

10PRT
D-C056
668-01

도시철도차량
및
활용
기술개발
기획
2012
국토해양부
한국건설교통기술평가원

Land Transport and Maritime R&D Report

미래도시철도기술개발사업

11PURT-C061318-01

도시철도차량 탑재용 회생에너지 저장 및 활용 기술개발 기획

2012. 12. 7.

주관연구기관 / 한국에너지기술연구원
위탁연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “도시철도차량 탑재용 회생에너지 저장 및 활용 기술 개발 기획” 연구과제의 최종보고서로 제출합니다.

2012. 12. 7

주관연구기관명 : 한국에너지기술연구원

주관연구책임자 : 김 종 휘

참여연구원 : 김 태 환

참여연구원 : 전 영 갑

참여연구원 : 전 재 덕

위탁연구기관명 : 한국철도기술연구원

위탁연구책임자 : 이 한 민

참여연구원 : 김 길 동

참여연구원 : 이 장 무

보 고 서 요 약 서

과제고유번호	11PURT-C061 318-1	해 당 단 계 연 구 기 간	2011.12.23 ~ 2012.6.22	단 계 구 분	1차년도 /1차년도
연구사업명		미래도시철도기술개발사업			
연구과제명	대과제명	도시철도차량 탑재용 회생에너지 저장 및 활용 기술개발 기획			
	세부과제명				
연구책임자	김 종 회	해당단계 참여 연구원수	총 : 7명 내부 : 4명 외부 : 3명	해당단계 연 구 비	정부 : 50,000천원 기업 : 천원 계 : 50,000천원
		해당단계 참여 연구원수	총 : 7명 내부 : 4명 외부 : 3명	총연구비	정부 : 50,000천원 기업 : 천원 계 : 50,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국에너지기술연구원 에너지저장연구센터		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 한국철도기술연구원		연구책임자 : 이 한 민		
요 약				보고서면수	127
- 교토의정서에 따라 2020년까지 온실가스를 최대 30% 감축해야 함. - 전동차 운행 時 발생하는 회생에너지 활용 필요 · 전동차 제동 시 발생하는 전기에너지를 「회생에너지」라고 하는데, 이렇게 발생된 회생에너지 중 전동차 사용 전기의 약 30%가 저장장치가 없어 사라지고 있음 - 회생에너지를 재활용하여 에너지를 저장하기 위한 전동차 온보드 전기에너지 저장기술개발 · 전동차에 에너지저장장치를 탑재하여 전동차 제동 시 발생하는 회생에너지를 저장하고 전동차 출발 시 저장된 전기를 전동차에 공급하여 에너지를 획기적으로 절감 - 본 보고서에는 정책, 경제, 기술적 분석을 통해 후보기술을 도출하여 타당성 검토를 통해 전동차 온보드 전기에너지 저장장치 핵심기술 개발을 위한 총 2개의 세부과제를 도출하고 RFP를 제시하였음. 세부과제 1 : 전동차 탑재용 에너지저장장치 시스템엔지니어링, 전력변환기 개발 및 시험평가 기술개발 세부과제 2 : 도시철도차량 탑재용 차세대형 High-speed 저장매체 기술 개발					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	차상용, 에너지저장장치, 전력변환장치, 저장매체, 전동차			
	영 어	On-board, Energy storage system, Power Conversion System, Storage medium, Electric train			

목 차

요약문

제 1 장 기술의 정의 및 필요성	1
제 1 절 기술의 정의	1
제 2 절 필요성	1
1. 기술적 측면	2
2. 경제적 측면	2
3. 정책적 측면	2
제 2 장 국내외 동향 및 환경 분석	4
제 1 절 국내외 정책동향	4
1. 국내 정책동향	4
2. 국외 정책동향	4
제 2 절 국내외 시장현황 및 전망	6
1. 국내 시장현황	6
2. 국외 시장현황	7
제 3 절 기술동향 분석	8
1. 관련 기술개발 동향	8
제 4 절 연구개발 기술 인프라 분석	12
1. 국내기술 및 산업동향	12
2. 국외기술 및 산업동향	15
제 5 절 종합분석	19
제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략	20
제 1 절 비전 및 목표	20
제 2 절 연구개발과제 주요내용 및 추진전략	23
1. 연구개발 목표	23
2. 정부지원 필요성	24
3. 연구개발 주요 내용	25
4. 과제별·연차별 기술로드맵 및 성과로드맵	82

제 4 장 사전타당성 검토	101
제 1 절 정책적 타당성	101
제 2 절 기술적 타당성	101
제 3 절 경제적 타당성	102
제 4 절 타당성 검토 종합	104
제 5 장 인력투입 계획 및 소요예산 산정	105
제 1 절 연구일정에 따른 인력투입계획	105
1. 인력투입계획	105
제 2 절 과제별 소요예산	107
1. 소요예산 예산산출	107
제 6 장 과제 제안요구서	112
제 1 절 과제 제안요구서(RFP)	112
1. 본 과제 RFP	112
2. 세부과제1 RFP	120
3. 세부과제2 RFP	125
제 2 절 평가기준설정	130
[참고문헌]	131

표 목 차

[표 1]	국외 철도정책 동향.....	5
[표 2]	운영기관 현황(2011. 3현재).....	6
[표 3]	국내 도시철도 및 경량전철 건설예정노선(향후 10년 이내).....	7
[표 4]	국내 보유기술 및 기술수준.....	13
[표 5]	국내 기술개발 수준.....	14
[표 6]	국내 연구 인프라수준.....	14
[표 7]	해외기술 및 산업동향.....	16
[표 8]	특허검색 키워드.....	16
[표 9]	검토 노선에 운행 중인 차량 종류 및 변전소 개수.....	30
[표 10]	대전 1호선(4량) 에너지 절감율.....	31
[표 11]	대구 2호선(6량) 에너지 절감율.....	33
[표 12]	인천 1호선(8량) 에너지 절감율.....	35
[표 13]	서울 4호선(10량) 에너지 절감율.....	37
[표 14]	중량 증가에 따른 소비전력비 및 절감비 분석.....	40
[표 15]	각 노선별 에너지 회생율.....	41
[표 16]	1년간 전국 도시철도차량의 전력사용량 및 전력요금.....	42
[표 17]	노선별 피크 절감율.....	42
[표 18]	1년간 전국 도시철도 도시철도 운영기관의 피크전력량 및 전력요금.....	43
[표 19]	해외 주요도시 철도차량 수.....	45
[표 20]	하이브리드형 매체들의 작동 원리와 기술개발 현황.....	68
[표 21]	하이브리드형 매체들의 장단점과 기술적 개선방향.....	69
[표 22]	에너지저장 매체 시스템의 주요 구성부분과 적용기술.....	71
[표 23]	성능시험 항목 별 시험방법 및 조건.....	72
[표 24]	공칭방전전류 조건.....	74
[표 25]	환경시험 항목 및 시험평가 조건.....	76
[표 26]	수명시험 항목 및 시험평가 조건.....	77
[표 27]	전동차 탑재용 전력변환장치 목표 사양.....	80
[표 28]	전동차 탑재용 저장매체 목표 사양.....	81
[표 29]	연구개발 단계별 추진일정.....	87
[표 30]	최종성과물 및 성과지표.....	88
[표 31]	전동차 탑재용 에너지저장장치와 지상용 에너지저장장치 비교.....	94
[표 32]	전동차 탑재용 에너지저장장치 개발과 무가선 트램 비교.....	98
[표 33]	인력투입계획.....	106
[표 34]	전체사업 소요예산.....	107
[표 35]	년차별 세부소요예산(정부출연금).....	108

그 립 목 차

[그림 1] Rhein-Neckar 지역에 6량/편성의 하이브리드 경량전철	8
[그림 2] 지멘스의 Citras HES(hybrid energy-storage system)	9
[그림 3] 알스톰의 CITADIS 경량전철	9
[그림 4] Li-ion 배터리를 탑재한 하이브리드 디젤전동차	10
[그림 5] 가와사키 중공업이 개발한 SWIMO	11
[그림 6] 무가선 저장트램	11
[그림 7] 국내 에너지저장장치 및 하이브리드시스템 분야 특허출원 및 논문 동향	12
[그림 8] 세계 에너지저장장치 및 하이브리드시스템 분야 특허출원 및 논문 동향	15
[그림 9] 특허점유율 및 증가율에 따른 포트폴리오 분석	17
[그림 10] 주요국의 기술 분야별 역점 기술 분야	18
[그림 11] 전동기 외형	25
[그림 12] 농형 유도 전동기의 구조	26
[그림 13] 고정자 권선	26
[그림 14] 3상 교류 전류	26
[그림 15] 회전자계	27
[그림 16] 전동기의 토크 발생 원리	28
[그림 17] 에너지의 방향	29
[그림 18] 에너지저장장치를 탑재한 전동차의 운행 패턴	30
[그림 19] 대전 1호선(4량) 피크절감율	32
[그림 20] 대구 2호선(6량) 피크절감율	34
[그림 21] 인천 1호선(8량) 피크절감율	36
[그림 22] 서울 4호선(10량) 피크절감율	38
[그림 23] 각 노선별 에너지 절감율	41
[그림 24] 각 노선별 피크 저감율	42
[그림 25] 에너지저장장치의 기본동작 - 에너지 충전	46
[그림 26] 에너지저장장치의 기본동작 - 에너지 방전	47
[그림 27] DC-DC 컨버터	47
[그림 28] DC-DC 컨버터의 방전모드 동작	48
[그림 29] DC-DC 컨버터의 충전모드 동작	48
[그림 30] 에너지 흐름 제어	49
[그림 31] 중형 및 대형 전동차 하부 구조	52
[그림 32] 전동차 탑재용 에너지저장장치 구성도	52
[그림 33] 단상 양방향 DC-DC 컨버터 회로	53
[그림 34] 정전류, 정전압 제어 블록도	54
[그림 35] 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터	54

[그림 36] 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터 정전압, 정전류 제어 블록도	55
[그림 37] 단상 양방향 컨버터의 리플	56
[그림 38] 3상 인터리브드 방식의 양방향 컨버터의 리플	56
[그림 39] INVERTER UNIT 구성	57
[그림 40] 해석을 위한 형상의 단순화	57
[그림 41] 우측 IGBT	58
[그림 42] 좌측 IGBT	58
[그림 43] 히트싱크의 열해석	59
[그림 44] Model 외부 모델링	60
[그림 45] Model 내부 모델링	60
[그림 46] Cover Temperature	60
[그림 47] IGBT Temperature	61
[그림 48] 유동 경로 Temperature	61
[그림 49] 유동 경로 Velocity	61
[그림 50] 에너지저장 매체 형식별 특성 비교 Ragone 그래프	66
[그림 51] 도시철도 차량의 제동시 동력변동 특성과 에너지저장 매체 형식	67
[그림 52] 배터리-슈퍼커패시터 하이브리드형 매체의 작동원리 및 기술현황	68
[그림 53] 콘덴서-슈퍼커패시터 하이브리드형 매체의 작동원리 및 기술현황	69
[그림 54] 전동차 M카 회생동력, 전류, 누적전력량	70
[그림 55] 정전류방전법 측정회로	73
[그림 56] 커패시터 단자 간 전압특성	73
[그림 57] 교류저항 측정 회로	74
[그림 58] 커패시터 단자 간 전압특성	75
[그림 59] 발열시스템 모델링	78
[그림 60] IGBT 온도상승 해석	79
[그림 61] 유효한 실제 저장에너지 양의 비교	80
[그림 62] 개발 목표 전력 및 에너지 밀도	81
[그림 63] 추진체계	83
[그림 64] 산학연 추진전략	85
[그림 65] 기술별 TRM(Technical Road Map)	86
[그림 66] 시험 검증 방안	90
[그림 67] 시험선 및 실노선 시험 로드맵	91
[그림 68] 시험선 운행 구간	91
[그림 69] 차세대전동차	92
[그림 70] 도시철도 운영기관 노선도	93
[그림 71] 도시철도 운영기관 전동차	93
[그림 72] 변전소별 지상용 에너지저장장치의 월별 에너지 절감율	95
[그림 73] 도시철도 기본 시스템	96
[그림 74] 다중모듈제어	99
[그림 75] 시스템구성도	100

요 약 문

1. 제목

- 도시철도차량 탑재용 회생에너지 저장 및 활용 기술개발 기획연구

2. 기획연구의 목적 및 필요성

○ 목적

- 회생에너지의 효율적인 사용 및 에너지절감을 위한 전동차 탑재용 에너지저장장치 개발 방안 수립

○ 필요성

- 전 세계적으로 기후변화로 상징되는 환경위기와 고유가로 대표되는 자원위기에 동시 직면하였고 석유에너지의 고갈과 환경오염에 의한 지구온난화를 방지하기 위한 도쿄의정서가 발효됨에 따라 CO₂ 배출을 억제하기 위한 신재생에너지 및 개발이 시급한 과제로 대두되고 있으며, 이에 발맞추어 국내외의 일반산업 및 철도산업 분야에서는 친환경 에너지원의 발전 비중 증가와 에너지저장장치의 활용을 대안으로 수립하여 활발한 연구를 진행 중에 있음.
- 전동차는 제동시에 생성되는 전기에너지를 효율적으로 사용하기 위해 회전 운동 에너지를 전기에너지로 회수하여 가선에 되돌리는 회생제동 기술을 적용하고 있으나 회생에너지 대부분이 활용되지 못하고 낭비되고 있음.
- 즉, 국내 철도차량에서의 경우, 발생하는 회생에너지는 전원으로 환원되어 가선의 전압전동에 직접적인 영향을 주게 되어 저항으로 열로서 낭비되거나, 정해진 전압범위를 넘어서게 되면 발전제동(Dynamic Brake)을 통하여 차량내 저항기에서 열로 소비되는 시스템으로 경제적으로 큰 손실이 발생되고 있는 실정임.
- 고유가 시대에 에너지를 절감하기 위해, 전동차의 제동시 순간적으로 발생하는 회생에너지

지를 전동차에서 직접 저장하여 가선에서 손실이 발생되지 않게 하고, 저장된 에너지를 필요시 에너지를 다시 사용하도록 하는 기술력확보가 절실히 필요함. 따라서 낭비되는 회생에너지를 절감하기 위한 전동차 탑재용 에너지 저장기술 개발은 필수적임.

3. 기획연구의 내용 및 범위

- 연구개발개발 동향 및 환경분석
- 연구목표 및 연구내용, 추진 전략 수립
 - 세부과제 도출 및 세부과제별 연구내용 수립
 - 과제별/연차별 연구내용 및 목표제시
 - 연구성과 달성 기준 및 측정 방안 마련
 - 연구목표의 구체화 및 정량화
 - 연구개발 타당성 검토
- 연구개발 사업제안서(RFP) 도출
 - 세부 추진 과제 도출 및 개발 목표 설정

4. 기획연구의 결과

- 국내외 정책 동향 및 환경분석, 기술분석을 통해 기술개발의 타당성 확보 및 연구방향 설정
- 전동차 탑재용 에너지저장장치 핵심 요소기술 개발을 위한 세부과제 도출
- 연구과제 및 연구개발 주요 연구개발 내용
 - 1세부: 시스템엔지니어링, 전력변환기 개발 및 시험평가 기술개발
 - 사업총괄목표관리 및 시스템엔지니어링
 - 초소형 DC-DC 컨버터 H/W, S/W 개발
 - 신규 전동차용 인버터 일체형
 - 기존 전동차용 탈부착형

- 전기저장 향상을 위한 Auto-Tuning 기술개발
 - Energy Management System(EMS) H/W, S/W 개발
 - 전동차 추진시스템 변경 및 차량탑재 기술개발
 - 시험선 및 실노선 실증시험
- 2세부: 차상용 차세대형 High-speed 저장매체 기술개발
 - 차상용 High-speed 저장매체 개발
 - 고전압 고출력 하이브리드형 저장매체 기술개발
 - 고에너지형 하이브리드 저장매체 기술개발
 - 저장매체 형식별 핵심소재 및 전극 기술개발
 - 저장매체 냉각시스템 기술개발
 - 저장매체 셀/팩/모듈 최적화 기술개발
 - 시험선 및 실노선 실증시험

5. 기대효과

○ 사회적 기대효과

- 현재 정부에서는 2020년까지 국가온실가스 감축을 배출전망치 대비 최대 30%를 절감하는 것을 목표로 제시함. 국가 온실가스 배출의 17%를 차지하고 있는 교통부문에서는 온실가스를 2020년까지 배출전망치 대비 33~37%를 감축해야함. 정부에서도 철도차량에 대한 규제를 검토하므로 이에 대한 대책 필요하므로 전동차 탑재용 에너지저장장치 개발을 통하여 획기적인 온실가스 배출저감을 통해 국가경제 영향성 제고 가능함
- 우리나라에서 차량 탑재용 에너지저장장치 개발은 필수적이고 기술적인 타당성을 충분히 보유하고 있으며 기술개발이 되면 철도뿐만 아니라 자동차, 버스, 건설기계, 풍력, 비행기, 선박, 한전 전력품질 보상장치 등 기술적용분야 확대 적용될 것임
- 전동차 탑재용 에너지저장장치의 개발은 기술적으로 초기단계로서 이의 개발을 통하여 해외 선진업체의 수입 대체 효과 및 전동차 제작 후발 국가로의 수출 확대를 기대할 수 있음

○ 기술적 기대효과

- 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술은 향후 저장매체에 의해 100% 운행이 가능한 전동차 및 전기자동차와 같은 미래형 동력시스템 핵심기술로 발전 가능
- 전동차 탑재용 초소형 DC-DC 제어시스템 및 고속충방전 저장매체 등의 기술 고도화를 통해 세계적인 기술 주도권 확보
- 기술 확보를 통한 국제 시장의 진입과 경쟁력 확보의 기회로 삼아, 향후 대세를 이루는 친환경 철도차량 분야의 선도적인 지위를 확보할 수 있는 밑바탕이 될 것으로 기대
- 독자적인 전동차 탑재용 에너지저장장치 원천기술 및 성능평가기술 확보는 해외 선진업체로부터 국내시장 보호하고 국내업체 기술수준 향상에 기여할 수 있어 대외 경쟁력 강화가 가능

○ 경제적 기대효과

- 전기에너지의 절감
 - 현재 국내에서 운행중인 도시철도용 차량의 수: 7,958량
 - 도시철도차량이 사용하는 전력요금: 1,991억원/년
 - 에너지 회생율: 전동차 소비전력(견인전력 및 SIV전력 합) 대비 30%
 - 전력요금 절감액: $1,991\text{억원} \times 0.3 = 597.3\text{억원/년}$
- 피크 저감
 - 현재 국내에서 운행중인 도시철도용 차량의 수: 7,958량
 - 도시철도 운영기관이 사용하는 피크 전력요금: 676억원/년
 - 피크 에너지 절감율: 기존 대비 20% 절약
 - 피크 전력요금 절감액: $676\text{억원} \times 0.2 = 135\text{억원/년}$
- CO₂ 저감
 - 전국 도시철도 차량이 소비하는 전력량: 2,212,598,351kWh/년
 - 국내의 1kWh 전력생산시 발생하는 CO₂의 양: 0.424ton/kWh
 - 도시철도 차량 운영으로 발생하는 CO₂의 양:

$$2,212,598,351\text{kWh} \times 0.424\text{kg/kWh} = 938,141.7 \text{ ton/년}$$

- 에너지저장장치 탑재용 전동차 운영으로 억제 가능한 CO₂의 양:

$$938,141.7\text{ton} \times 0.3 = 281,442\text{ton/년}$$

- 해당 CO₂ 양의 가구수: $2,212,598,351\text{kWh} \times 0.3 / 3,064\text{kWh} = 216,638\text{가구}$

- 가구당 연간 전력사용량: 3,064kWh(2008년 현재)

· 수입대체효과

- 국산화 및 핵심기술 확보에 의한 해외 의존도 감소

- 차량분야: 약 1조 4천억원

- 에너지저장장치 탑재용 전동차 수입예상가격: $20\text{억원/량} \times 7,100\text{량} = 142,000\text{억원}$

- 국산화 가격: $18\text{억원/량} \times 7,100\text{량} = 127,800\text{억원}$

$$\Rightarrow 142,000\text{억원} - 127,800\text{억원} = 14,200\text{억원}$$

· 수출기대효과

- 전동차 탑재용 에너지저장기술을 선점하여 해외시장 개척 가능

- 수출기대효과: 약 1조 8천억원

- 현재 세계 주요도시 전동차량수: 37,118량

- 현재 국내 차량업체의 세계시장점유율: 2.5%

- $37,118\text{량} \times 20\text{억원/량(가정)} = 742,360\text{억원}$

- $742,360\text{억원} \times 2.5\% = 18,559\text{억원}$

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

제 1 절 기술의 정의

- 전동차가 제동시 순간적으로 발생하는 전기에너지를 저장하고 필요시 저장된 에너지를 재 활용하여 에너지를 절감하기 위한 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술임.
- 전동차 탑재용 에너지저장장치는 전동차 소비에너지의 30%를 절감할 수 있는 기술로서 유럽의 경우, ERRAC(European Rail Research Advisory Council)는 미래 철도연구를 수행하기 European railway energy roadmap: towards 2030 로드맵을 구체적이고 상세하게 제시하고 있음. 전동차 탑재용 에너지저장장치는 탄소 제로화 및 에너지 효율화를 위한 에너지 절감 기술로서 가장 높은 중요성을 가지면서 반드시 개발해야 할 기술로 제시되고 있음. 그러나 국내에서는 에너지 절감을 위한 전동차 탑재용 에너지저장장치의 개발이력은 없는 실정임.

제 2 절 필요성

- 전 세계적으로 기후변화로 상징되는 환경위기와 고유가로 대표되는 자원위기에 동시 직면 하였고 석유에너지의 고갈과 환경오염에 의한 지구온난화를 방지하기 위한 도교의정서가 발효됨에 따라 CO₂ 배출을 억제하기 위한 신재생에너지 및 개발이 시급한 과제로 대두되고 있으며, 이에 발맞추어 국내외의 일반산업 및 철도산업 분야에서는 친환경 에너지원의 발전 비중 증가와 에너지저장장치의 활용을 대안으로 수립하여 활발한 연구를 진행 중에 있음.
- 전동차는 제동시에 생성되는 전기에너지를 효율적으로 사용하기 위해 회전 운동 에너지를 전기에너지로 회수하여 가선에 되돌리는 회생제동 기술을 적용하고 있으나 회생에너지 대부분이 활용되지 못하고 낭비되고 있음.
- 즉, 국내 철도차량에서의 경우, 발생하는 회생에너지는 전원으로 환원되어 가선의 전압전동에 직접적인 영향을 주게 되어 저항으로 열로서 낭비되거나, 정해진 전압범위를 넘어서게 되면 발전제동(Dynamic Brake)을 통하여 차량내 저항기에서 열로 소비되는 시스템으로 경제적으로 큰 손실이 발생되고 있는 실정임.

- 고유가 시대에 에너지를 절감하기 위해, 전동차의 제동시 순간적으로 발생하는 회생에너지를 전동차에서 직접 저장하여 가선에서 손실이 발생되지 않게 하고, 저장된 에너지를 필요시 에너지를 다시 사용하도록 하는 기술력확보가 절실히 필요함. 따라서 낭비되는 회생에너지를 절감하기 위한 전동차 탑재용 에너지 저장기술 개발은 필수적임.

1. 기술적 측면

- 전기에너지를 사용하는 전기동차의 효율 향상을 위해, 기존의 직류직권 전동기의 저항제어 차량을 교류전동기와 인버터에 의한 회생제동 차량으로 대체하고 있으나, 차량에 탑재된 팬토프래프, 변압기, 컨버터, 인버터 등의 전력변환기기의 효율 향상은 한계가 있음. 따라서 전동차에서 발생된 회생에너지를 활용하여 에너지 절감을 극대화할 수 있는 전동차 탑재용 에너지저장장치 개발이 절실함.
- 기술선진국에서도 이미 회생제동에서 발생한 전기에너지를 가선에 되돌리지 않고 다음번 주행에 직접 사용하는 전동차 탑재용 에너지저장장치를 개발하여 에너지를 절감하도록 연구를 진행하고자 함.

2. 경제적 측면

- 에너지 저장장치를 탑재할 경우 단지 차량 중량의 1/20 수준의 무게 정도만 증가하여 약 1.5% 정도 전력비가 증가하지만, 전동차 사용에너지 최대 30%를 절감 가능하여 차량 운행시 소요되는 전기에너지를 줄일 수 있는 장점이 있음.
- 전동차는 1일 평균 수송인원이 1천만명에 이르는 대규모 운송수단이고 최근 도시철도용 전기요금이 10% 이상 상승하고 있으므로 소비전력량을 기존 대비 30% 줄일 경우 철도차량 운영에 따른 경비가 절감되므로 해마다 상승하는 국민의 교통비 부담을 경감할 수 있는 국민경제적 기술이라 할 수 있음.

3. 정책적 측면

- 우리나라는 2020년까지 국가온실가스 감축을 배출전망치 대비 최대 30% 절감 목표를 설정하였음. 국가 온실가스 배출의 17%를 차지하고 있는 교통부문에서 온실가스를 2020년까지 배출전망치 대비 33~37% 감축해야함. 따라서 철도분야에서 가장 현실적 방안으로 전동차 탑재용 에너지저장기술 개발이 무엇보다 필요한 시점이라 하겠음.

- 국내 전기수요는 해마다 증가하여 1999년에 비해 2009년까지 발전설비의 용량은 1.54배로 증가하였으며, 2014년 까지 10,870[MW]의 신규 발전소의 증설계획을 가지고 있음. 전기사용량의 증가는 발전분야 뿐만 아니라 송전시설, 변전시설 등의 추가적인 부대시설을 요구하게 되므로 전기분야의 기반조성을 위한 막대한 투자가 필요하게 됨. 따라서, 대도시 집중화와 교통난 해소를 위한 대안으로 신규노선의 개발과 운영에 따른 철도분야의 전기에너지 사용량은 증가할 것으로 예측되므로 전동차 탑재용 에너지저장장치의 개발로 전기사용량을 줄여야 할 것임.

제 2 장 국내외 동향 및 환경 분석

제 1 절 국내외 정책동향

1. 국내 정책동향

- 주요 철도선진국은 철도분야의 경쟁력을 높이기 위하여 기술개발 계획을 수립하고 이에 의거하여 체계적인 연구개발을 수행하고 있어, 우리나라도 고유가 시대에 맞이하여 화석 연료 에너지를 절감하기 위한 차원에서 철도부문의 경쟁력 강화 및 기술수준의 제고를 위해 체계적인 연구개발계획의 수립을 통한 전략적 연구개발의 필요성이 점점 부각되고 있음.
- 최근의 철도 기술개발 현황을 살펴보면, 철도산업은 다양한 첨단기술이 융합된 고부가가치 기술 및 산업 활성화되어 철도시장이 지속적으로 확대되는 경향이 세계적 추세임. 이에 정부에서 각종 지원정책을 추진하고 있는데, 기술수요조사를 거쳐 로드맵(RTRM) 작성 및 재원확보를 통해 중장기 철도기술 개발 5개년 계획 수립('06)하여 시행하고 있음. 특히 R&D분야를 신설하여 예산확보 및 연도별 시행계획 수립·추진 등을 통해 '05년 500억원에서 '10년 2,100억원으로 국가 R&D사업을 확충하고 있음.
- 2008년 정부가 발표한 '기후변화대응 종합기본계획'에서 표명한 주요 실천과제로 철도분야의 수송부담율을 2019년까지 2배 수준으로 증가할 계획을 가지고 있음. 종래의 연간 수송인원 9억 7천만 명(2006년 기준)에서 2019년에는 14억 6천만 명의 수송이 가능할 것으로 추산되므로 보다 많은 국민이 철도차량 이용기회를 갖게 될 것임.
- 환경보존을 동반한 녹색성장의 주역인 철도는 CO₂ 배출을 최소화하며 대규모 여객 및 화물수송이 용이한 교통수단으로 전세계적으로 주목 받는 저탄소 녹색성장의 아이콘이 되고 있음.

2. 국외 정책동향

- 유럽의 경우 낮은 서비스와 높은 비용의 문제점 해소를 위해 경쟁체계를 도입, EU 25개국의 경우 경쟁체계 도입 이후 여객수송 비율이 '95년도에 3,220억 인·km에서 2003년에는 3,450억 인·km로 약 7.1% 증가하였음.

- 단순히 기술에 의한 경쟁이 아닌 각종 서비스체계에 대한 경쟁입찰 제도를 도입하여 타 운송수단과의 차별화된 서비스 경쟁을 통하여 철도교통수요의 증가를 통한 투자확대가 추진되고 있음.

표 1. 국외 철도정책 동향

국가	철도 정책 동향
영국	- 환경친화적인 교통, 교통의 통합을 교통정책의 핵심과제로 추진 (영국 교통부, 미래교통백서)⇒ 철도투자를 늘리는 추세
미국	- 고속철도를 21세기 주요 교통수단으로 인식하여 투자 확대 (철도예산; '99년 778백만달러 → '01년 1,179백만달러)
중국	- 중장기 철도망 계획 ('05~'20) 수립 고속(화) 철도 건설계획 : 당초 1천3백 km ⇒ 변경 1만 2천 km

자료: 2005 건설교통부, KOTI, 철도발전 중장기 계획수립 공청회

- 유럽의 ERRAC(European Rail Research Advisory Council)는 미래 철도연구를 수행하기 European railway energy roadmap: towards 2030 로드맵을 구체적이고 상세하게 제시하고 있음. 전동차 탑재용 에너지저장장치는 탄소 제로화 및 에너지 효율화를 위한 에너지 절감 기술로서 가장 높은 중요성을 가지면서 반드시 개발해야 할 아이템으로 제시되고 있음.

제 2 절 국내외 시장현황 및 전망

1. 국내 시장현황

- 국내 전동차는 표 2와 같이 17개 기관에서 보유 및 운영하고 있으며 보유차량수는 7,958량임. 또한 국토해양부에서 중장기 철도기본계획 수립에 따라 남북한간 연계철도, 동서-남북간 균형발전을 위한 네트워트형 간선철도 건설계획을 수립, 건설 또는 건설예정으로 건설완료 된 노선으로는 중앙선, 경춘선의 전철화, 경의선의 전철화 연장, 민간투자사업으로 건설 중인 수도권 노선으로는 신분당선, 원시-소사-대곡선, 신안산선 등과 부산-마산 간 노선 등이 추진되고 있음.
- 수도권/광역시 등 지방자치단체의 운영현황 및 향후 10년 이내에 건설예정인 노선수는 58개 노선, 노선길이 933,395km가 될 것임.

표 2. 운영기관 현황(2011. 3현재)

기관명	운영현황						비고
	차량기지	노선수	보유편성	보유차량수	역수	영업거리(km)	
한국철도공사		9	251	2340	200	478.9	
서울메트로	5	4	200	1954	120	137.9	
서울도시철도공사	6	4	200	1561	148	152	
부산교통공사	5	4	138	902	107	108.5	
인천메트로	1	1	34	272	29	29.4	
대구도시철도공사	3	2	64	384	56	53.9	
광주도시철도공사	1	1	23	92	20	20.5	
대전도시철도공사	2	1	21	84	22	22.6	
메트로9호선	1	1	24	96	25	25.5	
신분당선	-	1	6	72	6	17.3	
용인경전철	1	1	30	30	15	18.404	
의정부경전철	1	1	64	30	15	11.085	
부산김해경전철	1	1	25	50	21	23.5	
한국철도기술연구원	2	2	3	10	6	-	
코레일 공항철도	1	1	12	72	10	61	
인천공항 셔틀트레인	-	1	3	9	2	0.9	
인천공항 자기부상열차	1	1	-	-	6	6.1	
합 계	31	36	1,098	7,958	808	1,167.489	

표 3. 국내 도시철도 및 경량전철 건설예정노선(향후 10년 이내)

지 역	노선수	노선 연장(km)	비 고
서울	7	65.84	
인천	6	37.9	
경기	10	194.14	
수도권	4	148.57	
대전	4	94.195	
충청	1	11.58	
전북	1	24.29	
대구, 경북	4	29.92	
광주, 전남	3	72	
부산, 경남	18	254.96	
합 계	58	933.395	

※ 출처 : 미래철도 사이트(<http://www.frdw.co.kr/>) 참조

2. 국외 시장현황

- 세계 철도시장규모는 프로젝트를 포함해서 2007년 기준 1,200억 달러를 넘어서고 있으며, 그 중 차량분야가 37%인 453억 달러로 가장 크며, 서비스분야는 31%인 382억 달러, 인프라와 통신 및 제어분야가 382억 달러로 2000년 700억 규모에서 1.7배 증가한 규모를 가지고 있음. 2014년과 2016년까지의 세계철도시장의 장기전망은 1,500억 달러로 성장할 것으로 예측하고 있으며, 차량 35%, 서비스 33%, 인프라와 통신 및 제어분야가 31%를 차지할 것이라는 전망을 내놓고 있음. 특히, 철도차량분야는 현재 시장규모에서 2016년에는 2%에서 4% 증가할 것으로 예측하고 있음(2008년 9월 UNIFE 세계시장동향).
- 봄바르디어사와 히다치사는 하이브리드 전동차로 국내 시장의 문을 두드리고 있으나, 2008년 말 세계 경기침체에 의한 환율 상승으로 인천지하철 2호선에 도입할 차량의 선정이 국내업체로 대체되는 등의 사례로 볼 때 고효율 전동차 분야의 기술우위에 있는 글로벌 차량제작사의 국내시장 공략이 시작되었으며 앞으로 더욱 가속화될 것으로 전망됨.

제 3 절 기술동향 분석

1. 관련 기술개발 동향

- 전동차 탑재용 에너지저장장치는 2가지 방식이 있는데, 상시 충전방식과 순간 충전방식이 있음. 상시 충전방식은 가선으로부터 전기에너지를 장시간 충전하고 있다가 무가선 구간이 나타나면 그 구간을 가선으로부터 전기공급 없이 차량에 탑재된 고밀도 배터리를 통해 주행하는 방식임. 순간 충전방식은 순간 발생하는 회생에너지를 고속으로 저장하여 에너지를 절감하는 방식으로 세계적으로 개발되지 않음. 아래 설명은 상시 충전방식의 기술동향을 설명함.
- 봄바르디어 사는 2003년 독일의 Mannheim의 경전철에 전기이중층 커패시터를 탑재한 에너지저장장치를 선보였음. 직류 가선전압 750V를 공급받아 운전되는 이 경전철은 저장매체 (1900mm X 950mm X 450mm) x 2set의 크기를 갖고 954kg의 무게와 2kWh의 에너지를 저장할 수 있는 에너지저장장치를 탑재하여 제동 시 회수되는 전력을 차량에 저장하여 재사용하는 방식으로 기존 차량에 비해 20% 에너지를 절감하고 있음.



그림 1. Rhein-Neckar 지역에 6량/편성의 하이브리드 경량전철

- 독일의 지멘스사는 회생에너지 저장이 가능한 750V급 18kWh 용량의 고밀도 Ni-MH 배터리(826kg, 1670mm x 1025mm x 517mm)와 0.85kWh 용량의 슈퍼커패시터(820kg, 2000mm x 1520mm x 630mm)를 이용하여 운행 중 가선으로부터 에너지를 저장하고 가선이 없는 구간에서 저장된 에너지를 사용하는 방식의 차량을 개발하여, 포르투갈의 Almada와 Seixal

간에서 시험 운행하고 있음.



그림 2. 지멘스의 Citras HES(hybrid energy-storage system)

- 알스톰사는 에너지저장장치로 750V 4kWh 용량의 Ni-MH 배터리를 탑재한 하이브리드 경전철을 프랑스 니스에서 최대속도 30km/h로 시운전에 성공하였음. 이 차량의 특징은 최대 1km까지 무가선으로 운행을 할 수 있는 도심형차량으로 정차 역에서 충전하여 다음 역까지 저장된 전기에너지로 운행하는 방식임. 이는 제동 시 발생하는 순간적인 에너지를 고속 충/방전하여 에너지를 절감하는 목적이 아니라 고밀도 배터리를 사용하여 무가선 구간에서 운행하기 위한 것임.



그림 3. 알스톰의 CITADIS 경량전철

- 하이브리드 디젤 전기 동차 분야에서는 일본의 히타치 사는 2007년 동 일본 철도와 1500VDC, 15.2kWh의 Li-ion 배터리(611mm x 318mm x 103mm)를 탑재한 전동기 보조 (MA) 하이브리드 시스템을 개발 Koumi선에서 운영을 하고 있음. 기존의 디젤동차보다 10%의 연료를 절감하고, 운행 시 발생하는 가청소음을 30dB 감소하였으며, 유해물질 배출을 60% 저감하는 친환경차량을 개발하여 운행 중에 있음.



그림 4 Li-ion 배터리를 탑재한 하이브리드 디젤전동차

- 일본의 철도차량 제조사 가와사키 중공업은 115kWh용량의 니켈-수소 전지(570V DC)를 기반으로 한 저층 LRV 경량전철 SWIMO를 개발하여 2007년부터 그림과 같은 시험 차량을 운용하고 있음. SWIMO는 가선으로부터 전원을 받아 주행할 수 있을 뿐만 아니라, 역사에만 급전 설비를 설치하여 배터리를 충전하고 다음 역까지 무가선 운행이 가능하도록 설계하였음. 제동 시 발생하는 순간적인 에너지를 고속 충/방전하여 에너지를 절감하는 목적이 아니라 고밀도 배터리를 사용하여 무가선 구간에서 운행하기 위한 것임.
- 시험 차량은 3량 연결 3대차 형태로 그림과 같이 차량 당 대차가 하나씩 장착됨. 유럽에서 에너지 저장장치를 주로 집전장치가 달린 차량 지붕에 배치한다면, 일본에서는 Hi-Tram과 SWIMO 모두 차량 내부에 배터리를 배치하였음. 견인 전동기는 선두 차량의 대차에만 2대가 장착되며 공차 중량은 30톤임. 니켈-수소 전지의 용량은 570V, 115kWh로, 1회 충전 시 약 10km의 거리를 주행할 수 있음.



그림 5. 가와사키 중공업이 개발한 SWIMO

- 한국철도기술연구원에서는 연구 개발 중인 무가선 저상 트램 차량은 750V 162kWh급 고밀도 2차 전지(1900kg) (2000mm× 740mm × 400mm) x 4set 를 장착하고 무 가선 상태에서 충분한 견인력을 갖도록 설계하고 무가선 상태에서 40~50Kph, 가선상태에서 70Kph의 속도를 목표로 설계 및 제작 준비 중임. 이 연구 또한 제동시 발생하는 순간적인 에너지를 고속 충/방전하여 에너지를 절감하는 목적이 아니라 고밀도 배터리를 사용하여 무가선 구간에서 운행하기 위한 것임.



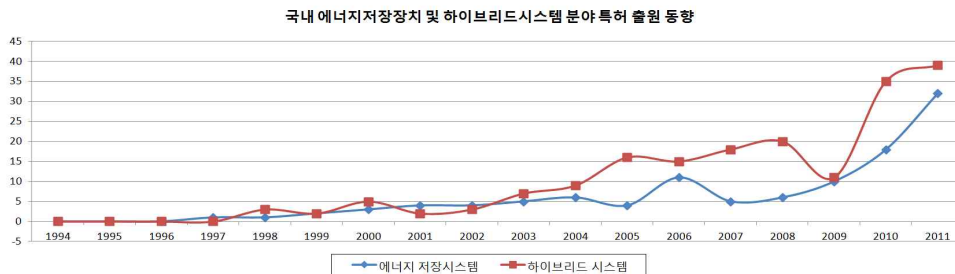
그림 6. 무가선 저상트램

제 4 절 연구개발 기술 인프라 분석

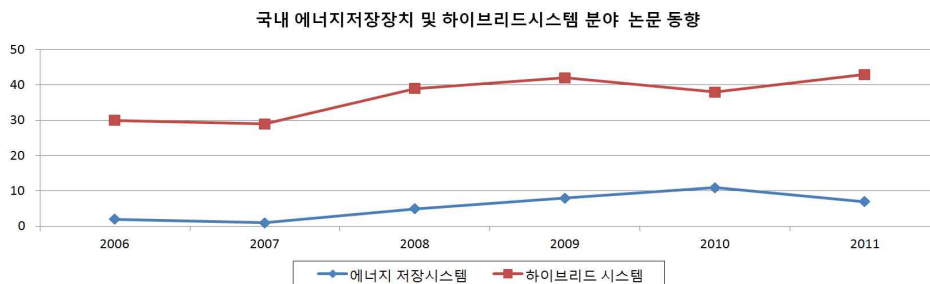
1. 국내기술 및 산업동향

가. 국내 주요 현황

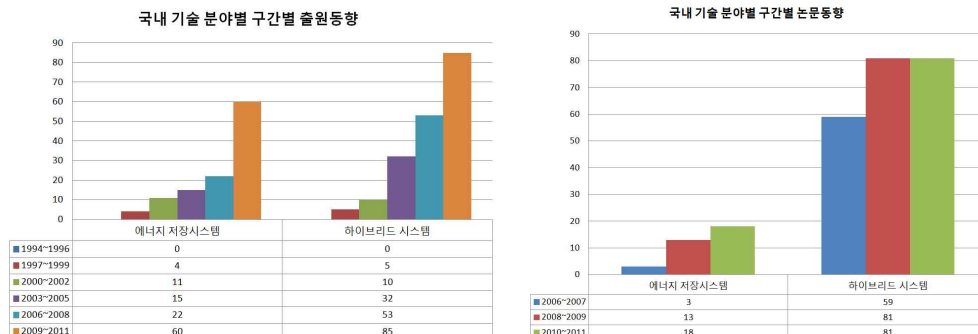
- 국내 기술 분야별 출원동향의 추이를 살펴보면, 에너지저장장치 분야는 1994~2006년 까지 성장이 미미하였으나 2007~2011년 동안 매우 활발하게 나타났으며, 하이브리드 시스템 분야는 1994~2003년 까지 미미하였으나 2004년부터 특허활동이 매우 활발해진 것으로 나타남.
- 국내 최근 5년간 논문도 큰 흐름에서는 상승하고 있음.



(a) 연간 출원동향



(b) 최근 5년간 논문동향



(c) 구간별 출원동향 (d) 최근 5년간 구간별 논문동향

그림 7. 국내 에너지저장장치 및 하이브리드시스템 분야 특허출원 및 논문 동향

- 국내 기술분야별 구간별 출원동향을 보면, 에너지저장장치 분야 및 하이브리드 시스템 분야 모두 특허 출원이 빠른 속도로 활발해지고 있는 것으로 나타남.
- 국내 기술분야별 구간별 최근 5년간 논문동향을 보면, 에너지저장장치 분야 및 하이브리드 시스템 분야 모두 활발해지고 있는 것으로 나타남.
- 최근 고유가 시대에 정부의 녹색성장 정책에 부합하기위해 에너지 절감을 위한 신기술 연구가 진행되는 것이 추세임.

표 4. 국내 보유기술 및 기술수준

기 관 명	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비 고
한국철도기술 연구원	전기철도 차량의 회생 에너지저장 시스템	전동차 및 엔진을 포함한 하이브리드형 에너지저장장치를 탑재한 시스템에 관한 특허	특허 등록번호 10-0981305 일자:2008.6.19
한국철도기술 연구원	직류 전동차 탑재용 회생전력 저장 시스템	직류 전동차에 에너지저장장치를 탑재한 시스템에 관한 특허	특허 출원번호 10-2009-0085748 일자:2009.9.11 PCT 번호 PCT-KR2009-7523 일자:2009.12.16
한국철도기술 연구원	교류 전동차 탑재용 회생전력 저장 시스템	교류 전동차에 에너지저장장치를 탑재한 시스템에 관한 특허	특허 출원번호 10-2009-0085746 일자:2009.9.11
한국철도기술 연구원	하이브리드 전기철도 차량의 제어방법	전동차 탑재용 에너지저장장치에 관한 것으로 주행상태에 따라 에너지 흐름제어에 관한 특허	특허 등록번호 10-1082001 일자:2011.11.3
한국철도기술 연구원	하이브리드 전기철도 차량의 에너지저장장치	모터구동용 인버터의 입력 측이나 출력 측에 병렬 또는 직렬로 배치하여 적절한 방식으로 전기철도 차량에 적용할 수 있는 하이브리드 전기철도 차량의 에너지 저장 장치에 관한 특허	특허 출원번호 10-2010-0091708 2010.9.17
한국철도기술 연구원	전동차의 회생전력 저장시스템	전동차 회생에너지를 슈퍼커패시터 저장부에 저장하고 가선전압 부족시 출력하는 에너지저장시스템에 관한 특허	특허 등록번호 10-0713840-0000 일자:2007.04.25
한국철도기술 연구원	전기이중층 커패시터를 이용한 도시철도의 회생전력저장시스템	전동차의 회생전력을 가선으로부터 공급받아 전기이중층 커패시터에 저장하고 필요에 따라 이를 다시 전동차에 공급하는 저장시스템에 관한 특허	특허 등록번호 10-0890951-0000 일자:2009.03.23
한국철도기술 연구원	도시철도의 회생전력 저장시스템	전동차 회생전력을 운동에너지 형태인 플라이휠 저장장치에 저장하고 필요시 다시 전기에너지로 변환하는 회생전력 저장시스템에 관한 특허	특허 등록번호 10-0659366-0000 일자:2006.12.12
한국철도기술 연구원	정보제공 기능을 구비한 회생에너지 저장시스템	에너지저장시스템의 에너지 입출력 상태, 고장 정보 상태 등 종합정보관리시스템관련 특허	특허 출원번호 10-2008-84472 일자:2008.8.28
한국철도기술 연구원	에너지저장장치를 이용한 지능형 에너지 관리 시스템	전기철도시스템의 에너지 공급과 운영을 최적화하기 위하여 에너지저장장치에 의한 회생에너지의 운영관련 특허	특허 출원번호 10-2011-0022654 일자:2011.3.15
한국철도기술 연구원	전동차의 하이브리드 원보드 시스템	DC-DC 컨버터, 에너지 저장부 및 인버터를 하나의 인버터 박스 내에 함께 수용하는 에너지저장장치관련 특허	특허 출원번호 10-2011-0082188 일자:2011.8.18

나. 국내 기술개발 및 인프라 수준

- 국내 전동차 탑재용 에너지저장장치 관련 현재 기술수준 및 인프라 수준은 선진국에 비해 다소 기술격차가 나지만 기술개발 완료시 선진국과 동등 수준이 될 것으로 예상됨.

표 5. 국내 기술개발 수준

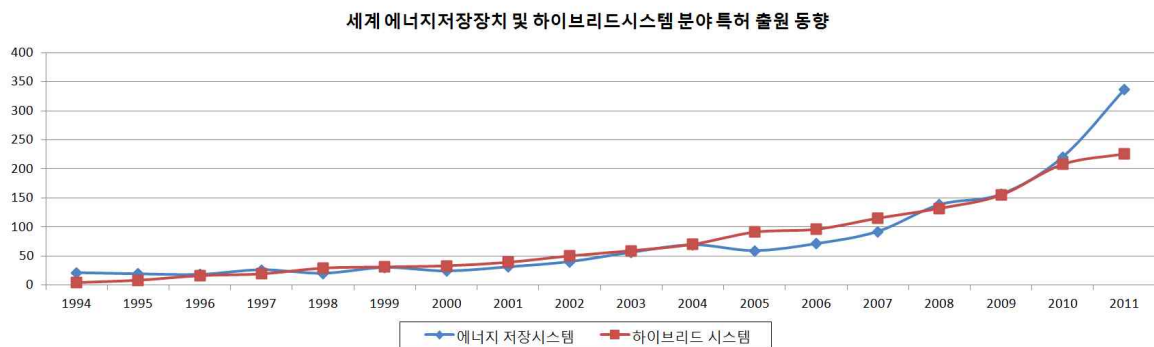
기술명	현재 기술수준			기술개발 완료시 국내 기술수준		
	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고
에너지저장장치 구성요소 인터페이스 및 통합	70	3	경쟁	100	0	성숙
전동차 탑재용 에너지저장 장치 최적 설계	60	5	도입	95	0.5	경쟁
시험선 운영 및 평가	80	2	성숙	100	0	성숙
전동차 탑재용 DC-DC 컨버터 개발	60	4	도입	95	0.5	경쟁
전동차 탑재용 DC-DC 컨버터 제어알고리즘 개발	60	4	도입	95	0.5	경쟁
전동차 변경 설계 및 전동차 탑재	70	3	경쟁	100	0	경쟁
에너지저장 매체 단셀 설계	85	2	성숙	100	0	성숙
에너지저장 매체 성능 최적화	85	2	성숙	100	0	성숙
에너지저장 매체 모듈 설계	70	3	도입	95	0.5	성숙
에너지저장 매체 시스템 제어 운용	70	3	성숙	95	0.5	성숙

표 6. 국내 연구 인프라수준

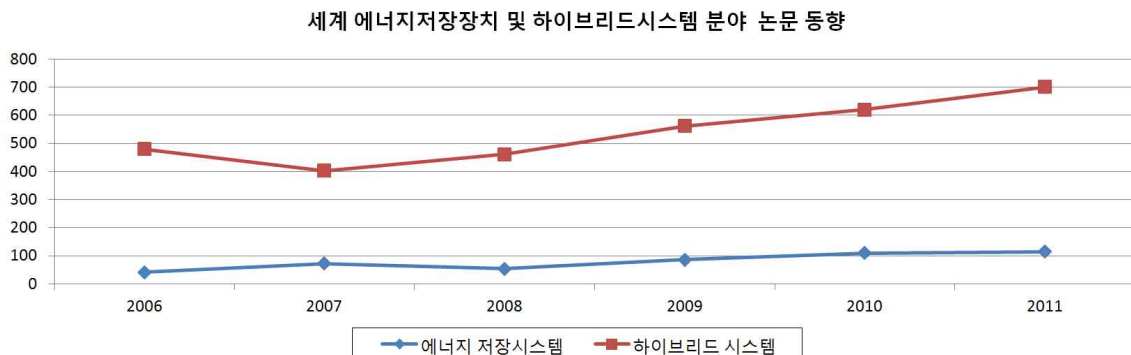
기술 분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
전동차 탑재용 DC-DC 제어 기술	시뮬레이션 해석, 시험(시험 용 전동차 및 시험노선 보유)		○			
	전력변환장치 충방전 제어 설 계 및 제작		○			
고출력형 High - speed 에너지저장 매체 기술	고속충방전/고전압/장수명 평 가설비, 대면적 전극코팅, 조 립 설비등		○			

2. 국외기술 및 산업동향

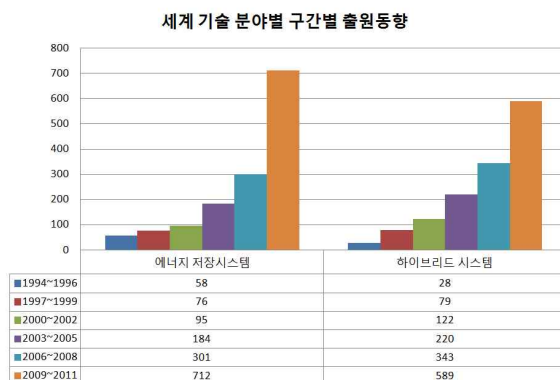
- 세계 기술 분야별 출원동향의 추이를 살펴보면, 에너지저장장치 및 하이브리드 시스템 분야 모두 1994~2011년 까지 꾸준히 상승하는 것으로 나타남. 또한 세계 기술분야별 구간별 출원 동향을 보면, 에너지저장장치 분야 및 하이브리드 시스템 분야 모두 특허 출원이 빠른 속도로 활발해지고 있는 것으로 나타남.
- 논문 역시 에너지저장장치 및 하이브리드 시스템 분야 모두 꾸준히 상승하고 있음.



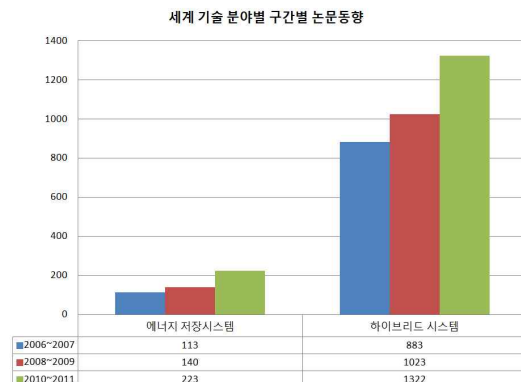
(a) 연간 출원동향



(b) 최근 5년간 논문동향



(c) 구간별 출원동향



(d) 최근 5년간 구간별 논문동향

그림 8. 세계 에너지저장장치 및 하이브리드시스템 분야 특허출원 및 논문 동향

표 7. 해외기술 및 산업동향

기 관 명	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비 고
SIMENS (독일)	Braking system used in road and rail vehicles comprises an emergency braking unit having an energy storage unit	에너지 저장장치를 포함한 전동차 제동시스템	특허 등록번호 102005045114 일자:2007.04.05
ALSTOM (프랑스)	System for supplying power to electrically propelled vehicles	역사 에너지에 필요한 에너지 공급을 위한 차량 탑재용 에너지저장시스템	특허 등록번호 06557476 일자:2003.05.06
HITACHI (일본)	Energy management for hybrid energy railway vehicle	차량 보조전력 공급장치로써의 에너지저장시스템의 관리	특허 등록번호 01925493 일자:2008.05.28
General Electric Company (미국)	Multimode hybrid energy railway vehicle system and method	차량 보조전력 공급장치로써의 에너지저장시스템 동작모드 및 방법	특허 등록번호 07430967 일자:2008.10.07
HITACHI, JREAST (일본)	Hybrid Railway Vehicle	2차전지 출력을 이용해 엔진 시동이 가능한 하이브리드 철도차량	특허 등록번호 20049811 일자:2008.03.06
RENAULT (프랑스)	Propulsion unit, for hybrid automotive vehicle, ships or railway locomotives, has locking/braking unit connected to gear train, and which enables changeover from electric drive to internal combustion engine drive	하이브리드 철도차량을 비롯한 자동차, 배를 위한 추진 시스템	특허 등록번호 2814989 일자:2002.04.12
BOMBARDIER (캐나다)	VEHICLE WITH BRAKING ENERGY ACCUMULATOR	차량 제동에너지의 저장 및 추진시스템에 활용하기 위한 제어	특허 등록번호 01470018 일자:2004.10.27

표 8. 특허검색 키워드

철도 에너지 저장장치	AB=[(하이브리드+(에너지*저장)+(에너지*(관리+제어))+슈퍼캐패시터+슈퍼커패시터+배터리+축전지)*(철도+열차+전동차+기관차)]	AB=[(hybrid+(energy*storage)+(energy*manage?)+(super*capacitor)+battery)*(rail?+train+locomotive)]
	한국 : 85건	미국 : 1,253건
	일본 : 1,115건	유럽 : 2,807건

- 한국특허의 특허점유율에 따른 특허 증가율을 살펴보면, 에너지저장장치 분야는 특허 점유율이 높고, 특허 증가율은 하이브리드 시스템이 높은 것으로 나타남.
- 미국특허에서는 증가율은 모든 분야에서 평균 정도의 수준을 유지하는 것으로 나타남.

- 일본특허에서는 에너지저장장치의 특허 점유율은 높고, 증가율은 하이브리드 시스템이 높은 것으로 나타나고 있으며, 유럽특허에서는 특허 증가율은 평균 수준이며, 특허 점유율은 에너지저장장치가 높게 나타남.

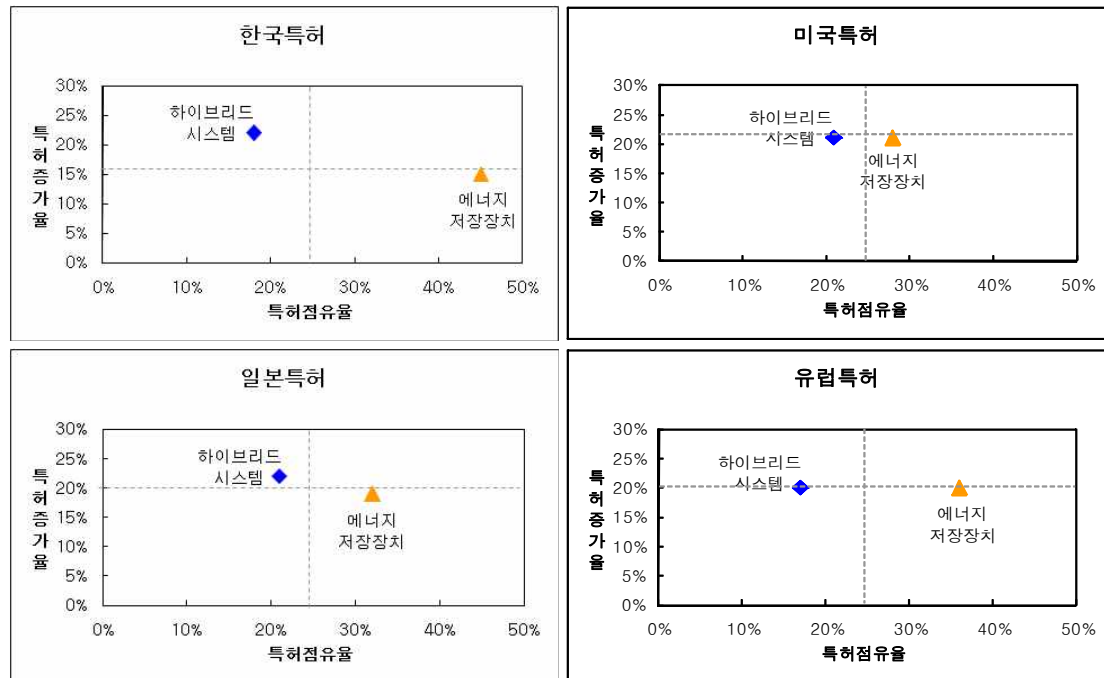


그림 9. 특허점유율 및 증가율에 따른 포트폴리오 분석

1. 제 1출원인(특허권자) 기준
2. 분석국가: 한국, 일본, 유럽, 미국
3. X축: 100%/기술분야 개수, Y축: 분석구간의 연평균 증가율의 기하평균값
4. 분석의미: 1사분면- 지속적으로 특허출원이 활발, 2사분면-최근 특허출원이 활발, 3사분면-초창기(도입기) 기술, 4사분면-최근 특허출원이 감소추세

- 특허활동지수(AI; Activity Index)를 통해 한국, 미국, 일본 및 유럽(독일)특허에서의 주요국가의 기술 분야별 특허활동도를 살펴본 결과, 하이브리드 시스템의 경우는 미국과 한국, 에너지 저장장치에서는 독일의 특허활동이 활발한 것으로 나타남.
- 에너지 저장장치 분야는 독일의 특허활동이 미국특허에서 매우 활발하게 나타나, 독일이 미국에서의 특허 권리 확보에 많은 관심을 갖고 있는 것으로 사료됨.

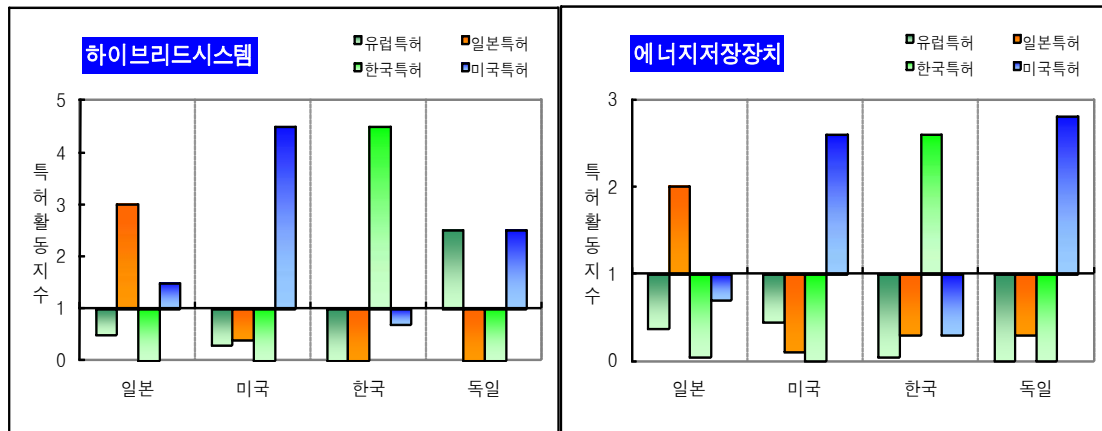


그림 10. 주요국의 기술 분야별 역점 기술 분야

1. 분석구간: 한국, 일본, 유럽 - ~ 2011년(출원년도), 미국 - ~ 2011년(등록년도)
2. 산출예시
 HEV시스템 한국 전체 건수중에서 일본출원인의 건수(20건)
 HEV시스템 한국특허에서 = HEV시스템 한국 전체건수(20건) = 2.0
 일본의 AI
 한국 전체 건수중에서 일본출원인의 건수(50건)
 한국 전체건수(100건)

제 5 절 종합분석

- 전 세계적으로 기후변화로 상징되는 환경위기와 고유가로 대표되는 자원위기에 동시 직면하였고 석유에너지의 고갈과 환경오염에 의한 지구온난화를 방지하기 위한 도교의정서가 발효됨에 따라 CO₂ 배출을 억제하기 위한 신재생에너지 및 개발이 시급한 과제로 대두되고 있으며, 이에 발맞추어 국내외의 일반산업 및 철도산업 분야에서는 친환경 에너지원의 발전 비중 증가와 에너지저장장치의 활용을 대안으로 수립하여 활발한 연구가 진행 중에 있음.
- 전동차는 제동시에 생성되는 전기에너지를 효율적으로 사용하기 위해 회전 운동 에너지를 전기에너지로 회수하여 가선에 되돌리는 회생제동 기술을 적용하고 있으나 회생에너지 대부분이 활용되지 못하고 낭비되고 있음.
- 유럽의 경우, ERRAC(European Rail Research Advisory Council)는 미래 철도연구를 수행하기 European railway energy roadmap: towards 2030 로드맵을 구체적이고 상세하게 제시하고 있음. 전동차 탑재용 에너지저장장치는 탄소 제로화 및 에너지 효율화를 위한 에너지 절감 기술로서 가장 높은 중요성을 가지면서 반드시 개발해야 할 기술로 제시되고 있음. 그러나 국내에서는 에너지 절감을 위한 전동차 탑재용 에너지저장장치의 개발이력은 없는 실정임.
- 기술동향으로 기존기술은 상시 충전방식으로 저장용량이 높은 고밀도형 배터리를 적용하여 에너지 절감을 목적보다는 저장된 에너지를 갖고 무가선 구간에서 추진장치 동력을 공급하기 위해 구성된 시스템으로 에너지 절감을 목적으로 개발하는 방식이 아님.
- 특허현황으로 최근 고유가 시대에 정부의 녹색성장 정책에 부합하기위해 에너지 절감을 위한 신기술 연구가 진행되는 것이 세계적인 큰 추세임.
- 전동차의 제동시 순간적으로 발생하는 회생에너지를 전동차에서 직접 저장하여 가선에서 손실이 발생하지 않게 하고, 저장된 에너지를 필요시 다시 사용하도록 하는 기술력 확보가 절실히 필요함. 따라서 낭비되는 회생에너지 사용을 위해 전동차 탑재용 에너지 저장기술 개발은 필수적임.

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제 1 절 비전 및 목표

○ 비전

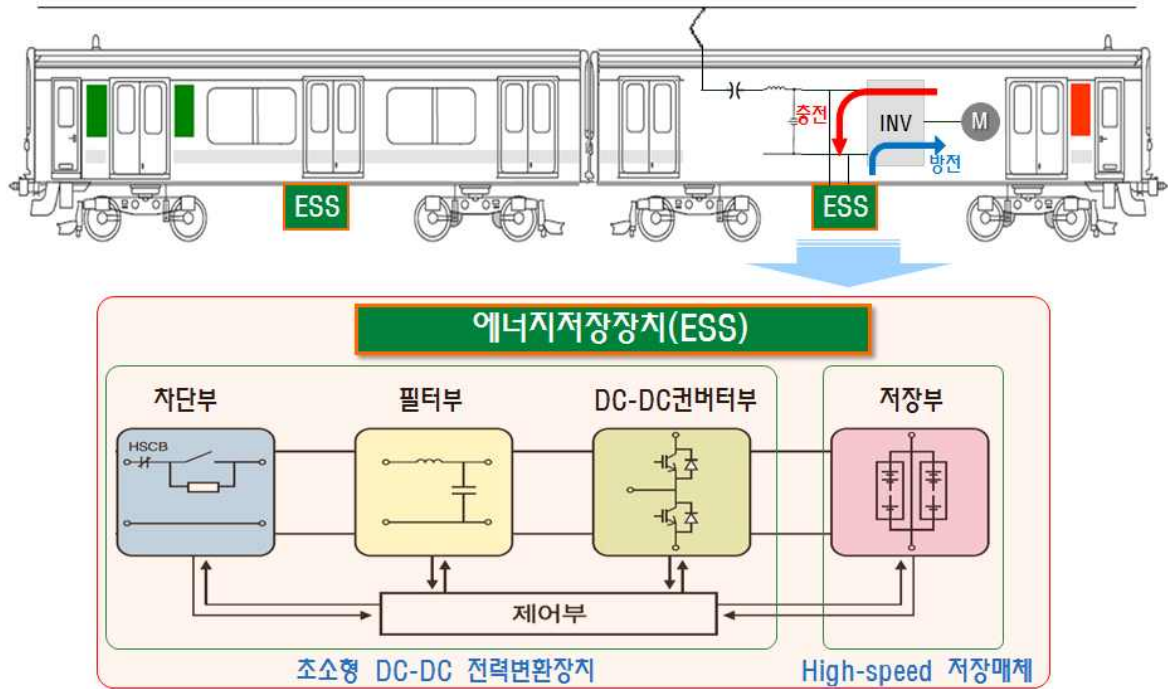


- 본 과제의 추진을 통해 궁극적으로 지향하는 방향은 세계 최고 수준의 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술 개발을 통해 혁신적으로 에너지를 절감하고, 이를 통해 세계시장 진출을 위한 기술적 우위 및 기술 경쟁력을 확보하는 것임.
- 기획연구를 통해 기술 동향 및 관련 시장성을 분석한 결과, 전세계적으로 에너지 절감에 대한 요구가 증대되고 있는 현 시점에서 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술개발을 통해 녹색 성장 및 경제적 효과 창출이 예상됨.

○ 목표

- 전동차 탑재용 에너지저장장치를 개발하기 위해서는 전동차 하부의 협소한 공간에 장착하기 위한 초소형 전력변환기 제작 및 제어기술, 에너지 절감율을 높이기 위한 에너지 저장 향상 기술, 순간적으로 에너지를 저장하기 위한 High-speed 저장매체 기술, 각 장치별 연계 및 통합을 위한 인터페이스 및 통합기술 등으로 구분할 수 있으며, 각 기술별로 핵심개발기술을 선정하고, 상용화를 위해 선진국을 뛰어 넘는 기술개발을 수행해야 함.
- 본 기획연구에서는 『전동차 탑재용 에너지저장장치』를 개발하기 위해 핵심기술로서 “초소형 DC-DC 컨버터 H/W, S/W 개발(인버터 일체형 전력변환기 기술, 탈부착형 전력변환기 기술)”, “차상용 High-speed 저장매체 기술개발(고전압/고출력 하이브리드 저장매체 기술, 고에너지형 하이브리드 저장매체 기술)”을 중요 후보과제로 도출하였음.
- 신속한 상용화 기술개발을 추진하기 위해서는 기술의 현장 적용 및 시험을 통해 확보 기술의 보완 및 최적화가 가능하도록, 시험선 및 실노선 실증 시험이 필요함.
- 기술성능의 보완을 위해서는 전문 인력과 기술 역량이 높은 산학연과의 공동 및 협력연구가 필요함.
- 따라서 전문인력을 바탕으로 기술역량이 있는 산업체, 학교, 연구소, 유관기관들과 공동(협동) 연구체계를 구축하고 기 확보된 원천기술의 보완 및 신기술 개발에 필요한 기반을 마련하여 이를 바탕으로 세부과제를 5년 내에 추진이 가능하도록 세부연구개발 계획을 수립하여 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술개발을 추진해야 할 것임.

○ 기술개발에 따른 미래상

전동차 탑재용 에너지저장장치 기술개발	
기술 구성	
	
현재(As-Is)	미래(To-Be)
-전동차 제동시 발생하는 회생에너지를 차상에서 직접 저장하는 기술이 없어 전동차 사용 에너지의 약 30% 이상이 사라지고 있음 -순간 발생하는 회생에너지에 의해 전압 변동율(20%이상) 상당히 커서 전장품 고장에 의해 유지보수 비용 증가 -현재 전동차 하부의 제한된 공간 및 최대 1,000kW 및 3.4kWh를 20초 이내에 순간적으로 저장할 수 있는 전력변환장치와 저장매체가 없음 -현재는 차량 하부의 제한된 공간에 설치할 수 있는 기술이 없음. 따라서 차량 상부 또는 실내에 설치할 수 밖에 없어 절연 및 승객의 안전에 문제가 있음	-산업용 전기요금은 매년 상승할 수 밖에 없으므로, 전동차 탑재용 에너지저장장치를 설치하여 도시철도 운영기관의 전기요금을 절감할 수 있어 경영개선이 가능함 -전차선 전압이 안정화되어 전장품 수명이 연장되고 유지보수 비용이 절감됨 -유가 상승으로 해마다 상승하는 국민의 교통비 부담 경감에 기여 -교통부문에서 국가온실가스 배출전망치 대비 30% 감축에 기여 -전동차 하부의 제한된 공간에 장착할 수 있는 에너지저장장치의 설계 및 제작기술 선점으로 시장 경쟁력 확보 가능함

제 2 절 연구개발과제 주요내용 및 추진전략

1. 연구개발 목표

가. 연구개발의 최종목표

- 전동차에서 발생된 회생에너지를 차상에서 직접 저장하여 에너지를 절감할 수 있는 기술개발

나. 연구개발의 세부목표

- 세부과제 1 : 전동차 탑재용 에너지저장장치 시스템엔지니어링, 전력변환기 개발 및 시험평가 기술개발
 - 에너지저장장치 구성요소 인터페이스 및 통합
 - 전동차 탑재용 에너지저장장치 최적 설계
 - 에너지저장장치 운영노선 적용성 및 분석
 - 전동차 탑재용 초소형 DC-DC 컨버터 H/W 및 S/W 개발
 - 신규 전동차용 인버터 일체형 기술개발
 - 기존 전동차용 탈부착형 기술개발
 - 에너지 저장효율 향상을 위한 Auto-Tuning 제어기술 개발
 - 저장매체 종합제어시스템 H/W, S/W 설계 및 제작
 - 초소형 DC-DC 컨버터/저장매체/종합제어시스템 통합 및 시험
 - 전동차 탑재를 위한 기존 전동차 추진시스템 변경
 - 초소형 DC-DC 컨버터 전동차 탑재
 - 에너지저장장치 실증 시험 및 효과 분석
- 세부과제 2 : 도시철도차량 탑재용 차세대형 High-speed 저장매체 기술 개발
 - 전동차 탑재용 차세대형 High-speed 단셀 및 모듈 저장매체 개발
 - 고전압 고출력 하이브리드형 저장매체 기술개발
 - 고에너지형 하이브리드 저장매체 기술개발
 - 전극/셀/모듈 설계 및 제작
 - 최적 용량 설계 및 냉각기술 개발

- 저장매체 제어 알고리즘 개발
- 차세대 저장매체 제작 및 시험
- 차세대 저장매체 전동차 탑재 및 시험

2. 정부지원 필요성

- 국민의 행복과 국가 전체적으로 필요한 기술개발과제의 경우 개발비용 전액을 민간이 부담하여서는 시장의 주도적 참여가 미흡할 수 있다는 점에서 “시장실패(market failure)”가 우려됨
 - 철도산업과 같은 공공재의 “시장실패” 문제에 대응하기 위해서는 정부차원의 개입과 지원을 통해 자원배분의 최적화를 이룩할 수 있음.
- 뿐만 아니라 향후 해외 철도 시장개척 시에 경쟁력을 확보를 위해서는 점진적으로 이에 대한 개발을 추진하여 나아감으로서 국가의 재정적 지원이 절실히 필요함.
- 현재 국내에 운행 중인 전동차는 대부분 회생제동을 사용하여 전기에너지로 변환하지만 발생된 에너지 중 극히 일부만을 재사용하여 그 효과가 작음. 따라서 회생에너지를 최대 활용하기 위해 차상에서 직접 저장할 수 있는 시스템 개발이 필요함.
 - 전동차 환경에 부합하는 저장장치의 개발을 통해 에너지를 절감함으로써 소비자의 철도 이용가격 억제가 가능할 뿐 아니라 향후 가격 경쟁력을 갖추므로써 해외 철도수요 증대에 따른 수출 확보도 가능
- 국내 전기철도차량 기술의 선진화를 위해서는 해외 기술을 뛰어 넘어야 함. 따라서 해외기술보다 앞선 전동차 탑재용 에너지저장장치에 대한 기술개발의 필요성이 절실함.

3. 연구개발 주요 내용

가. 도시철도차량 및 회생에너지 특성

(1) 전동차 회생 에너지 발생 원리

(가) 전동차에 사용되는 유도 전동기(3상 유도 전동기) 원리

아래 그림11에서 보는바와 같이 고정자, 회전자 모두 양방향으로 회전가능 하며, 고정자에는 자석, 회전자에는 도체를 배치해 두고, 외부와의 전기적인 접속은 없음.

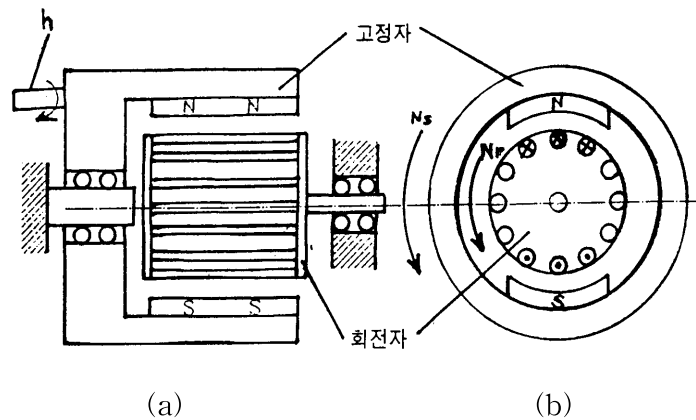


그림 11. 전동기 외형

여기서(a)의 HANDLE-h를 가지고 고정자를 회전시키면, 회전자보다 약간 늦은 속도로 같은 방향으로 회전함. (b)와 같이 고정자가 반시계 방향으로 회전수 N_s 로 회전하면, 회전자 도체에 전자 유도 작용에 의해 기전력이 발생하고 그림 가운데 방향으로 전류 I 가 유도됨. 이 유도전류 I 와 자속 ϕ 와의 전자력에 의해 회전자는 회전자속도 N_r 로 그림중의 방향으로 회전함.

(나) 구조

농형유도전동기 구조는 아래 그림에서 처럼 고정자측에는 회전자계를 발생하는 3상권선이 달려있음. 회전자는 철심의 안에 도체를 매립하고, 각각의 도체의 양단을 단락환으로 단락한 구조로 되어있기 때문에 도체와 철심간을 절연 할 필요가 없고, 간단하고 견실한 구조로 되어있음.

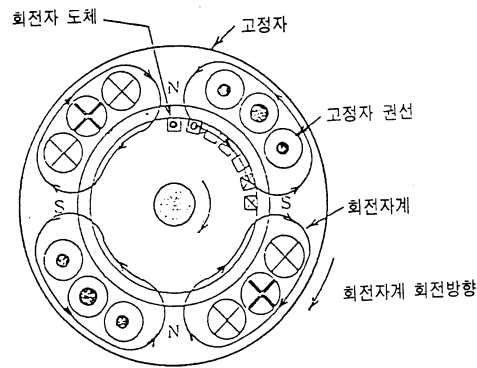


그림 12. 농형 유도 전동기의 구조

(다) 회전자계의 발생원리

아래 그림은 유도전동기의 고정자권선을 나타냄. 원통형의 철심의 내면(고정자)에 달린 Slot 사이에 삼조의 Coil을 전기각 120° 간격으로 배치하고 있음.(그림에서는 한상이 두개의 COIL로 이루어져 있음.) 이들의 COIL을 각각 U, V, W 상 권선이라하고, 그림에 표시한 3상 교류전류를 흘리는 것으로 고정자에 회전자계가 발생함.

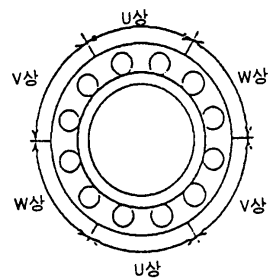


그림 13. 고정자 권선

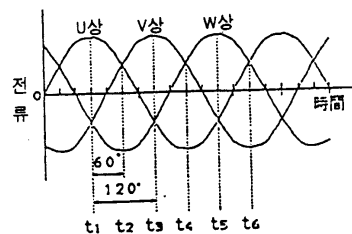


그림 14. 3상 교류 전류

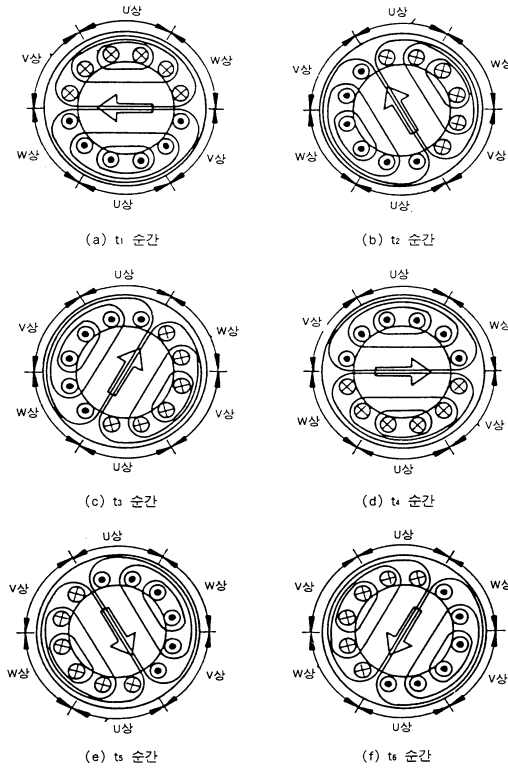
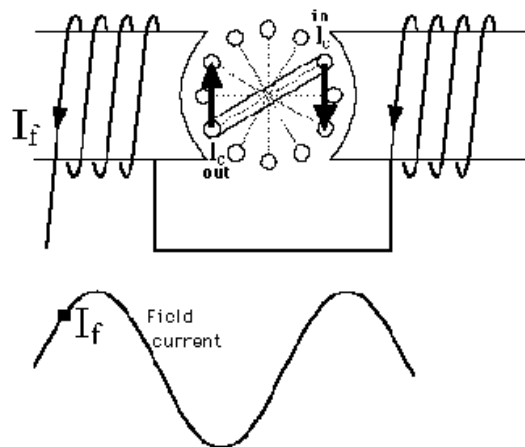


그림 15. 회전자계

(라) 토크발생원리 (Torque)

전동기의 회전자에는 다수의 도체가 고정자가 만드는 자극과 직각으로 배치되어 있으며, 각 도체에 힘이 작용하게 됨. 이 각 도체에 작용하는 힘이 서로 조화되어 회전자를 일정 방향으로 회전시키게 되며 이 합성 Moment를 Torque(토크)라고 함.



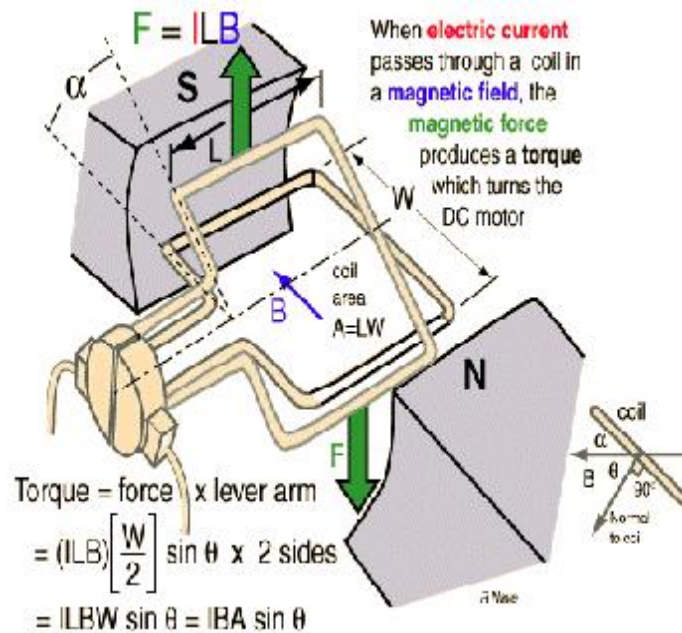


그림 16. 전동기의 토크 발생 원리

(마) 유도전동기의 특성(회생 에너지 발생 원리)

회전자의 회전속도는 회전자계의 회전속도에 거의 추종하지만, 완전하게는 일치하지 않음. 이 일치하지 않는 부분을 슬립이라고 함.

슬립은 유도전동기에 있어서 대단히 중요한 제어요소가 됨. 역행시, 회전자에 부하가 걸리면 회전자는 회전자계보다 약간 늦게 회전한다. 한편 회생 제동시는 회전자쪽이 약간 빨리 회전함. 회전자계의 회전주파수를 $f_1(\text{Hz})$, 실제의 회전자의 회전 주파수를 $f_m(\text{Hz})$ 이 라고 하면 다음식이 성립함.

$$f - f_m = f_1 \quad f : \text{슬립 주파수}$$

$$\frac{f_1 - f_m}{f_1} = S \quad S : \text{슬립률}$$

(회생시 $f_1 < f_m$ 에 의해 $f < 0$, $S < 0$)

역행시(견인시) $\Rightarrow$ 회전자 속도 < 회전자계 속도

- 회전자계에 전차선의 전압을 가변하여 공급함으로 회전자에 유도되어 회전자가 회전함으로 견인이 이루어 짐.

회생 제동시 $\Rightarrow$ 회전자 속도 > 회전자계 속도

- 관성에 의해 회전하는 차륜(회전자)에 의해 회전자계에 전류가 유도되어 발생하는 에너지

지가 회생 에너지임. 즉, 회생 제동시 관성에 의해 회전하는 힘을 다시 전기적에너지로 환원함을 의미 함.

- 회생 에너지 전차선 공급 : 전동차 회생 제동에 의해 발생된 에너지는 아래 그림에서 보는 바와 같이 전차선으로 회귀됨.
- 회생 에너지 생성 차단 : 회생 제동시 전차선 전압이 높을 경우 전동차 에서 회생 제동량을 단계별로 줄여 기계적인 제동(공기제동) 으로 전환됨. 즉, 그만큼 에너지가 전동차에 내장된 저항으로 없어지게 됨.

전차선(DC1500V)

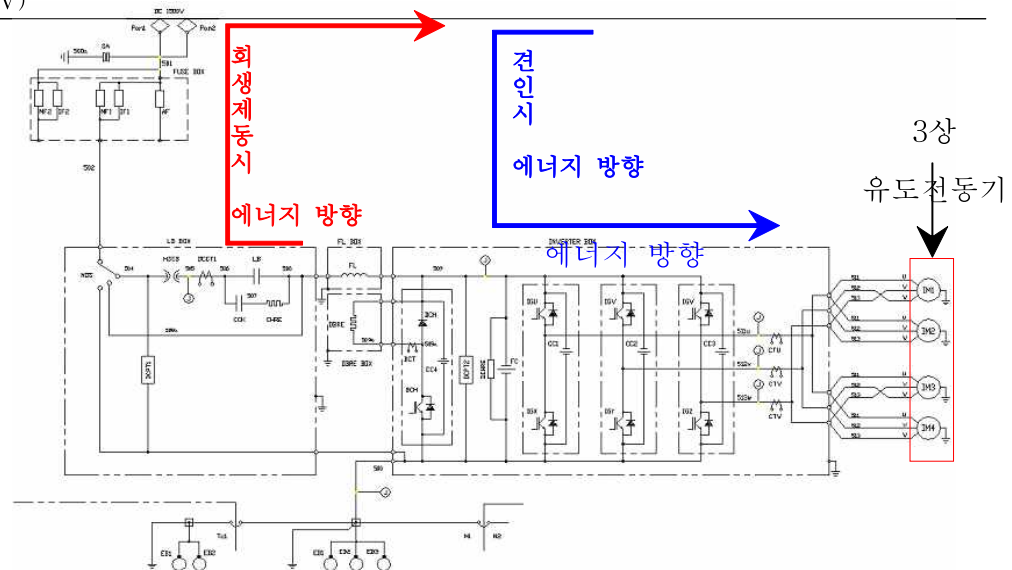


그림 17. 에너지의 방향

(2) 전동차 탑재용 에너지저장장치 특성 분석

- 현재 전기철도에서 운행하는 전동차는 제동시 견인전동기가 발전기로 동작하여 전기에너지를 만들게 되는데 이 에너지를 회생에너지라고 함. 회생에너지는 전동차가 사용한 에너지의 약 40% 정도로 많은 양이 발생하지만 대부분이 불필요한 열발생으로 사라지고 있음.
- 에너지저장장치를 탑재한 전동차의 운행 패턴은 아래 그림과 같음. 회생시 발생한 에너지를 저장장치에 저장하고 전동차 출발시 부족한 전기를 전동차에 공급하여 에너지 절감, 피크저감 및 CO₂를 절감할 수 있음.

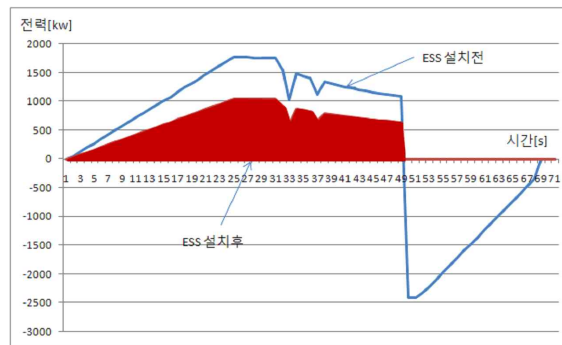


그림 18. 에너지저장장치를 탑재한 전동차의 운행 패턴

- 국내에서 전동차는 아래 표와 같이 4량, 6량, 8량, 10량이 운행 중에 있음. 따라서 본 기획 연구에서는 4량(대전 1호선), 6량(대구 2호선), 8량(인천 1호선), 10량(서울 4호선)의 전동차를 대상으로 에너지 절감, 피크 저감에 대해 분석함.
- 국내 도시철도 차량 중 M카의 중량이 가장 큰 경우 42ton(4호선)으로 만차시 62ton(42ton + 20ton = 62ton)이 되는데, 도시철도차량 안전기준 정차 차량의 축중기준이 16톤 이하이므로 에너지저장장치가 최대 2ton(64ton ÷ 4축 = 16ton)까지 가능함. 실제 에너지저장장치 제작을 위해서는 여유 무게를 두어야 하므로 2ton의 75%인 1.5ton을 M카당 중량이 증가하는 것으로 분석함.
- 4량 편성은 2M2T 구성이므로 3.0ton(2대설치) 증가, 6량 편성은 3M3T로서 4.5ton(3대설치) 증가, 8량 편성은 4M4T로서 6.0ton(4대설치) 증가, 10량 편성은 5M5T로서 7.5ton(5대설치)이 증가하는 것으로 분석함.

표 9. 검토 노선에 운행 중인 차량 종류 및 변전소 개수

편성	노선	변전소 개수
4량 1편성	대전 1호선	7
6량 1편성	대구 2호선	9
8량 1편성	인천 1호선	8
10량 1편성	서울 4호선	9

(가) 노선별 분석

① 대전 1호선

㉔ 입력데이터

차량제원

- 최고속도 : 80 [km/h]
- 가감속도 : 가속도 : 3.0[km/h/s]
감속도 : 상용 3.5[km/h/s]
- 전동차 편성 : 4량 (TC-M-M-TC)
- 전동차 무게 : 118.2[ton] (Tc: 28.7ton, M: 30.4ton)
- 제어방식 : VVVF제어
- 주전동기 : 210kW
- 보조동력 : 150 kVA

㉕ 에너지 절감

판암~반석 구간을 4량 전동차에 대하여 1회 왕복 주행하는 상황을 열차데이터, 선로데이터를 사용하여 전동차 주행 시뮬레이션을 수행함. 시뮬레이션 결과는 다음과 같음.

- 1회 왕복 (판암~반석)

표 10. 대전 1호선(4량) 에너지 절감율

구 간	위치	역간 거리	정차 시간	운행 시간	누계	역행	회생	보조
	[m]		[sec]		[kWh]			
판암-->신흥	940	940	0	90.6	90.6	7.7	-4.6	4.5
신흥-->대동	2210	1270	30	105.4	226.1	8.4	-5.5	5.1
대동-->대전	3240	1030	30	91.6	347.7	8.1	-4.6	4.6
대전-->중앙로	4010	770	30	77.4	455.1	7.1	-4	4
중앙로-->중구청	4730	720	30	93.3	578.4	8.9	-2.4	4.6
중구청-->서대전	5540	810	30	87.7	696	7	-3	4.4
서대전-->오룡	6360	820	30	87.1	813.1	8.4	-3.3	4.4
오룡-->용문	7830	1470	30	119.1	962.2	11.8	-5.2	5.6
용문-->탄방	9020	1190	30	118.8	1110.9	13.1	-3.6	5.6
탄방-->시청	9800	780	30	80.9	1221.9	7.3	-4	4.2
시청-->정부청사	10770	970	30	92.9	1344.7	7.2	-3.5	4.6
정부청사-->갈마	11300	530	30	65.7	1440.4	5.5	-2.9	3.6
갈마-->월평	12270	970	30	92.2	1562.6	9.3	-4.1	4.6
월평-->갑천	13290	1020	30	100	1692.7	10	-4.2	4.9
갑천-->유성온천	14570	1280	30	112.5	1835.2	11.7	-4.5	5.3
유성온천-->구암	15640	1070	30	104.5	1969.7	11.6	-3.6	5
구암-->현충원	16480	840	30	88.4	2088.1	8.7	-3.4	4.4
현충원-->월드컵	17520	1040	30	102.3	2220.4	9.9	-4.2	5

월드컵-->노은	18340	820	30	94.3	2344.7	9.3	-3.2	4.7
노은-->지족	19490	1150	30	111.8	2486.5	12.4	-3.7	5.3
지족-->반석	20480	990	30	91.3	2607.8	8.6	-4.6	4.5
반석-->지족	21470	990	0	93.9	2701.7	9.7	-3.6	4.6
지족-->노은	22620	1150	30	103.2	2834.8	9.4	-5.4	5
노은-->월드컵	23440	820	30	83.3	2948.2	7.6	-4.2	4.2
월드컵-->현충원	24480	1040	30	101.7	3079.9	7.8	-3.3	4.9
현충원-->구암	25320	840	30	82.3	3192.2	7.8	-4	4.2
구암-->유성온천	26390	1070	30	93.4	3315.5	8.6	-5.2	4.6
유성온천-->갑천	27670	1280	30	110.9	3456.4	10.7	-5	5.3
갑천-->월평	28690	1020	30	97	3583.4	9.7	-4.2	4.8
월평-->갈마	29660	970	30	94.5	3708	9.6	-4.2	4.7
갈마-->정부청사	30190	530	30	69.5	3807.4	5.8	-2.4	3.7
정부청사-->시청	31160	970	30	96.3	3933.8	9.8	-3.7	4.7
시청-->탄방	31940	780	30	89.5	4053.3	8.6	-3	4.5
탄방-->용문	33130	1190	30	104.7	4188	10	-5	5
용문-->오룡	34600	1470	30	119.1	4337.1	12.6	-5	5.6
오룡-->서대전	35420	820	30	82.2	4449.3	7.8	-3.9	4.2
서대전-->중구청	36230	810	30	84.2	4563.5	8	-3.3	4.3
중구청-->중앙로	36950	720	30	79.2	4672.7	6.3	-4.3	4.1
중앙로-->대전	37720	770	30	81.2	4783.9	8.2	-3	4.2
대전-->대동	38750	1030	30	103.6	4917.5	10.8	-3.6	5
대동-->신흥	40020	1270	30	122.3	5069.8	14	-3.6	5.7
신흥-->관암	40960	940	30	113	5212.9	11.2	-3.1	5.4
합계						386	-165.1	197.6
에너지 절감율						28.3 %		

㉡ 피크 저감

피크전력은 여름철 7, 8, 9월 및 당월 기간 동안의 15분 평균 전력 중 가장 높은 값을 최대 수요전력, 즉 피크전력으로 지정하고 있음. 따라서 기존 전동차와 에너지저장장치를 탑재한 전동차 운행으로 구분하여 각 변전소별 15분 평균 피크전력을 시뮬레이션 하고 저감율을 계산함.

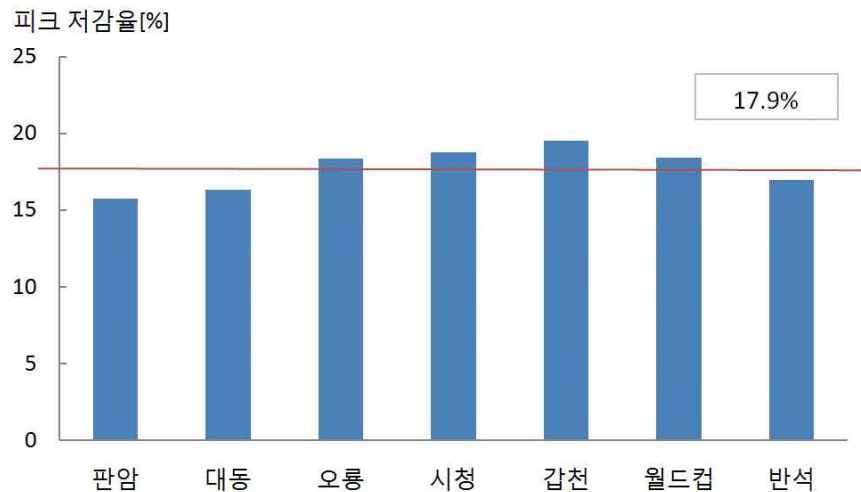


그림 19. 대전 1호선(4량) 피크절감율

② 대구 2호선

㉠ 입력데이터

차량제원

- 최고속도 : 80 [km/h]
- 가감속도 : 가속도 : 3.0[km/h/s]
감속도 : 상용 3.5[km/h/s]
- 전동차 편성 : 6량 (TC-M1-T-M2-M1-TC)
- 전동차 무게 : 186.5[ton]
(Tc: 31.1ton, M1: 33.8ton, M2: 31.3ton, T: 25.4ton)
- 제어방식 : VVVF제어
- 주전동기 : 210kW
- 보조동력 : 170 kVA

㉡ 에너지 절감

문양~사월 구간을 6량 전동차에 대하여 1회 왕복 주행하는 상황을 열차데이터, 선로데이터를 사용하여 전동차 주행 시뮬레이션을 수행함. 시뮬레이션 결과는 다음과 같음.

- 1회 왕복 (문양~사월)

표 11. 대구 2호선(6량) 에너지절감율

구 간	위치	역간 거리	정차 시간	운행 시간	누계	역행	회생	보조
	[m]		[sec]		[kWh]			
문양-->다사	3160	2890	0	179	179	33.1	-14.1	9.9
다사-->대설	4200	1040	30	80.6	289.6	15.3	-8.5	5.2
대설-->강창	5530	1330	30	93.4	413	19.9	-8.5	5.8
강창-->계명대	6860	1330	30	99.7	542.8	24.1	-7.9	6.1
계명대-->성서공단	8050	1190	30	89.9	662.7	22.7	-7.8	5.7
성서공단-->이곡	8910	860	30	75.3	768	18.8	-7.5	5
이곡-->용산	10120	1210	30	93.6	891.6	21.3	-8.9	5.8
용산-->죽전	11040	920	30	75.8	997.4	19.6	-7.5	5
죽전-->감삼	11930	890	30	76.7	1104.1	19.3	-7.7	5
감삼-->두류	12800	870	30	76	1210.1	19.3	-7.3	5
두류-->내당	13630	830	30	74.1	1314.2	18.7	-6.9	4.9
내당-->반고개	14460	830	30	72.7	1416.9	18.7	-6.8	4.9
반고개-->서문시장	15400	940	30	76.1	1523	18.9	-7.4	5
서문시장-->반월당	16350	950	30	79	1632	18.3	-6.9	5.1
반월당-->경대병원	17270	920	30	79.2	1741.2	20.4	-7.9	5.2
경대병원-->대구은행	18380	1110	30	87.3	1858.5	21.3	-7.9	5.5
대구은행-->범어	19350	970	30	78.4	1966.9	18.7	-7.7	5.1
범어-->수성구청	20260	910	30	77.4	2074.3	20.5	-7.1	5.1
수성구청-->만촌	21130	870	30	75.1	2179.4	19.4	-7.1	5
만촌-->담터	22100	970	30	82.5	2291.9	23	-6.7	5.3
담터-->연호	23880	1780	30	113.8	2435.7	18.5	-7.5	6.8

연호-->대공원	24830	950	30	75.8	2541.5	19.3	-7.5	5
대공원-->고산	26030	1200	30	91.2	2662.8	22.6	-7.1	5.7
고산-->신매	27180	1150	30	84.5	2777.3	19.2	-7.3	5.4
신매-->사월	28280	1100	30	83.5	2890.8	17.9	-7.4	5.4
사월-->신매	29380	1100	0	84.4	2975.2	18.8	-7.6	5.4
신매-->고산	30530	1150	30	86.7	3091.8	21	-7.7	5.5
고산-->대공원	31730	1200	30	91.2	3213	18.1	-8.2	5.7
대공원-->연호	32680	950	30	76.7	3319.7	17.5	-7.4	5
연호-->담티	34460	1780	30	118.2	3467.9	29.9	-7.1	7
담티-->만촌	35430	970	30	80	3578	16.1	-8.5	5.2
만촌-->수성구청	36300	870	30	72.3	3680.3	17.2	-7.7	4.8
수성구청-->범어	37210	910	30	74.4	3784.7	15.6	-8	4.9
범어-->대구은행	38180	970	30	80.4	3895.1	20.9	-8	5.2
대구은행-->경대병원	39290	1110	30	87.5	4012.6	22	-9	5.5
경대병원-->반월당	40210	920	30	76.8	4119.4	17.5	-8.2	5
반월당-->서문시장	41160	950	30	78.8	4228.2	17.8	-7.5	5.1
서문시장-->반고개	42100	940	30	78.5	4336.7	20.3	-7.4	5.1
반고개-->내당	42930	830	30	72.8	4439.5	17.1	-7.5	4.9
내당-->두류	43760	830	30	72.5	4542	16.5	-8	4.8
두류-->감삼	44630	870	30	73.1	4645	16.9	-7.9	4.9
감삼-->죽전	45520	890	30	73.8	4748.8	17.9	-7.5	4.9
죽전-->용산	46440	920	30	75.7	4854.5	18.3	-7.8	5
용산-->이곡	47650	1210	30	94	4978.5	24.7	-8.7	5.9
이곡-->성서공단	48510	860	30	73.3	5081.8	17.9	-8	4.9
성서공단-->계명대	49700	1190	30	87.7	5199.5	19.9	-7.3	5.6
계명대-->강창	51030	1330	30	98.6	5328.2	24.2	-7.4	6.1
강창-->대실	52360	1330	30	94.7	5452.9	21.7	-8.3	5.9
대실-->다사	53400	1040	30	87.8	5570.7	25.6	-6.3	5.6
다사-->문양	56290	2890	30	179.7	5780.4	47.3	-13.7	9.9
합계						1,029.5	-395.6	275.7
에너지 절감율						30.3%		

㉔ 피크 저감

피크전력은 여름철 7, 8, 9월 및 당월 기간 동안의 15분 평균 전력 중 가장 높은 값을 최대 수요전력, 즉 피크전력으로 지정하고 있음. 따라서 기존 전동차와 에너지저장장치를 탑재한 전동차 운행으로 구분하여 각 변전소별 15분 평균 피크전력을 시뮬레이션 하고 저감율을 계산함.

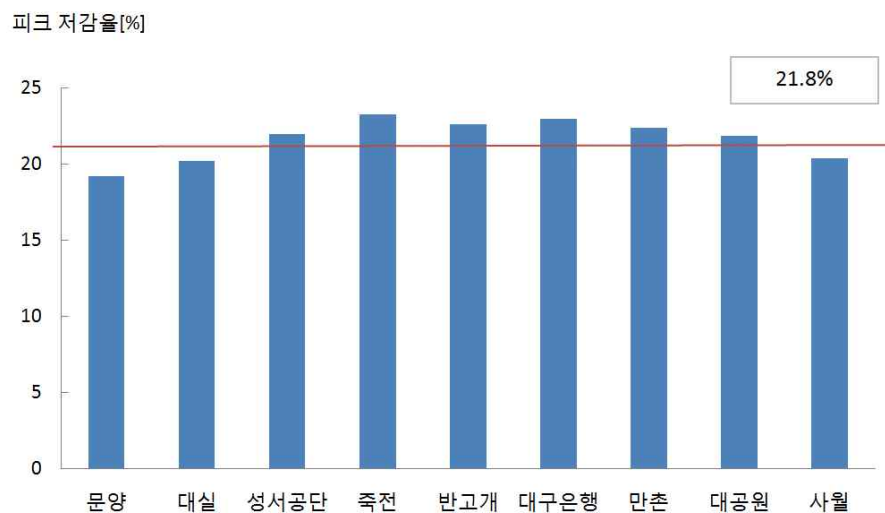


그림 20. 대구 2호선(6량) 피크절감율

③ 인천 1호선

㉠ 입력데이터

차량제원

- 최고속도 : 100 [km/h]
- 가감속도 : 가속도 : 3.0[km/h/s]
감속도 : 상용 3.5[km/h/s]
- 전동차 편성 : 8량 (TC-M-M-T-T-M-M-TC)
- 전동차 무게 : 243.8[ton]
(Tc: 31.5ton, M: 32.0ton, T: 26.4ton)
- 제어방식 : VVVF제어
- 주전동기 : 210kW
- 보조동력 : 170 kVA

㉡ 에너지 절감

계양~동막 구간을 8량 전동차에 대하여 1회 왕복 주행하는 상황을 열차데이터, 선로데이터를 사용하여 전동차 주행 시뮬레이션을 수행함. 시뮬레이션 결과는 다음과 같음.

- 1회 왕복 (계양~동막)

표 12. 인천 1호선(8량) 에너지절감율

구 간	위치	역간 거리	정차 시간	운행 시간	누계	역행	회생	보조
	[m]		[sec]			[kWh]		
계양-->굴현	1584	920	0	85.5	85.5	20.8	-8.9	5.5
굴현-->박촌	3113	1529	30	122.3	237.8	31.4	-14.5	7.2
박촌-->임학	4184	1071	30	87.5	355.3	26.3	-9.3	5.5
임학-->계산	5289	1105	30	102	487.3	27.3	-9.1	6.2
계산-->경인교대입구	6187	898	30	81.1	598.4	19.9	-7.8	5.2
경인교대입구-->작전	7097	910	30	78.4	706.9	21.7	-9.2	5.1
작전-->갈산	8537	1440	30	104.3	841.1	24.2	-9.9	6.3
갈산-->부평구청	9507	970	30	82.3	953.4	23.7	-8.8	5.3
부평구청-->부평시장	10642	1135	30	93.4	1076.9	27	-9.2	5.8
부평시장-->부평	11532	890	30	75.4	1182.2	21.1	-8.8	5
부평-->동수	12387	855	30	84.6	1296.9	24.2	-5.4	5.4
동수-->부평삼거리	13513	1126	30	91.9	1418.8	27.6	-9.5	5.8
부평삼거리-->간석오거리	14725	1212	30	92.1	1540.9	15.8	-10.3	5.8
간석오거리-->인천시청	16086	1361	30	111.5	1682.4	29.2	-9.3	6.7
인천시청-->예술회관	17071	985	30	84.4	1796.8	23.9	-9.3	5.4
예술회관-->인천터미널	17881	810	30	73.6	1900.3	19.4	-8.7	4.9
인천터미널-->문학경기장	18691	810	30	76.6	2006.9	21.4	-6.4	5
문학경기장-->선학	19530	839	30	76	2112.8	19.8	-8.7	5
선학-->신연수	20668	1138	30	90.9	2233.8	24.5	-9.7	5.7
신연수-->원인재	21538	870	30	79.9	2343.6	22	-8.2	5.2
원인재-->동춘	22588	1050	30	89.4	2463	26	-9.2	5.6

동춘-->동막	23588	1000	30	81.4	2574.4	22.8	-9.4	5.3
동막-->동춘	24588	1000	0	85.7	2660.1	25.1	-8.4	5.5
동춘-->원인재	25638	1050	30	87.8	2777.9	25.2	-9.2	5.6
원인재-->신연수	26508	870	30	77.3	2885.2	20.9	-9	5.1
신연수-->선학	27646	1138	30	92.9	3008.1	28.4	-9.1	5.8
선학-->문학경기장	28485	839	30	79.4	3117.5	21.8	-6.3	5.2
문학경기장-->인천터미널	29295	810	30	73.4	3220.9	19	-9	4.9
인천터미널-->예술회관	30105	810	30	76.7	3327.7	20.6	-7.1	5
예술회관-->인천시청	31090	985	30	85	3442.7	24.3	-8.5	5.4
인천시청-->간석오거리	32451	1361	30	111.2	3583.9	24.6	-10.6	6.7
간석오거리-->부평삼거리	33663	1212	30	101.7	3715.5	32	-7.4	6.2
부평삼거리-->동수	34789	1126	30	90	3835.5	26.7	-9.8	5.7
동수-->부평	35644	855	30	80.8	3946.3	15.8	-9.5	5.2
부평-->부평시장	36534	890	30	75.7	4052	22.2	-8.4	5
부평시장-->부평구청	37669	1135	30	92.9	4174.9	25.8	-9.1	5.8
부평구청-->갈산	38639	970	30	82.8	4287.7	23.6	-8.5	5.3
갈산-->작전	40079	1440	30	108.4	4426.1	31.9	-9.7	6.5
작전-->경인교대입구	40989	910	30	81.3	4537.4	23.1	-8.1	5.3
경인교대입구-->계산	41887	898	30	82.6	4650	20.3	-6.5	5.3
계산-->임학	42992	1105	30	99.9	4779.9	25.9	-11.4	6.1
임학-->박촌	44063	1071	30	84	4894	24.1	-9.8	5.4
박촌-->굴현	45592	1529	30	128.8	5052.8	37.4	-10.8	7.5
굴현-->계양	46512	920	30	86.7	5169.5	20.9	-7	5.5
합계						1,059.6	-392.8	246.9
에너지 절감율							30.1%	

㉡ 피크 저감

피크전력은 여름철 7, 8, 9월 및 당월 기간 동안의 15분 평균 전력 중 가장 높은 값을 최대 수요전력, 즉 피크전력으로 지정하고 있음. 따라서 기존 전동차와 에너지저장장치를 탑재한 전동차 운행으로 구분하여 각 변전소별 15분 평균 피크전력을 시뮬레이션 하고 저감율을 계산함.

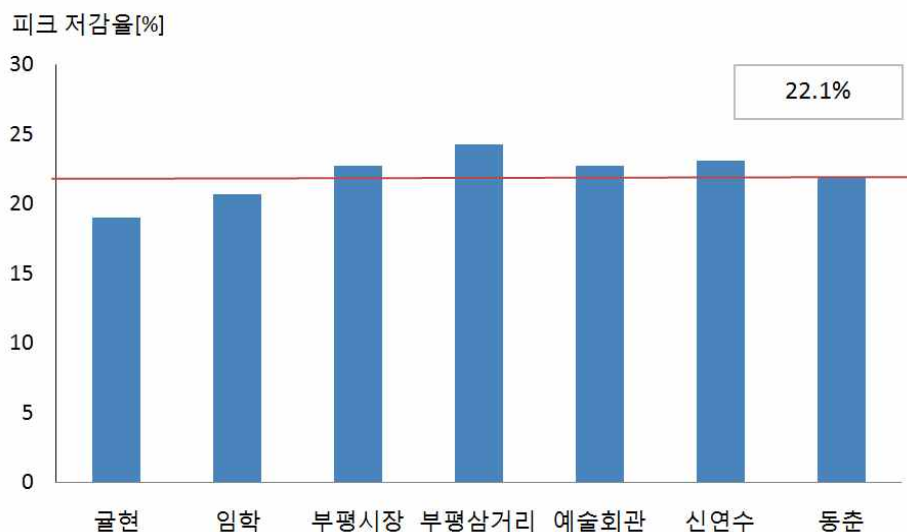


그림 21. 인천 1호선(8량) 피크절감율

④ 서울 4호선

㉠ 입력데이터

차량제원

- 최고속도 : 100 [km/h]
- 가감속도 : 가속도 : 3.0[km/h/s]
감속도 : 상용 3.5[km/h/s]
- 전동차 편성 : 10량 (TC-M-M'-T-M'-T1-T-M-M'-TC)
- 전동차 무게 : 357.2[ton]
(Tc: 33.1ton, M: 40.0ton, M': 42.0ton, T: 26.5ton, T1:32.0ton)
- 제어방식 : VVVF제어
- 주전동기 : 200kW
- 보조동력 : 180 kVA

㉡ 에너지 절감

상계~사당 구간을 10량 전동차에 대하여 1회 왕복 주행하는 상황을 열차데이터, 선로데이터를 사용하여 전동차 주행 시뮬레이션을 수행함. 시뮬레이션 결과는 다음과 같음.

- 1회 왕복 (상계~사당)

표 13. 서울 4호선(10량) 에너지절감율

구 간	위치	역간 거리	정차 시간	운행 시간	누계	역행	회생	보조
	[m]			[sec]			[kWh]	
상계-->노원	2260	1040	0	84.8	84.8	30.8	-15	8.6
노원-->창동	3693	1433	30	117	231.8	42.4	-18.5	11
창동-->쌍문	5043	1350	30	98.2	360	33	-15.8	9.6
쌍문-->수유	6499	1456	30	103.8	493.8	38.9	-14.1	10
수유-->미아	7850	1351	30	102.1	625.9	46.7	-14.6	9.9
미아-->미아삼거리	9370	1520	30	104	760	39.5	-13.5	10.1
미아삼거리-->길음	10620	1250	30	95.4	885.4	39.2	-14.3	9.4
길음-->성신여대	12050	1430	30	102.4	1017.8	39.5	-14.5	9.9
성신여대-->한성대입구	13065	1015	30	87.7	1135.5	38.2	-13.4	8.8
한성대입구-->혜화	14065	1000	30	86.1	1251.6	36.2	-14.3	8.7
혜화-->동대문	15480	1415	30	105	1386.6	36.6	-17.2	10.1
동대문-->동대문운동장	16190	710	30	68.3	1484.9	27.7	-11	7.4
동대문운동장-->충무로	17460	1270	30	101.2	1616	48	-12.4	9.8
충무로-->명동	18180	720	30	68.9	1715	27.7	-11.5	7.4
명동-->회현	18920	740	30	68.8	1813.8	27.9	-11.1	7.4
회현-->서울역	19770	850	30	76.4	1920.2	21	-10.3	8
서울역-->숙대입구	20763	993	30	80.5	2030.7	31.8	-14.8	8.3
숙대입구-->삼각지	21993	1230	30	93.8	2154.5	33.2	-14.4	9.3
삼각지-->신용산	22660	667	30	65.8	2250.2	25.5	-11.5	7.2
신용산-->이촌	23925	1265	30	97.6	2377.9	43	-15.7	9.6

이촌-->동작	26602	2677	30	170.3	2578.2	70.5	-16.4	15
동작-->충신대입구	28379	1777	30	119.1	2727.2	33.9	-17.6	11.2
충신대입구-->사당	29537	1158	30	93.7	2851	36.7	-15.8	9.3
사당-->충신대입구	30695	1158	0	90.2	2941.2	38	-15.5	9
충신대입구-->동작	32472	1777	30	125.5	3096.8	60.1	-13.2	11.7
동작-->이촌	35149	2677	30	166.5	3293.3	49.7	-24.7	14.7
이촌-->신용산	36414	1265	30	98.5	3421.7	33.8	-14.1	9.6
신용산-->삼각지	37081	667	30	66	3517.7	26.4	-10.8	7.2
삼각지-->숙대입구	38311	1230	30	94.7	3642.4	42.2	-14.3	9.4
숙대입구-->서울역	39304	993	30	86.5	3758.9	38.6	-12	8.7
서울역-->회현	40154	850	30	77.2	3866.2	34.4	-10.5	8
회현-->명동	40894	740	30	68.8	3965	27.6	-11.8	7.4
명동-->충무로	41614	720	30	68.3	4063.3	27.2	-11.5	7.4
충무로-->동대문운동장동대문	42884	1270	30	93.1	4186.4	33	-14.9	9.2
동대문운동장동대문-->동대문	43594	710	30	66.5	4282.9	26.5	-11.6	7.2
동대문-->혜화	45009	1415	30	111.9	4424.9	47.2	-11.2	10.6
혜화-->한성대입구	46009	1000	30	86.6	4541.5	37.4	-13.2	8.7
한성대입구-->성신여대	47024	1015	30	81.1	4652.7	34.6	-14.2	8.3
성신여대-->길음	48454	1430	30	102.9	4785.6	41.7	-15.2	10
길음-->미아삼거리	49704	1250	30	96.9	4912.5	38.8	-16.5	9.5
미아삼거리-->미아	51224	1520	30	111.5	5054	48.9	-14.9	10.6
미아-->수유	52575	1351	30	100.3	5184.3	35.2	-15.8	9.8
수유-->쌍문	54031	1456	30	103.6	5317.9	43.7	-13.3	10
쌍문-->창동	55381	1350	30	97.7	5445.6	40	-13.7	9.6
창동-->노원	56814	1433	30	118	5593.6	48.1	-16.8	11.1
노원-->상계	57854	1040	30	108.9	5732.5	41	-12.6	10.4
합계						1,742	-650	434.1
에너지 절감율							29.9%	

㉔ 피크 저감

피크전력은 여름철 7, 8, 9월 및 당월 기간 동안의 15분 평균 전력 중 가장 높은 값을 최대 수요전력, 즉 피크전력으로 지정하고 있음. 따라서 기존 전동차와 에너지저장장치를 탑재한 전동차 운행으로 구분하여 각 변전소별 15분 평균 피크전력을 시뮬레이션 하고 저감율을 계산함.

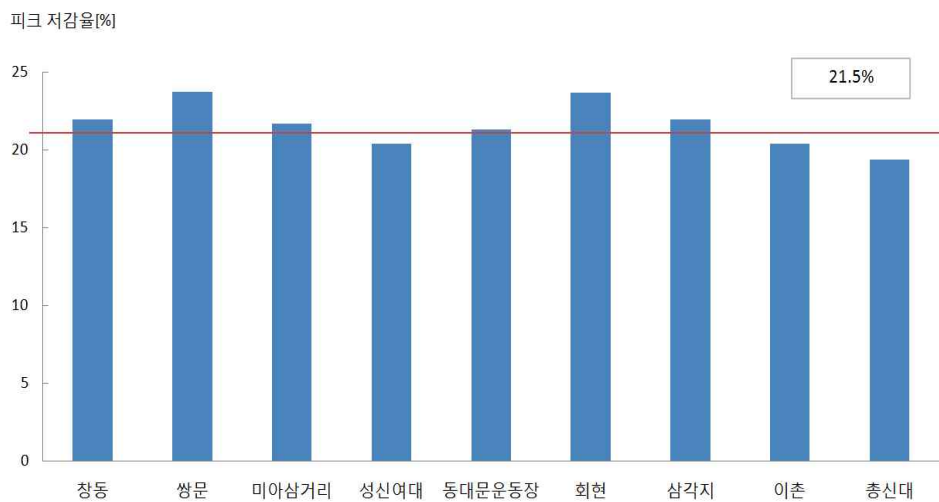


그림 22. 서울 4호선(10량) 피크절감율

(나) 중량 증가에 따른 소비 전력 및 에너지 절감비 분석

- 전동차에 에너지저장장치를 탑재하게 되면 중량이 증가하게 됨. 따라서 중량 증가로 인해 추가적인 에너지가 필요하게 됨. 하지만 탑재된 에너지저장장치에 의해 에너지 절감 효과가 크다면 전동차 탑재용 에너지저장장치를 도입해야 할 것임.
- 국내 도시철도 차량 중 M카의 중량이 가장 큰 경우 42ton(4호선)으로 만차시 62ton($42\text{ton} + 20\text{ton} = 62\text{ton}$)이 되는데, 도시철도차량 안전기준 정차 차량의 축중기준이 16톤 이하이므로 에너지저장장치가 최대 2ton($64\text{ton} \div 4\text{축} = 16\text{ton}$)까지 가능함. 실제 에너지저장장치 제작을 위해서는 여유 무게를 두어야 하므로 2ton의 75%인 1.5ton을 M카당 중량이 증가하는 것으로 분석함.
- 4량 편성은 2M2T 구성이므로 3.0ton(2대설치) 증가, 6량 편성은 3M3T로서 4.5ton(3대설치) 증가, 8량 편성은 4M4T로서 6.0ton(4대설치) 증가, 10량 편성은 5M5T로서 7.5ton(5대설치)이 증가하는 것으로 분석함.
- 각 노선별 전동차는 1회 왕복하는 것으로 분석함. 즉, 대전 1호선 4량 1편성 전동차는 판암-반석 40.9km 구간을 1회 왕복, 대구 2호선 6량 1편성 전동차 문양-사월 56km구간 1회 왕복, 인천 1호선 8량 1편성 전동차 계양-동막 45.8km 구간 1회 왕복, 서울 4호선 10량 1편성 전동차 상계-사당 56.6km 구간 1회 왕복으로 분석함.
- 분석 결과, 에너지저장장치 탑재 전/후 중량 증가에 따른 추가 전력비는 810원에서 최대 3,312원 정도만 발생함. 반면에 에너지 절감비는 15,129원에서 최대 59,940원 발생하여 중량이 증가하여 추가 전력비가 발생하였지만, 절감 비용이 상당히 커서 경제성이 있음.
- 운영기관 마다 차이는 있지만 1편성이 10회~13회/일, 약 340일/년 운행하므로, 서울 4호선의 경우 연간 최대 약 2.5억원 절감 가능하고, 에너지저장장치 가격을 1.5억/M카로 가정하면, 5대 설치해야 하므로 가격이 약 7.5억이 되므로 약 3년이면 투자비를 회수할 수 있음. 따라서 서울 4호선은 3년, 인천 1호선은 4년, 대구 2호선은 3년, 대전 1호선은 5년으로 검토됨.

표 14. 중량 증가에 따른 소비전력비 및 절감비 분석

구분			ESS 설치 전	ESS 설치 후		비고
			소비전력비[원]	추가전력비[원]	절감비[원]	거리
10량	서울4	7.5톤 증가	195,849	3,312	59,940	왕복56.6km (상계-사당)
8량	인천1	6.0톤 증가	117,585	1,962	36,243	왕복45.8km (계양-동막)
6량	대구2	4.5톤 증가	117,468	1,674	36,810	왕복56.0km (문양-사월)
4량	대전1	3.0톤 증가	52,524	810	15,129	왕복40.9km (판암-반석)

(다) 종합 결과 분석

○ 에너지 절감:

도시철도 차량(4량, 6량, 8량, 10량)에 대해 에너지 절감을 시뮬레이션 결과, 전동차 소비 전력(견인전력 및 SIV전력 합) 대비 30% 절감함.

표 15 각 노선별 에너지 절감율

구분		절감율[%]
10량	서울4	29.9
8량	인천1	30.1
6량	대구2	30.3
4량	대전1	28.3
평균		29.6

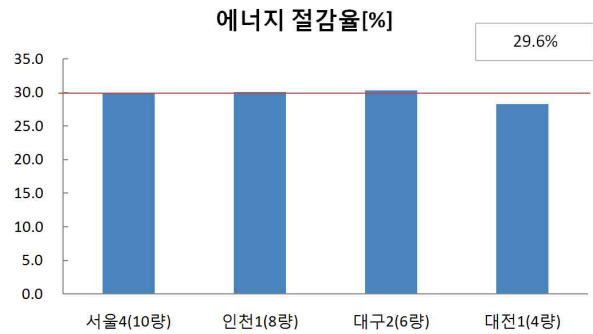


그림 23. 각 노선별 에너지 절감율

전동차 탑재용 에너지저장장치는 차량 장착용이므로 월상 및 중간검사가 필요함. 전동차 탑재용 에너지저장장치의 유지보수 비용이 기존 차량의 SIV와 배터리에 대한 월상 및 중간 검사 비용과 유사하다고 가정하면, 도시철도 운영기관마다 차이가 있겠지만 Man·Hour 고려 시 약 30만원에 해당되므로 위 요금 절감액에 360만원/년을 삭감해야 함. 그러나 매년 인건비 4% 상승을 고려해도 유지보수 비용은 미미하고, 최근 산업용 전기요금 상승률이 10%에 해당하므로 약 54억의 전기요금을 매년 추가로 절감할 수 있음.

- 현재 국내에서 운행중인 도시철도용 차량의 수: 7,958량
- 도시철도차량이 사용하는 전력요금: 1,991억원/년
- 에너지 회생율: 전동차 소비전력(견인전력 및 SIV전력 합) 대비 30%
- 전력요금 절감액: 1,991억원 × 0.3 = 597.3억원/년

* 산출근거

- 2010년 1월~2010년 12월 1년간 서울메트로의 보유차량은 1,954량이고, 차량이 사용한 총 전력량은 543,280,156kWh임. 이를 근거로 각 운영사가 보유한 차량의 수와 사용전력량을 비례관계로 계산하면 아래의 표와 같은 전력량을 추산할 수 있음. 단, 10량/편성, 전력요금은 90원/kWh로 가정함.

표 16. 1년간 전국 도시철도차량의 전력사용량 및 전력요금

구분	차량 수 [량]	차량 사용전력량 [kWh]	요금 [원/년]
한국철도공사	2,340	650,601,619	58,554,145,779
서울도시철도	1,561	434,011,074	39,060,996,660
서울메트로	1,954	543,280,156	48,895,214,040
전국 지자체	2,103	584,705,502	52,623,495,180
합계	7,958	2,212,598,351	199,133,851,659

○ 피크 저감:

도시철도 차량(4량, 6량, 8량, 10량)이 운행하는 구간에 대해 변전소 측면에서 피크 저감 시뮬레이션 결과, 기존 피크 전력 대비 20% 저감함.

표 17. 노선별 피크 절감율

구분		피크절감율[%]
10량	서울4	21.5
8량	인천1	22.1
6량	대구2	21.8
4량	대전1	17.9
평균		20.825

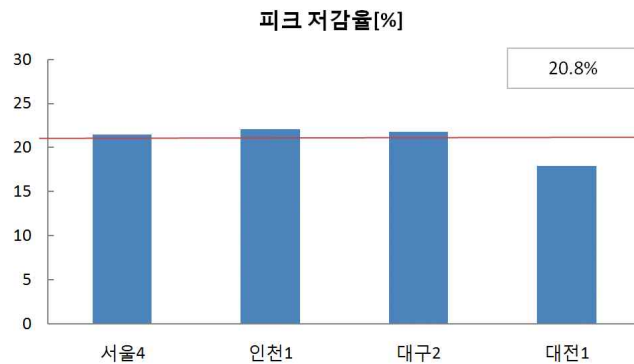


그림 24. 각 노선별 피크 저감율

- 현재 국내에서 운행중인 도시철도용 차량의 수: 7,958량
- 도시철도 운영기관이 사용하는 피크 전력요금: 676억원/년
- 피크 에너지 절감율: 기존 대비 20% 절약
- 피크 전력요금 절감액: 676억원 × 0.2 = 135억원/년

표 18. 1년간 전국 도시철도 도시철도 운영기관의 피크전력량 및 전력요금

구분	차량 수 [량]	피크 전력량 [kW]	요금 [원/년]
한국철도공사	2,340	252,047	19,895,581,992
서울도시철도	1,561	168,139	13,272,220,104
서울메트로	1,954	210,470	16,613,659,920
전국 지자체	2,103	226,519	17,880,503,784
합계	7,958	857,175	67,661,965,800

· 계산식 : 피크전력(kW)×kW당단가(원)×기간(12월)×부가세(10%)

* 산출근거

- 2010년 1월~2010년 12월 1년간 서울메트로의 보유차량은 1,954량이고, 피크 전력량은 210,470kW임. 이를 근거로 각 운영사가 보유한 차량의 수와 피크전력량을 비례관계로 계산하면 아래의 표와 같은 피크전력량을 추산할 수 있음. 단, 10량/편성, 피크전력요금은 산업용(갑) 고압A 선택Ⅱ를 적용하여 5,920원/kW로 가정함.

□ 기본공급약관 제68조 【요금적용전력의 결정】

② 최대수요전력계를 설치한 고객은 검침 당월을 포함한 직전 12개월중 7월분, 8월분, 9월분 및 당월분으로 고지한 전기요금 청구서상의 사용기간중 가장 큰 최대수요전력을 요금적용전력으로 하며, 최대수요전력이 계약전력 30% 미만인 경우에는 계약전력의 30% 해당전력을 요금적용전력으로 합니다.

□ 기본공급약관 별표 1 【월간전기요금표】

- 전기요금은 기본요금과 전력량요금으로 구성. 이중 기본요금은 기본공급약관 별표 1에 의함.

□ 전력요금 산출 방법(산업용) 2011.8.1 기준

- 지하철 전력요금(산업용) = 기본요금 + 사용량요금 + 부가세 + 전력산업기반기금
 - 기본요금은 피크전력에 기본요금단가(5,980원)를 곱해서 계산
피크전력[kW]는 직전 12개월 중 7~9월 및 검침 당월중의 15분 평균 최대수요전력 적용
 - 사용량 요금은 사용전력량에 계절별 단가를 곱해서 계산
 - 부가세는 기본요금과 사용량요금의 합에 10% 적용 계산
 - 전력산업기반기금은 기본요금과 사용량요금의 합에 0.037% 적용 계산
- 요금선택: 산업용전력(갑), 고압전력A, 선택(Ⅱ)요금

○ CO₂ 저감:

에너지저장장치는 전동차 운행에 필요한 전기를 절약할 수 있어 운영기관의 에너지 사용량을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 지구 온난화 주범인 CO₂ 배출 삭감에 기여할 수 있음. 우리나라 CO₂ 배출량 계수는 0.424(kg/kWh)이다. 에너지 절감 만큼 CO₂를 줄일 수 있으므로 에너지저장장치 탑재용 전동차 운영으로 억제 가능한 CO₂의 양은 연간 281,442ton으로 분석됨.

- 전국 도시철도 차량이 소비하는 전력량: 2,212,598,351kWh/년
- 국내의 1kWh 전력생산시 발생하는 CO₂의 양: 0.424ton/kWh
- 도시철도 차량 운영으로 발생하는 CO₂의 양:
 - $2,212,598,351\text{kWh} \times 0.424\text{kg/kWh} = 938,141.7 \text{ ton/년}$
- 에너지저장장치 탑재용 전동차 운영으로 억제 가능한 CO₂의 양:
 - $938,141.7\text{ton} \times 0.3 = 281,442\text{ton/년}$
- 해당 CO₂ 양의 가구수: $2,212,598,351\text{kWh} \times 0.3 / 3,064\text{kWh} = 216,638\text{가구}$
 - 가구당 연간 전력사용량: 3,064kWh(2008년 현재)

○ 수입대체효과

- 국산화 및 핵심기술 확보에 의한 해외 의존도 감소
- 차량분야: 약 1조 4천억원
 - 에너지저장장치 탑재용 전동차 수입 예상가격: 20억원/량(가정) × 7,100량 = 142,000억원
 - 국산화 가격: 18억원/량 × 7,100량 = 127,800억원
 - ☞ $142,000\text{억원} - 127,800\text{억원} = 14,200\text{억원}$

※ 산출근거

- 현재 국내의 운영선로의 길이는 한국철도공사 329.4km, 서울도시철도공사 152km, 서울메트로 134.9km, 전국지하철/전철 25개 노선을 포함하여 829.9km이다. 2015년 까지 21개 노선의 신설 또는 증설되는 길이는 477.5km를 계획하고 있다. 현재 도시철도가 829.9km에 7,129량을 운행하는 것을 감안하면, 2015년까지 1,307km에 약 11,230량의 차량이 운행할 것으로 예상된다. 기존 차량 중 노후차량의 교체분 3,000량과 신규노선의 차량 도입분 4,100량을 합산하면 7,100량이 2015년까지 필요할 것으로 추산할 수 있음.

○ 수출기대효과

- 전동차 탑재용 에너지저장기술을 선점하여 해외시장 개척 가능
- 수출기대효과: 약 1조 8천억원

- 현재 세계 주요도시 전동차량수: 37,118량
- 현재 국내 차량업계의 세계시장점유율: 2.5%
- 37,118량 X 20억원/량(가정) = 742,360억원
- 742,360억원 X 2.5% = 18,559억원

※ 국내 차량업계의 세계시장점유율 2.5% (국토해양부 차세대첨단도시철도시스템기술개발사업 기획보고서)

※ 산출근거

세계 주요도시 전동차량수가 37,118량으로 전동차 시장은 약 742,360억원(20억/량).

표 19. 해외 주요도시 철도차량 수

국가	도시	차량 수 [량]
일본	도쿄	3,609
	오사카	1,268
중국	베이징	800
	상하이	742
	홍콩	1,050
대만	타이페이	450
러시아	모스크바	4,312
	Sl. Peter sburg	1,377
아제르바이젠	BAKU	262
영국	런던	2,796
프랑스	파리	3,533
독일	베를린	1,388
스페인	마드리드	1,514
이집트	카이로	757
미국	뉴욕	6,183
	워싱턴	952
	시카고	1,190
	로스엔젤레스	104
캐나다	몬트리올	759
	토론토	712
멕시코	멕시코시티	2,637
브라질	리오데자네이로	183
아르헨티나	부에노스아이레스	540
합계		37,118

· KRRI 철도기술총서 2008.2

- 중량 증가에 따른 소비 전력 및 에너지 절감비 분석
- 추가 전력비 : 해당 노선 1회 왕복시 810원 ~ 3,312원
- 에너지 절감비 : 해당 노선 1회 왕복시 15,129원 ~ 59,940원

나. 도시철도차량 탑재용 전력변환장치 기술

- 현재 약 8,000량이 운행되고 있는 철도차량 중에서 95% 이상이 에너지 회생이 가능한 시스템임. 전동차에서 전기 제동시 발생하는 회생에너지는 공급에너지의 약 40%에 해당하며 이중 5~10%는 다른 전동차에 사용되나 나머지 30%는 가전 저항 및 제동저항기를 통해 소모시켜버리는 것이 기존의 방식임.
- 이러한 기존의 방식은 에너지 활용이라는 측면에서 매우 열악한 시스템으로서 최근 에너지 고갈에 의한 고유가 시대의 정황에 전혀 부합하지 않는다고 할 수 있음.
- 이러한 배경 하에서 최근 주요 선진국에서는 이 회생에너지를 재활용하여 차량 소비전력을 절감하는 방법으로서 차량 탑재용 에너지저장장치를 개발하고자 하는 실정임.
- 전동차에 에너지저장장치의 DC-DC 컨버터를 탑재하여 충·방전함으로써 에너지 절감 기능을 하게 됨.
- 아래 그림은 에너지저장장치의 기본동작을 나타내는 개념도이며, 그림 25는 회생에너지가 DC-DC 컨버터를 통하여 에너지 저장장치에 저장되는 동작, 그림 26은 에너지 저장 장치에 저장된 에너지가 DC-DC 컨버터를 통하여 방전되면서 역행시 차량에 에너지를 공급하는 동작을 나타내고 있음.

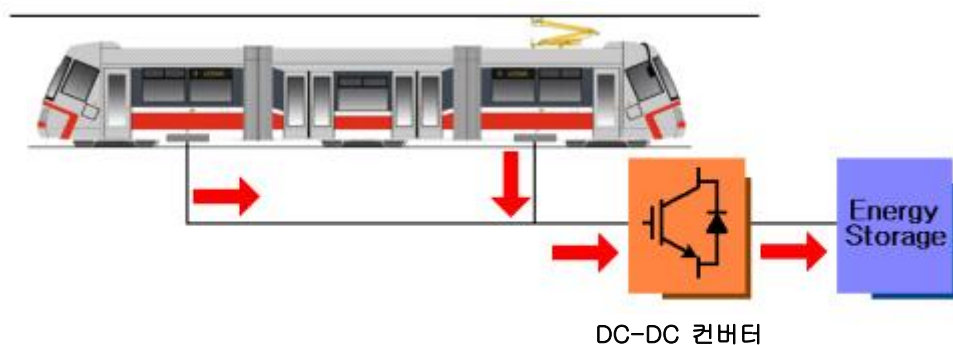


그림 25. 에너지저장장치의 기본동작 - 에너지 충전

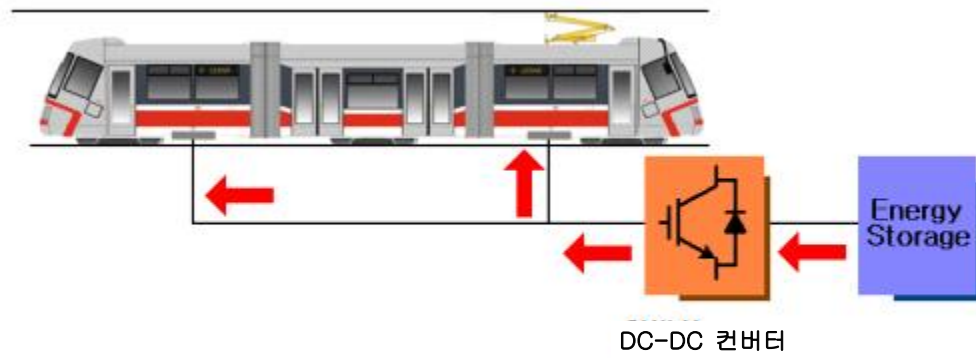


그림 26. 에너지저장장치의 기본동작 - 에너지 방전

그림 27은 DC-DC 컨버터의 구조임. 저전압 측에 저장매체를 고전압 측에 직류 DC-link를 연결함.

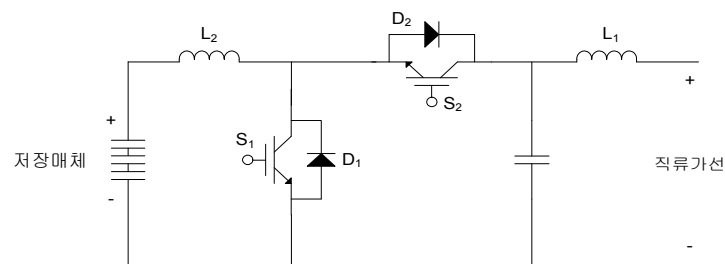


그림 27. DC-DC 컨버터

(1) 개요

(가) 방전모드

회생전력이 저장매체에 충전된 상태에서 DC-link 전압이 하강시 충전된 전력을 DC-DC 컨버터를 통하여 DC-link에 공급함. DC-DC 컨버터의 방전모드 동작은 아래 그림과 같음.

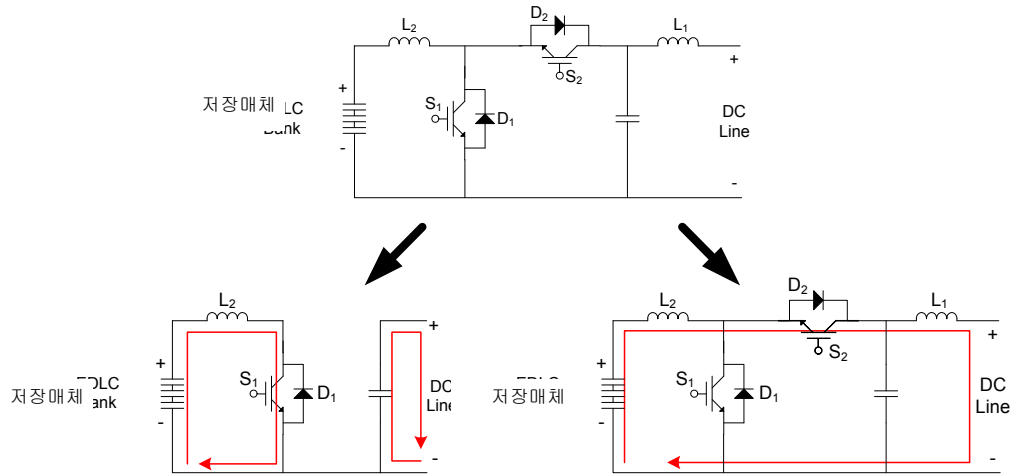


그림 28. DC-DC 컨버터의 방전모드 동작

(나) 충전모드

회생전력 발생으로 DC-link 전압이 상승함에 따라 양방향 컨버터는 벡(Buck) 모드 동작을 통하여 DC-link 전압의 상승분을 저장매체로 충전하여야 함. 아래 그림은 충전모드 시의 DC-DC 컨버터를 나타냄.

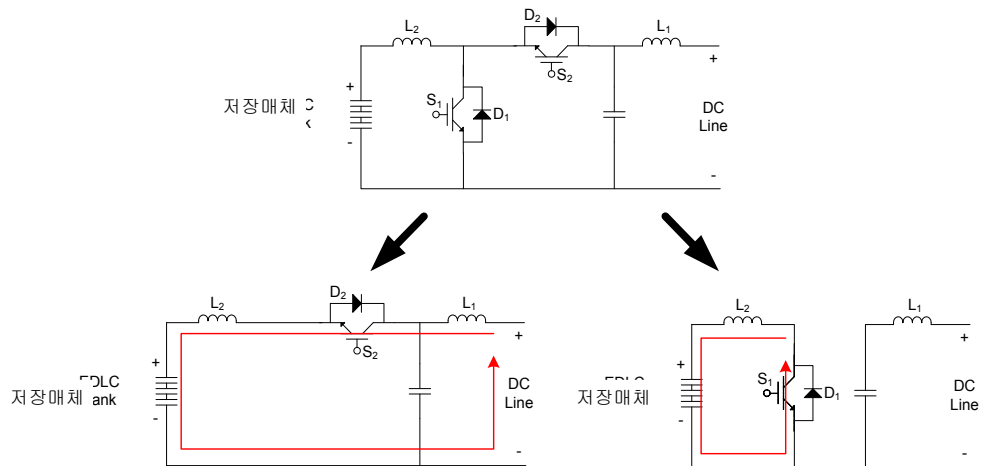


그림 29. DC-DC 컨버터의 충전모드 동작

(다) 주행시 제어방안

기존 지상용 장치도 각종 제어회로와 무관하게 독립적으로 운영하였고, 차상용 장치개발도 추진장치 및 기타기기에 영향을 초래하지 않고 취부되어 운영되는 것이 기본조건임.

에너지저장장치 탑재용 전동차의 주행상태에 따른 제어 알고리즘에 관한 것으로서, 전동차의 주행상태에 따라 차량에 탑재된 에너지저장장치의 에너지 흐름을 제어하는 방식에 관한 것이다. 관련 내용은 표 4.의 「하이브리드 전도철도차량의 제어방법」 특허를 참고하여 기술함.

(1)정차시

그림 30.(a)를 보면, 정차시 전차선에서 차량으로 에너지의 공급은 정지됨. 차량내 승객을 위해 SIV 부하(실내 전등 및 냉난방 장치 등)에 에너지를 공급해야 하는데, 이때 에너지 저장장치에서 에너지를 SIV로 공급함.

(2)역행시

그림 30.(b)를 보면, 역행시 주행속도가 올라가되고 차량의 견인력이 상승하므로 이에 필요한 에너지를 에너지저장장치에서만 공급할 수 없으므로 전차선으로부터 에너지와 에너지 저장장치로 부터 에너지를 합쳐서 전동기가 가속할 수 있도록 에너지를 공급함.

(3)제동시

그림 30.(c)를 보면, 제동시 전동기는 회생에너지를 발생시키므로 이 에너지를 SIV에 공급하면서 에너지 저장장치에 저장함.

(4)차량기지 장시간 정차 시

차량기지 장시간 정차가 필요할 때 최종 차량입고 전에 차량 필요에너지를 모두 사용함으로서 에너지 이용효율을 높여야 함. 또한 차량기지 장시간 정차의 경우는 차량에 대한 검사 및 유지보수의 경우이므로 안전을 위해 완전 방전시켜야 함.

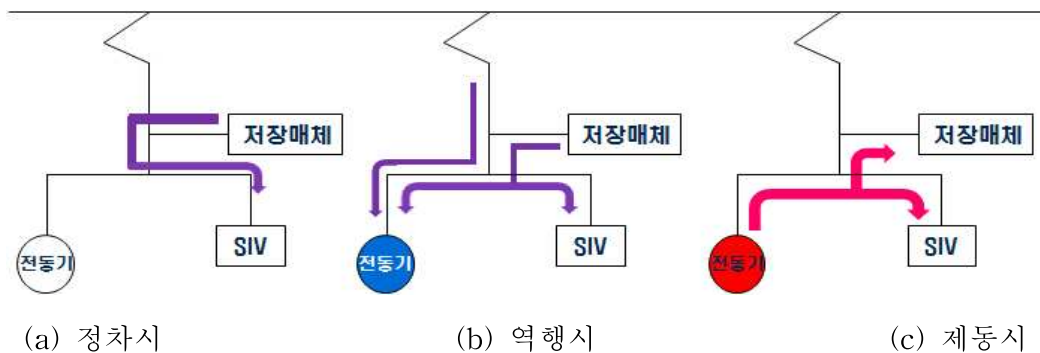


그림 30. 에너지 흐름 제어

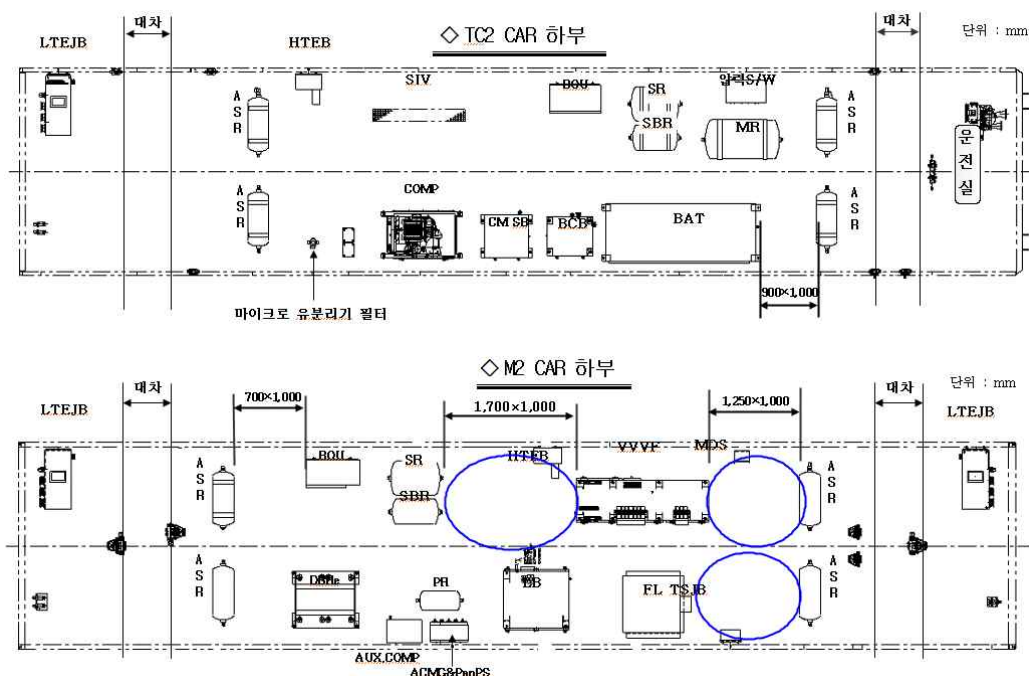
(2) 기술 개발 방향

세계적으로 에너지의 보전과 재활용 방안 및 새로운 에너지 개발을 위한 연구 노력이 진행되고 있음. 최근 에너지원의 개발과 에너지 소모를 줄이는 전력변환장치 및 시스템의 효율을 증대하는 노력과 더불어 에너지의 재활용을 위한 방안들이 연구되고 있으며, 에너지 재활용 방안 중에서도 소모성 에너지를 저장하는 기술의 발전이 가장 핵심이 되고 있음. 기존 에너지저장장치의 경우 역사 내부 또는 별도의 공간에 저장 장치를 설치하고 회생에너지를 저장하였다가 차량의 추진 시 재사용하는 방식을 사용하였으나 보다 효율적인 방안으로 전동차에 탑재하여 공간적 제약을 극복하고 에너지 절감율을 높이는 노력의 연구가 필요함.

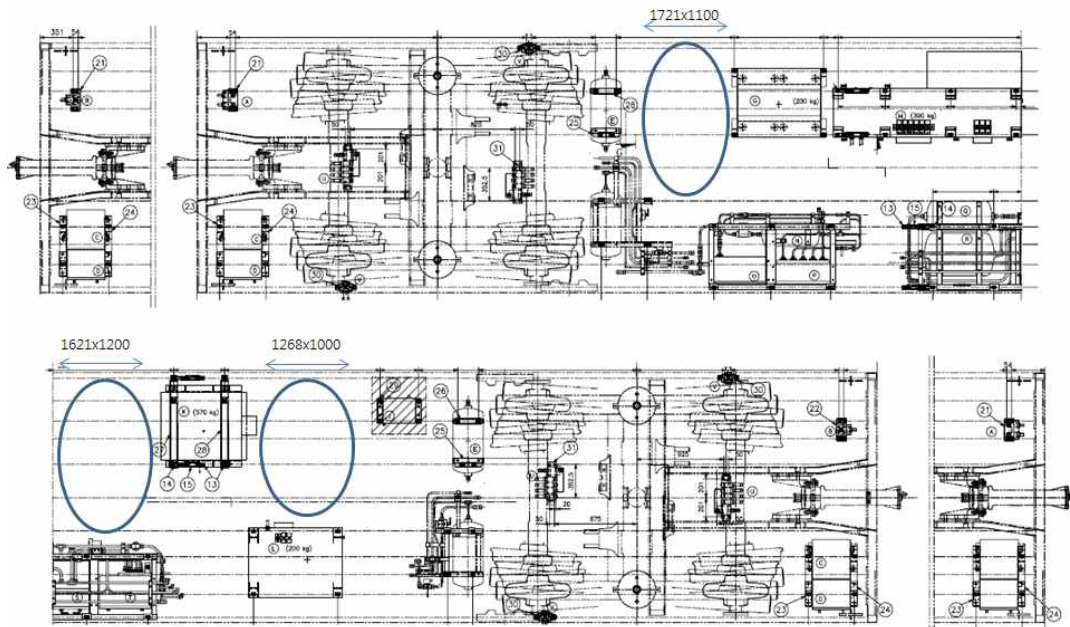
본 기획 보고서의 목표에서도 언급하였듯이, 전동차에 에너지저장장치를 탑재하기 위해서는 에너지저장장치의 소형 및 경량화가 필수적임. 전력변환장치 및 냉각장치의 최적 설계를 통하여 에너지저장장치의 소형 및 경량화를 실현하고자 함.

우리나라 전동차 표준규격은 대형전동차(차체길이:19,500mm, 차체폭:3,120mm) 및 중형전동차(차체길이:17,500mm, 차체폭:2,750mm)로 구분됨. 또한 중형전동차 중 가장 작은 전동차는 4량1편성으로 대전 1호선, 광주 1호선, 부산 3호선이 있음. 검토 결과 차체 하부공간 중 전력변환기 공간은 1.6m(W) X 1.0m(D) X 0.7m(H) 보다 작아야 하며, 저장매체 공간은 (1.2m x 0.9m x 0.75m 이하) x 2set 보다 작아야 함.

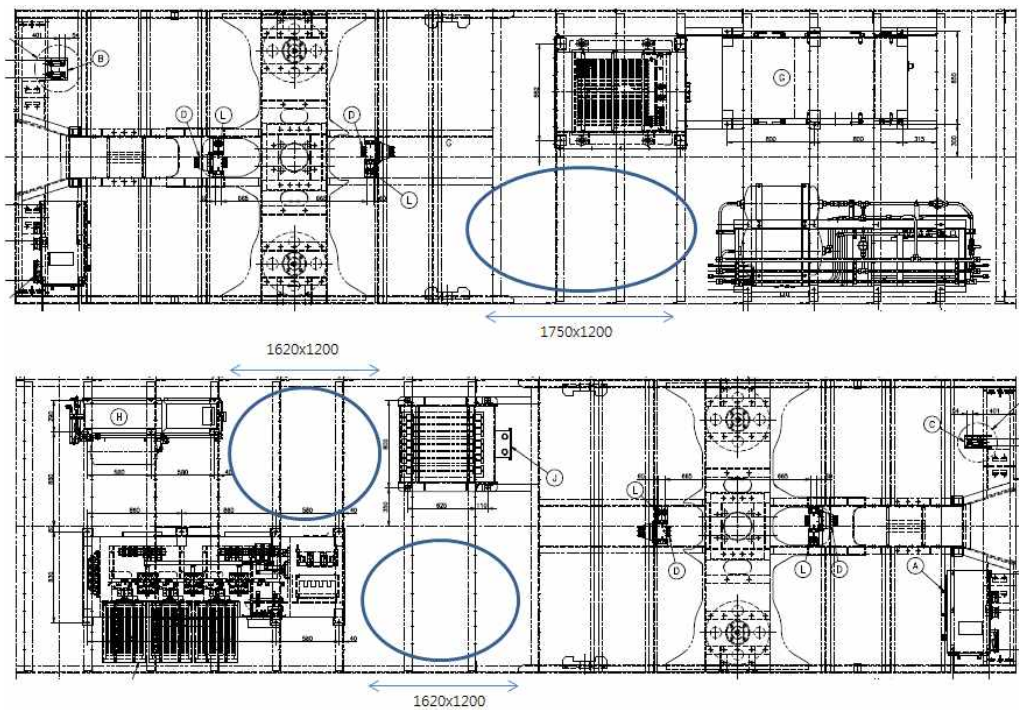
(가) 에너지저장장치를 설치할 전동차 차체 하부 공간



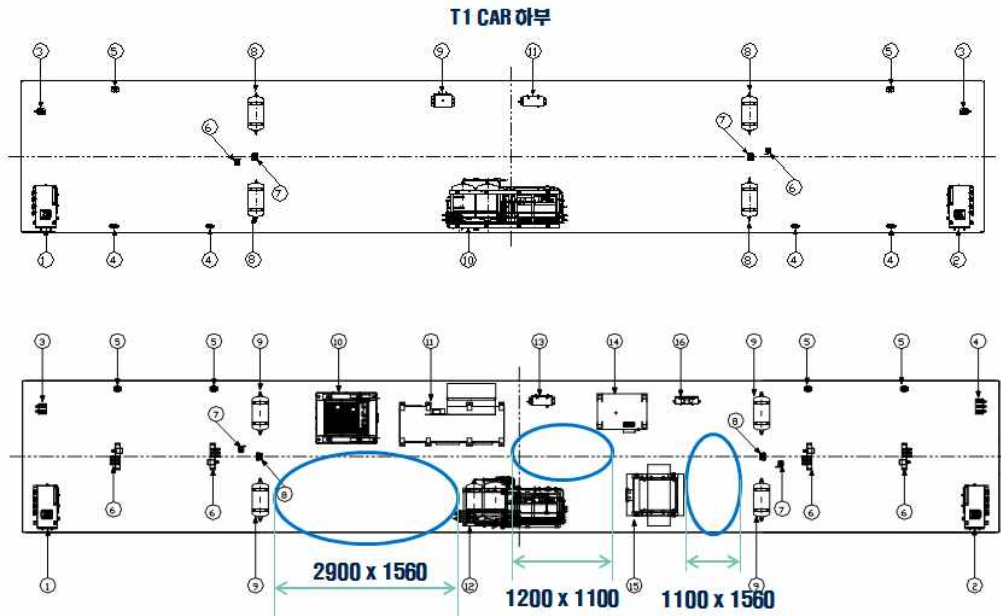
(a) 중형 전동차(17,500mm x 2,750mm) 하부 구조(대전도시철도)



(b) 중형 전동차 (광주도시철도 M카)



(c) 중형 전동차 (부산도시철도 M카)

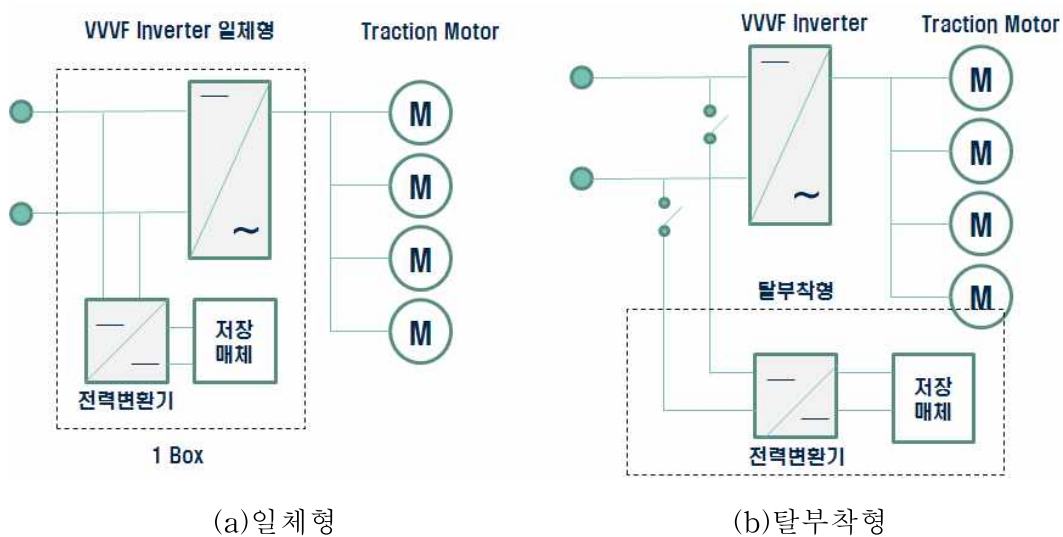


(d) 대형 전동차(19,500mm x 3,120mm) 하부 구조 (서울도시철도)

그림 31. 중형 및 대형 전동차 하부 구조

국내 도시철도 차량 중 M카의 중량이 가장 큰 경우 42ton(4호선)으로 만차시 62ton(42ton + 20ton = 62ton)이 되는데, 도시철도차량 안전기준 정차 차량의 축중기준이 16톤 이하이므로 에너지저장장치가 최대 2ton(64ton ÷ 4축 = 16ton)까지 가능함. 실제 에너지저장장치 제작을 위해서는 여유 무게를 두어야 하므로 2ton의 75%인 1.5ton이 에너지저장장치의 중량 증가로 분석됨.

(나) 전동차 탑재용 에너지저장장치 구성도



(a) 일체형

(b) 탈부착형

그림 32. 전동차 탑재용 에너지저장장치 구성도

(다) 최적 회로 설계

에너지 저장시스템은 크게 차단부, 필터부, 전력변환부, 에너지저장부로 구성됨. 차단부는 단락 또는 지락 시 발생하는 사고 전류를 차단하는 고속차단기와 퓨즈로 구성됨. 전력변환부는 원하는 크기와 주파수를 갖는 전압 혹은 전류를 반도체 스위치 소자의 온, 오프 동작(스위칭)을 통해 생성함. 이를 PWM 기법이라 하며, 출력파형에 스위칭 주파수의 고조파 성분 노이즈가 포함됨. 이로 인하여 부하, 즉 배터리의 수명에 좋지 않은 영향을 미칠 뿐 아니라 소음, 발열 등의 원인이 될 수 있어 전력변환장치의 출력단과 배터리 사이에 출력필터의 설계가 요구됨.

출력필터는 크게 L필터와 LC필터로 구분될 수 있음. L필터는 설계와 구조가 간단한 장점이 있지만 같은 성능의 LC필터에 비해 큰 인덕턴스가 요구 되어 중량과 부피면에서 단점이 있음. 본 과제에서는 전력변환 장치의 소형화와 경량화를 위해 LC필터를 설계함.

① 에너지저장장치 제어기술

㉠ 기존의 에너지 저장시스템 제어 토폴로지

□ 제어 토폴로지 개요

기존의 지상용 에너지 저장시스템은 설치되는 변전소가 공급하는 구간에서 발생하는 모든 차량의 회생에너지를 순시적으로 흡수하기 위하여 대용량의 단상 DC-DC 양방향 컨버터를 적용하였음.

그림 33. 단상 양방향 DC-DC 컨버터 회로

- 반도체 스위치 소자 2개와 출력필터(인덕터)로 구성
- 벡 컨버터 동작과 부스트 컨버터 동작을 통해 에너지 충·방전 수행
- 기존의 벡 혹은 부스트 컨버터와 동일한 전류 리플(ripple) 특성

□ 제어 알고리즘

그림 34. 정전류, 정전압 제어 블록도

- CC 모드로 저장매체를 충전할 경우, 테이블화 되어 있는 전류 지령 값으로 전류제어
- CV 모드로 저장매체를 충전할 경우, 저장매체 전압 제어기를 통해 출력된 전류지령 값으로 전류 제어
- 제어기를 통해 출력된 전압지령은 삼각파 비교 PWM 기법을 이용하여 스위칭

□ 차상용 에너지저장장치로 적용 시 문제점

- 낮은 스위칭 주파수로 인한 LC 필터 용량 및 크기 증가
- 대용량 반도체 소자로 발열량 증가 및 냉각 시스템 용량 증가
- 대용량 LC 필터, 냉각시스템, Chopper Unit로 인한 외형 크기 증가
- 전류 리플에 의한 저장매체 효율 감소

㉠ 차량용 에너지 저장시스템 제어 토폴로지

□ 제어 토폴로지 개요

차량용 에너지 저장시스템은 전동차에서 발생하는 회생에너지를 효율적으로 충,방전 제어를 할 수 있고, 설치 공간의 제약을 고려하여 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터 방식 적용에 대하여 분석함.

그림 35. 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터

- 차량용 저장매체 충방전을 위한 n상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터 설계
- 전력변환장치의 최종 출력단의 스위칭 주파수는 각상의 n배의 효과
- 배터리와 전력변환장치 사이 전류 리플 감소 (저장매체 효율 증가)
- 출력필터 인덕턴스 감소효과 (사이즈, 중량 감소)
- 고주파 스위칭에 의한 스위칭 손실 감소 (고효율, 발열 감소)
- 방열 시스템 감소 (시스템 사이즈, 중량 감소)

□ 제어 알고리즘

- 각 상의 위상은 $2\pi/N$ 만큼 차이가 나도록 제어
- 각 상 전류의 합인 저장매체 입출력 전류의 리플은 위상차에 의해 감소 효과 발생
- 정전압, 정전류 제어 블록도

그림 36. 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터 정전압, 정전류 제어 블록도

- CC 모드로 저장매체를 충전할 경우, 테이블화 되어 있는 전류 지령 값으로 전류 제어
- CV 모드로 저장매체를 충전할 경우, 저장매체 전압 제어기를 통해 출력된 전류지령 값으로 전류 제어
- 제어기를 통해 출력된 전압지령은 삼각파 비교 PWM 기법을 이용하여 스위칭

㉔ 제어 토폴로지 비교

단상 양방향 컨버터의 경우 출력 전류의 리플은 하기의 그림과 같이 스위칭 한주기당 한 개의 출력이 이루어지기 때문에 리플전류가 Δi_{SL} 만큼 나타나게 됨.

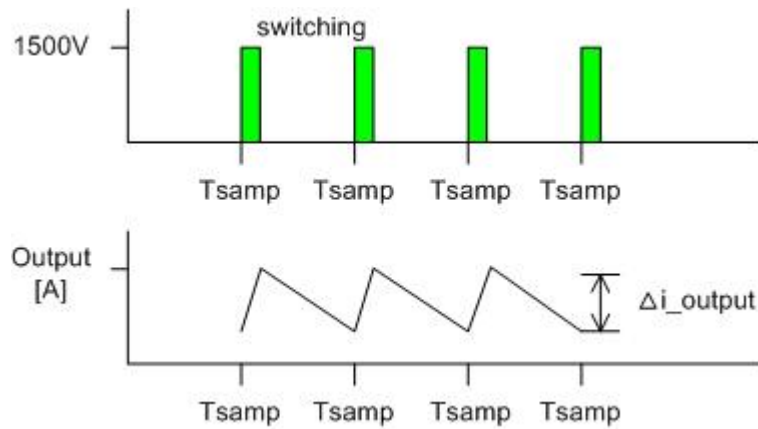


그림 37. 단상 양방향 컨버터의 리플

다음에 제안할 3상 인터리브드 방식의 양방향 컨버터의 경우는 3개의 상이 교번으로 동작하기 때문에 최종적으로는 하기와 같은 최종 출력 전류를 얻을 수 있으므로 리플이 감소하게 됨.

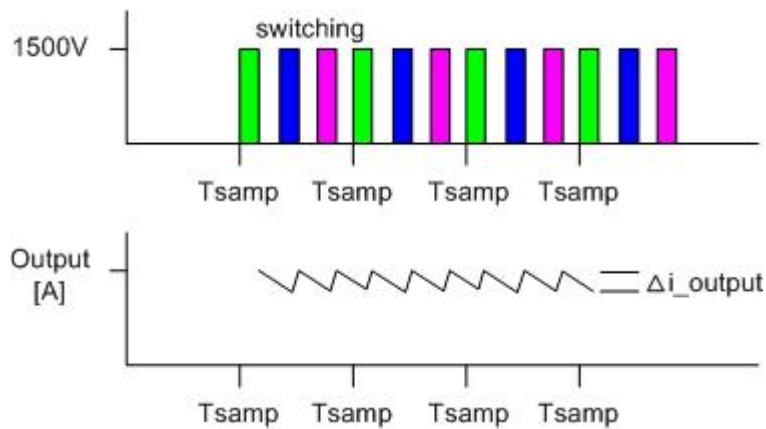


그림 38. 3상 인터리브드 방식의 양방향 컨버터의 리플

(라) Stack 설계 - 방열 시스템

전동차 탑재용 에너지저장장치의 전력변환용 반도체 소자(IGBT)의 냉각을 위한 방열 시스템은 차량 하부에 취부되어야 하는 국한적인 취부 공간에 의해 냉각 효율이 우수하고, 시스템을 최소화할 수 있도록 설계되어야 함. 전력변환 장치의 방열시스템으로 Heat pipe, Heat sink, 수냉각기가 있는데, 본 기획에서는 앞서 제시한 목표사양을 만족할 수 있는 방열시스템을 해석함.

① Heat pipe

히트 파이프는 진공의 관내에 적량의 액체를 봉입한 기구이며 이것으로 같은 단면적을 갖

는 금속봉에 비하면 상당히 많은 열을 전달할 수가 있음. 그 원리는 한 끝에서 가열하면 액체가 증발하여 관의 중앙부를 지나 다른 끝(냉각 쪽)에 응축되어 그것이 관 내면의 위크(wick : 도마질한 홈)를 통하여 모세관력에 의하여 자동적으로 되돌아오게 되는 것. 히트 파이프의 모양은 반드시 관이 아니고 챔버 모양으로 된 것도 있으며 또 가스를 혼입한 것도 있음. 히트 파이프는 고성능 전열관으로써 산업용을 비롯하여 가정용 • 우주용 • 환경제어용등 광범한 이용분야가 있음.

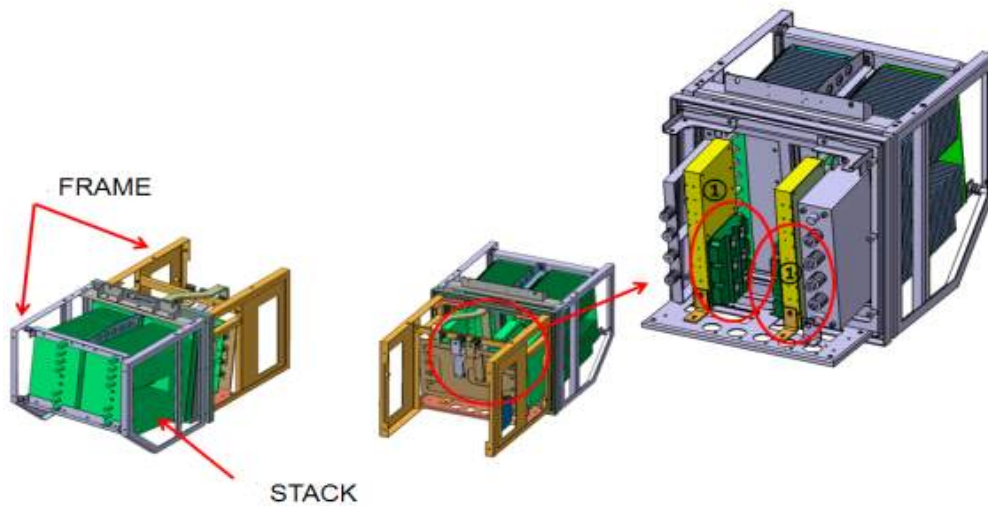


그림 39. INVERTER UNIT 구성

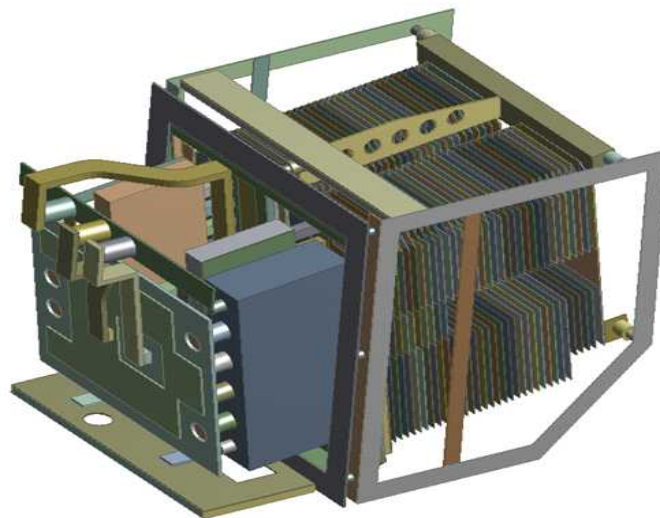


그림 40. 해석을 위한 형상의 단순화

대형 및 중형전동차 중 크기가 작은 중형전동차의 하부 장착구조 고려시 1.6mx1.0mx0.7m의 크기에 전력변환장치가 제작되어야 함. 따라서 요구 목표 크기로 축소하여 전력변환장치 구동시 IGBT 스위칭 동작에 따른 표면온도 분포는 다음과 같음.

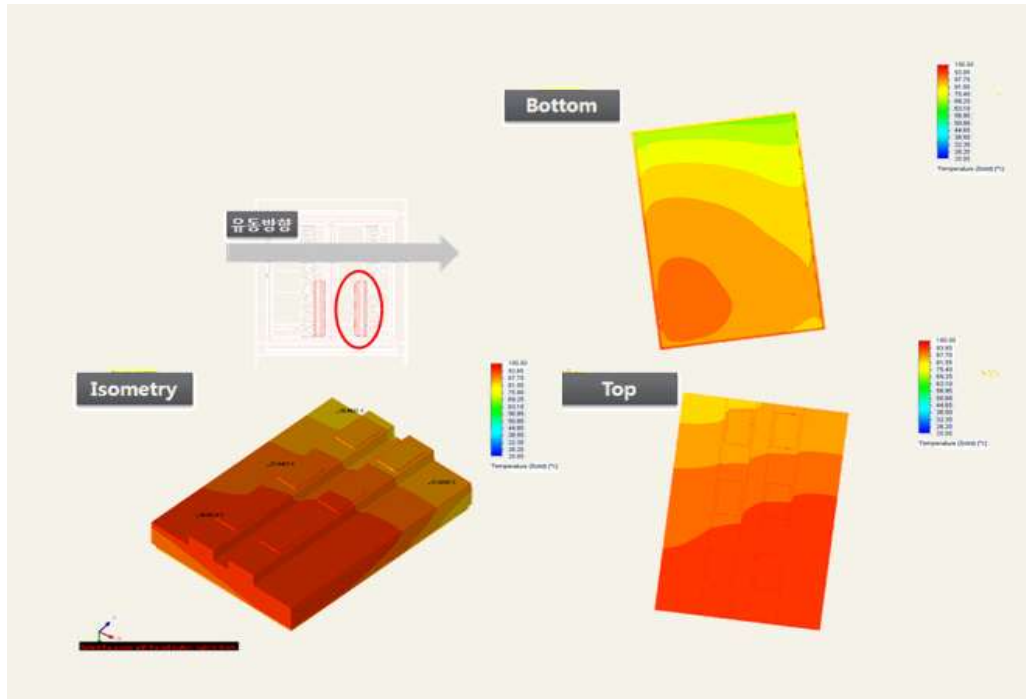


그림 41. 우측 IGBT

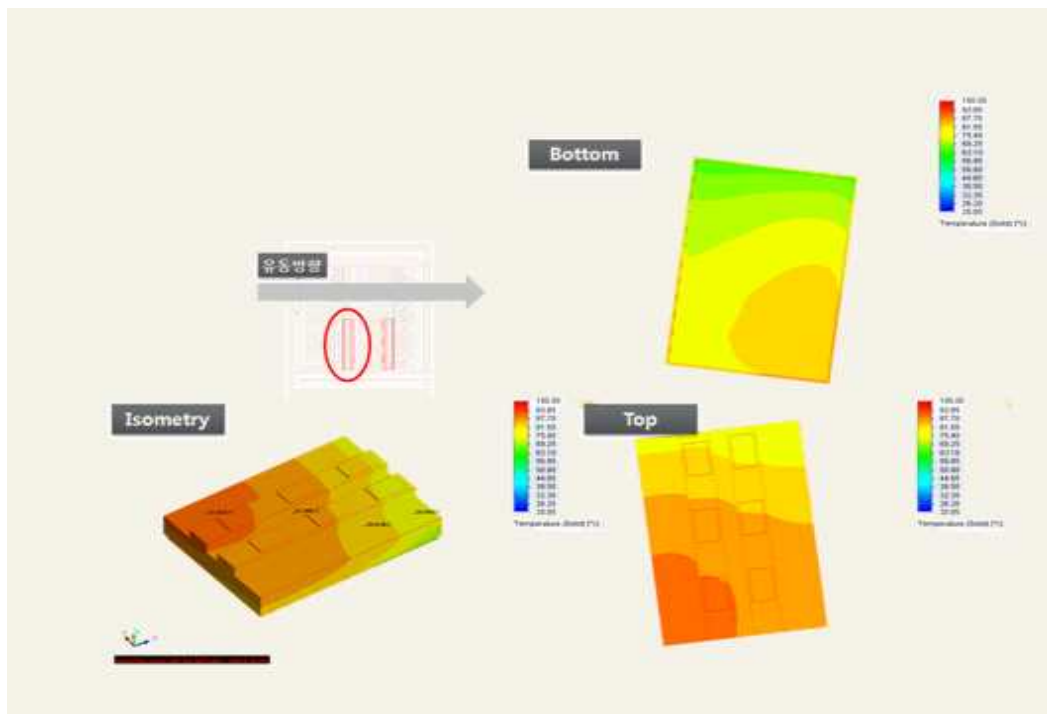


그림 42. 좌측 IGBT

앞서 본 IGBT 스위칭 동작시 온도분포에서와 같이 소자에서 발생하는 손실열을 막기 위하여 냉각장치인 히트 파이프와 결합시킴. 다음의 결과는 모델 해석의 결과이며 IGBT 온도가 98.3℃로 나타남. IGBT의 동작온도는 최대 125℃이므로 적용 가능할 수 있으나 지속적인 사용이 어려워 잦은 유지보수가 필요할 것임. 따라서 냉각을 위한 Fan 등의 추가 설비가 필요함. 따라서 전동차 탑재용으로 적용하기 어려움.

② Heat sink

히트 싱크(heat sink)는 열 접촉을 직간접적으로 사용하여 다른 물체로부터 열을 흡수하고 발산하는 환경이나 물체를 가리킴. 히트 싱크는 효율적인 열 발산이 필요한 곳이면 어디든지 널리 응용되어 쓰이고 있음. 따라서 제시된 크기로 축소하여 Heat sink 적용시 IGBT의 온도를 해석함. 모델 해석의 결과이며 IGBT 온도가 95.43℃로 나타남. Heat sink 또한 적용가능하나 지속적인 사용이 어려워 잦은 유지보수가 필요할 것임. 또한 Heat sink 차상용 에너지저장장치로 적용 시 대용량 냉각 시스템으로 Fan이 적용되어야 하는데 용량 및 크기 증대에 대한 한계 예상됨. 따라서 전동차 탑재용으로 적용하기 어려움.

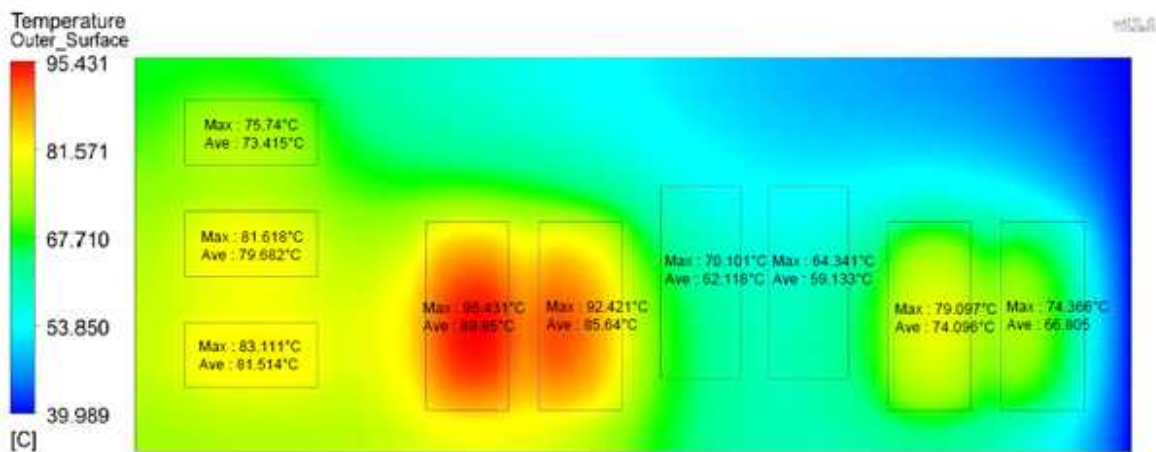


그림 43. 히트싱크의 열해석

③ 수냉각기

수냉각기는 냉각과 방열의 목적으로 한 매개체에서 다른 매개체로 열에너지를 전달하는데 쓰이는 열교환기임. 수냉각기의 열해석을 위하여 Model 외부 및 내부 모델링 작업을 수행함. 제시된 크기로 축소하여 수냉각기 적용시 IGBT의 온도를 해석함. 모델 해석의 결과이며 IGBT 온도가 55.45℃로 나타남. 따라서 전동차 탑재용 DC-DC 컨버터의 냉각시스템으로 적용하기에 가장 안정적인 온도를 나타냄.

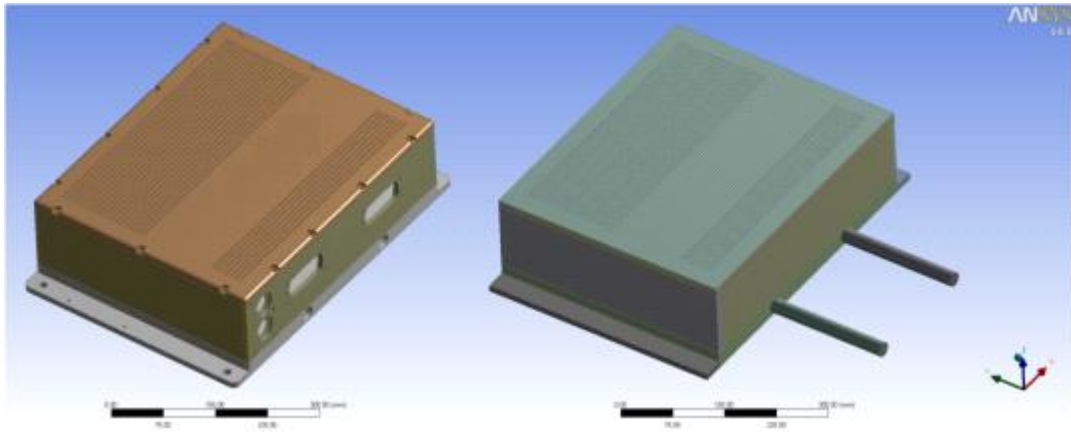


그림 44. Model 외부 모델링

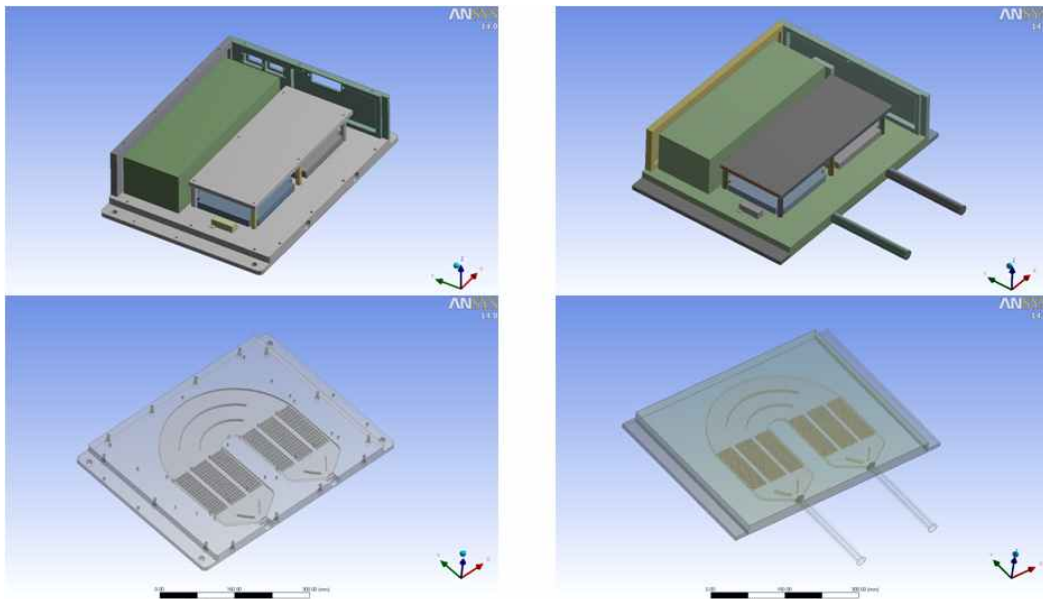


그림 45. Model 내부 모델링

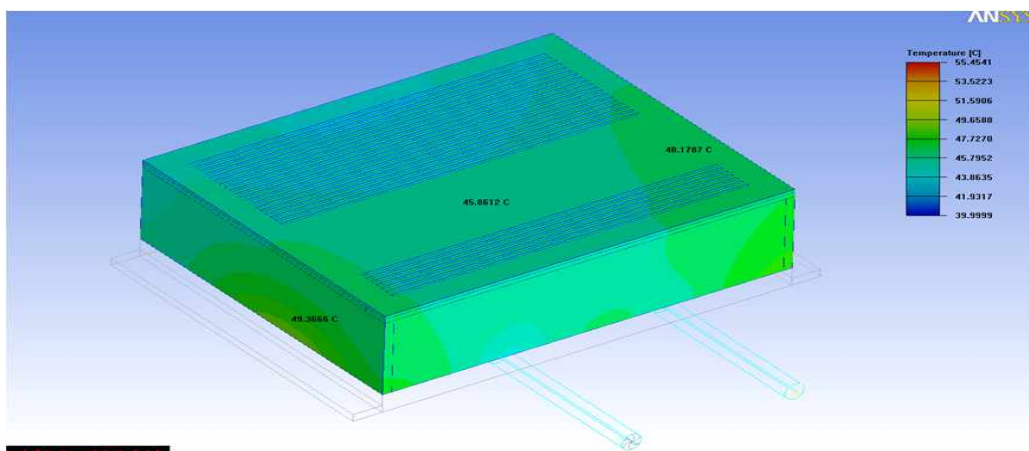


그림 46. Cover Temperature

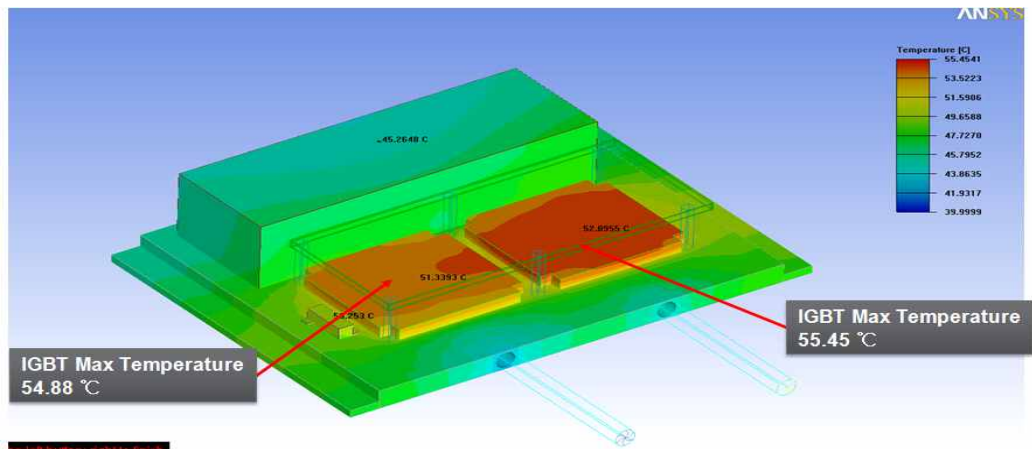


그림 47. IGBT Temperature

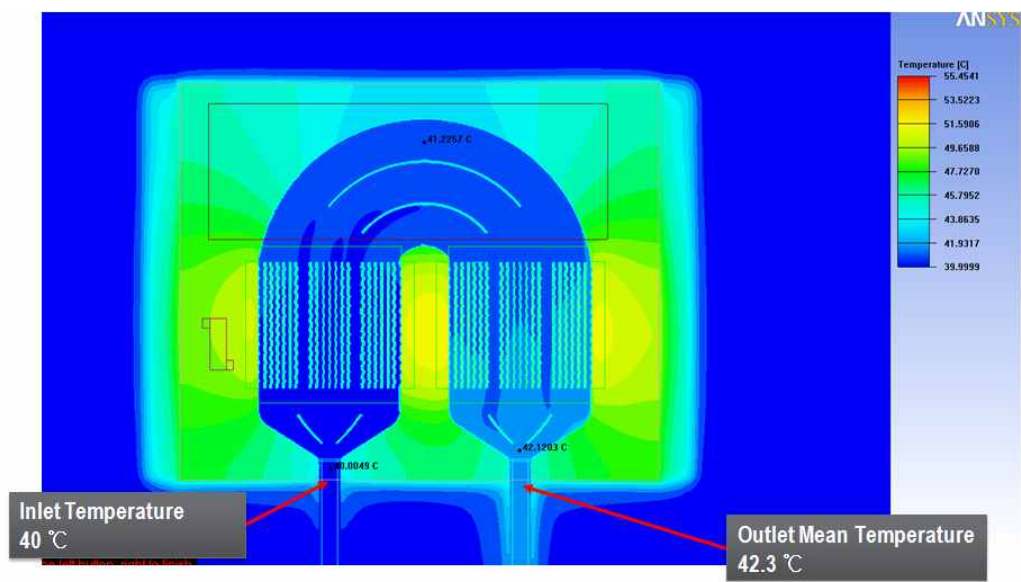


그림 48. 유동 경로 Temperature

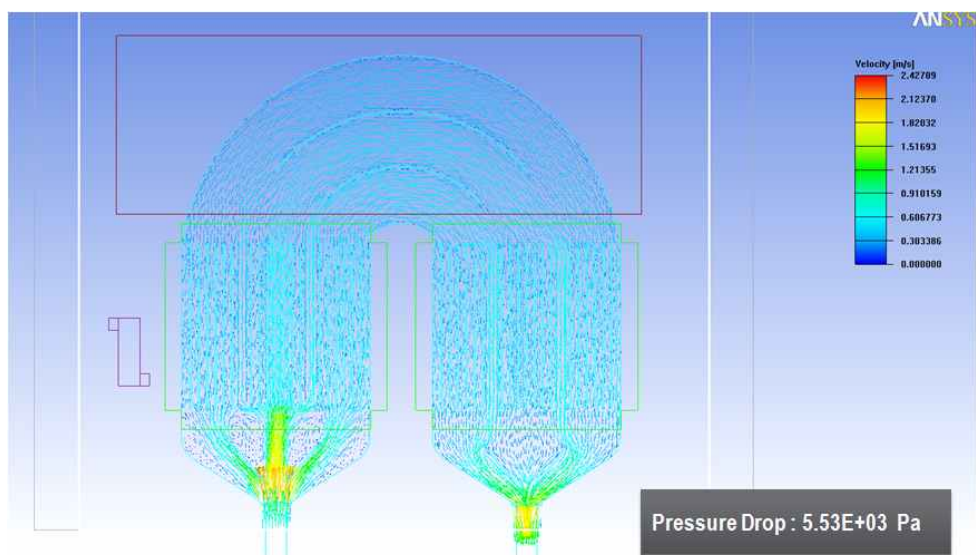


그림 49. 유동 경로 Velocity

(3) 시험평가 조건

(가) 전기적 안전성 및 내환경성 확보를 위해 공인시험기관의 치수, 환경, 성능시험등에 대한 전기·기계적 특성시험을 만족시켜야 함.

(나) 단품시험 및 조합시험을 수행한다.

(다) 현장설치 시험을 수행한다.

(4) 성능 검증

에너지 저장장치 성능 검증은 아래의 표와 같이 검사 및 시험항목으로 구분하며, 시험에 대한 판정은 국가 공인 시험기관에서 시험한 성적서에 의거함.

- 시험은 규정에 의한 설계 및 제작 검증과 내구성 및 성능 확인을 위하여 실시한다. 또한 품질에 영향을 미치는 구조 또는 기능의 설계 변경이 있을 시에도 실시하며, 품질이 인증된 품목에 대해서는 품질 검증 자료로 대체할 수 있음.

에너지 저장부와 제어부 등의 검사 및 시험 항목은 다음과 같음.

시험 및 검사항목	형식시험	루틴시험	비고
1. 구조 및 외관검사	○	○	
2. 절연저항 측정 시험	○	○	
3. 상용주파 내전압 시험	○	○	
4. 저항치 측정 시험	○	○	
5. 검출기 특성시험	○	○	
6. 광량 측정 시험	○	○	
7. 게이트 출력파형 측정 시험	○	○	
8. SEQUENCE 시험	○	○	
9. 보호회로 동작시험	○	○	
10. 충전시험	○	○	필요에 따라 설치개소현장에서 시험가능
11. 방전시험	○	○	
12. 온도 상승 시험	○	-	
13. 현차 연계 시험	○	○	

(가) 구조 및 외관검사

각 부 구조 및 치수의 승인도면과 일치여부를 검사하고 외부도장상태 및 명판 등 부착물상태를 육안 검사함.

(나) 절연저항 측정 시험

절연저항 측정시험은 장치별로 DC1000V 및 DC500V 메가로 각부 절연저항을 측정하고 기준값 이상의 값을 만족하는지 확인함.

시험기준 : 고압회로 ↔ 제어회로부간 1000[V] 메가로 20[MΩ] 이상일 것.

고압도전부 ↔ 프레임간 1000[V] 메가로 20[MΩ] 이상일 것.

제어회로부 ↔ 프레임간 500[V] 메가로 1[MΩ] 이상일 것.

(다) 상용주파 내전압 시험

상용주파수 내전압 시험은 장치별로 내전압 시험기로 상용주파수의 하기 전압을 1분간 가압하여, 절연에 이상이 없는 것을 확인함.

시험기준 : 고압도전부 ↔ 저압회로 및 대지간(AC5400V/60Hz/1분 견딜 것)

저압회로 ↔ 대지간(AC1200V/60Hz/1분 견딜 것)

(라) 저항치 측정 시험

충전저항기 : 정격 $\pm 10\%$

방전저항기 : 정격 $\pm 10\%$ 의 저항값을 측정함.

(마) 검출기 특성 시험

각 전압검출기 및 전류검출기의 출력이 기준치에 맞는지 확인함.

(바) 광량 측정 시험

① Gate 광량 측정

광은 레이저를 사용하여 육안으로는 식별되지 않으므로 광량계로 확인함. 모의 시험기를 통해 광신호를 출력시키고 Gate Amp측에서 Gate 광량을 측정함.

② 광량 측정

Gate Amp측의 광케이블을 광커넥터에 삽입하고 제어유닛 측에서 Feed Back 광량을 측정함.

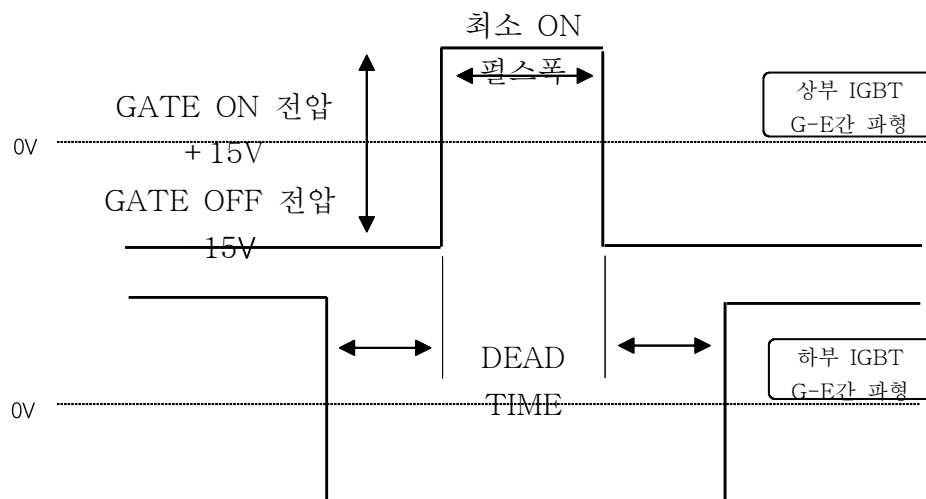
구 분	광케이블	Gate 광량	Feed Back 광량
전력변환부	Q1, Q2	-24dBm이상	-24dBm이상

(사) 게이트 출력파형 측정 시험

제어전원을 투입한 후 IGBT의 G-E간의 역바이어스 전압이 규정치 이내임을 확인함.

저전압시험을 수행하여 전력변환장치를 기동시켜 IGBT의 G-E간의 전압이 규정치 이내임을 확인하고, 상하 소자의 GATE PULSE를 동시에 측정하여, DEAD TIME이 규정치 이내임을 확인함.

GATE 파형은 아래 그림과 같음.



(아) SEQUENCE 시험

전원투입 후 정상동작여부를 확인함. 제어 전원 투입 후 가선전원 투입 스위치를 조작하면 고속도 차단기가 ON된 후 충전용 접촉기가 투입되고 스위칭 동작을 수행하여 초기 충전됨. 고

장 시, 보호회로 동작시험 항목에 준해 정지 및 기동을 수행하는 것을 확인함.

(자) 보호회로 동작시험

고장 항목에 따라 제어기에 모의신호를 인가하여 보호회로 동작시험을 실시하며 보호동작 규정에 맞게 보호동작 하는 것을 확인한다. 또한 고장이 정상적으로 Reset 되는 것을 확인함.

(차) 충전시험

충전 시험은 제어 전원이 투입된 후 캐패시터의 전압이 일정레벨 이상으로 충전되어 있지 않은 경우에 대해서 동작되므로, 시험 전 캐패시터 전압이 충전되어 있는 경우, 방전 컨택터를 ON시켜 슈퍼 캐패시터에 충전되어 있는 전압을 완전 방전시킨 후 시험을 시작함.

(카) 방전시험

방전 시험은 가선전압이 방전개시전압의 기준치 이하의 경우에 대해서 슈퍼 캐패시터로부터 가선으로 에너지를 공급하는 형태로 진행된다. 따라서, 슈퍼 캐패시터의 전압을 만충전상태로 유지 후 시험을 시작한다. 만충전 상태는 제어장치를 통해 유지되어야 하는 가선전압 기준치를 낮추어서 만들 수 있음.

(타) 온도 상승 시험

(차) 및 (카)의 충전과 방전이 반복되는 조건하에서 에너지 저장 시스템의 주요 부품의 온도가 적정 온도 이하에서 포화되는지 여부를 시험함.

품목	온도 사용 범위
Heat Block	$\Delta T < 75^{\circ}\text{C}$
Boost Reactor	$\Delta T < 140^{\circ}\text{C}$
Filter Reactor	$\Delta T < 140^{\circ}\text{C}$

(파) 현차 연계 시험

현차 연계 시험은 장치를 현차에 설치, 모든 주회로 및 제어회로 배선을 완료한 후 기존 전장품 설비와의 규정된 인터페이스 시험을 시행하여 정상동작하도록 함.

다. 도시철도차량 탑재용 에너지저장 매체 기술

(1) 매체의 형식과 특성

작동 원리와 내부구조 및 사용 소재 등의 형식을 달리하는 각종 에너지저장 매체들의 특성은 에너지밀도와 출력밀도로 표시하여 비교함. 아래의 그림에서와 같이 출력밀도가 높은 에너지저장 매체는 에너지밀도가 낮고, 에너지밀도가 높은 매체는 출력밀도가 낮은 상호 trade-off 관계를 갖음.

도시철도차량에 탑재할 에너지저장 매체는 약 20초 이내의 제동 시간 동안에 에너지를 회수 저장하고 차량의 출발시에 이를 활용하는 방식이므로 먼저, 차량에 탑재할 공간과 중량의 제한 조건이 있으며 약 20초 이내에 제동에너지를 가능한 최대로 회수 저장해야 함. 아울러, 일반 육상도로 운행용 하이브리드 자동차(HEV) 또는 전기 자동차(EV)와는 달리 가선전압이 약 DC 750V 내지는 DC 1,500V와 같이 매우 높은 관계로 에너지저장 매체 시스템 전체의 작동전압 역시 최소한 DC 750V에서 DC 1,000V 정도로 매우 높아야 한다는 특징이 있음.

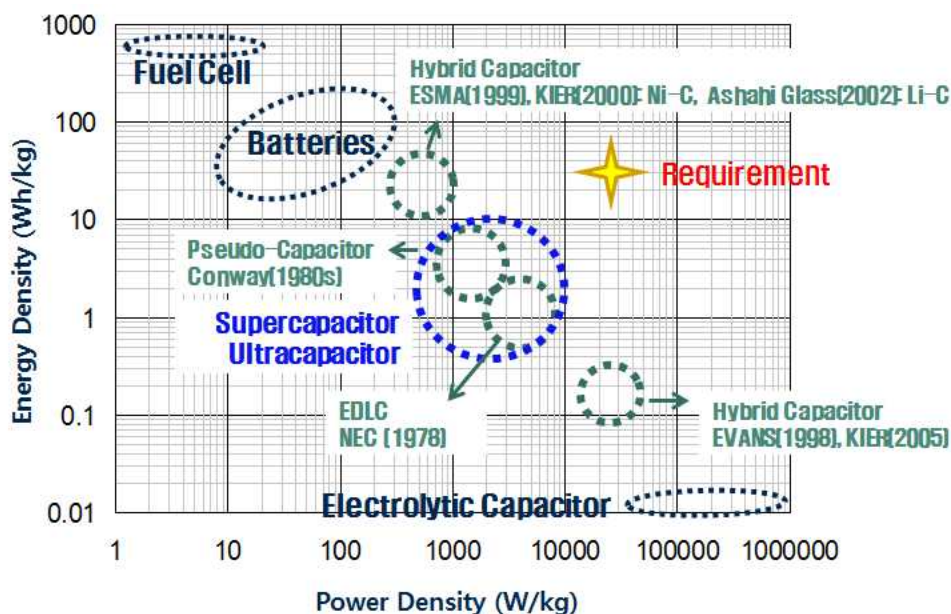
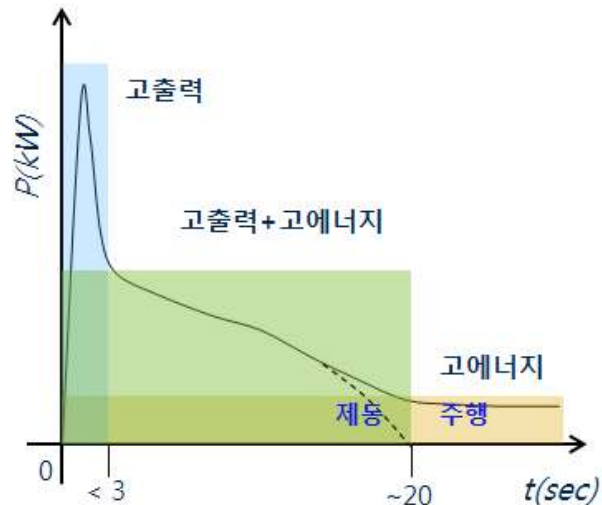


그림 50. 에너지저장 매체 형식별 특성 비교 Ragone 그래프



도시철도차량의 동력 변동 특성



그림 51. 도시철도 차량의 제동시 동력변동 특성과 에너지저장 매체 형식

위의 그림에서와 같이 일반적으로 도시철도차량이 제동을 시작한 후 약 3초 이내에는 발전기 초기구동 토크에 의한 출력(회생전류) 발생이 최대를 이루다가 차량의 속도가 감속됨에 따라 제동에 의한 회생전류는 감소하는 변화를 갖음. 약 20초 이내에 차량은 정지하게 되고 회생전류는 0이 됨.

따라서, 도시철도차량 탑재용 에너지저장 매체로서는 수 시간 이상 충방전용인 이차전지(배터리)와 3초 미만 충방전용인 콘덴서는 적합한 매체 형식이라고 할 수 없으며 슈퍼캐패시터(Supercapacitor) 역시 에너지밀도와 출력밀도 모두가 도시철도차량 탑재용으로서 부족한 상황임.

그러나, 도시철도차량의 제동력 회생 시간(약 20초) 동안에 항상 고출력을 유지할 필요는 없으므로, 에너지밀도가 향상된 고출력 고전압형 콘덴서-슈퍼캐패시터 하이브리드형 매체와 함께 출력밀도가 향상된 배터리-슈퍼캐패시터 하이브리드형 매체를 같이 사용한다면 최대한의 철도차량 제동에너지 회생이 가능해짐.

(2) 기술수준

아래의 표는 슈퍼커패시터, 배터리-슈퍼커패시터 하이브리드, 콘덴서-슈퍼커패시터 하이브리드 형식의 매체들에 대한 기술개발기관/기업과 제품의 특징 및 특성을 정리한 것임. 또한 두 가지 서로 다른 하이브리드형 매체들의 작동 원리와 기술개발 상황을 아래의 그림에 표시함.

표 20. 하이브리드형 매체들의 작동 원리와 기술개발 현황

매체 형식	개발기관/기업	특징(전극소재)	단위 셀 제원
Battery-Supercap Hybrid type	ESMA(러시아) KIER(한국) Ashahi Glass/ JME(일본) Furukawa(일본) Axion Power(미국)	Ni-Carbon Ni/Carbon-Carbon Li-Carbon Li-Carbon Pb-Carbon pb-Carbon	에너지밀도: <12Wh/kg 출력밀도: < 3kW/kg 단셀전압: <3.5VDC 충방전수명: <100,000회
Supercap	Maxwell(미국) NESS(한국) LS 엠트론(한국) 비나텍(한국) NEC(일본) Meidensa(일본) NCC(일본)	Carbon-Carbon	에너지밀도: < 6Wh/kg 출력밀도: < 5kW/kg 단셀전압: < 3VDC 충방전수명: <500,000회
Condensor-Supercap Hybrid type	EVANS(미국) KIER(한국) NCC(일본)	Ta-Carbon Al-Carbon Al-Carbon	에너지밀도: < 0.2Wh/kg 출력밀도: < 33kW/kg 단셀전압: <600VDC 충방전수명: <2,000,000회

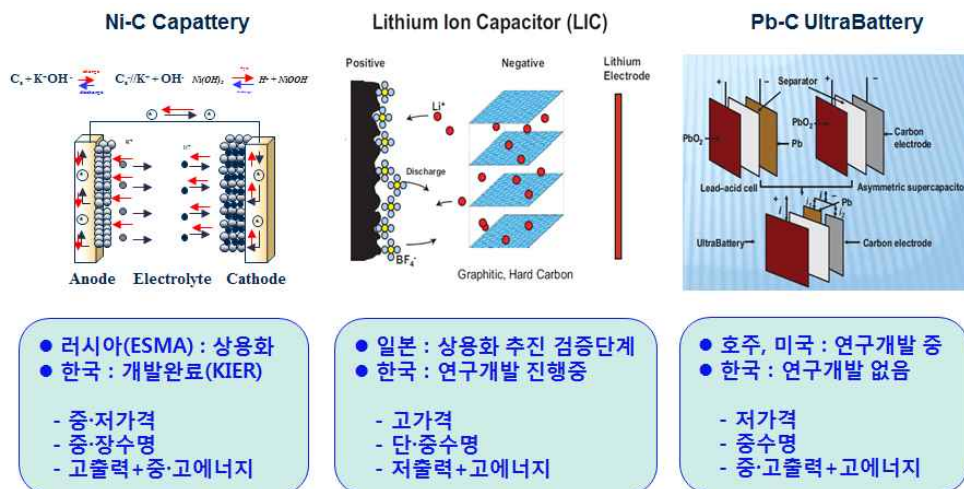
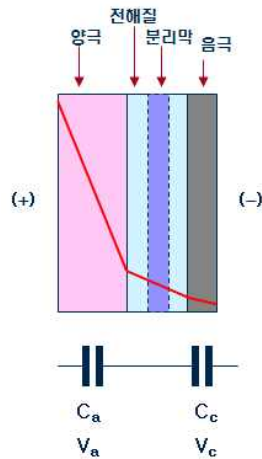
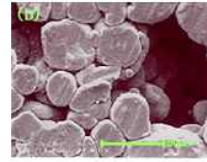


그림 52. 배터리-슈퍼커패시터 하이브리드형 매체의 작동원리 및 기술현황

작동원리



기술현황



Cell Voltage : 300VDC

Power Density: 33.8kW/kg

Energy Density: 0.2Wh/kg

그림 53. 콘덴서-슈퍼커패시터 하이브리드형 매체의 작동원리 및 기술현황

각각 다른 형식의 매체에 대한 장단점과 기술적 개선 가능성을 요약하여 비교하면 아래의 표와 같음.

표 21. 하이브리드형 매체들의 장단점과 기술적 개선방향

매체 형식	장점	단점	개선방향/가능성
Battery-Supercap Hybrid type	에너지밀도 높음	출력밀도 낮음 짧은 수명 단셀전압 낮음	출력 및 수명 향상 단셀전압 3.8VDC 가능
Supercap	친환경 소재	에너지밀도 미흡 출력밀도 미흡 단셀전압 낮음	에너지밀도 및 출력밀도 동시 향상이 어려움 단셀전압 3.0VDC 가능
Condensor-Supercap Hybrid type	출력밀도 매우 높음 단셀전압 높음 충분히 긴 수명	에너지밀도 매우 낮음	단셀전압 1000VDC 가능 에너지밀도 1Wh/kg 수준 향상 가능

(3) 목표 요구사항

대전 도시철도 운행구간 중에서 제동 시에 회생전력량이 가장 큰 오룡-용문역 구간을 기준으로, 실제 운행 차량(1M)에서 1초 단위로 측정된 전류 전압을 이용하여 차량의 제동시

간 동안에 발생하는 회생동력, 전류, 누적전력량을 측정한 그림을 아래에 표시하였다.

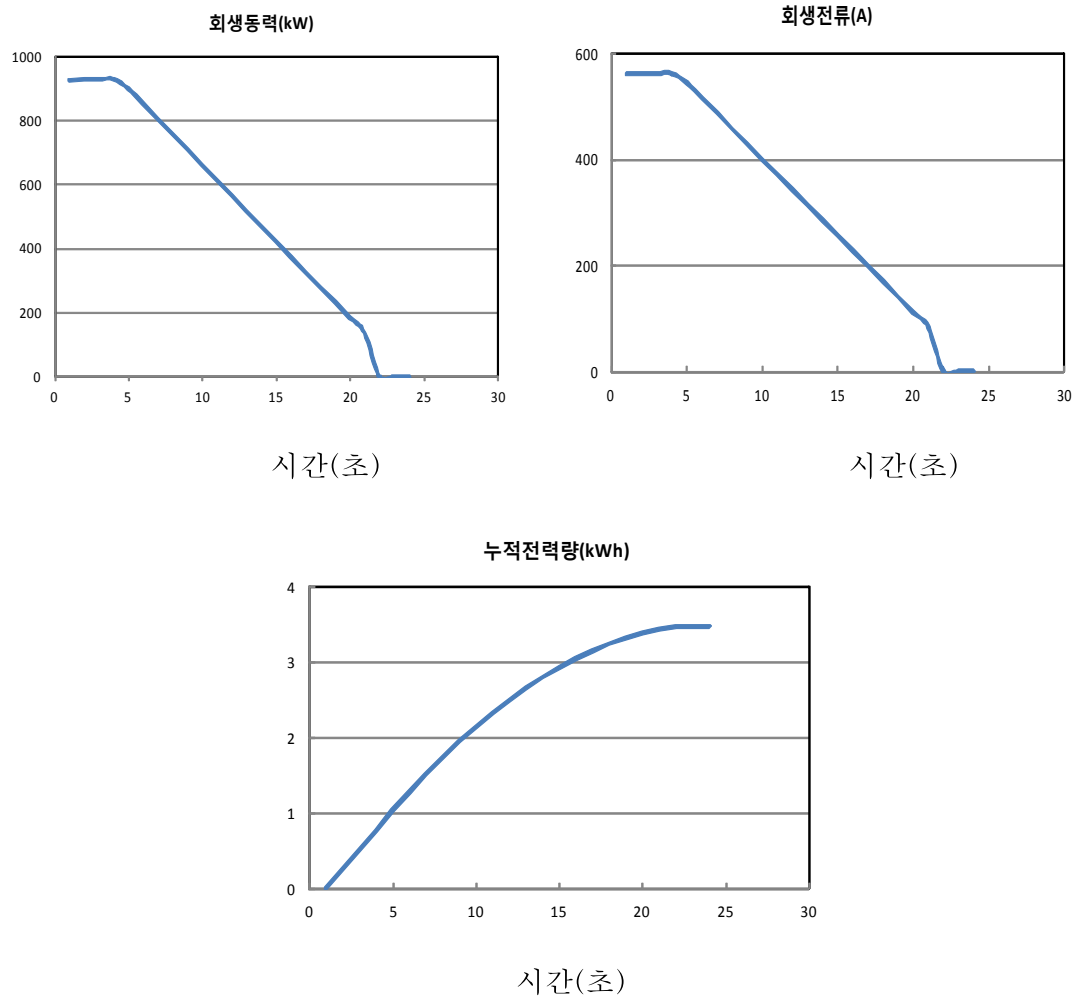


그림 54. 전동차 M카 회생동력, 전류, 누적전력량

측정된 데이터로부터 산출된 결과로써,

- 최대 회생동력 : 925kW
- 최대 회생전류 : 560A
- 누적전력량 : 3.4kWh

와 같다.

한편, 에너지저장 매체 시스템의 구성에는 매체뿐만 아니라 매체 냉각장치, 매체 모듈 연결 버스바(bus-bar), 단위셀, 모듈(module) 간의 전압과 전류를 제어하는 에너지 매너지먼트 시스템(Energy Management System: EMS)가 구성된 제어보드(control board)등이 내장되어야 하므로 실제 각 매체들에 허용된 중량과 체적은 차량의 여유 공간에서 더욱 제약을 받게 됨.

이러한 상황을 고려하면, 도시철도차량 탑재용 에너지저장 매체시스템 전체에 대한 기본사양으로써,

- 에너지밀도 : 12Wh/kg 이상
- 출력밀도 : 7kW/kg 이상

을 동시에 만족해야 하는데 현재까지의 기술 수준으로는 단일 형식의 매체(단위셀)로서 이상과 같은 특성을 가지는 제품은 세계적으로도 개발되어 있지 않은 상황임.

그러나, 제동 시간(약 20초) 동안에서도 초기 5~10초 동안에는 고출력형 매체(즉, 콘덴서-슈퍼커패시터 하이브리드형 매체)와 고에너지형 매체(즉, 배터리-슈퍼커패시터 하이브리드형 매체)를 동시에 사용하고 이후에는 고에너지형 매체 단독으로 사용하는 방식의 에너지저장 시스템을 최적화 구성하면 제동에너지를 전부를 회수 저장할 수 있는 방안이 됨.

(4) 에너지저장 매체 시스템 구성 및 적용기술

전동차 탑재용 에너지저장 매체 시스템의 주요 구성부분과 적용기술 사항을 요약 정리하면 다음의 표와 같음.

표 22. 에너지저장 매체 시스템의 주요 구성부분과 적용기술

주요 구성부분	적용기술
에너지저장 매체 단위셀	소재기술(전극, 전해질, 분리막, 집전체)기술 전극코팅 및 셀조립기술(packing, sealing, 전해액주입) 셀성능평가기술(에이징, 용량/수/저항 특성 평가)
에너지저장 매체 및 모듈 제어	셀-모듈간 전압 균등화 제어 알고리즘 기술 EMS 기술 대전류 저저항 모듈 접합기술
에너지저장 매체 시스템 및 운용	매체(셀/모듈) 냉각 및 온도제어 기술 방진 및 방식 하우징 기술 고전압 대전류 배선 기술

(5) 시험평가 조건

- 개발된 저장 매체의 단위셀, EMS가 포함된 각각의 모듈 및 시스템(bank)에 대하여 성능 시험, 환경시험, 수명시험을 실시함.
- 기존의 매체와는 다른 형식의 하이브리드형 매체에 대하여 적용할 수 있는 국내외 공인

인증 시험평가 기준이 없는 경우에는 KS C0210/7, IEC 62391-1/2, EIAJ RC-2377/9, UL 810A, DOD-C29501/1 등의 해당 항목을 준용함.

- 각각의 시험평가 항목에 대한 시험평가 성적서는 항목에 따라 지상시험 또는 차상 탑재 시험을 통하여 국가공인기관에서 발급받는 것을 원칙으로 함.

(6) 성능 검증

(가) 성능시험

표 23. 성능시험 항목 별 시험방법 및 조건

시험 항목	시험 방법/조건
외관검사	- 외형 치수/무게/체적 육안검사
누설전류	- 1 h 에서 24 h 사이에 완전 방전 - 정격전압의 95 %까지 30분 이내 충전 - 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 12 h, 24 h, 48 h, 또는 72 h 중 선택하여 유지 이때, 인가전압은 정격전압으로 한다.
정전용량	(1) 정전류방전법 - 정격전압까지 정전류를 인가하여 충전 - 30분 동안 정전압을 인가하여 충전 - 공칭방전전류(I)를 인가하여 방전
내부저항	(1) 교류저항법 - 측정전압의 권장 주파수: 100 Hz, 1 kHz - 교류전류범위: (1~10) mA (2) 직류저항측정 - 정격전압까지 방전전류를 인가하여 충전 - 30분 동안 정전압을 인가하여 충전유지 - 공칭방전전류의 10배 전류를 인가하여 방전

① 누설전류 시험

누설전류는 IEC 62391-1의 4.7에 따라 실시함. 누설전류 측정하기 전 커패시터의 전압을 1 h에서 24 h 사이에서 완전 방전시킴. 정격전압의 95 %까지 정전류를 인가하여 30분 이내로 충전한 후 정격전압을 인가하여 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 12 h, 24 h, 48 h, 또는 72 h 중 선택하여 유지한 후 누설전류를 측정함.

② 정전용량 시험

정전용량은 IEC 62391-1의 4.5에 따라 실시함. 정전용량은 정전류방전법으로 측정함. 정전류방전법 측정회로는 그림 55과 같이 회로를 구성하여 측정함. 정격전압(UR)까지 표 24에

규정된 조건으로 공칭방전전류(I) 값을 선택하여 일정하게 인가하여 충전하고, 30분 동안 정전압을 인가하여 정격전압(U_R)을 유지한 후 규정된 공칭방정전류(I)를 일정하게 유지하며 방전함. 방전 시 커패시터 단자간의 전압이 그림 56의 정격(충전)전압의 80 %, 40 %가 되는 전압 U_1 , U_2 를 측정하고, 이때의 방전시간 t_1 , t_2 를 이용하여 커패시터의 정전용량(C)을 아래 (식 1)에 의하여 계산함.

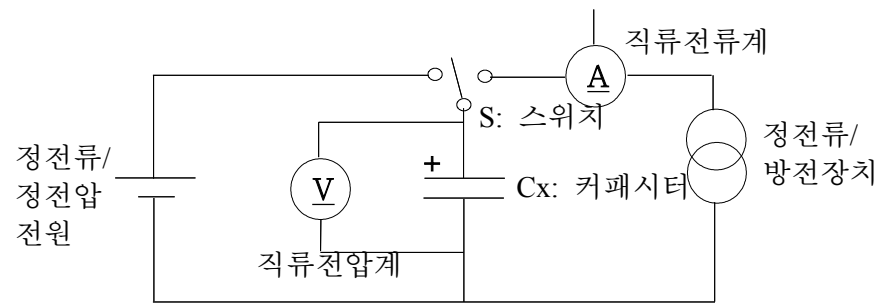


그림 55. 정전류방전법 측정회로

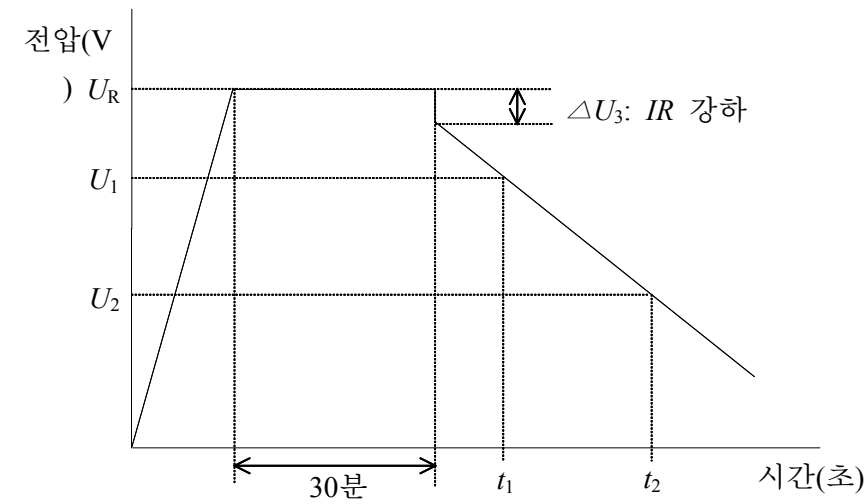


그림 56. 커패시터 단자 간 전압특성

$$C = \frac{I \times (t_2 - t_1)}{U_1 - U_2} \quad (\text{식 1})$$

여기서, C 는 정전용량(F);

I 는 방전전류(A);

U_R 는 정격전압(V);

U_1 은 정격(충전) 전압의 80% 값(V);

U_2 는 정격(충전) 전압의 40% 값(V);

t_1 은 U_1 에 도달하는 시간(S);

t_2 는 U_2 에 도달하는 시간(S).

공칭방전전류(I)는 특별히 규정된 조건이 없으면 다음 표 24에서 선택하여 적용함.

표 24. 공칭방전전류 조건

특성 분류	고에너지형	고출력형
공칭방전전류(A)	$(0.1 \sim 1) \times C \times U_R$	$(4 \sim 40) \times C \times U_R$

③ 내부저항

내부저항은 IEC 62391-1의 4.6에 따라 실시함. 내부저항은 교류저항법과 직류저항법 중 선택하여 측정함.

④ 교류저항법

교류저항법의 측정회로는 그림 57과 같이 회로를 구성하여 측정함. 특별히 규정된 조건이 없으면, 측정전압의 권장 주파수는 100 Hz와 1 kHz 중 선택하고, 교류전류는 (1~10) mA 조건에서 커패시터의 내부저항(R_a)을 아래 (식 2)를 이용하여 계산함.

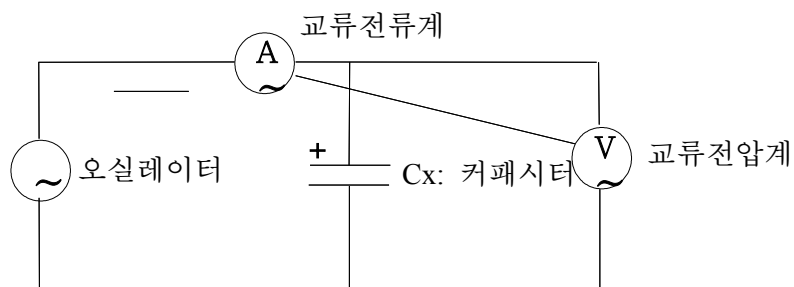


그림 57. 교류저항 측정 회로

$$R_a = \frac{U}{I} \quad (\text{식 2})$$

여기서, R_a 는 교류내부저항(Ω);

U 는 교류전압의 실효치($V_{r.m.s}$);

I 는 교류전류의 실효치($A_{r.m.s}$)

⑤ 직류저항법

직류저항법의 측정회로는 정전류방전법 측정회로와 같이 회로를 구성하여 측정함. 특별히 규정된 조건이 없으면, 정격전압(U_R)까지 선정된 공칭방전전류(I) 값으로 일정하게 인가하여 충전하고, 30분 동안 정전압을 인가하여 정격전압(U_R)을 유지한 후 규정된 공칭방전전류(I)의 10배 전류를 일정하게 인가하여 방전함. 방전시 5ms 동안 전압(IR)강하 전압(ΔU_3)과 전류(I)를 이용하여 커패시터의 내부저항(R_d)을 아래 (식 3)에 의하여 계산함.

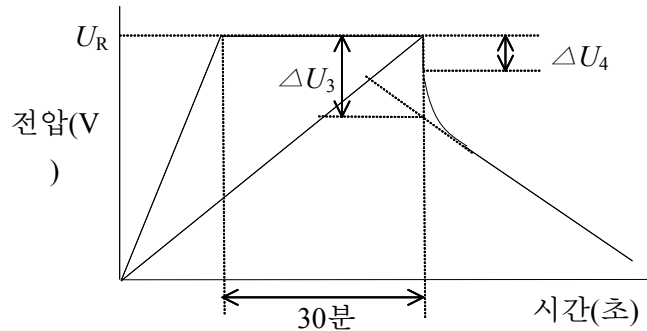


그림 58. 커패시터 단자 간 전압특성

$$R_d = \frac{\Delta U_3}{I} \quad (\text{식 3})$$

여기서, R_d 는 d.c. 내부저항(Ω);

ΔU_3 는 전압(IR) 강하 전압(V);

I 는 공칭방전전류의 10배 전류(A).

(나) 환경시험

아래의 표에 각 그룹별 모든 시험항목을 검증하는 것을 원칙으로 하며 판정기준은 육안판정에 의한 정성적인 판정과 함께 정량적인 판정은 전술한 성능시험에서와 같은 방법으로 얻어진 결과를 활용함.

(다) 수명시험

고온동작시험과 충방전 싸이클 수명 시험 항목으로 나누며, 고온동작시험에서는 최고사용온도 조건을 등급에 따라 선택하여 정함.

표 25. 환경시험 항목 및 시험평가 조건

구분	시험항목	시험조건	판정기준
그룹 I	단자강도	(1) 인장강도시험(U_{AI}) (2) 구부림강도시험(U_b)	-외관에 결함이 없을 것 -용량감소율 $\leq 10\%$
	땀 내열성	(1) 온도: $(260\pm 5)^\circ\text{C}$ (2) 침지깊이: $(2^{+0}_{-0.5})\text{ mm}$ (3) 침지시간: $(5\pm 0.5)\text{ s}$ 또는 $(10\pm 0.5)\text{ s}$	-외관에 결함이 없을 것 -전해액 누설이 없을 것 -용량감소율 $\leq 10\%$
그룹 II	자가방전 (전압유지특성)	(1) 1 h에서 24 h 이내에 완전 방전 (2) 인가전압 : 정격전압 (3) 충전시간: 8 h(정격의 95 %까지 30 min 이내 충전) (4) 자가방전: 8 h 충전 후 16 h에서 24 h <u>방치</u>	-외관에 결함이 없을 것 -측정 전압이 충전전압의 80%이상
	저온	(1) 온도: 최저저장온도 (2) 시험시간: $(96\pm 4)\text{ h}$	-외관에 결함이 없을 것 -전해액 누설이 없을 것 -용량감소율 $\leq 10\%$
	고온	(1) 온도: 최고저장온도 (2) 시험시간: $(96\pm 4)\text{ h}$	-내부저항 변화 ≤ 2 배
그룹 III	온도특성	(1) 1단계: $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ (2) 2단계: 최저사용온도 - 유지시간: 2 h (3) 3단계: 최고사용온도 - 유지시간: 16 h	-외관에 결함이 없을 것 -1단계 측정치에 대해 -용량감소율 $\leq 30\%$ -내부저항 변화 ≤ 4 배
	고온고습	(1) 시험온도: $(60\pm 2)^\circ\text{C}$ (2) 상대습도: $(90\sim 95)\%\text{R.H.}$ (3) 시험시간: 10일	-외관에 결함이 없을 것 -전해액 누설이 없을 것 -용량감소율 $\leq 30\%$ -내부저항 변화 ≤ 4 배
	젖음성	(1) 온도: $(235\pm 5)^\circ\text{C}$ (2) 침지깊이: $(2^{+0}_{-0.5})\text{ mm}$ (3) 침지시간: $(2\pm 0.5)\text{ s}$	-외관에 결함이 없을 것 -흡착률 75 % 이상
그룹 IV	온도변화	(1) 저온: 최고저장온도 (2) 고온: 최고저장온도 (3) 각 온도 유지시간: 30 min 또는 3 h (4) 사이클 수: 5회 (5) 온도변화시간: 5 min 이내	-외관에 결함이 없을 것 -전해액 누설이 없을 것 -용량감소율 $\leq 10\%$ -내부저항 변화 ≤ 4 배
	정현파 진동	(1) 진동수 범위: $(10\sim 55)\text{ Hz}$ (2) 진폭 또는 가속도: 0.75 mm , 100 m/s^2 (3) 스위프 속도: 1 oct./min (4) 시험시간: 각 2 h/축, X,Y,Z 3축	-외관에 결함이 없을 것 -전해액 누설이 없을 것 -용량감소율 $\leq 10\%$
	충격	(1) 충격파형: 반 정현파 (2) 최대충격가속도: 50 g (3) 충격지속시간: 11 ms (4) 시험회수: 각 방향 3회, $\pm X,Y,Z$ 6방향	-외관에 결함이 없을 것 -용량감소율 $\leq 10\%$
그룹 V	역전압	(1) 온도: 최고사용온도($60^\circ\text{C}/65^\circ\text{C}/70^\circ\text{C}$ 선택) (2) 인가전압: 정격전압 인가 (3) 시험시간: 48 h	-외관에 결함이 없을 것 -전해액 누설이 없을 것 -폭발, 발연 등이 없을 것
	과전압	(1) 시험온도: 표준대기조건 (2) 전압: 정격전압의 110% (3) 유지시간: 7시간	-외관에 결함이 없을 것 -전해액 누설이 없을 것 -폭발, 발연 등이 없을 것
	단락	(1) 시험온도: $55\pm 2^\circ\text{C}$ (2) 충전상태: 완전충전 (3) 연결도체 저항 값: 0.005Ω (4) 단락 유지시간: 10 s	-외관에 결함이 없을 것 -전해액 누설이 없을 것 -폭발, 발연 등이 없을 것

표 26. 수명시험 항목 및 시험평가 조건

시험항목	시험조건	판정기준
고온동작시험	(1) 등급 1: 최고사용온도 60 ℃ -인가전압: 정격전압 인가 -시험온도: (60±2) ℃ -시험시간: 2 000 h (2) 등급 2: 최고사용온도 65 ℃ -인가전압: 정격전압 인가 -시험온도: (65±2) ℃ -시험시간: 1 500 h (3) 등급 3: 최고사용온도 70 ℃ -인가전압: 정격전압 인가 -시험온도: (70±2) ℃ -시험시간: 1 000 h	-외관에 결함이 없을 것 -용량감소율 ≤ 30% -내부저항 변화율 ≤ 2배
충방전 사이클시험	- 방법 A : 고에너지형 (1) 정격전압까지 충전: 공칭방전전류 (2) 정격전압 유지: (15±1) s (3) 정격전압의 1/2까지 방전: 공칭방전전류 (4) 정격전압의 1/2 유지: (30±1) s - 방법 B : 고출력형 (1) 정격전압까지 충전: (20±1) s 또는 공칭방전전류의 10배 (2) 정격전압 유지: (10±1) s (3) 정격전압의 1/2까지 방전: (20±1) s 또는 공칭방전전류의 10배 (4) 정격전압의 1/2 유지: (10±1) s - 시험시간: (1)~(4)를 1사이클로 하여 10만 사이클	

라. 개발대상 기술 목표 사양

본 연구는 전동차에서 발생하는 회생에너지를 재활용하여 에너지절감, 피크 저감, CO₂ 절감이 목표이므로 충방전 횟수가 많은 철도 시스템이 적합함. 이러한 시스템으로는 도시철도가 해당됨. 국내에서 운행 중인 도시철도용 차량의 수는 7,958량으로 그 수요 또한 많음. 도시철도는 특성상 역간 거리가 1.5 ~ 2km이므로 역행과 제동 회수가 많고, 회생에너지도 짧은 시간에 발생하고 전동차 사용에너지의 30% 에너지가 제동저항 및 전차선 저항에 의해 없어지므로 전동차에 탑재할 에너지저장장치를 개발하는 것이 필요함.

국내 운행 중인 전동차 형식으로 2가지 종류가 있음. 대형전동차는 서울시내에서 운행되는 1~8호선과 분당선이고, 중형전동차는 서울에 비해 승객수가 적은 인천, 대구, 부산등 지방 중소도시에서 운행하는 전동차임. 따라서 에너지저장장치는 2가지 종류의 전동차 모두 적용 가능해야 할 것임.

(1) 개발대상 기술

(가) 전동차 탑재용 전력변환기

기존 도시철도차량에 에너지저장장치를 탑재하기 위해서는 차량 전장품에 대한 소형화와 경량화가 필수적임. 전력변환장치 및 냉각장치의 최적 설계를 통하여 에너지저장장치의 소형화와 경량화를 실현하고자 함.

출력필터의 중량과 부피를 줄이기 위해 L필터 대신에 LC필터를 적용해야 함. 또한 DC-DC 컨버터도 중량과 부피를 줄이고 저장매체의 효율을 증가시키기 위해 3상 인터리브드 방식을 적용함. 그리고 에너지저장장치의 전력변환용 반도체 소자(IGBT)의 냉각을 위한 방열 시스템은 차량 하부에 취부 되어야 하는 국한적인 취부 공간에 의해 냉각 효율이 우수하고, 시스템을 최소화할 수 있도록 수냉각기가 적합함.

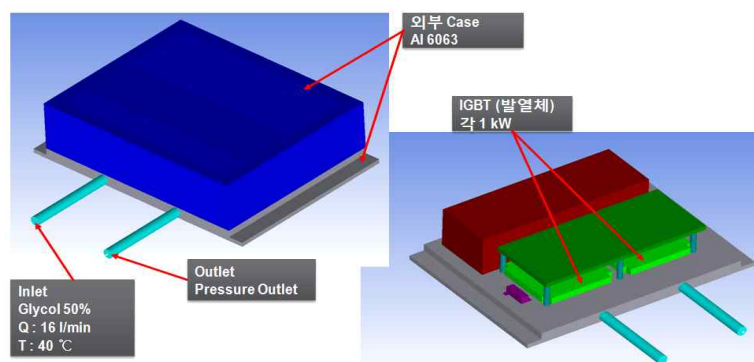


그림 59. 발열시스템 모델링

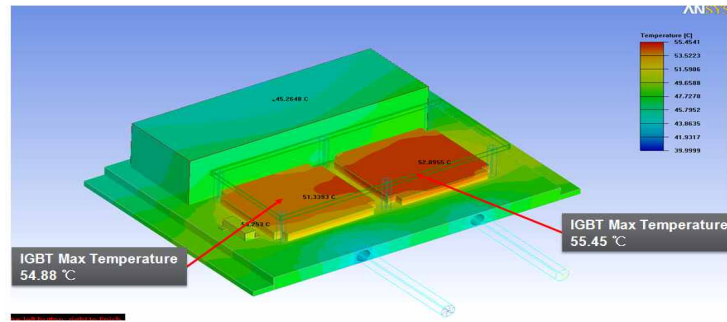


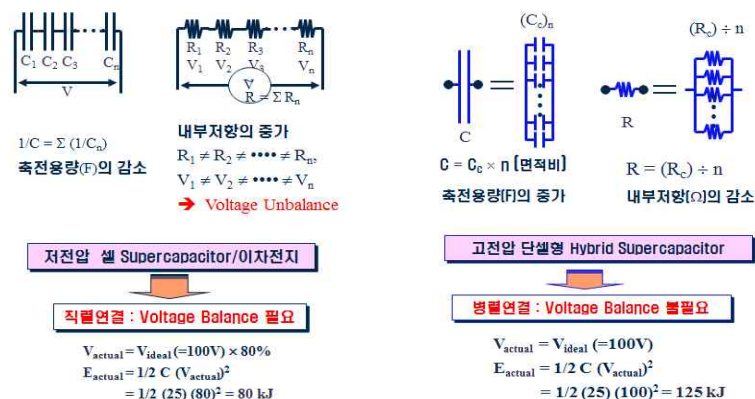
그림 60. IGBT 온도상승 해석

(나) High-speed 에너지저장 매체 시스템

그림 61에서 보는 바와 같이, 단셀 전압이 2~3VDC 정도로 낮은 매체를 이용하여 고전압 매체 시스템을 구성하는 경우 셀간의 전압균형(Voltage balance)을 유지하기 위한 여유 전압을 고려해야하는 관계로 고전압형 단셀로써 구성된 매체 시스템에 비하여 약 65% 정도의 유효에너지 용량을 가지게 됨. 따라서, 고전압형 단셀을 사용하는 매체 시스템이 필요함. 이러한 형식의 매체는 에너지밀도가 낮으므로 고에너지밀도형 매체와 함께 시스템을 구성하여 사용해야 함. 이러한 고에너지형 매체라 하더라도 배터리는 적합하지 않으며 배터리보다 에너지밀도는 낮지만 출력밀도가 크게 향상된 배터리-슈퍼커패시터 하이브리드형 매체가 적합함.

따라서, 전동차 탑재용 에너지저장 매체 시스템에는 다음의 두 가지 형식의 매체가 개발되고 함께 구성되어야 함.

- 고출력형 고전압 콘덴서-슈퍼커패시터 하이브리드형 매체
- 고에너지형 배터리-슈퍼커패시터 하이브리드형 매체



(a)저전압 단셀형 모듈구성

(b)고전압 단셀형 모듈구성

그림 61. 유효한 실제 저장에너지 양의 비교

(2) 연구개발 목표

(가) 전동차 탑재용 전력변환기

차량 하부구조는 기존 전장품으로 인해 공간의 여유가 없음. 전동차는 서울 수도권에서 운행되는 대형 전동차와 지방 도시에서 운행되는 중형 전동차로 구분되는데, 중형 전동차의 크기가 작으므로 개발하고자 하는 전력변환기의 크기는 중형 전동차 적용 크기로 개발해야 할 것임. 또한 현재 운행하고 있는 전동차를 위한 탈부착형과 신규로 발주되는 전동차를 대상으로 하는 일체형 2타입으로 전력변환기를 개발해야 할 것임. 탈부착형과 일체형의 크기가 거의 동일하나 일체형의 경우는 기존의 인버터와의 결선에 따른 결선 손실이 발생하지 않고, 별도의 Box 구성이 필요없고, 인버터와 에너지저장장치를 하나의 제어장치로 구성함으로써 회로적으로 간단하고 크기와 중량을 줄일 수 있음.

표 27. 전동차 탑재용 전력변환장치 목표 사양

항 목			사 양
전력변환방식			DC/DC 양방향 인터리브드 CONVERTER
소 자 정 격			3,300V - 400A 모듈형 IGBT
소 자 구 성			(1직렬 × 1병렬) × 3개
스위칭 주파수			10kHz 이하
냉 각 방 식			수냉각방식
소재			알루미늄
전력변환기 (탈부착형)	구조	크기	1.6m(W) X 1.0m(D) X 0.7m(H)
	가선측 전압	충전전압	1,700 [V] (실측 후 변경)
		방전전압	1,500 [V] (실측 후 변경)
	충방전	출력	최대 1,000kW
		에너지	최대 3.4kWh
	무게		800kg 이하
전력변환기 (일체형)	크기		탈부착형 대비 95%
	중량		탈부착형 대비 95%
	제어장치		일체형 제어장치
	Box		인버터와 에너지저장장치 1 Box

(나) 고속 충방전형 고전압 에너지저장 매체

지금까지 개발된 매체의 성능 제원으로는 도시철도차량 탑재용으로 활용이 불가능함. 따라서, 고출력 고전압형 콘덴서-슈퍼커패시터 하이브리드 매체의 경우, 단셀전압을 1,000VDC까지 그리고 에너지밀도를 1Wh/kg 이상으로 향상 시켜야한다. 아울러, 고에너지형 배터리-슈퍼커패시터 하이브리드 매체의 경우는 출력밀도와 단셀전압을 향상시키고 충방전 사이클수명을 최소 500,000회 이상의 수준으로 크게 향상시켜야 함. 사이클 수명은 만충전 및 만방전의 경우로 일반적으로 전동차가 역간거리 1.5km를 하루 200km 운행시 133회 충방전이 이루어지므로 500,000cycle의 의미는 10년 이상에 해당함.

표 28. 전동차 탑재용 저장매체 목표 사양

항 목	사 양	비고
사이즈	{1.2m X 1.0m X 0.7m} x 2set	
출력	최대 1,000kW	
에너지	최대 3.4kWh	
출력 밀도	7kW/kg 이상	
에너지 밀도	12wh/kg 이상	
무게	700kg 이하	
고출력형 고전압 hybrid Supercap	단셀전압: 1000VDC 출력밀도: >30kW/kg 에너지밀도: >1Wh/kg 사이클수명: >2,000,000cycle	핵심기술 · 고전압형 양극소재 및 전극제작 기술 · 내전압 전해질 소재 합성기술 · 단위셀 제작 및 모듈화 기술 · EMS/PMS 및 냉각 제어기술
고에너지형 hybrid Supercap	단셀전압: >3VDC 출력밀도: >5kW/kg 에너지밀도: >20Wh/kg 사이클수명: > 500,000cycle	핵심기술 · 고에너지-장수명 음극소재 기술 · 내압/방열 구조 팩 제작기술 · 방열성 전해질 기술 · EMS/PMS 및 냉각 제어기술

아래는 기존의 매체 형식들과 개발대상 매체(셀, 시스템)의 차이점을 그래프로 나타냄.

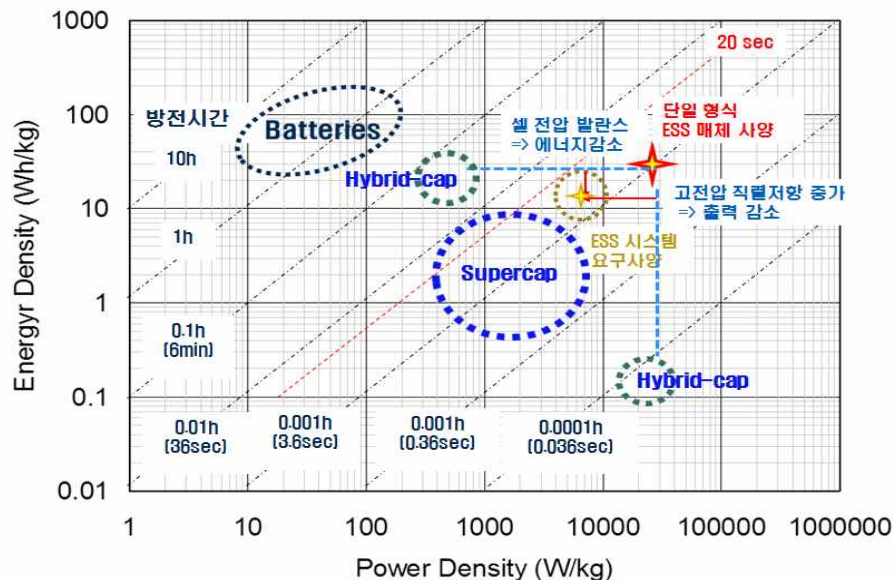


그림 62. 개발 목표 전력 및 에너지 밀도

4. 과제별 · 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

가. 연구개발과제 구성 및 추진체계

- 정부와 업계 그리고 연구원 등이 향후 녹색시장에 영향력 있는 시스템으로 인식하고, 정부 및 산업기술연구회는 적극적인 보급 및 장려 정책을 구현하며, 업계에서는 경쟁 우위를 위한 기술개발에 적극 투자하고, 주관연구기관은 기술개발에 애로기술과 시스템 인터페이스 및 시험기술에 대한 연구개발 노력 등 적절한 역할 분담을 통해서 완성된 기술개발이 가능할 것으로 기대됨.
- 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술을 개발하기 위해서는 전력변환기를 기존보다 소형 최적화해야 하며, 소형화에 따른 발열 문제를 해결하도록 개발해야 하고, 발생된 회생에너지에 대해 초기 에너지와 약 20초간의 에너지를 모두 저장할 수 있는 저장매체 기술을 개발해야 할 것임.
- 과제명: 전동차 온보드 전기에너지 저장기술 개발
 - 1세부: 전동차 탑재용 에너지저장장치 시스템엔지니어링, 전력변환기 개발 및 시험평가 기술개발
 - 에너지저장장치 구성요소 인터페이스 및 통합
 - 전동차 탑재용 에너지저장장치 최적 설계
 - 에너지저장장치 운영노선 적용성 및 분석
 - 전동차 탑재용 초소형 DC-DC 컨버터 H/W 및 S/W 개발
 - 신규 전동차용 인버터 일체형
 - 기존 전동차용 탈부착형
 - 에너지 저장효율 향상을 위한 Auto-Tuning 제어기술 개발
 - 저장매체 종합제어시스템 H/W, S/W 설계 및 제작
 - 초소형 DC-DC 컨버터/저장매체/종합제어시스템 통합 및 시험
 - 전동차 탑재를 위한 기존 전동차 추진시스템 변경
 - 초소형 DC-DC 컨버터 전동차 탑재
 - 에너지저장장치 실증 시험 및 효과 분석

- 2세부: 도시철도차량 탑재용 차세대형 High-speed 저장매체 기술 개발
 - 전동차 탑재용 차세대형 High-speed 단셀 및 모듈 저장매체 개발
 - 고전압 고출력 하이브리드형 저장매체 기술개발
 - 고에너지형 하이브리드형 저장매체 기술개발
 - 전극/셀/모듈 설계 및 제작
 - 최적 용량 설계 및 냉각기술 개발
 - 저장매체 제어 알고리즘 개발
 - 차세대 저장매체 제작 및 시험
 - 차세대 저장매체 전동차 탑재 및 시험

○ 추진체계

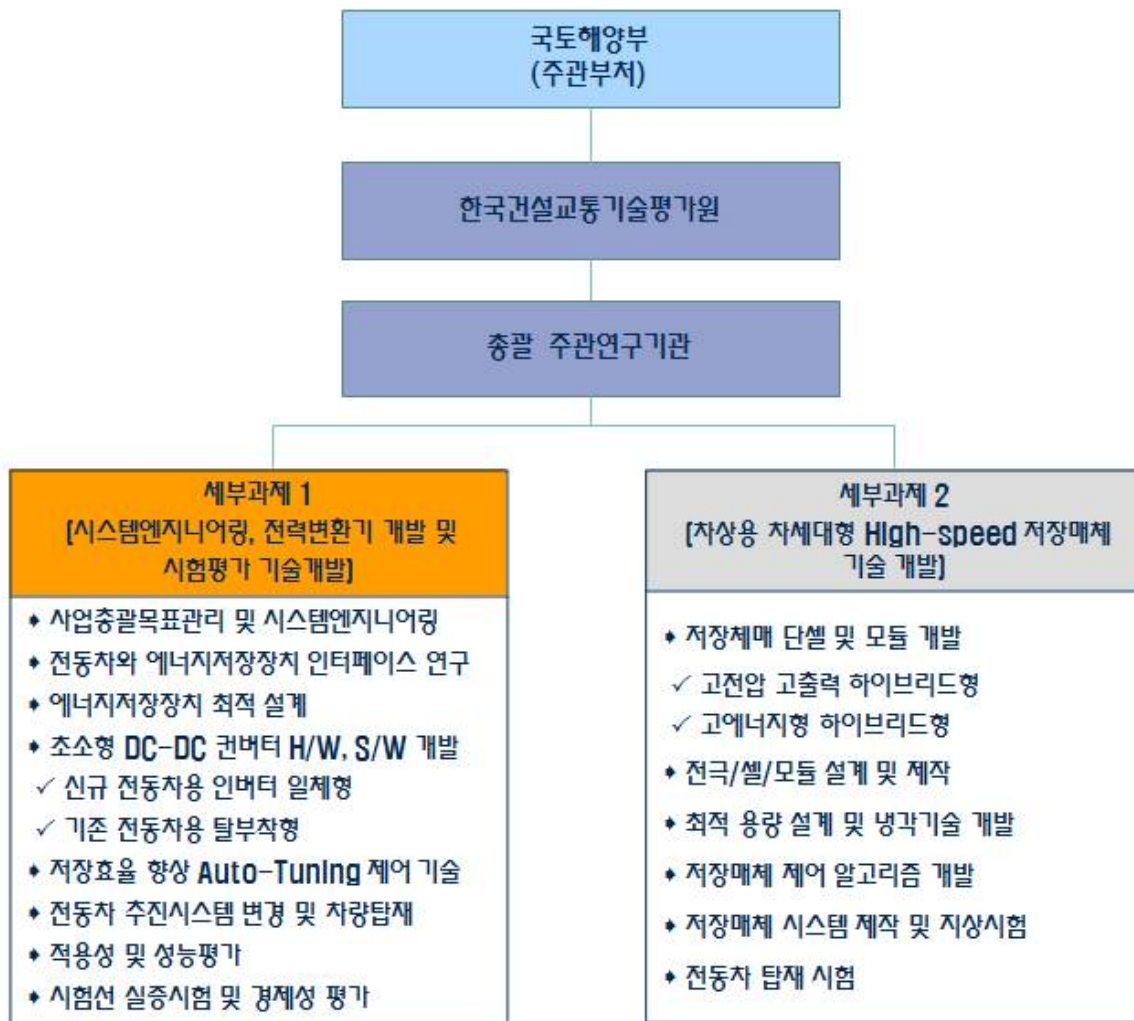


그림 63. 추진체계

나. 추진전략 및 TRM(Technical Road Map)

(1) 추진전략

- 축적된 기술을 반영하고, 산학연의 공동 연구개발 체계를 구축하고 기초 연구와 설계 및 해석, 평가가 이루어 질 수 있는 추진 체계를 구축함. 특히 산업체가 확보하고 있는 기존 기술을 전동차 탑재용 에너지저장장치 제작을 위해 적극적인 참여를 유도하여 개발 완료 후 상용화가 가능하도록 철도차량 산업 클러스터를 구축함.
- 개발의 목표인 전동차 탑재용 에너지저장장치 개발을 위하여 세부 개발과제별 연구 진행 일정 및 공정계획을 조정함으로서 사양결정, 기본 설계, 상세설계, 제작, 단품 시험, 전동차 탑재 후 실증시험 등의 진행과정이 원활히 이루어 질 수 있도록 개발을 추진함.
- 철도차량용 부품이 갖추어야 하는 환경성, 신뢰성 확보를 위해 저장매체와 전력변환장치를 결합한 테스트 시스템을 구축하여 충방전 시험, 보호동작 시험, 제어로직 검증 시험등을 진행하고, 충분한 검증이후 전동차에 탑재하여 시험에 투입함.
- 전동차 탑재용 에너지저장장치에 대한 객관적인 성능 평가를 위해 산·학·연의 전문가 평가회의를 구성하고 세계적인 수준의 선행연구 결과는 논문 발표 및 특허를 출원하여 기술을 충분히 확보할 것임.
- 산·학·연의 협동 추진체계 및 외부 전문가 자문위원회 구성을 통해 연구내용의 질적 향상 및 객관성 확보할 것임.

○ 산·학·연의 관계는 기본적으로 아래와 같은 형태로 추진되어야 할 것임.

- 제작·설계 관련 기술은 국내의 차량제조사, 전력변환기 제조사, 에너지 저장장치 제조사, 저장매체 제조사 등이 컨소시엄을 구성하여 연구를 수행하고, 해석과 평가는 학계와 연구소가 수행. 연구결과의 활용성 확보, 현장요구의 수용, 기술 적용시 시험운전 및 시운전과 관련한 부분의 지원 및 문제해결을 위해서는 철도 운영기관과 연계를 필요로 하므로 3원체제로 연구체계가 필요함

· 산업체 : 저장매체 및 전력변환장치 설계 및 제작

· 학교 및 연구소 : 전력변환장치 제어알고리즘, 저장매체 시편 기초 시험, 해석, 시험선 및 실노선 시험평가

· 운영기관 : 사양결정, 현장요구사항 연구, 실노선 시험 및 현장 운용기술연구



그림 64. 산학연 추진전략

(2) 연구개발과제 TRM

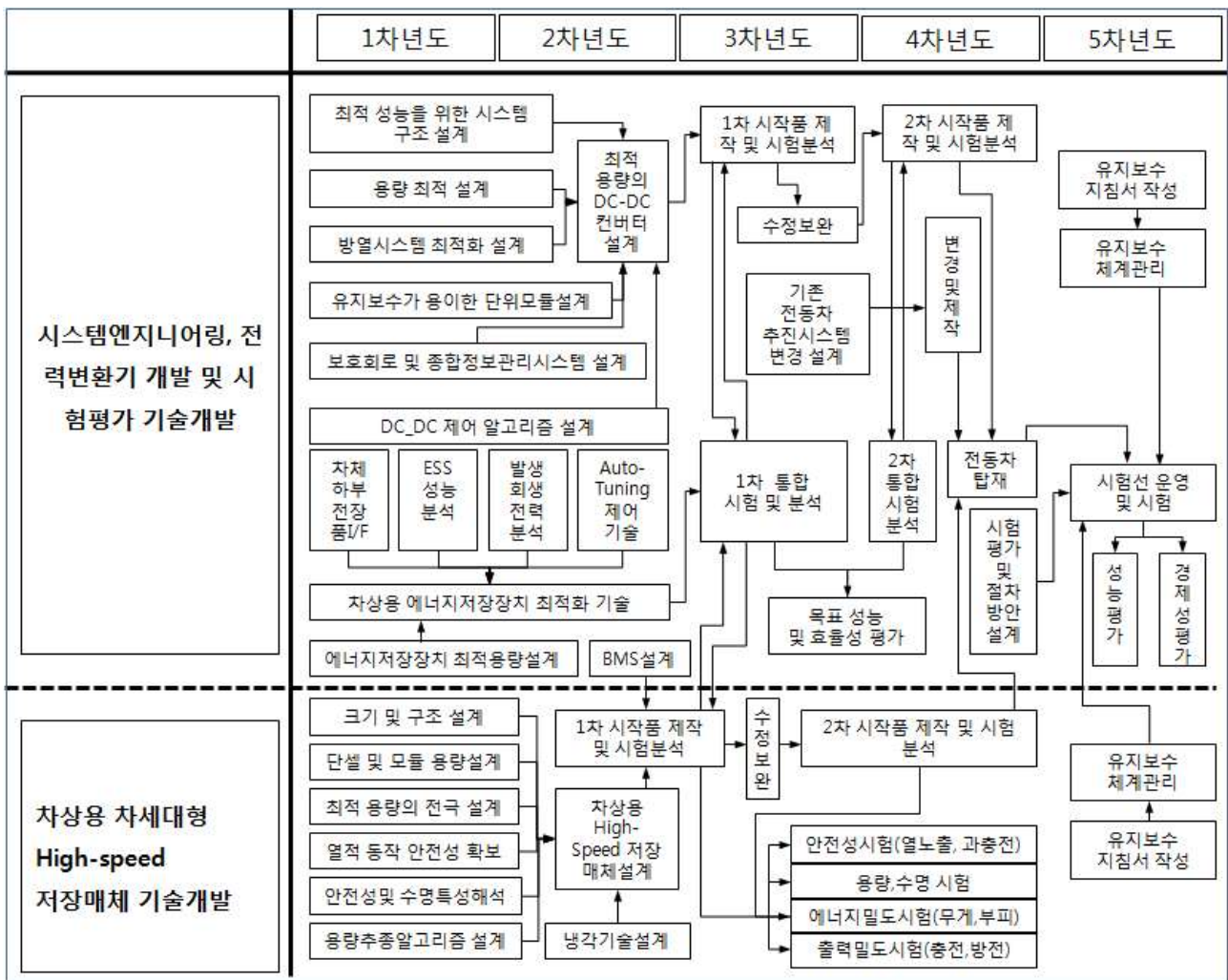


그림 65. 기술별 TRM(Technical Road Map)

(3) 단계별 추진일정

표 29. 연구개발 단계별 추진일정

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2013)	기본설계	·전동차 초소형 DC-DC 컨버터 H/W, S/W 기본설계 ·Energy Management System H/W, S/W 기본설계 ·시스템인터페이스 ·차세대 High-speed 저장매체 기본설계 ·저장매체(고전압 고출력형/고에너지형) 용량산정 ·전동차 구조 및 초소형 DC-DC 컨버터와 인터페이스
2차년도 (2014)	상세설계 및 1차 시작품 제작	·전동차 초소형 DC-DC 컨버터 H/W, S/W 상세설계 ·Energy Management System H/W, S/W 상세설계 ·시스템인터페이스 ·초소형 DC-DC 컨버터 1차 시작품 제작 ·차세대 High-speed 저장매체 상세설계 ·저장매체(고전압 고출력형/고에너지형) 용량산정 ·저장매체 시편 제작 및 시험 ·저장매체 1차 시작품(단품) 제작
3차년도 (2015)	2차 시작품 제작 및 시험	·초소형 DC-DC 컨버터 1차 시작품 구성품/통합 시험 ·초소형 DC-DC 컨버터 2차 시작품 설계 보완 ·시스템인터페이스 ·기존 전동차 추진시스템 변경 검토 및 설계 ·저장매체 1차 시작품(단품) 제작 및 시험 ·저장매체 1차 시작품(단품) 보완 설계 및 2차 시작품(모 듈)제작 및 시험
4차년도 (2016)	통합 시험 및 전동차 탑재	·시스템인터페이스 ·초소형 DC-DC 컨버터 2차 시작품 제작 및 통합시험 ·기존 전동차 추진시스템 변경/탑재 및 시험 ·저장매체 2차 시작품(모듈) 제작 및 시험인증 ·전동차 탑재 및 시험
5차년도 (2017)	성능 평가	·시험선 성능평가 및 실노선 실증시험 ·에너지절감 효과 분석

(4) 최종성과물 및 성과지표

- 본 국가 R&D를 통해 향후 시장 경쟁력을 최대한 얻도록 전동차 탑재용 저장장치를 2 Type으로 개발하는 것이며 현재 기존 전동차 약 7,958량에 대해 에너지저장장치를 추가 부착하는 방식(탈부착형)과 신규 전동차의 전력변환장치 내에 통합 설치하는 방식(일체형)으로 개발되는 것임.
- 세계 최초로 전동차 특성에 맞게 신저장매체를 개발하는 것이므로 목표 달성을 위해 단계별 개발이 필요하며 전동차 특성에 따라 최적화되도록 개발해야 함.

표 30. 최종성과물 및 성과지표

과제구분	최종성과물	성과지표
시스템엔지니어링, 전력변환기 개발 및 시험평가 기술 개발	온보드 초소형 DC-DC 컨버터 요구사항 정의서	·개발목표 사양
	온보드 초소형 DC-DC 컨버터 기능규격서	·세부기능사양
	온보드 초소형 DC-DC 컨버터	·전력변환 목표성능 ·차량 탑재 성능 구현
	온보드 초소형 DC-DC 컨버터 설계서	·온보드 초소형 DC-DC 컨버터 상세설계
	에너지 저장효율 향상 제어 S/W	·에너지절감 향상 기능 및 성능
	저장매체 운영관리 S/W	·저장매체 운영관리 기능 및 성능
	시스템 인터페이스 설계서	·저장매체-전력변환기 인터페이스 방안
	전동차 회생량 분석서	·온보드 에너지저장장치 목표성능
	전동차 탑재용 에너지저장장치 성능해석을 분석서	·국내 철도환경 적용 경제성
	규칙제정	·상용화를 위한 법 및 제도 마련
	성능평가 시험절차서	·세부 시험평가 항목 및 절차
	에너지 절감 성적서	·에너지절감 목표치 부합
차상용 차세대형 High-speed 저장 매체 기술개발	저장매체 요구사항 정의서	·개발목표 사양
	저장매체 기능규격서	·세부기능사양
	차상용 High-speed 저장매체 ·고전압 고출력형 하이브리드 매체 ·고에너지형 하이브리드 매체	·전력변환 목표성능 ·차량 탑재 성능 구현
	저장매체 설계서	·저장매체상세설계
	셀/모듈 운영관리 S/W	·셀/모듈 운영관리 기능 및 성능
	유지보수 체계 및 지침서	·유지보수
	성능평가 시험절차서	·세부 시험평가 항목 및 절차

(5) 성과의 활용방안

연구결과의 활용성 확보, 현장요구의 수용, 시험운전 및 시운전과 관련한 부분의 지원 및 문제해결을 위해서는 도시철도 관련 공기업과 연계를 필요로 하므로 연구수행에 주도적인 참여가 필요함.

또한 제작·설계 관련 기술은 국내의 전력변환기 제조사, 저장매체 제조사 등이 컨소시엄을 구성하여 연구를 수행하고, 해석과 평가는 학계와 연구소가 수행, 앞서의 사용주체인 공기업의 3원체제로 단일화 및 객관화하는 연구체계가 필요한 연구내용임.

① 상품화 연구개발

- 개발목표 수준을 명확히 하여 개발완료 후 상품화 단계를 거쳐 판매가 가능한 수준의 연구결과를 도출함.
- 시험 및 평가로 할당된 기간 동안 실증이 가능하도록 충분한 실험을 통해 인증을 받을 수 있는 수준으로 에너지저장장치를 개발해야 함.
- 개발기술의 획득으로 국내외 시장에 적용할 기술의 선점에 초점을 맞추어 대내외의 지적재산권 등록에 역량을 강화해야 함.

② 판매 전략

- 친환경 녹색성장이 모토가 되고 해당 분야의 산업이 국가의 성장동력 사업으로 대두가 되는 시점에서 전동차 탑재용 에너지저장장치의 개발은 청정 도시환경 조성, 고효율 에너지 사용, 도시교통 문제 해소와 맞물려 새로운 철도 수요를 창출할 것으로 예상됨.
- 국내의 경우 2세대 철도차량의 보급이 완료되었고, 노후 차량의 교체 사업이 단계적으로 진행되고 있으며, 신규 및 연장 노선의 개발로 새로운 수요가 발생하고 있음.
- 전동차 탑재용 초소형 전력변환기 기술에서는 전력밀도를 향상하고, 고효율 기기로 개발을 할 경우 세계수준의 경쟁력을 확보할 수 있고 수출가능성 매우 높음.
- 에너지 저장장치는 다양한 차량 적용 모델을 개발하여 상품화하는 전략추진 필요.
- 기술, 가격, 신뢰성을 확보할 수 있도록 제조사의 개발 참여를 유도하며, 또한 조기에 경쟁력 있는 제품과 기술을 확보하도록 제조사와 고속 충전전기 개발업체의 컨소시엄을 구성하여 사업을 수행함. 산학연의 공동 연구개발 체계를 구축하고 설계 및 해석, 평가가 이루어 질 수 있는 추진체계를 구축하여 개발완료 후 즉시 상용화가 가능하도록 클러스터를 구축함.
- 연구개발과 더불어 전동차 탑재용 에너지저장장치에 대한 전동차 표준규격을 마련해야 할 것임. 또한 녹색성장에 부합하는 기술의 경우 국가차원의 법 제도적인 지원 체계 마련

이 필요함. 따라서 전동차 탑재용 에너지저장장치가 실용화가 될 수 있도록 법과 제도를 마련해야 함.

- 실증 시험을 통해 검증하고, 그 결과를 공인시험성적서 및 신기술 인증서(NET)를 획득하여 언론매체 등 홍보를 통해 실용화를 가속화할 수 있음.

(6) 시험 검증 및 운영방안

· 개발시험

- 2차년도 : 축소모델 제작 및 시험
- 3차년도 : 1차 시제품 제작 및 시험
- 4차년도(상반기) : 2차 시제품 제작 및 시험

· 현장시험

- 4차년도(하반기) : 전동차 탑재 및 성능 시험 착수
- 5차년도 : 시험선 성능시험 및 실 노선 실증 시험



그림 66. 시험 검증 방안

· 구성품 및 통합 평가

초기에 진행하는 가장 기본적인 평가임. 구성품 평가는 여러 조건에서의 온도, 습도, 진동, 전력 특성 등의 성능을 평가하는 것으로 다양 한 환경에서 사용되어지는 차량응용 영역에서는 중요한 성능 평가임.

DC-DC 컨버터와 저장매체 제작 이후 전동차에 탑재하기 전에 두 장치를 통합하여 시험하는 것으로, 문제점을 미리 파악하는 평가로서, 다양한 환경에서의 통합 모듈의 안정성 평가로 주로 이루어짐.

· 시험선 평가

성능평가의 마지막 단계로 실차 탑재 평가는 전동차에 탑재하여 오르막, 내리막, 급정거,

급출발 등의 실제 차량환경에서 전동차와 에너지저장장치의 연계특성을 평가하는 것으로 가장 많은 시간/자원 투입을 요하는 중요한 시험임.

실 노선에서 운행 중인 전동차는 승객의 이동 및 안전과 관련 있으므로 실 노선 차량에 처음부터 탑재하여 시험하는 것은 무리가 있음. 따라서 시험차량에서 탑재하여 충분한 분석이 수행된 후 실노선에서 실증시험이 수행되어야 할 것임.

· 실노선 평가

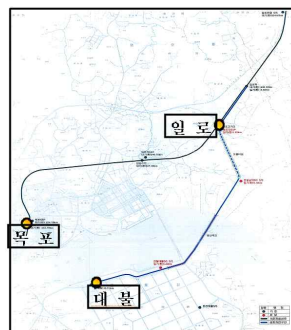
마지막 단계로서 시험선 시험 후 실노선에서 투입하여 성능 및 에너지 절감시험을 수행하는 것임.

시험선 시험을 위해서는 현재 국가연구개발로 개발된 전동차로서 차세대전동차가 있음. 이 전동차는 목포 대불시험선에서 신뢰성 시험이 진행 중에 있으며, 2015년 4월에 종료됨. 따라서 국가 R&D로 개발된 차세대전동차에 탑재하여 시험이 가능함.

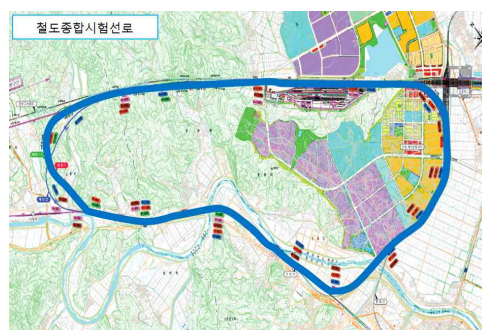


그림 67. 시험선 및 실노선 시험 로드맵

시험선 선로로서 목포 대불시험선은 일로역에서 대불역까지 12km 이상되는 구간으로 현재 차세대전동차 신뢰성 시험이 진행 중에 있으며, 오송 철도종합시험선로는 현재 계획상 2005년 완공으로 선로길이 14.7km로서 실 노선과 같이 출발과 정지를 여러번 반복할 수 있어 충분한 성능 시험이 가능할 것으로 판단됨.



(a)목포 대불시험선



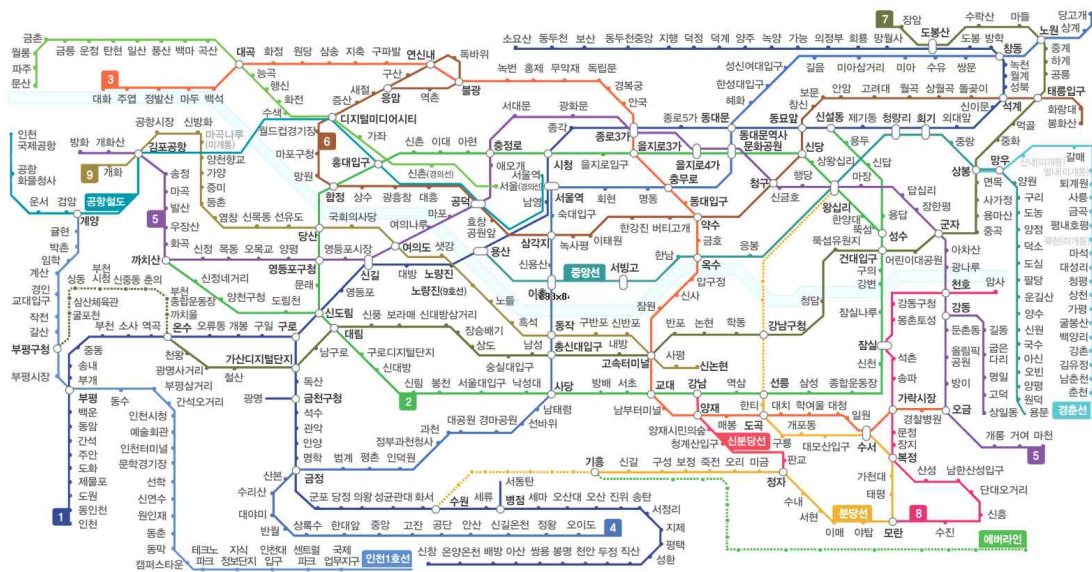
(b)오송 철도종합시험선로

그림 68. 시험선 운행 구간

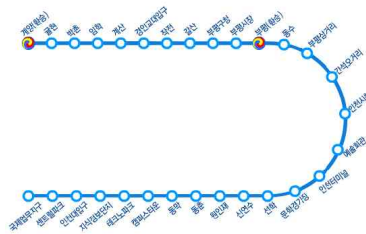


그림 69. 차세대전동차

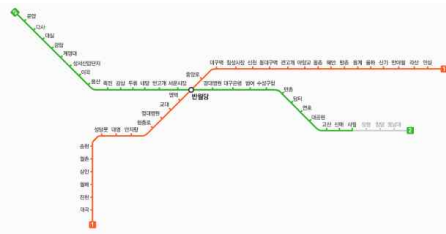
시험선 시험 후 실노선에서 실증시험이 필요함. 실증시험 전에 도시철도 7개 운영기관과 협의하여 시험조건이 충족되는 노선과 전동차로 실증시험을 수행해야 할 것임. 아래 그림은 도시철도 운영기관의 노선과 전동차의 예시로서 나타냄.



(a) 서울메트로 및 도시철도공사 노선



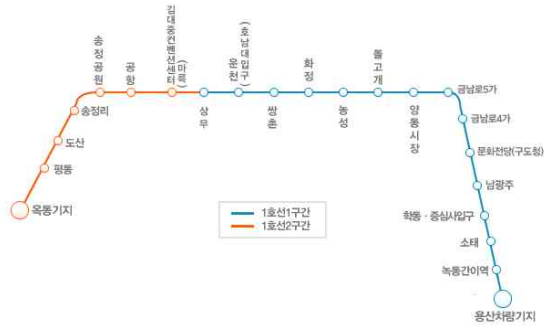
(b) 인천교통공사 노선



(c) 대구도시철도공사



(d) 대전도시철도 노선



(e) 광주도시철도공사 노선



(f) 부산교통공사 노선

그림 70. 도시철도 운영기관 노선도



(a) 서울메트로 전동차



(b) 도시철도공사 전동차



(c) 인천 전동차



(d) 대구 전동차



(e) 대전 전동차



(f) 광주 전동차



(g) 부산 전동차

그림 71. 도시철도 운영기관 전동차

(7) 기존 기술(연구)과의 차별성

- 에너지저장장치는 변전소에 설치하는 지상용 에너지저장장치와 전동차 탑재용 에너지저장장치로 구분됨. 기존의 지상용 에너지저장장치는 변전소에 설치하여 물리적 한계에 의해 전동차 소비에너지의 18% 정도만 절감하였으나, 전동차 탑재용 에너지저장장치는 기존 지상용 에너지저장장치 보다 에너지 절감을 10% 이상을 향상시켜 전동차 소비에너지의 30%를 절감하는 것임.
- 또한 기존 기술에 비해 차량 하부의 제한된 공간에 차량에서 발생된 회생에너지를 짧은 시간내에 저장하기 위해서 고출력·고밀도의 저장매체 및 전력변환기 소형·경량화 기술이 필요함.
- 전동차 회생에너지는 순간적으로 발생하고 사라지는 특성을 갖고 있고 DC 1800V이상 상승함. 또한 전동차 하부구조는 전장품으로 채워져 있어 빈 공간이 많지 않음. 특히 저장매체는 순간적으로 발생하는 회생에너지를 충전하기 위해서 고전압 대용량 에너지를 고속충방전 가능해야하고 고밀도화 하여 소형, 경량으로 작은 공간에 설치가 가능해야 함.

표 31. 전동차 탑재용 에너지저장장치와 지상용 에너지저장장치 비교

정량적 평가항목	개발기술 (전동차 탑재용 에너지저장장치)	기존기술 (지상용 에너지저장장치)	비고
에너지 절감율	30%	18%	160% 향상
설치장소	차량 탑재	지상 변전소	
에너지 절감비	597억	358억	전국 도시철도차량 (약 240억 향상)
선로손실	없음(0%)	있음(5~10%)	
전력변환장치 제어기술	추진제어 장치 연계한 제어	가선전압 변동에 따른 제어	
	순시치 제어	평균치 제어	
전동차 견인력	견인력 향상에 따른 표정속도 향상	-	
전력변환장치 부피	1600 × 1000 × 700	2700 × 1300 × 1700	40% 축소 단위: mm

- 지상용 에너지저장장치 대비 추가 전력요금 절감비
- 지상용 에너지저장장치 전력요금 절감액: $1,991\text{억원} \times 0.18 = 358.38\text{억원/년}$
- 전동차 탑재용 에너지저장장치 전력요금 절감액: $1,991\text{억원} \times 0.3 = 597.3\text{억원/년}$
- 연간 추가 전력요금 절감액: $597.3\text{억원} - 358.38\text{억원} = 238.92\text{억원/년}$

* 산출근거

실제 대전도시철도에 3변전소(대동, 시청, 갑천변전소)에 설치되어 운용되고 있는 지상용 에너지저장장치의 1년간(2011.3~2012.4) 실 에너지 절감율 데이터 값은 18%로 나타남.

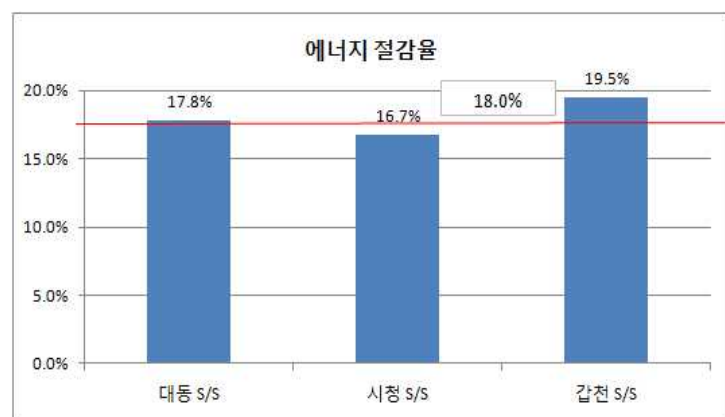


그림 72. 변전소별 지상용 에너지저장장치의 월별 에너지 절감율

이외에도 서울 7호선 및 코레일 KTX구간에 설치되어 있음. 서울 7호선은 대전 시스템과 마찬가지로 직류 도시철도 구간에 설치된 장치임. 현재 설치 튜닝 중에 있으며 2012년 10월에 개통예정으로 운영결과가 없음. 코레일에 설치된 에너지저장장치는 교류 시스템에 설치된 것으로 전압보상이 주된 역할이고 추가로 에너지를 절감하는 장치로 운영되고 있음.

지상용 에너지저장장치의 에너지 절감율은 18%이므로 약 358억/년 절감이 되지만 전동차 탑재용 에너지저장장치는 약 597억 원/년이므로 지상용 보다 매년 약 240억원/년을 추가로 절감할 수 있음. 따라서 전동차 탑재용 에너지저장장치의 도입이 매우 시급히 필요함.

- 도시철도는 아래 그림의 계통으로 구성되어 있음. 지상용 에너지저장장치의 에너지 절감율은 아래 수식에 의해 계산됨.

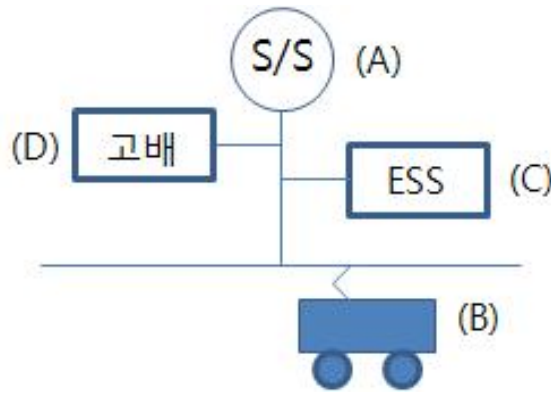


그림 73. 도시철도 기본 시스템

- 즉, (A)는 한전에서 공급한 전력임. 이 전력에 대해서 전년 동월 전력(A) 대비 당해연도 동월 전력(A')이 얼마나 감소했는가를 확인하면 에너지저장장치(ESS)에 의한 에너지 절감율을 아래 식과 같이 계산할 수 있음.

$$\text{에너지 절감율(\%)} = (A - A') / A \times 100$$

- 위 수식의 문제는 고배 사용량이 동일하다고 차량의 운행 조건이 정확히 동일하다는 가정이 들어가 있음. 만약에 고배 사용량이 달라지고 차량 운행 조건이 정확히 동일하다는 조건을 증명하지 못한다면 위 수식은 사용할 수 없음.
- 따라서 전년 동월과 비교시 시간 변수 등 여러 가정을 고려해야 함. 따라서 가정이 필요 없이 계산할 수 있는 방법은 아래 수식을 이용하는 것임.

$$\text{에너지 절감율(\%)} = \{(A - D) - B\} / B \times 100 = C / B \times 100$$

- 차량에 탑재된 130kWh 용량의 고밀도 Li-ion 배터리(594~732V DC)를 주동력원으로 사용하는 무가선 저장트램은 정차역에서 충전하여 최대 25km까지 무가선으로 운행하는 것을 목적으로 국가연구개발사업의 일환으로 개발 중에 있음. 즉, 제동시 발생하는 회생 에너지를 고출력 저장매체로 충방전하여 에너지를 절감하는 것을 목적으로 하지 않음.
- 무가선 저장트램은 저장용량이 높은 고밀도형 배터리를 적용하는 방식으로 에너지 저장용량은 상당히 크나 충방전 속도는 느림. 따라서 무가선 구간에서 배터리에 저장된 많은 에너지를 이용하여 트램을 40km/h 이하의 저속으로 25km이상 통과하는 방식으로, 에너지 절감을 목적으로 하기보다는 저장된 에너지를 통해 무가선 구간에서 추진

장치 동력을 공급하기 위해 구성된 시스템임.

- 전동차 탑재용 에너지저장장치는 발생된 회생에너지를 재활용함으로써 에너지 절감을 목적으로 개발하는 방식임. 또한 무가선 트램은 최대 360kW급, 충전시간 3C로 20분, DC 750V이지만 전동차 탑재용 에너지저장장치는 최대 1MW급, 충전시간 약 200C로 20초, DC 1500V급으로 큰 출력과 비교할 수 없는 High-speed 충전시간으로 개발되는 시스템임.
- 무가선 트램은 일체형 전력변환기 개발 및 고밀도 배터리 적용이나, 본 사업에서는 전동차 탑재용 전력변환기 2 type(인버터 일체형, 탈부착형)과 저장매체 2 type(고출력/고전압 하이브리드형 및 고에너지형 하이브리드형)으로 향후 시장 경쟁력을 최대로 높이는 방식의 개발임.

표 32. 전동차 탑재용 에너지저장장치 개발과 무가선 트램 비교

항 목		전동차 탑재용 에너지저장장치	무가선 트램	비고
목 적		에너지 절감	무가선 구간 주행	
개발 방향		역간 거리가 1.5km~2km이고 대용량의 회생에너지가 순간 발생하고 사라지는 철도의 특성에 맞는 고속 충/방전 방향으로 개발	무가선 구간 주행을 위해 에너지저장용량(Energy density)을 높이는 고밀도 방향으로 개발	
성능 목표		회생 에너지절감 30%	한번 충전으로 25km이상 주행	
충전시간		20초	20분	
개발 Type	형식	탈부착형	-	기존 전동차 적용 (현재 약 8000량)
		일체형	일체형	신규 전동차 적용
가선전압		DC 1,500V, DC 750V	DC 750V	
에너지절감 향상 제어방식		오토튠닝 제어방식 적용	-	
출력 및 공간		전동차 하부 설치(1MW급) 저장매체:(1.2m × 1.0m × 0.7m)x2	전동차 실내 설치(360kW) 저장매체:(2.0m × 0.74m × 0.4m)x4	소형화
고장 및 유지보수		전력변환장치 모듈식 탈부착	-	
저장 매체	에너지 이용방식	순간 충전방식 (순간 발생 회생에너지를 충전하는 방식)	상시 충전방식 (항상 가선을 통해 전기를 충전하는 방식)	
	개발 Type 및 무게	신저장매체 ·고출력형 고전압 hybrid형 ·고에너지형 hybrid형 매체 (700 kg 이하)	배터리 (1.9 ton)	

(8) 기존 연구개발 결과/시설/장비의 활용성 검토

기존 지상용 에너지저장장치 개발에서 연구되었던 기술이 적용 가능함. 관련 기술내용은 다음과 같음.

(가) 기존 연구개발 결과 활용성 검토

□ 지상용 에너지저장장치의 다중모듈 제어에 의한 고전압 충방전기술

- 전류밸런싱 제어를 통해 저장매체의 제조사 및 용량에 관계없이 서로 다른 특성의 저장매체를 동시에 사용가능
- 에너지저장시스템의 용량 증설 및 유지보수가 용이함
- 저장매체 제작사의 독점이 불가능하여 제작원가 절감가능
- 다중모듈(3,456개 셀 직병렬구성 이상) 충/방전 제어기술개발로 초고압 충방전 제어가 가능

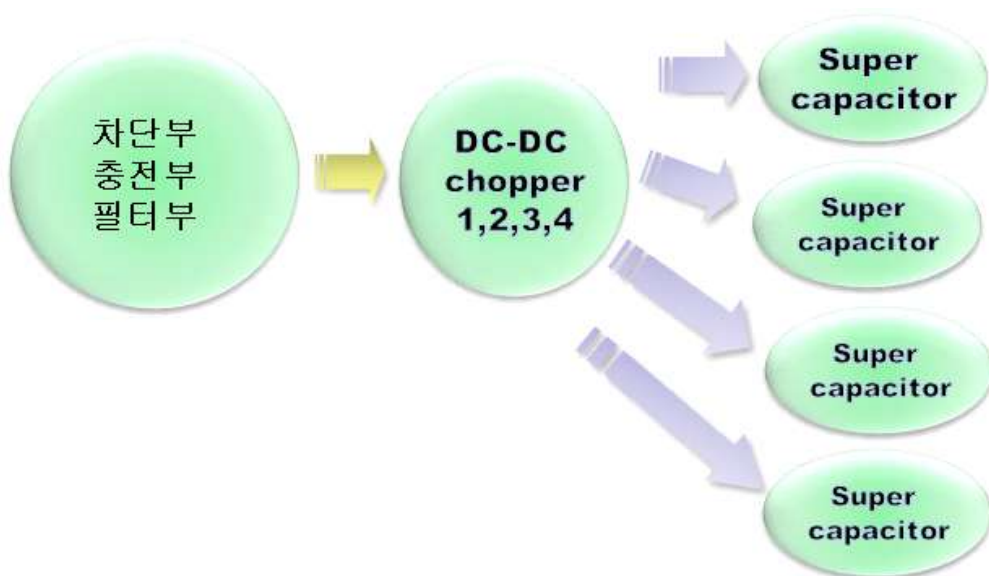


그림 74. 다중모듈제어

(나) 기존 시설/장비의 활용성 검토

기존에 지상용 에너지저장장치 개발시 가선과 전동차 환경을 구현하기 위해 공동연구기관인 우진산전에서 자체 제작한 설비를 활용함. 아래 블록도는 우진산전에 설치된 에너지저장장치 실험 구성도임. VVVF 인버터 추진장치와 110kW 유도전동기는 축소모델용 부하설비로 사용하고 제동초퍼 및 에너지 저장장치가 가선설비와 병렬로 접속됨. 제동초퍼는 에너지저

장장치가 동작되지 않을 시에 가선전압의 상승을 막기위한 안전대책으로 설치되었으며 850V에서 동작되도록 설계됨.

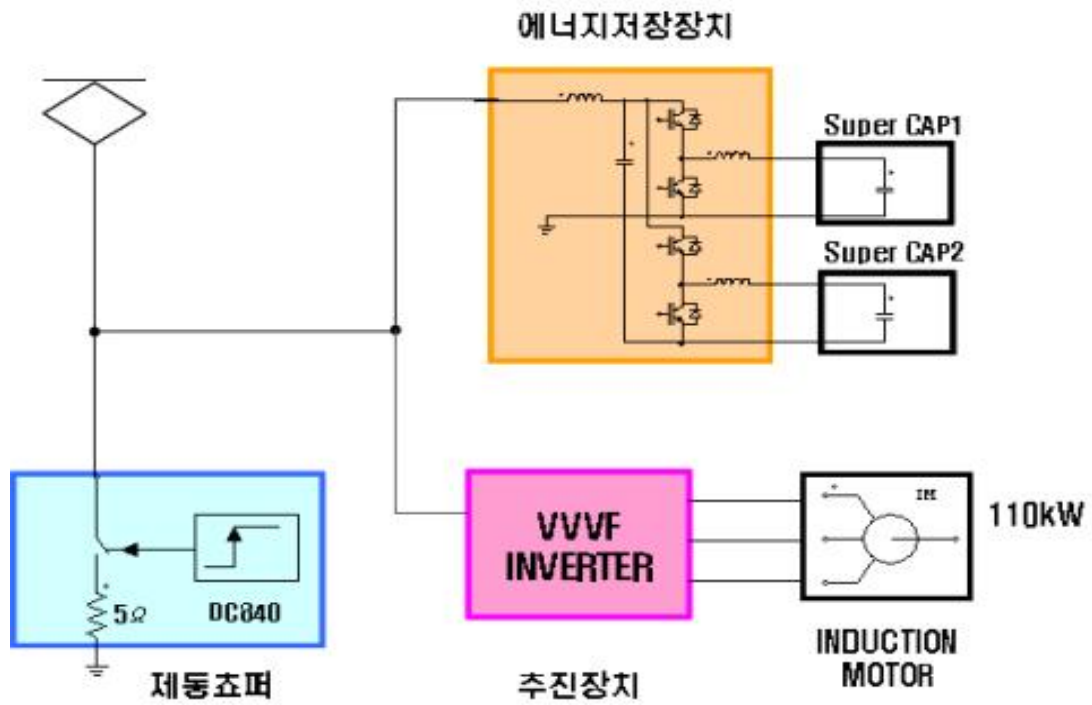


그림 75. 시스템구성도

제 4 장 사전타당성 검토

제 1 절 정책적 타당성

- 현재 정부에서는 2020년까지 국가온실가스 감축을 배출전망치 대비 최대 30%를 절감하는 것을 목표로 제시함. 국가 온실가스 배출의 17%를 차지하고 있는 교통부문에서는 온실가스를 2020년까지 배출전망치 대비 33~37%를 감축해야함. 정부에서도 철도차량에 대한 규제를 검토하므로 이에 대한 대책 필요하므로 전동차 탑재용 에너지저장장치 개발을 통하여 획기적인 온실가스 배출저감을 통해 국가경제 영향성 제고 가능함
- 우리나라에서 차량 탑재용 에너지저장장치 개발은 필수적이고 기술적인 타당성을 충분히 보유하고 있으며 기술개발이 되면 철도뿐만 아니라 자동차, 버스, 건설기계, 풍력, 비행기, 선박, 한전 전력품질 보상장치 등 기술적용분야 확대 적용될 것임
- 전동차 탑재용 에너지저장장치의 개발은 기술적으로 초기단계로서 이의 개발을 통하여 해외 선진업체의 수입 대체 효과 및 전동차 제작 후발 국가로의 수출 확대를 기대할 수 있음

제 2 절 기술적 타당성

- 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술은 향후 저장매체에 의해 100% 운행이 가능한 전동차 및 전기자동차와 같은 미래형 동력시스템 핵심기술로 발전 가능
- 전동차 탑재용 초소형 DC-DC 제어시스템 및 고속충방전 저장매체 등의 기술 고도화를 통해 세계적인 기술 주도권 확보
- 기술 확보를 통한 국제 시장의 진입과 경쟁력 확보의 기회로 삼아, 향후 대세를 이루는 친환경 철도차량 분야의 선도적인 지위를 확보할 수 있는 밑바탕이 될 것으로 기대
- 독자적인 전동차 탑재용 에너지저장장치 원천기술 및 성능평가기술 확보는 해외 선진업체로부터 국내시장 보호하고 국내업체 기술수준 향상에 기여할 수 있어 대외 경쟁력 강화가 가능

제 3 절 경제적 타당성

○ 에너지 절감

- 현재 국내에서 운행중인 도시철도용 차량의 수: 7,958량
- 도시철도차량이 사용하는 전력요금: 1,991억원/년
- 에너지 회생율: 전동차 소비전력(전인전력 및 SIV전력 합) 대비 30%
- 전력요금 절감액: $1,991\text{억원} \times 0.3 = 597.3\text{억원/년}$

○ 피크 저감

- 현재 국내에서 운행중인 도시철도용 차량의 수: 7,958량
- 도시철도 운영기관이 사용하는 피크 전력요금: 676억원/년
- 피크 에너지 절감율: 기존 대비 20% 절약
- 피크 전력요금 절감액: $676\text{억원} \times 0.2 = 135\text{억원/년}$

○ CO₂ 저감

- 전국 도시철도 차량이 소비하는 전력량: 2,212,598,351kWh/년
- 국내의 1kWh 전력생산시 발생하는 CO₂의 양: 0.424ton/kWh
- 도시철도 차량 운영으로 발생하는 CO₂의 양:
$$2,212,598,351\text{kWh} \times 0.424\text{kg/kWh} = 938,141.7 \text{ ton/년}$$
- 에너지저장장치 탑재용 전동차 운영으로 억제 가능한 CO₂의 양:
$$938,141.7\text{ton} \times 0.3 = 281,422\text{ton/년}$$
- 해당 CO₂ 양의 가구수: $2,212,598,351\text{kWh} \times 0.3 / 3,064\text{kWh} = 216,638\text{가구}$
 - 가구당 연간 전력사용량: 3,064kWh(2008년 현재)

○ 수입대체효과

- 국산화 및 핵심기술 확보에 의한 해외 의존도 감소
- 차량분야: 약 1조 4천억원
 - 하이브리드 전동차 수입예상가격: $20\text{억원/량} \times 7,100\text{량} = 142,000\text{억원}$
 - 국산화 가격: $18\text{억원/량} \times 7,100\text{량} = 127,800\text{억원}$
 - ☞ $142,580\text{억원} - 128,322\text{억원} = 14,258\text{억원}$

○ 수출기대효과

- 전동차 탑재용 에너지저장기술을 선점하여 해외시장 개척 가능

- 수출기대효과: 약 1조 8천억원
 - 현재 세계 주요도시 전동차량수: 37,118량
 - 현재 국내 차량업계의 세계시장점유율: 2.5%
 - $37,118\text{량} \times 20\text{억원/량(가정)} = 742,360\text{억원}$
 - $742,360\text{억원} \times 2.5\% = 18,559\text{억원}$

○ **중량 증가에 따른 소비 전력비 검토**

- 추가 전력비 : 해당 노선 1회 왕복시 810원 ~ 3,312원
- 절감비 : 해당 노선 1회 왕복시 15,129원 ~ 59,940원

제 4 절 타당성 검토 종합

- 우리나라에서 차량 탑재용 초소형 DC-DC 컨버터 및 전동차용 High-speed 저장매체 기술 개발은 전동차 탑재용 에너지저장장치의 상용화를 위하여 필수적인 기술이며, 기술개발이 되면 철도뿐만 아니라 자동차, 버스, 건설기계, 풍력, 비행기, 선박, 한전 전력품질 보상장치 등 기술적용분야 확대 적용될 것임
- 전동차 탑재용 초소형 DC-DC 제어기술 및 High-speed 저장매체 기술 등의 고도화를 통해 세계적인 기술 주도권 확보
- 독자적인 전동차 탑재용 에너지저장장치 원천기술 및 성능평가기술 확보는 해외 선진업체로부터 국내시장 보호하고 국내업체 기술수준 향상에 기여할 수 있어 대외 경쟁력 강화가 가능
- 에너지 저장장치를 탑재할 경우 단지 차량 중량의 1/20 수준의 무게 정도만 증가하여 약 1.5% 정도 전력비가 증가하지만, 전동차 사용에너지 최대 30%를 절감 가능하여 차량 운행 시 소요되는 전기에너지를 줄일 수 있는 장점이 있음.
- 전동차는 1일 평균 수송인원이 1천만명에 이르는 대규모 운송수단이고 최근 도시철도용 전기요금이 10% 이상 상승하고 있으므로 소비전력량을 기존 대비 30% 줄일 경우 철도차량 운영에 따른 경비가 절감되므로 해마다 상승하는 국민의 교통비 부담을 경감할 수 있는 국민 경제적 기술이라 할 수 있음.
- 경제성 검토결과, 에너지저장장치의 전동차 탑재 시 경제적 효과로서 전동차 소비전력의 30% 에너지절감(년간 약 597억원, CO₂는 연간 281,442ton), 피크 전력 20% 절감(피크 전력 요금 연간 135억원) 가능한 것으로 분석됨.

제 5 장 인력투입 계획 및 소요예산 산정

제 1 절 연구일정에 따른 인력투입계획

1. 인력투입계획

- 기술의 개발 목표를 달성하기 위해 핵심기술을 바탕으로 선별된 세부과제의 연구내용에 따라 전문 인력을 배치하여 연구 추진
- 각 세부 과제별로 수행할 업무와 협력할 연구내용을 구분하여 참여 연구인력의 전문 분야에 따라 연구 업무를 구분하여 배치
- 연구 사업 초기에는 원천 및 핵심 기술을 바탕으로 실용화 시제품 개발을 위한 인력 배치, 연구 사업 후기에 시험선 및 실 노선에서 실증시험을 위해 인력을 중점배치
- 산업체의 연구인력을 통해 각 세부분야의 연구결과가 제품화 될 수 있도록 연구 추진
- 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술최종 성과물의 성능수준을 향상시키기 위하여 철도운영기관의 적극적인 참여 추진
- 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술개발 과제의 성공적인 수행을 위해서 필요한 연구인력을 연구내용 및 연차별로 산출하면 다음과 같음.
- 평균 15명 정도의 최적 인원으로 도출됨.

표 33. 인력투입계획

연구내용		1차	2차	3차	4차	5차	합계
시스템엔지니어링, 전력변환기 개발 및 시험평가 기술개발	■ 사업총괄목표관리 및 시스템엔지니어링 ■ 전동차와 ESS 인터페이스 연구 ■ 에너지저장장치 최적 설계 -회생 전력량 분석 및 성능해석 -시스템 제어 기술 ■ 초소형 DC-DC 컨버터 H/W, S/W 개발 -신규 전동차용 인버터 일체형 -기존 전동차용 탈부착형 ■ Energy Management System(EMS) H/W, S/W 개발 ■ 시작품 구성품 및 모듈 제작 ■ 전동차 추진시스템 변경 및 차량탑재 ■ 시험선 및 실노선 실증시험 ■ 경제성 평가	6	7	7	7	14	41
차상용 차세대형 High-speed 저장매체 기술개발	■ 차상용 High-speed 저장매체 개발 -고전압 고출력형 하이브리드 매체 -고에너지형 하이브리드 매체 ■ 저장매체 설계 -크기 및 구조 설계 -최적 용량의 전극설계 -열적 동작 안전성 설계 -용량추종 알고리즘 설계 -냉각기술 설계 ■ 전동차 구조 및 DC-DC 컨버터와 인터페이스 ■ 저장매체 특성 연구 -전류, 전압, 온도, 출력 등 -안전성 및 수명특성 해석 ■ 시편 제작 및 시험 ■ 시작품 단품 및 모듈 제작 -고전압 고출력형 저장매체 제작 -고에너지형 저장매체 제작 ■ DC-DC 컨버터와 통합 및 시험 ■ 전동차 탑재 시험	4	6	8	7	7	32
합계		10	13	15	14	21	73

제 2 절 과제별 소요예산

1. 소요예산 예산산출

예산은 연구용 재료비(시작품 제작비, 연구기자재비 등)가 상당 부분 자치하게 되는데 이는 전동차 차상용 소형/경량 DC-DC 전력변환장치(2 Type 개발), High-speed 저장매체(2 Type 개발), 고전압 밸런싱 장치인 EMS를 제작하기 위한 제작비 및 각종 시험기 제작을 포함한 것으로, 연구장비 재료비는 10,034.3백만원(약 61.0%), 연구활동비 및 연구수당은 1,627.2백만원(약 10.0%)으로 총 사업비 중 71.0%에 해당된다. 또한, 인건비는 학술연구용역 인건비기준단가의 대학 조교수 수준(기본급) 4.3백만원으로 투입인원 73명, 연구기간이 5년 및 참여율 약 80% 수준으로 3,616.1(약 22.0%) 예산을 책정하였고, 간접비 역시 기업기준으로 직접비와 인건비 합 8%를 적용하여 약 1,222.2백만원(약 7.0%)으로 책정하여 총 소요 예산은 16,500백만원이 예상된다.

- 정부출연금 : 165억원
 - 공정성 및 객관성이 필요한 과제는 민간부담금 없이 정부주도로 추진
 - 국토해양부소관 연구개발 사업운영규정과 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연·부담 기준에 따라 달라질 수 있음.
- 민간부담금 : 55억원
 - 장치 설계 및 제작관련 민간부담금 포함
- 소요예산

표 34. 전체사업 소요예산

(단위 : 백만원)

구분	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
연구단 총괄 전동차 온보드 전기에너지 저장기술 개발	1,680	560	3,771	1,257	4,791	1,597	3,888	1,296	2,370	790	16,500	5,500
1세부과제 시스템엔지니어링, 전력변환기 개발 및 시험평가 기술개발	960	320	1,638	546	2,184	728	2,484	828	1,755	585	9,024	3,008
2세부과제 차상용 차세대형 High-speed 저장매체 기술개발	720	240	2,133	711	2,607	869	1,404	468	615	205	7,476	2,492

표 35. 년차별 세부소요예산(정부출연금)

구 분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
인건비	내/외부 인건비		495.4	644.0	743.0	693.5	1,040.3	3,616.2
직접비	연구 장비 재료 비	연구기자재및시설비	350.0	570.00	0.0	0.0	0.0	920
		시작품 제작비	435.0	1,687.0	3,090.0	2,150.0	0.0	7,362
		재료비	52.3	300.9	268.7	444.4	686.1	1,752.4
	연구 활동 비	여비	39.6	51.5	59.4	55.5	83.2	289.2
		수용비및수수료	29.7	38.7	44.6	41.6	62.4	217
		기술정보활동비	54.5	70.8	81.8	76.3	114.4	397.8
	연구수당		99.1	128.8	148.6	138.7	208.0	723.2
간접비		124.4	279.3	354.9	288.0	175.6	1,222.2	
합 계			1,680	3,771	4,791	3,888	2,370	16,500

구분	연구목표	연구 내용	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
1세부																							
시스템엔지니어링, 전력변환기 개발 및 시험평가 기술개발	설계 및 시스템 인터페이스	○시스템 인터페이스 ·전장품과 차상용 에너지저장장치 인터페이스	200																				
		·DC-DC 컨버터와 차상용 High-speed 저장매체 인터페이스	300																				
		·탑재용 전동차 설치 방안수립	300																				
		·운영기관 노선별 적용성 분석																					
		·전동차 회생 전력량, 에너지 및 피크전력절감 분석	200																				
		·시험평가 계획 및 절차방안																					
		·유지보수 체계 및 지침서 제시	200																				
		·에너지절감 제품의 철도차량 적용을 위한 법과 제도 제시	200																				
		○초소형 DC-DC 컨버터 2 Type 기본설계 ·기존 전동차용 탈부착형 DC-DC 컨버터 H/W, S/W ·신규 전동차용 인터버 일체형 DC-DC 컨버터 H/W, S/W -최적 성능을 위한 시스템 구조설계 -최적 방열시스템 설계 -시스템 구성에 적합한 저장 모듈 직병렬 설계 -필터회로 설계 -시스템 최적 용량 설계 -제어알고리즘 설계	560																				
		○초소형 DC-DC 컨버터 2 Type 상세설계 ·기존 전동차용 탈부착형 DC-DC 컨버터 H/W, S/W ·신규 전동차용 인터버 일체형 DC-DC 컨버터 H/W, S/W -최적 성능을 위한 시스템 구조설계 -최적 방열시스템 설계 -시스템 구성에 적합한 저장 모듈 직병렬 설계 -필터회로 설계 -시스템 최적 용량 설계 -제어알고리즘 설계 -축소모델 성능 검토	638																				
		○Energy Management System H/W, S/W 기본설계 ·저장매체 모듈 최적 구성설계 ·전압밸런싱 및 보호회로 최적 설계	200																				
		○Energy Management System H/W, S/W 상세설계 ·저장매체 모듈 최적 구성설계 ·전압밸런싱 및 보호회로 최적 설계	300																				

구분	연구목표	연구 내용	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				
				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
1세부																								
	1차 초소형 DC-DC 컨버터 시작품 제작 및 시험	○시작품 제작 및 구성품시험 ·DC-DC컨버터/HVAC/필터모듈/제어모듈/방열모듈 /통신모듈/EMS 제작 등 ·외관, 구조검사/절연저항/Gate 출력파형/기동시퀀스 /보호회로 동작/충방전 특성시험 등		1,744																				
		○시스템 특성 통합시험 ·저장매체 시작품과 통합시험		340																				
	2차 초소형 DC-DC 컨버터 시작품 제작 및 시험	○설계 보완, 시작품 제작 ·성능 및 냉각설계 최적화 ·제어알고리즘 최적화 ·유지보수 최적화 ·부피 및 중량최적화		1,484																				
		○시스템 특성 통합시험 및 인증 ·저장매체 시작품과 통합시험 및 인증		300																				
	전동차 탑재/시험	○기존 전동차 추진시스템 변경 검토 및 설계 ·시험차량 및 실노선 운영차량		200																				
		○기존 전동차 추진시스템 변경 및 탑재 ·시험차량 변경 및 탑재 ·실노선 운영차량 변경 및 탑재		400																				
				400																				
	검증 및 평가		○운행 및 성능 시험평가 ·에너지저장장치 목표 성능 평가 ·에너지절감 효과 분석 ·성능 시험인증	시험선 성능시험	600																			
			실노선 실증시험	655																				
계				9,021	960				1,638				2,184				2,484				1,755			

구분	연구목표	연구 내용	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
2세부																							
차상용 차세대형 High-speed 저장매체 기 술개발	설계 및 시스템 구성방안	○차상용 High-speed 저장매체(2 Type) 기본설계 ·고전압 고효율형 하이브리드 저장매체 상세설계 ·고에너지형 하이브리드 저장매체 상세설계 ·크기 및 구조 설계 ·최적 성능의 전극설계 ·열적 동작 안전성 설계 ·용량추종 알고리즘 설계 ·냉각기술 설계 ·저장매체 용량산정(단품 및 모듈 용량 설계) ·신 소재 분석을 위한 시험장비 구성	590																				
		○차상용 High-speed 저장매체(2 Type) 상세설계 ·고전압 고효율형 하이브리드 저장매체 상세설계 ·고에너지형 하이브리드 저장매체 상세설계 ·크기 및 구조 설계 ·최적 성능의 전극설계 ·열적 동작 안전성 설계 ·용량추종 알고리즘 설계 ·냉각기술 설계 ·저장매체 용량산정(단품 및 모듈 용량 설계)	590																				
		○전동차 구조 및 DC-DC 컨버터와 인터페이스	130																				
		·전동차 탑재를 고려한 시스템 구성방안수립 ·시험평가방안 수립	130																				
		·탑재용 전동차 설치 방안수립 ·유지보수 방안 수립	130																				
	1차 저장매체 제작 및 시험	○시험 제작(2 Type) 및 시험 ·고전압 고효율형 하이브리드 저장매체 상세설계 ·고에너지형 하이브리드 저장매체 상세설계 ·전류, 전압, 온도, 출력 등 ·안전성 및 수명특성 해석	313																				
		○시작품(2 Type) 제작(단품) ·고전압 고효율형 저장매체 제작 ·고에너지형 저장매체 제작	1100																				
		○시작품(2 Type) 제작 및 시험(단품) ·안전성시험(열노출, 과충전 등) ·용량, 진동, 수명시험 ·에너지밀도 시험(무게, 부피) ·출력밀도 시험(충전, 방전)	1570																				
	2차 저장매체 제작 보완 및 시험	○설계 보완 및 수정 제작(모듈) ·고전압 고효율형 저장매체 제작 ·고에너지형 저장매체 제작	907																				
		○시작품(2 Type) 제작(모듈) 및 시험인증 ·고전압 고효율형 저장매체 모듈제작 ·고에너지형 저장매체 모듈제작 ·DC-DC 컨버터와 통합 및 시험	1200																				
검증 및 평가	○탑재된 저장매체 성능평가	시험선 성능시험	419																				
	·저장매체 성능시험 및 효과분석	실노선 실증시험	400																				
계			7,479	720				2,133				2,607				1,404				615			

제 6 장 과제 제안요구서

제 1 절 과제 제안요구서(RFP)

연구과제명	전동차 온보드 전기에너지 저장기술개발
1. 연구개발 목표	○ 도시철도차량에서 발생하는 회생에너지를 차상에서 효율적으로 저장하여 재활용함으로써, 차량의 전력소모량 절감 - 사업목표관리 및 시스템엔지니어링 - 전동차 탑재용 초소형 DC-DC 제어기술개발 - 전동차 탑재용 차세대 High-speed 저장매체 시스템 기술개발 - 에너지 저장장치의 저장매체 밸런싱 및 보호를 위한 EMS 개발 - 시험선 성능시험 및 실 노선 실증시험
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□연구개발의 필요성 ○ 에너지 절감을 위한 전동차 탑재용 에너지 저장장치 개발 필요 ○ 친환경 에너지절감 전동차 기술 확보를 위한 전력변환장치 기술 확보 및 하이브리드 철도분야의 선도 역량 구축 필요 ○ 전동차 탑재용 에너지 저장장치의 운영과 관련된 기술 확보 필요 ○ 회생제동으로 발생하는 전기에너지 사용 효율을 최대화할 수 있는 에너지 저장시스템 및 보호회로 요구 ○ 차량 탑재시 에너지 흐름 제어를 위해 필요한 전력변환 기술 선점 필요 ○ 철도차량의 최적화를 위한 전력변환분야의 요소기술 개발 필요 ○ 친환경 에너지절감 전동차 기술 확보를 위한 차세대 High-speed 저장매체 기술 확보 ○ 회생에너지의 저장 및 재사용이 가능한 저장매체 기술 필요 ○ 에너지 저장시스템에 대한 부품 확보 및 상용화 기술 필요 ○ 도시철도의 교통수단에도 차상용 에너지 저장장치 수요 증가 ○ 세계적인 수요 증가 추세에 따른 철도차량용 고부가가치 에너지저장장치 기술 개발 필요 □ 기술동향 ○ 프랑스 알스톰사는 무가선용으로 4kWh 용량의 Ni-MH 고밀도 배터리를 탑재한 도심형 경전철(정차역에서 충전하여 최대 1km까지 무가선으로 운행, 최대속도 30km/h)을 개발하여 프랑스 니스에서 시운전에 성공하였으며, 교류/직류 겸용(750V DC 및 1,500V AC)의 광역형 디

젤/전기 하이브리드 전동차(명칭 : CITADIS, 최대속도 100km/h)를 개발한 바 있음.

- 독일의 지멘스사는 무가선용으로 회생에너지 저장이 가능한 18kWh 용량의 고밀도 Ni-MH 배터리와 0.85kWh 용량의 슈퍼캐패시터를 설치하여 운행 중 가선으로부터 에너지를 저장하고 가선이 없는 구간에서 저장된 에너지를 사용하는 방식의 차량(명칭 : Citras hes)을 개발하여, 포르투갈의 Almada와 Seixal간에서 시험 운행하고 있음.
- 일본의 히타치사는 무가선용으로 2007년 동일본철도와 회생에너지 저장이 가능한 15.31kWh 용량의 고밀도 Li-ion 배터리(1,500V DC)를 탑재한 디젤/전기 하이브리드 전동차를 개발하여, Koumi선에서 운행을 하였음.
- 일본의 가와사키중공업은 무가선용으로 회생에너지 저장이 가능한 115kWh 용량의 Ni-MH 고밀도 배터리(570V DC)를 탑재한 경전철(명칭 : SWIMO, 정차역에서 충전하여 최대 10km까지 무가선 운행)를 개발하여, 2007년부터 시험운행 중에 있음.
- 국내의 경우도 무가선용으로서, 차량에 탑재된 130kWh 용량의 고밀도 Li-ion 배터리(594~732V DC)를 동력원으로 사용하는 방식의 무가선 저장트램(최대 25km까지 무가선으로 운행, 최대속도 40km/h)을 국가연구개발사업의 일환으로 개발 중에 있음. 따라서 아직까지 에너지를 절감하기 위한 순간충전 방식은 개발되고 있지 않음.

3. 연구개발내용

☐ 세부과제 1 : 전동차 탑재용 에너지저장장치 시스템엔지니어링, 전력변환기 개발 및 시험평가 기술개발

- 초소형 DC-DC 컨버터 기술개발
 - 시스템 구조 설계 및 제작 기술 개발
 - 방열시스템 설계 및 제작 기술 개발
 - 용량 설계 및 제작 기술 개발
 - 제어알고리즘 설계 및 제작 기술 개발
 - EMS(Energy Management System) 설계 및 제작 기술 개발
- 시스템 인터페이스 기술개발
 - 전장품과 차상용 에너지저장장치 인터페이스 기술
 - DC-DC 컨버터와 차상용 High-speed 저장매체 인터페이스기술
 - 운영기관 노선별 적용성 분석
 - 에너지절감 제품의 철도차량 적용을 위한 법과 제도 제시

- 전동차 탑재 및 시험평가 기술개발
 - DC-DC 컨버터 및 저장매체 통합시험
 - 시험용 및 영업용 전동차 개조
 - 시험용 전동차 및 영업용 전동차 탑재 및 성능 평가
 - 전동차 회생 전력량, 에너지 절감 분석

□ 세부과제 2 : 전동차 탑재용 차세대형 High-speed 저장매체 기술개발

- 차세대 High-speed 저장매체 기술개발
 - 저장매체 전극 설계 및 제작 기술 개발
 - 전극/셀/모듈 구조 설계 및 제작 기술 개발
 - 저장매체 냉각시스템 설계 및 제작 기술 개발
 - 저장매체 셀/팩/모듈 용량산정 기술 개발
 - 조합 시스템 용량 및 제원 설계 및 제작 기술 개발
- 저장매체 시스템 제작 및 시험 기술개발
 - 저장매체 시제품 제작공정 개발
 - 저장매체 시제품 제작 및 성능시험
 - 저장매체 조합 및 안전성시험
 - EMS 장착 저장매체 충방전 작동 지상시험
 - 시험용 전동차 및 영업용 전동차 탑재 및 성능 평가
 - 에너지절감 및 경제적 효과 분석

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립
 - 1단계(1~3차년도, 30개월) : 핵심요소기술 개발
 - 국내·외 기술현황 분석 및 핵심기술 개발방향 정립
 - 초소형 DC-DC 컨버터 설계 및 제작
 - 차상용 High-speed 저장매체 설계 및 제작
 - 시스템인터페이스 및 시험검증
 - 2단계(4~5차년도, 24개월) : 실증연구 및 실용화
 - DC-DC 컨버터와 저장매체 통합 및 시험

	· 시험용 전동차 추진시스템 변경 및 시제품 탑재, 시험 · 영업용 전동차에 시제품 탑재 및 실차운전 검증 · 에너지절감 및 경제적 효과 분석 ○ 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 -축적된 기술을 반영하고, 산학연의 공동 연구개발 체계를 구축하고 기초 연구와 설계 및 해석, 평가가 이루어 질 수 있는 추진체계 구축 -산업체가 확보하고 있는 기존기술을 전동차 탑재용 에너지저장장치 제작을 위해 적극적인 참여를 유도하여 개발 완료 후 상용화가 가능하도록 철도차량 산업 클러스터 구축 -개발의 목표인 전동차 탑재용 에너지저장장치 개발을 위하여 세부 개발과제별 연구 진행 일정 및 공정계획을 조정함으로써 사양결정, 기본 설계, 상세설계, 제작, 단품 시험, 전동차 탑재 후 실증시험 등의 진행과정이 원활히 이루어 질 수 있도록 개발 추진 ○ 관련분야 전문가 자문 -산·학·연의 협동 추진체계 및 외부 전문가 자문위원회 구성을 통해 연구내용의 질적 향상 및 객관성 확보 ○ 기 수행(종료과제, 중단과제) 및 현재 수행중인 동 과제 관련 연구개발결과와의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함(www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr 참조)
☐ 추진체계	○ 기술개발사업의 효율성을 위해 세계 선진 기술을 주도할 수 있는 세부기술분야로 나누어 중점 연구 ○ 기술 분야별로 참여인력 구성 ○ 연구담당 주체별 역할 -주관연구기관: 연구사업의 총괄 기획·관리 및 차량 탑재용 에너지저장 시스템 설계 기술 구축 -참여연구기관: 기술개발사업비 중 일부를 부담하며 기술개발사업의 세부연구 수행, 시제품 제작 및 성과 활용
5. 최종성과물	
☐ 주요 최종성과물	☐ 세부과제 1 : 전동차 탑재용 에너지저장장치 시스템엔지니어링, 전력변환기 개발 및 시험평가 기술개발

- 전동차 탑재용 에너지저장장치 설계 및 제작
 - 초소형 DC-DC 컨버터 요구사항 정의서
 - 초소형 DC-DC 컨버터 기능규격서
 - 초소형 DC-DC 컨버터 설계서
 - 에너지 저장효율 향상 제어 S/W
 - EMS H/W 및 S/W
 - 초소형 DC-DC 컨버터 시작품
- 시스템 엔지니어링
 - 에너지저장장치 운영노선 적용성 및 분석서
 - 전동차 회생량 분석서
 - 전동차 탑재용 에너지저장장치 성능해석 분석서
 - 전동차 사용에너지의 에너지절감 시험 분석서
 - 에너지저장장치가 탑재된 전동차 신기술인증서(NET), 전동차 사용에너지의 에너지 절감 성능시험성적서
 - 상용화를 위한 법 및 제도

□ 세부과제 2 : 전동차 탑재용 차세대형 High-speed 저장매체 기술개발

- 차상용 High-speed 저장매체 설계 및 제작
 - 저장매체 요구사항 정의서
 - 저장매체 기능규격서
 - 저장매체 설계서
 - 셀/모듈 운영관리 S/W
 - 저장매체 시작품
- 개발기술의 시험
 - 성능평가 시험절차서
 - 저장매체 성능 시험성적서

6. 기대효과 및 파급효과

- 정부에서는 2020년까지 국가온실가스 감축을 배출전망치 대비 최대 30%를 절감하는 것을 목표로 제시함. 국가 온실가스 배출의

17%를 차지하고 있는 교통부문에서는 온실가스를 2020년까지 배출전망치 대비 33~37%를 감축해야함. 철도분야에서도 이에 대한 대책이 필요하므로 전동차 탑재용 에너지저장장치 개발을 통하여 획기적 온실가스 배출저감이 가능하여 국가경제 영향성 제고 가능함

- 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술개발을 통해 전동차 사용에너지의 30%를 절감하여, 국내 도시철도 전동차 적용시 약 597억원(국내 7,958량 적용시) 전력요금을 절감가능할 것으로 기대.
- 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술은 향후 저장매체에 의해 100% 운행이 가능한 전동차 및 전기자동차와 같은 미래형 동력시스템 핵심기술로 발전 가능
- 전동차 탑재용 초소형 DC-DC 제어시스템 및 고속충방전 저장매체 등의 기술 고도화를 통해 세계적인 기술 주도권 확보
- 기술 확보를 통한 국제 시장의 진입과 경쟁력 확보의 기회로 삼아, 향후 대세를 이루는 친환경 철도차량 분야의 선도적인 지위를 확보할 수 있는 밑바탕이 될 것으로 기대
- 독자적인 전동차 탑재용 에너지저장장치 원천기술 및 성능평가기술 확보는 해외 선진업체로부터 국내시장 보호하고 국내업체 기술수준 향상에 기여할 수 있어 대외 경쟁력 강화가 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : 2013.1 ~ 2017.12 (5년)
 - 1차년도 연구기간 : 2013.01 ~ 2013.12(12개월)
 - 2차년도 연구기간 : 2014.01 ~ 2014.12(12개월)
 - 3차년도 연구기간 : 2015.01 ~ 2015.12(12개월)
 - 4차년도 연구기간 : 2016.01 ~ 2016.12(12개월)
 - 5차년도 연구기간 : 2017.01 ~ 2017.12(12개월)

- 총 정부출연금 : 165억원 이내
 - 1차년도 정부출연금 : 16.8억원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라

조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

8. 기 타

- 1차년도 연구성과에 대한 중간평가 결과에 따라 2차년도 계속지원여부 결정
- 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제제안요구서(RFP)를 참조하여 작성
 - 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시
- 과제 신청자는 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서에 제시
 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함
 - 제시한 성과지표에 건설기술혁신사업의 공통성과지표가 없거나 부족하다고 판단될 경우, 협약시 조정(추가) 가능
 - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 연구성과의 실용화(정책제안)로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과 및 산출근거 제시
 - 연구성과의 실용성 검증 계획을 반드시 제시해야 함
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 기 수행되었거나 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

- ※ www.kictep.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구관리 전문기관(한국건설교통기술평가원)은 필요시 선정된 동 과제 연구책임자와 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구기간 변경, 연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

제 2 절 평가기준설정

과제구분	최종성과물	성과지표	평가기준
시스템엔지니어링, 전력변환기 개발 및 실증시험	온보드 초소형 DC-DC 컨버터 요구사항 정의서	·개발목표 사양	·국내외 기술수준을 고려한 개발목표의 우수성
	온보드 초소형 DC-DC 컨버터 기능규격서	·세부기능사양	·회생에너지 충방전 등을 고려한 기능사양 제시여부
	온보드 초소형 DC-DC 컨버터 H/W	·전력변환 목표성능 ·차량 탑재 성능 구현	·출력 최대 1,000kW, 최대 전압 1500~1700VDC, ·크기(1.6mx1.0mx0.7m)이하, 무게 800kg 이하
	온보드 초소형 DC-DC 컨버터 설계서	·온보드 초소형 DC-DC 컨버터 상세설계	·전력변환기 구성요소별 상세설계서
	에너지 저장효율 향상 제어 S/W	·에너지절감 향상 기능 및 성능	·Auto-tuning 알고리즘 적용여부
	저장매체 운영관리 S/W	·저장매체 운영관리 기능 및 성능	·운영관리S/W 기능사양 및 성능사양 만족여부
	시스템 인터페이스 설계서	·전력변환기-저장매체 인터페이스 방안	·전력변환기, 저장매체 등 적용분야별 상세 인터페이스 방안제시 여부
	전동차 회생량 분석서	·온보드 에너지저장장치 목표성능	·전동차 회생량 측정 및 분석 여부
	전동차 탑재용 에너지저장장치 성능해석을 분석서	·국내 철도환경 적용 경제성	·온보드 에너지저장장치 국내 노선 적용성 분석여부
	규칙제정	·상용화를 위한 법 및 제도 마련	·국토해양부 제도화 및 규칙 등의 고시건수로 측정
	성능평가 시험절차서	·세부 시험평가 항목 및 절차	·국내외 관련기준 준수여부
	에너지 절감 성적서	·에너지절감 목표치 부합	·목표치 30% 에너지절감 만족 여부
차상용 High-speed 저장 매체 개발기술	저장매체 요구사항 정의서	·개발목표 사양	·국내외 기술수준을 고려한 개발목표의 우수성
	저장매체 기능규격서	·세부기능사양	·회생에너지 충방전을 위한 고전압, 고출력, 고에너지 등을 고려한 기능사양 제시여부
	차상용 High-speed 저장매체 시스템 H/W	·전력변환 목표성능 ·차량 탑재 성능 구현	·크기(1.2mx1.0mX0.7m)x2set 이하, 무게 700kg 이하, 전압 1000VDC, 출력 최대 1,000kW, 에너지 최대 3.4kWh
	저장매체 설계서	·저장매체상세설계	·저장매체 구성요소별 상세설계서
	셀/모듈 운영관리 S/W	·셀/모듈 운영관리 기능 및 성능	·운영관리S/W 기능사양 및 성능사양 만족여부
	유지보수 체계 및 지침서	·유지보수	·유지보수 규격서 제시여부
	성능평가 시험절차서	·세부 시험평가 항목 및 절차	·국내외 관련기준 준수여부

[참고문헌]

- [1] 국무총리실(2008),“기후변화대응 종합기본계획“
- [2] UNIFE(2008),“Railroads Global Trends”
- [3] 한국은행(2007), “2007년 산업연관표로 본 우리나라의 경제구조”
- [4] 한국산업기술평가관리원(2008), “산업기술개발사업 고용유발계수표“
- [5] 한국교통연구원(2005),“기후변화협약 대비 교통부문 온실가스 저감정책의 효과분석”
- [6] 한국철도공사 연구원(2009), “기후변화협약에 대비한 철도수송 효과분석”
- [7] 한국철도공사(2008),“철도부분의 에너지소비 및 온실가스 배출분석”
- [8] 한국철도공사(2009),“간선형 전기동차 개요 및 주요장치“
- [9] 한국교통연구원(2008), “녹색성장시대 교통정책의 New Paradigm”
- [10] 한국철도기술연구원 정우성(2009),“저탄소 녹색성장 시대 철도의 대응 전략”
- [11] 한국철도기술연구원 김길동(2005),“차세대 첨단도시철도 시스템 기술개발“
- [12] Interfleet Technology(2007),“Survey of Competitiveness of EU Rail Supply Industry“
- [13] Workshop on Railway Rolling Stock Financing Janusz Kucmin(2009), “Trend in the rolling stock market.”
- [14] Voith(2008),“Voith Electric Drives”
- [15] Nesscap(2009),“Ultracapacitor Energy Storage System for Train Applications”
- [16] Bombardier(2009),”Ecoactive Technologies-MITRAC Energy Saver”
- [17] Arnold R. Miller, Phd(2006), ”Fuelcell Hybrid Switcher Locomotive”
- [18] General Electric Company(2009), ”Evolution Hybrid Locomotive”
- [19] General Electric Company(2008), ”GE Hybrid locomotive prototype in Chicago”
- [20] SIEMENS(2009), ”Green mobility on a roll”
- [21] Wired(2005) ”Hybrid Locomotive Gains Traction”
- [22] RTRI(2005), ”지상용전력저장시스템 개발“
- [23] Webcom Communications Corp.(2006), ”Ultracapacitors Provide Cost and Energy Savings for Public Transportation Applications”
- [24] SIEMENS(2007), ”Hybrid cycle power system”
- [25] SIEMENS(2005), ”SINAVY PEM Fuel Cell”
- [26] Dr. Stefan Kersch(2004), ”Hybridbusse mit Ultracap-Technologie”
- [27] Dr. Michael Steiner(2005),”Energy Storage on board of DC fed railway vehicles”

- [28] Merriman Curhan Ford(2008), "Advanced Battery Technologies"
- [29] McKinsey & Company(2008), "Economics/Emerging Business Opportunities in Energy Storage"
- [30] Mads Bergendorff(2008), "Energy efficiency Management Workshop"
- [31] IMRE GYUK, PROGRAM MANAGER(2008), "Energy Storage Applications For the Electric Grid"
- [32] Chris Shelton(2008),"Energy Storage in Existing Power Markets"
- [33] General Electric Company(2009),"GE's Hybrid and Battery Technologies"
- [34] GE Battery Symposium(2008), "Hybrid Locomotives, OHV and Marine Tugs"
- [35] American Lithium Energy corp(2008), "State of Battery Performance and Projected Automotive Needs"
- [36] M. Stanley Whittingham(2008), "The Frontiers of Advanced Battery Research"
- [37] UIC(2009), "Railways and the environment"
- [38] General Electric Company(2008),"Vehicle Projects Through the Years at GE"
- [39] Robert D. King P.E., Principal Investigator, "21stCentury Locomotive Technology (locomotive system tasks)"
- [40] Energize(2009), "Industry prospects for rail transport"
- [41] General Electric Company(2008), "GE Transportation Celebrates World Premiere of PowerHaul™ Engine and Locomotive at InnoTrans"
- [42] ALSTOM(2009),"Hybrid Loco–A new environmental–friendly concept for shunting"
- [43] Arnold R. Miller(2005), "Analysis of Fuelcell Hybrid Locomotives"
- [44] Ed Hall(2007),"Emissions and Energy Efficiency in Rail Transport: A GE Perspective"
- [45] Sir Stephen Gomerall(2005), "Hitachi's Entry into the European Railway Market"
- [46] General Electric Company(2008), "ecomagination Annual Report–ecomagination is GE"
- [47] General Electric Company(2008), "GE Transportation"
- [48] UNIFE(2008), "Worldwide market for railway infrastructure"

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 도시철도차량 탑재용 회생에너지 저장 및 활용 기술개발 기획보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)389-6493
 한국에너지기술연구원 TEL 042)860-3117

R&D / 11PURT-C061318-01

도시철도차량 탑재용 회생에너지 저장 및 활용 기술개발 기획 최종 연구보고서

- 발행일 / 2012. 12. 7.
- 발행처 / 한국에너지기술연구원
대전광역시 유성구 가정로 152
TEL : 042-860-3114(대)
- 인쇄처 / 라이프사(042-822-4532)

미래도시철도기술개발사업

11PURT-C061318-01

도시철도차량 탑재용 회생에너지 저장 및 활용 기술개발 기획

2012. 12. 7.

주관연구기관 / 한국에너지기술연구원
위탁연구기관 / 한국 철도 기술 연구원

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

도시철도차량 탑재용 회생에너지 저장 및 활용 기술개발 기획

2012. 6. 22.

주관연구기관 / 한국에너지기술연구원
위탁연구기관 / 한국 철도 기술 연구원

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

11PUR
T-C061
318-01

도시철도차량 탑재용 회생에너지 저장 및 활용 기술개발 기획

2012

국토해양부
한국건설교통기술평가원

Land Transport and Maritime R&D Report