제 출 문

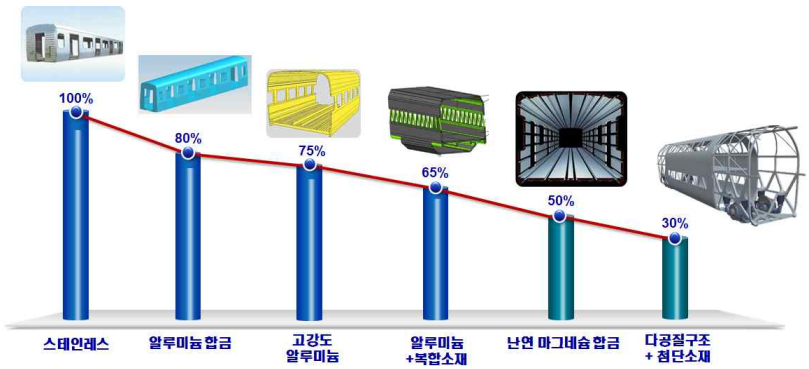
국토교통부장관 (국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "첨단소재를 활용한 철도차량 및 부품 경량화 기술 개발 기획"과제의 최종보고서로 제출합니다.

2013. 11. 29

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원
주관연구책임자 : 김정석
공동연구기관명 : 재료연구소
공동연구책임자 : 김진봉
공동연구기관명 : ㈜동양강철
공동연구책임자 : 이용주
공동연구기관명 : 광주도시철도공사
공동연구책임자 : 정진

보고서 요약문

<table>
<tr><td>과제명</td><td>첨단소재를 활용한 철도차량 및 부품 경량화 기술 개발</td><td>과제규모</td><td>사업단( ), 연구단(●), 일반과제( )</td></tr>
<tr><td>기획연구 시행여부</td><td colspan="3">○ 기획과제명 : 첨단소재를 활용한 철도차량 및 부품 경량화 기술 개발
○ 수행기관 : 한국철도기술연구원(주관), 재료연구소, 동양강철, 광주도시철도공사
○ 주관연구책임자 : 김정석</td></tr>
<tr><td>1. 기술개발 목표</td><td colspan="3">○ 첨단소재 적용 도시철도차량 차체, 대차 및 의장/내장분야 부품 기존 대비 20% 이상 경량화 기술개발
- 고강도 알루미늄, 복합소재 및 난연 마그네슘 합금 등 첨단소재 적용 20% 이상 경량화된 도시철도 차량용 하이브리드 차체 기술 개발
- 첨단소재 적용 소형·경량 도시철도 차량용 대차 및 부품 20% 이상 경량화 기술개발
- 난연성 마그네슘합금 기반 최적화 및 부품화 요소기술 개발을 통한 도시철도 차량 의장·내장 부품 20% 이상 경량화 기술 개발</td></tr>
<tr><td>2. 기술개발 동향</td><td colspan="3">○ 첨단소재 적용 철도차량 경량화 기술관련 기술개발 동향
(차체 경량화 기술)
- 스페인 Zaragoza의 CAF에서는 복합소재 적용 루프구조 개발을 통한 35% 경량화
- 독일 DLR에서는 알루미늄 압출재와 복합소재 샌드위치 구조 적용 초경량 차체 개발
- 중국과 일본의 경우 난연 마그네슘합금의 차체 적용을 위한 연구개발 착수 (2013년)
 

< 철도차량 차체 소재별 경량화율>
(대차 경량화 기술)
- 철도 선진국인 프랑스, 독일의 경우 초경량 대차 부품 기술개발에 집중투자
- 최근에는 기존 대차 대비 최대 30% 경량화, 스프링하 질량 25%, 운영비용 25% 및 휠마모 저감 특성이 우수한 경량·소형 대차 및 부품 기술 개발 활발히 진행
. 현재 철도선진국에서 개발된 대표적인 경량·소형 대차</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td></td>
<td>


- 프랑스 Paulstra사에서는 주요 대차 부품에 탄소섬유 목합소재, 알루미늄 합금등을 적용하여 경량화 연구 수행 중

(의장/내장 경량화 기술)

- 일본의 경우 난연성 및 기계적 특성, 성형성이 향상된 고특성 난연 마그네슘합금의 철도차량 의자 및 내장재 적용 기술 개발중
- 중국의 경우 500km/h 초고속 열차에 상용 마그네슘 합금제 의장 및 내장부품 적용
</td>
</tr>
<tr>
<td>3. 기술개발 필요성</td>
<td>
○ **기술개발 필요성 및 시급성**

(차체 경량화 기술)

- 국내에서도 1990년대 후반 알루미늄 합금 적용을 통한 차체 20% 경량화
- 현재 알루미늄 합금을 적용한 차체 경량화 기술 한계에 도달한 상태
- 따라서, 고강도 알루미늄, 복합소재, 난연 마그네슘 합금 등 첨단소재를 적용한 차체 경량화 부품・소재 원천기술 개발을 통한 기술혁신 필요한 시점



< 국내철도차량 차체 경량화 기술 개발 현황 및 향후전망>

(대차 경량화 기술)

- 특히, 대차의 경우 철도차량 중량의 약 35% - 40%를 차지하는 고중량 부품으로 대차 부품의 경량화 없이 차량 경량화에 한계
- 국내에서도 세계적인 경량・에너지 절감형 대차 부품 기술 개발 방향에 부합하고, 향후 수출 및 기술 선도가 가능한 첨단 소재 적용한 혁신적인 대차 부품 기술 개발이 필요한 시점임
</td>
</tr>
</table>



< 국내 도시철도차량 대차 경량화 기술 개발 현황 및 향후전망>

(의장/내장 경량화 기술)

- 현재 국내에서도 세계 최고 수준의 3세대 난연성 마그네슘합금 관련 원천기술을 확보하고 있으며, 이에 대한 부품화 요소기술 개발에 집중 투자할 경우 세계시장 선도 가능함 시점임



< 국내 도시철도차량 의장/내장 경량화 기술 개발 현황 및 향후전망>

○ 정부 정책과의 부합여부

- 박근혜 정부 국정과제관련하여 아래와 같은 정책에 부함
  . (1-1-1) 과학기술을 통한 창조 산업 육성
  . (1-3-20) 중소・중견기업의 수출경쟁력 강화
  . (1-3-21) 국가 과학기술 혁신역량 강화
  . (4-16-105) 자원・에너지의 낭비를 줄여 자원순환사회 실현
- 제2차 철도산업발전기본계획('11)
  . 수출주도형 연구개발추진

○ 정부 지원의 필요성

- 첨단 경량화 소재(마그네슘, 강화 알루미늄, 복합소재 등) 적용기술은 성공시 파급

	효과가 크나, 단기간에 성과물 확보가 어렵고 개발 위험도가 큰 만큼 국내의 소규모 부품소재 기업이나 연구소가 독자적으로 수행하기보다 국가 주도로 수행하는 것이 바람직함
4. 기술개발 추진전략	○ 본 과제에서는 철도차량 및 부품에 적용 가능한 첨단소재관련 전문연구기관 및 제작사에 대한 기술수준 및 설비현황을 분석하여 기술개발이 가능하도록 추진전략 구성 ○ 또한, 국내에서 최초로 적용되는 기술인 난연 마그네슘 합금, 고강도 알루미늄 합금 및 대차 부품 경량화 기술에 대한 기술개발의 위험요소를 분석하고 이에 대한 대응방안 마련
5. 세부과제별 연구내용	**ㅇ (1세부과제) 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발** - 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 설계 기술 개발 - 4세대 난연 마그네슘 합금 적용 차체 설계 기술 개발 - 충격흡수 기능을 포함한 차체 경량 엔드 모듈 설계 기술 개발 - 하이브리드형 차체 공진방지 및 공력진동감소기술 개발 - 이종소재간의 접합 및 차체 제작성을 고려한 차체 구조 도출 - 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 제작 기술 개발 - 테스트 베드를 활용한 주행시험을 통한 현장 적용성 평가 **(기존 기술과의 차별성 및 독창성)** . 기존 알루미늄 합금 압출형식의 차체 대비 20% 이상 경량화 . 복합소재, 고강도 알루미늄 합금 및 난연 마그네슘 합금 적용 하이브리드형 차체 기술 세계 최초 확보 **ㅇ (2세부과제) 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발** - 대차 경량·소형화 설계 및 제작 기술 개발 - 신공정 기술 적용을 통한 복합재 대차 구조물 경량화 기술 개발 - 경량·소형 감속기 및 구동 모터 기술 개발 - 첨단 소재 적용 제동디스크 및 공기스프링 경량화 기술 개발 - 실차시험을 통한 첨단소재 적용 시제 차량 주요 부품 성능 평가 **(기존 기술과의 차별성 및 독창성)** . 기존 대차 대비 20% 이상 경량화 . 기존 강재위주의 대차 주요부품에 첨단 복합소재, MMC(금속복합재), 경량 알루미늄 합금을 적용하여 경량화 및 소형화 기술 개발 . 소형 감속기 및 구동모터 기술개발 **ㅇ (3세부과제) 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발** - 철도차량 의장/내장 적용을 위한 난연 마그네슘합금 기술 개발 - 난연 마그네슘합금 적용을 위한 화재안전성 평가 및 기준 작성 - 합금 조성-공정-미세조직 변화에 따른 개발 소재 특성 평가 및 DB 구축 - 난연 마그네슘 합금 철도차량 의장/내장 부품 적용 기술 개발 **(기존 기술과의 차별성 및 독창성)** . 기존 의장/내장 부품 기존 대비 20% 이상 경량화 . 세계최고 수준의 마그네슘 난연화 기술 개발 . 기존 알루미늄 및 FRP로 제작된 의장/내장 부품에 난연 마그네슘 합금 적용기술 개발
6. 연구수행 체계	ㅇ 1세부과제는 도시철도차량의 차체를 첨단소재를 적용하여 경량화하는 연구로 실용화 측면에서 고강도 알루미늄 합금과 탄소섬유 복합소재를 적용한 하이브리드형 차체를 개발하고, 또한, 미래기술선점을 위해 고강도 4세대 마그네슘 합금의 차체 적용 핵심

<table>
<tr><td></td><td>기술을 확보하는 것으로 기술개발 추진
○ 2세부과제는 도시철도차량용 대차를 경량·소형화하고 첨단소재 적용을 통해 주요 부품을 경량화하는 기술로 이미 기초·원천기술의 확보되어 있는 기술은 성능 향상을 추진하고, 주요 부품의 경량·소형화는 관련 중소기업 및 차량 제작사 참여를 통해 기술개발 추진
○ 3세부과제는 의장/내장 부품을 첨단소재를 적용하여 경량화하는 연구로 의장/내장 관련 다양한 부품 및 소재 기업의 참여를 유도하고 이를 총괄적으로 통합 및 적용할 수 있도록 차량 제작사 및 운영처 참여를 통해 기술개발 추진</td></tr>
<tr><td>7. 기술개발 최종성과물</td><td>
<table>
<tr><th>최종성과물</th><th>성공여부 평가 항목</th><th>개발목표치</th><th>판정기준</th></tr>
<tr><td>1. 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 시제품</td><td>차체 경량화율</td><td>20%이상 (기존 알루미늄 차체 대비)</td><td>시제품 실측</td></tr>
<tr><td>2. 복합소재 대형구조물 제작 신공정 기술</td><td>제작기간 및 공정수</td><td>50% 절감</td><td>신공정 실측</td></tr>
<tr><td>3. 난연성 마그네슘 합금 기술개발</td><td>발화온도</td><td>750°C</td><td>공인 시험성적서</td></tr>
<tr><td>4. 경량·소형 대차 시제품</td><td>대차 경량화율</td><td>20%이상 (기존 대비)</td><td>시제품 실측</td></tr>
<tr><td>5. 난연 마그네슘 합금 화재안전기준</td><td>법제화여부</td><td>법제화 완료</td><td>법제화 여부확인</td></tr>
<tr><td>6. 경량 의장/내장 부품 시제품</td><td>의장/내장부품 경량화율</td><td>20%이상 (기존 대비)</td><td>시제품 실측</td></tr>
<tr><td>7. 테스트 베드 구축 및 활용</td><td>테스트 베드 구축여부</td><td>테스트 베드 구축</td><td>테스트 베드 구축 여부확인</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>8. 성과활용 방안</td><td>○ 2020년부터 도래하는 구형전동차 교체용 신규 전동차에 적용
○ 현재 운행중인 도시철도차량에 부품단위로 적용 가능
○ 일반 및 고속철도에 확대적용 가능</td></tr>
<tr><td>9. 기술개발 기대효과</td><td>○ 경제적
- 도시철도차량 주요부품 20% 경량화시 수명주기비용 절감
: 국내 도시철도차량 전체 적용 및 25년 수명 기준 : 약 8,339억원 (약 333 억원/년)
: 국내 도시철도차량 전체 적용 및 40년 수명 기준 : 약 17,372억원 (약 434 억원/년)
- 고속철도로 확대적용시 고속철도레일 교체비용 절감 효과
: 향후 10년간 고속철도레일교체비용 163.5억 절감 기대
○ 기술적
- 철도차량의 핵심기술인 경량화 부품소재 기술 선점
- 경량화에 따른 마모 및 소음저감을 통한 운영처 현안사항 해결
○ 정책적
- 부품관련 중소기업의 참여를 통한 해당기업의 기술향상 및 강소기업 육성에 기여
- 유럽의 경우 철도차량의 축중에 근거한 선로사용료 적용하므로 경량화된 철도차량 선호하는 추세로 본 기술개발시 수출경쟁력 향상</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="6">10. 연구개발
과제 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차년도</td><td>2차년도</td><td>3차년도</td><td>4차년도</td><td>5차년도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별
연구비
(백만원)</td><td>정부</td><td>3,520</td><td>5,560</td><td>7,200</td><td>4,260</td><td>2,720</td></tr>
<tr><td>민간</td><td>1,180</td><td>1,860</td><td>2,400</td><td>1,420</td><td>910</td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>4,700</td><td>7,420</td><td>9,600</td><td>5,680</td><td>3,630</td></tr>
<tr><td rowspan="3">총
연구비
(백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">23,260</td><td rowspan="2">총
연구기간</td><td colspan="2" rowspan="2">5 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2">7,770</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">31,030</td><td>연도별
평균소요인력</td><td colspan="2">41.4명</td></tr>
</table>

목 차

제 1 장 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 1

제1절 국내외 정책동향 ····· 1
1. 국내 정책동향 ····· 2
2. 국외 정책동향 ····· 7

제2절 국내외 시장현황 및 기술 인프라·기술인력 현황 ····· 10
1. 국내 시장현황 ····· 10
2. 국외 시장현황 ····· 12
3. Industry Value Chain 분석 ····· 27
4. 국내 기술 인프라·기술인력 현황 ····· 37

제 2 장 첨단소재 적용 철도차량 경량화 기술동향 분석 ····· 64

제1절 주요 국가별 철도차량 및 부품 경량화 추진현황 ····· 64
1. 철도차량 차체 경량화 기술 ····· 64
2. 철도차량 대차 경량화 기술 ····· 79
3. 철도차량 의장 및 내장 경량화 기술 ····· 90
4. 기타 부품 경량화 기술 ····· 100

제2절 철도차량 및 부품 경량화 효과 분석 ····· 105
1. 경량화에 따른 에너지 저감 효과 ····· 105
2. 경량화에 따른 선로 유지보수비 저감 효과 ····· 108
3. 주관·공동연구기관 기술동향 보고회 ····· 109
4. 철도차량 운영사 및 제작사 전문가 자문회의 ····· 112

제 3 장 특허 및 동향 분석 ····· 116

제1절 철도차량 부품 특허 및 논문 동향 분석 ····· 116
1. 특허 동향 분석 ····· 116
2. 논문 동향 분석 ····· 127
3. 국내외 시장 현황 및 전망 ····· 129
4. 분석 결과 종합 ····· 134

제2절 차체 특허 및 논문 동향 분석 ····· 135
1. 특허 동향 분석 ····· 135
2. 논문 동향 분석 ····· 153
3. 국내외 시장 현황 및 전망 ····· 156
4. 분석결과 종합 ····· 157

제3절 난연 마그네슘 특허 및 논문 동향 분석 ····· 158
1. 분석 개요 ····· 158
2. 국가별/기술별 특허 동향 분석 ····· 158
3. 논문 동향 분석 ····· 162

제 4 장 소요기술 항목 도출 ····· 165

제1절 기술 수요 및 예측 ····· 165
1. 기술수요조사 및 결과 ····· 165
2. 기술예측조사 ····· 180
3. 결과의 활용 ····· 231
제2절 우선순위평가 ····· 232
1. 개요 ····· 232
2. 결과 ····· 232

제 5 장 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 239

제1절 비전 및 목표 ····· 239
1. 비전 ····· 239
2. 연구목표 및 세부과제별 목표 ····· 240
제2절 기술개발에 따른 미래상 ····· 241
1. 세부과제 1 ····· 241
2. 세부과제 2 ····· 242
3. 세부과제 3 ····· 243
제3절 핵심기술요소 선정 및 TFL 목표 ····· 244
1. 핵심기술요소(CTE) 도출 ····· 244
2. 기술성숙도(TRL) 단계별 목표 ····· 248
제4절 연구개발과제 구성 ····· 251
제5절 세부과제별 주요내용 및 추진전략 ····· 252
1. 첨단소재를 활용한 철도차량 차체 경량화 기술개발 ····· 252
2. 첨단소재를 활용한 철도차량 대차 경량화 기술개발 ····· 260

3. 첨단소재를 활용한 철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발 ····· 268
4. 테스트 베드 구축 및 활용방안 ····· 274
제6절 세부과제간 연계관계 ····· 278
제7절 과제별 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 279
1. 과제별 로드맵 ····· 279
제8절 과제별 SWOT 분석 ····· 282
1. 1세부과제 : 첨단소재 적용 철도차량 차체 경량화 기술개발 ····· 282
2. 2세부과제 : 첨단소재 적용 대차 및 부품 경량화 기술개발 ····· 283
3. 3세부과제 : 첨단소재 적용 의장/내장 부품 경량화 기술개발 ····· 284
제9절 성과의 활용방안 ····· 285
제10절 연구수행체계 제안 ····· 286
1. 연구추진체계 ····· 286

제 6 장 사전타당성 검토 ····· 287

제1절 정책적 타당성 ····· 287
1. 국가 전략적 중요성 ····· 287
2. 정책적 일관성을 기준으로 검토한 상위계획과의 부합성 ····· 293
3. 정책적 추진의지 ····· 296
제2절 기술적 타당성 ····· 300
1. 기술개발 계획의 적절성 ····· 300
2. 기술수준 및 성공가능성 ····· 306
제3절 경제적 타당성 ····· 310
1. 첨단소재 적용 도시철도차량 경량화시 경제성 분석 ····· 310
2. 철도경량화에 의한 에너지 절감 효과 ····· 313
3. 축중감소에 따른 레일 수명 향상 효과 ····· 316
4. 고속철도확대적용을 통한 경량화시 고속철도레일 교체비용 절감 효과 317
5. 차량 수출 효과 ····· 319
제4절 타당성 검토 종합 ····· 320
1. 기술개발투자의 시의성, 시급성('15년) ····· 320
2. 정부 상위계획과의 부합성 ····· 321
3. 국토부 주도의 개발 및 지원 필요성 ····· 322
4. 정부 미지원시 문제점 ····· 322

제 7 장 인력투입 계획 및 소요예산 산정 ····· 323

제1절 연구일정 및 인력투입계획 ····· 323

제2절 과제별 소요예산 ····· 325

제 8 장 과제 제안요구서 및 평가기준 ····· 330

제1절 과제 제안요구서(RFP) ····· 330
1. 연구단 과제 제안요구서 ····· 330
2. 세부 과제별 제안요구서 ····· 339
제2절 평가기준 ····· 355

제 1 장 국내외 동향 및 환경 분석

제1절 국내외 정책동향

○ 부품소재산업은 국가 산업의 근간으로 모든 산업분야의 기술혁신을 선도하는 역할을 하며 산업의 글로벌화와 고도화에 따라 핵심 경쟁력 요인으로 부상하고 있다. 각 완제품 산업별로 그 성능이나 경쟁력 측면을 살펴보면 보다 쉽게 이를 이해할 수 있는데, 태양전지, 액정디스플레이, 리튬이온전지 원가 중 소재의 비중은 각각 82%, 55%, 53%로 완제품 경쟁력의 핵심요소인 것을 알 수 있으며, 2009년 이후 빈번해지고 있는 도요타 자동차의 대규모 리콜 사태로 부품소재에 대한 중요성이 재차 부각되고 있어 부품소재가 완제품에 대한 경쟁력 요인이자 부가가치 창출의 핵심요소임이 점차 강조되고 있다. 국가 기간산업을 견인하는 핵심으로 진정한 기술 강국 진입을 위해서는 부품소재산업의 경쟁력 강화가 전제 조건이다. 부품소재산업은 조립 생산 위주의 전방산업 구조를 넘어서 완전한 value chain이 완성되는 산업 구조 형성의 기반이기 때문이다.

○ 지구 온난화가 글로벌 과제로 대두되면서 교토 의정서, 코펜하겐 회의, 칸쿤 회의 등을 통해 글로벌 차원의 이산화탄소 감축 등 온실가스 규제에 대한 논의가 계속되고 있다. 이러한 각종 환경규제 조치는 장기적으로 저에너지·고효율, 경량화 등을 위한 친환경 소재의 개발과 이를 활용한 부품 발전의 촉매제 역할을 할 것으로 예상된다.

○ 부품소재산업의 미래 패러다임은 다음과 같이 변화할 것으로 예상된다. 첫째, 부품소재 기술 융·복합화가 가속화될 것이다. 단일 부품 단위에서 모듈화가 진행되고, 소재들도 전통적인 금속, 화학, 세라믹 소재가 혼재된 융·복합 소재화 현상이 일어나고 있다. 예를 들면 전자종이 디스플레이 소재로 주목받고 있는 전자잉크의 경우 캡슐은 고분자 소재이며, 내부에 흑백을 표현하는 입자는 세라믹 입자로 구성된다. 이러한 부품소재의 모듈화 및 융·복합화의 확산은 부품소재에 대해 전반적인 솔루션을 제공하기 때문에 수요기업의 영향력은 감소하는 반면 부품소재 업체의 협상력은 강화될 것으로 예측된다. 둘째, 부품소재 기업들의 value chain 확장이 예상된다. 기술의 융·복합화, 불확실성 등으로 부품소재 기업들이 원자재 기업과 연계하여 사업을 하거나 직접 수요산업으로 진출하는 사례가 점차 확대될 것으로 예상된다. 셋째, 글로벌 차원에서 소재기업과 수요기업간의 제휴가 강화될 것이다. 기술의 진보에 따라 소재기업간의 경쟁이 심화되면서 market-oriented 관점의 전략 방향을 모색하고 있다. 넷째, 창의적 원천기술을 보유한 강소기업의 역할이 증대될 것이다. 대학, 연구소에서 개발한 핵심원천기술의 사업화를 통해 벤처기업들이 강소기업으로 변모하여 국가 산업의 경쟁력을 유지하는 기반이 되는

한편 글로벌 시장으로 진출하여 수출 기여 효과를 높이는데 기여하는 기업이 크게 증가하게 될 것이다.

1. 국내 정책동향

○ 전 세계적으로 환경규제 강화 (CO_2 배출량 규제) 및 원유가격 상승에 따른 공해물질 배출 저감 및 에너지 소비 절감에 대한 관심이 고조되고 있으며, 우리나라의 경우 연간 6억1천만톤의 이산화탄소를 배출하는 이산화탄소 배출 세계 7위 및 증가속도 3위 (2011년 기준)로 이산화탄소 배출 6위 국가인 독일과의 격차 감소 및 향후 추월예상

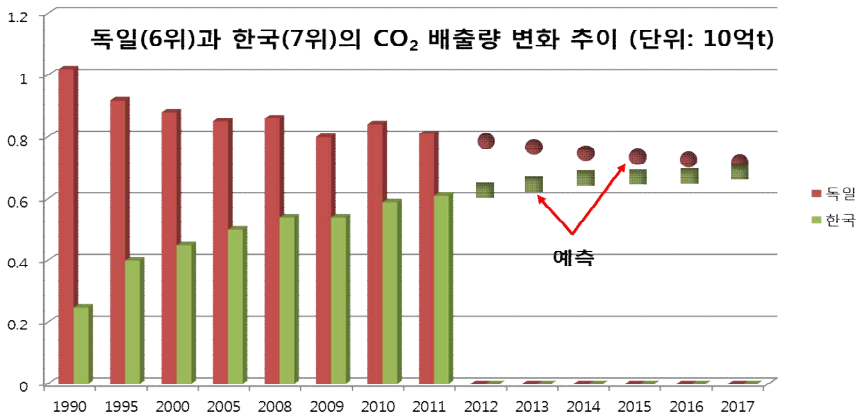


그림 1.1.1 독일과 우리나라의 이산화탄소 배출량 추세.

○ 국내 철도분야 전력사용량 매년 급격한 증가 추세로 철도 전력 사용량의 2/3를 차지하는 전철전력이 매년 증가 추세이며, 특히 KTX가 도입된 2004년 이후 전철전력 사용량 증가율이 이전 15년에 비해 2.4배로 급증



(인용 : 한국철도공사 전철전력사용량, 『철도통계연보』 2010)

그림 1.1.2 철도공사 전철전력 사용량.

○ 철도의 경우 타 운송수단에 비해 친환경적인 운송수단이지만 타 운송수단에 비해 높은 승객당 중량 (승용차 대비 4배, 항공기 대비 2배) 으로 인해 높은 건설비 및 유지보수비로 인해 운영처 및 지자체에 부담 가중



그림 1.1.3 운송수단간 승객당 중량 비교.

○ 철도차량 분야 국가 R&D의 패러다이임이 기존 차량개발 중심에서 핵심부품 국산화로 변화하였고 향후 2020년까지 세계시장점유율 4배, 수입대체효과 5배 및 시장규모 9배 확대시키기 위한 철도 R&D활성화 대책 마련



그림 1.1.4 철도차량 R&D의 패러다임 변화.

○ 해외 철도선진국의 경우 장기적인 전략과 첨단소재 적용을 통해 점진적인 철도차량 경량화 진행하고 있으나 국내의 경우 철도차량 경량화 기술에 대한 체계적인 연구 미비로 국내 최신기종인 KTX 산천의 경우 프랑스 알스톰사의 AGV 대비 승객당 약 134kg의 추가 중량을 운반하고 있음



그림 1.1.5 KTX산천의 타 고속철도와의 승객당 중량 비교.

○ 2001년 이후 정부의 적극적인 부품소재산업 육성 지원으로 2009년 부품산업의 경쟁력은 2001년 대비 36%나 증가한 것으로 분석되었으나 소재산업의 경쟁력 향상은 29%에 그쳐 부품산업의 개선 정도에 비해 개선도가 상대적으로 부족한 것으로 분석되었다. 이는 반도체 등 IT 분야 핵심소재는 대부분 일본에 의존하는데 기인하며, 이러한 고부가가치 첨단소재 및 부품에 대한 기술경쟁력 부족은 우리나라 완제품 제조산업이 환율, 유가, 원자재 가격 상승 등의 외부환경 악화에 매우 취약할 수 있다는 것을 의미한다. 정부는 소재산업의 낮은 기술경쟁력이 단기성과 창출이 용이한 부품 위주의 상용화 기술개발에 주력하여 세계시장 선점형 핵심원천기술 확보가 부족한 것에 기인한 것으로 판단하여 핵심소재 경쟁력 확보 및 미래소재 개발을 통한 신시장 창출·시장 선점을 위해 소재원천기술개발사업, WPM(World Premier Materials) 사업 등을 추진하였다. 정부 지원의 기본적인 방향도 기술개발 위주에서 기업성장을 촉진하는 R&BD 사업으로 전환되고 있으며, 특히 소재산업의 특성상 단일 소재기업의 혁신역량만으로는 지속적인 기술 확보 및 사업화에 한계가 있으므로 소재기업과 부품기업, 완성품 기업간의 협력을 촉진하고 개방형 기술혁신을 활성화하고 있다.

○ 앞서 언급한 바와 같이 부품소재산업은 주력, 정보통신, 에너지, 신산업 등 전

산업군에 걸쳐 기반이 되는 산업이며, 공급사슬 내의 허리를 담당하고 있는 중추산업이다. 이에 정부에서는 주력, 정보통신, 에너지, 신산업 등 각 수요산업분야에서 제시한 비전과 중점육성제품, 기술 등을 연계하여 부품소재 분야를 금속, 화학/고분자, 세라믹, 융·복합, 나노융합 분야로 세분화하고 표 1.1.1에 나타낸 바와 같이 중점육성제품 및 기술을 도출하였다.

표 1.1.1 부품소재산업 세부분야별 중점육성제품 및 기술.

세부분야	중점육성제품 밍 기술
금속	초경량 금속부품소재, 한국형 원자력/화력 부품소재, 의료용 biometals, 국가전략 희소금속소재, 항공/조선용 금속부품, 대형 풍력발전용 금속부품소재, 초정밀 금형/공구소재
화학/고분자	디스플레이 및 차세대 조명용 유기소재, Soft Electronics 화학부품소재, 이차전지/셀/팩/모듈, 환경친화형 green polymer 부품소재, 고기능 고성능 복합필터 및 소재, 유기태양전지 소재, 연속공정가능 3차원 구조용 고분자 복합체
세라믹	센서소재 및 부품, 차세대 반도체 소재, 초소형 MEMS 부품소재, 환경친화형 건축소재, 초고온용 세라믹 소재, Spintronics 소재
융·복합	탄소섬유 복합소재, 신재생에너지용 융·복합소재, 신기능 융·복합 광학필름, 진단/치료용 헬스케어 소재, 열관리용 융·복합소재, 미래형 barrier 필름 융·복합소재, 스마트그리드용 전력저장소재
나노융합	나노기반 인쇄전자소재 및 소자, 탄소기반 다기능성 나노복합소재, 대면적 나노패터닝 소재, 나노기반 차세대 에너지저장소재, 나노구조 에너지 변환소재 및 소자, 환경개선형 나노소재, 나노융합 바이오소재

정부의 금속 부품소재산업 육성 전략은 다음과 같이 요약할 수 있다.

① 주력산업인 자동차 생산 세계 5위 및 경량 부품소재 생산 세계 5위의 인프라를 활용하여 초경량 금속부품소재 원천기술을 확보하고, 국가인지도 향상 및 엔고 등에 따른 구산 부품소재의 신규시장 확보 및 수출확대를 추진하며, 잠재수요가 큰 미래시장인 에너지 및 융・복합 금속소재 및 부품산업 확대를 유도한다.

② 차세대 그린카(전기자동차 및 수소자동차)의 효율향상을 위한 경량차체 적용을 위하여 수요기업과 부품소재기업의 공동참여를 유도하고, 선진 다국적 기업의 견제가 심한 생체산업의 경우 금속 신소재 개발을 통한 융·복합 산업 신규 시장을 창출한다.

③ 후발국가의 기술추격 및 저가 부품 공급 확대에 따라 기술 차별화를 통한 가격경쟁 유도를 회피하고, 소재 선진국의 타국 특허출원 증가 및 자국 기술 보호주의 정책에 대응하기 위해 국내 관련 수요 대기업과의 컨소시엄 구성을 통한 선진 기업

에 대한 경쟁력을 확보한다.

④ 국가전략소재인 희소금속의 안정적 수급을 위하여 제련 및 정련기술, 사용량 절감, 대체 소재 개발 및 재활용을 추진한다.

⑤ 부품가공 및 성형기술 개발의 경우 다품종 소량생산의 항공산업 특성을 고려해 가공 및 성형기술별 중소기업을 선정, 특화시키고 해당 업체 중심으로 항공기 체계종합업체와의 협업을 통한 제휴와 공동개발을 유도한다.

⑥ 원자력 발전용 고성능 부품소재 개발을 위해서는 소재 관련 대중소 기업의 동반성장이 필요하다. 즉, 중견 중소업체의 참여를 확대하고 국내외 유수 기업과 연계하여 기술개발을 통한 양산체제를 구축하고, 국내 소요량 공급 및 해외 기술협력 업체와 공동으로 글로벌 시장 진출을 추진한다.

⑦ 풍력발전 부품소재와 관련하여 우리나라의 가장 취약한 부문인 부품 설계평가 및 인증부문의 전문인력을 양성하고, 인프라 구축 및 핵심부품 개발을 위한 정부주도하에 지속적인 개발 지원 전략이 필요하다.

⑧ 국내 강점인 금속소재 분야 고급 인력을 활용하여 생체용 미래 융합소재/제품 산업의 조기 활성화 전략이 필요하다. 국내 미래 수요시장을 기반으로 하여 금속부품소재 중견기업을 중점육성하고 세계적인 기업과 경쟁할 수 있는 기술 지향적 대기업으로 성장을 유도한다.

○ 이러한 정부의 금속 부품소재산업의 육성 전략을 토대로 도출한 전략기술을 표 1.1.2에 나타내었다.

표 1.1.2 금속 부품소재산업 육성을 위한 전략기술.

중점육성제품명	전략기술
초경량 금속부품소재	그린카용 고탄성 경량 샤시 부품소재 제조기술, 초경량 차체용 금속판재 제조기술, 엔진 다운사이징을 위한 고비강도 소재 제조기술, 수송기기용 초경량 Mg 소재 제조기술
한국형 원자력/화력 부품소재	원자력 발전용 피복관 및 전열관, 고강도 장수명 압력용기 및 터빈/발전기 부품, 발전용 초내열 합금
의료용 Biometals	극저마찰 반영구 인공관절소재, 자기 진단용 스마트 소재, 고출력 자기공명 장치 적합성 금속 신소재
국가전략 희소금속소재	희소금속 제련 및 정련기술, 희소금속 저감 및 대체기술, 희소금속 재활용기술
항공/조선용 금속부품	항공기용 친환경 고효율 Ti 합금 성형기술, Green Ship용 이중연료 공극장치용 핵심 부품 및 제어기술, Green Ship 구현을 위한 전기추진용 액추에이터 및 전력변환시스템
대형풍력발전용 금속부품소재	대형 풍력발건기 핵심부품, 차세대 대형풍력발전기 경량 부품소재
초정밀 금형/공구 소재	미래형 자동차/대형 LCD/스마트폰용 초정밀 공구 및 금형, 초대형 고성능 초경/다이아몬드 공구 금형, 초정밀 의료/미용산업용 초경/다이아몬드 공구 금형

2. 국외 정책동향

○ 철도 선진국인 유럽의 경우 항공 및 자동차뿐만 아니라 철도분야에서도 유럽철도연구자문위원회 (European Rail Research Advisory Council, ERRAC) 주도로 철도분야 이산화탄소 배출 로드맵 설정

① 2030년까지 1990년 대비 승객-km당 CO2 배출 50% 저감

② 2030년까지 총 CO2 배출량을 1990년 수준으로 유지 목표

③ 2050년까지 탄소-프리(Carbon-free) 철도 운영 지향 및 기후중립 (Climate neutral) 운송 시스템 구현

○ 유럽의 경우 위와 같은 환경적 요인이 부합하기 위해 장기적인 추진 전략 수립 및 차량 경량화 액션 플렌과 로드맵 설정

① 철도차량 경량화 우선순위 : 최고수준 (high priority = ☆☆☆)

② 2015년까지 엑션플렌 수립

③ 2020년까지 R&D 로드맵 도출

ERRAC The European Rail Research Advisory Council

4.4. EE Rolling Stock Roadmap – from vision to action

Sector	Vision & Need	Type of activity[10]	Time Horizon[11]	Priority[12]
Rolling Stock	**Lighter Trains** *Assessment of the technology transfer potentials from the aeronautic and automotive sector to the railway sector*	CSA	2015	☆☆☆
Rolling Stock	**Lighter Trains** *Weight reduction for the suburban and urban passenger services In due consideration of standardisation and regulation issues (e.g. crashworthiness) Design methodologies to be re-evaluated*	R & D	2020	☆☆☆

[10] CSA = Coordination Support Activity / R = Research / D = Development
[11] Technical Maturity
[12] 1 ☆ = Low Priority / 2 ☆ = Medium Priority / 3 ☆ = High Priority

그림 1.1.6 유럽철도연구자문위원회에서 설정한 차량분야 기술개발 로드맵.

○ 철도와 경쟁관계에 있는 항공기나 승용차의 경우 첨단소재를 적용한 경량화 기술개발에 집중적인 연구개발 수행 중이며 대표적인 사례로 첨단 탄소섬유 복합소재가 동체전체에 적용된 보잉사의 787 항공기와 폭스바겐의 LX1차량 등이 있음



그림 1.1.7 타 운송수단의 경량화 기술개발 사례.

○ 미국은 에너지성(DOE), 국방성(DOD), 미국항공우주국(NASA), 국립과학재단(NSF) 등 연방기구가 부품소재 기술 개발을 주도하며 국방기술 중심의 신소재 개발에 이어 환경, 에너지 관련 신소재로 그 범위를 확대하고 있다. 첨단소재 국방기술의 개발이 미국 산업경쟁력을 강화하고 여러 산업체가 공동으로 활용할 수 있는 신기술의 개발로 응용되는 시너지 효과에 더 중점을 두고 있다. 또한 2001년 NNI(National Nanotechnology Initiative) 계획을 발표한 이래 나노 관련 과학과 기술에 대해 범정부적인 연구개발 정책을 추진하고 있으며, 이를 기반으로 NT, BT, IT, CT를 아우르는 NBIC 전략을 수립하여 융·복합기술에 대한 역량을 높여가고 있다. 또한 2011년 발표한 Materials Genome Initiative 계획을 통하여 전산재료과학을 활용한 첨단 신소재 개발 및 응용을 위한 선진기술 개발을 중점적으로 추진하고 있다. 표 1.1.3은 미국 주요 연방기구의 부품소재 기술개발 프로그램을 나타낸 것이다.

표 1.1.3 미국 주요 연방기구의 부품소재 기술개발 프로그램.

연방기구	주요 연구개발 내용
DOE	Basic Energy Sciences(BES) program은 'Materials Sciences and Engineering Division', 'Chemical Sciences, Geosciences, Bisosciences Division'으로 구성되어 있으며, 주요 연구분야는 기초연구, 국방, 핵에너지 관련 소재임. 기타 에너지 저장, 화석연료, 핵융합, 재생에너지에 관련된 재료에 대한 연구도 병행
DOD	국방선 산하 DARPA는 장기적 관점의 연구에 집중하여 세라믹, 고분자, 복합소재 등 다양한 소재에 대한 연구개발을 수행. 파인세라믹스 분야의 경우 ACEE 계획(경량구조용 세라믹 복합재 개발), HITEMP(High Temperature Engine Materials Program) 등을 추진
NASA	신소재 관련 대기권 연구 개발, 우주공간에서의 소재 제조 프로세스 등의 연구 수행

○ 독일은 연방교육연구부(BMBF)를 중심으로 단계적인 부품소재산업 육성을 추진하고 있다. 부품소재산업을 국제적인 기술경쟁력 우위 확보와 지속가능한 혁신의 주축으로 육성하고 있으며 소재 개발을 통한 친환경 사회로의 전환까지도 고려하고 있다. 독일 기업의 경쟁력은 기업과 대학, 연구소간의 밀접한 협력관계에 기인하며, 신소재 개발과 관련한 기초연구부터 상용화까지 일련의 기술들을 막스플랑크(Max Planck Society), 프라운호퍼(Fraunhofer Society), 헬름홀츠(Helmholtz Association), 라이프니쯔(Leibniz Association) 등의 연구단체 산하에 있는 250여개 연구소가 유기적으로 개발하고 있다. 표 2-1-4는 독일의 부품소재산업 육성 프로그램을 나타낸 것이다.

표 1.1.4 독일의 단계별 부품소재산업 육성 프로그램.

단계	주요 연구개발 내용
제1기 (1985~1993)	기초연구 중심
제2기 (1994~2003)	응용연구 중심으로 1기 및 2기는 유사한 개념으로 추진되었으며 국제적인 기술경쟁력 우위 확보와 지속가능한 혁신 사슬의 수단으로써 소재를 선택하였음. 기초연구 단계부터 상용화 과정까지의 기술이전 과정을 포함하고 있으며 연구개발 과정에서 기업 참여, 특히 중소기업의 첨여를 장려
제2기 (2004~2013)	산업화기술 중심의 연구개발을 수행하였으며 10년간 1.2조원 투자

○ 일본 경제산업성은 총 188억엔(2009년 기준)을 투입하여 7개의 'Innovation Program'을 추진하고 있으며, 이 중 하나인 '나노테크/부품소재'는 NT에 의한 혁신적

인 부품소재를 실현한다는 목표를 가지고 추진되었다. 경제산업성 산하 신에너지개발기구(NEDO), 산업기술종합연구소(AIST)와 문부과학성 산하 물질재료연구소(NIMS), 이화학연구소(RIKEN) 등이 주도하여 부품소재의 기초부터 기업과의 상용화 단계에 이르기까지의 일련의 기술 개발 체계에서 역할 분담을 하고 있으며 특히 NEDO는 일본의 산업기술과 에너지·환경기술 분야의 이슈를 해결하기 위한 R&D 프로그램을 top-down 방식으로 기획하여 추진하고 있다. 차세대 수송장비, 나노탄소섬유, 연료전지 등 첨단기술 분야의 안전성 증대와 환경에 대한 영향을 고려한 신뢰성 연구, 고기능성 반도체 부품의 우주환경 적용을 위한 연구개발 프로그램 등이 NEDO가 주도하고 있는 연구개발 프로그램이다.

○ 중국은 단순 제조업 중심의 산업 구조에서 첨단산업 중심의 구조로 변모하기 위해 중앙 및 지방정부의 국가과학기술프로그램을 통해 고부가가치 첨단 부품소재산업을 육성하고 있다. 2011~2015년까지 적용되는 제12차 5개년 계획의 주요 내용을 살펴보면, 산업경쟁력 제고를 위해 선정한 6개 과제 중 '전략적 신성장산업 육성'을 위해 신소재, 에너지 절약과 환경보호, 차세대 정보기술, 신재생에너지 등을 중점 육성하고 있으며 이 중 나노소재 중심의 신소재 및 고성능 복합소재 응용 등의 신소재 지원전략이 핵심적으로 추진되고 있다.

제2절 국내외 시장현황 및 기술 인프라·기술인력 현황

1. 국내 시장현황

가. 복합재료 분야

○ 국내의 철도차량에서는 아직 복합재료 시장이 형성되었다고 보기 어려운 상황이며 정부 주도의 연구개발 과제를 통하여 시제품에 적용된 사례만이 보고되고 있다. 따라서 다음 절의 글로벌 시장현황에 포함하여 철도차량 분야의 복합재 시장현황을 살펴보기로 한다.

나. 마그네슘 분야

○ 그림 1.2.1은 2004년부터 2010년까지의 국내 마그네슘 원소재 수입량의 변화를 나타낸 것으로 2004년 이후 마그네슘 원소재 수입량이 지속적으로 증가하고 있다. 2004년부터 2006년까지의 수입량 증가에 비하여 2007년 이후로 수입량의 증가가 다소 둔화되었는데 이는 제품 제조과정에서 발생하는 스크랩을 재활용하는 기술이 상업화되어 제품 제조에 소요되는 virgin ingot의 일부를 대체하였기 때문

이다. 2008년에 비하여 2009년에는 원소재 수입량이 다소 감소하였는데 이는 2008년 북경 올림픽을 전후하여 마그네슘 원소재 최대 생산국인 중국에서 생산을 제한함에 따라 마그네슘 원소재의 가격이 급등하였기 때문이다. 2005년까지는 알루미늄합금에 첨가원소로 사용되는 pure Mg의 수입량이 합금 수입량의 2배 이상을 차지하고 있는데 비하여 2006년 이후로는 pure Mg와 합금의 수입량이 거의 유사하다. 이는 steering wheel core, seat frame, head lamp case 등의 자동차 부품과 cellular phone bracket, notebook case 등의 휴대용 전자기기 부품에 마그네슘합금의 적용이 확대되었기 때문이다. 2007년 이후 합금의 수입량이 다소 감소한 이유는 앞서 언급한 바와 같이 재활용 ingot의 사용이 증가하였기 때문이다. 2008년 이후 powder, granule 등의 기타 원소재가 수입되었는데 이는 ㈜장원테크 등에서 granule을 원소재로 사용하는 thixomolding 공정을 도입하여 휴대용 전자기기 부품을 생산하기 때문이다. 수송기기를 중심으로 연비 향상과 환경오염 저감을 위해 차체 경량화에 대한 사회적 요구가 증가하고 있어 국내 완성차업체의 마그네슘합금 적용량은 지속적으로 증가할 것으로 예측되며 세계 휴대용 전자기기 시장에서 삼성전자를 중심으로 국내 기업의 시장 점유율이 점차 확대됨에 따라 휴대용 전자기기에의 마그네슘합금 적용량도 지속적으로 증가할 것으로 예측된다. 또한 2012년 강릉 옥계에 POSCO 마그네슘 제련공장이 준공됨에 따라 마그네슘 원소재 수급의 안정성이 증가함에 따라 다른 산업 분야에도 마그네슘합금의 적용이 확대될 것으로 예상된다.

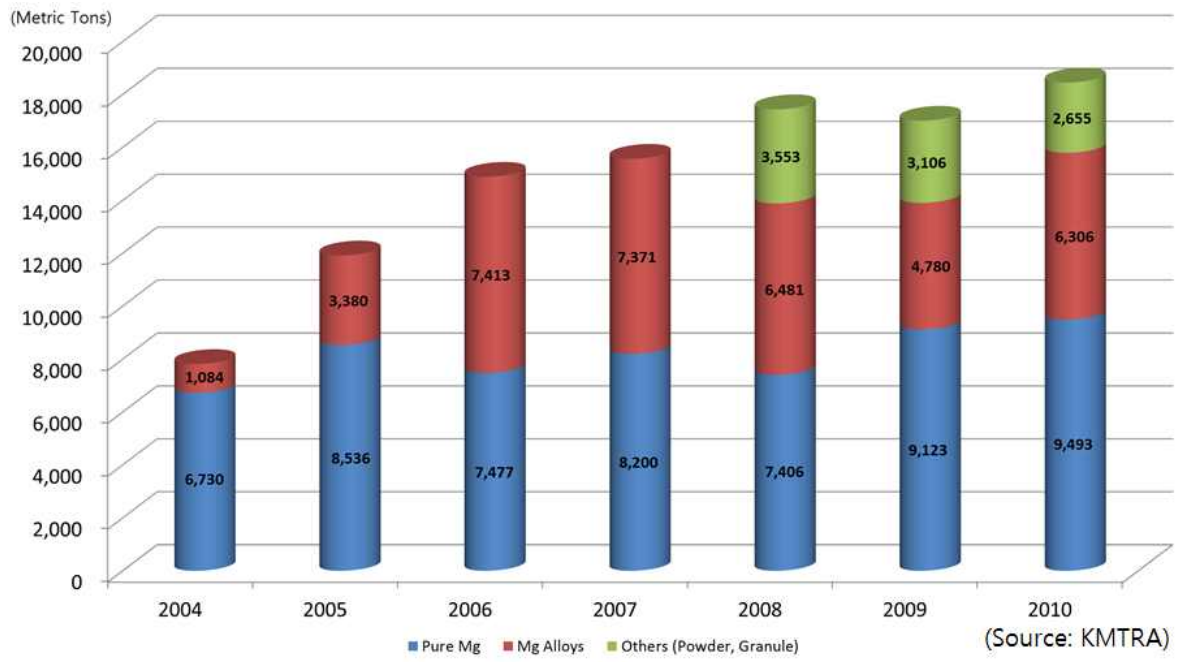


그림 1.2.1 국내 마그네슘 소재 수입동향.

○ 그림 1.2.2는 2008년부터 2010년까지의 국내 산업별 마그네슘합금 적용량 변화를 나타낸 것으로 전자기기 산업에서의 마그네슘합금 적용량이 급속도로 증가하고 있다. 이는 세계 휴대용 전자기기 시장에서 국내 기업의 시장 점유율이 급속도로 증가하였기 때문이다. 2008년 80%에 가까운 점유율을 나타내었던 자동차 산업에서의 마그네슘합금 적용량이 감소한 것은 글로벌 경제 위기에 의해 자동차 산업이 일시적으로 위축되었기 때문이다. 그러나 수송기기의 연비 기준 및 배기가스 배출기준이 점차 강화됨에 따라 이를 극복하기 위한 차체 경량화에 대한 요구가 지속적으로 제기되고 있어 자동차 산업에서의 마그네슘합금 적용은 점차 확대될 것으로 예측된다.

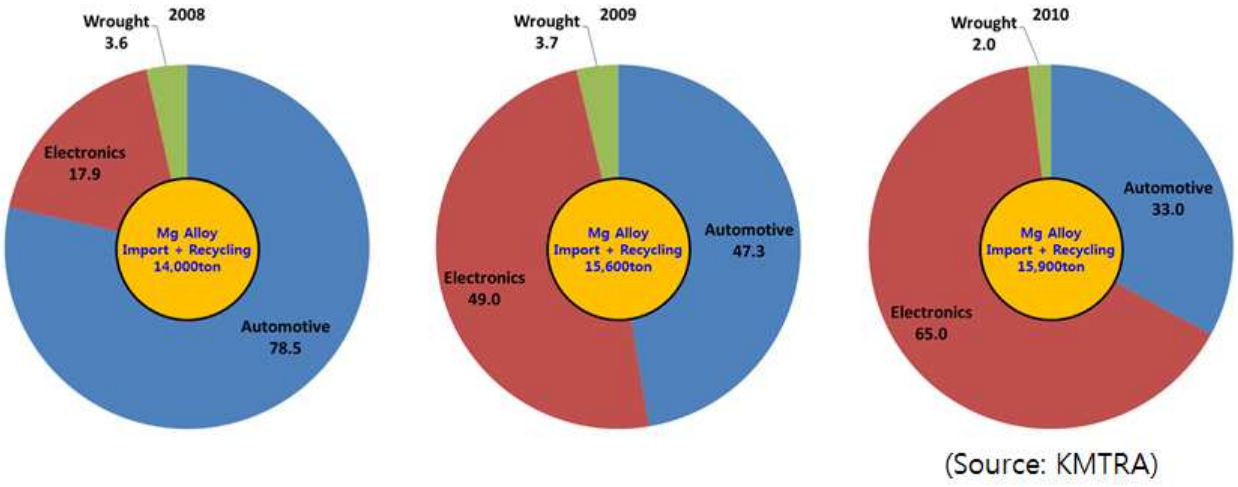


그림 1.2.2 국내 마그네슘합금 적용분야 추이.

2. 국외 시장현황

가. 복합재료 분야

○ 복합재료 시장의 경우, 기존에 항공 분야 등에서 발전하기 시작하여 자동차, 철도 등 파급효과가 큰 산업으로 이동하고 있는 과도기적 시점이라고 할 수 있다. 따라서 본 절에서는 복합재료 시장 전반에 있어서의 세계 시장 분석과 함께 철도 차량 분야에서의 시장현황 및 예측을 함께 진행하여 시장 현황을 파악하고 향후 동향을 예측해 보기로 하겠다.

○ 복합재료 전체 시장현황

. 세계 복합재료 시장의 규모는 2011년 $19.6 billion에 도달했으며, 매년 8.2%의 성장률을 보이고 있다. 향후 2017년의 복합재료 산업은 $29.9 billion 규모로 성장할 것으로 예측된다. 또한 2011년 복합재 상품 시장규모는 $55.6 billion이며, 2017년에 $85 billion로 성장할 것으로 예측된다.

. 세부 산업별 복합재료 시장은 표 1.2.1과 그림 1.2.3에 보는 바와 같다. 시장규모가 상대적으로 작은 선박 산업 및 풍력 산업에서 복합재료의 시장점유율은 경쟁 재료 산업인 철강과 알루미늄 산업에 비해서 68%, 38%로 높은 점유율을 보이고 있는 반면, 시장 규모가 큰 운송 산업 및 건설 산업에서의 복합재료의 시장 점유율은 3.6%로 매우 낮은 것으로 보고되고 있다.

표 1.2.1 2011년 산업별 복합재료 시장 점유율 현황(Lucintel).

Market Segment	Composite Materials Market	Structural Materials Market (Steel, Al & Composites)	Composites Penetration	Performance Gap	Price Gap
Transportation	$2.8 B	$77.8 B	3.6%	◔	◑
Marine	$0.5 B	$0.8 B	68%	○	○
Aerospace	$2.3 B	$23.2 B	10%	◔	◔
Pipe & tank	$2.6 B	$37.8 B	7%	◔	◔
Construction	$3.4B	$85.1 B	4%	◔	◑
Wind Energy	$2.4 B	$6.4 B	38%	◔	◔
Consumer Goods	$1.3 B	$9.4 B	14%	◔	◔

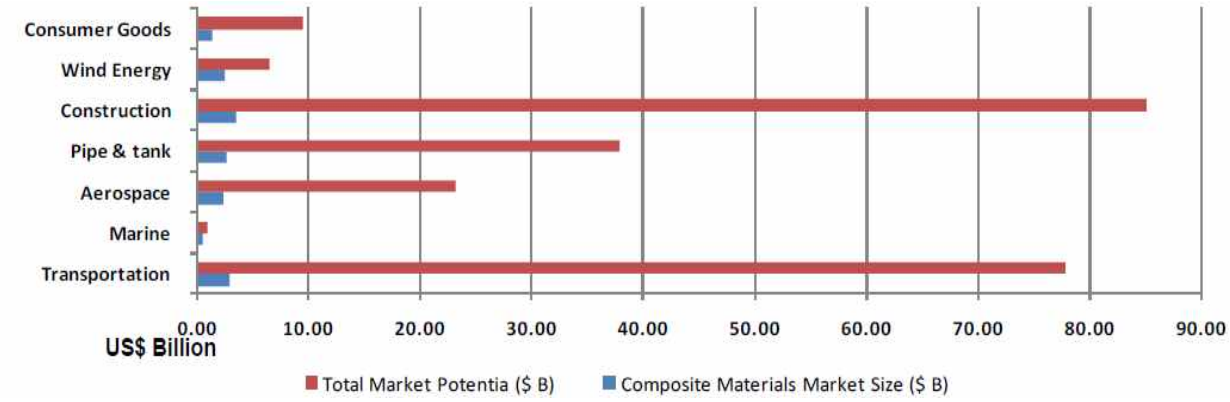
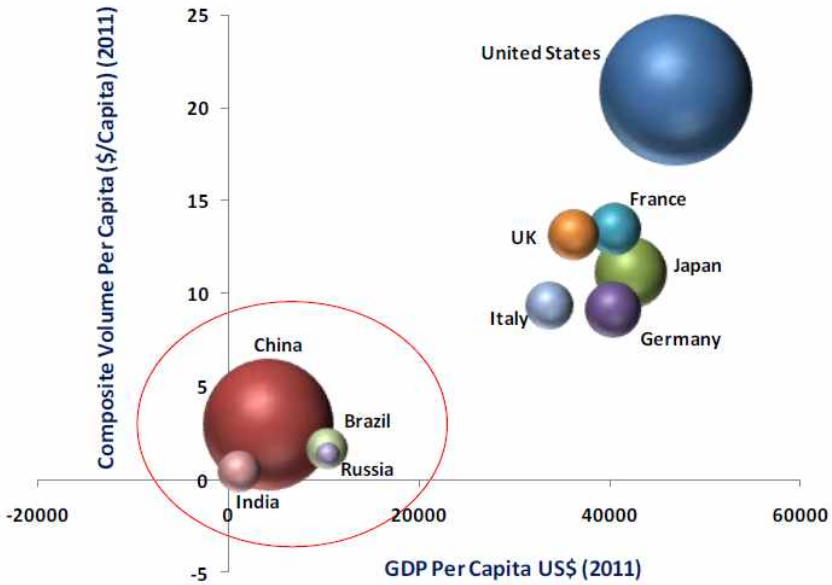


그림 1.2.3 2011년 산업별 복합재료 시장 점유율 현황 (Lucintel).

. 2000년 이후 개발도상국을 대변하는 BRIC의 경제적 성장이 지속적으로 이루어졌으며, 이와 맞물려 개발도상국의 복합재료 생산량도 지속적으로 증가하였다. 현재 개발도상국들이 세계 복합재료 생산에 있어서 중요한 역할을 담당하고 있고 시장 성장의 주도적 역할을 할 것으로 예측된다. 복합재료 소비 시장의 규모는 그림 1.2.4와 같이 개발도상국의 1인당 복합재료 소비율은 낮은 반면 선진국에서 1인당 복합재료 소비율은 높게 보고되고 있다. 하지만 개발도상국의 복합재료 총 소비 시장은 선진국과 유사한 정도의 규모를 가지고 있으며, 향후 개발도상국의 발전과 더불어 1인당 소비율이 증가하면 방대한 시장 규모로 성장하여 차기 복합재료 주력 시장이 될 것으로 예측된다.



Note: Bubble size represents total composites consumption in respective countries

그림 1.2.4 국가별 1인당 복합재료 소비율 (Lucintel).

. 운송산업 중 자동차 시장에서의 복합재료의 사용량은 그림 1.2.5와 같이 꾸준히 증가되는 추세로, 2017년에는 7% 성장한 $4.3 billion의 시장규모로 예측된다. 자동차 시장에서의 복합재료의 사용이 꾸준히 증가하는 이유는 기존 재료 대비 유리섬유 복합재료의 경우 20% ~ 30%, 탄소섬유 복합재료의 경우 40% ~ 60%까지의 무게를 줄일 수 있는 장점과 더불어 복합재료의 우수한 피로 강도와 내부식성 및 스타일링이 우수한 장점 때문이다. 하지만, 복합재료의 사용 확대를 위해서 극복해야 할 복합재료의 단점으로는 재료의 높은 단가 및 효율적인 제조 공정의 부재 등이 있다. 이러한 장단점으로 인해서 자

동차 산업에서의 복합재료의 사용은 일부 고급 차량에 국한되어 있었지만, 기술의 발달과 시장의 수요에 의해서 점점 양산차량에로의 그 적용이 확대되고 있기 때문이다. 이러한 복합재료를 이용한 자동차의 경량화 기술은 쉽게 타 운송 산업으로의 확장이 가능할 것으로 사료되며, 향후 운송 산업에서의 복합재료 시장의 성장률이 증가할 것으로 예측된다.

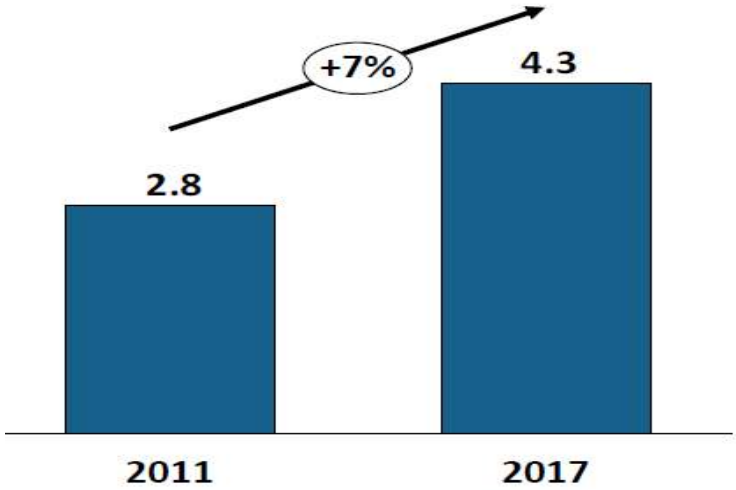


그림 1.2.5 세계 자동차 산업에서의 복합재료 시장 규모, 단위: $billion(Lucintel).

. 2017년 복합재료 시장은 그림 1.2.6과 같이 운송, 풍력, 항공, 건설 산업 등 산업 전반에 걸쳐서 고른 시장 규모를 가질 것으로 예측된다. 또한 그림 1.2.7에서 보는 바와 같이 복합재료 시장의 성장은 항공 및 풍력 산업에서 크게 나타날 것으로 보고되고 있으며, 뒤를 이어 운송 및 건설에서도 높은 시장 성장률을 보일 것으로 보고되고 있다. 이와 관련하여 표 1.2.2와 같이 향후 복합재료 시장에서 가장 성장성이 좋은 항공 및 풍력 산업은 높은 선호도를 보이고 있으며, 전 세계에 걸쳐서 높은 선호도를 가지는 것으로 보고되고 있다.

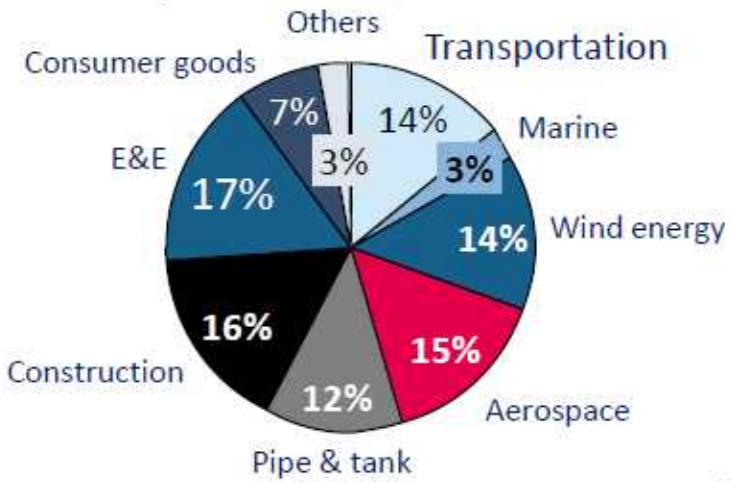


그림 1.2.6 2017년 세계 산업별 복합재료 시장 분포 (Lucintel).

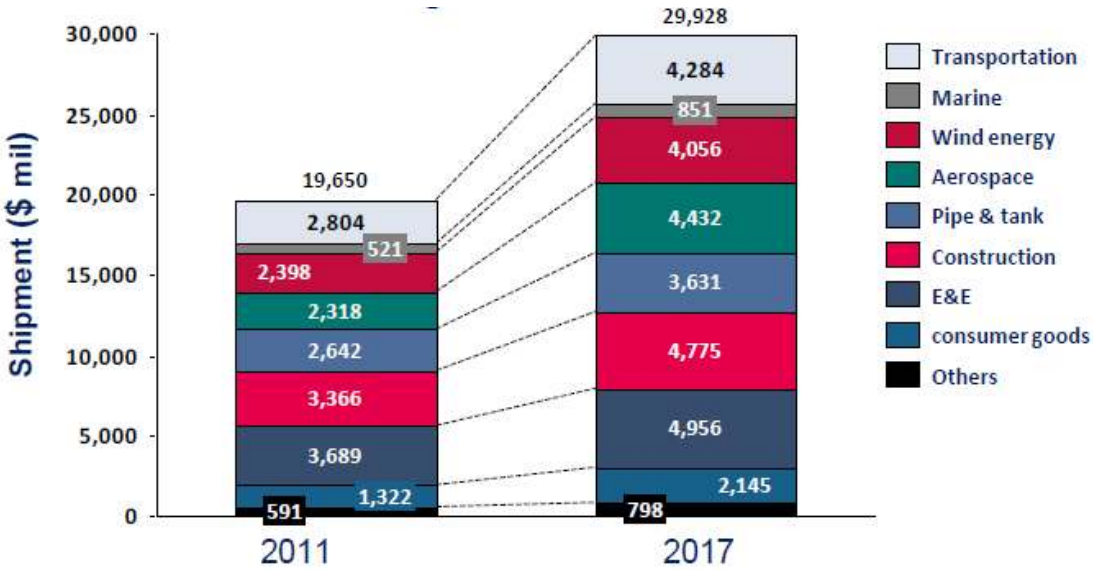


그림 1.2.7 산업별 세계 복합재료 시장 성장 예측 (Lucintel).

표 1.2.2 지역 및 산업별 복합재료 시장 선호도 (Lucintel).

Market Segment	North America	Europe	Asia	Rest of World
Transportation	◑	◑	◔	◔
Marine	◔	◔	◔	◔
Aerospace	●	●	◑	◑
Pipe & tank	◔	◔	◑	◔
Construction	◑	◔	◕	◔
Wind	●	◕	●	◕
Consumer Goods	◔	◔	◑	◔

High ● Medium ◕ Low- Medium ◔ Low ◑ No ○

. 상기 내용을 종합하여 복합재료 시장에서의 기회도를 분석한 결과 그림 1.2.8과 같이 산업 분야 중에서 큰 복합재료 시장을 가지고 높은 연간 성장률을 기대할 수 있는 산업으로는 풍력 산업과 수송 산업을 꼽을 수 있으며, 복합재료 적용이 활발히 이루어 질 것으로 예측된다. 항공산업은 연간 복합재료 산업의 시장 점유율이 큰 폭으로 성장하지만 시장 규모가 타 산업에 비해서 작아 큰 시장을 개척하기는 어려울 것으로 사료된다.

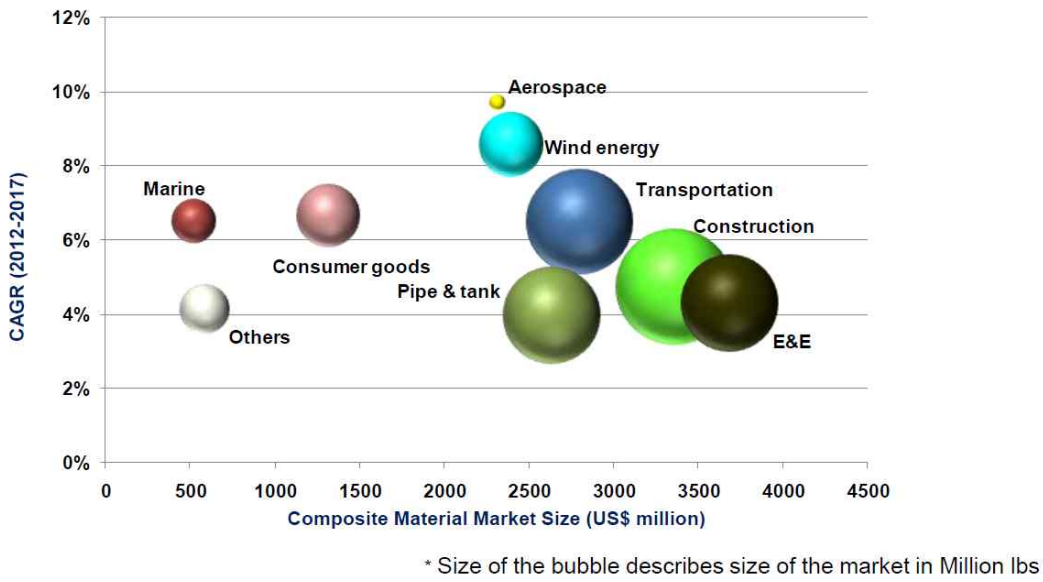


그림 1.2.8 세계 복합재료 시장 기회 (Lucintel).

○ (고속) 철도용 복합재료 시장현황

. 철도차량, 특히 고속철도 차량에서의 고분자 복합재료의 시장현황을 분석하고 향후 진행상황을 전망하였다. 대표적인 시장 동향 및 전망은 다음과 같이 요약할 수 있다.

① 고속철도 전체의 고분자 및 복합재료 시장은 $23.7 million (2011년)에서 $35.7 million (2018)로 성장할 것이 예상되며 연평균 성장률 (CAGR)은 약 6%에 이른다.

② 세계 고속철도 차량용 고분자 및 복합재료 시장은 기존 북미 및 유럽 중심에서 아시아-태평양 지역으로 이동하고 있으며 이 지역에서 80%가 넘는 수요가 창출되고 있는 상황이다.

③ 기존에 많이 사용되던 에폭시 수지 외에 불포화 폴리에스터, 비닐에스터, 폴리우레탄 등이 유리섬유강화 복합재료에 전반적으로 적용될 것으로 예상되고, 탄소섬유강화 복합재료도 일부 부품에서 사용되며 성장할 것으로 예상된다.

④ 복합재료의 재료비는 원재료 가격 상승에 따라 증가할 것으로 예상되지만, 고속철도용 복합재 부품의 가격은 성형공정의 발전과 대량 생산에 따라 감소할 것으로 예상된다.

⑤ 기존의 프리프레그 (prepreg)를 이용한 성형보다는 RTM (Resin transfer Molding), 압축 성형 (compression molding), 압출 (extrusion) 및 사출 성형 (injection molding) 공정이 주로 철도차량 부품 생산에 적용될 것으로 예상된다. 즉, 액상성형공정에 기반을 둔 수지와 섬유 각각의 시장은 성장하지만 프리프레그, SMC/BMC 등의 시장은 감소할 것이다.

⑥ 유럽의 스페인, 아시아-태평양 지역의 중국 시장이 고속철도용 고분자 및 복합재료의 주요 성장 동력이 될 것으로 예상된다.

. 이러한 경향을 대변하며 고속철도의 고분자 및 복합재료 시장의 글로벌 시장 예측은 다음 그림 1.2.9와 같이 나타낼 수 있다. (글로벌 GDP 성장률의 감소, 고속철도 수요의 증가, 고속철도용 복합재의 원가경쟁력 개선을 가정하여 예측한 결과임)



그림 1.2.9 고속철도용 고분자 복합재료 시장 전망 요약 (Frost & Sullivan, 2011).

. 그림 1.2.10은 2010년부터 2018년까지의 고속철도 수요를 예측한 결과를 보여주고 있다. 유럽의 스페인과 아시아의 중국은 철도 건설계획 및 실행에 있어서 가장 급격한 성장세를 보일 것으로 예상되고, 일본, 프랑스, 독일, 대만 및 이탈리아가 고속철의 라이프사이클에서 앞서 있는 상황이다.

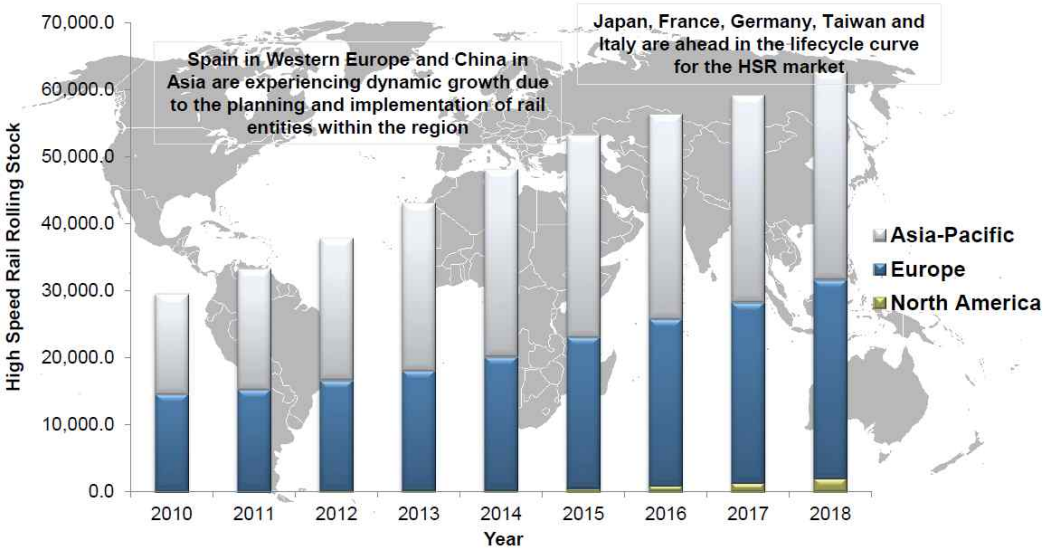
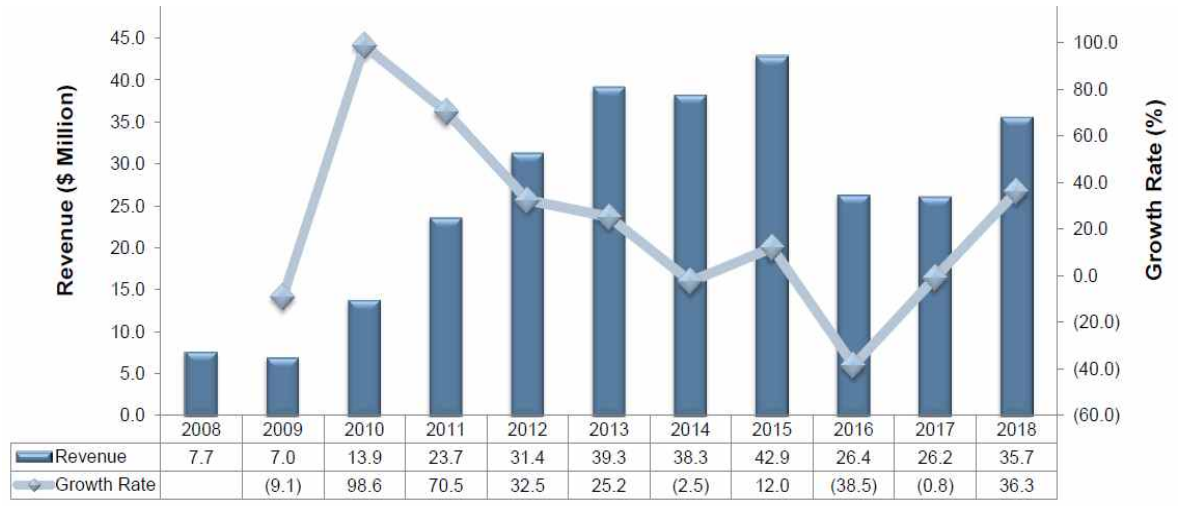


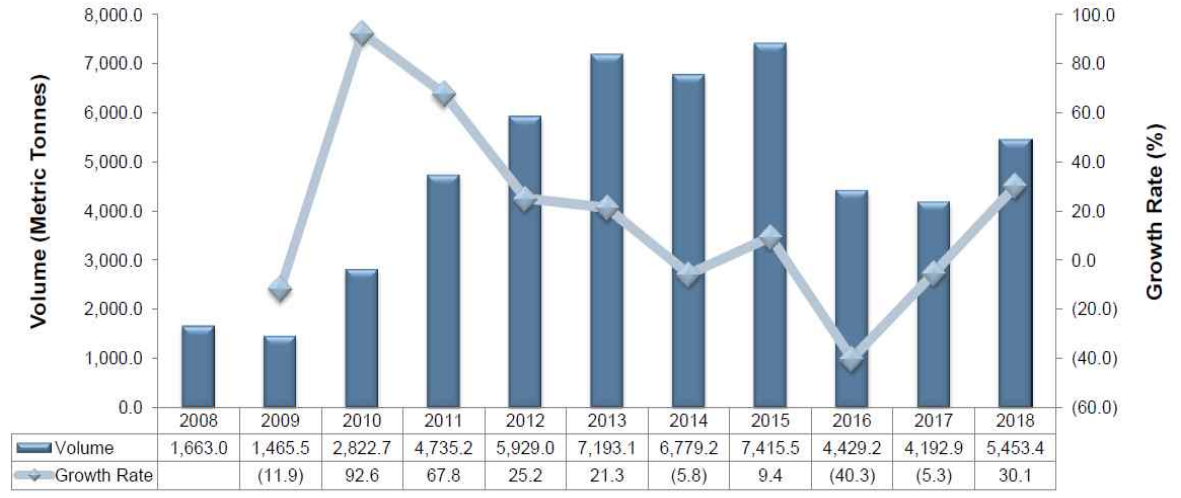
그림 1.2.10 고속철도용 고분자 복합재료 시장의 수요 예측 (NMMA and Frost & Sullivan analysis).

. 다음의 그림 1.2.11과 그림 21.2.12에서는 2008년에서 2018년까지의 고속철도용 고분자 및 복합재료 시장의 매출과 생산량을 예상하고 있다. 항목별로는 철도용 복합재료의 주요 구성재료인 에폭시 수지, 개질된 아크릴 수지 및 탄소섬유의 사용량 증가에 기인한 것으로 판단된다. 그리고 복합재료가 철도차량에서 차지하는 비중이 중량비로 2011년 3.1%에서 2018년 4.3%로 증가한 것도 이러한 성장세의 주요 원인으로 꼽을 수 있다.



	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Revenue	7.7	7.0	13.9	23.7	31.4	39.3	38.3	42.9	26.4	26.2	35.7
Growth Rate		(9.1)	98.6	70.5	32.5	25.2	(2.5)	12.0	(38.5)	(0.8)	36.3

그림 1.2.11 2008~2018년 고속철도용 고분자 복합재료 시장의 예상 매출.

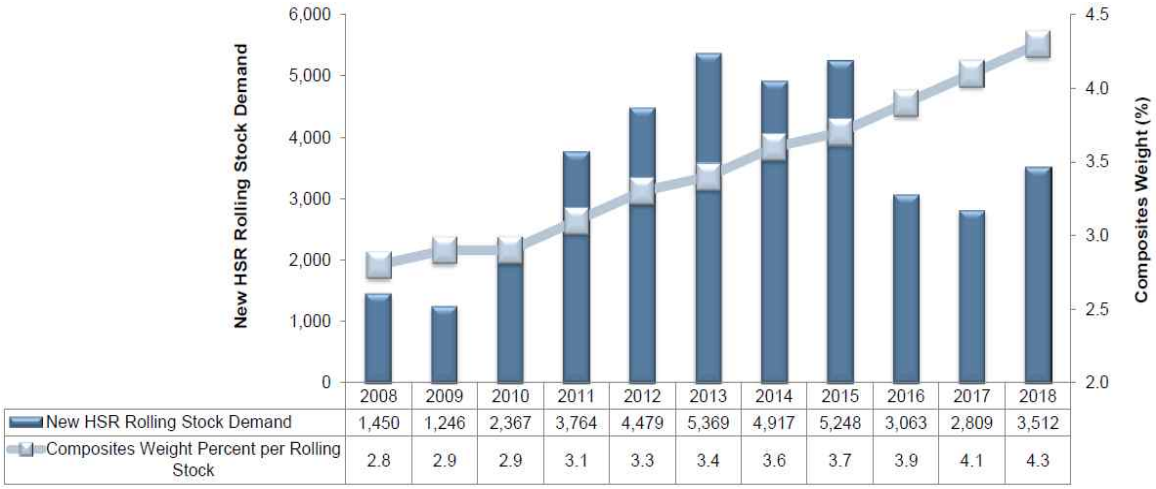


	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Volume	1,663.0	1,465.5	2,822.7	4,735.2	5,929.0	7,193.1	6,779.2	7,415.5	4,429.2	4,192.9	5,453.4
Growth Rate		(11.9)	92.6	67.8	25.2	21.3	(5.8)	9.4	(40.3)	(5.3)	30.1

그림 1.2.12 2008~2018년 고속철도용 고분자 복합재료 시장의 예상 생산량.

. 이 예측결과에서 특이한 점은 고속철도용 고분자 및 복합재료 시장의 규모와 매출은 2015년까지는 지속적인 성장세를 보일 것으로 예상되지만 성장률에

있어서는 2010년 초반에 비하여 감소하는 양상을 나타내고 있다. 이는 고속철도 산업의 특징적인 요소를 나타내고 있는데, 상대적으로 긴 교체 주기와 신규 수요량의 한계 등에 기인한 것으로 볼 수 있다. 그림 1.2.13은 고속철도의 신규 수요량을 예측하고 있는데 이와 같은 점을 잘 나타내고 있다. 즉, 2011년 3,764대에서 2018년 3,512대로 연평균 -1.0%의 마이너스 성장률을 보일 것으로 예상된다. 그러나 복합재료의 사용 비중은 지속적으로 증가함을 알 수 있는데, 이는 고속철도 차량에서 복합재료 부품의 적용률이 지속적으로 증가할 것으로 해석할 수 있다.



	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
New HSR Rolling Stock Demand	1,450	1,246	2,367	3,764	4,479	5,369	4,917	5,248	3,063	2,809	3,512
Composites Weight Percent per Rolling Stock	2.8	2.9	2.9	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.9	4.1	4.3

그림 1.2.13 2008~2018년 고속철도의 신규 수요 및 고분자 복합재료 적용 비중 예측.

. 2011년 $23.7 million에서 2018년 $35.7 milliion으로 연평균 6.0%의 매출 성장률을 나타내고 있는데, 생산량의 연평균 성장률이 2.0%임을 감안하면 매출 증가율이 생산량 증가율을 앞서고 있는 것을 알 수 있고 이는 가격 상승에 기인한 것으로 볼 수 있다. 그림 1.2.14에서 2008년에서 2018년까지의 복합재료의 평균 원가 변동 예상치를 보여주고 있다. 해당 기간동안 연평균 증가율 3.9%로 평균 가격이 지속적으로 증가하는 양상을 나타내고 있는데 이는 원유 가격 및 기타 재료비의 상승에 기인한 것으로 판단된다. 그러나 복합재료 생산 기술의 발전으로 인하여 최종 부품가격은 감소할 것으로 예상된다.

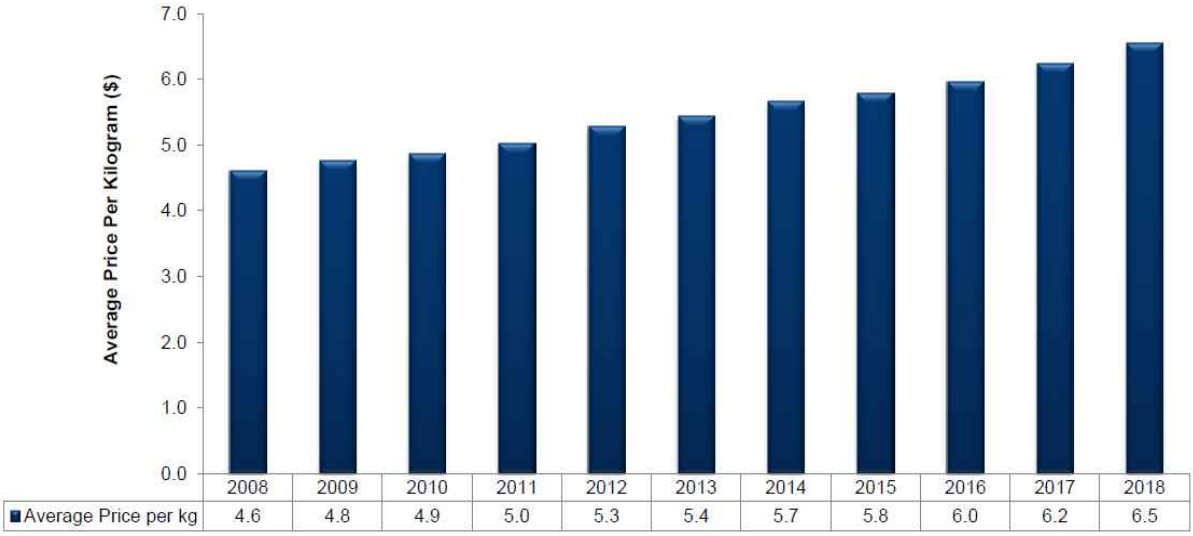


그림 1.2.14 2008~2018년 고속철도의 고분자 복합재료 평균가격 예측.

. 글로벌 고속철도용 고분자 및 복합재료 시장의 지역별 비중을 살펴 보면 그림 1.2.15에서 나타내는 바와 2011년부터 2018년까지 등락을 거듭하고 있는 것을 볼 수 있다. 2011년에는 중국 시장의 빠른 성장에 따라 아시아-태평양 지역이 높은 수요를 가지고 있지만, 2018년까지 아시아-태평양 지역의 고속철도 수요가 점차 감소하는 경량을 보이고 있음을 알 수 있다.

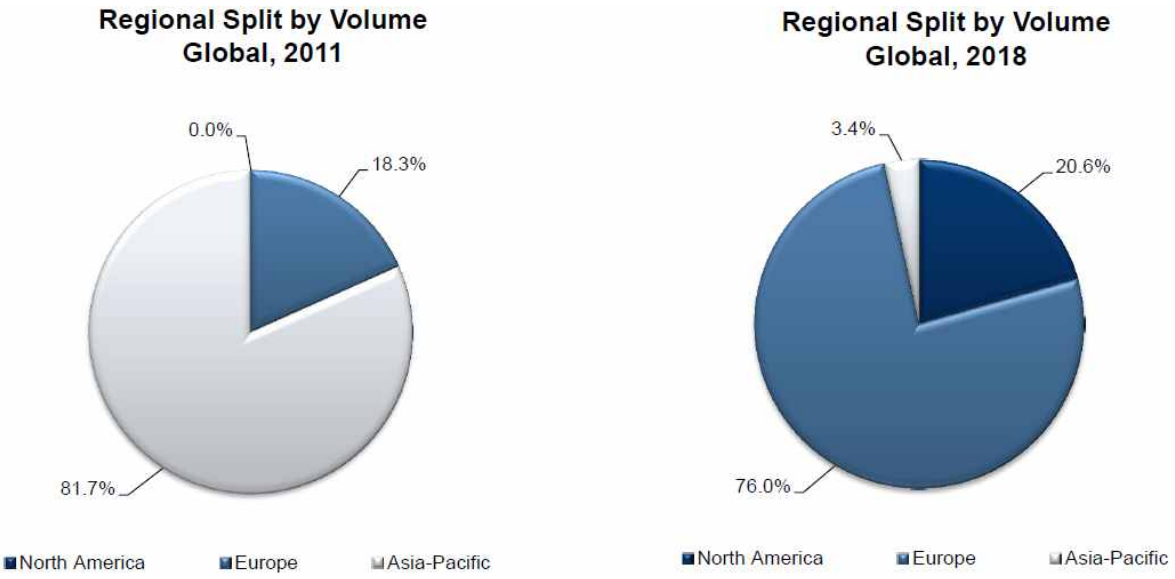


그림 1.2.15 2011년과 2018년 고속 철도용 고분자 복합재료 시장의 지역별 예측.

. 글로벌 시장에서 지역별 시장현황을 좀 더 자세히 살펴 보기 위하여 먼저 고속철도 산업의 중심지라고 할 수 있는 유럽의 수요 예상치를 그림 1.2.16에

제시하고 있다. 세계 3대 주요 고속철도 OEM 회사가 유럽에 위치하고 있으며 이들이 유럽뿐만 아니라 세계 시장에의 공급을 담당하고 있다. 2004년에는 체코, 에스토니아, 헝가리, 폴란드, 슬로바키아 및 슬로베니아, 2007년에는 루마니아와 불가리아가 신규 멤버로 추가됨에 따라 유럽은 세계 최고의 다각화된 사업 네트워크를 구축하게 되었다. 유럽에서 고속철도가 가장 빠른 상승세를 보이는 나라는 스페인으로서 약 3,256 km의 고속철도 라인이 건설중에 있다. 유럽을 통틀어서는 약 18,501 km의 라인이 건설되고 있으며 2020년까지의 유럽 전체의 고속철도 라인은 약 20,054 km에 이를 것으로 예상되고 있다.

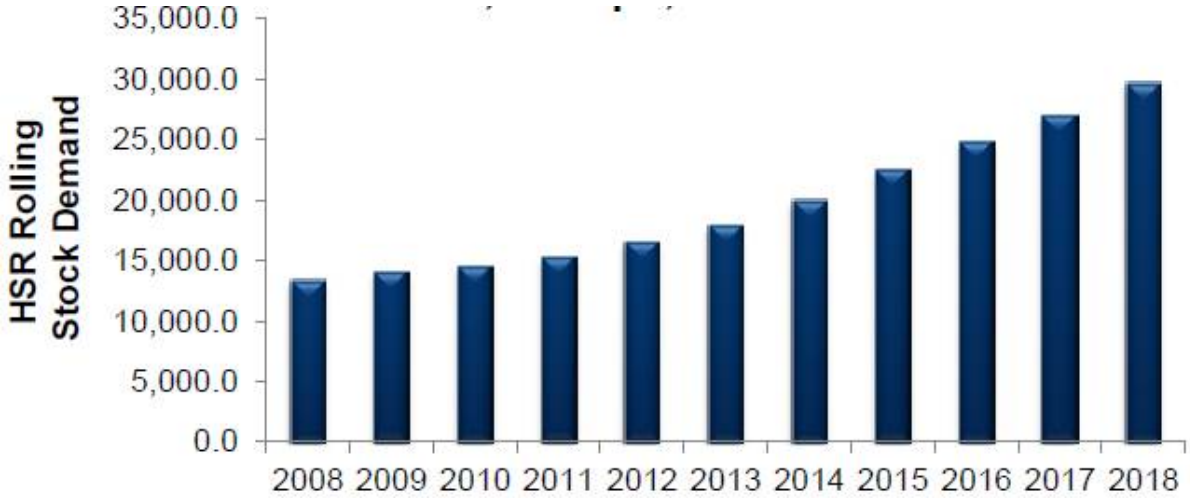


그림 1.2.16 2008~2018년 유럽의 고속철도차량 수요 예측.

. 아시아-태평양 지역의 경우에도 그림 1.2.17에서 보는 바와 같이 전반적인 수요 상승 곡석을 그리고 있는 것을 알 수 있다. 2011년과 2020년 사이에서 중국이 이 지역 철도차량 수요를 견인할 것으로 예상된다. 9,700 km의 신규 라인이 증설될 예정인데 이는 세계 시장에서 가장 큰 규모가 될 것이며 2014년까지 13,000 km가 넘는 라인이 풀가동될 것으로 예상된다. 일본은 아시아에서 가장 효율적인 고속철도 네트워크를 구축하고 있다. 신칸센과 'Bullet Train'은 35년 이상동안 운영되고 있으며 일본의 주요 지역을 모두 지나고 있다. 대만은 2007년부터 고속철도를 운영하고 있으며 총 길이는 타이페이에서 가요숭까지 약 345 km에 이르며 이 라인은 대만의 남북에 이르는 주요 역을 모두 지나고 있다. 일본, 대만과 한국은 2018년까지 새로운 고속철도 라인을 증설할 것으로 예상되고 있다.

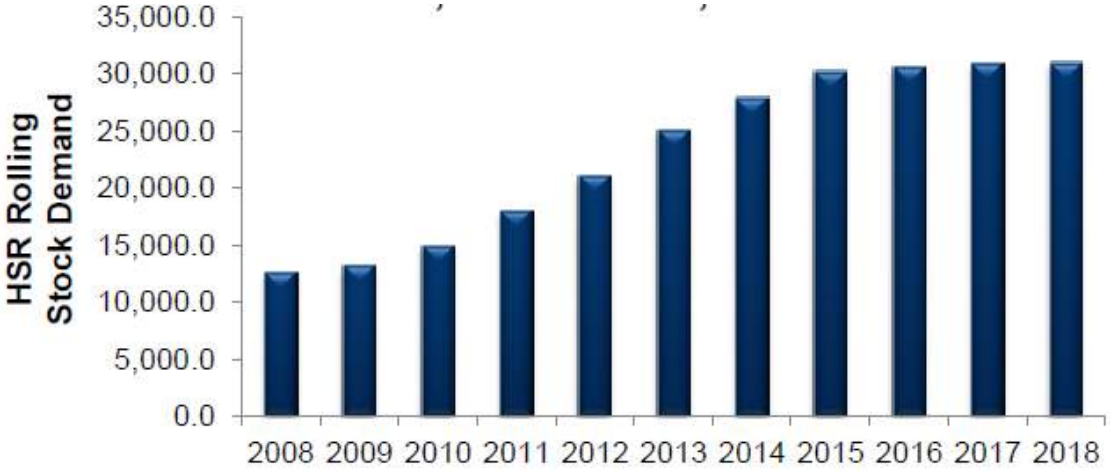


그림 1.2.17 2008~2018년 아시아-태평양 지역의 고속철도차량 수요 예측.

. 마지막으로 북미 지역의 경우, 그림 1.2.18에서 보는 바와 같이 2015년에서 2018년까지 증가하는 결과를 나타내고 있다. $620 million의 초기 자본이 투입되어 제작된 Southeast Corridor의 경우 북미 지역 최초의 고속철도 네트워크가 되었으며 이어서 $2.25 billion이 투입된 Californian Corridor가 제작되었다. 2015년까지 미국의 동쪽 및 서쪽 해안의 열차가 고속철도차량으로 전면 가동될 것으로 계획되어 있다. 그리고 2015년부터 2020년까지 약 300~400 km의 신규 라인이 증설될 것으로 예상된다. 2012년에 518 km의 고속철도 라인에 투입될 약 130대의 철도차량이 제작될 것으로 예상되고 2015년부터 2020년까지 400대의 철도차량이 만들어져서 총 3,890대의 철도차량이 운행될 것으로 예상된다. 이와 함께 중국과 한국의 OEM 업체들은 이러한 물량을 공급할 기회를 얻게 될 것이다.



그림 1.2.18 2008~2018년 아시아-태평양 지역의 고속철도차량 수요 예측.

. 이상과 같이 철도차량, 특히 고속철도 차량에 사용되는 고분자 및 복합재료 시장의 세계적인 동향과 향후 예측 내용을 살펴보았다. 이를 토대로 기술적 측면에서의 주요 시사점을 요약하면, 복합재료용 매트릭스 수지에서 불포화 폴리에스터, 비닐에스터 및 폴리우레탄 폼의 성장, 강화섬유인 유리섬유의 여전한 강세와 탄소섬유의 성장 및 한계가 재료상의 주요한 트렌드가 될 것이며 압축성형, RTM이나 압출 등 Closed molding 기술이 철도차량용 복합재 제조에서 그 비중을 점점 늘려갈 것으로 예상된다.

나. 마그네슘 분야

○ 그림 1.2.19는 2003년부터 2011년까지의 세계 마그네슘 생산량 (primary ingot) 변화를 나타낸 것으로 2003년 이후로 생산량이 지속적으로 증가하고 있다. 2007년에 생산량이 소폭 감소한 것은 캐나다의 대표적인 마그네슘 생산기업이었던 Noranda가 조업을 중단하였기 때문이다. 2008년 및 2009년에 일시적으로 마그네슘의 생산량이 감소한 것은 앞서 언급한 바와 같이 세계 마그네슘 최대 생산국인 중국이 2008년 북경 올림픽을 전후하여 소규모의 생산업체를 폐쇄하였기 때문이다. 2010년에는 마그네슘 생산량이 다시 증가세로 전환되어 최초로 700만톤 이상을 생산하였다. 그림 1.2.19에 나타낸 바와 같이 2003년 이후 중국의 시장 점유율이 점차 확대되어 2011년에는 85% 이상의 점유율을 나타내고 있다. 이러한 중국의 시장 독점으로 인하여 마그네슘 원소재의 수급에 대한 불안정성이 가중되고 있으며 원소재 가격 또한 중국의 정책에 따라 급격하게 변화하고 있다. 이러한 중국의 시장 독점을 견제하고 자국 내에서 소요되는 마그네슘 원소재를 안정적으로 수급하기 위하여 새로운 제련 공장의 설립이 추진되고 있으며 국내에서도 POSCO가 2012년에 마그네슘 제련 공장을 준공하였다.

○ 그림 1.2.20은 2008년부터 2011년까지의 미국 산업별 마그네슘합금 적용량 변화를 나타낸 것으로 전 세계적인 적용 동향도 이와 유사한 것으로 보고되고 있다. 그림 1.2.20에 나타낸 바와 같이 구조용(casting, wrought) 분야의 점유율이 지속적으로 증가하고 있으며 2011년에는 주조재가 가장 높은 점유율을 나타내었다. 이는 산업 전반에 걸쳐 경량화에 대한 요구가 증가하고 있으며, 지속적인 연구개발을 통해 마그네슘합금의 제반 특성과 생산성이 향상되어 다른 소재와의 품질 및 가격 경쟁력이 증대되었기 때문인 것으로 판단된다. 현재 세계 각국에서 친환경 수송기기 관련 기술 개발이 활발하게 진행되고 있는 것을 고려할 때 구조용 분야의 점유율이 더욱 확대될 것으로 예측된다.

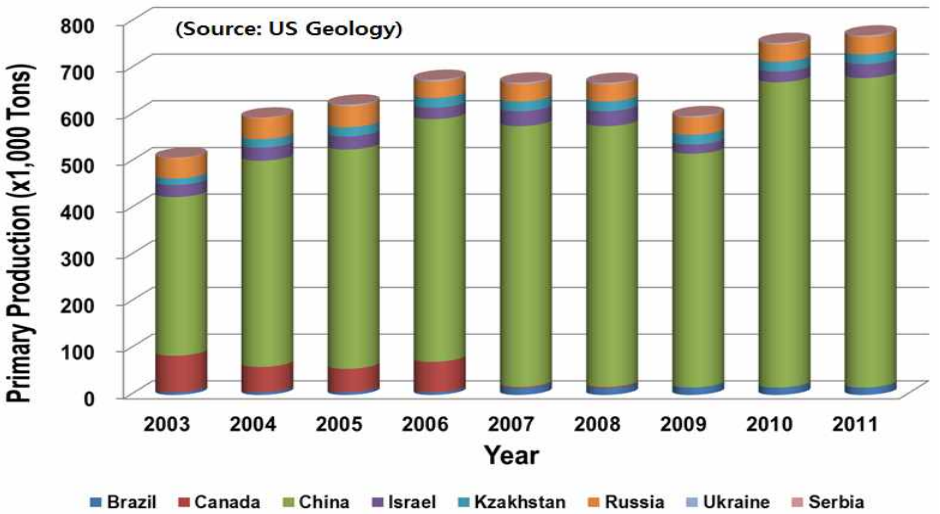


그림 1.2.19 세계 마그네슘 생산량 추이 (primary ingot).

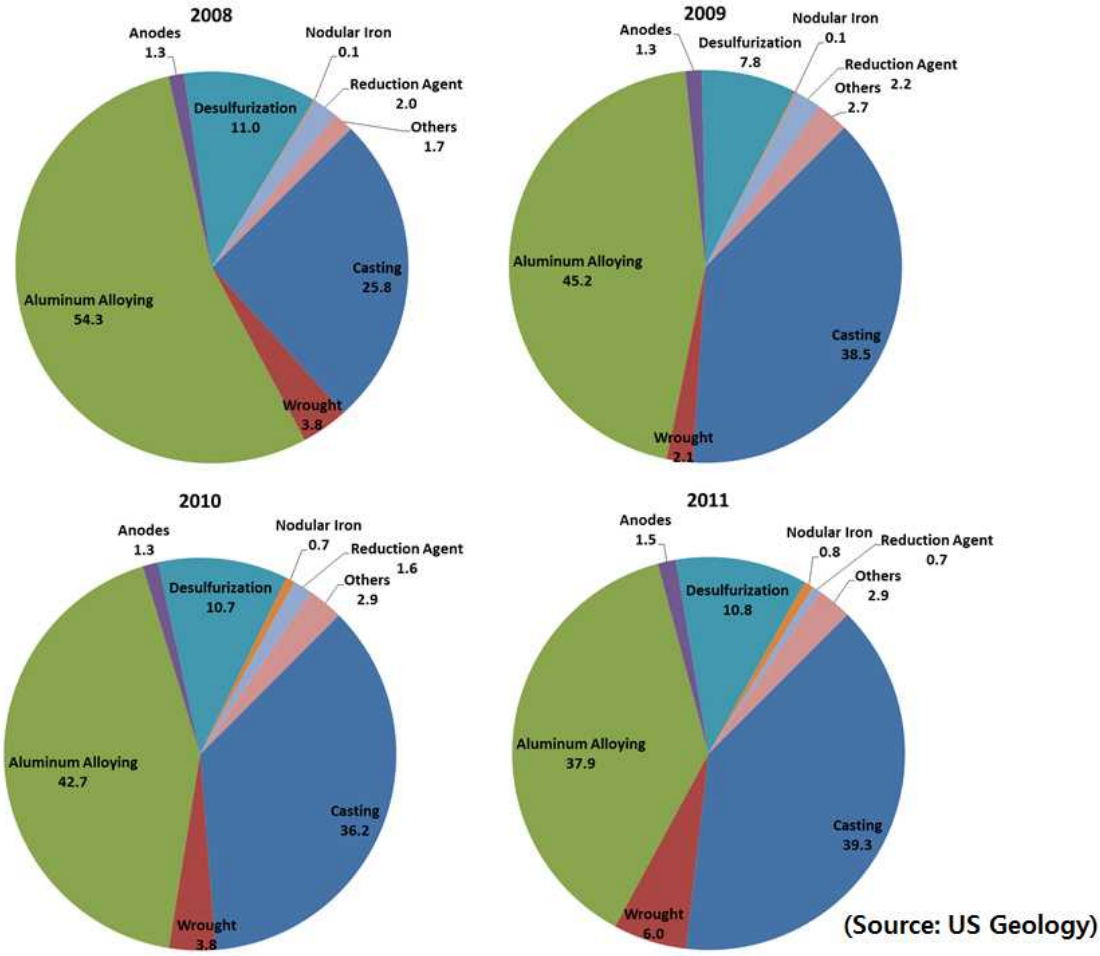


그림 1.2.20 미국 마그네슘합금 적용분야 추이.

3. Industry Value Chain 분석

가. 복합소재 분야

. 다른 복합재료 산업과 마찬가지로 철도용 복합재료 산업의 Industry value chain도 매트릭스 수지, 강화 섬유, 프리프레그 및 철도 부품 생산회사로 구분될 수 있으며, 각 항목별 주요 업체를 그림 1.2.21에 나타내고 있다. 주요 업체별 시장점유율을 살펴 보면 그림 1.2.22와 같은 결과를 얻는데, 상위 5개의 업체가 고속철도용 복합재료 전체 시장의 39.6%를 점유하고 있는 양상이다. Huntsman 社가 시장의 리더라고 볼 수 있는데 주로 폴리우레탄 분야에서 우세를 보이고 있다. AOC Resin 社는 불포화 폴리에스터, 비닐에스터 및 에폭시 수지 분야를 주도하고 있을 뿐 아니라, 많은 SMC/BMC 및 프리프레그 업체들과 제휴하여 여러 가지 신제품을 양산해 오고 있다. 3위 업체에 해당하는 Momentive 社는 고속철도 내/외장재에 사용되는 여러 가지 수지를 생산하고 있고 4위인 Owens Coorning 社는 강화용 유리섬유를 주로 생산하고 있다. 이외에 다른 업체들은 10% 미만의 시장 점유율을 가지고 있는 상황이다. 다국적 철도 OEM 업체들이 정부 정책이나 재료 운송비 등의 문제로 자국 또는 근접국의 자재를 사용하려는 경향에 따라 중국의 고분자 및 섬유 제조사들이 성장할 것으로 예상된다.

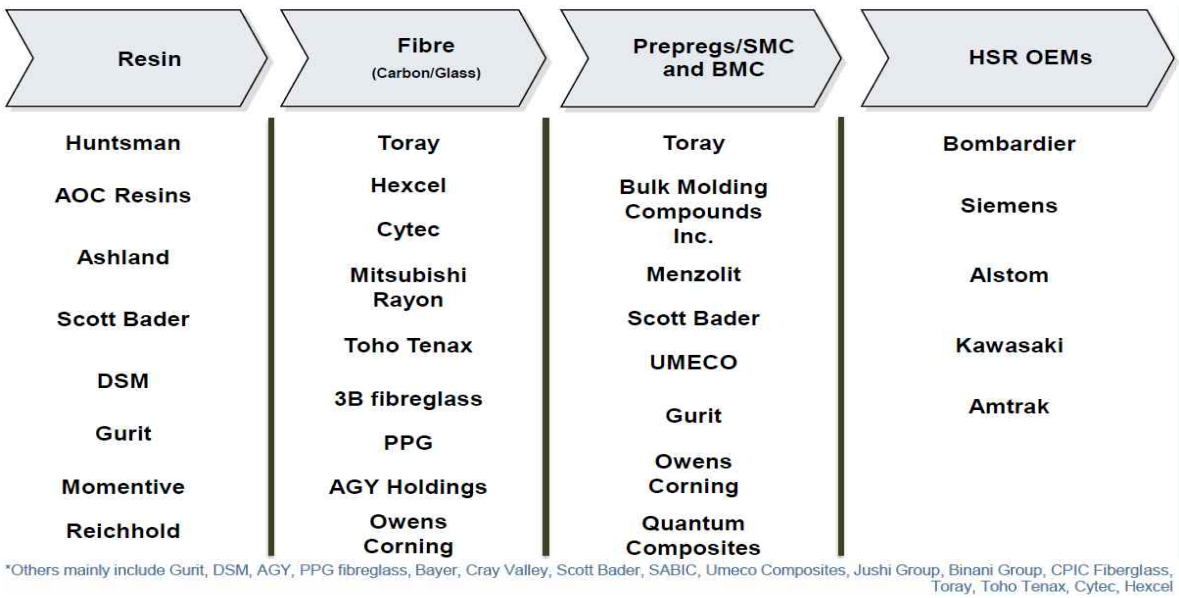


그림 1.2.21 고속철도용 고분자 복합재료 시장의 주요 Value chain 현황 (Frost & Sullivan analysis).

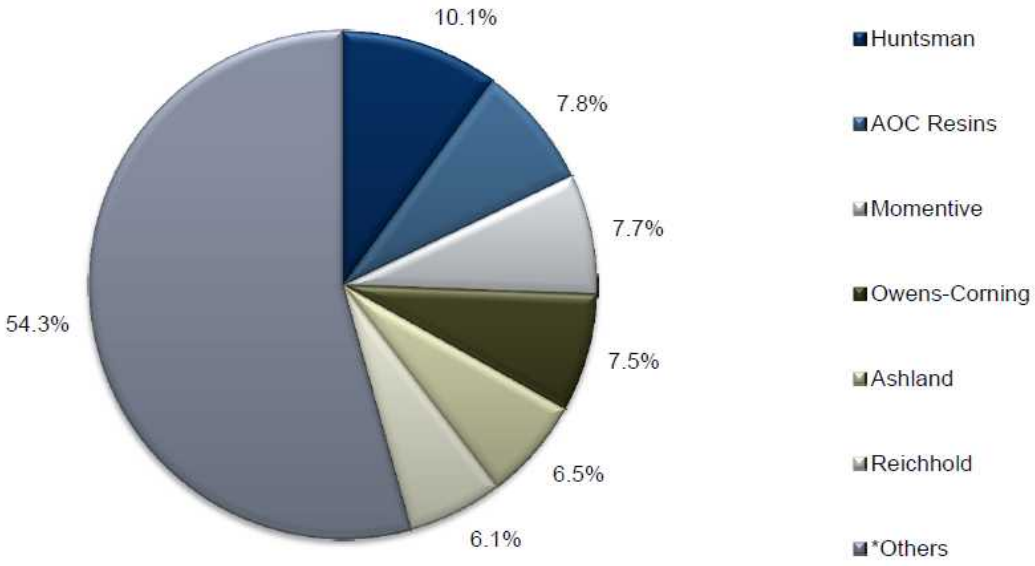


그림 1.2.22 2011년 고속철도용 고분자 복합재료 업체의 시장 점유율.

. 이러한 Industry value chain에 관한 통계 자료를 바탕으로 다음과 같은 산업과 시장의 중요한 몇가지 변화 동향을 파악할 수 있다.

- 복합재 제조공정 중에서 Autoclave molding과 같은 기존의 open molding 기술은 대량 생산 및 고품질 부품 생산이라는 트렌드에 맞지 않는 부분이 있어서 점점 인기를 잃어 가고 있다. 기업체들은 autoclave molding을 대체할 closed molding 기술을 적용하여 원가를 절감하고 생산 시간을 단축하는 데 집중해야 할 것으로 판단된다.
- 고속철도용 복합재료 업체는 대규모의 철도차량을 생산하는 몇몇 소수의 OEM 업체에 의존하는 경향이 강하기 때문에 이런 집중된 고객과의 관계 형성 및 유지가 시장 성장 및 생존의 중요한 열쇠가 될 것이다.
- 또한 고속철도 OEM 업체들도 주요 부품들에 대한 외주 생산 비율을 점점 높혀 가고 있다. 따라서 신제품의 적기 개발 및 도입을 위해서는 이러한 관계사 및 협력 업체들과의 긴밀한 의사소통 및 효율적인 협력관계 형성이 반드시 필요하다.
- 원자재 가격은 지속적으로 상승하고 있으며 이는 고분자 및 복합재료 공급업체들에게 원가 상승의 부담을 주고 있다. 따라서 복합재 업체들의 시장경쟁력 향상을 위해서는 공정 효율 개선, 신기술 개발 등을 위한 연구개발 투자를 아끼지 말아야 한다.

나. 마그네슘 분야

○ 표 1.2.3은 마그네슘 소재산업의 value chain을 개략적으로 나타낸 것이다.

표 1.2.3 마그네슘 소재의 value chain map.

원소재	중간재	부품	완성품
• Mg 잉고트 -중국, 미국, 캐나다, 이스라엘, 브라질 등 -'10년 75만톤 생산 (world, primary ingot) -'10년 1.58만톤 수입 -Taiyuan Tongxiang Magnesium Co. Ltd., Dead Sea Magnesium Co. Ltd, Solikamsk 등 -'12년 POSCO 제련 공장 준공(1만톤/년) • 재활용 잉고트 -'07년 이후 재활용 잉고트 사용 급증 -'10년 재활용 잉고트 9,600톤 생산 -HMK, KMI, 신화, CMT, 한국LMTech 등 	• Mg 빌렛 -캐나다, 영국, 러시아, 일본, 중국 등 -연간 1만톤 생산(world) -Timminco, MEL, VILS, Sumitomo 등 -그린카 개발 활성화로 폭발적 수요 증가 예상  • Mg 광폭 판재 -미국, 한국, 일본 등 -'10년 3천톤 규모(world) -'10년 60톤 규모(국내) -MENA(MEL), POSCO, Gonda 등 -그린카 개발 활성화로 폭발적 수요 증가 예상  • Mg 압출재 -캐나다, 영국, 이스라엘 등 -'10년 8.5천톤 규모(world) -Timminco, MEL, Alubin 등 -그린카 개발 활성화로 폭발적 수요 증가 예상 	• 자동차 부품 -미국, 독일, 일본, 중국, 한국 등 -'10년 자동차 1대당 7kg 적용되고 있으며, '20년 170kg으로 확대 예상 -Meridian, Gibbs, GM, BMW, Ford, Lunt 등  • 전자기기 부품 -한국, 일본, 중국 등 -'10년 전자기기에 1만톤 적용(국내) -휴대용 전자기기 시장 확대로 지속적 성장 예상 	• 자동차 -일본, 미국, 중국, 한국, 독일, 프랑스 등 -'10년 7750만대 생산(world) -'10년 427만대 생산, 282만대 수출(국내) -Toyota, GM, Ford, VW, Hyundai 등 -국내 자동차업계의 시장점유율 확대   • 스마트폰 -한국, 미국, 중국, 대만, 일본 등 -'12년 6.2억대, 2.8천억불 (world) -'12년 국내 내수시장 16.7조원 -삼성전자, Apple, Nokia, ZTE, LG, Sony 등 -삼성전자 세계 시장 점유율 1위 

○ 표 1.2.3에 나타낸 바와 같이 마그네슘 소재산업의 경우 원광석 또는 해수로부터 마그네슘 금속을 추출하여 제련-정련-합금화 과정을 통해 잉고트 형태로 제조

되는 원소재, 각종 형재 및 판재를 제조하기 위한 중간재, 원소재 및 중간재를 이용하여 다양한 성형공정을 통해 제조되는 부품 및 이들 부품을 조립한 완성품의 총 4단계로 value chain이 구성된다.

(1) 마그네슘 원소재

○ Pure Mg 잉고트는 열환원법 또는 전기분해법을 통하여 제조되며 중국이 전 세계 마그네슘 원소재 시장의 85% 이상을 점유하고 있다. Pure Mg 또는 기존의 상용 마그네슘 합금의 경우 대부분 중국에서 생산되어 대략 30% 정도가 중국에서 사용되며 생산량의 70% 정도가 세계 각국으로 수출되고 있다. 내열합금과 같이 일부 고특성 소재의 경우에는 기타 지역에서 생산되어 수요국가로 수출되고 있다. 2000년 이전 세계 시장을 지배하던 유럽 및 북미 국가의 시장점유율이 급격히 감소하여 대부분의 업체들이 조업을 중단한 상황이며, 중국 기업이 주요 생산업체로 부상하였다. 이스라엘의 Dead Sea Magnesium은 이스라엘과 독일이 50:50의 지분을 투자하여 설립한 기업으로 생산되는 마그네슘 소재의 대부분을 독일기업(Volkswagen)에서 사용하고 있다. 표 1.2.4는 세계 주요 primary ingot 생산기업을 나타낸 것이다.

표 1.2.4 세계 주요 마그네슘 primary ingot 생산기업.

기업명	생산규모 (tons/year)	국가
Taiyuan Tongxiang Magnesium Co. Ltd.	100,000	China
Ningxia Huiyo Magnesium Co. Ltd	66,000	China
Huaying Mining Group Co.	50,000	China
Qinghai Salt Lake Industry Group Co. Ltd	50,000	China
Fugu Coal & Chemical Group Co. Ltd	45,000	China
Dead Sea Magnesium Co. Ltd	35,000	Israel
CVM Minerals Ltd	30,000	Malaysia
Solikamsk	30,000	Russia

* 출처: US Geology Survey, Minerals Year Book (2009)

(2) 마그네슘 중간재

○ 각종 형재 및 판재 제조에 사용되는 마그네슘합금 빌렛의 경우 그림 1.2.23에 나타낸 바와 같이 2002년에 생산량이 급격하게 감소하였다가 이후 점진적으로 생산량이 증가하여 2010년에는 2001년 수준으로 회복되었다. 마그네슘 원소재

의 경우 중국이 독점적 지위를 확보하고 있는 반면에 그림 1.2.24에 나타낸 바와 같이 상당한 수준의 기술력이 요구되는 마그네슘합금 빌렛의 경우 북미 및 유럽 지역의 점유율이 80%를 상회하고 있다. 전체 마그네슘 생산량과 비교하여 마그네슘합금 빌렛의 생산량은 1.25%에 불과하며 생산량 추이에 대한 통계자료가 미미하다. 앞서 언급한 바와 같이 높은 기술력을 보유하고 있는 북미 및 유럽의 기업들이 기술 개발 및 시장을 선도하고 있으며, 일본, 중국 기업들이 점진적으로 성장하고 있다. 국내의 경우 마그빌, 알루텍 등이 pilot plant 규모의 생산설비를 보유하고 있으나 아직까지 양산화에 이르지 못하고 있다. 표 1.2.5은 세계 주요 마그네슘합금 빌렛 생산기업을 나타낸 것이다.

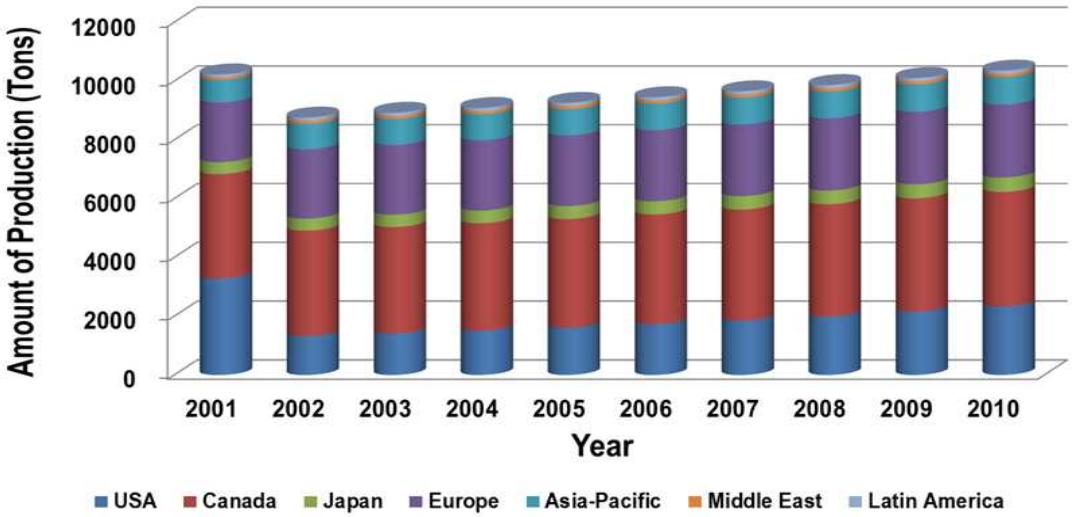


그림 1.2.23 세계 마그네슘합금 빌렛 생산량 추이(출처: Global Industry Analysis).

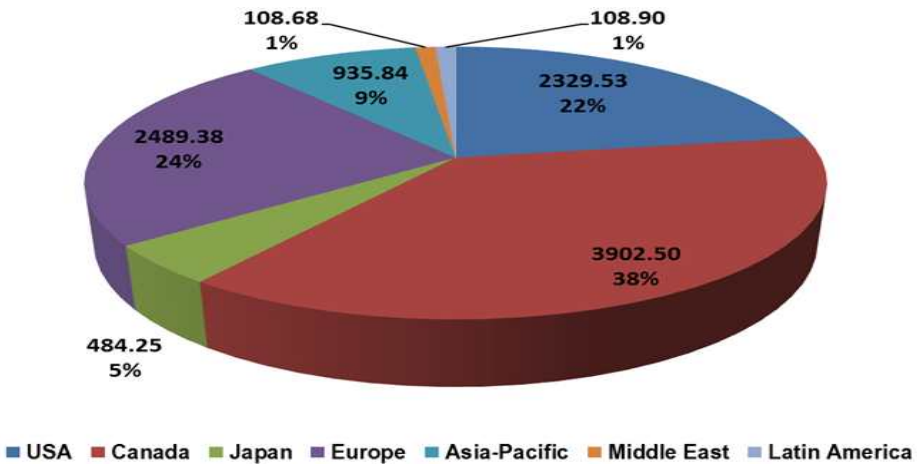


그림 1.2.24 2010년 지역별 마그네슘합금 빌렛 생산량(출처: Global Industry Analysis).

표 1.2.5 세계 주요 마그네슘합금 빌렛 생산기업.

기업명	국가
Timminco Ltd.	Canada
Magnesium Elektron	United Kingdom
VILS	Russia
Sumitomo	Japan
Advanced Magnesium Limited	Australia
Xian Yuechen Metal Products Co. Ltd.	China
Luoyang Xinyou Magnesium Co. Ltd.	China

○ 마그네슘합금 판재의 경우 아직까지 시장이 안정적으로 형성되지 않은 상태이며 세계 시장은 약 3천톤/년 규모로 추정되고 있고 국내는 60톤/년 규모로 추정된다. 유럽은 자동차 중심으로, 한국은 주방/가전기기 중심으로 판재의 수요개발을 진행하고 있으며 북미에서는 의료기기 등 기존 시장과 더불어 자동차 산업에서의 수요 개발이 진행되고 있다. 향후 친환경 자동차의 경량화에 대한 요구로 인하여 기존의 철강 또는 알루미늄합금 판재가 마그네슘합금 판재로 대체될 것으로 예측되고 있어 시장 진입을 할 경우 안정적으로 마그네슘합금 판재 시장이 형성될 것으로 판단된다. 현재 MENA(미국), POSCO(한국), Gonda Metal(일본) 등에서 마그네슘합금 판재를 생산하고 있으며 세계에서 소비되는 대부분의 판재는 direct chill 주조 후 반복적인 열간압연을 통하여 생산되는 MENA사 제품이다. 그러나 지속적으로 판재를 생산하는 것이 아니라 수요에 따라 간헐적으로 생산하고 있어 알루미늄합금 판재에 비하여 고가이다. 알루미늄합금 판재와의 가격 경쟁력 확보가 가능한 박판주조공법으로 판재를 생산하고 있는 기업으로는 POSCO, MgF 등이 있다. MENA사의 경우 소규모 시장에서 고가 정책을 지속적으로 유지하고 있으나 향후 생산 확대를 위해 자동차 부품 적용과 관련된 연구개발을 활발하게 진행하고 있다. POSCO의 경우 박판주조 및 가역식 온간압연공정을 적용하여 대량 생산 및 판매를 추진하고 있으나 아직까지 안정적인 시장을 확보하고 있지 못한 상황이다. 현재는 주방용기 및 산업용품에 주로 적용하고 있으나 수송기기에의 확대 적용을 위해 폭 2000mm 판재를 연속주조하기 위한 시설 투자 및 연구개발을 진행하고 있다. 유럽의 경우 Thysenkrupp사의 자회사인 MgF사에서 박판주조를 통해 판재를 생산하고 있으나 본격적인 생산/판매 보다는 향후 시장 확보를 위해 완성차 제조업체와 공동 연구개발을 활발하게 수행하고 있으며 초기 시장 진입 후 본격적인 대량 생산을 추진하고 있다.

○ 마그네슘합금 압출재의 경우 압출재 제조에 사용되는 빌렛과 유사한 시장 현황

을 나타내고 있으며, 높은 기술력을 보유하고 있는 북미 및 유럽 기업들이 기술 개발 및 시장을 선도하고 있고 한국, 일본, 중국 등 아시아 국가들이 관련 기술 개발을 활발하게 추진하고 있다. 국내의 경우 동양강철, 두원산업, 보원경금속 등에서 압출재 제조기술을 개발하고 있으나 아직까지 실용화에는 이르지 못하고 있다. 표 1.2.6는 세계 주요 마그네슘합금 압출재 생산기업을 나타낸 것이다.

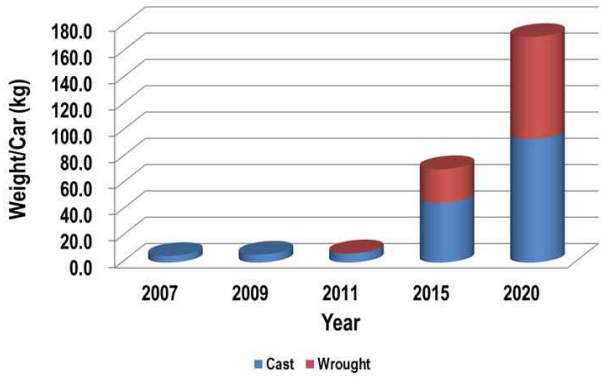
표 1.2.6 세계 주요 마그네슘합금 압출재 생산기업.

기업명	국가
Timminco Ltd.	Canada
Magnesium Elektron	United Kingdom
Alubin	Israel
Hebi Wuhua Magnesium Processing Co. Ltd.	China

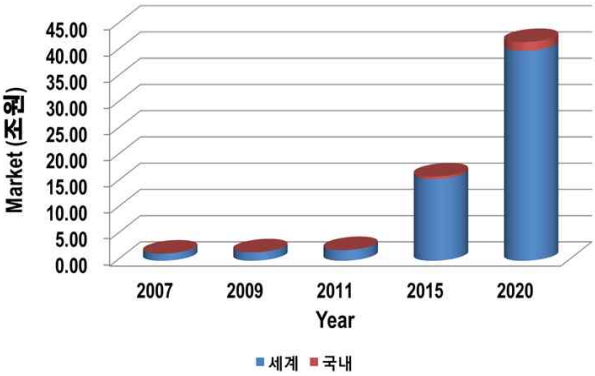
○ 가공용 마그네슘합금(중간재)에 대한 완성품 제조업체의 수요는 큰 반면에 가격과 품질 면에서 경쟁 소재와의 경쟁력을 확보하지 못하여 사용량이 획기적으로 증가하지 못하고 있다. 그러나 전 세계적으로 친환경 수송기기 개발 경쟁이 가속화됨에 따라 마그네슘합금의 사용량이 급증할 것으로 예상되며, 특히 주조재와 비교하여 상대적으로 적용분야가 제한되어 있던 가공용 마그네슘합금의 사용량이 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

(3) 마그네슘합금제 부품 - 자동차

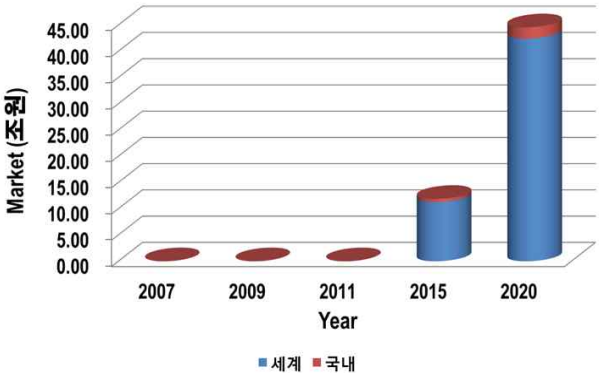
○ 마그네슘합금의 최대 수요처는 자동차 산업으로 1990년대 이후 자동차 부품에의 마그네슘합금 적용량은 점진적으로 증가하여 2011년 자동차 1대당 평균 7kg의 마그네슘합금이 적용되었다. 전 세계적으로 연비 기준 및 환경규제가 강화됨에 따라 친환경 자동차 개발 경쟁이 가속화되고 있으며, 현재의 내연기관 자동차와 대등한 수준의 성능을 갖는 친환경 자동차를 개발하기 위해서는 차체 경량화가 필수적으로 요구되고 있어 마그네슘합금의 적용량은 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있다. 그림 1.2.25에 나타낸 바와 같이 US AMP(Automotive Materials Partnership)의 “Magnesium Vision 2020"에 의하면 2020년에는 자동차 1대당 171.5kg의 마그네슘합금이 적용될 것으로 예측된다.



자동차 1대당 마그네슘합금제 부품 적용량 추이



마그네슘합금제 주조부품 시장규모 추이



마그네슘합금제 소성가공부품 시장규모 추이

그림 1.2.25 자동차 1대당 마그네슘합금제 부품 적용량 및 시장규모 추이(출처: Magnesium Vision 2020-US AMP).

○ 마그네슘합금제 자동차 부품의 주요 생산국은 미국, 독일, 캐나다, 일본, 한국, 중국 등이며 생산량에 대한 정보는 공개되고 있지 않다. 국내 자동차에 적용되고 있는 마그네슘합금제 자동차 부품은 전량 국내에서 생산되고 있으며, 해외로의 수출은 미미한 상황이다. 현재 자동차에 적용되고 있는 자동차 부품은 전부 주조부품이며 북미 및 유럽 지역의 기업들이 시장을 주도하고 있다. 요구되는 기술 수준이 높지 않은 제품의 경우 중국이 최대 생산국가로 부상하고 있다. 표 1.2.7는 세계 주요 마그네슘합금제 주조부품 생산기업을 나타낸 것이다.

표 1.2.7 세계 주요 마그네슘합금제 주조부품 생산기업.

기업명	생산품목
Lunt Manufacturing Co. Inc.	Door, Valve cover, Transmission housing, Transfer case, Tilt head, Support beams, Steering wheel cores, Steering column brackets, Seat supports, Lock housing, IP cross-car beams, Intake manifolds, Cylinder head cover, Console brackets, Clutch pedal brackets, Sunroof
General Motors	Transmission housings, Support beams, Steering column brackets, IP cross-car beams, Instrument panel support beams, Housings, Clutch pedal brackets, engine cradle
Ford	Instrument panels, Steering wheel armatures, Seat supports, Lock housings, IP cross-car beams, Console brackets, Clutch pedal brackets, Cam covers,
Daimler	Instrument panels, Transmission housings, Steering column brackets, Air bag housings, Lock housings, IP cross-car beams, Gearboxes, Engine accessory brackets, Cylinder head cover, Wheels
BMW	Valve covers, Steering column brackets, Intake manifolds, Instrument panel support beams, Composite crankcase, Engine, Sunroof
Zitzmann Druckguss	Instrument panels, Steering column brackets, Console brackets, Gearshift
Meridian	Instrument panels, 4WD Transfer case, Front end carriers, Seat frames, Steering column brackets, engine cradle,

(4) 완성품 - 자동차

○ 그림 1.2.26에 나타낸 바와 같이 세계 자동차 시장은 2001년 이후 지속적으로 성장하다가 2008년 글로벌 금융위기로 인하여 생산량이 급격히 감소하였으나 2010년에 다시 고속 성장하여 향후 지속적으로 생산량이 증가할 것으로 예상된다. 국내 자동차 시장은 세계 자동차 시장과 유사한 경향의 성장 패턴을 나타내었으며, 특히 글로벌 금융 위기 이후 자동차 시장 재편 과정에서 비약적으로 시장 점유율이 증가하였고 향후에도 시장점유율이 확대될 것으로 예상된다.

○ 연간 200만대 이상을 생산하는 국가로는 미국, 독일, 프랑스, 스페인, 캐나다, 멕시코, 브라질, 중국, 인도, 일본, 한국 등이 있으며 중국이 최대 생산국으로 부상하였다. 국내의 경우 2003년 이후로 수출의 비중이 증가하고 있으며 2001년 이후로 자동차 수입이 점진적으로 증가하고 있다. 2000년대 초반에는 북미 자동차 완성업체가 높은 시장 점유율을 차지하고 있었으나 2000년대 중반부터 일본 자동차

완성업체의 시장 점유율이 점차 증가하기 시작하였으며, 2008년 글로벌 경제위기 이후에는 Toyota가 업계 1위를 차지하였다. 글로벌 경제위기 이후 아시아권 자동차 완성업체의 시장 점유율이 급격하게 증가하고 있으며, 특히 10위권 내에 머물던 현대-기아자동차가 세계 5위권 이내로 진입한 반면 세계 5위권을 유지하던 Daimler-Chrysler사가 분사 이후 10위권 밖으로 밀려나는 등 세계 자동차 시장이 재편되었다. 표 1.2.8은 세계 주요 자동차 완성업체의 현황을 나타낸 것이다.

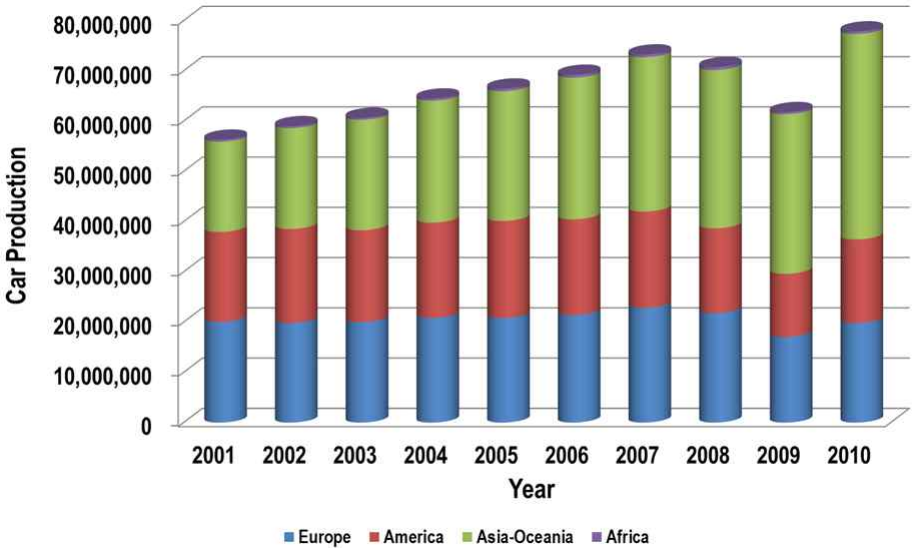


그림 1.2.26 세계 자동차 생산량 추이(출처: OICA 통계자료).

표 1.2.8 세계 주요 자동차 완성업체 현황(출처: OICA 통계자료)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
GM	7,582,561	8,325,835	8,185,997	8,066,536	9,097,855	8,965,305	9,439,818	8,282,803	6,459,053	8,476,192
Ford	6,676,491	6,729,499	6,566,089	6,644,024	6,497,746	6,506,847	6,247,506	5,407,000	4,685,394	4,988,031
Toyota	6,054,968	6,626,387	6,240,526	6,814,554	7,338,314	8,036,010	8,534,690	9,237,780	7,234,439	8,557,351
Volkwagen	5,108,982	5,017,438	5,024,032	5,095,480	5,211,413	5,684,603	6,267,891	6,437,414	6,067,208	7,341,065
Daimler Chrysler	4,364,492	4,456,325	4,231,603	4,627,883	4,815,593	2,544,590	2,096,977	2,174,299	1,447,953	1,940,465
Peugeot	3,102,449	3,262,146	3,310,368	3,405,245	3,375,366	3,356,859	3,457,385	3,325,407	3,042,311	3,605,524
Honda	2,673,671	2,988,427	2,922,526	3,237,434	3,436,164	3,669,514	3,911,814	3,912,700	3,012,637	3,643,057
Nissan	2,558,979	2,718,828	2,942,306	3,190,219	3,494,274	3,223,372	3,431,398	3,395,065	2,744,562	3,982,162
Hyundai-Kia	2,518,443	2,641,825	2,697,435	2,766,321	3,091,060	2,505,027	2,617,725	2,777,137	4,645,776	5,764,918
Renault	2,375,084	2,328,508	2,386,098	2,471,654	2,616,818	2,543,649	2,669,040	2,417,351	2,296,009	2,716,286

4. 국내 기술 인프라·기술인력 현황

가. 복합소재 분야

○ **재료연구소**는 15년 이상 고성능 복합재료 부품 성형에 관한 연구개발을 진행하고 있으며 기반기술 및 실용화 기술을 보유하고 있는 국내의 대표적인 복합재료 연구 기관으로서 서울대학교, KAIST 등 대학뿐만 아니라 데크, 한국화이바 등 기업과의 협력 연구를 통해 국내 복합재료 연구 개발을 주도하고 있음.

○ **한국화이바**의 경우 복합재료 분야 국내의 선도 기업으로서 복합재 원재료에서 부품, 제품에 이르기까지 개발 및 양산 체제를 갖추고 있으며 차량사업부에서 철도차량 분야의 차체, 내/외장재 부품 등의 개발 및 양산을 주도적으로 수행하고 있음.

○ **데크**는 항공기, 방위산업 분야에서 복합재료를 주력으로 생산하고 있는 복합재 전문기업으로서 복합재 설계 및 해석, 신공정 개발 등 복합재 제조에 필요한 기술을 보유하고 있으며 복합재 관련 다수의 프로젝트를 수행하고 있음.

○ **케이엠**은 인퓨젼 공법 및 오토클레이브 공법을 이용한 복합재료 구조물 제조 전문 기업체로서 대형 풍력 블레이드, 압력용기, 자동차 drive shaft 및 외장 패널, 건축용 복합재료 개발을 수행하고 있음. 특히 풍력 블레이드 분야에서는 국내 최고의 기술을 가지고 있으며, 70 m 급 블레이드의 인퓨젼 공정을 이용한 제조를 수행하고 있음.

○ 복합재료의 강화재인 섬유는 탄소섬유와 유리섬유가 구조재료로서 주로 사용되고 있음. 유리섬유의 경우 국내 생산이 가능하며, 탄소섬유의 경우 해외 업체에서 수입해서 사용하고 있음. 하지만 정부의 탄소 밸리 육성과 관련하여 전주에서 국내 탄소섬유 생산 기술 개발이 진행되고 있음.

○ **국도화학**은 복합재료의 기지재료인 고분자 수지 생산 전문 업체로, 1972년 설립되어 연간 322,000 M/T의 에폭시 생산능력을 보유하고 있고, 2012년 연매출 6,200 억원임.

○ **금호피앤비**는 기지재료인 BPA(bisphenol-A)수지의 연간 생산 능력을 30만 톤에서 45만톤으로 증설하고 있으며, 풍력 블레이드용 에폭시 수지를 개발하였음. 연매출 1조 1,440 억원 (2012년)임.

○ 국내 복합재료 수지 산업은 그 규모나 기술면에서 세계적인 수준이며, 소비자의 요구조건에 맞는 수지 재료의 개발이 가능한 수준임.

○ 티비카본은 복합재료 프리프레그 생산 업체로 연매출 139억원 (2012년)의 중소기업임. 복합재료 중간재인 프리프레그를 생산하고 있으며, 제품 개발은 수행하고 있지 않음.

○ 국내 에폭시 수지 업체 연간 생산량 (단위: M/T)

국도화학	금호피앤비화학	모멘티브코리아	한국다우케미칼
322,000	90,000	40,000	40,000

표 1.2.9 복합재료 관련 국내 주요 기관 현황

기관명	재료연구소	(주)데크	(주)한국화이바	(주)케이엠
구분	연구소	기업	기업	기업
기술 인력	복합재 전문인력 17명 (정규직)	141명 (전체임직원)	1000명 이상	125명 (전체임직원)
매출 규모	-	280억원 (2012년)	1800억원 (2012년)	183억원 (2012년)
장비 보유 현황	오토클래이브 (200°C, 10atm) 1식, Dry oven(300°C) 2식, 55ton급 사출성형기 1식, 10ton급 만능재료시험기(UTM) 1식, 25ton급 만능재료시험기 1식, 10ton급 피로시험기 (1식), 환경챔버 (-70°C~280°C) 2식	대형오토클래이브(4000L) 1식, 고압오토클래이브(1000psi) 1식, 필라멘트와인딩, 프레스 (150/700 ton), 대형/초대형 흑연화로 (2400°C), TG/CVI furnace (1250°C)	오토클래이브 (Φ=2.2~5m, L=6~30m), Impact tester, UTM, Vacuum press, Furnace	RIM용 수지 혼합기 (20L/min) 2식, Glue dispenser (20L/min) 1식, Vacuum pump(30HP) 1식, Auto-cutting machine(6m*3m)1식, 복합재료 섬유분율 측정용 오븐 (1200°C) 1식, 복합재료 구조물 성형용 heating system (900,000Kcal/h) 1식
보유 기술	RTM, Vacuum infusion, HP-RTM, Autoclave, Press molding 등 복합재 제조 설비 및 기술과 구조 설계, 평가 기술에 이르는 복합재 전주기적 기술 보유	Autoclave, Filament winding, Press molding, Graphitization furnace, TG/CVI furnace, RTM 등 복합재 제조 설비 및 기술 보유	Autoclave molding 전문 제조 기술과 평가, 분석 등의 복합재 부문 전문 기술을 보유하고 있고 다수의 철도차량용 복합재 양산경험을 보유함	Autoclave, Resin infusion molding을 이용한 복합재료 상품 제조기술 및 설비를 보유, 특히 70m 급 초대형 복합재료 풍력 블레이드 제조 기술을 보유하고 있음
주요 프로젝트 및 실적	-탄소섬유기반 고성능 중간재 및 복합재 차체부품 개발 -초경량 구조용 나	-21세기 프론티어 연구 -차세대/신기술 개발	-철도차량 사업분야 ISO 9001:2000 인증 -인도전동차, 광주전	-복합재료 풍력 터빈 블레이드 개발 - KM24, KM43, KM44등 개발

	노복합소재 -복합재 블레이드 제조공정 고도화 기술개발 -민항기 도어용 복합재 스캔 열성형 요소기술 개발 -3MW/5MW 풍력 블레이드 해석/설계 기술개발 -RTM 공정을 이용한 T-50용 복합재 Inlet Lip 개발 등 복합재 관련 풍부한 프로젝트 수행경험이 있음	-항공우주개발 -부품소재기술사업 -신재생에너지사업 -소형항공기급인증기 개발사업 -구조건전성모니터링요소기술개발 등 다수의 프로젝트 수행함	동차, 그리스 전동차 등 초도납품 -KTX-2 산천 고속차량 납품 -차세대 고속차량(HEMU-430X) 개발 제작 참여 -한국형 틸팅열차 개발, 호남고속차량 220량 초도 납품 등 철도차량 분야 다수의 프로젝트 및 양산경험 보유	- Filament winding 기법을 이용한 압력용기 제작 기술 개발 -국산 풍력 터빈 DSB48.3 블레이드 제조 기술 개발 -자동차 외장 부품 및 샤프트의 복합재료 적용 설계 제작

나. 마그네슘 분야

○ 1980년대 말 일본에서 난연성 마그네슘합금에 대한 연구가 시작된 이후 일본, 한국, 중국 등 동북아시아를 중심으로 관련 기술 개발이 꾸준하게 진행되고 있으나 아직까지 상업화 사례는 보고되고 있지 않음.

○ 국내의 경우 1990년대 중반부터 재료연구소가 난연성 마그네슘합금 관련 기술 개발을 지속적으로 수행하고 있으며 2011년 합금 조성 제어를 통해 난연성 및 기계적 특성을 동시에 향상시킬 수 있는 원천기술을 세계 최초로 개발하여 휴대용 전자기기 부품에 대한 pilot plant 규모의 실증 시험을 성공리에 완수하고 실용화를 추진하고 있음.

○ **한국생산기술연구원**은 2000년대 초부터 CaO를 첨가한 Eco-Mg 관련 기술 개발을 수행하여 2010년에 HMK에 기술을 이전한 후 실용화를 추진하였으나 여러 가지 기술적인 문제점으로 인하여 아직까지 실용화 사례는 보고되고 있지 않음.

표 1.2.10 난연성 마그네슘합금 관련 국내 연구기관 현황.

	재료연구소	한국생산기술연구원
연구개발 이력	1998~현재	2004~현재
전문연구진	Mg 소재 전담 7인(정규직)	Mg 소재 전담 인력 없음
연구개발과제	•난연성 Mg 합금 개발(재료연 기본사업, 1998~1999) •난연성 마그네슘합금의 친환경 용해·주조기술 개발(과기부 NRL, 2001~2004) •난연성 마그네슘합금의 친환경 용해·주조기술 개발(재료연 기본사업, 2004~2006) •마그네슘합금의 활성반응 제어기술 개발(재료연 기본사업, 2009~2011) •난연성 마그네슘합금의 다이캐스팅 부품 적용성 평가(케이메트로 수탁사업, 2010~2011) •부식환경 대응 마그네슘합금 개발(재료연 주요사업, 2011~2015)	•친환경 마그네슘 부품 제조를 위한 공정기술 개발(생기원 주요사업, 2009~2011) •환경부하 및 에너지 저감을 위한 Eco-Mg 생산기반기술 개발(지경부, 제조기반산업원천기술개발, 2011~2014) •Eco-Mg 고성능 물성 메커니즘 규명 및 공정기술개발(생기원 주요사업, 2011) •무기체계 성능향상을 위한 400MPa급 압출용 마그네슘합금 및 뿌리기술 개발(지경부 부품소재 산업경쟁력향상사업, 2012~2017)
주요 보유기술	합금 조성 제어를 통한 난연성 및 기계적 특성 동시 향상 기술	CaO 첨가를 통한 난연성 향상 기술

○ 국내에서 난연성 마그네슘합금 및 부품을 양산하고 있는 기업은 없으나 잠재적 생산기업이 다수 존재

○ 난연성 마그네슘합금 원소재(잉코트)를 생산할 수 있는 잠재적 기업으로는 2012년 강원도 옥계에 마그네슘 제련공장을 준공한 POSCO가 있으며, 재활용 기술을 바탕으로 중·소 규모의 원소재 생산이 가능한 잠재적 기업으로는 KMI, 신화, HMK 등이 있음.

○ **POSCO 제련공장**의 경우 생산능력은 2013년 현재 연간 10,000ton이며, 2018년에는 연간 100,00ton 규모로 생산능력을 확장할 예정임.

○ 국내 마그네슘합금 재활용업체의 연간 생산량은 2010년 기준으로 약 10,000ton이며 마그네슘합금의 적용량이 증가함에 따라 재활용업체의 생산량도 증가할 것으로 예측됨.

○ 난연성 마그네슘합금 압출재를 생산할 수 있는 잠재적 기업으로는 동양강철, 알코아 코리아, 두원산업, 보원경금속, 삼마 등이 있음.

○ **알코아 코리아**는 세계적인 알루미늄 소재 그룹인 알코아의 한국법인으로 자동차, 항공, 방위산업 등에 적용되는 알루미늄합금 압출재를 전문적으로 생산하고 있으며 2011년 매출액은 542억원임. 군수용 알루미늄합금 압출재 부품의 일부를 대체하여 상용 마그네슘합금 압출재 부품을 생산하고 있음.

○ **보원경금속**은 부품소재산업경쟁력향상사업을 통해 마그네슘합금 압출재 제조기술을 개발하고 있으며 2012년 매출액은 293억원임.

○ **두원산업**은 마그네슘합금 압출재(봉재, 형재, 파이프) 제조기술을 개발하였으나 실용화 사례는 보고되고 있지 않음.

○ **삼마**는 인라인스케이트용 프레임 및 자전거 프레임용 마그네슘합금 압출재 제조기술을 개발하였으나 실용화에는 성공하지 못함.

○ 난연성 마그네슘합금 압연재를 생산할 수 있는 잠재적 기업으로는 전남 순천에 연간 3,000ton 규모의 판재 제조공장을 보유하고 있는 POSCO가 있음.

○ POSCO는 박판주조공정을 이용한 광폭 마그네슘합금 판재 연속제조기술에 있어 세계 최고의 기술력을 보유하고 있으며 폭 470mm, 두께 0.4~1mm의 AZ31B 판재를 생산하고 있음. 현재 WPM사업을 통해 폭 2,000mm 판재를 연속제조하는 기술을 개발하고 있음.

○ 현재 마그네슘합금제 부품의 대부분은 다이캐스팅 공정을 통하여 제조되고 있으며 난연성 마그네슘합금 다이캐스팅 부품을 제조할 수 있는 잠재적 기업으로는 대동, NSC, 이노캐스트, KH Vatec, 알티전자, 금오캐스트, 인지 AMT 등이 있음.

○ **대동(구 신창전기)**은 국내 마그네슘합금 다이캐스팅 업체 중 가장 규모가 큰 기업으로 각종 자동차 부품 및 휴대용 전자기기 부품을 생산하고 있음.

○ **NSC**는 알루미늄합금 및 마그네슘합금 주조 부품을 전문적으로 생산하는 기업으로 현재 자동차용 steering wheel을 생산하고 있으며 그랜져 TG용 seat frame을 납품하였음.

○ **이노캐스트**는 다이캐스팅 전문기업으로 자동차 부품, 휴대용 전자기기 부품, 휴대용 공구 부품 등 다양한 제품에 마그네슘합금을 적용하였으며 2012년 매출액은 227억원임.

○ **금오캐스트**는 알루미늄합금 및 마그네슘합금 다이캐스팅 전문기업으로 마그네슘합금의 경우 주로 자동차용 head lamp에 적용되는 부품을 생산하고 있으며, YF 소나타, 에쿠스, 제네시스 등에 마그네슘합금제 head lamp 부품을 적용하고 있음.

○ **KH Vatec, 알티전자** 등은 휴대용 전자기기 부품을 전문적으로 생산하는 기업으로 현재 각종 휴대폰, 스마트폰, table pc, 스마트 패드 등에 적용되는 마그네슘합금제 다이캐스팅 부품을 양산하고 있음.

○ KH Vatec의 경우 2012년 매출액은 3,559억원이며, 이중 마그네슘합금제 다이캐스팅 부품의 매출액이 2,523억원으로 전체 매출의 71%를 차지하였으며 정규직 직원은 536명임. 알티전자의 2012년 매출액은 569억원임.

○ 철도차량용 모듈 제조업체로는 차량용 스프링 및 의자를 전문적으로 생산하는 대원강업이 있으며 2012년 매출액은 1조원이고 직원은 1,900여명임. KTX 및 KTX-II에 상용 마그네슘합금제 다이캐스팅 부품을 적용한 승객용 의자를 납품하였으며 철도차량 안전기준에 부합하는 난연성 마그네슘합금 소재 적용을 적극적으로 추진하고 있음.

○ 마그네슘 합금 관련 국내기업 설비 현황

표 1.2.11 마그네슘 관련 국내 주요 기관 현황

기관명	**재료연구소**	**한국생산기술연구원**	POSCO	**알코아코리아**
구분	연구소	연구소	기업	기업
기술 인력	193명 (Mg 전문인력 정규직 7명)	484명	마그네슘 사업부 관련 60여명	170명 (전체 종업원)
매출 규모	-	-	63조원 (2012년, 전체)	476억원 (2012년)
장비 보유 현황	500Ton 압출기 1식, 열간압연기 2식, 고주파 유도로 2식, 열처리로 2식, 수평연속주조설비 1식	고주파 유도로 3식, 마그네슘 용해로 2식, 510Ton 복동식 압출기 1식, Cross Roll 압연기 1식	연 1만Ton 마그네슘 잉곳 제조설비 1식, 연 3천Ton 마그네슘 판재 제조설비 1식	4200Ton 압출기 1식, 2200Ton 압출기 1식, 1,800Ton 압출기 1식, 1650Ton 압출기 1식, 1350Ton 압출기 1식, 660Ton 압출기 1식
기관명	**동양강철**	**보원경금속**	**두원산업**	**삼마**
구분	기업	기업	기업	기업
기술 인력	290명 (전체 정규직)	70명 (전체 정규직)	9명 (전체 정규직)	7명 (전체 정규직)
매출 규모	2200억원 (2012년)	293억원 (2012년)	6.9억원 (2011년)	6.5억원 (2012년)

장비 보유 현황	8000Ton 압출기 1식, 3600Ton 압출기 1식, 2750Ton 압출기 1식, 1800Ton 압출기 2식, 800Ton 압출기 1식	2500Ton 압출기 1식, 2200Ton 복동식 압출기 1식, 1650Ton 압출기 1식, 1250Ton 압출기 1식,	마그네슘 용해로 7식, 압출기 2식, 압연기 2식	600Ton 압출기 1식, 고주파 빌렛 예열기 1식, 금형 예열로 1식
기관명	대동(신창전기)	이노캐스트	KH Vatec	알티전자
구분	기업	기업	기업	기업
기술 인력	984명 (전체 정규직)	69명 (전체 정규직)	536명 (전체 정규직)	75명 (전체 정규직)
매출 규모	Mg 다이캐스팅 분야 211억원 (2012년)	227억원 (2012년)	2523억원 (2012년)	584억원 (2012년)
장비 보유 현황	Mg 다이캐스팅 설비, Mg 용해로	Hot chamber 다이캐스팅 설비 7식, Cold chamber 다이캐스팅 설비 6식	Mg 다이캐스팅 설비, Mg 용해로	Mg 다이캐스팅 설비, Mg 용해로
기관명	금오캐스트	인지 AMT	대원강업	
구분	기업	기업	기업	
기술 인력	56명 (전체 정규직)	-	1023명 (전체 정규직)	
매출 규모	102억원 (2012년)	1216억원 (2012년)	1조원 (2012년)	
장비 보유 현황	마그네슘 주조설비 3식, 알루미늄 주조설비 19식, 용해로 21식	다이캐스팅 설비 15식, 용해로 3식	CAD & CAE system, 만능시험기, 3차원 측정기, 내구성 시험기, 각종 프레스 (이상 R&D 장비)	

○ 관련기술에 대한 타 산업분야의 로드맵

- 산업부 World Premier Materials 사업 로드맵

◈ WPM(World Premier Materials) : 2018년 세계시장 10억불(1조원) 이상 창출 가능하며, 시장 점유율 30% 이상 달성 가능한 세계시장 선점 핵심소재

① WPM 사업 내용

표 1.2.12 WPM 사업 내용

	소 재 명	사업내용
1	친환경 스마트 표면처리 강판	반도체 생산기술에서 사용하는 무공해 고속증착기술을 철강산업에 적용
2	수송기기용 초경량 Mg 소재	차세대 경량화 소재의 꽃인 마그네슘 소재를 통해 수송기기의 에너지 효율을 극대화
3	에너지 절감/변환용 나노복합소재	나노카본 복합소재를 통해 수송기기용, 전자기파 차폐용, 고방열 부품산업에 대응
4	다기능성 고분자 멤브레인 소재	다양한 기능을 갖는 멤브레인 기술 개발을 통해 연료전지, 담수화, 항공산업에 적용
5	Flexible 디스플레이용 기판 소재	AMOLED 이후 차세대 디스플레이 산업을 위한 투명 플렉시블 디스플레이 소재 개발
6	고에너지 이차전지용 전극 소재	대용량 전기자동차 및 에너지를 저장하는데 필요한 이차전지 음극·양극소재 개발
7	바이오 메디컬 소재	삶의 질을 향상시키는 생체의료 소재를 개발
8	초고순도 SiC 소재	초고순도 SiC 소재 개발을 통하여 그린카, 반도체, 신재생 에너지 산업에 대응
9	LED용 사파이어 단결정 소재	LED TV와 조명시장 등에 필수적인 사파이어 단결정 개발
10	탄소저감형 케톤계 프리미엄 섬유	고성능 폴리케톤 섬유소재 개발로 자동차용 내외장재와 타이어코드 등에 적용

② WPM 사업 로드맵

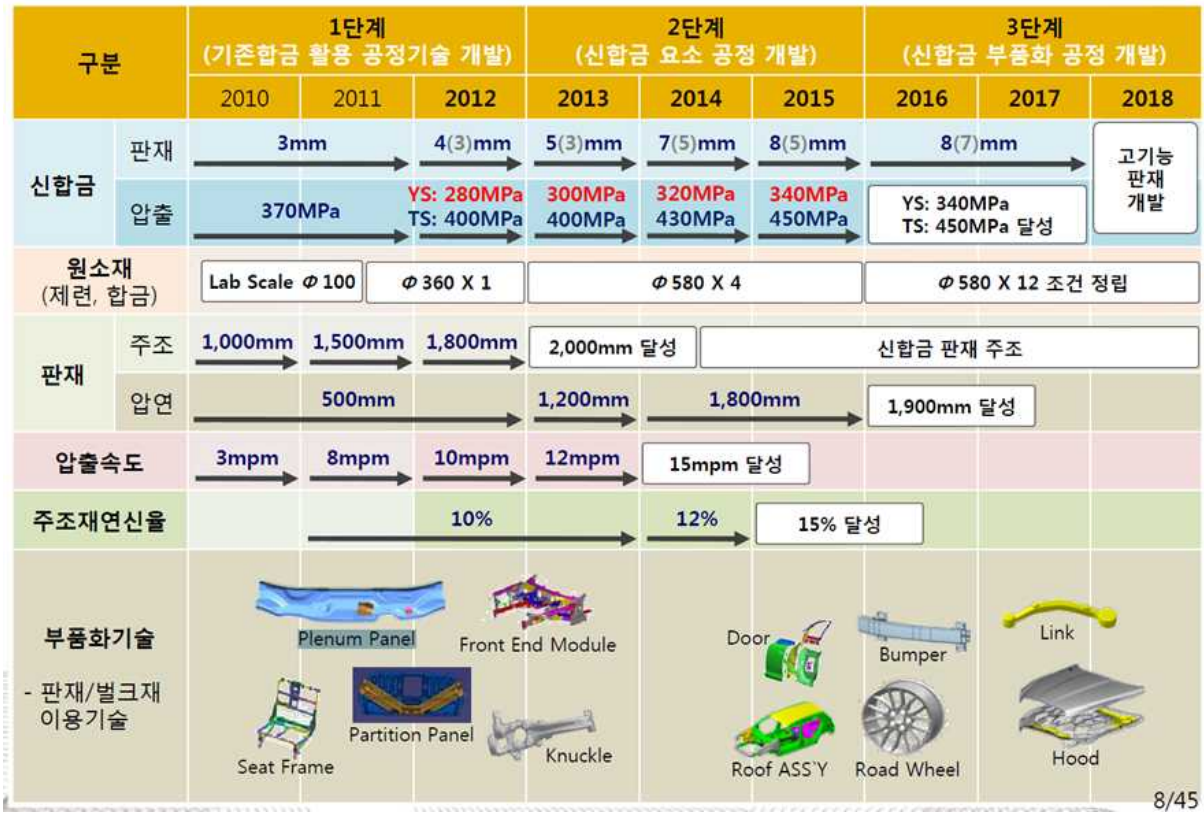


그림 1.2.27 WPM 사업 로드맵

- 산업부 Moving Metal 로드맵(2012 산업기술로드맵 주력산업-금속소재 분야)

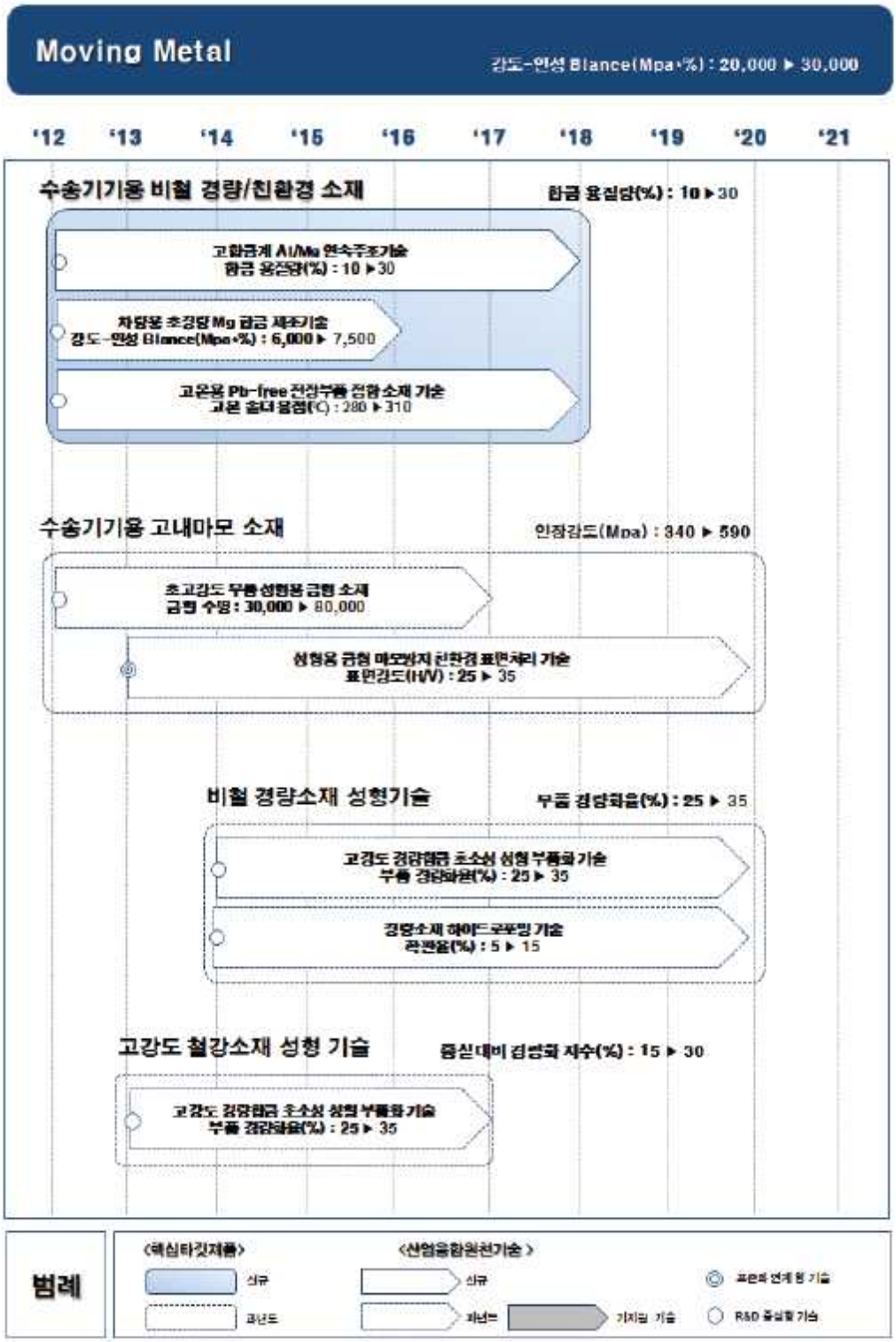


그림 1.2.28 산업부 Moving Metal 로드맵
(2012 산업기술로드맵 주력산업-금속소재 분야)

표 1.2.13 산업부 공통핵심기술 로드맵
(2012 산업기술로드맵 주력산업-자동차 분야)

대분류	중분류	소분류	유망기술	성능지표	2013	2017	2021
공통핵심	경량화	알루미늄 소재	고인성 고강도재 생산기술	대체소재 대비 중량 감소율(%)	40.0	50.0	50
			고품질 차체 및 섀시 부품 접합 기술	모재대비 강도(%)	65	80	85
			고효율 복합성형 기술	중량 감소율(%)	5.0	20.0	30
			내식 고강도 신합금 기술	강도[단 신율 10% 이상 유지] (MPa)	380	400	500
			구조부품용 내마모 복합소재기술	Wear rate(mg/N.m) @100rpm, x(1/10^{x})	0.15	0.15	0.01
		마그네슘 소재	파워 트레인용 내열 마그네슘 부품화 기술	최대동작온도 (℃)	150.0	200.0	200
			대형 마그네슘 다이캐스팅 부품화 기술	불량율 (%)	20	5	3
			신뢰성향상 합금화 및 평가 기술	발화온도(℃)	700	730	750
			고기능 판재소재 기술	연속주조판재폭(㎜) /압연판재폭(㎜)	600/450	2000/1900	2000/1900
			고강도 벌크소재 기술	강도MPa 단조재/압출재	400/360	400/380	430/400
			고인성/고내식 마그네슘 타이어모듈 및 섀시부품기술	대체소재 대비 부품경량화(%)	10	20	20
		고장력강소재	100kgf/mm^2 이상급 고장력강 이용 차체/섀시부품 및 시스템 기술	중량 감소율(%)	15.0	25.0	25
			고기능 열처리를 활용한 고강도 부품 및 공정 기술	내구성 향상율(%)	15.0	30.0	40
			고온/고압 복합성형기술 이용 차체/섀시 부품 기술	내구성 향상율(%)	20.0	40.0	40
		기타금속 소재	Multi- Material Mix 기술	대체소재 대비 경량화(%)	20	30	40
		고분자소재	기능성고분자부품의 설계 및 공정기술	중량 감소율(%)	10.0	20.0	20
			금속/고분자 소재 일체 고속사출기술	VOC저감율(%)	50.0	70.0	70
			경량 고강성 나노복합소재 적용 제작기술	중량 감소율(%)	20.0	25	30
			고효율 융착기술	내구성 향상율(%)	30.0	50.0	50
			저투과성 플라스틱기술	투과율(mg/pa)	7.0	5.0	5
			차체/샤시용 탄소복합소재기술	Cycle time(min.)	30	5	3
			고강도/고탄성 나노복합소재 차체/섀시 및 PT 부품기술	중량감소율(%)	20	20	40
			인간 친화형 Compartment 시스템 기술	재활용율(%)	30	95	95
				VOC저감율(%)	40	70	70
				항균 코팅 VOC저감율(%)	20	50	50
			타이어 고효율 시스템 기술	연비 개선율 (%)	3	>3	>3
		카본/세라믹 소재	카본 Brake Disc 기술	내구 수명 (×10,000 Km)	30.0	50	50
		재활용 기술	고분자계 부품의 재료 재활용 기술	재활용율(%)	80	90	90
			재사용 부품의 수명연장 기술	수명개선율(%)	10	20	20
			능동 재활용 소재 제조 기술	재활용율(%)	80	90	95
			재활용 금속소재의 불순물 제거기술	마그네슘중 Fe함량(ppm)	150	80	50
			환경규제 대응 부품 및 소재 기술	VOC저감율(%)	30	60	60

표 1.2.14 산업부 수송기계 생산기반 로드맵
(2012 산업기술로드맵 주력산업-생산기반 분야)

대분류	중분류	소분류	유망기술	성능지표	2013	2017	2021
주력기계산업 생산기반	수송기계 생산기반	엔진부품 생산기반기술	자동차 엔진 부품용 내열 알루미늄 합금 소재 및 부품 주조기술	강도유지한계온도 (℃)	160.0	>180	>190
			고내마모성 알루미늄 합금 소재 및 자동차 엔진 부품 주조기술	Si 함량(%)	23	23	24
			고온 부품용 고융점 금속 다이캐스팅 기술	미세기공함유율 (%)	9.0	<10	< 10
			저결함 고생산성 진공 다이캐스팅 주조기술	결함율(%)	5.3	<4.5	< 4.0
			리사이클링 소재 활용 고강도 알루미늄합금 다이캐스팅 기술	리싸이클재질 인장강도(kgf)	32.0	34.0	36.0
				알루미늄 스크랩 활용률 (%)	30	50	70
			고감성 내진 주철 소재 및 자동차 엔진 부품 주조기술	내진성 (SDC, e-4)	115.0	115.0	115.0
			절삭성 신뢰도가 높은 주철소재 제조기술	경도편차(HB)	210-220	210-220	200-210
			고강도 박육 주철소재 및 자동차 엔진 부품 주조기술	인장강도(㎫)	390	450	470
				두께(㎜)	3.3	2.2	2
			Euro-6 대응형 초내열 주철소재 및 자동차 배기 부품 주조기술	온도(℃)	860	900	950
				고온강도(㎫)	80	100	110
			엔진 부품용 복합소재 대응 금형기술	중량감소비[%]	20.0	25.0	30
			연료계 부품 압출 성형기술	형상복잡도 [차원, dimensional]	2.0	3.0	3.0
			밸브 부품 소재 적층형 금형기술	surface roughness [Ra:um]	3.0	2.0	1
			내열 플라스틱 대체 부품 금형/성형기술	복합소재내열성 [℃]	250.0	300.0	300
			엔진블록용 소재의 반용융 단조성형기술	기공률 (%)	7.0	3.0	2.0
			Micro Desktop 시스템 이용 Micro Fuel Injector 부	정밀도(㎛)	3.0	1.0	1.0
			LPG 연료 분사용 활동 밸브의 정형 단조 기술	정밀도(㎛)	1.0	1.0	1.0
			고강도 벌크 마그네슘 합금의 온간 성형 기술	회수율(%)	52.0	65.0	65
			열처리 생략형 고강도 냉간 암조용 선재의 다단 포머 성형 기술	강도(TS: MPa)	800.0	800.0	800
			엔진밸브 성형용 열간단조 금형 수명향상 기술	금형수명(타수)	5000.0	20000.0	25000
			엔진부품의 내열 저마찰 열표면처리기술	불량률(%)	.1	.1	0.08
			경계 윤활에서 고윤활성 특성 확보를 위한 surface texturing 기	마찰계수((μ)	0.2	0.1	0.08
			알루미늄 엔진 부품의 표면경화층 형성 기술	표면경도(Hv)	300	700	1400
			고강도 고정밀 엔진부품 분말소결 제조 기술	치수정밀도 (㎛)	4.0	4.0	3
			스테인리스 배기부품 고정밀 용접기술	불량률(%)	.5	.5	.5
			엔진 접화부품 및 센서모듈 미세 용접기술	불량률(%)	2.0	1.0	1.0
			경량 엔진부품 내열 이종소재 용접기술	접합부비인성 (%)	100.0	100.0	100

표 1.2.15 산업부 수송기계 생산기반 로드맵
(2012 산업기술로드맵 주력산업-생산기반 분야 계속)

대분류	중분류	소분류	유망기술	성능지표	2013	2017	2021
			경량엔진 내벽 고열전도 내마모 오버레이 용접기술	수명(년)	15.0	25.0	25
			대형/후육 알루미늄 엔진부품 고수율 특수중력주조기술	수율(%)	82	92	97
			엔진부품 고내식성 항상 고속 후막용 염표면처리 기술	내식성(염수 분무시험/시간)	>72	>72	>72
			초내열 사출성형 대체 소재/성형 기술	열변형온도 (℃)	400	650	700
			경량 엔진부품 이종성형 및 융착기술	융착인장강도 (kg/cm^2)	110	120	140
			고압축 직분사 터보 엔진용 내열 알루미늄 피스톤 단조기술	고온 피로강도 [200(℃)] (㎫)	90	105	120
			다운 사이징 엔진 헤드용 내열 알루미늄 합금 제조기술	250(℃) 인장강도(㎫)	190	220	235
			3차원 곡률 터보차저 컴프레서 wheel 진공 다이캐스팅 기술	역 taper 슬라이딩 코어 각도(°)	4>	5>	>6
			자동차 start 모터용 동소재 설계 및 주조 가공기술 개발	Sparkless성@ Voltage (V)	30	42	48
			알루미늄 엔진 부품 저온 플라즈마 질화처리 기술	표면경도 (Hv)	300	700	1400
				알루미늄 질화층 두께 (㎛)	5	10	20
			연비 및 출력 동반 상승을 위한 TiAl계 터보차저 로터 주조기술	터보차저 경량화 (%, 초합금 대비)	25	35	40
				터보차저 반응속도 (S, 50kPa 도달시간)	1.8	1.5	1.2
			고압축비 고효율 다운사이징 엔진용 beta Ti 합금 커넥팅로드 주조기술	커넥팅로드 경량화 (% 기존스틸 대비)	25	35	40
				커넥팅로드 피로강도 (폭발 최대하중 150%)	$5\times10^{\wedge}5$	$5\times10^{\wedge}6$	$10^{\wedge}7$
			커먼레일 부품의 침탄 기술	노즐 내부 침탄 기피 (mm)	0.2	0.5	0.7
		동력부품 생산기반기술	내마모 경량 알루미늄 합금 소재 및 자동차 동력 부품 주조기술	미세 Si 함량 (%)	21	22	23
			고출력 HEV 스테이터용 코어소재 제조기술	포화자속밀도 (T)	1.8	1.8	1.8
			고정밀 변속기 부품 프레스 성형기술	프레스가공정 밀도 [mm/300mm]	0.1	0.05	0.05
			고강도 대응 동력부품 프레스 성형기술	판재인장강도 [Mpa]	450	550	600
			분말소재 부품 대응 PIM 금형기술	max.shot[num.]	20000	40000	45000
			고강도 동력계 부품 무절삭 Fine Forming 기술	파인블랭킹 성형성 [$N/mm^{\wedge}2$ - 두께:5mm]	620	650	670
			자동차 경량화를 위한 고강도 중공형 부품제조기술	진원도(mm) (±)	0.08	0.04	0.01
				동심도(mm) (±)	0.35	0.17	0.12
			내열 내마모 플라스틱 소재 사출 성형기술	유리섬유소재 함유율 [%]	35	35	35
			고강도경량화를위한알루미늄합부품의Near-Netshape(NNF)	성형공차(%)	5	5	5

표 1.2.16 산업부 수송기계 생산기반 로드맵
(2012 산업기술로드맵 주력산업-생산기반 분야 계속)

대분류	중분류	소분류	유망기술	성능지표	2013	2017	2021
			친환경 고강도 소재의 고정밀 단조성형기술	강도향상율(%)	15	20	20
			복합공정 응용 중소형 중공부품(Tube, Pipe 등) 성형기술	성형공차 (%)	7	5	5
			복합공정 응용 고강성 Rod 부품 성형기술	성형공차 (%)	10	8	8
			유니버셜조인트용 핵심부품의 정밀 냉간성형기술	제품정밀도 (mm)	±0.15	±0.12	±0.11
			ABS용 마이크로 유압 제어 밸브의 미세패턴 성형 기술	미세도(㎛)	3	3	3
			단조성형법에 의한 스파이럴 베벨기어 제조 기술	성형공차 (%)	5	3	3
			스파이더 아웃풋 캐리어 냉간 성형 기술	제품정밀도 (mm)	±0.15	±0.12	±0.11
			EPS 스티어링용 중공 인덥 샤프트 모듈 성형 기술	성형공차 (%)	10	8	8
			크랭크 샤프트용 열간 비조질강 성형 기술	재료회수율(%)	60	60	62
			변속기용 열간단조품 재료회수율 증대 성형 기술	재료회수율(%)	60	60	62
			서스펜션 부품의 고강도 Mg 열간단조기술	재료회수율(%)	52	60	62
			중공소재를 이용한 동력전달부품 열처리기술	경량화율(%)	5	15	15
			고내마모 동력전달 소결부품 열처리기술	소결밀도(%)	95	98	99
			레이저를 이용한 표면강화 기술	표면경도	700	1500	1500
			코팅 효율 향상을 위한 부품소재 전처리 기술	고온안정성(℃)/ 세정처리, 표면에너지 균일도(%)	400/90	400/92	400/93
			CVD 코팅용 원료물질 제조 기술	분말 크기 분포(%), 전구체 상대 분해 온도(Tn/To)	±15/0.8	±13/0.7	±12/0.6
			구동부품의 저마찰화 복합 표면처리 기술	마찰계수	0.1	0.1	0.1
			경량소재부품 표면경화기술	표면경도향상율 (%)	100	300	350
			구동부품의 고기능성 신속 질화/코팅기술	수명향상 (%)	100	200	500
				마찰 계수	0.5	0.3	0.1>
			저변형 고품질 유도가열 경화기술	불량율(%)	10	5	3
			PVD 코팅용 원료물질 제조기술	순도(%)	95	99	99
			주파수변환형 큰투어 유도가열 경화기술	경화깊이비 (치저/피치원)	0.6	0.8	0.8
			동력전달부품의 장수명화 고농도침탄기술	탄화물생성깊이 (mm)	X0.3	X0.3	>0.4
			동력전달부품의 고품질화 진공침탄기술	처리능력(kg/hr)	300	600	650
			경량/고강도 동력전달부품 정밀용접기술	용접불량률(%)	0.3	0.3	0.3
			복합소재 동력부품 용접접합기술	용접부비강도(%)	95	100	100
			자동차 조향 및 동력전달 모듈부품의 에너지 최소화 성형기술	에너지절감율(%)	15	27	33
			진공 및 플라즈마 활용 구동부품 고품질 하이브리드 표면경화기술	불량률(%)	5	2	1
			고내구성 구동부품 입자분산 복합표면처리 기술	작동내구성(km)	100000	150000	200000

표 1.2.17 산업부 수송기계 생산기반 로드맵
(2012 산업기술로드맵 주력산업-생산기반 분야 계속)

대분류	중분류	소분류	유망기술	성능지표	2013	2017	2021
			고내열 탄소섬유 복합재 사출성형기술	용융지수 (MI 지수)	100	180	200
			플라즈마 활용 내마모 표면 경화기술	Plastic 표면 경도 (H)	3	5	5
			파워트레인 및 샤시용 고탄성 알루미늄 합금 기술	탄성계수(㎓)	75	85	95
			자동차 브레이크 부품 이종재질 접합기술	체결부위 신율 (%)	3	5	7
			크라이오처리를이용한칠탄경화된기어류의 나노탄화물석출기술	내마모성 (기존칠탄품대비 향상율%)	10	30	30
		차체부품 생산기반기술	후공정 연계형 고강도 알루미늄 소재 및 자동차 차체 부품 주조기술	인장강도(kgf)	46	46	50
			고강도 플라스틱 스트럭쳐 IP 성형기술	대비 경량화율(%)	15	30	40
			초대형 차체 부품 플라스틱 사출성형기술	외장용 성형품 크기(㎡)	1	2	2.5
				금형의 정밀도 (mm)	0.05	0.05	0.05
			고성형성 Thermal 금형기술	상온대비 성형한계 [%]	250.0	600.0	600
			고정밀 후판 부품 Fine Forming 복합 금형기술	die roll size(두께에 대한 %)	7.0	3.0	2
			제조단가 저감 다공정 복합 금형기술	복합공정개수[ea]	3.0	4.0	4
			차체 금속부품 장수명 금형기술	금형수명 [×100,000 shot]	.7	1.3	1
			비금속 소재 대응 금형/성형기술	금속소재대비 강성 [%]	70.0	95.0	97
			복합판재 대응 프레스 금형/성형기술	성형정밀도 [mm/300mm]	.3	.1	1
			고강도/기능성 고분자 소재 대응 금형기술	Pattern Size[mm]	20.0	5.0	4
			차량용 유리 성형용 금형/성형기술	휨가공 면 정밀도 [mm]	< 2.5	< 2.3	<2.1
			경량 차체부품 사출 성형기술	중량감소비[%/Yr]	4.5	4.0	3
			고생산 경량화 대응 Water-assisted Injection Moldin	중공반경비 [mm/mm]/ 싸이클타임감소비 [%]	0.75/40	0.75/40	0.75/40
			난삭재 복잡 형상부품 분말사출금형기술	feature size [mm]	40.0	50.0	60
			전자기력을 이용한 차체용 판재/판재 부품 성형기술	성형공차 (%)	5.0	5.0	5.0
			압력매체 응용 고속/저온 Superplastic Forming 차체부품 성형	초소성 성형속도 (Strainrate)	10?1	10?1	10/1
			고강도-초경량 소재 응용 차체 부품 성형기술	강도(TS: MPa)	650.0	800.0	800
			차체부품용 고강도 강판 고속 온간 정밀 판재성형기술	정밀도(㎛)	35.0	20.0	15
			난성형성 경량재료 응용부품 금형/성형기술	경량공정대비강도 (%)	70.0	90.0	95
			자동차 패널용 고강도 철강판재의 열간 가스성형기술	정밀도(mm)	35.0	20.0	15
			저품위 강재의 저변형 열처리기술	인장강도(Mpa)	650.0	800.0	850
			고강도 차체부품 제조를 위한 프레스성형 권취기술	인장강도	900.0	1000.0	1000

표 1.2.18 산업부 수송기계 생산기반 로드맵
(2012 산업기술로드맵 주력산업-생산기반 분야 계속)

대분류	중분류	소분류	유망기술	성능지표	2013	2017	2021
			자동차 차체 및 부품의 멀티본드 복합공정기술	접합부 상대 신뢰성(%)	90.0	100.0	100
			자동차 차체 및 부품의 접착접합 공정기술	신뢰성(%)	80.0	90.0	95
			고강성/복합소재 차체부품 용접기술	이종재료 용접불량률(%)	5.0	3.0	2.5
			경량소재 차체/샤시부품 용접공정 및 용접품질 검사기술	모재대비 접합부 강도(%)	85.0	90.0	95
			고생산성 레이저 원격 용접기술	단위 용접부 용접시간(초)	.7	.7	.6
			차체 조립용 지능형/고효율 점용접 기술	제어수준	3.0	3.0	3
			지능형 차체 용접 품질 관리 시스템기술	품질관리불량율 (ppm)	50.0	50.0	45
			400계열 스테인리스 도금강판 용접기술	용접불량률	.3	.3	.25
			신도금 차체부품 스마트 용접공정기술	모재대비접합부 강도(%)	90.0	100.0	100
			일체형 모듈 부품 용접기술	결합강도 (모재대비 %)	95.0	100.0	100
			차체 폐단면 접합을 위한 용접기술	결합강도 (모재대비 %)	100.0	100.0	100
			전원제어 insert/outsert 부품 금형/성형기술	인서트부품정렬 정밀도 [mm] / cavity [ea]	50/4	50/8	50/8
			전기부품 복합 금형/성형기술	복합공정개수[ea]	3	4	5
			고감도 센서 부품 초정밀 프레스/사출 융합 금형/성형기술	pattern size[㎛]	12.5	10	8
			차세대 자동차 차체부품용 이종소재 용접기술	이음효율(%)	70	80	80
			자동차 차체 경량부품 저입열 접합기술	허용갭(㎜)	1.5	2.0	2.5
			자동차용 대면적 Mg 판재 내식성 향상 표면처리 기술	내식성 (염수분무시험/hr)	480	600	1000
			수송기기용 3D-부품 알루미늄 기압 성형기술	기압력(㎫)	0.8	1.2	1.4
			수송기기용 고비강성 바디부품 금형성형기술	강도(㎬)	1.1	1.5	1.9
			차세대 자동차용 판재 핵심부품의 표면합금화 제조공정기술	내식성 (염수분무시험/hr)	480	600	720
			자동차 경량화를 위한 알루미늄 구조재 주단조 융합제조기술	인장강도(㎫)	290	330	360
			수송기기 커넥터 부품용 이종소재 성형 In-mold Ass'y 복합금형기술	정밀도(㎛)	6	2	2
			수송기기용 복잡형상 고합금계 마그네슘 형재 정밀 압출기술	변형율속도(1/S)	50	90	10
			자동차 멤버 어셈블리의 이형단면 실형상 고속 점진성형기술	치수정밀도(㎛)	60	20	5
			자동차 경량화를 위한 고강도 무결함 알루미늄 부품 다이캐스팅 기술	수소농도(cc/100g)	35	15	5
			자동차산업 초정밀 3D부품용 초경합금 및 Net Shape 분말성형기술	상대밀도(%)	97	99	>99
			경량소재 부품의 고경도 및 고기능화 열표면기술	표면경도향상(%)	150	300	500
				내식성 (염수분무시간 hr)	200	500	1000<
			이형 형상 다단성형 제어기술	정밀도(mm)	1.0	0.6	0.2

표 1.2.19 산업부 수송기계 생산기반 로드맵
(2012 산업기술로드맵 주력산업-생산기반 분야 계속)

대분류	중분류	소분류	유망기술	성능지표	2013	2017	2021
			접촉/비접촉 복합 절단기술	정밀도(mm)	1.5	1.0	0.2
			수송기계부품 제조용 벌크 비철금속 소재의 온간성형 제어기술	C/T(sec)	60	45	30
			자동차 차체부품용 다특성 클래드 부품 제조기술	정밀도(mm)	8	6	5
			차량용 유리대체 플라스틱 ICM 금형 성형기술	잔류응력 분포 (Mpa)	150	80	20
			자동차 유리용 발수 코팅의 내구성 향상 표면처리기술	내구성능 (hr)	1000000	2000000	3000000
			Fe 제어를 통한 용접가능 알루미늄 소재 및 진공 다이캐스팅 공정기술	연신율(%)	6>	9>	>10
			유니 알루미늄 초경량 고안전 차체 제조기술	인장강도 범위 (200 MPa 기준 ΔMPa)	100	200	250>
			전신재 가공경화능 대응 Mg 함량 진공 다이캐스팅 알루미늄 합금기술	강성지수 (인장강도MPa* 연신율%) MPa%	1560	2150	2400
			수송기기용 고강성 경량 Seamless 관재 직접압출 기술	내압특성 (kgf/㎠)	150	200>	220>
			정수압 성형을 통한 차체 접합 기술	접합강도 (모재대비 %)	70>	80>	80>
			알루미늄-주철 이종재질 접합 주조기술	인장강도 (MPa)	450	550	600
				접합강도 (MPa)	80	90	100
			자동차 부품용 다기능 물성 스펙트럼 부가 융합성형 기술	강도스펙트럼차 (MPa)	800	1200	1500
			충돌부재용 다공체 부품제조기술	충격흡수능 향상 (%)	15	25	25>
				충돌에너지흡수능 (%)	6	14	20
			초경량 고분자 복합재 차체 고속 생산 기술	성형싸이클시간 (분)	30	5	4
			내식성향상저변형고강도열처리기술	산질화대비피로 강도향상율(%)	50	150	200
			차량용 유리 내마모, 내스크래치성 향상 코팅기술	내마모도 rpm, g (감소중량) (%)	1	0.8	0.6
			경량 고강성 수송기기 부품 제조용 비열처리형 알루미늄 합금 소재공정기술	압출지수-인장강도	40-250	60-300	60-300
			자동차 부품용 신속 금형제조기술	주철계 금형 인장강도 (MPa)	650	750	850
			고장력강판 성형 금형의 열표면처리 기술	인장강도 (MPa)	600	800	1000
				적용 금형 수명 (타수/강판강도 (MPa)	10만/500 MPa	20만/600 MPa	20만/1000MPa
			지능형 차체 용접 품질관리 시스템 기술	품질관리노드수 (대)	150	350	500
			자동차용 점용접 시뮬레이션 및 DB화 기술	시뮬레이션 예측정확도(%)	70	80	90
				데이터베이스 갯수	75	175	300
			마그네슘 및 마그네슘 합금 용접 접합기술	모재대비 용접부 인장강도(%)	65	85	95
			자동차 전면 유리 대체 플라스틱 소재 적용 기술	금명 내구 수명 (%)	150	250	300
			고합금계 경량소재 연속주조기술	용질 첨가량 (%)	10	15	25
			고합금계 경량소재 연속주조기술	인장강도 (MPa)	350	400	450

표 1.2.20 산업부 수송기계 생산기반 로드맵
(2012 산업기술로드맵 주력산업-생산기반 분야)

대분류	중분류	소분류	유망기술	성능지표	2013	2017	2021
			고강도 경량소재 Twin roll 연속주조기술	Mg TRC 판재 인장강도 (MPa)	270	290	305
				Mg TRC 판재 연신율(%)	15	19	25
				Al 고합금 TRC 판재(5000계) 인장강도 (MPa)	210	250	275
				Al 고합금 TRC 판재(5000계) 연신율 (%)	24	28	35
		내외장부품 생산기반기술	IP 성형용 플라스틱 금형/성형기술	성형변형정밀도 [mm]	5.0	5.0	5
			다공정 복합 금형/성형기술	복합공정개수[ea]	3.0	5.0	6
			복합 플라스틱 소재 다중 사출금형/성형기술	cycle time[sec]	25.0	15.0	13
			복합소재 대응 금형기술	복합소재 기능성 [ea]	2.0	3.0	4
			인 몰드 금형/성형 기술	인몰드 정밀도 [mm/200mm] /Cycle time [sec]	0.2/5	0.1/5	0.1/5
			고감성 내외장 부품 대응 금형/성형기술	고감성인서트필름 두께[mm]	.3	.3	0
			3차원 구조물 압출성형 금형기술	금형 자유도 [dimension: ea]	2.0	3.0	.3
			자동차 범퍼빔용 Tube 액압성형기술	성형공차 (%)	2.0	2.0	3.5
			고강도 마그네슘 압출 부품 및 가공기술	단조성(%)	75.0	90.0	90
			자동차 충격완화용 알루미늄 발포금속 성형기술	균일조직(%)	±2s	±1s	±1s
			자동차 부품용 스틸 발포금속 제조 및 성형기술	균일조직(%)	±2s	±1s	±1s
			이속압연에 의한 초경량 Al-Mg 하이브리드 판재 및 응용 부품 제조 기술	입자크기(㎛)	2.0	.3	.3
			외장부품 도금설비 자동화 및 고효율화 기술	증착속도 (㎛/h)	7.5	9.0	10.0
			초경량 자동차용 알루미늄 휠 전기도금 기술	전착속도(㎛/min)	8.0	10.0	12.0
			알루미늄 외장부품 후막 아노다이징 기술	염수분무시험 (hr)	1500.0	1500.0	1500.0
			고내식성의 표면산화막 형성/코팅기술	염수분무시험 (hr)	48.0	48.0	48
			내외장부품 고내구성 접착기술	접합강도저하율 (%/yr)	10.0	10.0	10.0
			자동차 및 가전외장부품용 대형복합곡면의 고감성 정밀패턴성형용 금형기술	필름엠보크기(㎛)	40	10	10
			고신뢰성 Steam Mold 성형기술	성형사이클(sec)	30	20	15
			복합형상 고무류 제품의 일체화 성형기술	성형사이클(sec)	40	25	15
			자동차 내장부품 제조용 고생산성 실리콘 성형기술	성형사이클(sec)	80	40	30
			압축천연가스 시내버스용 300리터급 대용량 Type III 복합재료 압력용기	내용적(Liter)	200	400	600
		전장부품 생산기반기술	전장부품 무연솔더 접합기술	고온신뢰성(MTTF)	2500	3500	4000
			전자파 차폐 표면처리 및 실링접합기술	차폐율(%)	70	98	99
			전기부품 패키징용 금형/성형기술	금형정밀도 [mm/100mm]	0.8	0.5	0

- 산업부 신성장동력장비 로드맵 (2011 그린수송장비 분야)

① 자동차용 생산장비는 현재 선진국 양산시스템의 요구 성능인 233ppm수준의 고신뢰도와 2㎛수준의 가공정밀도에 대응할 수 있는 고부가가치 가공장비를 우선적으로 추진하며 장기적으로는 100ppm이내의 고신뢰성 및 서브미크론의 가공정밀도를 갖는 공정장비기술을 선행 개발하여 차체의 경량화 및 연비저감 등 그린카 생산의 요구성능을 만족할 수 있는 부품가공 양산장비라인의 선점을 타겟으로 설정

② 선박용 생산 장비는 현재의 생산공정에 활용되면서도 크루저급 등 고부가가치 선박용 부품 생산에도 그대로 적용이 가능한 100,000마력급 엔진 부품 생산용 대형 가공기를 우선 개발 대상으로 고려하며 장기적으로는 가공기의 정밀도를 10㎛수준까지 높여 침환경/소음저감 등 고부가가치선박의 요구성능을 충족할 수 있는 대형 부품의 양산장비 개발을 추진



구 분	메가트렌드	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20
신성장동력 제품	그린카	HEV			PHEV			EV/FCV			
		클린디젤 자동차(EURO-6)					대체연료 자동차				
	고부가선박	LNGC, 초대형 컨테이너선					WISE Ship, 크루저				
그린카(자동차) 생산장비	정밀도 공차	2㎛			1㎛			Sub-㎛			
	소재 경도	HRC 60			HRC 70			HRC 80			
	신뢰성(C_{mk})	233ppm			150ppm			100ppm			
고부가선박 생산장비	정밀도 공차	20㎛					10㎛				
	대응엔진 사이즈	100,000마력급					200,000마력급				

그림 1.2.29 산업부 신성장동력장비 로드맵

○ 자동차 차량용 경량소재 기술의 국내 기술수준 및 동향

- 자동차 차량용 경량소재 기술

표 1.2.21 미래자동차용 경량소재 및 핵심공정기술 기술수준 비교

세부기술	주요 기술	기술 격차 (년)	상대적 수준 (%)	최고기술 보유국(100%)
액상기반 공정기술	초음파/hydro pulse 장치 설계/제작	5년	50%	러시아/우크라이나
	초음파 등을 이용한 용탕처리 기술	3년	70%	미국, 일본
	마그네슘합금 주조 결정립 미세화	0년	100%	한국, 독일
중간재 제조기술	마그네슘합금 빌렛 수평연속주조기술	0년	100%	한국
	마그네슘합금 판재 수평연속주조기술	0년	100%	한국
	마그네슘합금 빌렛 수직연속주조기술	5년	70%	오스트리아
	알루미늄 합금의 박판연속주조기술	2년	90%	캐나다
	마그네슘합금의 박판연속주조기술	0년	100%	한국
	자동차 차체용 다층금속판재 제조기술	5년	70%	캐나다
	연속주조재 미세조직 제어기술	3년	80%	러시아
성형 및 접합기술	정수압응용 신성형공정기술	5년	70%	미국/독일
	EMF 공정 기술, 성형속도 100/s	5년	60%	독일
	유동성형 공정설계 및 장비 기술	5년	70%	독일
수치해석 기술	공정별 수치해석기술	2년	85%	미국/프랑스
	공정간 데이터 전송기술	2년	85%	미국/프랑스
	다단위 해석을 통한 물성 예측	5년	70%	미국

(출처: 2012 재료연구소 주요사업 기획보고서)

- 자동차 차체 경량화 효율 및 비용을 고려하여 부위별로 다양한 소재를 적용하는 Multi-Materials Mix 개념의 차체 개발 진행
- 경량화 효율 증대를 위해 강성 및 강도가 향상된 고비강도 경량 소재 개발 및 적용 추진
- 주조재의 경우 용탕 전처리를 통해 고품질의 주조 부품을 제조하기 위한 기술 개발
- 가공재의 경우 강도 및 연성 등 제반 특성의 향상과 동시에 연속제조공정 도입을 통해 가격 경쟁력을 확보하기 위한 기술 개발에 주력
- 다양한 소재 적용을 위한 이종소재간 접합기술 개발 추진
- 연구개발 비용을 절감하고 기간을 단축하기 위해 공정연계 수치해석 기술 적극 활용

다. 알루미늄 분야

○ **동양강철**은 알루미늄합금 압출재를 전문적으로 생산하는 중견기업으로 2012년 매출액은 2,200억원이며 주력 제품으로는 LCD TV용 프레임, 창틀, 철도차량용 압출재 등이 있음. 21C프론티어연구개발사업, WPM사업 등을 통해 마그네슘합금 압출재 제조기술을 개발하고 있음.

○ 철도차량 차체의 경량화에 있어 차체소재가 변화되면서 상당한 성과를 이룰 수 있었고, 과거 철도차량의 차체는 대부분 마일드스틸로 제작되었으나 강도가 높은 스테인리스스틸을 사용하면서 약15~20% 정도 차체중량이 경량화 되었으며, 이후 알루미늄소재가 주로 적용되면서 스테인리스 차체 대비 약 20%정도의 차체 경량화가 가능해졌음. 알루미늄소재는 재료비가 높은 단점이 있지만, 차체경량화와 더불어 제작공법의 단순화, 브라켓 일체형 성형 등 차량 제작측면에서의 장점과 소음차단, 구조적 안전성 등으로 그 수요가 지속적으로 증가하여 현재는 철도차량 차체소재로써 절대적인 위치에 있음.

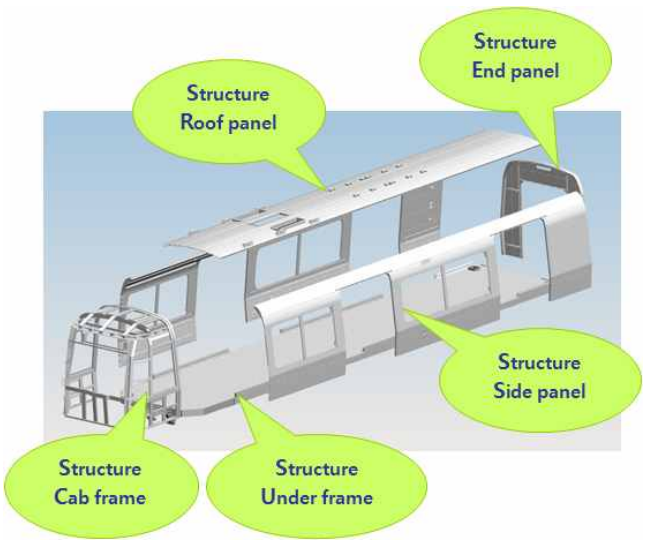


그림 1.2.30 알루미늄 철도차량 차체

○ 알루미늄 압출재를 이용한 차체경량화에 가장 쉽게 접근 할 수 있는 방안은 압출소재의 두께 축소 및 경량 최적화 설계라 할 수 있음. 차체를 구성하는 주요 구조인 언더프레임, 사이드패널, 루프패널 그리고 엔드패널은 각각 하중의 작용과 그 특성이 다르기 때문에 압출재의 형상과 기본적인 두께 그리고 각 부재들

간의 조립구조를 고려하여 적절한 설계가 이루어 져야함. 과거 표준전동차개발부터 현재의 차세대 고속철도 차량까지 국내에서 개발 및 제작된 알루미늄 철도차량의 구조적 특성을 살펴보면 차체에서 응력이 높게 발생하고 차체 강성에 큰 영향을 미치는 부재들은 보편적으로 유사한 경향을 가지고 있으며, 패널용도의 압출재에는 비교적 응력집중과 변형이 크게 발생하지 않는 것을 알 수 있음. 이러한 패널의 두께 축소를 통한 알루미늄 차체의 경량화는 기존의 연구들을 통해 그 가능성인 확인되었으나 압출 시 발생하는 압력, 온도상승, 변형 등 압출성형의 한계로 인해 실제 적용에는 제약이 따를 수밖에 없음.

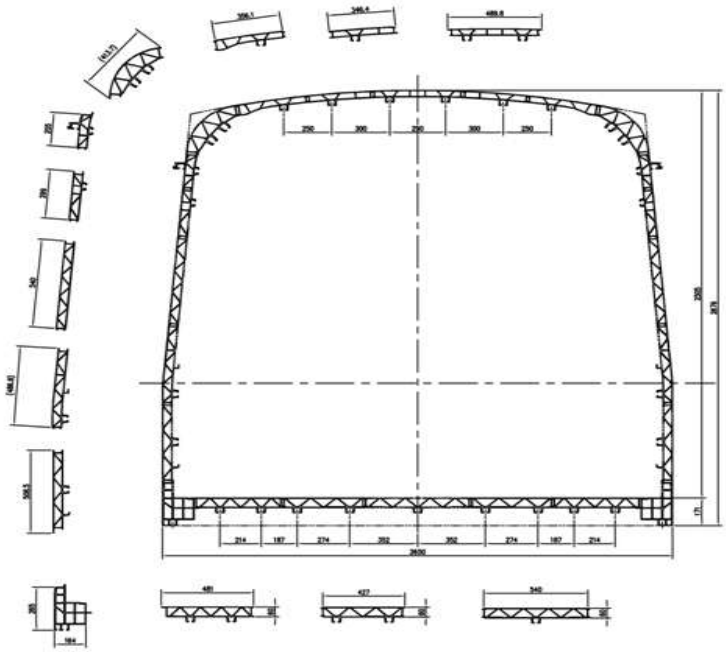


그림 1.2.31 알루미늄 철도차량 압출 단품 단면

○ 철도차량용 압출재를 설계 및 제작하기 위해서는 고려해야 할 사항들이 있는데 중공형 대형 압출재를 제작하려면 압출 금형을 고려해야 함. 압출 시 발생하는 압출 응력과 압출비 및 생산성을 고려한 압출 단면을 설계 해야 하고, 각 구조체의 최적의 경량 구조와 차체 요구 사항에 맞는 강성에 적합한지, 용접 조립 구조와 차체 제작 시 공차가 발생하는 경우를 대비해 설계한다. 프레임 중 실내 의장 설비와 내장 패널 및 기기 장치 등을 연결하는 T-solt는 각 부위에 전달되는 하중과 설치 위치에 맞게 설계 및 배치되게 해야 함.

○ 국내에 알루미늄 철도차량에 대한 연구개발이 시작되고 알루미늄으로 제작된 광주도시철도 전동차가 2004년 국내 최초로 상업운전을 개시하면서 알루미늄 철

도차량이 본격적으로 제작됨. 이후 거의 대부분의 알루미늄 차체는 주요 강도부재 및 고하중 부위를 제외하고 내·외판 2.8~3㎜, 내측 리브 2.6~3㎜ 두께를 기본으로 정형화 되어 제작되었고, 그 재질로 6005A 알루미늄합금을 적용함.

○ 알루미늄 차량의 수요가 지속적으로 증가하고 차체의 경량화 또한 필연적으로 요구되면서 차체경량화 방안으로 압출재의 두께 축소에 대해 많은 관심과 요구가 증가하게 됨. 알루미늄 철도차량 제작기술은 유럽과 일본이 많은 기술적 우위와 경험을 가지고 있으며, 국내의 경우 알루미늄차량 개발초기에 유럽기술을 벤치마킹하면서 차량구조와 압출재의 설계가 비교적 유럽과 유사한 부분이 많음

표 1.2.22 알루미늄 철도차량 압출재 주요 특징

구 분			국 내	일 본	유 럽
적용 재질			6005A-T6	6N01-T5	6005A-T6
Under	폭		약 500~560mm	약 370~400mm	약 500~560mm
	Skin	상	2.8 ~ 3mm	3.2mm	3mm
		하		3mm	3 ~ 4mm
	Rib		2.6 ~ 2.8mm	2 ~ 2.2mm	2.8 ~ 3mm
Side	폭		약 500~560mm	약 370~400mm	약 500~560mm
	Skin		2.8 ~ 3mm	2.5 ~ 5mm	3mm
	Rib		2.5 ~ 2.8	1.8 ~ 2mm	2.5 ~ 3mm
Roof	폭		약 450~500mm	약 370~400mm	약 500~560mm
	Skin		2.5 ~ 3mm	2mm	2.5mm
	Rib		2.5 ~ 2.8mm	1.5mm	2.5mm

○ 압출재의 두께는 서로 구조 및 크기에 따라 차이가 있지만 공통적으로 내·외판의 두께보다 리브의 두께를 얇게 하는 것을 알 수 있으며, 가장 큰 차이는 일본의 경우 압출재의 크기가 상대적으로 작은 폭 400㎜정도의 중형크기에 리브두께를 최소 1.4㎜까지 적용하는 것을 볼 수 있음. 이는 압출재의 폭이 작을수록 압출에 사용되는 원자재인 빌렛의 크기가 작아지고 압출에 필요한 압력도 작아짐에 따라 대형재보다 두께가 얇은 압출재의 생산이 가능하기 때문이나, 여러 개의 압출재를 차량 길이방향으로 용접하여 제작하는 차체의 구조상 압출재의 크기가 작아지면 그만큼 용접개소가 증가하여 차체의 강도저하 및 용접변형의 발생과 용접구간의 조인트 형상에 따른 중량 상승 부분도 고려해야 할 것임.

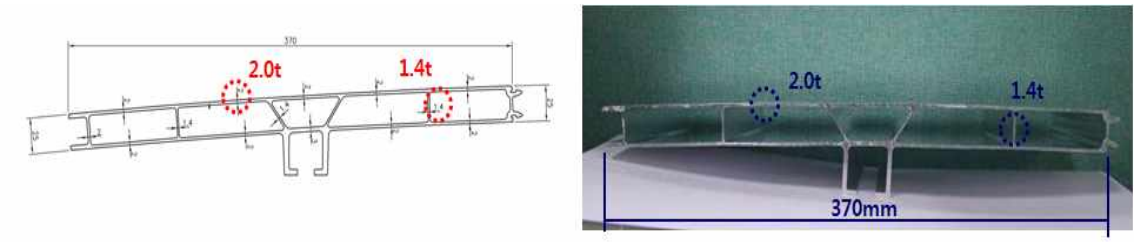


그림 1.2.32 중형 압출재의 최소두께 개발

○ 이러한 단점을 보완하기 위해서는 압출재의 크기는 대형으로 유지하면서 최소의 두께로 압출재를 생산하고, 국내에서 철도차량용 대형 압출재를 생산하고 있는 동양강철은 2006년 '자기부상열차 실용화사업'과 2007년 '차세대고속철도용 알루미늄구체 정밀압출 기술개발' 사업을 통해 압출 시 발생하는 압력, 온도, 압출속도 등의 정밀제어와 압출공정조건을 최적화하여 압출재 폭 550㎜정도의 대형 압출재 리브 두께를 최소 2.2㎜까지 축소시켜 적용하였고 차량구조와 제작성을 고려한 압출재 설계로 KTX-산천 대비 차세대 고속철도차량 차체중량을 약 5% 정도 경량화 하였으며, 이후 지속적인 기술개발을 통해 폭 550㎜정도의 대형 압출재 두께를 내·외판 2.5㎜ 리브 1.8㎜ 그리고, 폭 400㎜정도의 중형 압출재는 내·외판 2㎜, 리브 두께를 최소 1.4㎜까지 압출 생산 가능한 기술을 확보함.

표 1.2.23 알루미늄 철도차량 압출재의 국내 생산가능 최소두께

Part	압출재 폭 (㎜)	최소두께 (㎜)		빌렛	비 고
		Skin	Rib		
Under, Side, Roof	400 ~ 550	2.5	1.8	Rec	
	300 ~ 400	2	1.4	15"	

○ 철도차량 차체의 구조안전성과 제작성 측면에서 압출재의 두께를 무조건 최소화하여 차체를 경량화 시킨다는 것은 불합리 하지만, 차체 설계단계에서 하중 부담이 적은 부위의 압출재 두께를 최소화하여 설계하고 구조해석 결과를 통해 구조적으로 취약한 부위를 보완하여 보다 경량화 된 차체의 설계가 가능함.

표 1.2.24 철도차량용 주요 알루미늄 합금

순	재 질	인장강도 (Mpa)	항복강도 (Mpa)	연신율 (%)	적용 규격	비 고
1	6N01-T5	245	205	8	KS D 6759	일본에서 주로 사용
2	6005A-T6	255	215	8	EN755-2	
3	6008-T6	255	215	8	EN755-2	6005A의 용접성 개선
4	6061-T6	265	245	7	KS D 6759	
5	6082-T6	310	260	8	KS D 6759	
6	7003-T6	350	290	10	EN755-2	
7	7005-T6	350	290	10	EN755-2	
8	7020-T6	350	290	10	EN755-2	
9	7N01-T5	325	245	10	KS D 6759	일본에서 주로 사용

○ 하중 부담이 크고 차체 강성을 좌우하는 압출재로는 사이드실, 캔트레일, 센터실, 볼스터 프레임 등의 부재가 있으며, 실제 이러한 압출재들은 패널용도로 쓰이는 압출재보다 두께가 상당히 두껍고 상대적으로 높은 강성을 갖는 구조로 되어있음. 그러나 차체에 적용되는 알루미늄 재질은 압출재는 모두 동일한 재질인 6005A를 사용하고 있으며, 그 외에 판재 또는 블록 가공품으로 6061과 5083재질을 일부 사용하고 있음.

○ 사이드실과 캔트레일 압출재는 단면형상이 복잡하고 내측 리브의 길이가 길어 강도가 높고 압출성이 우수한 재질을 사용해야 하지만, 언더프레임 하부의 센터실과 볼스터프레임, 보강프레임 등의 압출재는 단면형상이 비교적 단순하고 두께가 두껍기 때문에 압출성은 상대적으로 떨어지더라도 강도가 높은 재질의 적용이 가능함. 유럽과 일본의 경우 이러한 강도부재에 철도차량 구조용 합금 6005A, 6N01 외에 강도가 높고 용접성이 양호한 합금을 적용하고 있음.

○ 6N01과 6005A는 알루미늄 철도차량 차체의 대표적으로 쓰이는 합금으로 두 합금은 유사한 특성과 강도를 갖고 있으며 6N01은 일본의 철도차량 제작업체들이 주로 사용하고, 6005A는 유럽을 비롯한 해외 철도차량 제작업체와 국내에서 주로 사용하는 합금임. 근래에는 6005A의 용접특성을 개선한 6008 합금이 EN 규격에 정식으로 등재. 6082합금은 6XXX계열 중 대표적인 고강도 합금으로 수송기계 분야 중 특히 자동차 부품에 주로 사용되며 철도차량 차체에 적용하는데 별다른 문제가 없을 것으로 판단되며, 7XXX계열 합금은 강도는 높으나 6XXX계

열에 비해 압출성이 현저하게 저하되기 때문에 압출재의 설계에 있어 단면형상과 두께가 제한적이고, 재질에 따라 용접 중 또는 용접 후 균열이 발생하거나 내식성이 저하되는 등의 단점이 있으므로 재질 선정에 있어 해외 적용사례의 분석 및 충분한 시험과 검증이 필요함.

○ 현재 알루미늄 철도차량은 이미 국내외에서 일반화된 기술로 알루미늄 재질, 성형 및 가공, 용접법 등의 제작기술과 차체경량화는 거의 한계에 도달했다 할 수 있음. 해외의 사례를 보면 복합소재 및 경량합금을 이용한 차체, 대차, 내장재, 기기장치 등 철도차량 경량화에 대한 연구개발이 다양하게 이루어지고 있으며, 국내에서도 복합소재를 적용한 한국형 틸팅열차 차체, 바이모달 트램 등 복합소재의 차체 적용에 대한 연구도 상당한 성과를 이루었다. 향후 철도차량 차체경량화는 마일드스틸, 스텐인리스, 알루미늄 등 단일화된 소재를 이용한 차체보다 기존의 차체소재와 고강도 경량알루미늄, 마그네슘, 복합소재 등 다양한 경량소재가 결합된 차체의 설계기술과 이에 적합한 제작공법, 이종 소재간의 접합법 등 차체제작기술 개발을 통해 차체경량화 효과를 극대화 할 수 있는 방향으로 나아가는 것이 적절할 것으로 예상됨.

표 1.2.25 국내 알루미늄 업체 규모 및 사업분야

기관명	동양강철	남선알미늄	신양금속공업	새서울경금속
구분	기업	기업	기업	기업
기술 인력	340명	655명	280명	140명
매출 규모	3,500억원	3,000억원	1,600억원	800억원
장비 보유 현황	<압출기 보유현황> 1800 Ton 2식(7“) 2700 Ton 1식(9“) 3650 Ton 1식(11“) 8000 Ton 1식(15“)	1800 Ton 2식(7“) 2200 Ton 2식(8“) 2750 Ton 1식(9“)	1650 Ton 2식(6“) 1800 Ton 2식(7“) 4000 Ton 1식(12“) 9000 Ton 1식(16“)	2200 Ton 2식(8“) 3300 Ton 1식(11“)
기관명	삼목에스폼	유진금속(주)	피엔에스	코레스
구분	기업	기업	기업	기업
기술 인력	170명	120명	170명	270명
매출 규모	1,500억원	260억원	500억원	1,000억원
장비 보유 현황	2750 Ton 2식(9“) 4000 Ton 1식(12“)	4000 Ton 1식(12“)	1800 Ton 1식(7“) 2200 Ton 1식(8“) 2800 Ton 1식(9“) 5500 Ton 1식(14“)	1000 Ton 1식(5“) 1800 Ton 1식(7“) 3600 Ton 1식11“)
기관명	한영알코비스	알코아코리아	신세기알테크	성훈경금속
구분	기업	기업	기업	기업
기술 인력	225명	140명	60명	130명
매출 규모	500억원	650억원	280억원	580억원
장비 보유 현황	1350 Ton 1식(6“) 1800 Ton 1식(7“) 2500 Ton 1식(8“) 3000 Ton 1식(10“)	1250 Ton 1식(5“) 1650 Ton 1식(6“) 1800 Ton 1식(7“) 2200 Ton 1식(8“) 5000 Ton 1식(14“)	1650 Ton 1식(6“) 2200 Ton 1식(8“) 3000 Ton 1식(10“)	1000 Ton 1식(5“) 1800 Ton 1식(7“) 3300 Ton 2식(11“)

제 2 장 첨단소재 적용 철도차량 경량화 기술동향 분석

제1절 주요 국가별 철도차량 및 부품 경량화 추진현황

1. 철도차량 차체 경량화 기술

○ 철도차량의 차체의 소재는 과거 1800년대 목재에서 최근 알루미늄 압출구조까지 발전하였고, 최근에는 알루미늄 압출구조에 복합소재와 같은 첨단소재를 동시에 적용한 하이브리드형 차체도 개발되고 있음

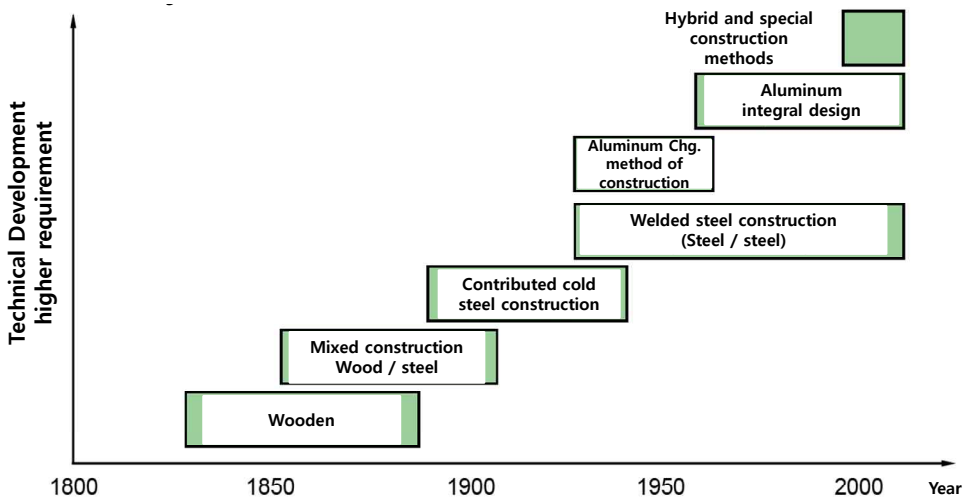


그림 2.1.1 철도차량 차체소재의 변천 추이.

가. 과거 신소재 적용 차체 경량화 기술 개발 사례

○ 필라멘트 와인딩 기법을 적용한 차체 제작기법 (1995년, 스위스)

. 운행속도 140km/h급 틸팅열차용 차체를 자동화된 필라멘트 와인딩 기법 적용하여 길이 16m 차체 제작

. 기존 차량 대비 무게 10% 경량화 및 1량 제작기간 8일 소요

. 적용소재는 탄소섬유를 폴리에스터 수지함침

. 제작과정은 내부스킨을 먼저 와인딩을 통해 형성하고 보강재, 코어등을 삽입한후 2차 와인딩 과정 및 창문 및 출입문 절단 과정을 통해 차체 제작

. 제작과정은 상당히 단순하고 쉬우나 설계 유연성 부족

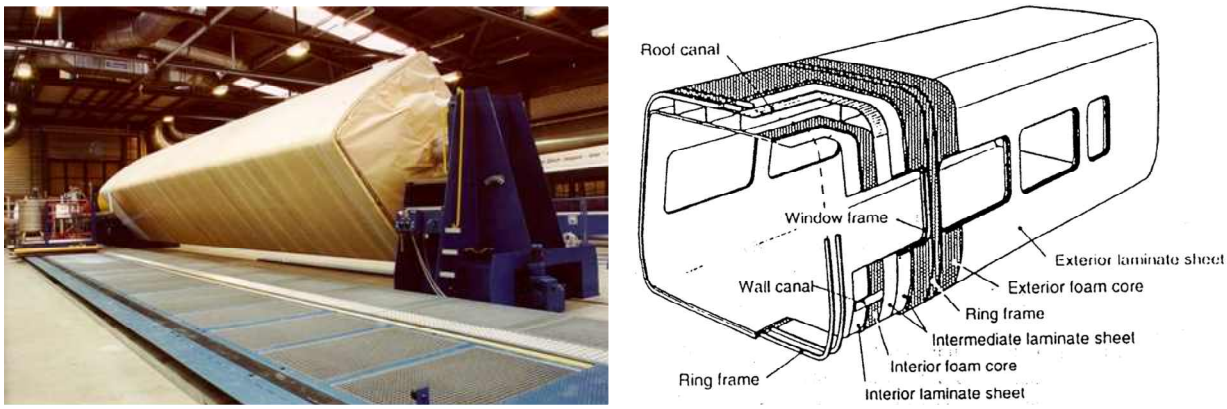


그림 2.1.2 필라멘트 와인딩 기법을 활용한 복합소재 차체 제작.

○ SCRIMP(Seeman Composite Reinforcement Impregnation Moulding Process) 기법을 적용한 복합소재 차체 (2005년, Adtranz)

. 진공압을 이용하여 수지를 주입하여 강화섬유 프리폼에 수지를 합침시키는 공법

. SCRIMP기법은 대형구조을 경제적으로 제작할 수 있는 기법으로 주로 대형 선박등의 제작에 활용됨

. 섬유와 수지비율은 60-63% : 40-37%

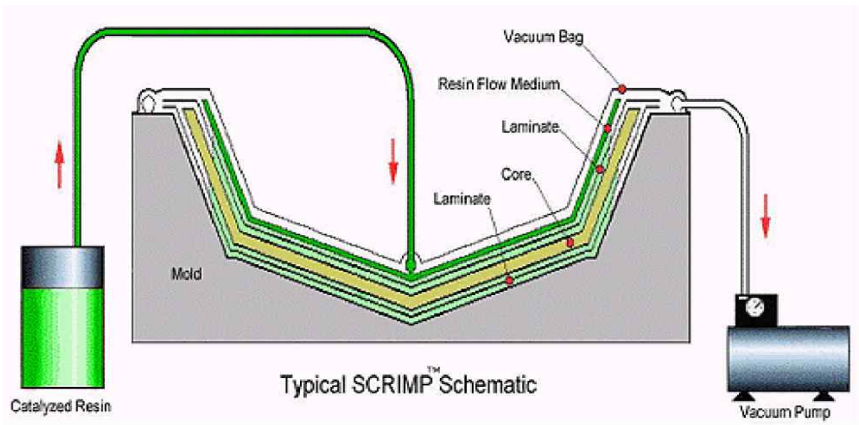


그림 2.1.3 SCRIMP 기법.



그림 2.1.4 SCRIMP 기법으로 제작된 철도차량 차체.



그림 2.1.5 탄소섬유 복합소재 차체를 적용한 한국형 틸팅열차.

○ 한국형 틸팅열차 차체 (2005년, 한국)

. 최고운행속도 200km/h급 중고속 틸팅열차의 차체에 탄소섬유 복합소재 적용

. 차체의 상부는 직조된 CF1263 탄소/에폭시 면재와 알루미늄 허니콤 심재로 구성된 샌드위치 구조

. 차체 언더프레임은 하부에 설치되는 전기장치의 설치가 용이하도록 스테인레스 재질 적용

. 복합재 상부구조와 스테인레스 언더프레임간의 체결은 에폭시 수지에 의한 접착(bonding)과 리벳팅(riveting)을 동시에 적용한 2중 접합구조로 체결

. 차체의 샌드위치 구조내부에는 제작 후 내장재의 설치를 위해 연강(mild steel)으로 제작된 내부골조(inner frame)가 삽입되어 복합재 차체부분과 동시성형(co-cured)

. 제작 완료된 하이브리드 복합재 철도차량은 언더프레임을 제외한 복합재료 제작된 상부구조물의 경우 기존 알루미늄 차체에 비해 약 40% 정도 경량화

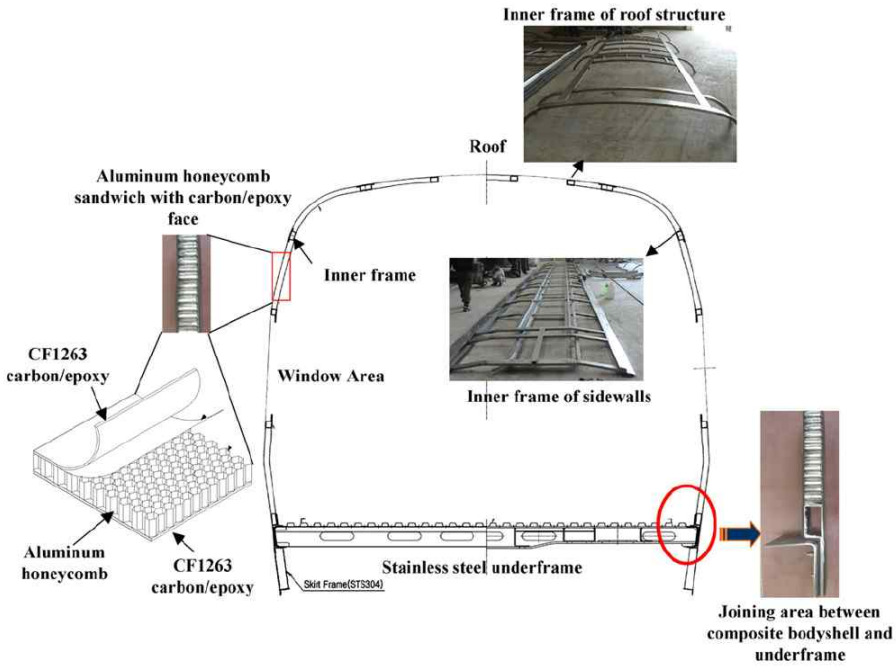


그림 2.1.6 한국형 틸팅열차 단면구조.

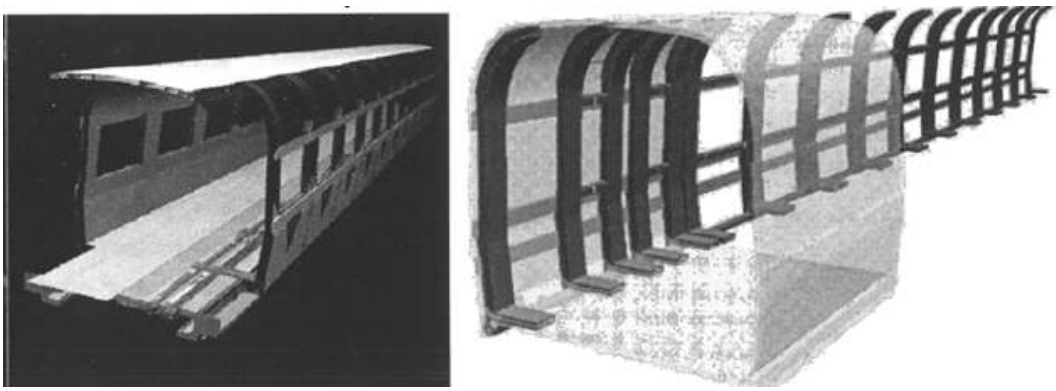


그림 2.1.7 복합소재 펄트루젼 골조와 복합소재 판넬로 구성된 차체.

○ 복합소재 펄트루젼 골조와 복합소재 판넬로 구성된 차체 (2005년, 독일)

. 독일에서 개발된 개념으로 언더프레임의 경우 탄소섬유 복합소재를 펄트루젼 공정으로 제작한 사각형 튜브와 유리섬유 복합소재와 폼 코어로 구성된 샌드위치 구조로 제작됨

. 측판의 경우 펄트루젼 공정으로 제작된 탄소섬유 사각형 튜브구조와 유리섬유 샌드위치 구조물로 제작

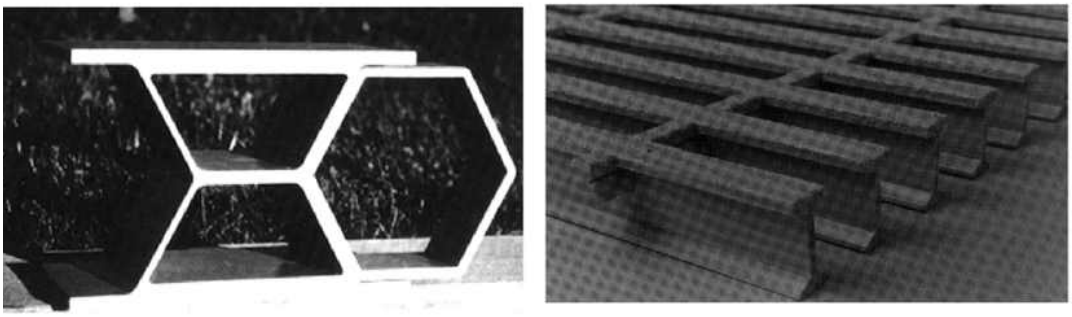


그림 2.1.8 복합소재 펄트루젼 골조와 언더프레임에 적용된 펄트루젼 빔 단면형상.

○ 철도 차량 경량화에 가장 유리한 재료 중 하나인 복합재료를 이용한 차체 경량화 연구 및 개발 프로젝트가 유럽을 중심으로 활발하게 진행 중임.

○ 최근에 스페인 Zaragoza의 CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarril SA)에서 추진 중인 AVI-2015 프로젝트에서는 철도차량의 에너지를 10% 절감하는 것을 목표로 하고 있으며 주로 재료 경량화 및 공기저항 감소 디자인을 주요 테마로 하고 있음. 기존의 알루미늄과 철로 이루어진 철도 차량 차체 중에서 알루미늄 Roof 부를 복합재료로 대체하는 설계를 반영하였을 때 Roof 부의 무게만 약 35% 감소하고 전체 중량의 약 3.5%가 감소하는 효과를 나타냄 (그림 2.1.9).

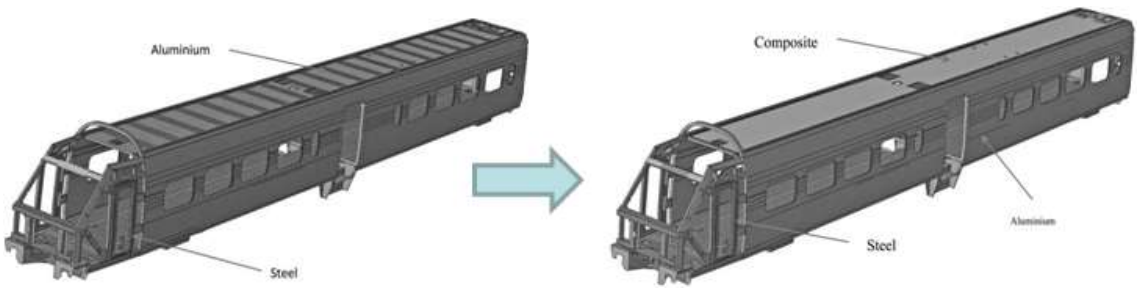


그림 2.1.9 스페인 AVI-2015 프로젝트 차량 차체의 Roof 재료 변경안 (알루미늄 → 복합재료)

○ Roof의 경우, 100kg의 콘크리트 큐브가 3m 높이에서 떨어질 때의 충격을 견딜 수 있는 강도를 지녀야 하는 규정이 있음 (Rail Safety and Standards Board GMRT 2100). 이를 만족시키기 위한 복합재료 Roof의 기본 구조는 그림 2.1.9와 같이 샌드위치 Foam core를 유리섬유 복합재료가 감싸고 있는 형태임. 기계적 성능뿐만 아니라 난연성 기준을 만족하는 재료 및 구조가 선택되어야 함.

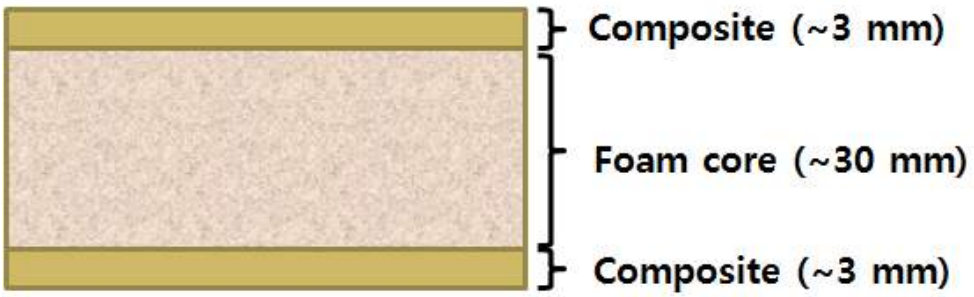


그림 2.1.10 복합재료를 이용한 철도차량용 Roof의 기본 구조

○ 스위스의 Airex Composite Structures (ACS) 社에서는 복합재료 샌드위치 패널을 이용하여 철도차량용 Roof와 모듈화 기법이 적용된 Front cabin을 개발하여 양산화를 진행하고 있음. 기본적으로 강성, 강도 등 기계적 성능을 달성하며 경량화를 이루었으며 모듈화 기법을 도입하여 제작 및 설치가 용이하게 하였음.



그림 2.1.11 복합재료 샌드위치 패널을 이용한 철도차량 Roof 및 Front cabin (ACS 社)

○ Roof와 같은 대형 복합재료 구조를 일체형 성형으로 제조하거나 모듈화 기법이 적용된 부품을 저원가로 제작하기 위해서는 제조 공정의 고속화 및 대량 생산화를 통한 저원가화가 필수적이며 이를 위하여 RTM, Infusion 공정 등이 대표적으로 검토되고 있으며, 프랑스 Bombardier社 등에서는 Infusion 공정을 이용하여 철도차량용 Roof 구조를 제작하였음 (그림 2.1.12).



그림 2.1.12 Vacuum infusion 공정을 이용한 철도차량 Roof 제작 (Bombardier Transportation 社)

나. 알루미늄 압출재 적용 차체 경량화 기술 개발

○ 알루미늄 차체 경량화 검토 진행

. 차체는 크게 루프프레임, 측면프레임, 언더프레임, 엔드프레임으로 구성

. 내·외판과 연결하는 심재(rib)로 이루어진 이중 판재(double skin) 구조

. 기 개발된 철도차량(HEMU-430X, K-EMU)의 차체 경량화 구조 설계

. 차체 강도를 고려한 일부 패널의 판재와 심재 두께 축소

. carrying ring, fixed ring, bay frame 및 각종 브라켓류 등은 제외한 차체 중량만 고려하여 적용

. K-EMU의 경우, 압출 기술의 향상으로 높은 경량화율을 보임

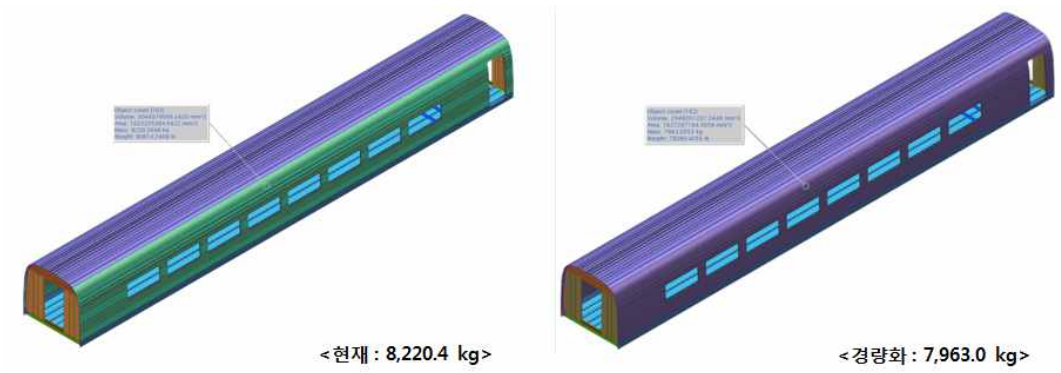


그림 2.1.13 HEMU-430X 차체 경량화 검토

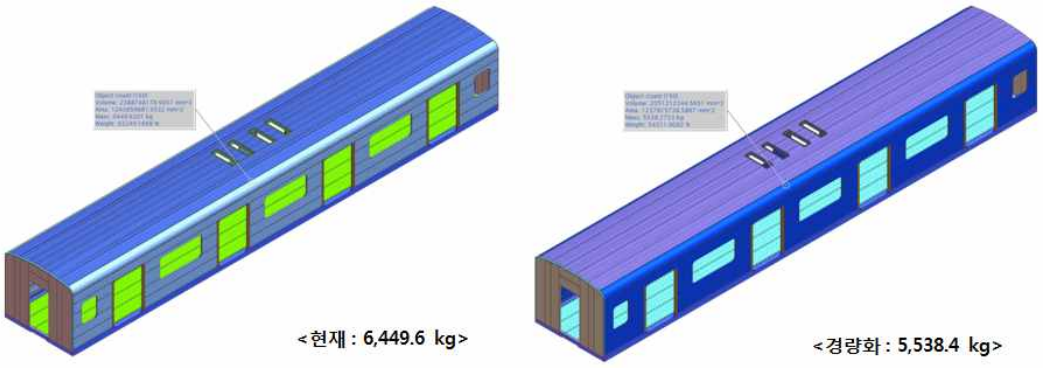


그림 2.1.14 대형 전동차 차체 경량화 검토

다. 미래 신소재 적용 차체 경량화 기술 개발 방향

○ 확장 가능하고 모듈화 된 차체 구조 (독일, DLR)

. 높이와 폭 조절이 가능한 고리모양의 구조물
. 일정한 단면을 지니고 있는 모듈화 된 구조
. 서브 모듈인 파트를 조립 할 수 있는 단면 구조
. 길이 방향으로 변경이 가능한 종통 빔 구조
. 모듈화 기능을 수행하기 위해 샌드위치 구조 내부에 충진재 삽입
. 단순한 모양 구현을 위해 측벽 판넬과 지붕 판넬을 조립하는 구조
. 본드와 나사를 이용한 체결

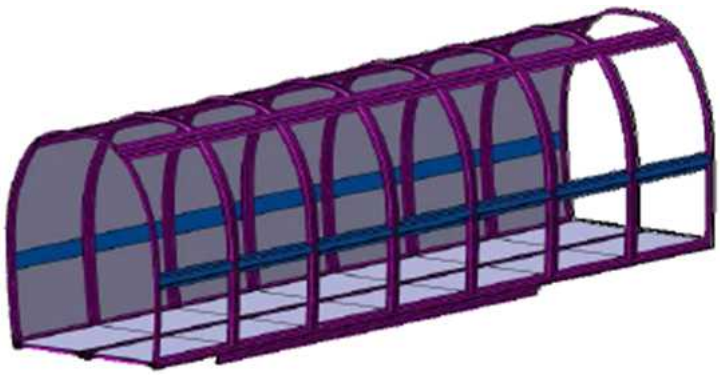


그림 2.1.15 알루미늄 압출골조.

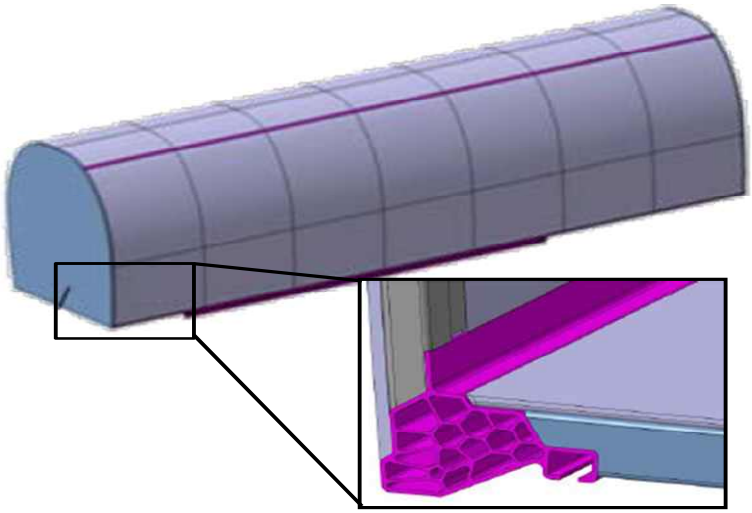


그림 2.1.16 알루미늄 압출골조에 복합소재
판넬설치 및 언더프레임과 상부구조 체결부 형상.

○ 알루미늄 압출재와 복합소재 샌드위치 구조 적용 차체 (독일, DLR)

. 코너부에서 종방향 알루미늄 압출 부재
. 종방향 압출부재들은 샌드위치 요소들과 체결
. 언더프레임하부에 플로어 지지구조를 도입하여 강성 보강
. 창문부위의 전단강성확보를 위해 삼각형 지지구조 도입

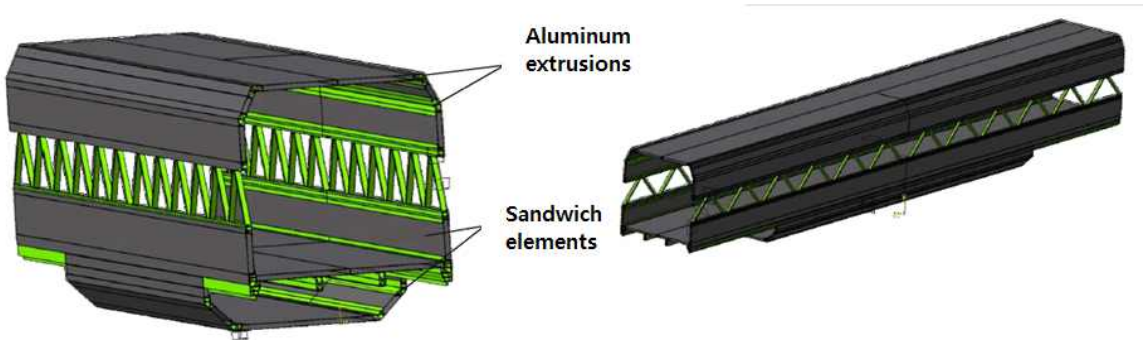


그림 2.1.17 알루미늄 압출재와 복합소재 샌드위치 구조 적용 차체.

○ 허니콤 튜브구조를 갖는 차체 구조 (독일, DLR)

. 굽힘과 비틀림에 강한 허니콤 튜브에 의한 자가지지(self-supporting) 구조
. 대각선 형상 부재에 의한 3차원 곡면 프레임 형성
. 최소하중 및 하중부과경로를 위한 최적 빔 배치
. 동일형상의 부품에 의한 제작성 극대화

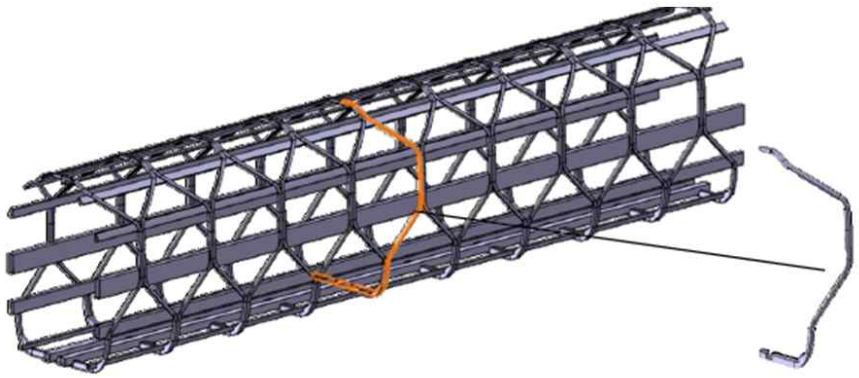


그림 2.1.18 강건 허니콤 튜브에 의한 자가지지 차체 구조.

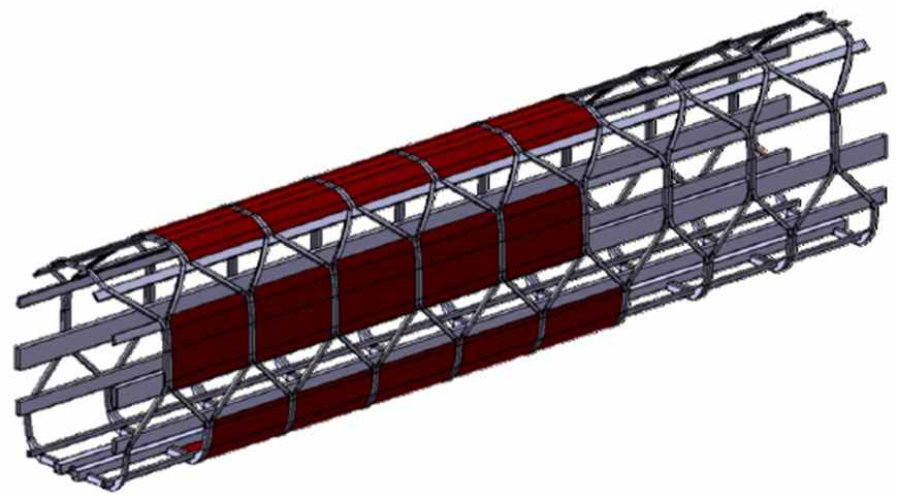


그림 2.1.19 자가지지 차체 구조에 복합소재 판넬 체결.

○ 위상 최적설계기술과 허니콤 빔구조가 적용된 초경량 차체 (독일, DLR)

. 독일항공우주연구원(DLR) 주도로 'Next Generation Train' (NGT) 프로젝트 추진 중

. 항공우주분야의 최신 기술을 철도차량에 응용한 NGT프로젝트를 통해 신개념 대차 및 차체 설계기술 도출 시도

. 위상최적설계기법을 적용하여 차체 주요골조 형상 도출

. NGT 차체 적용을 위한 탄소섬유 복합소재 차체 시제품 개발

. 화재안전성을 만족하는 난연 천연 바이오 소재 적용 내장재 개발 (내장재 두께 50% 이상 감소)

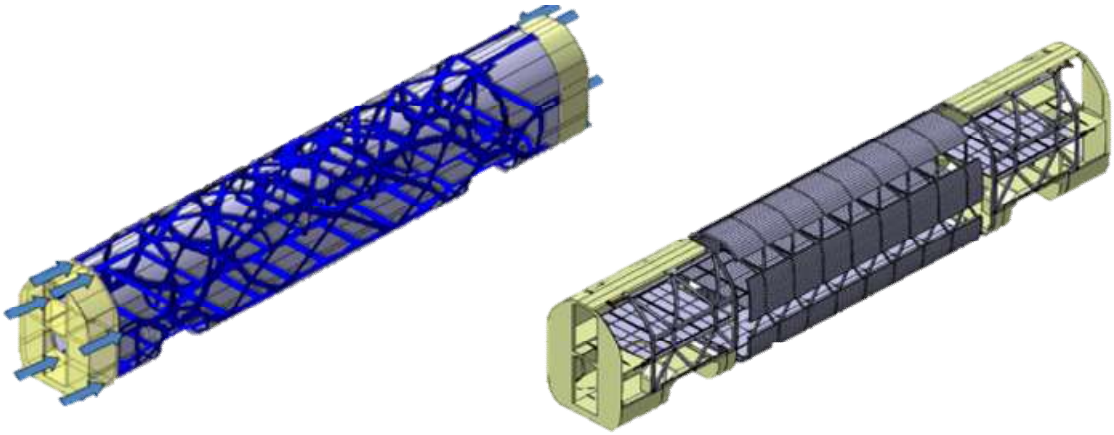


그림 2.1.20 NGT 차량에 적용된 위상최적설계 및 최종 설계안.

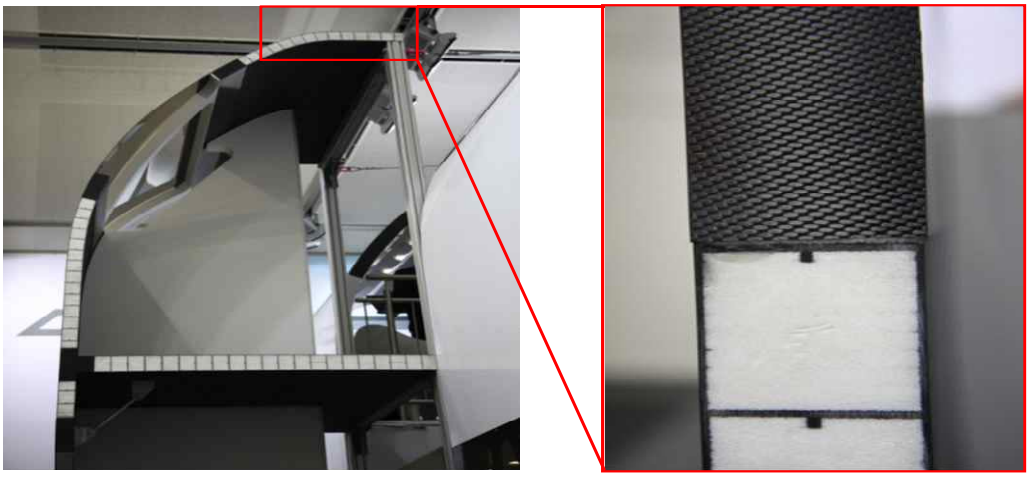


그림 2.1.21 탄소섬유 복합소재를 적용한 NGT차량 차체 시제모델.

○ 마그네슘 합금을 적용한 초경량 차체 (중국, 충칭대)

. 최근 중국 충칭대학교에서 철도차량 차체 적용을 목적으로 폭 424mm, 두께 2~5mm, 길이 10m의 complex cross-section을 가지는 마그네슘 압출재 제조기술 개발

. 하지만 사용된 마그네슘 소재가 일반 상용 마그네슘 합금 임

. 철도차량의 화재 안전성 확보 측면에서 난연 마그네슘을 적용해야 하나 현재까지 난연 마그네슘 합금을 이용한 철도차량 차체용 압출재 제조기술 개발은 시도되지 않았음



그림 2.1.22 마그네슘 합금 압출재 및 차체 시제품.

라. 차체 모듈화 적용 방향

○ 차체 모듈화는 차체를 기능별로 분류하여 부위별로 동일한 형상을 갖도록 제작하는 차량 설계 기법

. 모듈화의 장점

- 제작의 편의성이 높음
- 제작 기간 단축
- 부품별 필요한 기능을 통합 가능

. 모듈화의 단점

- 유연한 구조를 사용할 경우 특정 서브모듈에서 높은 비용이 발생
- 금형 비용은 도면, 소재 및 제조방법에 의존

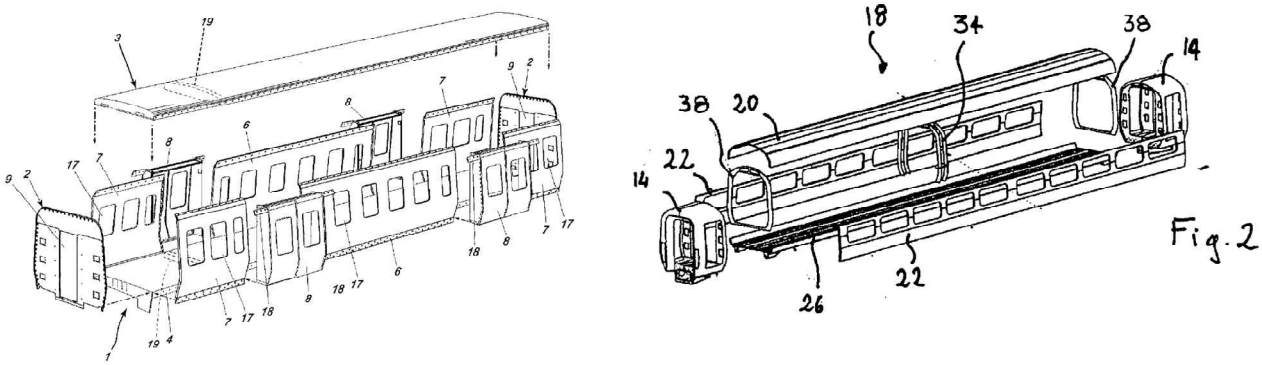


그림 2.1.23 봄바르디어사에서 특허출원한 차체 모듈화 방안.

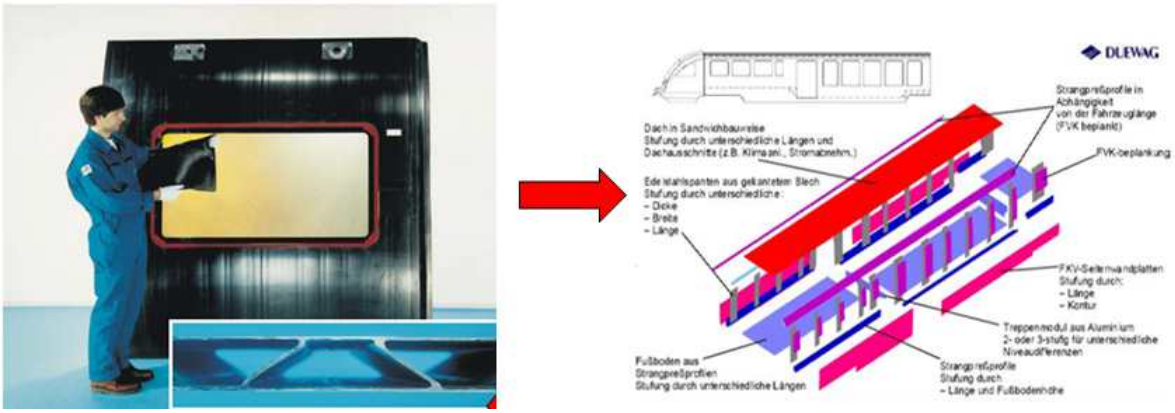


그림 2.1.24 복합소재 판넬 모듈화 적용의 예 (1985년 후반, 독일 DUEWAG)

○ 차체 모듈화 연구 프로젝트 - eSIE.CAR(2001년,독일)

. 첨단소재와 최신 체결기법을 도입한 신개념 철도차량 모듈화 기술

. 모듈화된 하이브리드 차체 조립

. 빠른 설치 기술

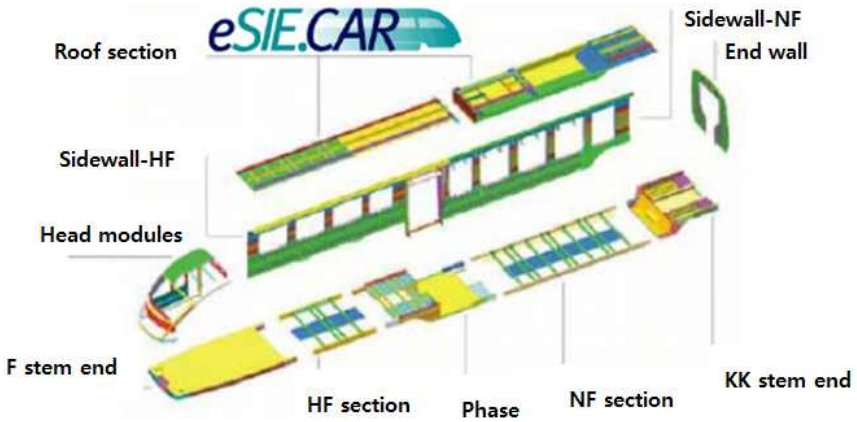


그림 2.1.25 eSIE.CAR 프로젝트 개념도.

○ 미래 차체 모듈화 개념 (독일, DLR)

. FRP 소재를 이용하여 가볍고 유연한 구조의 차체를 모듈화 구현

. 천장과 벽, 바닥은 FRP 소재를 적용하여 제작

. 창문과 문은 금속이나 하이브리드 구조를 이용하여 제작

. 차체 바깥 스킨은 FRP 샌드위치 구조 적용

. CFRP(탄소섬유 강화 플라스틱)을 이용하여 밀도 1550kg/m^3 구현

. 스테인레스 스틸 대비 약 80% 경량화가 가능

. 전단웨브는 연결성이 더 좋은 구조로 구축

. 폼 코어 적용하여 방음과 방열 실현
. 금속재를 샌드위치 구조에 삽입하여 조인트 역할 강화
. 펄트루전 공정으로 제작하며, RTM 공법을 이용하여 경량 복합소재 제작

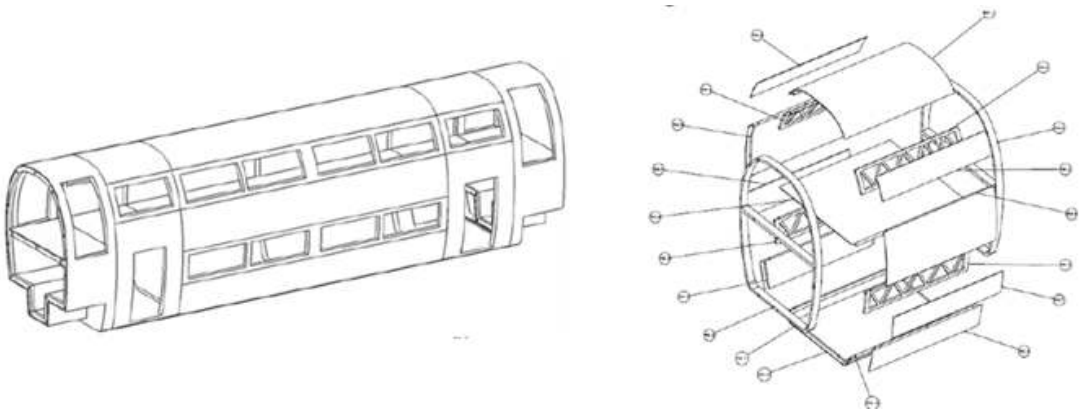


그림 2.1.26 미래 차체 모듈화 개념도.

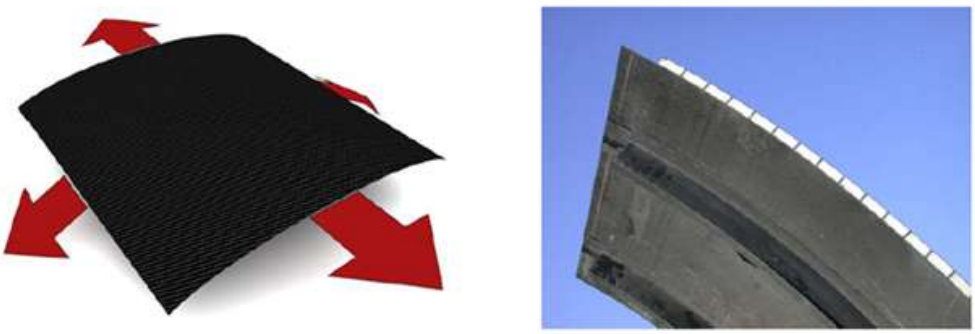


그림 2.1.27 FRP의 하중조건 및 샌드위치 구조.

. 프레임은 다축 하중에 견딜 수 있는 금속과 하이브리드 재료로 구성
. 형상은 단순하고, 쉘요소로 이루어져 있음
. 프레임은 압연 공정으로 제작되며, 창문은 트러스 구조물과 본딩으로 조립

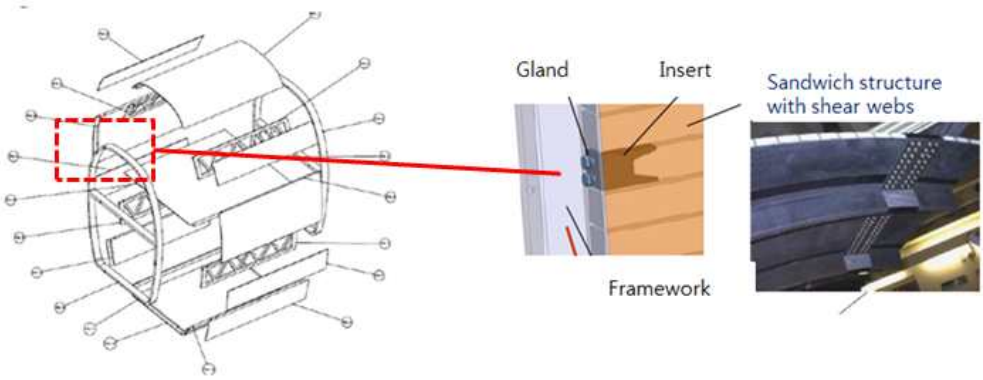


그림 2.1.28 전단웨브의 샌드위치 구조.

. 차체 내장재는 재생 가능한 천연섬유와 밀도가 낮은 재료 사용
. 바이오 고분자는 난연성 소재이며 지속가능한 재료로 내장재로 적합
. 펄트루전 공정을 이용하여 제작되며 햅틱 모양으로 승객에게 편안함을 제공

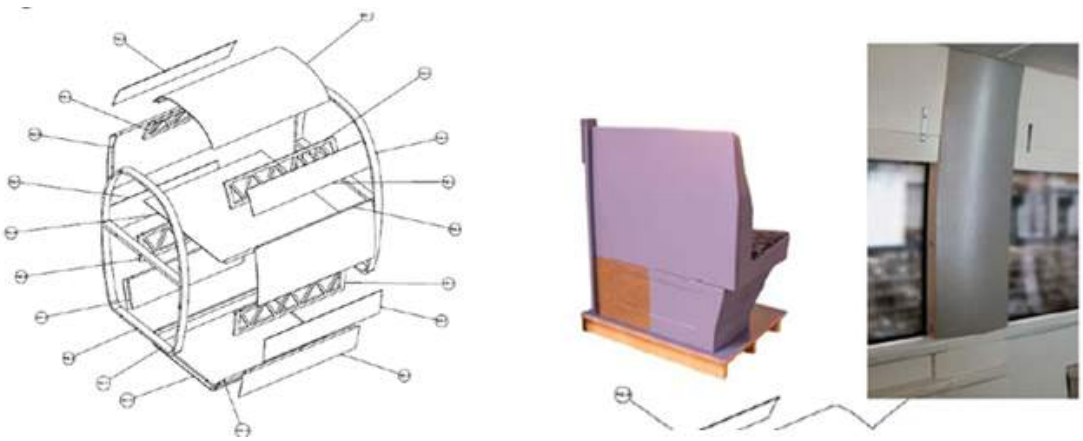


그림 2.1.29 바이오 고분자 재료를 이용한 차체 내장재.

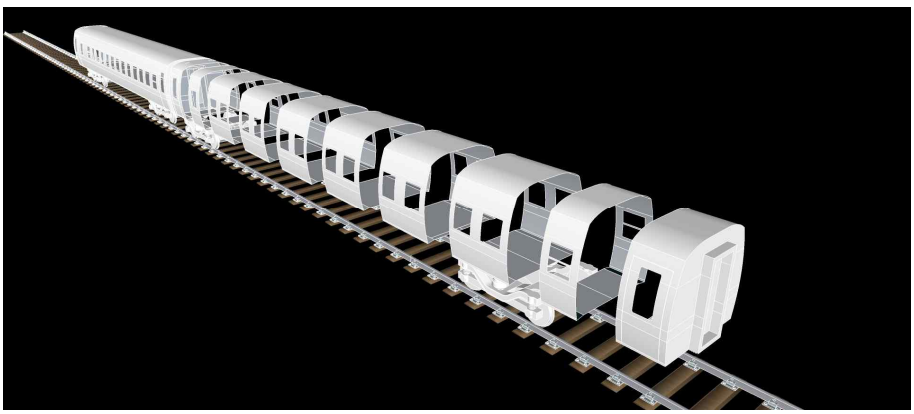


그림 2.1.30 기능별 차체 모듈화.

2. 철도차량 대차 경량화 기술

가. 복합소재 적용 대차 경량화 기술

○ 고속철도용 복합소재 대차 (독일 MBB, 1990년)

. 유리섬유 복합소재를 적용한 대차프레임 개발

. 기존대비 약 25% 경량화를 구현하였으며, 대차프레임이 1차 현가장치 기능 수행하는 무현가대차 구현

. 대차프레임을 복합소재로 제작할 경우 복합소재의 우수한 감쇄성능에 의해 소음저감효과 탁월하며, 복합소재 프레임의 우수한 탄성(elastic properties)에 의한 비틀림 유연성(torsional compliance)에 의해 부가적인 유압댐퍼(hydraulic damper) 없이도 330km/h의 고속주행에서도 탈선방지효과 입증

. 대차시스템은 MAN GHH Schienenverkehrtechnik GmbH에서 제작하였으며, 복합소재프레임은 Eurocopter Germany GmbH에서 제작

. 독일 과학기술부 (Germany's Ministry of Science and Technology)가 이를 지원하였고, 독일연방철도(German federal railway)에 의해 ICE(Intercity express)에 적용되어 600,000km 실차시험을 수행하여 안전성 확인



그림 2.1.31 독일에서 개발된 복합소재 대차프레임.

○ A-TER 열차용 복합소재 대차 (프랑스 Alstom, 2002년-2010년)

. 프랑스 Alstom사에서도 A-TER project에 의하여, 유리섬유 복합소재를 적용한 대차프레임 개발하여 기존대비 약 30%(500kg/대차당) 경량화 구현

. 대차의 사이드프레임을 판스프링형상으로 제작하여 1차 현가장치 기능 수행하는 무현가대차 구현

. 1차 시제품이 2002년 제작 완료되었고, 2003년에 프랑스 Virty에 있는 SNCF

시험소에서 bench test를 수행하였으며, 복합소재 사이드 프레임에 대해 16x106회 피로시험을 통해 내구성 확인

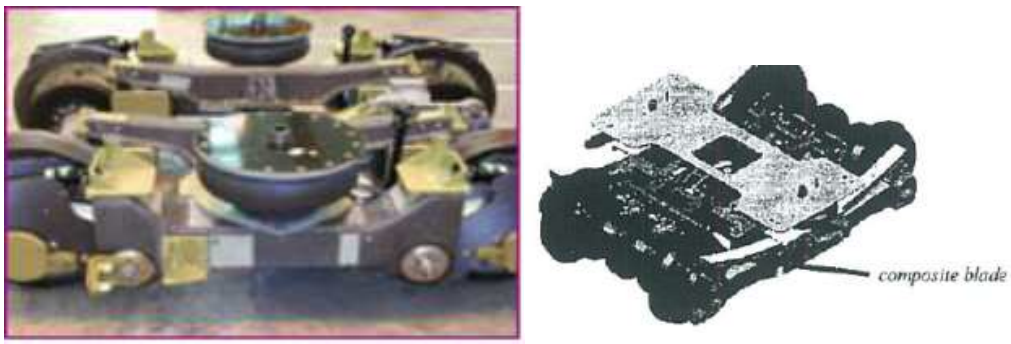


그림 2.1.32 A-TER열차의 복합소재 대차와 Alstom사의 복합소재 대차프레임 적용 대차.

○ 화차용 복합소재 대차 (영국 Sciotech, 1999년 - 2011년)

. 영국에서는 EUREKA project의 일환으로 진행되고 있는 Eurobogie project에서 화차용 대차프레임을 복합소재로 제작하는 연구 수행

. 기존대비 약 50%의 경량화를 목표로 하고 있으며, 대차프레임이 자기조향기능을 수행하도록 구현

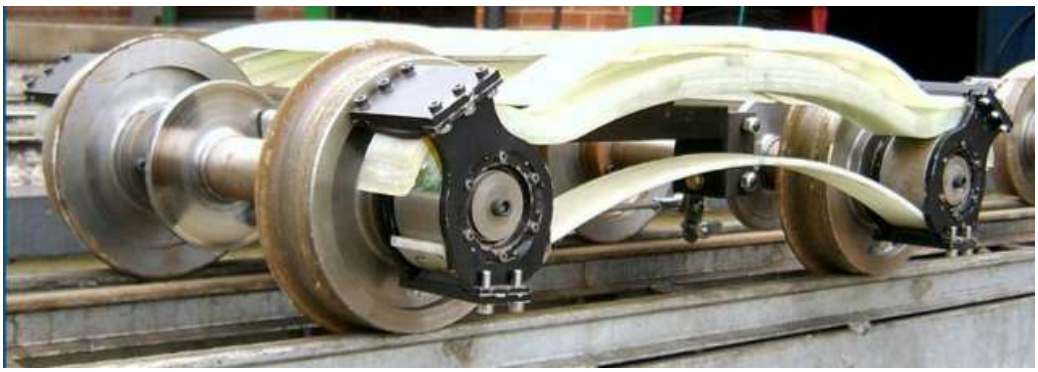


그림 2.1.33 화차용 복합소재 대차.

○ 복합소재 대차 프레임 기술 (한국, 2008년 - 2012년)

. 철도차량 대차에 유리/에폭시 복합소재를 적용하여 오토클레이브 성형 기법으로 대차 프레임 제작

. 기존 전동차량 대차 보다 30% 이상 경량화된 복합소재 대차 개발

. 주행 동특성, 정하중 및 피로 시험을 통해 복합소재 대차프레임 신뢰성 확보

구분	기존 대차	복합소재 대차	복합소재 대차의 장점	
경량화	SM490A 용접강	유리섬유/에폭시	692kg/량 경량화	• 에너지 절감 (20억/년)(주1) • 궤도 충격하중 감소 (주1)지하철 2호선 기준
단순화	1차, 2차현가장치 및 댐퍼 설치필요	대차프레임을 현가장치로 활용	대차구조 단순화	• 대차 경량화 • 유지보수성 향상
소음 저감	강재구조에 의해 자체소음 발생	우수한 감쇠특성	저소음 대차구현	• 우수한 감쇠특성 (금속대비 40배) • 자체소음 발생이 적고 차단효과 우수
마모 저감	곡선부 마모 발생 (추가 조향장치필요)	유연한 대차프레임	곡선 추종성 향상	• 차륜/레일 마모저감 • 스퀼(마찰) 소음 저감

그림 2.1.34 복합소재 대차프레임 적용시 기존 대차 대비 장점.

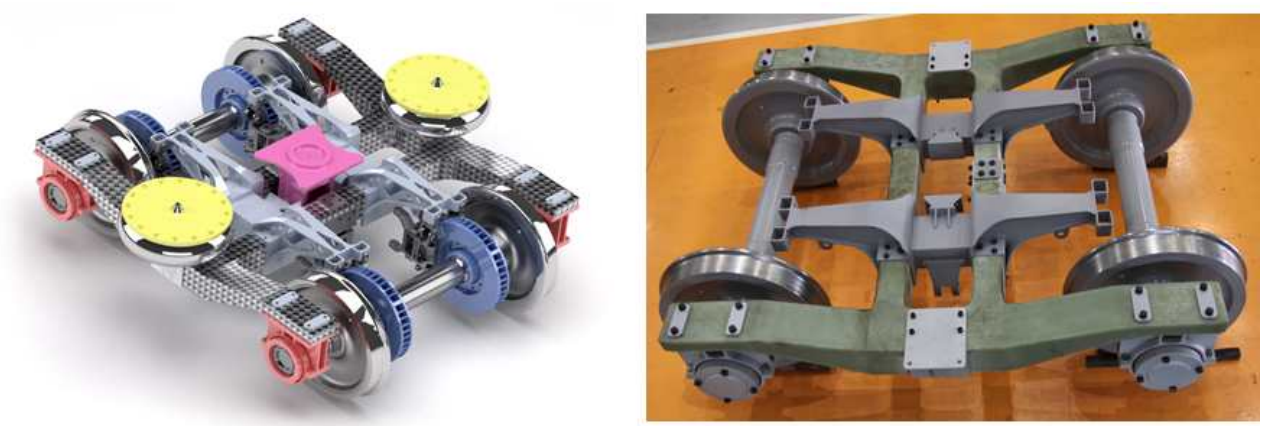


그림 2.1.35 복합소재적용 대차 최종 모델 및 제작품.

○ 복합소재 대차 프레임 기술 (일본 가와사키 중공업, 2013년)

. 대차 프레임의 기본 구조에 탄소섬유 복합소재(CFRP)을 채용 한 차세대 철도 차량 대차 "efWING" 개발

. 대차 프레임이 현가장치 기능을 수행하도록 설계하여 경량화 및 구조 단순화 구현

. 대차 프레임의 무게를 기존 대비 약 40 % 경량화하여 1량 당 약 900kg 의 경량화

. 실용화에 앞서 미국 철도 협회 교통 기술 센터 (TTCI : Transportation Technology Center , Inc.) 에서 약 4,500 km 의 주행 시험 실시

. 승차감 향상과 동시에 선로불규칙에 의한 윤중감소를 기존에 비해 절반 이하로 대폭 개선하여 탈선에 대한 안전성 향상 확인



그림 2.1.36 일본 가와사키 중공업의 복합소재적용 대차.

나. 인보드 베어링 적용 대차 경량화 기술

- 인보드 베어링 대차는 축상 베어링이 대차프레임의 바깥에 설치되는 기존 대차(아웃보드 베어링 적용)와 달리 축상 베어링이 대차프레임 안쪽에 설치됨
- 따라서, 기존 대차대비 대차의 크기를 축소시킬 수 있고, 이러한 축소된 형상에 적합한 소형 경량 구동 모터, 감속기, 저직경 휠 및 중공차축 적용을 통해 대차 중량을 최대 1/3 정도 경량화 가능한 대차 형식

○ 인보드형 SF7000 대차 (지멘스)

. 영국 런던의 Thameslink 노선에 운행중인 1987년에서 1990년에 제작된 Class 319열차를 대체하기 위해 에너지 저감형 Desiro City multiple unit 도입 계약 체결 (2013녀 6월27일)

. 2015년부터 2018년 사이에 고용량 통근 열차(high-capacity commuter EMU) 1300량 납품 예정

. Desiro City 열차는 기존 Class 350/450(2003년과 2009년 납품) 차량대비 약 25%의 경량화

. inboard axle bearings : outboard axle bearings 대차대비 중량 1/3 경량화

. 경량대차 적용시 에너지비용절감, 스프링하중량 감소, 휠 베이스 감소에 따른 휠·레일 마모감소

. 휠 유지보수비 저감 및 레일 사용료 저감(track charge)

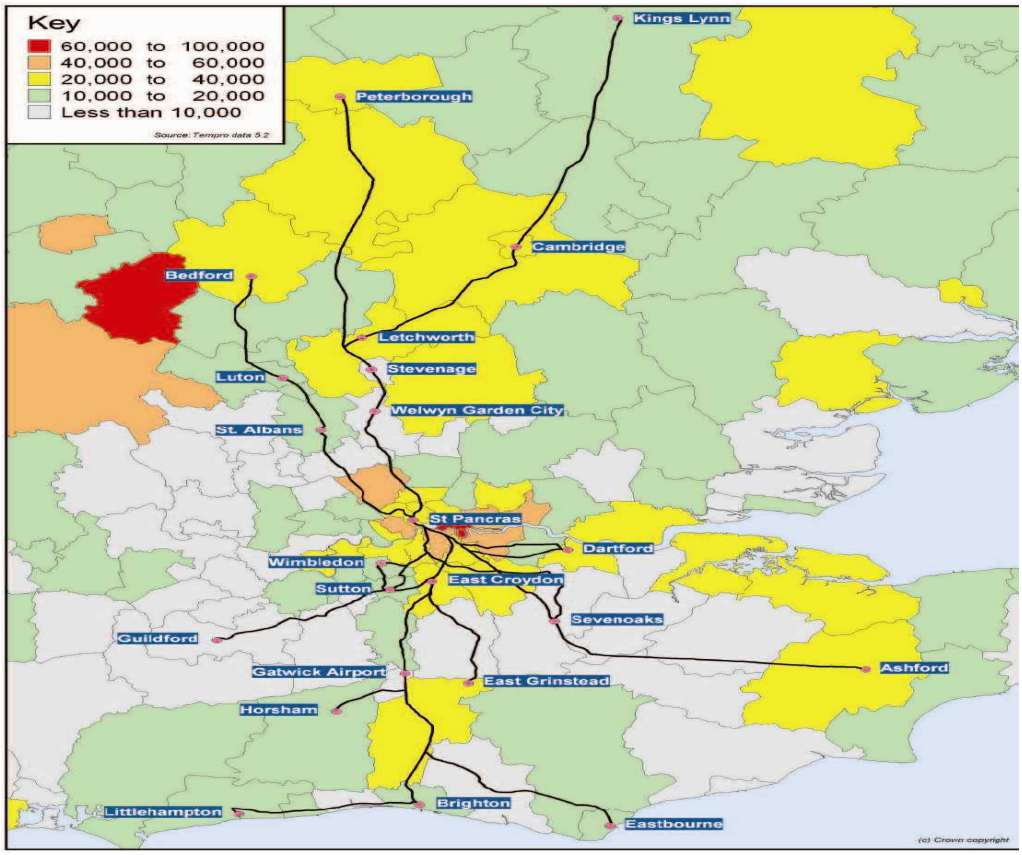


그림 2.1.37 Desiro City 열차 운행 예정노선인 Thameslink 노선



그림 2.1.38 SF7000대차 적용 Desiro City multiple unit.

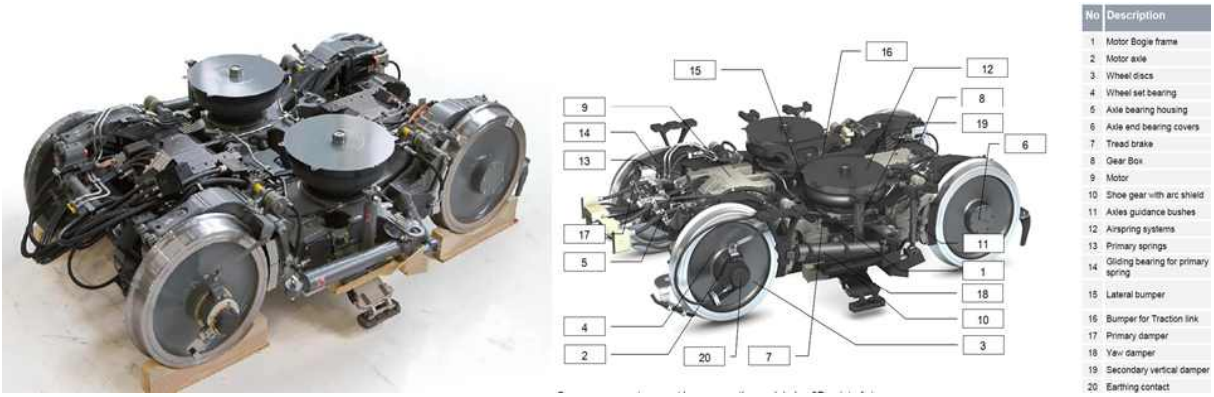


그림 2.1.39 SF7000 구동 대차.

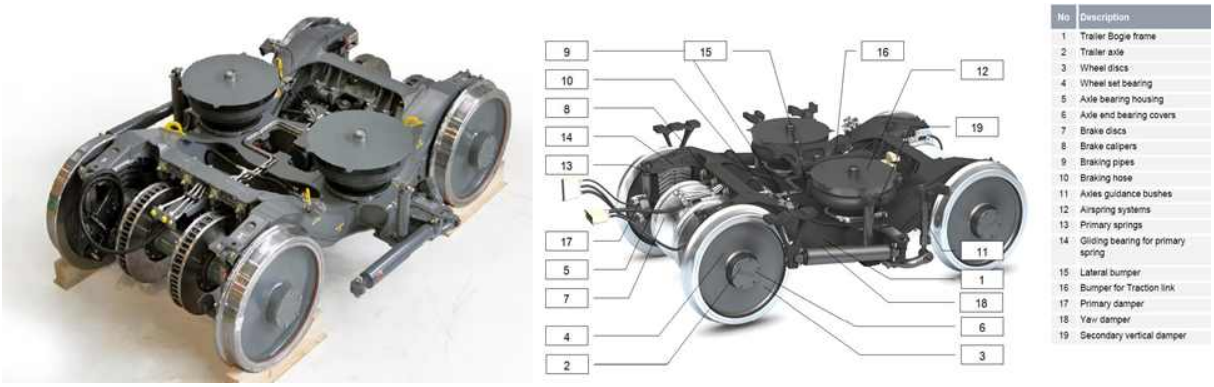


그림 2.1.40 SF7000 부수 대차.

○ Global A-train용 Lightweight Inner Frame Bogie (히타치 유럽)

. 유럽과 영국을 겨냥하여 Global A-train 개발에 적용

. 240kW 견인전동기, 최고운행속도 160km/h, 휠 직경 830mm

. 구동대차 답면제동, 부수대차 답면제동+휠디스크 제동

. 유럽표준대차 대비 2.5톤 경량화 (견인전동기 제외 대차 중량 5.2톤)



그림 2.1.41 히타치 유럽의 A-train 시리즈.



그림 2.1.42 히타치 유럽의 최신 인보드형 대차.

○ FLEXX Eco Bogie(봄바르디어)

. 2002년에 독일에서 392km/h까지 시험주행 실시

. 영국 Meridian열차 (diesel-electric high-speed multiple-unit, 2004년 운행 시작, Midland Main Line 및 Oakham to Kettering Line 운행, 최고속도 200km/h) 및 voyager열차 (diesel-electric high-speed multiple-unit, 2000년-2001년 운행시작, Cross Country Route 운행, 최고속도 200km/h) 에 설치되어 운행 중

. 축간거리 2250mm - 2500mm, 차륜직경 780mm으로 기존 대차대비 컴팩트하게 경량 설계하여 기존 대차에 비해 30% 무게 감소

. 대차 프레임을 비림틀림에 유연하고 에너지 소비 및 소음 발생을 감소 설계

. 이미 성공적으로 상용화 되고 있고 노르웨이 철도와 Bombardier Turbostar에 적용될 예정

. 2013년말 독일철도청에서 운영예정인 250km/h급 ICx regional 열차에 FLEXXEco 대차가 적용될 예정이며, 러시아 및 싱가포르 전동차에도 적용될 예정임

. 전세계적으로 1,000 유닛에 적용되며 주로 지역 및 통근열차와 고속열차에도 적용



그림 2.1.43 FLEXX eco 대차의 주행시험 (2002년).



그림 2.1.44 FLEXX eco 대차가 적용된 영국의 Meridian 및 Voyager 열차.

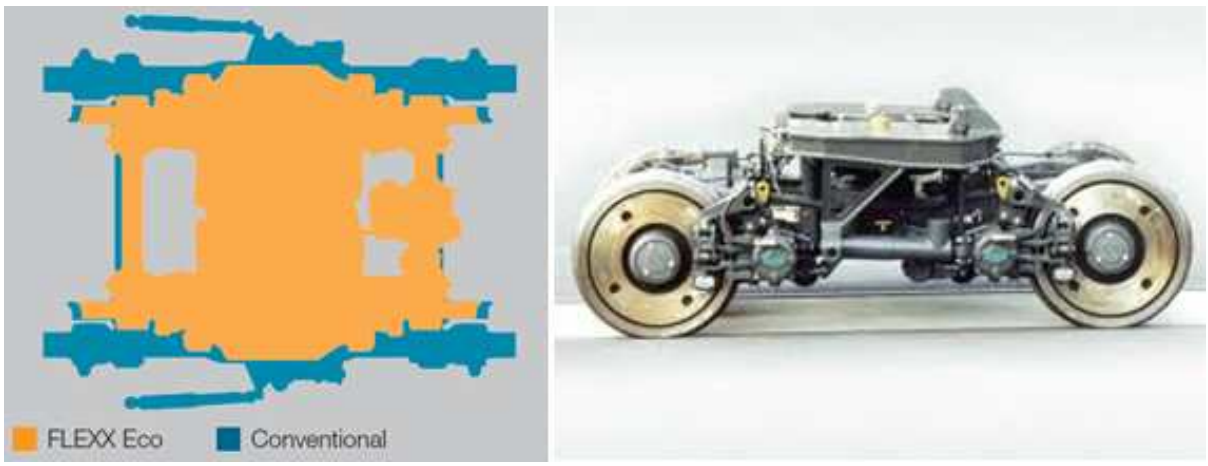


그림 2.1.45 FLEXX eco 대차의 기존 대차 대비 크기 및 형상.

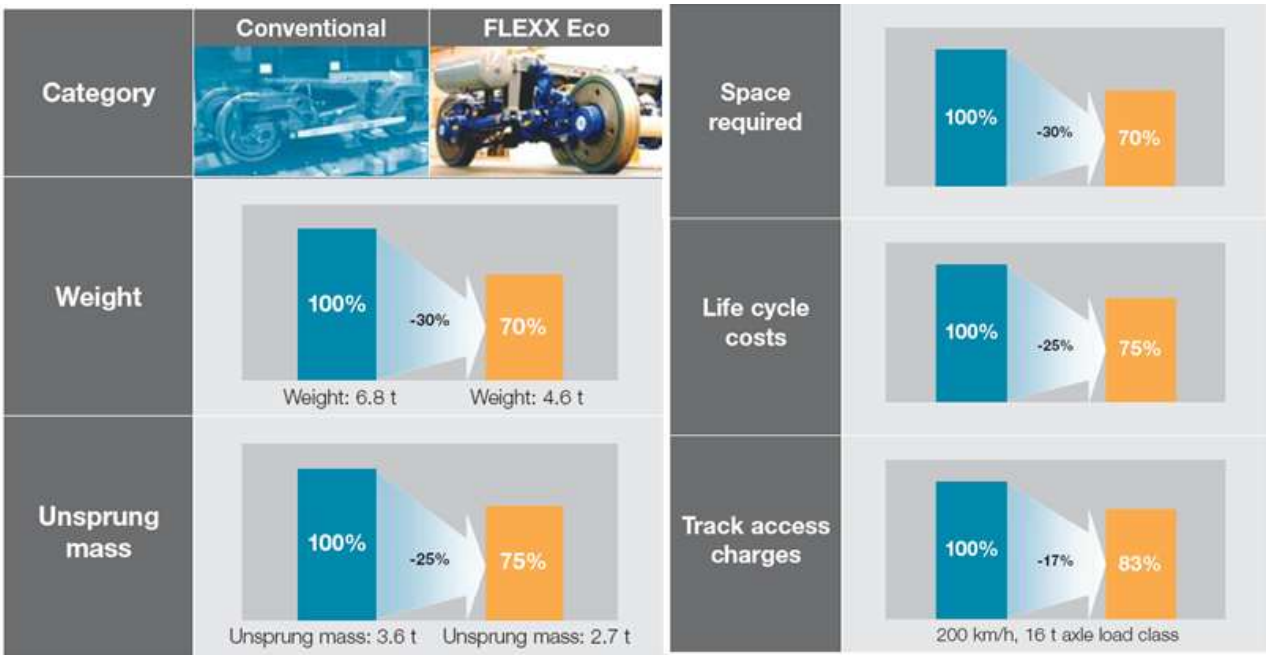


그림 2.1.46 FLEXX eco 대차의 기존 대차 대비 장점.

○ Syntegra Bogie (gearless drive bogie, 지멘스)

. 2006년 innotrans에서 공개 되었고 당시 직접구동모터의 용량은 110kW, 효율 96%로 Wegberg-Wildenrath test circuit에서 시험실시

. 2008년 독일 뮌헨 metro에 2대를 장착하여 시범 운행

. 2009년 innotran에서 재공개시 직접구동모터의 용량은 150kW로 향상되었고 시제품의 대차 중량은 5.6톤, 축간거리 1600mm, 최대 축중 14톤

. 직접구동모터는 공랭식으로 모터에서 발생한 열은 차륜과 차축으로 발산

. 대차의 구조는 기존 대차와 달리 하나의 크로스 빔이 두 개의 종축빔에 유연하게 연결되어 있음

. 댐퍼 및 스테빌라이즈에 의해 유기되는 하중 뿐만아니라 견인력은 하나의 크로스빔이 감당하고 차체의 무게는 두 개의 종축빔을 통해 1차 현가장치에 분포되는 구조

. 대차와 차체는 직접구동모터외부에 설치된 하우징을 통해 연결되어 대차 프레임은 견인력을 받지 않음

. 직접구동모터에 부과되는 대칭적인 하중에 의해 모터의 출력을 최대한 활용가능하고 휠세트에서의 축중이동(axle load shift)이 매우 낮음

. 시제품의 경우 동일출력(traction power) 및 지지하중(payload)을 갖는 기존 전동차용 대차 대비 15% 경량화 달성하였으나 양산 모델의 경우 30% 까지

경량화 가능 예상

. 경량화, 회전체 무게 감소, 고효율 모터에 따른 에너지 저감비용 20%

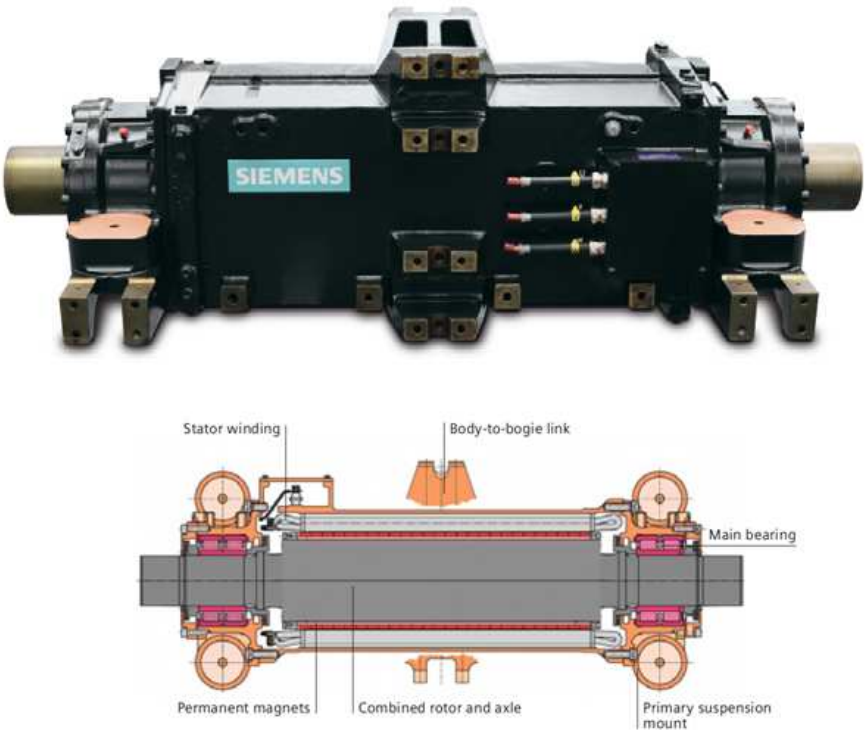


그림 2.1.47 지멘스의 Syntegra 대차에 적용된 직접구동 모터 및 모터의 단면 구조.

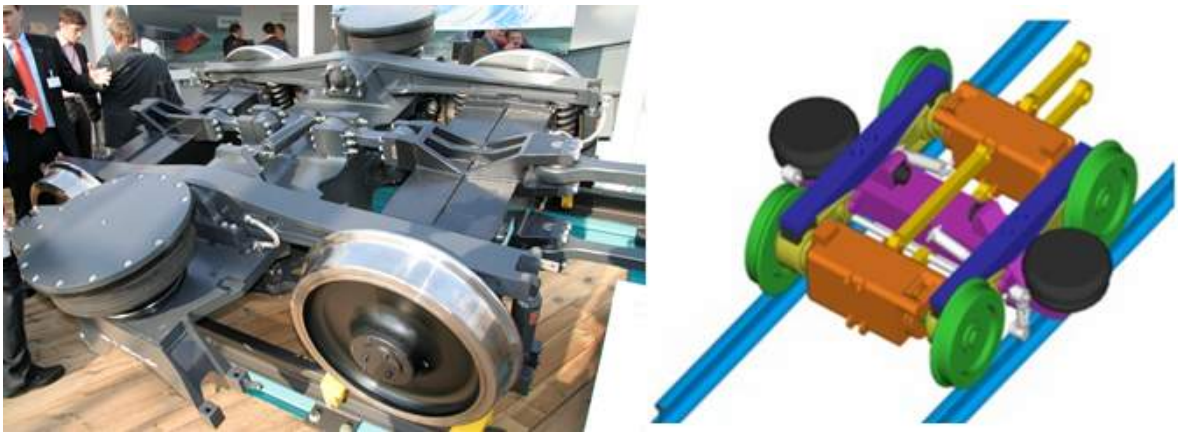


그림 2.1.48 지멘스의 Syntegra 대차.

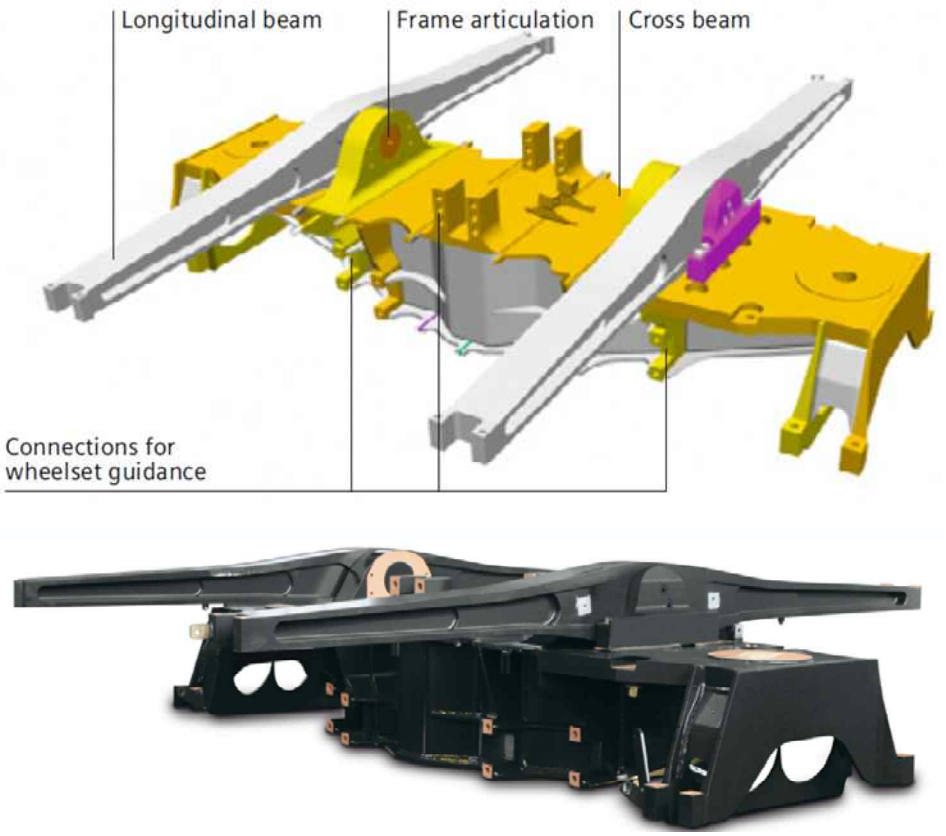


그림 2.1.49 Syntegra 대차의 크로스 빔과 종축빔의 체결구조.

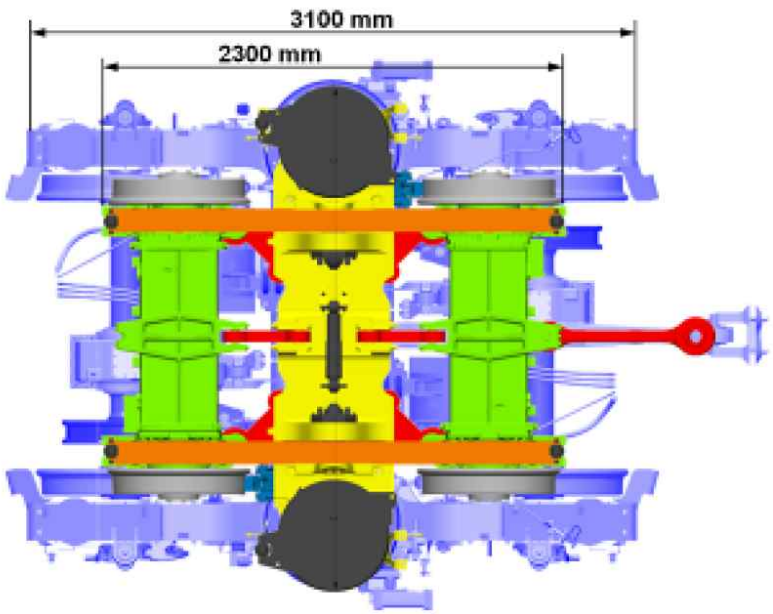


그림 2.1.50 Syntegra 대차와 기존대차의 크기 비교.



그림 2.1.51 2008년 8월에 뮌헨 전동차에
Syntegra 대차 장착한 전동차 운행모습.

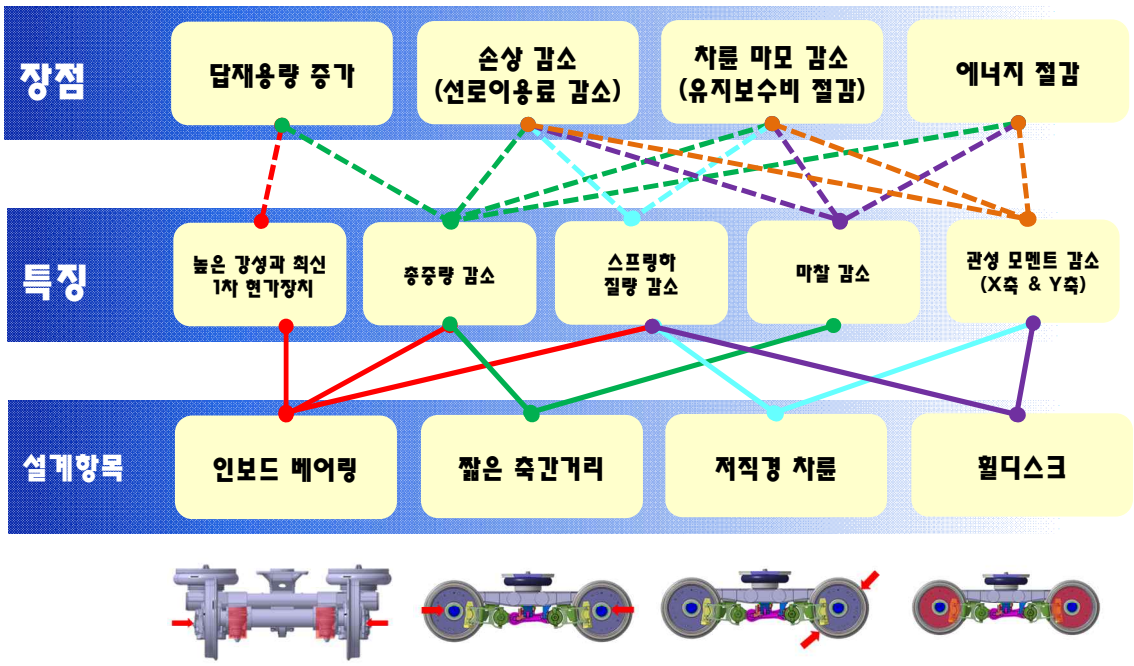


그림 2.1.52 인보드형 대차 적용시 장점.

3. 철도차량 의장 및 내장 경량화 기술

○ 핸드그립(Grab Rail) 경량화 기술

. 현재 핸드그립의 재질은 스테인레스 스틸과 알루미늄으로 제작

. 개당 중량은 약 3.9 kg
. 6량 1편성을 고려하면, 전동차에 들어가는 핸드그립은 총 180개
. 전동차에 들어가는 핸드그립의 무게: 0.7 tonne
. 유사한 비용과 성능을 만족하면서 경량화 구현이 가능한 재료 검토
. 강성 및 난연 기준 만족 필요
. 탄소섬유의 필라멘트 와인딩 기법을 적용하여 스테인레스 대비 약 57% 경량화

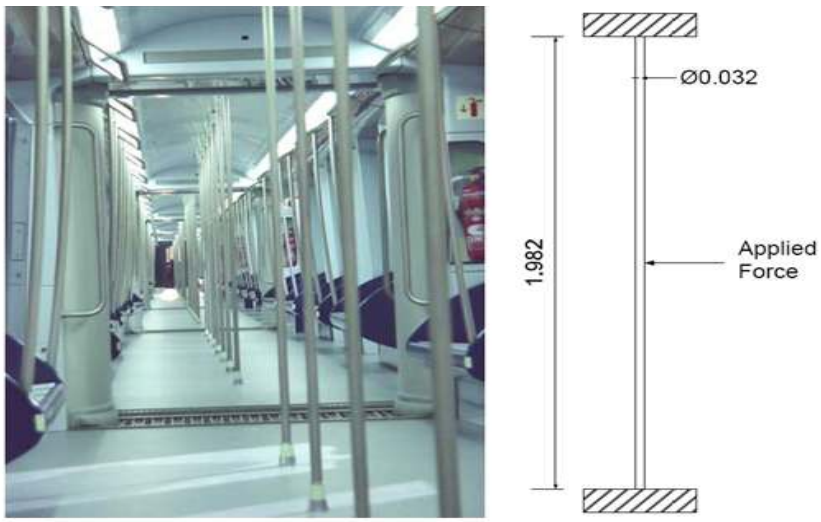


그림 2.1.53 전동차에 적용되는 핸드그립.

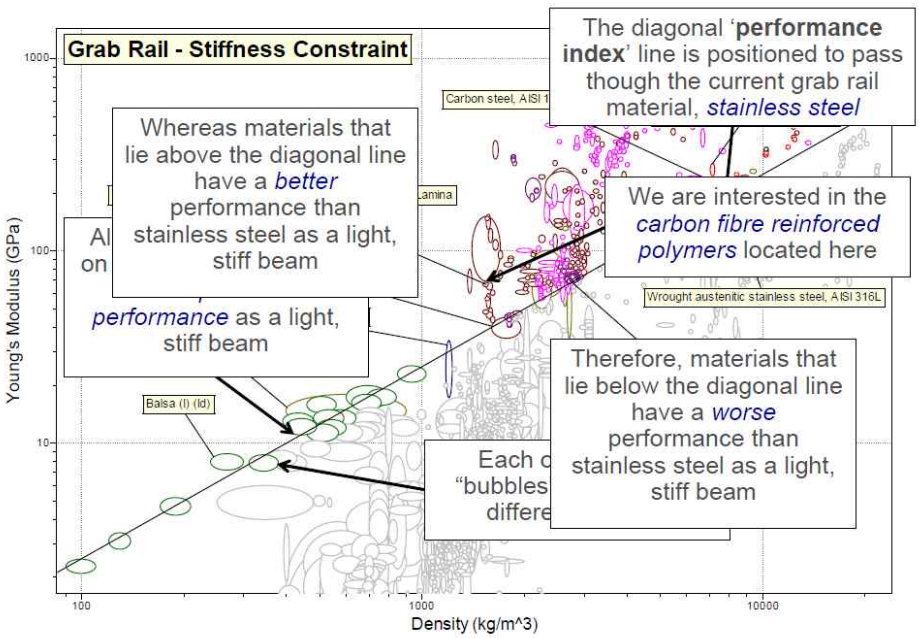


그림 2.1.54 핸드그립 경량화 설계를 위한 소재선정 과정.

○ 전동차 바닥 판넬(Floor Panel) 경량화 설계

. 전동차용 바닥 판넬은 단열, 차음등 다양한 기능을 수행하는 부분으로 다층 구조를 이루고 있음

. 기존 폴리우드로 구성되는 바닥 판넬을 폴리스티렌 코어와 탄소섬유 복합소재, 유리섬유 복합소재, 폴리우두 및 강판 면재의 조합을 통해 경량화된 최적안 도출

. 폴리우드와 탄소섬유 복합소재 면재 적용시 최대 53% 경량화 되지만 가격 2배 상승

. 유리섬유 복합소재와 강판 면재를 적용시 최대 37% 경량화 되고 가격 또한 40% 감소

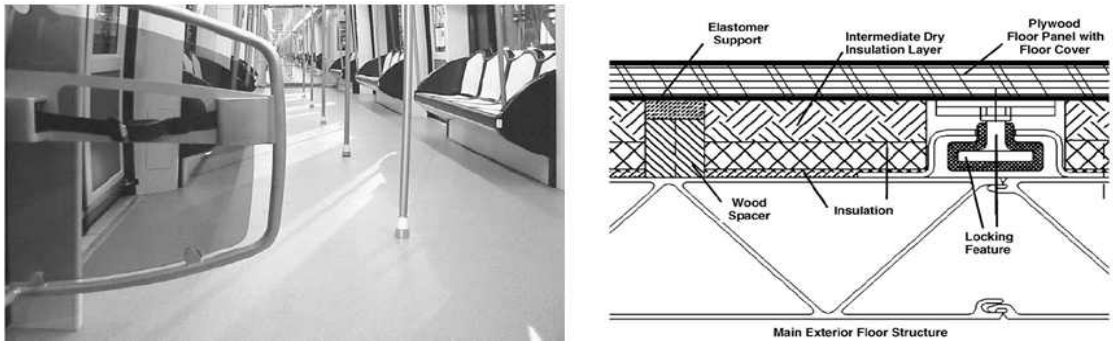


그림 2.1.55 전동차용 바닥 판넬의 구조.

	Low mass design	Low cost design	Intermediate design
Upper facing material	Carbon fibre-reinforced phenolic	Steel	Steel
Upper facing lay-up	$[0°/90°]_s$	–	–
Upper facing fibre volume fraction	0.5	–	–
Upper facing thickness, t_{f1}	1 mm	0.5 mm	0.5 mm
Core material	Extruded polystyrene	Extruded polystyrene	Extruded polystyrene
Core density	40 kg/m^3	40 kg/m^3	45 kg/m^3
Lower facing material	Plywood	Glass fibre-reinforced phenolic	Carbon fibre-reinforced phenolic
Lower facing lay-up	–	[90°/90°]	[90°/90°]
Lower facing fibre volume fraction	–	0.35	0.3
Lower facing thickness, t_{f2}	3 mm	0.5 mm	0.5 mm
Longitudinal span	2.40 m	2.40 m	2.40 m
Transverse span	0.42 m	0.40 m	0.50 m
M (kg/m^2)	6.0 (53% reduction)	8.0 (37% reduction)	7.6 (40% reduction)
C (€/m^2)	29 (93% increase)	9 (40% reduction)	17 (13% increase)

그림 2.1.56 바닥판넬 최적설계 통해 도출된 3가지 후보안.

○ 차체 루프 판넬(Roof Panel)의 경량화

. 복합소재 루프 판넬의 개발 및 시험

. 상용 알루미늄을 대체할 수 있는 복합소재의 가능성 평가
. Resin Infusion Process로 제작
. 복합소재 시편을 제작하여 동하중 시험을 진행
. 하중조건은 1500kg 이며, 초기속도 9m/s 적용
. 주 파괴모드는 층간분리와 복합소재와 폼코어 사이의 본드 체결부 손상



그림 2.1.57 복합소재 루프 판넬의 충격하중 시험 전(왼쪽)과 후(오른쪽).

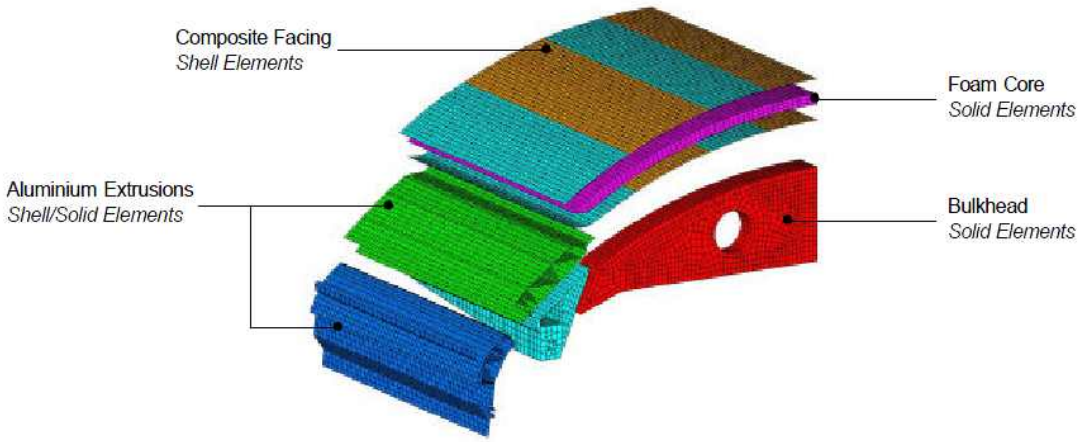


그림 2.1.58 루프 판넬의 충돌 시험을 재현하기 위한 유한요소모델.

○ 차체 측면 판넬(Side Panel) 경량화
. 복합소재 차체는 유리섬유 강화 플라스틱으로 제작
. 체결요소는 본딩과 볼트로 구성
. 복합소재 판넬은 SCRIMP공법을 이용하여 제작
. 만차(fully laden mass) 조건에서 최대 수직변위 계산 : 최대변위 < 7 mm
. 동강성(Dynamic stiffness) 계산: 1st vertical frequency > 7.5 Hz



그림 2.1.59 강철 바닥 판넬과 복합소재 차체 판넬

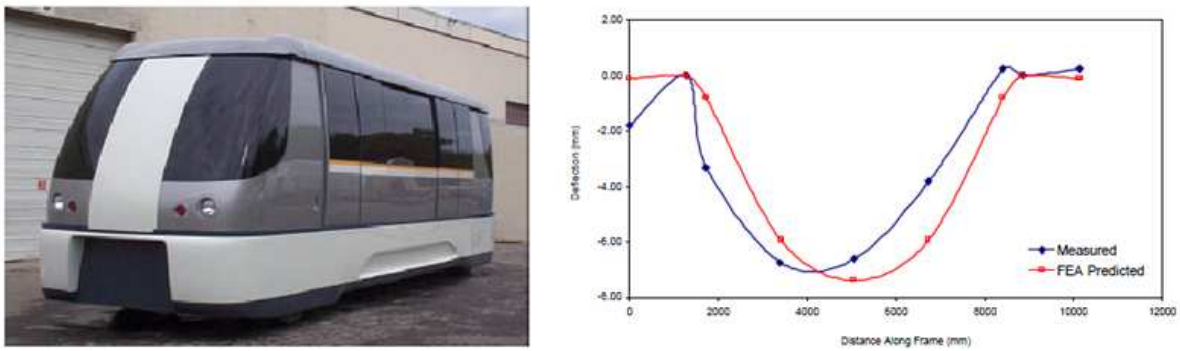


그림 2.1.60 APM 차체와 수직 정하중 조건에서 최대 처짐.

○ 다양한 Steel구조의 조합으로 구성된 충격흡수 구조 (Dellner, 스웨덴)

. Deformation tube : 충돌시 내부 금속 rod가 금속 실린더 내부로 파고 들 때 발생하는 금속 실린더의 소성 변형에 의한 에너지를 흡수하는 구조

. Gas-Hydraulic buffer : 유압이나 공압 실린더에 의한 에너지 흡수 구조로서 속도에 따라서 다른 감속률을 가지는 에너지 흡수 구조

. Honeycomb energy absorber : 충돌 초기 deformation tube나 hydraulic buffer에서 흡수되고 남은 잔류 에너지를 honeycomb이 부셔질 때 필요한 에너지로 흡수하는 구조임

. 높은 에너지 흡수율을 가지는 구조이지만 대형의 강구조로 이루어져 있어서 무게가 무거운 단점이 있음

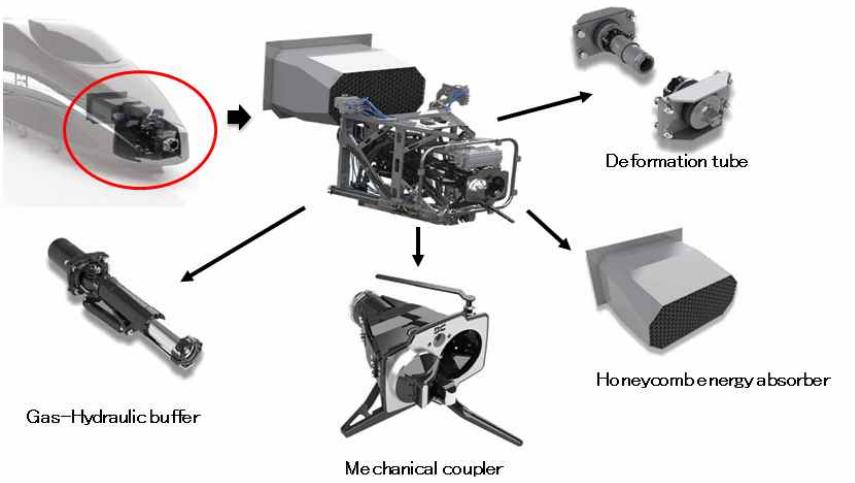


그림 2.1.61 다양한 강구조물의 조합으로 이루어진 충격 흡수 구조

○ Metal foam을 이용한 충격흡수 구조 (Metcomb, 오스트리아)

. 금속소재 폼을 이용함으로서 에너지 흡수율을 높이고, 무게를 절감

. 충돌 시 금속 폼이 부서지는 과정에서 발생하는 일정 하중 구간에서 충돌에너지를 다량 흡수하는 구조

. 간단한 생산 기법을 이용하여 대량 생산이 용이함

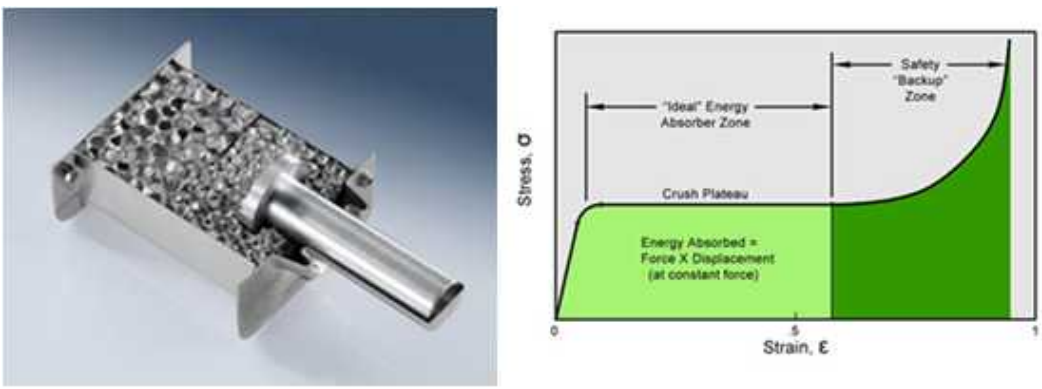


그림 2.1.62 금속 폼을 이용한 충격흡수구조 및 충돌시 거동

○ Metal crash box를 이용한 충격 흡수 구조 (Constellium)

. 알루미늄 box 구조물의 적용으로 무게 절감

. 충돌 발생시 박스 구조물에 다량의 소성 변형을 유도하여 에너지 흡수

. Crash box의 large deformation을 이용함으로서 충돌 시 낮은 힘과 가속도 발생

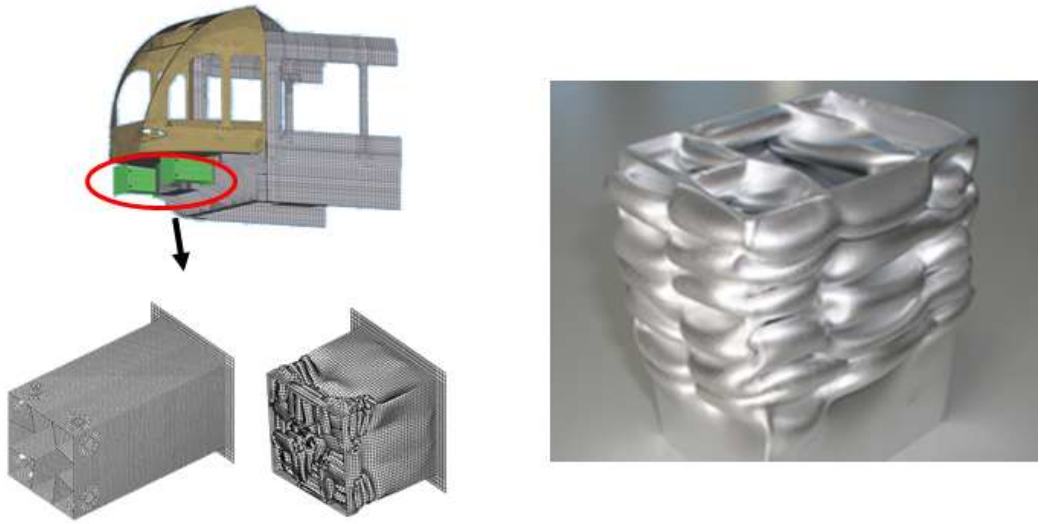


그림 2.1.63 알루미늄 crash box를 이용한 충격흡수구조

○ Composite crash box를 이용한 충격 흡수 구조

. 무게 절감을 목표로 금속소재 보다 비강도 및 비강성이 높은 복합재료를 crash box에 적용하는 연구가 다수 수행됨

. 복합재료의 층간 파괴 인성은 복합재료 crash box의 충돌 에너지 흡수 메커니즘의 중용한 펙터임

. 다양한 복합재료 crash box의 설계를 수행하기 위한 유한요소 해석기법 검증 연구가 진행됨

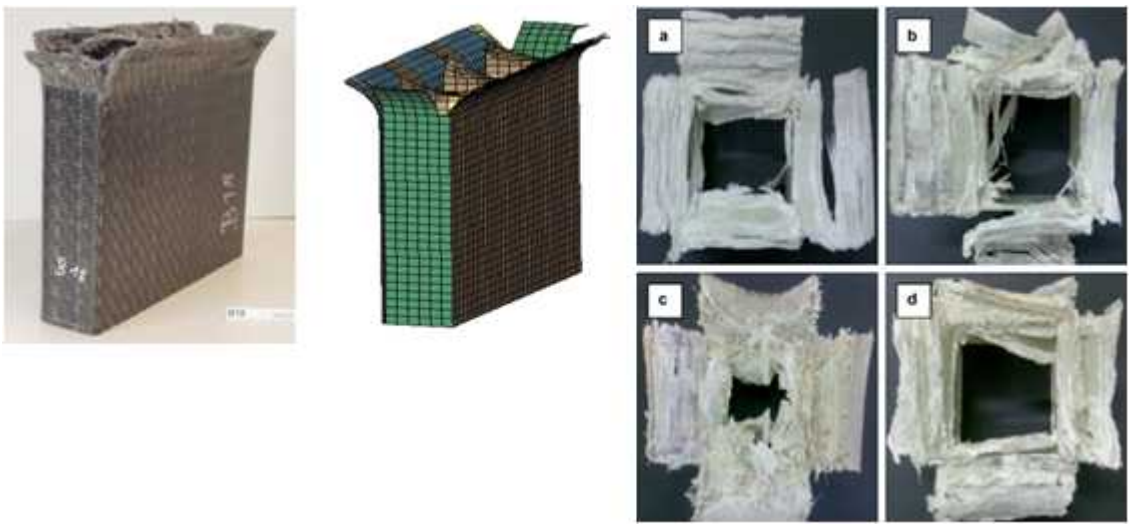


그림 2.1.64 복합재료 crash box를 이용한 충격흡수구조

○ 충격흡수구조 일체형 전두부 (New Rail, 영국)

. 철도 차량 운전석에 복합소재 샌드위치 판넬을 적용 하여 가볍고 내충격성이 강한 프로토 타입 제작

. 복합소재 샌드취치 판넬을 적용하여 에너지 흡수율과 통합 설계가능

. 혁신적인 모듈형 운전실 구조는 기존의 운전실 설계에 비해 질량, 비용 및 부품 수를 상당수 절감



그림 2.1.65 충격흡수구조 일체형 전두부 D-CAB 초기 제작 모델.

- 개발 필요성 및 목적

. 기존의 일반적인 운전실은 스틸 용접으로 제작 되고 외곽 덮개에만 유리섬유를 적용

. 또한 최근 운전실 설계에는 내충격성, 절연성, 공기역학적인 부분을 고려하여 설계하기 때문에 구조가 복잡하고 제작비용도 증가됨

. 따라서 기존 Bombardier의 SPACIUM 3.06 통근 열차의 운전실 제작을 타겟으로 하여 설계

. 스틸 대신 복합소재 샌드위치 판넬을 적용한 모듈화 설계를 통해 무게 감소, 비용 및 부품 수 절감한 D-CAB 제작 착수

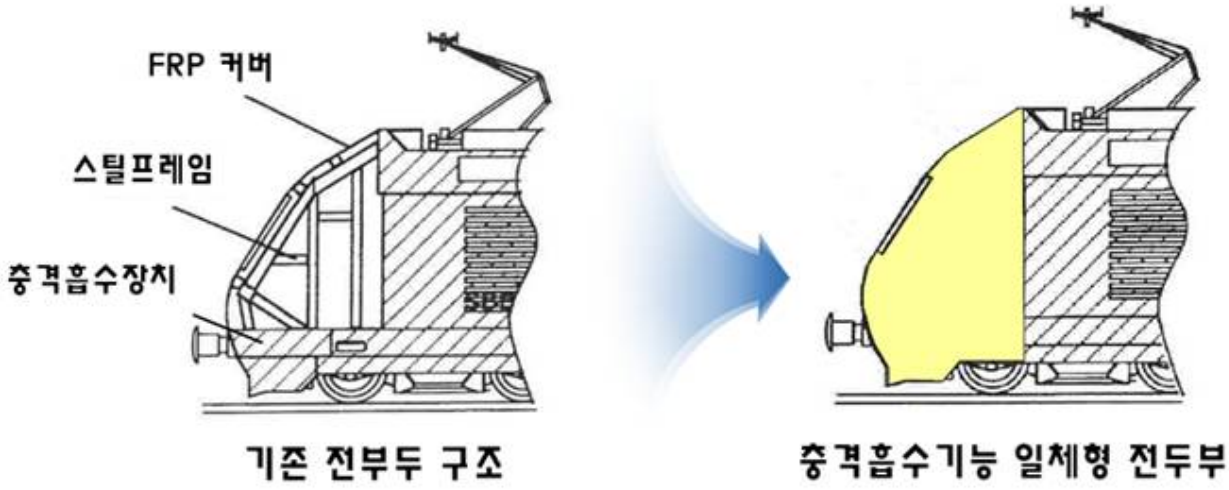


그림 2.1.66 기존 전두부 구조와 충격흡수구조 일체형 전두부.

- 모듈화 설계
  . 3 단계 모듈화 설계를 통하여 조립, 검사, 유지보수를 용이하게 설계
  . 맨앞의 Nose 부분은 가장 쉽게 부서지기 때문에 분리가 쉽고 수리와 교체가 쉽도록 설계
  . 충격 흡수 장치는 자립적 모듈로 충격 흡수장치만 교체 할수 있도록 모듈화함
  . 기관사가 있는 모듈은 정적하중(EN 12663)과 충돌하중(EN 15227)을 모두 견딜 수 있도록 설계

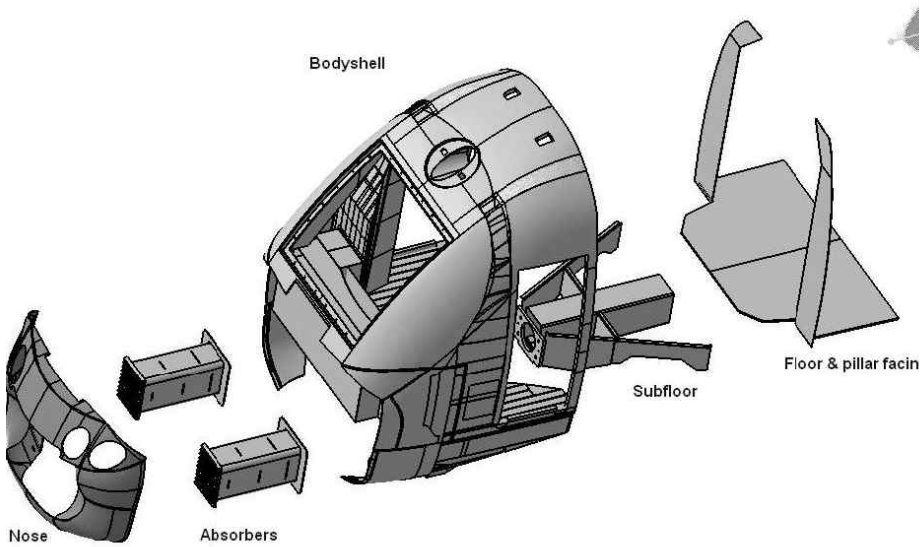


그림 2.1.67 충격흡수구조 일체형 전두부의 모듈화 설계.

- 최종 제작 결과

. 구조, 충돌, 공기역학과 절연 기술들이 집약된 새로운 복합소재 샌드위치 구조물로 전두부 제작

. 무게는 약 40% 감소했고 전두부 제작에 사용되는 부품수도 약 60% 감소 되었으며 제작비 또한 20% 감소

. 향상된 에너지와 연료 효율로 인해 수용주기비용을 감소시킨 경량화 모델 설계

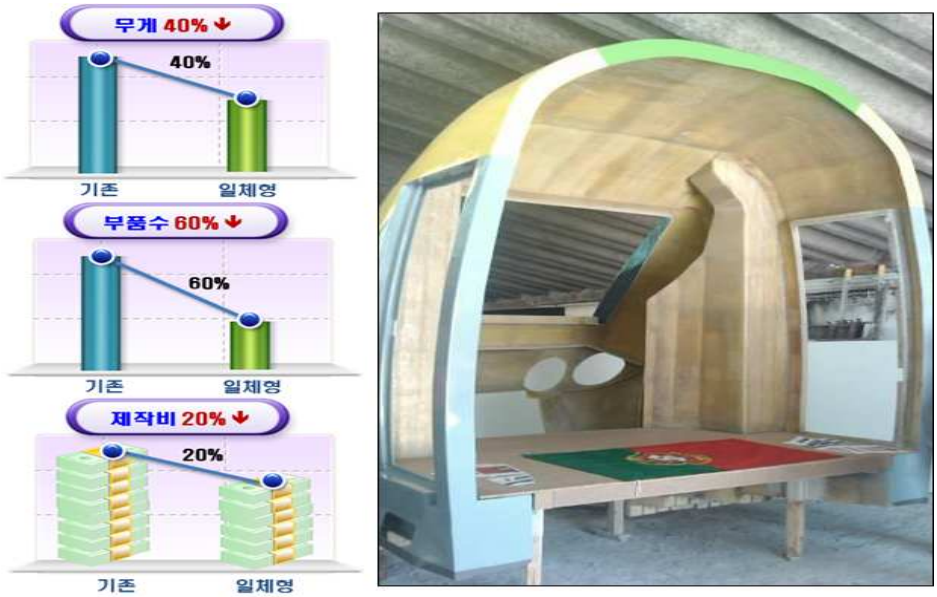


그림 2.1.68 충격흡수구조 일체형 전두부 적용시 장점.

○ 복합재료의 주구조물 및 충격흡수구조 일체형 전두부

. 전두부 스킨 구조 뿐만 아니라 주구조물을 복합재료로 만들어 하중지지 및 충격에너지 흡수하는 일체형 설계

. 복합재료는 열차 전두부의 주 하중을 견디게 설계되었으며, 또한 에너지 흡수의 주 구조물인 원통형 에너지 흡수체의 재료 또한 유리섬유 복합재료를 사용함으로써 에너지 흡수율 향상 및 무게절감 요과 달성

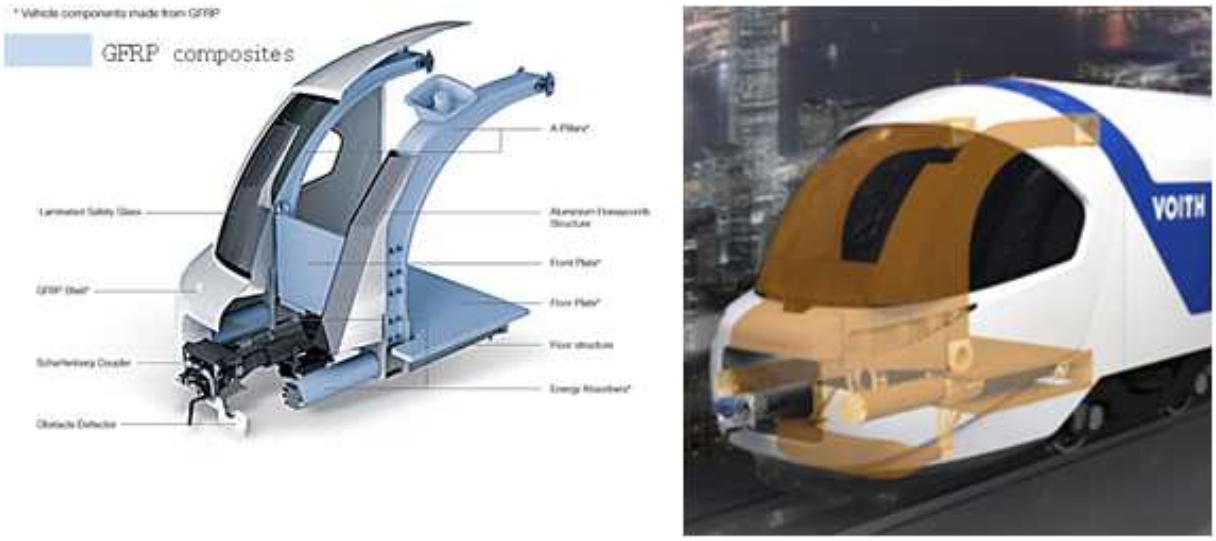


그림 2.1.69 열차 전두부 주구조 부재 및 충격흡수구조체에의 복합재료의 적용.

4. 기타 부품 경량화 기술

가. 마그네슘 소재 기술개발 동향

(1) 마그네슘합금제 부품 적용 현황

○ 종래의 철도차량은 대부분 철강 소재로 제작되었으며 최근에는 경량화를 위해 주로 알루미늄합금 차체가 적용되고 있다. 그러나 철도차량의 고속화와 에너지의 효율적 이용에 대한 요구가 증가함에 따라 추가적인 경량화의 필요성이 대두되었으며 이에 구조용 금속소재 중 가장 가벼운 마그네슘합금에 대한 관심이 고조되고 있다. 각종 매체를 통해 확인가능한 최초의 마그네슘합금 적용 사례는 그림 2.1.44에 나타낸 바와 같이 TGV Duplex High Speed Train의 seat 부품으로 lateral panel, arm rest, foot rest, back tray table 등에 AZ91 마그네슘합금이 적용되어 기존 알루미늄합금 대비 16.7%의 경량화를 달성하였다(Al 36kg → Mg 30kg, double seat). 그러나 그림 2.1.45에 나타낸 바와 같이 oil burner test를 행한 결과 2분 42초 만에 화재가 발생하여 안전성에 대한 문제가 제기되었으며, 국내 철도차량 안전기준을 고려할 때 기존 상용 소재 대신 난연성이 개선된 새로운 마그네슘합금의 적용이 필수적으로 요구된다.




그림 2.1.70 마그네슘합금이 최초로 적용된 TGV Duplex High Speed Train 및 seat.

○ 1980년대 말 난연성 마그네슘합금 관련 연구를 최초로 수행한 일본에서는 지속적으로 난연성 마그네슘합금 개발 및 응용에 관한 연구개발을 수행하였으며, 그림 2.1.46에 나타낸 바와 같이 난연성 마그네슘합금 주조재, 압연 판재, 압출 형재 등을 이용하여 신칸센 차량용 의자의 시제품을 제작하였다. 또한 차세대 고속철도로 주목받고 있는 AeroTrain의 주요 차체 부품에 난연성 마그네슘합금을 적용하기 위한 연구를 지속적으로 추진하고 있다. 2013년 5월에는 자동차, 철도, 선박, 항공기 등 각종 수송기기의 경량화를 위해 MMM(Multi-Material Mix) 개념을 도입하여 혁신적인 구조용 소재로서 첨단 고특성 Fe, Ti, Mg, Polymer 소재를 개발하기 위한 대형 연구개발사업 실시계획(10년, 600억엔)을 발표하였다. 표 3-1-1은 본 연구개발사업의 마그네슘 소재 관련 주요 개발목표를 나타낸 것으로 본 연구개발사업에서는 AZX311 난연성 합금의 난연성, 성형성, 강도를 향상시키는 것을 주된 목표로 설정하였다.



그림 2.1.71 TGV Duplex
High-Speed Train에 장착된
seat의 oil burner test

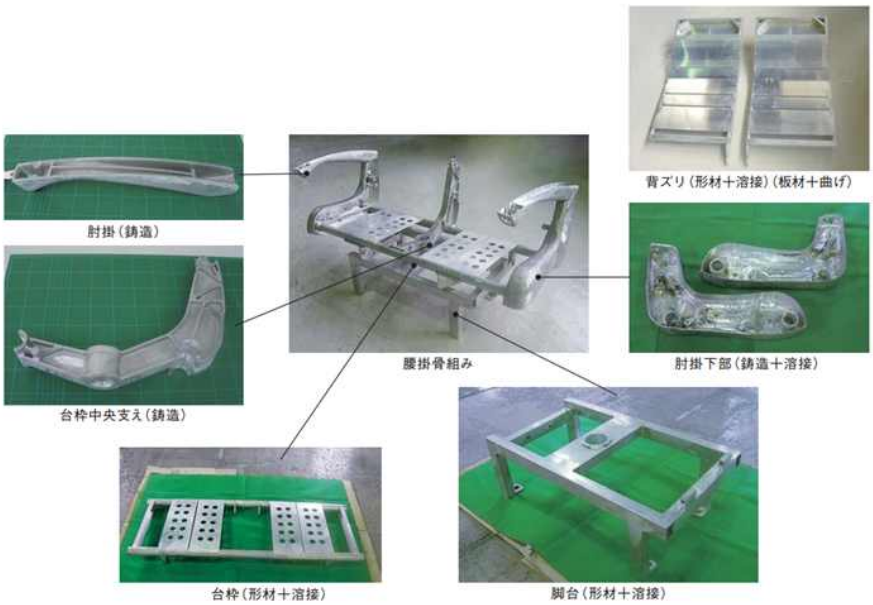


그림 2.1.72 난연성 마그네슘합금을 적용한 신칸센 승객용
의자 시제품

표 2.1.1 혁신적 마그네슘 소재 개발 과제의 주요 연구목표(일본)

	고성형성 마그네슘 소재		고강도 마그네슘 소재	
	2015년	2022년	2015년	2022년
인장강도	250MPa 이상	270MPa 이상	350MPa 이상	360MPa 이상
연신율	15% 이상	20% 이상	13% 이상	15% 이상
난연성	AZX311 이상	AZX311 이상	AZX311 이상	AZX311 이상
압출속도	AZ31 이상	A6N01 이상		
압출재 길이		25m 이상		25m 이상
판재 폭				300mm 이상
평가기술	난연성, 피로특성, 부식성 평가기술 개발			

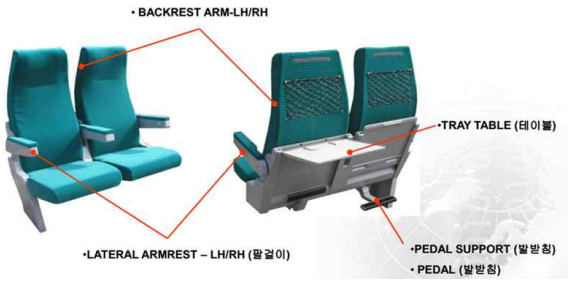
○ 마그네슘 원소재 최대 생산국인 중국의 경우 산업 전반에 걸쳐 마그네슘 소재의 적용을 확대하기 위해 관련 기술의 개발 및 실용화에 집중 투자하고 있다. 2011년에 시운전에 성공한 시속 450km급 초고속 열차의 경우 경량화를 위해 그림 2.1.47에 나타낸 바와 같이 승객용 의자 부품에 마그네슘합금을 적용하였으며 철도차량에의 마그네슘합금 적용을 확대하기 위해 마그네슘합금 샌드위치 판넬 개발 등의 신기술 개발을 지속적으로 수행하고 있다.



그림 2.1.73 중국의 초고속 열차 및 마그네슘합금제 승객용 의자 부품

○ 국내에서도 철도 차량에 마그네슘합금을 적용하기 위한 연구가 수행되었으며, 그림 2.1.48 및 표 2.1.2에 나타낸 바와 같이 KTX 및 KTX-II의 승객용 의자 부품에 상용 주조용 합금인 AZ91 및 AM60 합금을 적용하였다. KTX 일반실 의자 경우에는 기존의 알루미늄합금 부품을 마그네슘합금 부품으로 대체하여 35.6%의 경량

화를 달성하였으며(Al 5.53kg → Mg 3.56kg), KTX-II 일반실 및 특실 의자의 경우 각각 9kg, 11kg의 경량화를 달성하였다. 그러나 앞서 언급한 TGV Duplex High-Speed Train의 seat에서와 같이 난연성이 열악한 상용 소재를 사용하여 화재 발생시 안전성 확보가 곤란하며 추후 새롭게 제작되는 철도차량의 경우에는 철도차량 안전 기준에 부합하는 난연성 마그네슘합금의 적용이 필수적으로 요구된다.



KTX 일반실 의자



KTX-II 특실 의자



KTX-II 일반실 의자

그림 2.1.74 마그네슘합금제 부품이 적용된 국내 철도차량 승객용 의자

표 2.1.2 KTX 및 KTX-II 승객용 의자에 적용된 마그네슘합금제 부품

	적용 부품	부품 수
KTX 일반실 의자	Back Rest Arm(LH), Back Rest Arm(RH), Tray Table, Lateral Arm Rest(LH), Lateral Arm Rest(RH), Pedal, Pedal Support	7종
KTX-II 특실 의자	Rear Frame, Arm Rest(LH), Arm Rest(RH), Swivel Assembly, Pedestal Frame, Foot Rest, Table	7종
KTX-II 일반식 의자	Rear Frame, Arm Rest(LH), Arm Rest(RH), CTR Arm Rest, Swivel Assembly, Pedestal Frame, Foot Rest, Table, Side Frame(LH), Side Frame(RH), CTR Frame	11종

제2절 철도차량 및 부품 경량화 효과 분석

1. 경량화에 따른 에너지 저감 효과

○ 차량의 운행특성에 따른 에너지 저감 효과 분석 (독일, DLR)

. 철도차량의 경량화에 따른 에너지 저감 효과는 차량의 운행 특성(service profile)에 지배적인 영향을 받음

. 고속열차, 도시간열차 및 도시철도간 경량화에 따른 에너지 저감효과 비교





차종	High speed	EMU	DMU
공차중량 tons	409	105	92.9
최고운행속도 km/h	330	120	120

형식	Suburban	Regional	Intrercity	High speed
운행거리 km	40	70	250	300
역수	12	15	10	3
최고운행속도 km/h	120	140	200	300
역간최소거리 km	2	2	15	90
역간최대거리 km	7	10	60	210
연간 마일리지 km/year	100,000	130,000	275,000	550,000

그림 2.2.1 차종간 경량화에 따른 에너지 저감효과 분석을 위한 차종 정보.

. 분석결과 역간거리가 짧고, 운행속도가 느릴수록 에너지 저감효과가 큼

. 운행속도가 증가할수록 공력저항을 극복하기 위한 에너지 사용 증가로 경량화에 따른 효과가 감소하는 경향을 보임

. DMU의 경우 EMU 차량에 비해 5배 정도의 경량화에 따른 에너지 저감효과가 큼

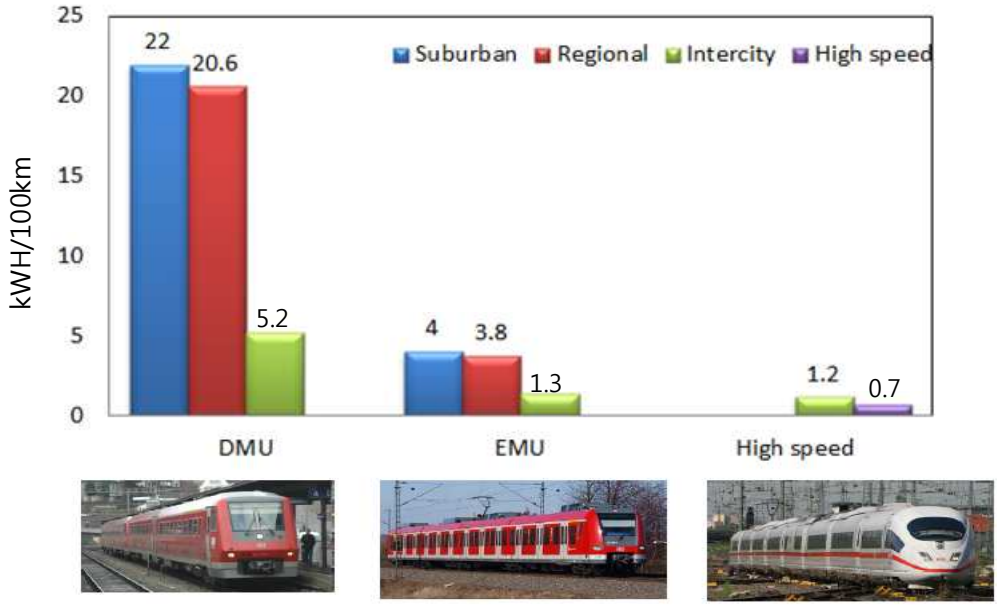


그림 2.2.2 1톤 경량화시 100km주행당 전기에너지 저감량 비교.

○ 경량화에 의한 축중감소에 따른 에너지 저감 및 이산화탄소 배출 저감 효과 (일본, 가와사키 중공업)

. 축중 14톤에서 17톤으로 약 17.6% 경량화된 차량이 매일 16시간 시간당 고속열차 1량과 일반열차 1량이 운행조건에서 에너지 및 이산화탄소 배출 저감 평가

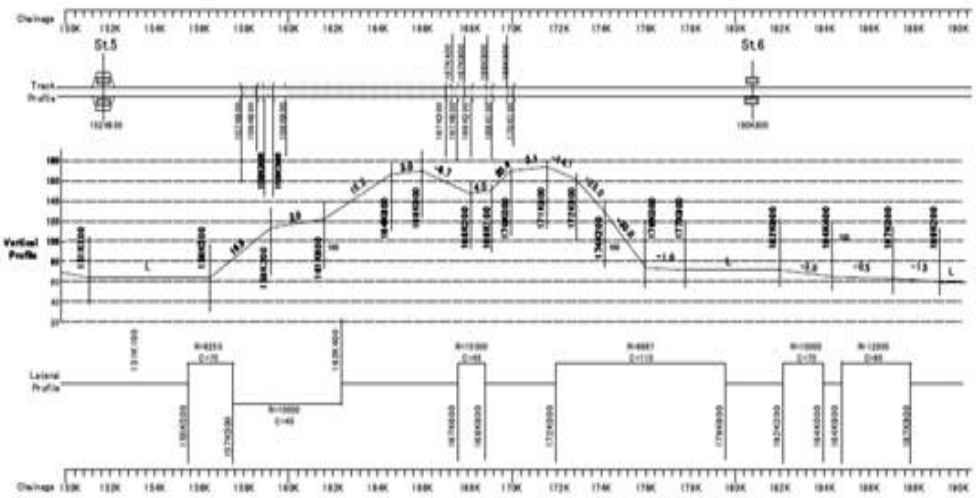


그림 2.2.3 축중 17.6% 경량화에 따른 효과분석을 위한 선로조건.

. 에너지 소비 저감 10% 및 이산화탄소배출 연간 16,000톤 감소 예상

○ 경량화에 따른 에너지 저감 효과 (스페인, Talgo)

. 스페인 철도차량 제작 회사 Talgo 에서는 2012년 신기술을 집약하여 최고속도 380km/h의 고속열차 AVRIL 개발

. 독립 영구-가이딩 차륜기술을 개발하여 윤축시스템의 경량화 및 소음과 진동 감소

. AVRIL의 견인대차의 무게는 일반 차량의 표준 견인대차 약 3ton의 무게 감소

. 차체에는 기존에 사용하던 알루미늄 압출 프로파일 공정 대신에 복합소재를 사용하여 15% 경량화

. 기존의 Talgo 350에 비해 에너지 소비량은 31% 감소하였고 평균 에너지 소비량 역시 km 당 11.79kWh(평균15kWh)로 매우 효율적



그림 2.2.4 Talgo Avirl 열차.

표 2.2.1 스페인 Talgo사의 AVRIL차량의 에너지 저감.

특성	S10Y-4	S10Z	XYZ	AVRIL
차량길이(m)	200	200	200	200
중량 (톤)	425	425	422	295
좌석	499	499	509	545
에너지소모/km (kWh/km)	15.4	14.2	15.2	12.4
에너지소모/좌석/100km (kWh/s/100km)	3.1	2.8	3.0	2.3
수명주기동안 에너지 비용 (억원)	177	165	176	153

○ AGV 열차 (프랑스 알스톰)

. 알스톰사에서는 2007년 최신 기술을 집약하여 TGV의 후속모델로 350km/h 급 고속열차인 AGV 개발

. 첨단소재인 탄소섬유 복합소재를 차체 단부의 관절부위에 적용하여 량당 700kg 경량화 달성

. 고장력강 및 고출력 경량 구동모터기술을 적용하여 대차중량 24.3% 경량화

. 전장품의 고효율 및 고출력화를 통해 경량화를 달성하여 경쟁기종 대비 70톤 경량화 실현 및 15% 에너지 절감



그림 2.2.5 AGV에 적용된 최신 철도차량 경량화 기술.

2. 경량화에 따른 선로 유지보수비 저감 효과

○ 축중감소에 따른 레일수명 향상 (한국, 철도기술연구원)

. 축중이 17톤인 KTX열차와 축중이 13톤인 HEMU열차가 300km/h속도로 운행시 레일 수명을 궤도조건에 따른 비교 분석

. 축중이 17톤에서 13톤으로 30% 감소시 레일수명은 자갈궤도에서 35%향상되고 콘크리트궤도에서는 30%향상 됨



그림 2.2.6 축중감소에 따른 레일수명 향상.

3. 주관·공동연구기관 기술동향 보고회

1차 기술동향 보고회

회의 주제	기획과제 관련 분야별 기술동향 발표		**일시**	2013.04.02
			장소	재료연구소
참석자	김정석, 이우근, 김일겸(철도연), 유봉선, 임창동, 엄문광, 박지상, 김진봉, 이상복, 성동기, 이진우, 문진범(재료연), 이용주, 노대균(동양강철), 유경천, 이용화(광주도시철도)			
발표자	엄문광	**발표내용**	복합재료 공정 분야 관련 기술동향	
	박지상		복합소재를 이용한 대형 풍력 블레이드 기술 개발 동향	
	유봉선		마그네슘 합금 및 난연 마그네슘 합금 기술 개발 및 적용 현황	
	이용주		알루미늄 철도차량 제작현황 및 경량화 기술 현황	

2차 기술동향 보고회

회의 주제	기획과제 대상 차종 및 부품 선정 방안 협의		일시	2013.04.30
			장소	동양강철
참석자	김정석, 김무선, 이우근(철도연), 유봉선, 임창동, 엄문광, 김진봉, 성동기(재료연), 이용주, 노대균(동양강철), 유경천(광주도시철도)			
발표자	김정석	발표내용	기획과제의 전체적인 진행 방향 및 최신 해외 연구 동향	
	이용주		철도차량 중량 현황 및 알루미늄의 철도차량 내장재 적용현황	
	유경천		광주도시철도공사의 인프라 및 알루미늄 전동차 특징	

3차 기술동향 보고회

회의 주제	차체 경량화 검토 진행 사항		일시	2013.05.14
			장소	철도연
참석자	김정석, 이우근, 김일겸(철도연), 유봉선, 임창동, 엄문광, 김진봉, 성동기, 이용주, 노대균(동양강철)			
발표자	김정석	발표내용	복합소재를 적용한 차체 모듈화 연구	
	이용주		고속열차 및 대형 지하철을 대상으로 차체경량화 검토	
	임창동		마그네슘 합금 철도차량 적용 현황	
	엄문광		국내 및 해외 철도차량 복합소재 적용 현황 및 향 후 적용가능 부품	

4차 기술동향 보고회

회의 주제	세부과제 구성 및 최신 기술동향 분석	**일시**	2013.07.17
		장소	철도연
참석자	김정석, 임재용, 이우근(철도연), 유봉선, 임창동, 엄문광, 문진범, 성동기(재료연), 이용주, 노대균(동양강철)		
발표자	김정석	**발표내용**	대차 부품 경량화 기술 세부과제 구성안
	이용주		고강도 알루미늄과 복합소재를 이용한 차체경량화 기술개발
	임창동		철도차량 차체 경량화를 위한 마그네슘 소재 적용기술 개발
	엄문광		복합재 부품 개발 세부 과제안
	문진범		복합재료를 이용한 진보된 열차 차체 구조 설계



그림 2.2.7 4차 기술동향 보고회

4. 철도차량 운영사 및 제작사 전문가 자문회의

1차 자문회의(차량제작)

회의 주제	철도차량 경량화에 따른 제작 관련 전문가 의견	일시	2013.05.22
		장소	철도연
자문위원	윤시영, 김운호, 장동화(로템), 남학기(현우), 박영대(인피닉스)		
참석자	김정석, 임재용, 이우근(철도연), 김진봉, 임창동(재료연), 이용주(동양강철)		
전문가 의견	① 경량화 연구에 차체나 대차도 중요하지만 내장재 및 전장품도 같이 연구 하는 것이 바람직 ② 수요가 가장 큰 서울시 기본 전동차를 타겟으로 하는 것이 좋음 ③ 제작사 입장에서는 운영처의 요구사항(소음, 진동 감소등)을 수용하다보니 차량 무게가 계속 늘어나기 때문에 차량 경량화가 시급 ④ 차량 납품시 점수에 경량 부분에 대한 가점도 있음 ⑤ 제작사에서는 납품시 kg당 패널티 단가가 높으면 재료를 바꿔서 가볍게 만들고 패널티가 낮으면 패널티를 지급하면서 납품 ⑥ 차체 전체에 복합재를 쓰는 것 보다 부분적으로(사이드, 지붕)에 일부 적용하는게 바람직 ⑦ Mg은 취성이 약해 사용을 꺼리는 부분이 있음 ⑧ 알루미늄 6008을 유럽에서는 많이 쓰고 있는데 국내에서는 아직 연구 부족, 본 과제에서 70계열과 6008 관련하여 기술개발 시도 필요 ⑨ 6005에서 6008로 바뀌였을 때 무게 감소 효과는 크지 않으나 용접성(용접부 강도향상 및 용접변형 감소) 향상 ⑩ 일본에서는 6101과 70계열을 사용하고 있음 ⑪ Inner frame bogie - 아테네 전동차에 적용한 사례 있으나 국내에 적용된 사례 없음 - 국내에는 아직 Inner frame bogie에 맞는 트렉션 모터 개발 필요 - 대차간격이 좁아지므로 에어 스프링 간격 감소 ⑫ 전선의 무게도 상당량을 차지 ⑬ 마그네슘은 의자 프레임에 적용하게 되면 경량화 효과 큼 - 마그네슘의 경우 압출시에는 알루미늄 대비 약 10배 정도 고가이나 주조시에는 1.5배정도로 경쟁력이 있음		

	- 의자프레임, 창틀보강재 등 주조로 제작가능한 부품에 적용 가능 ⑭ 바닥재에 복합재를 쓰면 경량화는 많이 되나 가격이 약 3배 증가 ⑮ 마그네슘은 기존의 알루미늄 가공 기술, 설비를 그대로 쓸수 있는 장점이 있음

2차 자문회의(차량운영)

회의 주제	차체 경량화에 따른 차량운영 관련 자문회의	**일시**	2013.05.22
		장소	철도연
자문위원	윤시영, 김운호, 장동화(로템), 남학기(현우), 박영대(인피닉스)		
참석자	김정석, 임재용, 이우근(철도연), 김진봉, 임창동(재료연), 이용주(동양강철)		
전문가 의견	- 철도시스템의 중량 점유율이 높은 부품을 중심으로 우선 도출해야 한다. 경량화 부품이 정해지면, 어떻게 경량화 할 것인지를 논의해야하고 향 후 전동차 교환 시기를 고려하여 부품 설계 - 경량화 대상이 되는 부품을 구체화 해야 함. 예를 들면, 차량에 들어가는 핀(볼트), 출입문등 - 차량인증조건(최소한의 요구조건)을 만족 하더라도 철도는 실적을 따지고, 경험을 중요하게 여기기 때문에 보수적일 수밖에 없음. 새로운 시스템을 적용하기 위해서 외국 사례가 있어야 신뢰성을 확보 할 수 있고 적용이 가능함 - 어떤 시스템을 적용하든 승객에게 불편 사항이 있으면 안되고 안전이 가장 중요함. 새로운 시스템이 법을 만족하고 검증을 해보았어도, 수년에서 수 십년 사용된 검증된 제품을 사용함. 신제품은 제품의 문제점과 결함을 알지 못하기 때문에, 노하우에 문제가 있고 승객의 안전에도 문제가 있을 수 있음. 대체품의 경우 결함이 발생할 때, 신속하게 대응이 가능하지만, 신품은 신속한 대응이 불가능(경험부족) - 차량을 운영하기 위해 최우선 조건은 안전성 여부와 그리고 유지보수성. 수리, 수선이 용이해야 하고 제품 교환보다 수선이 가능한 부품이 경제성에서 우수. 제품을 도입할 때, 가격은 많은 비중을 차지하지 않음.		

	- 출입문 경량화, 차륜디스크 경량화: Accept가 쉬움 - 차량 중량 5% 감소시 에너지 3%를 절감할 수 있음 도시철도의 경우 연비가 낮으므로 경량화 필요 - 철도차량이 초점을 두어야 할 부분은 전동차에 집중해야 하고, 서비스가 좋아야 함 - 회생 사용을 할 경우, 4~5억 에너지 절약이 가능. 차륜의 경우 8년에서 10년 사용하면, 교체할 수 있도록 interface가 되어 있음. - 현재 차량 경량화보다 마모를 저감할 수 있는 기술이 필요하고 소음 문제가 있는데, 200R, 55km/h 주행 시 스킬소음이 발생. - 복합소재 차량을 철도시스템에 적용하기 위해서 안전과 유지보수성이 가장 중요. 차체 도어와 구체는 경량화 복합재 적용이 가능한 아이템. - 신품을 적용하기 힘든 이유는 인식의 문제가 큼. 익숙하지 않아서 불편해서 등과 같은 이유임. - 중전철에 복합소재 적용하기 힘듬. 경전철에 먼저 복합소재를 적용하여 안전 검증을 하고 중전철에 적용하는 방안을 고려하는 것이 바람직함. - 복합소재 전 수명적 환경을 고려해야 함. 폐차를 하면 재활용이 가능한지? 74년부터 차량 경량화를 시도하여 현재 30% 경량화에 성공하였으며, 6%의 에너지 절감을 성공 - 차체가 가벼워지면, 전기료를 줄일 수 있으나 제동시에는 불리 할 수 있음. 점착계수가 낮아지므로, 가감속에 문제가 있을 수 있음. - 경량화 측면에서 전기소모량을 줄 일 수 있으나 승객들에 대한 서비스도 중요함. 예를 들면, 출입문을 경량화 하여 slip, slide시에 발생하는 승하차 시간을 줄이는 것이 필요. - 알루미늄 압출재의 재활용이 가능한지? 디자인 할 때, 외부노출은 알루미늄 소재로 하고, 안쪽은 마그네슘을 적용하는 것이 좋음. 마그네슘을 허니콤으로 사용하면 경량화가 큼. 내장재의 경쟁이 치열할 것으로 판단.



그림 2.2.8 차량 운영사 관련 자문회의

제 3 장 특허 및 동향 분석

제1절 철도차량 부품 특허 및 논문동향 분석

○ 기술의 정의

- 경량화 소재(복합소재, 마그네슘, 알루미늄 등)를 통한 철도차량 및 부품의 경량화
- 경량화 소재 체결기법 및 모듈러 설계기술개발

○ 기술의 구성

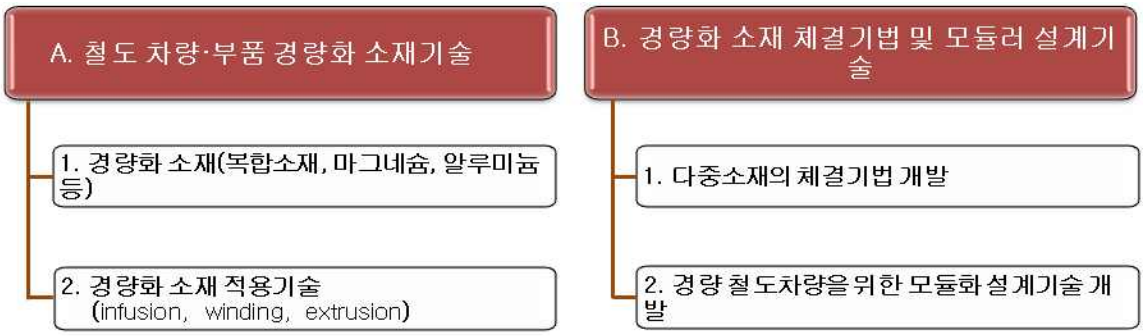


그림 3.1.1 철도차량 부품 기술의 구성.

1. 특허 동향 분석

○ 특허분석 기준

- 특허 분석 범위

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
분석구간	1990.01.01.~2013.03.22				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

- 기술 분류

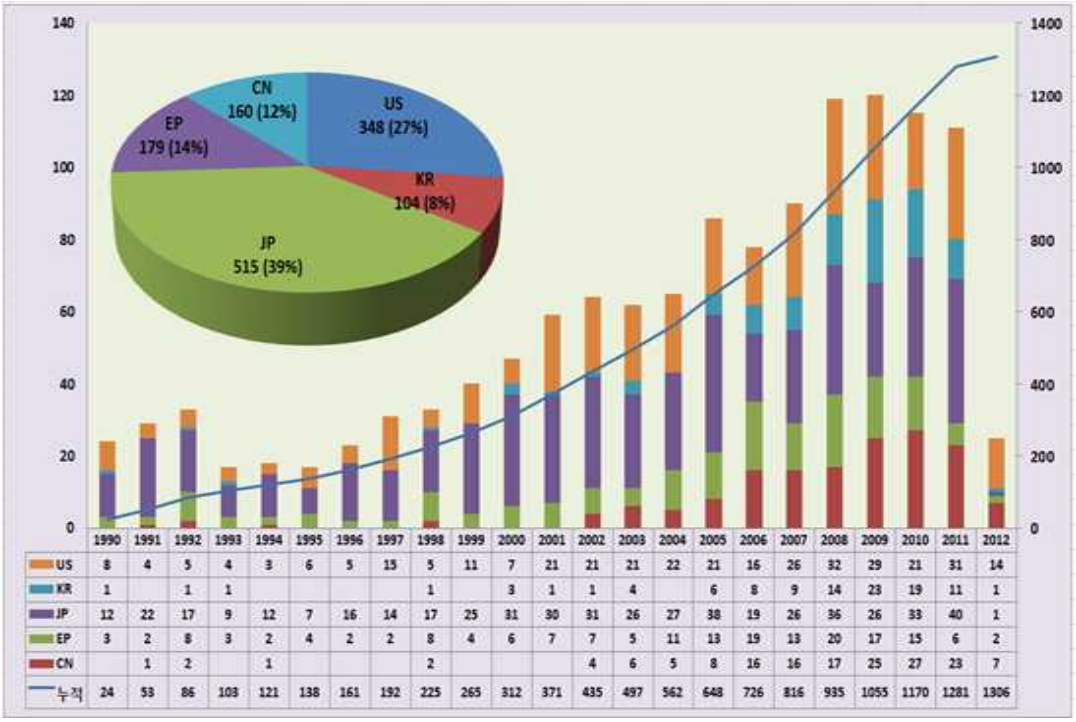
대분류	Development of lightweight technologies for railway vehicles and components using advanced materials (첨단소재를 활용한 철도차량 및 부품 경량화 기술개발 연구) (advanced materials : composite materials, magnesium, high strength steel, high strength aluminium, bio-composite, nano-composite) (첨단소재 : 복합소재, 마그네슘, 고장력강, 고강도알루미늄, 바이오 복합소재, 나노 복합소재)
중분류	. Development of lightweight body structures of railway vehicles using advanced materials (첨단소재를 이용한 철도차량용 경량 차체 개발) . Development of lightweight components of railway vehicles using advanced materials (첨단소재를 이용한 철도차량용 경량 부품 개발)
소분류	1- Development of application and new manufacturing method of composite materials for lightweight railway vehicles and components (filament winding, infusion, resin transfer moulding) (경량 철도차량 및 부품을 위한 복합소재 적용 및 신공정 기술 개발) 2- Development of application and new manufacturing method of magnesium and high strength steel for lightweight railway vehicles and components (경량 철도차량 및 부품을 위한 마그네슘 및 고장력강 적용 및 신공정 기술 개발) 3- Development of application and new manufacturing method of high strength aluminium for lightweight railway vehicles and components (경량 철도차량 및 부품을 위한 고강도 알루미늄 적용 및 신공정 기술 개발) 4- Development of joining methods of multi-materials (다중소재의 체결기법 개발) 5- Development of modular design methods for railway vehicles (경량 철도차량을 위한 모듈화 설계기술 개발)
키워드	lightweight (경량화), railway vehicles (철도차량), components (부품), body structures(차체), application(적용), new manufacturing method (신공정), advanced materials (첨단소재), composite materials (복합소재), magnesium(마그네슘), high strength steel (고장력강), high strength aluminium (고강도 알루미늄), bio-composite (바이오 복합소재), nano-composite (나노 복합소재), modular design (모듈화 설계), lightweight bogie (경량대차), lightweight electric components (경량 전장품), filament winding (필라멘트 와인딩), infusion (인퓨전), resin transfer moulding (RTM, 수지이송법), extrusion(압출), hybrid (하이브리드), lightweight axle(경량 차축), lightweight pantograph (경량 판토그라프), lightweight wheel(경량 휠), joining method (체결기법), multi-material (다중소재)

- 검색 조합식

기술구분	검색 조합식	대상특허건수
Generic		
A기술 경량화 소재(복합소재, 마그네슘, 알루미늄 등) 기술	CTB=((RAILWAY OR RAILROAD OR TRAIN OR LOCOMOTIVE OR (ROLLING ADJ STOCK) OR TRANSIT OR TRAM) AND ((slim OR light*weight OR ((light OR low OR less) NEAR2 weight))) and ((composite adj material) or (advanced adj materials) or (magnesium) or (high adj strength adj steel) or (high adj strength adj aluminium) or ((bio or nano or multi) near3 (composite or material))))	1306건
B기술 경량화 소재 체결기법 및 모듈러 설계 기술	CTB=((RAILWAY OR RAILROAD OR TRAIN OR LOCOMOTIVE OR (ROLLING ADJ STOCK) OR TRANSIT OR TRAM or vehicle or automobile or car) AND ((slim OR light*weight OR ((light OR low OR less) NEAR2 weight))) and ((modular near3 design) or (joining near3 method)))	124건

○ 출원년도 및 국가별 특허출원동향

- 첨단 소재를 활용한 철도차량·부품 경량화 기술의 전체적인 특허 동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 5개 지역에서 총 1,306건의 특허가 출원되었으며, 매년 국가별 평균 4~5건 내외 특허가 지속적으로 출원되고 있음
- 국가별 추이를 보면 일본이 특허를 가장 많이 보유하고 있으며, 미국, 유럽, 중국, 한국 순서로 특허를 출원하고 있는 상황임
- 특히, 중국은 전체 특허의 80%이상을 2005년부터 출원하고 있어 기술 성장세가 높게 나타나고 있으며, 한국도 2005년 이후 특허를 집중 출원하고 있는 상황임



	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
US	8	4	5	4	3	6	5	15	5	11	7	21	21	21	22	21	16	26	32	29	21	31	14
KR	1		1	1					1		3	1	1	4		6	8	9	14	23	19	11	1
JP	12	22	17	9	12	7	16	14	17	25	31	30	31	26	27	38	19	26	36	26	33	40	1
EP	3	2	8	3	2	4	2	2	8	4	6	7	7	5	11	13	19	13	20	17	15	6	2
CN		1	2		1				2				4	6	5	8	16	16	17	25	27	23	7
누적	24	53	86	103	121	138	161	192	225	265	312	371	435	497	562	648	726	816	935	1055	1170	1281	1306

그림 3.1.2 국가별 특허출원 동향.

○ 세부 기술별 특허출원 동향

- 철도차량·부품 경량화 소재기술(A기술) 분야에 대한 특허를 분석한 결과, 2008년을 정점으로 특허 출원이 다소 정체상태에 있지만, 여전히 높은 기술 비중을 차지하고 있음
- 경량화 소재 체결기법 및 모듈러 설계기술(B기술) 특허군은 A기술 특허군보다 작지만, 60%를 미국에서 출원하고 있으며, joining method,

Interlocking, aluminum-alloy 분야에 대한 특허가 최근 높은 성장추세에 있음

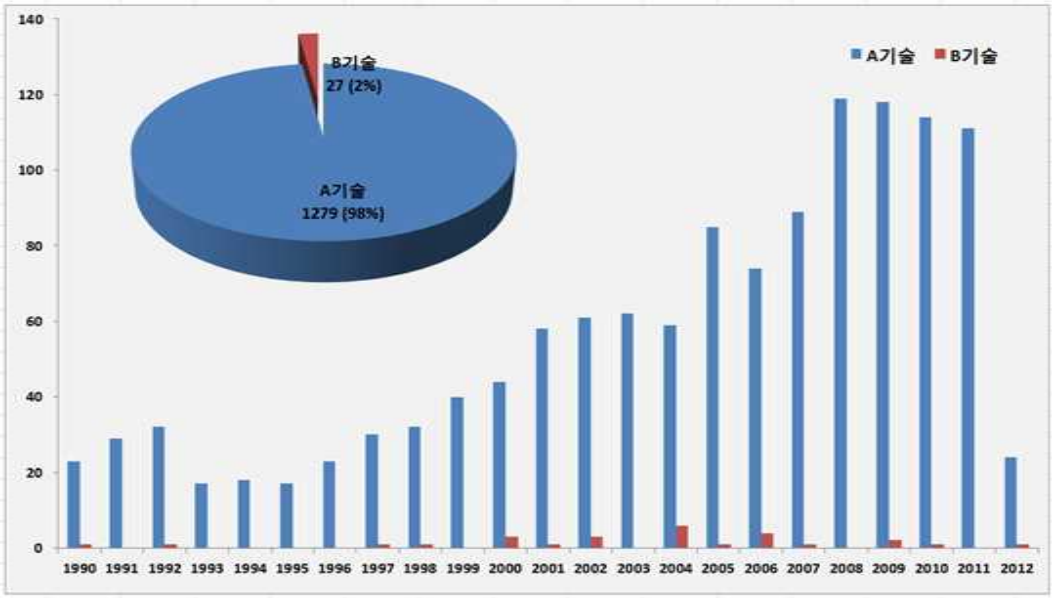


그림 3.1.3 세부기술별 특허 출원 동향.

○ 특허 주요 출원인 분석(1)

- 첨단소재를 활용한 철도차량·부품 경량화 기술 전반에 걸쳐 많은 특허를 출원한 상위 10개의 출원인을 분석한 결과, MITSUBISHI가 42건으로 최다 출원인이며, SUMITOMO, TORAY, TOYODA 등의 일본기업이 이 분야 기술을 주도하고 있음
- Boeing社는 항공기 소재 경량화와 관련하여, 미국과 유럽에 특허를 집중적으로 출원하고 있음

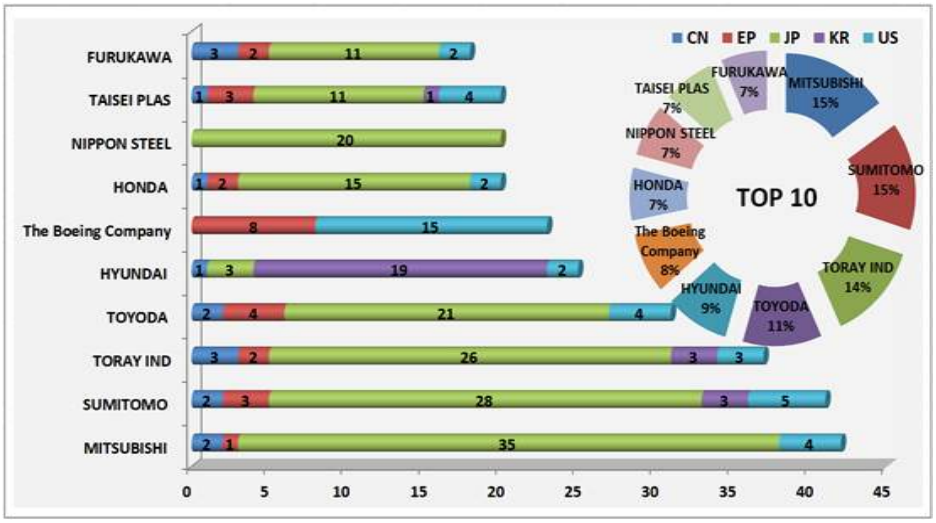


그림 3.1.4 특허 주요 출원인 분석(1).

○ 특허 주요 출원인 분석(2)

- 주요 출원인의 연도별 특허분석 결과, 이 분야 최다 출원인 MITSUBISHI는 2000년대에 꾸준하게 특허를 계속적으로 출원하고 있으며, 최근에는 Composite material, Reinforced resin 등과 관련된 기술에 대해 특허를 많이 출원하고 있는 상황임
- HYUNDAI는 최근 Polypropylene resin composition에 대한 특허를 많이 출원하고 있음

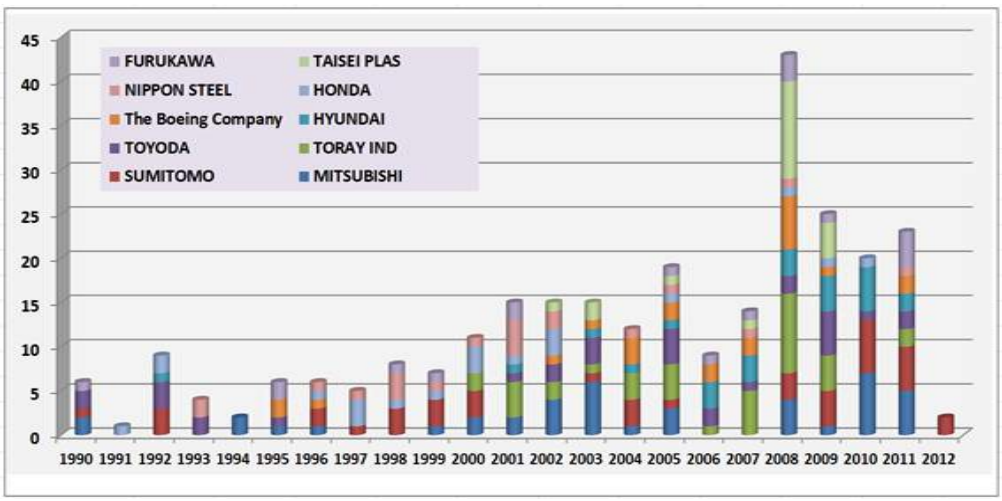


그림 3.1.5 특허 주요 출원인 분석(2).

○ 국가별 기술 분포

- 기술분야별(중분류기준) 특허 확보현황을 살펴보면, 일본, 미국, 유럽 등 대부분 국가에서 철도차량·부품 경량화 소재기술(A기술)에 역점을 두고 있음. 미국은 상대적으로 경량화 소재 체결기법 및 모듈러 설계기술(B기술)에 대한 집중도가 높은 것이 특징적임
- 우리나라도 철도차량·부품 경량화 소재기술(A기술) 분야에 중점을 두고 있지만, 아직 저조한 수준임. 향후 기술경쟁이 낮은 경량화 소재 체결기법 및 모듈러 설계기술(B기술)에도 집중할 필요가 있음

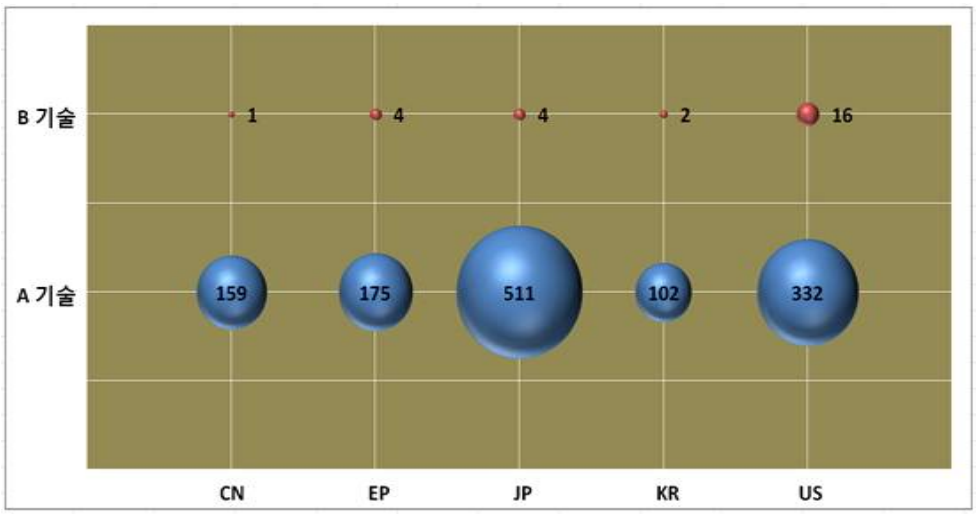


그림 3.1.6 국가별 기술분포.

○ Text Mining을 통한 특허 분포

- 첨단소재를 활용한 철도차량·부품 경량화 기술관련 검색결과 3,708건 중 기술분류 관련 최종 1,306건의 특허기술이 분포함
- 등고선 꼭지점이 높은 Brazing/Heat Exchanger / Manganese, Mg / Al / Impurities, Carbon/Matrix/Ratio 등 5개 기술에 특허가 많이 분포하고 있어 기술 집중도가 높은 기술임을 확인할 수 있음
- 특히 최근 출원 특허기술 분석결과, fibre compound material, magnesium -lithium alloy, carbon-nanotube 등에 대한 기술이 최근에 분포하고 있어, 이런 기술이 최근 동향임을 알 수 있음

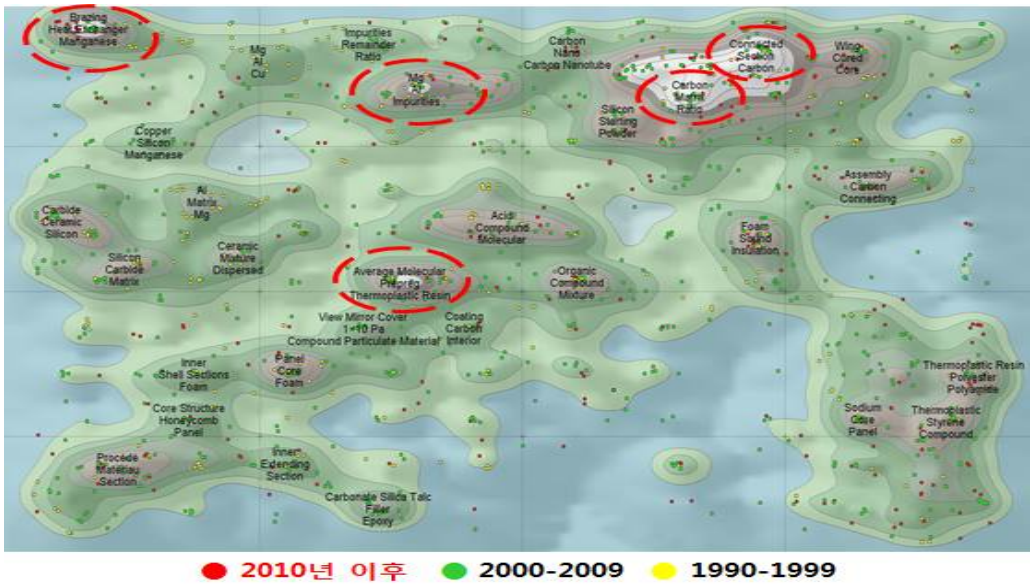


그림 3.1.7 Text Mining을 통한 특허분포.

○ 세부기술(중분류 기준) 특허분포

- 기술분류(중분류) 중 2개 핵심기술의 분포로 볼 때, 철도차량·부품 경량화 소재기술(A기술)의 경쟁이 치열하며, 일본기업인 MITSUBISHI가 관련 기술을 주도하고 있음. 경량화 소재 체결기법 및 모듈러 설계기술(B기술)은 미국의 Bell Helicopter, 일본의 HITACHI가 관련기술을 주도하고 있음.
- 특히 우리 연구원은 복합재 대차프레임(A기술)에 대한 일부 기술을 보유하고 있음



그림 3.1.8 세부기술 특허분포.

○ 피인용도 높은 주요 핵심특허

- Metal-polymer 복합재에 대한 Sigma Laboratories의 미국특허가 피인용 55건으로 가장 많음
- 그 외 캐나다 Rohr Inc의 fabricating에 대한 미국 특허도 피인용이 51건으로 높음
- 미국을 중심으로 항공기, 자동차 등 경량화를 위한 소재관련 기술이 피인용도가 높게 나타나고 있으며, 이 분야기술의 철도분야 적용을 위한 기술역량 강화가 필요함

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수
US5912069A	Metal nanolaminate composite	Sigma Laboratories	55
US6458309B1	Method for fabricating an advanced composite aerostructure article having an integral co-cured fly away hollow mandrel	Rohr Inc.,Chula	51
US20030230443A1	Advanced composite hybrid-electric vehicle	COOPER D	51
US5931520A	Light weight instrument panel reinforcement structure	Aluminum Company	50
US6179086B1	Noise attenuating sandwich composite panel	Eurocopter Deutschland	40
US5954898A	Method and system for fabricating parts from composite materials	Lockheed	39
US6575075B2	Composite armor panel	COHEN MICHAEL	37

○ 시장 확보 지수(PFS : Patent Family Size)

- 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 수가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어, 이를 시장확보력의 지표로 사용함
- 국가별 시장확보지수(PFS) = (∑ 해당국가 특허別 패밀리) / 해당국가 특허건수
- 유럽의 시장확보지수(PFS)가 6.88로 가장 높게 나타남. 유럽의 시장확보력이 상대적으로 높은것 으로 추정되며,
- 일본은 특허건수는 가장 많은 515건이지만, 시장확보지수(PFS)가 2.99로 가장 낮게 나타나고 있어, 기술 시 장성에서는 상대적으로 낮게 평가됨

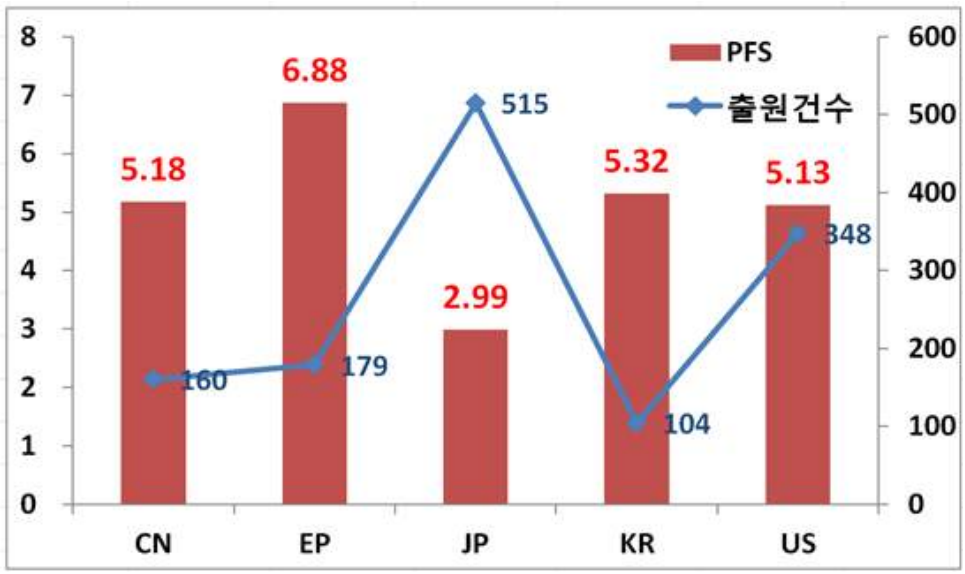


그림 3.1.9 시장 확보지수.

○ 인용도 지수(CPP : Cites Per Patent)

- 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 회수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도의 지표로 사용함
- 국가별 인용도 지수(CPP) = (∑ 해당국가 특허別 피인용수) / 해당국가 특허건수
- 미국의 인용도 지수(CPP)가 4.86으로 가장 높게 나타남. 유럽, 일본 등 경

쟁국가보다 월등하게 높은 인용도로서, Sigma Laboratories 등의 미국회사가 원천특허를 많이 보유한 것으로 추정됨

- 일본은 특허건수는 가장 많은 515건이지만, 인용도지수(CPP)에서도 1.46으로 미국보다 낮은 수준임

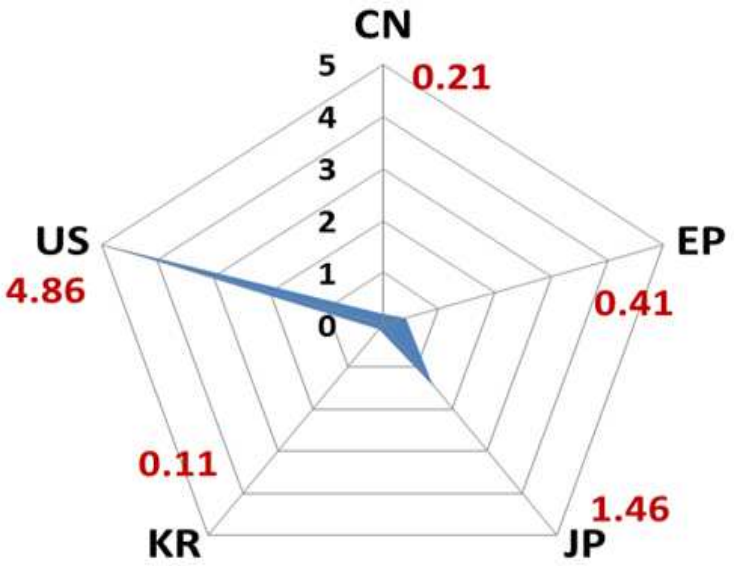


그림 3.1.10 인용도 지수.

○ 영향력 지수(PII), 기술력 지수(TS)

- 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)와 영향력지수(질적수준)을 함께 나타냄
- 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수
- 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수
- 미국의 영향력지수(PII)가 2.48로 가장 높게 나타나, 질적수준에서 가장 경쟁력 있는 것으로 보여지며, 양적수준(특허건수)를 고려한 기술력지수(TS)에서도 863.02로 월등히 높게 나타나고 있음
- 우리나라는 영향력지수, 기술력지수 모두 최하위 수준으로, 향후 지속적인 기술역량 강화가 필요함

* PII : Patent Impact Index, TS : Technology Strength

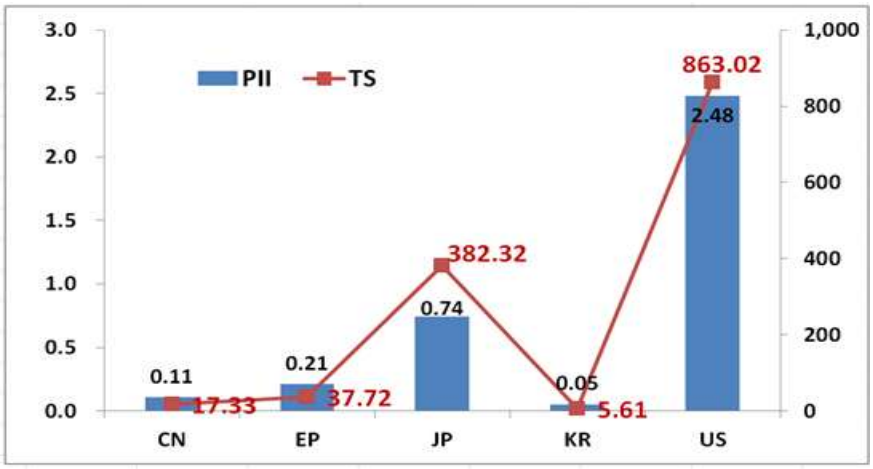


그림 3.1.11 영향력 지수 및 기술력 지수.

2. 논문 동향 분석

○ 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널

- 첨단소재를 활용한 철도차량·부품 경량화 기술관련 논문 발표건수는 1990년대 이후 총 200건으로, 2003년 이후 매년 10건 이상의 수준으로 발표되고 있음
- 주요 등재저널은 영국 ELSEVIER SCI, 스위스 TRANS TECH PUBLICATIONS 등이며, 유럽/미국의 저널을 통해서 대부분의 논문이 발표됨
- 한국은 KOREAN SOC PRECISION ENG 등의 저널을 통해 논문이 발표됨

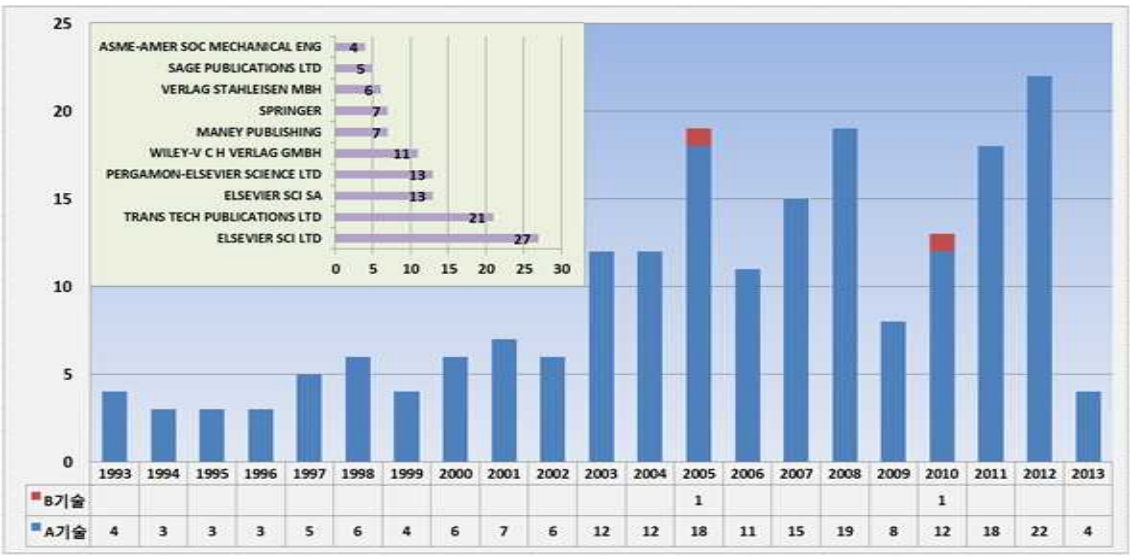


그림 3.1.12 논문발표 추이 및 주요 등재 저널.

○ 논문발표 현황분석(국가, 기관, 저자)

- 첨단소재를 활용한 철도차량·부품 경량화 기술관련 논문의 최다 저자는 루마니아 Andrei 교수, 인도 Balasubramanian 교수임
- 기타 인도의 Annamalai Univ, 중국의 Shanghai Jiao Tong Univ 등의 기관에서 논문을 많이 발표하고 있음

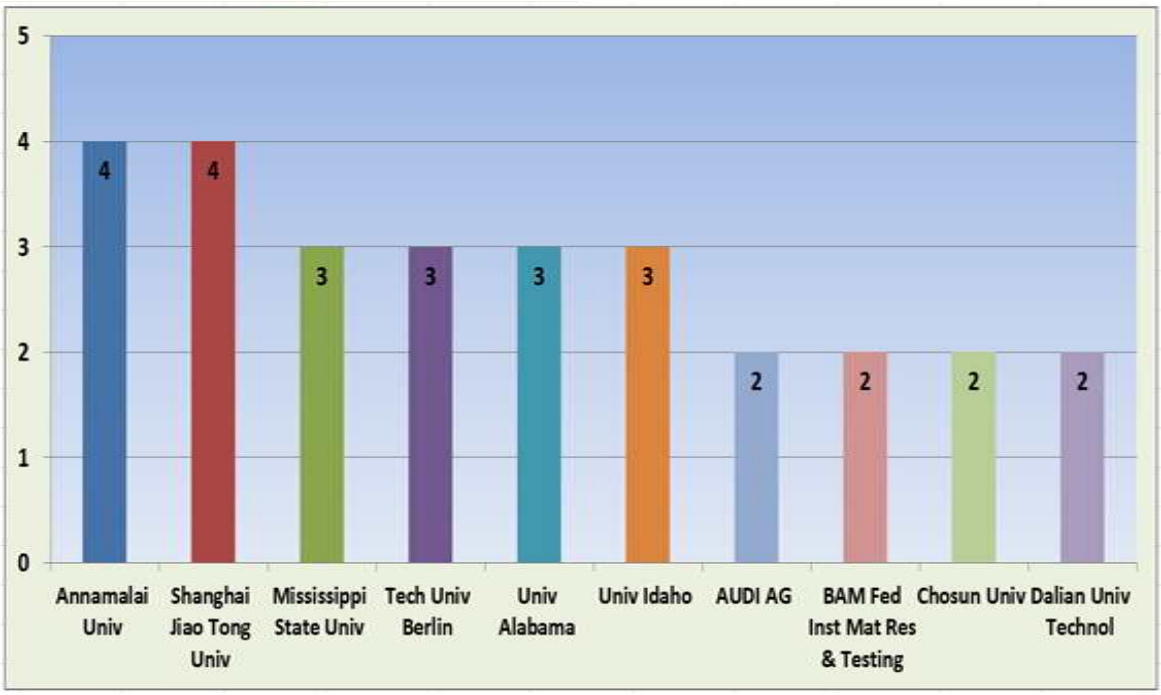


그림 3.1.13 논문 발표 현황 분석.

○ 피인용도 높은 주요 핵심논문

- 자동차, 항공기 등의 분야에서 fiber, aluminium,magnesium 등 소재 관련 논문이 피인용도가 높게 나타나고 있음
- 저널 중에서는 스위스 ELSEVIER SCI SA 저널에서, 피인용이 높은 논문이 많이 발표되고 있음

번호	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
1	Recent development in aluminium alloys for the automotive industry	ELSEVIER SCI SA	2000	265

2	Development of fibre metal laminates for advanced aerospace structures	ELSEVIER SCI SA	2000	103
3	Light-weight structures produced by laser beam joining for future applications in automobile and aerospace industry	ELSEVIER SCI SA	2001	98
4	Study on bulk aluminum matrix nano-composite fabricated by ultrasonic dispersion of nano-sized SiC particles in molten aluminum alloy	ELSEVIER SCI SA	2004	96
5	Anisotropic properties of magnesium sheet AZ31	TRANS TECH PUBLICATIONS LTD	2003	58
6	Fiber metal laminates: An advanced material for future aircraft	ELSEVIER SCI SA	1997	52
7	Life cycle inventory study on magnesiurn alloy substitution in vehicles	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	2007	51
8	Automotive applications of magnesium alloys	TRANS TECH PUBLICATIONS LTD	2003	47

3. 국내외 시장 현황 및 전망

○ 교통수단 경량화 소재 시장규모

- 교통수단에 사용되는 경량화 소재에 대한 세계 시장규모는 2015년 6,770만 톤, 1,253억 달러로 추정됨 (年 평균 성장률 : tonnage 5.6%, 화폐가치 7.7%)

  *출처 : Lightweight Materials in Transportation, 2011, BCC Research

- 기후변화 및 경제위기로, 연비효율을 높이기 위해 철도차량 경량화 기술에 대한 수요가 지속적으로 증가할 것으로 전망됨

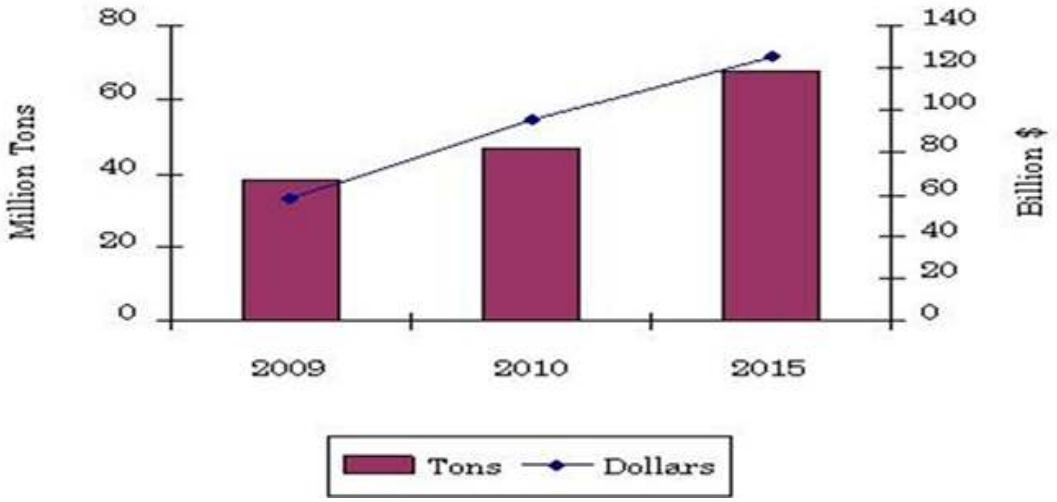


그림 3.1.14 수송기기에서 경량소재 세계 시장 규모.

○ 경량화 소재별 시장 점유율 현황

- 세계적으로 자동차 제조사들은 탄소저감 및 연비개선을 위해 차량 경량화 소재 개발 요구에 직면하고 있으며, 2017년까지 950억 달러의 세계시장 형성 예상.
- 차체, 내외장재 등의 경량화에 사용되는 재료시장의 지속적 성장이 전망되며, 경량화 재료의 전체 구성비율, 수익 비율에서 알루미늄이 가장 높게 나타남

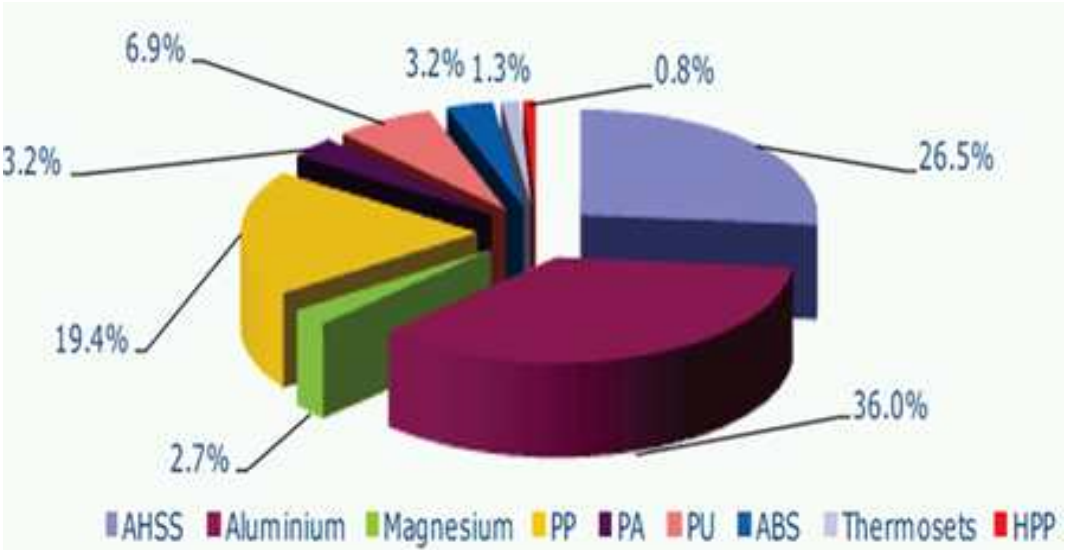


그림 3.1.15 세계 자동차 소재 시장 점유율(규모), 2010.

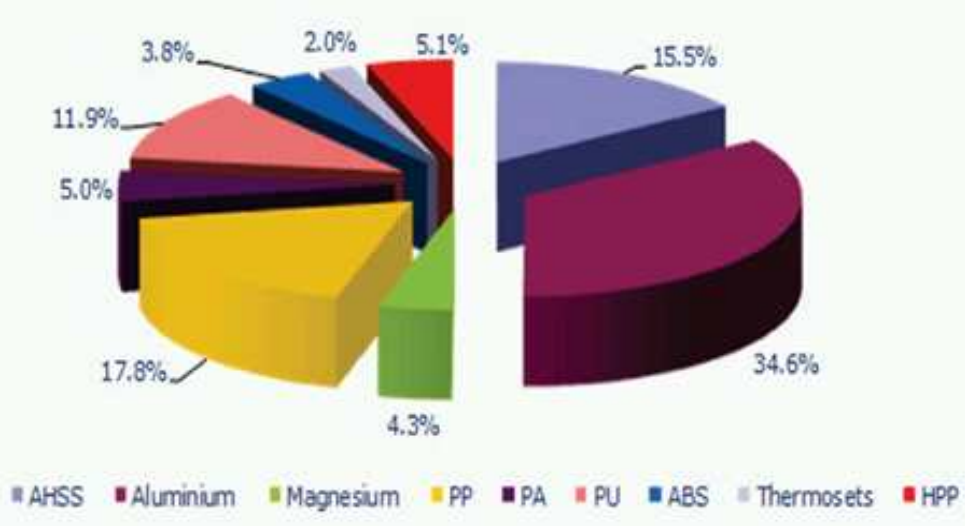


그림 3.1.16 세계 자동차 소재 시장 점유율 (매출), 2010.

※ 출처 : Prevalent Substitution Trends within Materials and Chemicals in Automotive Lightweighting, 2011, Frost & Sullivan

○ 경량화 소재 사례 : 알루미늄(자동차)

- 알루미늄은 경량화를 위해 엔진, 트랜스미션, 브레이크부품, 보닛, 도어, 보디패널 등에 광범위하게 사용됨. 철강재료보다 비싸면서 강도가 약하고 용접이 어려운 단점이 있지만, 경량화 외에도 높은 열전도, 재활용성 등의 장점이 있음
- 자동차용 알루미늄 사용비율은 年 평균 3.5%씩 성장하고 있음

※ 출처 : 가속화되는 자동차 경량화, 2011, 한국투자증권 산업분석 Report



그림 3.1.17 자동차 알루미늄 크래들 경량화 사례.

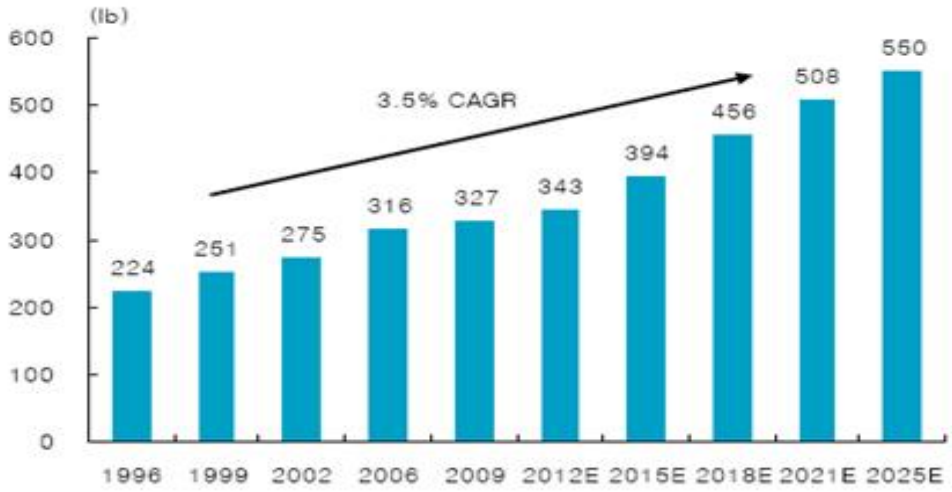


그림 3.1.18 북미 경량 자동차의 대당 알루미늄 사용량 추이.

○ 철도차량 세계시장 및 경쟁사 현황

- 철도차량 시장은 2015년 533억 유로까지 年 2.5% 성장할 것으로 추정됨
- 러시아 독립국가연합(CIS) 및 동부유럽에서 철도차량 교체수요, NAFTA 지역에서의 화물수송 사업 확대 등으로 철도차량 시장이 확대전망

* 출처 : Global Rail Market, Key findings from the UNIFE world Rail Market Study, 2012, UNIFE

- 국내 철도산업은 국내발주 및 외국 OEM에 의존, 年 평균 1조원 이하로, 철도차량 세계시장점유율 2% 수준. 경량화 기술을 통한 경쟁력 제고필요

*출처 : 철도 강소기업 육성 200조원 세계시장 공략, 국토교통부, 2013

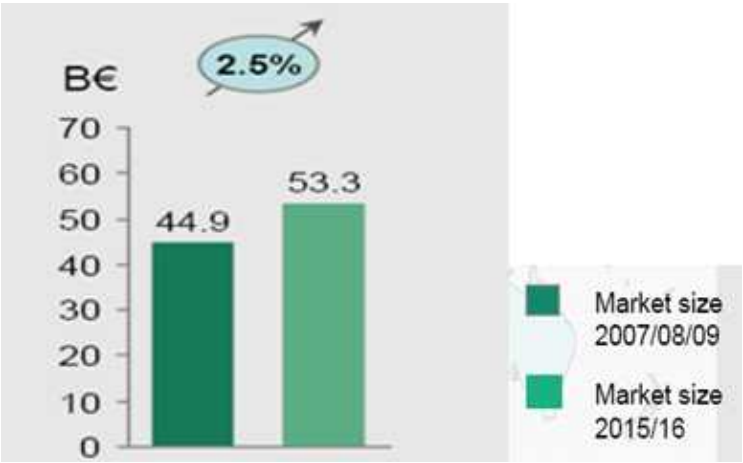


그림 3.1.19 철도차량 세계시장 규모.

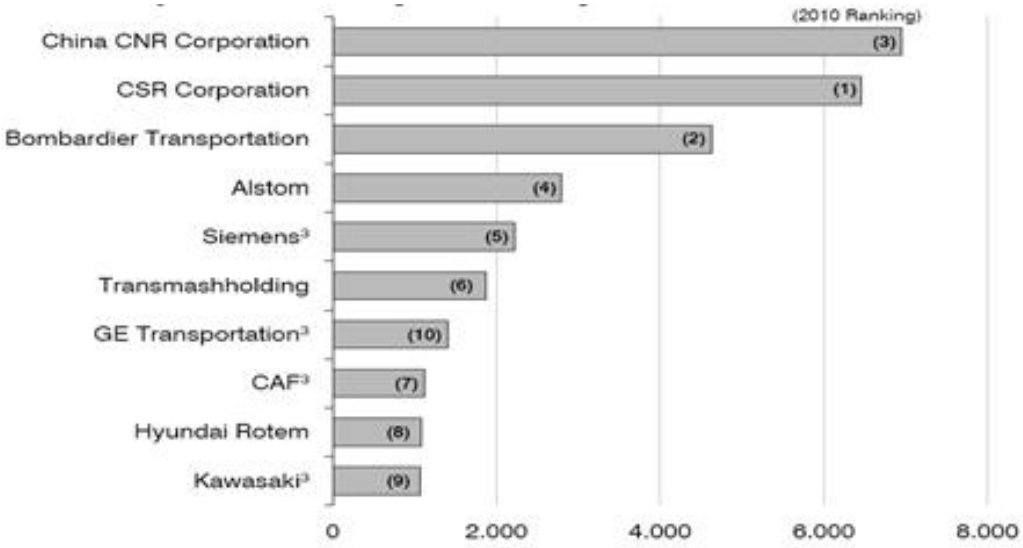


그림 3.1.20 철도차량 세계 Top 10 제작사 매출규모(Euro M), 2011.

○ 시장 현황 및 시장 발전 단계

- 경량화 소재 기술의 발명추이가 유가상승 추이와 유사함
- 에너지·환경 등의 Mega Trend와 연계하여 경량화 소재 기술수요 지속증가 예상

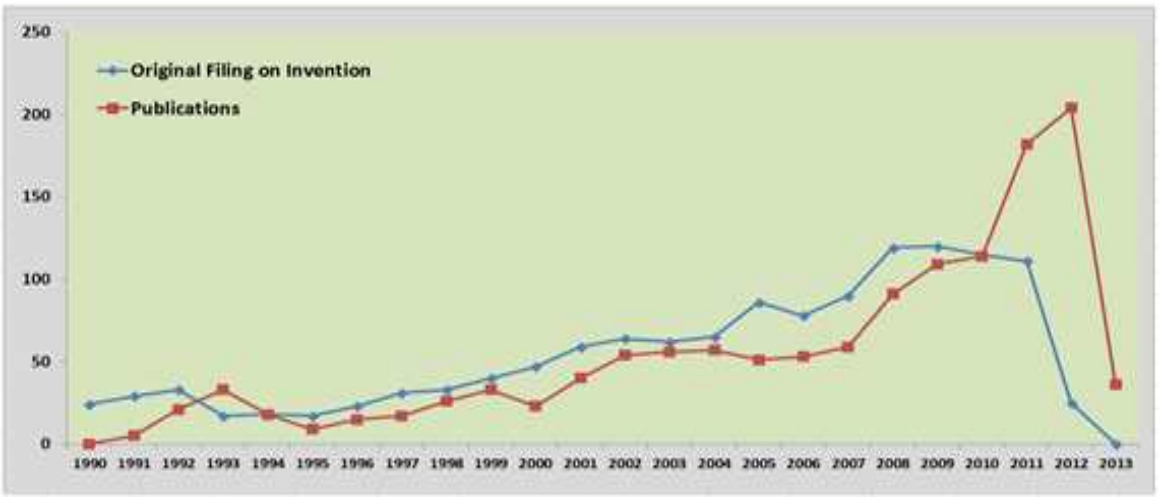


그림 3.1.21 특허출원 및 공개 추이.

- 논문, 특허의 지속적인 증가추세 : 기술 성장기 단계



그림 3.1.22 논문발표 추이.

4. 분석결과 종합

○ 특허 동향

- 일본이 최다 출원국가이지만, 특허의 시장성·우수성에서는 다소 낮게 평가됨. 시장확보력에서는 유럽특허가, 질적 우수성에서는 미국특허가 높게 나타남에 따라, 유럽과 미국을 중심으로 선행기술 우선 검토 필요

○ 논문 동향

- 대부분의 SCI 논문이 유럽과 미국의 저널을 통해 발표되고 있으며, 특히 피인용도가 높은 논문이 많은 스위스 ELSEVIER SCI SA에 게재된 자동차·항공기 분야의 첨단소재 관련 논문에 대해 선행기술 우선 검토 필요

○ 시장 동향

- 에너지/환경, 유가상승과 연계하여 기술개발이 가속화되는 성장기 기술임. 이미 자동차 경량화 소재로 가장 많이 활용되는 알루미늄 등을 중심으로, 철도차량·부품에 대한 기술개발을 추진하며, 이를 통한 철도차량 글로벌 경쟁력을 제고할 수 있을 것으로 기대됨

제2절 차체 특허 및 논문동향 분석

○ 기술의 정의

- 철도 차량 차체 소재(마그네슘, 알루미늄 등)를 활용한 철도 차량 경량화 기술
- 모듈러 설계기술개발 최적 설계를 통한 차체 설계 기술
- 압출, 용접, 성형공정으로 이루어진 차체 제작 기술

○ 기술의 구성

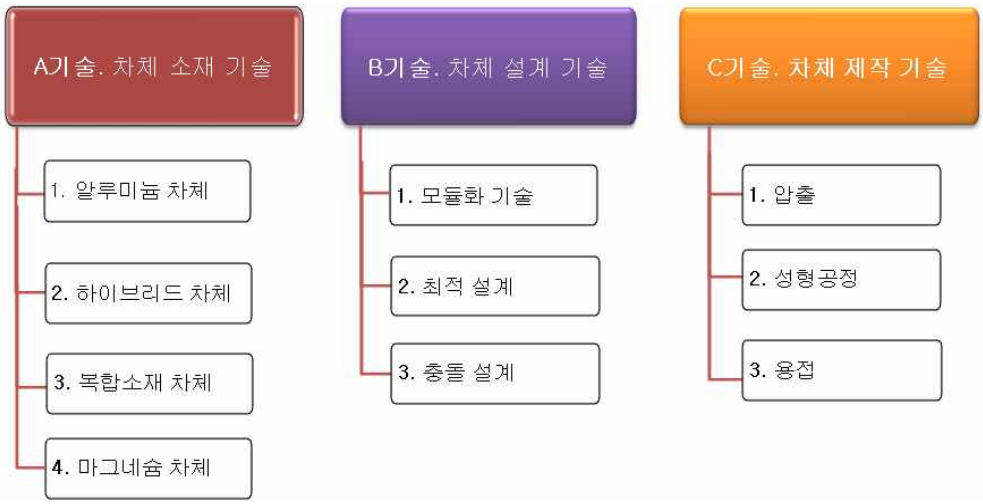


그림 3.2.1 철도차량 차체 기술의 구성.

1. 특허 동향 분석

○ 특허 분석 기준국내외 철도차량 경량화 기술개발 현황조사

- 특허 분석 범위

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
분석구간	1990.01.01.~2013.04.30				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

- 기술 분류 기준

대분류(영문)	중분류(영문)	소분류(영문)	키워드(영문)
철도차량 차체 (Body Structure For Rolling Stock)	A기술. 차체 소재 기술 Body Structure material	알루미늄 차체 (Aluminium body structure)	Aluminium double skin profile
		하이브리드 차체 (Hybrid Body Structure)	hybrid segment
		복합소재 차체 (composite body structure)	CFRP composite Sandwich Honeycomb
		마그네슘 차체 (Magnesium body structure)	Magnesium extrusion
	B기술. 차체 설계 기술 Body Structure design	모듈화 기술 Modular Construction	Modular Flexibility Subdivision Function integration
		최적설계 optimum design	skeleton topology load adjusted diagonal beam
		충돌 설계 crush design	crush zone
	C기술. 차체 제작 기술 body structure manufacturing	압출 extrusion	extrusion
		성형공정 curing	pultrusion RTM infusion

			winding
		용접 welding	FSW (friction stir welding)

- 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수

기술구분		검색 조합식	대상특허건수
Generic			
	A기술	CTB=(((RAILWAY OR RAILROAD OR TRAIN OR LOCOMOTIVE OR (ROLLING ADJ STOCK) OR TRANSIT OR TRAM or (railway adj vehicle) or railcar or rail*car or automobile or car or vehicle or aircraft or airplane) AND (body near2 (structure or frame)))) and CTB=((aluminium or (double adj skin) or CFRP or (carbon adj fiber adj reinforced adj plastic) or Honeycomb) or (composite adj material) or (advanced adj materials) or (magnesium) or ((multi or hybrid or mixed) near3 (composite or material)));	1,750 건
	B기술	CTB=(((RAILWAY OR RAILROAD OR TRAIN OR LOCOMOTIVE OR (ROLLING ADJ STOCK) OR TRANSIT OR TRAM or (railway adj vehicle) or railcar or rail*car or automobile or car or vehicle or aircraft or airplane) AND (body near2 (structure or frame)))) and TAB=((Modular or Flexibility or Subdivis* or (Function adj integrat*) or skeleton or topology or (load adj adjusted) or (diagonal adj beam) or crush or zone));	599 건
	C기술	CTB=(((RAILWAY OR RAILROAD OR TRAIN OR LOCOMOTIVE OR (ROLLING ADJ STOCK) OR TRANSIT OR TRAM or (railway adj vehicle) or railcar or rail*car or automobile or car or vehicle or aircraft or airplane) AND (body near2 (structure or frame))))	1,571 건

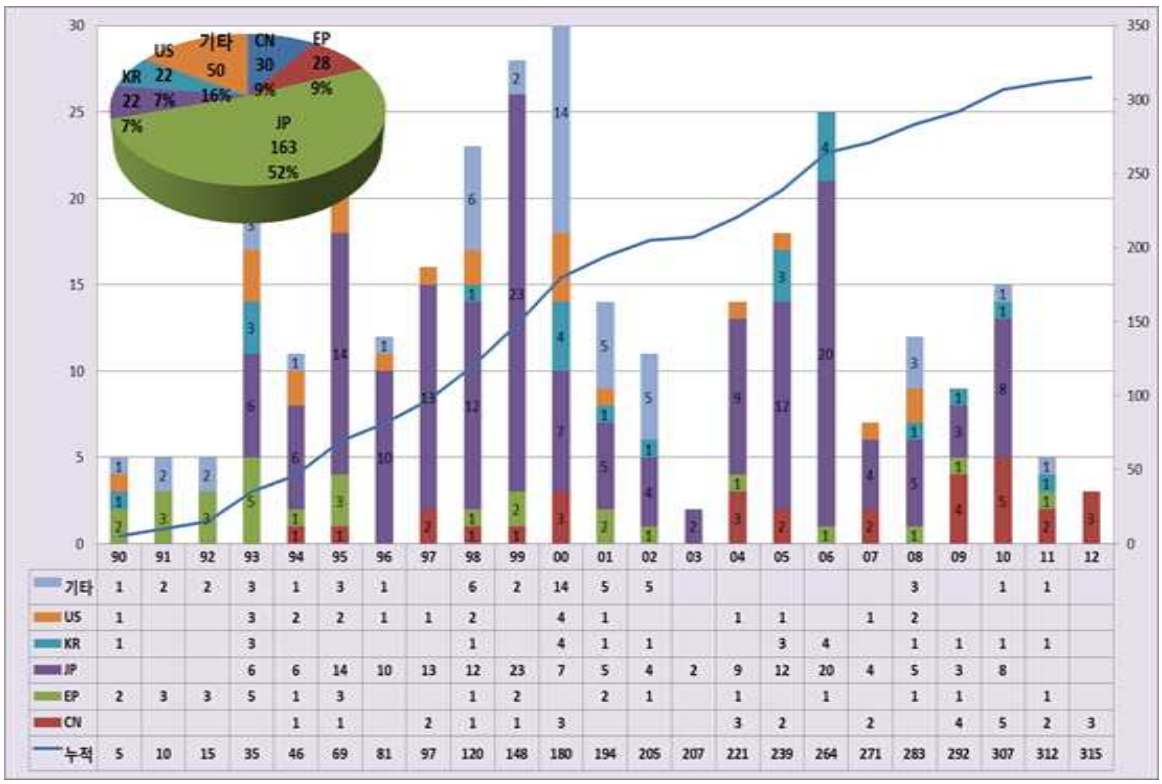
		and TAB=((resin adj transfer adj molding) or rtm ADJ pultrusion or extrusion or extruded or winding or infusion or (friction ADJ stir ADJ welding) or fsw);	

- 기술별 검색 조합식 및 대상논문건수

기술구분		검색 조합식	대상논문건수
Generic			
	A기술	All=(((RAILWAY OR RAILROAD OR TRAIN OR LOCOMOTIVE OR (ROLLING ADJ STOCK) OR TRANSIT OR TRAM or (railway adj vehicle) or railcar or rail*car or automobile or car or vehicle or aircraft or airplane) AND (body and (structure or frame)))) and All=((aluminium or (double adj skin) or CFRP or (carbon adj fiber adj reinforced adj plastic) or Honeycomb) or (composite adj material) or (advanced adj materials) or (magnesium) or ((multi or hybrid or mixed) near3 (composite or material)));	87 건
	B기술	All=(((RAILWAY OR RAILROAD OR TRAIN OR LOCOMOTIVE OR (ROLLING ADJ STOCK) OR TRANSIT OR TRAM or (railway adj vehicle) or railcar or rail*car or automobile or car or vehicle or aircraft or airplane) AND (body and (structure or frame)))) and all=((Modular or Flexibility or Subdivis* or (Function adj integrat*) or skeleton or topology or (load adj adjusted) or (diagonal adj beam) or crush or zone));	96 건
	C기술	All=(((RAILWAY OR RAILROAD OR TRAIN OR LOCOMOTIVE OR (ROLLING ADJ STOCK) OR TRANSIT OR TRAM or (railway adj vehicle) or railcar or rail*car or automobile or car or vehicle or aircraft or airplane) AND (body and (structure or frame)))) and All=((resin adj transfer adj molding) or rtm ADJ pultrusion or extrusion or extruded or winding or infusion or (friction ADJ stir ADJ welding) or fsw);	12 건

○ 출원년도 및 국가별 특허출원동향

- 철도차량 차체기술의 전체적인 특허 동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 6개 지역에서 총 315건의 특허가 출원 되었으며, 매년 국가별 평균 4~5건 내외 특허가 지속적으로 출원되고 있음
- 국가별 추이를 보면 일본이 특허를 가장 많이 보유하고 있으며, 중국, 유럽, 한국, 미국 순서로 특허를 출원 하고 있는 상황임
- 특히, 2006년 이후의 감소세는 최다 출원국인 일본의 감소 때문인 것으로 보이며, 일본은 한국보다 7배 이상의 특허를 출원 하고 있어 향후 연구에 있어 일본 특허에 대한 면밀한 검토가 필요함



	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
기타	1	2	2	3	1	3	1		6	2	14	5	5						3		1	1	
US	1			3	2	2	1	1	2		4	1			1	1		1	2				
KR	1			3					1		4	1	1			3	4		1	1	1	1	
JP				6	6	14	10	13	12	23	7	5	4	2	9	12	20	4	5	3	8		
EP	2	3	3	5	1	3			1	2		2	1		1		1		1	1		1	
CN					1	1		2	1	1	3				3	2		2		4	5	2	3
누적	5	10	15	35	46	69	81	97	120	148	180	194	205	207	221	239	264	271	283	292	307	312	315

그림 3.2.2 국가별 특허출원 동향.

○ 세부 기술별 특허출원 동향

- 차체 소재기술(A기술) 분야에 대한 특허를 분석한 결과, 1998년을 정점으로 2000년대에 들어 특허 출원이 다소 정체상태에 있지만, 여전히 높은 기술 비중을 차지하고 있음

- 차체 설계기술(B기술) 분야의 연도별 동향은 출원 건수가 증가와 감소를 반복하고 있으나 전체 건수가 미미하여 전체적인 동향에 의미를 부여하기에는 어려움이 있음
- 차체 제작기술(C기술) 분야에 대한 특허를 분석한 결과, 2000년을 정점으로 다소 감소하였으나, 가장 높은 기술 비중을 차지하고 있음

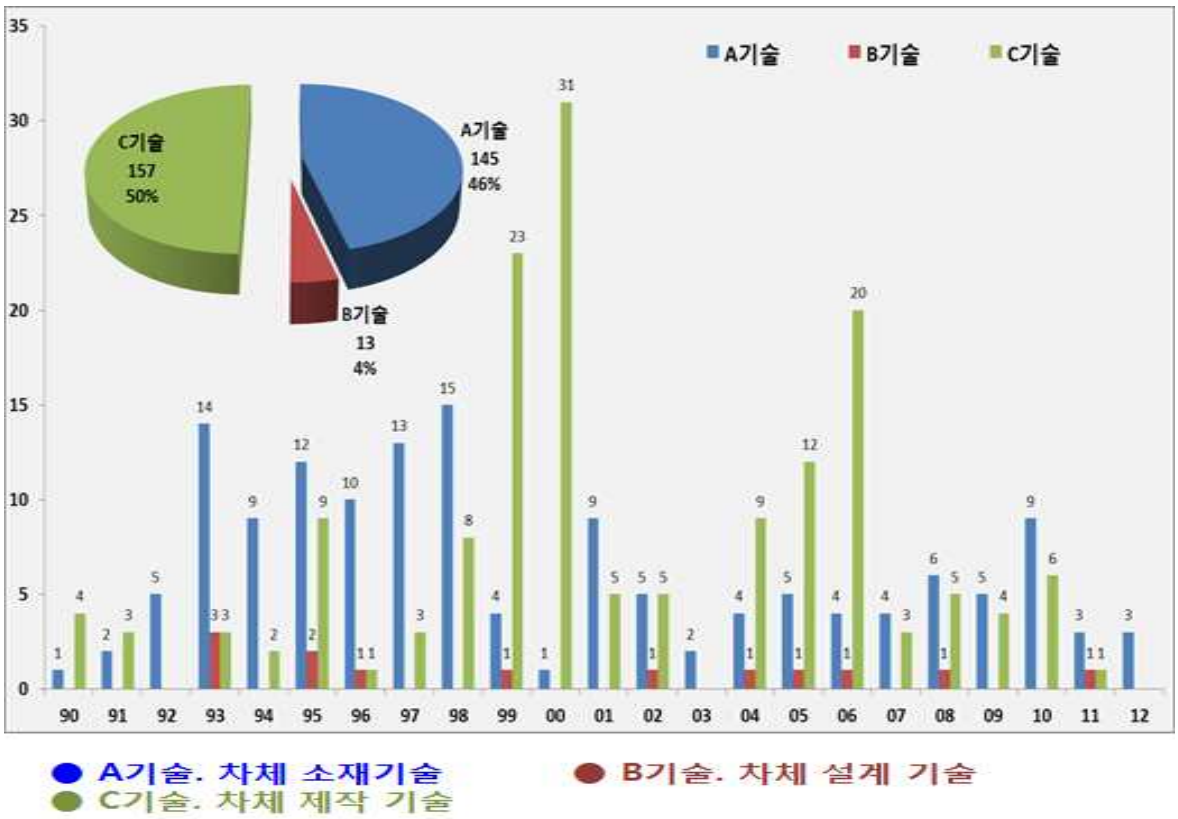


그림 3.2.3 세부 기술별 특허 출원 동향.

○ 특허 주요 출원인 분석(1)

- 철도차량 차체기술 관련 전반에 걸쳐 많은 특허를 출원한 상위 10개의 출원인을 분석한 결과, HITACHI가 152건으로 48%의 비중을 차지하고 있고, HITACHI를 제외한 기관들의 전체 출원건수는 153건으로 52%의 비중을 차지함. 상기 기술분야에 있어서 상위 1개社에 연구활동이 집중 되어 있는 것으로 보임
- 한국의 경우 출원인으로는 다출원 10위에 속하는 기업은 없음

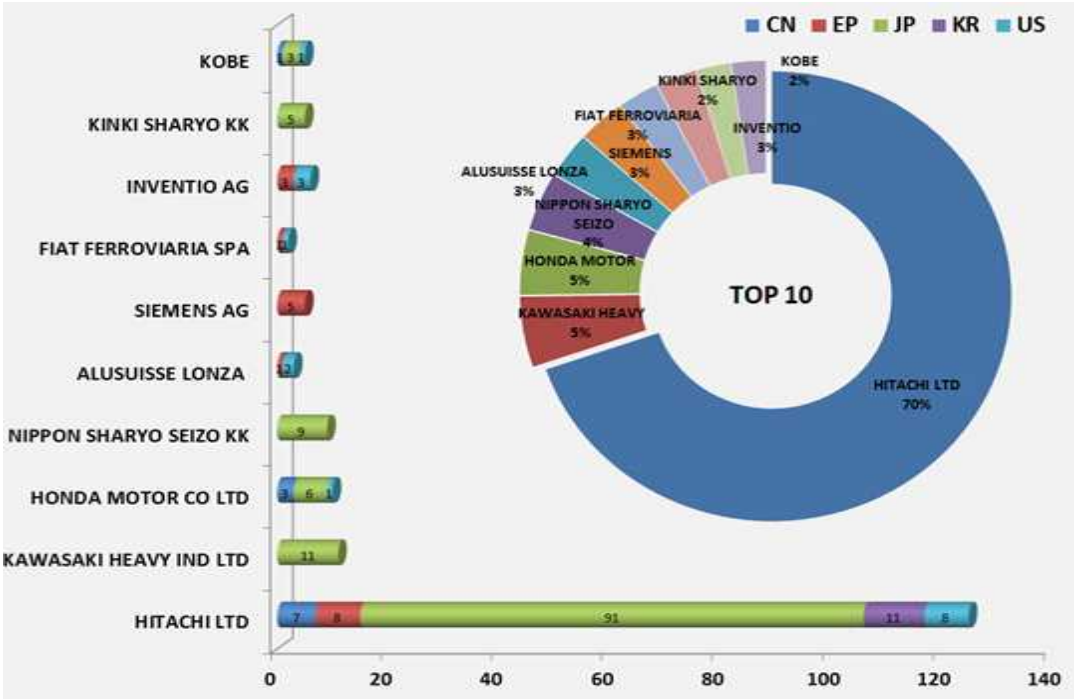


그림 3.2.4 특허 주요 출원인 분석(1).

○ 특허 주요 출원인 분석(2)

- 주요 출원인의 연도별 특허분석 결과, 이 분야 최다 출원인인 일본의 HITACHI社는 2006년 이후로 감소세를 보이나, 여전히 기술을 선도하는 최다출원 기관임
- 또한 최근 일본의 HONDA MOTOR, KAWASAKI HEAVYIND, NIPPON SHARYOSEIZO KK 에서 특허 출원을 하고 있음

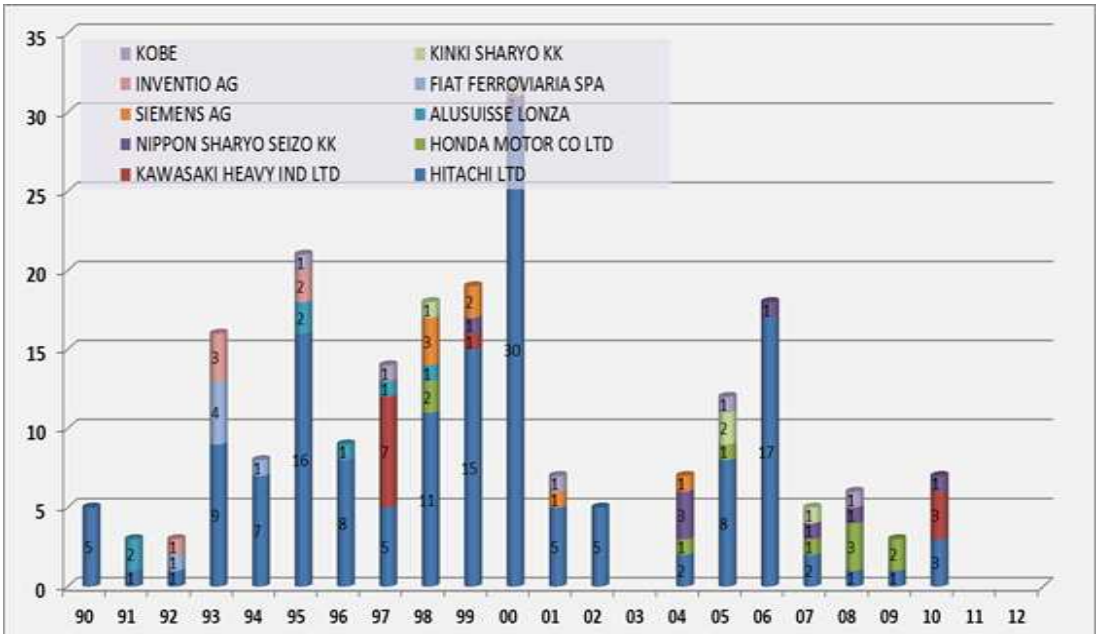


그림 3.2.5 특허 주요 출원인 분석(2).

○ 국가별 기술 분포

- 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과, 5개 모든 국가가 차체 소재 기술 (A기술)에 집중하고 있음, 일본은 차체 제작 기술 (C기술)에 상대적으로 더욱 집중하고 있음
- 우리나라도 차체 소재기술 (A기술) 분야에 중점을 두고 있지만, 아직 저조한 수준임.
- 향후 기술경쟁이 낮은 경량화 소재 체결기법 및 모듈러 설계기술(B기술)에도 집중할 필요가 있음

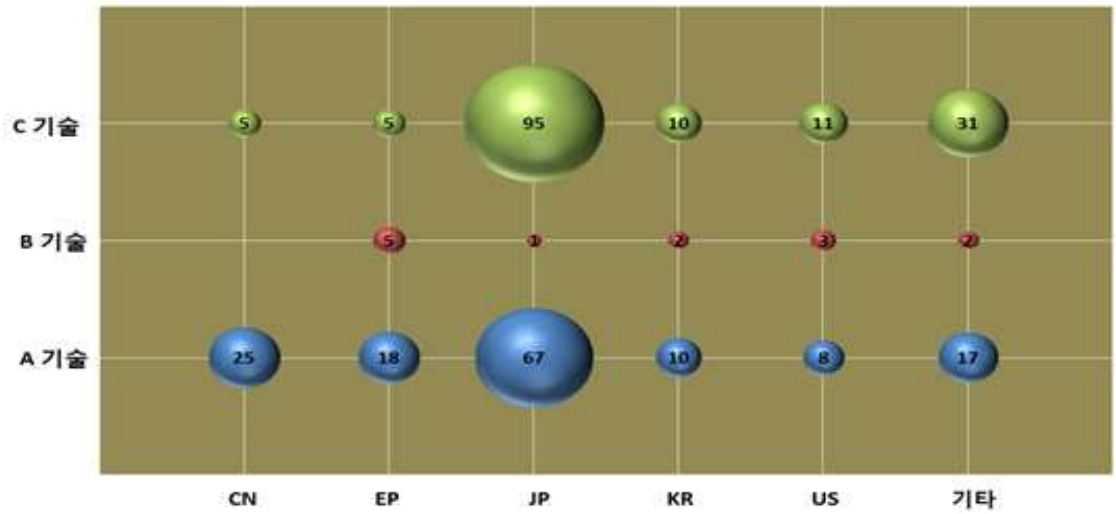


그림 3.2.6 국가별 기술분포.

○ Text Mining을 통한 특허 분포

- 철도차량 차체기술관련 검색 결과 3,389건 중 기술분류 관련 최종 315건의 유효특허기술이 분포함
- 등고선 꼭지점이 높은 Rib/ Longitudinal Cross/ Friction Stir Welding, Rotary tool/Moved, Insulation Performing Subassemblies/Hybrid Structure/ Panel Windows Figure 3개 기술에 특허가 많이 분포하고 있어 기술 집중도가 높은 기술임을 확인할 수 있음
- 특히 최근 특허기술 분석결과, Rivet/Edge/Molded 등이 나타나고 있음

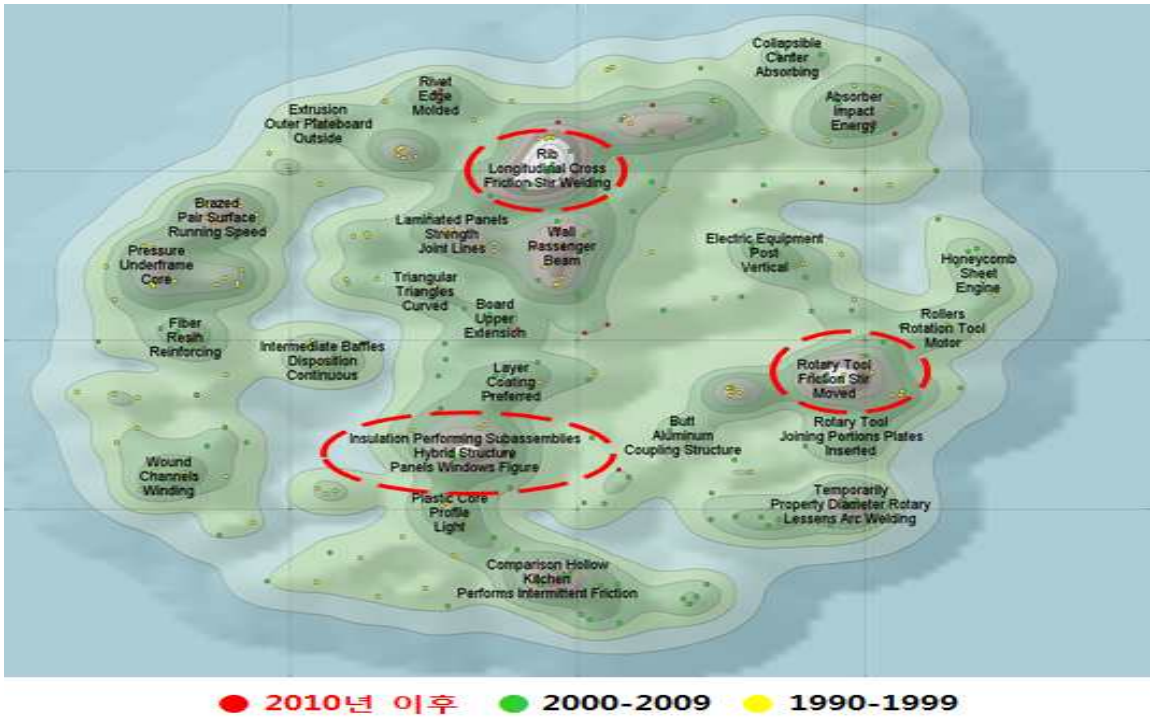


그림 3.2.7 Text Mining을 통한 특허분포.

○ 세부기술(중분류 기준) 특허분포

- 기술분류(중분류) 중 등고선 꼭지점이 높은 부분에 차체 제작 기술(C기술)이 많이 나타나고 있으며, 일본 HITACHI社 등이 특허를 많이 출원하여 관련 기술을 선도하고 있음
- C기술과 관련한 최근 기술로는 Vehicle body structure, Friction stir welding등이 분포하고 있음

- 우리나라는 A~C기술 전반에서 특허출원이 취약하며, 다만 우리 연구원은 철도차량n 차체 구조, 소재 및 제조방법과 관련된 3건의 특허를 보유하고 있음 (KR766361, KR766362, KR2011006142A)



그림 3.2.8 세부기술 특허분포.

○ 시장 확보지수

- 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 수가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어, 이를 시장 확보력의 지표로 사용함
- 국가별 시장 확보지수(PFS) = (∑ 해당국가 특허別 패밀리) / 해당국가 특허건수
- 일본의 시장 확보지수(PFS)가 12.18로 가장 높게 나타남. 특허 출원건수뿐만 아니라, 다양한 국가를 대상으로 특허를 출원하는 시장확보력에서도 높은 경쟁력을 갖고 있는 것으로 판단됨
- 유럽의 시장확보지수는(PFS)는 7.60으로 높게 나타남. 미국의 시장 확보지수(PFS)는 9.43로 나타났지만, 특허건수가 낮아 일반화하기 어려움.

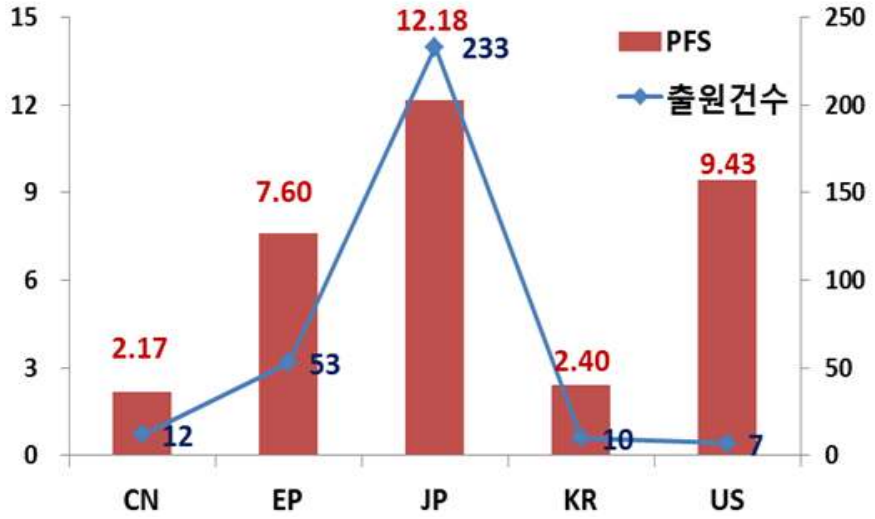


그림 3.2.9 시장 확보지수.

○ 인용도 지수

- 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 회수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도의 지표로 사용함
- 국가별 인용도 지수(CPP) = (∑ 해당국가 특허別 피인용수) / 해당국가 특허건수
- 유럽의 인용도 지수(CPP)가 9.68로 가장 높게 나타남. 일본, 미국등 경쟁국가보다 월등하게 높음.
- 유럽의 INVENTIO AG 등의 기관에서 핵심특허를 많이 보유한 것으로 추정됨
- 일본은 특허건수는 가장 많은 233건 이지만, 인용도지수(CPP)에서 0.99 으로 상대적으로 낮은 수준임

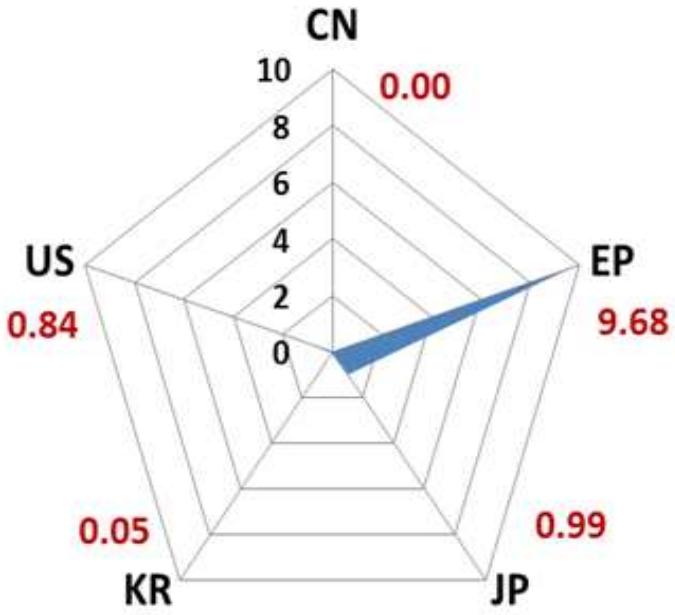


그림 3.2.10 인용도 지수.

○ 영향력 지수, 기술력 지수

- 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)와 영향력지수(질적수준)을 함께 나타냄

- 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수
- 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

* PII : Patent Impact Index, TS : Technology Strength

- 유럽의 영향력지수(PII)가 8.70로 가장 높게 나타나 질적 수준에서 가장 경쟁력 있는 것으로 보여지며, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서는 일본이 509.71 으로 월등히 높게 나타나고 있음
- 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 하위 수준으로, 향후 지속적인 기술역량 강화가 필요함

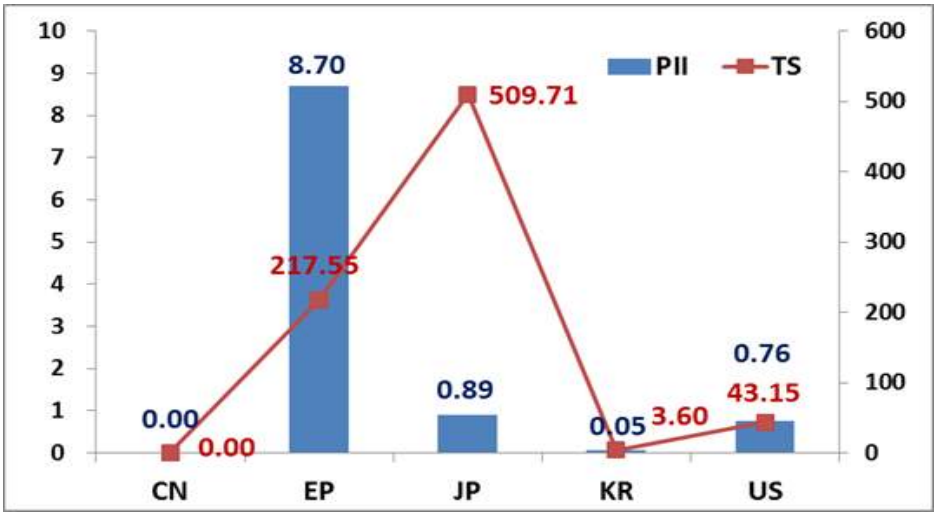


그림 3.2.11 영향력 지수 및 기술력 지수.

○ 인용/피인용도 높은 주요 핵심특허

- 피인용도가 높은 주요특허

공개번호	발명의 명칭	출원인 정리	피인용수 (Forward)
EP579500A1	Railway cars and methods of manufacture thereof	HITACHI LTD	49
US5362345A	Method of manufacturing integral railway coach bodies	INVENTIO AG	48
US5685229A	Railway car body structures and method of making them	HITACHI LTD	47
US6158690A	Cabin interior panel system for reducing noise transmission in an aircraft	SIKORSKY AIRCRAFT CORP	46
US5098007A	METHOD OF MANUFACTURING A	HITACHI LTD	41

	VEHICLE BODY		
JP7033016A	MANUFACTURE OF VEHICLE BODY STRUCTURE AND ITS DEVICE	HITACHI LTD	33
US5383406A	Body structure for railway vehicles	FIAT FERROVIARIA SPA	30
US5433151A	Railway car body structures and methods of making them	HITACHI LTD	28

- 인용도가 높은 주요특허

공개번호	발명의 명칭	출원인	인용수 (Backward)
US6454345B1	Rail vehicle body	ALSTOM	34
US5480729A	Honeycomb panel having inserts for fixing a member in an opening in the panel	SUMITOMO LIGHT METAL IND	33
US7562802B2	Friction stir welding method and structure body formed	HITACHI LTD	24
JP04912614B2	Rail vehicle	HITACHI LTD	22
US7900995B2	Vehicle body structure	HONDA MOTOR CO LTD	22
US7862101B2	Composite body for a vehicle	FAROEX LTD	17

JP03597447B2	The body-structure formation structure of a rail vehicle	KINKI SHARYO KK	16
US5685229A	Railway car body structures and method of making them	HITACHI LTD	15

○ 원천기술 영역 도출

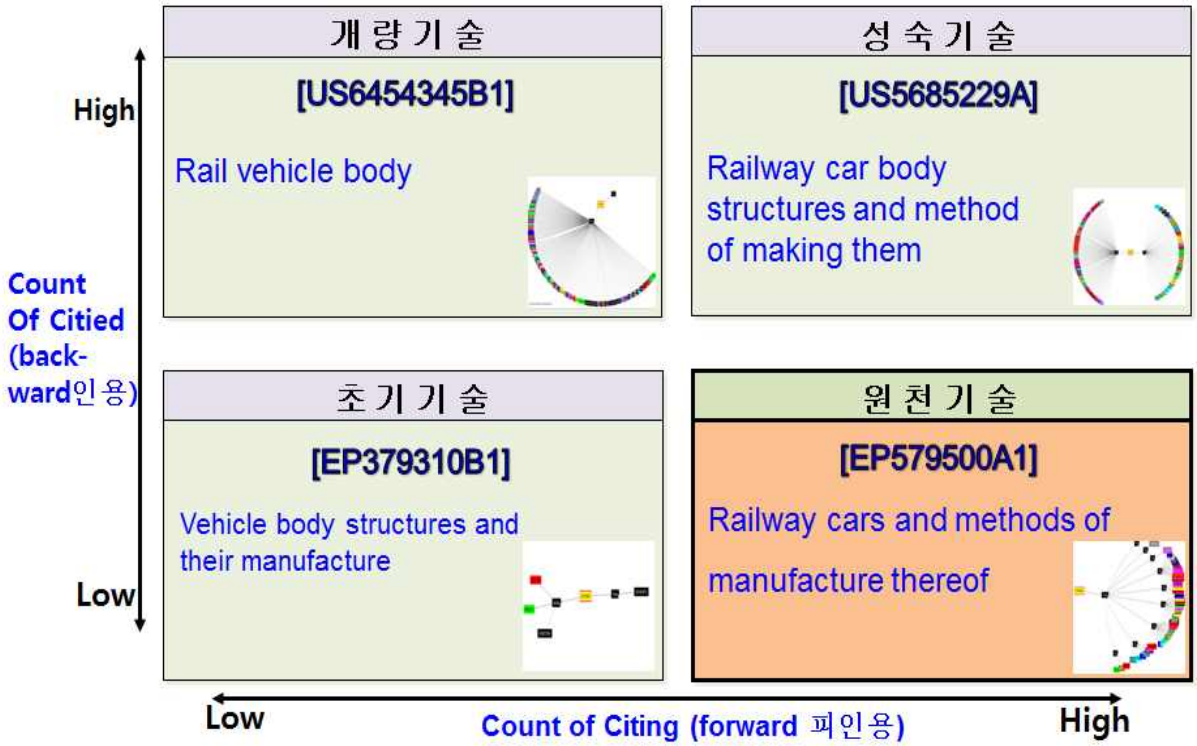


그림 3.2.12 원천기술 영역.

○ 최근 주요 핵심특허 기술 흐름도

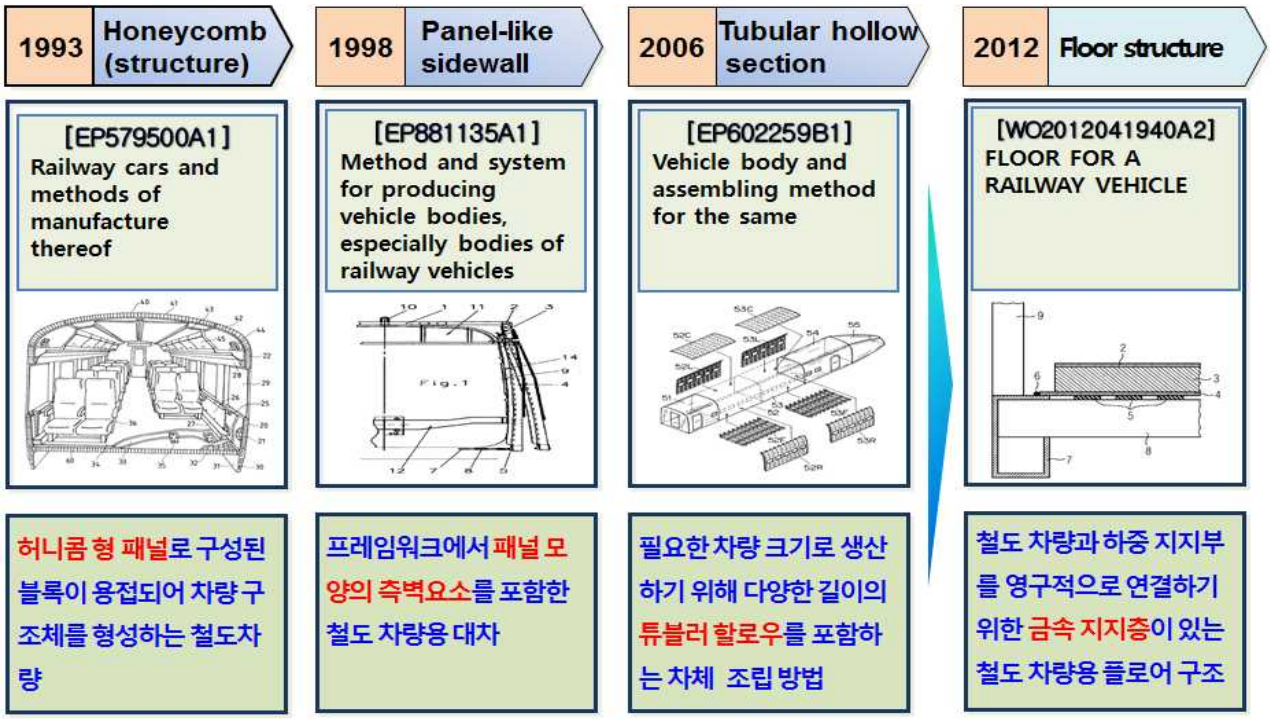
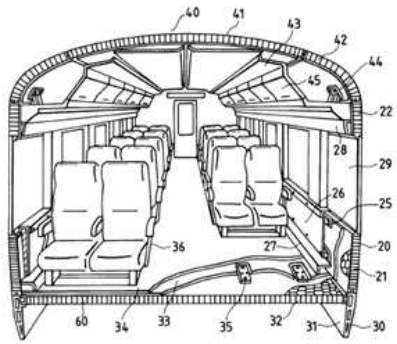


그림 3.2.13 최근 주요 핵심특허 기술 흐름도.

○ 피인용도가 높은 주요 핵심특허(예시)

1	기술분류	A. 차체 소재 기술	출원일	1993.07.17 (출원번호: EP1993305573)	출원국가	유럽
출 원 인		HITACHI LTD	공개일	1994.01.19	공개번호	EP579500A1
발명의 명칭		Railway cars and methods of manufacture thereof				

< 대 표 도 면 >



< 주 요 청 구 항 >

1. 복수의 블럭으로 이루어진 차량구조체를 구비한 철도차량에 있어서, 상기 각 블럭은 각각이 한쌍의 면판과 상기 한쌍의 면판 사이에 고정된 코어와 종단부재를 구비한 복수의 패널로 함께 납땜되어 구성되고;
상기 패널 각각은 상기 면판의 주변부에서 그리고 상기 종단부재에서 금속간의 접합으로 함께 접합되어 상기 블럭을 형성하고; 상기 블럭이 함께 용접되어 상기 차량구조체를 형성하는 것을 특징으로 하는 철도차량.

< 권 리 성 분 석 >

본 발명의 목적은 철도차량 구조체와 그 제작방법을 제공하는 것으로, 이것은 차체의 중량을 가볍게 하는 동시에 차량구조체의 강도 및 정밀도를 유지하여 충분한 의장 작업을 가능하게 한다.

< 회 피 전 략 >

- 독일, 유럽에 출원/등록된 특허로 소멸되어 다른 지역에 진출하는 데 어려움은 없음
- 철도 차량 차체 설계에 관한 특허로서, 등록을 받은 건이므로, 이를 세부적인 구조 또는 재질을 달리하는 기술에 대한 특허 획득이 가능할 것으로 사료됨

1	기술분류	A. 차체 소재 기술	출원일	2001.08.09 (출원번호: US2001924765A)	출원국가	미국
출 원 인		ALSTOM	공개일	2002.09.24	공개번호	US6454345
발명의 명칭		Rail vehicle body				

< 대 표 도 면 >

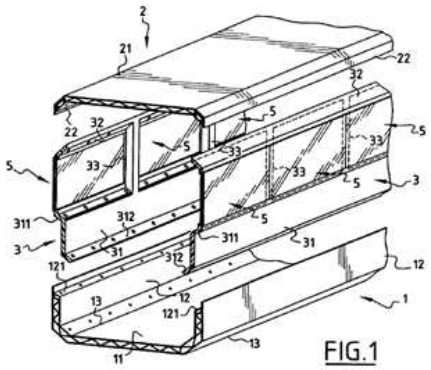


FIG.1

< 주 요 청 구 항 >

1. 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 만든 금속 " 프레임 조립체" (1)와, 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 된 " 루우프 조립체" (2)와, 그 각각이 프레임 조립체(1)와 루우프 조립체(2) 모두에 고정되는 " 합성 재료" 로 만든 2 개의 " 끼워 맞춰진 표면 조립체" (3)를 포함하는 혼성 구조물로 된 것을 특징으로 하는 차량 본체.

< 권 리 성 분 석 >

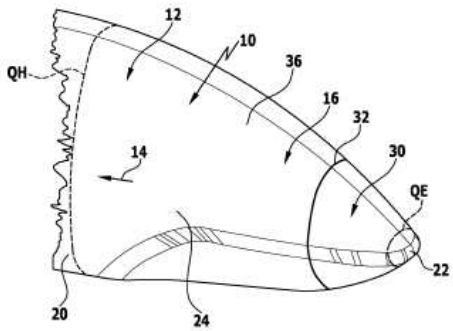
Increases robustness and reliability of the vehicle and reduces manufacturing time. Simplifies assembly and reduces assembly time and tooling cost. Allows to integrates cabling and insulation while performing subassemblies. Improves aerodynamic characteristics, has pleasing appearance and reduced weight. Enables to modify appearance by changing the number of glazing panels and windows.

< 회 피 전 략 >

- 30개국에 패밀리 특허를 보유하고 있으므로 해외 진출 시 라이선스 획득이 필요함
- 철도 차량 차체 소재에 관한 특허로서, 등록을 받은 건이므로, 이를 세부적인 구조 또는 재질을 달리하는 기술에 대한 특허 획득이 가능할 것으로 사료됨

1	기술분류	B. 차체 설계 기술	출원일	2011.08.09 (출원번호: EP2011176914A)	출원국가	독일
출 원 인		DEUT ZENT LUFT&RAUMFAHRT EV	공개일	2012.02.22	공개번호	EP2420425A1
발명의 명칭		Body of a vehicle for rail vehicles				

< 대 표 도 면 >



< 주 요 청 구 항 >

1. The car body (10) has a main segment (12) and end segment (16) narrowing towards an end (22) and cropping out from main segment. The end segment comprises a flow hindering element (30), which is brought into active position form an inactive position. The inactive position allows the external flow of the end segment trouble free and the active position hinders the external flow of the end segment for braking effect.

< 권 리 성 분 석 >

The car body has a main segment and end segment narrowing towards an end and cropping out from main segment, where the end segment comprises a flow hindering element, which is brought into active position form an inactive position, and thus ensures an improved car body.

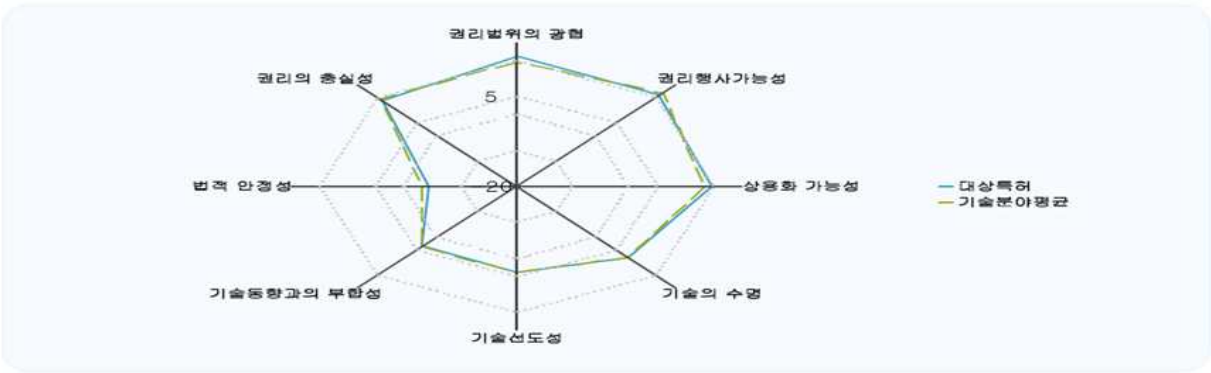
< 회 피 전 략 >

- 독일, 유럽에 출원/등록된 특허로, 다른 지역에 진출하는 데 어려움은 없음
- 철도 차량 차체 설계에 관한 특허로서, 등록을 받은 건이므로, 이를 세부적인 구조 또는 재질을 달리하는 기술에 대한 특허 획득이 가능할 것으로 사료됨

○ 주요 특허 평가 결과(미국특허 사례)

1	기술분류	A. 차체 소재 기술	출원일	2001.08.09 (출원번호: US2001924765A)	출원국가	미국
출 원 인		ALSTOM	공개일	2002.09.24	공개번호	US6454345B1
발명의 명칭		Rail Vehicle Body				

평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(운송)		
			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차
권리성 (40점)	25.2	BBB	39.5	24.7	2.7	39.0	24.7	2.6	36.8	24.7	2.5
기술성 (20점)	15.6	BBB	35.2	15.3	0.9	35.1	15.3	0.9	33.4	15.3	0.9
활용성 (40점)	30.3	BBB	25.5	29.8	1.4	25.0	29.8	1.4	23.3	29.8	1.3
총점 (100점)	71.1	BBB	33.2	69.8	4.0	32.5	69.7	3.8	30.0	69.5	3.6

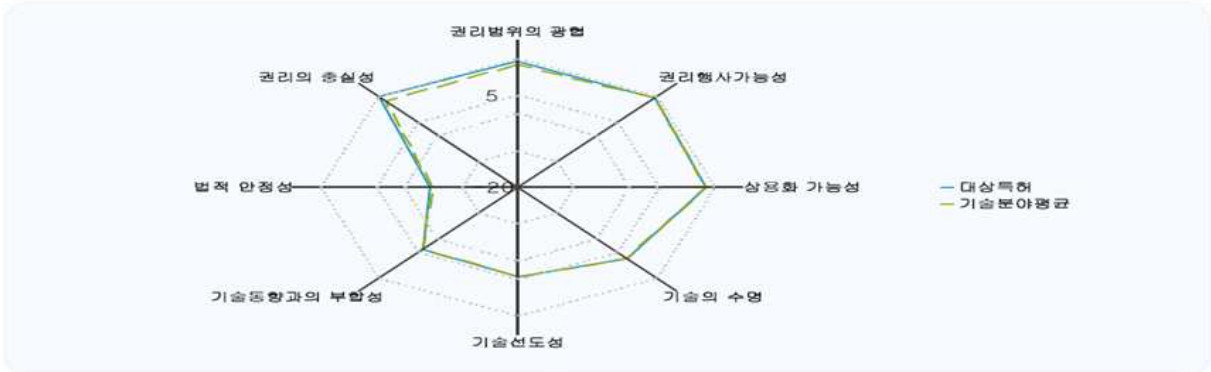


※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치

○ 주요 특허 평가 결과(국내특허 사례)

1	기술분류	A. 차체 소재 기술	출원일	2006.12.22 (출원번호: KR2006132743A)	출원국가	한국
출 원 인		한국철도기술연구원 (김정석)	공개일	2007.10.05	공개번호	KR766361B1
발명의 명칭		BODY OF RAILROAD VEHICLE HAVING STIFFENER FOR INTERIOR MATERIALS AND THE MANUFACTURING METHOD				

평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(운송)		
			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차
권리성 (40점)	24.7	A	14.2	21.7	2.9	15.7	21.8	2.9	10.0	21.4	2.5
기술성 (20점)	15.9	CCC	83.0	16.1	0.3	83.3	16.1	0.3	84.0	16.1	0.3
활용성 (40점)	28.2	BBB	37.1	27.7	1.2	43.1	27.9	1.1	46.0	28.0	1.0
총점 (100점)	68.8	A	16.4	65.5	3.4	18.7	65.9	3.4	12.2	65.5	2.9



※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치

* 특허청 발명진흥회 특허분석평가시스템(SMART3)에 의한 결과로서, 국내 등록특허間 상대평가에 의한 결과임

2. 논문 동향 분석

○ 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널

- 철도 차량 차체 기술의 연도별 논문 발표건수는 1990년대 이후 총 60건으로, 매년 2~3건씩 발표 되고 있음
- 주요 등재저널은 ELSEVIER SCI, PROFESSIONAL ENG, PUBLISHING LTD 등 이며, 한국은 KOREAN SOC PRECISION ENG 등의 저널을 통해 논문이 발표되고 있음

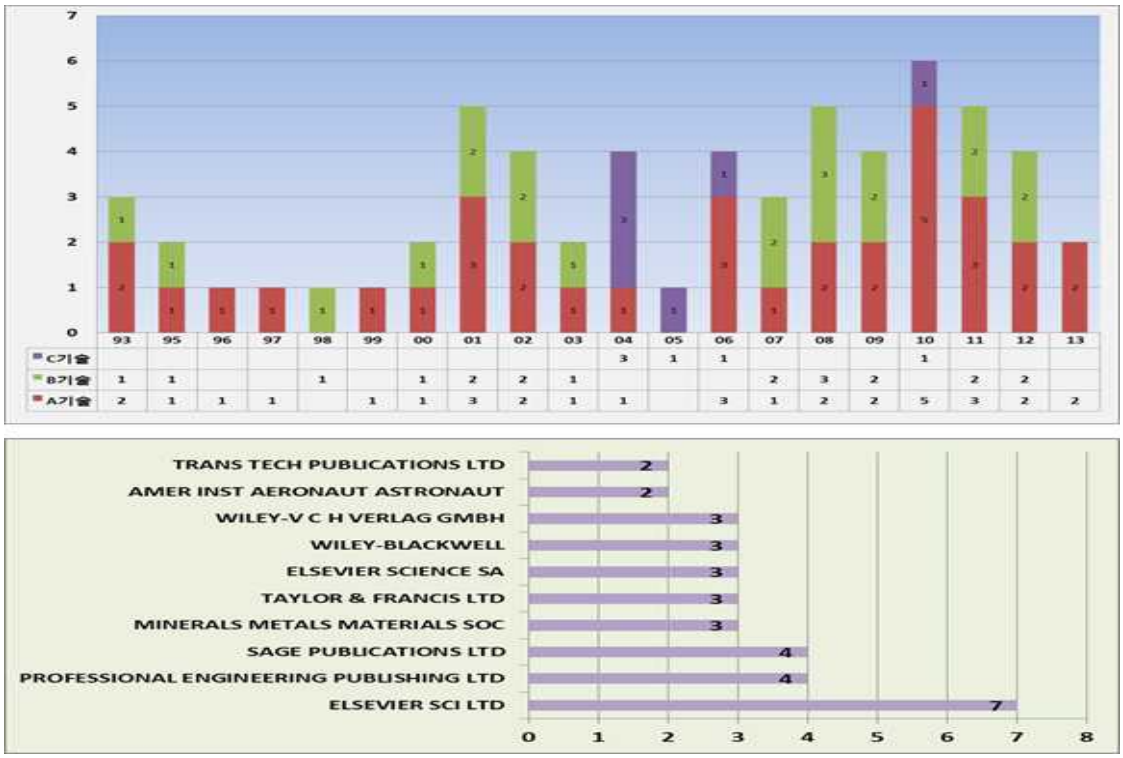


그림 3.2.14 논문발표 추이 및 주요 등재 저널.

○ 논문발표 현황분석(국가, 기관, 저자)

- 논문발표는 주로 미국과 유럽의 저널(64%)을 통해 발표 되고 있음
- 철도차량 차체 기술 관련 논문의 전체적인 규모가 크지 않음에 따라, 최다 저자는 독일 Volkswagen AG의 Friedrich, H 등이 3건을 발표하는 수준임
- 美 Univ Manitoba, 中 Jilin Univ, 한국 교통연구원 등의 기관에서 논문을 발표하고 있음

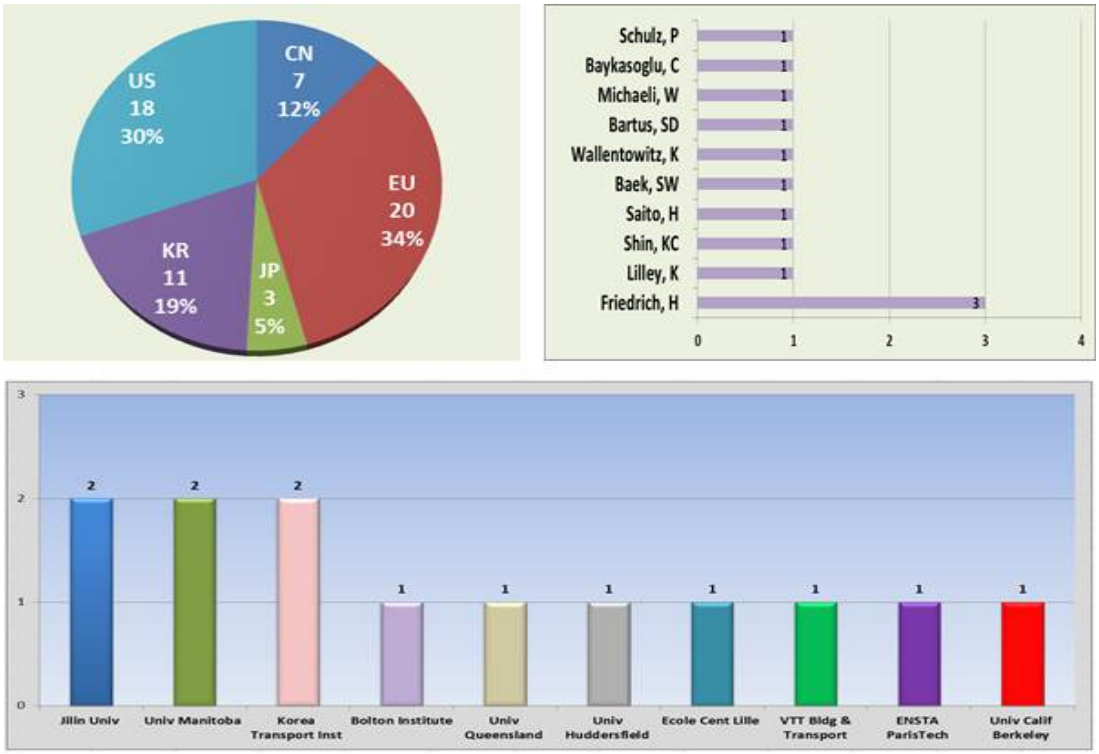


그림 3.2.15 논문 발표 현황 분석.

○ 피인용도 높은 주요 핵심논문

- 피인용도가 높은 주요논문

번호	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
1	Research for a "new age of magnesium" in the automotive industry	ELSEVIER SCIENCE SA	2001	262
2	Current and future use of magnesium in the automobile industry	TRANS TECH PUBLICATIONS LTD	2003	69
3	Progressive failure analysis of composites	SAGE PUBLICATIONS LTD	2008	31
4	ADVANCES IN	EDITIONS	1993	27

	ALUMINUM-ALLOY PRODUCTS FOR STRUCTURAL APPLICATIONS IN TRANSPORTATION	PHYSIQUE		
5	PRISMATIC GRID GENERATION FOR 3-DIMENSIONAL COMPLEX GEOMETRIES	AMER INST AERONAUT ASTRONAUT	1993	25
6	Thermoplastic sandwich structure design and manufacturing for the body panel of mass transit vehicle	ELSEVIER SCI LTD	2007	19
7	Decomposition-based assembly synthesis for structural stiffness	ASME-AMER SOC MECHANICAL ENG	2003	14

- 최근 3년 내 Hot Paper

번호	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
1	Greenhouse Gas Emissions Payback for Lightweighted Vehicles Using Aluminum and High-Strength Steel	WILEY-BLACKWELL	2010	13
2	An approach for modeling long flexible bodies with application to railroad dynamics	SPRINGER	2011	4
3	STUDY ON THE STRAIN HARDENING BEHAVIOR OF Al-Mg-Si-Cu ALLOY SHEET	SCIENCE CHINA PRESS	2010	3

	FOR AUTOMOTIVE BODY			
4	An experimental study on the optimum collapse characteristics of composite structural member under impact loading	KOREAN SOC PRECISION ENG	2011	3
5	Structure-Properties Relations in Friction Stir Spot Welded Low Carbon Steel Sheets for Light Weight Automobile Body	JAPAN INST METALS	2010	2
6	Crashworthiness optimisation of vehicle structures with magnesium alloy parts	TAYLOR &FRANCIS LTD	2012	2
7	Application of Hot Forming High Strength Steel Parts on Car Body in Side Impact	EDITORIAL OFFICE CHINESE JOURNAL MECH ENG	2010	1

3. 국내외 시장 현황 및 전망

○ 특허, 논문 출원·공개 추이를 통한 기술·시장 발전현황

- 자동차, 항공 등 산업 전반에 걸친 차체 경량화 기술은 2000년대 초반을 정점으로 성숙기 단계에 진입함
- 특히, 2000년대 중반 이후 특허출원 대비 해외기술 공개가 증가하면서 다시 차체 경량화 기술의 중요성이 부각됨으로써 신소재, 차체 설계·제작 등 철도차량 전반에 걸친 경량화 기술이 필요해짐



그림 3.2.16 특허출원 및 공개 추이 및 논문발표 추이.

4. 분석결과 종합

○ 특허 동향

- 일본이 최다 출원국가이며, HITACHI, KAWASAKI HEAVY 등의 일본기업들이 이 분야 기술을 선도하고 있는 것으로 나타남. 특히 최다 출원기관인 HITACHI가 원천특허를 많이 보유하고 있는 것으로 추정되며, 이에 대한 선행특허를 분석하여 기술개발을 추진할 필요가 있음

○ 논문 동향

- 대부분의 SCI 논문이 유럽과 미국의 저널을 통해 발표되고 있으며, 특히 피인용도가 높은 논문이 많은 스위스 ELSEVIER SCIENCE SA, TRANS TECH PUBLICATIONS LTD 저널 등에 대해 선행기술 우선 검

○ 시장 동향

- 차량 경량화에 대한 관심증대와 함께, 차체소재 및 차량용 알루미늄 소재 등의 시장이 지속적으로 확대되고 있음. 또한 차체의 구조와 설계방법 혁신을 통한 경량화 기술개발도 계속 확대되고 있음. 글로벌 철도 시장은 계속 성장세 이므로, 철도 차량 경량화를 위한 차체 기술개발을 추진하여 경쟁력을 향상 시킬 필요가 있음

제3절 난연 마그네슘 특허 및 논문동향 분석

1. 분석개요

○ 철도차량의 고속화 및 에너지 소비 고효율화를 위해서는 차체 경량화가 필수적으로 요구되고 있으며, 이에 구조용 금속소재 중 가장 가벼운 마그네슘합금의 적용이 점차 확대될 것으로 예상된다. 그러나 마그네슘합금은 대기 중에서 산소와의 반응성이 매우 커 고온에 노출될 경우 발화 및 연소가 쉽게 일어난다. 따라서 철도차량 운행 중 예상하지 못한 사고에 의해 화재가 발생할 경우 승객의 안전을 확보하기 위하여 난연성이 향상된 마그네슘합금의 적용이 필수적으로 요구된다. 본 보고서에서는 난연성 마그네슘합금과 관련된 국내외 특허 및 논문 동향에 대한 조사·분석을 통해 난연성 마그네슘합금 개발 및 응용과 관련된 기술적 패러다임을 분석함으로써 향후 국내 철도차량에 난연성 마그네슘합금을 적용하기 위한 기술개발전략 수립의 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 국가별/기술별 특허동향분석

○ 특허전문검색엔진인 WIPS를 이용하여 keyword 검색을 통해 난연성 마그네슘합금과 관련된 특허정보를 수집하였다. 표 3-3-1은 keyword 검색에 적용한 단어의 조합을 나타낸 것으로 특허명, 요약, 청구항 등에 이들 단어의 조합을 포함하는 특허 자료를 검색하였으며, 전수검사를 통해 노이즈를 제거하였다.

표 3.3.1 난연성 마그네슘합금 관련 특허 검색을 위한 keyword 조합.

No.	특허명	요약	청구항
1	난연성 + 마그네슘		
2	불연성 + 마그네슘		
3	난연 + 마그네슘		
4	불연 + 마그네슘		
5	마그네슘	난연성 or 불연성	
6	마그네슘	난연 or 불연	
7	마그네슘		난연성 or 불연성
8	마그네슘		난연 or 불연
9	magnesium and combustible		
10	magnesium and flammable		
11	magnesium and fire		
12	magnesium and fireproof		
13	magnesium and flame		
14	magnesium	combustible or flammable or flame	
15	magnesium	fire or fireproof	
16	magnesium		combustible or flammable or flame
17	magnesium		fire or fireproof

○ 그림 3.3.1은 난연성 마그네슘합금과 관련하여 출원된 특허의 시계열 분석결과를 나타낸 것으로 1997년 이후 지속적으로 관련 특허가 출원되고 있음을 알 수 있다. 그림 3.3.2는 난연성 마그네슘합금 관련 특허를 출원한 출원인과 출원건수와의 상관관계를 나타낸 것으로 출원인수가 증가함에 따라 출원건수가 증가하였으며 이는 난연성 마그네슘합금 관련 연구개발이 성장기에 있음을 나타낸다.

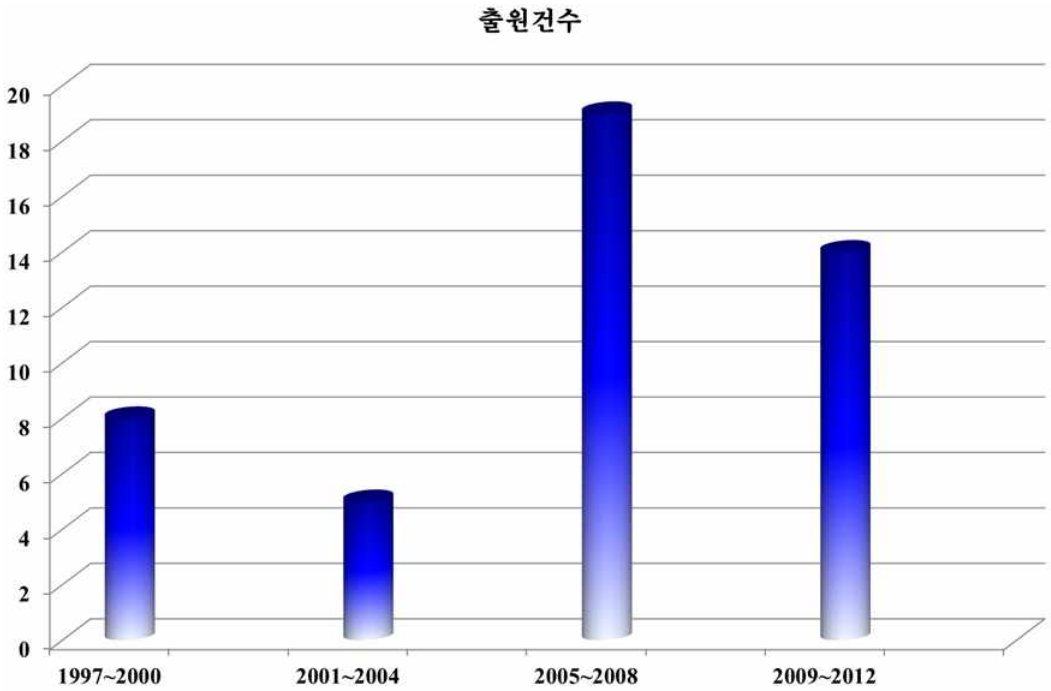


그림 3.3.1 연도별 난연성 마그네슘합금 관련 특허 출원 동향.

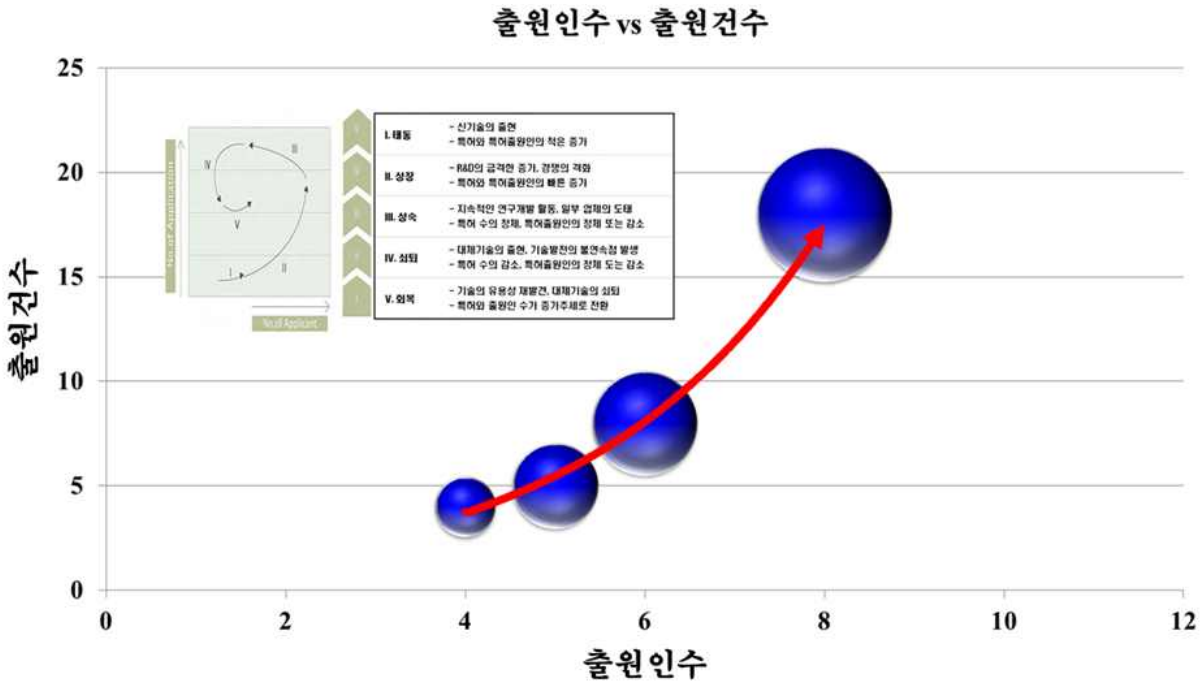


그림 3.3.2 난연성 마그네슘합금 관련 특허의 출원인수와 출원건수와의 상관관계.

○ 그림 3.3.3은 전수검사를 통해 노이즈를 제거한 46건의 특허에 대한 국가별 점유율을 나타낸 것으로 마그네슘 원소재 시장의 85% 이상을 점유하고 있는 중국에 출원된 특허가 20건으로 전체 출원 특허의 44%를 차지하고 있으며 일본과 한국에 출원된 특허가 각각 11건, 6건으로 24%, 13%의 점유율을 나타내고 있다. 주목할 점은 한국, 중국, 일본 등 동북아시아 3개국에 출원된 특허가 총 37건으로 전체 출원 특허의 81%를 점유하고 있다는 점이다. 이는 동북아시아 3개국이 난연성 마그네슘합금 관련 연구개발을 선점하고 있음을 나타낸다. 이러한 기술적 독점 현상은 그림 3.3.4에 나타낸 출원인의 국적별 점유율 분석 결과에서 명확하게 나타난다. 그림 3.3.4에 나타낸 바와 같이 출원인의 국적 확인이 가능한 42건의 특허는 모두 한국, 중국, 일본 국적의 출원인이 출원한 특허이며 특히 한국 국적의 출원인이 19건의 특허를 출원하여 전체 특허의 45%를 점유하고 있다. 이는 난연성 마그네슘합금 관련 연구개발이 한국에서 가장 활발하게 진행되고 있으며 기술 수준도 세계 최상위에 위치하고 있음을 간접적으로 반영하고 있는 것으로 판단된다.

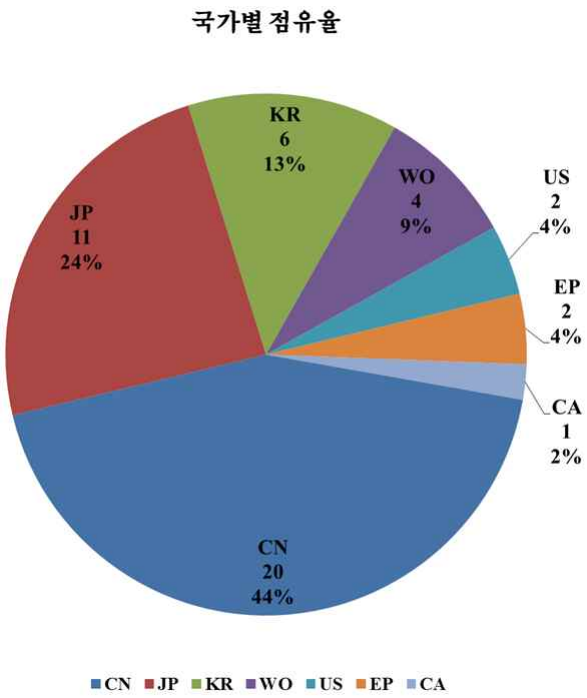


그림 3.3.3 난연성 마그네슘합금 관련 특허의 국가별 점유율.

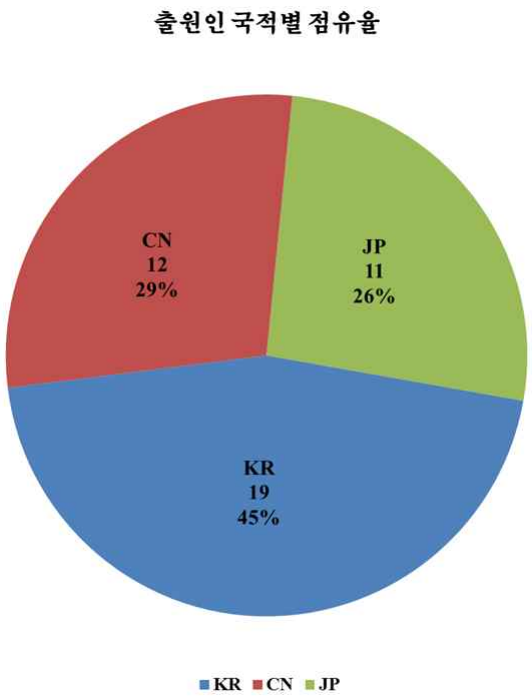


그림 3.3.4 난연성 마그네슘합금 관련 특허의 출원인 국적별 점유율.

○ 표 3.3.2는 난연성 마그네슘합금 관련 특허를 다수 출원한 출원인별 출원건수를 나타낸 것으로 난연성 마그네슘합금 관련 연구를 최초로 수행한 일본 AIST가 총 11건으로 가장 많은 특허를 출원하였으며 한국기계연구원 부설 재료연구소가 9건의 특허를 출원하

여 두 번째로 많은 특허를 출원하였다. 그 뒤를 이어 상해교통대학교와 한국생산기술연구원이 각각 5건, 4건의 특허를 출원하였으며 ART:KK, University of Hebei Technology, Yangzhou Hongfu Aluminum Co. Ltd.가 각각 2건의 특허를 출원하였다.

표 3.3.2 난연성 마그네슘합금 관련 특허 출원인 랭킹.

Ranking	출원인	출원건수
1	AIST	11
2	한국기계연구원 부설 재료연구소	9
3	University of Shanghai Jiaotong	5
4	한국생산기술연구원	4
5	ART:KK	2
5	University of Hebei Technology	2
5	Yangzhou Hongfu Aluminum Co. Ltd.	2

3. 논문 동향 분석

○ 학술논문검색엔진인 scopus를 이용하여 keyword 검색을 통해 난연성 마그네슘합금과 관련된 논문 정보를 수집하였다. 표 3.3.3는 keyword 검색에 적용한 단어의 조합을 나타낸 것으로 논문명에 이들 단어의 조합을 포함하는 논문 자료를 검색하였으며, 전수검사를 통해 노이즈를 제거하였다.

표 3.3.3 난연성 마그네슘합금 관련 논문 검색을 위한 keyword 조합.

No.	Combination of Keyword
1	Mg and Combustible
2	Mg and Flammable
3	Mg and Ignition
4	Mg and Eco
5	Mg and Environment
6	Magnesium and Combustible
7	Magnesium and Flammable
8	Magnesium and Ignition
9	Magnesium and Eco
10	Magnesium and Environment

○ 난연성 마그네슘합금을 개발하기 위한 연구는 1980년대 말 일본 AIST에서 시작되었으며 1990년대 말부터 관련 논문이 발표되기 시작한 이후 평균적으로 매년 5~10편의 논문이 꾸준하게 발표되고 있다. 그림 3.3.5는 scopus를 이용하여 검색한 80편의 난연성 마그네슘합금 관련 논문을 합금 원소 및 주제별로 분류한 것이다. 그림 3.3.5(a)에 나타낸 바와 같이 희토류 금속을 첨가한 합금과 관련된 논문이 총 34편으로 43%의 점유율을 나타내었으며, Ca을 첨가한 합금과 관련된 논문이 25편으로 31%의 점유율을 나타내었다. Ca과 희토류 금속을 동시에 첨가한 합금과 관련된 논문도 9편이 발표되었으며, 그 외에 Be, Sr, CaO, Ca(OH)2를 첨가한 합금과 관련된 논문이 12편 발표되었다. 그림 3.3.5(b)는 주요 issue 별로 논문을 분류한 것으로 합금 원소 첨가에 따른 난연성 변화와 관련된 논문이 58편으로 72%의 점유율을 나타내었으며, 기계적 특성 변화와 관련된 논문이 16편으로 20%의 점유율을 나타내었고, 난연성 마그네슘합금을 이용한 제품 제조공정과 관련된 논문이 6편으로 8%의 점유율을 나타내었다.

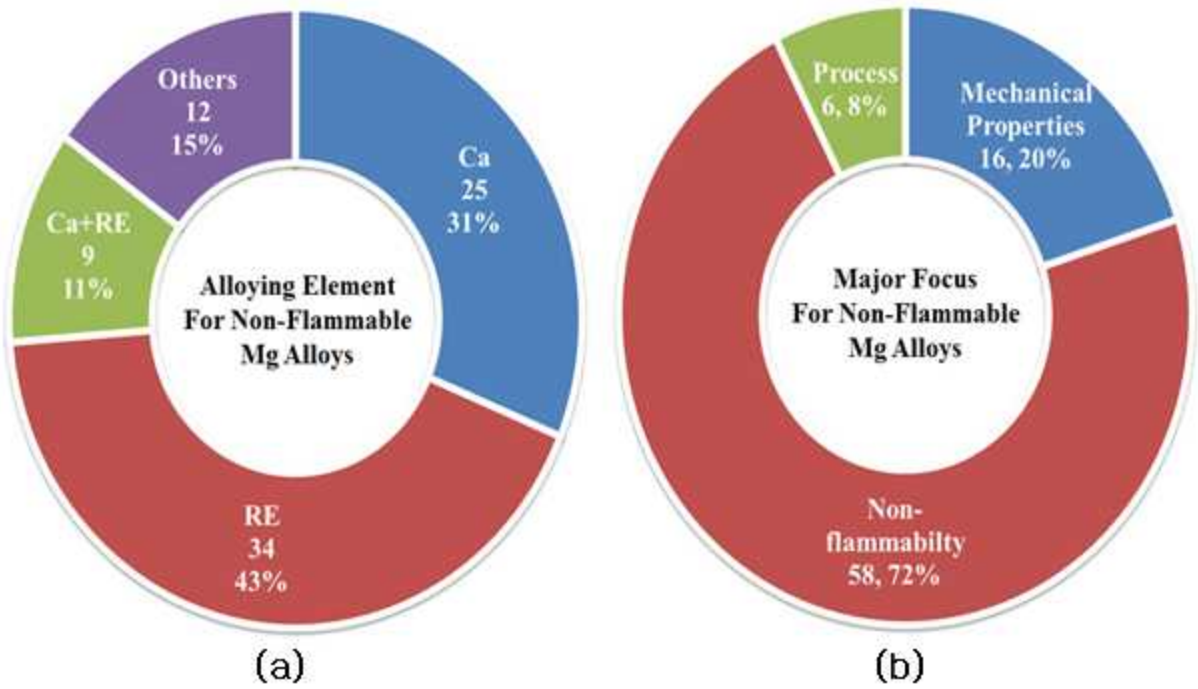


그림 3.3.5 난연성 마그네슘합금 관련 논문 동향; (a) 합금원소별 동향 (b) 주제별 동향.

○ 그림 3.3.5에 나타낸 분석 결과를 토대로 난연성 마그네슘합금 관련 논문에 대한 시계열 분석을 행한 결과 초기에는 Ca를 첨가한 합금 관련 논문이 다수 발표되었으며 2004년 이후 희토류 원소 및 다른 원소를 첨가한 합금과 관련된 논문의 점유율이 점차 증가하였다. 특히 2006년 이후에는 Ca와 희토류 원소를 복합 첨가한 합금과 관련된 논문이 발표되었다. 한편 주제별 분류에 대한 시계열 분석을 행한 결과 초기부터 현재까지 합금 원소 첨가에 따른 난연성 변화 평가 및 기구 규명에 대한 논문이 꾸준하게 발표되고

있으며 2005년 이후로는 난연성 마그네슘합금의 기계적 특성 평가에 관련된 논문이 발표되고 있다. 2008년 이후로는 난연성 마그네슘합금을 이용한 부품 제조공정과 관련하여 용해 및 주조, 성형성 평가 등의 기초연구결과가 발표되고 있다.

○ 난연성 마그네슘합금 관련 논문에 대한 시계열 동향을 보다 세밀하게 분석하면 향후 난연성 마그네슘합금 관련 기술개발 전략의 지향점을 도출할 수 있다. Ca이 마그네슘합금의 난연성을 개선하는데 효과적이라는 연구결과가 발표된 이후 초기에는 Ca 첨가에 따른 난연성 향상 효과를 정량적으로 평가하고 난연성이 향상되는 기구를 규명하기 위한 연구가 일본과 한국을 중심으로 활발하게 진행되었다. 2000년 이후 세계 마그네슘 원소재 시장에서의 점유율을 급속도로 확대한 중국의 경우 선행연구가 진행된 Ca 첨가 합금 대신에 자국 내에 풍부하게 존재하는 희토류 원소를 첨가하여 난연성을 향상시키기 위한 연구를 중점적으로 수행하였다. 그러나 희토류 원소 첨가만으로는 Ca 첨가 합금과 대등한 수준의 난연성을 확보하는 것이 곤란해짐에 따라 Ca와 희토류 원소를 동시에 첨가한 합금의 난연성에 대한 연구가 시작되었다. 한편 선행연구가 진행된 일본과 한국에서는 Ca 첨가시 난연성은 획기적으로 향상되나 기계적 특성이 급격하게 저하되는 문제점을 해결하기 위하여 합금 조성을 최적화하기 위한 연구가 진행되었으며 이와 동시에 난연성 마그네슘합금을 실용화하기 위하여 부품 제조공정과 관련된 기초연구가 진행되었다. 특히 중국의 경우 단순히 난연성을 향상시키기 위하여 Ca와 희토류 원소를 복합 첨가한 반면에 한국에서는 Ca의 일부를 희토류 원소로 대체할 경우 난연성과 기계적 특성이 동시에 향상된다는 획기적인 연구결과를 도출하였으며, 이를 토대로 고특성 난연성 마그네슘합금의 조성 최적화와 관련된 원천기술을 확보하였다. 또한 독자적으로 개발한 고특성 난연성 마그네슘합금에 대해 pilot plant 규모의 실용화 검증을 성공적으로 완수하였다. 이상에서 언급한 바와 같이 난연성 마그네슘합금을 철도차량 부품에 적용하기 위해서는 난연성 및 제반 특성이 동시에 향상되어야 하며 부품의 요구특성을 고려한 부품제조공정 개발 및 최적화가 필수적으로 요구된다.

제 4 장 기술 수요 및 예측

제1절 기술 수요 및 예측

1. 기술수요조사 및 결과

(1) 기술수요조사의 개요

□ **기술수요조사의 목적**

◦ 동 기획연구의 기술수요조사 목적은 미래에 국가 및 기업에서 필요성이 높을 것으로 예상되는 기술을 세부기술과제 수준에서 도출하는 것임

- 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당함

□ **기술수요조사 절차**

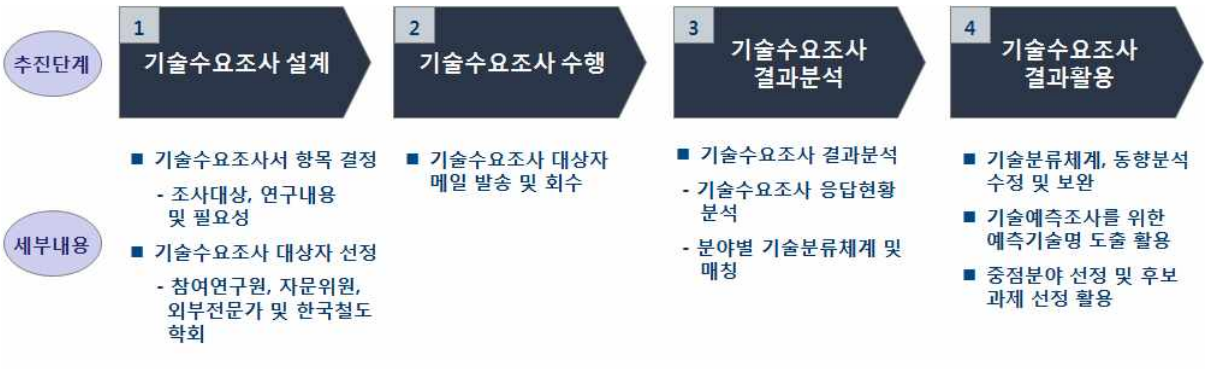


그림 4.1.1 기술수요조사 프로세스

□ **기술수요조사 활용**

◦ 기술수요조사결과를 활용한 기술분류체계, 동향 및 환경분석 보완

◦ 기술예측조사를 위한 예측기술명 도출에 활용

◦ 향후 중점분야 선정 및 수행과제 선정에 활용

◦ 중점분야별 후보기술 발굴의 자료로 활용

□ **기술수요조사 발송 및 응답 결과**

◦ 기술수요조사 대상은 기획 참여연구원, 자문위원, 외부전문가와 한국철도학회 회원을 대상으로 메일 발송을 통해 조사함

표 4.1.1 기술수요조사 내용 및 응답 결과

구분	내 용
조사기간	- 2013년 6월 3일(월) ~ 6월 17일(월)
조사대상	- 조사대상 : 참여연구원, 자문위원, 외부전문가 및 한국철도학회
조사방법	- 이메일을 통한 설문조사
응답자 수	- 33명 응답 (기업 15명, 연구기관 16명, 대학 1명, 기타(협회) 1명)
기술수요조사 응답 건수	- 대차 : 21건 - 차체 : 24건 - 의장/기장 : 23건

(2) 기술수요조사 결과 분석

□ 기술수요조사 결과 분류

◦ 회신된 기술수요조사서를 중점분야별/연구수행기관별로 조사 응답 현황을 분석함

표 4.1.2 중점분야별/연구수행기관별 기술수요조사 결과

구분		중점분야			계
		전동차용 대차	경량 차체	의장/기장	
연구수행기관	기업	9	11	11	31
	대학	-	2	-	2
	연구기관	12	9	11	32
	기타(협회)	-	2	1	3
	계	21	24	23	68

◦ 연구수행기관별로는 연구기관(47%), 연구기관(46%)의 기술수요조사 응답이 가장 높음

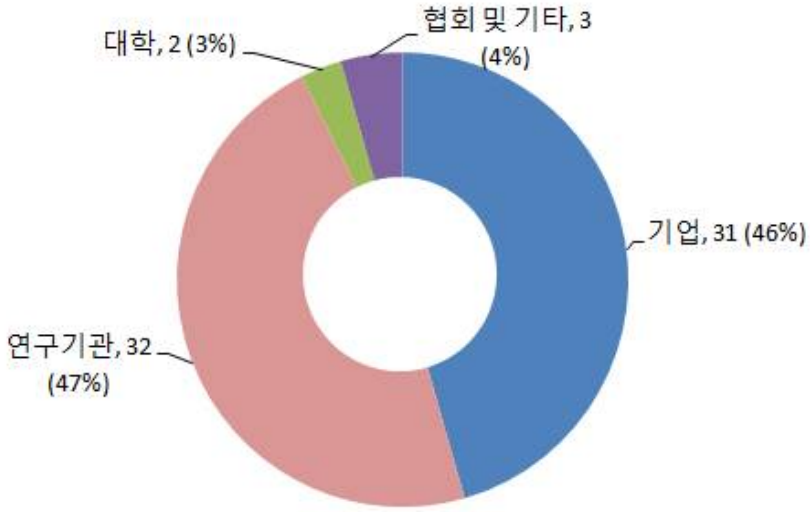


그림 4.1.2 기관별 기술수요조사 제안과제 결과

◦ 중점분야별 기술수요조사는 경량 차체(35%), 의장/기장(34%), 전동차용 대차(31%) 순으로 응답함

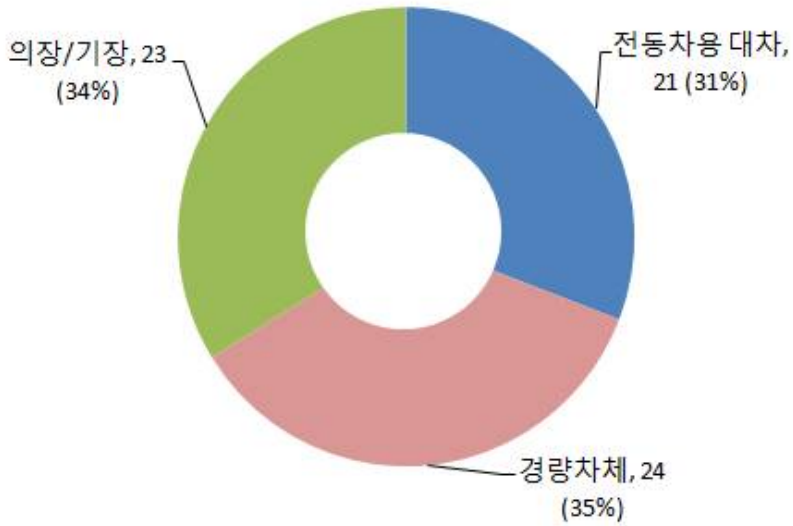


그림 4.1.3 중점분야별 기술수요조사 제안과제 결과

◦ 대분류(중점분야) 기술분류체계 내에 기술수요조사 제안과제명을 매칭함

- 전동차용 대차 중점분야의 기술분류체계 내의 기술수요조사 제안과제명 매칭 결과는 다음과 같음

표 4.1.3 전동차용 대차 중점분야별 기술분류체계 기술수요조사 제안과제명 매칭

대분류 (중점분야)	중분류	소분류	기술수요조사 제안과제명
전동차용 대차	대차 경량 소재 기술	기존 용접강	-
		복합소재	복합소재 적용 기술
			선로친화형 복합소재 대차 기술 개발
			복합소재적용을 통한 철도차량 소재 경량화 기술 개발
			첨단소재를 활용한 철도 차량 및 부품 경량화 기술개발
		알루미늄	도시철도차량 경량화를 위한 알루미늄 합금 대차 개발
		고장력강	-
	차량 경량화를 위한 대차 형식	기존 볼스타리스 대차	-
		인보드(inboard) 대차	중량저감을 위한 인보드(inboard) 대차 개발
			저에너지 저마모 인보드형 전동차 대차기술 개발
			강제조향(Forced-steering)방식 인보드(inboard) 대차 기술개발
			인보드형 대차기술 개발
		관절대차	컨테이너 화물운송을 이단화하기 위한 대차기술 개발
	경량 대차 설계기술	진동저감형 현가장치 설계 기술	-
		대차 구조 최적설계 기술	탄소섬유가 적용 내륜을 갖는 외륜부 차륜의 최적설계 기술 개발
		경량화에 따른 점착성능 개선 기술	점착성능 개선 기술
			경량 철도차량 최적 제어기술 개발
	대차 부품 경량화 기술	중공차축	재질과 형상 변경으로 대차 부품 경량화 실현
			중공차축 개발
		알루미늄 합금 제동 디스크	-
		경량 베어링	-
		경량 대차틀	대차 경량화를 위한 복합재 VARI 성형 기술 개발
		경량 축상	복합소재 축상 개발
		감속기 경량화	-

	기타	조향장치	강제조향장치(forced steering device)개발
		주전력 변환장치 SiC 제어소자	추진장치 주전력 변환장치 SiC 제어소자 개발
		추진장치 견인전동기	알루미늄 하우징 및 영구자석 견인전동기 설계 기술 개발
		에너지, 탄소배출평가 및 저감관리	탄소배출 저감형 철도차량 경량화 재료 선정평가 및 관리기술 개발

- 경량차체 중점분야의 기술분류체계 내의 기술수요조사 제안과제명 매칭 결과는 다음과 같음

표 4.1.4 경량차체 중점분야별 기술분류체계 기술수요조사 제안과제명 매칭

대분류 (중점분야)	중분류	소분류	기술수요조사 제안과제명
경량차체	차체 소재 기술	고강도 알루미늄 차체	차체 경량화를 위한 첨단 고강도 알루미늄 합금 적용 기술개발
			① (2015~2018) 알루미늄 샌드위치 차체의 최적 경량코어 설계 ② (2020~) 다기능성을 고려한 트러스 코어 샌드위치 차체 적용
		하이브리드 차체 (알루미늄+복합재 또는 마그네슘)	차체 경량화를 위한 Mg-Al 복합 honeycomb board 개발
			첨단소재를 활용한 철도 차량 및 부품 경량화 기술개발
		복합소재 차체	하이브리드 차체 설계 및 제작기술 개발
			충격흡수기능 일체형 복합재 전두부 개발
			첨단 복합소재를 적용한 roof 경량화 기술개발
		마그네슘 차체	차체 경량화를 위한 첨단 난연 마그네슘 합금 적용 기술개발
	차체 설계 기술	모듈화 설계 기술	제작성, 유지보수성 및 운용비용을 고려한 하이브리드 철도차량 구조물의 설계(안) 제시
		최신 위상 최적설계 기술	-
		경량화에 따른 공진방지 기술	차체 경량화에 따른 차체 공력 진동 현상 저감 기술 개발
	차체 가공 기술	고강도 알루미늄 압출	경량전철에 적용되는 알루미늄 차체 제작기술

			고강도 AL 압출 기술
		경제적인 복합재 성형기술	철도차량 차체 제작을 위한 복합재 신성형 기술 개발
		마그네슘 주조 및 압출 기술	차체 및 실내 의장용 경량 마그네슘 압출 chassis 개발
			차체경량화를 위 한 마그네슘 주조및 압출 기술개발
	차체 조립 기술	경량 고신뢰성 용접기술 (FSW)	경량 고신뢰성 도시철도용 알루미늄 차체 FSW 용접 기술 개발
		경량 볼팅 및 리벳팅 기술	-
		하이브리드 체결기술 (용접+볼팅, 본딩+볼팅 등)	알루미늄 허니컴 판넬을 이용한 차체 제작 기술
			하이브리드 차체 체결 구조 기술 개발
			수치적 해석을 통한 하이브리드 철도차량의 부분별 적용소재 선정
	기타	에어콘	에어컨 경량화
		출입문	출입문 경량화
		전두부	충돌흡수기능 일체형 전두부 기술 개발

- 의장/기장 중점분야의 기술분류체계 내의 기술수요조사 제안과제명 매칭 결과는 다음과 같음

표 4.1.5 의장/기장 중점분야별 기술분류체계 기술수요조사 제안과제명 매칭

대분류 (중점분야)	중분류	소분류	기술수요조사 제안과제명
의장	객실설비	의자	난연 마그네슘을 이용한 의자 경량부품의 「난연 규격」 개발
			난연 마그네슘을 이용한 의자 경량부품의 「접합 기술」 개발
			난연 마그네슘을 이용한 의자 경량부품의 「열간 프레스 성형기술」 개발
			천연장섬유 사출공법을 활용한 의자 프레임 개발
			난연성 마그네슘합금 최적화 및 요소기술 개발
		출입문	첨단소재를 활용한 출입문 경량화 연구
			첨단소재를 활용한 철도 차량 및 부품 경량화 기술개발
			난연성 마그네슘합금 최적화 및 요소기술 개발
		내장재	도시철도차량의 내장재 경량 모듈화 개발
			철도차량 경량화를 위한 도시철도용 마그네슘 합금 적용 내장재 개발
			복합소재를 적용한 철도차량 내장제 연구 개발
			주조 및 주단조를 통한 선반용 브라켓 개발
			한 복합재 성형기술 개발
		바닥재	철도차량 내장재 적용
		천정팬널	난연성 마그네슘합금 최적화 및 요소기술 개발
기장	상하기기	제동장치 모듈	-
		베터리 박스	-
		SIV박스	-
	옥상기기	집전장치	초경량 친환경 25KV ACPT (계기용변압기)
			첨단소재를 이용한 집전장치 경량화 및 집전성능 향상
기타	기타	-	고효율 리액터(코일) 적용 부품경량화 연구개발
		-	이종 재료간의 접합/합성 방법
		-	알류미늄 차체 경량 최적화/알루미늄 차체 용접 기술 개발(FSW)
		-	난연성 마그네슘합금 최적화 및 요소기술 개발
		-	철도 경량화 기술개발 효과분석 및 우선순위 도출

□ **중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구내용 분류**

◦ 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구내용은 다음과 같음

표 4.1.6 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구개발내용

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
1	전동차용 대차	재질과 형상 변경으로 대차 부품 경량화 실현	▪ 경량화 차륜 소재 제작성 검토 ▪ 차륜이 차량에 미치는 영향 연구 ▪ 성능 확인 Program 개발
2	전동차용 대차	경량화에 따른 점착성능 개선 기술	▪ 철도차량 경량화 시 자중 감소로 점착계수 저하에 따른 점착성능 확보
3	전동차용 대차	복합소재 적용 기술	▪ 철도차량의 경량화 효과 극대화를 위해서는 중량의 최대 비중을 차지하는 대차의 경량화
4	전동차용 대차	탄소섬유가 적용 내륜을 갖는 외륜부 차륜의 최적설계 기술 개발	▪ 내열성 외륜 소재 및 제작 기술 개발 ▪ 내륜의 복합소재 적용을 통한 경량화 달성 ▪ 내륜과 외륜의 최적 체결설계 기술 개발
5	전동차용 대차	도시철도차량 경량화를 위한 알루미늄 합금 대차 개발	▪ 알루미늄 합금 강도를 고려한 적용 가능 부분을 모색해 경량화 기술 개발
6	전동차용 대차	복합소재 축상 개발	▪ 대차의 축상 재질을 복합소재로 변경 시 대차의 중량을 약 280Kg 경감
7	전동차용 대차	중공차축 개발	▪ 대차당 120Kg의 중량 저감
8	전동차용 대차	중량저감을 위한 인보드(inboard) 대차 개발	▪ 대차의 형식을 인보드대차로 변경 시 약 15%-20%의 중량저감
9	전동차용 대차	강제조향장치(forced steering device)개발	▪ 국내 전동차 대차에 강제조향장치 적용 시 차륜에 작용하는 횡압을 적어도 30%이상 저감
10	전동차용 대차	추진장치 주전력 변환장치 SiC 제어소자 연구개발	▪ 주전력원 제어소자로 사용되고 있는 IGBT나 IPM 의 성능을 보완하고 대전류를 보다 자유로이 제어하고 추진모타에 개별로 제어전력을 제공할 수 있는 방법
11	전동차용 대차	알루미늄 하우징 및 영구자석 견인전동기 설계 개발기술연구	▪ 전자식 견인전동기를 영구자석견인전동기로 개발 경량화와 주강재질의 전동기 하우징에서 알루미늄 하우징 적용 기술개발 ▪ 영구자석전동기 설계기술 및 알루미늄 합금재료 전동기 하우징 설계기술
12	전동차용 대차	차량 경량화 및 주행성능 향상을 위한 강제조향(Forced-steering)방식 인보드(inboard)대차 기술개발	▪ 차량의 안정화와 신뢰성을 확보할 수 있는 최적화 된 강제조향(Forced-steering)방식의 인보드(inboard) 대차 시스템 기술의 실용화

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
13	전동차용 대차	탄소배출 저감형 철도차량 경량화 재료 선정평가 및 관리기술 개발	▪ 철도차량 경량화 재료 전주기 CO2 평가 기술 개발 ▪ 철도차량 경량화 재료 친환경성 평가 프로그램 개발 ▪ 철도차량 경량화재료 적용에 따른 탄소배출 감축잠재량 평가 ▪ 철도차량 경량화재료 폐기단계의 탄소저감 가이드라인 개발
14	전동차용 대차	저에너지 저마모 인보드형 전동차 대차기술 개발	▪ 최고운행속도 120km/h이상 인보드형 대차 기술개발 (설계최고속도 160km/h) ▪ 기존 전동차용 대차 대비 30% 경량화 ▪ 인보드형 대차 설계 기술개발 ▪ 인보드형 대차용 저직경 차륜 성능 및 마모 특성 평가 기술 개발 ▪ 인보드형 대차용 경량 감속기 기술개발 ▪ 인보드형 대차용 경량 구동모터 기술개발
15	전동차용 대차	선로친화형 복합소재 대차 기술 개발	▪ 최고운행속도 120km/h이상 복합소재 대차 기술개발 ▪ 중량목표 : 기존 전동차용 대차 대비 20% 이상 경량화 ▪ 복합소재 대차 최적 설계 기술개발 ▪ 복합소재 대차 성형기술 기술개발
16	전동차용 대차	경량 철도차량 최적 제어기술 개발	▪ 축중감소에 따른 차량 추진 및 제동성능 최적화 기술 개발 ▪ 량 슬립제어 기술개발
17	전동차용 대차	복합소재적용을 통한 철도차량 소재 경량화 기술 개발	▪ 다양한 복합소재 (Polymer, Metal, and Ceramic Matrix Composites)의 적용을 통한 철도차량 소재 경량화 기술 개발 ▪ 각 소재별 철도차량 경량화 적합성 검토 ▪ 고분자 복합소재 적용기술 개발 ▪ 금속기반 복합소재 적용기술 개발 ▪ 세라믹기반 복합소재 적용기술 개발 ▪ 각 소재별 경량화 및 실용화 기술 개발
18	전동차용 대차	첨단소재를 활용한 철도 차량 및 부품 경량화 기술개발(대차) 경량 대차 설계기술, 대차 구조 최적설계기술	▪ 알루미늄 소재를 이용하여 제작되고 있는 차체를 복합소재를 적용하여 동일한 내구성능을 지니면서 20% 이상의 경량화 ▪ 복합소재 적용 최적설계 기술 개발
19	전동차용 대차	컨테이너 화물운송을 이단화하기 위한 대차기술 개발	▪ *수요조사 검토단계에서 제외*

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
20	전동차용 대차	대차 경량화를 위한 복합재 VARI 성형 기술 개발	▪ VARI(Vacuum Assisted Resin Infusion) 공정을 이용한 대형 후판 복합재 액상성형 공정 개발 ▪ 유동 물성 정량화 기술, 유동 해석을 통한 공정 최적화 ▪ 복합재 체적율 및 기공율 조절 기술 ▪ 이종 소재 접합/체결 기술
21	전동차용 대차	인보드형 대차기술 개발	▪ Inboard형 대차 설계 기술 개발 ▪ Inboard형 대차를 위한 부품(구동모터, 제동장치 등) 개발 ▪ Inboard형 첨단 복합재틀 개발
22	경량 차체	하이브리드 차체 설계 및 제작기술 개발	▪ 2종 이상의 소재를 활용한 도시철도 경량 차체 개발 ▪ 차량 연결기, 대차 등 주요 강도 부재에 고강도 알루미늄 적용방안 검토 ▪ 차체 주요구조에 고강도 경량 알루미늄을 이용하여 차체 기본구조 설계 ▪ 사이드패널, 루프패널, 엔드패널 등 하중 부담이 적은 부위에 경량 복합 ▪ 소재를 적용한 차체 경량화 ▪ 이종 소재간의 조립기술 개발 (본딩, 볼팅 등) ▪ 차체 강도(강성) 평가 기술개발 및 차체 안전성 확보
23	경량 차체	고강도 알루미늄 압출기술	▪ 경량전철에서 주로 사용하는 알루미늄 차체에 대한 제작기술 확보
24	경량 차체	알루미늄 허니컴 판넬을 이용한 차체 제작 기술	▪ 알루미늄 골조를 구성한 후 UNDER를 제외한 SIDE, END, ROOF부분에 대해서 알루미늄 허니컴 판넬을 알루미늄 골조에 용접하는 구조를 적용하여 경량 차체 제작 ▪ 용접이 가능한 구조 설계 기술 개발, 제작기술 개발, 강도평가 방법 개발
25	경량 차체	차체경량화를 위한 마그네슘 주조및 압출기술개발	▪ 철도 차량의 경량화로 철도운영기관의 경제적 효과 및 유지보수 절감을 위한 연구로서 안전성 검증이 덜한 구성부품을 우선 개발대상 선정 ▪ 철도차량의 무게 구성비중 24%를 차지하는 차체의 무게를 감소 함으로서 효과도 극대화하고, 안전성 검증도 어렵지 않게 진행 할수 있을것으로 판단함 ▪ 전동차 무게를 5% 경량시 4.3%의 에너지 절감효과, 18억/년 비용절감 효과를 실현 가능 ▪ 동일한 강도를 유지하면서 경량효과가 큰 하이브리드 또는 복합소재 등을 선택하여 연구개발진행
26	경량 차체	경량 고신뢰성 도시철도용 알루미늄 차체 FSW 용접 기술 개발	▪ MIG용접과 같은 기존 용접 기술보다 접합강도와 작업 시간을 단축할 수 있는 FSW를 적용한 기술 개발

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
27	경량 차체	하이브리드 차체 체결 구조 기술 개발	▪ 지붕골조, 단부 골조, 전두부 골조의 차체 체결 구조 기술 개발 ▪ 내측 골조 경량 복합 소재 개발 및 기존 소재(AL, STS)와 접합 체결 구조 기술 개발
28	경량 차체	고강도 AL 압출 기술	▪ 현재 국내 철도 차량에 사용중인 A6005A 의 재질 이외의 고강도 AL 압출 소재에 대한 연구
29	경량 차체	에어컨 경량화	▪ 수요조사 검토단계에서 제외
30	경량 차체	출입문 경량화	▪ 수요조사 검토단계에서 제외
31	경량 차체	차체 및 실내 의장용 경량 마그네슘 압출 chassis 개발	▪ 압출에 주로 사용되는 AZ31 마그네슘 합금을 이용하여 다양한 단면형태의 마그네슘 압출재 제조기술을 개발하고 지속 개발을 통해 추후에는 AZ80, ZK60 등 고강도 마그네슘 압출소재를 이용한 Chassis 제품 개발하고자 함
32	경량 차체	차체 경량화를 위한 Mg-Al 복합 honeycomb board 개발	▪ Mg 판재와 Al core cell의 접합기술 ▪ 적용 부품 확대를 위한 대면적 honeycomb board 제작 기술 ▪ 부식 및 내dent성 확보를 위한 표면처리 기술 확보 ▪ 타 구조물과의 결함시 이종소재 접촉으로 인한 갈바닉 부식 방지 기술 ▪ 적용 대상 제품에 적합한 Mg 판재 두께 및 Al core cell 크기에 따른 압축 강도, Feeling 강도 조사 등 ▪ 요구특성 확보를 위한 시험평가 및 신뢰성 검사
33	경량 차체	수치적 해석을 통한 하이브리드 철도차량의 부분별 적용소재 선정	▪ 위상최적화를 통한 철도차량 부분별 적용재료 선정 ▪ 경량화 철도차량의 구조 및 충돌 안정성 검증
34	경량 차체	제작성, 유지보수성 및 운용비용을 고려한 하이브리드 철도차량 구조물의 설계(안) 제시	▪ 하이브리드 철도차량 구조물의 제작성 검토 ▪ 하이브리드 철도차량 구조물의 유지보수성 검토
35	경량 차체	첨단 복합소재를 적용한 roof 경량화 기술개발	▪ 기존 알루미늄 압출차체 대비 15%이상 경량화 가능한 기술개발 ▪ 첨단 복합소재 적용 경량 roof 기술 개발 ▪ 인퓨전 기법을 적용한 복합소재 roof 제작기술 개발
36	경량 차체	차체 경량화를 위한 첨단 고강도 알루미늄 합금 적용 기술개발	▪ 첨단 고강도 알루미늄 합금 압출기술 개발 ▪ 첨단 고강도 알루미늄 합금 용접기술 개발 ▪ 첨단 고강도 알루미늄 합금 언더프레임 적용기술 개발

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
37	경량 차체	차체 경량화를 위한 첨단 난연 마그네슘 합금 적용 기술개발	▪ 난연 마그네슘 합금 철도차량 적용을 위한 성형기술 개발 ▪ 난연 마그네슘 합금 철도차량 내장재 적용 기술 개발 ▪ 난연 마그네슘 합금 용접성 향상 기술개발
38	경량 차체	충돌흡수기능 일체형 전두부 기술 개발	▪ 충돌에너지 흡수형 전두부 모듈화 설계 기술 개발 ▪ 충돌에너지 흡수형 전두부 신공정 기술 개발 ▪ 충돌에너지 흡수형 전두부용 경량 에너지 흡수장치 기술 개발
39	경량 차체	① (2015~2018)알루미늄 샌드위치 차체의 최적 경량코어 설계 ② (2020~) 다기능성을 고려한 트러스 코어 샌드위치 차체 적용	▪ (2015~2018) 다기능성면에서 유리한 트러스 코어 샌드위치 차체 적용 연구 ▪ (2020~) 열전달부품들을 차체가 수행함으로서 HVAC의 부품의 개념 연구
40	경량 차체	첨단소재를 활용한 철도 차량 및 부품 경량화 기술개발(차체) 차체 소재 기술, 하이브리드 차체(알루미늄+복합재)	▪ 수요조사 검토단계에서 제외
41	경량 차체	모듈형 복합소재 구조물 개발 및 접합기술	▪ 대형 차체의 복합소재 적용을 위한 모듈형 복합소재 구조물 설계/성형 기술 및 접합 기술 개발 ▪ 모듈형 부품을 접합함으로써 생산 공정 단순화 및 생산비용 절감 가능 ▪ 일체형 차체 대비 기계적 물성 동등 수준
42	경량 차체	차체 경량화에 따른 차체 공력 진동 현상 저감 기술 개발	▪ 차체 경량화 및 고속화에 따른 공력 진동 증가 현상 연구 ▪ 차체 갱웨이 및 후미부 공력 간섭에 의한 공력 진동 저감 기술 개발 ▪ 차체 상부 및 바닥면 공력 저항 저감 설계 기술 개발 ▪ 차체 경량화에 따른 차체 공력 진동 저감 설계 기술 개발
43	경량 차체	철도차량 차체 제작을 위한 복합재 신성형 기술 개발	▪ 내장재용 난연성 및 고성형성 수지 개발: 저점도, 난연성, 저원가 등 ▪ 디자인 만족도 향상을 위한 복잡한 형상의 일체형 내장부품 (의자 등)의 복합재 액상성형기술 개발
44	경량 차체	충격흡수기능 일체형 복합재 전두부 개발	▪ Inboard형 대차 설계 기술 개발 ▪ Inboard형 대차를 위한 부품(구동모터, 제동장치 등) 개발 ▪ Inboard형 첨단 복합재틀 개발

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
45	경량 차체	하이브리드 경량 차체기술 개발	▪ 차체 경량화를 위한 구조 최적 설계 기술 개발 ▪ 차체구조의 모듈화 설계 기술 개발 ▪ 이종 소재간 하이브리드 체결기술 개발
46	의장/기장	도시철도차량의 내장재 경량 모듈화 개발	▪ 사이드패널, 중천정 등의 경량 모듈화 설계 기술개발 ▪ 작업공정 단축 및 경량화 설계 ▪ 중천정 에어덕트 등 중량부품의 경량화 기술 개발 ▪ 복합소재의 경량화 적용방안 및 제작 공법개발
47	의장/기장	난연 마그네슘을 이용한 의자 경량부품의 「열간 프레스 성형기술」 개발	▪ 마그네슘 프레스 성형품을 가공하는 열간 프레스 성형기술을 안정화하고, 마그네슘의 성형 특성을 연구하여 부품 설계표준안을 획득
48	의장/기장	난연 마그네슘을 이용한 의자 경량부품의 「접합 기술」 개발	▪ 마그네슘 동종 간의 용접 및 이종 간의 용접 기술을 연구 ▪ 부품이 적용되는 구조 특성을 고려한 접착제, 리벳팅, 클린칭 등 마그네슘 소재에 대한 다양한 접합 기술의 성능 및 내구성, 생산성 등을 연구 개발 ▪ 접합기술에 따른 설계조건 최적화 연구
49	의장/기장	난연 마그네슘을 이용한 의자 경량부품의 「난연 규격」 개발	▪ 자에 친환경적/초경량화 소재인 마그네슘의 철도차량용으로 안전한 법적 근거하에 사용할 수 있는 근거 마련
50	의장/기장	첨단소재를 활용한 출입문 경량화 연구	▪ 량당 출입문이 8개, 16개의 문짝으로 구성되어 10량 인 경우 kg(ton)을 차지 ▪ 상시 가동하는 문으로 경량화로 인한 절감효과와 가동시 소모되는 전력비도 절감가능 ▪ 안전측면도 다른 부품에 비해 상대적으로 검증 가능 ▪ 신소재를 활용한 경량화로 전체 전동차의 무게를 감소가능
51	의장/기장	철도차량 경량화를 위한 도시철도용 마그네슘 합금 적용 내장재 개발	▪ 마그네슘 합금을 적용시켜 중량 감소 효과 및 난연, 불연 문제 해결을 위한 기술 개발
52	의장/기장	고효율 리액터(코일) 적용 부품경량화 연구개발	▪ 주파 필터링이나 리플 샤링 용으로 사용한다면 부피, 용량, 트랜스 효율 면에서 많은 경량화
53	의장/기장	초경량 친환경 25KV ACPT (계기용변압기)	▪ 고압절연기술, 절연재기술, 외부환경 내구성 기술, 전도 및 방열기술 고압센싱 및 신호전달기술
54	의장/기장	이종 재료간의 접합/합성 방법	▪ 이종 재료간의 접합성에서는 변형파괴 등 고려

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
55	의장/기장	알류미늄 차체 경량 최적화/알루미늄 차체 용접기술 개발(FSW)	▪ 압출소재의 두께 및 단부 생략 ▪ FSW 기술개발
56	의장/기장	주조 및 주단조를 통한 선반용 브라켓 개발	▪ 존 철계제품 대비 경량화율 50%이상 ▪ 인장강도 : 220MPa 이상 ▪ 연신율 : 5% 이상 ▪ 내부기공율 : 2%이내
57	의장/기장	철도 경량화 기술개발 효과분석 및 우선순위 도출	▪ *수요조사 검토단계에서 제외*
58	의장/기장	첨단소재를 이용한 집전장치 경량화 및 집전성능 향상	▪ 집전장치 (판토그래프)의 소재를 카본소재로 교체하여 경량화 추진 ▪ 카본소재 판토그래프 성능시험 ▪ 카본소재 판토그래프의 실차적용
59	의장/기장	첨단소재를 활용한 철도차량 및 부품경량화 기술개발(의장/기장) 의장-객실설비-출입문	▪ *수요조사 검토단계에서 제외*
60	의장/기장	첨단소재를 활용한 철도차량 및 부품경량화 기술개발(의장/기장) 기장,상하기기,제동장 치모듈	▪ 최적 설계 및 실소재 적용 기술
61	의장/기장	복합소재를 적용한 철도차량 내장제 연구 개발	▪ 복합소재의 성형 기법과 최적의 설계를 통하여 단시간에 내장재 제작
62	의장/기장	천연장섬유 사출공법을 활용한 의자 프레임 개발	▪ 승객용의자 내부 금속 프레임을 사출공법을 활용한 천연장섬유 복합재로 제조 ▪ 경량화 및 생산 비용 절감 가능 ▪ 사출공정용 천연 장섬유 소재 개발 및 공정 조건 최적화
63	의장/기장	의장-객실설비-의자	▪ 난연성 마그네슘합금의 조성 및 미세조직 제어기술 개발 ▪ 고특성 난연성 마그네슘합금 중간재 제조기술 개발 ▪ 고품위 난연성 마그네슘합금제 부품성형기술 개발 ▪ 난연성 마그네슘합금 및 부품의 특성평가기술 개발

No.	중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
64	의장/기장	의장-객실설비-출입문	▪ 난연성 마그네슘합금의 조성 및 미세조직 제어기술 개발 ▪ 고특성 난연성 마그네슘합금 판재 제조기술 개발 ▪ 고품위 난연성 마그네슘합금제 부품성형기술 개발 ▪ 이종소재 접합기술 개발 ▪ 난연성 마그네슘합금 및 부품의 특성평가기술 개발
65	의장/기장	의장-객실설비-핸드그립 및 선반	▪ 난연성 마그네슘합금의 조성 및 미세조직 제어기술 개발 ▪ 고특성 난연성 마그네슘합금 압출재 제조기술 개발 ▪ 고품위 난연성 마그네슘합금제 부품성형기술 개발 ▪ 난연성 마그네슘합금 및 부품의 특성평가기술 개발
66	의장/기장	의장-객실설비-기타 의장부품	▪ 난연성 마그네슘합금의 조성 및 미세조직 제어기술 개발 ▪ 고특성 난연성 마그네슘합금 압출재 제조기술 개발 ▪ 고품위 난연성 마그네슘합금제 부품성형기술 개발 ▪ 난연성 마그네슘합금 및 부품의 특성평가기술 개발
67	의장/기장	철도차량 내장재 적용을 위한 복합재 성형기술 개발	▪ 내장재용 난연성 및 고성형성 수지 개발: 저점도, 난연성, 저원가 등 ▪ 디자인 만족도 향상을 위한 복잡한 형상의 일체형 내장부품 (의자 등)의 복합재 액상성형기술 개발
68	의장/기장	공기압축기 / 공기탱크 / BOU / 캘리퍼 유니트 경량화	▪ AI합금과 섬유강화 복합소재 적용 기술 개발

2. 기술예측조사

가. 기술예측조사 개요

□ 기술예측조사 목적

◦ 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여 본 기획의 기술개발 추진전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용함

□ 기술예측조사 절차

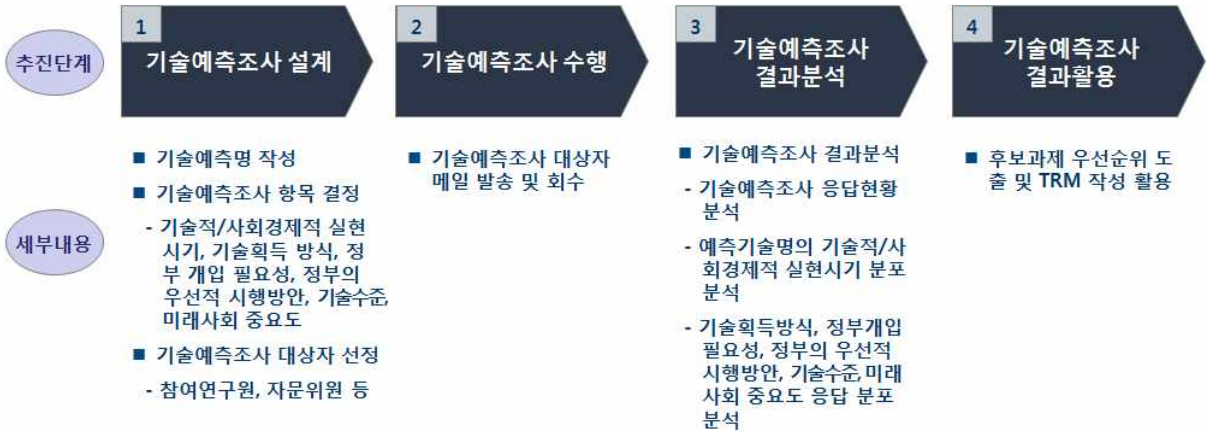


그림 4.1.4 기술예측조사 프로세스

□ 기술예측조사 조사방법

◦ 조사기간

- 1차 조사기간 : 2013. 6. 18 ~ 6.25
- 2차 조사기간 : 2013. 7. 5 ~ 7. 12

◦ 조사대상 : 산학연 관련 전문가

◦ 조사방법 : e-mail 조사

◦ 조사항목

- 기술적 실현시기, 사회/경제적 실현시기, 기술획득 방식, 정부개입 필요성, 기술적 실현을 위한 정부의 우선적 시행해야할 방안, 기술수준, 미래사회에서의 중요도

□ 기술예측조사 조사항목

◦ **'기술적 실현시기'**는 2013년 기준, 해당 예측기술명이 기술적인 문제가 해결되어 기술이 적용된 최초의 시작품 등이 실험실 수준에서 완료되는 예상시점(Single Point Time) 임

◦ **'사회경제적 실현시기'**는 2013년 기준, 해당 예측기술명이 경제성이 확보되어 기술을 적용한

제품 등이 상업화되거나 해당기술이 사회적으로 널리 활용되는 예상시점(Single Point Time) 임

- '기술적 실현시기'에 대한 세계 시기와 국내 시기와의 격차는 기술수준에 대한 격차로 해석할 수 있으며, 이는 해당과제에 대한 추진전략 설정에 활용
- '기술적 실현시기'와 '사회경제적 실현시기'와의 격차는 실용화 능력 혹은 사회적 수용성에 대한 대리지표로 활용할 수 있음

◦ **'기술획득방식'**은 해당 예측기술명의 기술개발을 위한 적합한 연구 주체를 조사함

- 예측기술명에 대해 아래의 4개의 조사 항목 중 적합한 연구 주체를 선택함

표 4.1.7 기술획득방식 조사항목

조사항목		내용
자체개발	민간주도	기술이 사업에 직접 적용될 수 있거나 민간의 역량이 우수하여 민간이 주도하는 것이 적합
	정부주도	기술의 공공성이 강하거나 민간의 역량이 부족하고 기초 단계 연구개발이 필요하여 정부출연 또는 기관을 중심으로 정부가 주도하는 것이 적합
	정부민간주도	정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직
기술도입 및 공동연구		국내 개발 역량이 미흡하거나 해외 우수 기술의 도입을 통하여 비용을 크게 절감

◦ **'정부개입 필요성'**은 해당 예측기술명의 개발과 경쟁력 확보를 위해 정부가 개입할 필요성 정도를 조사함

- "정부개입 필요성"은 5점 척도(매우높음 : 5점, 높음 : 4점, 보통 : 3점, 낮음 : 2점, 매우낮음 : 1점)로 조사함

◦ **'기술적 실현을 위한 정부의 우선적 시행해야할 방안'**은 해당 예측기술명의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 정책을 조사함

- 해당 예측기술명에 대해 아래의 5개의 조사 항목 중 정부가 우선적으로 시행해야할 정책을 선택함

표 4.1.8 기술적 실현을 위한 정부시행방안 조사항목

조사항목	내용
인력양성	해당기술에 인력이 절실히 부족하여 인력양성을 위한 정책적 지원 필요
협력교류활성화	기술의 성격상 다학제적 연구 또는 산학연 및 국제공동연구가 필요하며 협력교류 활성화를 위한 정책적 지원 필요
인프라 구축	기술 개발을 위해 설비투자 등의 인프라구축이 필요
연구비 확대	기술 개발을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 필요
제도 개선	규제 완화/정책 수립/법규 제정/표준화 지원 등 연구개발을 촉진하기 위한 제도의 수립 또는 개선이 필요

◦ **'기술수준'은** 해당 예측기술명의 특정시점에서의 최고기술보유국 대비 우리나라의 기술수준을 조사함

- 해당 예측기술명의 최고기술 보유국과 최고기술 보유국 대비 우리나라 기술수준(%) 작성함

표 4.1.9 기술수준 조사항목

조사항목	내용
최고기술 보유국	해당기술 분야에서 가장 높은 기술수준을 보유한 국가
우리나라 기술수준	현재시점에서 최고기술보유국의 기술수준을 100%라고 했을 때 우리나라의 기술수준

◦ **"미래사회에서의 중요도"**는 해당 예측기술명에 대해 다음의 3가지 항목에 대해 5점 척도로 조사함

- 5점 척도(매우높음 : 5점, 높음 : 4점, 보통 : 3점, 낮음 : 2점, 매우낮음 : 1점)로 조사함

표 4.1.10 미래사회 중요도 조사항목

조사항목	내용
과학기술적 중요도	과학기술적 혁신이나 새로운 지식의 창출 측면의 중요도
사회공공적 중요도	사회문제의 해결 및 공익 측면의 중요도
경제산업적 중요도	경제산업적 부가가치 창출 측면의 중요도

□ **기술예측명은 수요조사 및 국내외 동향조사 결과를 기초로 60개의 기술예측명을 작성함**

◦ 기획연구진은 68건의 기술수요조사서 검토를 통하여 동 기획연구 범위에 포함되지 않는 기술수요조사서는 기술예측조사에서 제외함

- 기술예측조사에서 제외된 기술수요조사서는 6건* 임

**** 중점분야별 기술수요조사 기술개발과제명 및 연구내용 분류 참고***

표 4.1.11 중점분야별 예측기술명

No.	중점분야	예측기술명
A1	전동차용 대차	차륜 재질과 형상을 변경하여 차륜 차축을 경량화하는 기술을 개발한다.
A2		철도차량 경량화시 자중 감소에 따른 점착성능(점차계수 저하 방지)을 확보하는 기술을 개발한다.
A3		기존 대차의 프레임을 경량 복합소재를 적용하여 기존 대비 30% 경량화되고 현가장치 기능을 갖는 초경량 대차프레임 기술을 개발해야 한다.
A4		철도 차량 경량화를 위해 탄소섬유를 적용하여 내륜을 갖는 외륜부 차륜의 최적설계 기술을 개발한다.
A5		대차중량의 16~20%를 차지하는 대차프레임에 고강도 알루미늄합금을 적용하여 도시철도 성능기준을 만족하며, 대차 프레임 중량을 20%이상 경량화 할 수 있는 알루미늄 대차 개발
A6		현재 금속재 주강을 사용한 대차의 축상 1세트 중량 약 520kg을 대차의 축상 재질을 복합소재로 변경하여 대차의 중량을 약 280kg까지 경감하는 기술을 개발한다.
A7		일반 중실차축의 중량은 약 300Kg/EA이나 중공차축을 채용하여 차축중량을 20% 저감하고, 대차당 120Kg의 중량을 저감하는 기술을 개발한다.
A8		아웃보드대차를 인보드대차로 변경하여 15~20% 중량저감이 가능한 기술을 개발한다.
A9		대차에 강제조향장치 적용을 통해 차량의 곡선구간 통과 시 차륜에 작용하는 횡압을 30%이상 저감 기술을 개발한다.
A10		저전력원 제어소자로 사용되고 있는 IGBT나 IPM의 성능을 보완하여 대전류를 보다 자유로이 제어하고 추진모터별로 제어전력을 제공하는 Sic 제어소자 기술을 개발한다.
A11		철도차량 10량 기준, 연구자석 동기전동기 1,600kg과 알루미늄 하우징 1,000kg 경량화를 위한 연구자석전동기 설계기술 및 알루미늄 합금재료 전동기 하우징 설계기술을 개발한다.
A12		대차 프레임, 탄성차륜, 중공차축, 현가장치, 제동장치 및 강제조향장치의 안전성, 신뢰성, 내구성 확보 설계 기술을 개발하고, 강제조향(Forced-steering)방식 인보드(inboard) 대차 시스템을 최적화 및 실용화 기술을 개발한다.
A13		철도차량 생산, 사용 및 폐기단계의 전주기 과정에서 발생하는 탄소배출량 저감을 위한 경량화 재료 선정평가 및 관리기술을 개발한다.
A14		기존 대차 대비 중량을 최대 30% 경량화, 에너지 비용 및 선로마모 저감을 위한 120km/h이상 인보드형 전동차용 대차 기술을 개발한다.
A15		기존 대차 대비 선로 마모성능을 향상 시킬 수 있는 120km/h이상 복합소재 대차기술과 기존 전동차용

No.	중점분야	예측기술명
		대차 대비 20%이상 경량화 기술을 개발한다.
A16		철도차량 경량화시 중량감소로 인해 발생하는 점착력 감소를 최대한 이용하기 위한 차량 최적 제어기술을 개발한다.
A17		대차프레임에 복합소재를 적용하여 내구성을 확보하고, 유연한 구조를 이용하여 판스프링으로 설계함으로써 2차 현가장치로 인한 무게 절감이 가능한 기술을 개발한다.
A18		VARI(Vacuum Assisted Resin Infusion) 공정을 이용하여 Autoclave 공정품 대비 단가 50% 이상 절감 및 공정 대비 70% 이상 공정을 단축하는 대형 후판 복합재 액상성형 공정 기술을 개발한다.
A19		대차의 중량 및 유지보수비용 저감을 위한 Inboard형 대차 설계기술, 부품(구동모터, 제동장치 등) 및 첨단 복합재 기술을 개발한다.
A20		기존 주물 제동디스크를 30% 경량화, 저소음, 내구성 향상이 가능한 알루미늄 복합소재를 적용한 제동디스크를 개발해야 한다.
A21		기존 철도차량용 대차 대비 차축이 1/2개인 single axle 대차기술 개발을 통해 대차무게 50%이상 경량화하는 기술이 개발되어야 한다.
B1	경량 차체	알루미늄, 복합소재, 마그네슘 등 경량소재를 구조체의 하중 특성을 고려, 적절하게 적용하여 도시철도차량 안전기준을 만족하고 기존 차체 중량 대비 30%이상 차체 경량화를 실현할 수 있는 차체설계 및 제작기술 개발
B2		이종소재를 이용한 철도차량 경량화시 복합소재+알루미늄, 알루미늄+마그네슘간의 접합기술 개발이 필요하다.
B3		알루미늄 골조를 구성한 후 UNDER를 제외한 SIDE, END, ROOF부분에 대해서 알루미늄 허니컴 판넬을 알루미늄 골조에 용접하는 구조를 적용하여 경량 차제 제작기술을 개발한다.
B4		철도차량의 무게 구성 비중 24%를 차지하는 차체의 무게를 5% 감소(경량화)가 가능한 마그네슘 주조 및 압출기술을 개발한다.
B5		알루미늄 차체의 언더프레임, 사이드패널, 루프패널 등의 접합에 FSW공법을 적용하여 용접강도를 미그용접대비 10%이상 향상시켜 용접부 두께 및 구조 단순화로 차체 경량화 실현
B6		철도 차체의 기존 재질의 경량화 한계를 극복하기 위해 지붕 골조, 단부 골조, 전두부 골조의 하이브리드 차체 체결 구조 기술과 내측 골조 경량 복합 소재 개발 및 기존 소재(AL, STS) 접합 체결 구조 기술을 개발한다.
B7		고강도 AL 압출 소재 기술 개발을 통해 철도 차량을 경량화 한다.
B8		건축 및 자동차 분야의 벽체, 천장, 충격완화재, 도어 등에 사용되는 honeycomb 구조재를 철도 차량 경량화를 위해 차체나 도어 등에 적용가능한 Mg(sheet) - Al(core cell) honeycomb board를 개발한다. (Mg sheet의 발화온도: 750oC 이상)
B9		알루미늄 차체 압출소재의 두께 및 WEB(단부) 생략 및 알루미늄 차체 용접기술(FSW)을 개발한다.
B10		철도차량 안전기준에 부합하는 고강도 난연성 마그네슘합금 압출재 제조기술을 개발하고 이를 이용하여 Chassis 제품을 개발한다.(기존 기존 알루미늄제품 대비 경량화율 20%이상, 진직도 : ± 1mm 이내 (1,000mm 제품 기준), 인장강도 : 300MPa 이상, 발화온도: 750oC 이상)

No.	중점분야	예측기술명
B11		철도차량 경량화를 위한 기반기술로 철도소재에 DB가 구축되어야 한다.
B12		철도 차제 경량화를 위해 적용 소재별 차체의 제작비용 및 유지보수 비용, 운용비용 등을 고려한 경제적인 하이브리드 철도차량 경량화 설계기술을 개발한다.
B13		철도차량 경량화 및 에너지 저감을 위해 첨단소재를 적용한 roof 경량화 기술 및 기존 알루미늄 압출차체 대비 15%이상 경량화 기술을 개발한다.
B14		차체 경량화를 위해 70계 등의 고강도 알루미늄 합금 적용기술을 개발한다.
B15		철도차량 차체 및 내장재 재료로 적용되는 복합소재 및 알루미늄 합금을 대체하여 차체 경량화를 위한 난연 마그네슘 합금(발화온도 750oC 이상) 적용기술을 개발한다.
B16		단순 커버역할을 수행하는 전두부구조물에 충돌에너지 흡수기능을 추가하여 일체형 모듈화 설계를 통한 중량 30%이상 및 부품수 50%이상 를 감소하는 기술을 개발한다.
B17		차체에 적용되고 있는 corrugated core sandwich structures의 제조 및 최소중량설계의 한계를 극복하고, 열전달, 방진 및 충격흡수 등을 구조물이 수행하여 부품의 수를 줄이는 설계기술을 개발한다.
B18		일체형 차체에 비해 비용 및 시간을 단축할 수 있는 대형 차체의 모듈형 복합소재 구조물 설계/성형 및 접합 기술을 개발한다.
B19		차량의 경량화 및 고속화에 따른 차체 공력 진동 현상, 갱웨이로 인한 유동박리 현상 및 갱웨이 내부의 유동순환 현상을 저감하는 기술을 개발한다.
B20		철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 구조용 부품의 일부(지붕 등)를 복합재를 이용하여 제작하고, 공정 원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.
B21		기존의 스틸 프레임, 복합재 커버 및 충격흡수장치가 따로 구성되어 있는 전두부를 첨단 복합재를 적용한 충격흡수기능 일체형 전두부 기술을 개발한다.(기존의 스틸 프레임이 없이 복합재 구조가 하중을 지지하는 개념).
B22		첨단 복합재료, 고강도 알루미늄 및 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)을 적용하여 경량 차체(복합재 루프&바닥, 난연성 마그네슘 도어, 고강도 알루미늄 차벽) 기술을 개발한다.
C1	의장/기장	실내천정 패널과 에어덕트구조의 단순화, 사이드패널과 실내의자, 손잡이 등을 일체화한 모듈개발로 부품간의 체결구조를 최소화 하고, 복합소재 라미네이트 패널 등 경량구조 및 이에 적합한 성형공법 개발로 기존 내장재 대비 약 20%이상의 경량화 실현
C2		의자에 속하는 프레스 부속 부품을 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)으로 변경하여 30~40% 중량절감을 위해 열간 프레스 성형기술을 안정화하고, 부품 설계 표준안을 획득하는 기술을 개발한다.
C3		발화온도 750oC 이상의 난연 마그네슘합금을 이용한 의자 경량부품 개발을 위해 마그네슘 동종 및 이종간의 용접기술을 개발하고, 마그네슘 소재에 대한 다양한 접합 기술의 성능 및 내구성, 생산성 향상을 위한 기술을 개발한다.
C4		경량전철 적용되는 알루미늄 차체의 포켓스라이딩도어, 객실기기 취부 안전성 및 품질 확보를 위한 고강도 알루미늄 압출기술을 개발한다.

No.	중점분야	예측기술명
C5		신소재를 적용한 출입문 경량화 기술을 개발하고, 자기부상열차나 트램 등에 적용한다.
C6		의자프레임, 실내선반, 각종 브라켓 등 현재 스틸 및 알루미늄 재질을 난연마그네슘으로 대체하여 부품별 20%이상 중량 절감
C7		일반적으로 리엑터(코일) 규소강판은 약 3%의 규소를 함유하는 것을 약 6% 증가시킴으로써 고효율 리엑터(코일)의 효율 3%, 부피 50%, 중량 70% 감소시키는 기술을 개발한다.
C8		기존ACPT(외형가로1400mm 세로550mm 높이700 중량120Kg 사기애자및절연오일방식)대비중량50%감소(경량화),높이40%감소,부피약50%감소하는25KVACPT기술을개발한다.
C9		집전장치(판토그래프) 소재를 카본소재 교체하여 30% 경량화를 달성하고 집전성능을 계측하는 기술을 개발한다.
C10		복합소재의 성형 기법과 최적의 설계를 통하여 내장재 제작기술을 개발한다.
C11		승객용의자 내부 금속 프레임을 사출공법을 활용하여 금속프레임 대비 기계적 물성 90% 수준 달성을 위한 천연장섬유 복합재료 제조, 소재 개발 및 공정 조건 최적화 기술을 개발한다.
C12		철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 승객용 의자에 적용하는 기술을 개발한다.
C13		철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 출입문 적용하는 기술을 개발한다.
C14		철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 핸드그립 및 선반에 적용하는 기술을 개발한다.
C15		철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 공조 시스템 커버 및 T-slot 등에 적용하는 기술을 개발한다.
C16		철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 내장재(의자, 바닥재 등)를 복합재를 이용하여 곡면이 포함된 일체형 부품, 공정원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.
C17		AI합금 및 섬유강화 복합소재를 적용하여 공기압축기 / 공기탱크 / BOU / 캘리퍼 유니트의 경량화 기술을 개발한다.

나. 기술예측조사 결과

(1) 기술적/사회경제적 실현시기

□ 기술예측조사결과 예측기술의 기술적 실현이 이루어진 후 사회경제적으로 실현되기까지는 약 4년 이상 소요되는 것으로 나타남

◦ 일부 예측기술의 경우 이미 기술적/사회경제적으로 실현된 것으로 나타남

◦ 세계 기술적 실현시기는 2012년(30%), 국내는 2020년(35%)에 집중되어 있음

◦ 세계 및 국내의 사회경제적 실현시기는 대부분 2024년 이후에 집중되어 있음

표 4.1.12 기술적/사회경제적 실현시기 분포결과

구분			2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024 이상	합계
기술적 실현시기	세계	과제수	*18*	1	0	3	1	*17*	3	0	9	2	3	3	0	60
		비중(%)	*30%*	2%	0%	5%	2%	*28%*	5%	0%	15%	3%	5%	5%	0%	100%
	국내	과제수	5	0	1	1	0	2	6	5	*21*	9	2	4	4	60
		비중(%)	8%	0%	2%	2%	0%	3%	10%	8%	*35%*	15%	3%	7%	7%	100%
사회/경제적 실현시기	세계	과제수	9	0	0	4	0	4	3	0	8	5	4	7	*16*	60
		비중(%)	15%	0%	0%	7%	0%	7%	5%	0%	13%	8%	7%	12%	*27%*	100%
	국내	과제수	0	0	0	0	0	0	4	0	8	1	8	10	*29*	60
		비중(%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	13%	2%	13%	17%	*48%*	100%

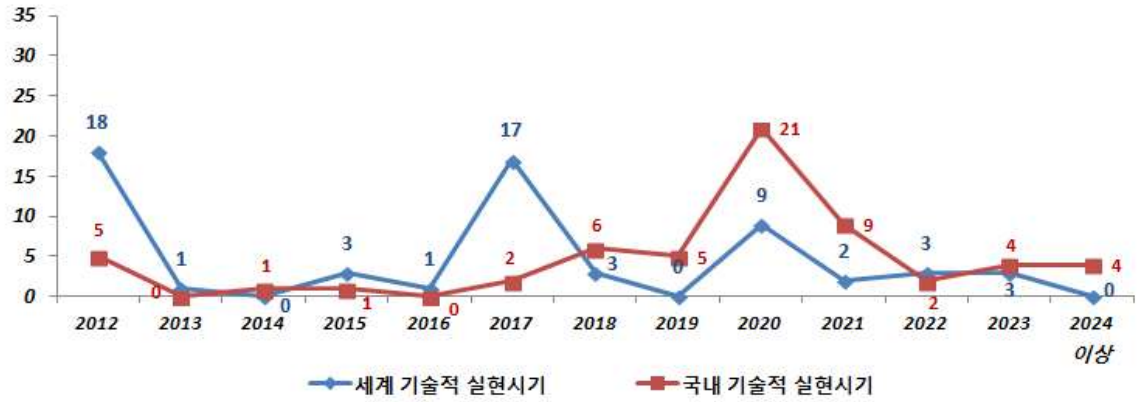


그림 4.1.5 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포

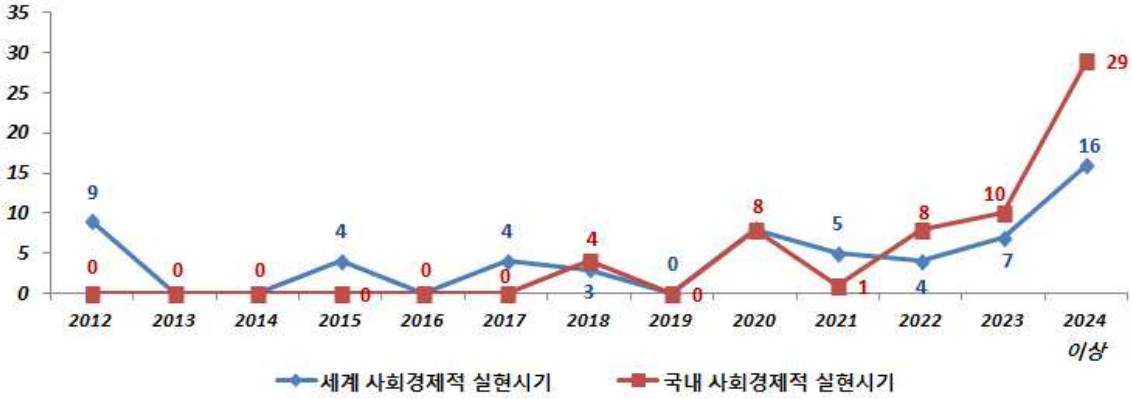


그림 4.1.6 예측기술명 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포

□ **전동차용 대차 분야의 세계 및 국내 기술적 실현시기는 각 기술에 따라 다양하게 나타나고 있으며 대체적으로 2018년 이후 사회경제적 실현이 될 것으로 예측됨**

◦ 일부 예측기술(6건)은 해외에서 기술적/사회경제적 실현이 이루어 진 것으로 나타남

◦ 예측기술에 따라 기술적 실현시기는 고르게 분포되어 있음

◦ 세계에서 기 실현된 예측기술 외에는 2020년 이후 사회경제적 실현이 이루어 지고, 국내에서는 대부분 2024년 이후 실현될 것으로 예측됨

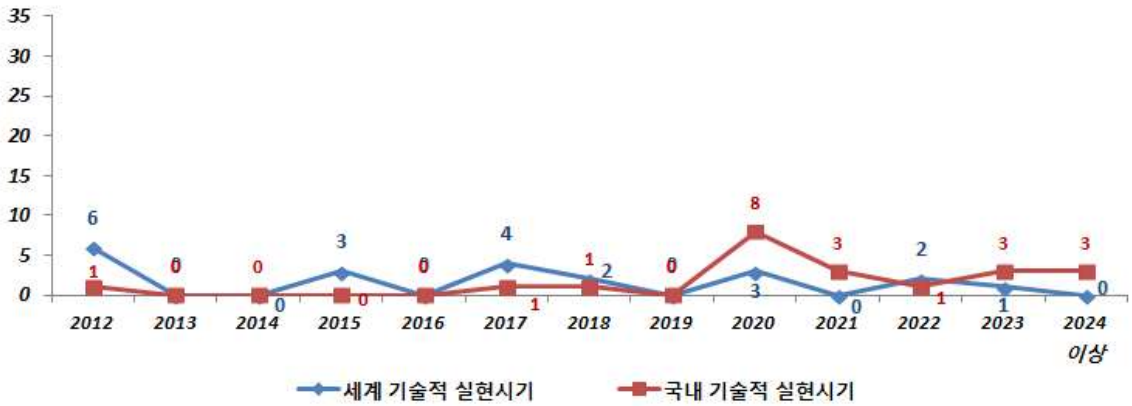


그림 4.1.7 전동차용 대차 중점분야 세계/국내 기술적 실현시기 분포



그림 4.1.8 전동차용 대차 중점분야 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포

표 4.1.13 전동차용 대차 중점분야 기술적/사회경제적 실현시기

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적실현시기	
		세계	국내	세계	국내
A1	차륜 재질과 형상을 변경하여 차륜 차축을 경량화하는 기술을 개발한다.	20	27	25	30
A2	철도차량 경량화시 자중 감소에 따른 점착성능(점차계수 저하 방지)을 확보하는 기술을 개발한다.	12	20	12	25
A3	기존 대차의 프레임을 경량 복합소재를 적용하여 기존 대비 30% 경량화되고 현가장치 기능을 갖는 초경량 대차프레임 기술을 개발해야 한다.	15	12	20	22
A4	철도 차량 경량화를 위해 탄소섬유를 적용하여 내륜을 갖는 외륜부 차륜의 최적설계 기술을 개발한다.	20	23	25	25
A5	대차중량의 16~20%를 차지하는 대차프레임에 고강도 알루미늄합금을 적용하여 도시철도 성능기준을 만족하며, 대차 프레임 중량을 20%이상 경량화 할 수 있는 알루미늄 대차 개발	23	25	26	25
A6	현재 금속재 주강을 사용한 대차의 축상 1세트 중량 약 520kg을 대차의 축상 재질을 복합소재로 변경하여 대차의 중량을 약 280kg까지 경감하는 기술을 개발한다.	17	21	23	25
A7	일반 중실차축의 중량은 약 300Kg/EA이나 중공차축을 채용하여 차축중량을 20% 저감하고, 대차당 120Kg의 중량을 저감하는 기술을 개발한다.	12	20	12	22
A8	아웃보드대차를 인보드대차로 변경하여 15~20% 중량저감이 가능한 기술을 개발한다.	12	18	12	18
A9	대차에 강제조향장치 적용을 통해 차량의 곡선구간 통과 시 차륜에 작용하는 횡압을 30%이상 저감 기술을 개발한다.	12	17	12	18
A10	저전력원 제어소자로 사용되고 있는 IGBT나 IPM의 성능을 보완하여 대전류를 보다 자유로이 제어하고 추진모터별로 제어전력을 제공하는 Sic 제어소자 기술을 개발한다.	17	21	25	30
A11	철도차량 10량 기준, 연구자석 동기전동기 1,600kg과 알루미늄 하우징 1,000kg 경량화를 위한 연구자석전동기 설계기술 및 알루미늄 합금재료 전동기 하우징 설계기술을 개발한다.	17	22	22	23
A12	대차 프레임, 탄성차륜, 중공차축, 현가장치, 제동장치 및 강제조향장치의 안전성, 신뢰성, 내구성 확보 설계 기술을 개발하고, 강제조향(Forced-steering)방식 인보드(inboard) 대차 시스템을 최적화 및 실용화 기술을 개발한다.	22	23	25	27
A13	철도차량 생산, 사용 및 폐기단계의 전주기 과정에서 발생하는 탄소배출량 저감을	22	23	23	25

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적실현시기	
		세계	국내	세계	국내
	위한 경량화 재료 선정평가 및 관리기술을 개발한다.				
A14	기존 대차 대비 중량을 최대 30% 경량화, 에너지 비용 및 선로마모 저감을 위한 120km/h이상 인보드형 전동차용 대차 기술을 개발한다.	12	20	12	22
A15	기존 대차 대비 선로 마모성능을 향상 시킬 수 있는 120km/h이상 복합소재 대차기술과 기존 전동차용 대차 대비 20%이상 경량화 기술을 개발한다.	17	21	23	25
A16	철도차량 경량화시 중량감소로 인해 발생하는 점착력 감소를 최대한 이용하기 위한 차량 최적 제어기술을 개발한다.	15	20	18	23
A17	대차프레임에 복합소재를 적용하여 내구성을 확보하고, 유연한 구조를 이용하여 판스프링으로 설계함으로써 2차 현가장치로 인한 무게 절감이 가능한 기술을 개발한다.	20	20	25	25
A18	VARI(Vacuum Assisted Resin Infusion) 공정을 이용하여 Autoclave 공정품 대비 단가 50% 이상 절감 및 공정 대비 70% 이상 공정을 단축하는 대형 후판 복합재 액상성형 공정 기술을 개발한다.	15	20	18	23
A19	대차의 중량 및 유지보수비용 저감을 위한 Inboard형 대차 설계기술, 부품(구동모터, 제동장치 등) 및 첨단 복합재 기술을 개발한다.	18	20	20	22
A20	기존 주물 제동디스크를 30% 경량화, 저소음, 내구성 향상이 가능한 알루미늄 복합소재를 적용한 제동디스크를 개발해야 한다.	12	20	12	25
A21	기존 철도차량용 대차 대비 차축이 1/2개인 single axle 대차기술 개발을 통해 대차 무게 50%이상 경량화하는 기술이 개발되어야 한다.	18	26	23	22

□ **경량차체 분야의 세계 및 국내 기술적 실현시기를 비교한 결과 해외가 국내보다 앞서있으며, 사회경제적 실현시기는 각 기술에 따라 다양하게 분포함**

◦ 세계에서는 예측기술 중 8건이 이미 기술적으로 실현되었고 대부분 2017년 안에 기술적 실현이 이루어지는 것으로 예측됨

◦ 국내에서는 2020년 전후로 기술적 실현이 이루어지는 것으로 예측됨

◦ 사회경제적 실현시기는 각 예측기술에 따라 고르게 분포하고 있으나, 국내의 경우 대부분 2024년 이후 실현되는 것으로 예측됨

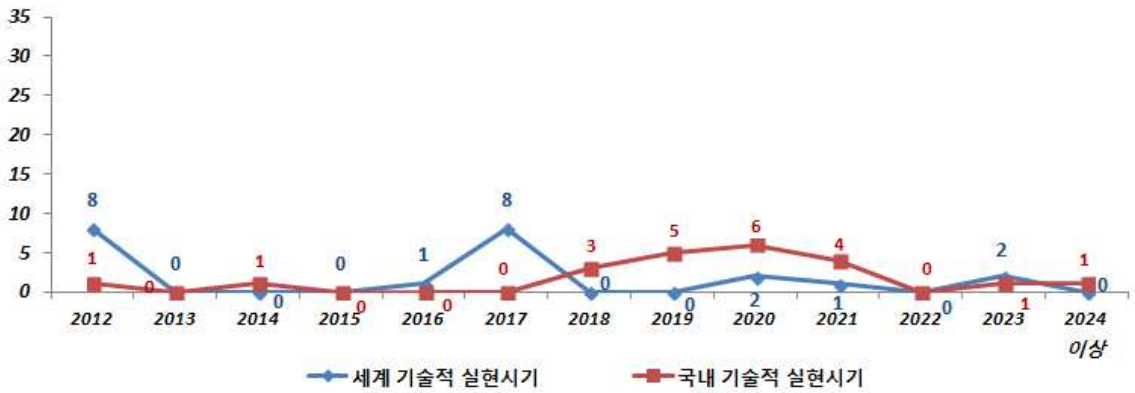


그림 4.1.9 경량차체 중점분야 세계/국내 기술적 실현시기 분포

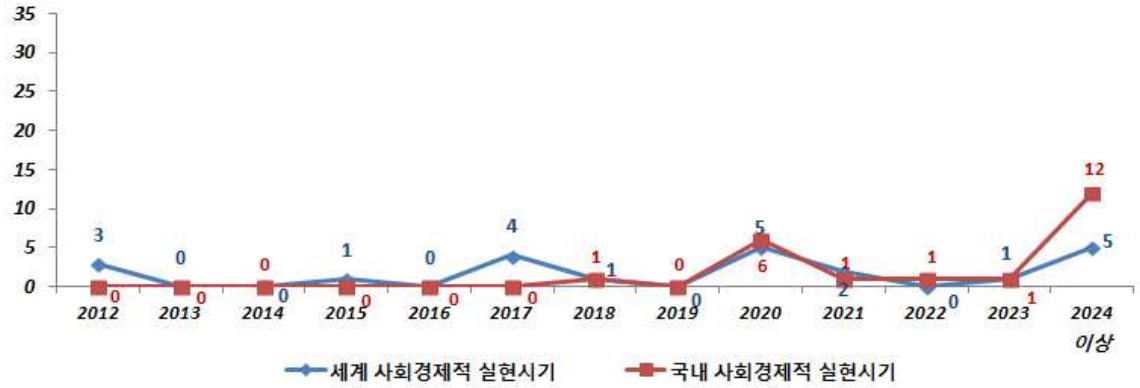


그림 4.1.10 경량차체 중점분야 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포

표 4.1.14 경량차체 중점분야 기술적/사회경제적 실현시기

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적실현시기	
		세계	국내	세계	국내
B1	알루미늄, 복합소재, 마그네슘 등 경량소재를 구조체의 하중 특성을 고려, 적절하게 적용하여 도시철도차량 안전기준을 만족하고 기존 차체 중량 대비 30%이상 차체 경량화를 실현할 수 있는 차체설계 및 제작기술 개발	17	21	25	25
B2	이종소재를 이용한 철도차량 경량화시 복합소재+알루미늄, 알루미늄+마그네슘간의 접합기술 개발이 필요하다.	12	19	17	20
B3	알루미늄 골조를 구성한 후 UNDER를 제외한 SIDE, END, ROOF부분에 대해서 알루미늄 허니컴 판넬을 알루미늄 골조에 용접하는 구조를 적용하여 경량 차제 제작기술을 개발한다.	17	21	20	24
B4	철도차량의 무게 구성 비중 24%를 차지하는 차체의 무게를 5% 감소(경량화)가 가능한 마그네슘 주조 및 압출기술을 개발한다.	12	14	15	18
B5	알루미늄 차체의 언더프레임, 사이드패널, 루프패널 등의 접합에 FSW공법을 적용하여 용접강도를 미그용접대비 10%이상 향상시켜 용접부 두께 및 구조 단순화로 차체 경량화 실현	12	19	12	20
B6	철도 차체의 기존 재질의 경량화 한계를 극복하기 위해 지붕 골조, 단부 골조, 전두부 골조의 하이브리드 차체 체결 구조 기술과 내측 골조 경량 복합 소재 개발 및 기존 소재(AL, STS) 접합 체결 구조 기술을 개발한다.	17	20	17	24
B7	고강도 AL 압출 소재 기술 개발을 통해 철도 차량을 경량화 한다.	17	19	17	20
B8	건축 및 자동차 분야의 벽체, 천장, 충격완화재, 도어 등에 사용되는 honeycomb 구조재를 철도 차량 경량화를 위해 차체나 도어 등에 적용가능한 Mg(sheet) - Al(core cell) honeycomb board를 개발한다. (Mg sheet의 발화온도: 750oC 이상)	23	23	25	27
B9	알루미늄 차체 압출소재의 두께 및 WEB(단부) 생략 및 알루미늄 차체 용접기술(FSW)을 개발한다.	12	19	12	20
B10	철도차량 안전기준에 부합하는 고강도 난연성 마그네슘합금 압출재 제조기술을 개발하고 이를 이용하여 Chassis 제품을 개발한다.(기존 기존 알루미늄제품 대비 경량화	12	12	21	23

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제 적실현시기	
		세계	국내	세계	국내
	율 20%이상, 진직도 : ± 1mm 이내(1,000mm 제품 기준), 인장강도 : 300MPa 이상, 발화온도: 750oC 이상)				
B11	철도차량 경량화를 위한 기반기술로 철도소재에 DB가 구축되어야 한다.	16	18	18	20
B12	철도 차제 경량화를 위해 적용 소재별 차체의 제작비용 및 유지보수 비용, 운용비용 등을 고려한 경제적인 하이브리드 철도차량 경량화 설계기술을 개발한다.	17	21	20	24
B13	철도차량 경량화 및 에너지 저감을 위해 첨단소재를 적용한 roof 경량화 기술 및 기존 알루미늄 압출차체 대비 15%이상 경량화 기술을 개발한다.	12	21	12	24
B14	차체 경량화를 위해 70계 등의 고강도 알루미늄 합금 적용기술을 개발한다.	17	19	17	20
B15	철도차량 차체 및 내장재 재료로 적용되는 복합소재 및 알루미늄 합금을 대체하여 차체 경량화를 위한 난연 마그네슘 합금(발화온도 750oC 이상) 적용기술을 개발한다.	12	18	21	22
B16	단순 커버역할을 수행하는 전두부구조물에 충돌에너지 흡수기능을 추가하여 일체형 모듈화 설계를 통한 중량 30%이상 및 부품수 50%이상 를 감소하는 기술을 개발한다.	17	18	20	21
B17	차체에 적용되고 있는 corrugated core sandwich structures의 제조 및 최소중량설계의 한계를 극복하고, 열전달, 방진 및 충격흡수 등을 구조물이 수행하여 부품의 수를 줄이는 설계기술을 개발한다.	23	20	29	25
B18	일체형 차체에 비해 비용 및 시간을 단축할 수 있는 대형 차체의 모듈형 복합소재 구조물 설계/성형 및 접합 기술을 개발한다.	20	20	25	25
B19	차량의 경량화 및 고속화에 따른 차체 공력 진동 현상, 갱웨이로 인한 유동박리 현상 및 갱웨이 내부의 유동순환 현상을 저감하는 기술을 개발한다.	21	25	23	27
B20	철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 구조용 부품의 일부(지붕 등)를 복합재를 이용하여 제작하고, 공정 원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.	17	20	20	24
B21	기존의 스틸 프레임, 복합재 커버 및 충격흡수장치가 따로 구성되어 있는 전두부를 첨단 복합재를 적용한 충격흡수기능 일체형 전두부 기술을 개발한다.(기존의 스틸 프레임이 없이 복합재 구조가 하중을 지지하는 개념).	20	20	25	25
B22	첨단 복합재료, 고강도 알루미늄 및 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)을 적용하여 경량 차체(복합재 루프&바닥, 난연성 마그네슘 도어, 고강도 알루미늄 차벽) 기술을 개발한다.	12	20	20	24

□ 의장/기장 분야의 세계 및 국내 기술적 실현시기를 비교한 결과 해외가 국내보다 약 3년가량 앞서있는 것으로 나타남

◦ 일부 예측기술은 국내외적으로 기술적 실현이 되었으나(세계 : 4건, 국내 : 3건) 사회경제적 실현이 되지 않은 것으로 나타남

◦ 국내외적으로 약 2020년 이후 사회경제적 실현이 본격화 될 것으로 예측됨



그림 4.1.11 의장/기장 중점분야 세계/국내 기술적 실현시기 분포

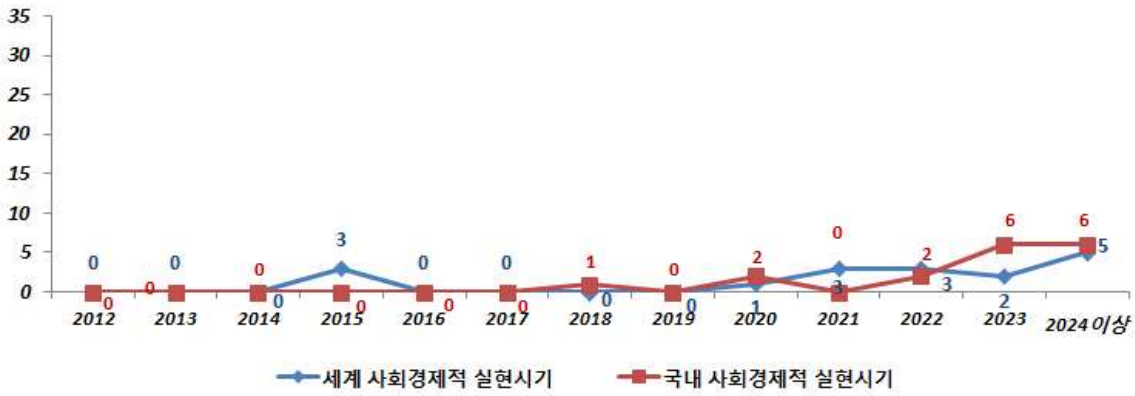


그림 4.1.12 의장/기장 중점분야 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포

표 4.1.15 의장/기장 중점분야 기술적/사회경제적 실현시기

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적실현시기	
		세계	국내	세계	국내
C1	실내천정 패널과 에어덕트구조의 단순화, 사이드패널과 실내의자, 손잡이 등을 일체화한 모듈개발로 부품간의 체결구조를 최소화 하고, 복합소재 라미네이트 패널 등 경량구조 및 이에 적합한 성형공법 개발로 기존 내장재 대비 약 20%이상의 경량화 실현	20	21	23	24
C2	의자에 속하는 프레스 부속 부품을 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)으로 변경하여 30~40% 중량절감을 위해 열간 프레스 성형기술을 안정화하고, 부품 설계 표준안을 획득하는 기술을 개발한다.	12	12	21	20
C3	발화온도 750oC 이상의 난연 마그네슘합금을 이용한 의자 경량부품 개발을 위해 마그네슘 동종 및 이종 간의 용접기술을 개발하고, 마그네슘 소재에 대한 다양한 접합기술의 성능 및 내구성, 생산성 향상을 위한 기술을 개발한다.	12	12	21	23
C4	경량전철 적용되는 알루미늄 차체의 포켓스라이딩도어, 객실기기 취부 안전성 및 품질 확보를 위한 고강도 알루미늄 압출기술을 개발한다.	21	22	22	23
C5	신소재를 적용한 출입문 경량화 기술을 개발하고, 자기부상열차나 트램 등에 적용한다.	20	20	25	25
C6	의자프레임, 실내선반, 각종 브라켓 등 현재 스틸 및 알루미늄 재질을 난연마그네슘으로 대체하여 부품별 20%이상 중량 절감	17	21	24	24
C7	일반적으로 리엑터(코일) 규소강판은 약 3%의 규소를 함유하는 것을 약 6% 증가시킴으로써 고효율 리엑터(코일)의 효율 3%, 부피 50%, 중량 70% 감소시키는 기술을 개발한다.	13	15	15	18
C8	기존ACPT(외형가로1400mm 세로550mm 높이700 중량120Kg 사기애자및절연오일방식)대비중량50%감소(경량화),높이40%감소,부피약50%감소하는25KVACPT기술을개발한다.	18	20	20	23
C9	집전장치(판토그래프) 소재를 카본소재 교체하여 30% 경량화를 달성하고 집전성능을 계측하는 기술을 개발한다.	12	17	15	20
C10	복합소재의 성형 기법과 최적의 설계를 통하여 내장재 제작기술을 개발한다.	20	20	25	22
C11	승객용의자 내부 금속 프레임을 사출공법을 활용하여 금속프레임 대비 기계적 물성 90% 수준 달성을 위한 천연장섬유 복합재료 제조, 소재 개발 및 공정 조건 최적화 기술을 개발한다.	22	20	25	25
C12	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 승객용 의자에 적용하는 기술을 개발한다.	17	20	22	23
C13	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 출입문 적용하는 기술을 개발한다.	17	18	23	24
C14	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 핸드그립 및 선반에 적용하는 기술을 개발한다.	17	20	22	23
C15	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 공조 시스템 커버 및 T-slot 등에 적용하는 기술을 개발한다.	12	12	21	23
C16	철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 내장재(의자, 바닥재 등)를 복합재를 이용하여 곡면이 포함된 일체형 부품, 공정원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및	20	20	25	25

	Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.				
C17	Al합금 및 섬유강화 복합소재를 적용하여 공기압축기 / 공기탱크 / BOU / 캘리퍼 유니트의 경량화 기술을 개발한다.	17	18	15	22

(2) 기술획득 방식 및 정부개입의 필요성

□ 기술획득 방식은 대체적으로 기술도입 및 국제협력(49.7%)가 바람직 한 것으로 나타났으며, 정부개입의 필요성은 3.7로 비교적 높은 편으로 나타남

◦ 전차용 대차 분야는 타분야에 비해 정부개입 필요성이 가장 높게 나타났으며, 정부/민간 공동연구를 통한 기술획득이 필요한 것으로 나타남

◦ 경량차체 및 의장/기장 분야는 기술도입 및 국제협력을 통한 기술획득이 필요한 것으로 나타남

표 4.1.16 기술획득 방식 및 정부개입의 필요성

구분	기술획득 방식				정부개입의 필요성 평균 (5점척도)
	민간주도	정부주도	정부/민간 공동	기술도입 및 국제협력	
전체	5.5%	5.2%	39.7%	*49.7%*	3.7
중점분야1 (전동차용 대차)	0.5%	4.5%	*63.7%*	40.8%	4.2
중점분야2 (경량차체)	13.2%	5.8%	31.0%	*50.0%*	3.4
중점분야3 (의장/기장)	0.6%	5.7%	27.2%	*66.5%*	3.4

□ 전동차용 대차 분야의 기술획득 방식은 정부/민간 공동 연구(63.7%), 정부개입의 필요성은 4.2점으로 나타남

◦ 전동차용 대차 분야 대부분의 예측기술은 정부/민간 공동연구를 통한 기술획득이 필요하며, 특히 A1(차륜, 차축 경량화), A4(탄소섬유 적용), A6(복합소재 적용) 기술은 정부/민간 공동연구 비중이 80% 이상으로 나타남

◦ A11(연구자석전동기 및 알루미늄 합금재료 전동기 하우징 설계기술), A13(경량화 재료 선정

평가 및 관리기술), A19(Inboard형 대차 설계기술및 부품기술), A20(알루미늄 복합소대적용 제동디스크), A21(single axle 대차기술) 등은 기술도입 및 국제협력이 필요한 것으로 나타남

표 4.1.17 전동차용 대차 중점분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성

번호	예측기술명	기술획득방식 비중(%)				정부개입의 필요성
		민간주도	정부주도	정부/민간 공동	기술도입 및 국제협력	
A1	차륜 재질과 형상을 변경하여 차륜 차축을 경량화하는 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	*90.0%*	10.0%	4.6
A2	철도차량 경량화시 자중 감소에 따른 점착성능(점차계수 저하 방지)을 확보하는 기술을 개발한다.	0.0%	8.3%	*75.0%*	16.7%	4.4
A3	기존 대차의 프레임을 경량 복합소재를 적용하여 기존 대비 30% 경량화되고 현가장치 기능을 갖는 초경량 대차프레임 기술을 개발해야 한다.	0.0%	8.3%	*75.0%*	16.7%	4.8
A4	철도 차량 경량화를 위해 탄소섬유를 적용하여 내륜을 갖는 외륜부 차륜의 최적설계 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	*80.0%*	20.0%	4.6
A5	대차중량의 16~20%를 차지하는 대차프레임에 고강도 알루미늄합금을 적용하여 도시철도 성능기준을 만족하며, 대차 프레임 중량을 20%이상 경량화 할 수 있는 알루미늄 대차 개발	0.0%	30.8%	*53.8%*	15.4%	3.5
A6	현재 금속재 주강을 사용한 대차의 축상 1세트 중량 약 520kg을 대차의 축상 재질을 복합소재로 변경하여 대차의 중량을 약 280kg까지 경감하는 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	*80.0%*	20.0%	4.4
A7	일반 중실차축의 중량은 약 300Kg/EA이나 중공차축을 채용하여 차축중량을 20% 저감하고, 대차당 120Kg의 중량을 저감하는 기술을 개발한다.	12.5%	0.0%	*50.0%*	37.5%	4.4
A8	아웃보드대차를 인보드대차로 변경하여 15~20% 중량저감이 가능한 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	*72.7%*	27.3%	4.3
A9	대차에 강제조향장치 적용을 통해 차량의 곡선구간 통과 시 차륜에 작용하는 횡압을 30%이상 저감 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	*72.7%*	27.3%	4.4
A10	저전력원 제어소자로 사용되고 있는 IGBT나 IPM의 성능을 보완하여 대전류를 보다 자유로이 제어하고 추진모터별로 제어전력을 제공하는 Sic 제어소자 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	*62.5%*	37.5%	4.5
A11	철도차량 10량 기준, 연구자석 동기전동기 1,600kg과 알루미늄 하우징 1,000kg 경량화를 위한 연구자석전동기 설계기술 및 알루미늄 합금재료 전동기 하우징 설계기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	37.5%	*62.5%*	4.5
A12	대차 프레임, 탄성차륜, 중공차축, 현가장치, 제동장치 및 강제조향장치의 안전성, 신뢰성, 내구성 확보 설계 기술을 개발하고, 강제조향(Forced-steering)방식 인보드(inboard) 대차 시스템을 최적화 및 실용화 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	*50.0%*	*50.0%*	4.5
A13	철도차량 생산, 사용 및 폐기단계의 전주기 과정에서 발생하는 탄소배출량 저감을 위한 경량화 재료 선정평가 및 관리기술을 개발한다.	0.0%	10.0%	30.0%	*60.0%*	4.0
A14	기존 대차 대비 중량을 최대 30% 경량화, 에너지 비용 및 선로마모 저	0.0%	0.0%	*54.5%*	45.5%	4.9

	감을 위한 120km/h이상 인보드형 전동차용 대차 기술을 개발한다.					
A15	기존 대차 대비 선로 마모성능을 향상 시킬 수 있는 120km/h이상 복합소재 대차기술과 기존 전동차용 대차 대비 20%이상 경량화 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	*50.0%*	*50.0%*	4.6
A16	철도차량 경량화시 중량감소로 인해 발생하는 점착력 감소를 최대한 이용하기 위한 차량 최적 제어기술을 개발한다.	0.0%	8.3%	*50.0%*	41.7%	4.2
A17	대차프레임에 복합소재를 적용하여 내구성을 확보하고, 유연한 구조를 이용하여 판스프링으로 설계함으로써 2차 현가장치로 인한 무게 절감이 가능한 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	*58.3%*	41.7%	4.2
A18	VARI(Vacuum Assisted Resin Infusion) 공정을 이용하여 Autoclave 공정품 대비 단가 50% 이상 절감 및 공정 대비 70% 이상 공정을 단축하는 대형 후판 복합재 액상성형 공정 기술을 개발한다.	0.0%	8.3%	*50.0%*	41.7%	3.5
A19	대차의 중량 및 유지보수비용 저감을 위한 Inboard형 대차 설계기술, 부품(구동모터, 제동장치 등) 및 첨단 복합재 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	45.5%	*54.5%*	2.9
A20	기존 주물 제동디스크를 30% 경량화, 저소음, 내구성 향상이 가능한 알루미늄 복합소재를 적용한 제동디스크를 개발해야 한다.	0.0%	0.0%	33.3%	*66.7%*	3.9
A21	기존 철도차량용 대차 대비 차축이 1/2개인 single axle 대차기술 개발을 통해 대차무게 50%이상 경량화하는 기술이 개발되어야 한다.	0.0%	0.0%	40.0%	*60.0%*	3.4
합계		0.5%	4.5%	63.7%	40.8%	4.2c

□ **경량차체 분야의 기술획득 방식은 기술도입 및 국제협력(50.0%), 정부개입의 필요성은 3.4점으로 나타남**

◦ 경량차체 분야 대부분의 예측기술은 기술도입 및 국제협력을 통한 기술획득이 필요하며, 특히 B16(전두부구조물 일체형 모듈화 설계기술), B17(corrugated core sandwich structures의 제조 및 최소중량설계의 한계 극복기술), B18(대형 차체의 모듈형 복합소재 구조물 설계/성형 및 접합 기술) 기술은 기술도입 및 국제협력 연구 비중이 75% 이상으로 나타남

◦ B1(기존 차체 중량 대비 30%이상 차체 경량화기술),B7(고강도 AL 압출 소재 기술), B8(Mg(sheet) - Al(core cell) honeycomb board 적용기술), B11(철도소재 DB구축)은 정부/민간 공동연구가 필요한 것으로 나타남

표 4.1.18 경량차체 중점분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성

번호	예측기술명	기숙획득방식 비중(%)				정부개입의 필요성
		민간주도	정부주도	정부/민간 공동	기술도입 및 국제협력	
B1	알루미늄, 복합소재, 마그네슘 등 경량소재를 구조체의 하중 특성을 고려, 적절하게 적용하여 도시철도차량 안전기준을 만족하고 기존 차체 중량 대비 30%이상 차체 경량화를 실현할 수 있는 차체설계 및 제작	6.7%	20.0%	*40.0%*	33.3%	2.5

	기술 개발					
B2	이종소재를 이용한 철도차량 경량화시 복합소재+알루미늄, 알루미늄+마그네슘간의 접합기술 개발이 필요하다.	30.8%	0.0%	15.4%	***53.8%***	2.5
B3	알루미늄 골조를 구성한 후 UNDER를 제외한 SIDE, END, ROOF부분에 대해서 알루미늄 허니컴 판넬을 알루미늘 골조에 용접하는 구조를 적용하여 경량 차제 제작기술을 개발한다.	9.1%	18.2%	27.3%	***45.5%***	3.4
B4	철도차량의 무게 구성 비중 24%를 차지하는 차체의 무게를 5% 감소(경량화)가 가능한 마그네슘 주조 및 압출기술을 개발한다.	11.1%	0.0%	33.3%	***55.6%***	3.6
B5	알루미늄 차체의 언더프레임, 사이드패널, 루프패널 등의 접합에 FSW 공법을 적용하여 용접강도를 미그용접대비 10%이상 향상시켜 용접부 두께 및 구조 단순화로 차체 경량화 실현	30.8%	0.0%	30.8%	***38.5%***	2.9
B6	철도 차체의 기존 재질의 경량화 한계를 극복하기 위해 지붕 골조, 단부 골조, 전두부 골조의 하이브리드 차체 체결 구조 기술과 내측 골조 경량 복합 소재 개발 및 기존 소재(AL, STS) 접합 체결 구조 기술을 개발한다.	20.0%	0.0%	30.0%	***50.0%***	3.2
B7	고강도 AL 압출 소재 기술 개발을 통해 철도 차량을 경량화 한다.	30.8%	0.0%	***38.5%***	30.8%	2.9
B8	건축 및 자동차 분야의 벽체, 천장, 충격완화재, 도어 등에 사용되는 honeycomb 구조재를 철도 차량 경량화를 위해 차체나 도어 등에 적용 가능한 Mg(sheet) - Al(core cell) honeycomb board를 개발한다. (Mg sheet의 발화온도: 750oC 이상)	0.0%	0.0%	***60.0%***	40.0%	4.0
B9	알루미늄 차체 압출소재의 두께 및 WEB(단부) 생략 및 알루미늄 차체 용접기술(FSW)을 개발한다.	33.3%	0.0%	8.3%	***58.3%***	2.3
B10	철도차량 안전기준에 부합하는 고강도 난연성 마그네슘합금 압출재 제조기술을 개발하고 이를 이용하여 Chassis 제품을 개발한다.(기존 기존 알루미늄제품 대비 경량화율 20%이상, 진직도 : ± 1mm 이내(1,000mm 제품 기준), 인장강도 : 300MPa 이상, 발화온도: 750oC 이상)	0.0%	11.1%	22.2%	***66.7%***	3.8
B11	철도차량 경량화를 위한 기반기술로 철도소재에 DB가 구축되어야 한다.	0.0%	18.2%	***45.5%***	36.4%	4.2
B12	철도 차제 경량화를 위해 적용 소재별 차체의 제작비용 및 유지보수 비용, 운용비용 등을 고려한 경제적인 하이브리드 철도차량 경량화 설계기술을 개발한다.	30.8%	0.0%	30.8%	***38.5%***	2.7
B13	철도차량 경량화 및 에너지 저감을 위해 첨단소재를 적용한 roof 경량화 기술 및 기존 알루미늄 압출차체 대비 15%이상 경량화 기술을 개발한다.	25.0%	0.0%	33.3%	***41.7%***	2.8
B14	차체 경량화를 위해 7000계 등의 고강도 알루미늄 합금 적용기술을 개발한다.	28.6%	0.0%	28.6%	***42.9%***	2.5
B15	철도차량 차체 및 내장재 재료로 적용되는 복합소재 및 알루미늄 합금을 대체하여 차체 경량화를 위한 난연 마그네슘 합금(발화온도 750oC 이상) 적용기술을 개발한다.	0.0%	10.0%	30.0%	***60.0%***	3.9
B16	단순 커버역할을 수행하는 전두부구조물에 충돌에너지 흡수기능을 추가하여 일체형 모듈화 설계를 통한 중량 30%이상 및 부품수 50%이상를 감소하는 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	25.0%	***75.0%***	3.9
B17	차체에 적용되고 있는 corrugated core sandwich structures의 제조 및 최소중량설계의 한계를 극복하고, 열전달, 방진 및 충격흡수 등을 구조물이 수행하여 부품의 수를 줄이는 설계기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	25.0%	***75.0%***	4.1
B18	일체형 차체에 비해 비용 및 시간을 단축할 수 있는 대형 차체의 모듈형 복합소재 구조물 설계/성형 및 접합 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	40.0%	***60.0%***	3.9
B19	차량의 경량화 및 고속화에 따른 차체 공력 진동 현상, 갱웨이로 인한	0.0%	0.0%	25.0%	***75.0%***	3.6

	유동박리 현상 및 갱웨이 내부의 유동순환 현상을 저감하는 기술을 개발한다.					
B20	철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 구조용 부품의 일부(지붕 등)를 복합재를 이용하여 제작하고, 공정 원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.	0.0%	16.7%	33.3%	***50.0%***	3.8
B21	기존의 스틸 프레임, 복합재 커버 및 충격흡수장치가 따로 구성되어 있는 전두부를 첨단 복합재를 적용한 충격흡수기능 일체형 전두부 기술을 개발한다.(기존의 스틸 프레임이 없이 복합재 구조가 하중을 지지하는 개념).	0.0%	0.0%	40.0%	***60.0%***	4.2
B22	첨단 복합재료, 고강도 알루미늄 및 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)을 적용하여 경량 차체(복합재 루프&바닥, 난연성 마그네슘 도어, 고강도 알루미늄 차벽) 기술을 개발한다.	0.0%	27.3%	18.2%	***54.5%***	3.5
합계		13.2%	5.8%	31.0%	50.0%	3.4

□ **의장/기장 분야의 기술획득 방식은 기술도입 및 국제협력(66.5%), 정부개입의 필요성은 3.4점으로 나타남**

◦ 의장/기장 전분야 예측기술은 기술도입 및 국제협력을 통한 기술획득이 필요하며, 특히 C5(신소재적용 출입문 경량화 기술), C8(25KVACPT기술), C9(카본소재 판토그래프), C10(복합소재 내장재 제작기술), C11(천연장섬유 복합재료 제조, 소재 개발) 기술은 기술도입 및 국제협력 연구 비중이 75% 이상으로 나타남

표 4.1.19 의장/기장 중점분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성

번호	예측기술명	기숙획득방식 비중(%)				정부개입의 필요성
		민간주도	정부주도	정부/민간 공동	기술도입 및 국제협력	
C1	실내천정 패널과 에어덕트구조의 단순화, 사이드패널과 실내의자, 손잡이 등을 일체화한 모듈개발로 부품간의 체결구조를 최소화 하고, 복합소재 라미네이트 패널 등 경량구조 및 이에 적합한 성형공법 개발로 기존 내장재 대비 약 20%이상의 경량화 실현	11.1%	0.0%	22.2%	***66.7%***	3.8
C2	의자에 속하는 프레스 부속 부품을 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)으로 변경하여 30~40% 중량절감을 위해 열간 프레스 성형 기술을 안정화하고, 부품 설계 표준안을 획득하는 기술을 개발한다.	0.0%	20.0%	20.0%	***60.0%***	3.5
C3	발화온도 750oC 이상의 난연 마그네슘합금을 이용한 의자 경량부품 개발을 위해 마그네슘 동종 및 이종 간의 용접기술을 개발하고, 마그네슘 소재에 대한 다양한 접합 기술의 성능 및 내구성, 생산성 향상을 위한 기술을 개발한다.	0.0%	11.1%	22.2%	***66.7%***	3.8
C4	경량전철 적용되는 알루미늄 차체의 포켓스라이딩도어, 객실기기 취부 안전성 및 품질 확보를 위한 고강도 알루미늄 압출기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	44.4%	***55.6%***	3.4

C5	신소재를 적용한 출입문 경량화 기술을 개발하고, 자기부상열차나 트램 등에 적용한다.	0.0%	0.0%	25.0%	*75.0%*	3.1
C6	의자프레임, 실내선반, 각종 브라켓 등 현재 스틸 및 알루미늄 재질을 난연마그네슘으로 대체하여 부품별 20%이상 중량 절감	0.0%	18.2%	27.3%	*54.5%*	3.0
C7	일반적으로 리엑터(코일) 규소강판은 약 3%의 규소를 함유하는 것을 약 6% 증가시킴으로써 고효율 리엑터(코일)의 효율 3%, 부피 50%, 중량 70% 감소시키는 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	33.3%	*66.7%*	3.0
C8	기존ACPT(외형가로1400mm 세로550mm 높이700 중량120Kg 사기애자 및절연오일방식)대비중량50%감소(경량화),높이40%감소,부피약50%감소하는25KVACPT기술을개발한다.	0.0%	0.0%	12.5%	*87.5%*	3.4
C9	집전장치(판토그래프) 소재를 카본소재 교체하여 30% 경량화를 달성하고 집전성능을 계측하는 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	22.2%	*77.8%*	3.7
C10	복합소재의 성형 기법과 최적의 설계를 통하여 내장재 제작기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	22.2%	*77.8%*	3.8
C11	승객용의자 내부 금속 프레임을 사출공법을 활용하여 금속프레임 대비 기계적 물성 90% 수준 달성을 위한 천연장섬유 복합재료 제조, 소재 개발 및 공정 조건 최적화 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	22.2%	*77.8%*	3.9
C12	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 승객용 의자에 적용하는 기술을 개발한다.	0.0%	11.1%	22.2%	*66.7%*	3.3
C13	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 출입문 적용하는 기술을 개발한다.	0.0%	10.0%	30.0%	*60.0%*	3.9
C14	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 핸드그립 및 선반에 적용하는 기술을 개발한다.	0.0%	10.0%	30.0%	*60.0%*	3.3
C15	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 공조 시스템 커버 및 T-slot 등에 적용하는 기술을 개발한다.	0.0%	11.1%	22.2%	*66.7%*	3.4
C16	철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 내장재(의자, 바닥재 등)를 복합재를 이용하여 곡면이 포함된 일체형 부품, 공정원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	40.0%	*60.0%*	3.1
C17	AI합금 및 섬유강화 복합소재를 적용하여 공기압축기 / 공기탱크 / BOU / 캘리퍼 유니트의 경량화 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	40.0%	*60.0%*	3.1
합계		0.6%	5.7%	27.2%	66.5%	3.4

(3) 정부시행방안

□ 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 방안은 관련분야 인력양성 및 연구비 확대인 것으로 나타남

◦ 3개 중점분야 공통적으로 인력양성이 가장 시급한 것으로 나타났으며 기술 개발을 위한 연구개발비 확대 및 신규 투자가 필요한 것으로 나타남

표 4.1.20 중점분야별 정부시행방안 결과

구분	인력양성	협력교류 활성화	인프라구축	연구비 확대	제도개선	합계
전체	*38.7%*	4.9%	12.6%	*34.0%*	9.8%	100.0%
중점분야1 (전동차용 대차)	*38.1%*	3.3%	13.3%	*36.8%*	8.4%	100.0%
중점분야2 (경량차체)	*37.3%*	6.9%	13.3%	*29.6%*	12.9%	100.0%
중점분야3 (의장/기장)	*41.3%*	4.1%	11.0%	*36.3%*	7.4%	100.0%

□ 전동차용 대차 분야의 기술적 실현을 위해 인력양성 및 연구비 확대가 필요한 것으로 나타남

◦ A1(차륜, 차축 경량화), A8(아웃보드대차의 인보드대차 변경기술), A9(강제조향장치 적용기술), A10(Sic 제어소자 기술), A20(알루미늄 복합소대적용 제동디스크) 기술은 인력양성이 시급한 것으로 나타남(45% 이상)

◦ A2(점착성능(점차계수 저하 방지)을 확보 기술), A3(초경량 대차프레임 기술)은 연구비 확대 및 신규투자가 시급한 것으로 나타남(50% 이상)

표 4.1.21 전동차용 대차 중점분야 정부시행방안 결과

구분	예측기술명	인력양성	협력교류활성화	인프라구축	연구비확대	제도개선	합계
A1	차륜 재질과 형상을 변경하여 차륜 차축을 경량화하는 기술을 개발	*45.5%*	4.5%	4.5%	40.9%	4.5%	100.0%

	한다.						
A2	철도차량 경량화시 자중 감소에 따른 점착성능(점차계수 저하 방지)을 확보하는 기술을 개발한다.	36.0%	4.0%	4.0%	***56.0%***	0.0%	100.0%
A3	기존 대차의 프레임을 경량 복합소재를 적용하여 기존 대비 30% 경량화되고 현가장치 기능을 갖는 초경량 대차프레임 기술을 개발해야 한다.	29.2%	4.2%	8.3%	***54.2%***	4.2%	100.0%
A4	철도 차량 경량화를 위해 탄소섬유를 적용하여 내륜을 갖는 외륜부 차륜의 최적설계 기술을 개발한다.	***39.1%***	0.0%	30.4%	26.1%	4.3%	100.0%
A5	대차중량의 16~20%를 차지하는 대차프레임에 고강도 알루미늄합금을 적용하여 도시철도 성능기준을 만족하며, 대차 프레임 중량을 20%이상 경량화 할 수 있는 알루미늄 대차 개발	25.0%	0.0%	21.4%	***46.4%***	7.1%	100.0%
A6	현재 금속재 주강을 사용한 대차의 축상 1세트 중량 약 520kg을 대차의 축상 재질을 복합소재로 변경하여 대차의 중량을 약 280kg까지 경감하는 기술을 개발한다.	30.4%	4.3%	17.4%	***39.1%***	8.7%	100.0%
A7	일반 중실차축의 중량은 약 300Kg/EA이나 중공차축을 채용하여 차축중량을 20% 저감하고, 대차당 120Kg의 중량을 저감하는 기술을 개발한다.	***33.3%***	9.5%	***33.3%***	19.0%	4.8%	100.0%
A8	아웃보드대차를 인보드대차로 변경하여 15~20% 중량저감이 가능한 기술을 개발한다.	***47.6%***	0.0%	14.3%	33.3%	4.8%	100.0%
A9	대차에 강제조향장치 적용을 통해 차량의 곡선구간 통과 시 차륜에 작용하는 횡압을 30%이상 저감 기술을 개발한다.	***42.9%***	0.0%	14.3%	38.1%	4.8%	100.0%
A10	저전력원 제어소자로 사용되고 있는 IGBT나 IPM의 성능을 보완하여 대전류를 보다 자유로이 제어하고 추진모터별로 제어전력을 제공하는 Sic 제어소자 기술을 개발한다.	***52.9%***	5.9%	17.6%	17.6%	5.9%	100.0%
A11	철도차량 10량 기준, 연구자석 동기전동기 1,600kg과 알루미늄 하우징 1,000kg 경량화를 위한 연구자석전동기 설계기술 및 알루미늄 합금재료 전동기 하우징 설계기술을 개발한다.	***40.0%***	5.0%	25.0%	25.0%	5.0%	100.0%
A12	대차 프레임, 탄성차륜, 중공차축, 현가장치, 제동장치 및 강제조향장치의 안전성, 신뢰성, 내구성 확보 설계 기술을 개발하고, 강제조향(Forced-steering)방식 인보드(inboard) 대차 시스템을 최적화 및 실용화 기술을 개발한다.	***37.5%***	0.0%	12.5%	33.3%	16.7%	100.0%
A13	철도차량 생산, 사용 및 폐기단계의 전주기 과정에서 발생하는 탄소배출량 저감을 위한 경량화 재료 선정평가 및 관리기술을 개발한다.	***35.0%***	10.0%	5.0%	***35.0%***	15.0%	100.0%
A14	기존 대차 대비 중량을 최대 30% 경량화, 에너지 비용 및 선로마모 저감을 위한 120km/h이상 인보드형 전동차용 대차 기술을 개발한다.	33.3%	0.0%	14.3%	***38.1%***	14.3%	100.0%
A15	기존 대차 대비 선로 마모성능을 향상 시킬 수 있는 120km/h이상 복합소재 대차기술과 기존 전동차용 대차 대비 20%이상 경량화 기술을 개발한다.	***36.8%***	0.0%	15.8%	31.6%	15.8%	100.0%
A16	철도차량 경량화시 중량감소로 인해 발생하는 점착력 감소를 최대한 이용하기 위한 차량 최적 제어기술을 개발한다.	40.9%	0.0%	4.5%	***45.5%***	9.1%	100.0%
A17	대차프레임에 복합소재를 적용하여 내구성을 확보하고, 유연한 구조를 이용하여 판스프링으로 설계함으로써 2차 현가장치로 인한 무게 절감이 가능한 기술을 개발한다.	***37.5%***	8.3%	8.3%	***37.5%***	8.3%	100.0%
A18	VARI(Vacuum Assisted Resin Infusion) 공정을 이용하여 Autoclave 공정품 대비 단가 50% 이상 절감 및 공정 대비 70% 이상 공정을 단축하는 대형 후판 복합재 액상성형 공정 기술을 개발한다.	33.3%	4.8%	9.5%	***42.9%***	9.5%	100.0%
A19	대차의 중량 및 유지보수비용 저감을 위한 Inboard형 대차 설계기술,	35.0%	5.0%	5.0%	***40.0%***	15.0%	100.0%

	부품(구동모터, 제동장치 등) 및 첨단 복합재 기술을 개발한다.						
A20	기존 주물 제동디스크를 30% 경량화, 저소음, 내구성 향상이 가능한 알루미늄 복합소재를 적용한 제동디스크를 개발해야 한다.	*47.6%*	4.8%	9.5%	28.6%	9.5%	100.0%
A21	기존 철도차량용 대차 대비 차축이 1/2개인 single axle 대차기술 개발을 통해 대차무게 50%이상 경량화하는 기술이 개발되어야 한다.	40.9%	0.0%	4.5%	*45.5%*	9.1%	100.0%
합계		38.1%	3.3%	13.3%	36.8%	8.4%	100.0%

□ **경량차체 분야의 기술적 실현을 위해 인력양성 및 연구비확대가 필요한 것으로 나타남**

◦ B2(복합소재+알루미늄, 알루미늄+마그네슘간의 접합기술), B5(알루미늄 차체의 언더프레임, 사이드패널, 루프패널 등의 접합 FSW공법 적용기술), B6(하이브리드 차체 체결 구조 및 내측 골조 경량 복합 소재 기술), B12(경제적인 하이브리드 철도차량 경량화 설계기술), B17(corrugated core sandwich structures의 제조 및 최소중량설계의 한계 극복기술), B18(대형 차체의 모듈형 복합소재 구조물 설계/성형 및 접합 기술)은 인력양성이 시급한 것으로 나타남(42% 이상)

◦ B1(기존 차체 중량 대비 30%이상 차체 경량화기술), B21(첨단 복합재를 적용한 충격흡수기능 일체형 전두부 기술)은 연구비확대 및 신규투자가 시급한 것으로 나타남(40% 이상)

◦

표 4.1.22 경량차체 중점분야 정부시행방안 결과

구분	예측기술명	인력양성	협력교류활성화	인프라구축	연구비확대	제도개선	합계
B1	알루미늄, 복합소재, 마그네슘 등 경량소재를 구조체의 하중 특성을 고려, 적절하게 적용하여 도시철도차량 안전기준을 만족하고 기존 차체 중량 대비 30%이상 차체 경량화를 실현할 수 있는 차체설계 및 제작기술 개발	32.3%	3.2%	9.7%	*45.2%*	9.7%	100.0%
B2	이종소재를 이용한 철도차량 경량화시 복합소재+알루미늄, 알루미늄+마그네슘간의 접합기술 개발이 필요하다.	*44.8%*	0.0%	24.1%	24.1%	6.9%	100.0%
B3	알루미늄 골조를 구성한 후 UNDER를 제외한 SIDE, END, ROOF 부분에 대해서 알루미늄 허니컴 판넬을 알루미늄 골조에 용접하는 구조를 적용하여 경량 차체 제작기술을 개발한다.	*34.6%*	7.7%	11.5%	*34.6%*	11.5%	100.0%
B4	철도차량의 무게 구성 비중 24%를 차지하는 차체의 무게를 5% 감소(경량화)가 가능한 마그네슘 주조 및 압출기술을 개발한다.	*38.1%*	14.3%	4.8%	19.0%	23.8%	100.0%
B5	알루미늄 차체의 언더프레임, 사이드패널, 루프패널 등의 접합에 FSW공법을 적용하여 용접강도를 미그용접대비 10%이상 향상시켜 용접부 두께 및 구조 단순화로 차체 경량화 실현	*42.9%*	10.7%	17.9%	14.3%	14.3%	100.0%

B6	철도 차체의 기존 재질의 경량화 한계를 극복하기 위해 지붕 골조, 단부 골조, 전두부 골조의 하이브리드 차체 체결 구조 기술과 내측 골조 경량 복합 소재 개발 및 기존 소재(AL, STS) 접합 체결 구조 기술을 개발한다.	***43.5%***	4.3%	8.7%	26.1%	17.4%	100.0%
B7	고강도 AL 압출 소재 기술 개발을 통해 철도 차량을 경량화 한다.	24.1%	6.9%	20.7%	***34.5%***	13.8%	100.0%
B8	건축 및 자동차 분야의 벽체, 천장, 충격완화재, 도어 등에 사용되는 honeycomb 구조재를 철도 차량 경량화를 위해 차체나 도어 등에 적용가능한 Mg(sheet) - Al(core cell) honeycomb board를 개발한다. (Mg sheet의 발화온도: 750oC 이상)	***33.3%***	9.5%	0.0%	38.1%	19.0%	100.0%
B9	알루미늄 차체 압출소재의 두께 및 WEB(단부) 생략 및 알루미늄 차체 용접기술(FSW)을 개발한다.	***35.7%***	0.0%	21.4%	***35.7%***	7.1%	100.0%
B10	철도차량 안전기준에 부합하는 고강도 난연성 마그네슘합금 압출재 제조기술을 개발하고 이를 이용하여 Chassis 제품을 개발한다.(기존 기존 알루미늄제품 대비 경량화율 20%이상, 진직도 : ± 1mm 이내 (1,000mm 제품 기준), 인장강도 : 300MPa 이상, 발화온도: 750oC 이상)	38.1%	4.8%	14.3%	***33.3%***	9.5%	100.0%
B11	철도차량 경량화를 위한 기반기술로 철도소재에 DB가 구축되어야 한다.	***40.9%***	4.5%	9.1%	27.3%	18.2%	100.0%
B12	철도 차제 경량화를 위해 적용 소재별 차체의 제작비용 및 유지보수 비용, 운용비용 등을 고려한 경제적인 하이브리드 철도차량 경량화 설계기술을 개발한다.	***42.9%***	7.1%	10.7%	25.0%	14.3%	100.0%
B13	철도차량 경량화 및 에너지 저감을 위해 첨단소재를 적용한 roof 경량화 기술 및 기존 알루미늄 압출차체 대비 15%이상 경량화 기술을 개발한다.	***37.0%***	7.4%	7.4%	33.3%	14.8%	100.0%
B14	차체 경량화를 위해 7000계 등의 고강도 알루미늄 합금 적용기술을 개발한다.	23.3%	6.7%	20.0%	***36.7%***	13.3%	100.0%
B15	철도차량 차체 및 내장재 재료로 적용되는 복합소재 및 알루미늄 합금을 대체하여 차체 경량화를 위한 난연 마그네슘 합금(발화온도 750oC 이상) 적용기술을 개발한다.	***33.3%***	9.5%	4.8%	***33.3%***	19.0%	100.0%
B16	단순 커버역할을 수행하는 전두부구조물에 충돌에너지 흡수기능을 추가하여 일체형 모듈화 설계를 통한 중량 30%이상 및 부품수 50% 이상 를 감소하는 기술을 개발한다.	***38.9%***	11.1%	22.2%	16.7%	11.1%	100.0%
B17	차체에 적용되고 있는 corrugated core sandwich structures의 제조 및 최소중량설계의 한계를 극복하고, 열전달, 방진 및 충격흡수 등을 구조물이 수행하여 부품의 수를 줄이는 설계기술을 개발한다.	***42.1%***	15.8%	10.5%	21.1%	10.5%	100.0%
B18	일체형 차체에 비해 비용 및 시간을 단축할 수 있는 대형 차체의 모듈형 복합소재 구조물 설계/성형 및 접합 기술을 개발한다.	***42.1%***	5.3%	10.5%	31.6%	10.5%	100.0%
B19	차량의 경량화 및 고속화에 따른 차체 공력 진동 현상, 갱웨이로 인한 유동박리 현상 및 갱웨이 내부의 유동순환 현상을 저감하는 기술을 개발한다.	***47.1%***	11.8%	17.6%	11.8%	11.8%	100.0%
B20	철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 구조용 부품의 일부(지붕 등)를 복합재를 이용하여 제작하고, 공정 원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.	33.3%	4.2%	16.7%	***37.5%***	8.3%	100.0%
B21	기존의 스틸 프레임, 복합재 커버 및 충격흡수장치가 따로 구성되어 있는 전두부를 첨단 복합재를 적용한 충격흡수기능 일체형 전두부 기술을 개발한다.(기존의 스틸 프레임이 없이 복합재 구조가 하중을 지지하는 개념).	***40.0%***	0.0%	10.0%	***40.0%***	10.0%	100.0%

B22	첨단 복합재료, 고강도 알루미늄 및 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)을 적용하여 경량 차체(복합재 루프&바닥, 난연성 마그네슘 도어, 고강도 알루미늄 차벽) 기술을 개발한다.	*32.0%*	8.0%	20.0%	*32.0%*	8.0%	100.0%
합계		37.3%	6.9%	13.3%	29.6%	12.9%	100.0%

□ **의장/기장 분야의 기술적 실현을 위해 인력양성 및 연구비 확대가 필요한 것으로 나타남**

◦ C7(고효율 리엑터(코일)의 효율 3%, 부피 50%, 중량 70% 감소 기술), C8(25KVACPT기술)은 인력양성이 시급한 것으로 나타남 (50% 이상)

◦ C11(천연장섬유 복합재료 제5조, 소재 개발), C12(난연성 마그네슘합금 조성 최적화기술), 은 연구비 확대 및 신규투자가 시급한 것으로 나타남(50% 이상)

표 4.1.23 의장/기장 중점분야 정부시행방안 결과

구분	예측기술명	인력양성	협력교류활성화	인프라구축	연구비확대	제도개선	함계
C1	실내천정 패널과 에어덕트구조의 단순화, 사이드패널과 실내의자, 손잡이 등을 일체화한 모듈개발로 부품간의 체결구조를 최소화 하고, 복합소재 라미네이트 패널 등 경량구조 및 이에 적합한 성형공법 개발로 기존 내장재 대비 약 20%이상의 경량화 실현	*40.9%*	4.5%	13.6%	31.8%	9.1%	100.0%
C2	의자에 속하는 프레스 부속 부품을 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)으로 변경하여 30~40% 중량절감을 위해 열간 프레스 성형기술을 안정화하고, 부품 설계 표준안을 획득하는 기술을 개발한다.	*42.9%*	0.0%	14.3%	33.3%	9.5%	100.0%
C3	발화온도 750oC 이상의 난연 마그네슘합금을 이용한 의자 경량부품 개발을 위해 마그네슘 동종 및 이종 간의 용접기술을 개발하고, 마그네슘 소재에 대한 다양한 접합 기술의 성능 및 내구성, 생산성 향상을 위한 기술을 개발한다.	*42.9%*	0.0%	14.3%	33.3%	9.5%	100.0%
C4	경량전철 적용되는 알루미늄 차체의 포켓스라이딩도어, 객실기기 취부 안전성 및 품질 확보를 위한 고강도 알루미늄 압출기술을 개발한다.	*42.9%*	9.5%	9.5%	28.6%	9.5%	100.0%
C5	신소재를 적용한 출입문 경량화 기술을 개발하고, 자기부상열차나 트램 등에 적용한다.	*47.4%*	5.3%	10.5%	26.3%	10.5%	100.0%
C6	의자프레임, 실내선반, 각종 브라켓 등 현재 스틸 및 알루미늄 재질을 난연마그네슘으로 대체하여 부품별 20%이상 중량 절감	*37.5%*	4.2%	16.7%	33.3%	8.3%	100.0%
C7	일반적으로 리엑터(코일) 규소강판은 약 3%의 규소를 함유하는 것을 약 6% 증가시킴으로써 고효율 리엑터(코일)의 효율 3%, 부피 50%, 중량 70% 감소시키는 기술을 개발한다.	*50.0%*	6.3%	12.5%	18.8%	12.5%	100.0%

C8	기존ACPT(외형가로1400mm 세로550mm 높이700 중량120Kg 사기애자및절연오일방식)대비중량50%감소(경량화),높이40%감소,부피약50%감소하는25KVACPT기술을개발한다.	***50.0%***	6.3%	12.5%	18.8%	12.5%	100.0%
C9	집전장치(판토그래프) 소재를 카본소재 교체하여 30% 경량화를 달성하고 집전성능을 계측하는 기술을 개발한다.	***36.8%***	5.3%	15.8%	31.6%	10.5%	100.0%
C10	복합소재의 성형 기법과 최적의 설계를 통하여 내장재 제작기술을 개발한다.	***45.0%***	0.0%	10.0%	35.0%	10.0%	100.0%
C11	승객용의자 내부 금속 프레임을 사출공법을 활용하여 금속프레임 대비 기계적 물성 90% 수준 달성을 위한 천연장섬유 복합재료 제조, 소재 개발 및 공정 조건 최적화 기술을 개발한다.	45.0%	0.0%	5.0%	***50.0%***	0.0%	100.0%
C12	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 승객용 의자에 적용하는 기술을 개발한다.	36.4%	4.5%	9.1%	***50.0%***	0.0%	100.0%
C13	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 출입문 적용하는 기술을 개발한다.	36.4%	4.5%	9.1%	***45.5%***	4.5%	100.0%
C14	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 핸드그립 및 선반에 적용하는 기술을 개발한다.	36.4%	4.5%	9.1%	***45.5%***	4.5%	100.0%
C15	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 공조 시스템 커버 및 T-slot 등에 적용하는 기술을 개발한다.	35.0%	5.0%	10.0%	***45.0%***	5.0%	100.0%
C16	철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 내장재(의자, 바닥재 등)를 복합재를 이용하여 곡면이 포함된 일체형 부품, 공정원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.	38.1%	4.8%	4.8%	***47.6%***	4.8%	100.0%
C17	AI합금 및 섬유강화 복합소재를 적용하여 공기압축기 / 공기탱크 / BOU / 캘리퍼 유니트의 경량화 기술을 개발한다.	38.1%	4.8%	9.5%	***42.9%***	4.8%	100.0%
합계		41.3%	4.1%	11.0%	36.3%	7.4%	100.0%

(4) 최고기술보유국

□ 동 사업의 60개 예측기술명별로 최고기술보유국을 조사한 결과 EU가 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남

◦ EU 122건(63%), 일본 34건(18%), 한국 24건(12%)의 기술에서 최고기술을 보유한 것으로 나타남

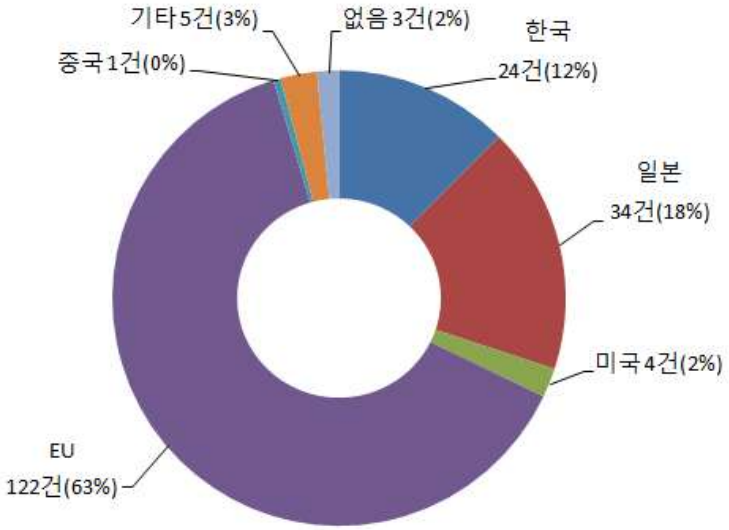


그림 4.1.13 최고기술보유국 현황

□ 전동차용 대차 분야의 최고기술 보유국은 EU로 나타남

표 4.1.24 전동차용 대차 중점분야 최고기술보유국 비중 및 기술수준

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)						
		한국	일본	미국	EU	중국	기타	없음
A1	차륜 재질과 형상을 변경하여 차륜 차축을 경량화하는 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%
A2	철도차량 경량화시 자중 감소에 따른 점착성능(점차계수 저하 방지)을 확보하는 기술을 개발한다.	0.0%	16.7%	0.0%	***66.7%***	0.0%	16.7%	0.0%
A3	기존 대차의 프레임을 경량 복합소재를 적용하여 기존 대비 30% 경량화되고 현가장치 기능을 갖는 초경량 대차프레임 기술을 개발해야 한다.	0.0%	0.0%	0.0%	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%
A4	철도 차량 경량화를 위해 탄소섬유를 적용하여 내륜을 갖는 외륜부 차륜의 최적설계 기술을 개발한다.	0.0%	20.0%	0.0%	***80.0%***	0.0%	0.0%	0.0%
A5	대차중량의 16~20%를 차지하는 대차프레임에 고강도 알루미늄합금을 적용하여 도시철도 성능기준을 만족하며, 대차 프레임 중량을 20%이상 경량화 할 수 있는 알루미늄 대차 개발	0.0%	0.0%	0.0%	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%
A6	현재 금속재 주강을 사용한 대차의 축상 1세트 중량 약 520kg을 대차의 축상 재질을 복합소재로 변경하여 대차의	0.0%	0.0%	0.0%	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)						
		한국	일본	미국	EU	중국	기타	없음
	중량을 약 280kg까지 경감하는 기술을 개발한다.							
A7	일반 중실차축의 중량은 약 300Kg/EA이나 중공차축을 채용하여 차축중량을 20% 저감하고, 대차당 120Kg의 중량을 저감하는 기술을 개발한다.	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
A8	아웃보드대차를 인보드대차로 변경하여 15~20% 중량저감이 가능한 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	75.0%	0.0%	25.0%	0.0%
A9	대차에 강제조향장치 적용을 통해 차량의 곡선구간 통과시 차륜에 작용하는 횡압을 30%이상 저감 기술을 개발한다.	0.0%	40.0%	0.0%	60.0%	0.0%	0.0%	0.0%
A10	저전력원 제어소자로 사용되고 있는 IGBT나 IPM의 성능을 보완하여 대전류를 보다 자유로이 제어하고 추진모터별로 제어전력을 제공하는 Sic 제어소자 기술을 개발한다.	-	-	-	-	-	-	-
A11	철도차량 10량 기준, 연구자석 동기전동기 1,600kg과 알루미늄 하우징 1,000kg 경량화를 위한 연구자석전동기 설계기술 및 알루미늄 합금재료 전동기 하우징 설계기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
A12	대차 프레임, 탄성차륜, 중공차축, 현가장치, 제동장치 및 강제조향장치의 안전성, 신뢰성, 내구성 확보 설계 기술을 개발하고, 강제조향(Forced-steering)방식 인보드(inboard) 대차 시스템을 최적화 및 실용화 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	75.0%	0.0%	25.0%	0.0%
A13	철도차량 생산, 사용 및 폐기단계의 전주기 과정에서 발생하는 탄소배출량 저감을 위한 경량화 재료 선정평가 및 관리기술을 개발한다.	0.0%	33.3%	0.0%	66.7%	0.0%	0.0%	0.0%
A14	기존 대차 대비 중량을 최대 30% 경량화, 에너지 비용 및 선로마모 저감을 위한 120km/h이상 인보드형 전동차용 대차 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	83.3%	0.0%	16.7%	0.0%
A15	기존 대차 대비 선로 마모성능을 향상 시킬 수 있는 120km/h이상 복합소재 대차기술과 기존 전동차용 대차 대비 20%이상 경량화 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
A16	철도차량 경량화시 중량감소로 인해 발생하는 점착력 감소를 최대한 이용하기 위한 차량 최적 제어기술을 개발한다.	0.0%	16.7%	0.0%	83.3%	0.0%	0.0%	0.0%
A17	대차프레임에 복합소재를 적용하여 내구성을 확보하고, 유연한 구조를 이용하여 판스프링으로 설계함으로써 2차 현가장치로 인한 무게 절감이 가능한 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
A18	VARI(Vacuum Assisted Resin Infusion) 공정을 이용하여 Autoclave 공정품 대비 단가 50% 이상 절감 및 공정 대비 70% 이상 공정을 단축하는 대형 후판 복합재 액상성형 공정 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	33.3%	66.7%	0.0%	0.0%	0.0%
A19	대차의 중량 및 유지보수비용 저감을 위한 Inboard형 대차 설계기술, 부품(구동모터, 제동장치 등) 및 첨단 복합재 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	80.0%	0.0%	20.0%	0.0%
A20	기존 주물 제동디스크를 30% 경량화, 저소음, 내구성 향상	0.0%	50.0%	0.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)						
		한국	일본	미국	EU	중국	기타	없음
	이 가능한 알루미늄 복합소재를 적용한 제동디스크를 개발해야 한다.							
A21	기존 철도차량용 대차 대비 차축이 1/2개인 single axle 대차기술 개발을 통해 대차무게 50%이상 경량화하는 기술이 개발되어야 한다.	0.0%	0.0%	0.0%	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%
평균		0.0%	13.8%	1.7%	***79.3%***	0.0%	5.2%	0.0%

□ **경량차체 분야의 최고기술 보유국은 EU로 나타났으며 일부 기술의 경우 국내에서 최고기술을 보유하고 있는 것으로 나타남**

표 4.1.25 경량차체 중점분야 최고기술보유국 비중 및 기술수준

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)						
		한국	일본	미국	EU	중국	기타	없음
B1	알루미늄, 복합소재, 마그네슘 등 경량소재를 구조체의 하중 특성을 고려, 적절하게 적용하여 도시철도차량 안전기준을 만족하고 기존 차체 중량 대비 30%이상 차체 경량화를 실현할 수 있는 차체설계 및 제작기술 개발	0.0%	22.2%	0.0%	***77.8%***	0.0%	0.0%	0.0%
B2	이종소재를 이용한 철도차량 경량화시 복합소재+알루미늄, 알루미늄+마그네슘간의 접합기술 개발이 필요하다.	0.0%	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B3	알루미늄 골조를 구성한 후 UNDER를 제외한 SIDE, END, ROOF부분에 대해서 알루미늄 허니컴 판넬을 알루미늘 골조에 용접하는 구조를 적용하여 경량 차제 제작기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%
B4	철도차량의 무게 구성 비중 24%를 차지하는 차체의 무게를 5% 감소(경량화)가 가능한 마그네슘 주조 및 압출기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%
B5	알루미늄 차체의 언더프레임, 사이드패널, 루프패널 등의 접합에 FSW공법을 적용하여 용접강도를 미그용접대비 10%이상 향상시켜 용접부 두께 및 구조 단순화로 차체 경량화 실현	0.0%	***50.0%***	0.0%	***50.0%***	0.0%	0.0%	0.0%
B6	철도 차체의 기존 재질의 경량화 한계를 극복하기 위해 지붕 골조, 단부 골조, 전두부 골조의 하이브리드 차체 체결 구조 기술과 내측 골조 경량 복합 소재 개발 및 기존 소재(AL, STS) 접합 체결 구조 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%
B7	고강도 AL 압출 소재 기술 개발을 통해 철도 차량을 경량화 한다.	0.0%	40.0%	0.0%	***60.0%***	0.0%	0.0%	0.0%
B8	건축 및 자동차 분야의 벽체, 천장, 충격완화재, 도어 등에 사용되는 honeycomb 구조재를 철도 차량 경량화를 위해 차체나 도어 등에 적용가능한 Mg(sheet) - Al(core cell) honeycomb board를 개발한다. (Mg sheet의 발화온도: 750oC 이상)	25.0%	25.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	***50.0%***
B9	알루미늄 차체 압출소재의 두께 및 WEB(단부) 생략 및 알루미늄 차체 용접기술(FSW)을 개발한다.	0.0%	***50.0%***	0.0%	***50.0%***	0.0%	0.0%	0.0%

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)						
		한국	일본	미국	EU	중국	기타	없음
B10	철도차량 안전기준에 부합하는 고강도 난연성 마그네슘합금 압출재 제조기술을 개발하고 이를 이용하여 Chassis 제품을 개발한다.(기존 기존 알루미늄제품 대비 경량화율 20%이상, 진직도 : ± 1mm 이내(1,000mm 제품 기준), 인장강도 : 300MPa 이상, 발화온도: 750oC 이상)	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B11	철도차량 경량화를 위한 기반기술로 철도소재에 DB가 구축되어야 한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B12	철도 차제 경량화를 위해 적용 소재별 차체의 제작비용 및 유지보수 비용, 운용비용 등을 고려한 경제적인 하이브리드 철도차량 경량화 설계기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B13	철도차량 경량화 및 에너지 저감을 위해 첨단소재를 적용한 roof 경량화 기술 및 기존 알루미늄 압출차체 대비 15%이상 경량화 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B14	차체 경량화를 위해 7000계 등의 고강도 알루미늄 합금 적용기술을 개발한다.	0.0%	50.0%	0.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B15	철도차량 차체 및 내장재 재료로 적용되는 복합소재 및 알루미늄 합금을 대체하여 차체 경량화를 위한 난연 마그네슘 합금(발화온도 750oC 이상) 적용기술을 개발한다.	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B16	단순 커버역할을 수행하는 전두부구조물에 충돌에너지 흡수기능을 추가하여 일체형 모듈화 설계를 통한 중량 30%이상 및 부품수 50%이상 를 감소하는 기술을 개발한다.	-	-	-	-	-	-	-
B17	차체에 적용되고 있는 corrugated core sandwich structures의 제조 및 최소중량설계의 한계를 극복하고, 열전달, 방진 및 충격흡수 등을 구조물이 수행하여 부품의 수를 줄이는 설계기술을 개발한다.	-	-	-	-	-	-	-
B18	일체형 차체에 비해 비용 및 시간을 단축할 수 있는 대형 차체의 모듈형 복합소재 구조물 설계/성형 및 접합 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B19	차량의 경량화 및 고속화에 따른 차체 공력 진동 현상, 갱웨이로 인한 유동박리 현상 및 갱웨이 내부의 유동순환 현상을 저감하는 기술을 개발한다.	-	-	-	-	-	-	-
B20	철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 구조용 부품의 일부(지붕 등)를 복합재를 이용하여 제작하고, 공정 원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B21	기존의 스틸 프레임, 복합재 커버 및 충격흡수장치가 따로 구성되어 있는 전두부를 첨단 복합재를 적용한 충격흡수기능 일체형 전두부 기술을 개발한다.(기존의 스틸 프레임이 없이 복합재 구조가 하중을 지지하는 개념).	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B22	첨단 복합재료, 고강도 알루미늄 및 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)을 적용하여 경량 차체(복합재 루프	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)						
		한국	일본	미국	EU	중국	기타	없음
	&바닥, 난연성 마그네슘 도어, 고강도 알루미늄 차벽) 기술을 개발한다.							
평균		15.4%	19.3%	2.6%	59.9%	0.0%	0.0%	2.6%

□ 의장/기장 분야의 최고기술 보유국은 한국, EU로 나타남

표 4.1.26 의장/기장 중점분야 최고기술보유국 비중 및 기술수준

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)						
		한국	일본	미국	EU	중국	기타	없음
C1	실내천정 패널과 에어덕트구조의 단순화, 사이드패널과 실내의자, 손잡이 등을 일체화한 모듈개발로 부품간의 체결구조를 최소화 하고, 복합소재 라미네이트 패널 등 경량구조 및 이에 적합한 성형공법 개발로 기존 내장재 대비 약 20%이상의 경량화 실현	-	-	-	-	-	-	-
C2	의자에 속하는 프레스 부속 부품을 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)으로 변경하여 30~40% 중량절감을 위해 열간 프레스 성형기술을 안정화하고, 부품 설계 표준안을 획득하는 기술을 개발한다.	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C3	발화온도 750oC 이상의 난연 마그네슘합금을 이용한 의자 경량부품 개발을 위해 마그네슘 동종 및 이종 간의 용접기술을 개발하고, 마그네슘 소재에 대한 다양한 접합 기술의 성능 및 내구성, 생산성 향상을 위한 기술을 개발한다.	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C4	경량전철 적용되는 알루미늄 차체의 포켓스라이딩도어, 객실기기 취부 안전성 및 품질 확보를 위한 고강도 알루미늄 압출기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C5	신소재를 적용한 출입문 경량화 기술을 개발하고, 자기부상열차나 트램 등에 적용한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C6	의자프레임, 실내선반, 각종 브라켓 등 현재 스틸 및 알루미늄 재질을 난연마그네슘으로 대체하여 부품별 20%이상 중량 절감	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C7	일반적으로 리엑터(코일) 규소강판은 약 3%의 규소를 함유하는 것을 약 6% 증가시킴으로써 고효율 리엑터(코일)의 효율 3%, 부피 50%, 중량 70% 감소시키는 기술을 개발한다.	-	-	-	-	-	-	-
C8	기존ACPT(외형가로1400mm 세로550mm 높이700 중량120Kg 사기애자및절연오일방식)대비중량50%감소(경량화), 높이40%감소,부피약50%감소하는25KVACPT기술을개발한다.	-	-	-	-	-	-	-
C9	집전장치(판토그래프) 소재를 카본소재 교체하여 30% 경량화를 달성하고 집전성능을 계측하는 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C10	복합소재의 성형 기법과 최적의 설계를 통하여 내장재 제작기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C11	승객용의자 내부 금속 프레임을 사출공법을 활용하여 금속프레임 대비 기계적 물성 90% 수준 달성을 위한 천연장섬유 복합재료 제조, 소재 개발 및 공정 조건 최적화 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C12	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)						
		한국	일본	미국	EU	중국	기타	없음
	750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 승객용 의자에 적용하는 기술을 개발한다.							
C13	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 출입문 적용하는 기술을 개발한다.	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C14	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 핸드그립 및 선반에 적용하는 기술을 개발한다.	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C15	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 공조 시스템 커버 및 T-slot 등에 적용하는 기술을 개발한다.	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C16	철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 내장재(의자, 바닥재 등)를 복합재를 이용하여 곡면이 포함된 일체형 부품, 공정원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	33.3%	***66.7%***	0.0%	0.0%	0.0%
C17	AI합금 및 섬유강화 복합소재를 적용하여 공기압축기 / 공기탱크 / BOU / 캘리퍼 유니트의 경량화 기술을 개발한다.	0.0%	33.3%	0.0%	***66.7%***	0.0%	0.0%	0.0%
C18	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 핸드그립 및 선반에 적용하는 기술을 개발한다.	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C19	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 공조 시스템 커버 및 T-slot 등에 적용하는 기술을 개발한다.	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C20	철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 내장재(의자, 바닥재 등)를 복합재를 이용하여 곡면이 포함된 일체형 부품, 공정원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.	0.0%	0.0%	33.3%	***66.7%***	0.0%	0.0%	0.0%
C21	AI합금 및 섬유강화 복합소재를 적용하여 공기압축기 / 공기탱크 / BOU / 캘리퍼 유니트의 경량화 기술을 개발	0.0%	33.3%	0.0%	***66.7%***	0.0%	0.0%	0.0%

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)						
		한국	일본	미국	EU	중국	기타	없음
	한다.							
C22	기존 철도차량용 대차 대비 차축이 1/2개인 single axle 대차기술 개발을 통해 대차무게 50%이상 경량화하는 기술이 개발되어야 한다.	0.0%	0.0%	0.0%	***100.0%***	0.0%	0.0%	0.0%
평균		***47.6%***	4.8%	2.4%	***45.2%***	0.0%	0.0%	0.0%

(5) 우리나라 기술수준

□ **예측기술의 최고선진국 대비 국내 기술수준은 72.7%로 조사됨**

◦ 의장/기장 분야는 68.9%로 전체 기술수준 평균보다 3..8% 낮으며, 타 중점분야의 기술수준에 비해 가장 낮은 것으로 나타남

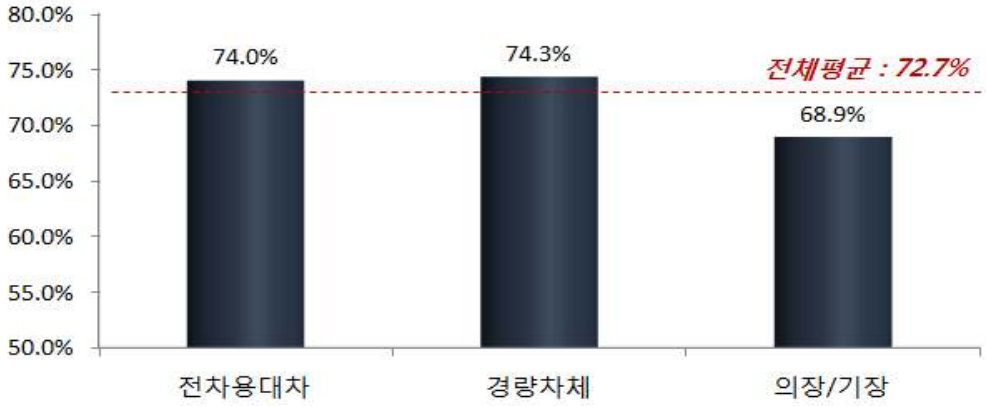


그림 4.1.14 중점분야별 기술수준

□ **전동차용 대차 중점분야의 기술수준(평균 74.0%)은 전체평균(72.7%) 보다 높은 것으로 나타남**

◦ A15(120km/h이상 복합소재 대차기술 및 기존 전동차용 대차 대비 20%이상 경량화 기술)의 기술수준은 80%로 동 분야에서 가장 높은 기술수준을 보유하고 있는 것으로 나타남

◦ A20(알루미늄 복합소대적용 제동디스크) 및 A16(차량 최적 제어기술)의 기술수준은 각각 62.5%, 68.7%로 동 분야에서 가장 낮은 기술수준을 보유하고 있는 것으로 나타남

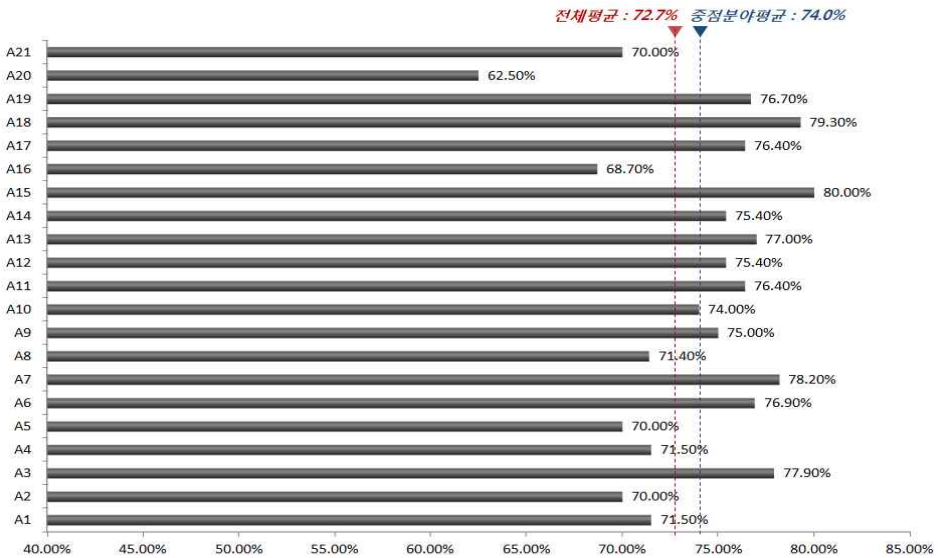


그림 4.1.15 전동차용 대차 중점분야 기술수준

□ 경량차체 분야의 기술수준(평균 74.3%)은 전체평균(72.7%) 보다 높은 것으로 나타남

◦ B16(전두부구조물 일체형 모듈화 설계기술), B18(대형 차체의 모듈형 복합소재 구조물 설계/성형 및 접합 기술), B20(차체의 구조용 부품의 일부(지붕 등)를 복합재 이용 제작 기술)은 기술수준이 80% 이상으로 동 분야에서 높은 기술수준을 나타냄

◦ B10(고강도 난연성 마그네슘합금 압출재 제조기술 및 Chassis 제품 개발기술), B15(난연 마그네슘 합금(발화온도 750oC 이상) 적용기술)의 기술수준은 각각 52.5%, 61.4%로 동분야에서 가장 낮은 기술수준을 나타냄

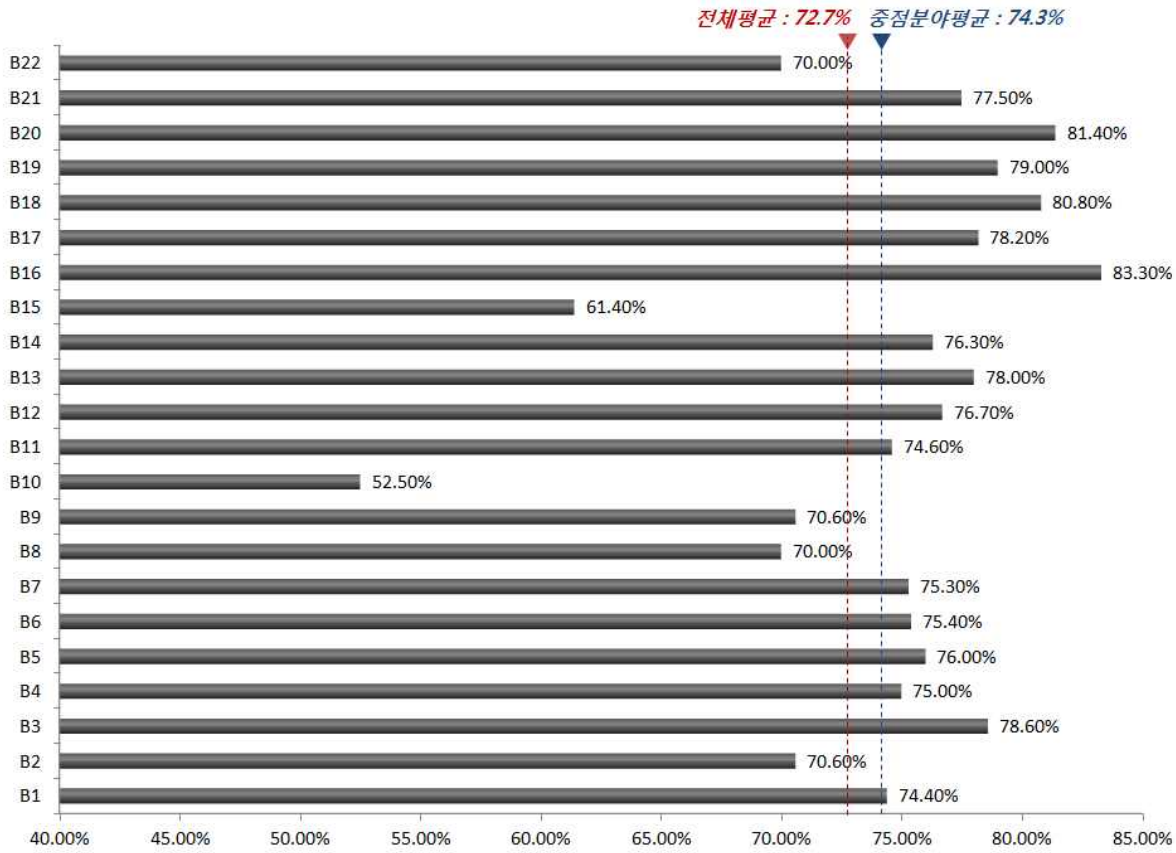


그림 4.1.16 경량차체 중점분야 기술수준

□ 의장/기장 중점분야의 기술수준(평균 68.9%)은 전체평균(72.7%) 보다 낮은 것으로 나타남

◦ C16(차체 내장재의 복합재 이용, 곡면이 포함된 일체형 부품 개발기술), C17(공기압축기 / 공기탱크 / BOU / 캘리퍼 유니트의 경량화 기술)의 기술수준은 80%로 동분야에서 가장 높은 기술수준을 나타냄

◦ C12(난연성 마그네슘합금 조성 최적화기술)의 기술수준은 50.0%로 동 분야에서 가장 낮은 기술수준을 나타냄

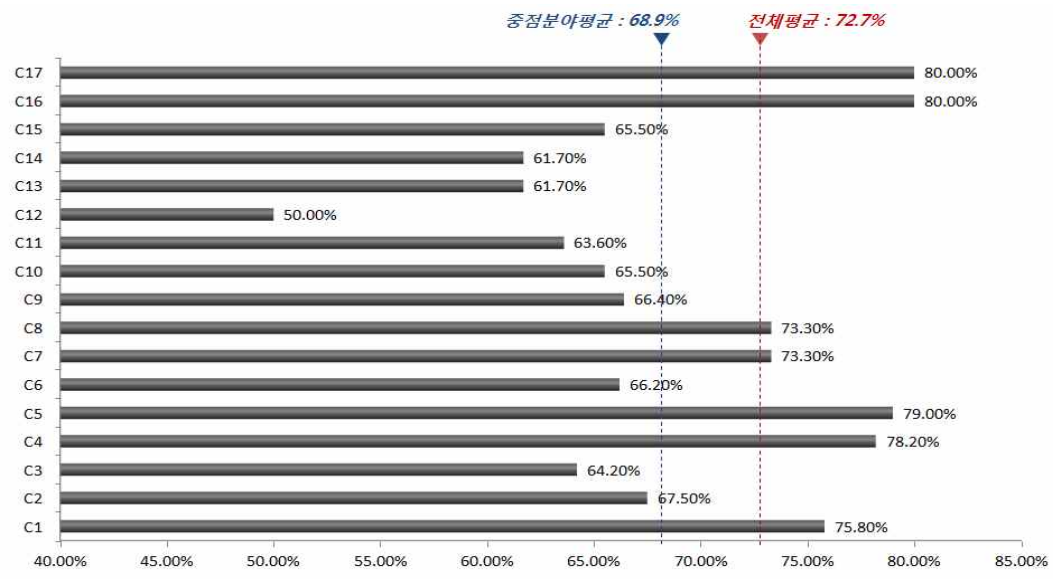


그림 4.1.17 의장/기장 중점분야 기술수준

(6) 미래사회에서의 중요도

□ **미래사회의 중요도 평균은 4.3점으로 각 중점분야별로 유사한 수준으로 나타났음**

- 전동차용 대차 분야는 과학기술적 혁신, 새로운 지식의 창출 측면에서 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남
- 경량차체 분야는 과학기술적 중요도와 경제산업적 부가가치 창출 측면에서 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남
- 의장/기장 분야는 경제산업적 부가가치 창출 측면에서 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남

표 4.1.27중점분야별 미래사회의 중요도

예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점척도)			
	과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균
전체	*4.4*	4.1	*4.4*	4.3
중점분야1 (전동차용 대차)	*4.8*	4.1	4.3	4.4
중점분야2 (경량차체)	*4.4*	3.8	*4.4*	4.2
중점분야3 (의장/기장)	4.1	4.4	*4.5*	4.3

□ **전동차용 대차 중점분야는 과학기술적(혁신, 새로운 지식의 창출 측면) 중요도가 4.8로 가장 높게 나타남**

◦ A1(차륜, 차축 경량화)은 해당 중점분야 중 가장 높은 중요도를 가지고 있으며 과학기술적 중요도와 경제산업적 부가가치 창출 측면에서 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남

표 4.1.28 전동차용 대차 중점분야의 미래사회에서의 중요도

구분	예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점척도)				
		과학기술적	사회공공적	경제산업적	평균	순위
A1	차륜 재질과 형상을 변경하여 차륜 차축을 경량화하는 기술을 개발한다.	*4.7*	4.6	*4.8*	4.7	1
A2	철도차량 경량화시 자중 감소에 따른 점착성능(점차계수 저하 방지)을 확보하는 기술을 개발한다.	*4.7*	4.0	4.6	4.4	12
A3	기존 대차의 프레임을 경량 복합소재를 적용하여 기존 대비 30% 경량화되고 현가장치 기능을 갖는 초경량 대차프레임 기술을 개발해야 한다.	*4.9*	4.1	4.7	4.6	5
A4	철도 차량 경량화를 위해 탄소섬유를 적용하여 내륜을 갖는 외륜부 차륜의 최적설계 기술을 개발한다.	*4.9*	4.1	4.8	4.6	2
A5	대차중량의 16~20%를 차지하는 대차프레임에 고강도 알루미늄합금을 적용하여 도시철도 성능기준을 만족하며, 대차 프레임 중량을 20%이상 경량화 할 수 있는 알루미늄 대차 개발	*4.7*	3.3	4.5	4.2	17
A6	현재 금속재 주강을 사용한 대차의 축상 1세트 중량 약 520kg을 대차의 축상 재질을 복합소재로 변경하여 대차의 중량을 약 280kg까지 경감하는 기술을 개발한다.	*4.9*	3.7	4.8	4.5	7
A7	일반 중실차축의 중량은 약 300Kg/EA이나 중공차축을 채용하여 차축중량을 20% 저감하고, 대차당 120Kg의 중량을 저감하는 기술을 개발한다.	*4.8*	3.3	3.6	3.9	21
A8	아웃보드대차를 인보드대차로 변경하여 15~20% 중량저감이 가능한 기술을 개발한다.	*4.8*	3.6	3.9	4.1	18
A9	대차에 강제조향장치 적용을 통해 차량의 곡선구간 통과 시 차륜에 작용하는 횡압을 30%이상 저감 기술을 개발한다.	*4.5*	3.5	3.7	3.9	20
A10	저전력원 제어소자로 사용되고 있는 IGBT나 IPM의 성능을 보완하여 대전류를 보다 자유로이 제어하고 추진모터별로 제어전력을 제공하는 Sic 제어소자 기술을 개발한다.	*5.0*	3.4	3.8	4.0	19
A11	철도차량 10량 기준, 연구자석 동기전동기 1,600kg과 알루미늄 하우징 1,000kg 경량화를 위한 연구자석전동기 설계기술 및 알루미늄 합금재료 전동기 하우징 설계기술을 개발한다.	*5.0*	3.9	3.8	4.2	16
A12	대차 프레임, 탄성차륜, 중공차축, 현가장치, 제동장치 및 강제조향장치의 안전성, 신뢰성, 내구성 확보 설계 기술을 개발하고, 강제조향(Forced-steering)방식 인보드(inboard) 대차 시스템을 최적화 및 실용화 기술을 개발한다.	*4.9*	4.2	4.1	4.4	14

A13	철도차량 생산, 사용 및 폐기단계의 전주기 과정에서 발생하는 탄소 배출량 저감을 위한 경량화 재료 선정평가 및 관리기술을 개발한다.	*4.9*	4.2	4.2	4.4	10
A14	기존 대차 대비 중량을 최대 30% 경량화, 에너지 비용 및 선로마모 저감을 위한 120km/h이상 인보드형 전동차용 대차 기술을 개발한다.	*4.8*	4.3	4.2	4.4	11
A15	기존 대차 대비 선로 마모성능을 향상 시킬 수 있는 120km/h이상 복합소재 대차기술과 기존 전동차용 대차 대비 20%이상 경량화 기술을 개발한다.	*5.0*	4.2	4.2	4.5	8
A16	철도차량 경량화시 중량감소로 인해 발생하는 점착력 감소를 최대한 이용하기 위한 차량 최적 제어기술을 개발한다.	4.4	4.3	*4.5*	4.4	12
A17	대차프레임에 복합소재를 적용하여 내구성을 확보하고, 유연한 구조를 이용하여 판스프링으로 설계함으로써 2차 현가장치로 인한 무게 절감이 가능한 기술을 개발한다.	*4.8*	4.3	4.2	4.4	9
A18	VARI(Vacuum Assisted Resin Infusion) 공정을 이용하여 Autoclave 공정품 대비 단가 50% 이상 절감 및 공정 대비 70% 이상 공정을 단축하는 대형 후판 복합재 액상성형 공정 기술을 개발한다.	*4.9*	4.5	4.4	4.6	2
A19	대차의 중량 및 유지보수비용 저감을 위한 Inboard형 대차 설계기술, 부품(구동모터, 제동장치 등) 및 첨단 복합재 기술을 개발한다.	*4.8*	4.5	4.4	4.6	5
A20	기존 주물 제동디스크를 30% 경량화, 저소음, 내구성 향상이 가능한 알루미늄 복합소재를 적용한 제동디스크를 개발해야 한다.	4.1	*4.6*	4.1	4.3	15
A21	기존 철도차량용 대차 대비 차축이 1/2개인 single axle 대차기술 개발을 통해 대차무게 50%이상 경량화하는 기술이 개발되어야 한다.	*5.0*	4.4	4.4	4.6	4
전체		4.8	4.1	4.3	4.4	-

□ **경량차체는 중점분야는 과학기술적(혁신, 새로운 지식의 창출 측면) 중요도, 경제산업적(경제산업적 부가가치 창출 측면)가 4.4점으로 가장 높게 나타남**

◦ B4(마그네슘 주조 및 압출기술)은 해당 중점분야 중 가장 높은 중요도를 나타내고 있음

표 4.1.29 경량차체 중점분야의 미래사회에서의 중요도

구분	예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점척도)				
		과학기술적	사회공공적	경제산업적	평균	순위
B1	알루미늄, 복합소재, 마그네슘 등 경량소재를 구조체의 하중 특성을 고려, 적절하게 적용하여 도시철도차량 안전기준을 만족하고 기존 차체 중량 대비 30%이상 차체 경량화를 실현할 수 있는 차체설계 및 제작기술 개발	*4.5*	3.9	4.0	4.1	13
B2	이종소재를 이용한 철도차량 경량화시 복합소재+알루미늄, 알루미늄+마그네슘간의 접합기술 개발이 필요하다.	3.6	3.5	*3.8*	3.7	21
B3	알루미늄 골조를 구성한 후 UNDER를 제외한 SIDE, END, ROOF 부분에 대해서 알루미늄 허니컴 판넬을 알루미늄 골조에 용접하는 구조를 적용하여 경량 차체 제작기술을 개발한다.	*4.7*	3.9	4.4	4.3	9

B4	철도차량의 무게 구성 비중 24%를 차지하는 차체의 무게를 5% 감소(경량화)가 가능한 마그네슘 주조 및 압출기술을 개발한다.	***5.0***	4.4	4.7	4.7	1
B5	알루미늄 차체의 언더프레임, 사이드패널, 루프패널 등의 접합에 FSW공법을 적용하여 용접강도를 미그용접대비 10%이상 향상시켜 용접부 두께 및 구조 단순화로 차체 경량화 실현	***4.4***	3.6	4.2	4.1	16
B6	철도 차체의 기존 재질의 경량화 한계를 극복하기 위해 지붕 골조, 단부 골조, 전두부 골조의 하이브리드 차체 체결 구조 기술과 내측 골조 경량 복합 소재 개발 및 기존 소재(AL, STS) 접합 체결 구조 기술을 개발한다.	3.9	3.9	***4.5***	4.1	14
B7	고강도 AL 압출 소재 기술 개발을 통해 철도 차량을 경량화 한다.	3.9	3.7	***4.1***	3.9	18
B8	건축 및 자동차 분야의 벽체, 천장, 충격완화재, 도어 등에 사용되는 honeycomb 구조재를 철도 차량 경량화를 위해 차체나 도어 등에 적용가능한 Mg(sheet) - Al(core cell) honeycomb board를 개발한다. (Mg sheet의 발화온도: 750oC 이상)	***4.7***	4.6	***4.7***	4.7	2
B9	알루미늄 차체 압출소재의 두께 및 WEB(단부) 생략 및 알루미늄 차체 용접기술(FSW)을 개발한다.	3.8	3.8	***3.9***	3.9	19
B10	철도차량 안전기준에 부합하는 고강도 난연성 마그네슘합금 압출재 제조기술을 개발하고 이를 이용하여 Chassis 제품을 개발한다.(기존 기존 알루미늄제품 대비 경량화율 20%이상, 진직도 : ± 1mm 이내 (1,000mm 제품 기준), 인장강도 : 300MPa 이상, 발화온도: 750oC 이상)	4.2	***5.0***	4.4	4.6	3
B11	철도차량 경량화를 위한 기반기술로 철도소재에 DB가 구축되어야 한다.	***4.5***	3.7	3.8	4.0	17
B12	철도 차제 경량화를 위해 적용 소재별 차체의 제작비용 및 유지보수 비용, 운용비용 등을 고려한 경제적인 하이브리드 철도차량 경량화 설계기술을 개발한다.	***4.5***	3.5	4.3	4.1	15
B13	철도차량 경량화 및 에너지 저감을 위해 첨단소재를 적용한 roof 경량화 기술 및 기존 알루미늄 압출차체 대비 15%이상 경량화 기술을 개발한다.	***4.3***	2.9	4.0	3.8	20
B14	차체 경량화를 위해 7000계 등의 고강도 알루미늄 합금 적용기술을 개발한다.	***3.9***	2.9	***3.9***	3.6	22
B15	철도차량 차체 및 내장재 재료로 적용되는 복합소재 및 알루미늄 합금을 대체하여 차체 경량화를 위한 난연 마그네슘 합금(발화온도 750oC 이상) 적용기술을 개발한다.	***4.7***	3.9	***4.7***	4.4	5
B16	단순 커버역할을 수행하는 전두부구조물에 충돌에너지 흡수기능을 추가하여 일체형 모듈화 설계를 통한 중량 30%이상 및 부품수 50% 이상 를 감소하는 기술을 개발한다.	4.6	3.4	***5.0***	4.3	9
B17	차체에 적용되고 있는 corrugated core sandwich structures의 제조 및 최소중량설계의 한계를 극복하고, 열전달, 방진 및 충격흡수 등을 구조물이 수행하여 부품의 수를 줄이는 설계기술을 개발한다.	4.5	3.5	***5.0***	4.3	9
B18	일체형 차체에 비해 비용 및 시간을 단축할 수 있는 대형 차체의 모듈형 복합소재 구조물 설계/성형 및 접합 기술을 개발한다.	4.7	3.7	***4.9***	4.4	5
B19	차량의 경량화 및 고속화에 따른 차체 공력 진동 현상, 갱웨이로 인한 유동박리 현상 및 갱웨이 내부의 유동순환 현상을 저감하는 기술을 개발한다.	4.8	3.5	***5.0***	4.4	7
B20	철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 구조용 부품의 일부(지붕 등)를 복합재를 이용하여 제작하고, 공정 원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.	4.5	4.0	***4.8***	4.4	4

B21	기존의 스틸 프레임, 복합재 커버 및 충격흡수장치가 따로 구성되어 있는 전두부를 첨단 복합재를 적용한 충격흡수기능 일체형 전두부 기술을 개발한다.(기존의 스틸 프레임이 없이 복합재 구조가 하중을 지지하는 개념).	4.1	4.2	***4.8***	4.4	8
B22	첨단 복합재료, 고강도 알루미늄 및 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)을 적용하여 경량 차체(복합재 루프&바닥, 난연성 마그네슘 도어, 고강도 알루미늄 차벽) 기술을 개발한다.	4.1	3.9	***4.6***	4.2	12
전체		***4.4***	3.8	***4.4***	4.2	-

□ **의장/기장 분야는 경제산업적(경제산업적 부가가치 창출 측면)중요도가 4.5점으로 가장 높게 나타남**

◦ C15(난연성 마그네슘합금 조성 최적화 기술 및 부품화에 필요한 공정 요소기술)는 해당 중점분야 중 가장 높은 중요도를 나타내고 있으며 경제산업적 중요도 외 과학기술적 중요도가 높은 것으로 나타남

표 4.1.30 의장/기장 중점분야의 미래사회에서의 중요도

구분	예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점척도)				
		과학기술적	사회공공적	경제산업적	평균	순위
C1	실내천정 패널과 에어덕트구조의 단순화, 사이드패널과 실내의자, 손잡이 등을 일체화한 모듈개발로 부품간의 체결구조를 최소화 하고, 복합소재 라미네이트 패널 등 경량구조 및 이에 적합한 성형공법 개발로 기존 내장재 대비 약 20%이상의 경량화 실현	3.4	3.7	***4.6***	3.9	17
C2	의자에 속하는 프레스 부속 부품을 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)으로 변경하여 30~40% 중량절감을 위해 열간 프레스 성형기술을 안정화하고, 부품 설계 표준안을 획득하는 기술을 개발한다.	3.1	4.0	***4.9***	4.0	16
C3	발화온도 750oC 이상의 난연 마그네슘합금을 이용한 의자 경량부품 개발을 위해 마그네슘 동종 및 이종 간의 용접기술을 개발하고, 마그네슘 소재에 대한 다양한 접합 기술의 성능 및 내구성, 생산성 향상을 위한 기술을 개발한다.	3.1	4.4	***5.0***	4.2	12
C4	경량전철 적용되는 알루미늄 차체의 포켓스라이딩도어, 객실기기 취부 안전성 및 품질 확보를 위한 고강도 알루미늄 압출기술을 개발한다.	***4.7***	4.3	4.1	4.4	8
C5	신소재를 적용한 출입문 경량화 기술을 개발하고, 자기부상열차나 트램 등에 적용한다.	2.9	4.6	***4.9***	4.1	13
C6	의자프레임, 실내선반, 각종 브라켓 등 현재 스틸 및 알루미늄 재질을 난연마그네슘으로 대체하여 부품별 20%이상 중량 절감	4.3	4.2	***4.6***	4.4	11
C7	일반적으로 리엑터(코일) 규소강판은 약 3%의 규소를 함유하는 것을 약 6% 증가시킴으로써 고효율 리엑터(코일)의 효율 3%, 부피 50%, 중량 70% 감소시키는 기술을 개발한다.	4.1	***4.3***	4.0	4.1	13
C8	기존ACPT(외형가로1400mm 세로550mm 높이700 중량120Kg 사기애자및절연오일방식)대비중량50%감소(경량화),높이40%감소,부피약50% 감소하는25KVACPT기술을개발한다.	4.0	***4.4***	4.0	4.1	13

C9	집전장치(판토그래프) 소재를 카본소재 교체하여 30% 경량화를 달성하고 집전성능을 계측하는 기술을 개발한다.	4.1	***4.8***	4.4	4.4	5
C10	복합소재의 성형 기법과 최적의 설계를 통하여 내장재 제작기술을 개발한다.	4.2	***4.9***	4.8	4.6	3
C11	승객용의자 내부 금속 프레임을 사출공법을 활용하여 금속프레임 대비 기계적 물성 90% 수준 달성을 위한 천연장섬유 복합재료 제조, 소재 개발 및 공정 조건 최적화 기술을 개발한다.	4.2	4.3	***4.6***	4.4	8
C12	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 승객용 의자에 적용하는 기술을 개발한다.	4.2	***4.6***	4.5	4.4	6
C13	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 출입문 적용하는 기술을 개발한다.	4.3	***4.7***	4.6	4.5	4
C14	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 핸드그립 및 선반에 적용하는 기술을 개발한다.	4.2	4.5	***4.6***	4.4	7
C15	철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 공조시스템 커버 및 T-slot 등에 적용하는 기술을 개발한다.	***5.0***	4.6	4.7	4.7	1
C16	철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 내장재(의자, 바닥재 등)를 복합재를 이용하여 곡면이 포함된 일체형 부품, 공정원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.	***4.9***	4.5	4.7	4.7	2
C17	AI합금 및 섬유강화 복합소재를 적용하여 공기압축기 / 공기탱크 / BOU / 캘리퍼 유니트의 경량화 기술을 개발한다.	***4.7***	4.1	4.3	4.4	10
전 체		4.1	4.4	***4.5***	4.3	-

(7) 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

□ 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 개념은 다음과 같음

- R&D 프로젝트의 전략적 방향설정 및 성과극대화의 도구로서, R&D 프로젝트 전체를 시장성, 기술성, 전략성 등 다양한 관점에서 분석하고 전체 프로젝트의 가치가 극대화될 수 있도록 유망 프로젝트에 자원을 배분하는 관리도구[1]임
- 기술수준-기술중요도 포트폴리오는 Booz-Allen & Hamilton의 R&D 포트폴리오를 차용한 것임

□ 4분면별 전략은 기술 수준과 평균 중요도를 축으로 함

- Bet(1사분면) : 현재 시장이 형성중인 기술로서 해당되는 기술에 대한 투자/육성을 통해 포지션을 유지하는 것이 요구되는 영역
- Draw(2사분면) : 연구개발 재원의 확보여부에 따라 해당되는 기술에 대해 적극적 투자를 통해 Bet 영역으로 이동을 검토해야하는 영역
- Fold(3사분면) : 기술개발의 포기 또는 감축을 고려해야 되는 영역
- Cash In(4사분면) : 해당되는 기술은 현금화(기술이전, 판매) 또는 다른 영역과의 연계성을 전략적으로 고려하여 투자/지원을 결정해야하는 영역

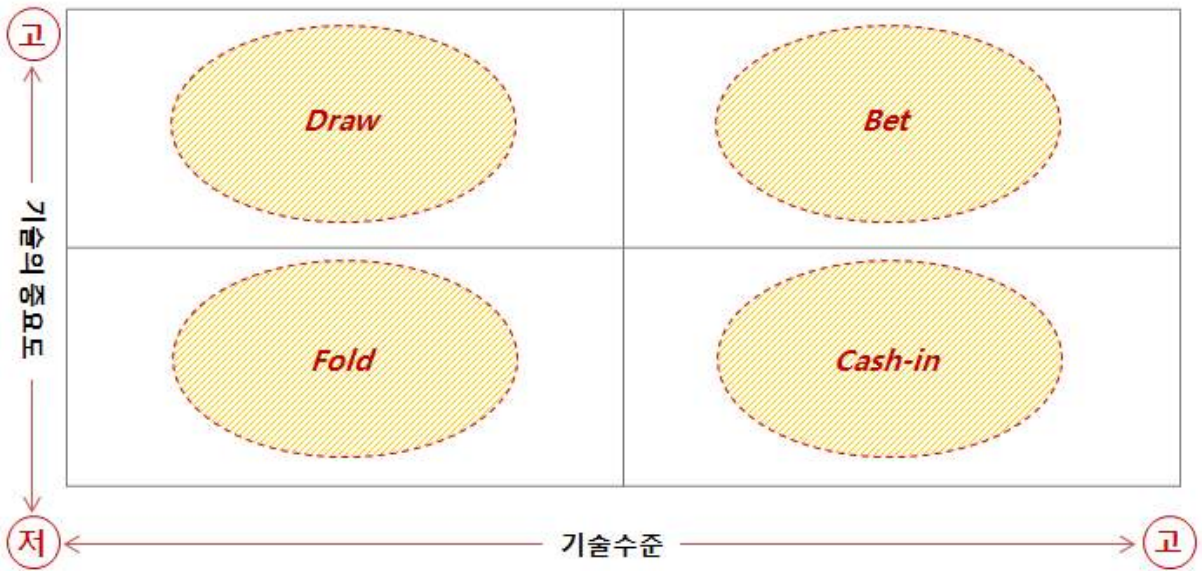


그림 4.1.18 기술수준-중요도 포트폴리오

1) R&D Strategy And Organisation(Vittorio Chiesa), ADL 제3세대 R&D

□ 동 사업에서는 전동차용 대차분야가 Bet(1사분면), 의장/기장 분야는 Draw(2사분면), 경량차체 분야는 Cash In(4사분면) 영역에 포함되는 것으로 나타남

◦ 전차용 대차 분야가 속한 Bet(1사분면) 영역은 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역임

◦ 의장/기장 분야가 속한 Draw(2사분면) 영역은 새로이 중요시 되지만 기술개발에 대한 위험성이 큰 영역임

◦ 경량차체 분야가 속한 Cash-in(4사분면) 영역은 기술의 부가가가치는 비교적 높지 않으나 수익성이 양호한 분야로 다른 핵심기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야하는 영역임

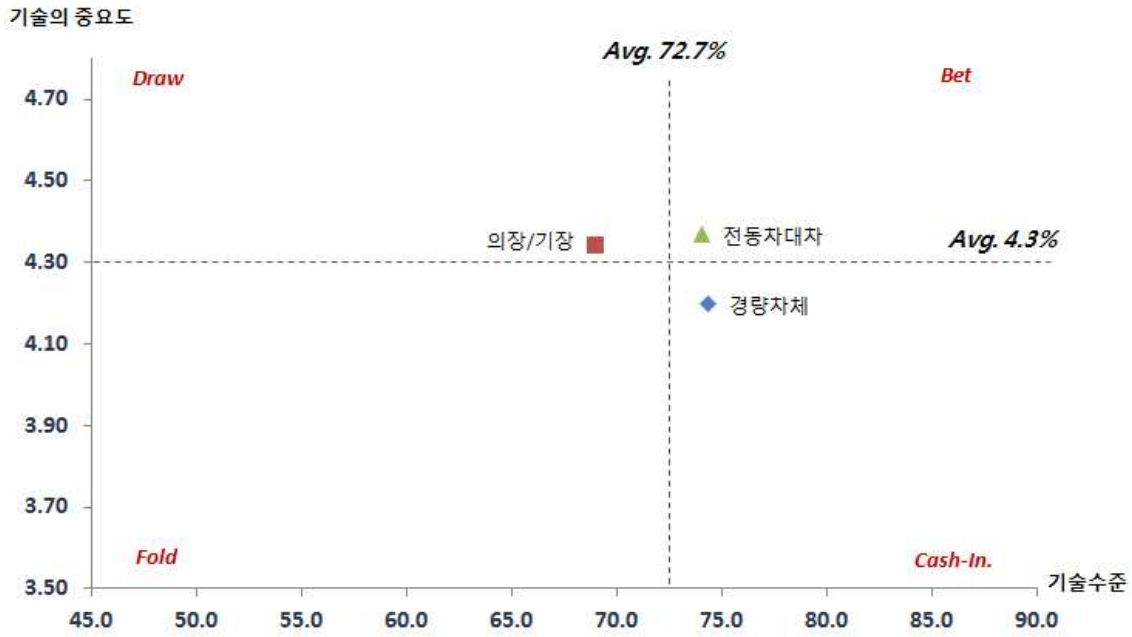


그림 4.1.19 중점분야별 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

□ 전동차용 대차 중점분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 대부분 Draw, Bet영역에 포함되는 것으로 나타남

◦ A5(알루미늄 대차 기술), A8(아웃보드대차의 인보드대차 변경기술), A20(알루미늄 복합소대적용 제동디스크)은 Fold 영역에 포함되나 해당기술의 중요도가 높음에 따라(4.0이상) 투자를 긍정적으로 고려할 수 있음(Draw 전략 검토)

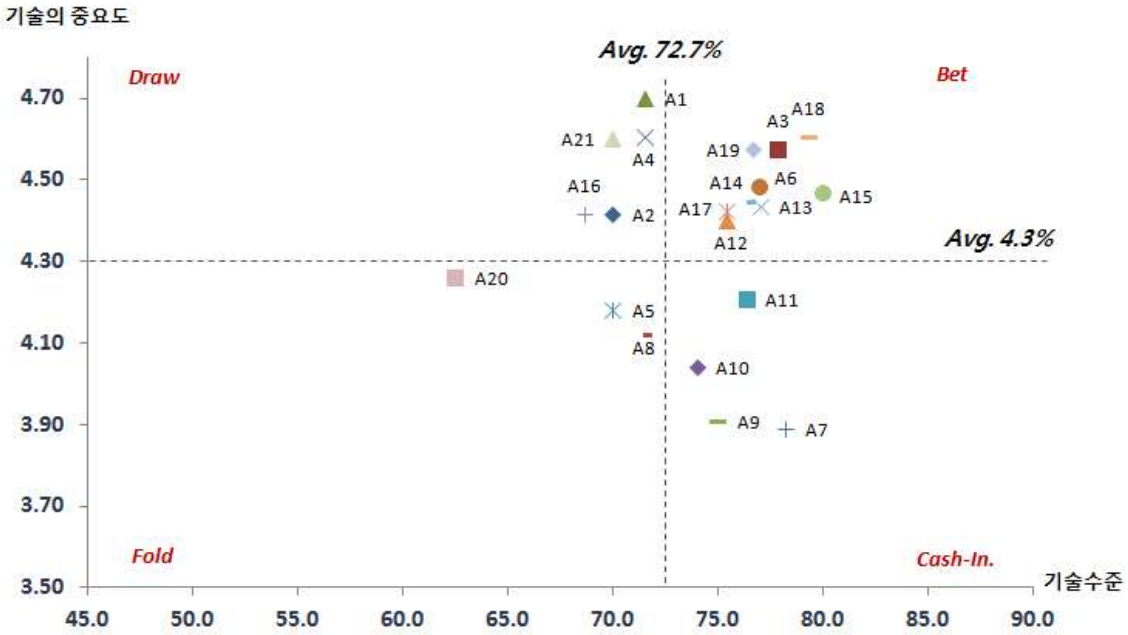


그림 4.1.20 전동차용 대차 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

A1 : 차륜 재질과 형상을 변경하여 차륜 차축을 경량화하는 기술을 개발한다.
A2 : 철도차량 경량화시 자중 감소에 따른 점착성능(점차계수 저하 방지)을 확보하는 기술을 개발한다.
A3 : 기존 대차의 프레임을 경량 복합소재를 적용하여 기존 대비 30% 경량화되고 현가장치 기능을 갖는 초경량 대차프레임 기술을 개발해야 한다.
A4 : 철도 차량 경량화를 위해 탄소섬유를 적용하여 내륜을 갖는 외륜부 차륜의 최적설계 기술을 개발한다.
A5 : 대차중량의 16~20%를 차지하는 대차프레임에 고강도 알루미늄합금을 적용하여 도시철도 성능기준을 만족하며, 대차 프레임 중량을 20%이상 경량화 할 수 있는 알루미늄 대차 개발
A6 : 현재 금속재 주강을 사용한 대차의 축상 1세트 중량 약 520kg을 대차의 축상 재질을 복합소재로 변경하여 대차의 중량을 약 280kg까지 경감하는 기술을 개발한다.
A7 : 일반 중실차축의 중량은 약 300Kg/EA이나 중공차축을 채용하여 차축중량을 20% 저감하고, 대차당 120Kg의 중량을 저감하는 기술을 개발한다.
A8 : 아웃보드대차를 인보드대차로 변경하여 15~20% 중량저감이 가능한 기술을 개발한다.
A9 : 대차에 강제조향장치 적용을 통해 차량의 곡선구간 통과 시 차륜에 작용하는 횡압을 30%이상 저

감 기술을 개발한다.

A10 : 저전력원 제어소자로 사용되고 있는 IGBT나 IPM의 성능을 보완하여 대전류를 보다 자유로이 제어하고 추진모터별로 제어전력을 제공하는 Sic 제어소자 기술을 개발한다.

A11 : 철도차량 10량 기준, 연구자석 동기전동기 1,600kg과 알루미늄 하우징 1,000kg 경량화를 위한 연구자석전동기 설계기술 및 알루미늄 합금재료 전동기 하우징 설계기술을 개발한다.

A12 : 대차 프레임, 탄성차륜, 중공차축, 현가장치, 제동장치 및 강제조향장치의 안전성, 신뢰성, 내구성 확보 설계 기술을 개발하고, 강제조향(Forced-steering)방식 인보드(inboard) 대차 시스템을 최적화 및 실용화 기술을 개발한다.

A13 : 철도차량 생산, 사용 및 폐기단계의 전주기 과정에서 발생하는 탄소배출량 저감을 위한 경량화 재료 선정평가 및 관리기술을 개발한다.

A14 : 기존 대차 대비 중량을 최대 30% 경량화, 에너지 비용 및 선로마모 저감을 위한 120km/h이상 인보드형 전동차용 대차 기술을 개발한다.

A15 : 기존 대차 대비 선로 마모성능을 향상 시킬 수 있는 120km/h이상 복합소재 대차기술과 기존 전동차용 대차 대비 20%이상 경량화 기술을 개발한다.

A16 : 철도차량 경량화시 중량감소로 인해 발생하는 점착력 감소를 최대한 이용하기 위한 차량 최적제어기술을 개발한다.

A17 : 대차프레임에 복합소재를 적용하여 내구성을 확보하고, 유연한 구조를 이용하여 판스프링으로 설계함으로써 2차 현가장치로 인한 무게 절감이 가능한 기술을 개발한다.

A18 : VARI(Vacuum Assisted Resin Infusion) 공정을 이용하여 Autoclave 공정품 대비 단가 50% 이상 절감 및 공정 대비 70% 이상 공정을 단축하는 대형 후판 복합재 액상성형 공정 기술을 개발한다.

A19 : 대차의 중량 및 유지보수비용 저감을 위한 Inboard형 대차 설계기술, 부품(구동모터, 제동장치 등) 및 첨단 복합재 기술을 개발한다.

A20 : 기존 주물 제동디스크를 30% 경량화, 저소음, 내구성 향상이 가능한 알루미늄 복합소재를 적용한 제동디스크를 개발해야 한다.

A21 : 기존 철도차량용 대차 대비 차축이 1/2개인 single axle 대차기술 개발을 통해 대차무게 50%이상 경량화하는 기술이 개발되어야 한다.

□ 경량차체 중점분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 대부분 Bet, Cash-in 영역에 포함되는 것으로 나타남

◦ B2(복합소재+알루미늄, 알루미늄+마그네슘간의 접합기술), B9(알루미늄 차체 용접기술-FSW), B22(첨단 복합재료, 고강도 알루미늄 및 난연성 마그네슘합금 적용 경량 차체 제작기술)은 Fold 영역에 포함되나 해당기술의 중요도가 높음에 따라(3.50이상) 투자를 긍정적으로 고려할 수 있음(Draw 전략 검토)

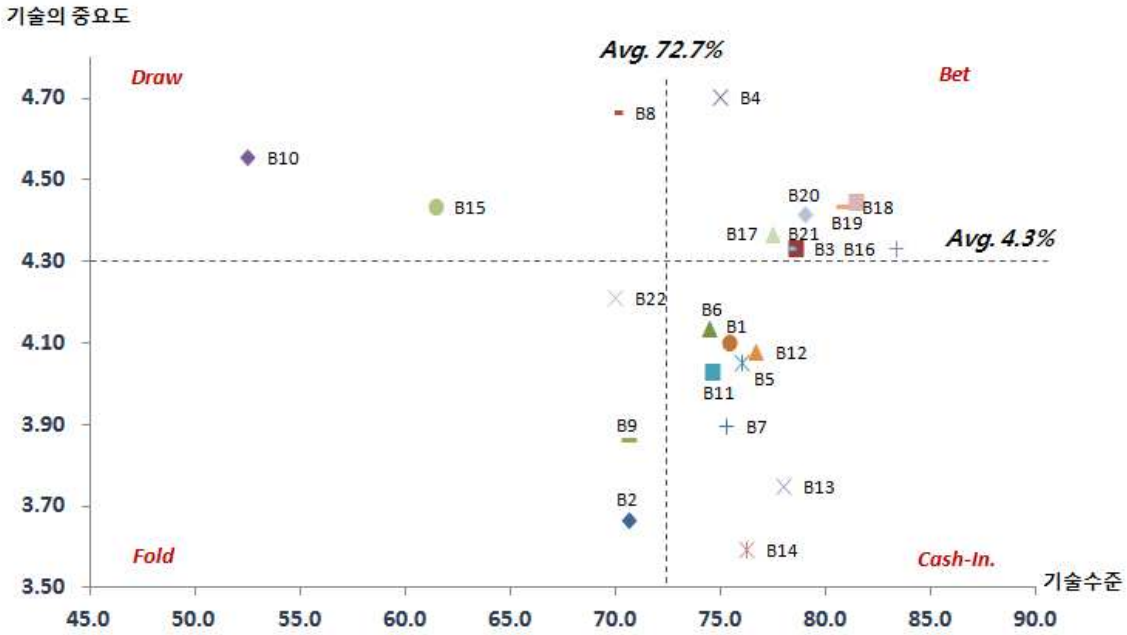


그림 4.1.21 경량차체 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

B1 : 알루미늄, 복합소재, 마그네슘 등 경량소재를 구조체의 하중 특성을 고려, 적절하게 적용하여 도시철도차량 안전기준을 만족하고 기존 차체 중량 대비 30%이상 차체 경량화를 실현할 수 있는 차체설계 및 제작기술 개발

B2 : 이종소재를 이용한 철도차량 경량화시 복합소재+알루미늄, 알루미늄+마그네슘간의 접합기술 개발이 필요하다.

B3 : 알루미늄 골조를 구성한 후 UNDER를 제외한 SIDE, END, ROOF부분에 대해서 알루미늄 허니컴 판넬을 알루미늄 골조에 용접하는 구조를 적용하여 경량 차제 제작기술을 개발한다.

B4 : 철도차량의 무게 구성 비중 24%를 차지하는 차체의 무게를 5% 감소(경량화)가 가능한 마그네슘 주조 및 압출기술을 개발한다.

B5 : 알루미늄 차체의 언더프레임, 사이드패널, 루프패널 등의 접합에 FSW공법을 적용하여 용접강도를 미그용접대비 10%이상 향상시켜 용접부 두께 및 구조 단순화로 차체 경량화 실현

B6 : 철도 차체의 기존 재질의 경량화 한계를 극복하기 위해 지붕 골조, 단부 골조, 전두부 골조의 하이브리드 차체 체결 구조 기술과 내측 골조 경량 복합 소재 개발 및 기존 소재(AL, STS) 접합 체결 구조 기술을 개발한다.

B7 : 고강도 AL 압출 소재 기술 개발을 통해 철도 차량을 경량화 한다.

B8 : 건축 및 자동차 분야의 벽체, 천장, 충격완화재, 도어 등에 사용되는 honeycomb 구조재를 철도 차량 경량화를 위해 차체나 도어 등에 적용가능한 Mg(sheet) - Al(core cell) honeycomb board를 개발한다. (Mg sheet의 발화온도: 750oC 이상)

B9 : 알루미늄 차체 압출소재의 두께 및 WEB(단부) 생략 및 알루미늄 차체 용접기술(FSW)을 개발한다.

B10 : 철도차량 안전기준에 부합하는 고강도 난연성 마그네슘합금 압출재 제조기술을 개발하고 이를 이용하여 Chassis 제품을 개발한다.(기존 기존 알루미늄제품 대비 경량화율 20%이상, 진직도 : ± 1mm 이내(1,000mm 제품 기준), 인장강도 : 300MPa 이상, 발화온도: 750oC 이상)

B11 : 철도차량 경량화를 위한 기반기술로 철도소재에 DB가 구축되어야 한다.

B12 : 철도 차제 경량화를 위해 적용 소재별 차체의 제작비용 및 유지보수 비용, 운용비용 등을 고려한 경제적인 하이브리드 철도차량 경량화 설계기술을 개발한다.

B13 : 철도차량 경량화 및 에너지 저감을 위해 첨단소재를 적용한 roof 경량화 기술 및 기존 알루미늄 압출차체 대비 15%이상 경량화 기술을 개발한다.

B14 : 차체 경량화를 위해 70계 등의 고강도 알루미늄 합금 적용기술을 개발한다.

B15 : 철도차량 차체 및 내장재 재료로 적용되는 복합소재 및 알루미늄 합금을 대체하여 차체 경량화를 위한 난연 마그네슘 합금(발화온도 750oC 이상) 적용기술을 개발한다.

B16 : 단순 커버역할을 수행하는 전두부구조물에 충돌에너지 흡수기능을 추가하여 일체형 모듈화 설계:를 통한 중량 30%이상 및 부품수 50%이상 를 감소하는 기술을 개발한다.

B17 : 차체에 적용되고 있는 corrugated core sandwich structures의 제조 및 최소중량설계의 한계를 극복하고, 열전달, 방진 및 충격흡수 등을 구조물이 수행하여 부품의 수를 줄이는 설계기술을 개발한다.

B18 : 일체형 차체에 비해 비용 및 시간을 단축할 수 있는 대형 차체의 모듈형 복합소재 구조물 설계/성형 및 접합 기술을 개발한다.

B19 : 차량의 경량화 및 고속화에 따른 차체 공력 진동 현상, 갱웨이로 인한 유동박리 현상 및 갱웨이 내부의 유동순환 현상을 저감하는 기술을 개발한다.

B20 : 철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 구조용 부품의 일부(지붕 등)를 복합재를 이용하여 제작하고, 공정 원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.

B21 : 기존의 스틸 프레임, 복합재 커버 및 충격흡수장치가 따로 구성되어 있는 전두부를 첨단 복합재를 적용한 충격흡수기능 일체형 전두부 기술을 개발한다.(기존의 스틸 프레임이 없이 복합재 구조가 하중을 지지하는 개념).

B22 : 첨단 복합재료, 고강도 알루미늄 및 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)을 적용하여 경량 차체(복합재 루프&바닥, 난연성 마그네슘 도어, 고강도 알루미늄 차벽) 기술을 개발한다.

□ 의장/기장 중점분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 대부분 Draw 영역에 포함되는 것으로 나타남

◦ C2(열간 프레스 성형기술을 안정화 및 부품 설계 표준안 획득 기술), C3(마그네슘 동종 및 이종 간의 용접기술)은 Fold 영역에 포함되나 해당기술의 중요도가 높음에 따라(4.0이상) 투자를 긍정적으로 고려할 수 있음(Draw 전략 검토)

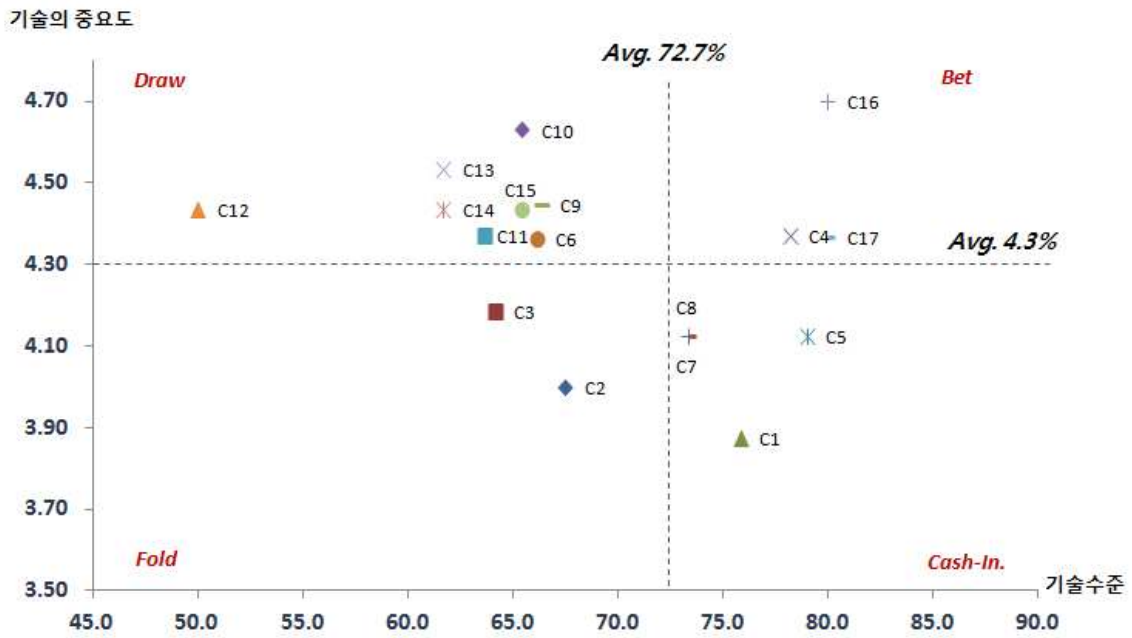


그림 4.1.22 의장/기장 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

C1 : 실내천정 패널과 에어덕트구조의 단순화, 사이드패널과 실내의자, 손잡이 등을 일체화한 모듈개발로 부품간의 체결구조를 최소화 하고, 복합소재 라미네이트 패널 등 경량구조 및 이에 적합한 성형공법 개발로 기존 내장재 대비 약 20%이상의 경량화 실현

C2 : 의자에 속하는 프레스 부속 부품을 난연성 마그네슘합금(발화온도 750oC 이상)으로 변경하여 30~40% 중량절감을 위해 열간 프레스 성형기술을 안정화하고, 부품 설계 표준안을 획득하는 기술을 개발한다.

C3 : 발화온도 750oC 이상의 난연 마그네슘합금을 이용한 의자 경량부품 개발을 위해 마그네슘 동종 및 이종 간의 용접기술을 개발하고, 마그네슘 소재에 대한 다양한 접합 기술의 성능 및 내구성, 생산성 향상을 위한 기술을 개발한다.

C4 : 경량전철 적용되는 알루미늄 차체의 포켓스라이딩도어, 객실기기 취부 안전성 및 품질 확보를 위한 고강도 알루미늄 압출기술을 개발한다.

C5 : 신소재를 적용한 출입문 경량화 기술을 개발하고, 자기부상열차나 트램 등에 적용한다.

C6 : 의자프레임, 실내선반, 각종 브라켓 등 현재 스틸 및 알루미늄 재질을 난연마그네슘으로 대체하여 부품별 20%이상 중량 절감

C7 : 일반적으로 리엑터(코일) 규소강판은 약 3%의 규소를 함유하는 것을 약 6% 증가시킴으로써 고효

율 리엑터(코일)의 효율 3%, 부피 50%, 중량 70% 감소시키는 기술을 개발한다.

C8 : 기존ACPT(외형가로1400mm 세로550mm 높이700 중량120Kg 사기애자및절연오일방식)대비중량50% 감소(경량화),높이40%감소,부피약50%감소하는25KVACPT기술을개발한다.

C9 : 집전장치(판토그래프) 소재를 카본소재 교체하여 30% 경량화를 달성하고 집전성능을 계측하는 기술을 개발한다.

C10 : 복합소재의 성형 기법과 최적의 설계를 통하여 내장재 제작기술을 개발한다.

C11 : 승객용의자 내부 금속 프레임을 사출공법을 활용하여 금속프레임 대비 기계적 물성 90% 수준 달성을 위한 천연장섬유 복합재료 제조, 소재 개발 및 공정 조건 최적화 기술을 개발한다.

C12 : 철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 승객용 의자에 적용하는 기술을 개발한다.

C13 : 철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 출입문 적용하는 기술을 개발한다.

C14 : 철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 핸드그립 및 선반에 적용하는 기술을 개발한다.

C15 : 철도차량에 요구되는 경량화와 난연 소재 적용(발화온도 750℃ 이상)에 대한 요구를 동시에 충족할 수 있도록 난연성 마그네슘합금의 조성을 최적화하고 부품화에 필요한 공정 요소기술을 개발하여 공조 시스템 커버 및 T-slot 등에 적용하는 기술을 개발한다.

C16 : 철도차량 차체 경량화를 위하여 차체의 내장재(의자, 바닥재 등)를 복합재를 이용하여 곡면이 포함된 일체형 부품, 공정원가(설비단가, 인건비) 50% 이상 절감 및 Autoclave molding 대비 공정시간 70% 이상 단축을 위한 기술을 개발한다.

C17 : AI합금 및 섬유강화 복합소재를 적용하여 공기압축기 / 공기탱크 / BOU / 캘리퍼 유니트의 경량화 기술을 개발한다.

3. 결과의 활용

□ **기술수요/예측조사 결과를 바탕으로 기술아이템(60개)을 선별하여 후보과제군을 설정한 후 우선순위 평가를 거쳐 최종과제 도출**

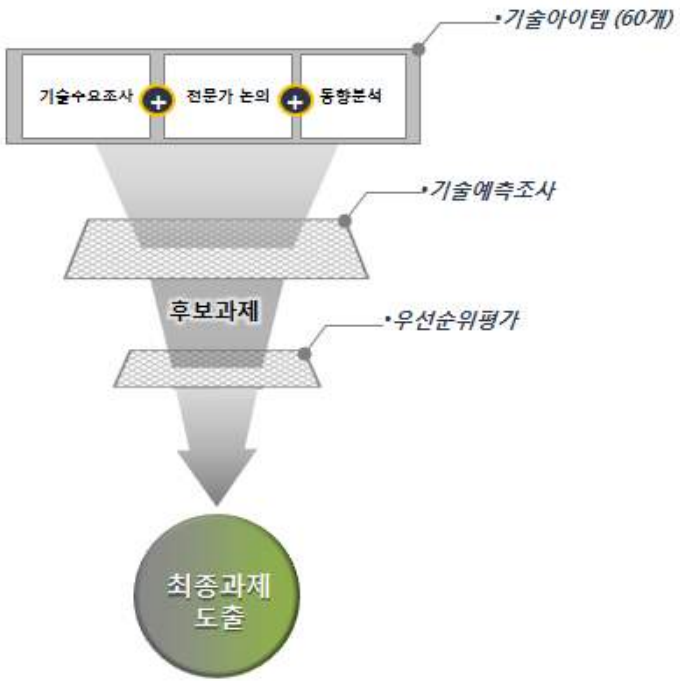


그림 4.1.23 최종과제 도출절차

□ **기술예측조사 결과를 활용하여 후보과제 설정 시 다음사항을 고려할 수 있음**

- 과제추진시기를 고려하여 기술적 실현이 2024년 이후인 과제 배제
- 정부/민간 공동연구 및 정부개입 필요성이 높은 과제 우선 추진
- 과학기술적/사회공공적/경제산업적 중요도가 높은 과제 우선 추진
- Fold 영역 해당 과제 추진 필요성 검토

□ **우선순위 평가에서는 영향력, 시급성 및 용이성을 평가 기준으로 설정할 수 있음**

- (영향력) 각 과제에서 개발하고자 하는 기술의 비전목표 부합성 및 과학기술적/사회경제적 파급효과 평가
- (시급성) 각 기술개발의 추진 시급성 평가
- (용이성) 각 기술개발의 성공가능성 및 연구 수행을 위한 국내 연구개발역량(인력, 장비 등의 연구인프라 및 기반기술 역량 등)평가

제2절 우선순위평가

1. 개요

□ **우선순위평가의 개요**

◦ 기술로드맵에 반영하고자 하는 후보과제의 우선순위를 도출하기 위해 5가지 우선순위 도출 기준에 따라 5점척도 평가 실시

- 5가지 우선순위 도출기준은 1. 기술개발 필요성, 2. 목표 부합성, 3.기술개발 추진 시급성, 4.기술개발 성공가능성, 5. 파급효과로 전문가 워크샵('13. 8. 27)을 통해 도출함

- 5점 척도 기준 : 5점(매우 높음), 4점(높음), 3점(보통), 2점(낮음), 1점(매우 낮음)

□ **우선순위평가 방법**

◦ 조사기간

- 2013. 9. 11 ~ 9.13

◦ 조사대상 : 산학연 관련 전문가(40명 대상)

◦ 조사방법 : e-mail 조사

◦ 조사항목

- 우선순위 평가기준의 가중치 설정, 후보과제별 우선순위 평가

2. 결과

가. 우선순위 평가기준의 가중치

□ **우선순위 평가기준**

◦ "기술개발 필요성"은 철도차량 및 부품 경량화 시장, 정책 및 기술동향 관점에서 정부 연구개발사업으로 추진이 이루어져야 하는 정도 평가

◦ "목표 부합성"은 해당 후보과제가 철도차량 및 부품 경량화 연구사업의 목표 달성에 부합하는 정도 평가

- [연구사업의 목표] 첨단소재를 활용하여 철도차량 및 부품 경량화 기술 개발

◦ “기술개발 추진 시급성”은 사회적, 정책적, 기술적 변화에 의해 수요가 급증할 것으로 예상되어 해당 후보과제에 대한 연구개발이 시급하게 추진해야 하는지 여부 평가

◦ “기술개발 성공가능성”은 연구 수행을 위한 국내 연구개발역량(인력, 장비 등의 연구인프라 및 기반기술 역량 등)을 평가하고, 이로인한 기술개발 성공가능성 평가

◦ "파급효과“는 과학기술적, 사회공공적, 경제산업적 파급효과를 평가하는 항목으로 다음을 고려

- [과학기술적 파급효과] 과학적 혁신이나 새로운 지식의 창출 측면의 파급효과
- [사회공공적 파급효과] 사회문제 해결 및 공익 측면의 파급효과
- [경제산업적 파급효과] 경제산업적 부가가치 창출 측면의 파급효과

□ **우선순위 평가기준 가중치**

◦ 5가지 우선순위 평가기준 가중치 조사결과는 다음과 같음

- 우선순위 평가기준 가중치 중 기술개발 필요성이 25.9%로 가장 높게 조사됨

표 4.2.1 우선순위 평가기준 가중치

구분	기술개발 필요성	목표 부합성	기술개발 추진시급성	기술개발 성공가능성	파급효과	소계
가중치	0.259	0.208	0.213	0.156	0.164	1.000

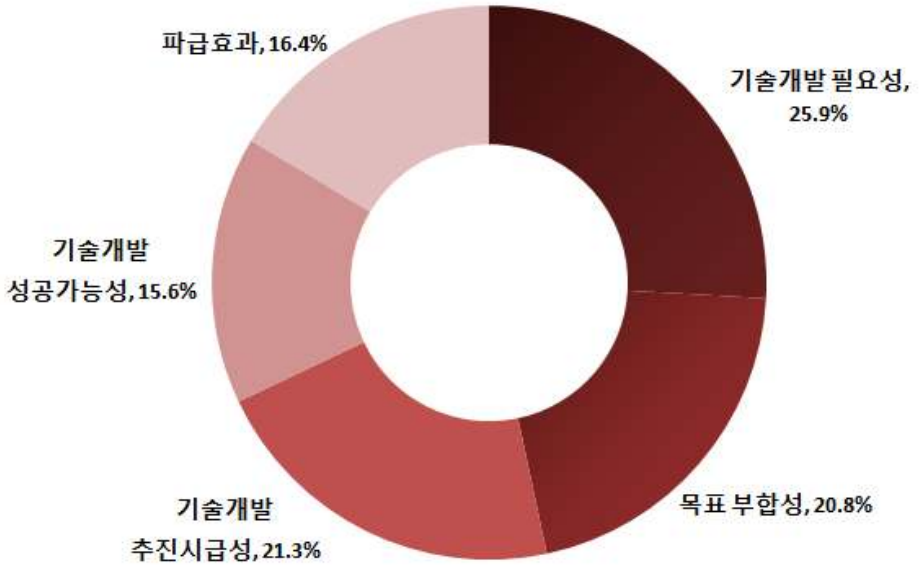


그림 4.2.1 우선순위 평가기준 가중치

□ 우선순위 평가 결과(총괄)

◦ 우선순위 평가기준의 가중치를 고려한 25개 후보과제의 우선순위 결과는 다음과 같음

표 4.2.2 우선순위 평가결과(총괄)

순위	연번	후보과제명	평가점수
1	B9	철도차량 차체 경량화를 위한 난연성 마그네슘 합금 적용기술	4.09
2	B1	첨단소재를 적용한 하이브리드형 차체 설계 및 제작기술	4.07
3	C5	난연성 마그네슘합금을 적용한 경량 의자 제조기술	4.04
4	B10	철도차량 경량화를 위한 이종소재 접합기술	4.03
5	A1	복합소재를 적용한 대차프레임 경량화 기술	4.02
6	B5	첨단 복합소재를 적용한 하이브리드 철도차량 차체 roof 경량화 기술	3.88
7	B7	대형 차체 적용을 위한 복합소재 Resin Infusion 공정	3.75
8	A4	저에너지, 저마모형 초경량 인보드형 대차 기술	3.68
9	C6	난연 마그네슘 합금에 대한 차체 및 의장/내장재 적용을 위한 화재안전기준(안) 도출	3.67
10	A3	대차 경량화를 위한 복합재 VARI 성형 기술	3.67
11	A9	대차구조 최적설계 기술	3.64

12	C4	난연성 마그네슘합금 압출재를 적용한 선반 제조기술	3.61
13	C2	난연성 마그네슘합금 판재를 적용한 천정패널 및 에어덕트 부품 제조기술	3.60
14	B4	충격흡수기능 일체형 복합재 전두부개발	3.59
15	B6	차체 경량화에 따른 차체 공력 진동 현상 저감 기술	3.56
16	C1	복합소재를 적용한 내장재용 일체형 부품 및 공정원가 50% 이상 저감 기술	3.56
17	B8	철도차량 차체용 소재 DB 구축	3.54
18	A8	기존 주물 제동디스크를 30% 경량화, 저소음, 내구성 향상이 가능한 알루미늄 복합소재 적용 제동디스크 기술	3.50
19	C3	난연성 마그네슘합금 특성평가기술 및 표준화	3.37
20	B2	알루미늄 샌드위치 차체의 최적 경량코어 설계	3.37
21	A7	경량 철도차량의 점착력 감소를 방지하기 위한 최적제어기술	3.24
22	A2	첨단소재를 적용한 공기스프링 경량화 기술	3.20
23	A5	인보드형 소형 경량 감속기 기술	3.10
24	A6	인보드형 소형 경량 구동모터 기술	3.06
25	B3	다기능성을 고려한 트러스 코어 샌드위치 차체 적용	3.01
평가점수 평균			**3.59**

※ 우선순위 평가기준에 따른 평가결과는 별첨 참조

□ 중점분야 우선순위 평가 결과

◦ 전동차용 대차 부문 9개 후보과제의 우선순위 결과는 다음과 같음

표 4.2.3 우선순위 평가결과(전동차용 대차)

순위	연번	후보과제명	평가점수
1	A1	복합소재를 적용한 대차프레임 경량화 기술	4.02
2	A4	저에너지, 저마모형 초경량 인보드형 대차 기술	3.68
3	A3	대차 경량화를 위한 복합재 VARI 성형 기술	3.67
4	A9	대차구조 최적설계 기술	3.64
5	A8	기존 주물 제동디스크를 30% 경량화, 저소음, 내구성 향상이 가능한 알루미늄 복합소재 적용 제동디스크 기술	3.50
6	A7	경량 철도차량의 점착력 감소를 방지하기 위한 최적제어기술	3.24
7	A2	첨단소재를 적용한 공기스프링 경량화 기술	3.20
8	A5	인보드형 소형 경량 감속기 기술	3.10
9	A6	인보드형 소형 경량 구동모터 기술	3.06

◦ 경량차체 부문 10개 후보과제의 우선순위 결과는 다음과 같음

표 4.2.4 우선순위 평가결과(경량차체)

순위	연번	후보과제명	평가점수
1	B9	철도차량 차체 경량화를 위한 난연성 마그네슘 합금 적용기술	4.09
2	B1	첨단소재를 적용한 하이브리드형 차체 설계 및 제작기술	4.07
3	B10	철도차량 경량화를 위한 이종소재 접합기술	4.03
4	B5	첨단 복합소재를 적용한 하이브리드 철도차량 차체 roof 경량화 기술	3.88
5	B7	대형 차체 적용을 위한 복합소재 Resin Infusion 공정	3.75
6	B4	충격흡수기능 일체형 복합재 전두부개발	3.59
7	B6	차체 경량화에 따른 차체 공력 진동 현상 저감 기술	3.56
8	B8	철도차량 차체용 소재 DB 구축	3.54
9	B2	알루미늄 샌드위치 차체의 최적 경량코어 설계	3.37
10	B3	다기능성을 고려한 트러스 코어 샌드위치 차체 적용	3.01

◦ 의장/기장 부문 6개 후보과제의 우선순위 결과는 다음과 같음

표 4.2.5 우선순위 평가결과(총괄)

순위	연번	후보과제명	평가점수
1	C5	난연성 마그네슘합금을 적용한 경량 의자 제조기술	4.04
2	C6	난연 마그네슘 합금에 대한 차체 및 의장/내장재 적용을 위한 화재안전기준(안) 도출	3.67
3	C4	난연성 마그네슘합금 압출재를 적용한 선반 제조기술	3.61
4	C2	난연성 마그네슘합금 판재를 적용한 천정패널 및 에어덕트 부품 제조기술	3.60
5	C1	복합소재를 적용한 내장재용 일체형 부품 및 공정원가 50% 이상 저감 기술	3.56
6	C3	난연성 마그네슘합금 특성평가기술 및 표준화	3.37

[별첨] 우선순위 평가기준에 따른 평가결과

연번	후보과제명	기술개발 필요성	목표 부합성	기술개발 추진시급성	기술개발 성공가능성	파급효과	합계
		25.9%	20.8%	21.3%	15.6%	16.4%	
A1	복합소재를 적용한 대차프레임 경량화 기술	1.17	0.86	0.82	0.58	0.59	4.02
A2	첨단소재를 적용한 공기스프링 경량화 기술	0.88	0.71	0.62	0.55	0.44	3.20
A3	대차 경량화를 위한 복합재 VARI 성형 기술	1.05	0.78	0.78	0.54	0.52	3.67
A4	저에너지, 저마모형 초경량 인보드형 대차 기술	1.05	0.82	0.72	0.51	0.57	3.68
A5	인보드형 소형 경량 감속기 기술	0.89	0.68	0.61	0.45	0.47	3.10
A6	인보드형 소형 경량 구동모터 기술	0.90	0.69	0.58	0.43	0.46	3.06
A7	경량 철도차량의 점착력 감소를 방지하기 위한 최적제어기술	0.92	0.63	0.74	0.48	0.47	3.24
A8	기존 주물 제동디스크를 30% 경량화, 저소음, 내구성 향상이 가능한 알루미늄 복합소재 적용 제동디스크 기술	1.00	0.77	0.70	0.53	0.51	3.50
A9	대차구조 최적설계 기술	1.02	0.77	0.75	0.56	0.54	3.64
B1	첨단소재를 적용한 하이브리드형 차체 설계 및 제작기술	1.16	0.87	0.84	0.57	0.63	4.07
B2	알루미늄 샌드위치 차체의 최적 경량코어 설계	0.94	0.76	0.68	0.51	0.47	3.37
B3	다기능성을 고려한 트러스 코어 샌드위치 차체 적용	0.80	0.68	0.60	0.49	0.44	3.01
B4	충격흡수기능 일체형 복합재 전두부개발	1.01	0.78	0.69	0.58	0.54	3.59
B5	첨단 복합소재를 적용한 하이브리드 철도차량 차체	1.06	0.86	0.76	0.63	0.57	3.88

연번	후보과제명	기술개발 필요성	목표 부합성	기술개발 추진시급성	기술개발 성공가능성	파급효과	합계
		25.9%	20.8%	21.3%	15.6%	16.4%	
	roof 경량화 기술						
B6	차체 경량화에 따른 차체 공력 진동 현상 저감 기술	1.04	0.70	0.77	0.54	0.52	3.56
B7	대형 차체 적용을 위한 복합소재 Resin Infusion 공정	1.02	0.85	0.75	0.56	0.57	3.75
B8	철도차량 차체용 소재 DB 구축	1.00	0.70	0.71	0.60	0.53	3.54
B9	철도차량 차체 경량화를 위한 난연성 마그네슘 합금 적용기술	1.15	0.88	0.84	0.59	0.64	4.09
B10	철도차량 경량화를 위한 이종소재 접합기술	1.15	0.81	0.87	0.59	0.61	4.03
C1	복합소재를 적용한 내장재용 일체형 부품 및 공정원가 50% 이상 저감 기술	1.04	0.71	0.73	0.55	0.53	3.56
C2	난연성 마그네슘합금 판재를 적용한 천정패널 및 에어덕트 부품 제조기술	1.02	0.78	0.73	0.56	0.53	3.60
C3	난연성 마그네슘합금 특성평가기술 및 표준화	0.95	0.63	0.72	0.56	0.51	3.37
C4	난연성 마그네슘합금 압출재를 적용한 선반 제조기술	0.96	0.80	0.73	0.57	0.55	3.61
C5	난연성 마그네슘합금을 적용한 경량 의자 제조기술	1.10	0.88	0.84	0.62	0.60	4.04
C6	난연 마그네슘 합금에 대한 차체 및 의장/내장재 적용을 위한 화재안전기준(안) 도출	1.03	0.75	0.73	0.60	0.56	3.67

※ 우선순위 평가기준에 따른 평가결과는 ***평가기준별 5점척도 점수 × 평가기준 가중치 점수***임

제 5 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제1절 비전 및 목표

1. 비전

○ 본 과제는 철도차량의 에너지 절감, 유지보수비 저감 및 친환경 교통수단으로서의 철도의 경쟁력 강화를 위해 “첨단 철도 부품 소재 기술 강국” 이라는 비전을 설정하였고, 이에 다른 미션, 목표, 전략을 설정하였음

○ 낙후된 철도분야 부품소재 산업을 첨단소재 적용을 통해 강소기업육성 및 국가경쟁력 강화라는 국가 R&D 미션에 부응하도록 임무를 설정하였음

○ 연구의 전략적 목표는 첨단 신소재를 도시철도차량의 차체, 대차 및 의장/내장분야에 적용하여 기존 대비 20%이상 경량화가 가능한 핵심기술의 선도적 개발로 설정하였음

○ 연구개발 목표를 달성하기 위한 전략으로는 국내에서 세계적인 원천기술이 확보된 소재기술, 철도차량분야에서 기초연구가 종료되어 추가 지원을 통해 실용화 가능한 기술, 선진국대비 낙후되어 연구개발이 시급한 철도차량 부품소재 분야로 분류하고 각 분야 기술을 적절히 융합하여 연구개발 기간내에 본 과제의 목표를 달성할 수 있도록 수립하였음

비 전 : 첨단 철도부품소재 기술 강국

첨단소재 적용 도시철도차량 차체, 대차 및 의장/내장분야
기존 대비 20%이상 경량화

고강도 Al, 복합소재 적용하여 20% 이상 경량 차체 기술 개발	첨단소재 적용 20%이상 경량화된 초경량 대차 및 부품 기술 개발	난연 Mg을 적용 20% 이상 경량 의장/내장 부품 기술 개발

2. 연구목표 및 세부과제별 목표

가. 최종목표

○ 첨단소재 적용 도시철도차량 차체, 대차 및 의장/내장분야 기존 대비 20% 이상 경량화 기술개발

나. 세부과제별 목표

○ 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술 개발
- 첨단소재 적용 기존 전동차 차체 대비 20% 경량화 된 하이브리드 차체 기술개발
- 하이브리드 차체 구조안전성 평가 기술개발
- 이종 소재 간의 조립/접합 기술개발
- 복합재 대형 차체 부품 및 충격흡수 단부모듈 신공정 기술개발

○ 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술 개발
- 첨단소재 적용 기존 전동차 대차 대비 20% 이상 대차 경량화 기술개발
- 소형 경량 감속기 및 구동모터 기술 개발
- 첨단소재 적용 경량 제동디스크 및 공기스프링 기술개발

○ 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발
- 첨단소재 및 부품화 요소기술 적용을 통한 전동차의 의장·내장 부품 20%이상 경량화 기술개발
- 난연특성 및 기계적 특성이 우수한 마그네슘합금 제조 기술개발
- 고특성 난연성 마그네슘합금 압출재 제조 기술개발
- 고특성 난연성 마그네슘합금 압출재 성형 및 접합 기술개발
- 마그네슘합금의 난연성 평가기법 표준화 및 화재안전기준 도출

제2절 기술개발에 따른 미래상

1. 세부과제 1 (첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술 개발)의 미래상



그림 5.2.1 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술 개발 로드맵

2. 세부과제 2(첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발)의 미래상

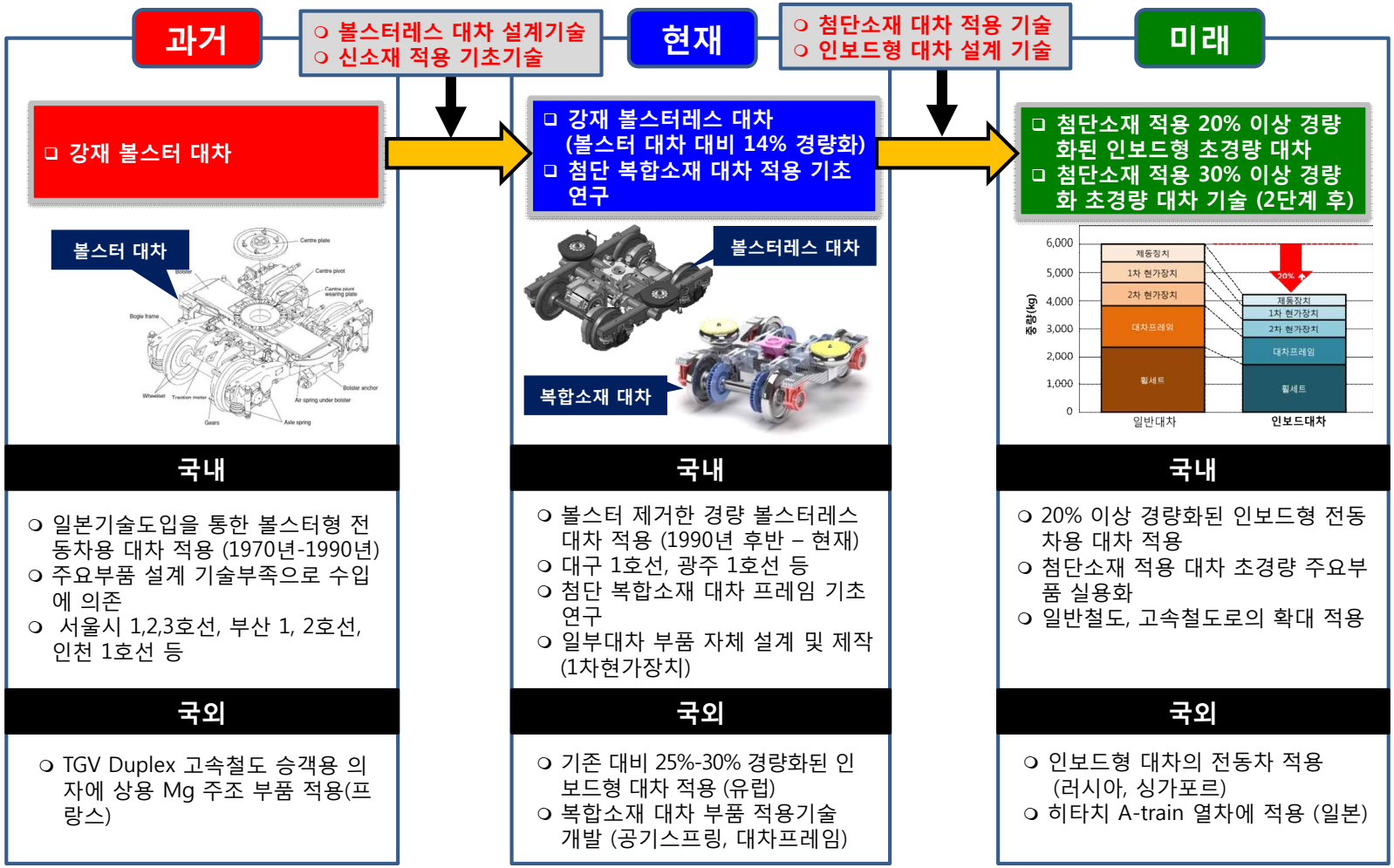


그림 5.2.2 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발 로드맵

3. 세부과제 3(첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발)의 미래상

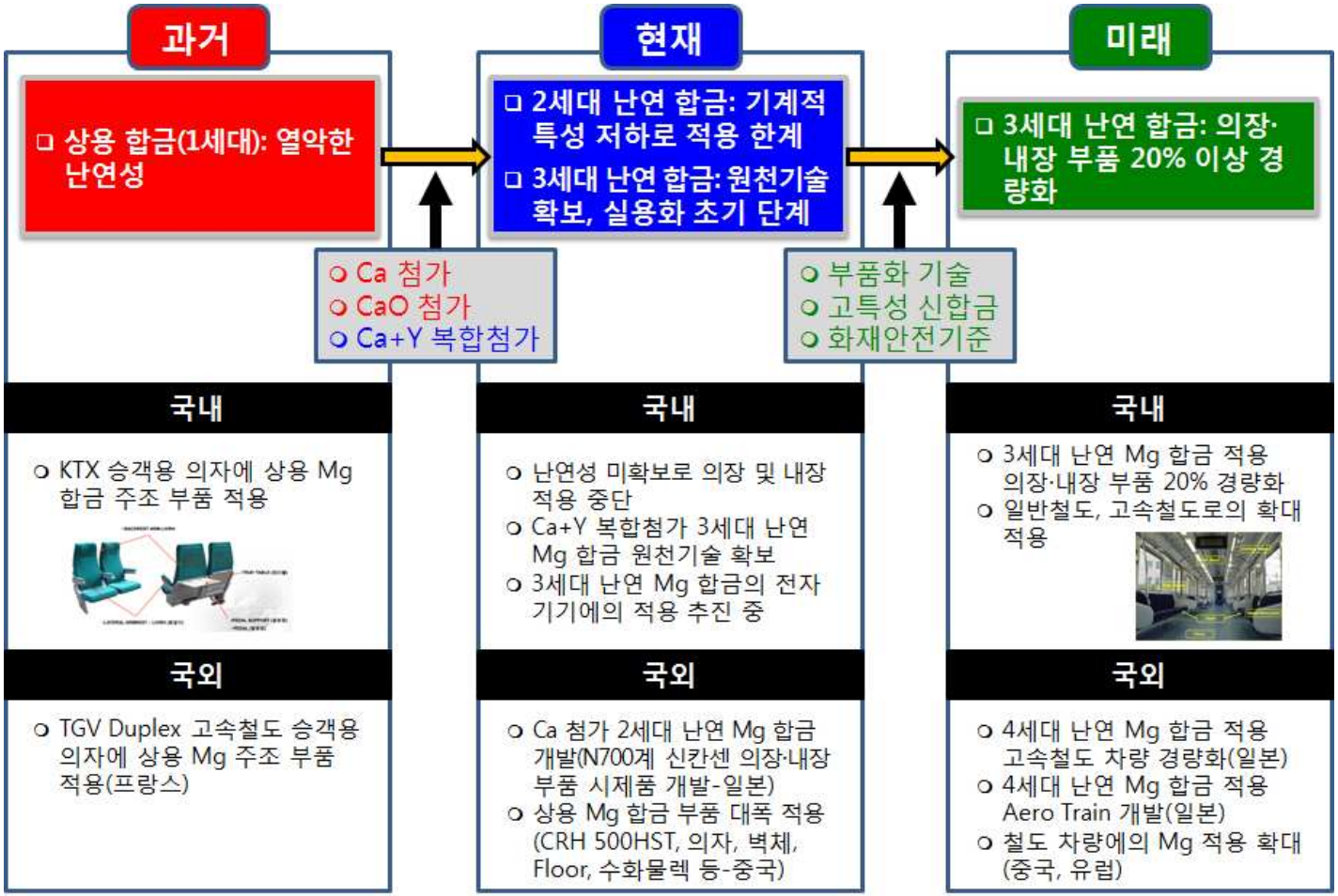


그림 5.2.3 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발 로드맵

제3절 핵심기술소요 선정 및 TFL 목표

1. 핵심기술요소(CTE) 도출

가. 1세부 과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발

○ 핵심기술요소(CTE) 후보

No.	CTE명
후보1	하이브리드형 차체 설계 및 제작기술
후보2	하이브리드형 차체의 공진방지, 공력진동 감소기술
후보3	이종소재간의 접합기술
후보4	대형 복합소재 차체부품 제작을 위한 신공정 기술
후보5	대형 복합소재 구조물 및 충격흡수기능 경량엔드모듈 기술
후보6	4세대 난연 마그네슘합금 차체적용 기술
후보7	하이브리드형 차체의 구조안전성 평가기술

○ 핵심기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?								하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	○	○		○	○	○		
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?								
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?								
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	○							
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	○	×	○	○	○	×	

○ 핵심기술요소(CTE) 목록

CTE	유형*	CTE명	최종 TRL
1	장비·장치	하이브리드형 차체 설계 및 제작기술	8
2	공법·기법	하이브리드형 차체의 공진방지, 공력진동 감소기술	8
3	공법·기법	대형 복합소재 차체부품 제작을 위한 신공정 기술	8
4	재료·자재	대형 복합소재 구조물 및 충격흡수기능 경량엔드모듈 기술	8
5	재료·자재	4세대 난연 마그네슘합금 차체적용 기술	4

나. 2세부 과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화

○ 핵심기술요소(CTE) 후보

No.	CTE명
후보1	경량 소형 대차 설계·제작 기술
후보2	경량 소형 구동모터 설계·제작 기술
후보3	소형 감속기 설계·제작 기술
후보4	경량 제동 디스크 설계·제작 기술
후보5	경량 2차 현가장치 설계·제작 기술
후보6	복합소재 대차 구조물 적용 기술
후보7	경량소형 대차 시험 평가 기술

○ 핵심기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?								하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	○	○				○		
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?								
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?								
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	○		○	○				
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	○	○	○	×	○	×	

○ 핵심기술요소(CTE) 목록

CTE	유형*	CTE명	최종 TRL
1	시스템	경량 소형 대차 설계·제작 기술	8
2	장비·장치	경량 소형 구동모터 설계·제작 기술	8
3	장비·장치	소형 감속기 설계·제작 기술	8
4	재료·자재	경량 제동 디스크 설계·제작 기술	8
5	재료·자재	복합소재 대차 구조물 적용 기술	8

다. 3세부 과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발

○ 핵심기술요소(CTE) 후보

No.	CTE명
후보1	합금 조성 및 성분상 설계기술
후보2	TMP를 이용한 미세조직 정밀제어기술
후보3	난연특성 평가기법 표준화
후보4	난연 마그네슘합금 압출재 제조기술
후보5	의장/내장 부품 설계 및 성형기술
후보6	의장/내장 부품 모듈화 기술
후보7	모듈 부품의 성능 평가 기술

○ 핵심기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?								하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	○	○		○	○	○		
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?								
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?								
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	○			○				
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	○	X	○	○	○	X	

○ 핵심기술요소(CTE) 목록

CTE	유형*	CTE명	최종 TRL
1	재료·자재	합금 조성 및 성분상 설계기술	8
2	재료·자재	TMP를 이용한 미세조직 정밀제어기술	8
3	재료·자재	난연 마그네슘합금 압출재 제조기술	8
4	장비·장치	의장/내장 부품 설계 및 성형기술	8
5	장비·장치	의장/내장 부품 모듈화 기술	8

2 기술성숙도(TRL) 단계별 목표

가. 1세부 과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발

① 5년

연구과제명	첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발		유형			
프레임워크		선행단계			시제품 제작 및 시연	현장적용
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도 (종료)
마일스톤 일정		'13.12	'15.01	'16.01	'17.01	'18.01	2019.12 .31
CTE No.	기술명						
CTE 1	하이브리드형 차체 설계 및 제작기술	2	3	4	6	7	8
CTE 2	하이브리드형 차체의 공진방지, 공력진동 감소기술	2	3	4	6	7	8
CTE 3	대형 복합소재 차체부품 제작을 위한 신공정 기술	3	4	5	6	7	8
CTE 4	대형 복합소재 구조물 및 충격흡수기능 경량엔드모듈 기술	2	3	4	6	7	8
CTE 5	4세대 난연 마그네슘합금 차체적용 기술	1			2	3	4

① 3년+2년

연구과제명	첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발		유형			
프레임워크		선행단계			시제품 제작 및 시연	현장적용
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
			1단계		2단계	
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도 (종료)
마일스톤 일정		'13.12	'15.01	'16.01	'17.01	'18.01	2019.12 .31
CTE No.	기술명						
CTE 1	하이브리드형 차체 설계 및 제작기술개발	2	3	4	6	7	8
CTE 2	하이브리드형 차체의 공진방지, 공력진동 감소기술개발	2	3	4	6	7	8
CTE 3	대형 복합소재 차체부품 제작을 위한 신공정 기술	3	4	5	6	7	8
CTE 4	대형 복합소재 구조물 및 충격흡수기능 경량엔드모듈 기술개발	2	3	4	6	7	8
CTE 5	4세대 난연 마그네슘합금 차체적용 기술개발	1			2	3	4

나. 2세부 과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화

① 5년

연구과제명	첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발	유형					
프레임워크		선행단계			시제품 제작 및 시연		현장적용
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL				
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도 (종료)
마일스톤 일정		'13.12	'15.01	'16.01	'17.01	'18.01	2019.12.31.
CTE No.	기술명						
CTE 1	경량 소형 대차 설계·제작 기술	2	3	4	6	7	8
CTE 2	경량 소형 구동모터 설계·제작 기술	2	3	5	6	7	8
CTE 3	소형 감속기 설계·제작 기술	2	3	5	6	7	8
CTE 4	경량 제동 디스크 설계·제작 기술	2	3	5	6	7	8
CTE 5	복합소재 대차 구조물 적용 기술	3	4	5	6	7	8

① 3년+2년

연구과제명	첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발	유형					
프레임워크		선행단계			시제품 제작 및 시연		현장적용
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL				
			1단계			2단계	
			1차년도	2차년도	3차년도 (종료)	1차년도	2차년도 (종료)
마일스톤 일정		'13.12	'15.01	'16.01	'17.12	'18.01	2019.12.31.
CTE No.	기술명						
CTE 1	경량 소형 대차 설계·제작 기술	2	3	4	6	7	8
CTE 2	경량 소형 구동모터 설계·제작 기술	2	3	5	6	7	8
CTE 3	소형 감속기 설계·제작 기술	2	3	5	6	7	8
CTE 4	경량 제동 디스크 설계·제작 기술	2	3	5	6	7	8
CTE 5	복합소재 대차 구조물 적용 기술	3	4	5	6	7	8

다. 3세부 과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발

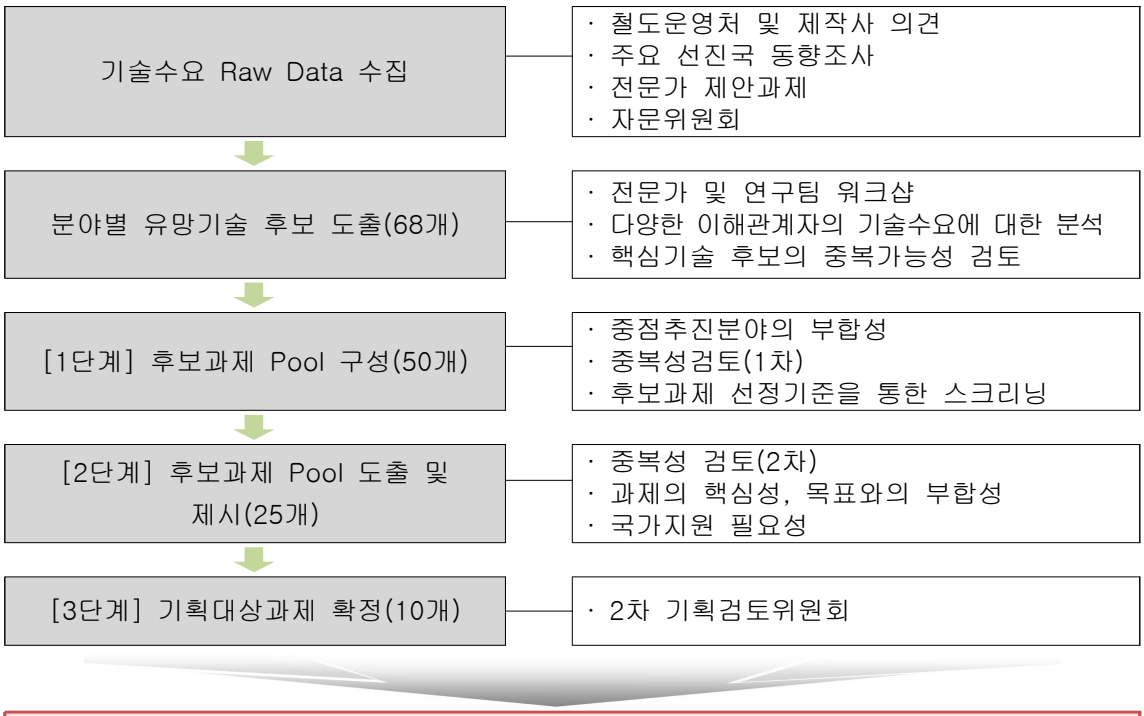
① 5년

연구과제명		첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발		유형			
프레임워크			선행단계			시제품 제작 및 시연	현장 적용
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL				
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도 (종료)
마일스톤 일정		'13.12	'15.01	'16.01	'17.01	'18.01	2019.12.31.
CTE No.	기술명						
CTE 1	합금 조성 및 성분상 설계기술	3	4	5	6	7	8
CTE 2	TMP를 이용한 미세조직 정밀제어기술	3	4	5	6	7	8
CTE 3	난연 마그네슘합금 압출재 제조기술	3	4	5	6	7	8
CTE 4	의장/내장 부품 설계 및 성형기술	2	3	5	6	7	8
CTE 5	의장/내장 부품 모듈화 기술	2	3	4	6	7	8

① 3년+2년

연구과제명		첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발		유형			
프레임워크			선행단계			시제품 제작 및 시연	현장적용
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL				
			1단계			2단계	
			1차년도	2차년도	3차년도 (종료)	1차년도	2차년도 (종료)
마일스톤 일정		'13.12	'15.01	'16.01	'17.01	'18.01	2019.12.31.
CTE No.	기술명						
CTE 1	합금 조성 및 성분상 설계기술	3	4	5	6	7	8
CTE 2	TMP를 이용한 미세조직 정밀제어기술	3	4	5	6	7	8
CTE 3	난연 마그네슘합금 압출재 제조기술	3	4	5	6	7	8
CTE 4	의장/내장 부품 설계 및 성형기술	2	3	5	6	7	8
CTE 5	의장/내장 부품 모듈화 기술	2	3	4	6	7	8

제4절 연구개발과제 구성



구분		과제명
연구단 총괄		**첨단소재를 활용한 도시철도차량 및 부품 경량화 기술 연구단**
	1세부과제	**첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술 개발**
	1-1	○ 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 설계기술 개발
	1-2	○ 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 제작기술 개발
	1-3	○ 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 시험평가 기술 개발
	2세부과제	**첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술 개발**
	2-1	○ 대차 경량•소형화 설계 및 제작 기술 개발
	2-2	○ 첨단소재 적용 대차 주요 부품 경량화 기술 개발
	2-3	○ 실차시험을 통한 첨단소재 적용 시제 차량 주요 부품 성능 평가
	3세부과제	**첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발**
	3-1	○ 의장/내장 적용을 위한 난연 마그네슘합금 제조기술 개발
	3-2	○ 의장/내장 부품 적용 기술 개발
	3-3	○ 의장/내장 부품 성능 평가기술 개발

제5절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발

(1) 1세부과제 개요

가. 연구개발 목표

세부과제의 개념	▪ 알루미늄, 복합소재 및 마그네슘 합금 등 첨단소재를 적용한 하이브리드 차체 제작기술을 기반으로 철도차량 차체 경량화 기술 개발
세부과제의 범위	▪ 본 세부과제는 차체 경량화 최종 목표를 이루기 위해 고강도 알루미늄, 복합소재, 난연성 마그네슘 합금 소재 등을 활용하여 전동차용 차체를 경량화하는 기술을 개발 함 ▪ 이러한 첨단소재를 차량 각 구조체의 하중특성, 구조강도, 구성품 인터페이스, 내구성 등을 고려하여 최적의 경량 소재를 적용한 경량 차체를 설계 및 제작하는 연구를 포함함 ▪ 또한 제작성을 고려하여 복합소재 적용 차체 부품의 양산 및 저비용의 생산이 가능한 복합재료 성형공정 개발과 이종부재간의 접합 기술에 관한 연구 등이 포함 됨 ▪ 다양한 첨단소재를 적용한 하이브리드 차체는 각각 소재의 특성을 고려하여 차체 손상에 대한 유지보수 기술개발을 포함 함
기술개발목표	▪ 첨단소재 적용 기존 전동차 차체 대비 20% 경량화 된 하이브리드 차체 기술개발 ▪ 하이브리드 차체 구조안전성 평가 기술개발 ▪ 이종 소재 간의 조립/접합 기술개발 ▪ 복합재 대형 차체 부품 및 충격흡수 단부모듈 신공정 기술개발

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

◦ 철도 차량 부품 및 차체 경량화는 에너지 절감 효과에도 크게 기여할 뿐만 아니라 이산화탄소의 배출량의 감소로 저탄소 녹색성장의 구현을 위해 기술 개발이 필요함.

◦ 과거 스틸에서 알루미늄 소재의 변화로 경량화를 구현하였으며, 지속적인 알루미늄 차체의 구조 설계 기술 개발을 하였으나 단일 소재를 적용한 차

체 경량화의 한계에 도달함.



그림 5.5.1 국내 알루미늄 철도차량

◦ 이에 고강도 알루미늄 및 첨단소재를 적용한 하이브리드 차체 제작 기술 개발과 더불어 이종 소재 간의 조립/접합 기술 또한 개발이 요구됨.

◦ 국외의 경우 국내보다 10년이상 앞서 알루미늄 차체 차량을 개발하였고 고강도 알루미늄 및 첨단소재를 적용하여 다양한 기술 개발을 진행하고 있으며, 차체 구조 조립에 볼팅 및 용접 등 신기술을 개발하여 차체에 적용하고 있음.

◦ 철도차량 경량화를 위하여 첨단 경량 소재 (알루미늄, 복합재료 등)를 이용한 차체 경량화 연구 및 개발 프로젝트가 유럽을 중심으로 세계적으로 활발하게 진행 중임.

◦ 최근에 스페인 Zaragoza의 CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarril SA)에서 추진 중인 AVI-2015 프로젝트에서는 철도차량의 에너지를 10% 절감하는 것을 목표로 하고 있으며 주로 재료 경량화 및 공기저항 감소 디자인을 주요 테마로 하고 있음. 기존의 알루미늄과 철로 이루어진 철도 차량 차체 중에서 알루미늄 Roof 부를 복합재료로 대체하는 설계를 반영하였을 때 Roof 부의 무게만 약 35% 감소하고 전체 중량의 약 3.5%가 감소하는 효과를 나타냄.

◦ 복합재료 차체 부품의 성공적인 양산 적용을 위해서는 기계적 성능 요구치를 만족시켜야 할 뿐 아니라 원재료 및 제조 원가 경쟁력을 확보해야 함.

◦ 이를 위하여 철도 차량용 차체용 복합재료 최적 설계와 제조 공정 기술의 개

발이 병행하여 진행할 필요가 있음.

(2) 정부지원 필요성

◦ 첨단소재를 활용한 경량 철도차량 차체개발은 소재개발, 구조설계, 제조공정, 시험평가, 운영 등의 단계를 거쳐 안전성 및 실용화 검증까지 철도 수송시스템분야의 전주기적 개발에 해당하는 사업으로서 연구소, 철도차량 제작사, 철도 운영기관, 첨단소재 생산업체, 시험평가기관 등을 포함하는 대규모 사업단을 구성하여 진행해야 함. 이러한 대규모의 과제를 민간 기관에서 부담하여 진행하기는 불가능하며, 정부의 지원이 필요함.

◦ 철도차량의 경우, 국가 기간산업에 해당하는 분야로서 기술적 난이도가 높을 뿐만 아니라 기술 개발, 실장 평가 및 양산 적용에 있어서 투자 비용이 높고 진입 장벽이 높아서 국가가 주도하는 형태의 과제로 진행되는 것이 바람직함.

◦ 미국, 유럽, 일본, 중국 등의 세계 주요국에서도 정부 주도로 철도 차량 경량화를 통한 에너지 절감 기술 개발을 진행하고 있음.

◦ 국내 복합재료 산업의 경우, 시장이 충분히 성장하지 않아서 철도 차량과 같은 국가 기간산업 적용을 목표로 투자 및 기술개발을 주도할 수 있는 민간 기업이 부족하여 정부의 지원이 반드시 필요함.

◦ 철도차량은 다른 운송수단에 비해서 친환경 운송수단으로서 국제 환경 정책에도 부합하는 사업임. 또한 본 연구의 최종목적은 철도 차량의 경량화를 통해서 건설비 및 유지 보수비를 줄임과 동시에 철도 소비 에너지를 절감하는 것으로서 인류의 에너지 난 극복에 부합하는 사업으로서 국가의 지원이 필요함.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

중점분야	유사과제명	중복대상 과제현황	중복성 검토
제1세부과제	◦부처명 : 지식경제부 ◦사업명 : 한국철도기술연구원 연구운영비지원 ◦과제명 : 녹색 열차 구현을 위한 철도차량 시스템 경량화 연구	완료	◦차량시스템 설계요구사항 분석 및 주요 구성품 경량화 기술 개발 ◦차체의 이종 소재 간의 다양한 접합 방법과 강도 및 내식성의 기준 확립 등을 모색하는 분야는 중복성이 없음.
	◦부처명 : 국토해양부 ◦사업명 : 미래철도기술개발사업 ◦과제명 : 한국형 틸팅열차 신뢰성평가 및 운용기술개발	완료	◦유사과제는 Autoclave 성형기법을 이용하고 탄소섬유 복합소재를 적용하여 철도차량 차체 상부구조 기술 개발 연구 ◦후보과제는 Infusion 기법을 적용하여 기존 autoclave를 이용한 제작기법 대비 제작 기간 및 비용을 혁신적으로 감소시킬 수 있는 복합소재 제작기술을 개발하는 연구임
	◦부처명 : KAIST ◦사업명 : 목적기초연구사업 ◦과제명 : 고속운송용 구조재료의 동적거동 및 충격특성 향상에 관한 연구	완료	◦유리섬유 복합재료의 동적거동에서의 물성 획득 시험 방법 및 물성 데이터 베이스를 확보하였으며, 에너지 흡수율에 대한 메커니즘의 규명 등 본 연구를 진행하기 위해 기초가 되는 연구를 수행하였음.

<연계방안>

◦ 국토해양부에서는 국내 최초로 탄소섬유 복합재료를 적용한 한국형 틸팅열차용 차체 개발을 통해 복합재료 차체의 설계에서 제작, 평가에 이르는 기술 개발을 진행한 이력이 있으며, 이를 통해 철도차량 차체용 부품의 요구성능 및 평가 시스템에 관한 데이터 및 기술이 확보되어 있음.

◦ 기존 틸팅열차 차체는 마일드스틸 언더프레임과 일체형 복합재 상부구조로 이루어져 있으며, 언더프레임과 상부구조가 리벳 체결구조로 되어있음. 이러한 이종소재간의 접합구조에서 기존 개발결과를 반영하여 구조강도, 제작성, 차량 운행 시 발생할 수 있는 문제점 등이 개선 된 새로운 접합구조의 연구 진행.

◦ 기존 사업에서 Autoclave 성형 기법을 이용하여 복합재료를 제작한 이력을 참고하여 부품 선정과 설계를 진행할 것이며, 기존 공정에서 문제가 된 성형 원가 및 제작 기간을 획기적으로 개선하여 철도 차량용 차체 부품의 양

산에 성공적으로 적용할 수 있도록 추진할 예정임.

◦ 충격에너지 흡수 일체형 전두부 개발과 관련하여 KIAST에서 복합재료의 충격에너지 흡수 메커니즘에 관한 연구를 수행한 바 있음. 이 연구에서는 복합재료의 충격 거동 규명과 같은 기초적인 연구를 수행하였으며, 본 과제의 목적인 대형 충격흡수 구조 설계에의 적용까지는 진행되지 않았음. 따라서 이 과제의 연구결과를 토대로 기본적인 복합재료의 충격 특성에 관해서 파악하고 연구의 연장선 개념에서 본 연구에서는 실제 차체 전두부의 충격성능 최적화된 구조물을 설계하여 차별화를 구현함.

라. 연구개발 주요내용

세부과제명	▪ 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술 개발	
구성기술	기술명	내용
	▪ 첨단소재 적용 하이브리드형 경량 차체 기술 개발	▪ 제작성 및 무게 절감 효과를 고려한 각 파트의 최적화 설계 기법 개발 ▪ 차체 각 구조에 고강도 알루미늄, 복합재료, 마그네슘 등 적합한 소재 선정 ▪ 적용 소재별 제작공법 및 이종 소재 간 조립 방안, 구조 도출 (미그용접, FSW, 볼팅, 본딩, 구조용 리벳 등) ▪ 소재 간 접합부 강도 특성 평가 및 강도 기준 도출 ▪ 구조 해석을 통한 이론적 구조 안전성 평가방안 도출 ▪ 시제 차량 차체 제작을 통한 하이브리드 차체 제작기술 확보 ▪ 차체 하중 시험 및 구조 안전성 확보 ▪ 경량 차체 공진 방지 설계 기술
	▪ 이종 소재 간의 조립/접합 기술 개발	▪ 접합부의 건전성 및 제반 특성에 미치는 접합 공정 변수의 영향 평가 ▪ 모재 특성에 따른 접합특성 평가 ▪ 접합 전후 열처리에 따른 접합부 특성 변화 평가 ▪ 전산모사기술을 이용한 접합공정 해석기술 개발 ▪ 접합 공정 최적화 및 processing map 구축
	▪ 복합재 대형 차체 부품 및 충격흡수 단부모듈 제작 신공정 기술개발	▪ 복합재 대형 차량 부품용 샌드위치 구조 재료 및 설계 기술 ▪ 대형 사코어 일체형 액상성형 기술 ▪ 복합재 액상성형 공정의 유동해석 및 공정 최적화 – Resin infusion, Resin transfer molding 등 ▪ 충격흡수부재를 포함한 단부 모듈화 기술개발

기술적 위험요인	▪ 알루미늄, 복합소재, 난연 마그네슘 등 차체에 적용 될 소재들은 각각의 기계적 특성과 접합방법에 따른 접합부 강도 등이 달라 질 수 있기 때문에 차체구조강도 및 차량 운행 시 발생할 수 있는 진동, 소음 등의 영향을 충분히 고려하여, 차량 안전성과 내구성을 만족할 수 있도록 하여야 한다. ▪ 고강도 알루미늄은 강도가 높은 반면 압출성이 상대적으로 낮기 때문에 압출재의 두께와 형상에 제약이 따르게 된다. 고강도 알루미늄이 적용 될 수 있는 부품의 구조, 하중특성, 타 기기와의 인터페이스 등 차체 관점의 요구조건과 압출생산성을 고려하여 최적의 경량구조가 도출 될 수 있어야한다. ▪ 철도차량 부문에서 알루미늄 경량 차체의 기술이 성숙기에 접어들어 성능 및 원가 면에서 상당부분 최적화가 되어 있어서 복합재료 적용을 통한 추가 경량화와 원가 경쟁력 확보를 동시에 진행하는 것이 필요함. ▪ 대형 구조물의 설계와 성형 및 평가를 동시에 진행해야 하므로 연구개발 투자가 크고 투자에 관한 Risk가 큼. ▪ 철도 차량의 경우 수요 업체가 매우 제한적이므로 기술 개발이 완료되어도 양산 적용하기가 상대적으로 어려움. ▪ 다양한 첨단소재의 적용을 통한 차체 경량화의 달성뿐만 아니라 제작의 관점에서 제작성이 고려되어야 하기 때문에 하이브리드 차체 설계에 있어 변수가 증가됨. ▪ 설계 제작에 그치지 않고 유지보수 측면에서의 연구가 진행되어야 하며 하이브리드 차체의 경제성이 충분한 증명되어야 함. ▪ 해외 선진 철도 생산국에서도 하이브리드형이나 첨단소재를 적용한 차체의 연구는 이루어졌으나 양산이 이루어지고 있지 않은바, 개발 후 양산기술적 어려움이 내재되어 있는 것으로 사료되며, 그 문제점에 대한 충분한 이해와 대응책이 같이 연구되어야 함.
연구개발 추진전략	▪ 정부 및 관련 기업, 도시철도공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴 및 실용화 추진 - 연구개발단계에 철도차량 수요업체를 포함시켜 연구를 추진함으로서 유기적인 협조체제를 모색 ▪ 기존 연구에서 개발 완료된 설계 및 제작기술을 철저히 검토하여 Benchmark를 원활히 진행하고 차별화 및 추가 개선안을 도출함으로써 연구의 중복성을 피할 수 있음. ▪ 성공적 기술 개발을 위해 철도차체 제조사, 첨단소재업체, 설계기관 및 시험평가기관으로 컨소시엄 구성하여 공동개발 추진 ▪ 학/연의 요소기술, 차체 설계, 시험평가 지원으로 철도차체 제작/소재/운영업체 공동개발 ▪ 주 기술 분야의 긴밀한 협력 및 기술, 정보, 데이터 공유가 중요 ▪ 선진기술 벤치마크 및 국제시장 진출 모색
기 대 효 과	▪ 기술적 기대효과

및 파급효과	- 차량 경량화에 대한 지속적인 연구/개발로 선행기술을 선점하여 경쟁력 확보 - 경량 첨단소재를 이용한 설계, 제조 기술의 확보는 기타 유사 산업인 자동차 및 선박산업에의 기술 확산이 가능. - 첨단 경량 소재 적용 차체의 양산은 세계적으로도 아직 이루어지고 있지 않으므로, 본 연구의 성공은 철도 주요 부품의 최고 수준의 생산 기술을 보유하게 됨. - 복합재료를 이용한 차체 부품을 철도 차량에 적용하여 부품의 30% 경량화를 통한 철도차량 경량화 달성에 기여함. - 기존 제조공정 대비 공정 원가 및 제작 시간을 개선하여 철도차량용 복합재료 차체 양산화 달성 - 금속소재에서 차세대 첨단소재로의 전환에서 필수적인 두 부재간의 공동 사용기술의 개발로 첨단소재의 활용을 가속화할 수 있음. ▪ 경제적 기대효과 - 철도 선진국과 동등 수준의 경량 차체 제작 기술 확보로 해외 시장 진출 확대 - 차체경량화로 인한 축하중 감소로 레일 수명 향상 및 유지보수비 절감 - 차량 운행에 필요한 에너지 소비량 감소로 운영비 절감

마. 연구개발과제 TRM

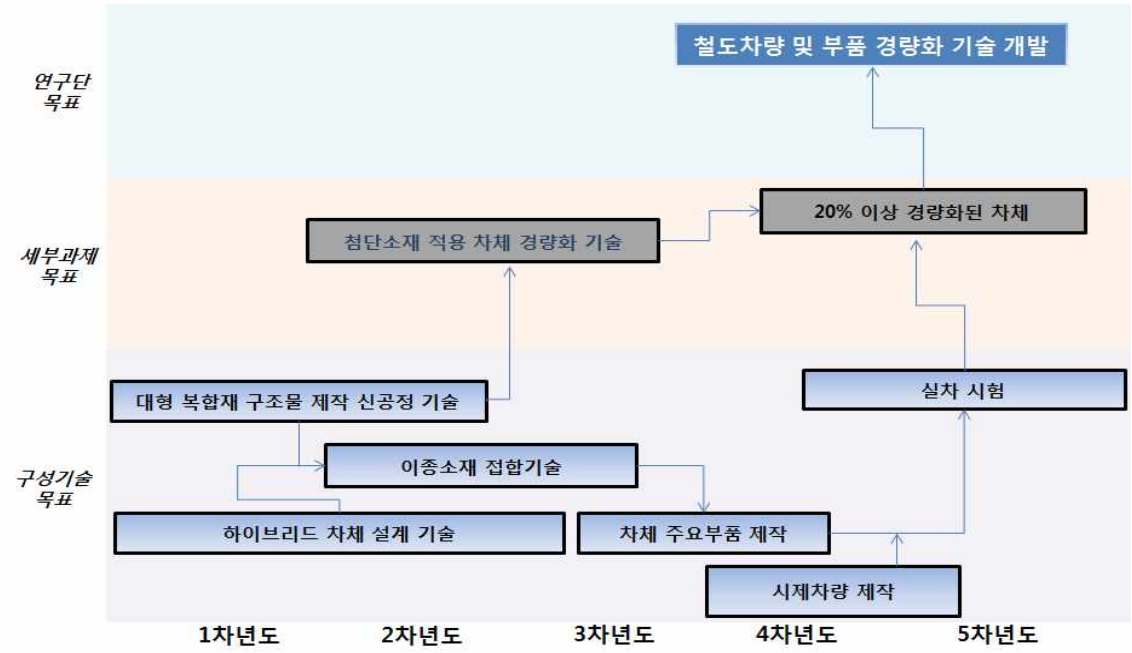


그림 5.5.2 1세부과제 TRM

바. 1세부과제 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
첨단소재적용도시철도차량차체경량화기술개발	논 문	국내외 학술지 논문 게재	국내외 학술지 논문 게재 건수	건	12	0.1	연구개발 내용의 활용
	지식재산권	특허출원/등록, 실용신안 출원/등록	총 특허, 실용신안 출원/등록 건수	건	7	0.1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
	테스트베드 구축 및 활용	테스트베드를 이용한 시제품 평가	테스트베드 활용 횟수	건	5	0.1	차체 성능평가 및 안전성 검증
	계획설계 기술	차체설계 및 구조해석	차체 제작도면, 설계요구 사양서, 수치해석 건수	건	25	0.3	차체 설계 및 제작기술 개발
	기술성능 목표달성	요소기술 및 시제차량의 성능평가	요소기술 또는 시제차량의 성능검증	%	100	0.3	구조안전성 확보
	연구시설장비 구축	연구장비 구축/활용 실적	연구장비 구입 건수 및 활용 건수	건	8	0.1	과제 수행을 위한 장비 확보

- 연차별 성과목표

과제	성과목표	연차별 목표				
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
첨단소재적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발	논 문		4건	4건	2건	2건
	지식재산권		3건	3건	1건	
	테스트베드 구축 및 활용				3건	2건
	계획설계 기술 (도면, 사양서, 수치해석)	5건	10건	10건		
	기술성능 목표달성 (요소기술, 제품성능)		80%	100%		
	연구시설장비구축		2건	6건		

2. 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발

(1) 2세부과제 개요

가. 연구개발 목표

세부과제의 개념	▪ 첨단소재 및 신형식 대차 설계 기술을 적용하여 기존 전동차에 활용되고 있는 볼스타 형식 및 볼스타레스 형식의 대차 대비 20% 이상 경량화 가능한 소형•경량 대차 및 부품 기술 개발
세부과제의 범위	▪ 철도차량은 도시철도, 경전철, 일반철도 및 고속철도로 구분이 되는데 현재 국내에서 가장 많은 차량은 도시철도차량으로 이용객 수도 가장 많음 ▪ 특히, 도시철도차량의 경우 70대에 도입된 1기 지하철의 경우 교체주기가 곧 도래함 ▪ 따라서, 본 연구에서는 도시철도차량의 대차를 경량화 대상으로 선정하였음 ▪ 소형•경량 대차 구현을 위해 인보드형식의 대차 구조를 도입하고 소형•경량 감속기 및 구동모터 기술을 개발함 ▪ 또한, 대차의 주요 부품인 제동디스크 및 공기스프링에도 첨단소재를 적용하여 경량화하는 기술을 개발함
기술개발목표	▪ 첨단소재를 적용한 도시철도 차량용 대차 및 부품 경량화 기술 개발 ▪ 기존 대차대비 20% 이상 경량화 가능한 신형식 대차 기술 개발

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

ㅇ 국내 전동차의 경우 70년대 볼스터 형식의 대차가 일본에서 도입되어 1세대 전동차에 적용된 이후 90년대 후반 15%이상 경량화된 볼스타레스형 대차기술이 개발되어 현재 전동차에 적용 중

ㅇ 이러한 볼스터레스형 전동차용 대차는 적용시점이 15년 이상되었고 향후 보다 경량화, 고속화 및 선로친화형 대차 기술 개발 필요

ㅇ 철도선진국의 경우 차종 및 운영환경에 따라 다양한 형태의 대차(1축대차, 독립차륜 대차, 오프셋 대차, 인보드형 대차, 허브모터 적용 대차 및 복합소재 대차 등)를 운영하고 있으나, 국내의 경우 대차의 다양성 및 경량화 연구가 부족한 실정임

ㅇ 특히, 최근에는 기존 대차대비 최대 30% 경량화, 스프링하 질량 25%, 운영비용 25% 및 휠마모 저감 특성이 우수한 인보드형 경량 대차 기술 개발 활발히 진행 중

ㅇ 대차의 경우 철도차량 중량의 약 35% - 40%를 차지하는 고중량 부품으로 대차의 경량화 없이 차량 경량화 한계

○ 국내에서도 세계적인 경량·에너지 절감형 대차 기술 개발 방향에 부합하고 향후 수출 및 기술 선도가 가능한 혁신적인 디자인과 첨단 소재 적용 기술 개발 필요



그림 5.5.3 최신 개발 대차

(2) 정부지원 필요성

ㅇ 제2차 철도산업발전기본계획(2011~2015)을 통하여 다음과 같은 목표를 설정하고 추진 중에 있음 (2011.5.30.)

· 기술력 제고 (선진국 대비) : 74% ('09) → 95% ('15)

· 해외진출 확대 (차량시장 점유율) : 2%('09) → 4%('15)

· 철도차량 분야의 세계 시장경쟁력 확보 및 고속철도기술 보유국으로서 취약한 철도 첨단소재 개발 및 적용기술의 개발은 제2차 철도산업발전기본계획에서 추구하는 목표를 달성하기 위해 필수적임

ㅇ 보수성향의 철도산업계에서 철도차량 재질 및 제작기법에서의 혁신적인 변화를 가져오기 위해서는 충분한 사전 기술 개발과 철저한

안전성 입증이 필요함

○ 본 과제에서 연구발하고자 하는 첨단소재를 적용한 철도차량용 대차 경량화 기술의 경우 기존 국내에서 개발된 사례가 전무한 분야로 연구개발기간 및 비용이 기업단독으로 수행하기에는 위험부담이 큼

○ 또한, 철도선진국에 비해 낙후된 첨단소재의 철도차량분야 적용기술을 선도적으로 개발하고 시장을 선점하기 위해서는 정부지원을 통한 예산확보와 연구개발이 필수적임

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

중점분야	유사과제명	중복대상 과제 현황	중복성 검토
제2세 부과제	◦부처명:지식경제부 ◦사업명:한국철도기술연구원 연구주요사업 ◦과제명:복합소재의 철도차량 적용에 관한 연구	완료	◦전동차 대차프레임에 복합소재를 적용하여 경량화는 연구로 제작비용과 제작공정이 복잡한 autoclave 성형기법 적용 ◦본 과제에서는 autoclave 성형공정 대비 50% 비용절감 및 70% 이상 제작시간 단축이 가능한 VARI 제작 기법적용
	◦부처명:중소기업청 ◦사업명:중소기업상용화기술개발 ◦과제명:KTX 객차용 차체-대차 연결장치 국산화 개발	완료	◦KTX의 차체와 대차연결용 고무볼부쉬(Rubber ball bush) 국산화 연구임 ◦본 과제에서는 댐퍼, 현가장치 및 기타 부품들을 설치하기 위한 고중량 체결장치들을 최적설계를 통해 경량화하는 연구임
	◦부처명: 중소기업청 ◦사업명: 산연기술개발사업 ◦과제명: PU 소재를 적용한 GPa급 고강도의 경량 복합소재 차체 부품의 고생산성 제조를 위한 고속 LCM 성형시스템 및 성형기술 개발	완료	◦유사과제는 주로 자동차용 경량 복합재료를 개발하고 폴리우레탄 계열 재료에 집중함 ◦본 과제에서는 철도차량에 특화 복합재료 개발임
	◦부처명:지식경제부 ◦사업명:한국철도기술연구원 연구주요사업 ◦과제명:철도구성품 환경성 향상 기술 개발	완료	◦기존 주철 디스크 대비 30% 경량화 가능한 알루미늄 복합재 제동 디스크 기술개발 ◦알루미늄 복합재 제동디스크 시편을 제작하여 실험실 수준에서의 성능시험 수행 ◦본 과제에서는 현재까지 개발된 알루미늄 복합재 제동디스크에 대한 기초기술을

중점분야	유사과제명	중복대상 과제 현황	중복성 검토
			기반으로 이에 대한 성능향상 및 실용화를 추진 예정

<연계방안>

◦ 철도차량 대차 부품에 첨단소재를 적용한 연구로 “복합소재의 철도차량 적용에 관한 연구” 및 “철도구성품 환경성 향상 기술 개발”연구에서 수행된 알루미늄 복합재 제동디스크 개발 연구 등이 있음

◦ “복합소재의 철도차량 적용에 관한 연구”에서는 유리섬유 복합소재를 대차프레임에 적용하여 기존 용접대차 대비 중량을 약 30% 경량화하는 연구를 수행하여 첨단 복합소재를 고하중을 받는 대차 프레임에 적용가능함을 확인하였음

◦ “철도구성품 환경성 향상 기술 개발”연구에서 수행된 알루미늄 복합재 제동디스크 개발 연구에서는 알루미늄 합금에 SiC입자를 분산시켜 강화된 알루미늄 복합재 제동 디스크에 대한 기초연구를 수행하여 기존 주철 디스크 대비 우수한 성능을 확인하였음

◦ 이러한, 기존 연구결과들은 제한된 연구비하에서 핵심기술개발에 중점을 두어 연구를 진행하였고, 실험실 수준의 시험평가로 성능을 검증한 상태로 향후 실용화를 위해서는 추가적인 연구가 필요한 상황임

◦ 따라서, 본 연구에서는 기 개발된 우수한 기술과 연계하여 본 연구의 목표인 첨단소재를 적용한 대차 경량화 기술 실현에 적용하여 기 확보된 핵심기술의 성능향상 및 연구개발의 성공가능성을 향상시키고자 함

라. 연구개발 주요내용

세부과제명	▪ 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술 개발	
구성기술	기술명	내용
	▪ 대차 소형•경량화 설계 및 제작 기술 개발	▪ 경량 · 소형 대차 설계 및 제작 기술 - 기존 대차 대비 콤팩트한 경량 · 소형 대차 형상 설계 - 첨단 복합소재의 대차 하중 지지부 적용 기술 - 주행성능 확보를 위한 현가장치 최적설계

		- 초경량 경량 · 소형 대차 제작 및 성능평가
		▪ 경량 · 소형 대차용 초경량 구동모터 기술 개발 - 소형·고출력 구동 모터 설계 기술 - 소형·고출력 구동 모터 제작 및 성능 평가
		▪ 경량 · 소형 대차용 초경량 감속기 기술 개발 - 소형 감속 구동 장치 설계 - 소형 감속 구동 장치 제작 및 성능 평가
	▪ 첨단소재를 적용한 대차 부품 경량화 기술 개발	▪ 경량 제동디스크 기술 개발 - 강화재 특성 분석 및 마모특성 평가 - 경량 제동 디스크 형상 설계 및 해석기술 - 시제품 제작 및 마찰·마모 특성 분석
		▪ 경량 현가장치 기술 개발 - 첨단소재 적용 경량 현가장치 설계 기술 - 기존 고무류 부분과 첨단소재간 최적 접합기술 개발 - 경량 현가장치 제작 및 성능 평가
	▪ 실선로 시험운전 시험 및 성능 평가	▪ 첨단소재를 적용한 경량 부품 실차시험을 위한 계측 시스템 구축 ▪ 실차시험을 위한 테스트 베드 구축 ▪ 실차시험을 통한 주요 성능 평가
기술적 위험요인	▪ 본 연구에서 기존 대차 대비 20% 이상 경량화할 수 있는 신형식 대차인 인보드형 대차 개발을 목표로 하고 있는데, 인보드형 대차의 경우 기존 대차 대비 감속기 및 구동모터를 설치할 수 있는 공간이 약 40% 감소하게 되는데 이러한 협소한 공간에 적용 가능한 소형 감속기와 구동모터기술을 확보하는 것이 기술적으로 가장 위험요인 임 ▪ 또한, 철도부품중 안전에 가장 민감한 부품인 대차에 첨단소재를 적용하여 안전성을 확보하는 것 또한 위험요인 중의 하나임	
연구개발 추진전략	▪ 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴 및 실용화 추진 - 연구개발단계에 수요처 및 제작사를 포함시켜 연구를 추진함으로서 유기적인 협조체제를 모색 ▪ 기존 연구에서 개발 완료된 철도차량 부품 경량화 기술을 검토하고 활용함으로써 기술개발 기간 및 성공가능성 향상 ▪ 국제 공동연구 추진을 통한 선진기술 벤치마크 및 국제시장 진출 모색 ▪ 기존 시험운전 차량을 활용한 Test-Bed구축을 통한 개발기술의 성능평가 및 검증 수행	

기대효과 및 파급효과	▪ 기술적 기대효과 – 기존 대차기술 대비 경량화된 신형식 대차기술개발을 통한 신규시장 창출 및 수출 – 도시철도 운영처의 현안사항인 마모 및 소음문제 해결에 기여 – 도시철도형 초경량 대차기술을 기반으로 일반철도 및 고속철도로 기술 확대 적용 ▪ 경제적 기대효과 – 국내시장 창출 : 2020년부터 도래하는 신규 전동차에 적용 및 기존 전동차용 대차 대체 가능 . 국내 도시철도 시장규모 : 전동차용 대차 약 12,268대(1) (약 2.08조(2)) (1) 서울지하철공사, 2010년, (2) 대차당 평균 1.7억 적용 – 세계 시장 진출 : 세계시장 10% 점유시 약 1.25조 (세계 도시철도 시장규모 : 전동차용 대차 약 100,000대, 약 17조)

마. 연구개발과제 TRM

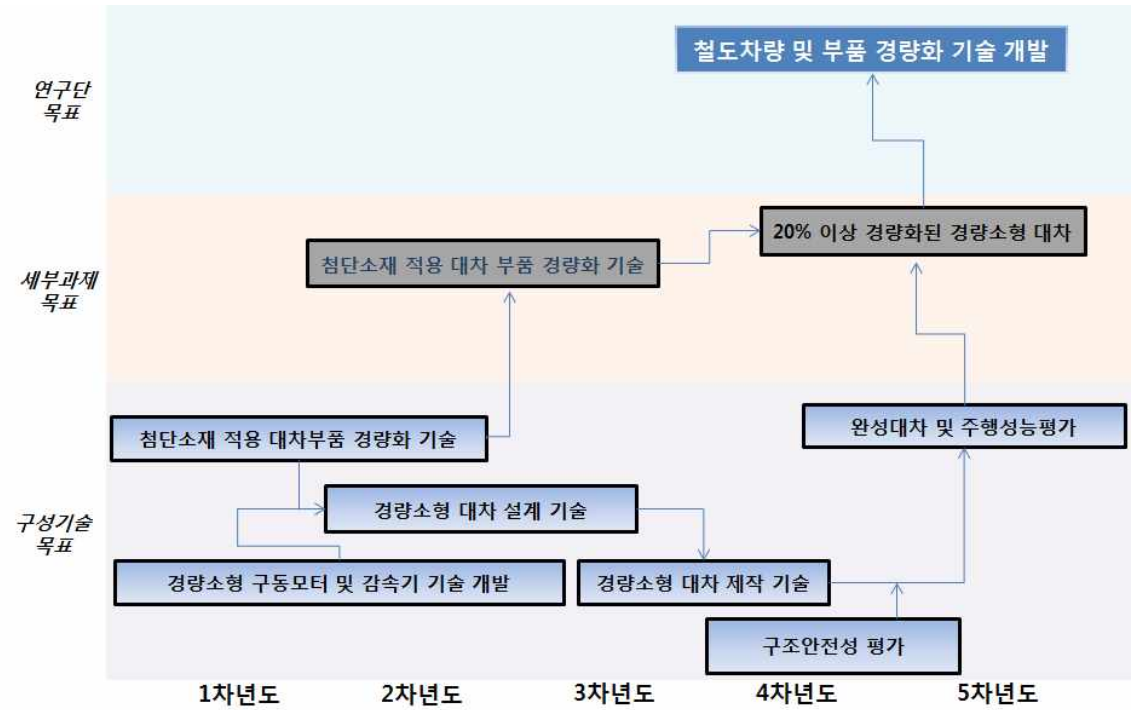


그림 5.5.4 2세부과제 TRM

바. 2세부과제 성과지표

o 세부과제별 성과지표

- 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거
첨단소재 적용 도시철도 차량 대차 및 부품 경량화 기술개발	학술적 성과	국내학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	22	0.15	기호기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		SCI급 개제 논문건수	SCI급 논문 개제 여부	건	7		
	지식재산권	특허출원/등록, 건수	국내 특허출원//등록, 등록여부	건	14	0.15	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
	학술적 성과 (학술회의 논문발표)	국내외 학술지발표건수	국내외 학술지 발표여부	건	22	0.05	개발기술의 연구개발성과 발표
	경량화 목표 달성 (최종목표대비 달성도 %)	기술개발 목표달성도	중량측정	%	100	0.2	경량화 목표 달성확인
	테스트베드 구축 및 활용	테스트베드 활용 실적	테스트베드 활용 실적 여부	건	3	0.15	테스트베드를 통한 실용화 가능성 타진
	부품개발 건수	핵심부품 개발 실적	개발성공부품수	건	4	0.15	핵심부품 개발을 통한 실용화 여부확인
	연구성과 확산노력	연구개발 관련 홍보	연구개발관련 홍보 건수	건	11	0.05	연구개발 홍보를 통한 기술력 홍보 필요
	설계도면 및 사양서 작성	도면 및 사양서 작성	도면 및 사양서 개발 건수	건	6	0.1	실용화 기반확보를 위한 도면 및 사양서 작성 필요

- 연차별 성과목표

과제	성과목표	연차별 목표				
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발	지식재산권	특허출원 서 2	특허출원 서 3	특허출원 서 3	특허출원 서 3	특허출원 서 3
	학술적 성과 (논문게재)	국내외학 술지 2	국내외학 술지 4 SIC급 1	국내외학 술지 5 SIC급 2	국내외학 술지 6 SIC급2	국내외학 술지 5 SIC급 2
	학술적 성과 (학술회의 논문발표)	국내외학 술지 2	국내외학 술지 4	국내외학 술지 6	국내외학 술지 6	국내외학 술지 4
	경량화 목표 달성 (최종목표대비 달성도 %)			50%	75%	100%
	테스트베드 구축 및 활용				1건	2건
	부품개발 건수			1건	2건	1건
	연구성과 확산노력		2건	2건	3건	4건
	설계도면 및 사양서 개발	1건	2건	3건		

3. 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발

가. 연구개발 목표

세부과제의 개념	▪ 난연성 마그네슘합금의 제반 특성 최적화 및 부품화 요소기술 개발을 통한 전동차의 의장·내장 부품 20% 이상 경량화기술 개발
세부과제의 범위	▪ 난연특성 및 기계적 특성이 우수한 마그네슘합금 제조기술 개발 ▪ 고특성 난연성 마그네슘합금 압출재 제조기술 개발 ▪ 고특성 난연성 마그네슘합금 압출재 성형 및 접합기술 개발 ▪ 마그네슘합금의 난연성 평가기법 표준화 및 화재안전기준 작성
기술개발목표	▪ 첨단 신소재, 부품화 요소기술의 개발 및 적용을 통해 전동차의 의장·내장 부품을 20% 경량화

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

○ 철도차량의 경량화 목표를 달성하기 위해서는 차체, 대차의 경량화와 함께 의장/내장 부품의 경량화가 요구되며 이를 위해서는 구조용 금속소재 중 가장 가벼운 마그네슘합금 적용이 필수

○ 상용 마그네슘합금은 대기와의 반응성이 매우 커 화재발생시 급격히 발화 또는 연소되므로 화재로부터 승객을 안전하게 보호하기 위해서는 상용 소재 대비 발화저항성을 획기적으로 향상시킨 난연성 마그네슘합금의 적용이 필수

○ 난연성 마그네슘합금의 제반특성(기계적 특성, 변형특성, 압출성, 접합특성) 등은 상용 마그네슘합금과 상이하므로 난연성 마그네슘합금을 의장 및 내장부품에 적용하기 위해서는 적용분야의 요구특성에 부합하는 난연성 마그네슘합금 제조기술 및 난연성 마그네슘합금의 제반 특성을 고려한 부품화 요소기술 개발이 필수

○ 난연성 마그네슘합금은 화재로부터 승객을 안전하게 보호할 수 있으므로 철도 이용에 대한 수요자의 신뢰를 향상시킬 수 있고 원소재·중간재·부품 제조공정 중에 온실가스의 사용을 획기적으로 감소시키거나 배제할 수 있는 친환경 녹색소재임.

(2) 정부지원 필요성

○ 철도차량 관련 산업은 국가 기간산업으로 기술적 난이도가 높을 뿐만 아니라 기술 개발, 실장 평가 및 양산 적용에 있어서 투자비용 및 진입 장벽이 높아 성공적인 기술 개발 및 실용화를 위해서는 정부주도형 과제로 진행되는 것이 바람직함.

○ 미국, 유럽, 일본, 중국 등의 세계 주요국에서도 정부 주도로 철도차량 경량화를 통한 에너지 절감 기술 개발을 진행하고 있음.

○ 국내 복합재료 산업의 경우 시장이 충분히 성장하지 않아 철도차량과 같은 국가 기간산업 적용을 목표로 투자 및 기술개발을 주도할 수 있는 민간 기업이 부족하여 정부의 지원이 반드시 필요함.

다. 기존 과제와의 중복성 및 연계방안

중점분야	유사과제명	중복대상 과제 현황	중복성 검토
제3세부과제	◦부처명 : 지식경제부 ◦사업명 : 부품소재산업경쟁력 향상사업 ◦과제명 : 무기체계 성능향상을 위한 400MPa급 압출용 마그네슘합금 및 뿌리 기술 개발	진행중	◦유사과제는 CaO를 첨가하여 난연성을 향상시키는 기술 ◦후보과제는 Ca+Y 복합첨가를 통해 난연성 뿐만 아니라 기계적 특성을 동시에 향상시키는 기술
	◦부처명 : 지식경제부 ◦사업명 : 부품소재산업경쟁력 향상사업 ◦과제명 : 열간단조 및 압출공정을 이용한 민간항공기 이코노미 좌석용 난연 마그네슘 적용부품 개발	진행중	◦유사과제는 CaO를 첨가하여 난연성을 향상시키는 기술 ◦후보과제는 Ca+Y 복합첨가를 통해 난연성 뿐만 아니라 기계적 특성을 동시에 향상시키는 기술 ◦유사과제는 항공기용 의자 ◦후보과제는 철도용 의자
	◦부처명: 지식경제부 ◦사업명: 광역경제권거점기관지원사업 ◦과제명: 장섬유 강화 열가소성 탄소섬유 복합재 적용한 사출성형 기술을 이용한 스틸대비 40% 이상 경량화 자동차 FEM 캐리어 개발	완료	◦유사과제는 탄소섬유(장섬유) 강화 열가소성 복합재료 개발이 주요 내용임 ◦후보과제는 연속섬유 강화 열경화성 복합재료를 이용한 철도차량 내장재 제조공정을 개발함

라. 연구개발 주요내용

<table>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="2">첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="9">구성기술</td><td>기술명</td><td>내용</td></tr>
<tr><td rowspan="5">▪ 난연성 마그네슘합금 적용을 통한 철도차량 의장/내장 부품 경량화기술</td><td>▪ 3세대 난연성 마그네슘합금 제조기술
- 합금 성분 및 조성 최적화
- TMP를 이용한 미세조직 제어기술</td></tr>
<tr><td>▪ 고압 주조부품 제조기술
- 유동해석을 이용한 고압 주조금형 설계기술
- 고압 주조공정 최적화</td></tr>
<tr><td>▪ 고강도・고인성 압출재 제조 및 성형기술
- 변형특성을 고려한 압출금형 설계기술
- 공정변수 제어를 통한 압출재 제조공정 최적화
- 변형특성을 고려한 압출재 성형기술</td></tr>
<tr><td>▪ 고강도・고성형성 판재 제조 및 성형기술
- 박판주조공정 최적화
- 열간압연공정 최적화
- 변형특성을 고려한 판재 성형기술</td></tr>
<tr><td>▪ 모듈화를 위한 접합기술
- 접합방법 및 공정변수의 영향 평가
- 모재 대비 70% 이상 강도 확보를 위한 접합공정 최적화</td></tr>
<tr><td rowspan="3">▪ 복합소재를 적용한 내장재용 일체형 부품 및 공정원가 50% 이상 저감 기술</td><td>▪ 복합재료를 이용한 일체형 철도차량 내장부품 설계
- 구조 성능 및 심미성을 고려한 설계 기술</td></tr>
<tr><td>▪ 일체형 부품의 복합재료 액상성형 공정 개발
- Resin infusion, Resin transfer molding 등
- 액상성형 공정의 유동해석 및 공정 최적화</td></tr>
<tr><td>▪ 재료 (수지, 섬유)의 설계 및 선정
- 내장부품의 구조 성능 및 난연성 확보 기술</td></tr>
<tr><td>기술적 위험요인</td><td colspan="2">▪ 3세대 난연성 마그네슘합금 양산기술이 확보되지 못하여 원소재 수급에 불안정성을 유발시킬 수 있으므로 기술 이전 등을 통해 원소재 양산기술 확보 필요
▪ 마그네슘합금의 난연성 평가 및 화재안전기준 미비로 기술개발이 성공적으로 수행되어도 실제 적용이 곤란할 수 있으므로 난연성 평가법의 표준화 및 화재안전기준 제정이 동시에 진행되어야 함.
▪ 철도차량 내장재 부문에서 알루미늄, 마그네슘 등 경량 금속을 적용하는 기술이 성능 및 원가 면에서 상당부분 최적화가 되어 있어서 복합재료 적용을 통한 추가 경량화와 원가 경쟁력 확보를 동시에 진행하는 것이 필요함.
▪ 복합재료 내장재의 경우, 구조 성능 이외에 불연성을 확보해야 하므로 기존 수지를 사용할 경우 선정폭이 매우 제한적이므로 불연성을 구현하는 별도의 수지 개발이 진행되어야 할 필요가 있음.
▪ 철도 차량의 경우 수요 업체가 매우 제한적이므로 기술 개발이 완료되어도 양산 적용하기가 상대적으로 어려움.</td></tr>
<tr><td>연구개발 추진전략</td><td colspan="2">▪ 정부, 관련 기업, 도시철도공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축
- 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴 및 실용화 추진
- 연구개발단계에 철도차량 수요업체를 포함시켜 연구를 추진함으로써</td></tr>
</table>

	유기적인 협조체제를 모색
기대효과 및 파급효과	▪ 기술적 기대효과 - 난연성 마그네슘합금 관련 기술 선점 - 난연성 마그네슘합금을 철도차량 차체에 적용하기 위한 기반기술 확보 - 난연성 마그네슘합금을 일반철도, 고속철도에 적용하기 위한 기반·응용기술 확보 - 복합재료를 이용한 내장재 부품을 철도 차량에 적용하여 부품의 30% 경량화를 통한 철도차량 경량화 달성에 기여함. - 기존 제조공정 대비 공정 원가 및 제작 시간을 개선하여 철도차량용 복합재료 내장재 양산화를 달성 ▪ 경제적 기대효과 - 철도차량 중량의 10%를 차지하는 의장/내장 부품 20% 경량화시 1.2% 에너지 절감 - 철도차량 중량의 10%를 차지하는 의장/내장 부품 20% 경량화시 레일 수명 2~2.5% 향상 - 난연성 마그네슘합금 부품 수출을 통한 수익 창출 - 선진국에서 주도하고 있는 철도분야 이산화탄소 배출 저감 목표를 달성하여 철도차량 수출 기반 확보 및 국가 위상 강화

마. 연구개발과제 TRM

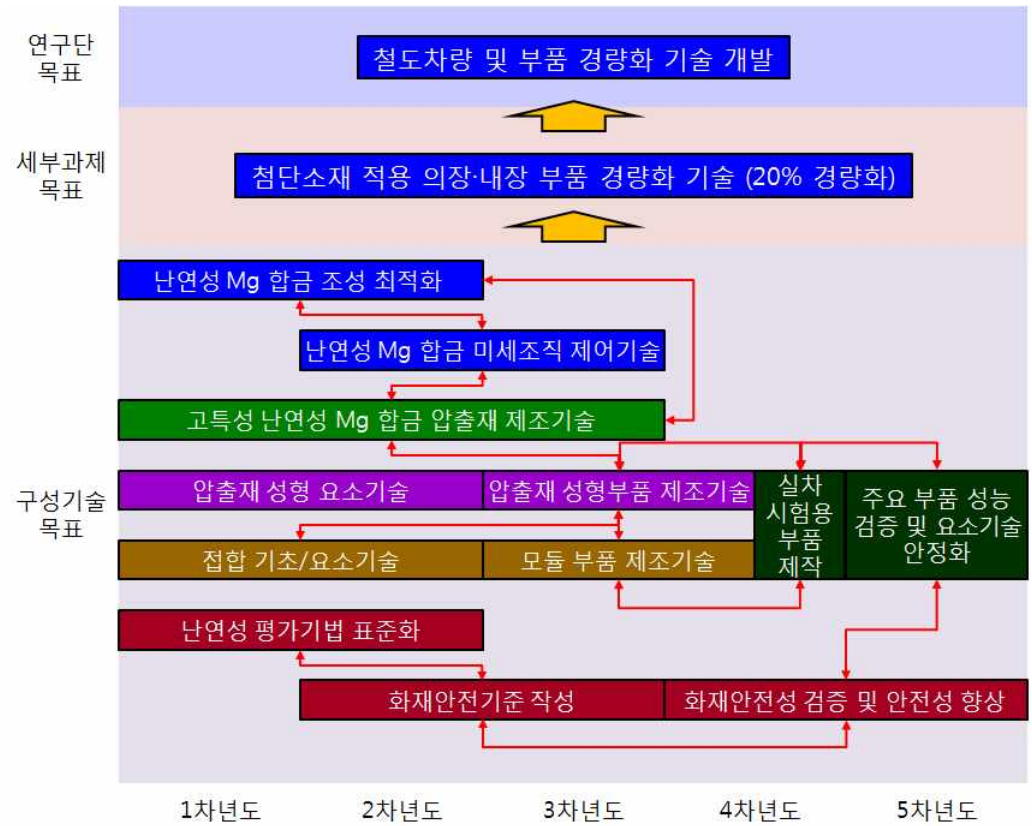


그림 5.5.5 3세부과제 TRM

바. 3세부과제 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
첨단소재를 활용한 도시철도 차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발	논문	학술지 게재 논문건수	국내외 학술지 게재 여부	건	24	0.05	기호기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		SCI급 게재 논문건수	SCI급 논문 게재 여부	건	12	0.05	
	지식 재산권	특허 출원 건수	국내외 특허 출원 여부	건	6	0.1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		특허 등록 건수	국내외 특허 등록 여부	건	4	0.05	
	시험 및 조사 관측 역량	시험/조사/관측기법 개발 실적	시험/조사/관측 기법 개발 여부	건	2	0.1	난연성 평가기법 확립
	기술성능 목표달성	요소기술의 성능 목표 달성도	발화온도 측정	℃	750	0.15	철도차량 적용을 위한 요구 성능 충족
			강도-연성지수 측정(인장시험)	MPa・%	6000	0.15	
		소재 및 부품개발 건수	소재 및 부품개발 여부	건	6	0.15	
	표준	표준/기준의 규정/지침/편람/시방서화	규정/지침/편람/시방서화 건수	건	2	0.1	실용화 기반확보를 위한 규정 개발 필요
	국제협력 및 협약	국제회의 개최건수	국제회의 개최 (공동 포함) 건수	건	3	0.05	국제회의 개최를 통한 정보 습득 및 기술력 홍보
	연구성과 확산노력	기술 및 제품 전시회 운영/참석	전시회 참석 건수	건	9	0.05	연구개발 홍보를 통한 기술력 홍보 필요

- 연차별 성과목표

과제	성과목표	연차별 목표				
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
첨단소재를 활용한 도시철도 차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발	논문	학술지 논문 2건 SCI급 논문 1건	학술지 논문 4건 SCI급 논문 2건	학술지 논문 6건 SCI급 논문 3건	학술지 논문 6건 SCI급 논문 3건	학술지 논문 6건 SCI급 논문 3건
	지적재산권		특허 출원 1건	특허 출원 2건 특허 등록 1건	특허 출원 2건 특허 등록 1건	특허 출원 1건 특허 등록 2건
	시험 및 조사 관측 역량			난연성 평가기법 개발 1건		난연성 평가기법 활용 1건
	기술성능 목표달성	발화온도 700℃ 강도-연성지수 5000MPa·%	발화온도 720℃ 강도-연성지수 5300MPa·%	발화온도 735℃ 강도-연성지수 5500MPa·% 소재 개발 1건	발화온도 750℃ 강도-연성지수 5800MPa·% 부품 개발 2건	발화온도 750℃ 강도-연성지수 6000MPa·% 부품 개발 2건
	표준				난연성 평가 기준 1건	화재안전기준 1건
	국제협력 및 협약	국제학회 개최 1건		국제학회 개최 1건		국제학회 개최 1건
	연구성과 확산노력	전시회 참석 1건	전시회 참석 2건	전시회 참석 2건	전시회 참석 2건	전시회 참석 2건

4. 테스트 베드 구축 및 활용방안

○ 현재 충북오송에 철도종합시험선로 구축 진행
- 내용 : 충북오송기지일대 약 13km의 철도종합시험선 구축
- 목적 : 체계적인 성능검증을 통한 궤도, 신호 등 철도 핵심분야의 국제적인 기술경쟁력 확보를 위해 철도종합시험선로 구축
- 기간 : '13-'16
- 총비용 : 2,128억원
- 운영주체 : 한국철도시설공단(관리), 한국철도기술연구원 (시험)
- 노서계획 : 세종특별시 전동면, 충청북도 청원군 일원(L=12.968km, 단선)
- 주요시설규모
  . 노반공사 : 12,968m(단선). 토공(4,095m), 교량(1,535m, 6개소), 터널(5,790m,6개소), 기존선활용(1,548m)
  . 궤도공사 : 11,420m(단선)
  . 건축공사 : 통합통제센터(1개동), 변전소
  . 시스템공사 : 전기, 신호, 통신 분야(12,968m,단선), 통합통제센터, 변전소내 전기설비 및 건축부대설비

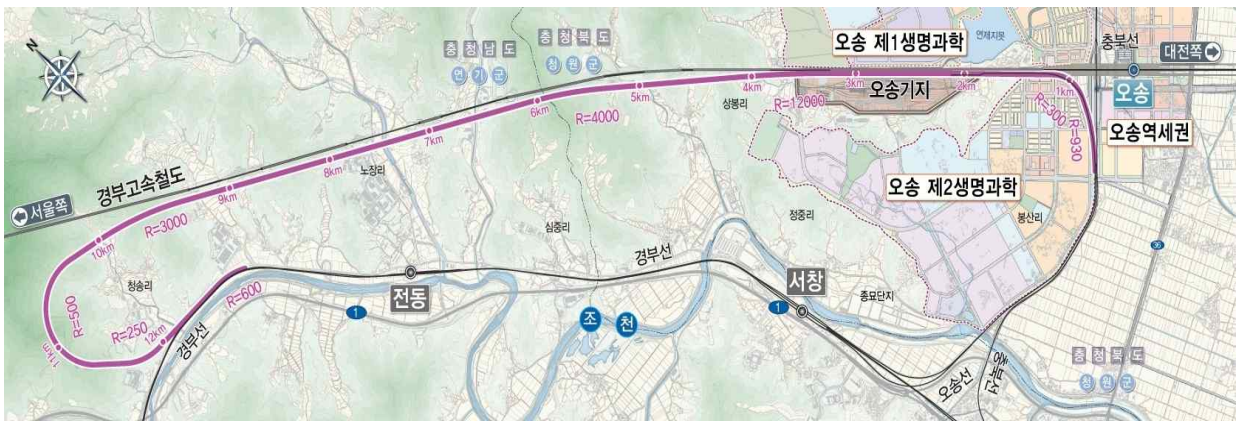


그림 5.5.6 철도종합시험선로 노선도.

○ 국가 R&D를 통한 시험용 차량 개발 추진
- 현재 "2층 고속열차 인터페이스 및 운영 기술개발" 국토부 국가 R&D (연구기간 : 2013. 11 -2017.11)를 통해 고속열차 테스트 베드 동력차량 2량 포함 총 4량의 2층 고속열차 제작 예정
- 동력차 2량은 향후 국가 R&D로 개발되는 차량에 대한 시험운전시 활용

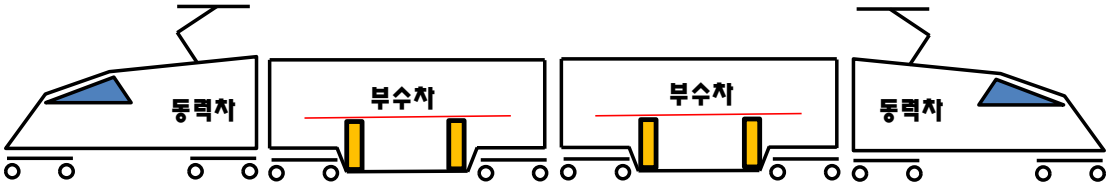


그림 5.5.7 2층 고속열차 인터페이스 및 운영 기술개발과제에서 제작되는 차량편성.

○ 테스트 베드 구축 및 활용방안

- 본 과제에서는 개발된 첨단소재 적용 차량의 신뢰성 평가를 위해 시제차 2량을 제작 예정
  . 동력차 1량, 부수차 1량
- 이렇게 개발된 차량의 실차시험을 위해 현재 오송에 구축중인 철도종합시험선로와 2층 고속열차 인터페이스 및 운영 기술개발과제에서 제작되는 동력차를 활용한 계획임
- 테스트 베드 구축 일정

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
철도종합시험 선로 구축	←	—	—	—	→		
동력차 2량 제작		←	—	—	—	→	
첨단소재 적용 차량 시험운전			**과제 착수**	**설계**	**제작 및 성능 평가**	**시제차 조립**	**선로시 험운전**

- 위의 일정과 같이 철도종합시험선로는 2016년 건설이 완료예정이고 2층 고속열차 인터페이스 및 운영 기술개발과제는 2017년에 과제가 종료됨
- 따라서, 본 과제가 2015년 착수를 할 경우 테스트 베드를 활용한 선로 시험운전은 2019년 예정으로 철도종합선로상에서 2층 고속열차 인터페이스 및 운영 기술개발과제에서 제작되는 동력차를 활용한 실차시험운전이 가능함
- 시험항목: 완성차 시험, 진동시험, 주행안정성, 탈선안전도, 동특성(승차감, 진동 등), 소음 등

○ 시험용 차량 구성(안)

- 제 1안

. 2층 고속열차 인터페이스 및 운영 기술개발과제에서 개발된 차량 중 동력차 2량만 활용하여 시험차량 구성

. 시제차 구성시 필요사항 : 본 과제에서 개발되는 시제차는 동력차 (Mcar) 1량과 부수차 (Tcar) 1량으로 각 차량에 전력 및 공기제동을 위한 공압이 제공되어야 하므로 각 차량별로 아래와 같은 설비가 설치되어야 함

▪ 동력차 (Mcar) : 인버터, 차단기, 필터리엑터, 모터제어기

▪ 부수차 (Tcar) : 보조전원장치

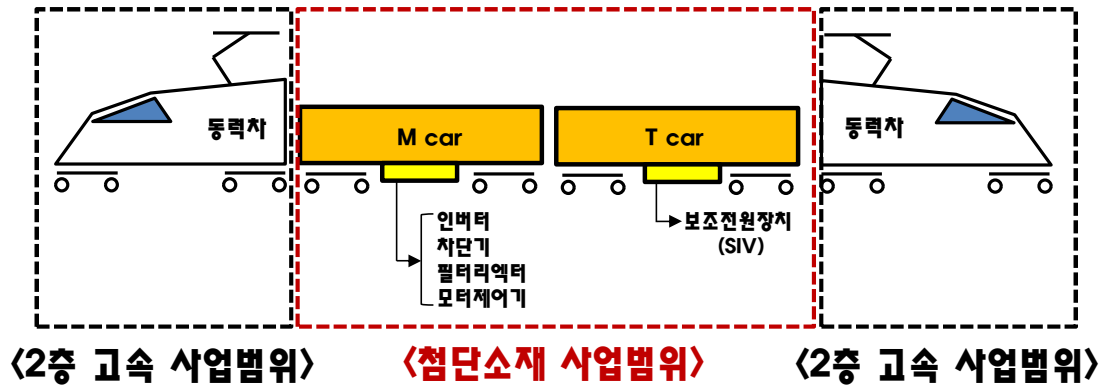


그림 5.5.8 시험용 차량 구성방안 (1안).

- 제 2안

. 2층 고속열차 인터페이스 및 운영 기술개발과제에서 개발된 차량 4량과 본 과제에서 개발된 차량을 연결하여 시험차량 구성

. 시제차 구성시 필요사항 : 상동

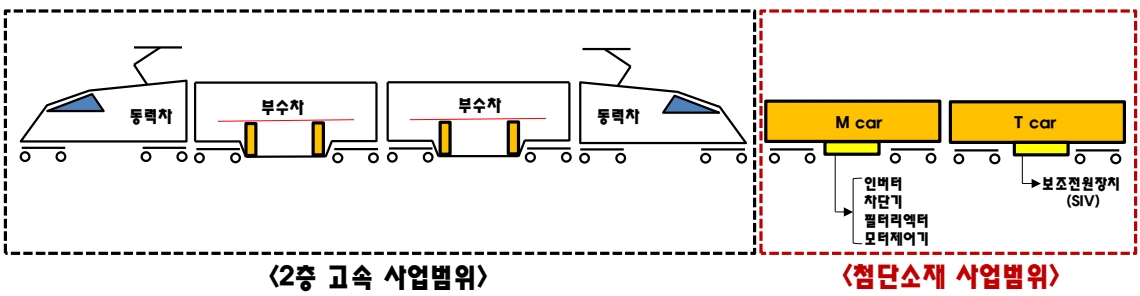


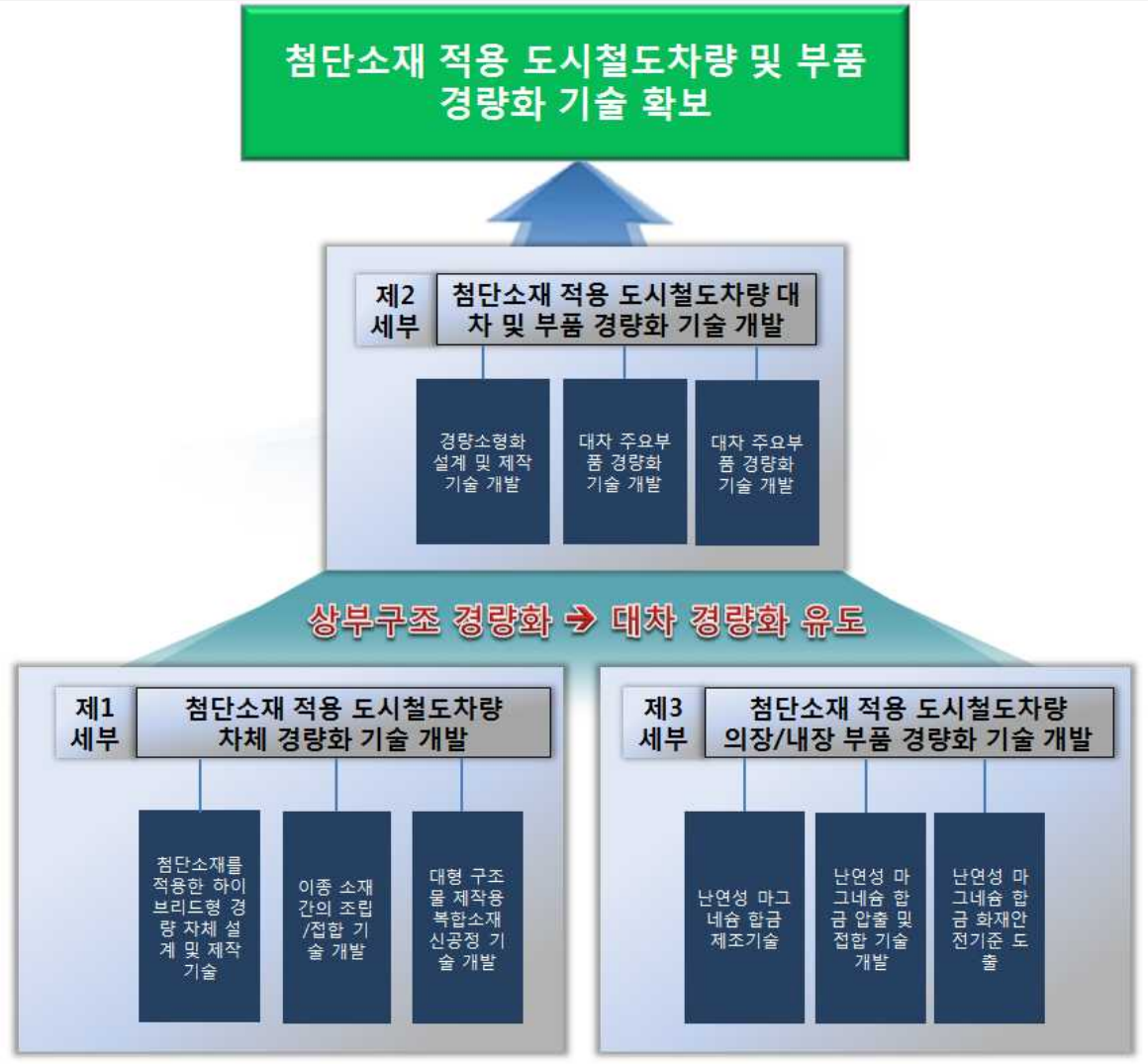
그림 5.5.9 시험용 차량 구성방안 (2안).

- 위에서 제안된 시험차량 구성(안)을 성공적으로 추진하기 위해서는 2층 고속열차 인터페이스 및 운영 기술개발과제에서 제작되는 동력차와의 기계 및 전기적 인터페이스 검토가 필수적임
- 본 과제의 착수단계에서부터 향후 선로시험운전을 고려하여 본 과제에서 개발되는 동력차의 모터구동을 위한 전기적 인터페이스 및 추가설비의 구축방안에 대해서도 검토가 필요함
- 또한, 시험차량내 출입문, 냉난방설비, 계측시스템 및 전등 등 시험운전 시 필요한 부대설비에 대한 구축방안도 동시에 고려되어야 함

제6절 세부과제간 연계관계

◦ 본 연구에 도시철도차량 부품 중 고중량 부품들을 대상으로 첨단소재를 적용하여 전체 철도차량의 경량화에 기여하는 것이 목적임

◦ 이를 위해 제1세부는 철도차량 중량의 약 20%를 차지하는 차체에 대한 경량화, 제2세부는 철도차량 중량의 약 40%를 차지하는 대차에 대한 경량화 및 제 3세부는 철도차량 중량의 약 10%를 차지하는 의장/내장 부품들에 대한 경량화 연구로 구성



제7절 과제별 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 과제별 로드맵

○ 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발

주요 Activity	시행기간(5 년)																				비 고
	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				
1.1 이종소재간의 접합 및 차체 제작성을 고려한 차체구조 도출(CTE1)																					
1.2 대형 복합소재 구조물 및 충격흡수기능을 포함한 경량엔드모듈 설계기술개발(CTE4)																					
1.3 하이브리드형 차체 공진방지, 공력진동감소기술 개발 및 구조최적화(CTE2)																					
1.4 4세대 난연마그네슘 합금적용 차체 설계기술 개발(CTE5)																					

주요 Activity	시행기간(5 년)																				비 고
	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				
2.1 대형 복합재 차체 부품제작을 위한 신공정 기술 개발(CTE3)																					
2.2 하이브리드형 차체 적용 이종소재간의 접합기술 개발																					
2.3 4세대 난연마그네슘 합금조성 최적화 및 압출성 향상기술 개발(CTE5)																					

주요 Activity	시행기간(5 년)																				비 고
	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				
3.1 이종 소재간의 접합구조 시험평가																					
3.2 하이브리드 차체 구조안전성 평가기준 수립																					
3.3 하이브리드형 차체 하중시험 및 성능평가																					
3.4 테스트베드를 활용한 주행시험을 통한 현장적용성 평가																					

○ 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발

주요 Activity	시행기간(5 년)																				비 고
	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				
1.1.대차 경량?소형화를 위한 신형식 대차 설계 기술 개발 (CTE1)																					
1.2.신공정 기술 적용을 통한 복합재 대차 구조물 경량화 기술 개발(CTE5)																					
1.3.경량소형 감속기 및 구동 모터 기술 개발 (CTE2, 3)																					
1.4.적용 소재의 특성을 고려한 대차 및 부품 유지보수 방안 수립																					
1.5.경량소형화를 위한 신형식 대차 구조물 시제품 제작 및 구조시험																					
1.6.경량소형 감속기 및 구동 모터 시제품 제작 및 성능 평가																					
1.7.테스트 베드를 이용한 주행성능 평가용 부품 제작																					
1.8.테스트 베드를 이용한 주행성능용 완성대차 4 EA 제작																					

주요 Activity	시행기간(5 년)																				비 고
	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				
2.1. 금속 복합재 적용 경량 제동 디스크 설계 및 제작 기술 개발(CTE4)																					
2.2. 첨단소재 적용 경량 공기 스프링 설계 및 제작 기술 개발																					
2.3. 경량 제동디스크 시제품 제작, 마찰 및 마모 성능평가																					
2.4. 경량 공기스프링 시제품 제작, 기밀 및 진동 흡수 성능평가																					
2.5. 완성대차용 경량 제동디스크 및 공기스프링 제작																					

주요 Activity	시행기간(2 년)																				비 고
	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				
3.1. 실차시험용 주요부품 조립 및 시험용 차량 완성																					
3.2.시험차량 구성 및 실차시험용 계측장비 구축																					
3.3. 첨단소재 적용 부품별 성능 평가																					
3.4. 속도대역별 완성차의 주행성능, 진동, 소음, 차음 및 승차감 등 주요 성능 평가																					
3.5. 현장 적용성 평가 및 개선안 도출																					

○ 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발

주요 Activity	시행기간(5 년)																			비 고
	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				
1.1. 전산모사기법을 활용한 합금 조성 및 성분상 설계기술 개발(CTE1)																				
1.2. TMP를 이용한 미세조직 정밀제어기술 개발(CTE2)																				
1.3. 난연특성 평가기법 표준화																				
1.4. 난연 마그네슘합금 적용을 위한 화재안전기준 작성																				
1.5. 개발 소재 특성 평가 및 DB 구축																				

주요 Activity	시행기간(5 년)																			비 고
	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				
2.1. 압출금형 설계 및 제작기술 개발																				
2.2. 난연 마그네슘합금 압출재 제조기술 개발(CTE3)																				
2.3. 난연 마그네슘합금 접합기술 개발																				
2.4. 의장/내장 부품 설계 및 성형기술 개발(CTE4)																				
2.5. 의장/내장 부품 모듈화 기술 개발(CTE5)																				
2.6. 승객용 의자 시제품 제작 및 특성 평가																				
2.7. 중천정 구조물 구성 부품 시제품 제작 및 특성 평가																				

주요 Activity	시행기간(2 년)																			비 고
	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				
3.1 의장/내장 부품의 화재안전성 검증 및 안전성 향상																				
3.2. 실차시험용 모듈 부품 제작																				
3.3. 실차시험용 모듈 부품의 기본성능 평가																				
3.4. 주행시험을 통한 현장 적용성 평가 및 개선안 도출																				

제8절 과제별 SWOT 분석

1. 1세부과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발

◦ 기술 동향, 기술 수준, 연구 인프라및 연구개발 역량, 지적재산권 확보 가능성 등을 종합적으로 분석하여 Strength(강점), Weakness(약점), Opportunity(기회), Threat(위험) 요인 분석

강 점	약 점
▪ 해외선진국과 동등수준의 경량 압출재 생산기술 확보. ▪ 한국형 틸팅열차 개발사업으로 복합재 적용 차체 제작기술 및 경험확보. ▪ 복합소재, 난연Mg 등 첨단소재에 대해 해외선진국과 동등이상의 기술보유	▪ 해외선진국 대비 하이브리드형 차체에 대한 연구개발 미흡 ▪ 대형복합소재 구조물 제작기술은 확보되어 있으나, 철도차량 차체와 같이 대형구조물을 제작할 수 있는 제작사 등 관련 인프라 부족 ▪ 마그네슘합금의 소재 및 성형에 대한 양산기술 미확립
기회요인	위협요인
▪ 저탄소 녹색성장, 에너지절감 등의 측면에서 전 세계적으로 경량화에 대한 관심과 필요성 증가 ▪ 단일소재를 사용한 차체경량화의 한계 및 하이브리드형 차체를 통한 차체경량화 필요성 부각(운영기관, 제작사 등) ▪ 노후 철도차량의 교체시기가 도래하여 신규 도시철도전동차 수요기대	▪ 해외의 경우 차체의 일부 구조에 복합소재를 적용한 차량이 이미 상용화 되어 있으며, 다양한 접합기술을 이용한 차체제작기술을 보유하고 있음 ▪ 해외선진국의 경우 첨단소재 적용 관련 기술개발 및 연구가 국내보다 앞서 활발하게 진행되고 있음

◦ 상기의 SWOT 분석 결과와 같이 해외 철도선진국에 비해 관련기술 확보 및 연구개발에 부족한 부분이 있으나, 경량 알루미늄 압출재 및 첨단소재에 대한 원천기술과 경험은 충분히 확보되어있는 것으로 판단되며, 관련분야별 각 연구기관과 제작사, 운영기관 등의 공동 연구를 통해 첨단소재를 활용한 차체경량화 기술개발은 성공가능성이 충분히 높은 것으로 판단 됨

2. 2세부과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발

강 점	약 점
▪ 첨단 복합소재를 대차 적용 기술, 제동디스크 경량화 기술 등 다양한 대차 부품에 대한 경량화 기초 연구를 통한 핵심 요소 기술 확보 ▪ 관련 지적재산권 확보 ▪ 정부 주도 연구개발 사업을 통해 대차 부품 경량화관련 기반기술 축적	▪ 국내 기업들의 대차부품에 대한 첨단소재 적용 경험 부족 ▪ 국내 부품산업 및 요소기술 기반 취약
기회요인	**위협요인**
▪ 에너지 절감을 위한 철도차량 경량화에 대한 요구 증대 ▪ 기존 철도차량용 대차의 한계를 극복할 수 있는 Track-friendly 친환경 경량 대차 및 부품 개발 필요성 제고 ▪ 자동차 경량화와 관련하여 개발된 요소기술 및 참여인력 활용 가능	▪ 철도 선진국들의 경량 소형 대차 분야 실용화 착수로 원천기술 및 지적재산권 선점 ▪ 해외 업체들의 특허 장벽 강화 및 기술개발 이전에 대한 높은 견제(지적재산권 실시 국내 진입)

◦ 상기의 SWOT 분석 결과와 같이 해외 철도선진국에 비해 관련기술 확보 및 연구개발에 부족한 부분이 있으나, 대차 및 부품 경량화 관련 기초연구를 통한 요소기술이 확보되어있는 것으로 판단되며, 관련분야별 각 연구기관과 제작사, 운영기관 등의 공동 연구를 통해 첨단소재를 활용한 대차 및 관련 부품 경량화 기술개발은 성공가능성이 충분히 높은 것으로 판단 됨

3. 3세부과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발

강 점	약 점
▪ 난연성과 기계적 특성이 동시에 향상된 3세대 난연성 마그네슘합금 관련 원천기술 및 지적재산권 확보 ▪ 광폭 판재 제조 관련 세계 최고 기술 보유 ▪ 정부 주도 연구개발 사업을 통해 소재 개발 및 응용과 관련한 기반기술 축적	▪ 중국이 원소재 시장의 90%를 점유하고 있어 원소재 수급의 불안정성 증대 ▪ 전 세계적으로 가공용 마그네슘합금 시장이 성숙되지 않아 기술개발 후 상용화 지연 우려
기회요인	위협요인
▪ 에너지 절감을 위한 철도차량 경량화에 대한 요구 증대 ▪ 철도차량의 안전기준 강화에 따른 난연 소재 적용 확대 ▪ 자동차 경량화와 관련하여 개발된 요소기술 및 참여인력 활용 가능 ▪ 난연성 마그네슘합금 실용화 기술 조기 확보시 세계시장 선점 및 독점적 지배 가능	▪ 일본, 중국 등을 중심으로 마그네슘합금을 철도차량에 적용하기 위한 기술 개발이 활발히 진행되고 있어 기술 선점 경쟁 치열 ▪ 난연성 마그네슘합금 개발 및 적용과 관련하여 정부 주도로 집중 투자(일본)

◦ 상기의 SWOT 분석 결과와 같이 기회요인과 위협요인이 공존함. 국내 대기업의 마그네슘 제련산업 진출로 원소재의 안정적 수급이 가능할 것으로 판단되며 상용화를 위한 적극적인 시장 개척이 필요할 것으로 판단됨

◦ 난연성 마그네슘합금의 경우 전 세계적으로 상용화 초기 단계에 머물러 있으므로 상용화에 필요한 요소기술들을 조기에 확보할 경우 기술 선도 및 세계 시장 선점이 가능할 것으로 판단되며 자동차, 항공기 등 다른 수송기기 분야로의 파급 효과도 클 것으로 판단됨.

제9절 성과의 활용방안

○ 2020년부터 도래하는 구형전동차에 대한 교체 물량으로 도입되는 신규 전동차에 적용 가능
  - 국내 도시철도 시장규모 : 전동차용 대차 약 15,992대[1] (약 3.2조[2])
    (1)서울지하철공사, 2010년, (2)대차당 평균 2억 적용
○ 세계 시장 진출 : 세계시장 10% 점유시 약 1.25조 (세계 도시철도 시장 규모 : 전동차용 대차 약 100,000대, 약 17조)
○ 세계적으로도 난이도가 있는 다양한 이종 첨단 소재를 이용한 차체를 개발, 양산에 성공함으로서 대한민국 철도 산업의 세계적 위상을 고양하고, 타 국제 경쟁사 대비 경량화된 차체를 수출함으로서 국내 철도산업 육성에 기여
○ 제 3세대 및 4세대 난연 마그네슘 합금의 철도차량 적용 기술을 확보하여 향후 세계 철도차량 부품 경량화 시장 선점 및 해외 경량력 강화
○ 첨단소재를 적용한 도시철도 차량 경량화 기술확보를 통해 도시철도 운영처의 현안사항인 마모 및 소음문제 해결에 기여
○ 도시철도형 초경량 대차기술을 기반으로 일반철도 및 고속철도로 기술 확대 적용

제10절 연구수행체계 제안

1. 연구추진체계

- 1세부과제는 철도차량의 주요 구조물 중의 하나인 철도 차량의 경량화를 목표로 차량 설계에서부터 제조 및 시험평가를 수행하고, 경량화 달성을 위해서 고강도 알루미늄을 적용한 알루미늄 합금 압출재 생산 및 적용기술을 개발하고, 동시에 복합재료 및 난연성 마그네슘 합금과 같은 첨단 소재의 생산 공정 기술을 개발을 동시에 추진
- 2세부과제는 철도차량 단일 부품중 가장 중량이 무거운 대차에 첨단소재 및 신형식 설계기술을 적용한 경량 대차의 연구개발 추진
- 3세부과제는 첨단소재인 난연성 마그네슘합금 및 복합재료를 철도차량에 적용하기 위해서는 기초·기반기술을 확보하고 있는 연구계/학계와 실용화 기술 개발을 담당할 산업계와의 유기적인 협조가 필요하므로 산학연 컨소시엄을 구성하여 연구개발 추진

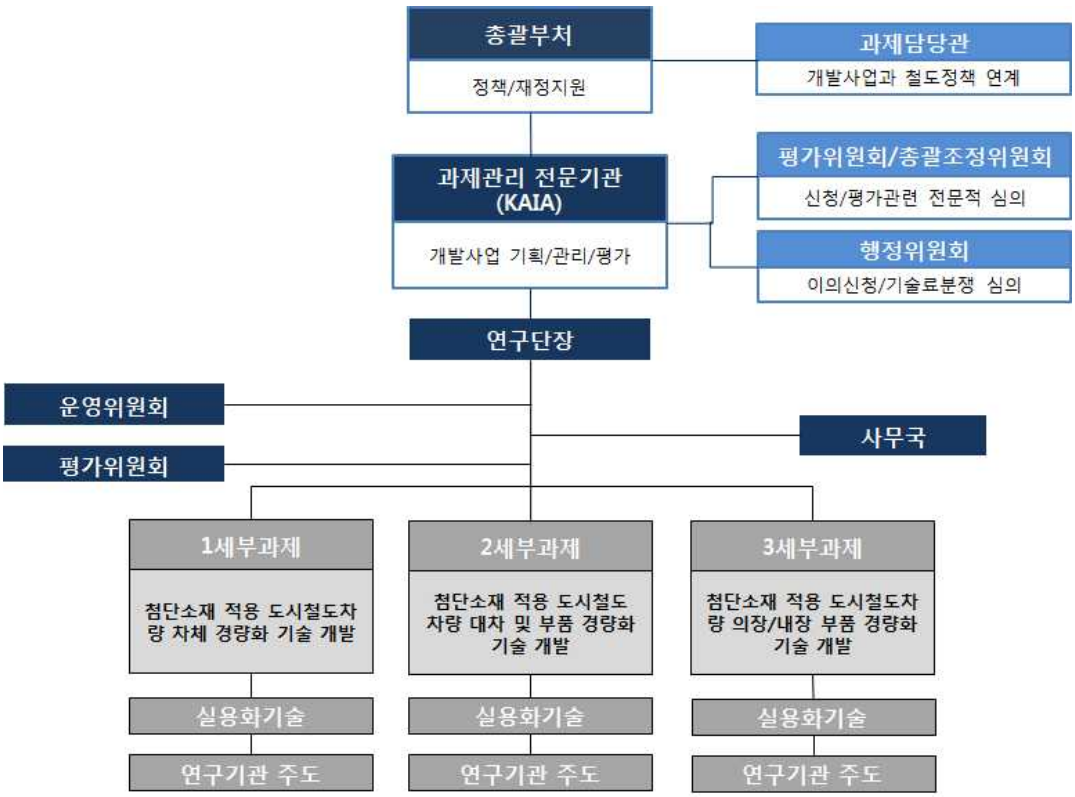


그림 5.10.1 연구추진체계도

제 6 장 사전타당성 검토

제1절 정책적 타당성

1. 국가 전략적 중요성

○ 정부는 부품소재산업 육성 전략을 수립하는 등 적극적인 정책을 추진하고 있으며, 동 과제는 이와 같은 정부의 산업정책에 부합하는 기술개발 과제임

- 정부는 핵심소재 경쟁력 확보 및 미래소재 개발을 통한 신시장 창출 및 시장 선점을 위해 '소재 원천기술개발사업', 'WPM(World Premier Materials) 사업' 등을 추진

※ 정부는 부품소재산업을 정보통신, 에너지, 신산업 등 전 산업군에 걸쳐 기반이 되며, 공급사슬 내에서 허리를 담당하는 중추산업으로 인식하고 있음

- 동 과제는 마그네슘 합금 및 고강도 알루미늄 소재의 차체 적용을 위한 공정 및 제작기술개발 과제로 정부의 부품소재산업(금속분야) 중점육성제품 중 초경량 금속부품소재에 해당됨

표 6.1.1 부품소재산업 세부분야별 중점육성제품 및 기술

세부분야	중점육성제품 및 기술
금속	***초경량 금속부품소재***, 한국형 원자력/화력 부품소재, 의료용 biometals, 국가전략 희소 금속소재, 항공/조선용 금속부품, 대형 풍력발전용 금속부품소재, 초정밀 금형/공구 소재
화학/고분자	디스플레이 및 차세대 조명용 유기소재, Soft Electronics 화학부품소재, 이차전지/셀/팩/모듈, 환경친화형 green polymer 부품소재, 고기능 고성능 복합필터 및 소재, 유기 태양전지 소재, 연속공정가능 3차원 구조용 고분자 복합체
세라믹	센서소재 및 부품, 차세대 반도체 소재, 초소형 MEMS 부품소재, 환경친화형 건축소재, 초고온용 세라믹 소재, Spintronics소재
융복합	탄소섬유 복합소재, 신재생에너지용 융복합소재, 신기능 융복합 광학필름, 진단/치료용 헬스케어 소재, 열관리용 융복합소재, 미래형 barrier 필름 융복합소재, 스마트그리드용 전력저장소재
나노융합	나노기반 인쇄전자소재 및 소자, 탄소기반 다기능성 나노복합소재, 대면적 나노패터닝 소재, 나노기반 차세대 에너지저장소재, 나노구조 에너지 변환소재 및 소자, 환경개선형 나노소재, 나노융합 바이오소재

○ 정부는 '해외 철도시장 진출 확대'를 목표로 '수출주도형 연구개발'을 추진과제로 제시하고 있으며, 동 과제는 해외 철도 시장에서 최근 이슈가 되고 있는 철도차량 경량화를 통한 수출경쟁력 확보를 추구하는 기술개발 과제임

- 국토교통부의 「제 2차 철도산업발전기본계획('11)」에서는 철도차량시장 점유율 향상목표를 제시하고, '수출주도형 연구개발추진'을 추진과제로 제시하고 있음

- 유럽을 비롯한 철도선진국에서는 CO2저감 및 에너지 절감을 위한 차량 경량화 액션플랜(2015년까지)과 로드맵(2020년까지)을 설정

- 동과제에서는 고강도 알루미늄 합금, 마그네슘 합금 등 신소재 기술 확보

ERRAC
The European Rail Research Advisory Council

4.4. EE Rolling Stock Roadmap – from vision to action

Sector	Vision & Need	Type of activity[10]	Time Horizon[11]	Priority[12]
Rolling Stock	**Lighter Trains** *Assessment of the technology transfer potentials from the aeronautic and automotive sector to the railway sector*	CSA	2015	☆☆☆
Rolling Stock	**Lighter Trains** *Weight reduction for the suburban and urban passenger services In due consideration of standardisation and regulation issues (e.g. crashworthiness) Design methodologies to be re-evaluated*	R & D	2020	☆☆☆

[10] CSA = Coordination Support Activity / R = Research / D = Development
[11] Technical Maturity
[12] 1 ☆ = Low Priority / 2 ☆ = Medium Priority / 3 ☆ = High Priority

그림 6.1.1 유럽철도연구자문위원회에서 설정한 차량분야 기술개발 로드맵

○ 최근 전력난 이슈로 인해 정부는 적극적인 에너지 관리 정책을 추진하고 있으며, 동 과제는 정부의 에너지 관리 정책을 지원하는 기술개발 과제임

- 최근 노후화된 화력발전소 및 원자력발전소의 가동 중단 등으로 전력 공급량 부족으로 인한 블랙아웃 사태가 우려됨에 따라 정부에서는 적극적인 에너지 정책 추진

※ 산업통상자원부는 에너지수요관리정책단을 두고 에너지 수요관리 중심의 에너지 관리 정책을 추구함

※ 단기적으로 산업체 강제 절전, 냉방온도 제한, 문열고 냉방영업 금지 등의 적극적인 에너지 절약정책 시행한 바 있음

- 동 과제를 통한 차량 경량화 시 차량 운행에 따른 전력소모량 감소로 에너지 절감효과가 발생할 것으로 전망

※ 전문가 자문 결과 차량 중량 5% 감소 시 에너지 3%를 절감할 수 있을 것으로 분석하고 있음[2)]

※ 스페인의 Talgo에서는 2012년 기존 표준견인대차 대비 3ton의 무게를 감소(15% 경량화)시킨 AVRIL을 개발하였으며, 경량화를 통해 에너지 소비량 31%를 감소

○ 고속철도 시장에서 고분자 복합재료 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망됨[3)]

- 고속철도 전체의 고분자 및 복합재료 시장은 2011년 23.7백만 달러에서 2018년 35.7만달러로 연평균 6% 비율로 성장할 것으로 예상됨

2) 차체 경량화에 따른 차량운영 관련 자문회의, 2013. 05. 22.
3) Frost&Sullivan, 2011



그림 6.1.2 고속철도용 고분자 복합재료 시장 전망 요약
(Frost & Sullivan, 2011)

○ 해외 철도 선진국은 장기적인 전략과 첨단소재를 적용하여 경량화를 진행하였으나, 국내는 체계적인 연구 미비로 기술격차가 큰 것으로 조사되어 연구개발 사업을 시급히 추진하여 기술격차를 줄일 필요가 있음

- 국내 최신기종인 KTX산천(2010년 상용화)의 경우 프랑스 알스톰사의 AGV(2007년 상용화)에 비해 승객당 134Kg의 추가 중량을 운반하고 있음



그림 6.1.3 KTX산천의 타 고속철도와의 승객당 중량 비교

- 기술수준조사 결과 철도차량 경량화 기술분야의 국내 기술수준은 세계최고기술보유국 대비 72.5% 수준인 것으로 조사됨

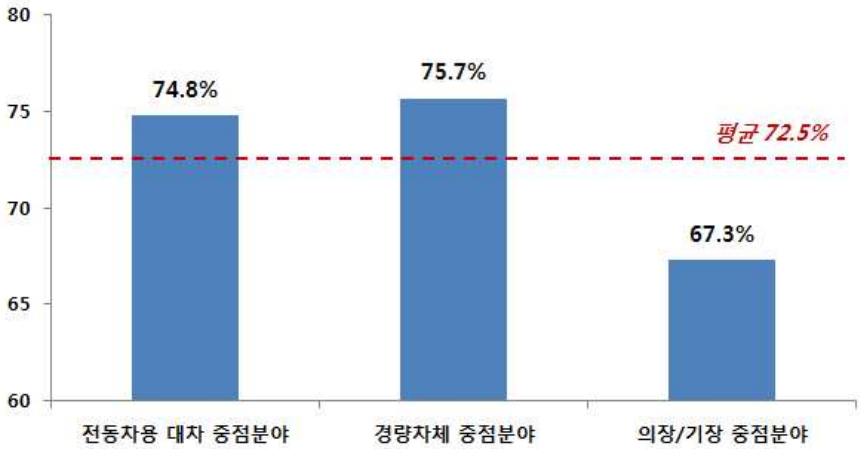


그림 6.1.4 철도차량 경량화 기술분야 기술수준

- 기술예측조사 결과 철도차량 경량화 기술분야의 세계 기술실현시기는 2012년(31%)에, 국내 기술실현시기는 2020년(34%)에 집중되어 있음

※ 개별 기술별 평균 기술격차는 약 3년 정도인 것으로 분석됨

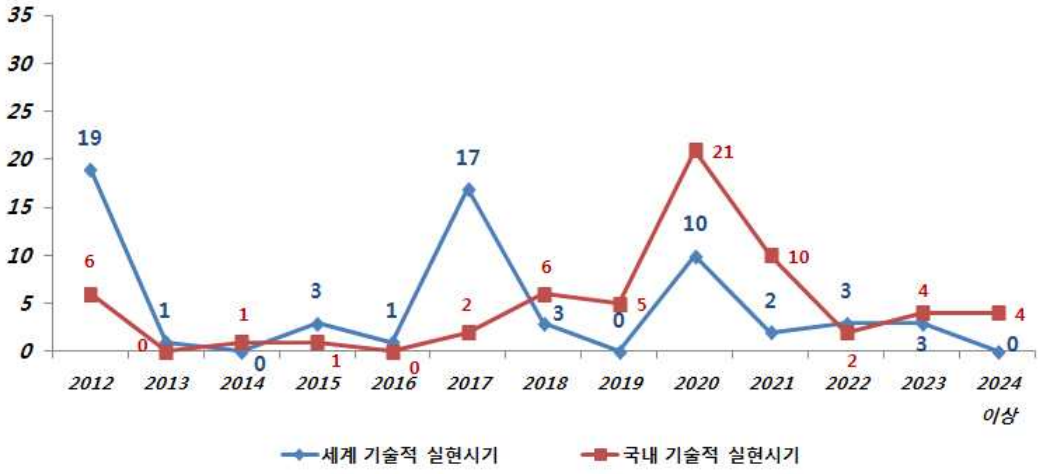


그림 6.1.5 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포

○ 국내 철도차량 경량화 기술에 대한 체계적인 연구가 수행된 바 없으며, 초기단계에 연구개발 활동을 강력하게 추진하기 위해서는 정부지원을 통

해 산학연 연구추진체계를 구축하여 연구기반을 조성할 필요가 있음

- 국가연구개발사업 발주를 통해 경량화금속(마그네슘, 강화 알루미늄 등) 핵심소재를 보유한 기업과 철도 실험 및 연구 인프라를 갖추고 있는 연구기관, 이론적 지식을 지원해 줄 수 있는 대학이 연계된 연구추진체계를 구축하여 초기 연구기반 조성 필요

- 독일, 프랑스, 영국 등 철도 선진국에서는 정부지원을 통해 철도경량화 부품개발 프로젝트 추진

  ※ 독일에서는 과학기술부(Germany's Ministry of Science and Technology) 지원하에 Eurocopter Germany GmbH에서 복합소재프레임, MAN GHH Schienenverkehrtechnik GmbH에서 경량화 대차시스템을 개발하고, 독일연방철도(German Federal Railway)에 의해 ICE에 적용되어 600,000Km 실차시험 수행

  ※ 프랑스에서는 A-TER프로젝트를 통해 Alstom에서 유리섬유 복합소재를 적용한 대차프레임을 개발하고, SNCF 시험소에서 bench test 수행

  ※ 영국에서는 EUREKA 프로젝트의 일환인 Eurobogie 프로젝트를 통해 화차용 대차프레임을 복합소재로 제작하는 연구 수행

○ 경량화 소재기술을 보유한 민간기업이 독자적으로 연구개발을 수행하기는 어려운 상황으로 정부지원이 필요함

- 국내 철도차량 경량화 기술은 초기 연구단계로 단기간에 성과물 확보가 어려운 상황에서 영세한 소재기술 보유 기업이 대규모 예산을 투입하여 추진하기는 어려움

- 철도차량 경량화 기술의 상용화를 위해서는 실제 차량과 선로에 적용하여 실증실험 및 실적확보가 필요하나, 정부지원없이 개별 기업에서 부품개발 후 실제 차량 및 선로에 투입하여 현장실증 수행 및 실적을 확보하기는 어려움

※ 철도는 안전성이 중요시되고 있으며, 국내외 철도 발주처에서는 입찰 시 현장실증 및 운용노선에서의 실적, 안전성 인증 등을 요구하고 있음

※ 틸팅열차, HEMU-350x, HEMU-430x 등 국내에서 수행된 철도차량 개발은 국가연구개발사업으로 수행됨

- 철도차량의 각 부품별 성능 및 무게 변화에 따라 상호간에 영향을 미치기 때문에 개별 소재기술 보유기업들이 공동으로 연구를 진행할 필요가 있으며, 다수의 영세한 소재기술 보유기업이 공동으로 연구를 추진하기 위해서는 정부주도의 연구개발이 적절함

※ 차체 경량화 정도에 따라 대차의 요구성능이 결정되며, 차량 경량화 시 차량과 레일의 점착력이 떨어져 가속과 감속에 영향을 미치기 때문에 적절한 차륜소재 기술개발이 요구되는 등 부품별 성능에 따라 상호 유기적으로 연구를 추진할 필요가 있음

2. 정책적 일관성을 기준으로 검토한 상위계획과의 부합성

① 정부/부처의 상위유관계획과의 부합성

○ 동 연구단은 「박근혜정부 국정목표 및 국정과제('13)」, 「'12~'16 국가재정운용계획('12)」, 「제 2차 철도산업발전 기본계획('12)」의 범지구적 환경문제에 주도적으로 대응하고 녹색 기초원천기술을 확보하고자 하는 방향성을 반영하고 있음

- 「박근혜정부 국정목표 및 국정과제('13)」는 전략으로 '쾌적하고 지속가능한 환경조성'을 포함하고 있으며 이를 통해 기후변화 등 범지구적 환경문제에 주도적으로 대처하고, 쾌적한 환경관리로 지속가능한 발전토대 및 자원순환형 사회기반을 구축하고자 함[4)]

- 「'12~'16 국가재정운용계획('12)」은 R&D분야 및 환경분야 재정운영방향으로 첨단융합, 성장동력, 녹색기술 분야 지원 강화하고 고부가가치 환

4) 박근혜정부 국정비전 및 국정목표, 대통령직인수위원회, 2013

경 R&D 투자 확대를 제시하고 있으며 이는 기초원천분야 투자확대를 수반하고 있음[5)]

※ 기초연구 투자비중(%) : ('12) 35.2 → ('13) 36.0 → ('16) 39.1

- 「제 2차 철도산업발전기본계획('11)」은 추진과제에 '녹색철도물류 경쟁력 강화'를 포함하고 있으며, 이를통해 에너지효율이 높고 탄소배출이 적은 철도물류확대를 추진함[6)]

※ '20년까지 철도 운송 분담률을 20%로 향상

- 「제4차 국토종합계획수정계획(2011~2020)」은 6대 추진전략에 포함된 '지속가능하고 경제성장을 지원하는 녹색교통체계구축'은 세부추진전략으로 '탄소배출 저감형 교통수단 개발 및 관리추진'을 제시함[7)]

※ 대상 교통수단: Hybrid Car, 전기자동차, 차세대고속철도, 경전철, 수소연료차 등

- 동 연구단은 철도분야 CO_2저감 및 에너지절감을 목적으로 철도선진국에서 추진되고 있는 철도경량화 융합신소재, 융합신소재 활용 차량구조 설계 등 기초원천 녹색기술을 개발하여 전술된 주요 국가/부처 정책/계획을 반영하고 있음

○ 동 연구단의 철도경량화 기술은 향후 고속철도차량의 수출경쟁력 제고에 기여가능하다는 점에서 「제 2차 철도산업발전기본계획('11)」의 철도차량시장 점유율 향상 목표 및 관련 추진과제와 연계됨

- 「제 2차 철도산업발전기본계획('11)」은 고속철도 해외진출을 위하여 시제차량 개발, 신뢰성 평가 고급화 기술, 인프라 등 기술개발을 체계적으로 추진하는'수출주도형 R&D'를 추진과제로 제시하고 이를 통해 철도차량 점유율 향상 목표를 달성하고자 함[8)]

※ '15년까지 철도차량 점유율을 4%까지 향상 목표('09년 2%)

5) '12~'16 국가재정운용계획, 기획재정부, 2012
6) '제 2차 철도산업발전기본계획, 국토해양부, 2011
7) '제 4차 국토종합계획수정계획, 대한민국정부, 2011
8) '제 2차 철도산업발전기본계획, 국토해양부, 2011

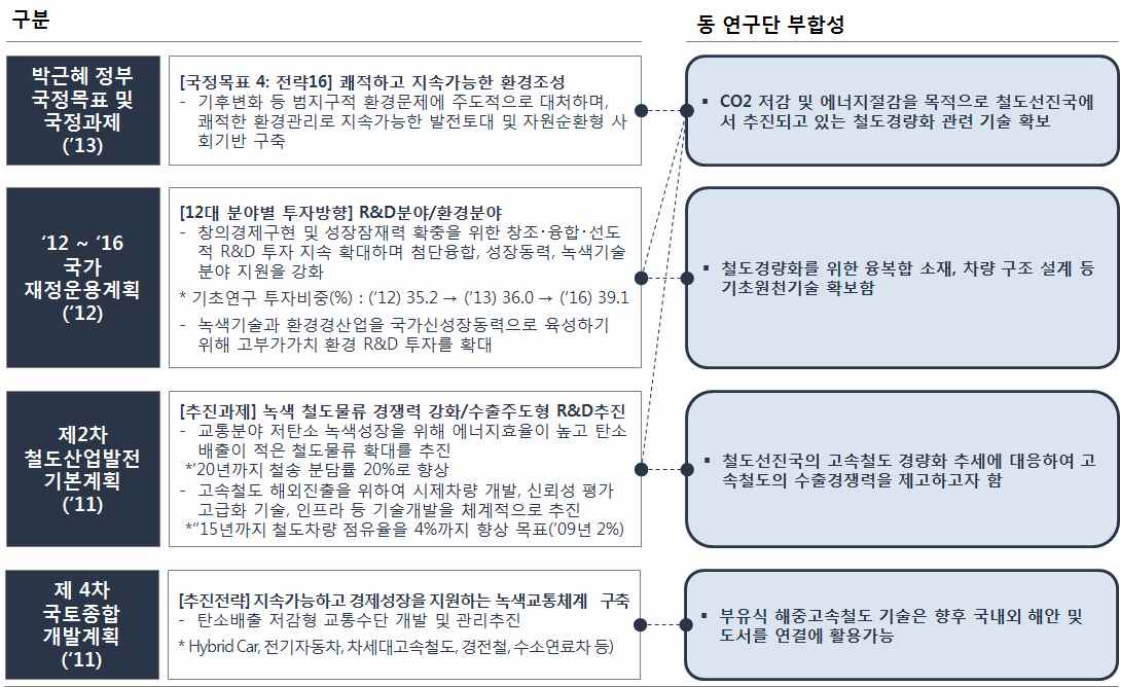


그림 6.1.6 국가/부처의 상위유관계획과 부합성

② 정부/부처의 중장기 R&D계획과의 부합성

○ 동 연구단은「제 3차 과학기술기본계획('12)」의 추진전략/중점기술을 반영한 철도경량화 융복합 신소재개발을 추진함

- 「제 3차 과학기술기본계획('12)」의 '(High 2) 국가전략기술개발 추진전략'에서 설정한 5대분야 30대 중점기술에 첨단소재기술이 포함됨

○ 동 연구단을 통해 개발될 기술은 향후 고속철도인프라 유지보수비용 절감에 기여할 것으로 예상되며, 이는 철도운영비용을 절감하고자 하는「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」의 목표와 하위 사업영역에 부합됨

- 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」의 5대 목표 중 '미래경제가치 창출'은 '철도운영비용 15% 절감'을 세부목표로 설정함[9)]

- 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」의 하위 사업 중 철도기술연구사업 철도시스템 성능 및 수송력 향상, 운영효율화 및 유지보수비 절감 등을 목적으로 R&D 사업 추진[10)]

9) 건설교통기술중장기계획, 국토교통부, 2012

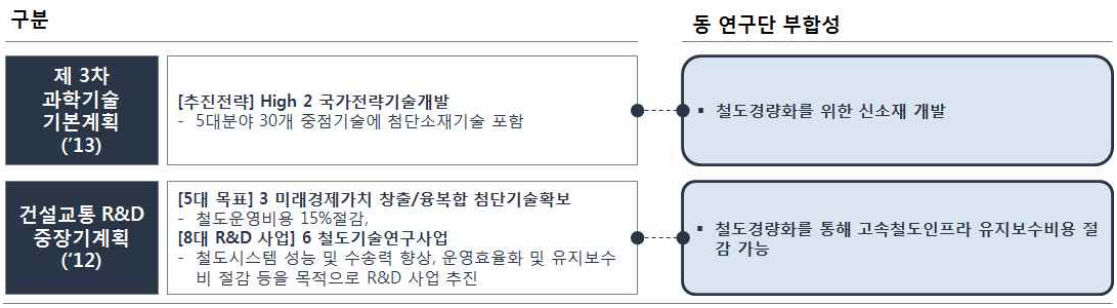


그림 6.1.7 국가/부처 중장기 R&D 계획과의 부합성

3 정책적 추진의지

○ 동 과제는 국토교통부에서 예산비중을 확대하고 있는 '(ECONOMIC Railroad) 정확하고 경제적인 철도' 분야에 해당되는 과제이며「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」에 포함되어 있어, 동 과제에 대한 정책적 추진의지가 강한 것으로 분석됨

- 국토교통부에서는 SMART Railroad, SAFE Railroad, ECONOMIC Railroad를 목표로 철도기술연구사업을 추진하고 있으며, 그 중 ECONOMIC Railroad에 대한 예산비중을 높여가고 있음

※ '13년도 철도기술연구사업 예산은 전년도에 비해 23.2%나 감소하였으나, ECONOMIC Railroad예산은 증가하고 있음

※ 전체 철도기술연구사업 중 ECONOMIC Railroad 예산이 차지하는 비중은 '13년도 27.0%에서 '14년 이후에는 37.3%로 증가될 계획임

10) 上同

표 6.1.2 국토교통부 철도기술연구사업 연구예산 추이

(단위 : 백만원)

구분	'09까지	'10	'11	'12	'13	'14이후 잔여사업비
철도기술연구사업	301,700 (100%)	115,112 (100%)	125,770 (100%)	127,194 (100%)	97,627 (100%)	276,625 (100%)
(SMART Railroad) 빠르고 지능적인 철도	195,192 (64.7%)	93,863 (81.5%)	99,979 (79.5%)	101,487 (79.8%)	51,332 (52.6%)	113,225 (40.9%)
(SAFE Railroad) 안전하고 편리한 철도	82,880 (27.5%)	10,421 (9.1%)	5,197 (4.1%)	4,650 (3.7%)	19,898 (20.4%)	60,300 (21.8%)
(ECONOMIC Railroad) 정확하고 경제적인 철도	22,358 (7.4%)	9,861 (8.6%)	17,728 (14.1%)	12,382 (9.7%)	26,397 (27.0%)	103,100 (37.3%)
기획과제 및 자유공모	1,270 (0.4%)	967 (0.8%)	2,866 (2.3%)	8,675 (6.8%)	-	-

(출처 : 2013년도 국토해양기술 연구개발사업 시행계획)

- 동 과제는 '차량경량화를 통한 에너지효율 향상 및 유지보수비용 절감'을 목표로 하고 있음

※ 스페인의 Talgo에서는 2012년 기존 표준견인대차 대비 3ton의 무게를 감소(15% 경량화)시킨 AVRIL을 개발하였으며, 경량화를 통해 에너지 소비량 31%를 감소시킴

표 6.1.3 스페인 TALGO사의 차량별 무게 및 에너지 소모량

구분	S10Y-4	S10Z	XYZ	AVRIL
차량길이(m)	200	200	200	200
중량 (톤)	425	425	422	295
좌석	499	499	509	545
에너지소모/km (kWh/km)	15.4	14.2	15.2	12.4
에너지소모/좌석/100km (kWh/s/100km)	3.1	2.8	3.0	2.3
수명주기동안 에너지 비용 (억원)	177	165	176	153

※ 축중이 17톤에서 13톤으로 30% 감소시 레일수명은 자갈궤도에서 35%향상되고 콘크리트궤도에서는 30%향상됨[11)]

○ 동 과제는 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」에 반영되어 있어 국토교통부의 사업 추진의지가 높은 것으로 분석됨

- 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」은 2013~2017년간 수행할 건설교통 분야 R&D사업에 대한 종합계획으로 국토교통 연구개발사업의 상위계획임

※ 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」 수립을 위해 최신 동향으로부터 건설교통 연구개발과제들을 도출하였으며, 예산에 따라 효율적인 투자전략을 수립하였음

- 동 과제는 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」 중 '철도기술연구'의 '시스템 성능 향상 기술'전략프로젝트의 '철도차량 경량화 기술개발'중점과제로 포함되어 있음

※ '철도차량 경량화 기술개발' 과제는 2015년에 착수하여 3년간 연구개발을 수행하는 것으로 계획함

11) 축중감소에 따른 레일수명 향상, 철도기술연구원

< 2013~2017 건설교통 R&D 중장기 계획 중 '시스템 성능향상 기술' 전략 프로젝트 로드맵 >



그림 6.1.8「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」중 '시스템 성능향상 기술' 전략프로젝트 로드맵

제2절 기술적 타당성

1. 기술개발 계획의 적절성

가. 연구단 목표와 내용의 적절성

(1) 연구단 목표의 구체성 분석

(가) 연구단 총괄목표는 정량적이며 구체적으로 설정되어 있음

① “첨단 철도부품소재 강국” 비전 실현을 위하여 “차체, 대차 및 의장/내장 분야에 첨단소재를 적용하여 기존 전동차 대비 20% 이상 경량화 실현”을 총괄목표로 설정하였음

㉮ “첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술 개발”과제의 경우 고강도 알루미늄 합금 및 복합소재를 적용하여 5년내 기존대비 20% 경량화 가능한 기술을 개발하고, 향후 30% 경량화 달성을 위한 4세대 마그네슘 합금 적용관련 핵심기술을 개발하는 것으로 설정함. 이를 기반으로 추후 2단계 연구를 통해 최종적으로 첨단소재를 적용하여 30% 경량화된 차체 설계 및 제작기술을 확보하는 것을 목표로 함

㉯ “첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술 개발”과제의 경우 기존 전동차에 적용되고 있는 볼스터레스 대차보다 콤펙트하고 경량화 가능한 인보드형 대차 기술을 개발하고, 추가적으로 첨단 복합소재, 마그네슘합금 및 고강도 알루미늄 합금을 적용한 대차 주요부품의 경량화를 통해 기존 대비 최대 20%이상 경량화된 대차 기술을 개발하는 것을 목표로 함

㉰ “첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발”과제의 경우 기존 전동차에 적용되고 있는 유리섬유/페놀 복합소재 내장판 또는 알루미늄 내장판, 내장부품 및 의자 등을 최신 3세대 난연 마그네슘 합금을 적용하여 기존 대비 20%이상 경량화 하는 기술을 개발하는 것을 목표로 함

(나) 연구단 목표는 2단계에 걸쳐 목표를 설정되어 있으며, 각 단계별로 성과물을 구체적으로 정의하여 적절하다고 판단됨

① 본 연구단 목표는 2단계로 구분하고 이를 단계별 목표를 수립하여 각 단계별 구체적인 경량화 목표치를 구체적으로 명시하였음

세부과제명	1단계 (‘15 –‘19)	2단계 (‘20 –‘24)
▪ 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술 개발	▪ 고강도알루미늄 및 복합소재 적용 차체 20%이상 경량화	▪ 4세대 고강도 난연 마그네슘 합금 적용 차체 30%이상 경량화
▪ 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술 개발	▪ 인보드형 대차 기술과 첨단소재 부품 적용을 통한 20%이상 경량화	▪ 고속차량용 인보드형 대차 기술과 첨단소재 부품 적용을 통한 30%이상 경량화
▪ 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발	▪ 3세대 난연 마그네슘 합금 적용을 통한 의장/내장 20%이상 경량화	▪ 다공질 소재 및 4세대 고강도 난연 마그네슘 합금 적용을 통한 의장/내장 30% 이상 경량화

(다) 세부과제 목표를 단계별로 구성하여 연구단 목표와의 연계관계를 도식화하여 제시하여 구체성이 높음

① 연구단의 단계별 목표는 세부과제의 단계별 목표 달성에 따라 달성될 수 있도록 구성되어 있음

② 세부과제별 기술개발목표는 정량적 목표치를 설정하여 목표의 구체성이 높음



그림 6.2.1 과제별 년차 목표

(2) 사업 내용의 논리성 및 적절성

(가) 세부과제간 기술개발내용은 경량화 대상부품으로 선정된 차체, 대차 및 의장/내장 부품들을 20%이상 경량화하는 목표를 달성할 수 있도록 구성되었음

① 제 1세부과제의 경우 철도차량 중량의 약 20% 정도를 차지하는 차체에 대한 경량화 기술을 개발하는 내용으로 구성됨
② 제 2세부과제의 경우 철도차량 중량의 약 35% - 40% 정도를 차지하는 대차에 대한 경량화 기술을 개발하는 내용으로 구성됨
③ 제 3세부과제의 경우 철도차량 중량의 약 10% - 15% 정도를 차지하는 의장/내장 부품에 대한 경량화 기술을 개발하는 내용으로 구성됨

이를 통해 전체 철도차량의 최대 75%를 차지하는 고중량부품들에 대한 경량화 수행을 통해 차량 전체측면에서 약 15%에서 22% 까지 경량화하는 것으로 목표로 구성됨

(나) 세부과제의 대상 부품들은 논리적으로 타당한 절차를 통하여 설정됨

① 본 과제에서 대상부품으로 선정된 차체, 대차 및 의장/내장 부품들은 운영처 및 제작사를 대상으로 한 전문가 자문회의 결과에서 본 기획과제에서 대상으로 하는 첨단소재들의 적용시 경량화 효과가 크고 향후 기술개발의 필요성이 인정된 부품으로 구성됨
② 또한, 철도차량 운영처, 제작사, 첨단소재 전문가를 대상으로 한 기술수요 및 예측조사 결과를 통해 기술개발이 필요한 부품으로 구성됨
③ 첨단소재 적용 차체, 대차 및 의장/내장관련 기술동향분석 및 3P분석을 통해 얻어진 철도 선진국의 기술개발 방향과 철도차량 부품별 중량분포 분석을 통해 경량화시 효과가 가장 큰 부품으로 구성됨

나. 연구단 추진전략의 적절성

(1) 사업추진 위험요소와 공헌요소를 고려한 추진전략의 적절성

(가) 연구단 추진전략은 현재 기술수준, 국내 설비현황 및 위험 요인 검토를 기반으로 수립되어 타당성이 높은 것으로 판단됨

① 본 과제에서는 철도차량 및 부품에 적용 가능한 첨단소재관련 전문연구기관 및 제작사에 대한 기술수준 및 설비현황을 분석하여 기술개발이 가능하도록 추진전략을 구성하였음

② 또한, 국내에서 최초로 적용되는 기술인 3세대 난연 마그네슘 합금, 고강도 알루미늄 합금 및 인보드형 대차기술에 대한 기술개발의 위험요소를 분석하고 이에 대한 대응방안을 마련하였음

(2) 연구단 추진체계 및 절차의 적절성

(가) 추진체계는 향후 추진될 연구단의 이해관계자를 고려하여 설정되어 타당하다고 판단됨

① 1세부과제는 도시철도차량의 차체를 첨단소재를 적용하여 경량화하는 연구로 실용화 측면에서 고강도 알루미늄 합금과 탄소섬유 복합소재를 적용한 하이브리드형 차체를 개발하고, 또한, 미래기술선점을 위해 고강도 4세대 마그네슘 합금의 차체 적용 핵심기술을 확보하는 것으로 기술개발 추진

② 2세부과제는 도시철도차량용 대차에 신형식 및 첨단소재 적용을 통해 경량화 하는 기술로 첨단소재 적용부분은 이미 기초·원천기술의 확보되어 있는 기술을 성능 향상하여 적용하고, 신형식 대차 기술 부분은 철도차량 제작사의 참여를 통해 기술개발 추진

③ 3세부과제는 의장/내장 부품을 첨단소재를 적용하여 경량화하는 연구로 의장/내장 관련 다양한 제작사의 참여를 유도하고 이를 총괄적으로 통합 및 적용할 수 있도록 차량 제작사 및 운영처 참여를 통해 기술개발 추진

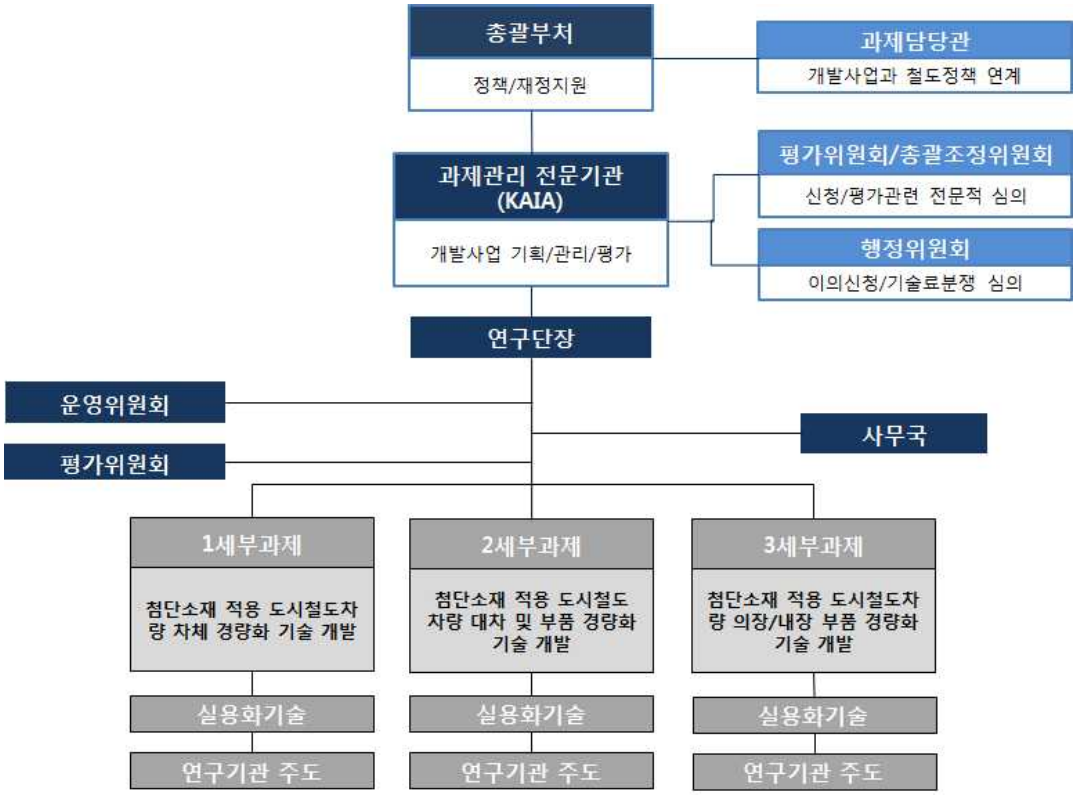


그림 6.2.2 연구추진체계도

다. 기술개발로드맵의 우수성

□ 본 기획과제에서는 3단계 상세분석을 통해 철도차량 경량화와 관련된 국내외 기술개발동향 및 세부요소기술별 기술수준에 대한 분석을 충실하게 수행하였으며, 기술개발 인프라, 차량제조업체 및 운영사의 수요, 세부기술의 중요도, 기술개발 성공가능성, 기술의 난이도 등을 종합적으로 고려하여 연구개발 계획이 체계적으로 수립되었음.

□ 철도차량 경량화를 위한 첨단소재 개발 및 적용에 필요한 세부요소기술들이 체계적으로 분류되어 있으며 기술개발을 통해 실용화하고자 하는 end item이 명확하게 제시되어 있음.

□ 선택과 집중을 통한 세부요소기술들의 단계적 개발 추진전략 수립

○ 1단계에서는 원천기술을 확보하고 있는 3세대 난연성 마그네슘합금의 부품화 요소기술을 개발하여 의장 및 내장 부품에의 적용을 추진함과 동시에 차체 적용을 위한 고특성 신합금(4세대 난연성 마그네슘합금 개발 추진

○ 2단계에서는 1단계 연구를 통해 개발한 4세대 난연성 마그네슘합금과 부품화 기반기술을 활용하여 차체 부품의 경량화를 추진

□ 기술개발 로드맵의 경우 세부요소기술간 연관관계가 도식적으로 표현되어 구체적인 기술개발 계획 및 기술개발의 추진경과를 명확하게 파악할 수 있음.

□ 기술개발 로드맵에 종래 및 현재기술의 문제점을 극복하기 위한 기술개발 계획이 명확하게 제시되어 있음.

□ 기술개발 성공가능성을 향상시키기 위하여 기술개발 과정에서 직면하게 될 기술적 위험성을 사전에 분석하고 위험요인을 극복하기 위한 추진전략이 구체적이고 체계적으로 제시되어 있음.

2. 기술수준 및 성공가능성

가. 기술수준 및 역량 분석

(1) 보유기술수준 및 기술개발의 기대수준

(가) 국내 전문가들을 대상으로 기술예측조사결과 본 과제에서 기획중인 기술분야에서 최고기술보유국을 조사한 결과 EU가 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남

○ EU 122건(63%), 일본 34건(18%), 한국 24건(12%) 기술에서 최고기술을 보유한 것으로 나타남

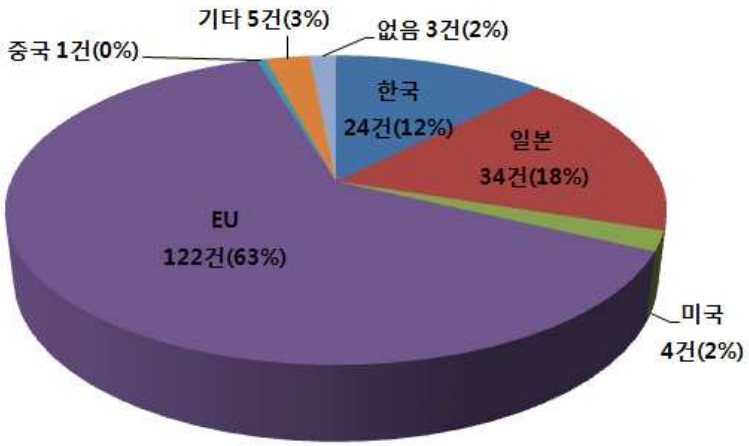


그림 6.2.3 최고기술보유국 현황

(나) 우리나라의 기술수준은 최고선진국 대비 우리나라 기술수준은 72.5%로 조사됨

○ 전동차용 대차 및 경량 차체 분야는 동 사업의 전체 평균보다 높으나, 의장/기장 중점분야 기술수준은 낮은 것으로 나타남

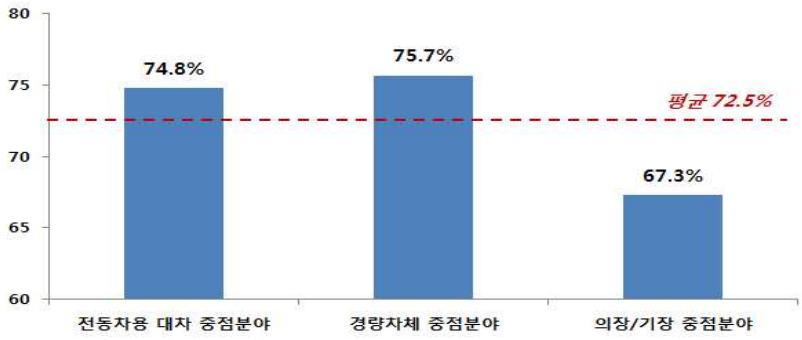


그림 6.2.4 중점분야별 기술수준

(다) 기술분야중 난연마그네슘 합금관련 기술 및 복합소재 성형기술의 경우 선진국 대비 상당한 기술 수준에 도달한 분야도 존재함

(2) 기술개발 역량 및 잠재력

(가) 기술개발 인프라에 대한 분석을 충실히 수행한 것으로 판단됨

○ 본 과제에서 수행예정인 첨단소재 적용관련 대상으로 하는 첨단소재인 고강도 알루미늄 합금, 난연 마그네슘 합금 및 복합소재 기술관련 국내 연구기관, 학계 및 산업체에 대한 연구인력 및 인프라에 대한 분석을 수행함

○ 특히, 산업계의 중요 설비에 대한 조사 분석을 통해 향후 연구개발 단계 및 실용화 단계에서 철도차량과 같은 대형 구조물에 적용 가능성을 분석함

. 전문인력의 경우 1990년대까지는 연구소 및 일부 대학 등에 핵심인력이 편중되어 있었으나 2000년대 초 대기업의 신규사업 진출로 산업계의 전문인력 비중이 점차 증가하고 있음.

. 연구개발 기자재의 경우 출연연구기관 및 대학을 중심으로 기반인프라가 비교적 잘 구축되어 있으며, PP 규모 이상의 대형 장비의 경우 기존 장비를 공동 활용하는 것이 가능함.

. 철도차량 의장 및 내장부품의 경우 상용 마그네슘합금을 적용한 사례가 있어 난연성 마그네슘합금 적용을 위한 기

술적 인프라는 충실한 것으로 판단됨.

. 마그네슘 원소재의 경우 전량 중국으로부터의 수입에 의존하였으나 대기업의 마그네슘 제련사업 진출로 안정적인 원소재 수급이 가능해짐에 따라 지속적인 성장 기반을 확보한 것으로 판단됨.

나. 기술개발의 성공가능성

(1) 기술적 위험요인

(가) “첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술 개발”과 관련하여 기술적 위험요인을 사전에 정의하고 위험요인 극복을 위한 연구개발 추진전략을 수립하여 기술개발 성공가능성을 향상시키고자 함.

세부기술	기술적 위험요인	연구개발 추진전략
첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술 개발	•이종소재간 접합 기술 미확립 •경량화에 따른 진동 및 소음 문제 극복	• 철도차체 제조사, 첨단소재업체, 설계기관 및 시험평가기관으로 컨소시엄 구성하여 공동개발 추진 • 시편 ➜ 목업 ➜ 시제품등 다양한 형태의 시험체 제작 및 시험평가를 통해 독자 기술확보

(나) “첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술 개발”과 관련하여 기술적 위험요인을 사전에 정의하고 위험요인 극복을 위한 연구개발 추진전략을 수립하여 기술개발 성공가능성을 향상시키고자 함.

세부기술	기술적 위험요인	연구개발 추진전략
첨단소재 적용 도시철도차량 대차 경량화 기술 개발	• 협소한 공간에 적용 가능한 소형 감속기와 구동모터기술 미확보 • 첨단소재를 적용한 대차의 안전성 확보	•소형 부품 개발을 위한 관련 제작사 참여 및 국제협력 • Test-Bed구축을 통한 개발기술의 성능평가 및 검증 수행

(다) “첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발”과 관련하여 기술적 위험요인을 사전에 정의하고 위험요인 극복을 위한 연구개발 추진전략을 수립하여 기술개발 성공가능성을 향상시키고자 함.

세부기술	기술적 위험요인	연구개발 추진전략
첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발	•3세대 난연성 Mg 합금 원소재 양산기술 미확립 •Mg 합금의 난연성 평가법 및 화재 안전기준 미확립	•원소재 제조기업 또는 재활용 소재 제조기업으로의 기술이전 및 Scale-up 기술 개발 •기존 소재의 난연성 평가법 및 화재 안전기준에 기초한 평가법의 표준화 및 화재안전기준 제정

제3절 경제적 타당성

1. 첨단소재 적용 도시철도차량 경량화시 수명주기비용(LCC) 분석

◦ 본 연구에서 기획된 첨단소재를 적용하여 도시철도차량의 차체, 대차 및 의장/내장 부품을 본 과제의 최종목표인 20% 경량화 했을 경우 기존 도시철도차량 대비 수명주기비용(LCC) 측면에서 비교 분석을 수행 함

◦ LCC분석을 위해 도시철도차량의 수명주기인 소재 -> 제작 -> 운영/유지보수 -> 폐기 단계로 분류하여 단계별 비용분석



그림 6.3.1 도시철도차량의 수명주기

◦ 분석방법

- 활용가능한 도시철도 운영처의 자료 활용
- 도시철도차량 한량으로 환산하여 현재 국내에서 운영중인 도시철도차량에 전체에 적용했을 경우를 기준으로 산정
- 전동차의 수명기준은 25년이나 최근 정밀진단을 통해 최대 40년간 사용이 가능하므로 본 분석에서는 25년과 40년 수명 두 가지 경우에 대해 분석을 수행함

◦ 분석에 활용된 기본 데이터는 아래와 같음

구분	값	비고
국내전동차 총 량수	7996량	2011년 기준 (참고자료 :통계로 보는 한국철도 2011)
탄소거래세	5유로	2013년 유럽기준
도시철도 량당 가격	16억	알루미늄 전동차 1량 기준

◦ 분석결과

case 1

- 도시철도차량 주요부품 20% 경량화시 수명주기 동안 절감비용 산출
- 분석대상 : 국내 도시철도차량 전체
- 수명주기 : 25년 기준
- 절감비용 : 총 절감비용은 약 8,366억원으로 년간 약 334.7억원

표 6.3.1 도시철도차량 주요부품 20% 경량화시 수명주기 동안 절감비용 산출 (국내 도시철도차량 전체 적용시, 수명 25년 기준)

(단위 : 억원)

비용		기존 전동차	첨단소재 전동차	절감비용	비고
초기투자비	재료비	38,381	40,300	-1,919	• 량당 16억 기준 • 첨단소재 적용 전동차 기존대비 10% 획득 비용 상승 조건
	제작비	89,555	94,033	-4,478	
운영및유지보수비	차량 유지보수비	29,256	26,331	2,926	• 서울메트로 최근 5년간 차량 유지보수비 기준 • 경량화시 차량 유지보수비 (휠, 베어링 주요부품 마모감소 등) 10% 저감 조건
	운영비 (전력사용비)	26,485	18,996	7,489	• 서울메트로 년간 전력사용량 자료 참조 • 차량중량, 역수, 운행거리, 수송인원을 고려한 다중회귀분석
	운행시 CO_2 저감 비용	1,174	842	332	
	선로 유지보수비	30,779	26,470	4,309	• 서울메트로 최근 5년간 선로유지보수비 기준으로 산정
폐기비용	폐기비용	3,198.4	3,518.2	-320	• 량당 폐기비용 0.4억 획득조건 • 첨단소재 적용 전동차 폐기시 획득비용 10% 하향 조건
절감 비용 총액				8,339	• 연간 약 333억 절감예상

case 2

- 도시철도차량 주요부품 20% 경량화시 수명주기 동안 절감비용 산출
- 분석대상 : 국내 도시철도차량 전체
- 수명주기 : 40년 기준
- 40년 수명기준 비용산출시 초기투자비와 폐기비용은 이전과 동일하고 운영 및 유지보수비용의 상승분만 계상함
- 절감비용 : 총 절감비용은 약 17,399억원으로 년간 약 435억원

표 6.3.2 도시철도차량 주요부품 20% 경량화시 수명주기 동안 절감비용 산출 (국내 도시철도차량 전체 적용시, 수명 40년 기준)

(단위 : 억원)

비용		기존 전동차	첨단소재 전동차	절감비용	비고
초기투자비	재료비	38,381	40,300	-1,919	• 량당 16억 기준 • 첨단소재 적용 전동차 기존대비10% 획득 비용 상승 조건
	제작비	89,555	94,033	-4,478	
운영및유지보수비	차량 유지보수비	46,810	42,129	4,681	• 서울메트로 최근 5년간 차량 유지보수비 기준 • 경량화시 차량 유지보수비 (휠, 베어링 주요부품 마모감소 등) 10% 저감 조건
	운영비 (전력사용비)	42,376	30,394	11,982	• 서울메트로 년간 전력사용량 자료 참조 • 차량중량, 역수, 운행거리, 수송인원을 고려한 다중회귀분석
	운행시 CO_2 저감 비용	1,879	1,348	531	
	선로 유지보수비	49,246	42,352	6,894	• 서울메트로 최근 5년간 선로 유지보수비 기준으로 산정
폐기비용	폐기비용	3,198.4	3,518.2	-320	• 량당 폐기비용 0.4억 획득조건 • 첨단소재 적용 전동차 폐기시 획득비용 10% 하향 조건
절감 비용 총액				17,371	• 연간 약 434억 절감예상

2. 도시철도차량 경량화에 의한 에너지 절감 효과 (도시철도 차체, 대차 및 의장/내장 20% 경량화시 : 서울메트로 년간 73.2억 절감, 부산도시철도 년간 24.6억 절감 기대)

◦ 일반적으로 철도차량 중 역간거리가 짧아 잦은 정차와 가속이 반복되고, 운행속도가 느린 도시철도차량의 에너지 효율이 가장 낮고 경량화시 효과는 가장 큼

◦ 본 연구에서 목표로하는 철도차량 차체, 대차 및 의장/내장 부품의 중량을 최소 20%에서 최대 30% 경량화시 에너지 저감 비용 도출

- 대상 : 서울메트로, 부산지하철
- 분석방법 : 차량중량, 수송인원, 운행거리, 역사수를 독립변수로 정하고 호선별 년간전력량을 종속변수로 하여 다중회귀분석
- 경량화율 : 최소 20%, 최대 30%
- 차량중량 : 34,000kg 기준

표 6.3.3 각 부분별 목표 중량 감소율

	중량비율	20% 경량화 (최소)	30% 경량화 (최대)
대차	40%	8	12
차체	20%	4	6
의장/내장	10%	2	3
중량합계	70%	14%	21%
중량항목	공차중량/량 (서울메트로)	20% 경량화 중량	30% 경량화 중량
중량(kg)	34,000	4,760	7,140

- 철도차량의 경우 차종이 동일하다 하더라도 호선특성에 따라 소요되는 전력량이 다름
- 본 데이터를 활용하여 철도차량 운행전력에 영향을 미치는 차량중량, 수송인원, 운행거리, 역사수를 독립변수로 정하고 호선별 연간전력량을 종속변수로 하여 다중회귀분석 수행

표 6.3.4 각 호선별 연간 전력량

구분		철도차량중량(톤)	수송인원(천명)	운행거리(km)	역사수(개소)	년간전력량(천kWh)
부산지하철	1호선	11,533	144,809	4,222,270	34	135,171
	2호선	10,013	87,137	5,424,452	43	119,145
	3호선	2,338	24,886	2,059,997	17	34,581
대구지하철	1호선	67,86.4	61,488	2,918,412	30	36,002
광주지하철	1호선	2,718	15,790	1,775,013	20	15,520
대전지하철	1호선	2,635	29,314	1,761,301	22	18,661
서울메트로	1-4호선	70,949	1,431,757	218,259,000	117	841,108
서울도시철도	5호선	19,972	213,121	7,058,876	51	183,798

- 여기서, 차량속도에 영향을 미치는 노선특성은 각 호선별로 동일하게 적용하는 것으로 가정하였으며, 연간 전력량은 역사전력은 제외한 차량소요전력량만 집계

- 다중회귀분석결과 상관계수 및 편회귀계수는 다음과 같이 계산됨

표 6.3.5 다중회귀분석결과

구분	철도차량중량	수송인원	운행거리	역사수	상수항
상관계수	0.97	0.95	0.85	0.69	
편회귀계수	7.37	0.12	0.0006	356.86	-6883.8

· 차량중량 개선시 소요전력 예상량

Y=7.37*X1+0.12*X2+0.0006*X3+356.86*X4-6883.8

X1 : 철도차량중량

X2 : 수송인원

X3 : 운행거리

X4 : 역사수

- 분석결과 도출된 다중회귀식을 이용하여 첨단소재를 적용하여 철도차량을 최소 20%와 최대 30% 경량화시 에너지 저감효과를 분석함

표 6.3.6 서울메트로 (1-4호선)과 부산지하철의 총 차량 중량 및 주요부품 20% 와 30% 경량화시 중량 저감량

구분(톤)	기존차량 총중량	20%경량화시 중량저감	30%경량화시 중량저감
서울메트로 (1-4호선)	70,949	56,760	49,665
부산지하철	23,884	19,107	16,719

표 6.3.7 서울메트로 경량화 예상효과 (년간 에너지 저감 및 CO_2 저감량)

구분	전력절감 (천kWh)	에너지 절감비용 (백만)	CO_2 저감량 (톤)
20% 경량화시	104,579	7,320	41,831
30% 경량화시	156,869	10,980	62,747

표 6.3.8 부산도시철도 경량화 예상효과 (년간 에너지 저감 및 CO_2 저감량)

구분	전력절감 (천kWh)	에너지 절감비용 (백만)	CO_2 저감량 (톤)
20% 경량화시	35,205	2,464	14,082
30% 경량화시	52,808	3,696	21,123

3. 축중감소에 따른 레일 수명 향상 효과

◦ “고속화를 위한 선로구축물 핵심기술개발” 보고서에 의하면 철도차량의 경량화의 축중이 30% 경량화시 자갈궤도에서는 레일수명 약 35% 향상되고, 콘크리트 궤도에서는 약 30% 향상되는 것으로 보고되고 있음

◦ 축중감소율과 레일 수명증가율은 거의 선형적인 관계를 보임



그림 6.3.2 축중감소에 따른 레일수명 향상

◦ 공차중량 34톤의 서울메트로 전동차에 대해 부품 20%경량화 및 30%경량화시 축중 감소율 계산

. 부품 20% 경량화시 축중 감소율 : 14%

. 부품 30% 경량화시 축중 감소율 : 21%

표 6.3.9 부품 경량화에 따른 중량 및 축중 변화

	공차중량 (kg)	부품 20% 경량화시 저감중량	부품 30% 경량화시 저감중량
차량중량	34,000	29,240	26,860
축중	8,500	7,310	6,715
축중감소율	-	14%	21%

◦ 따라서, 축중감소율과 레일 수명향상율과의 관계가 거의 선형적이므로 부품 20%경량화 및 30%경량화시 레일 수명 역시 동일한 비율인 14%와 21% 로 향상될 것으로 기대됨

. 레일연마주기가 증가하여 유지보수 비용 감소

. 레일 교체주기 증가에 따른 교체비용 저감

4. 고속철도확대적용을 통한 경량화시 고속철도레일 교체비용 절감 효과 (첨단소재 적용 차체, 대차 및 의장/내장 부품 20% 경량화시 : 향후 10년간 고속철도레일교체비용 163.5억 절감 기대)

◦ 레일교체비용은 “고속화를 위한 선로구축물 핵심기술개발 보고서”의 자료를 활용하여 산정

- 대상레일은 60kg 레일
- 고속철도차량의 차체, 대차 및 의장/내장 부품을 20% 씩 경량화시 교체비용 산정

표 6.3.10 고속철도레일교체비용 산정을 위한 데이터
(고속화를 위한 선로구축물 핵심기술개발 보고서, 2013)

구분		단위	산식	값	비고
a	고속철도레일길이	km	-	736.2	Korail 경영실적 보고서
b	연간수송량	백만인·km	-	6904.42	
c	연간운행횟수	회	-	29200	
d	레일km당 수송량	백만인	b/a	9378456.94	-
e	1회 운행시 레일당 수송량	인/회	d/c	321.18	-
f	1회 운행시 레일당 누적톤수	ton/회	ex0.065(톤) +693(톤)	712.88	1인 몸무게 :65kg, 차량무게 (KTX) :692톤
g	연간레일당 누적톤수	ton	fxc	20,816,000	-

표 6.3.11 현재 레일교체비용 예상치
(고속화를 위한 선로구축물 핵심기술개발 보고서, 2013)

년도	현재 레일교체비용 (억원)				
	2004년 신설노선	2010년 신설노선	2014년 신설노선	2017년 신설노선	교체비용계
2013	41.14	21.96			63.1
2014	42.16	22.51			64.67
2015	43.22	23.07	51.12		117.41
2016	44.30	23.64	52.40		120.34
2017	45.41	24.24	53.71		123.36
2018	46.54	24.84	55.06	9.48	135.92
2019	47.71	25.46	56.43	9.72	139.32
2020	48.90	26.10	57.84	9.96	142.8
2021	50.12	26.75	59.29	10.21	146.37
2022	51.37	27.42	60.77	10.47	150.03
10년간 레일교체비용 (억원)					1,203.32

표 6.3.12 고속철도차량 주요 부품 20% 경량화시 레일교체비용

년도	차량중량 주요부품 20% 경량화시 레일교체비용 (억원)					절감액 (억원)
	2004년 신설노선	2010년 신설노선	2014년 신설노선	2017년 신설노선	교체비용계	
2013	35.55	18.97			54.52	8.57
2014	36.43	19.45			55.88	8.79
2015	37.35	19.93	44.18		101.46	15.96
2016	38.28	20.43	45.28		103.99	16.36
2017	39.24	20.94	46.41		106.59	16.76
2018	40.22	21.47	47.57	8.19	117.45	18.47
2019	41.22	22.00	48.76	8.40	120.39	18.93
2020	42.25	22.55	49.98	8.61	123.40	19.41
2021	43.31	23.12	51.23	8.82	126.48	19.89
2022	44.39	23.69	52.51	9.04	129.64	20.39
10년간 레일교체비용 (억원)					1,039.8	-
10년간 레일교체비용 절감액 (억원)					-	163.53

5. 차량 수출 효과

◦ 철도차량을 해외에 수출할 경우 주문처에서 요구하는 중량조건을 만족해야 하고, 최근에는 경량화된 차량을 선호하는 추세임

◦ 국내 철도차량 제작사의 경우에도 해외물량을 수출시 중량요구조건을 만족하지 못할 경우에는 kg당 penalty 비용을 지불해야 함

◦ 특히, 유럽의 경우 국가간 운행이 빈번하므로 국가간에 철도차량의 축중에 근거한 선로사용료를 철저히 적용하고 있기 때문에 경량화된 철도차량을 선호함

◦ 초경량 인보드형 대차의 경우에는 기존 대차 비대 30% 경량화를 통해 선로 이용료를 17% 줄일 수 있고, 수명주기 비용 역시 약 25% 저감할 수 있기 때문에 기술개발시 유럽철도시장 진출이 기대됨

제4절 타당성 검토 종합

1. 기술개발투자의 시의성, 시급성('15년)

□ 철도차량 경량화를 위해 세계 각국이 마그네슘합금을 철도차량에 적용하기 위해 활발하게 연구개발을 수행하고 있음.

□ 세계 마그네슘 시장을 독점하고 있는 중국의 경우 500km/h급 고속열차에 마그네슘합금제 부품을 적용하였으며 점차 적용분야를 확대하고 있음.

□ 일본의 경우 고속철도 차량의 차체에 난연성 마그네슘합금을 적용하기 위한 연구개발 계획을 수립하여 2013년부터 10년 동안 집중적으로 투자하고 있음.

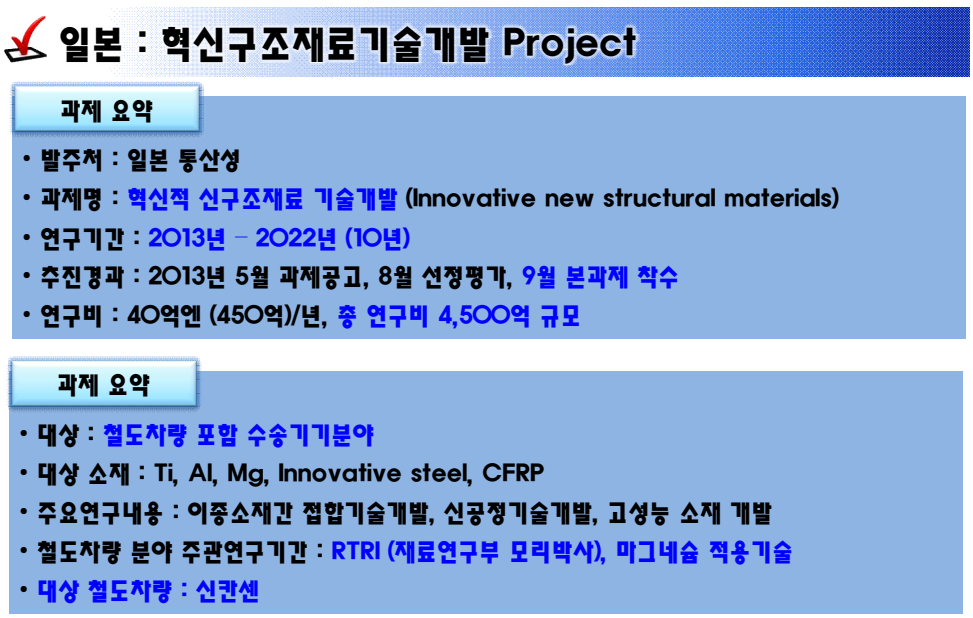


그림 6.4.1 일본 혁신구조 재료기술 개발 프로젝트

□ 국내 기술진은 난연성 마그네슘합금과 관련하여 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있으므로 철도차량에의 적용기술을 조기에 개발하여 세계 시장을 선점하기 위해서는 적극적인 기술개발 투자 시급

□ 철도 선진국들은 에너지 저감 및 이산화탄소 배출 기준에 부합하기

위해 2015년까지의 단기계획. 2020년까지의 중기계획 및 2050년까지의 장기계획을 수립하여 철도차량 경량화를 위한 첨단소재 적용기술 개발 중으로 철도차량 부품 소재분야 경쟁력 강화 및 미래기술 선점을 위해 시급한 R&D투자 필요함.

□ 현재 국내에서는 430Km/h급 차세대 고속철도의 개발과 향후 500Km/h급 및 초고속 자기부상열차 등의 기술개발을 추진하고 있으며, 이러한 초고속 열차의 성공을 위해서는 현재 시점에서 첨단소재를 적용한 철도차량 경량화 원천 기술 확보가 필수적임.

□ 철도차량 부품분야에서도 최근 무역수지 흑자 전환된 상태로 향후 중국의 공격적인 철도분야 기술개발에 대응하여 현재의 흑자유지 및 흑자폭을 확대할 수 있는 첨단소재 적용기술 개발이 필요한 시점임.

2. 정부 상위계획과의 부합성

□ 「박근혜정부 국정목표 및 국정과제('13)」, 「'12~'16 국가재정운용계획('12)」, 「제 2차 철도산업발전 기본계획('12)」의 범지구적 환경문제에 주도적으로 대응하고 녹색 기초원천기술을 확보하고자 하는 방향성을 반영하고 있음

□ 철도경량화 기술은 향후 고속철도차량의 수출경쟁력 제고에 기여 가능하다는 점에서 「제 2차 철도산업발전기본계획('11)」의 철도차량 시장 점유율 향상 목표 및 관련 추진과제와 연계됨

□ 「제 3차 과학기술기본계획('12)」의 추진전략/중점기술을 반영한 철도경량화 융복합 신소재개발을 추진함

- 「제 3차 과학기술기본계획('12)」의 '(High 2) 국가전략기술개발 추진전략'에서 설정한 5대분야 30대 중점기술에 첨단소재기술이 포함됨

□ 개발될 기술은 향후 고속철도인프라 유지보수비용 절감에 기여할

것으로 예상되며, 이는 철도운영비용을 절감하고자 하는「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」의 목표와 하위 사업영역에 부합됨

- 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」의 5대 목표 중 '미래경제가치 창출'은 '철도운영비용 15% 절감'을 세부목표로 설정함

- 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」의 하위 사업 중 철도기술연구사업 철도시스템 성능 및 수송력 향상, 운영효율화 및 유지보수비 절감 등을 목적으로 R&D 사업 추진

3. 국토부 주도의 개발 및 지원 필요성

□ 수송기기 중 철도분야는 그 규모와 운영 측면에서 국토부가 주관하는 것이 가장 효율이 높으며 따라서 철도차량 경량화와 관련된 제반 기술은 국토부 주관하에 진행되는 것이 타당함.

4. 정부 미지원시 문제점

□ 철도차량 개발에 소요되는 재원 및 연구개발 기간을 고려할 때 민간이 독자적으로 개발할 수 있는 기반이 확립되어 있지 않으므로 정부 미지원시 관련 기술 개발은 현실적으로 불가

□ 본 과제에서 수행하고자 하는 연구들은 향후 철도차량의 미래기술로 국외 철도선진국들의 경우에도 연구개발 초기단계인 경우가 많아 정부지원이 없을 경우 철도분야 첨단소재 적용 핵심기술 선점이 어려움

□ 부품 소재분야는 개발기간이 타 기술에 비해 길지만 확보될 경우 파급효과가 큰 분야이므로 기업이 독자적으로 수행하기 어렵고, 반드시 정부의 지원이 필요한 분야로 일본이나 중국의 경우에도 정부가 연구개발을 주도하는 분야임

제7장 인력투입 계획 및 소요예산 산정

제1절 연구일정 및 인력투입계획

① 5년

(단위 : 명)

연구단 과제	세부과제 및 연구내용	소요인력					
		1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	소계
첨단소재를 활용한 도시철도 차량 및 부품 경량화 기술 개발	■ 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술 개발	17	17	20	20	12	86
	○ 하이브리드형 경량 차체 기술 개발	7	7	8	8	5	35
	○ 이종 소재 간의 조립/접합 기술 개발	4	4	4	4	2	18
	○ 복합소재 대형차체구조물 및 충격흡수 부재를 포함한 복합소재 End Module 제작공정 기술 개발	6	6	8	8	5	33
	■ 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술 개발	15	17	16	12	12	72
	○ 대차 경량· 소형화 설계 및 제작 기술 개발	9	10	9	4	2	34
	○ 첨단소재를 적용한 대차 부품 경량화 기술 개발	6	7	7	2	2	24
	○ 실선로 시험운전 및 평가				6	8	14
	■ 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발	11	12	14	7	6	50
	○ 고특성 난연성 Mg 합금 제조기술 개발	2	3	3	2	1	11
	○ 고특성 난연성 Mg 합금 압출재 제조기술 개발	3	3	4	2	2	14
	○ 고특성 난연성 Mg 합금 압출재 성형 및 접합기술 개발	4	4	5	2	2	17
	○ 난연성 평가기법 표준화 및 화재안전기준 작성	2	2	2	1	1	8
	소계						

② 3년 + 2년

(단위 : 명)

연구단 과제	세부과제 및 연구내용	소요인력					
		1단계			2단계		소계
		1차 년도	2차 년도	3차 년도	1차 년도	2차 년도	소계
첨단소재를 활용한 도시철도 차량 및 부품 경량화 기술 개발	■ 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술 개발	17	17	20	20	12	86
	○ 하이브리드형 경량 차체 기술 개발	7	7	8	8	5	35
	○ 이종 소재 간의 조립/접합 기술 개발	4	4	4	4	2	18
	○ 복합소재 대형차체구조물 및 충격흡수 부재를 포함한 복합소재 End Module 제작공정 기술 개발	6	6	8	8	5	33
	■ 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술 개발	15	17	16	12	12	72
	○ 대차 경량· 소형화 설계 및 제작 기술 개발	9	10	9	4	2	34
	○ 첨단소재를 적용한 대차 부품 경량화 기술 개발	6	7	7	2	2	24
	○ 실선로 시험운전 및 평가				6	8	14
	■ 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발	11	12	14	7	6	50
	○ 고특성 난연성 Mg 합금 제조기술 개발	2	3	3	2	1	11
	○ 고특성 난연성 Mg 합금 압출재 제조기술 개발	3	3	4	2	2	14
	○ 고특성 난연성 Mg 합금 압출재 성형 및 접합기술 개발	4	4	5	2	2	17
	○ 난연성 평가기법 표준화 및 화재안전기준 작성	2	2	2	1	1	8
	소계						

제2절 과제별 소요예산

(1) 전체사업 소요예산

ㅇ 총연구비 : 31,030 백만원(정부 23,260백만원, 민간 7,770백만원)

ㅇ 연도별 소요예산

① 5년

(단위 : 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
정부	3,520	5,560	7,200	4,260	2,720	23,260
민간	1,180	1,860	2,400	1,420	910	7,770
합계	4,700	7,420	9,600	5,680	3,630	31,030

(단위 : 억원)

구분	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄												
1세부	8.0	2.7	15.0	5.0	26.0	8.7	24.0	8.0	7.2	2.4	80.2	26.8
주관	2.5		4.8		8.3		7.6		2.3		25.5	
공동	5.0	2.7	9.3	5.0	16.0	8.7	14.8	8.0	4.4	2.4	49.6	26.8
위탁	0.5		0.9		1.7		1.6		0.5		5.1	
2세부	16.0	5.3	27.0	9.0	31.0	10.3	11.0	3.7	15.0	5.0	100	33.3
주관	9.3		15.6		17.5		5.9		8.8		57.1	
공동	5.3	5.3	9.0	9.0	10.3	10.3	3.7	3.7	5.0	5.0	33.3	33.3
위탁	1.4		2.4		3.2		1.4		1.2		9.6	
3세부	11.2	3.8	13.5	4.5	15.0	5.0	7.5	2.5	5.2	1.8	52.4	17.6
주관	3.0		3.7		4.2		2.2		1.5		14.6	
공동	7.2	3.8	8.8	4.5	9.8	5.0	5.3	2.5	3.7	1.8	34.8	17.6
위탁	1.0		1.0		1.0		0.0		0.0		3.0	

② 3년 + 2년

(단위 : 백만원)

구분	1단계			2단계		합계
	1차년도	2차년도	3차년도	1차년도	2차년도	
정부	3,520	5,560	7,200	4,260	2,720	23,260
민간	1,180	1,860	2,400	1,420	910	7,770
합계	3,521	5,562	7,203	4,261	2,722	23,260

(단위 : 억원)

구분	1단계						2단계				합계	
	1차년도		2차년도		3차년도		1차년도		2차년도			
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄												
1세부	8.0	2.7	15.0	5.0	26.0	8.7	24.0	8.0	7.2	2.4	80.2	26.8
주관	2.5		4.8		8.3		7.6		2.3		25.5	
공동	5.0	2.7	9.3	5.0	16.0	8.7	14.8	8.0	4.4	2.4	49.6	26.8
위탁	0.5		0.9		1.7		1.6		0.5		5.1	
2세부	16.0	5.3	27.0	9.0	31.0	10.3	11.0	3.7	15.0	5.0	100	33.3
주관	9.3		15.6		17.5		5.9		8.8		57.1	
공동	5.3	5.3	9.0	9.0	10.3	10.3	3.7	3.7	5.0	5.0	33.3	33.3
위탁	1.4		2.4		3.2		1.4		1.2		9.6	
3세부	11.2	3.8	13.5	4.5	15.0	5.0	7.5	2.5	5.2	1.8	52.4	17.6
주관	3.0		3.7		4.2		2.2		1.5		14.6	
공동	7.2	3.8	8.8	4.5	9.8	5.0	5.3	2.5	3.7	1.8	34.8	17.6
위탁	1.0		1.0		1.0		0.0		0.0		3.0	

(2) 1세부과제 소요예산

① 5년

(단위 : 억원)

예산항목	세부항목	예산항목								비율(%)
		단가(연급여)	연평균 인원/참여율	1차년도 (2015)	2차년도 (2016)	3차년도 (2017)	4차년도 (2018)	5차년도 (2019)	소계	
인건비	책임 연구원	0.9	1.1/100	1.0	1.9	3.9	3.7	1.2	11.6	10.8
	연구원	0.7	1.6/100	1.1	2.0	3.3	3.2	0.7	10.1	9.5
	연구보조 (박사과정)	0.4	1.3/100	0.5	1.0	1.3	1.1	0.6	4.4	4.2
	연구보조 (석사과정)	0.3	1.3/100	0.4	0.7	1.0	1.0	0.3	3.3	3.1
	소 계			2.9	5.5	9.4	8.9	2.7	29.5	27.5
직접비	연구장비 재료비			4.5	8.3	15.0	14.1	4.1	46.1	43.1
	연구활동비			0.6	1.2	2.1	1.6	0.5	6.0	5.6
	연구수당			0.5	1.0	1.4	1.0	0.4	4.3	4.0
	소 계			5.7	10.5	18.5	16.7	5.0	56.3	52.7
위탁연구개발비				0.5	0.9	1.7	1.6	0.5	5.1	4.8
간접비				1.6	3.0	5.2	4.8	1.4	16.1	15.0
합계				10.7	19.9	34.8	32.0	9.6	107.0	100.0

② 3년 + 2년

(단위 : 억원)

예산항목	세부항목	예산항목								비율(%)
		단가(연급여)	연평균 인원/참여율	1단계			2단계		소계	
				1차년도 (2015)	2차년도 (2016)	3차년도 (2017)	1차년도 (2018)	2차년도 (2019)		
인건비	책임 연구원	0.9	1.1/100	1.0	1.9	3.9	3.7	1.2	11.6	10.8
	연구원	0.7	1.6/100	1.1	2.0	3.3	3.2	0.7	10.1	9.5
	연구보조 (박사과정)	0.4	1.3/100	0.5	1.0	1.3	1.1	0.6	4.4	4.2
	연구보조 (석사과정)	0.3	1.3/100	0.4	0.7	1.0	1.0	0.3	3.3	3.1
	소 계			2.9	5.5	9.4	8.9	2.7	29.5	27.5
직접비	연구장비 재료비			4.5	8.3	15.0	14.1	4.1	46.1	43.1
	연구활동비			0.6	1.2	2.1	1.6	0.5	6.0	5.6
	연구수당			0.5	1.0	1.4	1.0	0.4	4.3	4.0
	소 계			5.7	10.5	18.5	16.7	5.0	56.3	52.7
위탁연구개발비				0.5	0.9	1.7	1.6	0.5	5.1	4.8
간접비				1.6	3.0	5.2	4.8	1.4	16.1	15.0
합계				10.7	19.9	34.8	32.0	9.6	107.0	100.0

(3) 2세부과제 소요예산

① 5년

(단위 : 억원)

예산항목	세부항목	예산항목								비율(%)
		단가(연급여)	연평균 인원/참여율	1차년도(2015)	2차년도(2016)	3차년도(2017)	4차년도(2018)	5차년도(2019)	소계	
인건비	책임연구원	0.9	2/100	1.8	2.7	3.6	1.8	1.8	11.7	
	연구원	0.7	3/100	2.1	2.8	2.8	2.1	2.8	12.6	
	연구보조(박사과정)	0.4	2/100	0.8	1.2	1.6	0.4	1.2	5.2	
	연구보조(석사과정)	0.3	3/100	0.9	1.2	1.2	0.6	0.9	4.8	
	소 계			5.6	7.9	9.2	4.9	6.7	34.3	25.7
직접비	연구장비 재료비			7.4	15.0	16.2	4.2	5.5	48.3	
	연구활동비			2.5	3.6	4.6	1.1	2.2	14.0	
	연구수당			1.1	1.5	1.8	0.9	1.3	6.6	
	소 계			11.0	20.1	22.6	6.2	9.0	68.9	51.7
위탁연구개발비				1.4	2.4	3.2	1.4	1.2	9.6	7.2
간접비				3.3	5.6	6.3	2.2	3.1	20.5	15.4
합계				21.3	36.0	41.3	14.7	20.0	133.3	100.0

② 3년 + 2년

(단위 : 억원)

예산항목	세부항목	예산항목								비율(%)
		단가(연급여)	연평균 인원/참여율	1단계			2단계		소계	
				1차년도(2015)	2차년도(2016)	3차년도(2017)	1차년도(2018)	2차년도(2019)		
인건비	책임연구원	0.9	2/100	1.8	2.7	3.6	1.8	1.8	11.7	
	연구원	0.7	3/100	2.1	2.8	2.8	2.1	2.8	12.6	
	연구보조(박사과정)	0.4	2/100	0.8	1.2	1.6	0.4	1.2	5.2	
	연구보조(석사과정)	0.3	3/100	0.9	1.2	1.2	0.6	0.9	4.8	
	소 계			5.6	7.9	9.2	4.9	6.7	34.3	25.7
직접비	연구장비 재료비			7.4	15.0	16.2	4.2	5.5	48.3	
	연구활동비			2.5	3.6	4.6	1.1	2.2	14.0	
	연구수당			1.1	1.5	1.8	0.9	1.3	6.6	
	소 계			11.0	20.1	22.6	6.2	9.0	68.9	51.7
위탁연구개발비				1.4	2.4	3.2	1.4	1.2	9.6	7.2
간접비				3.3	5.6	6.3	2.2	3.1	20.5	15.4
합계				21.3	36.0	41.3	14.7	20.0	133.3	100.0

(4) 3세부과제 소요예산

① 5년

(단위 : 억원)

예산항목	세부항목	예산항목								비율(%)
		단가(연급여)	연평균 인원/참여율	1차년도 (2015)	2차년도 (2016)	3차년도 (2017)	4차년도 (2018)	5차년도 (2019)	소계	
인건비	책임 연구원	0.8	2/100	1.6	1.6	1.6	0.8	0.8	6.4	
	연구원	0.7	3/100	1.4	2.1	2.8	0.7	0.7	7.7	
	연구보조 (박사과정)	0.4	3/100	1.2	1.2	1.2	0.8	0.8	5.2	
	연구보조 (석사과정)	0.3	4/100	1.2	1.2	1.5	0.9	0.6	5.4	
	소 계			5.4	6.1	7.1	3.2	2.9	24.7	35.3
직접비	연구장비 재료비			4.6	6.0	6.6	3.5	2.0	22.7	
	연구활동비			1.2	1.5	1.5	1.1	0.5	5.8	
	연구수당			1.0	1.2	1.4	0.6	0.5	4.7	
	소 계			6.8	8.7	9.5	5.2	3.0	33.2	47.4
위탁연구개발비				1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	3.0	4.3
간접비				1.8	2.2	2.4	1.6	1.1	9.1	13.0
합계				15.0	18.0	20.0	10.0	7.0	70.0	100.0

② 3년 + 2년

(단위 : 억원)

예산항목	세부항목	예산항목								비율(%)
		단가(연급여)	연평균 인원/참여율	1단계			2단계		소계	
				1차년도 (2015)	2차년도 (2016)	3차년도 (2017)	1차년도 (2018)	2차년도 (2019)		
인건비	책임 연구원	0.8	2/100	1.6	1.6	1.6	0.8	0.8	6.4	
	연구원	0.7	3/100	1.4	2.1	2.8	0.7	0.7	7.7	
	연구보조 (박사과정)	0.4	3/100	1.2	1.2	1.2	0.8	0.8	5.2	
	연구보조 (석사과정)	0.3	4/100	1.2	1.2	1.5	0.9	0.6	5.4	
	소 계			5.4	6.1	7.1	3.2	2.9	24.7	35.3
직접비	연구장비 재료비			4.6	6.0	6.6	3.5	2.0	22.7	
	연구활동비			1.2	1.5	1.5	1.1	0.5	5.8	
	연구수당			1.0	1.2	1.4	0.6	0.5	4.7	
	소 계			6.8	8.7	9.5	5.2	3.0	33.2	47.4
위탁연구개발비				1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	3.0	4.3
간접비				1.8	2.2	2.4	1.6	1.1	9.1	13.0
합계				15.0	18.0	20.0	10.0	7.0	70.0	100.0

제 8 장 과제 제안요구서 및 평가기준

제1절 과제 제안요구서(RFP)

1. 연구단 과제 제안요구서

연구과제명	첨단소재 적용 도시철도차량 및 부품 경량화 기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 첨단소재 적용 도시철도차량 차체, 대차 및 의장/내장분야 부품 기존 대비 20% 이상 경량화 기술개발 - 고강도 알루미늄, 복합소재 및 난연 마그네슘 합금 등 첨단소재 적용20% 이상 경량화된 도시철도 차량용 하이브리드 차체 기술 개발 - 첨단소재 적용 소형·경량 도시철도 차량용 대차 및 부품 20% 이상 경량화 기술 개발 - 난연성 마그네슘합금 기반 최적화 및 부품화 요소기술 개발을 통한 도시철도 차량 의장·내장 부품 20% 이상 경량화 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□연구개발의 필요성	○ 철도차량 차체의 소재는 과거 연강에서 스테인리스 스틸로, 이후 알루미늄 소재를 적용하며 차체소재의 변화로 차체 경량화에 상당한 성과를 이루었고, 지속적인 알루미늄 차체의 경량구조 설계 및 제작기술이 발전되었으나, 단일 소재를 적용한 차체 경량화는 거의 한계에 도달 ○ 대차의 경우 철도차량 중량의 약 35% ~ 40%를 차지하는 고중량 부품으로 대차 부품의 경량화 없이 차량 경량화에 한계 ○ 국내에서도 세계적인 경량·에너지 절감형 대차 부품 기술 개발 방향에 부합하고, 향후 수출 및 기술 선도가 가능한 첨단 소재 적용한 혁신적인 대차 부품 기술 개발 필요 ○ 철도차량의 경량화 목표를 달성하기 위해서는 차체, 대차의 경량화와 함께 의장·내장 부품의 경량화가 요구되며 이를 위해서는 구조용 금속소재 중 가장 가벼운 마그네슘합금의 적용 필수

□ 기술동향

<차체 경량화 기술>

○ 철도 차량 경량화에 가장 유리한 재료 중 하나인 복합재료를 이용한 차체 경량화 연구 및 개발 프로젝트가 유럽을 중심으로 활발하게 진행 중임.

○ 최근에 스페인 Zaragoza의 CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarril SA)에서 추진 중인 AVI-2015 프로젝트에서는 철도차량의 에너지를 10% 절감하는 것을 목표로 하고 있으며 주로 재료 경량화 및 공기저항 감소 디자인을 주요 테마로 하고 있음. 기존의 알루미늄과 철로 이루어진 철도 차량 차체 중에서 알루미늄 Roof 부를 복합재료로 대체하는 설계를 반영하였을 때 Roof 부의 무게만 약 35% 감소하고 전체 중량의 약 3.5%가 감소하는 효과를 나타냄

○ 스위스의 Airex Composite Structures (ACS) 社에서는 복합재료 샌드위치 패널을 이용하여 철도차량용 Roof와 모듈화 기법이 적용된 Front cabin을 개발하여 양산화를 진행하고 있음. 기본적으로 강성, 강도 등 기계적 성능을 달성하며 경량화를 이루었으며 모듈화 기법을 도입하여 제작 및 설치가 용이하게 하였음

○ 알루미늄압출재와 복합소재 샌드위치 구조 적용 차체연구(독일, DLR)

. 코너부에서 종방향 알루미늄 압출 부재

. 종방향 압출부재들은 샌드위치 요소들과 체결

. 언더프레임하부에 플로어 지지구조를 도입하여 강성 보강

. 창문부위의 전단강성확보를 위해 삼각형 지지구조 도입

○ 철도차량 경량화를 위해 세계 각국이 마그네슘합금을 철도차량에 적용하기 위해 활발하게 연구개발을 수행하고 있음.

○ 중국의 경우 500km/h 초고속 열차에 상용 마그네슘합금제 의장 및 내장부품을 적용하였으며 점차 강화되는 화재 안전기준을 충족하기 위하여 고특성 난연성 마그네슘합금 개발 및 응용기술 개발에 집중 투자하고 있음.

○ 일본의 경우 고속철도 차량의 차체에 난연성 마그네슘합금을 적용하기 위한 연구개발 계획을 수립하여 2013년부터 10년 동

안 집중적인 기술개발을 추진하고 있음.

<대차 경량화 기술>

○ 철도 선진국의 초경량 대차 부품 경량화 기술 개발 사례

① FLEXX ECO 대차 (봄바르디어, 캐나다)

- 기존 대차 대비 30% 경량화, 에너지 및 소음발생 저감
- 전세계적으로 1000여대 상업운행 중이며 전동차부터 고속열차까지 적용
- 향후 2013년말 독일 250km/h급 ICx regional 열차, 스웨덴 스톡홀름 전동차, 러시아 및 싱가포르 전동차에 적용 예정

○ Syntegra 대차 (지멘스, 독일)

- 축간거리 1600mm로 국내 전동차용 대차의 2100mm대비 약 24% 콤팩트한 구조
- 동일출력 대차 대비 15% 경량화(시제품)달성 및 양산모델의 경우 30% 경량화 목표
- 경량화, 고효율 모터적용으로 에너지 20% 저감

○ SF7000 대차 (지멘스, 독일)

- 기존 대차 대비 30% 경량화 및 차륜 마모지수 75% 저감
- 향후 2015년부터 영국 Thameslink 노선에 적용 예정

○ 제동디스크 경량화 (일본, 유럽)

- 일본 JR-West 최고 영업속도 230km/h인 100N 신칸센 열차, JR-West 최고속도 350.4km/h를 기록한 시험열차 Win350 등에 알루미늄 기지 복합소재 제동디스크 적용을 시도하였고, 관련기술을 보유하고 있음.
- 유럽에서는 ICE-2에 1997년부터 알루미늄 기지 복합소재 제동디스크 적용을 시도하였고 관련기술을 확보하고 있음

○ 공기스프링 경량화 (프랑스)

- 프랑스 철도차량 부품업체인 파울스트라사에서는 기존 공기스프링에 적용되 스테인레스 부품을 탄소섬유 목합소재, 알루미늄 등을 적용하여 경량화 시도

<의장/내장 경량화 기술>

○ 일본의 경우 난연성 및 기계적 특성, 성형성이 향상된 고특성 난연성 마그네슘합금을 개발하여 차세대 고속열차에 적용하기 위한 정부 주도의 연구개발 계획을 수립하여 2013년부터 10년 동안 집중 투자

○ 중국의 경우 500km/h 초고속 열차에 상용 마그네슘합금제 의장 및 내장부품을 적용하였으며 점차 강화되는 화재 안전기준을 충족하기 위하여 고특성 난연성 마그네슘합금 개발 및 응용기술 개발에 집중 투자하고 있음.

○ 국내의 경우 상용 마그네슘합금제 주조부품을 KTX, KTX-II의 승객용 의자에 적용한 사례가 있으나 낮은 발화저항성으로 인하여 현재는 추가적인 적용이 중단된 상태임.

○ 국내의 경우 난연성 및 기계적 특성이 동시에 향상된 세계 최고 수준의 3세대 난연성 마그네슘합금 관련 원천기술을 확보하고 있어 제반 특성 최적화 및 부품화 요소기술 개발에 집중 투자할 경우 기술적 우위를 확보하여 난연성 마그네슘합금제 철도차량 부품 시장을 선점할 수 있음.

3. 연구개발내용

○ (1세부과제) 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발

- 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 설계 기술 개발
  - 하이브리드형 차체 구조 최적화 기술 개발
  - 하이브리드형 차체 공진방지 및 공력진동감소기술 개발
  - 차체 적용 첨단소재 특성 평가 및 소재 DB 구축
  - 4세대 난연 마그네슘 합금 적용 차체 설계 기술 개발
  - 충격흡수 기능을 포함한 차체 경량 엔드 모듈 설계 기술 개발
  - 이종소재간의 접합 및 차체 제작성을 고려한 차체 구조 도출
  - 첨단소재 적용 도시철도차량 경제성 평가
  - 적용 소재의 특성을 고려한 차체 유지보수 방안 수립

- 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 제작 기술 개발
  - 하이브리드형 차체 적용 이종소재간의 접합 기술 개발

- 대형 복합재 차체 부품 제작을 위한 신공정 기술 개발
- 충격흡수 기능을 포함한 차체 경량 엔드 모듈 제작 기술 개발
- 4세대 난연 마그네슘 합금 조성 최적화 및 압출성 향상 기술 개발
- 하이브리드형 차체 조립 시스템 구축
- 정하중 시험, 피로하중 시험 및 주행 시험용 차체 3량 제작

- 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 시험 평가 기술 개발
  - 하이브리드 차체 구조안전성 평가기준 수립
  - 하이브리드형 차체 정하중 및 피로하중 시험
  - 하이브리드형 차체 차음 및 기밀 성능 평가
  - 테스트 베드를 활용한 주행시험을 통한 현장 적용성 평가

○ **(2세부과제) 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술 개발**

- 대차 경량·소형화 설계 및 제작 기술 개발
  - 대차 경량·소형화를 위한 신형식 대차 설계 기술 개발
  - 신공정 기술 적용을 통한 복합재 대차 구조물 경량화 기술 개발
  - 경량·소형 감속기 및 구동 모터 기술 개발
  - 적용 소재의 특성을 고려한 대차 및 부품 유지보수 방안 수립
  - 경량·소형화를 위한 신형식 대차 구조물 시제품 제작 및 구조시험
  - 경량·소형 감속기 및 구동 모터 시제품 제작 및 성능 평가
  - 테스트 베드를 이용한 주행성능 평가용 부품 제작
    (감속기 4EA, 구동모터 4EA)
  - 테스트 베드를 이용한 주행성능용 완성대차 4 EA 제작
    (M-대차 2EA, T-대차 2EA)

- 첨단 소재 적용 대차 부품 경량화 기술 개발
  - 금속 복합재 적용 경량 제동 디스크 설계 및 제작 기술 개발
  - 첨단소재 적용 경량 공기 스프링 설계 및 제작 기술 개발
  - 경량 제동디스크 시제품 제작, 마찰 및 마모 성능평가

- 경량 공기스프링 시제품 제작, 기밀 및 진동흡수 성능평가
- 완성대차용 경량 제동디스크 및 공기스프링 제작

- 실차시험을 통한 첨단소재 적용 시제 차량 주요 부품 성능 평가
  - 실차시험용 주요부품 조립 및 시험용 차량 완성 (완성차 2EA)
  - 시험차량 구성 및 실차시험용 계측장비 구축 (계측시스템 1EA)
  - 첨단소재 적용 부품별 성능 평가
  - 속도대역별 완성차의 주행성능, 진동, 소음, 차음 및 승차감 등 주요 성능 평가
  - 현장 적용성 평가 및 개선안 도출

○ **(3세부과제) 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발**

- 도시철도차량 의장/내장 적용을 위한 난연 마그네슘합금 기술 개발
  - 전산모사기법을 활용한 합금 조성 및 성분상 설계기술 개발
  - TMP(Thermo-mechanical process)를 이용한 미세조직 정밀제어기술 개발
  - 난연특성 평가기법 표준화
  - 난연 마그네슘합금 적용을 위한 화재안전기준 작성
  - 합금 조성-공정-미세조직 변화에 따른 개발 소재 특성 평가 및 DB 구축

- 도시철도차량 의장/내장 부품 적용 기술 개발
  - 난연 마그네슘합금의 변형특성을 고려한 압출금형 설계 및 제작기술 개발
  - 고특성 난연 마그네슘합금 압출재 제조기술 개발
  - 난연성 마그네슘합금 접합기술 개발
  - 압출재의 변형특성을 고려한 부품 설계 및 성형기술 개발
  - 소재 특성을 고려한 의장/내장 부품 유지보수 방안 수립
  - 의장/내장 부품 모듈화 기술 개발
  - 승객용 의자 시제품 제작 및 특성 평가
  - 중천정 구조물 구성 부품 시제품 제작 및 특성 평가

	- 실차 시험을 통한 성능 평가 기술 개발 ● 의장/내장 부품의 화재안전성 검증 및 안전성 향상 ● 실차시험용 모듈 부품 제작 ● 실차시험용 모듈 부품의 기본성능 평가 ● 테스트 베드를 활용한 주행시험을 통한 현장 적용성 평가 및 개선안 도출
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ 기 확보된 부품소재 요소기술과 연계 및 첨단소재관련 신기술 개발을 위해 해외 전문가 및 해외기관과의 공동연구 추진 ○ 산학연 공동연구개발 컨소시엄을 구성하여 세부 요소기술 및 개발주체의 특성을 고려한 역할 분담 및 유기적 연계를 통해 관련 기술들의 체계적인 개발 추진 ○ 주기적인 진도점검 회의를 통해 연구개발 과정 중에 발생하는 문제점들을 공동 해결함으로써 연구개발의 효율성을 제고하고 상호 협력을 강화
□ 추진체계	○ 정부 및 관련 기업, 도시철도공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴 및 실용화 추진 - 연구개발단계에 철도차량 수요업체를 포함시켜 연구를 추진함으로서 유기적인 협조체제를 모색 ○ 본 과제는 핵심기술 개발과 함께 성능검증을 위한 시험차 선정 및 시험운행이 필요하므로 관련 철도기관을 포함한 산・학・연 공동 협조 체제를 구축하여 추진
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 세부과제 1 : 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발 - 하이브리드 차체 상세 설계 도면 - 하이브리드 차체 제작 사양서 및 시험 절차서 - 차체 주요부품의 제작 금형 및 공정기술 사양서 - 저비용 급속성형 대형 복합소재 차체부품 신공정 기술 - 이종소재간 접합기술 - 난연 마그네슘 합금 차체 적용을 위한 최적조성 및 압출공정

최적화 기술
- 충격흡수 기능을 포함한 차체 경량 엔드 모듈 시제품
- 시험용 차체 시제품

○ 세부과제 2 : 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발
- 대차 경량·소형화 설계 도면
- 경량·소형감속기 및 구동모터 시제품
- 경량·소형 완성 대차 시제품
- 첨단소재 적용 제동디스크 및 공기스프링 시제품
- 실차시험용 완성차
- 실차시험용 계측장비

○ 세부과제 3 : 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발
- 난연 마그네슘합금의 물성 DB
- 의장/내장 부품에 최적화된 난연 마그네슘합금
- 마그네슘합금 적용을 위한 화재안전기준
- 난연 마그네슘합금 적용 승객용 의자 시제품
- 난연 마그네슘합금 적용 중천정 구조물 구성부품 시제품

6. 기대효과 및 파급효과

○ 경제적 측면

ㅇ 도시철도차량 주요부품 20% 경량화시 수명주기비용 절감

- 국내 도시철도차량 전체 적용 및 25년 수명 기준

: 총 8,339억원 (약 333 억원/년)

- 국내 도시철도차량 전체 적용 및 40년 수명 기준

: 총 17,372억원 (약 434 억원/년)

ㅇ 고속철도확대적용을 통한 경량화시 고속철도레일 교체비용 절감 효과

- 첨단소재 적용 차체, 대차 및 의장/내장 부품 20% 경량화시
  - 향후 10년간 고속철도레일교체비용 163.5억 절감 기대

ㅇ 축중감소에 따른 레일 수명 향상 효과

- 첨단소재 적용 차체, 대차 및 의장/내장 부품 20% 경량화시 축중 감소율 14% : 레일수명 14% 증가

○ 기술적 측면

ㅇ 철도차량의 핵심기술인 경량화 부품소재 기술 선점

ㅇ 도시철도 운영처의 현안사항 해결

- 경량화에 따른 마모 및 소음문제 저감

ㅇ 일반철도 및 고속철도로 기술 확대 적용

- 도시철도형 초경량 대차기술을 기반으로 일반철도 및 고속철도로 기술 확대 적용 가능

○ 사회적 측면

ㅇ 차량 수출 효과

- 철도차량 수출시 수요처에서 경량화 차량 선호 추세
  - 국내 철도차량 제작사의 경우에도 수출시 중량요구조건을 만족 못해 kg당 penalty 비용 지불 함
  - 특히, 유럽의 경우 철도차량의 축중에 근거한 선로사용료 적용하여 경량화된 철도차량 선호

ㅇ 강소기업 육성

- 차체, 대차 및 부품, 의장/내장 부품관련 중소기업의 참여를 통해 해당기업의 기술향상 및 강소기업 육성에 기여

ㅇ 기술경쟁력을 확보하여 해외시장 진출 기회 확대

- 첨단소재를 활용한 차량 경량화 기술개발로 해외 철도선진국가와 동등이상 수준의 기술경쟁력을 확보하여 해외시장 진출 기회 확대 (현재, 국내 철도차량 제작사의 해외시장 점유율 약 2~3%수준)

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2015.01 ~ 2019.12 (60개월)

- 1차년도 연구기간 : 2015.01 ~ 2015.12 (12개월)
- 2차년도 연구기간 : 2016.01 ~ 2016.12 (12개월)
- 3차년도 연구기간 : 2017.01 ~ 2017.12 (12개월)

- 4차년도 연구기간 : 2018.01 ~ 2018.12 (12개월) - 5차년도 연구기간 : 2019.01 ~ 2019.12 (12개월) ○ 총 정부출연금 : 23,260백만원

2. 세부 과제별 제안요구서

가. 제1세부과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발

연구과제명	1. 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발
1. 연구개발 목표	
○ 고강도알루미늄, 복합소재 및 난연 마그네슘 합금 등 첨단소재를 적용한 하이브리드 차체제작기술을 기반으로 기존의 도시철도차량 차체 대비 20%이상의 차체경량화 기술개발	
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□연구개발의 필요성	○ 철도차량 차체의 소재는 과거 연강에서 스테인리스 스틸로, 이후 알루미늄 소재를 적용하며 차체소재의 변화로 차체 경량화에 상당한 성과를 이루었고, 지속적인 알루미늄 차체의 경량구조 설계 및 제작기술이 발전되었으나, 단일 소재를 적용한 차체 경량화는 거의 한계에 도달하였다. ○ 해외 철도선진국들은 국내보다 10년 이상 앞서 알루미늄차체 차량을 개발하였고 앞선 기술개발을 통해 고강도 알루미늄 및 첨단소재를 적용한 차체경량화 기술과, 차체 구조조립에 볼팅, 마찰교반용접 등 다양한 접합기술을 개발하여 적용하고 있으나, 국내의 경우 상기와 같은 해외신기술에 대한 사례분석, 벤치마킹, 기술도입 등 신기술개발의 측면에서 다소 후발주자의 위치라 할 수 있다. ○ 경량압출재의 생산기술을 비롯하여 복합소재, 난연 마그네슘 등 첨단소재의 생산기술은 해외선진국과 비교하여 동등수준 이상의 기술을 보유하고 있으므로, 이러한 첨단소재를 철도차량 차체에 적용하고 이에 필요한 요소기술을 개발하여 차체경량화에 대한 기술선점이 반드시 필요함 ○ 복합재료 차체 부품의 성공적인 양산 적용을 위해서는 기계적 성능

요구치를 만족시켜야 할 뿐 아니라 원재료 및 제조 원가 경쟁력을 확보해야 함. 이를 위하여 철도 차량용 차체용 복합재료 최적 설계와 제조 공정 기술의 개발이 병행하여 진행할 필요가 있음

□ 기술동향

○ 철도 차량 경량화에 가장 유리한 재료 중 하나인 복합재료를 이용한 차체 경량화 연구 및 개발 프로젝트가 유럽을 중심으로 활발하게 진행 중임.

○ 최근에 스페인 Zaragoza의 CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarril SA)에서 추진 중인 AVI-2015 프로젝트에서는 철도차량의 에너지를 10% 절감하는 것을 목표로 하고 있으며 주로 재료 경량화 및 공기저항 감소 디자인을 주요 테마로 하고 있음. 기존의 알루미늄과 철로 이루어진 철도 차량 차체 중에서 알루미늄 Roof 부를 복합재료로 대체하는 설계를 반영하였을 때 Roof 부의 무게만 약 35% 감소하고 전체 중량의 약 3.5%가 감소하는 효과를 나타냄

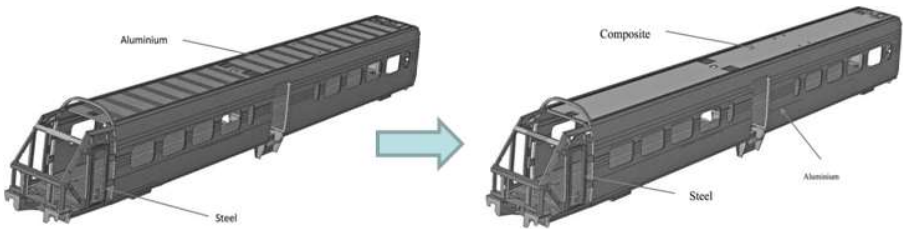


그림 2.1 스페인 AVI-2015 프로젝트 차량 차체의 Roof 재료 변경안 (알루미늄 → 복합재료)

○ 스위스의 Airex Composite Structures (ACS) 社에서는 복합재료 샌드위치 패널을 이용하여 철도차량용 Roof와 모듈화 기법이 적용된 Front cabin을 개발하여 양산화를 진행하고 있음. 기본적으로 강성, 강도 등 기계적 성능을 달성하며 경량화를 이루었으며 모듈화 기법을 도입하여 제작 및 설치가 용이하게 하였음



그림 2.2 복합재료 샌드위치 패널을 이용한 철도차량 Roof 및 Front cabin (ACS 社)

○ 알루미늄압출재와 복합소재 샌드위치 구조 적용 차체연구(독일, DLR)

. 코너부에서 종방향 알루미늄 압출 부재

. 종방향 압출부재들은 샌드위치 요소들과 체결

. 언더프레임하부에 플로어 지지구조를 도입하여 강성 보강

. 창문부위의 전단강성확보를 위해 삼각형 지지구조 도입

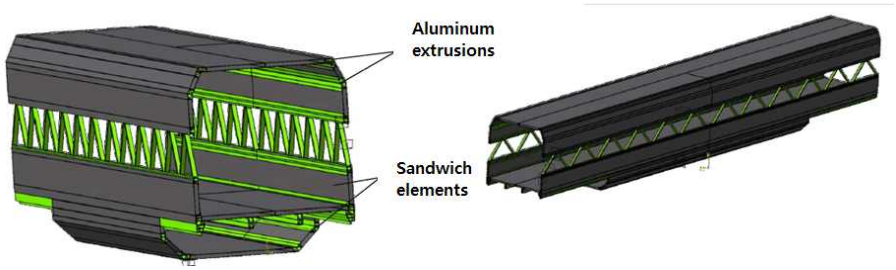


그림 2.3 알루미늄 압출재와 복합소재 샌드위치 구조 적용 차체.

○ 철도차량 경량화를 위해 세계 각국이 마그네슘합금을 철도차량에 적용하기 위해 활발하게 연구개발을 수행하고 있음.

○ 중국의 경우 500km/h 초고속 열차에 상용 마그네슘 합금제 의장 및 내장부품을 적용하였으며 점차 강화되는 화재 안전기준을 충족하기 위하여 고특성 난연성 마그네슘합금 개발 및 응용기술 개발에 집중 투자하고 있음.

○ 일본의 경우 고속철도 차량의 차체에 난연성 마그네슘합금을 적용하기 위한 연구개발 계획을 수립하여 2013년부터 10년 동안 집중적인 기술개발을 추진하고 있음.

3. 연구개발내용

CTE	유형*	CTE명	최종 TRL
1	장비·장치	하이브리드형 차체 설계 및 제작기술	8
2	공법·기법	하이브리드형 차체의 공진방지, 공력진동 감소기술	8
3	공법·기법	대형 복합소재 차체부품 제작을 위한 신공정 기술	8
4	재료·자재	대형 복합소재 구조물 및 충격흡수기능 경량엔드모듈 기술	8
5	재료·자재	4세대 난연 마그네슘합금 차체적용 기술	4

○ 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 설계 기술 개발

- 차체 적용 첨단소재 특성 평가 및 소재 DB 구축
- 4세대 난연 마그네슘 합금 적용 차체 설계 기술 개발
- 충격흡수 기능을 포함한 차체 경량 엔드 모듈 설계 기술 개발
- 하이브리드형 차체 공진방지 및 공력진동감소기술 개발
- 하이브리드형 차체 구조 최적화 기술 개발
- 이종소재간의 접합 및 차체 제작성을 고려한 차체 구조 도출
- 첨단소재 적용 도시철도차량 경제성 평가
- 적용 소재의 특성을 고려한 차체 유지보수 방안 수립

○ 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 제작 기술 개발

- 하이브리드형 차체 적용 이종소재간의 접합 기술 개발
- 대형 복합재 차체 부품 제작을 위한 신공정 기술 개발
- 4세대 난연 마그네슘 합금 조성 최적화 및 압출성 향상 기술 개발
- 충격흡수 기능을 포함한 차체 경량 엔드 모듈 제작 기술 개발
- 하이브리드형 차체 조립 시스템 구축
- 정하중 시험, 피로하중 시험 및 주행 시험용 차체 3량 제작

○ 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 시험 평가 기술 개발

- 하이브리드 차체 구조안전성 평가기준 수립
- 하이브리드형 차체 정하중 및 피로하중 시험
- 하이브리드형 차체 차음 및 기밀 성능 평가
- 테스트 베드를 활용한 주행시험을 통한 현장 적용성 평가

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 정부 및 관련 기업, 도시철도공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴 및 실용화 추진
- 연구개발단계에 철도차량 수요업체를 포함시켜 연구를 추진함으로서 유기적인 협조체제를 모색

○ 기존 연구에서 개발 완료된 설계 및 제작기술을 철저히

	검토하여 Benchmark를 원활히 진행하고 차별화 및 추가 개선안을 도출함으로써 연구의 중복성을 피할 수 있음 ○ 성공적 기술 개발을 위해 철도차체 제조사, 첨단소재업체, 설계기관 및 시험평가기관으로 컨소시엄 구성하여 공동개발 추진 ○ 학/연의 요소기술, 차체 설계, 시험평가 지원으로 철도 차체 제작/ 소재/ 운영업체 공동개발 ○ 선진기술 벤치마크 및 국제시장 진출 모색
□ 추진체계	○ 철도차량의 주요 구조물 중의 하나인 철도차량 차체의 경량화를 목표로 차체 설계에서부터 제작 및 시험평가를 수행하고, 경량화 달성을 위해서 고강도 알루미늄을 적용한 알루미늄 합금 압출재 생산 및 적용기술을 비롯하여, 동시에 복합재료 및 난연성 마그네슘 합금과 같은 첨단 경량소재의 생산 공정기술과 적용기술개발을 동시에 추진 ○ 철도차량 차체에 적용될 수 있는 고강도 알루미늄합금, 복합재료, 난연 마그네슘 등 첨단소재는 소재 고유의 물성 및 기계적 특성과, 접합방법에 따른 접합부 강도 등이 달라 질 수 있기 때문에, 소재의 물성평가 및 접합부 특성평가와 시제품 제작을 통한 구조강도 검증으로 이종소재간의 최적 접합기술개발 연구를 병행 ○ 철도차량의 차체는 차량 운행 시 발생하는 진동, 소음 및 차체의 변형 등 각 구조에 발생하는 하중조건이 다르며, 차체에 적용 될 다양한 첨단소재 또한 각각의 물성과 기계적 특성이 다르므로, 차체의 구조강도와 운행특성 등을 충분히 고려하여 최적의 소재를 적용하고, 하이브리드 차체의 구조안전성 평가 기술을 동시에 개발하여 도시철도 사양에 요구되는 구조강도와 안전성을 만족할 수 있도록 연구 추진 ○ 다양한 첨단소재를 적용한 하이브리드차체는 알루미늄, 복합재료 등 각각의 소재 특성에 따라 차량 운행 시 발생할 수 있는 차체손상에 대한 대대적인 교체나 수리 없이 손상부분에 대한 유지보수가 가능하도록 관련 기술이 함께 검토 및 개발되도록 한다. ○ 최종 설계 된 하이브리드 차체의 실제 주행특성 및 구조안전

	성을 검증하기 위해 실차 주행시험을 실시하여 실용화 검증 실시
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 하이브리드 차체 설계 및 제작기술 개발 - 하이브리드 차체 상세설계도면 - 하이브리드 차체 제작 사양서 및 시험 절차서 - 차체 주요부품의 제작 금형 및 공정기술 사양서 - 대형 복합소재 차체부품 성형 신 공정기법 - 시험용 차체 3량 (정하중 시험, 동하중 시험, 주행시험) ○ 이종 소재간의 접합기술 개발 - 고강도 알루미늄, 복합소재 등 첨단 경량소재의 물성시험 성적서 - 각 소재간의 접합방법에 따른 접합강도 시험 결과 - 이종 소재간의 접합구조 시제품 ○ 구조안전성 평가기술 개발 - 각 소재들의 접합구조에 대한 해석기법 도출 - 다양한 첨단소재가 적용 된 하이브리드 차체의 구조해석 기법 도출 - 하이브리드 차체의 구조해석결과 - 하이브리드 차체의 하중시험 결과 - 시험용 차량의 주행시험 결과 - 최종 구조안전성 평가안 도출 ○ 난연 마그네슘 차체 적용기술 개발 - 4세대 난연 마그네슘의 차체 적용을 최적조성 및 압출조건 제시 - 4세대 난연 마그네슘의 차체 부품 압출 시제품 제작 - 타소재와의 이종접합 방안 제시
6. 기대효과 및 파급효과	
	○ 2020년경 본격적으로 도래하는 구형전동차 교체차량의 차체 적용 첨단소재를 활용하여 기존 알루미늄 전동차 차체의 중량(약7.1톤) 대비 20% 경량화 시 차체중량 약 5.7톤으로 1.4톤 경량화가 가능하며, 도시철도 전동차의 1량 총 중량은 약 34톤으로 전체중량의 약 4%가 경량화 되어 축중 또한 약 4% 경량화 가능 ○ 레일 궤도수명 증가

축중의 감소율과 레일궤도수명 증가율은 선형적인 관계로 축중이 약 4%경량화 되어 레일궤도수명 또한 약 4% 증가할 것으로 기대

○ 운영비용 절감 효과

철도차량 차체의 중량의 20% 경량화 시 전체중량의 4% 경량화로 전동차 운행에 필요한 소비전력은 연간 약 20,916천Kwh 절감되고, 운영비용은 연간 약 1,464백만원 절감 될 것으로 기대 (서울메트로 기준)

○ 첨단소재를 활용한 차체경량화 기술개발로 해외 철도선진국가와 동등이상 수준의 기술경쟁력을 확보하여 해외시장 진출 기회 확대

(현재, 국내 철도차량 제작사의 해외시장 점유율 약 2~3%수준)

○ 첨단 경량 소재 적용 차체의 양산은 세계적으로도 아직 이루어지고 있지 않으므로, 본 연구의 성공은 철도 주요 부품의 최고 수준의 생산 기술을 보유 기대

○ 경량 첨단소재를 이용한 설계, 제조 기술의 확보는 기타 유사 산업인 자동차 및 선박산업에의 기술 확산 가능.

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2015.01 ~ 2019.12 (60개월)
- 1차년도 연구기간 : 2015.01 ~ 2015.12 (12개월)

○ 총 정부출연금 : 8,020백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 800백만원

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정에 따라 조정될 수 있음

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

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

나. 제2세부과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발

연구과제명	2. 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술개발
1. 연구개발 목표	
	○ 첨단소재를 적용한 도시철도차량용 대차 및 부품 20% 이상 경량화 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국내 전동차의 경우 70년대 볼스터 형식의 대차가 일본에서 도입되어 1세대 전동차에 적용된 이후 90년대 후반 15%이상 경량화된 볼스타레스형 대차기술이 개발되어 현재 전동차에 적용 중 ○ 이러한 볼스터레스형 전동차용 대차는 적용시점이 15년 이상 되었고 향후 에너지 절감 및 선로친화형 대차 기술개발을 위해 대차 부품 경량화 기술 개발 필요 ○ 철도선진국의 경우 차종 및 운영환경에 따라 다양한 형태의 대차(1축대차, 독립차륜 대차, 오프셋 대차, 인보드형 대차, 허브모터 적용 대차 및 복합소재 대차 등)를 운영하고 있으나, 국내의 경우 대차의 다양성 및 경량화 연구가 부족한 실정임 ○ 특히, 최근에는 기존 대차 대비 최대 30% 경량화, 스프링하 질량 25%, 운영비용 25% 및 휠마모 저감 특성이 우수한 경량 인보드형 대차 부품 기술 개발 활발히 진행 중 ○ 대차의 경우 철도차량 중량의 약 35% ~ 40%를 차지하는 고중량 부품으로 대차 부품의 경량화 없이 차량 경량화에 한계 ○ 국내에서도 세계적인 경량·에너지 절감형 대차 부품 기술 개발 방향에 부합하고, 향후 수출 및 기술 선도가 가능한 첨단 소재 적용한 혁신적인 대차 부품 기술 개발 필요
□ 기술동향	○ 철도 선진국의 초경량 대차 부품 경량화 기술 개발 사례 ① FLEXX ECO 대차 (봄바르디어, 캐나다) - 기존 대차 대비 30% 경량화, 에너지 및 소음발생 저감 - 전세계적으로 1000여대 상업운행 중이며 전동차부터 고속열

차까지 적용

- 향후 2013년말 독일 250km/h급 ICx regional 열차, 스웨덴 스톡홀름 전동차, 러시아 및 싱가포르 전동차에 적용 예정

○ Syntegra 대차 (지멘스, 독일)

- 축간거리 1600mm로 국내 전동차용 대차의 2100mm대비 약 24% 콤팩트한 구조
- 동일출력 대차 대비 15% 경량화(시제품)달성 및 양산모델의 경우 30% 경량화 목표
- 경량화, 고효율 모터적용으로 에너지 20% 저감

○ SF7000 대차 (지멘스, 독일)

- 기존 대차 대비 30% 경량화 및 차륜 마모지수 75% 저감
- 향후 2015년부터 영국 Thameslink 노선에 적용 예정

○ 제동디스크 경량화 (일본, 유럽)

- 일본 JR-West 최고 영업속도 230km/h인 100N 신칸센 열차, JR-West 최고속도 350.4km/h를 기록한 시험열차 Win350 등에 알루미늄 기지 복합소재 제동디스크 적용을 시도하였고, 관련기술을 보유하고 있음.
- 유럽에서는 ICE-2에 1997년부터 알루미늄 기지 복합소재 제동디스크 적용을 시도하였고 관련기술을 확보하고 있음

○ 공기스프링 경량화 (프랑스)

- 프랑스 철도차량 부품업체인 파울스트라사에서는 기존 공기스프링에 적용된 스테인레스 부품을 탄소섬유 목합소재, 알루미늄 등을 적용하여 경량화 시도

3. 연구개발내용

CTE	유형*	CTE명	현재 TRL	최종 TRL
1	시스템	경량 소형 대차 설계·제작 기술	2	8
2	장비·장치	경량 소형 구동모터 설계·제작 기술	2	8
3	장비·장치	소형 감속기 설계·제작 기술	2	8
4	재료·자재	경량 제동 디스크 설계·제작 기술	2	8
5	재료·자재	복합소재 대차 구조물 적용 기술	3	8

○ 대차 경량·소형화 설계 및 제작 기술 개발

- 대차 경량·소형화를 위한 신형식 대차 설계 기술 개발
- 신공정 기술 적용을 통한 복합재 대차 구조물 경량화 기술 개발
- 경량·소형 감속기 및 구동 모터 기술 개발
- 적용 소재의 특성을 고려한 대차 및 부품 유지보수 방안 수립
- 경량·소형화를 위한 신형식 대차 구조물 시제품 제작 및 구조시험
- 경량·소형 감속기 및 구동 모터 시제품 제작 및 성능 평가
- 테스트 베드를 이용한 주행성능 평가용 부품 제작
  (감속기 4EA, 구동모터 4EA)
- 테스트 베드를 이용한 주행성능용 완성대차 4 EA 제작
  (M-대차 2EA, T-대차 2EA)

○ 첨단 소재 적용 대차 부품 경량화 기술 개발

- 금속 복합재 적용 경량 제동 디스크 설계 및 제작 기술 개발
- 첨단소재 적용 경량 공기 스프링 설계 및 제작 기술 개발
- 경량 제동디스크 시제품 제작, 마찰 및 마모 성능평가
- 경량 공기스프링 시제품 제작, 기밀 및 진동흡수 성능평가
- 완성대차용 경량 제동디스크 및 공기스프링 제작

○ 실차시험을 통한 첨단소재 적용 시제 차량 주요 부품 성능 평가

- 실차시험용 주요부품 조립 및 시험용 차량 완성 (완성차 2EA)
- 시험차량 구성 및 실차시험용 계측장비 구축 (계측시스템 1EA)
- 첨단소재 적용 부품별 성능 평가
- 속도대역별 완성차의 주행성능, 진동, 소음, 차음 및 승차감 등 주요 성능 평가
- 현장 적용성 평가 및 개선안 도출

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략 ○ 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴 및 실용화 추진
- 연구개발단계에 수요처 및 제작사를 포함시켜 연구를 추진함으로서 유기적인 협조체제를 모색

	○ 기존 연구에서 개발 완료된 철도차량 부품 경량화 기술을 검토하고 활용함으로써 기술개발 기간 및 성공가능성 향상 ○ 국제 공동연구 추진을 통한 선진기술 벤치마크 및 국제시장 진출 모색 ○ 기존 시험운전 차량을 활용한 Test-Bed구축을 통한 개발기술의 성능평가 및 검증 수행
□ 추진체계	○ 본 과제는 핵심기술 개발과 함께 성능검증을 위한 시험차 선정 및 시험운행이 필요하므로 관련 철도기관을 포함한 산・학・연 공동 협조 체제를 구축하여 추진 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모하고 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용

5. 최종성과물

□ 주요 최종성과물	○ 대차 경량 • 소형화 설계 및 제작 기술 확보 - 경량 • 소형 대차 설계 도면 - 신공정 기술 적용을 통한 복합재 대차 구조물 경량화 기술 - 경량 • 소형 감속기 및 구동모터 시제품 - 경량 • 소형 완성 대차 시제품 ○ 첨단 소재 적용 대차 부품 경량화 기술 확보 - 첨단소재 적용 제동디스크 및 공기스프링 설계 및 제작기술 - 첨단소재 적용 제동디스크 및 공기스프링 시제품 ○ 실차시험을 통한 첨단소재 적용 시제 차량 주요 부품 성능 평가 - 실차시험용 완성차 - 실차시험용 계측장비 - 실차시험을 통한 주요성능 평가 결과 ○ 첨단소재 대차 부품 적용관련 지적재산권

6. 기대효과 및 파급효과

○ 기술적 기대효과

- 기존 대차기술 대비 경량화되고 콤팩트한 대차 부품 기술개발을 통한 신규시장 창출 및 수출
- 도시철도 운영처의 현안사항인 마모 및 소음문제 해결에 기여

- 도시철도형 초경량 대차기술을 기반으로 일반철도 및 고속철도로 기술 확대 적용 가능

○ 경제적 기대효과

- 국내시장 창출 : 2020년부터 도래하는 신규 전동차에 적용 및 기존 전동차용 대차 대체 가능

. 국내 도시철도용 대차 시장규모 : 전동차용 대차 약 15,992대(1) 로 약 3.2조(2), (1) 서울지하철공사, 2010년, (2) 대차당 평균 2억 적용

- 세계 시장 진출 : 세계시장 10% 점유시 약 1.25조 (세계 도시철도 시장규모 : 전동차용 대차 약 100,000대, 약 17조)

- 경량화에 따른 고속철도 레일교체비용 절감

. 철도차량 주요부품 20% 경량화시 : 향후 10년간 163억

. 철도차량 주요부품 30% 경량화시 : 향후 10년간 243억

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2015.1 ~ 2019.12
- 1차년도 연구기간 : 2015.1 ~ 2015.12

○ 총 정부출연금 : 10,000백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 1,600백만원

다. 제3세부과제 : 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발

연구과제명	3. 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발
1. 연구개발 목표	
	○ 난연성 마그네슘합금의 제반 특성 최적화 및 부품화 요소기술 개발을 통한 도시철도차량의 의장·내장 부품 20% 이상 경량화기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□연구개발의 필요성	○ 철도 선진국들은 에너지 저감 및 이산화탄소 배출 기준을 충족시키기 위하여 2015년까지의 단기 계획, 2020년까지의 중기 계획 및 2050년까지의 장기 계획을 수립하여 철도차량을 경량화하기 위한 첨단소재 적용 기술을 개발하고 있음. ○ 국내 철도분야의 전력사용량은 매년 급격하게 증가하고 있으며 철도 분야 전력 사용량의 2/3을 차지하고 있는 전동차의 전력 소모를 감소시키기 위해서는 철도차량의 경량화가 필수(30% 경량화시 에너지 18% 저감) ○ 철도차량의 경량화 목표를 달성하기 위해서는 차체, 대차의 경량화와 함께 의장·내장 부품의 경량화가 요구되며 이를 위해서는 구조용 금속소재 중 가장 가벼운 마그네슘합금의 적용이 필수 ○ 차량운행시 화재로부터 승객을 안전하게 보호하기 위해서는 발화저항성이 획기적으로 향상된 난연성 마그네슘합금의 개발 및 적용이 필수
□ 기술동향	○ 일본의 경우 난연성 및 기계적 특성, 성형성이 향상된 고특성 난연성 마그네슘합금을 개발하여 차세대 고속열차에 적용하기 위한 정부 주도의 연구개발 계획을 수립하여 2013년부터 10년 동안 집중 투자 ○ 중국의 경우 500km/h 초고속 열차에 상용 마그네슘합금제 의장 및 내장부품을 적용하였으며 점차 강화되는 화재 안전기준을 충족하기 위하여 고특성 난연성 마그네슘합금 개발 및 응용

기술 개발에 집중 투자하고 있음.

○ 국내의 경우 상용 마그네슘합금제 주조부품을 KTX, KTX-II의 승객용 의자에 적용한 사례가 있으나 낮은 발화저항성으로 인하여 현재는 추가적인 적용이 중단된 상태임.

○ 국내의 경우 난연성 및 기계적 특성이 동시에 향상된 세계 최고 수준의 3세대 난연성 마그네슘합금 관련 원천기술을 확보하고 있어 제반 특성 최적화 및 부품화 요소기술 개발에 집중 투자할 경우 기술적 우위를 확보하여 난연성 마그네슘합금제 철도차량 부품 시장을 선점할 수 있음.

3. 연구개발내용

CTE	유형*	CTE명	현재 TRL	최종 TRL
1	재료·자재	합금 조성 및 성분상 설계기술	3	8
2	재료·자재	TMP를 이용한 미세조직 정밀제어기술	3	8
3	재료·자재	난연 마그네슘합금 압출재 제조기술	3	8
4	장비·장치	의장/내장 부품 설계 및 성형기술	2	8
5	장비·장치	의장/내장 부품 모듈화 기술	2	8

○ 도시철도차량 의장/내장 적용을 위한 난연 마그네슘합금 기술 개발

- 전산모사기법을 활용한 합금 조성 및 성분상 설계기술 개발
- TMP(Thermo-mechanical process)를 이용한 미세조직 정밀제어 기술 개발
- 난연특성 평가기법 표준화
- 난연 마그네슘합금 적용을 위한 화재안전기준 작성
- 합금 조성-공정-미세조직 변화에 따른 개발 소재 특성 평가 및 DB 구축

○ 도시철도차량 의장/내장 부품 적용 기술 개발

- 난연 마그네슘합금의 변형특성을 고려한 압출금형 설계 및 제작 기술 개발
- 고특성 난연 마그네슘합금 압출재 제조기술 개발
- 난연성 마그네슘합금 접합기술 개발
- 압출재의 변형특성을 고려한 부품 설계 및 성형기술 개발
- 소재 특성을 고려한 의장/내장 부품 유지보수 방안 수립
- 의장/내장 부품 모듈화 기술 개발

- 승객용 의자 시제품 제작 및 특성 평가
- 중천정 구조물 구성 부품 시제품 제작 및 특성 평가

○ 실차 시험을 통한 성능 평가 기술 개발
- 의장/내장 부품의 화재안전성 검증 및 안전성 향상
- 실차시험용 모듈 부품 제작
- 실차시험용 모듈 부품의 기본성능 평가
- 테스트 베드를 활용한 주행시험을 통한 현장 적용성 평가 및 개선안 도출

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 산학연 공동연구개발 컨소시엄을 구성하여 세부 요소기술 및 개발 주체의 특성을 고려한 역할 분담 및 유기적 연계를 통해 관련 기술들의 체계적인 개발 추진

○ 주기적인 진도점검 회의를 통해 연구개발 과정 중에 발생하는 문제점들을 공동 해결함으로써 연구개발의 효율성을 제고하고 상호 협력을 강화

○ 국내외 전문가들과의 지속적 교류를 통해 당해 기술분야의 최신 연구동향에 대한 정보를 수집

○ 국내외 전문학술회의에 참석하여 당해 기술 분야의 최신 연구개발 동향 및 실용화 현황에 대한 정보를 수집하고 전문가들과의 인적 네트워크 구축

○ 난연성 Mg 합금 개발 및 적용에 집중 투자를 하고 있는 일본의 연구개발 동향 정보를 주기적으로 수집, 분석하고 관련 분야 전문가들과 공동 심포지엄 또는 기술 교류회 개최 추진

○ 정부, 관련기업, 도시철도공사 등 기술수요처와 유기적인 협조체제를 구축하고 연구성과를 현장에 적용시킬 있도록 지속적으로 의견을 수렴하여 실용화 추진

□ 추진체계

○ 본 과제는 핵심기술 개발과 함께 성능검증을 위한 시험차 선정 및 시험운행이 필요하므로 관련 철도기관을 포함한 산·학·연 공동 협조 체제를 구축하여 추진

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모하고 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용

5. 최종성과물

□ 주요 최종성과물

○ 난연 마그네슘합금 설계 및 제조 기술 확보
- 난연 마그네슘합금의 물성 DB
- 의장/내장 부품에 최적화된 난연 마그네슘합금
- 표준화된 난연특성 평가기법
- 마그네슘합금 적용을 위한 화재안전기준

○ 의장/내장 부품 적용 기술 확보
- 고특성 난연 마그네슘합금 압출재 제조용 금형
- 고특성 난연 마그네슘합금 압출재 및 성형기술
- 난연 마그네슘합금 적용 승객용 의자 시제품
- 난연 마그네슘합금 적용 중천정 구조물 구성부품 시제품

○ 실차시험을 통한 성능 평가
- 실차시험용 승객용 의자
- 실차시험용 중천정 구조물 구성부품
- 실차시험을 통한 주요성능 평가 결과

6. 기대효과 및 파급효과

○ 난연성 마그네슘합금 관련 기술 선점

○ 난연성 마그네슘합금을 철도차량 차체에 적용하기 위한 기반기술 확보

○ 난연성 마그네슘합금을 일반철도, 고속철도에 적용하기 위한 기반·응용기술 확보

○ 철도차량 중량의 10%를 차지하는 의장/내장 부품 20% 경량화 시 1.2% 에너지 절감(2012년 전력소비량 기준 수도권 전철 연 10.8억 절감, 40년 운행시 432억 절감)

○ 철도차량 중량의 10%를 차지하는 의장/내장 부품 20% 경량화 시 레일 수명 2~2.5% 향상

○ 난연성 마그네슘합금 부품 수출을 통한 수익 창출

○ 선진국에서 주도하고 있는 철도분야 이산화탄소 배출 저감 목표를 달성하여 철도차량 수출 기반 확보 및 국가 위상 강화

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2015.01 ~ 2019.12(5년)
- 1차년도 연구기간 : 2015.01 ~ 2015.12(1년)

○ 총 정부출연금 : 5,240백만원
- 1차년도 정부출연금 : 1,120백만원

제2절 평가기준

기준 항목	세 부 항 목
연구개발 목표 (10점)	최종목표 및 연차별 달성목표의 적절성·타당성(5점)
	성과지표 설정의 명확성 및 적정성(5점)
연구개발내용 (20점)	RFP와의 적합성(5점)
	과제목표달성을 위한 세부과제 구성 및 상호연계성(5점)
	연구개발내용의 완성도 및 실현가능성(5점)
	연차별 연구내용의 차별성 및 창의성(5점)
추진전략 및 계획 (20점)	연구수행체계 적정성 및 연구진 전문성(5점)
	연구추진 전략의 구체성 및 타당성(5점)
	연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성(5점)
	연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성(5점)
개발기술의 실용성 및 경제성 (40점)	개발기술의 혁신성 및 차별성(10점)
	활용방안의 적절성 및 구체성(10점)
	개발기술의 실용성 및 사업성(10점)
	개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)(10점)
연구책임자의 전문성 및 관리능력 (10점)	연구전문성 및 해당분야 실적(5점)
	연구과제 관리 및 운영 능력(5점)

부합성 평가	평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치

※총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

첨부 파일

[서식 1] 연구설계도

연 구 설 계 도

과제명 : 첨단소재를 활용한 도시철도차량 및 부품 경량화 기술 개발

세부과제명	연구활동(activity)
1. 첨단소재 적용 도시철도 차량 차체 경량화 기술개발	1.1 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 설계기술 개발
	1.2 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 제작기술 개발
	1.3 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 시험평가 기술 개발
2. 첨단소재 적용 도시철도 차량 대차 및 부품 경량화	2.1 대차 경량·소형화 설계 및 제작 기술 개발
	2.2 첨단 소재 적용 대차 부품 경량화 기술 개발
	2.3 실차시험을 통한 첨단소재 적용 시제 차량 주요 부품 성능 평가
3. 첨단소재 적용 도시철도 차량 의장/내장 부품 경량화 기술 개발	3.1 의장/내장 적용을 위한 난연 마그네슘합금 제조기술 개발
	3.2 의장/내장 부품 적용기술 개발
	3.3 의장/내장 부품 성능 평가기술 개발

[서식 16] 연구비 종합표

연구비 총괄표

[단위 : 원]

세부과제명	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	비 고
1. 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발	1,070,000,000	1,990,000,000	3,479,999,999	3,200,000,000	960,000,000	10,700,000,000	34.5%	
2 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화	2,130,000,000	3,600,000,000	4,130,000,001	1,470,000,000	2,000,000,000	13,330,000,000	43.0%	
3. 첨단소재 적용 도시철도차량용 의장/내장 부품 경량화 기술 개발	1,500,000,000	1,800,000,000	2,000,000,000	1,000,000,000	700,000,000	7,000,000,000	22.6%	
합계	4,700,000,000	7,390,000,000	9,610,000,000	5,669,999,999	3,660,000,000	31,030,000,000	100.0%	

1. 세부과제
첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발

[서식 3] 인건비 기준표

인건비 기준표

※ 작성원칙
- 해당 과제 참여연구원의 인건비 기준단계 산정을 목적으로 작성하는 것으로 월기준 단가는 대학 조교수급 기준 4,300,000원으로 작성
(기준단가는 2011년도 회계예규 "예정가격작성기준" 학술연구용역 인건비기준단가의 대학 조교수 수준 참고)
- 과제난이도, 기술준비도에 따라 증액률, 확장률를 결정하여 예시와 같이 √로 표기
- 월기준 단가 4,300,000원은 임의로 바꿀수 없음

[단위 : 원]

① 월기준 단가	② 증 액 률	③ 확 장 율	④ 기 본 급 (①x②x③)	비 고
4,300,000	120%	100%	5,160,000	

과제 난이도	인건비 증액율(%)	증액률 산정 결과(%)
세계 선도의 최초기술 연구	130%	
세계 최고와 동일한 수준의 연구	120%	√
국내 최고수준의 기술	110%	
국내 자립기술	100%	

기술준비도 수준	인건비 산정 범위(%)	③ 확장 인건비(%)
기초연구	110%	
응용연구	100%	√
개발연구	120%	

[서식 4] 주요 Activity별 인건비산출표

인건비산출표

※ 사용용도
- 연구원이 해당 과제에 참여시 지급되는 내외부 인건비

※ 작성원칙
- 연차별 소요인원수, 참여개월수, 참여율로 man·month 산출 후 <서식3>에서 도출한 인건비 기준을 곱하여 연차별 인건비 도출
- 연차별 인건비는 activity별로 산출

주요 Activity	연도	① 인원수	② 참여개월수	③ 참여율	④ M/M 산출 (①x②x③)	주1) ⑤ 실질월단가	⑥ 금 액 (④x⑤)	비 고
1.1 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 설계기술 개발	1차년도	7	12	28%	23.7	5,160,000	122,230,080	
	2차년도	7	12	51%	42.8	5,160,000	221,054,400	
	3차년도	8	12	75%	72.0	5,160,000	371,520,000	
	4차년도	8	12	75%	72.0	5,160,000	371,520,000	
	5차년도	5	12	40%	24.0	5,160,000	123,840,000	
1.2 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 제작기술 개발	1차년도	4	12	28%	13.4	5,160,000	69,350,400	
	2차년도	4	12	55%	26.4	5,160,000	136,224,000	
	3차년도	4	12	77%	36.7	5,160,000	189,475,200	
	4차년도	4	12	70%	33.6	5,160,000	173,376,000	
	5차년도	2	12	30%	7.2	5,160,000	37,152,000	
1.3 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 시험평가 기술 개발	1차년도	6	12	26%	18.7	5,160,000	96,595,200	
	2차년도	6	12	55%	39.6	5,160,000	204,336,000	
	3차년도	8	12	76%	72.5	5,160,000	373,996,800	
	4차년도	8	12	71%	68.2	5,160,000	351,705,600	
	5차년도	5	12	35%	21.0	5,160,000	108,360,000	

[서식 5] 주요 Activity별 인건비산출표

인 건 비 집 계 표

주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
1.1 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 설계기술 개발	122,230,080	221,054,400	371,520,000	371,520,000	123,840,000	1,210,164,480
1.2 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 제작기술 개발	69,350,400	136,224,000	189,475,200	173,376,000	37,152,000	605,577,600
1.3 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 시험평가 기술 개발	96,595,200	204,336,000	373,996,800	351,705,600	108,360,000	1,134,993,600
합 계	288,175,680	561,614,400	934,992,000	896,601,600	269,352,000	2,950,735,680

[서식 6] 주요 Activity별 연구기자재 및 시설비 산출표

연구시설 및 장비비

※ 사용용도
- 연구시설/장비의 설치/구입/임차에 관한 경비 및 관련 부대경비

※ 작성원칙
- 건당 3천만원 이상에 대해서는 상세내역을 작성
- 건당 3천만원 미만의 연구시설 및 장비비는 상세내역 생략하고 대략의 내용으로 작성
- 한 개 장비가 5억원 이상일 때 장비에 대한 기획보고서 제출
- 빈칸이 없을 경우, 칸을 추가하여 작성

ㅇ 연구시설 및 장비비 산출표 (A)

구 분	3천만원 이상	3천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	220,000,000	21,000,000	241,000,000	3천만원 이상 : (B) 작성 3천만원 미만 : (C) 작성
2차년도	170,000,000	16,000,000	186,000,000	
3차년도	70,000,000	15,000,000	85,000,000	
4차년도	30,000,000	33,000,000	63,000,000	
5차년도	30,000,000	13,000,000	43,000,000	
합계	520,000,000	98,000,000	618,000,000	

ㅇ 연구시설 및 장비비 산출내역 (B) – 3천만원 이상 장비

주요 Activity	연차	장비명	용도	비용(원)	합계
1.1 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 설계기술 개발	1차년도	유한요소 설계 S/W	차체설계	30,000,000	150,000,000
	2차년도	유한요소 설계 S/W	차체설계	30,000,000	
	3차년도	유한요소 설계 S/W	차체설계	30,000,000	
	4차년도	유한요소 설계 S/W	차체설계	30,000,000	
	5차년도	유한요소 설계 S/W	차체설계	30,000,000	
1.2 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 제작기술 개발	1차년도	수지압력조절시스템	복합소재 시험소재	50,000,000	230,000,000
		섬유진공조절시스템	복합소재 시험소재	70,000,000	
	2차년도	Resin film 제조장치	접합구조시험평가	70,000,000	
	3차년도	압출설비	시제차체 AI 소재	40,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
1.3 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 시험평가 기술 개발	1차년도	시험 장비	복합소재 시험소재	70,000,000	140,000,000
	2차년도	시험 장비	접합구조시험평가	70,000,000	
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				

ㅇ 연구시설 및 장비비 산출내역 (C) – 3천만원 미만 장비

연차	주요내역	금액	합계
1차년도	차체설계용 컴퓨터	5,000,000	98,000,000
	고강도 AI 시편제작 및 물성평가	8,000,000	
	이종소재 접합시편 제작 및 구조평가	8,000,000	
2차년도	차체설계용 컴퓨터	6,000,000	
	이종소재 접합시편 제작 및 구조평가	10,000,000	
3차년도	AI 소재 시험평가	15,000,000	
4차년도	차체 하중시험	23,000,000	
	난연 마그네슘 시편제작 및 물성평가	10,000,000	
5차년도	난연 마그네슘 시제품 압출	13,000,000	

[서식 7] 주요 Activity별 시작품제작비 산출표

시작품 제작비 산출표

※ 사용용도
- 시제품/시작품/시험설비 제작경비

※ 작성원칙
- 건당 1천만원 이상에 대해서는 상세내역을 작성
- 건당 1천만원 미만의 재료구입비는 상세내역 생략하고 대략의 내용으로 작성
- 빈칸이 없을 경우, 칸을 추가하여 작성

ㅇ 시작품 제작비 산출표 (A)

구 분	1천만원 이상	1천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	33,000,000	0	33,000,000	1천만원 이상 : (B) 작성 1천만원 미만 : (C) 작성
2차년도	385,000,000	0	385,000,000	
3차년도	1,010,000,000	0	1,010,000,000	
4차년도	1,400,000,000	0	1,400,000,000	
5차년도	215,000,000	0	215,000,000	
합계	3,043,000,000	-	3,043,000,000	

ㅇ 시작품 제작비 산출내역 (B) - 1천만원 이상 시작품 제작

주요 Activity	연차	시작품명	주요기능	비용(원)	합계
1.1 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 설계기술 개발	1차년도	고강도 AI 시제품	물성평가용	20,000,000	605,000,000
	2차년도	난유동성부위 검증용 금형	부품별 난유동부위 검증	150,000,000	
	3차년도	주요접합구조 목업	구조안전성 평가	20,000,000	
	4차년도	부품성형성 개선 금형	부품별 성형성 개선	400,000,000	
	5차년도	난연마그네슘 차체부품	차체경량화	15,000,000	
1.2 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 제작기술 개발	1차년도				2,055,000,000
	2차년도	패널 및 접합구조 시편	접합구조 개발용	115,000,000	
	3차년도	차체용 경량알루미늄 압출재	시제 차체제작용	340,000,000	
		대형 복합소재 경량구조물	시제 차체제작용	650,000,000	
	4차년도	시험용 차체	하중시험 및 주행시험용	850,000,000	
	5차년도	성능향상 시제품 제작비	차체 시제품 제작	100,000,000	
1.3 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 시험평가 기술 개발	1차년도	접합구조 시편	물성평가용	13,000,000	383,000,000
	2차년도	차체 구조 목업	구조안전성 평가	120,000,000	
	3차년도				
	4차년도	시험설비 구축	성능 평가	150,000,000	
	5차년도	시험장비	성능 평가	100,000,000	

재료구입비 산출표

※ 사용용도
- 시약/재료 구입비 및 시험분석료, 전산처리/관리비

※ 작성원칙
- 건당 1천만원 이상에 대해서는 상세내역을 작성
- 건당 1천만원 미만의 재료구입비는 상세내역 생략하고 대략의 내용으로 작성
- 빈칸이 없을 경우, 칸을 추가하여 작성

ㅇ 재료구입비 산출표 (A)

구 분	1천만원 이상	1천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	299,892,132	0	299,892,132	
2차년도	485,527,613	0	485,527,613	
3차년도	815,747,083	0	815,747,083	
4차년도	244,644,765	0	244,644,765	
5차년도	242,482,809	0	242,482,809	
합계	2,088,294,402	-	2,088,294,402	

ㅇ 재료구입비 산출내역 (B) - 1천만원 이상 재료비

주요 Activity	연차	품목	용도	비용(원)	합계
1.1 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 설계기술 개발	1차년도	하이브리드 차체 개념도출	차체 설계/개발	179,892,132	702,547,319
	2차년도	하이브리드 차체 기본모델 도출	차체 설계/개발	235,527,613	
	3차년도	하이브리드 차체 상세모델 도출	차체 설계/개발	200,000,000	
	4차년도	난연마그네슘적용 개념도출	난연마그네슘차체적용	44,644,765	
	5차년도	난연마그네슘적용 상세모델 도출	난연마그네슘차체적용	42,482,809	
1.2 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 제작기술 개발	1차년도	접합구조 개념도출	접합구조 개발	50,000,000	715,747,083
	2차년도	시험용 재료비	복합소재 성형성평가	150,000,000	
	3차년도	접합구조 상세모델 도출	접합구조 개발	85,747,083	
		시제차체용 압출금형 소재	시제차체 제작	180,000,000	
		시제차체용 알루미늄 빌렛	시제차체 제작	150,000,000	
	4차년도				
	5차년도	시험용 재료비	성능향상 시제품평가	100,000,000	
1.3 첨단소재 적용 하이브리드형 차체 시험평가 기술 개발	1차년도	시험용 재료비	접합구조 특성 평가	70,000,000	670,000,000
	2차년도	하이브리드차체 안전성 검증방안 도출	구조안전성 평가	100,000,000	
	3차년도	시험용 재료비	대형차체구조물 1차시제품 평가	200,000,000	
	4차년도	시험용 재료비	구조안전성 평가	200,000,000	
	5차년도	테스트 베드를 활용한 실차시험	구조안전성 평가	100,000,000	

여비 산출표

※ 사용용도
- 연구원의 국내외 출장여비 및 시내교통비

※ 작성원칙
- 여비는 연도별로 다음의 기준을 만족하면서 총액이 '5천만원 이하'가 되도록 작성
  · 인건비 1억원 미만 : 인건비의 12% 이하, 인건비 1억원~3억 : 인건비의 10%이하, 인건비 3억원 이상 : 인건비의 8%이하
- 연도별 여비가 기준을 만족하고 '5천만원 이하'로 추정될 경우 (A) 서식만 작성
- 연도별 여비가 기준을 초과하거나 여비 총액 '5천만원을 초과'하는 것으로 추정될 경우 (B)에 상세내역 작성

ㅇ 여비 총괄표 (A)

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	288,175,680	10%	28,817,568	
2차년도	561,614,400	6%	33,696,864	
3차년도	934,992,000	6%	56,099,520	
4차년도	896,601,600	6%	53,796,096	
5차년도	269,352,000	10%	26,935,200	
합계			199,345,248	

[서식 10] 수용비 및 수수료 산출표

수용비 및 수수료 산출표 (A)

※ 사용용도
- 과제와 직접 관련 있는 인쇄, 복사, 인하, 슬라이드 제작비, 공공요금, 제세공과금 및 수수료, 사무용품비, 연구환경 유지를 위한 기기/부품의 구입/유지 비용 등

※ 작성원칙
- 수용비 및 수수료는 연도별로 다음의 기준에 따라 작성
  · 인건비 1억원 미만 : 인건비의 12% 이하, 인건비 1억원~3억 : 인건비의 9% 이하, 인건비 3억원 이상 : 인건비의 6% 이하
- 수용비 수수료는 기준을 초과하여 작성할 수 없음

ㅇ 수용비 및 수수료 총괄표 (A)

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	288,175,680	6%	17,290,541	수용비 수수료는 기준을 초과하여 작성할 수 없음
2차년도	561,614,400	5%	28,080,720	
3차년도	934,992,000	5%	46,749,600	
4차년도	896,601,600	5%	44,830,080	
5차년도	269,352,000	6%	16,161,120	
합계	2,950,735,680		153,112,061	

[서식 11] 기술정보활동비 산출표

기술정보활동비 산출표

※ 사용용도
- 전문가 활용, 국내외 교육훈련, 기술정보수집비, 도서 등 문헌구입비, 회의비 세미나 개최비, 학회/세미나 참가비, 원고료, 통역료, 속기료, 기술도입비, 특허정보조사비, 해당 연구개발과제 수행과 관련된 식대 등

※ 작성원칙
- 기술정보활동비는 연도별로 다음의 기준을 만족하면서 연도별 총액이 '5천만원 이하'가 되도록 작성
  · 인건비 1억원 미만 : 인건비의 15%, 인건비 1억원~3억 : 인건비의 13%, 인건비 3억원 이상 : 인건비의 11%
- 연도별 기술정보활동비가 기준을 만족하고 '5천만원 이하'로 추정될 경우 (A) 서식만 작성
- 연도별 기술정보활동비가 기준을 초과하거나 기술정보활동비 총액이 '5천만원을 초과'하는 것으로 추정될 경우 (B)에 상세내역 작성

ㅇ 기술정보활동비 총괄표 (A)

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	288,175,680	10%	29,393,919	
2차년도	561,614,400	8%	44,929,152	
3차년도	934,992,000	8%	74,799,360	
4차년도	896,601,600	8%	71,728,128	
5차년도	269,352,000	10%	26,935,200	
합계			247,785,759	

[서식 12] 연구수당 산출표

연구수당 산출표

※ 사용용도
- 해당 과제 수행과 관련된 연구책임자 및 참여연구원의 보상금/장려금 지급을 위한 수당

※ 작성원칙
- 연도별 인건비의 15% 이하로 작성
- 연도별 인건비의 15%를 초과하여 작성할 수 없음

Activity 단위	인건비총합	비율	비용(원)	비 고
1차년도	288,175,680	12%	35,157,433	
2차년도	561,614,400	15%	84,242,160	
3차년도	934,992,000	15%	140,248,800	
4차년도	896,601,600	15%	134,490,240	
5차년도	269,352,000	12%	32,860,944	
합계			426,999,577	

[서식 13] 직접비집계표

직 접 비 집 계 표

(1세부과제) 세부과제명 : 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발 [단위 : 원]

세 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	비율 (%)
연구장비 /재료비	연구시설 및 장비비	241,000,000	186,000,000	85,000,000	63,000,000	43,000,000	618,000,000	9%
	시작품제작비	33,000,000	385,000,000	1,010,000,000	1,400,000,000	215,000,000	3,043,000,000	0.4490494
	재료비	299,892,132	485,527,613	815,747,083	244,644,765	242,482,809	2,088,294,402	0.3081654
연구활동비	여비	28,817,568	33,696,864	56,099,520	53,796,096	26,935,200	199,345,248	0.029417
	수용비및수수료	17,290,541	28,080,720	46,749,600	44,830,080	16,161,120	153,112,061	0.0225944
	기술정보활동비	29,393,919	44,929,152	74,799,360	71,728,128	26,935,200	247,785,759	0.0365652
연구수당		35,157,433	84,242,160	140,248,800	134,490,240	32,860,944	426,999,577	0.0630115
합계		684,551,593	1,247,476,509	2,228,644,363	2,012,489,309	603,375,273	6,776,537,047	1

[서식 14] 간접비 집계표

간접비 집계표

※ 사용용도
- 행정지원 인력 등 인력지원비, 기관 공통지원경비, 사업단/연구단 운영비, 연구실 안전관리비, 연구보안관리지, 연구윤리활동비, 연구개발준비금, 지재권 출원/등록비, 과제 홍보 경비 등

※ 작성원칙
- 년도별 인건비, 직접비 총합의 10% 이하로 작성
- 년도별 인건비, 직접비 합의 10%를 초과하여 작성할 수 없음

[단위 : 원]

연도	인건비+직접비	비율	금 액	비 고
1차년도	972,727,273	10%	97,272,727	인건비+직접비의 10% 이하
2차년도	1,809,090,909	10%	180,909,091	
3차년도	3,163,636,363	10%	316,363,636	
4차년도	2,909,090,909	10%	290,909,091	
5차년도	872,727,273	10%	87,272,727	
합계			972,727,273	

[서식 15] 연구비 총괄표

1세부과제 연구비 총괄표

(1세부과제) 세부과제명 : 첨단소재 적용 도시철도차량 차체 경량화 기술개발 [단위 : 원]

비목			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	비 고
1) 인건비	내/외부 인건비		288,175,680	561,614,400	934,992,000	896,601,600	269,352,000	2,950,735,680	27.6%	
2) 직접비	연구장비 재료비	연구기자재및시설비	241,000,000	186,000,000	85,000,000	63,000,000	43,000,000	618,000,000	5.8%	
		시작품 제작비	33,000,000	385,000,000	1,010,000,000	1,400,000,000	215,000,000	3,043,000,000	28.4%	
		재료비	299,892,132	485,527,613	815,747,083	244,644,765	242,482,809	2,088,294,402	19.5%	
	연구 활동비	여비	28,817,568	33,696,864	56,099,520	53,796,096	26,935,200	199,345,248	1.9%	
		수용비및수수료	17,290,541	28,080,720	46,749,600	44,830,080	16,161,120	153,112,061	1.4%	
		기술정보활동비	29,393,919	44,929,152	74,799,360	71,728,128	26,935,200	247,785,759	2.3%	
	연구수당		35,157,433	84,242,160	140,248,800	134,490,240	32,860,944	426,999,577	4.0%	
3) 간접비			97,272,727	180,909,091	316,363,636	290,909,091	87,272,727	972,727,273	9.1%	
4)	합 계		1,070,000,000	1,990,000,000	3,479,999,999	3,200,000,000	960,000,000	10,700,000,000	100.0%	1)+2)+3)

2. 세부과제
첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화

[서식 3] 인건비 기준표

인건비 기준표

※ 작성원칙
- 해당 과제 참여연구원의 인건비 기준단계 산정을 목적으로 작성하는 것으로 월기준 단가는 대학 조교수급 기준 4,300,000원으로 작성
(기준단가는 2011년도 회계예규 "예정가격작성기준" 학술연구용역 인건비기준단가의 대학 조교수 수준 참고)
- 과제난이도, 기술준비도에 따라 증액률, 확장률를 결정하여 예시와 같이 √로 표기
- 월기준 단가 4,300,000원은 임의로 바꿀수 없음

[단위 : 원]

① 월기준 단가	② 증 액 률	③ 확 장 율	④ 기 본 급 (①x②x③)	비 고
4,300,000	120%	100%	5,160,000	

과제 난이도	인건비 증액율(%)	증액률 산정 결과(%)
세계 선도의 최초기술 연구	130%	
세계 최고와 동일한 수준의 연구	120%	√
국내 최고수준의 기술	110%	
국내 자립기술	100%	

기술준비도 수준	인건비 산정 범위(%)	③ 확장 인건비(%)
기초연구	110%	
응용연구	100%	√
개발연구	120%	

[서식 4] 주요 Activity별 인건비산출표

인건비산출표

※ 사용용도
- 연구원이 해당 과제에 참여시 지급되는 내외부 인건비

※ 작성원칙
- 연차별 소요인원수, 참여개월수, 참여율로 man·month 산출 후 <서식3>에서 도출한 인건비 기준을 곱하여 연차별 인건비 도출
- 연차별 인건비는 activity별로 산출

주요 Activity	연도	① 인원수	② 참여개월수	③ 참여율	④ M/M 산출 (①x②x③)	주1) ⑤ 실질월단가	⑥ 금 액 (④x⑤)	비 고
2.1. 대차 경량·소형화 설계 및 제작 기술 개발	1차년도	9	12	66%	71.3	5,160,000	367,804,800	
	2차년도	10	12	80%	96.0	5,160,000	495,360,000	
	3차년도	9	12	91%	98.3	5,160,000	507,124,800	
	4차년도	4	12	35%	16.8	5,160,000	86,688,000	
	5차년도	2	12	70%	16.8	5,160,000	86,688,000	
2.2. 첨단 소재 적용 대차 부품 경량화 기술 개발	1차년도	6	12	52%	37.4	5,160,000	193,190,400	
	2차년도	7	12	68%	57.1	5,160,000	294,739,200	
	3차년도	7	12	95%	79.8	5,160,000	411,768,000	
	4차년도	2	12	56%	13.4	5,160,000	69,350,400	
	5차년도	2	12	71%	17.0	5,160,000	87,926,400	
2.3. 실차시험을 통한 첨단소재 적용 시제 차량 주요 부품 성능 평가	1차년도				0.0	5,160,000	0	
	2차년도				0.0	5,160,000	0	
	3차년도				0.0	5,160,000	0	
	4차년도	6	12	90%	64.8	5,160,000	334,368,000	
	5차년도	8	12	100%	96.0	5,160,000	495,360,000	

[서식 5] 주요 Activity별 인건비산출표

인 건 비 집 계 표

주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
2.1. 대차 경량·소형화 설계 및 제작 기술 개발	367,804,800	495,360,000	507,124,800	86,688,000	86,688,000	1,543,665,600
2.2. 첨단 소재 적용 대차 부품 경량화 기술 개발	193,190,400	294,739,200	411,768,000	69,350,400	87,926,400	1,056,974,400
2.3. 실차시험을 통한 첨단소재 적용 시제 차량 주요 부품 성능 평가	0	0	0	334,368,000	495,360,000	829,728,000
합 계	560,995,200	790,099,200	918,892,800	490,406,400	669,974,400	3,430,368,000

[서식 6] 주요 Activity별 연구기자재 및 시설비 산출표

연구시설 및 장비비

※ 사용용도
- 연구시설/장비의 설치/구입/임차에 관한 경비 및 관련 부대경비

※ 작성원칙
- 건당 3천만원 이상에 대해서는 상세내역을 작성
- 건당 3천만원 미만의 연구시설 및 장비비는 상세내역 생략하고 대략의 내용으로 작성
- 한 개 장비가 5억원 이상일 때 장비에 대한 기획보고서 제출
- 빈칸이 없을 경우, 칸을 추가하여 작성

ㅇ 연구시설 및 장비비 산출표 (A)

구 분	3천만원 이상	3천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	90,000,000	-	90,000,000	3천만원 이상 : (B) 작성 3천만원 미만 : (C) 작성
2차년도	-	-	-	
3차년도	-	40,000,000	40,000,000	
4차년도	50,000,000	-	50,000,000	
5차년도	50,000,000	-	50,000,000	
합계	190,000,000	40,000,000	230,000,000	

ㅇ 연구시설 및 장비비 산출내역 (B) - 3천만원 이상 장비

주요 Activity	연차	장비명	용도	비용(원)	합계
2.1. 대차 경량·소형화 설계 및 제작 기술 개발	1차년도	복합소재 대차 구조물 제작용 신공정 장치	복합소재 대차 급속 성형기	90,000,000	90,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.2. 첨단 소재 적용 대차 부품 경량화 기술 개발	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.3. 실차시험을 통한 첨단 소재 적용 시제 차량 주요 부품 성능 평가	1차년도				100,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도	실차시험용 계측시스템	테스트 베드를 활용한 선로주행시험 데이터 측정용	50,000,000	
	5차년도	실차시험용 계측시스템 유지보수비	테스트 베드를 활용한 선로주행시험 데이터 측정용	50,000,000	

ㅇ 연구시설 및 장비비 산출내역 (C) – 3천만원 미만 장비

연차	주요내역	금액	합계
1차년도	-		
2차년도	-		0
3차년도	. 경량소형대차 가속도 데이터 센스	20,000,000	20,000,000
	. 경량소형대차 구조 및 피로시험 데이터 측정용 스트레인센스	20,000,000	20,000,000
4차년도			0
5차년도			0

[서식 7] 주요 Activity별 시작품제작비 산출표

시작품 제작비 산출표

※ 사용용도
- 시제품/시작품/시험설비 제작경비

※ 작성원칙
- 건당 1천만원 이상에 대해서는 상세내역을 작성
- 건당 1천만원 미만의 재료구입비는 상세내역 생략하고 대략의 내용으로 작성
- 빈칸이 없을 경우, 칸을 추가하여 작성

ㅇ 시작품 제작비 산출표 (A)

구 분	1천만원 이상	1천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	100,000,000	0	100,000,000	1천만원 이상 : (B) 작성 1천만원 미만 : (C) 작성
2차년도	950,000,000	0	950,000,000	
3차년도	1,500,000,000	0	1,500,000,000	
4차년도	450,000,000	0	450,000,000	
5차년도	-	0	-	
합계	3,000,000,000	-	3,000,000,000	

ㅇ 시작품 제작비 산출내역 (B) - 1천만원 이상 시작품 제작

주요 Activity	연차	시작품명	주요기능	비용(원)	합계
2.1. 대차 경량·소형화 설계 및 제작 기술 개발	1차년도				1,200,000,000
	2차년도	소형경량 구동모터	성능평가용	150,000,000	
		소형 감속기	성능평가용	150,000,000	
	3차년도	소형경량 대차 구조물	피로시험용	350,000,000	
		소형경량 구동모터	성능평가용	250,000,000	
		소형 감속기	성능평가용	200,000,000	
	4차년도	소형경량 완성대차 제작	철도차량 주행	100,000,000	
	5차년도				
2.2. 첨단 소재 적용 대차 부품 경량화 기술 개발	1차년도	복합소재 대차 성형성 검증모델 제작	성형성 평가용	100,000,000	1,750,000,000
	2차년도	경량 제동디스크	최적모델 도출용	200,000,000	
		경량 공기스프링	최적모델 도출용	150,000,000	
		복합소재 대차 공정 최적화모델 제작	성형성 평가용	300,000,000	
	3차년도	경량 제동디스크	성능시험용	200,000,000	
		경량 공기스프링	성능시험용	200,000,000	
		복합소재 대차 구조물	피로시험용	300,000,000	
	4차년도	경량 제동디스크	완성대차 장착용	100,000,000	
		경량 공기스프링	완성대차 장착용	100,000,000	
		복합소재 완성대차	실차시험용	100,000,000	
	5차년도				
2.3. 실차시험을 통한 첨단소재 적용 시제 차량 주요 부품 성능 평가	1차년도				50,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도	실차시험용 완성차 조립	성능측정	50,000,000	
	5차년도				

재료구입비 산출표

※ 사용용도
- 시약/재료 구입비 및 시험분석료, 전산처리/관리비

※ 작성원칙
- 건당 1천만원 이상에 대해서는 상세내역을 작성
- 건당 1천만원 미만의 재료구입비는 상세내역 생략하고 대략의 내용으로 작성
- 빈칸이 없을 경우, 칸을 추가하여 작성

ㅇ 재료구입비 산출표 (A)

구 분	1천만원 이상	1천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	977,800,212	0	977,800,212	
2차년도	1,343,004,265	0	1,343,004,265	
3차년도	1,010,795,887	0	1,010,795,887	
4차년도	154,698,740	0	154,698,740	
5차년도	863,716,378	0	863,716,378	
합계	4,350,015,482	-	4,350,015,482	

ㅇ 재료구입비 산출내역 (B) - 1천만원 이상 재료비

주요 Activity	연차	품목	용도	비용(원)	합계
2.1. 대차 경량·소형화 설계 및 제작 기술 개발	1차년도	소형경량 대차 개념 모델 도출	경량 대차 설계	277,800,212	2,480,804,477
		소형경량 구동 모터 개념 모델 도출	경량 감속기 설계	250,000,000	
		감속 구동장치 개념 모델 도출	경량 구동모터 설계	250,000,000	
	2차년도	소형경량 대차 기본상세 모델 도출	경량 대차 설계	393,004,265	
		소형경량 구동 모터 개념 모델 도출	경량 감속기 설계	300,000,000	
		감속 구동장치 개념 모델 도출	경량 구동모터 설계	300,000,000	
	3차년도	대차구조물 구조시험	경량 대차 구조물 구조 안전성 평가	610,000,000	
	4차년도	소형경량대차 주행동특성 시험	경량 대차 구조물 주행 안정성 평가	100,000,000	
	5차년도				
2.2. 첨단 소재 적용 대차 부품 경량화 기술 개발	1차년도	경량 제동디스크 소재별 특성평가	대차 부품 개발	50,000,000	1,005,494,627
		소형 복합소재 대차 개념설계	경량 대차 제작	100,000,000	
		경량 소형 공기스프링 개념 설계	대차 부품 개발	50,000,000	
	2차년도	유동해석		150,000,000	
		경량부품 부구조물 성능시험	부품별 성능시험	200,000,000	
	3차년도	경량부품 조립품에 대한 성능시험	조립체 성능시험	400,795,887	
	4차년도	실차시험용 차량 장착	실차시험용 조립	54,698,740	
	5차년도				
2.3. 실차시험을 통한 첨단소재 적용 시제 차량 주요 부품 성능 평가	1차년도				863,716,378
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도	테스트 베드를 활용한 실차시험		863,716,378	

여비 산출표

※ 사용용도
- 연구원의 국내외 출장여비 및 시내교통비

※ 작성원칙
- 여비는 연도별로 다음의 기준을 만족하면서 총액이 '5천만원 이하'가 되도록 작성
  · 인건비 1억원 미만 : 인건비의 12% 이하, 인건비 1억원~3억 : 인건비의 10%이하, 인건비 3억원 이상 : 인건비의 8%이하
- 연도별 여비가 기준을 만족하고 '5천만원 이하'로 추정될 경우 (A) 서식만 작성
- 연도별 여비가 기준을 초과하거나 여비 총액 '5천만원을 초과'하는 것으로 추정될 경우 (B)에 상세내역 작성

ㅇ 여비 총괄표 (A)

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	560,995,200	8%	44,879,616	
2차년도	790,099,200	6%	47,405,952	
3차년도	918,892,800	5%	45,944,640	
4차년도	490,406,400	8%	39,232,512	
5차년도	669,974,400	7%	46,898,208	
합계			224,360,928	

[서식 10] 수용비 및 수수료 산출표

수용비 및 수수료 산출표 (A)

※ 사용용도
- 과제와 직접 관련 있는 인쇄, 복사, 인하, 슬라이드 제작비, 공공요금, 제세공과금 및 수수료, 사무용품비, 연구환경 유지를 위한 기기/부품의 구입/유지 비용 등

※ 작성원칙
- 수용비 및 수수료는 연도별로 다음의 기준에 따라 작성
  · 인건비 1억원 미만 : 인건비의 12% 이하, 인건비 1억원~3억 : 인건비의 9% 이하, 인건비 3억원 이상 : 인건비의 6% 이하
- 수용비 수수료는 기준을 초과하여 작성할 수 없음

ㅇ 수용비 및 수수료 총괄표 (A)

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	560,995,200	6%	33,659,712	수용비 수수료는 기준을 초과하여 작성할 수 없음
2차년도	790,099,200	6%	47,405,952	
3차년도	918,892,800	6%	55,133,568	
4차년도	490,406,400	6%	29,424,384	
5차년도	669,974,400	6%	40,198,464	
합계	3,430,368,000		205,822,080	

[서식 11] 기술정보활동비 산출표

기술정보활동비 산출표

※ 사용용도
- 전문가 활용, 국내외 교육훈련, 기술정보수집비, 도서 등 문헌구입비, 회의비 세미나 개최비, 학회/세미나 참가비, 원고료, 통역료, 속기료, 기술도입비, 특허정보조사비, 해당 연구개발과제 수행과 관련된 식대 등

※ 작성원칙
- 기술정보활동비는 연도별로 다음의 기준을 만족하면서 연도별 총액이 '5천만원 이하'가 되도록 작성
  · 인건비 1억원 미만 : 인건비의 15%, 인건비 1억원~3억 : 인건비의 13%, 인건비 3억원 이상 : 인건비의 11%
- 연도별 기술정보활동비가 기준을 만족하고 '5천만원 이하'로 추정될 경우 (A) 서식만 작성
- 연도별 기술정보활동비가 기준을 초과하거나 기술정보활동비 총액이 '5천만원을 초과'하는 것으로 추정될 경우 (B)에 상세내역 작성

ㅇ 기술정보활동비 총괄표 (A)

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	560,995,200	8%	44,879,616	
2차년도	790,099,200	6%	47,405,952	
3차년도	918,892,800	5%	45,944,640	
4차년도	490,406,400	10%	49,040,640	
5차년도	669,974,400	7%	46,898,208	
합계	3,430,368,000		234,169,056	

[서식 12] 연구수당 산출표

연구수당 산출표

※ 사용용도
- 해당 과제 수행과 관련된 연구책임자 및 참여연구원의 보상금/장려금 지급을 위한 수당

※ 작성원칙
- 연도별 인건비의 15% 이하로 작성
- 연도별 인건비의 15%를 초과하여 작성할 수 없음

Activity 단위	인건비총합	비율	비용(원)	비 고
1차년도	560,995,200	15%	84,149,280	
2차년도	790,099,200	15%	118,514,880	
3차년도	918,892,800	15%	137,833,920	
4차년도	490,406,400	15%	73,560,960	
5차년도	669,974,400	15%	100,496,160	
합계	3,430,368,000		514,555,200	

[서식 13] 직접비집계표

직 접 비 집 계 표

(2세부과제) 세부과제명 : 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술 개발 [단위 : 원]

세 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	비율 (%)
연구장비 /재료비	연구시설 및 장비비	90,000,000	-	40,000,000	50,000,000	50,000,000	230,000,000	3%
	시작품제작비	100,000,000	950,000,000	1,500,000,000	450,000,000	-	3,000,000,000	35%
	재료비	977,800,212	1,343,004,265	1,010,795,887	154,698,740	863,716,378	4,350,015,482	50%
연구활동비	여비	44,879,616	47,405,952	45,944,640	39,232,512	46,898,208	224,360,928	3%
	수용비및수수료	33,659,712	47,405,952	55,133,568	29,424,384	40,198,464	205,822,080	2%
	기술정보활동비	44,879,616	47,405,952	45,944,640	49,040,640	46,898,208	234,169,056	3%
연구수당		84,149,280	47,405,952	137,833,920	73,560,960	100,496,160	443,446,272	5%
합계		1,375,368,436	2,482,628,073	2,835,652,655	845,957,236	1,148,207,418	8,687,813,818	100%

[서식 14] 간접비 집계표

간접비 집계표

※ 사용용도
- 행정지원 인력 등 인력지원비, 기관 공통지원경비, 사업단/연구단 운영비, 연구실 안전관리비, 연구보안관리지, 연구윤리활동비, 연구개발준비금, 지재권 출원/등록비, 과제 홍보 경비 등

※ 작성원칙
- 년도별 인건비, 직접비 총합의 10% 이하로 작성
- 년도별 인건비, 직접비 합의 10%를 초과하여 작성할 수 없음

[단위 : 원]

연도	인건비+직접비	비율	금 액	비 고
1차년도	1,936,363,636	10%	193,636,364	인건비+직접비의 10% 이하
2차년도	3,272,727,273	10%	327,272,727	
3차년도	3,754,545,455	10%	375,454,546	
4차년도	1,336,363,636	10%	133,636,364	
5차년도	1,818,181,818	10%	181,818,182	
합계			1,211,818,182	

[서식 15] 연구비 총괄표

2세부과제 연구비 총괄표

(2세부과제) 세부과제명 : 첨단소재 적용 도시철도차량 대차 및 부품 경량화 기술 개발 [단위 : 원]

비 목			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	비 고
1) 인건비	내/외부 인건비		560,995,200	790,099,200	918,892,800	490,406,400	669,974,400	3,430,368,000	26%	
2) 직접비	연구장비 재료비	연구기자재및시설비	90,000,000	0	40,000,000	50,000,000	50,000,000	230,000,000	2%	
		시작품 제작비	100,000,000	950,000,000	1,500,000,000	450,000,000	0	3,000,000,000	23%	
		재료비	977,800,212	1,343,004,265	1,010,795,887	154,698,740	863,716,378	4,350,015,482	33%	
	연구 활동비	여비	44,879,616	47,405,952	45,944,640	39,232,512	46,898,208	224,360,928	2%	
		수용비및수수료	33,659,712	47,405,952	55,133,568	29,424,384	40,198,464	205,822,080	2%	
		기술정보활동비	44,879,616	47,405,952	45,944,640	49,040,640	46,898,208	234,169,056	2%	
	연구수당		84,149,280	47,405,952	137,833,920	73,560,960	100,496,160	443,446,272	3%	
3) 간접비			193,636,364	327,272,727	375,454,546	133,636,364	181,818,182	1,211,818,182	9%	
4)	합 계		2,130,000,000	3,600,000,000	4,130,000,001	1,470,000,000	2,000,000,000	13,330,000,000	100%	1)+2)+3)

3. 세부과제

첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발

[서식 3] 인건비 기준표

인건비 기준표

※ 작성원칙
- 해당 과제 참여연구원의 인건비 기준단계 산정을 목적으로 작성하는 것으로 월기준 단가는 대학 조교수급 기준 4,300,000원으로 작성
(기준단가는 2011년도 회계예규 "예정가격작성기준" 학술연구용역 인건비기준단가의 대학 조교수 수준 참고)
- 과제난이도, 기술준비도에 따라 증액률, 확장률를 결정하여 예시와 같이 √로 표기
- 월기준 단가 4,300,000원은 임의로 바꿀수 없음

[단위 : 원]

① 월기준 단가	② 증 액 률	③ 확 장 율	④ 기 본 급 (①x②x③)	비 고
4,300,000	120%	100%	5,160,000	

과제 난이도	인건비 증액율(%)	증액률 산정 결과(%)
세계 선도의 최초기술 연구	130%	
세계 최고와 동일한 수준의 연구	120%	√
국내 최고수준의 기술	110%	
국내 자립기술	100%	

기술준비도 수준	인건비 산정 범위(%)	③ 확장 인건비(%)
기초연구	110%	
응용연구	100%	√
개발연구	120%	

[서식 4] 주요 Activity별 인건비산출표

인건비산출표

※ 사용용도
- 연구원이 해당 과제에 참여시 지급되는 내외부 인건비

※ 작성원칙
- 연차별 소요인원수, 참여개월수, 참여율로 man·month 산출 후 <서식3>에서 도출한 인건비 기준을 곱하여 연차별 인건비 도출
- 연차별 인건비는 activity별로 산출

주요 Activity	연도	① 인원수	② 참여개월수	③ 참여율	④ M/M 산출 (①x②x③)	주1) ⑤ 실질월단가	⑥ 금 액 (④x⑤)	비 고
3.1 의장/내장 적용을 위한 난연 마그네슘합금 제조기술 개발	1차년도	4	12	80%	38.4	5,160,000	198,144,000	
	2차년도	5	12	84%	50.4	5,160,000	260,064,000	
	3차년도	5	12	88%	52.8	5,160,000	272,448,000	
	4차년도	1	12	70%	8.4	5,160,000	43,344,000	
	5차년도	1	12	55%	6.6	5,160,000	34,056,000	
3.2 의장/내장 부품 적용기술 개발	1차년도	7	12	79%	66.4	5,160,000	342,417,600	
	2차년도	7	12	81%	68.0	5,160,000	351,086,400	
	3차년도	8	12	88%	84.5	5,160,000	435,916,800	
	4차년도	3	12	70%	25.2	5,160,000	130,032,000	
	5차년도	2	12	80%	19.2	5,160,000	99,072,000	
3.3 실차시험을 통한 성능 평가기술 개발	1차년도			25%	0.0	5,160,000	0	
	2차년도			25%	0.0	5,160,000	0	
	3차년도			25%	0.0	5,160,000	0	
	4차년도	3	12	80%	28.8	5,160,000	148,608,000	
	5차년도	3	12	85%	30.6	5,160,000	157,896,000	

[서식 5] 주요 Activity별 인건비산출표

인 건 비 집 계 표

주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
3.1 의장/내장 적용을 위한 난연 마그네슘합금 제조기술 개발	198,144,000	260,064,000	272,448,000	43,344,000	34,056,000	808,056,000
3.2 의장/내장 부품 적용기술 개발	342,417,600	351,086,400	435,916,800	130,032,000	99,072,000	1,358,524,800
3.3 실차시험을 통한 성능 평가기술 개발	0	0	0	148,608,000	157,896,000	306,504,000
합 계	540,561,600	611,150,400	708,364,800	321,984,000	291,024,000	2,473,084,800

[서식 6] 주요 Activity별 연구기자재 및 시설비 산출표

연구시설 및 장비비

※ 사용용도
- 연구시설/장비의 설치/구입/임차에 관한 경비 및 관련 부대경비

※ 작성원칙
- 건당 3천만원 이상에 대해서는 상세내역을 작성
- 건당 3천만원 미만의 연구시설 및 장비비는 상세내역 생략하고 대략의 내용으로 작성
- 한 개 장비가 5억원 이상일 때 장비에 대한 기획보고서 제출
- 빈칸이 없을 경우, 칸을 추가하여 작성

ㅇ 연구시설 및 장비비 산출표 (A)

구 분	3천만원 이상	3천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	70,000,000	55,000,000	125,000,000	3천만원 이상 : (B) 작성 3천만원 미만 : (C) 작성
2차년도	300,000,000	70,000,000	370,000,000	
3차년도	-	25,000,000	25,000,000	
4차년도	-	-	-	
5차년도	-	-	-	
합계	370,000,000	150,000,000	520,000,000	

ㅇ 연구시설 및 장비비 산출내역 (B) - 3천만원 이상 장비

주요 Activity	연차	장비명	용도	비용(원)	합계
3.2 의장/내장 부품 적용기술 개발	1차년도	액상접합설비	압출재 접합	70,000,000	370,000,000
	2차년도	고상접합설비	압출재 접합	150,000,000	
		압출재 성형설비	압출재 성형	150,000,000	
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				

ㅇ 연구시설 및 장비비 산출내역 (C) - 3천만원 미만 장비

연차	주요내역	금액	합계
1차년도	- 압출기 관련 설비	25,000,000	55,000,000
	- 압출금형	20,000,000	
	- 액상접합설비 설치비	10,000,000	
2차년도	- 용해로 관련 설비	20,000,000	70,000,000
	- 압출금형	25,000,000	
	- 고상접합설비 설치비	10,000,000	
	- 압출재 성형설비 설치비	15,000,000	
3차년도	- 모듈화 관련 설비	25,000,000	25,000,000
4차년도			0
5차년도			0

[서식 7] 주요 Activity별 시작품제작비 산출표

시작품 제작비 산출표

※ 사용용도
- 시제품/시작품/시험설비 제작경비

※ 작성원칙
- 건당 1천만원 이상에 대해서는 상세내역을 작성
- 건당 1천만원 미만의 재료구입비는 상세내역 생략하고 대략의 내용으로 작성
- 빈칸이 없을 경우, 칸을 추가하여 작성

ㅇ 시작품 제작비 산출표 (A)

구 분	1천만원 이상	1천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	-	0	-	1천만원 이상 : (B) 작성 1천만원 미만 : (C) 작성
2차년도	-	0	-	
3차년도	55,000,000	0	55,000,000	
4차년도	95,000,000	0	95,000,000	
5차년도	-	0	-	
합계	150,000,000	-	150,000,000	

ㅇ 시작품 제작비 산출내역 (B) - 1천만원 이상 시작품 제작

주요 Activity	연차	시작품명	주요기능	비용(원)	합계
3.2 의장/내장 부품 적용기술 개발	1차년도				55,000,000
	2차년도				
	3차년도	승객용 의자 시제품	승객용 의자	25,000,000	
		중천정 구조물 구성 부품 시제품	Air conditioning	30,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
3.3 실차시험을 통한 성능 평가기술 개발	1차년도				95,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도	승객용 의자 모듈		40,000,000	
		중천전 구조물 모듈		55,000,000	
	5차년도				

재료구입비 산출표

※ 사용용도
- 시약/재료 구입비 및 시험분석료, 전산처리/관리비

※ 작성원칙
- 건당 1천만원 이상에 대해서는 상세내역을 작성
- 건당 1천만원 미만의 재료구입비는 상세내역 생략하고 대략의 내용으로 작성
- 빈칸이 없을 경우, 칸을 추가하여 작성

○ 재료구입비 산출표 (A)

구 분	1천만원 이상	1천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	210,000,000	288,066,972	498,066,972	
2차년도	235,000,000	200,199,092	435,199,092	
3차년도	180,000,000	612,514,810	792,514,810	
4차년도	330,000,000	36,533,149	366,533,149	
5차년도	200,000,000	28,930,036	228,930,036	
합계	1,155,000,000	1,166,244,059	2,321,244,059	

○ 재료구입비 산출내역 (B) - 1천만원 이상 재료비

주요 Activity	연차	품목	용도	비용(원)	합계
3.1 의장/내장 적용을 위한 난연 마그네슘합금 제조기술 개발	1차년도	Pure Mg Ingot	난연 합금 제조	50,000,000	320,000,000
		합금 원소	난연 합금 제조	25,000,000	
		난연 합금 특성 평가	난연 합금 특성 평가	30,000,000	
	2차년도	Pure Mg Ingot	난연 합금 제조	50,000,000	
		합금 원소	난연 합금 제조	25,000,000	
		난연 합금 특성 평가	난연 합금 특성 평가	30,000,000	
	3차년도	합금 원소	난연 합금 제조	25,000,000	
		난연 합금 특성 평가	난연 합금 특성 평가	30,000,000	
	4차년도	합금 원소	난연 합금 제조	25,000,000	
		난연 합금 특성 평가	난연 합금 특성 평가	30,000,000	
	5차년도				
3.2 의장/내장 부품 적용기술 개발	1차년도	상용 합금 빌렛	압출재 제조	50,000,000	560,000,000
		압출재 특성 평가	압출재 특성 평가	25,000,000	
		접합부 특성 평가	접합부 특성 평가	30,000,000	
	2차년도	난연 합금 빌렛	압출재 제조	75,000,000	
		압출재 특성 평가	압출재 특성 평가	25,000,000	
		접합부 특성 평가	접합부 특성 평가	30,000,000	
	3차년도	난연 합금 빌렛	압출재 제조	75,000,000	
		부품 성능 평가	부품 성능 평가	50,000,000	
	4차년도	난연 합금 빌렛	압출재 제조	75,000,000	
		부품 성능 평가	부품 성능 평가	50,000,000	
	5차년도	난연 합금 빌렛	압출재 제조	75,000,000	
3.3 실차시험을 통한 성능 평가기술 개발	1차년도				275,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도	모듈 부품 성능 평가	모듈 부품 성능 평가	150,000,000	
	5차년도	실차 주행성능 평가	실차 주행성능 평가	125,000,000	

여비 산출표

※ 사용용도
- 연구원의 국내외 출장여비 및 시내교통비

※ 작성원칙
- 여비는 연도별로 다음의 기준을 만족하면서 총액이 '5천만원 이하'가 되도록 작성
  · 인건비 1억원 미만 : 인건비의 12% 이하, 인건비 1억원~3억 : 인건비의 10%이하, 인건비 3억원 이상 : 인건비의 8%이하
- 연도별 여비가 기준을 만족하고 '5천만원 이하'로 추정될 경우 (A) 서식만 작성
- 연도별 여비가 기준을 초과하거나 여비 총액 '5천만원을 초과'하는 것으로 추정될 경우 (B)에 상세내역 작성

ㅇ 여비 총괄표 (A)

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	540,561,600	8.0%	43,244,928	
2차년도	611,150,400	8.0%	48,892,032	
3차년도	708,364,800	6.5%	46,043,712	
4차년도	321,984,000	8.0%	25,758,720	
5차년도	291,024,000	8.0%	23,281,920	
합계			187,221,312	

[서식 10] 수용비 및 수수료 산출표

수용비 및 수수료 산출표 (A)

※ 사용용도
- 과제와 직접 관련 있는 인쇄, 복사, 인하, 슬라이드 제작비, 공공요금, 제세공과금 및 수수료, 사무용품비, 연구환경 유지를 위한 기기/부품의 구입/유지 비용 등

※ 작성원칙
- 수용비 및 수수료는 연도별로 다음의 기준에 따라 작성
  · 인건비 1억원 미만 : 인건비의 12% 이하, 인건비 1억원~3억 : 인건비의 9% 이하, 인건비 3억원 이상 : 인건비의 6% 이하
- 수용비 수수료는 기준을 초과하여 작성할 수 없음

ㅇ 수용비 및 수수료 총괄표 (A)

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	540,561,600	5%	27,028,080	수용비 수수료는 기준을 초과하여 작성할 수 없음
2차년도	611,150,400	5%	30,557,520	
3차년도	708,364,800	5%	35,418,240	
4차년도	321,984,000	5%	16,099,200	
5차년도	291,024,000	5%	14,551,200	
합계	2,473,084,800		123,654,240	

[서식 11] 기술정보활동비 산출표

기술정보활동비 산출표

※ 사용용도
- 전문가 활용, 국내외 교육훈련, 기술정보수집비, 도서 등 문헌구입비, 회의비 세미나 개최비, 학회/세미나 참가비, 원고료, 통역료, 속기료, 기술도입비, 특허정보조사비, 해당 연구개발과제 수행과 관련된 식대 등

※ 작성원칙
- 기술정보활동비는 연도별로 다음의 기준을 만족하면서 연도별 총액이 '5천만원 이하'가 되도록 작성
  · 인건비 1억원 미만 : 인건비의 15%, 인건비 1억원~3억 : 인건비의 13%, 인건비 3억원 이상 : 인건비의 11%
- 연도별 기술정보활동비가 기준을 만족하고 '5천만원 이하'로 추정될 경우 (A) 서식만 작성
- 연도별 기술정보활동비가 기준을 초과하거나 기술정보활동비 총액이 '5천만원을 초과'하는 것으로 추정될 경우 (B)에 상세내역 작성

ㅇ 기술정보활동비 총괄표 (A)

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	540,561,600	9%	48,650,544	
2차년도	611,150,400	8%	48,892,032	
3차년도	708,364,800	7%	49,585,536	
4차년도	321,984,000	11%	35,418,240	
5차년도	291,024,000	12%	34,922,880	
합계	2,473,084,800		217,469,232	

[서식 12] 연구수당 산출표

연구수당 산출표

※ 사용용도
- 해당 과제 수행과 관련된 연구책임자 및 참여연구원의 보상금/장려금 지급을 위한 수당

※ 작성원칙
- 연도별 인건비의 15% 이하로 작성
- 연도별 인건비의 15%를 초과하여 작성할 수 없음

Activity 단위	인건비총합	비율	비용(원)	비 고
1차년도	540,561,600	15%	81,084,240	
2차년도	611,150,400	15%	91,672,560	
3차년도	708,364,800	15%	106,254,720	
4차년도	321,984,000	15%	48,297,600	
5차년도	291,024,000	15%	43,653,600	
합계	2,473,084,800	15%	370,962,720	

[서식 13] 직접비집계표

직 접 비 집 계 표

(3세부과제) 세부과제명 : 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발 [단위 : 원]

세 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	비율 (%)
연구장비/재료비	연구시설 및 장비비	125,000,000	370,000,000	25,000,000	-	-	520,000,000	13.4%
	시작품제작비	-	-	55,000,000	95,000,000	-	150,000,000	3.9%
	재료비	498,066,972	435,199,092	792,514,810	366,533,149	228,930,036	2,321,244,059	59.7%
연구활동비	여비	43,244,928	48,892,032	46,043,712	25,758,720	23,281,920	187,221,312	4.8%
	수용비및수수료	27,028,080	30,557,520	35,418,240	16,099,200	14,551,200	123,654,240	3.2%
	기술정보활동비	48,650,544	48,892,032	49,585,536	35,418,240	34,922,880	217,469,232	5.6%
연구수당		81,084,240	91,672,560	106,254,720	48,297,600	43,653,600	370,962,720	9.5%
합계		823,074,764	1,025,213,236	1,109,817,018	587,106,909	345,339,636	3,890,551,563	100.0%

[서식 14] 간접비 집계표

간접비 집계표

※ 사용용도
- 행정지원 인력 등 인력지원비, 기관 공통지원경비, 사업단/연구단 운영비, 연구실 안전관리비, 연구보안관리지, 연구윤리활동비, 연구개발준비금, 지재권 출원/등록비, 과제 홍보 경비 등

※ 작성원칙
- 년도별 인건비, 직접비 총합의 10% 이하로 작성
- 년도별 인건비, 직접비 합의 10%를 초과하여 작성할 수 없음

[단위 : 원]

연도	인건비+직접비	비율	금 액	비 고
1차년도	1,363,636,364	10%	136,363,636	인건비+직접비의 10% 이하
2차년도	1,636,363,636	10%	163,636,364	
3차년도	1,818,181,818	10%	181,818,182	
4차년도	909,090,909	10%	90,909,091	
5차년도	636,363,636	10%	63,636,364	
합계			636,363,637	

[서식 15] 연구비 총괄표

3세부과제 연구비 총괄표

(3세부과제) 세부과제명 : 첨단소재 적용 도시철도차량 의장/내장 부품 경량화 기술개발 [단위 : 원]

비 목			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	비 고
1) 인건비	내/외부 인건비		540,561,600	611,150,400	708,364,800	321,984,000	291,024,000	2,473,084,800	35.3%	
2) 직접비	연구장비 재료비	연구기자재및시설비	125,000,000	370,000,000	25,000,000	0	0	520,000,000	7.4%	
		시작품 제작비	0	0	55,000,000	95,000,000	0	150,000,000	2.1%	
		재료비	498,066,972	435,199,092	792,514,810	366,533,149	228,930,036	2,321,244,059	33.2%	
	연구 활동비	여비	43,244,928	48,892,032	46,043,712	25,758,720	23,281,920	187,221,312	2.7%	
		수용비및수수료	27,028,080	30,557,520	35,418,240	16,099,200	14,551,200	123,654,240	1.8%	
		기술정보활동비	48,650,544	48,892,032	49,585,536	35,418,240	34,922,880	217,469,232	3.1%	
	연구수당		81,084,240	91,672,560	106,254,720	48,297,600	43,653,600	370,962,720	5.3%	
3) 간접비			136,363,636	163,636,364	181,818,182	90,909,091	63,636,364	636,363,637	9.1%	
4)	합 계		1,500,000,000	1,800,000,000	2,000,000,000	1,000,000,000	700,000,000	7,000,000,000	100.0%	1)+2)+3)