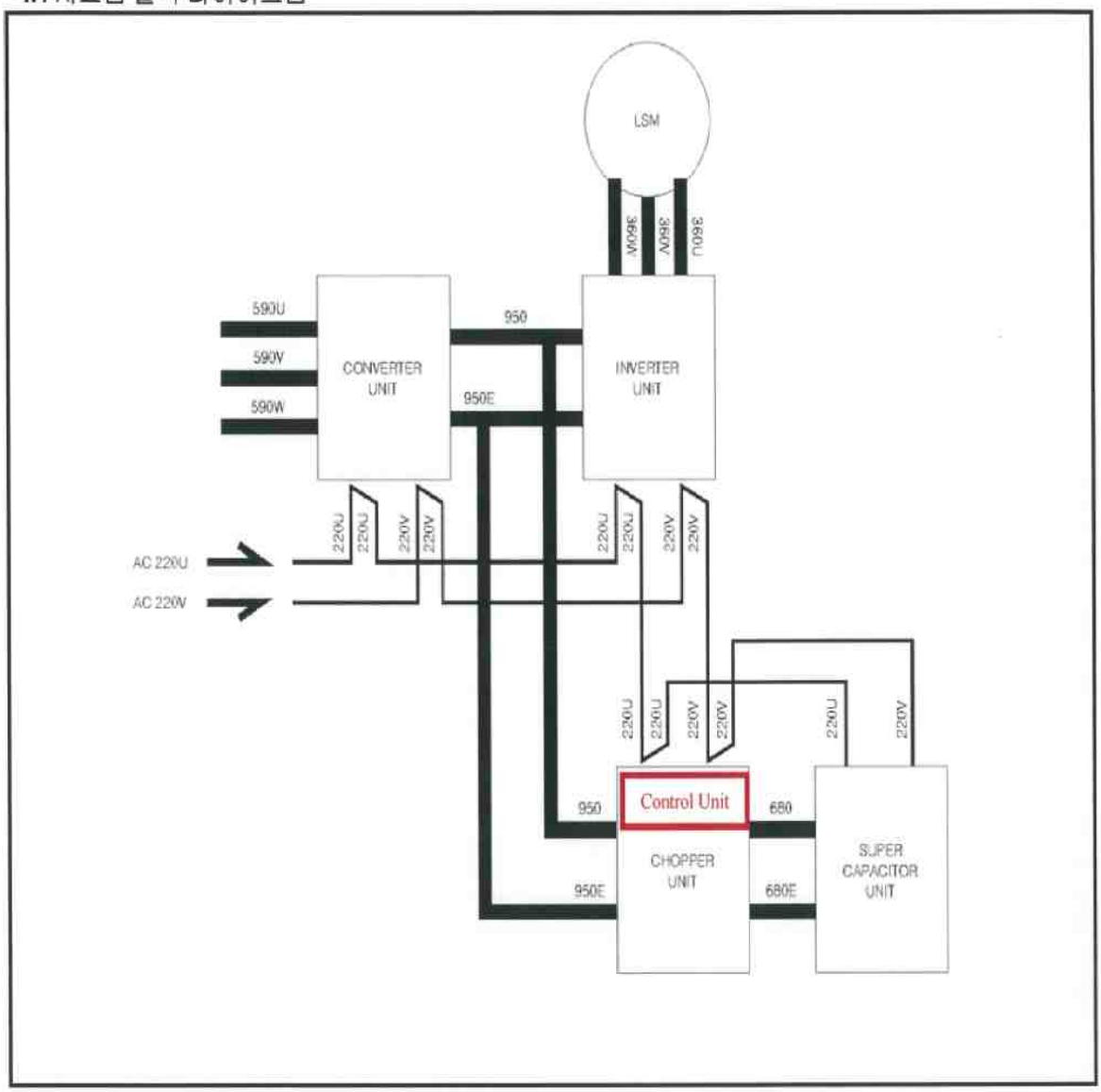
4.2 수검기기의 동작상태

-. 본 수검기기는 초고속 자기부상열차 추진시스템 에너지 저장장치의 제어장치로서 run mode상태에서 LED의 동작상태를 확인하며 시험 하였음.

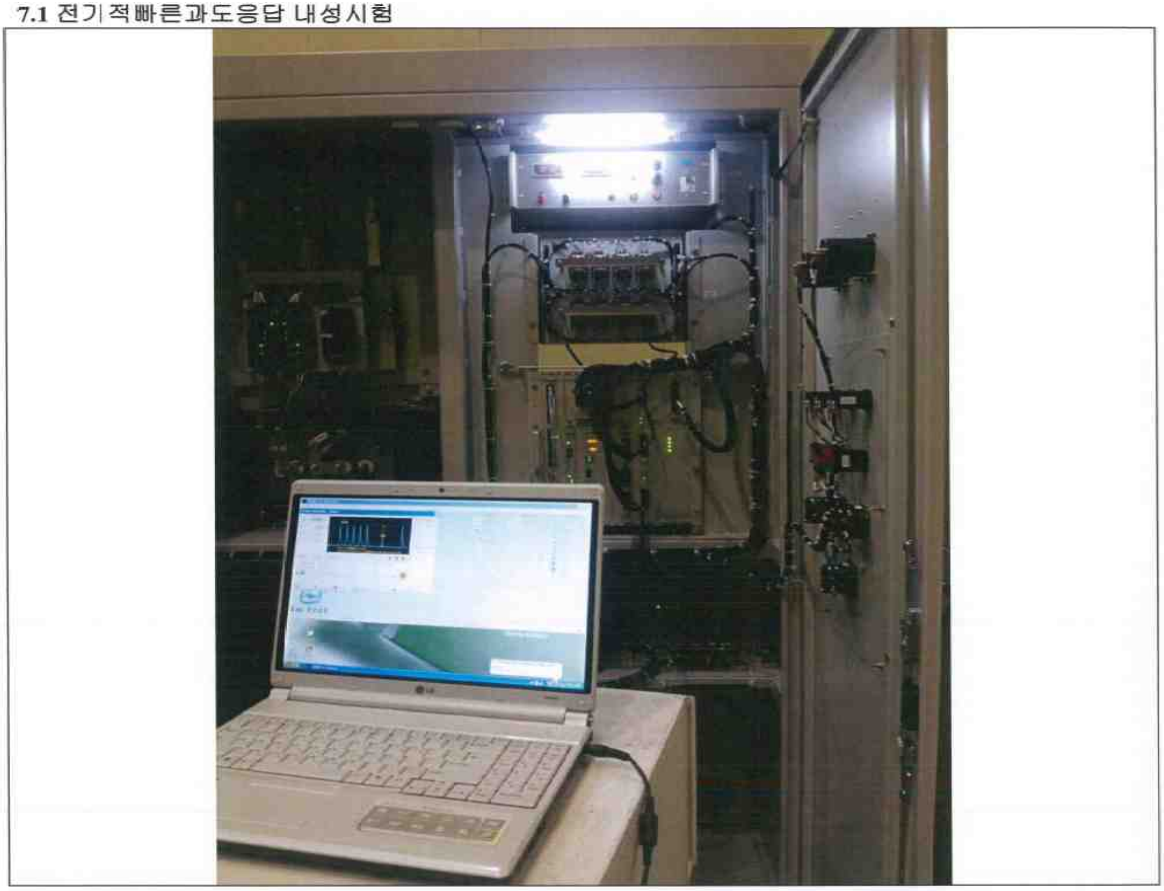
4.3 접속 케이블

접속 시작 장치		접속 끝 장치		케 이 블 규 격	
명칭	I/O Port	명칭	I/O Port	길이(m)	차폐여부
초고속 자기부상열차 추진시스템 에너지 저장장치의 제어장치 (수검기기)	AC Input	DC POWER SUPPLY	DC Output	1.0	비차폐형
	DC Output	SUPER CAPACITOR UNIT	-	2.0	비차폐형

4.4 시스템 블록 다이어그램



7.1 전기적빠른과도응답 내성시험



7.2 서지 내성시험



7.3 전기자기 전도내성시험



라. 종합시험(단거리시험선) 절차서 및 기록서

미래철도기술개발사업	초고속 차량 핵심 기술 개발

에너지저장장치 성능시험절차서

Rev.	날짜	개정 사유
00.00	2014.--.--	최초작성

승 인	2014.10.13	이 영 호	
검 토	2014.10.13	송 영 신	
작 성	2014.10.13	천 형 환	
	일 자	성 명	서 명

파 일 명	에너지 저장장치 성능시험 절차서		
워드프로세서	흔글 2010		
문 서 번 호		시험항목코드	

- 개정 이력

Rev.	페이지	변경사유	변경내용		개정일자
			~을	~(으)로	
00.00		최초 작성	최초 작성		'14.10.13

목 차

1. 적용 범위 ---- 4
2. 적용 규격 ---- 4
   2.1. 적용 문서 ---- 4
   2.2. 용어 정의 ---- 4
3. 시험의 목적 및 방법 ---- 4
   3.1. 시험 목적 ---- 4
   3.2. 시험 장소 ---- 4
   3.3. 시험 항목 ---- 5
   3.4. 시험 방법 ---- 5
4. 판정 기준 ---- 7
   4.1. 무부하 제어 전원 시험 ---- 7
   4.2. 보호장치 동작 시험 ---- 7
   4.3. 충방전 시험 ---- 7
   4.4. 효율 측정 ---- 7

별첨 1. 에너지저장장치 검사 및 시험 기록지 ---- 8

1. 적용 범위

본 절차서는 초고속 자기부상열차 단거리시험선에서 초고속 자기부상철도 핵심기술개발 연구단과제를 통하여 개발되는 "초고속 자기부상열차용 에너지 저장장치 성능시험"을 위한 시험 절차 및 기준에 대하여 규정한다.

2. 적용 규격

2.1. 적용 문서

1) 초고속 자기부상철도 시스템 기본 사양

2.2. 용어 정의

1) 에너지 저장부 : 가선전압의 양방향 전력흐름이 가능한 DC/DC Buck-Boost 컨버터 및 에너지를 저장하는 슈퍼 개패시터로 구성
2) 입력단 Filter 부 : LC 필터로 구성되어지고 스위칭에 의해 발생되는 고조파가 가선으로 유입되는 것을 막아 주기 위한 Filter.

3. 시험의 목적 및 방법

3.1. 시험 목적

초고속 자기부상열차의 지상변전실에 설치되어있는 에너지저장장치 사양을 검증하는 데에 있다.

3.2. 시험 장소

초고속 자기부상열차의 에너지저장장치 성능시험은 오송에 위치한 한국철도시설공단 시설장비사무소 부지 내 초고속 자기부상철도 단거리시험선에서 수행한다.

3.3. 시험 항목

순번	시 험 항 목	측정항목	정차시험	공차시험	만차시험
1	무부하 제어전원 시험	게이트 제어전원장치 출력전압	◎	-	-
		소자 구동신호 파형			
2	보호 장치 동작 시험	GDU 고장	◎	-	-
4	충방전 시험	충전시 고장유무 확인	-	◎	◎
		방전시 고장유무 확인			
5	효율측정	효율측정(90% 이상)	-	◎	◎

3.4. 시험 방법

3.4.1. 시험 조건

1) 주회로 입력전압을 인가하지 않은 상태에서 제어전원만 인가하고 전원장치 출력전압, IGBT 구동신호의 파형, 스퀀스 동작을 확인하여 규정치 이내이여야 한다.
2) 에너지세이버의 제어전원을 인가한 상태에서 보호 장치 동작 시험을 한다.
3) 차량 주행시 역행 및 제동시 시험을 실시한다.

3.4.2. 측정 항목

1) 제어전원 확인
2) IGBT 구동 신호의 파형
3) 시퀀스 정상 동작
4) 보호동작
5) ESS의 충전량(역행시)
6) ESS의 방전량(회생시)

3.4.3. 측정 장비

표 2. 측정 시험장비

No.	장비명	모델명	비 고
1	TRUE RMS MULTIMETER	FLUKE 177	
2	DIGITAL OSCILLOSCOPE	DL9140	
3	MEMORY HI CORDER	HIOKI 8826	
4	HIGH VOLTAGE DIFFERENTIAL PROBE	SI9010	

3.4.4. 시험 방법

1) 무부하 제어 전원 시험

가) 장치내부의 전원장치의 출력전압(DC 100V, DC 24V)를 테스터기를 이용하여 측정한다.

나) IGBT 게이트 드라이버 구동신호의 파형을 오실로스코프를 이용하여 측정하여 IGBT의 G-E간의 전압이 규정치 이내임을 확인하고, 상하 소자의 GATE PULSE를 동시에 측정하여, DEAD TIME이 규정치 이내임을 확인한다.

- GATE 파형은 아래 그림과 같습니다.

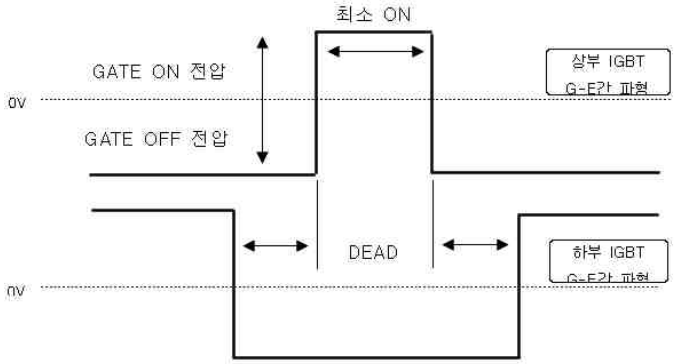


그림 1. GATE 파형

2) 보호 장치 동작 시험

가) 모의로 고장을 발생시켜 고장항목에 의거하여 보호동작하는지 확인한다. (단, 현장시험 가능한 항목에 한하여 실시한다.)

3) 충방전시험

가) 주회로전압을 인가한 상태에서 충/방전 신호 또는 충방전 전압 설정치에 의해 슈

퍼캐패시터의 충전 및 방전상태를 확인한다.
나) 방전저항을 동작시켜 슈퍼캐패시터의 전압 변동 상태를 확인한다.

4) 효율 측정
가) 주회로전압을 인가한 상태에서 ESS 충/방전시에 충/방전량의 효율을 측정한다.

4. 판정기준

4.1. 무부하 제어 전원 시험

1) 초퍼장치 제어 전원장치 출력전압
2) 초퍼장치 소자 구동 신호의 파형

4.2. 보호 장치 동작 시험

항목	고장항목	고장명	검출기	SET	판단기준		비고
					CHK	GATE	
1	Chop IGBT이상	CFD2	Chop G/D, 제어기	GATE FEEDBACK 불일치	OFF	OFF	

4.3. 충방전시험

충전 및 방전시 고장유무 확인 및 충/방전량 확인

4.4. 효율 측정

충전 및 방전시 충/방전량의 효율이 규정치(90% 이상)를 만족하는지 확인

별첨 1. 에너지저장장치 시험 기록지

시 험 품	초고속 자기부상열차 SUMA 550-01		확인자	KRRI(신헌철)	
시험일시	2015 년 2 월 16 일~2015 년 2 월 16 일		시험자	최상민(우진산전)	
시험장소	단거리시험선 검수고 & 본선				
시험환경	온도 11 ℃	습도 60 % R.H		날씨 : 흐림	

1. 무부하 제어 전원 시험

순번	시험항목	시험기준	시험결과	비고
1	제어장치의 동작 확인	쵸퍼장치 게이트 제어 전원장치 출력전압	양호	
		쵸퍼장치 소자 구동신호의 파형	양호	

2. 보호 장치 동작 시험

순번	시험항목	시험기준	시험결과	비고
1	보호 동작 확인 시험	CFD(GDU 고장)	양호	

3. 충방전시험

순번	시험항목	시험기준	시험결과	비고
1	입력전압변동에 따른 충방전 확인	충전 및 방전시 고장유무 확인 및 충방전 상태확인	양호	

4. 효율 측정

순번	시험항목	시험기준	시험결과	비고
1	충/방전시 쵸퍼장치 효율 측정	충전 및 방전시 쵸퍼장치 효율이 규정치 를 만족하는지 확인	충전시: 효율 96% 방전시: 효율 97%	

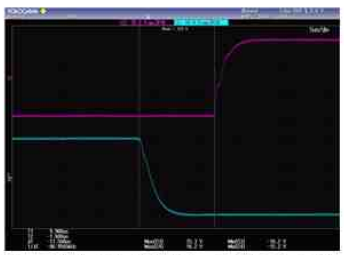
첨 부 시험 진행 사진



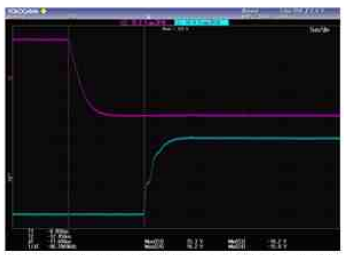
게이트 제어 전원장치 출력전압(DC 100V)



게이트 제어 전원장치 출력전압(DC 24V)



제어기능 시험 1회 (게이트 출력파형 측정 시험)



제어기능 시험 2회 (게이트 출력파형 측정 시험)



제어기능 시험 1회 (주회로 동작 시험)



제어기능 시험 2회 (주회로 동작 시험)



보호 동작 확인 시험 1회 (CFD 고장)



보호 동작 확인 시험 2회 (CFD 고장)



쵸퍼 장치 충전시험 및 효율 측정 1회



쵸퍼 장치 충전시험 및 효율 측정 2회



쵸퍼 장치 방전시험 및 효율 측정 1회



쵸퍼 장치 방전시험 및 효율 측정 2회

제10절 위치검지시스템 개발

1. 개요

초고속 자기 부상 철도는 열차가 레일 위를 부상하여 운행하기 때문에 기존 차륜기반 철도방식에서 적용중인 궤도 회로 및 타코미터 등의 열차위치, 속도검지 장치의 적용이 불가능하므로 새로운 방식의 열차위치 및 속도 검지 장치가 적용되고 있으며, 현재 지상 및 차량에 설치 및 장착되는 다양한 위치검지 장치가 적용되고 있다. 열차제어관점에서 열차의 위치정보는 열차의 위치 및 속도제어 뿐만 아니라, 선 후행 열차간의 간격제어를 위한 필수 정보로서 전체 열차 시스템의 안전을 좌우하는 안전정보로서 정확하고 신뢰성 있는 방법으로 확보되어야 한다. 자기부상열차에 적용된 위치 검지 기술은 크게 불연속적으로 열차위치를 파악하는 절대위치 검지기술과 연속적으로 열차위치를 파악하는 상대위치검지 기술로 구분되며, 대부분의 자기부상열차시스템에서는 절대 위치검지기술과 상대위치검지기술을 통합하여 적용하고 있다.

2. 목표

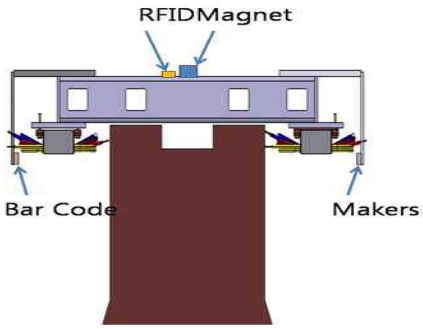
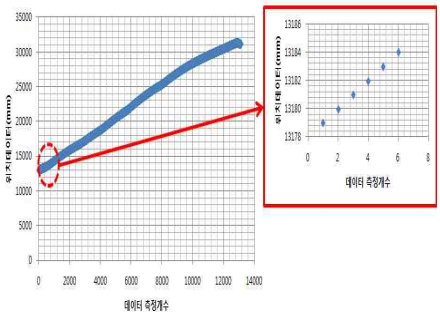
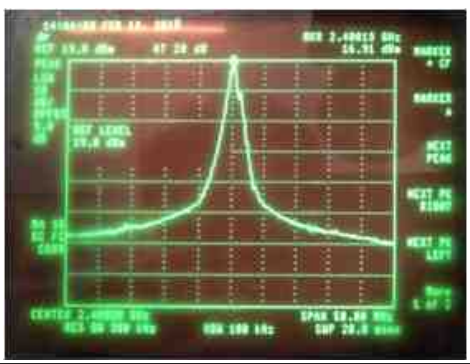
초고속 자기부상철도의 위치검지 시스템은 절대위치와 상대위치로 구분하여 설치하여, 차상과 지상간의 무선 통신을 포함하고 있으며, 연구 목표는 다음과 같다.

가. 내용 및 범위

주요 연구내용 및 범위는 다음과 같다.

- 상대 및 절대 위치시스템 상세 사양 확정 및 시제품 제작
- 지상측과의 무선장치 구축에 따른 사양
- 기존 자료 분석을 통한 단거리 시험선에 적합한 경제성, 안정성이 확보된 위치검지시스템 선정
- 다양한 위치검지시스템 연구 및 실증을 통한 최적의 위치 검지 시스템 구축
- 절대, 상대 위치검지시스템의 혼용 사용으로 정확한 위치 검지

3. 개발 내용 요약

<table>
<tr><td>연구목표</td><td colspan="2">초고속 자기부상철도 차량 단거리 시험선에서의 상대위치, 절대위치를 감지하여 열차 속도 제어 및 위치를 파악하여 LSM 위상각 제어에 활용하여 제어 안정성을 확보한 위치검지 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="2">▪ 다양한 위치검지 시스템 연구 및 실증을 통한 최적의 위치 검지 시스템 구현
▪ MAEKR, 바코드, RFID, 마그네트 방식의 위치검지 시스템 제작 및 기능 특성시험</td></tr>
<tr><td>수행과정</td><td colspan="2">▪ RFID(무선주파수인식)방식 및 마커 방식을 적용한 절대위치시스템 제작 및 특성 시험
▪ 바코드 및 마그네트 방식 방식을 적용한 상대위치 시스템 제작 및 특성 시험
▪ 바코드 방식의 위치검지 속도 및 무선 장치와의 연계 확인</td></tr>
<tr><td rowspan="6">연구결과</td><td colspan="2">▪ 절대 위치, 상태 위치 시스템 (전송장치, 무선모뎀, 열차무선제어장치)</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>2.4GHz(위치검지용),
900MHz(계측),
5.8GHz(관제용) 무선모뎀</td><td>위치검지시스템 구성도</td></tr>
<tr><td colspan="2">▪ 상대 위치시스템 (위치데이터 전송주기, 마커 리딩)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>단거리 시험선의 분해능
측정(1mm)</td><td>무선 송수신 출력 신호</td></tr>
</table>

4. 상세 개발 내용

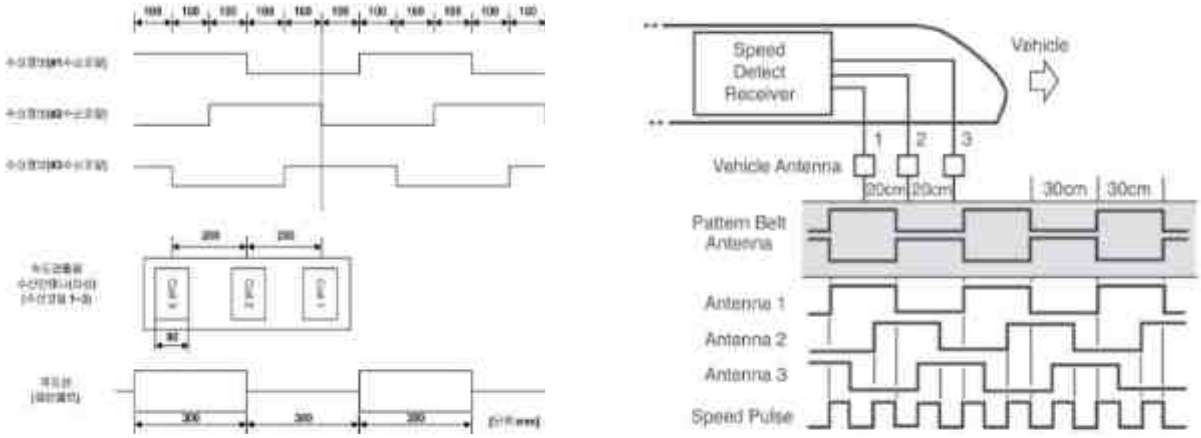
가. 위치검지 시스템 적용 사례

(1) 일본 HSST의 위치검지 시스템

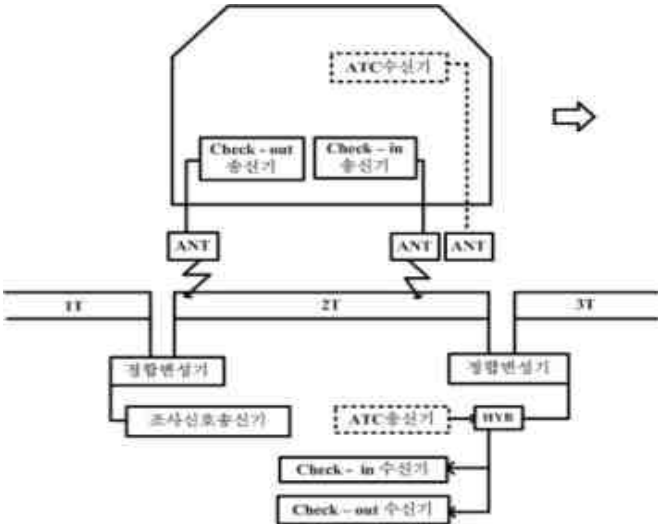
HSST의 위치검지방식은 패턴벨트 방식으로 궤도에 고주파 신호에 의한 거리 표식을 만들고 이것을 열차에서 판독하여 단위 표식의 증가량을 누적하여 이동거리를 결정하는 방식을 결정하는 방식을 적용하였다. 이 방식의 지상설비는 고주파 송신장치와 동일간격으로 8자형의 루프선(패턴벨트)으로 구성되어 루프선 패턴의 간격을 열차의 이동거리 측정단위로 사용한다. HSST 위치검지 방식은 열차에 루프선 패턴형상과 동일한 수신안테나가 장착되어 열차가 루프선 위를 이동함에 따라 루프선과 수신안테나가 마주보는 면적이 큰 부분에서는 높은 고주파 전압이 유기되고, 면적이 작은 부분에서는 최소 전압이 유기되는 현상을 이용, 유기전압을 펄스로 변환하고 카운트하여 열차에서 열차의 이동거리를 측정하게 된다.

HSST 열차의 수신 안테나는 수신 안테나 코일 3개를 설치하여 그 배치를 지상의 루프선의 1/3주기 길이로 등 간격 배치하고, 1주기 길이의 이동에 대해 수신 코일로부터의 출력신호를 비교하면 1/3주기만큼 간격차가 발생하여 출력 신호간의 120°위상차를 갖는 거리정보로 판별이 가능하다. 열차의 이동방향은 수신코일의 출력 순서를 검지함으로서 가능하며, 최소 이동거리검지 정밀도는 1개 루프선 길이주기의 1/6인 10cm까지의 거리정보를 판독할 수 있다.

HSST는 패턴벨트 방식의 위치검지 방식 외에 열차 방호를 위해 Check-in / Check-out 방식의 열차검지방식이 적용되고 있다. Check-in / Check-out 방식은 선로의 폐색구간마다 설치된 루프회로와 열차의 전후부에 설치된 송신 안테나 사이의 정보전송을 통해 폐색 구간내 열차 존재를 검지하므로 열차검지단위는 폐색 구간이 된다.



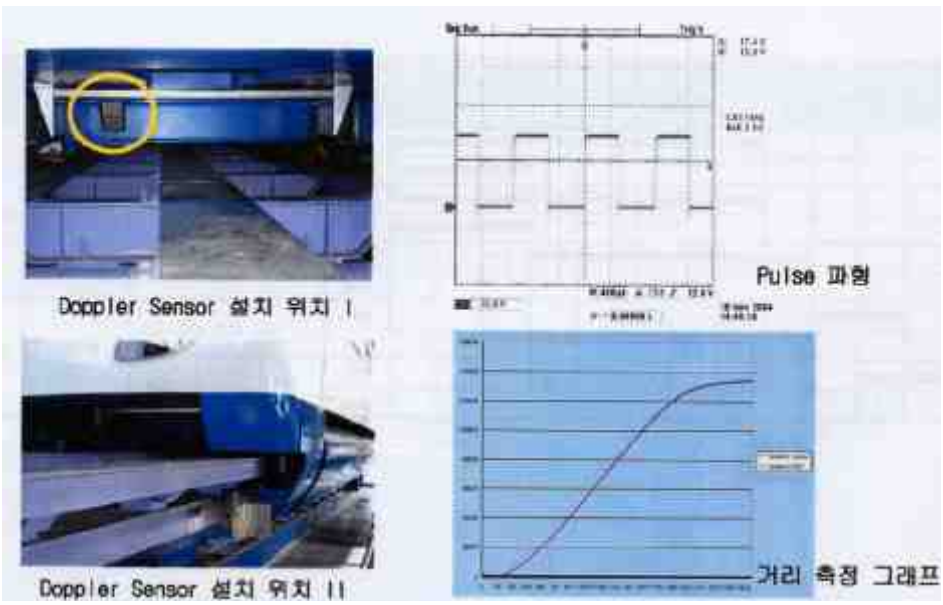
[그림 2.10.1] HSST 위치 검지 원리(연속 검지)



[그림 2.10.2] HSST 위치검지방식 (폐색검지)

(2) UTM(Urban Transit Maglev)

도시형 자기부상열차 UTM-02에서는 DGPS와 도플러센서, Transponder를 적용하여 열차의 위치를 검지하며 HSST와 동일하게 열차에서 직접 열차위치와 속도의 검지가 가능하다. 도플러센서는 열차의 이동속도를 측정하고, 측정된 속도를 누적하여 이동거리를 결정한다. 또한 열차위치의 초기화와 열차위치오차의 보정을 위해서 DGPS와 Transponder가 사용되었다. Transponder Tag는 약 100m 간격으로 선로상에 설치되어 있으며, 열차에 장착된 Transponder reader가 tag의 정보를 인식, 절대위치를 파악하여 도플러센서에 의해 발생된 위치오차를 보정한다.



[그림 2.10.3] 도플러센서 설치위치 및 출력 특성

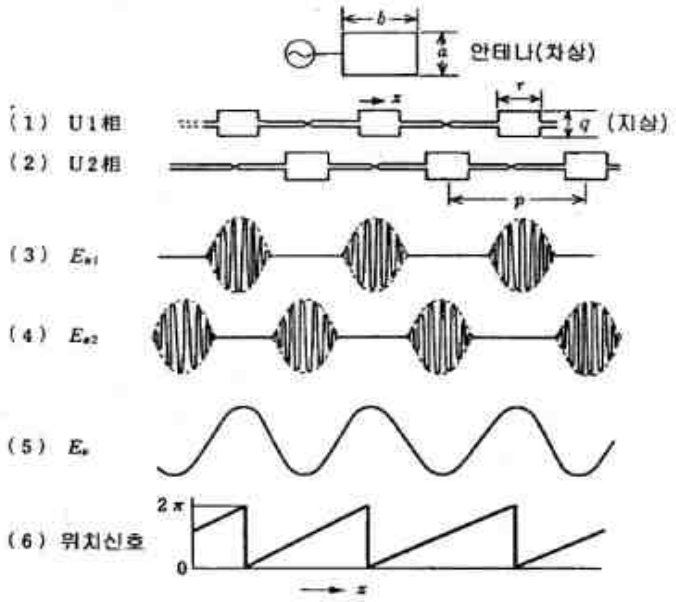
(3) MLU/MLX 초고속 자기부상 열차 위치검지 시스템

MLU/MLX는 지상 1차측 LSM 추진방식이 적용된 일본의 초고속 자기부상열차로

지상에 설치된 추진장치에 의해 열차가 추진되므로 고속, 고정밀의 열차위치 정보가 필요하다. MLU에서는 교차유도선(Cross Inductive Wire)기반의 열차위치검지방식이 적용되었다.

MLU에 적용된 위치검지 시스템은 [그림 2.10.4]와 같이 열차에 위치검지용 송신기를 장착하고, 선로상에 6상의 교차 유도선을 설치하여 교차 유도선에 유기된 고주파 전압을 지상위치검지 장치가 판독하여 연속적으로 열차위치를 검지한다. 즉, 차상에 일정주파수의 발신기와 사각형태의 안테나를 탑재하여, 이 신호를 지상의 유도선으로 수신시켜 지상에서 안테나 위치를 검출하여 열차의 위치를 확인할 수 있다. 유도선은 일정주기(P)간격으로 루프의 폭이 좁아지거나 또는 넓어지는 구조를 가지며, 각 주기별로 루프를 서로 교차시켜 루프반전이 발생하도록 구성되어 있으며, 총 6상(U1, U2,V1,V2,W1,W2)으로 이루어져 있다. 유도선의 위치검지신호의 수신전압은 루프의 폭이 최대가 되는 지점에서 최대가 되고, 루프가 서로 교차되는 지점에서 최소가 되는 특성을 가진다.

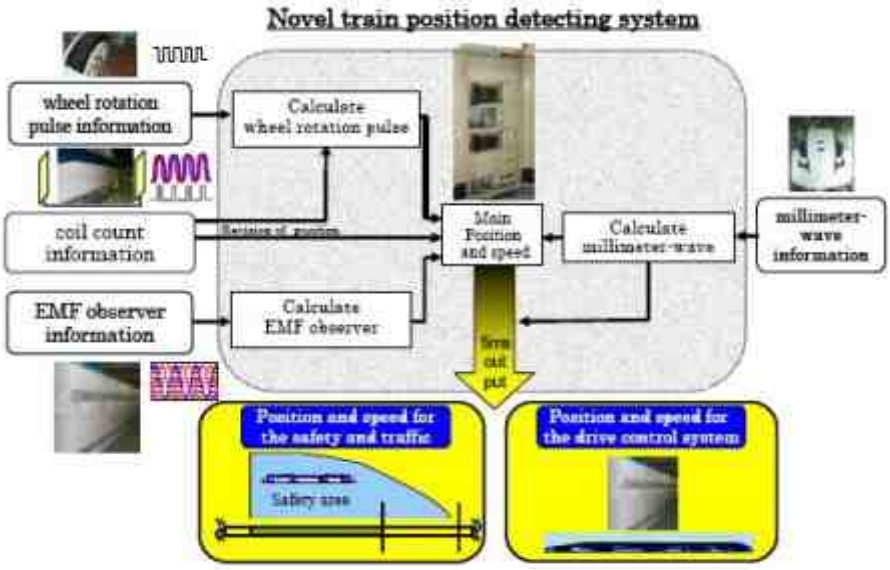
U1, U2루프는 각각 1/2주기인 180°간격으로 교차되도록 구성되어 유도선에 유도되는 수신전압은 180°교차되어 발생된다. 이들 두 수신전압을 각각 +측과 -측으로 정류시켜 가산하면 정현파형태의 신호를 얻게 된다. 유도선을 6상으로 사용하는 이유는 정현파에 고조파가 포함되어 신호품질의 저하가 발생하기 때문으로, 6상의 유도선을 이용하여 2차, 3차의 고조파를 상쇄시켜 위치검지정도가 향상이 가능하다. 또한 6상의 유도선으로 이루어진 위치검지용 유도선의 피치(pitch)를 선형동기전동기의 추진 코일의 피치(pitch)와 동일하게 구성하여 선형동기전동기의 동기제어용 위치검지에 사용한다. 0~2π(rad)의 반복수를 카운트하면, 지상추진코일 길이를 단위로 하는 절대길이(절대위치)를 검지할 수 있으며, 이것을 급전구간제어, 운전보안제어, 운행 제어를 위한 위치검지정보로 사용한다.



[그림 2.10.4] MLU의 위치 검지 원리

교차 유도선에 기반한 지상위치검지장치는 2km마다 설치되어야 하고, 정밀한 위치검지를 위해서는 정교하게 교차유도선이 선로상에 설치되어야 하므로, 설치와 유지보수에 많은 비용이 드는 단점이 있어 MLU의 후속인 MLX에서는 교차 유도선을 사용하지 않고 설치 및 유지보수 비용의 절감이 가능한 대안적인 위치검지방식이 새롭게 적용되었다. [그림 2.10.5]는 MLX의 신규 위치검지시스템의 구조를 나타낸다. MLX의 신규 위치검지시스템에서는 Wheel Rotation Sensor, Wayside Coil Counter, EMF observer, mm-wave radio system으로 구성된다. Wheel rotation sensor는 열차하부에 위치한 wheel의 회전수를 측정하는 센서이다. 초전도반발식부상이 적용된 MLX는 열차의 부상을 위해서 일정속도 100km/h이상의 주행이 필요하므로 열차하부에 wheel이 적용되어 있으며, wheel rotation sensor는 저속구간의 위치/속도검지를 위해 사용된다. EMF observer는 구동 인버터에서 측정된 EMF(Electro Motive Force)정보를 처리하여 열차의 위치를 검지하는 장치로서 중/고속구간의 위치검지에 사용된다.

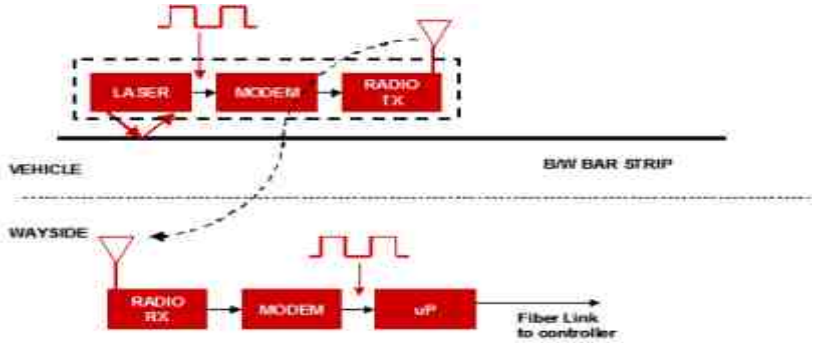
Wayside coil counter는 선로변에 설치된 선로변 코일(null flux cable)의 개수를 세어 위치/속도를 검지하는 장치이며, EMF observer의 고장 시 백업과 wheel의 오차보정을 위해 사용된다. mm-wave radio system은 무선신호의 전송지연시간차를 이용하여 열차의 위치를 검지하는 시스템으로 열차위치의 초기화와 열차운영제어를 위해 사용된다. MLX의 신규위치검지시스템의 정밀도는 ±5°수준이며, 5ms의 갱신주기를 가진다.



[그림 2.10.5] MLX의 신규 위치검지 시스템의 구성

(4) General Atomics Urban Maglev 위치검지 시스템

GA사의 위치검지 시스템은 광학식 상대위치 검지 시스템을 사용한다. 이 시스템은 광학 레이저 기술기반의 위치검지기술을 적용한 것으로 지상 선로에 432m 주기의 고정 패턴을 설치하고, 열차에 장착된 광학 레이저 센서가 패턴을 판독하여 위치를 검지한다. 이 시스템은 18mm의 측위 정밀도를 가진다.



[그림 2.10.6] 광학식 상대위치 검지 시스템 구성

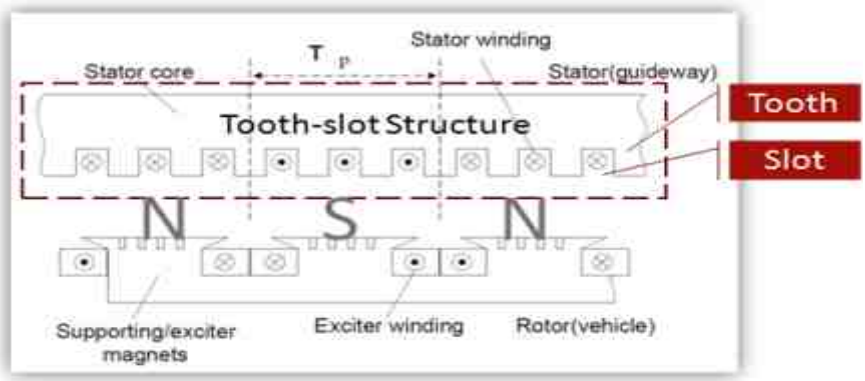


[그림 2.10.7] 선로의 고정 패턴 구조

(5) Transrapid 초고속 자기부상열차 위치검지 시스템

(가) 상대위치 검지 시스템

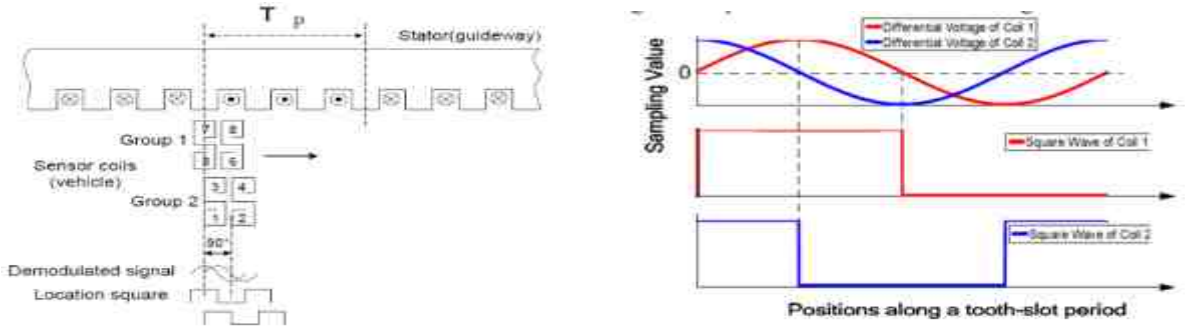
Transrapid에 사용된 LSM은 Long stator/Tooth-Slot 구조로 되어 있다. Long Stator는 높은 투자율을 가진 실리콘 스틸로 만들어지고 실리콘 스틸의 정자기학 효과 때문에 검지 코일이 다른 위치에 있을 때 코일의 등가 인덕턴스가 달라져서 변화하는 인덕턴스를 검출하여 차량의 위치 정보를 얻을 수 있다.



[그림 2.10.8] Linear Synchronous Motor 구조

Inductive 센서는 '8'형태의 구조로 이루어져 외란에 강인하며 각 코일은 Tooth-Slot의 크기와 동일하게 이루어져 있다. Group 1과 Group 2는 90도의 위상차를 가지고 있으며 센서가 Tooth-Slot구조의 Stator 위를 통과하면서 일정 주파수를 가지는 신호를 발생한다. (차량 이동속도에 따라 주파수 변동) 차량의 속도는 다음의 식으로 검지할 수 있다.

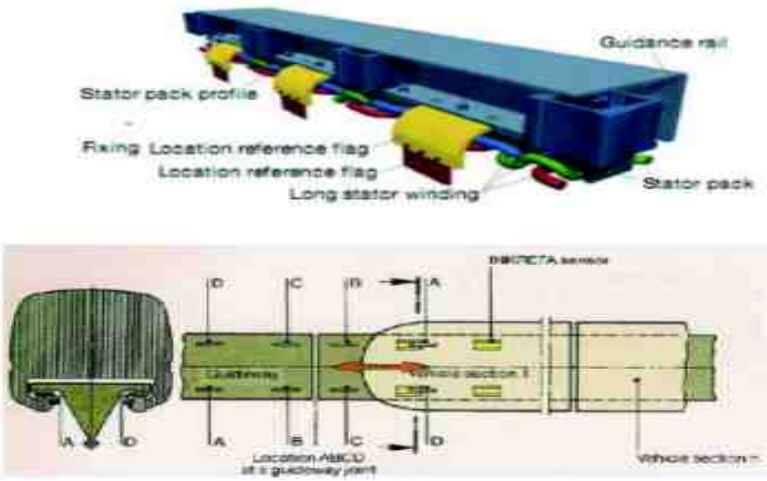
$$v = 2 \cdot f \cdot \tau_p \text{(여기서 } \tau_p \text{는 pole 사이 거리)}$$



[그림 2.10.9] 센서의 코일 구조와 출력 신호

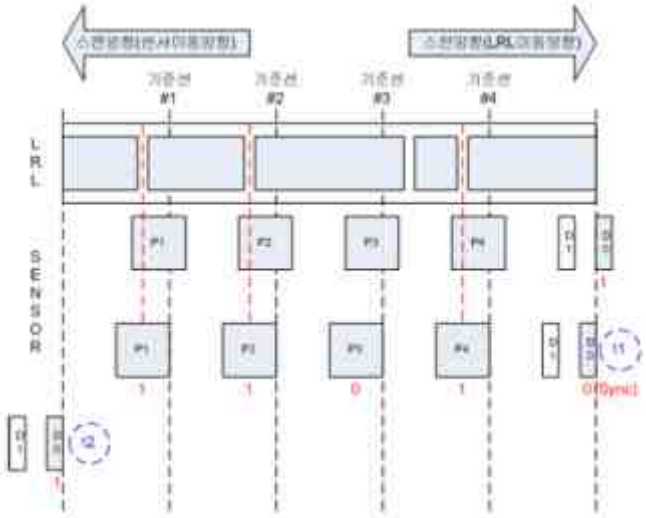
(나) 절대위치 검지 시스템

Transrapid의 절대 위치 검지는 INKREFA 시스템을 사용한다. INKREFA 시스템은 특정 비트 정보가 각인된 LRL을 열차에 장착된 U형 센서가 인식하여 위치를 검지한다. LRL의 도전성 물질의 존재 유무에 따라 수신 신호값이 변화를 통한 정보를 얻으며, 인식된 기준 위치의 비트정보를 판독한다.

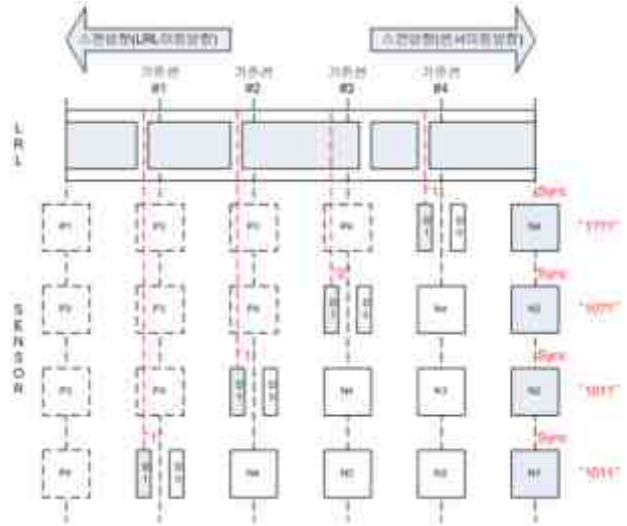


[그림 2.10.10] 열차내 센서 설치 위치 및 선로상 LRL 설치 구조

선로에 설치되는 LRL의 비트 정보 판독 원리는 일괄 인식 방식과 순차 인식 방식이 있다. 각각의 인식 방식을 [그림 2.10.11]과 [그림 2.10.12]에 나타내었다.



[그림 2.10.11] 일괄 인식 방식



[그림 2.10.12] 순차 인식 방식

일괄 인식 방식에서 P1 - P4 채널은 비트 정보 확인용이고, D0 채널은 비트정보 확인 신호 동기용으로 사용된다. D0 채널이 도전성 물질을 만나 수신 신호 값이 0이 되었을 때, P1 - P4 채널을 동시에 인식하는 방식이 일괄 인식 방식이다. 순차 인식 방식에서 N1 - N4 채널은 신호 동기용이고, D1 채널이 비트 정보 확인용으로 사용된다. N4, N3, N2, N1의 순서로 각 채널이 도전성 물질을 만나 0이 되었을 때, D1 채널이 순차적으로 1비트씩 비트정보를 인식 하는 방식이 순차 인식 방식이다.

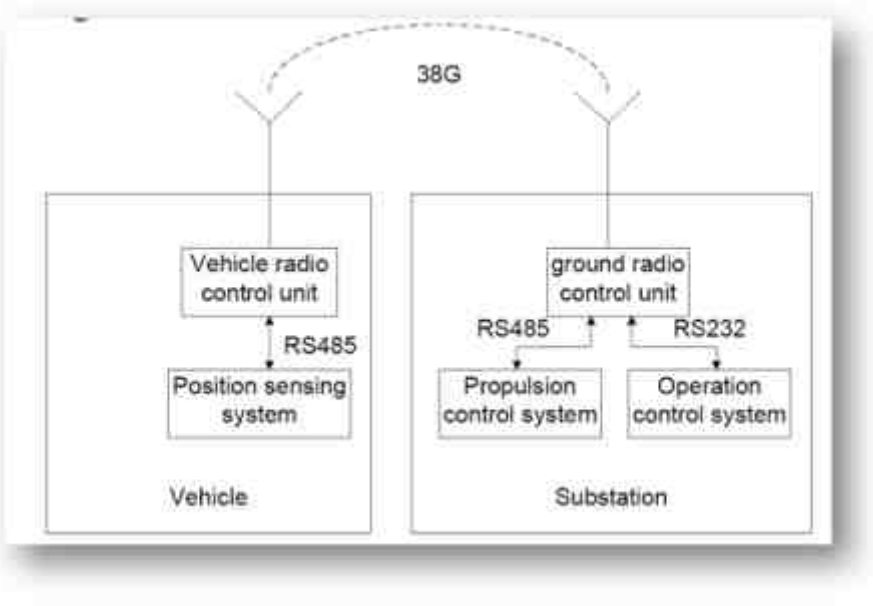
(다) 무선 통신 시스템

차상에서 검지된 열차 위치 및 속도 정보는 차상 무선 통신장치를 통해 선로변 제어설비로 전송되어 열차의 추진 및 자동운전 제어에 이용된다. 따라서 추진 및 자동운전제어를 위해서는 높은 정밀도의 위치정보와 함께 위치정보의 지연없이 추진 및

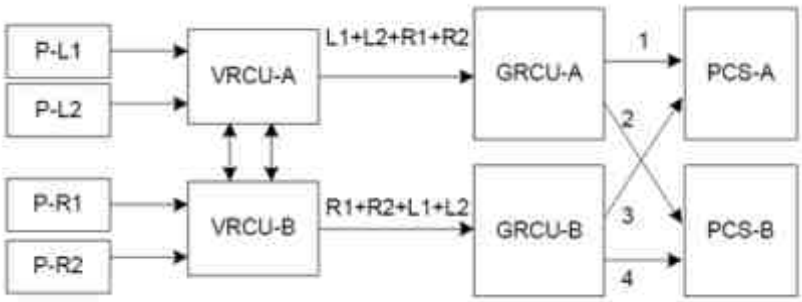
자동운전제어설비로 위치 정보가 전송되어야 하므로 고속 무선통신기술이 필수적으로 뒷받침 되어야 한다.

Transrapid 시스템의 무선 데이터 전송 시스템은 38 GHz의 무선통신을 통해 열차의 위치정보 및 속도 정보를 전송한다. [그림 2.10.13]에 무선통신 구조를 나타내었다. Position sensing system에서 열차의 위치 및 속도정보를 검지하고 Vehicle radio control unit에서 검지된 정보를 패킷화 한다. 패킷화 된 정보를 38 GHz 통신채널을 통해 역으로 전송하고, Ground radio control unit에서 데이터를 수신하여 하위 시스템에 전송하는 구조이다.

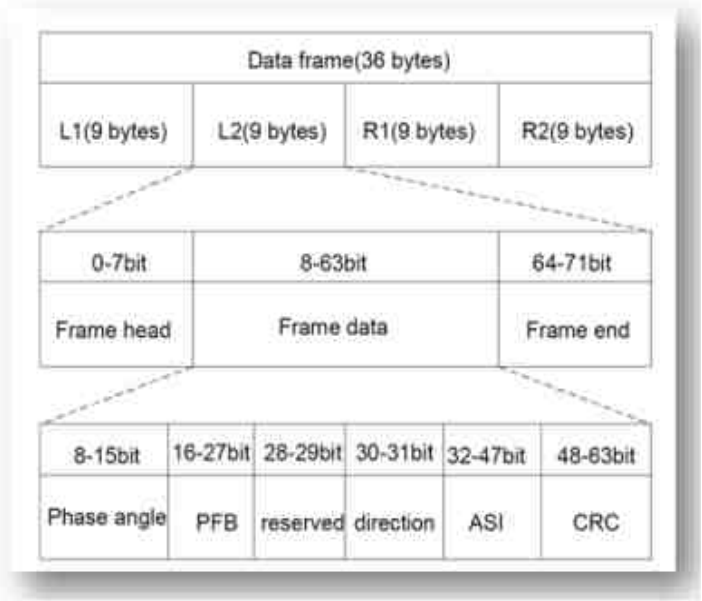
무선통신 전송채널 토폴로지는 [그림 2.10.14]에 나타내었다. 열차의 오른편(P-R1, P-R2)과 왼편(P-L1, P-L2)에 위치검지 센서 설치하여 두 채널(VRCU-A, VRCU-B)을 통해 데이터 전송 한다. 한 채널에서 오류 발생시, 다른 채널 데이터 사용한다.



[그림 2.10.13] 무선 통신 구조



[그림 2.10.14] 무선 통신 전송채널 토폴로지



[그림 2.10.15] 위치 신호의 데이터 프레임

나. 단거리 시험선용 위치검지 시스템

초고속 자기부상철도 차량 개발 과제의 단거리 시험선에서는 상대위치 및 절대위치를 혼용 사용하며 상대위치의 누적오차는 절대위치에서 비교 및 보정하는 방식을 적용하는 방식을 검토하였으며, 절대위치 검지 방식에서는 MAKER와 RFID(무선 주파수 인식)방식을 상대위치 검지 방식에서는 바코드와 리니어스케일 방식 적용을 계획하였다.

현재 까지는 RFID 및 바코드, 리니어 스케일 방식에 대하여 자료 조사 및 시작품을 제작하여 기능을 확인하고 있다.

(1) 절대 위치 시스템

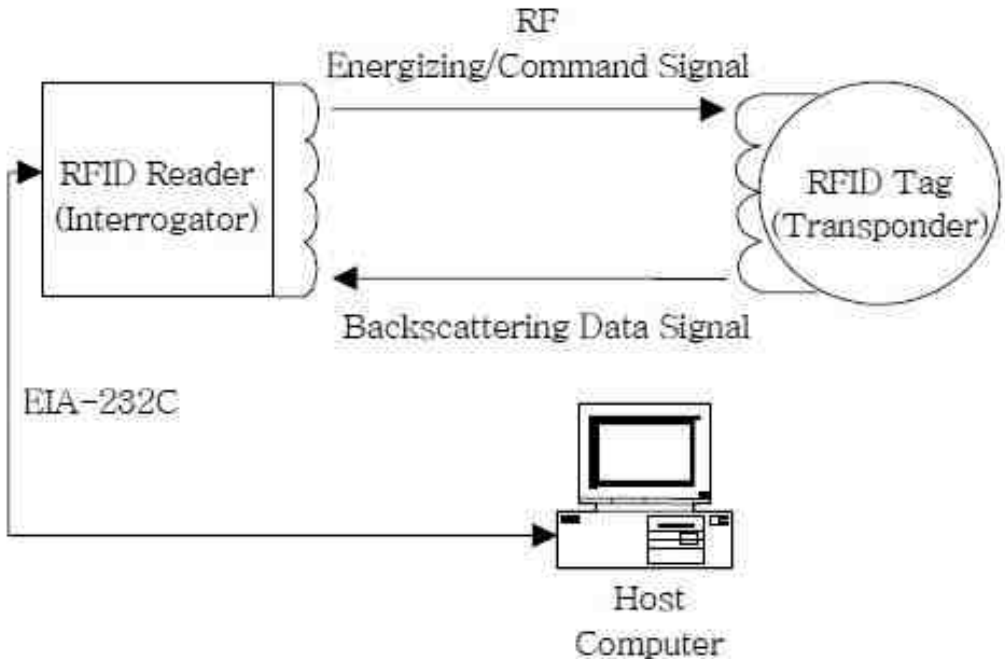
(가) RFID 구성

RFID 시스템은 [그림 2.2.9.16]과 같이 고유 정보를 저장하는 RFID 태그(트랜스폰더), 판독 및 해독 기능을 수행하는 RFID 리더(interrogator), 태그로부터 읽어 들인 데이터를 처리할 수 있는 호스트 컴퓨터(서버), 응용 소프트웨어 및 네트워크로 구성된다. 태그는 IC 칩과 안테나 회로로 구성되어 태그와 리더 사이의 안테나와 RF 모듈에 의해 무선 접속으로 통신이 이루어진다. RFID 시스템에서 리더는 수신기와 송신기가 분리 구성되어 리더의 송신기에서 태그 방향을 업링크, 태그에서 리더의 수신기 방향을 다운링크라고 한다.

태그의 안테나 회로는 2.5GHz 대역(Microwave)의 회로와 Ceramic Patch 안테나로 구성되어 전송 주파수에 관계된다. 2.5GHz 대역(Microwave)의 회로는 리더기와 태그 사이에 RF 전계(Electric field)를 형성한다. 발생된 전계(Electric field)는 RFID 태크의 안테나를 통하여 지속적으로 방사된다.

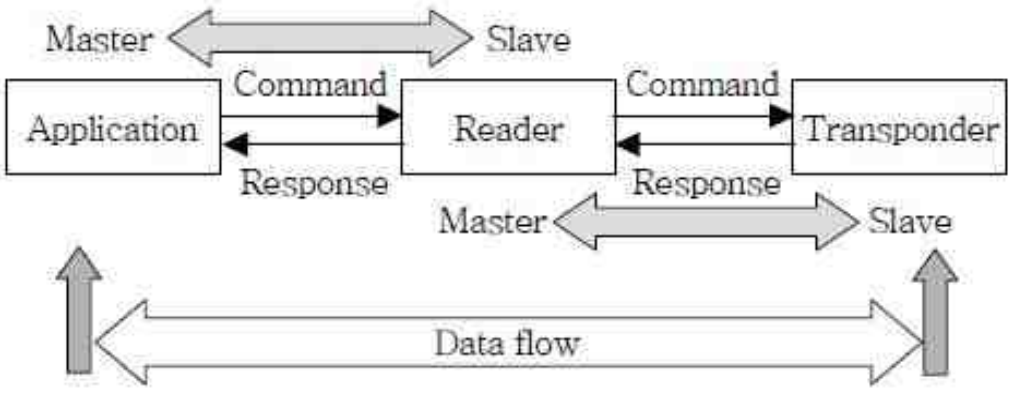
리더와 태그의 무선 신호는 진폭이나 주파수 또는 위상을 변화시키는 다양한 변조 방식으로 진폭변조(Amplitude Shift Keying: ASK), 주파수 변조 (Frequency Shift Keying: FSK), 위상 변조(Phase Shift Keying: PSK)를 이용하여 기저 신호를 고주

파 신호로 변환하여 송·수신된다.



[그림 2.10.16] RFID 시스템 구성도

RFID 시스템은 트랜스폰더, 리더, 그리고 트랜스폰더로부터 읽어 들인 데이터를 처리할 수 있는 응용 소프트웨어(애플리케이션)로 구성된다. 트랜스폰더와 리더 사이 그리고 리더와 애플리케이션 사이의 데이터 통신은 [그림 2.10.17]과 같이 주·종관계(master-slave)를 기본으로 읽기/쓰기 동작이 무선통신 방식에 의해서 이루어진다.



[그림 2.10.17] RFID 시스템의 데이터 흐름도

(나) 초고속 자기부상열차용 RFID 시스템 개발

① RFID 및 송수신장치 제작사양

[표 2.10.1] RFID 방식 사양

순 번	항 목	특 성	비 고
1	Frequency	2.51GHz	상용 주파수와 혼신방지
2	RF Power	0.1mW	미약전파/NFC
3	RFID Tag	Active RFID	
4	Operation Range	4cm 이내	
5	4cm 이내	Up to 2Mbps	
6	Antenna	Directional Patch	20 x 20mm
7	Sensing Range	Sensing Range	
8	Operating Power	7.5V	Internal 3.3V
9	Operating Temperature	-35~80℃	

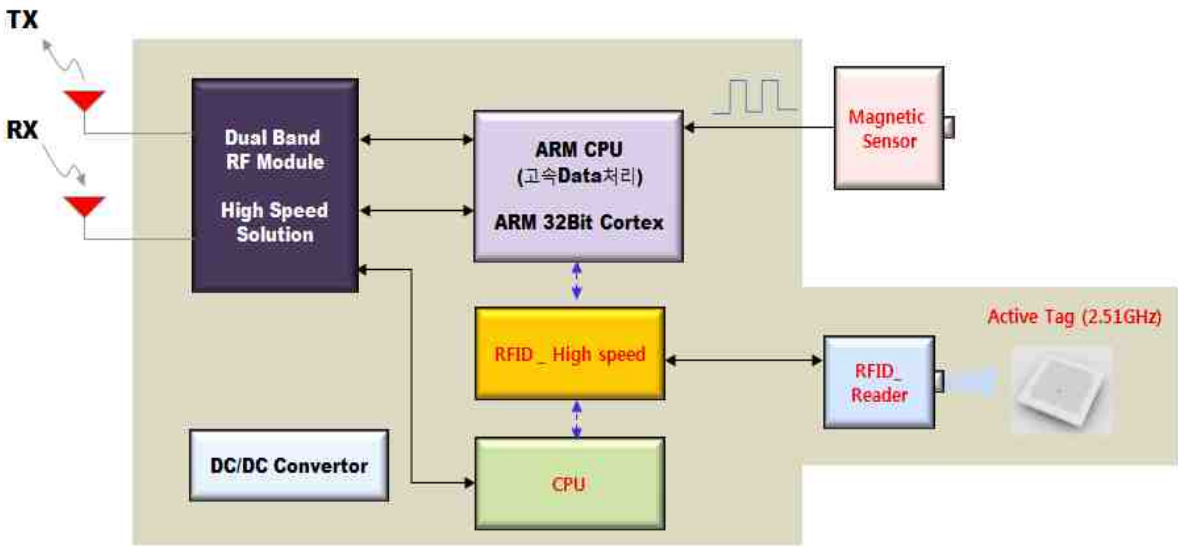
[표 2.10.2] 무선모뎀 사양 (송신모드)

항 목	규 격	단 위	비 고
Frequency Band	900MHz 대역	MHz	20CH
Occupied Bandwidth	Less than 8.5	kHz	At 1.2kbps
Adjacent Channel Power	Above -40	dBc	
Spurious harmonics	Less than 45	dB	
RF Output Power	Max. 3	W	1W~3W
RF Output Impedance	50	Ω	
Freq. Tolerance Sensitivity	Fc± 400	Hz	At 25℃
Freq. Stability	± 1	ppm	-30℃~85℃
Freq. Deviation	± 2.4	kHz	At 1.2kbps
RF Data Rate	1200/2400	bps	Manchester
DC Power Input	5	V	SMPS 2A
Tx/Rx Settling Time	0.58	mS	
Power Consumption	2	A	At 5W

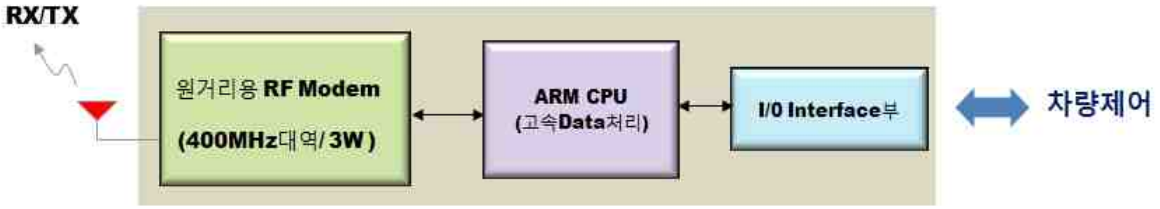
[표 2.10.3] 무선모뎀 사양 (수신모드)

항 목	규 격	단 위	비 고
Receive Sensitivity	-120	dBm	-122 Max.
Receive Selectivity(ACS)	40	dB	At ± 25kHz
RF Input Impedance	50	Ω	
Freq. Tolerance Sensitivity	Fc± 400	Hz	
Freq. Stability	Less than ± 1	ppm	
Signal to Noise Ratio	TBD	dB	
DC Rejection Time	Above 25	mS	Pre-amble
UART Data Rate	38,400	bps	RS-232C
Data Input (Low)	Less than 0.7	V	
Data Input (High)	Above VCC-0.7	V	
Power Consumption	30	mA	

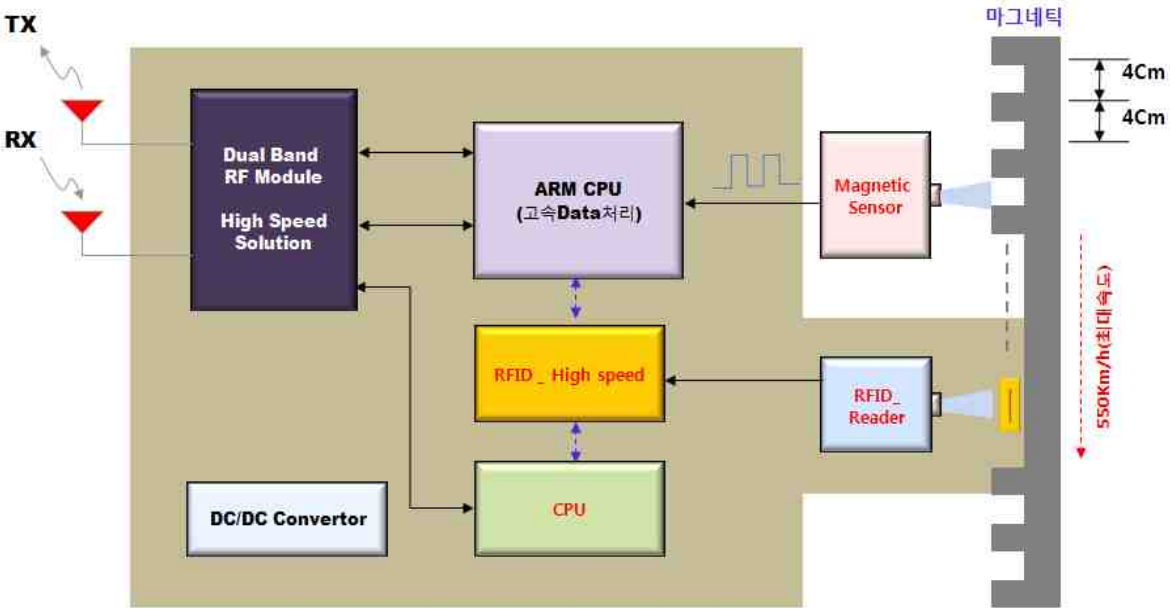
② 무선 통신 시스템 구성



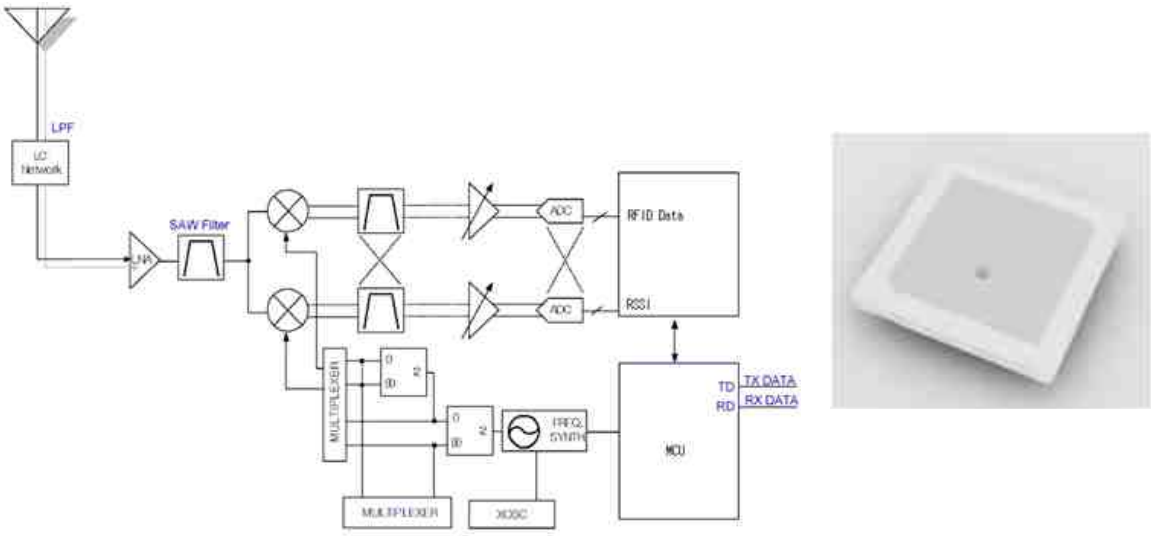
[그림 2.10.18] 위치정보(상대/절대위치) 무선 통신 시스템 (2.4 GHz)



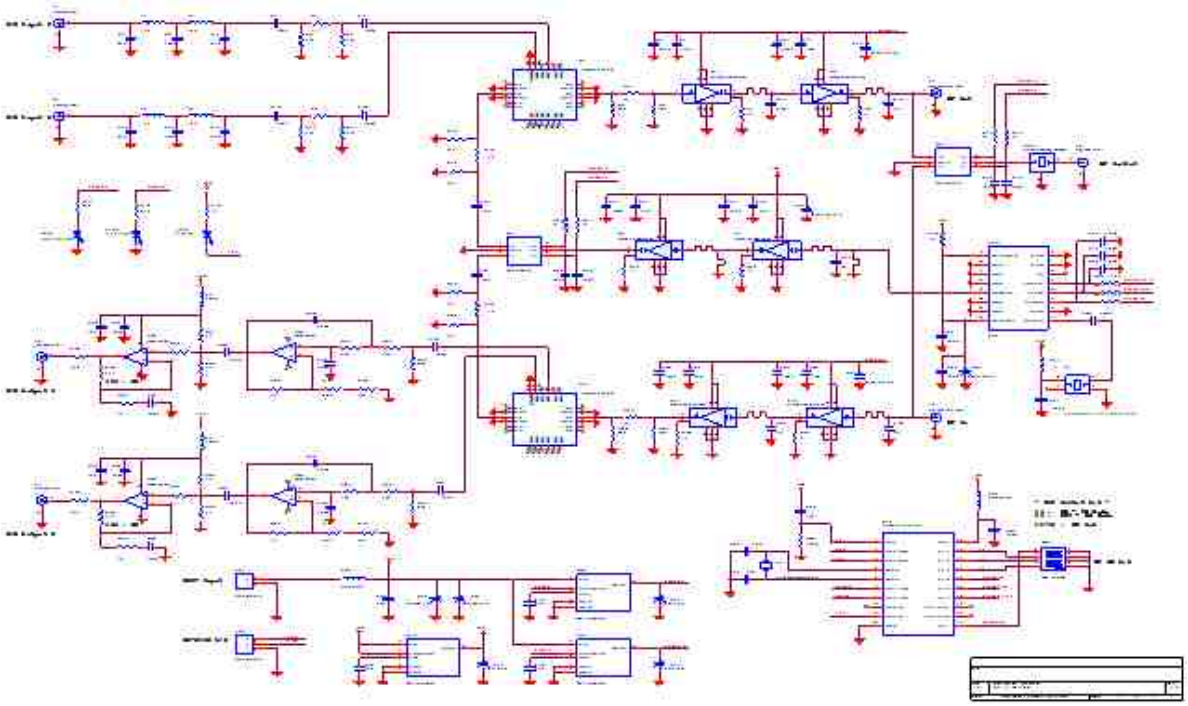
[그림 2.10.19] 차량 제어용 무선통신 시스템 (900MHz 대역)



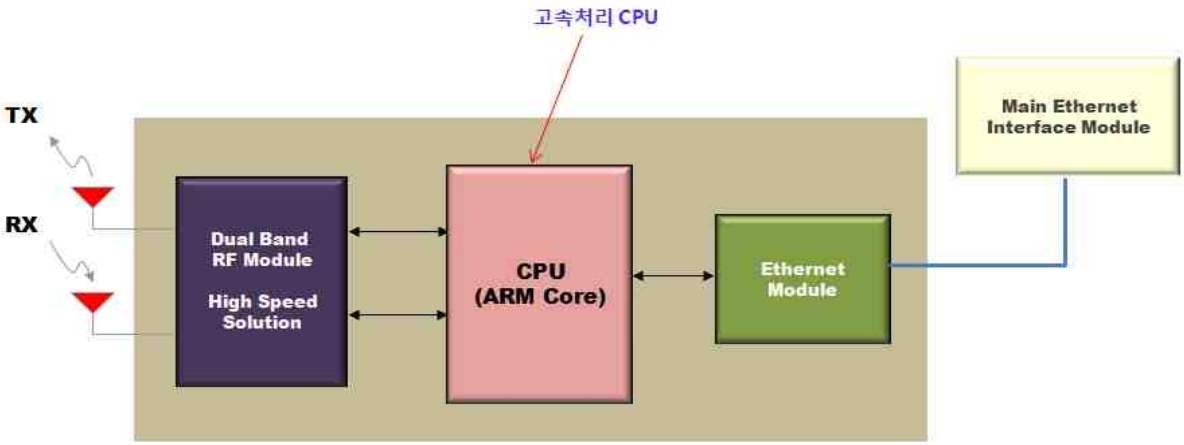
[그림 2.10.20] 이동체 RF 모듈 (READER)



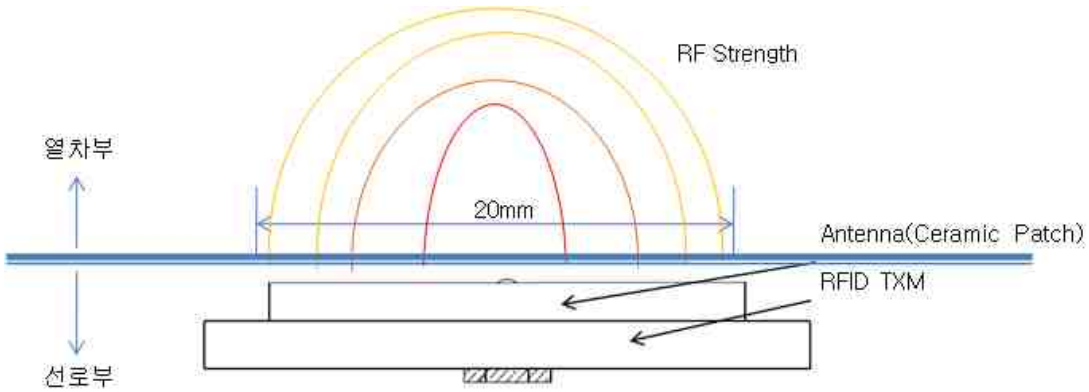
[그림 2.10.21] HSRFID 안테나



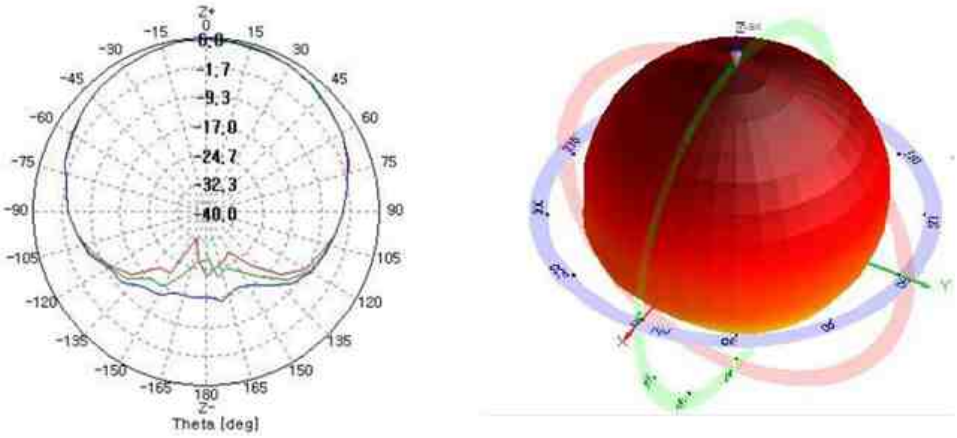
[그림 2.10.22] RFID 리더부 회로도



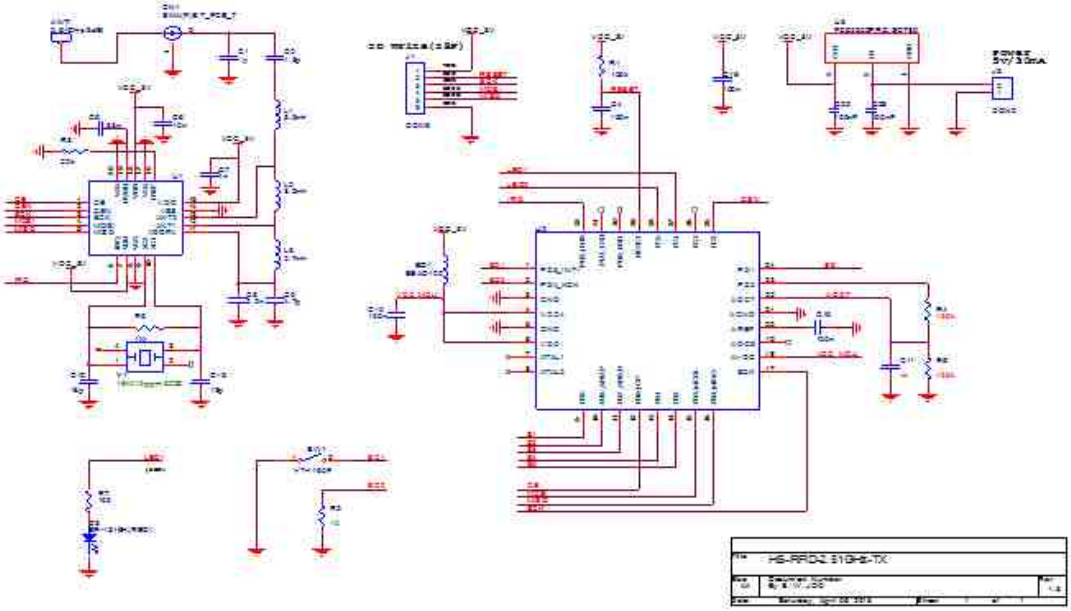
[그림 2.10.23] 고정체 RF 모듈 (TAG)



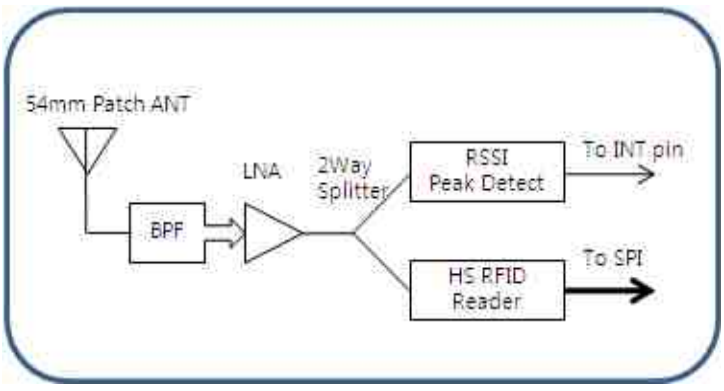
[그림 2.10.24] RFID Active Tag (선로부)



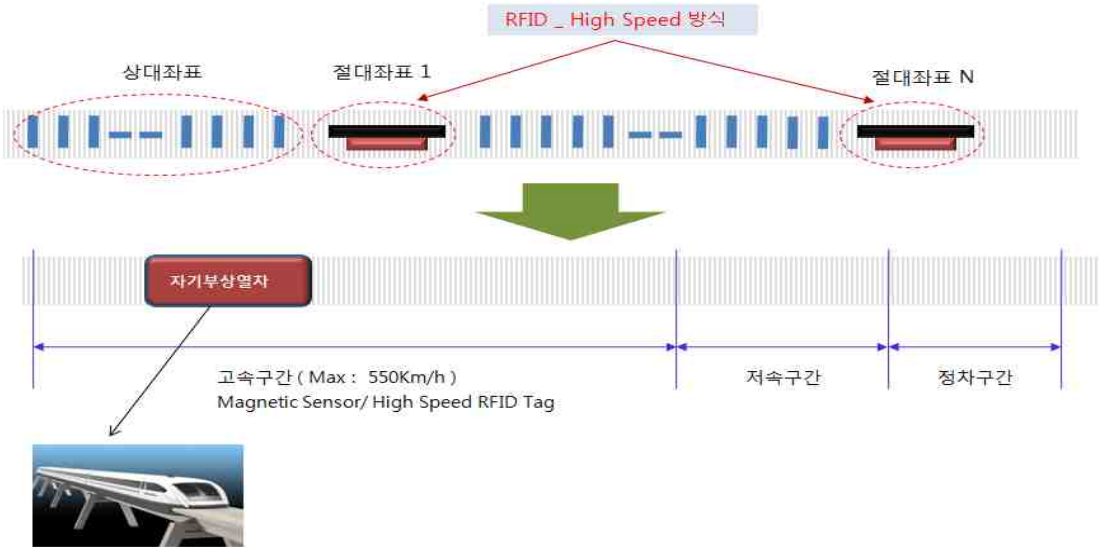
[그림 2.10.25] Antenna 지향각 : 90도 : -3dB



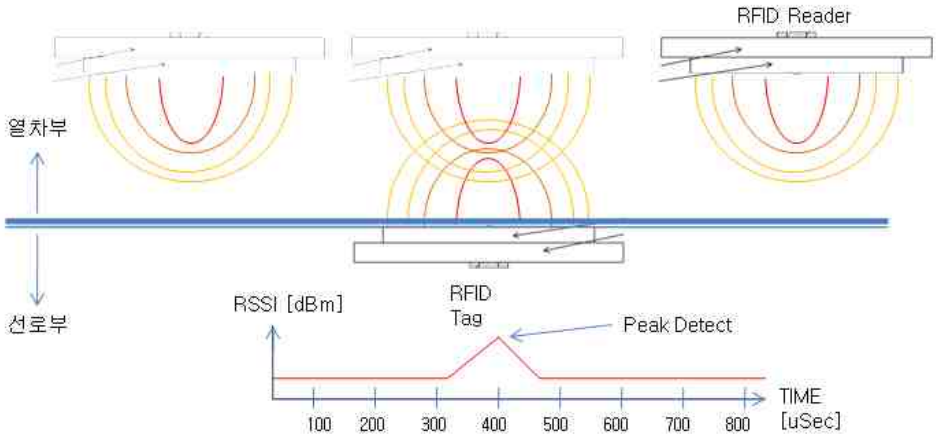
[그림 2.10.26] TAG 부 회로도



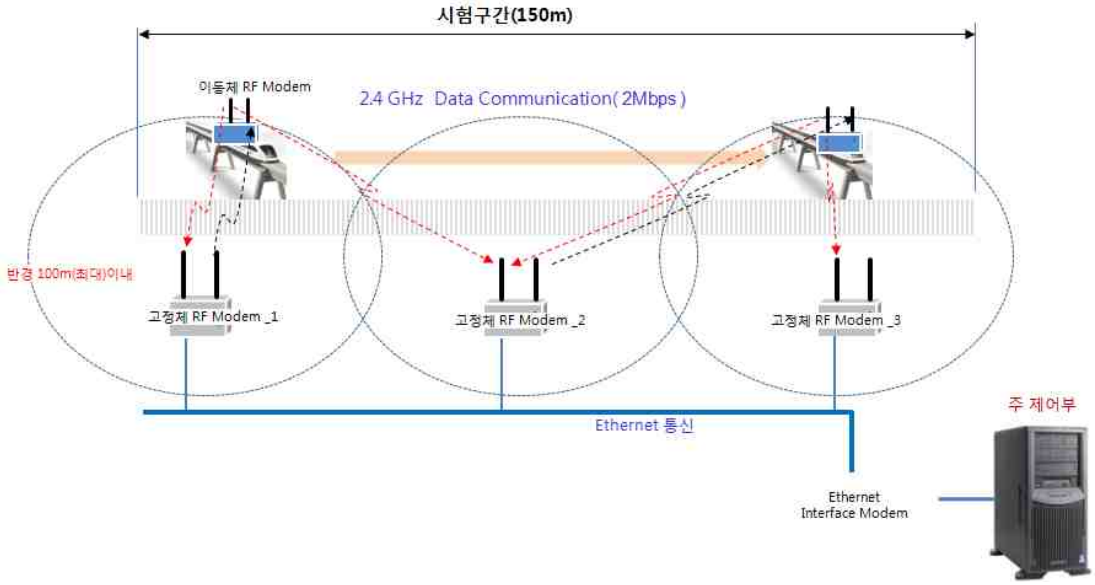
[그림 2.10.27] RFID READER 와 Peak Detect 분기방법



[그림 2.10.28] 단거리 시험선용 RFID 방식을 적용한 위치검지 시스템 구성도



[그림 2.10.29] 절대 위치 동기화



[그림 2.10.30] 단거리 시험선의 무선방식 구성도 (지상측)

▪ 이동체 RF Modem(1Set)/고정체 RF Modem(3Set)/Ethernet Interface Modem(1Set)로 구성한다.

▪ Dual Band RF Modem (TX/RX) 적용한다.

▪ 2.4GHz 100mW기준 (최대통신거리 2km이내)으로 한다.

▪ 이동체RF Modem에서 위치정보 등의 Data는 일정구간에서 2개 이상의 고정체 RF Modem이 동시 수신한다.

③ 차량의 송수신 장치 구성

▪ 2.4GHz High Speed 절대위치 전송장치

▪ 본체(2.4GHz 송신장치)와 지상국(2.4GHz 수신 장치)으로 구성된다.

▪ 절대위치 정보와 이동속도가 최소 1ms 주기로 실시간으로 전송된다.



[그림 2.10.31] 2.4GHz High Speed 절대위치 전송장치

▪ 900MHz 열차무선통신장치

▪ 100VDC/5VDC DC/DC Converter를 사용한다. 900MHz 무선통신 모듈을 사용한다. RS485 통신모듈(TCMS와 통신용)을 사용한다.

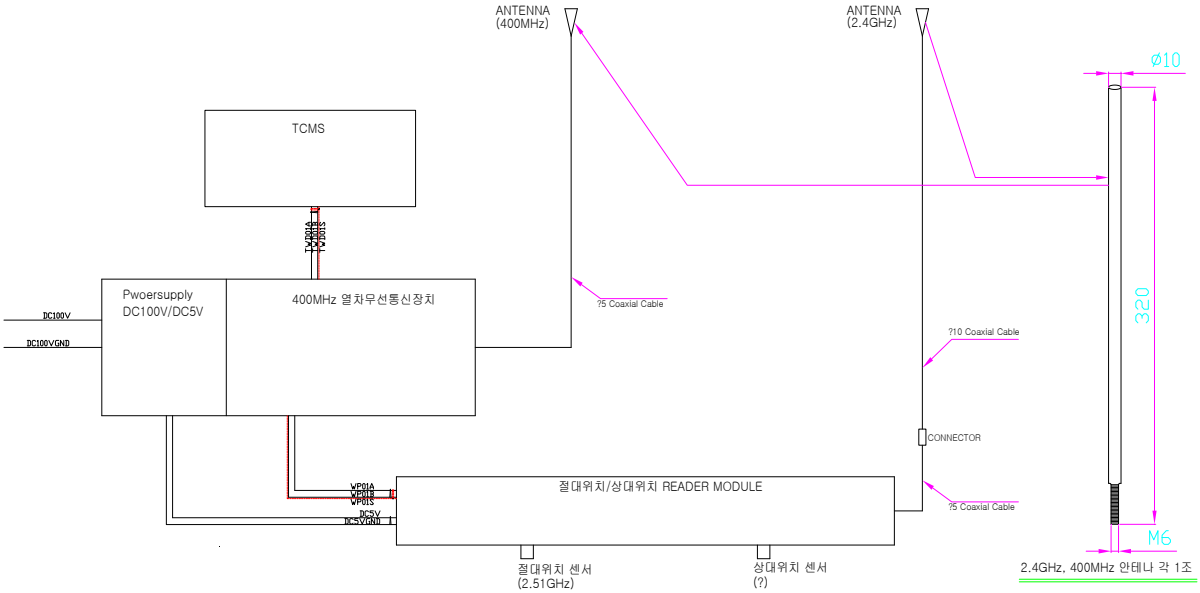


[그림 2.10.32] 900MHz 무선모뎀

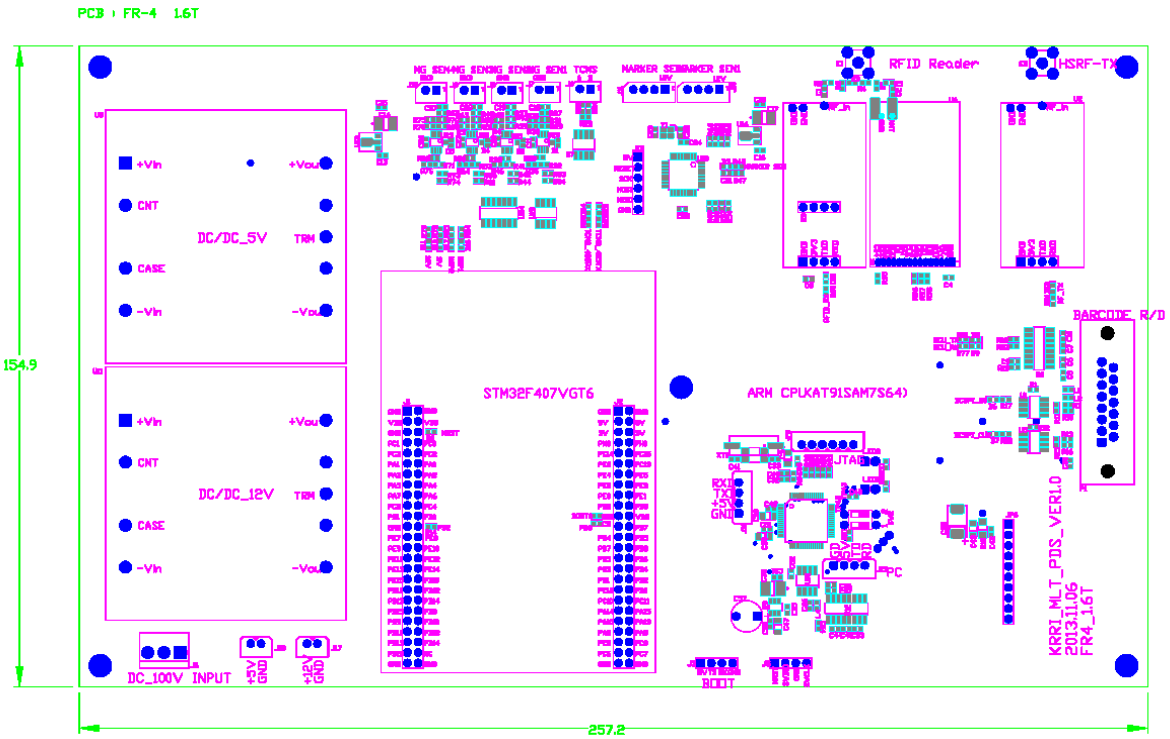
- 안테나
- 900MHz 용 안테나(1세트)로 구성된다.
- 2.4GHz 용 안테나(1세트)로 구성된다.

④ 기능 구성

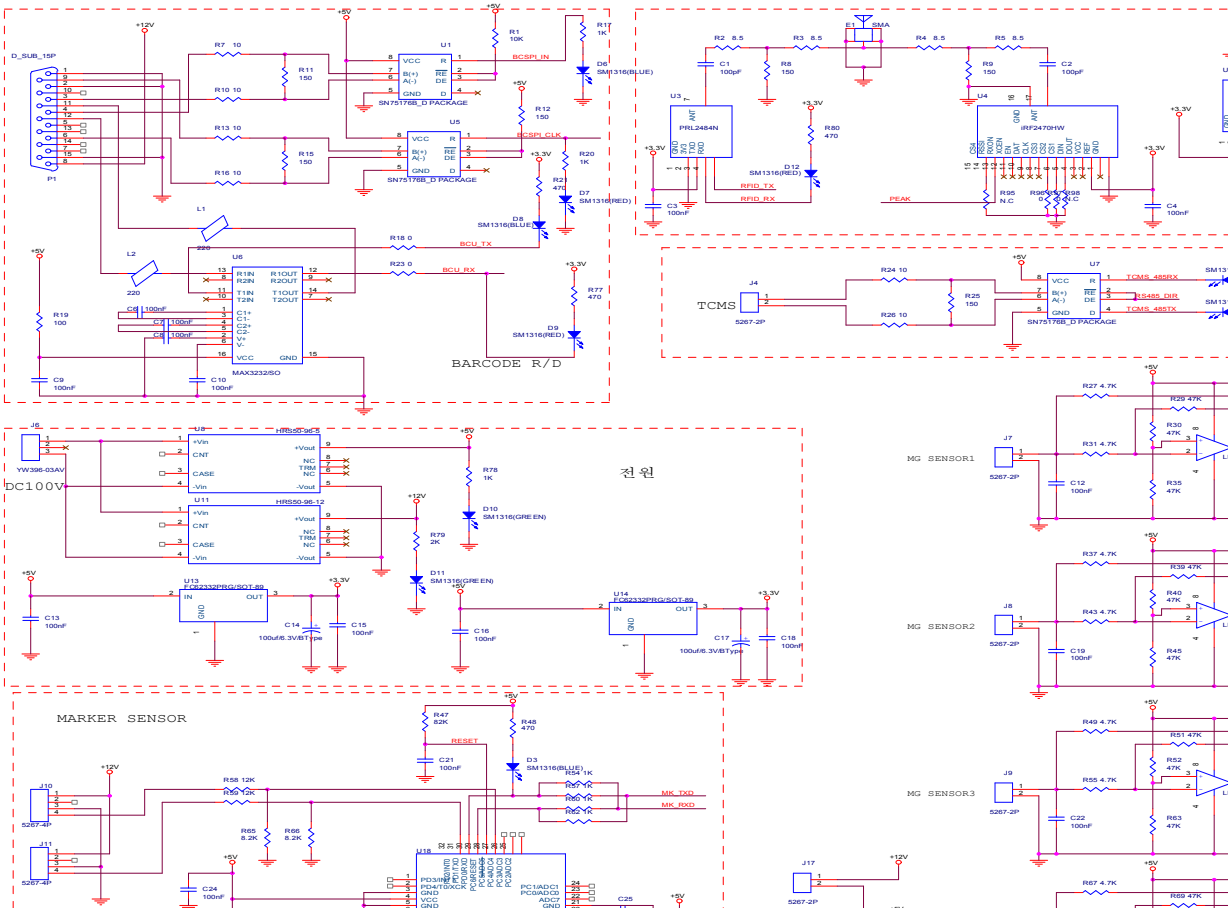
- 절대위치/상대위치 READER MODULE
- 절대위치(2.51GHz), 상대위치 센서 및 태그 리더기를 장착한다.
- 절대위치 및 상대위치 값을 동축케이블을 통해 2.4GHz안테나로 송출한다.
- 필요 전원은 900MHz 열차무선통신장치의 전원부에서 5VDC를 공급한다.
- 상태 데이터를 송출하기 위한 RS485 통신 케이블을 설치한다.
- 900MHz 열차무선통신장치
- 열차무선통신장치는 900MHz 통신 모듈, RS485 통신 모듈, Power supply로 구성한다.
- 열차무선통신장치의 제어에 필요한 5VDC 전원공급은 DC/DC Converter를 설치하여 해결한다.
- 지상과의 무선통신은 Φ5 동축 케이블을 사용하여 900MHz 송수신 안테나를 통해 실시한다.
- 열차제어장치(TCMS)와 통신은 RS485 2선식을 사용한다.
- 지상과의 송수신데이터 및 TCMS와의 통신프로토콜은 추후 협의하여 진행한다. 단, 최소한 차량제어 및 감시에 필요한 bit로 구성되도록 한다.



[그림 2.10.33] 열차무선제어장치 구성도



[그림 2.10.34] 위치검지시스템(PDS) PCB 외형



[그림 2.10.35] 위치검지시스템(PDS) 회로도

⑤ 현장 시험 관련 정의

- 통신 거리 측정 조건
- 단말기와 수신기의 안테나가 직선거리인(Line Of Sight) 지역으로 한다.
- 단말기 안테나는 2.14dBi 이득의 λ/2 dipole antenna로 한다.
- 수신율 측정지점은 해당거리 및 전계강도를 만족하는 지역에서 페이딩에 의한 null 현상을 방지하기 위하여 반경로 구성한다.
- 2m 내의 양호한 수신이 되는 지점에서 100회 송신 후 수신된 데이터를 백분율로 계산한다.
- 단말기(안테나)는 차량상부_ 오픈 또는 비 절연 커버 안에 설치한다.
- 수신기의 안테나는 지상 3m 이상의 높이에 강한 전자파가 없는 지역에 설치한다.
- 목표 통신거리
- 5km 이격된 지점에서 수신율 99% 이상으로 한다.
- 10km 이격된 지점에서 수신율 90% 이상으로 한다.

(2) 상대 위치 시스템

(가) BarCode를 이용한 상대위치 검지 장치

바코드(bar code)는 굵거나 가는 바(검은 막대)와 스페이스(흰 막대)의 조합에 의해 영 ·숫자 또는 특수 기호를 광학적으로 판독하기 쉽게 부호화한 것이다. 이것을

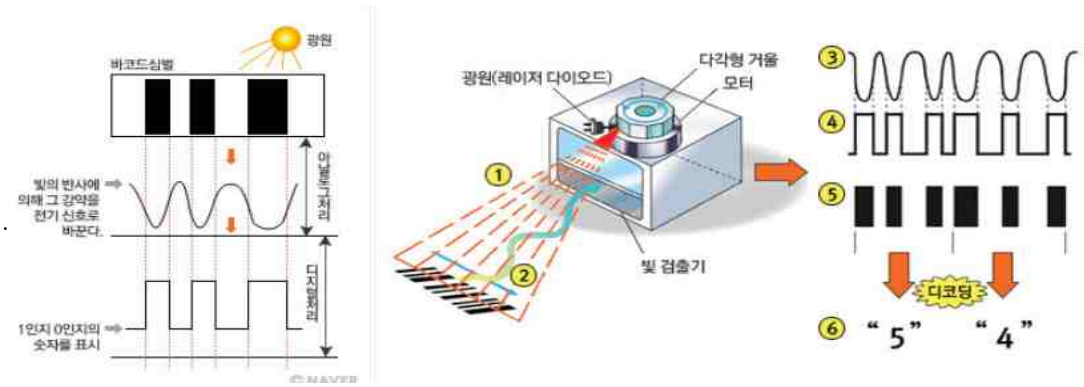
이용하여 상품 및 물류정보의 수집, 해독을 가능하게 한다.

문자나 숫자를 나타내는 점은 바와 흰 공간의 연속으로 바와 스페이스를 특정하게 배열해 이진수 0과 1의 비트로 바뀌게 되고 이들을 조합해 정보로 이용하게 되는데, 이들은 심벌 로지라고 하는 바코드 언어에 의해 정의된 규칙에 의해 만들어진다. 즉, 바코드는 컴퓨터 내부 연산의 기본인 0과 1의 비트로 이루어진 하나의 언어로, 바의 두께와 스페이스의 폭의 비율에 따라 여러 종류의 코드 체계로 구분된다. 이 인쇄된 코드는 바코드 인식 장치에 빛의 반사를 이용해서 데이터를 재생시키며 재생된 데이터를 수집, 전송하는 것이다.

정보를 바코드로 표현하는 방법에는 여러 가지가 있으며 이를 바코드 심벌로지라고 한다. 바코드 심벌로지는 현재까지 약 150여 종이 개발되어 있으며 같은 데이터라도 심벌체계에 따라 다르게 표현될 수 있으므로 각 데이터별로 특성을 충분히 고려한 후 적절한 코드를 선택해야 한다.

① Barcode의 해독

바코드에 있는 정보를 읽어내는 시스템에는 스캐너, 디코더 및 컴퓨터가 포함되어 있다. 스캐너에는 레이저 빛을 쏘는 부분과 빛을 검출하는 부분이 있다. 바코드에 빛을 쏘면(①) 검은 막대 부분은 적은 양의 빛을 반사하고, 흰 부분은 많은 양의 빛을 반사한다.(②) 스캐너는 반사된 빛을 검출하여 전기적 신호로 번역되어 이진수 0과 1로 바뀌어 진다.(③④⑤) 이는 다시 문자와 숫자로 해석되어진다.(⑥) 이는 디코더에 의해 컴퓨터가 바코드를 수집할 수 있는 형태로 변환한 뒤에 호스트컴퓨터로 데이터를 전송하게 된다.



[그림 2.10.36] 바코드의 인식원리

② Barcode 의 종류

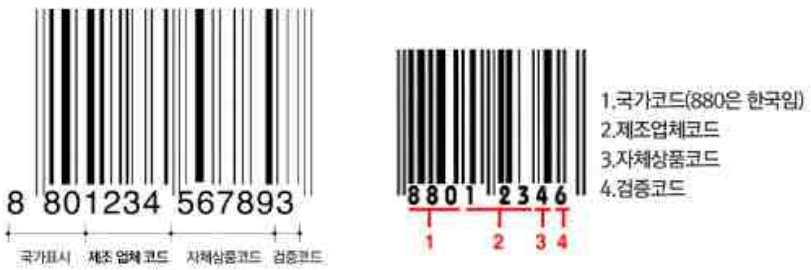
바코드를 국가단위로 사용한 것은 실버와 우드랜드가 특허를 낸 후 20여년이 지나서였다. 이렇게 늦어진 것은 먼저 한 나라 안에서 유통되는 각각의 상품에 대하여 규격화된 규칙을 정해야 했기 때문이다. 이를 최초로 실시한 나라는 미국이다. 1973년 미국음식연쇄조합은 세계상품코드(Universal Product Code, 이하 UPC)을 도입하여 사용했다. 유럽에서도 1978년, 영국, 프랑스, 독일 등과 일본이 연합하여 국제공통상품번호 (European Article Number, EAN)를 도입하였다. 우리나라의 경우 1988년 EAN국제기구에 가입하여 국가 번호코드 '880'을 부여받아 한국상품번호(KAN)를 사용하고 있다. 그 후 EAN 체계를 따르는 나라는 100개가 넘었으며,

UPC 체계는 미국과 캐나다가 사용하였다. 그러던 것이 2002년 UPC 체계 사용국이 EAN 기구에 가입하였고, 2003년 UPC 기구와 EAN 기구가 통합하여 국제표준코드인 GS1 체계를 출범하였으며, 2005년 비로소 코드 통합이 이루어졌다.

③ Barcode의 구성

우리나라에서 사용하는 KAN 코드는 대한상공회의소 유통물류진흥원에서 부여하는데 표준형 13자리와 단축형 8자리가 있다. 표준형코드의 13자리는 국가코드(3)+제조업체 코드(4~6)+자체상품코드(5~3)+검증코드(1)로 구성되어있다. 제조업체코드와 자체상품코드 해당 숫자 개수는 상품의 종류에 따라 달라지지만 두 코드에 해당하는 수는 아홉 개이다. 단축형 코드는 국가코드(3)+제조업체 코드(3)+자체상품코드(1)+검증코드(1)로 크기가 표준형보다 약간 작아서 인쇄 공간이 부족하거나 표준형 코드 사용이 부적당한 경우에 사용한다.

한편 출판물에는 국제표준도서번호(ISBN) 13자리가 쓰이는데 이 번호는 국립중앙도서관 한국문헌번호센터에서 관리하고 있는데 이는 상품코드와 번호부여방식에 차이가 있다. 번호체계는 유통분류용번호(3자리)-국가(2자리, 우리나라는 89 임)-발행자번호 및 서명식별 번호(7자리)-검증번호(1자리)로 되어있다.



[그림 2.10.37] 표준형 코드와 단축형 코드

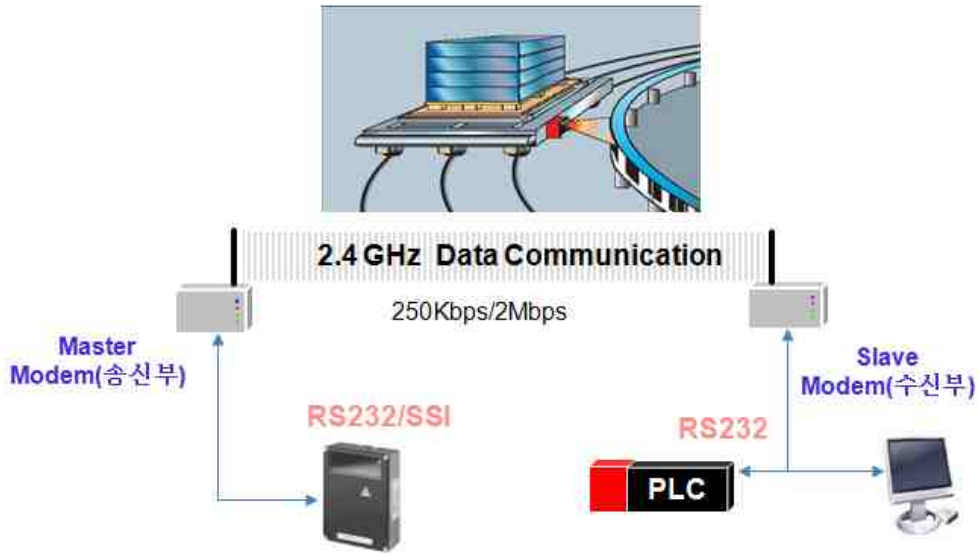
④ 2차원 Barcode

존의 바코드는 정보의 배열이 나란히 나열된 선 모양을 가지므로 흔히 1차원 바코드라 부른다. 이에 반해 2차원 바코드는 점자식 또는 모자이크식 코드로 조그만 사각형 안에 정보를 표현한다. 1차원 바코드가 막대선의 굵기에 따라 가로 방향으로만 정보를 표현할 수 있는데 반해, 2차원 바코드는 가로와 세로 모두에 정보를 담을 수 있다. 따라서 2차원 바코드는 기존의 것에 비해 100배나 많은 정보를 담을 수 있다. 특히 그 자체로 파일 역할을 할 정도의 정보를 가지고 있기에 1차원 바코드와 같이 데이터베이스와 연동되지 않아도 정보파악을 할 수 있다. 또한 코드가 상당부분 훼손되어도 해당정보를 파악할 수 있다.

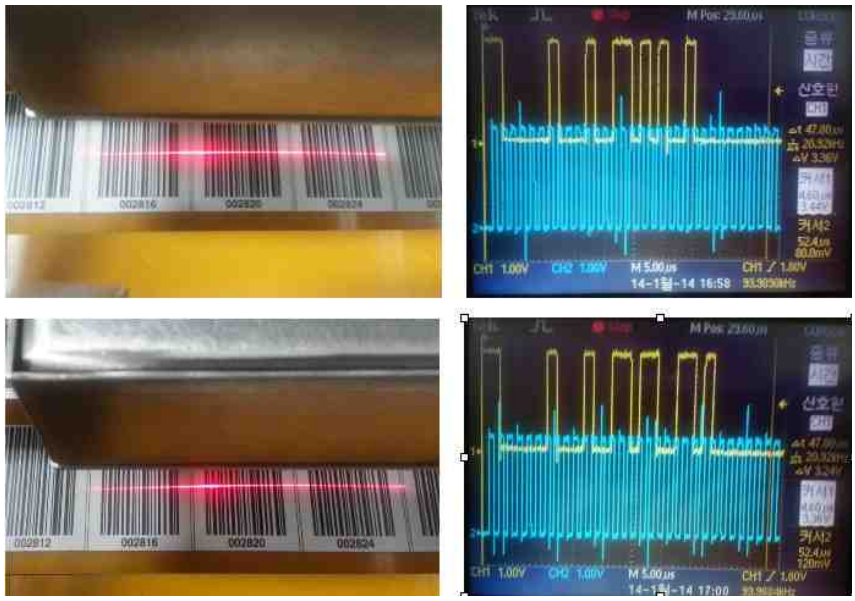


[그림 2.10.38] 1차원 바코드와 2차원 바코드

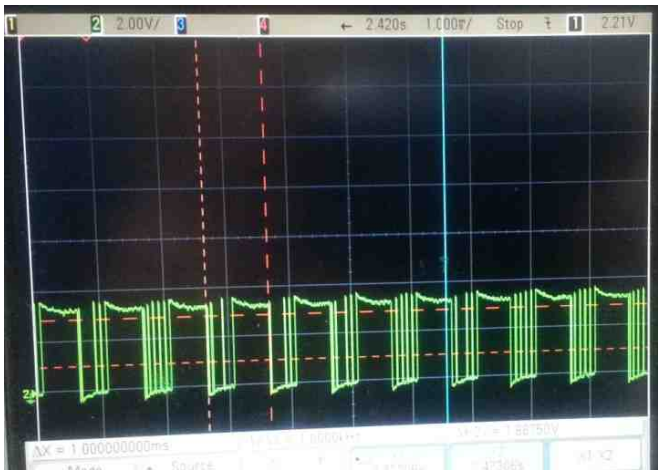
⑤ 초고속용 자기부상철도의 바코드식 상대위치의 구성



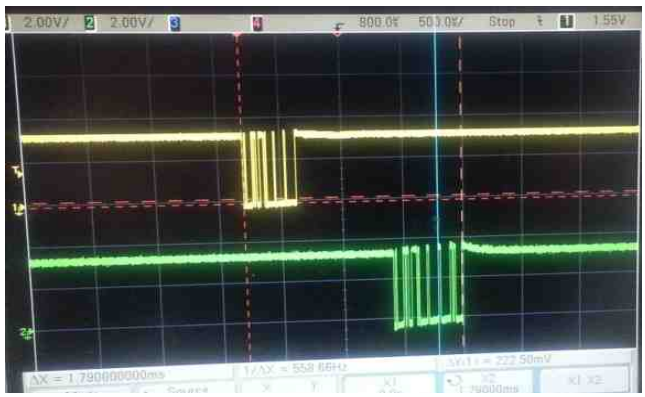
[그림 2.10.39] 바코드 방식 구현 구성도



[그림 2.10.40] 바코드 분해능 시험(1mm 이동 시험)



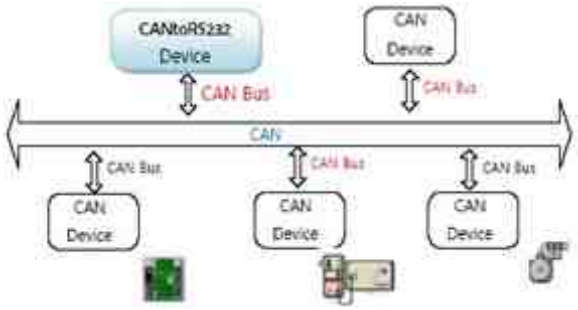
[그림 2.10.41] 위치데이터 전송주기 시험(1ms 주기)



[그림 2.10.42] 위치데이터 전송지연 시험(무선 구간에서 1.79ms 지연)

⑥ 기본 사양

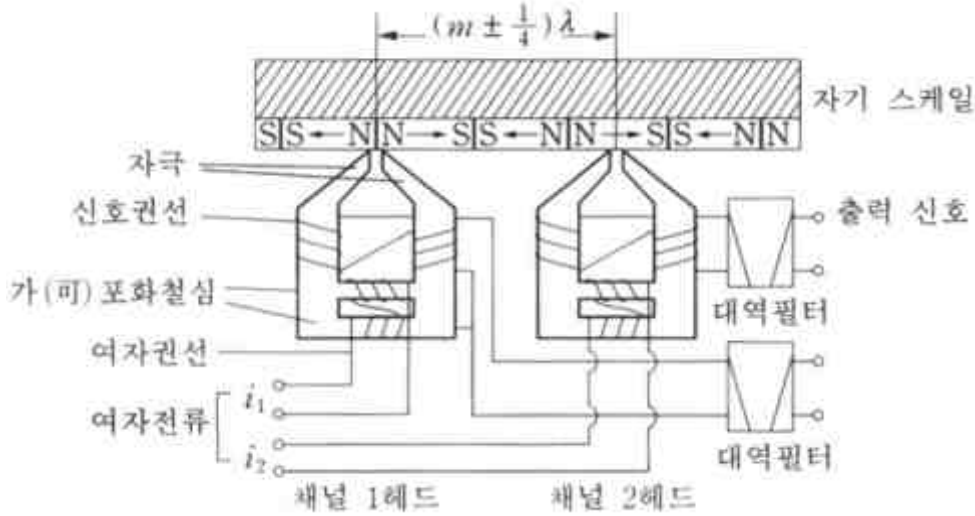
- MCP2551(82C251) CAN Transceiver 사용
- RS232 통신 최대 속도 230,400bps : 115,200bps (기본) / 230,400bps Max)
- CAN 통신 최대 속도 1Mbps
- S/W 적으로 CAN과 RS232 설정값 변경 가능
- CAN H/W RX 버퍼 2개, TX 버퍼 3 개
- 최대 1,000M 의 CAN 통신 거리 (CAN Spec.에 의함)
- AN 통신 속도 50Kbps 일 때 1,000M 까지 통신 가능
- CAN 2.0A
- Standard (11bit), CAN 2.0B
- Extended (29bit) mode 지원



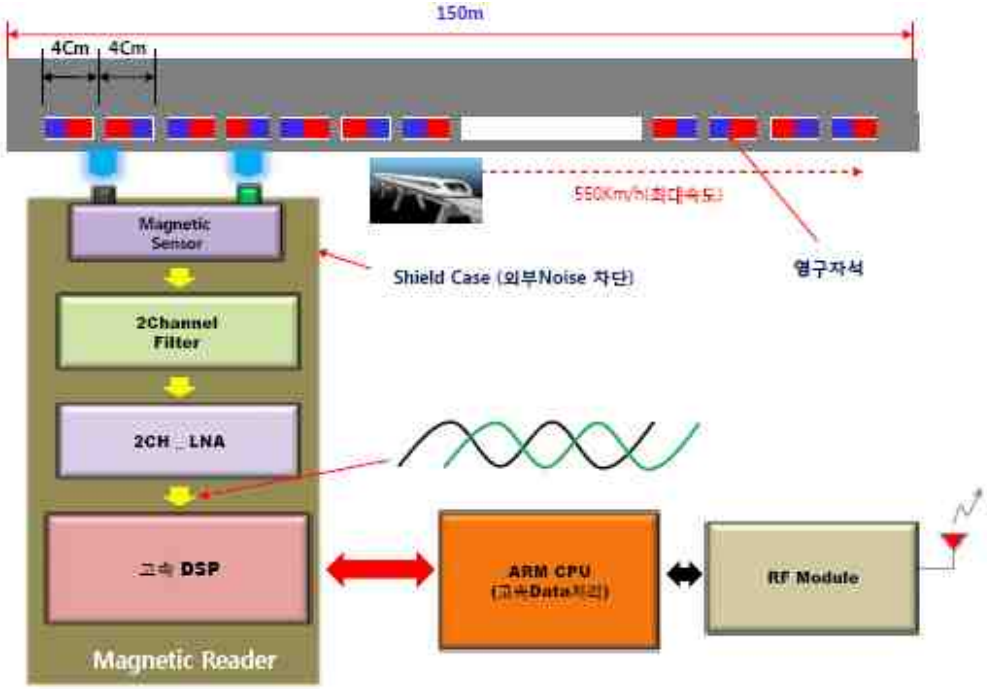
[그림 2.10.43] 마스터 모뎀 (수신기) CAN 통신 기본사양

(나) 자기식 인코더 (마그네 스케일)

자기식 인코더는 자성체에 NS극이 미소 피치로 사인파 모양으로 규칙적으로 착자된 자기 스케일과 자속을 검출하는 헤드로 구성된다. 헤드에는 포화될 수 있는 철심을 사용하며, 여자권선에 의하여 자기 변조를 하여 자속을 검출한다. 이동방향 판별을 위해서 서로 1/4피치(전기 위상각으로 90°)이동시킨 헤드가 1쌍이 되어 있다.



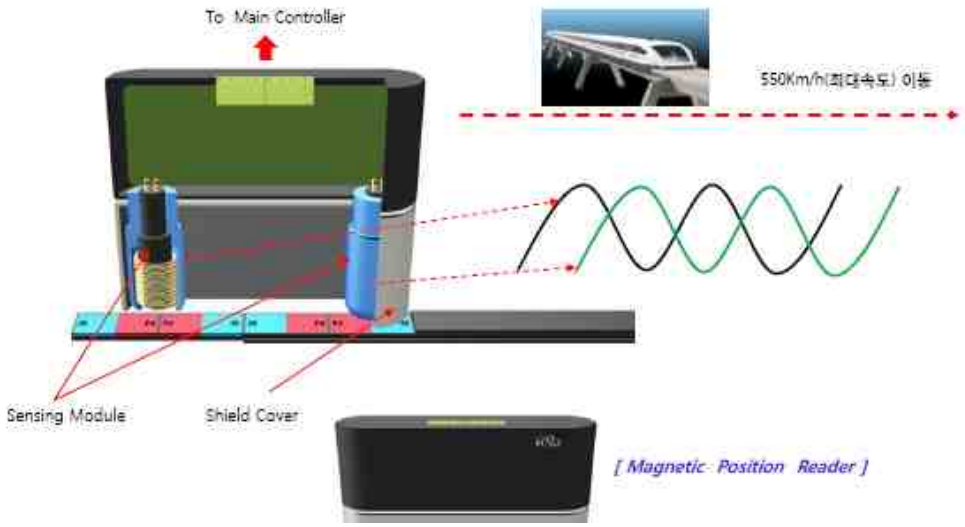
[그림 2.10.44] 자기식 인코더



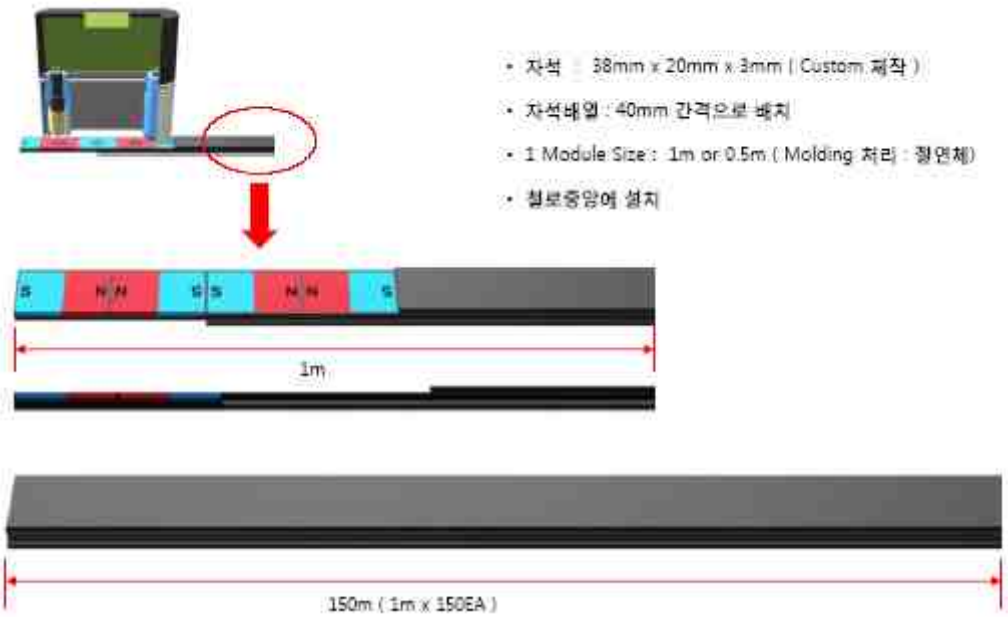
[그림 2.10.45] 자기식 인코더

두께 2mm 이하의 얇은 Bar Magnetic을 4cm 간격으로 동일한 극끼리 직렬 배치하여 마그네틱 스케일을 구성한다. 두 개로 구성된 Magnetic Position Sensor는 위상검출용 코일과 페이라이트 코어, 능동형 필터, 차동형 증폭기 그리고 슈미트 트리거 회로로 동작된다.

Magnetic Reader에서 얻어지는 두 신호는 90도의 위상차를 가지므로 열차의 이동방향을 검지할 수 있다. 두 신호는 7.2MSPS의 고속 ADC를 거쳐 Digital Signal Processing 처리되어 절대좌표에 대한 위치데이터를 증가 및 감소 카운트를 고속으로 결정한다. ARM CPU에서 결정된 위치데이터는 High Speed RF Module에 전달되어 실시간으로 지상국에 전송되어진다.



[그림 2.10.46] 자기식 인코더 설치



[그림 2.10.47] 자기식 인코더 배치

인라인 자기식 인코더의 특징은 다음과 같다. 자기식 인코더의 마그네틱 스케일은 Bar Magnetic을 직렬로 배치하여 인라인(In-line) 인코더로서 동작된다. 마그네틱 스케일의 외부는 진동 및 온도 환경에서 파손되거나 열화되지 않도록 FR-4 재질을 사용하여 내구성 및 온도특성을 개선한다.

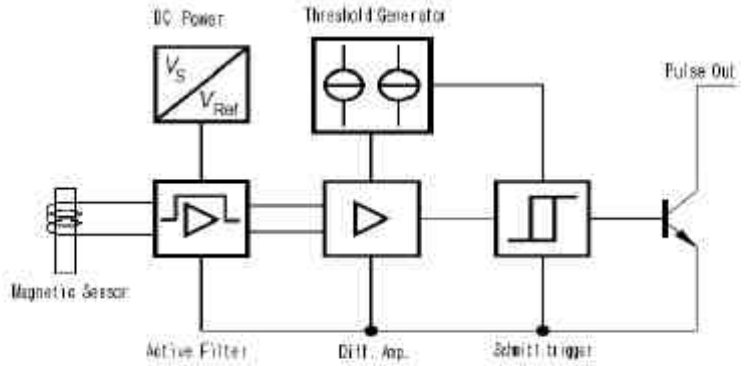
LSM 등 외부적 노이즈 자기장의 영향을 무시하기 위해서 저잡음 차동증폭기 및 비율 계산 알고리즘이 필요하다. 즉 Sin 및 Cos 신호의 차동 신호를 처리함으로서 외부적 방해 자기장에 의해 유발된 DC 성분으로 인한 동상 오차를 제거할 수 있다.

마그네틱 스케일의 신호 자기장 강도가 적정 범위를 벗어나면, 차동증폭기는 계속 작동하기는 하지만 출력 선형성이 저하된다. 자기장이 너무 강하면 내부 전치증폭기의 포화 효과로 인해서 오차가 야기된다. 자기장이 너무 약하면 잡음이 점점 더 커져서 신호처리의 오차는 증가하게 된다.

제작하는 Bar Magnetic은 가로 38mm 새로 20mm 두께 3mm 크기로 희토류 AlNiCo, SmCo5, NdFeB 같은 자성 소재를 사용한다. 위치 인식의 정확도는 측정된 자기장의 세기와 실제 Bar Magnetic의 위치 사이의 오차로 정의된다. 이는 다음과 같은 요인에 의해 영향을 받을 수 있다.

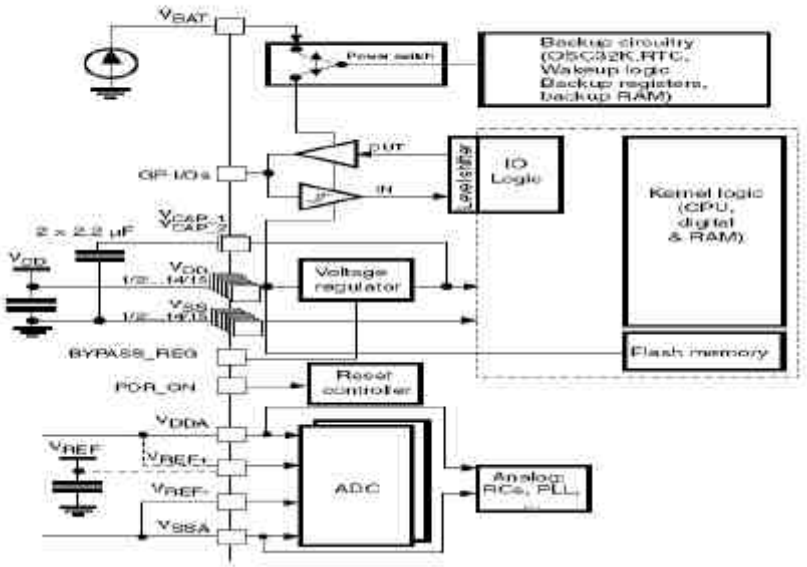
- ADC의 비선형성
- 강하고 짧은 주기의 주변 전자기 노이즈
- Bar Magnetic의 부정정렬로 인한 비선형성

Magnetic Position Sensor 구성도



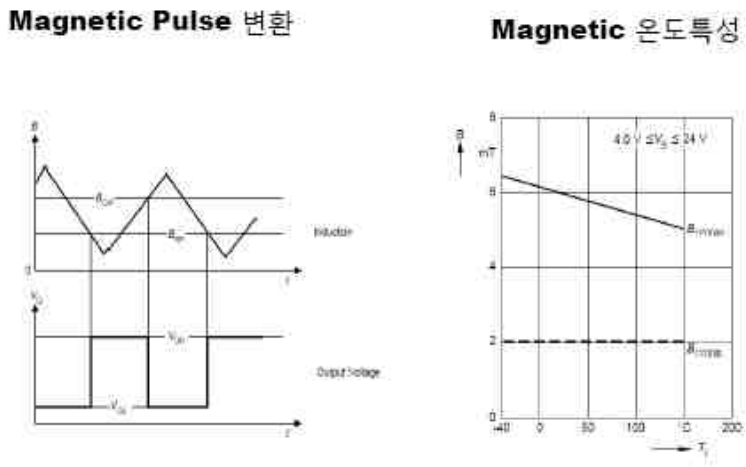
[그림 2.10.48] 자기식 센서 구성

Signal Processor 구성도



[그림 2.10.49] 신호 처리 구성

고속 신호처리를 수행하는 32비트 168MHz 클럭 프로세서의 내부 구성도로서 두 채널의 7.2MSPS의 고속 ADC 처리와 데이터를 고속으로 처리하는 커널로직으로 구성되어있다.



[그림 2.10.50] 자기 펄스 변환 및 온도 특성

마그네틱 위치센서의 주요한 특성을 나타내는 것으로서, 자기력의 변화를 디지털 데이터인 펄스 형태로 변환하는 임계지점을 보여준다. 마그네틱 위치센서는 페라이트 코어와 코일로 구성되므로 온도가 상승함으로서 자기력이 저하되는 특성이 있으므로 마그네틱 위치센서의 온도특성을 보여주고 있다. 자기식 인코더의 주요 전기적 특성은 다음과 같다.

[표 2.10.4] 자기식 인코더의 주요 전기적 특성

순 번	항 목	특 성	비고
1	센싱 방법	Magnetic Field	
2	출력 펄스 Rise/Fall Time	1us 이내	
3	센싱 응답	15.28kHz	550km/h
4	Phase Error	0.5deg 이내	
5	신호 처리 속도	7.2MSPS High Speed ADC	
6	DADA Interface	SPI(37.5Mbps Max.)	
7	Sensing Range	2mm~11mm	
8	Operation Power	5V, 60mA 이하	
9	Operation Temperation	-30~80℃	

(다) 분해능 시험

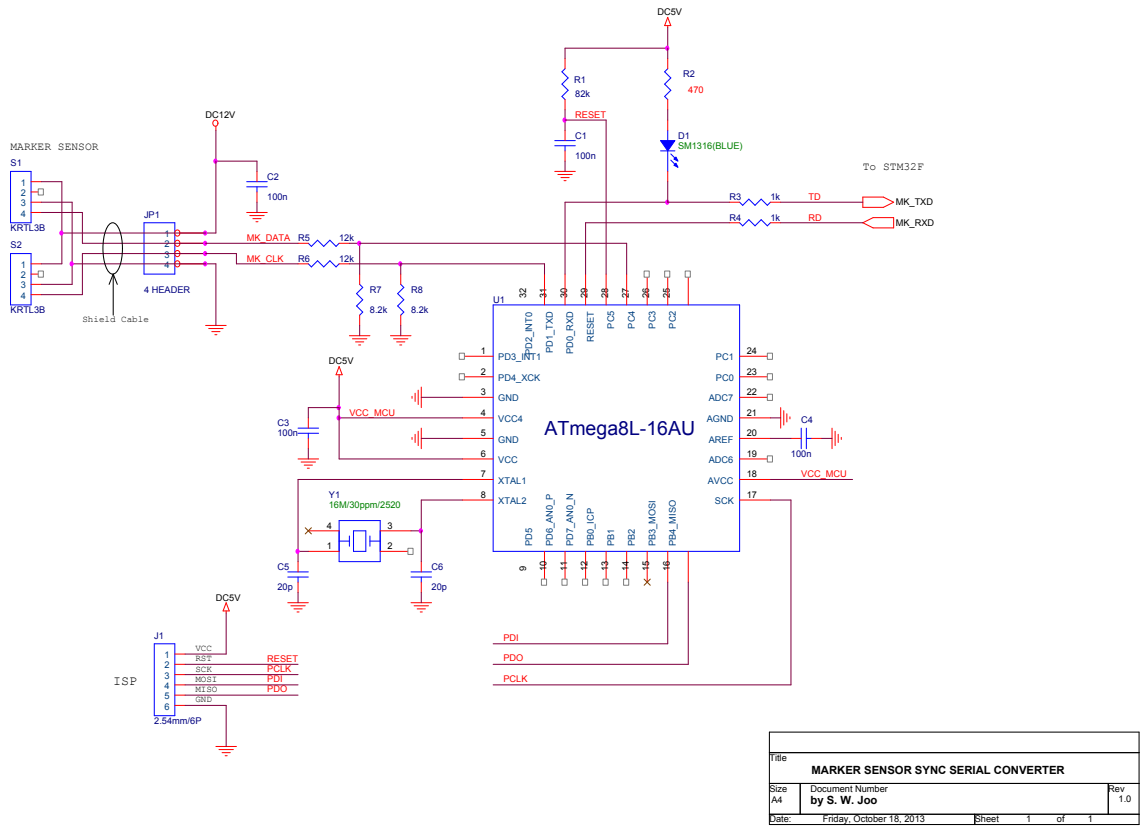
마그네틱센서의 위치를 5mm 간격으로 천천히 이동하여 LED(D16, D17)이 점멸하는지 또는 오실로스코프를 이용하여 2진 데이터를 직접 확인한다.



[그림 2.10.51] 마그네틱 위치센서 리딩 시험

(라) 마커 방식(MARKER)

흑과 백의 막대 기호로 조합한 코드를 직렬로 인식한다. 점으로 조사되는 레이저 광학식 센서에서 출력되는 2진 데이터를 별도로 구성된 PDS 내부의 마커판독 모듈에서 실시간으로 인식한다.



[그림 2.10.52] 마커 리더기 회로

분해능 시험 : 마커센서의 위치를 5mm 간격으로 천천히 이동하여 클럭데이터(U18-#32핀)의 변화가 있는지 오실로스코프를 이용하여 2진 데이터를 직접 확인한다.



[그림 2.10.53] 마커 리딩 시험

다. 구성품 시험 및 검사

미래철도기술개발사업	초고속 추진 및 시스템 엔지니어링 기술개발

위치검지시스템 모듈별 성능시험 계획서

버전	날짜	작성 및 수정이유	작성자	직책
A1	2013/11/26	초안 작성	주세웅	기술이사
A1	2014/01/27	시험항목 변경	김태균	대리

파 일 명	위치검지시스템 모듈별 성능시험 계획서		
워드프로세서	흔글 2007		
문 서 번 호		시험항목코드	

- 변경이력

Rev	변경사유	변경부분	변경내용
A1			

목차

1. 적용범위 ····· 4
2. 적용규격 ····· 4
   2.1. 적용 문서 ····· 4
   2.2. 참조 문서 ····· 4
3. 검사 및 시험 ····· 5
   3.1. 목적 ····· 5
   3.2. 용어 정의 ····· 5
   3.3. 시험 장소의 환경조건 ····· 6
   3.4. 시험 항목 ····· 6
   3.5. 성능시험 및 판정기준 ····· 7

1. 적용범위

이 규정은 초고속 자기부상열차의 위치검지시스템을 구성하는 각 센서모듈과 RF통신 모듈의 성능을 확인하고 동작 책무에 대한 적정성을 평가하기 위한 시험기준 및 방법을 규정한다.

2. 적용규격

2.1. 적용문서

[A1]		
[A2]		
[A3]		
[A4]		

2.2. 참조문서

[R1]		
[R2]		
[R3]		
[R4]		
[R5]		
[R6]		
[R7]		
[R8]		

3. 검사 및 시험

3.1. 목적

이 검사는 초고속 자기부상열차의 위치검지시스템을 구성하는 각 센서모듈과 RF통신 모듈의 성능을 평가하기 위함이다.

3.2. 용어정리

3.2.1. 분해능(Resolution)

기술 혹은 기기가 어떤 변수의 값을 주변 값들과 구분할 수 있는 능력의 척도로서 인접한 두개의 물체를 별개의 것으로 구별할 수 있는 최소 거리를 의미한다.

3.2.2. 감지속도

분해능 확인이 가능한 범위에서의 센서의 최대 이동속도를 의미한다.

3.2.3. 감지범위

센서와 테그 또는 센서와 피사체 간의 분해능을 발휘할 수 있는 범위로써, 센서에서 인식 가능한 범위를 의미한다.

3.2.4. 바코드(Bar-code) 방식

흑과 백의 막대 기호로 조합한 코드를 병렬로 인식하는 방법으로 수평으로 조사되는 레이저 광학식 마크판독장치를 이용하여 자동으로 판독되고 SSI 인터페이스를 통하여 실시간으로 POS에 전달된다.

3.2.5. 마커방식(Marker) 방식

흑과 백의 막대 기호로 조합한 코드를 직렬로 인식하는 방법으로 점으로 조사되는 레이저 광학식 센서에서 출력되는 2진 데이터를 별도로 구성된 POS 내부의 마커판독 모듈에서 실시간으로 인식한다.

3.2.6. RFID 방식

RFID(Radio-Frequency Identification)를 이용하여 위치를 인식하는 방식으로서 일반적으로 사용되는 방식이 아닌 High-Speed/Peak-Detect type Active 방식으로 절대위치를 인식하는 기술이다.

3.2.7. 마그네틱(Magnetic) 방식

사각형의 막대 영구자석(Bar-Magnetic)을 선형으로 배열하고 마그네틱을 감지할 수 있는 센서를 이용하여 위치를 인식하는 방식이다.

3.3. 시험장소의 환경조건

시험장소의 온도 및 습도에 대해 특별히 지정하지 않는 경우, 다음을 표준상태로 한다.

3.3.1. 표준온도 상태

- 표준온도 : 25℃, 온도범위 : 5~35℃

3.3.2. 표준습도 상태

- 표준습도 : 65%, 습도범위 : 45~85%

3.4. 시험 항목

구 분		시 험 항 목	판정기준
1	바코드방식	분해능	5mm 이내
2		감지속도	3km/h 이상
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상
1	마커방식	분해능	5mm 이내
2		감지속도	3km/h 이상
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상
1	마그네틱 방식	분해능	5mm 이내
2		감지속도	0.5km/h 이상
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상
1	RFID방식	분해능	5mm 이내
2		감지속도	0.5km/h 이상
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상
1	RF Module (2.4GHz)	통신거리	최소 200m(100m×2EA)
2		RF TX Power	18dBm ± 2dB
3		지연시간	10ms 이내
1	RF Module (900MHz)	통신거리	최소 1Km @ LOS
2		RF TX Power	29dBm ± 2dB

3.5. 성능시험 및 판정기준

3.5.1. 바코드 방식

가) 분해능 시험 : 바코드 리더의 위치를 1mm 간격으로 천천히 이동하여 바코드 출력 데이터 SSI 출력(BCSPI_IN 라인)이 변경되는지 오실로스코프를 이용하여 2진 데이터를 직접 확인한다.

나) 감지속도 시험 : 바코드 리더를 빠르게 이동시킬 때 판정범위 이내에서 정상적으로 인식하는지 확인한다.

다) 감지범위 시험 : 바코드 인쇄면과 바코드리더의 X, Y 축 간격을 이격시키면서 정상적으로 감지되는 최대 범위를 확인한다.

3.5.2. 마커 방식

가) 분해능 시험 : 마커센서의 위치를 5mm 간격으로 천천히 이동하여 클락 데이터(U18-#32핀)의 변화가 있는지 오실로스코프를 이용하여 2진 데이터를 확인한다.

나) 감지속도 시험 : 마커센서를 빠르게 이동시킬 때 판정범위 이내에서 정상적으로 인식하는지 확인한다.

다) 감지범위 시험 : 마커의 인쇄면과 마커센서를 X, Y 축 간격을 이격시키면서 정상적으로 감지되는 최대 범위를 확인한다.

3.5.3. 마그네틱 방식

가) 분해능 시험 : 마그네틱센서의 위치를 5mm 간격으로 천천히 이동하여 LED(D16, D17)이 점멸하는지 또는 오실로스코프를 이용하여 2진 데이터를 직접 확인한다.

나) 감지속도 시험 : 마그네틱센서를 빠르게 이동시킬 때 판정범위 이내에서 정상적으로 인식하는지 확인한다.

다) 감지범위 시험 : 영구자석의 배열면과 마그네틱센서를 X, Y 축 간격을 이격시키면서 정상적으로 감지되는 최대 범위를 확인한다.

3.5.4. RFID 방식

가) 분해능 시험 : RFID 리더의 위치를 5mm 간격으로 천천히 이동하여 Peak Detector Module(U4-#14핀)의 출력이 최대가 되는 지점을 식별할 수 있는지 오실로스코프를 이용하여 직접 확인한다.

나) 감지속도 시험 : RFID 리더를 빠르게 이동시킬 때 판정범위 이내에서 정상적으로 인식하는지 확인한다.

다) 감지범위 시험 : RFID Tag와 RFID 리더를 X, Y 축 간격을 이격시키면서 정상적으로 감지되는 최대 범위를 확인한다.

3.5.5. 2.4GHz RF Module

가) 통신거리 시험조건

- 송신기와 수신기의 안테나가 직선거리인(Line Of Sight) 지역으로 한다.
- 수신율 측정지점은 해당거리를 만족하는 지역에서 페이딩에 의한 null 현상을 방지하기 위하여 반경 2m 내의 양호한 수신이 되는 지점에 안테나를 설치한다.

나) 통신거리 시험

- 송신기에 RF Cable과 전용 안테나를 연결시키고 안테나를 지지대에 고정한다.
- 송신기를 정해진 주기로 무선패킷을 연속 송신하는 모드로 설정한다.
- 수신기는 무선패킷의 수신을 확인할 수 있는 버저, LED 등을 준비한다.
- 거리시험을 위하여 수신기를 송신기의 안테나가 보이는(가시거리) 상태에서 수평으로 이동하여 수신이 불가능한 지점까지 이동한다.

다) TX Power(송신출력) 시험

- Spectrum Analyzer CF를 해당 주파수로 설정하고, Reference Level을 20dBm, Span을 100MHz로 설정한다.
- 송신기를 정해진 주기로 무선패킷을 연속 송신하는 모드로 설정한다.
- Spectrum Analyzer Peak 값을 읽는다. (dBm, W)

라) 지연시간 시험

- HSRF-TX의 입력 지점에 오실로스코프 CH1 프로브를 연결한다.
- CAN통신 드라이버와 결합된 HSRF-RX 모듈의 출력단자(TXD,DB-9 #3)에 오실로스코프 CH2 프로브를 연결한다.
- 오실로스코프를 엣지트리거 모드로 설정하고 전송주기를 100ms 주기로 변경한다.
- 엣지트리거 발생 후 CH1 과 CH2 간 지연된 시간을 측정한다.

3.5.6. 900MHz RF Module

가) 통신거리 시험조건

- 송신기와 수신기의 안테나가 직선거리인(Line Of Sight) 지역으로 한다.
- 수신율 측정지점은 해당거리를 만족하는 지역에서 페이딩에 의한 null 현상을 방지하기 위하여 반경 2m 내의 양호한 수신이 되는 지점에 안테나를 설치한다.

나) 통신거리 시험

- 송신기에 RF Cable과 전용 안테나를 연결시키고 안테나를 지지대에 고정한다.
- 송신기를 정해진 주기로 무선패킷을 연속 송신하는 모드로 설정한다.
- 수신기는 무선패킷의 수신을 확인할 수 있는 버저, LED 등을 준비한다.

- 거리시험을 위하여 수신기를 송신기의 안테나가 보이는(가시거리) 상태에서 수평으로 이동하여 수신이 불가능한 지점까지 이동한다.

다) TX Power(송신출력) 시험

- Spectrum Analyzer CF를 해당 주파수로 설정하고, Reference Level을 30dBm, Span 을 1MHz로 설정한다.
- 송신기를 정해진 주기로 무선패킷을 연속 송신하는 모드로 설정한다.
- Spectrum Analyzer Peak 값을 읽는다. (dBm, W)

검사 성적서

공 사 명	초고속 자기 부상 열차	KRRI	검 사 자	확 인 자
제 작 사	코스파			
품 명	위치검지시스템 모듈	우진산전	검 사 자	확 인 자
도면 및 근거		코스파	검 사 자	확 인 자
검 사 일		판 정		
계측 장비				

구 분		시험 항목	판정기준	측정결과	시험결과
1	바코드방식	분해능	5mm 이내		
2		감지속도	3km/h 이상		
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상		
1	마커방식	분해능	5mm 이내		
2		감지속도	3km/h 이상		
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상		
1	마그네틱 방식	분해능	5mm 이내		
2		감지속도	0.5km/h 이상		
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상		
1	RFID방식	분해능	5mm 이내		
2		감지속도	0.5km/h 이상		
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상		
1	RF Module (2.4GHz)	통신거리	최소 200m(100m×2EA)		
2		RF TX Power	18dBm ± 2dB		
3		지연시간	10ms 이내		
1	RF Module (900MHz)	통신거리	최소 1Km @ LOS		
2		RF TX Power	29dBm ± 2dB		

미래철도기술개발사업	초고속 추진 및 시스템 엔지니어링 기술개발

위치검지시스템 모듈별 성능시험 기록서

버전	날짜	작성 및 수정이유	작성자	직책
A1	2014/01/28	최초 작성	김태균	대리
A2	2014/02/07	수정 작성 (시험결과 추가)	김태균	대리

파 일 명	위치검지시스템 모듈별 성능시험 성적서		
워드프로세서	호글 2007		
문 서 번 호		시험항목코드	

- 변경이력

Rev	변경사유	변경부분	변경내용
A1			

검사 성적서

공사명	초고속 자기 부상 열차	KRRI	검사자	확인자
제작사	코스파			
품명	위치검지시스템 모듈	우전산전	검사자	확인자
도면 및 근거		코스파	검사자	확인자
검사일	2014년 1월 28일 ~ 2014년 2월 7일	판정	정상	
계측 장비	오실로스코프, 스펙트럼 분석기, 눈금자			

구분		시험항목	판정기준	측정결과	시험결과
1	바코드방식	분해능	5mm 이내	1mm	정상
2		감지속도	3km/h 이상	6.2km/h	정상
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상	X축:40mm, Y축:250mm	정상
1	마커방식	분해능	5mm 이내	5mm	정상
2		감지속도	3km/h 이상	5.8km/h	정상
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상	X축:25mm, Y축:7mm	정상
1	마그네틱 방식	분해능	5mm 이내	5mm	정상
2		감지속도	0.5km/h 이상	0.5km/h	정상
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상	X축:20mm, Y축:20mm	정상
1	RFID방식	분해능	5mm 이내	5mm	정상
2		감지속도	0.5km/h 이상	2.6km/h	정상
3		감지범위	X축, Y축 : 7mm 이상	X축:20mm, Y축:20mm	정상
1	RF Module (2.4GHz)	통신거리	최소 200m(100m×2EA)	1.9km	정상
2		RF TX Power	18dBm ± 2dB	16.1dBm	정상
3		지연시간	10ms 이내	1.76ms	정상
1	RF Module (900MHz)	통신거리	최소 1Km @ LOS	2.8km	정상
2		RF TX Power	29dBm ± 2dB	30.41dBm	정상

첨 부. 시험 진행 사진

1. 바코드 방식

1.1 분해능 시험



< 바코드 이동 거리 측정 >



< 출력 데이터 확인 >

1.2 감지속도 시험



< 바코드 리더기 이동 >



< 출력 데이터 확인 >

1.3 감지범위 시험





< X 축 이격 >





< Y 축 이격 >

2. 마커 방식

2.1 분해능 시험



< 마커 이동 거리 측정 >



< 출력 데이터 확인 >

2.2 감지속도 시험



< 마커 리더기 이동 >



< 출력 데이터 확인 >

2.3 감지범위 시험




< X 축 이격 >




< Y 축 이격 >

3. 마그네틱 방식

3.1 분해능 시험



< 마그네틱 리더 이동 거리 측정 >



< 출력 LED 확인 >

3.2 감지속도 시험



< 컨베이어 벨트를 이용한 마그네틱 이동 >



< 출력 데이터 확인 >

3.3 감지범위 시험





< X 축 이격 >





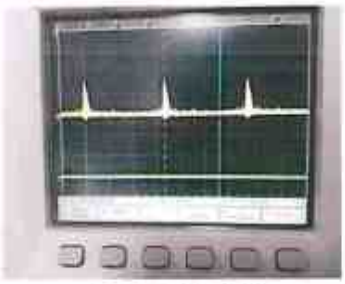
< Y 축 이격 >

4. RFID 방식

4.1 분해능 시험



< RFID 리더 이동 거리 측정 >



< 출력 데이터 확인 >

4.2 감지속도 시험



< 컨베이어 벨트를 이용한 RFID 이동 >



< 출력 데이터 확인 >

4.3 감지범위 시험





< X 축 이격 >




< Y 축 이격 >

5. RF Module(2.4GHz)

5.1 통신 거리



< 시험 장비 >



< 수신 데이타 확인 >

5.2 RF TX Power



< 송신 안테나 >



< Spectrum Analyzer Peak값 확인 >

5.3 지연시간



< 프로브 연결 >



< 출력 데이터 확인 >

6. RF Module(900MHz)

6.1 통신 거리



< 시험 장비 >



< 수신 데이터 확인 >

6.2 RF TX Power



< 송신 안테나 >



< Spectrum Analyzer Peak값 확인 >

라. 종합시험(단거리 시험선) 절차서 및 기록서

1. 적용 범위

본 절차서는 초고속 자기부상열차 단거리시험선에서 초고속 자기부상철도 핵심기술개발 연구단과제를 통하여 개발되는 “초고속 자기부상열차용 위치검지시 및 통신 성능시험”을 위한 시험 절차 및 기준에 대하여 규정한다.

2. 적용 규격

가. 적용 문서

1) 초고속 자기부상철도 시스템 기본 사양

나. 용어 정의

1) 위치검지 : 초고속 자기부상열차의 추진원으로 사용되는 선형동기전동기에서 차량의 자속과 동기화된 궤도의 자속을 만들기 위하여 운행중인 차량의 위치를 파악하여 지상의 추진제어실로 무선 송신하는 일련의 기능을 말한다.
2) 분해능 : 차량의 위치를 검지할 수 있는 최소 거리를 말하며 검지할 수 있는 거리가 작을수록 분해능이 높고 위치검지 정밀도가 높음을 의미한다.
3) 통신주파수 : 초고속 자기부상열차에는 총 3가지의 통신이 존재하는데 각각의 용도 및 할당 주파수는 다음과 같다.
   - 위치검지용(2.4GHz), 계측신호용(900MHz), 관제용(5.8GHz)
4) 통신 거리 : 각각의 통신에 있어서 차량과 제어실간 통신이 가능한 가장 먼 거리를 말한다.
5) 송신 출력 : 차량에 설치된 송신기에서 신호를 무선으로 송신하는 세기를 의미하며, 송신출력이 클수록 통신 거리가 멀다.

3. 시험의 목적 및 방법

가. 시험 목적

초고속 자기부상철도의 설계 사양에 대한 위치검지 및 통신 성능 검증을 위해 초고속 자기부상철도 시스템 기본 사양에 명시된 분해능, 무선 송신 출력 및 거리 등의 성능을 검증하는데 있다.

나. 시험 장소

오송에 위치한 한국철도시설공단 시설장비사무소 부지 내 초고속 자기부상철도 단거리 시험선에서 수행한다.

다. 시험 항목

표 1. 시험 항목

순번	시 험 항 목	하중조건
		공차(또는 만차)
1	분해능 측정	◎
2	통신거리 측정	◎
3	송신출력 측정	◎

라. 시험 방법

1) 시험 조건

1) 평탄하고 직선인 선로에서 실시한다.
2) 시험회수는 2회 이상 실시하는 것을 원칙으로 하며, 필요에 따라 다르게 적용할 수 있다.
3) 시험차량은 개발 중인 1량을 기준으로 한다.
4) 공차 또는 만차(TBD) 하중에 대하여 수행토록 한다.

2) 측정 항목 및 시험 방법

1) 분해능 측정 시험
- 차량을 천천히 움직이면서 차상의 위치검지시스템에서 검지된 최소 위치 단위를 Oscilloscope 또는 유사한 기구로 측정

2) 통신거리 측정 시험
- 3가지 통신 방법에 대해서 차량이 제어실에서 가장 먼 선로 끝단에 위치해 있을 때 통신이 원활하게 이루어지는지 지상의 인버터제어장치에서 위치 신호 수신 여부를 측정

3) 송신출력 측정 시험
- 3가지 통신 방법에 대해서 차량의 송신기기에서 Spectrum Analyzer를 이용하여 Peak값을 측정

3) 측정 장비

표 2. 측정 시험장비

No.	장비명	모델명	비 고
1	4ch Oscilloscope	TBD	
2	Spectrum Analyzer	TBD	

4. 판정기준

가. 분해능 측정

측정된 분해능은 연구개발사업의 설계사양인 7mm 이내를 만족시켜야 한다.

나. 통신거리 측정

통신거리는 3가지 통신방법에 대해서 제어실과 선로의 끝단까지의 거리(120m)를 만족시켜야 한다.

다. 송신출력 측정

송신출력은 3가지 통신방법에 대해서 가각 다음 기준을 만족시켜야 한다.

- 위치검지(2.4GHz) : 18dBm ± 2dB
- 계측(900MHz) : 22dBm ± 3dB
- 관제(5.8GHz) : 16dBm ± 2dB @ RBW = 1MHz

별첨 1. 위치검지 및 통신 성능시험 기록지

시 험 품	초고속 자기부상열차 SUMA 550-01		확인자	한영재(KRRI)	
시험일시	2015년2월13일~2015년2월23일		시험자	이진호(KRRI)	
시험장소	단거리시험선 검수고 & 본선				
시험환경	온도 10℃	습도 45% R.H		날씨 : 맑음	

5. 분해능 측정

순번	시험항목	시험기준	시험결과			비고
			1회	2회	3회	
1	분해능	7mm 이내	1mm	1mm	1mm	

5.

6. 통신거리 측정

순번	시험항목	시험기준	시험결과			비고
			1회	2회	3회	
1	통신거리 (위치검지:2.4GHz)	120m 이상	130m	135m	125m	
2	통신거리 (계측:900MHz)	120m 이상	130m	135m	125m	
3	통신거리 (관제:5.8GHz)	120m 이상	130m	135m	125m	

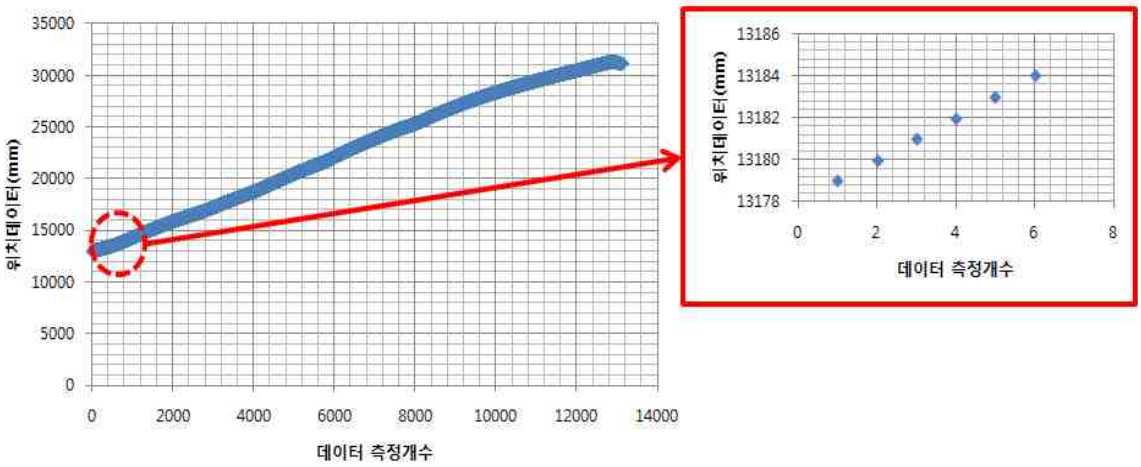
7. 송신출력 측정

순번	시험항목	시험기준	시험결과			비고
			1회	2회	3회	
1	송신출력 (위치검지:2.4GHz)	18dBm ± 2dB	17.67	17.02	16.91	고정형
2	송신출력 (계측:900MHz)	22dBm ± 3dB	23.36	22.97	22.71	가변형
3	송신출력 (관제:5.8GHz)	16dBm ± 2dB	17.15	17.20	17.04	고정형

6.

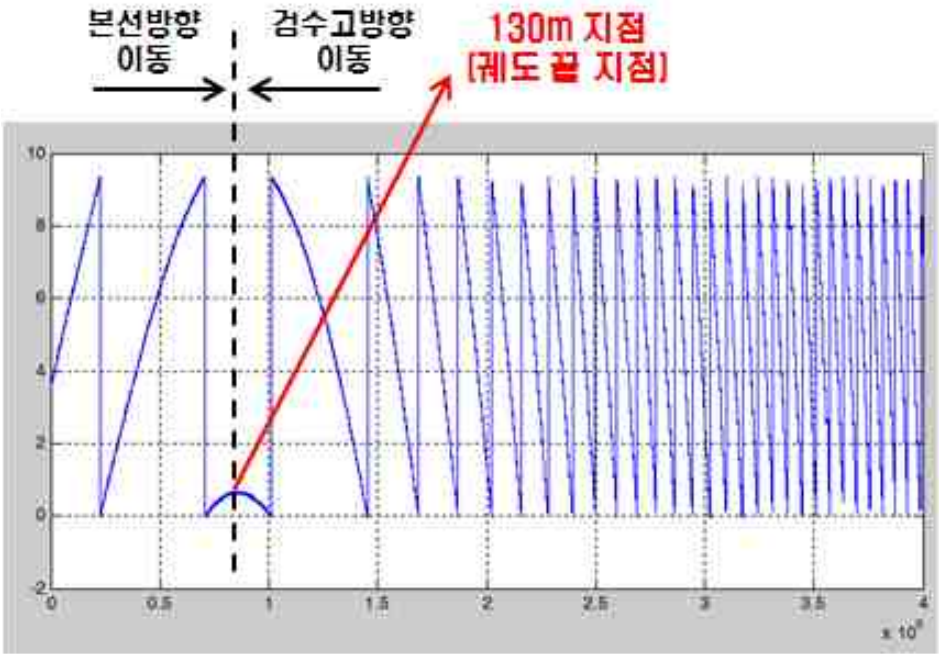
첨 부 : 시험 결과 관련 자료

1. 분해능 시험



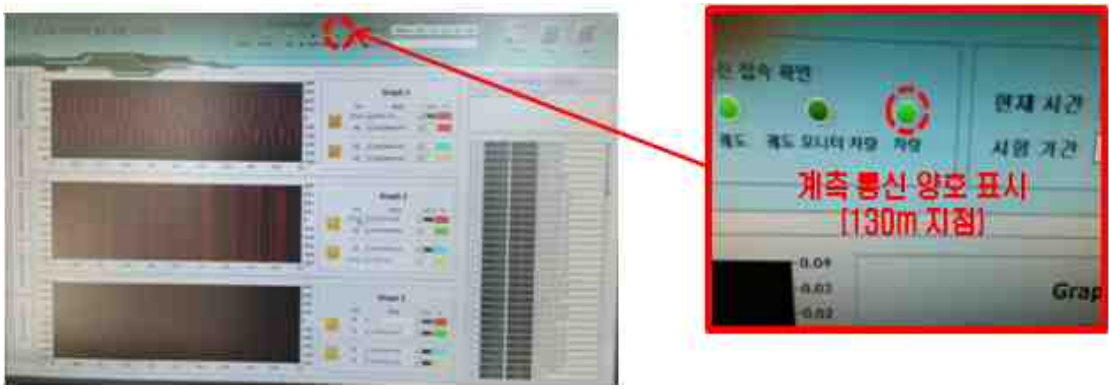
2. 통신거리 측정

2.1 위치검지 신호



→ 130m 지점(궤도 끝 지점)에서 위치신호 송신이 양호하게 이루어짐

2.2 계측 신호

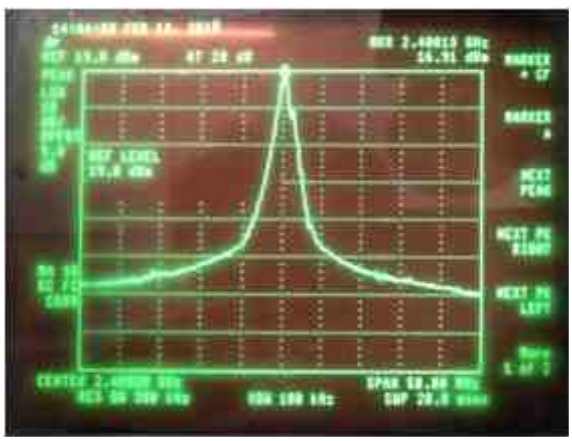


2.3 관제 신호

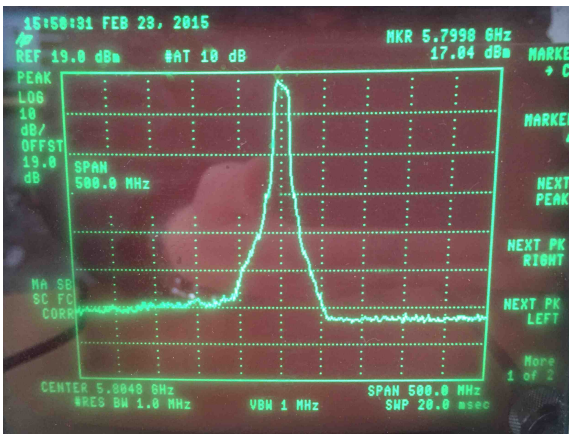


3. 송신출력 측정

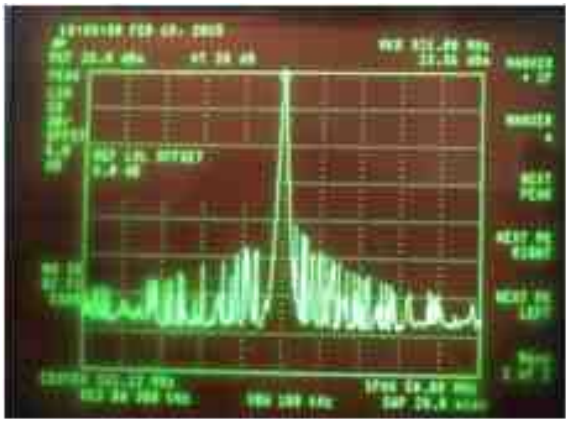
3.1 위치검지 신호



3.2 계측 신호



3.3 관제 신호



제11절 전력감시장치 개발

1. 개요

초고속 자기부상열차를 운용함에 있어 필요로 하는 정보를 운용자에게 실시간으로 제공하며 표준 IEC 61850의 지원과 JAVA 기반 HMI를 통하여 에너지 관리가 가능한 시스템이며, IEC 61850 기반의 중앙서버와 JAVA로 구현된 HMI를 통하여 변전자동화가 모델링된 데이터를 IEC 61850 방식으로 RTU와 인터페이스 하는 자동화된 실시간 감시제어 시스템이다.

2. 목표

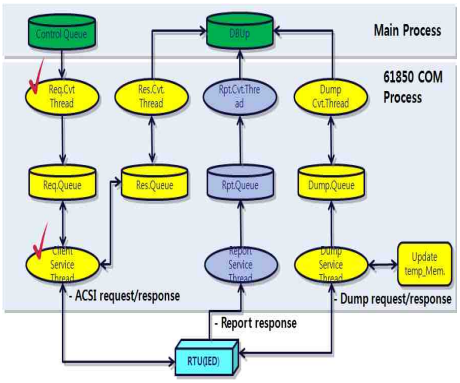
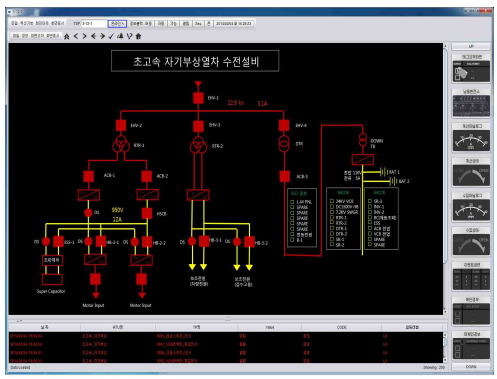
초고속 자기부상철도의 감시제어시스템(SCADA) 시스템은 변전소 자동화(Substation Automation)의 도입에 따라 디지털 기술기반의 변전소운영을 위한 차세대 SCADA 시스템이 필요 하게 되었으며 이러한 목적에 따라 국제 표준으로 제안된 IEC 61850 시스템의 도입과 JAVA 기반 HMI를 통하여 초고속 자기부상열차 전력 SCADA 시스템 연구 및 개발을 통하여 최종적으로 충북 오송 시험선에 설치되는 SCADA 시스템 구축을 목표로 한다.

가. 내용 및 범위

주요 연구내용 및 범위는 다음과 같다.

- IEC 61850 기반 SCADA 시스템 규격 검토 및 개발
- IEC 61850 기반 데이터 모델링
- 전력 실시간 모니터링 시스템 구축 및 현장시험
- Java 기반 HMI 연구 및 개발
- IEC 61850 기반 RTU 시스템 연구 및 개발

3. 개발 내용 요약

<table>
<tr><td>연구목표</td><td colspan="2">IEC 61850 표준 프로토콜을 적용하여 높은 수준의 안정성, 기능성 및 사용자 편의성과 지연 없는 실시간 처리를 구현된 전력감시장치(SCADA) 시스템 구축 및 현장 운영</td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="2">▪ 운영관리 소프트웨어, MMI(Viewer)용 소프트웨어 개발
▪ IEC61850 Client 통신 모듈 개발
▪ IEC61850 기능 모듈 및 Configuration 개발</td></tr>
<tr><td>수행과정</td><td colspan="2">▪ JAVA HMI 개발
▪ IEC 61850 기반의 통신 모듈 설계 및 개발
▪ 운영체제 및 운영프로그램 구현
▪ 설비간 Interface 시험</td></tr>
<tr><td rowspan="4">연구결과</td><td colspan="2">▪ JAVA 기반 HMI(Human Machine Interface) 기능 시험</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>가) 통신 프로세스 구조</td><td>mmi기능 (컨트롤 윈도우-상태바)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>SCADA 감시화면</td><td>전력시스템과 연계 시험</td></tr>
</table>

4. 상세 개발 내용

가. 초고속 자기부상열차 SCADA 시스템의 필요성

(1) 변전소 자동화(SA) 도입에 따른 SCADA 시스템 개선 필요성

디지털 변전소의 구축과 함께 변전소 자동화 도입에 따라 기존의 SCADA 시스템에서는 SA(Substation Automation)에 대한 지원이 제약되기 때문에 차세대 SCADA 시스템의 연구와 개발을 통하여 디지털 변전소에 대한 지원이 가능하도록 개선할 필요성이 있다. 디지털변전소 구축에 따라 변전소 자동화를 구현할 경우 현재 수준에서 소모되는 엔지니어링 관련 작업의 효율성이 높아지게 되며 유지보수에 대한 편의성과 소모되는 비용과 인력에 대한 효율성도 높아지게 되어 변전소 운용 측면의 수준을 한 단계 이상 업그레이드가 가능하므로 변전소 자동화와 이에 따른 SCADA 시스템의 개선은 필요성이 지속적으로 높아지고 있다.

(2) 에너지 관리 시스템과 SCADA 시스템의 접목 필요

초고속 자기부상열차는 높은 전력 에너지 소비가 필연적이기 때문에 기존의 SCADA 시스템과 에너지 절약 시스템의 접목을 통하여 보다 개선된 에너지 관리를 통하여 효율적인 사용과 에너지 손실 방지 및 에너지 절감에 대한 총괄적인 관리를 할 수 있도록 할 필요성이 있다. 국내의 에너지 생산량과 에너지 소모량은 생산량이 소모량의 증가를 따라잡지 못하고 있는 상황으로 한전의 전력 에너지 가격은 가까운 미래에 지속적으로 인상이 예상되고 있으며, 이에 따른 에너지 관리 시스템의 필요성 증가와 더불어 통합 관리 측면에서의 편의성을 만족시키고 실시간 감시제어에서 실시간 전력 관리 까지 아우르는 SCADA 시스템의 필요성이 높아져 연구 개발을 통한 시스템의 확보는 매우 가치있는 일이 될 것으로 예상된다.

(3) 시스템의 국제적 표준화에 따른 연구 개발 필요성

과거의 DNP 3.0 또는 Modbus등의 필드버스 방식의 개방형 프로토콜을 이용한 시스템과 폐쇄적 구조의 프로토콜을 이용한 시스템들이 현재의 단점을 개선하기 위한 필요성이 대두되고 있다. 이로 인하여 높은 안정성과 사용자 편의성의 향상을 위하여 개선된 형태의 시스템과 이에 따른 플랫폼이 필요하게 되었으며, 이를 만족하는 최적의 방안은 국제적 표준화에 따른 표준 시스템의 개발 필요로 연결되고 있다. 국제 표준화를 준수하는 시스템은 제작사 종속성과 확장성, 사용자 편의성, 안정성, 유지보수성 등을 높은 수준에서 만족시키며 향후 국내 SCADA 시스템의 해외 수출 등에 대한 요소들을 고려할 때, 국제적 표준화에 따른 SCADA 시스템 개발은 강력한 필요성을 지닌다.

(4) 초고속 자기부상열차 운용에 따른 높은 안정성을 가진 시스템 개발 필요성

초고속 자기부상열차를 연구 개발을 통하여 운용하게 될 경우 시스템 안정성의 필요수준은 현재의 99% 수준의 시스템을 기준으로는 만족할 수 없게 될 것으로 예측된다. 초고속 열차의 특성상 전력 계통의 문제로 인하여 열차의 지연은 고속이라는 속도의 문제로 인하여 기하급수적인 피해가 발생되게 될 것이며 연구 개발단계를 거쳐 상용화 단계로 가기 위하여서는 99.9% 이상의 높은 안정성을 지닌 시스템이 도입되어

초고속 자기부상열차 운용을 위한 적합한 시스템의 연구 개발이 필요하다. 이러한 높은 수준의 안정성을 보장하기 위하여 하드웨어 적인 방안의 연구와 소프트웨어적인 방안의 연구가 병행되어 시스템의 안정성을 향상시킬 필요성을 만족시켜야 한다.

나. 초고속 자기부상열차 SCADA 시스템 사양

(1) 초고속 자기부상열차 SCADA 시스템 요구사항의 정의

"초고속 자기부상열차 SCADA 시스템 요구사항"이란, SCADA System이 초고속 자기부상열차를 운용하기 위하여 실시간 전력 감시, 제어, 계측, 관리를 위하여 기능적으로 만족하여야 하는 일련의 항목들의 집합 이다.

높은 수준의 안정성, 기능성 및 사용자 편의성과 지연 없는 실시간 처리성을 가진 기존 SCADA 시스템에서 한단계 이상 개선되어 초고속 자기부상열차를 운용하기에 적합한 시스템 을 만족시키기 위한 요구사항들의 일련의 집합 이다.

(2) SCADA 시스템 사양

(가) 일반 요구사항

- 적용 규격
  - KS(한국공업규격)
  - IEEE(전기 전자 기술자회)
  - ANSI(미국 표준 위원회)
  - NEMA(미국 전기 제조 협회)
  - JIS(일본 공업표준규격)
  - EIA(전자산업협회)
  - ISO(국제 표준화 기구)
  - IEC(국제 전기 표준회의)
- 사용 환경
  - 설치 장소 : 옥내
  - 주위 온도 : 5℃~35℃
  - 상대 습도 : 10%~90% RH
  - 표　　고 : 해발 1000m 이내
  - 입력 전압 : 220VAC
- 외부 자계 : 5mGAUSS 이하
  - 진　　동 : 0.25G 이하

(나) 기술 사양

① 개요

㉮ SCADA 시스템은 전기철도 전력공급시스템용으로 설치되는 전철설비와 소내전원을 포함하는 전력설비에 대한 데이터의 수집, 처리, 분석을 수행하는 시스템으로서 합리적이며 경제적인 관리운영과 간편한 유지보수를 실현할 수 있는 구조 및 구성으로 이루어진다.

㉯ SCADA 시스템은 중앙서버장치(Master Computer Subsystem), 인간/기계

연락장치(Human Machine Interface Subsystem), 네트워크 장치, 대형 상황판, 원격소장치(RTU), 소프트웨어 등으로 분류한다.

㉰ SCADA 시스템의 대상기기

- 감시 및 제어 : 차단기, 단로기, 변압기, 접지스위치 등
- 경보 : 각 PANEL의 전자화배전반의 동작상태
- 계측 : 각 PANEL의 전자화배전반으로부터의 주요 전기신호
- 기타 : 전력 설비의 감시, 제어, 계측 및 관리를 위한 기타 정보

㉱ 감시대상 포인트의 변화 상태 및 고장 경보 등을 LOGGING하고 그 데이터를 보관하여 운전자가 쉽게 전체 시스템을 관리하도록 하며 또한 자료(계측치)를 분류, 집계, 계산 처리한 후 시간별로 기록 집계하여 관리 자료로 사용할 수 있는 구조로 한다.

㉲ IEC 61850 표준규격을 이용하여 원격소장치와 정보를 상호교환하며, 각종 정보를 분류/분석/처리하여 계통로의 상태 및 계측치를 컬러화면에 표시하여 운전자가 상황을 한눈에 볼 수 있어야 하며, 운전자는 화면을 보면서 메뉴-드라이브 방식으로 마우스 또는 키보드에 의하여 감시를 할 수 있는 구조로 한다.

㉳ SCADA 시스템에 적용되는 주요 기기에 대하여 이중화 구성을 적용하여 기기의 이상발생으로 인하여 발생할 수 있는 부분적 또는 전체적 중단을 방지한다. 이중화 구성의 주요대상은 다음과 같다.

- 주제어 컴퓨터(MAIN COMPUTER)
- LAN(LOCAL AREA NETWORK)
- 원격소장치 통신선
- 원격소장치 MPU/Power/Communication

② 제어 방식

㉮ 원격제어(Remote Control) 및 현장제어(Local Control) 의 2가지 제어방식이 적용된다. 원격제어방식에서의 제어동작은 중앙제어실의 주제어장치로부터 수행된다.

㉯ 모든 제어는 운전원과의 대화를 통한 기능 키보드 및 마우스를 통한 이른바 '조작전 설정, 확인'이라는 '선택 제어 방식'으로 한다.

③ 하드웨어

㉮ 주제어장치

1) 주연산장치는 개방형 구조를 지닌 시스템으로 구성한다.

가) 운용(전력설비운용) 프로그램은 실시간 처리, 제어 되도록 하고 On-Line 처리중 I/O 작업(수정, 갱신)이 가능한 구조로 한다.

나) 정전등에 의하여 시스템이 다운된 후 복구시 자동 재기동(Auto Re start) 기능을 구비하여야 한다.

다) Real Time Clock을 구비한다.

라) 데이터 포인트 및 주컴퓨터 장치 데이터 포인트에 대한 추가, 삭제, 변경은 운용자가 주컴퓨터 장치에서 Key Board를 사용하여 간편히 수행

할 수 있는 구조로 한다.

마) 사령자가 수동으로 고장복구 또는 주/예비 중앙처리장치 역할을 변경할 수 있어야 한다.

2) 다음과 같은 사고(이벤트) 사항을 기록할 수 있도록 한다.

가) Status Point의 변화

나) Analog Point 값의 상하한치 초과 및 복귀

다) 제어 포인트에 대한 조작내용

라) 시스템 조작

3) Data Report 기능으로 수집된 각 전력계통 설비의 정보들을 운영자가 보관하기 위한 Report 출력기능을 갖는다.

가) 일보 작성 : 계측치, 적산치의 최대, 최저, 평균, 합계 등을 기록

나) 임의 일보, 월보 기록

다) Status/Analog/Event List 출력

4) LAN은 100MBPS 이상의 전송속도를 갖는 IEEE 802표준을 따라야 한다.

㈏ 원격소장치(RTU)

1) 피제어소에 설치되어 전력설비의 각종 센서 등으로 부터 각종 정보(전류, 전압, 전력, 전력량, 주파수, 역률, 경보 및 장비의 운용상태)를 입력받아 프로그램 처리하여 그 결과를 관제센터에 송신하여 중앙제어실에서 각 설비계통을 자동으로 통합감시, 제어할 수 있도록 한다.

2) 중앙처리장치로부터 전송되어온 데이터를 분석하여 메시지에 포함된 명령을 수행하고 그 결과를 회송하는 장치로써 감시, 제어, 측정을 조합하여 데이터 처리가 가능하다.

3) 장치의 구성은 각 기능모듈별로 정보를 종합분석, 처리하는 CPU Module부, 각 보드에 전원을 공급하는 전원부, 중앙처리장치와의 통신장치 및 제어, 감시/누산, 아나로그(계측) Module로 구성된다. 각 Module들은 분산처리방식으로 설계되어 각 현장제어장치와 독립성을 유지해야하며 유지보수 및 취부가 용이하도록 설계된다.

4) SCADA시스템의 성능을 만족시키고 신뢰성, 개방성 및 호환성을 확보하기 위하여 원격소장치는 최소한 다음과 같은 사항을 만족시키도록 한다.

가) 시스템의 신뢰성을 확보하기 위해서 Redundant System이어야 한다.

나) Main CPU는 32Bit이상의 CPU를 사용한다.

다) Real Time OS를 구비한다.

라) 통신 Port는 별도의 Processor 또는 CPU로 구성된 Module로 구성되어 있다.

마) Ethernet LAN Interface Module을 구비한다.

바) 배전반에 설치되어 있는 각종 전자배전반과 통신으로 정보를 교환하며 이를 위하여 충분한 양의 통신 PORT를 구비한다.

5) 주요 회로에는 Check-Point를 설치하여 동작 상태를 검사할 수 있도록 한다.

6) Watch Dog Timer 기능을 가지고 있으며 중앙 제어 장치와의 통신라인을 감시하여 이상상태가 발생한 경우나, 기타 시스템 오류시 발생하는 이상상

태에 대하여 운영자가 인지할 수 있도록 이상상태를 표시할 수 있도록 하며, 네트워크를 통하여 전송신호가 도착함에도 불구하고 송신기능이 정지할 경우에는 자동복구기능(Auto Reset)을 수행하여 송신 정상상태로 자동복구가 가능하도록 한다.

④ 소프트웨어

㉮ 주컴퓨터장치 운용시스템(Operation System)

1) 실시간 처리능력을 구비하고 Multi Tasking, Multi Processing이 가능하며 주컴퓨터에 연결된 각종 장치(Computer Resource)를 효과적으로 제어할 수 있도록 한다.

가) 시스템 운영체제는 사령자가 전력설비를 감시/제어하는데 필요한 작업계획, 자료저장관리 및 각종 자원을 분배할 수 있는 개방형구조로 한다.

나) 다수의 사용자가 동시에 전력설비를 운영할 수 있어야 하며, 프로그램을 전면처리 또는 후면처리로 수행할 수 있도록 한다.

2) Logical Node 및 Device Level에 대한 Data Class 개발과 Data Schema의 개발을 통하여 변전소 자동화를 IEC 61850을 통하여 완전한 지원이 가능하도록 한다.

가) 데이터에 대한 모델링은 변전소 자동화를 목적으로 진행되며, IEC 61850-7-4 표준을 참조하여 클래스 모델링 진행과 Logical Node의 구현이 가능하도록 한다.

3) IEC 61850 통신 모듈과 Object 모듈의 개발을 통하여 RTU와 직접적으로 Ethernet 방식의 네트워크를 통하여 IEC 61850 통신이 가능하도록 한다.

㉯ JAVA 기반 HMI(Human Machine Interface)

1) Garbage Collector 기능을 제공하여 메모리 최적화 및 자동화된 메모리 단편화 방지 및 관리 기능을 제공하도록 한다.

가) 주기적인 메모리 관리 실행

나) 메모리 단편화 방지

다) 단편화 관리 기능 실행과 SW 실행 병렬적 처리

2) 멀티 코어 CPU를 완벽하게 지원하는 구조의 HMI SW Architecture 모델을 가진다.

가) 자원 할당 및 관리 작업 실행과 SCADA 프로세싱 기능의 동시 실행

나) 작업의 대기시간 최소화 및 작업별 분할 할당

다) 프로세스내의 문맥교환(Context Switching) 발생시 자원 및 처리 시간 최적화

3) 특정한 플랫폼(하드웨어, 운영체제)에 비종속적인 HMI 소프트웨어 기능 제공

가) 특정한 플랫폼 변경에도 JVM 환경의 변경만으로 적용 가능

나) 어떠한 변경에도 SW의 개발이 불필요한 즉시 적용 가능

4) 전력에너지 관리를 위한 데이터의 애니메이션 기능

가) 실시간 전력 그래프 및 회생 전력량 그래프 기능

나) 트랜드 및 막대그래프 타입의 애니메이션 기능

⑤ 통신

㉮ SCADA 시스템은 모든 원격소장치와 전용 통신회선을 통하여 직접 접속되도록 한다.

㉯ 원격소장치와 중앙사령실 사이의 데이터 통신선은 전용 케이블을 사용하여 외부 노이즈에 대한 데이터의 신뢰성 및 효율을 극대화할 수 있는 구조로 한다.

1) 데이터 수집 시간은 일반적으로 1~5초 정도로서 최대 5초까지 허용할 수 있다.

(3) IEC 61850 적용에 따른 사항

(가) 전송설비

SCADA 전송설비는 다음 3계층으로 나누어 각 계층에서 Ethernet 기반의 IEC 61850 통신을 수용할 수 있도록 한다.

① 관제센터

㉮ 관제센터에서 주제어컴퓨터와 광단국 간에 기존의 모뎀 통신을 대체해서 Ethernet 접속망을 설치한다.

㉯ 관제센터의 Ethernet 접속망은 이중계로 설치하여 신뢰성을 확보하도록 한다.

② 현장

㉮ 현장에 존재하는 광단국으로부터 Ethernet 접속망을 구성하고, 현장에 설치되는 모든 원격소장치를 연결한다.

㉯ 현장의 Ethernet 접속망은 이중계로 설치하여 신뢰성을 확보하도록 한다.

③ 관제센터와 원격소간 통신

㉮ 원격소장치(RTU)에서 IEC 61850방식으로 전송되는 SCADA데이터를 관제센터까지 전송하기 위하여 전용망을 구성하여 통신한다.

1) SCADA 통신망은 전용망으로 구성하여, 철도에서 사용하는 다른 네트워크와 구분되도록 한다.

2) SCADA전용망은 이중계로 구성하여 신뢰성을 확보하도록 한다.

3) SCADA전용망은 SCADA 데이터를 전송하기에 충분한 대역폭을 확보하도록 한다.

4) SCADA데이터를 전송하기에 충분한 전송품질(QoS)을 확보하도록 한다.

(나) SCADA설비

① 원격소장치

㉮ LAN에 접속하기 위한 Ethernet 인터페이스를 제공하도록 한다.

㉯ 현장기기로부터의 데이터를 IEC 61850 Server 기능을 통하여 전송하여야 한다.

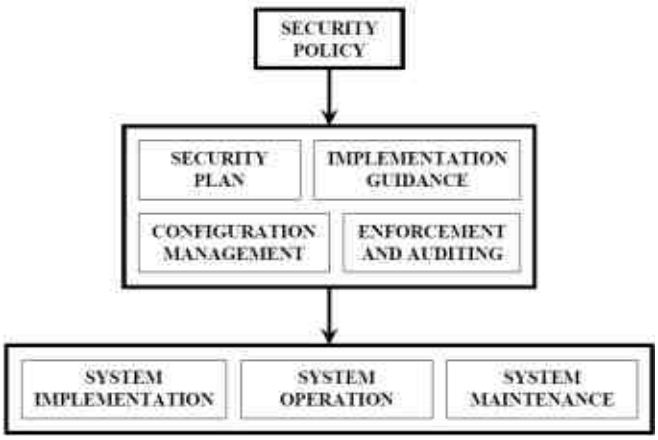
② 관제설비

㉮ IEC 61850 방식으로 원격단말에서 전송되는 데이터가 관제센터에 집중되어 전송되므로 이들 데이터를 효과적으로 처리할 수 있도록 한다.

③ 보안 대책

㉮ SCADA의 안전성을 확보하기 위하여 다음 사항들이 확보될 수 있도록 시스템이 구축되도록 한다.

1) 기밀성(Confidentiality) : 인증되지 않은 접근을 차단할 수 있도록 한다.
2) 데이터 무결성(Integrity) : 정보의 인증되지 않은 수정이나 절취를 방지한다.
3) 가용성(Availability) : 서비스 중단(Denial of Service)을 방지하고, 인증된 접근을 보장한다.
4) 부인 방지(Non-Repudiation) : 실시했던 동작의 부인(Denial of Action that took place) 및 실시하지 않았던 동작의 허위 보고(Claim of Action that did not take place) 방지



[그림 2.11.1] SCADA 보안정책

다. IEC 61850 기반 감시제어시스템(SCADA)

(1) IEC 61850 기반 SCADA 시스템 개요

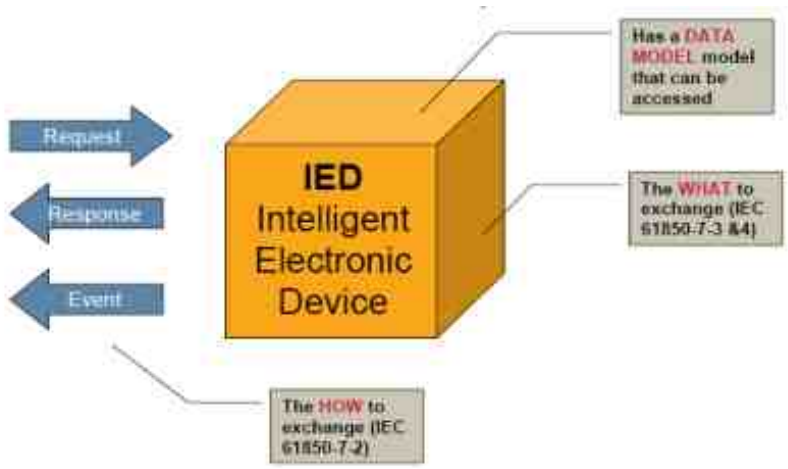
IEC 61850 표준 규격에 따라 SCADA 구조를 가진 시스템으로 완벽한 IEC 61850 기반의 SCADA 시스템을 구성하기 위하여서는 RTU의 하위 장비의 IEC 61850 지원과 표준화 규격을 지원하는 SW 툴까지 모두 지원하는 상태를 IEC 61850 기반 SCADA 시스템이라 할 수 있다. 4장의 아래 절에서는 이러한 시스템의 항목에 대하여 각 SCADA 시스템 부분별로 상세한 규격을 기술할 것이며 IED를 통한 변전소의 각 객체에 대한 데이터 모델에 대한 부분까지 규격을 제시하여 표준 IEC 61850 기반의 시스템의 총체적인 규격을 상세하게 기술한다.

(2) IEC 61850 표준

(가) IEC 61850 표준 도입의 필요성

IEC 61850 표준은 크게 10개의 부분으로 구성되어 있으며 이중 중요한 부분은 5개 Part로 구성된다. 여러 가지 장점을 가지고 있으며 이중에서 SCADA System의 도입에 따른 장점으로 크게 3가지로 분류하여 볼 수 있다.

① 상호 운용성

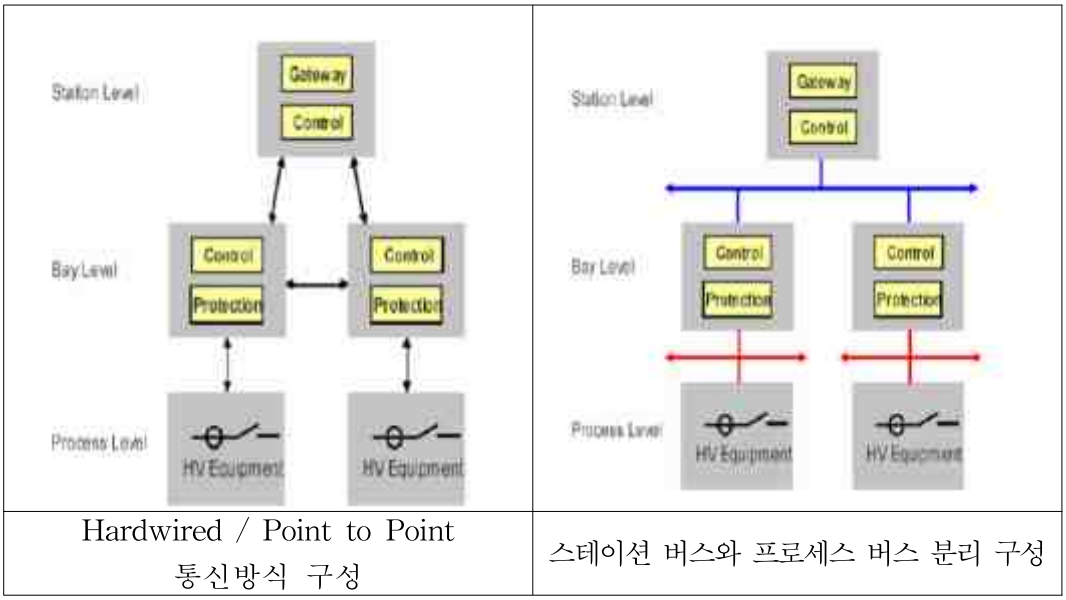


[그림 2.11.2] 상호 운영의 편의성

㉮ 기존의 동일한 공급사의 IED들을 사용 중 다른 공급사의 IED로 교체할 경우 표준을 준수할 경우 교체된 제품과 사용 중인 제품이 상호 운용이 동시적으로 가능하다.

㉯ XML 기반으로 구성된 표준화된 스키마에 따라 제공되는 SCL의 입력으로 교체작업의 처리가 완료되는 편리한 운용성을 지닌다.

② 구성의 자유도



Hardwired / Point to Point 통신방식 구성	스테이션 버스와 프로세스 버스 분리 구성

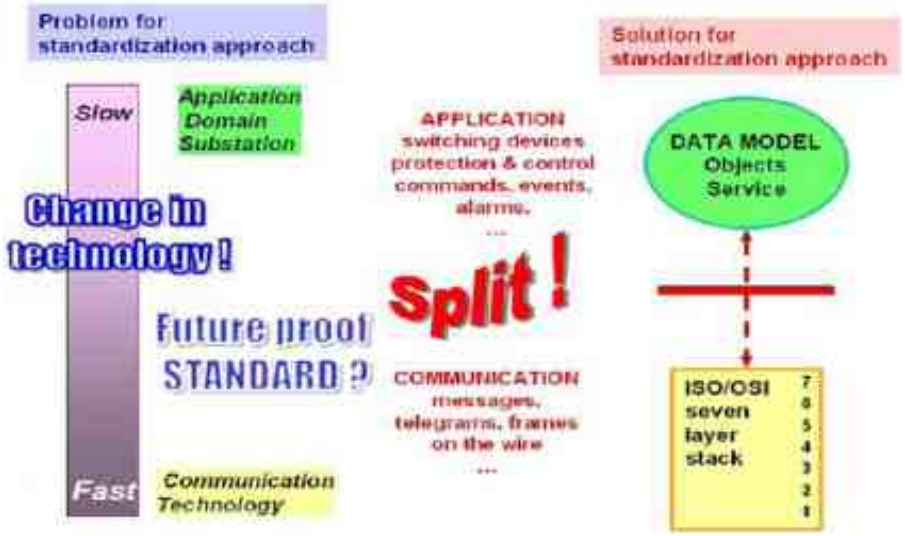
[그림 2.11.3] 시스템 레벨 구성방식

㉮ Logical Node의 자유로운 할당(allocation)에 기초한 IED의 구현이 가능하다.

㉯ 시스템 측면의 구조가 자유로우며, 제조업체별 최적의 시스템의 제안이 가

능하다. 처리가 완료되는 편리한 운용성을 지닌다.

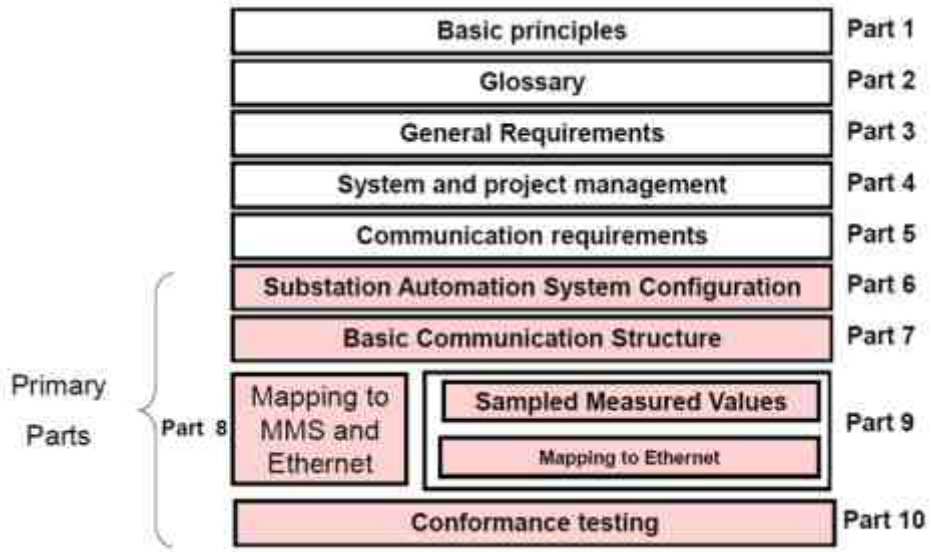
- 장기간 운용의 안정성



[그림 2.11.4] 장기간 운용의 안정성

㉮ 응용레벨과 통신을 분리하여 새로운 통신 기술의 수용이 가능하다.
㉯ 운용레벨과 통신레벨의 분리에 따라 안정성 확보와 장애 발생시 장애 범위의 확산 축소를 통한 안정성 향상이 가능하다.

* IEC 61850 표준 문서



[그림 2.11.5] IEC 61850 표준 문서 구조

③ (Part 1) IEC 61850-1 Introduction and Overview :
- IEC 61850의 전반에 걸쳐 소개와 개관

④ (Part 2) IEC 61850-2 Glossary :

- 전문용어

⑤ (Part 3) IEC 61850-3 General Requirements :

- 품질 요구사항(신뢰성, 지속성, 시스템 가용성, 이식성, IT 보안), 동작상태, 보조서비스와 그 밖의 엔지니어링 규격

⑥ (Part4) IEC 61850-4 System and Project Management :

- 엔지니어링 서비스 요구사항(파라미터 분류, 엔지니어링 도구, 문서화), 시스템 사용주기(제품 버전, 제조 시설, 지원 등), 품질 보증(책임, 테스트 시스템, 유형 테스트, 시스템 테스트, 시설 적합성 테스트(Factory Acceptance Test), 장소 적합성 테스트(Site Acceptance Test))

⑦ (Part 5) IEC 61850-5 Communications Requirements for Functions and Device Models :

- 논리노드(LN)의 원리, 통신 링크, 통신을 위한 정보 항목(PICOM), 논리노드, 그리고 관련된 PICOM, 기능, 성능 요구사항(응답시간 등), 동적 시나리오(다양한 동작 상태에 따른 정보 흐름의 요구사항

⑧ (Part6) IEC 61850-6 Configuration Description Language for Communication in Electrical Substations :

- 단선도에 관현 표현, 장치, 시스템 구조와 단선도와의 관

⑨ (Part7) IEC 61850-7-1 Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment :

- IEC 61850-7-x에 대한 소개와 통신 원리와 모델

⑩ (Part7) IEC 61850-7-2 Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment - Abstract Communication Service Interface(ACSI) :

- 추상적 통신 서비스 인터페이스(ACSI)에 관한 설명과 ACSI의 구성 및 서버 데이터 모델

⑪ (Part7) IEC 61850-7-3 Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment - Common Data Classes :

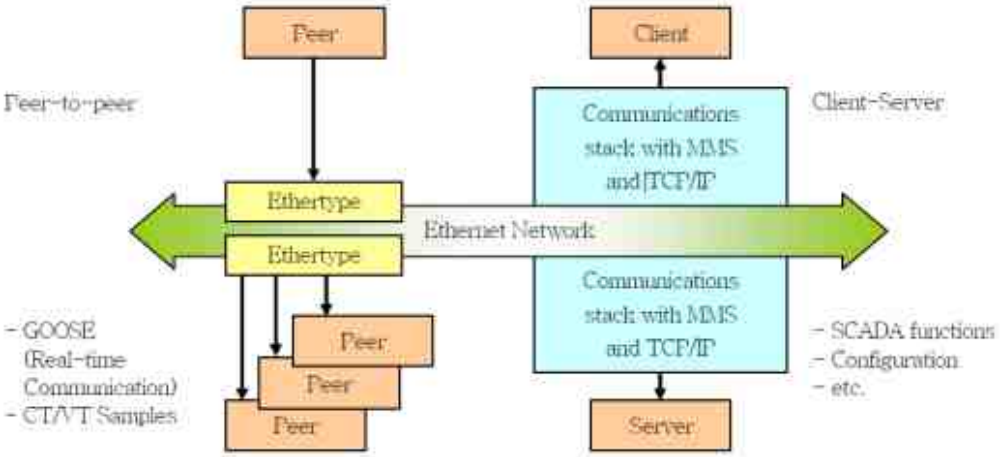
- 공통 데이터 클래스(CDC)와 속성의 정의

⑫ (Part7) IEC 61850-7-4 Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment - Compatible logical node classes and data classes :

- 논리 노드와 데이터에 관한 일반적인 추상 클래스

⑬ (Part8) IEC 61850-8-1 Specific Communication Service Mapping(SCSM) - Mapping to MMS(ISO/IEC 9506-Part1 and Part2) and to ISO/IEC 8802-3 :

- 전체 변전소의 통신에 관한 실제 프로토콜과의 매핑(SCADA) 기능을 위한 client- server 통신과 트립(tripping)과 같은 GOOSE와 GSSE 정보 교환을 위한 실시간(real -time) 통신 ([그림 2.11.6] 참조)



[그림 2.11.6] IEC 61850 의 통신 매핑 방법

⑭ (Part9) IEC 61850-9-1 Specific Communication Service Mapping(SCSM) - Sampled values over serial unidirectional multidrop point-to-point link :

- 계기용 변성기의 샘플값 통신을 위한 단방향 직렬 통신과의 매핑

⑮ (Part9) IEC 61850-9-2 Specific Communication Service Mapping(SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3 :

- 계기용 변성기의 샘플값 통신을 위한 유연한 형태인 이더넷(Ethernet)기반 통신과의 매핑(머징유닛(Merging Unit)의 사용에 관한 내용⑯ (Part10) IEC 61850-10 Com formance Testing :
- 적합성 검사 방법

(3) IEC 61850 기반 모델링

(가) IEC 61850 기반 모델링의 개요

① IEC 61850 기반 모델링 이란

IEC 61850 기반 모델링이란 변전자동화를 위하여 실제 변전소의 설비들에 대하여 모든 정보들을 데이터화하기 위한 작업이며, 이러한 일련의 공정은 IEC 61850에서 데이터 모델링과 통신모델링, 그리고 사용되는 서비스의 매핑 등으로 각 부분별로 상세하게 나타나 있다. 4.3 절에서는 이러한 IEC 61850을 기반으로 변전소 정보를 데이터화하는 모델링에 대하여 각 파트별로 상세하게 살펴보며 사례를 기술한다.

② IEC 61850 데이터 모델링

IEC 61850 데이터 모델링은 실제 사물을 데이터화하는 작업으로 정의할 수 있다. 데이터화 하는 작업은 가상화를 통하여 실제 사물을 하나의 데이터의 관점으로 바라보는 개념적 모델링의 단계를 시작으로 논리적으로 이러한 데이터들이 어떠한 관계를 가지고 구조를 만들어나가는지에 대한 과정을 진행하게 된다. 세부적으로는 두 단계로 나눌 수 있으며 여기서 Logical Node의 도출과 Data Attribute가 진행된다. 마지막으로 물리적으로 이러한 데이터들이 모델링되는 것은 시스템을 구축하는

엔지니어링 영역에서 최종적으로 매핑하여 구체화하게 된다.

㉮ 개념적 모델링 작업 - 가상화 작업 실행

* 실제 세계의 정보를 가상세계의 정보로 매핑하기 위한 가상화를 실행하며, 이때 가상화를 실행시 Logical Device의 정보가 도출되게 된다.

㉯ 논리적 모델링 작업 - 객체화 및 논리화 작업 실행

* 하나의 Logical Device에 대하여 시스템에서 접근이 가능한 객체화가 실행되어 Logical Node 정보가 도출된다.

㉰ 논리적 모델링 작업 - 데이터의 속성 결정 작업 실행

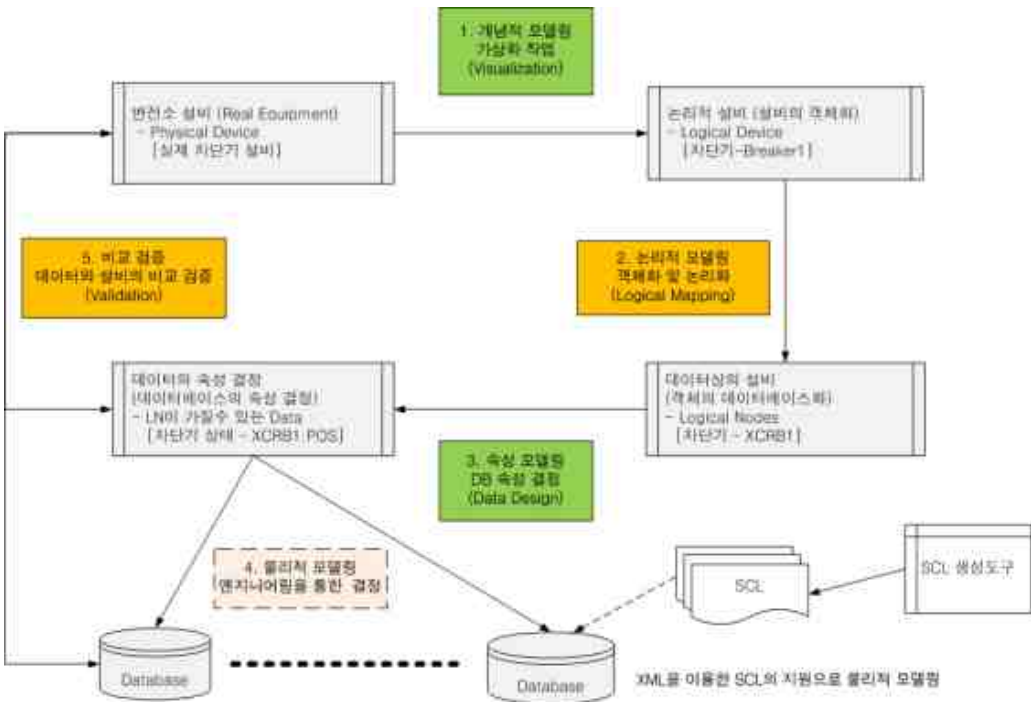
* 도출된 Logical Node에 대하여 속성을 결정하게 되며, 이때 속성과 속성이 가질 수 있는 값들에 대한 결정도 함께 도출한다. Data 및 Data Attribute를 도출

㉱ 검증 및 확인 작업 - 데이터와 실세계의 객체에 대한 검증

* 최종 도출된 Data는 실세계의 객체와 비교를 통하여 검증 과정을 거친다. 단, 검증 및 확인 작업은 물리적 모델링을 실행한 후 반복 실행된다.

㉲ 물리적 모델링 작업 - 엔지니어링 작업을 통한 데이터 사용

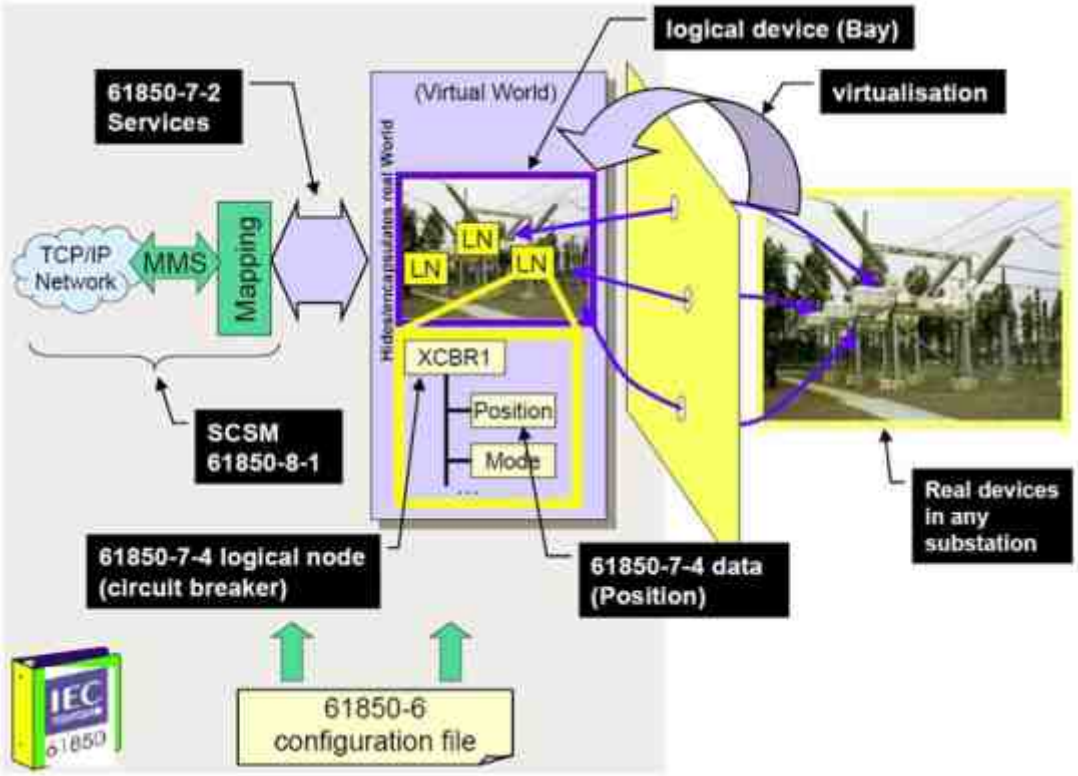
* 모델링된 데이터는 설치되는 설비에 사용되기 위하여 물리적 모델링 된다. XML을 이용한 SCL을 통하여 이러한 과정이 실행될 수 있도록 지원한다.



[그림 2.11.7] IEC 61850 데이터 모델링 과정

* 논리적 모델링과 속성 모델링에 대한 DB속성 결정 작업에 대한 부분은 IEC 61850-7-3과 IEC 61850-7-4을 통하여 표준 모델의 확인이 가능하다.

* 물리적 모델링에 대한 부분은 IEC 61850-6의 Substation Configuration Language를 통하여 편리한 사용이 가능하도록 지원하고 있다.

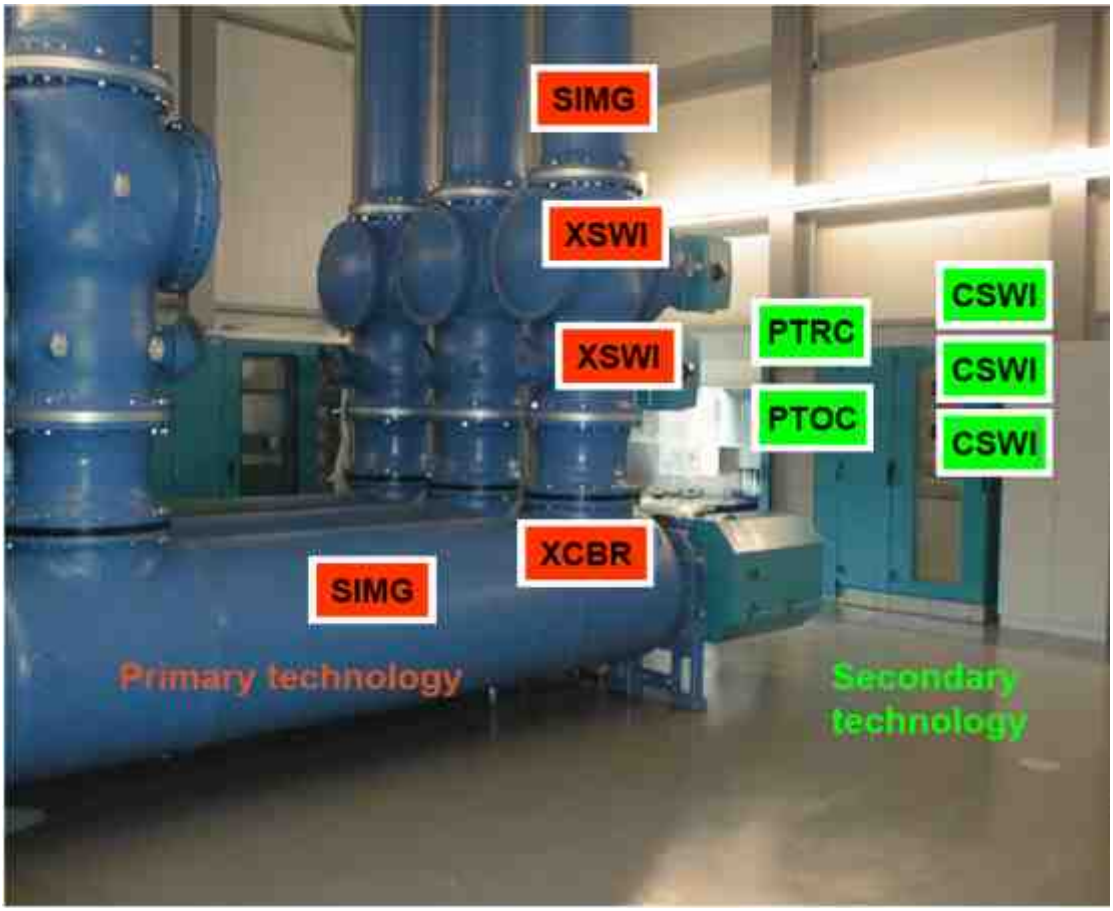


[그림 2.11.8] IEC 61850 모델링에 대한 총괄적 접근

* 위와 같이 모델링된 데이터들은 통신 모델링과 서비스와의 매핑을 통하여 IEC 61850을 구성할 수 있게 되며, 큰 그림으로 구성할 경우 [그림 2.11.9]과 같이 쉽게 나타낼 수 있다.

(나) IEC 61850-7-3과 IEC 61850-7-4 에 의한 객체 모델 정의

IEC 61850의 각 부분 중 변전소의 주요 물리적 설비들에 대하여 논리적 데이터로 매핑에 대한 부분인 IEC 61850-7-3과 IEC 61850-7-4를 통하여 객체의 모델 정의를 사례를 통하여 기술하도록 한다. 아래의 그림은 Logical node에 대한 대표적 사례이다.



[그림 2.11.9] 변전소 주요 설비에 대한 Logical Node 사례

Logical Node는 여러 그룹으로 분류가 가능하며 이러한 정보를 기반으로 하나의 객체를 하나의 정보로 표현시 모호함이 없는 명확한 정보로 표현이 가능하며 사용자의 객체에 대한 직관적인 해석이 가능하게 되어 시스템에 대한 편의성과 유지보수성 등의 장점을 가지게 된다.

① 정보(Logical Node) 모델링

- 변전소의 보호/제어/감시/계측을 위해 전력 설비들의 정보를 표준화 하는 활동
- 전력 설비들의 요소 기능들을 논리적인 객체(LN, Logical Node)로 모델링

* Circuit Breaker (차단기능)

→ XCBR (LN) : CB를 감시하고 제어하기 위한 데이터들의 집합

* 변전소의 각 기능요소들에 대한 LN들을 표준화

(현재 141개 LN정의 → 지속적 확장 중)

* LN들에 포함되어야 하는 세부적인 데이터들의 표준화

[표 2.11.1] 변전소 주요 설비에 대한 Logical Node

항 목	설 명	수 량
L	System LN	2
P	Protection	28
R	Protection related	10
C	Control	5
G	Generic	3
I	Interfacing and archiving	4
A	Automatic control	4
M	Metering and measurement	8
S	Sensor and monitoring	4
X	Switchgear	2
T	Instrument transformers	2
Y	Power transformers	4
Z	Futher power system equipment	15

• 변전소 설비에 대하여 [표 2.11.1]의 내용과 같이 IEC 61850-7-4로 표준화가 되어 있으며, 실제 사용시 아래와 같이 사용된다.

* PDIF : diffential Protection
* RBRF : Breaker Failure
* XCBR : Switch Controller
* CSWI : Switch Controller
* MMXU : Measurement unit
* YPTR : Power transformer

• LN은 데이터와 연관된 서비스에 대하여 논리적으로 관계 매핑을 통하여 그룹별로 묶어 고유의 식별자를 통하여 확인이 가능하다.

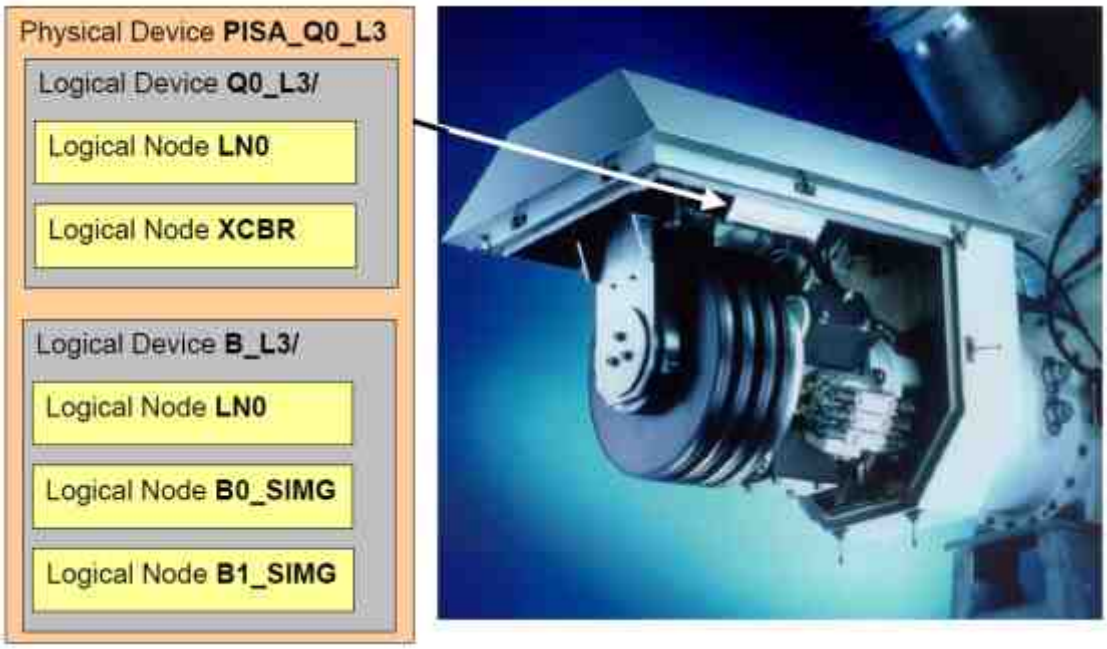
• 구성은 아래의 [그림 2.11.11]와 같이 구분되어 나타난다.

* Prefix : 3개의 문자로 구성되며 특정 어플리케이션에 대한 표현을 위한 접두어
* Logical Node Name : 4개의 문자로 구성되어 IEC 61850-7-4에 표준화되어 있음
* Logical Node 인스턴스 : Logical Node를 구분 짓는 인스턴스 명칭



[그림 2.11.10] 정보(Logical Node) 구성

• Logical Node의 구성은 실제로 물리적인 장치와 매핑되게 될 경우, 아래의 그림과 같이 매칭되게 된다.



[그림 2.11.11] 물리적 장치와 Logical Node의 매핑

• 하나의 물리적 장치 PISA_Q0_L3는 2개의 논리적 장치를 가지게 되고, 거기에 하위 값으로 Logical Node를 2가지 가진다. 이때 의무 사항과 선택사항의 Value를 가진다.

* LN0 : 논리적 장치 Q0_L3의 상태를 나타냄 (의무사항)
* XCBR : 차단기를 나타내며 하위 Value를 Common data classes로 가진다
* SIMG : 감시가 가능한 Logical Node로 가스(G)에 대한 계측 데이터 포인트

• Logical node 구성 사례 : XCBR

[표 2.11.2] XCBR에 대한 Logical Node 구성 사례

Attribute Name	Attribute Type	설 명
Mode	INC	Common LN Information (공통 LN 정보)
Health	ISI	
NamPlt	LPL	
Loc	SPS	
EEHealth	ISI	
EEName	DPL	
OpCnt	ISI	
Pos	DPS	Controls (제어 정보)
BlkOpn	SPC	
BlkCls	SPC	
ChaMotEna	SPC	
CBOpCap	ISI	Status Information (상태 정보)
POWCap	ISI	
MaxOpCap	ISI	

• 하나의 XCBR에 대한 Logical Node 구성 사례이며 하나의 XCBR은 여러 Common data classes중 실제 구축된 변전소 설비에 따라 다른 속성들을 가져다 구성할 수 있게 된다.

• 구성되는 방법은 XML을 이용하여 SCL을 작성하여 구성하게 된다.

② 공통 데이터 그룹(Common data classes)

• 각 각의 데이터(Logical Node)에 대한 공통적으로 가질 수 있는 속성으로 LN은 특정한 속성별 데이터 값을 가지며 이러한 값의 집합을 Common data classes라고 한다.

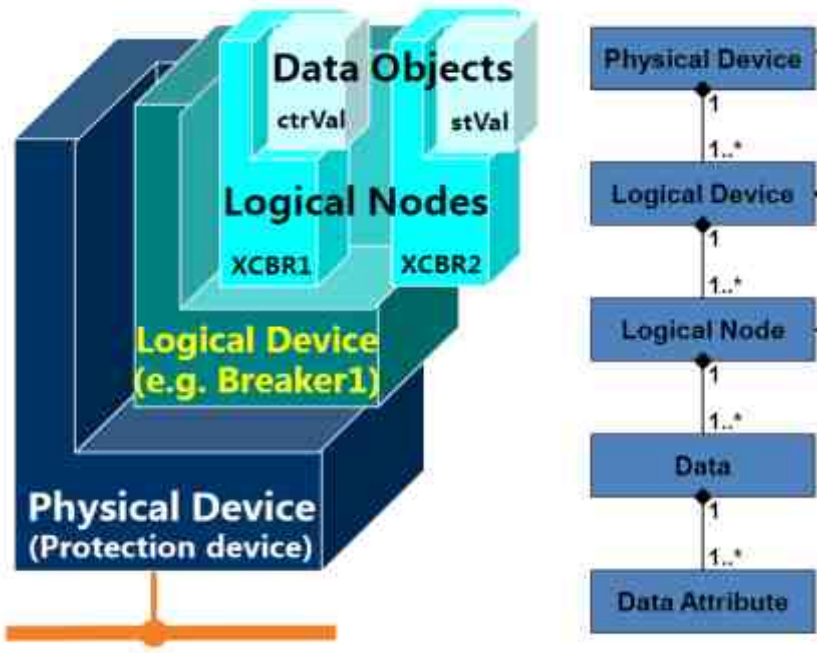
• Common data classes는 계층형의 구조를 가지며 구성 형태는 트리구조로 표현이 가능하다.

[표 2.11.3] 각 Logical Node에서 사용가능한 Common data classes

설 명	수 량
Status information	7
Status settings	2
Measured information	9
Analogue settings	2
Controllable status	5
Description information	3
Controllable analogue	1

• 변전소 설비에 대하여 [표 2.11.2]의 내용과 같이 Common data classes가 IEC 61850-7-3으로 표준화가 되어 있으며 실제 사용시 아래와 같이 사용된다.

* SPS : Single point status
* ACT : Protection activation information
* MV : Measured value
* WYE : 3 Phase measured value
* DPC : Double point control
* SPG : single point setting
* DPL : Device nameplate



[그림 2.11.12] Common data class의 위치

• 하나의 물리적 설비에 대한 정보를 다음과 같이 단계를 거쳐 모델링된다.

* Physical Device : 네트워크 주소를 가진 접속이 가능한 포인트

· 하나의 물리적 장치는 1개 이상의 논리적 장치(Logical Device)를 가진다. 이때 1개부터 n개까지 가질 수 있으며 의무적으로 하나를 가져야 한다.

* Logical Device : 하나의 IED에 의하여 구성되어 실행되는 논리적 장비의 정보
예) Breaker 1번

· 하나의 논리적 장치는 1개 이상의 논리적 노드(Logical Node)를 가진다. 이때 1개부터 n개까지 가질 수 있으며 의무적으로 하나를 가져야 한다.

* Logical Node : 실제 설비의 기능을 하는 부분
예) XCBR : 차단기

· 하나의 논리적 노드는 1개 이상의 정보(Data)를 가진다. 이때 1개부터 n개까지 가질수 있으며, 의무적으로 하나를 가져야 한다.

* Data & Data Attribute : 논리적 노드(Logical Node)가 가질 수 있는 속성값
예) XCBR의 Position : 차단기의 현재 상태값

· 하나의 Data는 1개 이상의 Data Attribute를 가진다. 이때 1개부터 n개까지 가질 수 있으며 의무적으로 하나를 가져야 한다.

·Data와 Data Attribute는 직관적으로 사용이 가능하도록 구성된다.

[표 2.11.4] Data 및 Data Attribute의 특징

특 징	설 명
중복 가능성	데이터의 값은 중복될 수 있다
명확한 구조성	구조적이며 명확하게 의미가 정의 된다
명확한 변화성	Rule과 성능에 따라 변화가 명확하게 정의된다
구성의 사전 정의	구성적인 부분에 대하여 선택적인 값과 기계적인 변화가 사전에 정의된다.

• Logical Node들은 필연적으로 공통적인 데이터 속성을 사용할 수밖에 없는 구조로 인하여 데이터의 무결성과 중복성에 대한 데이터 속성들을 만족시키기 위하여 Database 정규화와 같은 중복의 제거를 통하여 Common data class를 사용할 수 있도록 데이터 구조가 모델링되어 있으며, Common data class들은 이러한 공통 속성들의 집합이다.

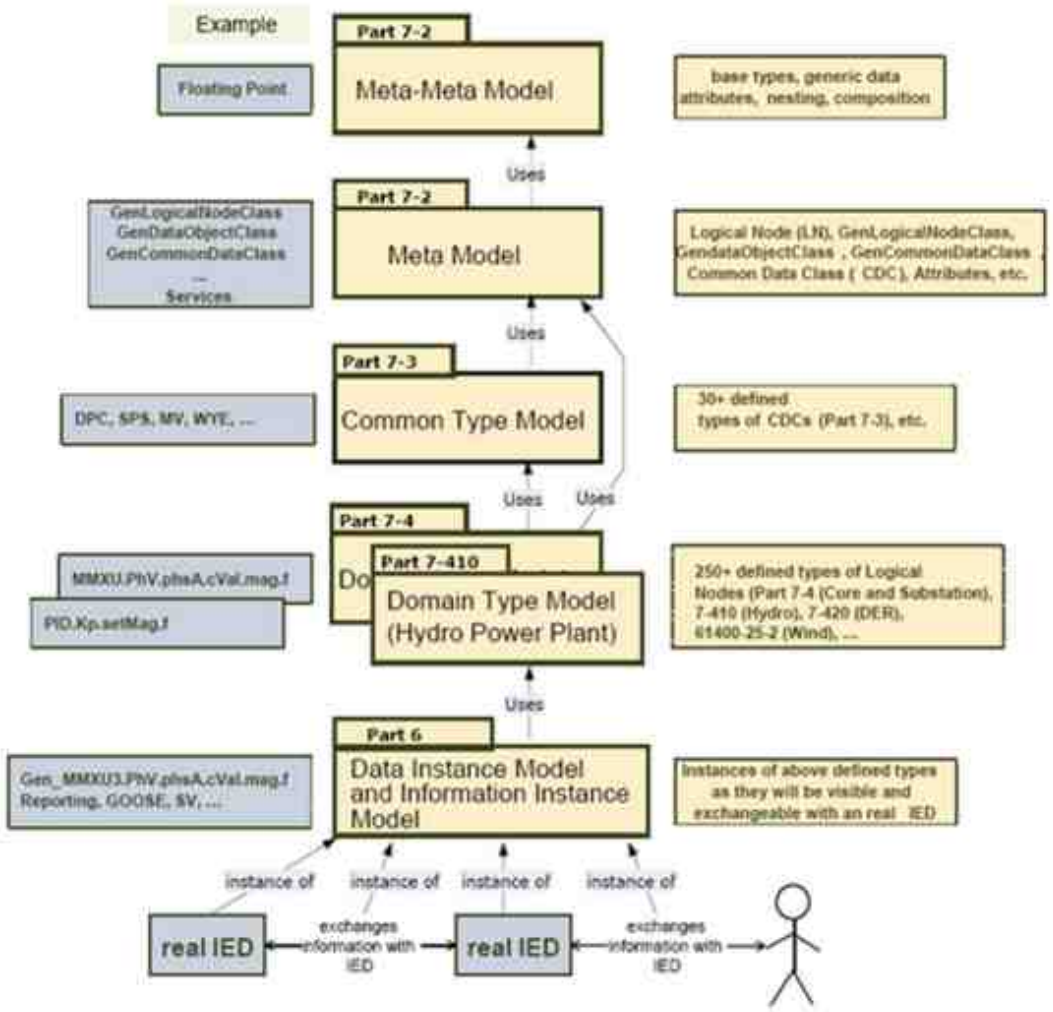
• Common data class 구성 사례 : MV

[표 2.11.5] MV에 대한 Common data class 구성 사례

Attribute Name	Attribute Type	설 명
instMag	AnalogValue	Measured values (계측값)
mag	AnalogValue	
range	ENUMERATED	
q	Quality	
t	TimeStamp	
db	INT32U	Configuration and description (구성과 설명)
zeroDb	INT32U	
sVC	ScaledValueConfig	
rangeC	RangeConfig	
d	Visible String255	
subEna	BOOLEAN	Substitution (대치 - 사용자 정의)
subMag	AnalogValue	
subQ	Quality	
subID	Visible String64	

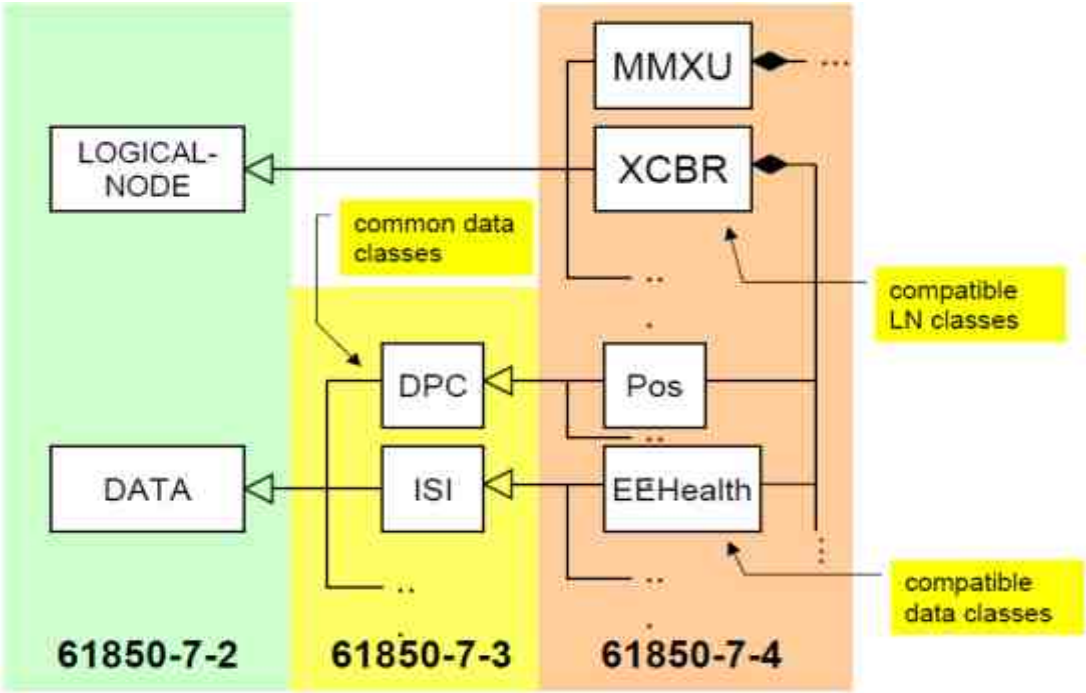
• 하나의 MV에 대한 Common data class 구성 사례이며 하나의 data는 여러 data Attribute를 이용하여 구성되어 실제 변전소의 설비들의 속성들을 표현 할수 있게 된다.
• 구성되는 방법은 XML을 이용하여 SCL을 작성하여 구성하게 된다.

③ ACSI의 상속에 의한 Logical Node와 Common Data Class의 관계
• IEC 61850-7-2는 ACSI(Abstract Communication Service Interface)로 추상 통신서비스에 대한 설명과 SCSI의 구성 및 서버 데이터에 대한 모델이다. IEC 61850-7-2는 IEC 61850-7-3과 IEC 61850-7-4로 객체지향의 상속의 개념의 관계로 속성에 대한 것들이 상속되어 Logical Node와 Common Data Class에서 공통적으로 사용 된다.
• ACSI는 추상적인 설명을 제공하고 있어 상세한 내역을 제시하지는 못한다. 그러나 기준이 될수 있는 포인트가 되며, 아래의 [그림 2.11.13]과 같은 Common Data Model 구조로 구성되어 있다.



[그림 2.11.13] IEC 61850 각 파트별 상속에 대한 구성도

• 위 그림과 같은 구조로 IEC 61850-7-2는 IEC 61850-7-3과 IEC 61850-7-4의 부모역할을 하며, 아래의 UML과 같은 구성을 통하여 실제 변전소의 데이터에 대한 정보를 표현할 수 있는 하나의 데이터를 기술한다.



[그림 2.11.14] IEC 61850-7 각 파트별 상속 관계

• IEC 61850-7-2에 정의된 하나의 Logical Node는 IEC-61850-7-4의 XCBR, MMXU 등의 Logical Node로 상속되어 사용된다. 이때 여러 가지 LN을 가질 수 있으며, 이때 가지는 속성은 부모로부터 물려받은 속성의 전체 또는 일부를 가지고 사용하게 된다.

* Compatible Logical Node Classes : MMXU, XCBR등의 하위 속성을 상속

* Compatible data Class : Logical Node는 의무적으로 CDC에 대한 몇가지 속성을 소유

• IEC 61850-7-2에 정의된 하나의 Data는 IEC-61850-7-3의 DPC, ISI 등의 Common data classes로 상속되어 사용된다. 이때 여러 가지 Data을 가질 수 있으며 이때 가지는 속성은 부모로부터 물려받은 속성의 전체 또는 일부를 가지고 사용하게 된다. 이러한 공통데이터 집합은 다시 IEC 61850-7-4로 상속되어 특정한 Data class로 상속되어 선택적으로 사용되게 된다.

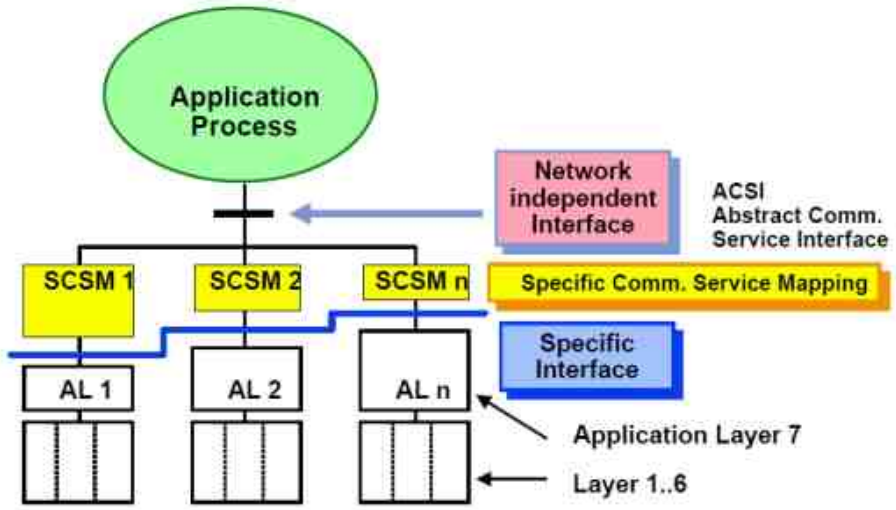
* Common data Class : Data로부터 상속받아 공통적으로 사용가능한 속성 정의

(4) 중앙서버장치(Main SCADA) 시스템

(가) IEC 61850 기반 중앙서버장치 시스템 개요

"IEC 61850 기반 중앙서버장치 시스템이란" 기존의 SCADA 시스템의 모든 기능을 제공하며 IEC 61850에서 제시된 표준에 따른 기능들을 제공하는 Main SCADA 시스템이다. 중앙서버장치에서 제공되는 주요한 기능들로는 IEC 61850-7-3, 4 구조의 데이터베이스와 IEC 61850-7-2와 IEC 61850-8-1(SCSM)에 나타난 네트워크에 대한 부분으로 나눌 수 있다.

(나) IEC 61850 기반 중앙서버장치 프로토콜



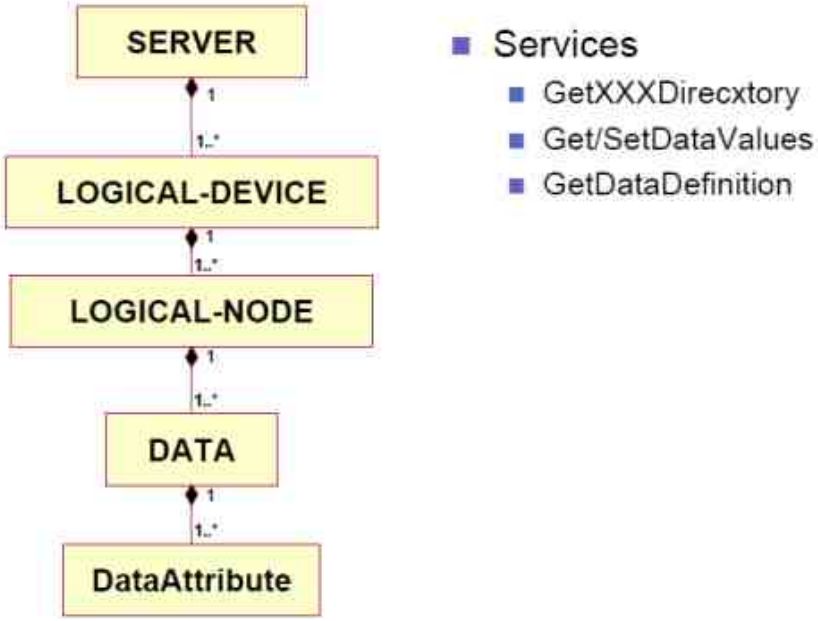
[그림 2.11.15] IEC 61850-8-1 Communication protocols 구성도

IEC 61850의 통신은 ACSI 부분과 SCSM 부분의 두 가지로 나타낼 수 있다.

ACSI부분은 추상적으로 통신에 대한 부분이 나타나 있는 부분이며 SCSM의 경우는 구체적인 통신에 대한 방안들이 기술되어 있다. IEC 61850 기반 중앙서버장치는 ACSI와 SCSM에서 제시하는 안에 따라 통신 프로토콜을 구성하여 RTU장치와 통신을 실행하게 된다.

(다) IEC 61850 기반 중앙서버장치 서비스 구조

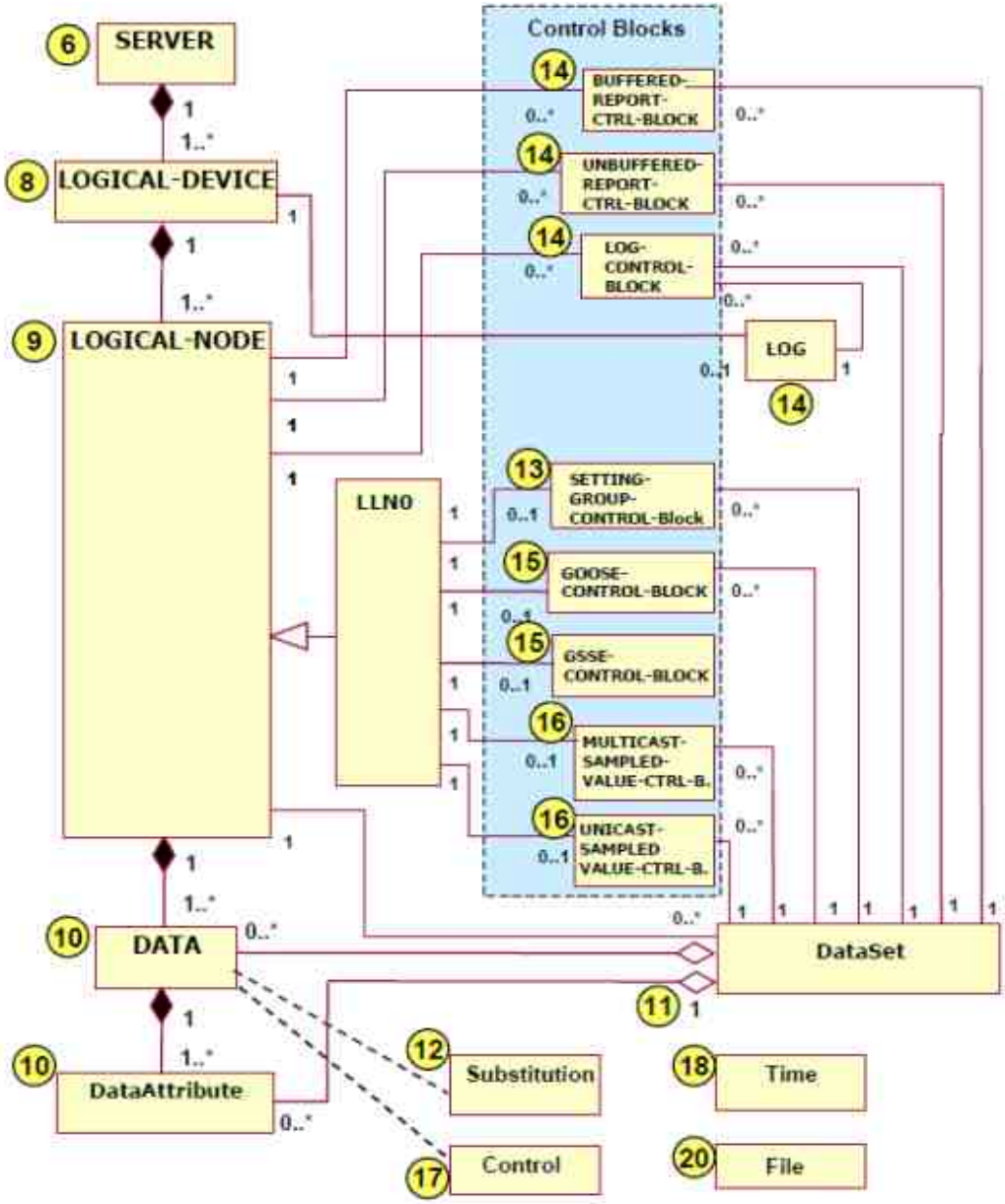
IEC 61850-7-2에 따른 기본 정보모델에 대한 부분은 중앙서버장치가 가지게 되는 데이터 베이스에 대한 부분의 구성을 확인할 수 있다. 서비스를 위한 구성은 계층적으로 이루어져 있으며 Server로부터 Logical Device, Logical node, Data, Data Attribute의 구조에 대한 수용이 가능한 구조로 기본적 정보 모델을 정의하여 서비스하게 된다. 이러한 서비스에 대한 구성도는 아래의 [그림 2.11.16]와 같이 순차적으로 구성된다.



[그림 2.11.16] 기본 데이터 모델 정의 (IEC 61850-7-2)

① 서비스는 GetXXXDirectory에 따라 디렉토리에 대한 정보를 요청하는 것과 데이터에 대한 Read/Write 개념의 Get/SetDataValues를 제공하며 GetData Definition을 통하여 데이터에 대한 정의 값을 요청할 수 있다.
② 위와 같은 데이터에 대한 서비스 구조를 IEC 61850-7-2에서는 [그림 2.11.16]의 서비스 모델 정의에 대한 UML로 나타내고 있다.
③ 아래의 UML에 대한 구성도에 대한 부가적 설명

- 검은색 다이아몬드 형태의 표기 : 의무적으로 가져야 하는 요소에 대한 표기
- 빈 다이아몬드 형태의 표기 : 선택적으로 가질수 있는 요소에 대한 표기
- 1 1...* : 1개 또는 N개의 요소를 가지는 것에 대한 표기
- 삼각형 표기 : 삼각형의 모서리 부분이 상속관계이며 부모가 되는 표기
- 직선라인의 표기 : 사각형으로 구성된 객체와 객체의 관계성 표기
- 직사각형의 표기 : 하나의 객체(프로세스)에 대한 표기



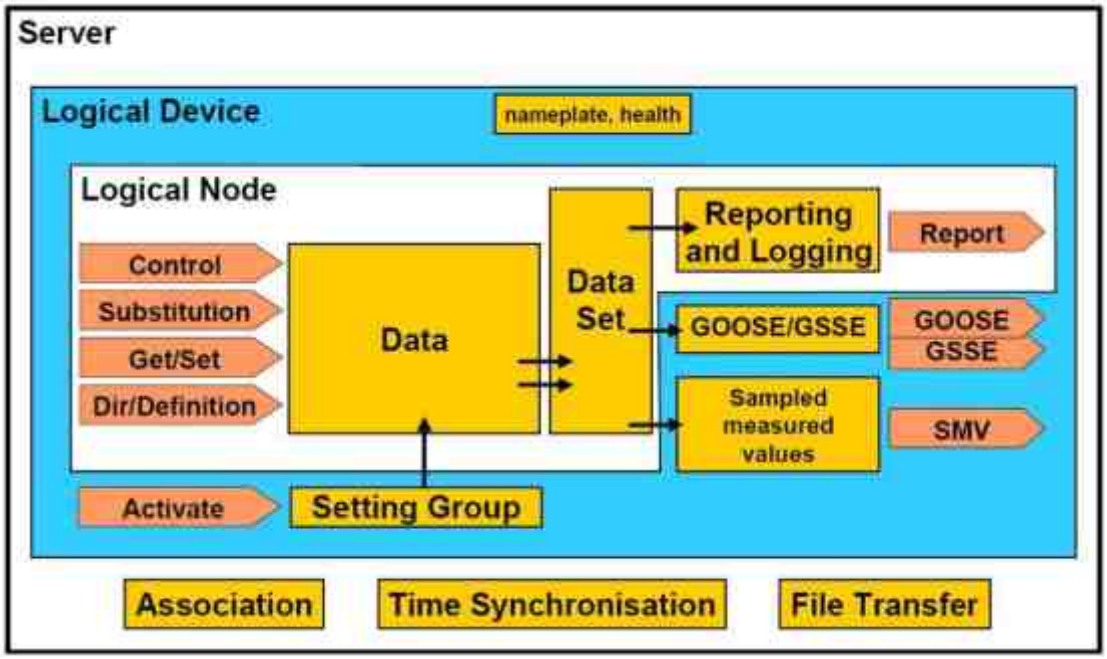
[그림 2.11.17] 서비스 모델에 대한 정의 (IEC 61850-7-2)

④ 중앙서버장치에서 업데이트 되는 Data에 대한 내역

- Time : 데이터에 대한 시간 정보
- Control : 제어에 대한 정보
- File : 정보를 담은 파일에 대한 정보
- Substitution : 사용자 정의된 속성에 대한 정보

(라) ACSI(Abstract Communications Service Interface)

중앙서버장치에서 서비스하는 모델에 대한 통신에 대한 부분은 상세하게 분류할 경우 아래의[그림 2.11.17]과 같이 표현 가능하다.

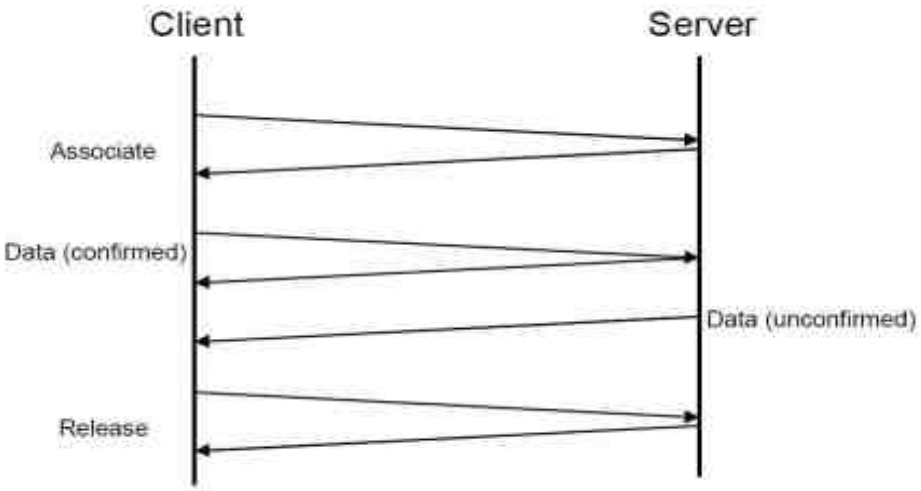


[그림 2.11.18] ACSI의 Server 구성 블록 다이어그램

- Server :
  - Logical Device의 상위 장치로 가시적으로 동작 가능하며 확인이 가능한 장치
  - 통신상의 클라이언트
  - 각 개별 장치들에게 정보를 전송하는 객체
- Logical Device(LD) :
  - Logical Node에 정의된 도메인별로 그룹핑되어 정보의 생산과 소비를 하는 객체
- Logical Node(LN) :
  - 어플리케이션의 기능별로 도메인이 구성되어 있으며 정보의 생산과 소비 객체
- Data :
  - 변전소의 상태정보와 계측 정보에 대한 객체의 표현
  - 정보의 타입별로 특성을 제공
- Data Set :
  - 데이터와 데이터 속성에 대한 그룹
  - 데이터에 대한 뷰(View)
- Setting Group :
  - 하나의 셋팅 값과 타른 하나에 값에 대한 교체 방법
  - 세팅 그룹에 대한 편집
- Report and Log :
  - 클라이언트에 의하여 설정된 파라미터 값을 기본으로 수집되는 기록
  - Report는 즉시 수집되며 Log는 요청시에만 수집
- Generic Substation Event(GSE) control block(GSSE/GOOSE) :
  - 빠르고 신뢰성 있는 분산된 입/출력 데이터에 대한 지원
- Sampled Values Transmission control block :

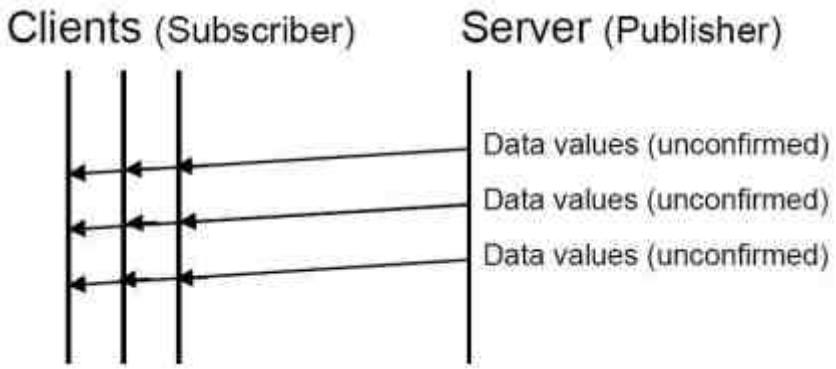
- 빠르고 주기적인 Samples(계측값)의 전송

- Control :
  - 외부기기, 제어출력, 내부의 기능들에 대한 데이터(Data)의 제어를 제공
- Substitution :
  - 다른 값에 의하여 Process value(아날로그나 상태 값)의 교체를 지원
- Get/Set :
  - 데이터속성 값에 대한 개별적인 쓰기 또는 데이터 요청
- Dir/Definition :
  - 모든 하위 객체에 대한 정의와 객체참조에 대한 데이터 요청
- Association :
  - 다양한 타입의 장치간의 통신을 통한 정보 획득
  - 두 개의 그룹간의 멀티 캐스트
  - Access Control (접속에 대한 제어)
- Time Synchronization :
  - 장치와 시스템에 대한 시간동기화
- File Transfer :
  - 프로그램과 같은 큰 데이터 블록의 변경에 관한 정의
- Two-Party-Application-Association (TPAA) :
  - 정보의 변화를 기준으로한 직접적인 두 객체의 연결
  - 신뢰성 있는 End-to-End 플로우 컨트롤



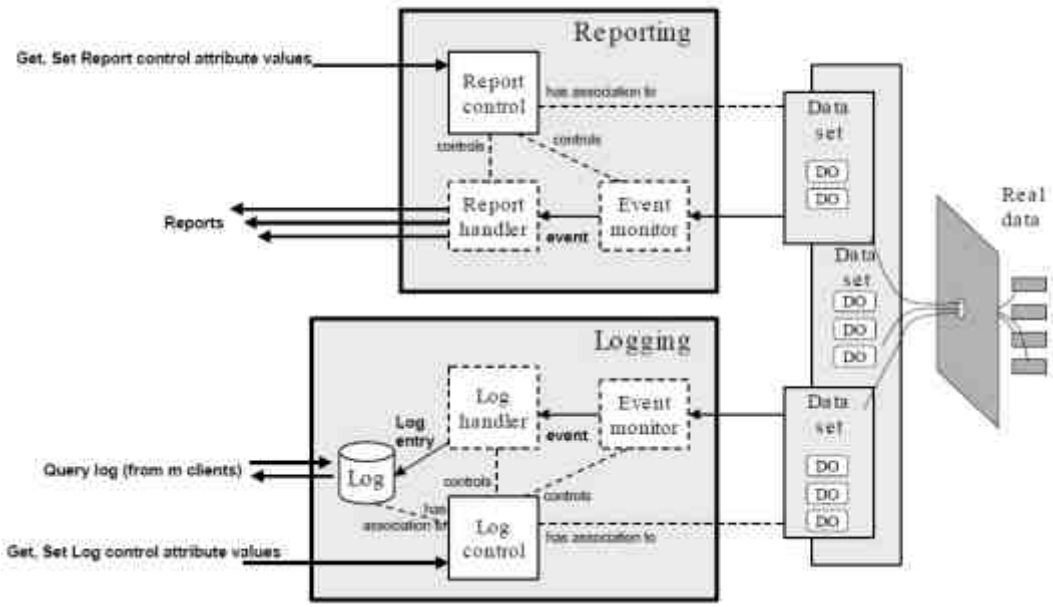
[그림 2.11.19] Two-Party-Application-Association 구성도

- MultiCast-Application-Association (MCAA) :
  - 정보의 변화를 기준으로 한 여러 객체의 간접적 연결
  - 하나의 객체는 정보를 생산(Publisher)하며 여러 객체는 정보를 소비 (subscriber)
  - 소비자는 정보에 대한 손실과 중복이 가능
  - 소비자는 정보 손실이 알림이 필요하며 정보의 중복시 폐기 필요



[그림 2.11.20] MultiCast-Application-Association 구성도

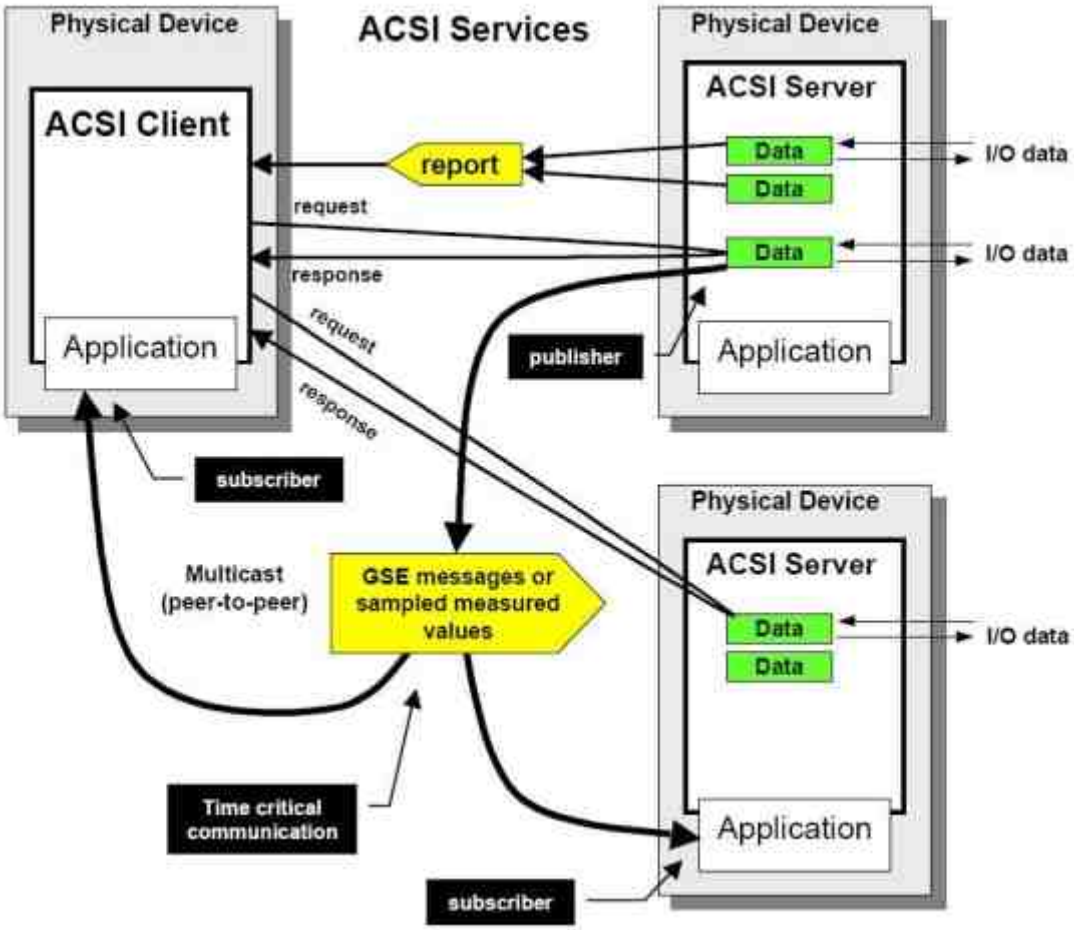
중앙서버장치는 위에서 나타낸 방식에 따라 RTU로부터 데이터를 IEC 61850 표준에 따라 받아들이게 된다. 이러한 데이터에 대한 처리는 Reporting와 Logging의 대표적인 두 가지로 나눌 수 있으며 처리에 대한 구성은 다음과 같다.



[그림 2.11.21] IEC 61850-7-2이용한 Event 처리

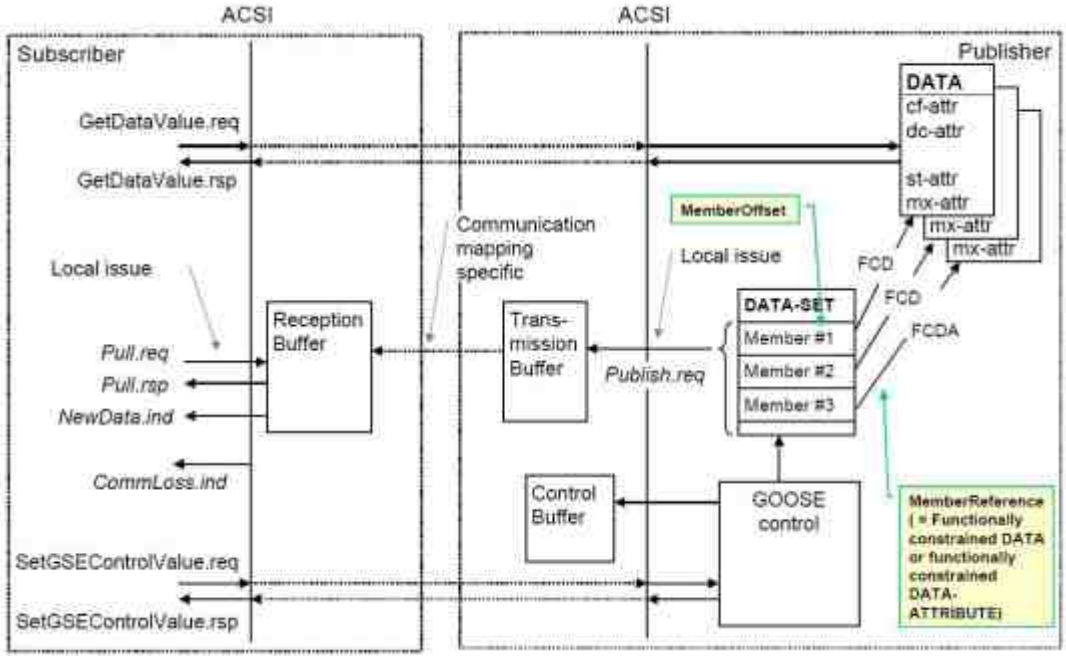
- IEC 61850-7-2의 Report 처리 :
  - 리포트는 Data set이 변경될 경우 이벤트 모니터를 통하여 확인
  - Report Handler에 의하여 전송되며 이때 버퍼를 선택적으로 사용 가능하다 (Buffer의 사용시 비정상적으로 통신의 손실시 재송신 처리 가능)
  - 이러한 일련의 과정은 Report control에 의하여 제어 (Report control은 Get / Set Report에 의하여 제어)
- IEC 61850-7-2의 Logging 처리 :

• Log는 Data set이 변경될 경우 이벤트 모니터를 통하여 확인
• Log Handler에 의하여 기록되며 Log control에 의하여 제어
• 기록된 Log는 클라이언트에 의하여 Query가 발생될 경우 송신 처리(Log control은 Get / Set Log에 의하여 제어)



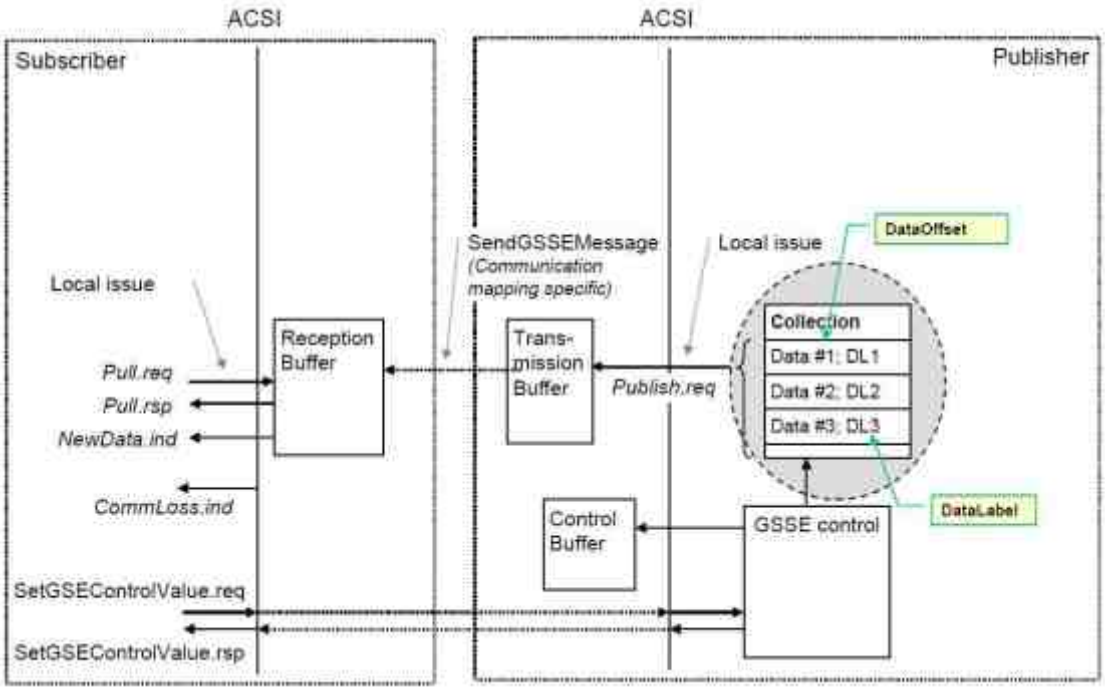
[그림 2.11.22] GSE(Generic Substation Event) 모델

- GSE(Generic Substation Event) 처리 :
• 기본적으로 publisher / subscriber 구조(1:N)로 처리됨
• Multicast / Broadcast 서비스를 통하여 하나의상의 물리적 장비들에 대하여 이벤트 정보를 송신
• 빠르고 신뢰성 있는 구조로 분산된 입출력 값에 대한 처리



[그림 2.11.23] GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event) 모델

- GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event) 처리 :
  - Data-set의 common data의 변화를 기반으로 광범위한 네트워크에 적합
  - 변전소의 Event, Command, Alarm, Indication, Message의 빠른 전송 가능
  - Gigabit Ethernet의 빠른 네트워크에 적합한 실시간 통신
  - 일회성의 데이터 전달에 따른 손실 가능 (주기적인 데이터의 송신으로 1회의 손실은 가능하나 지속 손실을 방지)



[그림 2.11.24] GSSE(Generic Substation State Event) 모델

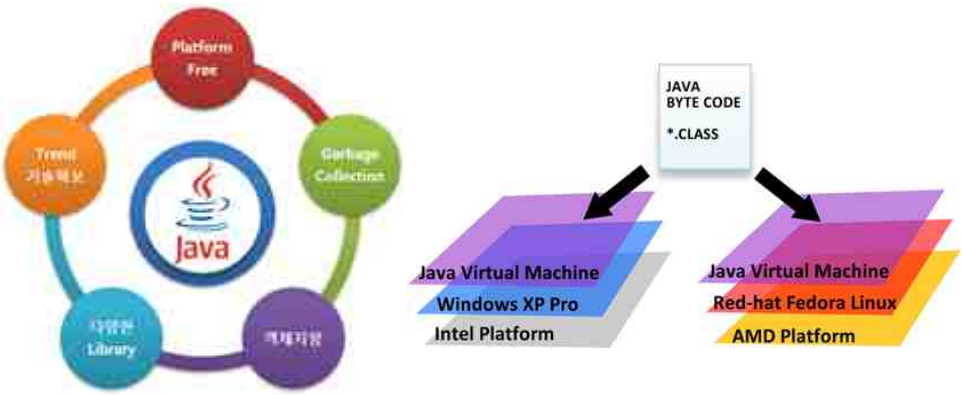
- GSSE(Generic Substation State Event) 처리 :
  - 정보의 변화에 따른 상태 전송
  - 상태 정보의 단순한 리스트의 전송
  - 고정된 구조의 데이터에 대한 지원을 Multicast 기반으로 처리
  - GOOSE와 함께 호환되어 가능 (Backward 기반 처리)

(5) JAVA 기반 HMI(Human Machine Interface) 시스템

(가) HMI(Human Machine Interface) 시스템 개요

"HMI(Human Machine Interface) 시스템이란" 중앙서버장비를 통하여 RTU의 신뢰성 있는 데이터를 제공받아 화면에 표시하고 사용자의 명령에 따라 제어 기능을 수행하는 사용자 인터페이스 장치이다. HMI 장치는 각종 응용 프로그램을 통해 전력 설비의 관제 기능을 갖고 있는 종합적인 장치로서 설비 운영의 효율성, 사고의 사전 예방, 인력 절감, 경영 합리화를 도모하도록 설계된 시스템이다. 시스템 보안과 자료를 보호할 목적으로 접근 권한 설정과 ID를 통한 운영자의 권한 레벨 부여로 유연선 있는 권한 설정이 가능하다.

(나) JAVA 기반 HMI(Human Machine Interface)의 특징



HMI는 자바기반으로 개발되어 운용이 가능하도록 구현 되었으며 크게 3가지 특징을 아래와 같이 반영하고 있다.

① 자동적인 메모리 관리(Garbage Collector) HMI 시스템

메모리 관리 기능은 과거의 HMI 시스템이 가지지 못한 기능으로 사용자가 시스템의 Down 없이 지속적인 운영시 시스템 속도의 지속적인 속도 저하 발생과 이에 따른 에러의 발생을 사전에 차단하기 위한 기능으로 사용자의 특별한 명령없이 메모리자원의 자동화된 관리를 통하여 손실을 방지한다.



[그림 2.11.25] Garbage Collector 구성도

- 메모리 관리기능(Garbage Collector) :
  * 주기적으로 메모리 관리 실행을 통한 내부/외부적 단편화 방지
  * 단편화 방지 기능의 수행시 타 SW실행과 병렬적 처리
  * 메모리 자원에 대한 최적화와 주기적인 관리 실행

② 멀티 코어 HW기반 HMI 시스템

현대의 시스템은 CPU의 발전이 클럭의 고속화 보다 멀티코어 CPU로 발전해 나감에 따라 HMI 시스템이 이에 따른 성능 최적화가 필요로 하게 되었다. 많은 가용자원을 적절하게 사용하지 못할 경우 높은 HW성능에도 불구하고 낮은 성능을 발휘하게 되어 비용적인 측면의 손실이 불가피하게 발생된다. 이러한 단점이 개선된 멀티코어 기반 HW에 최적화된 HMI시스템을 아래와 같은 구조를 가진다.

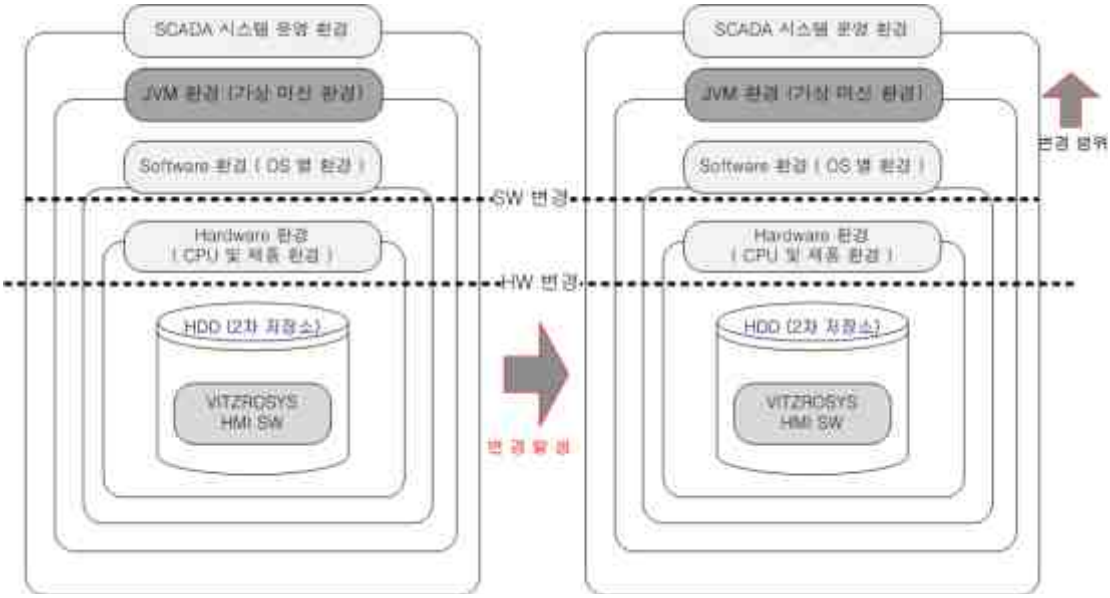


[그림 2.11.26] 멀티코어 최적화 SW Architecture 구성도

- 멀티 코어 최적화 SW Architecture :
  * SW 병렬화 기반 개발 및 구동 (SW적 멀티 프로그래밍 기능)
  * 자원 할당 및 관리 작업 실행과 SCADA 프로세서의 동시 실행 구조
  * 작업의 대기시간 최소화 및 분할 항당을 통한 작업 대기시간 최소화
  * 프로세스내의 문맥교환(Context Switching) 발생 최소화와 자원 최적화

③ 플랫폼 독립적인 HMI 시스템

HMI 시스템은 긴시간 운영되어야 하는 필요성을 가지고 있으나 현대의 ICT는 빠른 속도로 발전함에 따라 플랫폼의 지원 기간이 지속적으로 짧아지고 있는 추세이다. 이에 따라 플랫폼의 변경에도 HMI 시스템을 재개발하지 않고 특정한 설정에 따라 바로 사용이 가능한 시스템의 필요성이 높아지고 있다. 이러한 요구사항을 만족되는 플랫폼 독립적인 HMI 시스템은 아래와 같은 구조를 가진다.



[그림 2.11.27] 플랫폼 독립적인 HMI SW Architecture

- 플랫폼 독립적인 HMI SW Architecture :

  * HW 환경의 변경 발생시 JVM환경의 변경(패키지 설치)으로 제한

  * SW 환경의 변경 발생시 JVM환경의 변경(패키지 설치)으로 제한

(다) JAVA 기반 HMI(Human Machine Interface) 소프트웨어 구조

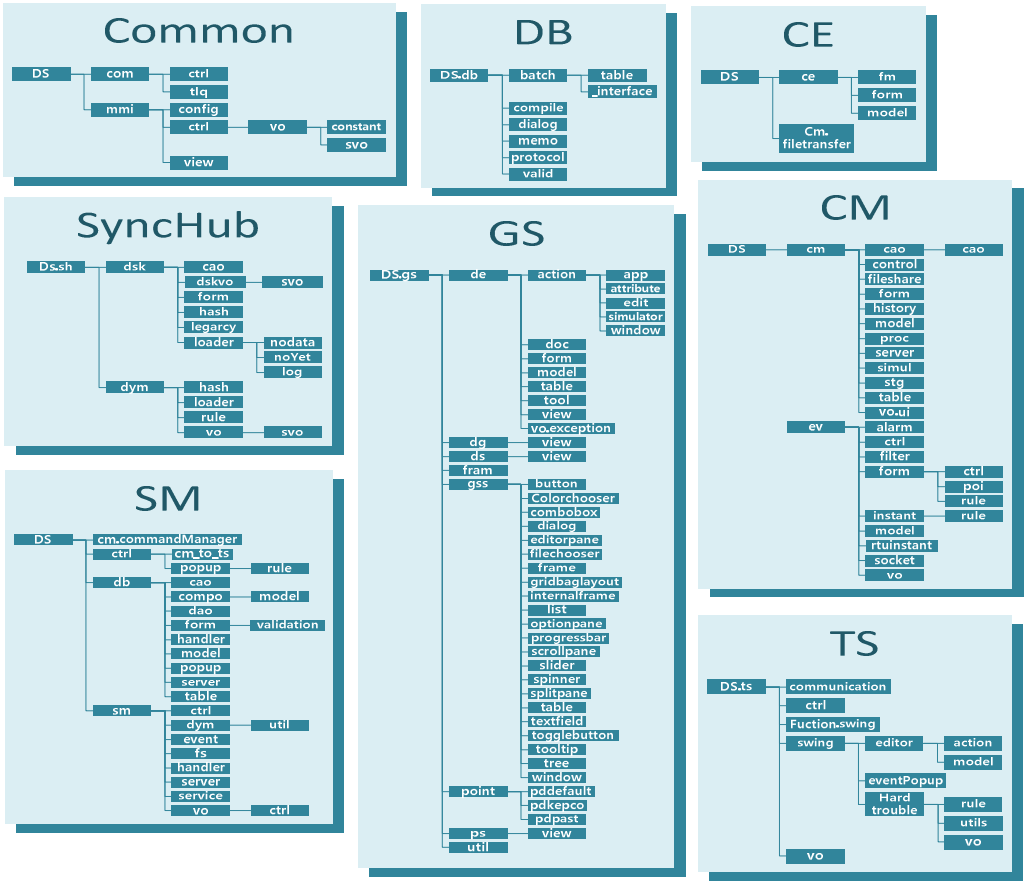
① CM : 호스트 통신 모듈

② TS : MMI 운영화면 모듈

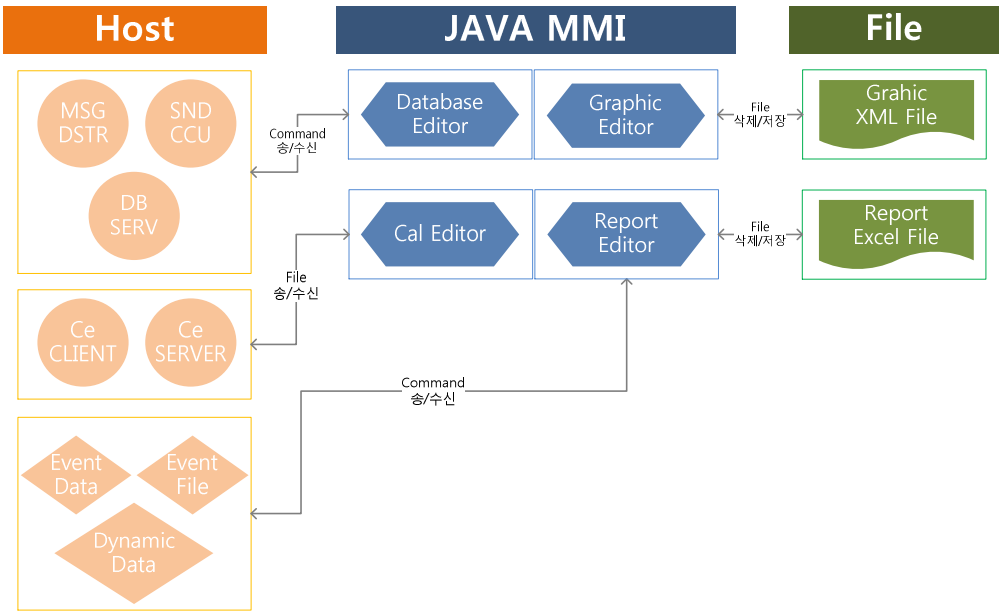
③ SM : 이벤트 처리 모듈

④ GS : 그래픽 편집 모듈

⑤ DB : 데이터베이스 편집 모듈



(라) JAVA 기반 HMI(Human Machine Interface) 시스템 인터페이스

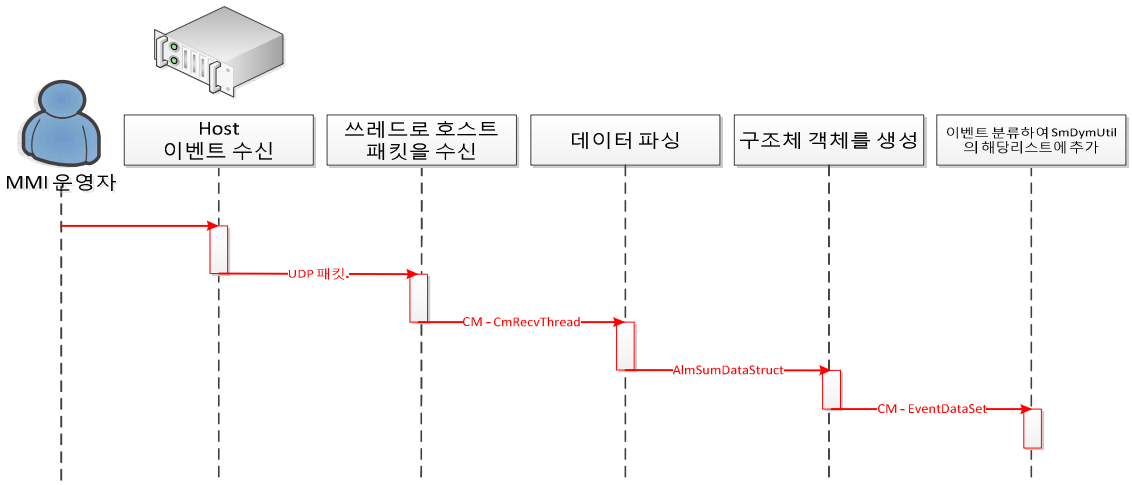


(마) JAVA 기반 HMI(Human Machine Interface) 기능

① MMI - 이벤트 수신 및 처리 01

- 목적 : 구조체 분석 및 이벤트의 수신처리

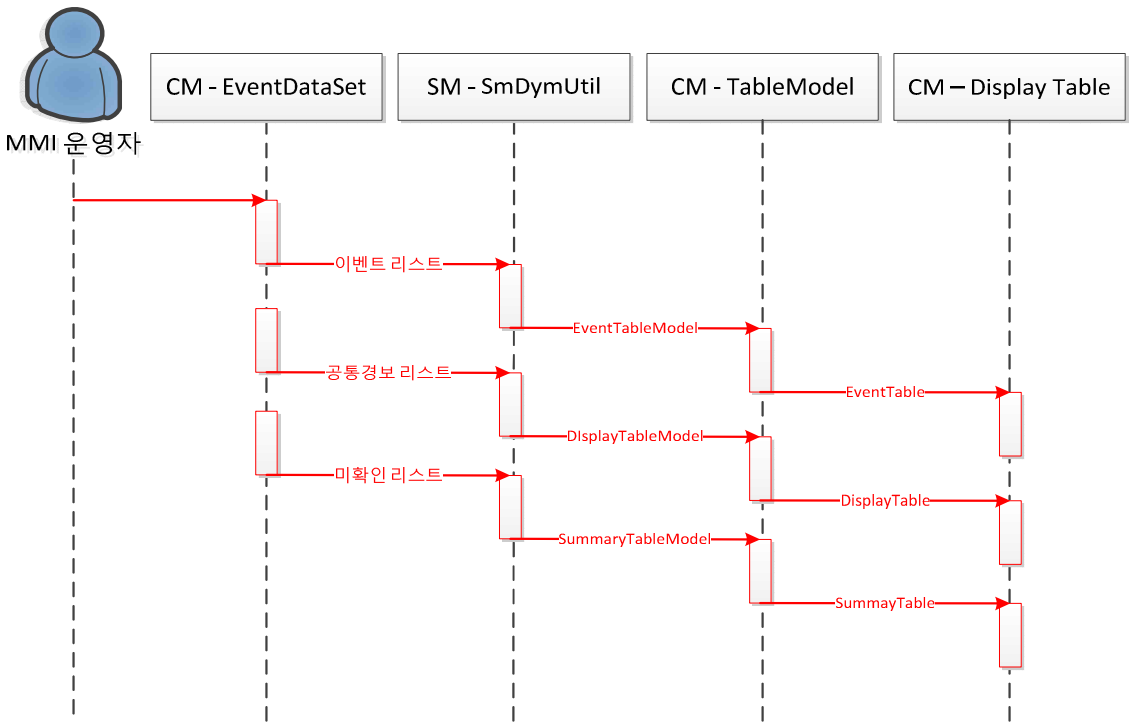
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 호스트(Host)로 부터 수신된 이벤트를 분석 및 데이터를 처리
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 해당사항 없음
- 입력항목 : 호스트(Host)로 부터 수신되는 이벤트 데이터
- 출력항목 : 구조체 분석 및 객체 생성 후 데이터 처리
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

② MMI - 이벤트 수신 및 처리 02

- 목적 : 구조체 분석 및 이벤트의 수신처리
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)

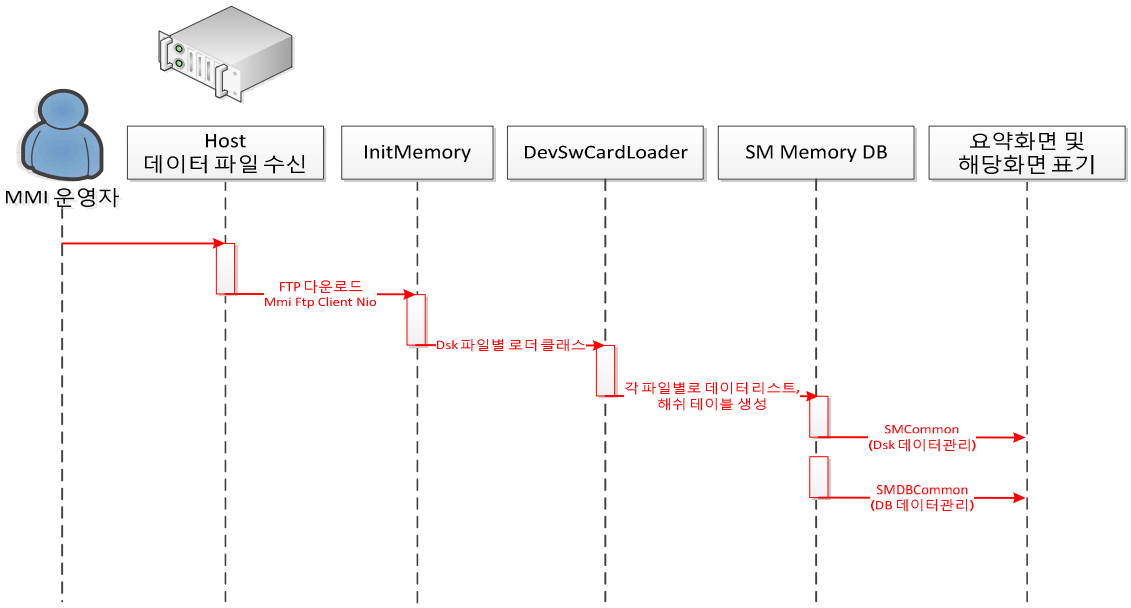


- 유효성 검사 : 호스트(Host)로 부터 수신된 이벤트를 분석 및 데이터를 처리
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 해당사항 없음

- 입력항목 : 호스트(Host)로 부터 수신되는 이벤트 데이터
- 출력항목 : 구조체 분석 및 객체 생성 후 데이터 처리
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

③ MMI - 다이나믹 및 디스크데이터 파일 수신

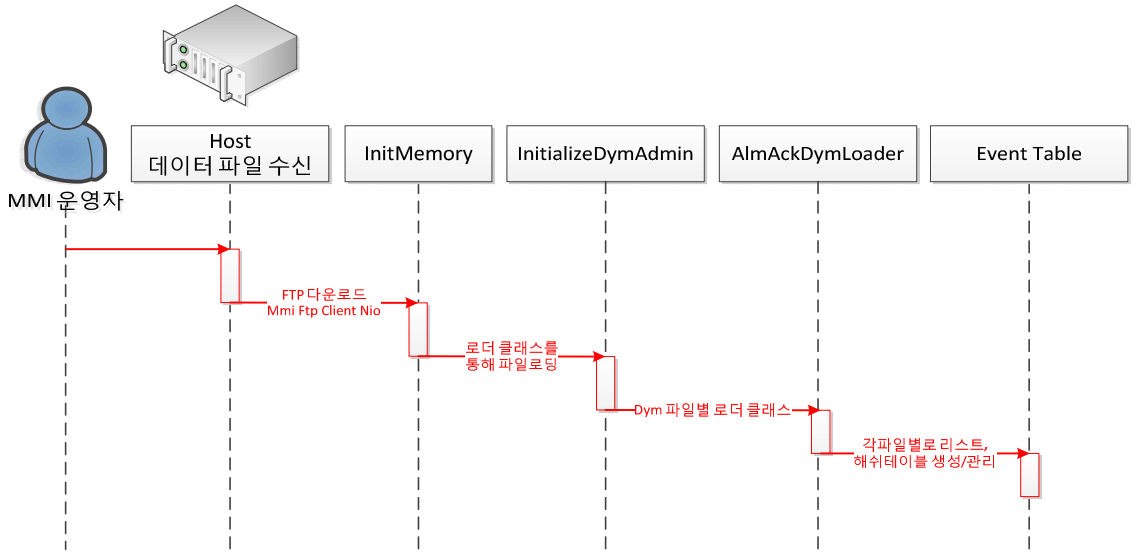
- 목적 : 호스트(Host)로 부터 데이터 파일을 수신
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 호스트(Host)로부터 다이나믹 및 디스크 데이터 파일을 수신
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 호스트에서 응답이 없을시, 에러 팝업 화면이 표시
- 입력항목 : 호스트(Host) 다이나믹 및 디스크 데이터 파일
- 출력항목 : 해당사항 없음
- 다른 요구 사항 : 호스트(Host)로부터 데이터 파일 수신 속도 향상

④ MMI - 다이나믹 및 디스크데이터 파일 처리

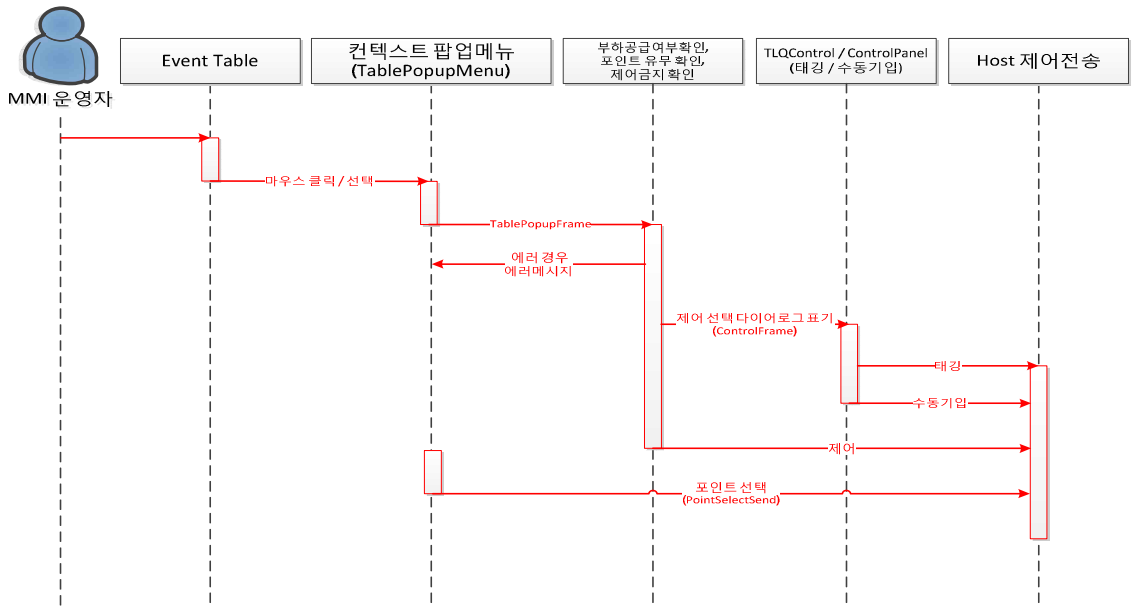
- 목적 : 호스트(Host)로 부터 데이터 파일을 처리
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 다이나믹 및 디스크 데이터 파일을 처리
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 호스트에서 응답이 없을시, 에러 팝업 화면이 표시
- 입력항목 : 호스트(Host) 다이나믹 및 디스크 데이터 파일
- 출력항목 : 해당사항 없음
- 다른 요구 사항 : 데이터 파일을 실시간으로 반영

⑤ MMI - 테이블 화면 제어

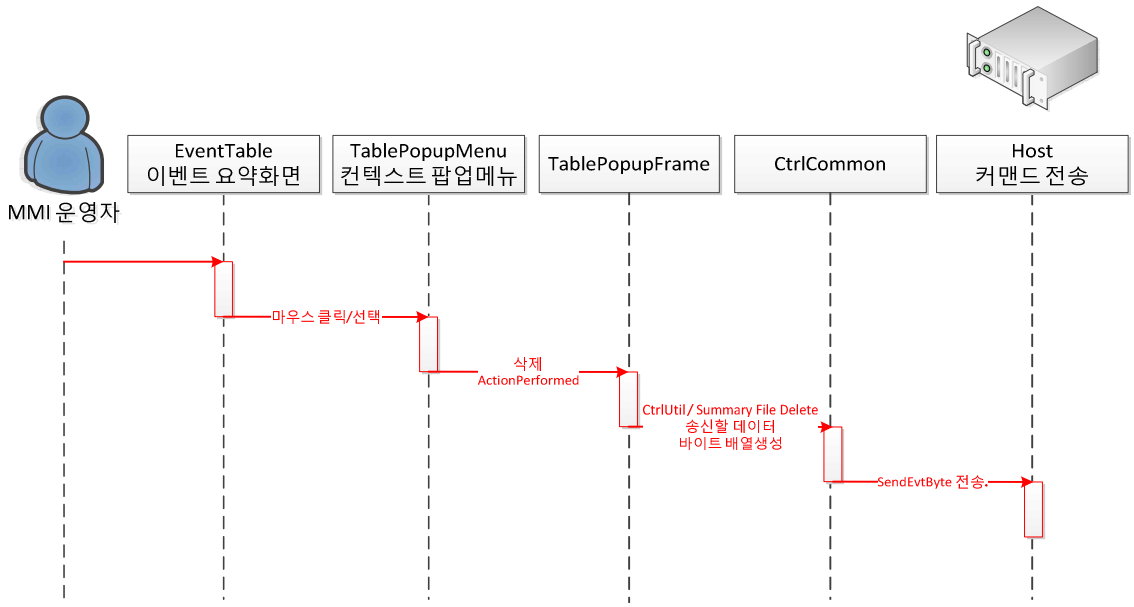
- 목적 : 테이블 화면에서 포인트를 선택하여 제어(제어, 수동기입, 태깅)를 실행
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 포인트의 유무, 부하공급 여부, 제어금지 여부 확인
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러 팝업 화면이 표시
- 입력항목 : 제어(제어, 수동기입, 태깅) 선택 후 제어 실행
- 출력항목 : 제어 커맨드 메시지 호스트(Host)로 전송
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑥ MMI - 요약화면 이벤트 명령(경보삭제, 경보확인) 전송기능

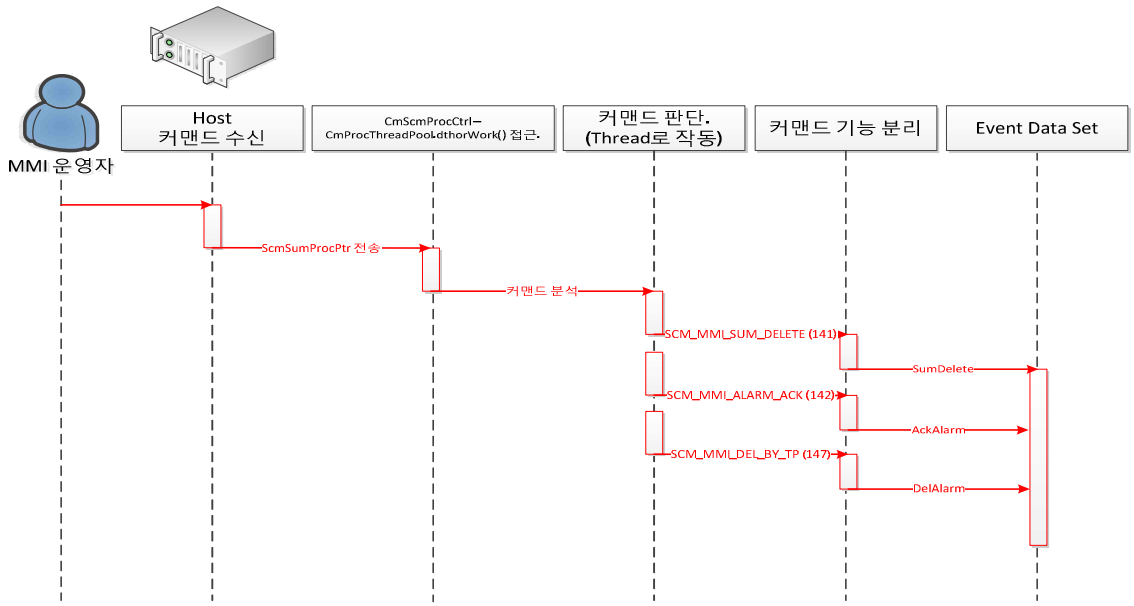
- 목적 : 테이블 화면에서 포인트를 선택하여 (제어, 수동기입, 태깅)를 실행
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 해당사항 없음
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러 팝업 화면이 표시
- 입력항목 : 이벤트 명령(경보삭제, 경보확인) 포인트 선택 실행
- 출력항목 : 제어 커맨드 메시지 호스트(Host)로 전송
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑦ MMI - 요약화면 이벤트 명령(경보삭제, 경보확인) 수신기능

- 목적 : 호스트(Host)로부터 수신된 명령(경보삭제, 경보확인)을 처리
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)

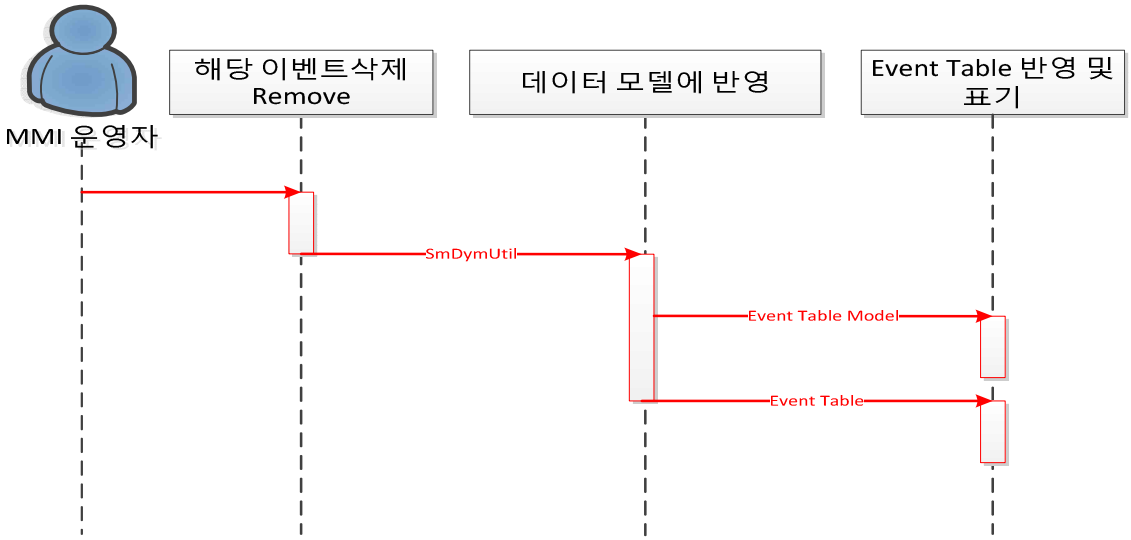


- 유효성 검사 : 해당사항 없음
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러 팝업 화면이 표시

- 입력항목 : 호스트(Host) 이벤트 명령 커맨드 수신
- 출력항목 : 커맨드 분석 후, 각각의 이벤트 데이터를 처리
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑧ MMI - 요약화면 이벤트 명령(경보삭제, 경보확인) 현시기능

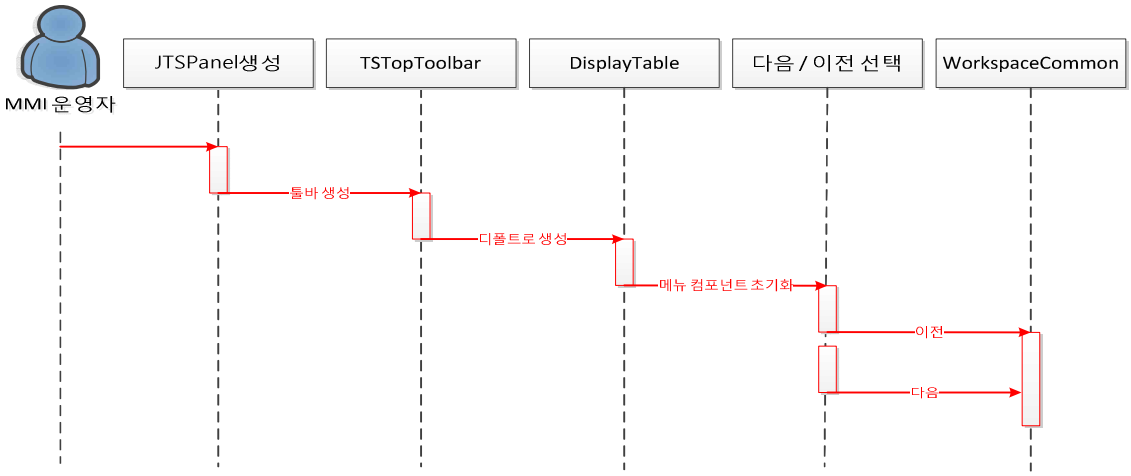
- 목적 : 호스트(Host)로부터 수신되어 처리된 이벤트 명령을 각각의 요약화면에 반영 및 표기
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 해당사항 없음
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러 팝업 화면이 표시
- 입력항목 : 호스트(Host)로부터 수신되어 처리된 이벤트 명령
- 출력항목 : 이벤트 명령을 각각의 요약화면에 반영 및 표기
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑨ MMI - 요약화면 이동(다음/이전)버튼 기능 1

- 목적 : 요약화면을 이동버튼을 선택함으로써 요약화면을 이동
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)

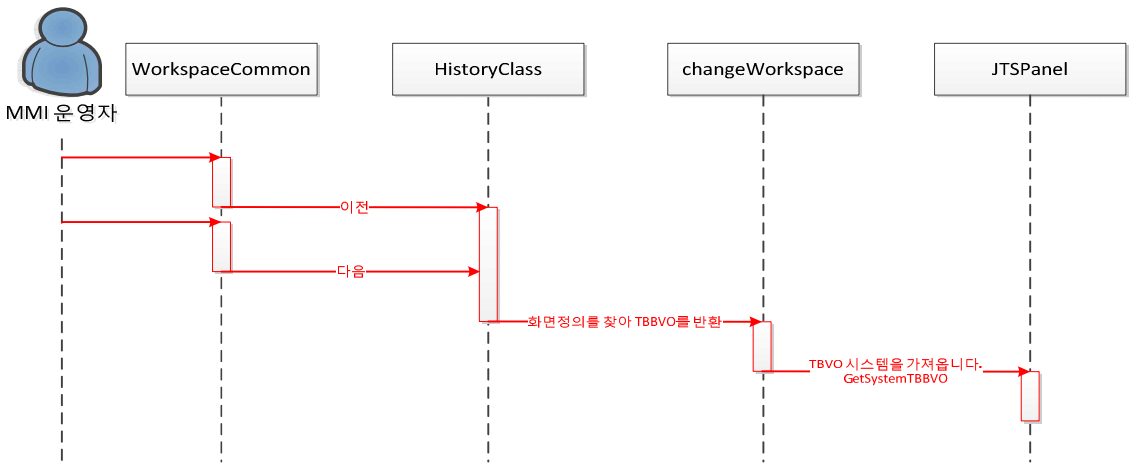


- 유효성 검사 : 해당사항 없음
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러 팝업 화면이 표시

- 입력항목 : 요약화면 이동(다음/이전)버튼을 선택
- 출력항목 : 선택한 이동명령(다음/이전)에 따라서 요약화면을 이동
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑩ MMI - 요약화면 이동(다음/이전)버튼 기능 2

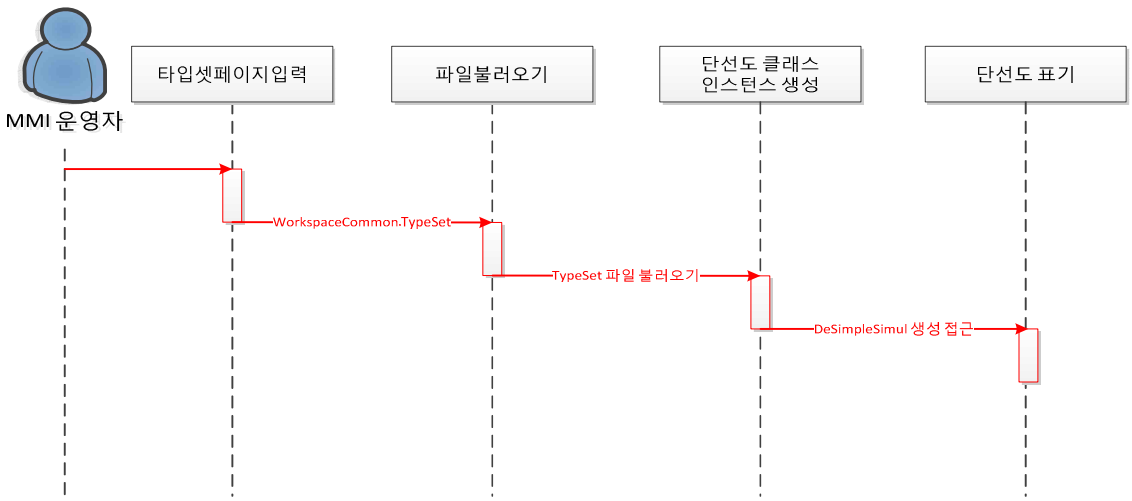
- 목적 : 요약화면을 이동버튼을 선택함으로써 요약화면을 이동
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 해당사항 없음
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러 팝업 화면이 표시
- 입력항목 : 요약화면 이동(다음/이전)버튼을 선택
- 출력항목 : 선택한 이동명령(다음/이전)에 따라서 요약화면을 이동
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑪ MMI - TSP(타입-세트-페이지)입력 요약화면 기능

- 목적 : 요약화면을 이동버튼을 선택함으로써 요약화면을 이동
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)

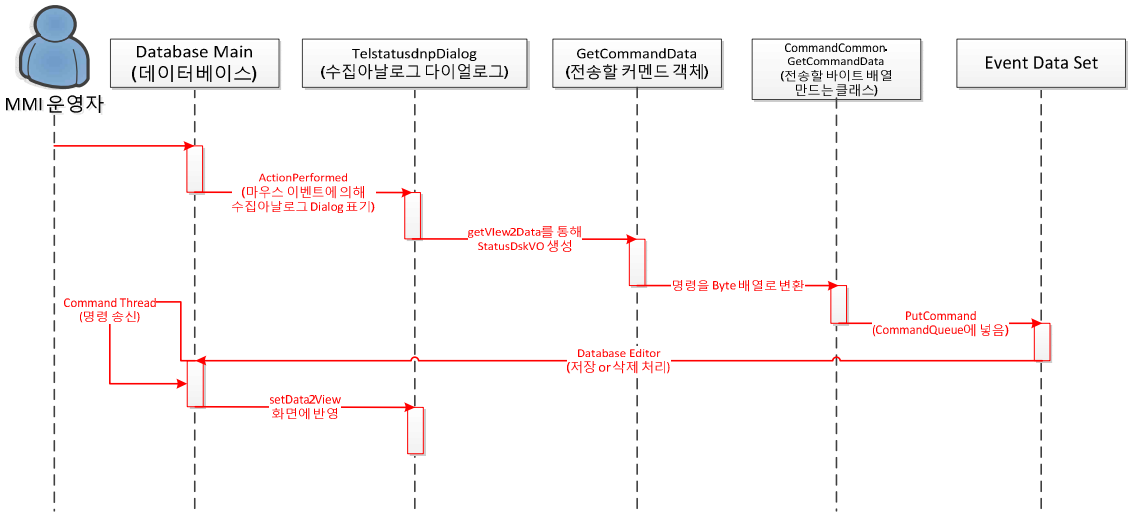


- 유효성 검사 : TSP(타입-세트-페이지)의 데이터의 유무를 확인
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 존재하지 않는 TSP(타입-세트-페이지)의 경우 에러 팝업 화면이 표시
- 입력항목 : 요약화면의 TSP(타입-세트-페이지)를 입력

- 출력항목 : 입력한 TSP(타입-세트-페이지)에 해당하는 요약화면으로 이동
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑫ DatabaseEditor - 데이터 저장 및 삭제 처리

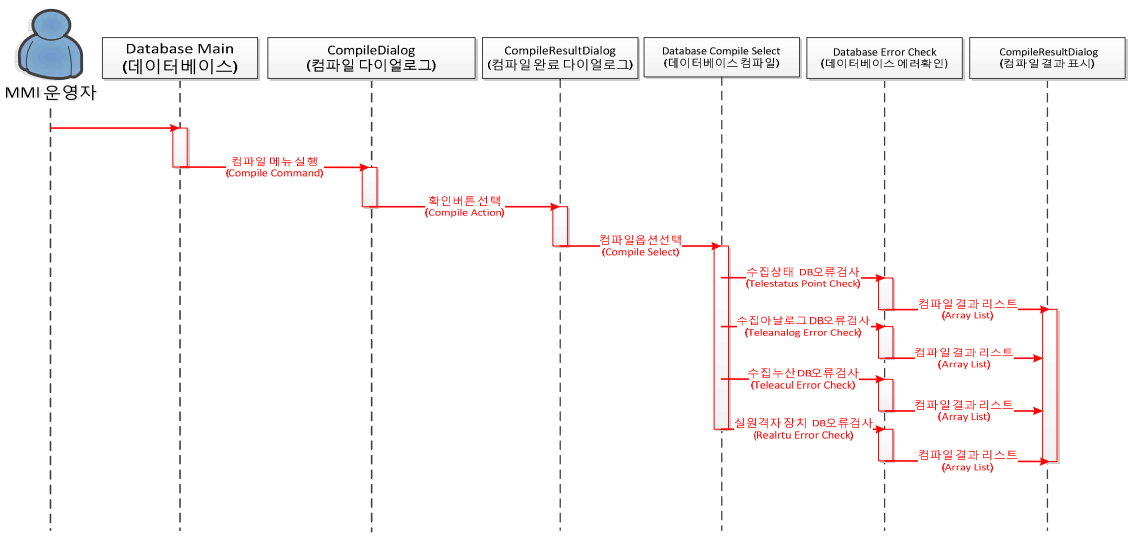
- 목적 : 포인트의 데이터를 저장 및 삭제 처리
- 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 저장되는 데이터의 정보를 각각의 항목에 따라서 개별적 유효성 검사
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러메시지 팝업
- 입력항목 : 포인트 이름, 타입, 세트, 페이지, 원격소번호, 세부경보레벨, 경보레벨, 로그분할, 콘솔분할, 제어, 상태이름, 상태계산기, 포트/포인트, 경보/비정상
- 출력항목 : “입력항목”과 동일
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑬ DatabaseEditor - 데이터 컴파일

- 목적 : 포인트의 데이터를 컴파일 합니다. 컴파일을 실행함으로써,데이터의 검증
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 데이터의 모든 정보를 검증
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러메시지 팝업

• 입력항목 : 포인트 이름, 타입, 세트, 페이지, 원격소번호, 세부경보레벨, 경보레벨, 로그분할, 콘솔분할, 제어, 상태이름, 상태계산기, 포트/포인트, 경보/비정상

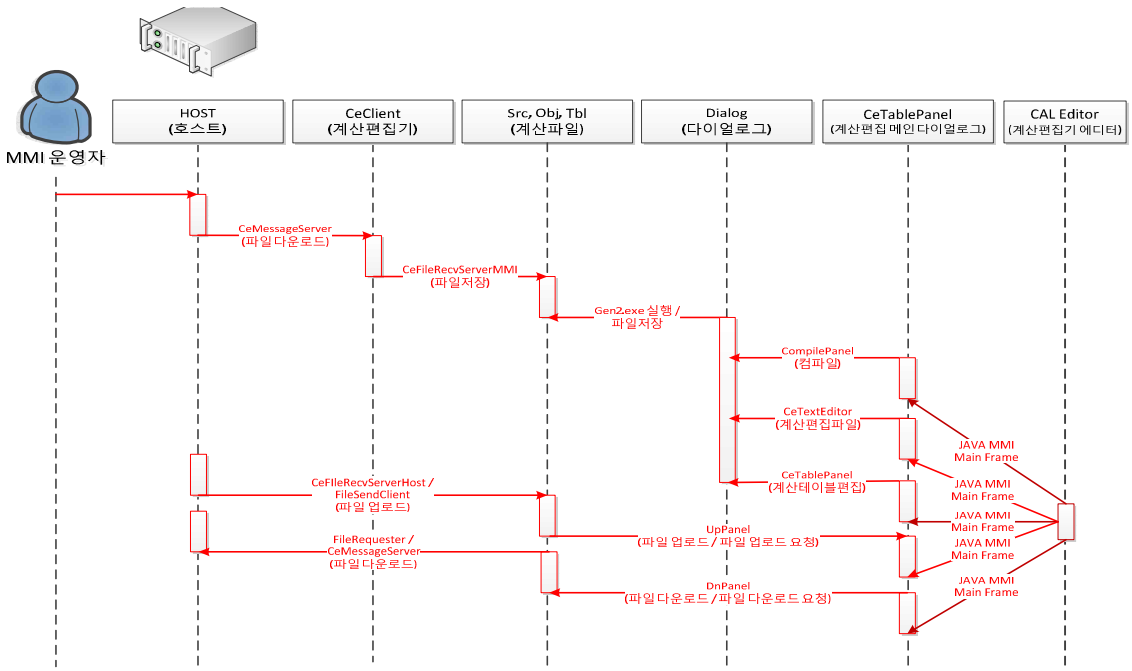
• 출력항목 : “입력항목”과 동일

• 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑭ CalEditor – 계산파일 송수신, 계산파일 편집 기능

• 목적 : 계산편집기 계산파일 송수신(업로드/다운로드), 계산파일(Src, Obj, Tbl) 편집 기능

• 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



• 유효성 검사 : 계산파일(Src, Obj, Tbl)의 유무 판단

• 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러 팝업 화면이 표시

• 입력항목 : 계산파일(Src, Obj, Tbl) 편집, 계산파일(Src, Obj, Tbl) 송수신 명령

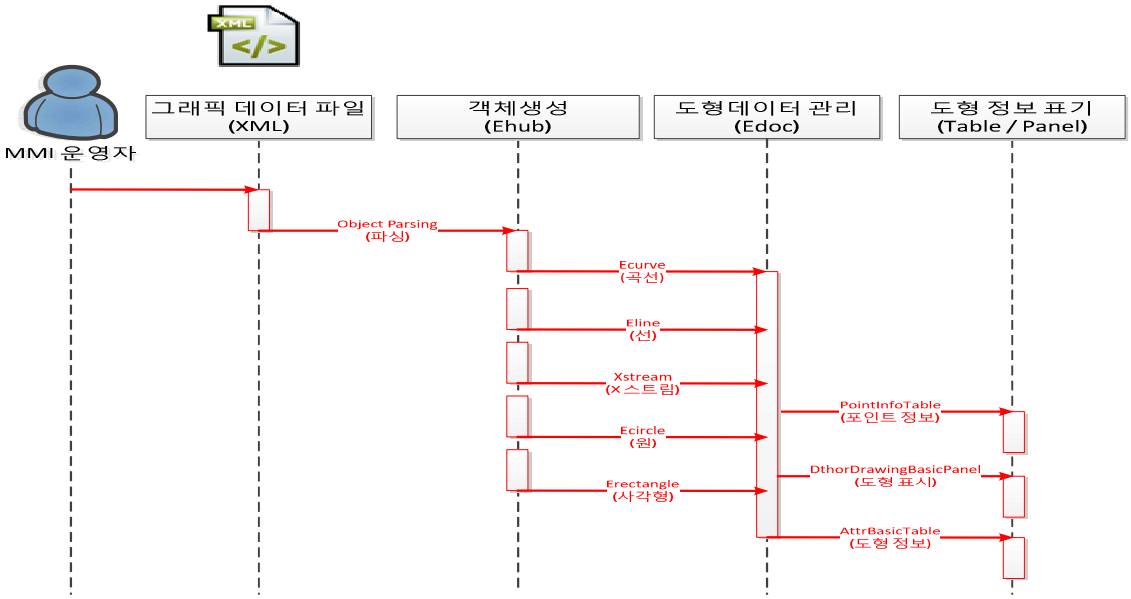
• 출력항목 : 계산파일(Src, Obj, Tbl) 저장, 호스트(Host)로부터
계산파일(Src, Obj ,Tbl) 송수신

• 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑮ Graphic Editor – 단일 오브젝트 생성 및 저장

• 목적 : 그래픽파일 내부에 단일 오브젝트의 생성 및 저장

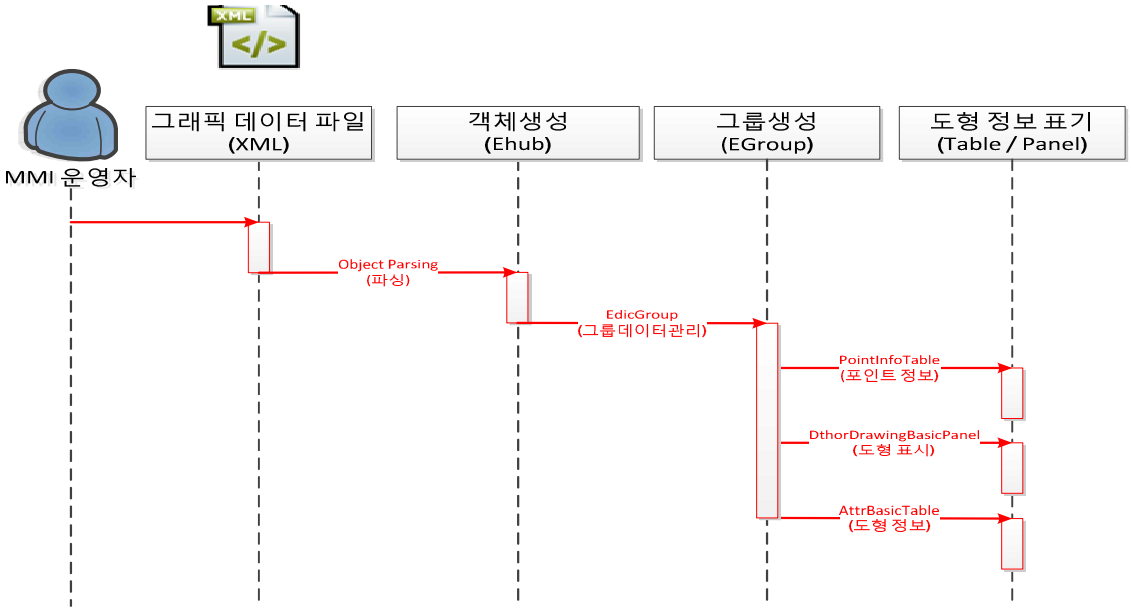
• 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 각각의 기능별로 해당 오브젝트를 정상적으로 생성
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러메시지 팝업
- 입력항목 : 곡선 오브젝트, 선 오브젝트, 원 오브젝트, 사각형 오브젝트
- 출력항목 : “입력항목”과 동일
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑯ Graphic Editor - 그룹 오브젝트 생성 및 저장

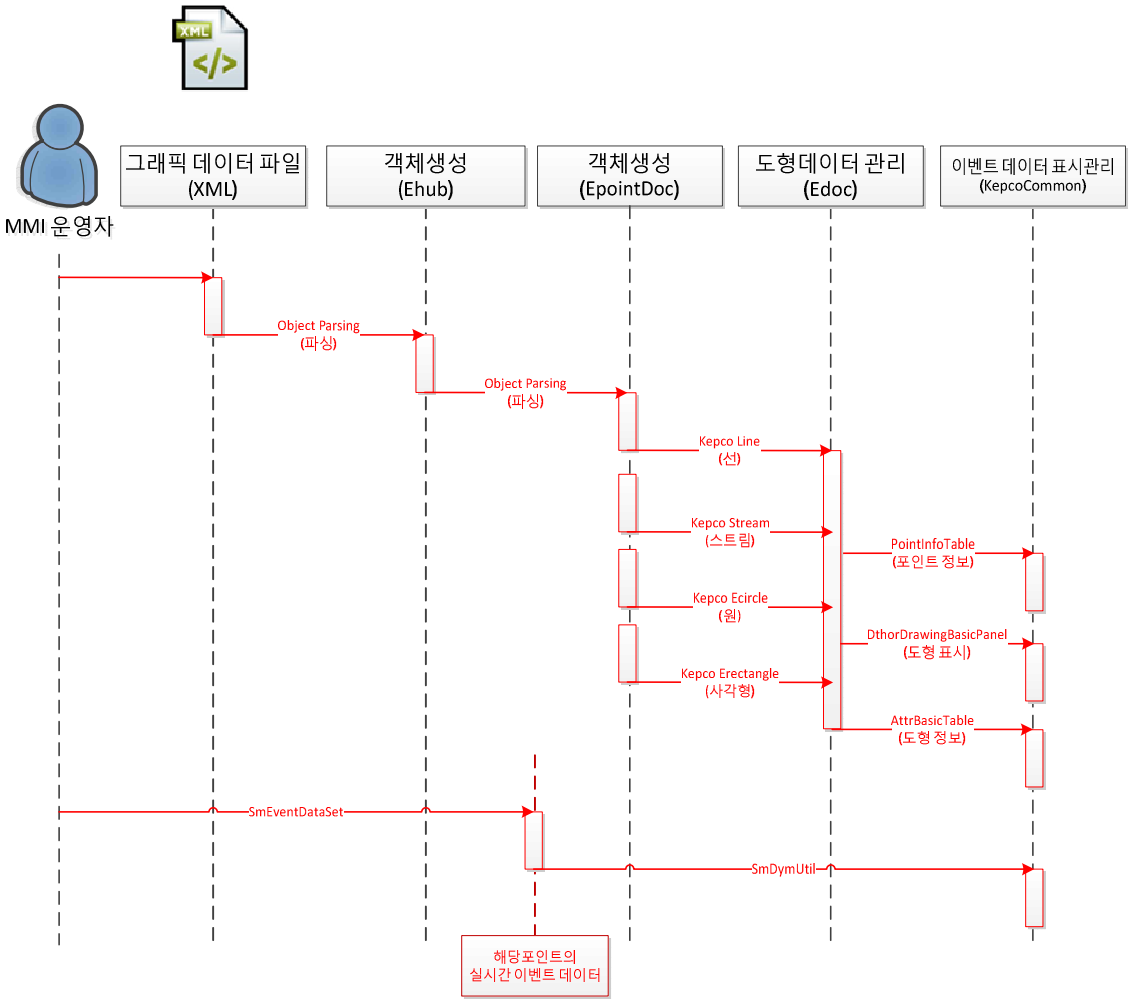
- 목적 : 그래픽파일 내부에 그룹 오브젝트의 생성 및 저장
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 복수 오브젝트를 선택 후, 그룹 오브젝트를 생성
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러메시지 팝업
- 입력항목 : 복수 오브젝트 선택
- 출력항목 : 그룹 오브젝트 생성 및 저장
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑰ Graphic Editor - 단선도 표시, 다이나믹 오브젝트 기능

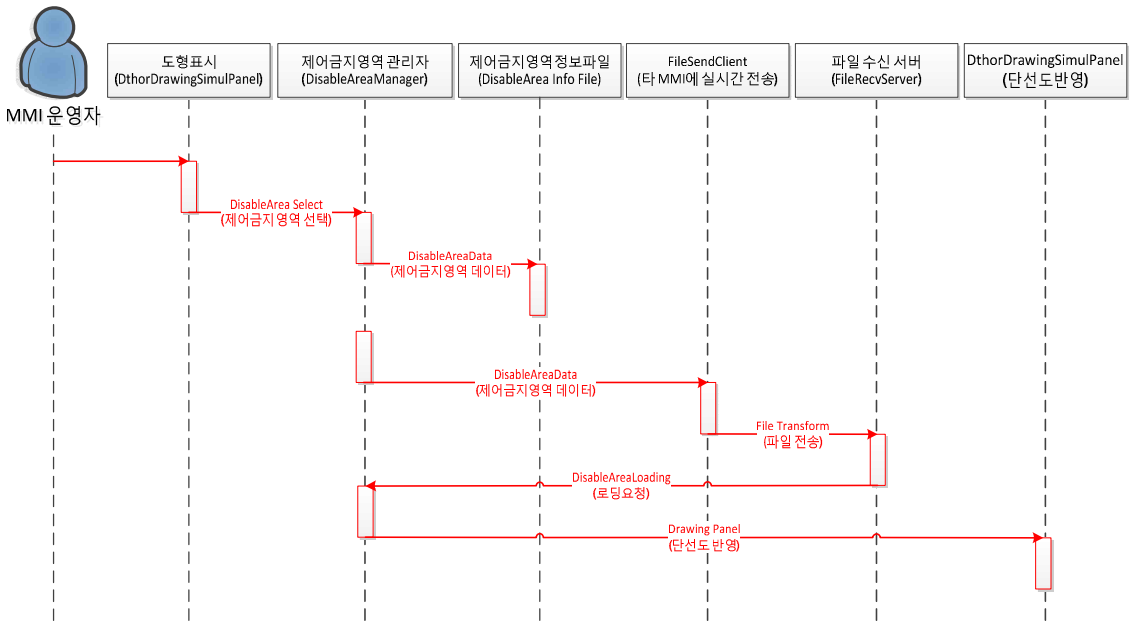
- 목적 : 포인트의 단선도 화면을 표기 및 동적으로 오브젝트가 변경되는 기능
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 지정된 다이나믹 기능의 현시 및 단선도가 현시
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러메시지 팝업
- 입력항목 : 다이나믹 오브젝트, 실시간 이벤트 데이터
- 출력항목 : 다이나믹 오브젝트 표시, 단선도 표시
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑱ Graphic Editor - 단선도 제어금지 영역 표시, 다이나믹 오브젝트 기능

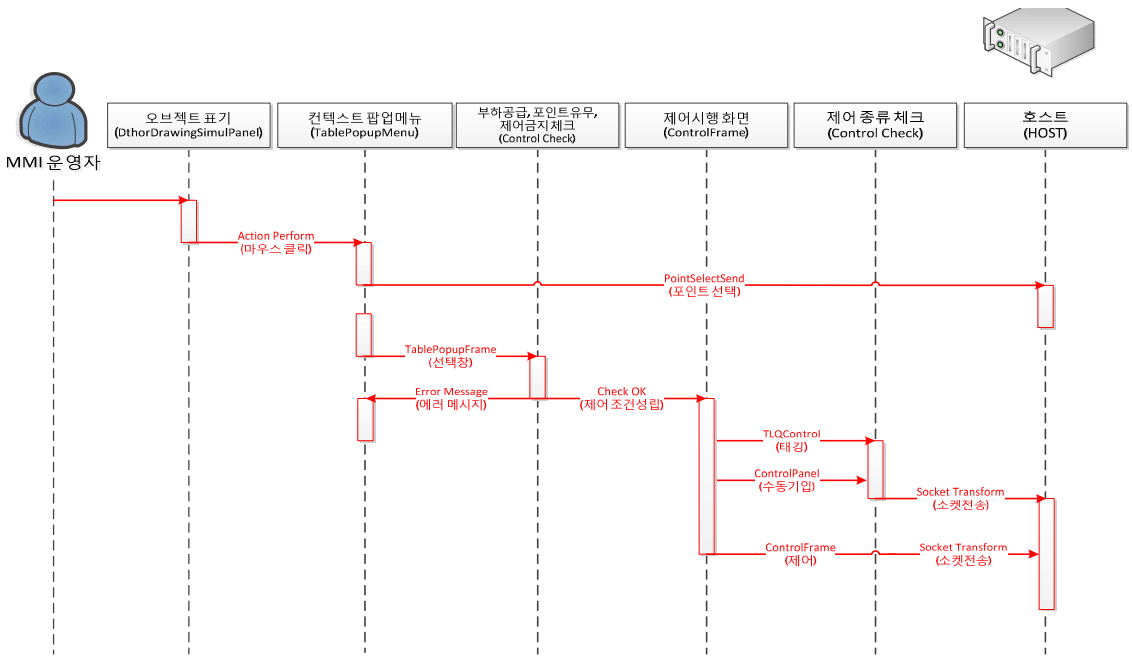
- 목적 : 포인트의 단선도 제어금지 영역 표기 및 동적으로 오브젝트가 변경되는 기능
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 지정된 제어금지 영역이 단선도에 현시
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러메시지 팝업
- 입력항목 : 제어금지 영역 설정, 다이나믹 오브젝트
- 출력항목 : 단선도 제어금지 영역
- 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

⑲ Graphic Editor - 단선도 화면 포인트 제어 기능

- 목적 :단선도 화면에서 다이나믹 오브젝트를 통하여 포인트 제어 기능을 합니다.
- 데이터 프로세서 흐름 (Flow)



- 유효성 검사 : 지정된 제어금지 영역이 단선도에 현시
- 비정상적인 상황에 대한 응답 방법 : 에러메시지 팝업
- 입력항목 : 제어금지 영역 설정, 다이나믹 오브젝트
- 출력항목 : 단선도 제어금지 영역

• 다른 요구 사항 : 해당사항 없음

(6) RTU(Remote Terminal Unit) 시스템

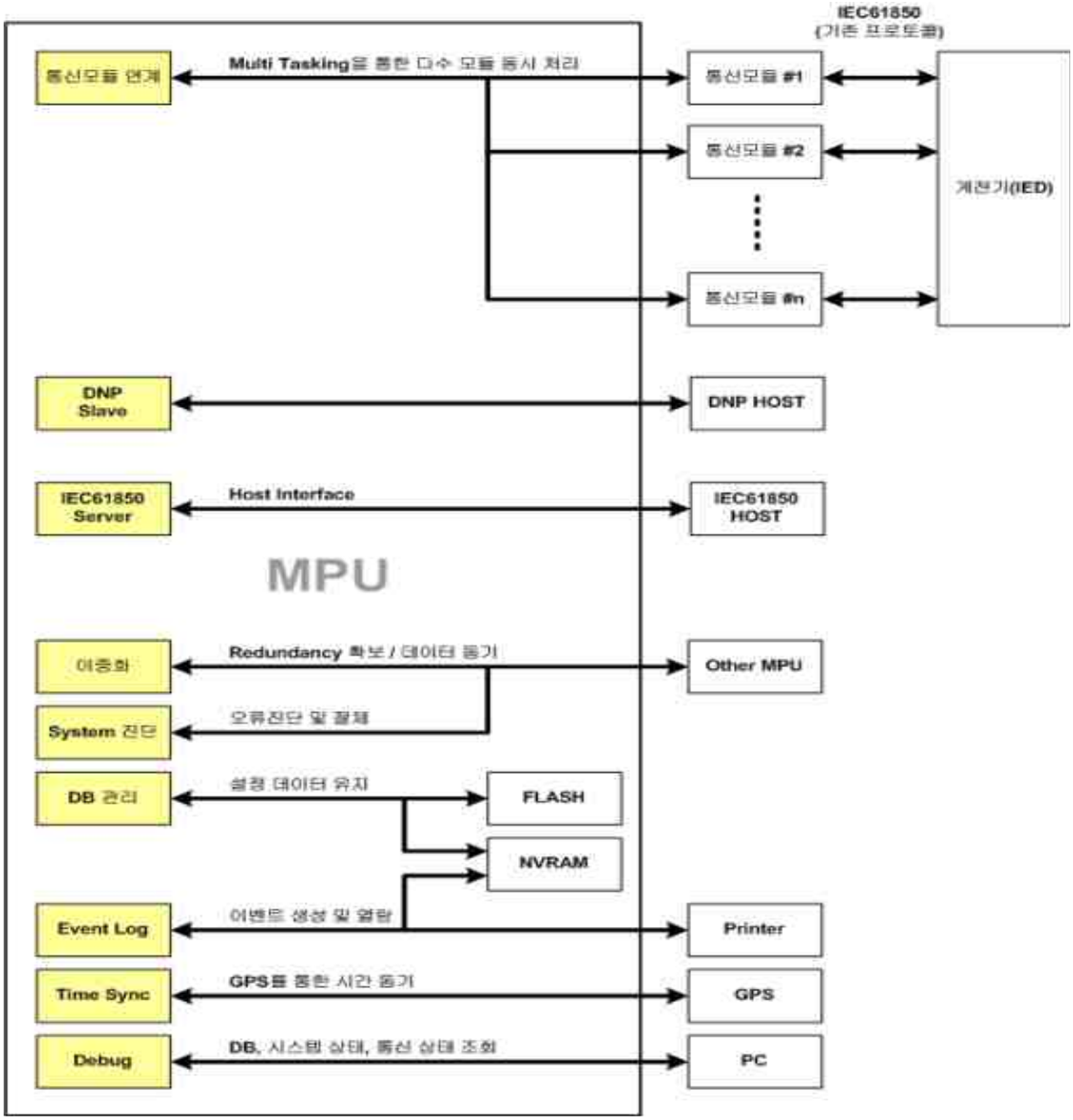
(가) RTU(Remote Terminal Unit) 시스템 개요

① RTU(Remote Terminal Unit) 시스템 이란

"RTU(Remote Terminal Unit) 시스템이란" 변전소의 현장 장비의 데이터를 통합하여 중앙서버장치로 전달하는 기능을 수행하는 시스템이다. RTU는 MPU, ESIO, RTU전원부, 통신부 등으로 구성되며 Run & Standby 형태의 이중화 구조로 구성된다. IEC 61850 표준 프로토콜을 지원하며 Server 모듈과 Client 모듈의 지원을 통하여 설비들과 통신한다.

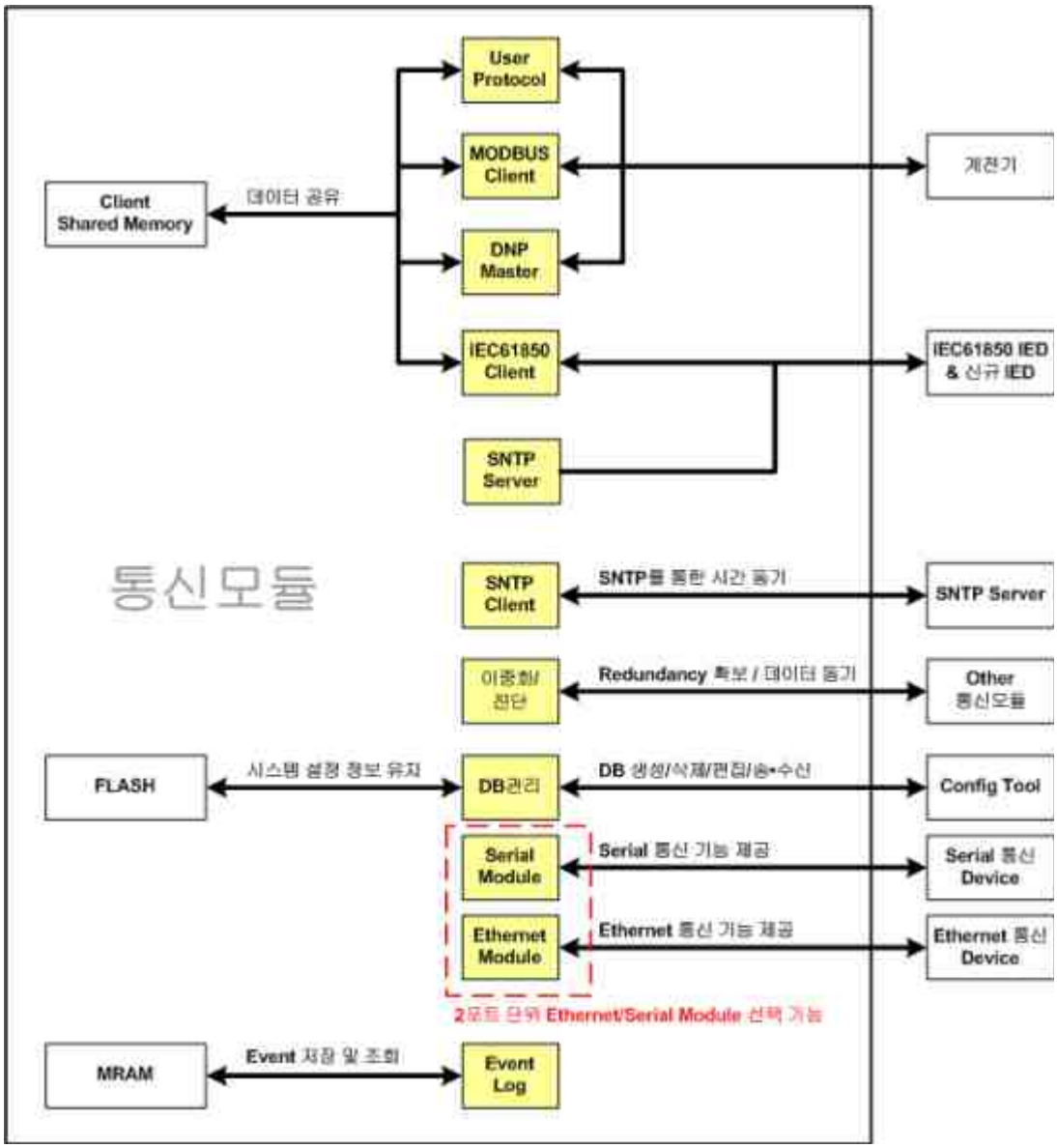
② RTU(Remote Terminal Unit) 소프트웨어 구조

• MPU S/W 구조



[그림 2.11.28] MPU(Main Process Unit) SW 구조

• 통신모듈 S/W 구조



[그림 2.11.29] 통신모듈 SW 구조

(나) RTU(Remote Terminal Unit) 기능사항

① 시스템 운영체제

Interactive, Multi Processing, Multi Tasking job을 우선순위에 따라 수행할 수 있는 Real Time Operating System을 갖추고 시스템 자원을 효과적으로 관리하며 전력계통 운전을 위한 On-Line SCADA 업무를 실시간으로 처리한다.

② 시스템의 시작

시스템 초기 기동 및 운용 중 재 기동과 관련하여 다음 기능을 가진다.

• 시스템 Cold Start - 시스템의 초기 전원투입과 같은 효과를 가지는 완전 초기화 기능이다.

• 시스템 Warm Start - 운용중인 시스템의 일부 기능만을 초기화하여 재시작 하는 기능이다.

③ 시스템 표준시각 동기

RTU와 연계하는 로컬 장치들의 시각동기를 위해 표준시각을 GPS로부터 수신하여 각 장치에 통신으로 제공해주는 Time Server 기능을 지원한다.

• 상용전원 주파수를 사용하지 않고 독자적인 발진회로에 의한 시스템 클럭 발생 기능과 위성으로부터 표준시각 신호를 입력 받는다.

• 시스템내의 모든 장치들의 동기화된 운용을 위해 내부 시스템의 시각 정보를 주기적으로 로컬 장치에 전송하며 내부 시각 정보에 대한 교정 기능도 수반한다.

• SNTP 프로토콜을 통한 시간정보 처리가 가능하다.

• RTU와 표준 시각 동기 장치간 통신 이상 시 RTU MPU가 Time Server 기능을 갖는다. 이때의 기준시간은 FEP로부터 전송 받는다.

④ 시스템 관리

• 시스템 데이터베이스 관리

  * 시스템 구성 관리

  * 시스템 데이터베이스 생성, 변경, 수정 관리

  * 시스템 데이터베이스 보안 관리

  * 시스템 데이터베이스 변경 이력 관리

• 통신 관리

  * 시스템에서 이루어지는 모든 통신 사항에 대하여 지속적으로 관리를 생성한다.

  * 통신사항과 장애 사항을 통계하고 기록 관리한다.

• 시스템 Event 관리

  * 시스템에서 발생하는 각종 Event를 기록 관리한다.

• 시스템 보완 관리 기능

  * 기능별, 사용자 별 접근을 제한하는 시스템 보안 관리기능을 내장한다.

⑤ 통신기능

• 이기종 Protocol 변환에 따른 데이터 mapping 기능을 내장한다.

⑥ 시스템 진단

시스템의 운용 및 장애 현황을 시스템 스스로가 실시간으로 진단하여 사용자에게 알려 제공 정보의 신뢰성을 확보한다.

• 시스템 전원 Self-diagnosis

• 시스템 H/W Self-diagnosis

• 시스템 S/W Self-diagnosis

⑦ 원격감시

• Point의 Digital Input에 대한 상태 변화를 감지하고, 자체에 Event 사항을 보존하며 각 Point들의 속성을 사용자가 원하는 형태로 지정할 수 있도록 한다.

• Point의 Digital Input에 대해 1ms의 분해 능력을 가지며, 자체에 Event 사항을 보존하며 시스템의 표준 시각에 추종하는 시간동기 기능을 가진다.

⑧ 원격제어

• 이원 상태 조작

* Arm과 Operation의 2단계 명령에 의해서 수행되는 동작 전 점검 기능을 가진다.
* 포인트의 제어는 한 순간에 하나의 포인트만 활성화 시킨다.

• 단계별 연속 조작

* 이원 상태 조작과 유사하나 제어행위는 Host에 의해 정해진 횟수만큼 연속해서 발생한다.
* 증, 감 제어가 있으며 정해진 설정치에 도달할 때까지 연속해서 제어를 수행한다.

(다) RTU(Remote Terminal Unit) 통신모듈 기능 사항

① 통신모듈

• 일반 사항

* 전철제어반, 고장점표정반과 같은 로컬장비와 통신으로 연계하여 취득한 정보를 MPU 및 동일기능의 예비 통신모듈로 전송한다.
* 이중화로 구성된 모듈간의 무순단 운영 및 데이터 동기를 위한 이중화 알고리즘을 탑재한다.
* 이기종 타 설비와의 인터페이스가 가능하도록 Serial 및 Ethernet 포트를 제공한다.
* 자체 진단기능 및 이중화 진단 기능을 통한 자동 절체 및 이상상태 정보를 제공한다.

② 기술 사항

• 구성

* 6Unit 크기의 19″ Rack 취부형으로 전면에 LED Display를 통하여 모듈 동작 상태 및 포트별 통신 상태 정보를 제공한다.
* 모듈 전면에 제공되는 switch를 통하여 VME Slave address를 설정할 수 있으며 시스템 이상 발생 시 수동으로 시스템을 제기동 할 수 있는 reset 버튼을 제공한다.

• 통신라인 및 방식

* 로컬장비의 interface 방식에 따라 Serial 및 Ethernet으로 구성할 수 있는 2포트씩 쌍으로 구성된 8채널의 통신전용 포트를 제공한다.
* 로컬장비가 Serial 통신을 제공할 경우 통신포트 모듈 구성에 따라 RS232, RS485, RS422 통신 방식을 제공한다.
* 통신포트 모듈을 Serial로 구성 시 최대 115200bps의 baudrate를 제공한다.
* 로컬장비가 Ethernet통신을 제공할 경우 통신포트 모듈 구성에 따라 100Base-TX, 100Base-FX(Single, Multi)를 제공한다.
* Datagram(UDP) Socket을 통한 Multicasting 통신방식을 사용하여 MPU로의 데이터 전송 및 이중화 통신을 제공한다.

• 프로토콜

* DNP3.0
* Modbus(TCP, RTU, ASSCII)
* IEC 61850
* 기타 로컬장비의 기존 프로토콜 지원

• 성능

* CPU - MPC8377 기본 400Mhz ~ 최대 800Mhz까지 지원한다.
* Main memory - 기본 256Mbyte ~ 최대 512Mbyte까지 지원한다.
* Real Time Operating System을 탑재하여 Multi-Processing, Multi-Tasking 환경에서 각종 Task를 OS Level에서 관리한다.
* 시스템 자기 진단, 구성관리, 데이터베이스 관리, 통신스케줄 관리 기능을 제공한다.
* 프로토콜 변환 기능을 제공한다.
* 시스템의 구성 변경이나 Point의 증설, 변경에 따른 자료구조 변경시 대화식 터미널을 통해 운전 중이라도 가능하며, 전원 상실 시에도 자료구조를 보존할 수 있다

③ IEC61850 IED 연계 통신모듈

- 일반 사항

* IEC61850 계전기와 통신으로 연계하여 취득한 정보를 MPU 및 동일기능의 예비 통신모듈로 전송한다.
* 이중화로 구성된 모듈간의 무순단 운영 및 데이터 동기를 위한 이중화 알고리즘을 탑재한다.
* 이기종 타 설비와의 인터페이스가 가능하도록 8채널의 Ethernet 포트를 제공한다.
* 자체 진단기능 및 이중화 진단 기능을 통한 자동 절체 및 이상상태 정보를 제공한다.

- IEC 61850 적용규격

[표 2.11.6] IEC 61850 적합성 블록 표

적합성 블록 (기능 블록)	구분	Service (ACSI)	Test Case	IEC61850 표준	비고
1. Basic Exchange	필수 항목	Association Abort and/or Release GetDataValues	cAss1, cAss2, cAss3, cAss4, cAssN1, cAssN4, cAssN5, cAssN6, cSrv5, cSrvN3	IEC61850-7-2 7.4절, 9.2.3절, 10.4.2절 IEC61850-8-1 10.2절, 12.3.2절, 13.2.1절	
	선택 항목	GetAllDataValues SetDataValues GetServerDirectory GetLogicalDeviceDirectory GetLogicalNodeDirectory (DATA) GetDataDirectory GetDataDefinition	cAssN7, cSrv1, cSrv2, cSrv3, cSrv4, cSrvN1, cSrv6, cSrv7, cSrvN2, cSrvN5 cSrvN6	IEC61850-7-2 7.4절, 8절, 9절, 10절 IEC61850-8-1 10.2절 11절, 12절, 13절	

적합성 블록 (기능 블록)	구분	Service (ACSI)	Test Case	IEC61850 표준	비고
2. Data Sets	필수 항목	GetLogicalNodeDirectory (DATA-SET) GetDataSetDirectory	cDs1, cDs2, cDs5, cDsN1	IEC61850-7-2 9.2.2절, 11.3.6절 IEC61850-8-1 12.3.1절, 14.2.11절	
	선택 항목	GetDataSetValues SetDataSetValues	cDs3, cDsN2, cDs4, cDsN3	IEC61850-7-2 11.3.2절, 11.3.3절 IEC61850-8-1 14.3.1절, 14.3.2절	
2+. Data Set Definition	필수 항목	CreateDataSet DeleteDataSet	cDs6, cDsN4	IEC61850-7-2 11.3.4절 IEC61850-8-1 14.3.3절	
	선택 항목		cDs7, cDsN5	IEC61850-7-2 11.3.5절 IEC61850-8-1 14.3.4절	
3. Substit-ution	필수 항목	SetDataValues	cSub1	IEC61850-7-2 12절 IEC61850-8-1 15절	
	선택 항목	GetLogicalNodeDirectory (SGCB)	cSub2, cSub3	IEC61850-7-2 12절 IEC61850-8-1 15절	
4.Setting Group Selection	필수 항목	SelectActiveSG GetSGCBValues	cSg2, cSgN1	IEC61850-7-2 13.3.2절 IEC61850-8-1 16.2.1절, 12.3.1절	
	선택 항목		cSg1, Sg3	IEC61850-7-2 9.2.2절 IEC61850-8-1 12.3.1절	

적합성 블록 (기능 블록)	구분	Service (ACSI)	Test Case	IEC61850 표준	비고
4+.Setting Group Definition	필수 항목	SelectEditSG, GetSGValues SetSGValues ConfirmEditSGValues	cSg3, cSg4	IEC61850-7-2 13.3.6절 IEC61850-8-1 16.2.5절	
	선택 항목				
5.Unbuffered Reporting	필수 항목	Receive Report GetURCBValues SetURCBValues	cRp2, cRp3, cRp4, cRp5, cRp8, cRp9, cRp10, cRpN2, cRpN3, cRpN7, cRpN8	IEC61850-7-2 14.2절 IEC61850-8-1 17.1절, 17.2절	
	선택 항목	GetLogicalNodeDirectory (URCB)	cRp1, cRpN1, cRp6, cRp7, cRpN4, cRpN5, cRpN6	IEC61850-7-2 9.2.2절, 14.2절 IEC61850-8-1 12.3.1절, 17.1절, 17.2절	
6.Buffered Reporting	필수 항목	Receive Report GetBRCBValues SetBRCBValues	cBr2, cBr3, cBr4, cBr5, cBr8, cBr9, cBr10, cBr11, cBr12, cBrN2, cBrN3, cBrN7, cBrN8, cBrN9	IEC61850-7-2 14.2절 IEC61850-8-1 17.1절, 17.2절	
	선택 항목	GetLogicalNodeDirectory (BRCB)	cBr1, cBrN1, cBr6, cBr7, cBr13, cBrN4, cBrN5, cBrN6	IEC61850-7-2 9.2.2절, 14.2절 IEC61850-8-1 12.3.1절, 17.1절, 17.2절	
7. Logging	필수 항목	GetLCBValues GetLogicalNodeDirectory (LOG) QueryLogByTime or QueryLogAfter GetLogStatusValues			PIXIT 참조
	선택 항목	GetLogicalNodeDirectory (LCB) SetLCBValues			PIXIT 참조

적합성 블록 (기능 블록)	구분	Service (ACSI)	Test Case	IEC61850 표준	비고
12a. Direct Control	필수 항목	Operate	cCtl4, cCtlN1, cDOns1, cCOns2	IEC61850-7-2 17.5.2.4절, 5절 17.2절, 17.3절 IEC61850-8-1 20절, Annex E	
	선택 항목	TimeActivedOperate	cCtl1, cCtl2, cCtl3	IEC61850-7-2 17.2절, 17.3절 IEC61850-8-1 20절, Annex E	
12b. SBO Control	필수 항목	Select, Operate	cCtl4, cCtlN1, cSBOns1, cSBOns2 cSBOns3	IEC61850-7-2 17.2.2절, 17.5.3.2절 IEC61850-8-1 20.4절, 20.7절	
	선택 항목	Cancel, TimeActivatedOperate	cCtl1, cCtl2, cCtl3, cSBOns4	IEC61850-7-2 17.2.2절, 17.5.3.4절 IEC61850-8-1 20.6절	
12c. Enhanced Direct Control	필수 항목	Operate Receive CommandTermination	cCtl4, cCtlN1, cDOes1, cDOes2	IEC61850-7-2 17.3.2절, 17.5.3.5절 IEC61850-8-1 20.7절, 20.8절	
	선택 항목	TimeActivedOperate	cCtl1, cCtl2, cCtl3	IEC61850-7-2 17.2절, 17.3절 IEC61850-8-1 20절, Annex E	
12d. Enhanced SBO Control	필수 항목	SelectWithValue, Operate Receive CommandTermination	cCtl4, cCtlN1, cSBOes1, cSBOes2, cSBOes3	IEC61850-7-2 17.3.3절, 17.5.3.3절 IEC61850-8-1 20.5절, 7절, 8절	
	선택 항목	Cancel, TimeActivatedOperate	cCtl1, cCtl2, cCtl3, cSBOes4	IEC61850-7-2 17.3.3절, 17.5.3.4절 IEC61850-8-1 20.6절, 20.8절	

적합성 블록 (기능 블록)	구분	Service (ACSI)	Test Case	IEC61850 표준	비고
13. Time Sync	필수 항목	TimeSynchronization	cTm1	IEC61850-7-2 18절, 5.5.3.7.3.3절 IEC61850-8-1 21절	
	선택 항목		cTm2, cTmN2, cTmN1	IEC61850-7-2 18절, 5.5.3.7.3.3절 IEC61850-8-1 21절	
14. File Transfer	필수 항목	GetServerDirectory(FILE) GetFileAttributeValues GetFile	cFt1, cFt2, cFt3, cFtN1, cFtN2	IEC61850-7-2 6.2.2절 IEC61850-8-1 9.3절, 23.2절	
	선택 항목	SetFile DeleteFile	cFt4, cFtN3, cFt5	IEC61850-7-2 20.2.2절 IEC61850-8-1 23.2.2절, 23.2.3절	

④ 기술 사항

- 구성

  * 6Unit 크기의 19″ Rack 취부형으로 전면에 LED Display를 통하여 모듈 동작 상태 및 포트별 통신 상태 정보를 제공한다.

  * 모듈 전면에 제공되는 switch를 통하여 VME Slave address를 설정할 수 있으며 시스템 이상 발생 시 수동으로 시스템을 제기동 할 수 있는 reset 버튼을 제공한다.

- 통신라인 및 방식

  * IEC61850 계전와의 연계 방식에 따라 100Base-TX, 100Base - FX (Single, Multi) 8채널을 제공한다.

  * Datagram(UDP) Socket을 통한 Multicasting 통신방식을 사용하여 MPU로의 데이터 전송 및 이중화 통신을 제공한다.

- 프로토콜

  * DNP3.0

  * IEC61850

  * 기타 거리계전기의 기존 프로토콜 지원

- 성능

  * CPU - MPC8377 기본 400Mhz ~ 최대 800Mhz까지 지원한다.

  * Main memory - 기본 256Mbyte ~ 최대 512Mbyte까지 지원한다.

  * Real Time Operating System을 탑재하여 Multi-Processing, Multi - Tasking

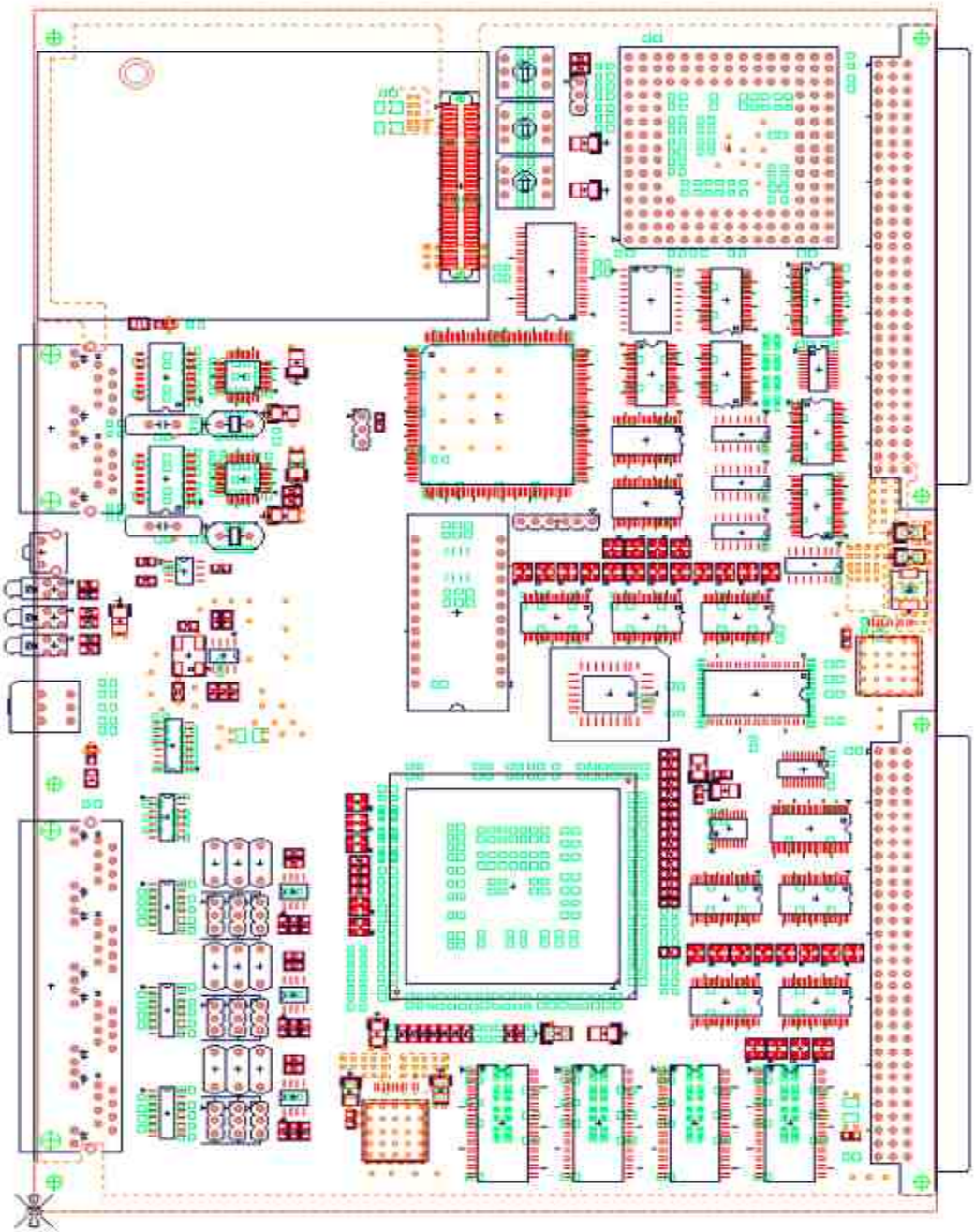
환경에서 각종 Task를 OS Level에서 관리한다.

* 시스템 자기 진단, 구성관리, 데이터베이스 관리, 통신스케줄 관리 기능을 제공한다.

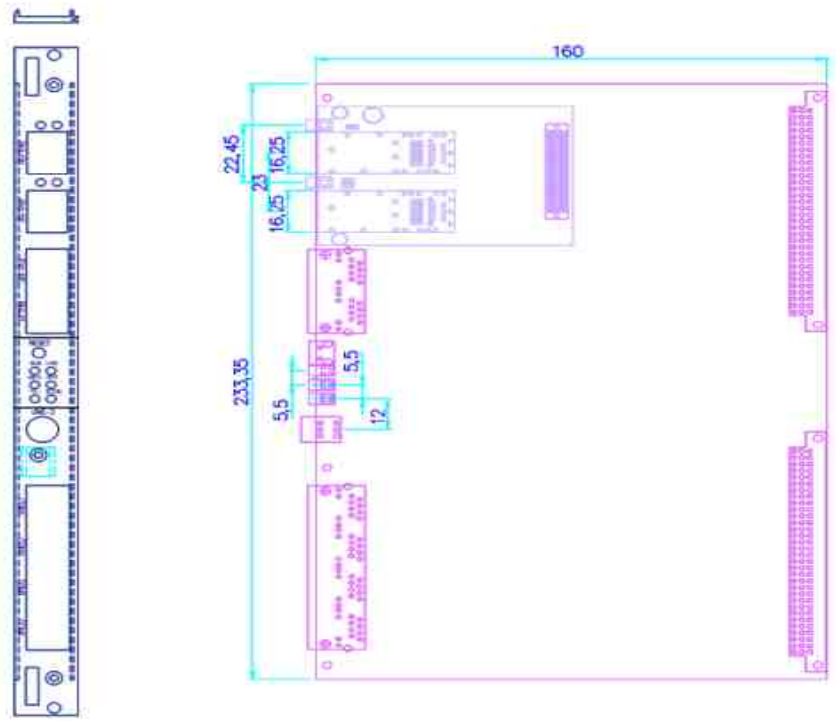
* 프로토콜 변환 기능을 제공한다.

* 시스템의 구성 변경이나 Point의 증설, 변경에 따른 자료구조 변경시 대화식 터미널을 통해 운전 중이라도 가능하며, 전원 상실 시에도 자료구조를 보존할 수 있다.

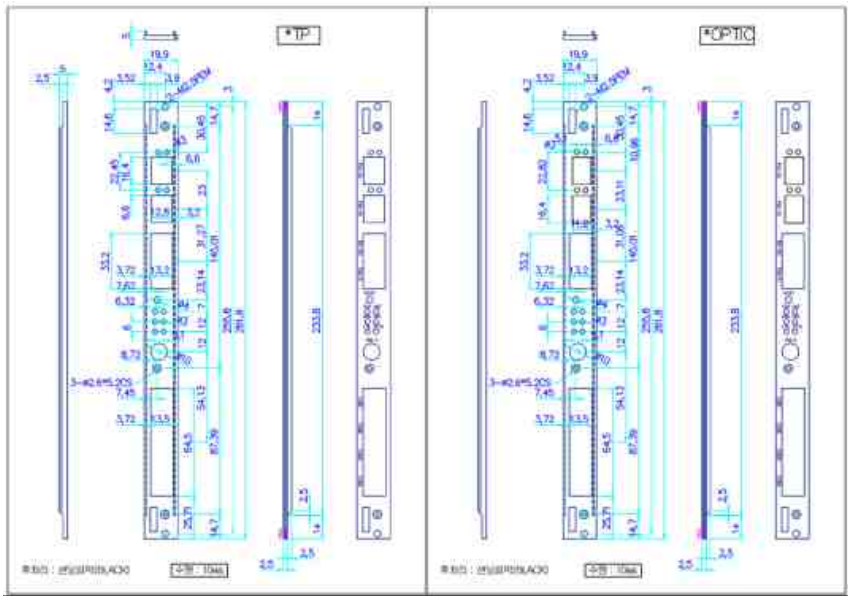
(다) RTU(Remote Terminal Unit) CPU 회로도



[그림 2.11.30] MPU 외형도



[그림 2.11.31] MPU 입출력 보드



[그림 2.11.32] MPU IO 외형

• RTU의 IO 포트 구성은 광(OPTIC)타입과 이더넷(Ethernet)타입을 필요에 따라 선택적으로 구성할수 있는 구조로 개발되었다.

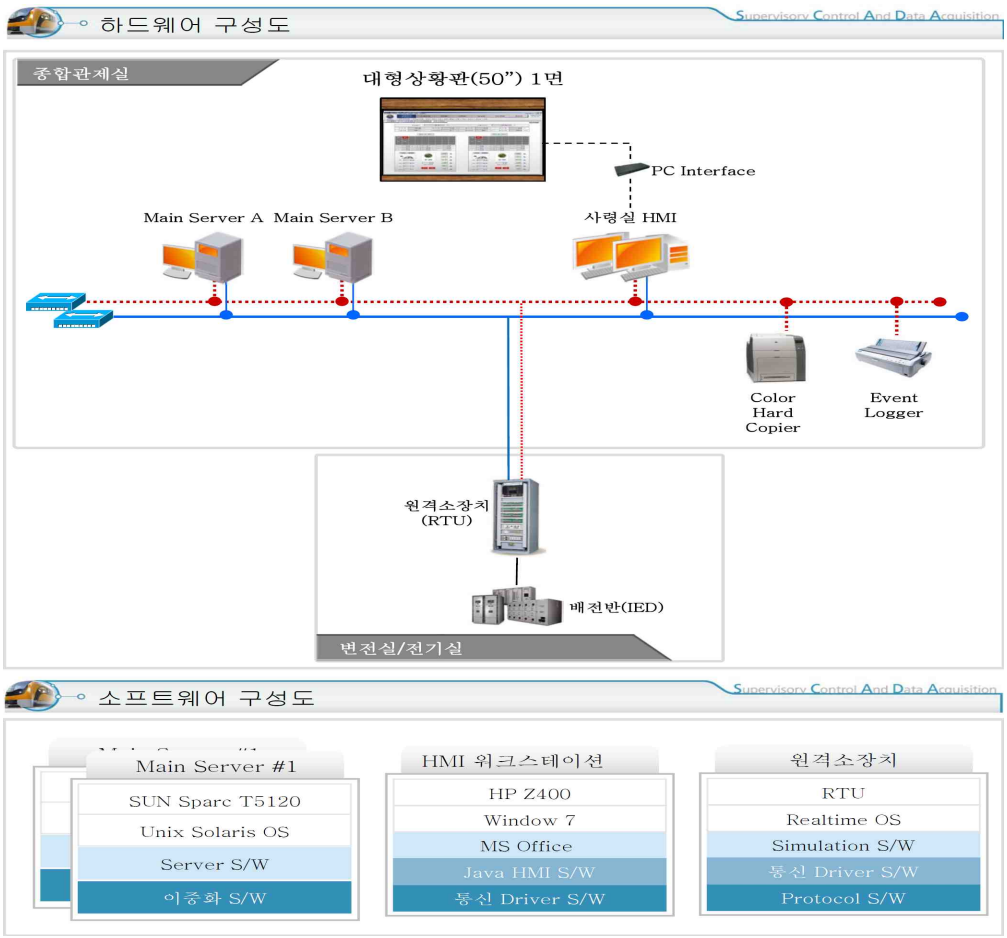
* 광(Optic) 포트 : 100Mbps

* 이더넷(Ethernet) 포트 : 10/100Mbps

라. SCADA 시스템 구성

(1) SCADA 시스템 하드웨어 구성

(가) Main Server



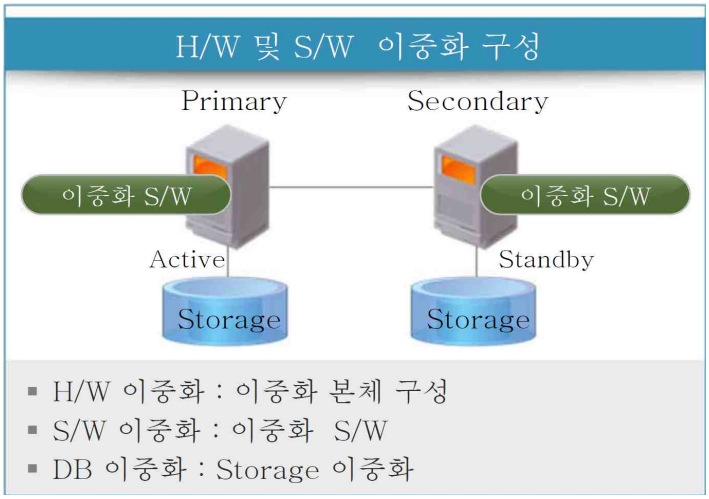
[그림 2.11.33] SCADA 시스템 구성도

① 주요기능

원격소장치로부터 전송되는 데이터의 취득, 처리, 보관을 위한 실시간 DB서버 기능을 수행하며 전력계통에 대한 원격감시제어기능을 수행하여 시스템 및 네트워크 이중화 구성을 통한 안정적인 시스템 운영 지원한다.

② 이중화 구성

하드웨어 및 소프트웨어에 대한 이중화 구성으로 시스템의 안정도 및 신뢰도를 향상시키고 고장 또는 장애시, 데이터 손실없이 무순단으로 전력계통에 대한 감시와 제어가 이루어 질 수 있도록 구성하였으며, 각종 감시 및 제어 포인트 및 사용자 데이터베이스에 대한 이중화를 통하여 사용자 오류, 하드웨어 고장, 천재지변 등 예기치 못한 장애시, 데이터베이스의 손실이 최소화되도록 구성하였다. 시스템 이중화 구성에 대한 개요도는 아래 그림과 같다.



[그림 2.11.34] Main Sever H/W 이중화 구성

③ 주요사양

SCADA 시스템 기술의 다변화, 급격한 기술진보 및 장래 확장성을 고려하여 사용자 요구에 신속한 대응을 할 수 있도록 개방형 시스템으로 구성하였으며, IEC61850 통신 프로토콜이외에 다양한 통신 프로토콜을 수용할 수 있도록 하고, 또한 시스템 신뢰도를 높이기 위하여 각 장비별로 기능을 분산시킨 분산형 시스템구성 등 시스템 요구사항에 적합하도록 Main Server의 사양을 선정하였다. Main Server의 사양은 다음과 같다.

모델명 : SUN Sparc Server T5120



제조사 : SUN Microsystems

- 16개의 메모리 슬롯, 16개의 디스크 지원
- 탁월한 속도, 보안성 및 가용성 제공
- 다수의 가상서버를 실행할수 있는 완벽한 설계
- 시스템 활용도를 높이고 비용절감 서버 분산 최소화
- 뛰어난 확장성을 제공하는 SoC 제품

구분	세부사양	비고
Processor	▪ 64Bit, 8-Core, 1.4GHz Processor	
운영체제	▪ Unix Solaris 10	
Clock Speed	▪ 1.4GHz	
Main Memory	▪ 16GB, 최대 64GB 확장 가능	
Cache Memory	▪ 4MB Intergrated Level 2 (L2) cache	
Hard Disk	▪ 2 x 300GB SAS	
Standard Interface	▪ 4 x 10/100/1000Mbps Ethernet ▪ 3 x PCI Express 2.0 Slot	
CD-ROM	▪ 내장형 DVD-RW	
전원장치	▪ Dual 이중화 구성	
케비넷	▪ 19" 케비넷 장착	
수량	▪ 2대(시스템 이중화 구성)	
Operator Guidance 기능	▪ 제공	

[그림 2.11.35] Main Sever 세부사양

(나) 네트워크 장치

① 주요기능

SCADA 시스템 이중화 구성에 적합한 빠른 네트워크통신을 수행할 수 있도록 이중화 방식의 100Mbps의 TCP/IP Ethernet 통신망을 구축하였으며, 종합관제실내 각종 컴퓨터 장치들은 네트워크 카드를 이중화로 구성하여 이상현상 발생시 자동절체하도록 구성하였다.

② 주요사양

장시간 운영에 필요한 내구성과 수명을 고려하였고, 각종 네트워크 장비 접속시 속도를 자동으로 결정할 수 있는 네트워크 장치를 선정하였다. [그림 2.11.36]는 다음과 같다.



구분	세부사양	비고
Port	▪ 10/100/1000Mbps Switching Hub 24 Port	
Interface Cable	▪ 카테고리 5 기본적용(설치장소에 따라 외란방지용 케이블 적용)	
설치수량	▪ 2대 (이중화 구성)	
Performance	▪ 100 Mb Latency < 5 μs ▪ 1000 Mb Latency < 5 μs	
Throughput	▪ 6.6 million pps	
Environment	▪ Operating : 0°C to 45°C	
Electrical Charateristic	▪ 100-240 VAC, 50/60Hz	

[그림 2.11.36] 네트워크 장치 세부사양

(다) HMI 워크스테이션

① 주요기능

종합관제실의 운전원이 전력계통에 대한 실시간의 데이터를 이중화된 그래픽 모니터상에서 감시, 제어 조작을 수행할 수 있도록 운영자의 인터페이스 환경을 제공하고, 이례상황 발생시 시각적 효과와 함께 청각적 효과인 알람 경보를 발생하고 장애이벤트를 표출하여 운전원이 신속한 고장원인을 파악함으로써 안정적인 전력계통을 운영할 수 있도록 구성하였다.

② 주요사양

SCADA 시스템은 상시 감시체제로 장시간 운영되기 때문에 각종 장비의 에너지 소비 및 발열에 의한 고장 빈도가 높게 발생하고 있어 Energy Star 인증 구성으로 전력 및 냉각 비용이 최소화를 고려하였으며, 장시간 운영에 따른 가동중 최적의 안정성 확보 및 에너지 절약 기능으로 전력 소비를 절감할 수 있는 장비로 구성하였다. HMI 워크스테이션의 사양은 [그림 2.11.37]과 같다.

모델명 : HP workstation z420



제조사 : Hewlett-Packard

- ENERGY STAR 인증 구성으로 전력 및 냉각 비용 최소화
- 심층적인 테스트 및 품질 보증을 통해 가동중 최적의 안정성을 확보
- 짧은 시간에 보다 많은 성과를 달성
- 에너지 절약 기능으로 전력 소비 감소

구분	세부사양	비고
CPU	▪ Intel Xeon Processor E5-1620 QC CPU	
Clock Speed	▪ 3.60 GHz	
Main Memory	▪ 4GB	
Hard Disk	▪ 500GB 7200rpm SATA	
Interface	▪ 2 x 10/100/1000Mbps Ethernet	

[그림 2.11.37] HMI 세부사양

(라) Event Logger 및 Hard Copier

① 주요기능

장애 분석에 활용하고 장래 발생할 수 있는 유사한 사고에 대한 상황 대처 및 예지 정비를 위한 전력계통에서 발생되는 각종 이벤트 및 시스템 장애에 대한 이벤트를 이벤트 로거에 기록하여 기능을 수행한다. 그 주요 사양은 [그림 2.11.38]과 같다.



제조사 : Epson

- 더욱 빨라진 출력 속도
- 강화된 다양한 인터페이스
- 업무향상을 위한 최고의 신뢰성
- 친환경을 위한 저전력 소비
- 오래 지속되는 리본 수명

구분	세부사양	비고
인쇄방식	▪ 충격식 도트 매트릭스	
헤드핀수 인쇄가능열	▪ 24PIN/136Colum	
인쇄속도	▪ 396cps	
용지지원사양	▪ 80, 136Colum	
용지폭	▪ 낱장용지 : 101 ~ 420mm ▪ 연속용지 : 101 ~ 406mm	
사용문자	▪ KS완성/조합형,ASCII,특수문자,Etc	
버퍼	▪ 128KB	
에뮬레이션	▪ KS, KSSM+ , AES, 바코드	
인터페이스	▪ Parallel, USB	
리본색상 리본수명	▪ 흑색 / 1500만 문자	
프린터 책상	▪ 프린터 책상 제공	

[그림 2.11.38] Event Logger 세부사양

(마) 대형상황판

① 주요기능

종합관제실내 운전원이 전력계통에 대한 전체적인 상황, 차단기 투·개방 상태 및 급전 상태를 집중 관리할 수 있도록 전체계통도가 현시되고, 또한 전력에너지의 흐름을 표시할 수 있도록 구성하였다. 주요사양은 [그림 2.11.39]와 같다.



제조사 : CHRISTIE

- Advanced Smart Lamp
- Tailor-made System
- Dynamic Color & Brightness Balancing
- Advanced Smart Color Wheel
- Full Front Installation and Maintenance Capability

구분	세부사양	비고
화면크기	▪ 50inch 1면	
기본해상도	▪ 1400 x 1050(SXGA+)	
광량	▪ 600 ANSI lumens	
수명	▪ LED Lamp(60,000hrs)	
Base Frame	▪ Base Frame : Al 재질	

[그림 2.11.39] 대형상황판 세부사양

(바) RTU

① 주요기능

오송시험선에 구축되는 전력공급용 전기실내 AC/DC배전반의 IED와의 통신을 통하여 변전설비의 운전정보를 취득하여 상위 SCADA로 전송하며 상위 SCADA의 제어명령을 IED로 전송하여 차단기를 제어하고 감시하는 기능을 수행한다.

② 주요사양

원격소장치(RTU)의 주요 구성부분인 MPU/Power/Communication 장치에 대한 이중화 구성을 통한 자동절체를 통하여 시스템의 무중단 운영을 할 수 있도록 하였고, 각종 이벤트에 대한 사고 시 분석을 수행할 수 있도록 1ms의 사고분석능력을 갖는 SOE(Sequence Of Event) 기능을 탑재하였으며, 변전자동화 구현을 위한 통신 프로토콜인 IEC 61850 프로토콜을 적용하여 현장 설비의 데이터를 취득할 수 있도록 개발하였다.

- MPU(Main Process Unit)

MPU 모듈은 고속의 32bit Microprocessor인 MPC8270을 탑재한 제어기 보드이며 상위 시스템과는 EIO Board를 이용하여 인터페이스가 가능하며 현장 AC/DC배전반으로부터의 데이터 취득은 EIO Board를 통하여 데이터를 연계한다. 또한, 종래에 사용되어 오던 아날로그 데이터 취득을 위하여 DI/DO/AI모듈을 탑재하였으며, 이들로부터 발생하는 이벤트의 로깅이나 보관작업 및 데이터베이스 변환기능 등 전반적인 원격소장치(RTU)의 주처리 장치로 동작하여 고속의 데이터처리를 통하여 신뢰성 있는 원격소장치(RTU)의 중추적 기능을 담당하며, 통신 프로토콜기능에 의하여 상위 NTP서버 시간과 동기화가 가능하도록 개발하였다.



구분	세부사양	비고
CPU	▪ 32BIT MPC8377 400Mhz	
Memory	▪ DRAM: 64 Mbyte 이상 / Battery Backup SRAM: 512 Kbyte 이상	
O/S	▪ Real Time Multi Task O/S(VxWorks), VRTX	
통신 PORT	▪ Ethernet 10Base-T 2Port ▪ Serial RS-232C/RS-485 2 Port	
Realtime Clock/Calendar	▪ 25μs이내 시간동기	
System Bus 구조	▪ VME Bus (IEEE 1014)채용	
LED Display	▪ RUN, VME, DIA 0/1, FAIL, SCON, LAN1/2(TX,RX)	
Switch	▪ Reset Switch, DIP Switch	
특징	▪ 저소비전력 CMOS 구조 ▪ 16Bit Watch-Dog Timer ▪ Battery Back Up 기능	
전원공급	▪ +5V DC 3.5~4A, ±12V DC Max.200mA	
Demension	▪ 233.4mm(H)X160mm(W), 전면 폭 20mm	

[그림 2.11.40] MPU 세부사양

- ESIO(고속통신모듈)

ESIO모듈은 고속의 32bit Microprocessor인 MPC8377을 탑재한 제어기보드로 하위 AC/DC배전반 IED와 연결하여 전력설비 현장 데이터를 취득하여 상위 시스템으로 고속의 Data전송이 가능하고, IEC 61850, DNP3.0, Modbus Protocol을 지원하며 상위시스템과는 이중화된 통신채널을 이용하여 Ethernet 통신을 수행할 수 있도록 설계하였다.



고속통신모듈(ESIO)

- 32BIT MPC8377 400Mhz
- DRAM: 64Mbyte 이상 + Flash 메모리: 8Mbyte 이상
- Battery Back Up 기능

구 분	세부사양	비고
CPU	▪ 32BIT MPC8377 400Mhz	
Memory	▪ DRAM: 64Mbyte 이상 + Flash 메모리: 8Mbyte 이상	
통신 PORT	▪ Ethernet /Serial Port	
System Bus 구조	▪ VME Bus (IEEE 1014)채용	
LED Display	▪ PWR, RST, VME, TX, RX, S1~S8	
특징	▪ Ethernet Input/Output Controller ▪ 저소비전력 CMOS 구조 ▪ Watch-Dog Timer ▪ 고속 DMA 지원	
Demension	▪ 233.4mm(H)X160mm(W), 전면 폭 20mm	

[그림 2.11.41] ESIO 세부사양

- DI모듈(Digital Input)

감시부, 적산부는 Digital Input용 Interface Module로서 32포인트의 디지털 상태를 처리할 수 있다. CPU 모듈과는 VME버스를 통하여 연결되고, 입력부는 서지에 대한 보호회로와 Debounce 방지회로가 내장되어 있다. 더불어 운영자는 적산을 이용하고자 할 때는 PI 모듈로 사용이 가능하다. 또한 전면의 LED를 통하여 상태감시가 용이하도록 개발하였다.

모델명 : DI 모듈



디지털 입력(DI : Digital Input)

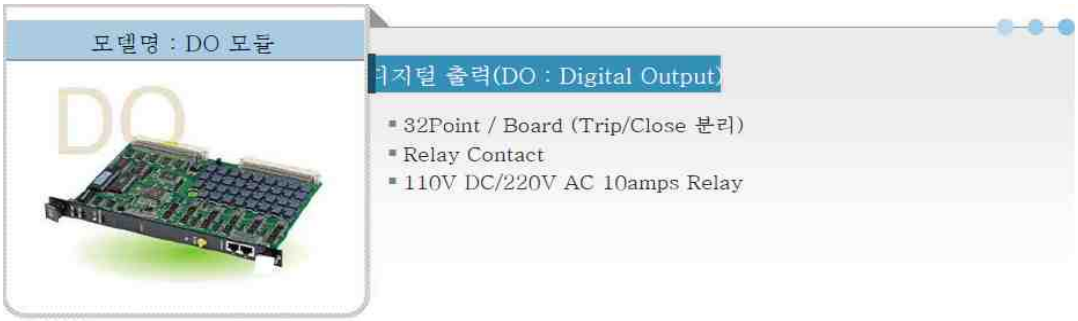
- 개폐상태등의 감시부, 신호 적산 처리부
- +5V DC, +24~35 DC Dry Contact
- PWR, RST, VME, RUN, FND 4EA(계측입력값 표시), 음수값 표시 LED 1EA
- 4~64msec Resolution으로 Time Tagging

구분	세부 사양	비고
CPU	▪ 32BIT Intel 80386 25MHz	
Memory	▪ EPROM 128KB, EEPROM 32KB, DPRAM 2Kbit	
통신 PORT	▪ Serial RS-232C 1EA, 38.4Kbps Async	
Input Point	▪ 32Point / Board	
Input Signal	▪ Dry Contact	
Input Voltage	▪ +5V DC, +24~35 DC	
Resolution	▪ 16bit	
A/D Converter	▪ Total conversion time 10μs	
Debounce Time	▪ 4~64msec	
Accuracy	▪ ±0.1% Full Scale	
LED Display	▪ PWR, RST, VME, RUN, FND 4EA(계측입력값 표시) ▪ 음수값 표시 LED 1EA	
Switch	▪ On/Off Switch, Reset Switch, 계측포인트지정용 ID Switch	
특징	▪ 저소비전력 CMOS 구조, SOE 지원	
입력임피던스	▪ 10M Ω	
Power Consumption	▪ 5V DC, 12V 3.6W (0.72A)	
Surge Protection	▪ ANSI / IEEE 37.90A SWC Condition	
Isolation	▪ Photo Coupler절연, 입력부는 전기적으로 절연	
Demension	▪ 233.4mm(H)X160mm(W), 전면 폭 20mm	

[그림 2.11.42] DI Module 세부사양

- DO모듈(Digital Output)

CPU 모듈로부터 제어명령을 받아 현장설비를 구동하는 모듈로써, 하드웨어적으로는 인터락이 구성되어 있으며, 소프트웨어적으로는 Arm/Operating 명령을 가지고 있어서 높은 안정성과 신뢰성을 가질수 있도록 설계, 개발하였으며, 또한 제어를 위한 SBO(Select Before Operating)기능이 구비되고 있고, 1ms 미만의 SOEqnsgosmd 해상도 기능을 탑재하였다.



구분	세부 사양	비고
CPU	▪ 32BIT Intel 80386 25MHz	
Memory	▪ EPROM 128KB, EEPROM 32KB, DPRAM 2Kbit	
통신 PORT	▪ Serial RS-232C 1EA, 38.4Kbps Async	
Output Point	▪ 32Point / Board (Trip/Close 분리)	
Output Signal	▪ Relay Contact	
Output 접점용량	▪ AC 125V/1A, DC 24V/10A	
Input Voltage	▪ +5V DC, +5~35V DC (Output Relay)	
Operatin Time	▪ 100ms (Max. 1sec)	
Debounce Time	▪ 4~200msec (1msec 단위조정가능)	
LED Display	▪ PWR, RST, VME, RUN, TR/CL, 출력 Point	
Switch	▪ Module Address Switch	
특징	▪ 저소비전력 CMOS 구조 ▪ 동작수행시 3개 Relay 동작 3중 구조 안전장치 ▪ 동작전 점검(Check Before Operate)기능 ▪ 16bit Watch-Dog Timer	
Power Consumption	▪ 5V DC(2.9W,0.58A), 12V (0.3W, 0.6A)	
Surge Protection	▪ ANSI / IEEE 37.90A SWC Condition	
Isolation	▪ Relay에 의한 1,2차 분리 ▪ 출력부는 전기적으로 결연(Photo Coupler 결연)	
Demension	▪ 233.4mm(H)X160mm(W), 전면 폭 20mm	

[그림 2.11.43] DO Module 세부사양

- AI모듈(Analog Input)

전력설비로부터 취득한 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 CPU Board로 전성하는 역할을 하며 입력은 변환기장치에서 공급된다. 측정 모듈은 기준 아날로그 신호를 발생하여 이를 디지털 신호로 변환하여 보드 내에서 이득(Gain) 조정이 적합한가를 판별, 그 상태를 중앙장치로 전송할 수 있는 기능을 탑재하였다.



구분	세부 사양	비고
CPU	▪ 32BIT Intel 80386 25MHz	
Memory	▪ EPROM 128KB, EEPROM 32KB, DPRAM 2Kbit	
통신 PORT	▪ Serial RS-232C 1EA, 38.4Kbps Async	
Input Point	▪ 16Point / Board	
Input Signal	▪ ±1.0mA ±10%, DC 4~20mA	
Resolution	▪ 16bit	
A/D Converter	▪ Total conversion time 10μs	
Debounce Time	▪ 4~64msec	
Accuracy	▪ ±0.1% Full Scale	
LED Display	▪ PWR, RST, VME, RUN, FND 4EA(계측입력값 표시) ▪ 음수값표시LED 1EA	
Switch	▪ On/Off Switch, Reset Switch, 계측포인트지정용 ID Switch	
특징	▪ 저소비전력 CMOS 구조	
입력임피던스	▪ 10M Ω	
Power Consumption	▪ 5V DC, 12V 3.6W (0.72A)	
Surge Protection	▪ ANSI / IEEE 37.90A SWC Condition	
Isolation	▪ Photo Coupler절연, 입력부는 전기적으로 절연	
Demension	▪ 233.4mm(H)X160mm(W), 전면폭 20mm	

[그림 2.11.44] AI Module 세부사양

- PDU모듈(전원공급장치)

Power Supply의 출력전류는 정격전류의 130% 이내로 제한되어 과전류를 방지할 수 있으며, 출력 측을 1분간 단락, 1분간 개방을 10회 반복 시험하여도 이상이 없는 단락보호기능이 있으며 전원 투입 시 과도 출력전압의 발생을 방지하기 위한 Soft Starting 회로가 내장되어 있으며, 또한 Main Power의 입력 AC사용전원의 손실상태를 종합사령실 운전원이 인지할 수 있도록 상위 시스템으로 전송하도록 설계하였으며, 입력전원은 AC/DC 이중화로 정상 전압의 15% 감소 시 내장 Battery 백업을 통하여 4시간 이상 정상전원을 공급할 수 있도록 개발하였다.

모델명 : PDU



전원공급장치

- Input Voltage : AC220V-196V~264V, DC125V-90V~150V,60Hz
- Output Voltage : DC54V-20A, DC48V-5A, DC24V-4A
- Size : 4U(h)*19"(w)*420mm(d)
- Battery : ES12-12*4EA
- Battery Charger 탑재

구분	세부 사양	비고
Input Voltage	▪ AC220V-196V~264V ▪ DC125V-90V~150V	
Output Voltage	▪ DC54V ▪ DC48V ▪ DC24V	
Size	▪ 4U(h)*19"(w)*420mm(d)	
효율	▪ 70% 이상	
무순단 결체	▪ 유	
축전지	▪ 충전방식 : 부동충전 ▪ 충전전압/전류 : 53.5V - 54.5V / 1A ▪ 과방전 방지 : 축전지 전압이 43±0.5V 이하 출력 차단 ▪ 축전지 사양 : 무보수 밀폐형 연 축전지 ES12V-12AH * 4EA ▪ 교환주기 : 상온/정상적인 환경조건에서 사용 시 매2년 ▪ Back up time : 4시간	
환경조건	▪ 사용온도 : - 0 ℃ - 50 ℃, 사용습도 : 10% - 90%	

[그림 2.11.45] PDU Module 세부사양

- 외함 구성 및 기능

옥내용 개방 수직자립형 구조로서, 그 규격은 800(W)×800(D)×2350(H)mm이며, RTU 개별 장치를 보호하고 장시간 운영에 따른 신뢰도와 안정성을 확보하기 위하여 외함 내부에는 외부 온도 변화 시 장치의 동작 온도 조건을 만족시키는 자동 온도 조절 장치를 부착하였고, 외부로부터 먼지 및 오물의 유입을 방지할 수 있는 구조로 설계하였다. 유지보수를 위해 상용전원(AC) 차단용 NFB 스위치를 부착하였으며, 보수 장비용 전용 콘센트와 내부 조명등을 설치하였다.

(2) 소프트웨어 주요 기능 리스트

(가) SCADA 소프트웨어

[표 2.11.7] SCADA 소프트웨어

항 목	내 용	비고
SCADA S/W	IEC 61850 표준규격을 이용하여 원격소장치와 정보 교환기능	
	각종 정보를 분류/분석/처리하여 계통의 상태 및 계측치 컬러화면 표시	
	개방형 구조로 On-Line I/O 작업(수정, 갱신) 기능	
	프로그램 장애시 자동 타스크 재기동(Auto Restart) 기능	
	SCADA 시스템내 장치별 시간동기 기능	
	데이터 포인트 및 주컴퓨터 장치 데이터 포인트에 대한 추가, 삭제, 변경 기능	
	수동으로 고장복구 또는 주/예비 중앙처리장치 절체 기능	
	Multi Tasking, Multi Processing이 기능	
	사령자가 전력설비를 감시/제어하는데 필요한 작업계획, 자료저장관리 및 각종 자원을 분배할 수 있는 개방형구조	
	IEC 61850-7-4 표준을 참조하여 클래스 모델링 진행과 Logical Node의 구현 기능	
	RTU와 직접적으로 Ethernet 방식의 네트워크를 통하여 IEC 61850 통신기능	
	IEC 61850 통신의 Basic Exchang 처리	
	IEC 61850 통신의 Data Set 처리	
	IEC 61850 통신의 Data Set Definition 처리	
	IEC 61850 통신의 Unbuffered reporting 처리	
	IEC 61850 통신의 Control Block 처리	
	IEC 61850 통신의 Time Sync처리	

(나) HMI 소프트웨어

[표 2.11.8] HMI 소프트웨어

항 목	내 용	비고
HMI S/W	자동적인 메모리 관리(Garbage Collector) HMI 시스템	
	시스템 구동시 자원 할당 및 관리 작업 실행과 SCADA 프로세싱 기능의 동시 실행	
	특정한 플랫폼(하드웨어, 운영체제)에 비종속적인 HMI 소프트웨어 기능 제공	
	전력에너지 관리를 위한 데이터의 애니메이션 기능	
	SCADA 시스템은 모든 원격소장치와 전용 통신회선을 통하여 직접 접속	
	제조사의 고유특성과 관계없이 SCL이용한 엔지니어링 지원	
	SA(변전자동화) 엔지니어링은 표준화된 XML로 작성된 SCL을 지원	
	CD(IED 기능정의), SSD(변전소 구조정보), SCD(IED 간 통신설정), CID(IED 포맷) 통한 자동화된 시스템 구축 실행	
	Java 기반 HMI는 WINDOWS 기반의 GUI가 지원된 MULTI WINDOW	
	기술사양에 따른 감시및제어기능, 경보 및 이벤트기능 기록 및 보고 기능, 자동화 기능, 절환기능, 고장 탐색 및 회복기능, 시스템 구성관리, 관리 및 보안기능, 전력 부가 기능	

(다) RTU 소프트웨어

[표 2.11.9] RTU 소프트웨어

항 목	내 용	비고
RTU S/W	IEC 61850 표준 프로토콜을 지원하는 Server 모듈과 Client 모듈의 지원	
	표준시각을 GPS로부터 수신하여 각 장치에 통신으로 제공해주는 Time Server 기능	
	표준 시각 동기 장치간 통신 이상 시 IEC 61850 IED에 시각 동기 기능을 제공하는 Time Server 기능	
	이기종 Protocol 변환에 따른 데이터 mapping 기능을 내장	
	시스템 자가진단 기능	
	산업용 프로토콜 DNP3.0 Modbus(TCP, RTU, ASSCII), IEC 61850 기타 로컬장비의 기존 프로토콜 지원	
	현장기기로부터의 데이터를 IEC 61850 Server 기능을 통하여 전송	
	XML 기반으로 구성된 표준화된 스키마에 따라 제공되는 SCL의 입력으로 교체작업의 처리가 완료	
	전력 설비들의 요소 기능들을 논리적인 객체(LN, Logical Node)로 모델링	
	워치-독(Watch Dog) 타이머 기능	
	이중화 MPU 절체장치	
	IED와의 통신 프로토콜은 IEC 61850을 적용	
	RTU I/O는 모듈 방식으로 확장 가능	

(3) SCADA시스템 연구개발 검사 실시



[그림 2.11.46] 초고속 자기부상열차 SCADA 검사 (1)



[그림 2.11.47] 초고속 자기부상열차 SCADA 검사 (2)



[그림 2.11.48] 초고속 자기부상열차 SCADA 검사 (3)

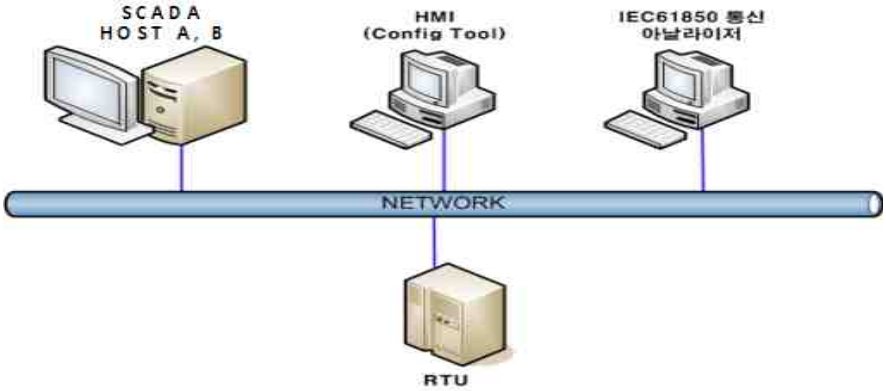


[그림 2.11.49] 초고속 자기부상열차 SCADA 검사 (4)

마. 종합시험(단거리시험선) 절차서 및 기록서

(1) 기능 시험

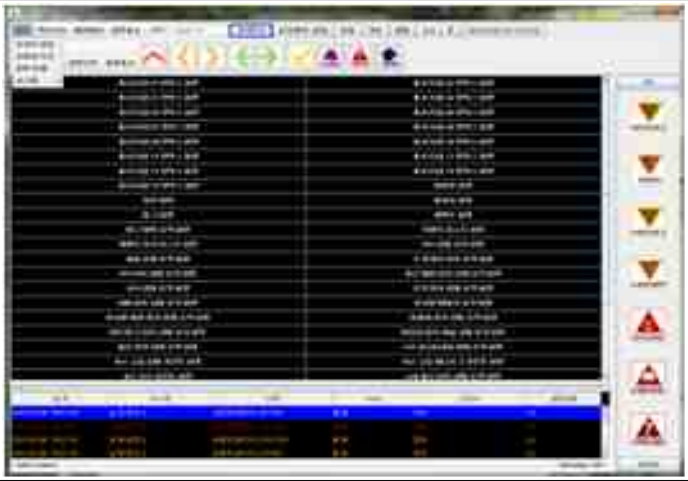
(가) 시험환경 구축

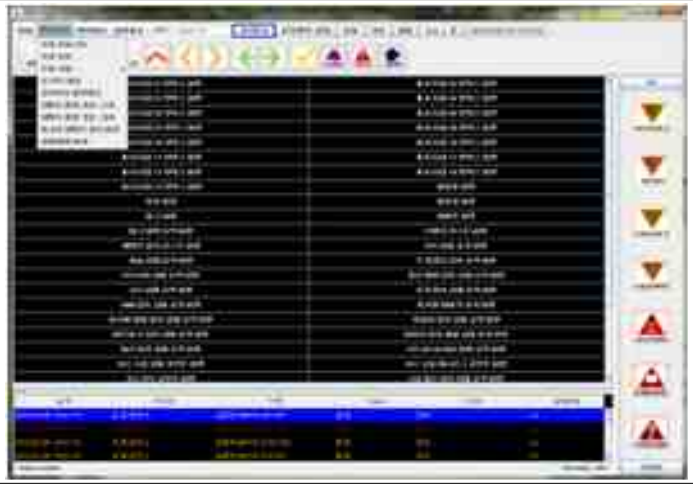


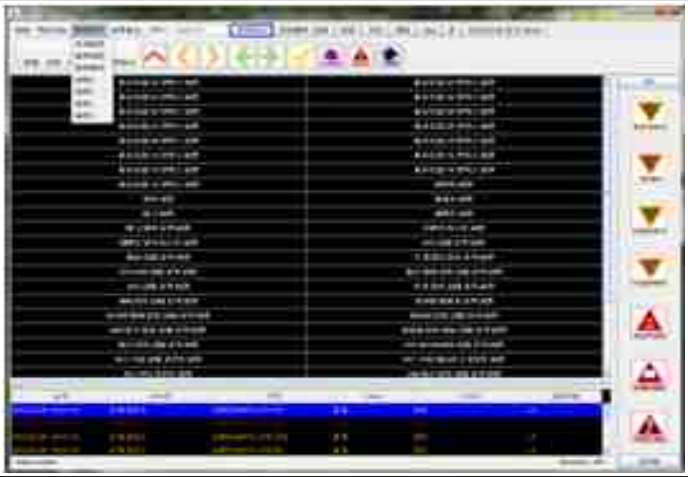
중앙서버장치(IEC-61850 Client)와 RTU(IEC-61850 Server)간 시험환경 구축을 통하여 IEC-61850 통신 기능에 대한 테스트를 수행한다. 통신 기능 유효성을 확인하기 위하여 통신데이터를 분석할 수 있는 애널라이저를 연결한다. RTU로부터 전송되는 통신 데이터를 통해 데이터 업데이트 및 알람, 이벤트 및 기타 HMI의 운영 화면을 점검한다.

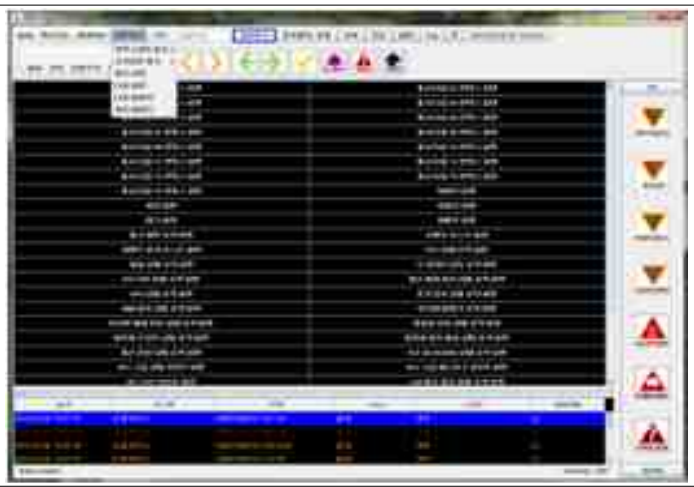
(나) JAVA 기반 HMI(Human Machine Interface) 기능 시험

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	화면 구성	
화면		
검수 방법	1. TSFrame.jar 실행 2. 화면구성 확인 3. 컨트롤창 확인 4. 뷰포트창 확인 5. 공통경보창 확인 6. 미니맵 확인	
비고	JAVA HMI를 실행하여 각 화면이 정상적으로 표현되는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	컨트롤 윈도우 - 파일	
화면		
검수 방법	1. 뷰포트 생성 메뉴 확인 2. 사용자노트 메뉴 확인 3. 화면인쇄 메뉴 확인 4. 시스템 메뉴 확인	
비고	컨트롤 윈도우의 파일 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	컨트롤 윈도우 - 액션기능	
화면		
검수 방법	1. 부저 금지/가능 메뉴 확인 2. 부저 정지 메뉴 확인 3. 부저시험 메뉴 확인 4. 뷰포트 이동 메뉴 확인 5. 경보확인 출력여부 메뉴 확인 6. 이벤트 팝업 자동/수동 메뉴 확인 7. 이벤트 팝업 가능/금지 메뉴 확인 8. 중고장 이벤트 표시설정 메뉴 확인 9. 일괄제어 MAIN 메뉴 확인	
비고	컨트롤 윈도우의 액션기능 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	컨트롤 윈도우 - 레이아웃	
화면		
검수 방법	1. 초기화면 메뉴 확인 2. 화면저장 메뉴 확인 3. 화면출력 메뉴 확인 4. 화면 0, 1, 2, 3 메뉴 확인	
비고	컨트롤 윈도우의 레이아웃 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	컨트롤 윈도우 - 화면표시	
화면		
검수 방법	1. 인덱스화면 표시 메뉴 확인 2. 요약화면 표시 메뉴 확인 3. 이전화면 메뉴 확인 4. 다음화면 메뉴 확인 5. 다음페이지 메뉴 확인 6. 이전페이지 메뉴 확인	
비고	컨트롤 윈도우의 화면표시 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	컨트롤 윈도우 - TSP	
화면		
검수 방법	TSP 번호 이동 확인	
비고	TSP에 타입-셋-페이지 번호를 입력하여 정상적으로 이동하는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	컨트롤 윈도우 - 상태바	
화면		
검수 방법	1. 호스트 상태 확인 2. 액션기능 - 경보확인 출력여부 선택 후 상태 확인 3. 액션기능 - 이벤트 팝업 자동/수동 선택 후 상태 확인 4. 액션기능 - 이벤트 팝업 가능/금지 선택 후 상태 확인 5. 현재시간 확인	
비고	상태바의 현재상태를 확인하고 기능 동작 후 상태가 바뀌었는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	뷰포트 윈도우 - 파일	
화면		
검수 방법	1. 화면인쇄 메뉴 확인 2. 페이지 인쇄 메뉴 확인 3. 데이터 인쇄 메뉴 확인 4. 이벤트 인쇄 메뉴 확인 5. 종료 메뉴 확인	
비고	뷰포트 윈도우의 파일 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

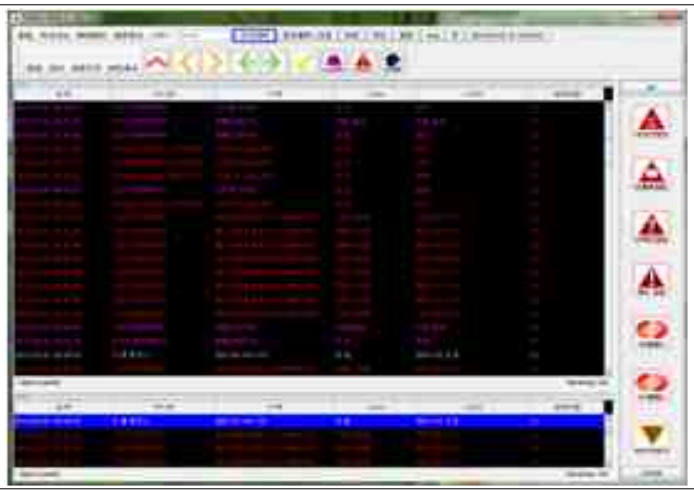
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	뷰포트 윈도우 - 경보	
화면		
검수 방법	1. 경보 확인 메뉴 확인 2. 경보 삭제 메뉴 확인	
비고	뷰포트 윈도우의 경보 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

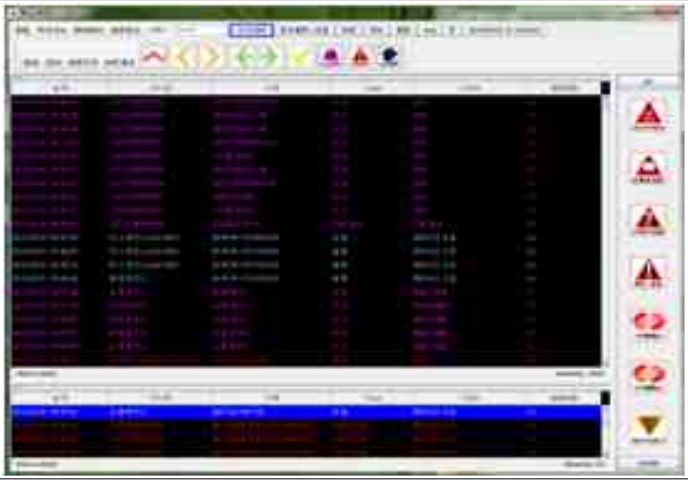
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	뷰포트 윈도우 - 화면조작	
화면		
검수 방법	1. 프리즈 설정/해제 메뉴 확인 2. 줌 인 메뉴 확인 3. 줌 아웃 메뉴 확인 4. ERV(사고기록재현) 메뉴 확인	
비고	뷰포트 윈도우의 화면조작 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

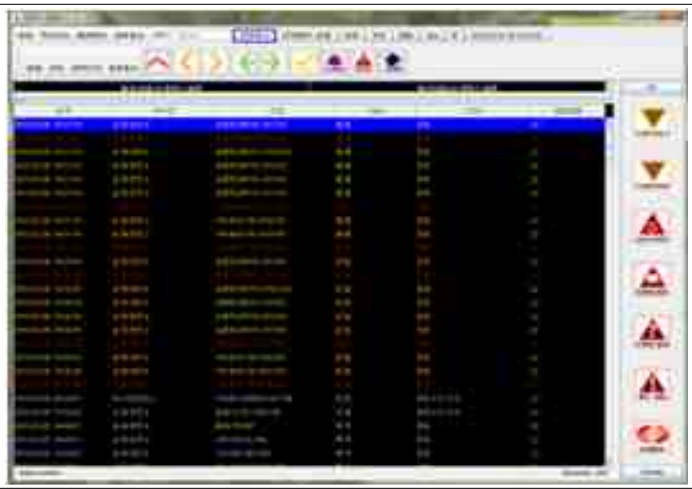
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	뷰포트 윈도우 - 단축 버튼	
화면		
검수 방법	1. 인덱스 화면 이동 버튼 확인 2. 이전 화면 버튼 확인 3. 다음 화면 버튼 확인 4. 이전 페이지 버튼 확인 5. 다음 페이지 버튼 확인 5. 부저 금지/가능 버튼 확인 6. 중고장 이벤트 버튼 확인 7. Home 화면 버튼 확인	
비고	뷰포트 윈도우의 단축버튼 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

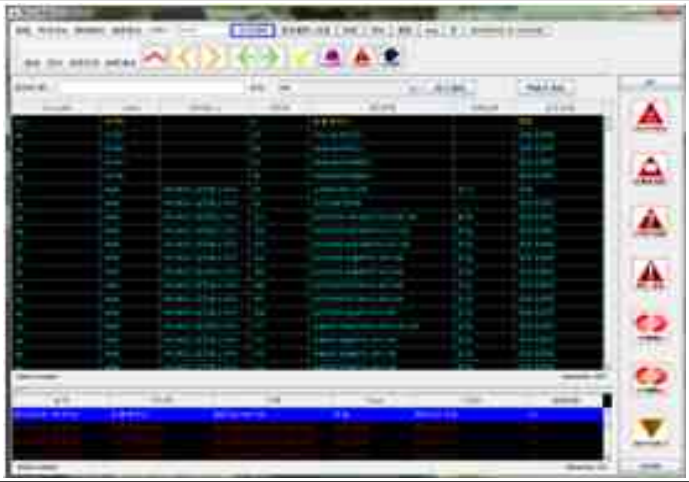
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	뷰포트 생성	
화면		
검수 방법	1. 뷰포트 생성 기능 확인 2. 생성된 뷰포트의 내부 메뉴 동작 확인 3. 생성된 뷰포트의 단축 버튼 동작 확인	
비고	뷰포트 생성 메뉴를 통해 생성된 뷰포트의 각 항목들이 정상적으로 동작하는지 확인함	

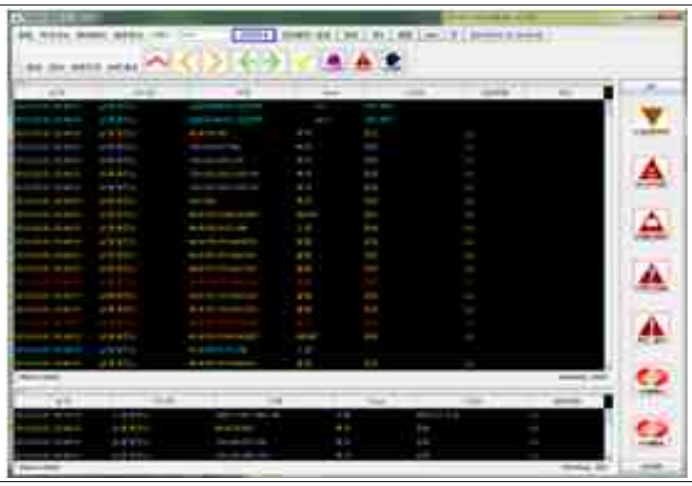
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	선택 다이얼로그	
화면		
검수 방법	1. 해당 포인트에 대한 선택 다이얼로그 메뉴 구성 확인 2. 포인트 정보 확인 3. 버튼 및 제어동작 확인	
비고	요약화면에서 포인트 오른쪽버튼 선택으로 진입하여 선택 다이얼로그의 각 항목들이 정상적으로 동작하는지 확인함	

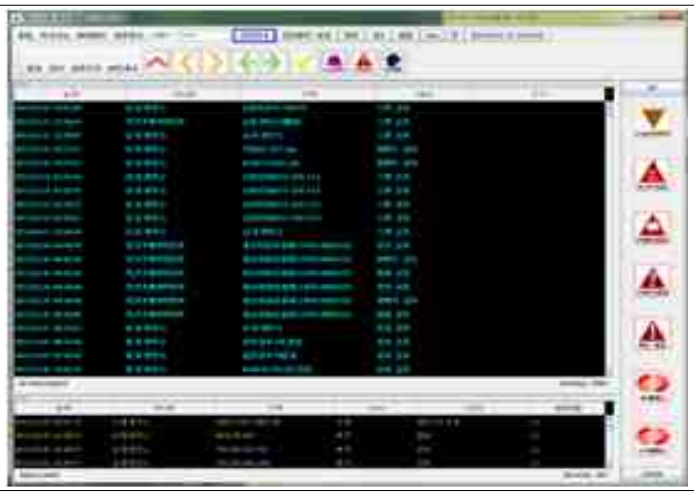
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	미확인 화면	
화면		
검수 방법	1. 미확인 이벤트 내역 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 이벤트 필터 기능 확인(이벤트류 요약화면 공통) 4. 컬럼 순서 변경 기능 확인(요약화면 공통) 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 미확인으로 진입하여 미확인 화면의 이벤트 내역이 정상적으로 표현되는지 엑셀의 내용이 정상적으로 표현되는지 확인함	

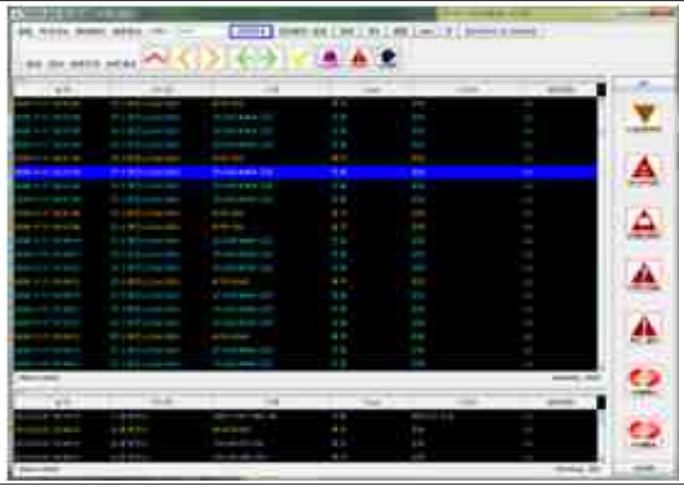
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	확인 화면	
화면		
검수 방법	1. 확인 이벤트 내역 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 확인으로 진입하여 확인 화면의 이벤트 내역이 정상적으로 표현되는지 엑셀의 내용이 정상적으로 표현되는지 확인함	

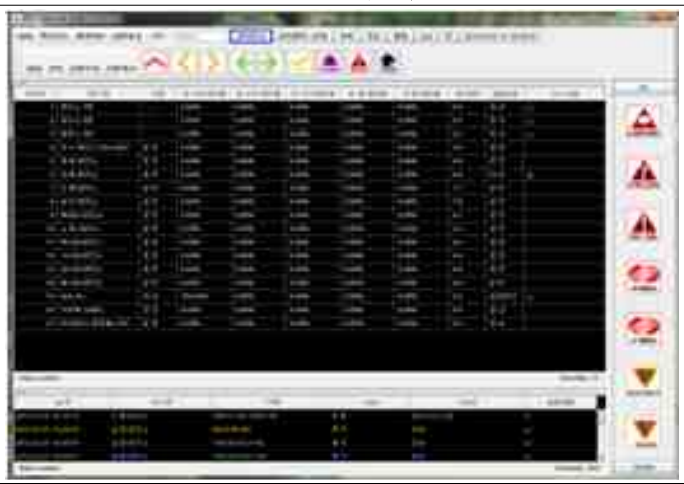
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	비정상 화면	
화면		
검수 방법	1. 비정상 포인트 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 비정상으로 진입하여 비정상 화면의 이벤트 내역이 정상적으로 표현되는지 엑셀의 내용이 정상적으로 표현되는지 확인함	

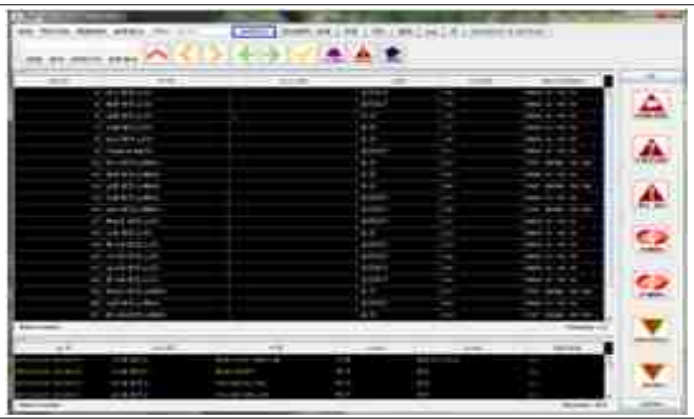
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	태그 화면	
화면		
검수 방법	1. 태깅 적용 포인트 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 태그요약화면으로 진입하여 태그요약화면의 태그 내역이 정상적으로 표현되는지 엑셀의 내용이 정상적으로 표현되는지 확인함	

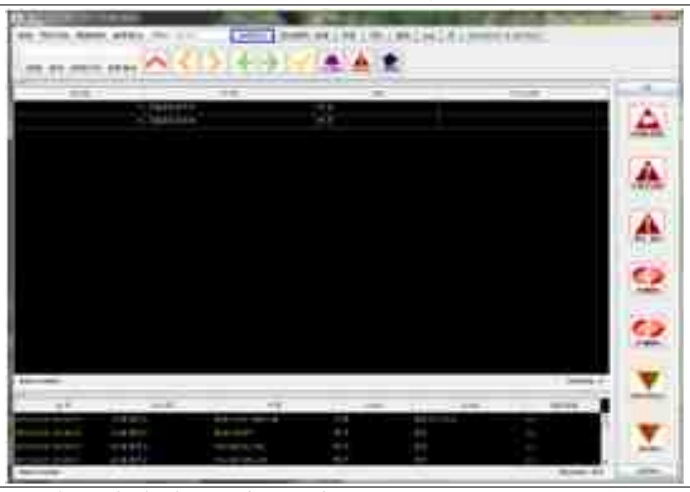
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	이벤트 화면	
화면		
검수 방법	1. 이벤트 내역 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 이벤트로 진입하여 이벤트 화면의 이벤트 내역이 정상적으로 표현되는지 엑셀의 내용이 정상적으로 표현되는지 확인함	

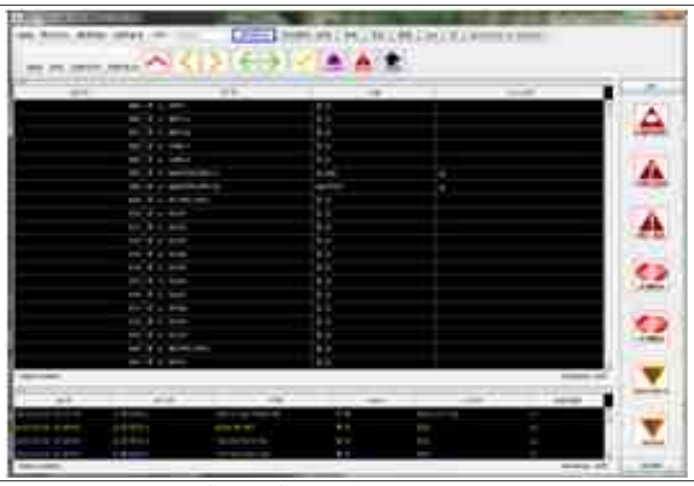
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	태그 이력 화면	
화면		
검수 방법	1. 태깅 이력 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 태그 이력으로 진입하여 태그 이력 화면의 태그이력 내역이 정상적으로 표현되는지 엑셀의 내용이 정상적으로 표현되는지 확인함	

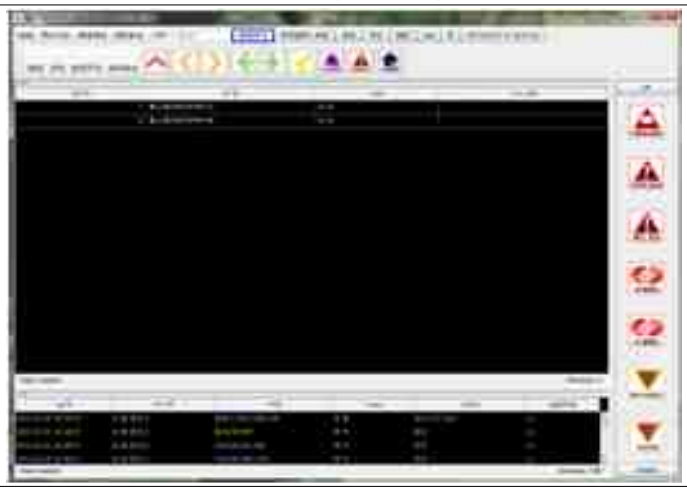
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	이벤트 분석 화면	
화면		
검수 방법	1. 이벤트 내역 분석 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 이벤트 분석으로 진입하여 이벤트 분석 화면의 이벤트 내역이 정상적으로 표현되는지 엑셀의 내용이 정상적으로 표현되는지 확인함	

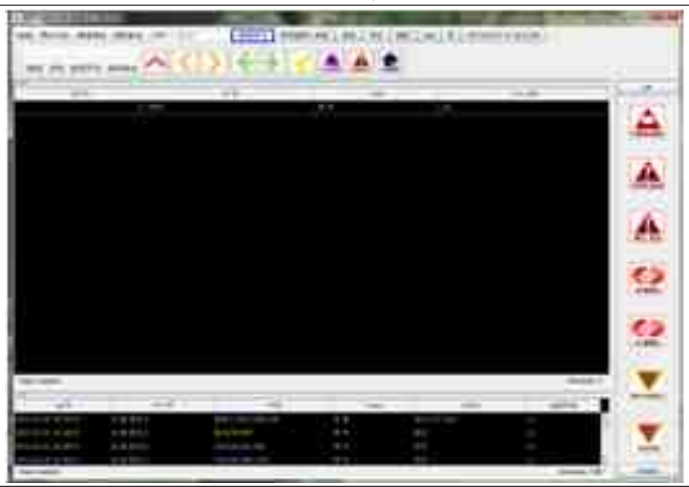
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	RTU 상태 화면	
화면		
검수 방법	1. RTU 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 RTU 상태요약화면으로 진입하여 RTU 상태요약 화면의 RTU 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

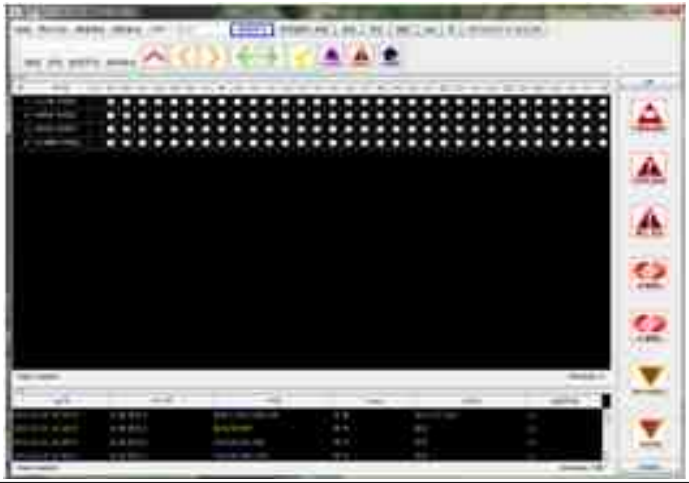
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	채널 상태 화면	
화면		
검수 방법	1. 채널 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 채널 상태요약화면으로 진입하여 채널 상태요약 화면의 채널 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

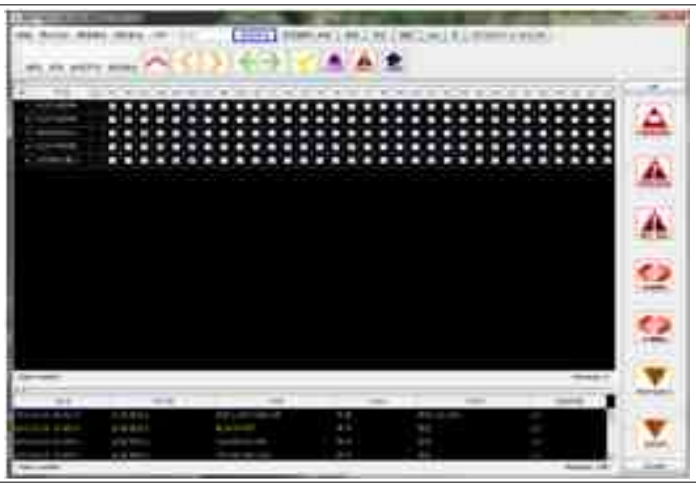
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	주컴퓨터장치 화면	
화면		
검수 방법	1. 주컴퓨터장치 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 주컴퓨터장치 요약화면으로 진입하여 주컴퓨터장치 요약 화면의 호스트의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

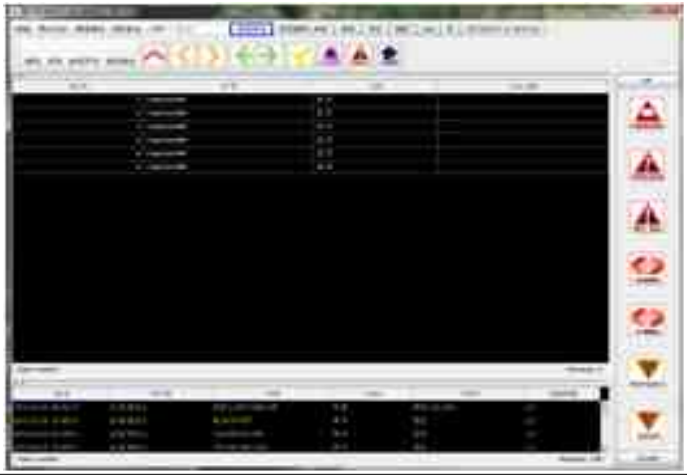
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	RTU H/W 화면	
화면		
검수 방법	1. RTU H/W상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 RTU H/W상태요약화면으로 진입하여 RTU H/W상태요약 화면의 RTU H/W상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

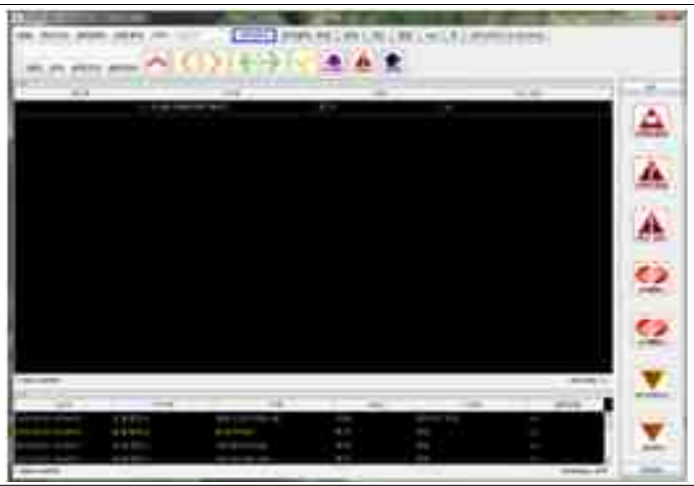
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	통신 제어장치 화면	
화면		
검수 방법	1. 통신제어장치 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 통신제어장치 상태요약화면으로 진입하여 통신제어장치 상태요약 화면의 통신제어장치의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

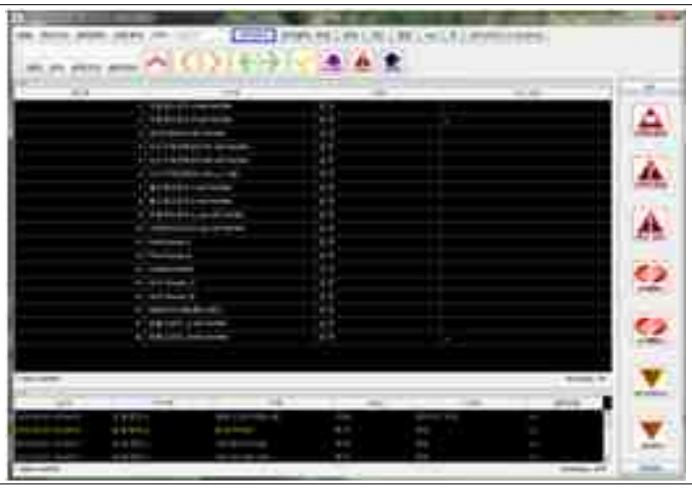
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	GPS 화면	
화면		
검수 방법	1. GPS 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 GPS 화면으로 진입하여 GPS 상태요약 화면의 GPS의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

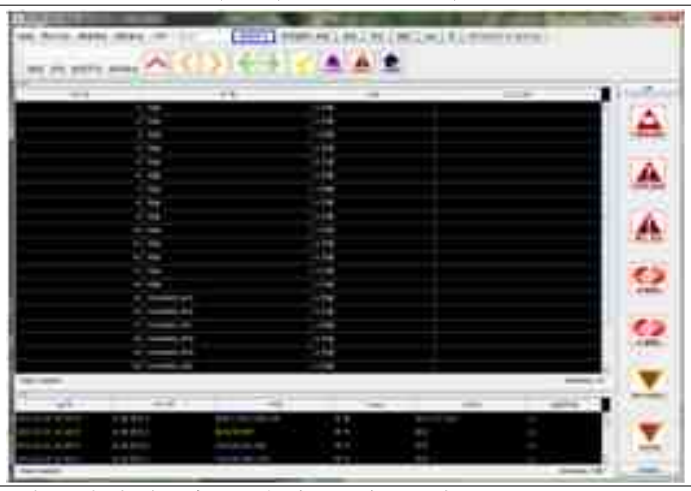
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	로거 장치 화면	
화면		
검수 방법	1. 로거장치 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 로거장치 화면으로 진입하여 로거장치 상태요약 화면의 로거장치의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

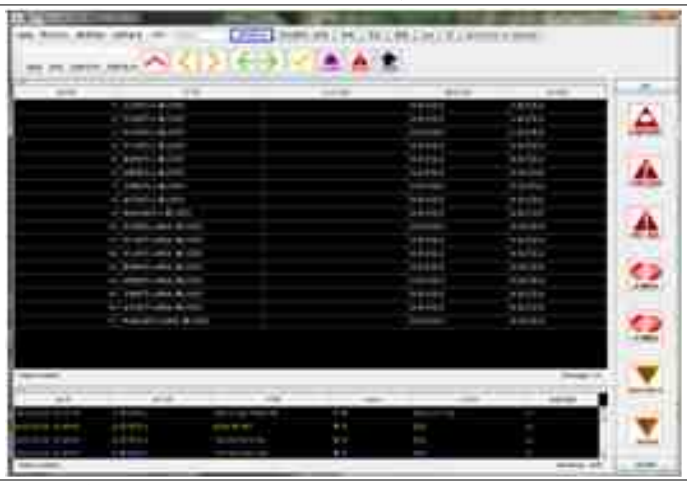
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	mmi 장치 화면	
화면		
검수 방법	1. MMI장치 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 MMI장치 화면으로 진입하여 MMI장치 상태요약 화면의 MMI장치의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	현시반 제어기 화면	
화면		
검수 방법	1. 현시반 제어기 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 현시반 제어기 화면으로 진입하여 현시반 제어기 요약 화면의 현시반 제어기의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

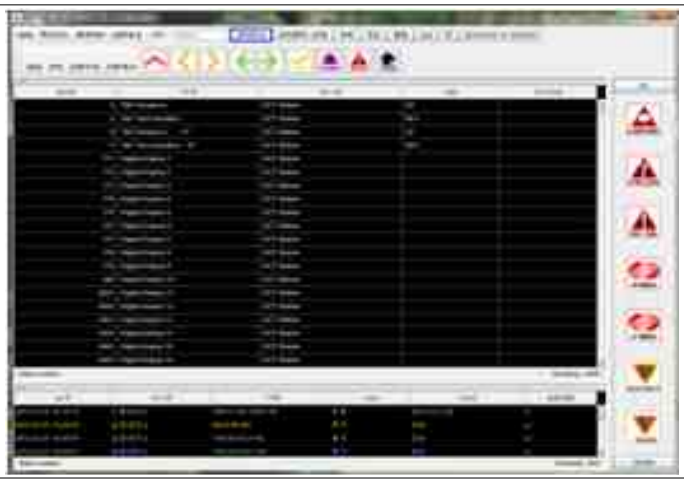
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	이중화 장치 화면	
화면		
검수 방법	1. 이중화장치 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 이중화장치 상태 요약화면으로 진입하여 이중화장치 상태 요약 화면의 이중화장치의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	네트워크장치 화면	
화면		
검수 방법	1. 네트워크장치 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 네트워크장치 상태 요약화면으로 진입하여 네트워크장치 상태 요약 화면의 네트워크장치의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

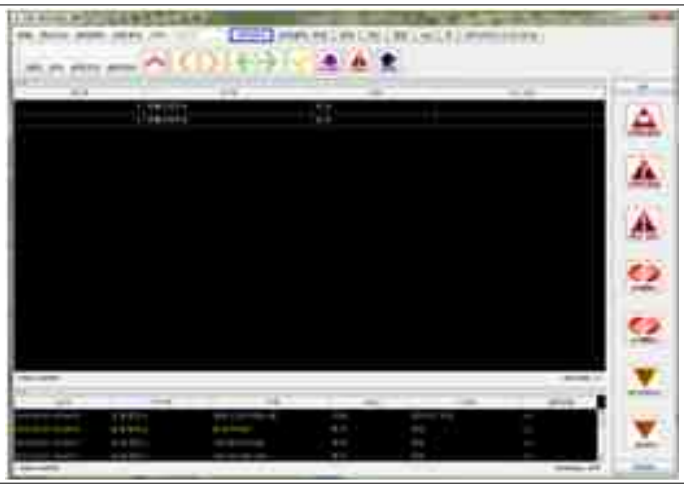
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	이중화장치 채널 화면	
화면		
검수 방법	1. 이중화장치 채널 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 이중화장치채널 상태 요약화면으로 진입하여 이중화장치 상태 요약 화면의 이중화장치의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

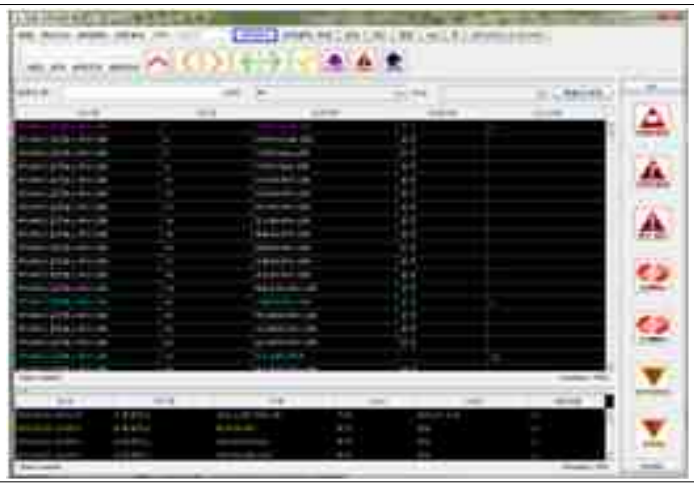
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	통신라인 화면	
화면		
검수 방법	1. 통신라인 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 통신라인 상태 요약화면으로 진입하여 통신라인상태 요약 화면의 통신라인의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

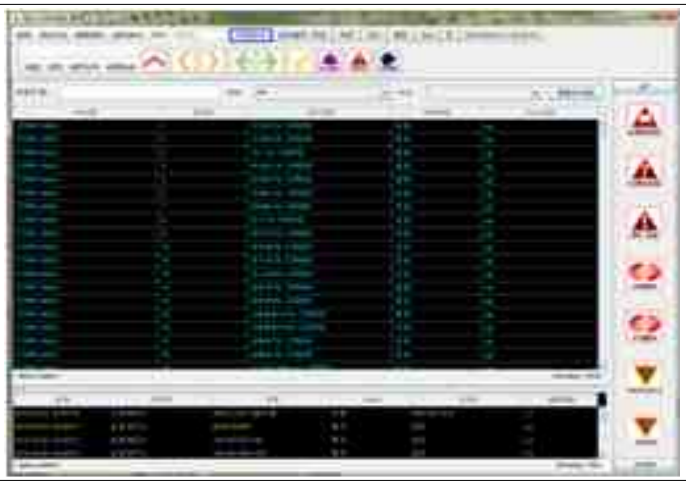
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	RCC 수집상태 포인트 화면	
화면		
검수 방법	1. RCC수집 상태 포인트 요약 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 RCC수집 상태 포인트 요약화면으로 진입하여 RCC수집 상태 포인트 요약 화면의 포인트 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

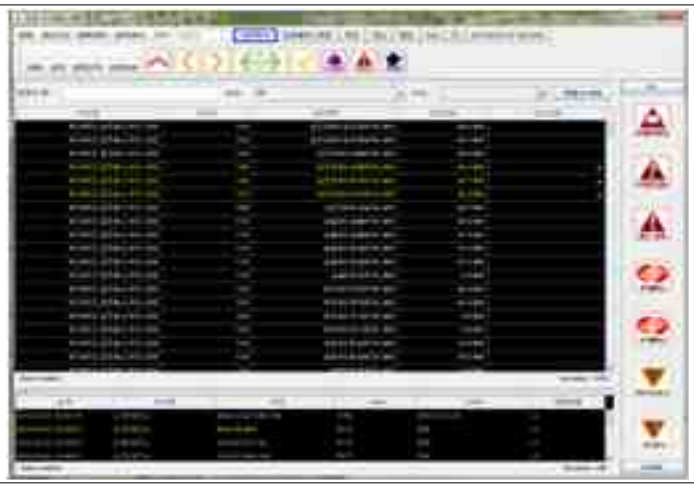
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	RCC 수집아날로그 포인트 화면	
화면		
검수 방법	1. RCC수집 아날로그 포인트 요약 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 RCC수집 아날로그 포인트 요약화면으로 진입하여 RCC수집 아날로그 포인트 요약 화면의 포인트 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

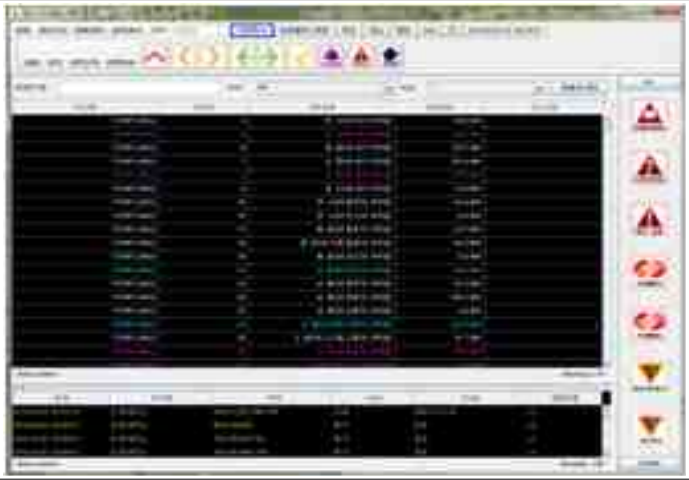
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	RCC RTU 포인트 화면	
화면		
검수 방법	1. RCC RTU 포인트 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 RCC RTU 포인트 요약화면으로 진입하여 RCC RTU 포인트 요약 화면의 포인트 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

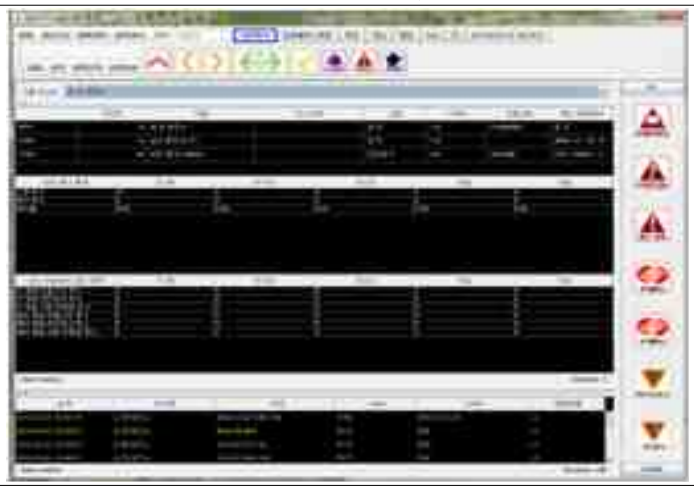
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	LAN 통신장치 화면	
화면		
검수 방법	1. LAN 통신장치 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 LAN통신장치 상태 요약화면으로 진입하여 LAN통신장치 상태 요약 화면의 LAN통신장치의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

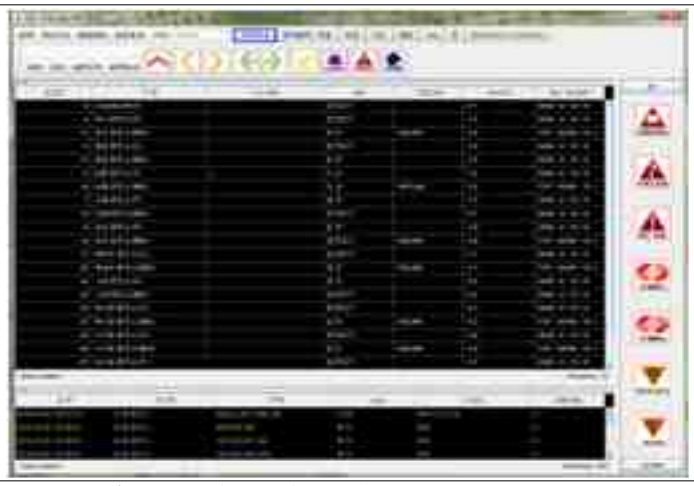
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	수집상태 포인트 화면	
화면		
검수 방법	1. 수집 상태 포인트 요약 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 수집상태 포인트 요약화면으로 진입하여 수집상태 포인트 요약 화면의 포인트 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	계산상태 포인트 화면	
화면		
검수 방법	1. 계산 상태 포인트 요약 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 계산 상태 포인트 요약화면으로 진입하여 계산 상태 포인트 요약 화면의 포인트 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

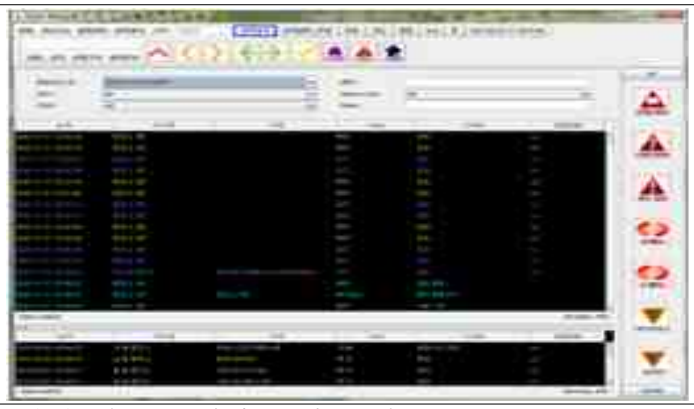
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	수집아날로그 포인트 화면	
화면		
검수 방법	1. 수집 아날로그 포인트 요약 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 수집아날로그 포인트 요약화면으로 진입하여 수집아날로그 포인트 요약 화면의 포인트 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

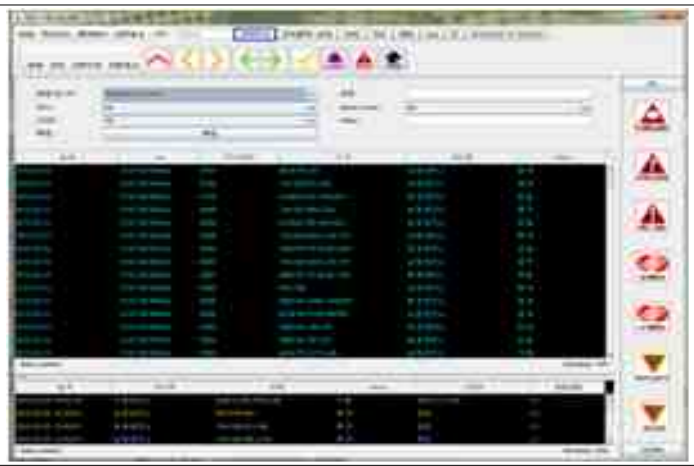
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	계산아날로그 포인트 화면	
화면		
검수 방법	1. 계산 아날로그 포인트 요약 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 계산 아날로그 포인트 요약화면으로 진입하여 계산 아날로그 포인트 요약 화면의 포인트 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

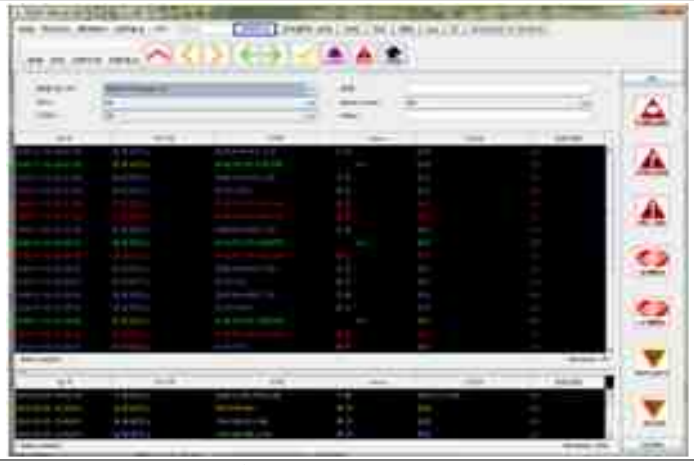
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	LAN RTU 화면	
화면		
검수 방법	1. LAN RTU 상태 요약 조회 2. 조회 내용 필터링 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 LAN RTU 상태 요약화면으로 진입하여 LAN RTU 상태 요약 화면의 LAN RTU의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	LAN 채널 화면	
화면		
검수 방법	1. LAN 채널 상태 요약 조회 2. 조회 내용 검색 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 LAN 채널 상태 요약화면으로 진입하여 LAN 채널 상태 요약 화면의 LAN 채널의 상태가 정상적으로 표현되는지 확인함	

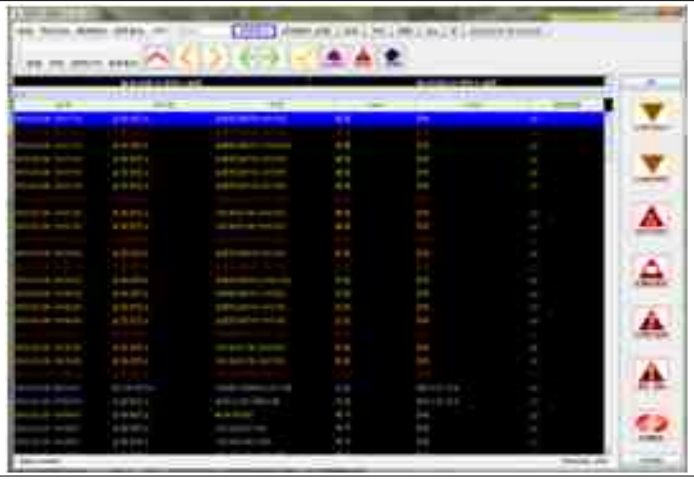
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	이벤트 수집 화면	
화면		
검수 방법	1. 과거 이벤트 수집 내역 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 백업 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 이벤트 수집으로 진입하여 리스트에서 선택한 이벤트 수집항목의 이벤트 내역이 정상적으로 표현되는지 이벤트 수집 내역의 백업이 정상적으로 이루어지는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	이벤트 백업 화면	
화면		
검수 방법	1. 과거 이벤트 백업 내역 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 이벤트백업으로 진입하여 리스트에서 선택한 이벤트 백업항목의 이벤트 내역이 정상적으로 표현되는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	SOE 수집 화면	
화면		
검수 방법	1. 과거 SOE 이벤트 수집 내역 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 백업 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 SOE 수집으로 진입하여 리스트에서 선택한 SOE 수집항목의 SOE 이벤트 내역이 정상적으로 표현되는지 SOE 이벤트 수집 내역의 백업이 정상적으로 이루어지는지 확인함	

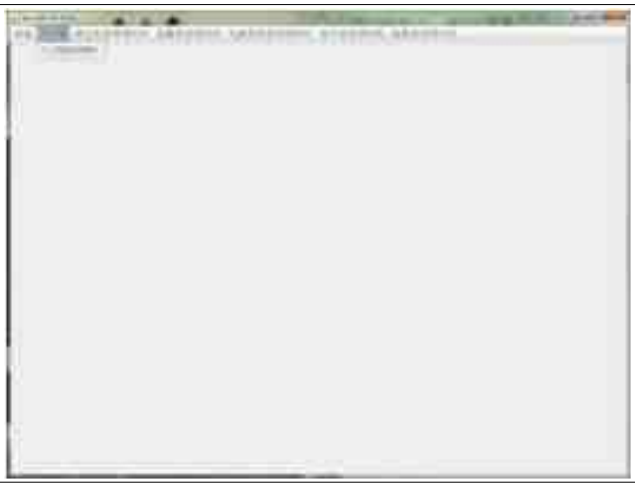
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	이벤트 분석 리스트 수집 화면	
화면		
검수 방법	1. 과거 이벤트 분석 리스트 수집 내역 조회 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 백업 기능 확인	
비고	인덱스 화면의 이벤트 분석 리스트 수집으로 진입하여 리스트에서 선택한 이벤트 분석 리스트 수집항목의 이벤트 분석 리스트 수집 내역이 정상적으로 표현되는지 이벤트 분석 리스트 수집 내역의 백업이 정상적으로 이루어지는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	단선결선도 화면	
화면		
검수 방법	1. 포인트 조작 후 상태 변화 확인 2. 단선도 스케일 조절/이동 확인	
비고	TSP이동 또는 미니맵의 단선도 이동으로 진입하여 각각의 포인트가 정상적으로 제어되는지 포인트의 상태가 제어에 따라 변화하는지 단선도의 크기 및 이동이 용이한지 확인함	

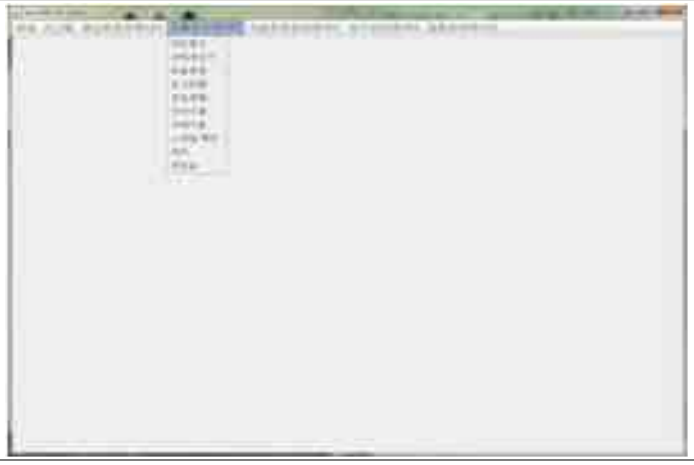
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	공통경보 화면	
화면		
검수 방법	1. 공통경보 이벤트 내역 확인 2. 조회 내용 검색 및 필터링 기능 확인 3. 조회 내용 엑셀 저장 기능 확인	
비고	메인화면 하단의 공통경보화면의 공통경보 이벤트 내역이 정상적으로 표현되는지 엑셀의 내용이 정상적으로 표현되는지 확인함	

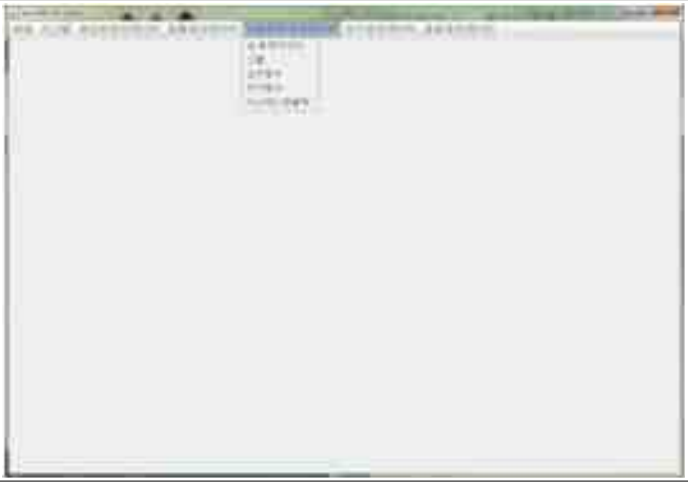
항목	내용	검수 결과
기능	mmi 기능	PASS
세부항목	미니맵 화면	
화면		
검수 방법	1. 미니맵 화면이동 2. 미니맵 새창 이동	
비고	우측의 미니맵을 클릭하여 뷰포트 화면이 정상적으로 변경되는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	데이터베이스 편집기	PASS
세부항목	화면 구성	
화면		
검수 방법	1. Pull Down Menu 확인	
비고	Pull Down Menu의 각 항목들을 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	데이터베이스 편집기	PASS
세부항목	메뉴 - 시스템	
화면		
검수 방법	1. 시스템파라메터 메뉴 확인	
비고	시스템 파라메터 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	데이터베이스 편집기	PASS
세부항목	메뉴 - 포인트정의 데이터	
화면		
검수 방법	1. 수집상태포인트 메뉴 확인 2. 계산상태포인트 메뉴 확인 3. 수집아나로그포인트 메뉴 확인 4. 계산아나로그포인트 메뉴 확인 5. 수집누산포인트 메뉴 확인 6. 계산누산포인트 메뉴 확인	
비고	포인트 정의 데이터 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

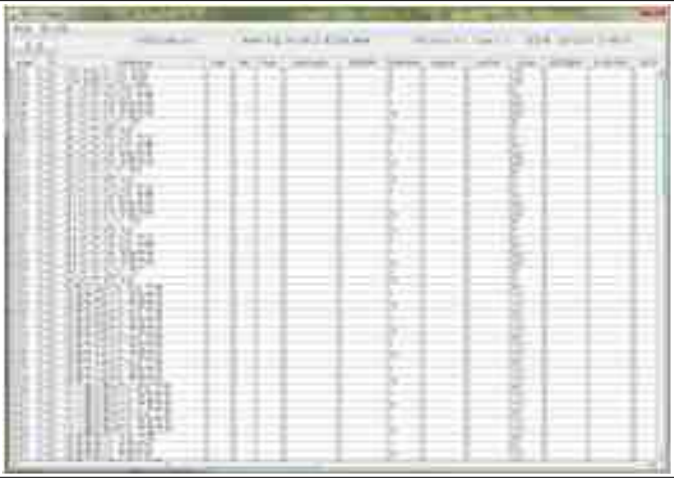
항목	내용	검수 결과
기능	데이터베이스 편집기	PASS
세부항목	메뉴 - 공통정의 데이터	
화면		
검수 방법	1. 데드밴드 메뉴 확인 2. 상태계산기 메뉴 확인 3. 콘솔분할 메뉴 확인 4. 로그분할 메뉴 확인 5. 경보레벨 메뉴 확인 6. 단위이름 메뉴 확인 7. 상태이름 메뉴 확인 8. 스케일 팩터 메뉴 확인 9. 제어 메뉴 확인 10. 경보음 메뉴 확인	
비고	공통 정의 데이터 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

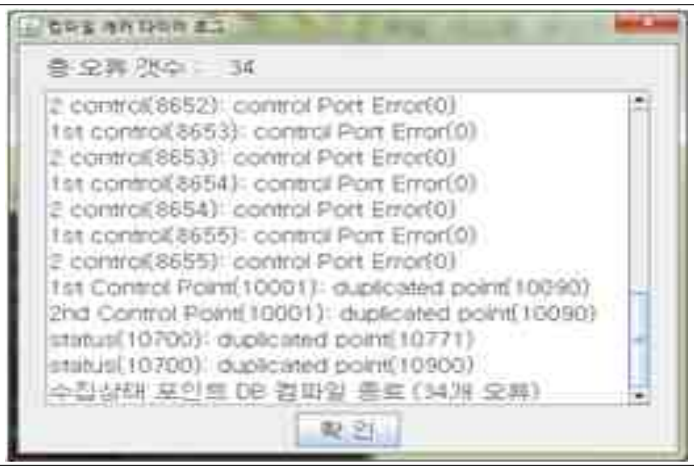
항목	내용	검수 결과
기능	데이터베이스 편집기	PASS
세부항목	메뉴 - 자료취득정의 데이터	
화면		
검수 방법	1. 실 원격자장치 메뉴 확인 2. 그룹 메뉴 확인 3. 요구함수 메뉴 확인 4. 주기함수 메뉴 확인 5. 시스템스캔블럭 메뉴 확인	
비고	자료 취득 정의 데이터 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	데이터베이스 편집기	PASS
세부항목	메뉴 - 장치정의 데이터	
화면		
검수 방법	1. 주컴퓨터장치 메뉴 확인 2. 통신제어장치 메뉴 확인 3. LAN통신장치 메뉴 확인 4. 채널정의 메뉴 확인 5. 통신라인정의 메뉴 확인 6. 스위치 카드 채널 메뉴 확인 7. 스위치 카드 메뉴 확인 8. 스위치 카드 제어기 메뉴 확인 9. 맵보드 메뉴 확인 10. 로그 메뉴 확인 11. 콘솔 메뉴 확인 12. 네트웍 호스트 메뉴 확인 13. 기능키 장치 메뉴 확인 14. GPS 장치정의 메뉴 확인 15. FEP SIO 장치정의 메뉴 확인 16. RTU H/W 장치정의 메뉴 확인	
비고	장치 정의 데이터 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	데이터베이스 편집기	PASS
세부항목	메뉴 - 응용정의 데이터	
화면		
검수 방법	1. 트렌드 메뉴 확인 2. 맵 보드 메뉴 확인 3. 차단부하 메뉴 확인 4. 일괄제어 메뉴 확인 5. Holding관리 메뉴 확인 6. 불평형률 메뉴 확인	
비고	응용 정의 데이터 이하 메뉴가 정상적으로 동작하는지 확인함	

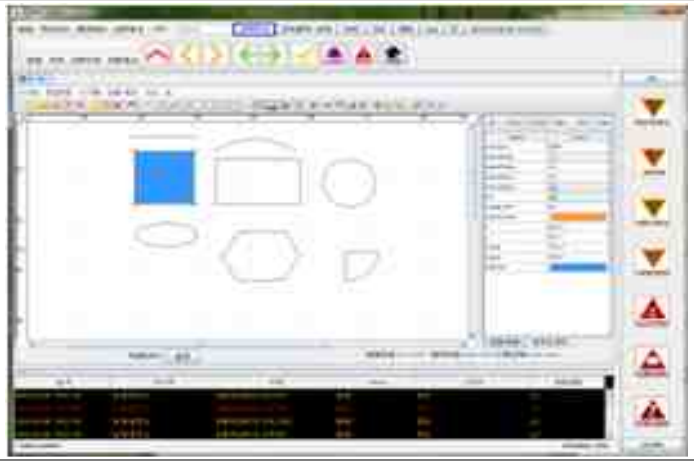
항목	내용	검수 결과
기능	데이터베이스 편집기	PASS
세부항목	데이터베이스 편집 화면	
화면		
검수 방법	1. 데이터 조회 2. 데이터 저장 3. 데이터 갱신 4. 데이터 삭제	
비고	메뉴 각 항목들의 데이터의 조회/저장/갱신/삭제가 가능한지 확인함	

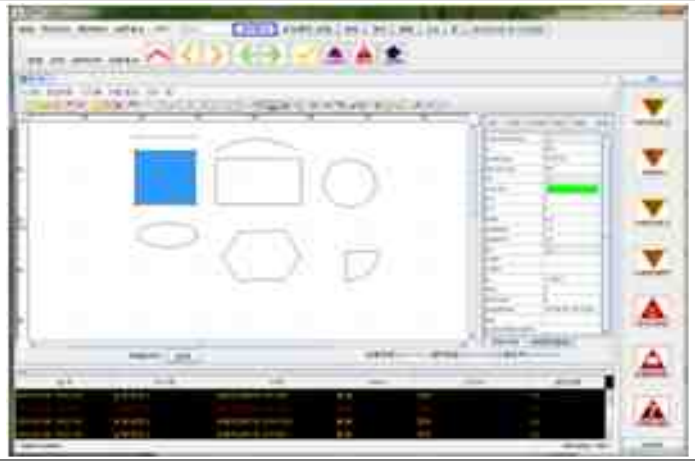
항목	내용	검수 결과
기능	데이터베이스 편집기	PASS
세부항목	Batch 기능	
화면		
검수 방법	1. Batch 파일 생성 2. Batch 파일 조회 3. Batch 파일 포인트 데이터 수정/저장	
비고	Batch 파일 메뉴로 진입하여 문서화 메뉴를 통해각 항목들의 Batch 파일을 생성하고 파일 메뉴의 리스트로 진입하여 조회 가 가능한지 확인하고 포인트 리스트의 데이터를 수정하여 저장이 가능한지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	데이터베이스 편집기	PASS
세부항목	데이터베이스 컴파일	
화면		
검수 방법	1. 수집상태 컴파일(에러검출) 2. 수집 아날로그 컴파일(에러검출) 3. 수집 누산 컴파일(에러검출) 4. 실 원격자 장치 컴파일(에러검출)	
비고	파일메뉴의 DB컴파일로 진입하여 컴파일을 실행하여 오류결과가 제대로 출력되는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	그래픽 편집기	PASS
세부항목	화면구성	
화면		
검수 방법	1. Pull Down Menu 확인 2. 버튼 확인 3. Draw 화면 확인 4. 탭윈도우 확인	
비고	파일-시스템-편집기-그래픽편집기로 진입하여 화면 구성 확인함	

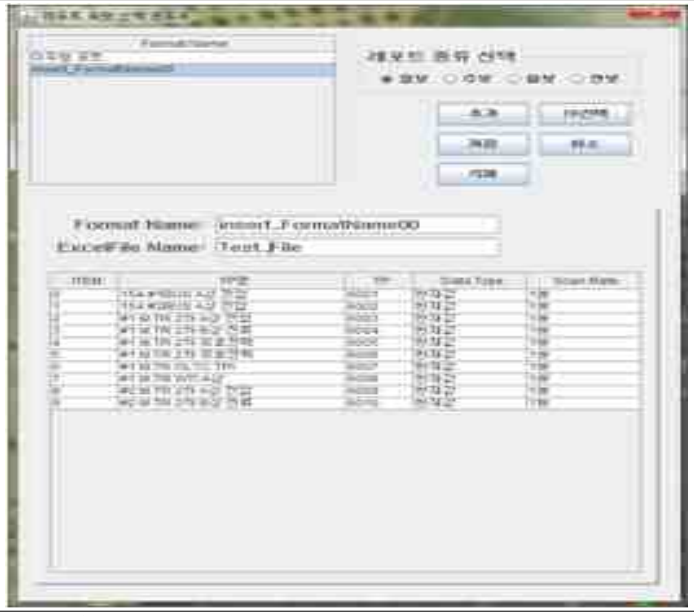
항목	내용	검수 결과
기능	그래픽 편집기	PASS
세부항목	파일관리	
화면		
검수 방법	1. 새로 만들기 2. 파일 불러오기 3. 파일 저장	
비고	시스템 메뉴의 새로만들기, 기존 그래픽파일의 불러오기, 그래픽 파일저장 및 다른이름으로 저장을 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	그래픽 편집기	PASS
세부항목	Draw 기능	
화면		
검수 방법	1. 도형그리기 2. 펜 크기, 점선모양, 접점모양 변경 2. 이미지 삽입 3. 텍스트 삽입 4. 오브젝트, 백그라운드 색 변경 5. 오브젝트 정렬 6. 줌 인/줌 아웃	
비고	그래픽에디터 상단의 단축버튼및 공통효과 메뉴항목을 선택하고 화면에 표현하여 각각의 기능을 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	그래픽 편집기	PASS
세부항목	오브젝트 매핑	
화면		
검수 방법	1. TP번호 입력 2. 상태 컬러 설정 3. 적용,계산 4. 매핑된 포인트 명/포인트 종류 확인	
비고	그린 오브젝트를 더블클릭하여 속성창의 항목을 확인하고 포인트 정보의 tp에 포인트 tp 값을 입력하고 색을 설정하여 포인트가 매핑되는것을 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	그래픽 편집기	PASS
세부항목	오브젝트 그룹핑	
화면		
검수 방법	1. 오브젝트 그룹핑 2. 그룹 오브젝트 저장 3. 그룹 오브젝트 불러오기 4. 그룹 오브젝트 그룹 해제	
비고	그린 오브젝트 여러개를 한꺼번에 드래그 선택하여 오른쪽버튼 그룹-그룹생성하고 기능 메뉴-그룹 저장, 그룹 불러오기를 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	그래픽 편집기	PASS
세부항목	오브젝트 에러검출	
화면		
검수 방법	1. 비존재TP 검출 2. 타변전소TP 검출 3. 중복TP 검출 4. 선택포인트 편집기 현시 확인	
비고	창 메뉴-포인트 리스트 확인 으로 진입하여 그래픽 편집 화면에 표현된 오브젝트의 리스트를 확인하고 에러 검출항목을 각각 체크하여 검출된 리스트 및 포인트 선택시 그래픽 편집화면에 해당포인트 선택여부 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	레포트 편집기	PASS
세부항목	레포트 포맷 편집	
화면		
검수 방법	1. 보고서 종류 선택(일/주/월/연보) 1. 보고서 포인트 추가/삭제 2. 데이터타입 설정 3. 스캔주기 설정 4. 파일 저장/삭제	
비고	보고서 종류 선택 후 추가버튼으로 포멧을 추가하고 TP선택으로 보고서에 포함될 포인트를 추가하여 하단 리스트에서 확인함. 포멧명과 파일명을 설정한 후 보고서에 출력될 데이터타입과 스캔주기를 선택한후 저장 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	레포트 편집기	PASS
세부항목	레포트 조회	
화면		
검수 방법	1. 보고서 파일 생성 확인 2. 포인트 정보 및 데이터 확인	
비고	scada\sub\data\report\reportData 폴더에서 파일 생성 확인함. 생성된 파일을 열어서 포멧 설정시 추가한 TP와 해당TP값이 정상적으로 표현되는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	트렌드	PASS
세부항목	트렌드 화면	
화면		
검수 방법	1. 과거 및 실시간 수집 데이터 그래프 확인 2. 실시간 수집 데이터 바 차트 확인 3. 선택 데이터 값 확인 4. 바 차트, 그래프 범위설정	
비고	인덱스 화면의 트렌드 리스트로 진입하여 트랜드 요약 화면의 포인트 우클릭-화면 으로 진입하여 시간별 데이터가 그래프에 정상적으로 표현되는지 확인하고 그래프 및 바의 현재값이 현시되는지 확인함	

항목	내용	검수 결과
기능	트렌드	PASS
세부항목	화면 세부설정	
화면		
검수 방법	1. 스캔주기 변경 2. 타임트랙 범위 변경 3. 트렌드 그래프 범위 변경 3. 바 차트 개수, 범위 변경	
비고	그래프의 오른쪽 메뉴의 스캔주기 및 타임트랙 범위/트렌드 그래프의 표현범위/ 바 차트의 개수 및 범위가 정상적으로 변경되는지 확인함	

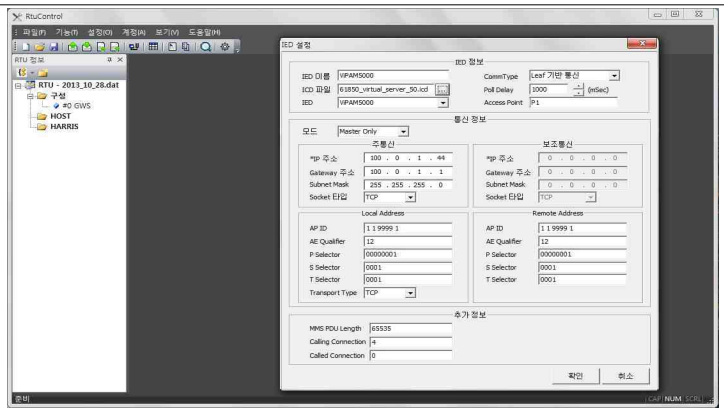
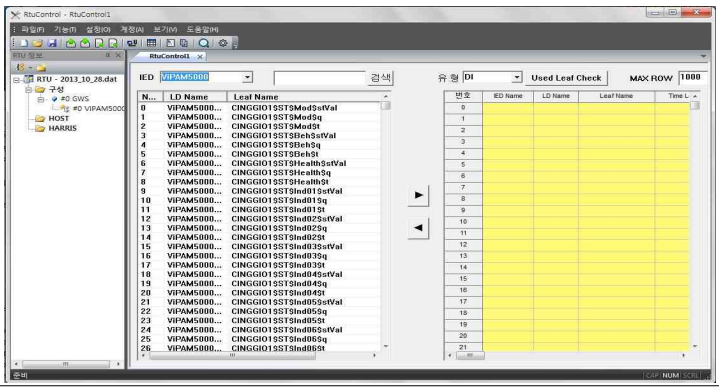
항목	내용	검수 결과
기능	트렌드	PASS
세부항목	수집 기능	
화면		
검수 방법	1. 과거 및 현재까지의 수집 데이터 그래프 확인 2. 수집 데이터 바 차트 확인 3. 선택 데이터 값 확인	
비고	트렌드 리스트의 포인트 우클릭-수집리스트 테이블로 진입하여 과거 및 현재까지의 데이터가 바 차트 및 그래프에 정상적으로 현시되는지 확인함	

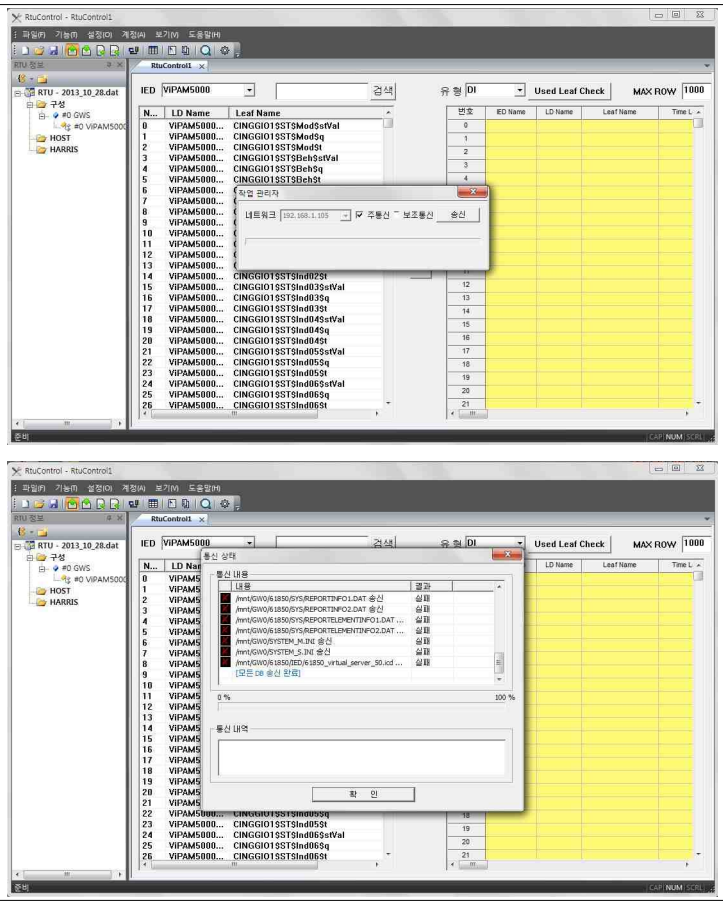
항목	내용	검수 결과
기능	트렌드	PASS
세부항목	백업 기능	
화면		
검수 방법	1. 과거 수집 데이터 그래프 확인 2. 과거 수집 데이터 바 차트 확인 3. 선택 데이터 값 확인	
비고	트렌드 리스트의 포인트 우클릭-백업리스트 테이블로 진입하여 과거 데이터가 바 차트 및 그래프에 정상적으로 현시되는지 확인함	

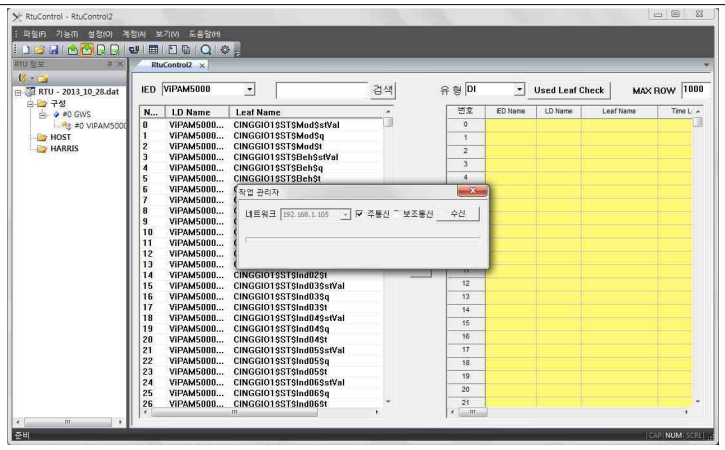
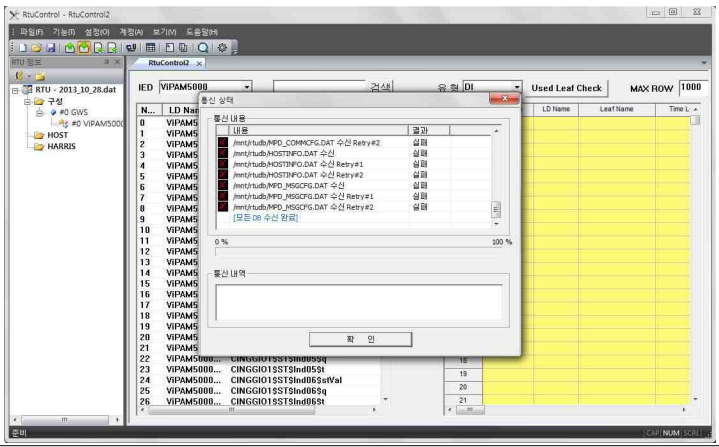
항목	내용	검수 결과
기능	시스템 이중화	PASS
세부항목	수동 절체	
화면		
검수 방법	1. 호스트 수동 절체 2. 포인트류 상태 동기 확인 3. 이벤트 경보 동기 확인	
비고	인덱스화면의 주컴퓨터장지 요약화면으로 이동하여 포인트 오른쪽버튼-절체 선택하여 수동절체 후 포인트의 상태를 확인하고 포인트류 요약화면 및 이벤트류 요약화면의 개수와 상태를 확인함	

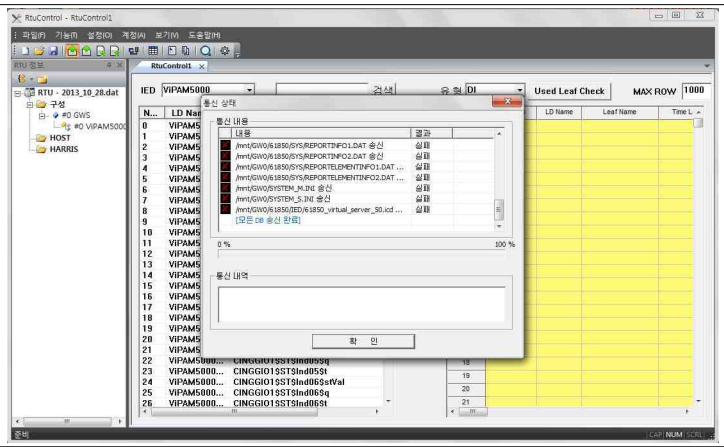
항목	내용	검수 결과
기능	시스템 이중화	PASS
세부항목	자동 절체	
화면	화면 없음	
검수 방법	1. 시스템, 네트워크, 프로그램 이상시 자동 절체 확인 2. 포인트류 상태 동기 확인 3. 이벤트 경보 동기 확인	
비고	master host시스템을 강제 종료하고 인덱스 화면의 주 컴퓨터장치 요약화면으로 이동하여 포인트의 상태를 확인하고 포인트류 요약화면 및 이벤트류 요약화면의 개수와 상태를 확인함	

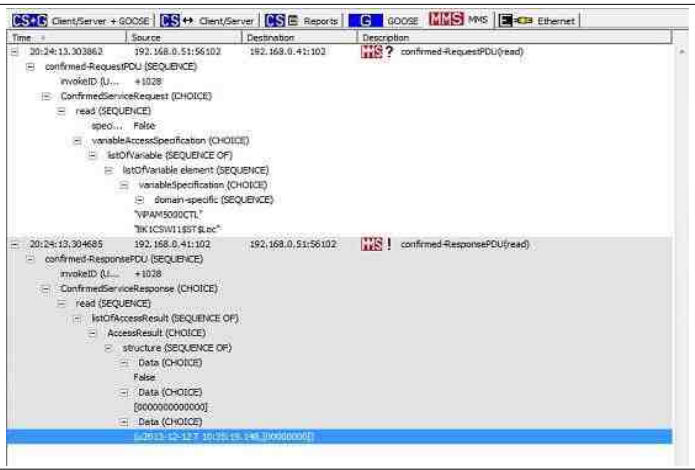
(다) 중앙서버장치 IEC-61850 통신 기능 시험

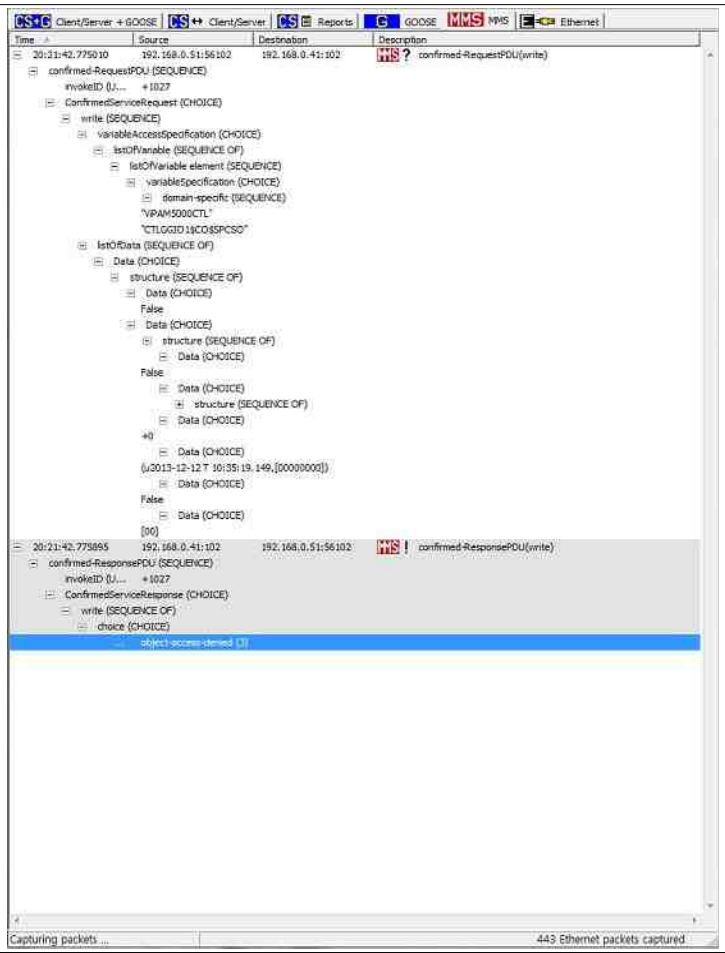
항목	내용	검수 결과
기능	중앙서버장치, RTU	PASS
세부항목	DB 관리 기능 확인	
화면	 	
검수 방법	Configuration tool을 이용하여 DB를 생성할 수 있다.	
비고	▪ IEC61850 통신에 필요한 환경 설정을 할 수 있다. ▪ SCL file을 import 할 수 있다. ▪ Parsing된 ICD file 정보를 통하여 IED 및 Host interface를 위한 정보를 생성할 수 있다.	

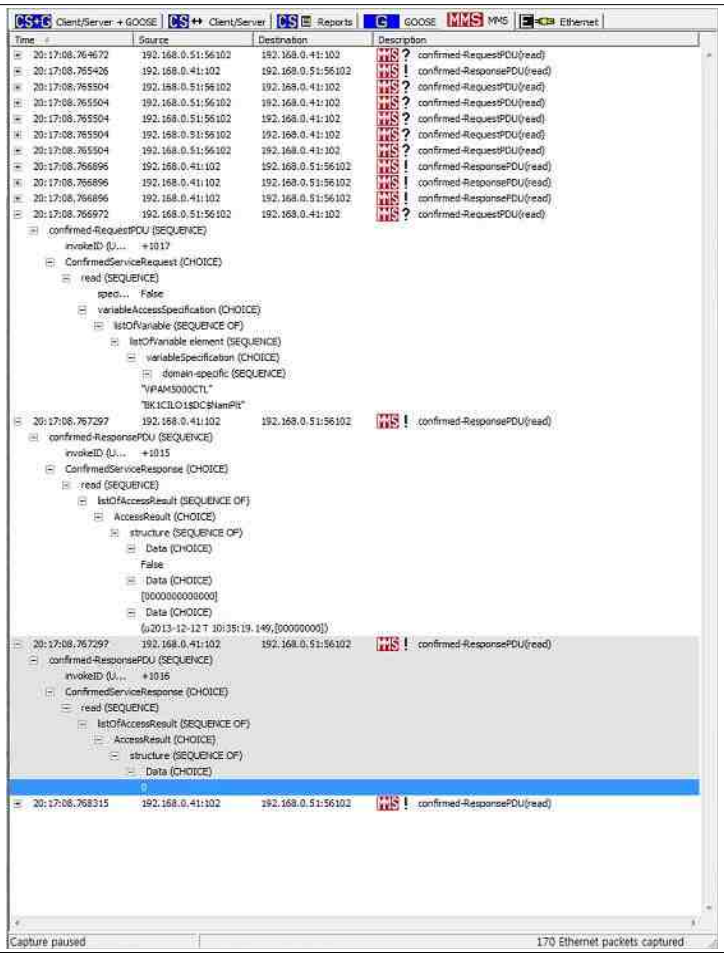
항목	내용	검수 결과
기능	중앙서버장치, RTU	PASS
세부항목	DB 관리 기능 확인	
화면		
검수 방법	Configuration tool을 이용하여 중앙서버장치에 DB를 전송한다.	
비고	▪ IEC 61850 데이터 매핑을 위한 file을 중앙서버장치로 송·수신 할 수 있다. ▪ 중앙서버장치의 “/home/scada/sub/data/IEC850/”에 IED Configuration 정보를 제공하는 “*.ICD”, “osi cfg.xml” file이 생성된다. ▪ IP정보관련 file을 송·수신할 수 있다. ▪ 중앙서버장치의 “/home/scada/sub/data/IEC850/”에 “SYSTEM.INI” file이 생성된다. ▪ 중앙서버장치 구성 정보 file을 송·수신 할 수 있다. ▪ 중앙서버장치의 “/home/scada/sub/data/IEC850/”에 “SYSINFO.DAT”,“HOSTINFI.DAT”, ”VMEINFO.DAT”,”IEDINFO.DAT”, ”REPORTINFO.DAT” file이 생성된다.	

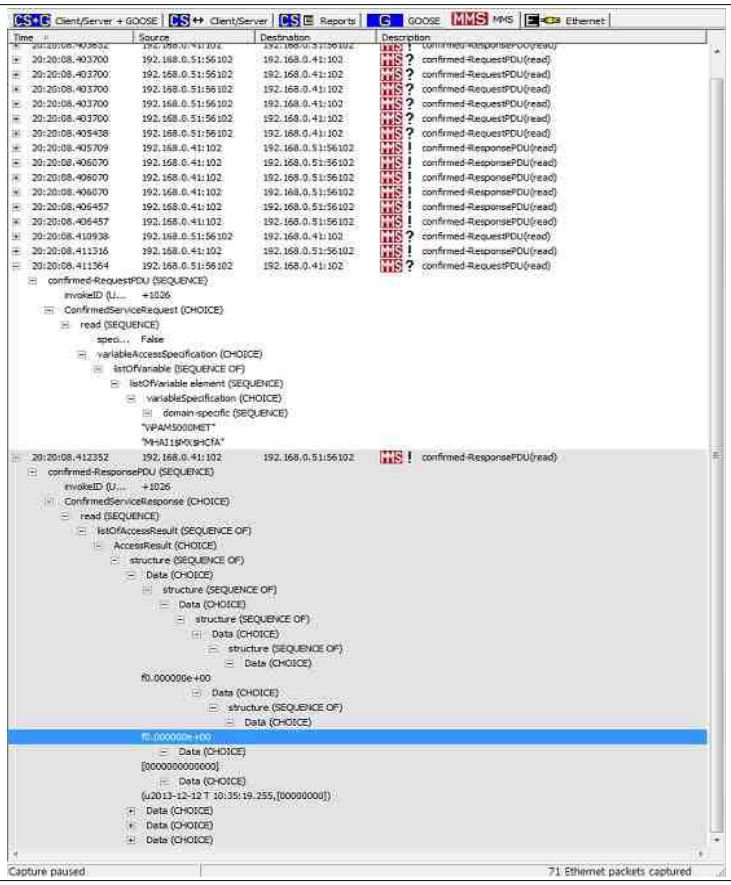
항목	내용	검수 결과
기능	중앙서버장치, RTU	PASS
세부항목	DB 관리 기능 확인	
화면	 	
검수 방법	Configuration tool을 이용하여 중앙서버장치로부터 DB를 수신한다.	
비고	▪ 중앙서버장치로부터 DB를 수신할 수 있고, 사용자가 원하는데로 편집 및 저장이 가능하다.	

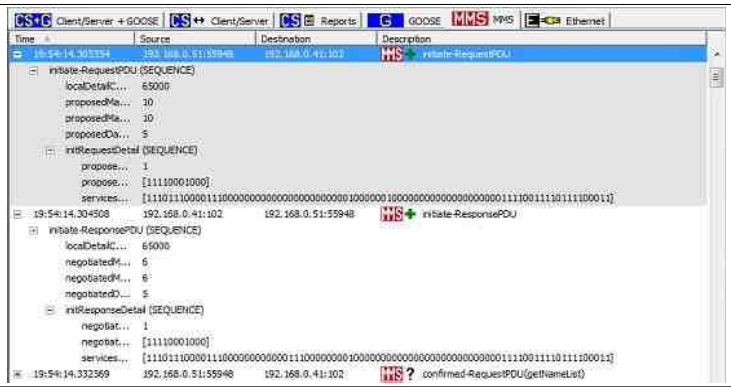
항목	내용	검수 결과
기능	중앙서버장치, RTU	PASS
세부항목	DB 관리 기능 확인	
화면		
검수 방법	Configuration tool을 이용하여 중앙서버장치에 DB를 전송한다 (계속)	
비고	▪ 데이터 태그 매핑 관련 file을 송·수신할 수 있다. ▪ 중앙서버장치 “/home/scada/sub/data/IEC850/”에 “HOSTMAPDI.DAT”, “HOSTMAPDO.DAT”, “HOSTMAPAI.DAT”, “HOSTMAPAO.DAT”, “HOSTMAPACC.DAT” file이 생성된다.	

항목	내용	검수 결과
기능	중앙서버장치, RTU	PASS
세부항목	중앙서버장치와 RTU간 데이터 연계 기능 확인	
화면		
검수 방법	RTU DI 상태를 변경하고 해당 정보가 정상적으로 처리되는지 JAVA HMI를 통하여 포인트 상태 변화를 확인한다.	
비고	▪JAVA HMI에서 해당 DI 상태 이벤트를 확인할 수 있다.	

항목	내용	검수 결과
기능	중앙서버장치, RTU	PASS
세부항목	중앙서버장치와 RTU간 데이터 연계 기능 확인	
화면		
검수 방법	JAVA HMI에서 RTU DO를 제어한다.	
비고	▪ 제어 조작한 DO 모듈의 해당 포인트가 정상적으로 제어된다.	

항목	내용	검수 결과
기능	중앙서버장치, RTU	PASS
세부항목	중앙서버장치와 RTU간 데이터 연계 기능 확인	
화면		
검수 방법	RTU DI 모듈 입력 포인트에 상태를 입력한다.	
비고	▪ JAVA HMI를 통해 DI 상태를 확인할 수 있다.	

항목	내용	검수 결과
기능	중앙서버장치, RTU	PASS
세부항목	중앙서버장치와 RTU간 데이터 연계 기능 확인	
화면		
검수 방법	RTU AI 모듈 입력 포인트에 0~1mA를 입력한다.	
비고	▪ JAVA HMI를 통해 AI 상태 변화를 확인할 수 있다.	

항목	내용	검수 결과
기능	중앙서버장치, RTU	PASS
세부항목	중앙서버장치 통신 기능 확인	
화면		
검수 방법	중앙서버장치와 RTU간 통신 상태를 네트워크 패킷 분석 프로그램을 이용하여 확인한다.	
비고	MMS 통신 프로토콜을 이용하여 중앙서버장치와 IED 간 통신이 이루어짐을 확인할 수 있다.	

(2) 종합연동 시험

점검리스트

1. 개요

국제 표준 프로토콜인 IEC 61850 기반의 초고속자기부상열차 전력 SCADA SYSTEM의 소프트웨어 및 하드웨어 기능에 대한 성능 시험을 통하여 최적의 전력계통 운용을 하기 위함이다.

2. 점검리스트

가. 점검 항목

메인 서버외 6개 시스템 장비에 대한 하드웨어 및 소프트웨어 기능 시험

나. 포인트 리스트

감 시 포인트 : 133개
제 어 포인트 : 12개
계 측 포인트 : 105개

다. 추가 사항

1. 점검항목(하드웨어 및 소프트웨어 기능시험)

[표 1.1] Main Server

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	Main Server	설치 장소	관제실
구분	세부항목	판정기준	점검결과
일반사항	1. HARDWARE 1) Main Computer : SUN Microsystems SUN Sparc Server T5120 : 64Bit, 8-Core, 1.4GHz Processor Memory : 16GB최대 64GB 확장 가능 Cashe : 4MB Integrated Level 2 (L2) cache Interface : 4 x 10/100/1000Mbps Ethernet, 3 x PCI Express 2.0 Slot Power : Dual 이중화 구성 Rack : 19" 케비넷 장착 2) Hard disk : 2 x 300GB SAS 3) 내장형 DVD-RW : 4) Console : Hewlett-Packard 24"Inch TFT-LCD Monitor, 1920 x 1200, Keyboard, Mouse 2. SOFTWARE 1) Operating System : Solaris 10 2) SCADA S/W	정상 설치	✓

구분	세부항목	판정기준	점검결과
설치검사	캐비넷 고정 상태	견고성	✓
	Main Computer 부착	캐비넷 부착	✓
	Hard Disk 부착	Dual 부착(디스크 미러링)	✓
	System Console 설치 및 케이블 연결	Monitor, K/B, Mouse	✓
	전원 및 접지케이블 포설 및 연결	AC 220V, 접지	✓
	LAN 케이블 포설 및 연결	UTP, STP	✓
	케이블 구분	각종 케이블 라벨 부착	✓
	전원 이중화	UPS 접속 상태	✓
	각종 장비 식별	명판 부착 상태	✓
	장비 청결 및 각종 케이블 정리 정돈	청결유지 및 이물질 제거	✓
기능검사	전원 인가 및 Power ON	정상동작	✓
	운영체제	부팅, 로깅, 프로그램 구동	✓
	모니터, 키보드, 마우스	Displaying, Color, Typing, pointing	✓
	저장장치	Read, Write, Size, Speed	✓
	통신	Networking	✓
	SCADA	Program running	✓
	이중화 절체 시험	온, 오프라인 정상 구동	✓
	백업 및 복구 시험	백업 절차 및 복구 절차 시험	✓

[표 1.2] Main Server

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	Main Server	설치장소	관제실
구분	세부항목	판정기준	점검결과
소트프웨어 검사	IEC 61850 Client	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	이벤트, 알람 업데이트	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	채널 DB 편집	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	Status Task 재기동	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	Time Sync	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	포인트/장치류 DB 편집	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	수동/자동 절체	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	Status Multi Task	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	자료저장관리 및 개방형 자원분배	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	클래스 모델링	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	IEC 61850 통신	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	IEC 61850 Basic Exchange	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	IEC 61850 DataSet	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	IEC61850 Data Set Definition	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	IEC61850 URCB	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	IEC 61850 BRCB	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	IEC 61850 Control	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	IEC 61850 Time Sync	소프트웨어 확인 및 시현	✓

[표 1.3] 네트워크 장치

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	네트워크 장치	설치장소	관제실
구분	세부항목	판정기준	점검결과
일반사항	1. HARDWARE 1) 모델명 : HP Procurve 1905-24 2) 포트 : 10/100/1000Mbps Switching Hub 24 Port 3) 인터페이스 케이블 : Cat 5 기본적용(설치장소에 따라 외란방지용 케이블 적용) 4) 통신속도 : 100 Mb Latency < 5 μs , 1000 Mb Latency < 5 μs 5) 처리능력 : 6.6 million pps(packet per second)	정상 설치	✓

구분	세부항목	판정기준	점검결과
설치검사	고정 상태	견고성	✓
	전원 및 접지케이블 포설 및 연결	AC 220V, 접지	✓
	LAN 케이블 포설 및 연결	UTP, STP	✓
	케이블 구분	각종 케이블 라벨 부착	✓
	전원 이중화	UPS 접속 상태	✓
	각종 장비 식별	명판 부착 상태	✓
	장비 청결 및 각종 케이블 정리 정돈	청결유지 및 이물질 제거	✓
기능검사	전원 인가 및 Power ON	정상동작	✓
	Switch	네트워킹, 스위칭	✓
	장치동작	동작 램프 현시	✓

[표 1.4] 이벤트 로거

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	이벤트 로거	설치장소	관제실
구분	세부항목	판정기준	점검결과
일반사항	1. HARDWARE 1) 모델명 : Epson LQ-2090H 2) 인쇄방식 : 충격식 도트 매트릭스 3) 헤드핀수 인쇄가능 열 : 24PIN / 136Colum 4) 인쇄속도 : 396cps(character per second) 5) 인터페이스 : Parallel, USB	정상 설치	✓

구분	세부항목	판정기준	점검결과
설치검사	장비설치	장비 정위치 안착 확인 부속 부품 설치 확인 연속 용지 및 리본 확인	✓
	전원 및 접지케이블 포설 및 연결	AC 220V, 접지	✓
	Serial 케이블 포설 및 연결	USB	✓
	전원 이중화	UPS 접속 상태	✓
	각종 장비 식별	명판 부착 상태	✓
	장비 청결 및 각종 케이블 정리 정돈	청결유지 및 이물질 제거	✓
기능검사	전원 인가 및 Power ON	정상동작	✓
	프린팅	프린팅	✓

[표 1.5] Color Hard Copier

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	Color Hard Copier	설치장소	관제실
구분	세부항목	판정기준	점검결과
일반사항	1. HARDWARE 1) 모델명 : HP M551n 2) 인쇄속도 : 32ppm(page per minute) 3) 인쇄품질 : 1200 x 1200dpi 4) 메모리 : 1GB 5) 인터페이스 : USB, LAN	정상 설치	✓

구분	세부항목	판정기준	점검결과
설치검사	장비설치	장비 정위치 안착 확인 부속 부품 설치 확인 연속 용지 및 리본 확인	✓
	전원 및 접지케이블 포설 및 연결	AC 220V, 접지	✓
	LAN 케이블 포설 및 연결	UTP	✓
	전원 이중화	UPS 접속 상태	✓
	각종 장비 식별	명판 부착 상태	✓
	장비 청결 및 각종 케이블 정리 정돈	청결유지 및 이물질 제거	✓
기능검사	전원 인가 및 Power ON	정상동작	✓
	프린팅	컬러 프린팅	✓

[표 1.6] 대형 표시반

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	대형 상황판	설치장소	관제실
구분	세부항목	판정기준	점검결과
일반사항	1. DLP 1) 모델명 : DLP Cube (CHRISTIE) 2) 화면크기 : 50 inch 1면 3) 기본해상도 : 1400 x 1050(SXGA+) 4) 광량 : 600 ANSI lumens 5) 수명 : LED Lamp(60,000hrs) 2. PC interface 1) 모델명 : VGA S2 (CREATOR) 2) 방식 : D-SUB Type 3) 입력 : 1CH 4) 출력 : 2CH	정상 설치	✓

구분	세부항목	판정기준	점검결과
설치검사	고정상태	견고성	✓
	설치상태	정상설치	✓
	전원 및 접지케이블 포설 및 연결	AC 220V, 접지	✓
	Controller 설치 및 케이블 연결	정상설치	✓
	LAN 케이블 포설 및 연결	UTP	✓
	전원 이중화	UPS 접속 상태	✓
	각종 장비 식별	명판 부착 상태	✓
	장비 청결 및 각종 케이블 정리 정돈	청결유지 및 이물질 제거	✓
기능검사	전원 인가 및 Power ON	정상동작	✓
	화면	정상 디스플레이	✓

[표 1.7] HMI

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	HMI 워크스테이션	설치장소	관제실
구분	세부항목	판정기준	점검결과
일반사항	1. Hardware 1) 모델명 : HP workstation z420 2) CPU : Intel Xeon Processor E5-1620 QC CPU 3) Clock Speed : 3.60 GHz 4) 메모리 : 4GB 5) 저장장치 : 500GB 7200rpm SATA 6) 인터페이스 : 2 x 10/100/1000Mbps Ethernet 2. SOFTWARE 1) Operating System : MS window 7 / Ubuntu 13 멀티 부팅 2) SCADA S/W : JAVA HMI	정상 설치	✓

구분	세부항목	판정기준	점검결과
설치검사	캐비넷 고정 상태	견고성	✓
	Computer 부착	캐비넷 부착	✓
	Hard Disk 부착	정상 부착	✓
	System Console 설치 및 케이블 연결	Monitor, K/B, Mouse	✓
	전원 및 접지케이블 포설 및 연결	AC 220V, 접지	✓
	LAN 케이블 포설 및 연결	UTP, STP	✓
	케이블 구분	각종 케이블 라벨 부착	✓
	전원 이중화	UPS 접속 상태	✓
	각종 장비 식별	명판 부착 상태	✓
	장비 청결 및 각종 케이블 정리 정돈	청결유지 및 이물질 제거	✓
기능검사	전원 인가 및 Power ON	정상동작	✓
	운영체제	멀티 부팅, 로깅, 프로그램 구동	✓
	모니터, 키보드, 마우스	Displaying, Color, Typing, pointing	✓
	저장장치	Read, Write, Size, Speed	✓
	통신	Networking	✓
	SCADA	Program running	✓
	이중화 절체 시험	온, 오프라인 정상 구동	✓
	백업 및 복구 시험	백업 절차 및 복구 절차 시험	✓

[표 1.8] HMI

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	HMI 워크스테이션	설치장소	관제실

구분	세부항목	판정기준	점검결과
소트프웨어 검사	garbage Collection	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	할당 및 관리와 프로세싱기능의 동시실행	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	Platform Free	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	데이터 애니메이션	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	통신회선 접속	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	SCL 엔지니어링	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	XML 지원	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	파일 생성 및 적용	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	윈도우 기반 GUI	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	Java HMI 구동	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	감시 / 제어 기능 - 이동 확대 및 레이어링 기능 - 실시간 및 과거 트렌드 - 표형태 정보표시 데이터베이스/수동강제입력/제어잠금/정보태깅 스캔금지/경보처리금지/비정상상태/이벤트 - 화면 이동 - 메뉴시스템 - 화면연결 - 사용자 인터페이스 대화창 - 선택 후 제어 - 제어 인터로킹 - 인터페이스창 시간 초과 - 제어 실패 경보 - 기타 제어에 대한 요구 사항 - 수동 강제 입력 - 제어 태깅 - 제어 태깅 기기의 제어 방법 - 제어 태깅의 제거 - 제어 태깅 목록 - 정보 태깅 - 정보 태깅 목록 - 정보 태깅 제거 - 스캔제어	소프트웨어 확인 및 시현	✓

[표 1.9] HMI

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	HMI 워크스테이션	설치장소	관제실

구분	세부항목	판정기준	점검결과
소트프웨어 검사	경보 / 이벤트 - 정보 종류 High High / High / Low / Low Low / Time rate-of-change / Bad input from I/O 경보 Disable - 경보 우선 순위 및 필터 Low / Medium / High - 경보 영역 - 경보 전달 대상 - 경보 통지 - 경보 인지 - 경보 비활성화 - 비활성화된 경보 목록 - 경보 요약 화면 - 비정상 목록 - Sequence of Events - 이벤트 기록 - 이벤트 목록 - 이력 이벤트의 종류	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	기록 및 보고 - 데이터 파일 관리 - 저장 구성 - 저장 데이터의 표시 - 보고서 선택 사항 - 운전보고 - 보고서 생성프로그램	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	계산기능 - 명령 스크립트 언어	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	이중화 절체기능	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	고장 탐색 및 회복기능	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	시스템 구성관리	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	보안 관리	소프트웨어 확인 및 시현	✓

[표 1.10] HMI

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	HMI 워크스테이션	설치장소	관제실

구분	세부항목	판정기준	점검결과
소트프웨어 검사	데이터베이스 - 데이터베이스 포인트 구성 - 데이터베이스 포인트 종류 아날로그 입력 / 아날로그 경보 Calculation / Device Control / 디지털 입력 / 디지털 경보 / 디지털 출력 - 데이터베이스 포인트 속성	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	화면편집기 기능 - 화면 생성 - 색상 지원 - 그래픽도구 상자 - 화면 애니메이션 - 객체 애니메이션의 데이터 소스 - 비트맵	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	전력 부가 기능 - 버스(Bus)색상 - 단선 다이어그램 - 전력기기의 합성	소프트웨어 확인 및 시현	✓

[표 1.11] RTU

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	RTU	설치장소	변전소
구분	세부항목	판정기준	점검결과
일반사항	1. Main Process Unit 1) CPU : 32BIT MPC8377 400Mhz 2) 메모리 : DRAM 64 Mbyte 이상 / Battery Backup SRAM 512Kbyte 이상 3) 운영체제 : Real Time Multi Task O/S(VxWorks), VRTX 4) 인터페이스 : Ethernet 10Base-T 2Port Serial RS-232C/RS-485 2 Port 2. 고속통신모듈(ESIO) 1) CPU : 32BIT MPC8377 400Mhz 2) 메모리 : DRAM 64Mbyte 이상 Flash 메모리 8Mbyte 이상 3) 인터페이스 : Ethernet /Serial Port 3. 디지털 입력(DI : Digital Input) 1) CPU : 32BIT Intel 80386 25MHz 2) 메모리 : EPROM 128KB, EEPROM 32KB, DPRAM 2Kbit 3) 인터페이스 : Serial RS-232C 1EA, 38.4Kbps Async 4) Input Point : 32 point 4. 디지털 출력(DO : Digital Output) 1) CPU : 32BIT Intel 80386 25MHz 2) 메모리 : EPROM 128KB, EEPROM 32KB, DPRAM 2Kbit 3) 인터페이스 : Serial RS-232C 1EA, 38.4Kbps Async 4) Output Point : 32 point 5. 아날로그 입력(AI : Analog Input) 1) CPU : 32BIT Intel 80386 25MHz 2) 메모리 : EPROM 128KB, EEPROM 32KB, DPRAM 2Kbit 3) 인터페이스 : Serial RS-232C 1EA, 38.4Kbps Async 4) Input Point : 16 point 6. 전원장치(PDU) 1) Input Voltage : AC 220V : 196V~264V DC 125V : 90V~150V 2) Output Voltage : DC54V , DC48V , DC24V 3) 무순단 절체 4) 효율 : 70% 이상	정상 설치	✓

[표 1.12] RTU

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	RTU	설치장소	변전소
구분	세부항목	판정기준	점검결과
설치검사	외함 고정 상태	견고성	✓
	접지케이블 포설 및 결선	1종 접지	✓
	전원케이블 포설 및 결선	AC 220V, DC 110V	✓
	통신케이블 포설 및 결선	UTP, STP	✓
	각종 통신용 보드 부착	견고성, 부속 자재 부착	✓
	전원 이중화	충전기반 접속 상태	✓
	각종 장비 식별	명판 부착 상태	✓
	장비 청결 및 각종 케이블 정리 정돈	청결유지 및 이물질 제거	✓
기능검사	전원 인가 및 Power ON	정상동작	✓
	SCADA	프로그램 구동	✓
	DB 설정 - CID 파일 업로드 시험 - SCL Engineering 시험 - 포인트 설정 시험	DB 업로드 확인 및 시현	✓
	통신시험 - IEC 61850 protocol - DNP 3.0 protocol - Modbus protocol	통신 확인 및 시현	✓
	IED 시험 - 이기종의 IED 시험	제어 및 감시	✓
	통신	Networking	✓
	감시, 제어, 계측 시험	통신 확인 및 시현	✓
	시간동기화 시험	통신 확인 및 시현	✓
	이중화 절체 시험	온, 오프라인 정상 구동	✓
	백업 및 복구 시험	백업 절차 및 복구 절차 시험	✓

[표 1.13] RTU

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		
장비 식별	RTU	설치장소	변전소
구분	세부항목	판정기준	점검결과
소트프웨어 검사	IEC 61850 Server, Client	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	SNPT Client, Time Server	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	Time Server	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	Protocol 변환	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	자가진단	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	IED 연계 (IEC61850 Client)	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	산업용 프로토콜 지원	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	Host 연계 (EC61850 Server)	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	SCL Engineering	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	객체 모델링	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	Watch Dog	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	I/O 확장	소프트웨어 확인 및 시현	✓
	이중화 절체	소프트웨어 확인 및 시현	✓

2. 포인트 리스트 (감시 및 제어 포인트)

[표 2.1] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	EHV1	통신장비(IED)		XGIPAM 설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
1	OSONGSS 24 EHV1 VCB	ON	OFF	개방/투입	✓
2	OSONGSS 24 EHV1 R/L	REMOTE	LOCAL	Local/Remote	✓
3	OSONGSS 24 EHV1 OCR50	OPERATION	NORMAL	순시 과전류	✓
4	OSONGSS 24 EHV1 OCR51	OPERATION	NORMAL	한시 과전류	✓
5	OSONGSS 24 EHV1 OCGR50	OPERATION	NORMAL	순시 지락 과전류	✓
6	OSONGSS 24 EHV1 OCGR51	OPERATION	NORMAL	한시 지락 과전류	✓
[특이사항]					

[표 2.3] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발					
판넬명	EHV3	통신장비(IED)		XGIPAM	설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description		Result
1	OSONGSS 24 EHV3 VCB	ON	OFF	개방/투입		✓
2	OSONGSS 24 EHV3 R/L	REMOTE	LOCAL	Local/Remote		✓
3	OSONGSS 24 EHV3 OCR50	OPERATION	NORMAL	순시 과전류		✓
4	OSONGSS 24 EHV3 OCR51	OPERATION	NORMAL	한시 과전류		✓
5	OSONGSS 24 EHV3 OCGR50	OPERATION	NORMAL	순시 지락 과전류		✓
6	OSONGSS 24 EHV3 OCGR51	OPERATION	NORMAL	한시 지락 과전류		✓
[특이사항]						

[표 2.2] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	EHV2	통신장비(IED)		XGIPAM 설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
1	OSONGSS 24 EHV2 VCB	ON	OFF	개방/투입	✓
2	OSONGSS 24 EHV2 R/L	REMOTE	LOCAL	Local/Remote	✓
3	OSONGSS 24 EHV2 OCR50	OPERATION	NORMAL	순시 과전류	✓
4	OSONGSS 24 EHV2 OCR51	OPERATION	NORMAL	한시 과전류	✓
5	OSONGSS 24 EHV2 OCGR50	OPERATION	NORMAL	순시 지락 과전류	✓
6	OSONGSS 24 EHV2 OCGR51	OPERATION	NORMAL	한시 지락 과전류	✓
[특이사항]					

[표 2.4] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	EHV4	통신장비(IED)		XGIPAM 설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
1	OSONGSS 24 EHV4 VCB	ON	OFF	개방/투입	✓
2	OSONGSS 24 EHV4 R/L	REMOTE	LOCAL	Local/Remote	✓
3	OSONGSS 24 EHV4 OCR50	OPERATION	NORMAL	순시 과전류	✓
4	OSONGSS 24 EHV4 OCR51	OPERATION	NORMAL	한시 과전류	✓
5	OSONGSS 24 EHV4 OCGR50	OPERATION	NORMAL	순시 지락 과전류	✓
6	OSONGSS 24 EHV4 OCGR51	OPERATION	NORMAL	한시 지락 과전류	✓
[특이사항]					

[표 2.5] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	CB1, CB2	통신장비(IED)		XGIPAM 설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
1	OSONGSS 0.59 CB1 ACB	ON	OFF	상태감시	✓
2	OSONGSS 0.59 CB1 OCR50	OPERATION	NORMAL	순시 과전류	✓
3	OSONGSS 0.59 CB1 OCR51	OPERATION	NORMAL	한시 과전류	✓
4	OSONGSS 0.59 CB1 OVGR	OPERATION	NORMAL	지락 과전압	✓
5	OSONGSS 0.59 CB2 ACB	ON	OFF	상태감시	✓
6	OSONGSS 0.59 CB2 OCR50	OPERATION	NORMAL	순시 과전류	✓
7	OSONGSS 0.59 CB2 OCR51	OPERATION	NORMAL	한시 과전류	✓
8	OSONGSS 0.59 CB2 OCGR50	OPERATION	NORMAL	순시 지락 과전류	✓
9	OSONGSS 0.59 CB2 OCGR51	OPERATION	NORMAL	한시 지락 과전류	✓
[특이사항]					

[표 2.6] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	SR3	통신장비(IED)		XGIPAM 설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
1	OSONGSS 0.59 SR3#1 ELB	ON	OFF	상태 감시	✓
2	OSONGSS 0.59 SR3#1 OCR50	OPERATION	NORMAL	순시 과전류	✓
3	OSONGSS 0.59 SR3#1 OCR51	OPERATION	NORMAL	한시 과전류	✓
4	OSONGSS 0.59 SR3#1 OVGR	OPERATION	NORMAL	지락 과전압	✓
5	OSONGSS 0.59 SR3#2 ELB	ON	OFF	상태 감시	✓
6	OSONGSS 0.59 SR3#2 OCR50	OPERATION	NORMAL	순시 과전류	✓
7	OSONGSS 0.59 SR3#2 OCR51	OPERATION	NORMAL	한시 과전류	✓
8	OSONGSS 0.59 SR3#2 OCGR50	OPERATION	NORMAL	순시 지락 과전류	✓
9	OSONGSS 0.59 SR3#2 OCGR51	OPERATION	NORMAL	한시 지락 과전류	✓
[특이사항]					

[표 2.7] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	LV1	통신장비(IED)		XGIPAM 설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
1	OSONGSS 0.38 LV1 ACB	ON	OFF	상태감시	✓
2	OSONGSS 0.38 LV1 OCR50	OPERATION	NORMAL	순시 과전류	✓
3	OSONGSS 0.38 LV1 OCR51	OPERATION	NORMAL	한시 과전류	✓
4	OSONGSS 0.38 LV1 OCGR50	OPERATION	NORMAL	순시 지락 과전류	✓
5	OSONGSS 0.38 LV1 OCGR51	OPERATION	NORMAL	한시 지락 과전류	✓
6	OSONGSS 0.38 LV1 ELD	OPERATION	NORMAL	누전 상태	✓
7	OSONGSS 0.38 LV1 MCCB	OPERATION	NORMAL	상태 감시	✓
[특이사항]					

[표 2.8] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	VCB1, VCB2	통신장비(IED)		XGIPAM 설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
1	OSONGSS 0.95 ACB1 VCB	ON	OFF	개방/투입	✓
2	OSONGSS 0.95 ACB1 OCR50	OPERATION	NORMAL	순시 과전류	✓
3	OSONGSS 0.95 ACB1 OCR51	OPERATION	NORMAL	한시 과전류	✓
4	OSONGSS 0.95 ACB1 OVGR	OPERATION	NORMAL	지락 과전압	✓
5	OSONGSS 0.95 ACB2 VCB	ON	OFF	개방/투입	✓
6	OSONGSS 0.95 ACB2 OCR50	OPERATION	NORMAL	순시 과전류	✓
7	OSONGSS 0.95 ACB2 OCR51	OPERATION	NORMAL	한시 과전류	✓
8	OSONGSS 0.95 ACB2 OVGR	OPERATION	NORMAL	지락 과전압	✓
[특이사항]					

[표 2.9] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	HB1	통신장비(IED)		ETPCU 설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
1	OSONGSS 0.95 HB1 HSCB	ON	OFF	개방/투입	✓
2	OSONGSS 0.95 HB1 DS	ON	OFF	개방/투입	✓
3	OSONGSS 0.95 HB1 RP	TEST	RUN	차단기 테스트/런 포지션	✓
4	OSONGSS 0.95 HB1 EMER TRIP	OPERATION	NORMAL	비상 차단	✓
5	OSONGSS 0.95 HB1 43R	ON	OFF	절환 스위치 OFF MODE	✓
6	OSONGSS 0.95 HB1 DISCONNECTED	CONNECT	DISCONNECT	차단기 인출 상태	✓
7	OSONGSS 0.95 HB1 SR FAULT	OPERATION	NORMAL	정류기 고장 상태	✓
8	OSONGSS 0.95 HB1 76I	OPERATION	NORMAL	직류 과전류(한시)	✓
9	OSONGSS 0.95 HB1 BC FUSE	OPERATION	NORMAL	BC 퓨즈 단선	✓
10	OSONGSS 0.95 HB1 32	OPERATION	NORMAL	직류 역전류(한시)	✓
11	OSONGSS 0.95 HB1 BLOCKING	OPERATION	NORMAL	차단기 투입 금지	✓
12	OSONGSS 0.95 HB1 COUNT	OPERATION	NORMAL	차단기 동작 횟수	✓
13	OSONGSS 0.95 HB1 ETPCU FAULT	OPERATION	NORMAL	ETPCU 고장	✓
[특이사항]					

[표 2.10] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	HB2	통신장비(IED)		ETPCU 설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
1	OSONGSS 0.95 HB2 HSCB	ON	OFF	개방/투입	✓
2	OSONGSS 0.95 HB2 DS	ON	OFF	개방/투입	✓
3	OSONGSS 0.95 HB2 RP	TEST	RUN	차단기 테스트/런 포지션	✓
4	OSONGSS 0.95 HB2 EMER TRIP	OPERATION	NORMAL	비상 차단	✓
5	OSONGSS 0.95 HB2 43R	ON	OFF	절환 스위치 OFF MODE	✓
6	OSONGSS 0.95 HB2 DISCONNECTED	CONNECT	DISCONNECT	차단기 인출 상태	✓
7	OSONGSS 0.95 HB2 64P FUSE	OPERATION	NORMAL	직류 접지 보호 퓨즈 고장	✓
8	OSONGSS 0.95 HB2 64HR	OPERATION	NORMAL	전류형 직류 접지 보호	✓
9	OSONGSS 0.95 HB2 SR FAULT	OPERATION	NORMAL	정류기 고장 상태	✓
10	OSONGSS 0.95 HB2 76I	OPERATION	NORMAL	직류 과전류(한시)	✓
11	OSONGSS 0.95 HB2 BC FUSE	OPERATION	NORMAL	BC 퓨즈 단선	✓
12	OSONGSS 0.95 HB2 50F	OPERATION	NORMAL	직류 선로고장	✓
13	OSONGSS 0.95 HB2 64P	OPERATION	NORMAL	전압형 직류 접지 보호	✓
14	OSONGSS 0.95 HB2 BLOCKING	OPERATION	NORMAL	차단기 투입 금지	✓
15	OSONGSS 0.95 HB2 COUNT	OPERATION	NORMAL	차단기 동작 횟수	✓
16	OSONGSS 0.95 HB2 ETPCU FAULT	OPERATION	NORMAL	ETPCU 고장	✓
[특이사항]					

[표 2.11] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	HB3	통신장비(IED)		ETPCU 설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
1	OSONGSS 0.95 HB3 HSCB	ON	OFF	개방/투입	✓
2	OSONGSS 0.95 HB3 DS	ON	OFF	개방/투입	✓
3	OSONGSS 0.95 HB3 RP	TEST	RUN	차단기 테스트/런 포지션	✓
4	OSONGSS 0.95 HB3 EMER TRIP	OPERATION	NORMAL	비상 차단	✓
5	OSONGSS 0.95 HB3 43R	ON	OFF	절환 스위치 OFF MODE	✓
6	OSONGSS 0.95 HB3 DISCONNECTED	CONNECT	DISCONNECT	차단기 인출 상태	✓
7	OSONGSS 0.95 HB3 SR FAULT	OPERATION	NORMAL	정류기 고장 상태	✓
8	OSONGSS 0.95 HB3 76I	OPERATION	NORMAL	직류 과전류(한시)	✓
9	OSONGSS 0.95 HB3 BC FUSE	OPERATION	NORMAL	BC 퓨즈 단선	✓
10	OSONGSS 0.95 HB3 50F	OPERATION	NORMAL	직류 선로고장	✓
11	OSONGSS 0.95 HB3 BLOCKING	OPERATION	NORMAL	차단기 투입 금지	✓
12	OSONGSS 0.95 HB3 COUNT	OPERATION	NORMAL	차단기 동작 횟수	✓
13	OSONGSS 0.95 HB3 ETPCU FAULT	OPERATION	NORMAL	ETPCU 고장	✓
[특이사항]					

[표 2.12] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	SR1(CONV, INV, ESS)	통신장비(IED)		설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
1	OSONGSS 0.59 CONV VSLV	OPERATION	NORMAL	컨버터 입력 저전압	✓
2	OSONGSS 0.59 CONV VSOV	OPERATION	NORMAL	컨버터 입력 과전압	✓
3	OSONGSS 0.59 CONV ISOC	OPERATION	NORMAL	컨버터 입력 과전류	✓
4	OSONGSS 0.95 CONV VDOV_CONV	OPERATION	NORMAL	컨버터 DC link 과전압	✓
5	OSONGSS 0.95 CONV IDOV_CONV	OPERATION	NORMAL	컨버터 DC link 과전류	✓
6	OSONGSS 0.95 ESS VSCO_ESS	OPERATION	NORMAL	ESS 밧데리 과전압	✓
7	OSONGSS 0.95 ESS ISCO_ESS	OPERATION	NORMAL	ESS 출력 과전류	✓
8	OSONGSS 0.95 CONV OTH_CONV	OPERATION	NORMAL	컨버터 Heat block과온	✓
9	OSONGSS 0.95 ESS OTH_ESS	OPERATION	NORMAL	ESS Heat block과온	✓
10	OSONGSS 0.95 CONV CFD_CONV	OPERATION	NORMAL	컨버터 IGBT 이상	✓
11	OSONGSS 0.95 ESS CFD_ESS	OPERATION	NORMAL	ESS IGBT 이상	✓
12	OSONGSS 0.95 CONV WDT1	OPERATION	NORMAL	컨버터 Controller 보드이상	✓
13	OSONGSS 0.95 ESS WDT3	OPERATION	NORMAL	ESS Controller 보드이상	✓
14	OSONGSS 0.95 FAULT	OPERATION	NORMAL	고장발생인식(재기동됨)	✓
15	OSONGSS 0.95 LOCKOUT	OPERATION	NORMAL	고장발생인식(재기동되지 못함)	✓
16	OSONGSS 0.95 CONV HGON_CONV	OPERATION	NORMAL	컨버터 기동준비완료	✓
17	OSONGSS 0.95 ESS HGON_ESS	OPERATION	NORMAL	ESS 기동준비완료	✓
18	OSONGSS 0.95 TEST	OPERATION	NORMAL	Test 모드	✓
19	OSONGSS 0.95 LOCAL	OPERATION	NORMAL	Local 모드	✓
20	OSONGSS 0.95 REMOTE	OPERATION	NORMAL	Remote 모드	✓
21	OSONGSS 0.95 DI_VCB	OPERATION	NORMAL	VCB 컨택터 투입인식	✓
22	OSONGSS 0.95 DI_ACKA	OPERATION	NORMAL	ACK 컨택터 투입인식	✓
23	OSONGSS 0.95 DI_CHKA	OPERATION	NORMAL	CHK 컨택터 투입인식	✓
24	OSONGSS 0.95 DI_CONV_TEMP	OPERATION	NORMAL	Heat block 온도접점 인식	✓
25	OSONGSS 0.95 DI_START	OPERATION	NORMAL	기동 스위치 인식	✓
26	OSONGSS 0.95 DI_EB	OPERATION	NORMAL	비상 스위치 인식	✓

[표 2.13] 포인트리스트(감시/제어)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발				
판넬명	SR1(CONV, INV, ESS)	통신장비(IED)		설치장소	변전소
구분	Point Name	Status		Description	Result
27	OSONGSS 0.95 DI_LOCK	OPERATION	NORMAL	잠금 스위치 인식	✓
28	OSONGSS 0.95 DI_TEST	OPERATION	NORMAL	Test 스위치 인식	✓
29	OSONGSS 0.95 DI_LOCAL	OPERATION	NORMAL	Local 스위치 인식	✓
30	OSONGSS 0.95 DI_REMOTE	OPERATION	NORMAL	Remote 스위치 인식	✓
31	OSONGSS 0.95 DI_L1K	OPERATION	NORMAL	L1K 스위치 인식	✓
32	OSONGSS 0.95 DI_CCK	OPERATION	NORMAL	CCK 스위치 인식	✓
33	OSONGSS 0.95 CONV DO_START	OPERATION	NORMAL	컨버터 기동 지령	✓
34	OSONGSS 0.95 CONV DO_STOP	OPERATION	NORMAL	컨버터 정지 지령	✓
[특이사항]					

[표 2.14] 포인트리스트(계측)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		설치장소	변전소
구분	Point Name	통신장비(IED)	Description	Result
1	OSONGSS 24 EHV1 R_CURRENT	XGIPAM	R상 전류	✓
2	OSONGSS 24 EHV1 S_CURRENT	XGIPAM	S상 전류	✓
3	OSONGSS 24 EHV1 T_CURRENT	XGIPAM	T상 전류	✓
4	OSONGSS 24 EHV1 R_VOLTAGE	XGIPAM	R상 전압	✓
5	OSONGSS 24 EHV1 S_VOLTAGE	XGIPAM	S상 전압	✓
6	OSONGSS 24 EHV1 S_VOLTAGE	XGIPAM	T상 전압	✓
7	OSONGSS 24 EHV1 WATT	XGIPAM	유효전력	✓
8	OSONGSS 24 EHV1 VAR	XGIPAM	무효전력	✓
9	OSONGSS 24 EHV1 FREQ	XGIPAM	주파수	✓
10	OSONGSS 24 EHV1 WH	XGIPAM	유효전력량	✓
11	OSONGSS 24 EHV1 VARH	XGIPAM	무효전력량	✓
12	OSONGSS 24 EHV2 R_CURRENT	XGIPAM	R상 전류	✓
13	OSONGSS 24 EHV2 S_CURRENT	XGIPAM	S상 전류	✓
14	OSONGSS 24 EHV2 T_CURRENT	XGIPAM	T상 전류	✓
15	OSONGSS 24 EHV3 R_CURRENT	XGIPAM	R상 전류	✓
16	OSONGSS 24 EHV3 S_CURRENT	XGIPAM	S상 전류	✓
17	OSONGSS 24 EHV3 T_CURRENT	XGIPAM	T상 전류	✓
18	OSONGSS 24 EHV4 R_CURRENT	XGIPAM	R상 전류	✓
19	OSONGSS 24 EHV4 S_CURRENT	XGIPAM	S상 전류	✓
20	OSONGSS 24 EHV4 T_CURRENT	XGIPAM	T상 전류	✓
21	OSONGSS 24 RTR1 S_TEMP	P-100C	변압기 S상 온도	✓
22	OSONGSS 24 RTR2 S_TEMP	P-100C	변압기 S상 온도	✓
23	OSONGSS 24 DTR1 S_TEMP	P-100C	변압기 S상 온도	✓
24	OSONGSS 0.59 CB1 R_CURRENT	XGIPAM	R상 전류	✓
25	OSONGSS 0.59 CB1 S_CURRENT	XGIPAM	S상 전류	✓
26	OSONGSS 0.59 CB1 T_CURRENT	XGIPAM	T상 전류	✓
27	OSONGSS 0.59 CB1 R_VOLTAGE	XGIPAM	R상 전압	✓
28	OSONGSS 0.59 CB1 S_VOLTAGE	XGIPAM	S상 전압	✓
29	OSONGSS 0.59 CB1 T_VOLTAGE	XGIPAM	T상 전압	✓
30	OSONGSS 0.59 CB1 WATT	XGIPAM	유효전력	✓
31	OSONGSS 0.59 CB1 VAR	XGIPAM	무효전력	✓
32	OSONGSS 0.59 CB1 FREQ	XGIPAM	주파수	✓
33	OSONGSS 0.59 CB1 WH	XGIPAM	유효전력량	✓
34	OSONGSS 0.59 CB1 VARH	XGIPAM	무효전력량	✓
35	OSONGSS 0.59 CB2 R_CURRENT	XGIPAM	R상 전류	✓
36	OSONGSS 0.59 CB2 S_CURRENT	XGIPAM	S상 전류	✓

[표 2.15] 포인트리스트(계측)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		설치장소	변전소
구분	Point Name	통신장비(IED)	Description	Result
37	OSONGSS 0.59 CB2 T_CURRENT	XGIPAM	T상 전류	
38	OSONGSS 0.59 CB2 R_VOLTAGE	XGIPAM	R상 전압	
39	OSONGSS 0.59 CB2 S_VOLTAGE	XGIPAM	S상 전압	
40	OSONGSS 0.59 CB2 T_VOLTAGE	XGIPAM	T상 전압	
41	OSONGSS 0.59 CB2 WATT	XGIPAM	유효전력	
42	OSONGSS 0.59 CB2 VAR	XGIPAM	무효전력	
43	OSONGSS 0.59 CB2 FREQ	XGIPAM	주파수	
44	OSONGSS 0.59 CB2 WH	XGIPAM	유효전력량	
45	OSONGSS 0.59 CB2 VARH	XGIPAM	무효전력량	
46	OSONGSS 0.59 SR3#1 R_CURRENT	XGIPAM	R상 전류	
47	OSONGSS 0.59 SR3#1 S_CURRENT	XGIPAM	S상 전류	
48	OSONGSS 0.59 SR3#1 T_CURRENT	XGIPAM	T상 전류	
49	OSONGSS 0.59 SR3#1 R_VOLTAGE	XGIPAM	R상 전압	
50	OSONGSS 0.59 SR3#1 S_VOLTAGE	XGIPAM	S상 전압	
51	OSONGSS 0.59 SR3#1 T_VOLTAGE	XGIPAM	T상 전압	
52	OSONGSS 0.59 SR3#1 WATT	XGIPAM	유효전력	
53	OSONGSS 0.59 SR3#1 VAR	XGIPAM	무효전력	
54	OSONGSS 0.59 SR3#1 FREQ	XGIPAM	주파수	
55	OSONGSS 0.59 SR3#1 WH	XGIPAM	유효전력량	
56	OSONGSS 0.59 SR3#1 VARH	XGIPAM	무효전력량	
57	OSONGSS 0.59 SR3#2 R_CURRENT	XGIPAM	R상 전류	
58	OSONGSS 0.59 SR3#2 S_CURRENT	XGIPAM	S상 전류	
59	OSONGSS 0.59 SR3#2 T_CURRENT	XGIPAM	T상 전류	
60	OSONGSS 0.59 SR3#2 R_VOLTAGE	XGIPAM	R상 전압	
61	OSONGSS 0.59 SR3#2 S_VOLTAGE	XGIPAM	S상 전압	
62	OSONGSS 0.59 SR3#2 T_VOLTAGE	XGIPAM	T상 전압	
63	OSONGSS 0.59 SR3#2 WATT	XGIPAM	유효전력	
64	OSONGSS 0.59 SR3#2 VAR	XGIPAM	무효전력	
65	OSONGSS 0.59 SR3#2 FREQ	XGIPAM	주파수	
66	OSONGSS 0.59 SR3#2 WH	XGIPAM	유효전력량	
67	OSONGSS 0.59 SR3#2 VARH	XGIPAM	무효전력량	
68	OSONGSS 0.95 VCB1 R_CURRENT	XGIPAM	R상 전류	
69	OSONGSS 0.95 VCB1 S_CURRENT	XGIPAM	S상 전류	
70	OSONGSS 0.95 VCB1 T_CURRENT	XGIPAM	T상 전류	
71	OSONGSS 0.95 VCB1 R_VOLTAGE	XGIPAM	R상 전압	
72	OSONGSS 0.95 VCB1 S_VOLTAGE	XGIPAM	S상 전압	

[표 2.16] 포인트리스트(계측)

과제명	초고속 자기부상열차 전력시스템 기술개발		설치장소	변전소
구분	Point Name	통신장비(IED)	Description	Result
73	OSONGSS 0.95 VCB1 T_VOLTAGE	XGIPAM	T상 전압	✓
74	OSONGSS 0.95 VCB1 WATT	XGIPAM	유효전력	✓
75	OSONGSS 0.95 VCB1 VAR	XGIPAM	무효전력	✓
76	OSONGSS 0.95 VCB1 FREQ	XGIPAM	주파수	✓
77	OSONGSS 0.95 VCB1 WH	XGIPAM	유효전력량	✓
78	OSONGSS 0.95 VCB1 VARH	XGIPAM	무효전력량	✓
79	OSONGSS 0.95 VCB2 S_CURRENT	XGIPAM	S상 전류	✓
80	OSONGSS 0.95 VCB2 T_CURRENT	XGIPAM	T상 전류	✓
81	OSONGSS 0.95 VCB2 R_VOLTAGE	XGIPAM	R상 전압	✓
82	OSONGSS 0.95 VCB2 S_VOLTAGE	XGIPAM	S상 전압	✓
83	OSONGSS 0.95 VCB2 T_VOLTAGE	XGIPAM	T상 전압	✓
84	OSONGSS 0.95 VCB2 WATT	XGIPAM	유효전력	✓
85	OSONGSS 0.95 VCB2 VAR	XGIPAM	무효전력	✓
86	OSONGSS 0.95 VCB2 FREQ	XGIPAM	주파수	✓
87	OSONGSS 0.95 VCB2 WH	XGIPAM	유효전력량	✓
88	OSONGSS 0.95 VCB2 VARH	XGIPAM	무효전력량	✓
89	OSONGSS 0.38 LV1 R_CURRENT	XGIPAM	R상 전류	✓
90	OSONGSS 0.38 LV1 R_VOLTAGE	XGIPAM	R상 전압	✓
91	OSONGSS 0.11 LVR1 DC_VOLTAGE	XGIPAM	충전기반 DC 전압	✓
92	OSONGSS 0.11 LVR1 DC_CURRENT	XGIPAM	충전기반 DC 전류	✓
93	OSONGSS 0.95 CONV Vas_rms	CONV	입력 a상 전압	✓
94	OSONGSS 0.95 CONV Vbs_rms	CONV	입력 b상 전압	✓
95	OSONGSS 0.95 CONV Vcs_rms	CONV	입력 c상 전압	✓
96	OSONGSS 0.95 CONV Ias_rms	CONV	입력 a상 전류	✓
97	OSONGSS 0.95 CONV Ibs_rms	CONV	입력 b상 전류	✓
98	OSONGSS 0.95 CONV Ics_rms	CONV	입력 c상 전류	✓
99	OSONGSS 0.95 CONV Vdc	CONV	DC-link 전압	✓
100	OSONGSS 0.95 CONV Idc	CONV	DC-link 전류	✓
101	OSONGSS 0.95 CONV Power_FB	CONV	컨버터 소비전력	✓
102	OSONGSS 0.95 ESS Vdc_ess	ESS	ESS 입력 전압	✓
103	OSONGSS 0.95 ESS Idc_ess	ESS	ESS 입력 전류	✓
104	OSONGSS 0.95 ESS Vsc	ESS	ESS 밧데리 전압	✓
105	OSONGSS 0.95 ESS Isc	ESS	ESS 밧데리 전류	✓

제12절 전력설비 및 전원공급장치

1. 개요

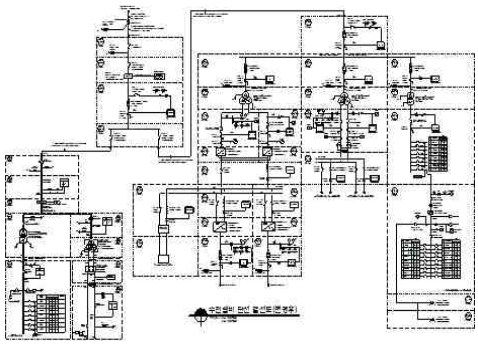
초고속 자기부상열차를 운용함에 있어 필요로 하는 검수고용 설비용품 구축을 위한 전기용품 개발, 차량 및 검수고 급전설비, 보호감시용 주변장치 개발 및 구축을 통한 전력설비의 보호 협조 체계를 구축하는 장치이다.

2. 목표

초고속 자기부상철도의 전력설비 및 전원공급장치는 전체 시스템에 전원을 공급하기 위한 주변압기 및 보조변압기, 정류기, 시험선의 강체 전차선 및 지지애자 등의 설계 및 제작하고, 계통도 설계 및 전기회로 구축을 통한 전체 시스템에 안정적인 전원을 공급하는데 목적이 있다.

3. 개발 내용 요약

<table>
<tr><td>연구목표</td><td colspan="2">검수고용 설비용품 구축을 위한 전기용품 개발, 차량 및 검수고 급전설비, 보호감시용 주변장치 개발 및 구축을 통한 전력설비의 보호 협조 체계 구축</td></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="2">▪ 단거리 시험선용 전력 계통도 설계
▪ 소내용과 차량 급전용, 추진용 전력용 전기 설비 공사
▪ 급전용 주변압기 및 정류기 제작 및 기능시험
▪ 단거리 시험선의 연계 시험</td></tr>
<tr><td>수행과정</td><td colspan="2">▪ 전기설비용품 및 검수고용 전기 회로 구축
▪ 단거리 시험선의 검수고내 기기배치
▪ 전력설비용 주요부품 기능 시험</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연구결과</td><td colspan="2">▪ 검수고 전기설비 주변압기 및 정류기 개발</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>3권선 변압기 (3MVA) 기능시험</td><td>소내용 보조정류기</td></tr>
</table>

		
	전력계통도 (단거리 시험선용)	수배전반 전력실

4. 전력설비 및 전원공급장치 개발 내용

가. 변압기 형식

변압기의 각 종류별 특성을 비교 검토하여 최적의 제품을 설계하는 데에 적용한다.

(1) 변압기 비교

(가) 구비조건

전철에 사용되는 변압기는 지하구조물 및 건축물내에 설치 사용되므로 다음과 같은 구비조건이 요구된다

- 내부고장 또는 외부충격에 의한 폭발, 발화가 없어야 한다.
- 소형 경량이며 고효율 이어야 한다.
- 유지보수가 용이하여야 한다.

(2) 변압기의 종류

(가) 유입변압기

유입 변압기는 철심에 감은 코일을 절연유로 절연한 것으로, 가장 많이 사용되는 변압기로 값이 가장 싸다. 절연유가 담긴 탱크속에 권선을 담근 구조로 제작이 용이하고 사용범위가 넓어 소용량에서 대용량까지 가장 많이 사용하는 변압기이다.

<특징>

- 소용량에서 대용량, 저전압에서 고전압까지 사용범위가 넓다.
- 밀폐된 구조이므로 옥내외 구분없이 사용 가능하다.
- 소음진동이 적고 서지에 강하다.
- 점검에 의해 수명 예측이 가능하다.
- 절연유를 사용하므로 화재의 우려가 있다.
- 정기적인 절연유 보수가 필요하다
- 오일에 함침함에 따라 흡습에 의한 절연열화가 없다
- 철제 외함으로 견고하다.
- 다른 변압기에 비해 설치공간을 많이 차지한다.

(나) 몰드 변압기

코일 주위에 전기적 특성이 큰 에폭시 수지를 고진공으로 침투시키고, 다시 그 주

위를 기계적 강도가 큰 에폭시 수지로 몰딩한 변압기이다. 몰드 변압기는 건식 변압기에 비하여 소음이 적고, 유입 변압기에 비해서도 적고 가벼우므로 최근 많이 보급되고 있다.
대부분 권선을 진공주형하여 제작한다. 최근 많이 사용하나 인출부 절연과 방열에 문제가 있어 고전압 대용량화에는 한계가 있다.

< 특징 >

- 절연물로 난연성 에폭시 수지를 사용하므로 화재의 우려가 없다.
- 소형, 경량이고 분해, 반입, 현장조립도 가능하다.
- 무부하 손실이 적어 에너지 절약에 기여한다.
- 소음이 크고 기중절연이므로 옥외설치시 전용함이 필요하다.
- 무보수화가 가능하나 수명 예측이 곤란하다.
- 권선이 수지에 함침되어 있어 흡습이 거의 없다.

(다) 가스절연 변압기

절연 매체로 SF6 가스를 사용한 변압기로 불연성이고 전기적 특성이 좋다. SF6 가스 절연변압기는 그 절연냉각 매체인 SF6 가스가 불활성, 불연성이기 때문에 H종 건식변압기 또는 몰드변압기로서 커버 할 수 없는 불연성의 대용량, 고전압 변압기로서 사용되고 있다.

<특징>

- 불연성으로 폭발의 위험성이 없다.
- SF6 가스를 봉입한 완전 밀폐구조이므로 열화가 거의 없다.
- 습기나 먼지 등 외기의 영향을 받지 않으며 변압기 내부의 보수, 점검이 필요없다.
- 치수는 유입변압기에 비하여 약간 크지만 SF6 가스가 매우 가볍기 때문에 총중량은 유입변압기에 비해서 약간 가볍다.
- 저소음이다. 건식변압기에 비교하면 탱크벽으로 차음(遮音) 되는 몫만큼 소음이 작다. 유입변압기와 비교해도 기름보다 SF6 가스쪽이 소음전달이 작기 때문이다.
- 절연내력은 공기의 2.5배이다.
- 무색, 부취, 무독성이다.
- 철심, 권선이 밀봉탱크에 수납되어 있다.
- 내부의 보수점검 불필요하다.

(라) 건식 변압기

절연유를 사용하지 않고 고체 절연체만으로 절연을 유지하는 것으로 화재 예방을 중시하는 건물에 사용하였으나, 몰드변압기의 등장으로 최근에는 소용량 강압용 변압기로 주로 사용한다.

<특징>

- 절연유를 사용하지 않으므로 화재의 위험이 없다.
- 점검 및 보수가 용이하다.
- 소음, 진동이 크고 서지에 약하다

- 권선을 절연지로 절연하여 바니시 등에 함침한다.
- 운반 및 설치 등에 주의가 필요하고, 절연내력이 낮다

유입변압기	몰드변압기	가스절연변압기	건식변압기
			

(마) 아몰퍼스 변압기

아몰퍼스 메탈은 철(Fe), 붕소(B) 및 규소(Si) 등의 혼합물을 이용하여 용융, 금속 냉각 등으로 만들어진 비정질 자성재료로서 원자가 규칙적으로 배열되기 전에 고체화되어 불규칙한 배열 상태를 가진 0.025[mm]의 합금 박판이다. 이와 같은 비정질 자성재료를 사용한 아몰퍼스 변압기는 75% 이상의 무부하 손실 절감으로 기존의 규소강판 변압기를 사용하는 것보다 효율성을 증대시킬 수 있고 전력비를 현저하게 줄일 수 있는 에너지 절약형 신기술 변압기이다.

변압기 철심재료로 기존의 방향성규소강판 대신 신소재인 아몰퍼스 합금을 사용한 변압기를 아몰퍼스변압기라 하는데 기존의 규소강판 변압기 대비 변압기 철손(철심에서 발생하는 손실)을 80% 정도 줄인 뛰어난 저손실 특성의 변압기이다.

아몰퍼스 변압기에는 유입형과 몰등형이 있으나 유입형의 경우는 유입변압기와 같이 절연유를 사용하므로 유입변압기의 단점을 그대로 갖고 있으며, 몰드형의 경우에는 제작 가능한 최대용량이 2,000kVA 정도로 한계가 있으며, 특히 전동차용으로는 국내 개발되어 적용된 실적이 없으므로 아래의 상대 비교에서는 제외한다.

(3) 변압기 특성 비교

구 분	유입식	몰드식	가스절연식	건식
절연종류	A종	B종, F종,H종	E종	H종
권선온도상승	55℃	80℃ 100℃ 125℃	75℃	125℃
전력손실	크다	적다	적다	보통
절연특성	강하다	보통	보통	약하다
단락강도	크다	매우크다	크다	크다
냉각장치	불필요	불필요	불필요	불필요
도전부 노출	없음	큐비클 수납 (반내부 노출)	없음	큐비클 수납 (반내부 노출)
연소성	가연성	불연성	불연성	불연성
폭발성	가능	없슴	없슴	없슴
방화벽	방화벽 설치	불필요	불필요	불필요
소화장치	필요	불필요	불필요	불필요
소음	크다	보통	작다	보통
점검	기름중의 GAS분석	온도점검	GAS 압력 측정	온도 점검
보수	불필요	필요	불필요	필요
크기	약간크다(100%)	보통(80%)	약간크다(100%)	보통(80%)
중량	무겁다	가볍다	보통	보통
형상	완전밀봉	반내부 개방형	완전 밀폐	반내부 개방형
변압실 온도조절	불필요	불필요	불필요	불필요
설치장소	옥내/옥외	옥내	옥내/옥외	옥내

(4) 사용실태 및 경향

(가) 국내

서울 1호선	대구 1호선	서울 2호선	서울 3,4호선	부산 지하철	서울 2기	서울 9호선	인천 1호선
유입식	MOLD식	MOLD식 유입식(강변,신천)	유입	MOLD	MOL D	MOLD	MOLD

(나) 외국의 사용실태

프랑스의 경우 오일, Askarel, Encapsulated, Silicon oil 등의 종류 중에서 지하철은 화재의 위험성 때문에 오일 TYPE은 사용하지 않으며, Askarel은 유독성 Gas(Toxic) 때문에 사용이 금지되어 현재는 실리콘 오일과 Encapsulated type(Mold

식)을 사용하고 있다.
일본에서도 같은 추세이나, SF6 가스식이 개발되어 도영 1,2호선 등 일부 구간에서 사용되고 있다.

(5) 국산화 및 시장성

유입식, Mold 식 및 건식의 국내제작이 가능하여 기존 지하철 설비에 사용되고 있으며 그 신뢰성을 인정받고 있다. SF6 가스식은 아직 제작업체가 없어 국내 개발시에는 외국업체와 기술제휴가 필요하다.
SF6 가스식은 일본에서는 실적이 많으나 유럽의 제작사들은 제작실적이 적다.

(6) 경제성

유입식	MOLD식	SF6가스식	건식
저가(55%)	고가(100%)	고가(95%)	보통(80%)

(7) 몰드변압기의 절연방식

(가) 몰드변압기의 품질에 크게 영향을 미치는 항목은 몰딩 공정과 권선을 들 수 있다. 이중 몰딩공정은 주형몰딩(Cast Type)과 함침몰딩(Impregnate Type) 방식으로 나눌 수 있으며 양 방식의 비교는 다음과 같다.

항 목	주형몰딩	함침몰딩
절연방식	금형(Die)를 이용하여 진공상태에서 절연 함.	금형없이 대기 중에서 Winding법이나 Pre-Preg법으로 절연 함.
장점	금형에 의한 진공주형이므로 - 외관이 미려하다. - 제작과정에서 기포 및 습기가 완전히 제거된다. - 운전중에도 습기 침투가 불가능하다. - 절연내력이 우수하다. - 전기적, 기계적 강도가 모두 우수하다.	- 형을 사용하지 않으므로 설계가 용이하다. - 다품종의 개발사양에 대응하기 쉽다.
단점	금형(Die)에 의하여 치수, 형상이 정해지므로 - 설비투자비가 많이 든다. - 고 원가이다.	대기중에서 권선작업을 하므로 - 외관이 미려하지 못하다. - 기표발생의 우려가 있다. - 습기침투가 용이하다. - 주형방식에 비해 전기적 강도가 약하다. - 권선표면의 오염시 보수, 점검이 다소 곤란하다.

(나) 변압기의 성능은 변압기의 몰딩방식보다는 제조사의 제조 기술 및 설비에 따라 결정되며 주형몰딩 방식도 제조사에 따라서는 제조 불량이 발생되는 사례가 있다.

(8) 검토 결과에 따른 적용 변압기

(가) 유입식은 가격이 저렴하나 화재에 불리하고 별실에 설치하여야 하므로 소요면적이 크고 자동소화장치가 필요한 반면, Mold식은 내화재성이 우수하고 설치면적을 줄 일 수 있지만 습기에 의한 절연성 및 임펄스에 약하고 소음이 크다.

(나) SF6 Gas식은 화재의 위험이 없고 방재시설이 필요 없어서 변전소 면적을 최소화 할 수 있으며 전력손실이 적고 소음이 적은 장점이 있다.

(다) 따라서 출력변압기는 Mold식 또는 SF6 Gas식이 적합하다. 그리고 SF6 가스식이 Mold 식보다 성능이 우수하나 제작업체는 일본으로 편중된다.

(라) Mold식은 각국에서 생산, 사용하고 있으나 SF6 Gas 보다는 성능이 떨어지는 단점이 있다. 그러나 최근의 도시철도 변압기는 Mold 식으로 채택되고 있으며 국내 업체의 생산도 활발하게 되고 있어 Mold 식을 적용함이 타당하다고 판단 된다. 또한 몰드 변압기의 절연방식은 주형몰딩 방식이 함침방식보다 우수한 것으로 판단되었으나 몰딩 방식에 의한 성능의 차이보다는 제조사의 제조 기술이나 제조설비에 의하여 성능이 결

정되는 것으로 판단되므로 주형몰딩방식으로 한정하지 않고 몰딩방식의 몰드변압기로 적용한다.

나. 변압기 제작 사양

(1) 적용 규격

- KS C IEC 60726(건식변압기), IEC 60146
- IEC 60282-1
- JEC 2200 (1995)
- JEM 1118 (1977) 건식변압기의 소음레벨 기준
- KEMC 1113 전력용 몰드 변압기
- KS C 4311(1997)
- KS C 4612 (PF)

(2) 구조

(가) 외 함

- 판넬은 전후면에 도어를 설치하며 도어 개방 시 정위치 정지 장치로 쇄정할 수 있는 구조로 하고, 사용하는 철판의 두께는 2.3mm 이상의 것이어야 한다. 단, 전후면 도어의 철판두께는 3.2mm 이상으로 한다.
- 변압기냉각에 필요한 공기가 충분히 유통될 수 있는 구조와 냉각팬을 설치하여야 한다.
- 변압기의 3상 온도를 표시할 수 있는 3상용 디지털 온도 감시장치를 설치하며 온도 감시장치와 냉각팬이 연동되도록 하여야 한다.
- 케이블의 인입, 인출은 외함 하부로 할 수 있는 구조로 하고, 케이블 결선 시 작업을 용이하게 하기 위하여 케이블 지지대 및 케이블 브라켓 (BRACKET)을 설치한다.
- 전력 및 제어케이블 결선 시 작업을 용이하게 하기 위하여 지지대를 설치해야 한다.
- 외함의 밑부분은 현장설치 및 고정을 할 수 있는 구조이어야 한다.
- 변압기 가압여부를 식별 할 수 있는 표시등을 전후면에(LED Type) 설치하여야 한다.
- 철판은 부식방지 처리 후 60㎛ 이상의 두께로 분체도장을 실시하고 열처리로 마감하여야 한다.
- 외함 및 도어는 기계적 및 전기적으로 연결되어야 한다.
- 변압기 외함 하부에는 제작명판이 부착되어야 한다.
- 변압기반은 적당한 개소에 접지모선(6t×40)을 취부하여야 하며, 접지 모선의 말단에는 인접반 접지 모선과 용이하게 접속할 수 있는 접속편을 취부함과 동시에 접지선 접속단자(100mm^2 동관단자)를 취부하여야 한다.

(나) 변압기

- 변압기는 수송 및 설치에 적합한 구조로 하고 쉽게 고정할 수 있어야 한다.

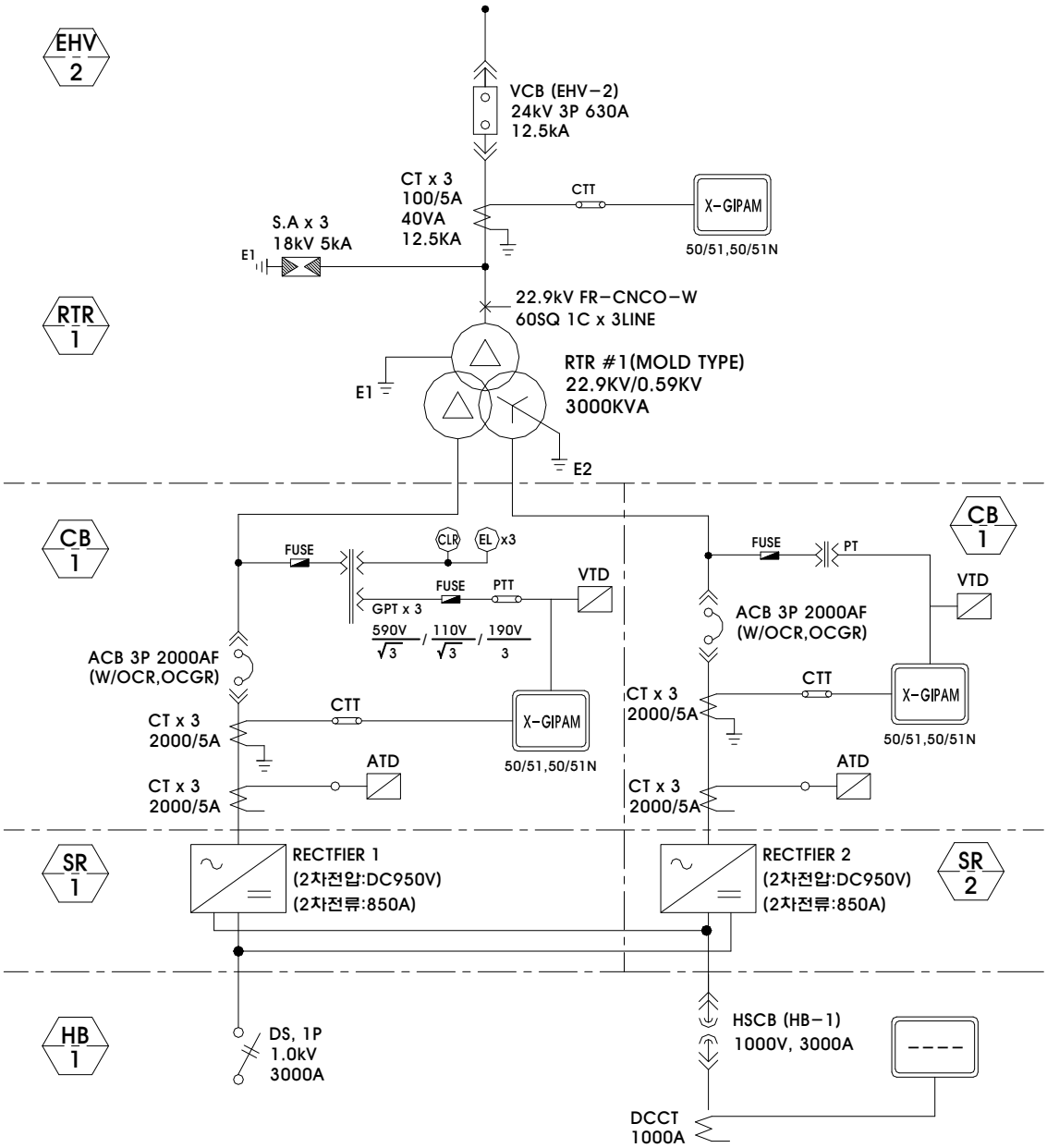
- 탭(TAP)의 절체는 무부하 상태에서 행하는 것으로 하고, 외부에서 용이하게 절체할 수 있는 구조이어야 한다.
- 운반 시 발생하는 기계적 충격이나 회로 단락시의 전자력에 충분히 견딜 수 있는 강도를 가져야 한다.
- 권선은 F종 이상의 절연처리 된 동선(동판)을 사용하여야 한다.
- 변압기의 권선 단자는 모선 단말처리가 용이하도록 제작되어야 한다.
- 변압기는 방진, 방습 구조로 설계되어져야 한다. 정상시뿐 아니라 단락 시에도 냉각효과가 저감되지 않도록 하여야 한다.
- 냉각은 건식자냉식으로 팬(FAN) 또는 보조 냉각장치를 채용하지 않고서도 변압기의 특성 및 출력이 최대한 보증되게 하여야 한다.
- 탭 절환 단자부는 안전과 오염을 방지할 수 있는 구조이어야 한다.
- 변압기는 제작명판이 부착되어야 한다.
- 변전소 소내용 변압기는 레이져 저소음 고효율 인증제품이어야 한다.
- 변압기반 내부 앞, 뒤 문쪽에 조명을 설치하고 문개폐와 연동하여 점/소등 되도록 한다.
- 변압기반 내부에 콘센트를 전후문 근처에 설치한다.

다. 전력설비 및 전원공급장치 구성

(1) 주변압기

(가) 3상 3,000KVA 몰드 변압기 제작 사양서

주변압기는 한전계통에서 단상 22.9KV를 3상 590V 또는 440V로 강압시켜 추진 및 전력시스템에 전력을 공급하는 주변압기이다.



[그림 2.12.1] 전력 시스템 단선도

① 사용조건

주위온도 : -5℃ ~ 40℃, 일일평균 : 30℃ 이하

표 고 : 해발 1,000m 이하

설치장소 : 옥내

상대습도 : 90% 이하

② 적용규격

JIS E 6301 Contact strips for pantograph

KS R 9156 : 철도차량용 전자기기의 시험통칙

KS R 9197 : 철도차량의 절연저항 및 내전압 시험방법

KS C 4311 (건식 변압기)

IEC 60076-11

③ 일반정격

정격구분 : 연속정격

정격주파수 : 60Hz

절연종별 : F

온도상승 : 100℃

극 성 : 감극성

냉각방식 : 건식 자냉식

④ 구조일반

㉮ 철심

철심재료는 양질의 냉간압연 규소강판을 사용하며 규소강판의 특성을 보전하기 위하여 랩(LAP) 접합방식을 이용하므로 무부하손실 및 여자전류 특성이 양호하다. 조립된 CORE LEG는 열적, 기계적 특성이 우수한 절연 TAPE로 감았으며, 철심표면 보호용으로 방청도장 처리를 한다.

㉯ 권선

권선은 몰드 권선으로 적합한 AL도체를 사용 대상(SHEET)으로 권선하여 종래 환선 사용 시보다 도체 점적율을 증가시켰다. 권선의 주형방법은 진공상태에서 주형하였기 때문에, 전기적으로 부분 방전등이 없는 우수한 성능을 가지고 있으며, 기계적으로는 견고한 구조로 되어있다.

1,2,3차 권선을 별도로 성형하여 각상의 철심각(LEG)에 동심상으로 배치하는 동심배치구조를 택합니다. 사용 중에 발생하는 열방산을 위해 1,2,3차 권선 간의 공간을 냉각 닥트(DUCT)로 이용하며 권선의 지지구조는 권선 상, 하부에 탄성체의 스페이서(SPACER)를 넣어 고정하였으므로 철심의 자기 외형 진동이 권선으로 전달됨을 방지하며 몰드 권선 표면으로부터 방산되는 소음을 절감시켜 준다.

㉰ 무전압 탭 절환단자

권선의 표면에 위치하며 무전압시 용이하게 절환할 수 있는 구조로 되어 있으며, 사용 탭 이외의 무전압 탭 절환단자는 절연캡(CAP)으로 보호되어 운전중에 먼지등이 침입되지 않는 구조로 되어 있다.

⑤ 표준 부속품

명판

1,2차 단자

접지단자

인양고리

위험표시마크

방진고무

COIL SPACER

고무캡 (탭보호용)
무전압 탭단자

⑥ 추가 부속품
디지털 온도계(P-100AD)
탭보호 카바

⑦ 정격 및 전기적 특성

㉮ 정격

[표 2.12.1] 정격사양

No.	항 목		TR-1
1	상 수(Φ)		3
2	정격용량(KVA)	1 차	3,000
		2 차	1,500
		3 차	1,500
3	1차 정격 전압(V)		22,900
4	2차 정격 전압(V)		590
5	3차 정격 전압(V)		590
6	결 선		DELTA-DELTA-WYE
7	극성 & 각변위		Dd0y11
8	주파수		60Hz

㉯ 보증 특성

정격 주파수, 정격 전압, 정격 출력, 역율=1.0 120℃에서 다음과 같은 전기적 특성을 같는다.

[표 2.12.2] 전기적 특성

No.	항 목	TR-1
1	효 율(%)	98.7
2	전압변동율 (%)	1.2
3	무부하전류 (%)	2.5

㉰ 권선 절연내력

몰드 변압기는 아래의 시험전압에 충분히 견딜 수 있도록 설계 및 제작하였다.

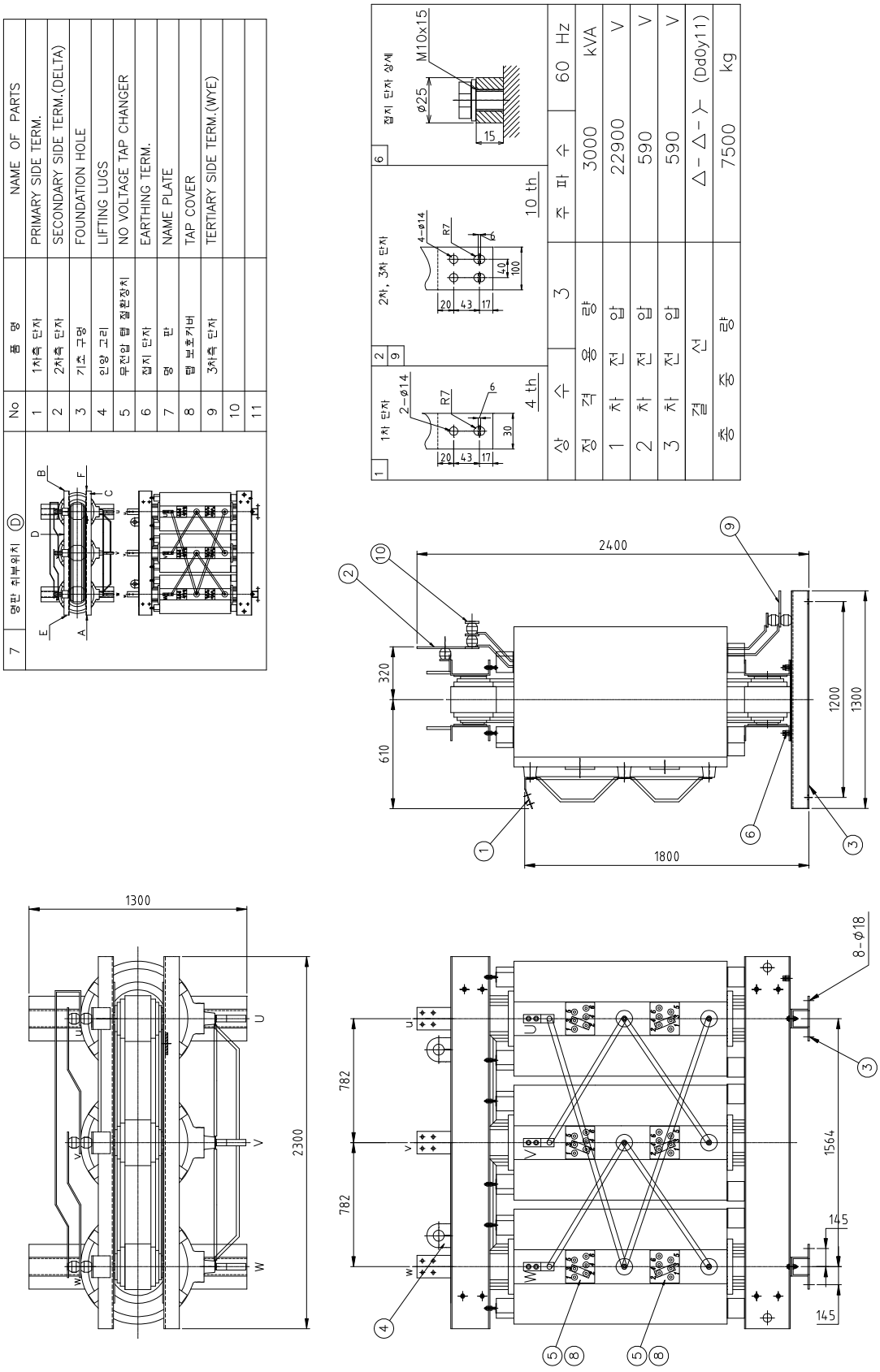
[표 2.12.3] 주변압기 권선의 절연내력

No.	공칭전압(KV)	상용주파 절연내력(KV)	충격시험전압(KV)
1	22.9	50	125
2	1.1 이하	3	-

⑧ 주변압기 명판 및 외형도



[그림 2.12.2] 주변압기 명판



[그림 2.12.3] 주변압기 외형도면



(a) 3차 권선(STAR) FOIL



(b) 2차 권선(DELTA) FOIL



(c) SPACER등 절연재



(d) MOLDING EPOXY 수지

[그림 2.12.4] 주변압기 주요 재료

⑨ 시험 절차서

개발되는 초고속 자기부상열차에 사용되는 몰드 변압기의 시험방법에 대하여 규정한다.

㉮ 시험장소의 환경조건

주변압기의 구조와 치수검사, 조립품 체결검사 및 특성시험 등은 공장 내에서 수행한다.

㉯ 시험항목

[표 2.12.4] 주변압기 시험 항목

구 분	시 험 항 목	실시 방안	비고
1	권선저항 측정	○	
2	변압비 측정	○	
3	극성 및 각변위 시험	○	
4	임피던스 및 부하손실 측정	○	
5	무부하손실 및 여자전류 측정	○	
6	상용주파 절연내력 시험	○	

㉰ 시험목적

- 권선저항 측정

변압기의 내부 결선 상태 및 손실, 온도상승에 대하여 확인하기 위한 시험이다.

- 변압비 측정

변압비의 각 권선의 권수비가 올바른지를 확인하여 정격전압 인가시 요구된 출력전압으로 변환되는지를 확인하기 위함이다.

- 극성 및 각변위 시험

변압기의 극성을 확인하고 권선의 내부결선, 위상각 및 상회전 방향이 옳은지 확인하기 위함이다.

- 임피던스 및 부하손실 측정

임피던스전압 및 저항을 측정하여 1, 2차측의 한쪽을 단락하고 다른 쪽에 %임피던스를 인가하여 부하손실을 확인하기 위한 시험이다.

- 무부하손실 및 여자전류 측정

변압기의 여자전류 및 철손을 측정하여 1,2차측을 모두 개방하고 어느 한쪽에 정격전압을 인가하여 무부하손실 및 여자전류를 확인하기 위한 시험이다.

- 상용주파 절연내력 시험

변압기의 권선과 권선간 및 권선과 대지간의 절연강도를 확인하기 위함이다.

㉱ 시험방법

- 권선저항 측정

권선저항은 DC전류를 권선의 정격전류의 15%를 넘기지 않아게 흘려 전압을 측정한다.

- 변압비 측정

모든 권선에 대하여 1차측과 2차측의 변압비를 측정한다.

- 극성 및 각 변위 시험

3상권선의 변압기의 1-2차 권선간, 1-3차 권선간 고압측에 전압을 인가하고, 극성 및 각 변위를 확인한다.

- 임피던스 및 부하손실 측정

임피던스는 모든 권선에 대하여 측정하고, 임피던스 시험동안 부하손실을 기록한다. 부하손실은 다음의 1차측과 2차측의 권선 조합에 의하여 결정한다.

• 무부하손실 및 여자전류 측정

정현파 공급전압 파형인 정격주파수를 측정한다.

0.8U, 0.9U, U, 1.1U의 선간전압에 대하여 무부하 전류와 손실을 측정한다.

(U: 정격 선간 전압)

• 상용주파 절연내력 시험

[표 2.12.5] 시험인가 전압

단자	1차		2차	3차
	가선 측	대지 측		
상용 주파수 전압	-	10kV	6.7kV	5.6kV

㈐ 판정기준

• 권선저항 측정

측정된 저항값은 변압기의 특성을 산출하기 위한 참고치이다.

• 변압비 측정

명판상의 권수비와 측정치의 권수비가 동일하고 ±0.5%이내면 정상으로 간주한다.

• 극성 및 각변위 시험

극성은 감극성이어야 고-저압간 측정 단자사이의 전압을 Scalar량으로 비교하여 판정한다.

• 임피던스 및 부하손실 측정

임피던스 및 부하손실을 측정하여 기준치 범위를 만족할 경우 정상으로 간주한다.

• 무부하손실 및 여자전류 측정

기준치의 이내면 정상으로 간주한다.

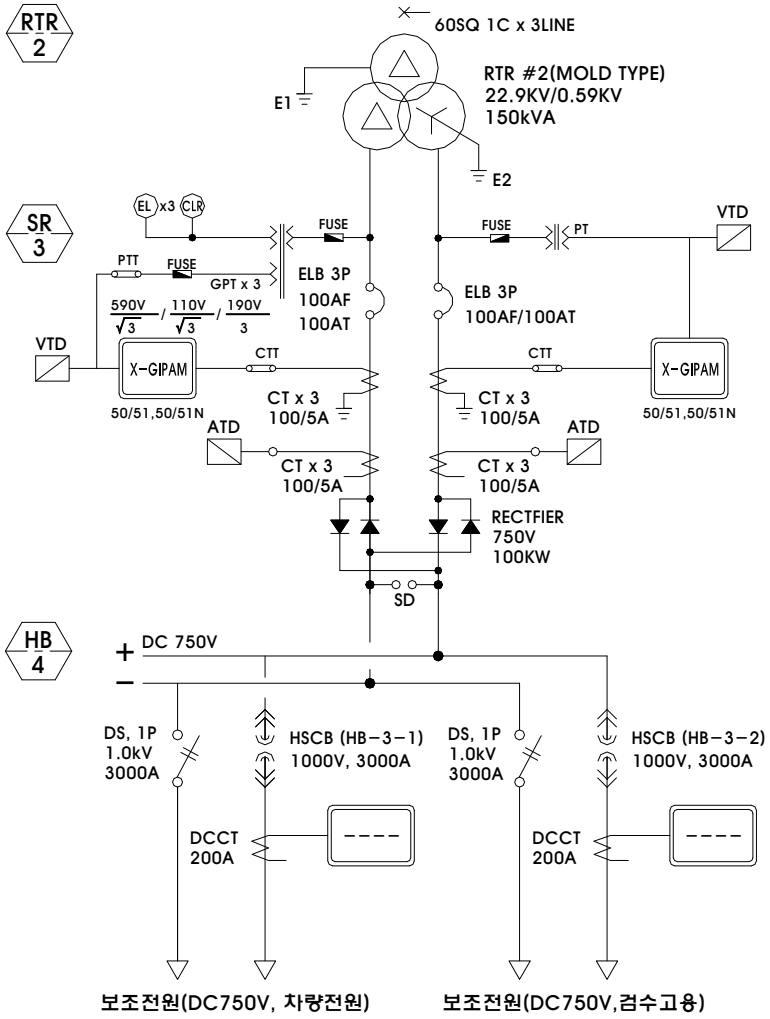
• 상용주파 절연내력 시험

시험중 인가전압의 붕괴 및 탱크내의 이상이 없어야 한다.

(2) 보조변압기

(가) 3상 150KVA 몰드 변압기 제작 사양서

보조변압기는 한전계통에서 단상 22.9KV를 3상 590V로 강압시켜 차량측에 전원을 공급하는 장치로 사용된다.



[그림 2.12.5] 차량측 전원장치 공급 회로도

① 사용조건

- 주위온도 : -5℃ ~ 40℃, 일일평균 : 30℃ 이하
- 표 고 : 해발 1,000m 이하
- 설치장소 : 옥내
- 상대습도 : 90% 이하

② 적용규격

- KS C 4311 (건식 변압기)

③ 일반정격

- 정격구분 : 연속정격
- 정격주파수: 60Hz
- 절연종별 : F
- 온도상승 : 80℃
- 극 성 : 감극성
- 냉각방식 : 건식 자냉식

④ 구조일반

㉮ 철심

철심재료는 양질의 냉간압연 규소강판을 사용하며 규소강판의 특성을 보전하기 위하여 랩(LAP) 접합방식을 이용하므로 무부하 손실 및 여자전류 특성이 양호하다. 조립된 CORE LEG는 열적, 기계적 특성이 우수한 절연 TAPE로 감았으며 철심표면 보호용으로 방청도장 처리를 한다.

㉯ 권선

권선은 몰드 권선으로 적합한 AL도체를 사용 대상(SHEET)으로 권선하여 종래 환선 사용 시보다 도체 점적율을 증가시켰다. 권선의 주형방법은 진공상태에서 주형 하였기 때문에 전기적으로 부분 방전등이 없는 우수한 성능을 가지고 있으며 기계적으로는 견고한 구조로 되어 있다.

1, 2차 권선을 별도로 성형하여 각상의 철심각(LEG)에 동심상으로 배치하는 동심배치구조를 택한다. 사용 중에 발생하는 열방산을 위해 1, 2차 권선 간의 공간을 냉각 닥트(DUCT)로 이용하며 권선의 지지구조는 권선 상, 하부에 탄성체의 스페이서(SPACER)를 넣어 고정하였으므로 철심의 자기 외형 진동이 권선으로 전달됨을 방지하며 몰드 권선 표면으로부터 방산되는 소음을 절감시켜 준다.

㉰ 무전압 탭 절환단자

권선의 표면에 위치하며 무전압시 용이하게 절환할 수 있는 구조로 되어 있으며 사용 탭 이외의 무전압 탭 절환단자는 절연캡(CAP)으로 보호되어 운전중에 먼지 등이 침입되지 않는 구조로 되어 있다.

⑤ 표준 부속품

- 명판
- 1, 2차 단자
- 접지단자
- 인양고리
- 위험표시마크
- 방진고무
- COIL SPACER
- 고무캡 (탭보호용)
- 무전압 탭단자

⑥ 추가 부속품

- 디지털 온도계(P-100AD)
- 탭보호 카바

⑦ 정격 및 전기적 특성

㉮ 정격

[표 2.12.6] 보조변압기 정격사양

No.	항 목		TR-1
1	상 수(Φ)		3
2	정격용량(KVA)	1 차	150
		2 차	75
		3 차	75
3	1차 정격 전압(V)		22900
4	2차 정격 전압(V)		590
5	3차 정격 전압(V)		590
6	결 선		DELTA-DELTA-WYE
7	극성 & 각변위		Dd0y11
8	주파수		60Hz

[표 2.12.7] 정격전압 및 탭전압

No.	정격전압(V)	탭 전압(V)
1	22900	F24000-F23500-R22900-F22300-F21800

㉯ 보증 특성

정격 주파수, 정격 전압, 정격 출력, 역율=1.0 100℃에서 다음과 같은 전기적 특성을 같는다.

[표 2.12.8] 전기적 특성

No.	항 목	TR-1
1	효 율(%)	97.1
2	전압변동율 (%)	2.3
3	무부하전류 (%)	8.0

㉰ 권선 절연내력

몰드 변압기는 아래의 시험전압에 충분히 견딜 수 있도록 설계 및 제작하였다.

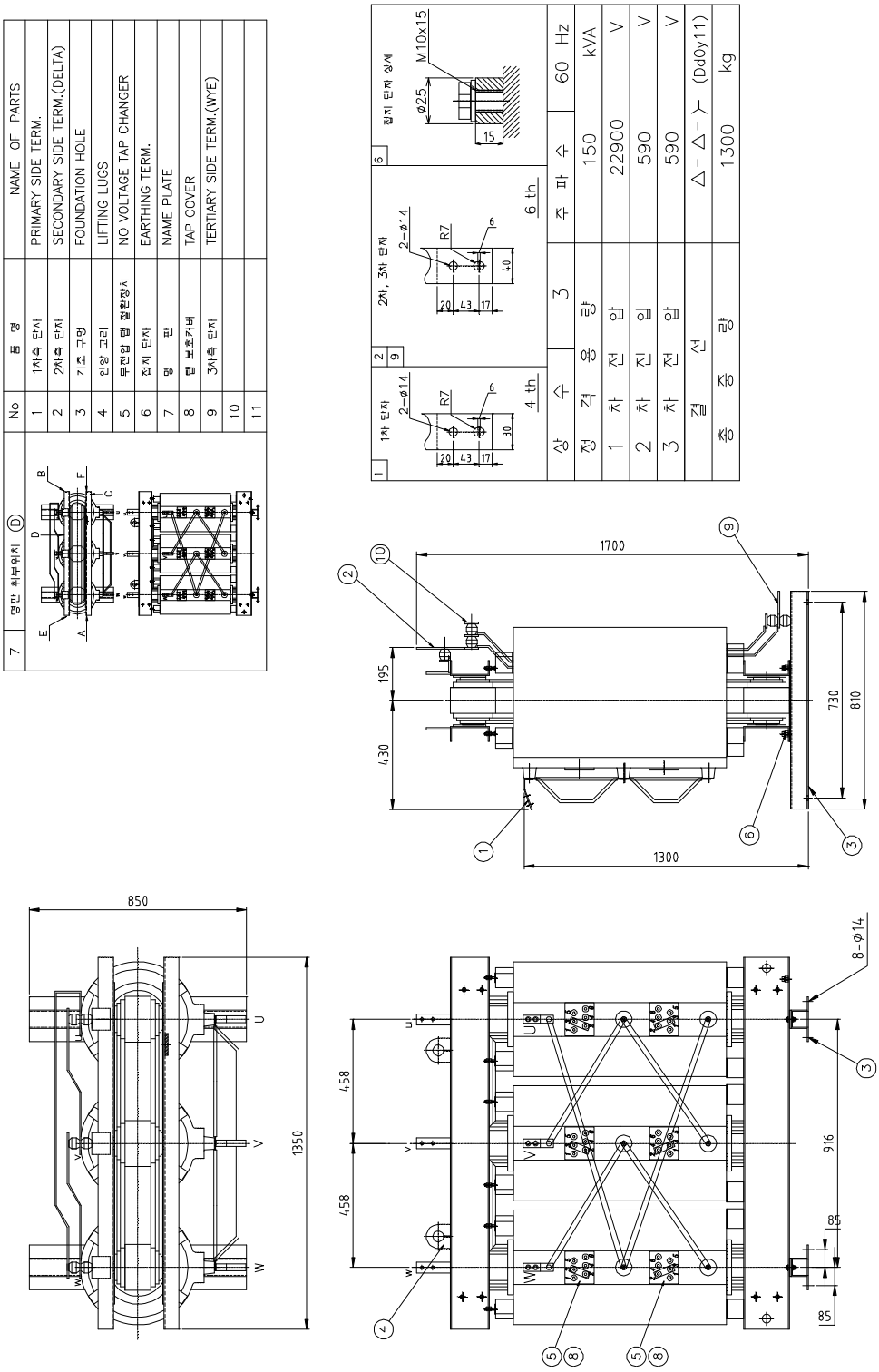
[표 2.12.9] 보조변압기 권선의 절연내력

No.	공칭전압(KV)	상용주파 절연내력(KV)	충격시험전압(KV)
1	22.9	50	125
2	1.1 이하	3	-

⑧ 주변압기 명판 및 외형도



[그림 2.12.6] 보조변압기 명판



[그림 2.12.7] 보조변압기 외형도면



[그림 2.12.8] 보조변압기(150KVA) 외형

⑨ 시험 절차서

개발되는 초고속 자기부상열차에 사용되는 보조 변압기의 시험방법에 대하여 규정한다.

㉮ 시험장소의 환경조건

주변압기의 구조와 치수검사, 조립품 체결검사 및 특성시험 등은 공장 내에서 수행한다.

㉯ 시험항목

[표 2.12.10] 보조변압기 시험 항목

구 분	시 험 항 목	실시 방안	비고
1	권선저항 측정	○	
2	변압비 측정	○	
3	극성 및 각변위 시험	○	
4	임피던스 및 부하손실 측정	○	
5	무부하손실 및 여자전류 측정	○	
6	상용주파 절연내력 시험	○	

㉰ 시험목적

- 권선저항 측정

변압기의 내부 결선 상태 및 손실, 온도상승에 대하여 확인하기 위한 시험이다.

- 변압비 측정

변압비의 각 권선의 권수비가 올바른지를 확인하여 정격전압 인가시 요구된 출력전압으로 변환되는지를 확인하기 위함이다.

- 극성 및 각변위 시험

변압기의 극성을 확인하고 권선의 내부결선, 위상각 및 상회전 방향이 옳은지 확인하기 위함이다.

- 임피던스 및 부하손실 측정

임피던스전압 및 저항을 측정하여 1, 2차측의 한쪽을 단락하고 다른 쪽에 %임피던스를 인가하여 부하손실을 확인하기 위한 시험이다.

- 무부하손실 및 여자전류 측정

변압기의 여자전류 및 철손을 측정하여 1, 2차측을 모두 개방하고 어느 한쪽에 정격전압을 인가하여 무부하손실 및 여자전류를 확인하기 위한 시험이다.

- 상용주파 절연내력 시험

변압기의 권선과 권선간 및 권선과 대지간의 절연강도를 확인하기 위함이다.

㉮ 시험방법

- 권선저항 측정

권선저항은 DC전류를 권선의 정격전류의 15%를 넘기지 않아게 흘려 전압을 측정한다.

- 변압비 측정

모든 권선에 대하여 1차측과 2차측의 변압비를 측정한다

- 극성 및 각변위 시험

3상권선의 변압기의 1-2차 권선간, 1-3차 권선간 고압측에 전압을 인가하고, 극성 및 각변위를 확인한다.

- 임피던스 및 부하손실 측정

임피던스는 모든 권선에 대하여 측정하고, 임피던스 시험동안 부하손실을 기록한다. 부하손실은 다음의 1차측과 2차측의 권선 조합에 의하여 결정한다.

- 부하손실 및 여자전류 측정

정현파 공급전압 파형인 정격주파수를 측정한다. 0.8U, 0.9U, U, 1.1U의 선간전압에 대하여 무부하 전류와 손실을 측정한다.(U: 정격 선간 전압)

- 상용주파 절연내력 시험

[표 2.12.11] 보조변압기 시험인가 전압

단자	1차		2차	3차
	가선 측	대지 측		
상용 주파수 전압	-	10kV	6.7kV	5.6kV

㉯ 판정기준

- 권선저항 측정

측정된 저항값은 변압기의 특성을 산출하기 위한 참고치이다.

• 변압비 측정

명판상의 권수비와 측정치의 권수비가 동일하고 ±0.5%이내면 정상으로 간주한다.

• 극성 및 각변위 시험

극성은 감극성이어야 고-저압간 측정 단자사이의 전압을 Scalar량으로 비교하여 판정한다.

• 임피던스 및 부하손실 측정

임피던스 및 부하손실을 측정하여 기준치의 이내면 정상으로 간주한다.

• 무부하손실 및 여자전류 측정

기준치의 이내면 정상으로 간주한다.

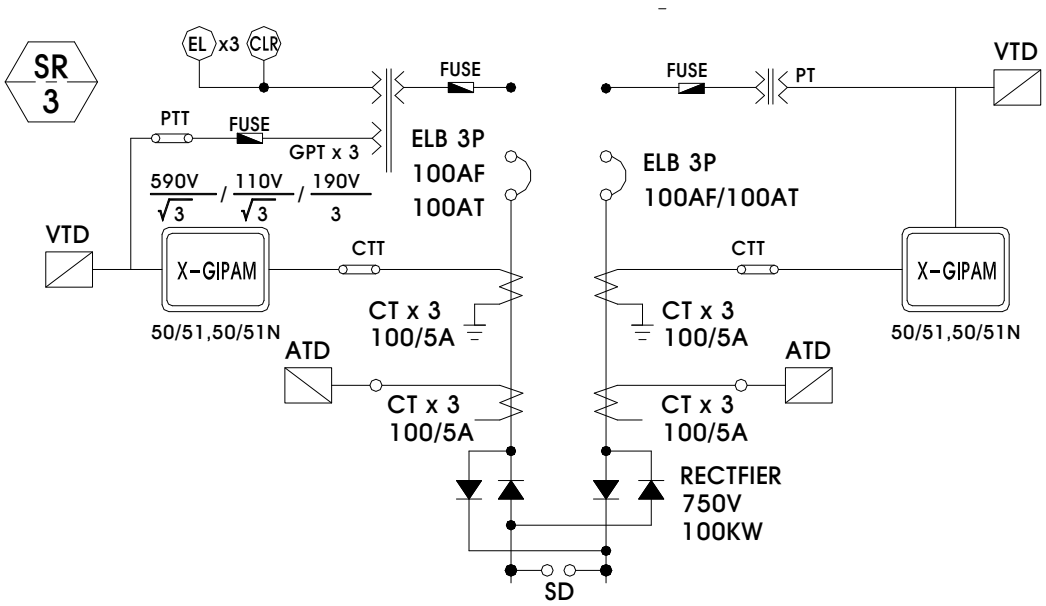
• 상용주파 절연내력 시험

시험 중 인가전압의 붕괴 및 탱크내의 이상음이 없어야 한다.

(3) 정류기

(가) 초고속 자기부상열차 정류기 사양

보조변압기에서 3상 590V로 입력받아 차량측의 DC 750V를 공급하는 정류기이다.



[그림 2.12.9] 변전설비의 정류기 단선도

① 구조

▪ 정류기는 자립형 외함에 정류소자, 보호장치, 제어장치, 경보장치 등을 장하는 구조로 구성하여 운전과 보수에 편리하도록 제작한다. 정류기의 외함은 철판 및 보상 후레임을 제작하며, 설치시 고정을 위해 hannel Base를 설치하여 고정하는 구조이어야 한다. 사용되는 철판 두께는 2.3mm이상이어야 한다.

▪ 외함은 전, 후면에 문을 설치하여야 하며 각 문에는 Latching Device를 설치한다. 설치시 발생하는 기계적 충격에 충분히 견디는 구조로 제작한다. 결선시 작업을

용이하게 하기 위하여 케이블 지지대를 설치한다.
▪ 정류기의 외함은 정류기를 Heat Sink형 자연통풍 냉각시킬 수 있는 구조로 한다.
▪ 저온에서 습기가 응축되는 것을 방지하기 위한 결로 방지 스페이스 히타를 써머스타트와 함께 설치하여야 한다. 동작 전원은 AC 220V로 설계되어야 한다. 이 결로 방지 스페이스 히타를 연속적으로 동작했을 때에 큐비클내에 과열이 발생하지 않는 용량으로 결정되어야 한다.
▪ 취급자의 안전을 위하여 정류기의 문 개방시나 부극단로기의 동작 시에 안전대책 기능을 반영하여야 한다.

② 규격 및 성능
㉮ 정류기
▪ 정류기는 실리콘 다이오드 정류형 Heat Sink 자냉식이며 6상(12펄스) 직렬 연결방식으로 한다.
▪ 정류기는 정류기용 변압기와 결합해서 사용할 때 규정한 정격 용량을 가지며, 발생되는 고조파로 인한 변압기 권선의 전력손실 및 그로 인한 온도 상승에 대한 특별한 고려를 하여 제작한다.
▪ 정류기는 변압기와 결합시의 전압 변동, 최대 단락 전류, 교류측 고조파,직류측 왜형전압/전류 등을 고려하여 변압기 설계 값을 반영 제작한다.
▪ 정격연속 전 부하 운전에 따른 온도 상승 후 150% 전격 과부하로 2시간 공급할 수 있어야 하며 아울러 23분 간격으로 1분간씩 5번의 300% 전 부하를 흘릴 수 있어야 한다.
㉯ 정류소자(실리콘 다이오드)
▪ 정류소자는 소정의 부하전류, 단락 전류 및 외부로부터의 이상 전압 등에 의하여 충분한 내력을 갖도록 설계 제작한다.
▪ 정류소자는 반영구적으로 특성의 변화 없이 동작하여 첨두역 전압의 2.5배 전압에서 견디도록 설계 제작한다.
㉰ 정류소자 연결
▪ 다이오드는 3상(6펄스) 브리지로 배열해야하고 두 개의 브리지는 직렬로 연결해야한다.
▪ 각 정류기는 중부하용 실리콘 다이오드를 필용한 수만큼 연결하여 제작하여야 한다.
▪ 다이오드는 소정의 부하전류, 단락전류 및 외부로부터의 이상전압 등에 의하여 충분한 내력을 갖도록 제작하여야 한다.
▪ 정류소자는 Heat Sink 방열판에 전기적 기하학적으로 동일 대칭되게 취부하여 전압, 전류특성이 균형이 되도록 해야 한다.
▪ 정류소자는 알루미늄으로 된 Heat Sink 방열판에 설치되고 방열판은 자연통풍에 의한 최상의 냉각 효과를 얻을 수 있게 제작되어야 한다.
▪ 정류기는 각 상별로 배열되어 있는 정류소자간의 전류균형이 되도록 제작되어야 한다.
㉱ 보호장치

정류기의 모든 보호장치는 오동작을 방지하기 위해 서로 보호 협조가 되며 정류기로 하여금 변전소 전체 기기의 동작에 지장을 초래하지 않도록 설계 제작한다.

▪ 써지 흡수장치

각 정류기는 써지 보호기능을 갖추며 정류기 외함 내부에 설치해야 한다. 써지 보호용 콘덴서와 비유도성 저항 회로는 휴즈로 보호되며 휴즈가 용단될 경우 경보를 보낼 수 있는 장치를 설치한다.

▪ 무부하 저항기

정류기 직류 출력 회로에 양단에 무부하 저항기를 설치하여 정전용량에 의한 정류기 출력 교류 첨두 전압 상승을 억제할 수 있는 기능이 있도록 한다.

▪ 정전 방전기

전차선 회로에서 침입되는 써지 전압을 제거하기 위하여 정류기 출력회로에 방전기를 설치한다.

▪ 휴즈

정류기의 정류소자 보호는 정류소자와 직렬로 연결되어 있는 반도체 보호용으로 특수 설계된 고차단 용량의 한류 휴즈에 의해 보호된다. 휴즈는 정류소자 파손시 정류소자를 분리시켜 다른 정류소자 및 정류기의 타 요소를 보호한다.

휴즈는 다이오드의 과부하 내량과 협조하여 신중히 선택된 과부하 차단 특성을 갖으며 휴즈 용단 시는 마이크로 스위치가 작동하여 외함에 설치된 표시등이 점등, 고장점 확인이 용이하며 그 신호를 원제 설비에 보낼 수 있는 장치를 구비한다. 다이오드 전용 휴즈는 해당 다이오드와 근접 설치되는 구조로 한다.

▪ 온도 감지

정류기는 정류소자의 방열기에 온도 감지 센서에 의해 동작하는 보호 장치를 설치하여 원제용 경보나 차단기 트립을 위한 계전기를 설치한다.

▪ 정류기 접지 및 접지 보호 계통의 기술 검토서 및 도면을 붙임과 같이 제출한다. (바닥절연 및 외함 Anchoring 포함)

㈑ 제어 및 감시

정류기의 전면판에는 각종 보호장치의 상태감시를 위한 집합표시기(Annunciator)를 설치한다. 이 표시기는 램프 테스트 및 리셋트 기능을 수행하는 스위치를 겸비하고, 제어부에도 원방 제어 감시를 위한 접점(Dry Contact)과 릴레이를 구비한다.

㈒ 케이블 연결

정류기의 1차측(AC) 및 2차측 단자는 케이블로 연결되도록 단자를 준비하여야 하며 정류기용 변압기 및 개폐기와 연결이 원활한 구조로 하되 반드시 협의하여 결정한다.

③ 시험 및 검사

㉮ 형식승인시험

형식승인시험은 적용규격에 따라 최소한 다음 항목을 포함해야 한다.

▪ 온도상승시험

▪ DIODE 전류 평형시험

▪ 변압기 - 정류기 결합시험
▪ 전압 변동률시험

㈏ 전수시험

전수시험은 적용규격에 따라야 하고 최소한 다음 항목을 포함해야 한다.

▪ 외관검사(구조 및 치수 검사)
▪ 내전압시험(상용부하 및 유도전압)
▪ 무부하 전압시험
▪ Diode 통전시험
▪ 보호장치 동작시험
▪ 효율계산
▪ 전압특성
▪ 전압변동률 시험
▪ 기타 필요한 시험

④ 기술 요약

㉮ 정류기

- 외함

▪ 정류기반 - (2,000W×1,500D×2,350H) 금속제 Set
▪ 직류차단기반 - (1,500W×800D×2,350H) 금속제 Set

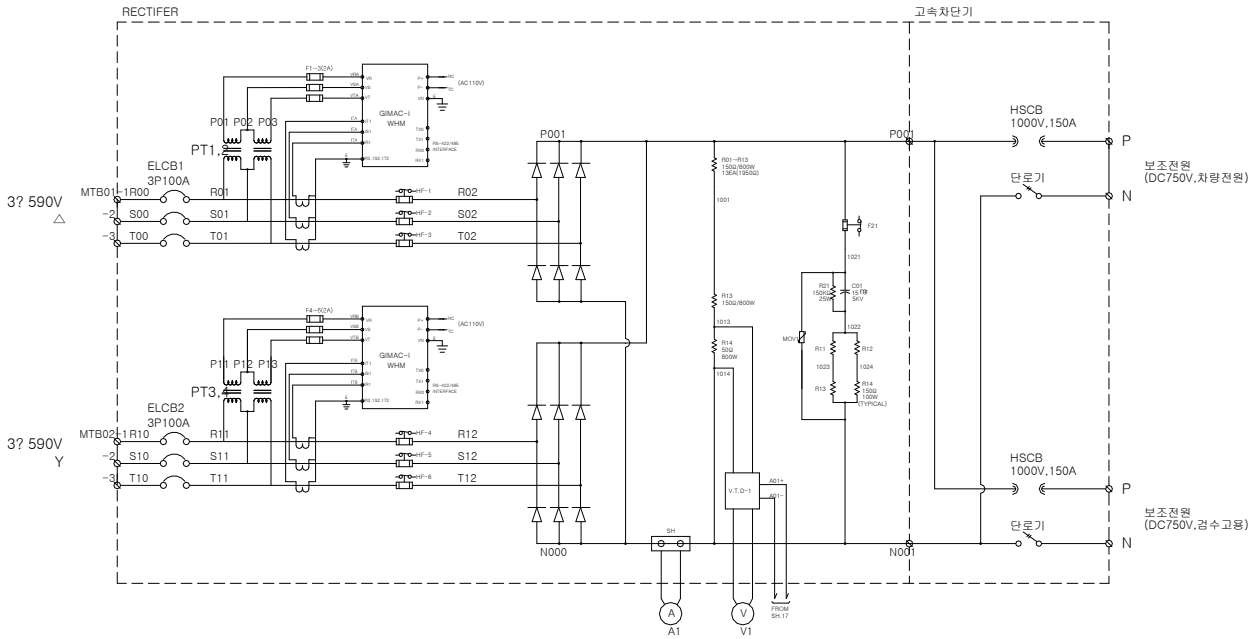
- 정류장치

▪ 정격구분 : 중부하 전철급전용
▪ 과부하 정격 : 100% 연속, 150% 2시간, 300% 1분
▪ 정격용량 : 150kW
▪ 정격전압 : DC 750V
▪ 정격 주파수 : 60Hz
▪ 결선 : 3상 결선 브릿지 연결(12 PULSE)
▪ 냉각방식 : 자연냉각
▪ 정격 내전압 : 2.5KV ~ 3KV
▪ 전압 변동율(변압기와 조립시) : 6%
▪ 전부하 효율 : 99% 이상
▪ 최대 소음기준 : 60dB 이하
▪ Diode 형식 : Silicon Diode

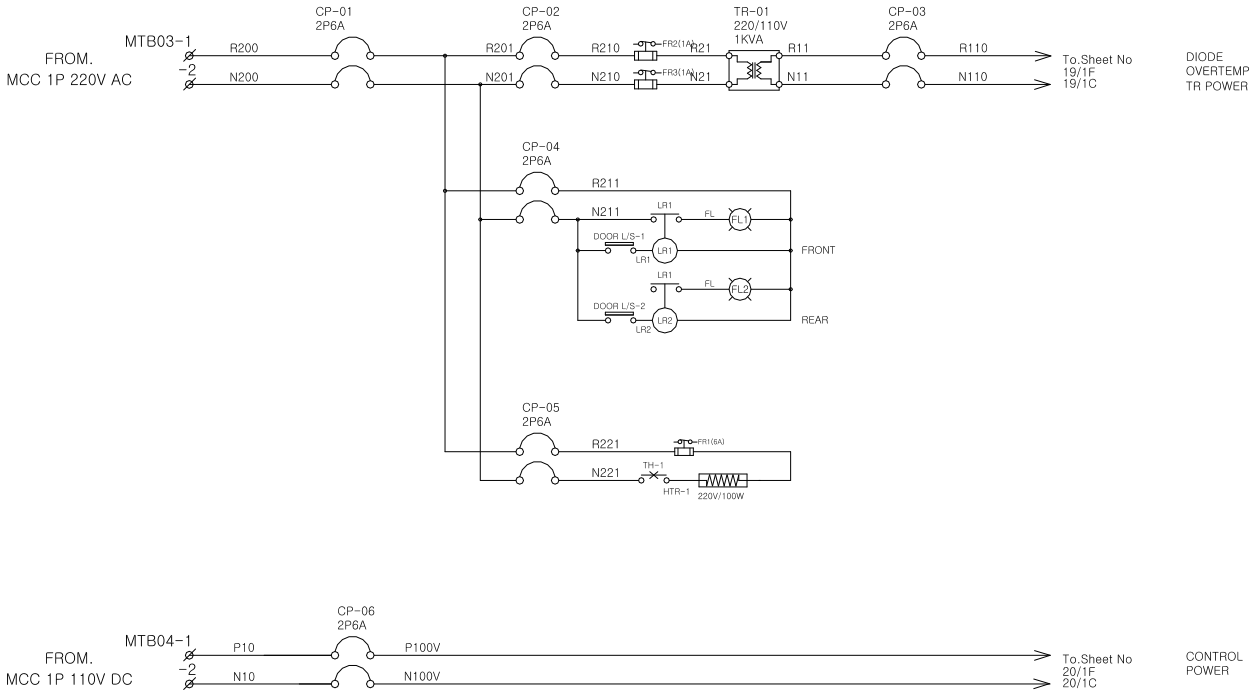
- 보호장치

▪ Heat Sink 과온도 경보
▪ Heat Sink 과온도 Trip
▪ 다이오드 고장 표시등
▪ 고저항 지락검지용 계전기
▪ 휴즈
▪ 무부하 저항기

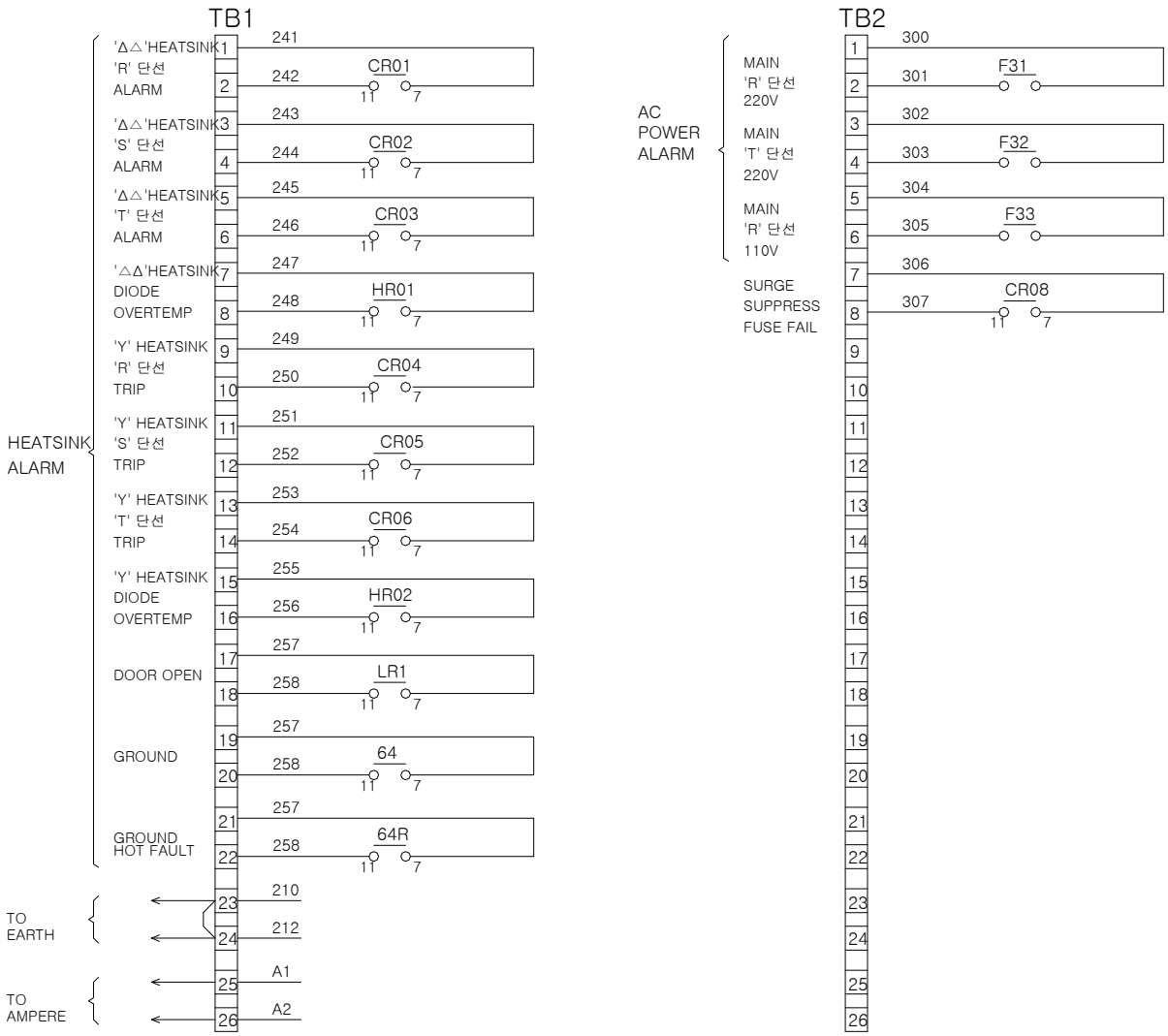
- 정전 방전기
- 써지 흡수장치
- 접지단자
- 휴즈 고장표시등
- Annunciator Panel : 1 SET
- 직류 전압계 및 전류계 : 1 SET
- 각 기기 명판 : 1 SET
- 외함내 조명등 (220V AC 삼파장) : 1 SET
- Space Heater (220V AC) : 1 EA
- 보조회로 이면 배선 및 단자대 : 1 SET
- 제어, 감시회로 이면 배선 및 단자대 : 1 SET
- 케이블 결선용 터미널 러그 : 1 SET
- 기타 필요사항 : 1 SET



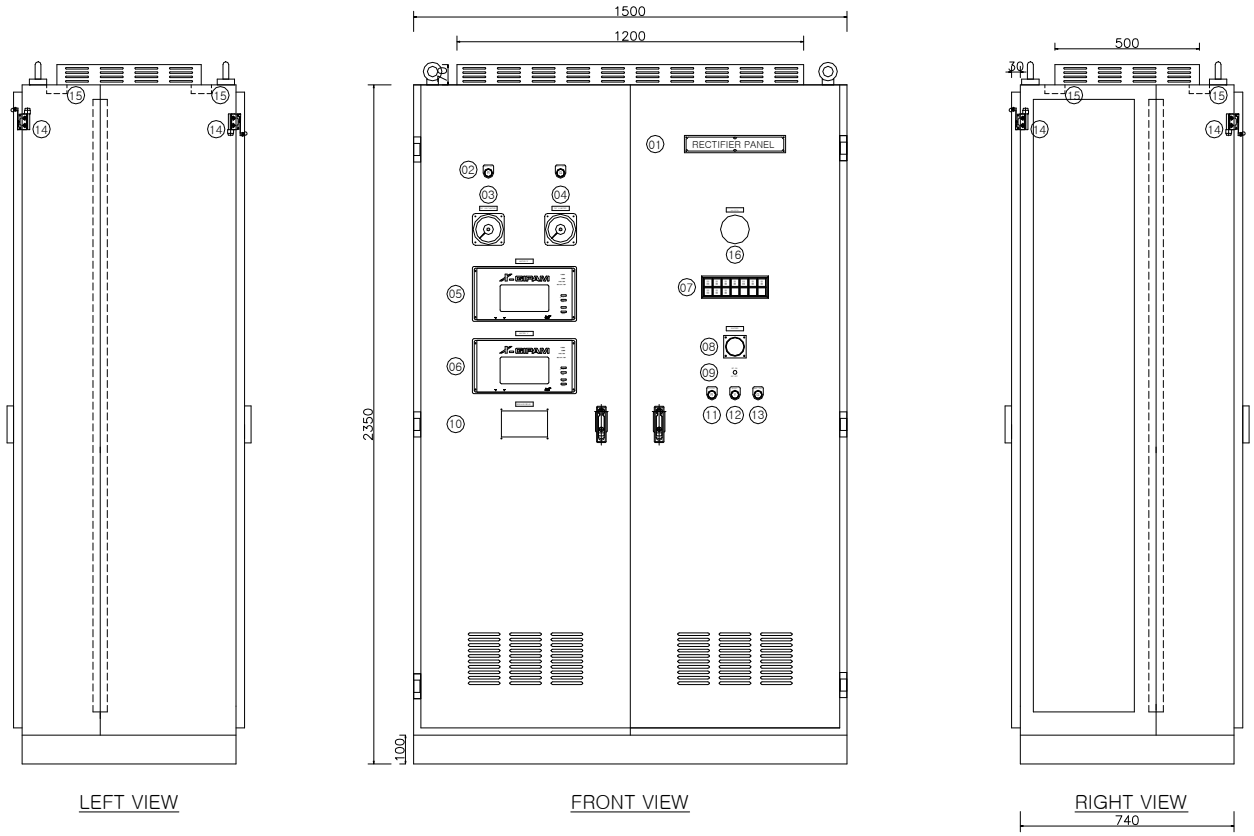
[그림 2.12.10] 정류기 주회로



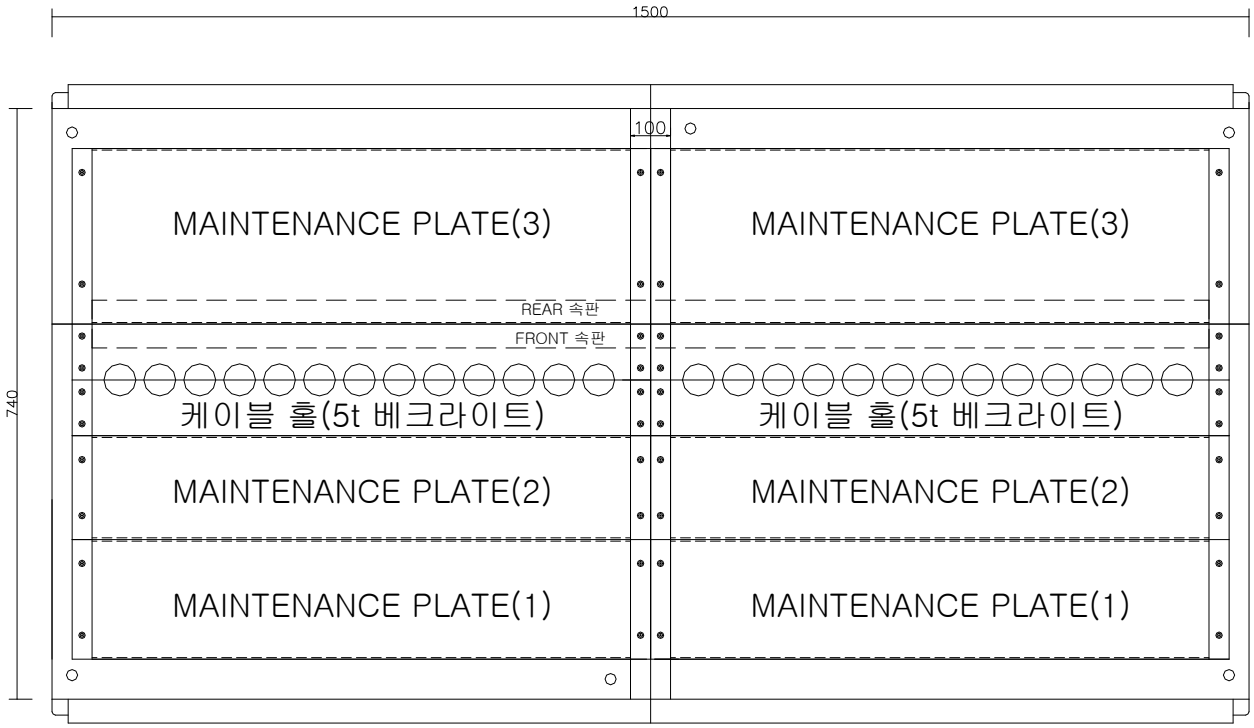
[그림 2.12.11] Power Circuit



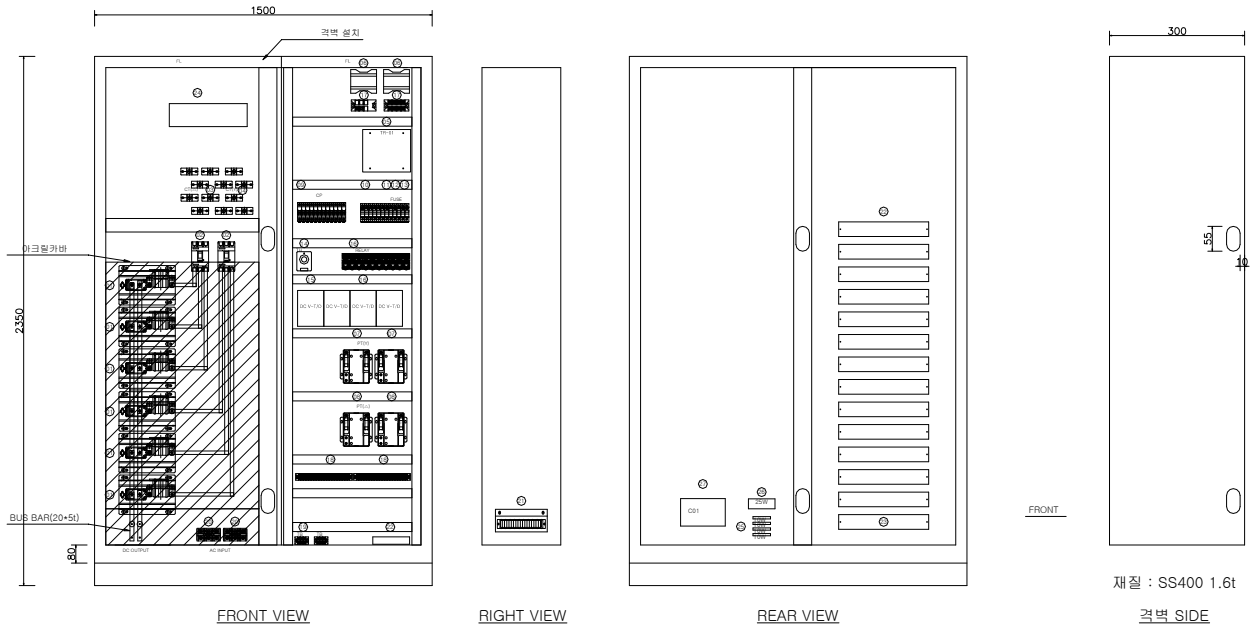
[그림 2.12.12] 터미널블록 I/O



[그림 2.12.13] 정류기반 LAY OUT



[그림 2.12.14] CABLE INLET HOLE



[그림 2.12.15] INNER VIEW



(a) 정류기전면



(b) 정류기 후면



(c) 커버부 (전면)



(d) 후면부

[그림 2.12.16] 정류기 외형

(4) 시험선의 강체 전차선 및 지지애자

(가) 강체전차선

① 개요

본 설비는 궤도상에 설치 된 가이드웨이 측벽 좌/우측에 설치되며, 두 개의 강체 전차선(+, - 전차선)에 의해 차량에 전원을 공급해주는 장치이다. 강체전차선은 알루미늄이고 스테인리스 재질로 구성하며, 전기적으로는 전차선 전체의 전압강하 및 그에 따른 전력의 손실 없이 안정적인 전력을 차량에 공급한다. 또한 기계적으로는 차량주행에 이상이 없도록 시험선에 설치된다.

② 재질과 구조

전차선의 재질은 알루미늄과 스테인리스를 사용한다. 전차선의 몸체는 알루미늄 인발체이며 표면에 스테인리스 스틸을 코킹한 구조로 되어 있다.

③ 특성

전차선의 특성은 일반적으로 아래와 같다.

- 단면적 : 알루미늄 1,365mm2, 스테인리스 113mm2
- 전류용량 : 1,700A
- 높이 : 75mm
- 폭 : 25mm
- 저항 : 0.0248 ohm/km (20℃)
- 표준길이 : 12m



(a)강체전차선 전면 (b) 강체전차선 측면

[그림 2.12.17] 강체전차선

④ 상세 설명

강체전차선의 급전 시스템은 표준 직류전압 DC 750V 2라인(+, -)의 강체레일이며, 안내레일과 병렬로 설치 된 급전레일(강체전차선)의 의해 차량에 전원을 공급한다. 강체전차선은 12m 길이의 표준규격으로 현장에 공급하며, 제일 마지막 부분에 설치되어 표준규격으로 사용할 수 없을 경우를 제외하고는 표준규격을 준수해야 한다. 또한 강체전차선을 절단하여 사용하는 경우에는 최소길이가 2m이상 되어야 한다. 강체전차선을 절단할 경우 직각을 유지하여 정확히 절단을 하고 절단면에 대해서는 미세한 흡을 제거하여 최적의 상태로 공급되어야 한다.

(나) 지지애자

① 재질과 구성

[표 2.12.12] 재질 및 구성

항 목	성 능
자기부	▸ 노출부에 전면 유약을 바른 자기 ▸ 유약의 색상이 지정되지 않았을 때는 백색으로 한다.
캡, 베이스, 압착금구, 고정와셔	▸ KS D 4302(구상 흑연 주철품)에 규정하는 GCD450-10
육각볼트, 평와셔, 스프링와셔	▸ KS D 3698(냉간 압연 스테인리스 강판 및 강대)에 규정하는 STS304
육각볼트, 평와셔, 육각너트(베이스 부분)	▸ KS D 3503(일반 구조용 압연강재)에 규정하는 SS400
스프링와셔 (베이스 부분)	▸ KS D 3559(경강 선재)에 규정하는 HSWR 57(A,B) ~ 77(A,B)
시멘트	▸ KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 규정하는 포틀랜드 시멘트

② 특성 및 성능

㉮ 지지애자 특성

- 지지애자는 우수한 기계적 특성을 가져야 한다.
- 캡, 베이스, 클램프 및 베이스금구 체결용 육각볼트, 너트, 스프링와셔는 용융아연도금을 한다.
- 지지애자의 직각도는 100% 검사한다. (허용치는 ±1°이하)
- 높이는 100% 검사한다.
- 모든 애자의 외관은 기포, 흠집, 균열, 파손 등 기타 사용상 유해한 결함이 없어야 한다.
- 조립은 자기부와 금구와의 중심선을 맞출 수 있도록 한다.

㉯ 지지애자 성능

[표 2.12.13] 지지애자의 성능

항 목	성 능	비 고
상용주파 주수 내전압	20kV / 1분	이상 없을 것
뇌충격 내전압	50kV / 15회	섬락횟수가 2회 이하 일 것
굽힘 파괴 하중	600kgf 이상	이상 없을 것
인장 파괴 하중	1,700kgf 이상	이상 없을 것
냉열 시험	온도차가 70℃이상, 20분, 3회	이상 없을 것
흡습 시험	100㎏/㎠, 4시간	자기 내부에 액이 들어가지 않을 것
용융 아연도금 부착량	35mg/㎠ 이상	KS C IEC 60383-1의 26항에 의거 기준 이상 일 것
표면 누설거리	190㎜ (표준치)	이상 없을 것



(a) 지지애자 정면 (b) 지지애자 측면

[그림 2.12.18] 지지애자

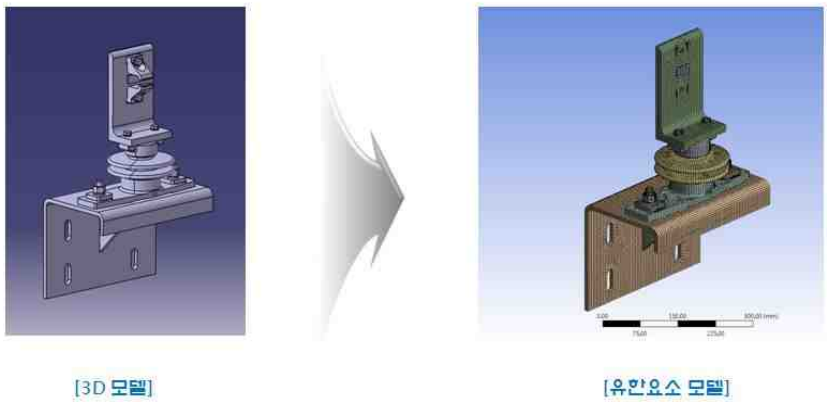
(다) 초고속 자기부상 전차선 구조 안정성 평가 결과

① 구조 안전성 평가

㉮ 전차선유한요소 모델링

• 구조안전성 평가를 위한 유한요소 모델링

3차원 모델과 실제 제품의 모델링을 ANSYS V13.0을 사용하여 요소 수 79,226개, 절점 수 269,877개의 구조를 고려한 Solid 요소타입 선정으로 유한요소 모델링을 수행하였다.



[그림 2.12.19] 지지애자의 유한요소 모델링

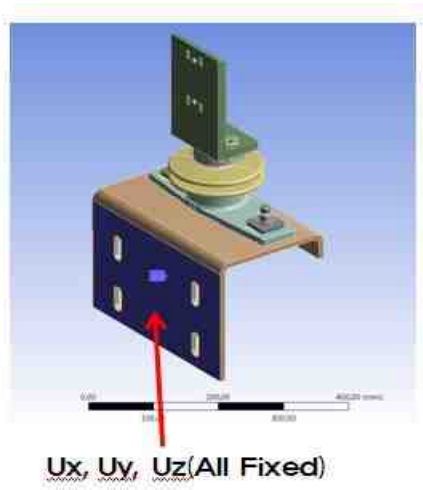
• 재료 물성

[표 2.12.14] 지지애자의 재료의 물리적 성질

	SS400	FCD450-10	PORCELAIN_1	PORCELAIN_2
밀도	7860(kg/m3)	7700(kg/m3)	2500(kg/m3)	
탄성계수	190(GPa)	190(GPa)	0.81(GPa)	88.2(GPa)
프아송비	0.26	0.27	0.21	
인장강도	400(MPa)	1158(MPa)	40(MPa)	
항복강도	205(MPa)	1034(MPa)	120(MPa)	

• 구속 조건

Bracket 후면부 완전 구속

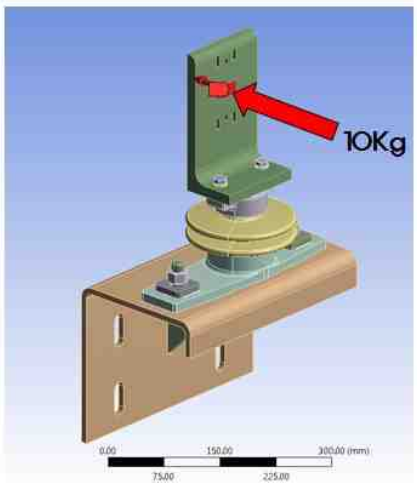


[그림 2.12.20] 지지애자의
x,y,z축 완전 구속 모습

② CASE별 구조 안정성 평가 결과

㉮ 해석 CASE별 특성

각각의 재료(PORCELAIN_1, PORCELAIN_2)를 적용해 상부 Bracket에 10kg의 Force 를 가하여 각 CASE별 특성을 시험하였다.

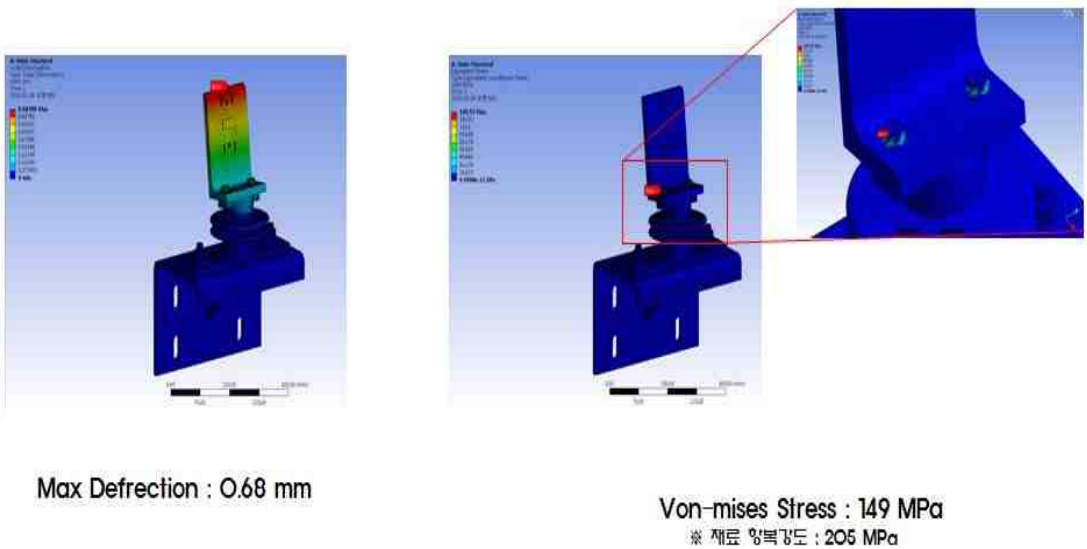


[그림 2.12.21] 상부 Bracket
Force 방향

[표 2.12.15] 각 재료의 안전성 결과

CASE	PORCELAIN탄성계수	해석결과		
		응력 (MPa)	처짐 (mm)	안전성
CASE1	0.81 MPa	149	0.68	SAFE
CASE2	88.2 GPa	9.9	0.05	SAFE

㉯ CASE1 구조 안정성 평가 결과

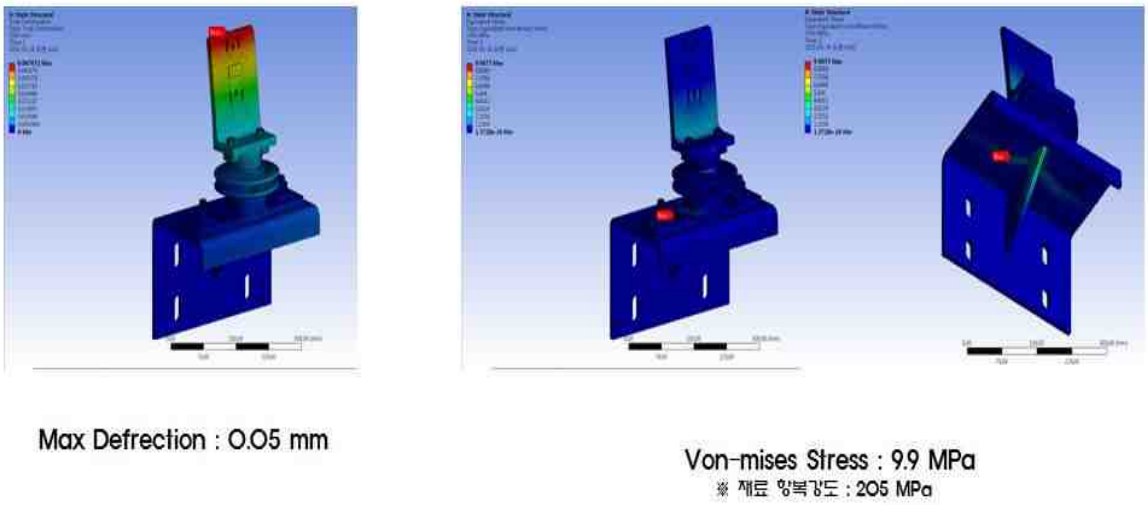


[그림 2.12.22] CASE1 Model

[표 2.12.16] 10kg Force에 따른 CASE1의 결과

CASE	PORCELAIN탄성계수	시험조건	평가 결과
		Force	
CASE-01	0.81MPa	10kg	SAFE

㉰ CASE2 구조 안정성 평가 결과



[그림 2.12.23] CASE2 Model

[표 2.12.17] 10kg Force에 따른 CASE2의 결과

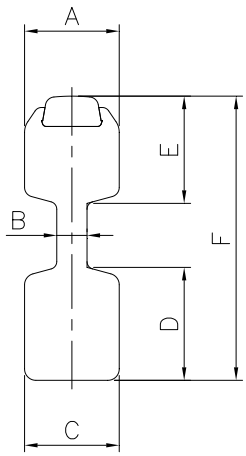
CASE	PORCELAIN탄성계수	시험조건	평가 결과
		Force	
CASE-02	88.2GPa	10kg	SAFE

(라) 초고속 자기부상 전차선 검사 기준서

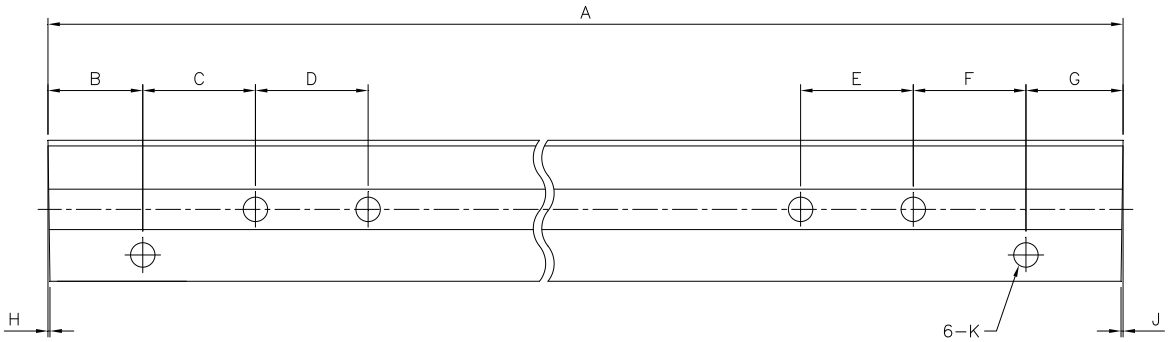
① 강체전차선

[표 2.12.18] 강체전차선 검사 기준서

공 사 명	시험선 초고속 자기부상열차 전차선
품 명	강체 전차선



순번	검사항목		검사기준	검사 구분	검 사 결 과					비 고
1	원재료 검사		소재의 밀 시트(MILL SHEET)로 확인을 한다.	형식						
2	외관 검사		직접 눈으로 검사하여 사용상 문제나 결함 사항이 없어야 한다.	전수						
3	단면 치수 검사	A	25 ± 0.5	전수						
		B	8 ± 0.2							
		C	25 ± 0.5							
		D	29.8 ± 0.5							
		E	28.3 ± 0.5							
		F	75 ± 0.8							



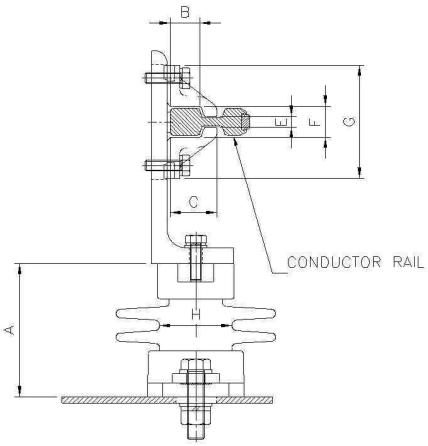
순번	검사항목		검사기준	검사 구분	검사 결과					비 고
4	가공 치수 검사	A	12,000 ± 10	전수						
		B	50.5 ± 0.3							
		C	60 ± 0.5							
		D	60 ± 0.8							
		E	60 ± 0.8							
		F	60 ± 0.5							
		G	50.5 ± 0.3							
		H	0 +1.5/-0							
		J	0 +1.5/-0							
		K	Ø13 ± 0.5							

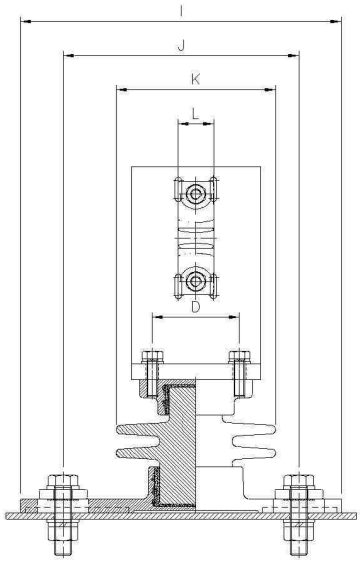
순번	검사항목		검사기준	검사 구분	검 사 결 과					비 고
5	저항 시험		상온(20℃)에서 측정 하였을 때 0.0248 Ω/km 이하일 것	형식						
6	온도상승 시험		정격전류(1700A)를 통전시켜 온도 포화지점까지 온도 상승분이 50℃이하일 것	형식						
7	접촉저항 시험		전차선의 저항을 측정하였을때 150μΩ이하 일것	형식						
8	스테인레스 인장강도시험		KS D 3698에 의거 인장강도를 측정 하였을 때 520 N/㎟ 이상일 것	형식						
9	알루미늄 인장강도시험		KS D 6759에 의거 인장강도를 측정 하였을 때 205 N/㎟ 이상일 것	형식						
10	AL/SUS 접합강도시험	수직방향	스테인리스와 알루미늄 사이를 수직방향으로 당겼을 때의 인장력은 10,000N이상 이어야 한다	형식						
		수평방향	스테인리스와 알루미늄 사이를 수평방향으로 당겼을 때의 인장력은 2,000N이상 이어야 한다	형식						
11	처짐량 측정		레일의 지지간격을 3m로 설치하였을 때 정중앙 부분의 처짐량은 2.4mm이하 이어야 한다	형식						
12	복원력 측정		레일의 지지간격을 3m로 하여 설치 후 수직방향으로 정중앙부에 1500N의 힘을 인가하였을 때 최대 변화량은 30mm 이하로 되어야 하며 인가했던 힘을 제거하였을 때 미복원량은 3mm 이하 이어야 한다	형식						

② 지지애자

[표 2.12.19] 지지애자 검사 기준서

공 사 명	시험선 초고속 자기부상철도 전차선
품 명	지지애자

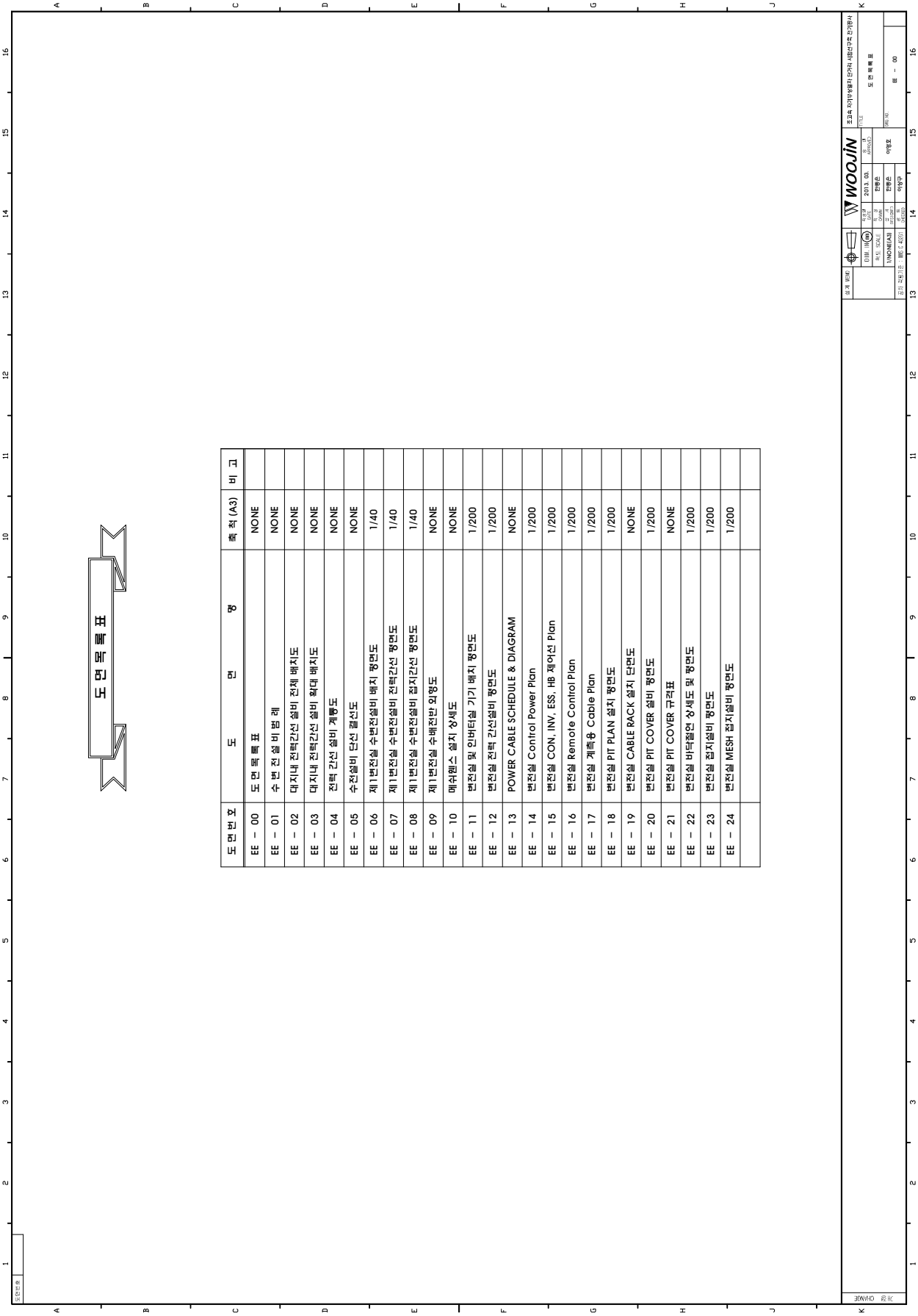




순번	검사항목		검사기준	검사 구분	검 사 결 과					비 고
1	외관 검사		직접 눈으로 검사하여 사용상 문제나 결함 사항이 없어야 한다.	전수						
2	치수 검사	A	125 ± 1.5	전수						
		B	28 +2/-0							
		C	44 ± 2							
		D	82 ± 0.5							
		E	10 ± 1							
		F	29 ± 2							
		G	106 ± 3							
		H	∅68 ± 2							
		I	302 ± 3							
		J	222 ± 2							
		K	∅150 ± 5							
		L	34 ± 2							
3	중량측정		도면에 명기된 기준치 이하일 것	형식						

순번	검사항목	검사기준	검사 구분	검 사 결 과					비 고
4	상용 주파 주수 내전압 시험	KS C IEC 60383-1의 14.1항에 의거 시험을 실시하며, 상용 주파전압 15KV를 1분간 주수상태에서 인가한 후 시험품에 섬락 또는 절연파괴가 생기는지 확인한다.	형식						
5	뇌충격 내전압 시험	KS C IEC 60383-1의 13항에 의거 시험을 실시하며, 뇌충격 전압 50KV를 15회 인가한 후 시험품에 섬락 또는 절연파괴가 생기는지 확인한다. 섬락의 횟수가 2회 이내인 경우는 시험에 합격한 것으로 한다.	형식						
6	굽힘 파괴하중 시험	KS C 3801의 8.2.1항에 의거 시험을 실시하며, 600kg의 75%까지 증가시키고, 이 후 서서히 증가시켜 파괴한다..	형식						
7	인장 파괴하중 시험	KS C 3801의 8.2.1항에 의거 시험을 실시하며, 1,700kg의 75%까지 증가시키고, 이후 서서히 증가시켜 파괴한다.	형식						
8	냉열시험	KS C IEC 60383-1의 23항에 의거 시험을 실시하며, 온수조의 온도는 70~80℃에서 15분, 냉수조의 온도는 0~10℃에서 15분으로 한다. 이것을 3회 반복하였을 때 각부에 이상이 없어야 한다.	형식						
9	흡습시험	KS C 3801의 11항에 의거 시험을 실시하며, 그 파쇄면에 액이 스며들었나를 조사한다.	형식						
10	아연도금시험	KS D 0201 염화안티몬법 (간접법)에 의거 금구류의 아연도금 도막두께를 측정하여 규정치인 35mg/㎠ 이상이어야 한다.	형식						

(마) 부록 - 검수고 전기설비공사 도면



도면번호

수변전 설비 범례

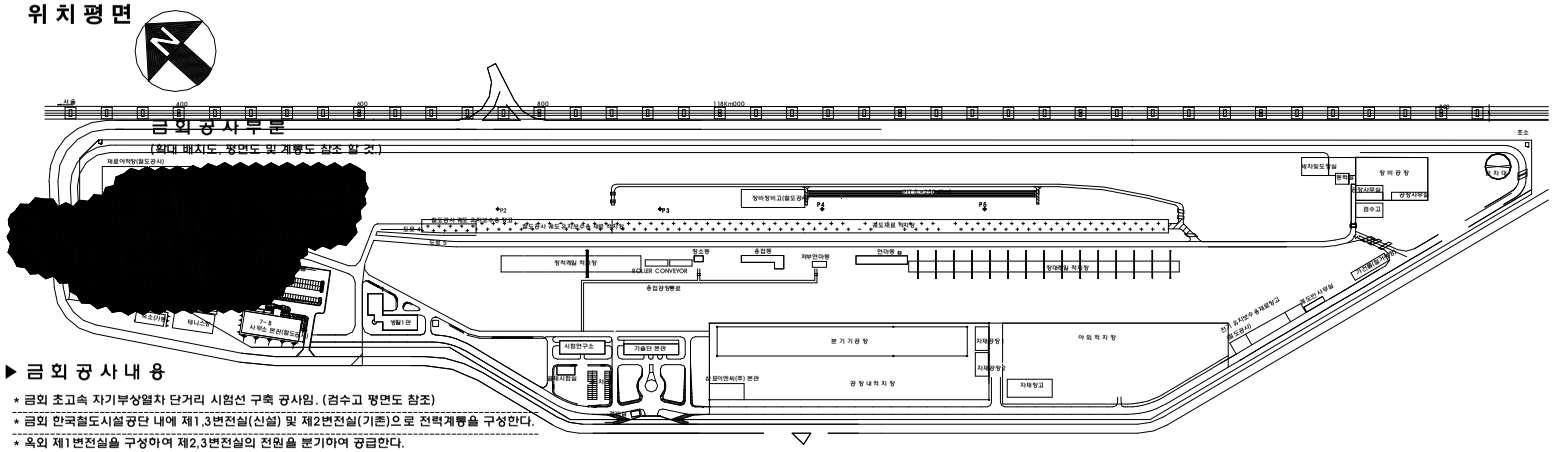
SYMBOL	DESCRIPTION
G.C.B	THREE POLE GAS CIRCUIT BREAKER (DRAWOUT TYPE)
V.C.B	THREE POLE VACUUM CIRCUIT BREAKER (DRAWOUT TYPE)
	SINGLE POLE DISCON. SWITCH (MANUAL OPERATED TYPE)
M	SINGLE POLE DISCON. SWITCH (MOTOR OPERATED TYPE)
	MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	CUT OUT SWITCH
ATS	AUTOMATIC TRANSFER SWITCH
M.C	MAGNETIC CONTACTOR
	AIR CIRCUIT BREAKER(DRAWOUT TYPE)
	TRANSFORMER
	CURRENT TRANSFORMER
	ZERO PHASE CURRENT TRANSFORMER
DC CT	DC CURRENT TRANSFORMER
GPT	GROUNDING POTENTIAL TRANSFORMER (G.P.T)
PF	POWER FUSE
LF	LOW VOLTAGE FUSE
LA	LIGHTNING ARRESTER
SA	SURGE ABSORBER(ARRESTER)
PTT	POTENTIAL TEST TERMINAL
CTT	CURRENT TEST TERMINAL
	PLUG IN TYPE
	THREE PHASE TRANSFORMER FOR SILICON RECTIFIER
A.S	AMPERE METER CHANGE - OVER SWITCH
V.S	VOLT METER CHANGE - OVER SWITCH
	HIGH SPEED CIRCUIT BREAKER
S.D	SURGE DISCHARGER
A	AMPERE METER (A.C)
V	VOLT METER (A.C)
Ⓐ	AMPERE METER (D.C)
Ⓥ	VOLT METER (D.C)
EL	EARTH LAMP
DM	DEMAND METER
Var	Var METER
ED1	디지털형 집합표시, 감시제어장치(A.C) - FEEDER/INCOMING TYPE
ED2	디지털형 집합표시, 감시제어장치(A.C) - TRANSFORMER TYPE

SYMBOL	DESCRIPTION
DCP	디지털형 집합표시, 감시제어장치(D.C)
MOF	METERING OUT FIT
26T	변압기용 온도계전기
26R	분로 REACTOR 온도계전기
27	UNDER VOLTAGE RELAY(A.C)
32	REVERSE CURRENT RELAY (D.C)
50F	양방향성 고장선택차지(△-Y형)
50/51	INSTANTANEOUS / TIME OVER CURRENT RELAY (A.C)
50/51N	INSTANTANEOUS / TIME OVER CURRENT RELAY (NEUTRAL POINT)
50/51G	INSTANTANEOUS / TIME OVER CURRENT GROUND RELAY
51	OVER CURRENT RELAY(AC)
51G	OVER CURRENT GROUND RELAY
59	OVER VOLTAGE RELAY (A.C)
64	OVER VOLTAGE GROUND RELAY
64P	직류 접지 계전기
64R	RECTIFIER LINE CUBICLE GROUND RELAY
67	DIRECTIONAL GROUND RELAY
76	OVER CURRENT DEVICE (D.C)
80	UNDER VOLTAGE RELAY (D.C)
84	VOLTAGE RELAY
85F	PILOT WIRE RELAY
CD	DC CURRENT DETECTOR
CLR	CURRENT LIMITED RELAY
	SILICON RECTIFIER
EOCR	ELECTRONIC OVER CURRENT RELAY
	CABLE HEAD
SH	SHUNT
	LIGHTING PANEL
	FLUORESCENT LAMP 32Wx2 CEILING SUSPENSION TYPE W/LINE DUCT (RACE WAY)
	FLUORESCENT LAMP 32Wx2 CEILING SUSPENSION TYPE W/LINE DUCT (RACE WAY) EMERGENCY LIGHTING
	FLUORESCENT LAMP 32Wx2 CEILING SUSPENSION TYPE
	DUPLEX RECEPTACLE 250V, 15A OUTLET GROUNDING
	FIRE FIGHTING CONTROL PANEL
M	LOW VOLTAGE MOTOR

SYMBOL	DESCRIPTION
	GROUND ELECTRODES
	GROUNDING
GTB	GROUND TEST TERMINAL BOX
J	JUNCTION BOX
	PULL BOX
	CABLE INSTALLED IN CABLE PIT
	CABLE INSTALLED IN CABLE TRAY
	CONDUIT CONCEALED IN CONCRETE
	GROUND WIRE IN UNDERGROUND
	CONNECTING POINT WITH COMPRESSION TYPE CONNECTOR
	CONDUIT TURNED AWAY FROM VIEWER
	CONDUIT RISING, THROUGHING & FALLING
	HIGH VOLTAGE CABLE WITH CABLE HEAD
	LOW VOLTAGE CABLE WITH TERMINAL

개정 CHANGE	설계 MEMO	WOOJIN	조고속 자기부상철자 단거리 시험선구축 전기장사
	D.M.IN	작성일 DATE 2013. 03.	승인 APPROVED
	척도 SCALE	설계 DESIGNED 한동준	TITLE 범례 및 주기 사항
	1/NONE(A3)	검토 CHECKED 한동준	이영호
	공차 적용기준 : KS B 0401	검사 CHECKED 이상구	DWG.NO EE - 01

위치평면



▶ 금 회 공 사 내 용

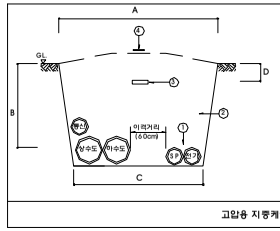
* 금회 초고속 자기부상열차 단거리 시험선 구축 공사임. (검수고 평면도 참조)
* 금회 한국철도시설공단 내에 제1,3변전실(신설) 및 제2변전실(기존)으로 전력계통을 구성한다.
* 옥외 제1변전실을 구성하여 제2,3변전실의 전원을 분기하여 공급한다.
* 전력간선설비 공사 부분 감독관 협의하여 사전 검토후 시공 할 것.
* 본 공사의 모든 관통부분 , 지중매설시 맨홀 및 건물 인입부분은 방수 처리 한다.

대지내 전력간선설비 전체 배치도

SCALE : A1 - 1/NONE
A3 - 1/NONE

설계 부분	WOOJIN			초고속 자기부상열차 단거리 시험선구축 전기공사
	DIM. IN ㎜	작성일 DATE	2013. 03.	승 인 APPROVED
	척도 SCALE	작 성 DRAWN	서 용 범	TITLE 대지내 전력간선설비 전체 배치도
	1/NONE(A3)	검 토 DESIGNED	서 용 범	이 영 호
	공차 적용기준 : JIS B 0401	설 계 DESIGN	이 상 구	DWG NO. EE - 02

개정 CHANGE

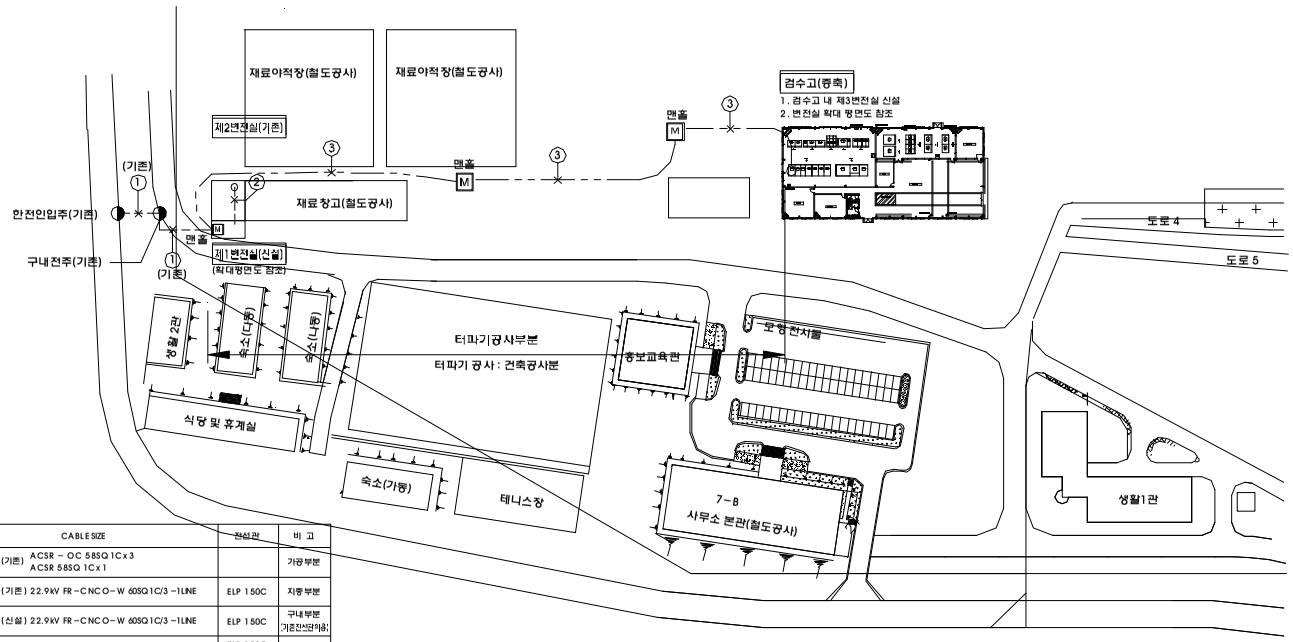


번호	품 명	규 격	비 고
①	전선관	EIP 전선관	
◯	되메우기		
◯	경고 테이프	PVC. 제품	
◯	지중선 표시기	10M 마다설치	

구 분	A	B	C	D	비 고
차량기타 중량물의 압력을 받을 우려가 있는 장소	1,500	1,200	1,200	300	고압 선로
보도등 상기 이외의 장소	1,500	800	1,200	300	고압 선로

주 기 사 항

1. 되메우기는 아래부터 순차로 하고, 매설물에는 잡석,볼순돌 등이 섞이지 않도록 주의할것.
2. 되메 우기는 양토를 사용하고, 300미터 마다 돌다지기를 하고, 기구 등으로 다짐.
3. 전력 간선 공사 전 불이 감독관 협의 및 현장 여건 재조사 후 시공한다.
4. 관로 포설시 상하수도 및 통신관로와 60cm 이격하여 포설한다.
5. 다만, 시공상 어려거리가 어려울 경우 상 표간에 견고한 내화성의 격벽을 설치한다.
6. 터파기시 크기(㎡)는 현장 여건을 고려하여 시공한다.
7. 지중매설구간 기존 콘크리트 및 보도 블록 철거 후 재시공 한다.
8. 터파기시 기존 매설된 배관 파손에 주의 하여 시공한다.



NO	FROM..	TO..	CABLE SIZE	전선관	비 고
①	K.E.P.CO	제 1변전실(신설)	(기존) ACSR - OC 58SQ 1C x 3 ACSR 58SQ 1C x 1		가공부분
			(기존) 22.9kV FR-CNCO-W 60SQ 1C/3 -1LINE	ELP 150C	지중부분
②	제1변전실	제 2변전실(기존)	(신설) 22.9kV FR-CNCO-W 60SQ 1C/3 -1LINE	ELP 150C	구내부분 (기존전선관이용)
③		제 3변전실(신설)	(신설) 22.9kV FR-CNCO-W 60SQ 1C/3 -1LINE	ELP 150C - 2LINE	

주 기 사 항

* 금회 초고속 자기부상열차 단거리 시험선 구축 공사임. (검수고 평면도 참조)
* 금회 한국철 도시설공단 내에 제1,3변전실(신설) 및 제2변전실(기존)으로 전력계통을 구성한다.
* 옥외 제1 변전실을 구성하여 제2,3변전실의 전원을 분기하여 공급한다.
* 전력간선설비 공사 부분 감독관 협의하여 사전 검토후 시공 할 것.
* 본 공사의 모든 관통부분 , 지중매설시 맨홀 및 건물 인입부분은 방수 처리 한다.
* TEC TRAY 내에 배관을 제외한다.

대지내 전력간선설비 확대 배치도

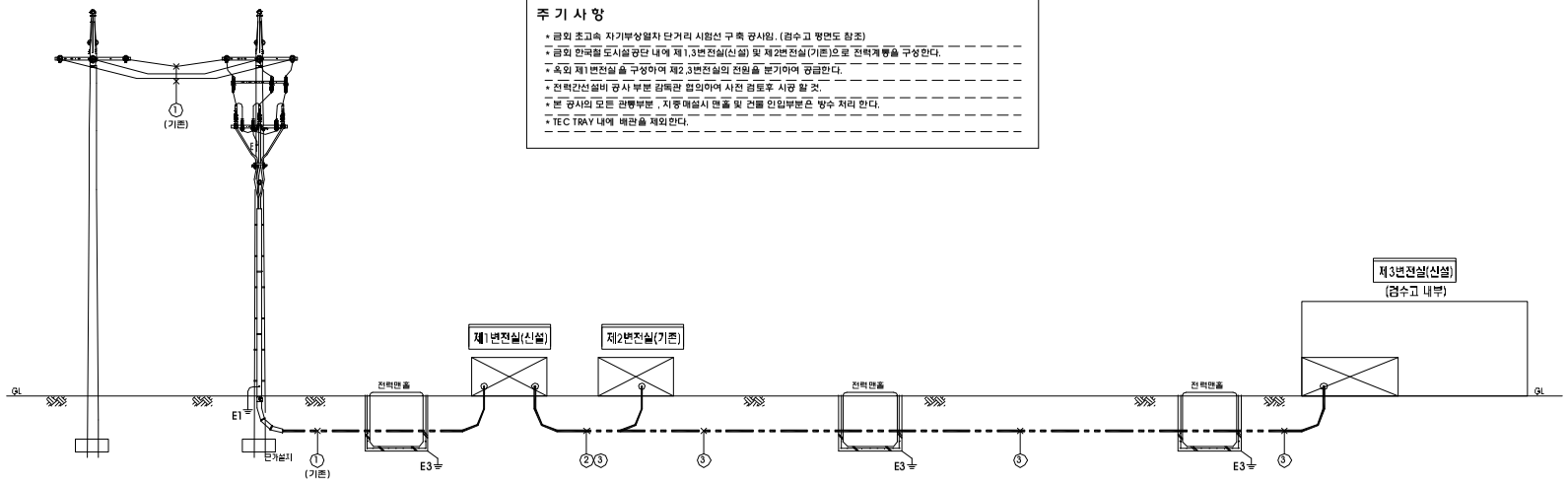
SCALE : A1-1/NONE
A3-1/NONE

변경 내용:	WOOJIN	초고속 자기부상열차 단거리 시험선구축 공사임		
	DWG. NO.	2013. 03.	도면 번호	대지내 전력간선설비 확대 배치도
	축척 1/NONE(A3)	서 용 범		
검토 주요계산		서 용 범	이 영 호	DWG NO. EE - 03
		이 상 구		

NO	FROM.	TO.	CABLE SIZE	전선관	비 고
①	K.E.P.CO	제1변전실(신설)	(기존) ACSR - OC 58SQ 1C x 3 ACSR 58SQ 1C x 1		가공부분
			(기존) 22.9kV FR-CNCO-W 60SQ 1C/3 -1LINE	ELP 150C	지중부분
②	제1변전실	제2변전실(기존)	(신설) 22.9kV FR-CNCO-W 60SQ 1C/3 -1LINE	ELP 150C	구내부분 (기존전신관이어)
③		제3변전실(신설)	(신설) 22.9kV FR-CNCO-W 60SQ 1C/3 -1LINE	ELP 150C - 2LINE	

주 기 사 항

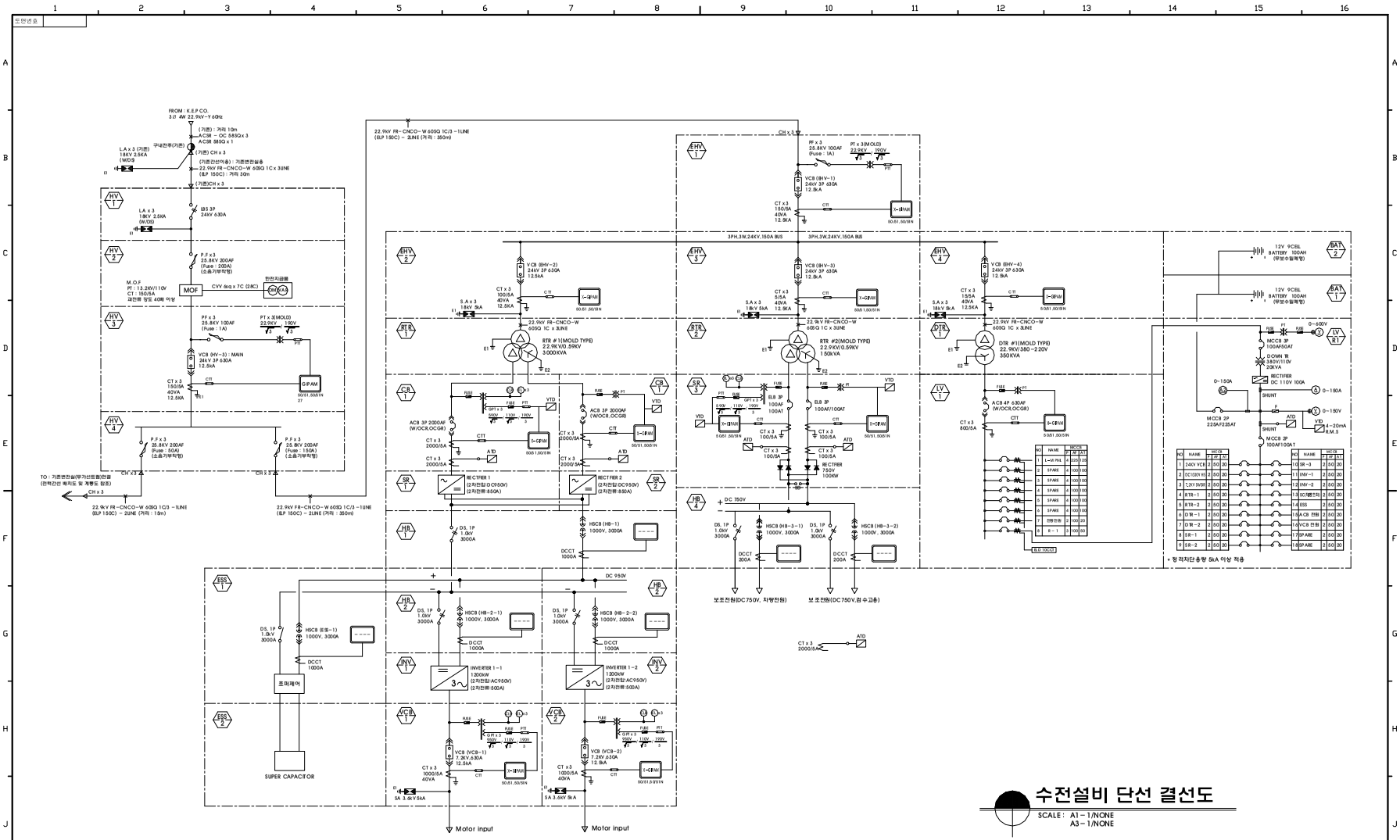
* 금회 초고속 자기부상열차 단거리 시험선 구축 공사임. (검수고 평면도 참조)
* 금회 한국철도시설공단 내에 제1,3변전실(신설) 및 제2변전실(기존)으로 전력계통을 구성한다.
* 속회 제1변전실을 구성하여 제2,3변전실의 전원을 분기하여 공급한다.
* 전력간선 설비 공사 부분 감독관 협의하여 사전 검토후 시공 할 것.
* 본 공사의 모든 관통부분 , 지중매설시 맨홀 및 건물 인입부분은 방수 처리 한다.
* TEC TRAY 내에 배관을 제외한다.

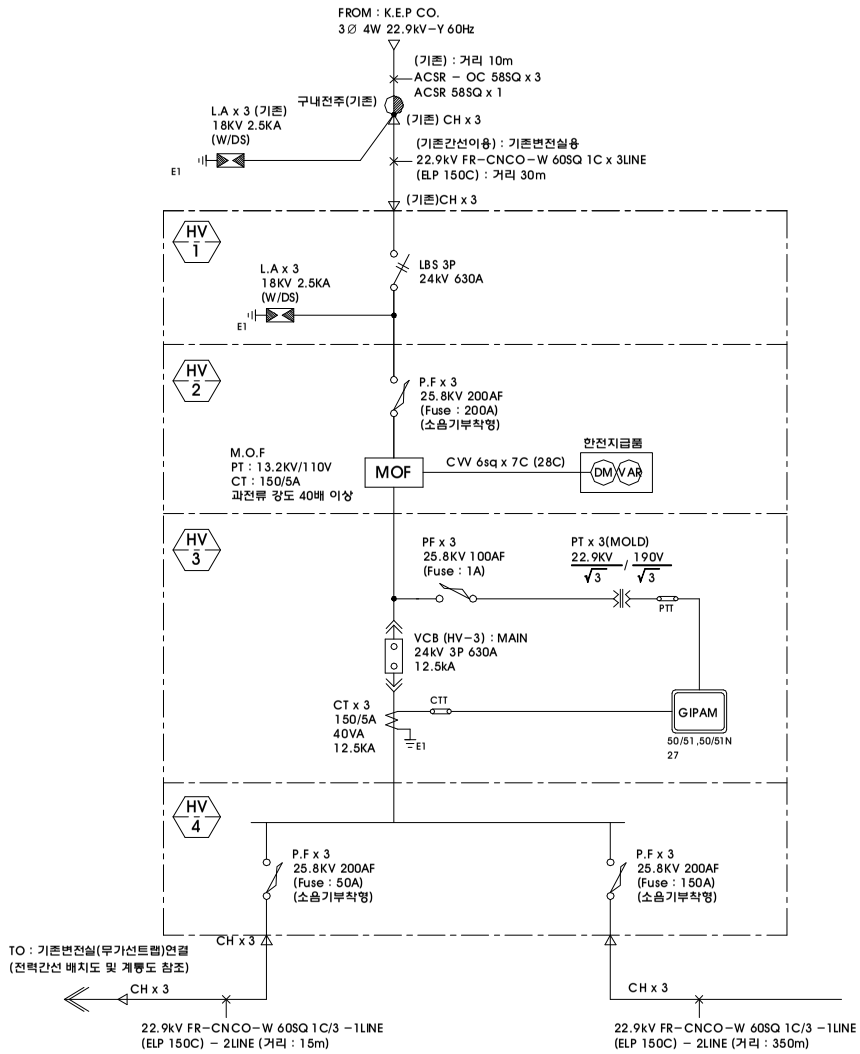


전력 간선 설비 계통도

SCALE : A1-1/NONE
A3-1/NONE

설계자	WOOJIN	초고속 자기부상열차 단거리 시험선구축 전기공사		
DWG NO.	2013. 03.	전력 간선 설비 계통도		
축척 SCALE	1/NONE(A3)	설계	서 용 범	
도면		검토	서 용 범	이 영 호
승인		승인	이 상 구	
		EE - 04		


수전설비 단선 결선도
SCALE : A1 – 1/NONE
A3 – 1/NONE
WOOJIN
조교속 자기부상열차 단거리 시험선구축 전개계획서
수전설비 단선 결선도
EE – 05
2013. 03.
서 종 표
이 영 호
이 상 구
1/NONE(A3)
Motor input
Motor input
SUPER CAPACITOR
보조전원(DC750V, 차량전원)
보조전원(DC750V,검수고용)



수전설비 단선 결선도

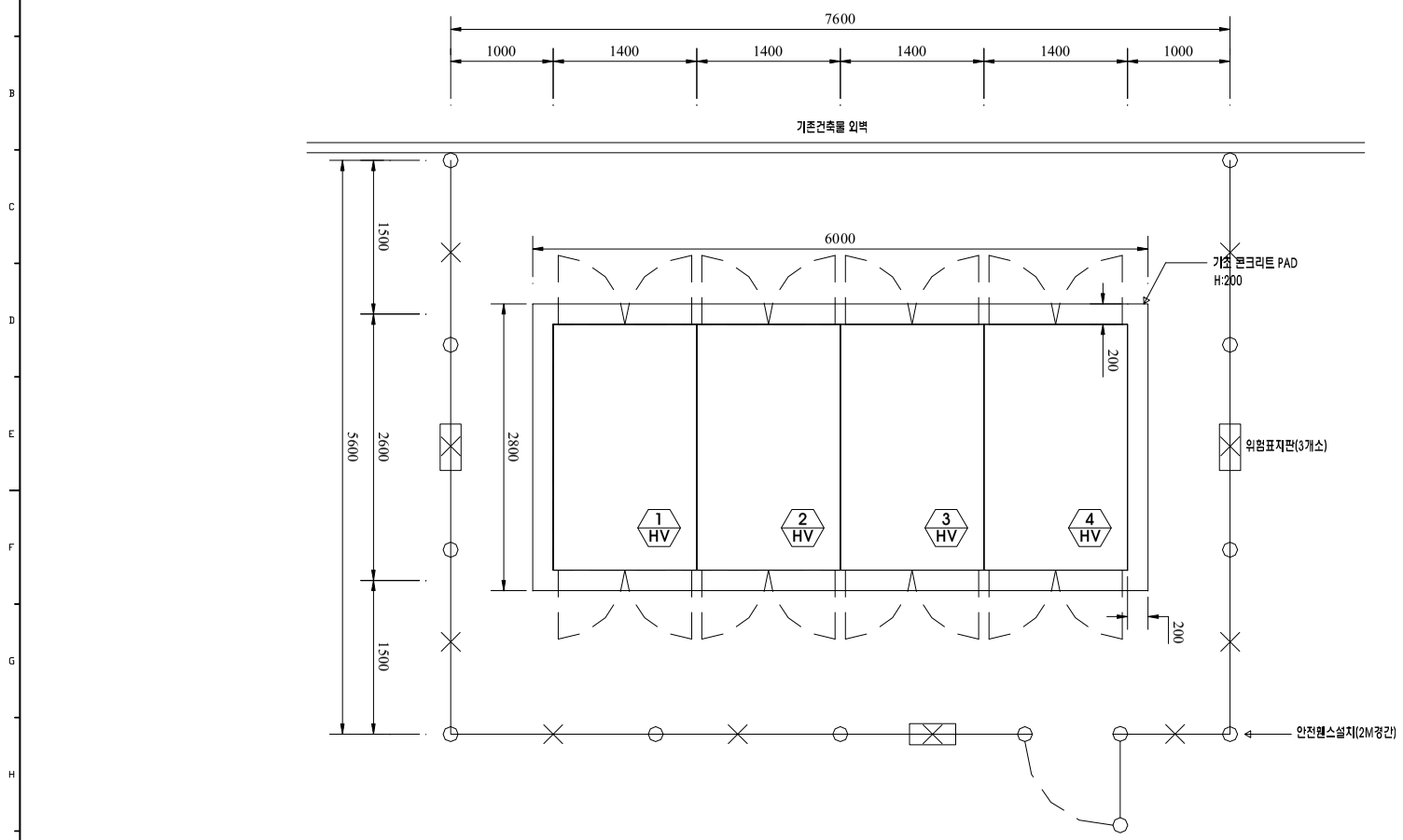
SCALE : A1-1/NONE
A3-1/NONE

설계 DESIGN	WOOJIN	작성일 DATE	2013. 08.	승인 APPROVED
DIM. IN mm		작도 DRAWN	서용범	
척도 SCALE		검토 CHECKED	서용범	이영호
규격 적용기준 : NEC & KEC		감리 SUPERVISOR	이상구	

조끼속 지하부상동사 단거리 사용선구축 전기공사

TITLE: 수전설비 단선 결선도

DWG NO. EE - 06



제1변전실 수변전설비 배치 평면도

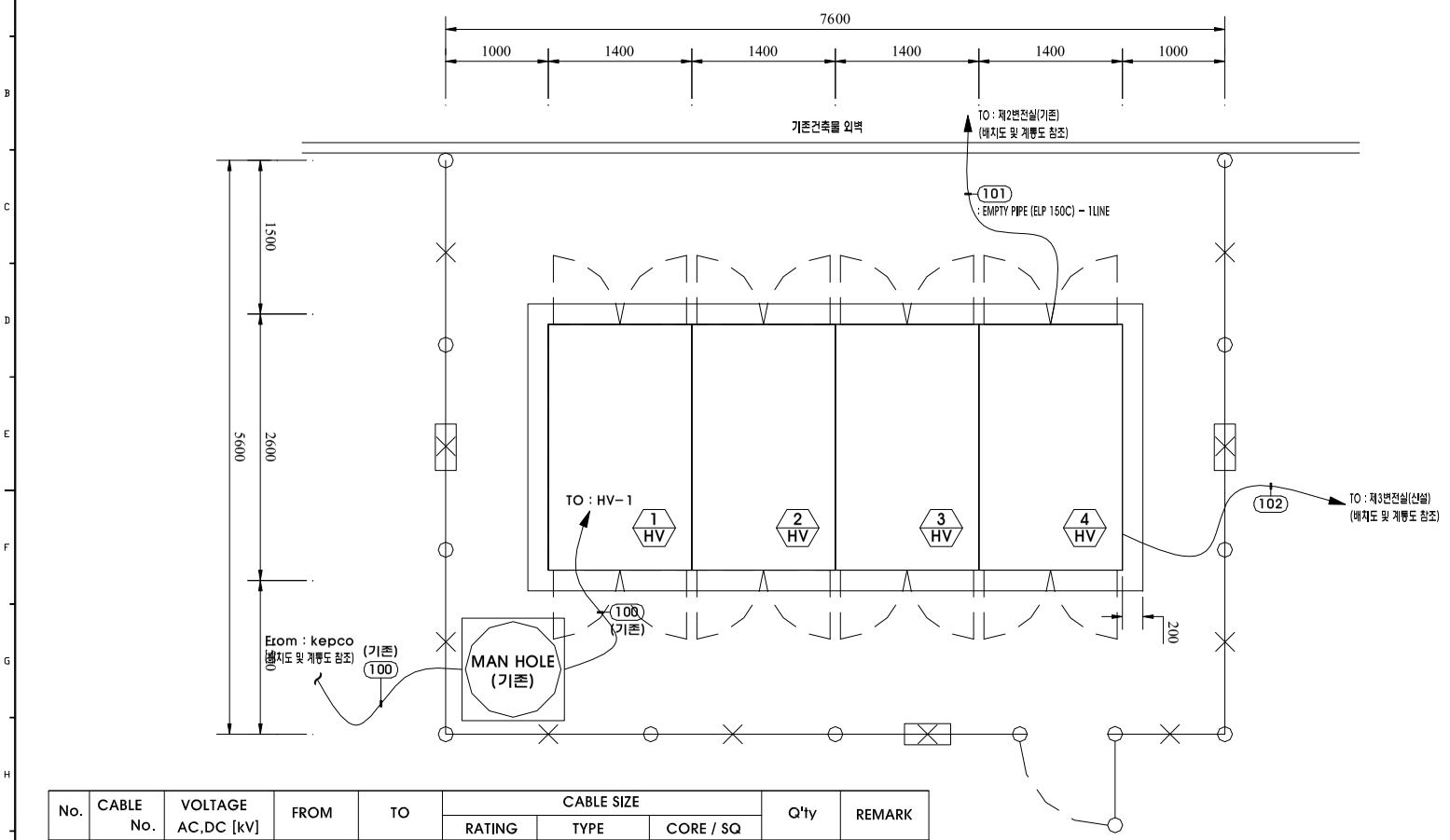
SCALE : A1 - 1/20
A3 - 1/40

설계 DESIGN	WOOJIN	작성일 DATE	2013. 03.	승인 APPROVED
	DIM. IN mm	작 성 DRAWN	서 용 범	
	척도 SCALE 1/40(A3)	검 토 CHECKED	서 용 범	이 영 호
공사 적용기준 : MBC C 4(00)		승 인 ORDERD	이 상 구	

조고속 자기부상철차 단거리 시험선구축 전기공사

TITLE 제1변전실 수변전설비 배치 평면도

DWG NO. EE - 07



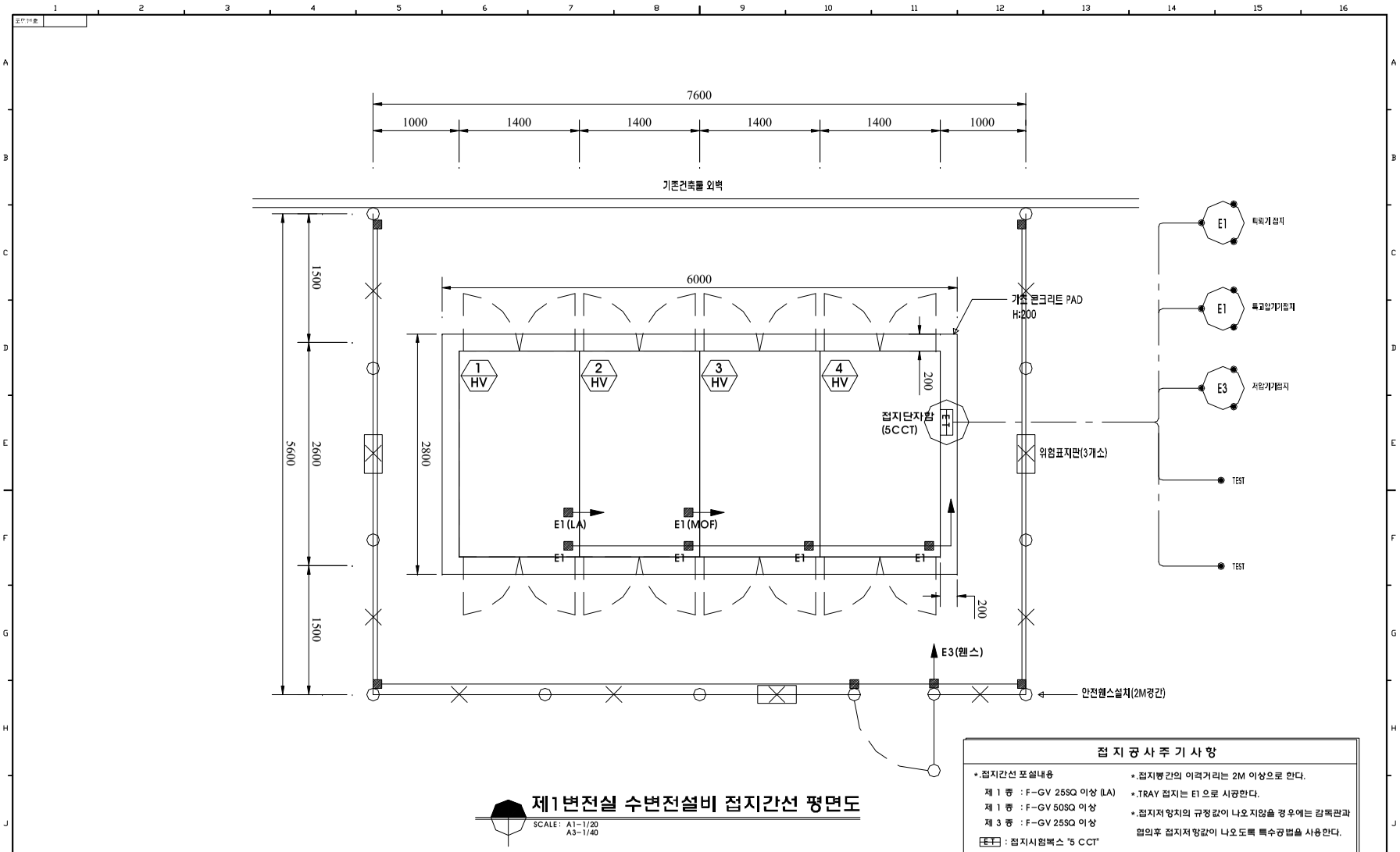
No.	CABLE No.	VOLTAGE AC,DC [kV]	FROM	TO	CABLE SIZE			Q'ty	REMARK
					RATING	TYPE	CORE / SQ		
0	100	22.9kV	K.E.P.CO	제1변전실(신설)	22.9kV	ACSR - OC ACSR	1C x 58sq 1C x 58sq	3 가닥 1 가닥	가 공 부 분 (기 존)
					22.9kV	FR-CNCO-W	1C x 60sq	3 가닥	지중구간 (기존)
1	101	22.9kV	제1변전실(신설)	제2변전실(기존)	22.9kV	FR-CNCO-W	1C x 60sq	3 가닥	구내부분 기존전선관이용
2	102	22.9kV		제3변전실(기존)	22.9kV	FR-CNCO-W	1C x 60sq	3 가닥	

제1변전실 수변전설비 전력간선 평면도

SCALE : A1-1/20
A3-1/40

설계 MGMT	WOOJIN	조고속 자기부상철자 단거리 시험선구축 전기공사	
DIM. IN (M)	작성일 DATE 2013. 03.	승 인 APPROVED	TITLE 제1변전실 수변전설비 전력간선 평면도
척도 SCALE 1/40(A3)	작 성 DRAWN 서 용 범		
공사 적용기준 : 배전 C 4(201)	검 토 CHECKED 서 용 범	이 영 호	DRG. NO. EE - 08
	검 토 CHECKED 이 상 구		

CHANGE 개정



제1변전실 수변전설비 접지간선 평면도

SCALE : A1-1/20
A3-1/40

접 지 공 사 주 기 사 항

*.접지간선 포설내용
제 1 종 : F-GV 25SQ 이상 (LA)
제 1 종 : F-GV 50SQ 이상
제 3 종 : F-GV 25SQ 이상
E F : 접지시험복스 "5 CCT"

*.접지봉간의 이격거리는 2M 이상으로 한다.
*.TRAY 접지는 E1 으로 시공한다.
*.접지저항치의 규정값이 나오지않을 경우에는 감독관과 협의후 접지저항값이 나오도록 특수공법을 사용한다.

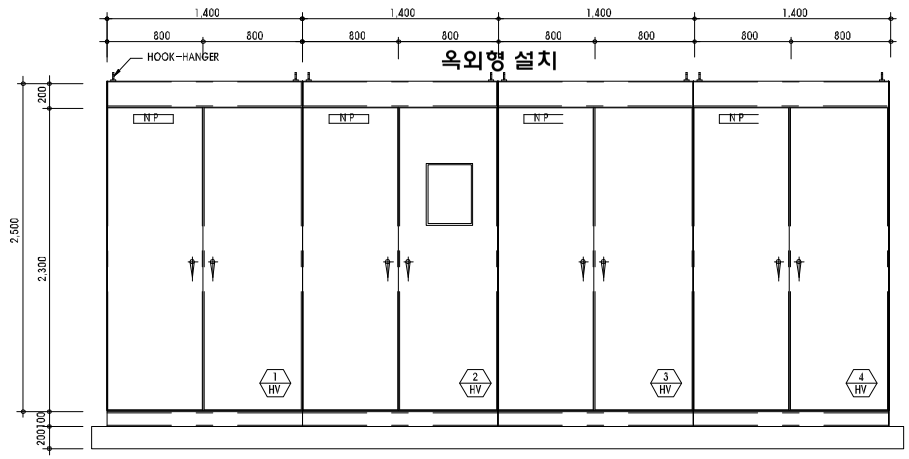
WOOJIN

초과속 차량무임통과 단거리 세종선구축 전기공사

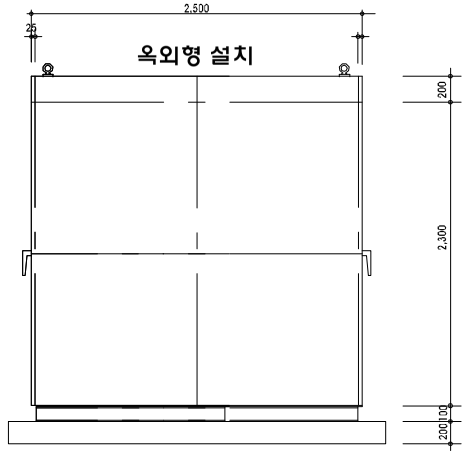
제1변전실 수변전설비 접지간선 평면도

EE - 09

이 영 호



특고압반 정면도



측면도

제1변전실 수배전반 외형도

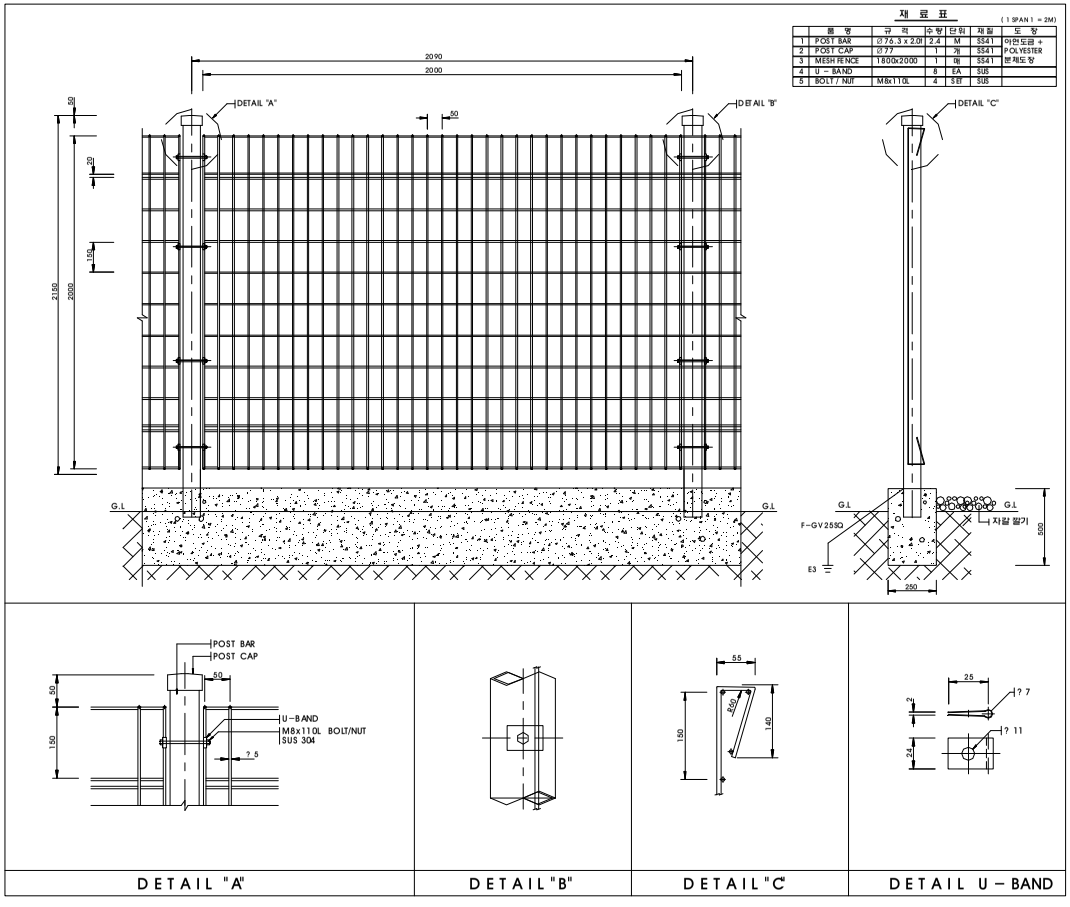
SCALE : A1-1/NONE
A3-1/NONE

축척 SCALE	1/40(A3)	설계 DESIGN	서 용 범	이 영 호
도면 DWG. NO.	EE - 10	검토 CHECKED	이 상 구	
제목 TITLE	제 1변전실 수배전반 외형도	작성일 DATE	2013. 03.	
공사명	초고속 자기부상열차 운행선 구축 전기공사		WOOJIN	

재 료 표

(1 SPAN 1 = 2M)

	품 명	규 격	수량	단위	재질	도 장
1	POST BAR	Ø 76.3 x 2.0t	2.4	M	SS41	아연도금 +
2	POST CAP	Ø 77	1	개	SS41	POLYESTER
3	MESH FENCE	1800x2000	1	매	SS41	분체도 장
4	U - BAND		8	EA	SUS	
5	BOLT / NUT	M8x110L	4	SET	SUS	



DETAIL "A" | DETAIL "B" | DETAIL "C" | DETAIL U - BAND

메쉬휀스 설치 상세도

SCALE: A1 - 1/NONE
A3 - 1/NONE

소계 내역:	WOOJIN	포교육 지기반상업자 단거리 제원선구목 선계정사		
이메일	작성 DATE	2013. 03.	승 인 APPROVED	TITLE: 메쉬휀스 설치 상세도
스 케 일 SCALE	검 토 CHECKED	서 용 범		
1/NONE(A3)	도 면 DESIGNED	서 용 범	이 영 호	DWG NO. EE - 11
소계 적용기준 : NEC 2020	설 계 DESIGNED	이 상 구		

도면 CHANGE

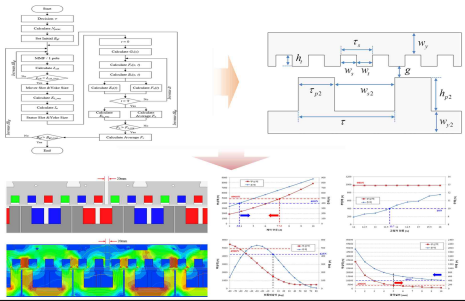
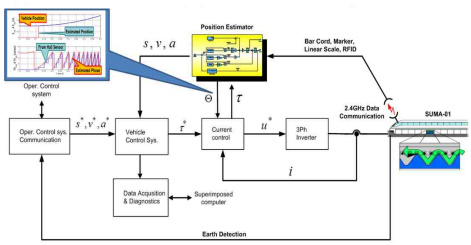
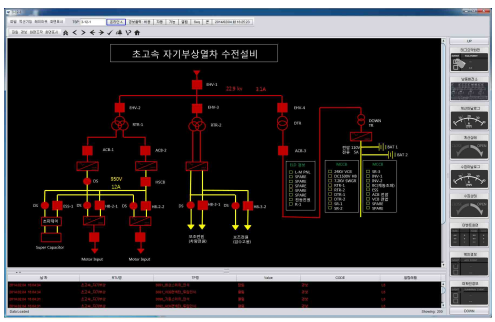
제3장 최종 연구성과 및 적용실적

제1절 LSM 추진전력시스템 기술

1. 기술 개요

초고속자기부상철도는 지상 1차 추진 전동기 방식이므로 지상 추진전력시스템을 구축하여야 한다. LSM 지상 추진전력시스템의 구성은 25,000VAC/590VAC 주변압기, PWM컨버터, 에너지세이버, 추진 인버터 및 LSM으로 구성되며 LSM 추진을 위해 개발되어져야할 핵심 기술은 초고속 자기부상열차의 추진력을 발생시키는 LSM 설계 및 해석기술, LSM의 추진전력을 제어하는 LSM 추진제어기술, LSM을 포함한 지상전력설비의 지속적인 모니터링 및 사고발생시 응급 사고처리를 위한 전력모니터링기술등이 있다.

2. 핵심요소기술별 성과물

기술 항목	성과물 개요	성과물
LSM 설계 및 해석기술	▪ (목적) LSM의 요구추력 분석 및 유한요소법을 통한 해석기법 정립 ▪ (성과) 선형동기전동기의 기초설계 자료 기반 LSM 유한해석모델구축 및 LSM 설계 프로우를 구성하여 설계오차 10%이내의 LSM 설계 플로우 정립	▪ LSM 설계 플로우 
LSM 추진 제어기술	▪ (목적) LSM의 추진효율향상 및 추진전류 고조파 저감 ▪ (성과) 저분해능의 비선형적인 자속위치정보로부터 선형적인 자속위치 추정가능으로 LSM 추진효율 향상 및 추진전류 고조파 저감달성	▪ 자속위치 Estimator적용 LSM 추진제어 알고리즘 
전력감시장치 기술	▪ (목적) 전력감시장치의 부품단위 통신규격을 IEC25850으로 규격화시켜 통신에러율 최소화 및 통신전달시간 단축 ▪ (성과) IEC 61850 표준 프로토콜을 적용하여 높은 수준의 안정성, 기능성 및 사용자 편의성과 지연 없는 실시간 처리구현으로 사고감지 신뢰성 향상	▪ ISO61850적용 SCADA시스템 

3. 주요 연구성과

가. 학술적 성과

순번	논문명	학회(지)명	비고
1	A Study on the Sensor Applications for Position Detection and Guideway Monitoring in High Speed Maglev	Modern Mechanical Engineering	2014년도 국외 저널지 게재
2	Design of Position Estimator for Propulsion Inverter Driving Long Stator LSM in High Speed Maglev	JICEMS	2014년도 국외 저널지 게재
3	위치신호 보상 및 추정을 통한 초고속 자기부상 철도 추력 성능향상	한국산학기술학회	2013년도 국내 저널지 게재
4	초고속 자기부상철도 기술개발동향조사 및 분석	한국산학기술학회	2013년도 국내 저널지 게재
5	Analysis of the Running Characteristics of the Maglev Levitation System Considering the Guide way with Rail Irregularities	ICEE2014	Best Paper Award 수상
6	Dynamic Analysis of Super-Speed Maglev Train-Guideway Interaction System	Maglev	2014년도 국외발표
7	The Design and Performance Evaluation of Position Detection System for Super Speed Maglev	ICCAS	2014년도 국외발표
8	Analysis and Signal Processing of Relative Position Sensor System Designed for High Speed Maglev	ICEE	2014년도 국외발표
9	A Study on Performance Evaluation for Maglev Vehicles	ISIS	2013년도 국외발표
10	Position Detection Performance Improvement for LSM Control in Super Speed Maglev	ICCAS	2013년도 국외발표
11	Development of the Linear Synchronous Motor Propulsion Testbed for Super Speed Maglev	ICEMS	2013년도 국외발표
12	Development of LSM Control System for Super Speed Maglev	ICCAS	2013년도 국외발표
13	Study on the Effectiveness of High-Speed Railway Communication and Signaling SYstem Based on 4G LTE Technology	ICCAS	2013년도 국외발표
14	Research on Position Detecting Method for High-Speed Train with Coreless	한국철도춘계학술	2014년도 국내발표
15	Conceptual design of contactless power transfer system for high speed maglev	한국철도추계학술	2014년도 국내발표
16	고속 자기부상열차의 위치검지 및 궤도모니터링을 위한 센서 기술 분석 및 검증	한국철도추계학술	2014년도 국내발표

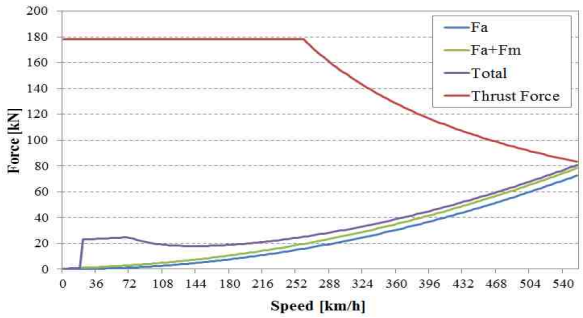
17	초고속 자기부상열차용 선형동기전동기의 포스 리플 저감 연구	대한전기 학회	2014년도 국내발표
18	초고속 자기부상열차용 LSM 설계 및 추력 측정 시험	대한전기 학회	2014년도 국내발표
19	부상력 제어를 고려한 선형 동기전동기 추력 향상 연구	대한전기 추계학술	2014년도 국내발표
20	초고속 자기부상철도 위치검지 신호지연 및 전송주기에 따른 추력성능 저하 및 보상에 관한 연구	한국철도 추계학술	2013년도 국내발표
21	초고속 자기부상 철도용 추진시스템 시험장치 개발	한국철도 춘계학술	2013년도 국내발표
22	초고속 자기부상열차용 LSM의 성능향상을 위한 설계 및 특성 해석	대한전기 춘계학술	2013년도 국내발표

나. 기술적 성과

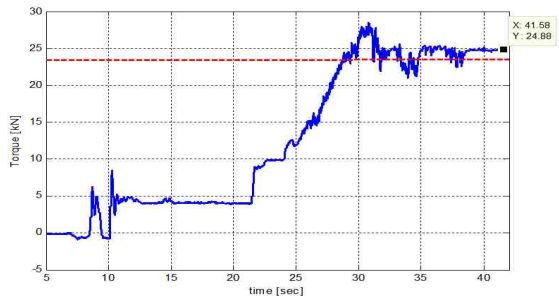
(1) 초고속 자기부상철도 추진시스템 핵심기술 성능 확인

(가) 550km/h급 초고속 자기부상철도 추력 달성

- 3량 1편성 구성(Magnet Module : 46ea)시 550km/h 달성을 위한 요구추력 : 180[kN]
- 단위 Magnet Module당 추력 : 3.92[kN]
- SUMA550 (Magnet Module : 6ea) 요구 추력/ 달성 추력 : 23.49[kN]/ 24.88[kN]



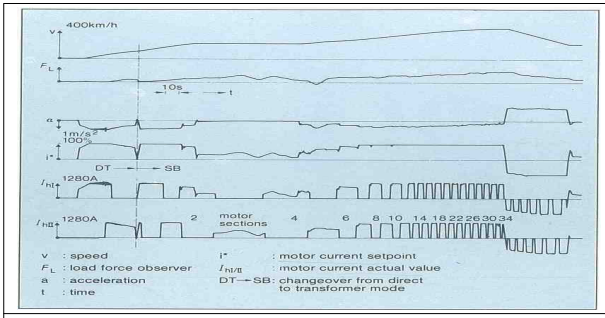
견인력 산정 곡선



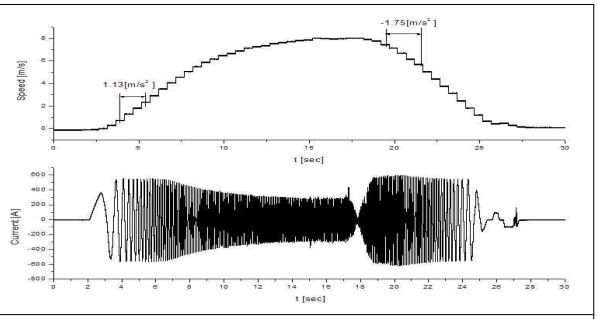
시험 추력 24.88[kN]

(나) 실용화 차량수준의 최대 가(감)속도 달성

- 상하이 자기부상열차 TR07 최대 가(감)속도 : 가속도 1.1m/s^2(감속도 : 1.4m/s^2)
- SUMA550의 최대 가(감)속도 : 1.13m/s^2(감속도 : 1.75m/s^2)



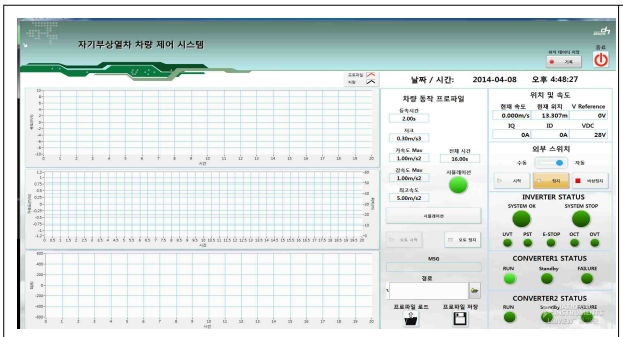
TR07 가속도 : 1.0 m/s^2



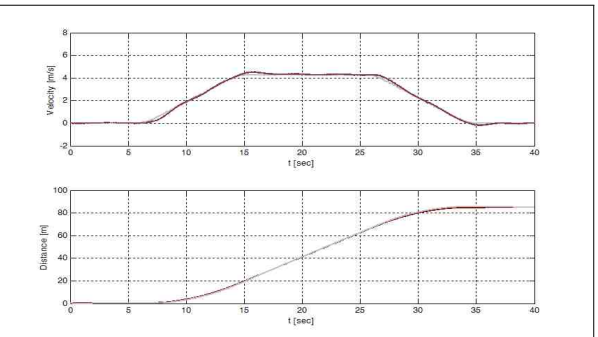
최고 가(감)속도 1.13[m/s^2], 1.75[m/s^2]

(다) ATO 운전 및 오차율 기준치 달성

- 속도 프로파일 생성을 위한 파라미터 : 최대져크, 최대 가속도, 최고속도, Costing Time
- ATO 운전 오차율 : 위치오차 0.5%이내



속도 프로파일 생성 화면

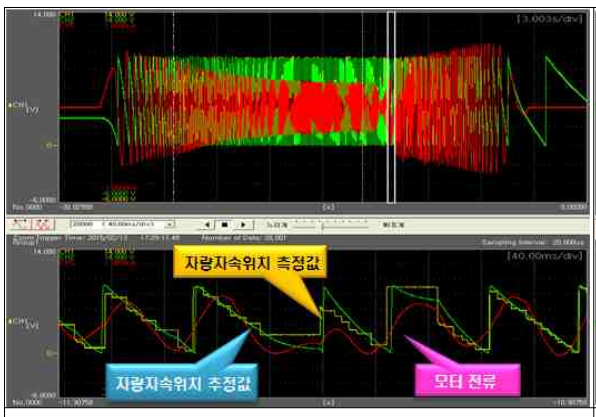


ATO 오차율 0.5% 이내

(2) 고효율 LSM 추진제어 알고리즘 성능 확인

(가) 초고속 자기부상열차 자속위치 추정기 성능 확인

- 차량으로부터 차량 자속위치정보 수신 시 통신장애 또는 위치검출 실패로 인한 자량 자속위치 측정값 손실 발생 ⇒ LSM 출력전류 왜곡 및 추진효율 저하
- 차량 자속위치 추정기 개발로 인한 선형 자속위치 추정가능 ⇒ LSM 출력 전류 파형 개선 및 추진효율 상승



자속위치 추정기 적용 전 각부 파형



자속위치 추정기 적용 후 각부 파형

(나) TR07 수준

▪ 독일 초고속 자기부상열차는 차량시스템 모델베이스 기반 차량자속위치 추정기 활용

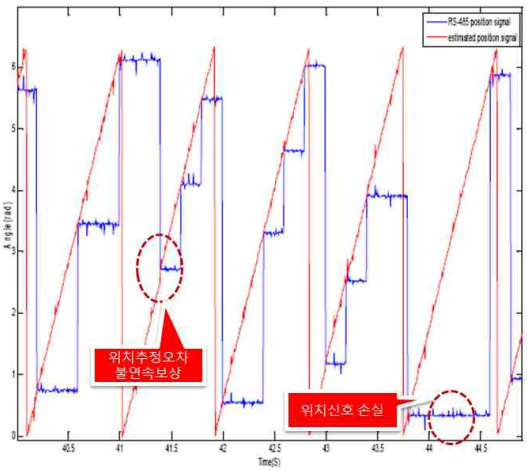
- 차량으로부터 위치정보수신주기 : 20[msec] ~ 30[msec]
- 위치정보 분해능 : 7mm

▪ 중국 상하이 초고속 자기부상열차 차량자속위치 추정방식

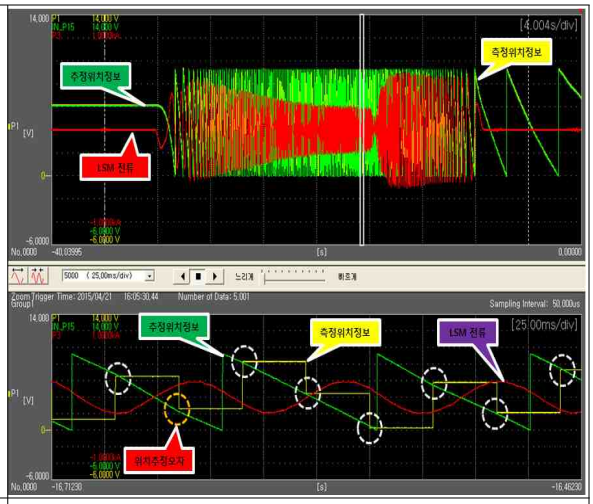
- Lagrange interpolation(보간법) 원리 적용 ⇒ 위치추정오차 보정시 불연속 발생

▪ SUMA550 차량자속위치 추정방식

- 전차원 속도관측기 원리 적용 ⇒ 위치추정오차 보정시 불연속 발생 없음
- 차량으로부터 위치정보수신주기 : 최대 30[msec]
- 차량자속위치 추정기 오차 : 최대 5mm이내



상하이 자기부상열차 실험파형

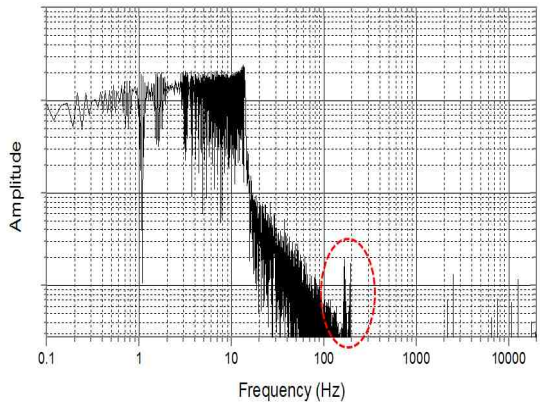
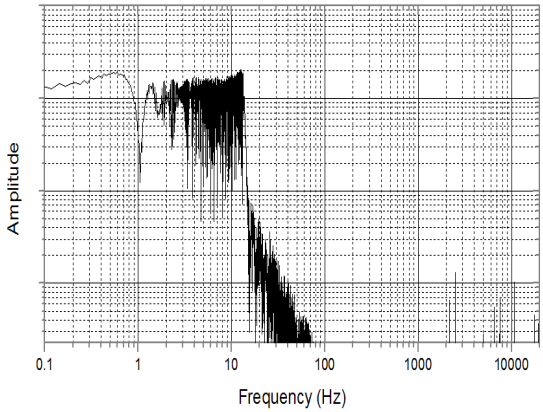


SUMA의 자속위치 추정기 실험파형

(다) LSM 출력전류 개선 확인

▪ 초고속 자기부상열차 추진을 위한 LSM 추진력 발생시 1[msec] 주기로 업데이트 되는 정보 적용시 전류 왜곡으로인한 200Hz 대역의 고주파 발생(점선)

▪ 차량 자속위치 추정기 적용시 LSM 전류에 고조파 개선 확인

<table>
<tr>
<td> 
</td>
<td> 
</td>
</tr>
<tr>
<td>LSM 전류 FFT분석 결과
(without Estimator)</td>
<td>LSM 전류 FFT분석 결과
(with Estimator)</td>
</tr>
</table>

4. 기술 실시 및 적용사례 (해당사항없음)

가. 기술 실시

나. 적용 사례

5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

가. 국내 시장전망

- 국내 초고속 자기부상철도 경부, 호남노선의 국산화시 4조 이상 수입대체 효과가 발생됨
- 국제 초고속 자기부상철도 시장 중 현재 해외시장 철도시장점유율 8%와 그중 고속철도 비율을 10% 적용시 46조원의 수출효과가 예상됨

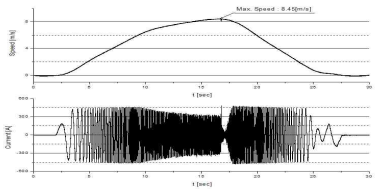
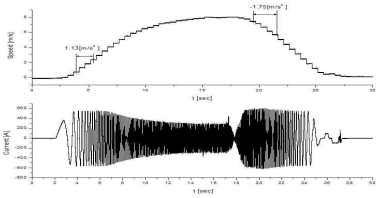
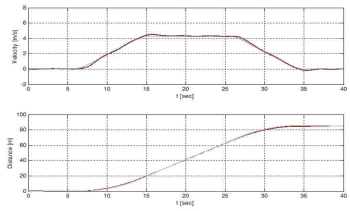
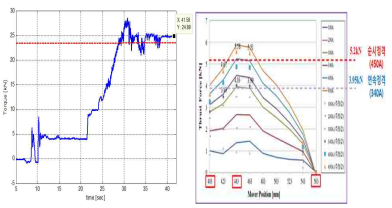
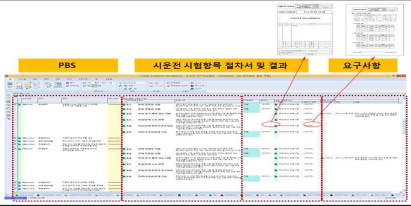
나. 국외 시장전망

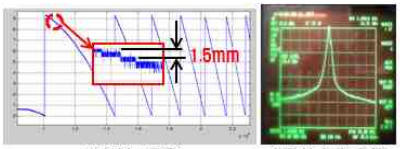
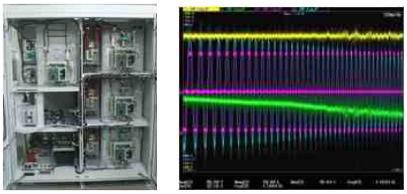
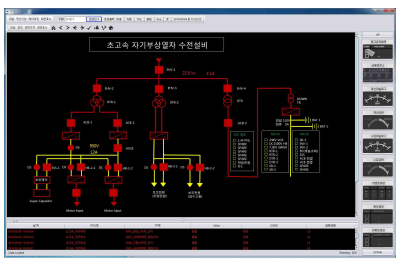
- 초고속 자기부상철도 도입가능지역을 대륙별 국가별 사업구간별로 세분하여 정리하면, 소극적 전망시 약 25,000km, 적극적 전망시 약 89,000km임
- 초고속 자기부상철도 시스템의 건설비는 차량, 전기, 신호 등 기타 부분을 고려하여 약 550~750억원/km로 예상됨
- 따라서 시장규모는 소극적인 전망시 1,654조원, 적극적인 전망시 5,814조원에 이를 것으로 예상됨

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 정성적 성과목표 및 달성도

과제명	성과목표	성과 지표	목표치 달성도	달성치
초고속추진 및 SE기술개발	LSM 추진제어기술개발	최고 속도	8m/s 100%	▪ **최대 속도 8.45[m/s] 달성** 
		최고 가속도	1.1m/s^2 100%	▪ **최대 가속도 1.13 [m/s^2] 달성** 
		ATO 성능	오차율 10%이내 100%	▪ **ATO 오차율 0.5% 달성** 
	LSM 설계기술개발	최대 추력	23.7[kN] 100%	▪ **최대추력 24.88 [kN] 달성** 
	가이드웨이 동특성 분석	가이드웨이 동적 성능분석	동적 성능 분석 1건 100%	▪ 동해석기법 개발 및 동적성능분석 완료
	종합 계측시스템 구축 및 운영	현장 구축 및 운영	시스템 구축 1건 100%	▪ 추진전력, 차량성능, 궤도 성능, 종합 계측시스템 구축완료 
	시스템 I/F 기술개발	통합데이터 베이스 구축	DB구축 100%	

과제명	성과목표	성과 지표	목표치 달성도	달성치
초고속철도 G/W 기술개발 및 단거리시험선 구축	단거리 시험선 공사	노반, 궤도분야 유지관리	100% 100%	▪ 노반, 궤도분야 유지관리 매뉴얼 구축
		건축분야 유지관리	100% 100%	▪ 건축분야 유지관리 매뉴얼 구축
추진 및 전력시스템 기술개발	전력컨버터 기술개발	전력컨버터 효율 달성도	효율 90% 이상 100%	▪ 효율 96% 달성  <전력컨버터> <전력효율 분석>
	에너지세이버 기술개발	에너지세이버 효율 달성도	효율 90% 이상 100%	▪ 효율 96% 달성  <에너지세이버> <효율 측정파형>
	위치검지시스템 기술개발	위치검지시스템 분해능 달성도	분해능 7mm 100%	▪ 1.5mm 정밀도 달성  <분해능 측정> <무선 출력 측정>
	LSM 추진 인버터 제작기술개발	추진인버터 효율 달성도	효율 90% 이상 100%	▪ 효율 94.7% 달성  <추진인버터> <입출력 각부파형>
	전력감시장치 기술개발	IEC 61850 전력감시장치 구축	IEC61850 구성 100%	▪ IEC61850 전력시스템 모니터링화면 

2. 정량적 성과목표 및 달성도

가. 특허출원 및 등록 (목표 12건, 달성 14건)

순번	구분	특 허 명	주저자	년도
1	등록	LS-LSM 기반 자기부상열차의 추진인버터 위상제어를 위한 차량위치 추정장치	조정민	2013
2	〃	자기부상시스템의 위치센서와 가속도센서를 이용한 실시간 궤도상태 모니터링장치	조정민	2013
3	〃	단차부가 형성된 콘크리트 거더와 마운팅부재를 구비한 가이드웨이 구조물 및 그 시공 방법	김이현	2014
4	〃	철도차량의 자기부상형 센터피봇과 볼스터의 체결구조	서승일	2014
5	〃	LSM 특성 분석 시뮬레이션 장치	우진산전	2015
6	〃	자기부상열차 브라켓 매립형 가이드웨이 구조물 및 그 시공 방법	한영재	2015
7	출원	자기부상열차의 자기부상시스템 제어신호를 이용한 실시간 궤도 상태 추정 기술 발명	조정민	2012
8	〃	LS LSM기반으로하는 자기부상열차 추진 인버터의 위상제어를 위한 고정밀 위치 추정 기술	조정민	2012
9	〃	가이드레일 일체형 강재 상부구조물을 구비한 가이드웨이 구조물 및 그 시공 방법	한영재	2013
10	〃	초고속 자기부상열차의 실시간 상대위치 및 절대위치 검지 장치	이진호	2013
11	〃	초고속 자기부상철도 궤도 상태 검측 장치	이진호	2013
12	〃	마커를 이용한 자기부상열차용 열차위치검출장치	우진산전	2014
13	〃	마그네틱바를 이용한 자기부상열차용 열차위치검출장치	우진산전	2014
14	〃	마그네틱바와 RFID 태그를 이용한 자기부상열차용 열차위치검출장치	우진산전	2014

나. 논문게재 (목표 9건, 달성 5건)

게재년도	논문명	주저자	학술지명	국내외 구분
2013	초고속 자기부상철도 기술개발 동향조사 및 분석	이진호	한국산학기술학회	국내
2013	위치신호 보상 및 추정을 통한 초고속 자기부상철도 추력 성능 향상	이진호	한국산학기술학회	국내
2014	초고속 자기부상열차용 LSM 설계 및 추력 측정 시험	오세영	대한전기학회	국내
2014	A Study on the Sensor Applications for Position Detection and Guideway Monitoring in High Speed Maglev	이진호	Modern Mechanical Engineering	국외
2014	Design of Position Estimator for Propulsion Inverter Driving Long Stator LSM in High Speed Maglev	조정민	JICEMS	국외

다. 논문발표 (목표 10건, 달성 26건)

발표 년도	논문명	주저자	학술지명	국내외 구분
2012	고속 자기부상열차 급전시스템의 기술적 요구사항 분석		전기설비 춘계학술	국내
2013	초고속 자기부상열차용 LSM의 성능향상을 위한 설계 및 특성 해석		전기학회 춘계학술	국내
2013	초고속 자기부상 철도용 추진시스템 시험장치 개발		철도학회 춘계학술	국내
2013	이동 선하중이 작용하는 층상 반무한 지반의 동적 응답 해석		철도학회 춘계학술	국내
2013	Continued-Fraction Absorbing Boundary Condition을 이용한 비선형 파전파 해석 기법 개발		철도학회 춘계학술	국내
2013	외부자장에 의한 초전도 하이브리드 자기부상전자석의 열손실 추정 연구		철도학회 춘계학술	국내
2013	초고속 자기부상철도 위치검지 신호지연 및 전송주기에 따른 추력성능 저하 및 보상에 관한 연구		철도학회 추계학술	국내
2013	초고속 자기부상철도용 위치검지 시스템 개발 및 적용에 관한 연구		철도학회 추계학술	국내
2013	Research on gap sensor and position sensor for high speed maglev train		철도학회 추계학술	국내
2013	초고속 자기부상철도 핵심기술개발		Korean Rail Technology	국내
2013	Development of the Linear Synchronous Motor Propulsion Testbed for Super Speed Maglev		ICEMS 2013	국외
2013	Development of LSM Control System for Super Speed Maglev		ICEMS 2013	국외
2013	Study on the Effectiveness of High-Speed Railway Communication and Signaling SYstem Based on 4G LTE Technology		ICEMS 2013	국외
2013	부상력 제어를 고려한 선형 동기전동기 추력 향상 연구		전기학회 하계학술	국내
2013	Position Detection Performance Improvement for LSM Control in Super Speed Maglev		ICCAS 2013	국외
2013	Design of the Position Estimator for Propulsion Inverter Driving Long Stator LSM		ICEMS	국외
2014	Research on Position Detecting Method for High-Speed Train with Coreless		철도학회 춘계학술	국내
2013	A Study on Performance Evaluation for Maglev Vehicles		ISIS 2013	국외
2014	초고속 자기부상열차용 LSM 설계 및 추력 측정 시험		대한전기 하계학술	국내
2014	초고속 자기부상열차용 선형동기전동기의 포스 리플 저감 연구		대한전기 하계학술	국내
2014	Analysis and Signal Processing of Relative Position Sensor System Designed for High Speed Maglev		ICEE 2014	국외
2014	Conceptual design of contactless power transfer system for high speed maglev		철도학회 추계학술	국내

2014	Dynamic Analysis of Super-Speed Maglev Train-Guideway Interaction System		Maglev	국외
2014	The Design and Performance Evaluation of Position Detection System for Super Speed Maglev		ICCAS	국외
2014	The Development and Application of Guideway Monitoring Vehicle for Super Speed Maglev		ICCAS	국외
2014	고속 자기부상열차의 위치검지 및 궤도모니터링을 위한 센서 기술 분석 및 검증		철도학회 추계학술	국내

라. 소프트웨어 등록 (목표 18건, 달성 18건)

순번	특 허 명	주저자	년도
1	초고속 자기부상철도 계측시스템용 하드웨어 및 소프트웨어 인터페이스 조합 시험 프로그램	이진호	2013
2	초고속자기부상철도_궤도계측시스템	이진호	2014
3	초고속자기부상철도_궤도모니터링차량 계측프로그램	이진호	2014
4	선형동기모터 추진 자기부상철도 추진제어알고리즘	조정민	2015
5	추진 자기부상철도의 차량자속위치 추정 알고리즘	조정민	2015
6	전력시스템의 가선전압 트래킹 제어 프로그램	우진산전	2012
7	전력시스템의 정상분 축출 및 위상 동기화 제어 프로그램	우진산전	2012
8	전력시스템의 컨버터 제어 프로그램	우진산전	2012
9	전력컨버터의 컨버터 출력 정전압 제어 프로그램	우진산전	2012
10	전력시스템의 3레벨 인버터 제어 프로그램	우진산전	2012
11	전력변환장치의 상태 감시 프로그램	우진산전	2014
12	병렬 전력 컨버터의 정전압 제어 프로그램	우진산전	2014
13	초고속자기부상철도 전력변환장치(변압기, 컨버터) 계측 프로그램	철도연	2014
14	초고속자기부상철도 전력변환장치(인버터, 에너지저장장치) 계측프로그램	철도연	2014
15	캐패시터 상태데이터 전송 프로그램	우진산전	2014
16	에너지 저장장치의 쵸퍼 장치 제어프로그램	우진산전	2014
17	컨버터 제어 프로그램	우진산전	2014
18	에너지 저장장치의 작화 프로그램	우진산전	2014

제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

1. LSM 추진제어 기술개발

가. 기술 개발 필요성 및 중요성

철도 시스템에 예전부터 사용되어 오던 휠 온 레일 방식은 추진력을 차체에 장착된 휠과 지면에 고정되어 있는 레일 사이의 마찰력을 통해 추진력을 얻는다. 따라서 부상하여 고속으로 추진하는 초고속 자기부상철도에 사용할 수 없다. 이에 대한 해결방안으로서 제시되어 온 것이 리니어모터를 이용한 추진 시스템으로서, 회전형 모터의 한 면을 수직하게 절단해 평편하게 펼쳐 놓아 회전형 모터 단독으로는 만들어 낼 수 없는 선형운동을 비점착 구동방식(전자기력을 추진력으로 이용)으로 가능하게 해준다. 이러한 철도차량 추진시스템에서 주로 고려된 리니어모터는 LIM(Linear Induction Motor, 선형유도전동기)과 LSM(Linear Synchronous Motor, 선형동기전동기)이며, 이 중에서 LSM이 전기적 효율 측면과 지상 제어로 인한 제어 신뢰성 측면, 열차 간격(시격)의 최소화 가능성 측면 등에서 LIM보다 유리한 점이 많고 또 LIM이 고속에서 갖고 있는 여러 문제점 등으로 인해 고속용 철도시스템에서는 LSM 방식이 LIM 방식보다 우위를 차지한다.

국내의 LSM 기술은 주로 반도체 이송 공정용으로 소형, 소용량 장치가 사용 중에 있으므로, 철도차량용 고속 추진 장치로 적용하기 위한 대용량 시스템으로의 기술 개발이 필요하다. 따라서 LSM에 대한 연구를 진행하여 독자적인 기술을 확보하여야 앞으로의 고속철도차량용 리니어 추진시스템에서 기술적 우위를 점할 수 있다. 초고속 자기부상철도는 최고속도 550km/h이 목표이므로 LSM을 이용한 전자기적 추진기술 없이 실현이 불가능하다.

나. 기술 개발 수준 및 동향 분석

(1) 국외 기술 동향

독일은 LSM 추진시스템에 대한 원천기술을 확보하고 있다. 대표적인 초고속 자기부상열차인 TR06은 극 피치 0.258m, 정격 속도 400km/h, 최고속도 500km/h, 주파수 215Hz이며, 주어진 인버터의 출력 전압 과 절연정도를 고려하여, 최적의 효율을 낼 수 있는 전동기의 전압으로 4.25kV, 최대 전류는 1.2kA이다. 추진력은 최대 100kN이며, 400km/h의 정상상태에서의 운전은 효율 93%, 역률 84%이다.

일본은 1970년도부터 500㎞/h 이상의 초고속 자기부상철도에 대한 연구개발을 진행하여 LSM 초고속 추진시스템에 대한 기술을 확보하고 있다. 초전도 전자석을 계자로 하는 공심형의 선형동기전동기를 추진시스템으로 사용하며, 전기자 코일은 궤도에 설치하는 독일과 같은 지상 1차 방식으로서, 극간격은 1.35m, 최고속도 550km/h에서는 주파수 56.6 Hz이며, 목표인 550 km/h에서는 72Hz이다. 최대 피상전력은 38MVA로서, 독일의 16MVA 보다 약 두 배 이상이며, 가속도는 2.5m/s^{2}이다.

미국은 LSM 추진시스템에 대한 기초연구부터 응용까지 많은 연구를 수행하였으며, 중저속 및 초고속 자기부상열차의 추진장치로서 LSM 추진시스템을 꾸준히 연구개발 중이다.

중국은 70년대 중반 LIM에 대한 연구를 시작으로 LSM 추진시스템에 대한 연구도

수행중이다. 1999년 말 중국과학기술부는 집중연구 과제인 "중국 최초 고속자기부상철도 시험선에 대한 타당성 연구"와 함께, 독일의 상전도 흡인식 초고속 자기부상철도(Transrapid) 기술을 검토하였다. 자기부상철도 기술센터를 설립하여 기술을 집중하고, LSM 추진시스템의 자체 기술력 확보를 위해 노력하고 있다. LSM 추진시스템이 핵심요소기술인 초고속 자기부상철도의 해외 시장규모는 아직 구체적으로 조사 검토된 바 없으나, 잠재 시장규모는 매우 클 것이며 향후 계속 증가될 것으로 예상된다.

(2) 국내 기술 동향

2005년 중반, 전문연구 시범사업으로서 기계연에서 과기부 주관의 “초고속 자기부상열차 연구”과제를 시작으로 LSM 추진시스템에 대한 연구를 수행한 바 있으나 이는 급전 및 섹션전환 등을 고려하지 않은 단품 리니어모터에 관한 연구이다. 2005년 중반, 기본연구 사업으로서 철도연에서 건교부 주관의 “철도기술 선진화 연구기반 조성연구”과제에서 LSM 추진시스템에 대한 연구를 수행한 사례가 있으나 기술적 검토에 그쳤다.

2009년 기본연구 사업으로서 철도연에서 “초고속 튜브철도차량 핵심기술개발”과제에서 LSM 추진시스템에 대한 연구를 수행하고 있다. 국내에서는 철도차량용 LSM 추진시스템 기술의 핵심요소기술에 대한 연구를 수행하고 있으나, 실용화 기술에 대한 연구개발은 아직 미흡한 수준에 머무르고 있다.

(3) 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	한국철도기술연구원 (초고속열차연구실)	○ 급전 및 섹션전환 등 장거리 노선을 고려한 LSM 기술 ○ 대심도 및 리니어 전철용 리니어 추진 기술
	한국기계연구원 (자기부상연구실)	○ 단품 선형추진 및 그 응용 기술 ○ 도시형 자기부상열차 실용화 ○ 초고속 자기부상열차 부상/추진 기술
	한양대학교 (에너지변환연구실)	○ 리니어모터 및 회전모터 등 각종 전기기기 연구 ○ 실모델 도시형 자기부상열차 추진시스템 시험기 보유 ○ 가전용에서 대용량 견인전동기까지 폭넓은 연구
국외	독일 Transrapid International (TRI)	○ EMS 상전도 자기부상, 선형추진 및 그 응용 기술 ○ 초고속 자기부상열차(Transrapid) 실용화 ○ 초고속 자기부상열차 시스템 제어 및 업그레이드 ○ TR09 개발 이후 세계적인 실용화 노선 발굴 및 기술 향상 ○ 시험 및 상용화가 완료 후, 추가적인 개선연구 진행
	일본 RTRI + JR 돗카이도	○ EDS 초전도 자기부상, 선형추진 및 그 응용 기술 ○ 초고속 자기부상열차(MLX) 실용화 ○ 초고속 자기부상열차의 경제성 향상 연구 ○ 실용화를 위한 건설 및 제작비저감 기술 연구 ○ 시험 완료 후, 상용화 목표로 기술의 완성도 향상 연구 ○ 추진 부상 코일의 새로운 개념 도입
	미국 General Atomics	○ 영구자석 반발식 중저속 자기부상, LSM 추진 및 그 응용 기술 ○ 화물운송용 중저속 자기부상열차 실용화 연구
	중국 중국과학원 (전기연구소)	○ 1958년에 설립되었으며, 'Maglev and Linear Drive Technology Research Center'를 설립하여 여러 시험장비를 구축하고 연구 중임 ○ 리니어 추진시스템 및 각종 부상방식 연구 중

다. 기술의 활용 및 파급효과

- 초고속・친환경 미래 신교통시스템 구축을 위한 기반 기술의 확보
- 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출
- 리니어 추진시스템 설계/제어 요소 기술 및 툴 확보
- 선진국 주도의 리니어 추진 시스템 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보
- 미래형 교통수단에 대한 일본, 독일, 미국 등 선진국과 강력한 후발주자인 중국의 기술선점 및 특허장벽에의 극복
- 국내 원천기술의 개발에 따른 국제표준화 기여 및 해외 시장의 선점
- 요소기술의 국산화는 향후 철도분야 및 타 산업분야에 다양하게 응용될 미래첨단기술개발의 발판이 됨
- 자동차 및 항공 생산 공정
- 대용량 항공기 추진시스템

- 물류운송 및 각종 생산 공장 자동화
- 대규모 플랜드 사업 등
- 산업 전반에 걸친 자동화에 리니어 모터의 활발한 응용을 위한 기반기술 확보
- 철도차량용 리니어 추진시스템 기술보유국이 되어, 철도차량업체, 신호업체, 토목 및 건설업체의 인력 고용 향상과 경기부양 효과 기대
- 국산화 개발을 통한 유지보수 비용 절감
- 독자적인 국가브랜드 및 이미지 구축으로 국가 대외 신인도 향상

2. 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발

가. 기술개발 필요성 및 중요성

초고속 자기부상열차는 LSM(선형동기전동기)로 구동됨으로 지상의 트랙에 설치되는 고정자 코일에 전류를 공급해야 하며 바로 이것이 LSM 구동 열차시스템의 급전시스템 역할이다. 독일의 Transrapid의 경우 고정자 코일에 공급되는 전력은 고정자 코일 섹션(대략 1.2km)마다 자기부상 열차가 고정자 코일 섹션에 있는 특정시간에만 공급되어야 하는데 이 특정시간의 제어는 트랙사이드에 설치되는 스위칭 스테이션에서 이루어지기 때문에, 초고속 자기부상철도의 경우 열차위치를 검지하여 안정적으로 섹션 전환이 이루어지도록 고정자 코일에 전력을 공급하는 장치는 필수적이다.

고정자 코일에 공급되는 전류는 그 전압 및 주파수가 시간에 따라 변화하며 이 제어는 변전소에 설치되는 추진전력 제어반에서 수행된다. 변전소에서 전력변환을 위한 추진전력장치개발, 변압기 등의 전력기기 개발이 필요하다. 초고속 자기부상철도 계통해석의 학문적 이론을 정립하고 운영기관/연구기관 상호 협력하에 꾸준한 시험 평가를 통해 적용 타당성 검토가 수행되어야 한다.

운영기관/연구기관 상호 협력 하에 설비 혹은 시스템의 개발, 문제점 해결 혹은 개선을 위한 시스템 차원의 심도 있는 계통 해석/개선 작업 수행이 필수적이기 때문에 급전시뮬레이터를 활용한 계통 해석연구가 필요하다.

나. 기술 개발 수준 및 동향 분석

(1) 국외 기술 동향

일본의 고속 자기부상 열차의 LSM 구동을 위해서, 차량 속에 대응한 주파수를 갖는 전류를 LSM에 공급할 수 있는 VVVF 전원을 사용하고 있다. Yamanashi 시험선에 있는 변전소에는 154 kV를 급전 받아, 변압기 및 전력변화장치를 거쳐서 0~55.6 Hz, 0~22 kV의 가변주파수 및 출력전압 제어를 실시하고 있다. 또한 세계에서 가장 큰 인버터를 사용하여 출력전류가 약 1kA에 달하고, 저속운전구간에서 입력 고조파 전류를 줄이고 역율 향상을 위해서 multi-bridge 컨버터를 사용하고 있다.

남북 선로에 3 개의 섹션에 전력을 공급하도록 되어 있고, 북쪽 선로는 최고속도 550 km/h, 남쪽 선로는 450km/h로 운행되고 있음. 급전 섹션의 스위치는 진공스위치를 사용하며, 백만 회 이상의 내구성을 갖도록 개발되었다.

<RTRI 전력변환장치 사양>

항 목	북쪽 라인	남쪽 라인
Converter		
- 정격	69 MW	33 MW
- 입력전압	66 kV	66 kV
- 입력주파수	50 Hz	50 Hz
- 출력전압	±3,450 Vdc	±2,625 Vdc
Inverter		
- 상수	3	3
- 정격	38 MVA	20 MVA
- 출력전압	0~12.7 kV	0~6.35 kV
- 변압기 출력전압	0~22 kV	0~11 kV
- 출력전류	0~960 A	0~1015 A
- 출력주파수	0~56.6 Hz	0~46.3 Hz
DC chopper		
- 정격	19 MW	4.09 MW
- 입력전압	±3.55 kV	±2.625 kV
- 초핑주파수	300 Hz	350 Hz
- 제어	PWM	PWM

현재 운용 중인 상하이 자기부상열차는 고정자 코일에 전류를 공급하기 위해서 섹션을 나누어 공급하고 있다. 이러한 섹션전환 방법으로는 step by step고 three step 방법이 적용되고 있다. 철도 선진국인 프랑스, 독일, 일본 등은 자국의 시스템 특성을 반영한 급전계통 해석 시뮬레이터(RailSim 등)를 보유하고 있으며, 정상상태 뿐 아니라 과도상태 해석을 위하여 실시간 시뮬레이터의 도입도 이루어지고 있다.

유럽의 경우 국가간 전기차의 연계운행을 위해 국가별로 각기 다른 급전시스템에 대하여 ESCARV(Electric System Compatibility for Advanced Rail Vehicle)를 중심으로 통합 모델을 구축하고 있다.

기관명	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
Transrapid (독일)	- 상전도체를 이용한 흡인식 자기부상열차 - 급전시스템 분야 특허 다수 보유	최고 설계속도 500km/h 현재 상하이 시범선의 최고 운행속도 430km/h 차량중량(승객포함)/수용능력/최대소비전력 247t/438명/13.6MW (TR-08 기준)	상대적 수준 100(%)
MLX (일본)	- 초전도체를 이용한 반발식 자기부상열차 - 급전시스템 분야 특허 다수 보유	최고 설계속도 550km/h 차량중량(승객포함)/수용능력/최대소비전력 120t/270명/34.6MW (MLX 01 기준)	상대적 수준 100(%)
Swissmetro (스위스)	- 튜브철도 방식의 초고속 전철	최고 설계속도 550km/h 차량중량(승객포함)/수용능력/최대소비전력 82.6t/200명/7.14MW (Variant 3 기준)	상대적 수준 100(%)
Siemens	- Transrapid 열차제어시스템	500km/h급 자기부상 열차제어시스템 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(100%)	상용운영 속도 :400km/h
Tele funken	- Transrapid 통신시스템	500km/h급 자기부상 열차제어시스템 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(100%)	상용운영 속도 :400km/h

(2) 국내 기술 동향

초고속 자기부상열차의 전기시스템은 학계에서 이론적 목적으로만 연구된 바가 있으나 그 개념적 이론정립에 그치고, 그 연구개발은 미흡한 수준이며, 초고속 전철시스템의 전력설비에 대한 사양 및 법령이 마련되어 있지 않다.

(3) 국내외 주요 연구 기관

기관명	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
한국기계연구원	▪ 상전도 흡인식 방식의 도시형 자기부상열차인 UTM 개발	급전 및 장계자를 고려하지 않은 단품 LSM 시험기 수준	
		세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(50%)	
현대로템(주)	▪ 중저속 자기부상열차 제작 기술	LIM기반 중저속형 자기부상열차 제작기술 보유	중저속형 자기부상열차
한국철도기술연구원	▪초고속 자기부상열차 개발을 위한 연구기획 ▪롱스테이터 급전관련 특허 및 보유기술 없음 ▪AC/ DC 시뮬레이션 관련 자체 해석 소프트웨어 보유	초고속자기부상열차개발을 위한 필수기술 분석 및 연구 기획	초고속 자기부상열차
		세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(70%)	

다. 기술의 활용 및 파급효과

- 국내 전기철도 급전시스템 설계 능력 향상
- 급전시뮬레이터 사용자 인터페이스 체계를 간편하고 편리하게 구성하여 기술이전 증대
- 급전시뮬레이터 국내 설계회사에 기술이전
- 자기부상 급전시스템 기술개발 관련하여 실용화 단계에서 기술 이전
- 급전시스템 설계 및 시뮬레이션을 국내에서 수행 가능하므로 수입 대체 효과 (10건 ×5,000만원 = 5억원 추정)

3. 가이드웨이 동적 안정성 해석기술

가. 필요성 및 중요성

일반철도의 경우, 고속철도에서 열차의 동적하중과 교량의 동적특성에 따라 공진이 발생할 수 있고 있는 주행안전성과 승객의 승차감에 큰 영향을 준다. 초고속 철도에서도 차량의 주행하중에 의해 가이드웨이의 동적 특성에 따른 구조물의 구조적 안전성, 차량 부상제 안정성 및 승차감 등이 반드시 검토되어야 한다. 자기부상 공극(air gap)은 특히 상전도 흡인식의 경우 10~20mm 내외에서 매우 정밀하게 유지되어야 하는데, 열차와 가이드웨이의 동적 안정성은 자기부상열차의 경우 열차와 가이드웨이 사이의 공극을 일정하게 유지하는 부상제어장치와 가이드웨이와의 동적 상호작용이 중요한 영향을 준다.

현재 국외에서 개발된 상전도 흡인식 자기부상열차의 경우도 명확한 동적 특성을 규명하지 못하고 있어서 설계의 불확실성이 커짐으로 인해 가이드웨이가 지나치게 보수적인 설계기준으로 건설되어 막대한 시공비의 증가를 가져오게 된다. 초고속 자기부상철도에서 목표로 하는 550km/h 이상의 속도는 지금까지 전혀 근접해보지 못한 속도대역이므로 이를 예측하기 위해서는 가이드웨이의 동적 특성을 정확히 규명해야 한다. 특히 가이드웨이의 글로벌 모드(global mode) 뿐 아니라 로컬모드(local mode)까지 정확한 분석이 이루어져야 한다.

나. 기술개발 수준 및 동향 분석

(1) 국외 기술 동향

자기부상열차 관련 기술은 세계적으로 자국 기술의 해외 유출을 방지하고 있는 핵심 첨단 기술이다. 일본의 경우 LIM 방식의 중저속 자기부상열차(Linimo)가 실용화되어 운행되고 있으며 40여년간의 현장시험과 수치해석을 바탕으로 안정적인 운영을 하고 있다. 독일의 경우 상전도 흡인식으로 500km/h 급의 고속 자기부상열차를 시험운행하고 있으며 같은 모델이 중국 상하이에서 실용화 된 바 있으며 아직 차량과 가이드웨이 상호작용 해석과 분석기술이 완벽하지 않아 가이드웨이의 선택시 많은 제약이 있다.

차량과 가이드웨이의 동특성 분석에 있어 시험선 운행을 통해 대부분 시험적으로 현상을 인식하고 있을 뿐 문제점의 원인파악과 경제적인 해결노력은 다소 부족한 편이다. 독일의 경우도 중국 상하이에 실용화 노선에 기술을 제공하기는 하였으나, 핵심기술의 해외이전은 거의 불가능한 것으로 판단된다.

(2) 국내 기술 동향

1980년대 초반 Lim 방식의 자기부상열차 개발사업이 시작되었다. 최근 도시형 자기부상열차 실용화 사업을 통해 중저속 자기부상철도의 궤도시스템 개발하였다. 도시형 자기부상열차 실용화 사업이 시작되기 전까지는 차량 분야에서 가이드웨이와의 상호작용을 연구하였으나 토목구조물이 가이드웨이에 대한 이해가 다소 부족하였다. 수치해석 기법은 진행방향과 수직방향의 2차원 해석에 그치고 있어 횡방향 안내를 위해 횡방향 변위를 함께 고려해야 하는 3차원 해석까지 확장이 필요한다.

차량과 구조물의 상호작용에 대해 심도있는 연구를 통해 보다 경제적이고 완화된 시공기준의 구조물 건설이 필요하다. 고속열차에서의 차량/교량 상호작용과 자기부상열차에서의 차량/가이드웨이 상호작용 해석의 필요성은 근본적으로 필요성이 다르다. 중저속 자기부상열차는 LIM 방식이고 초고속 자기부상철도의 자기부상열차는 LSM 방식으로 급전 추진 방식에 차이가 있다. 중저속은 최고속도 110km/h이고 초고속 자기부상철도의 자기부상열차는 최고속도 550km/h를 목표로 하고 있어 주행안전성에 영향을 미치는 물리적 요소의 정밀도는 차원이 전혀 다르다.

(3) 국내외 주요 연구 기관

구분	연구기관	주요 연구 내용 및 성과
국내	한국기계연구원	○ 중저속 자기부상열차 개발 ○ Lim 방식 중저속 자기부상열차와 가이드웨이의 초기 단계 상호작용 해석
	한국철도기술연구원	○ 가이드웨이의 동적변위를 고려한 자기부상열차 가이드웨이 상호작용 해석 ○ 중저속 자기부상열차 궤도 시스템 개발
국외	일본철도총합연구소 (RTRI)	○ 중저속 자기부상열차 세계최초 상용화 ○ 초전도 반발식 자기부상열차 시험 운행중
	독일 Transrapid	○ 상전도 흡인식 초고속 자기부상열차 실용화 ○ 시험선에서의 차량의 부상안전성에 대한 수십년의 경험 ○ 현장적용에 대한 차량/가이드웨이 간섭 문제 일부문제 경험적 해결

다. 기술의 활용 및 파급효과

- 초고속 자기부상열차 가이드웨이의 요구조건 및 설계기준 정립에 활용되어 가이드웨이 경제성 제고에 기여할 것으로 기대됨(과다 설계에 따른 시공비 증가를 억제함으로써 건설비 대비 약 20% 절감 가능(추정치))
- LIM 방식의 자기부상철도를 비롯한 유사 신형식 미래철도에 활용될 수 있음

제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석(시장창출, 고용창출 등)

1. 경제성 효과분석

가. 분석의 전제

본 연구인 초고속 자기부상철도에 관한 시스템 기술개발 및 단거리 시험선 구축으로 인해 도출되는 최종결과는 상업용으로 실용화가 가능한 초고속 자기부상철도 시스템이 아니고 실용화 시스템을 만들기 위한 기초기술 확보와 모형개발이다. 즉, 차량의 실용화가 아닌 차량, 기반시설 등을 모두 포함하는 새로운 철도시스템 개발을 위한 원천기술 확보이다. 따라서, 경제성 분석 기간은 통상 철도관련 사업이 30년을 가정하는데 반해 본 연구와 같은 철도관련 신기술 개발이란 관점에서 특허기간 등을 고려하여 20년을 보고 있으나 본 연구에서는 보다 보수적인 방법을 적용하여 개발 후 10년 동안만을 고려하였다. 사회적 할인율은 “도로 및 철도 사업 예비타당성조사 지침 5판(KDI, 2008)에 따라 5.5%을 사용하였다.

나. 편익의 산출

연구개발사업의 편익은 사업의 성격과 내용에 따라 매우 다양하므로 편익항목을 정하는 것도 항상 논란의 대상이 되고 편익항목으로 정하더라도 계량화가 가능해야 경제성분석에 반영할 수 있다. 일반적으로 실용화를 목적으로 개발된 철도차량의 편익은 경제적 타당성 분석시 차량의 시장점유를 고려한 매출예상액을 산출하고 이에 따른 순부가가치를 편익으로 간주하여 분석하였다. 그러나, 본 과업은 실용화된 차량개발이 목표가 아니라 새로운 철도시스템의 기초기술 확보가 최종목표가 되므로 매출예상액을 고려하는 것은 적절치 않다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 관련기술의 개발로 인한 각 산업적 파급효과를 대상으로 하되 계량화가 가능한 항목을 편익으로 간주하여 분석하였다.

초고속 자기부상철도 기술은 최첨단의 복합기술로서 산업적 파급효과는 앞 절에서 언급한 바와 같이 종합적인 설계 능력, 물류이송시스템 분야, 자동차 및 첨단부품분야 등 폭넓은 파급효과가 있을 것으로 예상된다. 많은 분야에 파급효과가 있을 것으로 예상되지만 직접적으로 계량화되지 않거나 중복성이 있는 것은 제외하고 반영할 필요가 있다. 따라서 편익의 계량화는 원천기술의 파급효과가 있을 것으로 예상되는 분야의 시장성을 분석하고 본 연구개발로 인한 시장점유율을 가정하여 도출된 순부가가치를 기준으로 하였다. 여기서 논쟁이 되는 것은 기술개발로 인한 시장점유율을 산정하는 것인데 연구개발에 의한 산업파급효과분야와 시장점유율을 구하는 것은 매우 불확실하므로 본 연구에서는 보수적인 수치로 가정하여 산출하였다. 대형국가연구개발 실용화사업의 철도관련 부문에 부가가치비율은 2005년 5월 대형국가연구개발 실용화사업 예비타당성 조사결과 보완회의에서 철도관련 부가가치를 한국과학정책연구원의 제안에 따라 40%로 결정했음을 고려하여 0.4로 적용하였다.

[표 4.3.1] 원천기술 개발로 인한 편익

구분	관련분야 세계시장	국내시장	기술개발로 인한점유율2)	기술개발로 인한 점유	부가가치3)
클린 무빙시스템(수평용)	100억달러	20억달러	1.0%	2천만달러	93억원
클린 리프트(수직용)	2,000억원	400억원	1.0%	4억원	1.6억원

주) 1. 국내시장을 0.1%로 가정
2. 보수적인 수치로 가정
3. 부가가치 비율을 0.4로 적용
4. 초고속 튜브 트레인 자료 참조

다. 경제성 분석결과

경제성 분석결과, 기술개발로 인한 시장 점유 규모를 1%로만 가정하여도 비용편익비(B/C)는 1.25로 초고속 자기부상철도 시스템 기초기술 개발로 인한 경제적 타당성은 확보되는 것으로 분석된다.

[표 4.3.2] 경제성 분석 결과

구분	B/C	NPV	IRR
시장점유 1%가정시	1.25	21,887백만원	9.03%

제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

1. 국가기간교통망계획 및 국가철도망계획구축에 부합

▪ 본 연구개발 사업은 6대 추진 전략 중 “네트워크형 인프라의 구축전략”에 부합

▪ 국가기간 교통망 및 철도망 구축계획의 세부내용은 개방 및 다핵연계형 국토구조 형성을 위한 종합기간 교통망 구축, 합리적인 수송분담과 연계를 통한 통합교통체계 구축, 반일생활권의 국가기간교통망 구축, 자립형 지역발전 지원을 위한 교통체계를 구축 등이 있음

▪ 이들 중 초고속 신교통은 전국 반일 생활권의 국가기간교통망 구축에 부합함

2. 전국토의 대도시 이동 속도를 대폭 향상시킨 초고속화 된 철도망 달성 가능

▪ 전국을 X자형으로 연결하는 초고속 국가철도망을 구축

▪ 수송수요가 높은 구간에 대해 기존선을 초고속화 추진

3. 교통체계 효율화법과의 연관성

▪ 교통체계효율화법은 크게 국가교통시설투자 효율화, 교통체계 지능화, 교통기술의 진흥, 국가교통위원회 설립 및 운영에 관한 사항으로 이루어 짐

▪ 최근 일본의 초고속 자기부상열차가 600km/h를 돌파하는 등 초고속 철도의 속도영역이 확장되어지는 만큼 국가기간교통망 계획에 초고속열차에 대한 내용이 포함될 필요가 있음

▪ 국가기간교통망 계획 제19조 2항에는 국가교통기술개발계획을 수립하도록 명시하고 있고 제21조3항에는 신교통기술의 지정과 활용에 대해 설명하고 있으며 제21조4항에는 신교통기술의 시범사업 계획에 대한 근거를 제시하고 있으므로 이러한 법 조항을 기초로 초고속열차시스템의 신교통 기술화가 필요함

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과 향후 활용방안

Test-bed 활용과 관련하여 150m 단선을 연장하여 활용하는 방안과 대학이나 관련 기관의 교육용, 전시용으로 활용하는 방안이 있으며, 차량 위치검지시스템의 현차 시험선로로 오송선을 활용할 계획이다. 또한, 초고속 자기부상철도에 관한 사업을 새롭게 시작될 때, 그에 관한 연구를 진행할 예정이다.

LSM 추진시스템 기술개발한 내용을 LSM 익스트림 롤러코스트, 친환경 LSM 레저 운송시스템 등에 적용할 수 있다. 또한, OLED TV, 반도체 공정 중 기존의 접촉식 롤러 이송장비를 자기부상식으로 대체하는 데 활용 가능하다.

위치검지시스템의 경우, 청정환경 및 고정밀의 위치결정도가 요구되는 최첨단 반도체 이송장치에 활용 가능하며, 급가감속 및 고정도가 요구되는 실내환경의 고속 화물 이송시스템에 적용 가능하다. 빌딩내의 엘리베이터에 자기부상 기술을 이용하기 위한 연구도 활발히 진행 중이다. 이 분야에도 본 과제를 통해 얻은 성과들을 적용할 수 있다.

특히, SCADA 시스템은 철도차량 운영기관에 실제로 개발된 시스템을 적용하여 사업화가 가능할 것으로 여겨진다. 위에서 언급한 내용을 보다 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

1. 지상 1차 LSM 추진시스템 기술분야

(1) 장기적으로 초고속 자기부상철도 실용화 시스템 개발을 위한 시스템 엔지니어링 체계를 구축하고, 개발된 기술과 시험노선은 향후 2단계에서 추진할 실용화 시스템 개발의 기반 인프라로 활용함

(2) 초고속 자기부상철도의 Long Stator LSM용 추진시스템 개발시 설계기술 자료로 활용

(3) 550km/h 초고속열차의 실용화 기술개발에 적용

(4) 부상공극 증대를 통한 고효율/저비용 중저속 자기부상열차 활용

(5) 선형동기모터 기술의 반도체 공정라인 이송장치에 활용

(6) 고속열차의 대용량 추진인버터로 2단 인버터 기술 적용

(7) 지하 화물운송시스템의 추진시스템 기술로 활용

(8) 공장내 물류운송시스템 이송장치에 적용

(9) 그외 차량 위치검지기술, 열차의 비접촉 제동기술, 고신뢰성의 전력감시시스템 기술 등 부품 기술에 대하여 산업계에 기술이전 및 활용 가능

2. 전력시스템 기술분야

(1) 국가의 차세대 고속철 전력설비 설계에 활용

(2) 에너지 세이버장치의 타 철도전력설비에 활용

(3) 도서지역의 전력시스템 모니터링시에 적용

(4) 전력설비 분야에서 요소기기의 기술향상이 가능하며 국산화 기반 기술의 습득이 예상되고, 첨단기술분야인 자동화 원격제어기술 등 전력설비 관련 발전의 파급효과가 전망됨

3. 기타 산업분야

(1) 산악철도의 급구배구간 및 놀이시설의 LSM 추진시스템에 활용

(2) 반도체 공정의 LSM 반송장치에 적용

(3) 고부가가치의 중전기 개발 기술습득으로 인한 중전기 업계의 기술수준 제고

제2절 추가연구 필요성 등

본 연구에서는 추진시스템에 초점을 두고 연구가 수행되었기 때문에, 궤도, 통신 등 타 분야에 대한 깊이 있는 연구가 진행되지 못한 아쉬운 점이 있다. 따라서 궤도, 구조물 등의 동적해석과 신호제어 기술개발 등에 추가 연구가 필요하다. 초고속 자기부상 차량이 안정적으로 운행할 수 있기 위해서는 추진, 부상 뿐만 아니라 신호, 통신, 토목 등 다양한 분야의 연구개발이 필수적으로 이루어져야 하기 때문이다.

또한, 본 연구에서 초고속 자기부상철도 시스템을 개발하면서 많은 문제들을 해결해왔는데, 이를 바탕으로 한층 업그레이드된 시스템을 설계, 제작할 필요성이 있다. 외국기술의 도입 없이 처음으로 실규모로 제작된 시스템이기 때문에, 시스템을 개발하면서 많은 난관에 부딪힐 수 밖에 없었다. 그리고, 그 난관을 돌파하면서 연구진들이 쌓은 노하우를 바탕으로 보다 신뢰성과 안정성을 갖는 장치들을 개발하기 위해 노력해야 한다.

요약하여 정리하면, 현재 개발되어 있는 시스템을 더욱 발전시켜 국내 고유의 초고속 자기부상철도 시스템을 개발해야 한다. 특히, 부상공극을 높여 가이드웨이 건설 비용을 절감하기 위한 연구가 반드시 필요하다고 판단된다.