

16RTRP-
B070556

도시형자기부상철도 운영안정화 및 최적화 최종보고서

2017

국토교통과학기술진흥원
국토교통연구부

Ministry of Land, Infrastructure and Transport
R&D Report

보안 과제(), 일반 과제() / 공개(), 비공개()
철도기술연구사업 최종 보고서

R&D /
16RTRP-B070556

도시형자기부상철도 운영안정화 및 최적화 최종보고서

2017. 7. .

주관연구기관 / 한국기계연구원
공동연구기관 / (주)진합
위탁연구기관 / (주)유엠로직스
위탁연구기관 / 충남대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘도시형자기부상철도 운영안정화 및 최적화’ (연구개발 기간 : 2013.12.27 ~ 2017.07.26) 과제의
최종보고서 12부를 제출합니다.

2017 . 7. .

주관연구기관명 :	한국기계연구원	(대표자) 박 천 흥	(인)
공동연구기관명 :	(주)진합	(대표자) 이 원 준	(인)
참여기관명 :		(대표자)	(인)

주관연구기관책임자:	신 병 천	(인)
협동연구기관책임자:	박 민 흥	(인)
참여기관책임자:		(인)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.
--

보고서 요약서

과제 고유 번호	16RTRP-B07055 6-04	해당 단계 연구 기간	3년4개월	단계구분	-
연구사업명	중사업명	철도기술연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	도시형자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술개발			
	세부과제명	도시형자기부상철도 운영안정화 및 최적화			
연구책임자	신 병 천	해당단계 참여 연구원 수	총: 8명 내부: 8명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:1,376,000천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계: 1,376,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 62명 내부: 62명 외부: 명	총 연구개발 비	정부: 5,071,000천원 기업: 1,869,180천원 정부 외: 천원 계: 6,940,180천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국기계연구원/자기부상연구실			참여기업명 : (주) 진합	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:(주)유엠로직스, 충남대학교			연구책임자: 남기효, 노명규	
● 도시형자기부상철도시스템의 경쟁력을 강화하고 국내외 시장 진출을 위하여 인천공항 자기부상철도 시스템 개선 및 운영·유지보수 관련 연구로 다음의 연구내용 포함함 - 연구단 인터페이스 관리 - 시범노선 운영자 인터페이스 관리(차량 및 시설) - 실용화사업에서 제시된 RAM 목표 달성도 점검 - 도시형자기부상철도 운영/유지보수 체계 개선 및 시범노선 운영데이터 기반 유지보수 기준개발(최적 운영비 산정) - 차량탑재 실시간 선로점검 및 궤도 선형관리시스템 개발 - 기술사업화(국내외 시장개척)를 위한 기술지원 및 실용화 확산 - 도시형 자기부상열차 승강장 안전발판 시스템 개발 및 현장 시험 설치				보고서 면수: 139쪽	

<국문요약문>

연구의 목적 및 내용	(연구목적)도시형자기부상철도시스템의 경쟁력을 강화하고 국내외 시장진출을 위하여 시스템 개선 및 운영·유지보수 관련 연구개발 - 연구단 인터페이스 관리(연구단 협약 및 총괄관리, 과제간 인터페이스 관리) - 시범노선 운영자 인터페이스 관리(차량 및 시설 운영/유지보수 기술지원) - 실용화사업에서 제시된 RAM 목표 달성도 점검 - 도시형자기부상철도 운영/유지보수 체계 개선 및 시범노선 운영데이터 기반 유지보수 기준개발(최적 운영비 산정) - 차량탐재 실시간 선로점검 및 궤도 선형관리시스템 개발 - 기술사업화(국내외 시장진출)를 위한 기술지원 및 실용화확산 - 도시형 자기부상열차 승강장 안전발판 시스템 개발 및 현장 시험 설치				
연구개발성과	- 도시형자기부상철도 시스템의 종합 엔지니어링 기술(차량, 선로 및 시설물 등 H/W 기술과 운영 및 유지보수 등 S/W적 기술을 개발하여 시스템 경쟁력 향상 도모				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- 인천공항 시범노선 적용 ■ 자기부상철도 시스템 운영안정화 및 유지보수 체계개선 - 국내외 신규 자기부상열차에 기술적용 ■ 시범노선 안정화 기술지원을 통해 축적된 기술데이터는 향후 타 노선 건설 및 운영에 활용 ■ 우수한 성능 및 비용절감으로 경쟁력 향상 - 운영기관 기술지원을 통해 시범노선 운영 초기 단계부터 안정적인 운영/유지보수로 국내 자기부상철도에 대한 브랜드 가치 향상 - 시스템 가용성 98% 이상 확보를 통해 자기부상철도 시스템의 경쟁력 확인				
핵심어 (5개 이내)	자기부상철도	RAM	운영안정화	궤도선형관리 시스템	유지관리

< SUMMARY >

Purpose & Contents	- (purpose) The improvement of Incheon Maglev system and the development of operation and maintenance technologies to enhance the competitiveness and support the more commercialization of maglev - Interface management between sub-projects - Interface management among vehicle and other facilities and - Check the Service availability to meet the target(98% in commercial operation) - Enhancement of operation/maintenance system and the development of standard for maintenance based on the Incheon maglev operation data(thus, calculation of optimum operation cost) - The development of on-board rail management system - To support for more commercialization - The development of new and more safe gap support in platform				
Results	- Total system engineering technologies of urban maglev through the improvement of Incheon Maglev system and the development of operation and maintenance technologies to enhance the competitiveness and support the more commercialization of maglev				
Expected Contribution	- To apply the developend relevant tech. for the better operation of Incheon Maglev - To apply for newly developed urban maglev lines domestically or overseas - To strengthen the competitiveness of urban maglev in terms of operation cost as well as construction cost - To conform the usefulness of maglev in urban transit with the varification of Service availability more than 98%				
Keywords	Urban Magelv	RAM	Operation stability	on-board rail maintenance system	maintenance

< contents >

1. Outline of Research and Development Project	1
2. Status of domestic and overseas technology development	2
3. Research performance and achievements	13
4. Achievement of goals and contribution to related fields	137
5. Use of Research and Development and Planning	138
6. Overseas science and technology information collected during the research process ..	138
7. research and development achievements of security clearance	138
8. Research facilities and equipment registered in the National Science and Technology Comprehensive Information System	138
9. research and development laboratory, including safety measures are implemented in accordance with the performance of the tasks performed	138
10. The representative research results of research and development projects	139
11. Others	139
12. References	139

< 목 차 >

1. 연구개발의 개요	1
2. 국내외 기술개발 현황	2
3. 연구수행 내용 및 성과	13
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	137
5. 연구개발 성과의 활용계획	138
6. 연구과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	138
7. 연구개발성과의 보안등급	138
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	138
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	138
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적	139
11. 기타사항	139
12. 참고문헌	139

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

- 가. 성공적인 시범노선 영업운전 실시
- 나. 차량탑재 실시간 선로 점검 및 궤도 선형관리 시스템 개발
- 다. 성과 확산

2. 연구개발의 필요성

- 가. 대형 사업단 과제로 추진된 「도시형자기부상열차실용화사업」* 완료 후 연구개발 성과의 활용·확산 촉진을 위한 성능개선 필요

*(연구기간) `06. 12. 21 ~ `13. 8. 20

*(연구비) 4,149억원(정부 2,880/민간 283/유치기관 986억원)

- (1) 도시형자기부상열차의 주요 구성품(추진/제동/부상/급전) 성능향상 및 준고속형 자기부상열차 핵심기술(추진/제동/부상/안내) 개발 필요
- (2) 도시형자기부상철도시스템의 경쟁력 향상을 위해 구조물(거더, 궤도시스템, 분기기 경량화 등) 개선 필요

- 나. 도시형자기부상철도시스템에 대한 운영안정화, 유지보수체계 구축 및 운영단계 RAMS* 관리 시스템 개발 필요

* 유럽규격 EN50126에서는 계획, 건설, 운영 단계별 RAMS 활동을 구분하고 있음

- (1) 시범노선 개통 전·후 운영 안정화 기술지원
- (2) 국내외 도시형자기부상철도시스템 상용화 및 기술이전 시 차량, 시설물 등 H/W 이외에 운영 및 유지관리 등 S/W에 대한 기술도 요구됨
- (3) RAMS 목표달성을 통해 운행 및 운영의 신뢰도 입증(해외 시장진출 시 필수 요구항목임)

- 다. 철도 차량 및 용품 형식승인 체계로 철도안전법이 개정됨에 따라 형식승인 기술기준 및 시험규격의 개발이 필요

- 라. 교통약자 승객의 안전을 위한 승강장과 전동차 사이 공간에 설치되는 승강장 안전발판장치를 개발하고 개발된 제품의 사전 안전성 검증 연구 필요

3. 연구개발 범위

- 가. 연구단 인터페이스 관리
- 나. 시범노선 운영자 인터페이스 관리
- 다. RAM 목표 달성
- 라. 시범노선 운영 안정화 기술지원
- 마. 도시형자기부상철도 운영/유지보수 체계 개선
- 바. 차량탑재 실시간 선로점검 및 궤도 선형관리시스템 개발
- 사. 실용화사업 성과확산을 위한 기술지원 및 국내외 시장개척
- 아. 승강장 안전발판 시스템 개발 및 현장 시험 설치

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 각국의 기술개발 및 운용현황

자기부상열차를 개발하고 있거나 개발하여 활용하고 있는 국가들의 현황은 다음 표와 같다.

구 분	독 일	일 본		미 국	중 국	한 국
적용속도	초고속형 430km/h	초고속형 500km/h	중저속형 100km/h	중저속형 100km/h	중저속형 110km/h	중저속형 110km/h
개발개시	1960년말	1960년말	1974	1999	1990년도중	1989
모 델 명	Transrapid	MLX	HSST	M ³		ECOBEE
적용기술	상전도 흡인식	초전도 반발식	상전도 흡인식	영구 자석식	상전도 흡인식	상전도 흡인식
현 황	상용화완료 (중국 상하이 30km '04.1월 개통)	제2 신간선 건설중	상용화 완료 (나고야 9km '05.3월 개통)	연구중단	상용화완료 (창사시, 18k.5m '16. 5.개통)	상용화완료 (인천공항 6.1km '16.2.개통)

		
한국 중저속형 (ECOBEE)	일본 중저속형(LINIMO) * 일본 나고야 노선에 투입	일본 고속형(MLX)
		
독일 고속형(Transrapid) *중국 상하이노선에 투입	중국 중저속형 *중국 창사시 공항노선에 투입	미국 중저속형(개발중)

< 각국의 자기부상열차 개발 모델 >

2. 자기부상열차 상용화 현황(외국)

가. 일본 중저속 자기부상열차(리니모)

- '05.3 나고야에 도시형자기부상열차 상용화노선 개통
(후지가오카 ~ 야쿠사초간 8.9km구간(지하 1km 포함), 시속 100km로 운행)
- 현재 10분 간격으로 영업운행 중임



<운행중인 리니모>



<일본 나고야 리니모 노선도>

나. 중국 초고속 자기부상열차

- '04.1 독일기술로 상하이에 초고속자기부상열차 개통
(푸둥공항 ~ 상하이간 30km 구간, 시속 430km로 운행)
- 현재 영업운행중
- 상하이-항조우(약 200km) 연장 추진하였으나, 현재 답보상태임.



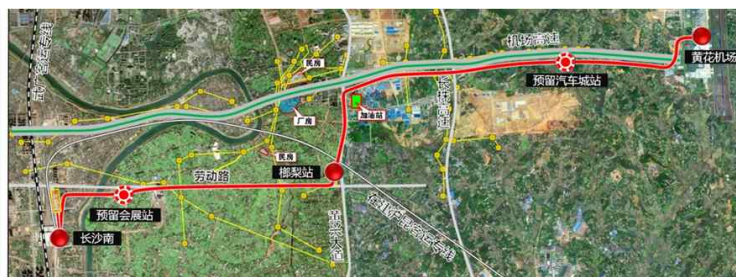
<운행중인 독일 Transrapid-08 차량>



<중국 상하이-푸둥공항 노선도>

다. 중국 중저속 자기부상열차

- 창사시에 도시형자기부상열차 노선 영업운행 및 북경시에 건설중
- 창사시(후난성 주도) 황하공항-장사 남역(고속철도) 연결 노선



<중국 창사 자기부상열차 노선도>

- * 노선길이 : 18.5 km
- * 역사 : 3개 역사
- * 완공 : '15년 하반기
- * 개통 : '16년 5월 개통
(유인운전
개통)



- 북경 서쪽 근교 Mentougou 지역에 자기부상열차 노선(S1 노선)

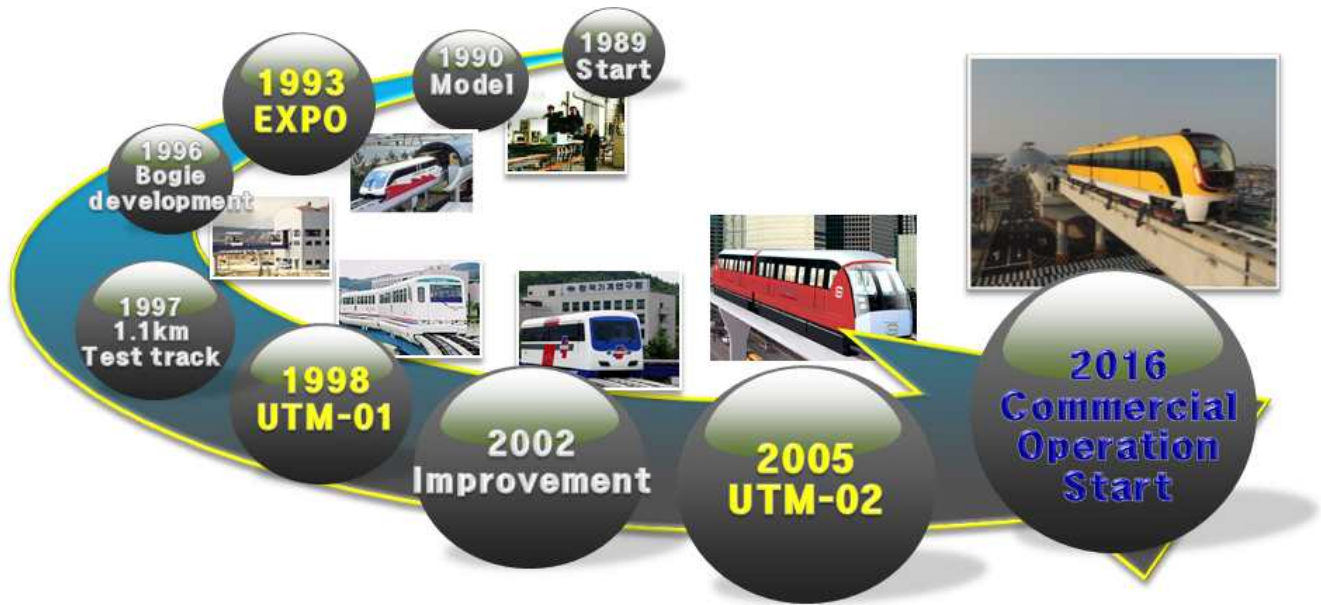


<북경 자기부상열차 노선도(S1)>

- * 노선길이 : 10.236 km (북경 Mentougou)
- 역사 : 8개 역사 (환승역 포함)
- 건설비 : 4억위안/km (720억원/km)
- 완공 : '17년 상반기 예정
- 개통 : '17년 하반기 예정

★ 그 외 중국내 10여개 지역에서 도시형자기부상철도 건설사업 추진중

3. 한국의 기술개발 역사(도시형 자기부상열차)



- 과기부 특정연구개발사업 : 도시형 자기부상열차(UTM-01) 개발
 - 기간 : '89 ~ '99 총10년
 - '97년 : UTM-01(Urban Transit Maglev) 제1차량 개발
 - '98년 : UTM-01(Urban Transit Maglev) 제2차량 개발 및 연계시험
- 도시형 자기부상열차 시험선로 건설
 - '96년 1단계 1.1km 건설 완료 * 한국기계연구원 내
 - '02년 2단계 0.2km 증설 완료 : 70km/h 까지 주행시험
- 산업자원부 지원 실용화모델(UTM-02) 개발사업 실시
 - UTM 실용화 모델 개발, 국내 적용 및 수출산업화를 목표
 - 2003.10.부터 5년간, 1단계 3년
 - 대전 엑스포과학공원 내 560m구간을 국립중앙과학관까지 총1km로 연장/운행
- 국토해양부 도시형자기부상열차 실용화 사업 추진
 - 기간 및 예산 : '06 ~ '13 총 7년
 - 인천공항내 6.1km 시범노선 건설

※ 2016년 2월 3일 인천공항에서 세계 2번째로 도시형자기부상열차 영업운행

4. 국외 자기부상열차 기술현황

가. 독일

- 독일은 1969년 HSR연구소에서 고속철도 시스템에 대한 개발에 대한 투자를 시작으로 자기부상열차에 대한 연구개발이 시작되었고, 1969년부터는 Transrapid(TR)의 자기부상열차의 개발이 시작되었다. 1987년에는 TVE 시험선(31.5km)을 건설, 개통하였으며 여기서 시험된 TR08(상전도 흡입, 초고속형)은 최고 운행속도 430km/h로 2003년 중국의 상하이-푸둥국제공항 31km 구간에 상용화되었다.

- 중국에서의 상용화는 고속 자기부상열차의 장거리 교통수단 및 지역내 교통시스템으로서 자기부상열차의 활용가능성을 입증하였다. 상해 국내선 공항까지의 연장선 및 항주까지의 연장계획도 구체적으로 제시되고 검토되었으나, 중국 철도차량제작사가 선진 고속열차기술을 성공적으로 도입하여 자체적으로 시속 300km급까지의 고속열차를 개발하면서 고속 자기부상열차를 향한 관심이 식어버렸다.
- 상해 Transrapid의 개량형인 TR09도 개발하여 TVE 시험선에서 각종 시험도 수행하면서 댜헨 공항노선 및 북미시장에도 진출하려고 많은 노력을 기울였지만, 결국 아무런 성과를 올리지 못하고 담당회사 Transrapid International이 해체되었으며, TVE 시험선의 운영도 2011년 12월에 종료되었다.
- 따라서 Transrapid에 대한 마케팅과 연구개발은 추진동력을 상실한 것으로 판단된다. 향후 상해 Transrapid를 포함한 독일식 초고속 자기부상열차에 대한 연구개발의 주도권은 중국으로 넘어간 것으로 판단된다.



<상해 Transrapid>

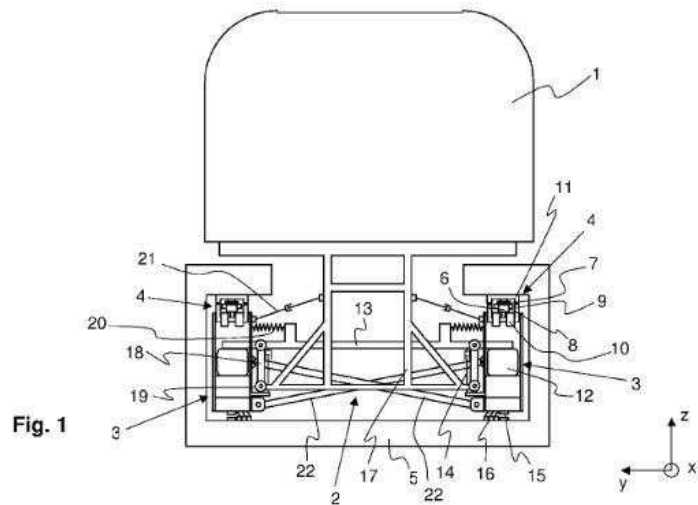


<Transrapid-09>

- 최근에 독일의 Boegl사에서 새로운 형태의 중저속 자기부상열차를 개발하여 시험중인 것으로 알려졌다. Boegl사에서는 이에 대한 상세한 정보를 아직은 공개하지 않고 있다. 이의 기술적인 형태는 2012년 특허에서 보이는 바와 같이 추진 및 부상시스템이 가이드웨이의 내부에 위치하는 형태로 추정된다. 아래 사진은 새로 개발된 자기부상열차 차량 및 시험선 사진들이다. 상업운전을 수행할 정도의 완성도는 아닌 것으로 보이며, 상당기간의 개발시간이 소요될 것으로 판단된다.

(54) Title: VEHICLE FOR A MAGNETIC LEVITATION TRACK

(54) Bezeichnung : FAHRZEUG EINER MAGNETSCHWEBEBAHN



(57) Abstract: The present invention relates to a vehicle for a magnetic levitation track having a coach body (1) and a propulsion and supporting device (4) as well as at least one levitation frame (2) fastened on the coach body (1) and the propulsion and supporting device (4). The levitation frame (2) can be deflected transversely to the longitudinal axis of the propulsion and supporting device (4) and a spring suspension system (12, 14, 20, 21) is arranged between the levitation frame (2) and propulsion and supporting device (4). The levitation frame (2) has a traverse (13) and a carrier (17) which are connected to each other in an articulated fashion.



나. 일본

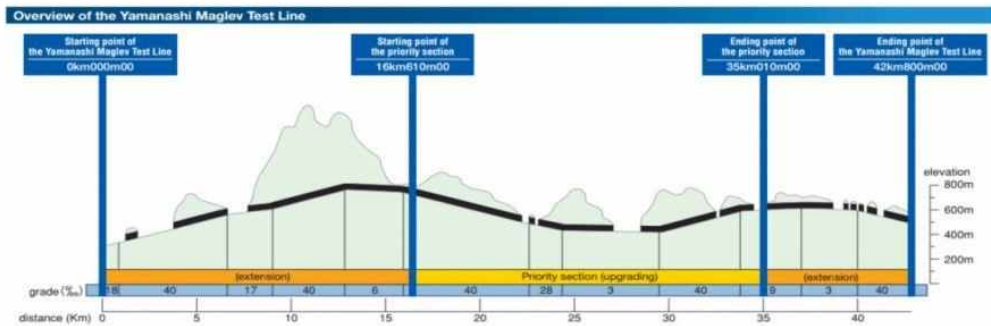
- 일본은 상전도 흡인식 방식의 도시형 자기부상열차를 2005년 4월 Aichi EXP0에 맞추어 애지현 국제박람회장~나고야 후지카오카 전철역을 연결하는 8.9km 구간에 적용하여 세계 최초로 LIM 방식 자기부상열차(Linimo)의 상용화 운영을 시작했다.
- 한편 이와 함께 일본은 초전도 반발식(EDS)의 자기부상열차를 개발중이며 2015년에 603km/h의 최고 속도 기록을 갱신한 바 있다. 2045년까지 도쿄와 나고야 및 오사카를 연결하는 추오신칸센 라인의 건설이 2014년부터 진행중이다. JR Central사는 도쿄와 나고야 구간을 2027년에 개통시킬 목표로 공사를 진행하고 있다.
- 추오신칸센 건설의 필요성의 하나는 일본 경제의 대동맥인 도쿄, 나고야 및 오사카를 연결

하는 도카이도 신칸센 노선이 운영된 지가 이미 50년을 넘어 노후화 되고 있고, 지진 등 자연재해가 빈발하는 일본의 입장에서는 만일의 사태에 일본 경제의 대동맥이 마비되는 상황을 막기 위해 별도의 노선이 필요하다는 것이다.

- 따라서 현재 도카이도 신칸센 노선은 해안을 따라 건설되어 있으나 추오신칸센은 도쿄, 나고야 및 오사카를 최단거리로 연결하는 내륙지방에 별도로 건설되고 있다. 추오신칸센 노선은 아래 그림의 실선과 같으며 이의 86%는 터널로 예상된다. 총 공사비는 5조5천억엔 (일부에서는 9조엔으로 추정)으로 추정된다.



- 일본의 초전도 고속자기부상열차 개발은 1962년에 착수되었고, 1977년에 미야자키현 시험선에서 주행시험을 시작하였다. 1977년에는 야마나시현에 18.4km의 시험선을 건설하여 주행시험을 시작하였다. 야마나시 시험선은 2013년에 42.8km로 연장되었으며, 이는 건설되고 있는 추오신칸센의 일부 구간으로 이용될 것이다. 현재 시험중인 차량은 영업운전 사양을 적용한 28m 길이의 L0 차량이며, 이 L0차량은 주행중 공기저항을 최소화하기 위해 전두부의 길이가 15m에 이른다. 이미 실질적인 기술은 확립되었으나 승차감 향상 및 유지보수성 향상 등을 위한 기술개발은 계속 진행되고 있다.



다. 중국

- 중국은 '90년대 초반부터 남서자오통대학, 중국철도대학, 중국국방대학 등을 주축으로 하는 3개 그룹에서 각기 독자적으로 일본 HSST 도시형 자기부상열차를 벤치마킹하여 도시형 자기부상열차를 개발해 왔으며, 그 외 다른 연구조직에서 초전도체를 이용하여 자기부상열차 부상시험을 하는 등 자체 기술개발에 많은 노력을 기울여 왔다.
- 상기 3개의 도시형 자기부상열차 연구개발 그룹은 독자적인 개발을 위해 별도의 시험선을 건설하여 도시형 자기부상열차를 개발하고 있으며, 이들 시험선은 각각 당산, 소주, 상해에 위치하고 있다.

<중국 도시형 자기부상열차 시험선 현황>

구분	당산 시험선	소주 시험선	상해 시험선
궤간	2,000mm	1,860mm	1,900mm
시험선 길이	1.5km	1.5km	1.7km
최소 곡선	R50m	R50m	R50m
최대 구배	7%	7%	7%
시험선 사진			
적용노선	북경 S1노선 예정	창사 공항선	미정

- 이들 연구개발 결과 실용화의 첫 번째 적용은 후난성 창사시 창사공항 - 창사중앙역 노선이다. 창사의 자기부상열차 노선의 길이는 18.55km이고, 열차의 설계최고속도는 120km/h이고 운영 최고속도는 100km/h라고 알려져 있으며, 2014년에 건설이 시작되었고, 2016년 5월에 개통하였다.

◦ 창사노선 개요

- 장소 : 중국 후난성(湖南省) 창사시(長沙市)
- 개통일시 : '16년 5월 6일 09시
- 노선길이 : 18.55km (전구간 고가방식)
- 역 이름 : 고속철도역(高鐵站 Changshanan station)~랑리역(榔梨站 Langli station)~공항역(機場站 Huanghua Airport station) 등 3개역이며, 향후 2개역을 추가설치할 예정
- 운영시간 : 09시 ~ 18시 (운영시격 : 24분30초)
- 편도운행 소요시간(고속철도역~공항역) : 19분30초
 - 1년간의 시운영(試運營) 후 수요에 따라 운영시간 연장 예정

◦ 특기사항

- 세계 최장 길이의 도시형 자기부상열차라고 선전하고 있음
- 해외진출을 염두에 두고 EPC 건설방식 채택
 - 향후 해외시장에서 우리나라 EcoBee와 치열한 경쟁 예상됨

◦ 노선 건설비

- 사업 착공시기 : '14년 5월
- 추정 총사업비 : 46억 위안(\$7.49억, 2.48억 위안/km), 446억원/km (환율 1 위안 = 180 원)
 - * 중국 1km당 건설비 : 지하철 5~8억 위안, 경전철 2~3억 위안
- 중국에서 처음으로 EPC방식으로 진행된 궤도교통사업
 - EPC(Engineering, Procurement, Construction) : 설계 및 자금조달, 시공까지의 전과정을 수주하는 우리나라의 턴키 사업과 유사한 방식

◦ 자기부상열차

- 제작사 : 중국중차그룹 주주전력기차유한공사 (株洲電力機車有限公司)
- 편성 : 3량 1편성 (Mc1+M+Mc2, 길이46.4m, 폭2800mm, 높이3650mm, 일본 리니모 자기부상열차와 동일한 형식)
- 부상방식 : 상전도 흡인식 (부상높이 : 8 mm)
- 최고속도 : 운영 100km/h (설계 120km/h)
- 편성당 승객수 : 363명
- 운전방식 : 기관사가 운전하는 유인운전(有人運轉)
- 차량당 대차수 : 5개 (일본 리니모 자기부상열차 방식), 우리나라 EcoBee는 차량당 4개 대차

◦ 노선도



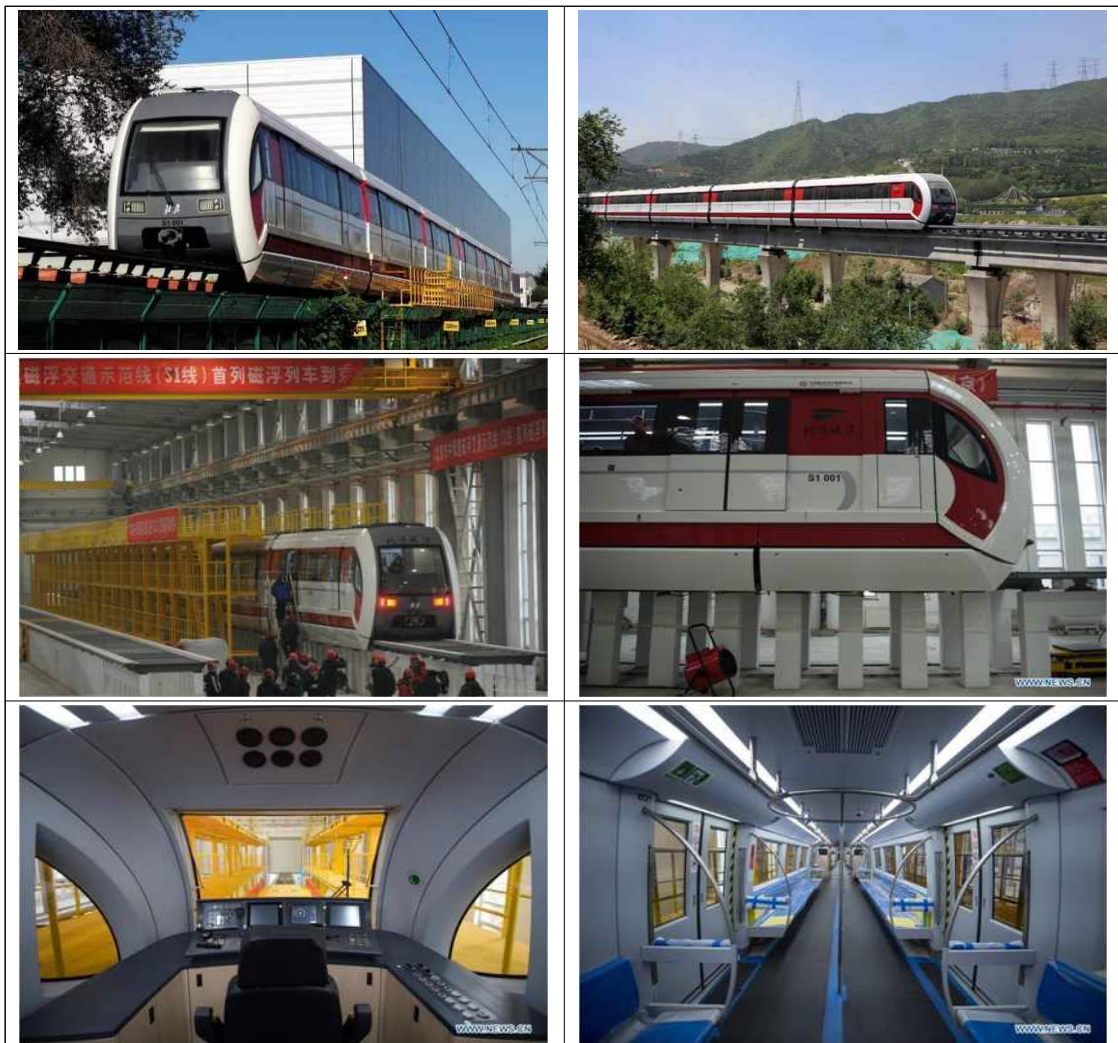
◦ 차량사진



<중국 창사 maglev Airport station 내부>

- 중국에는 창사 이외에도 베이징에 중저속 자기부상열차가 건설되고 있으며, 2016년말 차량이 제작완료되어 시험에 착수한 것으로 알려져 있다.
- 베이징 자기부상열차 노선(S1노선)은 노선길이가 10,236km이며, 운행할 열차명은 Linglong으로 알려져 있다. 노선은 Mentougou역부터 Pingguoyuan역까지 8개 역사로 이루어져 있다. 현재까지 알려진 추정 건설비는 km당 4억위안(720억원/km)으로 추정된다. 1개 편성은 6량의 열차로 구성되어 있으며, 최고속도 100km/h로 편성당 최고 1,302명을 수송할 것이다. 2016년 12월에 10개 편성이 인도되었고, 2017년 하반기에 시운전을 시작할 예정이다.

- 북경 S1노선에 적용될 자기부상열차는 창사선과 동일하게 차량당 5개의 대차가 있음을 알 수 있으며, 이는 일본 Linimo의 영향을 많이 받았음을 보여준다. 또한 선로역시 궤도 부분은 Linimo의 영향을 많이 받았음을 알 수 있다. 북경 S1 노선의 노선도와 여기에서 운영될 자기부상차량의 사진은 아래와 같다.



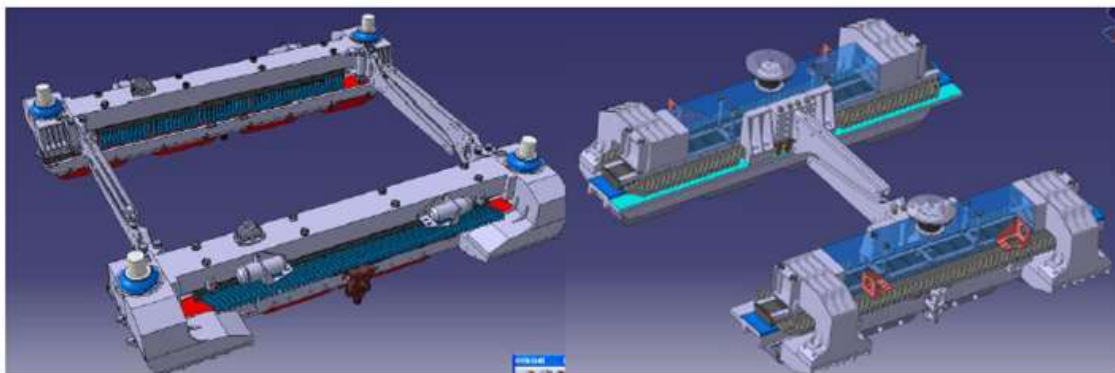
- 향후 중국의 자기부상열차분야 연구개발은 고속 자기부상열차와 중저속 자기부상열차 분야의 두 방향으로 진행될 예정이다.
- 고속 자기부상열차분야에서는 중국의 과학기술부와 상해시 정부가 12번째 5개년계획(2011 ~ 2015)의 일환으로 상해 자기부상열차 노선의 운영 및 유지보수를 중심으로한 연구개발을

수행하였다. 국립 자기부상 수송기술 연구개발센터(National Maglev Transportation Engineering R&D Center)에서 향후 새로운 프로젝트를 대비하여 설비의 국산화 및 가이드웨이 최적화 연구를 주도하고 있다.

- 2016년부터는 13번째 5개년계획(2016 ~ 2020)에 따라 중국 최대 철도차량제작사인 중국중차(中國中車, CRRC)의 CRRC Qingdao Sifang Co. Ltd.에서 600km/h급 자기부상열차 연구개발을 담당하게 되었다.
- 중저속 자기부상열차 분야에서는 창사 공항노선의 개통이후 급속한 도시화로 인한 교통난을 겪고 있는 많은 지방정부에서 관심을 가지게 되었으며, 특히 아래 지도에서 보는 바와 같이 Chengdu와 Urumqi 등에서 자기부상열차 노선 계획을 수립할 것으로 알려져 있다.



- 한편, 창사시가 소재한 후난성 정부는 2016년 9월에 중국국방대학과 자기부상 연구센터를 설립하기로 협정을 체결했다. 신설되는 연구센터에서는 창사공항 자기부상열차를 공급한 CRRC Zhuzhou사와 함께 160km/h급(최고속도: 200km/h급) 자기부상열차를 개발하고, 개발된 자기부상열차를 2017년부터 개발에 착수하는 Xiangjiang 지역에 두 번째 자기부상열차 노선으로 투입될 예정이라고 한다. 아래 그림은 창사공항노선에 적용된 기존의 100km/h급 자기부상열차의 대차와 새로 개발될 160km/h급 대차 설계안을 보여준다.



<창사공항노선 대차(100km/h급)와 160km/h급 대차 비교>

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 연구과제 협약체결 및 과제간 인터페이스 관리

가. 세부과제 협약(연구단-각 세부과제 협약)

- 대형 사업단 과제로 추진된 「도시형자기부상열차실용화사업」 완료 후 연구개발 성과의 활용·확산을 촉진하기 위한 성능개선 및 시범노선 운영안정화 요구에 따라 「도시형자기부상철도 운영 및 유지관리 기술개발」 연구단과제 공고 후 선정평가를 거쳐 한국기계연구원이 주관기관으로 선정되었고, 연구단 과제명을 「도시형자기부상철도 시범노선 안정화지원 및 성능향상 기술개발」로 변경하여 연구단과제가 착수됨
- 5개의 세부과제로 구성된 연구단 과제는 `13.12.27 ~ `17.7.26(3년 7개월) 기간 동안 연구를 수행하였으며 1차년도(`13.12.27~`14.8.26) 총 32억원, 2차년도(`14.8.27~`15.6.26) 총 91억원, 3차년도(`15.6.27~`16.6.26) 총 80억원, 4차년도(`16.6.27~`17.7.26) 총 46억원의 예산으로 연구단과 각 세부과제간 협약을 수행하였음
- * 1세부과제를 제외한 나머지 4개 세부과제의 연구기간은 `13.12.27 ~ `17.4.26 임

[illegible]

<연구단-5개 세부과제 협약서>

나. 과제간 인터페이스 관리

(1) 연구단 각 세부과제별 Kick-off 미팅

(가) 목적

『도시형자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술개발』 연구단 사업을 시작함에 있어, 자기부상열차를 더욱 발전시킬 수 있는 연구성과를 도출하기 위한 연구계획을 검토하고 효율적인 연구를 수행하기 위한 방안을 논의하기 위함

(나) 수행 방법

각 세부과제별로 회의를 진행하고 결과를 연구단에서 취합하여 필요시 세부과제간 인터페이스 관리 수행

(다) 주요 내용(세부과제별로 진행)

- 연구단/세부과제별 연구계획 발표
 - 연구목표 및 내용, 주요 추진계획, 성과지표 등
- 세부과제별 연구개발 계획서 검토 및 협의
 - 연구목표 및 내용, 전문가 활용, 연구비 소요명세(국외출장) 등 검토
- 연구성과에 대한 효과적인 성과지표 점검표 적용 방안 검토
 - 각 세부과제별 성과적검기준표 협의 및 검토

(2) 전문기관 지원 및 업무보고

도시형자기부상철도 시범노선 안정화지원 및 성능향상 기술개발 연구단 과제 관련 전문기관의 주요 요청사항에 대한 자료 제공 및 보고

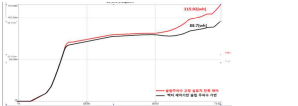
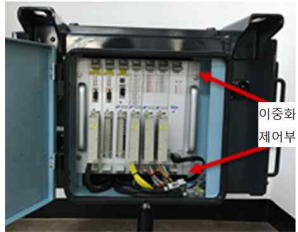
- '16.07.04 도시형자기부상열차 경제성 분석에 대한 관련자료 작성 보고
- '16.07.06 국토위 박맹우 위원 질의 답변 제출
- '16.07.21 전문기관 성과지원조사 작성 및 세부과제 제출 요청
- '16.09.22 'Habitat' 교통시스템 전시자료 제작 및 전시자료 지원
- '16.11.15 철도학회 2016년 10대 기술상 자료 제출
- '17.01.19 자기부상시스템 기술자료 제출
- '17.02.20 교통사업본부 교통시스템 기술홍보자료 지원

(3) 자기부상열차 주요기술현황 및 인터페이스 현황 검토

인천공항자기부상철도 운영안정화와 관련한 운영기관 등과의 인터페이스업무 협의

- 인천공항 자기부상철도 시설 및 시스템 보완사항 관리
- 인천공항자기부상철도 자기부상열차 애자에 대한 현장 안정성평가 결과 협의('16.09.30)
- '국내 자기부상열차 적용을 위한 기술조사' 검토('16.11.7)
- 연구단 과제 연구성과에 대한 인천공항자기부상철도 적용성 설명회 개최('17.4.27)
- 도시형자기부상철도 토목설계기준 보완관련 업무협의('17.6)

<자기부상연구단과제 인천공항자기부상철도 적용 가능 연구개발성과 목록>

목표	성과	세부내역	사진
• 유지보수 효율화를 위한 자동 궤도 검측 시스템 개발	• 궤도 선형관리 시스템 개발	- 차량 탑재형 검측시스템 개발 -정밀도 : 0.5mm(목측)→0.02mm -검측속도 : 200m/4hr(목측)→6km/4hr -작업자 추락위험 제거로 안전성 확보 - 시범노선 현장적용 시험완료 및 결과 분석중	
• 추진 시스템 전력소비량 10% 이상 절감	- 추진제어 알고리즘 개선 통한 전력 소비량 15~20% 절감 * 영종도 노선 적용 시 최소 7.8kWh/왕복 절감	- 추진제어 알고리즘 개선(스칼라제어방식→벡터제어방식) - 시범노선 현장적용 시험완료 및 결과 분석중 (특장점) 속도제어 응답성 향상	 * 공차 조건 소비전력량 예측(101-102구간), 112Wh→88Wh(▽22.8%)
• 안정성 향상을 위한 부상제어 시스템 개선	• 부상제어시스템 이중화	- 부상시스템 고장 시 0.4s이내 동작으로 정지 없이 연속운전 가능한 부상제어 시스템 이중화 구현 (특장점) 기존과 동일한 사이즈로 기존제품과 호환 가능, 내환경성 향상(55℃→85℃)	
• 에너지 효율 향상을 위한 추진 시스템 경량화 및 소형화	• 최적설계를 통한 추진시스템 33% 경량화	- 추진인버터 부품(제동초퍼, 인버터스택)과 필터리액터 최적설계로 110.9kg 경량화·소형화 * 335.5kg → 256.7kg(▽33%) (특장점)유지보수 시간 대폭 감소 * 3인 1조 차내 작업 60분 → 2인 1조 하부작업 30분	

차량 제동 성능 및 효율 향상을 위한 유압방식 제동장치 개발	완전 유압방식 유압제동장치 개발	- 기존 공유압제동장치 대비 소비 전력 75%, 응답시간 50% 절감한 국내 최초 유압방식 제동장치 * 비상제동 시 제동거리 4.4m 단축* 28.9m → 24.5m (특장점) 공기제동 대비 가격 경쟁력 확보, 내환경성 향상 * 50백만원→40백만원, -25℃→35℃																			
비상운전 속도 40% 향상	비상주행 롤러 개선을 통한 주행속도 10km/h 향상	- 기존 비상롤러 대비 주행속도 10km/h 증가 * 25km/h → 35km/h (특장점) 점착력 증가, 소음감소 * 비상롤러 공회전 현상, 소음20dB 감소	 																		
내 환경성 향상을 위한 하면접촉식 집전장치 개발	기존 대비 내 환경성이 개선된 하면접촉방식 집전장치 개발	- 강설, 결빙 등의 환경 영향을 최소화할 수 있고 압상력 조절이 가능한 하면접촉식 집전 시스템 개발 * 측면접촉식 → 하면접촉식 (특장점)기존 측면접촉식 집전장치 대비 경량화, 가격 경쟁력 확보, 내환경성 향상 * (경량화) 20kg → 16kg(▽4kg) * (제작단가) 21.5백만원 → 9백만원 * (운영온도) -25℃~40℃ → -30℃~75℃																			
내 환경성 향상을 위한 하면접촉식 전차선 시스템 개발	하 면 접 촉 식 전 차 선 시스템	- 외부환경(폭설 및 결빙 등)으로부터의 보호를 위한 전차선 보호커버 적용 및 경량 하면접촉식 전차선로 개발 (특장점) <table border="1"><thead><tr><th>구 분</th><th>측면</th><th>하면</th></tr></thead><tbody><tr><td>보호커버</td><td>없음</td><td>적용</td></tr><tr><td>지지금구 중량</td><td>14.67kg</td><td>13.24kg (△11%)</td></tr><tr><td>지지금구 간격</td><td>3.6m</td><td>4m (△11%)</td></tr><tr><td>매입 전</td><td>4개소</td><td>2개소 (△50%)</td></tr><tr><td>신축장치 소음</td><td>72dB</td><td>62dB (△16%)</td></tr></tbody></table>	구 분	측면	하면	보호커버	없음	적용	지지금구 중량	14.67kg	13.24kg (△11%)	지지금구 간격	3.6m	4m (△11%)	매입 전	4개소	2개소 (△50%)	신축장치 소음	72dB	62dB (△16%)	
구 분	측면	하면																			
보호커버	없음	적용																			
지지금구 중량	14.67kg	13.24kg (△11%)																			
지지금구 간격	3.6m	4m (△11%)																			
매입 전	4개소	2개소 (△50%)																			
신축장치 소음	72dB	62dB (△16%)																			
기존 분기기 경량화 및 신뢰성 향상(높이·중량 △10%)	최적설계를 통한 동작속도 향상, 경량화, 비용 절감된 분기기 개발	- 최적설계를 통한 경량화 및 제작비 절감 * 높이 △28.5%, 제작비 △10%, 동작속도 △25%(20s→15s) (특장점) 제어반 이중계 구성 및 쇄정장치 구조개선을로 장애발생 최소화																			

(4) 각 과제별 진행현황 성과점검 및 보고

- '16.08 연구단 연구현황 및 성과점검 결과를 반영한 장관보고자료 제출
- '16.12.13 자기부상연구단 각 과제별 성과점검 및 국토부 업무보고자료 제출
- '17.4.7 도시형자기부상철도 시범노선 운영안정화 지원 및 성능향상 기술개발 연구단 추진현황 작성

※ 각 세부과제 별 주요성과를 분석/종합하여 연구단 과제 목표 부합성 점검 및 인터페이스 조정

<연구단 과제별 성과요약 내용>

도시형자기부상철도 시범노선 운영안전화 지원 및 성능향상 기술개발 연구단 과제별 성과요약

□ 과제개요

- (연구기간) '13.12~' 17.7
- (주관기관/책임자) 한국기계연구원 / 신병천
- (총연구비) 26,338백만원(정부 19,950백만원/민간 6,388백만원)

[단위:백만원]

구분	총연구비	'13	'14	'15	'16
정부출연	19,950	3,300	6,550	6,000	4,100
민간부담	6,388	740	2,574	2,339	735

○ (연구수행체계) 연구단

연구단(총괄) : 도시형 자기부상철도 시범노선 안정화 지원
및 성능 향상 기술 개발

1세부	2세부	3세부
도시형자기부상철도 운영안전화 및 최적화 (주관) 한국기계연구원 (위탁) 유원로직스 (위탁) 충남대학교	도시형자기부상철도 차량시스템 성능향상 (협동) 한국기계연구원 (공동) 대전광역시도시철도공사 (공동) 위백이씨텍 (공동) 위백테크 (공동) 유진기공산업(주) (공동) 현대로템(주) (공동) 현대엔지니어링 (위탁) 건국대학교	도시형자기부상 철도의 선로, 시설물 최적화 및 성능향상 (협동) 한국철도기술연구원 (공동) 지에스건설(주) (공동) 비티유코리아(주) (공동) 위부흥시스템 (공동) 위서원기술단 (공동) 충남대학교 (공동) 위티엘이앤씨 (공동) 포스코이씨티 (위탁) 인하대학교
4세부	5세부	
도시형자기부상철도 분기기 최적화 및 5-way 분기기 개발 (협동) 현대엔지니어링 (공동) 한국기계연구원	도시형자기부상열차 형식승인 및 용품인증을 위한 시험규격 정비, 기술기준 개발 (협동) 한국산업기술시험원 (공동) 한국철도기술연구원	

□ 연구배경 및 목적

- (추진배경) 도시형 자기부상열차 실용화 사업('06~' 13, 총정부 2,880억원) 종료 후 국내·외 시장 진출을 위한 차량 및 인프라 성능개선 및 상용화 전략 마련 필요성 대두
- (연구목적) 인천공항 시범노선의 운영안전화 지원을 통한 영업운영 실적 확보 및 시장 경쟁력 제고를 위한 차량 및 인프라의 성능개선
 - 제동시스템 및 급전시스템 등 차량 성능개선
 - 하연 접촉식 집전시스템 및 유압제동시스템 개발, 추진시스템 효율 17% 향상 등
 - 구조물 슬립화 등을 통한 건설비 절감
 - 상부구조 건설비 19.4% 절감

□ 연구내용

- (1세부_운영안전화) 시범노선 안정화 지원 및 연구성과 홍보 등 확산
 - 시범노선 : 인천국제공항-용유역 6.1km 구간(6개 역)
- (2세부_차량 성능향상) 집전시스템, 부상제어시스템 등의 성능·효율 개선 및 국내 최초 유압제동장치 개발 등

<슬립주파수에 따른 전력량 비교>

	실결 건(슬립주파수)	소모 전력	비고
스칼라제어	P4(13.5Hz) B7(13.5Hz)	1.699kWh	추진 소비전력 기준
벡터제어	P3(6.5Hz) B7(6.5Hz)	1.276kWh	
차이 값	-	0.419kWh (약 17% 저감)	기준

- 벡터제어기법 적용을 통한 회생제동 구간 확대로 주회효율(17%) 향상

- (3세부_시설물 최적화 및 성능향상) 건설비 절감을 위한 일체형 거더, 경량 강재거더 등의 개발과 현장시험부설을 통한 성능검증
 - 선로구조물 미관향상 및 경제성 개선
 - 집전방식을 기존 측면접촉 방식에서 외부 환경에 강건한 하연 접촉방식으로 변경하기 위한 시험시공 및 성능검증

 <기존 거더 단면> * 기존 공법 대비 상부구조 건설비 19.4% 절감, 매립형 침목 적용으로 형고(높이) 11% 감소 ○ (4세부_분기기) 기존 분기기 성능향상 및 5-way 분기기 개발 및 성능검증 * 분기기 동작속도 향상(2초→1.5초), 높이 축소(△10%), 중량 저감(△10%), 제작비 절감(△10%) ○ (5세부_기술기준 및 시험규격 정비) 용품 형식승인을 위한 기술기준 및 시험규격 개발	
 <궤도일체형 강재거더>	
□ 과제관리 추진현황	
○ (사전검토) 과제 종료 전 연구목표 달성도 검토 및 보완사항 점검을 위한 '최종평가 사전검토' 실시('17.2.23)	
- 5개 세부과제의 최종보고서(안) 및 연구성과 발표자료에 대해 분야별 전문가(6명)가 종료 전 보완사항 제시	
* (근거) 국토부 운영규정 제36조 및 관리지침 제34조	
- 사전검토의견에 대해 보완한 최종보고서 등 평가자료를 제출 받아 과제 종료('17.7) 후 최종평가시 사전검토의견에 대한 보완여부, 적정성 등 검토	
□ 향후일정	
○ '17.8 : 최종평가 실시	
□ 성과활용	
○ 관련 규정 및 지침에 따라 종료 후 6개월 이내에 참여기업 등과 1건 이상의 기술실시계약 체결	
* (근거) 국토교통연구개발사업 관리지침 제51조(기술실시계약)	

1세부

도시형자기부상철도 운영안전화 및 최적화

□ 주관연구기관/연구책임자 : 한국기계연구원/신병천

□ 연구목표

- 시범노선 영업안전 안정화 지원
- 차량탐색 실시간 선로 점검 및 궤도 선형관리 시스템 개발
- 국내·외 연구성과 확산

□ 주요 연구성과

- ① 세계 2번째 도시형자기부상철도 개통('16.2.3)
- ② 인천공항자기부상철도 개통이후 운영안전화
 - 서비스가용도 99.82% (목표: 98%)
- ③ 차량탐색 궤도 선형관리 시스템
- ④ 시범노선 운영데이터 기반 유지보수 기준 개발(표준 운영비 도출)
 - 자기부상철도 운영비 : 7.06억원/km·년
- ⑤ 승강장 안전발판(NET 인증획득)
- ⑥ 국내외 성과확산을 위한 시장진출 활동

<기타 정량 성과>

구분	국제특허	국내특허	국제논문	국내논문
목표	-	7	-	2
실적	-	7	-	2

□ 기대효과 및 활용방안

- 영업안전중 서비스이용성(SA) 검증을 통한 시스템 안정성 입증
 - 타 시스템 대비 동등 이상의 가용성 입증을 통해 신규시스템에 대한 우려 불식
- 차량 운행데이터 기반 궤도선형 관리시스템으로 유지관리비용 절감
- 인천공항 자기부상철도 실적을 바탕으로 국내외 시장진출

붙임 1세부 연구성과 세부내용

① 세계 2번째 도시영자기부상철도 개통('16.2.3)

- 개통이전 시설물 정비(183건) 및 장애사항(172건) 총괄 관리
- 철도연 점검결과(7개 항목) 보완 총괄 관리



<개통식>

② 인천공항자기부상철도 개통이후 운영안정화 지원

- 개통 후 주요분야 추가 기술지원(6개월)
 - 차량, 열차제어, 분기기, 신호설비, 궤도, 전력분야 등
- 개통이후 분기기, 신호, 차량 등 운행 지연초래 장애 13건 해소 총괄 관리
- 철도안전감독관 지적사항(7개 항목) 보완조치 총괄 관리
 - 신호케이블 및 덕트 파손, 전차선 지지에서 파손, 분기기 장애 등 7개 항목
- 최근 6개월 SA(서비스 가용도) 99.82%
- 철도연 점검결과에 따른 장애원인 분석 및 개선
 - '16.5 국토부 실용화점검을 통해 연구단 4차년도 연구비 증액 반영(5.5억원)
- 양방향 통신(차내영상) 간헐적 단절 현상
 - 외부에 설치된 차상무선송수신기에 직접적으로 일조가 되고 이로 인한 온도상승으로 통신문제 유발하는 것으로 판단
 - 4호 편성에 차상무선송수신기 보드부를 차량내부로 변경하여 개선 효과 확인('16.12)하였고, 전편성 개선안 적용(4월말 완료 예정)
- 궤도 이상점유 원인분석
 - 개통 전 1회/분기 빈도로 발생하였으나 최근 1년 동안은 미발생
 - 전기적 노이즈로 인한 장애로 예상되어 노이즈 측정을 위해 계측기를 개발·설치('16.12)하여 모니터링 중

- 이상점유 발생시 계측신호 분석하여 원인파악·대책수립 예정
- 과제 종료후에도 기계연에서 지속 모니터링 및 대응 예정('17년 말)



<상시계측시스템 현장설치/모니터링>

③ 차량탈재 궤도 선형관리 시스템

- 현재 인천공항 자기부상철도의 궤도 선형관리는 현장에서 인력에 의한 수동으로 선형 측정 및 관리가 되고 있어, 유지보수 효율화를 위한 차량 탈재형 궤도 선형관리 장치 개발

개요	레일미출매 단차측정	선로 편향상 측정
(기존) 선로에서 수동으로 측정한 결과로 선로관리		
(개발품) 차량에서 S/W에 의하여 궤도 선형 요소 측정 및 관리		

< 궤도 선형관리 시스템의 특징점 >

특장점	개요	파급효과
신뢰성	측정시간 및 측정요원에 관계없이 일정한 측정결과 도출 및 측정정밀도 향상 +최소측정단위 기존0.5mm→ 0.02mm	정밀한 선로관리가 필요한 자기부상 열차의 무장애 운행 신뢰성 향상 및 데이터에 기반한 예방정비가 가능

효율성	수동측정 대비 측정속도 향상 * 측정 필요인원 6명 → 1명(△5명) * 측정속도 200m/4시간 → 6.1km/4시간	자기부상열차 운행비 절감에 의한 경쟁력 확보
안전성	선로상부 측정작업시 작업원 추락위험 요인제거로 작업 안전성 확보 * 기존)선로상부 → 차상측정	안전한 작업환경 관리, 안전을 위한 별도 관리비용 절감
확장성	검진서를 활용한 측정개념은 별도 지그 부착식 타 철도시스템에 적용 가능	AGT, 트램 등 타 경전철 철도차량에도 본 측정시스템 적용 가능
경제성	인력 측정방식은 인력운영을 위한 고정비로서 매년 지출필요 * 6명 인건비(년 5,000만원)×6 = 3억원/소요	장비 및 S/W는 초기투자비는 소모되나 장기 인건비 절감 가능 * 3억원/소요

④ 시범노선 운영데이터 기반 유지보수 기준 마련(표준 운영비)

- 타 경전철 시스템 대비 유지보수비가 낮은 자기부상철도시스템의 장점을 부각할 수 있도록 표준 운영비 산출
- 노선연장 15km 가정하에 토번적 일반 도시철도 시설기준

구분	연간비용(천원)	Km당비용(천원)	비율(%)
인건비	7,077,372	471,825	65.4
동력비	1,773,399	118,227	16.4
유지관리비	719,908	47,994	6.7
일반관리비	1,244,265	82,951	11.5
총계	10,814,944	721,000	100

- 타 철도시스템과의 비교(대전도시철도공사 제공)

기관명	총 운영비(억원)	영업거리(Km)	Km당 운영비(억원)	산출근거
용인경전철	323.9	18.1	17.89	재무제표 활용 ¹⁾
대구 3호선(모노레일)	461.0	23.1	19.96	운영실적 기준 ¹⁾
일본 리니모	116.6	8.9	13.07	재무제표 활용 ²⁾
인천 MAGLEV(실적) ³⁾	67.1	6.1	11.0	운영실적 기준
인천 MAGLEV(예측) ³⁾	70.7	6.1	11.6	2단계 과업 결과 적용
MAGLEV운영비(표준) ³⁾	105.9	15.0	7.21	2단계 과업 결과

¹⁾ 대구 3호선 담당자로부터 운영비 확인(대전 도시철도공사)

²⁾ 인천공항 MAGLEV(실적)은 공항공사 제공 운영비 자료,

(예측)은 표준 운영기준에 따른 소비비용 적용(인천공항 시설규모 적용)

MAGLEV운영비(표준)은 표준적인 운영/유지보수 기준 적용(노선길이 15km가정)

³⁾ 용인경전철과 일본 리니모는 공시된 재무제표 기준, 원 인천 MAGLEV는 개통 후 실제 운영비 자료 활용

* 일반 도시철도(대도시 지하철, 유인운전)의 경우 30억원/km,년 내외

⑤ 승강장 안전발판 개발(교통신기술 지정 '17. 3)

- 플랫폼과 차량간 넓은 간격과 플러그인 타입 승강장에 적용이 가능한 fail-safe 기능의 접이식 안전발판 개발

< 기존시스템 대비 개발품 >

구분	설치사진	구동원리	비고
기존방식			- 승강장에 고정 설치된 다양한 type의 PSD와 간섭발생 및 시공 복잡 - 차량과의 충돌 등 비상상황 대비 기술 미비
개발품			- 기존 연단면에 설치된 PSD와의 간섭 없이 설치가능 - 차량과의 충돌대비 Fail-safe 기능구현(충돌발령에 의한 안전 발판 자동 복귀기능 적용)

< 개발품 특징점 >

특장점	개요	파급효과
안전성	- 차량과의 충돌대비 Fail-safe 기능구현(충돌발령에 의한 안전발판 자동 복귀기능 적용) - 교통신기술인증 검증기준(KRS, IEC, EN50155 등)에 따른 충격시험 외 20개 항목 시험합격	- 안정적인 철도 운영과 승객의 안전을 위한 충돌안전성 신뢰성 확보
시공성	- 기존 연단면에 설치되어 있는 PSD와의 간섭 없이 설치되어 건축한계 준수 가능	- 고정식인 PSD와의 간섭없이 설치 가능 - 승강장상면, 주변시설물 훼손없이 시공 가능
유지보수성	- 카트리지 타입 구동부 모듈화 등을 통한 유지보수 용이성 증대	- PSD와의 간섭이 없어 모듈화로 긴급히 교체하여 사용 가능
경제성 및 효율성	- 기존시스템 대비 공사기간 20% 절감	- 주변 시설물과의 간섭회피(스크린 도어 가이드 레일 확보 가능) 및 모듈화 장점으로 신속한 설치로 운영지장 초래를 최소화

⑥ 국내·외 성과확산 노력

- (국내) 당초 대전 2호선 적용 기종으로 선정되었으나, 현재 트램 도입을 검토 중이며 시흥시, 제주도 등의 노선에 반영될 수 있도록 홍보, 기술지원 등 추진 중

시흥시 배곧신도시	
사업목적	배곧신도시 내부 교통처리 및 송도와의 철도 연결
특성	시흥시와 인천시를 연결하는 배곧대교(도로교)는 하중 특성상 자기부상열차만 가능할 것으로 판단
노선개요	총연장 20.4km(단선 17km, 복선 1.2km)
사업비	3,205억원(예상)
특기사항	- 경기도 기본계획에 반영 추진 중 - 시흥시-기계면 협력 MOU 체결('17.4.25) - 현재 유동적인 서울대 캠퍼스 이전계획과 연계가능성 우려 - 트램과 경쟁



제주도 제주시내	
사업목적	제주공항 주변 교통혼잡 해소 및 24시간 운영되는 공항과 시내 구간 연결 확보
특성	소음과 진동이 매우 적고, 선로 유지보수가 거의 필요 없으므로 공항엔터 교통시설로서 24시간 운행가능한 특성이 있음
노선개요	총연장 8.4km(복선)
사업비	2,930억원(예상)
특기사항	- 제주도급년 5'6월경 차종 선정을 위한 품평회 개최 - 건설업체와 사업개발자 민자추진 타진 중 - 트램과 경쟁예상



- 그 외 부산 신성선(노포~월평) 기본계획 반영, 인천시 도시철도 기본계획에 후보 노선 반영(자기부상 2단계), 서울대 순환노선 검토 등

- (해외) 경전철 사업을 추진 중이고 자기부상철도에 관심이 높은 코스타리카, 베트남 등과 지속 접촉 및 협력 중

코스타리카 산호세시	
사업목적	극심한 산호세시 교통문제 해결
특성	복잡한 시내교통 문제 해결을 위하여 중한교통망 계획 수립중이며, 한국 서울의 교통체계 벤치마킹 희망
노선개요	총연장 20km(1단계 8km)
사업비	7억US
특기사항	- 산호세시와 사업단 MOA체결('17.2) - 자기부상열차를 간선으로, BRT를 지선으로 하는 중한교통망 계획 수립하여 제공예정('17.9), 이를 위하여 - 해군협 시장개혁자금 신청('17.3) - 해군협 인프라개발사업 진출지원사업 신청예정('17.4) - 산호세시 경전철 본 타당성 조사(650만US) 우선협상권 확보 - 프랑스 시스타에서 트램으로 기본계획 수립한 바 있으나 여건상 불리한 것으로 상호 판단하고 있음



베트남 하노이 시	
사업목적	동쿠안 신도시-노이바이 국제공항-하노이 시내 연결하는 공항 급행철도 건설로 신도시와 노이바이 국제공항 이용객 편의 증진
특성	사업개발자(노코에너지)가 SPC를 설립하여 BOT사업으로 추진
노선개요	총연장 48km(단선14, 복선34)
사업비	1조5천억원
특기사항	- 사업단) 현지조사후 사업 기술조사후 사업비 신청/통보('17.2) - 노코에너지) 영국계 금융사(Castlaines Global Equities Co.)와 투자협약 완료('17.3) - 현재 하노이 시와 연허가 관련 협의 진행중('17. 5월말 결론 예상)



- 말레이시아, 이란, 스리랑카, 브라질 등과도 협의 중

2세부 도시형자기부상철도 차량시스템 성능향상

- 주관연구기관/연구책임자 : 한국기계연구원/박도영

□ 연구목표

- 도시형 자기부상열차 차량시스템 성능향상 및 준고속 자기부상열차 핵심기술 개발

□ 주요 연구성과

- ① 추진시스템 효율향상(차량 전력소비량 기준 대비 약 18% 감소 예상)
 - 차량 전력소비량 기준 대비 △18%
- ② 부상제어시스템 이중화
 - 국내 최초, 0.4초 이내 동작
- ③ 부상추진시스템 경량화
 - 기존 대비 24% 경량화(335.5kg → 256.7kg)
- ④ 국내 최초 유압제동기 개발
 - 제동 응답시간 50% 향상(0.4초 → 0.2초)
- ⑤ 비상물리 주행속도 향상
 - 비상운전속도 기준 대비 40% 향상(25km/h → 35km/h)
- ⑥ 하면접촉식 전원집전장치
 - 측면접촉식 → 하면접촉식
- ⑦ 준고속 자기부상열차 핵심기술(추진/부상/안내) 개발

<그 외 정량 성과>

구분	국제특허	국내특허	국제논문	국내논문
목표	-	14건 출원	16건 게재	-
실적	-	17건 출원/6건 등록	13건 게재	2건 게재

□ 기대효과 및 활용방안

- 기존 영종도 시범노선 철도차량 대비 에너지 소모가 적고 유지보수가 용이하여 국내외 자기부상 신규노선 건설시 타 경쟁력 확보 가능
- 특히 유압제동장치는 기존 공압제동장치 대비 경량·소형·고효율 장치로서 자기부상철도 외 타 경쟁력에 성과 확대 적용 가능

붙임 2세부 연구성과 세부내용

① 차량 추진시스템 효율향상

- 추진시스템의 제어 알고리즘을 개선하여 추진시스템 전력소비량을 기존 대비 20% 저감

< 기존시스템 대비 개발품 >

	추진제어 알고리즘	전류 오차
(기존)일정 슬립주파수 전류제어		
(개발)가변 슬립주파수 제어		

< 동일 운전 조건 시 공차/만차 운전 비교 예측(101 - 102 구간) >

차량	공차 (19.8Tonn)	만차 (26Tonn)
소모 전력		
수직력		
비고	운차 시 동일 운전 조건 기존 제어 : 115.02[mN] 제안 제어 : 108.75[mN]	운차 시 동일 운전 조건 기존 제어 : 115.02[mN] 제안 제어 : 108.75[mN]

< 벡터제어 기반 슬립주파수 가변제어의 특징점 >

특장점	개요	파급 효과
소비 전력 저감	인전공률 자기부상철도 기준 대비 전력 소비량(추진시스템) 약 20% 절감(시뮬레이션 결과) 기존 스칼라제어 방식 → 벡터제어 방식	에너지 소모량 절감을 통한 차량 운영 효율화
안정성 확보	기존대비 빠른 동특성과 전류오차 감소 동일 운전 조건 대비	차량 승차감 향상

② 자기부상제어시스템 완전 이중화

- 부상시스템 고장발생시에도 운행 중단 없이 연속운전이 가능하도록 부상 시스템을 이중화하여 차량 안정성 향상
- 0.4초 이내 동작

< 기존시스템 대비 개발품 >

부상제어 시스템	
(기존)부상제어 시스템	
(개발품)이중화 부상제어 시스템	

< 이중화 부상제어 시스템 특징점 >

특장점	개요	파급효과
안정성 확보	부상시스템 이중화 적용으로 안정성 구현 • 기존 단일 시스템 → 이중화 시스템	제어시스템 이중화를 통한 고장 발생 시 연속운전이 가능하여 재빠에 대한 신뢰성 및 안정성 향상
경량화	제어기 및 주회로 전력밀도 향상을 통하여 기존 시스템과 동일한 부피와 무게로 부상시스템의 이중화 구현 • 제어기 7 Slot 동일 사이즈 • 기존 제동과 호환성 유지	- 가격경쟁력 향상 - 설치공간 최소화
고장시 연속운전	기존 시스템의 경우 고장 시 정지할 수밖에 없는 구조에서 연속운전이 가능 → Master/Slave 절제 주기 400ms 이내	고장 시 실시간 응답으로 비상시 연속운전이 가능함
내환경성	동작온도 상한치 개선 • 기존 55℃ → 85℃(Δ30℃)	내환경성 향상으로 고온 운용성 및 안정성 개선
가치	단종제와 동일한 가치	안정성과 원가 절감을 동시에 달성

③ 자기부상추진시스템 경량화

- 차량 경량화를 통한 에너지 효율 향상을 위해 무게 비중이 높은 추진제어시스템 경량화·소형화
- 기존 대비 24% 경량화

< 기존시스템 대비 개발품 >

	추진제어 인버터	필터리액터
(기존)추진제어 시스템		
(개발품)경량화 추진제어 시스템		

< 경량화 추진제어 시스템 특징점 >

특장점	개요	파급효과
경량화	추진제어인버터 부품(제동초퍼, 인버터스택)과 필터리액터 최적설계로 110.9kg 경량화 구현 • 기존(335.5kg → 256.7kg(Δ78.8kg))	차량 경량화를 통한 에너지 효율 향상
소형화	통합 1모드 사용 및 필터리액터 최적 설계	설치공간이 협소한 자기부상열차, 경전철, 트램 등에 적용용이
확장성	자기부상열차 외 타 철도시스템에 적용 가능	개발된 추진제어 시스템 사용가능 • 추진목적 향상 및 설치 공간 최소화, 경량화 등 추가적인 효과 기대
유지보수성	하부 작업 식으로 변경하여 유지 보수 시간을 대폭 감소 • 기존(자내 작업): 3인 1조 작업, 60분 개발품(하부 작업): 2인 1조 작업, 30분	유지보수 시간 감소 및 참여 인원 감소로 운영 비용절감

④ 국내 최초 유압제동기

- 기존 공유압 방식 제동시스템 대비 소형화·경량화·고효율화한 국내 최초 완전 유압방식 제동장치 개발
- 제동 응답시간 50% 향상(0.4초 → 0.2초)

< 기존시스템 대비 개발품 >

	제동장치	제동제어장치	공유압변환기
(기존)공유압제동시스템			
(개발품)유압제동시스템			불필요

< 유압제동시스템 개발품 특징점 >

특장점	개요	파급효과
소형화	별도의 공기탱크가 불필요하며, 컴프레서 대신 유압펌프를 사용함으로써 제동시스템의 크기 축소 • 공기탱크 100ℓ → 오일탱크 7ℓ • 컴프레서 300×500×800 → 유압펌프 100×100×200	제동시스템 설치공간이 협소한 자기부상열차, 경전철, 트램 등에 적용용이
경량화	기존 대비 중량 35% 절감(당초목표: 20%) • 기존 91kg → 59kg(Δ32kg)	제동시스템 경량화를 통한 에너지 효율 향상
절전효과	기존 대비 제동장치의 소비전력 75% 절감(당초목표: 30%) • 기존 120W → 30W(Δ90W)	에너지 소모량 절감을 통한 비용절감
제동거리단축	기존대비 응답시간 50% 단축 • 기존 0.4s → 0.2s(Δ0.2s)	응답시간 단축으로 비상제동시 제동거리 단축(약 4.4m)
내환경성	동작온도 하한치 개선 • 기존 -25℃ → -35℃	내환경성 향상으로 극한기 운용성 및 안전성 개선
확장성	자기부상열차 외 타 철도시스템에 적용 가능	AGT, 트램 등 타 경전철 철도차량에도 본 과제로 개발한 유압제동시스템 적용 가능 • 제동성능향상, 설치공간 최소화, 경량화 등 기대
가치	기존시스템 대비 가격 20% 저감 • 공기제동(50백만원) → 유압제동(40백만원)	40백만원은 개발비가 포함되므로 양산시 30백만원으로 추가 cost down 가능 • 기존 유압제동시스템(약 40백만원) 대비 25% 저감

- 해외 철도차량의 경우 대부분 유압방식 제동시스템을 채택하고 있어 국내 개발 유압제동시스템은 타 경전철 적용은 물론 해외시장 진출 가능

구분	용인경전철	의정부경전철
차량제조사	Bombardier	Siemens
편성수량	30량	15량
차량 형식	철제 차륜(680mm), MK II 형식	AGT, VAL 208, 고무차륜
구동방식	LIM 구동방식	안내 레일에 의한 측방 유도방식
제동장치	유압제동(독일 Knorr-bremse)	유압제동(독일 Hanning& Kahl)
차량 외형		

⑤ 비상운전속도 향상

- 고장 등으로 구원운전시 비상주행속도를 향상하여 영업운행 효율성을 제고하기 위한 비상물러 개선
- 기존 대비 40% 향상(25km/h → 35km/h)

< 기존시스템 대비 개발품 >

	기존 비상물러	개발된 비상물러
비상물러 외형		
주행속도	25 km/h	35 km/h 이상

⑥ 하면접촉식 전원집전장치

- 강우·강설·결빙 등 외부 환경으로 인한 집전장치 고장을 사전 예방할 수 있는 측면접촉식 집전장치 개발

< 기존시스템 대비 개발품 >

구분	집전장치 외형	
측면방식 (기존)		
하면접촉식 (개발품)		

< 하면식 집전장치 개발품 특징점 >

구분	개요	파급효과
내환경성	집전 방식 변경으로 동력기 집전 성능 개선 기존 측면 접촉식 → 하면 접촉식	내환경성 향상으로 극한기 전차선 결빙 및 환경제약 요소에 대한 운용성 및 안전성 개선
기능 개선	특성	압상력 조절 불가에 따른 주행 일시 미션 및 아크 발생
	소음	81.44 dB → 79.81 dB
	속도	1.63 dB 감소 (30km/h 주행시)
	습도율	양호 (100 %)
	이선율	양호 (10 %)
아크특성	주행 중 발생	양호(소미선 3회 이내)
	전차선편위	±50mm 이내 습도 → ±30mm 이내 습도 조정

< 하면식 집전장치 개발품 개선효과 >

구분	기준	개발품
경량화	20Kg	16Kg
설계속도	110Km/h	120Km/h
최적압상력	조정불가(고정)	110 N (최적 조절)
동작온도	-25℃ ~ +40℃	-30℃ ~ +75℃
가격	2,150 만원/set	900 만원/ set

⑦ 준고속 자기부상열차 핵심기술

< 준고속 자기부상열차 핵심기술 개발 >

구분	시험기 사진	시험결과 파형사진
준고속 추진 시스템		
<준고속 추진 시스템>		<속도 추종 시험 파형>
준고속 부상/안내 시스템		
	<부상안내 시스템 개념도>	<부상 추종성 6Hz 만족>
		<안내 추종성 6Hz 만족>
<부상안내 시험 시스템>		

< 준고속 자기부상열차 핵심기술 >

구분	목표	결과
최고속도	200km/h	200km/h(무부하) '부하시험은 4월중 시험 완료 예정 3.3kN(2017.03. 현재)'
최고추력	4kN	4월중 시험 완료 예정
부상 추종성	6Hz	11Hz (목표대비 초과 달성)
안내 추종성	6Hz	7Hz (목표대비 초과 달성)

3 세부	도시형자기부상철도 선로, 시설물 최적화 및 성능향상
------	------------------------------

□ 주관연구기관/연구책임자 : 한국철도기술연구원/김성일

□ 연구목표

- 도시형 자기부상 철도의 선로, 시설물 최적화를 통한 건설비 저감
- 선로, 시설물 성능향상을 통한 국내외 시장 경쟁력 확보

□ 주요 연구성과

- 케도일체형 교량 시스템 및 시범구축 (강교 및 콘크리트교)
 - 상부구조 높이 27% 감소, 침목수량 66% 감소
 - 상부구조 건설비 16.8% 절감(인원공방 자기부상철도 대비 총 132억 절감 가능)
- 편차조정 교과장치
 - 1시간 이내 ±10mm 상하조정 가능
- B Type 레일이음매 및 시범구축
 - 허용 신축량 : 40mm(기준)→80mm 레도신축대응
- 하면접촉식 전차선 및 전차선 덮개 (안전성 강화 및 결빙 방지)

<그 외 경량 성과>

구분	국제특허	국내특허	국제논문	국내논문
목표	0	8	0	15
실적	0	10	3	12

□ 기대효과 및 활용방안

- 자기부상철도 고가구조물의 안전성 확보 및 설계 합리화에 의한 건설비 절감 및 상부구조 슬림화·경량화에 따른 미관성 개선으로 시장경쟁력 제고
- 안전하면에서도 경제적인 자기부상철도 선로구조물의 설계, 설계기준 및 유지보수기준 정립을 위한 근거 마련

붙임	3세부 연구성과 세부내용
----	---------------

① 케도일체형 저형교 교량 시스템

○ 상부구조의 경량화·슬림화를 통한 비용절감 및 경관 개선이 가능한 케도 일체형 상부구조 설계(안) 마련 및 현장시험시공을 통한 검증

< 기존시스템 대비 개발품 >

	강교	콘크리트교	케도부
(기존)교량 - 기계연 시험선(강교) - 인원공방자기부상철도 (콘크리트교)			
(개발)케도일체형 교량 - 기계연 시험설치			

차량 주행시험을 통하여 안전성과 안정성 확인

< 케도일체형 교량 시스템의 특징점 >

특장점	개요	파급효과
구조성	매립형 침목을 적용하여 침목수량 66% 감소 기존 0.96 as/m → 0.32 as/m (▽0.64as/m)	설계합리화를 통한 케도구조 단순화로 시공성이 향상되어 자기부상철도 건설 저변 확대
미관성	상부구조 높이 27% 감소 기존 2,550mm → 1,850 mm (▽700mm)	저형교 교량 및 매립형 침목 적용으로 도심지 미관성 확보로 국내 시장 요구조건 신축대응 가능
경제성	기존 교량시스템(상부구조) 대비 가격 16.8% 절감(단초 목표 : 10% 절감) 기존 120억/km → 100억/km (▽20억/km)	건설비 절감으로 시장경쟁력 강화

* 상부구조 높이는 30m교량의 거더 하면~케도 상면 높이 기준

②

케도일체형 교량 시스템 부속장치 (교좌장치, 이음매, 전차선)

○ 타 철도시스템 대비 정밀시공이 요구되어 시공성이 상대적으로 낮은 자기부상시스템의 한계를 극복하기 위한 교좌장치 등 부속장치 개발

< 기존시스템 대비 개발품 >

교좌장치

B-Type이음매

전차선

(기존)교량

(개발)케도일체형 교량

(속면접속식)

(하면접속식)

< 케도일체형 교량 시스템 부속장치의 특징점 >

구분

개요

파급효과

교좌장치

교좌장치의 편차조절 기능 도입으로 시공성 향상
*교좌장치 ±10mm 상하조정 (기준: 조침불가)

다단계 선형조정이 가능하여 정밀시공 가능

B-type 이음매

장량간 및 다량간 적용을 위한 B-type 이음매 개발
*레이아웃에 허용 신축량 증대 : 기존 40mm → 80mm(△40mm)

교량 상부구조의 연속해장대화를 통한 추가적인 거더 슬림화 가능

하면접속식 전차선

신축흡수장치+Output end 구조 개선으로 소음 감소하고 보호커버 적용으로 결빙문제 개선
*소음레벨기준 70dBA~63dBA(▽7dBA)

외부환경에 대한 전차선의 안전성 향상

[참고] 국내 도시철도시스템 건설비 비교

○ 국내 타 도시철도시스템대비 자기부상철도시스템의 건설비는 가격 경쟁력이 있으며, 케도일체형 거더 등 연구성과 적용시 20억원/km 가량 추가 절감 가능

4세부

도시형자기부상철도 분기기 최적화 및 5-Way 분기기 개발

□ 주관연구기관/연구책임자 : (주)대명엔지니어링/황준균

□ 연구목표

○ 기존 분기기(2,3 방향 분기기) 성능개선

○ 5방향 분기기 개발 및 시제품 성능시험

○ 차량 고장시 비상대피선로용 트레버스 분기기 적용방안 개발

□ 주요 연구성과

① 기존 분기기 성능개선

- 거더 높이 및 중량 10% 이상 축소(제작비 절감)

- 분기기 내고장성 강화, 분기기시간 15초 이내 달성(기존 20초)

② 차량기지용 5방향 다지형 분기기

- 기존 3방향 분기기 2분 연결대비 설치공간 34% 축소, 제작비용 20% 절감

③ 차량 대피용 트레버스 분기기 상세설계

- 급행통과 및 대피선적용이 가능한 트레버스 분기기 설계

- 설치공간 43%절감, 분기기 비용 40% 절감(토목비용 제외)

<그 외 정량 성과>

구분

국제특허

국내특허

국제논문

국내논문

목표

-

2

-

1

실적

-

2

-

2

□ 기대효과 및 활용방안

○ 인천 자기부상철도 분기기 신뢰성 향상으로 장애 예방

○ 기존 분기기 성능향상 및 트레버스 분기기, 5방향 분기기 개발로 신규노선 건설시 점유공간 최소화 등을 통한 건설비 절감 가능

< 철도시스템별 공사비 비교 >

구분

연장 (km)

공사비 (억원)

사업비 (억원)

비고

신규개발

케도일체형거더 적용노선

6.49

2,408

371

1.00

2,385

460

1.00

자기부상

영종도 시범노선¹⁾

6.49

2,538

391

1.05

3,150

485

1.06

철차차량

부산-김해 경량전철²⁾

22.99

11,312

492

1.33

13,242

576

1.25

철차차량 (단상+3상)

사상-하단 경량전철³⁾

6.96

3,727

536

1.44

4,594

660

1.44

LIM

용인 경량전철⁴⁾

18.1

-

-

-

10,127

560

1.22

LIM

대우도시철도3호선⁵⁾

23.95

11,523

481

1.30

14,202

593

1.29

모노레일

* 공사비는 E/S 적용 금액이며 차량기지를 제외한 km당 공사비

¹⁾ 경전철 건설사업 추진실제 (2014.08, 감사활동보고서, 김계중)

²⁾ 2010년도 사상-하단간 도시철도 건설사업 예비타당성 보고서 (2010.02, 한국개발연구원)

³⁾ 2004년도 대우 도시철도 3호선 건설사업 예비타당성조사 보고서 (2004.12, 한국개발연구원), 공사비는 예비보고서 기준 산출

⁴⁾ 공사비는 사업비에서 부대비, 용지보상비, 차량기지, 차량구입비를 제외한 토목, 궤도, 건축, 전기, 신호, 통신 공사비 합계

⁵⁾ E/S 적용 기준 (영종도 : 5.98%(2009년), 김해 : 8.48%(2010년), 사상 : 8.48%(2010년), 대우 : 30.88%(2005년, 생산자물가지수, 건설공사비지수산출률 보수값 적용)

○ 특히 상부구조(교량상부구조+케도공) 건설비는 기존 대비 20% 절감

< 상부구조 공사비 비교 >

구분

연장

상부공 (억원)

케도공 (억원)

합계 (억원)

km당 공사비 (억원)

비율

신규개발

케도일체형거더 적용노선

6.49km

406.8

240.3

647.1

100.4

1.00

영종도 시범노선

6.49km

438.1

349.3

787.4

120.8

1.21

부산-김해 경량전철

22.99km

339.9

556.8

896.7

171.6

1.71

사상-하단 경량전철

2.28km

348.5

146.1

494.7

217.0

2.16

[참고] 경전철 km당 건설비용

(단위 : 억원)

구분

자기부상

고부

일체

리니어모터

모노레일

노면전차

국토교통부 신교통수단 선정 가이드라인(2012.9)

483

200

대전도시철도2호선 기본계획 보고서(2013.4)

434.9

433.1

437

453.4

425.4

230.8

주) 건설비용은 공사비, 부대비, 예비비, 차량구입비, 토지수용비 포함

붙임

4세부 연구성과 세부내용

① 기존 분기기 성능개선

○ 운행소요시간 단축 등 영업운영 효율 개선을 위해 기존 2방향, 3방향 분기기의 분기속도를 향상하고, 비용절감을 위한 경량화 분기기 개발

< 기존시스템 대비 개발품 >

구분

거더 높이

위치 센서

제정장치 구조개선 (파워실린더 등)

중량 (톤)

제작 비용

분기 시간

제어반

(기존) 분기기

78개

(78개)

35

1

20초

단중계

(개발) 성능향상 분기기

20개

(20개)

28.3

0.9

15초

이중계

▽28.5% (당초목표:10%)

▽74%

- 구조간단 / 유지보수성 향상
- 단가 10%절감

▽10% (당초:10%)

▽10%

▽22%

< 분기기 성능개선 특징점 >

특장점

개요

파급효과

경량화

중량 20%절감, 가격 10% 절감

무게 축소에 따른 내고장성 강화

안정성

-추 고장원인이었던 센서의 수량 최소화
-화로 고장빈도 축소

무게 축소에 따른 내고장성 강화

유지보수성

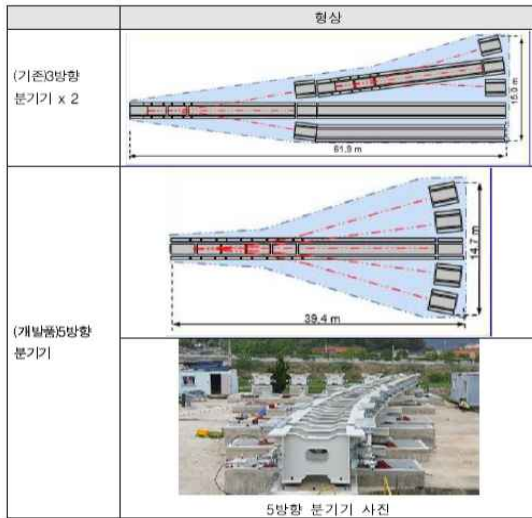
-플래프 고정용 실린더 길이 축소하여 모터 작동시에도 작동가능토록 조치
-제어반 이중화

안정적 운영 및 유지보수비용 절감

21

② 차량기지용 5방향 다지형 분기기

- 차량기지 점유면적을 최소화하여 건설비를 절감할 수 있는 5방향 분기기 개발

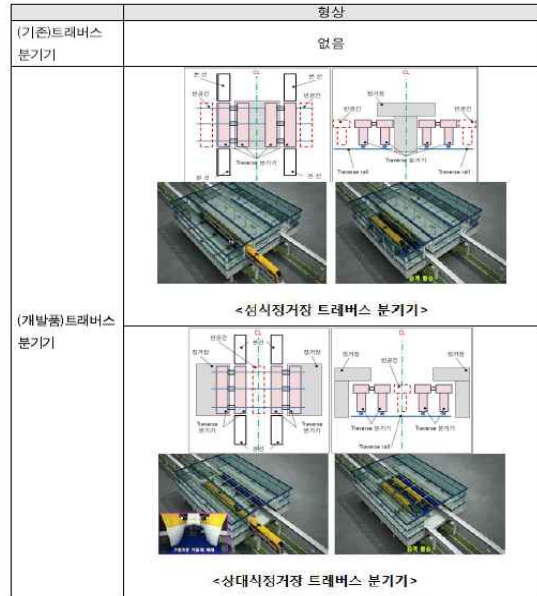


< 5방향 분기기 특징점 >

특장점	개요	파급 효과
경쟁력	기존 3방향 분기기 2본 연결대비 설치공간 34% 절감, 제작비 20% 절감	도심지 차량기지 면적축소에 따른 경제성 제고 및 경쟁력 향상
경제성	기존 3방향 분기기 2본 연결대비 제작비 20% 절감	

③ 차량 대피용 트레버스 분기기 상세설계

- 차량 고장 등 비상시 일시 대피 후 정상운행이 가능한 트레버스 분기기 개발로 가격 경쟁력 확보



< 트레버스 분기기 특징점 >

특장점	개요	파급 효과
경쟁력/경제성	차량고장 또는 급행 통과를 차량 대피를 위한 대피선 건설대신 정거장내부에 설치되는 평행이동식 트레버스 분기기	- 도심지 경관성, 건설비용, 부지점유 등 타 시스템 대비 경쟁력 확보가능 - 설치공간 43%절감, 분기기 비용 40% 절감(토목비용 제외) 예상

5세부

도시형자기부상열차 형식승인 및 용품인증을 위한 시험규격 정비, 기술기준 개발

- 주관연구기관/연구책임자 : 한국산업기술시험원/김상현

□ 연구목표

- 도시형자기부상철도 용품의 형식승인 대상 설정
- 형식승인 기술기준 및 시험규격 제·개정(안) 개발 및 고시 지원
- 도시형자기부상철도 용품 시험규격의 국제부합화 방안 도출

□ 주요 연구성과

- ① 도시형자기부상철도 용품의 형식승인을 위한 대상용품 16종 도출
- ② 형식승인 기술기준/시험규격 32건 개발 및 기술도서 6권 출판
 - * 형식승인 용품 16종에 대한 기술기준 16건, 시험규격 16건 개발
 - ** 제·개정(안) 기술도서 6권 출판(기술도서 3권 추가 출판 예정)
- ③ 형식승인 기술기준 및 시험규격 제·개정(안) 고시 지원 (진행 중)
- ④ 도시형자기부상철도 용품 시험규격의 국제부합화 방안 도출

<그 외 정량 성과>

구분	국제특허	국내특허	국제논문	국내논문	기타(기술도서)
목표	-	-	-	-	2건
실적	-	-	-	1건	2건(예정)

* 개정(안) 기술도서 1건(총 6권, 완료), 제정(안) 기술도서 1건(총 3권, 예정)

□ 기대효과 및 활용방안

- 도시형자기부상철도 용품의 형식승인을 위한 기준으로 활용
- 도시형자기부상철도 상용화 및 안전성 확보를 위한 법적 근거로 활용
- 자기부상철도 용품의 국제규격 부합화를 통한 시장 경쟁력 확보

□ 특기사항

- 국토부 철도용품 고시 계획에 따라 과제 종료 후에도 지속 고시 지원 예정

붙임 5세부 연구성과 세부내용

① 도시형자기부상철도의 형식승인을 위한 대상 용품 16종 도출

일반용품(우선순위)	일반용품(후순위)	고유용품
① 공기스프링 ④ 연결장치 ⑦ 보조전원장치 ⑩ 제동압축기 ⑬ 부상전지식	② 체동패드 ⑤ 전자선 ⑧ 출진기 ⑪ 직류고속차단기 ⑭ 부상제어장치	⑥ 부상전지식 ⑨ 부상제어장치 ⑫ 부상/추진레일
③ 체동실린더 ⑥ 해자 ⑨ 고압개폐장치 ⑫ 다이오드정류기 ⑭ 부상/추진레일	⑬ 부상/추진레일 ⑯ 주회로부품	

② 형식승인 기술기준/시험규격

- 형식승인 대상용품 16종에 대한 기술기준 및 시험규격 32건
 - 일반용품 13종의 기술기준 및 시험규격 개정안 26건 개발
 - 자기부상철도 고유용품 3종의 기술기준 및 시험규격 제정안 6건 개발
- 제·개정(안) 기술도서 6권 출판
 - 기술기준 및 시험규격 고시 및 기술 이해도를 높이기 위한 근거로 활용
 - 기술기준/시험규격 제·개정 당시의 기술적 환경에 대한 기술 근거 제시

③ 형식승인 기술기준 및 시험규격 제·개정(안) 고시 지원

문제점	- 기존 일반철도 용품 기술기준 및 시험규격 고시 일정 미확정 상태 - 현재까지 일반철도 용품 10종에 대한 기술기준 및 시험규격 고시 완료됨 - 도시형자기부상철도 용품의 기술기준 및 시험규격 제·개정안 개발이 완료 - 국토부의 고시 일정 미확정에 따른 성과물의 고시지원 진행이 지연되고 있음
현황	- 개발된 제·개정안의 기술 타당성 확보를 위한 설명회 개최 - 참여대상 : 용품 제조사, 운영사, 연구기관, 교육기관 등 관련 전문가 - 대상용품 : 본 연구 과제의 범위로 선정된 용품 16종 - 전문가(국토부, 전철원, 철도연구)의 협의를 통한 고시 지원 계획 협의
고시지연	- 철도기술전문위원회 및 철도기술심의회 상정 및 심의·수검 - 고시 지원 대상으로 선정된 용품의 기술기준 및 시험규격 제·개정안 상정 - 의견 수렴 및 제·개정안 보완을 통한 심의·수검 - 기술기준 및 시험규격 제·개정안 보완 및 최종 고시 승인 지원

- * 형식승인 기술기준, 시험규격의 고시지원은 국토부의 고시 계획에 따라 진행 예정
- ** 개발된 기술기준, 시험규격의 심의를 위한 고시 지원을 지속적으로 수행 예정

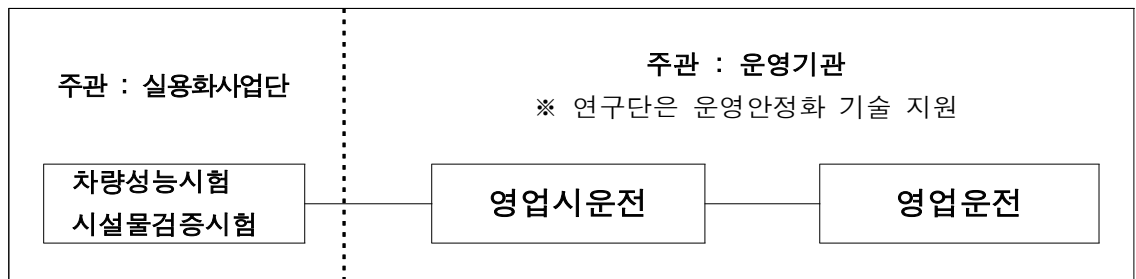
④ 도시형자기부상철도 용품 시험규격 국제부합화 방안 도출

- 약 300건의 국제규격(UIC, ISO, EN, IEC 등) 국내규격(KS, KRS 등) 분석
- 총 125건의 시험항목을 관련 국제규격으로 부합화 제안

2. 시스템 안정화를 통한 성공적인 시범노선 영업운전 실시

가. 차량운행 및 시설운영 기술지원

- 실용화사업 범위인 차량성능시험과 시설물검증시험 완료 후 영업시운전 착수전 운영기관 요청에 따라 예비영업시운전(Dia 운행)을 실시(4회)하였으며, 이 기간 중 차량운행 및 시설운영은 연구단 주관하에 운영에 필요한 기술지원 수행
- 영업시운전 착수를 위한 전제조건으로 운영기관에서 요구하는 수준의 시스템 안정화를 위하여 연구단은 물론 차량 및 시설물 주요분야(전력, 전차선, 통신, 신호, 분기기) 제작사가 현장 상주하며 기술지원 수행
- 영업시운전은 '14년 7월 15일 착수되어 '14년 9월 12일까지(60일간) 실시하였으며, 이 기간 동안 연구단을 포함하여 차량, 신호, 분기기 등 제작사에서 현장상주하며 기술지원을 수행
- 영업시운전 완료 후에도 운영기관이 요구하는 수준의 시스템 안정화를 위하여 지속적으로 시운전을 실시('14.9.13 ~ '16.2.2)하였으며 이 기간 동안에도 연구단을 포함하여 차량, 신호, 분기기 등 제작사에서 현장상주하며 기술지원을 수행함
- 영업운전은 '16.2.3일 개시하였으며, 시범노선 건설 협약에 따라 개통 후 6개월 동안 차량, 열차제어, 신호, 분기기 등 자기부상열차에 특화된 기술분야 중심으로 제작사에서 현장 상주하며 기술 지원을 수행함



(1) 예비 영업시운전 지원

(가) 영업시운전 착수 전 예비영업시운전(Dia 운행) 수행 지원

- 1차 : '14. 5. 20 ~ 5. 28 : 1차 예비영업시운전 실시 (9일), 가용도 : 75.52%
- 2차 : '14. 6. 04 ~ 6. 09 : 2차 예비영업시운전 실시 (6일), 가용도 : 76.13%
- 3차 : '14. 6. 16 ~ 6. 20 : 3차 예비영업시운전 실시 (5일), 가용도 : 88.34%
- 4차 : '14. 7. 01 ~ 7. 05 : 4차 예비영업시운전 실시 (5일), 가용도 : 96.80%

(나) 지원내용

- 차량분야 예비정비 지원
- 기술지원팀 현장 사전점검 및 고장 조치 지원

(2) 영업시운전 지원

차수	기간	진행방법	가용도
1차	‘14. 7.15 ~ 8.4 (21일간)	1일 54 Dia(무인 운행) 09:00 ~ 18:00	96.5%
2차	‘14. 8.5 ~ 9.12 (39일간)	139회/평일, 137회/휴일(무인 운행) 06:00 ~22:00	
이례사항 관리 현황	“2-나-(1) 시운전 중 발생한 이례사항 및 조치결과 관리” 항목 참조		

운행계획

(2차)

구분	평 일						휴 일								비고
영업 시간	06:00 ~ 22:00						06:00 ~ 22:00								영업 다이어 작성
	06:00 07:00	07:00 08:00	09:00 18:00	18:00 20:00	20:00 21:00	21:00 22:00	06:00 07:00	08:00 10:00	10:00 12:00	12:00 18:00	18:00 20:00	20:00 22:00			
	20분	10분	15분	10분	15분	20분	20분	15분	10분	15분	10분	15분	20분		
운행 시각	20분	10분	15분	10분	15분	20분	20분	15분	10분	15분	10분	15분	20분		
편성 수	2개 편성	3개 편성	2개 편성	3개 편성	2개 편성		2개 편성		3개 편성	2개 편성	3개 편성	2개 편성			
운행 횟수	139회						137회								

(3) 확인검증 시운전 지원

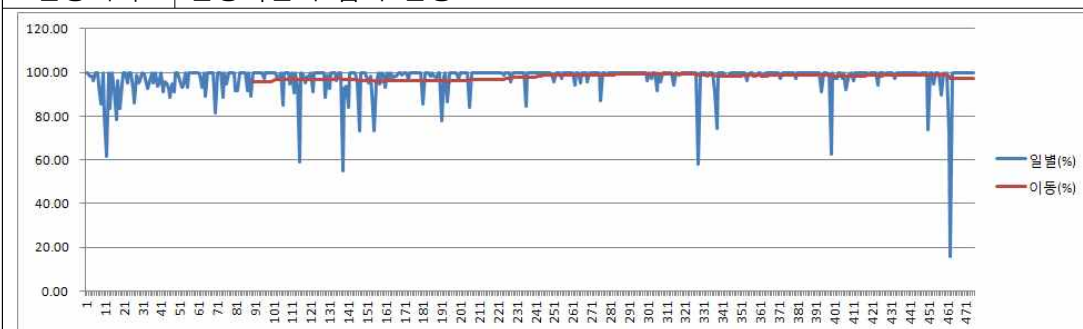
* 영업시운전중 발생한 문제점 보완 확인

구분	기간	진행방법	가용도
일반사항	'15.3.4 ~ 3.10 (7일간)	1일 139회 운행(무인 운행) 06:00 ~ 22:00	99.59%
이례사항 관리 현황	“2-나-(1) 시운전 중 발생한 이례사항 및 조치결과 관리” 항목 참조		
운행계획	영업시운전 항목의 평일 운행 계획 참조		

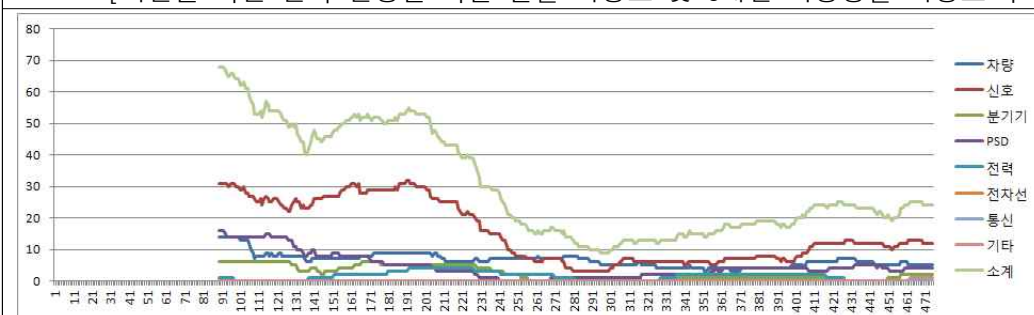
(4) 시운전 지원

* 개통준비차원의 시운전

구분	기간	진행방법	가용도
일반사항	'14. 9.13 ~ '16.2.2	열차운행, 장애조치 계획 등 현장 여건을 고려하여 운영기관과 협의하여 탄력 적으로 열차 운행	이동 3개월 평균 97.35%
이례사항 관리 현황	“2-나-(1) 시운전 중 발생한 이례사항 및 조치결과 관리” 항목 참조		
운행계획	운영기관과 협의 진행		



[시운전 기간 열차 운행일 기준 일별 가용도 및 3개월 이동평균 가용도 추이]



[시운전 기간 이동 3개월 누적 SA영향 장애 추이]

총 24건(차량 5, 신호 12, 분기기 2, PSD 4, 기타 1)

(5) 영업운전 지원

구분	기간	진행방법	가용도	
일반사항	`16.2.3 ~ 10.19	1일 71회 운행(무인 운행)	이동6개월 평균 99.76%	
	`16.10.20 ~ ;17.4.19	1일 79회 운행(무인 운행)		
	`17.4.20 ~ 현재	1일 103회 운행(무인 운행)		
이례사항 관리 현황	“2-나-(5) 개통 후 발생한 이례사항 및 조치결과 관리” 항목 참조			
운행계획	(1단계 운행) 기간 : `16.2.3~10.19 , 차량운행 : 09:00~18:00 2개 편성 15분 시격 운행(1일 71회 운행) (2단계 운행) 기간 : `16.10.20~ `17.4.19, 차량운행 : 09:00~19:00 2개 편성 15분 시격 운행(1일 79회 운행) (3단계 운행) 기간 : `17.4.20 ~ , 차량운행 : 07:30~20:30 2개 편성 15분 시격 운행(1일 103회 운행)			
[일별 가용도 및 6개월 이동평균 가용도 추이]				
[이동 6개월 누적 SA영향 장애 추이]				
`17.6.30일 현재 총 16건(차량 2, 신호 4, 분기기 6, 전력 1, 전차선 1,기타 2)				
승차인원	일별			
	월별			
2016년	총계	825,247	일평균	2,478
2017년	총계	463,313	일평균	2,559

나. 차량 및 시설 유지보수 기술지원

(1) 시운전 중 발생한 이례사항 및 조치결과 관리

- 시운전 중 발생한 이례사항을 모니터링하여 관련 분야에 배포하고, 해당 분야의 조치계획 및 결과를 확인하여 완료시까지 관리하며, 필요시 인터페이스 사항을 정리하여 관련 분야 합동으로 인터페이스 회의 등을 통해 해결/관리함
- 영업시운전 이전 단계는 사업단 주관(운영기관 지원)으로 시행되며, 영업시운전 이후 단계는 운영기관 주관(연구단지원)으로 시행되므로, 시운전 기간 중 발생한 이례사항 중 사업단 주관으로 관리되는 전체 리스트는 172건(첨부자료 4-1-2에 전체항목 수록) 으로 그 중 169건은 기 조치 완료되었으며, 잔여 3건은 외부 전문가(철도연) 점검항목으로 이관되어 처리함.

< 잔여 3건 리스트 >

번호	분야	내 용	조치계획(결과)
18	통신&차량	-3편성 양방향영상 표출불능	(보완완료 및 모니터링) - 첫 출고차량 리셋기능 보완완료 및 확인(7/13) - 간헐적 화면 끊김 현상 모니터링 중 ※ 기능 개선 방안 수립 중으로 “양방향통신(차내영상) 간헐적 단절 문제 개선” 항목 참조
162	차량	-풍속영향으로 동일한 장소(2k800)와 개소(McA MD1L)에서 부상착지 발생 -최근발생 : '14.11.12일(최고풍속, 13.0m/s)	(보완완료) - 풍속 17.1m/s에서 이상없음 확인('15.7.12) - 시뮬레이션 결과 20m/s까지 정상속도 운행, 20~26m/s에서는 감속 운행조건 만족 확인 * 태풍시 추가실증 예정
170	전력	-차량기지 및 104역 S/S 64P 동작, -원인분석이 가능한 시스템 필요(Reset 후 재 급전 하였으나, 104역 64p 재발생)	(보완완료) - 전 구간 절연애자 점검 및 세척('15.6.15~27) 등 완료 - 600V 100ms로 trip 설정하여 모니터링 중

(2) 전문가 점검 18개 항목 관리

(가) 전문가 점검회의 실시

- 운영기관 요청에 따라 18개 항목에 대해 전문가 점검 실시
- 일자 : 2015.4.16. ~ 17

(나) 전문가 점검회의 결과에 대한 실무회의 실시

- 전문가 점검결과에 대한 이견 등 향후 조치 방안 등 협의
- 일자 : 2015.4.23

(다) 실무회의 결과에 따른 조치 현황 관리

분야	번호	전문가 점검항목	4월23일 실무협의 결과에 따른 조치 현황	비고
전력	1	차량기지 및 104역 S/S 64P 동작원인 해소	○절연애자 교체 및 간격 조정 완료(4/10 완료, 최소 14mm 이격) ○강우시 전위 상승 관찰 후 문제발생 시 추가 보완(전문가의견) * 64계전기 운용관련 공문 운영기관에 송부(5/8, 설정치 조정 및 트립 대신 알람설정 권고)	완료 (철도연 점검항목 참조)
	2	차량기지 유기전압 발생	○조치완료(5/11, 강우시)	완료

	3	DC 종합계전기 이상발생에 따른 전차선 급전제어 불가	○프로그램 이식(5/14 완료)	완료
	4	분기기 전차선 절연애자 반복적 파손	○5/8~5/13 작업 실시(본선구간 완료 5/10) *브라켓 인도후 차량기지 조치완료(5/13)	완료
	5	전차선 중심거리 및 편위오차 범위	○5/8~5/14 작업 실시 완료	완료
분기기	6	#2 클램프 락킹센서 명칭 변경	○수정도면 제출완료(5/11) ○프로그램 수정 완료(5/13) ○현장설치 완료(5/13), 시운전 완료(5/15)	완료
	7	분기기 불일치	○볼트, 너트 풀림 확인 완료(5/8~5/13) ○센서 정밀조정 완료(5/8~5/13) ○표준운영 매뉴얼(안) 송부 완료(4/15)	완료
기계	8	갭센서 시험기 및 안전진단장치 등 검수설비 미완성	○(갭센서) 시운전 및 교육 완료 ○(차량성능진단장비) 차량 연동시험 후 교육 완료 ○(스팅거)설비보완 및 차량 연동시험 실시 완료 ○(세척기)시험(5/11일, 운영기관 합동확인) 완료	완료
	9	관제-검수고장 화재신호와 인터페이스 기능 구현 불가	○설계 외 사항으로 보완 불필요	-
	10	선로점검장비 기능 확인	○GPS보완완료 (5/6) ○동영상 정지후 화면 확대 조치완료(4/16)	완료
	11	PSD 장애물센서 오검지(눈, 곤충 등도 인지)에 의한 열차운행 장애	○전기제어분야 도면 제공 완료(4.23) *추가 요구도면은 제작사에서 제공 불가	완료
차량	12	강풍시 부상착지 발생 장애	○조향장치 유압시스템 개선(4.27) ○20m/s 까지 시뮬레이션 결과 제공(4.28) * 철도연 점검항목 참조	모니터링
	13	제동완해 시 아크에 의한 제동패드 이상마모 발생	○Train ready S/W 개선(4.30)	완료
신호·통신	14	차내 및 관제간 양방향 통신 수시 단절	○기능 개선후 모니터링중(“양방향 무선통신 단절 현상에 대한 원인분석과 개선안 도출” 항목참조)	모니터링
	15	게이트 통제설비 보완	○프로그램 보완 후 적용 - 일간, 월간 통계기능 구현완료(5/14)	완료
	16	궤도 이상점유 발생	○측정장비 설치후 모니터링중(“궤도이상점유 문제 개선 방안” 항목 참조)	모니터링
궤도	17	궤도고정용 침목체결 볼트 고정 상태에 따른 차량 공진현상	○진동은 볼트 체결력과 관계없음 * 유지관리 방안 기송부(2014. 7월)	-
	18	선로상 승객비상대피로 적정성 및 운영자 추락방지 구조물 설치	○협약서에 의거 운영기관에서 준비할 사항임 ○비상통로 용접 탈락개소는 조속히 재용접 * 운영기관 요구 사항(특장차 등)은 별도 검토필요(예산조달 등)	완료

(3) 철도연 점검결과에 대한 조치현황 관리

- `15.12 운영기관 요청에 따라 진흥원 주관으로 실시한 7개 항목에 대한 외부 전문기관(철도연) 점검결과에 대한 조치 현황 관리
- 7개 항목의 조치현황

분야	검토결과(지적사항)	조치현황 및 계획	비고
1.강풍시 차량 부상착지현상	(단기) 부상성능에 대한 검증 전까지는 정상운행 규정풍속을 15m/s 이하로 조정	·(조치완료)풍속 15m/s이상일 경우 속도제한조치 시행중	완료

분야	검토결과(지적사항)	조치현황 및 계획	비고
	(장기) 향후 추가 시험 또는 개통 후 장기간 속도 DATA 분석으로 부상 안정성을 검증한 후 점차 풍속기준 조정	·(조치중) 강풍 (20m/s이상)예보시 측정예정이며, 측정결과를 바탕으로 풍속기준 상향조정 예정(목표 : `17.7월말) ·지금까지 공항지역 20m/s이상 강풍예보시(개통이전 3회, 개통이후 전무) 현장에서 대기하였으나 강풍이 불지 않아 측정하지 못하였음 -`17.7.26일까지는 사업단 주관으로 실시(예정), 그 이후는 현대로템 주관 기계연 지원으로 시행	조치중
2.우천시 64P계전기 동작에 따른 전원차단 현상	(단기) 64P계전기의 적정 세팅값 설정 ·경보(스카다) : 310V, 0.6S ·계전기 설정 : 600V 0.1s(초기), <u>안정화시</u> (435V 0.4s)	·(조치완료) 제안된 값으로 세팅하여 운영중이며 지금까지 문제없음	완료
	(장기) 애자청소 등 주기적인 유지보수	·(운영기관 조치사항)	-
	(장기) 전압 모니터링 후 전압 설정값 조정	·(조치사항) 운영기관 주관으로 운영데이터를 축적하여 적정 셋팅값 설정 필요	-
3.비상대피로 작업자 및 승객안전성 검토	(단기) 비상대피로 바닥판 설치 ·바닥판 추가설치시 용접 재보수	·(조치완료) 설치 완료(`16.8)	완료
	(단기) 건넌선 발판 추가설치	·(조치완료) 설치 완료(`16.7)	완료
	(단기) 작업자 안전고리 설치	·(조치완료) 설치 완료(`16.8)	완료
	(장기) 차내 비상사다리 재제작 (샘플)	·(운영기관)조치사항	-
	(장기)특장차 제작 가능성 및 활용성 검토	·(운영기관)조치사항	-
	(단기) 정위치정차 모니터링	·(조치완료) 모니터링 완료	완료
4.차량 제전브러쉬 변경에 따른 정위치정차 실패	(단기) 제전브러쉬 성능 요구사항서 작성하고 제품화가 되도록 조치	·(조치완료) 성능요구사항서 작성 완료(`16.1)	완료
	(장기) · 적합한 제품으로 교체	·(조치완료) 제품 입고 완료(`16.4)	완료
	(장기) · 새로운 유지보수기준 마련	·(조치완료) 성능요구사항서에 포함	완료
	(장기) · 제전브러쉬 접촉 접지레일과 3궤조 집전 부상레일의 접지와 분리	·(조치불가) 시범노선은 공동접지방식으로 시공되었기 때문에 접지 분리 불가	-
	(단기) 고정장치 추가 설치 ·분기기 구간의 경우 고무패드 대신 추가설치된 절연판 삽입 검토 필요	·(조치완료) 고정장치 추가 설치 완료(`15.12) - 고무패드의 성능 TEST수행결과 기준에 적합함	완료
5. 분기기 구간 전 차선 Expansion Joint 적정성	(단기) 고정장치 밀림현상 및 Expansion Joint 신축량 확인 및 측정 필요	·(조치완료) - `17.3.16. 운영기관 협의 - `17.3.17. 작업계획서 송부 - `17.3.21. 보완작업 착수 - `17.4.01. 보완작업 완료	완료

분야	검토결과(지적사항)	조치현황 및 계획	비고
6. 분기기 불일치		*신축량 확인은 유지보수 매뉴얼(4회/년)에 의거 운영기관 시행/확인 필요	
	(장기) Expansion Joint 추가 설치	·(조치완료) 합의에 따라 20개소 추가설치 완료('16.2)	완료
	(단기) 구동 감속기 지지대 및 기초부 지지상태 점검항목 유지보수지침서에 추가	·(조치완료) 구동감속기 및 기초부 지지상태 점검항목 포함한 유지보수지침서 운영기관에 제출 완료('16.7) 및 문서송부 완료('16.8)	완료
	(단기) 파워실린더 리미트 감지시 비상정지가 가능하도록 관련 제어로직수정	·(조치완료) 로직수정 완료 ('15.12)	완료
	(장기) 제어부 보드 정상작동 유무에 대한 신속한 확인 및 조치방안 마련 (자기진단 장치 등)	·(조치완료) 제어로직 변경으로 완료 ('15.12)	완료
	(장기) 구동부 전원 차단 장치 방안 마련	·(조치완료) '16.7.15일 운영기관과 회의결과 보완 완료 확인	완료
	(장기) 파워실린더 스트로크(stroke) 축소	·(조치완료) 축소 완료('16.10)	완료
	(장기) 각종 부품(센서, MC(전자접촉기) 및 릴레이 등)의 신뢰성 향상	·(별도추진) 장기간의 운영 데이터가 필요하므로 제작사와 운영기관이 협의하여 별도로 추진	-
7. 궤도 이상점유 현상	(장기) 통합시스템 개선	·(조치완료) 개선 완료('17.4)	완료
	(단기) 열차이상점유현상 발생할 경우 관제에서 원격 복구가 가능하도록 조치	·(조치완료) 이상점유 발생 원인이 남아 있는 경우는 원격복구가 불가하며, 발생 원인이 해소된 경우는 원격복구 가능함	완료
	(장기) 신호기계실에서 현장(MT BOX)까지의 신호케이블 교체 후 모니터링	·(조치중) ·케이블 교체 완료('15.12) ·궤도이상 점유 발생 원인 파악은 후속연구 과제 4차년도('16.6~'17.7)에 포함하여 진행하였으며, 특수 계측장비 제작/설치하여 모니터링하였으나, '17.7.14일 현재까지 해당 궤도에 대한 이상점유가 발생하지 않았으므로 해소된 것으로 판단되나, 설치된 특수 측정장비는 잠정적으로 '17.12월말까지 유지함(이벤트 발생시 기계연에서 원인분석 실시 예정)	진행중

(4) 철도안전 감독관 지적사항에 대한 조치현황 관리

- '16년 1/4분기에 실시한 국토부 철도안전감독관 점검(지적) 사항에 대한 조치현황

분야	지적사항	조치현황 및 계획	비고
1. 급전 케이블 안전성 검증	급전 케이블 안전성 검증 및 결과에 따른 교체	·(조치불필요) 전기안전공사 검증결과 적정, 조치 불필요 * 첨부4-1-2 전기안전공사 보고서 참조	-
2. 접지보호계전기 이상동작 문제 개선	지락보호계전기의 빈번한 동작원인 파악/보완	·(조치완료) 접지 보호계전기 설정치를 너무 낮게 하여 발생	완료
	지락보호계전기 차단전압 설정치 안전성 검증	·(조치완료) 전문가 자문 등을 거쳐 적정한 한계치 설정	완료

분야	지적사항	조치현황 및 계획	비고
	및 보완	·경보(스카다) : 310V, 0.6sec ·계전기 설정 : 600V, 0.1sec, 안정화 시 435V, 0.4sec	
	절연애자와 구조물간 절연이격거리 안전성 검증 및 보완	·(추가보완공란) 전기안전공사 용역결과 이격거리 추가 확보가 보다 유리한 것으로 판단되었으나(불임 전기안전공사 보고서 참조), 애자 충전부와 대지간의 최소 이격거리는 45mm로 시공, 자재사양서의 75mm 불만족하나, 유지보수 매뉴얼 40mm 만족함 * 수차례의 전문가 자문 및 철도연의 검토결과('15.12)와 같이 가공전차선 보다는 철도용 고정설비로 보는 것이 적절한 것으로 판단되므로, 충전부와 구조물간의 이격거리 43.2mm 이상 이격하는 경우 안전하다고 판단할 수 있음	-
3. 신호케이블 및 덕트 파손 보완	신호케이블 단선 및 루프케이블 Duct 변형원인 파악 및 보완	·(조치완료) 조치 완료('16.8) ·신호제어용 케이블 58개소에 10미터 여장 추가 ·거더 신축이음 양단 침목간의 루프케이블 덕트 이음부에 충분한 여유공간을 두어 이음부 신축 시 슬라이딩 되도록 조치	완료
4. 전차선 지지애자 파손 보완	지지금구 틈새여유 적정성 검토 후 문제개소 교체 등 보완조치	·(조치완료) 고정금구의 찢수 및 고무패드 성능은 문제없으므로 전수조사 중 잘못 시공된 개소에 대하여는 즉시 교체/보완	완료
	·전차선 신축시 지지금구의 비틀림 방지설계 보완 ·신축이음장치 적정 토크치 기준 제시 ·고정부 고무 절연판 적정성 검토 후 문제개소 교체	·전차선로 위험개소 설치상태 조사하여 신축이 원활하도록 재조정 실시 - '17.3.16. 운영기관 협의 - '17.3.17. 작업계획 송부 - '17.3.21. 보완작업 착수 - '17.4.01. 보완작업 완료	완료
	전차선 고정장치 위치 최적화(시설물 신축에 따른 변동이 최소화 되는 개소)	·(조치완료) 구조물 신축과 전차선 신축의 범위가 서로 벗어난 4개소의 고정장치 위치조정 완료('17.4)	완료
5. 주행레일 고정볼트 파손 보완	재질별 열팽창 계수 차이에 의한 응력과 차량추진시의 추진반발력을 감안하여 볼트규격 적정성 재검토	·(조치불필요) 추진력에 저항하는 볼트는 중앙에 위치하여 열신축의 영향을 받지 않으며, 재검토 결과 안전한 것으로 판단되어 조치 불필요	완료
	볼트 파손원인 파악 후 교체 등 보완조치	·(조치중) 볼트 탈락, 직진도 불량, 편측시공 개소에 대해서 직진도 확보하여 추진레일 가공홀(10mm) 중앙에 천공 후 무두볼트 체결 및 실리콘 코킹 처리(계절적 온도 변화를 감안하여 시공) - '16.10 보완방안 협의 완료 - '17.3.13. 현장 설명회(GS건설) - '17.3.30~4.3 현장 합동점검(보완업체 + 공항철도) - '17.5월 보완작업 진행중 중부지방고용노동청의 근로감독관 점검시 '선로정비 및 점검용 이동통로 상 추락 방지재해 예방조치' 지적에 따라 안	진행중

분야	지적사항	조치현황 및 계획	비고
6. 분기기 장애 발생 보완	기 발생한 분기기 고장 유형별(센서히터 과열, 센서케이블 단선, 센서 고장, 센서 볼트풀림 등) 원인 파악 및 보완	· 전조치 완료 후 8월중 재개 가능 · (조치완료) 조치완료('17.2) · 센서히터 과열 방지를 위한 히트 용량 축소 완료 · 케이블 단선 방지를 위한 프렉시블 보강 완료 · 센서 볼트풀림 방지를 위한 와셔 추가 삽입 조치 완료	완료
	구동감속기 지지대 기초플레이트 보완사항에 대한 안전성 검증	· (조치완료) 구동감속기 지지대 기초플레이트 대한 안전성 보고서 제출 완료('16.8)	완료
7. 유지보수메뉴얼 보완	차량·전차선·궤도 등 운행설비의 유지관리지침서가 지하철 등 타 시스템에 비해 미흡하므로 보완	· (조치사항) - 매뉴얼 보완은 운영사에서 담당하되, 필요한 기술적 사항에 대하여 시설공단은 시공사/제작사의 협조를 요청	-

(5) 개통 후 발생한 이례사항 및 조치결과 관리

- 개통 후 이례사항은 운영기관 주관으로 관리되며
- 운영안정화를 위해 개통 후 초기 6개월간은 연구단 주관으로 기술지원을 실시함
- 영업운전 중 발생한 가용도에 영향을 미치는 이례사항은 총 16건 발생하였으며 그에 대한 관리(기술지원) 내용은 다음과 같음

번호	분야	장애내용	원인 및 조치 내용
1	전력 ('16.2.23)	용유역~차량기지 간 전력케이블 소손 사고	1.5kV케이블 6.6kV케이블로 교체 완료
2	전차선 ('16.7.21)	하선 5k300m 지점 전차선 굴곡 발생	해당구간 전차선 길이 조정 완료 * 추가 6개소 조정완료
3	차량 ('16.3.12)	2편성 106역 상선 McA VWF 중고장	VWF 점검 및 보수 완료
4	신호	B416 열차 통과 직후 궤도 단락 발생 ('16.7.13)	야간 작업시 신호 케이블 혼선(오결)으로 발생, 재결선 완료
5		열차제어시스템 이상 ('16.7.26)	인터페이스 프로그램 중복 기동에 따른 장애로 프로그램 수정 완료
6		104편성 상선 0k900지점 비상 제동체결로 운행 불가 ('16.9.5)	무정차 통과중 TWC 메시지 미수신으로 TWC 감도 조정하여 조치 완료
7	기타 ('16.7.13)	소방점검 중 화재 오인으로 소화약제 살포에 따른 지락보호 계전기 동작하여 단전	소화 약제 청소 및 변전실 점검 완료 * 소방점검시 화재연동 해제 후 실시 필요
-	분기기	용유역 51번 분기기 히팅설비에 의한 온도 상승으로 위치 검지센서 오검지되어 불일치 발생('16.2.12) ※영업 개시전 발생 사항으로 지연 유발 장애 개수에는 포함되지 않음	히팅설비 보완 완료
8		용유역 51번 분기기 위치확인센서 대향면의 얼음에 의해 센서 오동작으로 불일치 발생('16.2.29)	결빙방지 보온히터 용량 절반으로 축소 시공완료
9		102역 22호 분기기 L방향 불일치 ('16.3.31)	분기기 고정용 모터 오동작에 기인한 것으로 모터 교체, 이후 재발생 없음

10		102역 시저스분기기 센서 오작동으로 인한 안전센서 감지 ('16.7.11)	장애 근본적 해소를 위하여 파워실린더 스트로크 축소 제작/시공 완료
11		102역 21B 분기기 불일치 ('16.7.14)	* 시저스 분기기 내 파워실린더 20개 교체(9월말)
12		102역 21B 분기기 R방향 불일치 ('16.7.19)	
13	차량	102편성 McA(용유역방향선두차) 추진 장치 필터리액터 소손(17.1.20)	(분석) 운행중 필터 리액터 눈 유입에 따른 절연 성능 저하에 의한 지락 계전기 동작(단전) (조치)코일측 몰딩 충전 작업으로 절연 성능 개선 완료
14	신호 (17.3.31)	전구간 자동모드로 운행하는 열차의 신호제어불가(11:41)로 관제사가 수동으로 신호, 진로 제어 및 열차 수동모드 운행으로 12열차 3~9분 지연운행(운휴 열차 2회 발생)	DCC 하드디스크 장애로 조치 완료
15	기타 ('17.6.9)	낙뢰로 106역 분기기 51, 51번 불일치(휴즈 용단)	휴즈 교체 완료
16	분기기 ('17.6.26)	101역 시저스 분기기 22A 불일치	3번 클램프 모터 브레이크 패드 파손 교체 완료

3. 인터페이스 관리 및 지원

가. 시스템 안정화를 위한 무인 운전 기능 개선

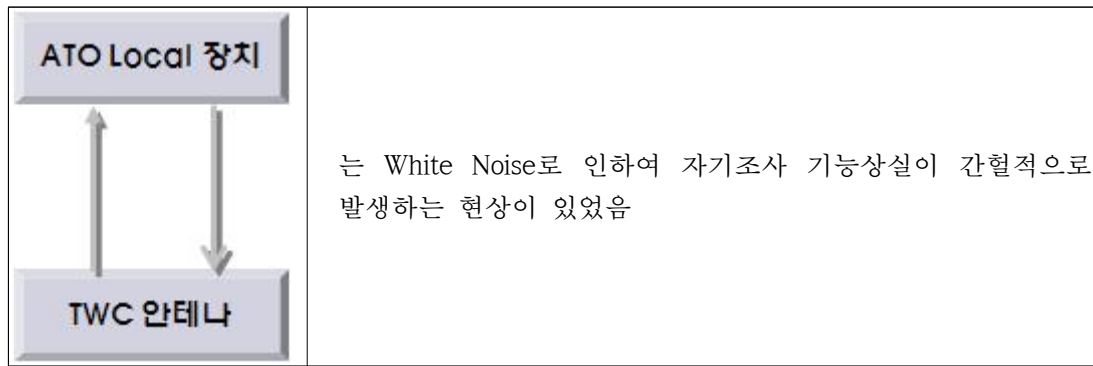
- * 운영기관, 차량제작사, 열차제어 제작사와 합동으로 무인운전 기능 향상을 위한 인터페이스 회의를 통해 다음과 같은 기능을 추가함
- wake-up/sleep/sleep2 기능 : wake-up/sleep 기능에 추가하여 sleep2 기능 구현 검토 : (sleep 2) 본선 등에서 차량 장애로 정지 시에 전체 차량을 재기동 하기 위한 절차로 차상 신호장치와 TCMS 장치, 비상통화, 방송장치, 비상조명을 제외한 전체 시스템의 전원을 Off 하는 기능을 검토 하였으나, 회로 변경 등 현 단계에서는 적용이 어려우며, 향후 프로젝트에서는 설계 초기 단계부터 적용 예정
- 원격 부상/착지 제어 : 무인운전 시 일부 부상 실패 등으로 본선에 정지한 열차를 부상/착지 명령 등을 시행하여 원격으로 차량을 제어하는 기능 추가
- 원격 재출발 제어 : 부상실패 등의 장애발생 시 원격 부상제어 명령으로 차량이 출발가능한 상태임을 확인한 관제가 차량을 무인으로 재출발 시킬 수 있는 기능 추가, 또한 외란 등 부상실패 발생시 자체 reset 기능을 추가하여 자동으로 부상이 복원되는 기능 추가
- 인칭 제어 : 관제 콘솔에서 열차의 인칭제어가 가능, 후진 인칭의 경우는 1.5m 범위 내로 제한, 정위치 정차 실패시는 1회에 한하여 자동으로 인칭 제어하여 정위치 정차하는 기능 추가
- 비상제동완해 제어 : 관제 콘솔에서 열차의 비상제동완해 제어 기능 추가
- 차상신호장치 reset 제어 : 관제 콘솔에서 열차의 차상신호장치 reset 제어 기능 추가
- 냉난방기 On/off 제어 : 관제 콘솔에서 열차의 냉난방기 On/off 제어 기능 추가
- 출입문 상태 표시 : 편성별 출입문 상태(개방, 닫힘, 장애)를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 속도코드 상태 표시 : 편성별 권고속도 및 열차운행속도를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 가선전압 상태 표시 : 편성별 가선전압을 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 공기압력 상태 표시 : 편성별 제동 MR/BC 압력을 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 배터리 전압 상태 표시 : 편성별 McB Car 100V 축전지 전압을 관제 모니터에 표시 기능 추가

- ADU/DU 장애상태 표시 : 편성별 TCMS, 제동불완해, ECU, CM, DCU, 비상인터폰, 화재검지, PSR/MSR, VVVF, APU, 부상장치, MDPS 장애 상태를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 운전대 덮개 열림 상태 표시 : 편성별 운전대 덮개 열림 정보를 관제 모니터에 표시하는 기능 구현은 현 시점에서 적용하기는 어려우며(향후 프로젝트에서는 설계 초기부터 반영 예정) : 대안으로 덮개 Key의 보안 등급 강화하는 방안 검토
- 비상핸들 조작 정보 표시 : 편성별 비상핸들 조작 정보를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 객실등 점등 상태 표시 : 편성별 객실등 점등 상태를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 냉난방 상태 표시 : 편성별 냉난방 가동 상태를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 객실 온도 표시 : 편성별 객실 온도를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- MD 상태 표시 : 편성별 McA & McB 상태(전원공급전, 부상, 고장)를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 운전모드 표시 : 편성별 열차운전 모드 상태(무인, 자동, 수동, 비상, yard)를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- HSCB 상태 표시 : 편성별 HSCB 상태(On, Off)를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 출입문 모드 상태 표시 : 편성별 출입문 모드(자동/자동, 자동/수동, 수동/수동)를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 강제제동완해 상태 표시 : 편성별 강제제동완해 취급 정보를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 배터리 전압 표시 : 편성별 배터리 전압(100V 및 300V)을 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 정위치 정차 정보 표시 : 편성별 정위치 정차 정보(미달, 정위치, 과주)를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- AT0-Data 상태 표시 : 편성별 AT0-Data 상태를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 비상제동체결 정보 표시 : 편성별 비상제동체결 정보를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 상용만제동체결 정보 표시 : 편성별 상용만제동체결 정보를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- TCMS log 정보 표시 : 편성별 TCMS 로그 정보를 관제 모니터에 표시 기능 추가
- 진로개통 표시등 설치 : 차상신호 장치가 없는 차량의 이동 및 비상모드로 차량 운전시 안전운행을 위해 진로개통 표시등 추가 설치
- 검수고 내 급전 상태와 진로 연동 : 열차 검수고내 진입 시 휴먼 에러로 인한 지락 사고 방지를 위해 검수고내 급전 상태를 진로조건에 연동함
- 본선 취약 개소에 풍속계 설치 : 바람의 세기에 따라 열차운행 속도를 제한할 필요가 있으므로 본선의 풍속이 강한 개소에 풍속계를 설치하여 관제 모니터에 정보 제공 기능 추가 구현
- 임시속도제한 40km/h, 25km/h 적용 : 자기부상열차의 특성에 맞게 풍속의 세기에 따라 해당 구간을 25km/h, 40km/h 등으로 속도제한 구현(당초 25km/h 만 구현되어 있으나, 본 과제에서 40km/h 추가)
- PSD 와 신호 연동 : 가동도어, 비상도어 및 선로출입문의 개방시 열차의 승강장 진입을 방지하기 위해 상하선 모두 비상제동체결 기능 추가
- 회차궤도 길이 : 구원 연결 열차의 원활한 진로취급이 가능하도록 구성을 고려하여, 101역 궤도 길이 조정 시행

나. AT0 local 장치 자기조사 기능 보완

(1) 기존 문제

	- 인천공항 자기부상철도에 적용된 AT0 Local 장치와 TWC 안테나는 시스템의 건전성(정상동작 여부)을 확인하기 위하여 지속적으로 자기조사기능을 수행하고 있음 - 이러한 자기조사 기능수행 중, 차량의 추진/제동 시에 발생하
--	--



(2) 검토 내용

- 자기조사 시점 조정 : 당초 상시 자기조사 실시에서 열차가 승강장 궤도를 점유할 때는 자기조사 기능을 일시 정지하고 열차가 승강장을 벗어나면 재개하는 것으로 수정
- S/W reset 기능 추가 : AT0 local 장치는 자기조사 결과 이상 발견시 자체적으로 fault 상태로 대기하고 H/W적인 reset에 의해서 만 재기동하도록 설계되어 있었으나, 이를 보완하여 최초 3회까지는 S/W적으로 자동 Reset하게하고 3회 이후에도 지속적으로 fault 발생 시는 H/W reset 시까지 대기하도록 변경함

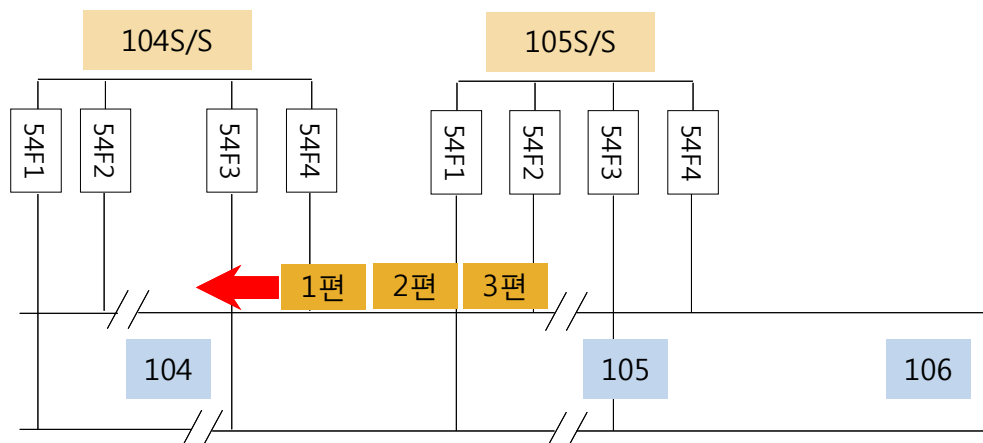
(3) 보완 전/후 상황 비교

- 보완 전 : 자동모드 운행 시 1회 왕복 주행에 약 2~3번 AT0 Local 장치를 H/W적으로 reset하는 event 발생함
- 보완 후 : `14.3.21일 보완 후 현재까지 상기의 원인에 의한 fault는 발생치 않음

다. 스카다 검지 DC 급전 전류값~차량 소비전류값 간 인터페이스

(1) 인터페이스 내용

- 차량 보호기능 동작 시험 중 차량 3개 편성 운행시 스카다 측정 최대전류치가 4,825A로 편성당 최대 소비전력 1000A 이하를 고려한 3,000A를 과도하게 초과되는 원인 검토 필요

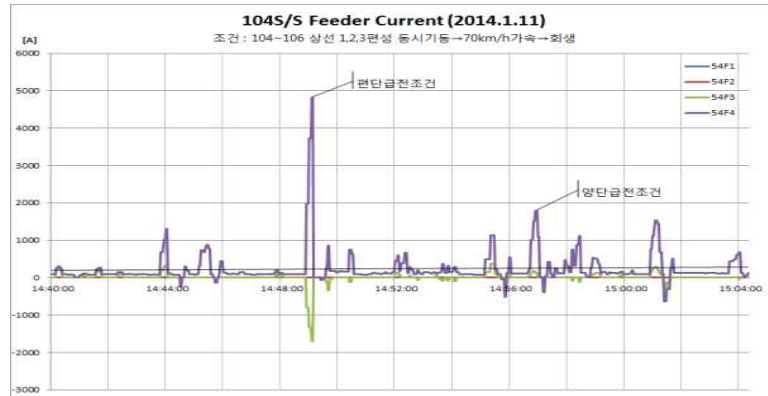


(2) 보호동작 시험 내용

- 시험일시 : 2014.1.11. 14시 00분
- 시험방법
 - 104~105 상선 편단급전 조건 (105S/S 54F2 개방)
 - 1,2,3편성 동시기동→(50,60,70)km/h 가속(P4)→회생제동(B7)
 - ※ 3개 편성은 모두 105→104 방향으로 진행
- 시험결과
 - 50km/h 까지 가속시 : 이상없음

- 60km/h 까지 가속시 : 이상없음
- 70km/h 까지 가속시 : 104S/S 54F2 76D 동작으로 차단

- 전류측정 결과



- 편단급전 조건 76D 동작시 최대 전류 : 4,825 A
- 양단급전 조건(105S/S 54F2 투입) 최대 전류 : 1,788 A

(3) 인터페이스 관리 내용

- '14.1.15 : 시설물검증시험용역의 전력품질시험 결과 보고서 검토 : 차량 운행과 연계된 전차선 라인 전류 사항 없음
- '14.1.23 : 차량과 급전설비 합동 검토 시험 실시 : 스카다 측정 전류치 환산비 오류 발견하여 수정함

라. 차량 고장 발생시 상태에 따라 정거장까지 운행 가능 기능 개선

- (기존) 차량 고장이 발생하면 경/중에 따라 차량측에서 Train Ready를 소거하게 되며, 이 신호를 받은 열차제어 설비는 열차를 FSB를 체결하여 정지시킴
- (개선 필요성) 통상 무인으로 운전하는 열차의 고장 시 본선에서 차량이 FSB 상태로 정지하게 되면, 안전요원의 현장 출동 시간 동안 승객은 열차 내에서 고립되게 되어 차량 고장 상태에 따라(관제 등이 판단하여) 저속으로 다음 정거장 까지 이동하여 승강장에서 승객을 대피 후 안전요원이 출동하여 조치하는 방안 검토 필요
- (개선) 운영기관, 차량제작사, 열차제어 제작사와 합동으로 무인운전 기능 향상을 위한 인터페이스 회의를 통해 다음과 같은 기능을 추가함
 - 무인운전 중 차량 고장에 의한 Train Ready 신호 소거 시, Train Ready 신호 소거 상태에서 관제 원격 재출발 명령에 의한 다음역까지의 진행(25km 이하 주행) 후 대기 기능 추가
 - 차량 정차 상태에서 정상적으로 Train Ready 신호가 복귀될 경우 다시 정상 주행 상태로 변환
 - 본 기능은 열차 고장 상태에서 강제로 다음역까지 열차를 진행시키게 되므로, 열차재출발 시, 관제에서 재출발이 가능한 상태인지 반드시 확인 후에 재출발할 수 있도록 해야함 (운영 규정 등 반영)
- (기능시험) '15.4.30 열차제어분야와 관제 합동으로 기능시험 완료

마. Train Ready 소거 조건 개선

- (개선 필요성) Train Ready 소거 연계 차량 고장이 발생하면 차량은 FSB가 체결되어 제동 패드의 마모를 가속하는 등 Train Ready 소거 조건에 대한 검토 필요
- 운영기관 및 차량제작사와 협의하여 기능 개선 키로 협의함
- (개선) 하기 표와 같이 개선

고장	McA	McB	Train Ready OK	비 고
APU 100 통신 고장	-	X	○	
APU 330 통신 고장	X	-	○	
APU 100 중 고장	-	X	△	
APU 330 중 고장	X	-	△	
APU 100출력 NOT OK	-	X	○	재기동 조건 고려
APU 330 출력 NOT OK	X	-	○	
VWV INV. 통신 고장	○	X	△	
	X	○	△	
	X	X	X	
VWV INV. 중 고장	○	X	△	
	X	○	△	
	X	X	X	
MDPS 통신고장	○	X	○	
	X	○	○	
	X	X	X	
MDPS 중 고장	○	X	△	
	X	○	△	
	X	X	X	
- ○ : Train Ready 조건에서 삭제 - △: 차량 정차(Train Ready 소거) 후 관제의 조치로 진행 역까지 가능 - 단, APU 100, APU330, MDPS 통신 고장은 Train Ready 조건에서 제외하였으나 고장발생시 장치의 상태를 모니터링 하지 못하므로 반드시 관제의 판단이 필요함. - 고장 발생이 두종류의 장치가 동시에 발생하였을 경우는 Train Ready 조건을 해제한다				

- (기능시험) '15.4.20 차량분야에서 운영기관과 합동으로 기능시험 완료

바. 강풍시 부상착지 문제 해소

(1) 현황 및 문제점

- 당초 설계와는 달리 강풍(측풍) 10m/초 내외에서도 차량의 대차와 레일간 접촉에 의한 충격으로 부상상태 장애 발생
 - 차량제작시방서) 풍속 26m/초 이하에서 운행가능토록 설계
 - 차량 운영기준) 20m/초까지 정상운행, 20m/초 이상은 감속 운행
- ※ 부상장애 발생시 시스템 보호 로직이 작동하여 차량을 정지 시킨 후 자동으로 부상 복귀 하며, 관제의 지령에 따라 차량 재출발

(2) 추진 내용

- 2014년 12월 1일 풍속 11.3 m/sec.에서 부상착지 다수 발생
- 2015년 1월 6일 풍속 10 m/s 일 때 차량의 거동측정, 부상착지 원인 확인
 - 조향장치 작동 미흡으로 곡선추종능력과 측풍 시 복원력 부족
 - 측풍으로 인하여 대차와 레일 간 접촉 시 과도한 충격가속도가 부상제어계통의 혼란초래
- 부상 소프트웨어 개선
 - 부상제어장치 S/W 수정(충격 가속도 검지 및 검지시 가속도 값 변경)에 의해 부상착지 현상 개선
 - 2015. 3. 9 약 13.6m/sec에서 정상 주행 확인

- 2015년 4월 2일 풍속 15~20 m/sec에서 정상주행 후 최종회 운행시 풍속 약 18m/sec에서 부상 착지 1회 발생
- 조향장치 개선
 - 조향장치 유압회로의 압축성을 개선하여 조향성능 향상
 - 2015. 04. 29 전 차량 개선 완료
 - 2015. 05. 15 시뮬레이션 결과 정상운전 가능 확인(첨부 시뮬레이션 결과 참조)
- 2015. 05. 12 최대 14.9m/sec에서 정상주행 확인
- 운행조건 재설정
 - 풍속 15m/s(당초는 20m/s) 까지는 정상운행하고, 그 이상인 경우 40km/h로 감속운행하고 강풍시 검증을 거쳐 당초 운행조건 적용

(3) 향후 계획

- 강풍시 풍속에 따른 운행조건 시험(향후 태풍시 측정 예정)

(4) 조치내용

※ 발생원인, 현장측정, 개선방안 도출 등 분석결과는 첨부자료 4-1-2에 수록

사. 스팅거와 차량간 인터페이스 해소

(1) 현황 및 문제점

- 월상선 및 정비선에 설치된 스팅거 장비에 대해 각 정비선에서 100V(차량제어용) 및 330V(부상제어용) 동시 사용을 위한 차량연계시험 중 AC전압(약 34V)이 유기됨(사업단/공단 및 차량분야 연계시험)
- 해당업체[(주)이영]에서는 차량기지 내 공통접지로 인한 유기전압이 발생하고 있다고 주장하며 문제 해소하지 못함('15.4. 현재)
- (운영기관 요청 사항)스팅거 접지와 월상선 및 정비선에 차량정비를 위한 동 시간대 두 가지 전압(100V 또는 330V)을 사용토록 조치

(2) 추진 내용

- 2015.4.28 전기전문가 자문 실시
 - 스팅거 회로도 검토하여 100V 및 330V 정류라인을 절연 변압기로 분리하면서, 100V 계통 사이리스트 입력을 고려하여 다운트랜스로 설치 권고
- 2015.5.13 : 전문가 자문의견에 따라 스팅서 보완 작업 및 시운전 실시
 - DC 100V용 전용 트랜스포머 설치, - 용량 : 15KVA ⇒ 20KVA
 - DC 100V용 제어기 트랜스포머설치
 - 접지용 저항기 제거
 - 시험 결과 무부하/풀부하에서 AC 전압리플 발생없음



100V 전용 트랜스 설치



제어기 트랜스 추가

아. 제동패드 이상마모 문제 해소

(1) 현황 및 문제점

- 열차 출발 시 제동 패드와 레일 사이에 강한 스파크가 발생하여 제동 패드에 이상 마모 발생

(2) 추진 내용

- 제동 패드의 재질을 비전도성으로 검토(패드 제작 업체 시행)
- 접지판 추가설치 방안 검토(연구단 및 현대로템 공동)
 - 106상선 정거장에서 열차 출발 시 관측 결과 특이한 스파크가 발생하지 않음
 - 열차를 정거장 밖에 정차 후 출발시 관측결과 강한 스파크 관측 됨
 - 시험 결론 : 열차가 접지판 위에서 출발하는 경우는 접지 브러쉬로 방전되므로 제동 패드 부위에서 스파크는 발생하지 않음
 - 검토 결론 : 열차가 통상적으로 정지하는 개소에 접지판을 설치하면 제동 패드에 스파크가 발생하지 않으므로 제동패드 이상 마모 방지가 가능함
- 접지판 추가 설치 : 상/하 인상선, 입출고선, 유치선 등 열차가 상시 정차하는 개소에 접지판 추가 설치(사업단)

자. 전차선 유기전압 문제 해소

(1) 현황 및 문제점

- 우천시 차량기지 유치선과 입출고선 상호 유기전압 발생
- 우천시 본선 절연 섹션에서도 일부 유기전압 발생

(2) 추진 내용

- 2015.4.28 전기전문가 자문 실시
 - 차량기지 유치선과 입출고선간 절연저항 측정

내 용	측정값[MΩ]	비고
물분무 전	500	
물분무 후	0.2	
물분무 및 커버분리	3	물분무 후 약5분 소요

- 우천시 FRP 절연구분장치 커버 하단부에 물이 고이면서 고정 볼트 8개에 의해 수로가 형성되어 절연저항 값이 급격히 하락하는 것 확인



- 2015.5.11 : 전력 분야에서 전구간 FRP 절연구분장치 커버 하단부 제거 작업 실시
- 2015.5.11일 우천(16mm)시 유기전압 문제 해소 확인

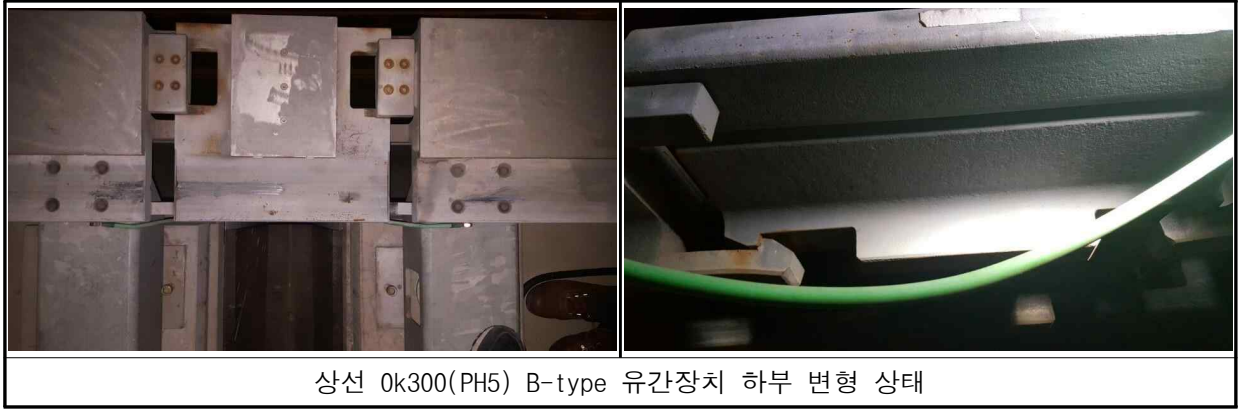
차. 유간장치 스트로크 증대 방안 검토

(1) 목적

- '16.1.20 발생한 B-type 유간장치의 하부 변형문제를 해소하기 위하여 유간장치 스트로크량을 증대 시키고자 함

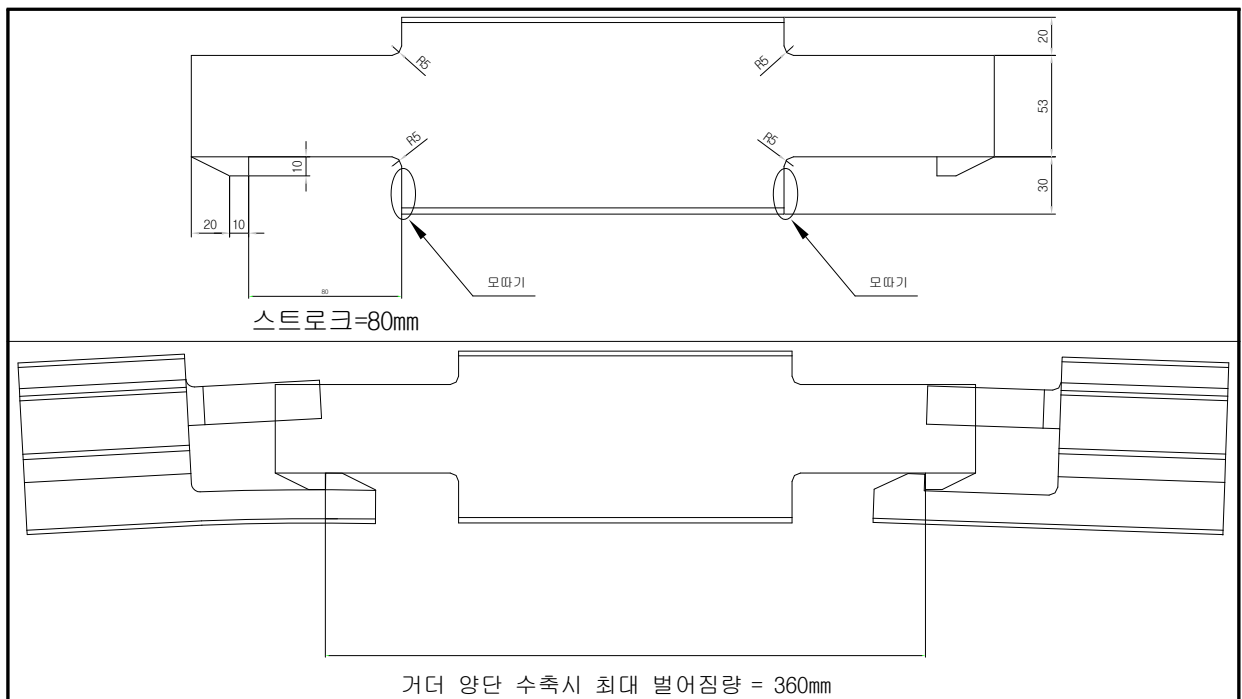
(2) 유간장치 변형현황

- B-type 유간장치 내부폴 상부걸이와 수축된 거더의 하부걸이가 접촉하여 변형발생 함

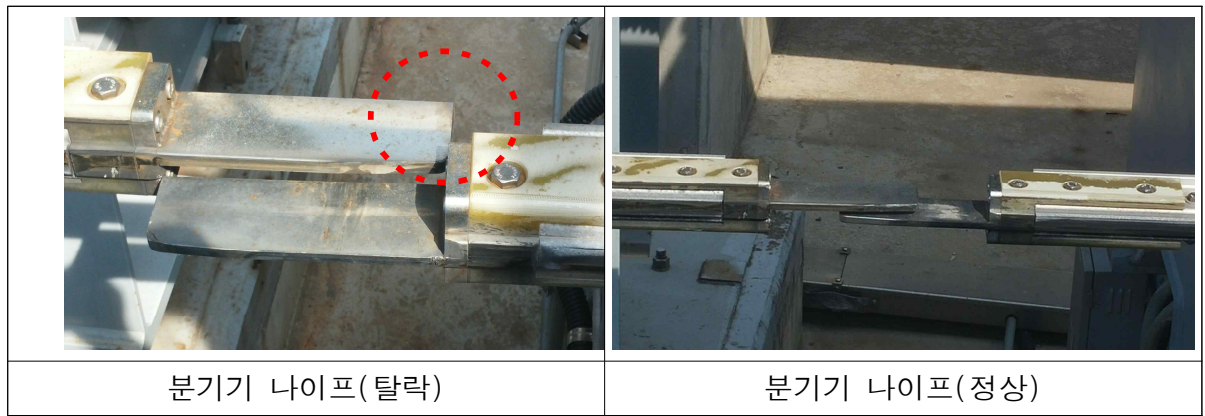


(3) 유간장치 스트로크 증대방안

- 현재설치
 - B-type 유간장치 내부풀은 동절기 거더의 수축발생시 유간장치의 탈락을 방지하기 위하여 걸이 형태로 제작
 - 현재 설정된 유간장치의 스크로크량은 편단 기준 80mm이며, 거더 수축 시 최대 벌어짐량은 360mm임



- 개선방안
 - B-type 유간장치 내부폴 탈락방지를 위한 걸이 형태는 유지하되, 형상을 갈고리형상에서 구형(□)형상 으로 변경
 - 변경 후 유간장치의 스크로크량은 편단 기준 100mm이며, 거더 수축 시 최대 벌어짐량은 400mm 로서 40mm 여유 확보가능(추가수축에 대비)
 - 하절기 거더 신장은 현재와 동일



(2) 추진 내용

- (단기) 해당 분기기 부근 전차선로 5cm 이동 작업 시행(GS 네오텍)
- (장기) 분기기 구간 전차선 Extension Joint 적정성을 외부 전문기관(철도연) 점검 항목에 포함하여 검토하였으며('15.12) 검토결과에 따라 전구간의 분기기 인근에 Extension Joint 추가 설치 완료('16.2)

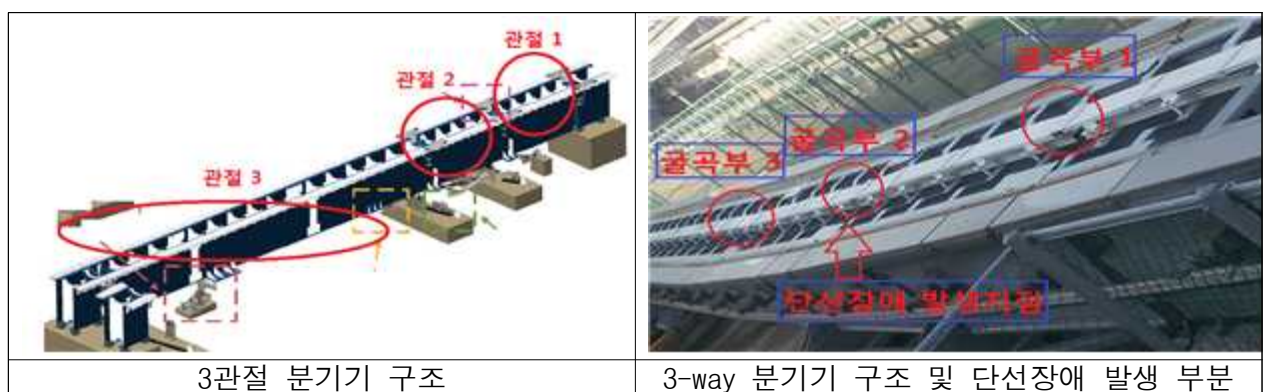
타. 106역 하선 53AT 단선 발생 관련 개선

(1) 개요

- '15.12.15일 & 16일 106역 53AT 이상점유 반복 발생
- '15.12.17일 현장 +선 ATP/TD 루프 케이블 단선 확인 및 예비케이블로 교체

(2) 주요 내용

- 시범노선은 17개의 분기기 궤도회로를 사용하고 있으며 분기기는 3관절 구조로 2.3도씩 회전하여 총 6.9도의 회전 이송이 이루어짐
- 단선장애 발생된 106역 53A 분기기는 1년에 약 20000회 이상의 굴곡이 이루어지고 있음.



(3) 개선방안 및 결과

- 굴곡이 자주 발생하는 부분의 루프 케이블의 유연성 증대를 위해(연선 : 유연하고 꺾임이 많은 곳에 사용, 단선 : 직선구간, 긴배선시 사용) 분기기 궤도회로 17개소의 ATP/TD 궤도회로 루프케이블을 2.25mm 단선케이블에서 동일 규격의 연선(4SQ)으로 포설 적용 완료('16.1)

파. 106역 51 & 52번 분기기 불일치 해소

(1) 현황 및 문제점

- 일시 : '16. 2. 12(금) 07:26(52번), 08:45(51번)
- 장소 : 106역 51번 & 52번 분기기
- 내용

. 열차 출고과정에서 차량기지에서 본선으로 진입하는 분기기(51번 & 52번)에 아래와 같이 2차례 불일치가 발생하였고,

시간	내용
07:26	52번 L방향 불일치 발생
08:45	51번 R방향 불일치 발생

. 즉시 조치가 완료되지 않아 영업착수시간을 감안하여 운행차량 2개 편성 모두 본선에 투입한 이후 분기기를 본선 운행만 가능하도록 고정 한 후 정상운행 실시

- * 통상적으로 분기기는 전환명령에 따라 전환후 정해진 위치로 정확히 이동함(일치). 불일치는 분기기가 이동 위치에 도달하지 못하거나 지나치는 경우, 또는 이번과 같이 정확히 이동은 하였으나 이를 검지하는 센서가 이를 알지 못하는 경우임

(2) 원인 분석

- 분기기 위치검지센서 대향면에 설치한 히팅설비*에 의해 대향면의 온도가 상승(약 8 5℃)하였고, 근접(2~4mm 이격)해 있는 위치검지센서의 온도도 높아졌음(센서동작 온도 범위가 -40℃ ~ 80℃)
- * 대향면에 얼음이 얼어 붙어 분기기 전환시 센서와 얼음의 간섭으로 센서가 오동작한 사례가 있어, 대향면이 얼지 않도록 대향면 합체 내부에 '15.10월 설치
- 전환 명령에 따라 전환은 하였으나(전환후 검지센서 0N이 됨), 당초의 위치검지센서는 작동 온도범위를 벗어남에 따라 OFF가 되지 못하고 계속 0N 상태 유지하고 있으므로,
- 양쪽에 0N이 되면서 불일치로 판단하여 에러 발생
- ※ 동절기 동안 아무런 문제가 없었으나, 당일 온도가 영상 10도 이상으로 올라감에 따라 센서의 온도도 상승하여 오동작하게 됨

(3) 조치 결과

- (임시조치) 본선 전체 분기기에 대해 장애 발생 현재 히팅설비 동작설정온도 조정하여 과열 방지
- 현재 설정온도 5℃(당초 제작사는 0℃를 설정해 놓았으나 운영기관에서 '15.12월 경 조정)를 -5℃로 변경 설정 완료(운영기관과 합의)
- 센서동작 온도범위가 -40℃ ~ 80℃ 임으로 조정후 금번과 같은 과열현상은 발생하지 않을 것으로 판단
- (영구조치) 히팅설비 용량축소하여 전 개소 조치 완료('16.9)

하. 차량 제전브러쉬 변경에 따른 정위치 정차 개선

(1) 목적

- 차량 제동슈의 이상 마모 현상을 해소하기 위해, 차량 제전슈의 제질 및 모양을 '15.9 월 초 변경하여 1호 및 3호 편성에 시험 설치함
- 이후, 1호 및 3호 편성이 본선 주행시에 정위치 정차 미달 현상 발생 및 TWC 통신 실패 등 서비스 가용성에 영향을 미치는 이례사항이 빈번히 발생함
- 이와 관련한 원인 검토, 개선사항 및 향후 계획에 대해 정리함

(2) 제동슈 이상 마모 방지 추진 개요

- 제동슈의 이상 마모는 차량 추진시에 차체에 충전된 전기가 제동슈와 레일사이에서 방전하면서 아아크를 발생하게 되며 이로 인해 제동슈에 이상 마모 발생
- 1단계 조치로 통상 차량이 정차하는 지점(승객이 승하차하는 승강장에 추가로 검수고전단, 유치선, 입출고선, 인상선 등)에 접지판을 추가 설치하여 차량 추진시에 제전슈와 접지판에 의해 차체 충전 전기를 소거하게 하고
 - . 제동슈의 마모 상태를 모니터링한 결과 여전히 이상 마모 현상이 목격됨
 - . 이는 기존 제전슈가 지상의 접지판과 상호 관계에서 제전 역할을 완벽하게 수행하지 못하는 것으로 판단함
- 2단계 조치로 전기적 특성이 상대적으로 탁월한 구리 박막을 겹친 형상으로 제전슈를 변경(시험적으로 1호 및 3호 편성에 적용)하고 모니터링한 결과 제동슈의 이상 마모가 상당 부분 개선됨을 확인함



(3) 부가적 문제 및 방향 설정

- 상기 시험 차량(제전슈 재질 변경 차량) 본선 운행중 기존에 발생하지 않은 정위치 미달 정차 및 TWC 통신 실패로 인해 서비스가용성에 악 영향을 미치는 이례사항이 다수 목격 됨

발생일	SA 장애 내용
'15.9.12	○ 3편성(제1055열차) 102역 하선 과주정차 경보 발생으로 열차지연 8분 발생
'15.9.29	○ 1편성 TWC 통신단절로 제1076열차 18분 지연, 운휴 2회(제1077, 1078열차)
'15.10.13	○ 1편성 정위치정차 실패로 열차운휴 2회 및 열차지연 19분 발생
'15.10.21	○ 1편성 104역 하선 정위치 정차 실패로 운휴 2회 및 열차지연 16분 발생
'15.10.24	○ 3편성 104역 하선 정위치 정차 실패로 운휴 2회 및 열차지연 18분 발생

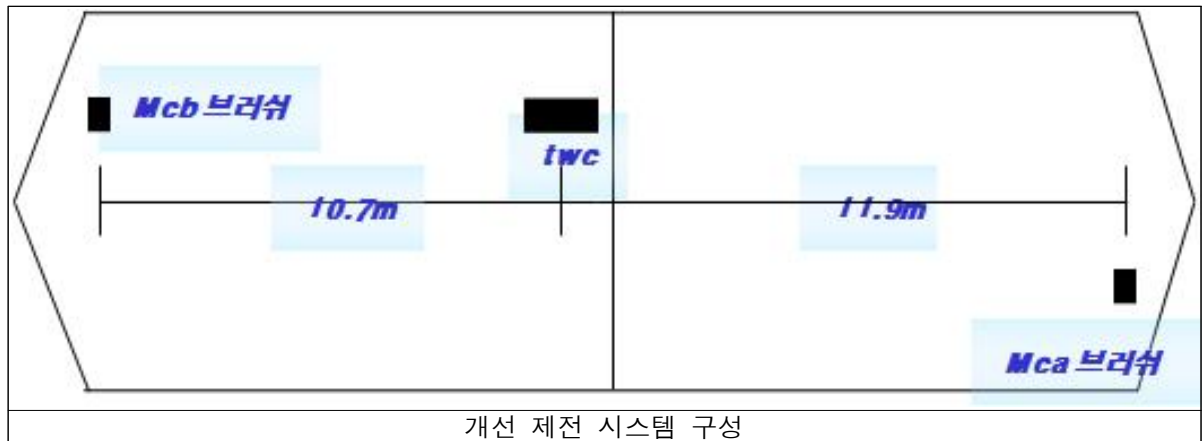
- 제전슈 재질 및 모양 변경으로 제전 능력이 증가함으로 인해 발생한 부가적인 문제 해결 방안 모색 필요 인식

(4) 정위치 정차 문제 개선

- 기존 제전 시스템 구성



- 기존 시스템은 McB의 제전 브러쉬가 4번째 대차 뒤쪽에 부착되고 동일 위치의 반대편에 차상 TWC 안테나가 위치하며, McA 제전 브러쉬는 1번 대차의 앞쪽에 위치 함
- 승강장의 접지판은 차량이 정위치정차 했을 때 각 제전 브러쉬 위치 $\pm 1.1\text{m}$ (합 2.2m)에 설치되어 있으며, 지상 TWC 안테나는 차상 안테나 하부에 위치함
- 개선 제전 시스템 구성
 - 개선 시스템은 McB의 제전 브러쉬가 4번째 대차 뒤쪽에서 1번 대차 앞쪽 반대편으로 위치 이동한 것이며
 - 이에 따라 지상 접지판의 위치도 동일하게 이동 설치 함



- 개선 경과
 - `15.9월 초 제전슈 재질 및 모양 변경(1호 및 3호에 시험 적용)
 - `15.10.16 지상설비 변경(102역 및 103역 시험적용)하여 TWC 기능시험 및 개선사항 확인
 - `15.10.17 ~ 11.2 시험적용 시스템의 개선 사항 확인 모니터링(정위치 정차 및 이레 사항 발생 여부)
 - `15.11.3 ~ 4 전역사 및 전체 편성에 변경 시스템 적용(시험적용 역사 및 차량과 미 적용 역사 및 차량의 혼재 운행에 따른 혼란 차단을 위해 전체 적용함)
- TWC 기능 개선 확인
 - 기존 시스템에서는 McB 브러쉬가 TWC 안테나 인접 위치에 있으므로 정위치 정차 $\pm 1.1\text{m}$ 지점에서 접지판과 브러쉬가 접촉하게 되며 이때 차체 방전에 의한 아아크(white noise)가 발생함.
 - 기존 브러쉬의 경우는 TWC 통신에 별 문제가 없었으나, 변경 브러쉬의 경우 방전 효과의 증대에 따른 Noise 강도가 세어져 TWC 문제 발생함
 - 개선 방안으로 McB의 브러쉬를 TWC 안테나에서 먼 지점으로 이동해서 아아크에 의한 Noise 의 영향을 최소화 함.
 - `15.10.16일 시험적용 차량 및 시험설치 역사에서 시험 실시하여 TWC 통신 기능 향상을 확인함
 - . 변경 전에는 정위치정차 지점에서 열차를 조금만 움직이면 TWC 통신이 단절되었으나
 - . 개선 시스템에서는 정위치 정차 지점 $\pm 40\text{cm}$ 범위 이내에서는 차량을 조금 움직여도 TWC 통신이 문제없음을 확인함
 - . 이후 `15.11.4 전역사 및 전편성 변경 시스템 적용 후 시운전 실시하여 `15.11.18 일 현재까지 TWC 통신 문제는 발생하지 않음
- 정위치 정차 정밀도 개선 확인
 - 기존 시스템에서는 정위치 정차시에 2개의 브러쉬가 2개의 접지판 위를 통과하기 때

문에 정위치 정차 지점 약 11.9m 전방 및 정위치 정차점에서 접지판과 접지 브러쉬의 접촉이 발생하며, 이때 차체 방전에 의한 아아크(white noise)가 발생함.

- 기존 브러쉬의 경우는 정위치 정차 제어에 별 문제가 없었으나, 변경 브러쉬의 경우 방전 효과의 증대에 따른 Noise 강도가 세어져 정위치 정차 제어에 영향을 끼쳐 통상적으로 차량의 미달 정차 빈도가 증가함
- 개선 방안으로 McB의 반대편으로 이동함으로 정위치 정차 11.9m 전 위치에서의 접지판과 브러쉬와의 접촉을 제거함으로써 Noise의 영향을 감소시킴 확인함(정위치 정차 보정용 지상 마크는 P3 240m, p2 20m p3 2m 전방에 설치되어 있으므로 20m 전방에서 거리 보정을 한 이후에 11.9m 지점에서 유입되는 Noise를 제거함)
- . `15.11.4일 전체 역사 및 전 편성 변경 시스템 적용하여 정위치 정밀도 측정결과 아래와 같이 양호함

일	편성	6상	5상	4상	3상	2상	1	2하	3하	4하	5하	6하	최소	최대	평균
15.11.10	1	-1	-10	-10	-6	-18	17	-6	-11	-12	-15	-5	-18	17	-7
15.11.10	1	8	-12	-12	-7	-16	-2	6	-6	7	-12	-2	-16	8	-4.36
15.11.05	2	-3	-33	-20	5	-29	3	-25	-16	-17	-5	-7	-33	5	-13.4
15.11.12	2	-7	-28	-12	-12	-17	-2	-3	-8	-14	-15	-10	-28	2	-11.6
15.11.05	3	30	-12	-15	5	0	0	5	-16	-3	-10	-9	-16	30	-2.27
15.11.05	3	15	-4	-18	-13	-12	30	-1	-3	-19	20	10	-19	30	0.45
15.11.05	4	5	-33	-19	-29	-32	-5	-25	-21	-18	-18	-28	-33	5	-20.3
15.11.05	4	0	-24	-20	-28	-33	-11	-23	-22	-16	-16	0	-33	4	-17.5

• 개선결과

- `15.11.4일 전체 역사 및 전 편성 변경 적용후 `15.11.말까지 정위치 정차 및 TWC 통신 문제로 인한 SA(서비스 가용도) 영향 장애는 한 건도 발생하고 있지 않았으며
- `15.12 임시로 설치된 역사의 접지판을 영구 설치하고 본 개선 활동을 완료함

거. 전력 공급선 화재관련 인터페이스 관리

(1) 상황 발생 내용

- 발생일시 : 2016. 2. 23(화) 14:40
- 발생장소 : 용유역→차량기지 방향 400m 지점
- 발생내용
 - . 차량기지 변전소로부터 전차선 전력공급 케이블 간 접지(쇼트)로 단전발생
 - ※ 연락차단(보호동작)으로 전 구간 단전 발생
- 원인(추정)
 - . 용유역~차량기지 간 정·급전선 전력케이블 소손(사진참조)
- 조치사항
 - . 14:40 전 구간 단전 발생
 - . 14:55 급전 불가로 운행 중단
 - ※ 인천공항역~합동청사역 간 정상(급전) 확인 및 차량(3호차) 인천공항역 손님하차 대기
 - . 15:00 SMS 초동보고(국토부/서항청 등)
 - . 15:05 현장요원(운영/차량) 사고차선 차량(4호차) 출동 및 기동정지
 - . 15:14 비상대피로 통해 용유역으로 승객 대피(600m 이동)
 - . 15:15 사고지점 연기발생 확인 후 119 출동 요청
 - . 15:23 승객(약20명) 용유역 대피완료(버스 동원하여 여객터미널로 수송)
 - . 15:31 119 도착 및 화재 진압
 - . 15:50 전 구간 역사 폐쇄 조치

- 사진 자료



(2) 전문가 자문 종합의견 (`16.2.25)

• 화재원인

- 추정위치 및 발화 진행 추정

- . 화재사진 및 위치를 육안 검사한 결과 발화점은 케이블 접속부에서 발생될 것으로 추정됨.
- . 접속부분의 상태는 1.5kV 고무케이블과 6.6kV CV 케이블이 접속되어 있으며, 각각의 케이블은 도체구조가 서로 다른 이종(연선과 강동선)으로 구성되어 있음.
- . 이종의 연선이 접속되면 열팽창이 서로 다르기 때문에 동일한 케이블 접속에 비해서 전류 및 외기온도에 의한 열기계적 스트레스를 더 크게 받을 수 있는 상황임.
- . 열기계적 스트레스에 의해서 접속부분의 절연체에 틈새 발생 가능성이 있음.
- . 양쪽 도체를 슬리브로 접속한 후에 절연테이프를 감은 뒤 외부를 절연 수축튜브로 감은 상태로, 열기계적 스트레스에 의해 케이블과 수축 튜브 사이로 수분이 침투할 수 있음.
- . 케이블이 포설되어 있는 트레이의 구조를 볼 때 완전히 수분/습기가 차단되는 구조가 아니기 때문에 내부로 수분이 침투할 수 있음.
- . 또한, 해안가의 특성으로 염분의 존재로 인해 오염이 가중될 수 있음.
- . 접속부의 틈새 발생 또는 수축 튜브로 수분이 유입되어 도체와 케이블 트레이로 누설전류가 발생할 수 있음.
- . 내부 도체와 1500V의 전위차에 의한 누설전류가 계속하여 발생되면 Joule열이 발생되며, 수분 및 염분으로 인해 누설전류가 더 크게 발생 가능함.
- . 누설전류에 의해 발열 및 화재로 이어질 수 있으며 이로 인해 절연체의 소손 및 도체의 용융으로 인해 지락전류의 발생이 가능함.

- 변전소 계전기 동작기록을 볼 때 64P 계전기가(14시40분24초, 766 V)에 처음 동작한 이후 3회 재투입 과정에서 계속적으로 누설전류가 흘러 열이 발생되고, 케이블과 트레이가 접촉되어 단락 및 아크가 발생되어 과전류 계전기(54F, 15시13분20초, 2293 A)가 동작된 것으로 보여짐.

- 시편분석

- 절연파괴를 추정하기 위해서 시편에 대한 조사필요.
- 절연파괴가 발생한 부분을 조사하여 열/아크에 의한 것인지 확인 필요

- DC 1500V 케이블의 적정성 여부

- 공칭전압이 DC 1500V의 시스템이므로 DC 1500V 케이블을 사용하는 것은 기본적으로는 문제가 없다고 판단됨.
- 다만, 해안가 및 옥외 환경에서 사용되는 케이블인 만큼 환경적 스트레스가 다른 케이블 보다 많이 가해질 수 있다고 판단됨.
- 아울러, 자기부상철도의 특성상 회생제동에 의한 전압 등 일시적으로 전압이 정격 이상으로 높아질 수 있어, 케이블에 가해지는 장기적 열화를 검토할 필요가 있음.
- 이에 따라 케이블 사양 검토 및 제조사와의 논의, 현재 사용중인 케이블에 대한 점검 및 진단 등을 통해 케이블의 장기적인 사용을 고려하여 추후 검토할 필요가 있음.

(3) 자기부상철도 1.5kV 급전케이블에 대한 현장안전도 평가 실시

- 케이블 적정성 등에 대한 검토를 위하여 전기안전에 대한 전문기관인 한국전기안전공사에 기술용역 의뢰

- 용역 기간 : '16.5.25 ~ '16.6.22

- 용역 결과

- 케이블 시험성적서를 확인한 결과 IEC60850에서 제시하는 사양보다는 높은 사양을 제시하고 있으며, 현장에서 발생하는 전압의 상태를 포함하고 있는 것으로 판단됨.
- DC 1500V HF-EMSG에 대한 케이블의 적정 용량이 NF-F-63-826에 의해 확인되며, 케이블의 안전도가 국제규정에서 정의한 대로 적정하여 신뢰성이 있는 것으로 판단됨.
- 현재 사용중인 케이블의 경년열화는 거의 진전되지 않은 것으로 확인하였으며, 현장 사용상의 부적정한 케이블은 아닌 것으로 판단됨.

※ 전기안전공사 용역 결과보고서는 첨부자료 4-1-2에 수록

(4) 조치 내용 및 결과

- 1.5kV 고무케이블과 6.6kV CV 케이블이 접속된 개소에 대해서는 모두 6.6kV CV 케이블을 사용하여 복구 완료
- 공칭전압 DC 1,500V의 정격전압은 1,800V이며, 또한 최대전압이 발생될 것으로 예상되는 차량의 회생제동 시 전압도 1,750V에서 자동 차단되므로 기 시공된 1.5kV케이블 사양은 적절한 것으로 판단(* 6000V에서 5분, 5400V에서 10분간의 절연내력 시험결과 만족).

너. 개통식 시승행사 중 부상착지 인터페이스(1건)

(1) 발생 개요

- 일시 : '16. 2. 3(수) 11:58
- 지점 : 워터파크역에서 용유역방향으로 588미터 지점
 - * 곡선구간 진입 전, 기울기 4/1000 내리막 선로



- 원활한 시승행사를 위해 워터파크역 무정차 통과 운행중 해당 지점에서 제한속도 (35km/h)를 초과(3km/h)함에 따라 안전을 위해 급제동이 걸림
- 급제동(Full Service Brake)이후 부상이 가라앉으면서 정차하였고, 약 10초 후 자동부상 되어 정상운행 재개

※ 바뀌없는 자기부상열차는 차량고장 등으로 인한 부상착지 시,

- 량당 대차 4개중 부상착지된 대차는 스키드로 레일 위를 활주하고, 나머지 대차는 부상상태를 유지한 채 급제동으로 차량 정지함

* 스키드 : 부상착지시 차량 파손 방지를 목적으로 추진모터와 레일 사이에 설치되어 차량을 미끄러지게 하는 돌기형 마찰재(량당 16개 스키드 설치)

- 정차후 자동 재부상되도록 프로그램되어 있으며, 관제실의 지령에 따라 정상운행으로 복귀(차량 정지 후 20초 이내)

(2) 차량 운행정보 조사

- 정상 영업운행과는 달리 워터파크역을 만차(滿車)상태로 무정차 통과(통과속도 30km/h)함에 따라 가속도 증가로 인하여 구간 최대 운행속도 증가(평상시 66km/h→70 km/h)
- 곡선구간 진입을 위해 열차제어 프로그램에 의해 차량은 감속되었으나, 해당 지점에 설정된 제한속도(35km/h)를 약 3km/h 초과*하였음
 - * 내리막(4/1000 기울기)의 영향도 있을 수 있음
- 차량은 제한속도 초과시 안전을 확보하기 위하여 급제동(Full Service Brake)이 체결되었고,
- 제동장치와 레일 이음매의 충돌로 인하여 4개 대차중 첫 번째 대차에서 부상착지 발생
 - ※ 급제동시 기계제동장치와 궤도 이음매 돌출부분이 충돌할 경우, 그 충격이 심할 때는 부상제어 안정성에 영향을 주어 부상착지가 발생할 수도 있음
- 부상착지 순간 열차제어 프로그램에 의하여 비상제동이 체결되었고, 부상착지된 대차는 대차 하부에 설치된 스키드가 레일위로 미끌어지고 나머지 대차는 부상유지된 상태로 주행하다 정차하였음

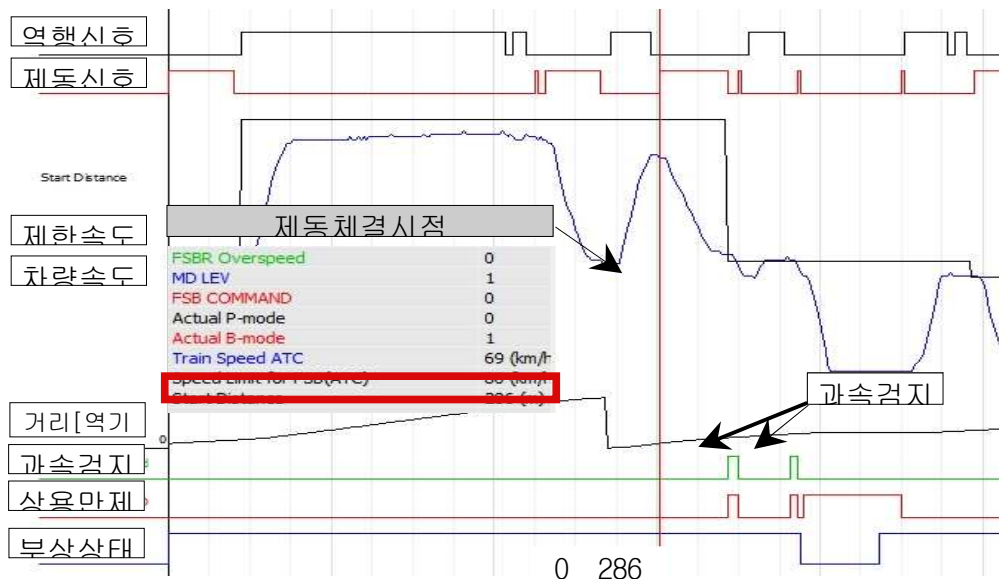
(3) 원인분석

- 자동운전을 위한 열차제어 프로그램에 금번과 같은 이례적인 운행패턴(시승행사중 이동 시간 단축을 위한 『만차시 정거장 무정차통과』)은 고려하지 못하였음
 - . 2년간 시운전 기간중 각종 예상가능한 운행 패턴에 대하여 반복적인 튜닝 과정을 거쳐 만차, 공차 상관없이 제한속도 범위내에서 열차가 운행되도록 열차제어 프로그램에 반영하였고,
 - . 회송 또는 순회열차 운행을 위한 무정차 운행 패턴도 고려하였으나, 공차의 경우에 대한 튜닝위주였고, 만차에 대한 고려는 하지 못하였음
- 급제동시 기계제동 체결장치가 레일 이음매를 통과할 때, 매끄럽지 못한 이음매 돌출부분에 걸려 그 충격력이 부상제어에 과도한 외란으로 작용하여 부상착지 발생하였음

(4) 조치결과

- 차량-열차제어 인터페이스 회의 실시('16.2.11일)
 - . AT0 운행프로파일 만차 튜닝 및 공차 확인 시험 실시 방안 및 일정 협의
- AT0 운행프로파일 튜닝 시험 실시(2월 14일)
 - . 1호편성(개통행사 부상/착지 차량)에 웨이트를 적재하여 만차조건으로 전구간 AT0 운행을 실시하고, 추가로 무정차 운행을 실시하여 속도초과 발생가능 구간 2개소(101상선⇒102하선구간, 105하선⇒106하선구간)를 확인
 - . 해당 구간에 대한 만차 조건에서의 감속도를 고려하여 AT0 운행 프로그램 수정 후, 만차로 확인 시험 실시(수정 전후 운행 데이터는 붙임 참조)
- AT0 운행프로파일 확인 시험 실시(2월 15일)
 - . 1호편성(개통행사 부상/착지 차량)에 웨이트를 하차하고 공차조건으로 전구간 AT0 운행을 실시하고, 추가로 무정차 운행을 실시하여 속도초과가 발생하지 않음을 확인
- 전편성 수정 프로그램 적용(2월 15일)

(5) AT0 프로그램 변경 전 · 후 운행 데이터



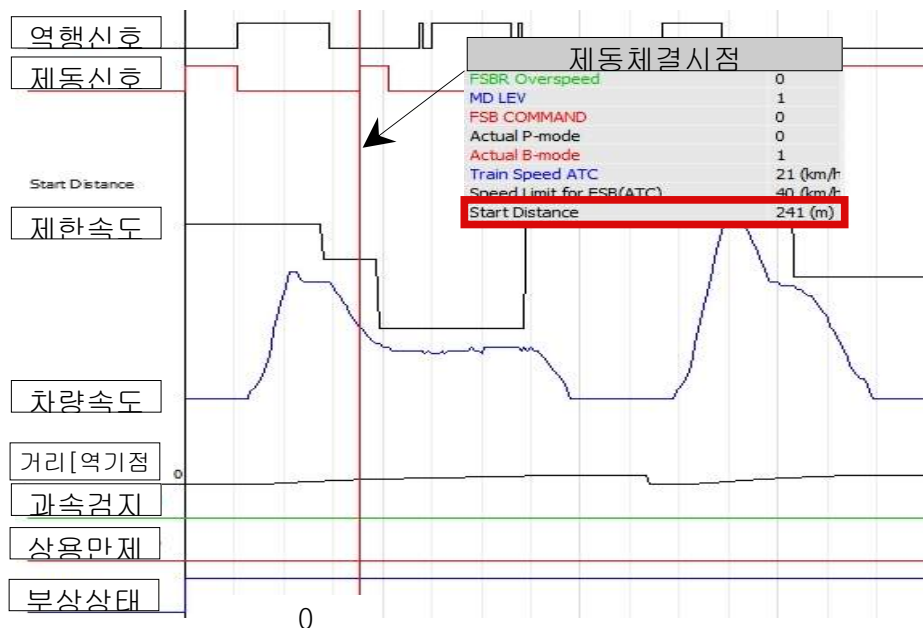
※ 105역 기준 286m에서 감속 시작 [만차 무정차 통과(시승차량)]



※ 만차조건에서 감속도가 고려되어 105역 기준 231m에서 감속 시작 [만차 무정차 통과-수정 후]



※ 101역 기준 257m에서 감속 시작[만차 101 상선 역->102 하선 역-수정 전]



※ 만차조건에서 감속도가 고려되어 101역 기준 241m에서 감속 시작
[만차 101 상선 역->102 하선 역-수정 후]

4. 세계 2번째 도시형 자기부상철도 개통('16.2.3)

□ 인천공항 자기부상철도 노선도



□ 인천공항 자기부상철도 시설규모

- 연장 : 6.1km 복선
- 6개 역사 및 1개 차량기지
- 차량편성 : 2량 1편성, 4편성 운용, 무인운전

□ 운영현황

- 개통 : 2016년 2월 3일



- 1일 열차 운행 횟수 :

기간	운행횟수
'16.2.3 ~ 10.19	1일 71회 운행(무인 운행)
'16.10.20 ~ ;17.4.19	1일 79회 운행(무인 운행)
'17.4.20 ~ 현재	1일 103회 운행(무인 운행)

- 누적 수송인원

2016년	총계	825,247	일평균	2,478
2017년 (6월까지)	총계	463,313	일평균	2,559

○ 가용도(SA, 정시 출발률)



* 출발지연 초래 장애는 개통이후 현재까지 총 16건 발생하였으나 전체 가용도 99.76%로 당초 목표(98%) 초과 달성함.

5. 시범노선 운영안정화를 위한 시설보완 지원

가. 개요

시운전 및 영업운전 기간 동안 열차운행이 정지되지 않도록 주로 야간에 시설보완작업 및 차량 운행 시험을 관리하여 시범노선의 조기 안정화 도모

나. 주요 작업 및 시험 내용

현장에 상주하여 수행한 시설분야 보완 지원의 상세 내역은 “붙임 4-1-2, 3-라”에 있으며, 그중에서 기술적으로 인터페이스가 필요한 사항에 대한 리스트는 다음과 같음

* 본과제는 인천공항 자기부상철도 개통전후 운영안정화를 위한 기술적 지원에 초점을 두고 있으나, 시설분야 보완사항에 대해서도 효과적인 보완을 위해 현장에 상주하는 기계연구원 직원을 통하여 운영기관과 시공자/제작자 사이의 원만한 의사소통 및 기술적 인터페이스 조정역할에 국한하여 지원하였음(별도 비용지출은 하지 않음).

일시	분야	주요 작업&시험 내용
'15.07.08	통신	▪ 1편성 양방향 차상장치 모니터링 및 점검
'15.07.12~14	전력	▪ 강우에 따른 64P 전압 상승 측정 시험
'15.07.13	인터페이스	▪ 차량 위치에 따른 전압 데이터 측정 시험
'15.07.22	열차제어	▪ 1편성 주행중 운전모드 깨짐 원인 조사 및 조치
'15.07.23	궤도	▪ 4편성 본선 전구간 5km/h로 수동운전 계측
'15.07.23	궤도	▪ 본선 상선 P114 궤도 떨림 개소 점검 및 조정
'15.07.23~25	전력	▪ 강우에 따른 64P 전압 상승 등 계측
'15.07.24	인터페이스	▪ 통합계측 시스템 기능 점검
'15.08.05	통신	▪ 양방향 차상장치 모니터링 작업
'15.08.10	열차제어	▪ ATP 송신방식 변경에 따른 열차 시험(진입송신 방식 변경)
'15.08.14	통신	▪ 3편성 양방향 차상장치 모니터링 및 점검
'15.10.02	열차제어	▪ ATP 송신방식 변경 및 시험(상시송신방식 변경)
'15.10.14	통신	▪ 양방향 데이터통신장치 차량 차상무선송수신기 장비 점검 및 프로그램 백업
'15.10.16	열차제어	▪ 차상장치 TWC 수신 레벨 점검 및 접지브러시 영향 검토
'15.10.29	인터페이스	▪ 차량 접지 브러시 위치 조정에 따른 열차제어 인터페이스 확인 시험
'15.11.11	궤도	▪ E1T, 101~106역 접지판 설치상태 점검
'15.11.13	신호설비	▪ B206T 궤도 이상점유 관련 케이블 점검
'15.11.13	인터페이스	▪ 본선 전구간 정위치 정차 시험(FA모드)

일시	분야	주요 작업&시험 내용
'15.11.30	열차제어	▪ B206T 및 B422T 궤도회로 이상점유에 따른 궤도 회로 점검
'15.12.01	차량	▪ 3편성 소비전력 측정 시험
'15.12.14~16	차량	▪ 강풍시 부상착지 관련 차량 시험
'15.12.17	인터페이스	▪ 제전브러쉬 구형 및 신형의 정위치 정차 지점에서의 노이즈 특성 시험
'15.12.22	차량	▪ 3호 편성 강풍시 부상착지 제3자 검토 만차 시험 ▪ 누적 소비전력 확인시험
'15.12.23	인터페이스	▪ 차량 운행에 따른 선로 출입문 열림 오경보 원인 분석 시험
'16.01.05	통신	▪ 양방향 데이터전송장치 지상장치 점검 작업
'16.01.05~11	궤도	▪ 101~106역 접지판 고정작업 ▪ 검수고/입출고선 접지판 추가 설치
'16.01.07	차량	▪ 소비전력 측정 작업
'16.01.11	인터페이스	▪ 차량 운행에 따른 선로 출입문 열림 오경보 원인 분석 시험
'16.01.12	궤도	▪ 101역 터널 구간 선로 점검
'16.01.18~22	전차선	▪ 본선 전구간 흑한기 전차선 애자 및 EX 기능 점검 및 보수 (운영기관 요청)
'16.01.20~21	궤도	▪ 본선 및 차량기지 접지판 높이 조정
'16.01.23	인터페이스	▪ 104-106-인상선 정위치정차 인터페이스 시험
'16.02.05	궤도	▪ 본선 5k020m 근방 궤도 상태 점검
'16.02.16~25	전차선	▪ 분기기 전차선 EX 추가설치 10개소(106역 51, 52, 53) 및 흑한기 EX,애자 기능점검
'16.02.24	인터페이스	▪ AT0 운행프로파일 공차 확인시험
'16.02.26	열차제어	▪ 운행 열차에 탑승하여 AT0 통신망 점검
'16.03.09	인터페이스	▪ 전구간 부상 및 추진데이터 측정
'16.03.12~13	차량	▪ FSB 체결시 전기제동 사용 가능성 시험
'16.03.13	차량	▪ 2편성 건전성 확인
'16.03.15	궤도	▪ 차량기지 와이어 로프 임시 설치 시험
'16.03.23	인터페이스	▪ 통합계측시스템 확인 시험
'16.03.24	궤도	▪ 임시 설치된 와이어로프 제거작업
'16.03.24	궤도	▪ 선로이상 의심개소 현장 확인 및 계측
'16.04.05	RAMS	▪ 가용성 분석을 위한 열차 입고 후 열차운행 데이터 취득
'16.04.07~8	인터페이스	▪ 차량의 집전장치에 카메라를 설치하여 전차선 편위 측정 합동 점검
'16.04.12	차량	▪ 105역 상선 패턴벨트 상부 도플러센서 대향면 난반사재 설치
'16.04.28	인터페이스	▪ E1T 정위치 정차 시험 ▪ 정위치 정차 인터페이스 시험 ▪ 본선 전구간 궤도 계측 ▪ 106역 진입시 열차 출입문 미취급하고 출발한 부분 알고리즘 수정 시험
'16.04.29	통신	▪ 양방향 데이터전송장치 차상장치 교체 및 외부확인작업
'16.05.03	전차선	▪ 차량기지내 단로기반 4면 유지보수 작업

6. 시범노선 안정화를 위한 시스템 공급자 기술지원

가. 목 적

- 시범노선 개통('16.2.3) 이후 협약서 제27조에 따른 운영안정화 지원 및 시범노선 운영에 직결되는 주요분야의 전문기술 지원을 통한 자기부상철도 시스템 조기 안정화
- ※ 시범노선 건설사업 협의체 논의(진흥원 미래철도사업실-1170. '14.10.14)

나. 기술지원 분야 및 내용

- 과업기간 : 6개월
- 개통일정에 따라 실제 투입일은 조정
- 기술지원 분야 및 기간

구분	기술분야	공급자	지원인력	기간	기술지원 필요성 검토결과
고정배치	차량	현대 로템	- 상주 2명 - 비상주 1명	6개월	(반영) - 자기부상열차에 특화된 분야
	열차제어	포스코 ENG	- 철도시설공단 계약에 따름	12개월	(반영) - 자기부상열차에 특화된 분야 ※ 개통후 1년간 사후관리 계약에 기포함
	분기기	대명 ENG	- 상주 1명 - 비상주 2명	6개월	(반영) - 자기부상열차에 특화된 기술영역
	신호설비	신원 전설	- 상주 1명	6개월	(추가반영) - 열차제어 지상설비는 자기부상열차에 특화된 분야로서 추가필요
	궤도 및 계측지원	세이엠	- 상주 1명	6개월	(추가반영) - 자기부상열차에 특화된 분야로서, 계측을 통한 유지관리 개소 선정 및 보완작업 지원 필요 ※ GS건설 참여의사 없음
긴급지원	전력	LS산전	- 비상주 1명	3개월	(반영) - 철도일반에 적용되는 기술이나, 자기부상열차 시범노선에 설치된 시스템의 특성을 감안하여 기술지원 필요 ※ 단, 업체사정상 3개월만 가능
	스카다	비츠로시스	- 비상주 1명	3개월	('16.1.4협의) 전력분야를 스카다와 전력으로 나누어 지원
	PSD	GS 네오텍	- 비상주 1명	3개월	(업체 사정상 미반영) - 철도일반에 적용되는 기술이나, 운영기관요청 및 조기안정화를 위하여 반영 필요 (16.1.4협의) 업체불참의사 통보
	통신	한터 기술,	-	6개월	(반영불필요) - 철도일반에 적용되는 기술
		회명정보 통신	- 비상주 2명	6개월	(반영) - 철도일반에 적용되는 기술이나, 시운전중 발생한 양방향 통신장애 등의 추가발생 대비필요
	전차선	오성 기전	- 비상주 2명	6개월	(반영) - 자기부상열차에 특화된 기술영역 ※ GS 네오텍이 공급자이나 참여의사가 없음. 해당 업체는 지지금구 납품, 편위조정을 시행한 실적이 있음

다. 기술지원 주요 실적

기간	업무 내용
2.03 ~ 2.09	■ 차량 - 개통 이후 유지하고 있는 대응체계(차량관리팀과 협의 완료) 유지(계속) ■ 열차제어 - 열차제어시스템 모니터링(계속)

	■ 분기기 - 기지내 순회 육안점검, 열차 순회 분기기구간 소음점검(계속) - 102역 21A, 22B 분기기 클램프 점검(2/3) - 106역 53분기기 센서 와샤 체결 작업(2/7) - 102역 분기기 점검 교육(2/9) ■ 신호설비 - 열차 운행사항 모니터링, 열차 순회점검(계속) ■ 궤도 및 계측 - 열차 운행사항 모니터링, 열차 순회점검(계속)
2.10 ~ 2.16	■ 차량 - 개통 이후 유지하고 있는 대응체계(차량관리팀과 협의 완료) 유지(계속) ■ 열차제어 - 열차제어시스템 모니터링(계속) ■ 분기기 - 기지내 순회 육안점검, 열차 순회 분기기구간 소음점검(계속) - 106역 51, 52 분기기 장애 관련 조치 지원(2/12) - 차량기지 내 분기기(21, 22, 23) 유지보수 현장 교육(2/15) ■ 신호설비 - 열차 운행사항 모니터링, 열차 순회점검(계속) ■ 궤도 및 계측 - 열차 운행사항 모니터링, 열차 순회점검(계속)
~~~~~ 중략 ~~~~~	
7.25 ~7.29	■ 차량                    - 개통 이후 유지하고 있는 대응체계(차량관리팀과 협의 완료) 유지(계속)           ■ 열차제어                    - 열차제어시스템 모니터링(계속)     - 1편성 냉각팬 설치 및 ATOR보드 교체 및 고장검지기능 추가 작업     - 3편성 운전실전환실패 관련 관제, 차상로그 다운로드     - 3편성 PDT 실패관련 차상로그다운로드 및 통신케이블 점검     - 3편성 CN2 케이블 멀티미터 측정검사     - 3편성 냉각팬 설치 및 ATOR보드 교체 및 고장검지기능 추가 작업           ■ 분기기                    - 기지내 순회 육안점검, 열차 순회 분기기구간 소음점검(계속)           ■ 신호설비                    - 열차 운행사항 모니터링, 열차 순회점검(계속)           ■ 궤도 및 계측                    - 열차 운행사항 모니터링, 열차 순회점검(계속)

## 라. 해빙기 특별 점검 실시

### (1) 일반사항

- 기간 : 2016년 3월 14일 ~ 20일
- 목적 : 해빙기 대비 운영기관에서 실시하는 분야별 점검과 별도로 기술지원 상주분야(분기기, 신호설비, 궤도 및 계측)에서 해당 분야를 점검(필요시 조치)하여 인천공항 자기부상철도의 조기 안정화 도모

### (2) 점검 결과

#### (가) 분기기

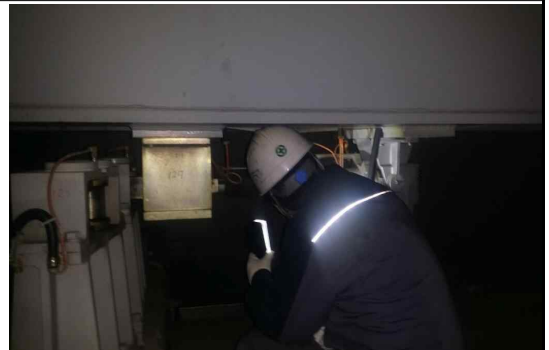
2016년 3월 14일 (월요일) 날씨 : 맑음

시간대별	업 무 내 용
20:00~23:30	기지52번분기기센서와샤체결과 도그사이 간격조정 .클램프실린더 베어링소음 확인



2016년 3월 15일 (화요일) 날씨 : 맑음

시간대별	업 무 내 용
20:00~24:00	106역 52분기기 센서와샤체결및 도그사이간격조정 및 클램프 실린더베어링소음확인



2016년 3월 17일 (목요일) 날씨 : 맑음

시간대별	업 무 내 용
20:00~24:00	기지21분기기 점검결과 클램프 실린더베어링 소음으로인해 클램프실린더교체
 	
 	
 	

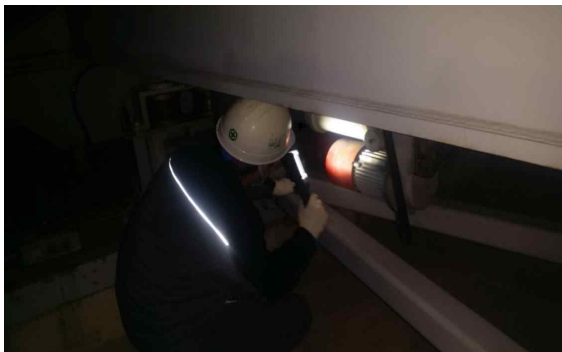
2016년 3월 18일 (금요일) 날씨 : 맑음

시간대별	업 무 내 용
20:00~01:00	해빙기점검중 기지51 분기기A거더받침부분 흰지 마찰로인해소음 기초 바닥철판을 3~4mm 낮추어 용접하여마찰부분해소
 	

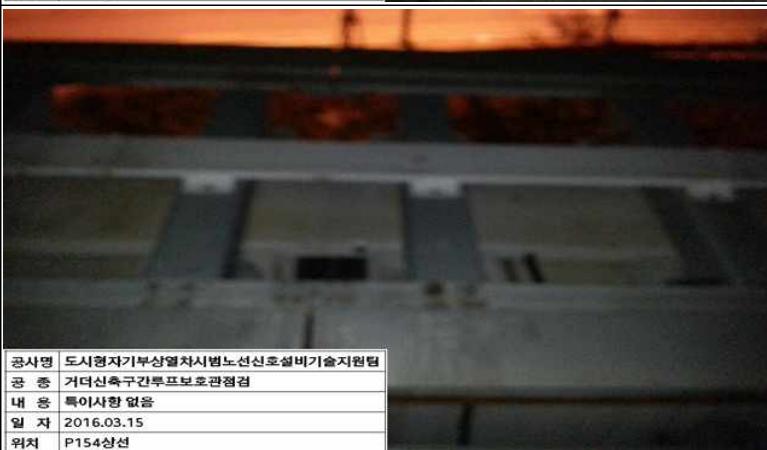


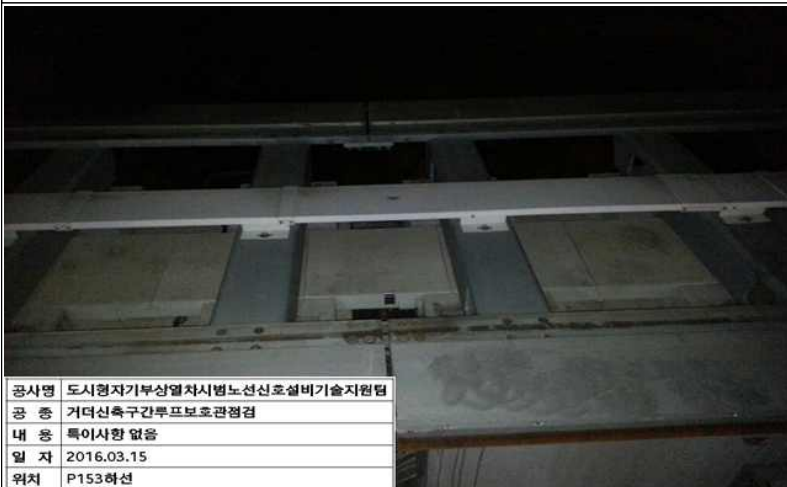
2016년 3월 19일 (토요일) 날씨 : 맑음

시간대별	업 무 내 용
20:00~01:00	106역 53.51분기기 102역 시저스 클램프 실린더소음확인점검

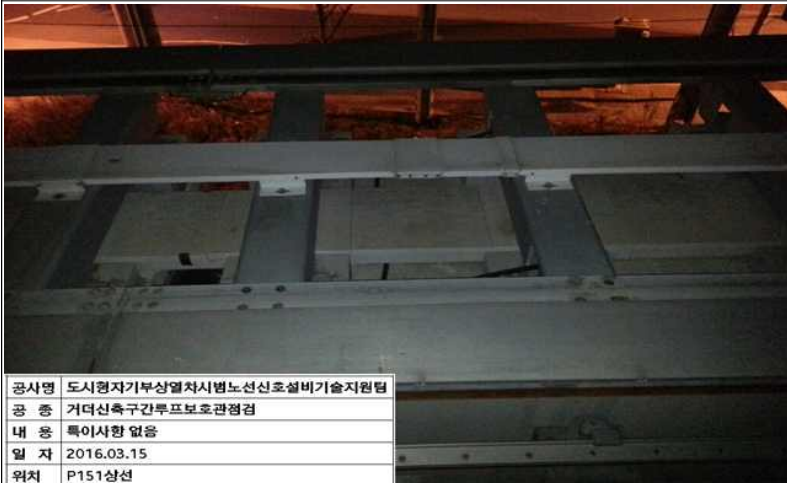


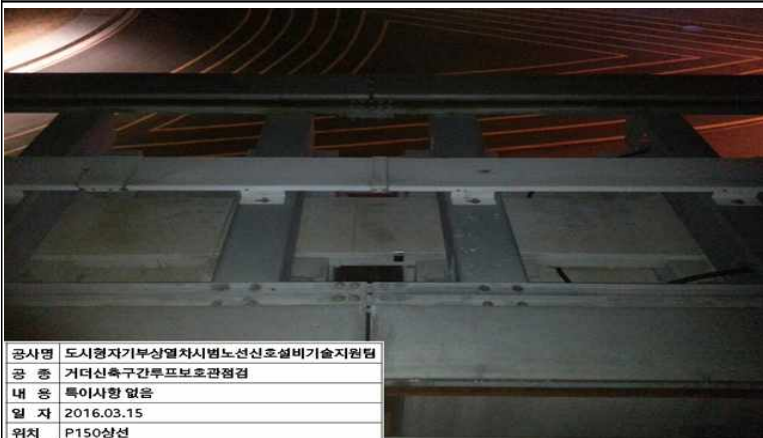
(나) 신호설비

    공사명 도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀   공 종 거더신축구간루프보호관점검   내 용 특이사항 없음   일 자 2016.03.15   위치 P155하선	공	종
	사진설명	
	거더신축구간루프 보호관점검	
	위	
	P155하선	
	찰 영 일	
    공사명 도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀   공 종 거더신축구간루프보호관점검   내 용 특이사항 없음   일 자 2016.03.15   위치 P155상선	공	종
	사진설명	
	거더신축구간루프 보호관점검	
	위	
	P155상선	
	찰 영 일	
    공사명 도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀   공 종 거더신축구간루프보호관점검   내 용 특이사항 없음   일 자 2016.03.15   위치 P154상선	공	종
	사진설명	
	거더신축구간루프 보호관점검	
	위	
	P154상선	
	찰 영 일	
    공사명 도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀   공 종 거더신축구간루프보호관점검   내 용 특이사항 없음   일 자 2016.03.15   위치 P154하선	공	종
	사진설명	
	거더신축구간루프 보호관점검	
	위	
	P154하선	
	찰 영 일	
    공사명 도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀   공 종 거더신축구간루프보호관점검   내 용 특이사항 없음   일 자 2016.03.15   위치 P154하선		
	사진설명	
	거더신축구간루프 보호관점검	
	위	
	P154하선	
	찰 영 일	
	2016.03.15	

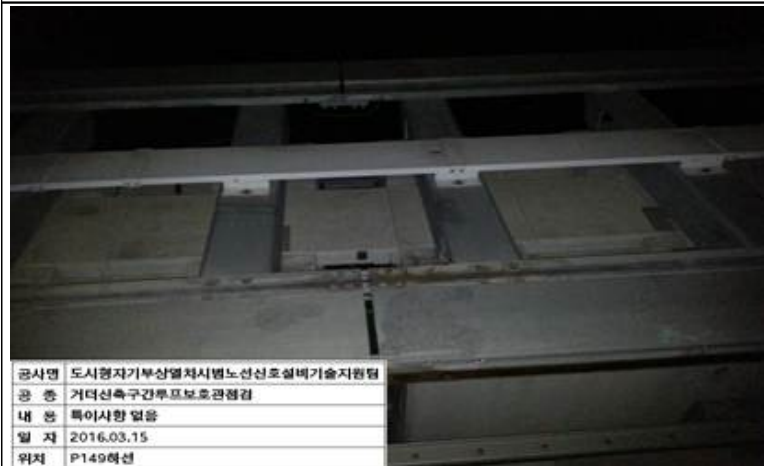
 <table><tr><td>공사명</td><td>도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀</td></tr><tr><td>공 종</td><td>거더신축구간루프보호관점검</td></tr><tr><td>내 용</td><td>특이사항 없음</td></tr><tr><td>일 자</td><td>2016.03.15</td></tr><tr><td>위치</td><td>P153하선</td></tr></table>	공사명	도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀	공 종	거더신축구간루프보호관점검	내 용	특이사항 없음	일 자	2016.03.15	위치	P153하선	공 종
	공사명	도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀									
	공 종	거더신축구간루프보호관점검									
	내 용	특이사항 없음									
	일 자	2016.03.15									
	위치	P153하선									
사진설명											
거더신축구간루프 보호관점검											
위 치											
P153하선											
찰 영 일											
2016.03.15											

 <table><tr><td>공사명</td><td>도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀</td></tr><tr><td>공 종</td><td>거더신축구간루프보호관점검</td></tr><tr><td>내 용</td><td>특이사항 없음</td></tr><tr><td>일 자</td><td>2016.03.15</td></tr><tr><td>위치</td><td>P153상선</td></tr></table>	공사명	도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀	공 종	거더신축구간루프보호관점검	내 용	특이사항 없음	일 자	2016.03.15	위치	P153상선	공 종
	공사명	도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀									
	공 종	거더신축구간루프보호관점검									
	내 용	특이사항 없음									
	일 자	2016.03.15									
	위치	P153상선									
사진설명											
거더신축구간루프 보호관점검											
위 치											
P153상선											
찰 영 일											
2016.03.15											

 <table><tr><td>공사명</td><td>도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀</td></tr><tr><td>공 종</td><td>거더신축구간루프보호관점검</td></tr><tr><td>내 용</td><td>특이사항 없음</td></tr><tr><td>일 자</td><td>2016.03.15</td></tr><tr><td>위치</td><td>P151상선</td></tr></table>	공사명	도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀	공 종	거더신축구간루프보호관점검	내 용	특이사항 없음	일 자	2016.03.15	위치	P151상선	공 종
	공사명	도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀									
	공 종	거더신축구간루프보호관점검									
	내 용	특이사항 없음									
	일 자	2016.03.15									
	위치	P151상선									
사진설명											
거더신축구간루프 보호관점검											
위 치											
P151상선											
찰 영 일											
2016.03.15											

 <table><tr><td>공사명</td><td>도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀</td></tr><tr><td>공 종</td><td>거더신축구간루프보호관점검</td></tr><tr><td>내 용</td><td>특이사항 없음</td></tr><tr><td>일 자</td><td>2016.03.15</td></tr><tr><td>위치</td><td>P150상선</td></tr></table>	공사명	도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀	공 종	거더신축구간루프보호관점검	내 용	특이사항 없음	일 자	2016.03.15	위치	P150상선	공 종
	공사명	도시경자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀									
	공 종	거더신축구간루프보호관점검									
	내 용	특이사항 없음									
	일 자	2016.03.15									
	위치	P150상선									
사진설명											
거더신축구간루프 보호관점검											
위 치											
P150상선											
찰 영 일											
2016.03.15											

 <table><tr><td>공사명</td><td>도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀</td></tr><tr><td>공 종</td><td>거더신축구간루프보호관점검</td></tr><tr><td>내 용</td><td>특이사항 없음</td></tr><tr><td>일 자</td><td>2016.03.15</td></tr><tr><td>위치</td><td>P149상선</td></tr></table>	공사명	도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀	공 종	거더신축구간루프보호관점검	내 용	특이사항 없음	일 자	2016.03.15	위치	P149상선	공 종	
	공사명	도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀										
	공 종	거더신축구간루프보호관점검										
	내 용	특이사항 없음										
	일 자	2016.03.15										
	위치	P149상선										
	사진설명											
	거더신축구간루프 보호관점검											
위 치												
P149상선												
촬 영 일												
2016.03.15												

 <table><tr><td>공사명</td><td>도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀</td></tr><tr><td>공 종</td><td>거더신축구간루프보호관점검</td></tr><tr><td>내 용</td><td>특이사항 없음</td></tr><tr><td>일 자</td><td>2016.03.15</td></tr><tr><td>위치</td><td>P149하선</td></tr></table>	공사명	도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀	공 종	거더신축구간루프보호관점검	내 용	특이사항 없음	일 자	2016.03.15	위치	P149하선	공 종	
	공사명	도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀										
	공 종	거더신축구간루프보호관점검										
	내 용	특이사항 없음										
	일 자	2016.03.15										
	위치	P149하선										
	사진설명											
	거더신축구간루프 보호관점검											
위 치												
P149하선												
촬 영 일												
2016.03.15												

 <table><tr><td>공사명</td><td>도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀</td></tr><tr><td>공 종</td><td>거더신축구간루프보호관점검</td></tr><tr><td>내 용</td><td>특이사항 없음</td></tr><tr><td>일 자</td><td>2016.03.15</td></tr><tr><td>위치</td><td>P147하선</td></tr></table>	공사명	도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀	공 종	거더신축구간루프보호관점검	내 용	특이사항 없음	일 자	2016.03.15	위치	P147하선	공 종	
	공사명	도시형자기부상열차시범노선신호설비기술지원팀										
	공 종	거더신축구간루프보호관점검										
	내 용	특이사항 없음										
	일 자	2016.03.15										
	위치	P147하선										
	사진설명											
	거더신축구간루프 보호관점검											
위 치												
P147하선												
촬 영 일												
2016.03.15												

	공 종	
	접속점위치표시	
	사진설명	
	접속점표시	
	위 치	
	OK420지점, 2K160, 3K320지점	
	촬 영 일	
	2016,03,17	

(다) 궤도 계측 및 관리

□ 계측 개요

- 목적

- 차량의 갭, 가속도 계측데이터를 활용하여 궤도의 볼트풀림, 단차, 선형 등의 이상개소를 선정하여 궤도 유지보수의 효율성 향상

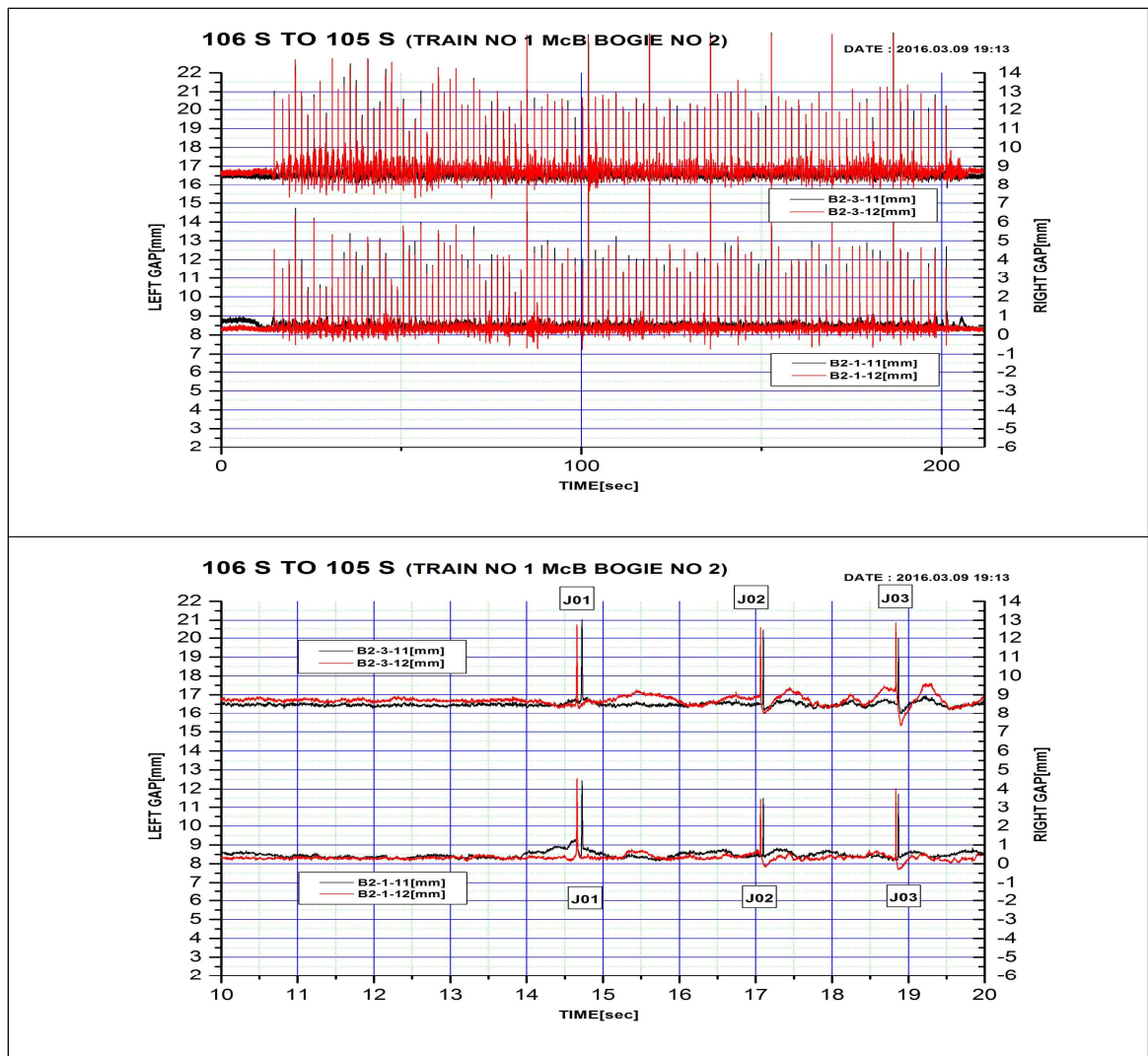
- 계측 조건

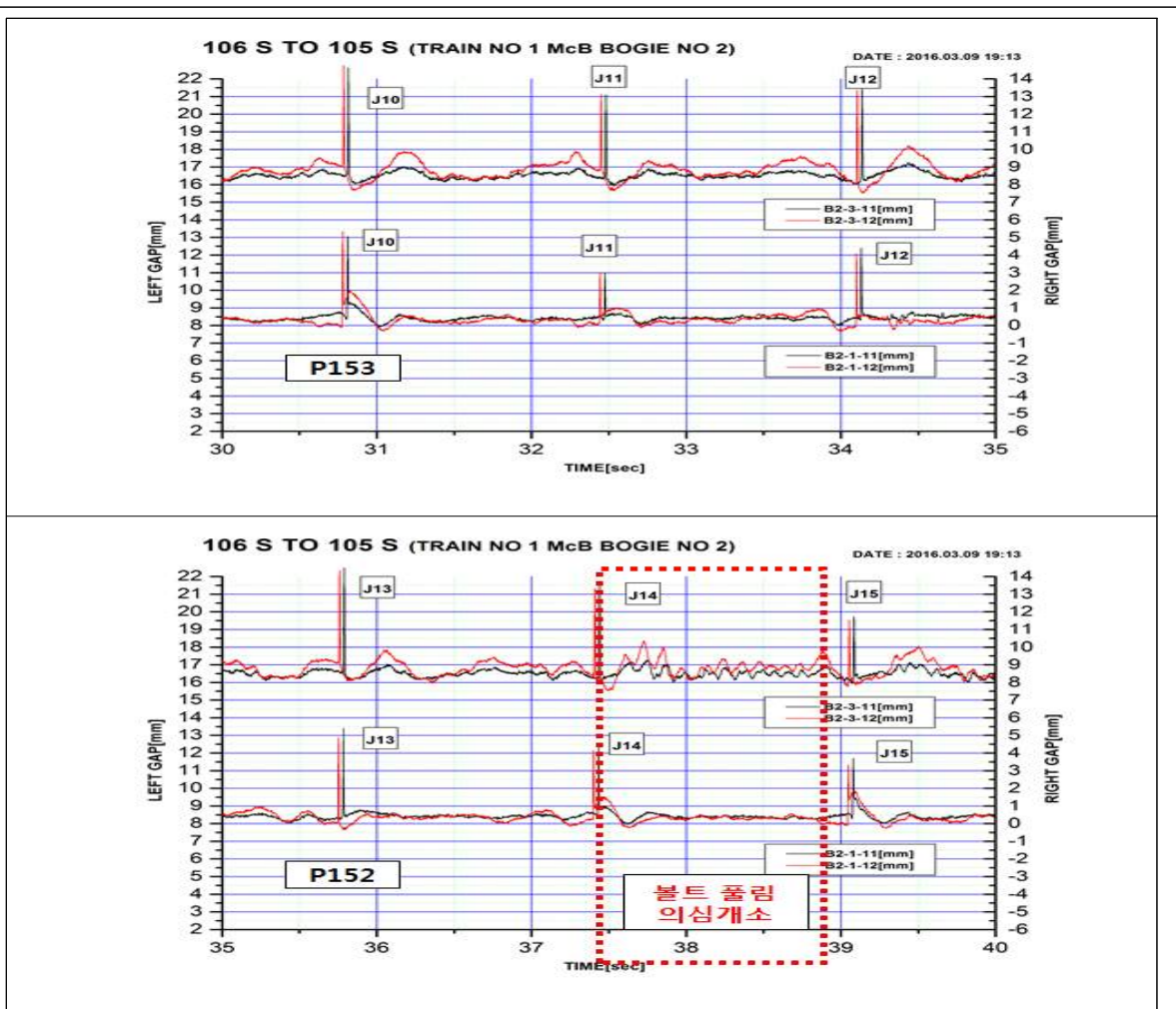
- 일시 : 2016년 3월 9일(수)
- 차량 : 1편성
- 운행조건 : 임속 25km/h
- 계측구간 : 본선 전구간(106상선→101하선, 101하선→106하선)
- 데이터 기록 : 500Hz로 측정하여 역간 데이터 구분 저장

□ 데이터 정리

- 계측데이터는 5초 단위 그래프 생성 이상개소 선정
- B타입 이음매는 별도 그래프 생성
- B타입 이음매를 기준으로 본선 위치정보 입력

□ 계측결과(예시)

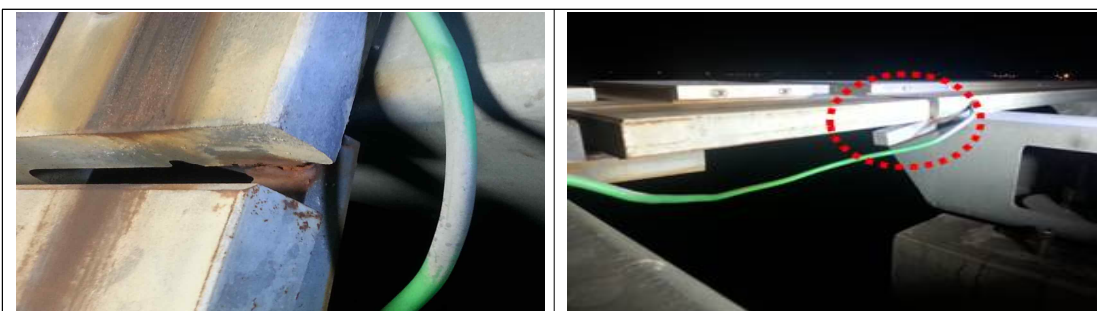




□ 의심개소 조치 및 확인결과

의심개소	조치 및 확인 결과		비고
볼트 풀림 의심개소	유지보수 지침에 따라 볼트 체결력을 확인하고 부족한 부분은 125N·m로 체결		4개소
단차 이상 의심개소	Pier No.	측정결과	4개소
	P146	A타입 이음매로 우측 방향 측정결과 (2.4,2.4 : 단차 0mm)	
	P144	A타입 이음매로 우측 방향 측정결과 (2.5,2.3 : 단차 0.2mm)	
	P138-1	A타입 이음매로 우측 방향 측정결과 (2.4,2.3 : 단차 0.1mm)	
	P133	B타입 이음매로 우측 방향 측정결과 (2.4,3.0 : 단차 0.6mm) (3.0,2.0 : 단차 1.0mm) 확인결과 크랙 및 처짐 발생 확인 및 조치(하기 사진 참조)	

※ P133 사진



## 7. 양방향 무선통신 단절현상에 대한 원인분석과 개선안 도출

### 가. 장애내용

- (1) 차내 영상정보 송신 과정에서 각종 장애(지상AP 이상, 차상 설비 이상, 전자파 간섭 등)로 관제실에서의 영상출력이 간헐적으로 중단되는 사례

- 양방향 무선통신은 열차로부터 차내 영상정보를 보내고(열차송신), 종합관리동 통신실 항공운항정보 시스템으로부터 항공운항정보를 받는(열차수신) 무선통신설비
- 열차로부터 송신된 차내 영상정보는 본선 선로를 따라 설치된 복수의 지상AP를 통해 무선 전송되어 영상감시설비에 의해 녹화, 관제실에 현장영상 출력되도록 구성

- * 전문가 점검 및 운영사 협의 결과에 따라 연구단 과제 4차년도에 외부전문기관에 원인파악 용역 시행하기로 하였으나, 검토결과 전문가 용역 이전 선결 사항이 많아 기계연과 시공사 전문가 합동으로 도출된 문제점 해결 후 필요시 추가적인 원인파악을 위한 용역을 실시기로 함.

### 나. 장애 발생시 현상

- (1) 간헐적 차내영상 승객 동향 감시불능 상태 발생  
(2) 항공운항정보 Update 불능

### 다. 개선방안 도출

#### (1) 차상무선송수신기 개선

- 차량기지 대기중 편성별로 B차량의 차상무선송수신기는 검수고 건물로 인하여 직접적인 태양열 접촉을 피할 수 있으나, A차량은 지속적으로 햇빛을 받아 차상무선송수신기의 열화에 의한 고장이 상대적으로 빈번히 발생하는 것으로 추정
- 햇빛을 받는 동안 차상무선송수신기 내부 온도(홀 입구에서 70℃)가 정상 운영 환경조건(60℃)를 상당히 초과함에 따라 장비 장애 발생 또는 통신 문제 유발하는 것으로 판단
- 1개 편성(시험 편성)에 대해 차상무선송수신기의 안테나와 보드를 분리하여 보드부를 차량 내부로 이동(안테나의 경우 패치안테나로 방향에 대한 변경이 어려워 기존 위치에 설치, 보드부의 실내설치로 온도영향 감소)

#### (2) 전자기 간섭 문제 개선

- 차량 간 통신 중 EMI 영향으로 간헐적 통신장애 발생 문제 해결을 위해 1개편성에 대해 차량간 통신을 광케이블로 변경

#### (3) 관리장치 추가 검토

- 차상무선송수신 관리장치를 추가하여 통신 상태 및 장비의 상태 등을 확인 가능토록 개선
- * 통신 단절 문제와 직접적인 연관이 적어 적용을 유보함

#### (4) 지상 AP 유지보수 체계 개선

- 해당 설비의 무상 유지보수 기간 종료에 따라 지상 AP 튜닝, 장애시 보수 등 향후 운영 유지보수는 제작사와 운영기관이 별도 계약을 체결하여 추진 필요(권고함)

### 라. 추진방안

- (1) 차상무선송수신기 개선(`16.12.28 4호 편성 시험적용 완료)  
(2) 전자기 간섭문제 개선(`17.1.16 완료)은 후속과제 비용으로 추진하되, 1개 편성에 대해

- 여 시범적으로 개선하고, 그 결과를 바탕으로 나머지 편성 적용
- (3) 관리장치 추가는 통신 단절 문제와 직접적인 연관이 적어 적용을 유보하며
- (4) 지상 AP 유지보수 체계 개선은 제작사와 운영 기관이 별도 계약 추진토록 권고

#### 마. 추진일정

- (1) 개선 방안 검토 : ~ `16.10.14 (완료)
- (2) 계약 추진 : ~ `16.10.31 (완료)
- (3) 개선 방안 시험 차량(4호편성) 적용
- 1) 차상 무선송수신기 개선 : ~ `16.12.28 (완료)
  - 2) 전자기 간섭 문제 개선 : ~ `17.1.16 (완료)
  - * 차/지상 장치 S/W update 실시 함(~ `16.12.26 : 제작사 자체 비용)
  - * 인상선 지상 AP 추가 설치(~ `16.12.26 ; 운영기관 비용 부담)
- (4) 단기 개선 효과 점검 : `16.12.29 ~ `17.1.31
- 전 편성 적용 여부 검토 : `17.2.1~2.10
  - * 기능 개선이 확인되어 잔여 3개 편성에 추가 적용(완료)
- (5) 장기 개선 효과 점검 : ~ `17.12.31

항 목	2016년																		2017년												비 고
	7월			8월			9월			10월			11월			12월			1월			2월			3월			4월			
	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21				
	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31				
방안 검토																															완료
계약 추진																															완료
차상무선송수신기 개선 시험 편성 적용																															완료
EMI 간섭 문제 개선 시험 편성 적용																															완료
단기 개선 효과 점검																															완료
잔여편성 적용 여부 검토																															완료
잔여 편성 적용																															완료
장기 개선 효과 점검																															진행중

#### 바. 개선결과

- 지상 AP로 인한 무선통신 혼신이 발생하면 관제 모니터에서 원격 리셋으로 복구가 가능하며,
- 회차시 영상 단절의 경우는 지속 시간이 수초로 관제 업무에 불편함이 없으며,
- 차상설비에 의한 무선통신 혼신(경고장)이 발생하면 관제 모니터에서 원격 리셋으로 복구 가능
- 최초 투입부터 지속 영상 단절은 차상/지상 S/W Upgrade로 조치 완료되었으며,
- 2편성 101 상선 회차시 영상 단절은 2편성 B-car H/W 문제로 `17.6.14일 조치 완료
- * 대용량 무선통신의 특성상 간헐적 단절은 있을 수 있으나 운행에는 지장이 없을 정도로 보완 완료하였음

※ 양방향 통신 간헐적 단절문제 분석 및 조치에 대한 상세 보고서는 첨부자료 4-1-2에 수록

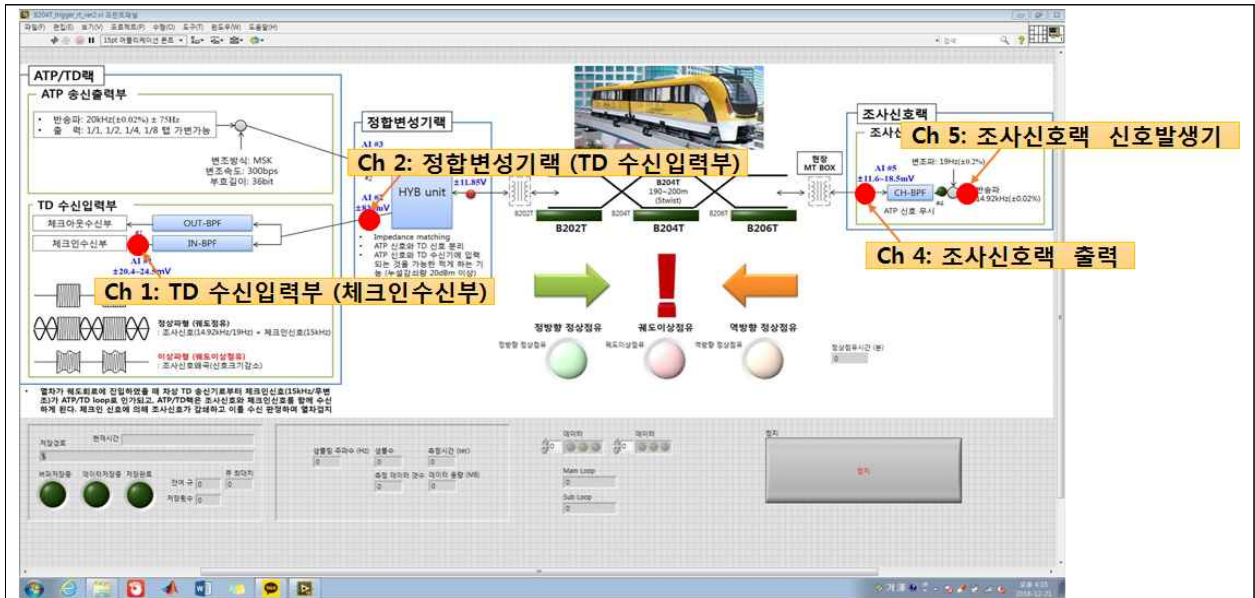
## 8. 궤도이상 점유 현상에 대한 원인분석과 개선안 도출

### 가. 장애내용

- (1) 실제로는 해당 궤도에 차량이 위치하고 있지 않으나, 간헐적 신호이상으로 마치 차량이 위치하고 있는 것처럼 인식되어 그 구간 진입예정 차량에 비상제동이 체결되는 현상
  - * 전문가 점검 및 운영사 협의결과에 따라 후속과제 4차년도에 외부전문기관에 원인파악 용역 시행키로 하였으나, 원인불명에 따라 용역 대상분야를 특정할 수 없어 효율적인 용역을 위하여 기계연에서 기초자료 획득 후 필요시 외부 전문가 용역시행 예정
- (2) 개통이전에는 2~3개월에 한번 꼴로 발생하였으나 개통이후에는 '16.2.9(화) 17:00 발생 이후 현재('17.07월)까지 발생하지 않음
  - * 본 장애 발생 시 해당구간 수동운전 실시하여 열차 지연은 초래하지 않음.

### 나. 장애 해소 방안

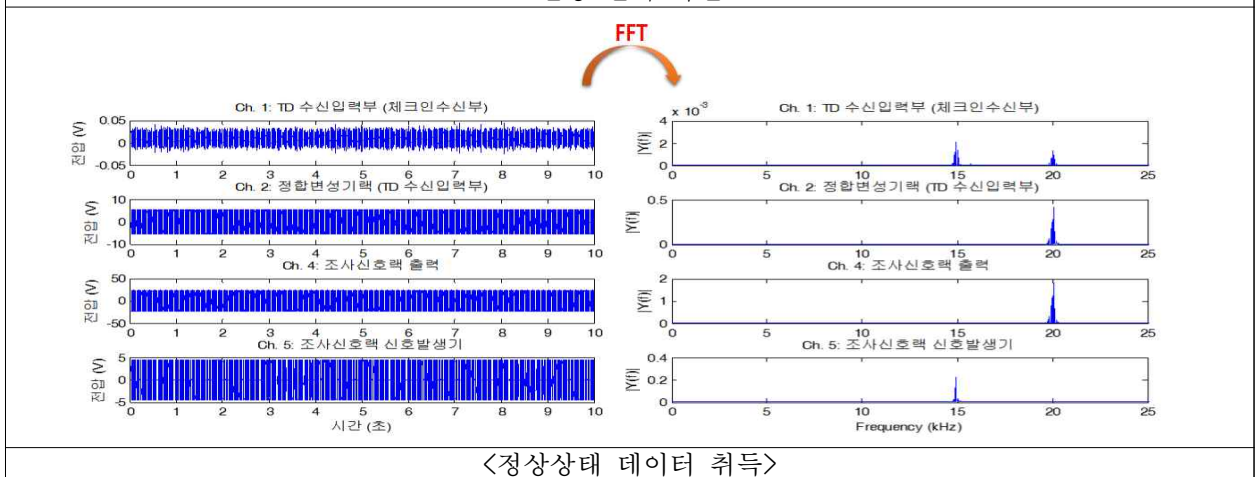
- (1) B204T 궤도 이상점유 원인 추정
  - 해당 궤도에 대하여 부품교체, 신호케이블 교체 등 선택 가능한 방법 시도하였으나 원인불명
  - 노이즈 등으로 인해 신호가 왜곡되어 궤도 점유로 잘못 인식되는 것으로 추정됨
- (2) 원인파악 방안
  - 신호의 왜곡이 발생할 때 해당 신호를 저장하기 위해 특수 계측장비 제작
  - 저장된 신호를 기계연 전문가 분석하여 왜곡 유발 원인 분석, 필요시 외부 용역 등 시행
- (3) 왜곡신호 측정
  - (가) 이상징후 인지 알고리즘 개발
    - B202T, B204T, B206T의 점유신호를 기반으로 정/역방향 주행상태를 모니터링하고, 정상주행상태에서 벗어난 이상징후를 파악하는 인지 알고리즘 개발
    - 이상징후 인지 알고리즘 판단기준
      - 정방향 정상주행; B202T → B204T → B206T (순차적 정방향 점유)
      - 역방향 정상주행; B206T → B204T → B202T (순차적 역방향 점유)
      - 이상점유 ; (B202T 또는 B206T)미점유 상태에서의 B204T 점유
  - (나) 다채널 고속 신호계측시스템 구축
    - 관련신호(4채널)들을 고속(200kHz)으로 계측하는 신호계측시스템 구축
    - 수집신호 (4채널)
      - 체크인신호 관찰  
ch 1 : TD 수신입력부(체크인수신부), ch 2 : 정합변성기랙(TD수신입력부 입력부)
      - 조사신호랙 관찰  
ch 4 : 조사신호랙 출력부, ch 5 : 조사신호랙 신호발생기
  - (다) 상시계측시스템 구축
    - Stand alone 동작 가능한 상시계측시스템 구축
    - 전원 인가 시 프로그램 자동시작
    - 이상징후 발생 시 자동 신호계측(블랙박스 기능)
    - 일정시간 신호계측 후 상태모니터링 재시작
    - 전원 중단 차단 시에도 취득한 데이터 유지
- (4) 계측장비 제작 후 해당 역사 기계실에 계측기 설치하여('16.12.20 완료) 모니터링 중
  - B202T 또는 B206T 점유(24V 신호)없이 B204T만 점유하면 계측 데이터 저장



<상태진단 모니터링 시스템>



<현장 설치 사진>



<정상상태 데이터 취득>

#### 다. 추진 방법

- 특수 계측 장비를 한국기계연구원에서 제작('16.12 완료)
- 제작 후 현장 설치('16.12.20)하여 모니터링 중(지속적)
- 이상 점유 발생하면 저장 데이터 수거하여 원인 분석 실시
  - * 분석결과에 따라 조치 계획 수립 예정

라. 일정 계획

- (1) 데이터 로깅 방안 검토 : ~ `16.09.09 (완료)
- (2) NI 자재 구매 : ~ `16.10.30 (완료)
- (3) 특수 계측기 제작 : ~ `16.12.10 (완료)
- (4) 데이터 로깅 중 : `16.12.21 ~ 이상 점유 발생 시 까지
- (5) 로깅 데이터 분석 : 이상점유 이벤트 수집 후 1개월 이내
- (6) 이상 점유 원인 규명 : 데이터 분석 완료 후 1개월 이내
- (7) 조치 방안 제시 : 원인 규명 후 1개월 이내

항 목	2016년																		2017년												비고
	7월			8월			9월			10월			11월			12월			1월			2월			3월			4월			
	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21				
	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31				
데이터 로깅 방안 검토(1)																													완료		
전문가 자문 회의 실시																													완료		
데이터 로깅 방안 검토(2)																													완료		
NI 장비 구매																													완료		
이상 데이터 로깅 S/W 개발																													완료		
KIMM에서 별도 보드 제작																													완료		
KIMM 공장 시험																													완료		
시험노선 설치																													완료		
데이터 모니터링(로 깅)																													진행 중		
로깅 데이터 분석(TBD)																															
이상 점유 원인 규명(TBD)																															
조치 방안 제시(TBD)																															

마. 운영기관 협조 사항

이상 점유 발생 시 발생 시간 통보

바. 종합의견

연구기간 종료(`17.7.26) 이후에도 해당 궤도 이상 점유 발생 시 한국기계연구원에서 로깅 데이터 회수/분석하여 원인 규명 예정

## 9. 서비스가용도(SA) 검증

### 가. 검증기준

$$SA = \frac{PD - MD + \frac{1}{2} \cdot UD}{PD}$$

- PD: Planned Departure (열차출발계획 횟수)
- MD: Missed Departure (열차출발실패 횟수)
  - MD(지연)은 각 역에서 기준시간보다 열차의 출발이 지연이 된 열차의 횟수
  - MD(운휴)은 각 역에서 열차출발계획은 있으나 열차출발실적은 없는 열차의 횟수
  - MD = MD(지연) + MD(운휴)
- UD: Unplanned Departure (예비열차출발 횟수)
- 비기술적인 원인에 의한 열차 출발 지연을 제외하지 않음
- 가용성 계산 제외: 천재지변, 운영자가 통제할 수 없는 물리적 사고 등은 제외

※ 상기 검증 기준식은 도시형자기부상열차실용화사업 "1-2과제 RAMS 및 LCC 분석"과제의 연구 결과로서, "자기부상열차 전체 시스템레벨의 RAMS 성능 예측 모델링 보고서(자기부상열차 성능목표 선정보고서)(2007)"에 본 SA 모델이 기술되어 있으며 이 모델은 아래와 같이 EN 50126-3에 있는 관련 수식에 기반을 둬, 이 산정식(SA 모델)은 무인 자동운전에 대해 SA 입증을 최초 성공한 코펜하겐 프로젝트에서 사용되었던 SA모델임

- 23 -	CLC/TR 50126-3:2008
Yet another type of availability is the <b>Schedule Adherence</b> (respect of the schedule), SA, measured as ratio of the number of journeys running according to schedule and the total number of scheduled journeys.   The number of journeys running to schedule can be determined by the difference between the total number of scheduled journeys and the number of journeys not running to schedule due to rolling stock related causes.   In this case the formula is:  $SA = \frac{F_s}{F_{tot,s}} = \frac{F_{tot,s} - F_{ns}}{F_{tot,s}}$  where:   $F_s$ = number of journeys running to schedule  $F_{ns}$ = number of journeys not running to schedule due to causes concerning rolling stock  $F_{tot,s}$ = total number of scheduled journeys	

### 나. 검증 목표(실용화사업 연구결과)

단계	기간	방법	목표	비고
영업시운전	2개월	시격 기준 MD (10분, 15분, 20분)	93%	- 96.50% 달성
영업운전	최초 6개월	시격 기준 MD	96%	- 99.76% 달성
	다음 6개월	시격 기준 MD	98%	

### 다. 검증 조건

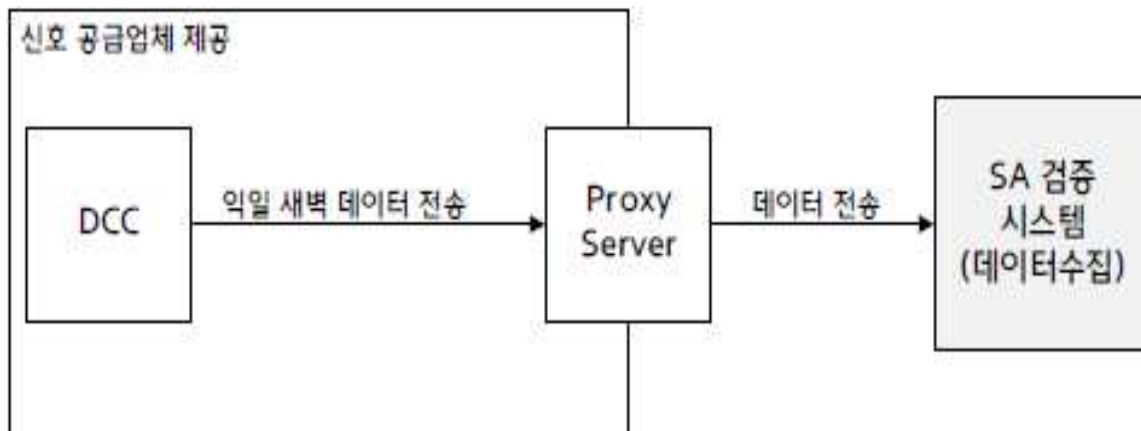
항목	내역
운영 조건	1) 차량 4대를 당일 출발 전 작성된 운행 계획에 의거하여 운행
데이터 수집 방법	1) 전용S/W(SAV)을 이용하여 DCC 시스템으로부터 데이터 수집
유효 데이터 범위	1) 공간적 범위: 승객 수송 서비스를 수행하는 역 및 이를 연결하는 본선 - 인천국제공항역

항목	내역
유효 데이터 범위	- 장기주차장역     - 합동청사역     - 국제업무단지역     - 워터파크역     - 용유역       2) 시간적 범위: 승객 수송 서비스를 제공하고 있는 시간 범위 내   3) 기타       - 차량번호 및 열차운행번호가 명시적으로 적용되어 있는 경우     - 열차운행번호 변경에 따른 출발시간이 이중으로 발생 시 후자에 발생한 것만 유효     - 용유역에서는 상행선 출발만이 유효     - 운행 계획이 수립되어 있을 경우에는 화재나 자연재해 등으로 인하여 운행되지 않는 경우는 “운휴”로 간주 (유효한 데이터)
기타	1) 모든 시간 기준은 신호시스템의 구성 시스템 중 하나인 DCC에 의함.   2) 보고서 작성시 MD의 기준시간은 시격으로 함.

## 라. 검증 방법

### (1) 검증시스템의 구성

- SA검증을 위해 다음과 같이 시스템을 구성



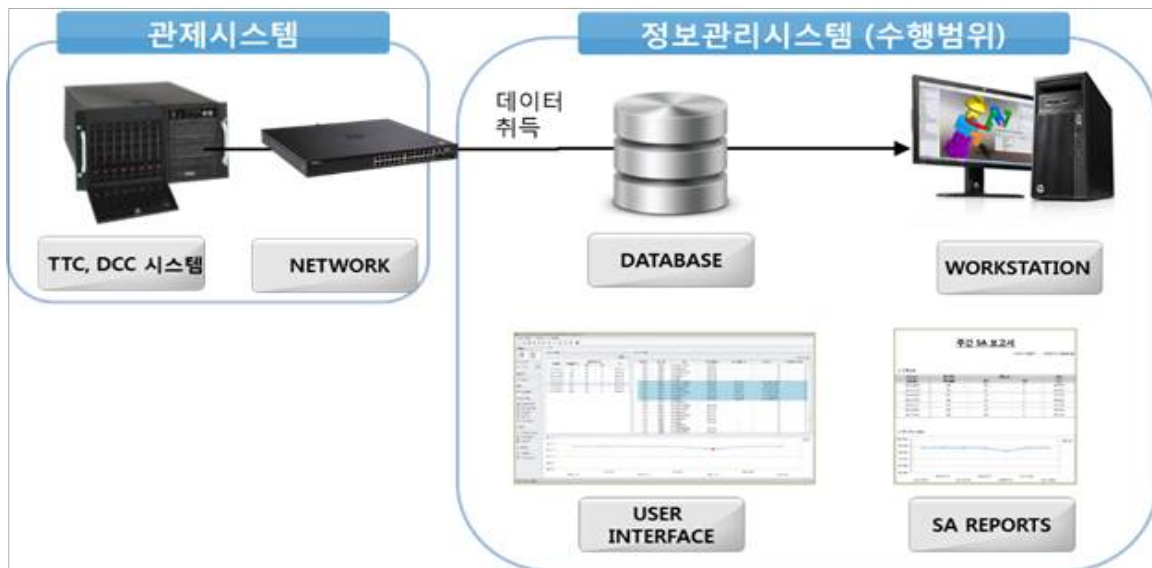
- 데이터 수집 시 도시형자기부상철도 열차제어시스템에 영향을 주지 않기 위해 다음 같은 조치 적용.
  - SA 검증 시스템은 DCC에 직접 연결되지 않고 Proxy Server를 통함.
  - DCC는 SA검증에 필요한 당일 데이터를 열차운행이 종료된 후 익일 새벽에 Proxy Server에 전송.

### (2) 검증절차

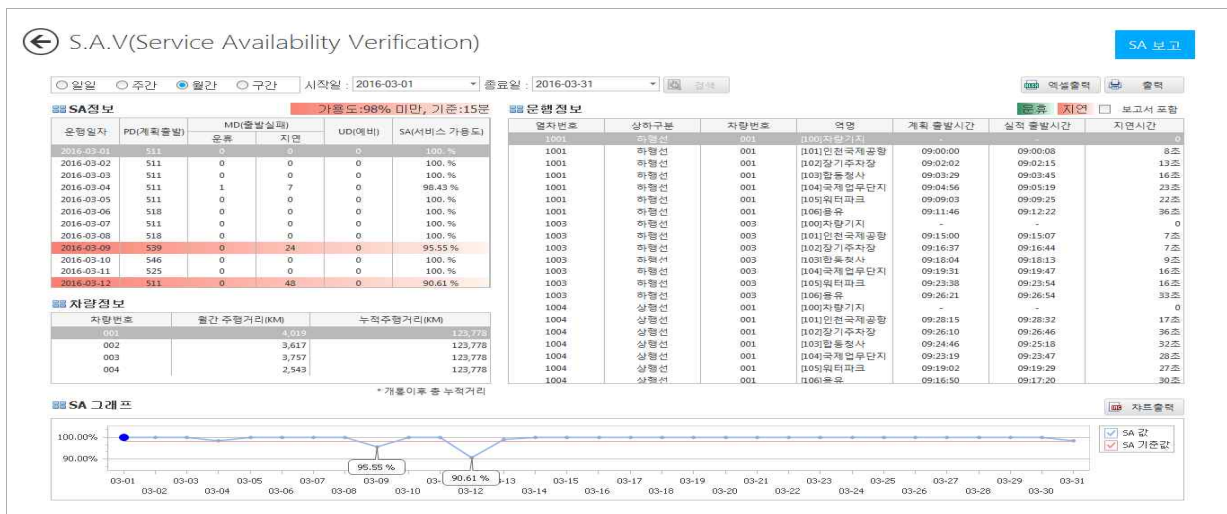
- SA 검증 시스템을 통해 필요한 기간의 데이터 수집
- 유효하지 않은 데이터 제거
- 검증 기준 적용을 통한 SA값 계산
- 목표치와 비교 분석

### (3) 검증 시스템 (SAV)

- SA검증을 위해 다음과 같은 SAV검증시스템(SAV) 구성.



- SA검증시스템에는 다음과 같은 SA검증소프트웨어(SAV) 탑재되어 역간 운행정보로부터 SA가 계산됨.



## 마. 검증 결과

### (1) 1차 종합성능시험 (영업 Dia운행)

- 기간 : `14. 5. 20 ~ 28(9일간)
- 진행 방법 : 1일 139 Dia(운행 열차 별 지원기관사 탑승)
  - 04:30 ~ 13:00 2개 편성 운행
  - 13:00 ~ 17:00 3개 편성 운행
  - 17:00 ~ 22:00 2개 편성 운행
- 가용성 결과 : 75.52%

### (2) 2차 종합성능시험 (영업Dia운행)

- 기간 : `14. 6. 4 ~ 9(6일간)
- 진행 방법 : 1일 139 Dia(운행 열차 별 지원기관사 탑승)
  - 04:30 ~ 13:00 2개 편성 운행
  - 13:00 ~ 17:00 3개 편성 운행
  - 17:00 ~ 22:00 2개 편성 운행
- 가용성 : 76.13%

(3) 3차 종합성능시험(영업Dia운행)

- 기간 : `14. 6. 16 ~ 20(5일간)
- 진행 방법 : 1일 139 Dia(18일~20일 무인운행)
  - 04:30 ~ 13:00 2개 편성 운행
  - 13:00 ~ 17:00 3개 편성 운행
  - 17:00 ~ 22:00 2개 편성 운행
- 가용성 : 88.34%

(4) 4차 종합성능시험(영업Dia운행)

- 기간 : `14. 7. 1~5 (5일간)
- 진행 방법 : 1일 139 Dia(무인운행)
  - 04:30 ~ 13:00 2개 편성 운행
  - 13:00 ~ 17:00 3개 편성 운행
  - 17:00 ~ 22:00 2개 편성 운행
- 가용성 : 96.8%

(5) 영업 시운전

(1단계)

- 기간 : `14. 7. 15 ~ 8. 4(21일간)
- 진행 방법 : 1일 55 Dia(무인운전)

(2단계)

- 기간 : `14. 8. 5 ~ 9. 12(39일간)
- 진행 방법 : 1일 139 Dia(무인운전)
- 가용성 : 96.50%

(6) 확인 검증 시운전

- 기간 : `15. 3. 4 ~ 10(7일간)
- 진행 방법 : 1일 139 Dia(무인운전)
- 가용성 결과 : 99.59%

(7) 영업운전

(1단계)

- 기간 : `16. 2. 3 ~ 10. 19
- 진행 방법 : 1일 71 Dia(무인운전)

(2단계)

- 기간 : `16. 10. 20 ~ ;17.4.19
- 진행 방법 : 1일 79 Dia(무인운전)

(3단계)

- 기간 : `17. 4. 20 ~
- 진행 방법 : 1일 103 Dia(무인운전)
- 월별 가용도

구분	PD 횟수	MD 횟수		UD 횟수	장애 건수									SA(%)
		운 휴	지 연		차 량	신 호	분 기 기	PS D	전 력	전 차 선	통 신	기 타	소 계	
'16년	2월	9,959	86	60	0	0	1	0	1	0	0	0	2	98.53
	3월	11,934	13	52	0	1	0	1	0	0	0	0	2	99.46
	4월	11,544	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	5월	11,899	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	6월	11,554	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.98
	7월	12,392	188	39	0	0	2	3	0	0	1	0	1	98.17
	8월	11,904	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	9월	11,947	11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	99.91
	10월	12,432	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	11월	12,840	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	12월	13,268	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
'17년	1월	13,268	130	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	99.02
	2월	11,984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	3월	13,268	11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	99.92
	4월	14,292	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	5월	17,360	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	6월	16,800	49	10	0	0	1	0	0	0	0	1	2	99.65
전체		218,645	488	161	0	2	4	6	0	1	1	0	2	16 99.70

- 이동 6개월 평균 가용도(`17.6.30 현재) : 99.76%(목표 달성 확인)



## 10. 도시형자기부상철도 운영/유지보수 체계 개선

가. 운영 및 유지보수 체계(O&M 관리, 운영자산관리, 안전관리시스템) 현황, 현수준 검토 및 진단

### (1) 운영 및 유지보수 관리(OMM)

- 운영 및 유지보수 활동은 설계, 시공, 시험 및 시운전을 걸쳐 운영단계까지의 연속적인 관리로 접근해야 한다. 이러한 이유는 차량 및 시스템의 성능은 설계단계에서 목표가 설정되며, 운영, 재무, 조직 등은 운영준비단계에서 정립해 나가야 함.
- 따라서 본 연구에서 수행한 운영 및 유지보수와 관련된 현장실태와 이에 대한 선진 운영사에서 적용하는 기준과의 차이점을 이해하고, 지속적으로 현장에서의 개선점을 찾고, 이러한 차이점을 줄여가며 국제적인 경쟁력 확보해야 함.
- 본 사업을 위해 관리되어지는 핵심성과지표(KPI)와 유사한 형식의 자료는 TPM이라는 항목으로 관리하고 있는 총 17개 항목으로 차량, 분기기, 구조물 및 관련 주요 시스템의 RAM 등 성능에 목표를 두고 현장에서 관리

성적 목표	성적 지표 (TPM)	가중치 (%)	비중목표	목표단계 (2020)			제1/2차년도 (2021/2022)			시행평가 단계 (2023)			현황
				목표	1차	2차	목표	1차	2차	목표	1차	2차	
운영 자산 관리 목표	차량운행신뢰도	10	130km/h	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	70
	차량운행신뢰도	10	130km/h	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	70
	차량운행신뢰도	10	130km/h	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	70
	차량운행신뢰도	10	130km/h	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	70
	차량운행신뢰도	10	130km/h	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	70
	차량운행신뢰도	10	130km/h	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	70
	차량운행신뢰도	10	130km/h	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	70
	차량운행신뢰도	10	130km/h	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	70
	차량운행신뢰도	10	130km/h	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	70
	차량운행신뢰도	10	130km/h	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	70
	차량운행신뢰도	10	130km/h	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	차량운행신뢰도 (20%)	70

<TPM 성과지표 관리양식>

### (2) 자산관리 시스템(AMS)

- 국내 대부분의 관리운영사에서의 자산관리는 재고관리로만 인식하거나, 기존 관리운영되고 있는 운영시스템 자산 및 예비품에 대한 원가관리 측면에서 개별적인 자산관리만을 수행하는 경향이 있음.
- 현재 국제적인 선진사례에 의하면, 최적의 자산관리(AMS)는 관리운영에서 발생하는 리스크를 관리하는 것이 최대 목적임. 관리되어야 하는 리스크는 기존 안전관리 및 시스템보증 측면에서 관리하는 리스크가 아닌 관리운영 목표와 해당 목표를 달성하기 위해 요구된 자산관리의 리스크를 의미.
- 결국, 자산관리 측면에서 리스크는 관리운영 요구사항, 고객서비스 수준/목표, 자산관리에 산, 시스템성능 기준/목표, 현재 자산성능 등을 유기적으로 고려한 후에 추정되거나 관리되어야 하는 리스크를 의미.
- 운영사로부터 입수한 관리운영 절차서 및 매뉴얼과 현장 방문시 인터뷰한 결과에 의거하여 상기에 언급된 선진사례/국제규격(BS ISO 55000) 기준의 자산관리 체계와 비교분석을 수행하였고, 이를 토대로 실질적인 자산관리 검토항목에 의거하여 상세하게 비교분석하고 개선 필요사항을 도출함.

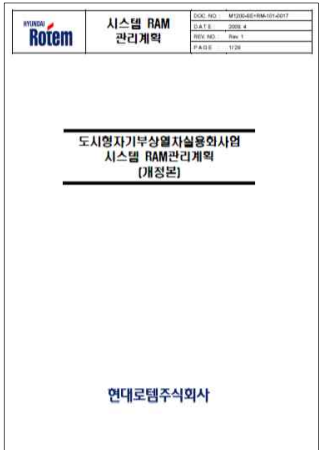
### (3) 안전관리 시스템(SMS)

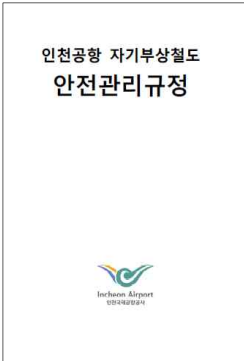
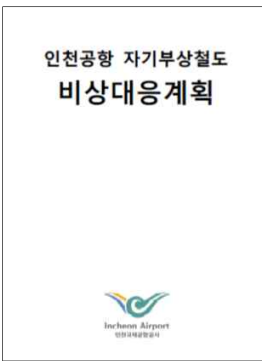
- 안전관리시스템과 관련하여 관리운영사로 부터 입수한 “안전관리규정” 및 “비상대응계획”을 검토하고, 현장방문시 확인한 바에 의하면 자기부상열차의 안전관리시스템은 국내 대부분의 관리운영사의 시스템과 유사한 수준을 유지하고 있는 것으로 판단.
- 최근 국내 철도안전법 시행규칙이 개정되어 안전관리시스템이 기존 대비 강화되도록 요구되었고, 국내 모든 운영사는 상기 개정된 규칙에 의거하여 안전관리시스템을 개정하고 승인 받아야 한다. 이후 승인된 안전관리시스템에 의거 해당 활동을 수행하고 결과에 대해 정기적인 점검 및 감사를 받아야 함.
- 개정된 안전관리시스템의 수준은 국제적인 기준과 비교하여 규정된 규칙 자체로는 매우 엄격하게 요구된 수준으로 판단함. 그러나, 규정된 규칙은 최상위 수준의 요구사항으로 이를 통해 관리운영사는 개별적인 상세 수행 계획/절차서를 수립하여 승인을 받아야 함.
- 본 연구에서의 검토사항은 상기 개정된 안전관리시스템 관련 규칙 및 현 관리운영사의 안전관리시스템에 대한 기초적인 현황을 확인하였음

### 나. 운영 및 유지보수 체계 검토를 위한 운영현장 조사

#### (1) 운영 및 유지보수 관리(OMM)

- 현장조사 시 확인된 운영 및 유지보수 활동과 관련된 분야별 현황 및 이에 대한 경쟁력을 확보하기 위한 차이점 및 개선사항은 다음과 같음

성능관련	확인사항	- 차량 및 시스템의 RAM관리계획을 입수하였으며, 차량 성능입증 활동을 수행중인 것으로 확인       [시스템RAM관리계획서]  
	차이점 및 개선사항	- 차량 및 주요 시스템의 TPM 성능지표를 확인     - 시험 및 시운전중 발생한 고장목록 및 편치목록을 제공받았으며, 진행경과를 확인     - RAM관리계획서에 명시된 관리기준은 국제적인 RAM기준을 준용하고 있으나, 관련된 서비스나 시스템의 목표산정을 위한 구체적인 기준이 포함된 설계, 분석 자료를 시스템 공급자는 운영사에 제시해야 한다. 또한 운영사는 이러한 설계기준을 충분히 이해하고 설계기준의 부합성을 판단해야 하며, 설계의 치명적인 오류를 제외하고는 별도의 시스템 성능기준을 요구해서는 안된다. 일례로 서비스 가용도의 기준은 여러 가지 방법과 조건으로 달리 계산되어 질 수 있으므로, 설계당시의 기준외의 별도의 운영사 자체적인 기준으로 거부할 근거는 없다.     - 현재 관리되는 TPM에서의 성과지표 및 고장과 관련한 충분한 기록들을 운영사는 시스템 공급자로부터 이관 받아야 한다. 이러한

		성과지표, 고장 및 장애, 편치의 기록들은 건설단계에서 운영단계로 명확하게 이관되어 연속적으로 관리되어야만 운영단계시 발생하는 문제에 즉시대응이 가능하다.       - 운영 및 유지보수 활동의 가장 기본이 되는 정보관리시스템이 구축되어 있지 않다. 일례로 유지보수와 관련한 작업지침을 수기로 작성하고 있음이 확인되었다. 무수히 많이 생성되는 데이터를 빠른 시간내에 관리하지 못한다면, 성공적인 운영 및 유지관리시스템을 활용할 수 없다. 이러한 데이터의 중요성은 앞서 지속적으로 강조하였다.
운영 관련	확인사항	- 건설공사 분야별 교육일정 확인     - 안전관리체계와 관련한 운영규정, 안전관리규정, 비상대응규정을 입수하여 확인       [안전관리체계_매뉴얼]      
	차이점 및 개선사항	- 시스템 공급자와 운영자간의 수급자 교육을 포함한 모든 관련된 교육의 관리는 기록되어야 한다. 이러한 기록형태는 교육자료, 교육자, 피교육자, 교육형태, 피교육자의 평가, 강평이 포함된 형식을 갖추어야 하고, 운영자는 이를 정기적으로 관리하고, 개정해야 한다.     - 현재 유지보수관련 매뉴얼을 작성/검토중에 있으며, 새로운 시스템인 점을 고려하여 운영자가 만족할 만 수준의 관리매뉴얼을 갖추어야 한다. 모든 매뉴얼은 관리 담당이 지정되고, 개정기록, 연관검토부서, 연관성분석, 최종승인자의 평가 등의 기록이 포함될 수 있도록 체계를 갖추어야 한다.     - 철도안전법에 의해 승인된 안전관리체계는 최소한의 법적 규정 집이다. 이를 근간으로 상세한 표준운영절차서가 만들어 져야 한다. 이 또한 정기적인 관리와 개정관리가 이루어 질 수 있도록 형식과 체계를 갖추어야 한다. 또한 비상대응절차서에 따른 훈련은 실질적인 훈련이 될 수 있도록 관련 시나리오를 구성하여 수행할 수 있도록 해야 한다.     - 이러한 운영과 관련된 문서는 신규인력이나 기존 인력의 교육 및 훈련을 위해서 별도 관리할 수 있는 전문 조직 및 인력을 구성할 수 있도록 해야 하며, 이러한 체계 및 절차의 확보는 타 운영사와 구별될 수 있는 중요한 사항이다.

## (2) 자산관리 시스템(AMS)

자산관리 전략, 대상 및 계획	확인사항	- 개별적인 자산관리(운영자산 및 예비품 관리 등)가 시행되고 있으나, 구체적인 개별 자산관리 기준 미확인     - 건설사업자에서 관리운영사로 모든 자산이 인수인계 되지 않은 상태이며, 해당 자산관리 기준이 미확정 상태     - 운영단계 RAM 체계 및 유지보수 기록관리를 위한 MMIS 시스템 미적용 상태
------------------	------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	차이점 및 개선사항	- 선진사례/국제규격에 부합하는 자산관리 전략 부재     - 자산 사용현황, 고장 및 변경 기록에 활용되어야 하는 MMIS 미적용
소통	확인사항	- 현재 영업시운전 및 자산 인수인계를 위한 협의체 운영     - 인수인계되는 자산에 대한 편치리스트 관리 및 협의     - 시스템가용도(자산관리 목표) 산정방식 협의
	차이점 및 개선사항	- 자산관리 중요성 및 의식이 관리운영사에 미전달 및 해당 교육 미수행
리스크 확인, 평가, 관리방안	확인사항	- 안전관리 규정 상 리스크 관리 규정 명시     - 운영단계 시스템보증 및 RAMS 관리 체계 미확인     - 위험원 분석 및 리스크 관리 현황 미확인
	차이점 및 개선사항	- 국제규격에 부합하는 리스크 관리기준의 유지보수 (Risk-based Maintenance) 미적용     - 자산 서비스 및 안전 위험도 수준 미규정
자산 성능 및 상태 모니터링	확인사항	- 개별 자산에 대한 성능, 상태 및 유지보수 기록을 관리할 수 있는 MMIS 미적용     - 운영단계 시스템보증 및 RAMS 체계 미구축     - 시스템가용도 산정방식 협의중     - 성능/고장 현황 및 경향 분석과 관련된 활동 미확인
	차이점 및 개선사항	- 다음과 같은 체계적인 자산 성능/상태 모니터링을 위한 시스템 미적용     · RCM (Reliability Center Maintenance)     · FMECA (Failure Modes, Effects &amp; Criticality)     · KPI (Key Performance Indicator)     · SPS (System Performance Standard)
자산과 관련된 고장, 사고 및 불일치 사항조사	확인사항	- 현재 개별 자산별 편치리스트 관리
	차이점 및 개선사항	- 예방정비/사후정비 기록 관리를 위한 MMIS 미적용(수기 관리)
지속적인 개선	확인사항	- 관리운영사는 현재 영업시운전 및 인수인계 전에 자산 상태 개선을 위해 지속적으로 협의 및 편치리스트 관리 중     - 자산 성능개선을 위해 시스템 서비스가용도 산정/관리 방식 개선 및 적용 협의 중
	차이점 및 개선사항	- 자산 상태/성능 모니터링 기준 미확정     - 성능 개선의 기준 및 선진사례 벤치마킹의 기준되는 상세 KPI(핵심성과지표) 미적용
교육훈련, 의식, 업무숙련도	확인사항	- 현재 교육훈련 과정에 대해 관리운영사 미수용 상태     - 관리운영사는 운영 및 유지보수를 위한 지식습득 및 업무숙련도 기 미흡한 것으로 자체적으로 판단     - 관리운영계약이 3년 단위로 차기 관리운영 계약 및 관련 운영성과 및 업무숙련도를 평가 예정
	차이점 및 개선사항	- 자산관리 의식 관련 교육과정 미확인

### (3) 안전관리 시스템(SMS)

- 개정된 안전관리시스템 관련 규칙 및 상기 입수한 자료와 국내 유사 관리운영의 안전관리시스템에 대한 기존 확인사항을 기준으로 현 자기부상열차의 안전관리시스템을 추정하여 진단하고 선진사례/기준에 의거한 차이점 및 벤치마킹 분야를 검토.

산업 안전 보건	확인사항	- 통상적으로 국내 대부분의 관리운영사는 본 산업안전보건 분야에 대해서는 국내 관련 규칙에 의거 적절한 절차를 구축하고 요구된 활동을 적절하게 수행하고 있음     - 산업안전보건 분야에 대해서는 관련 감독기관으로 부터 정기적으로 감사가 이루어지고 있어 선진사례/기준과 대등 수준으로 관리되고 있음     - 접수된 자기부상열차 안전관리규정을 확인한 결과로도, 안전정책, 안전조직/역할, 안전관리계획, 목표, 교육훈련, 비상대응절차 등이 적절하게 규정되어 있는 것을 확인함
	차이점 및 개선사항	- 특이한 차이점 미확인
시스템 안전 및 리스크 관리	확인사항	- 상기에 언급된 바와 같이 산업안전보건 분야에 대해서 국제적인 표준과 비교하면 국내 대부분의 관리운영사의 체계는 양호한 것으로 판단되나, 시스템안전과 관련된 리스크관리 분야의 수준은 이례적으로 매우 빈약한 것으로 확인됨     - 본 시스템안전 및 리스크관리 항목은 국내 관련 규정 및 자기부상열차 안전관리규정에도 국제적인 기준에 의거하여 규정되어 있는 사항이나, 국내 대부분의 관리운영사는 상기 규정 사항에 대해 실제적인 실행을 수행하지 못하고 있는 실정임     - 금번 철도안전법 개정의 주요 핵심사항도 본 시스템안전 및 리스크관리 분야이며, 이를 보다 강화하여 관련 규정을 개정하였고 향후 관리감독을 수행할 예정임. 그러나, 현실적인 실행 측면에서는 수행 경험부족에 의한 현실적인 수행에 대한 우려가 잔존하고 있음     - 리스크관리는 사건사고를 예방하는 핵심 전략사항이나, 현재 국내 대부분의 관리운영사는 국제적인 기준에 의거 규정된 해당 규정에 의거 체계적이고 사전 예방적인 리스크 관리 및 분석을 적절히 수행하고 있지 못하고 있는 것으로 판단됨     - 따라서, 시스템 전분야에 대한 시스템안전과 관련된 리스크 사항을 검토, 평가, 기록, 관리하고 해당 대책을 수립하고, 우선적으로는 주요 핵심적인 리스크를 발굴 관리하고 해당 대책을 수립해야 함     - 현재 국내 대부분의 관리운영사는 발견된 리스크에 대해서는 적절하게 관리하고 대책을 마련하고 해당 보완사항을 현장에 적용하고 있고 있음. 그러나 리스크관리는 발생 사후관리이기 보다 사전관리가 필요한 사항으로, 관리운영사의 주기적으로 모든 운영 절차서 및 매뉴얼을 검토하고 사전에 위험성을 내포하고 있는 부분에 대한 리스크를 발굴, 관리하고 해당 대책을 사전에 현장 적용해야 함     - 자기부상열차 실용화 사업의 일환으로 설계/건설단계에 EN50126 규정에 의거한 위험원 발굴/분석 및 리스크 관리 체계를 확인함. 그러나 상기 관리 체계 및 운영관련 위험원 및 리스크 사항이 현 관리운영사에 전달되어 관리되고 있는지는 미확인
	차이점 및 개선사항	- 실용화 사업에 EN50126 국제규격에 의거 수립된 시스템보증 및 RAMS 체계의 최종 단계인 운영단계에 대한 검증 및 실행 체계 미구축     - 실용화 사업의 설계/건설단계에 확인된 위험성 및 리스크관리 항목의 운영단계 추심사항 및 해당 체계 미확인

(1) 운영 및 유지보수 관리(OMM)

개선방안

- 운영 및 유지보수 관리는 운영사가 수행하는 모든 일련의 활동들을 관리대상으로 포함한다. 이는 운영사업자로서의 가장 기본적인 열차운영에서부터, 성능관리, 조직구성, 매뉴얼관리, 업무절차, 교육 및 훈련, 심지어 역사청소까지 포함한 활동들이 포함되어 있다. 이러한 광범위한 활동들이 어떠한 방법으로 조직의 목표, 회사의 목표에 부합시킬지에 대한 체계적인 목표설정과 핵심성공요인들을 도출하여 관리할 것인가의 연속적인 활동이 운영 및 유지보수 관리의 핵심이며, 이에 사용되는 정량적인 지표를 핵심성능지표(Key Performance Indicator)라고 한다.
- 이러한 핵심성능지표(KPI)의 수립의 가장 기초적인 조건은 첫째, 이를 위해 가용할 수 있는 자료의 존재이다. 자산관리나 안전관리에서도 동일하게 수많은 자료들 중에 자료를 선별하고, 분석하여 의미있는 데이터를 지정하고 평가하는 데이터 마이닝 활동들이 선행되어야 한다.
- 둘째, 이를 관리하고 분석할 수 있는 전담조직을 갖춰야 한다. 일반적으로 이와 유사한 활동을 국내 운영사에서 각 팀별, 조직별 현장 또는 기술인력들의 설정하고 취합하여 관리를 하는 실정이다. 물론 현장에서의 관리실태 및 실정은 관련 현장인력이 누구보다 자세히 알고 있을 것이지만, 이들을 체계적으로 관리 할 수 있는 여력이 필요한 것이 현재의 실정이다. 선진운영사의 경우 이를 별도로 관리하는 인력들을 구성하여 운영하고 있다. 이러한 별도 조직이나 추가인력의 재원은 이러한 관리를 통해 얻을 수 있는 경제적인 이윤내에서 충분히 활동이 가능하다고 선진 운영사들은 얘기한다.
- 이러한 기법은 오랫동안 선진운영사에서 그들만의 강한 경쟁력과 신뢰성을 높이기 위해서 적용된 활동임에도 국내의 운영사에서 관리하는 수준의 운영 및 유지관리활동의 수준은 극히 제한적이고 체계적이지 못한 실정임을 알 수 있다.
- 아래는 성과지표의 수행단계를 개략적으로 표현하였다.

[핵심성능지표(KPI) 도출 절차]



- 철도시스템에 있어 이러한 성과지표의 설정 및 관리체계의 방법은 본 과제 의 전체 계획에 따라 벤치마킹을 통하여 개발되고, 확정되며, 정기적으로 관리될 수 있는 기반을 운영사에게 제공하게 될 것이다.
- 아래는 벤치마킹 대상으로 선정한 CoMET회원사들의 정기적으로 관리하는 핵심성능지표(KPI)의 관리항목 및 실제 MTR에서 수행되는 지표이다.

## KPI System – measures “whole system” performance based on the Balanced Scorecard

### Growth, Learning & Innovation

% change Network Size & Passenger Journeys  
% change Operated Capacity km & Car km  
Number of Training Hours / 1000 Staff Hours  
Non-fare Commercial Revenue / Fare Revenue & / Passenger Journey

### Financial

Total Commercial Revenue / Operating Cost  
Operating Cost / Revenue Car km  
Service Operations Cost / Car km  
Maintenance Cost / Car km  
Administrative cost / Car km  
Investment cost / Car km  
Operating Cost / Passenger Journey & km  
Fare Revenue / Passenger Journey & km

### Customer

#### Capacity Provision & Utilisation

Capacity km / Route km  
Passenger km / Capacity km

#### Service Quality

Passenger Hours' Delay / Passenger Journey  
Passenger Journeys On Time / Passenger Journey  
Trains On Time / Total Trains (scheduled + actual)  
Train Hours Operated / Hours of Train Delay

### Internal Processes

#### Reliability & Availability

% of Cars Available & Used in Peak Hour  
Car km / hours between Incidents (by category)

#### Efficiency

Passenger Journeys / Staff + Contractor hours  
Capacity & Car km / Staff + Contractor hours  
Train hours / Driver Hours  
% Employee Absenteeism  
Traction Energy Consumed / Car km  
Total Energy Consumed / Passenger Journey & km

### Safety & Security

Total Fatalities / Passenger Journeys  
Deaths from Suicide / Passenger Journeys  
Deaths from Accidents / Passenger Journeys  
Deaths from Illegal Activity / Passenger Journeys  
Incidences of Crime / Passenger Journeys  
Staff Lost Time through Accidents / Staff Hours

### Environment

CO2 per Passenger km

### [MTR의 KPI관리실적]

System	Description	Target	Actual
Fare Collection System	Availability of Ticket Gate (%)	99.2	99.98
	Availability of Ticket Vending Machine (%)	99.2	99.94
	Availability of T-Money Equipment (%)	99.9	99.97
	Fare System Reliability (failures/per hundred thousand transactions)	3	1.75
Building Services	Escalator Availability (%)	99	99.99%
	Lift Availability (%)	99.5	99.97%
	Essential Power Supply Availability (%)	100	100%
	Essential Air-conditioning Availability (%)	99.5	100%
	Fire Service System Availability (%)	99.5	99.95%
	Restoration Time for Corrective Maintenance (hrs)	24	1.57

### [MTR의 KPI관리실적]

Category	Sub-category	Criteria	Targets
Service	Train Service	Train Service Performance (actual trips on time / total scheduled trips)	99.61%
		No. of Delay of 8 Minutes or More	120
		No. of Passenger Trips being delayed for 5 minutes or more (per million passenger trips)	1,329
	Customer Satisfaction (for all Rails)	Customer Satisfaction Index - Service Attitude of Staff	7.6
		Customer Satisfaction Index - General Service Standards	7.5
		Customer Satisfaction Index - Train Service Standards	7.3
		Customer Satisfaction Index - Perception of "Value of Money"	6.7
	Passengers' Enquiries (for all Rails)	Response to Passengers' Enquiries and Opinions by Phone (within 2 working days)	99%
		Response to Passengers' Enquiries and Opinions by Letter (within 6 working days)	99%
Safety	-	Reportable accidents per 1,000 staff	8.0
		Passengers and public injured per million passengers (TD)	0.59
		Reportable accidents per 100,000 contractor hours	0.4
Environment	-	Number of Environmental Non-compliance	0
		Recycling of Scrapped Metal	100%
		Recycling of Lubricating Oil	100%

[The tracking and trending metrics against industry benchmarks (NASA 2000)]

	Metric	Variables and Equation	Benchmark
	Equipment Availability	$\% = \frac{\text{Hours each unit is available to run at capacity}}{\text{Total hours during the reporting time period}}$	> 95%
	Schedule Compliance	$\% = \frac{\text{Total hours worked on scheduled jobs}}{\text{Total hours scheduled}}$	> 90%
	Emergency Maintenance Percentage	$\% = \frac{\text{Total hours worked on emergency jobs}}{\text{Total hours worked}}$	< 10%
	Maintenance Overtime Percentage	$\% = \frac{\text{Total maintenance overtime during period}}{\text{Total regular maintenance hour during period}}$	< 5%
	Preventive Maintenance Completion Percentage	$\% = \frac{\text{Preventive maintenance actions completed}}{\text{Preventive maintenance actions scheduled}}$	> 90%
	Preventive Maintenance Budget/Cost	$\% = \frac{\text{Preventive maintenance cost}}{\text{Total maintenance cost}}$	15% – 18%
	Predictive Maintenance Budget/Cost	$\% = \frac{\text{Preventive maintenance cost}}{\text{Total maintenance cost}}$	10% – 12%
기대효과	1. 표준화   자산의 표준화는 물론이고, 운영 및 유지보수 관리를 통해 실물자산과 관련한 활동, 운영절차, 조직, 매뉴얼, 등을 포함한 모든 관련활동의 표준화 작업이 가능하다. 이러한 표준화의 작업은 자산의 수명의 유/무한을 떠나 지속적으로 교체되는 관리 인력의 변동과 기술변화에 따른 적응력을 높혀 주고, 불필요한 비용의 절감효과를 제공한다. 표준화의 가장 기본적인 형태는 모든 활동들에 대한 일관성을 부여하는 것이며, 이러한 일관성의 부여는 관련된 다른 종류의 활동들 까지 연속적인 일관성을 요구하게 된다. 따라서 이러한 일관성은 운영 및 유지보수 활동의 지속성을 유지하기 위해 필요한 효과이다.		
	2. 우수한 계획   모든 운영 및 유지보수 활동은 계획에서 출발한다. 이러한 계획의 중요성은 현장에 투입할 인력, 자원, 시간 등을 포함한 자원의 효율적인 분배와도 밀접한 관계가 있다. 이는 단지 지연되는 활동을 만회하기 위한 계획이 아니라, 예측하고 관리하기 위한 계획을 확보하기 위해서 운영 및 자산관리의 필요성을 부여할 수 있다. 이는 관리자급들에 반드시 필요한 자원이다.		
	3. 정량적인 지표   운영 및 유지보수 활동을 평가할 수 있는 정량화된 지표를 확보할 수 있다. 이러한 지표는 이해하고 판단할 수 있는 정량화 형태로 작성이 되어야 하며, 현재의 성능수준을 한눈에 알 수 있게 지표를 정의하고, 작성 방법을 객관화 시킬 수 있다. 이러한 정량화된 지표의 존재는 가장 쉽게 운영 및 유지보수 기술의 수준을 평가할 수 있는 도구이며, 경쟁력을 나타낼 수 있는 지표임을 거듭 강조하며, 가장 큰 운영 및 유지보수 활동의 기대효과라고 말할 수 있다.		
	○ 결론적으로 운영 및 유지보수 활동을 계획, 실행, 평가 및 피드백의 일련의 활동을 평가할 수 있는 체계적인 접근방식을 확보할 수 있다. 그것은 평가자로 하여금 얼마나 효율적이고 객관적으로 서비스가 되고 있는지에 대한 확신을 제공하고 이에 따른 신뢰성을 제공한다.		

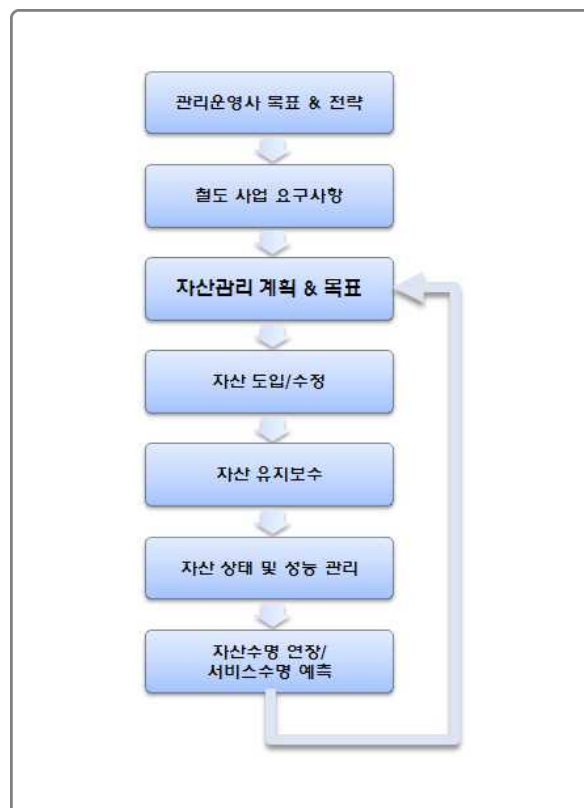
## (2) 자산관리 시스템(AMS)

개선방안	○ 관리운영사는 관리운영 목표 및 자산관리 정책을 달성하기 위해 요구되는 활동을 규정하기 위해 자산 형태 또는 시스템 별로 자산관리 전략 및 장기간 관리운영 계획을 수립해야 한다.
	○ 이 전략과 계획들은 자산 소유자 또는 투자자들이 수감할 수 있는 수준이

어야 하고 자산관리 대상, 목표 및 계획 수립을 위한 정보 및 방향성을 제공할 수 있어야 할뿐만 아니라 해당 자산들의 기능, 중요도, 성능 및 조건 요구사항을 확인시킬 수 있어야 한다.

- 이와 같은 전략 및 계획은 연간 예산 및 운영계획에 포함되어 최소한 연간 단위로 해당 전력 및 계획의 효율성 및 적정성을 확인하고 필요시 개정해야 한다.
- 자산관리 전략은 다음과 같은 질문 사항에 답변할 수 있도록 구성되어야 한다.
  - 어떤 자산이 장기간의 성과를 달성하는데 핵심적인 영향을 미치는가?
  - 핵심 자산에 대해 어떻게 성능 목표가 규정되어 있는가?
  - 핵심 자산은 현재 성능 상태가 어떠한가?
  - 어떤 성능들이 목표치에 미달되며, 어느 정도 수준까지 도달해야 하는가?
  - 일정 수준 도달 시까지 발생 우려가 있는 위험 요소는 무엇이며, 어떤 위험 요소를 통제해야 하는가?
  - 전략은 무엇을 담고 있어야 하는가?
  - 예상되는 소요 비용 항목은 무엇인가?

[자산관리 절차]



- 운영자산의 영업운전 및 RAMS 성능을 관리하기 위해서는 관리운영 요구사항, 고객서비스 수준/목표, 현재 자산성능을 종합 고려하여 시스템 성능기준 (System Performance Standard, SPS)과 운영자산 성능기준(Asset Performance Standards, APS) 2가지 종류의 성능기준이 수립되어야 하며, 이를 통해 운영자산 관리전략, 유지보수 계획이 수립되어야 한다.
- 시스템 성능기준(System Performance Standard, SPS)은 정해진 운영목표를 달성하기 위해 시스템 및 설비에 요구되는 신뢰성, 가용성 및 유지보수 기준을 의미한다. SPS 목표는 운영계약 요구목표 및 기존에 확인된 시스템

	및 설비의 상태, 신뢰성 및 개선사항을 고려하여 체계적으로 연간 단위로 규정된다. 주요 설계 변경이 발생할 경우 운영자산의 RAMS 성능 수준은 재평가되어 한다.   ○ 운영자산 성능기준(Asset Performance Standards, APS)은 운영자산의 영업 운전 조건 및 성능수준(Engineering Acceptance Level)을 규정하는 기준을 의미한다. 유지보수 범위는 규정된 APS 기준에 의해 결정되고, 유지보수 활동은 APS 요구기준을 성취하기 위해 필요한 기준에 의거 계획하고 수행 된다.   [자산관리 관련요소]  <pre> graph LR     A[운영요구사항 변경] --&gt; D[고객서비스 계약]     B[자산상태 변경 ✧ 자산도입 ✧ 자산수정 ✧ 자산해기] --&gt; D     C[운영조건 변경 ✧ 운전시각 ✧ 운영시간, 등] --&gt; D     D --&gt; E[시스템성능기준(APS) &amp; 운영절차 ✧ 차량가용도 ✧ 차량 지연, 유지보수 응답 및 회복 시간 ✧ 고장발생율, 조치/회복시간 ✧ 유지보수 계획 ✧ 시스템별 신뢰성, 조치 및 회복 시간 ✧ 보고절차]     E --&gt; F[자산관리 ✧ 유지보수 계획 ✧ 자산교체전략, 등]     E --&gt; G[서비스 변경/외복 ✧ 운영절차서 변경, 등]     F &lt;--&gt; G   </pre>  ○ 더불어 관리운영자의 운영자산 관리체계를 기준으로 자산건전성평가(Asset Condition and Capability Assessment, ACCA) 체계 수립을 위한 업무를 수행해야 한다. 본 평가의 목적은 특정 운영기간 동안에 관리운영 자산의 상태 및 역량을 평가하여 차기 운영기간의 운영목표를 달성하기 위한 자산의 성능 연속성을 평가하고 필요시 운영자산의 교체 계획을 제공하는 것이다.   ○ 상기 자산건전성평가(ACCA)의 주요 평가평목은 다음과 같다. 이는 최소한의 평가항목으로 관리운영 현황에 따라 적정 평가항목을 선정해야 한다.       - 자산 신뢰성 성능     - 자산 현재 상태     - 자산 수명 및 잔존 수명     - 예비품 노후화 수준     - 관련 법규 만족여부     - 자산 연속성
기대효과	1. 현재 자산상태 이해/통찰력 개선 사전 예방적 측면에서의 자산관리 및 자산건전성평가(Asset Condition and Capability Assessment)를 적용할 경우, 일차적으로 현 자산의 성능, 신뢰성, 고장/장애 경향, 설계수명 연속성, 잠재된 문제 등과 같은 자산상태에 대해 이해 및 분석능력(통찰력)이 개선될 수 있다.   2. 최적화된 운영성과 목표 수립 상기와 같은 자산상태에 대한 정확한 이해 및 통찰력을 바탕으로, 자산관리와 연관되는 관리운영 요구사항, 고객서비스 수준/목표, 자산관리예산, 시스템성능 기준/목표, 현재 자산성능 등의 모든 요소들을 유기적으로 고려하여 체계적으로 목표를 수립할 수 있다.   이는 자산관리 목표 설정과 관련되는 모든 요소를 정확히 파악되지 않은 상태에서 서비스가용도, 개별 시스템가용도 등과 같은 타 운영사례의 최종적인 목표만 벤치마킹하여 운영목표를 수립하여 비현실적인 운영/유지보수 및

	자산관리 활동을 수행하는 문제를 보완할 수 있다.   결과적으로, 자산관리 및 운영/유지보수 목표는 상기에 언급된 자산관리와 연관되는 모든 요소의 개별 사항을 정확히 이해한 상태에서, 현실적으로 실행이 가능한 범위 내에서 운영/유지보수 비용, 시간, 인력이 불필요하게 과잉 투입되지 않고 관련 요구사항을 만족하는 수준에서 최적합하게 수립되어야 한다.   3. 운영/유지보수 체계 및 성과 개선   자산관리 목표/계획은 관리운영사별로 최적의 관리주기(1년, 3년 주기 등)를 정하여 수립하여야 하며, 특정 관리주기가 경과하면 자산관리요소를 재평가하여 평가결과에 의거 자산 및 리스크 관리 목표/계획을 재수립해야 한다.   이와 같은 자산관리 주기별 지속적인 자산 및 리스크 관리를 통해 현재 자산의 수정/보완에 대한 필요성과 개선방안을 확인하고, 운영비 및 리스크 절감하고 안전성을 향상시킬 수 있는 신규 기술을 도입할 수 있게 된다.   상기와 같은 자산관리 활동을 주기적으로 수행할 경우, 결과적으로는 운영 안전성 및 리스크를 절감하고 운영성과를 개선할 수 있는 체계가 수립되고 이와 같은 체계는 지속적으로 개선될 수 있을 것이다.   4. LCC 최소화 및 최적화   최적의 자산관리(AMS)는 관리운영에서 발생하는 리스크를 관리하는 것이 최대 목적이다. 관리되어야 하는 리스크는 기존 안전관리 및 시스템보증 측면에서 관리하는 리스크가 아닌 관리운영 목표와 해당 목표를 달성하기 위해 요구된 자산관리의 리스크를 의미한다.   이를 통해 부적절한 자산관리로 인한 시스템의 조기 노화에 따라 과도한 유지보수 비용 또는 대체투자비가 조기 소요되는 문제를 최소화하여 결국 관리운영에 중요 요소인 자산생애주기비용(LCC, Life Cycle Cost)를 최소화 및 최적화를 달성할 수 있게 된다.
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### (3) 안전관리 시스템(SMS)

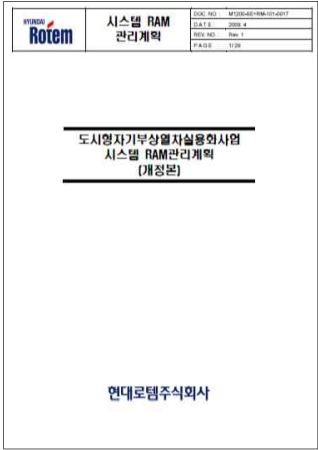
개선방안	○ 안전관리시스템(SMS, Safety Management System)은 시스템 운영상 발생할 수 있는 모든 리스크(Risk)를 관리하는 분야로, 대승객 안전 확보 및 안전한 시스템 운영을 위해 가장 중요한 운영 관리 항목이다. 본 안전관리시스템에는 산업안전보건, 시스템안전 및 비상대응절차와 같은 주요 항목으로 구성되어 진다.     ○ 본 안전관리시스템은 철도안전법에 의거하여 철도운영에 대한 주무관청인 국토교통부로부터 승인을 받아야 하며, 승인된 안전관리시스템에 의거하여 정기적으로 시행결과를 점검받아야 하는 사항이다.     ○ 최근 개정된 철도안전법 상에 안전관리시스템 요구사항은 국제적인 관련 규정과 유사한 수준으로 요구되고 있고, 관리운영사의 안전 정책, 조직, 직원 참여, 위험관리, 요구사항의 준수, 안전점검, 자원 가용성, 경영책임, 지속적인 개선 등과 같은 관리항목이 포함되어 있다.     ○ 본 자기부상열차 관리운영에 적용되고 상기 국내 관련 규정에 의거 요구된 안전관리시스템에 대해 선진사례 및 국제적인 관련 기준과 비교 평가하고 벤치마킹을 위해 다음과 같은 국제 규격/기준을 적용한다.      - OHSAS 18001: International Occupational Health and Safety Management System     - ILO-OSH2001: Guidelines on occupational safety and health management systems     - OR-OSHA: Oregon Occupational Safety and Health Administration
------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

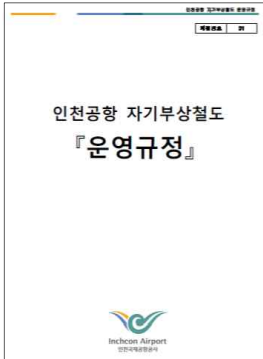
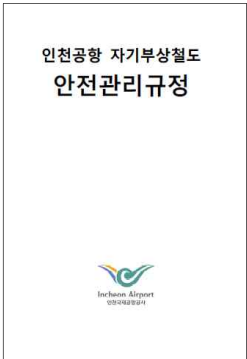
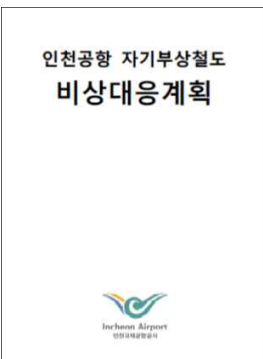
기대효과	1. 체계 및 목표 개선   승객과 관리운영 당사자의 안전성을 확보하고 개선하는 것에 대해서는 정도 및 최적의 수준은 없는 것으로 판단된다. 따라서, 현재 관리운영에 대한 끊임 없는 안전성 검토 및 관련 유사사례를 조사하고 필요시 벤치마킹이 수행되어야 한다.   이를 위해 선진 운영사에서도 주기적으로 전세계 우수한 관리운영사 협회 (CoMET, NOVA 등), 안전 관리/인증 제 3자 기관을 통한 감사, 안전관리 컨퍼런스 등을 통해 지속적으로 사건/사고 사례, 안전관리 목표, 절차 등을 지속적으로 벤치마킹하여 안전관리 관련 절차 및 목표를 조정하고 있다.   본 안전관리에 관련 현황 및 선진사례를 조사하고, 필요시 벤치마킹을 수행하여 자기부상열차의 안전관리시스템의 체계 및 목표를 개선할 수 있어야 한다. 또한 이를 통해 본 안전관리의 국제화를 도모하고 경쟁력을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.   2. 안전관리시스템 체계 및 목표 개선   현재 국내 대부분 관리운영사에서 “위험성 및 리스크 관리” 사항을 안전관리시스템에 자체적으로 규정하고 관리하고 있으나, 이는 현실적으로 적절히 수행되지 못하고 있는 실정이다. 실제로, 위험성 및 리스크 관리가 사건사고를 예방하는 핵심 전략사항으로 예방적 차원에서 사전에 철저히 수행되어야 하나, 국내 대부분의 관리운영사에서 미흡하게 관리되고 있는게 현실이다.   위험성 및 리스크 관리의 실행이 미흡한 사유는 관리운영사의 의지 부족 부분도 있지만 관리체계 및 수행경험 부족도 주요 요인이 되고 있다.   따라서, 본 “위험성 및 리스크 관리”에 대해 체계적으로 관리체계를 수립하여 오랜기간 동안 운영 현장에서 실행하고 많은 경험을 습득한 선진운영사의 수행절차 및 사례에 대해 벤치마킹을 수행하여 자기부상열차의 해당 관리절차의 개선 방안을 구축할 것으로 판단된다. 본 사항은 국내 철도안전법에서 강화되어 요구된 사항으로 본 벤치마킹을 통해 해당 안전관리시스템 개정 및 수행방안과 주무관청 승인/관리감독에 대한 대처방안을 고려할 수 있게 된다.   3. 시스템보증 체계 완성   대부분의 선진운영사의 경우 본 시스템안전을 관리하기 위해 국제 기준인 “BS EN 50126-1: Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)”을 설계/건설단계에서부터 운영단계 전 시스템 생애 주기에 적용하여 시스템보증 활동을 하고 있다.   자기부상열차의 설계 및 건설단계에 상기 국제기준이 적용되어 있어, 시스템 생애주기의 최종단계인 운영단계에 대한 시스템보증 절차 수립을 위해 해당 선진사례 및 국제기준에 의거 벤치마킹을 지원할 수 있을 것으로 판단된다.   운영단계 시스템보증의 가장 중요한 업무는 설계/건설단계에서 확인하고 운영단계로 이관되는 위험성 및 리스크 사항에 대한 운영단계에서의 후속조치와 구축된 시스템보증 체계에 의거 운영단계에서의 위험성 및 리스크 사항을 발굴하고 해결하는 것이다. 국내 대부분의 관리운영의 경우 건설과 운영이 분리 관리되어 시스템생애주기의 시스템보증 체계가 미완성되었거나, 운영단계에서의 실제적인 해당 시스템보증 활동이 미흡하게 수행되고 있는 실정이다.   따라서, 철도시스템 생애주기에 대해 설계, 건설 및 운영의 각 단계별 시스템보증과 종합적인 시스템보증 체계 및 해당 실행 사례에 대한 선진운영사의 경험은 자기부상열차 및 국내 운영에 있어 중요 벤치마킹 항목으로 판단된다.
------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

라. 운영, 안전관리 시나리오 및 운영규정 운영자 요구사항 식별

(1) 운영 및 유지보수 관리(OMM)

- 운영 및 유지보수 활동과 관련된 분야별 현황 및 이에 대한 경쟁력을 확보하기 위한 요구 및 확인사항은 다음과 같이 도출되었음.

성능관련	확인사항	- 차량 및 시스템의 RAM관리계획을 접수하였으며, 차량 성능입증 활동을 수행중인 것으로 확인       [시스템RAM관리계획서]  
	차이점 및 개선사항	- 차량 및 주요 시스템의 TPM 성능지표를 확인     - 시험 및 시운전중 발생한 고장목록 및 편치목록을 제공받았으며, 진행경과를 확인     - RAM관리계획서에 명시된 관리기준은 국제적인 RAM기준을 준용하고 있으나, 관련된 서비스나 시스템의 목표산정을 위한 구체적인 기준이 포함된 설계, 분석 자료를 시스템 공급자는 운영사에게 제시해야 한다. 또한 운영사는 이러한 설계기준을 충분히 이해하고 설계기준의 부합성을 판단해야 하며, 설계의 치명적인 오류를 제외하고는 별도의 시스템 성능기준을 요구해서는 안된다. 일례로 서비스 가용도의 기준은 여러 가지 방법과 조건으로 달리 계산되어 질 수 있으므로, 설계당시의 기준외의 별도의 운영사 자체적인 기준으로 거부할 근거는 없다.     - 현재 관리되는 TPM에서의 성과지표 및 고장과 관련한 충분한 기록들을 운영사는 시스템 공급자로부터 이관 받아야 한다. 이러한 성과지표, 고장 및 장애, 편치의 기록들은 건설단계에서 운영단계로 명확하게 이관되어 연속적으로 관리되어야만 운영단계시 발생하는 문제에 즉시대응이 가능하다.     - 운영 및 유지보수 활동의 가장 기본이 되는 정보관리시스템이 구축되어 있지 않다. 일례로 유지보수와 관련한 작업지침을 수기로 작성하고 있음이 확인되었다. 무수히 많이 생성되는 데이터를 빠른 시간내에 관리하지 못한다면, 성공적인 운영 및 유지관리시스템을 활용할 수 없다. 이러한 데이터의 중요성은 앞서 지속적으로 강조하였다.
운영관련	확인사항	- 건설공사 분야별 교육일정을 확인     - 안전관리체계와 관련한 운영규정, 안전관리규정, 비상대응규정을 접수하여 확인       [안전관리체계_매뉴얼]

		  
	차이점 및 개선사항	- 시스템 공급자와 운영자간의 수급자 교육을 포함한 모든 관련된 교육의 관리는 기록되어야 한다. 이러한 기록형태는 교육자료, 교육자, 피교육자, 교육형태, 피교육자의 평가, 강평이 포함된 형식을 갖춰야 하고, 운영자는 이를 정기적으로 관리하고, 개정해야 한다.     - 현재 유지보수관련 매뉴얼을 작성/검토중에 있으며, 새로운 시스템인점을 고려하여 운영자가 만족할 만 수준의 관리매뉴얼을 갖춰야 한다. 모든 매뉴얼은 관리 담당이 지정되고, 개정기록, 연관 검토부서, 연관성분석, 최종승인자의 평가 등의 기록이 포함될 수 있도록 체계를 갖춰야 한다.     - 철도안전법에 의해 승인된 안전관리체계는 최소한의 법적 규정 집이다. 이를 근간으로 상세한 표준운영절차서가 만들어 져야 한다. 이 또한 정기적인 관리와 개정관리가 이루어 질 수 있도록 형식과 체계를 갖추어야 한다. 또한 비상대응절차서에 따른 훈련은 실질적인 훈련이 될 수 있도록 관련 시나리오를 구성하여 수행할 수 있도록 해야 한다.     - 이러한 운영과 관련된 문서는 신규인력이나 기존 인력의 교육 및 훈련을 위해서 별도 관리할 수 있는 전문 조직 및 인력을 구성할 수 있도록 해야 하며, 이러한 체계 및 절차의 확보는 타 운영사와 구별될 수 있는 중요한 사항이다.

마. 도시형자기부상철도 운영, 안전관리 시나리오 및 운영규정 개선사항 도출

- 자기부상열차 시범노선 종합시험운행 결과를 검토하여 개선 사항을 도출하였음
- 개선사항 도출결과 35개의 주요 사항에 대하여 반영여부를 제작사, 시공사 및 운영기관들과 협의하여 합리적인 개선 성과 도출

번 호	개선 항목	관련 내용
1	wake-up/sleep/sleep2 기능	wake-up/sleep 기능에 추가하여 sleep2 기능 구현 검토 (sleep 2) 본선 등에서 차량 장애로 정지 시에 전체 차량을 재기동하기 위한 절차로 차상신호장치와 TCMS 장치, 비상통화, 방송장치, 비상조명을 제외한 전체 시스템의 전원을 Off 하는 기능을 검토 하였으나, 회로 변경 등 현단계에서는 적용이 어려우며, 향후 프로젝트에서는 설계 초기 단계부터 적용 예정
2	원격 부상/착지 제어	무인운전 시 일부 부상 실패 등으로 본선에 정지한 열차를 부상/착지 명령 등을 시행하여 원격으로 차량을 제어하는 기능 추가
3	원격 재출발 제어	부상 실패 등의 장애 발생 시 원격 부상제어 명령으로 차량이 출발가능한 상태임을 확인한 관계가 차량을 무인으로 재출발시킬수 있는 기능 추가, 또한 외란 등 부상 실패 발생시 자체 reset 기능을 추가하여 자동으로 부상이 복원되는 기능 추가

4	인칭 제어	관계 콘솔에서 열차의 인칭제어가 가능 - 후진 인칭의 경우는 1.5m 범위 내로 제한 - 정위치 정차 실패시는 1회에 한하여 자동으로 인칭 제어하여 정위치 정차하는 기능 추가
5	비상제동완해 제어	관계 콘솔에서 열차의 비상제동완해 제어 기능 추가
6	차상신호장치 reset 제어	관계 콘솔에서 열차의 차상신호장치 reset 제어 기능 추가
7	냉난방기 On/off 제어	관계 콘솔에서 열차의 냉난방기 On/off 제어 기능 추가
8	출입문 상태 표시	편성별 출입문 상태(개방, 닫힘, 장애)를 관계 모니터에 표시 기능 추가
9	속도코드 상태 표시	편성별 권고속도 및 열차운행속도를 관계 모니터에 표시 기능 추가
10	가선전압 상태 표시	편성별 가선전압을 관계 모니터에 표시 기능 추가
11	공기압력 상태 표시	편성별 제동 MR/BC 압력을 관계 모니터에 표시 기능 추가
12	ADU/DU 장애상태 표시	편성별 TCMS, 제동불완해, ECU, CM, DCU, 비상인터폰, 화재검지, PSR/MSR, VVVF, APU, 부상장치, MDPS 장애 상태를 관계 모니터에 표시 기능 추가
13	운전대 덮개 열침 상태 표시	편성별 운전대 덮개 열림 정보를 관계 모니터에 표시하는 기능 구현은 현 시점에서 적용하기는 어려우며(향후 프로젝트에서는 설계 초기부터 반영 예정) - 대안으로 덮개 Key의 보안 등급 강화하는 방안 검토
14	비상핸들 조작 정보 표시	편성별 비상핸들 조작 정보를 관계 모니터에 표시 기능 추가
15	객실등 점등 상태 표시	편성별 객실등 점등 상태를 관계 모니터에 표시 기능 추가
16	냉난방 상태 표시	편성별 냉난방 가동 상태를 관계 모니터에 표시 기능 추가
17	객실 온도 표시	편성별 객실 온도를 관계 모니터에 표시 기능 추가
18	MD 상태 표시	편성별 MCa & MCb 상태(전원공급전, 부상, 고장)를 관계 모니터에 표시 기능 추가
19	운전모드 표시	편성별 열차운전 모드 상태(무인, 자동, 수동, 비상, yard)를 관계 모니터에 표시 기능 추가
20	HSCB 상태 표시	편성별 HSCB 상태(On, Off)를 관계 모니터에 표시 기능 추가
21	출입문 모드 상태 표시	편성별 출입문 모드(자동/자동, 자동/수동, 수동/수동)를 관계 모니터에 표시 기능 추가
22	강제제동완해 상태 표시	편성별 강제제동완해 취급 정보를 관계 모니터에 표시 기능 추가
23	батери 전압 표시	편성별 батери 전압(100V 및 300V)을 관계 모니터에 표시 기능 추가
24	정위치 정차 정보 표시	성별 정위치 정차 정보(미달, 정위치, 과주)를 관계 모니터에 표시 기능 추가
25	ATO-Data 상태 표시	편성별 ATO-Data 상태를 관계 모니터에 표시 기능 추가
26	비상제동체결 정보 표시	편성별 비상제동체결 정보를 관계 모니터에 표시 기능 추가
27	상용만제동체결 정보 표시	편성별 상용만제동체결 정보를 관계 모니터에 표시 기능 추가
28	TCMS log 정보 표시	편성별 TCMS 로그 정보를 관계 모니터에 표시 기능 추가
29	진로개통 표시등 설치	차상신호 장치가 없는 차량의 이동 및 비상모드로 차량 운전시 안전운행을 위해 진로개통 표시등 추가 설치
30	검수고 내 급전 상태와 진로 연동	열차 검수고내 진입 시 휴먼 에러로 인한 지락 사고 방지를 위해 검수고내 급전 상태를 진로조건에 연동함
31	본선 취약 개소에 풍속계 설치	바람의 세기에 따라 열차운행 속도를 제한할 필요가 있으므로 본선의 풍속이 강한 개소에 풍속계를 설치하여 관계 모니터에 정보 제공 기능 추가 구현
32	임시속도제한 40km/h, 25km/h 적용	자기부상열차의 특성에 맞게 풍속의 세기에 따라 해당 구간을 25km/h, 40km/h 등으로 속도제한 구현(당초는 25km/h 만 구현되어 있으나, 본 과제에서 40km/h 추가)
33	PSD 와 신호 연동	가동도어, 비상도어 및 선로출입문의 개방시 열차의 승강장 진입을 방지하기 위해 상하선 모두 비상제동체결 기능 추가

## 바. 시범노선 운영데이터 기반 유지보수 기준개발(최적 운영비 산정)

### (1) 개요

- 도시형 자기부상철도 전 운영 시스템에 대한 최적의 운영비용을 산출하기 위한 목적으로 도시형 자기부상철도의 운영비 산출을 위해 인천공항 자기부상철도를 모델로 각종 시스템, 구조물, 운영 구조 등을 반영하였다.
- 기존 운영비 예측 자료로 보고된 많은 논문, 보고서, 기본 설계 자료 등은 명확한 근거를 제시하지 않고 막연한 추측성 운영비용을 제시하고 있으나, 본 연구에서는 기존 운영비를 예측하는 방식의 틀에서 벗어나 객관적인 자료를 바탕으로 객관적인 근거를 제시함으로써 신뢰성을 기반으로 기초로 수행하였다.
- 기존 10년간의 도시철도 운영의 노하우를 가진 대전도시철도공사가 주축이 되어 자기부상철도 시험, 검증, 정비 경험 등을 바탕으로 기술적인 접근을 하였고, 적정한 자기부상 운영조직을 구성하여 인력을 산정하였고
- 현재 운영 중인 인천공항 시범노선 자기부상철도는 임시 운행 환경임으로 운행 조건을 일반 도시철도 운행과 같은 정상 운행 환경으로 재구성하여 유지보수 기준을 산정하고 운영비용을 예측하였다.

### (2) 국내·외 철도시스템 운영현황

구 분	용인경전철	일본 리니모	대구3호선 (모노레일)	대전도시철도
개통일	2013년 4월	2005년 3월	2015년 4월	2006년 3월
영업거리	영업거리 : 18.1km	영업거리 : 8.9km	영업거리 : 23.1km	영업거리 : 20.5km
정거장	15개소	9개소	30개소	22개소
차량	리니어모터	자기부상열차	모노레일	철제차륜 중량전철
인원	183명	72명	482명	579명
운전방식	무인운전	무인운전	무인운전	유인운전
운행시간	05:30 ~ 23:59	05:30 ~ 익일 00:18	05:30 ~ 24:00	05:30 ~ 24:00
수송인원	일평균 2만3천명	일평균 4만6천명	일평균 6만8천명	일평균 10만5천명
차량편성	1량 1편성	3량 1편성	6량 1편성	4량 1편성
표정속도	36.0km/h	35.6km/h	29km/h	32km/h

### (3) 국내 철도시스템 유지보수 현황

- 국내 운영 중인 도시철도 및 경전철의 유지보수 현황은 기술 분야(총 9개분야 : 전동차, 전기, 신호, 통신, AFC, 궤도, 토목, 건축, 기계설비)별로 검사(점검)주기와 검사(점검)종류 및 점검항목별로 구분하여
  - 부산-김해경전철은 총 317종 1,567항목,
  - 대구 3호선은 380종 1,473항목,
  - 대전도시철도공사는 466종 1,404항목으로 나타났다.

### (4) 과업 범위 및 대상

- 과업 범위는 인천공항 자기부상철도 시범노선 일체로 기술분야인 토목/궤도, 전기, 신호, 통신, 기계설비, 역무자동화(AFC), 관제, 차량으로 9개 기술분야와 관리, 사무, 행정을 위한 운영분야로 구성하였다.

- 또한, 현재 임시 성격으로 운행하고 있는 인천 자기부상철도 운영 시스템을 일반적인 도시철도 운영조직 구성 및 정상운행 조건(운행시간-05:30~24:00/운행시격-10분/표정속도-32Km/h)으로 하여 기 운영 중인 도시철도 및 경전철 시스템과의 Km당 운영비를 비교 분석하였다.
- 다음 표는 자기부상열차 운영비 도출을 위한 연구범위이다.

- 자기부상열차 운영비 과업 범위 -

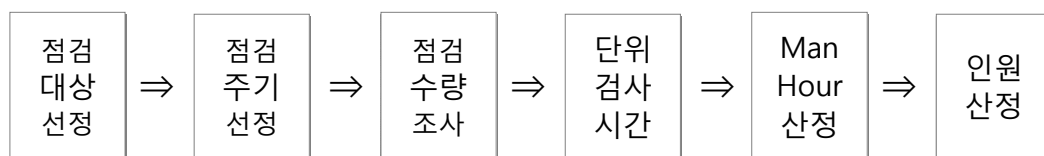
분야		대 상	비고
기술분야	설비/건축/AFC	역사 6개소, 차량기지 전반	시설물 전반 (기지포함)
	전기	변전소 3개소, 송배전설비, 전차선 본선 6.11 Km/기지시설	
	신호/관제	관제시설, 신호취급실, 본선 시설 전반	
	통신	통신취급실, 본선 시설 전반	
	토목/궤도	교각, 본선/기지 시설, 분기기	
	차량	4개 편성 (8량)	
행정분야		행정, 관리, 사무, 지원	

#### (5) 운영비 분석

자기부상철도 운영비는 인건비, 유지관리비, 동력비, 일반관리비로 구성이 되어 있는데 인건비는 근로자에게 지급하는 급여 또는 노무비용, 동력비는 차량/일반전기 전력 사용 비용, 유지관리비는 시스템 운영에 필요한 경비(수도광열비, 지급수수료, 재료비 등), 일반관리비는 일반관리부문의 비용으로 임원이나 사무원의 보험료, 통신교통비, 사무용품비, 수선비, 청소용역, 경비용역 등 행정부분에 필요한 경비이다.

##### (가) 인건비 산정

- 인건비용을 산정하기 위해서는 정확한 인공이 필요하다. 인공을 산출하기 위해서 전 분야에 대하여 점검대상, 주기, 수량을 조사하고 각 점검 개소에 대하여 점검 단위시간을 적용하여 최종 인공을 산출하게 된다.
- 산출된 인공은 법적, 일상적으로 수행해야할 과업(교육, 휴식, 안전 점검, 이동시간 등), 연차휴가, 휴일을 적용하여 산출된 인공에 근무형태를 반영하여 인력수를 산정하게 된다.
- 또한, 자기부상 운영조직을 구성하기 위해서는 각종 관리, 행정, 지원 업무를 수행하기 위한 행정 분야의 인원을 산정하게 된다. 다음은 기술분야 인공산정을 위한 방법을 제시하였다.



- 기술분야 인공 산정 과정 -

- 인천공항 자기부상철도 인공산정을 위해서 점검대상, 점검주기, 수량은 다음 표와 같이 조사·분석되었다.

- 점검개소 항목(인천공항 자기부상철도) -

분야	점검개소	점검주기	점검항목	분야별 총계	점검 개소	주요 장치	총계
설비	29	주간	34	200	6,788	PSD, E/V, E/C, 냉난방설비, 위생설비, 소방설비, 관제시스템	117,393 개소
		월간	97				
		분기	34				
		반기	29				
		연간	6				
전기	49	일일	8	199	24,005	전차선 13.868 Km/편측, 애자류, 고정장치 S/S, 각종 차단/보호설비, 관제시스템	
		주간	79				
		분기	17				
		반기	5				
		연간	85				
		3년	5				
신호	46	주간	47	171	2,732	신호기, 연동장치, 궤도회로, 전원장치, 관제시스템	
		분기	11				
		반기	85				
		연간	27				
		4년	1				
통신	60	주간	30	101	1,923	광전송시스템, 열차무선설비, 양방향 무선데이터 설비, 역무용 통신설비, 영상감시설비, 자동안내방송/표시 설비	
		월간	8				
		분기	34				
		반기	21				
		연간	8				
토목/ 궤도	22	일간	16	40	78,112	교량, 교각, 궤도 13.512 Km 시설, 침목, 이음매, 구조물	
		분기	7				
		반기	11				
		연간	6				
건축	4	주간	10	22	132	승강장, 대합실, 기능실, 외부 시설	
		월간	12				
역무자 동화	8	주간	7	74	685	중앙전산기, 자동개집표기, 발매기/발권기, 전산기, 전산제어시스템	
		월간	17				
		분기	26				
		반기	16				
		연간	8				
차량	30	경정비	도착 검사	35	504	3,016	추진, 제동, 부상, 서비스, 대차, 차체, 객실기기
			일상 검사	74			
			월상 검사	105			
		중정비	290				

- 인천공항 자기부상철도 전 기술분야 점검항목에 대한 단위시간을 계상한 결과 8개 분야 (관제는 신호, 설비, 전기포함)에 대한 연간 인공은 32,163시간/인, 차량은 경정비 1,069시간, 2,137시간으로 산출되었다.

- 기술분야 인공분석 결과 -

(단위 : 시간/년·인)

분 야		기술운영팀						합계	차량 경정비 (중정비)
		전기	건축	기계 설비	역무 자동화	신호	통신	토목	
연간 총 점검시간		5933.18	614.40	3664.33	1616.60	2180.10	4751.13	10677.67	29437
추가 시간	휴식	2007.50						2007.50	32,163 차량은 순수정비 시간 산정
	교육	171.00						171.00	
	이동	365.00						365.00	
	기술행정	182.50						182.50	

- 위 표의 기술분야 인공분석 결과를 기초로 법정휴가, 교육 기타 운영에 필요한 시간을 추가하여 3교대 근무운영에 따른 기술운영 인력은 총 72명으로 분석되었다.

- 행정분야 인원 산정 -

분야	인원	근무형태	비 고
관리지원	10명	일근(10)	◦ 임원(3명) : 사장(1), 본부장(2)     ◦ 팀장(1명) : 자기부상 열차 운영 관리지원 총괄     ◦ 기획·총무(1명), 인사(1), 노무(1), 예산·회계(1), 계약·자산(1), 서무일반(1)
안전감사	3명	일근(3)	◦ 실장(1명), 감사(1), 안전(1)
고객운수	14명	일근(2) 3조 2교대(12)	◦ 팀장(1)     ◦ 수송 및 수입금 관리(1)     ◦ 역무 및 순회안전(12)

- 또한, 독립적인 운영체계를 구성하기 위해서 조직운영과 기술지원을 위한 행정분야 인원은 표와 같이 27명으로 산출되었다. 따라서 인천자기부상철도 운영 인원은 일근 27명, 교대 72명으로 총 99명으로 구성된다.

(나) 동력비 산정

- 자기부상철도 운영을 위한 동력비는 전동차 부하와 일반전기(고배)부하로 구성이 되어있다.
- 전동차 부하는 추진시 발생하는 추진에너지와 제동시 발생하는 회생에너지, 역상(Plugging)제동 소비에너지로 구성이 되고, 자기부상 특성에 따른 부상에너지와 기타 서비스장치와 같이 소비에너지로 구성이 된다.
- 일반전기는 기지내 건물, 역사 조명 등과 같이 시설 조명으로 구성이 되어 있다.
- 본 연구에서는 현재 인천공항 자기부상철도 운영에 따른 실 전력량 자료를 활용하여 운행 시간 05:30~24:00, 운전시격 10분, 일 222회/편도 운행하는 조건으로 산정한 결과 아래 표와 같이 연간 7,584,327kWh로 산출되었다.

- 연간 소비전력량 -

열차운행시간	전력량(kWh/년)		비고
	전동차	일반	
09:00 ~ 18:45	1,360,200	3,762,000	현 운행기준(79회/편도)
05:30 ~ 24:00	3,822,327		정상운행 기준(222회/편도)

(다) 유지보수비 산정

- 자기부상철도 시스템 유지보수비 구성은 수도광역비(동력비), 지급수수료(용역비), 재료비, 수선유지비, 차량유지비, 보험료, 통신비, 소모품비 등으로 구성되어 있다.
- 유지보수비용중 지급수수료 및 저장품 비용을 산출하고 나머지 비용구성 항목은 일반관리비로 편입하여 계상하였다. 지급수수료 부분은 법적으로 시행하여야 하는 사업을 적용하였고, 저장품 산출의 경우 역사, 운영 노선 길이, 시설물 수량비와 고장율을 산출하여 적용하였다.
- 다음 표는 인천공항 자기부상철도 지급수수료 소요 사업 현황이다.

- 자기부상철도 지급수수료 -

분야	사업명	비고
토목	시설물 정밀안전진단	시특법 등급에 따라 4~6년 / 10년후 실시
	장비 대여료	시특법에 의한 정기점검 (2회/년)
기계	저수조 청소 및 수질검사	수도법 시행령, 174ton
	소방시설 법정점검	소방안전관리법(1회/년) , 14,000 m²
	승강기 전문 안전진단	승강기 제조 및 관리 법률, 수량 산정
	승강설비 유지관리	자체시행
	위생설비 유지관리	
차량	전동차 청소 및 방역	소/대청소, 량당 단가 및 수량 반영
신호	열차운행제어 컴퓨터(서버) 유지보수	유관기관 공통 수행

(라) 일반관리비 산정

- 일반관리비는 현업부문 비용이 아닌 행정부서 일반관리부분의 비용으로 보험료, 소모품비, 수선비 등을 포함하는데 자기부상철도에서 사옥, 건물, 유지관리에 필요한 청소용역, 경비용역 등의 비용을 포함하고 있다.

■ 일반관리비 = (인건비 + 동력비 + 유지관리비) × 13%

- 효율적용 근거

- 철도부문사업 타당성 조사 운영비 추정 개정 가이드라인 (13% 이내)
- 실 운영기관(대전도시철도공사) 일반관리비 소요 비용

(6) 운영비 비교분석

- 대전도시철도공사, 용인경전철의 연간 운영비 분석은 2015년도 결산서(손익계산서, 현금흐름표)기준으로 재무제표를 기본으로 분석하였다.
- 우선 손익계산서상의 매출원가(운영사업원가)와 판매비와 관리비를 합한 금액으로 총비용을 산출하였다.
- 또한 일본 리니모(Linimo) 운영비 분석의 경우 공식 홈페이지에 공시된 결산공고 재무제표를 분석하였다.
- 유관기관 운영비 분석한 결과는 다음 표와 같다.

- 국내·외 운영기관 운영비 비교 -

(단위 : 백만원)

기관명	총 운영비	영업거리 (km)	km당 운영비
대전도시철도공사	58,212	20.5	2,840
용인경전철	32,385	18.1	1,789
일본 리니모	11,655	8.9	1,309
Maglev(산출자료)	7,071	6.1	1,159

※ 시범노선 운영데이터 기반 유지보수 기준개발 보고서는 4-3-1에 수록

## 11. 차량탐재 궤도 선형 관리 시스템 개발

### 가. 자기부상열차 특성에 따른 궤도선형 계측항목 설정

#### (1) 자기부상열차 특성에 따른 궤도관리 대상선정

##### (가) 기존 철도 검측시스템 개요 및 자기부상열차 궤도 특성

- 국내 기존 철도(Wheel-on-rail)에서 운용중인 궤도 선형관리를 위한 검측차 및 선형관리 대상은 아래의 표와 같다. 기존 철도에서 운용중인 궤도검측차는 별도의 독립된 차량으로 자체동력을 가지고 주행을 하고 있으며, 궤도 측정항목은 구형 차량은 주로 궤도의 선형 측정을 하였으나, 근래 도입되는 차량은 레일의 형상(마모), 전차선 편위, 신호장치 등을 종합적으로 측정하고 있다.

<고속철도 궤도검측차 및 검측항목>

구분	종합검측차 Roger 1000K	궤도검측차 EM30	궤도검측차 EM120	궤도검측차 EM160	궤도검측차 EM250
제작국가	이탈리아 MERMEC	오스트리아 PLASSER & THEURER			
국내 도입년도	2004년	1976년	1992년	-	-
측정항목	궤도, 레일마모, 파상 마모, 전차선, 건축한계 등	궤간, 고저틀림, 줄틀림, 수 평틀림 등	궤간, 면마춤, 줄마춤, 수평 등	방향, 고저, 궤 간, 곡률, 수 평, 거리 등	궤간, 고저, 방 향, 곡률, 수 평, 차체동요, 레일형상 등
중량	약 50톤	약 20톤	약 40톤	약 60톤	약 51톤
운행속도	160Km/h	50Km/h	120Km/h	160Km/h	250Km/h
측정방식	비접촉식, 자주식	차륜 측정방식	차륜 측정방식	비접촉식 및 관성측정	비접촉식 및 관성측정

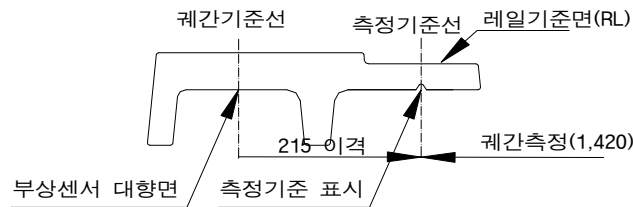
*고속화 인프라의 유지보수를 위한 고속종합검측 차량 기술과제 기획보고서, p.297

- 궤도 선형관리를 위한 측정항목은 궤간, 고저 및 줄틀림, 수평틀림과 함께 곡률틀림 등을 추가하고 있으며, 차량의 차체동요 등도 같이 측정하여 궤도선형에 따른 운행차량 거동 등을 함께 분석하고 있다.
- 자기부상철도는 현재 수작업에 의하여 궤도부설 및 선형 유지관리를 시행하고 있으며, 각각 항목 및 기준은 다음과 같다.

<자기부상철도 선형관리 항목 및 기준>

궤도틀림		궤도 설치시 (시공완료기준)	차량 운영중 (유지관리기준)	비 고
궤간틀림		± 3mm	± 4mm	1,850mm
수평틀림		± 3mm	± 5mm	10m 레일
수직틀림		± 3mm	± 5mm	10m 레일
이음매 단차	수직방향	± 1mm	± 1mm	
	횡방향	± 0.5mm	± 1mm	
레일상하 단차		± 3mm	± 4mm	좌/우 레일
횡방향 틀림		± 1mm	± 2mm	1.85m 궤간

- 자기부상열차 선로의 특징은 궤도선형 관리를 위한 기준면이 F 형태의 레일 하면(센서 대향면)에 위치하고 있으므로, 직접 측정하는 것에는 많은 어려움이 있다. 따라서 부상센서 대향면을 대신하여 측정이 용이하도록 아래와 같이 측정기준면을 설정하여 측정하고 있다.



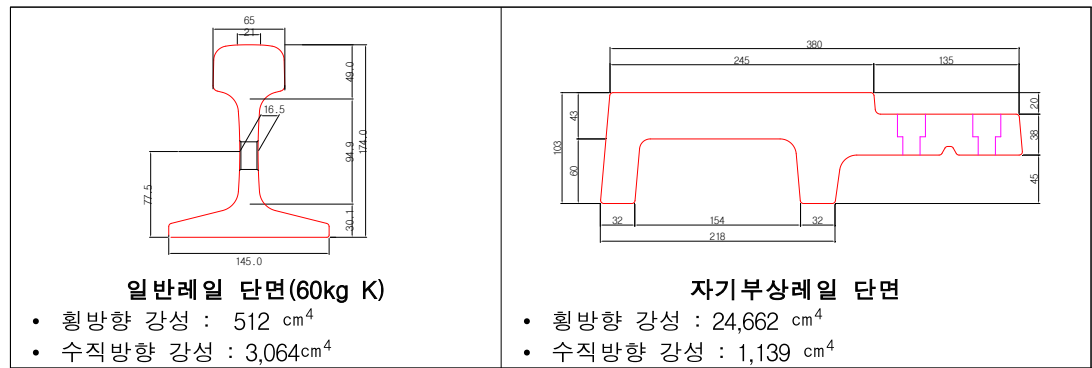
<궤도틀림 측정기준점(레일)>

- 레일기준면 : Skid 착지면(RL로 표시)
  - 궤간측정면 : 레일 체결구 하면에 레일 제작 중 표시된 측정기준선(센서 중심에서 215mm 이격) → 궤간기준선에서 궤간 측정 1,420mm
  - 방향, 고저 틀림 : 측정기준선에서 측정
  - 이음매 단차 : 레일기준면에서 궤간내측으로 측정
  - 레일상하단차 : 레일기준면에서 측정
  - 좌우 평면성 틀림 : 레일기준면에서 측정
- 이상과 같이 자기부상철도에 있어 레일의 측정은 실제 차량의 주행 안정성에 영향을 미치는 부상센서(Gap센서) 대향면이나 부상전자석의 대향 pole이 아니라 레일의 제작 규격 허용공차 안에서 측정기준면을 간접측정하게 되므로 실제 차량의 주행 안정성 및 승차감 유지를 목적으로 하는 궤도 선형 유지관리 측면과는 상이한 면이 있다.
  - 그러나, 다행인 점은 자기부상열차는 차체에 부상 컨트롤을 위한 Gap센서가 대차 1개 당 8개가 부착되어 있어 차량과 레일과의 간격을 연속적으로 측정할 수 있다.
  - 이러한 자기부상열차의 특성을 활용하여 연속적으로 측정된 부상공극의 변화로부터 궤도선형의 변화가 유도되도록 알고리즘을 개발하게 되면 일반 철도 검측차 운용의 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

#### (나) 자기부상열차 차량의 특징 및 궤도선형관리 특징

##### ① 자기부상궤도 선형관리 특징

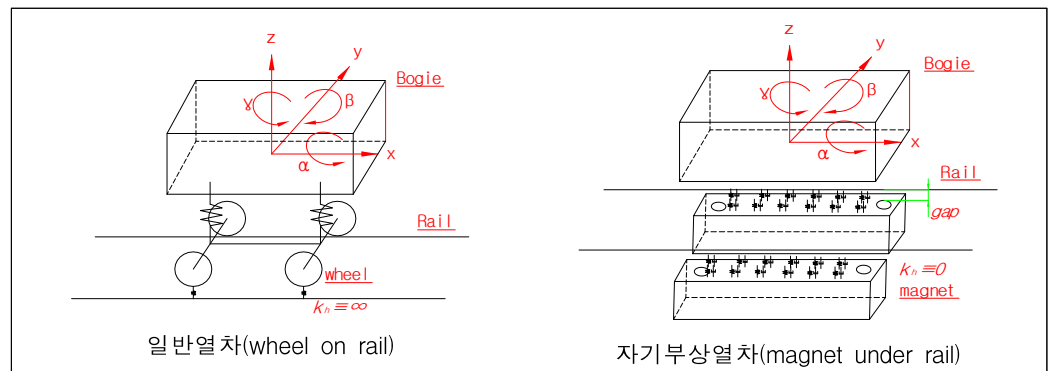
- 도시형 자기부상열차는 레일에 의하여 직접 지지하고 점착력에 의하여 추진하는 기존 일반 철도와는 다른 주행방법을 채택하고 있다. 즉, 전자석에 의한 차체의 부상과 LIM(Liner Induction Motor)에 의한 추진으로 주행하는 근본적인 차이점이 있다. 이는 자기부상열차의 장점인 소음 및 진동을 획기적으로 저감하고 열차의 등판능력을 향상 시키는 요인이다. 이때, 자기부상열차 차량의 주행안정성 및 승차감을 확보하기 위해서는 자기부상에 적합한 레일(부상 및 추진레일)의 재질 및 형상과 함께 자기부상열차에 요구되는 궤도선형 관리가 필요하다.
- 자기부상열차의 궤도선형관리 기준은 전자석의 부상간격을 일정하게 확보하기 위한 gap 센서와 레일의 하면이 이루는 궤적, 전자석의 pole과 레일의 pole과의 전자기력의 전달 경로에 따른 부상력의 변동, 전자석과 gap 센서의 배치에 따른 부상력과 gap의 변동 등을 고려하여 결정된다. 즉, 일반철도는 차륜과 레일의 접촉점이 이루는 궤적(점이 형성하는 궤적)을 관리하며, 자기부상열차는 gap 센서와 레일하면의 간격변동의 궤적(점이 형성하는 궤적)과 함께 전자석에 발생하는 전자기력에 의한 부상력변동(면이 형성하는 궤적)을 관리하여야 하는 차이점이 있다.



<레일 단면 비교>

## ② 자기부상차량의 거동 특성

- 자기부상열차를 포함하여 철도 차량은 대차와 차체로 구성되며, 각 구성체는 스프링과 댐퍼로서 연결되어 있다. 이때 철제차륜 열차는 차륜과 레일의 연결을 강체접촉 스프링으로 하여 모델을 구성하게 되는 반면 자기부상열차는 부상력의 원천인 자기력에 의한 비접촉의 댐핑계수가 매우 큰 에어스프링으로 연결된 모델을 구성하게 된다.



<대차 거동 모델 비교>

- 자기부상열차의 경우 궤도의 선형에 따라 갭센서에 의한 간격 측정결과 및 전자석의 전력량의 조절을 통하여 대차 및 차체의 거동이 이루어진다. 이 때, 일반 열차와는 달리 레일과 전자석 사이의 거동에 차량 자체의 관성에 따른 영향이 추가로 작용하여 열차의 위치를 결정하게 된다. 차량의 중량에 의한 관성은 일반차량의 거동에도 영향을 주지만, 차륜과 레일간의 강체 접촉 스프링 계수가 아주 크기 때문에 저속에서는 영향을 주지 않는 것으로 알려져 있다. 하지만 자기부상열차의 경우 차륜과 레일간 접촉 스프링 계수가 매우 적으므로 저속에서도 이러한 영향이 고려되어야 하며, 이에 따라 궤도선형의 관리를 위한 요소로서 고려하여야 한다.

## ③ 자기부상열차 궤도선형 관리 주안점 도출 결과

- 자기부상열차의 궤도선형관리의 주안점은 갭의 편차를 최소화 하는 선형을 확보하는 것으로, 레일 pole 간 간격, 궤간, 레일 이음구간의 간격 및 단차의 관리가 주요한 요소이다. 반면에 궤도 선형의 직진성을 위한 수직(alignment), 고저(level) 틀림은 다소 관리에 여유가 있을 것이다.
- 자기부상열차 부상 전자석에 갭 센서와 가속도 센서가 부착되어 있으며, 차체에도 가속도 센서가 부착되어 있으므로 이를 이용하여 선로의 상태 측정이 가능할 것이다. 가속도 센서의 가속도 변동이 최소가 되도록 하여 차량의 질량에 의한 관성의 영향이 무시되는 속도로 주행하면서 갭 센서의 간격 및 부상전자석에 공급되는 전류 및 전압을 측정한 후, 측정결과와 현장에서 궤도선형을 직접 측정한 결과를 비교하면 적절한 전달 함수를 도출할 수 있다.

차량 거동		일반철도 차량	자기부상열차	
		차륜 접촉점 위치	Gap 센서 검지	부상전자석의 부상력 변동
선형 거동	상하방향 거동 (bouncing)	· 고저틀림	· 고저틀림	* gap 센서에 따라 변동
	좌우방향 거동 (lateral)	· 궤간틀림 · 줄틀림	· 궤간틀림	· 줄틀림
	전후방향 (longitudinal)	· 고저틀림 · 줄틀림 (특히, 곡선구간)	-	-
회전 거동	좌우 회전 (rolling)	· 수평틀림 · 고저틀림	· 수평틀림	· 수평틀림
	전후 회전 (pitching)	· 고저틀림 · 수평틀림	· 고저틀림	-
	수직축 회전 (yawing)	· 궤간 · 고저틀림	-	-

## 나. 시범노선 선로 변화 추세 분석

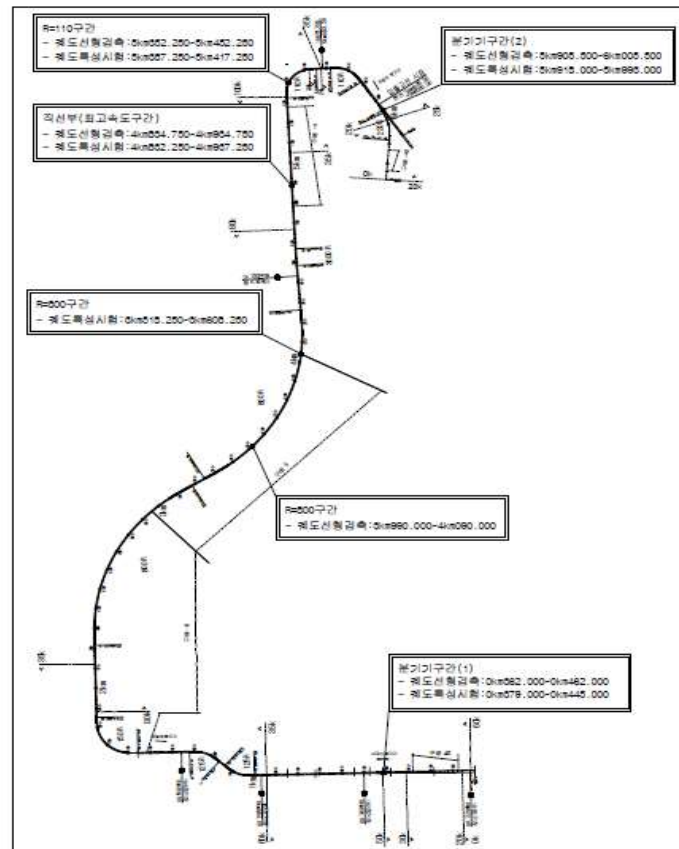
### (1) 시범노선 선로현황 및 선로변화 추세 분석대상구간 선정

- 시범노선 본선의 직, 곡선은 50% 정도씩 배분되어 있으며, 본선의 최소 곡선반경은 R=110 구간이며, R=800 구간과 직선사이에 최고속도 구간이 위치하고 있다.

구 분		개 소	연장(m)	비율(%)
직선부		-	3,058.06	50.0
곡선부	R=110	2	396.17	6.5
	R=125	2	296.15	4.8
	R=150	1	298.66	4.9
	R=800	2	1,979.60	32.4
	R=3,000	1	84.36	1.4

- 시범노선에서 선로의 변화추세를 분석하기 위한 대상은 건설중 시행한 시설물 검증시험에서 시범노선의 본선 특성에 따라 아래와 같이 결정하였으며, 이를 그대로 영업운전중 및 이후 계속적인 추세 분석을 위한 대상구간으로 활용하고자 한다. 활용을 고려하는 사유는, 시설물 검증시험 이후 궤도선형의 문제개소를 정비한 후, 본선 예비주행 및 영업시운전을 개시하였기 때문에 선로상태가 정비된 상태를 가장 잘 유지하고 있으며, 차량의 주행에 따른 속도, 누적통과톤수, 선형 및 구조의 대표성을 유지 할 수 있기 때문이다.

선정조건	검측구간	위치(STA.)		교각번호	비 고
		궤도특성시험	궤도선형검측		
최급곡선부	R=110	5km387.250~ 5km417.250	5km352.250~ 5km452.250	P150~P151 (P148~P153)	
곡선부 중 가장 비율이 높은 구간	R=800	3km518.250~ 3km608.250	3km990.000~ 4km090.000	P97~P100 (P110~P114)	
최고속도 운행구간	직선부 (최고속도구간)	4km832.250~ 4km937.250	4km834.750~ 4km934.750	P133~P136 (P133~P136)	
궤도 안정성 검증이 필요한 구간	분기기구간(1)	0km379.000~ 0km445.000	0km362.000~ 0km462.000	P9~P11 (P8~P12)	2way type
	분기기구간(2)	5km918.000~ 5km993.000	5km905.500~ 6km005.500	P165~P169 (P164~P170)	3way type



〈시범노선 본선 선로변화 추세 분석 대상구간〉

#### 다. 궤도 선형관리 및 자동화분석 시스템 개발

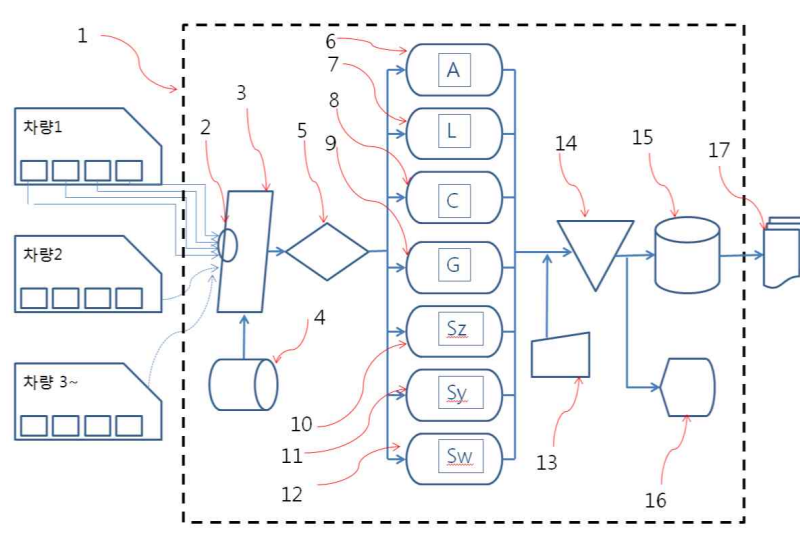
##### (1) 시스템 개요

- 자기부상열차는 열차의 정상적인 주행을 위하여 각종센서(gap 센서, 가속도 센서 등)에 서 올라오는 신호를 처리하여 부상력을 조절하고 있음
- 자기부상열차의 부상 컨트롤을 위한 신호를 직접 받아, 궤도 선형에 관련된 전달함수를 추출하게 되면 차량의 거동에 따른 변동 요소의 제거가 가능하게 될 것임
- 차량의 거동에 따라 변동되는 요인을 제거한 데이터는 차량이 주행하는 선로의 선형요소로서 궤도의 관리 요소로 활용이 가능함
- 본 시스템은 기존 일반철도와 같이 별도의 궤도선형관리를 위한 차량을 운영하는 것이 아니라 정규 운행열차로부터 직접 궤도선형 관리 요소를 추출하도록 하여 영업운영중 실시간으로 궤도의 상태를 모니터링 할 수 있음.

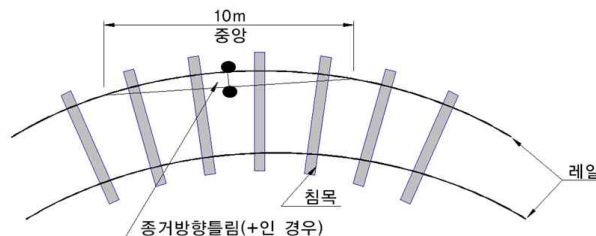
##### (2) 시스템 적용효과

- 영업운행 열차로부터 직접 궤도선형 관리를 위한 요소추출 및 분석을 통한 선로관리 효율화(차량분야가 관리하는 차량제어신호를 처리하여 선로관리 분야가 관리 할 수 있는 선로관리 요소로 전환)
- 실시간 궤도선형 관리를 통한 안정적인 철도운영
- 차량의 주행 패턴(주행속도, 누적거리 및 누적통과톤수)에 따른 궤도 선형 변화 추세 분석 및 선로관리 주기 결정
- 선로의 형상(직/곡선, 캔트 과부족, 기울기 등)에 따른 차량 주행 특성 분석을 통한 최적화 설계요소 추출
- 동일한 선로에서 차량별 주행 특성 비료를 통한 차량 건전성 모니터링

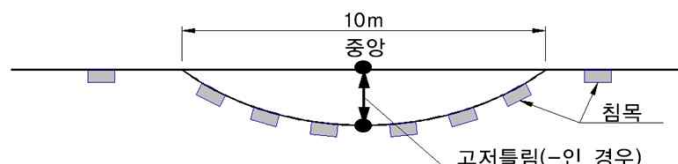
### (3) 시스템 기능 흐름도



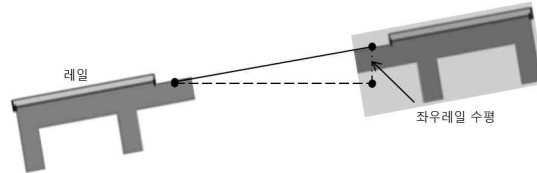
- 1. 자기부상열차 선형관리 계측시스템 : 계측시스템은 차량의 제어신호를 입력 받기 위한 단자로 연결하게 되며, 시스템의 작용을 통하여 자기부상열차의 궤도선형을 구성하는 요소를 연산장치에 의하여 계산 및 시간 동기화를 통하여 항상 동일한 위치의 데이터를 저장하며, 계측시스템 운영중 화면을 통하여 표출하는 기능과 데이터를 출력하는 기능을 지닌 시스템
- 2. 시스템 전용 입력단자 : 여러대의 차량으로부터 동일한 차량제어 신호를 입력받으며, 다중의 케이블이 열차주행중 안정된 입력이 가능하도록 케이블별로 구분을 한 입력단자.
- 3. 차량제어신호 추출장치(DAQ) : 각 채널별로 입력단자로부터 입력된 제어신호를 요구되는 샘플링 속도로 디지털 데이터로 변환하며, 입력되는 제어신호를 상호 동기화 하여 궤도 선형연산에 동일한 시간 및 위치가 입력되도록 한 장치. 위치정보는 선로위치 입력장치에서 입력
- 4. 선로위치 입력장치 : 차량제어신호 추출장치에 선로의 위치정보가 입력되도록 GPS 및 RF(Radio Frequency)를 이용하여 위치정보가 파악되며, 위치정보는 차량제어신호 추출장치에서 제어신호와 동기화 작용을 하게 됨
- 5. 제어신호 분배장치 : 동일한 샘플링 속도와 선로위치가 결합된 차량제어신호를 이용하여 궤도선형 연산을 수행하기 위하여 각 궤도선형 요소별로 신호값을 분배하기 위한 논리장치.
- 6. A 연산장치 : 궤도선형요소 중 방향(Alignment) 요소를 연산하기 위한 연산장치. 방향요소를 연산하기 위한 차량제어신호 분석, 전달함수에 의한 연산, 위치별 방향값 추출을 수행하는 장치. 연산을 위한 제어신호는 g1, g2, sg, ay, mc를 사용



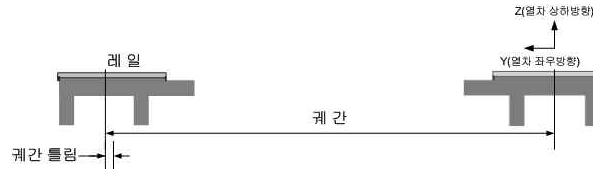
- 7. L 연산장치 : 궤도선형요소 중 고저(Level) 요소를 연산하기 위한 연산장치. 연산을 위한 제어신호는 g1,g2,ay,mc를 사용



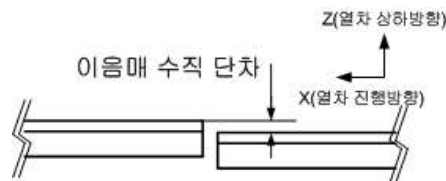
- 8. C 연산장치 : 궤도선형요소 중 수평(Cant) 요소를 연산하기 위한 연산장치. 연산을 위한 제어신호는 mc를 사용



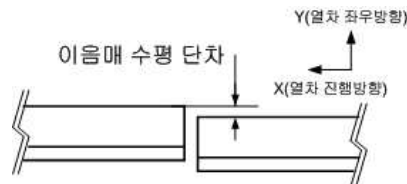
- 9. G 연산장치 : 궤도선형요소 중 궤간(Gauge) 요소를 연산하기 위한 연산장치. 연산을 위한 제어신호는 g1, az, ay를 사용



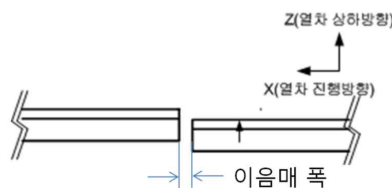
- 10. Sz 연산장치 : 궤도선형요소 중 수직 이음매 단차(z-direction step) 요소를 연산하기 위한 연산장치. 연산을 위한 제어신호는 g1,g2를 사용



- 11. Sy 연산장치 : 궤도선형요소 중 횡 이음매 단차(y-direction step) 요소를 연산하기 위한 연산장치. 연산을 위한 제어신호는 g1,g2,mc를 사용



- 12. Sw 연산장치 : 궤도선형요소 중 이음매 폭(step width)요소를 연산하기 위한 연산장치. 연산을 위한 제어신호는 g1,g2를 사용



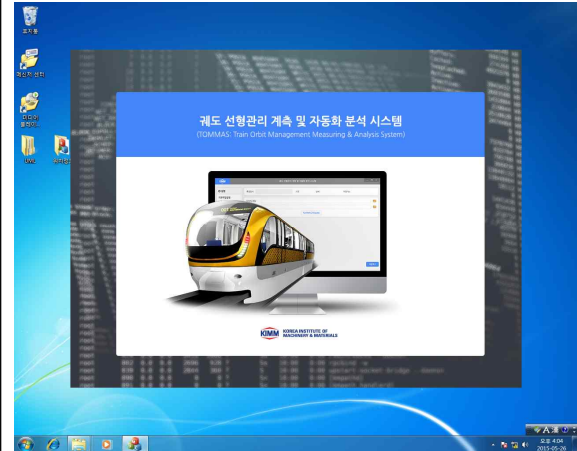
- 13. 측정환경 입력장치 : 연산처리된 궤도선형요소의 구분을 위하여 측정일시, 데이터 처리정보, 측정에 사용된 차량, 측정위치, 측정기간의 날씨 및 기온정보를 수집하여 입력하고, 측정데이터의 헤더정보로 활용하기 위한 장치
- 14. 데이터 통합기 : 연산처리된 궤도선형요소, 데이터 입력환경 등을 통합하여 정의된 순서에 의하여 궤도선형 데이터의 저장 또는 실시간 궤도선형 데이터 표출을 지정하는 장치
- 15. 데이터 저장장치 : 연산처리된 궤도선형요소를 저장, 비교, 분석을 위한 장치
- 16. 궤도선형요소 차상 표출장치 : 실시간 차상에서 궤도선형요소 및 차량제어신호를 표출하여 궤도불량 개소 실시간 검지기능
- 17. 데이터 출력장치 : 궤도선형 계측결과를 활용하여 선로 점검 및 유지관리를 위한 출력장치. 출력을 위한 형식지정, 출력구간 및 범위 지정 등 기능

(4) 연산장치 연산전후 물리량 및 차량제어신호별 의미

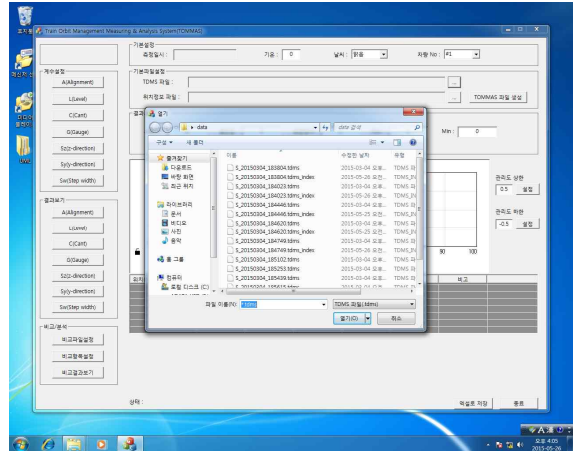
차량제어신호		연산 전달함수	궤도선형 요소	
신호명	물리량		요소명	물리량
g1 (gap1)	V	$A = f(g1, g2, sg, ay, mc)$	방향(Alignment)	mm
g2 (gap2)	V	$L = f(g1, g2, ay, mc)$	고저(level)	mm
sg (sgap)	V	$C = f(mc)$	수평 (cant/superelevation)	mm
az (acceleration Z-direction)	$\frac{m}{s^2}$	$G = f(g1, az, ay)$	궤간(gauge)	mm
ay (acceleration Y-direction)	$\frac{m}{s^2}$	$Sz = f(g1, g2)$	수직 이음매 단차 (z-direction step)	mm
vs (vehicle speed)	km/h	$Sy = f(g1, g2, mc)$	횡 이음매 단차 (y-direction step)	mm
mc (magnetic current)	A	$Sw = f(g1, g2)$	이음매 폭 (step width)	mm
vc (vehicle current)	A			

- g1 센서신호 : 차량의 부상높이를 일정하게 유지하기 위한 센서로서 차량의 진행 방향에서 선두에 위치한 센서, 센서를 통한 표출은 전압으로 표출
- g2 센서신호 : 차량의 부상높이를 일정하게 유지하기 위한 센서로서 차량의 진행 방향에서 선두에 위치한 센서, 센서를 통한 표출은 전압으로 표출
- sg 신호 : 차량의 부상높이를 일정하게 유지하기 위하여 g1 과 g2 센서의 검지값을 특정한 알고리즘으로 연산하여 차량의 제어용 값으로 활용한 신호
- az 센서신호 : 차량의 대차에 부착된 센서로서 상하방향의 가속도를 측정
- ay 센서신호 : 차량의 대차에 부착된 센서로서 좌우방향의 가속도를 측정
- vs 센서신호 : 차량의 측면에 부착되어 속도를 제어하는 센서
- mc 센서신호 : 차량의 부상높이와 전자석의 부상력을 일정하게 유지하기 위하여 인가되는 전력을 검출하는 신호
- vc 센서신호 : 차량의 추진시 인가되는 전력량을 검출하는 신호

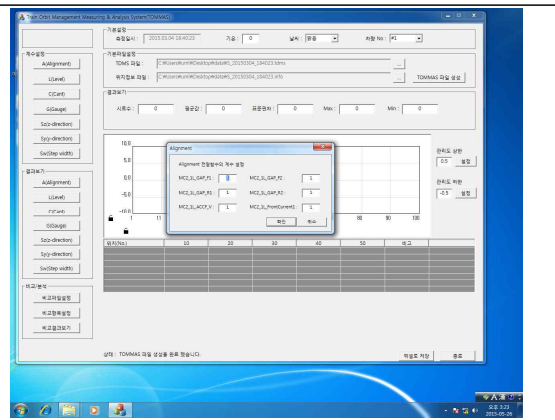
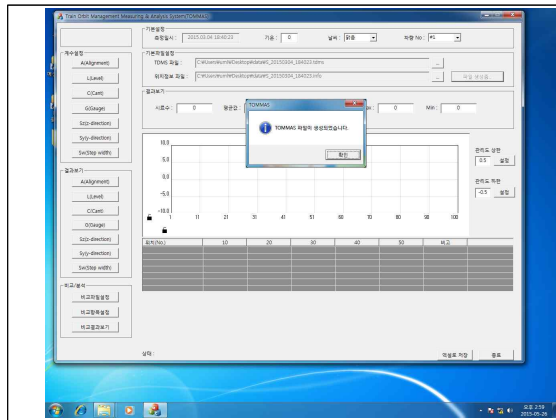
(5) S/W 개발 결과



- SW 실행시 초기화면

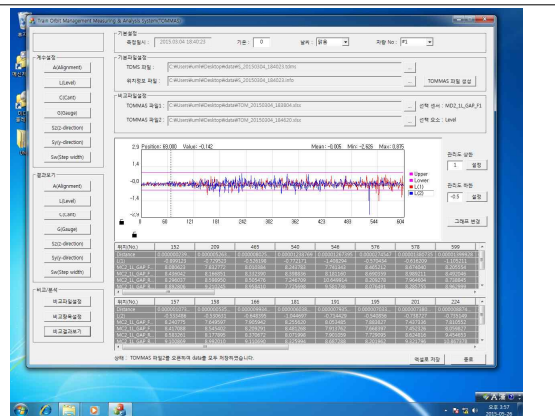
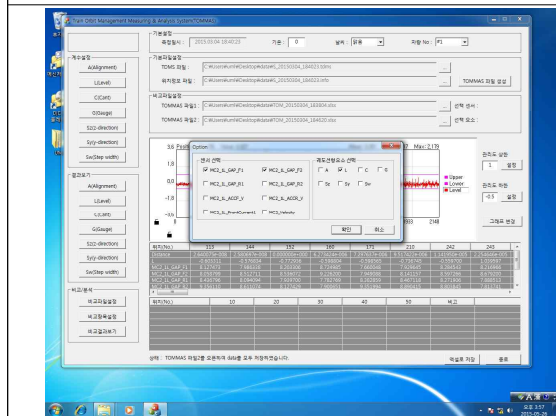


- 기본파일설정을 위한 작업을 수행하기 위해 우선, 계측장비에서 수집한 센서정보가 저장된 tdms파일을 불러옴
- tdms 파일과 같은 날짜/시간을 갖는 위치정보 파일을 불러와야 정확한 TOMMAS파일이 생성됨



- 결과보기에서 A(Alignment)의 그래프 및 사용자가 설정한 관리도 상한/하한을 이탈하는 값을 그래프 밑의 표로써 모니터링할 수 있음

전달함수들에 해당하는 센서들의 계수를 설정함으로써 수식을 완성함



비교분석을 위해 동일한 구간을 다른 시간대에 운행한 2개의 TOMMAS 파일을 입력해야 하는데, 우선 TOMMAS 파일1의 경로를 찾아 불러오기를 진행중임  
-사전에 분석이 완료되어 생성된 TOMMAS 파일에 대해서만 비교/분석을 수행할 수 있음

- TOMMAS 파일1 과 2의 그래프가 각각의 항목별로 plot되고 사용자가 입력한 관리도 상한/하한을 이탈하는 값에 대해 모니터링함

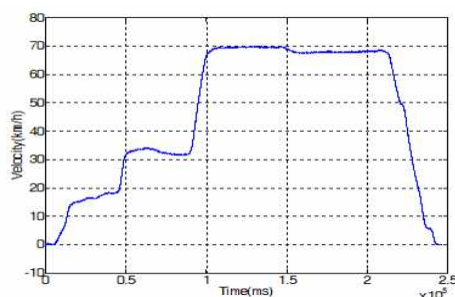
## 라. 실시간 계측 Data와 궤도 선형 간의 연관성 도출

인천공항자기부상철도 종합시운전기간동안 차량 시험주행을 통해 계측된 실시간 계측데이터와 궤도 선형간의 연관성 도출을 위해 각 계측 항목별 특성파악과 분석을 진행하였다. 동시에 궤도 선형간의 수학적 모델 수립을 위한 신호처리 이론 및 차량의 동역학적 모델 해석에 관한 연구를 진행하였다.

### (1) 계측항목 별 특성

#### (가) 속도(Velocity)

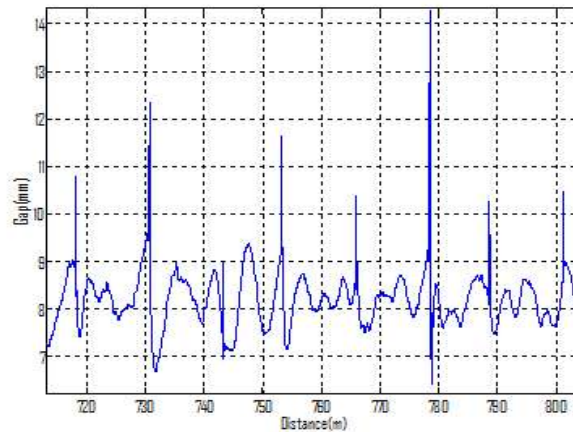
속도 항목의 경우 차량 속도(Km/h)를 계측한다. 아래 그림을 보면 크게 3개의 구간으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 13~15km/h의 저속 구간, 두 번째는 약 33~35km/h의 중속 구간 그리고 마지막으로 68~70km/h의 고속구간으로 나눌 수 있다.



<시간에 따른 차량의 속도변화>

#### (나) 간극(Gap)

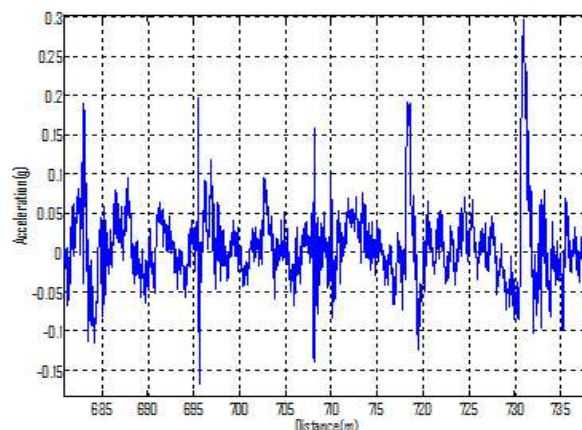
간극 데이터의 경우 차량의 Bogie system에 설치된 각각의 전자석마다 갭 센서가 설치되어 자기부상 선로와 차량의 전자석 사이의 간극(mm)을 실시간으로 측정한다. 아래 그림과 같이 간극 데이터를 그래프로 나타내어 특성을 분석해보면 8mm를 기준으로 감소 또는 증가하는 파형을 볼 수 있다. 또한 시각적으로 관찰하였을 때 간극 데이터가 급격하게 증가하는 부분이 주기적으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 급격하게 증가하는 부분은 대체적으로 10~13m마다 발생하는 것을 확인할 수 있다.



<차량의 이동거리에 따른 간극 변화>

#### (다) 가속도

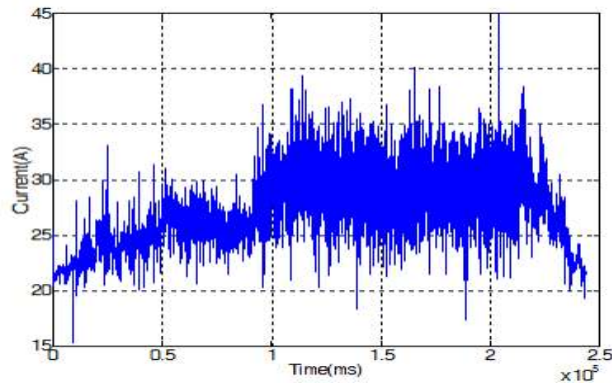
가속도 센서의 경우 차량의 수직 가속도(단위 : g)를 측정하고 bogie system의 양쪽의 Front와 Rear부에 각각 1개씩 설치되어 있다. 다음 그림은 이동거리에 따른 가속도 데이터를 그래프로 나타내었다. 0g을 기준으로 진동하는 것을 확인할 수 있다. 가속도 그래프에서도 마찬가지로 주기적으로 수직가속도의 값이 급격하게 증가하는 부분이 있음을 확인할 수 있다. 이 부분끼리의 간극은 일반적으로 10~13mm이다.



<차량의 이동거리에 따른 차량의 수직 가속도 변화>

#### (라) 전류(Current)

전류 센서의 경우 차량의 Bogie system에 설치된 전자석에 가해지는 전류의 크기(A)를 측정한다. 아래 그림은 X축을 거리로 하여 나타낸 전류 계측 데이터의 그래프이다. 전류의 크기가 약 21A 에서부터 점차 증가하다가 다시 처음과 같은 크기로 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 다음 그림의 차량의 속도와 비교해보면 속도가 증가함에 따라 전자석에 가해지는 전류의 크기도 커짐을 확인할 수 있다.



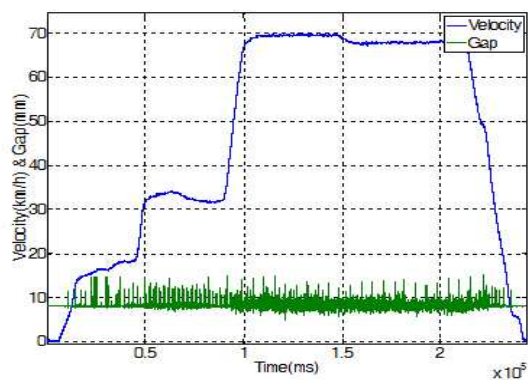
<시간에 따른 전류 변화>

## (2) 계측 항목간의 연관성

항목간의 연관성을 파악하기 위해 두 가지 이상의 항목을 그래프로 나타내어 비교 분석을 진행하였다.

### (가) 속도와 간극

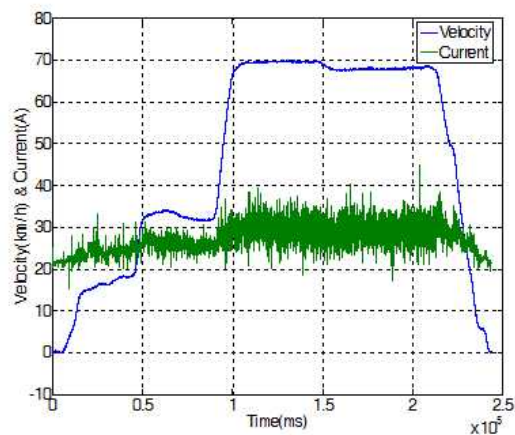
차량의 이동속도가 레일과 차량의 전자석간의 거리에 미치는 영향을 알아보기 위해 데이터를 그래프화하여 비교하였다. 아래 그림을 보면 차량의 속도가 증가함에 따라 간극이 8mm를 기준으로 감소하고 증가하는 크기가 커지는 것을 확인할 수 있다.



<시간에 따른 차량의 속도와 간극 변화>

### (나) 속도와 전류

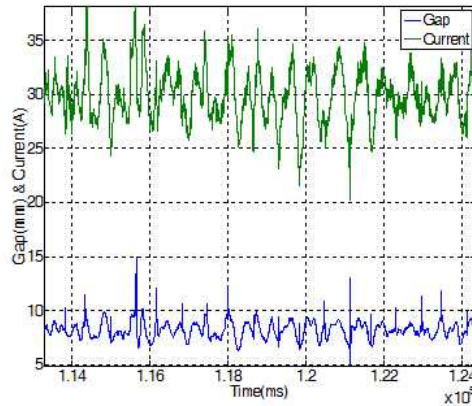
차량의 속도와 전류의 크기를 비교해보면 차량의 속도가 증가함에 따라 전류의 크기도 증가하는 것을 확인할 수 있다.



<시간에 따른 차량의 속도와 전류 변화>

(다) 간극과 전류

아래 그림은 레일과 전자석의 간극과 전류의 그래프이다. 간극과 전류간의 연관성을 시각적으로 분석해보면 간극의 크기가 급격하게 증가하면 전류의 크기도 같이 변하는 것을 확인할 수 있다.



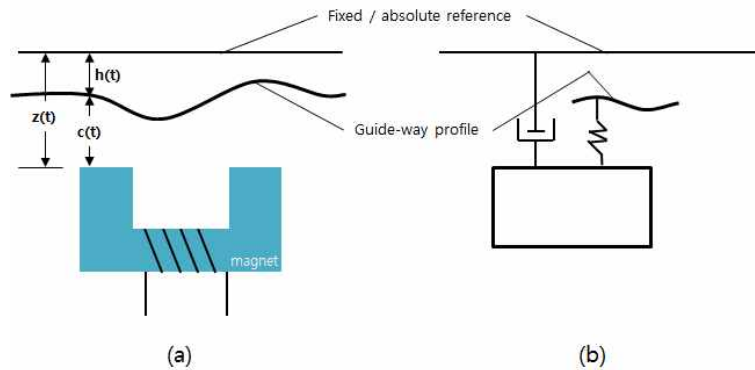
<시간에 따른 간극과 전류의 변화>

마. 통합계측시스템 계측데이터를 활용한 시범노선 실제 궤도선형 구현방안 도출

(1) 컴퓨터 모의실험을 통한 계측항목 선정

(가) 자기부상열차 해석모델

자기부상열차는 레일과 전자석 사이 일정한 공극을 유지하며 운행된다. 이 때 열차가 궤도의 선형오차 부분을 지나가게 되면, 전자석에 인가되는 전류량을 조절해서 공극을 제어한다. 자기부상열차의 전자석과 레일 사이의 공극은 아래그림 (a)로 나타낼 수 있고, 이 때 열차의 움직임은 간단히 1자유도계로 아래그림 (b)로 표현할 수 있다.



System configuration with an absolute reference

전자석의 절대위치를  $z(t)$ , 상대위치를  $c(t)$ , 기준선으로부터 궤도의 위치를  $h(t)$ 로 표기하고, 각 변수는 steady-state값과 perturbation 값으로 표현할 수 있다고 가정한다. 여기서 절대위치는  $z(t) = z_0 + \Delta z(t)$ 이고, 상대위치  $c(t) = c_0 + \Delta c(t)$ 이다. 그리고 참고문헌[1]의 유도과정을 따라 열차의 운동방정식을 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$m\Delta\ddot{z}(t) = -k_i\Delta i(t) + k_z\Delta c(t) + f_d(t) \dots\dots (1)$$

식(1)에서  $k_i$ 는 액츄에이터에서 얻은 값,  $k_z$ 는 등가강성,  $f_d(t)$ 는 열차를 띄우기 위한 초기 힘을 의미한다. 자석의 전류는 입력 전압과 상대 속도와 관련되어 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\Delta \dot{i}(t) = \frac{k_z}{k_i} \Delta \dot{c}(t) - \frac{R}{L_0} \Delta i(t) + \frac{1}{L_0} \Delta v(t) \dots\dots (2)$$

$R$ : 자석의 릴럭턴스  
 $L_0$ : 자석의 인덕턴스

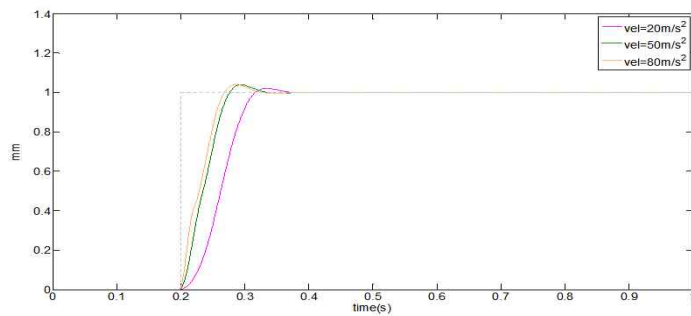
위에서 언급한 시스템 모델의 상태 변수를 상태 공간 식으로 나타내면 식(3)과 같다. 본 연구에서는 변화하는 가이드웨이 프로파일[ $\Delta h(t)$ ] 분석이 목적이기 때문에, 상대속도[ $v(t)$ ]와  $f_d(t)$ 는 0으로 가정

$$\begin{bmatrix} \dot{c}(t) \\ \dot{z}(t) \\ \dot{i}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \frac{k_z}{m} & 0 & -\frac{k_i}{m} \\ \left(\frac{k_p}{L_0} + \frac{k_a k_z}{m L_0}\right) \left(\frac{k_v}{L_0} + \frac{k_z}{k_i}\right) - \left(\frac{R}{L_0} + \frac{k_a k_i}{m L_0}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta c(t) \\ \Delta z(t) \\ \Delta i(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ -\frac{k_z}{k_i} \end{bmatrix} \dot{h}(t) \dots\dots (3)$$

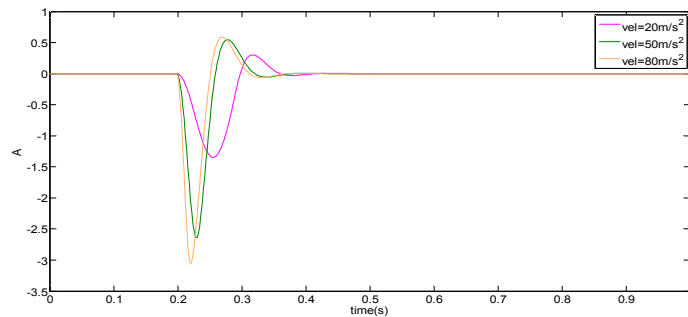
$k_p$ : 위치신호에 대한 게환이득  
 $k_v$ : 속도신호에 대한 게환이득  
 $k_a$ : 가속도신호에 대한 게환이득

#### (나) 계측 항목 선정 시뮬레이션

- 시뮬레이션을 통해 임의의 궤도 선형 오차 부분에서 열차의 절대 위치 값의 변화를 살펴보고자 한다. 실험 방법은 식(3)과 열차 운동과 관련된 파라미터들을 활용하여 단차 부분에서 열차의 속도에 따른 절대 위치 변화를 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다. 열차의 절대 위치는 갭 센서의 출력 값과 가속도 데이터의 이중적분 량의 합을 통해 계산하였으며, 패턴분석된 결과 값을 활용하여 가속도 변화에 따른 전자석 응답반응을 추정하여 단차발생시 전류 값 변화량을 시뮬레이션 결과로 도출하였다.



(a) 단차발생 시 속도별 절대위치 변화



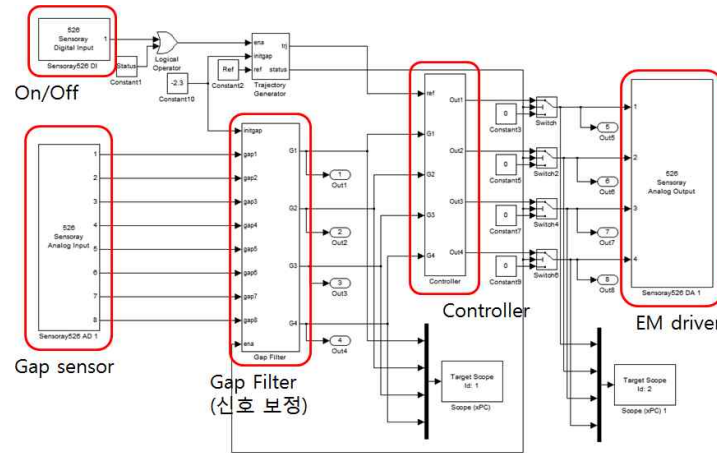
(b) 단차발생시 전류 값 변화량

<시뮬레이션 결과>

#### (2) 축소형 자기부상 시스템의 구성 및 구축

- 도시형자기부상열차 부상제어알고리즘은 차량제작사의 기술비밀로서 실험실에 구축되

어 있는 축소형 자기부상 시험장치를 조합하여 위 (가)의 해석모델을 적용하기 위해 축소형 자기부상시스템을 구축 하였다. 인천공항자기부상철도 자기부상차량 시스템은 크게 부상 장치, 추진 장치, 갭 센서, 부상제어기, 레일로 구성되어 있다. 본 연구에서 축소형 자기부상시스템의 부상/추진 시스템으로 레일 주행시 계측되는 갭센서 데이터를 취득하도록 구성되었다. 부상 및 추진 알고리즘은 상용화된 열차에 비해 단순하고 레일또한 F자형 레일이 아닌 일자형 레일이지만 시뮬레이션 결과를 활용한 궤도 선형 추정 알고리즘을 도출하기 위하여 열차와 유사한 축소형 자기부상시스템을 활용하여 해석모델의 검증 및 결과를 추정하고자 아래와 같이 구축하였다.



<Simulink 코드>

#### - 계측 항목 선정을 위한 축소형 실험장치 구축

- 축소모형 레일부에 임의 단차 발생을 위해 조정 궤도 조인트 부분을 조정하여 계측



<축소형 자기부상 시스템의 궤도 조인트부 형상>

### (3) 축소형 자기부상 시스템의 궤도 선형 추정 알고리즘

#### (가) 웨이블릿(Wavelet)을 이용한 이중적분

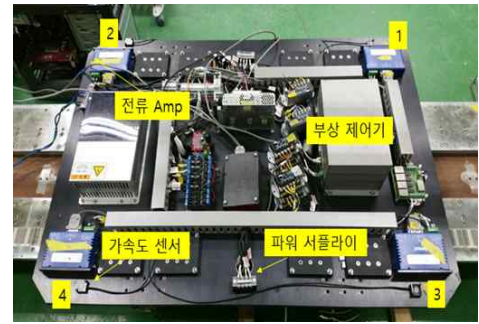
가속도 계측데이터의 이중적분 후처리 방법 중 시간영역과 주파수 영역방법은 넓은 스펙트럼을 가진 가속도 신호를 처리하기에는 매우 까다롭다. 본 연구에서 활용된 가속도 신호는 저주파와 고주파로 구성되어 있기 때문에 정확한 변위 값을 얻기 어렵다. 그래서 웨이블릿 기법을 선택했고, 사용된 웨이블릿 함수는 Wavelet Filter Bank(WFB)와 Wavelet Baseline Correction(WBC) 이다.

#### (나) 가상모델을 이용한 알고리즘 적용 검증

실제 운행 차량에서는 궤도 상태를 측정하기가 어렵고 실제 차량에서 추정되는 신호들은 궤도의 상태뿐만 아니라 다양한 변수에 의해 영향을 받는다. 하지만 가상 모델은 궤도 상태에 따른 신호 변화를 직접적으로 확인할 수 있고 다양한 궤도 상태에 따른 가상실험을 수행할 수 있는 장점이 있다. 실험을 통해 가상모델의 가속도 신호 신뢰성을 검증하고 이중적분을 기반으로 궤도 선형 추정 알고리즘을 가상모델로 검증하고자 한다. 가상모델은 표 8의 조건을 가지고 그림 46의 2번 부분에 1mm의 규소강판을 이용해 단차 환경을 조성하여 진행하였다.

Parameters	Value	Unit
Jump	1	mm
Velocity	0.5	km/h
Sampling Time	0.55	ms

<가상모델의 단차 상황 모사 조건>

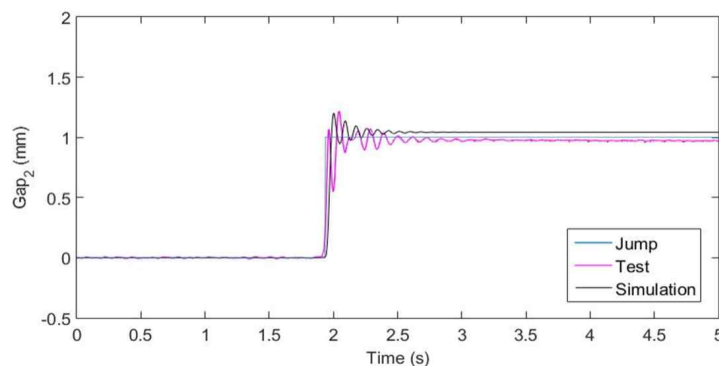


<축소형 실험장치>

이때 얻은 가속도 데이터를 가지고 Wavelet(WBC)을 통해 이중적분을 하여 다음과 같은 실제 단차 데이터와 이중 적분한 데이터를 빼주게 되면 실제 수직 변위에 대한 정보를 얻을 수 있다.

$$h(t) = S(t) - \iint B(t)$$

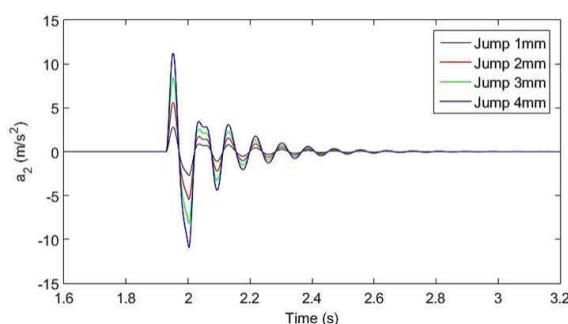
여기서  $h$ 는 궤도의 단차,  $S$ 는 열차와 궤도 표면상의 상대 위치,  $B$ 는 공극 변화의 가속도량을 나타낸다. 이렇게 해서 얻은 측정값은 가상모델과 유사성을 볼 때 가상모델의 유효성을 검증하였고 최종적으로 실제 궤도의 단차를 표현하고자 측정값과 가상모델 이중적분 비교를 확인할 수 있었다.



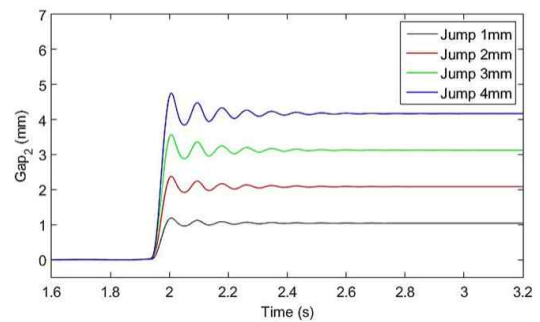
<단차상황에서의 가속도 이중적분과 가상모델의 비교>

#### (다) 가속도 신호 이중적분 결과

본 연구에서는 레일에 대한 차량의 상대변위를 통하여 차량의 거동을 파악할 수 있도록, 가속도 신호에 대하여 해석모델 결과 값을 변수로 적용한 이중적분을 통하여 차량의 상대변위를 도출하는 알고리즘을 개발하였다. 데이터 처리 과정에서 발생한 노이즈는 주파수 범위 0.1~10Hz에서 band-pass filter를 통해 제거되도록 하였다.

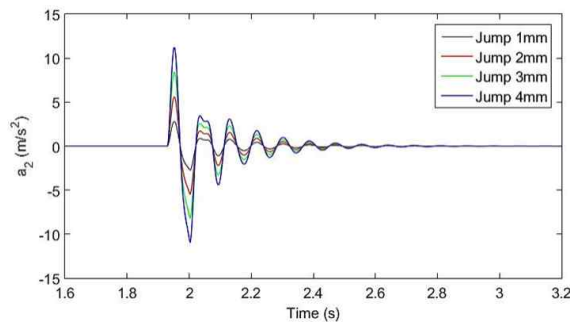


(a)

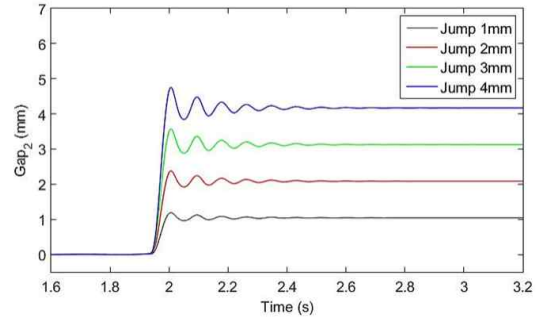


(b)

<동일 속도에서 단차 변화 시 가상모델의 가속도(a), 이중적분(b) 비교>

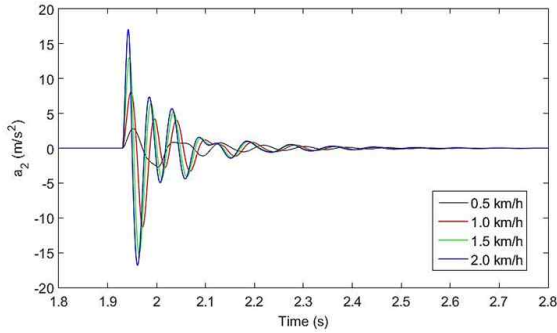


(a)

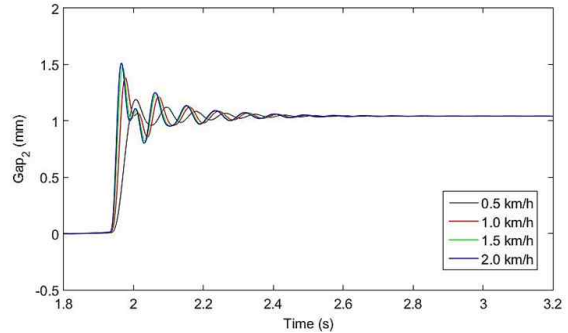


(b)

<같은 속도에서 단차 변화 시 가상모델의 가속도(a), 이중적분(b) 비교>



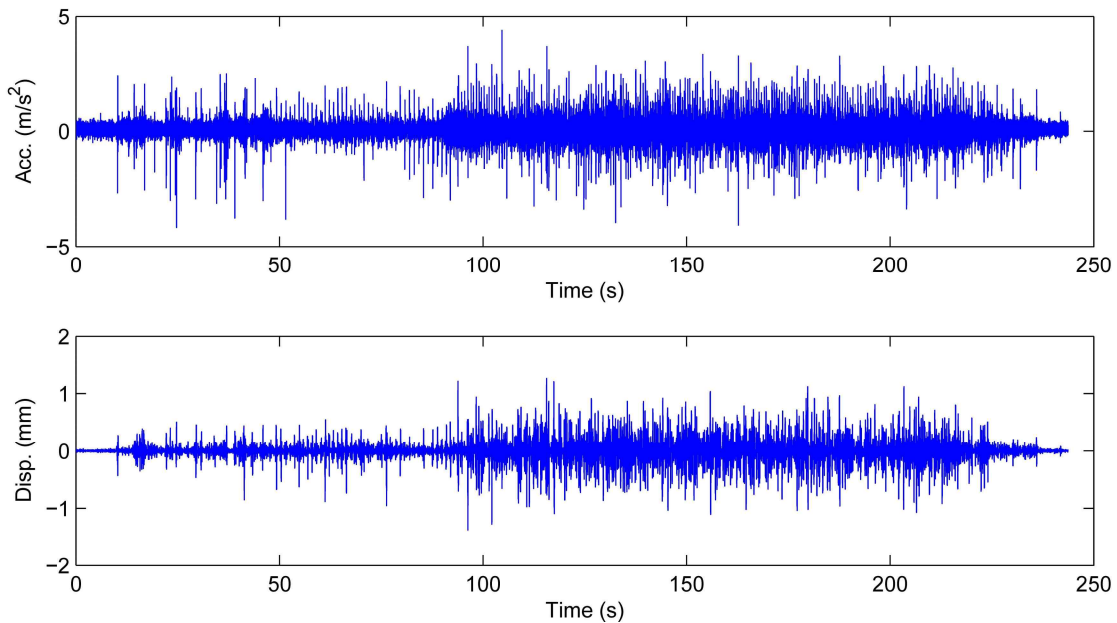
(a)



(b)

<단차 발생지점에서 속도 변화 시 가상모델의 가속도(a), 이중적분(b) 비교>

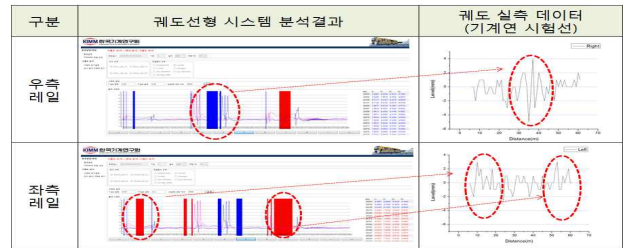
(라) 인천공항자기부상 차량 가속도 적용 결과



<104-105역 구간 운행 가속도 데이터 및 알고리즘을 통해 처리된 변위 값>

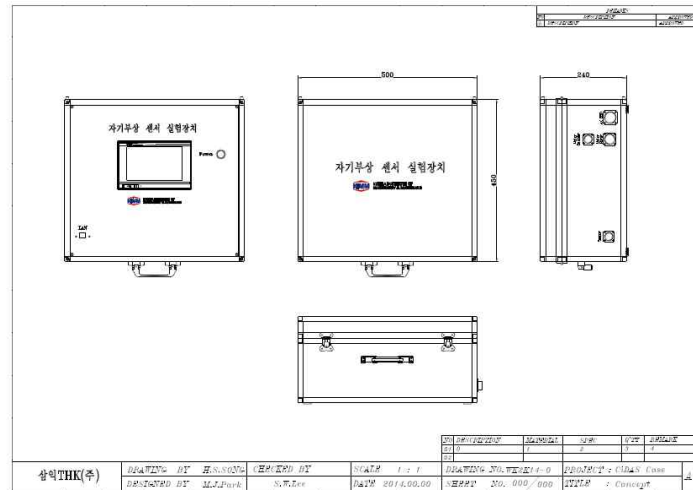
개발 알고리즘을 이용한 차량의 변위에 대한 인천공항자기부상철도 선로에 대한 검증을 위해 104역에서 105역까지 운행 기록된 차량에서 계측된 가속도 Raw Data데이터를 적용하였다. 그림 위쪽 그래프는 열차 운행시 수직방향 가속도센서로부터 계측한 결과이며, 아래쪽 그래프는 알고리즘을 통해 처리된 변위 값을 나타내고 있다. 알고리즘을 통해 처리된 결과 값은 부상 공극 8 mm를 기준으로 대부분  $\pm 1$  mm의 범위에서 부상 공극이 변함을 볼 수 있는 것을 확인할 수 있으며, 차량주행시 궤도가 1mm 범위 이내에 존재함을 확인할 수 있다.

- 궤도선형에 따른 대차 거동과 gap 데이터 상관관계



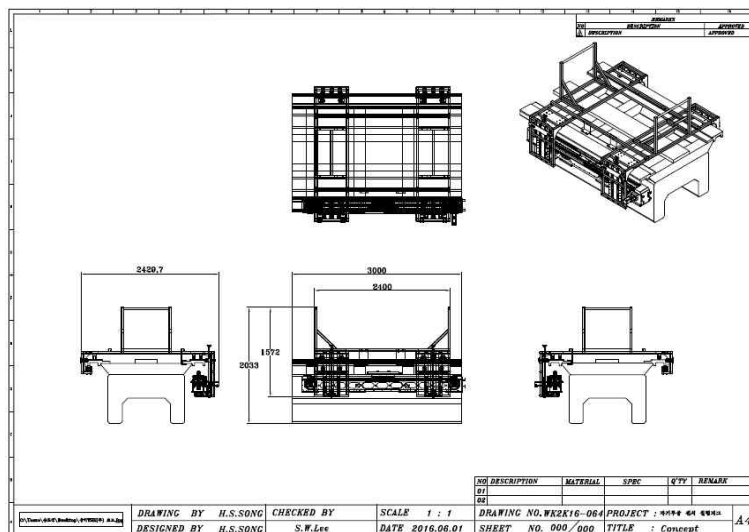
110

- 센서이송 속도제어장치 : 센서 이송장치 위의 센서가 움직이는 속도와 센서의 위치정보를 제어할 수 있는 장치
- 이송거리 : 2,000mm
- 이송속도 : 2,000mm/s (최대 3,000mm)



<레일측정자치의 센서 속도제어장치>

- 대차 : 센서 이송장치를 레일위에 거치하여 레일 하부의 센서 대항면에 대한 계측을 위한 대차 장치
- 기본규격 및 사양
  - ① 고속 이송용 레일 측정 장치 고정장치 2 set
  - ② 상,하 미세조정 장치 1 set
  - ③ 고속 이송용 레일 탈조 방지 장치 2 set
  - ④ 전선배선 및 제어장치 테이블 1 set
- 제품의 개요 및 부문별 제작특성
  - ① 레일의 형상을 연속적으로 이동하면서 측정할 수 있는 장치
  - ② 제품의 BODY는 최대한 알루미늄 재질을 사용하여 무게를 최소화
  - ③ 최대속도 3m/sec 고속으로 이송하는 측정 장치를 탈조가 일어나지 않도록 고정
  - ④ 구간 측정이 끝난 후 다음 구간까지 사용자가 편리하게 이동할 수 있도록 레일을 타고 이송하는 시스템
  - ⑤ 곡선 구간에서도 이송이 용이하게끔 설계
  - ⑥ MAIN BODY : AL, BOLT : SUS재질



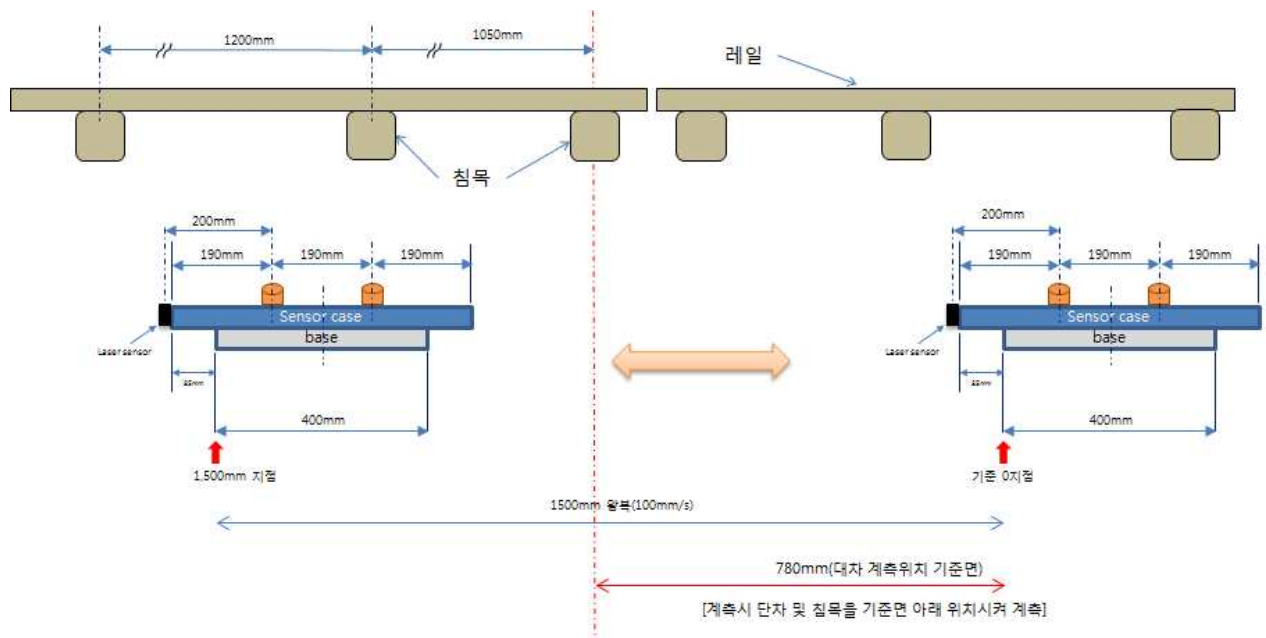
<대차>

(다) 자기부상열차 레일 측정 장치 제작

센서 이송장치	
센서이송 속도제어장치	
대차	

(라) 데이터 측정 및 분석

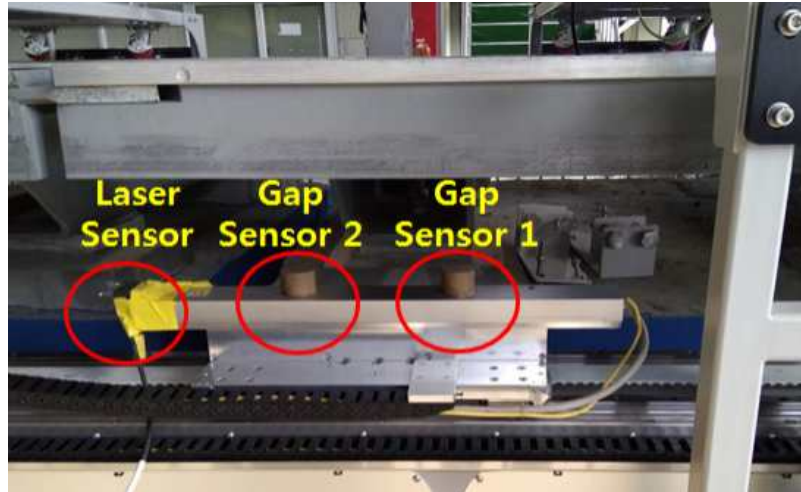
o 시험선로 레일 측정 개념도



<시험선로 레일 측정 개념도>

o 시험장치 센서 구성

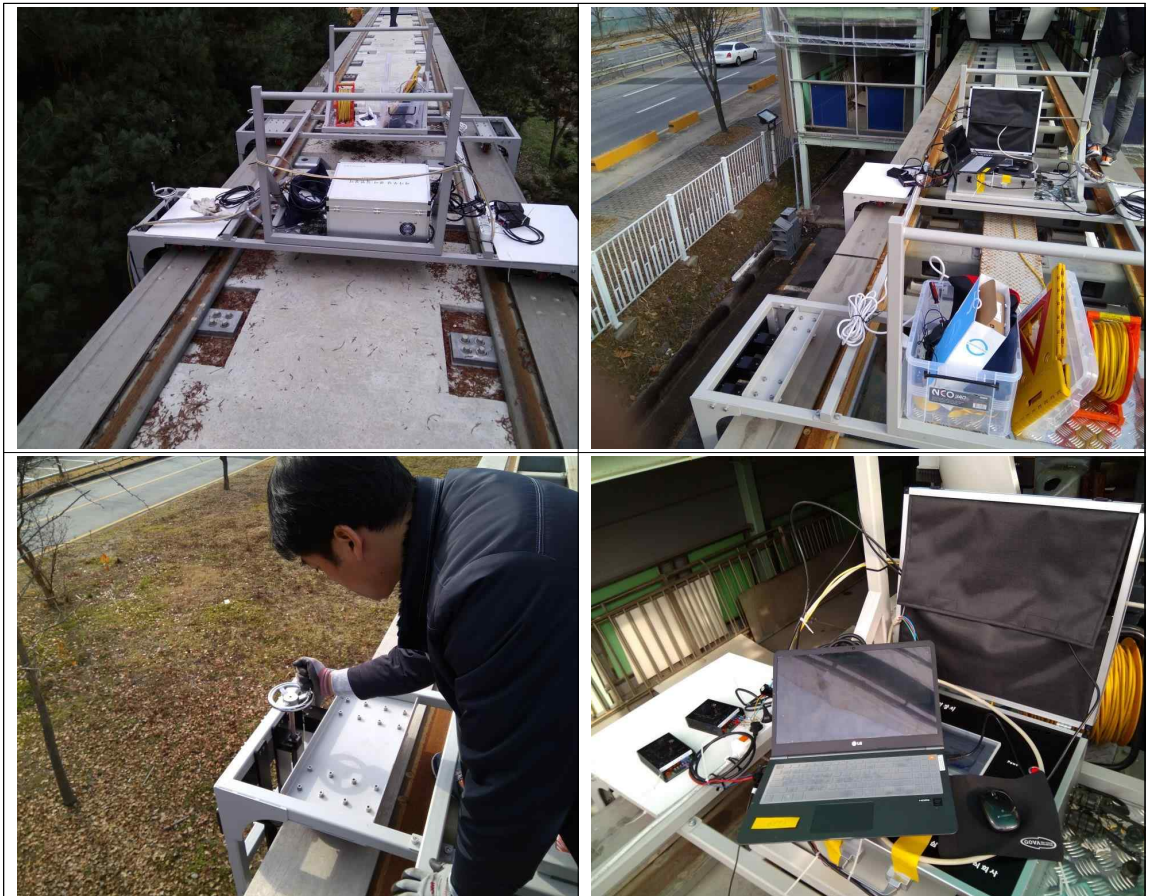
- 차량 부상제어에 사용되는 갭센서(Gap sensor)는 와전류형 센서로서 센서에서 발생하는 와전류를 Target면인 레일 하부에 발생시키고 수신되는 값을 전압변화에 대한 출력으로 레일과의 거리를 측정하게 된다. 이 때 레일이 연속성을 가지지 않고 단절 되었을 때는 와전류에 대한 값이 왜곡되어 거리변화가 없음에도 점점 멀어지는 값이 도출되는 것을 실험을 통해 확인하였다. 이 왜곡 값에 대하여 확인하기 위하여 아래 그림과 같이 레이저 거리센서를 부착하였으며 실험을 통해 왜곡에 대한 보정 값이 도출될 수 있도록 실험을 실시하였다.



시험장치 센서 구성

o 기계연 시험선로 측정

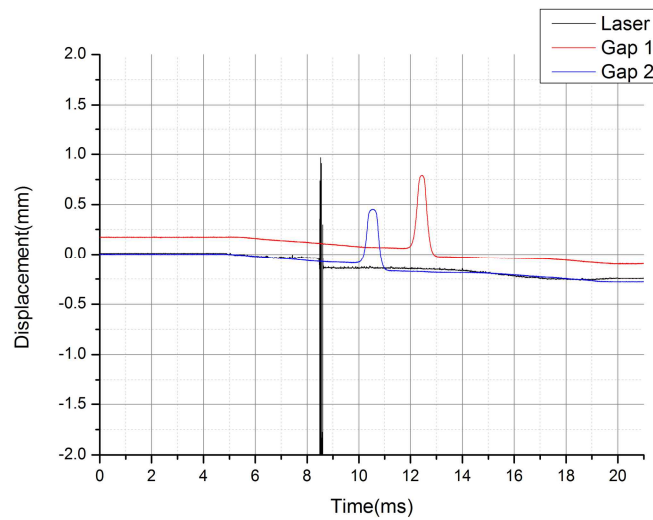
- 레일 측정장치를 활용한 시험선로 측정



<레일 측정장치를 활용한 시험선로 측정 시험>

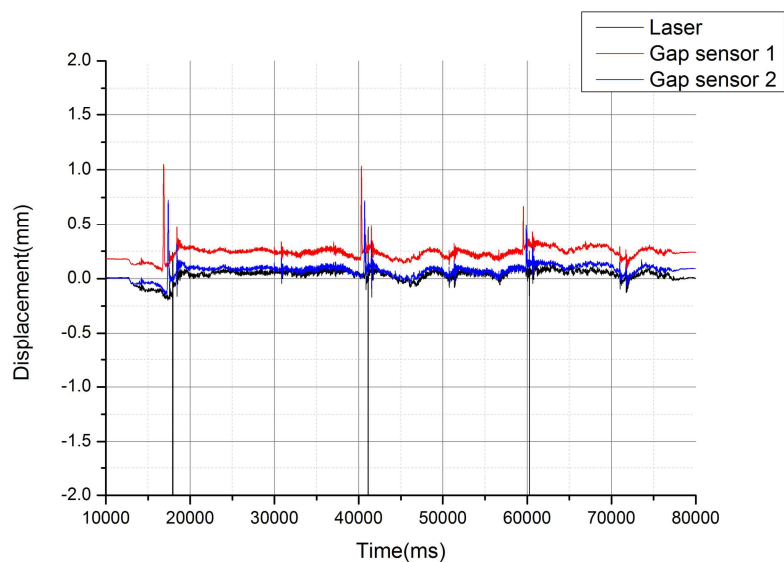
o 기계연 시험선로 측정 결과

- 개발된 레일측정 장치 시험기를 활용하여 기계연 시험선로 직선구간 35m 구간에 대한 레일을 측정(1.5m씩 이동하면서 연속으로 측정) 하였다. 특히 단차부분에 대한 특성을 자세히 관찰하기 위해 아래와 같이 갭센서와 레이저센서에 대한 상대비교를 통해 변화값을 확인하였다. 단차부분을 센서가 지나칠 때 아래와 같이 레이저센서는 변화지점을 구분할 수 있으며 이부분의 단차가 0.2mm 임을 확인할 수 있었다. Gap 1과 Gap 2의 값이 유사하여 중복으로 표시되므로 시인성을 향상하기 위해 Gap 1을 0.2mm 상향하였다(실제 갭센서 간 지그 설치 위치 조정). 그 결과 아래와 같이 3개의 센서가 읽은 레일 데이터는 동일하게 나타나며, 이 결과 값은 차량주행시 측정결과와 비교분석할 수 있는 궤도 형상으로 활용한다.



<레일측정장치 단차 측정 결과>

- 또한, 대차를 35m 평행이동시켜 레일의 형상을 측정한 결과를 다음 그림을 통해 확인할 수 있다. 이 레일 측정결과를 차량에서 측정하는 결과와 비교하여 차량에서 측정된 레일형상 데이터에 대한 검증을 실시 하였다.

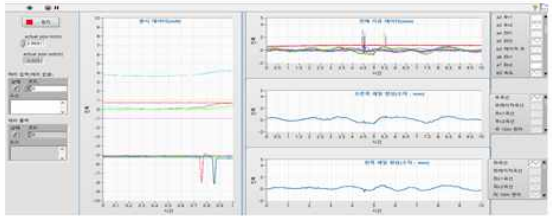


<기계연 시험선로 레일 측정 결과>

## (2) 차량 탑재형 궤도선형 요소 측정 시스템 개발

### (가) 개요

- 궤도 선형 요소 측정 시스템은 차량의 기존 제어용 궤센서(대차 전 후에 2개씩 설치)의 가운데 센서를 추가(센터 궤센서 2개 및 레이저 센서 1개 씩)하여 차량의 상하 제어에 따른 레일 데이터의 왜곡을 보정하고 실질적으로 유지보수에 적용 가능한 데이터(레일 단차, 궤길이, 수직 편차 등)를 측정하는 시스템(차량 탑재형)을 개발
- 차량에서 제공하는 속도 정보를 활용하여 위치 정보를 계산하고 위치 정보 보정을 위하여 RFID를 추가

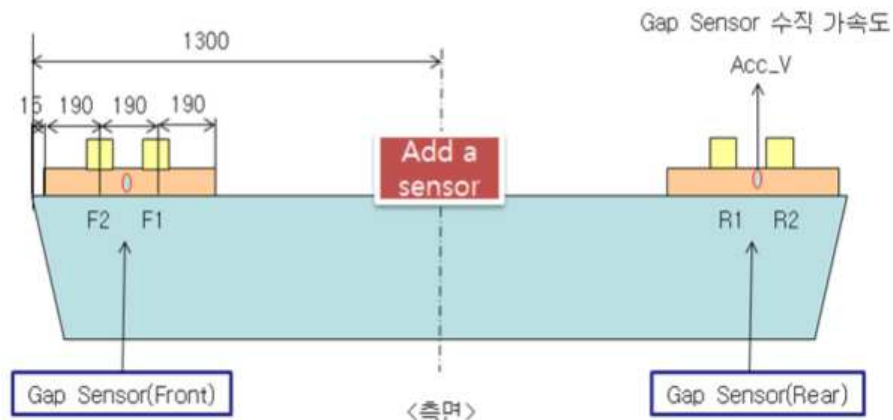
개 요	레일이음매 단차측정, 레일단차 간격 등	선로 평활성 측정(레일 좌우레벨)
(기존) 선로에서 수동으로 측정한 결과로 선로관리		
(개발품) 차량에서 궤도선형시스템으로 레일 상태 계측	 	

<차량 탑재형 궤도선형 요소측정 시스템 개요>

### (나) 차량 탑재형 궤도선형 요소 측정 시스템 설계 및 제작

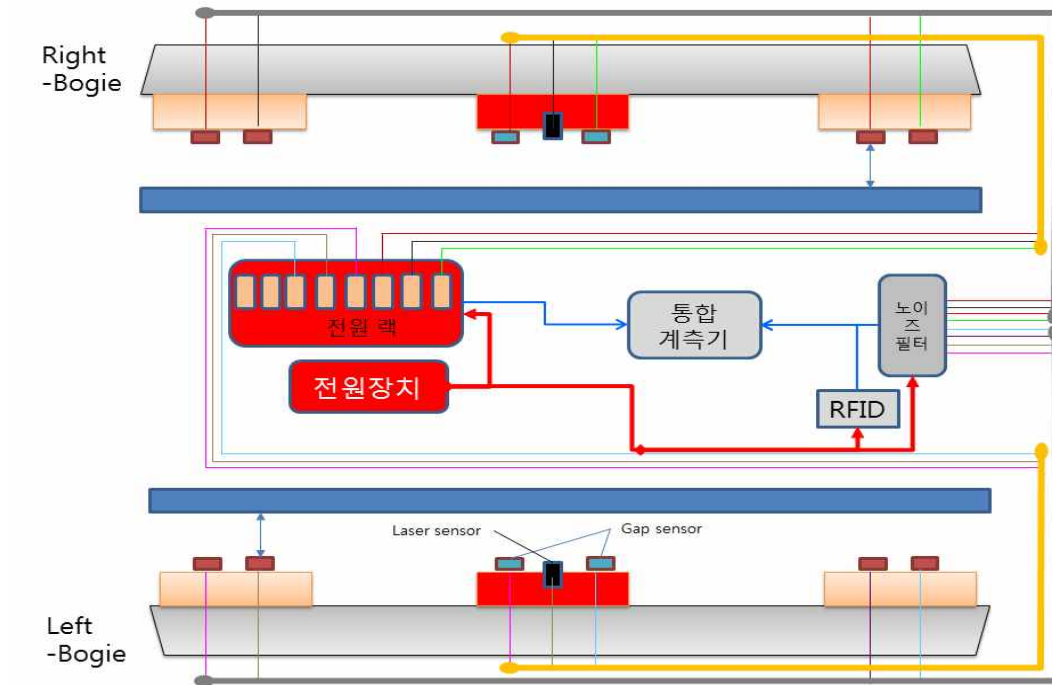
#### ○ 센서 추가설치 개념도

- 차량에 센서를 추가하는 방안을 검토하면서 레일측정장치의 결과값을 검토한 결과 대차 중앙부분에 센서를 설치하여 차량제어의 영향을 최소한으로 받으며, 추가센서가 제어센서가 가장 영향을 받는 단차부분에 위치할 때 앞, 뒤의 제어 궤센서는 레일의 평탄한 부분에 위치하기 때문에 단차부분에 대하여 영향을 최소화한 레일의 형태를 유추할 수 있게 된다. 또한 와전류 센서인 궤센서를 보완하기 위해 레이저센서 설치를 고려할 필요가 있음을 확인 하였다.

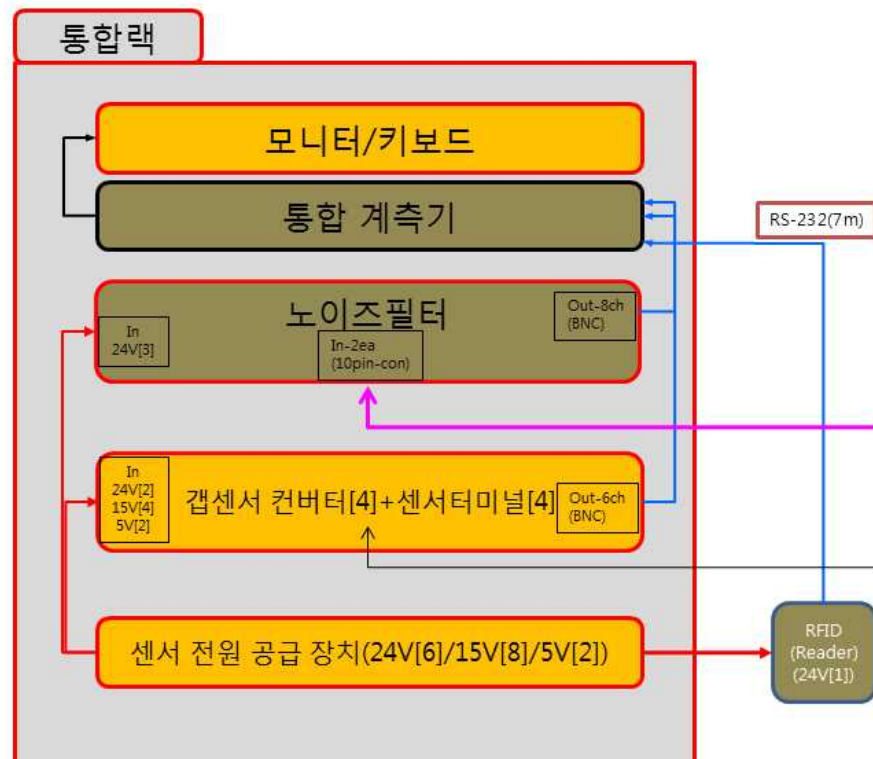


- 센서 추가설치 개념도 -

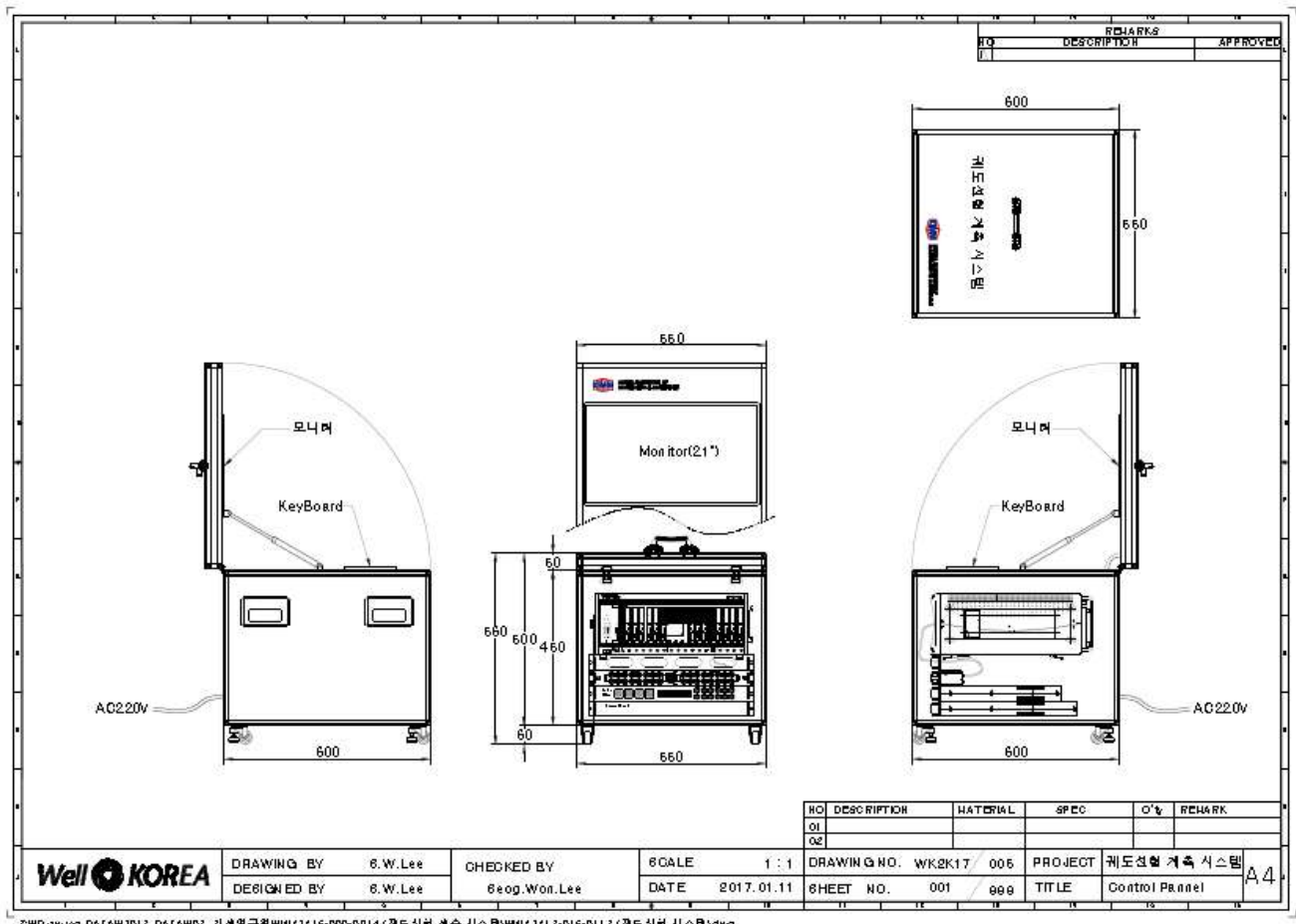
o 차량 탑재형 궤도선형 요소 측정 시스템 설계



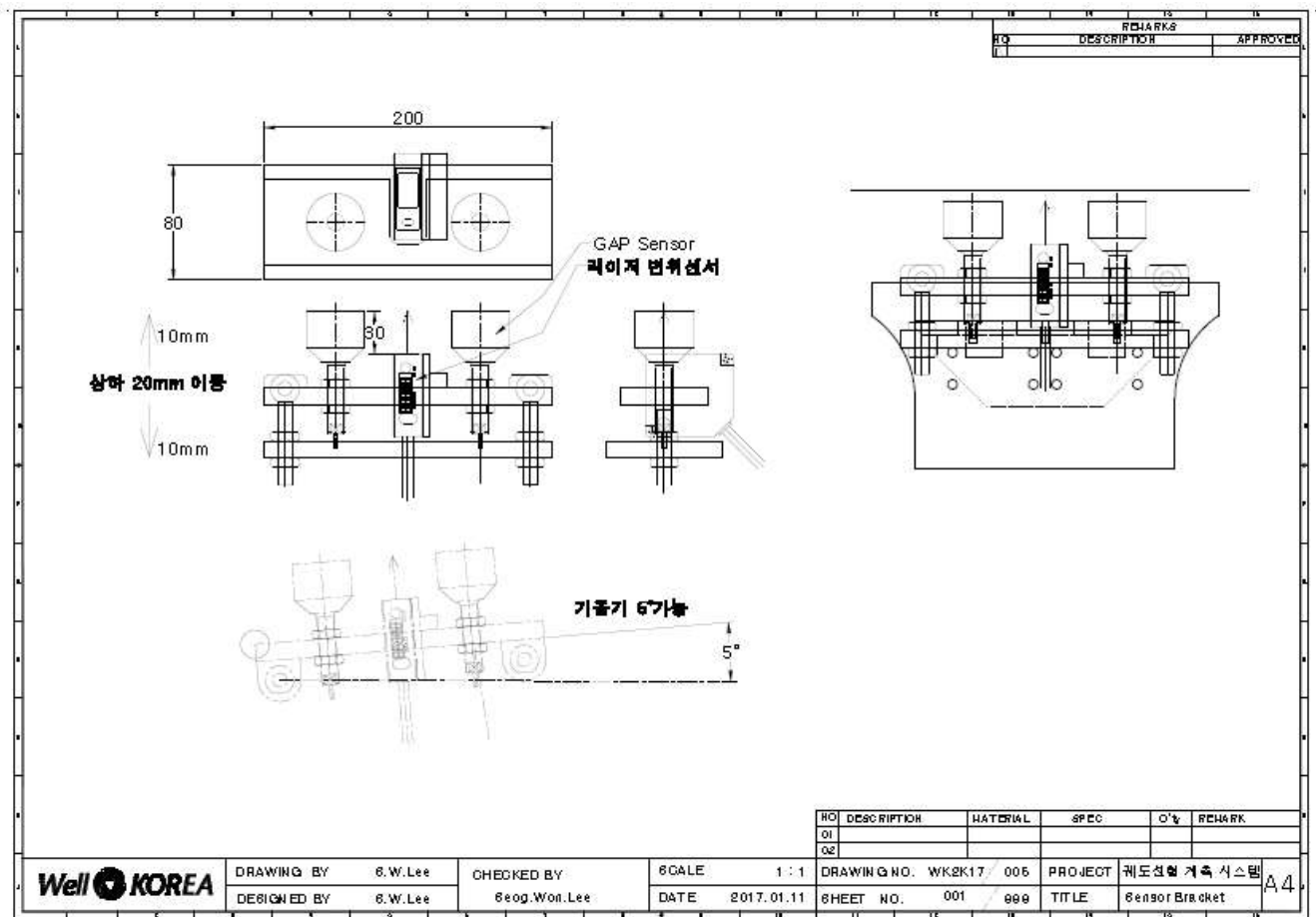
<차량 탑재형 궤도선형 요소 측정 시스템 구성도>



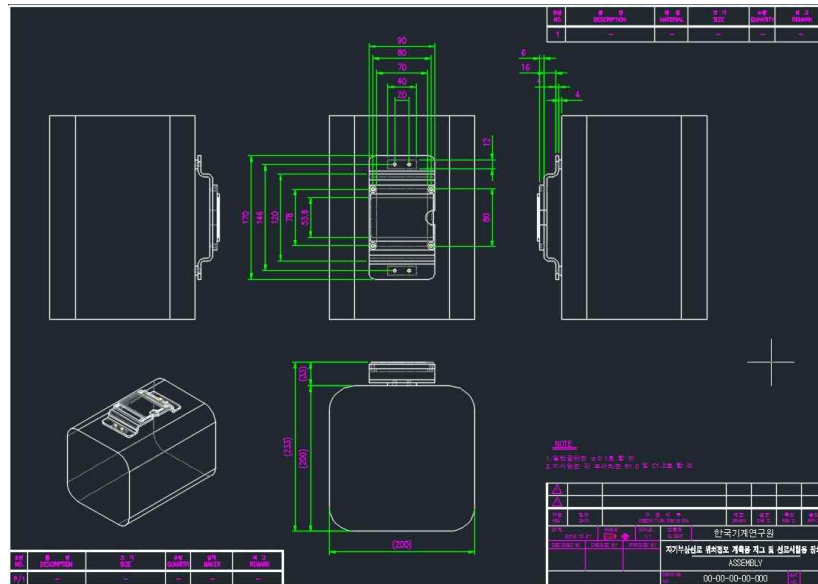
<차량 탑재형 궤도선형 요소 측정 시스템 통합랙 세부구성 내용>



〈차량 탑재형 제도선형 요소 측정 시스템 통합랙 상세설계〉



〈차량 탑재형 제도선형 요소 측정 시스템 센서 대차고정 지그〉



<위치정보 Tag 가변형 설치 지그>



<차량 위치정보를 위한 RFID 시스템 및 차량 설치 형태>

o 차량 탑재형 궤도선형 요소 측정 시스템 사양 목록

구분	모듈	세부내용	단위	수량	설치위치
센서부	갭센서 set	갭센서+10m 케이블	set	4	차량대차
		컨버터	ea	4	차량내부
		전원공급케이블(smps-converter)	ea	4	차량내부
		데이터출력케이블(단 BNC)	ea	4	차량내부
	레이저센서 set	레이저센서(0.5m)	ea	2	차량대차
		연장케이블(센서-터미널)	ea	2	차량대차
		터미널(데이털출력,전력)	ea	2	차량내부
		데이터출력케이블(단 BNC)	ea	2	차량내부
		전원공급케이블(smps-터미널)	ea	2	차량내부
	가속도센서	가속도센서	ea	2	차량대차
		연장케이블(센서-터미널)	ea	2	차량대차
		터미널(데이털출력,전력)	ea	2	차량내부
		데이터출력케이블(단 BNC)	ea	2	차량내부
		전원공급케이블(smps-터미널)	ea	2	차량내부
	센서고정 지그	갭센서/레이저센서/가속도센서 고정지그	ea	2	차량대차
		차량대차 센서고정지그 설치지그	ea	2	차량대차
		접지선(차체접지 연결)	ea	2	차량대차

	노이즈제거	차량갭센서 노이즈제거 모듈(4ch)	ea	3	차량내부
		차량갭센서 데이터 입력장치	set	3	차량내부
		전원케이블(SMPS-모듈)	ea	3	차량내부
		데이터출력케이블(단 BNC)	ea	12	차량내부
	전원	15V(8)+24V(6)+5V(2)	Ch	16	차량내부
		전원케이블(220V)	ea	1	차량내부
	전원랙	전원+갭센서컨버터+레이저센서	ea	1	차량내부
		데이터 출력케이블 연결장치 등?	set	1	차량내부
위치정보부	RFID	RFID-Ant	ea	1	차량대차
		RFID-Ant 대차설치 지그	ea	1	차량대차
		RFID-READER	ea	1	차량대차
		Ant-reader cable(1.5m)	ea	1	차량대차
		rs-232 출력데이터 케이블(7m)	ea	1	차량대차
		전원(24V) 공급케이블(SMPS-reader)	ea	1	차량대차
		Tag	ea	55	궤도
		tag-jig	ea	55	궤도
데이터처리장치	계측시스템	다채널(32ch) BNC 수신장치-> 계측모듈 연결선 포함	ea	1	차량내부
		NI 계측기	ea	1	차량내부
		LABVIEW(software)	ea	1	차량내부
통합랙		이동형랙장치	ea	1	차량내부
		모니터/키보드/마우스	set	1	차량내부

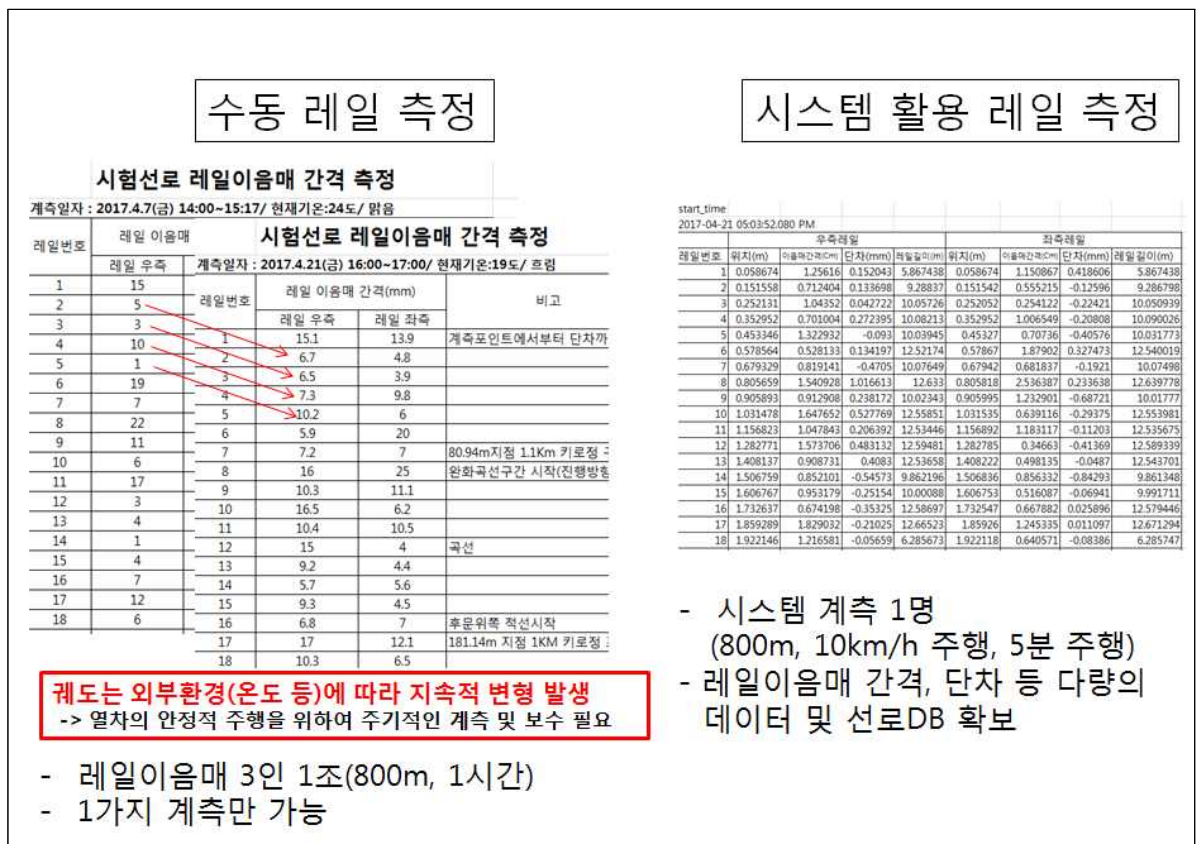
o 궤도 선형관리 시스템 특징점

	특징	효과
신뢰성	측정시간 및 측정요원에 관계없이 일정한 측정결과 도출 및 <b>측정정밀도 향상</b> *최소측정단위 기준)0.5mm→ 0.02mm	정밀한 선로관리가 필요한 자기부상열차의 <b>운영신뢰성 향상</b> 및 <b>데이터에 기반한 예측 예방정비 가능</b>
효율성	수동측정 대비 <b>측정속도 향상</b> * 측정 필요인원 6명 → 1명(△5명) ** 측정속도 200m/4시간 → 6.1km/4시간	자기부상열차 <b>운영비 절감</b> 에 의한 경쟁력 확보
안전성	선로상부 측정작업시 작업원 추락위험 요인 제거로 <b>작업 안전성 확보</b> * 기존)선로상부 → 차상측정	안전한 작업현장 관리, 안전을 위한 별도 <b>관리비용 절감</b>
확장성	갭센서를 활용한 측정개념은 별도 지그 부착 시 <b>타 철도시스템에 적용 가능</b>	AGT, 트램 등 타 경전철 철도차량에도 본 측정시스템 적용 가능
경제성	시스템을 통한 궤도계측 비용 1천만원/월 * 12개월 = 1억 2천만원 *선로 계측분야만 용역으로 수행시	계측소요시간 단축에 따른 선로보수 집중화로 유지보수 소요인력 절감.

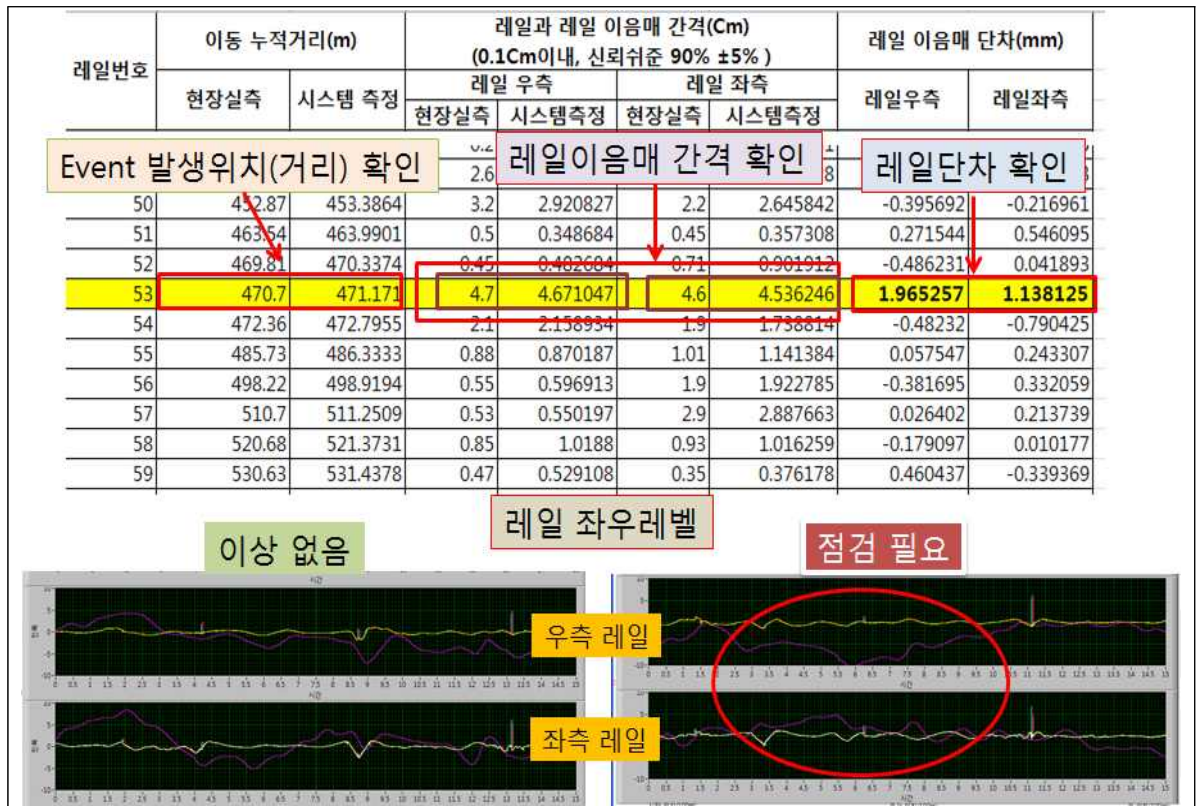
(다) 데이터 측정 및 분석

o 기계연 시험선 계측

- 차량탑재 궤도선형계측시스템을 활용하여 기계연 시험선의 궤도상태를 계측하고 계측장비를 이용한 현장 수동계측을 통하여 궤도선형계측시스템의 신뢰성 확인
- RFID를 이용한 위치정보 검지는 차량정지시에는 확인 되었지만 차량 이동시는 간헐적 검지로 인하여 신뢰성이 떨어지고 인천공항자기부상철도 현장에 적용이 원활하지 않을 것으로 판단되어 차량 속도를 이용한 위치검지로 변경 보완하여 위치검지 하도록 진행
- 궤도의 레일은 약 10m 길이 단위로 공장에서 오차범위(5mm/10m)내의 정밀도를 가지고 생산되었고 좌우 레일은 침목에 의하여 결합되어 하나의 일체화된 궤광으로 이루어져 있어 단면부 이외에서는 궤도선형 계측시스템에서도 연속적인 값이 나타났다. 따라서 우선적으로 레일의 단면 부분에서 발생하는 차이 값들을 정확히 확인하여 도출하면 궤도의 이상상태를 검측할 수 있으므로 차량이 주행하면서 레일의 단면부에서 계측할 수 있는 레일간격 및 단차값이 도출하도록 구성하여 출력하였고, 시스템에서 출력된 값과 현장 레일의 상태를 계측하여 비교분석하여 event 발생 위치에 레일이음매 간격, 레일 상하 단차를 확인하였으며 레일좌우 레벨에 대한 분석을 실시
- 이음매 부분에 열차가 지날 때 레일 끝단에 처짐이 생김에 따라 상하 레벨은 무부하 시와는 당연히 차이가 있어 계측값에 선로유지보수 기준(상하 5mm)을 직접 적용하는 것은 무리가 있으나, 대차단위로 측정한 상하레벨을 10미터 현 단위로 환산 하여 그래프로 표시함으로서 선형 변화추이를 관찰 할 수 있다.



<기계연 시험선 수동 레일계측(현장실측)과 궤도선형계측시스템 계측 결과>



<기계연 시험선 수동레일 계측(현장실측)과 궤도선형계측시스템 계측 결과 비교 분석>

#### o 인천공항자기부상철도 궤도 계측 분석

- 기계연 시험선로를 통해 검증한 궤도선형계측시스템을 인천공항자기부상철도 자기 부상열차에 탑재하여 차량이 주행하는 동안 궤도를 계측하였고 계측결과 분석 실시
- 영업운전 이후 운휴차량을 이용하여 용유역-인천국제공항역을 왕복운행을 통하여 궤도를 계측(25km/h 일정속도로 상하선 왕복 계측)

#### < 상 선 >

용유역->인천국제공항역(106->101) 구간

단차			폭		
구분	우단차(mm)	좌단차(mm)	구분	우측폭(cm)	좌측폭(cm)
최대	2.254742	2.395339	최대	5.944009	5.427484
최소	-6.29197	-2.272362			
단차별(mm)	우측갯수	좌측갯수	폭별(cm)	우측갯수	좌측갯수
1.0미만	530	541	4.0미만	553	559
1.0~1.5	31	22	4.0~4.5	4	4
1.5~2.0	6	4	4.5~5.0	9	6
2.0이상	4	4	5.0 이상	5	2
계	571	571		571	571

< 하 선 >

인천국제공항역→용유역(101→106) 구간

단차			폭		
구분	우단차(mm)	좌단차(mm)	구분	우측폭(cm)	좌측폭(cm)
최대	1.635421	1.719563	최대	5.388042	5.247704
최소	-1.782768	-1.835419			
단차별(mm)	우측갯수	좌측갯수	폭별(cm)	우측갯수	좌측갯수
1.0미만	544	545	4.0미만	559	563
1.0~1.5	20	20	4.0~4.5	6	2
1.5~2.0	6	5	4.5~5.0	4	3
2.0이상	0	0	5.0 이상	1	2
계	570	570		570	570

<인천공항자기부상철도 상하선 궤도 계측 분석 결과>

- 분석결과를 통하여 인천공항자기부상철도의 용유역에서 인천국제공항역까지 상하선 각각 좌우레일에 571개와 570개의 단차가 존재하며, 이 단차와 레일폭(간격)의 차이발생 개수를 확인할 수 있도록 하였음
- 왕복 궤도선형계측시스템 시험운행을 통하여 동일구간 계측시 0.5mm 범위내에서 90%이상 일치함을 계측결과를 통해 확인
- 계측 결과에 대하여 점검하고자 하는 부분 및 계측 값은 아래 표와 같이 해당위치(운영기관에서 운영을 위해 설정해 놓은 절대위치)와 그 지점에 계측된 결과 값을 통해 확인하고 현장에 인력을 투입하여 확인할 수 있음

<인천공항자기부상철도 하선>

<우측 이음매>

위치(km)	폭(cm)	단차(mm)
0.122	4.097576	-1.6434
0.385	4.6174	0.351085
0.390	5.38804	0.010153
0.802	0.736621	-1.511
위치(km)	폭(cm)	단차(mm)
2.861	4.95442	-0.04792
3.282	4.72758	0.913335
3.283	0.742992	-1.5298
3.389	0.249903	-1.7828
3.495	2.238507	-1.6604
3.905	4.99822	0.508982
4.223	4.22843	1.63542

<좌측 이음매>

위치(km)	폭(cm)	단차(mm)
0.122	1.446115	-1.6979
0.332	4.67665	-0.08962
0.385	4.87452	-1.39277
0.390	5.13155	-0.14974
0.419	1.981686	-1.5354
0.722	4.228696	1.71956
1.825	4.90939	-0.30753
위치(km)	폭(cm)	단차(mm)
3.072	1.948337	-1.8354
3.283	3.716227	-1.5326
3.905	5.2477	-0.41946

<궤도선형계측시스템으로 확인한 궤도 확인 부분 및 측정 값 >

(라) 결과

- o 기계연 시험선로를 통해 검증한 궤도선형계측시스템을 인천공항자기부상철도 자기 부상열차에 탑재하여 차량이 주행하는 동안 궤도를 계측하였으며 계측결과 분석을 통하여 궤도 선형데이터를 확보하였다.
- o 확보한 선형데이터의 신뢰성 검증을 위해 영업운전을 마치고 선로를 단전 시킨 후 운영기관과 현장에 투입하여 실측한 결과와 궤도선형계측 시스템의 결과가 유사함을 확인하였다.
- o 또한, '17.4.27(목)에 기계연에서 개최한 '도시형자기부상철도 연구단과제 개발성과물 설명회'를 통하여 궤도선형계측시스템에 대한 설명 및 측정 결과를 운영기관에 소개하였으며, 인천공항자기부상철도 선로에서 궤도선형계측 시스템을 이용한 계측 및 분석 결과도 운영기관에 제공 완료( '17.5.30)하였다.

## 12. 기술사업화를 위한 기술지원 및 실용화 확산

## 가. 국내 시장진출을 위한 기술지원 및 성과 확산 활동

(1) 제주도 : '16.1월 폭설사태를 계기로 공항(기존)~시내 간 경전철 도입(자기부상 또는 트램)을 검토 중이므로 동절기 우수한 등판력 등 홍보

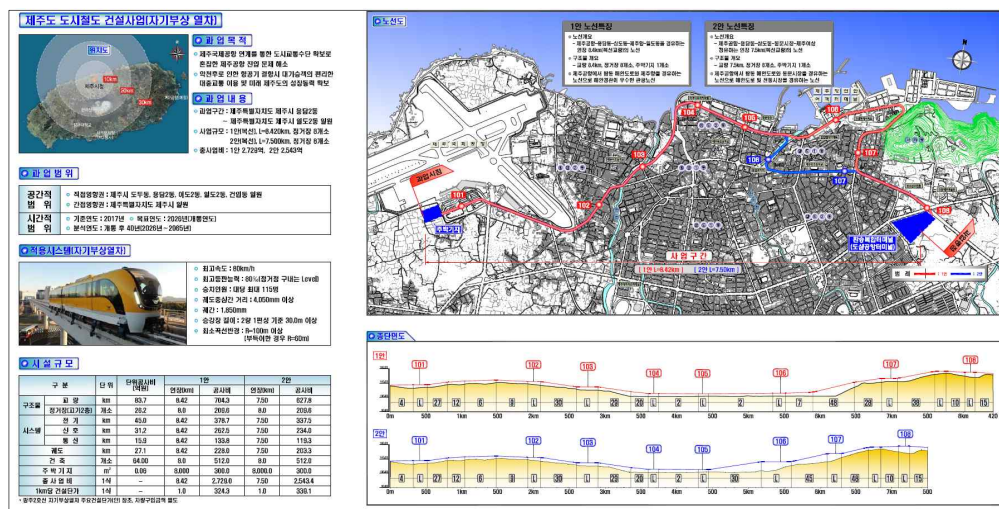
(진행경과)

- `16.5.17 제주공항-시내 연결방안 수립중인 제주도 관광교통기획단방문/협의
- `16.6.15 제주공항-시내간 연결노선 현장답사 및 노선협의
- `16.10.20 현장답사 결과를 반영한 자기부상열차 제안노선 제시
- `17.6.21 기계연-코오롱글로벌-동명기술공단 MOU 체결

( ‘제주시철도 민간투자 사업’ 을 위한 MOU)



(노선개요)



(2) 시흥시 배곧신도시

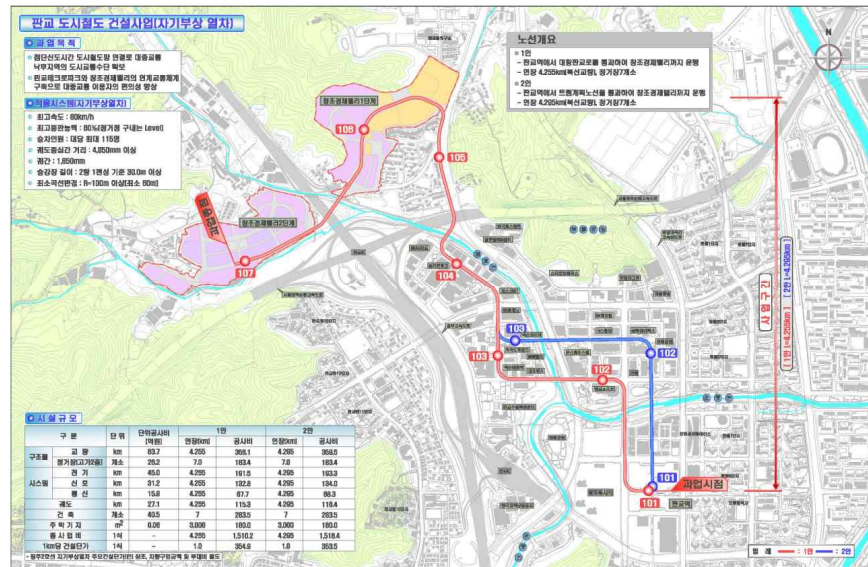
(진행경과)

- `16.10.25 시흥시 배곧공사와 방문협의(배곧신도시 및 교통계획 자료입수)
- `16.12.21 국토교통부와 국회 협의
- `17.1.12 시흥시 배곧공사와 관계자 및 국토교통위원장 보좌관 기계연구원 방문
- `17.1.16 시흥시장 인천자기부상철도 현장 방문 및 시승



(진행경과)

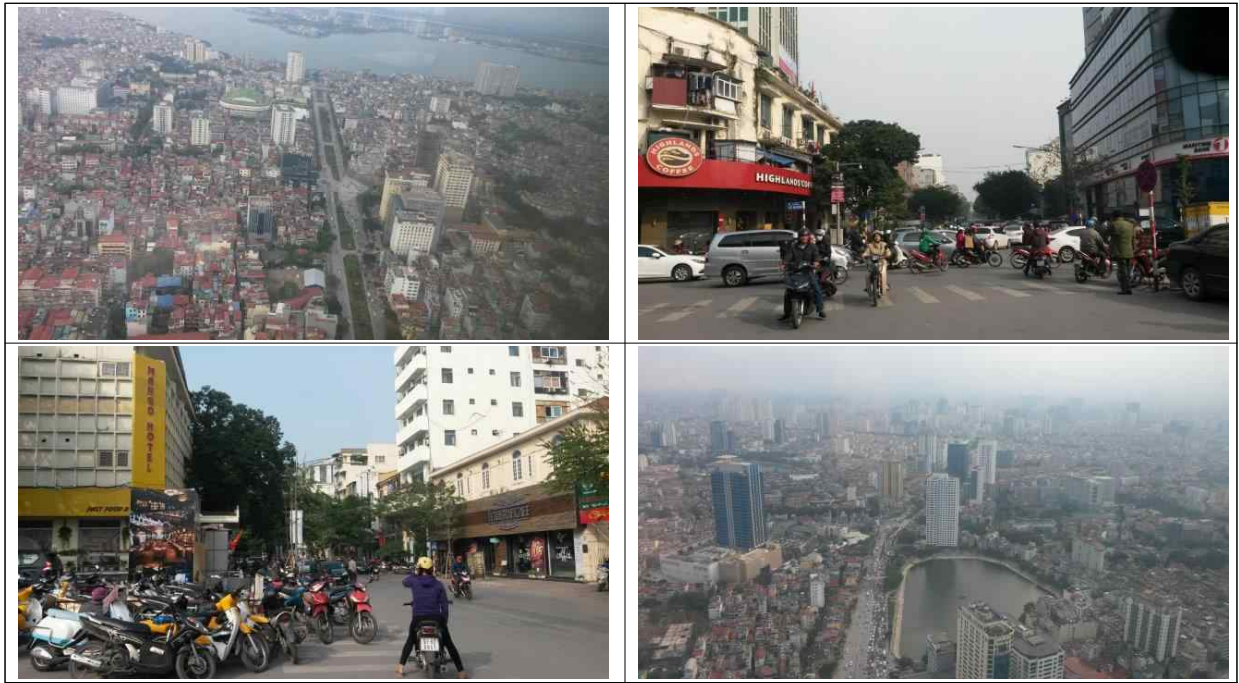
- (노선개요)



- 나. **국외 시장진출을 위한 기술지원 및 성과 확산 활동**

(1) 베트남

- 노선 : 동쿠안 신도시↔노이바이 국제공항↔하노이 시내 연결 공항 급행철도(총연장 48km)
- 추정 사업비 : 1조 5천억원
- 사업추진 방식 : 개발자(니코에너지)가 SPC구성, 사업개발/운영(BOT 방식)
- 당초 모노레일로 사업이 확정되어(일본 미쓰비시) 진행되다 최근 해지되고 니코에너지(일본소재 한국기업)가 담당하면서 자기부상열차 적용 검토중
  - 니코에너지는 베트남 정부로부터 동쿠 신도시 개발을 수주하여 현재 설계중이고 금년 내 착공한다고 함
  - 베트남은 조속한 사업착수 요청중
- `17.1.16 ~ 20 사업단/ GS 건설 합동 현지 노선조사



<하노이 현지 조사>

- 2017년 5월 17 ~ 19 : 사업단 - 투자자(Castlepine 투자자문사, 영국계)-개발자(니코에너지) 협의를 통하여 투자 합의
- 2017년 5월 27 : 투자사의 투자자의향서(LOI) 접수



Asia Liaison Office  
35th Floor  
Canal Wharf Tower  
1-3-2-3501 Toyosu  
Koto City, Tokyo 135-0061

t: +81 (03) 3532-3431  
f: +81 (03) 3532-3432  
www.castlepin.esequity.com

26 May 2017

The Board of Directors  
**Kyushu Country Club Corporation**  
**Nikko Energy Development Company Ltd**

Gentlemen

**Re: Funding of a 60-km Magnetic Levitation Railway Development Project at Dong Quan Lake area, Soc Son District, Vietnam**

We are pleased to provide this Letter of Intent (hereafter, "LOI") in order to help facilitate the above-mentioned project. And, we thank you for your continued interest in Castlepin.es Global Equities Limited ("Castlepin.es", "CGE" or "Investor") and our investment program.

As said, Castlepin.es is a private equity fund. We are not lenders. Rather, we are long-term investors. We invest directly into projects and assets such as the Dong Quan Lake Magnetic Levitation Railway ("MagLev") development project (the "Project"), taking ownership interest in the Project and then leasing the assets back to you or your partner company (the "Company") on a Triple Net Financial Lease Agreement.

Castlepin.es' preference is to invest all equity with little or no debt. The equity is sourced from Castlepin.es own pool of funds and from large public and private pension funds and we typically sources the pension fund equity via its partner banks (the "Funding") who are J.P. Morgan Chase, UBS, Deutsche Bank, et al.

Before investing in any project Castlepin.es seeks to ensure that the pension fund required return or indicative "coupon" on the equity contributed is secured. The coupon which is in the nature of preferred equity must be paid without fail when due during the term of the investment. **CGE requires an entity with no less than a "BBB" rating from Standard & Poor's (or a "Baa" rating from Moody's) to guarantee the coupon payments, "come hell or high water," an often used term in lease contracts meaning there is no "force majeure" clause in the Agreement.**

Any profit over and above the Indicative coupon and other expenses are to be shared based on the allocation of shares/units in the asset ownership.

You have advised us that the project requires about 265,000,000,000-JPY to develop the facilities to be located at Dong Quan Lake district, Soc Son district near Hanoi. Development permits have already been, or are being secured including EPC, O&M and OFF-TAKE agreements.

※ 개발자는 상기 LOI를 가지고 베트남 정부 인허가 추진중임

## (2) 코스타리카 산호세 시

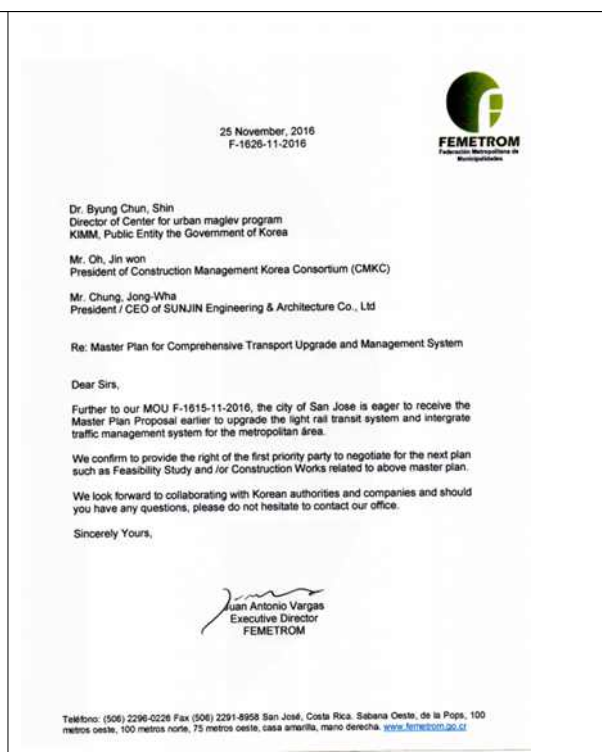
- 산호세시는 도시 집중화와 관광도시국가의 경쟁력 확보를 위해 시 전체의 종합 교통계획안(BRT시스템 도입, 경전철 건설, 인프라 확충 및 모든 교통수단의 통합화 등) 수립중
  - 산호세시는 기존의 Tram을 최신 경전철(LRT)로 새로 교체, 연장하려하며, 국회의 승인을 받아 658만불 규모의 타당성 조사(FS) 계획을 발표하였음 (예산 건설비 총 \$500Mil)
  - 교통 마스터플랜 수립에 관한 MOU체결(산호세시와 한국의 CMKC)
    - * 프랑스, 독일, 미국, 중국 팀이 산호세시를 방문/상담했음
  - 발주처 : 산호세(San Jose)시 / FEMETROM (산호세주 12개 시청 연합회)
  - 진행사항
    - 2016년 8월 : 산호세시의 도시 집중화와 관광도시국가의 경쟁력 확보를 위해 시 전체의 종합 교통계획안(BRT시스템 도입, 경전철 건설, 인프라 확충 및 모든 교통수단의 통합화 등)을 수립하려는 정보 입수
    - PEMETROM의 대표에게 한국의 국토부와 교통연구원, 기계연구원, 관련 엔지니어링사인 건화/선진엔지니어링 소개(회사 소개서 전달) 및 한국의 축적된 경험 및 기술을 설명하고, 한국의 컨소시엄(CMKC)을 구성하여 적극 추진하겠다고 제안했음
    - 2016.11 : CMKC대표단(3명) 코스타리카 방문, 세미나 개최 및 MOU 체결
      - * MOU 내용 : 산호세시 종합교통망 계획에 한국 측 협조
- . 이 MOU에 근거하여 FEMETROM 사무국장이 종합교통망 계획이 수립/제시되면 경전철 타당성 조사와 건설사업에 대한 우선 협상권을 한국측에 부여한다는 협약서 송부( '16.11.25.)



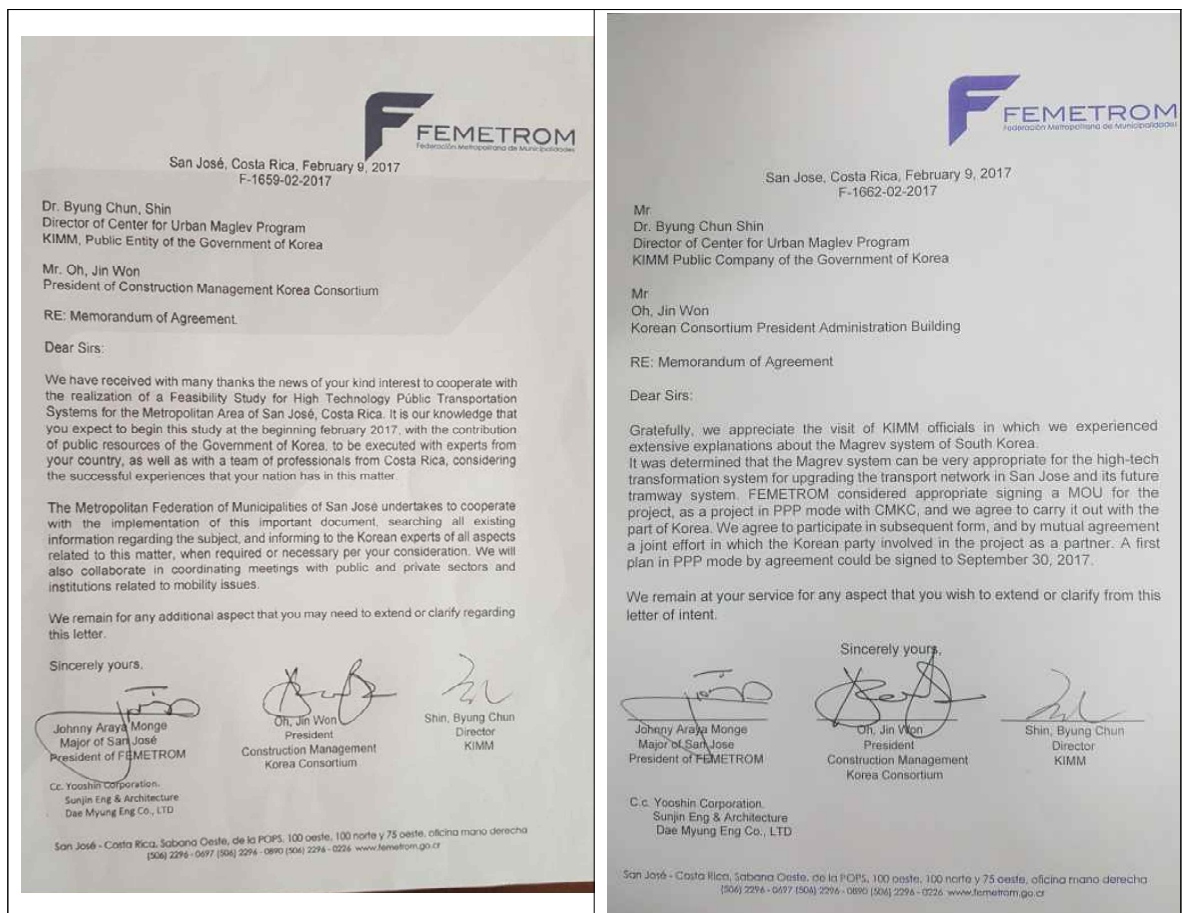
자기부상열차 PT 실시(산호세 시장 등 인근 도시의 시장 및 관계자 약 150명 참석)



산호세 시장과 MOU 체결후 사진촬영 (MOU: 산호세시 종합교통계획 수립 협조)



- 2017. 2 : 사업단장(신병천)을 대표로 CMKC 참여 업체 중심 현지 조사단(총 9명) 방문 및 MOA 2건 체결
  - . 협력방안(합의사항): 한국측에서 산호세시 종합교통망 계획에 대한 FS를 '17년 2월부터 착수하여(MOA(1)) 그 결과를 17년 9월말까지 제공하면, 한국주도 PPP사업으로 산호세시 경전철 건설사업(자기부상열차)을 추진하는 것으로 합의함(MOA(2))



- 향후계획
  - . 산호세시 종합교통망 계획수립을 위한 해건협 FS 자금 신청중
  - . FS 자금 확보후 현장방문 및 사업 추진

### (3) 스리랑카

- 노선 : 스리랑카 메가폴리스 계획에 따라 스리랑카 3대도시(콜롬보 시, Negombo 시, Bopitiya 신도시)와 공항을 연결하는 급행철도(총 연장 57km)
- 추정사업비 : 2조 4천억원
- 사업추진 방식 : 민간투자자 BOT 방식
- 추진경과
  - 2017년 5월 18 ~ 19 : 사업단-투자자(Castlepine 투자자문사, 영국계)-시행자(High

Speed Railway Co.) 3자 협의를 통하여 사업추진 합의

* High Speed Railway Co. 는 스리랑카 정부로부터 사업권 확보하고 있다고 하며, 투자만 확정되면 즉시 사업추진 가능하고, 검토결과 한국 자기부상열차가 최적으로 판단하고 있음

- 2017년 6월 5일 : 시행사(High Speed Railway Co.)와 투자사(Castlepines) 공동 명의의 사업참여 요청서 등 문서접수



- 2017년 6월 8일 : 사업타당성 분석을 위한 추가자료(FS 결과, 주관사/투자사 현황, 정 부인허가 사항 등)요청

#### (4) 이란

- 경제제재 이후 인프라 건설 수요가 폭발적으로 증가하고 있어 자기부상열차 적용 기회 증 대 기대
- 경제제재이전 모노레일로 계획된 일부 지역에 한국의 무역업체(성우 Corp.)와 약 30여년간 거래해온 현지 업체(EDI 사) 한국자기부상열차 적용 추진
- 2016. 9. 26 ~ 30 현지설명회를 통해 이란내 수출 추진 거점 확보
- 적용대상
  - 테헤란 - 호메이니 공항 연결선
  - 테헤란시 도시철도
  - 시라즈시 도시철도
  - 커먼시 도시철도
- * 현지 에이전트가 이란의 도시철도 사업중 우선 적용가능 노선 선별하여 통보해주기로 하 였으며, 현재 검토중에 있음

#### (5) 러시아

- 추진경위
  - `14.1 현지 간담회, 기술세미나 및 주정부(부주지사)/시정부(부시장) 협의
  - `14.7 한-러 MOU 협약 (주정부-기계연-로템-NSW-Gordon Atlantic)

- `16.2 NSW 부사장(전 러시아 교통부 장관, Mr.Zaichev)방한/시승협의
- `16.7 한러 철도협력회의에서 자기부상열차 협력방안 협의회 의제로 상정

(합의문) "또한 대한민국이 소개한 자기부상열차의 장점에 대하여 러시아 측도 공감하고 이를 항구에서의 화물터미널 간 운송에 활용하거나 상트페테르부르크와 레닌그라드주 간의 경전철 사업 등에 도입하는 것에 대하여 상트페테르부르크 교통시스템개발청과 협력하는 것을 제안하면서 한국 기업의 투자 가능성 여부에 대하여 검토해줄 것을 요청하였다" (2016.07.28.)



#### ○ 최근 협의사항

- * Maglev 국제학회(`16.9.22~25)의 러시아 대표단이 공식 회의석상에서 3번씩이나 상페테르부르크 도시철도에 한국 에코비 도입의사 표명
  - 러시아 기후 및 환경조건과 양국의 철도 규격상의 차이점 사전 검토를 위한 지원 요청하고 있으며, 한국의 투자도 요청하고 있음
- * 많은 인력이 소요되고 기술유출이 우려되므로 별도의 계약 또는 협약이 전제되지 않는 한 협조하기 어렵다는 입장 전달
  - 러시아의 최근 계획을 문서로 전달해주면 검토하여 한국의 입장을 제시하기로 하였음
  - 화물 수송용 자기부상열차 시스템 개발에 대해 미국, 러시아 공동연구계획하고 있으며, 한국의 참여를 요청하고 있음

#### (6) 말레이시아

##### ○ Penang 경전철 사업

- 페낭주 교통개선 종합대책(PTMP) 승인(`15.8.14)
- 사업내용에 경전철 사업이 포함되어 있으나, 차종은 미결정 상태임
- 사업개요
  - 사업명 : Penang Transport Master Plan(PTMP)
  - 사업내용 : 경전철(LRT), 트램, 고속도로순환선 등
  - 사업권자 : SRS 콘소시엄(Gamuda 60% + 지역업체 40%)
  - 예상사업비 : RM 27 bilion (약 7조 7천억원)
  - 경전철 예상노선 : 3개 노선 약 38km (2002년 계획노선)



말레이시아 페낭주 예상노선



기술제안서

○ Putrajaya 사업

- 말레이시아 행정도시 Putrajaya 내부 통근형 경전철
- 당초 모노레일로 일부 시공된 이후 교통수요 부족 등으로 10년 이상 방치된 사업
- 사업개요
  - 노선연장 : 18km(Line1:12km, Line2:6km)
  - 사업권자 : Putrajaya Holdings(Petronas 자회사)
  - 정 거 장 : 23개소
  - 시 설 : 교량 3개소, 터널(지하) 1개소, 차량기지 1개소
  - 경전철 예상노선(2002년 계획노선)



말레이시아 푸트라자야 예상노선

* 모노레일 대신 자기부상열차를 긍정적으로 검토중임



○ 말레이시아 조호바루 지역

- 최근 한국의 사업개발사(MMKC)가 현지 방문하여 협의한 바 있으며('16.8.30~9.2), 말레이시아의 검토결과 대기중

○ 쿠알라룸푸르 공항 모노레일 대체사업

- 현지 에이전트가 정보를 입수하여 알려준 것으로 자기부상열차로 대체시 가격 등 제시한 바 있음

다. 국내외 시장진출을 위한 제언

(1) 기술적인 개선 사항

- 자기부상철도 시스템의 초기 건설비나 운영비 측면, 성능측면에서 경쟁력을 확보하고 있다고 판단되나, 지상고가의 경관성문제가 지속적으로 제기되므로 경관전문가와와의 협업을 통한 경관설계가 필요함
- 지하로 건설할 경우 바퀴가 없음으로 터널 내공단면 축소가 가능하나, 이를 위해 차량의 대차설계를 최적화하는 등 차량 높이를 최소화해야 함
- 핵심기술인 부상제어분야에 있어서 H/W 및 S/W적으로 확실한 이중계를 개발하여 어떠한

- 경우에도 부상착지가 발생하지 않도록 추가 연구 필요. 또한, 이를 위해 차량과 궤도의 횡방향 충돌시 충격을 최소화할 수 있는 궤도 이음매 형상 재설계와 차량 스키드 재설계 필요
- 차량의 추가적인 경량화, 전기소모 최소화를 위한 추가 연구 필요
- 국내는 현재 트램의 열풍으로 경전철의 입지가 위축되어 있으므로, 지속적인 건설비 저감 노력과 노면 자기부상열차에 대한 연구도 필요함

## (2) 시장개척

- 총사업비 4,250억원을 투입한 대형 연구개발사업의 성과확산을 위하여 정부차원의 특단의 대책이 필요함
  - . 성과확산 추진체계 구축
  - . 관민 시장개척단 구성 및 최소한의 경비 지원(예 : 고속철도 해외시장진출 지원)
  - . 코트라, 해외공관을 활용하는 네트워크 구축/활용
- 국내외 홍보 강화
  - . 국내외 관계자 초청 시승행사 개최
  - . 해외 전시회 적극적 참가 및 해외 기술 설명회 개최(타 국제행사와 연계)

### 13. 승강장 안전발판 시스템 개발

#### 가. 연구개발의 필요성

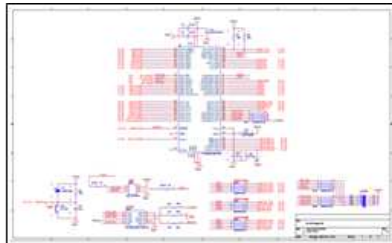
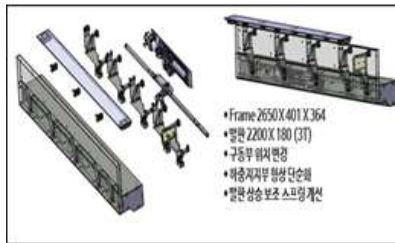
- 곡선부에 정거장이 설치되는 경우, 승강장 연단과 차량 출입문과의 간격이 일정치 않아 승객의 발빠짐이나 휠체어를 이용하는 교통약자들의 불편함 등이 문제점으로 지적되고 있다.
- 인천공항 자기부상철도는 “Barrier Free” 인증을 받은 시스템으로서 휠체어를 이용하는 노약자나 장애인들이 장벽없이 승하차가 가능해야 한다.
- 이를 위하여 안전발판을 설치하는데 고정식과 접이식으로 구분하며, 곡선부에는 고정식은 차량과의 간섭우려로 인해 부득히 접이식으로 설치한다.
- 한편, 자기부상철도 승강장 시공후 간격이 규정치를 초과함에 따라 승강장 안전발판의 적용이 검토되었으며, 기존의 안전발판 보다는 안전하고 신뢰도가 높으며 열차와의 충돌회피가 가능한 시스템이 필요하게 되었다.

#### 나. 기존 접이식 승강장 안전발판의 문제점

- 차량과의 충돌 등 비상상황 대비 기술 미비
- 승강장에 기 설치된 여러 타입의 PSD(가이드슈)와의 간섭 발생 가능
- 승강장에 PSD가 기 설치되어 있을 경우, 시공 난이함
- 유지보수성 낮음 낮음

#### 다. 기술개발 내용

##### (1) 승강장 안전발판 시스템 설계 및 시제품 제작



[안전발판 및 제어장치 상세설계]

[시제품 제작]

##### (2) 승강장 안전발판 시스템 현장 시범적용(대전도시철도1호선 판암역 설치)



[illegible]

(4) 대전도시철도(판암역) 영업운영, 교통신기술 인증 기술심사 통과

교통신기술 지정신청서   (충돌안전성을 확보한 무경첩 접이식 자동 승강장 안전발판 시스템 제작 기술)		교통신기술 지정신청서		처리기간 120일
		교통신기술의 명칭	충돌안전성을 확보한 무경첩 접이식 자동 승강장 안전발판 시스템 제작 기술	
기술을 개발하거나 개발한 자	법 인 명	주식회사 진합	법인등록번호	306-85-02017
	성명(대표자)	이 원 준	생년월일	1972년 08월 25일
	주 소	(우)306-220 대전광역시 대덕구 동평서로 42 (전화: 070-7430-1756)		
교통신기술의 범위	기존 승강장 연단면에 설치되어 있는 스크린도어 등 주변 시설물과의 간섭이 없고 차량과의 충돌 대비 충돌안전성을 확보하기 위한 Fall safety 기능이 탑재된 무경첩(Hingeless) 접이식 자동 승강장 안전발판 시스템 제작 기술			
교통신기술의 내용(요약)	기존 승강장 연단면에 설치되어 있는 스크린도어(PSD)의 가이드 수레 간섭되지 않고 연단면에 데밀 설치되어 연속한계를 준수할 수 있는 무경첩(Hingeless) 힙크형 구조를 적용하였고 차량과의 충돌 등 비상 상황에 대비한 충돌안전성 확보를 위한 Fall Safety 기능이 탑재된 기계식 충돌 방지 범위 및 비상장착 해제시의 안전한 운영을 위한 기계식 안전잠지인 비상 자물/수동 복귀장치가 구비된 무경첩 접이식 자동 승강장 안전발판 시스템 제작 기술			
『국가표준협동체제요소화법』 제102조, 같은 법 시행령 제96조 제2항 및 같은 법 시행규칙 제42조에 따라 위와 같이 교통신기술 지정을 신청합니다.   2016년 11 월 일   신청인 이 원 준 (서명 또는 인)   국토교통부장관 귀하				
구 비 서 류	1. 교통신기술의 명칭·범위 및 개발배경을 기술한 서류 1부 2. 교통신기술의 내용(교통신기술의 요지 및 신규성·진보성·안전성 등에 관한 구체적인 내용을 포함합니다)을 기술한 서류 1부 3. 국내외 시장에서의 활용 전망 및 보급가능성을 기술한 서류 1부 4. 교통신기술의 설계도 또는 운영원형서 1부 5. 그 밖에 국내외의 특허 또는 안전성 등의 시험검정서 등 교통신기술을 심사하는 데에 필요하다고 인정되는 서류 1부			신청 수수료 신청지 1만원 {수령인지 첨부}
	(주) 진 합			

* 충돌 안전성을 확보한 무 경첩 접이식 자동 승강장 안전발판 시스템 개발

- 135

- 경제적 측면 : 공사비 20% 절감 가능

- 기존의 접이식 및 슬라이딩 발판의 경우 승강장의 상면 및 연단면 시공을 위해 기설치된 PSD와의 간섭 회피 어려움
- 기존 PSD의 프레임 하부 영역 시공에 따른 난공사 및 토목 공기가 증가 할 것으로 예상됨
- 본 기술 적용 시, 주변 시설물과의 간섭이 회피(스크린도어 가이드 레일 확보 가능)되므로 토목 공기 20% 저감 예상됨

#### 마. 기술활용 실적

대전도시철도공사 1호선 판암역 하선 승강장 8 SET 현장적용( '16.5)하여 현재 영업중

대전도시철도공사 1호선 판암역 하선 승강장 / 승강장 안전발판 시스템 현장 적용	
	- 장소 : 대전도시철도공사 1호선 판암역 하선 승강장     - 적용 내용      - 안전발판 / 개별제어반 8 SET / 통합제어기 1SET     - 안전장치 적용 현황      * 전진 감지바(안전발판 긴급하강 신호 발생 장치)     * 안전발판 상태현시장치(최종 차량 출발 확인 장치)     * 경보장치(비상상황 시 경보 발생 장치)     * 역무실 종합 현시 모니터링 장치(운영기록 DB화)                 - 안전발판 시스템 전용 UPS 장치 적용

## 제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

### 1. 목표 달성도

성과목표	성과지표	성과검증	달성도 (%)
		측정방법	
연구단 연구목표 관리	과제간 인터페이스 관리	-세부과제 협약 관리 -과제간 인터페이스 관리	100
	시범노선 운영자 인터페이스 관리	-차량 및 시설운영 기술지원 활동 (추가) 양방향 무선통신 단절, 궤도이상점 유 현상에 대한 원인분석과 개선안 도출 (추가) 자기부상열차 차량 기술지원) -시설 유지보수 기술 지원 활동(점검, 분석) -기술지원 분야 간 인터페이스 관리 및 지원	100
RAM 목표 달성	영업운전 서비스가용 (SA) 98% 분석/검증	서비스가용(SA) 측정/검증 결과 목표 부합성	100
도시형자기부상철도 운영/유지보수 체계 개선	시범노선 운영데이터 기반 유지보수 표준기준 개발	유지보수 표준기준 적합성	100
궤도 선형관리 시스템 개발	궤도 선형관리 및 자동화 분석시스템 시범노선 현장적용 결과서	현장 적용 적합성 및 효용성	100
	유지관리 및 사용자 교육	교육 내용의 충실성 및 활용성	100
기술 사업화를 위한 기술지원 및 실용화확산	국내 시장진출을 위한 기술지원 및 성과확산 활동	국내 지자체 대상 기술지원, 시승 및 기타 성과확산 활동	100
	국외 시장진출을 위한 기술지원 및 성과확산 활동	국외 자기부상 관심지역 시장개척 활동(기술지원 포함) 및 시범노선을 활용한 대외 홍보 활동	100

### 2. 관련 분야 기여도

가. 대형 사업단과제로 추진된 도시형자기부상열차실용화사업 완료 후 연구개발 성과의 활용·확산 촉진을 위한 성능개선 기여

나. 도시형자기부상철도시스템에 대한 운영안정화, 유지보수체계 구축 및 운영단계 RAMS 관리 시스템 개발/적용을 통한 신뢰성 확인으로 경전철 시장에서의 인식 제고

다. 교통약자 승객의 안전을 위한 승강장과 전동차 사이 공간에 설치되는 승강장 안전발판장치를 개발하고 개발된 제품의 사전 안전성 검증

## 제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 인천공항 자기부상철도 운영안정화를 바탕으로 국내외 시장진출의 초석 마련
2. 타 시스템 대비 건설비 및 운영비 등 가격 경쟁력이 확보됨에 따라 이를 바탕으로 적극적인 해외시장 개척 가능
3. 효과적인 자기부상열차 운영 및 유지보수로 시스템의 경쟁력 향상
4. 시범노선 운영 안정화 지원을 통해 확보된 기술 데이터는 타노선 건설 및 운영에 요건하게 적용되어 경쟁력 향상 및 운영유지비 절감에 기여할 것임
5. 자기부상열차용 선로관리 시스템은 자기부상철도 해외 진출시 유지관리 기술 패키지에 포함되어 판매
6. 유사 시스템 계측시스템 설계 및 제작 활용

## 제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

## 제7장. 연구개발성과의 보안등급

## 제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

## 제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

## 제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	“도시교통의 미래” 도시형자기부상 열차 실용화의 성과	한국기계 연구원	주저 자	교통기술과 정책		2014		
2	논문	승강장 안전발판 시스템 신뢰도 분석에 관한 연구	(주)진합	주저 자	한국산학기 술학회논문 지		2015.7		
3	논문	승강장 안전발판 시스템의 내구성 평가	(주)진합	주저 자	신뢰성응용 연구 제 16권		2016.6		
4	특허	자기부상열차용 궤도와 거더의 일체화 구조물	한국기계 연구원		대한민국		2014		
5	특허	자기부상열차용 궤도의 단차측정기	한국기계 연구원		대한민국		2014		
6	특허	플랫폼 스텝장치	(주)진합		대한민국		2014		
7	특허	플랫폼 스텝장치	(주)진합		대한민국		2014		
8	특허	플랫폼 스텝장치	(주)진합		대한민국		2015		
9	특허	플랫폼 스텝장치	(주)진합		대한민국		2015		
10	특허	거더형 분기기	한국기계 연구원		대한민국		2016.12 (10-1692029)		
11	특허	자기부상열차 궤도의 선형관리 요소의 계측 분석 시스템 및 방법	한국기계 연구원		대한민국		2017.5 (10-1732541)		
12	포상	2016년 10대기술상	철도학회		대한민국		2016.11.15		

## 제11장. 기타 사항

## 제12장. 참고 문헌

### 주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

