■ 국가연구개발혁신법 시행규칙 [별지 제5호서식]

최종보고서

보안등급
일반[○], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	교통물류연구사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명 (해당 시 작성)	-	
공고번호	공고-제26호		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)	-	
			연구개발과제번호	20TLRP-C135446-04	

기술분류	국가과학기술표준분류											
		EA0901	40%	EH0102	30%	EA0910	30%					

연구개발과제명	국문	택배차량용 디젤 트럭의 하이브리드 개조기술 개발 및 실용화 연구			
	영문	Development of Hybrid Electric Vehicle Conversion Kit for Diesel Delivery Trucks and its Commercialization for Parcel Services			
주관연구개발기관	기관명	한국과학기술원		사업자등록번호	314-82-01980
	주소	(우 34141) 대전광역시 유성구 대학로 291		법인등록번호	114471-0000668
연구책임자	성명		장기태	직위	부교수
	연락처	직장전화	042-350-1264	휴대전화	010-4153-5327
		전자우편	kitae.jang@kaist.ac.kr	국가연구자번호	1013 1278
연구개발기간	전체	2017. 07. 28 - 2021. 03. 31. (3년 9개월)			
	당해년도	2020. 01. 01 - 2021. 03. 31. (1년 3개월)			

연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		합계			연구개발비 외 지원금
	현금	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	11,467,000	496,450	3,108,550	11,963,450	3,108,550	15,072,000	-
1년차	956,000	40,000	279,000	996,000	279,000	1,275,000	-
2년차	2,865,000	158,500	796,500	3,023,500	796,500	3,820,000	-
3년차	4,782,000	224,250	1,369,750	5,006,250	1,369,750	6,376,000	-
4년차	2,864,000	73,700	663,300	2,937,700	663,300	3,601,000	-

공동연구개발기관등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구개발기관	한국교통안전공단	전상우	책임연구원	031-369-0483	asterix@kotsa.or.kr	공동	기타
	한국교통연구원	허성호	부연구위원	044-211-3011	shur@koti.re.kr	공동	정부출연연
	㈜구보엔지니어링	서명진	책임연구원	031-665-0940	spcaseo@hanmail.net	수요	중소기업
	세화자동차㈜	김동근	대표이사	1588-6203	dgkim60@empas.com	공동	중소기업
	하이젠모터㈜	박병섭	이사	070-7710-3180	bspark@higenmotor.com	공동	중견기업
	㈜유라코퍼레이션	김호경	이사	070-7878-1316	hkkim003@yura.co.kr	공동	중견기업
	㈜이모션	허성만	대표이사	053-719-0510	smhur@e4motion.com	공동	중소기업
	㈜엠앤코	어재강	팀장	031-352-9026	zerosky@naver.com	공동	중소기업
위탁연구개발기관	광주과학기술원	이재욱	부교수	062-715-2779	jaewooklee@gist.ac.kr	-	정부출연연
	한밭대학교	김민회	부교수	042-821-1973	mkkim8@hanbat.ac.kr	-	대학
	충남대학교	김종훈	조교수	042-821-5657	whdgns0422@cnu.ac.kr	-	대학

연구개발담당자 실무담당자	성명		변지혜	직위	연구조교수
	연락처	직장전화	042-350-1274	휴대전화	010-9771-9714
		전자우편	snowflower@kaist.ac.kr	국가연구자번호	1113 3519

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021 년 5월 12 일

연구책임자: 장 기 태 (인)

주관연구개발기관의 장: 이 광 형 (직인)

공동연구개발기관의 장: 권 용 복 

공동연구개발기관의 장: 오 재 학 

공동연구개발기관의 장: 강 규 남 

공동연구개발기관의 장: 김 동 근 

공동연구개발기관의 장: 김 재 학 

공동연구개발기관의 장: 염 대 열 

공동연구개발기관의 장: 허 성 만 

공동연구개발기관의 장: 이 재 구 

위탁연구개발기관의 장: 김 기 선 

위탁연구개발기관의 장: 최 종 인 

위탁연구개발기관의 장: 손 영 아 

국토교통과학기술원장 귀하

< 요 약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="2">교통물류연구사업</td><td colspan="2">총괄연구개발 식별번호
(해당 시 작성)</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명
(해당 시 작성)</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">연구개발과제번호</td><td colspan="2">20TLRP-C135446-04</td></tr>
<tr><td>기술분류</td><td>국가과학기술 표준분류</td><td>EA0901</td><td>40%</td><td>EH0102</td><td>30%</td><td>EA0910</td><td>30%</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">택배차량용 디젤 트럭의 하이브리드 개조기술 개발 및 실용화 연구</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2017. 07. 28 - 2021. 03. 31. (3년 9개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 15,072,000천원
(정부지원연구개발비: 11,467,000천원, 기관부담연구개발비 : 3,605,000천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[○]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td>기술성숙도
(해당 시 기재)</td><td colspan="2">착수시점 기준(TRL4)
종료시점 목표(TRL7-8)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형
(해당 시 작성)</td><td colspan="6">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성
(해당 시 작성)</td><td colspan="6">-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발
목표 및 내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">○택배 운송환경에 최적화된 친환경/고효율/저비용 하이브리드 디젤-전기 트럭의 핵심 기술 개발 및 시험차량 적용을 위한 실증 기술 개발
○정량적 목표: 개조 원가 500만원 미만, 추가중량 100kg 미만, 연비 30% 향상, 온실가스 및 미세먼지 20% 감축</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">○실제 택배트럭의 운행기록 바탕 물류환경 분석 실시, 연비 측정용 운행 사이클을 개발, 사이클 기반 핵심 부품사양을 결정, 성능 최적화, 최대성능 예측을 수행, 핵심부품 모듈화, 인테그레이션 및 신뢰성 분석을 수행
○하이브리드 디젤-전기 트럭의 효과적인 제어 위한 파워트레인 제어기술, 전력시스템 및 제어기 구현 및 제어 소프트웨어 및 UI 기술 개발
○하이브리드 디젤-전기 트럭의 실용화 및 시장보급 위한 성능 평가, 테스트베드구축, 기술 실증, 모듈 평가 방법 개발, 실차 시험 및 개조차량 튜닝 승인방안 마련, 개조효과 분석 실시, 홍보, 법 · 제도별 지원방안을 검토</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>연구개발성과</td><td>○국토교통부 우수물류신기술 제 1호 지정
○개조비용 절감 및 신뢰성 확보를 위한 하이브리드 디젤-전기 트럭 개조 기술 개발
• 택배 운행환경 기반 연비 측정용 대표 물류 사이클
• 하이브리드 디젤-전기 트럭 핵심요소 사양 도출 및 최적화 기술
• 하이브리드 디젤-전기 파워트레인 설계 기술
• 하이브리드 디젤-전기 트럭 구조 신뢰성 분석 기준
• 하이브리드 디젤-전기 트럭 부품 모듈화 지침서
○배기가스 저감 및 연비 향상을 위한 하이브리드 디젤-전기 트럭 제어 기술 개발
• 공회전 제한(Idle Stop & Go)을 위한 엔진 제어 기술
• 배터리팩 실시간 모니터링 및 관리 모듈
• 배터리팩 온도 관리 시스템
• 에너지 흐름 모니터링 서비스 개발
• 하이브리드 디젤-전기 트럭 제어기
• 트럭 제어기와 엔진 ECU 간 인터페이스 모듈
○하이브리드 디젤-전기 트럭 시험 및 실용화 기술
• 부품별 인증기반 설계기준(안)
• 「자동차 튜닝에 관한 규정」개정
• 각 부품시험방법서
• 개조차 안전 인증 및 튜닝검사 승인
• 친환경차량 정부지원책
• 테스트베드 운영 결과보고서</td></tr>
</table>

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	○하이브리드 트럭의 핵심 부품 사양 결정 및 제어, 전력시스템 개발 기술에 활용 가능하며, 개조 및 유지보수비용의 절감이 기대됨. 실제 운행데이터 기반 제작된 사이클을 활용하여, 완성차량의 성능목표 설정 및 신뢰성 평가 위한 틀을 설정하는 데 참고가 가능함. ISG 제어, 수동변속기 변속제어 등 일반차량에도 친환경차량 개조에 기술적 파급력을 가져올 것으로 예상함 ○하이브리드 개조 시 배기가스 저감 효과와 함께 연비 향상을 기대할 수 있어 차량 소유자에게 낮은 진입장벽을 가지므로 보급이 용이함. 연비향상 효과로 인해 전체 물류비의 감소를 가져오게 되어, 물류 서비스를 이용하는 소비자의 부담을 줄일 수 있음 ○온실가스 배출의 감소, 미세먼지 및 초미세먼지를 감축시킬 것으로 기대되며, 소형 배달 트럭의 운행은 시민과의 접촉이 잦은 도심지역에서 주로 이루어지므로 주 거주지역 공기질 개선에 효과적인 기여를 할 것으로 기대됨

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	31	6	-	1	-	10	-	-	-	-	-	-

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호
	한국교통안전공단	엔진 미세분진 측정시스템(휴대용)	11-A Portable Aeroso; spectrometer	1	2019.01.01.	73,700	(주)파코코리아인더스	한국교통안전공단	NFEC-2019-04-255325

국문핵심어	도심지 택배운행환경	하이브리드 디젤-전기 트럭	미세먼지 절감	도심지 공기질 개선
영문핵심어	Urban delivery environment	Hybrid diesel-electric Truck	Fine dust reduction	Urban air quality improvement

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 11

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 189

4. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여정도 ····· 236

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 248

별첨자료 (참고 문헌 등)

<표 목차>

<표 1> 기존 연구과제와의 차별성 및 연계방안 ····· 7
<표 2> 연구내용별 AS-IS / TO-BE 도출을 통한 목표 제시 ····· 10
<표 3> 클러스터링 결과 ····· 12
<표 4> 구동 모터의 최종 설계안 제원표 ····· 23
<표 5> 참고논문 모델 및 해석 모델의 고유 진동수 ····· 24
<표 6> 구성 요소별 고장 비율 및 종류[1] ····· 25
<표 7 > 고장 진단 방법별 확인 가능한 고장 종류 및 센서 필요 여부[2] ····· 26
<표 8> 입력전류별 구동모터의 토크, MTPA 각도 비교 ····· 27
<표 9 > 구동모터의 잠재적 문제 및 영향 분류 표 ····· 28
<표 10 > 구동모터의 토크 성분 비율표* ····· 30
<표 11> 타 社 전기 및 하이브리드 차량의 모터 냉각 방식 조사 ····· 31
<표 12> 타 社 하이브리드 차량의 모터 벤치마킹1 ····· 32
<표 13> 타 社 하이브리드 차량의 모터 벤치마킹2 ····· 32
<표 14> 역설계한 모델의 전기적 해석 ····· 33
<표 15 > 안전율 해석 결과 ····· 37
<표 16 > 모터 연속 구동 시험 ····· 38
<표 17> 부품 제작 ····· 40
<표 18> 아세이 부품 제작 ····· 40
<표 19 > 효율 및 최대출력 값 ····· 42
<표 20> 파워트레인 구성 ····· 43
<표 21> 2020년 4차년도 제작 수량 ····· 44
<표 22> 기초제원 ····· 48
<표 23> 연차별 시제작 차량 ····· 49
<표 24> 디스플레이 하우징 제원 ····· 59
<표 25> 통합제어기 케이스 제원 ····· 60
<표 26> 하이브리드 파워트레인 최적 제어 기법 요약 ····· 66
<표 27> 유로4 차량(포터II 2011년식)의 대표물류사이클 시험결과 (TENERGY에서 시험) ··· 72
<표 28> 유로5 차량(포터II 2014년식)의 대표물류사이클 시험결과(KATRI에서 시험) ····· 72
<표 29> 유로5 차량(봉고III 2014년식)의 대표물류사이클 시험결과(TENERGY에서 시험) ···· 73
<표 30> 유로4 차량(포터II 2011년식)의 FTP-75 시험결과 (TENERGY에서 시험) ····· 73
<표 31> 1톤 택배트럭 제원 ····· 77
<표 32> 1톤 택배트럭 제원 ····· 79
<표 33> PN 및 NOx 배출 MAP (교내주행시험) ····· 82
<표 34> 연비 분석 결과 ····· 85
<표 35> PN 분석 결과 ····· 85
<표 36> 2 차년도 성과지표 목표치 및 목표달성 결과 ····· 134
<표 37> SOC 및 노화 정도 별 내부 등가 저항 측정치와 추정치 비교 ····· 135
<표 38> Passive balancing 제어 결과 ····· 136
<표 39> 3 차년도 성과지표 목표치 및 목표달성 결과 ····· 137
<표 40> Algorithm에 따른 Mean absolute error 비교 ····· 137

<표 41> 안전성확인 시험항목(자동차 튜닝에 관한 규정) ····· 145
<표 42> 공회전제한장치 성능인증 시험항목 ····· 146
<표 43> 구동축전지 안전성시험) ····· 148
<표 44> 포터2 제원측정 및 중량분포 측정 결과 ····· 149
<표 45> 전자파 방사시험 결과 ····· 149
<표 46> 전자파 내성시험 결과 ····· 150
<표 47> 포터2 HEV 제원측정 및 중량분포 측정 결과 ····· 150
<표 48> 포터2 HEV 최대안전경사각도 측정 결과 ····· 150
<표 49> 고전원전기장치안전성시험 ····· 151
<표 50> 전자파 방사시험 결과 ····· 151
<표 51 > 튜닝부품 내구성 시험결과 ····· 152
<표 52 > 튜닝검사 실시 ····· 153
<표 53 > HEV 튜닝효과검증 시범운영 차량(한진택배) ····· 154
<표 54 > ISG 실증사업 대상차량 ····· 154
<표 55> 설문조사 방법 및 내용 ····· 155
<표 56> 속성별 중요도 및 부분가치 ····· 155
<표 57> 제품 속성별 중요도와 인구통계학적 속성과의 관계 ····· 157
<표 58> 대상지역 대기오염물질 배출량 산정결과(Baseline) ····· 159
<표 59> 대상지역 대기오염물질 배출량 산정결과(대안) ····· 160
<표 60> 보조금 규모에 따른 시장 규모 및 투입비용 ····· 161
<표 61> 하이브리드 개조기술 적용차량에 대한 경제성 분석 결과 ····· 161
<표 62> 실행계획 수립 - PLC전략 수립 ····· 163
<표 63> 기존사업 근거 1톤 이하 택배 차량의 연료소비 저감에 대한 지원가능금액 산정 ·· 165
<표 64> 기존사업 근거 1톤 이하 택배 차량의 온실가스배출 저감에 대한 지원가능금액 산정 ····· 165
<표 65> 열 공급 방식에 따른 장치 구분 ····· 170
<표 66> 배출가스 저감장치 분류 ····· 172
<표 67> 저공해엔진 규제 기준 ····· 173
<표 68> 저감장치 인증 시험 항목 및 방법 ····· 173
<표 69> 수시검사 및 결함확인검사 절차 ····· 174
<표 70> 소형화물자동차에 대한 제작차배출허용기준 ····· 175
<표 71> 대기환경개선사업 추진에 관한 법적 근거 ····· 176
<표 72> 시범사업 배경 및 기대 효과 ····· 176
<표 73> 차량별 총 주행거리 ····· 185
<표 74> 차량별 개조 전·후 연비 ····· 186
<표 75> 경로별 개조 전·후 시험결과 ····· 187
<표 76 > 연료소비율 측정결과 ····· 194
<표 77 > ISG 장착전/후 연비 개선효과(실차) ····· 194
<표 78> 하이브리드 튜닝 제도 개정안 ····· 194
<표 79 > 시험결과 통보서 및 시험성적서 ····· 195
<표 80 > 출력 비교 ····· 203
<표 81> 국외 주요 회사별 HEV의 리튬이차전지 사양 ····· 239
<표 82> 유로4 차량(포터II 2011년식)의 대표물류사이클 시험결과 ····· 242
<표 83> 차량별 개조 전·후 연비 ····· 246

<그림 목차>

<그림 1> 국내 택배시장 물동량 추이 ····· 1
<그림 2> 수도권 미세먼지 배출기여도 및 배출량 ····· 2
<그림 3> 국내 택배 물량 전망치 ····· 3
<그림 4> 미세먼지 배출원 유형별 비중 ····· 5
<그림 5> DB Index ····· 11
<그림 6> 대표물류사이클 ····· 12
<그림 7> 구동모터 삽입을 위한 가용공간 분석(정상 주행 조건) ····· 13
<그림 8> 구동모터 삽입을 위한 가용공간 분석(경사로 주행 조건) ····· 14
<그림 9> 3D 스캐닝 데이터와 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인 모듈 ····· 14
<그림 10> 3D 스캐닝 데이터와 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인(측면) ····· 15
<그림 11> 박형 구동모터 및 유압 클러치 일체화 모듈 ····· 15
<그림 12> 일체형 구동모터 하우징 ····· 15
<그림 13> 일체형 클러치 하우징 ····· 15
<그림 14> 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인 모델 ····· 16
<그림 15> 유한요소 해석을 위한 엔진 경계조건 ····· 16
<그림 16> 유한요소 해석을 위한 변속기 벨하우징 경계조건 ····· 17
<그림 17> 모터 및 클러치 하우징 어셈블리 유한요소 ····· 17
<그림 18> 극한 가속도 조건1(큰 충격이 가해지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기 ····· 18
<그림 19> 극한 가속도 조건2(한쪽 바퀴가 구멍에 빠지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기 ····· 18
<그림 20> 극한 가속도 조건3(급 커브를 도는 경우)의 최대응력 위치 및 크기 ····· 18
<그림 21> 극한 가속도 조건4(큰 중심하중이 가해지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기 ····· 18
<그림 22> 프로펠러 샤프트와 연결되는 스플라인 축의 최대응력 위치 및 크기 ····· 18
<그림 23> 극한 가속도 조건1(큰 충격이 가해지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기 ····· 19
<그림 24> 극한 가속도 조건2(한쪽 바퀴가 구멍에 빠지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기 19
<그림 25> 극한 가속도 조건3(급 커브를 도는 경우)의 최대응력 위치 및 크기 ····· 19
<그림 26> 극한 가속도 조건4(큰 중심하중이 가해지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기 ····· 19
<그림 27> US06 운행 사이클에서 하우징의 응력변화 ····· 20
<그림 28> UDDS 운행 사이클에서 하우징의 응력변화 ····· 20
<그림 29> US06 rainflow counting 표 ····· 20
<그림 30> UDDS 운행 사이클에서 rainflow counting 표 ····· 20
<그림 31> 벤치마크 모터의 토크 곡선과 MTPA trajectory ····· 21
<그림 32> 벤치마크 모터의 (a) 속도-토크 곡선, 속도-출력 곡선 ····· 21
<그림 33>토크-스피드 특성 그래프를 이용한 성능 확인 및 설계 수정 과정 ····· 22
<그림 34> 구동 모터 성능영향도 분석 결과 ····· 23
<그림 35> 구동 모터 고유진동수에 대한 모드 형상 ····· 23
<그림 36> 구동 모터 (a) 시간-온도 곡선과 (b) 온도 분포 해석 결과 ····· 24
<그림 37> 구동모터의 (a) 효율맵과 (b)손실맵 ····· 24
<그림 38> 온도에 따른 구동모터 인덕턴스 맵 ····· 25
<그림 39> 발열 실험 데이터와 해석결과 비교 ····· 27
<그림 40> (a) 방열실험 데이터와 해석결과 비교, (b) 구동모터 파트별 온도분포 추정 ····· 28

<그림 41> 구동모터 설계 개선안: (a) 기존 구동모터 (b) 개선안(V-shape 모터) ····· 30
<그림 42> Motor A'ssy Modelling ····· 33
<그림 43> Layout ····· 33
<그림 44> 온도해석모델(좌), 열 등가회로(우) ····· 33
<그림 45> 온도상승그래프_정격부하(좌), 최대출력(우) ····· 34
<그림 46> 구동모터 시제품 ····· 34
<그림 47> 역기전압 ····· 34
<그림 48> 온도상승(60Nm @1,800rpm) ····· 35
<그림 49> 최대출력(180Nm @1800rpm, 30s) ····· 35
<그림 50> 최대 토크 ····· 35
<그림 51> 최대 토크 ····· 35
<그림 52> 최대효율 ····· 36
<그림 53> 자속밀도, 역기전압, 최대토크(토크리플) ····· 36
<그림 54> 정격상태 60min 열해석 ····· 38
<그림 55> 3차년도 시제품 ····· 38
<그림 56> 연속구동시험(온도그래프(좌),시험 전(중),시험 후(우)) ····· 38
<그림 57> 단시간 최고출력(좌), 연속 30분 출력(우) ····· 39
<그림 58> 공정검사성적서 ····· 39
<그림 59> 작업표준서 ····· 39
<그림 60> QC 공정도 ····· 39
<그림 61> WATER JACKET + STATOR ASSY(권선) 조립 과정 ····· 40
<그림 62> HOUSING ASSY 조립 과정 및 수밀검사 ····· 41
<그림 63> HOUSING COVER ASSY 조립 과정 ····· 41
<그림 64> 총 조립 및 조립된 모터 ····· 41
<그림 65> 자체시험_다이나모 부착 모습 ····· 42
<그림 66> 자체시험(효율(좌), 최대출력(우)) ····· 42
<그림 67> 하이브리드 모터 ····· 44
<그림 68> 프로펠러 샤프트 ····· 45
<그림 69> 배터리팩 및 PCU 박스 ····· 45
<그림 70> 변속기 마운팅 ····· 45
<그림 71> 클러치 오퍼레이터 ····· 45
<그림 72> 냉각수 흐름 ····· 46
<그림 73> 냉각관련 부품 ····· 46
<그림 74> 레버센서 ····· 47
<그림 75> 레버 센서 장착 ····· 47
<그림 76> 브레이크 제동센서 ····· 47
<그림 77> 브레이크 제동센서 장착 ····· 48
<그림 78> 대상차량 좌: 포터2, 우: 봉고3 ····· 48
<그림 79> 2-3호차 (2018년) ····· 49
<그림 80> 3-1호차 (2019년) ····· 50
<그림 81> 4-1호차 (2020년) ····· 50
<그림 82> 변속기 탈거 ····· 50
<그림 83> 모터 장착 ····· 51

<그림 84> 변속기 장착 ····· 51
<그림 85> 파워트레인 조립 ····· 51
<그림 86> 클러치 오퍼레이터 연결 ····· 52
<그림 87> 냉각 계통 연결 ····· 52
<그림 88> 수납박스 ····· 52
<그림 89> 수납박스 장착 ····· 52
<그림 90> 모터 삽입을 위한 가용 공간 분석 ····· 53
<그림 91> 대상차량 기용공간 분석 ····· 53
<그림 92> 원웨이 클러치 풀리의 측면도 및 등각도 ····· 54
<그림 93> 원웨이 클러치 풀리 시제품 ····· 54
<그림 94> 원웨이클러치 풀리의 적용 전/후 엔진 전면부 ····· 54
<그림 95> 차량등록증 ····· 55
<그림 96 >튜닝승인서 ····· 55
<그림 97> 튜닝 후 ····· 55
<그림 98> 튜닝 전 ····· 55
<그림 99> 냉각수 점검 ····· 56
<그림 100> 시프트레버 센서 위치 ····· 56
<그림 101> 시프트레버 센서 점검 ····· 56
<그림 102> 배터리팩, PCU 위치 ····· 57
<그림 103> VCU 위치 ····· 57
<그림 104> 배터리팩 점검 ····· 57
<그림 105> 구동모터 점검 ····· 57
<그림 106> 자동 클러치 점검 ····· 58
<그림 107> 에어빼기 1 ····· 58
<그림 108> 에어빼기 2 ····· 58
<그림 109> 에어빼기 3 ····· 59
<그림 110> 디스플레이 하우징 도면1 ····· 59
<그림 111> 디스플레이 하우징 도면2 ····· 60
<그림 112> 디스플레이 장치 ····· 60
<그림 113> 통합제어기 케이스 도면 ····· 61
<그림 114> 통합제어기 케이스 조립 ····· 61
<그림 115> 통합제어기 장착 ····· 61
<그림 116> 변속기 입력축의 속도 및 토크에 따른 엔진 ON/OFF 조건 도출 ····· 62
<그림 117> 변속기 입력축의 속도 및 토크에 따른 엔진 ON/OFF 히스테리시스 조건 도출 ····· 62
<그림 118> 엔진 정지 및 시동 조건을 적용한 제어 알고리즘 ····· 63
<그림 119> 엔진 시동과 idle 상태에서의 연료소모량 ····· 63
<그림 120> ISG 제어 전략 ····· 64
<그림 121> 전륜 유압 제동력에 따른 후륜 제동력 분석 ····· 64
<그림 122> 유압 및 회생 제동 Blending 알고리즘 ····· 65
<그림 123> 사이클에 따른 전체 제동량 및 회생제동량 비교 ····· 65
<그림 124> 회생제동 제어 전략 ····· 66
<그림 125> 동적 계획법을 이용한 최적 제어 결과(택배 대표 운행 사이클) ····· 67
<그림 126> 동적 계획법의 결과를 이용한 제어 Rule 도출 ····· 67

<그림 127> Equivalent Consumption Minimization Strategy(ECMS) ····· 68
<그림 128> ECMS의 재정의 ····· 68
<그림 129> 최적 근사해로부터의 λ 도출 ····· 69
<그림 130> A-ECMS 제어전략 ····· 69
<그림 131> 클러치 및 기어의 상태에 따른 파워트레인 제어 동작 상태 ····· 70
<그림 132> 경내 하이브리드 택배트럭 테스트 ····· 70
<그림 133> 차대 동력계 상 주행 테스트 기반의 파워트레인 제어 알고리즘 최적화 과정 ···· 71
<그림 134> 변속 충격량 예측 알고리즘을 통한 클러치 체결 시점 조절 ····· 71
<그림 135> 제주도 실증시험 단거리 코스 ····· 74
<그림 136> 기어 체결 유지 여부에 따른 회생제동의 에너지 회수 차이 ····· 74
<그림 137> 클러치체결 유지 여부에 따른 연료소모량 차이 ····· 75
<그림 138> ISG 유지 여부에 따른 연비 차이 ····· 75
<그림 139> AVL CRUISE 프로그램 계산 흐름 요약도 ····· 76
<그림 140> FTP-75 주행모드 ····· 78
<그림 141> FTP-75 모드 엔진 속도 (시뮬레이션 결과) ····· 79
<그림 142> FTP-75 모드 엔진 토크 (시뮬레이션 결과) ····· 79
<그림 143> 차량 연비맵 & 엔진 최대토크 곡선 ····· 80
<그림 144> (한양로 1) 실시간 PN 및 NOx 배출 결과 ····· 80
<그림 145> (한양로 2) 실시간 PN 및 NOx 배출 결과 ····· 81
<그림 146> 시험차량에 따른 PN 및 NOx 배기가스 배출결과 비교 ····· 81
<그림 147> 고속구간에서의 실시간 PN 및 NOx 배출 결과 ····· 82
<그림 148> 고속구간 시험 주행 상세 분석 ····· 83
<그림 149> 엔진운전점 및 PN 배출 MAP ····· 83
<그림 150> 엔진운전점 및 NOx 배출 MAP ····· 83
<그림 151> 실도로 주행 PN 결과와 시뮬레이션 PN 결과 비교 ····· 86
<그림 152> 주요운전영역도출 (좌:Artemis Urban, 우:NEDC) ····· 86
<그림 153> 가변DC전압 인버터 토폴로지 작용시 효율 향상폭 비교 결과 ····· 87
<그림 154> 주행가능거리 예측 프로그램 플로우차트 ····· 87
<그림 155> 양방향 DC/DC 컨버터 전압제어 알고리즘(좌) 및 실험 결과(우) ····· 88
<그림 156> 강압 인버터 전압제어 알고리즘(좌) 및 실험 결과(우) ····· 89
<그림 157> 효율 및 정밀도 확인 및 인버터/컨버터 하드웨어 ····· 89
<그림 158> 전압유지 성능비교(상)와 대응 전류 거동(하) ····· 90
<그림 159> PIO(좌) 및 제안방법(우) 사용 시 고장 오진단 제거 ····· 90
<그림 160> 상태관측기 최적이득 도출 알고리즘 ····· 91
<그림 161> 정상 운전에서 속도 및 부하 변동 시나리오 ····· 91
<그림 162> 최적토크제어 알고리즘 ····· 92
<그림 163> 적용 실험 결과 ····· 92
<그림 164> Auto-calibration 알고리즘(좌) 및 구성도(우) ····· 92
<그림 165> 알고리즘 검증을 위한 하드웨어 ····· 93
<그림 166> 속도 프로파일에 따른 auto-calibration 결과 ····· 93
<그림 167> 운전점 변동에 따른 실시간파라미터 추정 결과 ····· 93
<그림 168> 릴레이 구동/전류센싱 회로부 및 보조전원 구성 회로부 ····· 94
<그림 169> BMS H/W 제작 ····· 94

<그림 170> BMS 시험 파형 ····· 94
<그림 171> 파워보드 4-phase 회로도 ····· 95
<그림 172> 시뮬레이션 구현 회로도 및 검증 ····· 95
<그림 173> 전력변환보드(上)(312 x 130mm)와 제어보드(下)(270 x 120mm) H/W 제작 ···· 95
<그림 174> HDC 시제품 제작 ····· 96
<그림 175> 컨버터(좌) 및 인버터(우) 구성도 ····· 96
<그림 176> 기구물 구성도 ····· 97
<그림 177> 기구물 설계 ····· 97
<그림 178> 기구물 온도 분포도: 인버터 ····· 97
<그림 179> 시제품 제작 ····· 97
<그림 180> 시뮬레이션 구현 회로도 및 검증 ····· 98
<그림 181> 절연형 풀브리지 컨버터 회로 전력부 ····· 98
<그림 182> 기구물 설계(좌), 시제품 제작(우) ····· 98
<그림 183> 출력 전압 가변 시험(좌), 출력 전류 가변 시험(우) ····· 99
<그림 184> 저전압 커넥터 사양도 ····· 99
<그림 185> 저전압 커넥터 도면 ····· 99
<그림 186> 고전압 커넥터 사양도 ····· 100
<그림 187> 고전압 커넥터 사양도 ····· 100
<그림 188> 저전압 커넥터 제품 제작 ····· 101
<그림 189> 고전압 커넥터 제품 제작 ····· 101
<그림 190> 배터리 관리 시스템 ····· 102
<그림 191> Master Board ····· 102
<그림 192> Slave Board ····· 102
<그림 193> 내장된 셀 밸런싱 ····· 103
<그림 194> 통합제어기의 제어 계통도 ····· 104
<그림 195> 제어기간의 계층구도 ····· 104
<그림 196> ECU, BMS와의 CAN 통신 프로토콜 ····· 105
<그림 197> 디스플레이와의 UART 통신 프로토콜 ····· 105
<그림 198> 엔진 정보 ····· 106
<그림 199> 기어 정보 ····· 106
<그림 200> 차량 속도 정보 ····· 106
<그림 201> 배터리, 모터 상태 정보 ····· 106
<그림 202> 배터리팩 구성(2018) ····· 107
<그림 203> BMS PCB(2018) ····· 107
<그림 204> CBM PCB(2018) ····· 107
<그림 205> 배터리 + BMS ASS'Y (2018) ····· 108
<그림 206> 배터리 팩 구성(2019) ····· 108
<그림 207> BMS PCB(2019) ····· 108
<그림 208> CBM PCB(2019) ····· 108
<그림 209> 배터리 + BMS ASS'Y (2019) ····· 108
<그림 210> BMS 회로도 (2020) ····· 109
<그림 211> CBM 회로도 (2020) ····· 109
<그림 212> KN41 시험 성적서 ····· 110

<그림 213> 가진(진동) 시험 성적서 ····· 111
<그림 214> 통합 제어 모듈 계층 구조 ····· 111
<그림 215> 통합 제어 모듈 구성 및 인터페이스 ····· 112
<그림 216> 통합 제어 모듈 소프트웨어 구성 ····· 112
<그림 217> MCU, CAN, BLUETOOTH, ACCEL CONTROL 회로도 (2020) ····· 113
<그림 218> CLUTCH, GEAR LEVER, RELAY CONTROL 회로도 (2020) ····· 113
<그림 219> 상위제어기 (2018) ····· 114
<그림 220> 상위제어기 (2019) ····· 114
<그림 221> 통합제어기(2020) ····· 114
<그림 222> JBL 실증차량 ····· 115
<그림 223> 실차 운행 경로 ····· 115
<그림 224> 실차 운행 eMT 데이터 ····· 115
<그림 225> KN41 시험 성적서 ····· 116
<그림 226> 가진(진동) 시험 성적서 ····· 116
<그림 227> 전력 계통도 (통합 PCU) ····· 117
<그림 228> PCU 구조 ····· 117
<그림 229> 3상 인터리브드 DC/DC 컨버터 ····· 118
<그림 230> 3상 인터리브드 컨버터의 리플 감소 ····· 118
<그림 231> Input Capacitor(700V,100uF)도면 ····· 119
<그림 232> Inductor(120uH, 70A) ····· 119
<그림 233> Power Board ····· 119
<그림 234> 컨버터 사양표 ····· 120
<그림 235> 3상 DC/AC 인버터 ····· 120
<그림 236> 인버터 SVPWM ····· 121
<그림 237> DC Link Capacitor (700V, 1000uF) ····· 121
<그림 238> Power Board ····· 121
<그림 239> LEM 社 Current sensor(hah1drw 300-s) ····· 122
<그림 240> 인버터 사양표 ····· 122
<그림 241> IGBT 게이트 드라이버 (2019) ····· 122
<그림 242> PCU 컨트롤 보드 (2019) ····· 123
<그림 243> 컨버터 (2017) ····· 123
<그림 244> 컨버터 (2018) ····· 124
<그림 245> 인버터 (2018) ····· 124
<그림 246> 통합 (컨버터+인버터) PCU (2019) ····· 124
<그림 247> 전자파 적합성 시험, 주행 내구시험 ····· 125
<그림 248> PCU 모니터링 데이터 ····· 125
<그림 249> PCU KN41 시험성적서 ····· 126
<그림 250> PCU 가진(진동) 시험 성적서 ····· 126
<그림 251> 통합제어기와의 통신 프로토콜 ····· 127
<그림 252> 모니터링 장치 버전 표시 ····· 127
<그림 253> 모니터링 서비스 장치 실차 테스트 ····· 128
<그림 254> BMS 통신 블록도 ····· 128
<그림 255> 고장 진단 정보 흐름도 ····· 128

<그림 256> 디스플레이 장치(2018) ····· 129
<그림 257> 디스플레이 장치(2019) ····· 129
<그림 258> 테블릿 모니터링 장치(2019) ····· 129
<그림 259> 모니터링 장치 (KN41) 시험 ····· 130
<그림 260> 모니터링 장치 가진(진동) 시험 ····· 130
<그림 261> 삼성 SDI 18650 원통형 셀 라인업 및 측정 실험 데이터 기반 전압 추정 성능 ····· 131
<그림 262> 10% SOC 별 측정된 OCV ····· 131
<그림 263> 5% SOC 별 측정된 OCV ····· 131
<그림 264> Dynamic 충전 및 방전 전류 인가시 전류 및 전압 그래프 ····· 132
<그림 265> 직병렬 배터리 팩의 병렬 조합에 따른 용량 및 OCV 특성 실험 전류 프로파일 ····· 132
<그림 266> 14S 배터리 팩의 병렬 조합 증가에 따른 셀 간 전압 편차 ····· 133
<그림 267> 이상적인 단위 셀의 병렬 조합에 따른 내부 저항과 실제 내부 저항 비교 ····· 133
<그림 268> C-rate에 따른 방전 용량 및 셀 간 전압 편차 ····· 133
<그림 269> Hybrid pulse power characterization cycle을 이용한 SOC 추정 성능 분석 ···· 134
<그림 297> 슬라이딩 모드 관측기를 이용한 Virtual cell의 상태 추정 ····· 135
<그림 298> Virtual cell과 cell difference model 기반 각 배터리 셀 SOC 추정 성능 ····· 135
<그림 299> Passive balancing 회로 및 알고리즘 블록도 ····· 136
<그림 300> 배터리팩 SOC 추정 성능(공인기관 시험업체(HCT)) ····· 137
<그림 301> EV (좌) 및 HEV (우) 사이클에 대한 두 가지 셀의 내부 저항 추정 결과 ····· 138
<그림 302> 배터리팩 SOH 추정 성능(공인기관 시험업체(HCT)) ····· 138
<그림 303> Balancing 명령 인가 시 전압 변화 (좌) 및 시작/끝 전압(우) ····· 138
<그림 304> 15A로 완충 및 완방 3회시 배터리 팩 내부 온도 분포 ····· 139
<그림 305> Cell 온도 추정 시뮬레이션 a) 3D 모델 b) 측정값과 비교 그래프 결과 ····· 140
<그림 306> a) 배터리 동작 전 온도 분포 b) SOC 0구간에서의 온도 분포 ····· 140
<그림 307> UDDS 기반 건전성 지표 추출 및 실제 SOH와 산출 SOH 비교 ····· 140
<그림 308> 건전성지표 기반 AR 모델을 활용한 SOH 추정 결과 및 추정 오차 ····· 141
<그림 309> DOB와 State estimator를 이용한 sensorless SOC 추정기 개요 ····· 141
<그림 310> 각종 step 전류 값 추정 결과 ····· 141
<그림 311> SOC 추정 결과 ····· 142
<그림 312> Noise(좌) Noise + Offset(우) 인가시 전류 추정 결과 ····· 142
<그림 313> 배터리팩 시스템 설계도면 ····· 143
<그림 314> 실 제작용 배터리팩 case CAD 도면 ····· 143
<그림 315> 개발된 배터리팩의 측면 ····· 144
<그림 316> 개발된 배터리팩의 전면 ····· 144
<그림 317> 개발된 배터리팩의 내부 구성 ····· 144
<그림 318> 배터리팩 절연저항 검수 ····· 144
<그림 319> 구동축전지 안전성시험 항목 ····· 144
<그림 320> 구동전동기 최고출력 시험결과 ····· 147
<그림 321> 구동전동기 최고30분출력 시험결과 ····· 147
<그림 322> 제품속성별 개조선택확률 Heat map ····· 156
<그림 323> 속성별 중요도에 따른 K-means clustering 결과 (세 그룹) ····· 156
<그림 324> 운송분야 오염저감을 위한 주요 정책 및 지원대상 (차량 연식 기준) ····· 158
<그림 325> PEST분석 주요내용 요약 ····· 162

<그림 326> SWOT 분석 및 대응전략 수립 ····· 162
<그림 327> S4P 전략 주요내용 요약 ····· 163
<그림 328> PM2.5 농도 기여도 ····· 168
<그림 329> 대기오염물질의 발암 위해성 비중 ····· 168
<그림 330> 제1종 저감장치(DPF) 작동 원리 ····· 169
<그림 331> LPG 엔진개조 차량 및 부품 ····· 170
<그림 332> PM·NOx 저감장치 구성도 ····· 171
<그림 333> 건설기계 DPF 부착 사진 ····· 171
<그림 334> 건설기계 엔진교체 절차 ····· 172
<그림 335> 저감장치 인증 절차도 ····· 173
<그림 336> 수집정보 전송 모듈 HW ····· 177
<그림 337> 수집정보 전송 모듈 사양 ····· 177
<그림 338> 서버 SW 구조도 ····· 178
<그림 339> 기본정보 ERD ····· 178
<그림 340> 운행정보 ERD ····· 178
<그림 341> 대시보드, 차량목록 페이지 ····· 179
<그림 342> 운행기록 페이지 ····· 179
<그림 343> 사용자 관리, 권한 관리 페이지 ····· 180
<그림 344> 이상 상황 알림 수신 설정 화면 ····· 180
<그림 345> 이상 상황 알림 메일 수신 화면 ····· 181
<그림 346> DTG 데이터 구성 ····· 181
<그림 347> DTG 차량 목록 화면 ····· 182
<그림 348> DTG 데이터 목록 화면 ····· 182
<그림 349> 재부팅 방지기 ····· 183
<그림 350> 단말기 장착 모습 ····· 183
<그림 351> JBL 로지스틱스 실증 차량 ····· 184
<그림 352> 에너지 회수율과 연비 간 상관관계 ····· 187
<그림 353> 엔진 시동과 idle 상태에서의 연료소모량 ····· 191
<그림 354> ISG 제어 전략 ····· 191
<그림 355> Equivalent Consumption Minimization Strategy(ECMS) ····· 192
<그림 356> ECMS의 재정의 ····· 192
<그림 357> 최적 근사해로부터의 λ 도출 ····· 193
<그림 358> A-ECMS 제어전략 ····· 193
<그림 359> 녹색물류전환사업 확대 및 신규지원방안 정책 건의문건 ····· 198
<그림 360> 한국판 뉴딜정책 추진방안 정책토론회 중 하이브리드 개조 지원 건의내용 ····· 200
<그림 361> Water Jacket 및 단면도(내부 수로) ····· 203
<그림 362> 절연형 풀브리지 컨버터 회로 전력부 ····· 204
<그림 363> Equivalent Consumption Minimization Strategy(ECMS) ····· 206
<그림 364> ECMS의 재정의 ····· 207
<그림 365> 속도-토크 특성을 구하기 위한 dq축 해석 프로그램 개발 ····· 207
<그림 366> 최종(4차) 설계안 토크-속도 곡선 및 제원표 ····· 208
<그림 367> 구동모터의 토크 성능 그래프 (a) 기존모터, (b) 개선안(V-shape) 모터 ····· 209
<그림 368> 인버터 효율 예측 및 최적소자 선정 프로그램 ····· 210

<그림 369> 병렬형 하이브리드 차량의 구조 ····· 236
<그림 370> GM대우 社의 라보 (0.5톤 적재) 개조 전기차 - 라보 Peace ····· 236
<그림 371> 개조된 1톤 전기트럭 ····· 237
<그림 372> 디아이씨社의 전기 화물차 - 칼마토(Calmato) ····· 237
<그림 373> 동력분기형 하이브리드 시스템 ····· 238
<그림 374> BMW 社의 i8모델에 적용된 영구자석형 구동 모터 ····· 240
<그림 375> 개조기술의 원가계산서 ····· 243
<그림 376> 개조 전 후 중량 변화 ····· 243
<그림 377> 우수 뮬류신기술 등 지정증서 ····· 244
<그림 378> 규정 개정문 일부 ····· 245
<그림 379> 튜닝 승인서 ····· 245
<그림 380> 튜닝승인 절차 ····· 246
<그림 381> 전기복합 추진어선용 병렬형 하이브리드 파워트레인 ····· 252

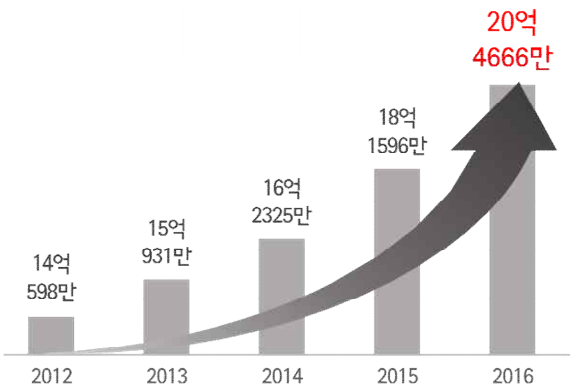
1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 개요

(1) 연구개발의 배경

○ 택배산업의 성장

• 전자상거래 활성화로 인해 국내 택배산업 시장이 급격히 성장하고 있으며, 이에 택배용 소형 화물차량의 수요 또한 증가하고 있음



단위: 개, 출처: 한국통합물류협회

<그림 1> 국내 택배시장 물동량 추이

• 기존 경유 차량의 경우 빈번한 정차 및 가·감속으로 인해, 복합연비(9km/l 내외) 대비 낮은 실 운행연비(일평균 3.0km/l)는 물류비용 상승의 중요 원인임

- 한국교통연구원의 화물운송시장 실태조사에 따르면, 일평균 운행거리가 2007년 1사분기 90.8km 대비 2016년 4분기에 43.8km로 감소하고, 일평균 운행속도는 10.8km/h에서 5.4km/h로 감소하는 등 과거에 비해 짧은 거리를 운행하며 자주 정차하는 특성을 보임
- '14년 전체 국가물류비의 71.2%를 수송비가 차지하였으며, 이 중 도로운송비가 96.5%를 차지

○ 택배 경유 차량의 미세먼지 및 온실가스 배출

• 한국교통연구원의 화물운송시장 실태조사 자료에 따르면, 최근 5년간 등록된 화물차의 약 95%가 디젤 차량

- 화물차량 등록 대수: 2012년 94.6%, 2013년 92,6%, 2014년 97.1%, 2015년 95.7%

• 또한, 기존 경유 차량의 경우 다량의 미세먼지 및 온실가스를 배출하고 있음

- 경유 차량에 의해 발생되는 미세먼지 배출량은 전국 도로이동에 따른 총 배출량의 약 62%인 12,969톤을 차지



수도권 배출량

(unit : ton/yr)

배출원		대기오염물질		
		$PM_{2.5}$	SOx	NOx
에너지산업연소	발전소	697(4%)	11,088(29%)	24,406(7%)
사업장	제조업연소	300(2%)	3,941(10%)	11,507(4%)
	생산공정	206(1%)	4,657(12%)	4,056(1%)
	폐기물처리	630(4%)	689(2%)	2,945(1%)
냉난방 등	비산업연소	380(2%)	8,653(23%)	42,724(13%)
	기타연소영원	90(1%)		570(0.2%)
도로이동오염원	경유차	3,769(24%)	48(0.1%)	143,474(44%)
	휘발유차 등		300(1%)	25,027(8%)
비도로이동오염원	건설기계 등	3,329(21%)	8,837(23%)	68,355(21%)
생활주변오염원	비산먼지	4,775(30%)		
	생물성연소	2,122(13%)	240(1%)	1,072(0.3%)
합 계		15,733(100%)	37,965(100%)	323,623(100%)

출처: 환경부 블로그

<그림 2> 수도권 미세먼지 배출기여도 및 배출량

- 인체에 더 위해한 초미세먼지가 대부분을 차지하고 있는 2차 미세먼지(각종산화물이 대기 중의 햇빛과 반응하여 생성)의 주요 배출원 또한 경유 차량인 점을 감안할 때 경유차량의 미세먼지 배출의 대책이 필요함

○ 기존 추진 사업의 한계

• 물류비 인상 억제와 배기가스 저감을 위해, 전기 자동차 개조 사업, LPG 완성차 사업 등 정부 사업들이 추진 되어왔으나, 높은 모듈 가격(약 3000만 원 이상)과 높은 중량 증가(200kg 이상)로 인해 시장 확보 실패

- 특히 기존 경유화물트럭에 대하여 저감 장치 부착 지원 등의 사업을 실시하였으나, 장착 시 연비하락 및 고장 시 보다 많은 미세먼지 및 배기가스 배출 등의 문제가 발생

(2) 연구개발의 목표

○ 본 연구에서는 택배 운송환경에 최적화된 친환경/고효율/저비용 하이브리드 디젤-전기 트럭의 핵심 기술 개발 및 시험차량 적용을 위한 실증 기술 개발을 목표로 함

○ 이를 위하여 디젤 트럭을 하이브리드 차량으로 개조용 물류환경 분석기술, 하이브리드 디젤-전기 파워트레인 개조 설계 기술을 개발함

○ 또한 하이브리드 디젤-전기 트럭의 효과적인 제어를 위한 파워트레인 제어기술, 전력시스템 및 제어기 구현 기술을 개발함

○ 이를 바탕으로 하이브리드 디젤-전기 트럭의 시장보급을 위해 차량의 성능을 평가하고 테스트베드를 구축하여 개발기술의 실증을 진행하며 실용화를 위해 법제도를 검토하고 비즈니스모델을 마련함

나. 연구개발의 중요성

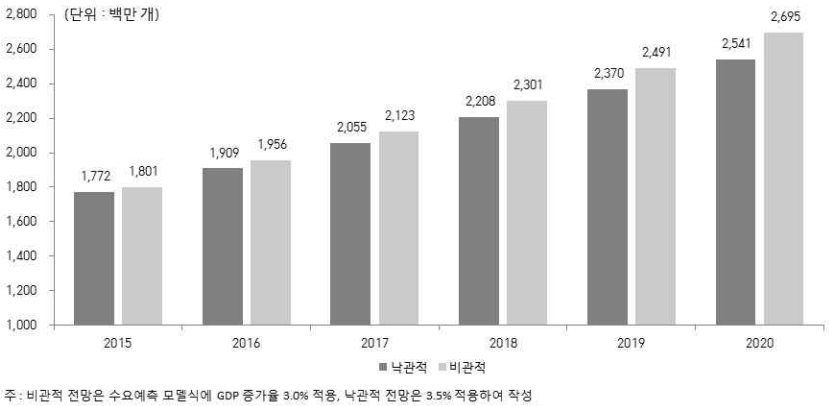
(1) 연구의 필요성

○ 미세먼지를 비롯한 배기가스 감축 차원에서의 필요성

- 디젤 택배 트럭은 택배 운송환경의 특성상 단거리에서의 빈번한 정차 및 가·감속이 이루어지는 가혹조건에서의 운행으로 인해, 다량의 미세먼지 및 온실가스를 배출함
- 서울시 초미세먼지의 52%가 교통 분야(자동차, 건설기계 등)에서 발생하며, 초미세먼지의 주원인인 질소산화물(NOx)은 경유차가 67%로 가장 높고, 차종별로는 화물차와 건설기계가 54%로 높은 비율을 차지함
- 경유 차량에 의해 발생되는 미세먼지 배출량은 전국 도로이동에 따른 총 배출량의 약 62%인 12,969톤을 차지
- 또한 화물차 중 경유화물차의 비율이 2015년도 화물차 신규 등록대수 기준 95% 이상을 차지하며 총 경유차 중 경유화물차가 발생시키는 미세먼지 배출량 비율은 약 68%를 차지함
- 미세먼지 저감을 위해 노후 경유차 대상의 매연저감장치(DPF) 부착, CNG 차 보급 등 저공해 사업을 추진하고 있으나, 인체 위해성이 큰 초미세먼지의 개선은 아직 미흡한 실정임

○ 유류비 절감을 통한 물류비 감소 차원에서의 필요성

- 전자상거래 활성화로 인해 국내 택배산업 시장이 급격히 성장하고 있음. 이에 따라, 택배용 소형 화물차량의 수요 또한 증가함
  - 13세 이상 국민 1인당 택배 이용 횟수는 `00년 연 3.0회에서 `13년 연 35.7회로 급격히 증가하였으며, `13년 기준, 1.5톤 미만 택배용 화물차량은 영업용 24,721대, 자가용 12,031대로, 총 36,734대로 조사됨
  - `14년도 국내의 택배 물동량은 16억 232만 개로 전년대비 7.8% 성장한 것으로 집계되었으며, 매출액은 3조 9,700억 원으로 전년대비 6.4% 성장한 것으로 집계되었으며, 향후에도 인터넷 쇼핑몰의 성장과 해외직구 등의 확대로 인해 택배시장 역시 지속적인 성장세를 보일 것으로 예상됨



주 : 비관적 전망은 수요예측 모델식에 GDP 증가율 3.0% 적용, 낙관적 전망은 3.5% 적용하여 작성

<그림 3> 국내 택배 물량 전망치

- 기존 경유 차량의 경우 빈번한 정차 및 가·감속으로 인해, 복합연비(9km/l 내외) 대비 낮은 실 운행연비(일평균 3.0km/l)는 물류비용 상승의 중요 원인임
- 국제유가 상승에 따른 물류비 인상요인 억제를 위한, 도로운송수단을 위한 저비용 연비 극대화 기술의 원천·핵심기술 확보가 요구됨
- 원천·핵심기술 확보를 통해, 도심 택배에 최적화된 고효율 하이브리드 디젤-전기 트럭 개조 개발 및 실용화가 요구됨

(2) 연구의 중요성

○ 기술적 측면

- 2010년부터 2014년까지의 국내 친환경자동차 기술의 연평균 시장 성장률은 친환경 자동차(약 20%)가 내연기관(약 3.2%)보다 더 높았고, 향후 기존 내연기관의 시장은 친환경 자동차로 빠르게 대체될 것이라는 예측되고 있음
- 이에 따라, 친환경 하이브리드 트럭 기술은 국·내외에서 활발히 연구되고 있으나, 이를 바탕으로 한 실용화 단계의 연구사례가 부족하고, 국내의 경우 전무함
- Fedex는 Environmental Defence 및 Eaton Corporation와 함께 하이브리드 디젤-전기 트럭인 E700을 개발·운용·평가 하였으며, Wrightspeed는 디젤 발전기와 EV 파워트레인을 장착한 트럭을 개발하여, DHL 에 공급함
- 순수 전기만을 사용하는 트럭의 파워트레인 기술은 국내에서는 아직 실용화 사례가 없을 뿐더러 개조 및 개발 비용이 상대적으로 매우 큼
  - 최대 일 충전 주행거리 132.6 km인 1톤 순수 전기트럭 개조 시 순수 개조비용은 4,735만원, 차량 포함 가격은 6,185 만원으로 환경부 주관 소형화물 택배 차량의 전기자동차 개조 및 실증 과제를 통해 조사된 바 있음
  - 산업통상자원부에서 추진하는 주행거리 250 km 1톤 경상용 전기자동차 개발은 완성차 개발을 목표로 2019년까지 총 250억원의 연구비가 집행 예정임
  - 독일 아헨공대의 WZL 센터는 2005년부터 EV에 대한 전주기를 개발 및 연구 수행하여 현재 연간 200대 정도의 실차 양산 능력을 보유하고 있으며, DHL에 전기트럭을 납품 중임
- 기존 디젤 택배 트럭의 효율적인 하이브리드화를 위해서는 개조설계 및 관련 핵심요소기술 개발이 요구됨
  - 기존 병렬 하이브리드의 경우, 마찰 기반의 동력 제어 장치를 이용하는 일반적인 클러치(clutch)가 사용되기 때문에 기어 변속 및 모드 전환 시 에너지 손실을 야기하고, 더불어 연속적인 동력 전달을 불가능하게 함

○ 경제·산업적 측면

- 물류비 인상 억제와 배기가스 저감을 위해, 디젤 택배차량의 고 효율화를 위한 핵심기술 개발이 요구됨. 이를 위해 전기 자동차 개조 사업, LPG 완성차 사업 등이 추진 되어왔으나 시장 확보에 실패함
  - 전기자동차의 높은 시장 진입 가격(약 3,000만원 이상)과 높은 무게 증가량 200kg 이상으로 인해 시장 확보에 실패함 (GM대우 라보 3,780만 원/대당, 환

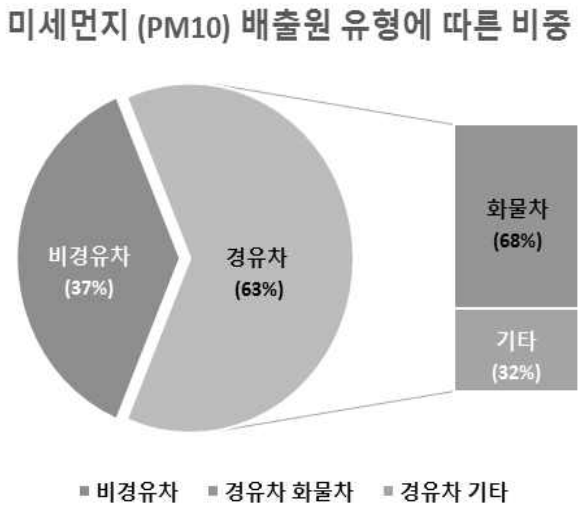
경부 전기자동차 4,735 만원/대당, 디아이씨社 전기자동차 3,000만 원/대당)

- 택배운송 시장의 낮은 시장 진입 가격을 반드시 반영해야함. (중고차 기준 1500만 원 내외)
- LPG 완성차 사업은 인프라 구축이 어렵고, 실 운행 중인 95%이상의 디젤 택배차량에서 배출 되는 배출 가스 저감 및 연비 향상이 불가함

○ 사회·문화적 측면

• 중국에서 날아오는 황사로 인한 미세먼지와 더불어 최근 경유차량의 배기가스로 인한 미세먼지가 대기오염을 유발하고 국민 건강을 위협하고 있어 국민적 관심이 계속 높아지고 있음

- 경유 차량에 의해 발생되는 미세먼지 배출량은 12,969톤으로 전국 도로이동에 따른 배출량의 약 62%를 차지하며 이 중 화물차의 미세먼지 배출량 비율은 약 68%를 차지함



<그림 4> 미세먼지 배출원 유형별 비중

• 탄소배출로 인한 온실효과가 지구온난화를 발생시키고 이는 지구 생태계환경에 부정적인 영향을 끼치고 있어 이에 대한 국제적 관심 증대

- 국내에서도 지자체별로'탄소배출 제로사회'실현을 위한 다양한 정책 사업을 시행하고 있으며 대표적인 것이 하이브리드/전기차 보급 확대임

(3) 연구의 차별성

• 친환경 차량개발 관련 다수의 국내 연구과제가 있으나 개발 여건, 목적, 대상 등의 측면에서 중복성이 없는 것으로 판단함

- "도심형 소형화물 택배 차량의 전기자동차 개조 및 실증" 과제는 최대 주행거리가 130 km인 전기 파워트레인 개조를 통한 소형 화물 택배차량 개발을 목표로 하고 있음. 반면, 본 연구는 기존 디젤 엔진과 전기 모터를 모두 활용하는 하이브리드 디젤 전기 트럭 개조를 주요한 목표로 설정하고 있기 때문에 본 연구와 선행연구는 큰 차이점을 갖는 것으로 파악됨

- “경승용 전기차 및 LPi 플러그인 하이브리드자동차 개조차량의 기술성 및 경제성 평가” 과제는 외부 충전기 inlet을 포함한 전기차 및 LPG 엔진을 기반으로 한 LPI 하이브리드차로의 개조를 통해 경상용 우편택배차량의 연비를 개선하고자함. 외부 충전을 요하기 때문에 추가 인프라가 필요한 한계가 있었음. 반면, 본 연구는 외부 충전 없이 디젤 엔진 위주의 디젤-전기 파워트레인으로의 개조를 통해 택배 트럭의 연비 및 배기가스 개선을 목표로 하기 때문에 선행연구와의 차별성을 갖추고 있음
- “소형 상용급 RE-EV 부품 System Integration 기술 개발” 과제는 외부 전원을 통해 충전 된 배터리 에너지를 사용하는 전기모터를 주 동력원으로 사용하고 엔진은 부족한 배터리 용량을 보조하기 위한 보조 수단으로만 사용하는 파워트레인 기술을 다루고 있음. 모터를 주된 동력원으로 사용하기 때문에 큰 용량의 모터를 사용해야 함으로 개조시 높은 비용을 요구하는 한계가 있음. 반면, 본 과제에서는 기존 디젤 엔진을 주로 사용하여 차량을 구동하며 모터는 엔진 동력을 보조하거나 저속 구간에서만 제한적으로 차량을 구동하도록 함으로써 작은 용량(저비용)의 모터를 통해 가격 대비 우수한 효율의 하이브리드 파워트레인 구현이 가능한 기술임. 따라서, 본 과제는 기존 과제와 다른 형태의 파워트레인을 다루고 있고 개조 비용 면에서 우위성을 갖는 것으로 판단 됨
- “디젤 하이브리드 차량 개조에 따른 배기배출물 영향 평가” 연구는 2개의 모터/제너레이터를 추가하여 각각 구동용 모터와 발전용 모터로 사용 될 수 있도록 하는 파워트레인을 채택하여 하이브리드차 SUV로 개조한 후 배기 배출물의 영향을 평가하였음. 반면, 본 과제는 기존 디젤 트럭에 1개의 구동용/발전용 모터를 사용하여 병렬형 하이브리드 디젤-전기 트럭으로 개조하기에 관련성이 낮다고 파악됨
- “병렬형 디젤 하이브리드 전기 자동차 최적화” 연구는 SUV 차량 하이브리드 시스템을 추가하여 디젤 엔진이 가장 효율적으로 작동하는 구간에서 작동할 수 있도록 주행 전략을 구성하고 시뮬레이션을 통해 성능을 평가하였으나 본 연구에서는 하이브리드 디젤-전기 트럭의 연비 성능을 최대화하는 파워트레인 제어 전략을 개발하고 실제 차량을 개조 하여 성능을 평가하는 연구라는 점에서 관련성이 낮다고 파악됨
- 다음 5 개 연구과제는 차량개조(경량화) 및 성능(구동/변속/연비 등)향상 측면에서 본 연구과제와 관련성이 있어 하이브리드 트럭 개발이라는 목적을 감안한 선택적 참고 및 연계가 가능할 것으로 예상됨

<표 1> 기존 연구과제와의 차별성 및 연계방안

기존 연구과제			검토결과	
과제명	주관기관	주요내용	차별성	연계방안
혁신적인 설계에 의한 기존 차량 구동계의 하이브리드화	한국과학기술원	저비용 고연비인 수동변속 구동계에 모터/발전기를 추가, 경제적이고 연비/ 주행 성능이 뛰어난 하이브리드 구동계 구현	상용차에 적합한 하이브리드 구동계 개발	기존 차량에의 모터/발전기 추가방안 참고
클러치가 없는 유성기어 변속기를 이용한 하이브리드 구동계 설계		하이브리드 차량 연비 및 변속 성능 향상을 위해 클러치 없는 기어 변속 시스템 제안 및 성능검증용 테스트 벤치 설계 및 제어 알고리즘 개발	구동/제어 외 차체 등을 고려한 하이브리드 차량의 전방위 /전주기적 연구 수행	저비용/ 고효율을 유지하면서 하이브리드에 적용 가능한 파워트레인 개발
1리터급 디젤 하이브리드 원천기술 개발	자동차부품연구원	하이브리드 시스템 및 운전 제어기술을 기반으로, 100km/l 주행 목표를 달성할 수 있도록 70% 이상 연비개선이 가능한 시스템 설계 및 통합 운전제어, 표면처리 기술 개발	소형 하이브리드 화물차량에 적합한 연비개선 방안 도출	연구결과를 바탕으로 하이브리드 차량의 주요사양 결정
친환경 자동차용 UHSS급 강판 및 부품 경량화 기술 개발	한국금속재료연구조합	차체용 UHSS급 냉연/도금강판 제조 및 신성형 이용 부품 경량화 기술· UHSS급 강재 접합기술 개발	자재가 아닌 구조 변환을 통한 경량화로 차별화	연비향상을 위한 경량화 설계기술에 참고
도심형 소형화물 택배차량의 전기자동차 개조 및 실증	한국전기연구원	보급형 전기자동차 개조키트 개발 및 개조차량 구조/기술성/시장성을 분석 하고 충전 모듈 및 시스템 제작하여 실제 시범개조 및 성능평가	비용/인프라 여건 검토하여 전기-디젤 하이브리드 트럭 개발 추진	기존 차량의 개조 과정과 기술 및 성능평가결과를 본 연구와 연계

(4) 정부지원의 필요성

○ 정부 정책기조와의 부합성

• 친환경자동차법에 의거 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획을 5년마다 수립하며, 2015년 12월 제 3차 기본계획이 발표됨

- 제 2차 기본계획 목표 달성에 대한 평가 결과, 하이브리드 차량의 설계기술은 확보했으나 차량성능 및 부품 시장경쟁력은 경쟁 또는 추격수준으로 나타남
- 특히 하이브리드차량의 경우 강화되는 연비·배기규제 대응을 위한 신기술이 부족하며 이에 대한 추가 기술개발 필요
- 일반 승용차량에 적용가능한 계획위주로 소형 디젤 화물 트럭 등 대형 차량의 하이브리드화에 대한 인식을 제고시킬 필요가 있음

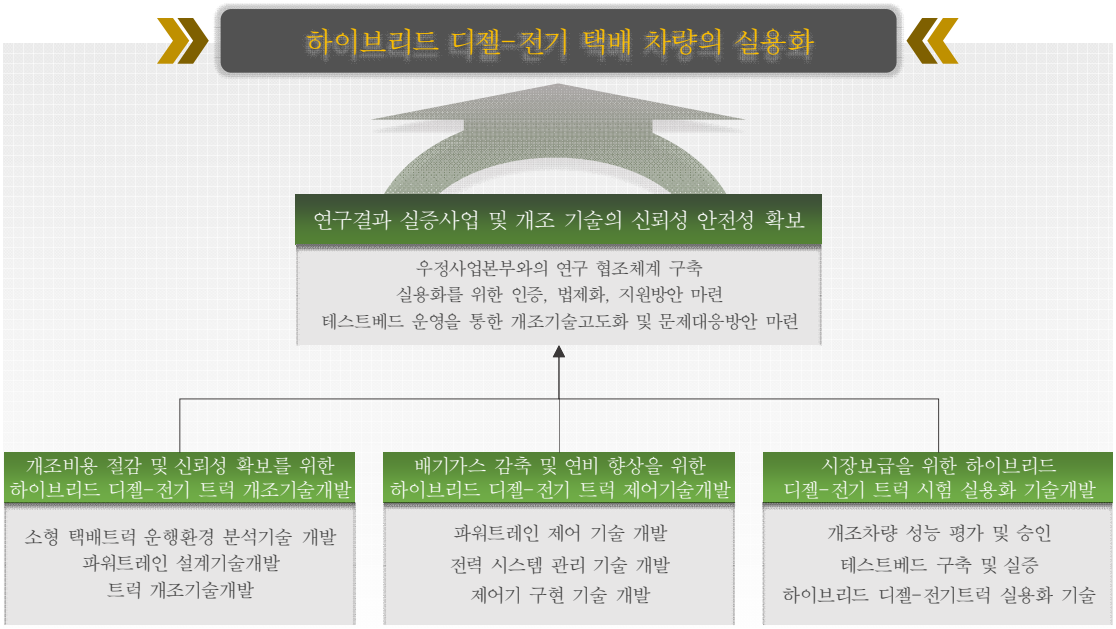
• 제 1차 지속가능 국가교통물류발전 기본계획에 따르면 물류서비스 부문의 온실가스 배출 규제는 국제 기준 강화 추세에 따라 핵심이슈로 부상함

- 계획에 따르면 2020년까지 물류부문 온실가스 배출 감축을 목표로 하고 있으며 이를 달성하기 위해서는 현행 물류체계에 대한 획기적 대안 필요

○ 정부지원의 필요성

- 미세먼지 배출의 주된 원인이 경유 차량이라는 보고에 따라 이를 개선하기 위한 관련 정부지원 사업이 추진되었으나, 투입 예산 대비 효과가 낮아 대안이 요구됨
- 환경부에서는 2005년부터 10년 동안 예산 1조 8천억 원을 들여 경유차 82만 대에 배기가스 후처리장치를 보급하였으나 감축 효과는 미미하였음
  - 2008년 경유자동차 배기가스 저감 사업 추진실태 감사 보고서에 따르면, 착수 당시 환경부는 수도권 대기환경개선 기본계획에 따라 미세먼지 농도를 40㎍까지 낮춘다는 목표를 세웠으나 2014년 기준 미세먼지 농도는 44㎍을 기록하였음
  - 빈번한 정차 및 정체로 인해 저속주행이 많은 도심택배 트럭에 부합하는 새로운 정부 사업이 요구됨
- 경유 차량으로 인한 대기 오염을 해소하기 위한 비용(매연저감장치 장착 등)을 민간에 부담하는 것은 강제성이 없어 확산이 어려움.
  - 사업용 트럭의 경우, 승용차와 달리 낮은 차량가격이라는 제한조건을 만족하면서 친환경 기술을 구현해야하므로 개발 난이도가 높음. 또한, 승용차 시장에 비해 시장의 규모가 작아 민간이 자체적으로 연구개발을 수행하는데 어려움이 있음
  - 도심 내 경유 택배 차량이 유발하는 미세먼지가 국민 건강을 위협하고 있는 관계로 국민의 삶의 질 개선을 위해 정부차원에서의 대응이 필요함
- 해외에서는 2000년 초부터 물류 트럭에서 배출되는 유해물질을 저감하는 친환경 기술개발의 필요성을 인지하고 개발·적용하고 있으나, 국내의 경우 핵심 기술의 부재로 기술 국산화 및 보급에 어려움을 겪고 있는 실정임
  - 기술의 국산화를 통해 관련 신산업 및 시장 창출에 기여함으로서 양질의 일자리 창출과 과학기술을 통해 사회문제를 해결하고자함

다. 연구개발의 최종목표

<table>
<tr><th>구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>최종
목표</td><td>○ 본 연구에서는 택배 운송환경에 최적화된 친환경/고효율/저비용 하이브리드 디젤-전기 트럭의 핵심 기술 개발 및 시험차량 적용을 위한 실증 기술 개발을 목표로 함
○ 이를 위하여 하이브리드 디젤-전기 트럭 개조·제어·시험 및 실용화 기술을 개발하고 개조비용 절감, 신뢰성 확보, 배기가스 절감 및 연비향상을 도모하고자 함
 
</td></tr>
<tr><td>세부
목표</td><td>○ 디젤 트럭을 하이브리드 차량으로 개조하기 위한 물류환경 분석기술, 하이브리드 디젤-전기 파워트레인 개조 설계 기술을 개발함
• 국내 도심 택배물류의 운행 특성을 반영한 대표 운행 사이클 생성
• 개조 원가: 500만원 이내 (보조금 및 판매자 이윤 등은 제외된 순수 양산 모듈 제작비용)
• 개조 중량 증가: 100 kg 미만

○ 하이브리드 디젤-전기 트럭의 효과적인 제어를 위한 파워트레인 제어기술, 전력시스템 및 제어기 구현 기술을 개발함.
• 연비: 대표 운행 사이클 상에서 개조 전 대비 30% 향상[1)]
• 온실가스 배출량: 대표 운행 사이클 상에서 개조 전 대비 20% 감축[1)]
• 질소산화물 배출량: 대표 운행 사이클 상에서 Euro 기준과 동일
• 미세먼지 배출량: 대표 운행 사이클 상에서 개조 전 대비 20% 감축[1)]
– Euro 4(DPF 미장착) 트럭 미세먼지 배출량(PM) 20% 감축
– Euro 5(DPF 장착) 트럭 미세먼지 입자개수(PN) 20% 감축
[1)]산업통상자원부의 표준 온실가스 배출량 및 연료소비율 시험방법에 의거

○ 하이브리드 디젤-전기 트럭의 시장보급을 위해 차량의 성능을 평가하고 테스트베드를 구축하여 개발기술의 실증을 진행하며 실용화를 위해 법제도를 검토하고 비즈니스모델을 마련함</td></tr>
</table>

<표 2> 연구내용별 AS-IS / TO-BE 도출을 통한 목표 제시

중점추진분야	AS-IS	TO-BE
개조비용 절감 및 신뢰성 확보를 위한 하이브리드 디젤-전기 트럭 개조 기술 개발	• 현재 국내 차량의 연비측정은 공인된 한 종류의 사이클만을 사용함. 국내 소형 배달트럭의 주행모드 개발에 대한 연구가 부족함 (TRL3)	• 소형 택배트럭의 실제 운행데이터를 통해 수요층의 운행 환경을 대표하는 연비측정용 사이클 생성 (TRL7)
	• 하이브리드 디젤-전기 택배 트럭 실용화를 위한 핵심요소 설계 방법론의 부재 (TRL4)	• 대표 운행 사이클을 반영하여 하이브리드 디젤-전기 트럭용 핵심요소 설계 기술 개발 (TRL8)
	• 기존 전기 자동차 개조 사업은 높은 모듈 가격 (약 3000만원 이상)과 높은 중량증가(200kg 이상)로 인해 시장 확보에 실패 (TRL6)	• 친환경/고효율/저비용 하이브리드 디젤-전기 트럭의 개조 모듈 (개조 원가 500만원 이내/개조 중량 증가 100kg 미만) 개발 (TRL8)
배기가스 감축 및 연비 향상을 위한 하이브리드 디젤-전기 트럭 제어 기술 개발	• 승용차 대상으로는 다양한 가솔린/디젤 하이브리드 구조에 대한 제어 기술이 개발 및 상용화 되었으나 하이브리드 디젤-전기 트럭을 대상으로한 하이브리드 파워트레인 제어 기술이 개발된 바는 없음 (TRL2)	• 배기가스 절감 및 연비 향상을 위한 하이브리드 디젤-전기 트럭의 파워트레인 최적 제어 기술을 개발하여 이를 실차 개조 시스템에 적용하고 성능 확인 및 신뢰성 검증 (TRL8)
	• 하이브리드 차량의 연비 및 배기가스 성능과 제어 기술을 정량적으로 평가할 수 있는 방법이 없음 (TRL3) • 현재 차량 시뮬레이션 방법은 기존의 내연기관 차량을 대상으로만 개발됨 (TRL3)	• 차량 시스템 모델링을 이용한 하이브리드 디젤-전기 트럭의 배기가스 성능 및 연비를 평가하고 이의 최적화를 통한 파워트레인 제어 기술 개발 (TRL8)
	• 하이브리드 디젤-전기 트럭 개조 사업에 적합한 가격·성능의 상용 전력전자시스템 제품이 없음 (TRL4)	• 개조 사업에 적합한 가격과 높은 모터 구동/발전 효율을 가지는 전력전자시스템 개발 (TRL8)
	• 기본적으로 전류적산법을 사용하며 부하조건에 맞게 이를 보정하여 배터리팩 알고리즘 적용하고 있으나 다양한 상황에서의 적응제어 알고리즘 미비 (TRL2)	• 전기적 등가회로 모델 이용한 적응제어 기반 배터리팩 알고리즘 개발 (TRL8)
	• 하이브리드 디젤-전기 트럭 개조 사업에 적합한 가격·성능의 배터리 팩이 없음 (TRL4)	• 택배 기사 및 사업자가 동참할 수준으로 개조 사업에 적합한 가격·성능의 배터리팩 개발 (TRL8)
	• 개조 하이브리드 차량을 위한 통합 제어 모듈 미개발 (TRL4)	• 하이브리드 파워트레인 상위 제어기, 핵심요소 (모터, 배터리 등) 제어기 그리고 기존 차량의 ECU와의 인터페이스를 통합한 제어기 개발 (TRL8)
	• 개조 하이브리드 차량을 위한 에너지 흐름 모니터링용 디스플레이 장치가 없음 (TRL4)	• 기존 카오디오 동작 뿐 아니라 차량의 하이브리드 구동과 관련된 정보를 표시할 수 있는 디스플레이 서비스 및 장치 개발 (TRL8)
시장보급을 위한 하이브리드 디젤-전기 트럭 시험 실용화 기술 개발	• 운행차량의 하이브리드 튜닝(구조변경)이 활성화 되지 않고(전무함), 하이브리드 평가방법도 내연기관과 전기차 시험방법을 차용하고 있음 • 하이브리드 차량 튜닝에 대하여 소비자가 쉽게 접근할 수 있는 절차 및 방법 개발 필요(TRL 2)	• 하이브리드 개조차와 튜닝 부품의 안전성, 신뢰성 등을 확보하기 위하여, 디젤-하이브리드 튜닝에 대한 인증 및 평가 방안에 대해 검토함 • 개발품 목표 달성을 위한 기술지원을 통해 개발 기술 수준 향상 기대(TRL 8)
	• 하이브리드 디젤-전기 소형 트럭의 실용화를 위한 제도적 지원방안과 관련 비즈니스모델 전무 (TRL 1)	• 하이브리드 디젤-전기 소형 트럭의 실용화를 위한 제도적 지원방안 도출 (TRL 6) • 하이브리드 디젤-전기 소형트럭 개조사업 비즈니스모델 제시 (TRL 8)

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

(1) 개조비용 절감 및 신뢰성 확보를 위한 하이브리드 디젤-전기 트럭 개조 기술 개발

(가) (주관) 한국과학기술원: 대표운행사이클 도출 및 개조 안전성·내구성 연구

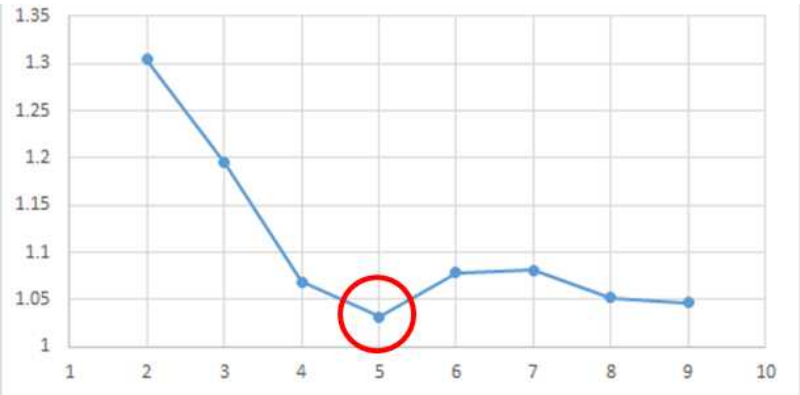
① GIS데이터 수집을 통한 대표운행 사이클 도출 (한국과학기술원)

○ 데이터 수집: DTG (Digital TachoGraph, 디지털 운행기록계)

- 디지털 운행기록계(DTG: Digital Tachograph)는 사업용 차량에 의무적으로 부착되며 초단위로 운행정보를 전자식 기억장치에 자동적으로 기록
- 운행정보에는 이동거리, 속도, RPM, 종·횡방향 가속도, 브레이크 작동유무, 위도·경도, GPS방위각의 정보가 있음
- 시간범위: 2017년 3월 및 4월 등
- 수집대상: 1톤 트럭 318대

○ 대표물류사이클 도출

- Micro-trip 생성
  - 정차(속도 0km/h)를 기준으로 하나의 주행단위인 micro-trip 생성
  - 총 293,425개의 micro-trip 생성함
- 클러스터링 (DB index 및 K-means clustering 방법 사용)
  - Micro-Trip의 특성 선정: 평균 속도, 최대속도, 최대 가속도, 최대 감속도, 이동거리에 대한 가속 횟수 비율, 전체 시간에 대한 가속 시간의 비율의 6개 특성을 계산하여 6차원 벡터를 형성
  - 위 특성 데이터를 클러스터 중심과의 유클리드 거리 차이의 분산을 최소화하는 K-means 클러스터 방법을 사용하여 클러스터링 실시
  - 클러스터링 평가 DB(Davies Bouldin) index를 사용하여 최적 클러스터 개수(5개) 도출



<그림 5> DB Index

- 더 높은 개수의 클러스터로 분리하는 경우, 기존 클러스터를 분할하는 방향으로 알고리즘이 동작하기 때문에, 현재 방식에서는 최종 대표 사이클 생성에 영향을 주지 않음

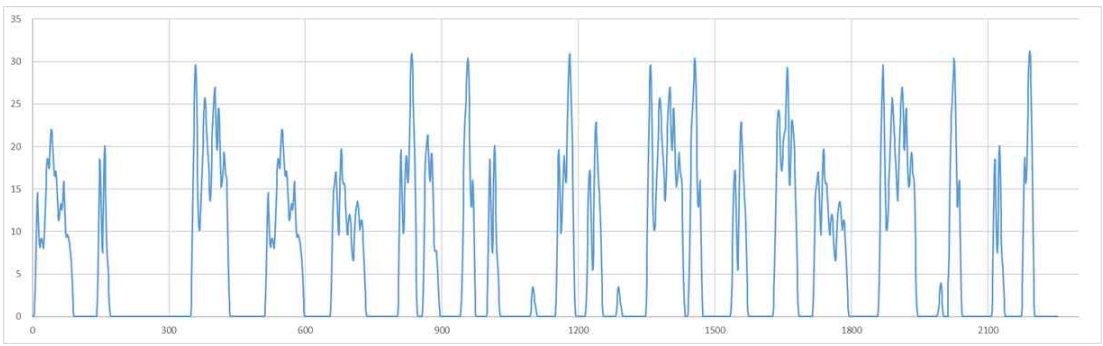
- K=5를 사용할 경우 시내 주행과 고속 주행의 분리가 가능하며, K=5 이상의 값을 사용하더라도 최종 결과물인 대표물류사이클의 거시적 특성(평균 속도 등)에 영향이 매우 작은 것으로 보임

<표 3> 클러스터링 결과

	frequency	Max Speed	Mean Speed
1	0.06	5	2.17
2	0.23	23	11.02
3	0.23	36	18.90
4	0.32	58	35.78
5	0.13	87	56.30

- 2017년 서울시 도심 평균 속도가 19km/h 이므로, 평균속도가 19km/h 이상인 클러스터에 대하여 비(非)시내주행으로 간주하여 제외. 이는 1톤 트럭 데이터에 용달차량도 일부 포함되어 외곽지역, 장거리 주행도 포함되어 있어, 이를 제외하기 위함

• 대표물류사이클 도출을 위한 입력값
  - 클러스터 출현비율: 11.54: 44.23: 44.23 → 클러스터 출현비율(6:23:23)과 동일
  - 사이클 전체길이: 2500sec 근처에서 형성 → FTP-75와 유사하게 구성
  - 유휴시간 비율: 0.48 → 클러스터 1,2,3의 유휴시간 비율
• 도출 결과



<그림 6> 대표물류사이클

  - 사이클 길이: 2254sec
  - 평균속도: 6.86km/h

(2016년 기준 택배차량 평균 운행속도: 5.2km/h (KOTI, 화물운송시장동향))

  - 승용차 및 소형화물차용 테스트 모드인 FTP-75는 사이클 길이가 2477초, 평균속도는 34.10km/h이며 유휴시간 비율은 17.9%

○ 대표물류사이클과 실제 주행패턴과의 비교를 통해 사이클의 타당성 검토
• 시내주행 비율이 높은 트럭을 대상으로 주요 정차지역 및 정차시간, 평균속력, 유휴비율 등을 산정함

- 평균속력은 화물운송시장동향조사결과에 비해 대표물류사이클이나 트럭의 일일 주행 시 다소 높은 것으로 나타남
  - 화물운송시장조사의 경우 전체 운행시간 대비 전체 주행거리를 바탕으로 산정하여, 엔진정지 시에도 속도가 0으로 간주되어 전체적인 평균속력이 낮아지게 됨
  - 트럭일일주행의 경우 시내주행뿐 아니라, 차고지 등에서 배달지역까지의 이동 등 일부 고속주행이 가능한 구간 등이 있어 대표물류사이클 (시내 저속주행구간만 가정) 에 비해서도 다소 평균속력이 높게 나타남
- 유휴비율은 트럭의 일일주행에서 micro-trip단위에서 도출한 유휴시간비율과 유사하게 산정됨

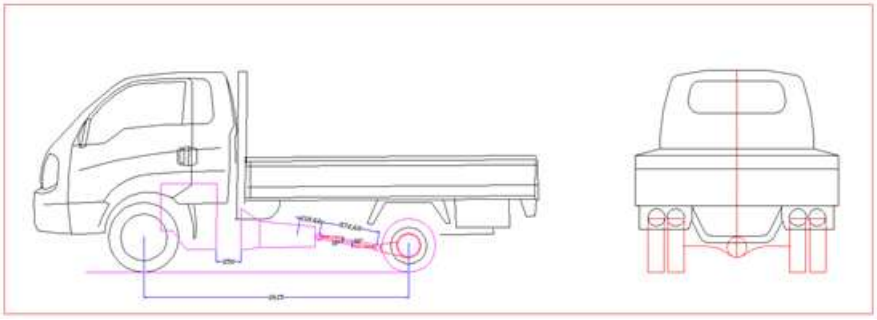
② 대상 차량의 조사 및 분석

○ 대상 차량(유로4/ 유로5)의 파워트레인 제원 확보

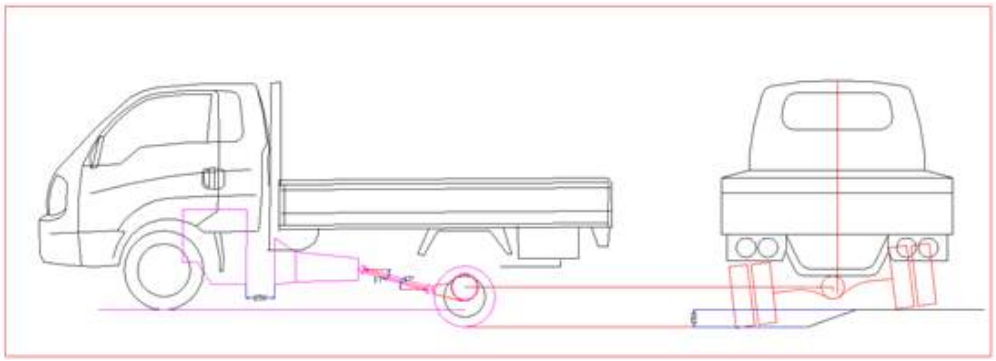
- 국내 택배 차량의 대부분을 차지하는 포터2 및 봉고3는 축 허용 중량 차이에 따라 적재량 1톤, 1.2톤, 1.5톤 모델이 있으며, 국내 운용 중인 택배 트럭은 대부분 탑차를 장착하기 때문에 적재량이 1톤으로 제한되어 있음
- DPF가 장착되지 않은 실 운행 트럭 중 가장 높은 비율을 차지하는 Euro 4를 선정함
- DPF가 장착된 Euro 5와 6중 기술개발 난이도가 더 높은 Euro 5를 목표로 설정함
- 대상 차량의 트랜스미션은 총 두 종류(126hp 엔진+5단 수동변속기, 133hp 엔진+6단 수동 변속기)로 조사됨
- 대상 차량의 파워트레인을 전문 업체에게 3D 스캐닝 작업 의뢰하여 3D 모델 실측 자료 및 CAD 도면을 확보함

○ 프로펠러 샤프트 절단 가능 길이 조사

- 구조적 안전성을 보장하며, 엔진과 변속기를 이격시키기 위해 프로펠러 축의 절단 가능 길이의 분석이 필요함
  - 기존 차량의 프로펠러 축은 유니버셜 조인트 형태의 축 구조를 가지며 축 길이는 820mm이고 조인트 형성각도는 7°임.
  - 만약 축 길이를 573mm로 줄이게 되면 아래 그림과 같이 엔진과 변속기 사이 이격거리는 250mm가 되며 조인트 형성각도는 10°가 됨. (동력전달 허용 최대각도: 25°)
  - 후륜이 경사로에서 150mm stroke down 되었을 시에는 조인트 형성각도는 17° 됨. (동력전달 허용 각도: 25°)



<그림 7> 구동모터 삽입을 위한 가용공간 분석(정상 주행 조건)

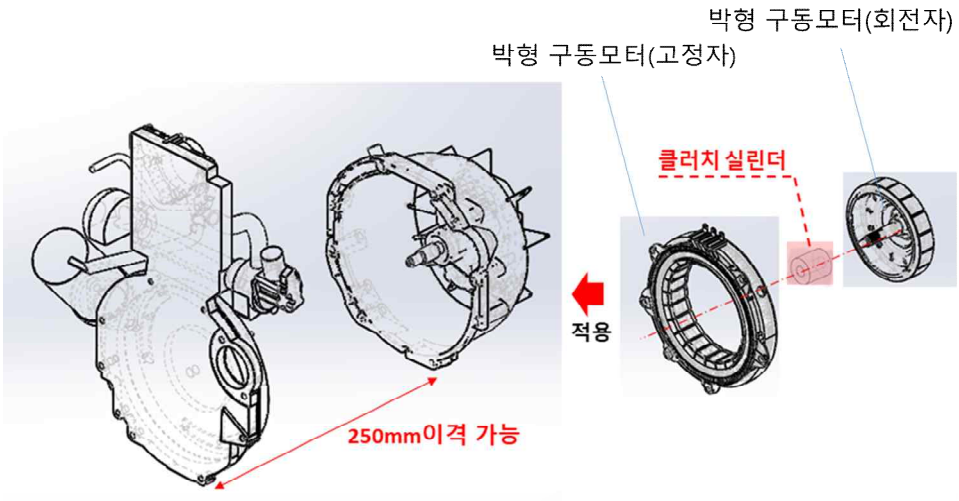


<그림 8> 구동모터 삽입을 위한 가용공간 분석(경사로 주행 조건)

③ 핵심요소 모듈화 기술 개발

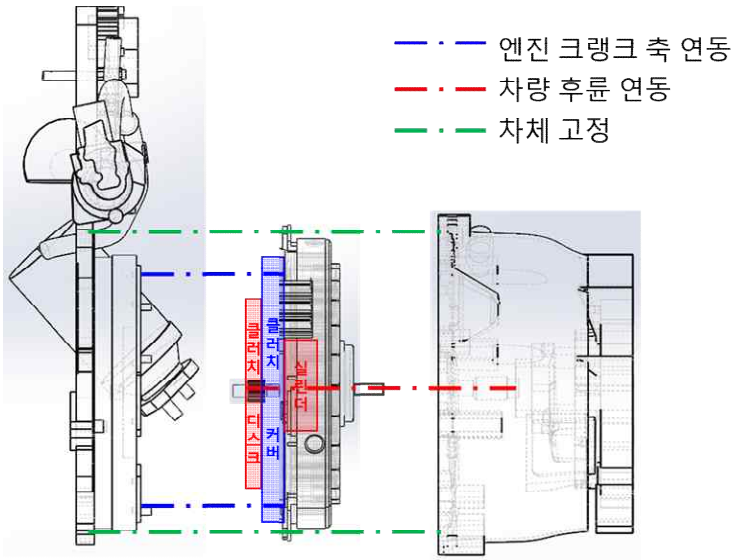
○ 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인 모듈화 기술 개발

• 유압 클러치/ 박형 구동모터/ 일체형 하우징 적용을 통한 이격거리 최소화



<그림 9> 3D 스캐닝 데이터와 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인 모듈

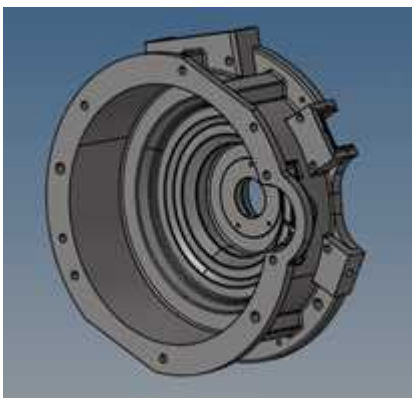
- (유압 클러치 적용) 이격거리 단축을 위해 기존 클러치를 작동시키던 릴리즈 포크(활동 범위: 축 방향 두께 약 8cm)를 제거하고, 박형 구동모터를 개발 및 회전자 내부에 클러치용 유압 실린더를 장착함으로 써 축 방향 이격거리를 최소화함
- (박형 구동모터 개발) 5톤 이하 트럭의 DTG 데이터를 분석한 결과, 1단 및 2단으로 주행 시 가속도의 99%가 ±2.00m/s2 이내에 분포하며, 최대 적재 상태에서 평지 가속 능력 및 법적 한계 경사도 등판 능력을 계산한 결과 25kW 이상 모터를 사용할 경우 요구 가속도를 만족함. 이는 엔진 출력의 30% 수준임
- (일체형 하우징 제작) 엔진-플라이휠-구동 모터-유압 클러치-변속기-구동모터 냉각을 위한 냉각수로 등이 모듈화된 일체형 하우징을 설계 및 제작함



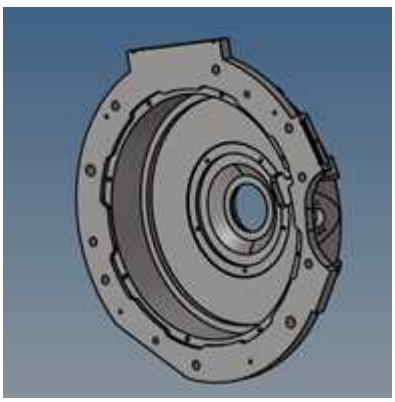
<그림 10> 3D 스캐닝 데이터와 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인(측면)



<그림 11> 박형 구동모터 및 유압 클러치 일체화 모듈



<그림 12> 일체형 구동모터 하우징

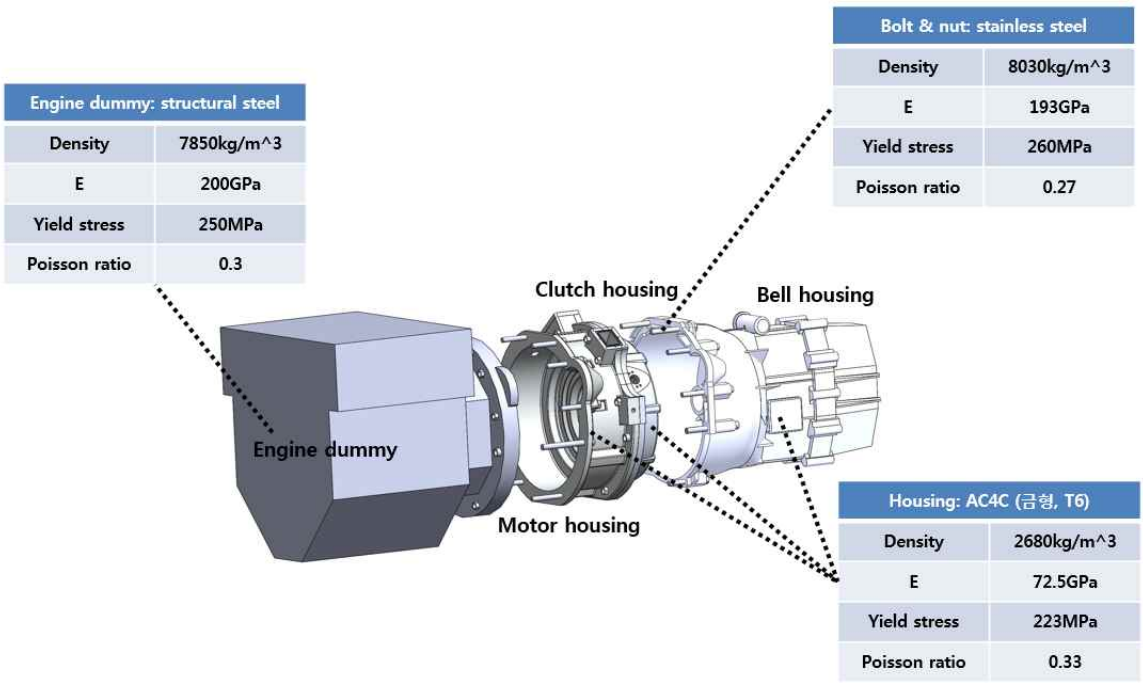


<그림 13> 일체형 클러치 하우징

○ 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인 모듈의 안전성 분석

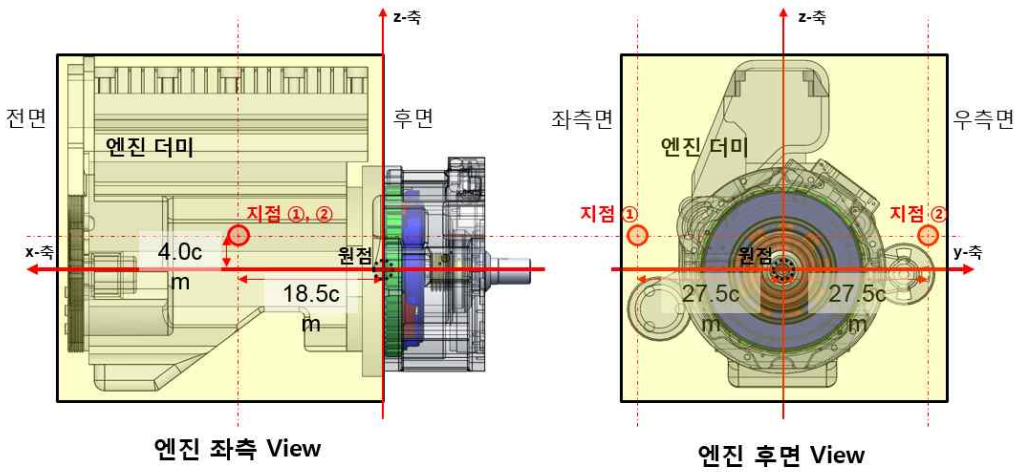
• 모터 및 클러치 하우징 어셈블리 모델 생성

- 모터, 클러치, 벨 하우징의 재질은 AC4C 금형 T6(밀도: 2680kg/m^3, 영계수: 72.5GPa, 항복강도: 223MPa, 푸아송비: 0.33)을 적용함
- 엔진 더미, 볼트, 너트의 재질은 Structural steel(밀도: 8030kg/m^3, 영계수: 193GPa, 항복강도: 260MPa, 푸아송비: 0.27) 을 적용함
- 모터 하우징 무게 (8.09kg), 클러치 하우징 무게 (4.96kg)를 도출함
- 모터 무게 (25kg), 클러치 무게 (10kg) 고려함

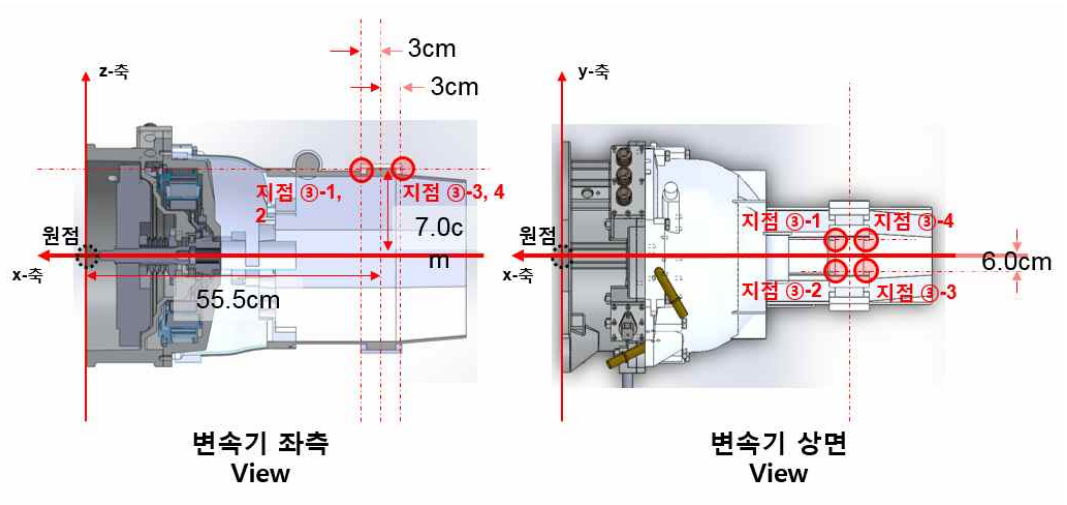


<그림 14> 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인 모델

- 대상 차량의 경우 엔진은 2개 지점, 변속기는 1개 지점에서 무게를 지지하는 것으로 조사됨. 엔진의 지지부는 각각 1개의 볼트 부위를 가지고 있으며, 변속기의 지지부는 4개의 볼트를 가지고 있음

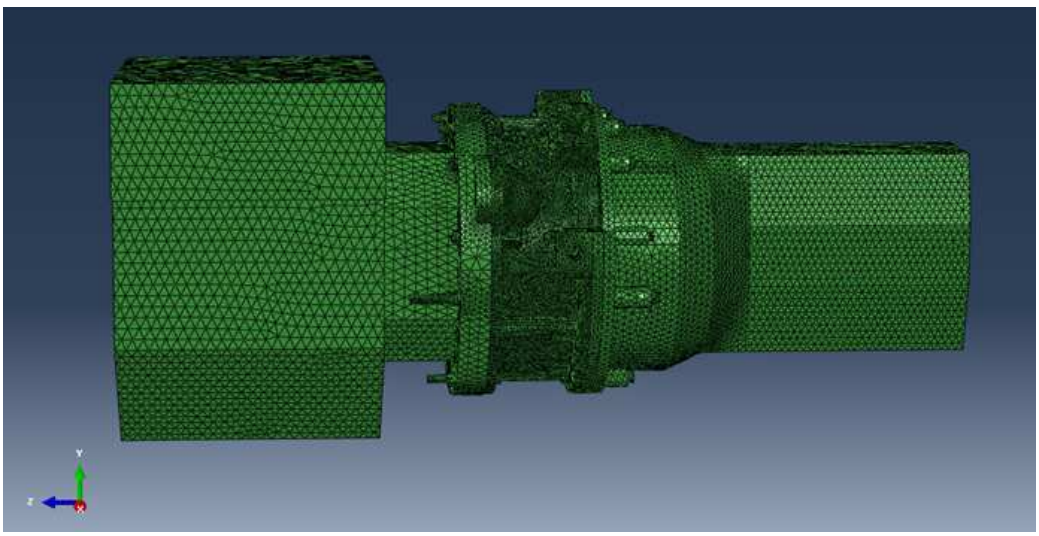


<그림 15> 유한요소 해석을 위한 엔진 경계조건

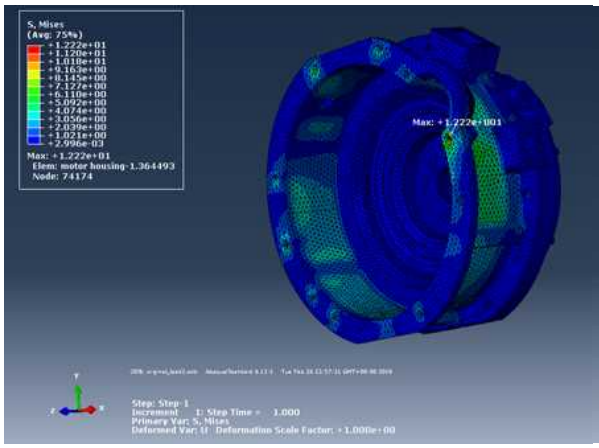


<그림 16> 유한요소 해석을 위한 변속기 벨하우징 경계조건

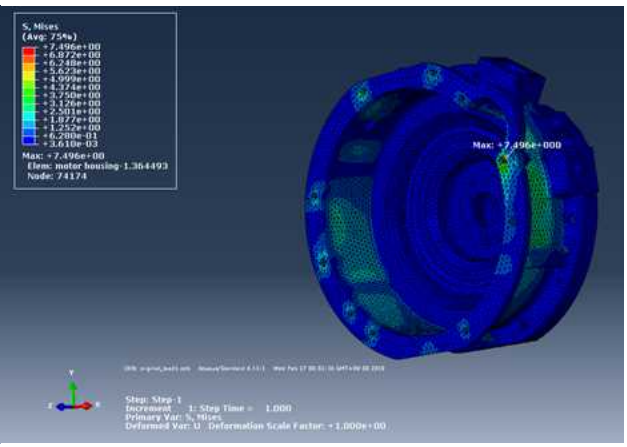
• 유한요소 해석은 총 4가지 경우에 대해서 수행함.
  - 극한 하중이 가해지는 경우(수직 방향 4g: 중력가속도의 4배): 최대응력 12.2MPa
  - 한쪽 바퀴가 구멍에 빠지는 경우(수직 방향 3g, 축 방향 1g): 최대응력 7.5MPa
  - 급커브를 도는 경우(수직 방향 2g, 수평 방향 2g): 최대응력 7.1MPa
  - 큰 중심 하중이 가해지는 경우(수직 방향 3g): 최대응력 9.3MPa
• 해석 결과, 4가지 경우에서 최대응력이 항복강도 223MPa보다 낮은 것을 확인하였으며, 따라서 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인 모듈이 안전함을 알 수 있음



<그림 17> 모터 및 클러치 하우징 어셈블리 유한요소

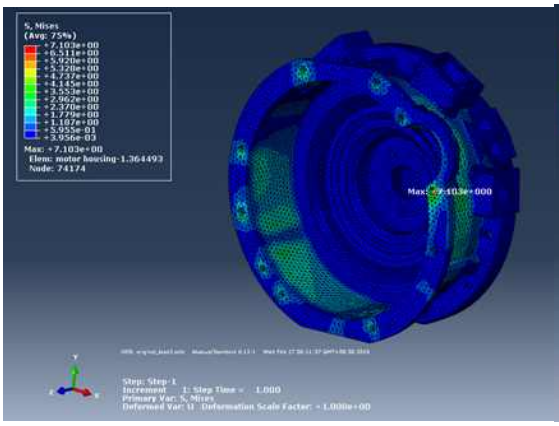


<그림 18> 극한 가속도 조건1(큰 충격이 가해지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기

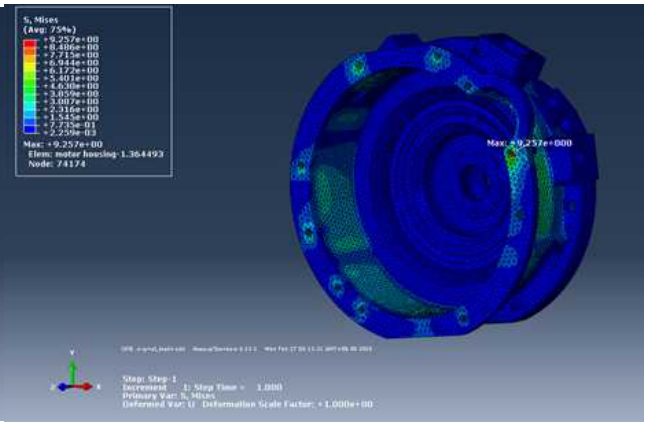


<그림 19> 극한 가속도 조건2(한쪽 바퀴가 구멍에 빠지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기

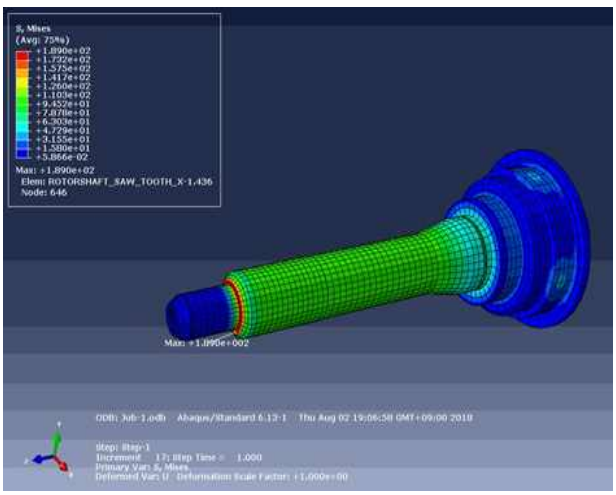
•



<그림 20> 극한 가속도 조건3(급 커브를 도는 경우)의 최대응력 위치 및 크기

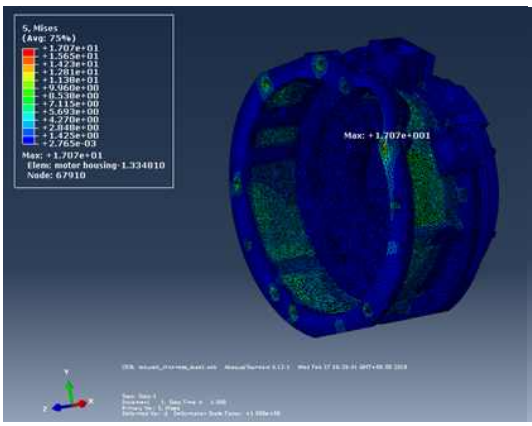


<그림 21> 극한 가속도 조건4(큰 중심하중이 가해지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기

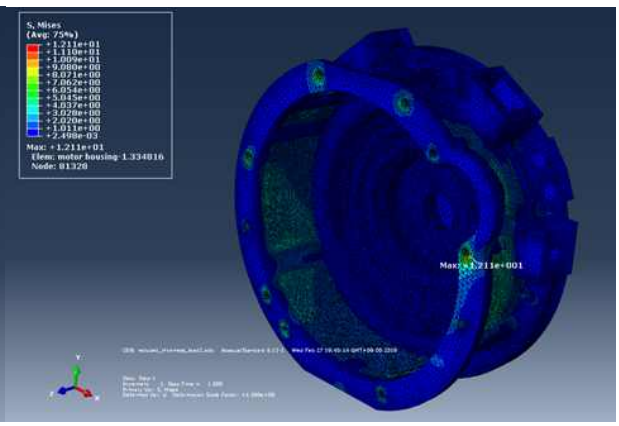


<그림 22> 프로펠러 샤프트와 연결되는 스플라인 축의 최대응력 위치 및 크기

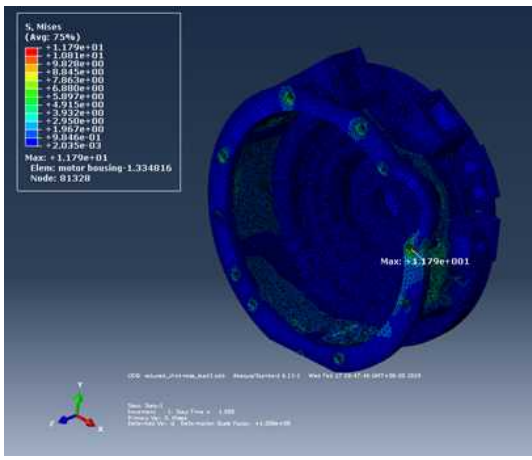
• 하이브리드 디젤-전기 트럭의 연비 향상을 목표로 하우징의 경량화를 수행함
  - 모터 하우징 옆면 두께를 3.45mm에서 1.58mm로 감축함
  - 모터 하우징 무게 (7.92kg), 클러치 하우징 무게 (4.96kg) 도출함
  - 모터 무게 (25kg), 클러치 무게 (10kg) 고려하여 해석함
• 경량화 후, 4가지 조건에서 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인의 최대 항복 강도는 모두 항복응력인 223MPa보다 낮으므로 안전한 것을 알 수 있음
  - 극한 하중이 가해지는 경우(수직 방향 4g: 중력가속도의 4배): 최대응력 17.1MPa
  - 한쪽 바퀴가 구멍에 빠지는 경우(수직 방향 3g, 축 방향 1g): 최대응력 12.1MPa
  - 급커브를 도는 경우(수직 방향 2g, 수평 방향 2g): 최대응력 11.8MPa
  - 큰 중심 하중이 가해지는 경우(수직 방향 3g): 최대응력 13.0MPa



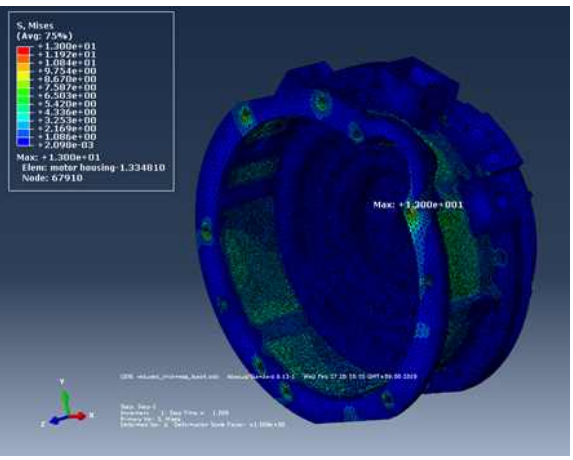
<그림 23> 극한 가속도 조건1(큰 충격이 가해지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기



<그림 24> 극한 가속도 조건2(한쪽 바퀴가 구멍에 빠지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기



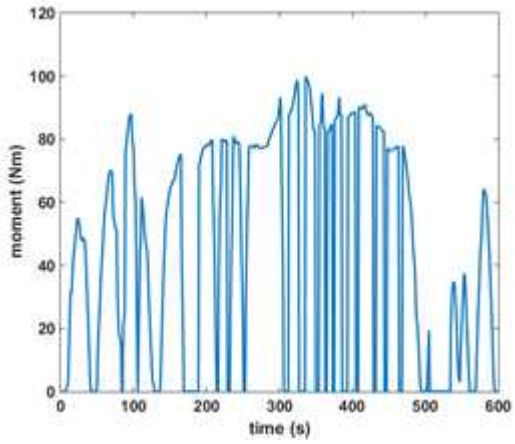
<그림 25> 극한 가속도 조건3(급 커브를 도는 경우)의 최대응력 위치 및 크기



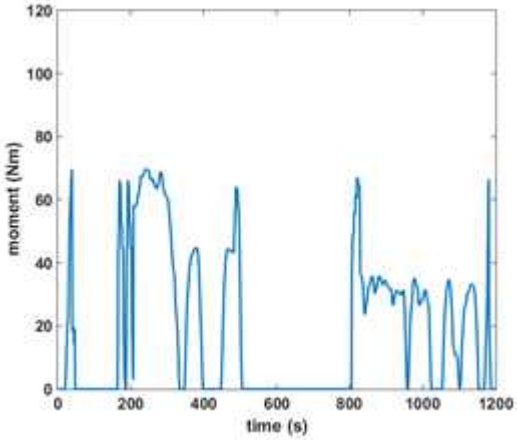
<그림 26> 극한 가속도 조건4(큰 중심하중이 가해지는 경우)의 최대응력 위치 및 크기

• 대상 차량이 하루 8시간 40분을 운행한다고 가정하고 모터 및 클러치 하우징의 피로 해석을 수행함. 해석 결과, 피로 수명은 100년 이상임

- 절차 1: 응력해석을 통해 stress cycle 도출함
- 절차 2: Rainflow counting을 이용하여 complex amplitude 간단화함
- 절차 3: Modified Goodman 식을 이용하여 equivalent stress amplitude 계산함
- 절차 4: Basquin 식을 이용하여 피로수명 계산함



<그림 27> US06 운행 사이클에서 하우징의 응력변화



<그림 28> UDDS 운행 사이클에서 하우징의 응력변화

Lower Range	Upper Range	Cycles	Ave Amp	Max Amp	Min Mean	Ave Mean	Max Mean	Min Valley	Max Peak
12.87	14.3	5.5	6.808	7.148	6.759	7.201	7.552	0.3101	14.7
11.44	12.87	2.0	6.102	6.427	6.013	6.413	6.812	0.2362	13.24
10.01	11.44	2.0	5.488	5.65	5.64	5.804	5.969	0.3132	11.62
8.577	10.01	1.0	4.803	4.803	4.934	4.934	4.934	0.1302	9.737
7.148	8.577	0.5	3.764	3.764	4.128	4.128	4.128	0.3639	7.892
5.718	7.148	1.0	3.216	3.404	3.392	7.344	11.3	0.3639	14.7
4.289	5.718	2.0	2.529	2.601	2.621	3.677	4.732	0.3646	7.534
2.859	4.289	0.0	0	0	0	0	0	0	0
2.144	2.859	0.0	0	0	0	0	0	0	0
1.43	2.144	3.0	0.7598	0.794	13.71	13.86	14.07	12.97	14.81
0.7148	1.43	1.0	0.4925	0.4925	12.11	12.11	12.11	11.62	12.6
0.3574	0.7148	1.5	0.2797	0.3186	0.202	9.731	14.5	0	14.81
0	0.3574	37.0	0.01838	0.05955	0.0217	11.23	14.38	0.02152	14.4

<그림 29> US06 rainflow counting 표

Lower Range	Upper Range	Cycles	Ave Amp	Max Amp	Min Mean	Ave Mean	Max Mean	Min Valley	Max Peak
12.66	14.07	2.5	6.778	7.033	6.91	6.996	7.158	0	14.07
11.25	12.66	0.5	6.305	6.305	6.568	6.568	6.568	0.263	12.87
9.846	11.25	2.0	5.078	5.464	5.208	5.936	6.106	0.263	13.57
8.44	9.846	2.0	4.706	4.877	4.552	5.586	7.519	0.2758	12.4
7.033	8.44	3.0	4.094	4.171	4.378	4.424	4.502	0.317	8.668
5.627	7.033	0.5	3.253	3.253	10.13	10.13	10.13	6.876	13.38
4.22	5.627	1.0	2.335	2.335	10.75	10.75	10.75	8.416	13.08
2.813	4.22	1.5	1.702	1.856	11.62	11.7	11.85	9.999	13.71
2.11	2.813	0.5	1.072	1.072	7.948	7.948	7.948	6.876	9.02
1.407	2.11	1.5	0.77	0.8614	7.988	9.727	13.2	7.263	14.07
0.7033	1.407	4.5	0.4271	0.4724	5.532	9.406	13.64	5.076	14.04
0.3517	0.7033	3.0	0.2361	0.3018	7.825	10.65	13.21	7.523	13.39
0	0.3517	33.5	0.04618	0.168	0.02687	9.675	14.05	0.02659	14.07

<그림 30> UDDS 운행 사이클에서 rainflow counting 표

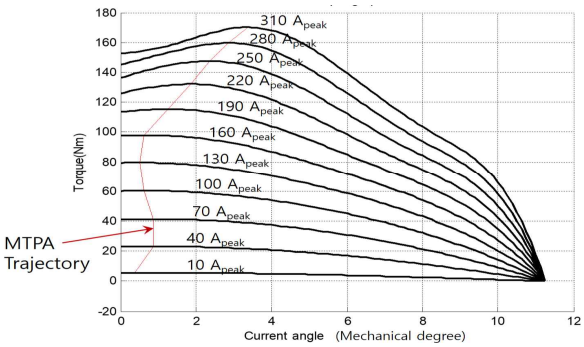
(나) (위탁) 광주과학기술원: 구동 모터 설계 방안 연구

① 구동 모터 경량화를 위한 형상 최적 설계 기술 개발

○ 구동 모터 성능해석 모델 수립 및 검증

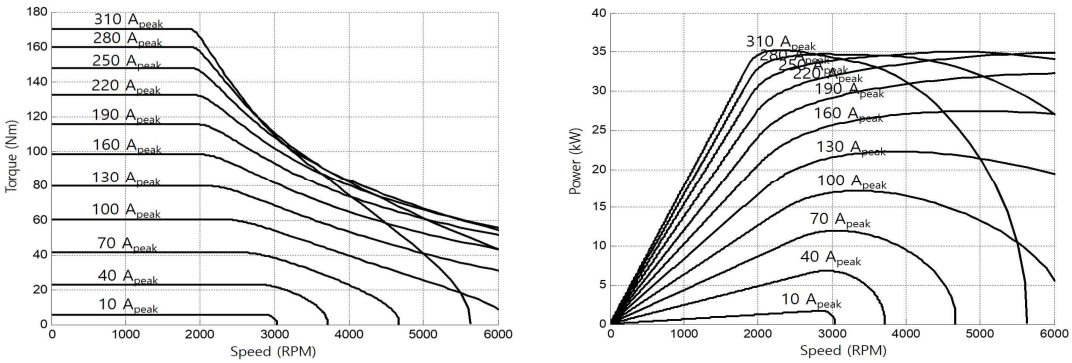
• 구동 모터 설계를 위한 벤치마크 모터 기반 성능해석 모델 수립 및 검증

- No-load analysis: 벤치마킹 모터의 무부하 해석을 통해 역기전력(Back electromotiveforce)을 계산, 계산된 역기전력은 실험과 비교 검증.
- Locked motor analysis: 특정 전류에서 최대토크가 나오는 회전자 각도(MTPA control trajectory)를 확인, 고정 전류에서 최대 토크 지점이 약 15도임을 확인
- Time transient analysis: 회전자가 45도 회전하는 동안 토크의 해석을 수행하여 Torque profile 및 평균토크 172 Nm 획득
- d-q axis analysis: 벤치마크 모터에서 속도-토크 특성(Torque-speed characteristics)을 구하기 위해, 유한요소법을 이용한 dq축 해석을 수행
- d축과 q축 전류에 대한 각 축의 자속쇄교(flux linkage)를 벡터포텐셜을 이용하여 계산, 보간법을 적용하여 자속쇄교 평면을 획득
- d축과 q축에 대한 유한요소법을 통해 계산된 flux linkage를 이용하여current vector angle에 대해 토크 곡선을 계산



<그림 31> 벤치마크 모터의 토크 곡선과 MTPA trajectory

- 일정 토크 운영을 위한MTPA(Maximum Torque Per Ampere) 제어 조건에서 current vector angle의 trajectory를 구함



(a) (b)

<그림 32> 벤치마크 모터의 (a) 속도-토크 곡선, 속도-출력 곡선

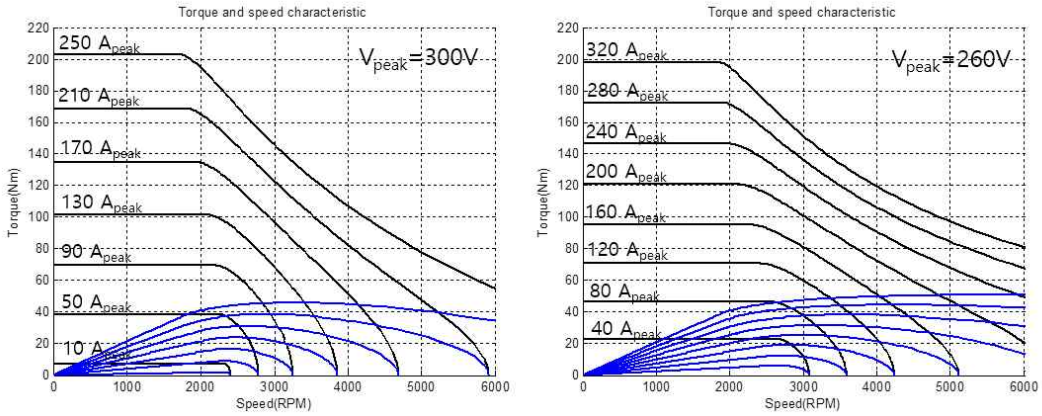
- 최대 토크인 170Nm 발생을 위한 전류는 310Apeak, 그 때 Current vector 각도는 14.625°로 계산됨

- 모터 인가 전압 280V에서, 최대 토크 제어 시 기본속도(base speed)는 1784RPM으로 계산됨
- 모터 인가 전압 280V에서, 최대 토크 제어시 최대출력은 35.25kW로 계산됨
- 토크 해석 시간 감소 및 평균토크를 효율적으로 획득

○ 성능영향도 분석 및 설계변수 결정

• 성능 영향도 분석

- 구동 모터 지름 154mm에서 2가지 축 방향 두께(179mm, 135mm)에 대하여 최대 전류에 대한 성능 영향도 분석 진행 (아래 그림 참조)
- 전류와 토크가 비례 관계에 가까움 확인
- 동일한 전류에서 회전자의 두께는 토크와 선형 비례관계임을 확인
- 모터 인가 전압은 기본 속도가 1800rpm 가량이 되도록 계산
- 두께가 얇아지면서 기본속도를 만족시키기 위한 전압 감소



(a) (b)

<그림 33> 토크-스피드 특성 그래프를 이용한 성능 확인 및 설계 수정 과정 (a) 지름 154 mm, 축 방향 두께 179mm (b) 지름 154 mm, 축 방향 두께 135mm

• 설계대상 변수 결정

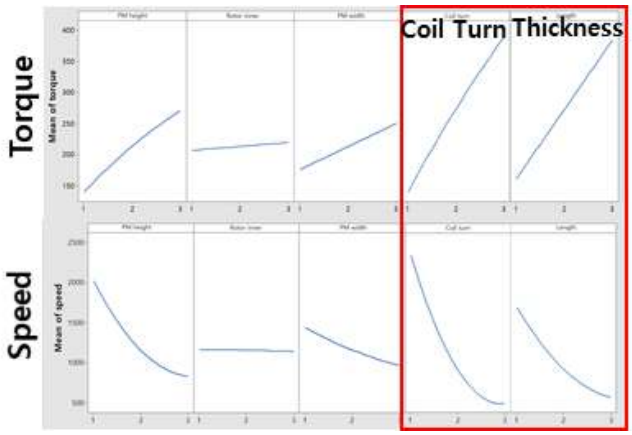
- 축 방향 두께를 줄일 경우 무게가 감소하므로 경량화 설계 달성
- 전류를 낮출 경우 동손이 감소하므로 고효율 설계 달성
- 벤치마크 모터의 전류(310A) 근방을 기준 전류로 설정
- 추가 제약조건으로 최소 두께에서 전류의 최댓값을 310Apeak 로 설정
  ⇒ 외경 조건에 따라, 200Nm를 만족하는 전류와 축 방향 두께 조합 설계

② 구동 모터 기본설계 수행 및 성능 확인을 위한 다중 물리해석

○ 구동모터 설계안 도출

• 실험계획법을 이용한 성능영향도 분석 및 설계변수 도출

- 모터의 설계 변수들을 고정된 변수와 설계 가능한 변수로 분류하여 설계 가능한 변수 중 토크와 속도에 가장 큰 영향을 주는 설계변수로 권선 감은수와 모터 두께 선정



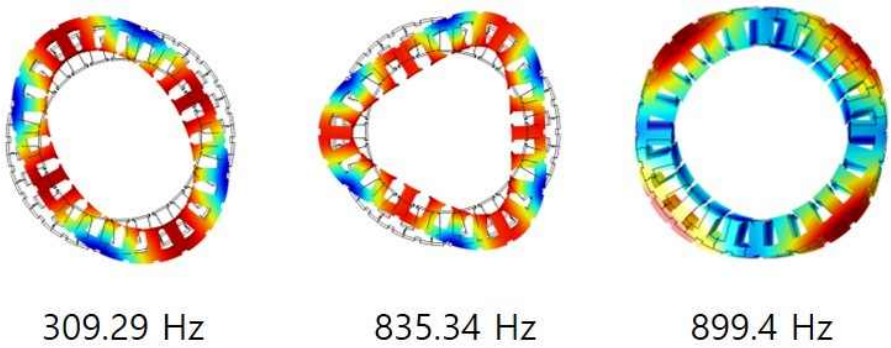
<그림 34> 구동 모터 성능영향도 분석 결과

• 구동 모터 설계
- 벤치마크 모터 형상을 바탕으로 요구사양을 만족하는 구동 모터 설계
- 타 기관과 협의 및 4차례의 요구사양정리 및 최적설계 과정을 통해 최종 설계안 도출
- 최종 제작된 시제품과 최종 설계안 비교를 통해 시뮬레이션에 반영되지 않은 3D 효과, 철손 등을 보정(실험 값과 시뮬레이션 값 간의 오차 10% 적용)

<표 4> 구동 모터의 최종 설계안 제원표

설계 변수	모터 지름 [mm]	모터 길이 [mm]	권선 감은 수	입력 전류 [A_{peak}]	입력 전압 {V}	최대 토크 [Nm]	기저 속도 [rpm]	출력 [kW]
최종 설계안	270	45	60	400	300	200	1730	36

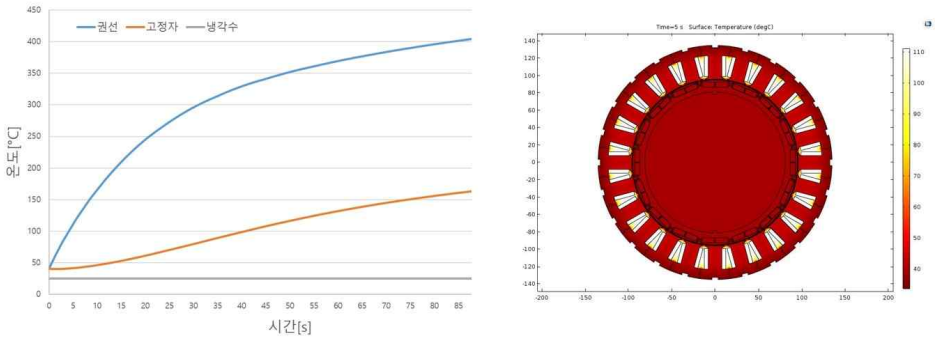
○ 구조 진동 및 열관리 성능 확인을 위한 다중물리 해석 및 검증
• 구조 진동 성능 해석
- 모터의 진동성능은 소음, 내구성에 큰 영향을 주기 때문에 진동특성을 파악하는 것이 필요
- 특히, 하이브리드 차량은 내부에 다른 동력원인 엔진이 존재하므로 공진 현상을 피하는 것이 필요
- 모터 진동에서 가장 큰 비율을 차지하는 고정자의 고유 진동수 및 모드 형상을 상용 유한요소 해석 프로그램은 COMSOL을 이용하여 해석 진행
- 해석 결과, 추후 소음 진동을 줄이기 위해 309.29Hz와 835.35Hz 부근에서의 작동을 피하거나 고유진동수를 옮기는 모터 하우징 설계 필요



<그림 35> 구동 모터 고유진동수에 대한 모드 형상

• 열 성능 해석

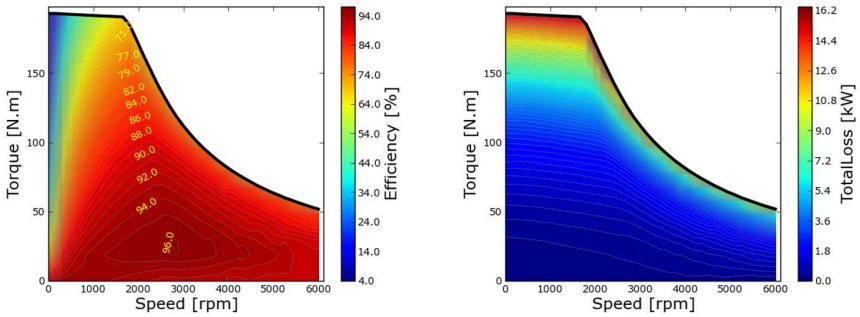
- 영구자석의 세기와 권선의 저항 등 성능이 온도의 영향을 받는 구성품이 많기 때문에 모터의 열 관리는 매우 중요
- 모터 내 온도 분포 해석을 통해 모터 구동 가능 시간 예측



(a) (b)

<그림 36> 구동 모터 (a) 시간-온도 곡선과 (b) 온도 분포 해석 결과

- 사용 자기장 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS Maxwell을 이용하여 효율맵 및 손실맵 계산



(a) (b)

<그림 37> 구동모터의 (a) 효율맵과 (b) 손실맵

⇒ 설계 목표였던 최고 효율 92% 달성 확인(최고효율 : 96%)

○ 구조 진동 및 열관리 해석모델 검증

• 해석 모델 신뢰성 확보를 위해 문헌 및 실험 등을 통해 검증
• 구조 진동해석 모델 검증

- 해석 모델 검증을 위해 참고 논문의 벤치마크 모델을 해석하여 결과를 비교
- 동일한 모드 형상 및 고유 진동수 확인하여 해석 모델 신뢰성 확보

<표 5> 참고논문 모델 및 해석 모델의 고유 진동수

모드	참고논문 모델 [Hz]	해석 모델 [Hz]
1	1553	1602.1
2	2818	2769
3	3655	3774.2
4	4565	4664.2
5	5478	5476.6

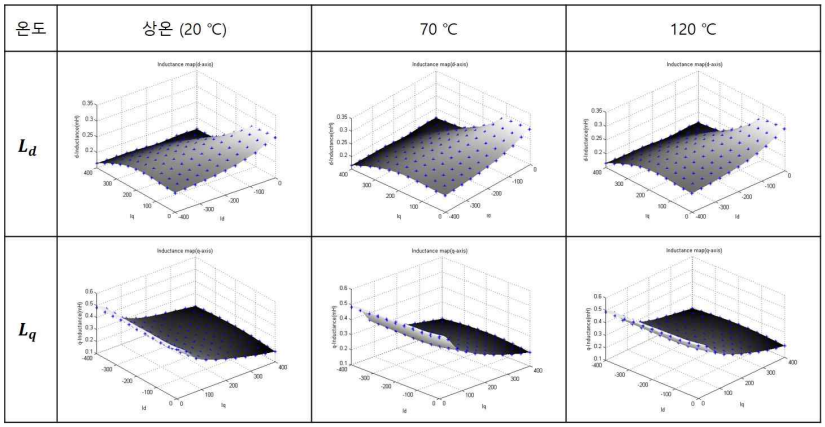
• 열 해석 모델 검증

- 정격 토크에서의 실험결과와 해석결과를 비교하여 열 해석 모델 검증
- 실험결과 : 최고온도 100℃ (ΔT = 75℃)
- 해석결과 : 최고온도 94.06℃ (ΔT = 69.06℃)

○ 구동 모터 제어를 위한 인덕턴스 맵 도출

• 인버터 제작 보조를 위해 자체 제작 프로그램을 사용하여 인덕턴스 맵 도출

- 온도 변화에 따라 영구자석의 자기적 특성이 변하기 때문에 다양한 온도를 가정하여 시뮬레이션 진행



<그림 38> 온도에 따른 구동모터 인덕턴스 맵

③ 구동 모터의 고장 진단 및 예측 기술 검토

○ 구동 모터의 고장 메커니즘 분석 및 상태 감시 방안 검토

• 구동 모터의 고장 메커니즘 분석

- 본 과제의 개발모터 종류인 영구자석 동기모터의 고장에 대한 논문과 자료 조사
- 이를 바탕으로 구성요소별 고장 종류 및 메커니즘 분석 진행

<표 6> 구성 요소별 고장 비율 및 종류[1]

구성 요소	고장 비율 (%)	고장의 종류
고정자	21	권선의 비대칭, 단락
회전자	7	자석의 감자
베어링	69	베어링 파손
결합부	3	공극 이심

• 상태 감시 방안 검토

- 제약 사항(개조 비용, 공간 등)을 고려하여, 가장 적합한 모터의 상태 감시 방안 검토
- 다양한 고장 진단이 가능하고 추가 센서가 필요 없는(개조비용 저렴) 전기 신호 분석 방법을 고장 진단 방법으로 선정

<표 7 > 고장 진단 방법별 확인 가능한 고장 종류 및 센서 필요 여부[2]

고장 진단 방법	고정자	회전자	베어링	결합	센서 필요 여부
모터 전류 신호 분석	○	○	○	○	×
진동 해석	×	○	○	○	○
축방향 자속	○	×	×	×	○
부분 방전	○	×	×	×	○

○ 고장진단 및 예측 알고리즘 검토

• 고장 모드 별 고장 진단 방법

- 모터의 고장 관련 논문을 바탕으로 영구자석 동기모터의 고장 모드별 전류 신호 진단 방법에 대한 조사 진행

a. 고정자 고장: 코일 단락 시 전기회로의 위상이 변화 되며, 코일이 단락된 정도에 따라 전류 특성 변화. 따라서, 전류 신호를 분석하여 단락의 정도 확인 가능 [3,4]

b. 회전자 고장: 자석의 자기장이 약해지면 동일한 모터 파라미터(L_d)에서 전류(i_d)의 값이 증가. 따라서, 동일한 전류(i_d)에서 임피던스(X_d)를 측정하여 영구자석의 감자 정도 확인 가능 [5]

c. 베어링 고장 : 베어링 파손 시 공극의 크기가 변하며, 최종적으로 전류에 영향을 주기 때문에 주파수 분석 시 고유 특성 발생. 따라서, Discrete Wavelet Transform(DWT)를 진행하면, waveform에서 amplitude 의 차이를 확인할 수 있고, DWT 의 계수들을 비교하면 직접적으로 고장 진단 가능[6]

d. 결합 고장 : 고정자와 회전자 중심 축 간 편심으로 인해 자기장 불균형이 발생하며, 자기장 분포 및 모터파라미터(L_d), 전류(i_d) 변화. 따라서, 전류를 분석하여 편심 정도 확인 가능[7]

• 고장 예측 알고리즘 검토

- 고장 예측 프로그램 절차 검토

- 고장 모드별 상태 데이터를 수집 시, 고장 예측 알고리즘 적용 및 검증 가능성 검토[8]

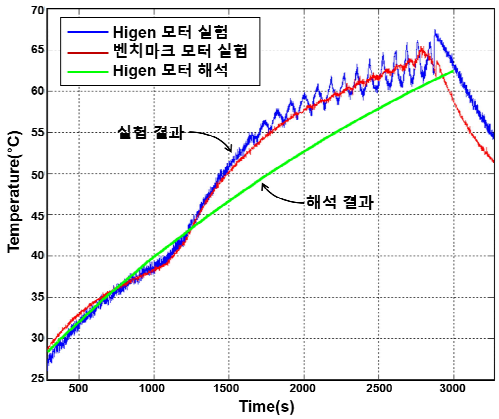
○ 구동 모터 열 해석 모델 정확도 향상

• 구동모터의 열원(손실) 해석 모델 개선을 위해 동손 해석과 철손 해석 모델 개선

- 동손 해석 모델 개선

a. 권선 규격 및 온도에 따른 권선 저항 등을 고려한 동손 계산 방법 보정

b. 구동모터 권선의 발열 실험 데이터와 비교하여 보정된 모델 검증



<그림 39> 발열 실험 데이터와 해석결과 비교

⇒ 구동 모터 열 해석 모델 개선을 통해 하이젠모터, 기존 벤치마크 모터실험과 해석 결과의 발열 성능이 구동 시간에 따라 유사하거나(500~700s) 10% 내외 오차(1200s~)로 보이며, 하이젠모터와 기존 벤치마크의 모터의 발열 성능이 유사

- 철손 해석 모델 개선

a. 해석 결과의 1) 영구자석 자속쇄교, 2) 돌극비(인덕턴스의 비율), 3) 토크와 MTPA 각도를 실험 데이터와 비교, 분석하여 구동 모터의 특성 확인 및 보정 진행

1) 영구자석 자속쇄교 : 구동모터 해석 모델의 영구자석의 세기, 권선 감은 수 등을 변경하여 영구 자석 자속쇄교의 변화 경향성 확인 및 오차에 대한 보정 진행(권선 감은수 60 turn -> 70turn)

2) 구동모터 돌극비 : 돌극비 분석을 통하여 영구자석과 철의 구조가 토크에 주는 영향 정도 및 인덕턴스에 대한 민감도 확인

3) 토크와 MTPA 각도 : MTPA 각도에 대한 토크의 민감도 확인하고 실험 데이터와 해석 결과를 비교하여 철손 해석 모델 검증 완료

<표 8> 입력전류별 구동모터의 토크, MTPA 각도 비교

	I_s	10	30	50	70	90	110	130	150
해석	Torque	7.2	21.7	36.4	51.6	67.0	82.7	98.4	113.6
	MTPA 각	93.0	98.0	98.0	98.0	96.0	97.0	97.0	98.0
실험	Torque	6.8	21.7	36.8	52.5	68.0	83.4	98.2	113.0
	MTPA 각	100.0	105.0	107.0	107.0	110.0	111.5	113.0	115.0
오차율 (%)	Torque	5.6	0.0	1.1	1.7	1.5	0.8	0.2	0.5
	MTPA 각	7.5	7.1	9.2	9.2	12.7	14.9	14.2	14.8

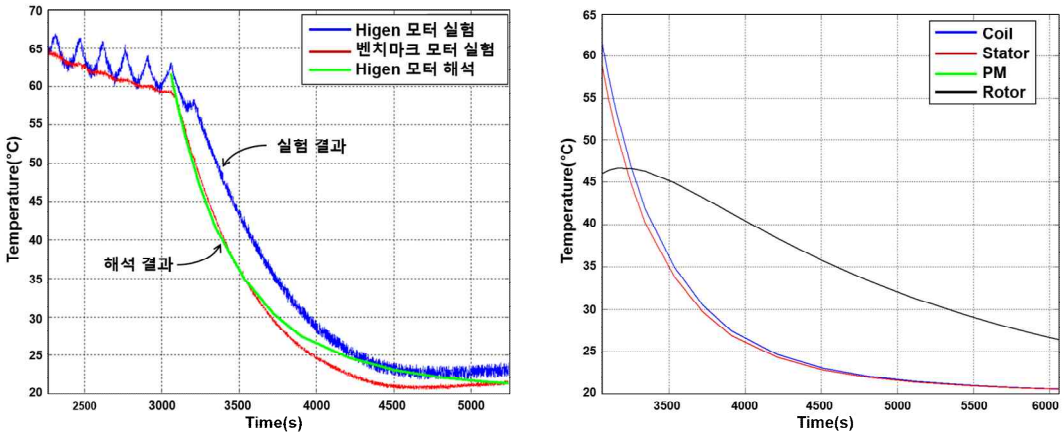
• 냉각성능 해석 모델 개선

- 구동모터 냉각장치의 실제조건을 고려한 열 전달계수 계산법을 보정

a. 구동모터 냉각수로 형상을 바탕으로 냉각수로 입/출구 단면적 및 수로 크기를 이용하여 유속 및 유량 정보 추정 열 전달계수 계산 보정

- 보정된 구동모터 냉각 해석 모델 비교 검증

a. 방열실험 데이터를 바탕으로 보정된 해석 모델 검증완료



(a) (b)

<그림 40> (a) 방열실험 데이터와 해석결과 비교, (b) 구동모터 파트별 온도분포 추정

⇒ 구동 모터 열 해석 모델 개선을 통해 하이젠모터, 기존 벤치마크 모터실험과 해석 결과의 방열 성능이 10% 내외 오차로 보이며 하이젠모터와 기존 벤치마크의 모터의 방열 성능이 유사

- 구동모터의 파트별 온도 분포 추정

⇒ 실험에서 측정하기 어려운 구동모터의 파트별 온도 분포를 열 해석 모델을 이용하여 파트별 온도 예측

④ 실제 주행 조건을 반영한 구동모터의 잠재 문제 요소 도출 및 대응방안 마련

○ 구동모터의 잠재적 문제 요소 도출 및 영향 조사

• 잠재적 문제 요소 도출

- 실제 도로주행 시, 설계 규격 외의 극단적인 상황에서 발생 가능한 잠재적 문제 요소 도출 및 분류

<표 9 > 구동모터의 잠재적 문제 및 영향 분류 표

구동 조건	잠재적 문제	영향
과부하 및 외부온도에 의한 과열	영구자석 감자 (Demagnetization)	토크 감소, 불균일한 전자기력
	고정자 권선 단락	자속 불균형, 토크 리플 증가
실제 주행에서 발생하는 갑작스러운 충격 및 진동	편심	고정자과 회전자의 마찰, 공극 불균형에 따른 불균일한 전자기력
	베어링 결함	마찰에 의한 국부적 과열 및 동력 전달 손실

a. 과열에 의한 잠재적 문제: 입력 전류에 의한 모터의 온도 상승, 냉각시스템의 고장 및 극단적인 외부환경 등으로 인해 구동모터의 과열 발생하며, 다음과 같은 잠재적 문제 발생.

1) 영구자석 감자: 영구자석의 온도가 상승할 경우 자기 성능이 낮아지는 감자현상(Demagnetization) 또는, 자성을 완전히 잃게 됨

2) 고정자 권선 단락: 고정자 권선은 과도한 전류가 입력될 경우 과열에 의해 권선이 단락 될 수 있으며, 이러한 고장의 비율은 전체 모터 고장의 약 20% 차지[9]

b. 충격에 의한 잠재적 문제: 실제 소형 택배트럭은 포장되지 않은 도로 등의 극단적 주행 환경에서 운용될 수 있으며, 이러한 극단적인 주행환경, 외부 장치 결함 등은 구동모터에 설계 규격 이상의 강한 충격을 발생시켜 고장 등의 문제 유발 가능.

1) 고정자의 회전자 사이의 편심**:** 극단적인 외부 충격, 국부적인 열팽창, 임계 속도에서 기계적 공진 등에 의해 편심 발생하며, 고정자와 회전자 사이의 공극을 불균형하게 만들어 토크리플 증가, 진동/소음 발생 및 마찰에 의한 권선 단락 유발.

2) 베어링 결함**:** 외부 충격에 의한 결함 및 편심으로 인한 국부적 응력에 의한 파손으로 발생하며, 정렬의 상태가 양호한 정상적인 작동조건에서도 반복적 부하(피로)로 인한 베어링 박리(flaking) 또는 스폴링(spalling) 결함 발생

• 잠재적 문제 요소에 의한 성능 영향 조사

- 구동모터의 토크 성능 감소

a. 과열에 의한 영구자석 감자 및 권선 단락과 외부 충격에 의한 고정자와 회전자 사이의 편심은 구동모터 공극의 자기장 감소 및 불균형을 유발함

b. 자기장 감소는 모터의 주요 성능인 토크를 저하 시키며, 자기장 불균형은 구동모터의 토크 리플을 증가시켜 진동을 유발함

- 구동모터의 내부 구조의 파손

a. 구동모터의 편심 및 베어링 결함은 모터 내부의 마찰을 일으켜 구조를 파손시키거나, 국부적으로 내부의 온도를 상승시킴

b. 또한, 고정자 단락은 모터의 온도를 상승시키기 때문에 철 구조물의 열팽창 및 열응력을 발생시켜 파손까지 이르게 할 수 있음

- 구동모터의 진동 소음

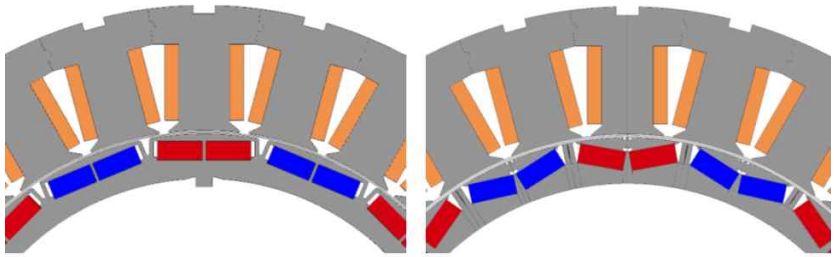
a. 외부 충격에 의한 편심 및 베어링 결함은 구동모터의 고유 진동수 및 모드 형상에 영향을 끼침

b. 모드 형상의 변화는 구동모터의 자속 분포를 불균일하게 만들고 국부적 응력집중을 일으켜 회전자, 샤프트, 베어링 등에 기계적 고장을 일으킴.

○ 구동모터의 잠재적 문제 요소 대응 방안 검토

• 과열에 의한 영구자석 감자(세기 저하) 대응 방안 검토

- 영구자석 토크는 영구자석의 세기와 상관관계가 크기 때문에 과열, 영구자석 깨짐 등에 의한 감자 현상의 영향을 크게 받음
- 본 과제에서 개발된 구동모터는 영구자석 토크 성분이 큰 모터로, 온도에 대한 토크 강건성을 확보하기 위해 릴럭턴스 토크의 비중을 높이는 것이 필요



(a) (b)

<그림 41> 구동모터 설계 개선안: (a) 기존 구동모터 (b) 개선안(V-shape 모터)

- 기존 구동모터의 영구자석 형태를 V-shape으로 변형하여 릴럭턴스 토크 성분을 향상시킨 보완 설계안 제안

<표 10 > 구동모터의 토크 성분 비율표*

구동모터	총 토크	PM 토크	릴럭턴스 토크
기존 모터	181.5832 (100%)	168.9377 (93.04%)	12.6455 (6.96%)
V-shape 개선안	193.0026 (100%)	161.2893 (83.57%)	31.7134 (16.43%)

*()괄호 안 숫자는 총 토크 대비 차지하는 비율

⇒ 영구자석의 형상을 변경을 통한 총 토크 대비 릴럭턴스 토크의 비율 증가로 과열에 의한 영구자석 감자 현상 대응 가능

• 충격에 의한 문제 대응 방안 검토

- 고장 진단을 이용한 베어링 결함 방지

a. 베어링은 소모성 부품으로 정상상태에서도 피로로 인해 파손이 가능하며, 베어링 파손 등에 의한 진동/소음 및 2차적인 문제 발생을 방지하기 위해 주기적인 베어링 교체가 필요

⇒ 전류 주파수 분석을 통한 베어링 결함 진단 방법을 이용하여 결함 발생 전 베어린을 미리 교체하는 방안 제안

- 고장 진단을 이용한 편심 결함 방지

a. 구동모터의 편심은 자기장 불균형, 극심한 진동/소음 등의 성능 저하뿐만 아니라, 마찰을 일으켜 모터 고장 및 2차 사고를 일으킴

⇒ 전류 신호를 통한 고장 감지 방법을 이용하여 구동모터의 편심이 감지될 경우 작동을 정지시키는 제어 방법 도입 제안

(다) (공동) 하이젠모터: 구동 모터 시제 제작 및 성능 평가

① 구동모터 세부사양(열관리 방안 등) 도출

○ 연구 수행 방법

- 타사 하이브리드 차량용 구동 모터 벤치마킹 실시(열관리 방안)
- 전자기 해석을 통한 최적 전기 설계(전자기 해석, 역기전력 해석, 최대 토크 해석 등) 수행
- 설치 공간 제약에 따른 최적화된 기계적인 Layout 검토(열관리 방안 등)

○ 구동 모터 열 관리 방안 검토

- 구동 모터의 냉각 방식은 공랭식, 수냉식, 유냉식이 존재함.
- 타겟이 되는 구동 모터와 유사 스펙을 가진 타 社 전기 및 하이브리드 차량의 모터의 경우 수냉식 구조로 되어 있는 것을 확인함.
- 유냉식이 뛰어난 냉각성능을 가지나 오일의 온도 및 흐름제어를 위한 추가적인 설비가 필요로 하여 해당 모터에는 적절하지 않음. 차량 내부에 있는 냉각설비를 같이 이용할 수 있는 수냉식이 적절하다고 판단됨.

<표 11> 타 社 전기 및 하이브리드 차량의 모터 냉각 방식 조사

Model	Zytec	Mitsubishi IMiEV	Renault FLUENCE Z.E.	Nissan Leaf	Tesla Roadster
모터 타입	AC Permanent Magnet Synchronous	Permanent Magnet Synchronous	AC Synchronous	AC Synchronous	3-phase Asynchronous
최대/정격 출력	25kW/15kW	-/49kW	70kW	80kW	22.5kW
최대/정격 토크	64Nm/47Nm	-/180Nm	226Nm	280Nm	300Nm
사진					
냉각 방식	수냉식	수냉식	수냉식	수냉식	수냉식

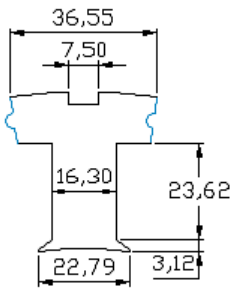
○ 구동모터 벤치마킹

• 타 社 하이브리드 차량의 모터 실측 및 분석 실시함

<표 12> 타 社 하이브리드 차량의 모터 벤치마킹1

모터		
출력	Peak Torque 170Nm 32kW	
냉각방식	수냉식	
회전자 지지 구조	1 Bearing Type	
총 중량	28.2kg	
역기전압	33.4Vrms @1000rpm, Phase	

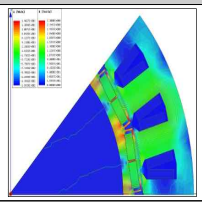
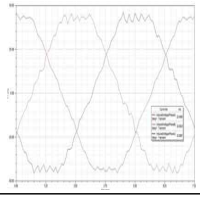
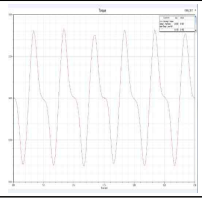
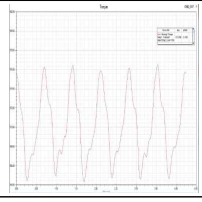
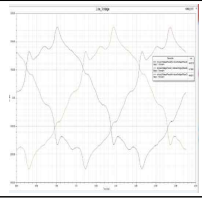
<표 13> 타 社 하이브리드 차량의 모터 벤치마킹2

고정자		
분할 코어 수	24EA	 
외경/내경/ 철심장	Ø280 / Ø202 / 36.81 [mm]	
중량	235g/EA * 24EA	
아세이 중량 (동선+보빈)	345g/EA * 24EA	
보빈		
재질	PPS + GF 40%	
중량	8g/EA	
특이사항	결선부와 반결선부로 양분되어 겹쳐지는 형상으로 조립	
동선		
턴수	74Turn(14*4+11+7)	
중량	101g/EA	
사이즈	1.45W * 0.95T	

○ 벤치마킹 제품 역 설계 후 해석 진행함

• 전기적 해석

<표 14> 역설계한 모델의 전기적 해석

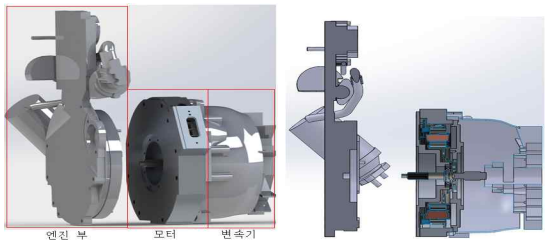
자속밀도	역기전압	무부하 코깅토크	최대 토크 해석	선간전압 해석
	32.1Vrms @1000rpm, Phase	4.1Nm @1000rpm	170Nm @1765rpm	147Vrms @1765rpm, 170Nm
				

• 기구 설계(Layout 검토)

- 모터 길이 68mm 이며 앞뒤 부분 공간여유가 있으나 간섭으로 벨 하우징쪽으로는 더 이상 축소가 어려움 양쪽 축 연결 방법 논의 필요



<그림 42> Motor A'ssy Modelling



<그림 43> Layout

② 구동모터 상세설계 및 제작시제품 성능분석

○ 연구 수행 방법

• 타사 하이브리드 차량용 구동모터 벤치마킹 실시

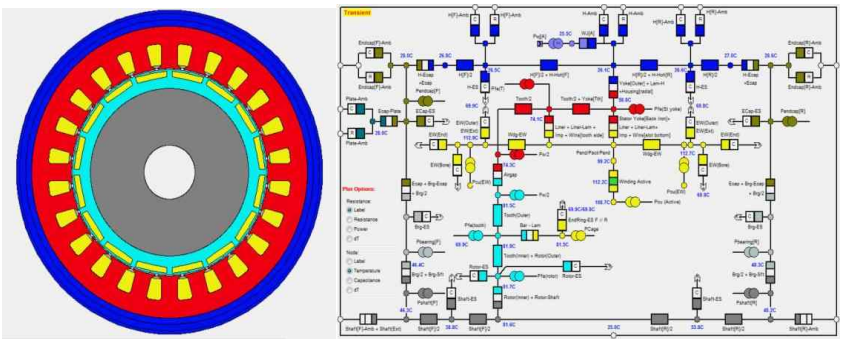
• 무게 및 공간 제약을 만족시키기 위해 최적화된 배치방안 검토(열관리 방안 등)

• 전자기 해석을 통한 최적설계(전자기 해석, 역기전력 해석, 최대 토크 해석 등) 수행

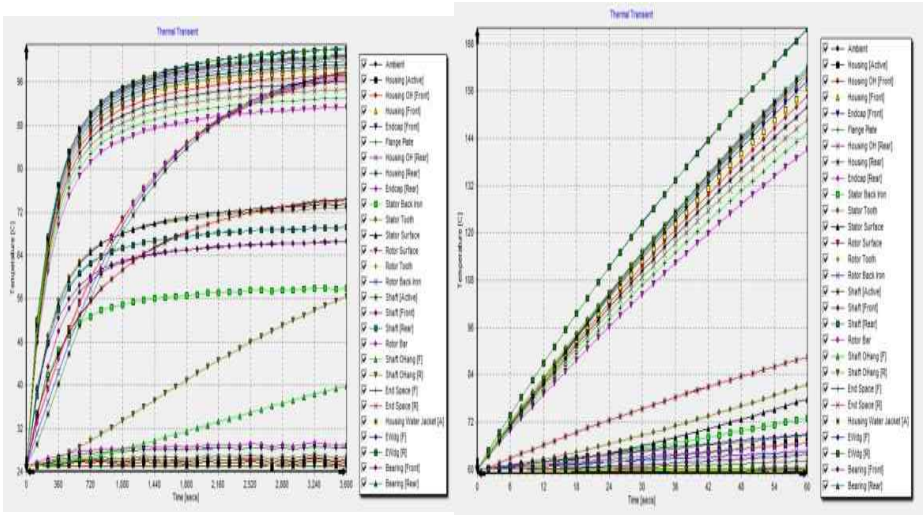
○ 구동모터의 열 해석 수행(온도 상승량 검토)

• 열등가회로망을 사용해 모터 내부 온도를 계산

• 정격부하 조건에서 60분, 최대출력부하 조건에서 60초 온도 상승량을 분석



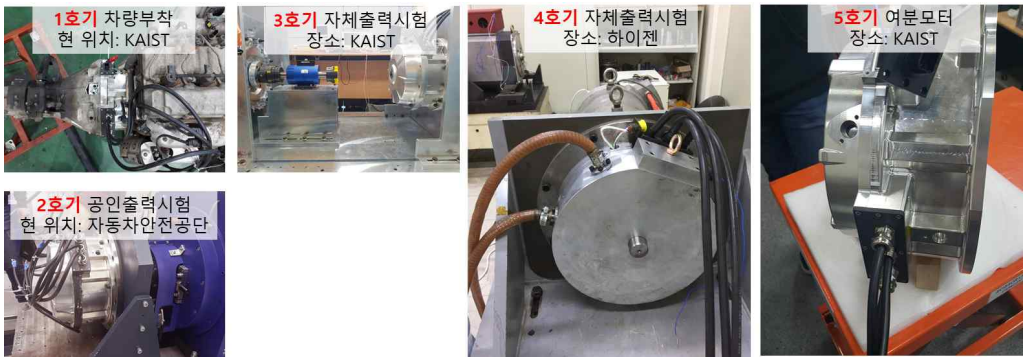
<그림 44> 온도해석모델(좌), 열 등가회로(우)



<그림 45> 온도상승그래프_정격부하(좌), 최대출력(우)

○ 시제품 제작

• 확정된 모델에 대한 5대 제작 완료(4차년도 성과목표 달성)

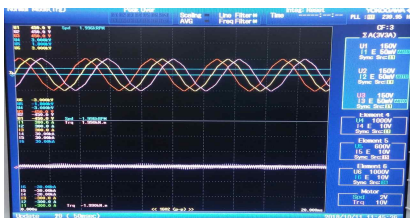


<그림 46> 구동모터 시제품

○ 시제품 성능 확인

• 모터 역기전압 측정

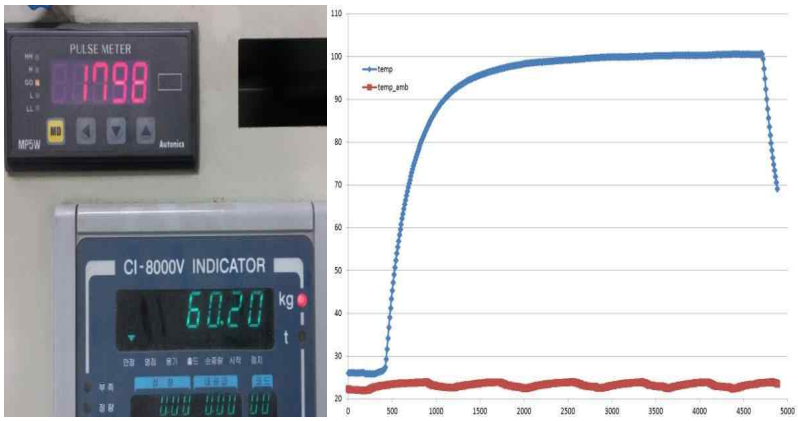
- 회전속도 1800rpm 일 때, 시제모터의 선간전압은 106.1 Vrms이 측정



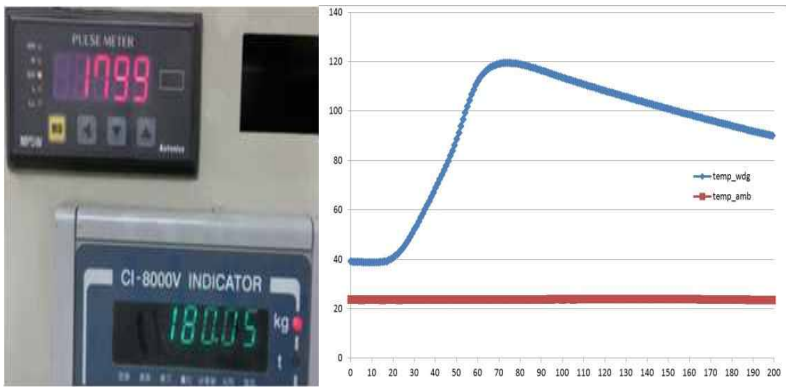
<그림 47> 역기전압

• 온도 상승 시험

- 모터의 정격토크를 60Nm, 회전속도를 1800rpm, 냉각수로의 온도를 25℃ 고정. 시험결과, 해당 조건에서 상온과 모터의 포화온도의 온도차는 △t = 75℃
- 모터의 정격토크를 180Nm, 회전속도를 1800rpm, 냉각수로의 온도를 25℃ 고정, 최대출력부하 온도상승시험을 30초간 실시결과, 온도차 △t = 95℃



<그림 48> 온도상승(60Nm @1,800rpm)

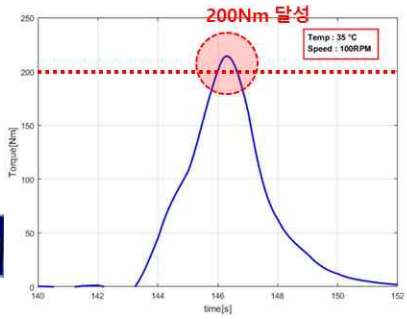


<그림 49> 최대출력(180Nm @1800rpm, 30s)

• 최대 토크 시험
  - 모터의 회전속도를 100rpm, 냉각수의 온도를 35도, 권선의 전류를 283Arms로 설정하고 최대토크 실험을 실시
  - 최대토크 실험 결과, 구동모터의 목표치인 최대토크 200Nm를 달성



<그림 50> 최대 토크



<그림 51> 최대 토크

• 최대 효율 시험
  - 최대효율 실험을 위해, 구동모터에 입력출력 11.9kW를 인가하여 출력전력 11.3kW(출력회전속도 1789rpm ×ㅋㅋㅋㅋ 출력토크 60.2Nm)를 달성
  - 이 때, 최대효율(출력전력 11.3kW ÷ 입력전력 11.9kW)은 95%를 달성
  - 자체시험결과, 구동모터의 최대효율은 95%로서 성과목표치인 최대효율 92%를 초과달성



<그림 52> 최대효율

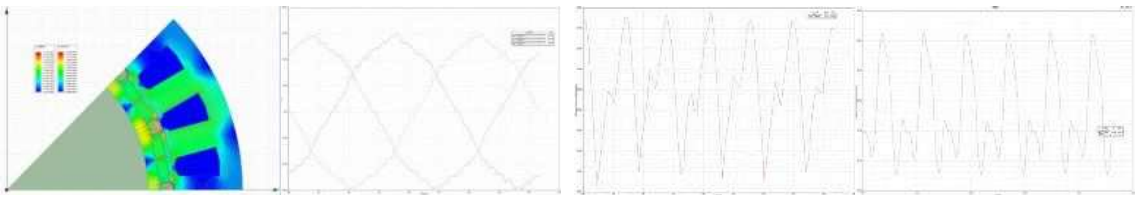
③ 구동 모터의 성능평가 및 시제 제작 ((주)하이젠모터)

○ 설계 개념 정립

- 모터의 보호등급 IP67 이상, 목표 값인 최대출력 34kW, 30분 연속 출력14kW로 설계하고 수명시험을 통해 내구성이 개선된 구동모터 시제품 제작
- 형상은 박형으로 양산성을 고려하여 양산설계
- 고정자는 집중권으로 높은 토크를 발생하도록 설계
- 회전자는 자석 내장형으로 설계하여 고속 회전 안정성을 향상

○ 전자계 설계 및 해석

- 전자계 설계
  - 고정자 외경 270mm, 철심 길이 50mm
  - 토크 리플을 최소화하기 위하여 고정자 슬롯, 회전자 형상을 결정
  - 토크 리플 저감을 위해 회전자를 자극 중앙부가 주변부보다 큰 돌극의 형상 설계
- 무부하 해석
  - 전동기를 외력으로 회전 시 모터의 권선에서 발생하는 Back EMF 전압을 해석하여 각 회전속도에서 배터리 전압으로 구동 가능한지 Free run 시 문제가 없는지 해석
  - 해석결과 48V Peak@1000rpm으로 적절한 설계가 된 것을 확인
- 최대토크 해석
  - 최대출력 상태에서 발생하는 최대토크 값, 모터의 자속밀도, 자계 분포를 확인
  - 최대토크는 180N·m 최대토크 상태에서 토크리플은 12% 정도로 적절히 설계



<그림 53> 자속밀도, 역기전압, 최대토크(토크리플)

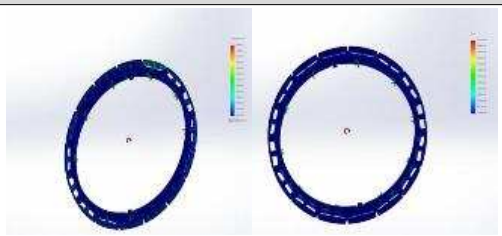
○ 기구적 구조 설계 및 해석

• 기구적 구조 설계

- 하우징 설계, 고정자 회전토크를 차체와 Flange부로 전달하는 구조체의 역할과 고정자에서 발생한 열에너지를 수냉 파이프, Jacket를 통하여 물과 열 교환하는 역할 하우징의 내피와 수냉 냉각통로 두께를 가능한 얇게 하여 방열 능력이 향상
- 냉각구조는 하우징과 별도로 제관 설계된 냉각용 Water Jacket을 설계 배치, 향후 양산 시 Press 금형으로 대량생산에 용이 하도록 설계
- 고정자 권선, 향후 양산을 위하여 기계권선 작업이 가능한 동심권 방식 설계 모터 Size에 비하여 모터 출력이 높아 전류가 높으며 외부로 인출되는 리드선의 Size가 크므로 인출선 및 단자 연결 부위의 작업성 고려 설계
- 회전자 코어, 고속회전 고려 자석내장형으로 설계, 고속회전 시에 안전성 검토 자석의 축방향 길이가 길 경우에는 회전자계에 의한 자석 내부에 전압 유기로 전류가 흘러 Eddy Current Loss가 발생하므로 여러 조각으로 분할하여 설계 향후 양산시에는 착자되지 않은 자석을 삽입하여 조립 완료한 후 최종 완성 조립 직전 착자하는 공정으로 생산성 향상이 필요
- 하우징 커버, 엔진과 변속기의 조립 형상에 맞춘 특수한 형태의 플랜지 형상으로 설계 2차 년도에는 알루미늄 후판 가공 제작, 3차년도는 대량생산이 가능 하도록 주조형으로 설계, 양산시에는 다이캐스팅으로 제작 설계변경이 필요 모터의 전원인출부인 단자박스를 하우징 커버에 부착하는 공간 축소 설계 엔진의 플라이휠 하우징과 변속기 벨하우징 사이에 장착되는 구조로 설계
- 모터 Ass'y 모델링, 모터가 장착되는 엔진과 변속기 모델링을 기초로 1차 설계안모델링 Ass'y 도면 작성하였으며 차량의 Drive Axle과의 장착성 검토

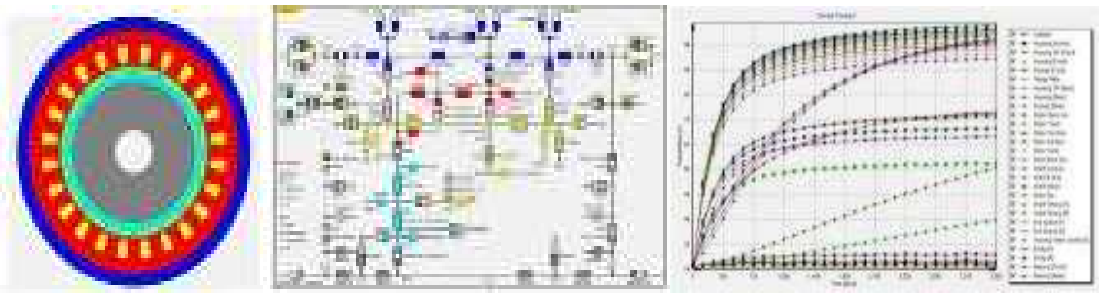
• 코어 강성 해석

<표 15 > 안전율 해석 결과

항복점	해석 조건		최대 응력	안전율	기타
393Pa	토크 [N.m]	180	54MPa	7.22	
	회전수 [rpm]	3500			

• 열 해석

- 연속운전 시, 열해석 상용 프로그램을 이용하여 14kW 모터의 정상상태 열 해석 해석결과, 온도가 100℃로 안전한 것을 확인
- 최대토크 180N.m 60s 운전 시, 열해석 상용프로그램을 이용하여 Peak Torque 180N.m, 60s 가동 시 열해석을 수행하여 안정된 운전이 가능함을 확인



<그림 54> 정격상태 60min 열해석

○ 시료 제작

• 10대분 제작 완료 제작 완료, 추가 1대분 부품 단위 시료 형태로 제작



<그림 55> 3차년도 시제품

○ 성능시험

• 중량측정

- 모터 총조립 상태의 중량은 31.7kg으로 측정

• 모터 연속 구동 시험

- 11.3kW (60Nm@1600rpm)로 24hr 연속 구동을 통하여 모터의 출력(토크, rpm) 성능 및 내구성을 확인



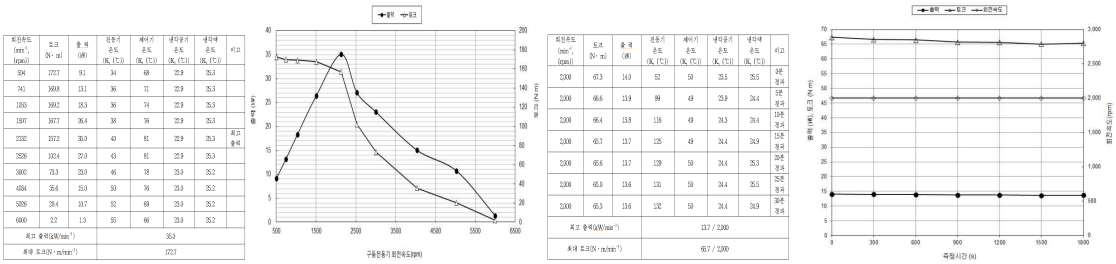
<그림 56> 연속구동시험(온도그래프(좌),시험 전(중),시험 후(우))

<표 16 > 모터 연속 구동 시험

구분	Vrms [V]	Irms [A]	P [kw]	rpm	Touque [Nm]	P [kw]
시험 전	125.84	62.53	11.994	1800	60.6	11.423
시험 후	125.76	62.53	11.991	1796	60.45	11.369
오차[%]	0.064%	0%	0.025%	0.222%	0.248%	0.473%

• 부하시험 및 효율 측정

- 단시간 최고 출력 34kW, 연속 30분 최고 출력 14kW 달성



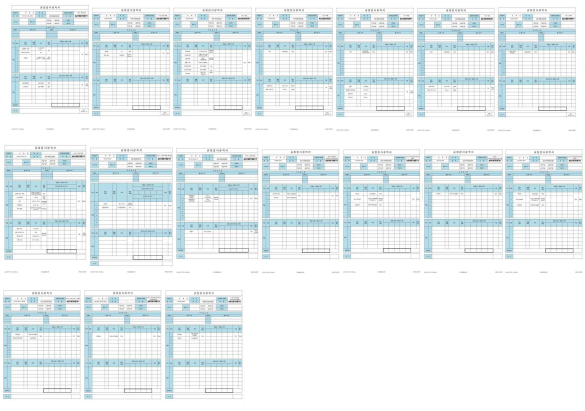
<그림 57> 단시간 최고출력(좌), 연속 30분 출력(우)

④ 구동 모터의 양산 방안 검토

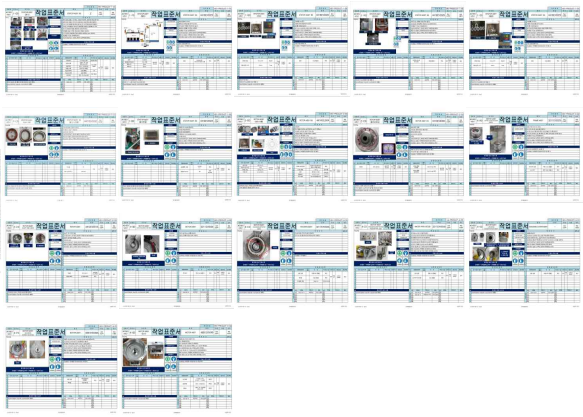
○ 구동 모터 구성요소별(회전자, 고정자, 코일, 하우징 등) 제작 순서를 고려하여 양산 절차 검토

• 가공 및 조립을 고정을 위한 도면 확정

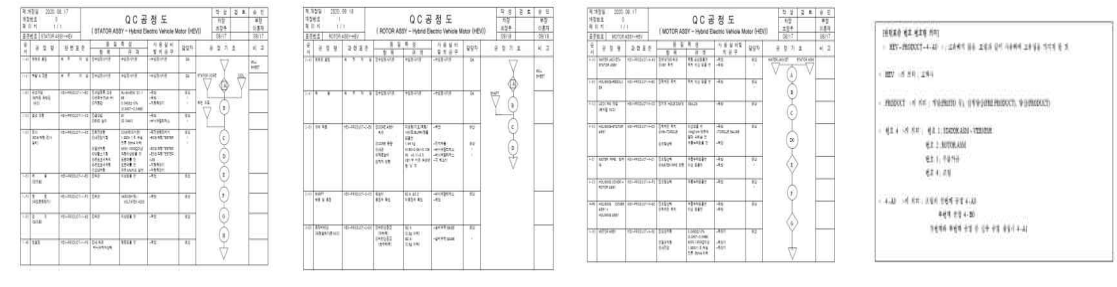
• 생산 품질의 표준화를 위하여 제작순서를 고려한 작업표준서 작성, 공정간에 검사가 필요한 부분을 정하여 공정검사성적서 작성을 진행함.



<그림 58> 공정검사성적서



<그림 59> 작업표준서

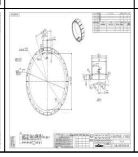
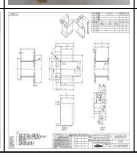
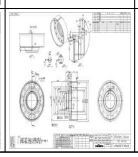
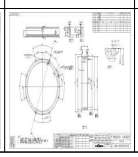
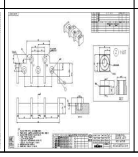
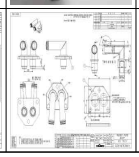
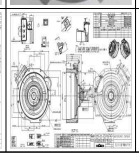
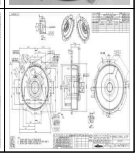


<그림 60> QC 공정도

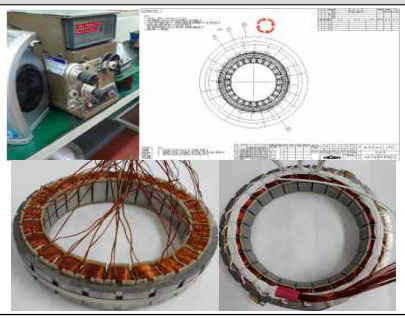
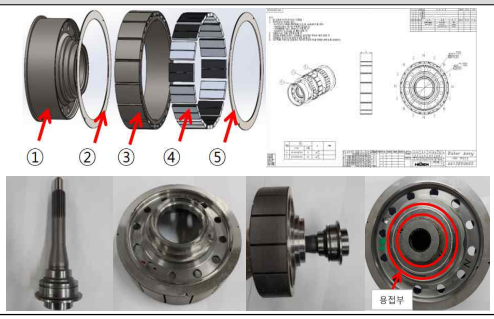
⑤ 구동 모터의 양산 시제 제작

○ 부품 제작

<표 17> 부품 제작

고정자 코어	회전자 코어	Bobbin	로터보스	Water Jacket	단자대	Water Pipe	하우징	하우징 커버
								
								

<표 18> 아세이 부품 제작

고정자 아세이(권선)	회전자 아세이
	
– 자동권선 적용 가능 지그 제작 및 적용	– 착자 지그 제작 및 적용

○ 조립

• WATER JACKET+고정자 아세이

- 원활한 조립성을 위하여 지그 제작
- 생산 품질 표준화를 위하여 작업표준서 및 공정검사성적서 작성



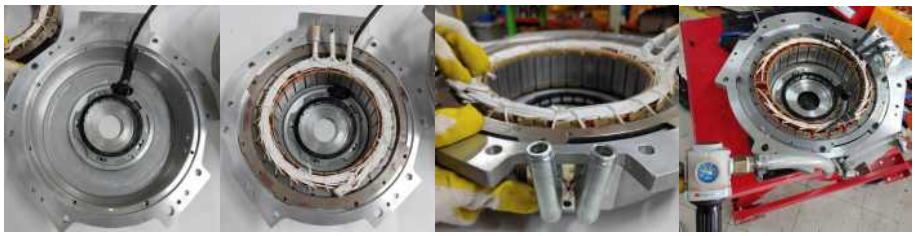
<그림 61> WATER JACKET + STATOR ASSY(권선) 조립 과정

• HOUSING ASSY 제작

- HOUSING + RESOLVER : 위치 핀 사용하여 센서 위치 맞춤
- HOUSING + STATOR ASSY : 위치 핀 사용하여 WATER JACKET 위치 맞춤
- HOUSING + WATER PIPE ASSY : WATER PIPE ASSY에 O-RING 결합 후 조립

· 수밀 검사를 통하여 누설 여부 진행

: [검사 기준] 기압 2 bar 가압하여 10min 이상 유지, 누설량 0.5cc/min 미만일 것



<그림 62> HOUSING ASSY 조립 과정 및 수밀검사

• HOUSING COVER ASSY 제작

- HOUSING COVER에 베어링을 압입 후 회전자의 축을 삽입
- SPLINE 측에 SUPPORT PLATE C-RING을 순차적으로 조립함으로써 회전자가 베어링에서 빠지는 것을 방지한다.



<그림 63> HOUSING COVER ASSY 조립 과정

• 총 조립

- HOUSING 및 HOUSING COVER에 가공된 위치핀에 가이드 지그를 사용하여 조립 공정 적용

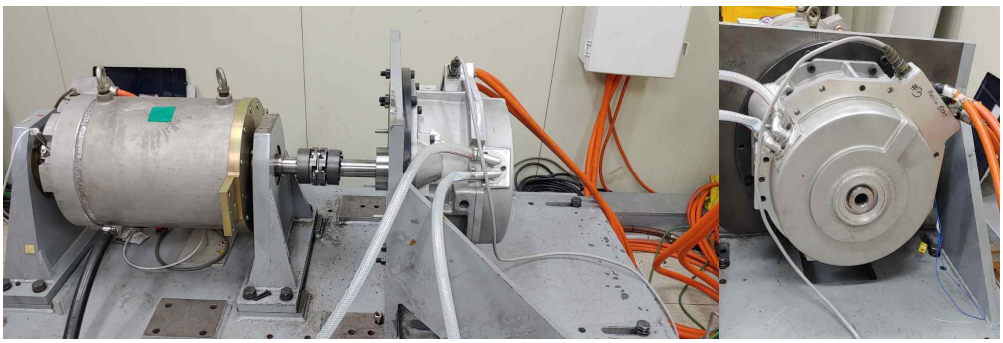


<그림 64> 총 조립 및 조립된 모터

○ 시제 모터의 내구 시험 및 성능 평가

• 부하 시험 및 효율 (자체)

- 제작한 양산 시제품에 대하여 성능 확인을 위하여 자체 테스트를 진행
- 구동 모터의 최대 출력 및 효율 확인



<그림 65> 자체시험_다이나모 부착 모습



<그림 66> 자체시험(효율(좌), 최대출력(우))

<표 19 > 효율 및 최대출력 값

구분	RPM	Torque [N.m]	출력 [kW]	입력전압 [V]	입력전류 [A]	입력 [kW]	효율 [%]	비고
효율	1,797	59.85	11.263	125.77	62.55	11.989	93.94	-
최대 출력	1,800	185.85	35.032	188.6	239.97	40.817	85.83	-

• IP TEST(Ingress Protection Test)

- 시험방법 : KS C IEC 60529:2013, 외곽의 밀폐 보호 등급 구분
  : IP6X : 내부 진공, Talc(활석, 50~75㎛) 사용
  : IPX7 : 침수 깊이 1m, 침수 시간 30 min
- 시험결과 : IP6X 적합, IPX7 적합

(라) (공동) 구보엔지니어링: 파워트레인 모듈 시제 제작 및 실차 적용

① 개조모듈의 시제 제작

○ 하이브리드 디젤 전기 파워트레인의 구성

<표 20> 파워트레인 구성

2018 (2차년도)	2019 (3차년도)	2020(4차년도)
① 하이브리드모터 (하우징 포함)	→	→
② 프로펠러샤프트	→	→
③ 배터리팩 및 PCU 박스	→	→
④ 엔진액세서리Part 구동 (구동모터 및 벨트풀리)	삭제 (하이브리드 제어 방식 수정을 통한 기능 삭제)	삭제
⑤ 변속기 마운팅	→	→
⑥ 클러치 오퍼레이터	→	→
⑦ 브레이크 진공 펌프 유니트	삭제 (하이브리드 제어 방식 수정을 통한 기능 삭제)	삭제
⑧ 냉각수 순환 회로	→	→
-	⑨ 변속기 시프트 레버 센서	→
-	⑩ 브레이크 제동 센서	→

- 하이브리드 제어방식 수정을 통한 기능 삭제
  - 2018년 하이브리드 제어방식은 변속기어 저단에서는 엔진 정지 모터 가동, 고단에서는 모터 정지 엔진 가동함
  - 2019년 이후 하이브리드 제어방식은 모든 변속단에서 모터 및 엔진 가동 공존, 엔진에 중부하(負荷)가 걸리면 엔진 모드 가동, 엔진에 중부하 이상 걸리면 모터도 동시 가동하여 부하 Assist, 부하가 없어지거나 저부하시에는 모터 가동 엔진은 Fuel Cut(크랭킹, 엔진 회전)은 진행함. 모터와 엔진이 결속된 상태에서 모터가 차량도 구동시키고 No Fuel 엔진 회전(파워스티어링, 브레이크 진공펌프 가동)도 시킴

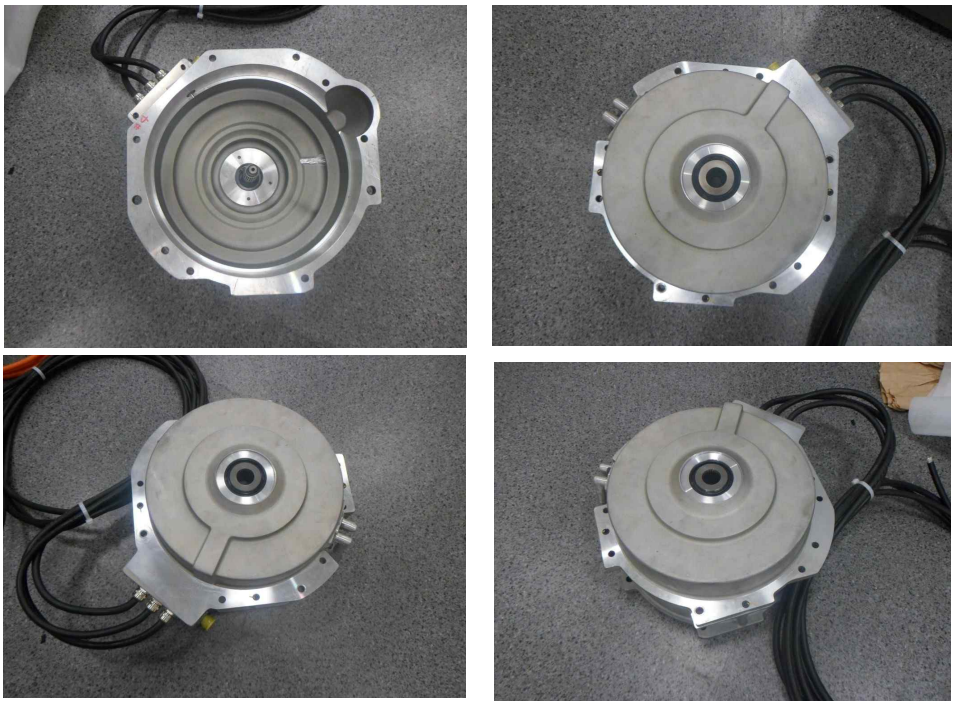
○ 제작 수량

<표 21> 2020년 4차년도 제작 수량

모듈명	수량	적용
하이브리드모터(하우징 포함)	12	4-1~5호 시작차용 5개 모터다이나모 시험용 2개 단품 시험용 1개 부품 분석 시험용 2개 내구 시험용 2개
프로펠러샤프트	5	4-1~5호 시제작차
배터리팩 및 PCU 박스	5	
변속기 마운팅	5	
클러치 오퍼레이터	5	
냉각수 순환 회로	5	
변속기 시프트 레버 센서	5	
브레이크 제동 센서	5	

○ 파워트레인 구성 세부 내용

• 하이브리드 모터(하우징) ; 주물 알루미늄 하우징을 완성하여 상호 Assembly함



<그림 67> 하이브리드 모터

- 최종 버전 모터 제작 완료
- 하이젠모터 개발 스테이터 및 로터를 이용한 신규 모터 제작

• 프로펠러샤프트; 하이브리드 모터 두께만큼 짧아진 프로펠러 샤프트 가공 적용

• 배터리팩 및 PCU 박스; 배터리 및 BMS를 차량 내에 고정 장착 Tray 설치



<그림 68> 프로펠러 샤프트



<그림 69> 배터리팩 및 PCU 박스

• 변속기 마운팅



<그림 70> 변속기 마운팅

- 우레탄 방진재를 포함한 변속기 마운팅 제작

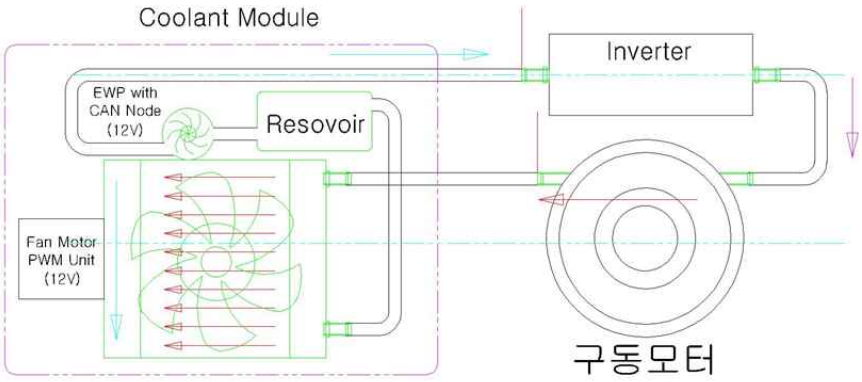
• 클러치 오퍼레이터



<그림 71> 클러치 오퍼레이터

- 클러치 작동을 자동화하는 기구 제작

• 냉각수 순환회로



<그림 72> 냉각수 흐름

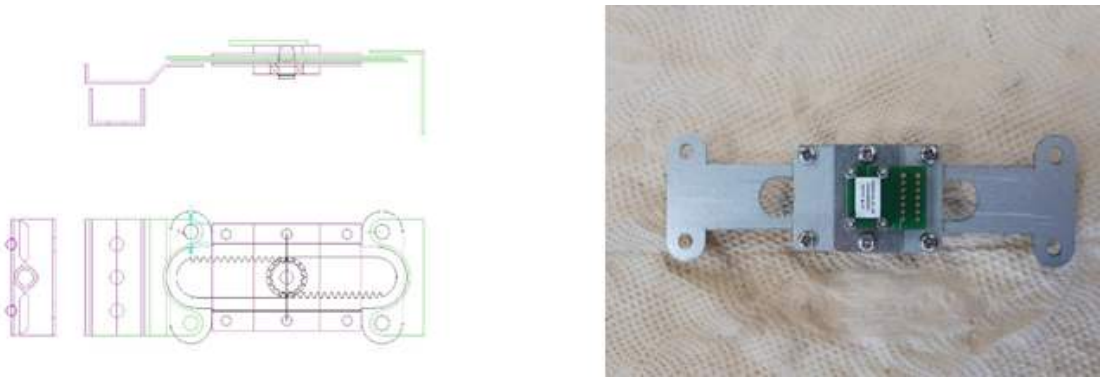
- 하이브리드 Electric Power Train의 발열을 냉각시키기 위한 냉각수 순환회로를 구성함
- 냉각을 요하는 요소는 하이브리드 구동모터, 인버터, 컨버터
- 적용 부품의 신뢰성을 확보하기 의해 현대자동차 아이오닉 하이브리용 부품을 준용함

전자식 워터펌프(EWP) IONIQ Hybrid 전자식 워터펌프(36900-2B000) • 제조사: 현대 모비스 • 용량 ; 약 10 LPM	
방열기(라디에이터) 차량용 오일쿨러(After market용) 2개 직렬 연결 사용	
팬모터 IONIQ Hybrid 부품 적용 / 절단 소형화 • 제조사: 현대 모비스	
리져버 IONIQ Hybrid 부품 적용 / 절단 소형화 • 제조사: 현대 모비스	

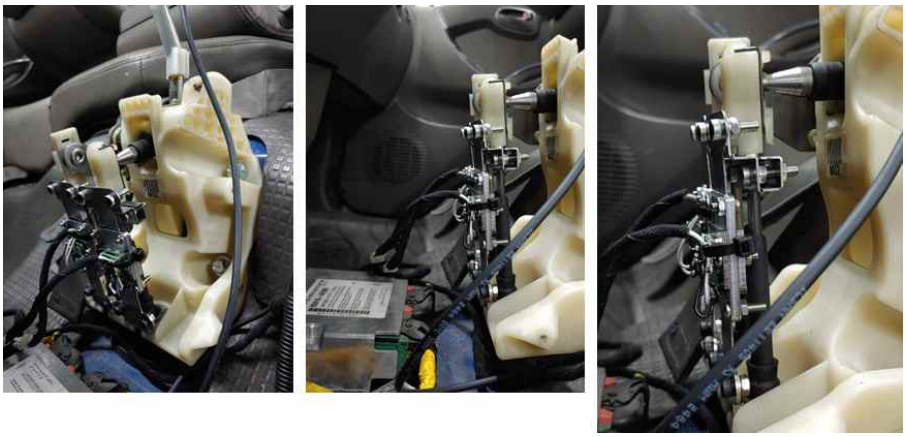
<그림 73> 냉각관련 부품

• 변속기시프트레버 센서

- 클러치 자동화와 함께 운전자의 변속 의도를 감지하고 실질 변속 레버의 작동 상태를 모니터링하는 센서(신규 개발 센서)

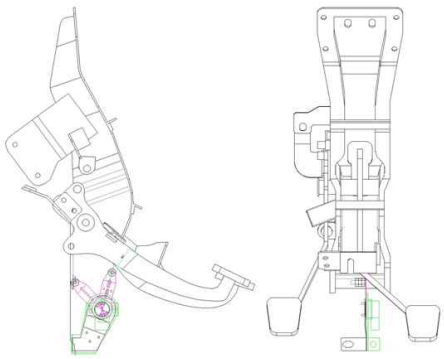


<그림 74> 레버센서



<그림 75> 레버 센서 장착

• 브레이크 제동센서
  - 회생제동 기능 활성화
  - 회생제동 기능을 사용하기 위한 제동 의도 및 제동 정도를 파악할 수 있는 센서 개발
  - 양산차 부품(포텐쇼미터, Throttle Position Sensor ; EF 쏘나타 ; 35170-37100) 사용함으로 센서 자체 신뢰성은 확보함



<그림 76> 브레이크 제동센서



<그림 77> 브레이크 제동센서 장착

② 하이브리드 디젤-전기 파워 트레인 모듈의 실차 적용

○ 하이브리드 디젤-전기 트럭 시제작 차량 제작

<표 22> 기초제원

	포터 EURO4	포터 EURO5	봉고 EURO5
엔진	126마력, 4기통	133마력, 4기통	133마력, 4기통
배기량	2,498cc	2,497cc	2,497cc
변속기	수동 5단	수동 6단	수동 6단



<그림 78> 대상차량 좌: 포터2, 우: 봉고3

<표 23> 연차별 시제작 차량

	2018 (2차년도)	2019 (3차년도)	2020(4차년도)
수량	3대	4대	5대
1	포터(2012) EURO5	포터(2011) EURO4	포터(2014) EURO5
2	봉고(2014) EURO5	포터(2011) EURO4	포터(2015) EURO5
3	포터(2011) EURO4	포터(2014) EURO5	포터(2014) EURO5
4		봉고(2013) EURO5	포터(2014) EURO5
5			봉고(2014) EURO5
용도	1호차 시험용 2호차 ISG 테스트용 3호차 시험용	1호차 차대 동력계용 2호차 안전성시험 3호차 안전성시험, 혹한기용 4호차 연비테스트용	1호차 실증용 2호차 실증용 3호차 실증용 4호차 실증용 5호차 시험용, 연비테스트용

○ 하이브리드 디젤-전기 트럭 제작



<그림 79> 2-3호차 (2018년)



<그림 80> 3-1 호차 (2019년)



<그림 81 > 4-1호차 (2020)

○ 제작 공정 및 제작 적용 내용

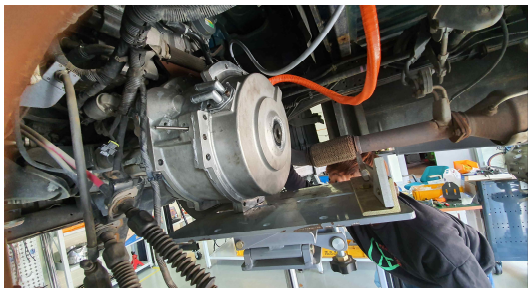
• 개조 차량 파워트레인 분해 및 신규 모터, 파워트레인 조립 장착

- 변속기 차체 탈거

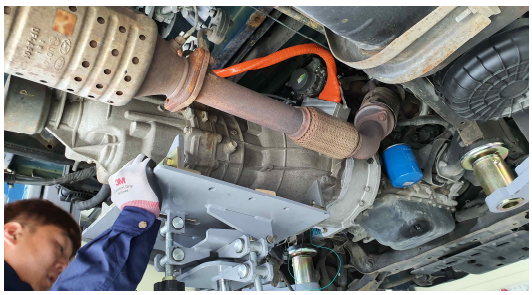


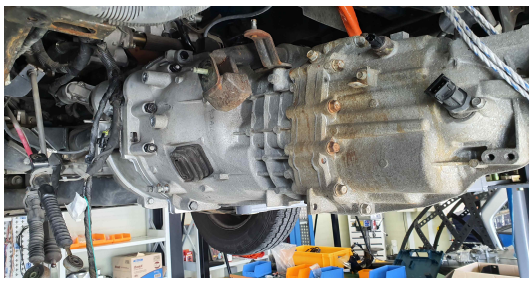
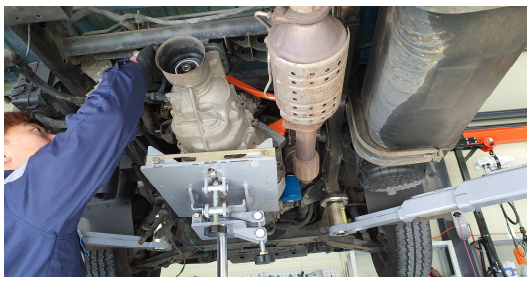
<그림 82> 변속기 탈거

- 모터장착




<그림 83> 모터 장착



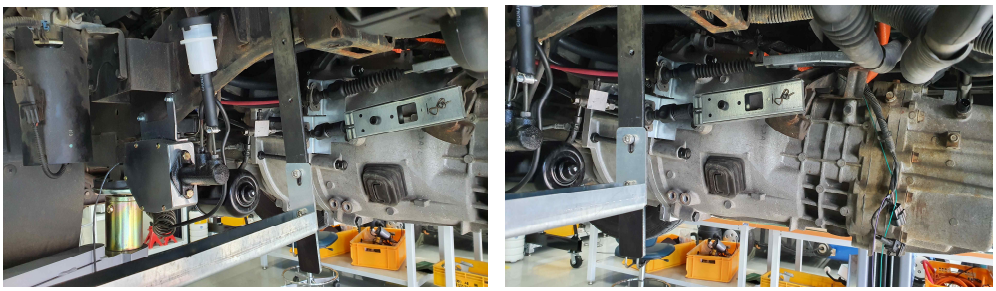



<그림 84> 변속기 장착

• 개조 차량 하이브리드 파워트레인 조립
  - 새롭게 개발 제작된 모터를 엔진과 변속기 사이에 삽입하여 모터 동력 파워트레인 장착함
  - 엔진, 하이브리드 모터, 변속기, 변속기 마운팅 결합
  - 단축된 프로펠러샤프트
  - 하이브리드 모터 두께만큼 짧아진 프로펠러 샤프트 가공 적용
  - 클러치 오퍼레이터 및 시프트레버 연장 기구 장착




<그림 85> 파워트레인 조립



<그림 86> 클러치 오퍼레이터 연결

- 냉각수 및 기타 전력계통 연결 작업



<그림 87> 냉각 계통 연결

- 고전원 Power Pack(배터리, PCU(인버터, 컨버터) 차량 적재함 전방에 배터리, PCU를 수납하는 박스 장착



<그림 88> 수납박스

- 배터리, PCU팩 트레이(Battery Pack Tray) 배터리 및 BMS를 차량 내에 모듈화 고정 장착



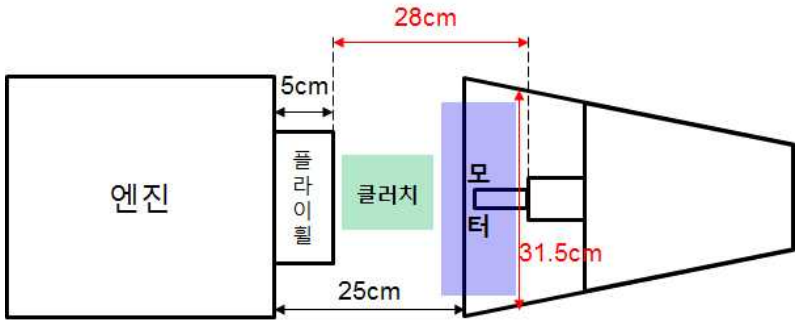
<그림 89> 수납박스 장착

(마) (공동) 세화자동차: 개조를 위한 부가장치 설계

① 개조대상차량 가용 공간 파악

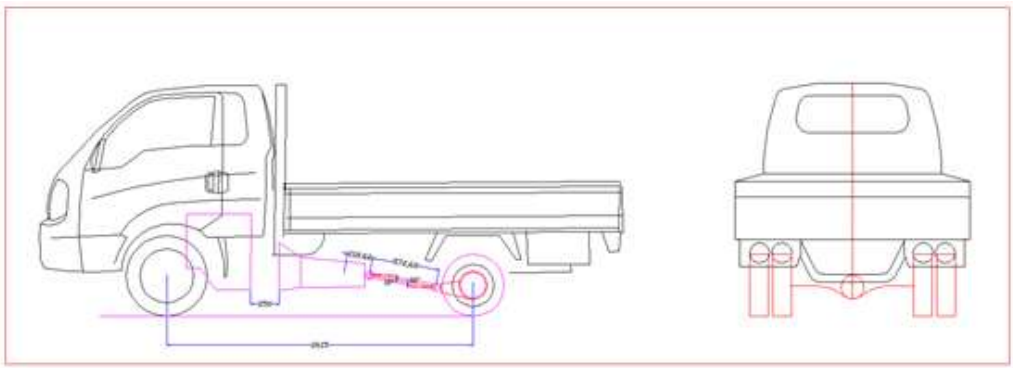
○ 구동모터 삽입을 위한 가용 공간 분석

- 대상 차량의 파워트레인 개조를 위해서는 구동 모터 및 클러치를 삽입할 엔진과 변속기 사이의 공간에 대한 분석이 중요하며, 도출된 3D 스캐닝 데이터를 바탕으로 아래 그림과 같이 가용 공간을 분석함



<그림 90> 모터 삽입을 위한 가용 공간 분석

- 엔진과 변속기 사이 이격 거리는 축 길이를 절단을 통해 약 250mm 확보가 가능한 것으로 분석됨

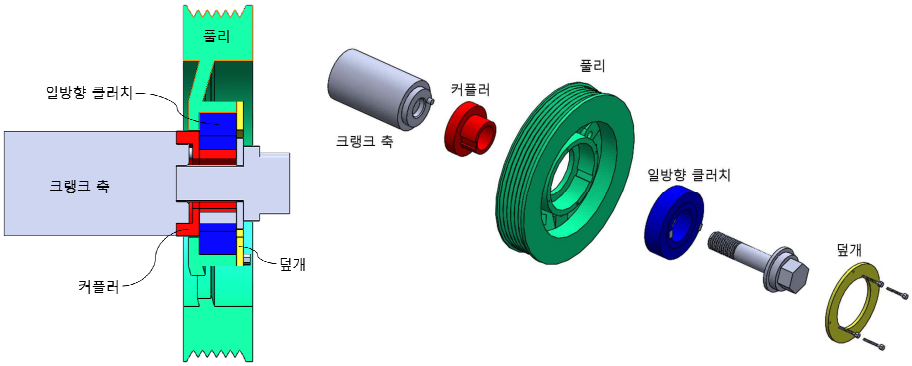


<그림 91> 대상차량 기용공간 분석

② 차량 개조용 부가장치(원웨이 클러치) 설계 및 제품 제작

○ 원웨이 클러치 풀리 설계

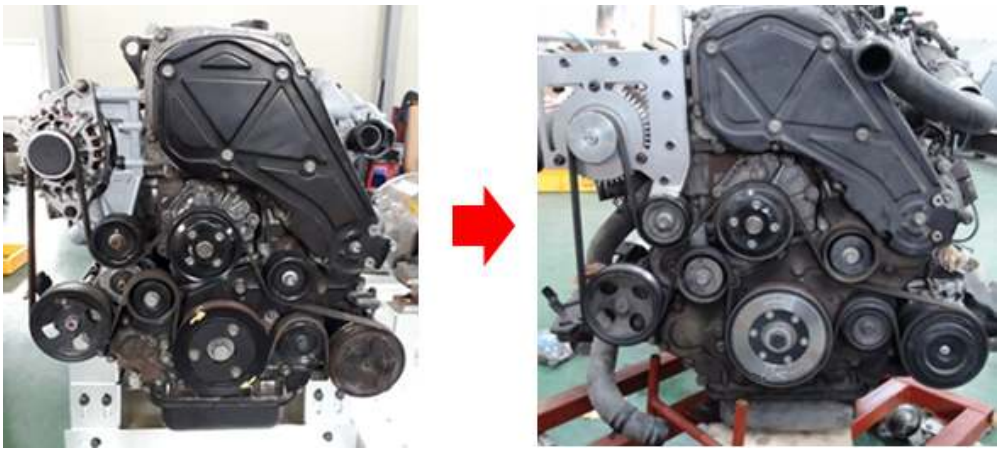
- 원웨이 클러치 기술적용을 통해 모터동력원 주행 시 부가장치들이 모터로부터 동력을 공급받고, 엔진동력원 주행 시 부가장치들이 엔진으로부터 동력을 공급받을 수 있음
- 저비용 개조기술 개발을 위해 기존 엔진 부품(엔진 스타터 등)을 최대한 활용
- TSUBAKI 社의 BB30(허용 오버러닝: 2000rpm, 허용 토크: 140Nm) 모델을 선정함
- 새로 추가된 부품(원웨이클러치 및 커플러)을 고려하여 원웨이클러치 풀리의 설계(도면화)를 진행함. 기존 부품을 최대한 활용하여 교체 및 부품 수급이 원활함
- 원웨이클러치 풀리를 시 제작하여 엔진전면부에 적용함
- 종래 기술에 비해 저비용으로 엔진 정지 시 부가장치 구동이 가능함



<그림 92> 원웨이 클러치 풀리의 측면도 및 등각도



<그림 93> 원웨이 클러치 풀리 시제품



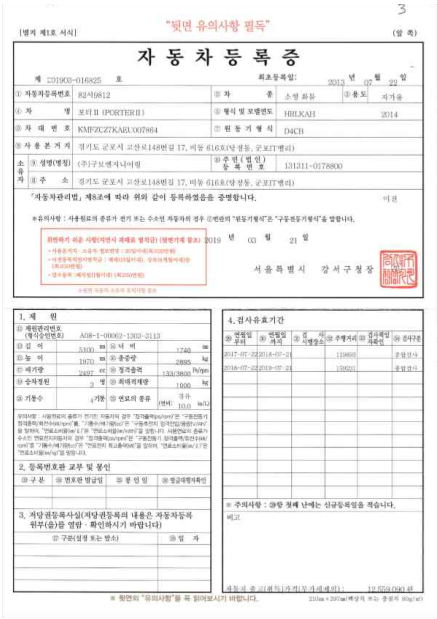
<그림 94> 원웨이클러치 풀리의 적용 전/후 엔진 전면부

③ 튜닝 승인을 위한 하이브리드 디젤-전기 파워트레인 설계보완

○ 실제 튜닝검사를 진행하는 상황을 설정하여 구비 서류 및 도면 구축함

• 튜닝승인 구비 서류

- 자동차등록증
- 튜닝승인서
- 튜닝전후 주요 제원대비표
- 튜닝전후의 자동차 외관도
- 튜닝하려는 구조, 장치의 설계도

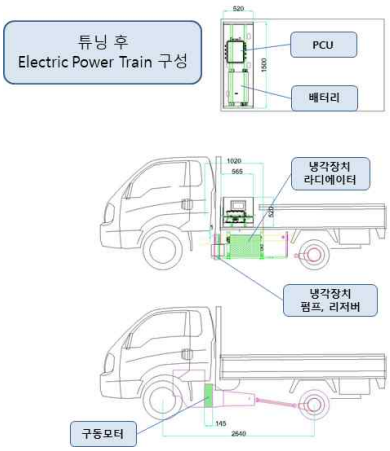

"뒷면 유의사항 필독"

자 동 차 등 록 증

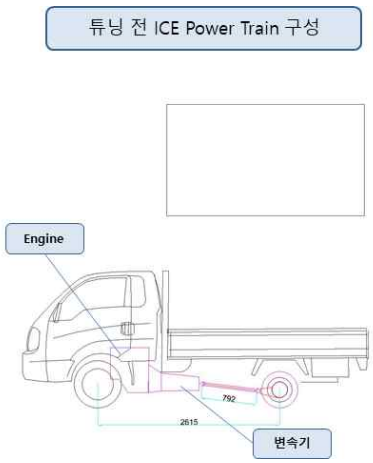
<그림 95> 차량등록증


튜닝승인서

<그림 96 >튜닝승인서



<그림 97> 튜닝 후



<그림 98> 튜닝 전

④ 하이브리드 모듈 보급화를 위한 교체 편의성 향상(유지보수 매뉴얼 작성)

○ 전기 파워트레인 냉각수

- 장착위치
  - 차량의 운전석 후방 아래 모터 및 PCU 냉각을 위한 냉각 유니트가 있음
  - 전면 커버를 탈거하면 상부에 냉각수 리져버가 있고 하부에 냉각수 펌프가 위치함
- 정비조치
  - 냉각수 리져버의 냉각수 레벨 표시를 기준으로 냉각수양을 점검
  - MAX에 위치하게 냉각수를 보충



<그림 99> 냉각수 점검

○ 시프트 레버센서

• 장착위치

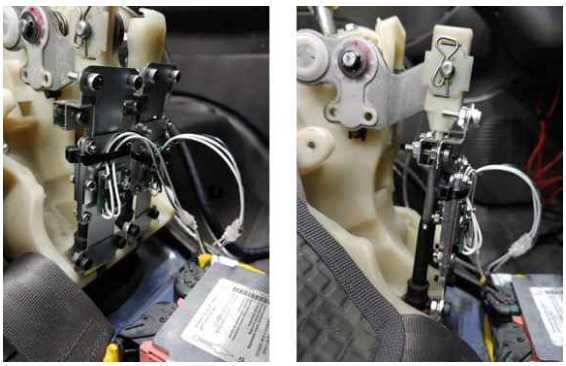
- 운전석 오른쪽 변속기 레버 아래 덮개를 열면 시프트레버 케이블 기구가 있음
- 가이드 봉에 장착된 시프트레버 센서를 확인



<그림 100> 시프트레버 센서 위치

• 정비조치

- 원활한 시프트 동작을 위해 아래 적색 화살표의 섭동부 삽입구에 일반 Grease를 적정량 도포



<그림 101> 시프트레버 센서 점검

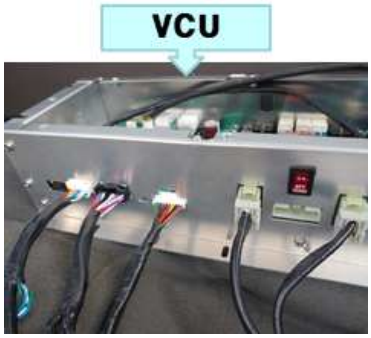
○ 배터리팩, PCU, VCU

• 장착위치

- 배터리팩, PCU(Power Control Unit) ; 적재함 전면 배터리팩 트레이 내부
- VCU(Vehicle Control Unit) ; 운전석 시트 뒤



<그림 102> 배터리팩, PCU 위치



<그림 103> VCU 위치

• 점검

- 본 점검 요소는 고전원 안전 관리 영역으로서 육안적인 점검만을 요함
- 접촉 또는 분해 점검은 절대 불가함
- 점검은 각 커넥터 및 단자의 이완 피복 벗겨짐 등을 육안상 점검



<그림 104> 배터리팩 점검

○ 구동모터

• 장착위치

- 엔진과 변소기 사이에 장착

• 점검

- 고전원(AC 340V) 구동요소로서 별도의 분해 또는 접촉 점검은 필요치 않음
- 차량 하부에 장착된 요소로서 육안상 하우징(Housing)의 균열 또는 냉각수 누수 등 유무를 점검



<그림 105> 구동모터 점검

○ Wire Harness

• 장착위치

- 차량 하부 외부 돌출되어 있는 각종 고전원 및 신호선

• 점검

- 고전원 및 신호선의 피복 벗겨짐, 커넥터 이완 여부 확인, 브라켓 부착 상태

○ 자동 클러치 기구

• 장착위치

- LH 차량 하부 구동 모터 및 변속기 측방 프레임에 장착

• 점검

- 클러치 작동유의 누유, 작동 신호선의 이완, 장착 브라켓의 이완



<그림 106> 자동 클러치 점검

• 정비

- 클러치 작동 오일 라인의 에어빼기 작업 실시
- 작업은 운전석에 1인, 하부 클러치 오퍼레이터 위치에 1인, 2인 1조로 진행
- 운전석에서 앉은 1인이 클러치 페달을 밟은 상태에서 클러치오일 라인 방향 전환 밸브를 반대로 돌림



<그림 107> 에어빼기 1

- 오일 리저버의 MAX 라인에 맞추어 클러치 작동유 또는 브레이크 오일을 주입



<그림 108> 에어빼기 2

- 운전석 인원이 클러치 페달을 반복하여 밟고 밟은 동작에서 멈춘 후 하부 작업자가 그림의 에어브리더를 약간 풀어서 오일을 배출시킴
에어가 포함된 오일을 배출하고 다시 잠근 상태에서 위 동작을 수회 반복
(이는 일반적인 클러치 오일 에어 브리딩 작업과 동일)



<그림 109> 에어빼기 3

- 에어빼기 작업의 마지막은 운전석 인원이 클러치 페달을 밟은 상태에서 에어 브리더를 잠근 후 클러치오일 라인 방향 전환 밸브를 원래 위치로 복귀 (이 조치 후 클러치 페달은 복귀하지 않고 바닥에 내려앉은 상태여야 함)

(바) (공동) 엠앤코: 개조 모듈의 양산형 부품 기구물 설계

① 장착 용이성을 위한 양산형 기구물 제작

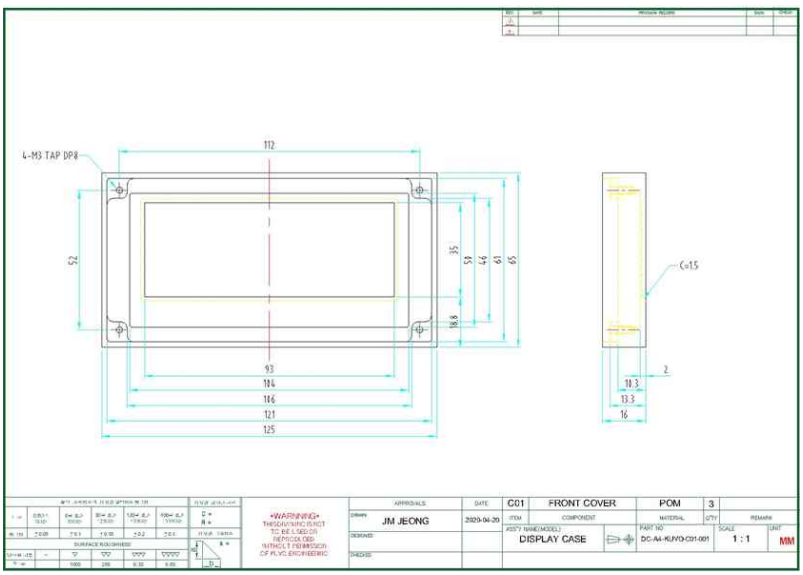
○ 하이브리드 트럭 주행 상태 모니터링을 위한 모니터 하우징 커버 개발 제작

• 제원

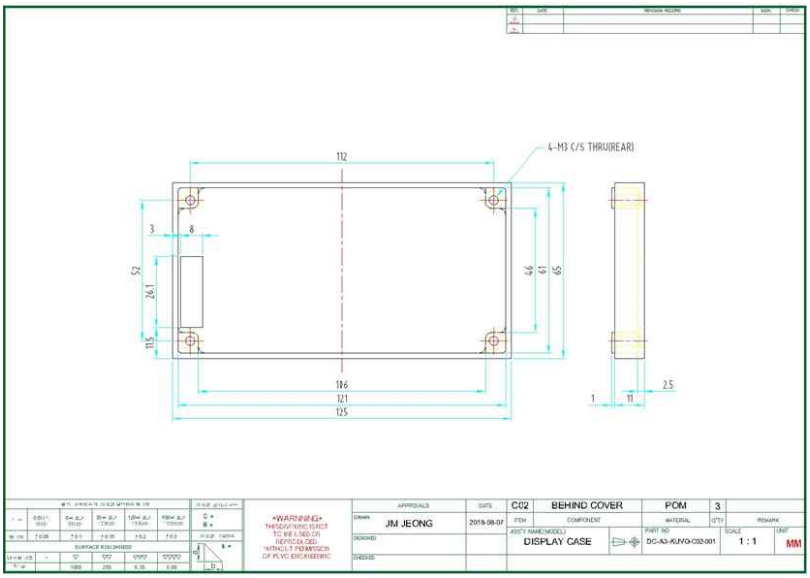
<표 24> 디스플레이 하우징 제원

재료	ABS 수지
외관 제원	125*16*65 (mm)
가공 방법	CNC 가공
장착 방안	토글 클램프 방식
HW 기판 장착	M4 볼트 장착

• 도면



<그림 110> 디스플레이 하우징 도면1



<그림 111> 디스플레이 하우징 도면2

• 장착



<그림 112> 디스플레이 장치

② 통합제어기 케이스 개발

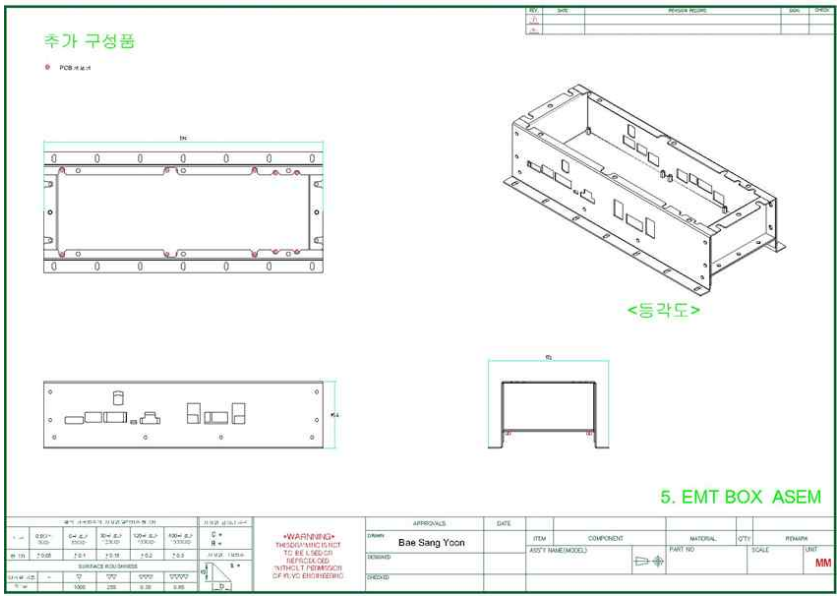
○ 하이브리드 트럭 VCU(Vehicle Control Unit) 제어기 Hardware의 케이스

• 제원

<표 25> 통합제어기 케이스 제원

재료	알루미늄 2t
외관 제원	398*172*95 (mm)
가공 방법	제관
장착 방안	볼트 피스 체결
HW 기판 장착	M4 볼트 장착

• 도면



<그림 113> 통합제어기 케이스 도면

• 장착



<그림 114> 통합제어기 케이스 조립



<그림 115> 통합제어기 장착

(2) 배기가스 저감 및 연비 향상을 위한 하이브리드 디젤-전기 트럭 제어 기술 개발

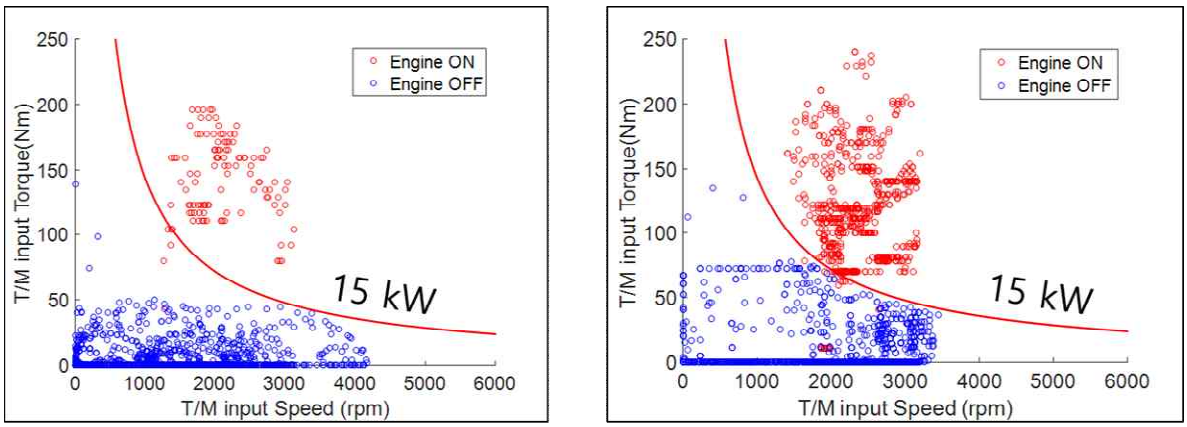
(가) (주관) 한국과학기술원:

① 공회전 제한(Idle Stop & Go)을 위한 엔진 제어 기술

○ 대표 운행 사이클을 대상으로 한 HEV 시뮬레이션 모델을 구축하고 이에 최적제어 방식을 적용하여 연비 상승 및 배기가스 배출 감소를 최적화할 수 있는 엔진 on/off 전략 도출

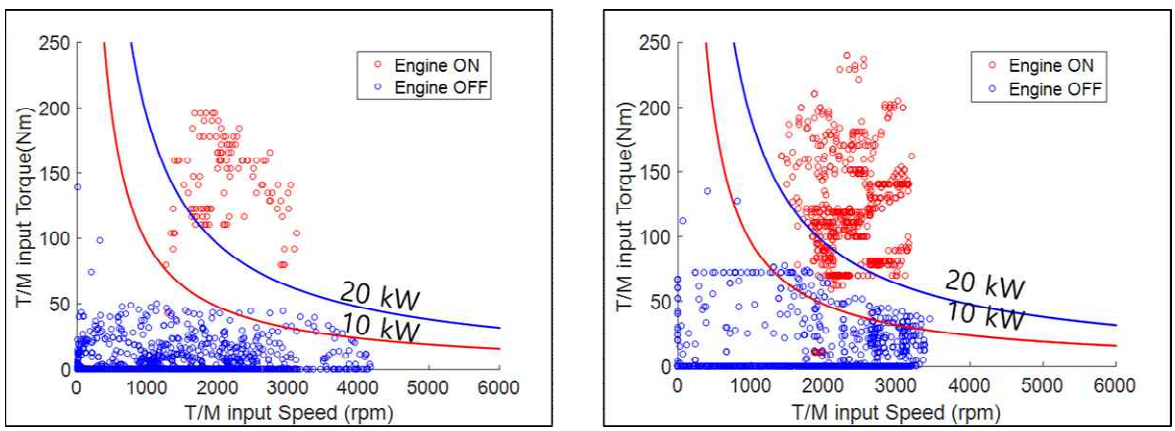
○ 최적 제어를 통한 엔진 정지 및 시동 조건 도출

• 최적 제어 결과로부터 엔진 정지 및 시동 조건을 도출하기 위하여 아래 그림과 같이 최적 제어 결과를 요구 파워에 따라 관찰하여 엔진 On/Off 제어 경향을 확인함

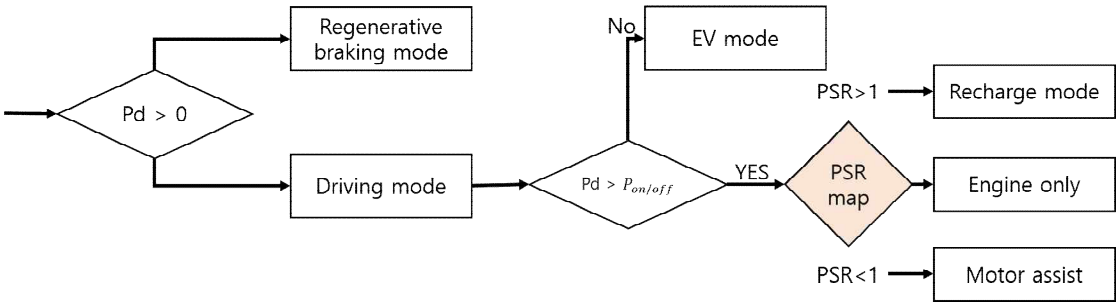


<그림 116> 변속기 입력축의 속도 및 토크에 따른 엔진 ON/OFF 조건 도출: 택배 대표 운행 사이클(좌) FTP-75(우)

- 15 kW 파워 라인을 기준으로 엔진 On과 엔진 Off의 동작점이 나뉘는 것을 확인함
- 단일 파워 라인만을 적용하여 제어 규칙을 적용하면 잦은 엔진 On/Off가 발생할 여지가 있으므로 아래 그림과 같이 히스테리시스를 적용하여 엔진 정지 및 시동 조건을 도출하기로 함



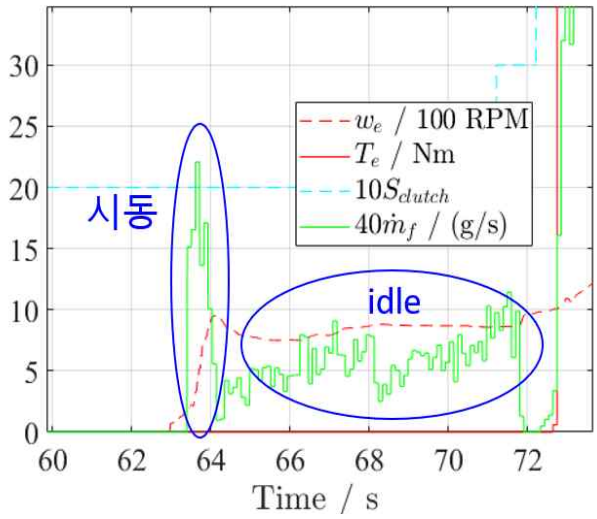
<그림 117> 변속기 입력축의 속도 및 토크에 따른 엔진 ON/OFF 히스테리시스 조건 도출:택배 대표 운행 사이클(좌) FTP-75(우)



<그림 118> 엔진 정지 및 시동 조건을 적용한 제어 알고리즘

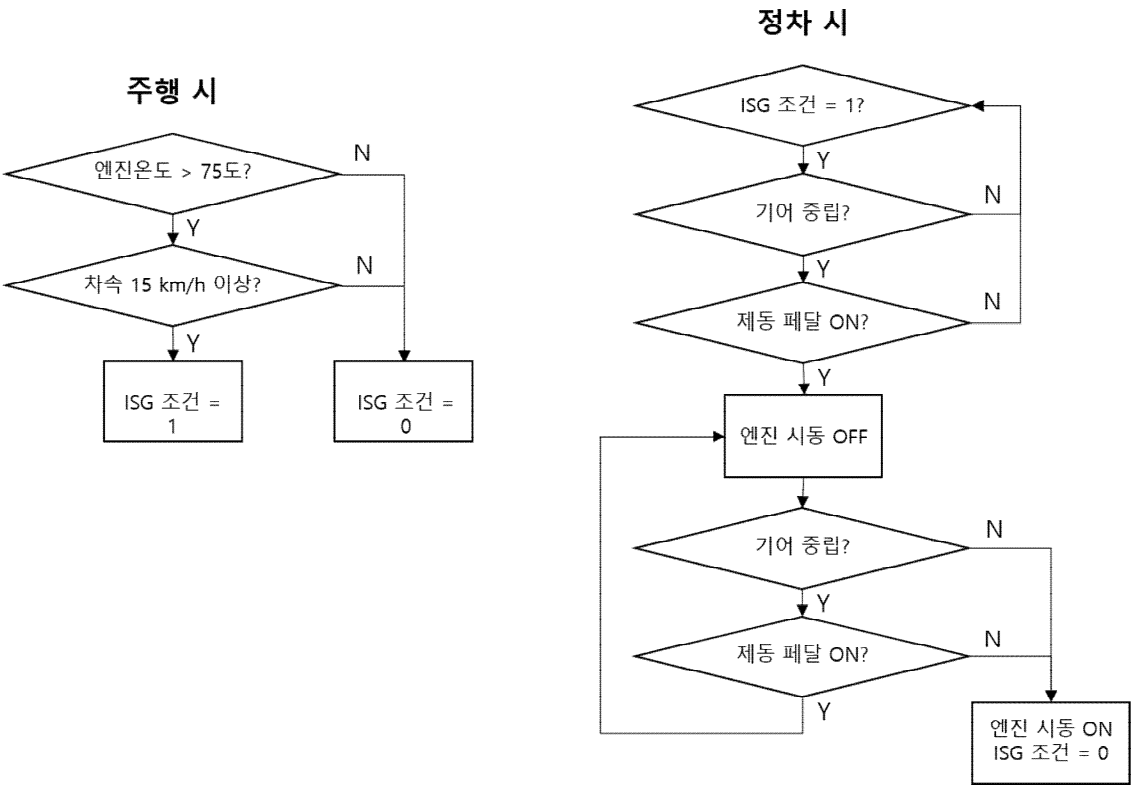
○ 하이브리드 디젤-전기 트럭에 적용된 ISG 전략

• 실험 데이터 분석을 통한 ISG의 효용성 확인
- 엔진 1회 시동 시 0.2277 g의 연료가 소모되고, idle 시 0.1480 g/s의 연료가 소모됨
- 2초 이상의 엔진 정지시에 ISG는 이득



<그림 119> 엔진 시동과 idle 상태에서의 연료소모량

• 엔진온도와 차속을 고려하여 ISG발동 조건이 만족되는 경우에 ISG가 작동
- 엔진 냉간 운행시 연비하락이 발생하므로 엔진 예열 전까지는 ISG가 미작동
- 잦은 엔진 On/Off는 연료소모량 상승을 야기하므로 차속 15 km/h 이상으로 운행했을 때 ISG 작동 조건 만족
- ISG 조건 만족 이후 차량이 정차할 경우, 기어가 중립이고 제동 페달이 밟혔을 경우 엔진 시동은 Off 됨
- 이후 기어가 체결되거나 제동 페달이 Off 되었을 경우 엔진은 재시동 걸림



<그림 120> ISG 제어 전략

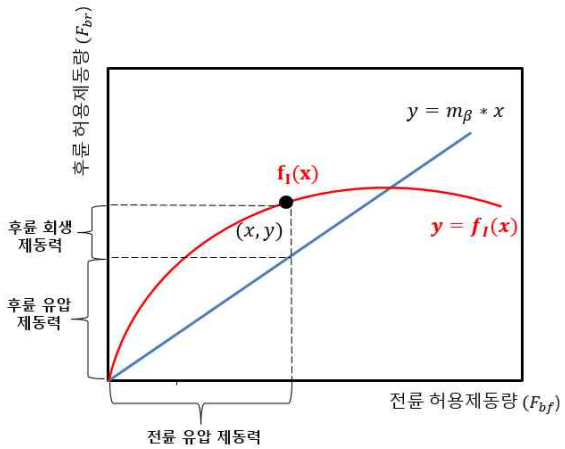
② 회생제동력 결정 알고리즘 개발

○ 차량의 제동모델을 구축하고 제동 안전성을 고려한 최대 회생 제동력을 도출하는 알고리즘을 제작하여 대표 운행 사이클을 대상으로 회생 제동 에너지 추출

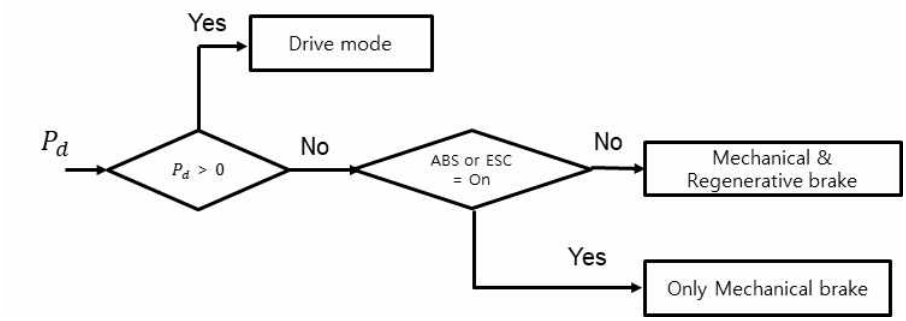
○ 제동 안전 조건을 고려한 최대 회생 제동력 결정

• 제동 시 회생 제동량을 최대화하기 위해 차량의 전·후륜에 걸리는 제동 안전 조건을 고려

- 후륜에만 모터가 추가된 개조차량은 전륜의 유압제동과 후륜의 유압 및 회생 제동 작동
- 제동의 안전성을 고려한 전륜과 후륜의 제동비는 I-curve (f_1)를 따르며, 후륜 제동력은 f_1(x) 보다 작은 값을 가지도록 함
- 짐의 무게에 따른 전체 요구제동력 및 최대 회생 제동력 관계를 확인하였고 이를 회생제동 알고리즘에 적용



<그림 121> 전륜 유압 제동력에 따른 후륜 제동력 분석



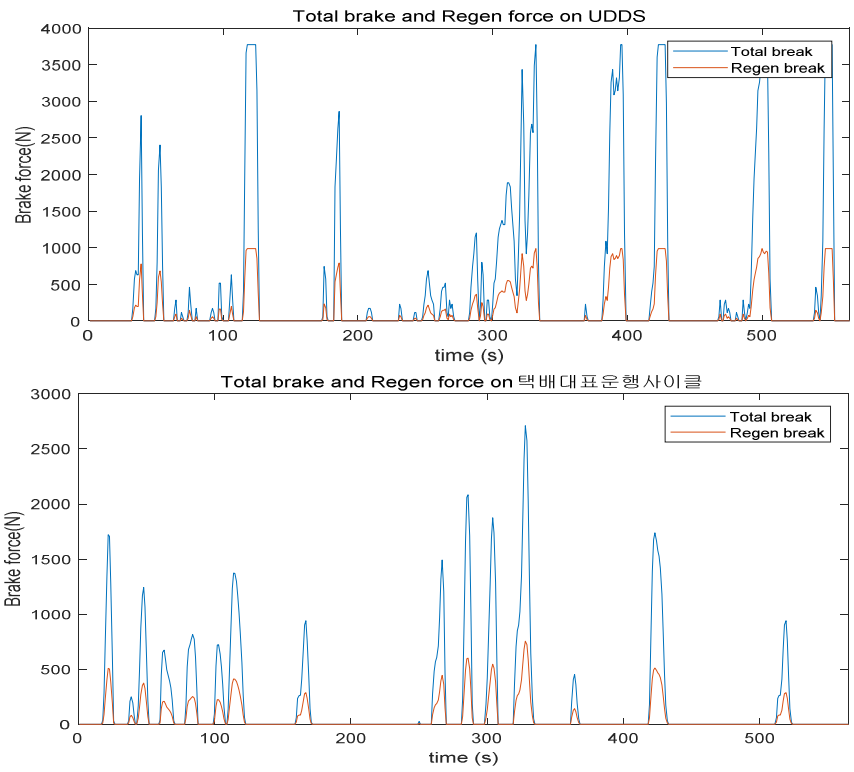
<그림 122> 유압 및 회생 제동 Blending 알고리즘

- 회생 제동 알고리즘은 제동의 안전성을 고려하여 ABS (Anti-lock brake system) 및 ESC (Electronic stability control) 등의 자세제어 시스템이 개입할 경우, 유압제동만 작동하도록 설계

○ 대표 사이클에서 전체 제동 에너지 및 회생 에너지 분석

• 본 연구는 택배 운행 환경에서의 디젤 트럭을 하이브리드 파워트레인으로 개조하여 연비향상 및 배출가스 감소를 목적으로 택배 운행 환경을 대표하는 사이클로 전체 제동력 및 회생제동력 확인

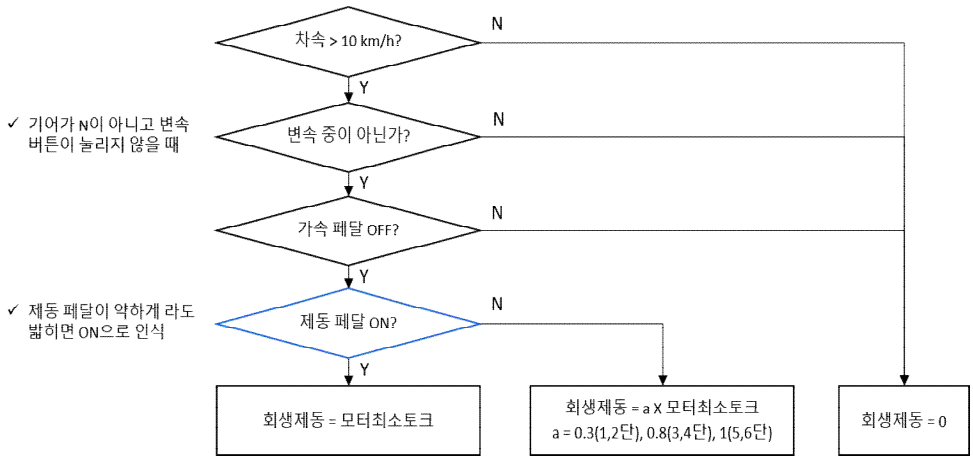
- 대표 사이클에서 제동을 분석한 결과 다음과 같이 전체 제동력 및 회생 제동력 결과를 확인
- 회생제동 알고리즘을 통해 택배 대표 운행 사이클은 전체 제동량의 31.26%, UDDS 사이클은 35.43%를 회생 에너지로 전환할 수 있음



<그림 123> 사이클에 따른 전체 제동량 및 회생제동량 비교
(UDDS 사이클 (상), 택배 대표 운행 사이클 (하))

○ 하이브리드 디젤-전기 트럭에 적용된 회생제동 제어 전략

- 회생제동 동작 조건이 만족되는 경우에 회생제동 작동
  - 일반적인 감속 상황에서 기어가 중립이 아니고 변속 중이 아닐 때, 모터가 회생제동을 동작
  - 차속이 10 km/h 이하일 때(엔진 idle rpm 부근) 회생제동이 동작하지 않음
  - 운전자가 제동 페달을 밟음이 인식되면 최대 회생제동 토크가 인가되고 그 외의 경우에는 현재 기어 단 수 별 다른 크기의 회생제동 토크가 인가됨



<그림 124> 회생제동 제어 전략

③ 최적 구동모드 및 동력 분배 비율 결정 알고리즘 개발

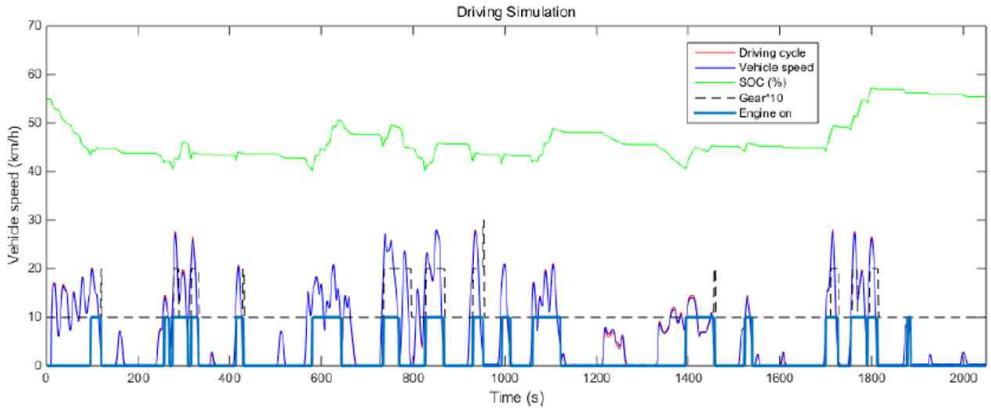
○ 동적 계획법(Dynamic Programming)을 이용한 최적 제어 시뮬레이션 결과로부터 제어 전략을 추출하여 최적 구동 모드 및 동력 분배 비율(Power Split Ratio, PSR) 결정 알고리즘을 개발

- 택배 대표 운행 사이클에 따른 최적 제어 결과로부터 하이브리드 디젤-전기 트럭의 최적 구동 모드 및 동력 분배 비율 결정 알고리즘을 개발하고 개조 전과 비교하여 연비 및 배기가스 배출 성능향상을 확인
- 전역최적화 기법인 동적 계획법을 사용하여 다음과 같이 하이브리드 디젤-전기 파워트레인의 최적 제어를 함
  - 하이브리드 디젤-전기 파워트레인의 최적 제어를 위한 동적 계획법은 아래 표와 같이 구성
  - 본 과제의 목표는 연비를 높이고 배기가스 배출량을 줄이는 하이브리드 디젤-전기 파워트레인의 개조 기술 및 제어 기술을 개발함에 있으므로 비용함수를 아래와 같이 연료 소모량과 배기가스 배출량, 엔진 시동 횟수의 합으로 정의

<표 26> 하이브리드 파워트레인 최적 제어 기법 요약

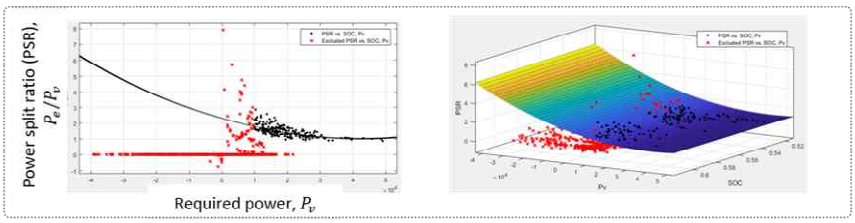
비용 함수	연료 소모량 (g/s) + PM 배출량 (g/s) + NOx 배출량 (g/s) + 엔진 시동 횟수
단계	주행 사이클 상의 시간
제어 변수	엔진 토크, 작동 모드(EV, HEV 모드)
상태 변수	배터리 잔량(SoC)
제한 조건	초기 배터리 잔량 = 최종 배터리 잔량 엔진 및 모터/제너레이터의 속도, 토크 작동 영역 SOC 과충전 및 과방전 제한 영역

• 최적 제어 결과, 그림(최적 제어 결과 별 사이클)과 같이 SOC 레벨을 유지함과 동시에 연비 성능을 최대화 하도록 하는 제어 결과를 확인할 수 있음



<그림 125> 동적 계획법을 이용한 최적 제어 결과(택배 대표 운행 사이클)

• 동적 계획법은 전체 운행 사이클의 주어진 정보로 시뮬레이션하는 오프라인 방법으로 즉각적인 실시간 파워트레인 제어는 불가능하므로 실제 차량에 적용할 수 없음
  - 따라서 동적 계획법의 결과를 바탕으로 엔진의 On/Off, 하이브리드 구동모드(EV, assist, recharging 등), 동력 분배 비율을 결정하기 위한 제어 Rule을 도출하여 Rule 기반 제어를 하이브리드 디젤-전기 트럭에 적용
  - 산업계에서 가장 많이 사용되는 방법(Toyota Prius, Honda Insight 등)으로 단순한 알고리즘과 적은 계산량으로 동력분배 제어를 구현 할 수 있으나 최적 연비 성능을 얻을 수 없으며, 룰이 정의된 기준 주행 패턴 이외의 환경이나 파워트레인 모델에 오차가 있는 상황에서는 성능이 크게 하락할 수 있음



Rule extraction

$$PSR = \begin{cases} 2.406 - 0.1906 \cdot SOC - 6.94 \cdot 10^{-5} P_v + 1.563 \cdot 10^{-5} \cdot SOC \cdot P_v + 7.148 \cdot 10^{-10} P_v^2 \; (P_v > P_{v,th}) \\ 0 \; (P_v \le P_{v,th}) \end{cases},$$

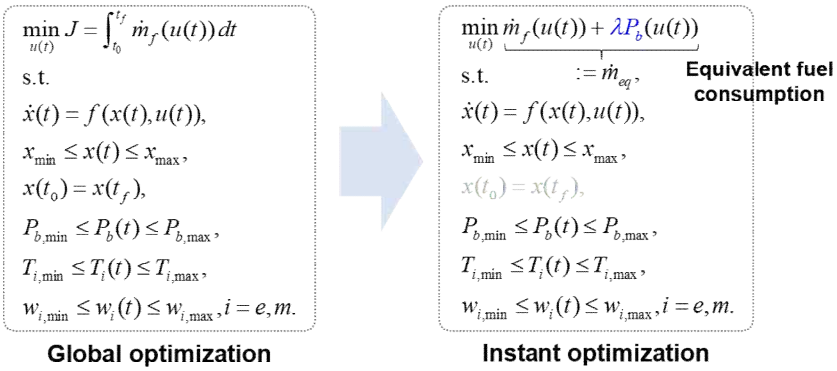
where $P_{v,th} = 10kW$.

<그림 126> 동적 계획법의 결과를 이용한 제어 Rule 도출

○ ECMS를 이용한 최적 구동 모드 및 동력 분배 제어기술 개발

• Equivalent Consumption Minimization Strategy(ECMS)는 동적 계획법과 같은 전역 최적화와 달리 미래의 주행 정보에 의존하지 않고도 근사 최적화를 수행함
  - 미래의 주행 정보에 의존하지 않고도 근사 최적 연비를 도출할 수 있다는 점에서 의의가 크며 많은 연산이 필요하지 않아 실시간 구현이 가능함

- 최적화 문제의 필요조건을 실시간으로 푸는 방식이기 때문에 항상 최적성이 보장되지는 않으며 새로운 파라미터인 λ의 설정(SOC feedback)에 따라 제어 결과가 매우 민감하게 변한다는 단점이 있고 주행 패턴이 바뀌는 상황에서의 파라미터의 튜닝이 쉽지 않음



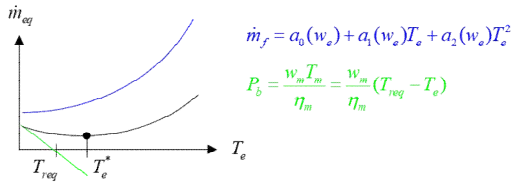
$$\lambda = \lambda_0 + K_p e_{SOC} + K_I \int e_{soc} dt,$$
$$\text{where } e_{SOC} = SOC(t) - SOC(t_0)$$

<그림 127> Equivalent Consumption Minimization Strategy(ECMS)

• ECMS의 재정의를 통한 A-ECMS 알고리즘 개발
- 기존의 ECMS는 엔진 저출력(저효율) 영역에서도 EV 모드가 선택되지 않을 수 있는 문제점이 있음
- 수정된 정의를 통해 엔진 저출력 영역에서는 엔진 사용을 최소화하도록 할 수 있음
- 아래 그림과 같은 방법으로 통계 기반으로 equivalence factor, λ를 결정하면 최적해에 근사할 수 있고 이를 Adaptive-ECMS(A-ECMS)라 명명함

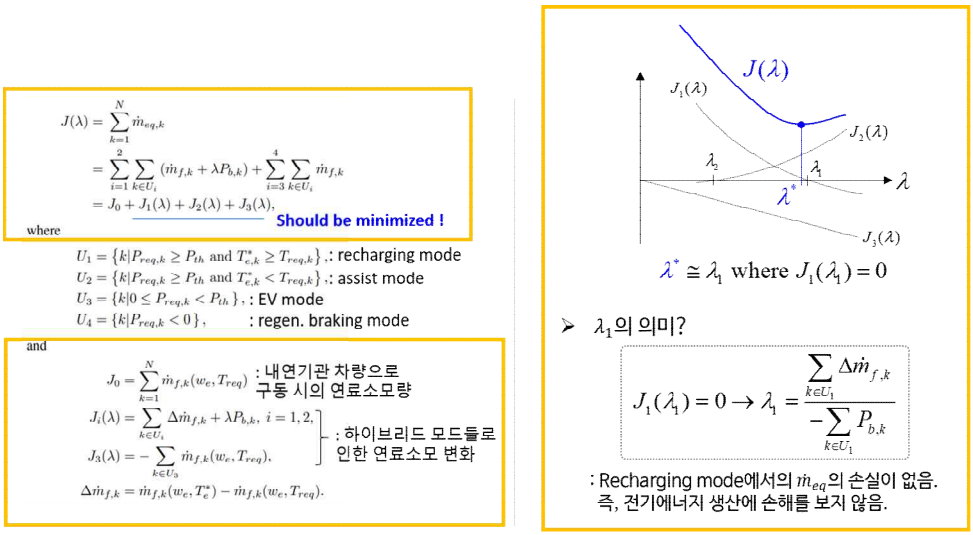
$$\dot{m}_{eq} = \dot{m}_f + \lambda P_b$$
기존 정의

$$\dot{m}_{eq} = \begin{cases} \dot{m}_f + \lambda P_b & (P_{req} \geq P_{th}) \\ \dot{m}_f & (P_{req} < P_{th}) \end{cases}$$
수정된 정의

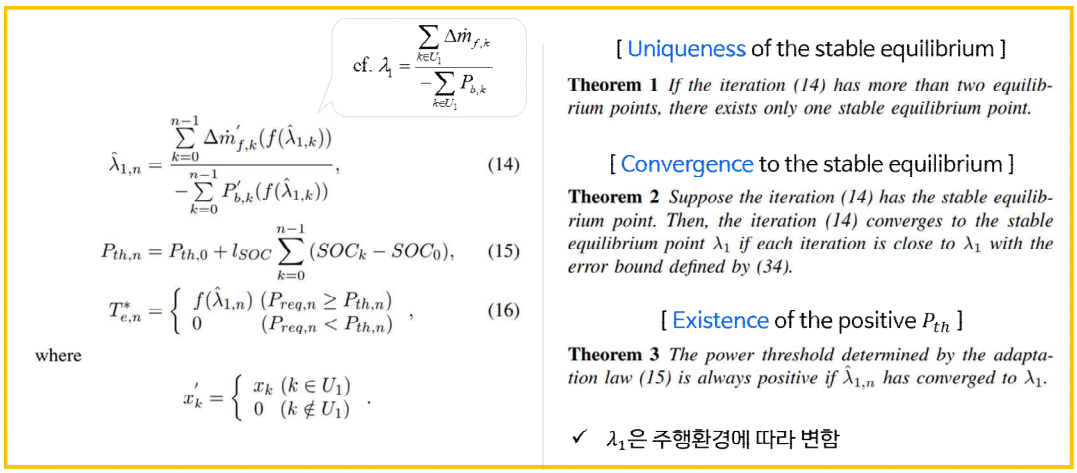


- $T_e^* = \arg\min_{T_e} \dot{m}_{eq} = \begin{cases} f(\lambda) & (P_{req} \geq P_{th}) \\ 0 & (P_{req} < P_{th}) \end{cases}$, where $f(\lambda) = \frac{1}{2a_2}\left(\lambda \frac{w_m}{\eta_m} - a_1\right)$

<그림 128> ECMS의 재정의



<그림 129> 최적 근사해로부터의 λ 도출



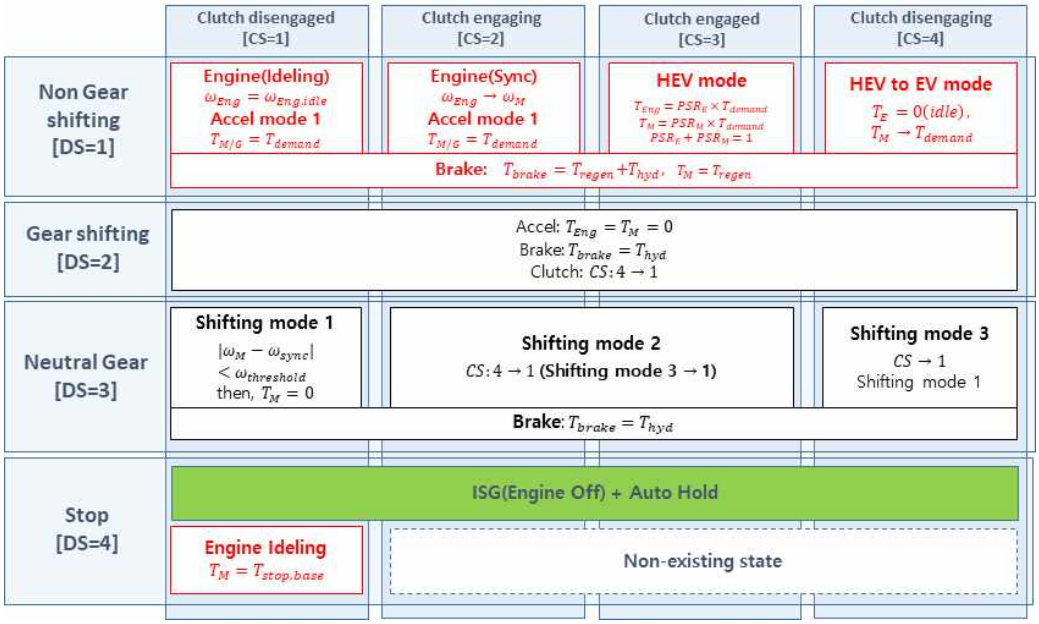
<그림 130> A-ECMS 제어전략

④ 차대 동력계 상에서의 하이브리드 파워트레인 제어 알고리즘 검증 및 최적화

○ 차대 동력계 상에서의 실차 테스트 기반 파워트레인 제어 알고리즘 검증

• 개발된 파워트레인 알고리즘의 실차 적용을 통한 제어 알고리즘 검증

- 3차년도에 개발된 로직은 병렬 로직으로, 어떤 상황에서도 state의 교착 상태에 빠지지 않도록 강인하게 state machine 및 고장 감지 기능을 설계



<그림 131> 클러치 및 기어의 상태에 따른 파워트레인 제어 동작 상태

○ 변속 과정을 포함한 파워트레인 제어 상태 구체화 및 실차 적용하여 검증

• 경내(50km/h이내) (한국과학기술원 문지캠퍼스), 공로 (대전시 유성구 문지동 – 대전시 대덕구 송강동) 테스트 수행 완료



<그림 132> 경내 하이브리드 택배트럭 테스트

○ 차대 동력계상에서의 실차 테스트 기반 파워트레인 제어 알고리즘 최적화

• 제어 동작 상태 정의에서 주행상황에 따라 의도했던 주행상태 검증 및 최적화

• 최적화 요소

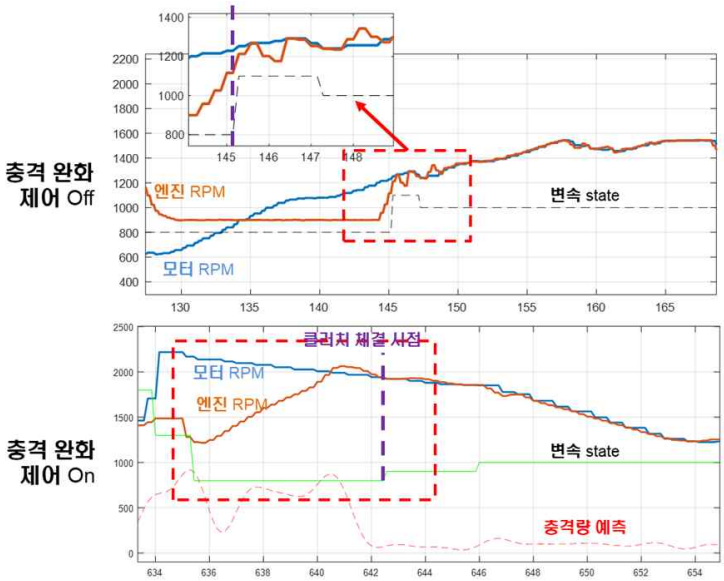
- 회생 제동 레벨: 배터리 SOC 및 C-rate 제한, RPM 및 단수에 대한 회생 제동 레벨
- 엔진-모터 토크 배분: 배터리 레벨, 엔진 효율에 따른 모터-엔진 토크 배분 구조
- 클러치 제어 속도: 클러치 체결 시 충격량 예측 알고리즘을 이용한 클러치 동적 제어
- 엔진 개입 시점: 모터의 토크 및 속도가 충분해질 때 엔진 개입하는 시점의 튜닝
- 최적화 과정은 차대 동력계 상에서 5인(3인의 전문가 포함)의 테스트 드라이버가 피드백하여, 피드백한 점들을 개선하여 2주 동안 피드백-개선 과정을 거침



<그림 133> 차대 동력계 상 주행 테스트 기반의
파워트레인 제어 알고리즘 최적화 과정

○ 클러치 체결 변속 충격 최적화

• 모터, 엔진의 RPM 차이 및 가속도 현재 모터/엔진의 토크를 이용하여 충격량 예측 지표를 만들어 충격량 예측 지표가 일정 범위 내로 들어왔을 때 클러치 체결이 가능해지도록 차대 동력계 상에서 구현



<그림 134> 변속 충격량 예측 알고리즘을 통한 클러치 체결 시점 조절

○ 클러치 족동제어 하이브리드 모드 개발

• 기존 eMT를 활용한 클러치 전자제어 시스템을 개발, 하이브리드 트럭에 적용하였으나 기존 수동변속기 운전자들의 운전 습관을 고려해 운전자가 직접 클러치를 조작할 수 있는 족동 하이브리드 모드를 개발

- 차량 출발 및 운행 시 클러치가 항상 붙어 있게 되면서 기존의 순수 EV 모드가 불가능해짐
- 클러치가 붙은 상태에서 엔진은 fuel-cut 시키고 모터만으로 구동은 가능

○ 차대 동력계 상에서의 파워트레인 제어를 통한 성능검증

• 개발된 하이브리드 파워트레인 제어 알고리즘의 성능검증을 위해 유로4 및 유로5 차량의 개조 전·후 대상의 차대 동력계 시험을 KATRI 및 TENERGY에서 수행함

• 대표물류사이클 상 유로4 차량 시험결과

<표 27> 유로4 차량(포터II 2011년식)의 대표물류사이클 시험결과 (TENERGY에서 시험)

구분	개조 전	개조 후	개선율 [%]
연비 [km/l]	6.266	11.161	78.1
CO2 [g/km]	410.375	229.438	-44.1
NOx [g/km]	1.577	1.025	-35.0
PM [g/km]	0.1032	N/A	N/A
PN [#/km]	1.042e+14	5.161e+13	-50.5

- 배터리 전력을 0.783 kWh 사용하였으며 연비/전비 등가계수 (약 6.36 설정, 자체 측정) 적용하였을 경우 보정연비는 8.44 km/l이며 34.7 %의 연비개선 확인됨(목표달성)
- 보정연비에 대한 CO2 개선율의 보정치는 - 25.8 %로 확인됨(목표달성)
- NOx의 배출량 감소 확인됨(목표달성)
- 개조 후의 PM은 측정장비 resolution 내에서 측정되지 않았음(목표달성)

• 대표물류사이클 상 유로5 차량 시험결과

<표 28> 유로5 차량(포터II 2014년식)의 대표물류사이클 시험결과(KATRI에서 시험)

구분	개조 전			개조 후			개선율 [%]
	1차	2차	평균	1차	2차	평균	
연비 [km/l]	6.336	6.486	6.411	11.795	11.885	11.840	84.7
CO2 [g/km]	403.2762	393.6350	398.4556	215.7852	214.2245	215.0049	-46.0
NOx [g/km]	0.5979	0.6118	0.6049	0.4002	0.3992	0.3997	-33.9
PM [g/km]	0.0094	0.0090	0.0092	0.0035	0.0043	0.0039	-57.6

- 배터리 전력을 0.604 kWh 사용하였으며 연비/전비 등가계수 (약 6.36 설정, 자체 측정) 적용하였을 경우 보정연비는 9.4 km/l이며 45 %의 연비개선 확인(목표달성)
- 보정연비에 대한 CO2 개선율의 보정치는 - 31.0 %로 확인됨(목표달성)
- NOx의 배출량 감소 확인됨(목표달성)
- PN 측정을 위해 TENERGY에서 추가시험 수행했으며, PN 저감율 56.6 % 확인(목표달성)

<표 29> 유로5 차량(봉고III 2014년식)의 대표물류사이클 시험결과(TENERGY에서 시험)

구분	개조 전			개조 후			개선율 [%]
	1차	2차	평균	1차	2차	평균	
PN [#/km]	1.077e+9	5.577e+8	8.175e+8	3.731e+8	3.337e+8	3.549e+8	-56.6

• 대표물류사이클 시험결과 분석
- 연비개선율은 보정연비 기준 유로4, 유로5 차량에서 각각 34.7 %, 45%로 측정됨
- 해당 동력계 시험은 도심 택배운행환경(저속주행 多)을 모사한 대표물류사이클을 이용했기 때문에 연비개선효과가 크게 측정될 수 있음
- 질소산화물(NOx)과 입자상 물질(PN 또는 PM)의 저감율은 유로5 차량(각 33.9%, 56.6%)이 유로4 차량(각 35.0%, N/A) 보다 더 낮게 측정됨
- 이는 유로5 엔진에 배출가스 저감용 부가장치가 적용되어 이미 배출량이 일정 수준 저감되었기 때문에 하이브리드화로 인한 배출가스 저감효과가 유로4 엔진 대비 상대적으로 낮기 때문임
- 이 사실은 개조 전 유로5 차량의 NOx 배출량(0.6049 g/km)이 유로4 차량의 배출량(1.577 g/km)의 38.3%에 불가한 것으로도 확인할 수 있음
- 입자상 물질은 유로4와 유로5 차량에 대해 다른 기준(각 PM, PN)으로 측정되므로 개조 전의 배출량에 대한 정량적 비교는 불가함

• FTP-75 상 유로4 차량 시험결과
- 공인주행사이클 대상의 성능검증을 위해 FTP-75 상에서의 시험을 추가로 수행함

<표 30> 유로4 차량(포터II 2011년식)의 FTP-75 시험결과 (TENERGY에서 시험)

구분	개조 전	개조 후	개선율 [%]
연비 [km/l]	12.379	13.756	11.1
CO2 [g/km]	217.088	195.261	-10.1
NOx [g/km]	0.4603	0.5093	10.6
PM [g/km]	N/A	N/A	N/A
PN [#/km]	2.434e+8	1.052e+8	-56.8

- 연비 11.1 % 개선, CO2 10.1 % 저감, PN 56.8 % 저감 확인됨
- PM은 개조 전·후 모두 측정장비 resolution 내에서 측정되지 않았음
- NOx는 10.6 % 증가하였음. NOx는 엔진출력 증가에 따라 그 배출량이 증가하는 경향이 있는데, 하이브리드 모드 중 recharging 모드에서의 엔진출력 증가로 인해 NOx가 증가한 것으로 판단됨. 이는 미국 대표물류회사인 UPS의 하이브리드 트럭 실증시험 결과에서도 보고된 현상임[1].

⑤ 실제 운행 환경에서의 하이브리드 파워트레인 제어 알고리즘 검토 및 성능 확인

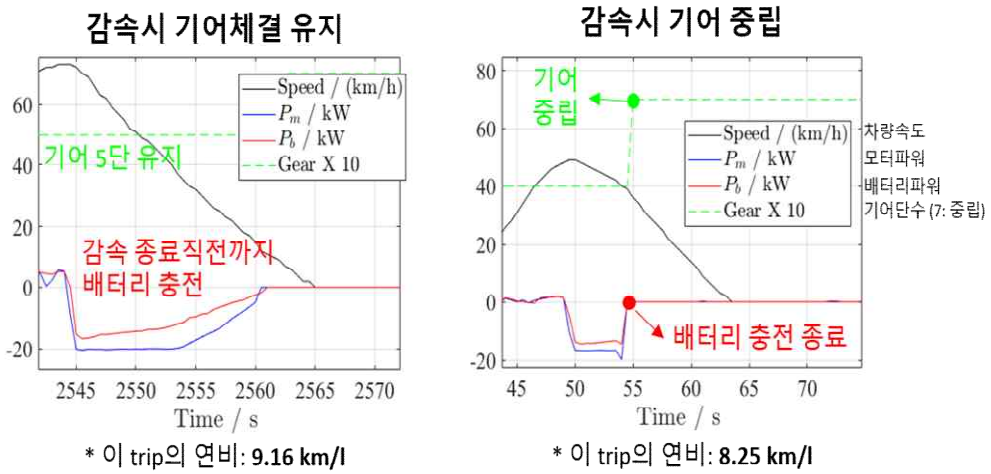
○ 실제 운행 환경에서의 주행 패턴 특성을 고려한 하이브리드 파워트레인 제어 알고리즘 안전성 검토 및 성능 확인

- 택배 배송 차량의 주행 패턴을 고려하였을 때 회생제동을 이용한 에너지 회수와 ISG(Idle Stop and Go) 동작에 의한 연료소모량 감소가 연비개선의 핵심 요소임
- 회생제동과 ISG 제어전략의 성능 검증과 하이브리드 디젤-전기 트럭의 연비 테스트를 위해 제주도에서 실증시험을 실시함



<그림 135> 제주도 실증시험 단거리 코스

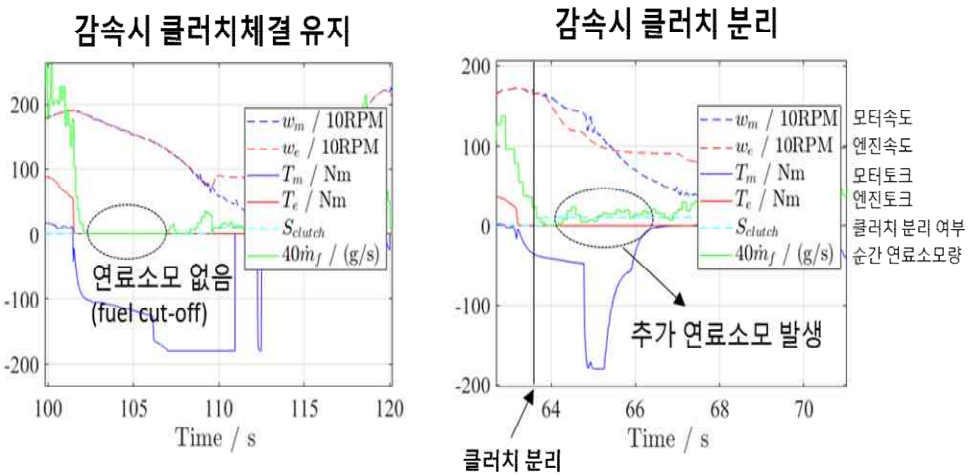
- 운전 습관에 따른 회생제동을 이용한 에너지 회수 차이
  - 감속 시 기어 체결의 유지 여부에 따라 회생제동의 최대 활용도가 결정되므로 감속 시 기어 체결을 유지해야 높은 연비향상을 얻을 수 있음
  - 회생제동 제어전략에 의해 감속 시 기어 체결을 유지해야 차량의 감속이 끝날 때까지 회생제동이 동작하므로 배터리 충전 종료 시점을 미룰 수 있음



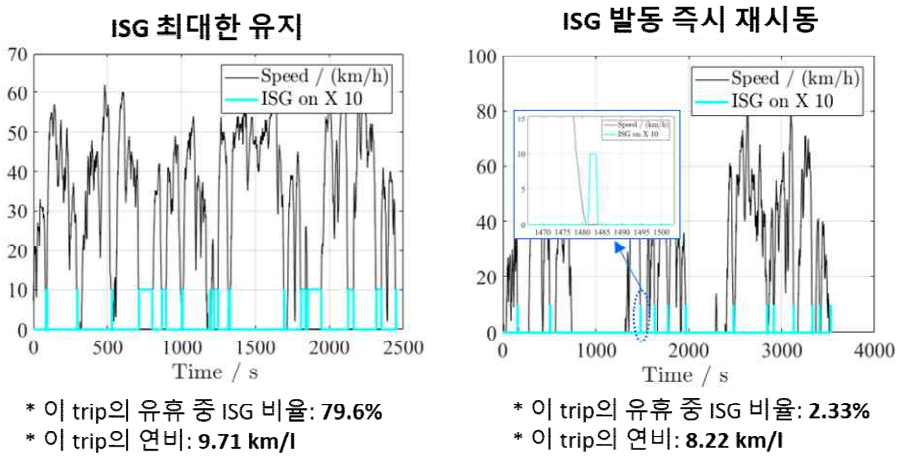
<그림 136> 기어 체결 유지 여부에 따른 회생제동의 에너지 회수 차이

- 운전 습관에 따른 연료소모량 차이
  - 감속 시 클러치 체결의 유지 여부에 따라 엔진의 연료소모량이 다름

- 클러치 체결이 된 상태에서만 모터의 동력보조를 받을 수 있어서 엔진의 fuel cut 동작이 가능함
- 클러치가 분리되면 엔진은 최소 idle rpm을 유지하기 위해 추가 연료를 소모
- ISG를 통한 엔진 꺼짐 상태의 유지 여부에 따라 연료소모량 감소를 얻을 수 있어 연비향상이 가능함



<그림 137> 클러치체결 유지 여부에 따른 연료소모량 차이



<그림 138> ISG 유지 여부에 따른 연비 차이

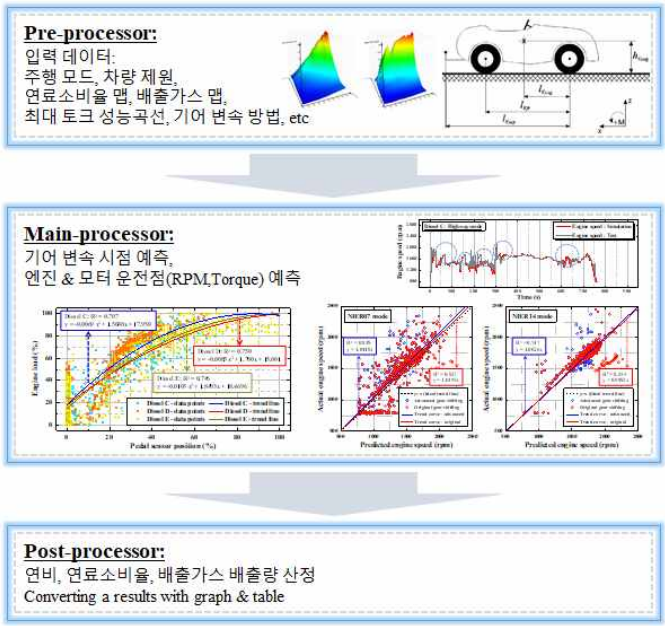
• 제주도 실증시험 결과에 의한 연비개선 극대화 방안
- 감속 시 기어 체결 상태를 최대한 유지하여 변속기와 모터가 연결을 유지하도록 해 회생제동 사용을 극대화
- 제동 페달을 약하게 밟았을 때 발생하는 최대 회생제동 토크를 적극 활용하여 유압제동 사용을 최소화
- 감속 시 클러치 체결 상태를 최대한 유지하여 엔진의 fuel cut에 의한 연료소모량 감소를 활용
- ISG의 적극적인 활용으로 엔진 시동 꺼짐 상태를 유지

(나) (위탁) 한양대학교: 배기가스 배출 모델 개발 및 배기가스 감소 제어전략 도출

① Cold-start 및 Engine on/off 등 과도기 상태의 차량 배기가스 배출 모델 개발

○ 디젤 차량의 연비 및 배기가스 배출을 고려한 차량 모델 개발

• AVL CRUISE를 활용한 시뮬레이션 분석 방법



<그림 139> AVL CRUISE 프로그램 계산 흐름 요약도

- Pre-processor: 시간에 따른 차량 주행모드 및 각 rpm에서의 최대 torque 성능 곡선 등 계산에 필요한 기본적인 정보를 프로그램으로 불러들이는 과정을 수행함. 또한 차량의 기본적인 사양 (차량의 너비·높이, 차량의 총 중량, 타이어 반경 등)에 대한 정보를 통해 추가적으로 필요한 값을 계산하도록 구성되어 있음
- Main-processor: 각 시간대마다 차량에 필요한 총 구동력 대비 여유 구동력을 비교하여 운전 상태에 알맞은 기어단수, 엔진 회전수 및 부하 등의 구동 상태를 예측하고 연비맵 및 배기맵 데이터와 연동하여 차량의 순간 연료 소모율 및 CO2, NOx, THC 등의 배기 배출량을 예측
- Post-processor: 계산된 결과를 프로그램 내 내장되어 있는 포맷을 기반으로 유저가 데이터를 쉽게 알아볼 수 있는 그래프, 표, 맵, flow chart 등의 형태로 변환을 수행함. 또한 각 시간대에서 계산된 값을 적산하여 통합된 값으로 표시하기도 함. 이러한 결과 데이터는 유저가 필요할 경우 엑셀 등의 다른 포맷의 형태로 파일 저장이 가능하도록 함

• 디젤 차량 시뮬레이션 모델 구성

- 이번 연구에서는 디젤 1톤 택배트럭의 시뮬레이션 모델을 구성하였음. 모델은 2497cc 디젤 내연기관을 사용하는 차량으로 6단 수동변속기를 사용하고 있음. 엔진에서의 출력은 main 수동변속기와 종감속기를 거쳐 2번 변속이 이뤄지며 최종적으로 후륜에 동력이 전달됨. 아래 그림에서 파란색 선은 기계적 동력흐름을 나타냄. 전륜에는 동력이 전달되지 않으며 전륜은 단륜, 후륜은

복륜으로 구성되어 있으며, 전륜과 후륜은 다른 규격의 타이어를 활용하고 있음. 기본 차량의 파워트레인 외에 보조기기류를 모델링함. 보조기기류는 대표적으로 에어컨, 공기압축기, 조향펌프, 엔진냉각팬등이 있으며 차량 엔진 외에 추가적인 에너지 소모원으로 작용함

• 디젤 트럭 Input data

- 국내 1톤 택배트럭에 주로 사용되는 H사 트럭 제원을 바탕으로 시뮬레이션 Input data를 구성함. 아래 표는 차량의 기본제원으로 2497cc의 디젤엔진을 사용하고 있음. 현재 제원은 클러치를 사용하는 6단 수동변속 차량으로, 추후 자동변속기 도입과 하이브리드 적용에 따라 제원상의 변화가 발생할 수 있음

<표 31> 1톤 택배트럭 제원

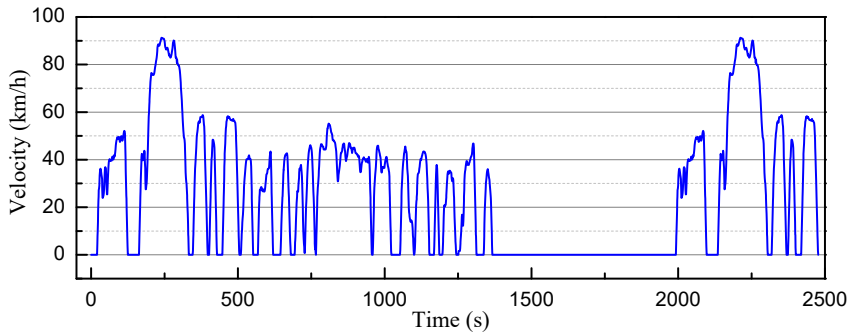
공차중량 (kg)	1,800	차량총중량 (kg)	2,800
최대출력	133/3,600 (PS/RPM)	구동형태	후륜(2WD)
최대토크	26.5/1,250 ~ 3,500 (kg·m/rpm)	배기량(cc)	2,497
엔진 형식	D4CB	보어x스트로크(mm)	91x96
타이어 전륜	195/70 R 15 (단륜)		
타이어 후륜	155R 12 (복륜, 구동륜)		
전장 (mm)	4,850	냉각방식	수냉식
전폭 (mm)	1,740	압축비	16.4
전고 (mm)	2,100	연료탱크용량 (L)	60
축간거리 (mm)	2,430	윤거전(mm)	1,505
차축비	4.104	윤거후 (mm)	1,420
실도로부하	F0 [N]: 186, f1 [N/(km/h)], : 1.725 , f2 [N/(km/h)²]: 0.049		
클러치	건식 단판 디스크		
변속비	1단	4.271	
	2단	2.248	
	3단	1.364	
	4단	1.000	
	5단	0.823	
	6단	0.676	
	후진	3.814	
	종감속비	4.014	

• 연비맵 및 최대 토크곡선

- 연비맵은 엔진 속도(RPM)과 엔진 토크(Nm)에 따른 연료소비율(kg/h)를 나타내는 3차원 데이터로 시뮬레이션 내에서 연료소비율을 산정하는데 활용함. 연비맵의 정확도에 따라 시뮬레이션 결과값의 정확도가 크게 좌우됨. 따라서 정확한 연비맵을 활용하는 것이 중요함. 이번 연구에서는 국내 H사의 사용되는 2500cc 엔진의 연비맵을 시뮬레이션 input data로 활용함

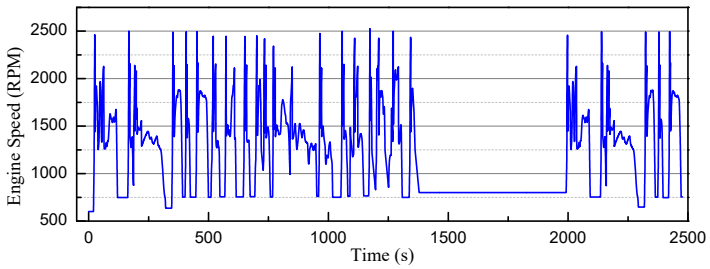
• 시뮬레이션 모델 정확도 검증

- 공인 연비 : 1톤 택배트럭은 현재 자동차 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율 기준에 의거한 연비를 측정하고 이를 공인연비로 사용함. 1톤 택배트럭의 경우 도심연비와 고속도로 연비를 측정하며 도심연비로 FTP-75 모드를 활용함. FTP-75모드의 속도 그래프는 <그림 140>과 같음

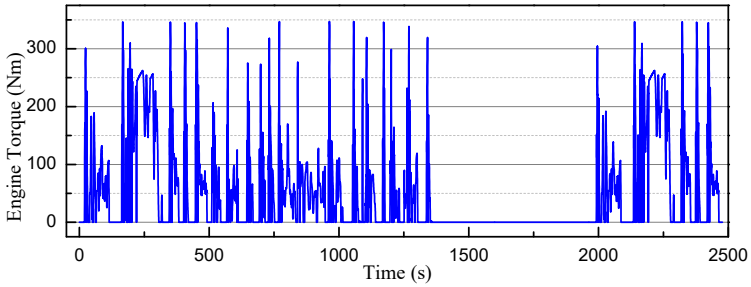


<그림 140> FTP-75 주행모드

- 공인연비 산정 시험은 실도로 주행이 아닌 차대동력계 및 배기 분석계를 통해 진행됨. 이는 실도로 시험에 비해 균일한 시험 조건을 유지할 수 있으며 넓은 시험공간을 필요로 하지 않는다는 장점이 있으나 이러한 시험방법은 시험 결과 간 편차를 발생시킬 수 있는 여러 인자들이 포함되어 있는 것으로 보고되고 있음.심연비로 FTP-75 모드를 활용함. FTP-75모드의 속도 그래프는 <그림 141>과 같음.
- 현재 국내에서 판매되고 있는 1톤 택배트럭의 도심연비는 8.8 ~ 9.7km/L 수준임. 이는 차량의 특장형태(장축, 일반축) 및 캡 형상(더블캡, 일반캡)에 따라 다양한 종류가 있으며, 공차중량도 1700~2000kg에 따라 차이가 발생하기 때문임. 이번 연구에서는 국내 1톤 물류트럭의 제원을 바탕으로 시뮬레이션 연비와 공인 연비를 비교하였음. 비교 대상의 제원은 <표 31>와 같으며 도심 공인연비 9.4km/L임. 분석 결과는 다음과 같음



<그림 141> FTP-75 모드 엔진 속도 (시뮬레이션 결과)



<그림 142> FTP-75 모드 엔진 토크 (시뮬레이션 결과)

<표 32> 1톤 택배트럭 제원

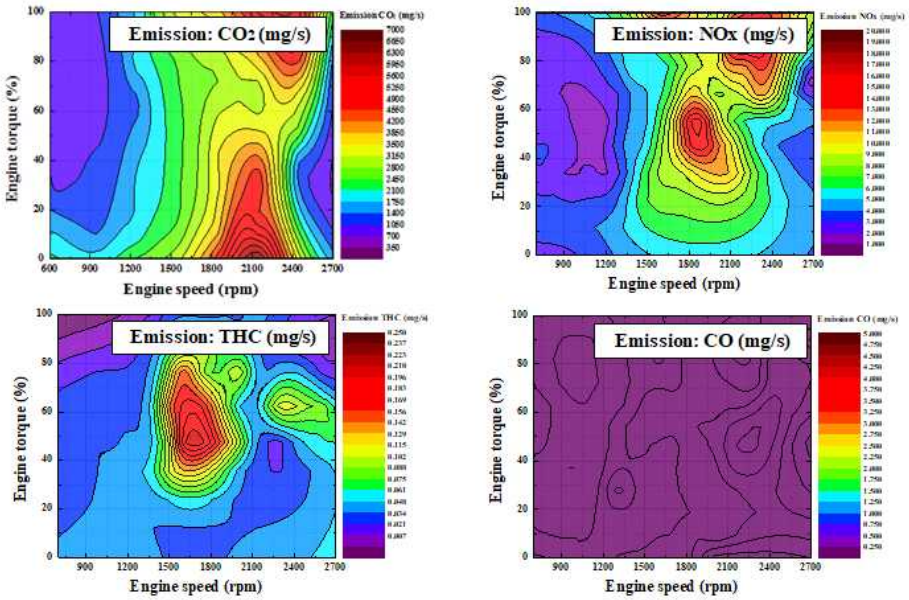
	공인 연비	시뮬레이션 연비	오차
FTP-75 주행모드	9.4km/L	9.8km/L	4.6%

- <표 32>은 공인연비와 시뮬레이션 연비를 분석한 결과로 오차는 4.6% 수준임. 오차는 상당히 낮은 수준.

○ 디젤 차량의 주행특성에 따른 배기가스 배출 예측 모델 개발

• 배출가스 맵 (NOx, PN)

- 배출가스 맵은 연비맵과 마찬가지로 엔진 속도(RPM)과 엔진 토크(Nm)에 따른 배출가스 배출량(mg/s)를 나타냄. 시뮬레이션을 통해 계산한 엔진 운전점에 따라 배출가스 배출량을 최종적으로 산정함. 배출량 정확도는 배기맵에 좌우되므로 정확한 배기맵 활용이 필요



<그림 143> 차량 연비맵 & 엔진 최대토크 곡선

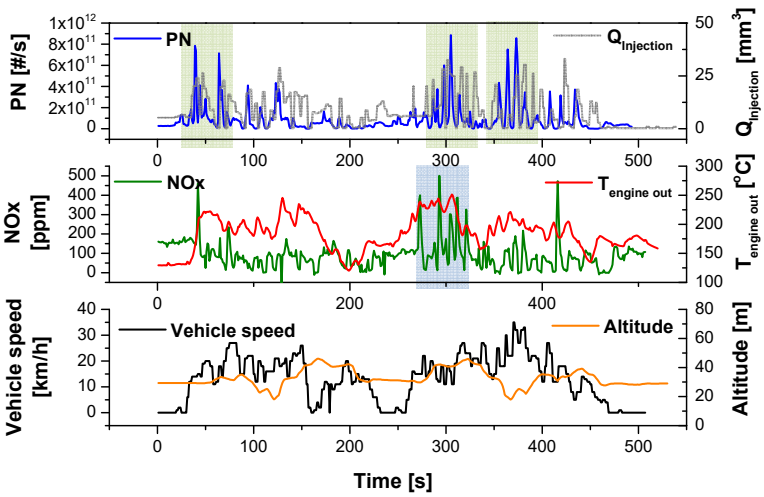
• Cold start 보정계수

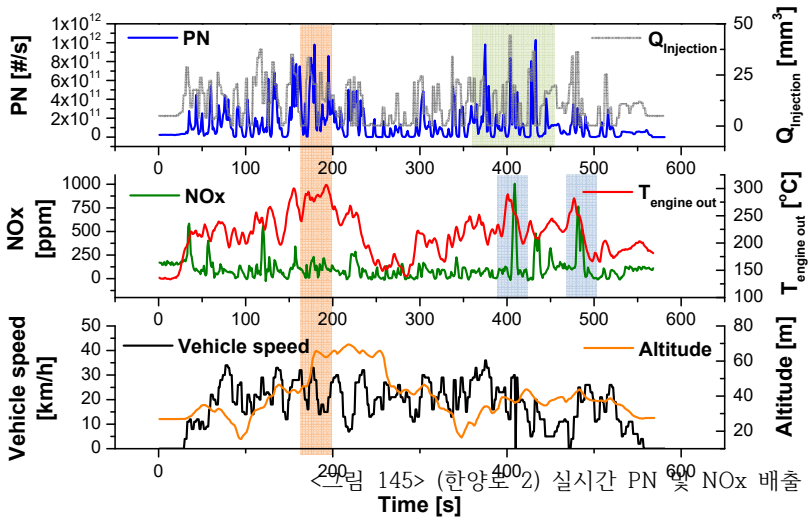
- 일반적인 차량의 작동 온도는 냉각수 기준으로 80℃이상에서 운전됨. 그러나 차량이 출발 시 냉각수의 온도는 상온 20~25℃에서 출발하여 점점 상승하게 됨. 낮은 온도 조건에서는 엔진 내 열손실 및 반응속도의 저하로 인해 불완전 연소가 발생하게 되고 일반적으로 추가적인 연료 분사를 통해 불완전 연소현상을 극복하여 시동성을 향상시킴. 이번 연구에서는 냉간시동시 Cold start 보정계수를 적용하여 낮은 온도에서 추가적인 연료소비율을 보정하였음. Cold 보정계수는 시간에 따른 보정상수로 정의됨

② 과도기 상태의 차량 배기가스 배출 모델 검증 및 배기가스 감소 대책 마련

○ 기존 차량의 엔진 배기가스 측정 및 차량 배출 예측 모델 검증

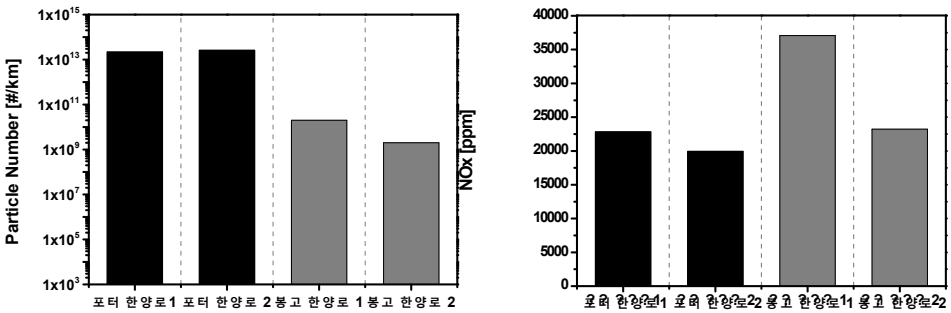
• 배출가스 측정 시험 결과(교내 주행)





<그림 145> (한양로2) 실시간 PN 및 NOx 배출 결과

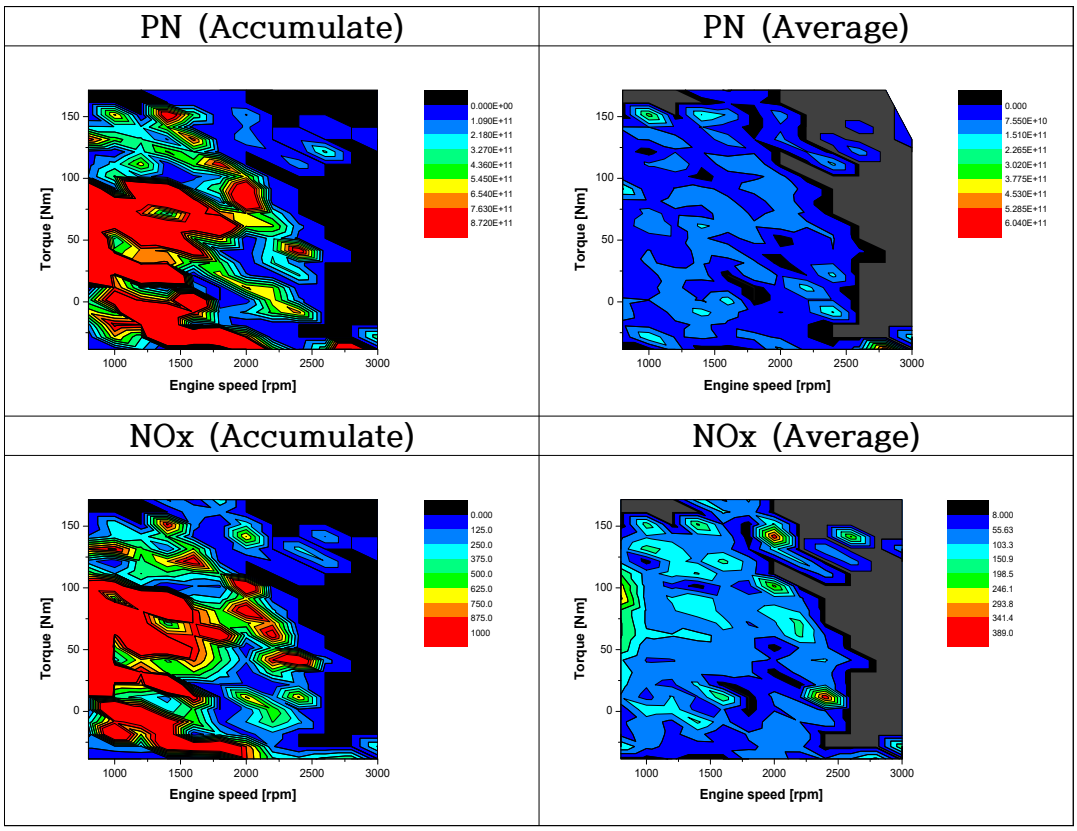
- 교내 주행시험 시, PN 배출은 차량 속도 경향과 유사하게 배출되는 것을 확인할 수 있으며, 특히 차량 속도가 증가하는 구간(녹색박스)과 경사도가 급격하게 증가하는 구간(적색박스)에서는 차량의 출력을 증가시키기 위해 연료분사량이 증가하며, 이에 따라 PN 배출이 크게 증가하는 것이 확인됨
- NOx 배출의 경우에는 전체적으로 낮은 배출이 확인되지만, 차량 속도가 급격히 증가하는 구간에서의 높은 배기가스 온도로 인한 NOx 배출이 증가하는 결과가 나타나는 구간(청색박스)이 존재함



<그림 146> 시험차량에 따른 PN 및 NOx 배기가스 배출결과 비교

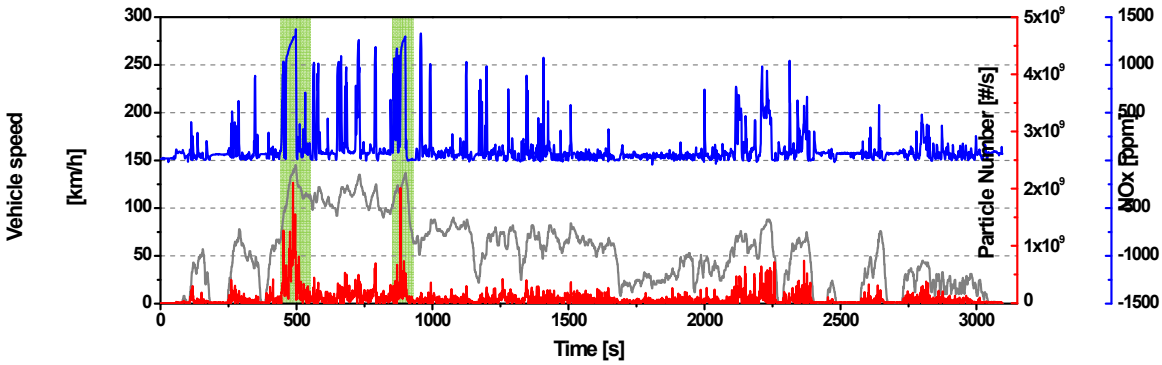
- 시험 차량 2대의 PN 및 NOx 배출을 비교한 결과, NOx의 배출량은 유사한 결

<표 33> PN 및 NOx 배출 MAP (교내주행시험)



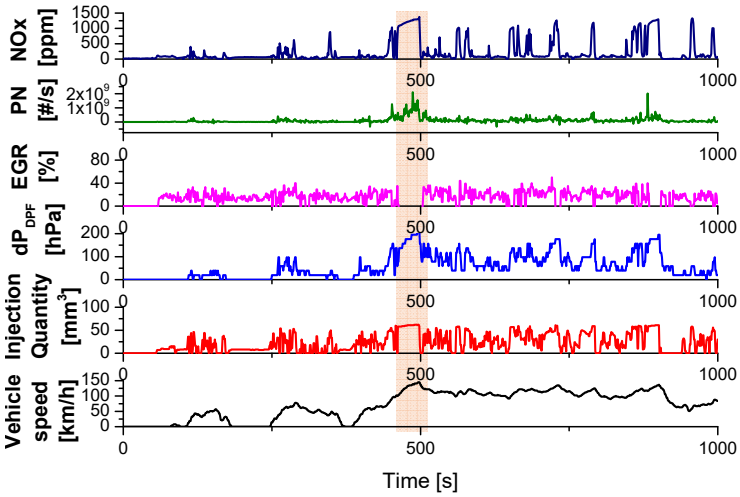
- <표 33> 에서는 교내주행시험에 대한 PN 및 NOx 배출 MAP 결과를 나타내었는데, 좌측의 Accumulate의 결과는 3번의 반복시험에 대한 결과에서 측정된 모든 운전점에서의 배출결과를 모두 합산하여 누적한 결과를 MAP으로 나타내었으며, 우측의 Average 결과의 경우 각 운전점에 대한 배출 비중을 나타내기 위하여 단위운전점에 대한 PN 및 NOx 배출결과를 나타냄

• 배출가스 측정 시험 결과(고속구간 주행)



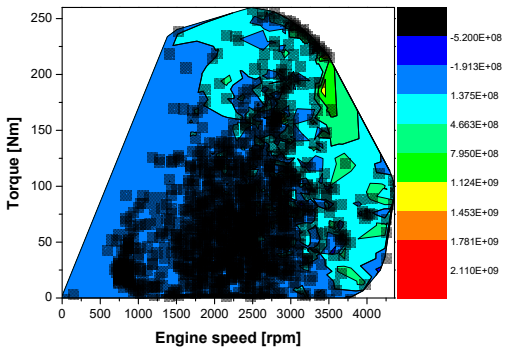
<그림 147> 고속구간에서의 실시간 PN 및 NOx 배출 결과

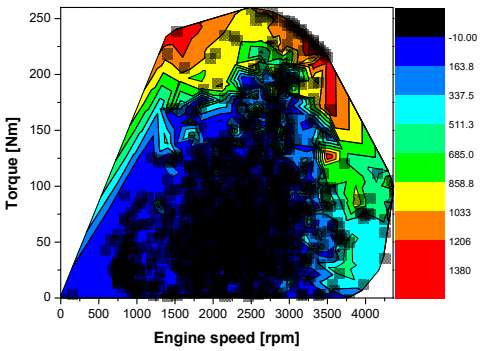
- 인천공항 고속도로부터 서울시내까지의 주행을 포함한 고속구간 주행 시험을 수행한 결과, 시내구간 혹은 교외구간에서의 PN 및 NOx는 교내 주행과 유사하게 주행속도 패턴과 유사한 결과를 나타냄, 하지만 130km/h의 초고속구간에서 PN 배출이 급격하게 증가하는 구간이 확인됨(녹색박스).



<그림 148> 고속구간 시험 주행 상세 분석

- 그림 13은 0초부터 1000초사이의 고부하영역에 대한 분석결과로서, 500초 부근에서의 높은 PN과 NOx 배출결과를 확인할 수 있음. 위 결과에서 순간적으로 EGR Valve를 닫음으로써 신기량을 늘리고 DPF의 차압이 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 고부하영역에서의 전략으로 연료분사량을 급격하게 증가시켜 차량의 속도 및 출력을 높이는 연소전략이라 판단됨. 이러한 결과를 토대로 고부하영역에서의 높은 배기가스 배출은 하이브리드 파워트레인에서는 순수엔진동력보다는 모터 보조를 통해 엔진 부하를 낮춰 배기가스 저감에 유리한 전략을 사용할 수 있을 것으로 분석됨





<그림 149> 엔진운전점 및 PN 배출 MAP<그림 150> 엔진운전점 및 NOx 배출 MAP

- 그림 154와 155 결과에서 볼 수 있듯이, PN 및 NOx 배출의 경우, 실제 주요 운전점에서의 배출량보다 고부하영역에서의 배출량이 높은 것이 확인됨.

○ 디젤 차량 배출 예측 모델 파라미터 보완 및 검증

• 차량 배출 예측 모델 개발

- 이번 연구에서는 1차년도에서 개발한 디젤 1톤 택배트럭의 시뮬레이션 모델을 기반으로 일부 기능을 개선함. 현재 연구에 활용하는 1톤 택배용 트럭으로 현대자동차의 포터와 기아자동차의 봉고를 활용하고 있음. 두 차량의 대부분의

기계적 구조 및 기능은 거의 비슷하나 일부 제원상의 차이가 발생함. 중량, 구조, 크기 및 기본적은 제원을 비슷하나, 연비맵, 변속기, 배기배출맵 등은 별도의 차량에 따라 제원을 다르게 입력해야함. 국내 1톤 택배트럭에 주로 사용되는 H사 트럭 제원을 바탕으로 시뮬레이션 Input data를 구성함.

• 연비맵 및 배기맵

- 시뮬레이션 입력 데이터로 연비맵과 배기맵을 입력해야함. 원칙상 연비맵 및 배기맵은 steady state 상태에서 엔진동력계 시험을 통해 획득하는 것이 바람직하나, 이번 연구에서는 실도로 주행 데이터를 통해 취득한 데이터를 활용하여 맵을 역으로 구성함. 연비맵의 경우 실도로 시험에서 엔진 RPM, 엔진 Torque, 연료소비율 데이터를 같은 시간 데이터로 동기화 한 후 피벗 테이블을 구성하여 맵 데이터를 제작함

• 과도기 배기가스 배출 보정 모델

- 맵 데이터 기반 배출가스 모델의 경우 steady-state 상태의 배출가스 배출량을 나타내는 것으로 과도기 상태의 배출량을 반영하지 못하는 한계가 있음. 일반적으로 엔진 토크나 속도가 급변하는 과도기 에서는 실제 배출되는 배기가스는 맵 데이터 상의 데이터 보다 크게 나타남. 특히 PN, NOx같은 디젤 주요 배기배출물은 steady-state 보다 과도기에 큰 폭으로 증가하는 경향이 있음. 이는 과도기 상태의 연료와 공기의 혼합, 연소 특성, 온도 등이 급격하게 변하는 것이 주 원인임. 따라서 과도기 상태에서 배출되는 배기가스 양을 steady-state 맵에 추가로 보정 계수를 적용하는 것이 바람직함. 보정 계수는 관련 논문을 참고함. (Giakoumis, E. G., and A. I. Alafouzos. "Study of diesel engine performance and emissions during a Transient Cycle applying an engine mapping-based methodology." Applied Energy 87.4 (2010): 1358-1365.)

- 보정 계수를 적용한 배출량은 아래 식과 같음

$$\begin{aligned}\text{Transient Emissions}(t) &= \text{Steady-steady Emissions}(t) \\ &\times \left\{1 + c_{\text{load}} \cdot \left(\frac{(\text{current load change})_{t-1}^{t}}{\text{maximum load change}(0\% \text{ to } 100\%)}\right)\right\} \\ &\times (\text{speed change})_{t-1}^{t}\end{aligned}$$

- 어떤 시간 t에서 과도기 배출량 Transient Emission(t)는 steady - state Emission(t)과 과도기 보정 계수를 곱한 것으로, 토크의 변화량과 속도의 변화량을 복합적으로 고려함. 여기서 는 일종의 보정 계수로, 배기가스의 종류에 따라 다르며, 실험 데이터와 비교 분석을 통해 정확한 값을 입력해야함. 과도기 보정 계수를 활용할 경우 엔진 토크 및 속도가 변하는 곳에서는 보정치가 증가하고 결론적으로 배출량은 증가함. 반대로 토크 및 속도의 변화량이 적은 구간에서는 보정치는 1에 수렴함. 특히 급가속 구간 및 시동 구간에서 보정치가 크게 나타남

• 차량 배출 모델 검증

- 이번 연구에서는 3가지 연비 데이터를 비교 분석함. 첫째 실도로 연비 결과와 둘째, Euro 3 A1 연비맵(시뮬레이션1), 마지막으로 실도로 연비 측정을 통해 획득한 연비맵을 다시 시뮬레이션 입력 데이터로 활용한 연비 결과(시뮬레이션2)임. 첫째 결과는 실제 측정값이며, 둘째 및 세 번째 결과는 시뮬레이션을 통해 측정한 결과임. 비교 분석을 수행한 결과 Euro 3 A1 연미배 오차는 약 16.8%로 나타났으며 실도로 시험을 통해 획득한 연비맵을 활용한 시뮬레이션 결과의 오차는 1.52%로 나타남. 실도로 주행 시험 결과의 연비는 10.36 km/L로 시뮬레이션1 연비 8.62 km/L와의 오차는 크게 나타났으나 시뮬레이션 2 연비 10.2 km/L와는 비슷한 수치를 보임. 일반적으로 내연기관 모델의 실도로 주행과 시뮬레이션 연비의 오차가 5% 내외임을 감안하였을 때 시뮬레이션1 오차 16.8%는 높은 것으로 판단할 수 있음. 시뮬레이션1 오차의 가장 큰 원인은 시뮬레이션 입력 데이터로 활용한 연비맵임. 현재 시뮬레이션 입력 연비맵은 Euor 3 A1 연비맵으로 2000년대 현재 차량 모델의 과거 연식에 주로 활용되었던 엔진의 연비맵임. 현재 실험에 활용한 차량은 2014년식 봉고3 차량으로 이전 차량의 엔진보다 개선되었음. 따라서 엔진동력계를 통해 측정한 정식 연비맵보다는 정확도가 떨어지지만 실도로 주행을 통해 획득한 연비맵이 시뮬레이션에는 더 적합할 것으로 예상됨

<표 34> 연비 분석 결과

봉고3	실도로 주행 시험	시뮬레이션1 (Euro 3 A1 연비맵)	시뮬레이션2 (실도로 주행 연비맵)
연비 Km/L	10.36 km/L	8.62 km/L 오차: 16.8%	10.20 km/L 오차: 1.52%

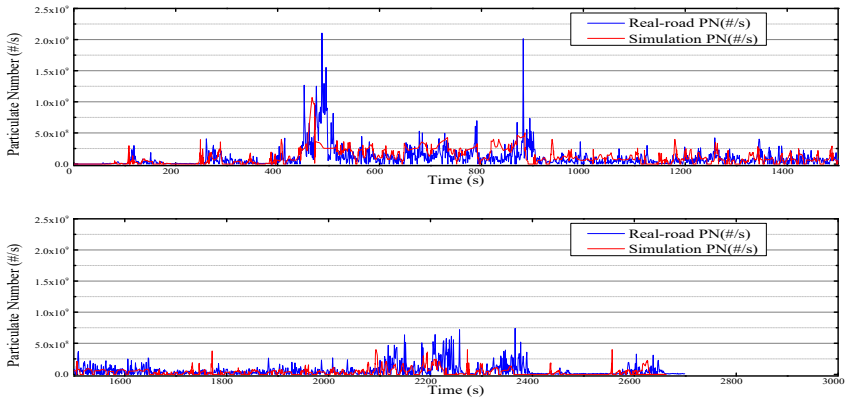
- 연비 외에 PN을 대상으로 실도로 주행시험 결과와 시뮬레이션 결과의 비교 분석을 수행함. PN은 실도로 주행 시험에서 PPS 센서를 통해 취득한 값을 활용함. 시뮬레이션은 실도로 주행 시험을 통해 획득한 PN 배출맵을 입력 데이터로 활용하였음

<표 35> PN 분석 결과

봉고3	실도로 주행 시험	시뮬레이션
PN (#)	2.27E+11	2.15E+11 오차: 5.29%

- 실시간 PN배출량을 대상으로 분석한 결과 전체적인 PN 배출경향은 비슷하게 예측 되었음. 특히 PN은 일반적인 부하에서는 그 배출량이 상대적으로 미미하고, 과도기 및 고부하 영역에서 배출이 급증하는 특징이 있었음. 아래 그래프의 500초 구간이 고부하 영역으로 PN 배출이 급격하게 증가하였음. 해당 구

간은 경사도가 높고 급가속을 하는 구간으로 차량 실험 데이터 취득 결과 엔진 토크가 최대토크에 근접하였음. 즉, 엔진 토크는 최대점에서 일정하게 유지되었고 토크의 급격한 변화는 관찰되지 않았음. 따라서, 500초 구간의 급격한 PN 배출량 증가는 과도기에 의한 배출량 증가보다는, 지속적인 고부하 영역의 엔진 사용이 주 원인임



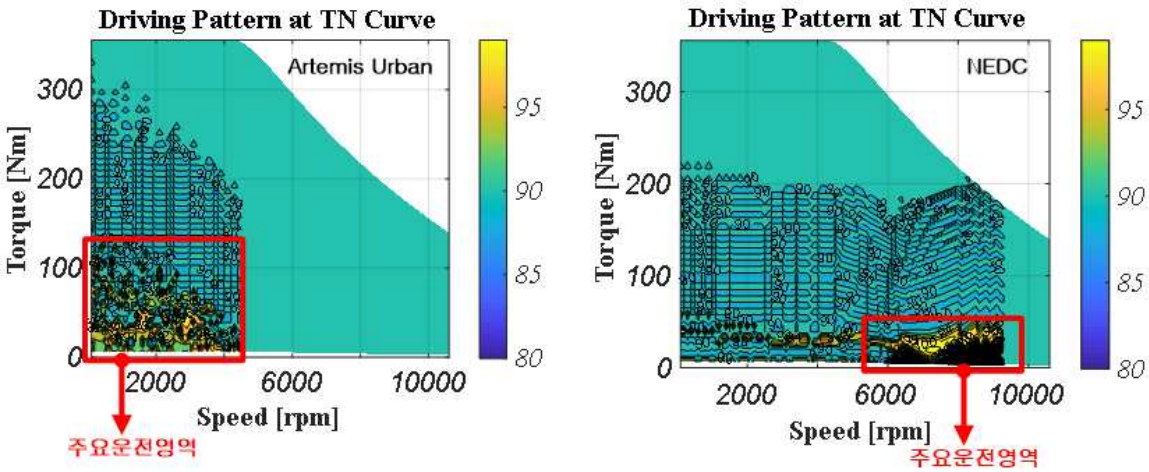
<그림 151> 실도로 주행 PN 결과와 시뮬레이션 PN 결과 비교

(다) (위탁) 한밭대학교: 모터 구동용 전력전자시스템 설계 및 제어 알고리즘 개발

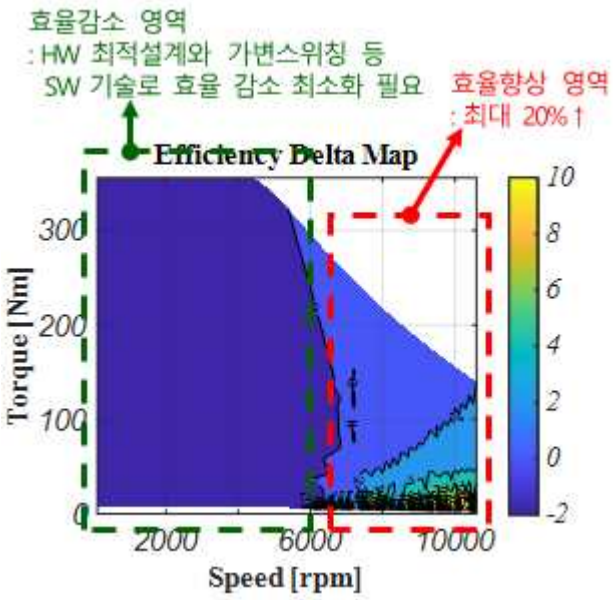
① 모터 구동용 전력전자시스템 토폴로지 검토와 해석환경 구축

○ 인버터 기존 토폴로지와 신규 토폴로지의 평균효율 비교를 통한 차량 주행가능거리 해석적 도출

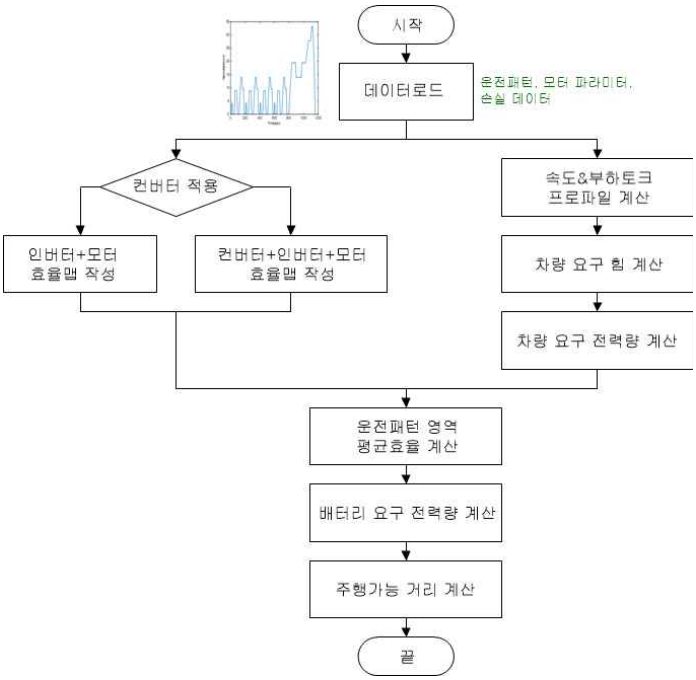
• NEDC운전 패턴과 차량/모터 재원을 사용하여 주행가능거리 예측 프로그램 작성 (MATLAB 사용)



<그림 152> 주요운전영역도출 (좌:Artemis Urban, 우:NEDC)



<그림 153> 가변DC전압 인버터 토폴로지 작용시 효율 향상폭 비교 결과



<그림 154> 주행가능거리 예측 프로그램 플로우차트

○ 전력전자시스템 시뮬레이션 프로그램을활용한 해석환경 구축

- PSIM을 이용하여 파워소스 – 3상 인버터 – 부하에 대한 해석환경 및 제어 시뮬레이션 구축

○ 인버터 파라미터와 부하의 불확실성을 고려한 강인 정전압 제어 알고리즘 설계/성능 검증

- 비선형 외란관측기(DOB)와 기준모델을 사용하여 파라미터 변화에 둔감한 강인 전압제어기 설계

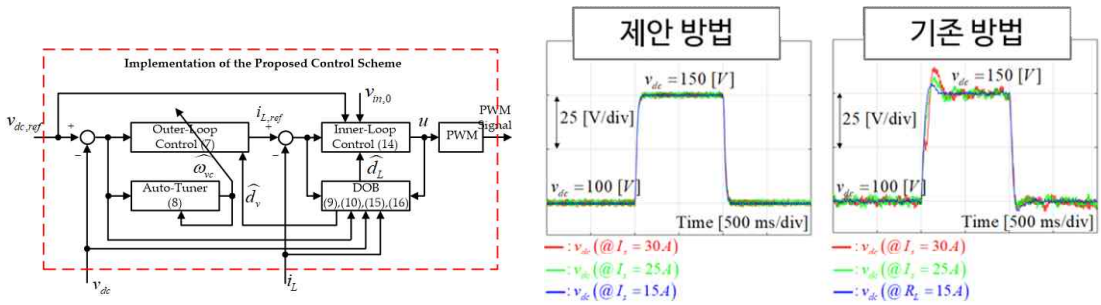
② 인버터 제어 알고리즘 개발 및 프로토타입 설계

○ 모터 구동 효율 및 과도성능 향상을 위한 인버터 입력전압 가변 알고리즘

- DC-Link 전압을 승압하여 정토크 영역(MTPA운전)을 과도적으로 확장
- 약계자 운전을 방지함으로 모터 동손 저감 가능
- 전압지령 포화 시점에서 DC-Link를 승압하며 승압 해상도는 Dynamo 실험을 통해 Trial-and-Error 방법으로 결정
- DC-Link 승압이 여러 운전 조건에서 신속하게 이루어져야 하므로 고성능 전압 제어 알고리즘 개발
- 모터 전압과 전압 제한 원의 오차를 피드백 하여 이를 DC-Link 전압으로 제어하는 방향 모색 필요

○ 양방향 DC/DC 컨버터 전압제어 알고리즘

- 양방향 (Bi-directional) DC/DC 컨버터의 출력전압 (인버터 입력전압) 제어는 다음 요인들로 인해 어려움을 가짐.
- 주요 수동 소자(인덕터, 커패시터)의 파라미터가 구동 환경 및 수명에 따라 변함
- 양방향 DC/DC 컨버터에 연결되는 인버터는 비선형 부하이며 모터의 구동점에 따라 부하가 변함
- 파라미터 및 부하 변화에 상관없이 일정한 동특성을 보이는 비선형 제어 알고리즘을 개발함. 비선형 외란관측기를 통해 파라미터 및 부하를 추정하여 보상해주며, auto-tuner를 통해 전류 제어 이득을 실시간으로 가변함으로써 과도성능을 향상함. 실험 결과, 부하에 따라 전압제어응답이 변하는 기존 방법과는 달리 항상 동일한 응답을 얻을 수 있음을 확인

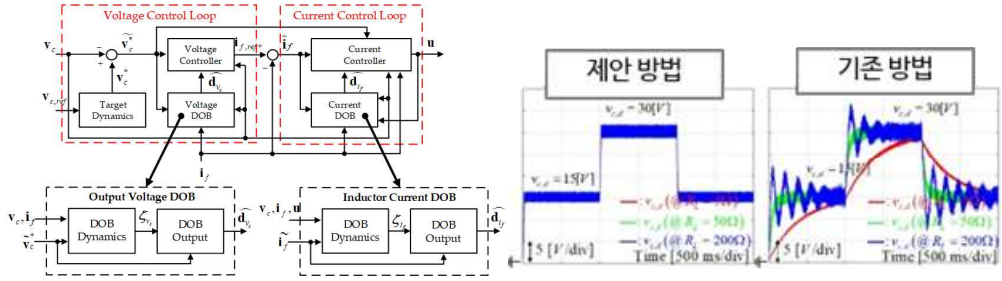


<그림 155> 양방향 DC/DC 컨버터 전압제어 알고리즘(좌) 및 실험 결과(우)

○ 배터리보다 낮은 정격전압의 보조장치 구동모터를 구동하기 위해서는 강압 인버터가 필요함. 강압 인버터는 일반 인버터의 3상 출력에 각각 LC 필터를 추가하여 구성할 수 있음. 강압 인버터의 출력전압 (보조장치 구동모터 입력전압) 제어는 다음 요인들로 인해 어려움을 가짐

- 주요 수동 소자(인덕터, 커패시터)의 파라미터가 구동 환경 및 수명에 따라 변함
- 강압 인버터에 연결되는 보조장치 구동모터는 비선형 부하이며 모터의 구동점에 따라 부하가 변함

○ 파라미터 및 부하 변화에 상관없이 일정한 동특성을 보이는 제어 알고리즘을 개발함. 비선형 외란관측기를 통해 파라미터 및 부하를 추정하여 보상해주며, cut-off frequency update 알고리즘을 통해 전압제어 지령을 실시간으로 가변함으로써 과도성능을 향상함. 실험 결과, 부하에 따라 전압제어응답이 변하는 기존 방법과는 달리 항상 동일한 응답을 얻을 수 있음을 확인



<그림 156> 강압 인버터 전압제어 알고리즘(좌) 및 실험 결과(우)

○ 인버터 효율 예측 및 최적소자 선정 프로그램

- 목표 사양에 맞는 인버터를 설계하기 위해 선정 파워 소자(IGBT 혹은 MOSFET)의 적합성 여부와 예상 효율을 도출할 수 있는 프로그램을 작성함. 또한, 선정된 파워 소자를 구동할 수 있는 gate driver의 최적 용량과 DC-link 리플 전압 및 전류 조건을 만족시킬 수 있는 DC-link capacitor 최적 사양을 도출 가능

③ 전력전자시스템 성능 검증 및 최적화

○ 인버터/컨버터 성능 검증 및 제어 알고리즘 최적화

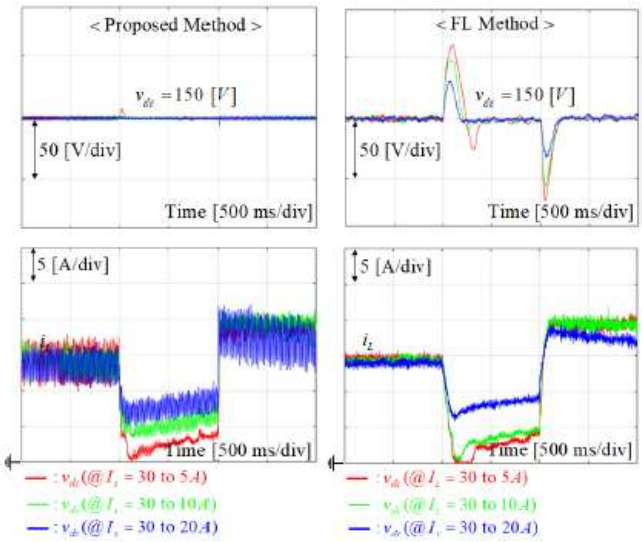
- 성능 검증
  - 현 차량에 개발한 PCU 제어 알고리즘을 탑재 및 시험
  - KAIST 보유 장비를 이용 인버터 효율 97% 이상, 토크제어 정확도 5% 미만 확인



<그림 157> 효율 및 정밀도 확인 및 인버터/컨버터 하드웨어

- 제어 알고리즘 최적화
  - DC/DC 컨버터 가변 차단주파수 기반 전압 추종제어 알고리즘 개발
  - 컨버터 동특성 비선형성과 선형/비선형 부하 특성 모두 고려

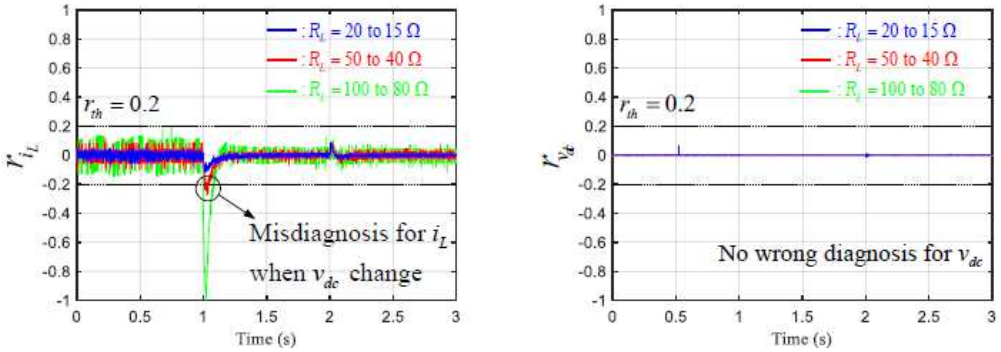
- 필요시에만 차단주파수를 높여 성능 향상을 도모하고 정상상태에서는 차단주파수를 낮춰 효율 향상 추구
- 적분기와 안티와인드업을 제거하고 외란 관측기를 도입하여 비선형 부하의 고주파 성분 억제 성능을 높임
- 안정도 분석을 통한 제어시스템 신뢰성 확보



<그림 158> 전압유지 성능비교(상)와 대응 전류 거동(하)

○ 인버터/컨버터 고장진단 알고리즘 개발

- 고장 발생에 의한 외란 추정이 목적
- 전류/전압 센서를 모두 사용하는 full-state 관측기 구조
- 컨버터 동특성 비선형성과 선형/비선형 부하 특성을 모두 고려하여 체계적인 알고리즘 설계
- 추정 오차 적분기를 제거하고 외란 관측기를 도입하여 고주파 외란 억제 성능 향상을 도모함
- 상태 관측기 부분 최적 이득 도출 알고리즘 정립
- 정규화 된 잔여치(residual) 도입으로 인한 고장진단 정확성 확보
- 안정도 분석을 통한 시스템 신뢰도 확보



<그림 159> PIO(좌) 및 제안방법(우) 사용 시 고장 오진단 제거

○ 인버터 전류 및 각도/속도 센서 고장진단 알고리즘 개발

- 고장 발생에 의한 외란 추정이 목적
- 전류 및 각도/속도 센서를 모두 사용하는 full-state 관측기 구조
- 인버터 동특성 비선형성과 선형/비선형 부하 특성을 모두 고려하여 체계적인 알고리즘 설계
- 추정 오차 적분기를 제거하고 외란 관측기를 도입하여 고주파 외란 억제 성능 향상을 도모함
- 상태 관측기 부분 최적 이득 도출 알고리즘 정립
- 정규화 된 잔여치(residual) 도입으로 인한 고장진단 정확성 확보
- 안정도 분석을 통한 시스템 신뢰도 확보

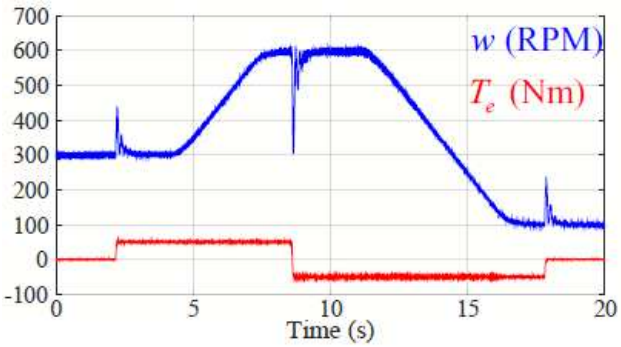
Remark 1: This remark gives a systematical means of finding an optimal observer gain of $\mathbf{L}_c$. To this end, an optimization problem is considered as:

$$\max_{c>0,\mathbf{Q}=\mathbf{Q}^T,\mathbf{Y}} c, \tag{12}$$

with the BMI constraints:

$$\mathbf{Q}\mathbf{A}^T(\omega_{r,i}) - \mathbf{Y}^T + \mathbf{A}(\omega_{r,i})\mathbf{Q} - \mathbf{Y} + 2c\mathbf{Q} \leq \mathbf{0}, \tag{13}$$

<그림 160> 상태관측기 최적이득 도출 알고리즘



<그림 161> 정상 운전에서 속도 및 부하 변동 시나리오

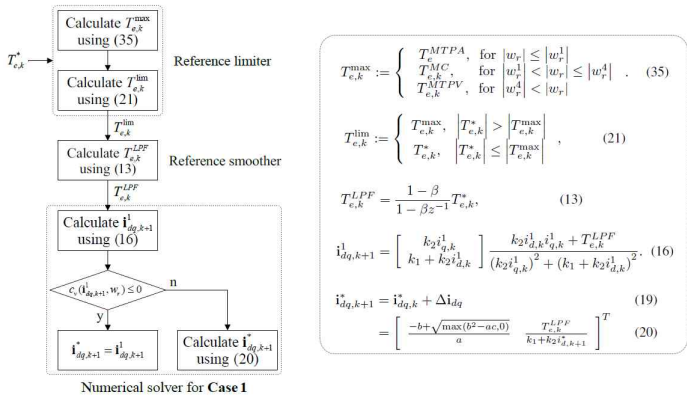
○ 레졸버 auto-calibration 알고리즘 개발

- 레졸버와 PMSM 간의 각도 offset을 추정 및 보상하는 것이 목적
- PMSM 속도에 의한 offset 변화 고려
- PMSM 파라미터 정보 또는 인위적인 신호 주입에 의존하지 않음
- 별도의 triggering 없이 실시간으로 offset 추정 가능

④ 기 개발 신기술 적용 시제품 단품 및 시스템 통합 성능 검증 및 최적화

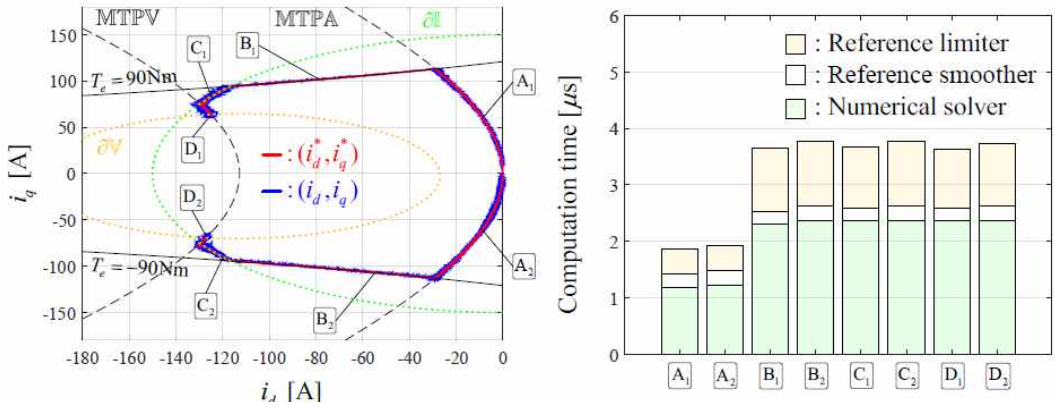
○ 최적 토크제어 알고리즘 적용 및 검증

- 주어진 토크 지령에 대해 손실이 최소인 전류 지령을 도출하는 최적토크제어 알고리즘 개발



<그림 162> 최적토크제어 알고리즘

• 상기 알고리즘을 과제 개발 모터에 적용 및 검증 수행



<그림 163> 적용 실험 결과

• 최적토크제어를 높은 정확도 및 낮은 연산량(평균 3us)으로 수행 가능함을 검증

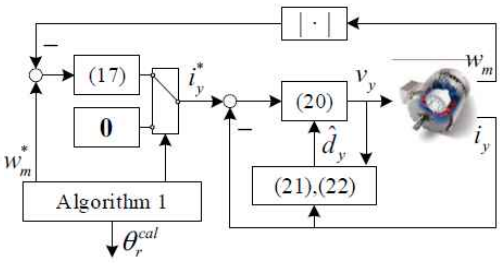
○ 레졸버 auto-calibration 알고리즘 설계 및 효용성 검증 하드웨어 구축

• 파라미터 정보 및 신호주입에 의존하지 않는 레졸버 auto-calibration 알고리즘 개발

Algorithm 1 Offline auto-calibration algorithm

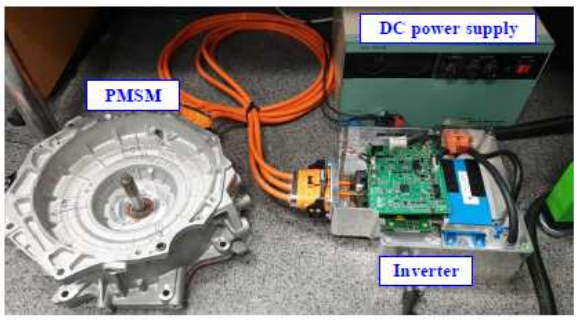
Choose parameters ε_{w_m}, ε_i, w_m^*, w_m^{min}, and μ;
Set initial values of P_k and $\hat{\phi}_k$;
while $||w_m| - w_m^*| > \varepsilon_{w_m}$ **do**
  Speed control: $|w_m| \to w_m^*$;
end while
Current control: $i_{d'}, i_{q'} \to 0$;
while $|w_m| > w_m^{min}$ **do**
  if $|i_{d'}| \le \varepsilon_i$ and $|i_{q'}| \le \varepsilon_i$ **then**
    Obtain $\hat{m}_k$ and $\hat{\theta}_{0,k}$ using (13), (14), and (15);
  end if
end while
$\hat{m} \leftarrow \hat{m}_k$, $\hat{\theta}_0 \leftarrow \hat{\theta}_{0,k}$;
$\theta_r^{cal} = \theta_r^{meas} - (\hat{m} w_r + \hat{\theta}_0)$;

$$P_k = \frac{1}{\mu}(P_{k-1} - P_{k-1} Z_k^T (\mu + Z_k P_{k-1} Z_k^T)^{-1} Z_k P_{k-1}), \quad (13)$$
$$\gamma_k = P_k Z_k^T, \quad (14)$$
$$\hat{\phi}_k = \hat{\phi}_{k-1} + \gamma_k (y_k - Z_k \hat{\phi}_{k-1}), \quad (15)$$



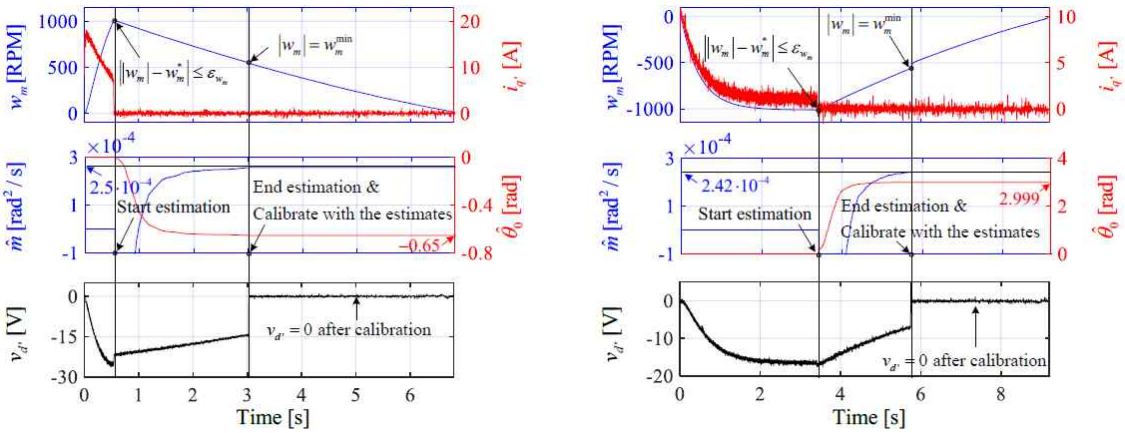
<그림 164> Auto-calibration 알고리즘(좌) 및 구성도(우)

• 알고리즘 효용성 검증을 위한 하드웨어 구축



<그림 165> 알고리즘 검증을 위한 하드웨어

• 제품 적용 실험 파형

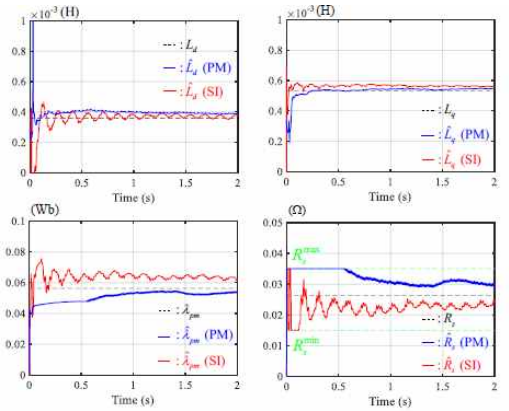


<그림 166> 속도 프로파일에 따른 auto-calibration 결과

○ 시스템 통합 실험 및 양산 기여점 확인

• 기 개발된 PMSM 파라미터 추정 알고리즘 검증을 위한 하드웨어 구축

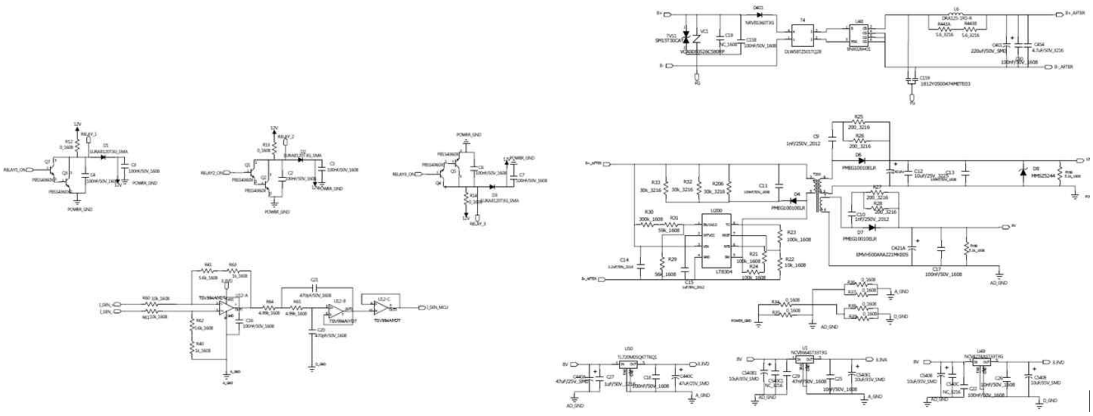
• 양산 기여점 확인을 위한 적용 실험 결과



<그림 167> 운전점 변동에 따른 실시간파라미터 추정 결과

(라) (공동) 유라코퍼레이션: 배터리 관리 시스템 하드웨어·컨버터 개발 및 하네스 제작

① BMS 하드웨어 제작 및 검증



<그림 168> 릴레이 구동/전류센싱 회로부 및 보조전원 구성 회로부

○ BMS H/W 회로도 설계

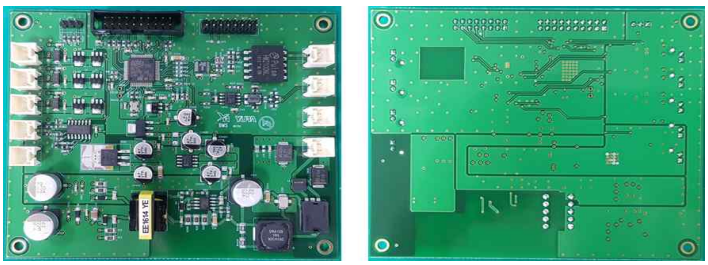
- 고전압 배터리의 전력을 공급/차단하는 릴레이 구동 회로 설계
- 노이즈 억제를 위하여 전류센싱 회로부에 능동필터 적용

○ 보조전원부(플라이백 컨버터) 적용에 따른 전원 안정화

- 입력전압부 노이즈 저감을 위하여 필터 회로 적용

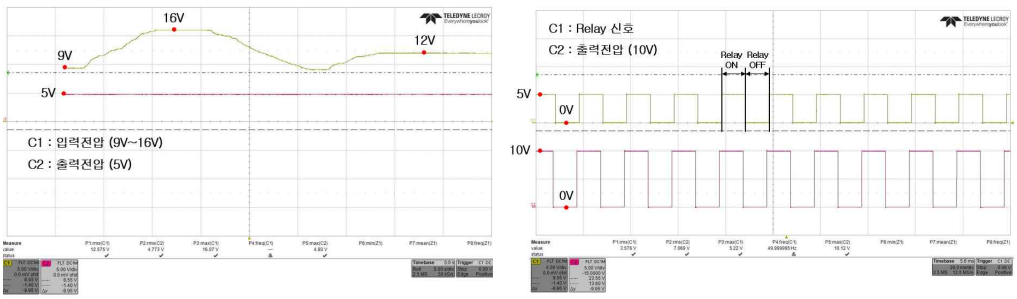
○ 제품 제작

- 4층 PCB 적용으로 사이즈 최적화 설계 (120 x 100mm)



<그림 169> BMS H/W 제작

○ 기본 기능 검증



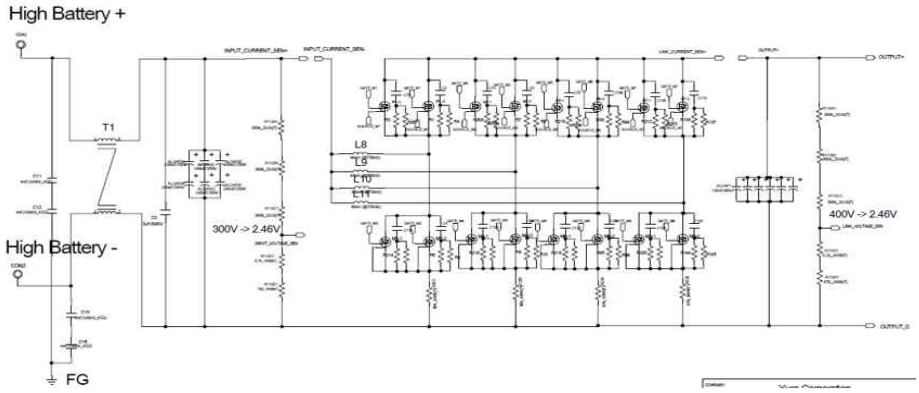
<그림 170> BMS 시험 파형

- 입력전압 9~16V 변동 시에도 안정적인 출력전압 5V 유지 확인
- 릴레이 구동 회로 정상 동작 확인

② 양방향 DC/DC 컨버터 제작 및 검증

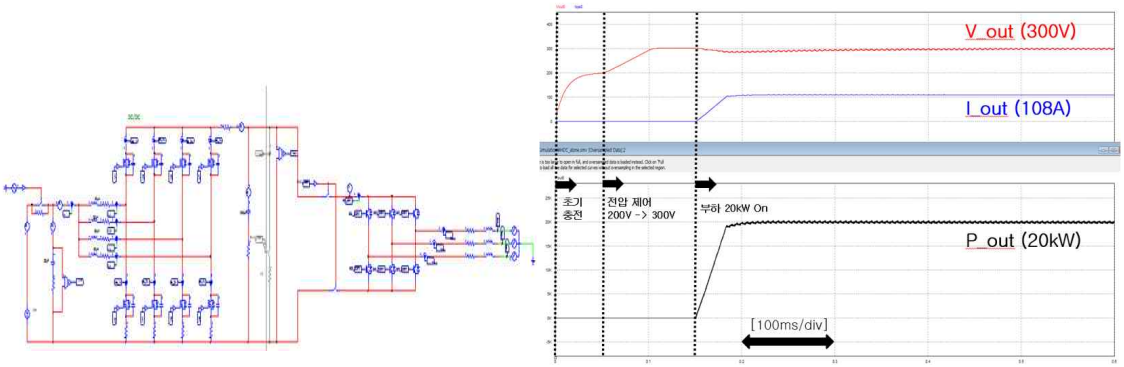
○ 최적 토폴로지 검토 및 설계

- 비절연형 부스트 컨버터 적용
- 전류 분담을 위하여 4-phase(병렬) 회로 설계



<그림 171> 파워보드 4-phase 회로도

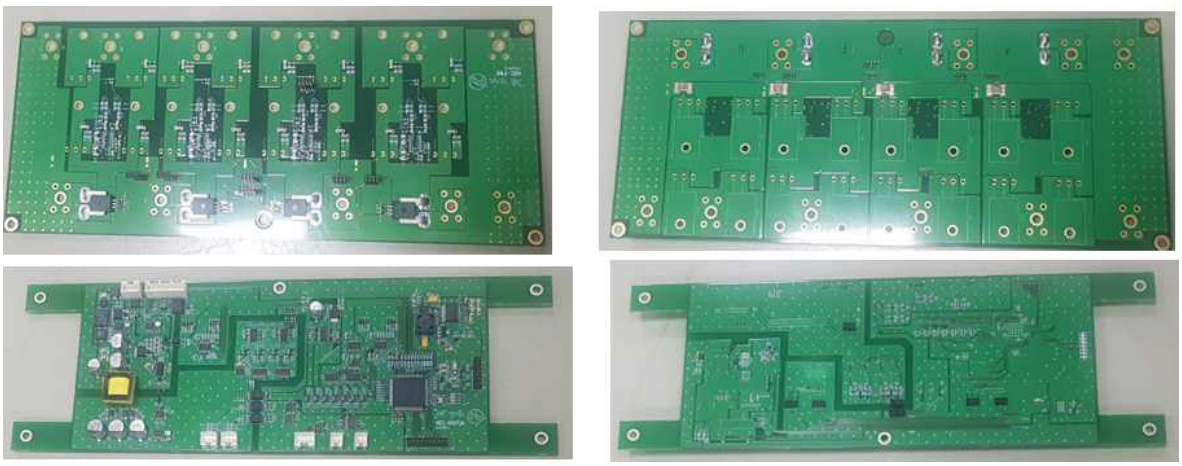
- Psim 시뮬레이션을 활용하여 先 기능 검증(정격 20kW 동작 확인)



<그림 172> 시뮬레이션 구현 회로도 및 검증

○ 동특성을 고려한 제품 설계

- 전력변환부와 제어부 분리 설계를 통한 노이즈 영향 저감
- 대전류 허용을 위해 6층 PCB 설계



<그림 173> 전력변환보드(上)(312 x 130mm)와 제어보드(下)(270 x 120mm) H/W 제작

○ 제품 제작

- 발열부품 배치를 고려한 유로부 설계
- 최적 설계를 통한 제품 사이즈 최적화



<그림 174> HDC 시제품 제작

※ HDC : (양방향) High voltage DC-DC Converter

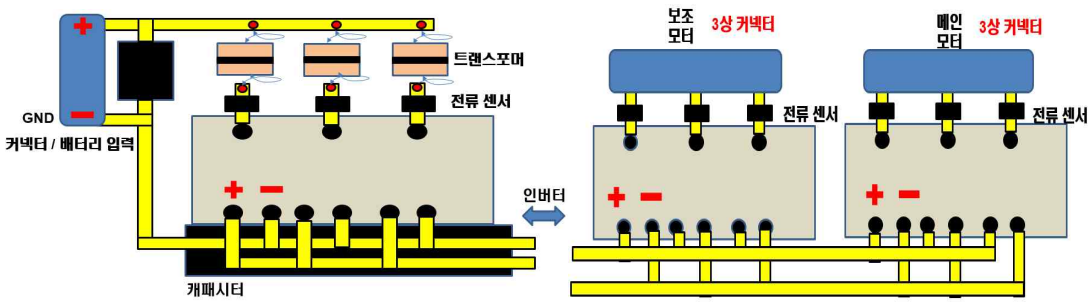
○ 성능 검증

- 부하 변동 시에도 일정한 출력전압 확인

③ PCU 기구 설계 및 제작

○ 기구 매칭성 확인

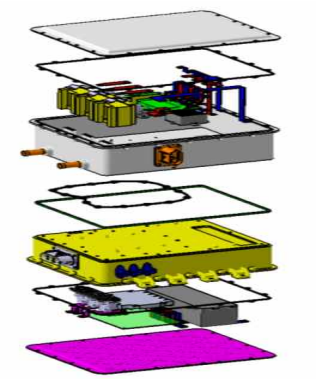
- 컨버터와 인버터의 구성도 설계
- 기구 내부 부품 배치성 확인
- 입력/출력 커패시터의 부스바 및 마운팅 위치 설계



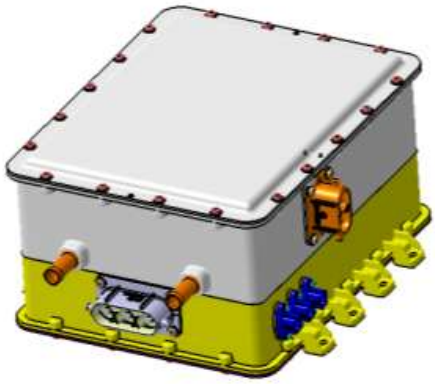
<그림 175> 컨버터(좌) 및 인버터(우) 구성도

○ 기구 설계

• 컨버터와 인버터 2단 적층형으로 기구 설계

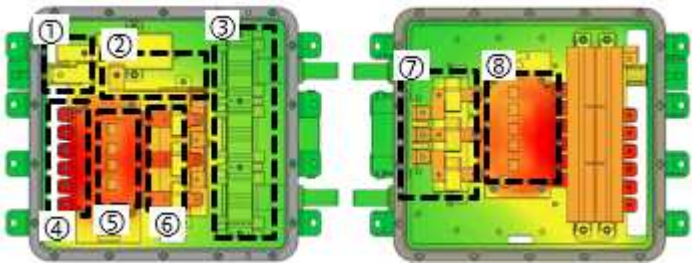


<그림 176> 기구물 구성도



<그림 177> 기구물 설계

○ 실동작 조건에서 시뮬레이션 진행(주위온도:25ºC, 부하:정격 20kW, 냉각수:60ºC)



<그림 178> 기구물 온도 분포도: 인버터

• 최대 온도(Tmax) 83.5ºC로 적용소자 동작 문제 없음

• 공동연구기관과 협의하여 발열부품 배치를 고려한 제품 제작



<그림 179> 시제품 제작

④ LDC 컨버터 제작 및 검증

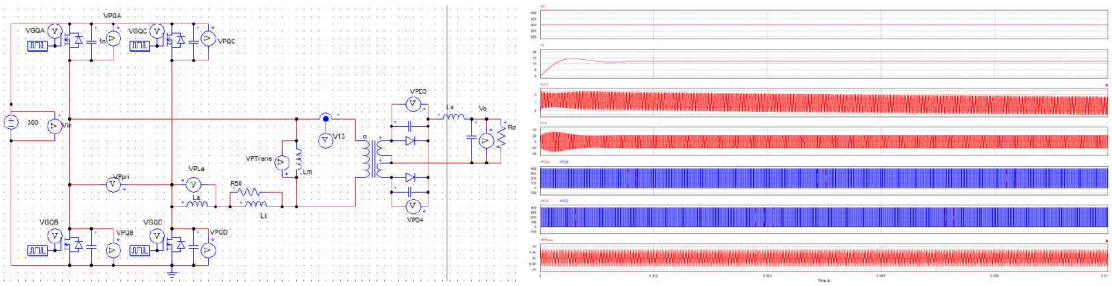
○ 최적 토폴로지 검토 및 설계

• 비절연형 부스트 컨버터 적용

• 전류 분담을 위하여 4-phase(병렬

○ Psim 시뮬레이션을 통한 회로 검증

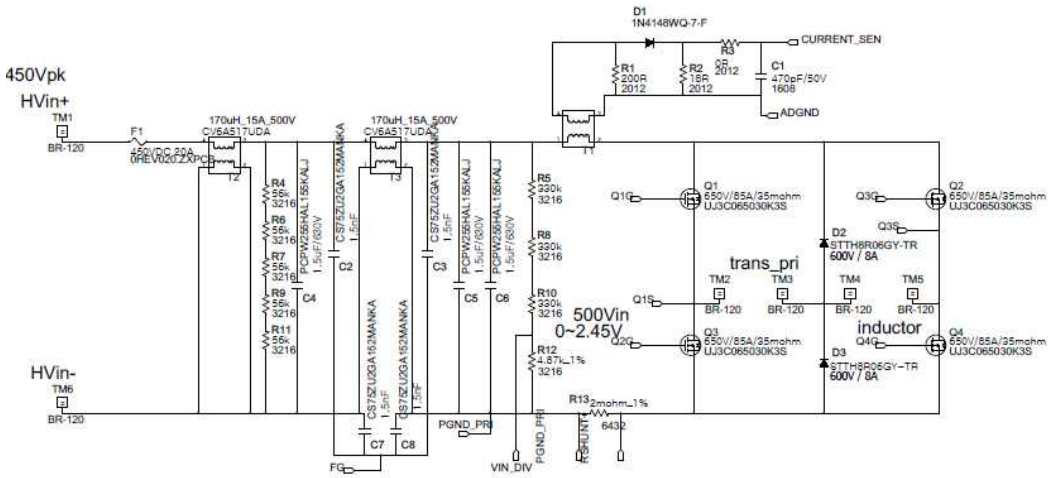
• 출력전압 제어 성능 확인



<그림 180> 시뮬레이션 구현 회로도 및 검증

○ 토폴로지 검토 및 설계

- 절연형 풀브리지 컨버터를 적용한 회로설계



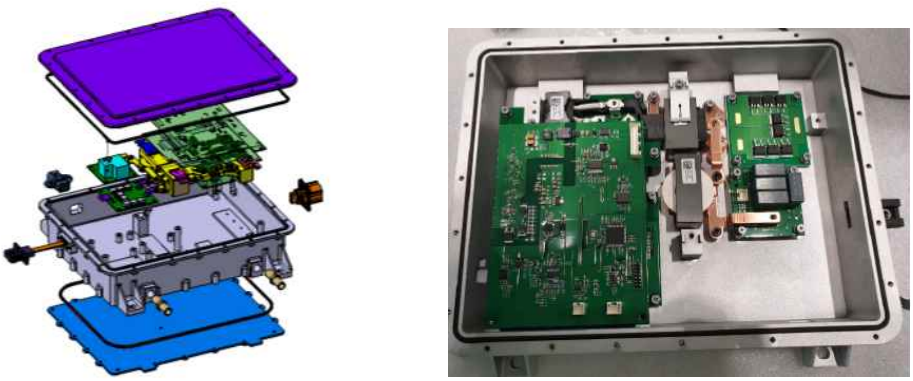
<그림 181> 절연형 풀브리지 컨버터 회로 전력부

○ 고전압/대전류량 특성을 고려한 보드 분리

- 고전압 사양을 고려한 입력측의 1차측 전력부와 2차측 전력부 분리 제작
- 대전류 사양을 고려한 출력측의 전력부는 메탈 보드 적용
- 전력부에 명령을 전송하는 제어부 별도 제작

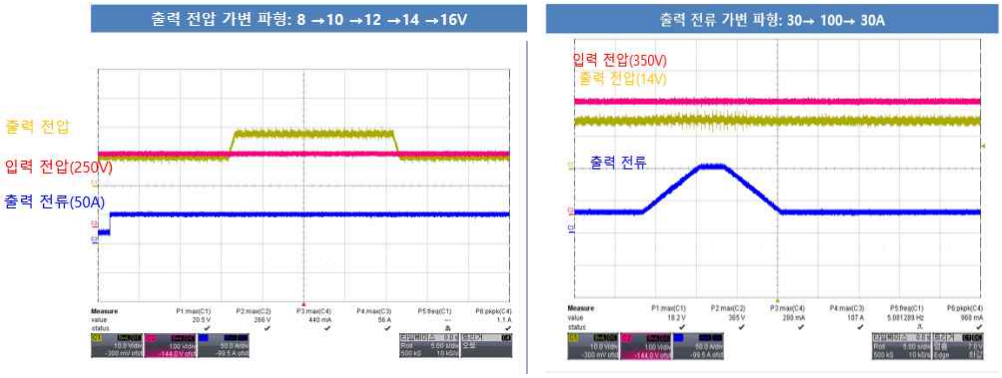
○ 기구물 설계 및 제작

- 발열부품 배치를 고려한 유로부 설계



<그림 182> 기구물 설계(좌), 시제품 제작(우)

• 전압/전류 명령에 따라 제어되는 특성 검증



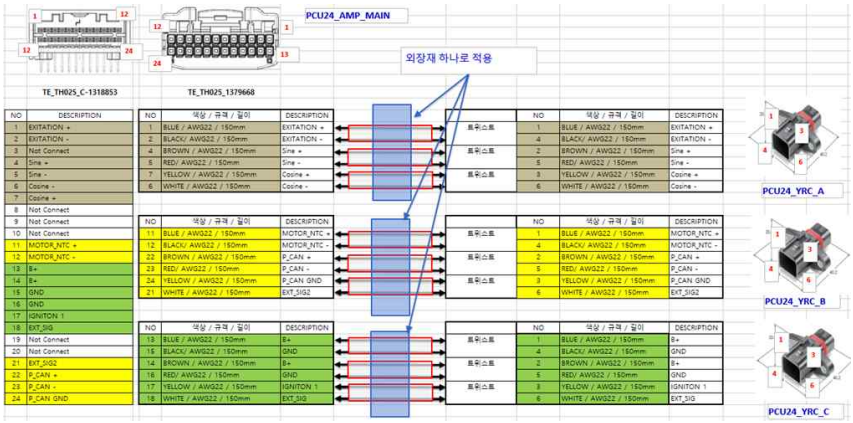
<그림 183> 출력 전압 가변 시험(좌), 출력 전류 가변 시험(우)

⑤ 하네스 도면 – 저전압 하네스

○ 제어기간의 전원/신호선 연결을 위한 하네스 분석

• 포트수에 따른 커넥터 선정 및 전류용량에 따른 선경 사양 결정

• 하네스 외장재 선정 및 제어기간 간격에 따른 길이 사양 결정

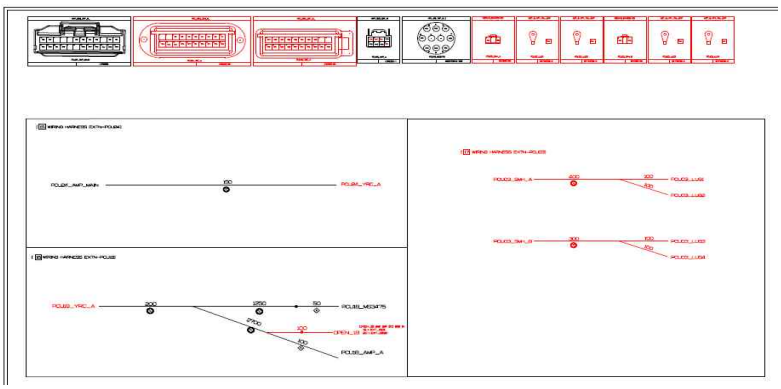


<그림 184> 저전압 커넥터 사양도

○ 전원/신호선 도면 작성

• 선정 커넥터 정보 기입

• 하네스 길이 및 서브 파트 리스트 기입

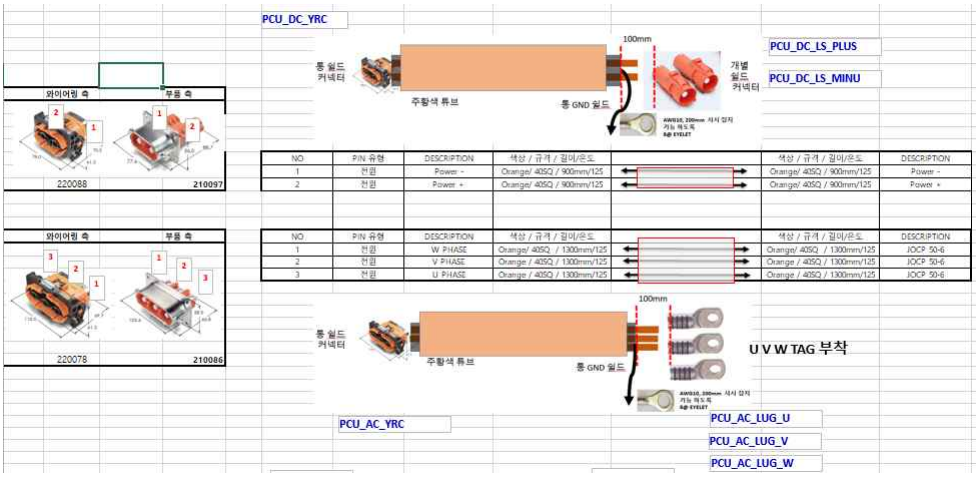


<그림 185> 저전압 커넥터 도면

⑥ 하네스 도면 – 고전압 하네스

○ 제어기간의 전원 연결을 위한 하네스 분석

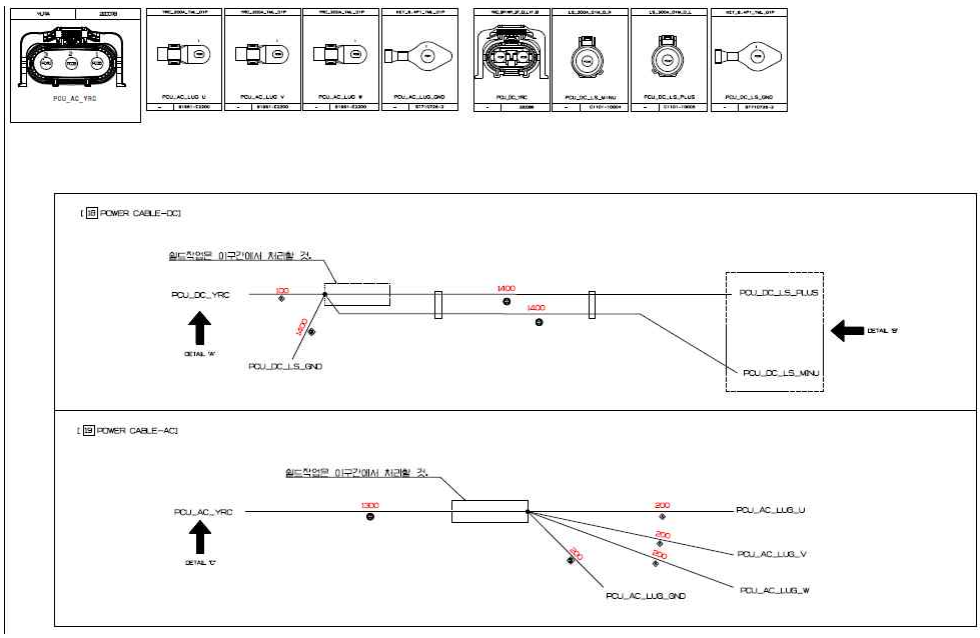
- 포트수에 따른 커넥터 선정 및 전류용량에 따른 선경 사양 결정
- 하네스 외장재 선정 및 제어기간 간격에 따른 길이 사양 결정



<그림 186> 고전압 커넥터 사양도

○ 전력선 도면 작성

- 선정 커넥터 정보 기입
- 하네스 길이 및 서브 파트 리스트 기입



<그림 187> 고전압 커넥터 사양도

⑦ 하네스 시제품 제작

○ 저전압 하네스 제품 제작

• 제어기간에 적용된 하네스 19종 제픔 제작

P/NO	PART NAME	사진	P/NO	PART NAME	사진
K-HEV-09	W/H EXTN – EMT3		K-HEV-14	W/H EXTN – EMT10	
K-HEV-10 K-HEV-11	W/H EXTN – EMT2A W/H EXTN – EMT2B		K-HEV-15	W/H EXTN – PCU24	
K-HEV-12	W/H EXTN – EMT6B		K-HEV-16	W/H EXTN – PCU18	
K-HEV-13	W/H EXTN – EMT8		K-HEV-19	W/H EXTN – PCU03 W/H EXTN – PCU03-1	

<그림 188> 저전압 커넥터 제품 제작

○ 고전압 하네스 제품 제작

• DC전원 및 AC전원선 총 2종 제품 제작

P/NO	PART NAME	사진
K-HEV-17	POWER CABLE-DC	
K-HEV-18	POWER CABLE-AC	

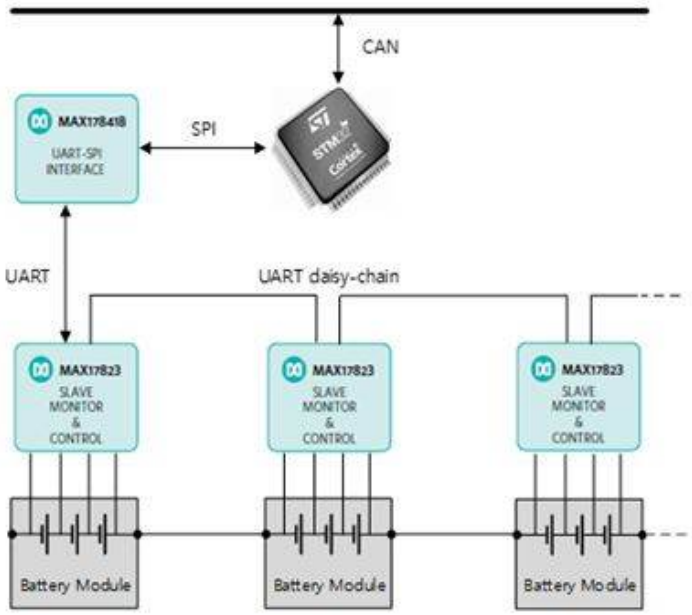
<그림 189> 고전압 커넥터 제품 제작

(마) (공동) 옵토멕: 배터리팩, 통합 제어 모듈 및 에너지 흐름 모니터링 시스템 개발

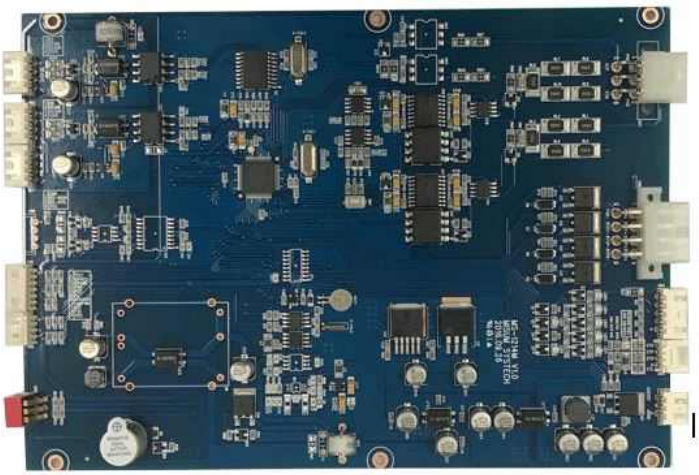
① 배터리 관리 시스템 회로 개발

○ 배터리 셀 모니터링 시스템 및 밸런싱 회로 개발

• 배터리 셀 모니터링 시스템 개발



<그림 190> 배터리 관리 시스템



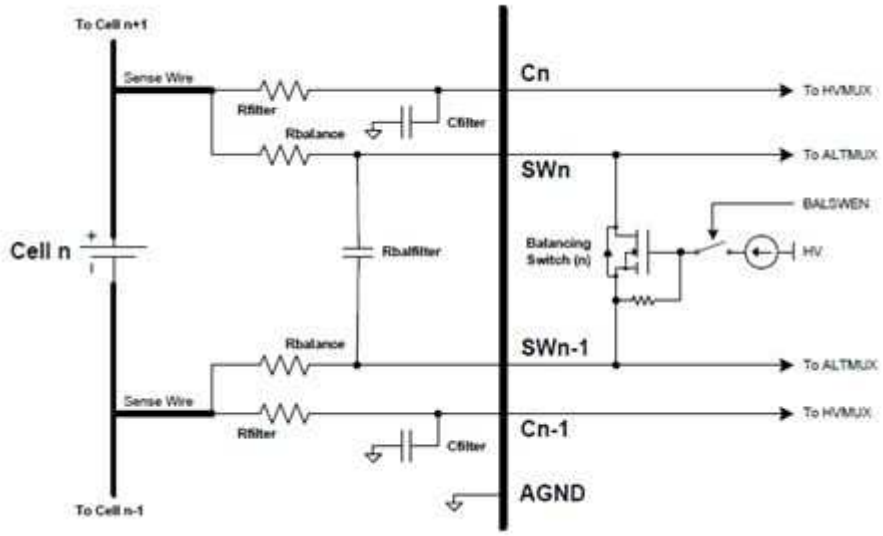
<그림 191> Master Board



<그림 192> Slave Board

- ST사의 STM32를 사용하여 MAX17823에서 취득한 배터리 셀의 정보를 이용하여 배터리 관리를 수행
- 주기적으로 100msec 마다 총 560개 셀 전압 및 온도 등을 모니터링함

• 밸런싱 회로 개발
- MAX17823에 내장된, 패시브 방식의 셀 밸런싱 기능을 사용
- 패시브 방식을 사용하여 셀을 방전시키기 위해 12개의 내부 셀 밸런싱 스위치를 이용 하여 셀 밸런싱을 수행
- 셀 밸런싱 전류는 외부에 장착된 저항과, 내부 스위치 저항에 의해 제한됨



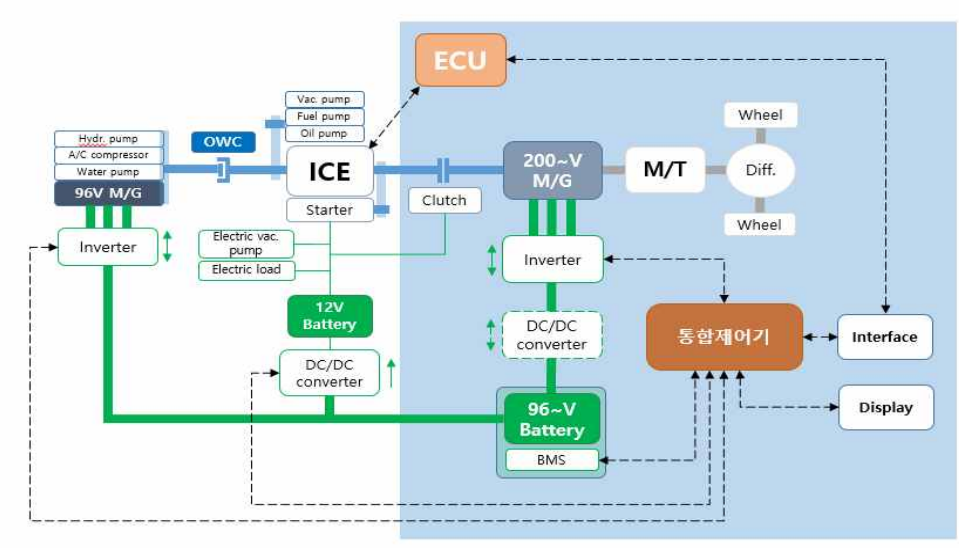
<그림 193> 내장된 셀 밸런싱

○ 과충전, 과방전, 과전류 제한 등의 배터리 보호회로 개발
• 과 충전 보호회로 개발
- 충전기 이상(불량, 고장)으로 정상 전압보다 높은 전압으로 충전이 이루어져 셀이 과 충전될 수 있는데 이런 경우 충전을 차단함
- 셀 전압을 센싱하여 셀 전압이 과 충전 차단 전압 이상인 경우 충전 FET를 OFF
• 과 방전 보호회로 개발
- 자동차 또는 기기 이상으로 인하여 사용 중인 셀이 완전 방전될 수 있는데 이런 경우 일정 전압 이하로 셀이 방전 되지 않도록 방전을 차단함
- 셀 전압을 센싱하여 셀 전압이 과 방전 차단 전압 이하인 경우 충전 FET를 OFF
• 과전류 제한 보호회로 개발
- 자동차 또는 기기 이상으로 높은 전류로 방전되는 경우가 있는데 이런 경우 일정 전류 이상으로 방전되지 않도록 방전 전류를 차단함
- IC의 VSS와 V-전압을 센싱하여 전압차가 VOCD이상일 경우 과전류 차단
○ 단전, 누전 및 합선 등의 특수상황 감지용 회로 개발
• 자동차 또는 기기 이상으로 외부 단자 단락(누전, 합선)시 높은 전류로 방전되는 경우가 있는데 이런 경우 일정 전류 이상으로 방전되지 않도록 방전전류를 차단함
- IC의 VSS와 V-전압을 센싱하여 전압차가 VSCD이상일 경우 단락 차단

② 제어기 간의 계층구조 확립

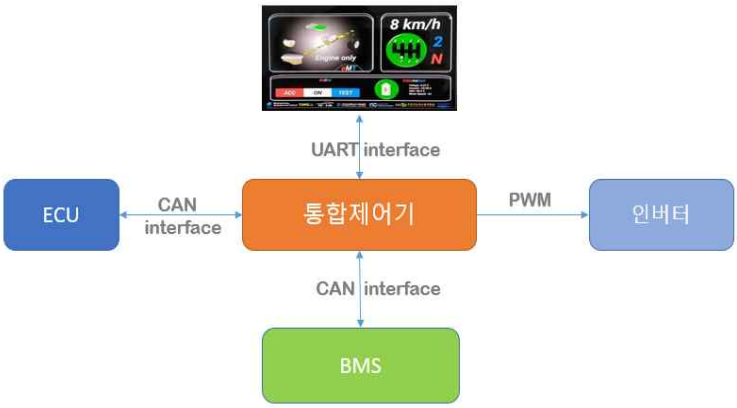
○ 제어기간의 계층구조

• 통합제어기의 제어 계통도



<그림 194> 통합제어기의 제어 계통도

• 제어기간의 계층구도



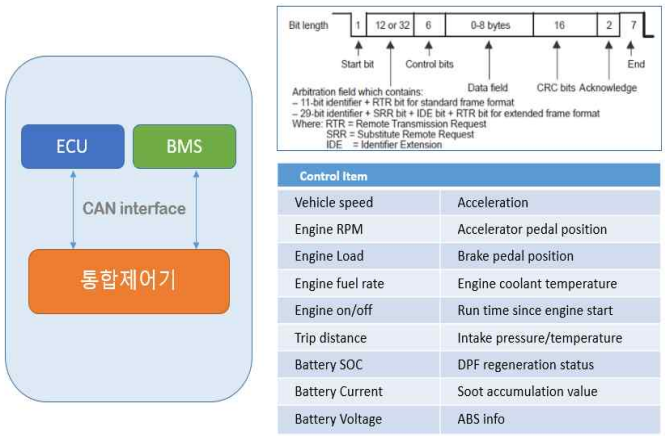
<그림 195> 제어기간의 계층구도

- 통합제어기는 ECU, BMS와는 CAN통신으로 각종 차량데이터를 주고받으며, 디스플레이에 현재 차량의 상태에 대한 정보를 출력하고 테스트를 위해 UART interface를 사용함

○ 통합제어기 기능

- 통합제어기는 빠른 응답성과 신뢰성 있는 알고리즘 수행 능력이 요구됨으로 dual core와 DSP기능 및 다양한 function 자원을 가진 TI사의 32bit MCU인 TMS320F28377D를 적용함
- 통합제어기는 전원이 인가된 이후 MCU 부팅을 하고 제어기 프로그램 가동되고 시스템 초기화가 끝나면 제어기의 다양한 기능을 위한 각종 장치들을 초기화함
- CAN과 UART통신 인터페이스를 위한 준비작업, 각종 GPIO와 다수의 timer 초기화, 통신 인터페이스로부터 메시지를 수신시 수행할 ISR handler를 할당, PWM, ADC 등의 각종 port 초기화 (그 외의 주기적인 function은 main loop을 수행)

○ ECU, BMS와의 CAN 통신 프로토콜



Control Item	
Vehicle speed	Acceleration
Engine RPM	Accelerator pedal position
Engine Load	Brake pedal position
Engine fuel rate	Engine coolant temperature
Engine on/off	Run time since engine start
Trip distance	Intake pressure/temperature
Battery SOC	DPF regeneration status
Battery Current	Soot accumulation value
Battery Voltage	ABS info

<그림 196> ECU, BMS와의 CAN 통신 프로토콜

○ 디스플레이와의 UART 통신 프로토콜



Byte	Data	Byte	Data
0	유효메시지확인코드	13	Gear Changeable
1	Engine Load	14	Gear Ratio
2	RPM	15	Motor Torque
3~4	Engine Temperature	16~17	Motor RPM
5	Engine Fuel Rate	18	Battery Voltage
6~8	Trip Distance	19	Battery SOC
		20~21	Battery Current
9~10	Runtime Since Start	22	Battery Max Voltage
		23	Battery Max Voltage
11	Vehicle Speed	24	Voltage12
12	Driving State	25	유효메시지확인코드

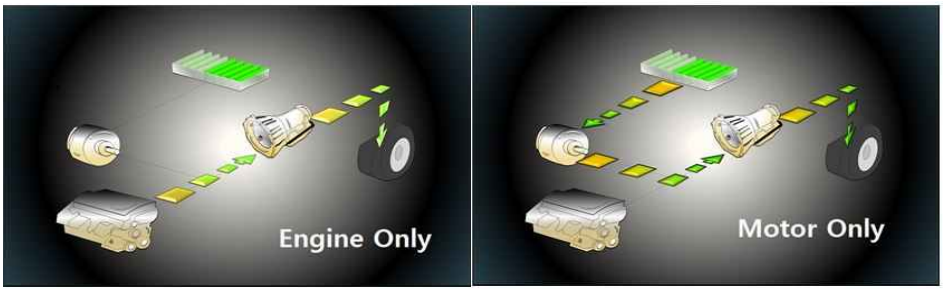
<그림 197> 디스플레이와의 UART 통신 프로토콜

③ 에너지 흐름 모니터링 서비스 기술 개발

○ 테블릿 기반 모니터링 어플리케이션 개발

• 엔진 정보

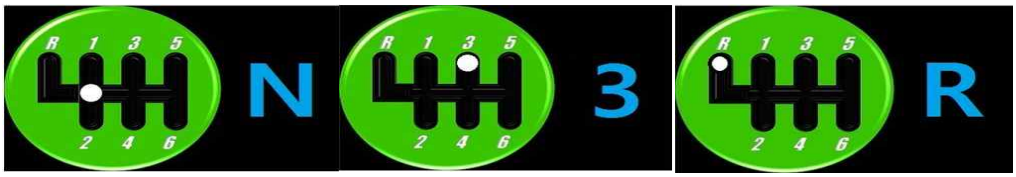
- 현재 자동차의 주행이 Engine으로 동작하는지 Battery의 Motor에 의해 동작하는지 상태 정보를 Display



<그림 198> 엔진 정보

• 기어 정보

- 현재 기어 상태 정보를 Display



<그림 199> 기어 정보

• 차량속도 정보

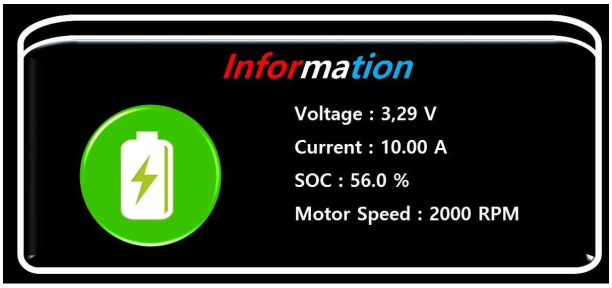
- 현재 차량의 속도 정보를 Display



<그림 200> 차량 속도 정보

• 배터리, 모터 상태 정보

- 현재 차량의 속도 정보를 Display



<그림 201> 배터리, 모터 상태 정보

(바) (공동) 구보엔지니어링: 배터리팩, 통합 제어기, 통합 PCU(인버터+컨버터), 에너지 흐름 모니터링 시스템 개발

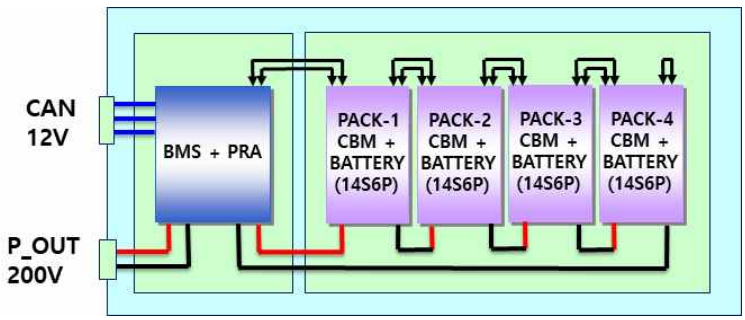
① 하이브리드 트럭용 배터리팩 개발

○ 배터리팩 하드웨어 설계

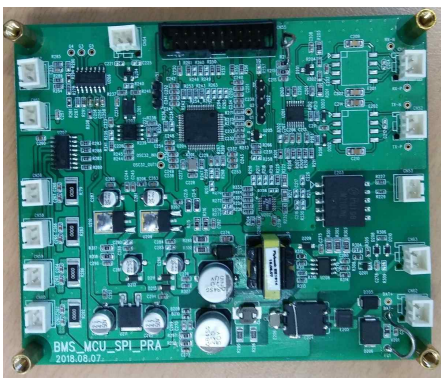
- 택배차량용 디젤 트럭의 하이브리드 개조 시, 전기 모터 구동을 위해 직병렬로 많은 수의 배터리가 사용되는데, 이러한 많은 배터리를 효율적으로 제어하고 관리하기 위해 배터리 관리 시스템 개발함
- 배터리 관리 시스템은 MAXIM사의 MAX17823을 이용하여 전압, 온도 등 배터리 셀의 상태를 모니터링하고 UART 통신을 사용하여 배터리 셀의 수만큼 daisy chain 방식으로 MAX17823을 연결하고 MAX17841을 통하여 MCU STM32F722이 정보를 취득하여 배터리 관리를 수행하도록 설계를 진행함

○ 배터리팩 제작 사양 및 구성

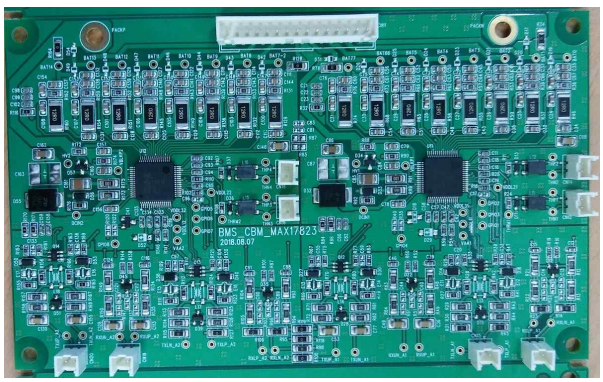
- 2018년 (2차년도)
  - Cell: Samsung SDI 18650-25R (3.60V/2.50Ah/8C_Max)
  - Battery Module: CBM+Cell(14S6P), 756Wh (50.4V/15Ah)
  - Battery Pack: CBM+Cell(14S6P)*4=56S6P 3.024kWh (201.6V/15Ah)



<그림 202> 배터리팩 구성(2018)



<그림 203> BMS PCB(2018)

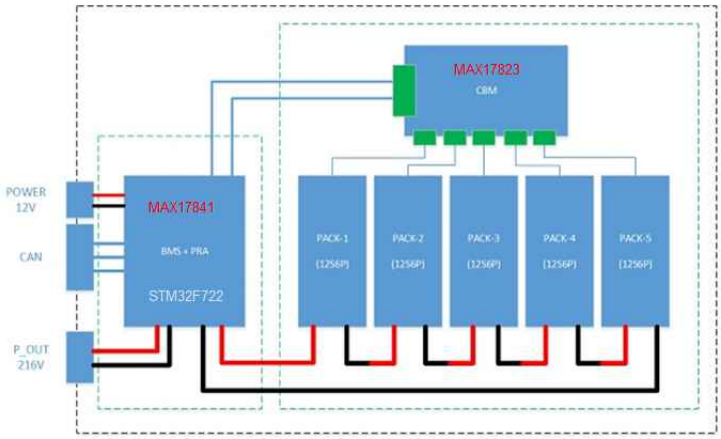


<그림 204> CBM PCB(2018)

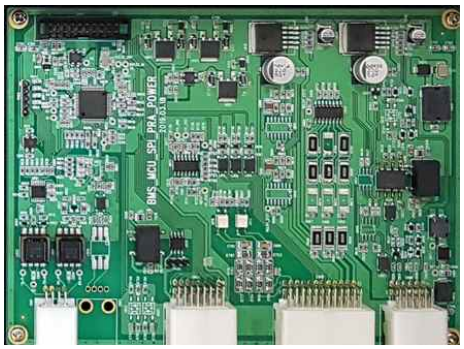


<그림 205> 배터리 + BMS ASS'Y (2018)

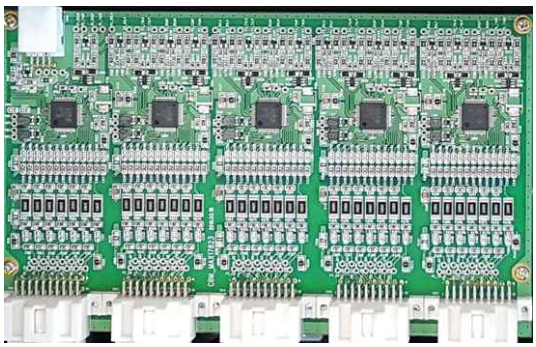
• 2019년 (3차년도)
  - Cell: Samsung SDI 18650-25R (3.60V/2.50Ah/8C_Max)
  - Battery Module: CBM+Cell(12S6P), 648Wh (43.2V/15Ah)
  - Battery Pack: CBM+Cell(12S6P)*5=60S6P 3.24kWh (216V/15Ah)



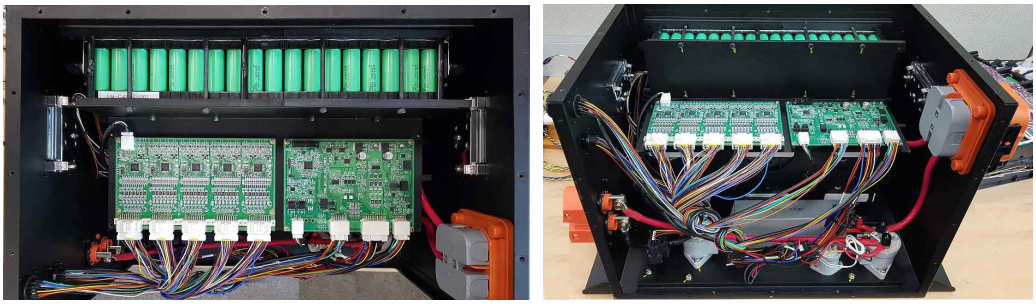
<그림 206> 배터리 팩 구성(2019)



<그림 207> BMS PCB(2019)



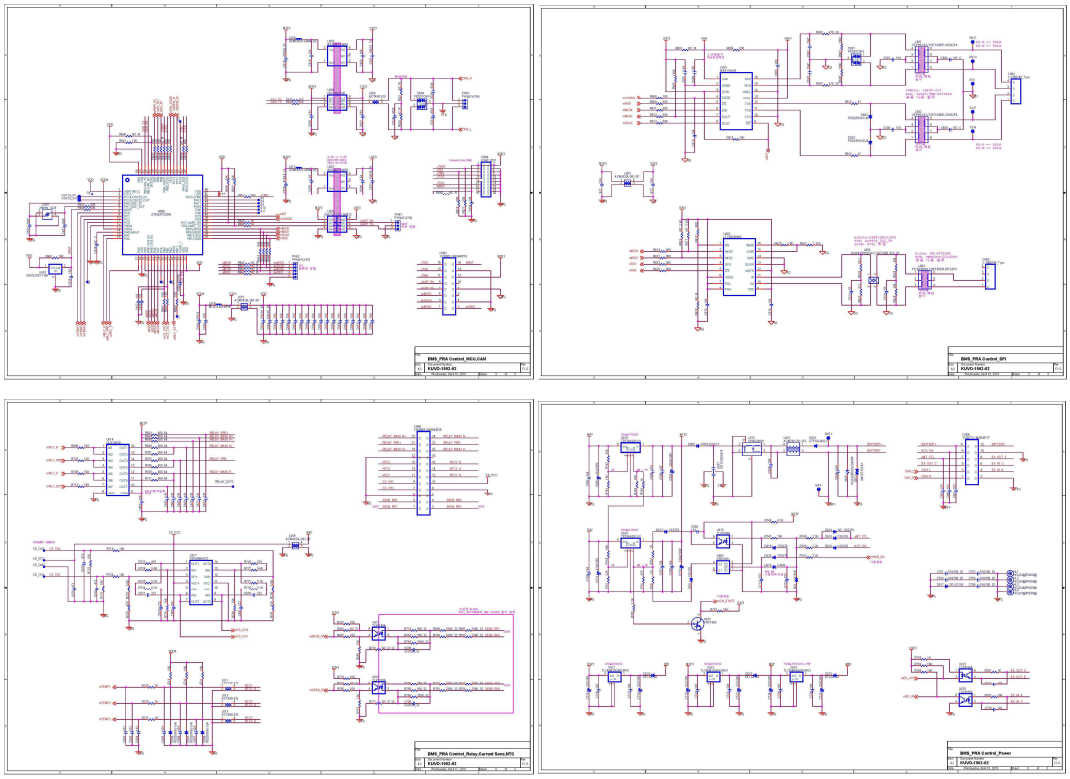
<그림 208> CBM PCB(2019)



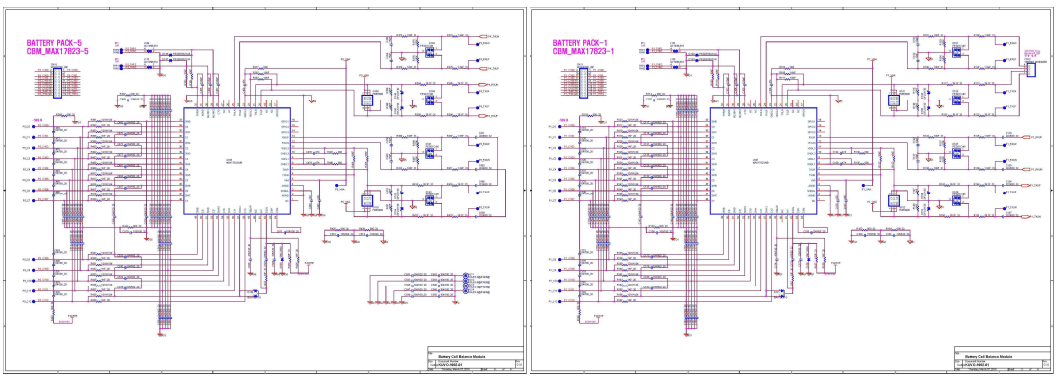
<그림 209> 배터리 + BMS ASS'Y (2019)

• 2020년 (4차년도)- 3차년도 동일 배터리팩 사용
  - Cell: Samsung SDI 18650-25R (3.60V/2.50Ah/8C_Max)
  - Battery Module: CBM+Cell(12S6P), 648Wh (43.2V/15Ah)
  - Battery Pack: CBM+Cell(12S6P)*5=60S6P 3.24kWh (216V/15Ah)

○ BMS, CBM 회로도



<그림 210> BMS 회로도 (2020)



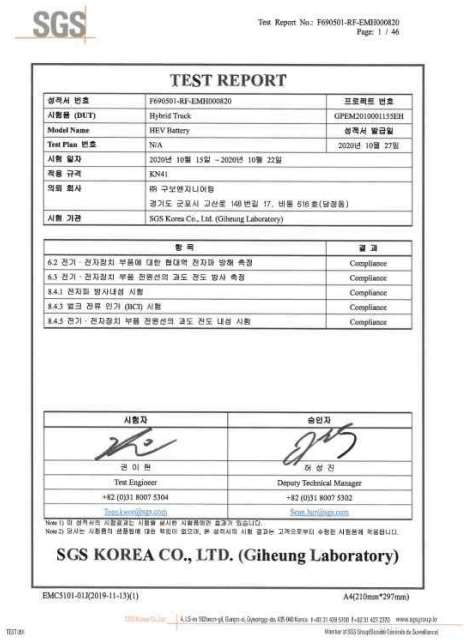
<그림 211> CBM 회로도 (2020)

○ BMS (Battery Management System) 주요 기능
• 과충전 보호(Over charge Protection
  - 과충전으로 인한 과열 또는 폭발로부터 전지의 보호하기 위해서, 특정 전압을 넘는 경우 충전을 정지함
• 과방전 보호(Over discharge Protection)
  - 과방전으로 인한 전지의 손상을 막기 위해 특정 전압 이하일 경우 방전을 정지함

- 과전류 보호(Over current Protection)
  - 기기 오류로 인해 전지에 비정상적인 높은 전류의 흐름이 있는 경우 방전 전류를 차단함
- 단락 보호(Short-circuit Protection)
  - 배터리 팩의 외부 단락으로 인해 다량의 전류가 흐를 경우 순간적으로 방전 전류를 차단함
- Cell Balancing
  - 배터리를 여러 개 직·병렬로 사용되는 경우 각 셀은 SOC의 레벨이 다르고 셀 간의 전압 차에 의한 배터리 수명 단축을 방지하기 위해 배터리 셀의 균형을 유지하기 위하여 Cell balancing을 함

○ 배터리 인증 시험 (2019, KATRI)
- 낙하 안전시험
- 액중투입 안전시험
- 과충전 안전시험
- 과방전 안전시험
- 단락 안전시험
- 열노출 안전시험
- 연소 안전시험

○ 배터리 신뢰성 시험 (2020, SGS KOREA)
- EMC, EMI(KN41) 시험 성적서



SGS

Test Report No.: F690501-RF-EMI000820
Page: 1 / 46

TEST REPORT

성적서 번호	F690501-RF-EMI000820	프로젝트 번호
시험품 (DUT)	Hybrid Truck	GPEM201000115SEH
Model Name	HEV Battery	성적서 발급일
Test Plan 번호	N/A	2020년 10월 27일
시험 일자	2020년 10월 15일 ~ 2020년 10월 22일	
적용 규격	KN41	
의뢰 회사	89 구보엔지니어링 경기도 군포시 고산로 148 번길 17, 비동 616 호(당정동)	
시험 기관	SGS Korea Co., Ltd. (Giheung Laboratory)	

항 목	결 과
6.2 전기 · 전자장치 부품에 대한 원대역 전자파 방해 측정	Compliance
6.3 전기 · 전자장치 부품 전원선의 교도 전도 방사 측정	Compliance
8.4.1 전자파 방사내성 시험	Compliance
8.4.3 벌크 전류 인가 (BCI) 시험	Compliance
8.4.5 전기 · 전자장치 부품 전원선의 교도 전도 내성 시험	Compliance

시험자	승인자
권 이 원	허 성 진
Test Engineer	Deputy Technical Manager
+82 (0)31 8007 5304	+82 (0)31 8007 5302

Note 1) 이 성적서의 시험결과는 시험을 실시한 시험품에만 효과가 있습니다.
Note 2) 당사는 시험품의 샘플링에 대한 책임이 없으며, 본 성적서의 시험 결과는 고객으로부터 수령한 시험품에 적용됩니다.

SGS KOREA CO., LTD. (Giheung Laboratory)

EMC5101-01(2019-11-13)(1) A4(210mm*297mm)

<그림 212> KN41 시험 성적서

- 가진(진동) 시험 성적서



발행번호 : SGS-R21-0236-KR00
Page : 1 / 13

SGS 시 험 성 적 서

발행번호	:	SGS-R21-0236-KR00
접수번호	:	DTRC2010001892VI
의뢰기관	:	(주)구보엔지니어링
회사주소	:	경기도 군포시 고산로 148 번길 17, 비동 616 호 당정동
제품명	:	하이브리드 배터리 팩
모델명	:	HEV BATTERY PACK
시험일자	:	2021 년 01 월 19 일 ~ 2021 년 01 월 21 일
시험규격/방법	:	ES95400-10P: 2015 자동차용 전자기기 환경 시험 (6.3.2-1 작동 가진 시험, 6.3.2-2 부품 가진 시험)
시험결과	:	Page 7 참조
용도	:	품질 평가용

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

확인	작성자	기술책임자
	성 명 : 백 주 욱	성 명 : 안 효 경

※ 이 성적서는 서면 승인 없이 일부만 복사하여 사용할 수 없음.

2021. 01. 26.

한국에스지에스(주) 동탄시험소장

This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested and such sample(s) are retained for 90 days only.

SGS Korea Co., Ltd. | 20, Dongtansandan10-gil, Dongtan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Korea t +82 (0)31 240 8671 f +82 (0)31 240 8828 www.sgsgroup.kr
Member of SGS Group (Société Générale de Surveillance)

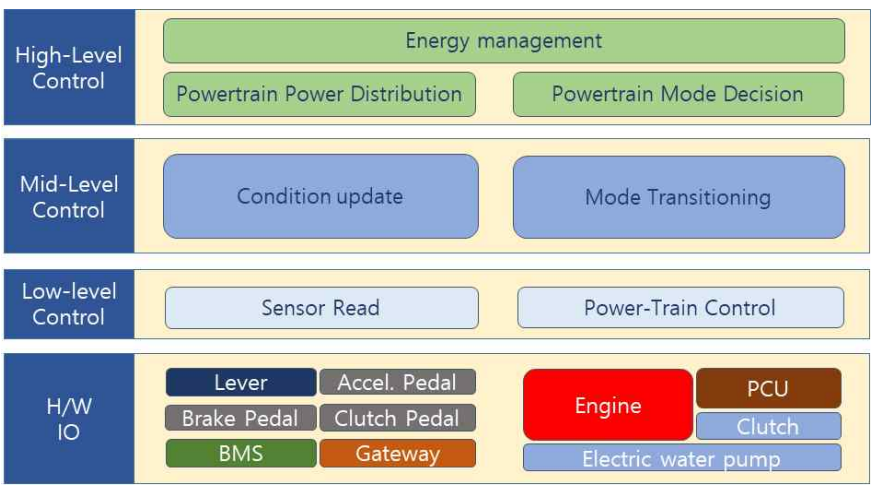
<그림 213> 가진(진동) 시험 성적서

② 하이브리드 트럭용 파워트레인 통합제어기 개발

○ 통합 제어 모듈 개요

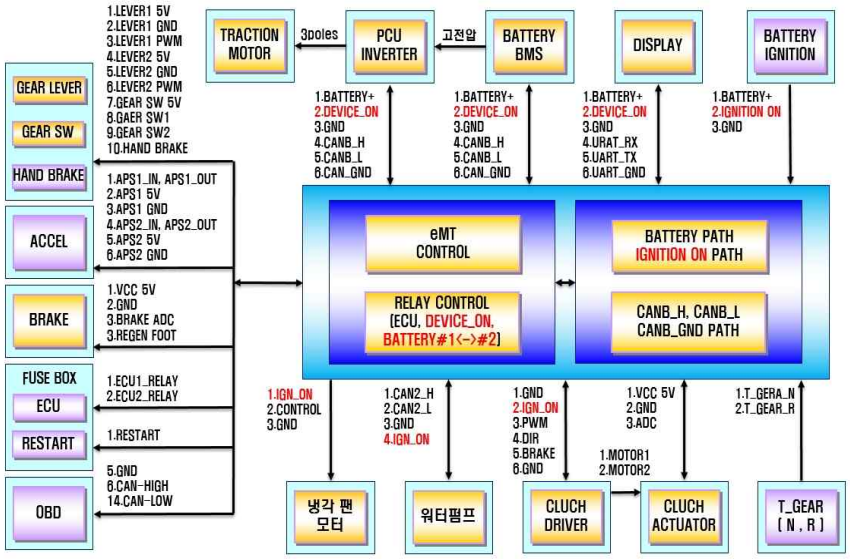
- 하이브리드 파워트레인 상위제어기(통합제어모듈)의 주 기능은 주행상황에 따라 엔진과 모터의 적절한 동력분배를 수행
- 기본 구성은 차량 엔진 ECU, PCU인버터, 배터리 BMS, CAN 인터페이스와 차량의 기어 레버, 엑셀 페달, 브레이크, 클러치 신호 처리 및 사용자 운행 정보를 표시하기 위한 디스플레이로 구성됨
- 차량 엔진 ECU로부터 주요 차량정보를 내재된 CAN 게이트웨이를 통해 취득하고 차량과의 인터페이스를 통해서 페달과 레버 정보를 바탕으로 운전자의 의도를 파악하여 인버터를 컨트롤하고 BMS를 모니터링하여 적절한 하이브리드 모드 동력 통제를 수행하며 디스플레이를 통해 운전자에게 운행 정보를 전달

- 통합 제어 모듈 계층 구조



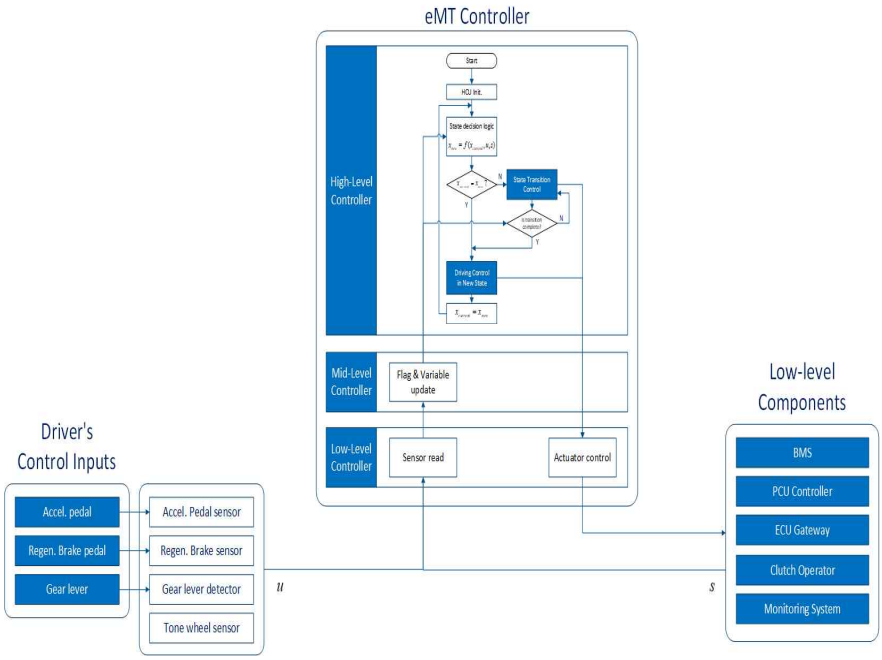
<그림 214> 통합 제어 모듈 계층 구조

- 통합 제어 모듈 구성 및 인터페이스



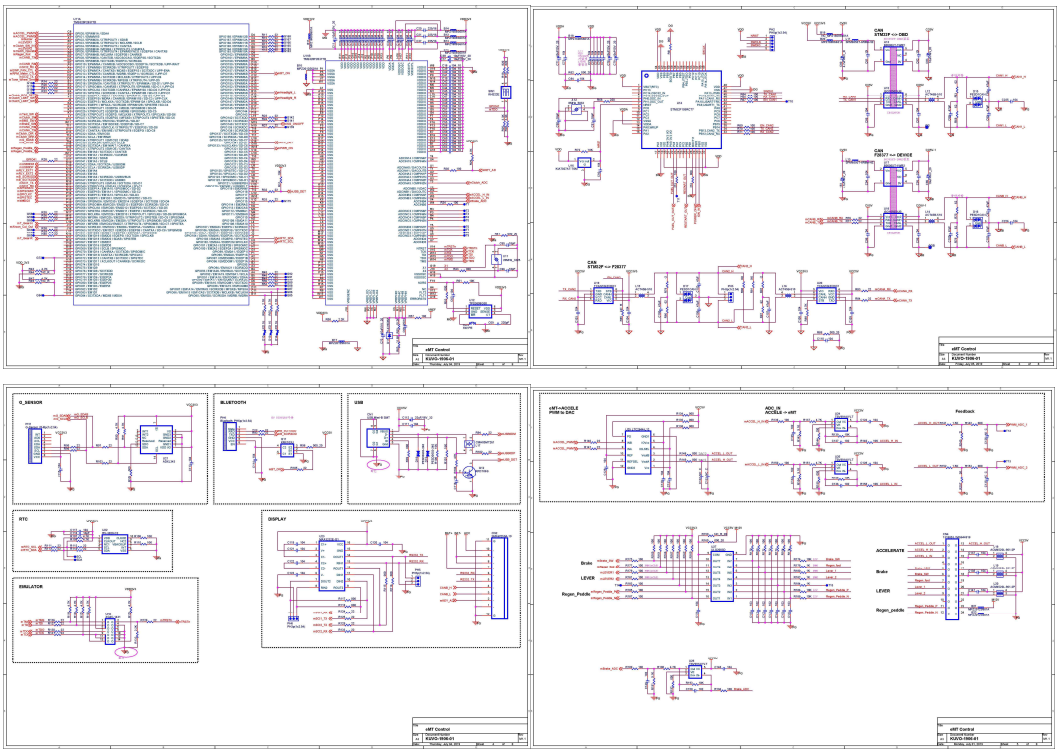
<그림 215> 통합 제어 모듈 구성 및 인터페이스

- 통합 제어 모듈 소프트웨어 구성

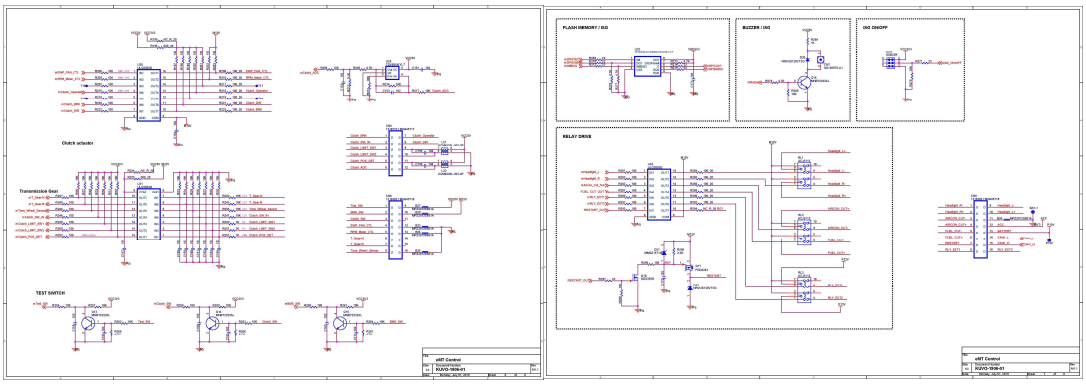


<그림 216> 통합 제어 모듈 소프트웨어 구성

○ 통합 제어기 회로도

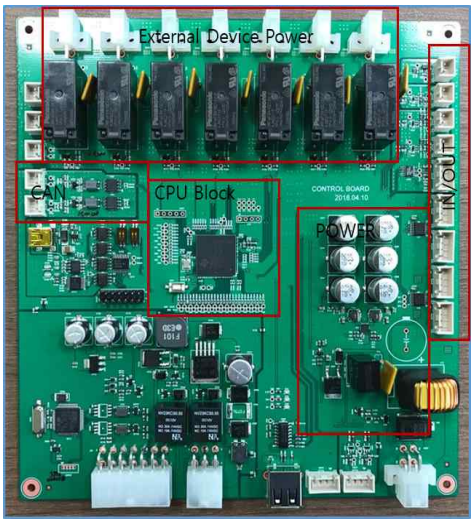


<그림 217> MCU, CAN, BLUETOOTH, ACCEL CONTROL 회로도 (2020)

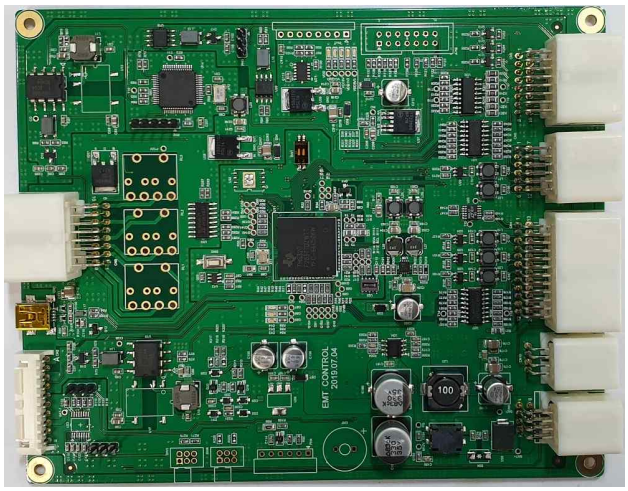


<그림 218> CLUTCH, GEAR LEVER, RELAY CONTROL 회로도 (2020)

○ 통합 제어기 제작



<그림 219> 상위제어기 (2018)



<그림 220> 상위제어기 (2019)



<그림 221> 통합제어기(2020)

○ 실차 운행 검증

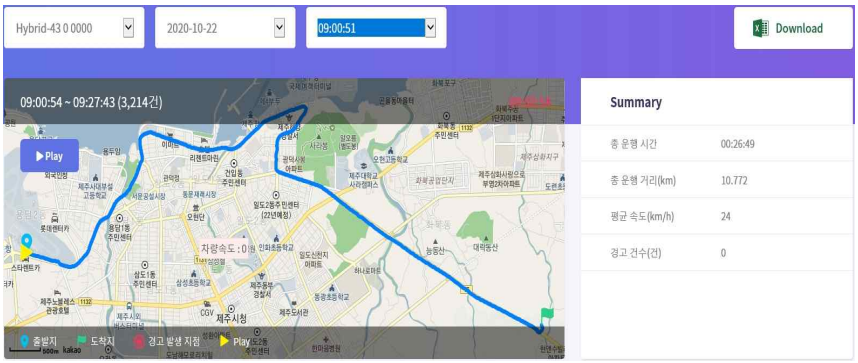
• 제주도 JBL 택배 회사 실차 운행으로 검증, LTE 모뎀을 이용 차량 운행 상태를 실시간 저장하며 운행 상황 검증

- 실차운행 차량



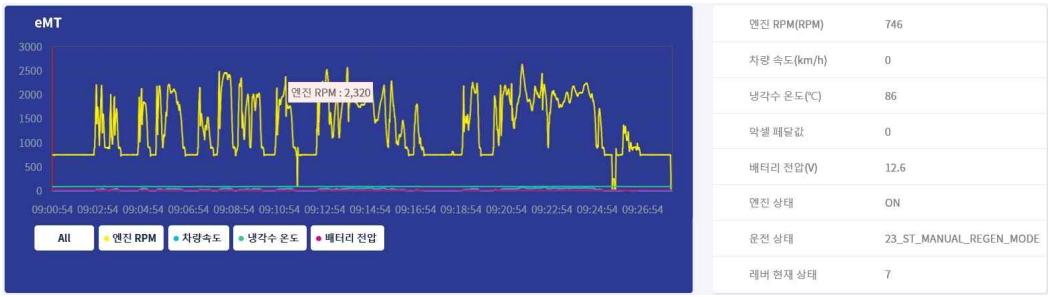
<그림 222> JBL 실증차량

- 실차 운행 주행 경로



<그림 223> 실차 운행 경로

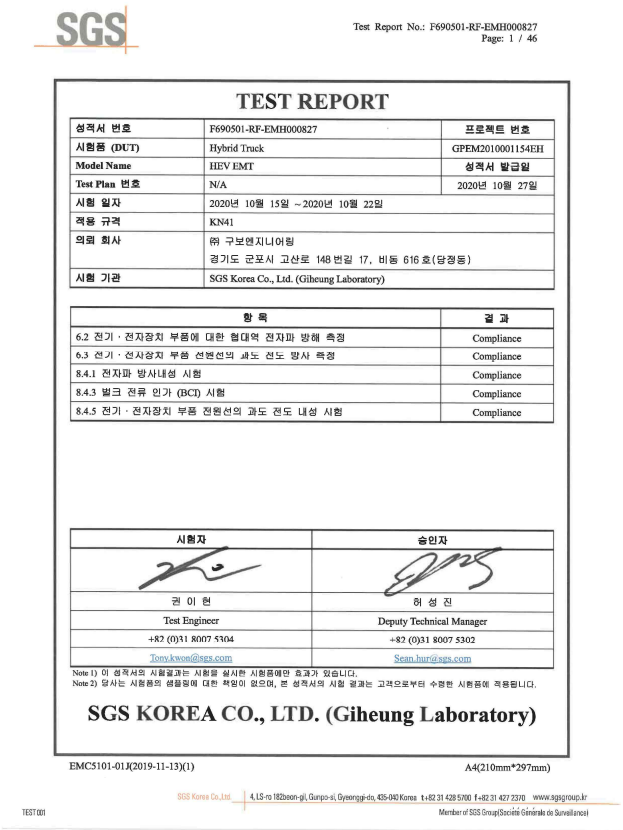
- 실차 운행 eMT 데이터



<그림 224> 실차 운행 eMT 데이터

○ 신뢰성 시험 (2020, SGS KOREA)

• 통합 제어기 EMC, EMI(KN41) 시험 성적서



SGS

Test Report No.: F690501-RF-EMH000827
Page: 1 / 46

TEST REPORT

성적서 번호	F690501-RF-EMH000827	프로젝트 번호
시험품 (DUT)	Hybrid Truck	GPEM2010001154EH
Model Name	HEV EMT	성적서 발급일
Test Plan 번호	N/A	2020년 10월 27일
시험 일자	2020년 10월 15일 ~ 2020년 10월 22일	
적용 규격	KN41	
의뢰 회사	㈜ 구보엔지니어링 경기도 군포시 고산로 148 번길 17, 비동 616 호(당정동)	
시험 기관	SGS Korea Co., Ltd. (Giheung Laboratory)	

항 목	결 과
6.2 전기 · 전자장치 부품에 대한 협대역 전자파 방해 측정	Compliance
6.3 전기 · 전자장치 부품 전원선의 과도 전도 방사 측정	Compliance
8.4.1 전자파 방사내성 시험	Compliance
8.4.3 벌크 전류 인가 (BCI) 시험	Compliance
8.4.5 전기 · 전자장치 부품 전원선의 과도 전도 내성 시험	Compliance

시험자	승인자
권 이 현	허 성 진
Test Engineer	Deputy Technical Manager
+82 (0)31 8007 5304	+82 (0)31 8007 5302
Tony.kwon@sgs.com	Sean.hur@sgs.com

Note 1) 이 성적서의 시험결과는 시험을 실시한 시험품에만 효과가 있습니다.
Note 2) 당사는 시험품의 샘플링에 대한 책임이 없으며, 본 성적서의 시험 결과는 고객으로부터 수령한 시험품에 적용됩니다.

SGS KOREA CO., LTD. (Giheung Laboratory)

EMC5101-01J(2019-11-13)(1) A4(210mm*297mm)

SGS Korea Co.,Ltd. 4, LS-ro 182beon-gil, Gunpo-si, Gyeonggi-do, 435-040 Korea t+82 31 428 5700 f+82 31 427 2370 www.sgsgroup.kr
Member of SGS Group(Société Générale de Surveillance)
TEST 001

<그림 225> KN41 시험 성적서

• 통합 제어기 가진(진동) 시험 성적서



발행번호 : SGS-R20-3193-KR00
Page : 1 / 13

SGS **시 험 성 적 서**

발행번호	:	SGS-R20-3193-KR00
접수번호	:	DTRC2010001891VI
의뢰기관	:	(주)구보엔지니어링
회사주소	:	경기도 군포시 고산로 148 번길 17, 비동 616 호 당정동
제품명	:	하이브리드 eMT 컨트롤
모델명	:	HEV eMT CONTROL
시험일자	:	2020 년 10 월 16 일 ~ 2020 년 10 월 20 일
시험규격/방법	:	ES95400-10P: 2015 자동차용 전자기기 환경 시험 (6.3.2-1 작동 가진 시험, 6.3.2-2 부품 가진 시험)
시험결과	:	Page 7 참조
용도	:	품질 평가용

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

확인	작성자	기술책임자
	성 명 : 백 주 목	성 명 : 안 효 경

※ 이 성적서는 서면 승인 없이 일부만 복사하여 사용할 수 없음.

2020. 11. 30.

한국에스지에스(주) 동탄시험소장

This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested and such sample(s) are retained for 60 days only.

RQP708-FR2 (01)

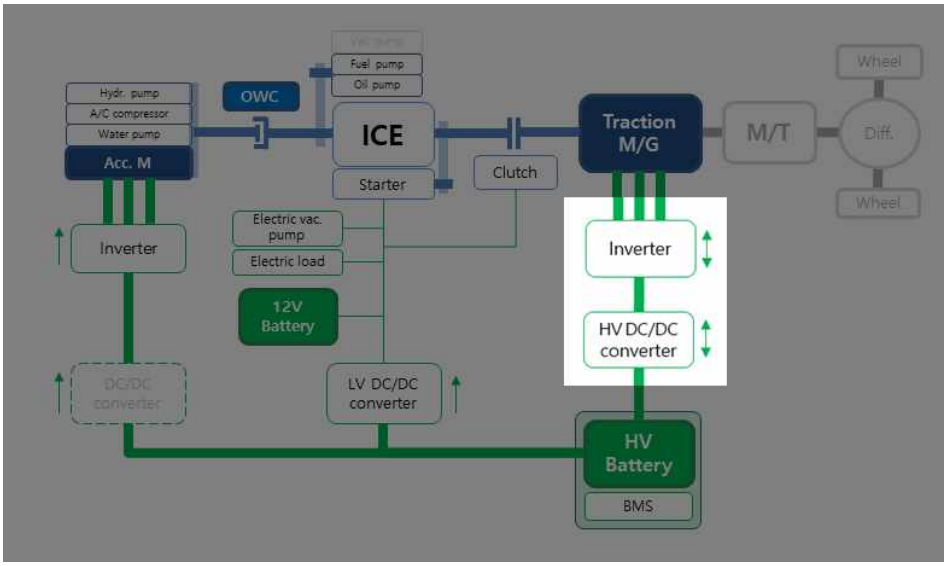
SGS Korea Co., Ltd. 20, Donglansandan10-gil, Dongtan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Korea t+82 (0)31 240 8871 f+82 (0)31 240 8829 www.sgsgroup.kr
Member of SGS Group (Société Générale de Surveillance)

<그림 226> 가진(진동) 시험 성적서

③ 인버터, 컨버터 통합 PCU 개발

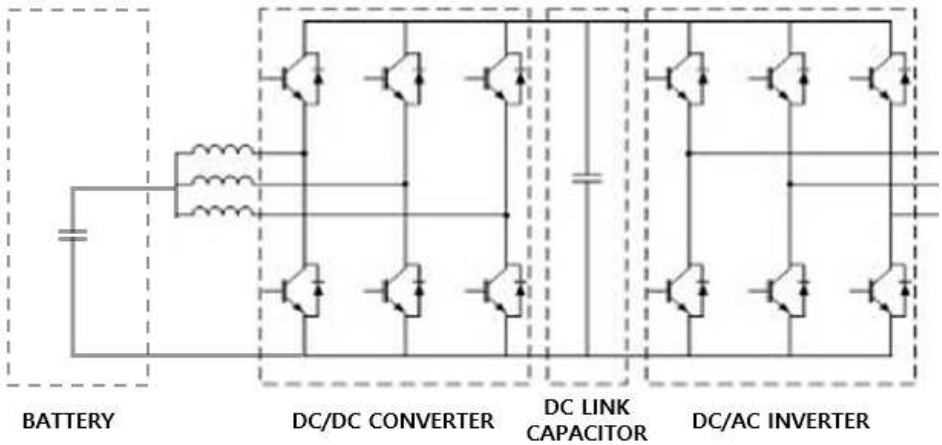
○ 하이브리드 트럭용 인버터, 컨버터 통합 PCU 개발

• 현재 HEV 및 EV는 배터리와 인버터만 사용하여 모터링과 회생제동하는 차량이 대부분이지만 인버터의 역률 개선과 회생 제동시 배터리 안정성을 향상을 위해 컨버터를 사용하는 것이 전반적인 성능 개선에 이로움. 또한 개조 하이브리드 차량의 개조 중량을 고려했을 때, 고효율의 집적된 PCU (Power Control Unit)의 개발이 필요함



<그림 227> 전력 계통도 (통합 PCU)

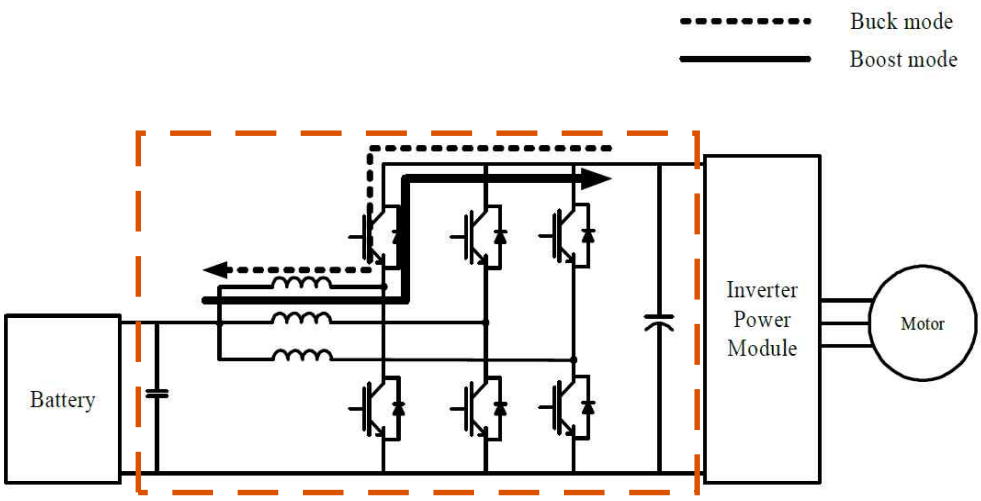
- 통합 PCU의 개략적인 전기적 구조



<그림 228> PCU 구조

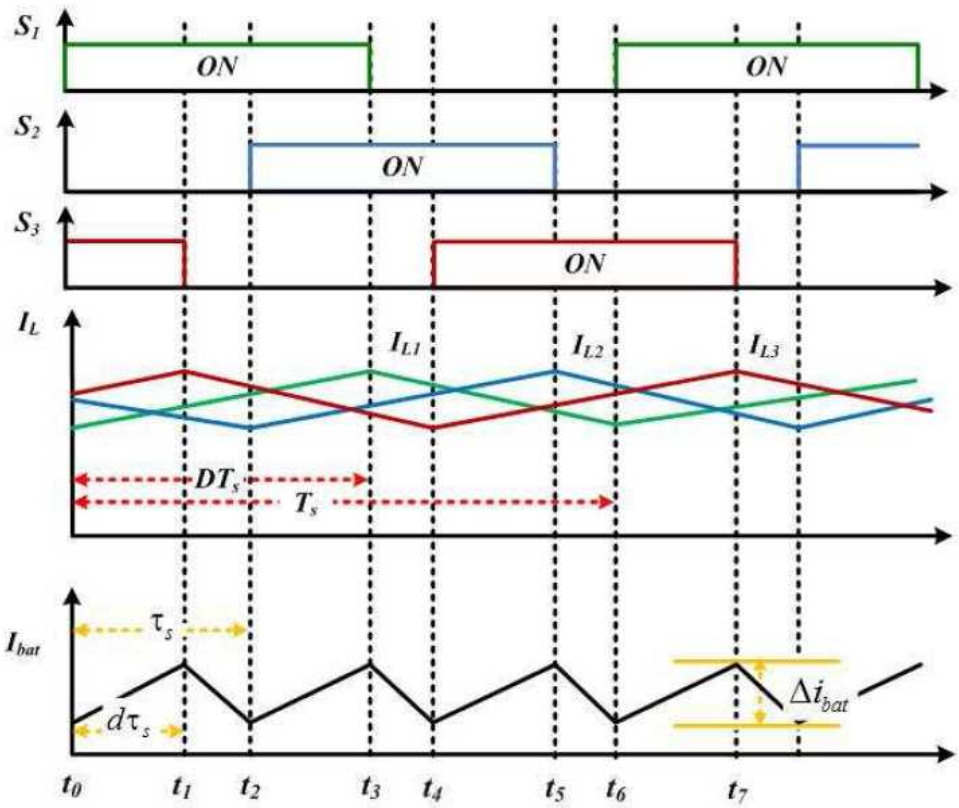
• 3상 인터리브드 DC/DC 컨버터

- 기존 단상 컨버터의 큰 전압, 전류 리플로 인해 발생하는 배터리 및 능동, 수동 소자의 스트레스를 감소시키기 위해 다 상의 인터리브드 방식을 적용한 DC/DC컨버터를 선정



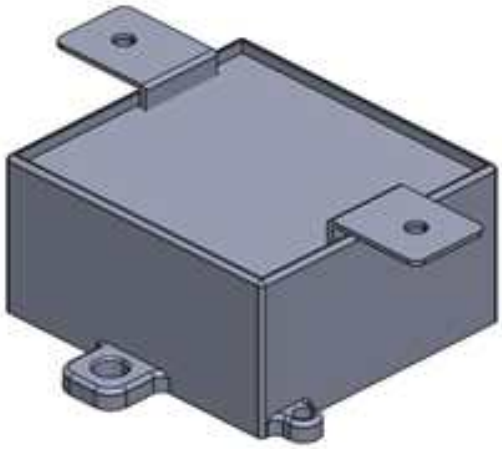
<그림 229> 3상 인터리브드 DC/DC 컨버터

- 다 상의 인터리브드 컨버터는 각 상이 360/N°의 위상차를 가지고 스위칭 동작을함. 일반 병렬 컨버터와는 다르게 전류가 각 상으로 분배되므로 입력 전류와 전력전압 리플이 감소
- 몇가지 조건들에 적합한 IGBT팩을 사용하여 3상 인터리브 DC/DC컨버터를 설계함

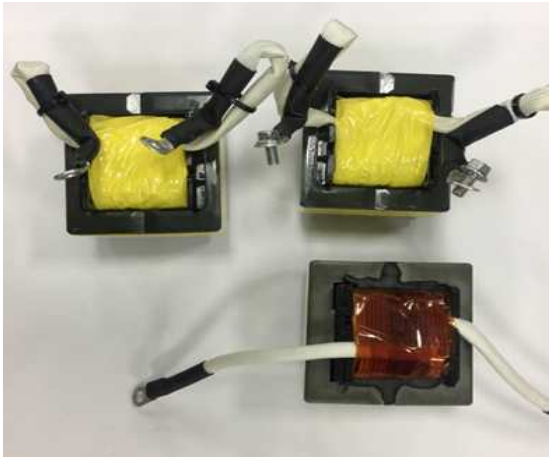


<그림 230> 3상 인터리브드 컨버터의 리플 감소

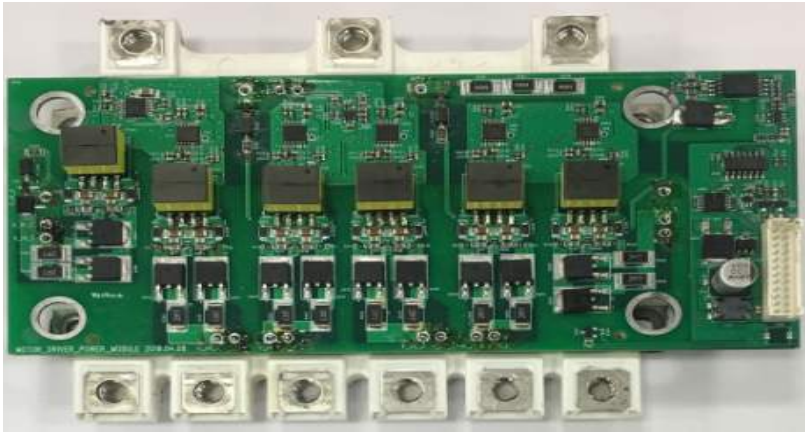
- H/W 핵심 부품 (Capacitor, Powet Board, Inductor)



<그림 231> Input Capacitor(700V,100uF)도면



<그림 232> Inductor(120uH, 70A)



<그림 233> Power Board

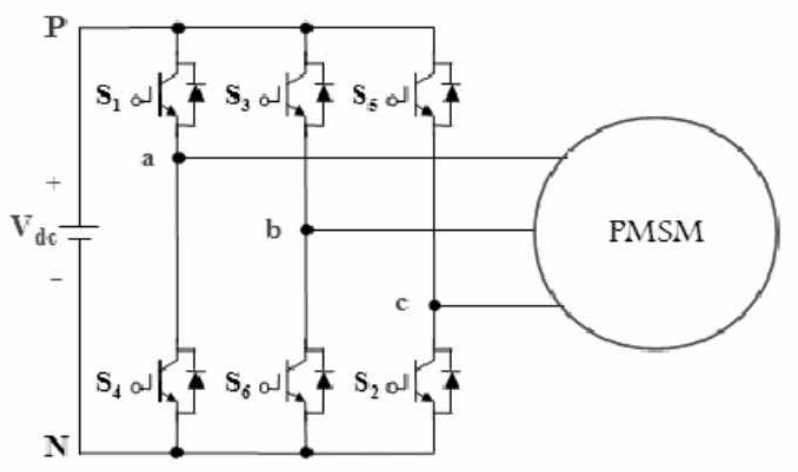
- 컨버터 사양

컨버터 사양 정의				
항목		단위	값	비고
형태			양방향	
상 수			3 상	
입력 전압	최소	V	200	
	최대		240	
입력 전류	연속	A	100	
	최대		200	
출력 전압	최소	V	250	
	정격		300	
	최대		350	
출력 전류	연속	A	66	
	최대		133	
출력	정격	kW	20	
	최대		40	
스위칭 주파수, f_s		kHz	10	
인덕터, L_n		uH	120	70A
저전압 캐패시터, C_low		uF	100uF	700V
저전압 캐패시터, C_high		uF	1000uF	700V
효율		%	>90	
냉각 방식			수냉	

<그림 234> 컨버터 사양표

• 인버터

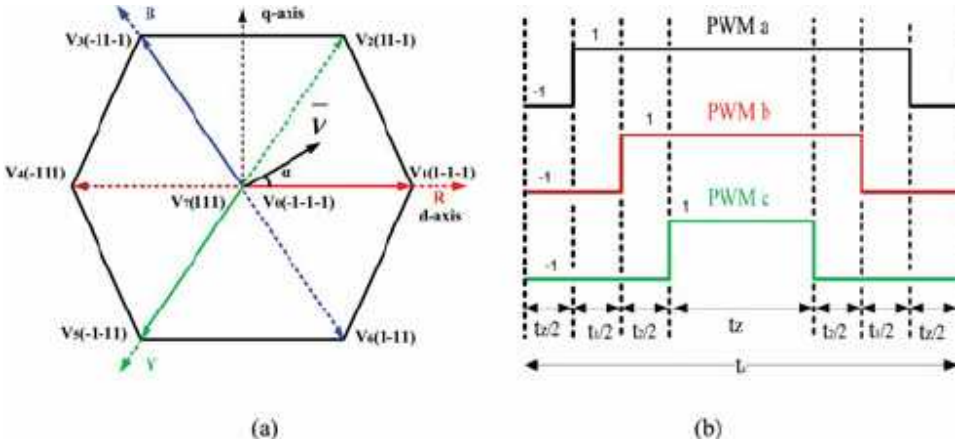
- 인버터는 일반적으로 사용하는 3상 DC/AC 인버팅 방식을 사용하였다. 상용에서 3상 AC모터를 구동하기 위해 흔히 쓰는 방식으로, 효율적으로 모터를 컨트롤하기 위해 모터 제어 방법과 DC 전압을 AC전압으로 변환하는 방법이 중요한 요소임



<그림 235> 3상 DC/AC 인버터

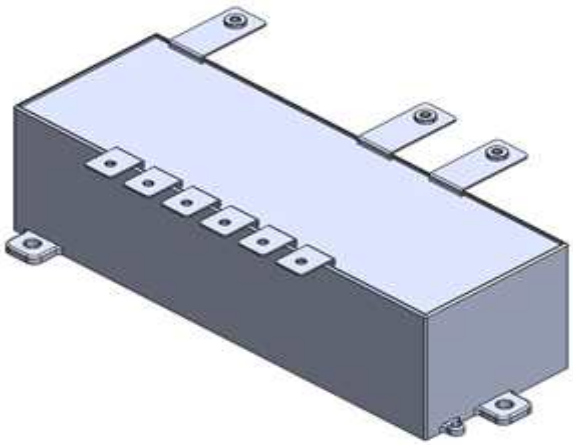
-

- DC전압을 AC전압으로 변환하기 위해 여러 가지 스위칭 방식이 있지만 효율을 고려하여 SVPWM방식을 사용했다. 효율뿐만 아니라 기존의 SPWM과 달리 각 상의 위상 천이가 필요하지 않고, 각 상에서 발생하는 스위칭 노이즈가 ADC센싱에 영향을 끼치지 않음

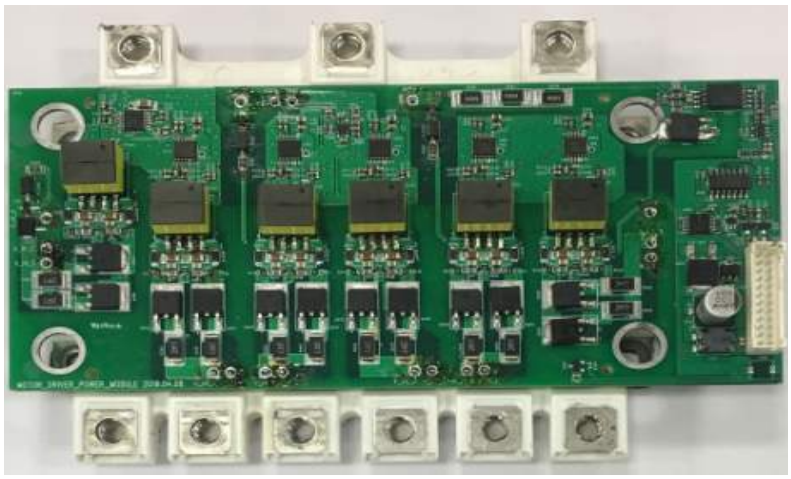


<그림 236> 인버터 SVPWM

- H/W 핵심부품 (Capacitor, Power Board, Current Sensor)



<그림 237> DC Link Capacitor (700V, 1000uF)



<그림 238> Power Board



<그림 239> LEM 社 Current sensor(hah1drw 300-s)

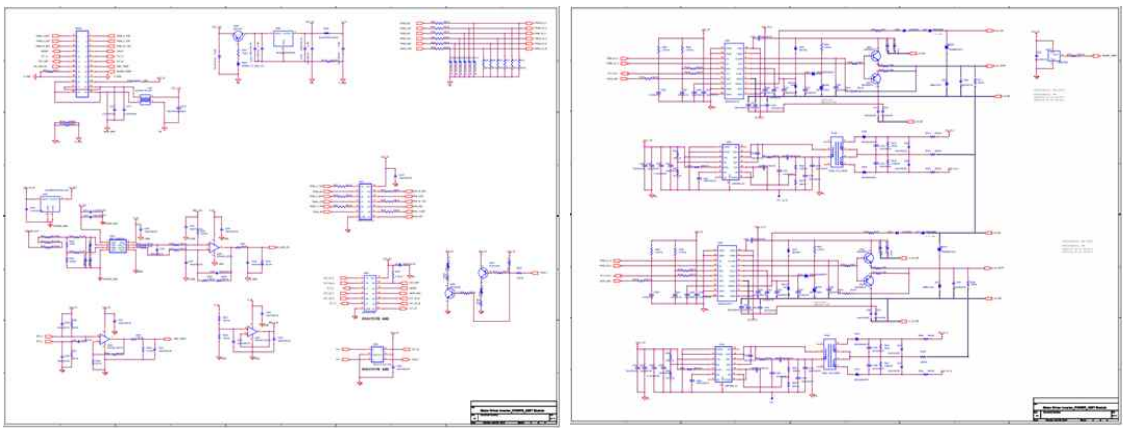
-

- 인버터 사양

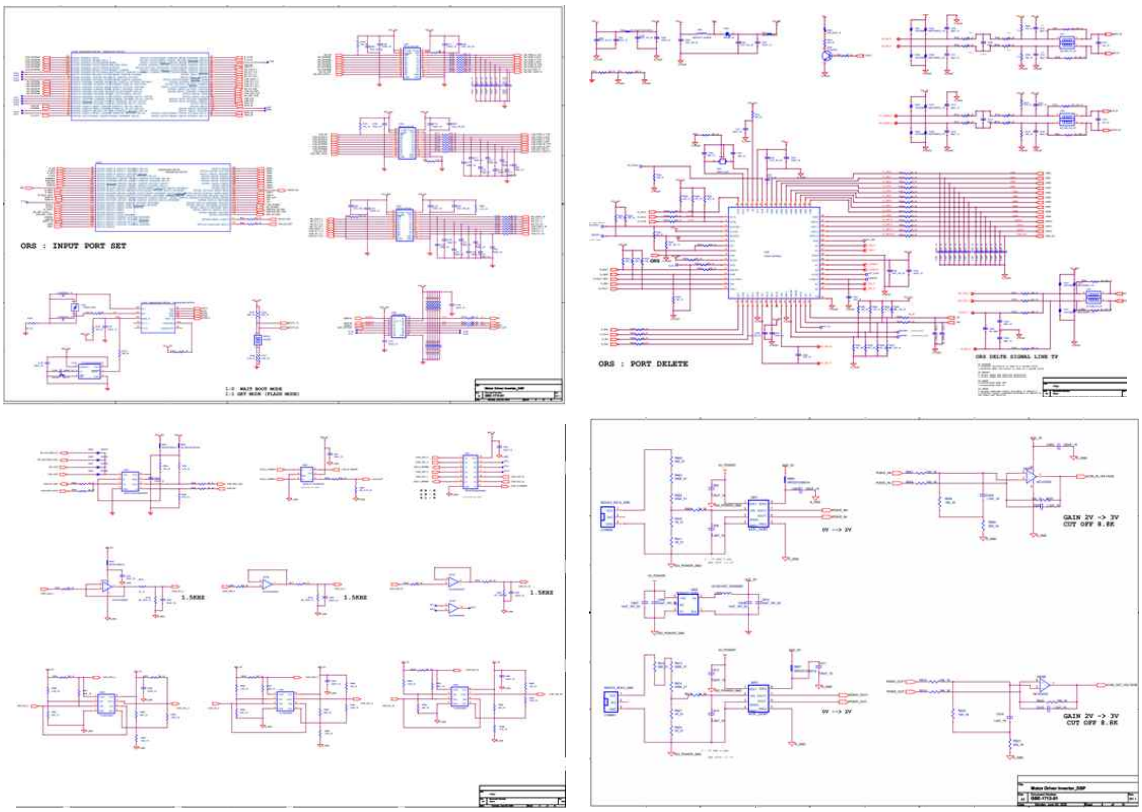
인버터 사양 정의				
항목		단위	값	비고
DC-link 전압	최소 ($V_{dc,min}$)	V	250	
	정격 (V_{dc})		300	
	최대 ($V_{dc,max}$)		350	
상전류	연속 ($I_{N,rms}$)	A_rms	165	
	최대		205	10sec
스위칭	주파수 (f_s)	kHz	10	가청 주파수 이상
냉각	기준 온도 (T_r)	°C	85	
	방식	-	수냉	
	열저항 계수 ($R_{th(c-r)}$)	K/W	0.1	Case-to-reference
설계 기준치	역률 (cosφ)	-	0.7	
	변조지수 (m)	-	0.95	
개발 목표	인버터 효율	%	97	100Nm, 2000rpm
	인버터 최대출력 SPWM ($P_{inv\_SPWM,max}$)	kW	50.61	
	인버터 최대출력 SVPWM ($P_{inv\_SVPWM,max}$)	kW	58.44	

<그림 240> 인버터 사양표

○ 통합 PCU 회로도

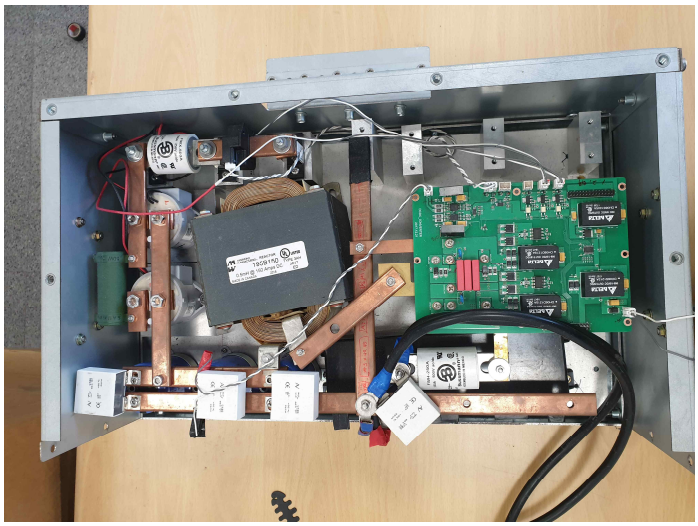


<그림 241> IGBT 게이트 드라이버 (2019)

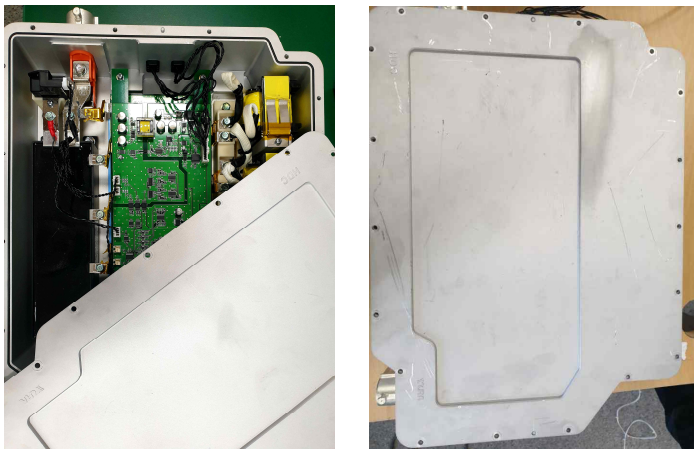


<그림 242> PCU 컨트롤 보드 (2019)

○ 인버터, 컨버터 제작



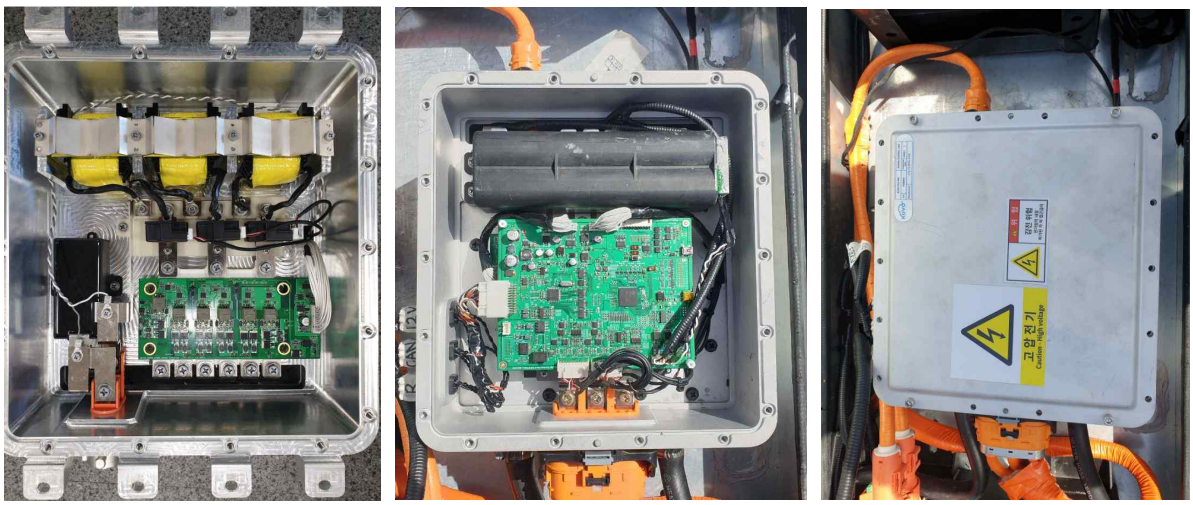
<그림 243> 컨버터 (2017)



<그림 244> 컨버터 (2018)



<그림 245> 인버터 (2018)



<그림 246> 통합 (컨버터+인버터) PCU (2019)

○ 신뢰성 시험

• 전자파 적합성 시험 및 3000Km 주행 내구 시험 (2020, KATRI)

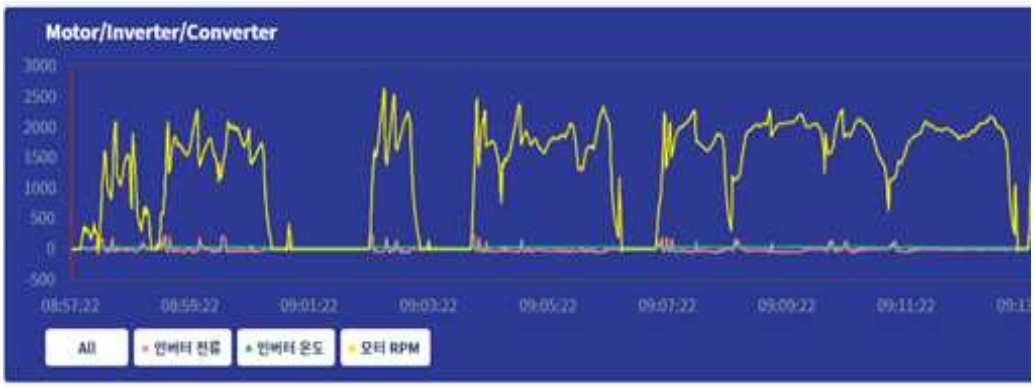
- PCU는 차량에 실재 탑재되어 구동하기 때문에 KATRI에서 차량 안정성 평가와 동시에 전자파 적합성 시험, 3000Km 내구 시험 등을 진행하여 PCU의 신뢰성을 검증



<그림 247> 전자파 적합성 시험, 주행 내구시험

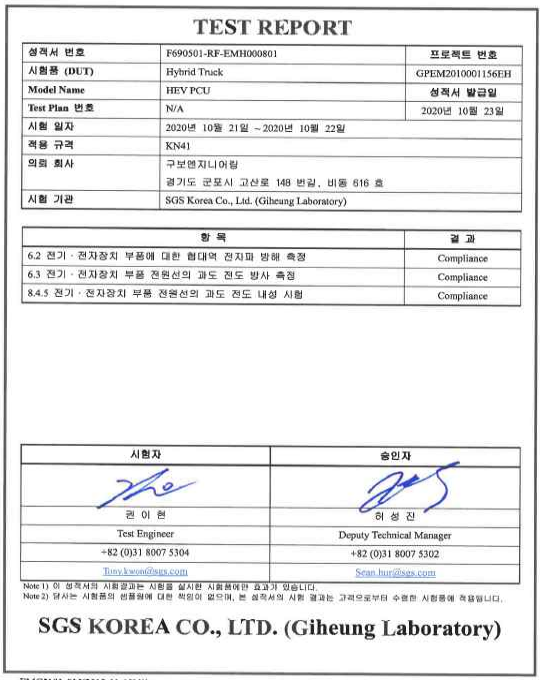
• 자체 주행 테스트 (2020, 경내 및 제주도 실증)

- 경내 테스트 및 제주도 실증 차량에서 PCU 데이터를 아래와 같이 지속적으로 취득하여, 위급 상황을 처리하는 방식과 제어적인 성능 평가 등 PCU의 안정성과 품질을 지속적으로 관리



<그림 248> PCU 모니터링 데이터

• PCU EMC, EMI(KN41) 시험 성적서 (2020, SGS KOREA)



TEST REPORT

성적서 번호	F690501-RF-EMH000801	프로젝트 번호
시험품 (DUT)	Hybrid Truck	GPEM2010001156EH
Model Name	HEV PCU	성적서 발급일
Test Plan 번호	N/A	2020년 10월 23일
시험 일자	2020년 10월 21일 ~ 2020년 10월 22일	
적용 규격	KN41	
의뢰 회사	구보엔지니어링 경기도 군포시 고산로 148 번길, 비동 616 호	
시험 기관	SGS Korea Co., Ltd. (Giheung Laboratory)	

항 목	결 과
6.2 전기 · 전자장치 부품에 대한 협대역 전자파 방해 측정	Compliance
6.3 전기 · 전자장치 부품 전원선의 과도 전도 방사 측정	Compliance
8.4.5 전기 · 전자장치 부품 전원선의 과도 전도 내성 시험	Compliance

시험자	승인자
권 이 현	허 성 잔
Test Engineer	Deputy Technical Manager
+82 (0)31 8007 5304	+82 (0)31 8007 5302
Tony.kwon@sgs.com	Sean.hur@sgs.com

Note 1) 이 성적서의 시험결과는 시험을 실시한 시험품에만 효과가 있습니다.
Note 2) 당사는 시험품의 샘플링에 대한 책임이 없으며, 본 성적서의 시험 결과는 고객으로부터 수령한 시험품에 적용됩니다.

SGS KOREA CO., LTD. (Giheung Laboratory)

<그림 249> PCU KN41 시험성적서

• PCU EMC,EMI(KN41) 시험 성적서 (2020, SGS KOREA)



발행번호 : SGS-R20-3191-KR00
Page : 1 / 13

SGS 시 험 성 적 서

발행번호	:	SGS-R20-3191-KR00
접수번호	:	DTRC2010001889VI
의뢰기관	:	(주)구보엔지니어링
회사주소	:	경기도 군포시 고산로 148 번길 17, 비동 616 호 당정동
제품명	:	하이브리드 파워 컨트롤 유닛
모델명	:	HEV PCU
시험일자	:	2020 년 11 월 02 일 ~ 2020 년 11 월 03 일
시험규격/방법	:	ES95400-10P: 2015 자동차용 전자기기 환경 시험 (6.3.2-1 작동 가진 시험, 6.3.2-2 부품 가진 시험)
시험결과	:	Page 7 참조
용도	:	품질 평가용

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

확인	작성자	기술책임자
	성 명 : 백 주 욱	성 명 : 만 효 경

* 이 성적서는 서면 승인 없이 일부만 복사하여 사용할 수 없음.

2020. 11. 30.

한국에스지에스(주) 동탄시험소장

This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced, except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested and such sample(s) are retained for 60 days only.

SGS Korea Co., Ltd. | 20, Dongtansandan16-gil, Dongtan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Korea t +82 (0)31 240 6871 f +82 (0)31 240 6628 www.sgsgroup.kr
Member of SGS Group (Société Générale de Surveillance)

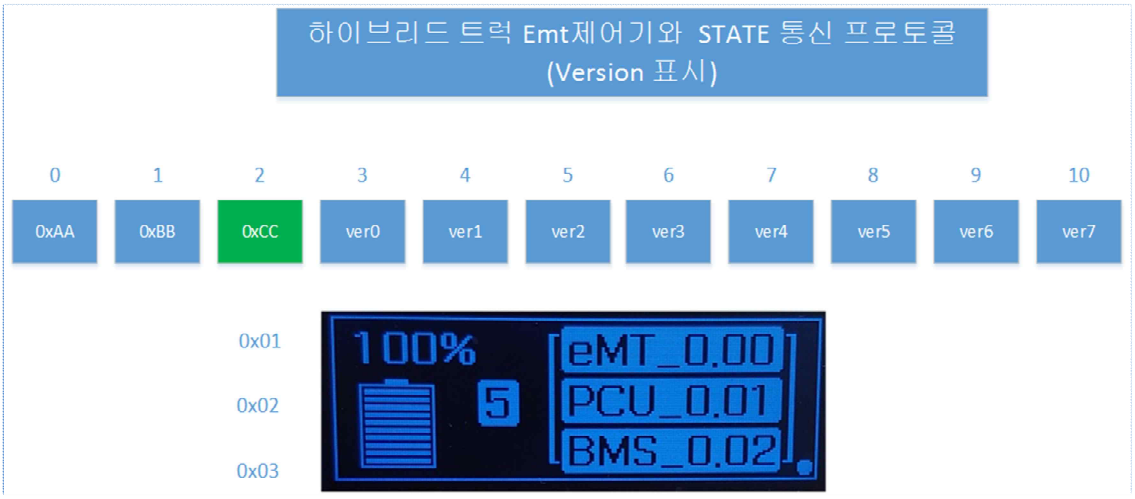
<그림 250> PCU 가진(진동) 시험 성적서

④ 에너지 흐름 모니터링 장치 개발

○ 차량 상태에 대한 모니터링 서비스 통신 프로토콜



<그림 251> 통합제어기와의 통신 프로토콜



<그림 252> 모니터링 장치 버전 표시

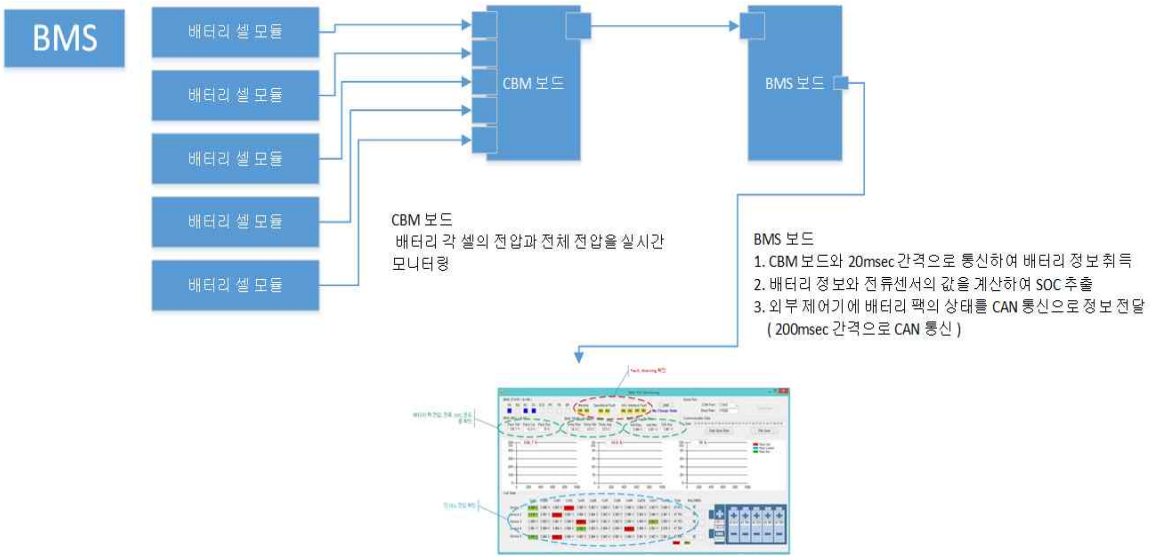
○ 에너지 흐름 모니터링 서비스 장치 교통안전공단 실차 테스트 진행



<그림 253 > 모니터링 서비스 장치 실차 테스트

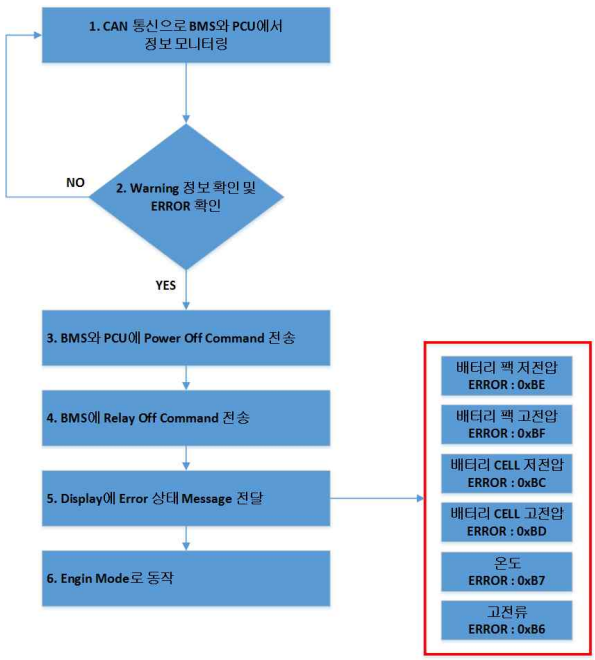
○ 배터리 고장진단 정보 표시

• 배터리 팩 BMS에서의 외부 통신 블록도



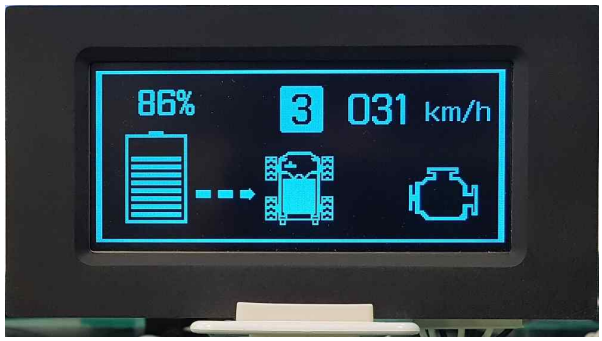
<그림 254> BMS 통신 블록도

• 상위제어기에서 에너지 흐름 모니터링 서비스 장치에 배터리 팩 고장진단 정보



<그림 255> 고장 진단 정보 흐름도

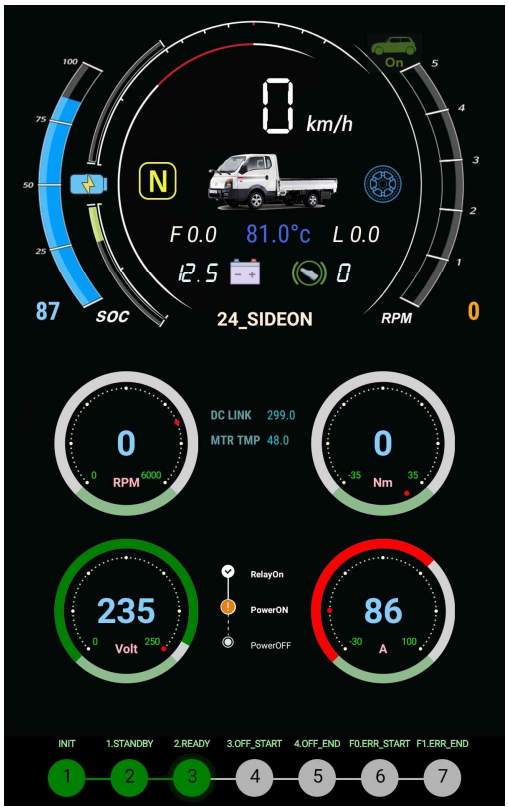
○ 에너지 흐름 모니터링 서비스 장치 제작



<그림 256> 디스플레이 장치(2018)



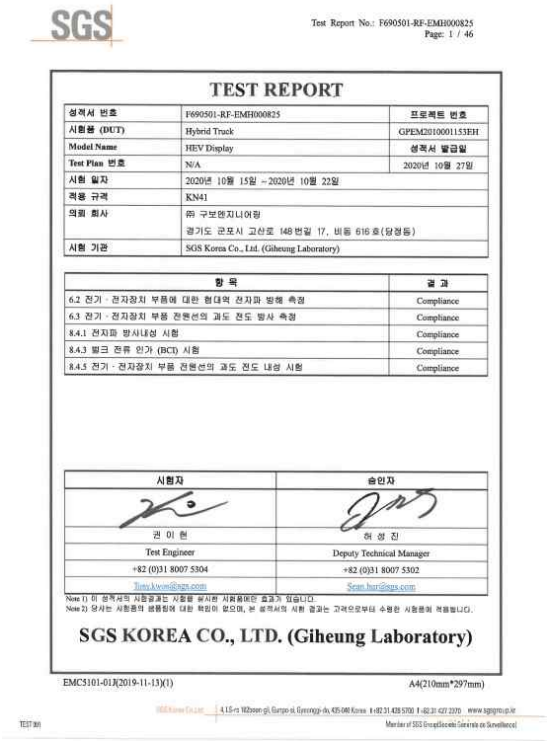
<그림 257> 디스플레이 장치(2019)



<그림 258> 테블릿 모니터링 장치(2019)

○ 신뢰성 시험

• EMC, EMI(KN41) 시험 성적서 (2020, SGS KOREA)



SGS

Test Report No.: F690501-RF-EMH000825
Page: 1 / 46

TEST REPORT

성적서 번호	F690501-RF-EMH000825	프로젝트 번호
시험품 (DUT)	Hybrid Truck	GPEM2010001153EH
Model Name	HEV Display	성적서 발급일
Test Plan 번호	N/A	2020년 10월 27일
시험 일자	2020년 10월 15일 ~ 2020년 10월 22일	
적용 규격	KN41	
의뢰 회사	㈜ 구보엔지니어링 경기도 군포시 고산로 148번길 17, 비동 616호(당정동)	
시험 기관	SGS Korea Co., Ltd. (Giheung Laboratory)	

항 목	결 과
6.2 전기 · 전자장치 부품에 대한 협대역 전자파 방해 측정	Compliance
6.3 전기 · 전자장치 부품 전원선의 과도 전도 방사 측정	Compliance
8.4.1 전자파 방사내성 시험	Compliance
8.4.3 벌크 전류 인가 (BCI) 시험	Compliance
8.4.5 전기 · 전자장치 부품 전원선의 과도 전도 내성 시험	Compliance

시험자	승인자
권 이 현	허 성 진
Test Engineer	Deputy Technical Manager
+82 (0)31 8007 5304	+82 (0)31 8007 5302
Tony.kwon@sgs.com	Sean.hur@sgs.com

Note 1) 이 성적서의 시험결과는 시험품 공시한 시료에만 효과가 있습니다.
Note 2) 당사는 시험품의 샘플링에 대한 책임이 없으며, 본 성적서의 시험 결과는 고객으로부터 수령한 시험품에 적용됩니다.

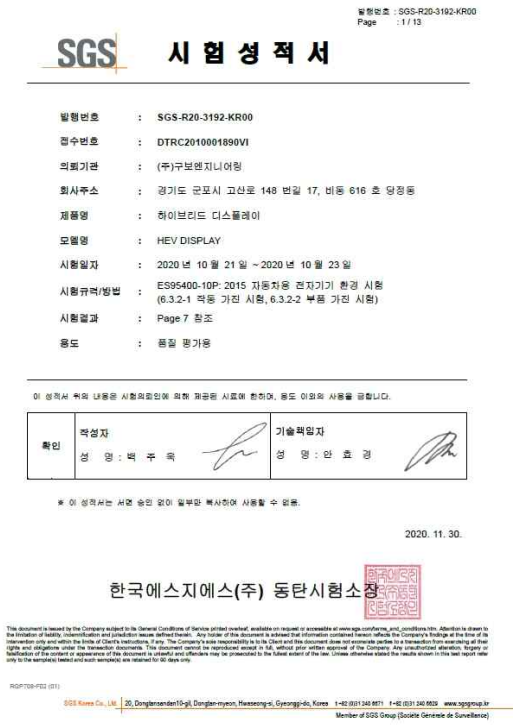
SGS KOREA CO., LTD. (Giheung Laboratory)

EMC5101-01(2019-11-13)(1) A4(210mm*297mm)

SGS Korea Co.,Ltd. 4,15-ro 182beon-gil, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 446-906 Korea t+82 31 428 5700 f+82 31 427 2370 www.sgsgroup.kr
TEST 80 Member of SGS Group(Societe Generale de Surveillance)

<그림 259> 모니터링 장치 (KN41) 시험

• 가진(진동) 시험 성적서 (2020, SGS KOREA)



발행번호 : SGS-R20-3192-KR00
Page : 1 / 13

SGS **시 험 성 적 서**

발행번호	:	SGS-R20-3192-KR00
접수번호	:	DTRC2010001890VI
의뢰기관	:	(주)구보엔지니어링
회사주소	:	경기도 군포시 고산로 148 번길 17, 비동 616 호 당정동
제품명	:	하이브리드 디스플레이
모델명	:	HEV DISPLAY
시험일자	:	2020 년 10 월 21 일 ~ 2020 년 10 월 23 일
시험규격/방법	:	ES95400-10P: 2015 자동차용 전자기기 환경 시험 (6.3.2-1 작동 가진 시험, 6.3.2-2 부품 가진 시험)
시험결과	:	Page 7 참조
용도	:	품질 평가용

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

확인	작성자	기술책임자
	성 명 : 백 주 욱	성 명 : 안 효 경

* 이 성적서는 서면 승인 없이 일부만 복사하여 사용할 수 없음.

2020. 11. 30.

한국에스지에스(주) 동탄시험소장

This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested and such sample(s) are retained for 90 days only.

RGP709-FO2 (01)

SGS Korea Co., Ltd. 20, Donglansandan10-gil, Donglan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Korea t+82 (0)31 340 8871 f+82 (0)31 340 8829 www.sgsgroup.kr
Member of SGS Group (Société Générale de Surveillance)

<그림 260> 모니터링 장치 가진(진동) 시험

(사) (위탁) 충남대학교: 배터리팩 관리 시스템 설계 및 알고리즘 개발

① 배터리 셀의 전기화학적 특성 실험 및 이의 분석

○ 배터리 셀 전기적 등가회로 모델 확립

• Target 배터리 셀 선정

- 셀의 수급 용이성 및 공급 단가를 고려한 18650 원통형 셀 중 높은 파워를 출력할 수 있는 삼성 SDI 25R 배터리 선정
- 배터리 셀 최대 정격 출력 전류는 20A이며, 1초 이내의 순간적인 출력은 100A까지 가능

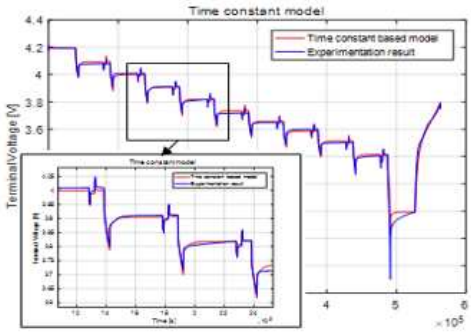
○ 등가회로 모델 내부 파라미터 결정

• Pulse current를 이용한 시정수 도출 및 내부 파라미터 도출

- 1차 RC-ladder 모델을 통해 전압을 추정할 경우 추정 RMSE는 약 1.405%로 나타남



고출력 (High power)	18650-20R(2.0Ah) 18650-25R(2.5Ah) 18650-20S(2.0Ah) 18650-30Q(3.0Ah)
고에너지 (High energy)	18650-28A(2.8Ah) 18650-32A(3.2Ah) 18650-35E(3.5Ah)



<그림 261> 삼성 SDI 18650 원통형 셀 라인업 및 측정 실험 데이터 기반 전압 추정 성능

• State of Charge(SOC)-Open Circuit Voltage curve(OCV) 획득

- OCV는 배터리가 충분한 휴식기를 거친 후 나타나는 양단의 전압 값을 나타냄
- 일반적으로 SOC와 OCV는 1대1의 상관관계를 가지고 있기 때문에 OCV를 알 수 있으면 SOC를 추정할 수 있음
- SOC-OCV curve는 각 SOC에 따라 OCV를 측정하여 이를 curve fitting하여 얻을 수 있음
- 아래 결과는 10% 및 5%의 SOC 대비 OCV를 측정한 결과를 나타냄

SOC [%]	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
OCV [V]	4.196	4.078	4.009	3.911	3.819	3.717	3.65	3.6	3.501	3.406	2.994

<그림 262> 10% SOC 별 측정된 OCV

SOC [%]	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
OCV [V]	4.192	4.107	4.078	4.056	4.002	3.946	3.906	3.869	3.822	3.756	3.708
SOC [%]	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	
OCV [V]	3.673	3.647	3.624	3.601	3.558	3.499	3.465	3.402	3.242	2.949	

<그림 263> 5% SOC 별 측정된 OCV

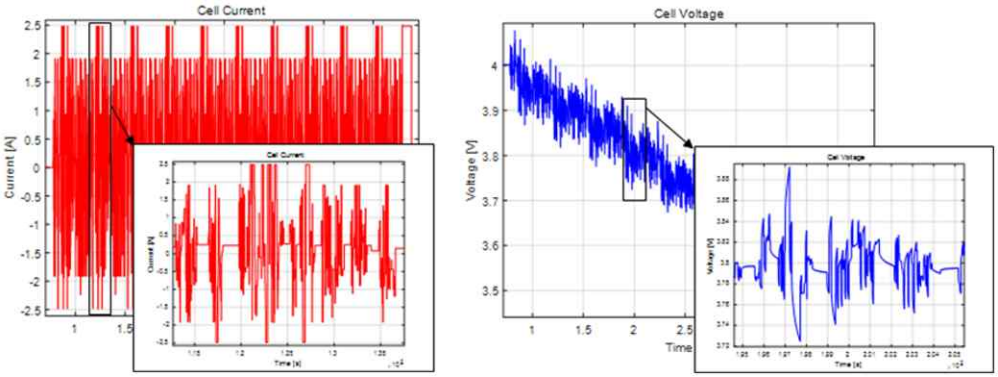
• 방전용량 획득

- 배터리 셀의 방전용량은 배터리를 완전 충전상태에서 완전 방전상태까지 방전시키면서 배터리가 최대한으로 낼 수 있는 전류량을 통해 계산함

○ Dynamic Stress Test 수행

• 배터리 셀 동적 특성 분석

- 배터리의 동적 특성을 보다 실제 상황에 비추어 분석하기 위해 아래 그림과 같은 임의의 dynamic 충전 및 방전 실험 진행



<그림 264> Dynamic 충전 및 방전 전류 인가시 전류 및 전압 그래프

② 배터리팩 관리 알고리즘 개발

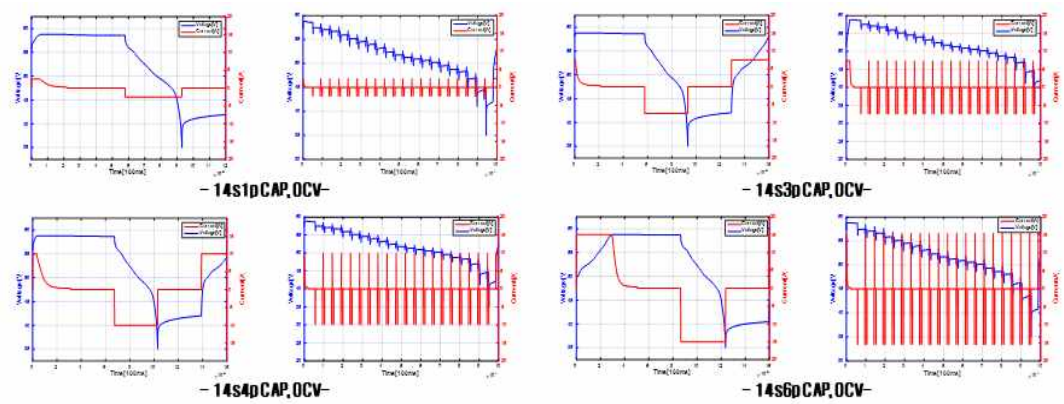
○ 충방전 실험 후 배터리팩 내 셀 간 전압/SOC 불균형 분석

• 전기적 특성 실험을 통한 배터리팩의 병렬 개수에 따른 불균형 분석

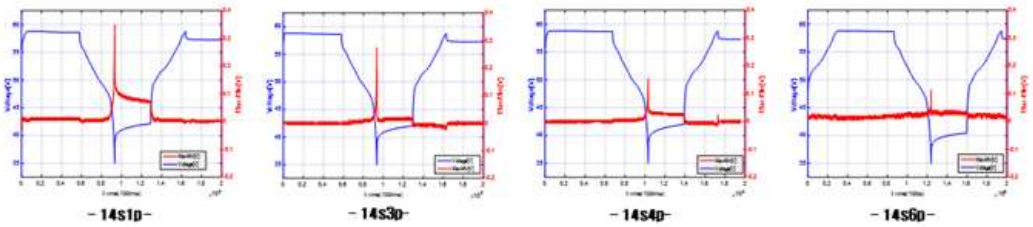
- 배터리 팩의 병렬 개수에 따른 내부 전압 불균형을 분석하기 위해 전기적 특성 실험 진행

- 배터리 팩 내 각 단위 셀에 인가되는 전류는 동일하기 때문에 내부 저항이 클수록 각 셀 간 전압 불균형의 가속화 예상

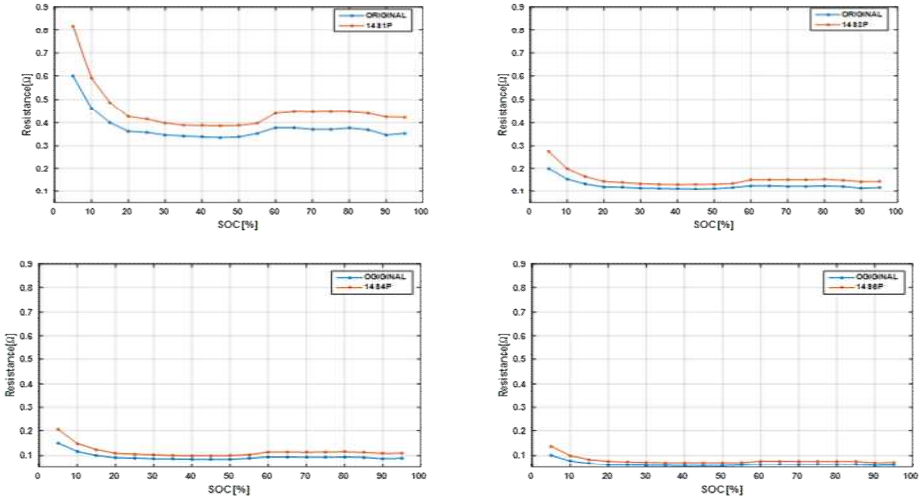
- 1P ~ 5P까지 병렬 조합이 증가함에 따라 배터리 팩 전체 저항은 감소하며, 이에 따라 전압의 편차가 감소



<그림 265> 직병렬 배터리 팩의 병렬 조합에 따른 용량 및 OCV 특성 실험 전류 프로파일

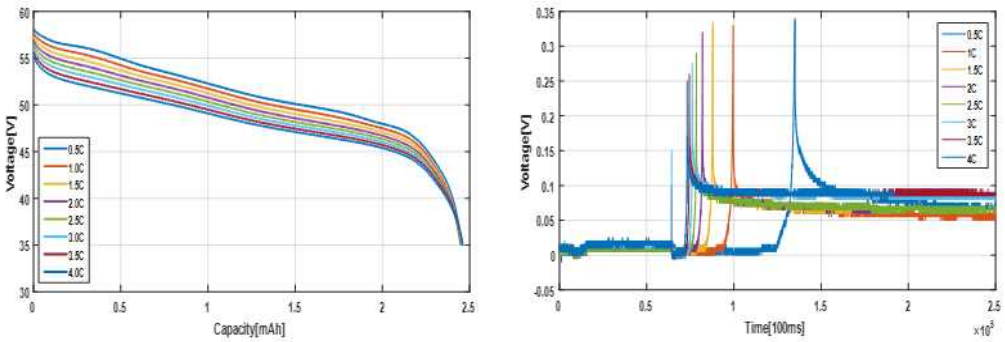


<그림 266> 14S 배터리 팩의 병렬 조합 증가에 따른 셀 간 전압 편차



<그림 267> 이상적인 단위 셀의 병렬 조합에 따른 내부 저항과
실제 내부 저항 비교

• 배터리팩의 C-rate에 따른 전압 불균형 분석
- 14S1P 배터리 팩의 C-rate를 0.5C ~ 4C까지 0.5C별로 실험 수행에 따른 방전 용량 및 셀 간 전압 편차 확인
- C-rate가 증가할수록 내부 저항은 감소하며, C-rate가 감소할수록 내부저항은 증가함을 확인할 수 있음
- 전압 편차는 낮은 SOC 영역에서 증가하며 이는 과방전으로 이어질 수 있기 때문에 안전 문제가 발생할 수 있기 때문에 셀 간 전압 편차 관리 중요



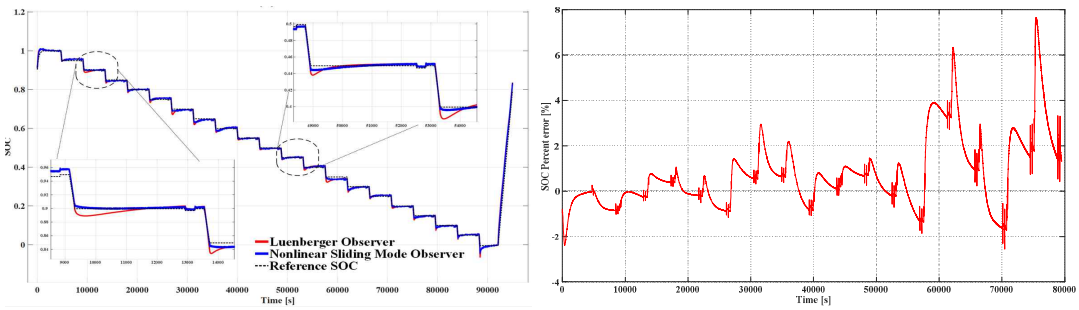
<그림 268> C-rate에 따른 방전 용량 및 셀 간 전압 편차

○ 배터리 셀 및 팩 SOC 추정 알고리즘 개발

<표 36> 2 차년도 성과지표 목표치 및 목표달성 결과

목표	목표치	달성치	내용
알고리즘 개발 (SOC)	10% 이내	최대오차 7%	배터리 셀 및 팩의 실시간 SOC 알고리즘 개발 및 SOC 알고리즘 검증 (실험실 환경)
알고리즘 개발 (SOH)	15% 이내	최대오차 8.6%	배터리 셀 및 팩의 실시간 SOH 알고리즘 개발 및 SOH 알고리즘 검증 (실험실 환경)
알고리즘 개발 (Balancing)	15mv 이내	10mv 이내	배터리 셀 간 균등 제어를 위한 passive balancing 알고리즘 개발 및 알고리즘 검증 (실험실 환경)

- <배터리 셀> 비선형 모델의 상태를 추정할 수 있는 슬라이딩 모드 관측기 설계
  - 1차 시정수를 갖는 배터리 등가회로는 충전량에 따른 이상적 전압원으로 모델링 될 수 있는 OCV와 하나의 등가 직렬 저항 및 시정수를 표현할 수 있는 1개의 저항과 커패시터가 병렬로 연결되어있는 요소로 구성
  - 필요 정확도에 따라 SOC 0%부터 100%까지의 SOC 구간을 나누어 각 SOC 구간의 배터리 전압을 통해 OCV값을 생성할 수 있음
  - 주로 사용하는 SOC 영역(SOC 90%-30%)에서 퍼센트 오차는 모두 7% 이내로 수렴하여 성능 검증 완료

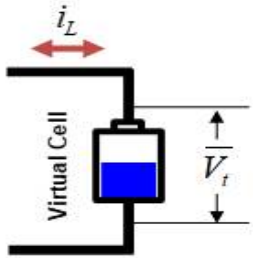


<그림 269> Hybrid pulse power characterization cycle을 이용한 SOC 추정 성능 분석

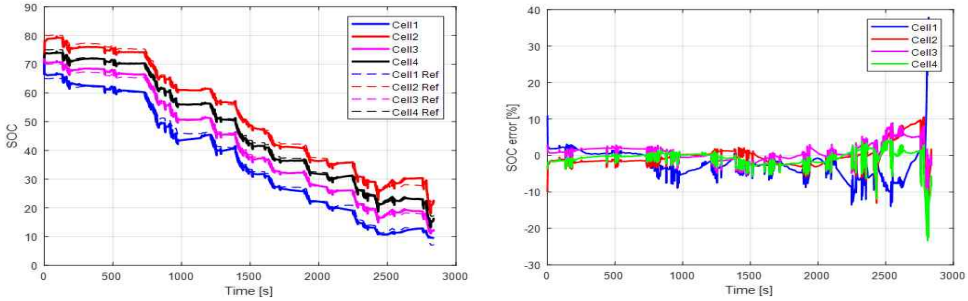
- <배터리 팩> 단일 셀의 상태 추정 결과와 각기 다른 셀의 전압 측정 결과를 비교하여 셀 간 파라미터의 차이를 추정할 수 있는 알고리즘 개발
  - 단일 셀에 대한 SOC 및 노화도 추정 뿐 아니라 다중 셀에 대한 노화도 추정이 필요
  - Cell difference model을 기반으로 다른 셀들의 파라미터 변화량을 추정하여 모든 셀들의 상태를 추정할 수 있는 기법 개발
  - Cell difference model을 적용하기 위해서 임의의 셀 1개를 선택하여 배터리 셀의 상태를 Sliding mode observer를 이용하여 추정

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + f(\hat{x},u) + L(y - C\hat{x}) + Smg(\hat{x},y)$$

$$Smg(\hat{x},y) = \begin{cases} \dfrac{P^{-1}C^{T}Ce}{\|Ce\|}, \|Ce\| > \varepsilon \\ \dfrac{P^{-1}C^{T}Ce}{\varepsilon}, \|Ce\| \le \varepsilon \end{cases}$$



<그림 297> 슬라이딩 모드 관측기를 이용한 Virtual cell의 상태 추정



<그림 298> Virtual cell과 cell difference model 기반 각 배터리 셀 SOC 추정 성능

○ 배터리 셀 및 팩 State of Health(SOH) 추정 알고리즘 개발

• 회기 최소 자승법을 이용한 배터리 내부 저항 추정 알고리즘 개발

- 배터리의 등가 내부 저항 R_i는 배터리의 노화도에 따라 점차 증가하는 특성을 보여주기 때문에 회기 최소 자승법을 이용하여 배터리의 등가 내부 저항을 추정하여 배터리의 노화 정도를 역산
- 임의의 SOC 별 3가지 노화도를 갖는 셀들의 등가 내부 저항 추정 결과, 10% SOC 영역에서 최대 약 9%의 퍼센트 에러를 갖고, 주로 사용되는 SOC 영역에서는 5% 이내의 추정 성능 확인

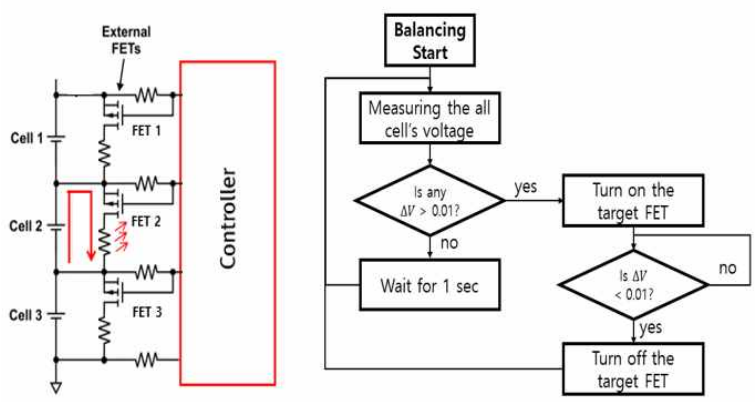
<표 37> SOC 및 노화 정도 별 내부 등가 저항 측정치와 추정치 비교

	SOC	10%	30%	50%	70%	90%
Fresh Cell	Extracted [Ω]	0.02074	0.01756	0.01721	0.01729	0.01781
	Estimated [Ω]	0.01915	0.01721	0.01706	0.01709	0.01769
	Error [%]	7.67	1.99	0.87	1.16	0.67
Mid-aged cell	Extracted [Ω]	0.02686	0.02199	0.02127	0.02208	0.02452
	Estimated [Ω]	0.02482	0.02124	0.02110	0.02188	0.02417
	Error [%]	7.59	3.41	0.80	0.91	1.43
Aged cell	Extracted [Ω]	0.03260	0.02717	0.02659	0.02783	0.03070
	Estimated [Ω]	0.02978	0.02644	0.02628	0.02717	0.02930
	Error [%]	8.65	2.69	2.69	2.37	4.56

○ 배터리 셀 간 전압 균등 제어를 위한 Passive balancing 알고리즘 개발

• 배터리 측정 전압의 차이를 이용하여 충전 및 대기 상태에서 셀 균등제어를 수행할 수 있는 알고리즘 개발

- Passive balancing은 외부에 존재하는 저항요소를 이용하여 배터리의 에너지를 강제로 소산시키는 방식으로 전압의 불균형을 제거



<그림 299> Passive balancing 회로 및 알고리즘 블록도

- 배터리 셀 간의 전압 편차를 15mV 이하로 제어하기 위해서 각 셀의 전압을 센싱한 뒤 셀 간 전압 차이가 10mV 이상 발생하면 해당 셀에 해당하는 FET를 turn on 시켜서 에너지를 소산시키는 방식으로 제어를 수행
- Passive cell balancing 제어를 통해 배터리 셀의 전압이 10mV 이내로 제어된 결과를 보임

<표 38> Passive balancing 제어 결과

	Initial state [V]	Balanced state [V]
Cell 1	3.259 (+0.005)	3.255 (+0.001)
Cell 2	3.256 (+0.002)	3.256 (+0.002)
Cell 3	**3.254 (–)**	**3.254 (–)**
Cell 4	2.256 (+0.002)	3.256 (+0.002)
Cell 5	2.260 (+0.006)	3.256 (+0.002)
Cell 6	3.261 (+0.007)	3.256 (+0.002)

③ 배터리팩 관리 알고리즘 성능 검증 및 최적화

<표 39> 3 차년도 성과지표 목표치 및 목표달성 결과

목표	목표치	달성치	내용
알고리즘 개발 (SOC)	7% 이내	최대오차 3%	배터리 셀 및 팩의 실시간 SOC 알고리즘 개발 및 SOC 알고리즘 검증 (실제 환경)
알고리즘 개발 (SOH)	10% 이내	최대오차 2%	배터리 셀 및 팩의 실시간 SOH 알고리즘 개발 및 SOH 알고리즘 검증 (실제 환경)
알고리즘 개발 (Balancing)	10mv 이내	10mv 이내	배터리 셀 간 균등 제어를 위한 passive balancing 알고리즘 개발 및 알고리즘 검증 (실제 환경)

○ SOC, SOH 추정 정확도 분석 및 알고리즘 최적화

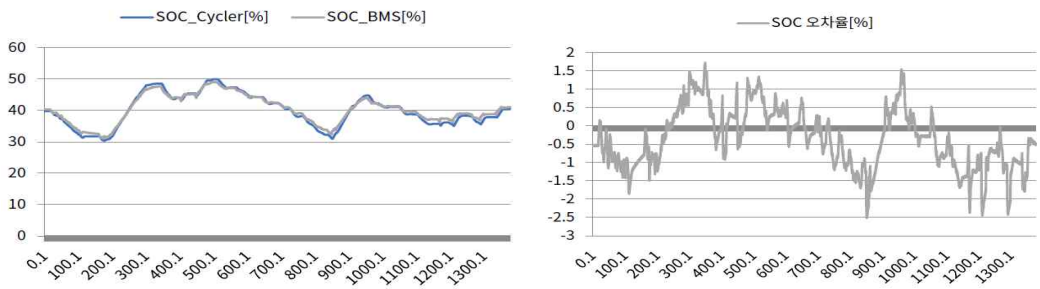
• 개발된 SOC 추정 알고리즘의 완성도 향상

- 초기 셀 (SOH = 99.3%)과 노화셀 (SOC = 84.7%)에 두 가지 전류 사이클을 적용하여 각각에 대한 SOC 추정 성능을 분석
- 배터리 셀이 노화되어 내부 등가 파라미터가 변한 경우에도 제안한 알고리즘은 실제 운행 프로파일(HEV cycle)에서 3% 이내의 추정 성능 확인

<표 40> Algorithm에 따른 Mean absolute error 비교

	HEV cycle		EV cycle	
Algorithm	Fresh Cell	Aged Cell	Fresh Cell	Aged Cell
KAIST	0.7709	1.085	1.054	3.481
Luenberger	0.8220	2.846	2.861	10.12
EKF	0.8009	2.823	3.452	8.267

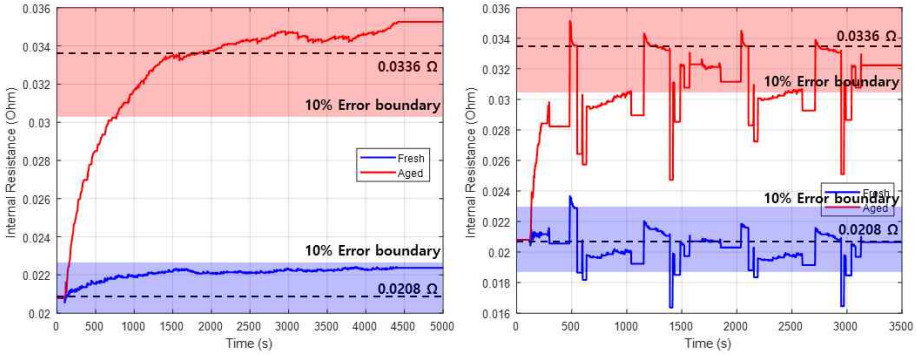
- 공인기관 시험업체(HCT) 방문 및 배터리 팩을 실제 동작 환경과 유사한 환경에 비치 후 알고리즘 성능 평가 진행
- 실제 주행 환경에서 제안된 배터리팩 SOC 추정 알고리즘 오차 3% 이내 확인



<그림 300> 배터리팩 SOC 추정 성능(공인기관 시험업체(HCT))

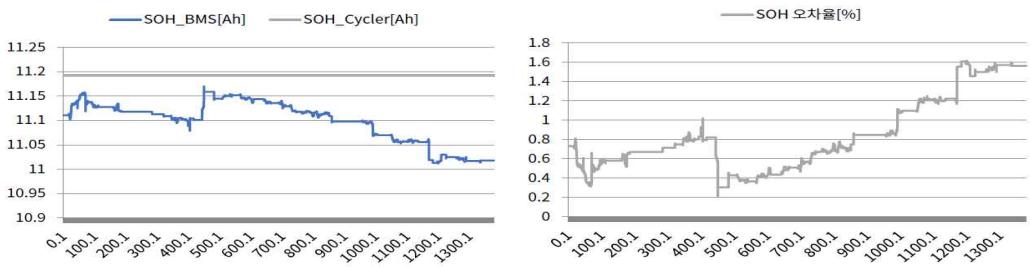
• 개발된 SOH 추정 알고리즘의 완성도 향상

- 배터리 등가 내부저항을 추정하여 배터리 셀의 저항 기반 SOH를 추정
- 실험적으로 배터리의 용량 기반 SOH는 저항 기반 SOH와 선형적 관계가 있음 확인



<그림 301> EV (좌) 및 HEV (우) 사이클에 대한 두 가지 셀의 내부 저항 추정 결과

- 공인기관 시험업체(HCT) 방문 및 배터리 팩을 실제 동작 환경과 유사한 환경에 비치 후 알고리즘 성능 평가 진행 결과 SOH 추정 알고리즘 오차 2% 이내 확인



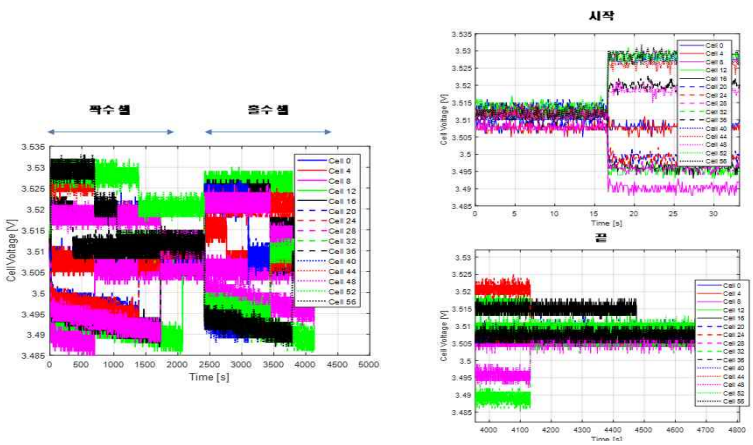
<그림 302> 배터리팩 SOH 추정 성능(공인기관 시험업체(HCT))

-

○ 셀 균등 제어 성능 분석 및 알고리즘 최적화

• Passive balancing에 적합한 balancing 전략 도출

- BMS 하드웨어 구조상 현재 balancing 하드웨어로는 충전 중 balancing이 불가능
- BMS 하드웨어에 20ohm의 고정 저항이 달려 있기 때문에 약 190 mA의 전류를 소진 가능
- 전체 셀에 대해서 balancing 알고리즘을 동작시켰고, 10mV 이내로 전압 편차가 수렴하는 것을 확인

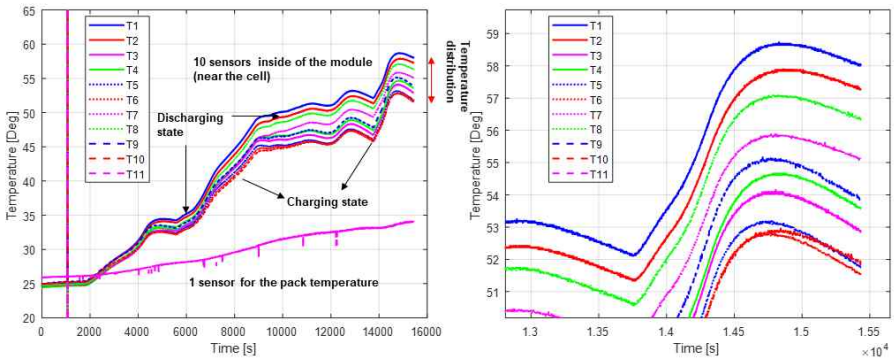


<그림 303> Balancing 명령 인가 시 전압 변화 (좌) 및 시작/끝 전압(우)

○ 온도에 따른 배터리 상태 변화 분석

• 배터리팩 내부 온도 분포 및 변화 분석

- 배터리 팩 내부의 온도를 측정하기 위해서 12S6P 모듈당 2개의 써미스터를 삽입
- 온도 센서는 배터리 팩의 음극쪽 모듈을 1번으로 양극쪽 모듈까지 순차적으로 배치
- 충전시 온도 상승폭은 방전시의 상승폭보다 매우 큰 것을 확인
- 처음에 동일하던 모듈별 온도는 충-방전이 진행됨에 따라 서서히 편차가 발생



<그림 304> 15A로 완충 및 완방 3회시 배터리 팩 내부 온도 분포

○ 고장진단 알고리즘 개발

• Onboard BMS가 취득하는 데이터를 종합하여 각종 고장상태를 진단할 수 있는 알고리즘 개발

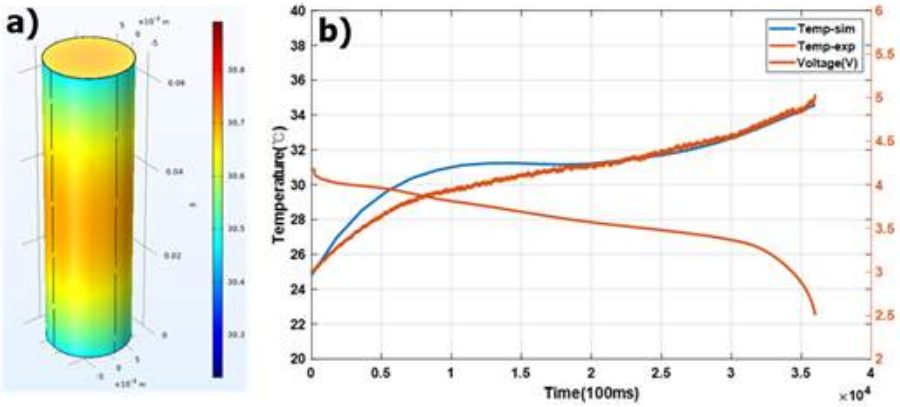
- 개발된 배터리 팩이 사전 정의된 안전 동작 영역에서 작동할 수 있도록 상태별 고장을 진단할 수 있는 알고리즘을 개발

④ 실차 운행 환경에서의 배터리팩 성능 검증 및 디버깅

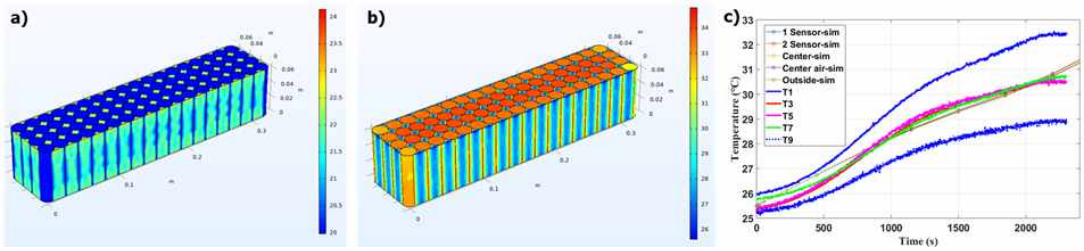
○ 최적 공조장치 설계를 위한 팩 형상에 따른 열해석 및 분석

• COMSOL 기반 배터리 셀 모델 설계 및 열 해석

- 배터리 Cell 단위에서의 온도는 배터리 Core에서의 온도가 가장 높은 것으로 확인
- 배터리 Cell을 Pack으로 확장할 경우 중앙에 밀집되어있는 배터리들의 온도가 높을 것으로 확인
- 공조 장치는 배터리가 밀집되어 있는 부분으로 공조기 설치가 필요



<그림 305> Cell 온도 추정 시뮬레이션 a) 3D 모델 b) 측정값과 비교 그래프 결과



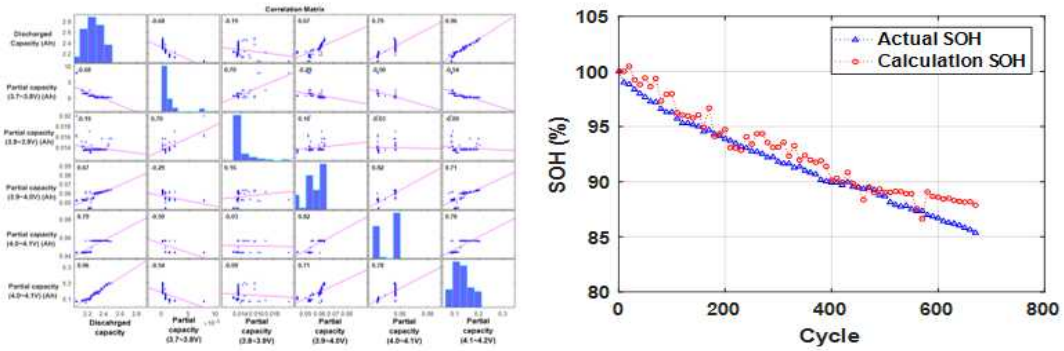
<그림 306> a) 배터리 동작 전 온도 분포 b) SOC 0구간에서의 온도 분포

-

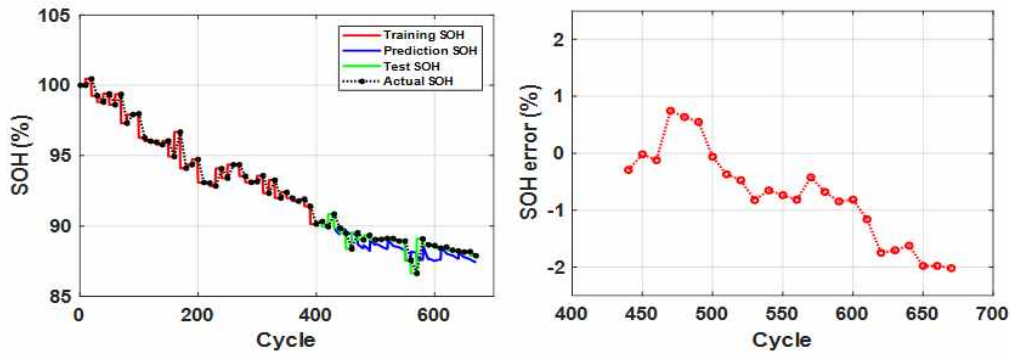
○ 전주기 데이터 활용을 위한 건전성 지표 기반 배터리 상태 진단 기술 개발

• 상세내용

- 회생 재동, 가속 등 충방전이 빈번한 실제 어플리케이션에서 배터리의 상태의 판단이 필요
- 부하가 일정한 전기적 노화실험과 부하가 빈번하게 변경되는 UDDS을 적용하여 배터리의 부하 특성에 따른 전주기 특성을 분석을 수행
- 특정 전압 구간에서 전류의 누적을 통해 건전성 지표 추출
- 건전성 지표 기반 AR 모델 사용하여 배터리의 노화 상태 예측 및 검증



<그림 307> UDDS 기반 건전성 지표 추출 및 실제 SOH와 산출 SOH 비교

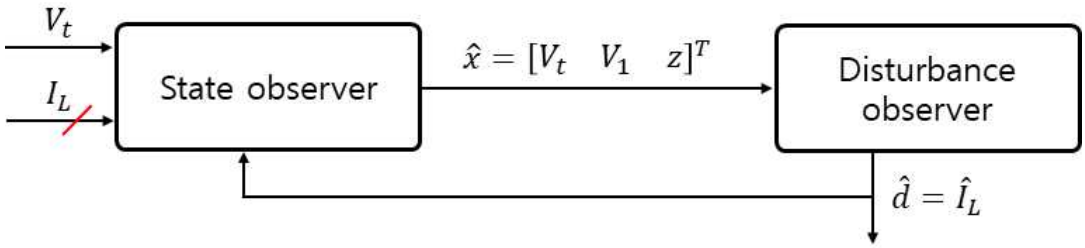


<그림 308> 건전성지표 기반 AR 모델을 활용한 SOH 추정 결과 및 추정 오차

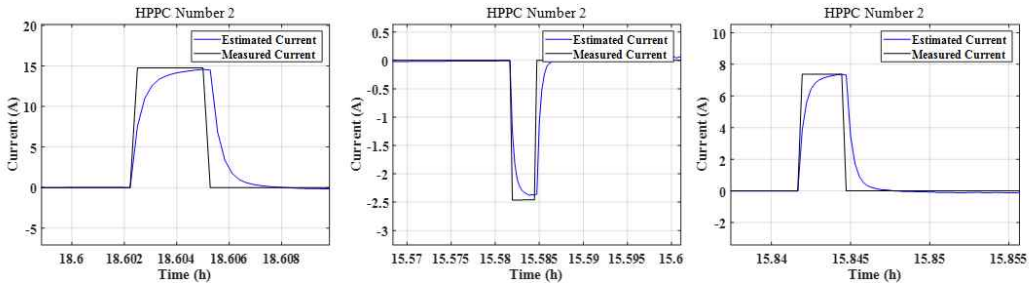
○ 전류 센서 고장시 임시적 차량 동작을 위한 Sensor less SOC 추정 알고리즘 개발

• 상세내용

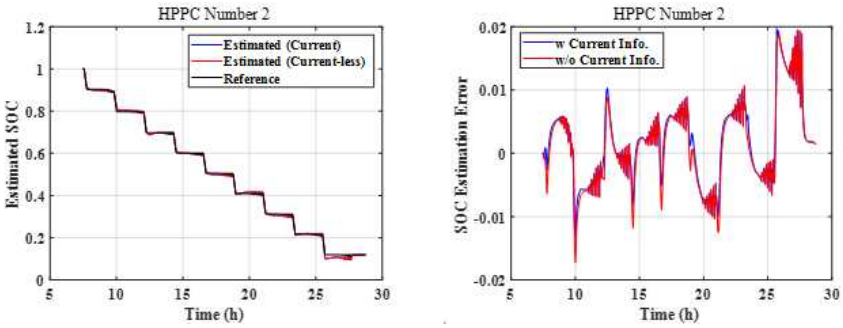
- 배터리 시스템을 제작하는 packer가 전류 센서의 종류를 선정 및 설계하여 전류 데이터를 계측해야 함
- 차량 주행 중 전압 센서 혹은 전류 센서의 고장은 언제나 발생할 수 있으며, 이는 BMS를 통해 항시 monitoring 되어야 함
- 전압 센서의 고장의 경우 다수의 셀이 직렬로 연결되어 있고, 각 셀의 전압 차이가 크지 않다고 가정할 수 있으므로, 적어도 하나의 배터리 셀 전압 데이터를 측정할 수 있으면, 차량의 주행이 가능
- 전류 센서 고장 시 back-up plan 및 원가 절감의 일원으로 전류 sensor-less SOC 추정 알고리즘의 개발이 필요
- 비선형 배터리 셀 모델과 Luenberger observer를 이용한 SOC 추정기 설계 및 구현
- Disturbance observer를 이용한 noise 및 offset에 강인한 전류 추정기 설계 및 구현



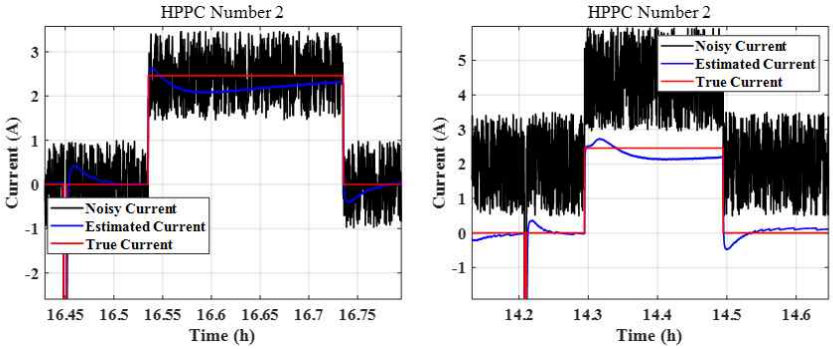
<그림 309> DOB와 State estimator를 이용한 sensorless SOC 추정기 개요



<그림 310> 각종 step 전류 값 추정 결과



<그림 311> SOC 추정 결과



<그림 312> Noise(좌) Noise + Offset(우) 인가시 전류 추정 결과

(아) (공동) 피엠그로우: 배터리 팩 및 시스템 제작 및 성능 평가

① 하이브리드 디젤-전기 트럭용 배터리팩 설계 및 제작

○ 하이브리드 디젤-전기 트럭 프레임 공간 내 실장이 가능한 배터리 시스템 설계

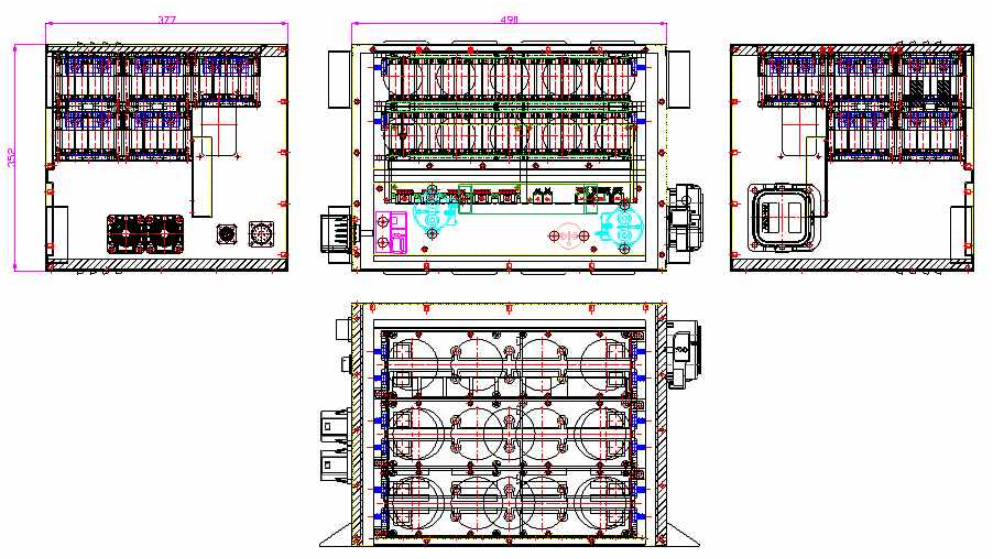
- 차량 구성 부품 간 공간 활용성 및 간섭 등을 고려한 Layout 구성 검토
- 활용 가능 공간 분석을 통한 배터리 시스템의 용량 및 부피 산정

○ 배터리팩 설계 절차 수립

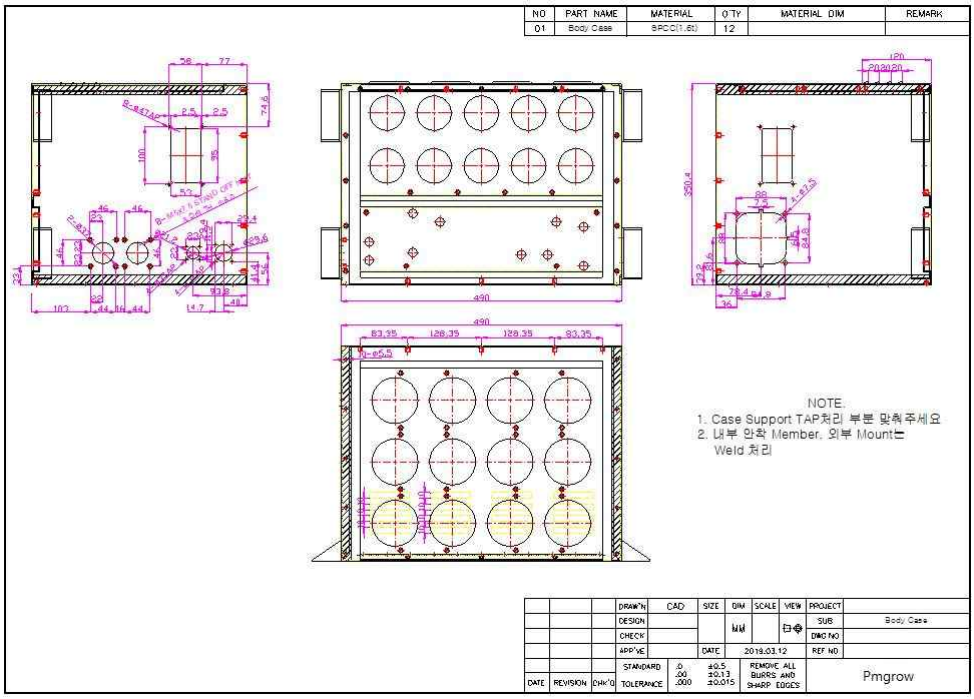
- 프레임 공간 실장에 적합한 전지 형상 선정
  - 원통형, 각형 및 파우치형
- 용량 및 전압에 적합한 활물질 선정
  - LCO, NCM, LFP, LTO 등
- 공칭, 정격, 실사용, 용량, 파워, 전압 등을 고려하여 배터리팩의 직/병렬 조합에 대한 simulation 진행
  - 단위 모듈의 직/병렬 조합 선정
- 셀 당 최대 전류 값을 기준으로 모듈 내 전지의 연결방법 선정 및 모듈 간 busbar 설계
  - 단위면적당 전류 밀도를 고려한 재질 선정
  - 용접, bolting 및 soldering 방법 선정
- 배터리팩 케이스 설계
  - 진동, 충격, 낙하 등의 기계적 강도 고려 (KATRI구동축전지 안전 실험 항목을 기준으로)

- Case의 재질, 두께, 체결구조 및 열 방출용 space 고려

• 외부와의 통신 및 전원공급을 위한 터미널 선정 및 설계



<그림 313> 배터리팩 시스템 설계도면



<그림 314> 실 제작용 배터리팩 case CAD 도면

○ 배터리팩 시제품 제작

• 상기 조건을 만족하는 배터리팩 시제품 12대를 제작

• 각 배터리팩의 절연, 셀 전압 편차 등의 기본성능 검수



<그림 315> 개발된 배터리팩의 측면



<그림 316> 개발된 배터리팩의 전면



<그림 317> 개발된 배터리팩의 내부 구성



<그림 318> 배터리팩 절연저항 검수

② 하이브리드 디젤-전기 트럭용 배터리팩 성능 및 안전성 평가

○ 한국교통안전공단 자동차안전연구원 자동차용 구동축전지 안전성 평가 인증 지원

- 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙 18조의 3에 의거함
- 자동차안전연구원에서 진행하는 7가지 구동 축전지용 안전 인증 획득
  - 결과는 한국교통안전공단 성과 참조
  - 비파괴 검사용 배터리팩 1대, 파괴 검사용 배터리팩 3대 투입

시험항목	시험기준	비고
낙하안전시험	발화 또는 폭발이 없어야 한다.	
액중투입안전시험	발화 또는 폭발이 없어야 한다.	
과충전안전시험	발화 또는 폭발이 없어야 한다.	
과방전안전시험	발화 또는 폭발이 없어야 한다.	
단락안전시험	발화 또는 폭발이 없어야 한다.	
열노출안전시험	발화 또는 폭발이 없어야 한다.	
연소안전시험	폭발이 없어야 한다.	

<그림 319> 구동축전지 안전성시험 항목

(3) 하이브리드 디젤-전기 트럭 시험 및 실용화 기술

(가) (공동) 한국교통안전공단: 하이브리드 개조차량 성능 평가 및 승인

① 하이브리드 디젤-전기 트럭 시험 및 실용화 기술

○ 국내외 튜닝 및 인증 동향조사

• 국내외 튜닝/ HEV 시험방법 동향조사

- 국내외 관련법규 및 시험방법 등 조사
- 국내외 HEV 튜닝 학술연구 등 조사

• 튜닝 인증을 위한 제원분석/구조변경 시험항목 선정

- 소형 화물 디젤 및 하이브리드 제원분석
- 자동차구조/장치 변경에 관한 규정 포함한 항목 선정

<표 41> 안전성확인 시험항목(자동차 튜닝에 관한 규정)

순번	시험항목	안전기준	시험방법	비고
1	고 전원 전기장치 안전성시험	제18조의2	실차	직접시험
2	제동능력시험	제90조	실차	직접시험
3	바퀴잠김방지식 주제동장치를 설치한 자동차의 제동능력시험	제90조	실차	직접시험 (ABS장착 자동차)
4	조향성능시험	제14조 제1항 제4호 및 제89조 제2항	실차	직접시험
5	전자파 적합성 시험	제111조의2	실차	직접시험
6	일반안전의 적정성확인	제4조~제58조 (제15조, 제18조의3, 제35조, 제36조 제외)	실차	제원측정 및 관능검사 또는 성적서 확인
7	주행시험 (내구 3,000km)	-	실차	직접시험
8	구동축전지 안전성시험	제18조의3	단품	직접, 입회시험 또는 성적서 확인
9	원동기 출력시험	제111조	단품	직접, 입회시험
10	기타 성능시험대행자가 안전상 필요하다고 인정하는 시험	-	실차 또는 단품	안전기준 확인이 필요한 경우

-

• HEV 부품 신뢰성 평가 항목 선정

- 변속기어 단수 측정모듈 등 시험항목

• 공회전제한장치(ISG) 부품 신뢰성 평가 항목 선정

- 실차기반 시험항목 선정

<표 42> 공회전제한장치 성능인증 시험항목

번호	평가항목	비고
①	냉각수 온도에 차량 정지 시 엔진 작동 여부	
②	저속 운전상황에서의 차량 정지시 엔진 작동 여부	
③	일정 경사로 이상에서 차량 정지 시 엔진 작동 여부	
④	제동장치용 공기압 설정값 이하 차량정지 시 엔진작동여부	
⑤	차량 제동 및 정지 이후 일정시간 경과 후 엔진 작동 여부	
⑥	차량 제동 및 정지 이후 일정시간 경과 후 엔진 작동 여부	
⑦	엔진 재시동 시 고에너지 소비 보조장치 작동 여부	
⑧	공회전제한장치 사용 시 운전자 선택 여부	
⑨	ISG 미작동 시 장시간 공회전 상태로 정차할 때 경보 여부	
⑩	일정 횟수 이상 시동모터 사용 시 경보 작동 여부	
⑪	공회전 정지시간, 실시율 저장, 표시하거나 원격 작동 여부	
⑫	200km이상 실제도로 주행시 장치 관련 정보 저장 여부	

② 하이브리드 디젤-전기 트럭 시험 및 실용화 기술

○ 구조변경 부품 성능시험 및 평가

• 구동전동기(모터) 성능평가

- 최고출력 측정, 최고30분출력 측정

• 구동축전지(배터리) 성능평가

- 충전, 과방전, 단락, 열노출, 연소, 액중투입, 낙하시험

○ 공회전제한장치(ISG) 개발차 성능시험 평가

• ISG 작동전/후 실차 연비 및 배출가스 평가

- 연료소비율 및 배출가스 규제물질 측정

• ISG 효과검증 시범운영

- 1톤 디젤택배트럭(10대)를 대상으로 실시(약 9주)

• ISG 실차 성능인증 시험

- 환경부 성능인증 시험(총 11개항목) 실시

○ 디젤트럭 개조 전 차량 특성 연구

• 일반안전검사 및 제원측정

- 차량제원, 중량분포, 최대안전경사각도, 제동능력, 최소회전반경, 조향바퀴의 옆으로 미끄러짐 양

• 전자파적합성 평가

- 광대역전자파 방사시험, 협대역전자파 방사시험, 전자파 내성시험

• 연료소비율 및 배출가스 평가

- 연비 및 배출가스 측정

○ 부품별 인증을 위한 시험평가 기준(안) 마련

• 공회전제한장치 평가 기준 도출

- ‘공회전제한장치의 성능인증 시험방법 및 절차 +등에 관한 규정’(환경부고시) 준용

• 제어장치 및 펌프류 등 평가 기준 마련

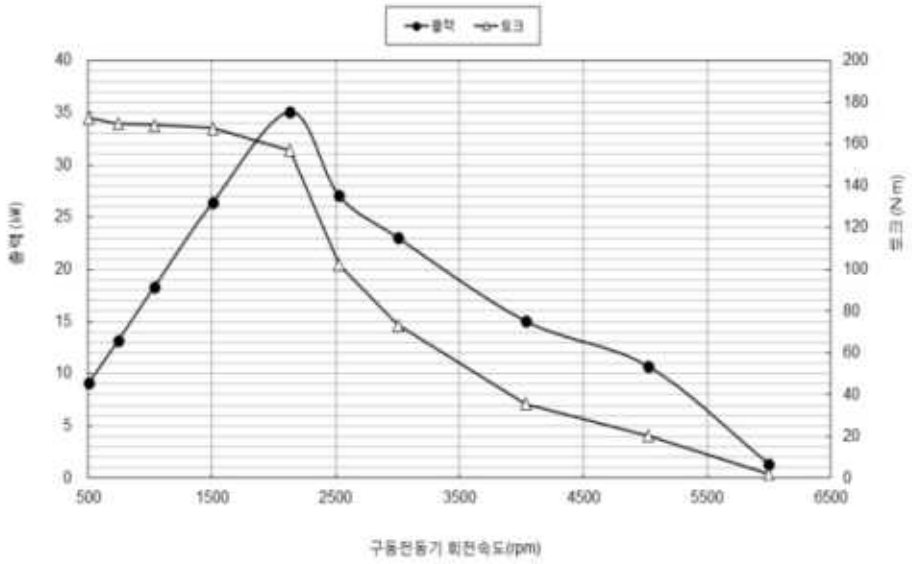
- 내환경성 시험(전자파적합성 평가, 내염평가, 진동평가)

③ 하이브리드 디젤-전기 트럭 시험 및 실용화 기술

○ HEV 구조변경부품 성능시험 및 평가(고도화)

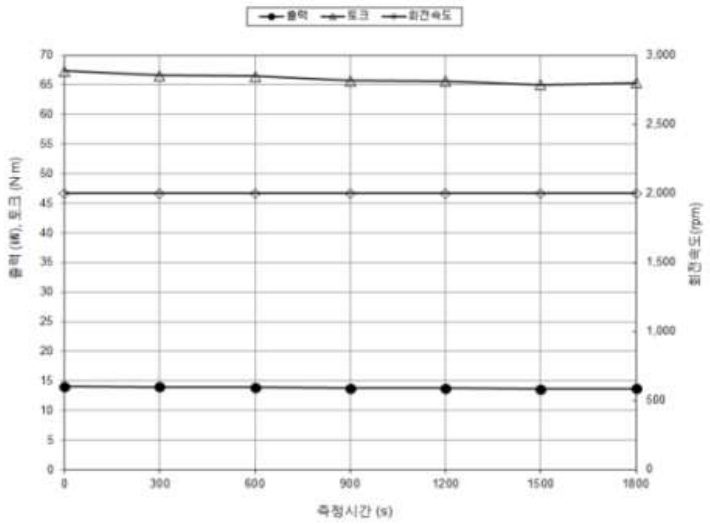
• 구동전동기(모터) 안전성시험

- 최고출력 측정



<그림 320> 구동전동기 최고출력 시험결과

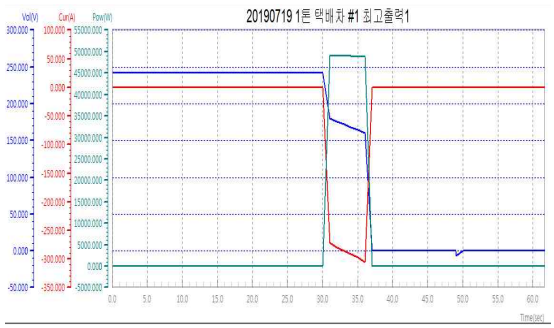
- 최고30분출력 측정



<그림 321> 구동전동기 최고30분출력 시험결과

• 구동축전지(배터리) 안전성시험
- 과충전, 과방전, 단락, 열노출, 연소, 액중투입, 낙하시험
- 구동축전지 최고 출력시험(모터시험용)

<표 43> 구동축전지 안전성시험)

낙하안전시험	액중투입안전시험
	
과충전안전시험	**과방전안전시험**
	
단락안전시험	**열노출안전시험**
	
연소안전시험	**최고출력측정표**
	

○ HEV 구조변경 개발차 실차시험평가

• 하이브리드 개조전 차량 성능 평가

- 일반안전검사 및 제원측정

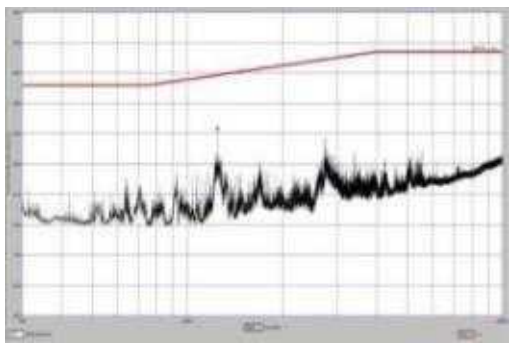
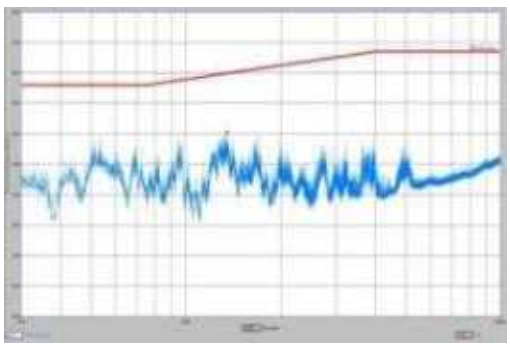
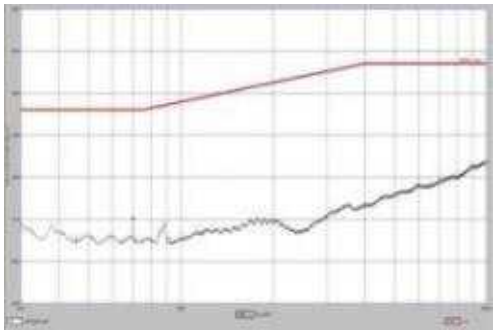
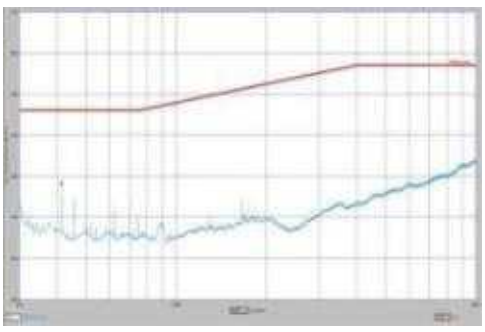
<표 44> 포터2 제원측정 및 중량분포 측정 결과

<table>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="3">  </td></tr>
<tr><td>길이</td><td colspan="2">5,120mm</td><td>차량중량</td><td colspan="2">1,820</td></tr>
<tr><td>너비</td><td colspan="2">1,740mm</td><td>차량총중량</td><td colspan="2">3,035</td></tr>
<tr><td rowspan="2">높이</td><td rowspan="2">1,970mm</td><td rowspan="2">공차시
하중분포</td><td>전축</td><td>1,070</td></tr>
<tr><td>후축</td><td>750</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하대
옵셋</td><td rowspan="2">180mm</td><td rowspan="2">적차시
하중분포</td><td>전축</td><td>1,325</td></tr>
<tr><td>후축</td><td>1,690</td></tr>
</table>

- 연비 및 미세먼지 배출 특성

- 전자파적합성 평가

<표 45> 전자파 방사시험 결과

<table>
<tr><td colspan="2">광대역 전자파 방사시험 결과(측정거리 10m)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">협대역 전자파 방사시험 결과(측정거리 10m)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

<표 46> 전자파 내성시험 결과

시 험 기 준	오작동 여부	판 정
자동차의 직접 제어와 관련한 기능에 이상이 없을 것	정 상	적 합
운전자, 승객 또는 다른 운전자의 보호와 관련한 기능에 이상이 없을 것	〃	〃
운전자나 다른 운전자에게 혼란을 유발할 수 있는 장해를 발생 시키지 않을 것	〃	〃
자동차의 데이터 버스 기능성 및 자동차의 법정 데이터에 영향을 미치는 기능에 이상이 없을 것	〃	〃

• 하이브리드 개조 실차 안전성 평가

- 일반안전검사 및 제원측정

<표 47> 포터2 HEV 제원측정 및 중량분포 측정 결과





길이	5,085mm	차량중량	2,060kg	
너비	1,740mm	차량총중량	3,255kg	
높이	1,930mm	공차시 하중분포	전축	1,190kg
			후축	870kg
하대 옵셋	-90	적차시 하중분포	전축	1,340kg
			후축	1,915kg

<표 48 > 포터2 HEV 최대안전경사각도 측정 결과





항목	기준	측정값
안전기준 제 8조(최대안전경사각도)	35도	35도
비고	자동차안전기준에 적합	

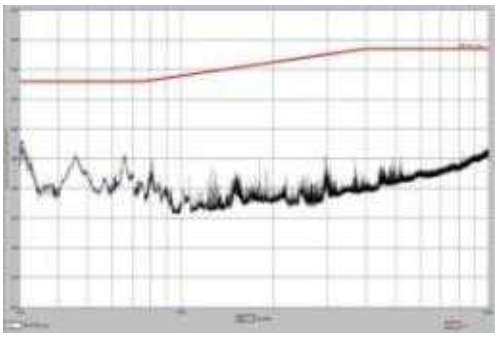
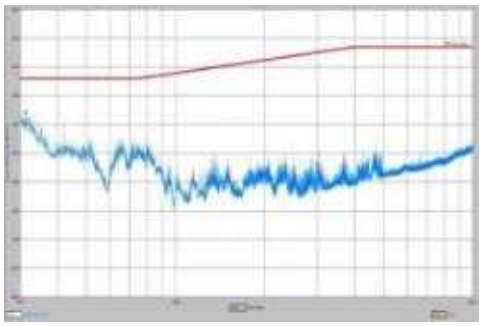
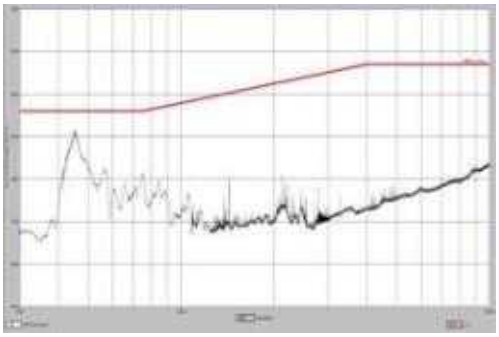
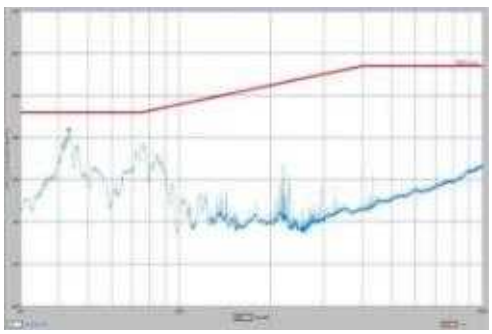
- 고전원전기장치

<표 49> 고전원전기장치안전성시험

고전원전기장치 경고표시	저항측정
	
절연저항 측정	**보호등급 판정**
	

- 전자파적합성 평가

<표 50> 전자파 방사시험 결과

광대역 전자파 방사시험 결과(측정거리 10m)	
	
협대역 전자파 방사시험 결과(측정거리 10m)	
	

○ HEV 부품별 시험방법 기준(안) 고도화

• 하이브리드 개조부품 평가 방안 도출

- 배터리팩, 디스플레이 장치, 하이브리드 eMT 컨트롤 시험

- 공회전제한장치(ISG) 평가 방법 준용

○ 구조변경 승인(안) 제시

• '하이브리드 튜닝 절차 개선 연구' 수행

- 연구용역을 통하여 하이브리드 튜닝 규정(안) 도출

○ 국토부 물류지원사업 성과물 활용

• 공회전제한장치 인증 확보

- 환경부 인증서 교부(대기환경보전법 제60조제1항 및 동법 시행규칙 제81조의 2제5항)

• 녹색물류전환사업 참여

- 사업참여 업체 섭외: 고려택배(주)

* 2차년도 공회전제한장치 효과검증 시범운영 참여 업체

④ 하이브리드 디젤-전기 트럭 시험 및 실용화 기술(4차년도)

○ HEV 튜닝 개발 자동차 평가

• 안전성확인(2대) 및 시험성적서 발급

- 기술검토, 일반안전검사 및 제원측정, 고전원전기장치안전성, 전자파적합성, 주행내구, 조향성능, 제동능력

• 튜닝실차 성능 평가

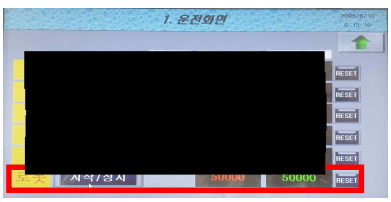
- 하이브리드 동력성능평가, 실도로 미세먼지 배출특성 평가, 연비 및 온실가스 특성 평가, 저온성능평가, 환경적응성능평가(혹한기)

○ HEV 튜닝 부품 평가 고도화

• 기어단수모듈 평가

- 시험품(2개) 안전성 및 내구성, 신뢰성 평가

<표 51 > 튜닝부품 내구성 시험결과

내구회수	Fail 횟수	외관 손상 확인
		

○ HEV 튜닝 인증 적용

• 승인 확보를 위한 업무 지원(승인신청 및 실차검사)

- 승인기관(공단 자동차튜닝처 및 검사소) 대응

- 기술소개, 기술검토 및 실차시험결과서 전달 등

<표 52 > 튜닝검사 실시

제원측정	
	
제동장치 검사	배기가스발산장치 및 소음방지장치 검사
	
고전원전기장치	
1) 활선도체부 직접 접촉가능 여부	
통전 여부의 확인을 위하여 일부 부품을 개방·분해·제거 필요한 경우이므로 확인 필요 없음	
2) 절연저항시험기를 이용하여 고전원전기장치의 활선도체부와 차체 사이의 절연저항 측정	
	

○ HEV 튜닝 세부업무규정(안) 제시

• 하이브리드 튜닝 규정 마련

- 자동차 튜닝에 관한 규정(국토교통부 고시 제2020-407호 /'20.05.27 시행)

• 세부엄부규정 마련

• 자동차안전연구원 업무지침 개정('20.06.08 시행)

○ HEV 튜닝 효과검증 시범운영 수행

• 국토교통부 녹색물류전환사업 참여 및 수행

- 물류업체((주)한진택배)의 하이브리드 튜닝 비용 지원(튜닝비용의 30%(150만원))

- 제주도 내 물류배송 시범운영 실시

<표 53 > HEV 튜닝효과검증 시범운영 차량(한진택배)

대상차량		검사일시	검사장소	연식	튜닝승인번호
포터 II		2020.11.25	한국교통안전공단 대전검사소	2014	1083-2020-81753

○ 공회전제한장치(ISG) 실증사업 수행

• 2개 물류기업(고려택배, CJ대한통운)을 대상으로 실시

- 총 7대의 차량에 ISG 장치를 장착하여 실제 물류배송에 적용('19.11~'20.12월)

<표 54 > ISG 실증사업 대상차량

CJ대한통운					
					

○ 연구용역 수행

• 하이브리드 튜닝기술 해외확산 방안 연구

- 연구과제 성과물의 해외진출 방향성 및 정책적 제언 등 제시

• 하이브리드 튜닝기술 수요연계 사업화 연구

- 연구과제 성과물의 수요연계 사업화 연구를 통해 친환경 튜닝기술 보급 활성화 방안 등 제시

(나) (공동) 한국교통연구원: 택배차량용 하이브리드 디젤 트럭의 실용화 기술 개발

① 시장보급방안도출

○ 구매의향조사 수행 및 조사결과 분석

• HB choice-based conjoint 방법론을 활용한 구매의향조사 설문지 설계

<표 55> 설문조사 방법 및 내용

구분	내 용
조사대상	• 소형택배트럭(1.5톤 이하) 소유자 및 운전자
표본크기	• 191명 (245명 중 유효표본)
표본추출방법	• 소형택배트럭(1.5톤 이하) 소유자 및 운전자 무작위 추출
조사 방법	• 1:1 개별면접조사(Face-to-Face Interview)
자료수집도구	• 구조화된 설문지(Structured Questionnaire)

• 택배트럭 구매자/소유자 및 운전자에 대한 구매의향조사 시행 및 분석

- (부분가치 산출) 개조비용이 100만원일 때 부분가치가 7.0339로 가장 높았으며, 비용이 증가할수록 부분가치가 급격히 낮아져서 개조비용이 600만원일 때 부분가치가 -11.8993으로 가장 낮은 것을 확인

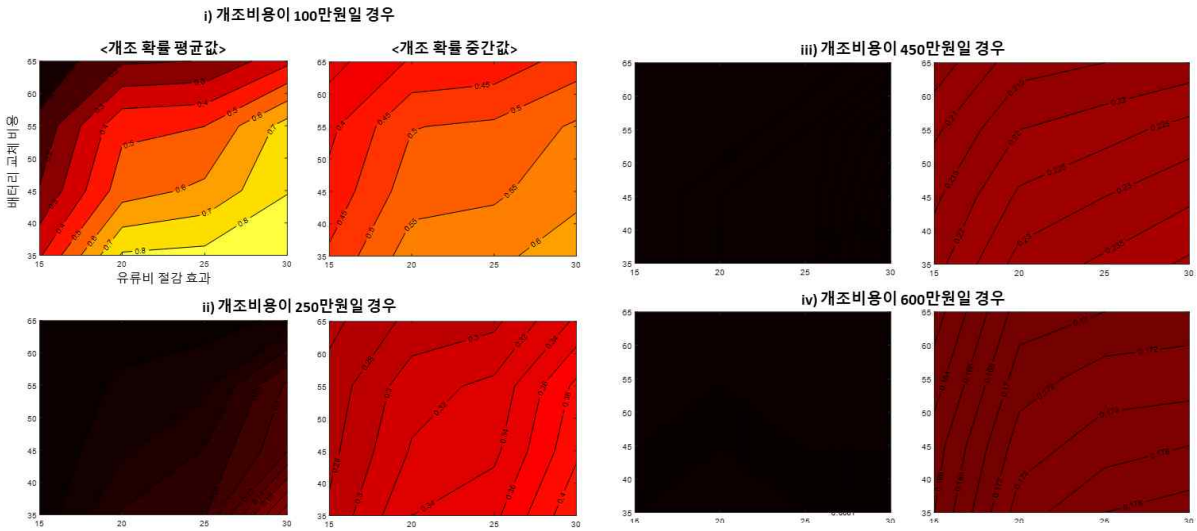
<표 56> 속성별 중요도 및 부분가치

속성	중요도	수준		부분가치
유류비 절감	21.0% (31.0%)	Level 1	15%	-1.6691 (2.0177)
		Level 2	20%	-0.0826 (0.2906)
		Level 3	25%	0.3808 (0.4742)
		Level 4	30%	1.2057 (1.6447)
개조비용	69.1% (29.7%)	Level 1	100만원	**7.0339 (4.1819)**
		Level 2	250만원	3.9460 (2.6063)
		Level 3	450만원	0.9194 (2.0339)
		Level 4	600만원	**-11.8993 (8.2139)**
유지비용	9.9% (7.5%)	Level 1	35만원	1.0842 (0.8890)
		Level 2	45만원	0.4499 (0.3703)
		Level 3	55만원	0.0391 (0.2586)
		Level 4	65만원	-1.5732 (1.2456)
개조하지 않음		-		7.1698 (9.5207)

*위 표는 191명의 평균값을 의미하며, 괄호안의 값은 분산을 의미함

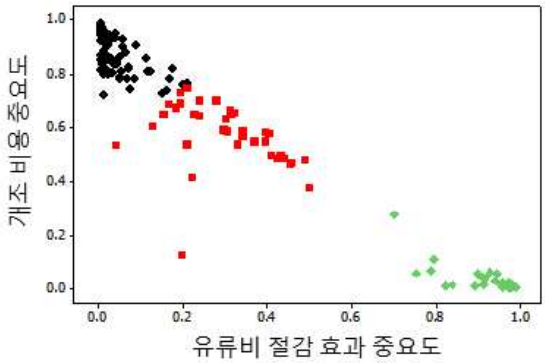
- (속성별 중요도 도출) 택배트럭 소유자 및 운전자들에 대한 친환경 트럭 개조 기술 중요도를 계산한 결과 개조비용에 대한 중요도가 69.1%로 가장 높게 나타났으며, 유류비 절감 21.0%, 유지비용 9.9% 순으로 나타남
- (모델의 예측 성능 평가) 88.3%의 적중률 (hit-rate)을 보임
- (개조의사) 설문 결과 191명 중 55명(28.8%)이 개조할 의사가 있다고 답변, 중간값 기준 유류비 절감 효과가 25%인 경우, 개조비용이 100만원 수준일 때

28.8%(Base line) 이상의 개조 유도 가능, 평균값 기준 유류비 절감 효과가 25%이고 개조비용이 250만원 수준일 때 28.8%(Base line) 이상의 개조를 유도할 수 있으므로 보수적으로 판단할 때는 중간값을 사용하고 낙관적으로 판단할 경우 생각할 때 평균값을 사용가능



<그림 322> 제품속성별 개조선택확률 Heat map

- (지불의사액 산출) 191명의 지불의사액 추정값들의 중간값 기준 유류비 절감 효과 1%를 높이기 위해 개조비용으로 28.9만원을 지불의사가 있으며 배터리 교체 비용 만원을 절감하기 위해 개조비용으로 3.5만원을 지불의사 있음
- (고객분류) 개조비용을 매우 중요하게 생각하는 그룹은 129명(68%), 개조비용과 유류비 절감 효과를 균형 있게 고려하는 그룹은 35명(18%), 유류비 절감 효과를 매우 중요하게 생각하는 그룹은 27명(14%)



<그림 323> 속성별 중요도에 따른 K-means clustering 결과 (세 그룹)

- (개조 의사에 영향을 주는 인구통계학적 요인) 택배 소유유형이 개인사업자일수록 (회사 대표 혹은 직원이 아닐수록) 개조를 고려하며, 현재 주행거리가 적을수록 개조를 고려하고 연간소득이 적을수록 개조를 고려함
- (유류비 절감 효과의 중요성에 영향을 미치는 요인) 양의 관계: 개조 의사, 트럭 소유 유형, 현재 주행거리, 남은 주행거리, 연간소득 / 음의 관계: 하루 평균 주행거리, 평균 적재 무게, 택배 관련 업무기간

- (개조비용의 중요성에 영향을 미치는 요인) 양의 관계: 평균 적재 무게, 택배 관련 업무기간 / 음의 관계: 트럭 소유 유형, 현재 주행거리, 남은 주행거리, 연간소득
- (배터리 개조 비용의 중요성에 영향을 미치는 요인) 양의 관계: 실제 연비
- 인구통계학적 속성은 유류비 절감 효과 중요도와 개조 비용 중요도에 반대로 영향을 미침

<표 57> 제품 속성별 중요도와 인구통계학적 속성과의 관계

인구통계학적 속성	Coefficient	SE	Z	P-value
택배 소유 유형	-1.995060	0.965922	-2.07	0.039*
차량 년식	-0.019465	0.119336	-0.16	0.870
차량 구매 년도	-0.037446	0.108745	-0.34	0.731
차량 종류	0.947364	0.702044	1.35	0.177
월 평균 유류비	-0.021438	0.016408	-1.31	0.191
현재 주행거리	-0.000012	0.000006	-2.00	0.045*
남은 주행거리	-0.000007	0.000004	-1.84	0.065
하루 평균 주행 거리	0.014417	0.010601	1.36	0.174
실제 연비	0.038730	0.168354	0.23	0.818
Conjoint 설문에서 개조안함 선택 횟수	-0.260140	0.043229	-6.02	0.000**
평균 적재 무게	0.466248	1.239830	0.38	0.707
택배 관련 업무기간	0.002746	0.003960	0.69	0.488
연간소득	-0.000685	0.000311	-2.20	0.028*

② 법·제도적 지원방안 연구

○ 구매·개조 비용 지원 등 기존 지원 사업 분석 및 활용방안 검토

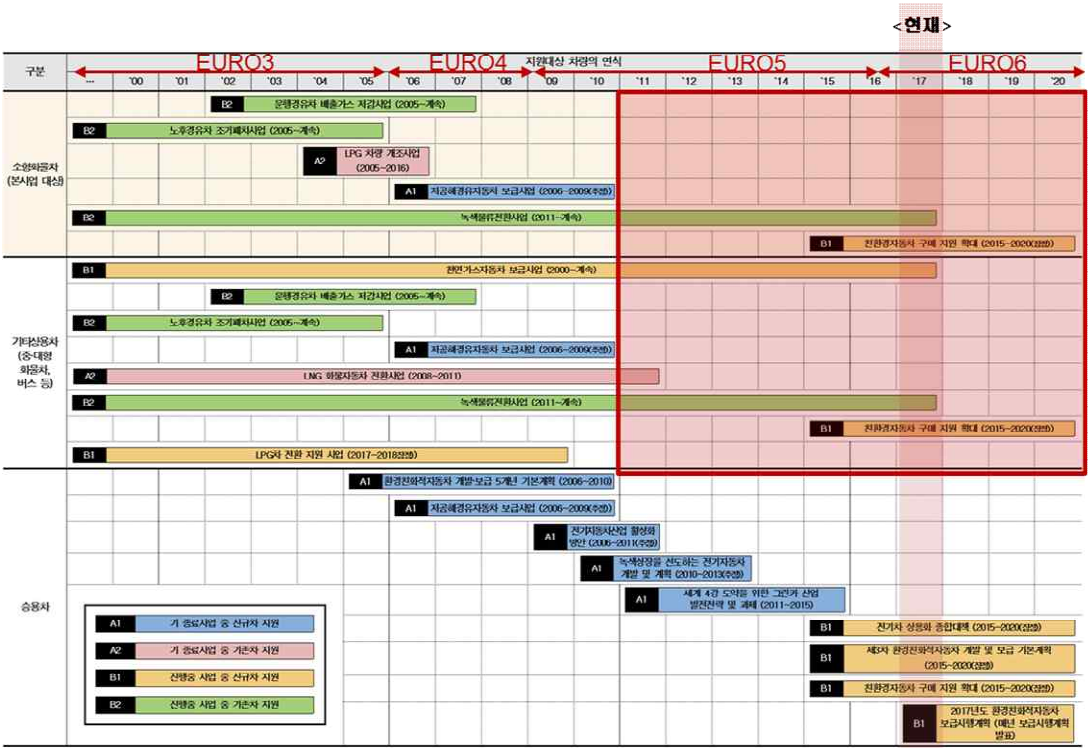
• 친환경 자동차 및 소형 트럭 대상 관련 정책, 지원사업들에 대한 법제도조항, 실적보고서 등 관련 문헌을 고찰하고 법·제도적 지원방안 방향성을 제시

• 소형 디젤화물트럭은 주로 택배 및 일반화물 운송시장에 많이 사용되는 차량으로 해당 차량이 활용되는 시장의 특성을 잘 반영한 정책의 추진 필요

- 국내 택배화물운송시장은 대부분 개인이 차량을 소유하고 배달 업무를 수행하고 있으며, 일반 화물운송시장 역시 다수가 지입차량으로 운영되고 있어 대부분의 차량소유주가 영세한 개인사업자임
- 차량가격에 비해 너무 높은 비용이 소요되거나, 기술 적용에 너무 많은 기간이 필요한 경우 차량 소유주들이 기술 도입을 주저하게 되는 한계가 발생함
- 따라서 차주에게 비용과 시간소비가 많이 발생하지 않도록 지원하는 정책을 중심으로 시장 보급을 추진할 필요가 있음

• 친환경화물자동차 관련 정책 및 보급 동향 분석 및 검토

- 본 사업의 대상인 소형트럭의 경우 2008년도 이전 생산 차량의 경우에는 운행경유차 배출가스 저감사업의 지원을 받아 환경오염물질 배출의 저감을 추진할 수 있음
- 2008년 이후 생산되어 기 판매된 소형 트럭과 향후 판매 될 전기차 이외의 내연기관 소형트럭의 경우 <그림 3>에 나타난 바와 같이 녹색물류전환사업 이외에는 환경오염 저감을 위한 어떠한 지원사업도 없다는 정책적 한계가 있음



<그림 324> 운송분야 오염저감을 위한 주요 정책 및 지원대상 (차량 연식 기준)

③ 법·제도적 지원방안 연구

○ 국내 친환경 차량 기술개발 및 보급지원 관련 지원제도 분석 및 검토

• 친환경 하이브리드트럭 관련 법·제도 현황 분석 및 재정지원 가능성 검토

- 「대기환경보전법」에 의해 정부는 자동차에 의한 대기오염을 줄이기 위한 기술개발이나 제작을 위해 재정적·기술적 지원을 할 수 있음
- 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」에서는 저공해자동차의 보급 및 구매, 특정경유자동차의 관리, 노후차량의 조기폐차 지원 등과 관련한 내용을 명시하고 있음
- “운행경유차 배출가스 저감사업”은 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」, 「보조금의 예산 및 관리에 관한 법률」을 근거로 특정경유자동차 배출허용기준을 초과한 차량의 배기가스 저감 및 저공해 의무화 대상차량의 보급을 목적으로 시행
- 「물류정책기본법」에 의하여 정부는 환경친화적 물류의 촉진을 행할 수 있으며, 물류활동이 환경친화적으로 추진되도록 시책을 마련하여야 하고 물류기업 및 화주기업에 대하여 환경친화적인 운송수단으로 전환을 권고하고 지원

• 친환경자동차 관련 정책 및 보급 동향 분석 및 검토
- DPF(p-DPF) 장착이나 DOC 장착과 같은 소극적이지만 시장 보급과 효과 발현이 빠른 정책부터 수소차, 전기차 보급과 같은 적극적인 정책, LPG 차량개조, LNG 화물차 개조 등 중간 위치의 정책 등이 다양하게 추진되어 옴
• 택배운송 환경 관련 정책 동향 분석 및 검토
- 본 연구개발 기술의 적용 대상인 소형 디젤화물트럭은 주로 택배 및 일반화물 운송시장에 많이 사용되는 차량으로 해당 차량이 활용되는 시장의 특성을 잘 반영한 정책의 추진이 필요함
- 차량가격에 비해 너무 높은 비용이 소요되거나, 기술 적용에 너무 많은 기간이 필요한 경우 차량 소유주들이 기술 도입을 주저하게 되는 한계가 발생함
- 따라서 차주에게 비용과 시간소비가 많이 발생하지 않도록 지원하는 정책을 중심으로 시장 보급을 추진할 필요가 있음
• 활용가능 정책 선정 및 개선방안 도출
- '녹색물류 전환사업'은 현재 정책환경에서 본 기술 도입에 대한 중앙정부 지원이 가능한 유일한 사업으로 택배차량의 온실가스 및 대기오염물질 배출을 저감하는 것을 목표로 하는 본 사업의 성격과도 가장 부합하는 사업으로 판단됨
- 본 하이브리드 디젤-전기 소형트럭 개조기술은 현 디젤 차량들의 연료사용량을 감소시킬 수 있는 기술로 '에너지의 효율적인 이용'이라는 에너지이용 합리화법의 목적과 부합

○ 신규 지원방안 마련을 위한 하이브리드 디젤-전기트럭 개조기술 도입의 사회적 편익 (정책효과) 추정
• 하이브리드 디젤-전기 트럭 개조기술 보급의 사회적 편익을 추정함으로서 본 기술의 보급 타당성 확인
• 하이브리드 디젤-전기트럭 개조기술 보급 수요 추정
- 교통수요분석을 위해 한국교통연구원의 국가교통DB센터에서 제공하는 KTDB 배포자료(https://www.ktdb.go.kr)를 활용 수도권 기준 보급수요를 산정
- 통행배정(Traffic Assignment)을 통해 수도권 주요도로 링크별 통행배정을 수행
• 차량 대기오염물질 배출량 분석
- 본 분석의 주요 대상은 디젤트럭이며, 분석대상 온실가스 및 대기오염물질은 이산화탄소(CO2), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5)임
- 분석 기준선(baseline)의 차량 대기오염 배출량은 승용차에서 이산화탄소와 일산화탄소의 배출량이 트럭에 비해 높으며, 트럭의 경우 질소산화물과 미세먼지 및 초미세먼지의 배출량이 월등히 높게 나타남

<표 58> 대상지역 대기오염물질 배출량 산정결과(Baseline)

(단위: kg/일)

Baseline 시나리오	CO2	CO	NOx	PM10	PM2.5
소형트럭	**545,607**	**2,724**	**2,230**	**173**	**159**

• 개조 기술의 적용 분석 대안 검토

- 트럭차량의 대기질 개선효과 분석을 위해, 다음의 대안을 고려하였고, 대상차량은 소형트럭으로 한정함
- 하이브리드 전기-디젤트럭 도입 시나리오에서 온실가스 감소분은 이산화탄소에만 적용된다고 가정하였고, 미세먼지는 PM10과 PM2.5 모두 동일한 감소효과가 있는 것으로 가정함

<표 59> 대상지역 대기오염물질 배출량 산정결과(대안)

(단위: kg/day)

대안: 하이브리드 디젤-전기트럭 도입시	CO2		NOx		PM10		PM2.5	
	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대
소형트럭	518,327	436,485	1,539	1,316	166	131	153	121

• 대기확산분석을 통한 공공보건편익 추정

- 소형트럭에 하이브리드 디젤-전기트럭 기술 적용시 연평균 초미세먼지 최대농도는 14.1ug/m3으로 감소하여 최대 약 10% 감소하는 것으로 나타남

• 대기질 변화에 따른 환경편익 추정

- 대기오염 발생량은 일평균 발생량으로 연간 동일한 조건의 대기오염이 발생한다고 가정하여, 연간 발생 편익을 추정함
- 초미세먼지만을 살펴보면, 소형 트럭을 전기-디젤 하이브리드 트럭으로 교체할 경우, 최소 10억에서 최대 64억의 편익이 연간 발생하는 것으로 분석됨
- 하이브리드 트럭 도입시 온실가스 및 대기오염물질 감소로 인해 매년 34만원/대에서 64.5만원/대의 사회적 편익이 발생하는 것으로 분석됨

○ 친환경자동차 보험 가입 관련 사례 검토 및 전문가 의견 수렴

• 자동차보험 개요 및 보상내용 등 정리

• 관련 유사사업의 보험가입방안 및 예상 관련 이슈 분석 및 검토

• 하이브리드 디젤 전기트럭 보험가입방안 검토

- 단기적인 관점에서 하이브리드 디젤-전기 개조트럭의 보험 가입은 개조 전 디젤트럭의 자동차 보험과 동일하게 가입하되, 추가로 장착되는 개조모듈에 대해서는 가입 여부를 결정해야함

  ※ 개조차량의 보험가입은 가능(유사사례: 천연가스엔진개조, 배출가스저감장치 부착 등). 개조모듈 가액만큼 가입비용 부담 증가 예상

- 사업 시행 초기에는 추가 보험료의 일부를 보조해주는 방안, 또는 개조모듈에 대해서는 장착 시 협회 등에서 일괄로 개별 보험을 들어 처리하는 방안을 고려하여 원활히 보급될 수 있도록 할 필요가 있음
- 장기적인 관점에서는 하이브리드 디젤-전기 소형트럭 운전자군의 사고데이터를 축적하여 사고율 및 보험의 손해율이 낮음을 확인할 수 있도록 데이터를 마련하고 차별화된 보험상품 개발을 고려하여야 할 것임

④ 시장보급방안 도출

○ 시장규모 및 투입비용 산정

• 택배산업 관련 동향자료 이용한 장래 교체 가능한 택배화물차량 수요 산정

- 택배차량(1.5톤 미만) 현황, 국내 택배시장 규모 및 전망치, 연료별 화물차량 등록대수, 개조기술에 대한 선호도 조사 결과를 바탕으로 경제성 분석을 위한 장래 개조차량 대수를 산정

• 하이브리드 개조사업 수행에 대한 사회적 비용 산정

- R&D 연구비용, 개조 및 배터리교체 지원 비용

<표 60> 보조금 규모에 따른 시장 규모 및 투입비용

시나리오	보조금 규모 (백만원)	개조의사 비율(%)	개조차량 대수(대)	투입 비용 (십억원)	시나리오	보조금 규모 (백만원)	개조의사 비율(%)	개조차량 대수(대)	투입 비용 (십억원)
1	550	97.4	65,910	469	6	300	39.8	26,933	139
2	500	85.6	57,925	388	7	250	38.9	26,324	124
3	450	69.9	47,301	298	8	200	17.5	11,842	59
4	400	65.2	44,121	258	9	150	4.1	2,774	24
5	350	55.4	37,489	205	10	100	0.2	135	16

주: 연비개선효과 42.3%, 배터리 교체비용은 40만원으로 가정

○ 편익산출 및 보급사업 경제성/재무성 분석

• ISG 기술 적용 차량 및 하이브리드 개조기술 적용차량에 대한 경제적 타당성 분석

- 편익/비용비율(B/C Ratio), 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR)을 이용해 산정

- (ISG 기술 적용 차량) 보조금 250만원 지급하는 경우 개조의사비율은 38.9%로 나타났으며, B/C가 1.82로 가장 높게 나타남

- (하이브리드 개조기술 적용차량) 보조금 250만원 지급하는 경우 개조의사비율은 38.9%, 할인편익 240,084백만원, 할인비용 83,152백만원으로 나타났으며, 이 때 B/C가 2.89로 가장 높게 나타남

<표 61> 하이브리드 개조기술 적용차량에 대한 경제성 분석 결과

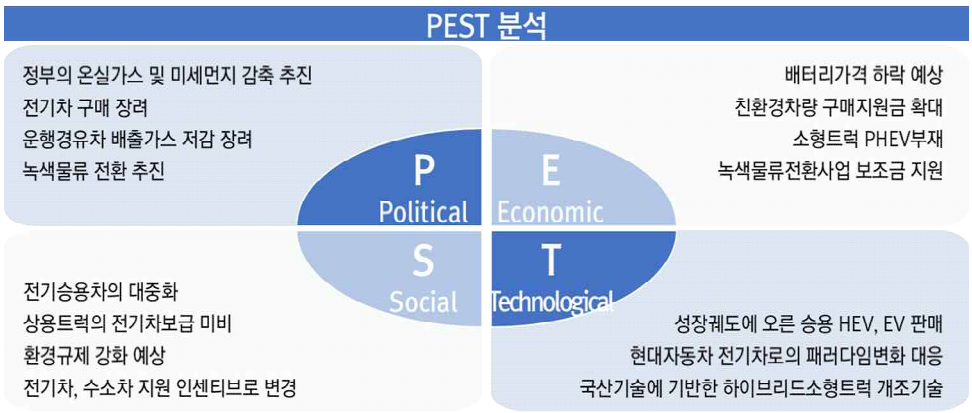
(단위: 백만원)

구분	보조금 규모	개조의사 비율	할인편익	할인비용	B/C	NPV	IRR
시나리오1	5.5	97.4%	601,136	316,443	1.90	284,692	24.33%
시나리오2	5.0	85.6%	528,308	260,876	2.03	267,432	26.68%
시나리오3	4.5	69.9%	431,410	200,130	2.16	231,280	28.62%
시나리오4	4.0	65.2%	402,403	173,202	2.32	229,201	31.41%
시나리오5	3.5	55.4%	341,919	137,015	2.50	204,904	33.31%
시나리오6	3.0	39.8%	245,639	93,548	2.63	152,091	32.65%
시나리오7	2.5	38.9%	240,084	83,152	2.89	156,932	35.45%
시나리오8	2.0	17.5%	108,007	41,176	2.62	66,831	26.10%
시나리오9	1.5	4.1%	25,304	19,367	1.31	5,937	9.15%
시나리오10	1.0	0.2%	1,234	14,101	0.09	-12,867	-15.07%

○ 홍보 및 보급방안 도출

• 홍보 대상의 설정과 홍보방안 도출

- 기업의 내부 및 외부 환경을 분석하는 마케팅 환경분석(3C)
- (시장정의) 본 하이브리드 디젤-전기트럭 개조기술의 시장은 기술이 바로 적용되어 효과를 볼 수 있는 1차 시장과, 수정 적용될 수 있는 2차 시장, 응용 적용될 수 있는 3차 시장으로 구분할 수 있음
- (고객분석) 본 기술의 주 고객군인 1톤 소형택배트럭은 영업용과 자가용으로 구분할 수 있으며, 다시 개인차주 소유와 법인 소유 차량으로 구분할 수 있음
- (기술분석) 본 하이브리드 디젤-전기트럭 개조기술은 국내 택배시장의 대부분을 차지하고 있는 현대/기아 소형트럭을 대상으로 하고 있어 기술적인 강점이 있음
- PEST(정치, 경제, 사회, 기술) 분석 수행, SWOT 분석 수행



<그림 325> PEST분석 주요내용 요약



<그림 326> SWOT 분석 및 대응전략 수립

- 시장세분화로 표적시장을 설정하고 제품을 포지셔닝하는(STP) 마케팅 전략수립

• 보급방안 도출

- 마케팅믹스(4P) 및 PLC(Product Life Cycle)에 해당하는 실행계획수립



<그림 327> S4P 전략 주요내용 요약

<표 62> 실행계획 수립 - PLC전략 수립

구분		도입기	성장기	성숙기	쇠퇴기
특성	판매량	낮음	급성장	저성장	감소
	구매자	혁신자	조기채택자	후기채택자	최종채택자
	경쟁자	거의 없다	증가	많음	감소
	이익	적자	최대이익	높음	감소
마케팅 전략	목표	시장규모 확대 제품인지도 확대	시장점유율 확대	이익 극대화 시장점유율 유지 시장점유율 방어	최저이익 유지 비용절감 투자비 회수 독점적지위 추구
	제품	다양한 편익 개발 제품 기술품질 확보	포지션 강화 EURO 6 대상으로 제품라인 확대	1.5톤 이상 중형 트럭 대상으로 기술 확대	기술적용대상 확대 보급 기존 A/S와 병행하여 기술 유사성을 바탕으로 하이브리드 승용차, 전기차 정비사업함께 영위지원
	가격	초기단계로 가격이 보조금 등 가격 인하요인 마련 중요	생산 증대로 가격 인하요인 발굴 탄력적 가격 운용	대량생산으로 최저 가격 유지	가격 감소 기존 기술 수익을 신규기술사업 비용으로 활용
	유통	시범사업 운영으로 유통경로 확보	추가 개조 사업점 모집으로 유통망 확대	유통망 유지 배타적 유통에 대한 검토	유통망 유지
	촉진	매스미디어 광고, 홍보 강화 동호회 등을 통해 혁신자 모집 정부 녹색물류사업 선정 추진	매스미디어 광고, 홍보 강화	매스미디어 광고, 홍보 강화	최소한의 수준

⑤ 기타 법·제도 개선 및 신규 지원방안 도출(3차년도)

○ 신규 법제도(대기관리권역법) 검토 및 대응방안(신규지원방안) 발굴

• 대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법(2019.4.2.제정,2020.4.3.시행) 검토

- 대기관리권역법은 “자동차배출가스에 대한 관리”를 비롯해 “경유자동차의 교체, 운행제한”, “특정경유자동차의 배출허용기준” 등에 대한 내용을 포함함
- 경유자동차를 저공해자동차로 교체하면 「대기환경보전법」에 의해 그 경비를 지원받을 수 있으며, `23.04월부터 어린이통학버스, 택배화물차량과 같이 특정 용도로 사용되는 자동차의 경우 경유자동차를 사용할 수 없음

• 대기관리권역 내에서 저공해 조치 미이행 차량의 경우 그 지역에서의 운행을 제한할 수 있음

- 대기관리권역법의 지원사업 중 택배사업에 활용되는 소형트럭에 대해서는 노후경유차, 신차구매에 대한 지원만 명시되고 노후경유차가 아닌 기 보급된 차량에 대한 지원방안이 부재하므로, 이에 대한 지원방안 마련을 위한 건의가 필요함

○ 개조사업자 선정방안 제시

• 친환경자동차 전환 관련 유사사업 사례 검토

- (차량 및 부품 제작 관련 사업) 택배차량용 디젤 트럭의 하이브리드 개조와 유사한 기존의 사업들을 검토한 결과, 대부분의 사업들이 비슷한 절차 및 방식을 적용해 개조사업 수행기관 및 사업자를 선정
- (기존 차량 개조 관련 사업) 시범사업에서 적용 대상 차량은 디젤-전기 하이브리드 화물자동차로 개조가 시급하고 개조 효과가 극대화 되는 차종으로 선정하고 개조이후 사후 관리의 안정성과 용이성을 위해 대상 모델을 한정 할 필요가 있으며 파급효과 등을 고려해 도심 내 빈번한 1.5톤 미만 소형 배송 차량 중점 적용 필요

• 사업 수행기관 및 개조사업자 선정방안 제시

- (하이브리드 개조 화물자동차 대상차량 선정) 본 연구에서는 디젤 트럭의 하이브리드 개조 전환 사업의 개조업체 선정에 앞서 차량 개조와 관련한 제작 및 성능기준을 제시, 1) 연비의 경우 국내 도심 택배물류의 운행 특성을 반영한 대표 운행 사이클 상에서 개조전 대비 30% 향상, 온실가스 배출량의 경우 20% 감축해야하며 2) 질소산화물 배출량의 경우 대표 운행 사이클 상에서 Euro 기준과 동일해야함
- (하이브리드 화물자동차 개조업체 선정) 하이브리드 디젤-전기 소형트럭의 도입을 위한 환경기준, 안전기준, 사후관리 기준 등의 각종 기준이 명확하게 설정되어 있지 않은 상태에서 본 사업의 조기 정착 및 안정화를 기대하기 어려워 시범사업과 본 지원사업을 분리할 필요가 있으며 개조업체 선정과 관련해 가장 중요한 평가 항목인 개조능력 외에 개조차량의 사후관리에도 초점을 두어 개조 및 개조 이후의 제반 사항 관리가 가능하고, 차량 고장, 개조자의 이의 제기 등 향후 제반 A/S의 지속 가능 유무에도 많은 비중을 두어야하고 개조업체 선정 시에는 평가기관의 자의성을 배제하고 공정성을 기여하기 위해서

기술위원회에 상정하여 개조업체를 선정하도록 추진함

- (하이브리드 화물자동차 전환 지원사업 세부 시행방안) 택배운송시장의 안정화, 지속가능한 경쟁력 확보, 해당 기술의 조기정착, 선진화를 유도하기 위하여 주무부처인 국토교통부에서 보조사업으로 추진하는 방안이 타당하며 보조사업 지원규모 관련하여 시범사업의 경우 기술 안정화를 위해 전환비용 전액을 보조하고, 본사업의 경우에는 녹색물류전환지원사업과 유사한 수준으로 하이브리드 화물자동차 개조비용 절반 보조, 사후관리 비용은 개조업체에서 부담하도록 함

⑥ 법·제도적 지원방안 연구

○ 보조금 지원사업 추진을 위한 대안 검토 및 추진계획

• (기존사업 근거 지원가능금액 추정) 대상차량 연식별 주요 배출허용기준을 검토하고 기존 사업을 근거로 본 기술적용 보조금 지원사업의 추진 대안 및 타당성을 검토

- 기존 사업의 지원장비별 대당 효과 및 지원금액은 온실가스 감축 단위량을 기준으로 톤당 14만원-181만원, 유류 절감량을 기준으로 1L 절감 당 0.03만원-0.48만원까지 지급 확인
- 본 기술의 적용 대상인 유로4, 5 차량의 대당 효과를 산정하여 지원가능금액을 다음과 같이 추정

<표 63> 기존사업 근거 1톤 이하 택배 차량의 연료소비 저감에 대한 지원가능금액 산정

연식 구분	연료소비 저감량 (L/대-년)	지원금액 원단위 (만원/L)		지원가능금액 (만원/대)	
		최소	최대	최소	최대
유로 4	969.19	0.0346	0.4803	33.50	465.47
유로 5	894.36	0.0346	0.4803	30.91	429.53

<표 64> 기존사업 근거 1톤 이하 택배 차량의 온실가스배출 저감에 대한 지원가능금액 산정

연식 구분	온실가스 저감량 (tCO2/대-년)	지원금액 원단위 (만원/tCO2)		지원가능금액 (만원/대)	
		최소	최대	최소	최대
유로 4	3.68	14	181	50.18	666.08
유로 5	3.436	14	181	46.85	621.92

• (발생효과 기반 신규사업 지원가능금액 추정) 신규 지원사업의 추진을 전제로 본 기술 적용시 기대 효과에 기반한 지원가능금액을 추정

- 환경적 편익만을 고려시 최소 0.8백만원~최대 3.1백만원의 비용적 지원이 가능할 것으로 추정

• (관련정책현황 검토 및 관계부처 정책 제안) 신규 지정된 대기관리권역법의 하위법령인 대기관리권역법 시행령 및 시행규칙, 제정 추진중인 생활물류서비스 사업발전방안 등을 신규 검토하고 본 사업 지원을 위한 법적 근거 검토

○ 물류분야 에너지사용 감축방안 관련 국토교통부 등 관계부처 정책 제안

• (녹색물류전환사업 정책 건의) 2021년도 민간공모사업으로 지원, 2022년도 이후 정부지정 핵심사업으로 편입을 관계부처에 건의

순번	항목	내용
1	제안명	▪ “디젤 소형화물차 온실가스·미세먼지 저배출 전환을 위한 친환경 하이브리드 소형트럭 개조 지원사업” 정책제안
2	주무기관	▪ 국토교통부 물류정책과
3	제안일자	▪ 1차: 2020.09.09. (유선 및 이메일) ▪ 2차: 2021.03.03 (방문)
4	관련내용	▪ 녹색물류전환 지원사업의 하나로 친환경 하이브리드 소형트럭 개조 지원사업을 제안 ▪ 향후 확대하여 별도의 사업으로 추진 할 것을 제안
5	기대효과	▪ 경제적 기대효과 – 연료비 절감 편익 연간 161억 원 (3만 대 보급 기준) 기대 ※ 대당 연간 연료비 절감 편익 536,944 원/년/대 ▪ 환경적 기대효과 – 이산화탄소 배출량 연간 4.8만 톤 CO2, 미세먼지 7.6톤 감축 기대 ※ 환경비용 절감 편익 기준 45.1억 원/년 수준 (3만 대 보급 기준) ▪ 사회적 가치 실현 측면 – 디젤-전기 하이브리드 개조사업 신규 일자리 창출 기대 – 자동차 정비업계 신규 사업 및 일자리 제공 기대 ※ 전기자동차 보급 확대 시 차량당 정비량 감소로 정비업계 일자리 감소 우려 발생
6	증빙	▪ 별권보고서

• (한국판뉴딜 그린뉴딜분야 신규과제로 제안) 한국교통연구원-국토교통부 그린뉴딜 정책 건의안 중 하나의 신규과제 형태로 국토교통부가 후원하고 한국교통연구원, 대한교통학회가 공동 주최하는 정책토론회 형식을 통해 건의

- 한국교통연구원에서 발간하여 유관부처에 배포되는 간행물 ‘월간교통’을 통해 신규정책에 대한 공개 건의도 함께 시행

○ 개조사업 비즈니스모델 발굴 제시

• 하이브리드 개조 사업의 기본 모듈 공급 및 개조사업 총괄 사업을 기준으로 비즈니스모델을 다음 비즈니스모델 캔버스 방식으로 발굴

<table>
<tr><th>Key Partners
(핵심파트너)</th><th>Key Activities
(핵심활동)</th><th>Value Propositions
(가치제안)</th><th>Customer Relationships
(고객관계)</th><th>Customer Segments
(고객세그먼트)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 자동차종합정비소 (舊 1급공업사)
▪ 모터 제작사</td><td>▪ 하이브리드 개조키트 제작 및 공급
▪ 개조기술 보급
▪ 차량 개조 및 개조차량 유지, 관리
▪ 일괄 행정처리</td><td rowspan="2">▪ 개조를 통한 연료소비량 절감
▪ 개조를 통한 온실가스 및 미세먼지 배출량 저감
▪ 개조 및 정비 시행을 통한 정비소의 부가가치 창출</td><td>▪ 기술 및 개조키트 제공
▪ 차량개조 및 행정대행 서비스</td><td rowspan="2">▪ 택배사
▪ 택배 지입차주
▪ 소형화물차 소유 개인사업자
▪ 자동차 종합정비소</td></tr>
<tr><td>Key Resources
(핵심자원)
▪ 개조 원천기술
▪ 배터리 관리기술
▪ 키트제조 설비
▪ 기술교육 인력
▪ 영업인력</td><td>Channels
(마케팅채널)
▪ 정부(지자체) 사업 공고
▪ 개별 사업자 영업</td></tr>
<tr><td colspan="3">Cost Structure (비용구조)
▪ 부품 원가 ▪ 사후관리비용
▪ 홍보비용 ▪ 인건비</td><td colspan="2">Revenue Streams (수익흐름)
▪ 키트판매비용
▪ 정부 및 지자체 보조금</td></tr>
</table>

○ 개발기술 수요예측 기반 사업화 및 마케팅전략 구체화

• 제품, 가격, 장소, 판매촉진 등 마케팅 믹스 기반 4P 전략을 제시

• (제품(Product) 전략) 하이브리드 트럭은 디젤트럭과 전기트럭의 제품수명주기 사이의 연결고리 역할을 예상, 디젤차량의 강점인 성능을 유지하면서 친환경적으로 변화시켜 산업 내에서 활용성을 지속시켜 줄 수 있는 방법으로 접근

- 등록수량이 많고 이동량이 높은 디젤 택배 차량이 적합하고, 디젤 택배 차량으로 시작하여 디젤 차량 전체로 적용하며 성공적인 도입 후 다양한 상용차, 승용차로 확장
- 도입 초기 제품은 기술 적용의 효율성을 위해 EURO 4 대상 1개 모델, EURO 5 대상 1개 모델로 적용
- 현재 소유차량을 하이브리드로 개조하는 것이 짧은 거리, 느린 속도, 잦은 승하차, 도심의 친환경 정책에 유리하다는 것으로 어필
- 제품의 품질보증은 경쟁 기술과 유사한 3년 또는 80,000km 수준을 제공할 필요가 있으며, 별도로 배터리모듈에 대해서는 승용차 수준과 유사한 추가 보증기간 제시 필요

• (가격(Price) 전략) 보조금・지원금 없이 현재 추산되는 개조비용을 감당하며 차량개조를 하고자 하는 소비자는 찾기 어려울 것으로 판단

- 보조금·지원금 확보와 함께 1천대 이상 물량 보장으로 개조 원가를 최소화 할 필요
- 서울시 노후경유차 저공해사업 등 지자체 사업과 연계를 통한 개조비용 현실화 시도
- 기존 업계의 A/S 네트워크를 활용하여 A/S비용 최소화 추진

• (유통(Place) 전략) 개조모듈 장착에 최소한의 기술 능력이 요구된다는 점을 바탕으로 단계별 유통경로 유지(시장 확대에 맞춰 순차로 적합한 유통채널을 선택)

- 시범사업 : 시범운영 지역이나 업체를 중심으로 진행하며 정부, 지자체, 관심기업의 제안으로 실행
- 사업 초기 : 지역적으로 택배 물류센터가 많은 곳을 공략, 소형 택배트럭이 많이 필요한 수도권을 유통채널 집중 공략 지역으로 설정
- 사업 중기 : 사업확대를 위해 핵심고객은 사업 초기단계와 마찬가지로 직접 관리, 일반 고객은 적정 자격을 갖춘 경우 기술 활용을 허락해 준 파트너를 통해 관리
- 사업 중기~후기 : 전기차로의 전환이 늦고, 차량 사용기간이 길고, 중고차 사용 비중이 높은 개도국 중심으로 해외진출 추진

• (판매촉진(Promotion) 전략) B2B산업의 경우 단순한 호기심보다 관심을 가지고 인지를 한 고객들이 바로 깊은 탐색을 수행. 따라서 일부 고객이 전환하여 고객이 될 때까지 관심이 증가하므로 잠재 고객의 위치와 그에 따른 행동 변화를 파악하는 것이 중요

- 구매 계획 보유자 상황을 살펴 볼 때, 하이브리드개조 기술을 홍보할 대상은 현재 디젤차량 보유하고 있는 그룹과 현재 비소유하고 있으나 2022년까지 소형트럭 구매계획 및 구매의향이 있는 그룹
- 구매비용, 확실한 성능, 확실한 A/S 등 지원 필요
- 시장 도입 마케팅은 콘텐츠 마케팅 중심, 체험마케팅을 보조적으로 전개, 콘텐츠는 사실에 기반하고 계량적 정보를 수반하여 신뢰성 확보

- 항상 휴대하는 모바일기기에서 확인하는 온라인 콘텐츠 또는 라디오 광고 등 마련
- 시범차량 운행캠페인, 무료개조 캠페인, 기술세미나나 컨퍼런스, 로드쇼 등 병행

(다) (위탁) 자동차환경협회: 개조기술의 친환경 저공해장치 추진 방안 연구

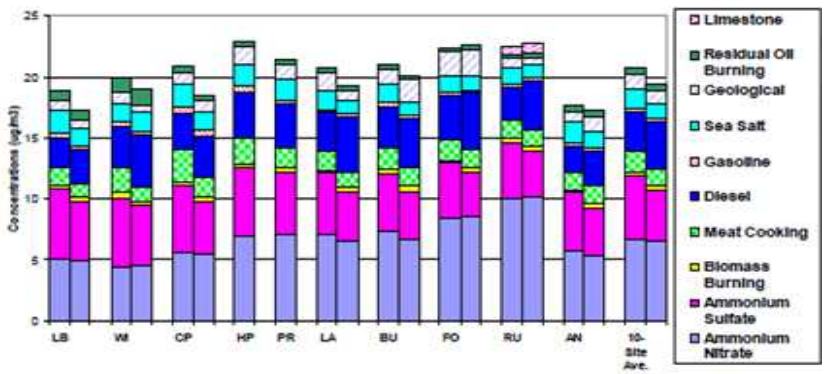
① 운행경유차 배출가스 저감사업 개요

○ 저감사업 추진 배경

- 자동차 및 에너지 사용의 증가로 대기질 악화됨
- 대기오염의 악화로 인한 사회적 피해가 국가경쟁력을 저해하는 요소로 대두됨
- 강화된 운행 경유차 관리가 국내 배출원 관리를 위해 중요함

○ 운행경유차 입자상물질 인체 위해성

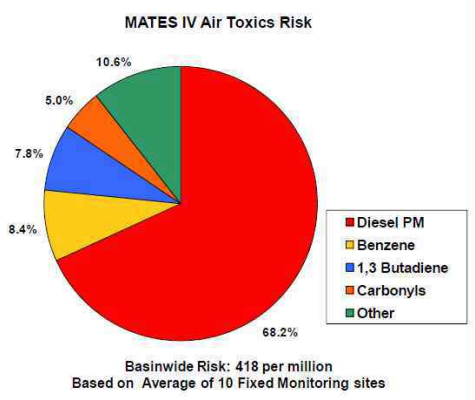
- 디젤 PM은 스펀지형태의 탄소입자에 각종 유기성 탄화수소와 황산염 등이 함유되어 있어 호흡시 여러 질병을 유발함
- 미국 캘리포니아 대기위해성평가의 연구에서 디젤 PM의 대기 중 $PM_{2.5}$ 직접 농도 기여도는 약 15% 수준인 것으로 나타남



※ 자료 : 「대기오염에 대한 해석과 미세먼지 특별대책」(2016.06)

<그림 328> PM2.5 농도 기여도

- 최근 보고서(MATES-IV)에서는 대기 중 디젤PM이 전체 발암위해성에서 약 84%를 차지한다는 연구 결과를 발표함



※ 자료 : 「대기오염에 대한 해석과 미세먼지 특별대책」(2016.06)

<그림 329> 대기오염물질의 발암 위해성 비중

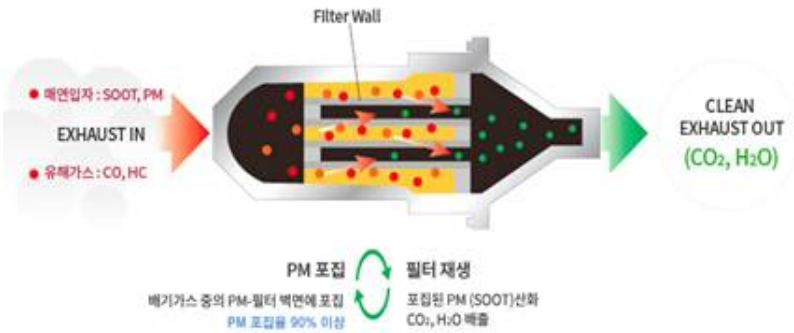
○ 저감사업 개요

- 대기오염원 중 도로이동오염원이 차지하는 비중이 크고, 경유자동차에서 미세먼지 대부분이 배출됨
- 지속적으로 경유자동차의 증가와 노후화가 진행되어 대기오염이 심화됨에 따라 사회적 피해를 저감하기 위한 대책이 필요함
  - 조기폐차, 배출허용기준에 맞게 유지되도록 배출가스 저감장치 (자동차 배기가스에 포함된 매연, 입자상 물질, 질소산화물, 탄화수소, 일산화탄소 등의 오염물질을 포집·연소·산화·환원 등의 방법으로 저감시키는 장치)를 부착하거나, 저공해엔진(LPG엔진)으로 교체 또는 개조 등의 사업을 추진함

② 운행경유차 배출가스 저감사업 내용

○ 배출가스 저감장치(DPF, pDPF) 부착 사업

- 05년 이전 배출허용기준 적용 노후 경유차량을 대상으로 운행차 배출가스 검사의 배출허용기준을 초과한 차량, 지자체로부터 저공해조치 명령 받은 노후차량에 대하여 배출허용기준에 맞게 유지되도록 배출가스 저감장치를 부착하는 사업을 말함
- 제1종 저감장치(DPF)는 자동차 배출가스 중 입자상물질(PM) 등을 촉매가 코팅된 필터로 여과하고 이를 엔진의 배기가스 열 또는 전기히터 등을 이용하여 산화시켜 이산화탄소(CO_2)와 수증기(H_2O)로 전환하는 장치임
  - 배출가스 저감성능(효율)의 입자상물질(PM)은 약 80% 이상이 저감되며, 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC)는 약 70% 이상 저감되나 질소산화물(NOx) 저감은 매우 미미함
  - DPF는 입자상물질을 여과시키는 여과재(Filter)와 여과된 입자상물질을 고온으로 태워서 없애는 재생(Regeneration)기술 및 입자상물질의 포집과 재생을 효과적으로 조절하는 조절장치(Control System)로 구성됨
  -



<그림 330> 제1종 저감장치(DPF) 작동 원리

<표 65> 열 공급 방식에 따른 장치 구분

종 류	열 공급 방식	적용가능 차량
연속(자연)재생 방식	엔진 배기열	고속주행 자동차
강제재생 방식	전기히터 또는 보조연료 분사	저속주행 자동차
복합재생 방식	연속재생 방식과 강재재생 방식의 혼용	

- 제2종 저감장치(pDPF)는 자동차 배출가스 중 입자상물질(PM) 등을 촉매가 코팅된 필터로 여과하고 이를 엔진의 배기가스 열 또는 전기히터 등을 이용하여 산화시켜 이산화탄소와 수증기로 전환하는 장치임
  - 배출가스 저감성능(효율)의 경우 입자상물질(PM)은 약 50% 이상이 저감되며, 일산화탄소(CO)는 약 80% 이상, 탄화수소(HC)는 약 70% 이상, 질소산화물(NOx) 저감은 미미함
  - pDPF에 의한 매연 저감원리는 제1종 배출가스 저감장치(DPF)와 같은 원리에 의해 필터에 매연을 여과하고 배기온도에 의해 여과된 매연을 연소하여 제거하는 것임

○ 저공해엔진(LPG) 개조 사업

- LPG 엔진개조 사업은 경유 승합·화물차를 LPG 엔진으로 개조 (실린더헤드, 점화플러그, 피스톤, 연료탱크, 전자제어 부품(ECU) 등 65개 부품을 교체)하는 사업임
- 경유 엔진 탈거 후 일부 부품을 교체 및 추가 장착하여 LPG연료를 사용하는 엔진으로 개조하고 엔진제어장치(ECU) 및 삼원촉매 등으로 배출가스 제어하는 원리임
- 미세먼지(PM) 90~99%, 질소산화물(NO_X) 70%를 저감할 수 있음
- LPG 엔진개조는 경유연료를 엔진 연소실에 분사하여 압축착화하는 경유엔진을 LPG 연료를 스파크 플러그로 착화연소 시키는 휘발유엔진 구조로 변경시켜야 함



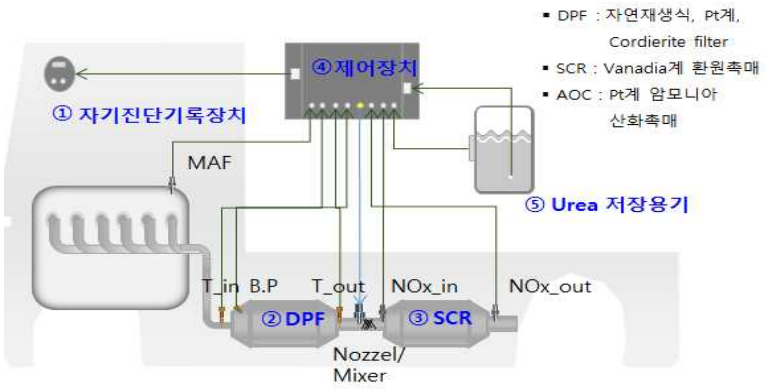
<그림 331> LPG 엔진개조 차량 및 부품

○ 조기폐차

- 노후 경유자동차 중 정상적으로 운행 가능한 차량에 대하여 조기에 폐차를 유도하기 위해 지원하는 사업임
- 배출가스 저감장치 부착이나 엔진개조가 곤란하거나, 자동차 노후화 등으로 현실적으로 저공해 조치가 곤란하지만 운행이 가능한 자동차를 대상으로 지자체장이 폐차를 권고하고 이를 지원함

○ PM·NOx 저감장치 부착 사업

- PM·NO_X 저감장치는 전단에는 입자상물질(PM)을 제거하기 위한 DPF, 후단에는 질소산화물(NO_X)를 제거하기 위한 SCR로 이루어진 장치임
  - 전단 DPF시스템은 자연재생 DPF를 사용함
  - 후단 SCR장치에는 요소수 분사에 의하여 발생할 수 있는 NH_3를 분해하기 위한 AOC (ammonia oxidation catalyst)를 사용함



<그림 332> PM·NOx 저감장치 구성도

○ 건설기계 DPF 부착사업

- 27종 건설기계 중 05년 이전(Euro 3)의 도로형 3종 건설기계(덤프트럭, 콘크리트믹서트럭, 콘크리트펌프)를 대상으로 운행차 배출가스 검사의 배출허용기준을 초과한 차량에 대하여 DPF를 부착하여 미세먼지 저감하는 사업임



<그림 333> 건설기계 DPF 부착 사진

○ 건설기계 엔진교체 사업

• 04년 이전 비도로용 24종 건설기계 기계를 대상으로 하는 사업이나 현재는 2종 건설기계 (Tier1 이하의 엔진 탑재 지게차, 굴삭기 등)를 대상으로 노후엔진을 신형 엔진으로 교체하여 미세먼지를 저감하는 사업임

-

③ 배출가스 저감장치 인증 현황 및 절차

○ 배출가스 저감장치 및 저공해엔진장치 인증현황('19.10.2 기준)

• 배출가스 저감장치 인증 현황은 19년10월 기준 총 70개가 인증되어 있으며, 장치 종류에 따라 1종부터 저공해엔진으로 분류되고 있음

• 배출가스 저감장치는 PM(입자상물질) 또는 NOx(질소산화물)의 저감효율에 따라 제1종 저감장치부터 제3종 저감장치까지 분류되고 있으며, 3종 저감장치는 2010년 이후부터는 보급을 하지 않고 있음

<표 66> 배출가스 저감장치 분류

구분	저감효율	현 인증장치	장치 보증기간
제1종 저감장치	PM 또는 NOx 80% 이상	(PM) DPF	3년 또는 16만km
제2종 저감장치	PM 또는 NOx 50% 이상	(PM) pDPF	3년 또는 8만km
제3종 저감장치	PM 또는 NOx 25% 이상	(PM) DOC	3년 또는 8만km

• 저공해엔진에 대한 규제(효율)기준은 사용 연료에 따라 분류되고 있으며, 경유엔진은 개조 또는 교체하는 당시의 경유자동차 제작차 배출허용기준에 적합한 것을 저공해엔진으로 규정하고 있음



<그림 334> 건설기계 엔진교체 절차

<표 67> 저공해엔진 규제 기준

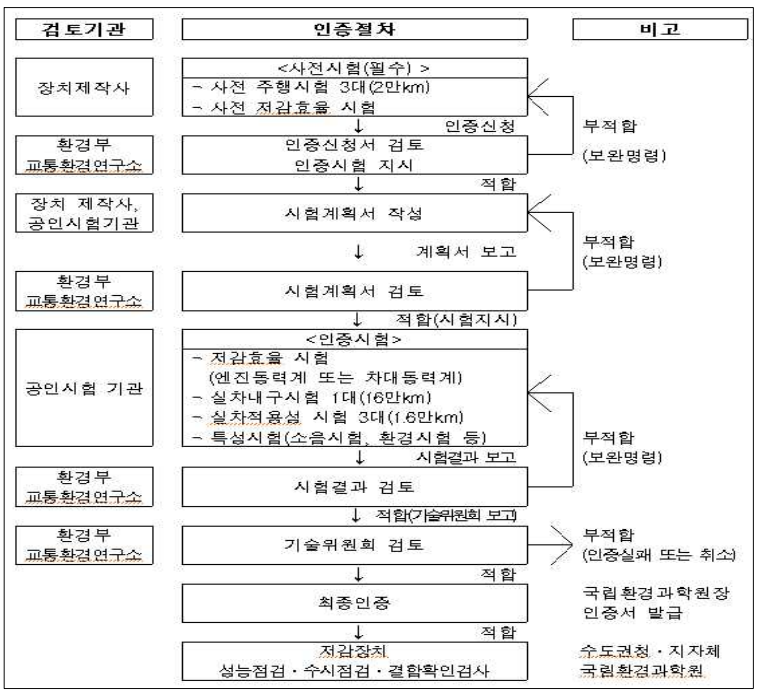
구 분	저감효율	현 인증장치	장치 보증기간
가스엔진	인증을 받은 당시의 가스자동차 제작차배출허용기준에 적합할 것	LPG	3년 또는 8만km
경유엔진	개조 또는 교체하는 당시의 경유자동차 제작차배출허용기준에 적합할 것	–	

○ 운행 경유차 배출가스 저감장치 및 저공해엔진 인증 절차 및 방법

- 배출가스 저감장치 인증서 발급 기관은 국립환경과학원임
- 저감장치 제작사의 사전 인증시험 결과를 토대로 국립환경과학원에 인증 신청서를 제출하고 있으며, 국립환경과학원에서는 신청서 검토 및 시험을 지시함
- 공인시험기관에서 인증 시험, 시험 결과를 바탕으로 인증 완료됨

<표 68> 저감장치 인증 시험 항목 및 방법

구 분	저감효율	현 인증장치
저감효율시험	출력이 가장 큰 자동차(엔진)	내구시험 전후 장치 부착 전후 각 3회
내구성시험	등록대수가 가장 많은 자동차, 매연배출량이 특정경유차 기준의 90%를 초과하는 자동차	일단위 속도 분포 비율 유지, 80K 이상 주행, 내구시험 전후 매연이 특정경유차 기준에 적합
실차적용성 시험	출력이 가장 큰 자동차, 매연농도가 장치 적용조건 5% 이내	16K이상 주행, 실도로 주행패턴 반영, 인증신청 온도 조건 이하로 주행, 복합장치의 경우 저속 조건에서 운행, 실차적용성 시험 전후 매연이 특정경유차 기준에 적합
기술적 타당성 평가	–	BPT, Blow-off 강제재생 기능, HC Slip



<그림 335> 저감장치 인증 절차도

○ 배출가스 저감장치 및 저공해엔진 인증에 따른 사후관리 제도

• 국립환경과학원(교통환경연구소)은 인증받은 배출가스 저감장치 또는 저공해엔진에 대하여 수시검사와 결함확인검사(저감효율 확인검사)를 실시하여 사후관리를 수행함

<표 69> 수시검사 및 결함확인검사 절차

구 분	수시검사	결함확인검사
대상	–제조, 공급, 판매자가 보유하고 있는 장치	–부착하여 운행 중인 장치
선정기준	–성능점검 또는 확인검사에서 기준저감 –효율에 미달하는 경우 –생산된 저감장치의 구조나 사용부품 등이 인증당시와 차이가 있다고 인정되는 경우	–부착 또는 개조한지 1년이 지난장치 –인증시험 결과가 기준저감효율의 90% 이상인 장치 –수시검사 결과 부적합한 장치 –결함 접수 내역이 개조 대수의 5%이상인 장치
검사대상대수	–3대	–5대
부적합 판정기준	–2대 이상이 기준저감효율에 미달 –평균저감 효율이 기준저감효율에 미달 –생산된 장치의 구조·내구성이 인증 받은 내용과 다른 경우	–저감장치 · 3대 이상이 기준저감효율에 미달 · 평균저감 효율이 기준저감효율의 80% 미만 –저공해엔진 · 3대 이상이 기준저감효율에 미달 · 2대가 기준저감효율에 미달하고, –평균배출가스가 기준저감효율에 미달
부적합시 조치사항	–제작사는 재검사 요청 가능 –부적합시 결함확인검사 대상 –인증 기준을 유지하지 못하는 경우 인증취소	–제작사는 재검사 요청 가능 –부적합시 결함시정 –인증 기준을 유지하지 못하는 경우 인증취소

④ 보조금 대상 배출가스 저감장치로의 추진 방안 검토

○ 운행경유차 배출가스 저감사업 동향

• 단기대책으로는 노후 경유차(Euro3 이전) 저공해화 확대를 시행하고 중장기대책으로는 노후 경유차 운행제한 지역 확대를 시행함

• 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(약칭 미세먼지법)을 시행함

• 미세먼지 관리 종합계획을 발표함

- 노후경유차 조기폐차 촉진과 신규 경유차 재 구매를 억제함
- 조기폐차 보조금 체계 및 경유차 취득세·보유세 체계를 개편함
- 5등급 운행제한과 관련하여 노후경유차의 매연저감장치(DPF) 부착, 조기폐차, LPG 화물차 전환을 위한 지원사업을 병행함

○ 하이브리드 개조 트럭의 배출가스 저감장치 인증 대상여부 검토

• 정량 목표로는 연비 30% 향상, 온실가스 20% 감축, 미세먼지(PM) 20% 감축이 있음

- 저공해엔진은 자동차 배기가스에 포함된 오염물질을 저감시키기 위하여 엔진 개조에 사용하는 장치로서 하이브리드 트럭 개조는 저공해엔진(경유엔진)의 범위에 포함될 것으로 보여짐

- 저공해엔진 사업 대상이 특정경유자동차(Euro3 이전)로 한정되어 있고, 경유를 사용하는 저공해엔진은 제작차 배출허용기준 (Euro6)을 만족해야 하나, 이를 위해서는 입자상 물질을 기존 대비 88.8% 이상 저감이 필요하여 저공해엔진 기준 만족은 사실상 어려울 것으로 보여짐

<표 70> 소형화물자동차에 대한 제작차배출허용기준

구 분	차 종		일산화탄 소	질 소 산화물	탄화수소 및 질소산화물	입자상 물질	매 연 (입자상물질)
Euro4	소형 화물차, 중형 승용차·화물차	RW≤ 1,305㎏	0.50g/㎞ 이하	0.25g/㎞ 이하	0.30g/㎞ 이하	0.05g/㎞ 이하	10% 이하
		1,305㎏< RW≤ 1,760㎏	0.63g/㎞ 이하	0.33g/㎞ 이하	0.39g/㎞ 이하	0.04g/㎞ 이하	10% 이하
		RW> 1,760㎏	0.74g/㎞ 이하	0.39g/㎞ 이하	0.46g/㎞ 이하	0.06g/㎞ 이하	10% 이하
Euro6	소형 화물차 중형 화물차	RW≤ 1,305㎏	0.5g/km 이하	0.08g/km 이하	0.17g/km 이하	0.0045 g/km 이하	6×1011 #/km 이하
		1,305㎏ <RW≤ 1,760㎏	0.63g/km 이하	0.105g /km 이하	0.195g/km 이하	0.0045 g/km 이하	6×1011 #/km 이하
		RW> 1,760㎏	0.74g/km 이하	0.125g/km 이하	0.215g/km 이하	0.0045 g/km 이하	6×1011 #/km 이하

○ 하이브리드 개조 트럭의 확대 보급을 위한 사업 추진방안

• 택배차량 중 대표성을 가진 차종 선정(출력 및 등록대수 고려)하여 저감량 및 사회적 비용을 고려하여 사업의 당위성이 우선적으로 확보되어야 함

- 표준 온실가스 배출량 및 연료소모율 시험 방법 기준에 따른 하이브리드 개조 전·후 배출가스 저감량 산정이 선행되어야 함
- 배출가스 저감량의 사회적비용 산출 및 B/C Ratio를 산정하여 사업추진 타당성을 사전에 확보할 필요가 있음

• 대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법(시행 2020.4.3.)에 따른 대기환경개선사업의 형태로 추진하는 방안을 고려해 봄

- 대기관리권역법 제28조에 따르면, 택배 차량은 23년 4월3일부터 경유자동차를 사용하지 못하도록 규정하고 있으나 법 시행일(20.4.3) 이후에 3년간은 동 제도에 대한 적용이 되지 않아 동 기간 동안은 배출가스 관리 공백이 우려되고 있는 점이 있음
- 해당 규정이 시행되기 이전에 법률 근거를 활용하여 법 시행 이전 대기오염물질 저감을 위한 환경부 및 지자체 대기환경개선사업(시범사업)으로 추진 가능한 것으로 보여짐

<표 71> 대기환경개선사업 추진에 관한 법적 근거

대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법(시행 2020.4.3)	대기환경보전법(시행中)
제39조(대기오염저감을 위한 재정적 지원 등) ① 국가는 대기관리권역의 대기오염을 줄이기 위하여 다음 각 호의 사업을 추진하는 지방자치단체·사업자 등에게 그 사업을 추진하기 위하여 필요한 재정적·기술적 지원을 할 수 있다. 8. 지방자치단체의 대기환경개선사업 13. 그 밖에 환경부장관이 대기환경개선을 위하여 필요하다고 인정하는 사업	제81조(재정적·기술적 지원) ①국가 또는 지방자치단체는 대기환경개선을 위하여 다음 각 호의 사업을 추진하는 지방자치단체나 사업자 등에게 필요한 재정적·기술적 지원을 할 수 있다. 7. 그 밖에 대기환경을 개선하기 위하여 환경부장관이 필요하다고 인정하는 사업

- WHO(세계보건기구)에서 경유차 배출가스는 직접적으로 인체건강을 위협하는 1급 발암물질로 규정하고 있어 대기오염물질 저감을 위해서는 다각도의 저감 노력과 함께 선제적이고 적극적인 사업발굴 및 지원이 필요한 시점으로 보여짐
- 본 과제에서는 시범사업명을 “미세먼지 저감 등을 위한 소형화물차(택배차량) 친환경 차량 개조 지원”으로 정의하고 사업 배경 및 기대 효과를 아래 표와 같이 구성하는 것을 제안하고자 함

<표 72> 시범사업 배경 및 기대 효과

사업 배경	기대 효과
수도권 미세먼지의 가장 큰 원인은 경유화물차(29%)로서, 도시 내부의 화물 수송을 담당하는 소형 화물차가 전체 화물차의 80% 이상 차지하고 있으며, 특히 택배차량은 빈번한 정차 및 가·감속으로 공인 연비 대비 낮은 실연비로 물류비 상승 및 오염물질이 과다 배출되고 있어 친환경 차량 기반으로 전환 필요	정부 정책 방향과 부합, 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 환경 조성이 가능하고 택배 트럭은 시민과의 접촉이 잦은 도심지역에서 주로 운행, 개조 기술 적용에 따른 거주 지역 대기 및 공기질 개선에 기여

(라) (공동) 이모션: 실시간 모니터링 시스템 구축

① 차량/수집정보 전송 모듈/모니터링 서버 간 통신 프로토콜 정의

○ 차량 수집 데이터 분석

- 차량 수집 데이터 4종에 대해 데이터 항목, 데이터 사이즈, 데이터 전송 주기 분석을 통해 수집해야 할 데이터량 분석
- 실시간 차량 운행 모니터링용 데이터(서버 전송용)와 차량 로그용 데이터(단말기 저장용)로 데이터를 데이터를 수집하고 서버에 전송될 수 있도록 프로토콜 설계

○ 프로토콜 정의

- 개조 차량과 수집정보 전송 모듈 간 통신 프로토콜은 차량용 CAN Message 기반으로 프로토콜 정의
- 수집정보 전송 모듈과 모니터링 서버 간 통신 프로토콜은 차량 수집 데이터 분석 기반으로 데이터량을 최소화하기 위해 TCP 통신 기반 프로토콜 정의

② 수집정보 전송 모듈 개발

○ 수집정보 전송 모듈 HW 개발

- box형 타입의 LCD가 없는 모듈로 제작
- 주요 기능
  - 차량과 통신을 위한 CAN 통신용 포트 2개(500kbps, 250kbps)
  - 서버와 통신하기 위한 외장형 LTE 모뎀
  - 외장형 GPS 안테나
  - 데이터 추출용 USB 포트 1개
  - RTC / 상태 LED



<그림 336> 수집정보 전송 모듈 HW

분류	규격	제조사	비고
CPU	TCC8971 Cortex-A7 1GHz	Telechips	
PMIC	TCC5027	Telechips	
RAM	1GB, 256M16(512M byte) x 2EA	NANYA	
EMMC	8GB	Toshiba	
POWER&CAN&GPS &RS485	DC 12V~48V (12Pin)	MOLEX	POWER : 4Pin (VCC 2Pin / GND 2Pin) CAN1 : 500Kbps 2Pin CAN2 : 250Kbps 2Pin GPS : 4Pin # RS485사용시 CAN은 1채널만 사용 가능
MICOM	STM320F105RCT6	ST	
CAN TRANSCEIVER	TCAN1043 x 2ea	TI	
BT/WI-FI	TCM3840	Telechips	
USB	2EA	-	1EA : USB STICK LTE MODEM ONLY 1EA : USB HUB
RTC	BQ32002	TI	
Reset	ST_1102V (L=5.85mm)	Any	
GPS Ant	U-blox / GPS Module In / G Mouse	KND	외장형 GPS 안테나

<그림 337> 수집정보 전송 모듈 사양

○ 수집정보 전송 모듈 SW 개발

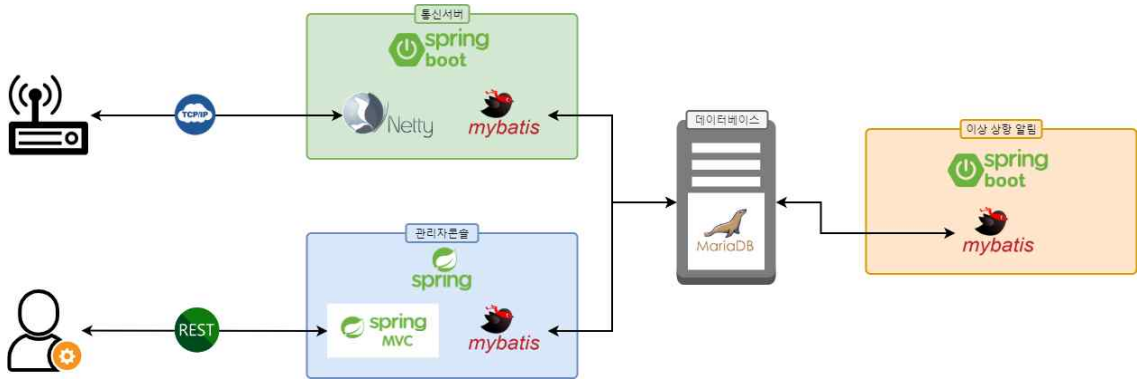
- 차량 데이터와 GPS 정보, 데이터 수집 시간을 500ms 주기로 수집 후 1분 주기로 서버에 전송하도록 구현
- 차량 운행 종료 시 전원 off로 서버에 전송하지 못한 데이터는 저장하여 다음 운행 시 전송되도록 구현

- 차량 운행 시 수집한 데이터는 100ms 주기로 최대 4GB까지 100MB 이하 파일로 분할 하여 최소 1달 이상의 데이터 로그 파일이 저장 가능하도록 구현
- 저장된 로그 파일은 USB를 통해 추출할 수 있도록 구현

③ 웹기반 운행 차량 모니터링 시스템 서버 개발

○ 통신 서버 개발

- 전체 프로젝트는 Spring Boot를 사용하여 구성
- Spring framework의 IoC, AOP 기능을 활용하여 Netty, MyBatis 등을 유기적으로 통합
- 수집정보 전송 모듈과의 TCP 통신은 Java의 NIO를 사용하여 안정적인 통신이 가능하도록 하는 Netty 사용하였으며, 데이터베이스 연동은 SQL 명령어와 자바 객체를 매핑해주는 기능을 제공하는 MyBatis를 사용



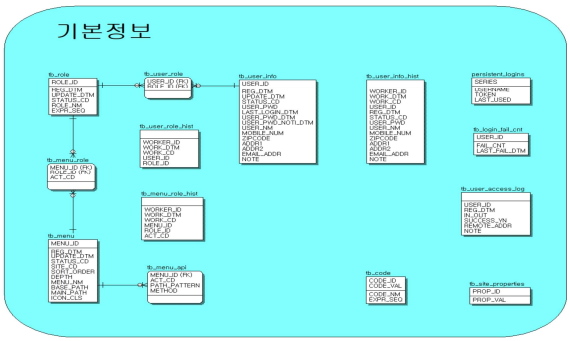
<그림 338> 서버 SW 구조도

○ 관리자 콘솔 개발

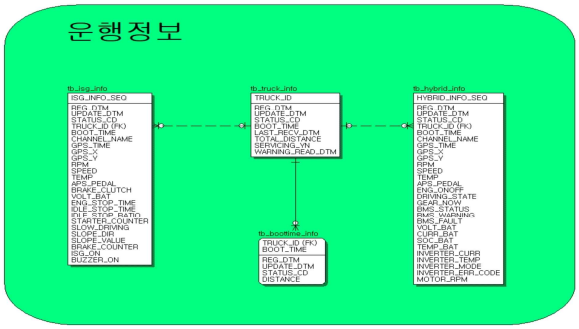
- 전체 프로젝트 구성은 Spring framework를 사용하며 웹 부분은 Spring MVC를 사용하여 구성하고 별도의 프로그램 설치가 필요 없도록 웹으로 개발
- Front-end/Back-end를 분리하고 통신은 REST API 사용
- 데이터베이스 연동은 SQL 명령어와 자바 객체를 매핑해주는 기능을 제공하는 MyBatis를 사용

○ 데이터베이스 설계

- 개체-관계 모델링(ERM)을 적용하여 데이터베이스 설계



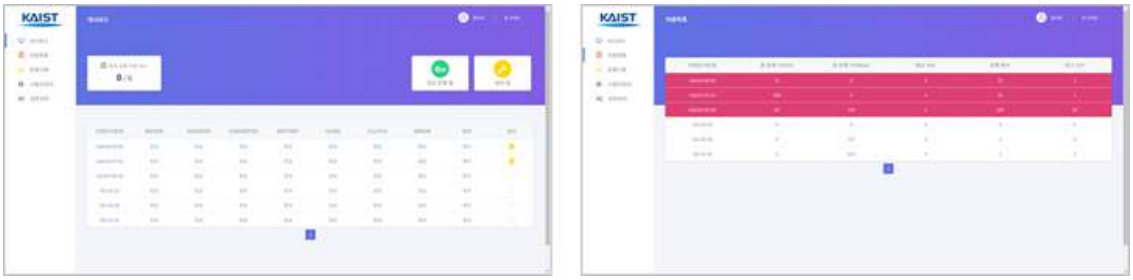
<그림 339> 기본정보 ERD



<그림 340> 운행정보 ERD

○ 모니터링 시스템 웹페이지 UI/UX 개발

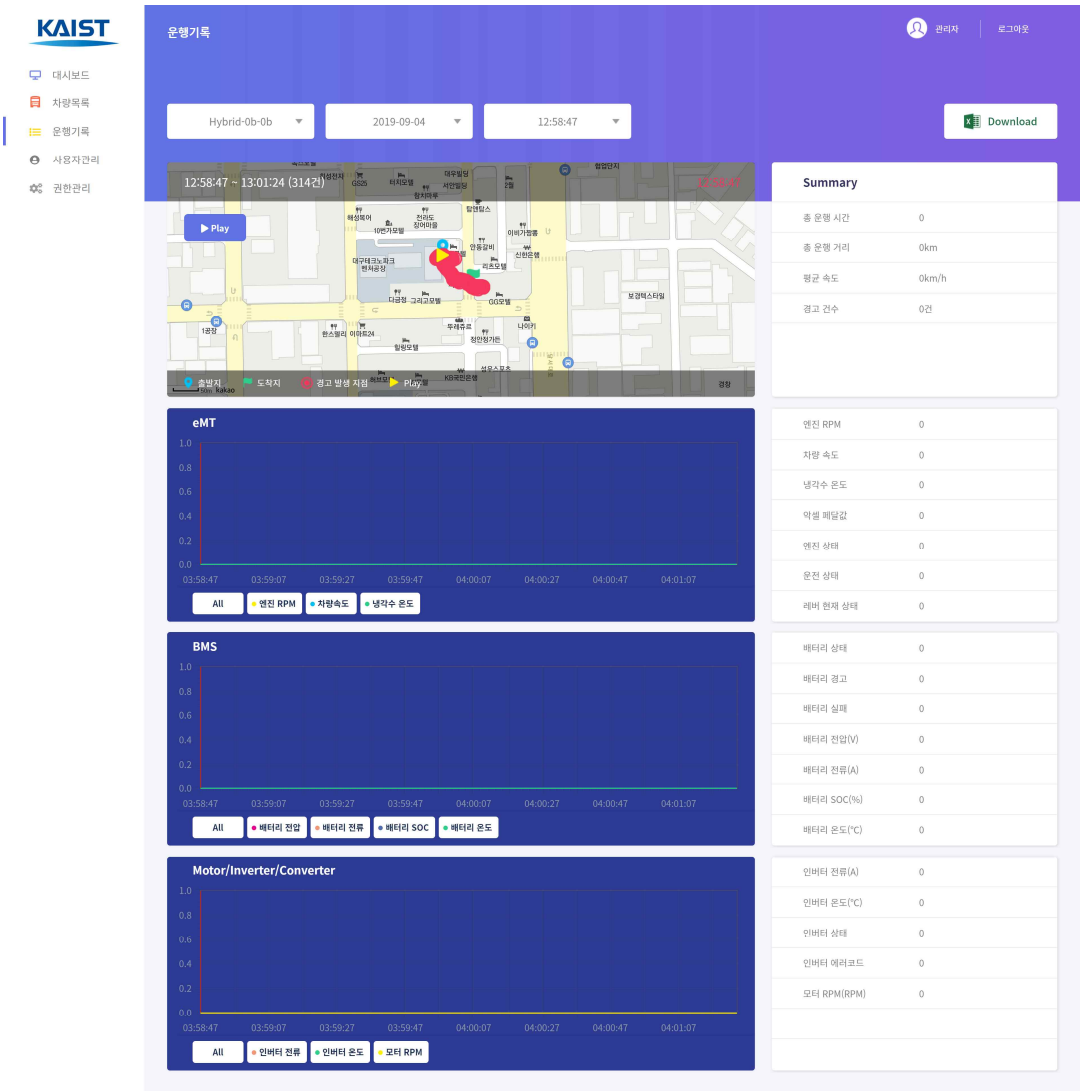
- 웹페이지에서 차량의 상태 및 운행 모니터링을 원활하게 진행하기에 적합한 UI/UX를 설계하여 화면 디자인 후 SW 개발
- 대시보드: 현재 운행 중인 전체 차량의 상황을 한눈에 파악 가능
- 차량목록 페이지: 모듈이 장착된 전체 차량의 정보 확인 가능



<그림 341> 대시보드, 차량목록 페이지

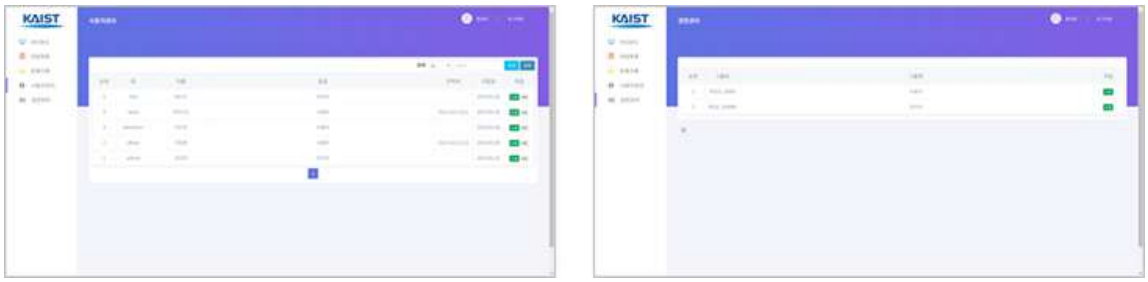
- 운행기록 페이지

  각 차량의 운행 기록을 운행시간 별로 차량의 이동 경로 및 차량 정보의 변화를 지도와 그래프를 통해 확인 가능 및 운행 기록 로그 파일 다운로드 가능



<그림 342> 운행기록 페이지

• 사용자 관리, 권한 관리 페이지
로그인 사용자 계정 관리 및 권한 설정 가능



<그림 343> 사용자 관리, 권한 관리 페이지

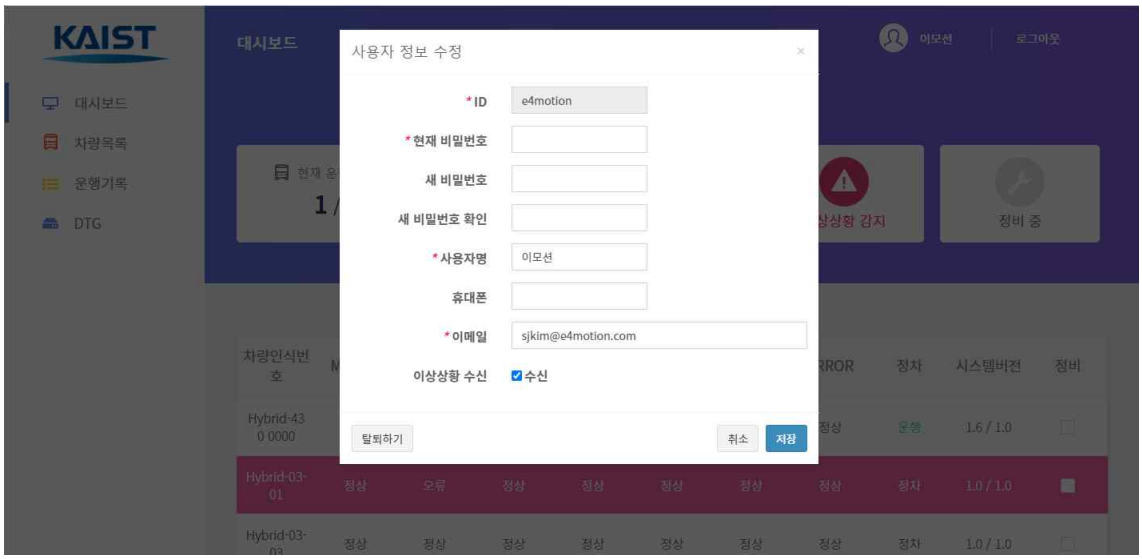
④ 유사상황(이상상황) 발생 시 알림 시스템 개발

○ 유사상황(이상상황) 발생 감지 기능 개발 내용

• Spring framework의 IoC, AOP 기능 활용하여 MyBatis, Email 라이브러리 등을 유기적으로 통합
• Spring framework의 Schduler 기능을 활용하여 주기적으로 이상 상황 확인

○ 알림 수신 설정 기능 추가

• 각 계정별로 알림 수신을 설정할 수 있도록 계정 설정에 알림 수신 on/off 기능을 추가함



<그림 344> 이상 상황 알림 수신 설정 화면

○ 알림 이메일 전송 기능 추가

• 이상상황이 발생했을 때 수신 설정된 계정에서 등록한 이메일 주소로 메일을 전송하도록 함



From: hytdmon@gmail.com <hytdmon@gmail.com>
Sent: Tuesday, June 16, 2020 2:24 PM
To: 김수진 <sjkim@e4motion.com>
Subject: [차량 정보 실시간 모니터링 시스템] 이상상황이 감지 되었습니다.

차량인식번호: Hybrid-32 0 0000

경고 발생 운행 시각	종류	데이터
2020-06-16 14:23:54	Battery	0x0000000000

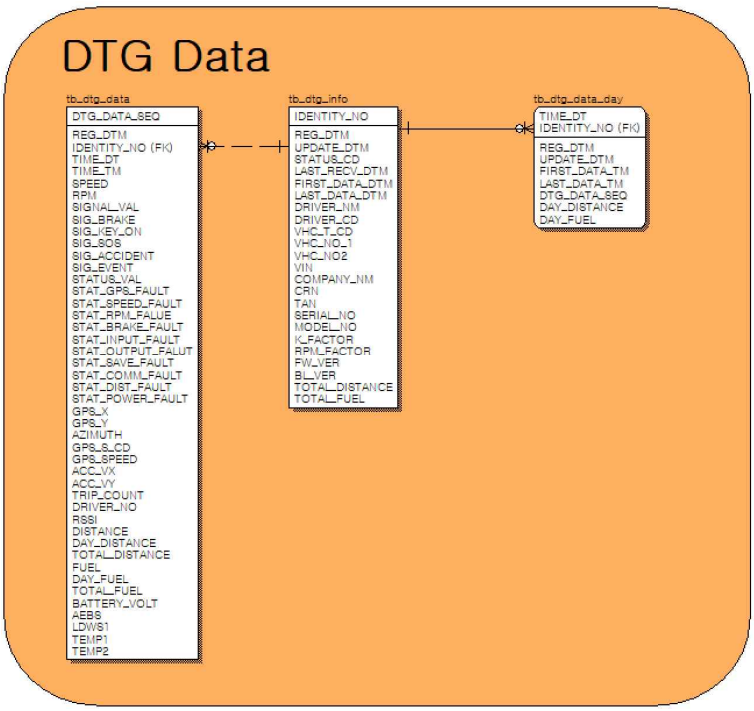
차량 정보 실시간 모니터링 시스템

<그림 345> 이상 상황 알림 메일 수신 화면

⑤ 실시간 모니터링 시스템 유지보수

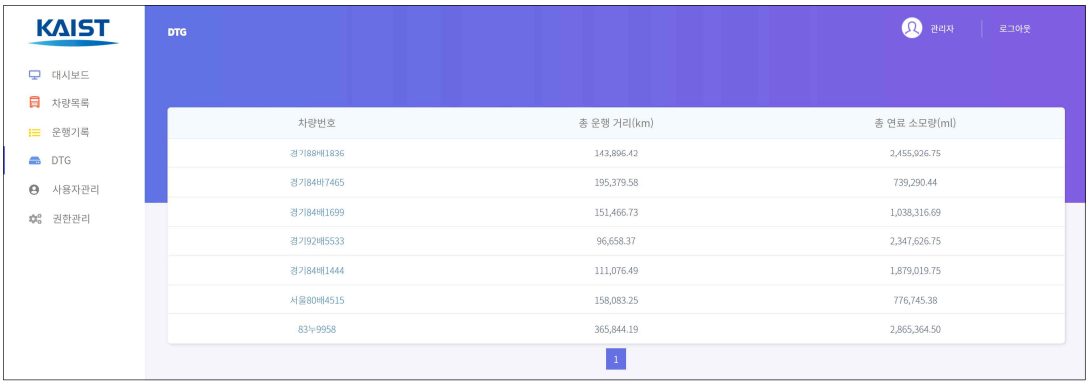
○ 실시간 모니터링 시스템 DTG 데이터 수집 및 화면 표시 기능 추가

• DTG 장치로부터 데이터 수신 및 프로토콜 처리 및 저장

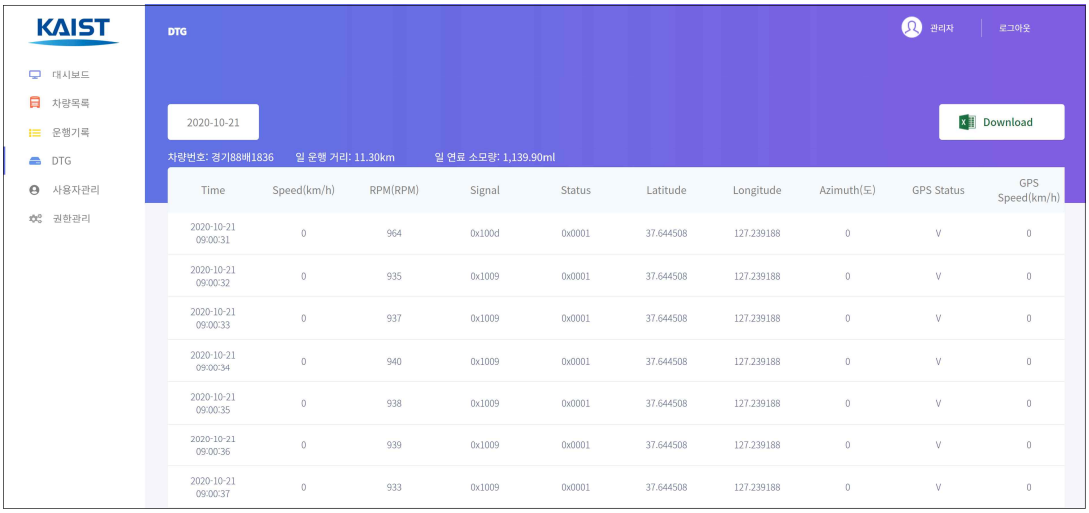


<그림 346> DTG 데이터 구성

• DTG 데이터 화면 표시
각 차량별 총운행 거리, 총 연료 소모량, 운행 이력 데이터 등 표시



<그림 347> DTG 차량 목록 화면



<그림 348> DTG 데이터 목록 화면

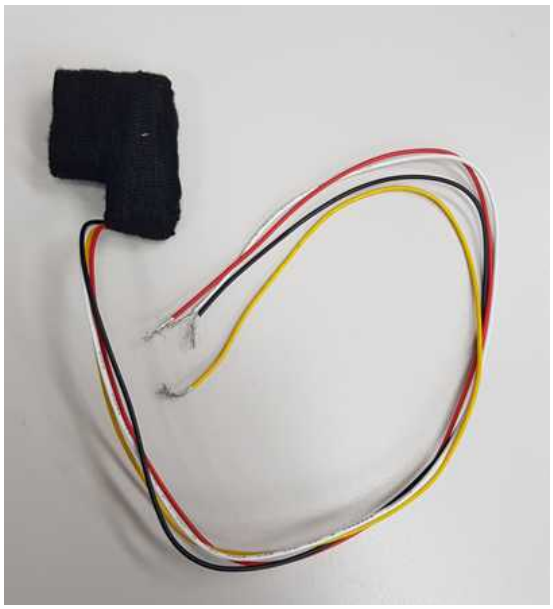
○ 차량 수집 데이터 검증 및 포맷 변경, 수집 데이터 추가
• 실제 차량 수집 데이터에 따른 데이터 처리 규칙 검증 및 수정
• eMT 데이터 0x761, 0x762, 0x763 메시지 데이터 수집 추가

○ 차량 수집 데이터 다운로드 파일 포맷 변경
• 대량의 데이터 다운로드 처리 시 시스템 부하를 줄이고 데이터 확인 및처리의 효율을 높이기 위해 데이터 포멧을 csv 파일로 변경

○ 모니터링 데이터 화면 로딩 속도 개선
• 지도 위치정보 및 차량 데이터 그래프 표시 로딩을 위한 속도 개선 작업

○ 재부팅 방지기 설치

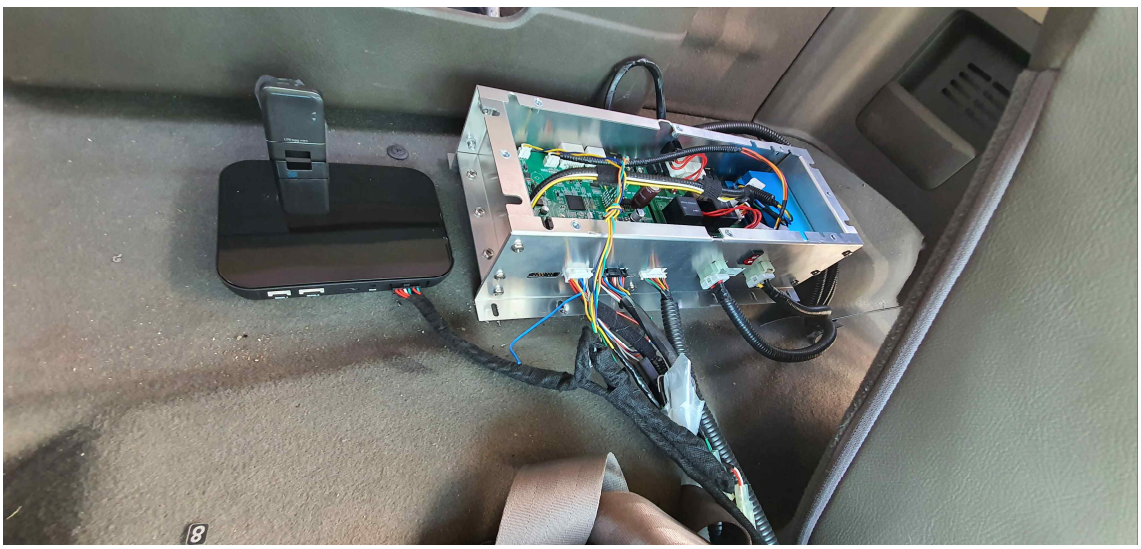
- 차량에서 ISG가 작동된 후 재시동이 걸릴 때 차량의 ACC의 전압이 최소 8V까지 떨어졌다 12V로 복귀할 때 정보수집장치가 리셋되어 ISG 동작중의 데이터가 수집 안되는 문제가 발생하여 ISG 중 단말기의 리셋을 방지하고자 재부팅방지기를 추가로 설치함



<그림 349> 재부팅 방지기

○ 단말기 장착 및 수리 지원

- 운행할 차량 5대에 단말기 장착 지원
- 단말기 오동작 문제 발생하여 제주도 출장 지원
- 추가 차량 장착 6대 단말기 공급



<그림 350> 단말기 장착 모습

(마) (주관) 한국과학기술원: 테스트베드 운영 및 효과 평가

① 테스트베드 운영 및 관리

○ 테스트베드 운영 개요

- 실증 운영 기간: 2020.07.14. ~ 2021.03.31.
- 실증 대상: 하이브리드 개조 기술이 적용된 1톤 트럭 4대
- 실증 시행 기관: KAIST(주관연구기관), JBL 로지스틱스 (물류기업)
- 실증 지역: 제주특별자치도 일대
- 실증 목적: 개조된 차량의 실 환경 적용성 평가 및 주행데이터 취득을 통한 기술 고도화



<그림 351> JBL 로지스틱스 실증 차량

○ 테스트베드 운영 주요 일정

- 2020.07.14. 차량 운행 시작
  - 개조 전·후 연비 비교를 위하여 초기 운행 기간 동안 약 2주마다 소프트웨어 변경을 통하여 엔진모드(개조 전 상태) 및 하이브리드모드(개조 후 상태) 운영 예정이었음
- 2020.08.10. 모드변경 (엔진모드 → 하이브리드모드)
  - 그러나 이미 튜닝승인이 완료된 차량에 대하여 원동기의 일부만 사용하는 엔진모드로 운행하는 것은 적합하지 않다는 한국교통안전공단 튜닝처의 권고에 따라 별도의 모드 변경 없이 하이브리드 모드로만 운행함
- 2020.09.21. 실증연비시험 시작
  - 개조기술의 실환경 연비 개선정도를 파악하기 위하여, 물류기업에서 운영하는 차량의 활용이 어려워짐에 따라 별도의 시험차량(임시번호판) 운영을 계획 및 시작함
  - 물류기업에서 주로 운영하는 노선을 단거리·중거리·단거리로 분류 및 선정하여 반복운행하여 개조 전·후의 연비를 비교함
- 2020.12.31. 하이브리드 차량 운영 종료
  - JBL 로지스틱스에서 운행하는 하이브리드차량의 운행을 종료하고 총 4대 중 2대의 차량을 기존의 디젤엔진만 활용하도록 복구하여 개조 전·후의 연비를 비교할 수 있도록 함
- 2020.03.31. 테스트베드 운영 종료

○ 테스트베드 운영 관리 방안

- 운전자교육

- JBL 로지스틱스에 차량 전달 시, 사전 운전자 교육을 통하여 차량의 특성 및 운전조작 등에 있어 주의할 점 등을 전달
- 이후 사용설명서 (디젤하이브리드수동변속기 차량 운전 요령)을 차내 비치하여 운전자들이 참고 할수 있도록 함

• 유사 시 대응 메뉴얼
- 유사 시 제주도에 상주하고 있는 KAIST 인원이 대응할 수 있도록 KAIST 친환경스마트자동차연구센터 및 책임연구원의 연락처를 차내 비치
- 유사상황 발생 시, 가능한 경우 차량을 안전한 곳으로 이동 시킨 후, KAIST 대응팀으로 연락하도록 운전자 교육 및 매뉴얼 차내 비치
- KAIST 대응팀은 KAIST 친환경스마트자동차연구센터 (제주특별자치도 제주시 첨단로 330 세미양빌딩 내 위치)에 상주하며 실증 차량의 실시간 모니터링을 진행하고, 유사상황 발생 시 바로 대응 할수 있도록 함
- 이상상황이 보고된 차량은 KAIST 대응팀이 문제 차량 소재지로 출동하여 가능한 경우 엔진모드로 변환하여 당일 배송에 차질이 없도록 한 후, 차량 운행 종료 이후에 차량 정비
- 엔진모드로 변환하여 이동이 어려운 경우, 준비한 예비차량으로 배송품을 이동하여 당일 배송에 지연이 최소화 되도록 함
- 차량 정비 이후 익일 8시 이전에 JBL 로지스틱스 차고지에 차량을 준비하여 익일 배송에 피해가 없도록 함
- KAIST 대응팀은 주요연구진과 긴밀히 협력하여 문제를 해결하고, 해당 사항을 정리 및 보고하여 향후 발생하는 문제에 활용 가능하도록 함

• 실시간 모니터링
- 이모션에서 3차년도에 개발한 모니터링 장비를 통하여 실시간 모니터링 진행
- 디젤엔진만 사용하는 차량으로 재개조 한 이후에는 모니터링 장비가 사용 불가능 하여, DTG(Digital Tacho Graph)를 장착하여 주행거리 및 소요연료량등을 추정하도록 함

② 테스트베드 운영 결과

○ JBL 로지스틱스 운행 결과

• 4대의 차량에서 약 6개월간 12,841km 운행

- 차량 운행 모니터링을 위하여 운행현황에 대한 일지를 작성함 (별첨)

<표 73> 차량별 총 주행거리

	총 주행거리 (km)	평균연비(km/l)
1호차 (86루 9917)	1,530	7.30
2호차 (85누 9216)	4,770	8.66
3호차 (88노 2205)	2,896	8.55
4호차 (88너 9779)	3,645	8.29

• 개조 전·후 연비 비교

- 3호차의 경우, 엔진모드(개조 전 상태의 차량) 운행 시 종종 장거리 운행이 있었으나, 하이브리드모드(개조 후 상태의 차량) 운행 시에는 주로 편도 3km 내외의 단거리를 운행하여 평균 연비 개선의 폭이 크지 않은 것으로 나타남

<표 74> 차량별 개조 전·후 연비

	개조 전 평균연비(km/l)	개조 후 평균연비(km/l)	개선율 (%)
3호차 (88노 2205)	7.98	8.55	7.1
4호차 (88너 9779)	6.90	8.29	20.1

○ 실증 연비 시험 결과

• 실증 연비 시험 경로

- 단거리 경로
  : 제주항인근을 주요 경유지로 하는 4-4호차 이동 경로
  : 7월 31일 4-4호차 운송 경로, 총 22.1km, 1시간 10분
- 중거리 경로
  : 제주 시내를 주로 경유 하는 4-2호차 이동 경로
  : 8월 13일 4-2호차 운송 경로, 총 45.0km, 3시간
- 장거리 경로
  : 제주 동남권을 주로 방문하는 4-1호차 이동 경로
  : 8월 6일 4-1호차 운송 경로, 총 96.3km, 3시간 30분

• 실증 연비 시험 결과

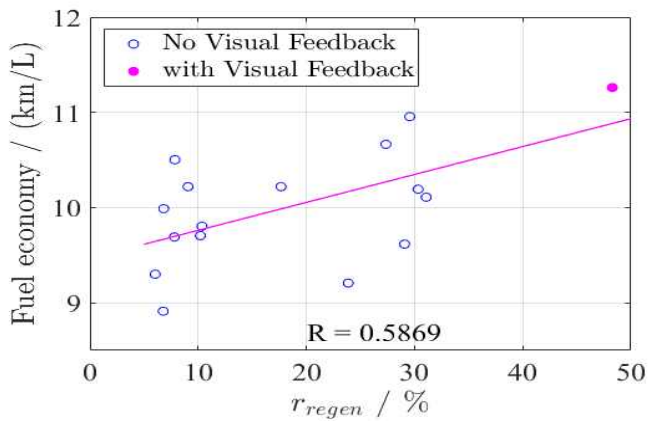
- 단거리, 중거리, 장거리 경로를 개조 전·후 각각 15회, 5회, 5회 주행했으며, 각 경로에서 25.0 %, 18.6 %, 5.1 %의 개선율을 보임
- 단거리 경로는 잦은 가감속과 낮은 평균속도로 인해 엔진이 비효율인 구간에서 주로 작동하므로 하이브리드 개조 효과가 가장 크게 나타남
- 중거리, 장거리 경로로 주행거리가 증가할수록 평균속도가 증가하므로 하이브리드 개조 효과가 감소하는 경향을 보임
  : 특히 장거리 경로에서는 고속주행의 비율이 높으며, ISG를 미작동으로 설정하였으므로 낮은 연비 개선율을 보임.
  : 차량 평균속도 증가에 따른 하이브리드화 효과의 감소는 기존 연구에서도 알려진 사실임
- 본 기술은 단거리 경로와 같은 도심주행 위주의 운영환경에서 가장 효과적일 것으로 판단됨

<표 75> 경로별 개조 전·후 시험결과

	개조 전		개조 후			개조 전·후 연비 개선율 (%)
	총 주행거리 (km)	평균연비 (km/l)	총 주행거리 (km)	ISG 작동유무	평균연비 (km/l)	
단거리	339.1	7.93	333.8	작동	9.91	25.0
중거리	300.4	8.39	301.5	작동	9.95	18.6
장거리	480.8	10.75	485.5	미작동	11.30	5.1

• 실증 연비 시험 결과 분석

- 평균속도가 가장 낮은 단거리 경로는 중거리 및 장거리 경로 대비 높은 연비 개선율(25.0 %)을 가지지만 이는 동력계 시험에서 대표물류사이클에 대해 얻어진 연비 개선율(유로4: 35%, 유로5: 45%) 대비 낮은 수치임
- 연비 개선에 중요한 요인 중 하나는 감속 시 회생제동을 통한 에너지 회수율인데, 동력계 시험은 회생제동 특성에 대해 교육받은 운전자가 수행하여 높은 연비 개선을 얻은 반면 실증 시험의 운전자들은 이에 대한 이해도가 부족했음
- 회생제동과 연비 개선율의 상관관계를 명확히 파악하기 위해 회생제동에 대해 잘 교육 받은 운전자를 대상으로 단거리 경로 1회 추가 시험을 시행했으며 11.3 km/L의 연비를 얻었음
- 이는 개조 전 단거리 경로의 평균연비인 7.93 km/L보다 42.5 % 개선된 수치로 동력계 시험에서 얻어진 연비 개선율와 유사한 수준임
- 단거리 경로 시험 결과에 1회 추가 시험 결과를 포함해서 회생제동을 통한 에너지 회수율(r_{regen})과 연비 간 상관분석을 수행한 결과, 0.5869라는 높은 수치의 상관계수를 얻음
- 이 결과는 운전자 교육을 통한 에너지 회수율 향상으로 실도로 환경에서의 연비를 추가적으로 개선할 수 있다는 것을 보여줌



<그림 352> 에너지 회수율과 연비 간 상관관계

③ 테스트베드 운영 중 발생한 문제점 및 이에 따른 개조 개선점 도출

○ 노후된 기존 부품

- 테스트베드 운영 중, 발생한 문제의 대부분은 타이어펑크, 엔진오일누유, 에어컨 가스누유등 노후화된 기존 부품에서 기인함
- 개조와는 상관없으나, 향후 사업화 시에도 해당 부분에 대한 소비자들의 불만이 제기 될 수 있기 때문에 대응 방안 필요

○ 클러치 오퍼레이터

- 개조기술은 기존의 내연기관에 모터를 삽입하여 저단으로 운행 시, 모터를 활용함에 따라 저단에서 활용도가 낮아진 기어 및 클러치의 조작을 하지 않도록 함
- 이와 같은 반자동의 기어조작을 위하여서 추가한 부품이 클러치 오퍼레이터임
- 그러나 기존의 수동기어 운전자들이 적응에 시간이 필요하기 때문에 어색하여 불편을 호소하는 경우가 있음
- 또한 해당 부품이 차량 외부 하단에 위치하고 있어 외부환경에 취약한 문제가 있음. 클러치오퍼레이터 내 센서가 매우 민감하여 외부환경에 의해 오작동 할 가능성이 있는 것을 확인함
- 이에 따라 클러치 오퍼레이터 및 해당 기능을 운용하기 위한 레버검출기 등을 제외한 개조 기술을 도출하고 이를 적용한 차량에 대하여서도 튜닝 승인 완료함

○ 적재함 공간 부족

- 개조 기술 개발 시, 운전자 등의 안전을 최우선으로 하여 배터리 및 PCU(Power Control Unit, 인버터 및 컨버터)등을 차량의 적재공간 내에 위치시킴
- 이에 따라 적재공간이 부족하게 되고 이로 인한 불만사항이 접수 됨
- 향후 사업화를 위하여서는 해당 부품들의 위치를 최적화하여 적재함 내 공간을 최대한 확보할 수 있도록 하여야 함

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

(가) (주관) 한국과학기술원

① 소형 택배트럭 운행환경 데이터 수집 및 대표 운행 사이클 생성

○ DTG 운행 빅데이터를 micro-trip 단위 기반 통계분석을 통해 택배 물류차량의 주 타겟인 도심지역 운행의 운행특성의 분포를 관찰하고, 유휴시간, 평균 속도 등 통계적 지표를 실태조사와 비교하여 신뢰성을 확인. 이후 micro-tip 특성 클러스터링을 통해 빈번히 이루어지는 대표 운행을 추출하고 대표 운행 사이클을 생성함

② 핵심요소 모듈화 기술 개발

○ 핵심요소 모듈화 기술 개발

• 본 연구 개발한 수동변속기 기반의 일체화된 박형 파워트레인 모듈을 사용하여 저가격으로 노후화된 경유 택배 트럭을 하이브리드 차량으로 개조할 수 있음

- 기존 경유 차량의 경우 빈번한 정차 및 가·감속으로 인해, 복합연비(9km/l 내외) 대비 낮은 실 운행연비(일평균 3.0km/l)는 물류비용 상승의 중요 원인임 특히, 한국교통연구원의 화물운송시장 실태조사에 따르면, 일평균 운행거리가 2007년 1사분기 90.8km 대비 2016년 4분기에 43.8km로 감소하고, 일평균 운행속도는 10.8km/h에서 5.4km/h로 감소하는 등 과거에 비해 짧은 거리를 운행하며 자주 정차하는 특성을 보임
- 물류비 인상 억제와 배기가스 저감을 위해, 전기 자동차 개조 사업, LPG 완성차 사업 등 정부 사업들이 추진 되어왔으나, 높은 모듈 가격(약 3000만 원 이상)과 높은 중량 증가(200kg 이상)로 인해 시장 확보 실패한 바 있음
- 특히 미세먼지 저감을 위해 노후 경유차 대상의 매연저감장치(DPF) 부착 사업을 추진하고 있으나, 연비하락 및 고장 시 보다 많은 미세먼지 및 배기가스 배출 등의 문제가 발생하여 보급이 어려운 실정임
- 본 연구 결과는 세계 최초로 기존 노후화된 1톤 택배 트럭의 미세먼지 저감뿐만 아니라 실 택배 트럭 소유자들이 가장 필요로 하는 낮은 개조비용으로 연비 향상이 가능하다는 점에서 큰 의의가 있음

○ 대상 차량(유로4/ 유로5) 선정 및 제원확보

• 국내 택배 차량의 대부분을 차지하는 포터2 및 봉고3는 축 허용 중량 차이에 따라 적재량 1톤, 1.2톤, 1.5톤 모델이 있으며, 국내 운용 중인 택배 트럭은 대부분 탑차를 장착하기 때문에 적재량이 1톤으로 제한되어 있음

• DPF가 장착되지 않은 실 운행 트럭 중 가장 높은 비율을 차지하는 Euro 4를 선정함

• DPF가 장착된 Euro 5와 6중 기술개발 난이도가 더 높은 Euro 5를 목표로 설정함

• 대상 차량의 트랜스미션은 총 두 종류(126hp 엔진+5단 수동변속기, 133hp 엔진+6단 수동 변속기)로 조사되었으며, 대상 차량의 파워트레인을 전문 업체에게 3D 스캐닝 작업 의뢰하여 3D 모델 실측 자료 및 CAD 도면을 확보함

○ 프로펠러 샤프트 절단 가능 길이 조사

• 구조적 안전성을 보장하며, 엔진과 변속기를 이격시키기 위해 프로펠러 축의 최대 절단 가능 길이가 250mm인 것을 확인함

○ 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인 모듈화 기술 개발

• 유압 클러치/ 박형 구동모터/ 일체형 하우징 적용을 통한 이격거리 최소화

- (유압 클러치 적용) 이격거리 단축을 위해 기존 클러치를 작동시키던 릴리즈 포크(활동 범위: 축 방향 두께 약 8cm)를 제거하고, 박형 구동모터를 개발 및 회전자 내부에 클러치용 유압 실린더를 장착함으로 써 축 방향 이격거리를 최소화함
- (박형 구동모터 개발) 5톤 이하 트럭의 DTG 데이터를 분석한 결과, 1단 및 2단으로 주행 시 가속도의 99%가 ±2.00m/s2 이내에 분포하며, 최대 적재 상태에서 평지 가속 능력 및 법적 한계 경사도 등판 능력을 계산한 결과 25kW 이상 모터를 사용할 경우 요구 가속도를 만족함. 이는 엔진 출력의 30% 수준임
- (일체형 하우징 제작) 엔진-플라이휠-구동 모터-유압 클러치-변속기-구동모터 냉각을 위한 냉각수로 등이 모듈화 일체형 하우징을 설계 및 제작함

③ 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인 모듈의 안전성 분석

○ 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인 모듈의 안전성 분석

• 모터 및 클러치 하우징 어셈블리 모델 생성을 생성하고 4가지 경우에 대해 유한요소 해석을 수행하여 모델 경량화를 수행함

• 경량화 후, 4가지 조건에서 구동축 직결형 하이브리드 파워트레인의 최대 항복강도는 모두 항복응력인 223MPa보다 낮으므로 안전한 것을 알 수 있음

- 극한 하중이 가해지는 경우(수직 방향 4g: 중력가속도의 4배): 최대응력 17.1MPa
- 한쪽 바퀴가 구멍에 빠지는 경우(수직 방향 3g, 축 방향 1g): 최대응력 12.1MPa
- 급커브를 도는 경우(수직 방향 2g, 수평 방향 2g): 최대응력 11.8MPa
- 큰 중심 하중이 가해지는 경우(수직 방향 3g): 최대응력 13.0MPa

• 대상 차량이 하루 8시간 40분을 운행한다고 가정하고 모터 및 클러치 하우징의 피로 해석을 수행함. 해석 결과, 피로 수명은 100년 이상임

④ 공회전 제한(Idle Stop & Go)을 위한 엔진 제어 기술

○ 대표 운행 사이클을 대상으로 한 HEV 시뮬레이션 모델을 구축하고 이에 최적제어 방식을 적용하여 연비 상승 및 배기가스 배출 감소를 최적화할 수 있는 엔진 on/off 전략 도출

○ 최적 제어를 통한 엔진 정지 및 시동 조건 도출

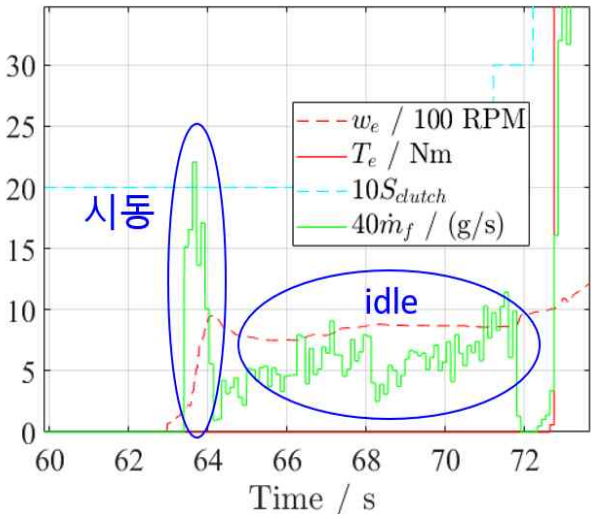
• 최적 제어 결과로부터 엔진 정지 및 시동 조건을 도출하여 엔진 On/Off 제어 경향을 확인함

- 단일 파워 라인만을 적용하여 제어 규칙을 적용하면 잦은 엔진 On/Off가 발생할 여지가 있으므로 히스테리시스를 적용하여 엔진 정지 및 시동 조건을 도출

○ 하이브리드 디젤-전기 트럭에 적용된 ISG 전략

• 실험 데이터 분석을 통한 ISG의 효용성 확인

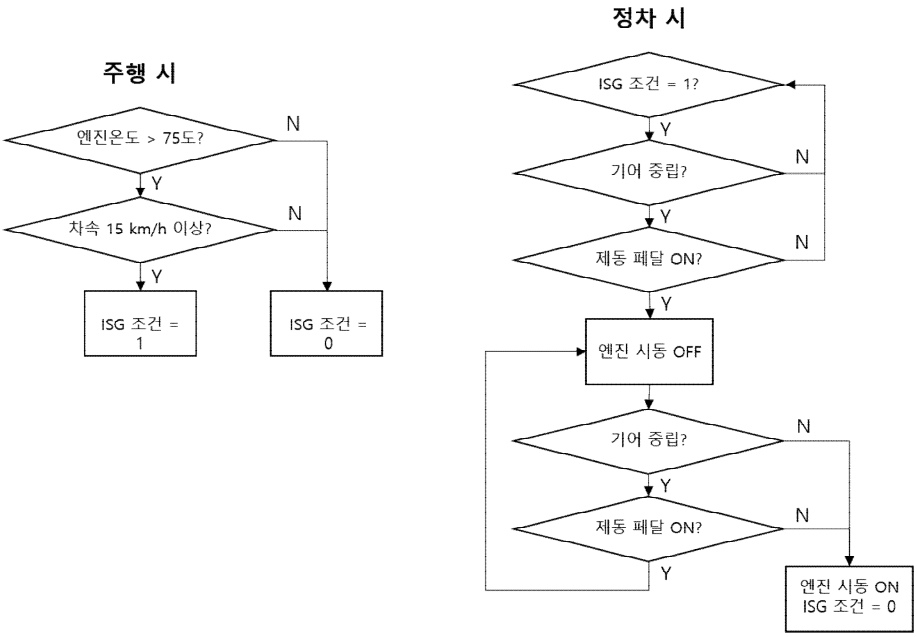
- 엔진 1회 시동 시 0.2277 g의 연료가 소모되고, idle 시 0.1480 g/s의 연료가 소모됨
- 2초 이상의 엔진 정지시에 ISG는 이득



<그림 353> 엔진 시동과 idle 상태에서의 연료소모량

• 엔진온도와 차속을 고려하여 ISG발동 조건이 만족되는 경우에 ISG가 작동

- 엔진 냉간 운행시 연비하락이 발생하므로 엔진 예열 전까지는 ISG가 미작동
- 잦은 엔진 On/Off는 연료소모량 상승을 야기하므로 차속 15 km/h 이상으로 운행했을 때 ISG 작동 조건 만족
- ISG 조건 만족 이후 차량이 정차할 경우, 기어가 중립이고 제동 페달이 밟혔을 경우 엔진 시동은 Off 됨
- 이후 기어가 체결되거나 제동 페달이 Off 되었을 경우 엔진은 재시동 걸림



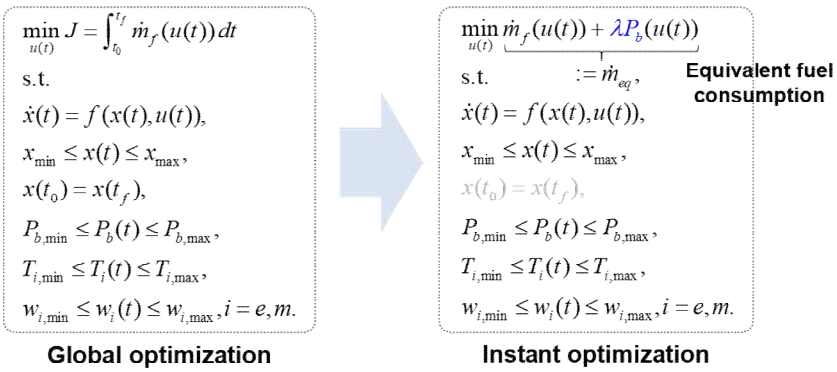
<그림 354> ISG 제어 전략

⑤ 최적 구동모드 및 동력 분배 비율 결정 알고리즘 개발

○ ECMS를 이용한 최적 구동 모드 및 동력 분배 제어기술 개발

• Equivalent Consumption Minimization Strategy(ECMS)는 동적 계획법과 같은 전역 최적화와 달리 미래의 주행 정보에 의존하지 않고도 근사 최적화를 수행함

- 미래의 주행 정보에 의존하지 않고도 근사 최적 연비를 도출할 수 있다는 점에서 의의가 크며 많은 연산이 필요하지 않아 실시간 구현이 가능함
- 최적화 문제의 필요조건을 실시간으로 푸는 방식이기 때문에 항상 최적성이 보장되지는 않으며 새로운 파라미터인 λ의 설정(SOC feedback)에 따라 제어 결과가 매우 민감하게 변한다는 단점이 있고 주행 패턴이 바뀌는 상황에서의 파라미터의 튜닝이 쉽지 않음

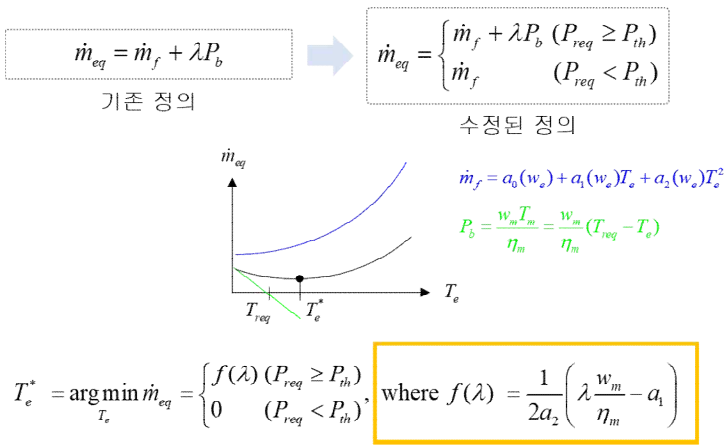


$$\lambda = \lambda_0 + K_p e_{SOC} + K_I \int e_{soc} dt,$$
$$\text{where } e_{SOC} = SOC(t) - SOC(t_0)$$

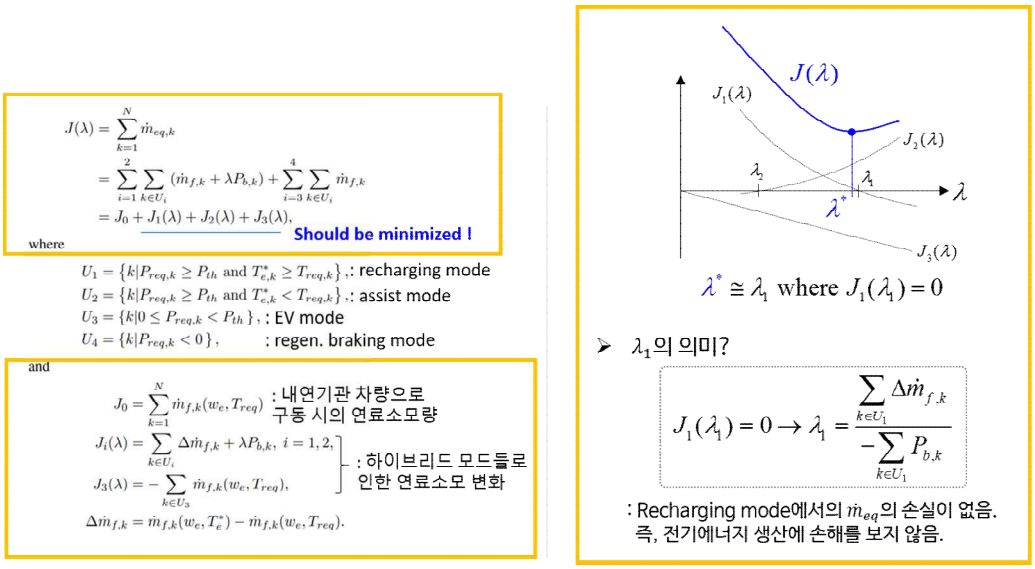
<그림 355> Equivalent Consumption Minimization Strategy(ECMS)

• ECMS의 재정의를 통한 A-ECMS 알고리즘 개발

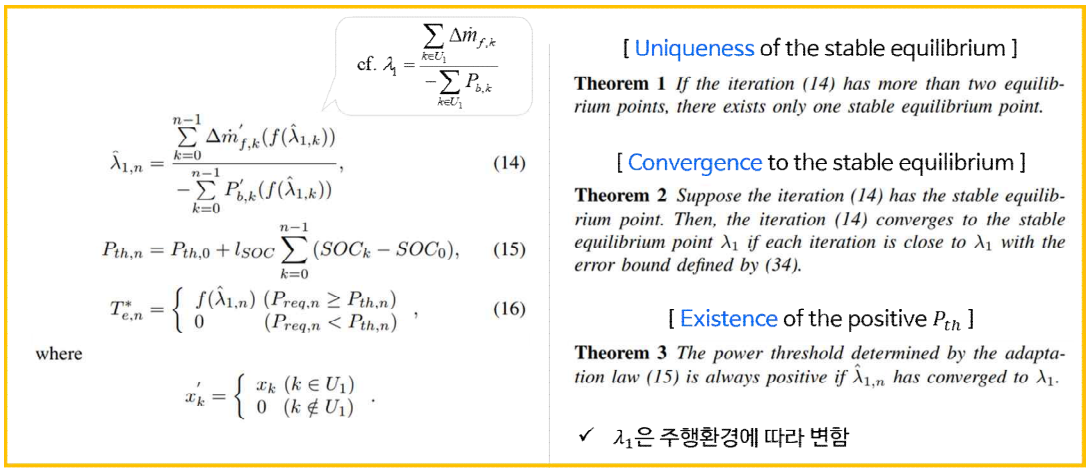
- 기존의 ECMS는 엔진 저출력(저효율) 영역에서도 EV 모드가 선택되지 않을 수 있는 문제점이 있음
- 수정된 정의를 통해 엔진 저출력 영역에서는 엔진 사용을 최소화하도록 할 수 있음
- 아래 그림과 같은 방법으로 통계 기반으로 equivalence factor, λ를 결정하면 최적해에 근사할 수 있고 이를 Adaptive-ECMS(A-ECMS)라 명명함



<그림 356> ECMS의 재정의



<그림 357> 최적 근사해로부터의 λ 도출



<그림 358> A-ECMS 제어전략

⑤ 테스트베드 운영 및 효과분석

○ 물류회사 실 운영을 통한 개조차량 안전성 및 내구성 검토

- 4대의 하이브리드개조차량을 약 6개월간 운영하며 12,841km 주행완료
- 2대의 차량에 대하여 개조 전 후 연비 비교 시, 각각 약 7% 및 20%의 연비 개선 효과 확인

○ 물류회사 운영 경로 반복주행을 통한 연비 개선 효과 확인

- 물류회사에서 비교적 반복적으로 운행하는 주요 경로를 확인하여 단거리, 중거리, 장거리로 연비비교 경로 선정
- 단거리 25%, 중거리 19%, 장거리 5%의 연비 개선 효과 확인

○ 국토교통부 녹색물류지원사업 참여를 통한 보조금 지급 방안 검토 및 매출 발생 유도 등

- 한국교통안전공단이 주도하여 본 연구에서 개발한 기술로 녹색물류지원사업에 참여하였으며, 한진택배차량을 하이브리드차량으로 개조하여 납품함

(나) (공동) 한국교통안전공단

○ HEV 튜닝 인증을 위한 제원분석/구조변경 시험항목 선정

• HEV 튜닝 승인을 위한 인증시험 항목 등 검토 완료

- 자동차관리법, 자동차 튜닝 규정 등 검토

- 승인을 위해 필요한 평가 항목 선정

○ 공회전제한장치(ISG) 부품 신뢰성 평가 항목 선정

• 성능시험 항목 기반(환경부) 실차 시험항목(12개) 검토 완료

○ ISG 작동전/후 실차 연비 및 배출가스 평가 완료

<표 76 > 연료소비율 측정결과

구 분	ISG off		ISG on	
	1차	2차	1차	2차
연료소비율(km/l)	5.970	5.830	8.249	8.289
평균(km/l)	5.90		8.269	
개선율(%)	**28.65%**			

○ ISG 효과검증 시범운영

• 1톤 디젤택배트럭(10대)를 대상으로 실시(약 9주)

<표 77 > ISG 장착전/후 연비 개선효과(실차)

순번	등록번호	ISG 장착 전	ISG 장착 후	개선효과
1	경기92배1308	6.897km/l	7.160km/l	**0.263km/l (3.81%)**
2	경기91배1305	7.399km/l	7.533km/l	**0.134km/l (1.82%)**
3	서울80배5728	6.865km/l	7.021km/l	**0.156km/l (2.27%)**
4	경기80배1850	8.137km/l	8.427km/l	**0.290km/l (3.57%)**

○ HEV 구조변경부품 성능시험 및 평가(고도화)

• 구동전동기(모터) 안전성시험 및 시험성적서 확보

- 최고출력 측정, 최고30분출력 측정

• 구동축전지(배터리) 안전성시험 및 시험성적서 확보

- 과충전, 과방전, 단락, 열노출, 연소, 액중투입, 낙하시험

○ 국토교통부 물류지원사업을 통한 성과물 활용

• 녹색물류전환사업 참여 완료

○ 하이브리드 튜닝 규정 및 세부업무지침 마련

• 자동차 튜닝에 관한 규정(국토교통부고시 제2020-407호) 개정 완료(20.05.27 시행)

<표 78> 하이브리드 튜닝 제도 개정안

개정안	현 행	개 정
	제2조(정의) 1.～7. (생 략)	1.～7. (생 략) (신설) **8. "하이브리드자동차"란 안전기준 제2조 제33호에 따른 하이브리드 자동차를 말한다.**
	제3조(적용범위) (이전생략) ～전기자동차의 튜닝 기준·정비작업의 범위·기술인력의 자격기준 등～(이하생략)	제3조(적용범위) (이전생략) ～**전기자동차(이하 하이브리드자동차 포함)**의 튜닝기준·정비작업의 범위·기술인력의 자격기준 등～(이하생략)

• 자동차안전연구원 업무지침 개정 완료

- 개정된 고시를 반영하여, 하이브리드 튜닝 관련 업무지침을 명확화 및 구체화

○ HEV 튜닝실차 안전성확인

• 안전성확인 기술검토 및 실차시험 완료

- 시험결과 통보 및 시험성적서 발급

<표 79 > 시험결과 통보서 및 시험성적서

포터2('20.06.18)		봉고3('20.10.12)	
			

(다) (공동) 한국교통연구원

① 시장보급방안도출

○ 구매의향조사 시행

• 택배트럭 구매자/소유자 및 운전자에 대한 구매의향조사 시행 및 분석

- (부분가치 산출) 3가지(유류비 절감, 개조비용, 유지비용) 속성별 수준에 대한 부분가치를 산출함
- (속성별 중요도 도출) 효용(utility)에 영향을 주는 속성들의 상대적인 크기에 따라 속성의 중요도를 정의
- (개조 선택 확률예측) 개조 의사조사, HB를 통한 제품 속성별 개조 선택 확률 예측, 중간값 기준 분석, 평균값 기준 분석 수행
- (지불의사액 산출) 유류비 절감 효과 및 배터리 교체비용에 대한 개조비용 지불의사액
- (제품 속성의 중요도에 따른 고객 분류) 유류비 절감효과 중요도와 개조 비용 중요도에 대해 K-means clustering 방법을 이용해 191명을 분류
- (개조 의사에 영향을 주는 인구통계학적 요인 분석) 개조의사에 영향을 주는 인구통계학적 속성을 살펴보기 위해 로지스틱 회귀분석을 실시
- (제품 속성의 중요도에 영향을 주는 인구통계학적 요인 분석) HB 분석 결과 도출해낸 개인별 제품 속성 중요도에 어떠한 인구통계학적 속성이 영향을 미치는지 알아보기 위해 회귀분석을 시행

② 법·제도적 지원방안 연구

○ 친환경 자동차 및 소형 트럭 대상 관련 정책, 지원사업들에 대한 법제도조항, 실적 보고서 등 관련 문헌 고찰

- 차주에게 비용과 시간소비가 많이 발생하지 않도록 지원하는 정책을 중심으로 시장 보급을 추진할 필요성 발굴
- 기 보급된 유로 4, 5 대상 차량에 대한 배출저감 지원 사업의 부재 확인

③ 법·제도적 지원방안 연구

○ 국내 친환경 차량 기술개발 및 보급지원 관련 지원제도 분석 및 검토

- 친환경 하이브리드 트럭 관련 법·제도 현황 분석 및 검토
- 친환경자동차 관련 정책 및 보급 동향 분석 및 검토
- 친환경화물자동차 관련 정책 및 보급 동향 분석 및 검토
- 택배운송 환경 관련 정책 동향 분석 및 검토

○ 활용가능 정책 선정 및 개선방안 도출

- '녹색물류 전환사업'을 본 사업의 성격과 가장 부합하며 지원 가능한 사업으로 판단

○ 신규 지원방안 마련을 위한 하이브리드 디젤-전기트럭 개조기술 도입의 사회적 편익 (정책효과) 추정

- 하이브리드 디젤-전기 트럭 개조기술 보급의 사회적 편익을 추정함으로서 본 기술의 보급 타당성 확인
- 하이브리드 디젤-전기트럭 개조기술 보급 수요 추정
- 이산화탄소(CO2), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5) 등 소형트럭 대기오염물질 배출량 분석
- 개조 기술의 적용 시 대기오염물질 배출 감소량 추정
- 대기확산분석을 통한 공공보건편익 추정 및 대기질 변화에 따른 환경편익 추정

○ 친환경자동차 보험 가입 관련 사례 검토 및 전문가 의견 수렴

- 자동차보험 개요 및 보상내용 등 정리
- 관련 유사사업의 보험가입방안 및 예상 관련 이슈 분석 및 검토
- 하이브리드 디젤 전기트럭 보험가입방안 검토

④ 시장보급방안 도출

○ 시장규모 및 투입비용 산정

- 택배산업 관련 동향자료 이용한 장래 교체 가능한 택배화물차량 수요 산정
- 하이브리드 개조사업 수행에 대한 사회적 비용 산정

○ 편익산출 및 보급사업 경제성/재무성 분석

- ISG 기술 적용 차량 및 하이브리드 개조기술 적용차량에 대한 경제적 타당성 분석
  - (ISG 기술 적용 차량) 보조금 250만원 지급하는 경우 개조의사비율은 38.9%로 나타났으며, B/C가 1.82로 가장 높게 나타남
  - (하이브리드 개조기술 적용차량) 보조금 250만원 지급하는 경우 개조의사비율은 38.9%, 할인편익 240,084백만원, 할인비용 83,152백만원으로 나타났으

며, 이 때 B/C가 2.89로 가장 높게 나타남

○ 홍보 및 보급방안 도출

• 홍보 대상의 설정과 홍보방안 도출

- 기업의 내부 및 외부 환경을 분석하는 마케팅 환경분석(3C)
- PEST(정치, 경제, 사회, 기술) 분석 수행, SWOT 분석 수행
- 시장세분화로 표적시장을 설정하고 제품을 포지셔닝하는(STP) 마케팅 전략수립

• 보급방안 도출

- 마케팅믹스(4P) 및 PLC(Product Life Cycle)에 해당하는 실행계획수립

⑤ 기타 법·제도 개선 및 신규 지원방안 도출

○ 신규 법제도(대기관리권역법) 검토 및 대응방안(신규지원방안) 발굴

• 대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법(2019.4.2.제정,2020.4.3.시행) 검토

○ 개조사업자 선정방안 제시

• 친환경자동차 전환 관련 유사사업 사례 검토
• 사업 수행기관 및 개조사업자 선정방안, 하이브리드 화물자동차 전환 지원사업 세부 시행방안 제시

⑥ 법·제도적 지원방안 연구

○ 보조금 지원사업 추진을 위한 대안 검토 및 추진계획

• (기존사업 근거 지원가능금액 추정) 대상차량 연식별 주요 배출허용기준을 검토하고 기존 사업을 근거로 본 기술적용 보조금 지원사업의 추진 대안 및 타당성을 검토
• (발생효과 기반 신규사업 지원가능금액 추정) 신규 지원사업의 추진을 전제로 본 기술 적용시 기대 효과에 기반한 지원가능금액을 추정
• (관련정책현황 검토 및 관계부처 정책 제안) 신규 지정된 대기관리권역법의 하위법령인 대기관리권역법 시행령 및 시행규칙, 제정 추진중인 생활물류서비스 사업발전방안 등을 신규 검토하고 본 사업 지원을 위한 법적 근거 검토

○ 물류분야 에너지사용 감축방안 관련 국토교통부 등 관계부처 정책 제안

• (녹색물류전환사업 정책 건의) 2022년도 민간공모사업으로 지원, 2023년도 이후 정부지정 핵심사업으로 편입을 관계부처에 건의 (그림 359)
• (신규 지원사업 발굴 및 택배기업 지원 건의) 녹색물류 전환사업활용 효과를 기반으로 2023년도 이후 신규 지원사업 발굴을 관계부처에 건의하고 대기관리권역법에 근거한 택배기업 지원 건의 (그림 359)
• (한국판뉴딜 그린뉴딜분야 신규과제로 제안) 한국교통연구원-국토교통부 그린뉴딜 정책 건의안 중 하나의 신규과제 형태로 국토교통부가 후원하고 한국교통연구원, 대한교통학회가 공동 주최하는 정책토론회 형식을 통해 건의 (그림 360)

○ 개조사업 비즈니스모델 발굴 제시

• 하이브리드 개조 사업의 기본 모듈 공급 및 개조사업 총괄 사업을 기준으로 비즈니스모델을 다음 비즈니스모델 캔버스 방식으로 발굴

디젤 소형화물차 온실가스 · 미세먼지 저배출 전환을 위한 친환경 하이브리드 소형트럭 개조 지원사업 주요내용

2021.03.03.(KOTI)

1. 현황 및 문제점

□ 현황 및 문제점

○ 대기 중 미세먼지 증가로 인한 국민 삶의질 저하문제 대두

* 도로이동 오염원 중 화물차의 등록대수는 15.7%에 불과하지만 미세먼지(PM10) 배출량은 68.4% 차지 (2017 기준, 국가미세먼지정보센터)

○ 온실가스 배출로 인한 기후변화 문제가 점차 중요시되는 가운데 산업 부문별 온실가스 배출량 감소 요구 증대 예상

- '21.02 美 바이든 행정부 출범과 함께 파리 기후협정 복귀가 예상됨에 따라 EU에 이어 미국도 '탄소국경세' 도입 가능성 증가

* 탄소국경세: 역내 수입품에 탄소배출에 비례하여 세금을 부과하는 방안으로 EU('23), 미 바이든정부('25) 시행 추진 중

- 환경부·기상청은 「한국 기후변화 평가보고서 2020」('20.07)발간 및 하반기 '제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025)' 수립 예정

* 수송부문 중 도로부문의 온실가스 배출량은 91.1%, 차량 중 경유차로 인한 배출량은 57.1% (2015 기준, 교통 온실가스 관리시스템)

□ 사업의 필요성

○ 신규 구매 화물차 및 노후화물차(5등급, 07년이전 출고) 저공해화 대책은 있지만 소비자 기 구매 비노후 화물차 (08년~현재 구매) 차량으로 인한 미세먼지·온실가스 배출 문제에 대한 대응방안 미비

○ 물류현장에 가장 많이 쓰이는 非노후 4등급 이상 소형 화물차의 디젤-전기 하이브리드 개조를 통한 저배출 전환을 병행하여 물류부문 미세먼지와 온실가스 배출량 저감 필요

* 4등급 이상 소형 화물차 대수 219만 대 (전체 292만 대 중 74.8%) 추정

* 기존 환경부 소형트럭 저공해엔진(LPG) 개조 사업은 온실가스 배출량 저감에는 부정적 (LPG 사용제한 완화로 '30년 기준 26만톤 배출 증가 예측, 기재부·산업부·환경부 보도해명자료, '19.3.26)

○ 디젤-전기 하이브리드 소형트럭 개조기술은 저비용(원가 5백만원 이하)으로 기 운행차량의 온실가스와 미세먼지 배출 동시 저감효과(20%이상)가 기대되며 국토교통 R&D 사업으로 기술개발 되어 기술의 활용 및 보급이 용이

2. 지원사업의 목적 및 주요내용

□ 사업의 목적

○ 2025년까지 디젤소형화물차 중 생활반경내에서 주로 운행하는 택배차량에 대해 3,000대* 보급 지원으로 온실가스·미세먼지 배출 동시저감 실현

* 소형 택배차량 약 5만대 중 EURO4, EURO5 모델 추정 수량(약 3만대)의 10% 가정

□ 사업 추진의 법적 근거

○ 물류정책기본법 제59조(환경친화적 물류의 촉진)

> 물류정책기본법 제59조(환경친화적 물류의 촉진) ① 국토교통부장관 · 해양수산부장관 또는 시 · 도지사는 물류활동이 환경친화적으로 추진될 수 있도록 관련 시책을 마련하여야 한다.
> ② 국토교통부장관 · 해양수산부장관 또는 시 · 도지사는 물류기업 또는 화주기업이 환경친화적 물류활동을 위하여 다음 각 호의 활동을 하는 경우에는 행정적 · 재정적 지원을 할 수 있다.
> 1. 환경친화적인 운송수단 또는 포장재료의 사용
> 2. 기존 물류시설 · 장비 · 운송수단을 환경친화적인 물류시설 · 장비 · 운송수단으로 변경
> 3. 그 밖에 대통령령으로 정하는 환경친화적 물류활동

○ 지속가능교통물류발전법 제28조(환경친화적 교통수단의 운행 확대 지원)

> 지속가능교통물류발전법 제28조(환경친화적 교통수단의 운행 확대 지원) 국토교통부장관 · 해양수산부장관 · 특별시장 · 광역시장 · 특별자치시장 · 시장 또는 군수는 온실가스 등으로 인한 지구온난화를 방지하고 쾌적한 교통물류 여건을 조성하기 위하여 필요하다고 인정하면 관계 중앙행정기관의 장과의 협의를 거쳐 환경친화적 교통수단의 운행 확대를 위한 다음 각 호의 조치를 하여야 한다.
> 1. 환경친화적 교통수단에 대한 교통물류가격의 감면 등의 지원
> 2. 환경친화적 교통수단 구매자에 대한 교통물류 관련 사업 인가 · 허가 등에서의 우대
> 3. 그 밖에 환경친화적 교통수단의 운행을 확대하기 위하여 대통령령으로 정하는 조치

○ 화물자동차운수사업법 제43조(재정지원)

> ① 국가는 지방자치단체, 「공공기관의 운영에 관한 법률」에 따른 공공기관 중 대통령령으로 정하는 공공기관, 「지방공기업법」에 따른 지방공사, 사업자단체 또는 운수사업자가 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업을 수행하는 경우로서 재정적 지원이 필요하다고 인정되면 대통령령으로 정하는 바에 따라 소요자금의 일부를 보조하거나 융자할 수 있다.
> 1. 공동차고지 및 공영차고지 건설
> 2. 화물자동차 운수사업의 정보화
> 3. 낡은 차량의 대체
> 4. 연료비가 절감되거나 환경친화적인 화물자동차 등으로의 전환 및 이를 위한 시설 · 장비의 투자
> 5. 화물자동차 휴게소의 건설
> 6. 화물자동차 운수사업의 서비스 향상을 위한 시설 · 장비의 확충과 개선
> 7. 그 밖에 화물자동차 운수사업의 경영합리화를 위한 사항으로서 국토교통부령으로 정하는 사항
> ② 특별시장 · 광역시장 · 특별자치시장 · 특별자치도지사 · 시장 또는 군수(광역시의 군수를 포함한다. 이하 이 조, 제44조 및 제44조의2에서 같다)는 운송사업자, 운송가맹사업자 및 제40조제1항에 따라 화물자동차 운송사업을 위탁받은 자(이하 이 조, 제44조 및 제44조의2에서 "운송사업자등"이라 한다)에게 유류(油類)에 부과되는 다음 각 호의 세액 등의 인상액에 상당하는 금액의 전부 또는 일부를 대통령령으로 정하는 바에 따라 보조할 수 있다.
> 1. 「교육세법」 제5조제1항, 「교통 · 에너지 · 환경세법」 제2조제1항제2호, 「지방세법」 제136조제1항에 따라 경유에 각각 부과되는 교육세, 교통 · 에너지 · 환경세, 자동차세
> 2. 「개별소비세법」 제1조제2항제4호바목, 「교육세법」 제5조제1항, 「석유 및 석유대체연료 사업법」 제18조제2항제1호에 따라 석유가스 중 부탄에 각각 부과되는 개별소비세 · 교육세 · 부과금

□ 사업 추진 내용

1) 운행 화물차 저배출 개조 지원

○ (목적) 운행 화물차의 저배출 전환을 위한 소요비용 및 행정 지원

○ (방안 1) 운행 화물차의 저배출 디젤-전기 하이브리드 개조비용 지원

- 기 운행 소형화물차량의 하이브리드 개조를 위한 소요비용을 지원하여 개별차주 및 기업들의 참여 장려

- 개조 시 연비향상(30% 이상)으로 인한 유류비 저감효과가 있어, 개조에 대한 민간 부담비용이 적을 경우 다수 참여 기대

* 정부는 미세먼지 및 온실가스 배출 저감효과, 향상된 연비만큼의 영업용 차량 유류세 환급분 감소 등 효과 기대

* 개조 비용 지원은 현행 녹색물류전환사업 민간공모사업 재원을 우선 활용, '23년 이후 정부지정핵심사업 편입 또는 별도 지원사업으로 추가발굴 추진

○ (방안 2) 운행 화물차 저배출 개조사업자 관리 및 행정처리 일관화

- 하이브리드튜닝 관련 법제도 조항 마련으로 제도적 한계발생 방지

* 국토교통부 고시 「자동차 튜닝에관한 규정」에 하이브리드자동차의 튜닝 내용 추가 및 하이브리드자동차 튜닝제도 도입 (교통안전공단 기 추진)

- 본 기술 성능기준 제시 및 개조사업자 허가기준 마련

2) 물류기업 화물차 저배출화 관리 및 장려

○ (목적) 물류기업의 운행 화물차 저배출화 전환을 관리하고 지원할 수 있는 인센티브방안 마련

○ (방안 1) 물류기업 화물운송 에너지효율 관리제 도입 및 개선

- 물류기업의 화물운송 에너지 효율을 관리하고 개선 시 인센티브를 제공하는 방안 마련

* 현행 물류에너지목표관리제 확대 및 강화, 단위물류효율 가이드라인 마련

○ (방안 2) 대기관리권역법 대응 택배기업 지원방안 마련

- 대기관리권역법에 의해 '23년 이후 신규차량에 대해 디젤차량사용이 불가한 택배업계에 대해 신규차량 허용기준 확대 (디젤-하이브리드 개조차량 포함) 환경부 협의

  * 다양한 저배출화 참여 대안 제시를 통한 택배물류기업의 점진적 친환경화 확대 지원, 신기술 최소 시장규모 확보를 통한 가격경쟁력 확보 및 시장 확대 기대

대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법 제28조(특정 용도 자동차로 경유자동차의 사용 제한) 대기오염물질로 인한 어린이의 건강상 위해를 예방하고 일상생활에서 주민의 건강을 보호하기 위하여 다음 각 호의 목적으로 사용하는 자동차에 대하여는 경유자동차를 사용하여서는 아니 된다.

...

2. 「화물자동차 운수사업법」 제2조제3호에 따른 화물자동차 운송사업 중 화물을 집화·분류·배송하는 형태의 운송사업에 사용되는 자동차

부칙 제3조(특정 용도 자동차로 경유자동차 사용 제한 등에 관한 적용례) 제28조는 같은 규정 시행 이후 최초로 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우부터 적용한다.

...

3. 「화물자동차 운수사업법」 제3조제1항에 따라 화물을 집화·분류·배송하는 형태의 화물자동차 운송사업 허가를 받으려는 경우 또는 종전의 규정에 따라 화물자동차 운송사업의 허가를 받은 자가 증차 또는 대폐차를 하려는 경우

4. 화물을 집화·분류·배송하는 형태의 화물자동차 운송사업을 영위하기 위하여 「화물자동차 운수사업법」 제29조제1항에 따라 화물자동차 운송가맹사업 허가를 받으려는 경우 또는 종전의 규정에 따라 화물자동차 운송가맹사업 허가를 받은 자가 화물을 집화·분류·배송하는 형태의 화물자동차 운송사업을 위하여 증차 또는 대폐차를 하려는 경우

3. 지원사업 규모 및 기대 효과

□ 재정지원 규모

○ 대당 500만 원 지원* 기준 가정시, 4년간 총 150억 원 추정

- 대당 개조비용 500~1,000만원 추정

	'22	'23	'24	'25	계
지원규모 (대)	100	500	1,200	1,200	3,000
소요예산 (억원)	5	25	60	60	150

* 기존 녹색물류전환사업 사례를 바탕으로 대당 최소 27만원~최대 684만원 지원 가능 추정

□ 기대효과

○ 경제적 기대효과 (별첨 2. 참고)

- (소형 택배트럭 기준) 연료비 절감 편익 연간 48.75억 원 기대 (3천대 보급 기준)

  * 대당 연간 연료비 절감 편익 1,624,960 원/년/대

○ 환경적 기대효과 (별첨 1. 참고)

- (소형 택배트럭 기준) 온실가스 배출량 연간 5,807만 tCO2, 미세먼지 1,992.5 kg 감축 기대

  * 환경비용 절감 편익 기준 9.64억 원/년 수준 (3만 대 보급 기준)

○ 사회적 가치 실현 측면

- 디젤-전기 하이브리드 개조사업 신규 일자리 창출 기대
- 자동차 정비업계 신규 사업 및 일자리 제공 기대

  * 전기자동차 보급 확대 시 차량당 정비량 감소로 정비업계 일자리 감소 우려 발생

별첨 1. 재정지원 규모의 타당성

○ (추정방법) 녹색물류공모사업의 기존 지원 사례들을 바탕으로 본 기술의 지원 가능금액의 규모를 추정

- 기존 사업의 에너지 효율화(유류 절감량) 및 온실가스배출 감축량 및 지원 금액을 바탕으로 원단위법으로 최대/최소 추정

○ 기존 사업 효과 및 단위 효과별 지원금액

- 기존 사업의 지원장비별 대당 효과 및 지원금액을 바탕으로 각각 온실가스 감축 단위량당 및 유류절감량당 지원금액을 추정

  * 온실가스 감축 단위량을 기준으로 톤당 14만원-181만원까지 지급

  * 유류 절감량을 기준으로 1L 절감 당 0.03만원-0.48만원까지 지급

<표> 기존 녹색물류전환사업 장비별 지원금액 원단위 추정

지원장비	'16년 지원대수 (A)	1대당 연간 유류 절감량 (B)	1대당 연간 온실가스 감축량(C)	대당 평균 지원금액 (만원) (D)	온실가스 감축 단위량당 지원금액 (만원/톤) (D/C)	유류절감량 당 지원금액 (만원/L) (D/B)
무시동히터	1,857	990 L	2.5 톤	40	16	0.04
전기축열식냉장냉동	40	1,926 L	5.1 톤	925	181	0.48
에어스포일러	581	410 L	1.1 톤	15	14	0.04
공기저항저감장치	19	434 L	1.1 톤	15	14	0.03
택배전동장비	100	1,620 L	4.3 톤	3272)	76	0.20

자료1) "친환경 물류지원으로 온실가스 및 미세먼지 저감", 교통안전공단 보도자료 (2018.05.09.)
2) 택배전동장비(전동카트) 제조사(로웰에스엠) 홈페이지 카트가격 50%로 가정

○ 기존 사업 효과 기반 지원가능금액 추정

- 연료소비 저감량 기준 최소 49만원/대 ~ 최대 684만원/대
- 온실가스 저감량 기준 최소 27만원/대 ~ 최대 350만원/대

<표> 연료소비 및 온실가스 절감 효과에 기반한 지원가능금액 추정

효과 구분	저감량	지원금액 원단위 (만원/L),(만원/tCO2)		지원가능금액 (만원/대)	
		최소	최대	최소	최대
연료소비 저감량 (l/대/년)	1,424	0.0346	0.4803	49.28	684.02
온실가스 저감량 (tCO2/대/년)	1.9	14	181	27.10	350.33

별첨 2. 기대효과 산출 근거

□ 경제적 기대효과 산출 근거

○ 개조차량 연료소비 저감율

- 포터II, 2014년식, 대표 택배물류사이클 기준

개조전	(km/l)	개조후	(km/l)	개선율	연료 소비 저감율
1차	6.336	1차	11.795	86.2%	46.3%
2차	6.486	2차	11.885	83.2%	45.4%
평균	6.411	평균	11.84	84.7%	45.9%

○ 개조시 연료비 절감 편익 (경유단가 1,141원/l 기준)

	1톤 이하 택배			1톤 이하 용달		
	유류 소비량(A) (l/대/년)	저감량 (A*45.9%)	저감 비용 (원/대/년)	유류 소비량(A) (l/대/년)	저감량 (A*45.9%)	저감 비용 (원/대/년)
유로4	3,231	1,461	1,690,206	7,053	3,234	3,690,069
유로5	2,981	1,367	1,559,714	6,587	3,020	3,445,998
평균	3,106	1,424	1,624,960	6,820	3,127	3,568,034

자료: 한국교통연구원 화물운송시장정보센터, 2015~2019년 화물운송시장 실태 조사 내부 자료

○ 경제적 기대효과 산출 (택배차량 기준)

- 1,624,960(원/대/년) * 3,000대 * 1년 = 48.75억 원/년

□ 환경적 기대효과 산출 근거

○ 국내 소형트럭 오염물질 배출량

	PM10			온실가스		
	배출량(A) (g/대/년)	예상감축량 (A)*55.6%	환경편익 (원/대/년)	배출량(A) (tCO2/대/년)	예상감축량 ((A)*23.9%	환경편익 (원/대/년)
유로4	1,768	982	324,842	8.4	2.0	105,766
유로5	623	346	114,466	7.8	1.9	97,611
평균	1,196	664	219,654	8.1	1.9	101,689

자료: 택배차량용 디젤트럭의 하이브리드 개조기술 개발 및 실용화 연구, 3차년도 보고서

주: PM10 저감량 55.6%, 온실가스 감축량은 CO감축량 23.9%적용, NMHC 및 NOx는 미반영

○ 미세먼지, 온실가스 배출비용 원단위

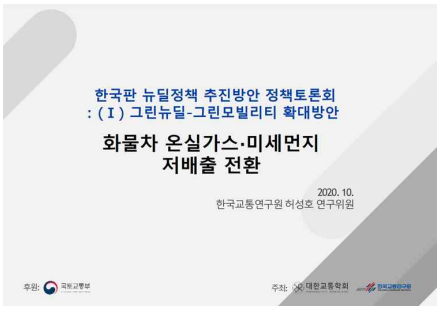
- (미세먼지) 330.7원/g
- (온실가스) 52,538원/tCO2
  * 사회적 할인율 3.0%, 감축량 20%, 2021년 기준
  * 자료: 대기오염물질 사회적 비용 재평가 연구 (환경부, 2015)

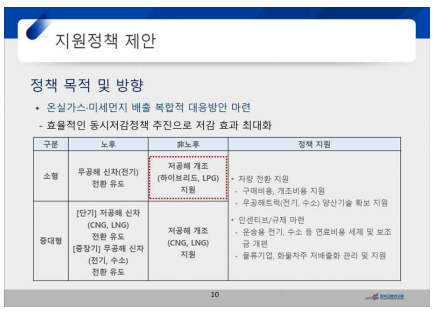
○ 환경적 기대효과 산출 (택배차량 기준)

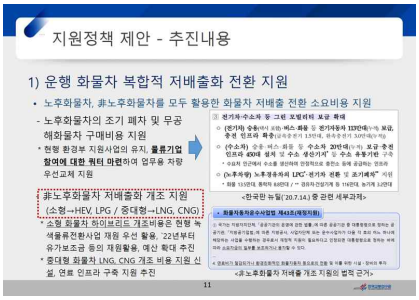
- (미세먼지 저감) 664g/대/년 * 3,000대 = 1,992,500 g/년
- (온실가스 저감) 1.9tCO2/대/년 * 3,000대 = 5,807 tCO2/년
- (219,654원+101,689원) * 3,000대 * 1년 = 9.64억 원/년

<그림 359> 녹색물류전환사업 확대 및 신규지원방안 정책 건의문건









<그림 360> 한국판 뉴딜정책 추진방안 정책토론회 중 하이브리드 개조 지원 건의내용

○ 개발기술 수요예측 기반 사업화 및 마케팅전략 구체화
• 제품, 가격, 장소, 판매촉진 등 마케팅 믹스 기반 4P 전략을 제시

(라) (공동) 구보엔지니어링
① 주요 개조 부품의 양산 모듈 기술 개발
○ 클러치 자동화 기구
• 클러치 반자동화로 전동유압 Pusher적용 및 Central Slave 실린더 적용
○ 냉각시스템
• 하이브리드 Electric Power Train의 발열을 냉각시키기 위한 냉각수 순환 회로 적용
• 냉각 성능 신뢰도 확보를 이용 기존 신뢰 확인 부품 적용
○ 시프트 레버 센서
• 클러치 자동화와 함께 운전자의 변속 의도를 감지하고 실질 변속 레버의 작동 상태를 모니터링하는 센서 개발 (신규 개발 센서)
• 내구 시험진행으로 신뢰성 확보함
○ 브레이크 제동 센서
• 회생제동기능을 사용하기 위한 제동 의도 및 제동 정도를 파악할 수 있는 센서 개발
• 양산차부품(포텐쇼미터, Throttle Position Sensor) 사용함으로 센서 자체 신뢰성은 확보함

② 양산 모듈화 시제의 실차 적용
○ 양산 모듈화 시제 제작의 실차 적용
• 2차년도 (2018) 3대 시제작
• 3차년도 (2019) 4대 시제작
• 4차년도 (2020) 5대 시제작,
○ 하이브리드 튜닝 안전성 시험 (2020, 자동차안전연구원)
• 일반안전의 적정성 확인, 고전원 전기장치 안전성시험, 전자파 적합성 시험, 주행시험(내구 3,000km), 조향성능시험, 제동능력시험, 구동축전자 안전성 시험, 원동기 출력시험 통과함
○ 튜닝 구조변경 신청 및 검사
• 4차년도 (2020) 시제작 차량 5대에 대한 튜닝 구조변경 신청을 완료하고 자동차 검사소에서 검사완료함

③ 통합제어기 개발 및 차량 제어 기술 개발
○ 기존 차량 및 주변 제어기와 인터페이스 기술 개발
• 내재된 CAN gateway와 CAN인터페이스로 연결된 엔진 ECU로부터 차량의 주요 정보를 받고 그리고 엔진 ECU로 하여금 엔진을 켜고 끌 수 있도록 설계
• CAN인터페이스로 모터제어기, BMS, 디스플레이 장치와 강인한 통신 환경 구축
• 하이브리드 차량 상황에 최적화된 동력 분배 알고리즘(카이스트) 탑재

○ 독립된 ISG 장치 개발

• 통합제어기의 ISG 기능만을 별도로 구성하여 환경부 공회전제한장치의 성능기준에 준하는 기능을 탑재한 ISG 장치 개발

④ PCU 개발 및 제어 기술 개발

○ 통합 PCU 개발

• 독립적으로 구성되어 있던 인버터와 컨버터를 PCU로 통합 설계

• 수냉식 방열구조를 통해 방열부가 차지하는 크기와 중량의 최소화

• 높은 전력밀도의 인버터를 구현하기 위해 피드백 기반 약자속제어 알고리즘과 최고효율 토크 제어 알고리즘(카이스트)을 탑재함

• 자동차안전연구원에서 차량 안정성 평가와 동시에 전자파 적합성 시험, 3000Km내구 시험 등을 진행하여 PCU의 신뢰성을 검증

⑤ 하이브리드용 배터리관리시스템 및 배터리팩 개발

○ 하이브리드 배터리 관리 시스템 개발

• 강인상태 추정계를 이용한 SOC추정 알고리즘 및 셀간 전압 편차를 이용한 패시브 셀 밸런싱 알고리즘(카이스트)을 탑재함

• 과충전 보호, 과방전 보호, 과전류 보호, 단락 보호 기능이 기본으로 내재되어 있음

○ 하이브리드 배터리팩 개발

• 온도 변화, 수분, 외부 충격 등의 배터리 팩 신뢰성 확보를 위해 회로 설계 최적화

• 자동차안전연구원에서 낙하, 액중투입, 과충전, 과방전, 단락, 열노출, 연소안전 인증시험을 통과함

⑥ 개조차량용 디스플레이 장치 개발

○ 에너지 흐름 모니터닝 장치

• 하이브리드 트럭의 상태를 표시하기 위해 차량용 LCD를 이용

• 동작 모드, 기어상태, 속도 정보, 배터리 정보 등을 표시

• 모터, 배터리, 제어기 등의 에러 발생시 에러 코드 표시하여 상황에 따라 긴급조치가 가능하도록 설계

(마) (공동) 하이젠모터

① 하이브리드 모터 사이징 설계기술 확보

○ 하이브리드 모터의 특징에 맞춘 모터 설계기술 및 용량, 크기를 결정할 수 있는 기술 확보

• 적용 대상의 차량에 적용된 하이브리드 모터가 없는바 엔진의 실측을 통하여 모터의 크기를 결정, 차량의 특징에 맞는 용량 설정을 진행함

• 적용 대상이 달라 요구되는 특징이 다르나 단순히 들어나는 특징을 타 社 하이브리드 승용차에 적용중인 하이브리드 모터와 개발한 하이브리드 모터와 비교하였을 때 최대 토크 117.6%, 최대출력 109.3%, 최대 효율 103.2% 임을 확인하였을 때 충분히 경쟁력 있는 설계기술을 확보한 것으로 고려됨

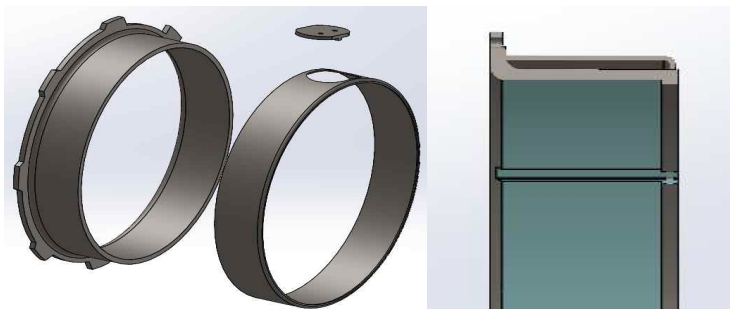
<표 80 > 출력 비교

구분	타 社 하이브리드 모터 (승용차)	개발 모터
최대 토크[Nm]	170	200
최대 효율[%]	92	95
최고 출력[kW]	32	35
최고 30분 출력[kW]	-	14

② 하이브리드 모터 수냉 구조 및 생산 기술 확보

○ 엔진과 모터, 변속기 직렬구조에서 사용할 수 있는 수냉구조, 하우징, 축 장착 구조를 결정, 설계하고 각 구조의 생산방식을 확보함

- 해당 개발 모터의 경우 출력밀도 및 모터가 위치하는 공간상의 문제로 공랭식 대비 열냉각 효율이 높은 수냉식 구조로 진행됨.
- 하우징 내부 수로를 삽입할 경우 소재의 무게 증가, 고정자 경 축소에 따른 모터의 최대 토크 및 출력 감소 등의 이유로 내부에 수로가 있고 고정자를 잡아줄 수 있는 Water Jacket을 적용함으로써 주 열 발생원인 고정자를 냉각시키는 구조로 진행함.



<그림 361> Water Jacket 및 단면도(내부 수로)

③ 수냉식 모터 냉각능력 계산 기술 확보

○ 하이브리드 모터의 구조에서 최적의 냉각 효과를 발휘할 수 있는 수냉 냉각구조와 설계된 구조에서의 모터 온도 예측기술 확보함

- 모터 열해석 프로그램을 활용하여 모터의 구조 및 열등가회로망을 작성, 계산함으로써 모터의 온도를 예측 및 설계 반영을 진행함.

④ 하이브리드 모터 제어기술 및 Process 확보

○ 하이브리드 차량에서 모터의 특수 운전 및 빈번한 Motoring, Generating 변환 등 조건에 신속히 응답할 수 있는 기술 확보

⑤ 생산 기술 확보

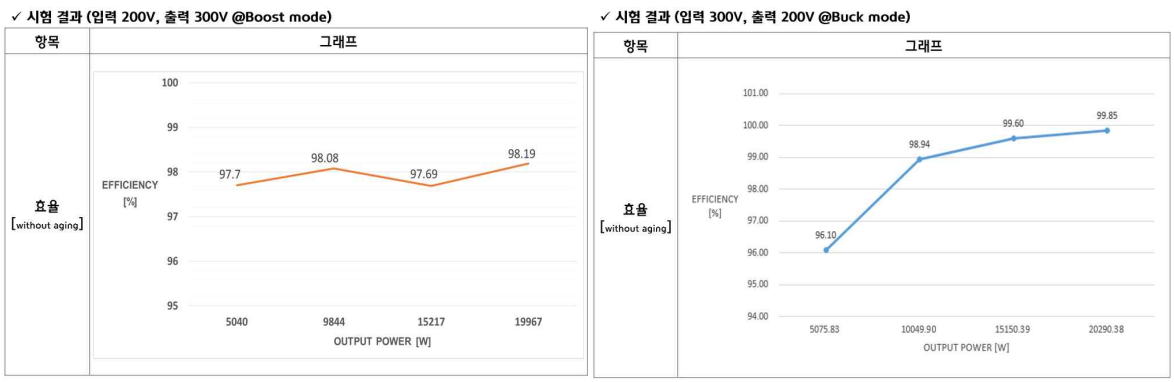
○ 하이브리드 모터에서 주로 사용되는 분할 코어 방식의 코어생산 방식 결정 및 권선 방식 결정, 제조 Process 및 생산 조건 등 기술 확보

• 고정자 코어
- 엠보 자동 적층형상으로 설계함으로써 생산성 확보함
• 회전자 코어
- 코어 적층 후 외경 가공이 불가능하기에 코어 타발(노칭) 금형의 외경부 공차를 맞추어 생산 진행
• 보빈
- 사출금형을 통하여 제작, 상하 조립형으로 설계하여 권선 작업 시 시작위치를 확인하기 용이하게 함
- 열적 및 전기적 성질이 우수한 PA66 GF30% 사용함으로써 코어와 권선 사이의 절연능력을 확보함
• 권선 제작
- 자동권선기에 적용 가능한 지그를 제작함으로써 생산성을 확보함
- 인출선 위치 및 회전방향 관련된 제작 도면을 작성함으로써 제품의 표준화를 확보함
- 권선의 절연을 위한 함침용 지그를 제작함으로써 양산시 대응 조건 확보함

(바) (공동) 유라코퍼레이션

① 양방향 DC/DC 컨버터 제작 및 검증

○ 최적 토폴로지 검토 및 설계
• 제품 고효율 설계 달성
- 승압모드 최대 98% ↑
- 강압모드 최대 99% ↑



<그림 362> 절연형 풀브리지 컨버터 회로 전력부

② PCU 기구 설계 및 제작

○ 열유동 해석 검증후 시제품 제작
• 공동연구기관과 협의하여 발열부품 배치를 고려한 제품 제작

③ 하네스 시제품 제작

○ 저전압 하네스 제품 제작
• 제어기간에 적용된 하네스 19종 제픔 제작
• 개선사항 반영 후 개선품 제작

○ 고전압 하네스 제품 제작

- DC전원 및 AC전원선 총 2종 제품 제작
- 개선사항 반영 후 개선품 제작

(사) (공동) 이모션

① 개조차량 발생 정보 실시간 모니터링 시스템 구축

○ 차량과 수집정보 전송 모듈과 모니터링 서버 간 통신 프로토콜 확보

- 개조 차량에서 발생 되는 차량의 상태 데이터를 실시간으로 서버에 수집할 수 있는 프로토콜 확보

○ 개조 차량의 상태를 실시간으로 확인할 수 있는 모니터링 시스템 개발

- 운행 중인 여러 차량에서 발생 되는 대용량의 데이터를 서버에 수집하는 기술 및 시스템 확보

② 유사상황(이상상황) 알림 시스템 개발

○ 운행 중인 차량의 유사상황 발생 시 담당 관리자에게 알리는 기능 확보로 차량 관리의 효율성 확보

(아) (공동) 피엠그로우

① 하이브리드 디젤-전기 트럭용 배터리팩 설계 및 제작

○ 3.1kWh급 하이브리드 디젤-전기 트럭용 배터리팩 설계

- 체계화된 설계 프로세스를 통해 제한된 공간 내에서 충분한 용량과 파워를 제공할 수 있는 배터리팩을 설계하고 제작하였음
- 한국교통안전공단의 구동축전지 안전 시험 중 내 충격력 기준을 만족할 수 있도록 내진, 내충격과 같은 물리적 충격에 강인한 구조를 채택하였음
- 한국교통안전공단의 구동축전지 안전 시험 중 침수 안전 기준을 만족할 수 있도록 침수 시 유체가 빠르게 유입되어 배터리팩의 에너지를 빠른 속도로 방전할 수 있도록 case 설계를 수행하였음
- 한국교통안전공단의 구동축전지 안전 시험 중 화염 안전 기준을 만족할 수 있도록 배터리팩 case와 내부 요소들의 간격이 충분히 떨어질 수 있도록 설계하였고, 내열재료를 사용하였음

② 하이브리드 디젤-전기 트럭용 배터리팩 성능 및 안전성 평가

○ 한국교통안전공단 구동축전지 안전인증 시험 통과

- 한국교통안전공단에서 수행하는 구동축전지 안전인증 시험을 성공적으로 통과하였음
- 4종의 기본 안전 시험과 3종의 사고 안전 시험을 추가적인 배터리팩 설계 보완 없이 성공적으로 완수하였음
  - 기본 안전 시험 4종: 과충전 안전 시험, 과방전 안전 시험, 외부단락 안전 시험 및 열노출 안전시험

- 고 안전 시험 3종: 액중투입 안전 시험, 낙하 안전 시험 및 연소 안전 시험

○ 한국교통안전공단 구동축전지 최대 성능 평가

• 6초간 49kW의 파워가 정상적으로 출력됨을 확인

(자) (공동) 옵토멕

① 배터리셀 모니터링 시스템 및 밸런싱 회로, 배터리 보호 회로 개발

○ 배터리셀 모니터링을 위한 PC용 프로그램 개발

○ 셀 뱅런싱을 위한 회로 개발

○ 과충전, 과방전, 과전류 제한 보호 회로 개발

② 제어기 간의 제어 계층 구조 및 통신 프로토콜 확립

○ 주제어기와 엔진 ECU, BMS, 모터제어기간의 CAN 통신 프로토콜 정립

○ UART 인터페이스로 차량 상태 정보 디스플레이 장치에 출력하는 프로토콜 확립

③ 태블릿 기반 모니터링 어플리케이션 개발

○ 통합제어기로부터 정보를 받아 표시하는 안드로이드 앱 개발

(차) (공동) 엠앤코

① 모듈 부품의 양산형 기구물 개발

○ 하이브리드 트럭 주행 상태 모니터링을 위한 양산형 모니터 하우징 커버 제작

○ 하이브리드 트럭 통합제어기용 양산형 Harware 가구물 케이스 제작

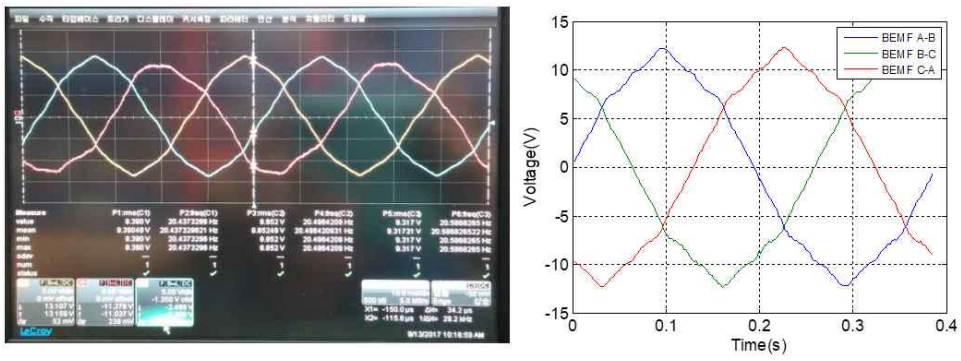
(카) (위탁) 광주과학기술원

① 구동 모터 경량화를 위한 형상 최적 설계 기술 개발

○ 모터 성능해석 모델 수립 및 검증

• 무부하 해석

- 무부하 해석 모델을 수립하여 역기전력을 계산하고 실험과 비교를 통하여 모델 검증



(a) (b)

<그림 363> (a) 실험 BEMF 결과값 (b) COMSOL BEMF 계산값

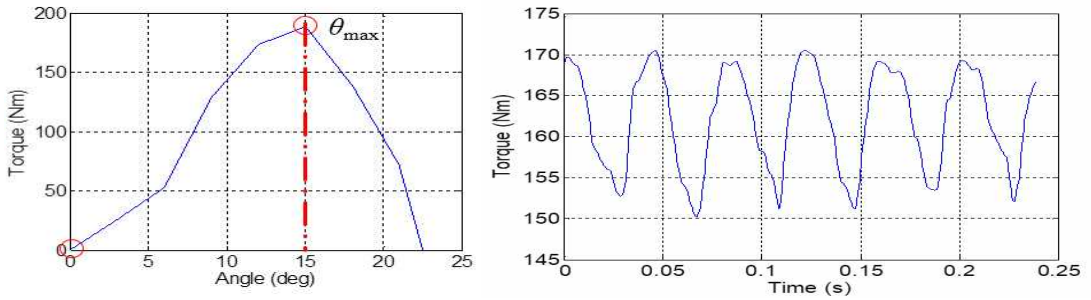
• Locked motor analysis

- 무부하 해석 모델을 수립하여 역기전력을 계산하고 실험과 비교를 통하여 모

델 검증

• Time-transient analysis

- 무부하 해석 모델을 수립하여 역기전력을 계산하고 실험과 비교를 통하여 모델 검증

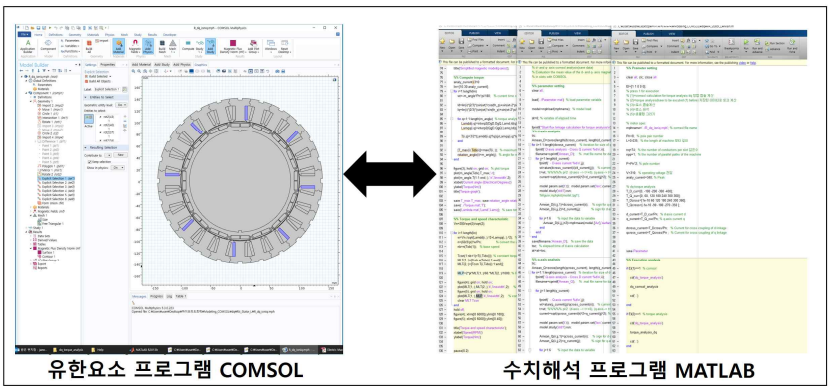


(a) (b)

<그림 364> (a) Locked motor 해석 결과, 모터 회전 각에 따른 토크 변화
(b) Time transient 해석 결과, 평균 토크 172 Nm

• d-q analysis

- 속도-토크 특성을 구하기 위해, 유한요소법을 이용한 dq축 해석 프로그램 개발



<그림 365> 속도-토크 특성을 구하기 위한 dq축 해석 프로그램 개발

○ 구동 모터 경량 최적설계

• 경량 최적화

- 전류와 축방향 두께를 변화시켜가며, 200 Nm를 만족하는 설계 수행

a. 최대지름 조건 (지름 154mm)

* D1 : 179mm, 250Apeak, 300V (고효율 설계)
* D2 : 135mm, 320Apeak, 260V (경량 설계)

b. 최대 축 방향 두께 조건 (지름 114mm)

* D3 : 239mm, 440Apeak, 190V (기본 제한 조건 만족 설계)

Design	Benchmarking	D1	D2	D3
지름 [mm]	280	154	154	114
축 방향 두께 [mm]	35	179	135	239
Apeak [A]	310	250	320	440
모터 인가 전압 [V]	280	300	260	190

② 구동 모터 기본설계 수행 및 성능 확인을 위한 다중 물리해석

○ 구동 모터 설계안 도출

• 기계적 성능 요구 사양 및 제약 조건

- 연차 목표를 달성하는 수치

* 최대 토크: 200 Nm　　* 최대출력: 35 kW

- 공간적 제약 조건

* 모터의 외경: 270 mm　* 모터의 두께: 50 mm

- 전력계통 제약조건

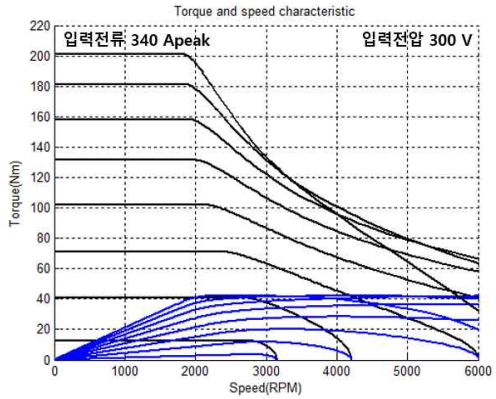
- 입력전압: 300±50 V

• 최종 설계안 도출

- 전력계통 제약조건 반영 및 미세 조정을 위해 입력 전류 결정 및 감은 수 조정

* 권선 감은 수: 60turn　　* 입력전류: 340A_{peak}

- 4번의 설계 프로세스를 통하여 구동모터 최종 설계안 도출



설계 변수	4차 설계안(최종)
모터 지름 [mm]	270
모터 길이 [mm]	45
권선 감은 수	60
입력 전류 [Apeak]	340
입력 전압 [V]	300
최대 토크 [Nm]	200
기저속도 [rpm]	1730
출력 [kW]	36

<그림 366> 최종(4차) 설계안 토크-속도 곡선 및 제원표

③ 구동 모터의 고장 진단 및 예측 기술 검토

○ 고장 진단 및 예지 알고리즘 검토

• Physics based 예지 알고리즘

- Physics based 예지 알고리즘은 고장 메커니즘이나 주요 고장 원리를 통해 수립된 성능의 저하에 대한 수학적 모델을 이용

- 복잡한 기계 시스템의 경우, 고장에 대한 물리적 법칙을 알기 어려워 모델을 만드는데 제약이 있음

• Data driven 예지 알고리즘

- Data driven 예지 알고리즘은 물리적 법칙을 떠나 경험적으로 알고 있는 지식이나, 수많은 데이터들을 통해 수립된 통계적 모델을 이용

- 정확한 모델 수립이 예지 성능에 큰 영향을 미치며, 이를 위해서는 고장에 대하여 사전지식이 충분히 있거나, 통계적 모델의 정밀도를 높일 많큼 많은 데이터가 필요

- 인공신경망, 서포트 벡터 머신, 칼만필터 등 다양한 방법이 존재

⇒ 충분한 고장 모드 별 상태 데이터를 수집 시, 고장 예지 알고리즘 적용 및 검증 가능함을 확인

④ 실제 주행 조건을 반영한 구동모터의 잠재 문제 요소 도출 및 대응방안 마련

○ 구동 모터의 잠재적 문제 요소 대응 방안 검토

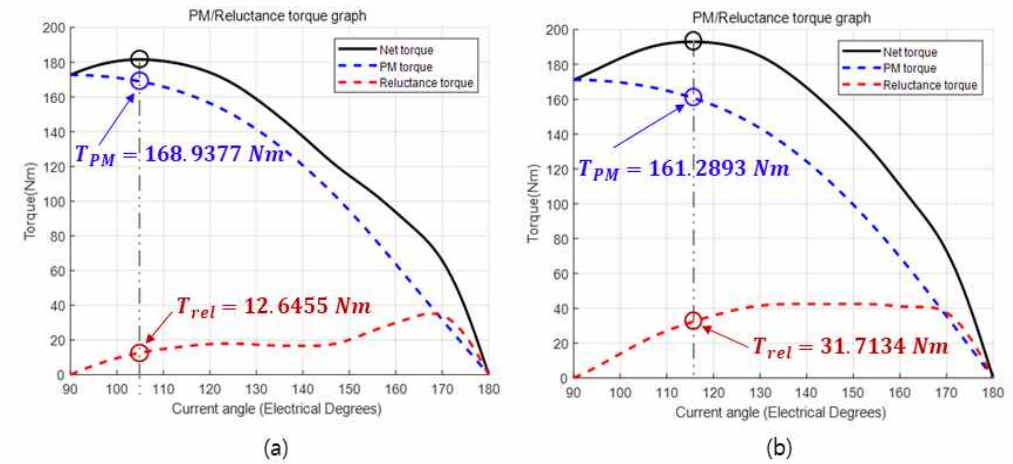
• 구동모터에서 가장 큰 영향을 줄 수 있는 과열 및 충격에 의한 잠재적 문제에 대한 대응 방안 검토 및 제시

- 기존 구동모터의 영구자석 형태를 V-shape으로 변형하여 릴럭턴스 토크성분은 향상시킨 보완 설계안 제안

- 토크 해석을 바탕으로, 기존 구동모터와 보완된 설계안의 총 토크 대비 영구자석 토크 및 릴럭턴스 토크 비율 비교 (입력전류 295Apeak 조건)

* 총 토크 대비 영구자석 토크 비율: 93.04% → 83.57% (10.18% 감소)

* 총 토크 대비 릴럭턴스 토크 비율: 6.96% → 16.43% (136.06% 증가)



<그림 367> 구동모터의 토크 성능 그래프 (a) 기존모터, (b) 개선안(V-shape) 모터

(타) (위탁) 한밭대학교

① 모터 구동용 전력전자시스템 토폴로지 검토와 해석환경 구축

○ 인버터 토폴로지 형태 검토

• 기존 고정 DC전압형 인버터와 검토한 가변 DC전압형 인버터 비교시 약계자 영역에서 최대 20% 효율 향상 가능성 확인

• 가변 DC전압 구현을 위한 HDC에 의한 효율 저감을 고려하더라도 NEDC 기준 주행 가능거리가 5%정도 증가하리라 예상함

○ 정상/과도 상태 성능분석 해석환경 구축

• PSIM기반 정밀 모의실험 환경 구축으로 인해 실험에 소요되는 인력과 시간을 유의미한 수준으로 감축하리라 예상함. 이는 논문 작성시 실험데이터 취득 효율성 향상으로 확인되었음

○ 회생 제동 시 인버터 정전압 제어 방법 도출

• 회생 제동 시 갑작스러운 고전압이 유기될 수 있으므로 이로 인한 전력변환부 파손을 막기 위한 보호 로직으로 적용 가능함. 이는 제품 신뢰도 향상으로 이어짐

② 인버터 제어 알고리즘 개발 및 프로토타입 설계

○ 모터 구동 효율 및 과도성능 향상을 위한 인버터 입력전압 가변 알고리즘

• HDC 입력전압 가변으로 약계자 운전영역을 줄이며 정토크 운전 또한 최대 효율 전압으로 운전 가능함. 이를 통해 평균 주행거리 향상과 더불어 통해 동적

토크제어 성능 향상으로 인한 승차감 향상도 기대됨

○ 양방향 DC/DC 컨버터 전압제어 알고리즘

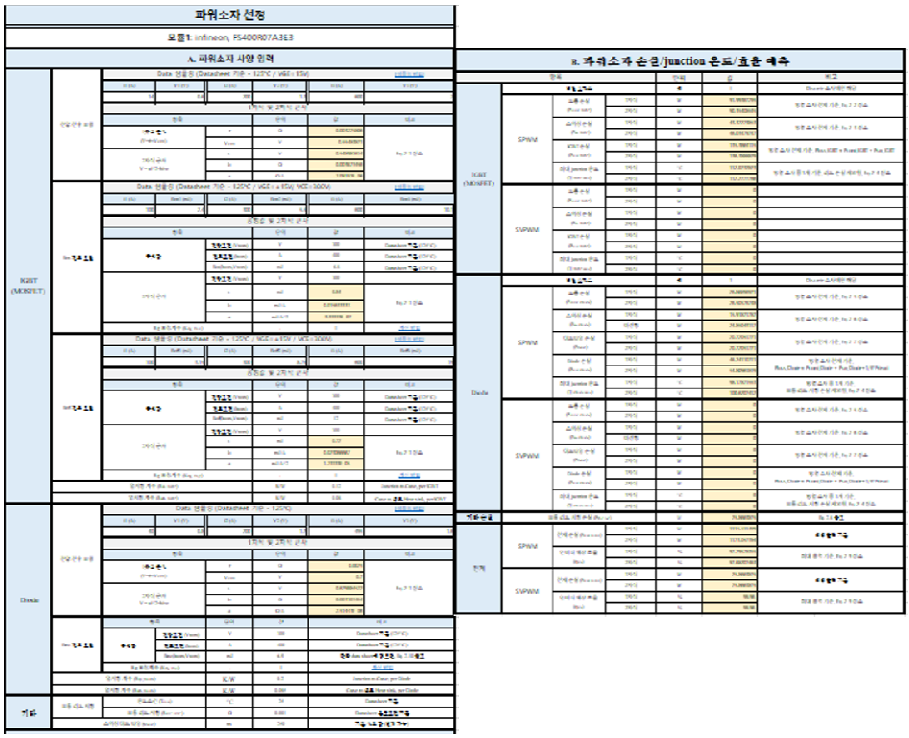
- 온라인 자동동조기가 주요한 특징임. 이는 기존 최적화 기반 동조기와 달리 해석적 형태로 주어지므로 연산량 소모가 50%이상 저감됨. 또한 정상상태에서는 낮은 차단주파수를 유지하므로 상대 안정성 향상 및 2%이상 전력효율 향상도 기대됨

○ 강압 인버터를 활용한 보조장치 구동모터 전압제어 알고리즘

- 상기 알고리즘 적용으로 인한 보조장치 구동 효율 향상 5%이상 향상과 상대 안정성 증대로 인해 제품 신뢰도 향상이 기대됨

○ 인버터 효율 예측 및 최적소자 선정 프로그램

- 상기 프로그램으로 인해 하드웨어 설계 시 소자 선정 시간을 유의미한 수준으로 감소할 수 있으며 이로써 개발 인력 및 비용 감소가 기대됨



<그림 368> 인버터 효율 예측 및 최적소자 선정 프로그램

③ 전력전자시스템 성능 검증 및 최적화

○ 인버터/컨버터 성능 검증 및 제어 알고리즘 최적화

- 2차년도 개발 제어알고리즘 튜닝 파라미터 최적선정을 위한 가이드라인을 도출함. 튜닝 문제를 BMI기반 최적화 문제로 변환하여 체계적으로 파리미터를 최적화 함

○ 인버터/컨버터 고장진단 알고리즘 개발

- 인버터 및 컨버터에서 사용되는 전류/전압/각도 센서 고장 검출 및 진단 알고리즘을 설계하고 검증했음
- 기존 필터 오차에 대한 적분기를 제거하고 외란 관측기 대체를 통해 고주파 부하 외란에도 강인한 고장진단 성능을 보였음. 이는 최초 시도로 보여지며 현장 적용 가능한 수준으로 판단됨

○ 레졸버 auto-calibration 알고리즘 개발

- 일반적인 레졸버 오프셋 관계식을 사용하여 문제를 파라미터 추정 문제로 변환했음
- 이를 RLS 방식으로 해결하려 했으며 모의실험을 통해 가능성 검토를 완료했음
- 논문에서 설득력 있는 수치적 결과(20% 이상 성능 향상)를 보였으며 오프셋을 효과적으로 추정하고 보상할 수 있으리라 예상함

④ 기 개발 신기술 적용 시제품 단품 및 시스템 통합 성능 검증 및 최적화

○ (3차년도 개발기술 단품 적용 및 검증) 최적 토크제어 알고리즘 적용 및 검증

- 제안한 최적화 기반 토크제어 알고리즘 적용으로 기존 해석적 기반 방법 대비 연산시간을 평균 10%정도 줄이고 제어 정확도는 30%이상 향상했음. 이를 적용한 인버터는 신뢰성이 유의미한 수준으로 향상되리라 예상함

○ 레졸버 auto-calibration 알고리즘 설계 및 효용성 검증 하드웨어 구축

- 기 개발한 알고리즘 적용으로 calibration 정확도가 5%이상 향상됨을 확인했으며 이 또한 신기술 적용 인버터 신뢰성 향상에 기여하리라 판담함

○ (시스템 통합 실험 및 양산 기여점 확인) PMSM 파라미터 추정 검증 하드웨어 구축

- 제품 양산시 피할 수 없는 품질 오차로 발생하는 파라미터 변화를 자동으로 감지하여 참값을 효과적으로 출력함. 오차는 ±5% 이내로 양산에 적용 가능하리라 판단하며 양산 제품 성능 품질 관리에 유의미한 기여가 가능해 보임

(파) (위탁) 충남대학교

① 배터리 관리 시스템(BMS) 알고리즘 및 회로 개발

○ 배터리 셀/팩 관련 모니터링 알고리즘 개발 및 밸런싱에 대한 회로 개발

- 택배차량에 적용되는 배터리팩의 단일 셀 및 배터리팩의 전기적 특성 실험 및 특성을 반영한 배터리 셀 및 팩의 SOC, SOH 알고리즘 설계
- 기존 제품을 활용하여 보호 회로를 참조하여 개선된 회로 구현

② 배터리 관리 시스템(BMS) 알고리즘 최적화

○ 배터리팩의 불균형을 반영한 배터리 모니터링 관리 시스템의 알고리즘 최적화

- 알고리즘의 최적화를 위해 불균형의 분석 결과를 토대로 알고리즘 최적화
- SOC 추정 오차 7%, SOH 추정 오차 10%, 셀간 전압 불균형 10mV 이내 달성
  - 공인 시험 성적서 발급

③ 최적 공조를 장치 위치 선정을 위한 열해석

○ 단일셀 및 배터리팩의 열분포 분포 분석 및 열해석을 통한 공조 장치의 최적 위치 선정

- 리튬이온 배터리는 열적 남용 상황에서 배터리의 급격한 성능 저하 및 화재의 위험이 있으며, 공조 장치의 최적 위치 선정을 통해 배터리팩 내부 온도 감소를 도모

④ 전주기 데이터를 활용한 배터리 상태 진단 기술 개발

○ 배터리 노화 데이터를 활용하여 배터리 상태 진단의 지표 선정 및 예측 알고리즘 개발

• 기존 배터리의 상태 진단 인자는 용량 및 저항으로 측정에 있어 시간이 많이 소요되는 단점이 있으며, 상태 진단 지표를 선정하여 단시간에 배터리의 상태 진단 기술 개발

⑤ 고장 상황을 고려한 배터리 상태 모니터링 알고리즘 개발

○ 차량은 환경적인 상황에 밀접한 어플리케이션이며, 물리적, 전기적 남용 상황에서 배터리 상태를 모니터링 할 수 있는 알고리즘 개발

• 전류 센서 탈락으로 전기적 남용 상황(과충전, 과방전)이 발생할 수 있으며, 이를 방지하기 위한 전압을 활용한 배터리 상태 모니터링 알고리즘 개발

(하) (위탁) 한양대학교

① Cold-start 및 Engine on/off 등 과도기 상태의 차량 배기가스 배출 모델 개발

○ 디젤 차량의 연비 및 배기가스 배출을 고려한 차량 모델 개발

• AVL CRUISE를 활용한 시뮬레이션 분석

- 디젤-하이브리드 트럭의 배출가스 특성 예측 위해 시뮬레이션 모델을 개발 및 정확도 검증. 이를 바탕으로 다양한 주행특성에 따라 디젤-하이브리드 트럭의 배출 특성 분석. 현재 택배용 물류트럭으로 다수 활용되고 있는 1톤 트럭의 시뮬레이션 모델을 개발하였음. 차량의 기본 제원을 확보하고 이를 바탕으로 시뮬레이션 계산을 수행하였음. 시뮬레이션 결과는 공인연비를 기준으로 FTP-75 모드 시뮬레이션 결과 값과 비교분석을 수행하였음. 비교 결과 오차는 4.6%로 비교적 잘 일치하는 것을 확인함

② 과도기 상태의 차량 배기가스 배출 모델 검증 및 배기가스 감소 대책 마련

○ 디젤 차량 배출 예측모델 파라미터 보완 및 검증

• 실도로 주행 시험

- 기존 디젤 차량의 배기가스 측정 및 분석을 위해 EURO 4 및 EURO 5 기준 차량 각각 1대씩 총 2대의 차량을 시험함. – PN 및 NOx 측정을 위하여 PPS-M 및 NOx sensor(NI NOx 모듈 포함)를 설치하여 실시간 배기가스를 측정하고 분석함

○ 디젤 차량 배출 예측모델 파라미터 보완 및 검증

• 과도기 배출가스 보정 모델 개발

- 엔진 속도 및 엔진 토크의 변화량 반영, PN맵에서 얻은 결과에 보정계수를 적용을 통해 과도기 영역을 보정하는 모델을 개발

(거) (위탁) 한국자동차환경협회

① 운행경유차 배출가스 저감사업 조사

○ 저감사업 개요

• 지속적으로 경유자동차의 증가와 노후화가 진행되어 대기오염이 심화됨에 따라 사회적 피해를 저감하기 위한 대책이 필요함

- 조기폐차, 배출허용기준에 맞게 유지되도록 배출가스 저감장치 (자동차 배기가스에 포함된 매연, 입자상 물질, 질소산화물, 탄화수소, 일산화탄소 등의 오염물질을 포집·연소·산화·환원 등의 방법으로 저감시키는 장치)를 부착하거나, 저공해엔진(LPG엔진)으로 교체 또는 개조 등의 사업을 추진함

② 보조금 대상 배출가스 저감장치로의 추진 방안 검토

○ 운행경유차 배출가스 저감사업 동향

• 단기대책으로는 노후 경유차(Euro3 이전) 저공해화 확대를 시행하고 중장기대책으로는 노후 경유차 운행제한 지역 확대를 시행함

• 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(약칭 미세먼지법)을 시행함

• 미세먼지 관리 종합계획을 발표함

○ 하이브리드 개조 트럭의 배출가스 저감장치 인증 대상여부 검토

• 정량 목표로는 연비 30% 향상, 온실가스 20% 감축, 미세먼지(PM) 20% 감축이 있음

- 저공해엔진은 자동차 배기가스에 포함된 오염물질을 저감시키기 위하여 엔진 개조에 사용하는 장치로서 하이브리드 트럭 개조는 저공해엔진(경유엔진)의 범위에 포함될 것으로 보여짐

- 저공해엔진 사업 대상이 특정경유자동차(Euro3 이전)로 한정되어 있고, 경유를 사용하는 저공해엔진은 제작차 배출허용기준 (Euro6)을 만족해야 하나, 이를 위해서는 입자상 물질을 기존 대비 88.8% 이상 저감이 필요하여 저공해엔진 기준 만족은 사실상 어려울 것으로 보여짐

○ 하이브리드 개조 트럭의 확대 보급을 위한 사업 추진방안

• 택배차량 중 대표성을 가진 차종 선정(출력 및 등록대수 고려)하여 저감량 및 사회적 비용을 고려하여 사업의 당위성이 우선적으로 확보되어야 함

- 표준 온실가스 배출량 및 연료소모율 시험 방법 기준에 따른 하이브리드 개조 전·후 배출가스 저감량 산정이 선행되어야 함

- 배출가스 저감량의 사회적비용 산출 및 B/C Ratio를 산정하여 사업추진 타당성을 사전에 확보할 필요가 있음

• 대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법(시행 2020.4.3.)에 따른 대기환경개선사업의 형태로 추진하는 방안을 고려해 봄

- 대기관리권역법 제28조에 따르면, 택배 차량은 23년 4월3일부터 경유자동차를 사용하지 못하도록 규정하고 있으나 법 시행일(20.4.3) 이후에 3년간은 동 제도에 대한 적용이 되지 않아 동 기간 동안은 배출가스 관리 공백이 우려되고 있는 점이 있음

- 해당 규정이 시행되기 이전에 법률 근거를 활용하여 법 시행 이전 대기오염물

질 저감을 위한 환경부 및 지자체 대기환경개선사업(시범사업)으로 추진 가능한 것으로 보여짐

(2) 정량적 연구개발성과

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명 \ 연도			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계
전담기관 등록·기탁 지표[1]	논문(SCI)	목표	1(제출)	3(제출1포함)	6(제출2포함)	3	9
		실적	3	6(제출1포함)	9(제출1포함)	12	28
	논문(비SCI)	목표	-	1(제출)	-	-	1(제출)
		실적	-	1(제출)	2	2	4
	특허	목표	-	-	3	2	5
		실적	-	1	3	2	6
	연구시설장비	목표	-	1	-	-	-
		실적	-	1	-	-	-
	소프트웨어	목표	-	-	-	5	5
		실적	-	-	5	5	10
연구개발과제 특성 반영 지표[2]	시제품	목표	-	14	34	12	60
		실적	-	14	34	12	60
	신기술지정	목표	-	-	-	-	-
		실적	-	-	-	1	1
	인력양성	목표	-	-	-	-	-
		실적	-	6	8	15	29
	법령 반영	목표	-	-	-	-	-
		실적	-	-	-	1	1
	홍보	목표	-	-	-	-	-
		실적	-	2	22	3	27
계		목표	1(제출)	19	43	22	84
		실적	3	31	83	52	253

<연구개발성과 성능지표>

성과목표		세계최고수준 (보유국/ 보유기관)	연구 전 국내수준	연구 종료 시 확보 가능한 기술 수준	구분	년도	평가기준	성과물	달성치
주요 부품	성능 목표								
모터	단시간 최고출력 34kW, 연속 30분 최고출력 14kW	Toyota Prius Hybrid 용 모터 Peak 효율 96% (일본/Toyota)	세계최고 수준 대비 96%	세계최고 수준 대비 97%	1차 년도	2017	해석 프로그램	해석 결과	100%
					2차 년도	2018	자체시험	시험성적서	100%
					3차 년도	2019	시험기관 의뢰	공인시험성적서	100%
					4차 년도	2020	시스템 단위 성능 평가	공인시험성적서	100%
배터리 팩	배터리 셀간 전압 불균형 10mV 이내, 실시간 SOC 추정 오차 7% 이내, 실시간 SOH 추정 오차 10% 이내	실시간 SOC 추정 오차 5% 이내 / 스윈번 공과 대학 (호주)	세계최고 수준 대비 70 %	세계최고 수준 대비 90%	1차 년도	2017	검증 프로그램	알고리즘 및 실험결과	100%
					2차 년도	2018	자체시험	시험성적서	100%
					3차 년도	2019	시험기관 의뢰	시험성적서	100%
					4차 년도	2020	시스템 단위 성능 평가	시험성적서	100%
인버터	Peak 효율 94% 이상, 토크 제어 정밀도 ±5% 이내1	Honda Accord Hybrid 용 인버터 700VDC Peak 효율 99% (일본/Honda)	세계최고 수준 대비 98 %	세계최고 수준 대비 99 %	1차 년도	2017	효율예측 프로그램 작성	기술보고서	100%
					2차 년도	2018	자체시험	시험성적서	100%
					3차 년도	2019	시험기관 의뢰	공인시험성적서	100%
					4차 년도	2020	시스템 단위 성능 평가	공인시험성적서	100%

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부	게재일	등록번호
1	Performance Recovery Output Voltage Control Algorithm for AC/DC Converter	International Journal of Control	김석균	92	영국	Taylor&Francis	O	2017.09.12	
2	Estimation of CO2 reduction by parallel hard-type power hybridization for gasoline and diesel vehicles	Science of The Total Environment	오윤중	Volume 595 Page 2-12		ELESEVIER	O	2017.10.1	
3	CO2 emissions correction of light-duty vehicles based on an energy deviation analysis method	Transportation Research Part D	오윤중	56		ELESEVIER	O	2017.10.1	
4	Proportional-Type Output Voltage Tracking Controller for Interleaved DC/DC Boost Converter with Performance Recovery Property	Mathematical Problems in Engineering	김석균	103	미국	Hindawi	O	2018.03.19	
5	Proportional-Type Performance Recovery Current Tracking Control Algorithm for PMSM	IET Electric Power Applications	김석균	12	영국	IET	O	2018.3.22	
6	A Robust Current Controller for Uncertain Permanent Magnet Synchronous Motor with Performance Recovery Property for Electric Power Steering Applications	Energies	김용훈	11	스위스	MDPI	O	2018.05.10	
7	Feasibility Analysis and Performance Evaluation of a Novel Power-Split Flywheel Hybrid Vehicle	Energies	송치웅	11	스위스	MDPI	O	2018.7.3	
8	Robust DC-Link Voltage Tracking Controller with Variable Control Gain for Permanent Magnet Synchronous Generators	Electronics	김석균	7	스위스	MDPI	O	2018.11.21	

9	Using the Stator Current Ripple Model for Real-Time Estimation of Full Parameters of a Permanent Magnet Synchronous Motor	IEEE Access	최경환	7	미국	IEEE	O	2019.03.11	
10	Proportional-Type Sensor Fault Diagnosis Algorithm for DC/DC Boost Converters Based on Disturbance Observer	Energies	최경환	12	스위스	MDPI	O	2019.04.12	
11	소형 경유 트럭에 대한 친환경 트럭으로의 개조 기술 선택에 관한 연구	대한교통학회지	변지혜	37(2)	대한민국	대한교통학회	X	2019.04.	
12	Output Voltage Tracking Controller with Performance Recovery Property for DC/DC Boost Converter	IEEE Transactions on Control Systems Technology	김석균	27	미국	IEEE	O	2019.05.03	
13	Feasibility study on the Korean Government's hybrid conversion project of small diesel trucks for parcel delivery services	Journal of Cleaner Production	허성호	232	미국	ELSEVIER	O	2019.05.30.	S0959652619318529
14	A Nonlinear-Model-Based Observer for a State-of-Charge Estimation of a Lithium-Ion Battery in Electric Vehicles	Energies	김우용	12	국외	MDPI	O	2019.09	1996-1073
15	Variable Cut-Off Frequency Algorithm-Based Nonlinear Position Controller for Magnetic Levitation System Applications	IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems	김석균		국외	IEEE	O	2019.10.14	
16	Demand Estimation and Sustainability Analysis of Hybrid Light-duty Truck Conversion Technology -Focused on Courier Trucks in Korea-	물류학회지	신승진	29	한국	한국물류학회	X	2019.10.30.	klr.2019.29.5.91
17	Output Voltage Tracking Controller Embedding Auto-Tuning Algorithm for DC/DC Boost Converters	IET Power Electronics	최경환	12	영국	IET	O	2019.12.2	
18	Magnetic force enhancement using air-gap magnetic field manipulation by optimized coil currents	Applied Sciences	Jaejoon Lee	10	국외	MDPI	O	2019.12.21	

19	Integrated Approach Based on Dual Extended Kalman Filter and Multivariate Autoregressive Model for Predicting Battery Capacity Using Health Indicator and SOC/SOH	Energies	박진형	13	스위스	MDPI	O	2020.04.29	
20	Velocity-sensorless Decentralized Tension Control for Roll-to-Roll Printing Machines	IEEE Access	김용훈	8	미국	IEEE	O	2020.05.15	
21	Review of state-of-the-art battery state estimation technologies for battery management systems of stationary energy storage systems	Journal of Power Electronics	박성윤	20	South korea	Korean institute of power electronics	O	2020.06	1598-2092
22	Optimization-Based Investigation of Bioinspired Variable Gearing of the Distributed Actuation Mechanism to Maximize Velocity and Force	IEEE Robotics and Automation Letters	김종호	5	미국	IEEE	O	2020.08.04	
23	Disturbance Observer-Based Offset-Free Global Tracking Control for Input-Constrained LTI Systems with DC/DC Buck Converter Applications	Energies	최경환	13	스위스	MDPI	O	2020.08.07	
24	디지털운행기록을 활용한 소형 택배 트럭의 대표 운행사이클 개발	대한교통학회지	이재윤	38(4)	대한민국	대한교통학회	X	2020.08.	
25	Auto-Calibration of Position Offset for PMSM Drives with Uncertain Parameters	IET Electronics Letter	최경환	56	영국	IET	O	2020.09.30	
26	건전성 지표 기반 주성분분석 (PCA)을 적용한 고용량 배터리팩의 열화 인자 추출 방법 및 SOH 진단 기법 연구	전력전자학회 논문지	이평연	5	대한민국	전력전자학회	X	2020.10	1229-2214
27	Design and Simulation Studies of battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage System for Improved Performances of Traction system of Solar Vehicle	Journal of Energy Storage	Zineb Cabrane	32	Netherlands	Journal of Energy Storage	O	2020.10	2352-152X

28	Choice data generation using usage scenarios and discounted cash flow analysis	Journal of Choice Modelling	이웅기	37		ELESEVIER	O	2020. 12.	
29	Design and Fabrication of Magnetic System using Multi-material Topology Optimization	IEEE Access	Taeho on Jung	9	국외	IEEE	O	2021. 1. 5	
30	Current and Position Sensor Fault Diagnosis Algorithm for PMSM Drives Based on Robust State Observer	IEEE Transaction s on Industrial Electronics	최경환	68	미국	IEEE	O	2021. 2.19	
31	Real-Time Optimal Torque Control of Interior Permanent Magnet Synchronous Motors Based on a Numerical Optimization Technique	IEEE Transaction s on Control Systems Technology	최경환	N/A	미국	IEEE	O	In press	
32	A Robust State of Charge Estimation Approach based on Nonlinear Battery Cell Model for Lithium-ion Batteries in Electric Vehicles	IEEE TRANSACTI ONS ON VEHICULAR TECHNOLO GY	김우용	N/A	미국	IEEE	O	In press	

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	국내/외	장소
1	2017 한국자동차안전학회 추계학술대회	이창우	2017.11.10	국내	부산
2		허성호			
3		김남용			
4		장기태			
5		금동석			
6	2017년도 전력전자학술대회	남윤아	2017.11.14	국내	서울
7		Mazhar Abbas			
8	2017 물류과학기술학회 추계학술대회	이재윤	2017.11.16	국내	제주
9	한국자동차안전학회 춘계학술대회	안호순	2018.05.10	국내	강원도 정선
10	Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization	이창우	2018.05.21	국외	중국 다롄
11	2018년도 전력전자학술대회	이평연	2018.07.05	국내	강원도 횡성
12		김우용	2018.07.05		
13	10th International Conference on Applied Energy (ICAE2018)	Jonghoon Kim	2018.08.22	국외	홍콩
14	대한교통학회 제79회 학술발표회	허성호	2018.09.14	국내	대전
15	EVS 31 & EVTeC 2018	Mazhar Abbas	2018.10.01	국외	일본 고베

16	IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation	이창우	2018.10.28	국외	중국 항저우
17	2018년도 전력전자학술대회	김승우	2018.11.05	국내	서울
18	한국자동차안전학회 추계학술대회	전상우	2018.11.08	국내	강원도 원주
19	2018 한국물류과학기술학회 추계학술대회	김경근	2018.11.15	국내	제주도
20	제 14회 한국로봇종합학술대회	박진형	2019.01.21	국내	강원도 횡성
21	한국자동차안전학회 춘계학술대회	전상우	2019.05.02	국내	서울
22	2019 한국자동차공학회 춘계학술대회	우동현	2019.05.09.	국내	
23	2019 IEEE Transportation Electrification Conference and EXPO Asisa-Pacific (ITEC)	최경환	2019.05.09	국외	대한민국
24	2019 IEEE Transportation Electrification Conference and EXPO Asisa-Pacific (ITEC)	강덕훈	2019.05.10	국외	제주도
25		권순종			
26		김건우			
27		Mazhar Abbas			
28		이평연			
29		한동호			
30		김우용			
31	2019 제34회 제어·로봇·시스템학회 학술대회 (ICROS 2019)	김용훈	2019.05.16	국내	대한민국
32	WCSMO13	김민기	2019.05.20	국외	중국
33	International Conference on Power Electronics	김승우	2019.05.30	국외	대한민국
34	2019 IFAC Workshop on Control of Smart Grid and Renewable Energy Systems	김용훈	2019.06.10	국외	대한민국
35	IEEE PES PowerTech Milano 2019	이건	2019.06.27	국외	이탈리아 밀라노
36	2019년도 전력전자학술대회	김승우	2019.07.03	국내	강원도 횡성
37	2019년도 전력전자학술대회	강덕훈	2019.07.04	국내	강원도 횡성
38	COMPUMAG 2019	Jaejoon Lee	2019.07.17.	국외	프랑스
39	2019 IEEE Energy Conversion Congress and Expo (ECCE)	김우용	2019.10.02	국외	미국
40	ICCAS 2019, The 19th International Conference on Control, Automation and Systems	최경환	2019.10.16	국외	대한민국
41	한국자동차안전학회 추계학술대회	전상우	2019.11.07	국내	제주도
42	대한기계학회 2019년 학술대회	김민기	2019.11.13.	국내	대한민국
43	2019 한국자동차공학회 추계학술대회	우동현	2019.11.21	국내	경주
44	한국교통정책·경제학회 2019 추계학술대회	허성호	2019.11.29	국내	인천
45	2020년도 대한기계학회	박성윤	2020.07.22	국내	제주도
46	2020년도 전력전자학술대회	한승윤	2020.08.19	국내	강원도 횡성
47	ICCAS 2020, The 20th Internationaal Conference on Control, Automation and Systems	최경환	2020.10.14	국외	대한민국
48		김우용	2020.10.14		
49		김용훈	2020.10.15		
50	IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2020	김종호	2020.10.25	국외	미국(온라인)
51	ACSMO 2020	김민기	2020.11.24	국외	한국

52	한국자동차안전학회 추계학술대회	전상우	2020.11.27	국내	제주도
53		신동혁			

[기술적 성과]

□ 지식재산권

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	원웨이 클러치 풀리를 이용한 엔진 정지 시 차량 부가장치의 구동 장치 및 방법	대한민국	장인권 금동석 김경수 장기태 이창우 김종호 최경환 김민기	2018.06.29	10-2018-0075744	-	장인권 금동석 김경수 장기태 이창우 김종호 최경환 김민기	2019.12.06	10-2053538	100%	활용 예정
2	교통 정체 상황을 고려한 지능형 ISG 제어를 위한 전자 장치 및 그의 동작 방법	대한민국	금동석 김경수 장기태 장인권 김경근	2019.09.03	10-2019-0108667	-	-	-	-	100%	활용 예정
3	수동 변속기의 변속 레버 위치 검출 장치 및 운전자 변속 의도 검출을 통한 실시간 변속 세버 위치 검출 방법 및 장치	대한민국	김경수 김우용 김용훈	2019.10.15	10-2019-0127532	-	-	-	-	100%	활용 예정
4	영구자석동기모터 전체 파라미터의 실시간 추정 방법 및 장치	대한민국	김경수 최경환 김석균	2020.05.19	10-2020-0059976	-	-	-	-	100%	활용 예정
5	내연기관 차량의 하이브리드 개조 모듈, 개조 방법 및 개조된 차량의 제어 방법	대한민국	장기태 금동석 장인권 김경수 변지혜 최경환 김용훈 김우용	2021.04.06	10-2021-0044517	-	-	-	-	100%	활용 예정
6	컨버터를 위한 센서 고장 진단 시스템	대한민국	김석균	2019.12.13.	10-2019-0166598	-	-	-	-	100%	활용 예정

ㅇ 지식재산권 활용 유형 (활용예정)

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1				√						
2				√						
3				√						
4				√						
5				√						
6				√						

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	하이브리드트럭의 상태정보를 실시간으로 표현하는 프로그램	2020.11.06	한국과학기술원	2021.03.25	C-2021-013977	한국과학기술원	100%
2	파워 컨트롤 유닛모터제어 프로그램	2020.11.06	한국과학기술원	2021.03.25	C-2021-013978	한국과학기술원	100%
3	디스플레이 장치 프로그램	2020.07.10	한국과학기술원	2021.03.25	C-2021-013979	한국과학기술원	100%
4	배터리 상태 관측 프로그램	2020.06.19	한국과학기술원	2021.03.25	C-2021-013980	한국과학기술원	100%
5	통합제어기 프로그램	2020.11.06	한국과학기술원	2021.03.25	C-2021-015061	한국과학기술원	100%
6	PCU 동작 상태 모니터링 소프트웨어	2019.10.10	한국과학기술원	2019.12.26	C-2019-043469	한국과학기술원	100%
7	회생 제동 회로 시뮬레이션 프로그램	2019.10.10	한국과학기술원	2019.12.26	C-2019-043470	한국과학기술원	100%
8	약자속 제어 시뮬레이션 프로그램	2019.10.10	한국과학기술원	2019.12.26	C-2019-043471	한국과학기술원	100%
9	배터리 모니터링 프로그램	2019.05.13	한국과학기술원	2019.12.26	C-2019-043472	한국과학기술원	100%
10	인공지능 레버 시뮬레이션 프로그램	2019.10.10	한국과학기술원	2019.12.26	C-2019-043473	한국과학기술원	100%

□ 신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호
1	경유 택배 트럭의 하이브리드 개조 기술	2020.06.29.	2020.12.22.	2020.12.29. ~ 2025.12.28. (5년)	제 1 호

[경제적 성과]

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
국토교통부 녹색물류지원사업	2019	660	-	660	-
국토교통부 녹색물류지원사업	2020	5,500	-	5,500	-
합계		6,160	-	6,160	-

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용
1	고시	개정	자동차 튜닝에 관한 규정	제 3조 이하	2020.5.27.	국토 교통부	전기자동차의 범위에 하이브리드 자동차도 포함

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	한국과학기술원	2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2		2018	2	1	-	-	2	1	-	3	-	-	-
3		2019	-	4	-	-	4	-	-	4	-	-	-
4		2020	3	5	-	-	3	5	-	8	-	-	-
5		2021	1	2	-	-	3	-	-	3	-	-	-
6	광주과학기술원	2019	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-
7	한밭대학교	2018	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-
8		2019	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-
9		2020	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-
10	충남대학교	2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11		2018	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-
12		2019	-	2	-	-	2	-	-	2	-	-	-
13		2020	-	2	1	-	3	-	-	3	-	-	-
14	한양대학교	2018	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-
합 계			**7**	**21**	**1**	**-**	**22**	**7**	**1**	**27**	**-**	**1**	**-**

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체 또는 장소	명칭	홍보일
1	전시회	제주 국제컨벤션센터	제 5회 국제전기자동차엑스포	2018.05.02.-06.
2		서울 코엑스	2018 국토교통기술대전	2018.06.07.-08.
3		일산 킨텍스	2019 국토교통기술대전	2019.05.29.-31.
4		제주 국제컨벤션센터	제 6회 국제전기자동차엑스포	2019.05.08.-11.
5	언론보도	JTBC	노후 경유차를 하이브리드 차로…'엔진 개조 기술' 공개	2019.05.08.
6		헤럴드경제	디젤트럭이 친환경 하이브리드로 변신 외 3건	2019.11.07.
7		YTN	경유 택배차, '하이브리드 차량' 만드는 기술 개발 외 8건	2019.11.11
8		헤드라인제주	KAIST 친환경자동차연구센터, 내연기관 하이브리드 개조 화물차 시연 외 4건	2019.11.13.
9		파이낸셜뉴스	노후 택배차량, 하이브리드로 개조…14일 제주에서 실증 추진	2020.07.14.
10		CCTV뉴스	KAIST, 하이브리드 경유·전기 소형화물차 개조기술 실증	2020.07.27.
11	행사개최	LW 컨벤션	상용차 부문 친환경차 전환을 위한 과제	2019.11.05.
12	기타	월간교통	화물차 온실가스 미세먼지 저배출 전환	2020.12.01.

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)
한국교통 안전공단	엔진 미세분진 측정시스템 (휴대용)	11-A Portable Aeroso; spectrome mter	X	O	NFEC-2019-04-255325	18.11.22(계약완료) 18.12.21(인수완료) 19.01.01(국가연구시설장비시스템상의 취득일자)	73,700	한국교통 안전공단 자동차안 전연구원

* 「과학기술기본법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

2) 목표 달성 수준

(1) (주관) 한국과학기술원

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
1차년도	대표 운행 사이클을 반영한 핵심요소 최적사양 도출	100	DTG 데이터를 분석하여 소형 트럭의 요구 가속도 히스토그램을 생성하여 구동 모터 및 배터리 사양 도출
	핵심요소 모듈화 기술 개발	100	구조 안전성을 확보하면서 경량화된 하이브리드 파워트레인을 설계하기 위해 핵심요소 모듈화 기술을 개발
	하이브리드 디젤-전기 파워트레인 최대 성능 예측	100	동적계획법을 이용한 전역최적화를 통해 병렬형 디젤-전기 파워트레인의 연비 및 배출가스 배출에 대한 최대 성능을 예측
	배기가스 감축 및 연비 향상을 위한 엔진정지 및 시동조건도출	100	병렬형 디젤-전기 파워트레인의 엔진 정지 및 시동 조건을 최적 제어를 통해 도출하고 연비개선과 미세먼지 배출량 감축을 확인
	ECU와의 CAN 통신 인터페이스 개발	100	ECU로부터의 CAN 통신 데이터를 획득하고 데이터 처리에 용이한 형태로 변형하여 상위제어기에 전달하는 인터페이스를 개발
	엔진 정지 및 시동 제어 기술 개발	100	차량의 전원 배분도를 분석하여 전자 스위치로 해당 라인에 전류를 흐르게 하는 엔진 시동/정지 제어 알고리즘을 개발
	Idle Stop and Go 제어기 개발	100	엔진 시동/정지에 필요한 이그니션, 시동 라인을 획득하고 릴레이를 통해 특정 라인을 원할 때 활성화/비활성화 시킬 수 있는 ISG 제어기를 개발
2차년도	핵심요소의 정적/동적 유한요소해석	100	모듈화된 하이브리드 파워트레인의 구조안전성을 분석
	차량 제동 안정성 유지 및 회생에너지 최대화를 위한 회생제동력 결정 알고리즘 개발	100	개조 차량이 후륜 구동 차량이기 때문에 회생제동력이 후륜에서만 발생하는 점을 고려, 기존의 유압제동 시스템을 유지하면서 허용 제동력을 넘지 않도록 회생제동력 결정 알고리즘을 개발
	최적 구동 모드 및 동력 분배 비율 결정 알고리즘 개발	100	전역 최적화를 사용하는 동적 계획법과 달리 미래의 주행 정보에 의존하지 않고도 근사 최적화를 수행할 수 있어 많은 연산이 필요하지 않아 실시간 구현이 가능한 Equivalent Consumption Minimization Strategy 기법을 활용하여 최적 구동 모드 및 동력 분배 비율 결정 알고리즘을 개발
	주행상황 예측을 통한 최적 구동 모드 및 동력 분배 제어 기술 개발	100	저속 주행 위주의 택배 대표 운행 사이클의 주행상황 특성에 따라 각각의 최적 구동 모드 선택 및 동력 분배 제어전략을 최적 제어 결과로부터 추출하였고 주행상황에 따라 최적 제어전략이 변화함을 확인하여 이를 평균 속도를 바탕으로 미래 주행환경을 예측하여 제어전략에 반영하도록 알고리즘을 개발
	변속레버 위치 검출기 개발	100	오토클러치를 적절하게 동작시키기 위해 운전자의 변속 의도를 알 수 있는 센서 기구물을 제작하여 수동변속기에 설치함
	운전자 변속의도 예측 알고리즘 개발	100	스테이트 오토마타 기반의 운전자 변속 의도 추정 알고리즘을 통해 각 상황 및 모건별로 운전자의 변속 의도를 정확하게 파악할 수 있음
	변속시 수동변속기의 속도 동기화 제어 알고리즘 개발	100	변속 의도 예측 알고리즘으로부터 생성된 변속 예측 단수로 최대한 빠르게 동기화할 수 있도록 불필요한 모터의 속도 동기화 과정을 최대한 줄이고 효율적으로 동기화 속도를 생성하는 연속적 모터 속도 지령 알고리즘을 개발

	전기모드 및 발전모드 구동을 위한 토크 제어 알고리즘 개발	100	공칭 파라미터 기반의 PI 제어기와 외란관측기를 사용하여 역기전력과 실제 및 공칭파라미터 간 차이를 추정하여 보상해주므로 정확한 파라미터 정보 없이도 안정적인 전류 제어 성능을 얻음
	지능형 변속을 위한 속도 제어 알고리즘 개발	100	부하의 특성 변화와 상관없이 항상 일정한 제어 응답을 얻을 수 있는 비선형 제어기를 설계하고 슬라이딩 모드 제어 기법을 활용하여 부하로 인한 시스템 불확실성을 억제하였으며, 제어기 게인을 슬라이딩 표현과의 거리에 따라 가변하여 채터링 현상을 완화하였음
3차년도	개조 취약부에 대한 피로/충돌 해석	100	US06, UDDS 운행 사이클에서 극한의 하중 조건을 고려하여 모듈화된 하이브리드 파워트레인의 구조 안전성을 분석 및 보완
	차대 동력계 상에서의 실차 테스트 기반 파워트레인 제어 알고리즘 검증	100	차량의 상태가 교착 상태에 빠지지 않도록 강인하게 state machine 및 고장 감지 기능을 설계하고 차대 동력계 상에서 회생제동 레벨과 엔진-모터 토크 배분, 클러치 제어 속도, 엔진 개입 시점 등 파워트레인 제어 알고리즘을 검증함
	차대 동력계 상에서의 파워트레인 제어를 통한 연비 향상 및 배기가스 저감 성능 검증		유로4 차량 기준, 연비 34.7 % 개선(보정적용), 온실가스 25.8 % 저감(보정적용), 개조후 PM 미측정, NOx 감소로 목표치 달성함 유로5 차량 기준, 연비 45 % 개선(보정적용), 온실가스 31.0 % 저감(보정적용), PN 56.6 % 저감, 질소산화물 배출량 감소로 목표치 달성함
	차대 동력계 상에서의 지능형 변속 제어 알고리즘 검증 및 최적화	100	수동 레버의 위치 및 의도를 알기 위해 개발한 센서 기구물에서 측정하는 변속 레버 위치 검출이 올바른지 전용 GUI를 통하여 검증하였고 Fuzzy 기반의 레버 위치 검출기의 불확실한 의도 검출을 없애기 위해 차량의 상태 정보를 이용하도록 보수적으로 알고리즘을 구성함
	개선된 시뮬레이션 모델을 사용하여 최적의 배기가스 감소 제어전략 도출	100	특정 속도에서 온도에 따른 연료 소비 및 배출가스 특성을 분석하고, 연비 및 PM 배출을 고려하여 냉각수 온도가 40°이상까지 도달이 필요함을 확인하였고 NOx 배출을 고려하기 위해 냉각수가 저온일 때 엔진 토크를 제한시킬 필요가 있음을 확인함
4차년도	테스트베드 결과를 반영한 하이브리드 디젤-전기 파워트레인 모듈의 신뢰성 개선	100	자동차안전연구원에서 수행한 실환경 차량 운행 데이터를 기반으로 모듈화된 하이브리드 파워트레인의 구조안전성을 분석 및 보완
	실제 운행 환경에서의 주행 패턴 특성을 고려한 하이브리드 파워트레인 제어 알고리즘 안전성 검토 및 성능 확인	100	실제 운행 환경에서의 주행 패턴 특성을 고려한 회생제동과 ISG 제어 알고리즘을 개발하였고 감속 시 기어 체결 상태와 클러치 체결 상태를 최대한 유지하여 회생제동 사용을 극대화하도록 알고리즘을 개선함
	테스트베드 운영 및 효과 분석	100	개조한 차량을 실제 물류환경에서 운영함으로 개조기술의 내구성 및 안전성을 검토하고, 실환경하 효과를 평가하여 유의미한 수준의 개조효과를 확인함

(2) (공동) 한국교통안전공단

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
1 차 년 도	튜닝 및 인증동향조사	100	국내외 튜닝/시험방법 동향조사, 튜닝인증을 위한 항목 선정, HEV 부품 신뢰성 평가항목 선정, ISG 부품 신뢰성 평가항목 선정, 학술대회 논문 발표(1건) 완수
2 차 년 도	인증기반 설계 시험평가기준(안) 개발	100	HEV 구조변경 부품 성능시험 및 평가, ISG 개발차 성능시험 평가, 디젤트럭 개조전 차량 특성 연구, HEV 부품별 인증을 위한 시험평가 기준(안) 제시, 학술대회 논문 발표(2건) 완수
3 차 년 도	성과물 평가 및 인증시험	100	HEV 구조변경 부품 성능시험 및 평가(고도화), HEV 구조변경 개발차 실차시험 평가, HEV 부품별 시험방법 기준(안) 제시, 구조변경 승인(안) 제시, 국토교통부 녹색물류지원사업 성과물 활용, 학술대회 논문 발표(2건) 완수
4 차 년 도	튜닝을 위한 실용화 검증	100	HEV 구조변경 효과검증, HEV 화물차 구조변경 시범사업, HEV 튜닝 승인 신청서 제시, HEV 튜닝 개발 자동차 평가, 학술대회 논문 발표(2건) 완수

(3) (공동) 한국교통연구원

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
1 차 년 도	소형택배트럭시장 구매자 수용성 분석	100	구매의향조사 수행 및 조사결과 분석
	기존 지원사업 현황분석	100	기존 관련 지원 사업 분석 기존사업 적용 여부 확인 및 활용방안 도출
2 차 년 도	신규 지원방안 발굴 및 보험 등 도입이슈 분석	100	기존사업 활용방안으로 녹색물류 전환사업(국토교통부), 운행 경유차 배출가스 저감사업(환경부)을 검토, 활용방안 도출 신규 지원방안 마련을 위한 본 기술도입 정책효과 분석 성과 확산을 위한 보험가입방안 검토
3 차 년 도	기술 보급사업 경제성 분석 및 보급방안 검토	100	시장 규모 및 투입비용 산정 편익 산출 및 보급사업의 경제성/재무성 분석 홍보 및 보급방안 제시
	법제도 신규이슈 검토 및 개조사업 실행방안 도출	100	신규 법제도(대기관리권역법) 검토 및 대응방안(신규지원방안) 발굴 개조사업자 선정방안 제시
4 차 년 도	개조사업자 비즈니스 발굴 및 마케팅방안 도출	100	개조 시범사업자의 재무성 확보 등 비즈니스모델 발굴 및 마케팅방안 제시 관계부처 정책제안

(4) (공동) 구보엔지니어링

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
1 차 년 도	대상 차량의 정적/동적, 피로 해석을 위한 유한요소 모델 구축	100	대상 차량의 엔진, 변속기 등에 대한 3D 스캐닝 작업을 통해 3D 모델을 구축하고 CAD 프로그램인 SolidWorks를 이용하여 일방향 클러치 모듈에 대한 3D 모델링을 수행함. 해당 유한요소 모델은 구조해석 프로그램인 Abaqus를 이용하여 얻음
	하이브리드 디젤-전기 파워트레인 및 관련 부가장치를 최적 위치에 재배치하는 기술 개발	100	기존 디젤 트럭은 엔진에 의해 발생하는 동력으로 부가장치를 구동하므로 엔진이 꺼진 상태에서는 구동이 불가하여 기존 알터네이터 대신 모터 발전기를 대체하여 부가장치를 구동하고 엔진 크랭크축으로의 동력 전달은 일방향 크러치를 통해 차단하도록 함. 이에 따른 발전기는 기존 알터네이터 자리에 위치함
2 차 년 도	대상 차종의 가용 공간을 고려한 모듈화 시제품 제작	100	알루미늄 블록을 Solid 가공하여 모터하우징을 완성하는 등의 작업을 통해 모듈화 시제품을 제작함
	시제 제작된 하이브리드 디젤-전기 파워트레인 모듈의 실차 적용	100	모듈화 시제품을 포터차량 2-1, 2-3호 차량에 실차 적용함
	ISG 기능의 실차 적용	100	환경부 공회전제한장치의 성능기준에 준하는 기능을 탑재하여 고려택배에 실증 적용함
	배터리팩 하드웨어 설계 및 제작	100	삼성SDI 18650-25R 원통형 Cell을 이용하여 14S6P구성의 3.024kWh 배터리팩을 제작함
	배터리 관리 알고리즘 탑재	100	배터리 셀의 온도, 전압, 전류 값을 센싱하여 SOC를 추정하는 알고리즘을 일반동작 및 Emergency 상황에 대한 체크와 동작을 구현함
	하이브리드 파워트레인 상위 제어기 개발	100	엔진 ECU로부터 차량정보를 CAN gateway를 통해 취득하고 페달과 레버 정보를 바탕으로 운전자의 의도를 파악하여 인버터를 콘트롤하고 BMS를 모티터링하여 적절한 동력 통제를 수행
	구동 모터 제어기 개발	100	빠른 응답과 신뢰성 있는 알고리즘 수행 능력이 요구됨에 따라 DSP 기능이 포함되고 다양한 입출력을 가진 TI사의 TMS320F28377D이용한 모터 제어기 개발
	모터 구동용 인버터 개발	100	차량용 IGBT PACK과 드라이버 IC를 기반으로 한 안정적인 드라이버 회로를 설계함
	기존 차량 제어기와의 인터페이스 기술 개발	100	상위제어기는 내재된 CAN gateway와 CAN인터페이스로 연결되며 엔진 ECU로부터 CAN gateway를 경유하여 차량의 주요 정보를 받고 엔진 ECU로 하여금 엔진을 켜고 끌 수 있도록 개발함
	독립된 모니터링 시스템 개발	100	하이브리드 트럭의 상태 정보를 표시하기 위한 독립된 장치 개발함

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
3 차 년 도	내구 신뢰성을 보완한 핵심요소 모듈화 시제품 제작	100	모터가 차량도 구동시키고 No Fuel 엔진 회전(파워스티어링, 브레이크 진공펌프 가동)도 시키는 방법으로 제어 방식을 바꾸어 보조 모터 부가장치를 삭제하여 시제품 제작
	개선 모듈화 시제의 실차 적용	100	시제품을 실차 적용하여 3-1 ~ 3-4호 4대 차량을 개조
	온도 변화, 수분, 외부 충격 등에 대한 배터리팩 신뢰성 검증 및 보완	100	KATRI에서 낙하, 액중투입, 과충전, 과방전, 단락, 열노출, 연소안전 인증시험 통과함
	EMC,EMI 등에 대한 BMS 신뢰성 확보	100	SGS에서 배터리팩의 전자파(KN41), 가진(진동) 시험후 시험성적서 발행
	배터리팩 관리 알고리즘 성능 검증 및 배터리팩 설계 보완	100	모니터링 프로그램을 이용하여 센서 값과 알고리즘 결과 값을 확인하고 셀구성을 60S6P (3.24kWh)로 보완 변경함
	개조 차량용 통합 제어 모듈 개발	100	주행상황에 따라 엔진과 모터의 적절한 동력 분배하는 알고리즘을 탑재하고 제어기간의 강인한 인터페이스를 구성함
	개조 차량용 통합 제어 모듈 신뢰성 검증	100	SGS에서 통합제어기의 전자파(KN41), 가진(진동) 시험후 시험성적서 발행
	개조 차량용 인버터,컨버터 통합 개발	100	독립적으로 구성되어 있던 인버터와 컨버터를 PCU로 통합 설계하고 제작함
	양산모델 설계 내구시험 (부품)	100	한국산업기술시험원에서 인버터 효율 및 전류제어 정확도 측정 시험 성적서 발행(인버터 Peak 효율 94% 이상, 토크 제어 정밀도 ±5% 이내)
	개조차량용 디스플레이 장치 신뢰성 검증	100	SGS에서 디스플레이장치의 전자파(KN41), 가진(진동) 시험후 시험성적서 발행
4 차 년 도	부품별 제작 기간을 고려한 하이브리드 디젤-전기 파워트레인 모듈의 양산 절차 검토	100	하이브리드 트럭 양산 절차서 작성함
	양산 모듈의 시제 제작	100	하이브리드 디젤-전기 파워트레인을 구성하는 모터(하이젠모터), 프로펠러 샤프트(단축가공), 배터리팩, 변속기 마운팅, 클러치 오퍼레이터, 냉각시스템, 시프트 레버센서, 브레이크 제동센서 등을 제작함
	양산 모듈화 시제의 실차 적용	100	4-1 ~ 4-5호차 (포터2 4대, 봉고1대)에 양산모듈을 실차 적용함
	실차 개조 매뉴얼 작성	100	실차 개조 업무용 매뉴얼을 작성함
	배터리팩의 개조 차량 탑재 환경에서의 양산 신뢰성 및 품질 확보	100	SGS에서 배터리팩의 전자파(KN41), 가진(진동) 시험후 시험성적서 발행
	통합 제어 모듈 양산 신뢰성 및 품질 확보	100	SGS에서 통합제어기의 전자파(KN41), 가진(진동) 시험후 성적서 발행
	PCU 양산 신뢰성 및 품질 확보	100	SGS에서 PCU의 전자파(KN41), 가진(진동) 시험후 시험성적서 발행
	에너지 흐름 모니터링 서비스의 양산 신뢰성 및 품질 확보	100	SGS에서 에너지흐름 모니터링 서비스 장치의 전자파(KN41), 가진(진동) 시험후 시험성적서 발행

(5) (공동) 하이젠모터

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
1 차 년 도	구동모터 세부사양(열관리 방안 등) 도출	100%	구동 모터 개발을 위한 설계 체계를 정립하여 설계를 진행함. 목적과 제한조건을 통해 요구사양에 대해 정의, 요구 성능을 만족하며 무게를 줄이는 최적설계 기술을 개발함
	모터 설계	100%	전자기 해석을 통한 최적 전기 설계를 수행함. 설치 공간 제약에 따른 최적화된 기계적인 형상 검토, 타사 하이브리드 차량용 구동 모터 벤치마킹을 실시함. 시뮬레이션 상에서 요구 사양 최대 토크 200Nm, 최대 효율 92%을 만족하는 모터를 설계 및 검증함
2 차 년 도	구동 모터 상세 설계 수행	100%	연구진의 요구 성능에 적합한 모터를 GIST와 함께 설계 수행함
	구동 모터 시제품 제작	100%	시제품 5건을 제작하였으며, 목표치인 최대 토크 200Nm, 최대 효율 92%를 달성한 것을 자체 시험을 통해 확인함
3 차 년 도	구동 모터의 출력/토크/RPM 성능 및 가속 수명 시험 평가	100%	단시간 출력 34kW, 30분 연속출력 14kW 구동모터의 개발을 목표로 자동차안전연구원 다이나모 미터에서 구동모터 출력시험 완료.
	수명 시험을 통해 내구성이 개선된 구동 모터의 시제 제작	100%	내구성을 고려한 하웃이 및 냉각수부 등을 양산 가능한 방향으로 설계 및 목형 제작하여 시제품 10EA 제작 완료
	양산모델 설계 내구시험 (부품)	100%	단시간 출력 34kW, 30분 연속출력 14kW 성능 검증 완료
4 차 년 도	구동 모터의 구성요소별 제작 기간을 고려한 양산 절차 검토	100%	구성요서별 제작순서를 고려하여 양산시 제작을 작업표준서, 공정검사 성적서, QC 공정도 작성하여 검토 완료

(6) (공동) 세화자동차

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
1 차 년 도	광학식 3D 스캐너를 이용한 대상 차종의 가용 공간 파악 및 CAD 모델 도면 제작	100	파워트레인에 대한 가용 공간 파악을 위해 A(D4CB)엔진과 5단 및 6단 수동 변속기에 대해 3D 스캔 전문업체에 의뢰하여 스캐닝 작업을 함. 개조를 위한 가용공간 분석이 필요한 플라이휠과 벨하우징 부분에 대한 3D 모델을 작성함. 정확한 위치정보가 필요한 부분들에 대해 3차원 포인트 측정을 추가 수행하여 CAD 도면을 제작함
2 차 년 도	차량 개조를 위한 부가장치(지그, 브라켓 등)의 상세도면 및 실제작	100	하이브리드 차량이 모터동력원으로 주행 시 기존 엔진동력 기반의 부가장치(에어컨, 제동장치, 조향장치 등)가 작동중지하는 문제를 해결하고자 기술적 실증을 위한 부품 규격 조사 및 부품 호환을 검토하여 원웨이 클러치 풀리를 설계 및 제작함
3 차 년 도	튜닝 승인 기준을 만족시키기 위한 상세설계 변경 안 제시	100	튜닝 승인 기준을 만족시키기 위한 절차와 관련 서류를 검토하고 튜닝 전후의 주요 제원표와 외관도, 설계도 등을 작성하여 제시함
4 차 년 도	개조 차량 유지보수 방안 검토	100	개조차량 유지보수 매뉴얼을 작성하여 유지방안 방안 제시함

(7) (공동) 유라코퍼레이션

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
2 차 년 도	컨버터 시제품	100	컨버터 제작 및 검증
	BMS 시제품	100	BMS 하드웨어 제작 및 검증
3 차 년 도	PCU 기구물	100	PCU 기구 설계 및 제작
	컨버터 시제품	100	컨버터 제작 및 검증
4 차 년 도	하네스 도면	100	하네스 제작을 위한 전류량,길이 분석 및 선정

(8) (공동) 이모션

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
3 차 년 도	모니터링 시스템 프로토콜 정의	100	차량/수집정보 전송 모듈/모니터링 서버 간 통신 프로토콜 정의
	모니터링 수집 정보 정확성 확보	100	수집정보 전송 모듈 HW, SW 개발 웹기반 운행 차량 모니터링 시스템 서버 개발 수집정보 전송 모듈 실차 장착 테스트 모니터링 시스템 데이터 수집율 98%이상 확보
4 차 년 도	실시간 모니터링 시스템 유지보수 및 추가기능 개발·적용	100	유사상황 발생 시 알람 시스템 개발 개조차량에 수집정보 전송 모듈 장착 및 유지·보수 실시간 모니터링 시스템 유지·보수

(9) (공동) 피엠그로우

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
3 차 년 도	개조차량 실장이 가능한 배터리팩 설계	100	하이브리드 디젤-전기트럭에 탑재 가능한 3.1kWh 급 배터리팩 설계 완료 및 설계문서 제출
	개발 배터리팩 시제품 제작	100	시제품 12개 제작 및 자체 성능평가서 제출

(10) (공동) 옵토멕

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
1 차 년 도	.배터리 셀 모니터링 시스템 및 밸런싱 회로 개발	100	MAXIM 사의 MAX17823을 사용하여 전압, 온도 등 배터리 셀의 상태를 모니터링하고 ST사의 STM32를 이용하여 MAX17823에서 취득한 배터리 셀의 정보를 바탕으로 배터리 관리를 수행
	과충전, 과방전, 과전류 제한 등의 배터리 보호회로 개발	100	과충전, 과방전, 과전류 제한하고 단락,누전 및 합선을 감지하는 배터리 보호회로를 개발함
	단전, 누전 및 합선 등의 특수상황 감지용 회로 개발	100	단전, 누전 및 합선 등의 특수상황 감지용 회로를 개발함
	개조용 추가 제어기들과 기존 차량에 탑재된 ECU 간의 제어 계층 구조 및 통신 프로토콜 확립	100	통합제어기는 ECU, BMS와는 CAN통신으로 각종 차량데이터를 주고받고, 디스플레이에 현재 차량의 상태에 대한 정보를 출력하고 테스트를 위해 UART interface를 사용하도록 프로토콜 확립함
	태블릿 기반 모니터링 어플리케이션 개발	100	갤럭시 탭8.0을 이용하여 UART 방식으로 통합제어기로부터 정보를 받아 표시하는 앱을 개발함

(11) (공동) 엠앤코

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
4 차 년 도	모듈 부품의 기구물 장착 용이성 검토	100	통합제어기, 디스플레이 장치의 양산형 기구물을 제작하여 적용함

(12) (위탁) 광주과학기술원

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
1차년도	구동 모터 경량화를 위한 형상 최적설계기술개발	100	- FEM과 동적 분석을 연동하도록 프로그램을 구성함으로써 개발 모터의 구동에 대한 보다 실질적인 데이터를 획득 - 구동 모터 개발 과정에서 쉽게 활용될 수 있는 최적설계를 위한 설계체계 확립 및 최적의 경량화 설계를 지향하면서도 효율, 토크 리플, 운전조건들에 대해 합리적인 결과를 도출함
2차년도	구동 모터 구조진동 및 열관리 성능 확인을 위한 다중물리 해석	100	- 4차에 걸친 반복적인 설계 프로세스를 통해, 속도 및 토크 기준 조건을 충족하기 위한 최적화 설계를 진행함. 차량 구조에서 활용 가능한 공간(외경, 두께 기준) 대비 21.4%의 부피를 갖는 모터를 설계함 - 경량화 설계 목적 외에도 전체적 운전범위에 대한 주요 손실(동손, 철손) 분석 결과를 도출하여 냉각 설계 시 활용 가능하고, 모터의 구조적인 분석을 통해 기계적인 진동 위험을 방지하기 위한 가이드를 도출함
3차년도	구동 모터 고장 메커니즘 분석 및 상태 감시 방안 검토	100	- 본 연구에서는 고정자, 회전자, 베어링, 결합부 등 대부분의 모터 고장에 대한 진단방법을 연구하였고, 고장현상들을 분석하였음. - 모터의 각종 고장현상에 대한 진단/예지 알고리즘을 폭 넓게 연구하였고, 각각의 방식에 대해 심층적인 분석을 수행하였을 뿐만 아니라 추후 고장진단에 활용을 위한 실험 테스트벤치를 구축함.
4차년도	실제 주행 조건을 반영한 구동 모터 잠재적 문제 요소 도출	100	- 운전조건에 따른 모터의 온도변화를 측정하고 수치화하여 차후의 프레임 및 냉각설계에 필요한 실증 데이터를 제공하고 있으며, 영구자석의 감자 및 고정장 권선의 단락에 대한 영향을 분석함. - 열에 의한 영구자석 감자의 영향을 줄이기 위한 방안으로 릴럭턴스 토크 성분을 늘이는 설계를 제안

(13) (위탁) 한밭대학교

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
1차년도	인버터 토폴로지 형태 검토	100	의사 결정을 위해 중요한 근거를 제공하는 것으로 보이며 해석 결과라는 점을 감안한다면 합리적인 토폴로지 선정 근거로 사용할 수 있을 것으로 판단됨. 하지만 국내 1톤급 택배트럭 운전 패턴과 실험 데이터 증빙이 필요해 보임
	정상/과도 상태 성능분석 해석환경 구축	100	실제 실험과 유사한 해석 환경을 구축했으며 디버깅 환경도 우수함. 추후 실험 효율성 향상이 기대됨
2차년도	효율과 과도성능 향상 최대화를 위한 인버터 제어 알고리즘 개발	100	실시간 가변 차단주파수 설계가 인상적임. 해석적인 형태로 주어져 연산량 부담도 없어보임. 제품적용 후 효율 및 제어성능 향상 실검증이 필요해 보임
	선정된 인버터 토폴로지 기반의 프토토타입 설계	100	기 선정 가변DC전압형 인버터 하드웨어 최적화가 부족해 보임. 특히 게이트 드라이브 보호회로 최적화가 필요함

3차년도	레졸버 auto-calibration 알고리즘 개발	100	알고리즘이 구체적이며 제안한 파라미터 추정과 최신 전류제어 기법이 조화를 이루며 calibration 정확도를 유의미한 수준으로 향상시킴
	보호 회로/알고리즘 성능 검증 및 최적화	100	2차년도에서 지적된 하드웨어 보호회로 로직을 개선함. 과전류와 과전압 성능이 향상됨
	고장진단 알고리즘 개발	100	외란 관측기 도입으로 외란 억제 성능을 상당히 향상시킴 이를 통해 오진단률을 저감함. 양산품 신뢰도 향상이 기대됨
4차년도	실차 운행 적용을 위한 기 개발기술 개선	100	제작한 샘플 제품에 대해 1~3차년도 신기술을 적용함. 논문에서 확인한 향상 정도를 검증함. 양산 적용이 기대됨
	기 개발기술 다수 시스템 적용을 통한 양산 효율 향상 확인	100	실시간 파라미터 추정 기술을 샘플 제품에 적용하여 정확도를 검증했으며 결과도 양호함

(14) (위탁) 충남대학교

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
1차년도	배터리 셀 전기적 등가회로 확립	100%	배터리 셀의 등가회로 모델링 및 내부 파라미터 추출 방안
	내부 파라미터 측정을 위한 전기적 특성 실험	100%	등가회로 모델 파라미터 및 등가회로 모델의 검증을 위한 전기적 특성 실험
2차년도	배터리팩 내 불균형 특성 확인	100%	배터리팩의 병렬 개수, 전류 크기에 따른 셀간 전압 및 SOC 불균형 분석
	실험실 환경 알고리즘 개발 (SOC, SOH)	100%	배터리 셀 및 팩의 실시간 SOC,SOH 알고리즘 개발 및 검증 (실험실 환경)
	알고리즘 개발 (Balancing)	100%	배터리 셀 간 균등 제어를 위한 passive balancing 알고리즘 개발 및 알고리즘 검증 (실험실 환경)
3차년도	실제 환경 알고리즘 개발 (SOC, SOH)	100%	배터리 셀 및 팩의 실시간 SOC,SOH 알고리즘 개발 및 검증 (실제 환경)
	알고리즘 개발 (Balancing)	100%	배터리 셀 간 균등 제어를 위한 passive balancing 알고리즘 개발 및 알고리즘 검증 (실제 환경)
	배터리팩 온도에 따른 내부 파라미터 변화 분석	100%	배터리셀 및 팩의 온도에 따른 내부 파라미터 변화 및 변화 분석
	배터리팩 내부 온도 분포 변화 분석	100%	병렬 개수 에 따른 배터리팩 실험 시 C-rate별 배터리팩 내부 온도 변화 확인
	고장 진단 알고리즘 개발	100%	고장의 상황에서 진단 및 차단할 수 있는 알고리즘 개발
4차년도	공조장치 설계를 위한 팩 형상에 따른 열해석 및 분석	100%	단일 셀, 배터리팩 등의 실험 데이터를 활용한 열해석 수행 및 최적의 공조 장치 위치 산정
	전주기 데이터를 활용한 상태 진단 기술 개발	100%	충방전이 빈번한 상황 및 빈번하지 않은 상황에서의 건전성 지표 산출
	전류 센서 고장 상황에서의 SOC 추정 알고리즘 개발	100%	전류 센서 고장 상황에서의 SOC 추정 알고리즘 설계 및 검증

(15) (위탁) 한양대학교

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
1 차 년 도	디젤 차량의 연비 및 배기가스 배출을 고려한 차량 모델 개발	100	AVL 크루즈 프로그램을 이용하여 모델링 수행
	디젤 차량의 주행특성에 따른 배기가스 배출 예측 모델 개발	100	연비맵 및 속도와 엔진 토크에 따른 배출가스 배출량을 나타내고 시뮬레이션을 통해 배출량을 최종적으로 산정
2 차 년 도	기존 차량의 엔진 배기가스 측정 및 차량 배출 예측 모델 검증	100	기존 디젤 차량의 배기가스 측정 및 분석을 실시
	디젤 차량의 운전영역에 따른 배출 모델 파라미터 정확도 분석	100	디젤 차량의 배출 시뮬레이션 모델 정확도 분석 및 실도로 실험결과와 비교 분석 실시
	디젤 차량 배출 예측 모델 파라미터 보완 및 검증	100	과도기 배출가스 보정 모델 개발

(16) (위탁) 한국자동차환경협회

구분	목 표	달성도 (%)	내 용
3 차 년 도	보조금 추진방안 연구	100%	운행경유차 배출가스 저감사업 현황 및 저감장치 인증 절차 방법을 파악하여 보조금 지원 사업으로의 추진 방안을 마련함

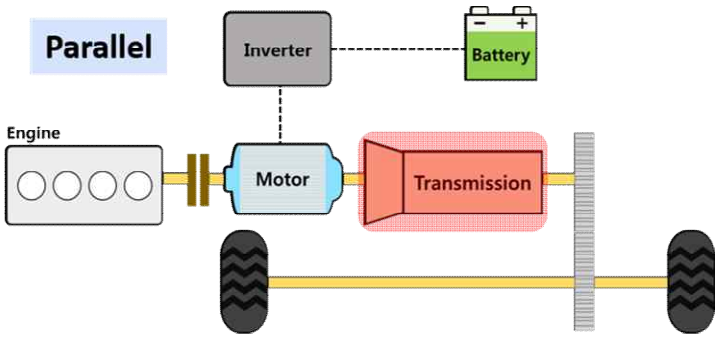
4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

가. 국내·외 기술개발동향

① 국내 기술개발동향

○ 하이브리드 자동차

- 국내에서는 현대·기아차를 중심으로 하이브리드 차량 개발이 이루어지고 있으며, 2016년 하이브리드 전용 플랫폼을 만들어 아이오닉(2016년형 연비 22.4km/l) 라인을 출시함
- 기존 내연기관 차량의 엔진과 변속기 사이에 모터 하나를 추가한 병렬형 하이브리드 차량 시스템 주력으로 개발함



<그림 369> 병렬형 하이브리드 차량의 구조

○ 전기 트럭

- 현재 국내에서는 한국전기연구원, GCCC, 파워프라자 등 몇몇 기업이 상용차를 대상으로 개조한 사례가 있으나, 아직 상용화는 관련 규제로 인해 많은 어려움을 겪고 있음
- 파워플라자에서는 GM대우 라보(0.5톤 적재)의 개조 전기차인 라보 Peace를 개발하였으며 이는 2014년 11월 서울시의 대기질 개선사업(전기트럭 실증사업)에 홍보용으로 활용중임



<그림 370> GM대우 社의 라보 (0.5톤 적재) 개조 전기차 - 라보 Peace

• 환경부에서는 소형화물 택배 차량을 전기자동차로 개조하기 위해 ‘도심형 소형화물 택배 차량의 전기자동차 개조 및 실증’ 사업을 추진함

- 한국전기연구원에서는 2013.05.01.부터 2016.04.30.까지 총 74억원을 지원받아 소형택배차량을 전기자동차로 개조하고 차량개조 키트 등을 개발



<그림 371> 개조된 1톤 전기트럭

• 산업통산자원부에서는 상용트럭을 전기트럭으로 개조하기 위하여 ‘소형 상용급 EV 부품 System Integration 기술 개발’ 사업을 추진한 바 있으며, 현재 ‘1톤급 경상용 전기자동차 개발’ 사업을 추진 중임

- 디아이씨社는 2014.09.01.부터 2016.08.31.까지 사업비 35억 원을 지원 받아 주행거리 연장형 택배 전기자동차 칼마토(Calmato) 개발



<그림 372> 디아이씨社의 전기 화물차 - 칼마토(Calmato)

- 르노삼성자동차와 쿠팡 등은 2016년부터 2019년까지 국비 147억원, 민자 100억원, 총 247억원을 바탕으로 보급형 e-powertain 시스템 및 관련 부품을 국산화하고 양산을 고려한 상품성, 내구성, 볍규/인증 대응 기술 개발을 통해 실증사업을 실시할 예정임
- 적재량은 1t이며, 최고속도는 110km/h, 주행거리는 250km를 목표로 함

○ 자동차용 배터리 및 2차전지, BMS(Battery Management System)

• 초기에는 전기자동차의 시장창출을 위한 성능향상 및 소비자 구매가격 인하를 유도하고자 하는 목적이 강했으나, 현재는 배터리 및 BMS와 같은 핵심전장부품에 대한 원천기술과 주행거리 연장 및 안전성 확보를 위한 기술개발 지원이 주를 이룸

• 파워로직스가 개발한 BMS는 국내 2차전지 제조업체 및 상용차 업체와 테스트 완료

• SK C&C는 배터리관리시스템 부품 개발을 위해 SK이노베이션과 별도로 60억 원을

연구개발에 투자하였으며, 현대·기아자동차는 자회사인 케피코를 통해 배터리관리시스템을 생산하고, 삼성SDI는 SB리모티브에 납품하기 위한 배터리관리시스템 개발

○ 구동 모터 기술개발동향

- 모터의 효율극대화를 위해 코일의 점적률을 높일 수 있는 기술, 코어를 적층하여 제작함으로써 철손을 줄일 수 있는 기술, 시스템 효율 개선을 위해 역기저압을 증대시켜 전류를 줄일 수 있는 기술 등의 개발이 활발함
- 현대모비스에서는 2011년부터 2014년까지 정부출연금 79억원을 지원받아 준중형 전기차용 구동모터 및 감속기를 개발함

○ 개조 모듈화 기술개발동향

- 자동차에 들어가는 2만 여개의 작은 부품을 대형 부품회사가 6~7개 덩어리로 묶어 중간 부품(모듈 부품)으로 만들면, 자동차 업체가 이를 조립해 완성차를 만드는 선진국형 생산 방식을 모듈화라고 하며, 자동차 제조사 입장에서는 공유하는 부품이 많아질수록 생산 단가를 낮출 수 있어 소비자는 더 싼 가격으로 자동차 구매 가능함
- 현대모비스는 1999년 현대자동차그룹의 생산 전략에 따라 모듈화를 도입하였는데, 자동차 3대 핵심 모듈인 샤시모듈(Chassis Module), 칵핏모듈(Cockpit Module), 프론트엔드모듈(Front End Module, FEM)을 생산함

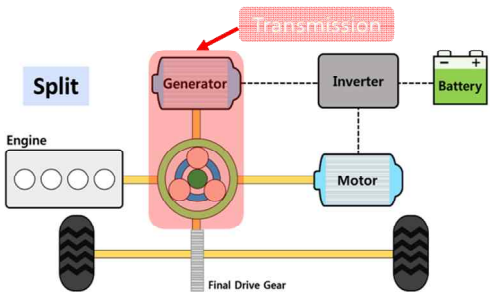
○ 적재함 구조개선 기술개발동향

- 한국철도기술연구원에서 수행한 '화물차량 상·하역 시간 단축을 위한 일괄 하역장비 기술', 복합소재를 이용한 상용차 적재함 경량화 연구, 윙바디를 이용한 화물트럭 기술 등이 적재함 구조 개선을 위하여 개발 중임

② 국외 기술개발동향

○ 하이브리드 자동차

- 1997년 도요타 社에서 동력분기형 하이브리드의 프리우스, 혼다 사에서 병렬형 하이브리드 차인 Insight가 최초로 출시된 이래로, 각 자동차 제조회사들에서 활발히 하이브리드 차량의 기술 개발 및 상용화가 진행됨



<그림 373> 동력분기형 하이브리드 시스템

- 2001년, 미국의 대표적인 물류회사인 FedEx Express가 Environmental Defense와 함께 Future Vehicle Program을 발표하고 택배 트럭의 연비의 개선과 배기가스 감축을 위한 차세대 기술개발 및 상업화를 목표로 함
- Future Vehicle Program에서 가장 높은 rank를 받은 Eaton Corporation는 하이브리드 디젤-전기 트럭인 E700을 개발하여 기존 대비 NOx 배출량을 65% 감소시키고, 연비를 57% 향상시켰으며, 현재 미국 내 시범 운영함
- 일본 Hino 에서는 2003년에 세계 최초로 light duty 하이브리드 트럭을 대량으로 생산함

○ 자동차용 배터리 및 2차전지, BMS(Battery Management System)

- 대부분의 HEV차량은 150볼트 이상의 고전압 리튬2차 전지를 채택하고 있으며, 배터리 용량은 일반적으로 1kWh를 사용함

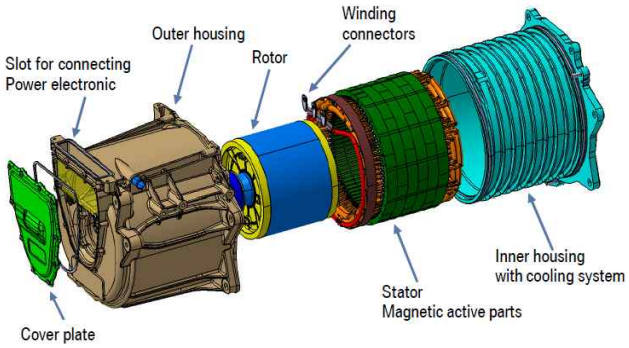
<표 81> 국외 주요 회사별 HEV의 리튬이차전지 사양

Car model		Capacity [Wh]	Nominal Voltage [V]	Volume [L]	Weight [g]
Toyota	Prius Alpha	1,008	202	29	29
Honda	Civic HV	677	144	21	22
	Accord HV	1,296	259	32.4	37
	Fit HV	864	173	24	25

- BMS와 관련하여, 미국은 연료전지 자동차 분야에서 리튬이온전지 관리 및 감독을 위해 배터리관리시스템 장치 FEV LiionMan을 개발하고 차량에 적용하였으며, 일본 Toyota의 자회사 Panasonic EV energy는 프리우스, 캠리, 렉서스등에 니켈수소전지 및 BMS을 적용하고, 10년 이상 차량시스템 평가 및 필드 테스트를 수행하여 BMS 최적화를 달성함

○ 구동 모터 기술개발동향

- 미국의 Protean electric는 75kW급 구동시스템을 개발 및 실증 시험을 진행 중이며, 테슬라에서는 전기자동차인 S모델에 유도 모터를 적용함
- 일본의 닛산 자동차는 리프(Leaf) 자동차에 고출력 구동 모터를 적용하였으며, 모터의 최대출력은 109마력, 최대토크는 25.9kgm이고, 전기모터를 보닛 아래 배치해 앞바퀴를 구동함
- 프랑스의 Renault는 Fluence에 여자 동기식 권선형 전동기를 사용함
- 독일의 BMW 는 i8모델에 영구자석형 구동 모터를 적용하였으며, 최대 토크는 250Nm, 최대 속도는 11,400rpm, 최대 전류는 400A, 전압은 250~400V, 무게는 65kg이고, 수냉 방식을 적용하여 모터의 열적 안정성을 확보함



<그림 374> BMW 社의 i8모델에 적용된 영구자석형 구동 모터

○ 개조 모듈화 기술개발동향

- 독일의 폭스바겐 그룹(Volkswagen)은 MQB(Modularer Querbaukasten) 적용을 통해 파워트레인, 앞 서스펜션, 뒤 서스펜션 등 차체 일부분을 독립된 모듈로 제작하며, 아우디, 스코다, 세아트 등 다양한 자동차 회사에서 모듈을 공유하며 경량화 효과를 얻음
- 볼보(Volvo)는 SPA(Scalable Product Architecture) 적용을 통해 플랫폼을 60개의 모듈로 나눠서 크기에 관계없이 하이브리드 및 전기 자동차에 다양하게 사용 가능함

○ 적재함 구조개선 기술개발동향

- 핀란드의 ACTIW 는 플레이트에 지게차로 적재한 뒤 화물 플레이트를 일치시켜 한 번에 컨테이너에 적재하는 LoadPlate를 개발하였으며, Vanloda는 공기압력 롤러를 장착한 플레이트를 이용하여 화물을 자동으로 적재하는 소규모 화물차에 적합한 Rollerbed을 개발함
- 독일의 Mercedes-Benz는 지난 2016년 9월 효율적인 물류환경을 위한 컨셉트카인 Vision Van을 공개함. Vision Van은 배달물이 실린 선반을 무인 운반 및 적재기술인 “one-shot loading” 을 통해 자동으로 적재함에 상차하고, 적재함 내부는 완전 자동화되어 배달물을 자동 분류함

③ 국내·외 기술동향 분석 소결

- 친환경 하이브리드 차량에 대한 기술은 자동차 제조회사들의 활발한 연구 개발 및 상용화로 인해 이미 성숙한 단계에 이르렀으며, 각 제조회사 별로 다양한 구조의 병렬형 또는 동력분기형 하이브리드 파워트레인 시스템 개발
  - 동력분기형 하이브리드 시스템은 다양한 구동 모드를 기반으로 높은 연비 개선 성능을 보여주고 있지만 복잡한 시스템(2개 이상의 모터/제너레이터와 1개 이상의 유성기어 및 클러치 사용 등)으로 인해 생산 원가가 높음
  - 병렬형 하이브리드 시스템은 1개의 모터/제너레이터로 구현 가능함
- 미국, 일본에서는 2000년 초부터 물류트럭에 대한 친환경 기술개발의 필요성을 인지하고 전기차, 하이브리드 전기차 등에 대한 연구 및 제품 생산을 진행 중임

- 국외에서 진행된 대부분의 하이브리드 디젤-전기 물류 트럭 개발에 상대적으로 저가 시스템인 병렬형 하이브리드 파워트레인이 사용되었으며, 다양한 개발 사례에서 병렬형 하이브리드 시스템이 NOx 배출량 감소 및 연비 개선에 효과가 있다는 것 입증
- 국내에서 상용차를 전기 트럭으로 개조한 사례들이 있으나 충분한 주행 거리 및 속력 확보를 위해 큰 배터리 용량을 요구하므로 작은 크기의 배터리만 사용하여도 되는 디젤-전기트럭에 비해 개조 비용이 크게 증가할 수밖에 없어 개조 사업 확대에 제한이 있음
- 국내의 디아이씨社에서 1톤 상용차를 주행거리 연장형 하이브리드로 개조한 사례가 있으나 이는 전기차에 가까운 직렬형 하이브리드 구조로 여전히 고 개조비용의 문제를 안고 있기 때문에, 저비용/고효율 택배 차량을 위한 하이브리드 개조 기술 개발이 필요
- 직렬형 하이브리드는 시스템이 간단하고 복잡한 제어 전략이 필요하지 않지만, 에너지 변환 과정이 병렬형보다 많아 효율이 떨어지고 엔진 계통과 차량 구동 계통을 분리해야 하므로 더 많은 개조 비용이 드는 특징이 있음
- 병렬형 하이브리드 시스템은 모터와 엔진이 차량 구동에 직접 관여할 수 있어 직렬형에 비해 동력원의 제어 자유도가 크기 때문에 높은 수준의 최적 제어 전략을 필요로 하나 그만큼 높은 효율을 가질 수 있으며, 기존의 엔진을 통한 구동 시스템을 일부 개조하여 사용가능하므로 개조 비용이 낮은 특징이 있음
- KAIST에서 개발한 eMT는 기존 대부분의 상용 트럭에서 사용되는 수동변속기를 기반으로 한 병렬형 하이브리드 기술로, 최소한의 개조로 하이브리드화 할 수 있는 저비용 솔루션 중의 하나로 판단
  - Eaton의 병렬형 하이브리드 시스템은 자동 변속기와 자동화 수동 변속기를 기반으로 함
- 국내 및 국외의 배터리 관리 시스템 연구개발의 방향은 대부분 완성차 업체와 협력하여 수행되고 있음을 보임
- 본 과제는 이미 시판된 타겟 차량에 대한 개조를 목표로 하고 있으므로 상기 방향과는 거리가 있음
- 타겟 차량 최적화의 관점에서 배터리 및 배터리관리시스템 개발에서 보다 유연하고 정략적인 접근이 필요
- 단적인 배터리 관리 뿐 아니라 전체 에너지를 총괄할 수 있는 에너지 관리시스템으로의 확장이 필요
- 구동 모터의 효율을 높이기 위해 국·내외에서 기술개발이 활발히 이루어지고 있음
- 다양한 구동영역에서 모터시스템 효율을 최대화하기 위한 최적설계 방법론 개발이 요구
- 국·내외 하이브리드 자동차 업체들은 영구자석형 모터를 가장 많이 사용하고 있으나, 영구자석의 가격이 비싸기 때문에 보다 저가·고성능 모터의 개발이 요구
- 최적설계 방법론 적용을 통해, 모터의 주요 성능(무게, 평균토크, 토크리플 등)을 최적화할 수 있는 기술의 개발이 요구

• 모터 내부 온도의 증가는 시스템 효율을 급격히 저하시키므로, 효율적인 방열 기술의 개발이 요구
• NVH 성능을 개선하기 위해, 구동 모터에서 발생하는 소음 원인을 규명하고 제거하는 기술의 개발이 요구
• 구조 안전성 해석은 크게 동역학해석, 정적해석, 진동해석, 충돌해석으로 나뉨
  - 모듈의 구조 안전성 분석 시 마찬가지로 동역학해석, 정적해석, 진동해석, 충돌해석을 수행해야 하며 이에 대한 신뢰성 확보가 필요함
• 완성차 업체와 부품 업체가 역할을 분담함으로서 생산성 향상이 요구됨
• 국내외 업체 모두 개조 모듈화가 증가하는 추세임
• 주문자 제작방식으로 조립과 교체 편의성 증대가 필요함
• 무게 최적화 등을 통해 차량의 성능, 안정성 및 연비 향상이 가능함
• 생산 단가를 낮출 수 있어 제품경쟁력 향상이 가능함
• 택배 운송용 소형 트럭의 적재함 자체의 구조 개선 관련 기술이 부족함
  - 적재함 구조 개선 관련 기술은 주로 대형 트럭의 상·하역을 위해 개발됨
  - 국내 소형 트럭 적재함 관련 연구의 경우, 구조 개선 보다는 연비를 높이기 위한 경량화 연구가 진행되었음
  - 반면, 독일의 Mercedes-Benz는 물류환경의 효율성 향상을 위한 연구 개발을 진행 중이며, 특히 사용자의 편의성을 높이는 기술을 개발 중
  - 따라서 택배 운송의 효율 향상을 위한 소형 트럭의 적재함 구조 개선 관련 연구가 필요할 것으로 보임

나. 연구결과의 우월성 및 기여점

① 친환경·저비용·고효율 하이브리드 개조 기술

○ 본 연구의 최종 결과물은 다음과 같음

• 노후된 적재중량 1톤 미만 소형트럭의 연비 30% 개선 및 배출가스·미세먼지 20% 감축을 달성하는 원가 500만원·중량증가 100kg의 하이브리드 개조 기술

<표 82> 유로4 차량(포터II 2011년식)의 대표물류사이클 시험결과

구분	개조 전	개조 후	개선율 [%]
연비 [km/l]	6.266	11.161	78.1
CO2 [g/km]	410.375	229.438	-44.1
NOx [g/km]	1.577	1.025	-35.0
PM [g/km]	0.1032	N/A	N/A
PN [#/km]	1.042e+14	5.161e+13	-50.5

- 배터리 전력을 0.783 kWh 사용하였으며 연비/전비 등가계수 (약 6.36 설정, 자체 측정) 적용하였을 경우 보정연비는 8.44 km/l이며 34.7 %의 연비개선 확인됨. 보정연비에 대한 CO2 개선율의 보정치는 - 25.8 %로 확인됨



한국과학기술원 의뢰

"택배 트럭의 하이브리드 개조 기술"
예정원가조사보고서

2020. 06.

이 사 장 노 선 (예)

책임연구원 조 현 (조)

연 구 원 신 종 (신)

사단법인 한 국 기 업 정 보 연 구 원

용 역 원 가 계 산 서

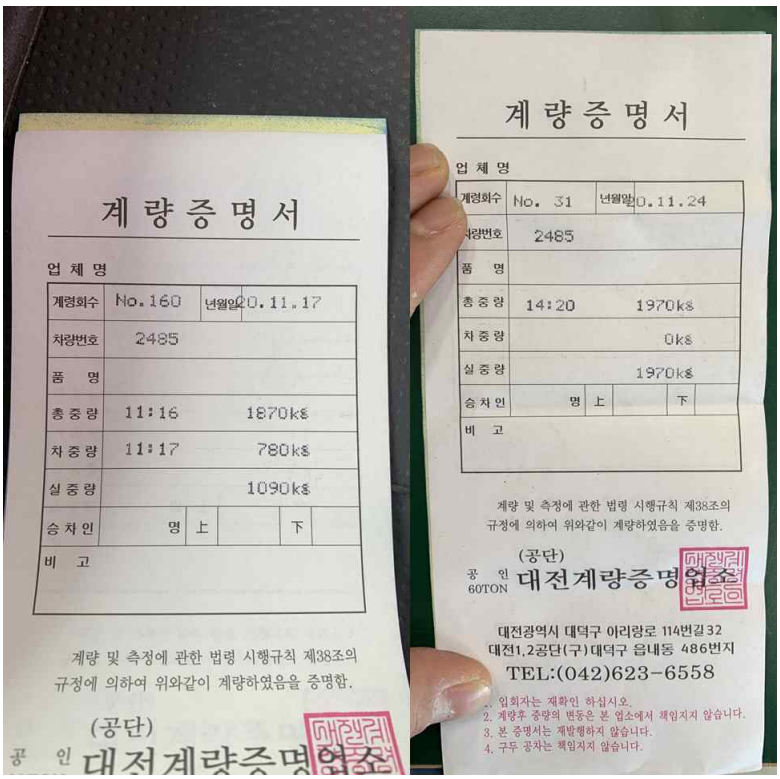
건 명 : 택배 트럭의 하이브리드 개조 기술

(단 위 : 원)

비 목		금 액	구성비(%)	비 고
인 건 비(A)		157,595	3.27	표#1 참조
경비 (D)	연구용재료비	4,390,000		표#2 참조
	소 계	4,390,000	91.07	
일반관리비 (C)		272,855	5.66	표#3 참조
이 윤 (D)		-	0.00	표#4 참조
총 원 가 (E)		4,820,450	100.00	A+B+C+D
부 가 세 (F)		482,045		(E)*10%
합 계 (G)		5,302,495		(G)=E+F

- 6 -

<그림 375> 개조기술의 원가계산서



계 량 증 명 서

업 체 명

계량회수	No. 160	년월일	20.11.17
차량번호	2485		
품 명			
총 중 량	11:16	1870kg	
차 중 량	11:17	780kg	
실 중 량		1090kg	
승 차 인	명	上	下
비 고			

계량 및 측정에 관한 법령 시행규칙 제38조의 규정에 의하여 위와같이 계량하였음을 증명함.

(공단)
공 인 대전계량증명협조

계 량 증 명 서

업 체 명

계량회수	No. 31	년월일	0.11.24
차량번호	2485		
품 명			
총 중 량	14:20	1970kg	
차 중 량		0kg	
실 중 량		1970kg	
승 차 인	명	上	下
비 고			

계량 및 측정에 관한 법령 시행규칙 제38조의 규정에 의하여 위와같이 계량하였음을 증명함.

(공단)
공 인 60TON 대전계량증명협조

대전광역시 대덕구 아리랑로 114번길 32
대전1,2공단(구)대덕구 읍내동 486번지
TEL:(042)623-6558

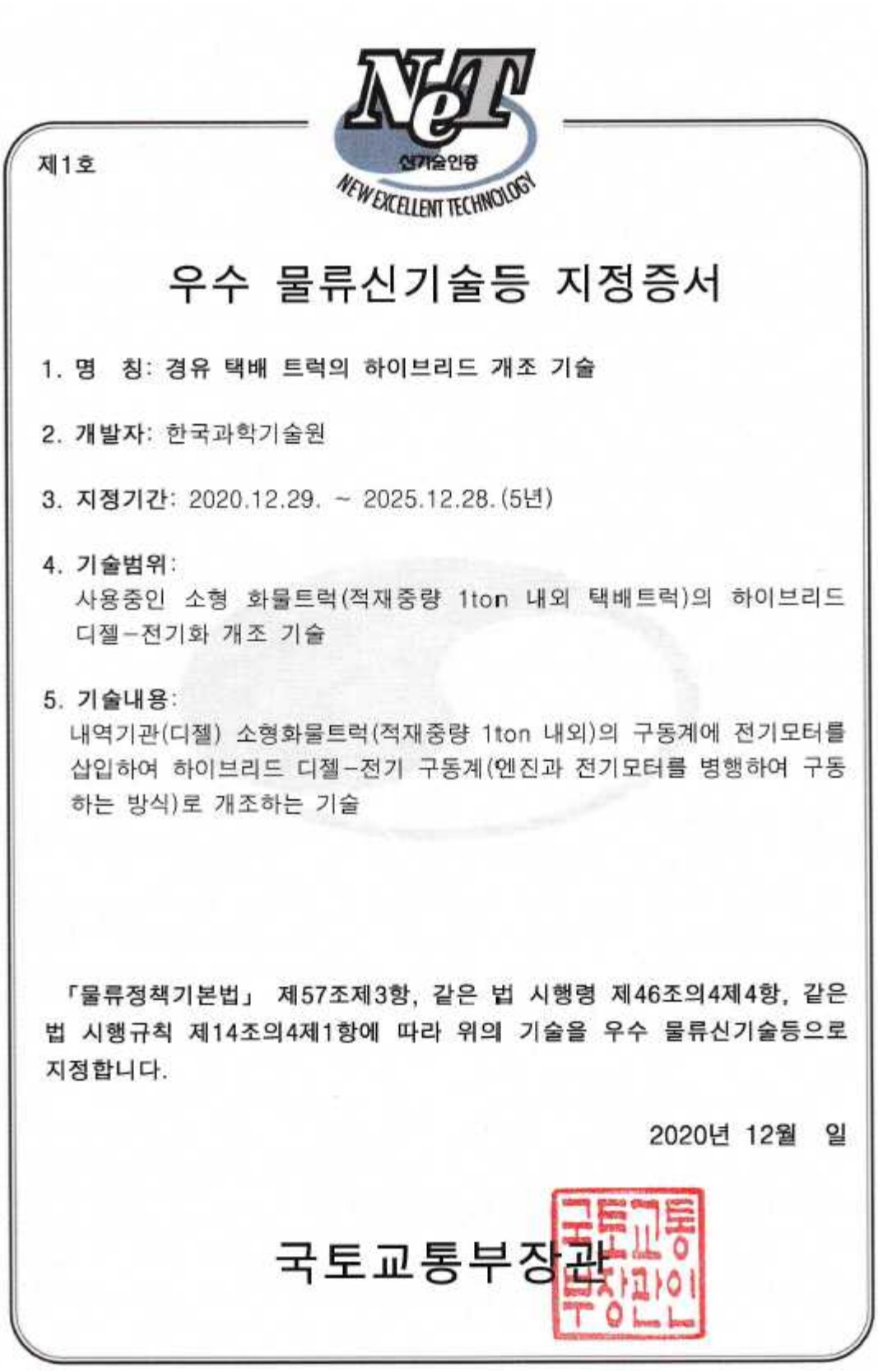
1. 입회자는 재확인 하십시오.
2. 계량후 중량의 변동은 본 업소에서 책임지지 않습니다.
3. 본 증명서는 재발행하지 않습니다.
4. 구두 공자는 책임지지 않습니다.

<그림 376> 개조 전 후 중량 변화

○ 본 기술은 기존의 국내·외 선행 연구 및 사업 등의 단점(고비용, 저효율 등) 및 기술적 어려움(기 사용 차량에 병렬형 하이브리드 구현)을 극복하고 실증까지 완료하여 충분한 수준의 내구성과 안전성을 확보하였음

② 제 1호 우수물류신기술 지정

○ 2020년 국토교통부 우수물류신기술등에 '경유 택배 트럭의 하이브리드 개조 기술'로 지정되어 향후 5년간 관련 사업화 등에 있어 지원등의 근거를 마련함



제1호

NET 신기술인증 NEW EXCELLENT TECHNOLOGY

우수 물류신기술등 지정증서

1. 명 칭: 경유 택배 트럭의 하이브리드 개조 기술

2. 개발자: 한국과학기술원

3. 지정기간: 2020.12.29. ~ 2025.12.28.(5년)

4. 기술범위:
사용중인 소형 화물트럭(적재중량 1ton 내외 택배트럭)의 하이브리드 디젤-전기화 개조 기술

5. 기술내용:
내역기관(디젤) 소형화물트럭(적재중량 1ton 내외)의 구동계에 전기모터를 삽입하여 하이브리드 디젤-전기 구동계(엔진과 전기모터를 병행하여 구동하는 방식)로 개조하는 기술

「물류정책기본법」 제57조제3항, 같은 법 시행령 제46조의4제4항, 같은 법 시행규칙 제14조의4제1항에 따라 위의 기술을 우수 물류신기술등으로 지정합니다.

2020년 12월 일

국토교통부장관

국토교통부장관인

<그림 377> 우수 물류신기술 등 지정증서

③ 「자동차튜닝에 관한 규정」 제 3장 전기자동차로의 개조 첫 적용 사례

○ 본 연구는 실용화 과제로 실제 운행 중인 차량을 개조하여 적법한 절차를 거쳐 공도에 주행 가능한 사업의 기반을 마련 하도록 하는 것에 일부 의의를 두고 있음

○ 개조 차량은 「자동차튜닝에 관한 규정」에 의거하여 튜닝 승인등이 요구되고, 승인 완료 시, 개조한 상태로 공도에 주행이 가능함

○ 이 중 고전압장치를 사용하는 전기자동차의 경우, 별도의 규정을 두어 안전성 검토 및 튜닝승인을 진행하도록 함

○ 그동안 사용차량의 개조기술에 대하여서 해당 규정을 적용하여 안전성 검토 및 튜닝 승인을 진행한 사례가 없었음

○ 그러나 본 연구에서는 해당 규정에서 전기자동차가 하이브리드자동차도 포함함을 명시하도록 개정에 기여하고(한국교통안전공단, 2020. 05. 개정), 규정을 준용하여 안전성 검토 및 튜닝 승인 시행

자동차 튜닝에 관한 규정

[시행 2020. 5. 27.] [국토교통부고시 제2020-407호, 2020. 5. 27., 일부개정]

【제정·개정문】

⊙국토교통부고시 제2020-407호

「자동차 튜닝에 관한 규정」(국토교통부고시 제2019-574호, 2019.10.14.) 중 일부를 다음과 같이 개정 고시합니다.

2020년 5월 27일

국토교통부장관

「자동차 튜닝에 관한 규정」

자동차 튜닝에 관한 규정 일부를 다음과 같이 개정한다.

제2조에 제8호 및 제9호를 각각 다음과 같이 신설한다.

8. "하이브리드자동차"란 안전기준 제2조제33호에 따른 하이브리드자동차를 말한다.

9. "캠퍼"란 야외 캠핑에 사용하기 위하여 화물자동차의 물품적재장치에 설치하는 분리형 부착물을 말한다. 이 경우 캠퍼는 규칙 제30조의2에 따른 캠핑용자동차의 기준과 안전기준 제18조의4에 따른 캠핑용자동차의 전기설비 및 캠핑설비 기준에 적합하여야 한다.

제3조 중 "전기자동차"를 "전기자동차(제2조제8호에 따른 하이브리드자동차를 포함한다. 이하 같다.)"로 한다.

<그림 378> 규정 개정문 일부

[별지 제34호서식]

튜닝승인서

제 1083-2020-72934 호

신청인	성 명(명 칭)	(주)구보엔지니어링	주민(사업자)등록번호	131311-*******
	주소	경기도 군포시 고산로148번길		
자동차	차명 및 형식	포터II (PORTER II)/HRLKAK	차 대 번 호	KMFZCZ7KAFU122722
	등 록 번 호	85누9216	원 동 기 형 식	D4CB

항 목	튜 닝 전	튜 닝 후
튜닝 승인 내용	전기장치 원형	내장탑,하이브리드(경유+전기,전동기(MO,영구자석형,34kW/2050rpm), 구동축전지(PB-EV-19-3,216V/15Ah))

시험성적서 61p 별도 첨부, 전동기 형식 타각 조건

"튜닝작업은 자동차관리법 제36조에서 정하는 범위에서 정비업체에서 실시하여야 합니다."

"신품, 중고품 또는 재생품 사용여부를 사이버검사소에 입력 하세요"

[승인 익일부터 튜닝 검사 가능합니다]

자동차관리법 제34조 및 같은법 시행규칙 제56조 제2항의 규정에 의하여 튜닝을 승인합니다.

튜닝검사안내

승인받은 날로부터 45일 이내에 전국 한국교통안전공단사소에서 검사를 받아야 합니다.

한국교통안전공단 자동차튜닝처	담당자
054-459-7650	김영표

검사만료일 2020-08-19

2020년 07월 06일

한국교통안전공단이사장

※대리신청 :

※45일 경과 또는 튜닝검사 받지 않을 경우 1년이하 징역 또는 1000만원이하 벌금(자동차관리법 제81조)

※승인후 튜닝검사를 하지 않을 경우 승인받은 검사소에 반납하셔야 불이익이 없습니다.

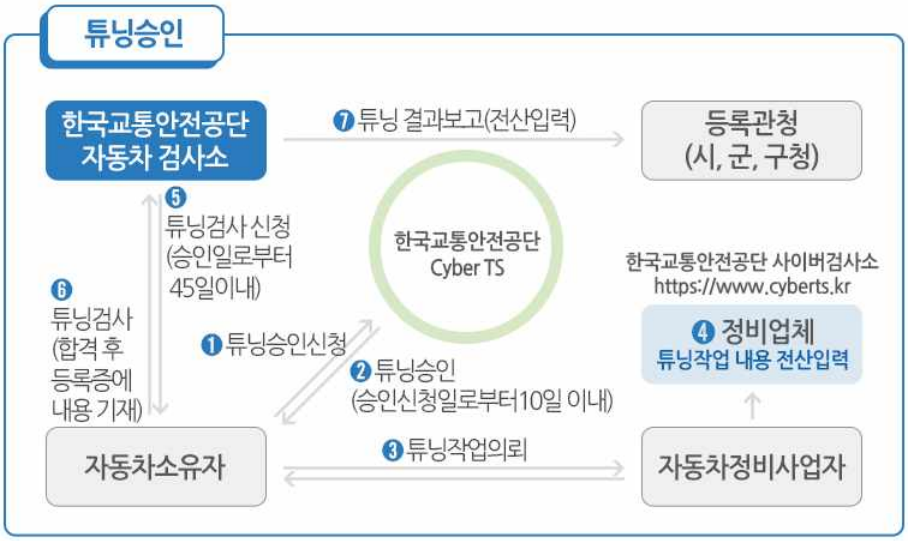
※취득세 납부대상 차량은 자동차등록 주소지 시군구청 세무과에 문의하시고 자진납부 하셔야 합니다.

등록면허세를 금융기관에 납부 후 영수증을 제출하셔야 검사점수 가능합니다.

1/17 1083-2020-72934

<그림 379> 튜닝 승인서

○ 따라서 향후 본 기술을 적용하여 사업화 진행 시, 기존의 안전성 검토에 제출했던 설계도면(본 기술)과 동일하게 개조하여 튜닝 승인(수수료 60,000원) 절차만 거치면 개조 차량이 공도에서 주행이 가능함



<그림 380> 튜닝승인 절차

④ 수요처(물류기업)에서의 주행 테스트

○ 본 기술은 약 2만km의 주행 테스트를 수행하여 기술의 내구성 및 안전성을 검토함

- 물류기업(JBL 로지스틱스) 1만 3천 km
- 연비 비교를 위한 물류기업 운행 경로 반복 주행 1천 km
- 안전성 검토를 위한 내구시험 6천 km

○ 특히 기술의 최종 수요자인 물류기업에서의 테스트베드 운영은 향후 기술 적용환경에서의 차량 운영으로, 발생 가능한 문제 등을 검토하기에 적합하였음

○ 2대의 차량에 대하여서는 실 환경에서의 연비의 변화도 파악하여, 기술의 효과를 입증함

<표 83> 차량별 개조 전·후 연비

	개조 전 평균연비(km/l)	개조 후 평균연비(km/l)	개선율 (%)
3호차 (88노 2205)	7.98	8.55	7.1
4호차 (88너 9779)	6.90	8.29	20.1

⑤ 실 물류 환경에 기반한 기술 개발

○ 본 연구에서는 주요 개조부품 사양 선정 및 최종 개조기술의 성능을 평가하기 위하여 대표물류사이클을 사용함

○ 대표물류사이클은 디지털 운행기록계(DTG: Digital Tachograph)에서 수집된 데이터를 바탕으로 머신러닝 기법을 사용하여 도출됨

○ DTG는 사업용 차량에 의무적으로 부착되며 초단위로 운행정보를 전자식 기억장치

에 자동적으로 기록하여, 본 연구에서 도출한 대표물류사이클은 실제 물류 환경을 반영하여, 향후 툴류 사업에 개조 차량이 투입 되었을 때, 기타 친환경차량 기술에 비하여 효과적일 것으로 예상함

- DTG는 이동거리, 속도, RPM, 종·횡방향 가속도, 브레이크 작동유무, 위도·경도, GPS방위각 등의 정보를 수집하며, 본 연구에는 적재중량 1톤 미만의 소형 트럭 318대의 2017년 3월 및 4월 데이터를 확보하여 연구에 활용함

⑥ 친환경 자동차 요소 기술의 개발

○ 본 연구에서는 주요 개조부품의 개발을 통하여 친환경차량 요소기술의 국제적 선점 및 국산화에 기여함

○ 개발한 주요 개조 요소 기술은 다음과 같음

- 전기자동차(하이브리드 포함) 34kW급 모터
- 정격용량 15Ah 배터리팩
- 인버터(모터드라이버) 및 컨버터를 포함하는 Power Control Unit
- 수동차량을 반자동차량으로 전환 가능하도록 하는 오토 클러치

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

가. 연구결과의 활용방안

구분	최종 성과물	수요처	활용방안
(주관) 한국과학기술원	적재중량 1톤 미만 디젤 트럭의 하이브리드 개조 기술	전국 공업사 및 택배회사 등	기존 내연기관 차량의 정비를 주로 하던 공업사들에서 친환경차량으로의 전환기에 적합한 사업임. 최종 수요자는 전체 노후 소형 경유 트럭 소유자이지만, 단거리 주행에 보다 높은 효과를 보이기 때문에 본 과제에서 주 대상으로 한 도심지 운행을 주로하는 택배회사가 주요 수요자가 될 것으로 예상됨
	대표물류사이클 도출	자동차 요소기술 및 차량 운행 관련 연구소 등	본 과제에서 활용한 바와 같이 요소기술 사양 도출을 위한 성능 기준용 대표 사이클 개발 시 활용 가능하며, 이외에도 차량의 운행 관련 특성 분석 등에 방법론이 활용 될 수 있음
	구조 신뢰성 분석기준	하이브리드 차량 제조사	핵심부품의 모듈화 기술 확보 및 이전
	부품 모듈화 지침서	개조 트럭의 유지보수 담당 정비업체	핵심부품의 유지보수 기술교육
	공회전제한을 위한 엔진 제어기술	물류회사	기술이전을 통해 수요처 물류회사 중심의 공회전 제한모듈 보급사업화
	하이브리드 파워트레인의 최적제어기술	하이브리드 파워트레인 개발/생산 기업	기술이전을 통해 수요처 기업의 하이브리드 파워트레인 제어모듈에 적용
(공동) 한국교통안전공단	자동차 튜닝에 관한 규정 개정 (국토교통부 고시 제2020-407호)	하이브리드 튜닝기술 개발기업 등	하이브리드 튜닝에 대한 절차 및 방법 등 제도가 구체화되고 명확해 짐으로써, 기술을 개발하는 기업이나 튜닝을 원하는 차량 소유주 등이 보다 원활하고 쉽게 튜닝할 수 있을 것으로 기대
	자동차안전연구원 업무지침 개정		
(공동) 한국교통연구원	수요자 구매의향조사 결과 보고서	-사업화 시행기관 지원정책 -관계부처 및 정책지원기관	-사업화 시 가격정책 등 사업계획에 활용 -지원정책 마련 시 지원금액결정, 지원요소발굴 등에 활용
	기존 지원사업 분석 보고서	지원정책 관계부처 및 정책지원기관	지원 정책 마련 시 근거자료로 활용
	보급사업의 경제적/재무적 타당성 분석 보고서	지원정책 관계부처 및 정책지원기관 사업화 시행기관	지원 정책 마련 시 근거자료로 활용
	홍보 및 보급방안 연구 보고서	사업화 시행기관	사업계획 수립 및 진행에 활용

(공동) ㈜ 구보엔지니어링	통합제어기	하이브리드 자동차	디젤 엔진을 이용한 하이브리드 개조 차량 제작 시 엔진 정보취득, 동력 분배, 페달 등 부가장치 제어가 필요한 상위 제어기에 유용하게 사용될 것으로 예상함
	통합 PCU	전기자동차, 하이브리드 자동차, 전기복합 어선 등	배터리 전압을 승압하여 모터를 제어하고자 하는 자동차나 전기복합어선 등에 사용
	배터리관리시스템 (BMS)	고전압 배터리를 사용하는 모든 기기	기존대비 개선된 SOC 추정 알고리즘, 패시브 밸런싱을 이용하여 전기차, 가정용 ESS, 휴대형 고전압 배터리 등에 사용
	배터리 모닝터링 프로그램	고전압 배터리를 개발, 유지보수 하는 업체	UART를 이용 PC 모니터에 배터리의 상태 정보를 표시하여 배터리 개발, 유지 보수에 사용
(공동) 옵토멕	디스플레이 앱	전기자동차, 하이브리드 자동차, 전기복합 어선 등	UART를 이용 안드로이드 태블릿에 정보를 표시하는 앱, 블루투스를 이용 무선으로 정보 표시도 가능하여 모니터링용, 디버깅용으로 사용 가능
(공동) 하이젠모터	하이브리드 모터 사이징 설계기술	하이브리드 차량 제조/개조사	차량의 하이브리드 방안 제시
	하이브리드 모터 수냉 구조 및 생산기술 확보	하이브리드 차량 제조/개조사	차량의 하이브리드 방안 제시
(공동) 유라코퍼레이션	PCU 기구물	구보엔지니어링	인버터,컨버터 통합 PCU의 하우징(기구물) 활용
	와이어 하네스 도면	구보엔지니어링	차량 내 맞춤형 전력선/신호선 제공
(공동) 이모션	데이터 수집 전송 모듈	차량 제조사, 자동차 연구기관, 데이터 연구기관	·운행 중인 차량 데이터 수집을 위한 장치로 활용 ·위치정보를 포함한 장치·장비의 데이터 수집이 필요한 분야에 활용
	개조차량 발생 정보 실시간 모니터링 시스템	자동차 공유·렌트 업체, 차량 관리 업체, 자동차 연구 기관	·차량의 실시간 상태 데이터 및 운행정보가 필요한 관제 서비스 분야 활용 ·실시간 데이터 수집 및 분석을 위한 시스템으로 활용
(공동) 피엠그로우	3.2kWh급 하이브리드 디젤-전기 트럭용 배터리 시스템 설계 및 제작	중소형 전기차 제작사	내연기관 자동차를 전기차 혹은 하이브리드 전기차로 개조하고자 하는 크고 작은 전기차 제작사의 배터리 시스템 기술개발 지원
	차량용 배터리 시스템 안전 및 성능 인증 시험 진행	배터리 시스템 성능 평가 기관	차량용 배터리 시스템의 안전 및 성능 인증 평가 방안 마련 및 인력 지원
(위탁) 광주과학기술원	구동 모터 성능 해석 및 경량화 최적 설계 기술	전기 자동차용 모터 제작 업체	본 연구에서 개발된 구동 모터 성능 해석 기술은 영구자석 동기 모터 기초 설계에 활용 가능하며, 경량화 최적 설계 기술을 통하여 높은 출력 밀도를 갖는 전기 자동차용 모터 제작 기술 향상에 활용 가능함

(위탁) 한밭대학교	효율과 과도성능 개선 인버터 제어알고리즘	철도기술연구원, 한국전기연구원, 원자력연구원 등 인버터/컨버터 지능화 사업	철도차량 구동부 및 원자로 제어봉 정밀제어를 위한 지능형 인버터 개발
	가변형 DC전압형 인버터 제어 알고리즘		플라잉카 및 차세대 전기차 구동부 개발
	레졸버 auto-calibration 및 고장진단 알고리즘		R&D 및 양산 비용 저감 타당성 검토
(위탁) 충남대학교	SOC, SOH 추정 알고리즘	자동차 부품사, 중소 BMS 제작사	- 배터리 상태 관리를 위한 기술의 수요가 활발하며, 기존 BMS에 탑재하여 동작할 수 있는 원천 기술 확보 및 기술 이전 가능 - 폐배터리 및 배터리 상태 진단 및 수명 예측에 대한 원천 기술 확보 및 기술 이전 가능 - 배터리팩 설계 시 최적 위치를 결정하여 배터리 팩의 열관리 원천 기술 확보 및 기술 이전 가능
	배터리 상태 진단 기술 및 공조 장치 설치를 위한 최적 위치 결정	자동차 부품사, 중소 BMS 및 배터리팩 제작사	
(위탁) 한양대학교	AVL 크루즈 프로그램을 이용하여 모델링 수행 및 과도기 상태의 보정 모델 개발	차량 산업	시뮬레이션으로 차량의 배기가스 배출량을 정확하고 신속하게 추정 가능
(위탁) 한국자동차환경협회	친환경 저공해장치 추진 방안 도출	운행경유차 배출가스 저감사업 현황, 저감장치 인증 절차 및 방법, 보조금 지원 사업으로의 추진 방안 마련에 관한 보고서	배출가스 저감장치 부착 및 저공해엔진 개조 사업처

나. 타 산업 및 연구와의 연계방안

(1) (주관) 한국과학기술원

① 핵심부품 모듈화 및 유지보수 기술의 이전 및 교육

- 본 연구 개발한 수동변속기 기반의 일체화된 박형 파워트레인 모듈을 사용하여 저가격으로 노후화된 경유 택배 트럭을 하이브리드 차량으로 개조할 수 있음
  - 기존 경유 차량의 경우 빈번한 정차 및 가·감속으로 인해, 복합연비(9km/l 내외) 대비 낮은 실 운행연비(일평균 3.0km/l)는 물류비용 상승의 중요 원인임 특히, 한국교통연구원의 화물운송시장 실태조사에 따르면, 일평균 운행거리가 2007년 1사분기 90.8km 대비 2016년 4분기에 43.8km로 감소하고, 일평균 운행속도는 10.8km/h에서 5.4km/h로 감소하는 등 과거에 비해 짧은 거리를 운행하며 자주 정차하는 특성을 보임
  - 물류비 인상 억제와 배기가스 저감을 위해, 전기 자동차 개조 사업, LPG 완성차 사업 등 정부 사업들이 추진 되어왔으나, 높은 모듈 가격(약 3000만 원 이상)과 높은 중량 증가(200kg 이상)로 인해 시장 확보 실패한 바 있음
  - 특히 미세먼지 저감을 위해 노후 경유차 대상의 매연저감장치(DPF) 부착 사업을 추진하고 있으나, 연비하락 및 고장 시 보다 많은 미세먼지 및 배기가스 배출 등의 문제가 발생하여 보급이 어려운 실정임
  - 본 연구결과는 저가격으로 기존 노후화된 1톤 택배 트럭의 미세먼지 저감 뿐만 아니라 실 택배 트럭 소유자들이 가장 필요로 하는 연비 향상이 가능함.
- 본 연구에서 개발한 하이브리드 디젤-전기 파워트레인의 핵심부품 유지보수 기술은 엔진 관련 부품 정비업체들로 이전 및 교육이 가능함
  - 전기 자동차는 수백 볼트의 고전압이 흐르는 기기이며 모터, 인버터, 배터리, 충전기 등 전기 관련 장치들을 다뤄야 하므로 기존 내연기관차와 요구되는 정비 기술이 다름
  - 정부는 2025년까지 전기차 113만대, 수소차 20만대를 보급할 계획이지만, 무너지는 기존 내연기관의 유지보수 산업(엔진 정비 산업 등)에 대한 대책이 미흡한 실정임
  - 본 과제에서 개발한 핵심부품 유지보수 기술을 기존 내연기관 업체들로 이전 및 교육하여 일자리 양성이 가능함

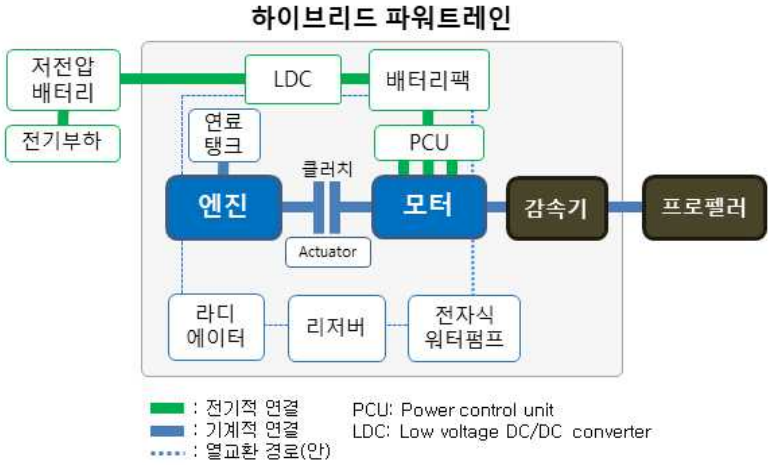
② 에너지 절감형 친환경 어선 개발 연구사업

○ 병렬형 전기복합 추진어선 핵심기자재 기술개발

- 어선의 운항 및 조업 환경을 고려한 전기복합 추진용 병렬형 하이브리드 파워트레인의 핵심기자재의 설계 기술개발
  - 소형 어선 운항 및 조업 환경 분석기술 개발
  - 전기복합 추진 핵심기자재 요구성능 도출
  - 핵심기자재 설계 및 제어기술개발
- 병렬형 전기복합 추진용 전력시스템 설계 및 관리 기술개발
  - 전기복합 추진 파워트레인 전력전자 시스템 설계 및 제어기술개발
  - 통합 냉각시스템 설계 및 제어기술개발

• 병렬형 전기복합 추진 어선용 핵심 기자재 성능평가를 위한 육상 테스트베드 구축

- 어선의 운항 및 조업 환경 모사가 가능한 실 스케일 육상 테스트베드(HILS) 구축
- 육상 테스트베드 기반의 핵심기자재 성능평가



<그림 381> 전기복합 추진어선용 병렬형 하이브리드 파워트레인

(2) (공동) 한국교통안전공단

○ 하이브리드 튜닝기술 수요연계 사업화 연구

• 과제의 성과물인 1톤 디젤하이브리드 튜닝기술을 밴형 소형화물 등 타 차종으로 적용·확대할 수 있는 연구 필요

- 이는 대상(목표집단) 확대를 통한 빠른 확산 및 정책 실효성을 제고할 수 있으며, 연비 절감효과의 극대화 및 저탄소 생활 확산의 계기가 될 수 있음
- 특히, 생활밀착형 내지 국민생활체감형 확산·보급 방안이 될 수 있으며, 사회적 인식도 빠르게 개선하는 효과를 기대할 수 있음

○ 하이브리드 튜닝기술의 해외확산

• 경제성장에 따른 잠재적 수요가 풍부한 개도국 대상 하이브리드 튜닝기술 확산·보급 연구 필요

- 한국기업의 진출이 활발한 지역(베트남, 미얀마, 인도네시아 등) 대상의 신남방정책 차원에서의 연구 및 정책 검토
- 이러한 노력은 국가지속가능발전을 위한 글로벌 책임국가 실현 기회이자, 관련 중소기업 동반지출, 해외 일자리 창출, 해외 창업기회 확대 등의 기반이 될 수 있음

(3) (공동) 한국교통연구원

① 비노후 화물차 배출저감 개조기술 연구 연계

○ 소형 및 중대형 디젤 화물자동차의 대기오염물질 및 온실가스배출을 저감할 수 있는 방안으로 본 기술을 활용한 1톤초과 화물자동차의 디젤하이브리드 개조기술을 개발

• 화물자동차로 인한 대기오염물질 및 온실가스 배출 문제가 점차 중요해짐에 따라 1톤초과 화물자동차의 배출 저감을 위한 기술개발에 본 연구의 디젤 하이브리드개조기술을 연계하여 활용

- 전 세계적으로 중·대형 전기, 수소화물차 개발을 추진 중이지만 상용화 까지 수년이 필요할 것으로 예상하고 있으며, 본격적인 보급 전까지 기 보급된 비 노후 화물차를 포함하여 중·대형 화물자동차의 배출 저감을 위한 기술이 필요할 것으로 예상

(4) (공동) 구보엔지니어링

① 폐 배터리팩의 재사용하여 소형 ESS 개발

○ 재사용 배터리를 이용한 100kWh 미만의 범용 소형 ESS 개발

• 폐 배터리 팩의 잔존용량은 초기 용량의 80 % 수준으로, 분해하여 원료를 추출(recycle) 하는 대신 잔존 용량대비 저 출력을 요하는 타 용도로 충분히 재사용(reuse) 가능

• 재사용 배터리의 가격은 초기 배터리 가격의 약 60 % 수준이기 때문에 안전성에 대한 불안을 충분히 제거할 수 있다면, 보급형 에너지 저장장치로의 시장을 창출할 수 있을 것으로 예상

• 컨버터/인버터 및 BMS 기술을 융합하여 보급형 이동식 다목적 소형 전력 공급장치를 개발

(5) (공동) 하이젠모터

① 디젤 하이브리드 시스템 개발

○ 산업용 디젤 엔진은 최근 하이브리드에 의한 유류비 절감효과로 신규개발 및 수요증대 예상되는 분야로 개발된 하이브리드 모터 개발 기술활용이 기대됨

② 고효율화 기술 활용

○ 산업용 모터는 고효율 규격인 IE3(프리미엄 고효율) 기준을 적용하여 생산되고 있으며 향후 IE4(Super Premium Efficiency) 로 효율 규격이 상향 될 것으로 예상됨, 개발된 고효율화 기술을 활용하여 산업용 모터의 고효율화 개발 시 적용 가능함

③ 회전자 구조의 활용

○ 설계된 IPM Type 회전자 구조는 SPMSM모터와 유사한 성능을 발휘 하면서도 SPMSM(표면 부착형 모터)의 단점인 자석 이탈의 위험이 없는 안전한 구조로 프레스용. 사출기용 등 특수 작업용의 고내구 고신뢰성 고출력 PM모터에 적용가능하므로 향후 기종 확대 및 대형 기종 개발에 활용

(6) (공동) 유라코퍼레이션

① 플러그인 하이브리드 차량 개조

○ OBC(On-Board Charger) 탑재

• 하이브리드 트럭의 단점 개선 가능

- 전기차와 동일하게 전기로 배터리 충전가능하여 사용자 연료 저감 효과 기대
- 주 구동력인 내연기관 엔진에 대한 공해 저감 개선 필요

(7) (공동) 이모션

① 실시간 데이터 수집이 요구되는 산업과 연구에서 데이터 수집 전송 모듈 활용

○ 장치의 운영 중 장치의 실시간 상태를 파악해야 하는 산업 및 연구 분야에서 데이터 수집 및 모니터링을 위해 활용 가능

- 데이터 수집 전송 모듈은 다양한 통신 인터페이스를 보유하고 있어 다양한 장치와 연동 가능
- LTE 통신이 가능하여 수집된 데이터를 실시간으로 서버에 전송 가능
- 위치정보 수집이 가능하여 장소이동이 필요한 장치에 적합
- 장치의 크기가 컴팩트하여 설치가 용이하고 동작을 위한 전원이 DC 12V~24V까지 지원하여 다양한 장치의 전원을 그대로 사용 가능

(8) (공동) 피엠그로우

① 스마트 슬레이브 BMS 및 공용배터리 모듈 개발

○ 미래 전기자동차의 시장확산을 위해 스마트 슬레이브 BMS를 장착한 규격화된 공용배터리 모듈을 개발

- 공용배터리 모듈 설계에 있어 하이브리드 디젤-전기 트럭용 배터리 시스템 설계 기술을 활용
- 피엠그로우가 주관이 되어 2020.06.01.~2022.05.31.의 연구 기간 동안'전기상용차 시장확산을 위한 스마트 슬레이브 BMS 및 공용배터리 모듈 개발'에 본 과제의 연구개발 결과물을 활용할 계획

② 전기차 재사용 배터리의 ESS 전환 사업 및 ESS 성능 보증 서비스 개발

○ 전기차의 배터리 시스템으로써 수명을 다한 배터리의 재사용을 위한 기술 개발

- 빅데이터와 하이브리드 디젤-전기 트럭용 배터리 시스템 설계 노하우를 접목하여 전기차의 재사용 배터리를 활용해 ESS를 제작하고 성능을 보증할 수 있는 서비스를 구축
- 피엠그로우가 주관이 되어 포항산업과학연구원, 한국건설생활환경시험연구원과 함께 2020.07.01.~2022.06.30.의 연구 기간 동안'빅데이터 기반의 전기차 사용후 배터리 재사용 ESS성능보증 서비스 개발 및 실증'에 본 과제의 연구개발 결과물을 활용할 계획

(9) (공동) 옵토멕

① 하이브리드 어선 개발

○ 10톤 미만 소형 연근해 어선에 하이브리드 기술 적용

- 하이브리드 트럭 개발에서 적용된 통합제어기 제어기술, 모터제어 기술, 배터리팩 제어 기술 및 제작 경험을 바탕으로 소형 어선에 하이브리드 기술을 적용
- 미세먼지·배기가스 저감 및 연비 개선 효과 기대

(10) (위탁) 광주과학기술원

① 위상최적화법을 적용한 전기모터의 설계 및 성능 해석

○ 구동모터 설계 프로세스 및 성능 해석 모델 활용한 고성능 영구자석 동기모터 설계

• 영구자석 동기모터 위상최적설계 및 성능 해석 연구

- 연구재단에서 수행하는 초고성능 전기모터 개발을 위한 자성복합재 미세구조물의 해석 설계 방법론 연구 중.
- 초고성능 전기모터 개발을 위해 위상최적화법을 적용한 영구자석 동기모터 설계 연구를 수행 중이며, 이를 위해 본연구 과제에서 정립한 구동 모터 설계 프로세스를 활용
- 또한, 설계된 영구자석 동기모터 성능 검증을 위해 본 연구 과제에서 검증된 성능 해석 모델 활용

(11) (위탁) 한밭대학교

① 플라잉카 및 철도차량을 위한 차세대 전력변환기(컨버터 및 인버터) 개발

○ 안정적인 초기구동과 모터 스위칭손실 감소를 위해 기존 인버터 (하프브리지 및 3상 인버터) 기반 모터 드라이브 구조보다 컨버터 구동형 구조가 최근에 선호됨[1-5]

○ 컨버터가 도입된 구조는 제어 신뢰성 확보를 위해 추가된 컨버터 동특성까지 고려하여 제어기가 설계되어야 함. 각 시스템의 상호 작용에 의해 기 개발된 컨버터와 모터 제어기 융합으로 만족할만한 제어 성능과 신뢰성을 보이기 어려움

○ 기존 컨버터와 모터 제어를 위해 저역 통과 필터 특성이 되도록 제어 시스템을 설계하는 방법은 고정 지령에 대해서는 완벽한 추종이 보장되지만 시변 지령에 대해서는 출력 크기 및 위상 왜곡이 발생 함[6]

○ 컨버터 기반 모터드라이브 응용에서는 고정 지령 뿐만아니라, 시변 지령에도 대해 신속하고 강인하면서 완벽한 추종 (Tracking) 성능이 요구됨

○ 이 과제를 통해 도출된 전력변환기 기반 기술은 상기 요구사항 해소를 위한 방법으로 사용 가능함

(12) (위탁) 충남대학교

① 활용 방안

○ 고장 상황에서의 SOC 추정 성능 기술

• 차량과 배터리를 활용하는 장치의 경우, 정비를 제외하고 fault 상황을 확인할 수 있는 대책이 미비함

- 리튬이온 배터리는 과충전, 과방전 등 전기적 남용 상황, 고온, 진동, 충격 등 환경적 남용 상황에서 폭발의 위험이 있으며, 실제 다수의 어플리케이션은 지속적인 진동 및 충격이 가해지는 환경에 있으므로 기계적 고장인 전류 센서의 탈락 시 배터리 상태 추정할 방안이 없음

• 전기적 남용 상황에서도 배터리 상태를 추정하여 과충전 및 과방전 등 남용 상황을 예방 및 방지를 할 수 있으며 이의 기술은 E-mobility 어플리케이션에서 활용 가능

(13) (위탁) 한양대학교

① 과도기 상태의 배기가스 배출 모델을 통한 차량의 배기가스 배출량 추정

○ 과도기 배출가스 보정 모델

• 과도기 상태의 배출가스 보정 모델을 추가로 개발함과 추가 파라미터 수정함에 따라 차량 뿐만 아니라 선박과 같은 동력 장치의 배기가스 배출량을 시뮬레이션을 통해 더 정확하고 신속하게 추정할 수 있음.

(14) (위탁) 한국자동차환경협회

① 배출가스 저감장치 부착 및 저공해 엔진 개조 사업처와의 연계

○ 운행경유차 배출가스 저감사업 현황 제공

• 운행경유차 배출가스 저감사업에 대한 현황 및 정보를 제공하여 수요에 대응할 수 있는 대비책 마련을 가능하게 함

○ 저감장치 인증 절차 및 방법 제공

• 저감장치 인증 절차 및 방법에 대한 정보를 제공하여 배출가스 저감장치 부착 및 저공해 엔진 개조시 발생할 수 있는 오류를 감소시킴

붙임. 참고문헌

1. 2017년도 연간 저공해자동차 보급기준, 수도권대기환경청고지(제2017-2호, 2017.3.27. 제정)
2. 2017년도 환경친화적자동차 보급시행계획, 환경부고시 제2017-5호(시행 2017.1.11.)
3. 국무조정실, 환경부, 기획재정부, 미래창조과학부, 산업통상자원부, 국토교통부 보도자료(2016.6.3.),「정부합동, 미세먼지 관리 특별대책 확정·발표」
4. 국토교통부 보도자료(2014.11.4.),「자동차등록대수 2,000만 대 돌파, 세계 15번째」
5. 대기환경보전법, 법률 제14476호(2017.12.27.)
6. 물류정책기본법, 법률 제14839호(2017.07.26.)
7. 물류정책기본법 시행령, 대통령령 제27972호(2017.08.29.)
8. 산업자원부 보도자료(2005.12.21.),「하이브리드·연료전지차 시대를 앞당긴다」
9. 산업통상자원부(2015.12.8.),『제3차 환경친화적 자동차 개발 및 보급 기본계획』
10. 새만금지방환경청 보도자료(2017.1.27.),「노후경유차량 빨리 폐차하고 보조금 받으세요!」
11. 서울시 기후환경본부(2016.12.13.),『2016년 운행경유차 배출가스 저감사업 추진결과 보고』
12. 수도권 대기환경개선에 관한 특별법, 법률 제13410호(2015.07.20.)
13. 저탄소 녹색성장 기본법, 법률 제14839호(2017.07.26.)
14. 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 녹색성장위원회 보도자료(2010.12.7.),「범 정부 차원의 첫 그린카 발전 로드맵 발표」
15. 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 녹색성장위원회 보도자료(2010.12.7.),「한국 전기자동차, 가속페달 밟는다」
16. 지식경제부, 환경부, 녹색성장위원회 보도자료(2010.9.9.),「세계시장을 선도해 나갈 양산형 고속전기차 출시」
17. 한국교통연구원(2014),「국가교통조사 및 DB구축사업」
18. 화물자동차 운수사업법, 법률 제14552호(2017.01.17.)
19. 화물자동차 운수사업법 시행규칙, 대통령령 제27960호(2017.03.27.)
20. 환경부 보도 설명자료(2017.3.14.)
21. 환경부 보도자료(2015.2.5.),「친환경자동차 구매 지원 대폭 확대」
22. 환경부 보도자료(2017.9.25.),「어린이 통학용 경유차, LPG 신차로 전환 지원한다」
23. 환경부(2003.8.),『LPG 개조차량 보급계획』
24. 환경부(2009.3.),「`09 저공해 경유자동차 보급사업 보조금 업무처리지침개정」
25. 환경부(2015.12),『친환경 자동차』
26. 환경부, 산업통상자원부 보도자료(2014.12.19.),「전기자동차, 2015년부터 상용화 시대 기반 조성」

27. 환경부, 서울특별시, 인천광역시, 경기도 보도자료(2016.8.4.),「수도권 3개 자치단체장, 노후경유차 운행제한 합의」

28. 환경부a(2017.1.),『천연가스자동차 보급사업 보조금 업무처리지침』

29. 환경부b(2017.1.),『`17년 운행경유차 배출가스 저감사업 보조금 업무처리지침(안)』

30. Kley, F., Wietschel, M., and Dallinger, D.(2010), Evaluation of European Electric Vehicle Support Schemes, Working Paper Sustainability and Innovation, No.S7

31. 한국자동차산업협동조합(http://kaica.or.kr/data_room/post/view.php?indexnum=1093)

32. Bloomberg New Energy Finanace(https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/)

33. Kotra 해외비지니스정보포털(http://www.globalwindow.org)

34. Cordoba-Arenas, Andrea, Jiyu Zhang, and Giorgio Rizzoni. "Diagnostics and prognostics needs and requirements for electrified vehicles powertrains." IFAC Proceedings Volumes 46.21 (2013):524-529.

35. Miljković, Dubravko. "Brief review of motor current signature analysis." HDKBR Info magazin 5.1 (2015):14-26.

36. He, Jiangbiao, et al. "Diagnosis of stator winding short-circuit faults in an interior permanent magnet synchronous machine." 2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). IEEE,2014.

37. Ebrahimi, Bashir Mahdi, and Jawad Faiz. "Feature extraction for short-circuit fault detection in permanent-magnet synchronous motors using stator-current monitoring." IEEE Transactions on Power Electronics 25.10 (2010):2673-2682.

38. Hong, Jongman, et al. "Detection and classification of rotor demagnetization and eccentricity faults for PM synchronous motors." IEEE Transactions on Industry Applications 48.3 (2012):923-932.

39. Rosero, J., et al. "Fault detection of eccentricity and bearing damage in a PMSM by means of wavelet transforms decomposition of the stator current." 2008 Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. IEEE 2008.

40. Hong, Jongman, et al. "Detection of airgap eccentricity for permanent magnet synchronous motors based on the d-axis inductance." IEEE Transactions on Power Electronics 27.5 (2011): 2605-2612.

41. Lei, Yaguo, et al. "Machinery health prognostics: A systematic review from data acquisition to RUL prediction." Mechanical Systems and Signal Processing 104 (2018):799-834.

42. Singh, Sukhjeet, Amit Kumar, and Navin Kumar. "Motor current signature analysis for bearing fault detection in mechanical systems." Procedia Materials Science 6 (2014):171-177.

43. J. Yang, H. Wu, L. Hu and S. Li, "Robust Predictive Speed Regulation of Converter-Driven DC Motors via a Discrete-Time Reduced-Order GPIO," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 66, no. 10, pp. 7893-7903, Oct. 2019.

44. J. Yang, H. Cui, S. Li and A. Zolotas, "Optimized Active Disturbance Rejection Control for DC-DC Buck Converters With Uncertainties Using a Reduced-Order GPI Observer," in IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 65, no. 2, pp. 832-841, Feb. 2018.

45. L. Zhang, J. Yang and S. Li, "Output Feedback Disturbance Rejection Control for DC-DC Buck Converter-DC Motor System Subject to Unmatched Load Torques," IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington, DC, 2018, pp. 625-630.

46. R. Silva Ortigoza, J. N. Alba Juarez, J. R. Garcia Sanchez, M. Antonio Cruz, V. M. Hernandez Guzman and H. Taud, "Modeling and Experimental Validation of a Bidirectional DC/DC Buck Power Electronic Converter-DC Motor System," in IEEE Latin America Transactions, vol. 15, no. 6, pp. 1043-1051, June 2017.

47. R. Silva-Ortigoza, V. M. Hernández-Guzmán, M. Antonio-Cruz and D. Muñoz-Carrillo, "DC/DC Buck Power Converter as a Smooth Starter for a DC Motor Based on a Hierarchical Control," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 2, pp. 1076-1084, Feb. 2015.

48. S.-K. Sul. Control of Electric Machine Drive Systems, Vol.88. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2011.

49. Giakoumis, E. G., and A. I. Alafouzos. "Study of diesel engine performance and emissions during a Transient Cycle applying an engine mapping-based methodology." Applied Energy 87.4 (2010) : 1358-1365.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 교통물류연구개발사업 택배차량용 디젤 트럭의 하이브리드 개조기술 개발 및 실용화 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 교통물류연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.