

18RDPP  
-C150538  
-01

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( )발간등록번호( )

국토교통연구기획사업 최종보고서

R&D /18RDPP-C150538-01

# 수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 기획 최종보고서

2019. 11. 30.

주관연구기관 / 한국교통안전공단  
협동연구기관 / 한국가스안전공사  
협동연구기관 / 위즐리앤컴퍼니(주)

수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 기획 최종보고서

2019

국토교통과학기술진흥원  
국토교통부

국토교통부  
국토교통과학기술진흥원

**본 페이지는 편집상 여백입니다.**

## 제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 기획’(연구개발 기간 : 2018. 12. 01. ~ 2019. 11. 30.)  
과제의 최종보고서 2부를 제출합니다.

2019. 11. 30.

주관연구기관명 : 한국교통안전공단	권 병 운	(인)
협동연구기관명 : 한국가스안전공사	문 종 삼	(인)
협동연구기관명 : 위즐리앤컴퍼니(주)	위 정 식	(인)

주관연구기관책임자: 김 시 우  
협동연구기관책임자: 조 성 민  
위 정 식

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에  
동의합니다.

**본 페이지는 편집상 여백입니다.**

## 보고서 요약서

과제 고유 번호	18RDPP -C150538-01	해당 단계 연구 기간	2018.12.01. ~ 2019.11.30.	단계구분	1/1
연구사업명	중사업명	국토교통연구기획사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대과제명	수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 기획			
	세부과제명	-			
연구책임자	해당단계 참여연구원 수	총: 14 명 내부: 14 명 외부:    명	해당단계 연구비	정부: 143,000 천원 민간:           천원 정부외:       천원 상대국:       천원 계: 143,000 천원	
	총 연구기간 참여연구원 수	총: 14 명 내부: 14 명 외부:    명	총 연구비	정부: 143,000 천원 민간:           천원 정부외:       천원 상대국:       천원 계: 143,000 천원	
연구기관명 및 소속 부서명	한국교통안전공단 자동차안전연구원 안전연구처		참여기업명	한국가스안전공사 위즐리앤컴퍼니(주)	
국제공동연구	상대국명:		상대국 연구기관명:		
위탁연구	연구기관명:		연구책임자:		

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과 의 보안등급 및 사유	일반
-----------------------------	----

### 9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

### 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약	보고서 면수 290
----	---------------

○ 연구기획 목적

2030 미래차 산업 발전전략 및 수소경제 활성화 로드맵에 따라 급속도로 보급될 수소버스의 운행 또는 사고 시 수소누출 최소화로 2차 사고(화재 및 폭발 등) 예방 및 다 동력원 병렬 구동시스템의 성능검증을 위한 수소버스 차량 및 부품 단위의 안전성 평가기술 및 장비개발을 위한 기획 연구

○ 연구기획 과제

- 수소버스 실도로 사고 및 고장 정보분석과 실도로 운행모니터링 기반 안전성 평가 시나리오 개발
- 수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발
- 수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발
- 수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개발
- 수소버스 내압용기 수소투과량/ 수소배출량 검사기술 및 검사장비 개발
- 수소버스 장착 내압용기 비파괴 검사기술 개발
- 대용량 수소내압용기 화재평가기술 및 장비개발
- 수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발(7종)
- 대용량 CHSS 평가기술(2건) 및 장비 개발(8종)
- 수소버스 관련 국내 기준 제·개정 및 국제기준 제안

○ 기대효과

- 수소버스 운행안전 확보에 따른 대국민 도로안전도 향상 및 신뢰도 상승에 따른 안정적 수소버스 보급 확대 기대
- 수소버스 안전성에 대한 명확한 방향을 제시하고, 수소버스 기술의 안전성 검증 기준 확보로 고상 수소버스, 중형수소버스 및 수소트럭 등의 국내 기술개발 확장성 기반 구축 기여
- 수소버스에 특화된 연료시스템 및 수소 핵심 부품의 안전성/내구성 검증기준 마련 등으로 내압용기 파열사고 예방 및 수소가스 누출 등으로 인한 2차사고 예방
- 수소버스의 선제적 안전기준 마련을 통한 안전성 확보와 국제사회에서의 기준주도권 확보로 글로벌 기준을 선도하여 세계기술기준(GTR13) 제·개정에 유리한 입장 선점과 미래차량에 대한 가이드라인 제공 관련 산업의 국제경쟁력 강화

## 요약문

### 연구의 목적 및 내용

#### ○ 연구의 목적

- 2030 미래차 산업 발전전략 및 수소경제 활성화 로드맵에 따라 급속도로 보급될 수소버스의 운행 또는 사고 시 수소누출 최소화로 2차 사고(화재 및 폭발 등) 예방 및 다 동력원 병렬 구동시스템의 성능검증을 위한 수소버스 차량 및 부품 단위의 안전성 평가기술 및 장비개발을 위한 기획 연구
- 세부 기획 연구의 목적은 다음과 같음
  - ① 수소버스의 실도로 운행정보 수집 및 사고/고장 데이터를 분석하여 수소버스에 대한 대표 사고/고장 시나리오를 개발하고, 이를 통하여 전복·충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발과 수소버스 관련 국내 법제도화 및 국제화 대응
  - ② 다중 동력원 병렬 구동시스템을 가진 수소버스의 출력을 확인할 수 있는 신개념 시스템 단위 출력 통합 평가기술 및 장비개발
  - ③ 수소버스의 운행안전성 향상을 위한 연료장치 검사기술과 이를 측정할 수 있는 장비를 개발하고, 수소내압용기의 비파괴 검사를 위한 검사 데이터베이스 구축 및 평가알고리즘 개발
  - ④ 수소버스 내압용기의 대용량화, 연료장치 시스템의 복잡성(모듈화) 등을 반영한 수소부품의 내구성 검증과 수소부품 기준의 국제화를 반영한 평가기술 및 평가장비 개발
- 이를 통해, 자동차제작사가 안전성이 향상된 수소버스 개발을 유도하고, 수소누출 등으로 인한 화재 및 폭발 등 위험사고 방지와 출력성능 검증 등 안전성 강화로 더욱 안전하게 수소버스를 이용할 수 있는 환경을 제공하여 국민의 생명과 재산을 보호하기 위함

#### ○ 연구 내용

- [1세부] 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 기준 법제화
  - 수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발
    - 수소버스 실도로 운행모니터링 및 상황정보(사고/고장 등) 기반 안전성 평가 시나리오 개발
  - 수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발
    - 수소버스 실차 전복시험 세부평가기술 및 해석 검증기술 개발
    - 수소버스 충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발
  - 수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화
    - 수소버스 평가 및 검사기준 국내법령 제/개정
    - 수소버스 평가기준 국제화 추진
- [2세부] 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발
  - 수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발
    - 수소버스 연료전지, 배터리, 모터 등 구동시스템 출력 통합 평가기술 개발
  - 수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개발
    - 수소버스 다 동력원 병렬 구동시스템 통합성능 평가장비 개발
- [3세부] 수소버스 운행차 안전성 검사기술 및 장비개발
  - 수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비개발
    - 수소버스 장착 내압용기 투과량 검사기술 개발
    - 수소버스 장착 내압용기 투과량 측정장비 개발

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소버스 수소배기 배출량 검사기술 및 장비개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 배기가스 수소 배출량 검사기술 개발</li> <li>- 수소버스 배기가스 수소 배출량 측정장비 개발</li> </ul> </li> <li>○ 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 내압용기 비파괴 검사 데이터베이스 구축</li> <li>- 수소버스 장착 내압용기 비파괴 평가알고리즘 및 평가기술 개발</li> </ul> </li> </ul> <p>[4세부] 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대용량 수소내압용기 특성을 반영한 화재평가기술 개발</li> <li>- 대용량 수소내압용기에 대한 화재평가를 할 수 있는 장비개발</li> </ul> </li> <li>○ 수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소부품 안전기준 국제화에 따른 평가장비 개발(7종) <ul style="list-style-type: none"> <li>· PRD 성능평가시험장비, 냉각수소 성능평가시험장비, 고압부품 수소반복시험장비, 고압부품 수소누출 시험장비, PRD 온도사이클 시험장비, Chattering 시험장비, 대형진동장비</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○ 대용량 CHSS(compressed Hydrogen Storage System) 평가기술 및 장비 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대용량 CHSS 유공압 연속시험 평가기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 유압 반복시험 세부평가기술 개발</li> <li>· 공압 축소시제 세부평가기술 개발</li> </ul> </li> <li>- 수소버스 대용량 CHSS 대응 국제기준 평가장비 개발(8종) <ul style="list-style-type: none"> <li>· 대용량 수압 파열시험장비, 대용량 저온평가장비, 대용량 고온평가장비, 대형용기 낙하시험장비, 수소가스 반복가압장비, 내압방폭형 수소극한온도 반복시험장비, 대형가스 투과성 시험장비, 대용량 대형 수압반복 장비</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 평가·검사기술(9건) <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 실차 전복시험 세부평가기술 및 해석 검증기술</li> <li>- 수소버스 충돌 시 연료장치 안전성 평가기술</li> <li>- 수소버스 장착 내압용기 투과량 검사기술</li> <li>- 수소버스 수소배기 배출량 검사기술</li> <li>- 수소버스 구동시스템 출력평가기술</li> <li>- 대용량 수소내압용기 화재평가기술</li> <li>- 대용량 CHSS 유압 반복시험 세부평가기술</li> <li>- 대용량 CHSS 공압 축소시제 세부평가기술</li> <li>- 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술</li> </ul> </li> <li>○ 평가·검사장비(19종) <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 연료장치 투과량 및 수소배기 배출량 검사장비</li> <li>- 수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비</li> <li>- 대용량 수소내압용기 화재평가장비</li> <li>- 수소부품 안전기준 국제화 평가장비(7종)</li> <li>- 수소버스 대용량 내압용기 대응 국제기준 평가장비(8종)</li> </ul> </li> <li>○ 수소버스 관련 국내기준 개정 제안 9건</li> <li>○ 수소버스 관련 세계기술기준 국제회의 제안 보고서 4건</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ R&amp;D 연구에 따른 특허, 논문 등</li> <li>○ 연구개발기간 및 소요예산 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1세부과제: 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 기준 법제화 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 연구기간 : 2020 ~ 2023(4년)</li> <li>· 소요예산 : 86억원(정부출연금 : 64.5억원)</li> </ul> </li> <li>- 2세부과제: 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 연구기간 : 2020 ~ 2023(4년)</li> <li>· 소요예산 : 101.3억원(정부출연금 : 76억원)</li> </ul> </li> <li>- 3세부과제: 수소버스 운행차 안전성 검사기술 및 장비개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 연구기간 : 2020 ~ 2023(4년)</li> <li>· 소요예산 : 460억원(정부출연금 : 34.5억원)</li> </ul> </li> <li>- 4세부과제: 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 연구기간 : 2020 ~ 2023(4년)</li> <li>· 소요예산 : 153억원(정부출연금 : 115억원)</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
--	---

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	본 기획과제에 따른 본과제 완료시				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 사회적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 차량 및 부품 단위 안전성 평가기술과 운행차 검사기술 제공으로 수소버스의 안전도가 향상되어 수소버스 교통사고 예방과 사고발생 시 피해 최소화</li> <li>- 미래형자동차 관련 기술 개발 및 상용화 촉진에 기여함으로써 정부 정책 목표인 수소사회가 구현된 교통선진국에 진입</li> </ul> </li> <li>○ 경제적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 비용과 편익을 종합하여 비용편익 비율(B/C Ratio)을 추정한 결과, 1.49 로 계산되었으며, B/C 비율이 경제성 분석의 기준인 1을 초과하므로 본 과제의 경제성은 확보한 것으로 분석됨</li> <li>※ 본 사업에 의한 편익발생기간은 2024년부터 2030년까지 7년을 기준으로 분석하였으며, 현재 가치 도출을 위한 사회적 할인율은 4.5%를 적용함</li> </ul> </li> <li>○ 기술적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 수소버스 및 부품 제작사의 기술경쟁력 강화</li> <li>- 수소버스 안전성 평가기술 확보 및 인프라 개발과 안전성 강화 관련 정책결정의 기초 기술자료 제공</li> <li>- 수소버스 차량, 부품 및 시스템 단위 안전 성능을 개선할 수 있는 방향성 제시로 안전성을 향상 시킬 수 있는 원천 기술 개발을 유도</li> </ul> </li> </ul>				

국문핵심어 (5개 이내)	수소버스	안전성	평가기술	검사기술	평가장비
영문핵심어 (5개 이내)	Hydrogen Fuel cell Bus	Safety	Evaluation	Inspection	Test device

# < 목 차 >

<b>제1장 기술의 정의 및 필요성</b> .....	1
1절 기술의 정의 및 분류체계 .....	1
1. 기술의 정의 .....	1
2. 기술의 분류체계 .....	6
2절 연구개발의 배경 및 필요성 .....	12
1. 연구과제의 배경 .....	12
2. 연구과제의 필요성 .....	14
<b>제2장 국내외 동향 및 환경분석</b> .....	22
1절 국내외 정책 동향 .....	22
1. 국내외 수소사회 관련 정책 동향 .....	22
2. 국내외 수소평가 평가기술 제도화 및 국제화 동향 .....	35
2절 국내외 시장동향 .....	61
1. 국내외 수소버스 시장동향 .....	61
2. 국내외 수소전기차 부품 산업 현황 .....	72
3절 국내외 기술 및 인증 동향 .....	74
1. 국내외 기술 동향 .....	74
2. 국내외 수소전기차 부품 기술 현황 .....	95
3. 인증동향 .....	98
4절 특허 및 논문 분석 .....	103
1. 특허동향 .....	103
2. 논문동향 .....	110
3. 종합결론 .....	110
5절 연구개발 인프라 분석 .....	113
1. 국내외 기술역량 분석 .....	113
2. R&D 인프라 현황 분석 .....	114
6절 유사과제분석 및 기존 연구와의 차별성 .....	121
7절 종합 분석 .....	123
<b>제3장 연구개발 과제 구성 및 추진전략</b> .....	128
1절 비전 및 목표 .....	128
1. 연구 비전 .....	128
2. 연구세부전략 .....	128
2절 기술수준 분석 및 수요조사 .....	131
1. 메가트렌드 분석 .....	131
2. 미래사회 이슈 및 니즈분석 .....	132

3. 미래 자동차 주요기술 .....	136
4. 수소연료전지 자동차의 미래기술 니즈 .....	140
5. 기술수요조사 .....	142
6. 우선순위 선정 .....	150
7. 우선순위 도출결과 .....	152
8. 기술개발에 따른 미래상 .....	158
3절 사업추진체계 .....	160
4절 세부과제별 주요내용,추진전략 및 성과활용 방안 .....	162
1. 추진전략 .....	162
2. 추진체계 검토 .....	164
3. 1세부과제 개요 : 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발과 기준국제화 .....	170
4. 2세부과제 개요 : 수소버스 운행차 평가검사기술 및 장비개발 .....	184
5. 3세부과제 개요 : 수소버스 운행차 검사기술 및 장비개발 .....	191
6. 4세부과제 개요 : 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발 .....	201
5절 성과관리 .....	214
1. 연구배경 및 필요성 .....	214
2. 성과관리 추진체계 .....	214
3. 성과물 검증방안 .....	214
<b>제4장 사전타당성 검토 .....</b>	<b>216</b>
1절 논리모형(Logic Model, As is/To be Model) .....	216
2절 정책적 타당성 .....	217
1. 관련 법령 부합성 .....	217
2. 국가정책 부합성 .....	217
3. 연구개발정책 부합성 .....	219
3절 기술적 타당성 .....	220
4절 경제적 타당성 .....	236
1. 분석방법 개요 .....	236
2. 비용 추정 .....	236
3. 편익 추정 .....	237
5절 자원투입계획 .....	240
1. 연구 일정에 따른 인력 투입 계획 .....	240
2. 전체 소요예산 .....	243
3. 세부과제별 소요예산 .....	244
<b>제5장 과제 제안요구서(RFP) .....</b>	<b>248</b>
<b>제6장 참고문헌 .....</b>	<b>259</b>
<b>[첨부 - 기술수요조사서] .....</b>	<b>261</b>

## <표>

<표 1-1> 국내기준 국제화에 따른 개발 필요 장비 .....	5
<표 1-2> CNG버스와 수소 전기버스 비교 .....	8
<표 1-3> 자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙 (91조 연료장치) .....	17
<표 1-4> 충돌 유형 분석 .....	20
<표 2-1> 수소전기차 충전소 보급 로드맵 .....	23
<표 2-2> 중국의 주요 수소차량 지원 및 개발 정책 .....	29
<표 2-3> 미국 ZEV 프로그램 주요 내용 .....	32
<표 2-4> 유럽 주요 국가 내연기관 판매 금지 검토 법안 .....	34
<표 2-5> 신규설계·제조 및 설계변경에 따른 검사 항목 .....	37
<표 2-6> 생산단계검사 항목 .....	38
<표 2-7> 연료공급 부품에 대한 인증 시험 항목 .....	39
<표 2-8> 시험기준 적용품목 .....	40
<표 2-9> 시험기준 .....	41
<표 2-10> GTR 13 Phase2 향후계획 .....	59
<표 2-11> 캘리포니아주 실증버스 현황 .....	65
<표 2-12> 캘리포니아 실증버스 운행 결과 .....	67
<표 2-13> 유럽의 수소전기차량 관련 실증사업 .....	68
<표 2-14> 국내 초고압 용기·부품 기업 목록 .....	72
<표 2-15> 현대자동차 투싼 ix 제원 .....	74
<표 2-16> 현대자동차 넥쏘 제원 .....	74
<표 2-17> 1세대 수소버스 제원 .....	76
<표 2-18> 2세대 수소버스 제원 .....	76
<표 2-19> 3세대 수소버스 제원 .....	77
<표 2-20> 현대자동차 수소트럭 제원 .....	77
<표 2-21> 혼다 클래리티 제원 .....	78
<표 2-22> Hino FCHV-BUS 제원 .....	79
<표 2-23> Toyota Fuel cell bus 제원 .....	80
<표 2-24> 도요타 3톤급 수소트럭 제원 .....	81
<표 2-25> 도요타 연료전지 지게차 제원 .....	81
<표 2-26> SAIC Roewe 950 fuel cell car 제원 .....	82
<표 2-27> Yutong fuel cell bus 제원 .....	83
<표 2-28> FEICHI의 양산용 수소버스 제원 .....	84
<표 2-29> Maxus V80 fuel cell van 제원 .....	85
<표 2-30> Dongfeng FCV Truck .....	85
<표 2-31> 이퀴녹스 FC 제원 .....	86
<표 2-32> New Flyer社 수소버스 제원 .....	87
<표 2-33> 니콜라社 컨셉카 제원 .....	88

<표 2-34> B-Class F-CELL 제원 .....	89
<표 2-35> GLC F-Cell 제원 .....	90
<표 2-36> Citaro FuelCELL-Hybrid 제원 .....	92
<표 2-37> VAN HOOL社 (ACT ZEBA) 제원 .....	92
<표 2-38> Van Hool社 A330 수소버스 제원 .....	93
<표 2-39> Wright社 VDL 200수소버스 제원 .....	93
<표 2-40> Solaris社 Urbino 수소버스 제원 .....	94
<표 2-41> ESORO COOP 제원 .....	94
<표 2-42> ASKO-SCANIA 제원 .....	95
<표 2-43> 수소내압용기 Type분류 .....	95
<표 2-44> 국내외 수소내압용기 기술 현황 .....	96
<표 2-45> 국내 개발 부품 및 제조사 현황 .....	97
<표 2-46> 일본 개발 부품 및 제조사 현황 .....	98
<표 2-47> 수소·CNG 자동차 및 충전소 관련 글로벌 시험·인증 기준 .....	98
<표 2-48> 세계 주요 시험·인증 기관 .....	99
<표 2-49> 일본 시험·인증기관 투자 현황 .....	100
<표 2-50> 해외 수소 내압용기 등 수소부품 시험·인증기관 현황 .....	101
<표 2-51> 초고압 용기 국내 시험 가능여부 현황 .....	102
<표 2-52> 기술트리, 기술범위 및 유효특허 건수 .....	103
<표 2-53> 핵심요소기술 특허중복성 분석 결과 .....	109
<표 2-54> 분석대상 핵심요소기술 리스트 .....	109
<표 2-55> 수소버스 특허중복성 분석결과 .....	112
<표 2-56> 현행 수소 내압용기 인증시험 기관(한국가스안전공사) .....	118
<표 2-57> 국내 안전기준기 세계기술수준(GTR13)으로 변경 시 신규 개발 평가장비 .....	119
<표 2-58> 유사과제 분석 결과 .....	121
<표 3-1> 주요국의 4차 산업혁명 대응현황 비교 .....	133
<표 3-2> 경량화 주요기술 .....	139
<표 3-3> 감성기술 발전 동향(한국자동차공학회) .....	140
<표 3-4> 수소연료전기차 미래기술 .....	141
<표 3-5> 수소연료전기차 가격 저감기술 .....	142
<표 3-6> 기술수요조사 대상 집단 별 조사방법 .....	144
<표 3-7> 기술수요조사서 작성방법 .....	145
<표 3-8> 우선순위 세부 평가항목 .....	151
<표 3-9> 우선순위 도출결과 .....	152
<표 3-10> 1차 최종 기획과제 .....	154
<표 3-11> 2차 최종 기획과제 .....	155
<표 3-12> 3차 최종 기획과제 .....	156
<표 3-13> 4차 최종 기획과제 .....	157
<표 3-14> 최종 기획과제 .....	157

<표 3-15> 추진 주체별 역할 및 기능 .....	161
<표 4-1> 수소경제 로드맵 .....	218
<표 4-2> 기획위원회 추진경과 .....	221
<표 4-3> 본 과제의 기술 개발 내용 .....	226
<표 4-4> 정책동향 및 기술수준 .....	227
<표 4-5> 연차별 예산배분 (단위 : 백만원) .....	236
<표 4-6> 수소버스 연간 내수 누적(단위 : 대수) .....	238
<표 4-7> 업체당 고압용기 국내외 인증비용 비교표(단위 : 천원) .....	239

## <그림>

<그림 1-1> 수소버스의 작동 원리 .....	1
<그림 1-2> 수소전기차 동력시스템 개념도 및 수소버스 구조도 .....	3
<그림 1-3> 수소버스 구동 시스템 출력성능 평가장비 개념도 및 설치 .....	3
<그림 1-4> 자동차안전연구원 내 설치된 구동전동기, 구동축전지, 연료전지,시스템 출력시험 시험장비 .....	3
<그림 1-5> 수소내압용기 화재 평가시험 .....	4
<그림 1-6> 수소전기차 구조 (표준연 , '17) .....	7
<그림 1-7> 수소버스 패키지 Layout .....	7
<그림 1-8> 수소전기차 주요 요소기술(한국산업기술평가관리원, '15) .....	7
<그림 1-9> 세대별 차량 주행거리 .....	8
<그림 1-10> 수소버스 주행 모드 .....	8
<그림 1-11> 수소버스 초고압 제품 주요 구성품 .....	9
<그림 1-12> 기존 자동차와 수소전기차 배기가스 비교 .....	13
<그림 1-13> 수소전기차 보급 계획 (산업통상자원부) .....	13
<그림 1-14> 수소전기차 기술 로드맵 .....	14
<그림 1-15> 수소버스 구동시스템 출력평가시험 개략도(안) .....	17
<그림 1-16> CNG 버스 누출 건수 .....	19
<그림 1-17> CNG 버스 사고 유형 .....	19
<그림 1-18> 대형교통사고 통계('18년) 및 사업용 승합차 차대차 및 차량단독 사고 중 사고발생유형 .....	20
<그림 1-19> '16년~'19년 국내, 해외 버스사고 사례 분석(단위 : 건수) .....	20
<그림 1-20> 버스 사고 발생 현황 (한국운수산업연구원,2014) .....	21
<그림 2-1> 친환경자동차 보급 목표(제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획) .....	22
<그림 2-2> 미세먼지 특별대책 세부이행계획 .....	23
<그림 2-3> 친환경차 및 충전인프라 확대계획 .....	24
<그림 2-4> 수소경제 활성화 3단계 추진전략 및 수소경제 활성화 추진 방향 .....	25
<그림 2-5> 수소전기차 및 수소충전소 보급 계획 .....	25
<그림 2-6> 수소 모빌리티 보급 계획 .....	27
<그림 2-7> 일본의 수소버스 보급목표 .....	28
<그림 2-8> 중국 수소전기차 보급 로드맵 .....	30
<그림 2-9> 무공해차 의무 판매 규제치 .....	30
<그림 2-10> 유럽(H2ME) 가입국 .....	33
<그림 2-11> 유럽 그린 존 .....	33
<그림 2-12> 유럽 수소버스 수요 전망 .....	34
<그림 2-13> '06년 독일 월드컵 실증사업 운행 .....	61
<그림 2-14> '18년 평창 동계올림픽 셔틀버스 운행 .....	61
<그림 2-15> 서울/울산 시내버스 실증사업 .....	62

<그림 2-16> 경력수송버스 .....	62
<그림 2-17> 쓰레기 수거차 .....	62
<그림 2-18> 실증사업(PHASE 1) .....	63
<그림 2-19> 실증사업(PHASE 2) .....	63
<그림 2-20> 실증사업(PHASE 3) .....	63
<그림 2-21> JHyM 설립으로 규격화된 수소충전소 구축 계획 .....	63
<그림 2-22> 도요타-세븐일레븐의 저탄소 프로젝트 개략도 .....	64
<그림 2-23> 수소버스(SORA) .....	64
<그림 2-24> 도요타 3톤급 수소트럭 .....	64
<그림 2-25> 캘리포니아 실증버스 운행 결과 .....	67
<그림 2-26> 캔워스 수소트럭 .....	68
<그림 2-27> 수소버스 실증 DATA 취득 개념도 및 모니터링 항목 .....	70
<그림 2-28> '17년 중국의 수소실증사업 .....	71
<그림 2-29> 청두 수소버스 .....	71
<그림 2-30> 수소버스(FEICHI社) .....	71
<그림 2-31> 포산시 도입 버스 .....	72
<그림 2-32> 상해 수소트럭운행 .....	72
<그림 2-33> 현대자동차 투싼ix .....	74
<그림 2-34> 현대자동차 넥쏘 .....	74
<그림 2-35> 현대자동차 수소버스 개발 로드맵 .....	75
<그림 2-36> 1세대 수소버스 .....	76
<그림 2-37> 2세대 수소버스 .....	76
<그림 2-38> 3세대 수소버스 .....	77
<그림 2-39> 수소트럭 .....	77
<그림 2-40> 도요타 미라이 생산현장 .....	77
<그림 2-41> 도요타 미라이 .....	78
<그림 2-42> 혼다 클래리티 .....	78
<그림 2-43> 클래리티 생산공장 .....	78
<그림 2-44> Hino FCHV-BUS .....	79
<그림 2-45> Toyota Fuel cell bus .....	80
<그림 2-46> 도요타 수소트럭 .....	81
<그림 2-47> 도요타 3톤급 수소트럭 .....	81
<그림 2-48> 도요타 연료전지 지게차 .....	81
<그림 2-49> SAIC Roewe 950 fuel cell car .....	82
<그림 2-50> 제조기업 지역현황 .....	82
<그림 2-51> 수소버스 생산기업 .....	82
<그림 2-52> FOTON社 수소버스 .....	83
<그림 2-53> FSQ6120FCEVG .....	84
<그림 2-54> FSQ6700FCEVG .....	84
<그림 2-55> FSQ6860FCEVG .....	84

<그림 2-56> FSQ6110FCEVG .....	84
<그림 2-57> Maxus V80 fuel cell van .....	85
<그림 2-58> Dongfeng FCV Truck .....	85
<그림 2-59> 오토노미 공개 공개현장(GM) .....	86
<그림 2-60> 이퀴녹스 FC .....	86
<그림 2-61> 배터리주도형 수소버스(Xcelsior CHARGE H2) .....	87
<그림 2-62> 니콜라社 컨셉카('21.출시예정) .....	88
<그림 2-63> B-Class F-CELL .....	88
<그림 2-64> 세계 최초 수소 PHEV : GLC F-Cell .....	89
<그림 2-65> Hydrogen Fuel Cell 시험차 .....	90
<그림 2-66> H-TRON 컨셉카 .....	91
<그림 2-67> 벤츠社 수소버스 .....	92
<그림 2-68> VAN HOOL社 (ACT ZEBA) .....	92
<그림 2-69> Van Hool社 A330 수소버스 .....	93
<그림 2-70> Wright社 VDL 200 수소버스 .....	93
<그림 2-71> Solaris社 Urbino 수소버스 .....	94
<그림 2-72> ESORO COOP .....	94
<그림 2-73> ASKO-SCANIA .....	95
<그림 2-74> 수소연료전지차 인증대상품 .....	96
<그림 2-75> 수소전기차 부품 적용형상 .....	97
<그림 2-76> 수소자동차 연관 부품(FCEV 부품) 실증 실적 .....	102
<그림 2-77> 주요 출원국 연도별 특허동향 .....	104
<그림 2-78> 주요 출원국의 기술시장 성장단계 분석 .....	105
<그림 2-79> 주요 출원인의 세부기술 출원 동향 .....	106
<그림 2-80> 세부기술 연도별 동향 .....	107
<그림 2-81> 세부기술별 IP 출원국 .....	108
<그림 2-82> 연도별 논문발표 동향 .....	110
<그림 2-83> 국내 수소버스 차량 단위 평가 시험장 .....	115
<그림 2-84> 대표적인 승용자동차 충돌시험장비 .....	115
<그림 2-85> 차량 전복시험 .....	115
<그림 2-86> 내압용기 차량모의시험 .....	115
<그림 2-87> 수소누출 탐지장비 .....	116
<그림 2-88> 연료전지 출력 시험장비 .....	116
<그림 2-89> 국내 수소버스 부품 단위 평가시험장 .....	117
<그림 2-90> SWOT분석을 통해 도출된 중점추진 연구방향 .....	127
<그림 3-1> 수소버스 안전성 평가기술 및 평가장비 개발의 비전 및 목표 .....	128
<그림 3-2> 2040년 세계 인구, GDP 성장 전망 (World Oil Outlook 2040, OPEC 2017년) .....	131
<그림 3-3> 1차 에너지 소비 전망(World Oil Outlook 2040, OPEC 2017년) .....	131

<그림 3-4> 자동차 산업의 변화 요소 (자동차산업 미래동향-현대자동차) .....	132
<그림 3-5> 미래 기술 메가 트렌드 .....	136
<그림 3-6> 자동차 동력원 별 주요 기술 (자동차산업의 미래기술전망 및 동향) .....	137
<그림 3-7> 자율주행 로드맵 (자동차산업의 미래기술전망 및 동향) .....	138
<그림 3-8> 첨단나노기술 기반 소재 기술 (자동차산업의 미래기술전망 및 동향) .....	139
<그림 3-9> 후보과제 Pool 도출(예시) .....	146
<그림 3-10> 우선순위 판단을 위한 AHP 모델 .....	151
<그림 3-11> 사업 추진체계 .....	160
<그림 3-12> 수소버스 안전성 평가기술 및 평가장비 개발 로드맵 .....	164
<그림 3-13> 수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 연구개념도 .....	164
<그림 3-14> 1세부 연구내용 .....	165
<그림 3-15> 2세부 연구내용 .....	165
<그림 3-16> 3세부 연구내용 .....	166
<그림 3-17> 4세부 연구내용 .....	166
<그림 3-18> 1세부 연구 개발 로드맵 .....	170
<그림 3-19> 2세부 연구 개발 로드맵 .....	184
<그림 3-20> 3세부 연구 개발 로드맵 .....	192
<그림 3-21> 4세부 연구 개발 로드맵 .....	202
<그림 3-22> 전문가 검증 프로세스 .....	215
<그림 4-1> 기획위원 추진체계 .....	218
<그림 4-2> 수소버스 2018 vs 2019 .....	235
<그림 4-3> 편익항목 도출과정 .....	237

본 페이지는 편집상 여백입니다.

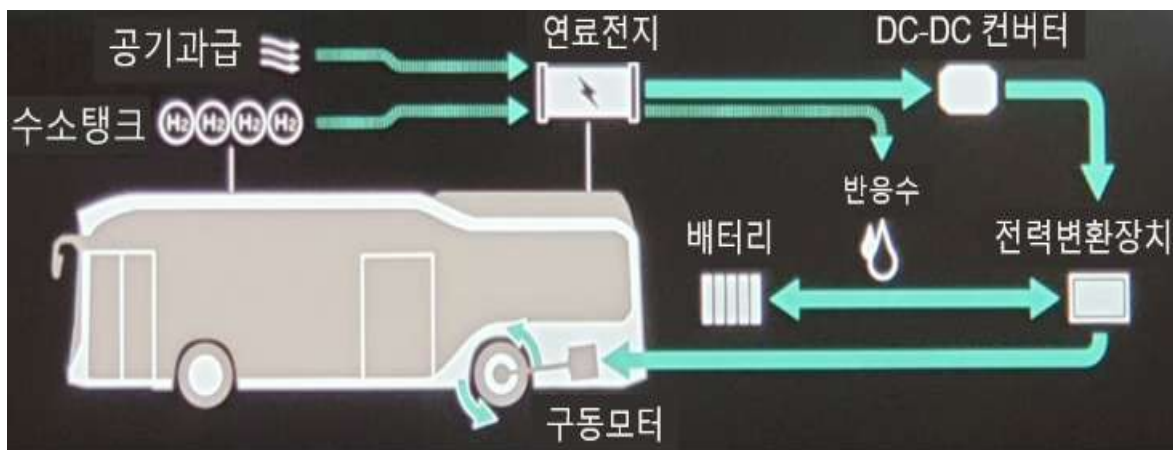
# 제1장 기술의 정의 및 필요성

## 제1절. 기술의 정의 및 분류체계

### 1. 기술의 정의

#### 가. 수소버스의 정의

- 수소버스는 전기자동차(Fuel Cell Electric Vehicle)의 한 분류로 수소와 산소의 화학적 반응을 통해 생산한 전기에너지를 동력원으로 사용하며 연료전지(Fuel Cell)와 배터리 또는 슈퍼 커패시터(SCF)를 함께 구성하여 구동 모터에 전력을 안정적으로 공급하는 오염물질 배출이 제로인 친환경 대형승합자동차를 의미함
- 수소버스는 전기버스와 달리 운행중에 연료전지를 작동시켜 전기를 생산하므로, 배터리 용량을 최소화 할 수 있으며, 가솔린이나 디젤, LPG 등 일반 내연기관과 비슷한 연료충전시간을 소요되고 있어 기존버스 대비 탈탄소화정책에 부응할 수 있는 최적의 상용차 기술임
- 전 세계적으로 교통 분야 탈탄소화에 대한 구체적 해답을 제공할 수 있는 대중교통수단임에 따라 각국 정부에서는 수소버스 보급 활성화 정책을 추진 중



<그림 1-1> 수소버스의 작동 원리

#### 나. 수소버스 안전성 평가·검사 기술 및 평가장비 개발의 정의

- 본 과제에서 정의하는 기술은 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스

기준 법제화(1세부), 수소버스 구동시스템 성능평가기술 및 장비개발(2세부), 수소버스 운행차 검사기술 및 장비개발(3세부) 및 수소부품 안전성 평가기술 및 부품평가장비 개발(4세부)이며, 각 개발 기술별 정의는 다음과 같음

## □ 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 기준 법제화

- 수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발
  - 수소버스를 운행하거나 운행할 예정인 지자체, 해당 운수업체와 협의를 통해 수소버스의 운행상태 및 사고상황 등을 점검할 수 있는 정보 수집 모니터링 협력체를 구축하고, 수집된 데이터 분석을 통해 수소버스 부품 등의 문제점과 개선사항 등을 관련 업계에 제공하며 사고 상황 및 사고 위험성 검토를 통해 충돌 등 안전성 평가를 위한 대표 시나리오를 개발하는 것임
- 수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발
  - 국제기준(GTR13, UN R134)에서는 수소버스에 대한 차량단위 안전성 평가기술이 규정되지 않아 전복이나 충돌사고 시 발생할 수 있는 연료장치 안전성에 대한 평가기술 및 세부방법 등이 부재하여,
  - 수소버스의 차량적 특성을 고려하고 실도로에서 발생 가능한 전복-충돌 등 사고 유형에서 연료장치 안전성을 검증할 수 있는 다양한 평가방법(실차시험, 해석시험 및 충돌모의시험 등)을 연구하여 최적 평가기술을 개발하는 것임
- 수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화
  - 수소버스 충돌, 구동시스템 출력, 운행차 검사 및 수소부품의 안전성 평가를 위해 국내외 법제도 현황분석과 대형화되는 수소전기차의 부재한 국제기준 제/개정을 위한 전문가 회의 참석을 통해 국내 안전기준 개정방향과 국제화 로드맵을 수립하며
  - 로드맵에 따라 연구 성과물을 국내 안전기준 및 국제기준 제안을 통해 제/개정을 추진하는 연구임

## □ 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발

- 수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발
  - 수소버스는 병렬형 구동전동기(전기모터), 대용량 구동축전지(배터리) 및 연료전지 간 연계 전력공급 등 구동시스템이 복합적인 체계로 구성됨에 따라 개별 출력성능을 평가하는 기존의 시험방법 대신에 실차모사의 시스템단위 출력을 평가

할 필요성이 존재하므로 통합 출력 평가기술과 세부 시험방법을 개발하는 것임



<그림 1-2> 수소전기차 구동시스템 개념도 및 수소버스 구조도

○ 수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개발

- 수소버스의 병렬형 구동전동기(전기모터) 및 대용량 구동축전지(배터리) 및 연료전지의 연계 전력 공급시스템의 통합 출력을 평가할 수 있는 장비를 개발하기 위하여 기존에 자동차안전연구원에 구축되어 있는 구동전동기 출력시험 장비, 연료전지 출력시험 장비, 구동축전지 출력시험장비 각각의 시험 장비 운영 기술을 반영하고, 이를 통합하여 구동 시스템 전체의 통합 출력을 평가할 수 있는 시험 장비 개발이 최종 목표임



<그림 1-3> 수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개념도



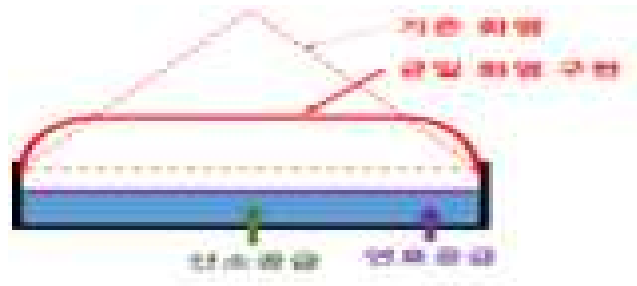
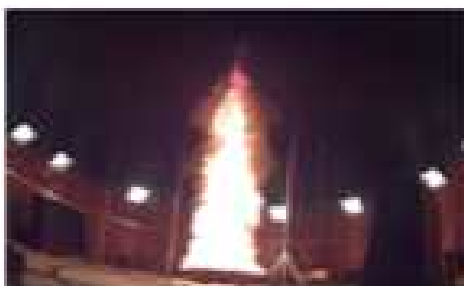
<그림 1-4> 자동차안전연구원 내 구동전동기, 구동축전지, 연료전지, 출력시험 시험장비

## □ 수소버스 운행차 검사기술 및 장비개발

- 수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비개발
  - 수소버스 운행안전성을 위한 정기검사에서 수소버스에 장착된 복합재 내압용기 (Type 4)의 허용 수소 투과량(0.005mg/sec)을 측정 및 판정할 수 있는 검사기술 과 검사장비를 개발하는 것임
- 수소버스 수소배기 배출량 검사기술 및 장비개발
  - 수소버스 운행차 정기검사에서 자동차안전기준에서 규정하고 있는 배기구 허용 수소농도(4~8%) 이하로 수소버스를 관리하기 위하여 수소버스에서 배출되는 수소가스 농도를 측정하기 위한 장비와 검사 세부시험조건 등을 개발하는 것을 의미함
- 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발
  - 장기간 운행에 따른 수소부품의 파손 등의 내구적 성능을 비파괴적인 방법으로 검사하는 수소부품 비파괴 검사기술을 운행차 검사환경을 고려하여 복합재 내압 용기(Type 4)가 장착된 상태에서 내압용기의 결함 등을 판단할 검사 데이터베이스 구축 및 판단 알고리즘 등 평가기술 개발연구를 의미함

## □ 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발

- 수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발
  - 현행 국제기준(GTR 13, UN R 134)에 규정되어 있는 수소내압용기의 폭발을 방지하기 위한 화재평가방법이 수소버스에 적용될 예정인 대용량 수소내압용기에는 적합하지 않아 이를 개선하기 위한 평가기술 및 장비개발을 의미함



<그림 1-5> 수소내압용기 화재평가시험

○ 수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발

- 수소전기차 관련 내압용기 안전기준이 세계기술기준(GTR 13)과 조화될 예정 (2020년 상반기 완료 예정)임에 따라 현재 인증기관 장비로는 수소내압용기 연속시험 등 국제기준 수준의 평가시험이 불가능하기 때문에 국제화된 규정에 따른 평가가 가능하도록 신규 장비 개발하는 것을 의미함

<표 1-1> 국내기준 국제화에 따른 개발 필요 장비

장비 명	1-①. PRD 성능평가 시스템	1-②. 가스성분분석 시험설비	1-③. 고압부품수소반복시험설비	
사진				
장비 명	2-①. 고압부품 수소리크 시험설비	2-②. PRD Thermal Cycle 시험장치	2-③. Chattering 시험장치	2-④. 대형 진동 시험설비
사진				

○ 대용량 CHSS 평가기술 및 장비개발

- 대용량 CHSS(compressed Hydrogen Storage System)에 대해 아직 미흡(유공압 연속시험 등)하거나 부재(진동내구시험 등)한 국제기준을 제·개정하기 위한 평가기술 및 평가장비를 개발하는 것을 의미함
- 「대용량 CHSS 유공압 연속시험 평가기술 개발」은 수소버스에 장착되어 장기간 사용되는 수소내압용기의 내구성능 확인을 위해 물을 이용한 유압과 수소가스를 이용한 공압의 충방전 반복을 통해 내구 안전성을 검증하는 시험인 유·공압 내구성능평가기술에서, 대용량 수소내압용기의 시험결과 성능저하 없도록 시험시간을 단축시키고 평가의 재현성 및 반복성 측면에서 개선을 위한 평가기술을 개발하는 것을 말함
- 「수소버스 대용량 내압용기 대응 국제기준 평가장비 개발」은 수소버스의 대용량 CHSS를 국제기준에 따라 평가하기 위해서는 현재 인증기관의 수소부품 평가장비 규격으로는 평가가 불가하여 이를 반영한 평가장비를 개발하는 것을 말함

## 2. 기술의 분류체계

□ 수소버스 안전성평가기술 및 장비개발을 위한 추진기술의 기술분류체계는 아래와 같이 구성됨

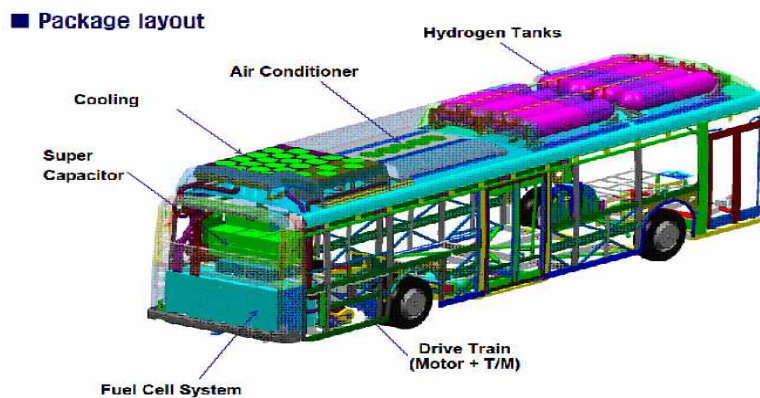
대분류	중분류	소분류	세부기술
수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발	A. 차량단위 안전성평가 기술 및 장비 개발	AA. 수소버스안전성 평가시나리오	AA1. 실도로 수소버스안전성 평가시나리오
			AA2. 수소버스 모니터링 시스템 기술
		AB. 충돌안전성	AB1. 전복 안전성평가기술
			AB2. 차량 충돌안전성평가기술
			AB3. 충돌모의평가(Sled)기술
			AB4. 해석평가기술
		AC. 출력성능	AC1. 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술
			AC2. 구동시스템 통합성능 평가장비개발 기술
		AD. 차량 화재 안전성	AD1. 차량 단위 전소 안전성평가기술
			AD2. 차량 단위 화재평가장비개발 기술
			AD3. 화재 안전장치 설치기준 기술
		AE. 수소가스 연료장치 안전성	AE1. 수소가스 차량내 유입량 평가기술
	AE2. 비상시 수소버스 차단 성능평가기술		
	B. 수소부품 단위 안전성 평가기술 및 장비개발	BA. 수소부품 안전성 평가시나리오	BA1. 수소부품 안전성 평가시나리오개발 기술
			BA2. 수소부품 고장/내구성능 모니터링 시스템 개발 기술
		BB. 수소내압용기 안전성	BB1. 대용량 수소내압용기 신규 평가기술
			BB2. 대용량 수소내압용기 신규 평가장비 개발기술
		BC. 내압용기 부착 수소부품 안전성	BC1. 수소부품 신규평가기술
			BC2. 수소부품 신규평가장비 개발기술
		BD. 내압용기 모듈 시스템 안전성	BD1. 내압용기 모듈시스템 신규평가기술
			BD2. 내압용기 모듈시스템 평가장비 개발 기술
	C. 운행차 안전성 평가기술 및 장비개발	CA. 운행차 검사시나리오	CA1. 수소버스 검사평가시나리오개발 기술
			CA2. 수소버스 운행차 모니터링 시스템 개발 기술
		CB. 운행차 수소누기 검사	CB1. 운행차 연료장치 수소누기 검사기술
CB2. 운행차 연료장치 수소누기 측정장비 개발기술			
CC. 배출가스 검사		CC1. 운행차 수소배출가스 검사기술	
		CC2. 운행차 수소배출가스 검사장비 개발 기술	
CD. 복합소재	CD1. 복합소재 내압용기 결함검사기술		

		내압용기 검사	CD2. 복합소재 내압용기 검사장비개발 기술
		CE. 연료전지 내구성능	CE1. 운행차 연료전지 내구성능 검사기술
			CE2. 연료전지 내구성능 검사장비 개발 기술

- 수소버스의 동력성능 관련 핵심부품은 연료전지시스템 모듈, 구동시스템, 수소 저장 시스템으로 구성될 수 있음



<그림 1-6> 수소전기차 구조 (표준연, '17)



<그림 1-7> 수소버스 패키지 Layout



<그림 1-8> 수소전기차 주요 요소기술(한국산업기술평가관리원, '15)

- 수소전기자동차의 경우 운행거리 증가 등으로 인하여 상부의 연료장치시스템의 중량이 증가하여 전체적인 무게중심이 변경되고, 특히 전복사고 등에서 상부에 충격에너지가 증가하여 이를 반영한 연료장치에 대한 안전성 평가가 필요함

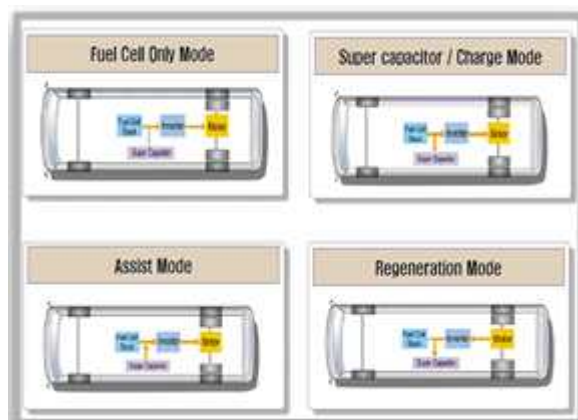
<표 1-2> CNG 버스와 수소 전기버스 비교

항목	CNG버스(초저상)	수소버스(초저상)
상부구조물 중량 (용기 포함 연료시스템, 에어컨, 구동배터리 등)	1,480kg	1,940kg
공차중량	12,355kg	13,010kg
공차중량 대비 상부구조물 중량	12%	15%

- 수소버스는 연료전지와 구동축전지(Super Capacitor)의 연계, 휠모터 구동시스템 (병렬형 구동전동기) 등 기존의 수소전기차의 동력구조 시스템보다 향상된 복합적인 구조를 형성하고 있음
- 따라서 수소버스의 개발을 활성화하고 안정적인 정착을 위하여 해당 동력성능을 온전히 반영할 수 있는 적합한 동력성능 시험방법, 안전기준, 시험장비의 개발이 필수적임



<그림 1-9> 세대별 차량 주행거리



<그림 1-10> 수소버스 주행 모드

- 수소버스 내압용기의 경우 승용차에 적용되는 60리터 이하 용기보다 큰 150리터 이상의 대용량 용기를 말하며 70 MPa 이상의 초고압을 1 MPa 이하의 압력으로 조절하는 압력조정기, 압력의 개폐를 담당하는 shut-off valve, 화재시 강제 가스 방출하는 TPRD 등 많은 핵심 부품들로 구성됨

수소탱크	내장형 압력조정기	전자식 밸브	수소 감지 센서	수소 충전구
	 압력센서 과압, 과유량 밸브 안전밸브(화재시)			
사용압력 : 700bar 복합재료 용	전자식 밸브 + 압력조정(700~10기압) 과압, 과유량, 화재 안전장치 포함	고압가스ON/OFF 온도센서/PRD 내장	수소누출검지	충전시 역류방지 충전소와 적외선 통신

<그림 1-11> 수소버스 초고압 제품 주요 구성품

□ 세부기술내용은 아래와 같음

중분류	소분류	세부기술	세부기술내용
A. 차량 단위 안전성 평가 기술 및 장비 개발	AA. 수소버스 안전성 평가 시나리오	AA1. 실도로 수소버스안전성 평가시나리오	- 국내 실도로에서 발생하는 수소버스의 충돌 등에 따른 화재 및 폭발 등 연료장치에 발생하는 위험요소 등에 사고시나리오 개발
		AA2. 수소버스 모니터링 시스템 기술	- 국내 수소버스에 대한 신규 안전성 평가기술 개발을 위한 사고 등에 대한 모니터링을 통한 데이터 저장 및 처리시스템 개발
	AB. 충돌 안전성	AB1. 전복 안전성평가기술	- 수소버스 전복평가시험에서의 연료시스템의 안전성 측정 및 검증기술 개발
		AB2. 차량 충돌안전성평가기술	- 고압의 연료시스템의 안전성 검증을 위하여 다양한 충돌사고에서의 연료장치안전성 평가기술 개발
		AB3. 충돌모의평가(Sled)기술	- 실차 충돌평가를 단품시스템 조건에서 평가할 수 있는 충돌모의평가기술 개발
		AB4. 해석평가검증기술	- 실차 충돌시험의 대체할 수 있는 해석평가에 대한 신뢰도 및 필수 요소항목 등을 반영한 해석평가기술 개발
	AC. 출력 성능	AC1. 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술	- 연료전지, 모터 및 고전원배터리 등에 대한 종합적인 실차모사 출력 평가기술 개발
		AC2. 구동시스템 통합성능 평가장비개발 기술	- 실차의 연료전지, 모터 및 고전원배터리 등에 대한 종합적인 성능평가를 구현할 수 있는 평가장비 개발
	AD. 차량	AD1. 차량 단위 전소 안전성평가기술	- 수소 누기 등으로 인한 화재에 따른 수소연료차단장치 및 화재 전파 방향 등에

	화재 안전성		대한 안전성 평가기술 개발	
		AD2. 차량 단위 화재평가장비개발 기술	- 수소버스 차량단위에서 재현성 및 반복성을 확보하고, 연소온도 및 연소속도 등을 파악할 수 있는 평가장비 개발	
		AD3. 화재 안전장치 설치기준 기술	- 수소버스 화재에 따른 TPRD 및 차단장치의 설치 위치와 작동성능에 대한 평가기술 개발	
	AE. 수소가스 연료장치 안전성	AE1. 수소가스 차량내 유입량 평가기술	- 현행 자동차안전기준 제17조(연료장치)에 수소버스 차량내 유입수소농도 측정평가 세부기술 개발	
		AE2. 비상시 수소버스 차단 성능평가기술	- 수소버스 수소누기에 따른 경고등 및 차단밸브 작동성능 세부평가기술 개발	
B. 수소부품 단위 안전성 평가 기술 및 장비 개발	BA. 수소부품 안전성 평가 시나리오	BA1. 수소부품 안전성 평가시나리오개발 기술	- 수소부품의 사용연한에 따른 내구성능(고장 및 결함 등) 문제에 대한 안전성 시나리오 개발	
		BA2. 수소부품 고장/내구성능 모니터링 시스템 개발 기술	- 수소부품의 내구성능 확인을 위하여 내압용기 및 부품 등의 실시간 데이터 취득 및 저장 시스템 기술 개발	
	BB. 수소 내압용기 안전성	BB1. 대용량 수소내압용기 신규 평가기술	- 수소버스에 장착되는 대용량 내압용기를 평가할 수 있는 화재평가시험, 유공압 총방전 평가기술 개발	
		BB2. 대용량 수소내압용기 신규 평가장비 개발 기술	- 수소버스 대용량내압용기 평가를 위한 평가장비 시제품 개발	
	BC. 내압용기 부착 수소부품 안전성	BC1. 수소부품 신규평가기술	- 수소버스 내압용기의 고압, Complexity 증가에 따른 TPRD 및 차단밸브 등의 성능평가기술 개발	
		BC2. 수소부품 신규평가장비 개발기술	- 수소부품 평가기를 국제기준으로 평가할 수 있는 평가장비 설계 및 시제품 개발	
	BD. 내압용기 모듈 시스템 안전성	BD1. 내압용기 모듈시스템 신규평가기술	- 주행거리 증가 등의 목적으로 다수의 내압용기가 연결된 수소버스 연료장치 시스템의 체결 복잡성 및 체결성능 등에 대한 수소누기 등의 안전성 평가기술 개발	
		BD2. 내압용기 모듈시스템 평가장비 개발 기술	- 내압용기 모듈시스템의 연결부위 체결성 및 수소누기 등을 평가할 수 있는 평가장비 설계 및 시제품 개발	
	C. 운행차 안전성 평가	CA. 운행차 검사 시나리오	CA1. 수소버스 검사평가 시나리오개발 기술	- 수소버스 운행차에 대한 운행 내구수명 증가에 따른 수소누기 및 연료장치 결함 등에 대한 안전성 검사 시나리오 개발
			CA2. 수소버스 운행차 모니터링 시스템 개발 기술	- 수소버스 운행차에 대한 주행거리 및 일정기간별 수소누기 및 연료장치 고장 유무 등에 대한 차량 정보 획득 및 처리 시스템 개발
CB. 운행차		CB1. 운행차 연료장치 수소누기 검사기술	- 운행차의 연료시스템에서 수소누기량을 정량적으로 정기검사 환경에서 평가할 수	

가 기 술 및 장 비 개 발	수소누기 검사		있는 검사기술 개발
		CB2. 운행차 연료장치 수소누기 측정장비개발 기술	- 운행차의 연료시스템의 수소누기량을 측정 및 판단할 수 있는 검사장비 설계 및 시제품 개발
	CC. 배출가스 검사	CC1. 운행차 수소배출가스 검사기술	- 운행차의 주행중 배출되는 수소가스 농도를 정기검사 환경에서 측정하여 검사할 수 있는 평가기술 개발
		CC2. 운행차 수소배출가스 검사장비 개발 기술	- 운행차의 주행중 배출되는 수소가스 농도를 정기검사 환경에서 최적화된 검사장비 설계 및 시제품 개발
	CD. 복합소재 내압용기 검사	CD1. 복합소재 내압용기 결함검사기술	- 검사현장에서 차량에 장착된 기존의 내압용기와 다른 복합소재 내압용기(Type 4)에 대한 내압용기 내부 결함 등을 평가할 수 있는 검사기술 개발
		CD2. 복합소재 내압용기 검사장비개발 기술	- 비파괴 내압용기(Type 4)에 대한 검사환경에서 측정할 수 있는 비파괴 검사시스템 설계 기술 개발 - 결함 정보에 대한 데이터베이스를 구축하여 결함여부를 판정할 수 있는 알고리즘 프로그램 개발
	CE. 연료전지 내구성능	CE1. 운행차 연료전지 내구성능 검사기술	- 수소버스의 주행성능에 영향을 주는 연료전지의 효율에 대한 검사환경에서 평가할 수 있는 검사기술 개발
		CE2. 연료전지 내구성능 검사장비 개발 기술	- 연료전지의 효율을 검사환경에서 평가할 수 있는 검사장비 설계 및 시제품 개발

## 제2절. 연구개발의 배경 및 필요성

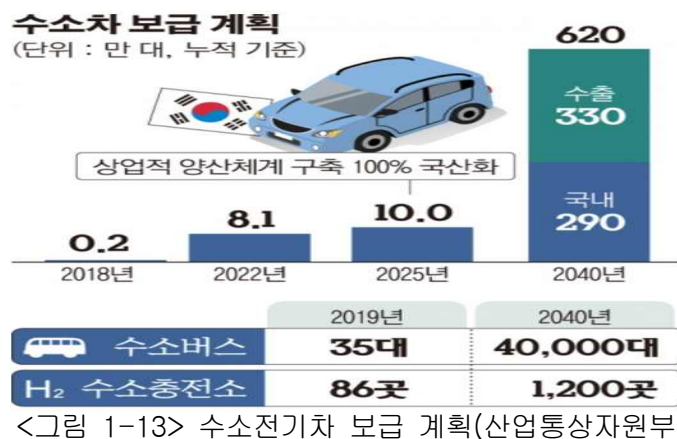
### 1. 연구과제의 배경

- 산업혁명 이후 대기 중에 급격히 축적된 온실가스는 지구 기후시스템에 심각한 교란을 가져와 지구의 평균기온을 상승시켰을 뿐만 아니라 전 지구적으로 기후변화의 부정적 영향으로 인한 각종 피해를 초래함. 이러한 기후변화의 원인이 인류의 경제 활동으로 인한 온실가스 배출에 있으며, 기후변화가 가져올 위험성을 인식하여 1992년 ‘UN 기후변화협약’ 을 마련함
  - 1995년 독일 회의를 시작으로 해마다 유엔기후변화협약 당사국 총회(COP; Conference of the Parties)를 갖고 기후변화를 막기 위한 대책 강구하였으며, 1997년 교토의정서에 따르면 선진국 37개국과 유럽연합을 대상으로 2008년부터 2012년까지 온실가스 배출량을 의무적으로 1990년 수준보다 평균 5% 줄이기로 합의함
  - 또한, 탄소 배출권 거래제를 인정하여 감축 목표를 초과 달성 시 해당 초과 달성분의 거래를 허용함
  - 2015년 12월 UN 기후변화협약 당사국총회에서는 전 세계 195개국이 참여한 가운데 파리 기후 협약이 체결되고 이후 2016년 11월 효력이 발생함에 따라 ‘신기후체제’가 시작되었으며, 파리 기후 협약에서 2100년까지 전 지구의 평균 지표 기온 상승을 산업혁명 대비 ‘섭씨 1.5° C 이하로’ 제한하기 위해 모든 노력을 지속하기로 협약함
- 한국의 자발적 기여방안(INDC; Intended Nationally Determined Contribution)은 2030년 BAU(815만t) 대비 온실가스 37% 감축을 목표로 설정하였으며, 온실가스 감축을 위해서는 기존의 화석연료를 대체할만한 대표적인 에너지원으로 손꼽히는 신재생에너지개발/보급이 불가피할 전망이다
- 아울러 현재 교통과 관련하여 당면한 주요 문제는 교통서비스 수요 증가에 의한 혼잡 도시화와 대기오염, 온실가스 배출에 의한 환경 문제, 제한된 예산으로 양질의 교통서비스를 제공해야 하는 경제적 제약 등이 있음
  - 특히, 온실가스 감축 등 환경문제를 감한 할 경우 아래의 표에서도 볼 수 있듯이 환경오염물질을 배출하지 않는 전기자동차와 수소전기자동차가 대안으로 제시되고 있음. 다만, 전기자동차의 경우 충전시간이 길고 배터리의 효율성이 낮은 단점이 있고 수소전기자동차의 경우 짧은 충전시간 대비 주행거리가 길고 부품이 전기 자동차에 비해 많고 복잡함.

	연료	연료 충전	연료 사용	배기가스	동력발생장치
휘발유, 경유 자동차	액체	주유소	화학반응 액체 → 기체	물, NO <sub>x</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , 미세먼지	엔진
LPG 자동차	기체 ↓ 액체	LPG 충전소	화학반응 액체 → 기체	물, NO <sub>x</sub> , CO, CO <sub>2</sub>	엔진
LNG 자동차	기체	CNG 충전소	화학반응 기체 → 기체	물, NO <sub>x</sub> , CO, CO <sub>2</sub>	엔진
전기 자동차	전기	전기충전기	전기화학반응 충전 → 방전(전기)		배터리
수소 자동차	기체	수소충전소	전기화학반응 기체 → 전기	물	연료전지

<그림 1-12> 기존 자동차와 수소전기차 배기가스 비교

- 이에, 정부는 미세먼지, 온실가스 저감 등 환경개선의 효과가 크고 포용적인 교통수단의 핵심인 수소버스의 보급을 수소 경제사회의 초석을 마련하는 효과적이고 중요한 정책으로 제시함
- 수소버스는 연간 대기오염 물질을 880kg을 저감해 수소승용차(5kg), 수소택시(25kg)보다 저감효과가 월등하며, 수소버스 1대당 연간 56톤의 온실가스 감축효과로 승용차(2톤)나 수소택시(8톤) 대비 높은 효용성을 보이며, 주행거리가 길고 수소 소비량이 승용차 대비 50배나 많아 충전소 보급 촉진 가능함
- 정부는 안정적 수요가 있는 대중교통을 수소버스 등으로 전환함으로써 수소전기차를 조기 양산하여 친환경 교통체계로 전환할 계획임. 또한 2022년까지 수소버스 2천대와 2040년까지 6만대를 보급함으로써 수소교통과 수소교통 인프라의 활성화를 보급할 예정



<그림 1-13> 수소전기차 보급 계획(산업통상자원부)

- 정부는 수소버스 보급 활성화를 위해 추진 중인 예산지원 및 보급사업 등과 연계하여 본격적으로 수소버스가 대량으로 보급되는 시점에 맞추어 수소버스의 운행 안전성 제도정비 및 검사업무 등의 정부역할이 필수적이지만 별도의 평가기술 및 장비가 전무한 실정임

- 정부는 수소버스의 운행 및 사고 시 안전성 검증을 위한 평가기술과 장비의 개발을 통해 국민들의 수소버스에 대한 안전성 우려를 해소하고 안전기준에 대한 방향성을 제시할 의무가 있음
- 한국은 세계최초로 수소전기차를 양산 하였으며 수소버스를 포함한 수소전기차가 운행중이며, 원천 기술을 보유하였음에도 불구하고, 수소버스의 특성을 고려한 장비 및 기준 등이 부재하여, 제대로 된 시험평가 및 운행차 검사 수행이 어려움. 또한 수소버스 안전성 관련 기술이 국가 간 기술경쟁 산업으로 인식됨에 따라 해외의 기술을 벤치마킹하기 매우 어려워 독자적인 기술 개발이 필요한 실정임

		2018	2019	2020	2021	2022	2023
수소차	연료전지	고속 압축기용 Airfoil 베어링 기술	수소저장소 주변장치 수소누설 최소화	버스용 고내구 전해질 막 기술	적중수 감소를 위한 스택 및 부품 설계기술	스택 막 전극 접합체 내구향상 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>고내구 고강성 기체 확산층기술</li> <li>워터펌프 등 고내구 열관리 부품기술</li> </ul>
	수소저장 및 충전	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소이송 트레일러용 500기 압급 복합용기</li> <li>융복합수소충전소 실증기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>700기압급 버스용 수소저장용기</li> <li>저가형 패키지 수소충전 플랫폼 기술</li> </ul>	수소충전용 대용량 압축기 기술	CNG/LPG 개질기 용량 증대 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>상용차 수소용기 가격 저감 기술</li> <li>충전지연 없는 멀티충전 기술</li> </ul>	액화수소 저장용기 기술

<그림 1-14> 수소전기차 기술 로드맵

## 2. 연구과제의 필요성

### 가. 정책적 필요성

- 한국은 국제적 환경 강화정책과 세계최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약을 위해 다양한 정책을 추진 중에 있으며 효과적인 정책추진 결과도출을 위해서는 이동수단의 운행안전성 확보가 필수적임에 따라 국민이 안심하고 신뢰할 수 있는 수소경제 이행 기반 마련을 제시
- (문재인정부 100대 국정과제) “고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성” 과 “안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축” 분야에서 제시된 전기차·수소전기차 획기적 보급 확대와 교통사고, 승강기 사고, 지진, 화재 등 각종 재난과 안전사고로부터 국민생명 보호 강화 추진 등이 제시됨에 따라 수소버스 보급에 맞추어 운행 및 사고 시 안전성 확보를 위한 평가기술과 관련 장비개발이 필요한 실정임
- (수소경제 활성화 로드맵) 2019년 정부에서 제시한 수소경제 활성화 로드맵을 기반으로, 수소전기차·연료전지 등 수소 활용분야에서 이미 세계적 기술력을 확보한 강점과 부생수소 등 수소 생산과 산업기반 경험 보유, 완비된 LNG 망등을 활

용한 원활한 수소 공급 가능성 등 우리의 장점을 살려 글로벌 수소 모빌리티를 선점하여 수소경제 이행의 기반을 구축할 필요성을 제시

- 수소생산-저장·운송-활용 쉼주기에 걸쳐 안전관리 기준 및 부품·제품의 안전성평가를 강화하고, 안전관리 법 제정, 수소 기술개발 로드맵 수립, 국제표준 선도, 촘촘한 중소·중견기업 생태계 조성, 범부처 협력추진체계 운영 등 기반 마련
- 2019년 5개 주요도시 및 경찰청에 총 21대를 시작으로 보급된 수소버스가 2022년 2,000대, 2040년 4만대 보급이 되어 국민이 안심하고 신뢰할 수 있는 안정적인 운행을 위해서는 수소버스의 운행/사고 시 안전성 검증이 차량 및 부품단위에서 필요 실정임

<정부의 수소경제 로드맵에 따른 수소운송수단 보급 계획>  
\* ( ) 내수

	2018년	2022년	2040년
<b>수소차</b>	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	620만대 이상 (290만대)
승용차	1.8천대 (0.9천대)	7.9만대 (6.5만대)	590만대 (275만대)
택시	-	-	12만대 (8만대)
버스	2대 (전체)	2,000대 (전체)	6만대 (4만대)
트럭	-	-	12만대 (3만대)

- (제2차 자동차정책기본 계획( '17~ '21)) 자동차 관리 및 안전정책의 중장기 목표와 전략을 제시하기 위한 5년 단위의 법정계획으로 첨단차 운행 생태계 조성 등 자동차 안전기반을 구축하고 자동차 서비스 선진화를 통한 국민 권익을 보호하기 위해 5대 전략, 20개 추진과제를 수립하였음
- 세부추진과제 중 수소연료전지차 안전성 평가를 위해 수소연료전지차의 사고 시 피해와 사상자를 최소화 할 수 있는 안전 기준과 평가 방법 개발이 제시되어 있음에 따라 연구의 필요성이 있음
- 수소승용차는 관련 국제기준이 제정되어 운행 및 사고 시 안전성 등을 확보하기 위한 최소 안전기준이 제정되어 있으나 수소버스의 경우 국제사회에서도 안전기준의 부재를 인식하고 최근 관련 국제기준 의 경우개발에 착수함에 따라 적극 대응을 통해 세계최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약 이행을 위한 국제 기술 및 정책 선점이 필요함
- 수소버스 관련 국내 자동차 및 부품제작사가 해외시장에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 무엇보다 기술적 우위가 필요하며 세계적으로 연구검토 중인 평가기술

및 기준 등에 대응하는 것 역시 매우 중요함

- 수소버스는 도입 초기단계로 세계적으로 관련 안전성 평가기술이 개발되지 않았으므로, 국가차원의 선도를 통해 국내 자동차 및 부품 제작사가 시행착오를 최소화하여 연구개발을 수행할 수 있도록 정부지원이 필요함
- 자동차 안전관련 정책 및 안전기준은 UNECE/WP29의 분과에서 1998협정 및 1958협정에 따라 통합되고 제·개정되고 있어 국제적 정책의 동향과약과 선제적인 제도 및 기준연구를 통해 자동차 강국으로서의 국제적 위상 정립을 통한 FTA 등 자동차 관련 통상교섭 등에 입지선점을 위해 필요함
- 수립된 전략에 따라 법제도화를 추진함으로써 자동차 제작사의 예측 가능한 기술 개발 유도가 가능할 것으로 판단되며, 도출되는 평가기술의 도출 시기, 시급성 등 관련 데이터 분석을 통하여 법제화 및 국제화 추진전략 수립이 필요함

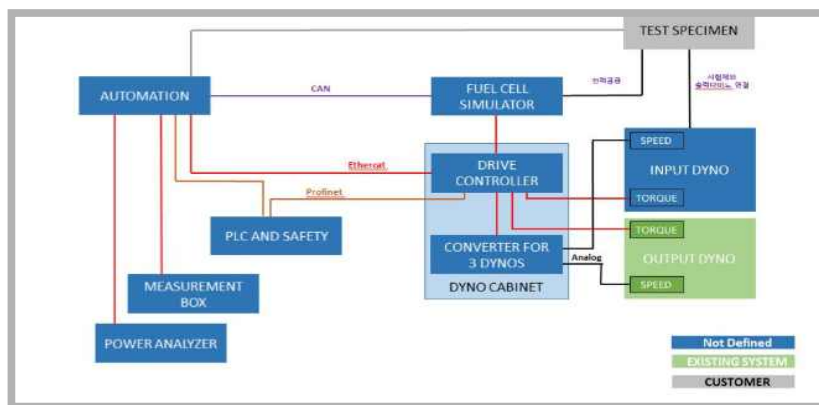
## 나. 기술적 필요성

- 실차 단위 수소연료시스템의 안전성 평가 지표의 선정에 있어 현재 운행되는 수소버스 시범사업과 연계된 데이터 확보가 필수적이며 이러한 데이터를 기반한 평가지표 설정 연구가 필요함
- 수소버스의 운행특성에 대한 모니터링 데이터의 확보 및 분석을 통하여 핵심 부품의 안전성, 내구성 검토 및 운행차 단위의 안전성 검사기술의 방향성 제시가 필요함
- 수소버스의 도입상황을 고려한 기반 연구로서 향후 데이터 활용 및 지속적인 안전도 향상 피드백 체계를 구축 필요
- 수소버스 충돌(전복사고)에 따른 연료장치 위험성 등을 고려하여, 세계 최초로 연료장치 안전기준을 마련하였으나, 실차 전복시험 및 수학적 해석에 대한 세부시행세칙은 아직 부재한 상황임
- 실차 전복시험 시 차체안전성 평가를 위한 버스 전복시험 평가 장비는 기 개발되었으나, 실차 전복시험 및 수학적 해석을 위한 세부시험절차가 부재한 상황이라 실제 수소버스 연료장치 안전성 검증이 불가능함. 따라서 실차 전복시험에 대한 시험절차 및 시험결과 확인방법 등과 수학적 해석에 의한 전복 시험을 진행하기 위해서는 사용가능한 프로그램, 유한요소 해석모델 구성방법, 시험 시 사용되는 각속도, 충격지점 등 시험에 필요한 조건을 명확하게 규정하고 제작사가 제시한 전복해석결과를 검증할 수 있는 세부시험절차가 필요함

<표 1-3> 자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙 (91조 연료장치)

시험조건	연료장치 기준
1. 완성차의 전복시험	충전구와 충전용 배관을 제외한 연료장치 (용기, 용기밸브, 배관 및 연결장치 등)가 지연 또는 차체(변형이 발생하는 순간을 모두 포함한다.)에 직접 접촉되지 않을 것
2. 완성차를 대표하는 주요 차체 구조물의 전복시험	
3. 완성차의 수학적 해석에 의한 전복 시험	

- 수소버스의 경우 충돌 사고 시 안전성 확보를 위한 안전기준이 부재한 상황임에 따라 수소버스의 차량 특성을 고려하여 사고 시 수소누출 등으로 2차 사고(화재 및 폭발 등) 위험성을 평가하기 위한 연료장치 안전성 충돌평가기술 등을 마련하기 위해서는 수소버스 교통사고 관련 심층적인 분석이 필요하며, 이를 기반으로 수소버스 안전도 평가 시나리오 설계 및 검증이 요구되는 바임
- 수소버스는 새롭게 도입되는 차량으로 실도로상에서 발생할 수 있는 부품의 결함 및 고장 등에 대한 축적된 정보가 없어 제작사의 제품개발에 반영이 어려움 등으로 초기 수소버스에 대한 부품 내구성 및 고장(결함 등)에 대한 모니터링을 통한 평가기술 마련 및 제품 개발을 위한 기술정보 제공을 요구하고 있음
- 수소버스는 대용량 구동축전지, 연료전지 모듈의 다종 동력원으로부터 전력을 공급받아 병렬형 구동전동기(모터)를 구동시키는 구조를 가지고 있어 시스템단위 원동기 출력 평가 기준의 필요성이 큼. 따라서 수소버스의 구동시스템 통합 성능 평가기술 및 장비의 개발과 안전 법규 개정은 필수적임
- 수소버스는 수소승용차 대비 구동축전지(배터리)의 동력 비중이 매우 커졌으며, 병렬형 동력 전달 및 구동전동기(모터) 시스템으로 구성되어 있어 시스템단위 원동기 출력 평가기술 개발이 필요함



<그림 1-15> 수소버스 구동시스템 출력평가시험 개략도(안)

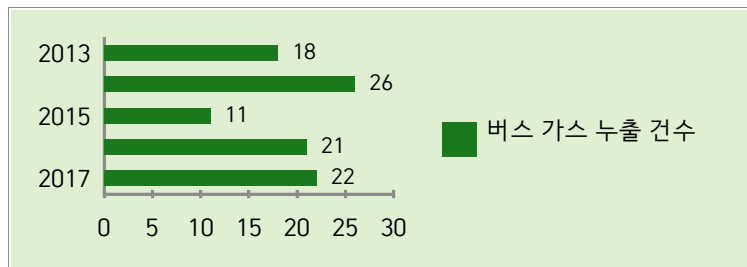
- 제작단계(새차)의 안전기준을 만족하였더라도 차량의 연식이 늘어남에 따라 연료 전지스택의 효율 저하 등으로 운행중에 배기구로 배출되는 수소가스는 더 증가할

수 있고 대형 수소내압용기의 수소 투과량이 증가할 수 있기 때문에 운행차의 자동차 정기검사로 자동차의 안전도에 대한 확인이 필요하여 관련 검사기준, 세부 검사방법 및 평가장비 등을 개발하여 전주기 안전성 확보가 필요함

- 기존에 CNG 버스 등에 사용하는 내압용기는 Type 1~2용으로 금속재질이었으나, 수소버스에 장착되는 내압용기는 압력증가 및 경량화 필요성 등으로 비금속(탄소 섬유 등) 재질의 Type 4 내압용기를 적용하고 있거나 적용할 계획임
  - 수소버스의 정기검사 기준에는 내압용기의 손상여부를 확인이 필요하나, 현재는 관능검사에 의존하고 있어, 여러층의 탄소섬유로 구성된 Type 4 내압용기의 경우 현실적으로 검사가 불가능한 상황임
  - 산업계에서는 관능검사로 제품의 품질검사가 어려운 경우 비파괴 검사를 활용하고 있으나, 현재 적용되는 비파괴검사는 금속재료에만 적용되어 활용되고 있어 비금속 재질의 Type 4 내압용기는 현재의 비파괴방법을 적용이 불가능함
  - 육안으로 확인이 어려운 내압용기 섬유층사이에 손상이 발생할 경우 수소버스 충방전에 따라 내압용기 손상이 커져 운행중 수소누출 및 파손의 위험성이 있으므로, 비금속 내압용기(Type 4)에 대한 비파괴 검사기술 및 장비개발이 필요함
- 수소버스의 수소내압용기는 기존 수소승용차에 비해 용기 길이가 비약적으로 증가하였으며(870mm→1850mm) 용기 장착개수도 승용자동차 대비 증가하기 때문에 내압용기 연료시스템이 복잡화됨에 따라 충돌 등 사고 발생이나 운행중 내구성능 저하에 따른 수소누출 및 2차 화재/폭발 발생 등의 위험성이 큼. 따라서 다양한 사고 유형에 대한 수소내압용기 안전성 평가기술 및 장비개발이 필요함
  - 수소내압용기 길이가 증가함에 따라 현행 수소내압용기 화재시험방법으로는 안전성 검증이 미흡하여 이에 대한 평가방법 및 장비의 개발이 불가피 함(화염버너 폭 1650mm로 제한됨)
  - 수소버스는 일반 승용자동차에 비해 저장용량이 높고 대형화 되기 때문에 반복 가압시험 수행 시 많은 시간 및 비용이 소모되어 시험시간을 단축하면서 성능 확인이 가능한 모사시험 기술과 효율적인 장비가 필요함
  - 특히 GTR 등 국제기준의 경우 용기 및 부품의 순차시험을 규정하고 있는데 현재 국내 시험장비들의 경우 그 순차시험이 불가능함에 따라 국내 기준의 국제화 및 대형화되는 수소내압용기를 검증하기 위해서는 장비개발이 불가피함.

## 다. 사회적 필요성

- 최근 정부에서는 2022년까지 수소버스 2,000여대를 보급하겠다는 계획을 발표하는 등 수소버스에 대한 수요는 높아지고 있으나, 사고 상황에서 승용차 등에 비해 더 큰 인명피해 등을 일으킬 가능성이 있는 버스의 특성 및 수소의 특성 등을 고려한 선제적인 안전기술 개발과 안전성 기준이 필요함
- 수소승용자동차의 경우 연구를 통해 정면, 측면, 부분정면 및 후방 충돌시험을 통해 연료장치의 안전성을 검증하는 안전기준이 마련되어 있으나 수소버스를 포함한 버스의 경우 전복을 제외한 연료장치 검증 안전기준이 부재한 상황임
- CNG 버스의 경우 CNG 가스의 누출이 지속적으로 발생하고 있으며 폭발 및 화재 등 사고가 발생하고 있어 수소버스의 경우도 이에 대한 대비가 필요한 실정임

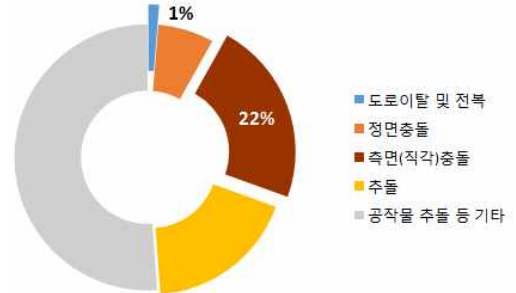


<그림 1-16> CNG 버스 누출 건수



<그림 1-17> CNG 버스 사고 유형

- 대형교통사고(사망3명 이상 또는 사상자 20명 이상) 추세는 감소하고 있지만, '18년 대형교통사고 승합차의 점유율이 50%이며 그 중 버스가 36.4%를 차지하고 있고 정면, 측면, 추돌 및 전복 등 다양한 사고유형으로 발생하고 있어 다양한 사고 양상을 반영한 사고 시 안전성 평가기술 개발이 필요함



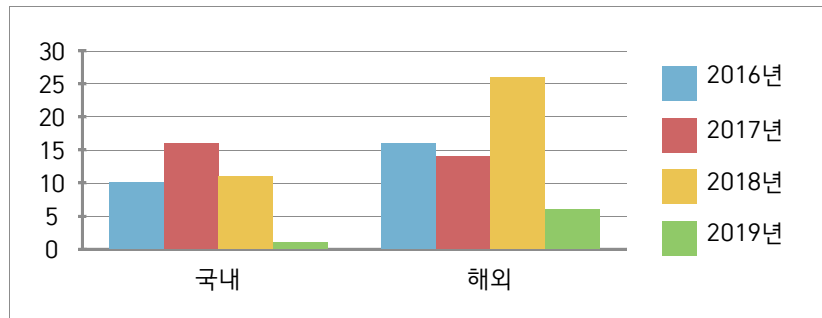
차량과 충돌에 의한 CNG 버스 화재사고



CNG 버스 차대차 충돌사고

<그림 1-18> 대형교통사고 통계('18년) 및 사업용 승합차 차대차 및 차량단독 사고 중 사고발생 유형

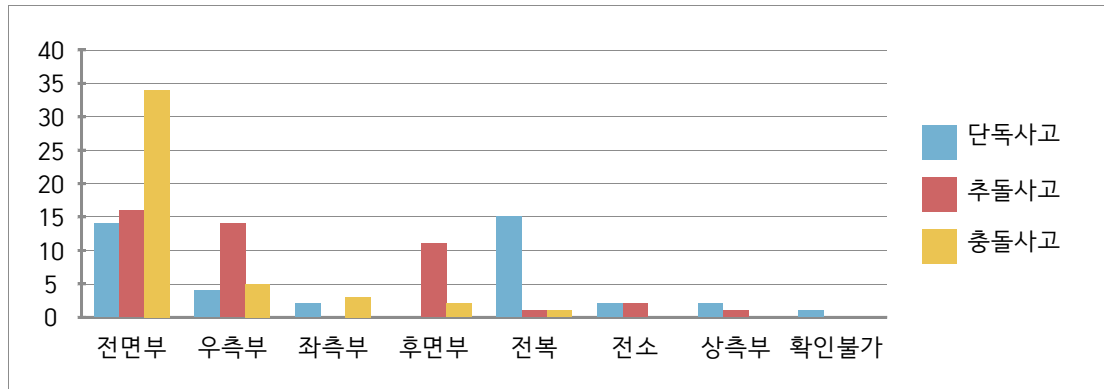
- 국내외 100건의 버스 사고에 대한 충돌유형분석 결과 단독사고가 전체의 40%, 차대차 사고 54%, 전복 22%, 전소 4%로 나타났으며, 차 對 차 사고는 버스 對 버스(전체 21%), 버스 對 승용(17%), 버스 對 트럭(14%) 순으로 파악됨에 따라 사고 현황 파악을 통한 객관적이고 합리적인 충돌평가 시나리오의 도출이 필요하며 연구를 통한 실차 시험평가 방법 표준화가 필요함



<그림 1-19> '16년~19년' 국내, 해외 버스사고 사례 분석(단위: 건수)

<표 1-4> 충돌 유형 분석

구분		단독사고	추돌사고	충돌사고	총합계
단독사고		20			20
차대차사고	버스 대 버스		5	16	21
	버스 대 승용		4	13	17
	버스 대 열차			2	2
	버스 대 트럭		5	9	14
전복		18	1	3	22
전소		2		2	4
합계		40	15	45	100



<그림 1-20> 버스 사고 발생 현황(한국운수산업연구원, 2014)

- 대국민 안전성 측면에서 교통사고 심층자료(사고 자동차(안전장치) 정보, 탑승자 정보 등)의 정보를 수소버스 기반으로 구축 기반을 마련하고, 이를 활용하는 안전도 평가 모델 및 시나리오 연구를 수행함으로써 실제 수소버스 충돌 및 화재 사고가 발생하더라도, 국민의 생명을 보호하고 재산 피해를 최소화 할 수 있도록 수소버스의 안전장치 장착 기준 마련을 통한 대국민 안전성 우려를 해소할 방안이 필요함

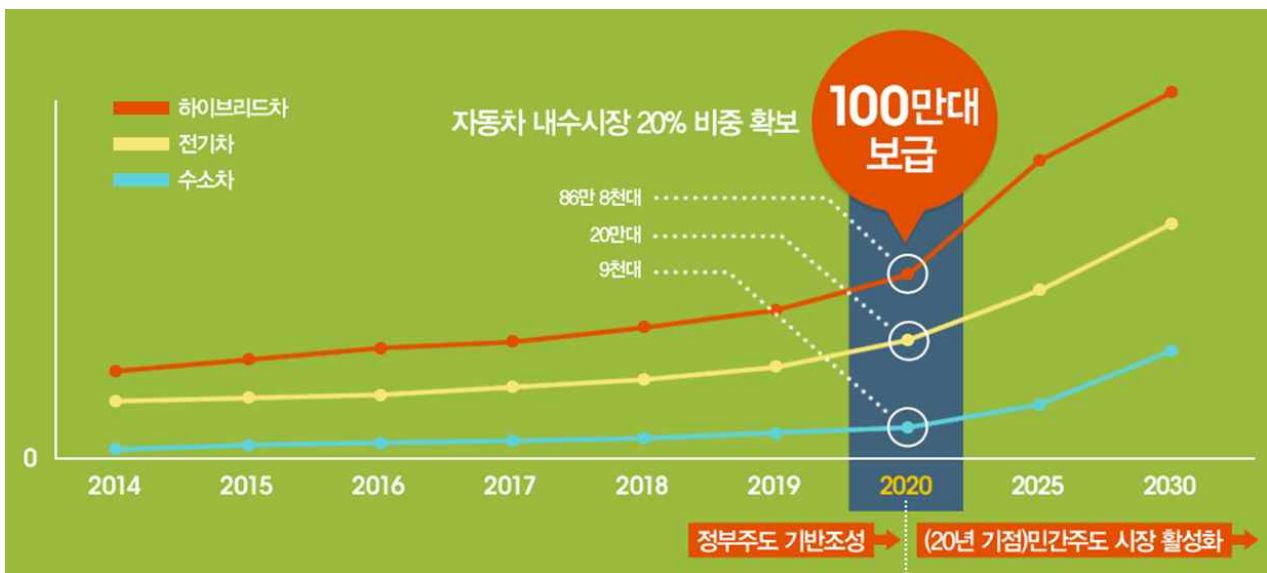
제1절. 국내외 정책동향

1. 국내외 수소전기자동차 관련 정책 동향

가. 한국

□ 제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획(2015.12.18.)

- 정부는 ‘15년 말에 관계부처 합동(산자부, 환경부, 국토부, 기재부, 행자부)으로 발표한 “제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획”에서 수소전기차 등의 보급을 위한 로드맵을 제시함



<그림 2-1> 친환경자동차 보급 목표(제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획)

- [목표] 2020년 친환경차 100만대(수소전기차 0.9만대) 보급 달성 및 시장 점유율 20% 달성을 통한 온실가스 380만톤 감축과 친환경차 수출(60만대)을 통한 18조 원 규모 수출시장 창출 목표
- [기술개발] 수소전기차 가격저감 R&D 1,500억 투자 계획 등
- [수소전기차] 수소전기차 중점 보급도시 선정, 지역별 특성에 맞는 충전소 설치 가속화 등

<표 2-1> 수소차·충전소 보급 로드맵

(단위 : 천대, 기)

구분			'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25
보급목 표	신규	수소차	0.1	0.3	2	2.6	3.9	6	9	14	23	39
		충전소	3	7	10	20	30	10	20	20	30	50
	누적	수소차	0.2	0.5	2.5	5.1	9	15	24	38	61	100
		충전소	13	20	30	50	80	90	110	130	160	210

□ 미세먼지 특별대책(2016.6.3)

- '16년 6월 3일 정부의 미세먼지 관리 특별대책 발표를 통해 미세먼지 개선을 위한 비전과 전략을 발표함
  - 국내 배출원의 과학적 저감, 미세먼지·CO<sub>2</sub> 동시저감, 친환경자동차 보급 확대 등의 비전을 통해 대국민적 사안인 미세먼지 관련 문제를 해소하고자 노력함



<그림 2-2> 미세먼지 특별대책 세부이행계획

- 개선 방안중의 하나로 친환경자동차 확대 보급 계획이 발표되었으며, 이는 기존에 발표된 보급 목표를 상향 조정하는 내용이었음, '20년 기준 친환경자동차 100만대(수소전기차0.9만대) → 150만대(수소전기차 1만대)로 확대

(단위: 만대, 개소)

구 분		현 재	2020 기존목표	2020 확대계획
친환경 차	합 계	17.4 (신차판매 중 2.6%)	100 (신차판매 중 20%)	150 (신차판매 중 30%)
	전기차	0.6	20	25
	수소차	0.01	0.9	1
	하이브리드차	16.8	87	124
충전 인프라	합 계	347	1,480	3,100
	전기	337	1,400	3,000
	수소	10	80	100

<그림 2-3> 친환경차 및 충전인프라 확대계획

□ 미세먼지 해결을 위한 정책간담회(2018.7.6)

- 미세먼지 해결을 위한 정책간담회(' 18.7.6)에서 발표한 미세먼지 저감대책에 따르면 2022년부터 수도권에 경유버스 신규도입을 제한하고, 2027년까지 천연가스(CNG)버스, 전기버스, 수소버스 등 친환경버스로 전면 교체 계획
- 또한, 수소버스로 교체할 시 정부(3억원) 및 시·도(각 1억원)에서 총 5억원의 보조금을 지원하며, 등록비 등의 각종세금을 감경
- 수소버스를 구매, 등록하고, 운행하는 과정에서의 각종세금을 감경해 주는 추세
  - 구매단계에서는 개별소비세, 교육세 등을, 운행단계에 있어서는 자동차세, 공영주차장에서의 주차요금 등을 감면하거나, 면제
  - 산업부에서는 운송사업용 수소버스 취득세를 50% 감면해주고 있으며, 정부의 수소전기차 보급이 원활히 이루어지도록 지원을 강화할 계획
  - '19년 1월 1일부터 '20년 12월 31일까지 시내버스 및 마을버스용으로 운행되는 전기버스는 부가가치세 면제

□ 수소경제 활성화를 위한 로드맵(2019.1.18)

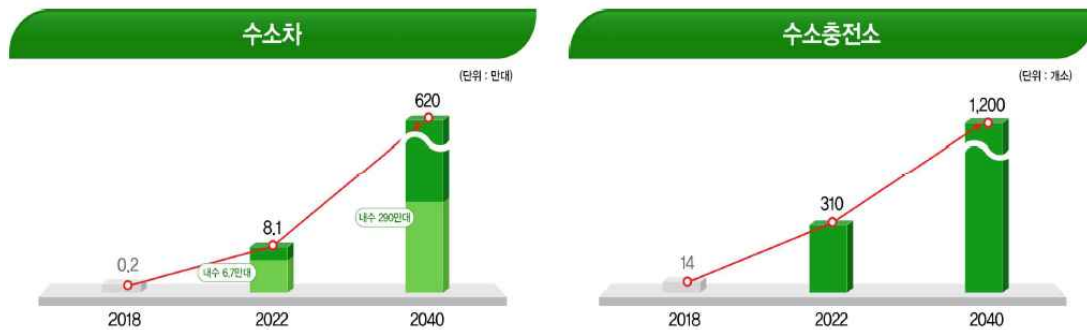
- '19년 1월, 정부에서 「수소경제 활성화를 위한 로드맵」 발표
  - 비전 : 우리나라가 강점 있는 '수소전기차'와 '연료전지'를 양대 축으로 하여 수소경제를 선도할 수 있는 산업생태계를 구축하고, '세계 최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약'
  - 총 3단계로 계획된 추진전략을 바탕으로 2040년에는 연간 43조원의 부가가치와, 42만개의 새로운 일자리를 창출하는 혁신성장의 원동력이 될 것으로 기대

- 이를 위해, 수소 전주기 안전성을 확보하고, 안정적이고 경제성 있는 수소 생산과 유통체계를 확립하여 모빌리티 분야 등에서의 수소 활용을 통한 비전 달성을 계획



<그림 2-4> 수소경제 활성화 3단계 추진전략 및 수소경제 활성화 추진 방향

- o 수소전기차 보급 계획을 '18년 2천대에서 '40년 620만대(내수290만대, 수출 330만대)로 보급 확대하고, 세계시장 점유율 1위 달성을 목표로 함



<그림 2-5> 수소전기차 및 수소충전소 보급 계획

- 수소승용차 : (' 18) 1.8천대 → (' 22) 7.9만대(내수 6.5만대) → (' 40)590만대(내수 275만대)
  - 수소승용차 국내 보급은 ' 17년까지 누적 177대(신규 51대)에서 ' 18년 누적 889대(712대)로 대폭 확대하였고, ' 19년에는 신규만 4,000대 이상을 보급할 계획
  - 2025년까지 年10만대의 상업적 양산체계를 구축하여 수소전기차 가격을 내연기관차 수준으로 하락
  - 2022년까지 핵심부품(막전극접합체, 기체확산층 등) 국산화율 100% 달성
- 수소버스 : (' 19) 35대 → (' 22) 2,000대 → (' 40) 4만대
  - 2019년 7개 주요도시에 35대 보급사업을 시작하고, 경찰버스 등 공공부문 버스를 수소버스로 전환
- 수소택시 : (' 19) 시범사업 → (' 21) 주요 대도시 보급 → (' 40) 8만대

- 2019년 서울에서 10대의 수소택시 시범사업을 추진하고, 2030년까지 내구성(현재 20만km 내외)을 50만km 이상으로 향상
- 수소트럭 : (' 20) 개발·실증 → (' 21) 공공부문 보급 → (' 40) 3만대
- 2021년부터 공공부문의 쓰레기수거차, 청소차, 살수차 등에 적용하고, 물류 등 민간 영역까지 단계적으로 확대
- ' 40년까지 수소충전소 1,200개소 구축 ((' 18) 14 → (' 22) 310 → (' 40) 1,200)
- 수소충전소 경제성 확보시까지 설치보조금을 지원하고 운영보조금 신설도 검토하여 충전소의 자립화 지원
- 민간주도 충전소 확대를 위해 SPC 참여 확대 및 기존 LPG·CNG 충전소를 수소충전이 가능한 융복합 충전소로 전환
- 입지제한·이격거리 규제 완화, 운전자 셀프충전 방안 마련 등 규제 완화를 지속적으로 추진하고, '규제샌드박스'를 활용하여 도심지, 공공청사(정부세종청사 등) 등 주요 도심 거점에 충전소 구축 추진
- 수소전기차 이외의 수소선박, 수소열차, 수소건설기계 등으로 수송분야를 확대하고 미래 유망품목으로 육성
- CO2 배출이 전혀 없고 도심지에 소규모로도 설치가 가능하여 진정한 의미의 친환경 분산전원으로 부상하고 있는 발전용 연료전지를 재생에너지 활용 수소 생산과 연계하여 ' 40년까지 15GW(수출 7GW 포함) 이상으로 확대하고 수출 산업화 추진
- 가정·건물용 연료전지도 '40년까지 2.1GW(약 94만가구) 보급 계획

구 분		2018년	2022년	2040년	
활용	모빌리티	수소차	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	620만대 (290만대)
		승용차	1.8천대 (0.9천대)	7.9만대 (6.5만대)	590만대 (275만대)
		버스	2대	2천대	6만대 (4만대)
		택시	-	-	12만대 (8만대)
		트럭	-	10톤 트럭	12만대 (3만대)
	수소충전소	14개소 (1,000만원/kg)	310개소	1,200개소	
	선박, 열차,				

		드론, 기계 등							
에너지	연료전지								
	발전용	307MW	< 2019 > 전용 LNG 요금제 신설	< 2022 > 설치비 380만원/kW	1.5GW (1GW)	< 2025 > 중소형 가스터빈 발전단가 수준	< ~ 2040 > 설치비 35% 발전단가 50%	15GW (8GW)	
	가정·건물용	7MW		설치비 1,700만원/kW	50MW		설치비 600만원/kW	2.1GW	
	수소가스터빈	R&D		실증		'30년 이후 상용화		추진	
수소공급	수소공급량	13만톤/年		47만톤/年		526만톤/年			
	생산방식	화석연료 기반 부생수소 추출수소	수요처 인근 대규모 생산		수전해 활용	수전해 수소의 대용량 정기 저장 기술개발	해외수소 도입 대규모 수전해 플랜트 상용화	그린 수소 활용 (수전해+해외 생산)	
수소가격		-		6,000원/kg (現 휘발유의 50%)		4,000원/kg		3,000원/kg	

<그림 2-6> 수소 모빌리티 보급 계획

□ 2030 미래차 산업 발전전략(2019.10.1)

○ 2030 미래차 산업 발전전략(' 19.10.1)

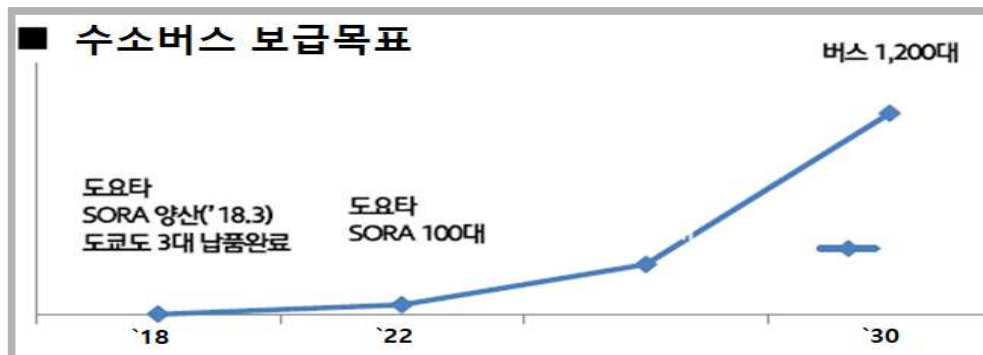
- 2030년 미래차 세계 선도국가로 도약하겠다는 의지와 전략을 담은 2030 미래차 산업 발전전략 을 관계부처 합동으로 발표함
- 정부는 2030 미래자동차 산업 발전전략 추진을 통한 “2030년 미래차 경쟁력 1 등 국가로의 도약” 을 비전으로 제시하고, 이러한 비전을 달성하기 위해 2개의 목표를 설정하였고 그 중 하나가 친환경차와 관련된 것임
- ' 30년 전기·수소차 국내 신차 판매비중 33%, 세계시장 점유율 10%
  - \* 전기·수소차 국내 신차 판매비중 : (' 19) 2.6% → (' 22) 9.9% → (' 30) 33.3%
- 향후 친환경차 기술력과 국내보급 가속화를 통해 세계시장 적극 공략

나. 일본

- 2011년 후쿠시마 원전 사고 이후 일본 전력 공급의 30%를 차지하던 원전 재가동이 늦어짐에 따라 대체 에너지 확보 차원에서 수소연료에 큰 기대를 걸고 있으며 수소·연료전지 전략 로드맵을 통해 수소연료전지자동차, 가정용 연료전지, 수소발전 등의 도입을 추진 중
- 일본은 ‘수소기본전략’ 과 ‘제5차 에너지기본계획’ 에 기초해 단기적으로는 수소 기차를 중심으로 한 모빌리티 분야에서 수소 수요를 확대하고, 중장기적으로

는 수소 비용을 낮추기 위해 국제적인 수소 서플라이 체인을 구축, 수소의 대량 소비를 위한 수소발전을 도입한다는 계획임

- 일본 정부는 제4차 에너지기본계획(2014.4) 및 제5차 에너지기본계획(2018.7)에서 일본의 에너지정책 기조를 안정공급(ENERGY SECURITY), 효율성(ECONOMIC EFFICIENCY), 친환경(ENVIRONMENT) 3개축에 안전성(SAFETY)을 더하는 이른바 “3E+S” 를 설정하고 있음
  - 또한 일본의 수소사회 실현을 위한 3단계 로드맵을 통해 이산화탄소 배출이 없는 사회 실현을 목표로 하고 있음
  - 이에 따라 FCV 보급·확대를 계획하고 있으며 2020년까지 수소자동차(FCV)를 4만대, 2025년까지 20만대, 2030년까지 80만대 보급을 목표로 설정하고 있음.
    - 수송부문의 청정연료화 촉진을 위해 연료전지(FC)를 활용한 대중교통 수단(노선 버스 등) 보급·확대를 계획하고 있음
    - 일본은 FC버스를 2020년까지 100대, 2030년까지 1,200대 도입하는 목표를 정하고, FC버스 보급·확대를 위해서 지방 정부와 협력활동을 강화할 계획임.



<그림 2-7> 일본의 수소버스 보급목표

- 차량본체가격의 50%인 5,000만 엔을 국가보조금으로 지원해주고, 각 지자체에서 3,000만엔을 지원
- 수소연료전지차를 구매 시 에코카 감세혜택으로 세제 우대조치를 취해주고 있으며 자동차 중량세, 취득세 등은 면제해주며 기타 지자체별 자동차세는 감면혜택 지원
  - 일본은 산업용 특수차(지게차 등)의 운영특성(특정지역 내에서 가동)에 기초하여, 산업용 특수차의 수소 연료화(지게차에FC 장착 등) 추진을 도모하는 한편, 산업지역에 수소공급 원활화를 위한 인프라 구축을 계획함
  - 산업용 지게차의 수소연료화 기술개발을 통해 FC지게차 보급을 2020년까지 500대 및 2030년까지 1만대 규모로 확대할 계획.

- 일본은 편의점 배송차량 등을 대상으로 FC트럭 기술 개발·적용을 통해 화물수송 부문에서 연료청정화를 추진할 계획
- 2017년 기준 일본의 상용트럭 보유대수는 320만대 이상으로 물류부문 청정연료화 추진 시 잠재적인 수소 수요는 매우 클 것으로 기대되고 있으며, 수송량 당 CO2 배출량이 큰 화물차량(수송부문 배출량의 36%)을 수소트럭으로 변경 시에 CO2배출량 감축에 크게 기여할 것으로 기대됨

## 다. 중국

- 중국은 ‘14년 에너지 발전전략 행동계획을 시작으로 수소에너지 및 연료전지 기술 발전 및 보급과 관련된 정책을 본격적으로 시작하였음

<표 2-2> 중국의 주요 수소차량 지원 및 개발 정책

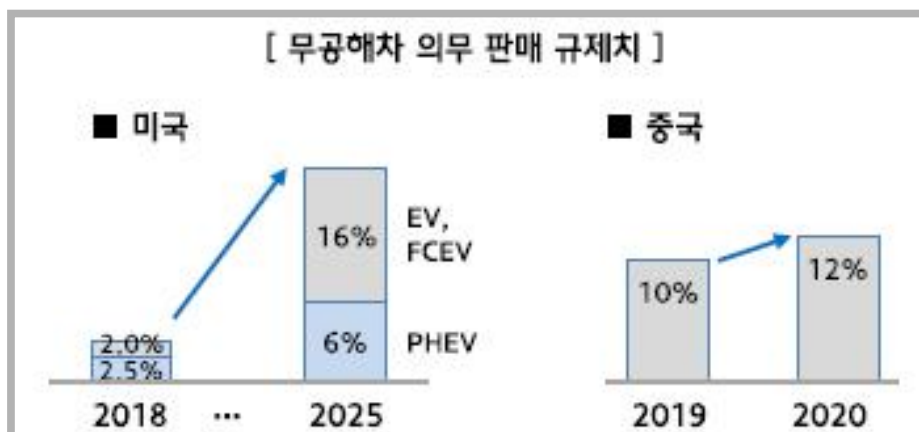
발표일자	정책명	부처	개요
2018.2.14.	신에너지 자동차 보급 응용 재정 보조금 정책 조정에 관한 통지	재정부 공업정보화부 과학기술부 국가발전개혁위원회	- 하이브리드 자동차 보조금 축소 - 수소전기차 보조금 유지
2017.5.2.	13.5 교통분야 과학기술혁신 특별 계획	과학기술부	- 수소전기차 핵심 기술 개발, 수소 충전 인프라 및 시범심사 기술발전 촉진 - 70MPa 수소저장용기 표준 제정 - 연료전지 및 연료전지 발동기 혁신
2017.4.6.	자동차산업 중장기 발전계획	공업정보화부 국가발전개혁위원회 과학기술부	- 수소전기차 핵심기술 개발 및 상업화 촉진 - 매칭펀드 조성 및 산학연 협력
2016.12.29.	신에너지차 보급 응용 재정보조금 정책 조정에 관한 통지	재정부	- 승용차, 화물차, 버스 등 보조금 기준 및 기술요구 확정
2016.7.28.	13.5 국가과학기술 혁신 계획	국무원	- 연료전지 동력 시스템 핵심기술 개발
2016.6.21.	중국제조2025 (에너지 장비 실시방안)	국가발전개혁위원회 국가에너지국	- 수소에너지 및 연료전지 기술 혁신을 중요 임무로 지정, 로드맵 제시
2016.5.19.	국가 혁신 구동 발전전략 개요	국무원	- 수소에너지, 연료전지 등 차세대 에너지 기술 개발 제시
2016.4.7.	에너지 기술혁명혁신 행동계획	국가발전개혁위원회 국가에너지국	- 수소에너지 및 연료전지 기술 혁신을 중요임무로 지정, 로드맵 제

발표일자	정책명	부처	개요
	(2016 ~ 2030년)		시
2015.5.19.	중국제조 2025	국무원	- 신에너지차를 중점 분야로 지정, 수소전기차 발전 목표 지속 지원
2015.4.22.	2016~2020년 신에너지자동차 보급 응용 재정지원정책방안	재정부 과학기술부 공업정보화부 국가발전개혁위원회	- 수소전기차 보조금 제도 확정 · 승용차 20만 위안/대 · 소형버스(승합차) 및 화물차 30만 위안/대 · 중대형버스 및 중중형 화물차 50만 위안/대
2014.11.19.	에너지 발전전략 행동계획 (2014 ~ 2020년)	국무원	- 수소에너지 및 연료전지 기술을 중점 육성 대상으로 지정

- 신에너지 차량 개발의 초기단계에서는 기술 장벽이 상대적으로 낮은 순수 전기차 개발에 집중하였으나, 환경오염 저감 및 경제성장을 견인할 에너지의 대안으로 수소 산업의 필요성이 증가되며, 수소자동차에 대한 관심을 지속적으로 높이고 있음
- '17년 발표한 중국의 수소전기차 3단계 보급 로드맵에 따라 ('20년) 0.5만대, ('25년) 5만대, ('30년) 100만대의 수소전기차 보급을 계획하고 있음



<그림 2-8> 중국 수소전기차 보급 로드맵



<그림 2-9> 무공해차 의무 판매 규제치

- 중국 정부는 2019년도부터 중국에서 연간 자동차 생산량 혹은 수입량이 5만대 이

상인 기업에 대해 의무적으로 신에너지차(전기차, 수소연료전지차)를 전체 판매 대수의 일정비율 이상 판매하도록 하여 수소전기차량 보급 및 상용화를 촉진 중

○ ‘19년 10% 의무 판매 → ’ 20년도 이후 12% 의무 판매 제도화

□ 또한 수소전기차량 구매자에게 많은 보조금을 지급하여 수소전기차 보급을 촉진함

○ 전기차에 대한 보조금이 감소되는 추세인 것과 달리 수소전기차량은 2020년까지 보조금 지원을 현행 수준으로 유지

- 중국 정부 전기차와 플러그인 하이브리드 자동차의 보조금은 점차 축소하며, 수소전기차에 대한 보조금은 현재 수준을 유지키로 함(현재 승용차는 20만 위안, 버스, 화물차는 각각 30만, 50만 위안의 보조금이 지원됨)

○ 중앙정부의 수소전기차 산업 지원정책 외에도 지방정부 차원의 지원정책도 잇따라 발표되고 있음

- 광둥성 상하이, 쑤저우, 포산, 우한 등 지방정부에서 수소전기차 산업 지원정책을 발표하였으며, 이 외에도 다통, 광저우, 칭다오, 양저우 등에서도 지원정책을 준비하고 있음

- 베이징, 광저우 및 선전 지역에서는 중앙정부와 지방정부가 1:1로 보조금 지원이 가능해 승용차의 경우 최대 40만 위안(약 6,500만원), 중대형버스 및 화물차의 경우 최대 100만 위안(약 1억6,000만원)의 보조금을 지원받을 수 있음

## 라. 미국

□ 캘리포니아 등 10개 주에서 ZEV 제도(무공해차 의무 판매 제도)를 시행하고 있으며, 이러한 방식의 규제를 통해 기업에게 수소전기차량을 비롯한 친환경 차량의 기술 개발 및 생산, 그리고 판매를 의무화하여 수소전기차량의 보급과 상용화를 촉진함

□ 미국은 미국 내 가장 큰 자동차 시장인 캘리포니아 주 정부를 중심으로 현재까지 4,200여대의 수소전기차가 보급 되었으며, ( ‘20년) 10만대, ( ‘25년) 50만대, ( ‘30년) 100만대의 수소자동차 도입을 목표로 하고 있으며 캘리포니아 주를 중심으로 환경차 관련 정책 추진

○ ZEV(Zero Emission Vehicle)란 무공해 자동차를 뜻하며 한국에서는 “친환경차” (또는 그린카 등)으로 통용되는 개념

○ ZEV 프로그램의 핵심은 일정수준 이상을 판매하는 자동차 제작업체에게 ZEV 크레딧 (ZEV Credit)을 부여하고, 할당받은 크레딧을 충족하지 못하는 업체는 1 크

레딧 당 5,000달러의 과징금(penalty)을 납부하도록 하는 것

- ZEV 추진은 대중교통(버스)과 화물운송차 등 상용차에서 먼저 이루어지고 있으며, 점차 중/대형 개인 자동차로 확대

□ 또한 미국 캘리포니아 주 같은 경우, 수소전기차량을 구매 시 기본적으로 8,000달러를 지원해주고, 저소득자의 경우 CVRP(Clean Vehicle Rebate Project) 프로젝트를 통해 해당 추가 5,000달러를 추가 지급해주어 구매자 부담을 감소

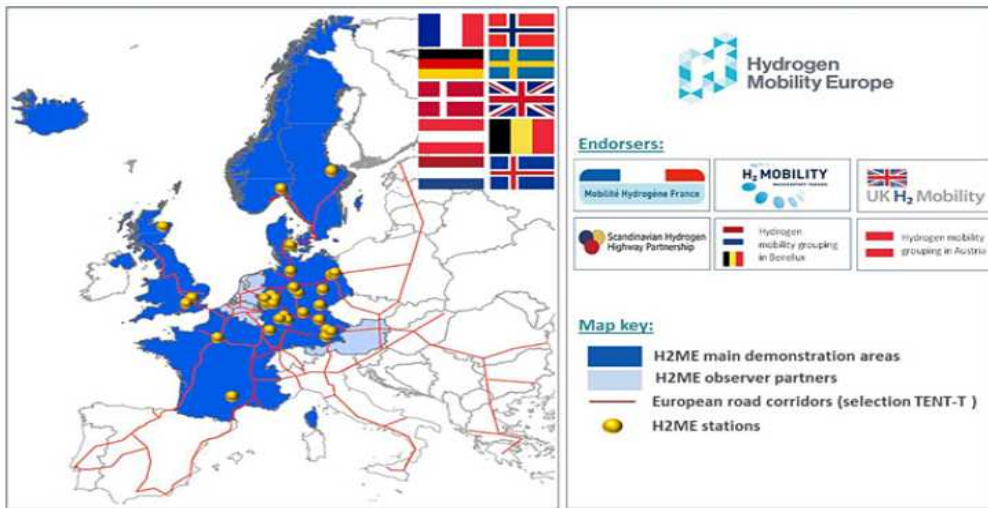
<표 2-3> 미국 ZEV 프로그램 주요 내용

구분	내용																		
시행지역	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10개 州+ 워싱턴 D.C (10개 州: 캘리포니아, 코네티컷, 메인, 매리랜드, 메사츄세츠, 뉴저지, 뉴욕, 오레곤, 로드 아일랜드, 버몬트)</li> </ul>																		
의무 대상업체	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기준 : 이전년도 CA州3년 평균 차량 판매량 기준('18년부터 기준 강화)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대형업체 : (기존) 60,000대 초과 → ('18년~) 20,000대 초과</li> <li>- 중형업체: (기존) 4,501~60,000대) → ('18년~) 4,501~20,000대</li> <li>-4,500대 이하는 소형업체로 분류되어 ZEV 의무대상에서 제외함. 이에 따라 현대자동차는 2018년부터 대형업체로 분류 전망</li> </ul> </li> </ul>																		
ZEV 종류	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ZEV(Zero Emission Vehicle) : BEV, FCEV 등 순수 전기차. 주행가능 거리에 따라 근거리용 전기차는 NEV로 별도 표현 (Neighborhood Electric Vehicle)</li> <li>• TZEV(Transitional ZEV) : PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle, 플러그인하이브리드차)</li> <li>• AT PZEV(Advanced Technology Partial ZEV) : HEV (Hybrid Electric Vehicle, 하이브리드차)</li> <li>• PZEV(Partial ZEV) : SULEV(Super Ultra-Low Emission Vehicle, 고효율 내연기관차)</li> </ul>																		
ZEV 의무 판매비율	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ('17년) 14% → ('18년) 4.5% → ('25년) 22%</li> <li>cf) '18년 의무판매비율이 갑자기 감소된 것은 규정강화를 감안한 조치</li> </ul>																		
2018년 ZEV 규정 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ZEV 크레딧 부여 차종 제한 (기존) 하이브리드차(AT PZEV), 고효율 내연기관차(PZEV) 판매시에 부여 ('18년) 오로지 순수 전기차(ZEV), 플러그인하이브리드차(TZEV) 판매시만 ZEV 크레딧 부여 ⇒ 자동차사의 전기차, 수소전기차 판매 확대 전망</li> <li>• ZEV 크레딧 최대 부여점수 축소 : (기존) 최대 9점 → ('18년) 최대 4점</li> </ul> <div style="text-align: center;"> <p><b>ZEV Requirement</b> Total ZEV Credit Percentage Requirement 2018+</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Model Year</th> <th>Requirement (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2018</td> <td>4.5%</td> </tr> <tr> <td>2019</td> <td>7.0%</td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td>9.5%</td> </tr> <tr> <td>2021</td> <td>12.0%</td> </tr> <tr> <td>2022</td> <td>14.5%</td> </tr> <tr> <td>2023</td> <td>17.0%</td> </tr> <tr> <td>2024</td> <td>19.5%</td> </tr> <tr> <td>2025+</td> <td>22.0%</td> </tr> </tbody> </table> </div>	Model Year	Requirement (%)	2018	4.5%	2019	7.0%	2020	9.5%	2021	12.0%	2022	14.5%	2023	17.0%	2024	19.5%	2025+	22.0%
Model Year	Requirement (%)																		
2018	4.5%																		
2019	7.0%																		
2020	9.5%																		
2021	12.0%																		
2022	14.5%																		
2023	17.0%																		
2024	19.5%																		
2025+	22.0%																		

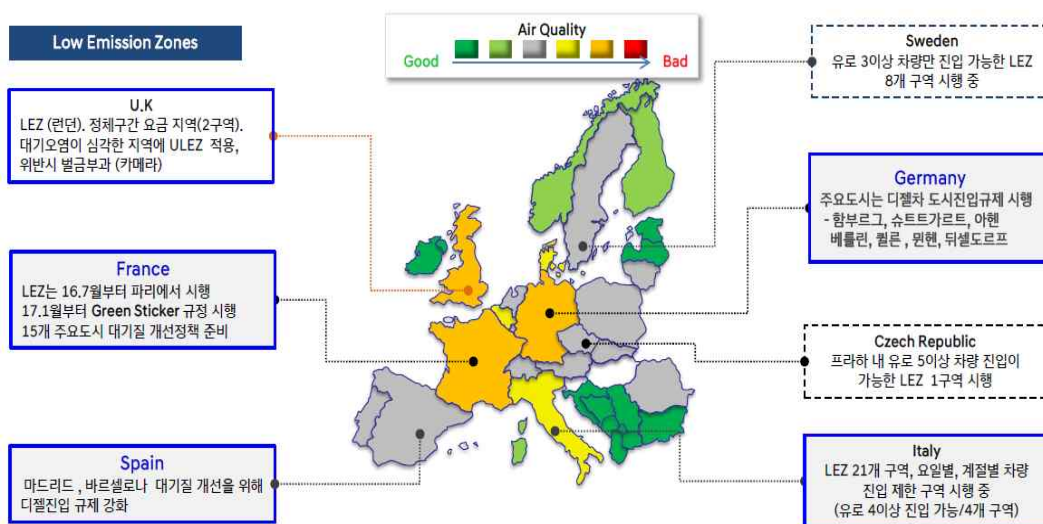
- 수소전기차량 운전자에 대하여는 2025년 9월 30일까지 별도의 승인절차 없이 혼자 탑승하고도 HOV Lane을 이용 가능
- 현재 미국의 20개주에서는 2인 이상 탑승자가 승차해 있을 때 이용할 수 있는 HOV(HOV Lanes: High Occupancy Vehicle Lanes)제도를 시행중에 있고, 단일 운전자의 경우 별도의 비용(HOT: High Occupancy Toll) 납부 시 이용 가능

**마. 유럽**

- 유럽의 경우 EU와 북유럽을 중심으로 수소사회 진입을 위한 움직임이 활발하며 공공-민간 파트너십(H2ME 등)을 통해 수소전기차 상용화 및 기술 완성을 위한 여러 프로젝트가 진행



<그림 2-10> 유럽(H2ME) 가입국



<그림 2-11> 유럽 그린 존

- 또한, 유럽의 200개 주요도시에서 LOW EM Zone(LEZ) 시행 등을 통해 디젤차의 도심진입 규제를 시행하고 있으며, 내연기관차 판매 금지 검토 법안 발의 등을 통해 친환경자동차 확산을 위한 노력을 펼치고 있음

<표 2-4> 유럽 주요 국가 내연기관 판매 금지 검토 법안

국가	시점	규제내용	비고
노르웨이	'25~	판매 금지	여야 합의('16.6)
네덜란드			상원 의결('16.4)
독일	'30~	판매 금지	상원 의결, 하원 부정적
인도		EV만 판매	교통부 장관 발표('17.4)
영국	'40~	EV만 판매	정부 발표('17.7)
프랑스		판매 금지	환경부 장관 발표('17.7)

- 영국의 경우 ·( '20년) 5만대, ( '25년) 28만대( '30년) 160만대를 목표로 수소 로드맵을 계획하고 있으며, 배출가스 무배출 차량 이외의 모든 차량에 보유세를 부과하는 등의 정책을 수행
  - 영국의 경우 수소연료전지차를 구매할 경우 대당 11,000유로의 구매보조금을 지원
- 프랑스는 현재 60대의 수소연료전기차가 보급되었고, 15개소의 수소충전소가 설치 되어있으며 ( '20년) 2만대, ( '25년) 17만대( '30년) 80만대의 수소자동차 보급을 목표로 설정하고 있음
  - 프랑스의 경우 수소연료전지차를 구매할 경우 대당 12,000유로의 구매보조금을 지원



<그림 2-12> 유럽 수소버스 수요 전망

- 독일은 수소기술협회에서 안정적이고 친환경적인 에너지 보급을 위한 국가혁신 프로그램으로 수소연료전지차(FCEV), 수소버스를 적극 추진하고 있으며 FCEV 2030년 ·( '25년) 65만대, ( '30년) 180만대를 목표로 활성화 전략을 펼치고 있음

- 수소전기차량을 구매할 시 11,000유로의 구매보조금을 지원해주고, 2016년 7월부터 환경보너스 4,000유로를 추가적으로 지원
- 전기자동차 사용 촉진을 위한 E-모빌리티법 도입(2030.6.30까지)
  - 적용 대상: 충전 가능한 하이브리드 자동차와 수소자동차를 포함한 친환경 순수 전기자동차
  - 단, 플러그인 하이브리드 차량의 경우 CO2 배출량이 최대 50g/km 준수 또는 순수 전기차 최소 주행거리인 30km에 준할 경우( '18년부터는 40km 적용)
- 전기자동차에 대한 주요 혜택
  - 무료 주차, 주차료 할인, 특별 진입권
  - 전기자동차 충전소 내 주차장 예약
  - 버스전용차선 이용 허용
  - 전기자동차에 대한 별도 차량표지판 도입을 통해 구분용이
  - 독일 내 각 지자체에 자체적으로 인센티브를 위한 결정권 부여 등
- 이외에도 벨기에의 경우 수소전기차 구매기업에 인센티브를 제공하고, 오스트리아에서는 '16년 부터 수소전기차와 전기차에 대해 부가가치세를 공제함. 덴마크 또한 수소전기차 구매 시 등록세를 면제하고 있으며, 각 나라에서 다양한 보조금 지원 사업을 통해 친환경자동차 보급을 촉진하고 있음

## 2. 국내외 수소버스 평가기술 제도화 및 국제화 동향

### 가. 국내·외 수소버스 안전성 평가기준

- 국내에서 판매되는 자동차의 경우 자동차관리법 내의 '자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙'에 따른 안전성 평가기준을 적용받고 있음
- 위 규칙에서는 길이, 너비 등 자동차의 제원과 자동차에 기본적으로 필요한 주행·제동성능, 등화장치 등에 대해서 규정하고 있으며, 일부 항목의 경우 버스(차량총중량 4.5톤을 초과하는 대형승합자동차)에 대해 별도의 기준을 적용
- 일반적인 내연기관 버스에 적용되는 기준을 제외하고, 수소연료전지버스의 연료장치에 대해서 별도의 기준을 적용하고 있으며, 세부내용은 다음과 같음

- 17조의 기준은 수소연료전지버스의 운행 중에 수소 누출 등을 검사하는 기준이며, 91조의 기준은 충돌, 전복 등 사고 상황에서의 수소연료장치의 안전성을 확인하는 기준임
- 특히, 91조 연료장치 기준에서는 사고 특성이 다른 승용자동차와 버스에 대해서 기준을 구분하여 적용하고 있으며, 버스의 경우 연료장치 고정성 확인 시험과, 전복안전성 시험 기준을 적용
- 이외에 수소연료전지자동차를 포함한 전기자동차의 고 전원전기장치에 대한 별도의 안전성 기준 적용

**제17조(연료장치)**

- ② 수소가스를 연료로 사용하는 자동차는 다음 각 호의 기준에 적합하여야 한다.
1. 자동차의 배기구에서 배출되는 가스의 수소농도는 평균 4%, 순간 최대 8%를 초과하지 아니할 것
  2. 차단밸브(내압용기의 연료공급 자동 차단장치를 말한다. 이하 이 조에서 같다) 이후의 연료장치에서 수소가스 누출 시 승객거주 공간의 공기 중 수소농도는 1% 이하일 것
  3. 차단밸브 이후의 연료장치에서 수소가스 누출 시 승객거주 공간, 수하물 공간, 후드 하부 등 밀폐 또는 반밀폐 공간의 공기 중 수소농도가  $2\pm 1\%$  초과 시 적색경고등이 점등되고,  $3\pm 1\%$  초과 시 차단밸브가 작동할 것

**제91조(연료장치)**

- ⑥ 내압용기를 사용하는 차량총중량 4.5톤을 초과하는 승합자동차 및 화물자동차의 내압용기 고정장치는 다음 각 호의 구분에 따른 하중을 가할 때 파손되는 현상이 없어야 한다.
1. 차량총중량 4.5톤 초과 5톤 이하의 승합자동차 및 차량총중량 4.5톤 초과 12톤 이하의 화물자동차
    - 가. 자동차 길이방향으로 중력가속도의 10.0배
    - 나. 자동차 수평방향으로 중력가속도의 5.0배
  2. 차량총중량 5톤 초과 승합자동차 및 차량총중량 12톤 초과 화물자동차
    - 가. 자동차 길이방향으로 중력가속도의 6.6배
    - 나. 자동차 수평방향으로 중력가속도의 5.0배
- ⑦ 천연가스 또는 수소가스를 연료로 사용하는 차량총중량 4.5톤을 초과하는 승합자동차(「여객자동차 운수사업법」에 따른 마을버스, 자동차관리법 시행규칙 별지 제25호 서식에 따른 자동차제원표에 입석정원이 기재된 자동차 및 2층 대형승합자동차는 제외한다)는 별표 11의6의 기준에 적합하여야 한다.

- 수소연료전지버스는 자동차 안전기준 외에도 사용하는 내압용기의 안전성 기준이 있으며, 자동차관리법 내의 ‘내압용기 안전에 관한 규정’에 따라서 안전성 검증을 실시
  - 위 규정에서는 수소용기 및 부속품, 자동차 내 설치규정, 수소자동차 연료 공급 관련 부품(충전구 등)에 대한 안전성 기준을 다루고 있음

- 수소내압용기의 안전성 기준은 설계단계의 검사와, 생산단계의 검사로 나뉘며, 설계단계의 검사에서는 다음과 같은 항목 보유
  - 외관검사, 치수검사, 재료시험, 파열시험, 상온압력반복시험, 파열전누출시험, 화염노출시험, 충격시험, 환경시험, 결함시험, 파열시험, 극한온도 압력반복시험, 낙하시험, 기밀시험, 투과성시험, 보스 토크시험, 수소가스 반복가압시험
  - 또한 국내 내압용기 안전규정에서는 신규설계시에 적용하는 시험항목과, 설계 변경시에 적용하는 시험항목이 구분되어있으며, 현재 국내에서 운행중인 수소버스에 사용 되는 대용량 수소내압용기의 경우 화재시험 등 일부 시험항목에 대한 평가기준이 명확하지 않아, 최초설계 후 길이를 연장하는 설계변경을 통해 인증을 진행

<표 2-5> 신규설계·제조 및 설계변경에 따른 검사 항목

신규 및 변경사항	용기의 검사항목												
	재료 시험	파열 시험	상온 압력 반복 시험	파열 전 누출 시험	화염 노출 시험	충격 시험	환경 시험	결함 시험	가속 응력 파열 시험	극한 온도 압력 반복 시험	낙하 시험	투과 성 시험	기밀시험, 보스토크 시험, 수소가스 반복가압 시험
신규설계	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	4	4
섬유 제조사의 변경		3, 4	3, 4	3, 4					3, 4	3, 4	3, 4		
금속 라이너 재료변경	3	3	3		3	3	3	3	3	3	3		
플라스틱 라이너 재료	4		4				4			4		4	4
섬유 재료	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4		
수지 재료						3,4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4		
내경 변경 ≤ 20%		3, 4	3, 4										
내경 변경 > 20%		3, 4	3, 4		3, 4	3,4		3, 4		3, 4	3, 4		
길이 변경 ≤ 50%		3, 4											
길이 변경 > 50%		3, 4	3, 4		3, 4						3, 4		
사용압력 변경 ≤ 20% <sup>(1)</sup>		3, 4	3, 4										
사용압력 변경 > 20% <sup>(1)</sup>		3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4							
돔(Dome) 형태 변경		3, 4	3, 4										4
개구부 크기 변경		3, 4	3, 4										

신규 및 변경사항	용기의 검사항목												
	재료 시험	파열 시험	상온 압력 반복 시험	파열 전 누출 시험	화염 노출 시험	충격 시험	환경 시험	결함 시험	가속 응력 파열 시험	극한 온도 압력 반복 시험	낙하 시험	투과 성 시험	기밀시험, 보스토크 시험, 수소가스 반복가압 시험
코팅 변경	3, 4						3, 4						
보스(또는 마감플러그) 변경													4 <sup>(2)</sup>
제조공정 변경		3, 4	3, 4										
화재보호 시스템 변경					3, 4								

[비고]  
(1) : 직경이나 압력이 변화하여 그에 비례해서 두께 변경이 있을 경우  
(2) : Neck부분에 응력의 변경이 원래의 값과 같거나 감소할 경우에는 수소가스반복시험은 실시하지 않아도 됨.  
3 : Type-3 용기  
4 : Type-4 용기

- 내압용기의 생산단계 검사는 다음과 같은 항목에 대해서 진행하며, 시험 용기와 라이너는 각각의 배치로부터 무작위로 선정하며 시험에서 사용된 용기는 폐기

<표 2-6> 생산단계검사 항목

관련조항	생산단계검사 항목	Type-3 용기	Type-4 용기
3.2.3.1	제조기술기준 준수여부 확인	○	○
3.2.3.2	치수검사	○	○
3.2.3.3	라이너 인장시험	○	○
3.2.3.4	라이너 충격시험	○	
3.2.3.5	연화온도시험(라이너)		○
3.2.3.6	보호코팅시험	○	○
3.2.3.7	파열시험	○	○
3.2.3.8	상온압력반복시험	○	○
3.2.3.9	기밀시험		○
3.2.3.10	보스토크시험		○

- 수소용기 부속품의 안전성 기준 역시 설계단계 검사와, 생산단계 검사로 나뉘어져 있으며, 설계단계에서는 다음의 항목에 대한 안전성 시험 실시
- 외관검사, 재료시험, 부식저항시험, 내구성시험, 수압반복시험, 내부누출시험, 외부누출시험, 내압시험

- 생산단계의 검사는 외관검사, 내부누출시험, 외부누출시험, 내압시험 4가지 항목에 대해서 실시하며, 부속품의 생산단계 검사 샘플링 방법은 다음과 같음

2.2.1.1 생산단계검사는 동일제조소에서 같은 날에 같은 생산단위로 제조된 제품으로서 그 크기 및 형상이 동일한 제품을 1조로 한다

2.2.1.2 2.2.1.1에 따라 형성된 조에서 채취하는 시료의 수는 다음 표와 같이 하고 시료채취 방법은 임의로 채취하는 샘플링 방식으로 한다.

<시료 채취 수>

1조를 형성하는 수	10개 이하	11개 이상 100개 이하	101개 이상 300개 이하	301개 이상 700개 이하	701개 이상
채취 수	전수	10개	15개	20개	25개

[비고] 안전밸브가 가용전 또는 파열판으로 되어 있는 것(용기본체에 직접 부착하는 구조의 것을 포함한다. 이하 같다)에 대한 검사에 있어서는 이 표에도 불구하고, 2개 이상의 수를 채취수로 할 수 있다.

- 수소내압용기 및 부속품의 자동차 내 설치기준에서는 내압용기(용기밸브 포함) 및 용기안전장치(밸브), 가스 충전구, 역류방지장치(체크밸브), 주 밸브(고압차단밸브), 압력조정기(감압밸브), 과류방지밸브, 배관, 과압방지장치, 압력계 및 연료계, 용기고정장치의 설치기준에 대해서 다루고 있음
- 내압용기의 경우 육안검사를 통한 외면의 흠·부식·우그러짐 등의 발생 여부를 확인하고, 차체의 전단으로부터 420mm 이상, 후단으로부터 300mm 이상, 차체의 외측면으로부터 200mm 이상의 간격을 가질 것 등의 기준이 있음
- 수소자동차 연료공급 부품에 대한 시험은 부품 중 3.0MPa 이상의 압력이 작용하는 피팅(Fittings), 플렉시블(Flexible) 연료 호스, 수소필터, 수동밸브, 체크밸브, 압력조정기, 배관안전밸브(PRV), 충전구(Receptacles), 수소시스템 센서에 대해서 적용하며, 시험항목은 다음과 같음

<표 2-7> 연료공급 부품에 대한 인증 시험 항목

부속품	시험의 종류					
	재료 시험	부식저항 시험	내구 시험	수압반복 시험	내부누출 시험	외부누출 시험
피팅(Fittings)	√	√	√	√		√
플렉시블(Flexible) 연료 호스	√	√	√	√		√
수소 필터	√	√		√		√
수동 밸브	√	√	√	√	√	√
체크 밸브	√	√	√	√	√	√
압력 조정기	√	√	√	√	√	√
배관안전밸브(PRV)	√	√	√	√	√	√
충전구(Receptacles)	√	√	√	√	√	√
수소시스템 센서	√	√	√	√		√

□ 미국, 유럽, 일본 등 주요 해외국가에서도 국내와 유사한 수준으로 수소버스 및 내압용기의 안전성 평가를 진행하고 있음

시험항목	미국	유럽	한국	일본
최대사용압력	○	○	○	해당없음
내압시험	○	○	○	해당없음
응력해석	해당없음	○	○	해당없음
수지전단강도시험	○	○	○	해당없음
재료시험	○	○	○	해당없음
보스토크시험	○	○	○	○
파열시험	○	○	○	○
실온 반복 가압시험	○	○	○	○
결함내구성시험	○	○	○	해당없음
화염시험	○	○	○	○
낙하시험	○	○	○	○
환경시험	○	○	○	○
극한온도반복 가압시험	○	○	○	○
가속응력 파열시험	○	○	○	○
충격시험	해당없음	○	○	해당없음
투과시험	○	○	○	○
수소가스반복가압시험	○	○	○	○
고온크리프시험	해당없음	해당없음	해당없음	해당없음
파열전누출시험	해당없음	○	○	해당없음

□ 수소 내압용기 부속품 시험기준이 적용되는 제품 및 적용기준은 다음과 같음

<표 2-8> 시험기준 적용 품목

한국 (내압용기 안전성 등에 관한 규정 별표 7, 11)	유럽(EU 406.2010)	미국(HGV 3.1)
1. 용기 밸브 2. 용기 안전장치 3. 피팅 4. 플렉시블 연료 호스 5. 수소필터 6. 수동 밸브 7. 체크 밸브 8. 압력 조정기 9. 배관안전밸브 10. 충전구 11. 수소시스템 센서	3.0 MPa를 초과하는 부품 1. 용기 2. 자동 차단 밸브 3. Container assembly 4. 피팅 5. 플렉시블 배관 6. 열교환기 7. 수소 필터 8. 수동 및 자동 밸브 9. 체크(non-return) 밸브 10. 압력 조정기 11. pressure relief device 12. pressure relief valve 13. 충전구 및 리셉터클 14. removable storage system connector 15. 압력, 온도, 수소 및 유량 센서 16. 수소 누출 감지 센서	1. 체크밸브 2. 수동밸브 3. 용기용 밸브 4. 자동 밸브 5. 가스 인젝터 6. 압력 측정기 7. 압력 조정기 8. 안전밸브 9. 안전장치 10. 과류차단밸브 11. Gas-tight housing, 과누출 capture라인 및 passage 12. 금속배관 13. 플렉시블 배관 14. 필터 15. 피팅 16. 비금속 저압 rigid fuel line 17. 압력 퍼지용 덮개

<표 2-9> 시험기준

한국 (내압용기 안전성 등에 관련 규정 별표 7, 11)	유럽(EU 406.2010)	미국(HGV 3.1)	
수소 호환성 시험(금속)	수소 적합성 테스트		과토크 저항 시험
수소 호환성 시험(비금속)			굽힘 모멘트 시험
노화 시험	에이징(ageing) 테스트	대기 노출	외부 표면의 자외선 저항
오존 호환성 시험	오존 적합성 테스트		자동차 유체 노출
부식저항시험	부식 저항 테스트	부식 저항	비정상적인 전기 저압
		가속 부식 저항 시험	진동 저항
내구성 시험	내구성 테스트	내구성 테스트	절연 저항
			사전 냉각 수소 노출
수압 반복시험	수압 사이클 테스트	수압강도 시험	
내부 누출 시험	내부 누출 테스트	내부 누출 테스트	
외부 누출 시험	외부 누출 테스트	외부 누출 테스트	

## 나. 수소버스 국제기준(Global Technical Regulation 13) 현황

- 수소전기차 세계기술규정인 UN GTR 13은 1998협정의 부속규정으로 2013년 제정되었으며, 2014년 국내 안전기준으로 도입(내압용기 관련 규정은 미도입)
- GTR 13에서는 수소연료전지시스템(CHSS)과 차량연료장치 그리고 전기안전성 3가지로 시험기준을 구분

### 제 1장 수소연료전지시스템

#### 1. 압축수소가스 내압용기

##### 1.1 기본성능시험

- 임의로 채취한 3개의 용기에 대하여 다음의 수압파열시험과 수압반복시험을 수행한다.

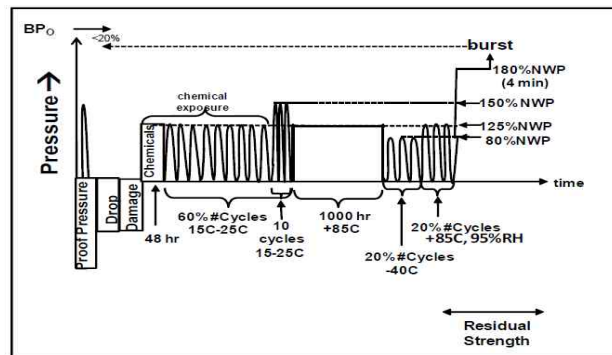
##### 1.1.1 수압파열시험

- 3개의 수소저장용기를 사용압력의 225% 이상의 압력까지 1.4MPa/s 이하의 속도로 가압하여 목표 설계 파열압력대비 ± 10% 이내를 확인한다. 단, 유리섬유로 구성된 수소저장용기의 경우 사용압력의 350%를 최소 파열압력으로 정한다.

##### 1.1.2 수압반복시험

- 3개의 수소저장용기를 20(±5)℃의 유압으로 사용압력의 125%(+2/-0 MPa) 이상의 압력까지 분당 10회 이하의 주기로 22,000회 수압반복시험을 수행하며 최소 11,000사이클 동안 누설이 발생하지 않아야 한다.

## 1.2 내구성시험(연속시험)

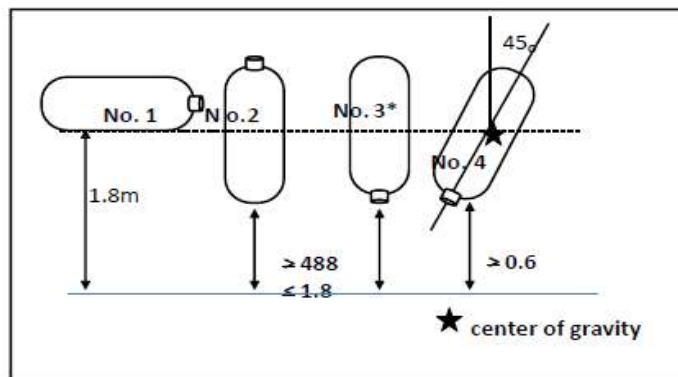


### 1.2.1 내압시험

- 비부식성 유체를 사용하여 사용압력의 150%(+2/-0 MPa)까지 가압한 후 30초동안 유지

### 1.2.2 낙하시험

- 용기내부를 가압하지 않고 밸브를 부착하지 않은 상태에서 1.8m에서 4방향으로 낙하시킨다.



### 1.2.3 표면흡집시험

- (표면결함생성) 시료용기의 외측 벽에 길이 방향으로 2개의 결함을 생성한다.
  - 1차 : 밸브체결부위 방향으로 길이 25mm, 깊이 1.25mm 결함생성
  - 2차 : 밸브체결부위 반대 방향으로 길이 200mm, 깊이 0.75mm 결함생성
- (진자충격) 용기를 -40℃에서 12시간 유지한 후 용기 상층부의 임의로 겹쳐지지 않는 5개소의 중심부에 30J 이상의 진자 충격을 가한다.

### 1.2.4 화학노출시험 및 수압반복시험

- 진자충격시험을 완료한 5개소 부위에 48시간동안 0.5mm 두께와 100mm 지름의 유리솜에 아래 5개 용액을 가하여 화학노출시험을 수행한다.이 때, 용기에 추가 시험을 하기 전까지 20(±5)℃에서 공칭 사용압력의 125%(+2/-0 MPa)의 압력 수준을 (유압식으로) 유지시킨다.
  - 황산(물 부피의 19% 용해), 수산화나트륨(물 중량의 25% 용해), 메탄올(5%)와 가솔린(95%), 질산 암모늄(물 중량의 28% 용해), 차유리 워셔액(물 부피의 50% 메틸 알콜)
- 그 후, 수압반복시험을 지정된 사이클 횟수까지 수행하며, 유리솜을 제거하고 용기의 표면을 물로 씻고 마지막으로 150%(+2/-0 MPa)로 수압반복시험을 10회 더 수행한다.
  - 상온조건으로 48시간, 875Bar 가압 → 875Bar로 13,190회 반복 → 1,050Bar로 10회 반복

### 1.2.5 가속응력시험

- 용기의 외부환경 및 내부유체를 85℃(±5℃)로 유지하고 사용압력의 125%(+2/-0 MPa)의 압력 수준으로 1,000시간 내압시험 진행

### 1.2.6 극한온도 반복시험

- 40°C 이하의 조건에서 사용압력의 80%의 압력 수준으로 4,400회 수압반복시험 수행
- 85°C 이상, 습도 95%이상 조건에서 사용압력의 125% 압력 수준으로 4,400회 수압반복시험 수행

### 1.2.7 압력 잔류 시험

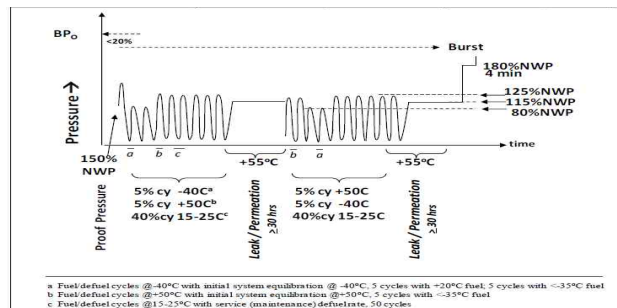
- 사용압력의 180% 압력 수준으로 가압하여 4분 이상 유지

### 1.2.8 파열압 시험

- 수압파열시험을 수행하여 최초 설계 파열압력 대비 80% 이상인지 확인

### 1.3. 가스성능시험(연속시험)

- 압축수소저장시스템(CHSS)의 검사 기준을 확인하기 위해 임의의 1개 용기에 대해 아래와 같이 연속적으로 5가지 시험을 수행함



#### 1.3.1 내압시험

- 사용압력의 150%(+2/-0 MPa)까지 가압한 후 30초동안 유지

#### 1.3.2 극한온도 가스반복시험

- 40°C에서 사용압력의 80%(+2/-0 MPa)까지 가압한 후 25회 반복시험 수행
- 50°C, 습도 95%에서 사용압력의 125%(+2/-0 MPa)까지 가압한 후 25회 반복시험 수행
- 20°C에서 사용압력의 125%(+2/-0 MPa)까지 가압한 후 200회 반복시험 수행

#### 1.3.3 누설 및 투과성 시험

- 55°C, 사용압력의 115%(+2/-0 MPa)까지 가압한 후 30시간 동안 누설 뜯는 침투로 인한 정상방출속도를 측정하여 46mL/h/L 이하인지 확인
- 투과율이 0.005mg/sec 보다 높은 경우 기포 시험 수행

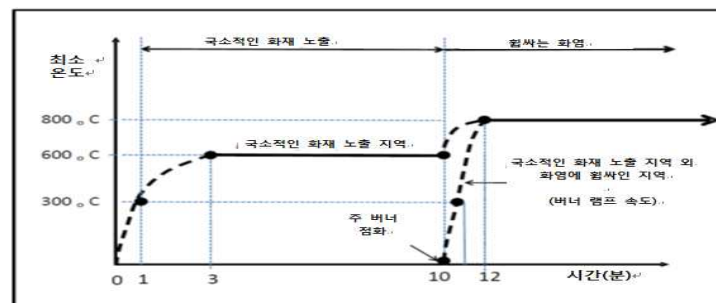
#### 1.3.4 압력잔류 시험

- 사용압력의 180% 압력 수준으로 가압하여 4분 이상 유지

#### 1.3.5 파열압 시험

- 파열시험을 수행하여 최초 설계 파열압력 대비 80% 이상인지 확인

### 1.4 화염성능시험



- 용기 조립품에 압축수소가스를 공칭 사용압력의 100%(+2/-0 MPa)의 압력으로 채우고 화재원으로부터 100mm 위에 수평 상태로 위치시킨다.
- 용기가 국소적인 화재 노출 시험과 전체 화염 시험을 모두 만족하는지 확인한다.

## 1.5 TPRD 내구성능시험

### 1.5.1 TPRD 압력반복시험

- 5개의 TPRD를 활용하여 11,000 회의 내부압력 사이클 시험 수행
  - (압력조건) 최초 5 사이클 : 2(±1)MPa와 150% NWP (±1MPa) 사이로 수행
  - (압력조건) 10995 사이클 : 2 (±1)MPa와 125% NWP (±1MPa) 사이로 수행
  - (온도조건) 최초 1500 사이클 : TPRD 온도 85°C 이상
  - (온도조건) 나머지 사이클 : TPRD 온도 55(±5)°C 유지
- ※ 최대 사이클 속도는 분당 10회를 넘기지 않는다.

### 1.5.2 TPRD 가속수명시험

- 8개의 TPRD를 활용해서 사용압력의 125%(±1 MPa)에서 시험 수행
  - 3개 : 제조사에서 제시하는 활성화 온도(Tact)에서 수행 : 10시간 이내에서 활성화
  - 5개 : 가속수명온도( $T_{life} = 9.1 \times Tact^{0.503}$ )에서 수행 : 500시간 이내에서 비활성화

### 1.5.3 TPRD 온도반복시험

- 가압되지 않은 TPRD를 -40도 이하로 유지되는 챔버에 넣고 최소 2시간 동안 유지한 뒤 5분 이내에 85도 이상으로 유지되는 챔버에 넣고 2시간 유지한다. 이후 -40도 이하로 유지되는 챔버에 넣고 최소 2시간 동안 유지 한다.(총 15회 반복)
- 15회 반복 후 TPRD를 -40도 이하의 용기에 최소 2시간동안 유지하며 내부 압력을 2MPa (+1/-0MPa)에서 80% NWP 사이로 100회 순환반복한다.

### 1.5.3 TPRD 염수부식저항시험

- 2개의 TPRD로 시험 수행
- 내부 챔버 온도를 30°C ~35°C 로 유지하고 및 간이캡 등을 제거한다.
- 500시간 동안 아래의 조건에서 TPRD당 한 개의 시험을 수행
  - 1개 : pH 4.0 ± 0.2(염수용액에 황산과 질산을 2:1 비율로 첨가하여 농도 설정)
  - 1개 : pH 10.0 ± 0.2(염수용액에 수산화나트륨을 첨가하여 농도 설정)
- 시험 후 누출시험, 벤치탑 시험, 유량시험을 실시하여 기준적합여부를 확인한다.

### 1.5.4 TPRD 차량환경시험

- 1개의 TPRD로 24시간 동안 20°C(±5°C) 조건에서 아래 유체에 대한 내성 확인시험 수행
  - 19% 황산수용액(부피%)
  - 25% 수산화나트륨 수용액(무게%)
  - 28% 질산암모늄 수용액(무게%)
  - 50% 유리세정액(부피%, 메틸알코올)
- 시험 후 누출시험, 벤치탑 시험, 유량시험을 실시하여 기준적합여부를 확인한다.

### 1.5.5 TPRD 응력부식저항시험

- 1개의 TPRD로 실시한다. 단, TPRD의 구성품 중 황동 등 구리계열 합금으로 제조된 제품에 대해서 실시
- 챔버 내부 온도 35°C(±5°C) 및 대기압 조건에서 암모니아-공기 혼합물에 10일 동안 연속적으로 노출하여 균열 여부 등 확인

### 1.5.6 TPRD 낙하 및 진동시험

- 6개의 TPRD를 2m 높이의 콘크리트 표면으로 낙하(6개의 방향으로)하여 부적합할 정도의 외부 손상 등을 확

인하고 별도의 외부 손상이 보이지 않는다면, 30분간 각각의 3축 방향에 공진 주파수 진동을 준다.

- 공진 주파수 탐색은 10분 이내에 1.5g의 가속도와 10~500Hz 정현파 주파수범위를 통한 스위핑을 실시하여 결정하고 공진주파수가 발생되지 않으면, 40 Hz에서 진동시험을 수행한다.
- 시험 후 누출시험, 벤치탑 시험, 유량시험을 실시하여 기준적합여부를 확인한다.

#### 1.5.7 TPRD 누출시험

- TPRD 누출시험은 아래 3가지 조건에서 시험하며 누출현상이 발견될 경우 총수소누출율은 10 NmL/h 이하이다.
  - 온도: 20(±5)°C 유지, 압력: 사용압력의 5%(+0/-2MPa) 및 150%(+2/-0MPa)에서 시험
  - 온도: 85°C 이상, 압력: 사용압력의 5%(+0/-2MPa) 및 150%(+2/-0MPa)에서 시험
  - 온도: -40°C 이하, 압력: 사용압력의 5%(+0/-2MPa) 및 150%(+2/-0MPa)에서 시험

#### 1.5.8 TPRD 벤치탑 시험

- 주변온도를 600°C±10°C로 유지하고 아래 2가지 조건으로 TPRD 당 하나의 시험을 수행하여 평균 작동기준시간을 확인
  - 사용압력의 25% 이하로 가압
  - 사용압력의 100% 가압
- TPRD 시료를 25% 작동압력까지 가압하여 작동시간을 측정하고 평균작동기준시간 보다 2분 이상 차이가 나는지 확인

#### 1.5.9 TPRD 유량시험

- 8개의 TRPD를 활용해서 수행
  - 3개 : 신품
  - 5개 : 염수부식저항시험, 압력반복시험, 온도반복시험, 차량환경시험, 낙하 및 진동시험(벤치탑 시험 완료 시험품)
- 수소, 공기 또는 불활성가스를 사용하여 2±0.5MPa로 가압하고 TPRD의 유량시험 결과 중 가장 낮은 유량 값이 가장 높은 유량의 90% 이상인지 확인

### 1.6 용기밸브 내구성능시험

#### 1.5.1 용기밸브 내압시험

- 1개의 용기밸브를 활용하여 사용압력의 250%(+2/-0 MPa)의 수압을 3분 동안 가압하고 균열 여부 등을 확인
- 확인 후 시료가 파열될 때까지 1.4MPa/s 이하의 속도로 가압하며 시료의 파열압력이 기준 압력의 80% 이상인지 확인한다. 단, 사용압력의 400%를 초과하면 기준압력과 상관없이 적합으로 판정

#### 1.5.2 용기밸브 누출시험

- 용기밸브 누출시험은 아래 3가지 조건에서 시험하며 누출현상이 발견될 경우 총수소누출율은 10 NmL/h 이하이다.
  - 온도: 20(±5)°C 유지, 압력: 사용압력의 5%(+0/-2MPa) 및 150%(+2/-0MPa)에서 시험
  - 온도: 85°C 이상, 압력: 사용압력의 5%(+0/-2MPa) 및 150%(+2/-0MPa)에서 시험
  - 온도: -40°C 이하, 압력: 사용압력의 5%(+0/-2MPa) 및 150%(+2/-0MPa)에서 시험

#### 1.5.3 용기밸브 극한온도반복시험

- 총 반복시험 횟수는 체크밸브(11,000회), 차단밸브(50,000회)로 수행한다
  - 체크밸브(1cycle) : 사용압력의 100%(+2/-0MPa)로 6단계에 걸쳐 체크밸브 입구에 가압하고, 다음 반복시험 전에 출구의 압력이 사용압력의 60% 이하가 될 때까지 벤트한다
  - 차단 밸브(1cycle) : 시험 장치에 연결 후 아래 압력을 입구/출구에 연속적으로 가함
- 극한온도반복시험은 아래 온도조건으로 수행하고 용기밸브 누출시험을 실시하여 기준적합 여부를 확인
  - 온도: 20(±5)°C 유지, 전체 사이클의 90%, 사용압력의 125%(+2/-0 MPa)로 시험 수행
  - 온도: 85°C 이상, 전체 사이클 5%, 사용압력의 125%(+2/-0 MPa)로 시험 수행
  - 온도: -40°C 이하, 전체 사이클 5%, 사용압력의 100%(+2/-0 MPa)로 시험 수행
- 체크밸브의 극한온도반복시험과 누출시험을 완료하고 가장 심한 채터를 유발하는 유량에서 채터흐름시험을

24시간 동안 실시한 뒤 상온누출시험을 실시하여 기준 적합여부 확인

#### 1.5.4 용기밸브 염수부식저항시험

- 1개의 용기밸브를 활용해서 수행하며 내부 챔버 온도를 30°C~35°C 로 유지하고 500시간 동안 아래의 조건에서 염수부식저항시험 수행
  - 용액 : 5% 염화나트륨+95%증류수
- 시험 후 상온시험, 내압시험을 수행하여 기준적합여부를 확인한다.

#### 1.5.5 용기밸브 차량환경시험

- 1개의 용기밸브로 24시간 동안 20°C(±5°C) 조건에서 아래 유체에 대한 내성 확인시험 수행
  - 19% 황산수용액(부피%)
  - 25% 수산화나트륨 수용액(무게%)
  - 28% 질산암모늄 수용액(무게%)
  - 50% 유리세정액(부피%, 메틸알코올)
- 시험 후 상온시험, 내압시험을 수행하여 기준적합여부를 확인한다.

#### 1.5.6 용기밸브 대기노출시험

- 용기밸브의 구성품 중에 비금속 재료가 대기에 노출된다면 ASTM D572 규정으로 시험을 수행하여 균열 여부 등을 확인
  - 산소에 96시간, 70도의 온도조건 및 2MPa 압력 조건으로 구성품을 노출시켜 균열여부 등을 확인

#### 1.5.7 용기밸브 전기저항시험

- 1개의 시험품에 대하여 실시한다. 단, 전기저항시험은 자동차단밸브가 설치된 제품만 실시한다.
- 자동차단밸브의 전기장치를 가변이 가능한 DC 전압공급원에 연결한 후 아래의 방법으로 시험 수행
  - 정격전압 1.5배의 전압에서 1시간 동안 유지
  - 정격전압의 2배까지 올리거나 60V 중 적은 값으로 1분간 유지
  - 전기장치는 외부누설, 밸브개방 또는 연기 등의 불안전한 현상이 발생되지 않아야 함
- 상온의 작동압력에서 자동차단밸브는 아래의 조건에서 정상개방 되어야함
  - 12V 용기밸브는 9V이하에서 개방
  - 24V 용기밸브는 18V이하에서 개방
- 전력 도선과 구성부품 케이싱 사이에서 2초 이상 동안 DC 1000V 인가 시 최소허용저항은 240kΩ 이다

#### 1.5.8 용기밸브 진동시험

- 시험시료의 전후단을 막음조치하고 사용압력의 100%(+0/-2MPa) 수소를 가압하여 공진주파수에서 30분간 각각의 3축 방향에 진동을 준다.
- 공진 주파수 탐색은 10분 이내에 1.5g의 가속도와 10~500Hz 정현파 주파수범위를 통한 스위핑을 실시하여 결정하고 공진주파수가 발생되지 않으면, 40 Hz에서 진동시험을 수행한다.
- 공진 주파수 완료 후에 상온기밀시험을 실시하여 적합하여야 한다.

#### 1.5.9 용기밸브 응력부식시험

- 1개의 용기밸브로 실시한다. 단, 구성품 중 황동 등 구리계열 합금으로 제조된 제품에 대해서 실시
- 챔버 내부 온도 35°C(±5°C) 및 대기압 조건에서 암모니아-공기 혼합물에 10일 동안 연속적으로 노출하여 균열 여부 등 확인

#### 1.5.10 용기밸브 예냉수소누출시험

- 밸브 조립체를 20(±5)°C로 주위온도를 유지하고 -40도 이하로 예냉된 수소가스를 30g/s의 유속으로 3분 동안 연속 공급하며 2분간 홀드 후 다시 압력을 감압하여 10회 시험 반복한다
- 그 후 홀드 시간을 15분으로 증가시켜 10회 더 수행 한다.

- 시험 완료 후에 상온기밀시험을 실시하여 적합하여야 한다.

## 제 2장 차량연료장치

### 2.1 연료장치 적합성

#### 2.1.1 연료주입구 요구조건

- 압축 수소 연료 용기는 대기로의 역류를 방지 육안 확인
- 연료 주입구 가까이에 아래 라벨 부착 확인(연료종류, 사용압력 등)
- 연료 주입구가 오 조작 및 먼지와 물의 침입을 방지하는지 육안 확인
- 연료 주입구가 범퍼 또는 승객실 / 트렁크 등과 같은 가스가 고이기 쉬운 공간에 부착되었는지 육안검사

#### 2.1.2 저압에서의 과압 방지 보호 검사

- 과압 방지시스템의 설정 압력은 수소시스템의 해당 사용압력의 최대 허용압력보다 낮거나 같도록 설정하여야 한다

#### 2.1.3 수소 배출 시스템

- 수소 감압 시스템
  - TPRD의 Vent line 보호 여부 확인
  - TPRD의 수소 배출위치 적정성 확인
  - TPRD 이외의 다른 감압장치에서의 수소배출위치 적정성 확인
- 차량 배출 시스템
  - 정상작동 시에 배출 수소 농도가 평균 4%를 초과하면 안된다.
  - 배기가스 배출구의 수소 농도가 8%를 초과하면 안된다.
- 가연성 발생 보호: 단일 고장 조건
  - 수소 저장 시스템으로부터 수소가 차량 내의 밀폐 또는 반 폐쇄 된 공간으로 누출이 발생하면 안된다.
  - 수소 차단 밸브의 고장으로 승객실의 어느 곳에서나 수소 농도를 초래해서는 안된다.
  - 운전 중 고장으로 인해 밀폐 또는 반 밀폐 공간에서의 수소 농도가  $2\pm 1.0\%$ 를 초과하는 경우, 경고가 제공되어야한다
  - 차량의 밀폐 또는 반 밀폐 공간에서 수소 농도가 공기 중 부피비로  $3\pm 1.0\%$ 를 초과하는 경우 주 차단 밸브가 차단되어야 한다.
- 연료장치 누설 확인
  - 수소 연료 라인과 차단밸브는 Leak가 발생하면 안된다
  - 수소 누출은 가스 검출기 또는 누설감지액(비눗물)을 활용하여 평가한다.
  - 가스 누출 감지기를 사용할 경우에는 최소 10초동안 작동하여 수행한다.
  - 누설감지액을 사용하는 경우 도포 후 몇 분 동안 육안검사를 수행한다.
- 운전자 경고 장치 확인
  - 경고는 시각적 신호 또는 텍스트를 표기하여야 한다.
  - 운전자가 지정된 포지션에 안전벨트를 착용 한 상태에서 경고등을 볼 수 있어야 한다.
  - 감지 시스템이 고장난다면 노란색으로, 차량의 밀폐 또는 반 밀폐 공간에서의 농도가 허용치를 초과하게 된다면 빨간색으로 경고등이 켜진다.
  - 경고등이 켜졌을 때 주간이나 야간에 식별이 가능해야 한다.
  - 수소 농도가  $2\pm 1.0\%$  또는 고장이 감지되었을 때, ignition locking system 이 "On" ("Run") 이거나, 차량 추진 시스템이 작동중일 때 점등상태를 유지한다

### 2.2 충돌 후 연료장치 적합성

- 연료누출

- 자동차의 정지 순간부터 60분동안 누출된 가스량은 평균 118NL/분 이하 일 것
- 승객 거주공간
- 승객거주 공간 및 수화물 공간의 공기 중 수소농도는  $3 \pm 1.0\%$  이하일 것, 다만 충돌 후 5초 이내에 저장소의 차단밸브가 잠기고 저장소로부터 누출이 없는 경우 제외한다.
- 수소가스내압용기 설치
- 수소가스내압용기는 자동차의 부착지점으로부터 1곳 이상 부착되어 있을 것

### 제 3장 전기안전성

#### 3.1 충돌 후 전기안전성

- 충돌 후 60초 이내  $V_b$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ 의 전압이 각각 60볼트[DC], 30볼트[AC] 이하일 것
- 직류 및 교류회로가 독립적으로 구성된 경우 절연저항은 각각  $100\Omega/V$ [DC],  $500\Omega/V$ [AC] 이상일 것
- 직류 및 교류회로가 전기적으로 조합되어 있는 경우 아래의 3가지 조건 중 하나 이상을 만족할 것
  - 고전원 활선도체부와 전기적 샐시의 절연저항은 최소  $500\Omega/V$  이상
  - 고전원 활선도체부와 전기적 샐시의 절연저항은 최소  $100\Omega/V$  이상이고, 노출도전부와 전기적샐시 사이의 저항은  $0.1\Omega$  이하일 것
  - 고전원 활선도체부와 전기적 샐시의 절연저항은 최소  $100\Omega/V$  이상이고, 충돌 후 60초 이내  $V_b$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ 의 전압이 각각 60볼트[DC], 30볼트[AC] 이하일 것
- 승객거주 또는 수화물공간의 활선도체부는 IPXXB 접근시 직접 접촉되지 말아야 하며, 전류가 0.2암페어 이상 흐를 때 노출 도전부와 전기적 샐시 사이의 저항은  $0.1\Omega$  이하일 것
- 자동차의 정지 순간부터 30분동안 구동축전지 전해액 누출량이 전체 용량의 7퍼센트 이하일 것

- 차량 연료장치 및 전기안전성 시험은 국내 안전기준과 동일한 수준(2013년 제정시 국내 안전기준 도입)
- 현행 UN GTR 13은 수소연료전지자동차 기술개발의 초기단계에서 제정되어, 그동안의 기술개발 및 운행 경험 등을 바탕으로 개정 사유 발생. 우리나라, 미국, 일본 및 EC 주도로 수소연료전지자동차 GTR 2단계 개발 요청 및 WP.29 총회 승인(' 17.3.)
  - 주요내용: 충돌 시험방법 조화, 연료시스템 재료 수용성, 연료탱크 파손·파열, 전기안전성 및 적용대상 확대(승합) 등
  - 의장단: 의장(일본), 공동의장(미국), 부의장(한국), 공동부의장(중국) 서기(OICA)
  - 주요 회의 안건으로는 차종범위 확대, 수소충전구(Receptacle) 기준 제정, 현행 시험절차 및 기준 개정, 화재시험시 화염길이 등 시험방법 표준화, ISO TC197와 GTR 13 기준조화 등이 있으며, 이중 수소버스와 관련된 내용으로는 차종범위 확대, 수소충전구 기준, 화재시험법 표준화 등이 있음
  - GTR 13 2단계는 2020년 개정완료를 목표로 진행중이며, 논의가 늦어지는 일부 안건들에 대해서는 3단계 등을 통해 2020년 이후 진행하는 방안을 검토중

## 다. 수소연료전지자동차 GTR 2단계 기준개정 회의 논의 현황

### □ 의장단 회의(' 17.7.10~13, 일본 동경) 주요내용

- 1998협정에 따라 WP.29 및 AC.3에 UN GTR 13(수소연료전지자동차) 2단계 개정 요청 및 승인을 받은 협약국(한국, 일본, EU, 미국)을 대상으로 의장단 구성
- IWG 주요 논의안건(안) 협의
  - 적용차종 확대, 수소 재료 적합성 및 취성, 공칭작동압력 완화, 압력용기 응력파단 시험, 수소 충전구 요건, 현행 GTR 13 개정 건, 기준 제·개정, 각국별·제작사별 연구 활동 최신정보 공유 등

### □ 전문가기술회의(1차, '17.10.17~19, 벨기에 브뤼셀) 주요내용

- 자동차 제작사 및 용기 업체 기술현황 및 비전 등 발표
- IWG 활동범위, 역할 및 기간 등(Terms of Reference) 협의
- 수소연료전지자동차 관련 연구결과 발표 및 논의안건 제시

### □ 전문가기술회의(2차, '18.2.4~10, 미국 LA) 주요내용

- GTR 13 적용차종 범위 확대 관련
  - 승합자동차, 상용차(HDV/HDT) 등 GVW 4,536kg 이상 차종에 적용하기 위한 GTR 규정 마련 필요
    - 기준 제정 시 대상차종을 명확히 구분하여야 함
    - 효율적인 업무수행을 위하여 별도의 TF팀 구성 필요
  - 우리나라 주도로 OICA, AAM등 상용차 제작사로 구성된 TF팀 구성 및 운영을 통해 관련내용 상세 논의하기로 결정
- 수소충전구 표준규격 제정 관련
  - GTR 13 내에 수소충전구 표준규격에 대한 기준 반영이 필요함
    - 현재 GTR에는 수소충전구 규격에 대하여 ISO 및 SAE 규격을 사용할 것을 권장하고 있으며 별도 규정은 없음

- GTR 에서 규정하지 않을 경우 각국별로 상이한 기준으로 규제하게 되고, 이로 인한 제작사 부담 가중으로 수소전기차의 원활한 보급 저해
    - \* 현재 ISO17268, SAEJ2600, EU406/2010, GB/T26779 등 다양한 규정 존재
    - \* 우리나라에서는 ‘자동차용 내압용기 안전에 관한 규정’ 에서 규정
  - 표준규격은 필요하나, 이로 인한 기술적 제약은 없어야함. 설계조건만 마련하고, 성능조건은 규정하지 않는 방향으로 검토 필요
  - 충전구외에도 다양한 부품들이 존재하는데, 충전구만 GTR 규정에 포함하는 이유에 대한 논리가 필요
- 해당내용은 상세 검토하여 3차 회의때 논의하기로 결정
    - 아국에서는 충전구외 다양한 수소부품(레귤레이터, 압력센서 등) 대한 기준 마련 필요성 발표 계획
- 수소전기차 전기안전성 관련 기준
    - 전기안전성 관련 기준은 GTR13 Phase2 논의대상에서 제외. 향후 EVS-GTR(전기자동차)에서 결정된 내용을 도입하는 방향으로 추진
  - 수소전기차 내압용기의 재료적합성 기준
    - SAE에서 재료적합성 기준 제정을 위한 전문가 그룹을 운영 중이며, 미국, 독일, 일본에서 수소재료적합성에 대하여 공동연구 수행
    - 저온에서의 SSRT(Slow strain rate tension), 피로수명 시험 등 제안
  - 알루미늄 재료 부식 성능기준
    - 수소탱크 내부에 수분으로 인한 부식성능 기준 규정이 필요
    - 일본에서 부식성능을 검증하기 위한 시험법을 마련하였으며, 초안을 공개하고 자국 내 의견 수렴 중
    - 수소탱크 내부에는 수분의 존재하지 않으며, 실제 문제 사례가 없기 때문에 시험도입 필요성에 대한 근거 필요
  - GTR 1단계 시험방법 명확화 필요
    - 현행 규정 중 시험방법이 명확하지 않은 부분의 명확화가 필요

- 예를 들어 낙하시험의 경우, 낙하지점의 표면, 낙하 방향, 낙하 후 수소용기의 리바운드 횟수 등
- 낙하시험을 포함한 시험방법 명확화가 필요한 사항들에 대해서 별도 TF팀을 구성하여 논의하기로 결정
- 수소탱크 초기 과열압력 기준 변경(225%에서 200%)
  - GTR 1단계에서 규정한 과열압력 225%는 뒷받침할 데이터가 부재
  - 과열시험 압력을 변경하여 시험을 수행한 결과, 낙하시험 및 압력 반복시험에서 수소탱크의 결함이 발견되지 않음
  - GTR에는 생산단계 검사가 없기 때문에 과열시험 압력기준을 낮출 시에는 생산 단계 품질편차로 인한 문제 발생 우려
  - 기존규정을 완화하는 것이기 때문에 더 많은 시험데이터와 명확한 근거가 필요
- 화재시험 시험방법 개정 관련
  - 현행 화재시험의 재현성 및 반복성에 문제가 있어, 시험방법 구체화를 통한 반복성 확보가 필요함
  - 화염의 Heat Flux, 탱크 크기에 비례한 화재시험 면적 등
  - 해당 내용은 별도 TF팀을 구성하여 논의하기로 결정
- IWG 내의 5개 주제에 대하여 별도 TF팀을 구성하여 운영
  - 차종범위 확대(한국), 수소충전구 기준(ISO/SAE), 시험절차 개정(CSA, NHTSA), 화재시험 표준화(SAE), ISO TC197 기준조화(ISO)
  - ( )는 TF팀 팀장 수행 기관/국가
  - 한국에서는 차종범위 확대 TF 팀장 역할을 수행하며, 나머지 4개의 TF팀에도 팀원으로 참여
- 전문가기술회의(3차, ' 18.6.26~28, 한국 서울) 주요내용
  - TF1: UN GTR No.13 차종범위 확대
    - 수소탱크가 루프 상단에 설치된 경우, 롤오버시 연료누출을 고려한 시험 필요,

측면 설치시 측면충돌 상황에서의 연료누출 시험 필요

- 상용차 수소용기 시험기준은 기존의 기준 활용하는 방안 검토 필요(수소용기 크기에 따라 기존 기준을 스케일링하는 방안 등)
- TF2: 수소충전구(Receptacle) 기준 제정
  - 현재 GTR 은 충전구의 설계 및 시험 기준이 없으며, 일반적 사항만 규제(대기로의 역류 방지), 시험은 육안 검사로 실시
  - 충전구 안전성 확보를 위해 ISO/SAE에서 규정한 설계 및 시험 기준 GTR에 도입 제안(기밀, 내구시험 등 총 19개 시험)
- TF3: UN GTR No.13 현행 시험절차 및 기준 개정
  - 현행 GTR 13 내용 중 시험방법이 명확하지 않은 부분 명확화
  - TF3에서 논의된 안전 및 이에 대한 기관별 의견 공유
- TF4: 화재시험시 화염길이 등 시험방법 표준화
  - TF4의 목표는 기존 화재시험의 반복성 확보이며, 바람, 화염 높이, 온도의 균일성 확보, 화염 노출 영역의 크기 등 검토 예정
  - 9월 SAE 회의시 TF4 화재시험 관련내용 논의 예정
  - 현재 화재시험은 용기를 대상으로 하나, 차량상태에서의 화재시험 고려 필요
- TF5: ISO TC197와 UN GTR No.13 기준조화
  - GTR 13의 부정확 또는 불명확한 내용 개정 필요성 제안
  - 내용: 연료시스템 수소누출 규정, Lower flammability limit 정의, 가스반복가압 시험(pneumatic) 시험온도 상향(85°C → 90°C)
- 수소 내압용기 재료적합성 시험방법 논의
  - 저온(-40도) 환경에서 Slow strain rate tension(SSRT), 피로수명시험 (Fatigue life test) 등 신규 시험 제안
    - 미국(SNL), 독일(MPA), 일본(AIST) 에서 라운드 로빈 테스트 진행 중이며, 한국(표준과학연구원) 추가 참여

- SSRT 시험 압력을 사용압력의 1.25배에서 1.5배로 상향, 피로수명 시험 중 노치 테스트 삭제 등 관련 이슈사항 논의 필요
- 오픈 이슈에 대한 의견을 8월말까지 수렴 후, 9월 SAE 미팅에서 재논의 예정
- 알루미늄 HG-SCC 시험 관련 연구내용 발표
  - 알루미늄 합금강(Mg, Si, Cu) 함량에 따라 시험 수행. 구리(Cu) 함량 증가 시 부식 성능 향상 확인
- 수소탱크 초기 파열시험 압력 기준 변경
  - 수소탱크 파열시험 (Baseline initial burst pressure) 압력 기준 완화 (NWP, 사용 압력 225% → 200%)
  - 현행 GTR 1단계 규정 중 파열시험 관련 규정을 사용압력의 200%로 변경하는 법규 개정 초안 발표 (개정사유 Rationale 및 요구성능)
    - 유럽: 압력기준은 1단계 GTR에서 일본의 반대로 225%로 제정, 200% 하향 찬성
    - 한국/중국 : 검토할 시간 필요하며, 차기 회의시 의견 제시 예정
    - 태광후지킨 : 수소용기는 양산품 생산검사 규정상 1.5배 압력으로 전수검사 실시하고 있으며, 설계단계 검사인 압력시험 기준은 200% 하향 시 기준을 낮춰 설계한 탱크의 경우 손상 가능성 있음
    - 헥사곤 : 설계단계 기준을 낮추면 품질관리 필요하나, 품질기준은 법규화 되어 있지 않아 우려

□ 전문가기술회의(4차) 참석(' 18.10.16~18, 벨기에 브뤼셀)

- TF1: UN GTR No.13 차종범위 확대
  - EVS-GTR의 차종분류법 인용 시 요구사항을 승용차와 상용차 각각 별도의 장으로 구분할 것인지 결정 필요
  - 기준 적용 제외차종에 대해서도 언급 필요. EVS-GTR에서는 일부 초소형 자동차에 대한 기준 면제
  - 상용자동차의 전복안전성 및 측면충돌안전성 시험 도입 여부에 대해 결정 필요
  - 충돌모의(슬레드) 시험의 컴퓨터 시뮬레이션 대체여부 검토 필요

- 충돌시험 미적용 차종은 충돌모의 시험 진행 및 최소이격거리 기준 적용 필요
- 현재 TPRD의 수소 방출 방향은 차량 아래쪽을 허용. CHSS가 차량 천정의 설치된 경우 아래쪽 방향을 제한하는 기준 필요
- 결정이 필요한 사항들에 대해서는 IWG 회의가 아닌 TF 회의를 통해 논의 진행 예정. 차기 회의 전까지 재검토 후 안전 확정 예정
- TF2: 수소충전구(Receptacle) 기준 제정
  - 현재까지 제안된 내용에 대해서 OICA 의견을 수렴 후 최종 제안 내용을 차기 회의 시 제시 예정
- 금속 재료적합성 시험
  - SSRT 시험 압력을 사용압력의 1.5배로 상향
    - 압력 차이에 따른 시험결과의 차이는 미미하여 1.25배로 유지
  - 시험 가스 품질(순도)에 대한 검증 필요 여부
    - 가스 순도검증 1년에 1번씩 실시
  - Type-3 탱크 용접의 허용 여부
    - 용접 허용여부 등 용기 형상 규정은 GTR 기준의 범위를 벗어남. SAE에 기술된 용접에 대한 일반적 정의는 향후 상용차 내압용기 개발 고려 유지
  - 피로수명시험 중 노치 테스트 삭제 여부
    - 스무스 테스트와 노치 테스트를 둘 중 1가지 시험을 선택하여 적용하는 것으로 결정
  - SSRT 시험 요구사항 (항복강도, 인장강도, 연신율 등)
    - 요구사항에 대한 합의 필요하며, SAE 회의 시('19,2월) 논의 후 차기 IWG 회의 시 제안 예정
  - GTR 13의 시험을 실시하여 합격한 부품의 경우도 재료적합성 시험 실시 필요 여부
    - JARI : 탱크/부품에 대한 안전성 시험과는 별개로, 수소 환경에서 재료 적합성 시험 필요
    - NHTSA : 재료적합성 시험 필요성 제시 요청.

- GTR에 재료적합성 시험을 추가할지, 시험을 통과한 재료리스트만 포함할지는 각 국가별 검토 필요
  - SAE: 재료리스트를 GTR 13에 반영 시, 검증된 재료가 추가될 때마다 GTR 개정이 필요
- 알루미늄 재료 부식 시험 (HG-HCC)
  - HG-HCC 시험결과 AL 7075는 불만족, AL 6061은 만족 (1mm두께 시편, 상온 조건)
    - NHTSA: 실제 사고데이터가 있어야 범규로 제정할 수 있으며, 제안된 내용은 기준이 아닌 표준으로 논의가 적절(GTR 13은 부품 및 시스템 단위에서의 안전성 평가 기준이며, 재료 검증은 차량 단위에서는 불필요)
    - JARI: 현재 대표적 알루미늄 재료인 AL6061은 문제가 없으나, 다른 재료로 부품 제작 시 문제 발생 가능성 있음
    - 한국: 알루미늄 부식 시험은 관련 표준으로 제정 필요
- 수소탱크 초기 파열시험 압력 기준 변경
  - 수소탱크 파열시험 (Baseline initial burst pressure) 압력 기준 완화 (NWP, 사용 압력 225% → 200%)
    - 유럽/미국 : 압력기준 완화는 지난 1차 GTR에서 일본 반대로 225%로 제정 되었으며, 200% 하향 찬성
    - 중국 : 70MPa 탱크의 경우 200%도 큰 압력이므로 압력 하향 찬성하나, 35MPa 탱크는 압력 하향 반대
    - 캐나다 : 압력기준 완화에 대해 검토할 시간 필요
    - 한국 : 압력 완화 찬성
- TF3: UN GTR No.13 현행 시험절차 및 기준 개정
  - 동일한 연료시스템을 여러 번 사용 시, 전체시스템이 아닌 1개 단위의 시스템만 시험하는 방안 검토 필요
  - 수소 투과시험 시, 정상 상태에 대한 정의 필요
- TF4: 화재시험 시 화염길이 등 시험방법 표준화

- 차량 설계 시, TPRD에 화염이 전달될 수 없게하는 어떠한 구조적인 물체도 설치할 수 없도록 제한하는 기준 필요

○ 충전 인터페이스 관련 고려사항

- 수소충전소와 차량 간의 호환성을 위해 고려해야 될 사항들을 GTR에 반영 필요(충전 통신, 디스펜서 기능 시험 등)
- NHTSA: 차량의 안전 확보를 위한 최소한의 사항만 규제 필요

○ 응력파괴 성능시험 (Long-Term Stress Rupture) 제안

- 현재 수소내압용기 순차 유압시험 (Sequential hydraulic tests) 중 High temperature static pressure test 압력을 사용압력의 1.25배에서 1.5배로 상향하고, 시험시간은 1,000시간에서 105시간으로 단축하는 시험법 개정(안) 제시
- Type-3 탱크의 경우 금속 라이너가 추가적인 힘을 받기 때문에 압력 상향 시험영향에 대한 해석연구가 필요
- SAE 규정에는 제안된 시험이 선택적 시험으로 포함
- 제안된 시험법의 검증이 필요하며, 시험 비용을 지원하고 시험을 실시할 기관 필요

□ 전문가기술회의(5차) 참석(' 19.3.5~7, 캐나다 밴쿠버)

○ TF1: 차종범위 확대

- Scope 개정안 설명 및 의견수렴
  - 중국: GTR 13이 수소연료시스템과 관련된 안전성 평가를 위한 기준임을 명확하게 표현해야 함
  - 차종별 시험기준은 CP에서 선택할 수 있도록 명확하게 규정
  - 미국: 사용된 문구의 상세한 검토를 위해 각 CP 검토 후 차기 회의에서 재논의 요청 → Scope(안) IWG 회원국에 송부 및 의견수렴 진행
- 전복안전성 시험 관련
  - TF1 회의결과 필요성이 명확하지 않아 각 CP에서 동의할 경우 회의안건에서 제외 예정

- 중국: 버스의 차체구조안전성을 확인하기 위한 시험기준 도입 예정(UN R66 동일). 수소시스템 관련 별도의 기준 계획 無
  - 캐나다, 일본, 유럽 등 기타 CP에서 의견 미 제시로 TF1 회의안건에서 제외
- 측면충돌안전성 시험 관련
- 측면충돌 기준은 한국에서 제안하였으나, 현재 R&D 준비단계이며, 향후 연구결과를 바탕으로 신규도입 제안 계획
  - 회의결과 별도의 의견 없었으며, TF1 회의안건에서 제외
- 가속도 시험 도입 관련
- 가속도 시험은 세부사항에 대해서 TF1에서 논의 후 차기 IWG 회의에서 논의하기로 결정
- CHSS 설치규정 관련
- 차체와 CHSS의 최소간격을 규정한 UN R134의 설치규정은 실제 충돌상황에서의 안전성 확보에 영향이 미비함
  - 또한, 설치규정으로 인해 수소용기의 용량이 제한됨
  - 설치규정은 TF1의 회의안건에서 제외
- TPRD 설치규정 관련
- 현행 TPRD 설치규정 대형차량에 적용 가능하며, 일부 문구를 수정하여 적용하는 것으로 합의
  - 수정안은 TF3 회의에서 논의
- 수소 투과시험(Permeation) 관련
- 수소 투과시험 현행 기준은 대형차량 적용시 문제없으며, 관련 근거는 차기 회의에서 제시 예정
- 초기과열압력(Baseline initial pressure cycle life) 관련
- 현재 시험횟수는 각 CP에서 선택 가능하도록 하고있으나, 대형 차량에 대해서는 일정수준 이상의 시험횟수 제한 필요

- 시험횟수 5,500, 7,500, 11,000, 22,000 Cycle 선택 가능
- 세부내용은 TF1 회의에서 재논의후 차기 회의에서 발표
- 수소충전구, 화재시험 등의 내용은 관련 TF에서 우선 논의하며, 필요시 TF1 회의에서 수용여부를 결정
- TF2: 수소충전구 기준 제정
  - ISO 17268의 충전구 표준 설계 반영. 성능기준은 제외
    - GTR 13 개정시 사용하는 표준의 버전(연도 등) 정확하게 기재
    - 성능기준은 제외하고 도입하는 근거 마련 필요
  - 형상과 성능 등이 동일한 수준일 경우 ISO에서 제시하는 충전구 표준 설계가 아닌 충전구 사용 가능

Alternatively, another design can be chosen if the receptacle geometry design provides, at a minimum, the same level of safety and interoperability as the design shown in ISO 17268.

- 차기 회의에서 최종안 제시 및 채택여부 결정
- TF3: 현행 시험절차 및 기준 개정
  - 제시된 대부분의 안전에 대한 논의가 완료되었으며, 차기 회의에서 최종 결과 발표 예정(세부내용은 붙임 2: TF3 Agenda 참조)
- TF4: 화재시험법 표준화
  - 화재시험 시 화염원의 높이가 화염 온도에 영향을 미치며, 화염원의 높이 제어를 통한 화재시험 반복성 확보방안 제시
    - 화재시험 시 바람 등으로 인하여 화염원의 높이 측정이 어려우며, 제안된 방법은 실제 화재상황을 대변할 수 없음
    - GTR 20의 배터리 화재시험법 참고 필요
    - 6월 SAE 회의에서 TF4 회의 진행 예정
- TF5: ISO TC197 조화

- 수소전기차와 수소충전소간 상호호환성 확보를 위한 고려사항 제안
- 제안된 내용 검토하여 차기 회의에서 재논의
- 알루미늄 HG-SCC 시험, 수소 내압용기 재료적합성 시험방법 등
  - 알루미늄 HG-SCC 시험절차 검증 등을 위하여 일본, 미국, 독일 공동으로 시험 진행중
    - ‘19.10월 종료 예정이며 시험결과 등 7차 IWG 회의에서 제시
  - 재료적합성 시험 기준(안) 공유 및 각 CP의 의견회신 요청
    - NHTSA: 재료적합성 시험은 각 CP에서 선택적으로 도입할 수 있도록 기준 제정 필요
  - 일본, 미국, 한국(표준과학연구원), 중국 공동 라운드로빈 시험 진행중이며, 일부 시험결과 발표
    - 일본, 미국에서 완료된 시험데이터 비교 결과 유사한 값 확인
  - 재료적합성 시험 도입 필요성(Rationale) 제시 요청. 일본(JARI)에서 차기 회의시 제시 예정

<표 2-10> GTR 13 Phase2 향후계획

주요안건	세부내용	향후계획			
		‘19.6월	‘19.12월	‘20.3월	‘20.12월
차종범위 확대	Scope 수정	개정안 CP 의견수렴	개정안 확정	-	GRSP 제출
	수소버스 전복안전성 및 측면충돌 안전성 기준 제정	논의안건 제외	-	-	Phase3 논의안건 제시
	연료장치 고정성 시험기준 제정	개정안 작성	개정안 CP 의견수렴	개정안 확정	미정
	수압반복시험 시험횟수 변경	개정안 작성	개정안 CP 의견수렴	개정안 확정	미정
수소충전구 기준	수소충전구 설계기준 제정	제정안 CP 의견수렴	제정안 확정	-	GRSP 제출
시험절차 개정	현행 시험법 명확화	개정안 작성	개정안 CP 의견수렴	개정안 확정	GRSP 제출
화재시험 표준화	화재시험 반복성 확보	-	-	-	미정

주요안건	세부내용	향후계획			
		'19.6월	'19.12월	'20.3월	'20.12월
	대형내압용기 화재시험법 개발	-	-	-	"
ISO TC197 기준조화	ISO 표준과 GTR 13 기준 조화	기준조화(안) 제시	관련 CP 의견수렴	-	미정
알루미늄 재료 부식 시험(HG-HCC)	HG-SCC 시험 도입 여부 논의	라운드로빈 테스트 진행	라운드로빈 테스트 완료	CP 의견수렴	미정
응력파괴 성능시험	시험압력 및 시험시간 변경	CP 의견수렴	CP 의견수렴 및 개정여부 확정	-	미정
초기파열압력 시험기준 개정	NWP 2.25 to 2.0	CP 의견수렴 및 개정여부 확정	-	-	GRSP 제출
재료적합성 시험	재료적합성 시험법 개발	기준(안) CP 의견수렴	라운드로빈 테스트 완료	사용가능 재료 확인 및 GTR에 명시	GRSP 제출

- 화재시험 표준화 관련 시험 데이터 확보 등의 문제로 기준 개정에 어려움이 있음.  
의장단 회의에서는 충돌안전성 시험기준과 더불어 Phase3(가칭)에서 논의하는  
방향으로 의견이 검토 중

## 제2절. 국내외 시장동향

### 1. 국내외 수소버스 시장동향

#### 가. 한국

- 2006년 독일 월드컵에서 수소버스 실증사업으로 2대가 최초 시범운행 되었으며, 이후 현대자동차 서울본사와 경기도에 있는 부설연구소를 오가는 셔틀버스로 이용함



<그림 2-13> '06년 독일 월드컵 실증사업 운행

- 2006년 11월 29일 정부과천청사 앞 광장에서 제품성과 환경성을 평가하기 위해 실증운행 또한 실행되었으며 2006년부터 2010년까지 전국 요소에 배치되어 실제 주행환경 운행을 통한 정부과제 모니터링 사업에 투입됨
  - 2012년 9월부터 2014년 6월까지 인천국제공항 셔틀버스로 수소버스 이용
  - 2013년 6월 서울 월드컵 공원 에코투어에 사용 수소버스 투입
  - 2015년에는 광주광역시와 울산광역시에서 수소버스 시범 운행을 시행
  - 2018년 평창 동계올림픽 셔틀버스(강릉역 ~ 올림픽파크 4대)
    - 평창 동계올림픽 및 동계패럴림픽 후원차량으로 투입되어, 수송 및 의전용으로 사용되었으며 총 운행거리 15,000km에 23,000여명의 인원을 수송



<그림 2-14> '18년 평창 동계올림픽 셔틀버스 운행

□ 2018년 8월 서울시·울산시 정기 시내버스 노선 각 1대 운행

- 서울 서초구 염곡동-서울 시청을 순환하는 405번 시내버스 노선에 투입되었으며, 울산광역시 대왕암 공원-차고지 노선을 운행하는 124번 시내버스에 1년 간 시범운행을 실시



<그림 2-15> 서울/울산 시내버스 실증사업

- 2019년 1월 17일에 발표된 ‘수소경제 활성화 로드맵’에 따라 2021년까지 공공 분야의 쓰레기 수거차, 청소차, 살수차 등에 적용하고 물류 등 민간 영역까지 단계적으로 확대 예정
- 2019년 3월부터 서울, 울산, 광주, 창원, 서산, 아산 등 6개 도시에서 35대 시범 투입 예정
- 공공분야에 있어서도 한국시장과 정부·지자체의 요구에 대응하여, 시내버스/고속버스 및 중형트럭(쓰레기 수거차, 청소차) 등 다양한 차종으로 수소전기차량의 범위를 확장하고 있음
- 2019년 경찰용 수소버스도입을 위한 설계 작업에 착수 하였으며 하반기 시범 운영을 목표로 하고 있음



<그림 2-16> 경력수송버스



<그림 2-17> 쓰레기 수거차

## 나. 일본

- 일본은 경제산업성 주관 하에 민관합동으로 2002년도부터 수소충전소 및 연료전지 차량의 실증시험 프로젝트(JHFC 프로젝트)를 수행

□ 수소버스등 다양한 차종에 대한 실증 프로젝트를 수행하였으며, 오랜 기간동안 진행된 국가단위 프로젝트를 통해 제작사들의 많은 기술발전을 이끌어 냄

○ PHASE1 / PHASE 2

- 차량운행규모 : 각 60대

- 사업기간: PHASE1(' 02~' 05) / PHASE2(' 06~' 10)

**JHFC Demonstration FCVs**



<그림 2-18> 실증사업(PHASE 1)

**JHFC2 Participating Vehicles**

(2006.4 - )



<그림 2-19> 실증사업(PHASE 2)

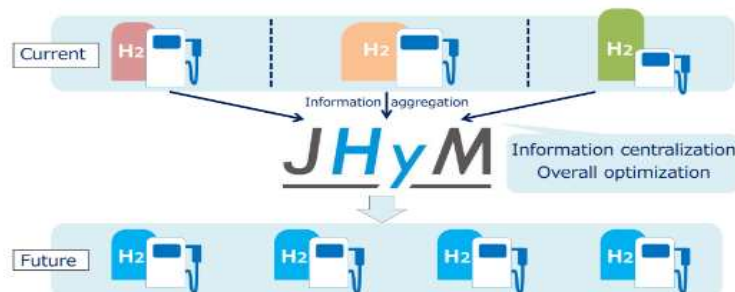
○ PHASE3



<그림 2-20> 실증사업(PHASE 3)

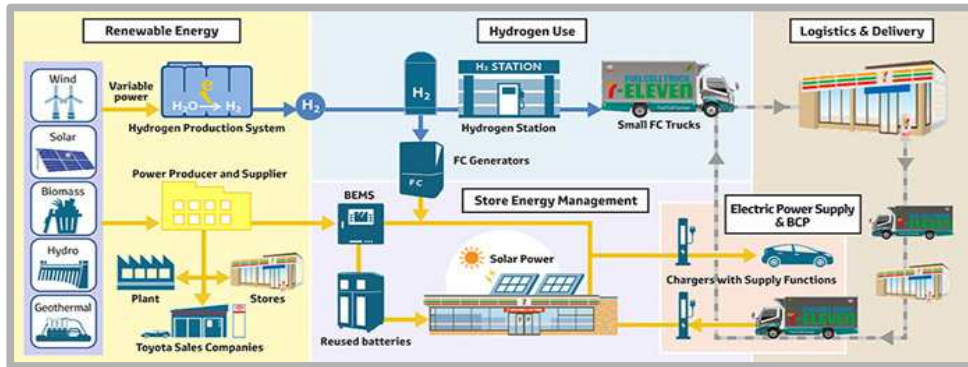
- 차량운행규모 : 50대, 사업기간 : ' 11~' 15

□ 2011년 일본 정부는 민간단체인 HySUT(수소공급·이용기술 연구조합)와 공동으로 2015년까지 4대 도시권(90개)과 고속도로(10개)에 100여 개의 수소충전소 구축 계획과 실증사업 진행



<그림 2-21> JHyM 설립으로 규격화된 수소충전소 구축 계획

- 2018년 도쿄 시내에서 일반버스와 동일한 노선으로 2대의 수소버스 실증사업 진행, 현재 3대의 수소버스를 추가하여 도합 5대의 수소버스를 이용한 시범운행 사업 진행
- 수소자동차 보급 확대를 위한 수소충전소 건설 관련 특수목적법인 설립 (JHyM' 18.3.5) 하여, 대규모 수소충전소 구축을 계획하고 통일된 장비를 사용하여 규격화된 충전소 구축을 계획
- 2019년부터 편의점 브랜드 세븐일레븐과 협업하여 수소연료전지트럭 실증사업 계획



<그림 2-22> 도요타-세븐일레븐의 저탄소 프로젝트 개략도

- 2020년 도쿄올림픽, 도쿄패럴림픽에서 도쿄를 중심으로 100대 이상의 수소버스 운영 계획
  - 다가오는 ‘2020 도쿄올림픽’ 을 수소사회의 ‘쇼케이스’ 로 만들 계획으로 대회 공식차량 홍보사인 도요타는 자사의 수소전기차 ‘미라이(MIRAI)’ 와 수소버스 ‘소라(SORA)’, 그리고 도요타자동직기(豊田自動織機)의 수소지게차를 통해 일본의 수소사회 건설에 앞장설 것을 계획



<그림 2-23> 수소버스(SORA)



<그림 2-24> 도요타 3톤급 수소트럭

- ‘19년 10월 후쿠시마 현 나미에정에서 1만kW급 수소제조장치를 갖춘 수소에너지 시스템 ‘후쿠시마 수소에너지 연구 필드(FH2R, Fukushima Hydrogen Energy Research Field)’ 의 건설이 본격적으로 시작
  - FH2R은 기존의 전력계통과 인근 태양광발전소의 전기를 사용해 연간 최대 900톤의 수소를 제조할 수 있으며, 2019년 10월 무렵 완공 예정.

- 일본은 FH2R에서 생산한 수소를 현 내뿐만 아니라, 2020 도쿄올림픽에서도 활용할 계획이며, 후쿠시마를 수소에너지 생산 거점지역으로 활용할 계획

## 다. 미국

### □ DOE 주관 ‘National Hydrogen Learning Demonstration’ 진행

- 미국 동해안 지역과 서해안 일부 지역, 그리고 미시건주와 플로리다주에서 2004년부터 2009년까지 수소스테이션 23개소에서 수소연료전지자동차 144대의 실증 사업을 수행하였으며, 현대자동차와 포드자동차가 참여하여 2009년 말에 종료


### □ CaFCP(California Fuel Cell Partnership) 프로그램

- CaFCP는 캘리포니아 대기오염 주원인인 차량 배기가스를 줄이는 근본적 대안으로 수소전기차를 상용화하기 위해 1999년 결성된 민관 파트너십으로, 에너지 효율을 높여 환경오염을 줄이고 온실가스 배출을 억제하는 지속가능한 미래 에너지 사회로 가기 위해 수소전기차량의 상용화 촉진을 계획
- 미국의 캘리포니아에서는 로스앤젤레스, 샌프란시스코 및 새크라멘토 지역을 중심으로 1999년부터 시작해 2003년에 종료된 1단계부터(50대), 2004년부터 2007년까지 진행된 2단계 사업(120대)과 2008년부터 2012년까지 진행되는 3단계까지, 2014년부터 진행된 4단계 사업( FCEV 승용 466대, 버스 21대를 실증사업 진행)을 수행

### □ 캘리포니아 주 실증사업 현황

- ‘19년 현재 수소버스 운행사 주관으로, 약 70대의 수소버스가 실증 운행중
- 필드 주행 평가, 실 운행 데이터 수집 양산성 확보 목적으로 관련사업이 진행됨

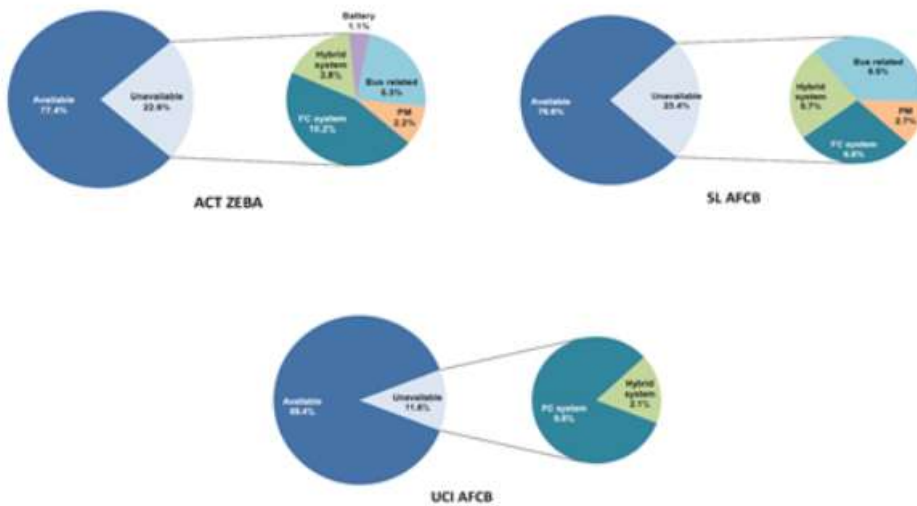
<표 2-11> 캘리포니아주 실증버스 현황

차량명	특이사항	운행버스
New Flyer 60'	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altoona 지역에서 Ballard Fuel Cell과 Siemens전원 관리가 장착된 Bus</li> </ul>	 <p>New Flyer 60</p>

<p>Two Ohio FC Buses</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 EIDorado National-California buses: Bus#1: HD6 Ballard Fuel Cell, BAE 전원 관리 Bus#2: HD6 Ballard Fuel Cell, Simens 전원 관리</li> <li>• Chicago와 Cleveland에 시범운행 될 예정이었지만 Ohio State University에서도 시행</li> </ul>	 <p>Two Ohio FC Buses</p>
<p>Battery Dominant FC Bus</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EIDorado National-California Bus</li> <li>• 80kW 미국 하이브리드 연료 전지</li> <li>• BAE HybriDrive 추진 시스템</li> <li>• 상용 기성품 50kW-hr 리튬 이온 배터리</li> <li>• 2018년 2월부터 Sunline에서 운행 중이며 3월까지 2000mile 이상을 운행</li> </ul>	 <p>Battery Dominant FC Bus</p>
<p>UAB FC Bus in Ohio</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ballard HD-6 FC를 포함한 EVAmerica 버스</li> <li>• Embedded Power Control(EPC)가 프로젝트를 완료하고 전원 관리 및 시스템 통합 제공</li> <li>• 2015~2016년에 University of Alabama Birmingham 시범 운행</li> <li>• 지금 SARTA에서 홍보 및 교육의 일환</li> </ul>	 <p>UAB FC Bus</p>
<p>FC Bus in Orange County</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원래 Ithaca, NY 에서 있었던 시범 운행</li> <li>• Ballard HD-6 및 BAE Systems 전원 관리 기능이 있는 EIDorado National-California 버스</li> <li>• Orange County Transportation Authority(OCTA)에서 2016년부터 운영 중 UC Irvine에서 현장 외유</li> <li>• OCTA는 이후 10대의 연료 전지 버스와 수소 연료 공급에 대해 주 자금을 지원</li> </ul>	 <p>FC Bus in Orange County</p>
<p>AC Transit FC BUS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 캘리포니아 지역에서 13대의 수소버스를 운행</li> </ul>	 <p>AC Transit FC BUS</p>

○ 수소버스 실증사업 운행 평가 결과

- 미국 캘리포니아 주에서 수소버스 실증사업을 수행하며, 수소버스 이용 불가능 상황에 대한 모니터링을 진행, 관련 데이터를 평가·축적하여 수소버스 보급을 위한 기반을 다지고 있음
- 약 3년간의 실증사업을 진행하며, 전체 기간 중 23%의 기간 동안 버스 이용불가
- 이용 불가능한 순위를 살펴보면, 1순위 이유로는 연료전지 시스템 자체적인 기술요인이 가장 크며, 2순위 이유로는 버스 일상정비로 인한 영향으로 파악됨



<그림 2-25> 캘리포니아 실증버스 운행 결과

<표 2-12> 캘리포니아 실증버스 운행 결과

Total	Number	%
FC System	580	9%
Hybrid propulsion	254	4%
Traction batteries	51	1%
Bus maintenance	359	6%
Preventive maint.	137	2%
Total unavailable days	1381	23%
Total planned days	6131	

- 수소버스 차량 기술은 기 개발된 수소승용차 부품을 활용해서 사용하는 등 아직 낮은 수준의 기술 단계에 머물러 있지만, 지속적인 실증사업과 관련 모니터링을 통해 기술 취약점을 파악하고 보완하는 방향으로 수소버스 실증사업을 진행하고 있음

○ 켄워스 “수소전기트럭”

- 캘리포니아 주정부로부터 총 7백만 달러의 지원을 받은 켄워스사는 도요타와 함께 수소트럭을 제작하였고 로스엔젤레스 롱비치 항구에서 ‘17년 3월부터 실증사업 수행



<그림 2-26> 켄워스 수소트럭

라. 유럽

- EU는 FCH-JU 공동사업 자금 등을 활용하여 유럽 내 대규모 수소버스 및 수소충전소 도입을 지원하는 JIVE, JIVE2 프로그램 등을 추진하고 있으며 EU를 통한 대규모 실증사업을 국가연합 단위로 진행함으로써 유럽내 전체적인 수소전기차량 보급을 계획하고 있음

<표 2-13> 유럽의 수소전기차량 관련 실증사업

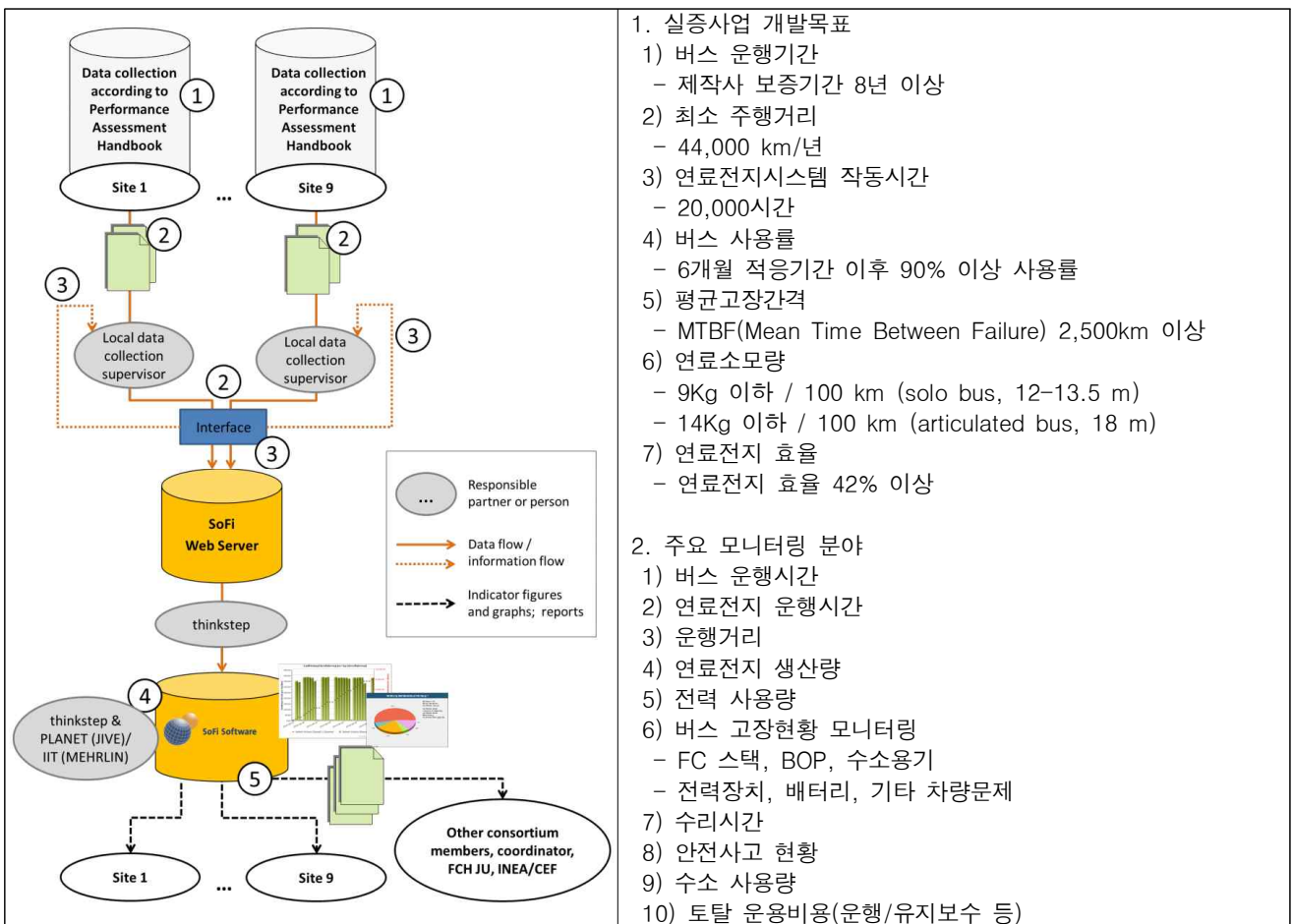
프로그램	기간	사업비	지원기관
CUTE	2001~2006	€ 46M	EU
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유럽 9개 도시에서 각 3대의 연료전지 버스 및 충전소 운행/ 설치</li> <li>- 실증 지역: Amsterdam, Barcelona, Hamburg, Luxembourg, London, Madrid 등 참여업체</li> <li>- 버스 제조: EvoBus, DaimlerChrysler</li> <li>- 버스 실증: Hamburger Hochbahn AG, London Bus Service Limited 등</li> <li>- 수소스테이션 실증: HEW, Shell Hydrogen B.V, BP Amoco PLC</li> <li>- 실증 결과: 62,000시간, 850,000km 운전</li> <li>- 프로그램 종료 후 HyFLEET프로그램으로 연계</li> </ul>		
HyFLEET	2006~2009	€ 43M	EU
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3개 대륙 9개 도시에서 연료전지 버스 14대 시범 운행</li> <li>- Berlin에서 수소내연기관차 14대 시범 운영</li> <li>- 기존의 수소 충전소 최적화</li> <li>· 수소 충전 실적: 326,000kg 이상 재충전, 13,000회 이상 충전</li> <li>· 수소 생산 및 공급 방법: 전기분해 LNG/LPG 개질, 잉여수소</li> <li>- 신규 수소 충전방법 테스트 및 개발(LPG, 바이오 DME 이용 수소제조 등)</li> <li>- 참여 기관 : 정부 기관, 자동차 회사, 운송 업체, 인프라 업체, 대학 및 컨설턴트</li> </ul>		
CHIC	2010~2016	€ 81.8M	EU

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연료 전지 버스가 대중교통 차량의 탄소를 처리하고 대기 질 개선 및 소음 낮추기 등 도시를 위한 솔루션으로 입증</li> <li>- 대중교통의 생산성은 지키며 디젤 버스와 비슷한 유연성</li> <li>- 실증 지역 : Aargau (CH - 5 buses), in Bolzano (IT - 5 buses), London (UK - 8 buses), Milan (IT - 3 buses) and Oslo (NO - 5 buses)</li> <li>- Whistler(CA)에서 2010년 동계 올림픽과 2014년 3월 사이에 20 대의 버스 배치되었고, Berlin (DE)에서는 4대의 수소 내연기관 버스가 운행되어 총 54대가 운행됨</li> </ul>		
HighVlocity	2012~2018	-	EU
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 실증 지역 : 14 FC buses will be operating in Scotland (UK), Liguria (IT) and Flanders (BE)</li> <li>- 전반적인 목표는 교통 당국이 직면한 주요 환경 및 운영 문제 해결 및 FCH 최신 버스를 신속하게 배치하는 것</li> <li>- 참여 업체 : 12개의 업체가 파트너로 진행 중</li> </ul>		
HyTransit	2013~2018	€ 17.77M	EU
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aberdeen에 6대의 수소버스 지원</li> <li>- High Vlo city에서 지원된 4대의 버스와 합쳐져 운행됨</li> <li>- 스코트랜드 최초의 상용 규모의 수소 생산 및 버스를 연료로 하는 최첨단 수소 충전소 설립</li> </ul>		
3EMOTION	2015~2019	-	EU
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 실증 지역: Aalborg (DK), London (UK), Pau (FR), Rome (IT), Rotterdam (NL), Versailles (FR) 등</li> <li>- 참여업체 : 16개의 참여업체 (7개의 대중교통, 수소 충전소, 버스 제조업 등)</li> <li>- 연료 전지 버스의 진화 (CHIC에서 3Emotion으로)</li> <li>- 이전 가능성 계획을 개발 및 FECB 와 HRS 상용화에 대한 효과적인 개발 전략에 대한 정보 제공</li> </ul>		
H2Share	2017~2020	€ 1.69M	EU
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- '수소 트럭을 이용하여 북유럽의 배출 가스 감축을 목표로 하는 중부하 수송을 위한 수소 솔루션'의 약자</li> <li>- 물류부분이 운송 부분의 이산화탄소 배출량의 25프로 차지-&gt; 실제 경험을 쌓는 것이 목표</li> <li>- 파트너 사 : VDL ETS (네덜란드), Wystrach (독일), VDL 버스 새시 (네덜란드), 자동차 NL (네덜란드), TNO (네덜란드), 수소 유럽 (벨기에), e-mobil BW (독일), 자동차 NL (네덜란드) 및 WaterstofNet (벨기에)3 개 회원국 (벨기에, 네덜란드, 독일)의 4 개 주요 지역과 힘을 합쳐 이산화탄소 감소에 대한 잠재력에 대응할 것</li> </ul>		
JIVE	2017~2022	€ 32M	EU
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5개의 국가에 139개의 새로운 무공해 연료 전지 버스 및 관련 연료 보급 기반 시설 배치</li> <li>- 연료전지 및 수소 공동 사업의 연구 및 혁신을 위한 유럽 연합 Horizon 2020 프레임 워크 프로그램에 따라 3,200만 유로의 공동 기금으로 지원</li> <li>- 프로젝트 컨소시엄 7개국 22개 파트너로 구성</li> <li>- 차량 및 인프라의 대규모 배치를 통해 연료 전지 버스의 상업화를 촉진하여 프로젝트 종료 시 버스 사업자가 보조금 없이 수소버스 포함하는 것이 목표</li> </ul>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소연료전지버스에 대해 최대 가격 € 625K~€ 650K 달성</li> <li>- 수소연료전지버스의 기술적, 상업적 개발 가속화</li> <li>- JIVE 2프로그램 2와 연계</li> </ul>		
JIVE 2	2018~2023	€ 25M	EU
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- JIVE 프로젝트의 다음단계, JIVE프로젝트에서 창출된 추진력 유지가 핵심</li> <li>- 유럽 전역의 7개국에 152개의 연료전지버스 배치할 예정</li> <li>- 수소연료전지버스를 유럽 전역의 대중교통 당국 / 운영자들에게 더 많은 주류 선택으로 전환하는 것이 목표</li> <li>- 2020년대 초까지 유럽 내에 400개의 연료전지버스 투입</li> </ul>		

○ 수소버스 실증사업을 진행하며 다양한 운행조건에서의 실제 데이터를 획득하고, 이를 바탕으로 수소버스 양산화 및 보급 등에 활용

- '01년 CUTE Project를 시작으로 수소버스 실증사업이 현재까지 진행중이며, 다양한 실증사업을 통해 획득한 운행 정보를 바탕으로, 유럽 자동차 OEM社에서 지속적인 설계 개선을 반영한 새로운 수소버스 모델을 출시하고 있음



<그림 2-27> 수소버스 실증 DATA 취득 개념도 및 모니터링 항목

## 마. 중국

- 규모의 경제를 바탕으로, 중국은 대량의 수소전기차 도입을 통해 세계 수소시장에서의 영향력이 증가하고 있으며, 중국 중앙정부와 지방정부에서는 친환경자동차 보급을 위한 다양한 지원 사업을 추진하며 대량의 수소실증사업을 진행하고 있음
- '17년 6개 도시에 총 119대의 수소전기차, 버스, 밴 및 트럭을 실증 진행하였으며 점점 수소버스에 대한 실증사업을 늘려가는 추세임



<그림 2-28> '17년 중국의 수소실증사업

- 중국동방전기(Dongfang Electric Corporation)와 청두버스(Chengdu Bus)에서 공동으로 생산한 수소버스 4대가 중국 청두(成都)의 피두(郫都) 지역에 운행하였으며, 18년도에 4대 추가투입 되었고, 앞으로 50대의 추가시범 운행을 계획
- 수소버스 운행을 통해 총 64,000명의 승객을 수송하였으며, 현재까지 버스 운행거리는 4만 7,000km에 이룸, 앞으로 추가적인 수소버스 투입을 통해 실증사업을 지속할 계획
- 현재 원푸시 등 광둥지역의 실제 버스노선에서 50대의 수소버스가 시범 운영중



<그림 2-29> 청두 수소버스



<그림 2-30> 수소버스(FEICHI社)

- 후베이성(湖北省)의 주요 도시인 상하이(上海), 우한(武漢) 등 역시 수소버스 도입 촉진을 위한 계획을 갖고 있음. 상해는 2020년까지 3,000대의 수소전기차를 보급하여 실증

사업을 진행할 계획이며, 우한은 2,000~3,000대의 수소버스 및 물류 차량을 투입할 계획

- 포산시는 19년말 수소버스 2천대 도입을 계획하고 있으며, Dongfeng 社에서는 상해에 소형수소트럭 531대를 투입하여 실증사업을 계획하고 있음(19년)



<그림 2-31> 포산시 도입 버스



<그림 2-32> 상해 수소트럭운행

## 2. 국내외 수소전기차 부품 산업 현황

- 세계 초고압 용기·부품 산업은 지속적으로 확대되고 있으며 국내 대표 15개사의 매출규모는 약 2.9조원(2015년 기준)으로 분석되고 있음
  - 수출 약 13,4000억원, 내수 15,600억원으로 나타남
- 초고압 용기·부품은 자동차, 반도체 생산설비, 석유화학플랜트, 항공우주산업 등 국가 기간산업의 생산설비, 최종제품 등 다방면에 활용됨

<표 2-14> 국내 초고압 용기·부품 기업 목록

지역	업체명	위치	주력생산물	매출액 (단위: 백만원)	
경기	하나 EMS	경기 화성	LPG/CNG Components	연간 매출총액: 10,000	
				내수: 500	수출: 9,500
	다임코 (DYMCO)	경기 시흥	LPG/CNG Components	연간 매출총액: 10,000	
			내수: 9,000	수출: 1,000	
	KATECH	경기 시흥	CNG/LPG 자동차 부품개발 및 시험·인증	연간 매출총액: 78,000	
전라	DK Tech	전북 완주	CNG Type-3 Cylinder	연간 매출총액: 1,000	
				내수: 500	수출: 500
	일진복합소재	전북 완주	CNG/H2 Type-4 Cylinder	연간 매출총액: 7,000	
				내수: 1,500	수출: 5,500
대유SE	전북 김제	LPG Type-1 Container	연간 매출총액: 70,000		
W-one	전남	LPG Type-1 Container	연간 매출총액: 10,000		

지역	업체명	위치	주력생산물	매출액 (단위: 백만원)	
		곡성		내수: 8,000	수출: 2,000
부산/ 경남	파카하니핀넥터	경남 양산	LPG/CNG Hose, CNG Components, 산업용호스	연간 매출총액: 400,000	
				내수: 280,000	수출: 120,000
	화승 R&A	경남 양산	LPG/CNG Hose, 산업용호스, 고무재료 부품	연간 매출총액: 1,679,000(대기업)	
	ENK	부산 강서구	CNG Type-1 Cylinder, 산업용 용기	연간 매출총액: 230,000	
	태광 후지킨	부산 강서구	CNG Type-4 Cylinder, Components	연간 매출총액: 78,000	
				내수: 63,200	수출: 14,800
영도산업	부산 강서구	초고압 안전밸브	연간 매출총액: 77,000		
			내수: 22,000	수출: 55,000	
대구	MOTONIC	대구 달서구	LPG/CNG/H2 Components	연간 매출총액: 210,000	
충북	한국 HPC	충북 음성	CNG Type-1 Cylinder	연간 매출총액: 10,000	
				내수: 7,000	수출: 3,000
	대흥정공	충북 충주	CNG Type-4 Cylinder	연간 매출총액: 45,000	
내수: 44,500				수출: 500	

※ 수소 · CNG 충전소 및 차량의 초고압 용기 · 부품 중심으로 봤을 때 제작이 가능함에도 불구하고 국내 인증제도와 인프라가 부족한 관계로 실질적으로 시험인증으로 검증된 해외제품이 국내외 시장을 모두 장악

### 제3절. 국내외 기술 및 인증동향

#### 1. 국내외 기술 동향

##### 가. 한국

##### □ 수소승용차

- 현대차는 ‘00년 이전에 수소전기차 개발을 시작하여 ‘13년에 세계최초로 Tuscon ix 수소연료전지차의 양산을 개시하였고, 최초 판매가격은 1억 5천만원, 이후 8,500만원으로 가격이 하락됨

<표 2-15> 현대자동차 투싼 ix 제원



<그림 2-33> 현대자동차 투싼ix

구분	사양
연료전지스택	100 kW
구동모터	100 kW
수소탱크	700 bar(수소 저장량 5.6kg)
에너지저장장치	24kW급 리튬이온폴리머 배터리
최고속도	160 km/h
가속성능	12.5 초
항속거리	594 km
가솔린등가연비	27.8 km/L(0.95 kg-H2/100km)
시스템 효율	55%

- 현대차는 토요타의 Mirai보다 우수한 차세대 수소전기차인 Nexo를 2018년에 발표 하였으며, 이는 성능, 품질, 가격에서 토요타의 Mirai를 능가하고 있음
  - 구체적으로는 수소 완충시 주행거리는 약 600 km이며, 판매 가격은 약 7,000만 원임

<표 2-16> 현대자동차 넥쏘 제원



<그림 2-34> 현대자동차 넥쏘

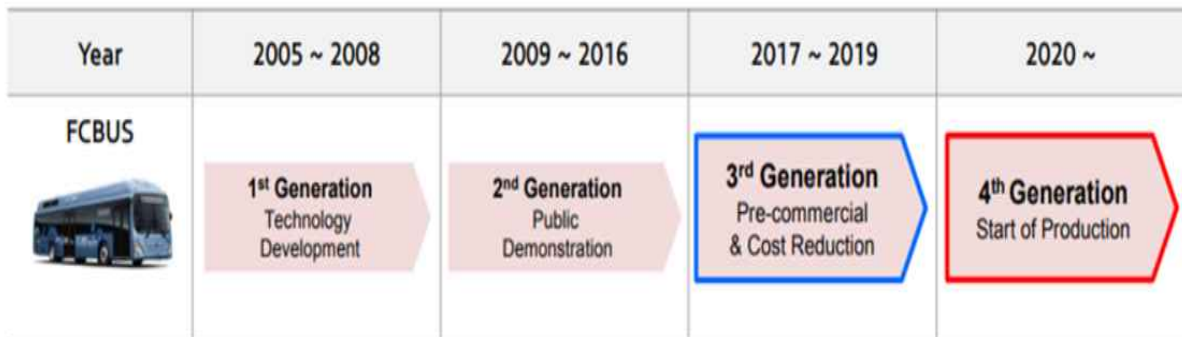
구분	사양
길이/너비/높이	4670/1860/1630 mm
휠베이스	2790 mm
공차중량	1820 kg
모터최대출력	113 kW/ 154 PS
모터최대토크	40.3 kgf·m
최고속도	177 km/h
항속거리	609 km
수소탱크 크기	6.33 kg / 156.6 L
시스템 효율	60%

- 최근 현대자동차그룹은 독일 폴크스바겐그룹 ‘아우디’ 와 미래 친환경차인 수소 전기차 관련 기술 파트너십 협약을 체결함

- 2018년 6월 20일 현대·기아차와 아우디는 각 그룹을 대표해 수소전기차 관련 연료전지 기술 파트너십을 체결
- 양사는 이번 협약에 따라 수소전기차 분야에서 압도적인 기술력을 확보하고, 글로벌 시장확대를 위해 전방위로 긴밀한 협력 체계를 구축할 계획임
- 아우디는 폴크스바겐그룹 내에서 수소전기차 관련 연구를 총괄하고 있으며, 이번 협약은 양그룹 산하 모든 브랜드에 효력을 미치는 것으로 합의함
- 양사는 수소전기차 기술확산과 시장 활성화를 위해 특허를 비롯한 주요 부품을 공유하며 관련시장 선점과 기술주도권 확보 차원에서 협업할 계획임

## □ 수소버스

- 국내 수소버스 제작사는 현대자동차가 유일하며 ‘05년 처음 1세대 수소버스 개발이 완료된 후 현재 3세대까지 모델변경이 이루어졌으며, ’ 20년에 4세대 수소버스의 출시를 계획하고 있음



<그림 2-35> 현대자동차 수소버스 개발 로드맵

- 1세대 수소버스
  - 국내 수소버스는 ‘06년 산업자원부의 수소연료전지 자동차 모니터링 사업 발대식에서 최초로 공개됨
  - 해당 1세대 수소버스는 완성차 업체로는 다임러-크라이슬러社, 도요타-히노社에 이어 3번째로 개발된 버스로, 국산 160kW 연료전지가 사용되며, 1회 충전시 40kg의 수소를 350bar(8개 수소탱크) 압력으로 저장하여 최대 300km를 주행 할 수 있음
  - 상용화를 위해 ‘08년까지 연구 및 실증사업을 진행하였고, 스택 출력을 200kW로 높이고 국산화율 70%, 내구성 5,000시간 이상을 달성함

<표 2-17> 1세대 수소버스 제원



<그림 2-36> 1세대 수소버스

구분	사양
연료전지시스템	160 kW
보조전원장치	수퍼커패시터 (9.7F)
구동모터시스템	240 kW
수소저장시스템	40kg @ 15C, 350bar
연비(혼합)	12km/kg
항속거리	380 km
최고속도	74 kph
가속성능	15 초

○ 2세대 수소버스

- 2세대 수소버스는 출력이 25% 향상된 목표수치인 200kW 스택이 사용되었으며, 기존 동력계를 직렬형 → 병렬형으로 변경하며 시스템을 안정화함
- '09년 2대가 운영을 시작하였고 2014년 4월 투싼ix의 양산용 스택을 적용한 파워플랜트로 변경하면서 차량 운행률이 크게 상승함

<표 2-18> 2세대 수소버스 제원



<그림 2-37> 2세대 수소버스

구분	사양
연료전지시스템	200 kW
보조전원장치	수퍼커패시터 (9.7F)
구동모터시스템	300kW
수소저장시스템	40kg @ 15C, 350bar
연비(혼합)	12 km/kg
항속거리	380 km
최고속도	74 kph
가속성능	14 초

○ 3세대 수소버스

- 3세대 수소버스는 350bar 수소탱크에서 개선된 700bar 수소탱크 6개를 사용하며 양산형 수소전기차인 넥쏘와 같은 100kW 스택을 2개 사용하였으며 가속성능, 등판성능, 내구성등이 강화되어 실 운행에 맞춰 개선됨
- 또한, 고성능 공기정화필터를 사용해 중형 디젤차 약 40대가 배출하는 미세먼지 정화능력도 보유하고 있음
- 현대자동차는 기존에 개발한 수소연료 승용차인 넥쏘의 연료전지 스택 및 핵심 부품을 연료전지 버스에도 사용하는 형태로 2020년 최대 30%까지 가격 절감을 목표로 함

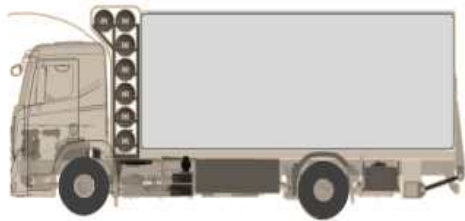
<표 2-19> 3세대 수소버스 제원



<그림 2-38> 3세대 수소버스

구분	사양
연료전지시스템	200 kW
구동모터시스템	240 kW
수소저장시스템	24.8 kg @ 700bar
항속거리	543 km
최고속도	90 km/h

- 현대차는 투싼ix, 넥쏘 등 스포츠유틸리티차량(SUV) 수소전기차를 양산하고 있는데 이어 2020년께 상용 수소트럭 개발을 완료한다는 계획임
  - 현대차는 독일 하노버에서 열린 국제 상용차 박람회(IAA Commercial Vehicles 2018)에서 스위스 수소 에너지기업 H2Energy(이하 H2E)와 수소전기 대형트럭 냉장 밴 및 일반밴 1천대 공급 계약 등을 주요 내용으로 한 양해각서(MOU)를 체결함
  - 현대자동차가 5년 동안 수소전기 대형 트럭 총 1천대를 유럽 시장에 공급을 계획하였고, 최근 주목 받고 있는 유럽의 친환경 상용차 시장에 본격 진출의 시발점이 됨



<그림 2-39> 수소트럭

<표 2-20> 현대자동차 수소트럭 제원

구분	사양
용기압력	350bar(7개)
스택출력	190kW(95kWx2)
저장용량	33kg
주행거리	400km

## 나. 일본

### □ 수소승용차

- 도요타
  - 2년 최초 수소연료 개발 착수, '96년 첫 수소전기차를 공개하는 등 꾸준한 연구 개발을 진행하였고, '15년 미라이 출시 후 전세계 수소전기차 판매 1위를 달성



<그림 2-40> 도요타 미라이 생산현장

- BMW와의 파트너십을 통해 ‘20년 이후 양산용 모델 추가 출시를 계획중
- 토요타가 전장장치, 저장장치 기술 제공하고 BMW는 경량화 기술을 제공하는 것으로 협의



<그림 2-41> 도요타 미라이

○ 혼다

- 2016년 자사의 수소연료전지자동차 클래리티 출시 후 꾸준한 기술개발을 통해 후속 양산 모델을 준비중



<그림 2-42> 혼다 클래리티

<표 2-21> 혼다 클래리티 제원

구분	사양
길이/너비/높이	4895 / 1877 / 1478 mm
휠베이스	2750 mm
공차중량	1875 kg
모터최대출력	130 kW/ 174 PS
모터최대토크	30.6 kgf·m
최고속도	160 km/h
항속거리	589 km
수소탱크 크기	5.46 kg / 700 bar

- 2016년 연간 200대 규모에서 2017년 미국, 유럽 시장에 진출하기 위해 연간 1,000대 이상의 클래리티 생산라인을 증설함



<그림 2-43> 클래리티 생산공장

## □ 수소버스

### ○ 도요타

- 히노자동차와 공동으로 연료전지 버스 개발을 추진하였으며, 2002년 10월 처음 실증 사업을 시작하였음, 60인승의 대형버스로 2003년 8월에는 도쿄에도 납품되어 실증사업을 진행



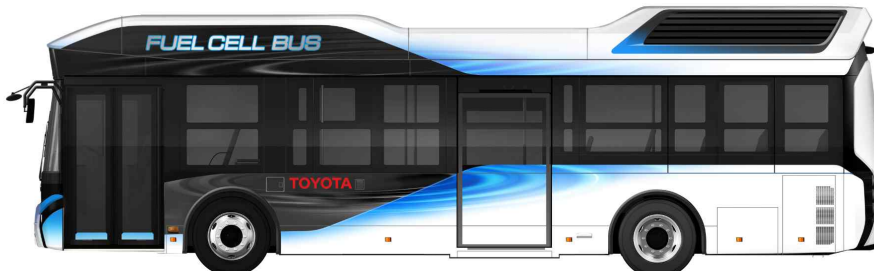
<그림 2-44> Hino FCHV-BUS

<표 2-22> Hino FCHV-BUS 제원

구분	사양
Size(LxWxH)	10,515 x 2490 x 3360 mm
Weight	-
Seating capacity	65 passengers
Max. Speed	80 km/h
Cruising range	-
Motor	AC synchronous motor
Max. motor output	160 kW (80 kW x2)
Max. motor torque	520 N·m (260 kg·m x2)
Type of fuel cells	Solid polymer
Fuel cell battery output	90 kW x2
Battery name	Toyota FC Stack
Secondary battery	Nickel-Hydrogen battery
Type of fuel	Pure hydrogen
Fuel storage	High-pressure hydrogen tank
Fuel pressure	35 Mpa

- ‘17년 3월, 세계최초 양산형 수소버스인 미라노스(miranos)를 생산하고 시범 운행 을 거쳐 ’ 18년 3월 일본 최초의 수소버스 인증을 받은 소라(SORA) 수소버스 출시
- 도요타는 2014년 양산형 수소전기차인 미라이의 ‘도요타 퓨어 셀 시스템’ 을 이용해 수소버스의 연료전지체계를 구성하였으며 다양한 첨단장치를 장착하여 수소버스 양산에 성공

- 소라는 일본 최초로 급가속 방지 시스템을 장착하였으며, 기어변속으로 인한 충격을 제거하였고 사고방지를 위해 8개의 HD카메라가 설치됨
- 수소버스에는 토요타 수소전기차 '미라이'에 쓰인 스택과 모터가 2개씩 장착되며, 수소연료탱크는 미라이의 5배인 10개가 장착되며 1회 충전으로 약 200km의 주행이 가능
- 수소버스는 재해발생 시에 전력공급원으로 유용하게 사용되도록 관련 계통이 구성됨. 고출력(9kW), 고용량(234kWh) 발전이 가능해 정전이 발생하면 대체 전원으로 사용할 수 있고, 이는 체육관에 2~3일 정도 전기를 공급할 수 있는 발전양임.
- '18년 1월 자동차용 플라스틱 부품 제조 업체인 Toyoda Gosei가 수소버스용 대형 플라스틱 지붕 패널을 개발하여 소라에 적용하는 등 양산이후에도 추가 기술 개선을 위한 연구를 진행하고 있음



<그림 2-45> Toyota Fuel cell bus

<표 2-23> Toyota Fuel cell bus 제원

구분	사양
전장 / 차폭 / 차고	10,525 / 2,490 / 3,340 mm
정원 (좌석, 입석, 승무원)	77 (26+50+1)
이름	Toyota FC stack
타입	Solid polymer electrolyte
최대출력	114 kW × 2 units (155 PS × 2 units)
타입	AC synchronous
최대 출력	113 kW × 2 units (154 PS × 2 units)
최대 토크	335 N-m × 2 (34.2 kgf-m × 2)
탱크 수	10
공칭 압력	70 MPa (approx. 700 bar)
탱크 밀도	5.7 wt%
탱크 용적	600 liters
타입	Nickel-metal hydride
최대 출력	9 kW
전원 공급량	235 kWh

○ 도요타는 수소버스 이외에도 다양한 차종의 수소전기차량을 개발

- 미라이 수소전기차의 와이어 벨트, 전자 및 기타 구성품을 재구성하여 수소연료 전지 트럭을 개발하고 있으며, 미라이 연료전지 스택 2개를 이용하여 최대 320km 이상 운행이 가능하고 36톤 이상의 화물 적재 능력의 수소트럭을 개발중



<그림 2-46> 도요타 수소트럭

- 자국 편의점(세븐일레븐)과 제휴하여, 적재량 3톤의 소형 수소트럭을 개발중이며 미라이에 탑재된 연료전지 스택 1개를 이용하여



<그림 2-47> 도요타 3톤급 수소트럭

<표 2-24> 도요타 3톤급 수소트럭 제원

구분	사양
연료전지 모듈	114 kW (Mirai fuel cell)
배터리 용량	-
모터 출력	-
수소 저장량	7 kg
주행거리	200 km
특징	일본 7-eleven 제휴 사업

- 도요타자동차에서 수소연료전지 지게차 등의 개발 및 보급을 통해 다양한 차종에 대한 개발을 지속적으로 수행하고 있음

<표 2-25> 도요타 연료전지 지게차 제원



<그림 2-48> 도요타 연료전지 지게차

구분	사양
운전속도	14 km/h
리프팅 속도	440 mm/s
적재 로드	2500 kg
출력	8 kW(Peak: 32 kW)
전압	48V
수소저장량	1.2 kg

○ 도요타 이외의 일본 내 타 제작사의 경우, 수소버스에 대한 개발을 본격적으로 진행하지 않으며 수소승용차에 한하여 생산 및 개발 계획을 밝히고 있음

## 다. 중국

### □ 수소승용차

- 중국 내 수소 제조기업 수는 선진국에 비해 그 수가 적으며, 지역별 분포로는 베이징, 산둥성, 장쑤성, 상하이, 광둥성 등 동부 연안 도시에 전체 수소 제조기업의 60% 이상이 집중되어 있음
- 중국 내 수소에너지 원천은 매우 광범위하지만 차량용으로 사용 가능한 고순도 수소를 얻을 수 있는 원천은 풍부하지 않아 차량용 수소 가격은 높은 상황이며, 저장과 운송의 어려움으로 생산된 수소는 인근 지역에서 소비되는 경우가 많음
- 중국의 상하이자동차(SAIC)에서 수소승용차 모델을 개발하였으며, 본격적인 판매를 계획중

<표 2-26> SAIC Roewe 950 fuel cell car 제원



<그림 2-49> SAIC Roewe 950 fuel cell car

구분	사양
전장 / 차폭 / 차고	4996 / 1857 / 1520 mm
공차중량	2080 kg
0-100 km/h 가속도	12 초
최고속도	160 km/h
Maximum gradeability	25 %
Range	430 km
Cold start Temperature	-20 °C
H2 cylinder capacity	4.2 kg
H2 cylinder pressure	700 bar

### □ 수소버스

- 현재까지 중국은 41곳의 완성차기업에서 56종의 수소전기차를 개발했으며 대부분 시내 운행용 버스 생산 및 개발에 주력하고 있음



<그림 2-50> 주요 수소 제조기업 지역현황







<그림 2-51> 수소버스 생산기업

○ YUTONG

- 독자 개발한 Yutong 3세대 수소버스는 500km의 주행거리와 -30° C에서 주행이 가능하며 360° 서라운드 뷰, 에어 서스펜션 시스템, 경보 시스템 등을 통해 차량을 지속적으로 개발하고 있음

<표 2-27> Yutong fuel cell bus 제원

프로젝트	1st Generation (2009)	2nd Generation (2013)	3rd Generation (2016 - present)	
모델				
Exterior dimension(mm)	11990 x 2550 x 3150	12000 x 2550 x 3550	12000 x 2550 x 3500	8245 x 2500 x 3840
Fuel cell system	20 kW	50 kW	30 kW	30 kW
Power cell	168.9 kWh	607V 60Ah	120 Ah	120 Ah

○ FOTON

- 칭화대학교, 연료전지 제조업체 이화통등과 공동연구개발팀을 구성, 수소전기 버스 연구 개발 착수, 최초 10.5m 수소버스로 개발
  - 영하 30도 저온에서도 시동을 걸 수 있으며, 15분의 수소주입으로 300km 이상 의 주행 가능
  - 현재 추가적으로 10.8m 및 12m 고속·장거리용 차종과 대용량 간선 버스를 개발
  - '18년 제품 플랫폼 통합설계 및 시제품 개발을 완료하였고, 2019년 실제 테스트를 준비



<그림 2-52> FOTON社 수소버스

○ FEICHI

- 7m, 8.5m, 11m, 12m 등 다양한 크기 수소버스 양산에 성공
- 향후 3년 내 연간 생산량 5,000대를 목표로 설비시설 확충등에 투자하고 있음

<표 2-28> FEICHI의 양산용 수소버스 제원

버스명	FSQ6120FCEVG	FSQ6700FCEVG	FSQ6860FCEVG	FSQ6110FCEVG1
가로×세로× 높이(mm)	12000 × 2550 × 3550	7040 × 2200 × 2880	8645 × 2490 × 3300	10960 × 2490 × 3500
휠베이스(mm)	6200	4750	4350	5500
전면오버행 /리어오버행(mm)	2560 / 3240	870 / 1420	13000	17900
총질량(kg)	17900	8300	13000	17900
좌석(개)	21 - 33	10 - 14	16 - 28	20 -31
연료전지(kw)	46 × 2	30	30	60



<그림 2-53> FSQ6120FCEVG



<그림 2-54> FSQ6700FCEVG



<그림 2-55> FSQ6860FCEVG



<그림 2-56> FSQ6110FCEVG

○ Maxus

- 2017년 모델이 최초 공개되었으며(FCV80), 100대 이상의 차량이 현재 판매되어 중국내에서 운용되고 있음

<표 2-29> Maxus V80 fuel cell van 제원



<그림 2-57> Maxus V80 fuel cell van

Vehicle model	Zunjie	Shangjie
Seat capacity	10	14
Length x width x height	6030 x 1998 x 2660	
wheel base	4180 mm	
0-100 km/h acceleration	25 초	
Maximum speed	120 km/h	
Range	430 km	
fuel cell	45kW	

○ Dongfeng

- '17년 최초 500대 이상의 수소트럭이 상해에 공급되었고, 지속적으로 생산 수량을 늘려 현재는 760대의 수소트럭이 생산 및 판매되었음

<표 2-30> Dongfeng FCV Truck



<그림 2-58> Dongfeng FCV Truck

구분	사양
Size	6.41 m in length / 7.51 tons
Manufacturer	Dongfeng Motor Corporation
Engine	Re-Fire MP30 with Ballard 9SSL stacks (30 kW)
Refueling time	5-10 minutes
Range	305 km

라. 미국

□ 수소승용차

○ General Motors

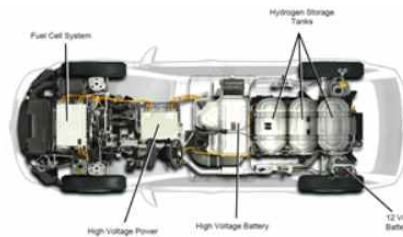
- '64년 수소전기차 개발을 최초 시작하였고, '97년 신트라(Sintra) 개발 후 '02년 1월 북미국제모터쇼에서 플랫폼 타입 수소연료전지 컨셉트카 '오토노미 (AUTOonomy)' 공개
- 오토노미 공개 당시, 스케이트보드 채시 형태의 플랫폼형 차체와 바퀴에 위치시킨

모터, 핸들과 페달이 아닌 전자제어식 운전시스템 등 기존 내연기관차 패러다임과 완전히 다른 형태를 제안함



<그림 2-59> 오토노미 공개 공개현장(GM)

- ‘13년 7월 Honda와 FCEV의 개발, 수소저장과 인프라-수소 충전소-확충을 위한 ’ 20년까지의 협약을 체결
  - .. ‘02년부터 2012년까지의 연료전지에 관련된 GM과 Honda의 특허는 모두 1200건 이상으로 지속적인 연구개발을 수행함
- ‘14년 6월 NREL(National Renewable Energy Laboratory)과 연료전지와 관련된 파트너십을 체결. 다년 계약을 통해 자동차용 연료전지를 공동 개발하고 특히 비용 절감에 초점을 맞춤
- 컨셉트카 공개 후 별도의 양산모델을 개발하지 않았으나, ‘20년 공동개발의 결과물로 이퀴녹스 FC 차량 출시 예정



<그림 2-60> 이퀴녹스 FC

<표 2-31> 이퀴녹스 FC 제원

구분	사양
연료전지 출력	93 kW
배터리 용량	35 kW nickel metal hydride battery pack
수소탱크	3개(700bar)
주행거리	320km 이상
최대속도	160km/h
0-100km Accelerates	12 초

○ Ford

- ‘08년 다임러와 수소전기차 공동개발을 위한 공동출자회사를 설립
- ‘13년 1월, 르노와 닛산이 제휴에 참여하여, 포드(전반적 개발 계획)-닛산(배터리 개발)-르노(양산 비용 절감 기술)-다임러(연료전지시스템 개발) 역할 분담
- 공동개발 결과물은 각 사의 고유 브랜드 신규차량에 적용하고, 부품과 차체구조를 공동 사용하여 개발비와 부품비를 절감시킬 계획으로 진행중
- FORD社는 컨셉트카 모델을 이후 별도의 양산형 수소전기차 모델을 공개하지 않음

□ 수소버스 등

○ NEW FLYER

- 배터리 주도형 연료전지버스로, 모든 주행은 배터리로만 담당하며 연료전지의 역할은 주행거리 증가용으론 구성되며 배터리의 충전의 기능만 담당함.
- 스택의 크기는 일반 수소버스 대비 최대 70%까지 감소하며, 연료전지 코스트 및 차량 가격의 대폭 절감 가능
- 40” 시내버스 / 60” 굴절버스로 형태로 개발 진행



<그림 2-61> 배터리주도형 수소버스(Xcelsior CHARGE H2)

<표 2-32> New Flyer社 수소버스 제원

버스명	Xcelsior CHARGE H2 40'	Xcelsior CHARGE H2 60'
가로×세로×높이(mm)	12500 × 2600 × 3300	18540 × 2600 × 3300
휠베이스(mm)	7200	5800(front) / 7400(rear)
토크	1033 lb·ft	1475 lb·ft
총질량(kg)	14,628	22,634
좌석(개)	up to 40	up to 52(with one exit door)
최대출력(kw)	160 kW	210 kW
연료전지출력(kw)	85 kW	85 kW

○ 니콜라 모터스

- 수소연료전지트럭의 경우 스타트업 수소전기차 회사인 니콜라 모터가 2020년 ~ 2021년 수소전기 트럭의 양산 계획을 발표



<그림 2-62> 니콜라社 컨셉카('21.출시예정)

<표 2-33> 니콜라社 컨셉카 제원

구분	사양
연료전지 모듈	300 kW
배터리 용량	320 kWh (리튬이온)
모터 출력	모델3 x4(1000hp)
수소 용기 입력 및 수량	미확인
수소 저장량	미확인
주행거리	1,000~1,900 km
기타	예상판매가 : 3.6억~4.2억

마. 유럽

□ 수소승용차

○ 벤츠

- '94년 5월 최초의 수소전기차 “NECAR 1” 최초 발표 후, '02년 10월 양산형 수소전기차 A-Class F-Cell 공개
- 이후 '05년 3월 B-Class F-Cell 발표
  - 이전의 A-Class F-Cell 보다 모터 출력, 스택의 피크 출력 향상 등 내구 신뢰성이 개선된 모델임
  - B-Class F-Cell은 '12년~'13년 리스를 통해 미국에 70대 공급됨



<그림 2-63> B-Class F-CELL

<표 2-34> B-Class F-CELL 제원

구분	사양
Effective power fuel cell	70 kW
Effective power electric motor	100 kW
Effective power electric motor	0.97kgH/100km
Maximum torque	290 N·m
Capacity accumulator	1.4 kWh
Hydrogen pressure	700 bar
최고속도	170km/h
수소저장량	3.7kgH2

- 또한, '08년 세단 모델 컨셉트카인 ' 에코보이저(EcoVoyager)' 를 공개한 바 있음
- '17년 11월 세계 최초 수소 PHEV 모델인 GLC F-Cell 공개
  - 수소연료전지 파워트레인과 플러그인 하이브리드 시스템을 결합한 세계 최초 수소 PHEV 모델임
  - 13.8 kWh의 대용량 리튬이온배터리를 탑재한 Plug-in 수소전기차이며, 준양산 체제에 돌입하여 유럽 내 판매중임
  - GLC F-셀은 수소를 이용해 전력을 생산 및 구동함과 동시에 별도 배터리를 활용해 외부 전원 또는 자체 충전 기능을 더한 것이 특징임.
  - 2.2kg의 수소탱크 2개와 13.8kWh 전력의 배터리를 장착해 지난 2010년에 선보인 FCEV 차종 B클래스 F-Cell (효율:0.97kg H2/100km)보다 부피를 30% 줄이되 출력은 40% 향상시켰음.
  - 수소충전시간은 3분, 배터리의 충전시간은 최대 1시간30분 소요됨
  - 수소충전소 인프라가 충분하지 않은 현재 상황에서 자동차산업의 패러다임이 수소전기차로 넘어가기 전 단계를 공략하기 위한 모델로 인식됨



<그림 2-64> 세계 최초 수소 PHEV : GLC F-Cell

<표 2-35> GLC F-Cell 제원

구분	사양
배터리 주행거리	up to 51 km
배터리 용량	13.5 kWh (9.3 kWh usable)
주행거리	478 km
수소 소모량	around 1 kg/100 km
수소탱크	4.4 kg / 700 bar
모터 사양	155 kW / 211 hp
모터 토크	365 Nm
최고 속도	160 km/h (100 mph)

○ BMW

- '78부터 수소자동차에 대한 기술개발 수행하였으나, 내연기관에 가솔린 대신 수소를 사용하는 수소연료자동차(Hydrogen Fueled Car) 연구에 주력함
- 2000년대 버튼으로 휘발유와 수소를 교체 사용하는 Hydrogen7을 개발하여, 국내 도로 주행까지 하였으나, 연비 문제 및 코스트 절감등의 문제를 해결하지 못해 2000년대 말 양산 포기
- '15년 7월 BMW그룹 이노베이션 데이에서 eDrive 수소 연료전지(Hydrogen Fuel Cell) 시험차 첫 공개



<그림 2-65> Hydrogen Fuel Cell 시험차

- '13년에 도요타와 연료전지 시스템을 비롯해 고성능 제품, 경량화 기술 공동 개발과 차세대 배터리 공동 연구 등을 위한 전략적 제휴를 체결했고, 그 결과가 eDrive 수소 연료전지 시험차임
- 연료전지전기차를 위한 BMW와 도요타의 협력은 기술 개발의 분담을 통해 코스트의 절감등을 목적으로 하며 연료전지 스택, EV 시스템 및 배터리는 도요타 연구하



□ 수소버스 등

○ 다임러-벤츠 수소버스

- 도심용 수소버스 Citaro Fuel Cell-Hybrid 모델을 시험 운용하여 상용화 컨셉을 실증
- 약 1,200만km 주행에 성공함으로써 상용화 가능한 차량임을 증명



<그림 2-67> 벤츠社 수소버스

<표 2-36> Citaro FuelCELL-Hybrid 제원

구분	사양
연료전지 출력	120 kW
모터 출력	160 kW
배터리 용량	26.9 kWh
수소 탱크	350 bar/7 EA
수소 저장량	35 kg
주행거리	>250 km(planned)
수소소모량	10-14 kg hydrogen per 100 km
CO2-emissions	0 g/km

○ VAN HOOL

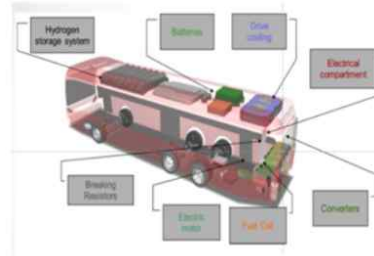
- VAN HOOL은 수소버스등의 친환경 버스를 제작하는 유럽 제조사로 전 세계적으로 출시된 차량을 이용하여 수소버스 실증사업을 진행하고 있음



<표 2-37> VAN HOOL社 (ACT ZEB)

구분	사양
버스 길이/높이	40 ft/130 in
연료전지 제작사	US Hybrid
연료전지 모델명	PureMotion 120
연료전지 출력	120 kW
배터리 타입	Li-ion
배터리 용량	17.4 kWh
수소탱크	8ea
수소저장량	40kg / 350bar

<그림 2-68> VAN HOOL社 (ACT ZEB)



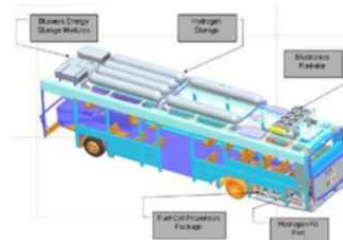
<그림 2-69> Van Hool社 A330 수소버스

<표 2-38> Van Hool社 A330 수소버스 제원

구분	사양
모델명	A330(12m)
배터리	100kW
용기압력	350bar(7개)
수소저장량	35kg

○ Wright

- JIVE 등의 유럽 내 실증사업을 통해 수소버스 상용화를 위한 기술 실증사업을 진행중



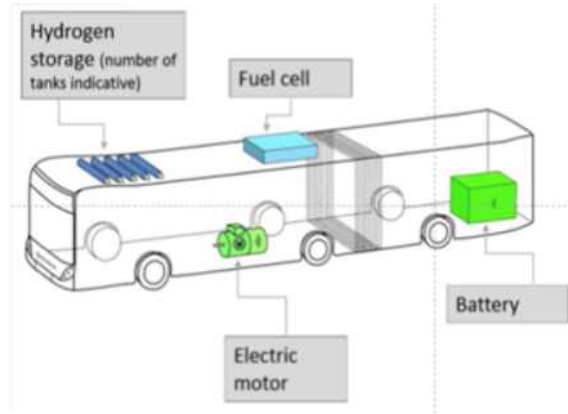
<그림 2-70> Wright社 VDL 200 수소버스

<표 2-39> Wright社 VDL 200수소버스 제원

구분	사양
모델명	VDL 200(12m)
스택출력	75kW
슈퍼캐퍼시티	240kW
용기압력	350bar(4개)
수소저장량	33kg

○ Solaris

- JIVE 등의 유럽 내 실증사업을 통해 수소버스 상용화를 위한 기술 상용화를 진행하며 연료전지는 배터리의 충전을 위한 용도로만 사용하고, 배터리에서 나온 출력만으로 버스를 구동하는 타입의 차량을 제작



<그림 2-71> Solaris社 Urbino 수소버스

<표 2-40> Solaris社 Urbino 수소버스 제원

구분	사양
모델명	Urbino(18.75m)
스택출력	100kW
배터리	120kW
용기압력	350bar(9개)
수소저장량	45kg

○ 유럽 OEM 社의 수소트럭

- BMW, 볼크스바겐/아우디 등이 수소전기차를 개발하고 있으나, 아직까지 구체적인 상용제품은 출시되지 않고 있음
- 수소버스 분야에서 다양한 소규모 제작사에서 유럽 전역의 수소버스 공급을 위한 개발을 진행하며, 350bar 수소내압용기를 기준으로 수소 상용차 설계도 함께 진행되고 있음
- Man과 ESORO COOP에서 공동 설계하는 차량으로, 스웨덴지역의 물류 공급을 위한 수소트럭 실증사업을 진행



<그림 2-72> ESORO COOP

<표 2-41> ESORO COOP 제원

구분	사양
Location	Switzerland
Manufacturer	ESORO
Autonomy	400 km
Tank cap.	31 kg(7EA/350bar)
Capacity	34,000 kg
Filling time	10 min

- SCANIA 수소트럭을 바탕으로 ASKO와 협력하여 연구개발하는 차량으로 노르웨이 지역의 물류 운송을 실증사업( '18년)을 수행중에 있음



<그림 2-73> ASKO-SCANIA

<표 2-42> ASKO-SCANIA 제원

구분	사양
Location	Norway
Manufacturer	SCANIA
Deployment	2018
Autonomy	500 km
Transport Capacity	27000 kg

## 2. 국내외 수소전기차 부품 기술 현황

### 가. 수소내압용기 기술현황

#### □ 수소내압용기 Type별 구성현황

- 전세계적으로 수소저장 내압용기는 총 4가지 Type으로 분류되며 아래 표와 같음

<표 2-43 > 수소내압용기 Type분류

용기 Type	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
재질	금속재 용기 (철, 알루미늄)	금속재 용기 + 유리섬유 부분보강	알루미늄 라이너 + 탄소섬유 전체덧씌움	플라스틱 라이너 + 탄소섬유 전체덧씌움
형상				

#### □ 국내외 수소내압용기 기술 현황

- 국내의 경우 현대자동차가 전세계 최초로 수소승용차용 내압용기를 상용화 하였으며 수소전기차 Nexo기준 수소충전량 6.3kg, 사용압 70 MPa, Type4용기를 개선 적용하여 상용차에도 탑재 및 실증 운행하고 있음
- 일본의 경우 양산화 된 수소승용차 내압용기 기술을 접목하여 전용 수소버스 및 트럭 등 상용차에 대용량 용기를 개발 탑재하여 연구 운행 중에 있음
- 유럽 및 미국의 경우 수소 상용차는 사용압 35 MPa의 내압용기를 적용하여 운행하고 있으며 사용압 70 MPa의 경우 연구용으로 개발 중에 있음

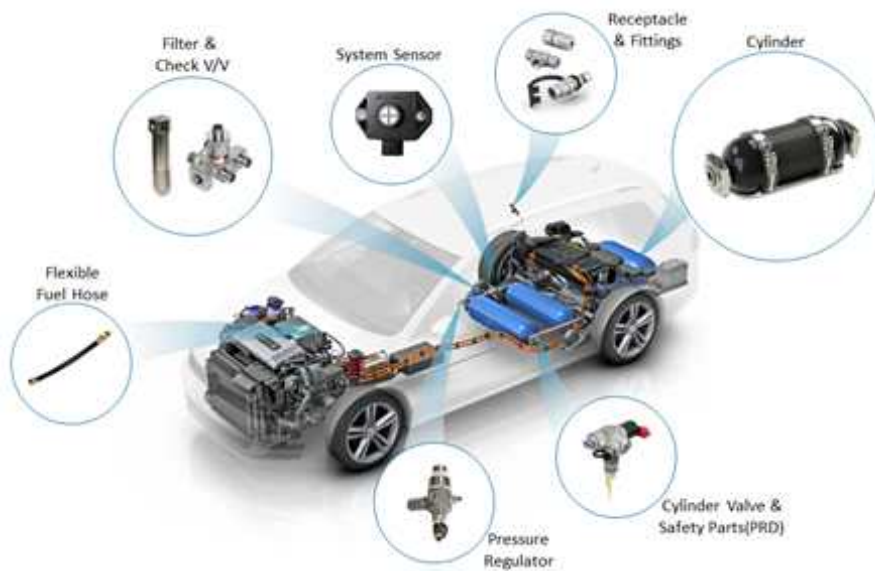
<표 2-44 > 국내외 수소내압용기 기술 현황

Korea	Japan	E.U	U.S.A
			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 현대자동차 투산('13) 수소충전량: 5.6kg, 700bar, Type 4 적용</li> <li>✓ 현대자동차 넥쏘('16) 수소충전량: 6.3 kg, 700bar,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 도요타 미라이 ('14) 수소충전량: 5.7kg, 700bar, Type 4 적용</li> <li>✓ 혼다 클레리티 ('16) 수소충전량: 6.0 kg, 700bar,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 영국 Luxfer 350 bar, Type 4 개발, 트럭 및 버스 납품</li> <li>✓ 노르웨이 Hexagon Raufoss 연구용 700 bar, Type4 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lincoln Composite 350bar 버스용 Type3 개발</li> <li>✓ Quantum technology 350 bar / 연구용700 bar Type4 개발</li> </ul>

## 나. 국내외 수소부품 기술현황

### □ 국내 부품(PRD 등) 개발현황

- PRD 핵심부품인 Glass bulb는 해외에서 수입하고 있는 실정이며 이를 제외한 나머지 구성품 및 제작은 개발 완료 및 진행중에 있음
- 국내 인증대상 품목 및 개발 업체 현황은 아래 그림 및 표와 같음



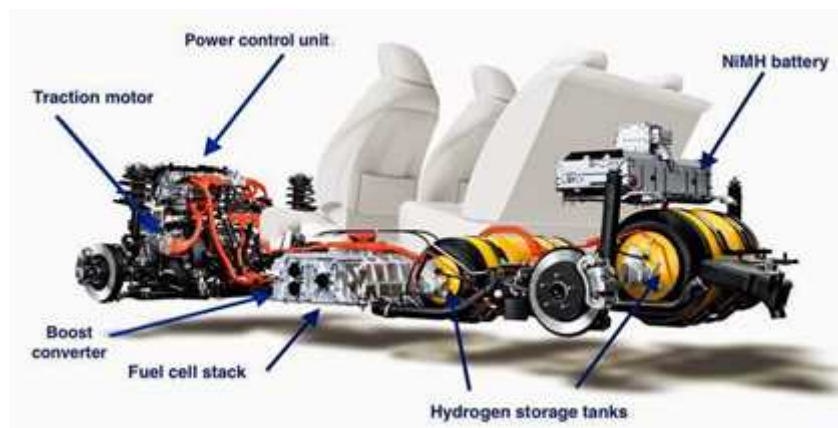
<그림 2-74> 수소연료전지차 인증대상품

<표 2-45 > 국내 개발 부품 및 제조사 현황

개발완료 제조사				개발진행 제조사		
No	부품명	제조사명	사진	No	부품명	제조사명
1	용기밸브 (PRD 포함)	영도산업		1	용기밸브 (PRD 포함)	T사, U사
2	체크밸브	모토닉		2	체크밸브	H사
3	충전구	모토닉		3	충전구	H사
4	압력조정기	모토닉		4	압력조정기	P사
5	수소센서	센시리온		5	수소센서	D사

□ 국외 부품(PRD 등) 개발현황

- 일본의 경우 PRD 핵심부품인 Glass bulb 및 용융금속은 각 2개사에서 개발하여 수출까지 하고 있음
- 일본(Fujikin 등 5개사), 미국(Swagelok), 독일(Maximator) 등에서 수소전기차용 부품을 개발 완료하여 공급하고 있음



<그림 2-75> 수소전기차 부품 적용형상

<표 2-46> 일본 개발 부품 및 제조사 현황

No	부품명	제조사명	사진
1-1	용기밸브 (PRD 포함)	JTEKT	
1-2		Keihin	
2	체크밸브	Fujikin	
3	충전구	Hamai-Valve	
4	압력조정기	Fujikin	
5	수소센서	Nissha	

### 3. 인증동향

#### 가. 수소 저장 관련 글로벌 시험·인증 기준 현황

□ 수소·CNG 자동차 및 충전소 관련 글로벌 시험·인증 기준은 아래 표와 같음

<표 2-47> 수소·CNG 자동차 및 충전소 관련 글로벌 시험·인증 기준

구분		한국	미국	유럽	국제 표준	일본
수소 자동 차	용기	국토교통부 고시 제 2013-562호)별표 4	HGV 2-2014	Regulation(EC79 *2009/406/2010 ECE Regulation 134.00	ISO 15869-2009	KHK 0128-2010
	부품	국토교통부 고시 제 2013-562호)별표 7	HGV 3.1-2013	Regulation(EC7 9*2009/406/20 10ECE Regulation 134.00	ISO 12619-Series ISO 17268-2012	JARI S001-2004 JARI S002-2004
수소충전소		산업자원부고시 2005-43호, KGS FP216(2011.4),	HGV 4-series NFPA50A, NFPA55, NFPA 2	영국 HSE (Health and Safety Executive)-The	ISO/TS 20100-2008	KHKTD-5202- 2014

구분	한국	미국	유럽	국제 표준	일본
	FP217(2011.4)		Pressure Equipment Regulation-1999		
CNG 자동차	용기 국토교통부 고시 제 2013-562호)별표 1	HGV 2-2007	Regulation 110.01	ISO 11439-2013	KHK Reiji-kijun Betten
	부품 국토교통부 고시 제 2013-562호) 별표 5	HGV 3.1-2014	Regulation 110.01	ISO 15500-Series (Componet) ISO 14469-Series (Receptacle)	KHK Reiji-kijun Betten
CNG충전소	KGS FP212(2008) KGS FP213(2008) KGS FP214(2008)	HGV 4-series NFPA52 "Compressed Natural Gas Vehicular Fuel Systems"	영국 HSE (Health and Safety Executive)-The Pressure Equipment Regulation-1999	ISO/DIS 16923-2015	고압가스보안법 "CNG충전소에 관한 기술기준"

## 나. 글로벌 시험인증 기관 현황

□ 글로벌 시험인증 기관은 아래 표에 나타난 바와 같이 크게 일본의 JARI, Hy-TReC, NITE, 캐나다의 Powertech. Labs, Inc, 독일의 ET 등이 있음

<표 2-48> 세계 주요 시험·인증 기관

국가	기관명	발행 인증기준	가능 시험	비고
캐나다	Powertech. Labs, Inc	용기(EC 79-2009, UN ECE 134, HGV2)	• 모든 글로벌 규정 내 시험 가능	국내기업 시험의뢰
		부품(EC 79-2009, UN ECE 134, HGV3.1)	• 모든 글로벌 규정 내 시험 가능	
일본	Hy-TReC	일본 고압가스보안법에 따른 시험기준(JARI S 001, 002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소가스 반복시험</li> <li>• 수소가스 투과성 시험</li> <li>• 가스누출시험</li> <li>• 수압팽창측정시험</li> <li>• 파열시험</li> <li>• 수압반복시험</li> <li>• 고온Creep 시험</li> <li>• 밸브 내구성시험</li> <li>• 고압배관 수소누출확인 및 Crack성장속도 측정장비</li> <li>• 진동시험</li> <li>• 환경시험</li> </ul>	국내기업 시험의뢰 없음

국가	기관명	발행 인증기준	가능 시험	비고
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가스기밀시험</li> <li>• 기타 수소분석기, GC 등 다수</li> </ul>	
독일	ET	용기(EC 79-2009, UN ECE 134, HGV2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소가스 반복시험</li> <li>• 수소가스 투과성 시험</li> <li>• 수소취성 시험</li> <li>• 가스누출시험</li> <li>• 파열시험</li> <li>• 화염전파시험</li> <li>• 점화/폭발 음향발생 시험</li> </ul>	국내기업 시험의뢰
		부품(EC 79-2009, UN ECE 134, HGV3.1) -Valve류, Fitting, Sensor, 고무류 시험불가능	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소가스 반복시험</li> <li>• 수소취성 시험</li> <li>• 부품 내구성시험</li> <li>- 가스반복내구</li> <li>- 파열시험</li> <li>- 기밀시험</li> <li>- 저온수소누출시험</li> </ul>	

□ 특히 일본은 지난 10년간 1,730억원을 수소산업 시험·인증 기관에 투자하는 등 시험인증 산업 활성화에 적극적으로 나서고 있음

<표 2-49> 일본 시험·인증기관 투자 현황

구분	Powertech. Laps, Inc	JARI (일본자동차연구소)	Hy-TReC(일본수소에너지시험연구센터)	NITE(일본제품평가기술기반기구)
개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>•설립 : 1979년(30년)</li> <li>•직원수 : 125명</li> <li>•매출액 : 약 265억원</li> <li>•위치, 규모 : 캐나다, 200,000㎡, 19개 시험실</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•설립 : 2004년, 510억 투입</li> <li>•직원수 : 초고압 20명</li> <li>•매출액 : 약 147억원</li> <li>•위치, 규모 : 일본, 100만평, 5개 시험동 보유</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•설립 : 09년, 440억 투입</li> <li>•직원수 : 약 20여명</li> <li>•위치, 규모 : 일본, 약 14개 시험동 및 초고압 시험시설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•설립 : 2013~ '16.2월 예정</li> <li>- 현재 공사진행 중</li> <li>•투자금액 : 780억</li> <li>•위치, 규모 : 오사카, 내폭시험동 등 5개 동</li> </ul>
주요 기능 및 사업분야	<ul style="list-style-type: none"> <li>•초고압분야시험 및 인증</li> <li>•국제 표준 제정 실증연구</li> <li>•사고분석 및 시뮬레이션</li> <li>•장치 및 시스템 테스트</li> <li>•교육 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•자동차용 초고압 용기·부품 시험평가</li> <li>•국제기준 제정 실증(전기자동차, 수소이차전지)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•초고압 충전소용 부품분야 일본 제조사 제품개발 지원</li> <li>•초고압 충전소용 부품 시험·인증 및 기준 글로벌 표준 선도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•건물용 및 발전용 연료전지 시험인증 및 성능평가</li> </ul>

<표 2-50> 해외 수소내압용기 등 수소부품 시험·인증기관 현황

구분	Powertech. Labs, Inc	JARI (일본자동차연구소)	Hy-TReC (수소에너지시험 연구센터)	BAM (독일연방물질시험연구소)	SPIEZ (스위스 화생방 방호시설 인증기관)
<b>개요</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 설립연도: 1979년 (30년)</li> <li>• 직원수: 125명</li> <li>• 매출액: 약 265억원</li> <li>• 위치, 규모: 캐나다 200,000m<sup>2</sup>, 19개 시험실 보유</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설립연도: 1969년 (초고압 2004년)</li> <li>• 직원수: 370명 (초고압20명)</li> <li>• 매출액: 약 147억원</li> <li>• 위치, 규모: 일본, 약 100만평, 5개 시험동 보유</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설립연도: 2009년</li> <li>• 직원수: 약 20여명</li> <li>• 위치, 규모: 일본, 약 14개 시험동 및 초고압 시험시설 보유</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설립연도: 1871년</li> <li>• 경제기술부 산하</li> <li>• 직원수: 1,658여명</li> <li>• 사업비: 2,389억 ('13년)</li> <li>• 위치, 규모: 독일, 40만평 (시험장 38천평)</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설립연도: 2007년</li> <li>• 시민안전청 산하</li> <li>• 직원수: 100여명</li> <li>• 매출액: 358억('13년)</li> <li>• 위치: 스위스 스피츠</li> </ul> 	
<b>주요 기능 및 사업 분야</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 초고압 분야 시험·인증</li> <li>• 국제 표준제정 실증연구</li> <li>• 사고분석 및 세물레이션</li> <li>• 장치 및 시스템 테스트</li> <li>• 교육 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자동차용 초고압 용기·부품 시험평가</li> <li>• 국제기준 제정 실증 (전기자동차, 수소, 이차전지)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초고압 부품분야 일본 내 제조사의 제품개발 지원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 독일 DN 및 EN 규격 제정을 위한 재료시험 및 폭발시험(가스, 분진, 화재폭발 등)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화생방 관련 전문 기술지원, 인증업무 수행</li> </ul>	

## 다. 수소 생산/저장 관련 국내 시험·인증 분석

### □ 수소 생산/저장 관련 국내 시험·인증 기준 개요

- 현 단계에서 실질적으로 국내 초고압 용기·부품 관련 시험·인증 기준이 정립이 덜 된 상태이며 주로 해외인증 기관에 위탁하거나 해외인증 기준을 국내에서 도입하여 일부 적용하고 있는 실정임
- 다만 자체적으로 제조식 수소자동차 충전의 시험·기술·검사 기준 관련 KGS FP216을 운영하고 있으며 저장식 수소자동차 충전의 시험·기술·검사 기준 관련 KGS FP217 규정을 운영하고 있음
- 결론적으로 국내에서 각종 규격이 제정되고 있는 단계이지만 그럼에도 불구하고 시험인프라는 전무한 상태이며, 수소충전소용 부품, 튜브트레일러, 연료전지 분야의 경우 제도 도입 및 인프라 구축이 필요한 상황임

### □ 초고압 용기·부품 관련 국내 시험인증 가능 현황

- 초고압 용기 국내시험 가능여부 현황
  - 100L 미만 용기 : 15개 시험항목 중 8개 시험 가능, 7개 시험 불가능함
  - 100L 이상 용기 : 15개 시험항목 중 1개 시험만 가능함
  - 적용규격 : 국토부 고시, ECE-406, ECE-134(이상 유럽), ISO/TS15869(국제표준)
  - 신규제조사가 100L미만 8개 항목에 대한 시험장비 구축 시 15억원 이상 소요로 진입장벽 발생함

<표 2-51> 초고압 용기 국내 시험 가능여부 현황

시험항목		적용 용기 형식				국내시험 가능여부
국문	영문	I	II	III	IV	
상온압력반복시험	Ambient temperature pressure cycling	◎ <sup>1)</sup>	◎ <sup>1)</sup>	◎	◎	●
환경시험	Chemical exposure	×	◎ <sup>1)</sup>	◎	◎	●
극한온도 압력반복시험	Extreme temperature pressure cycling	×	◎ <sup>1)</sup>	◎	◎	×
파열시험	Hydrostatic pressure burst	◎ <sup>1)</sup>	◎ <sup>1)</sup>	◎	◎	●
결합시험	Composite flaw tolerance test	×	◎ <sup>1)</sup>	◎	◎	●
낙하시험	Impact damage test	×	×	◎	◎	●
화염시험	Bonfire test	◎ <sup>1)</sup>	◎ <sup>1)</sup>	◎	◎	×
가속 응력파열시험	Accelerated stress rupture test	×	◎ <sup>1)</sup>	◎	◎	●
충격시험	Penetration test	◎ <sup>1)</sup>	◎ <sup>1)</sup>	◎	◎	×
투과시험	Permeation test	×	×	×	◎	×
수소가스 반복 가압시험	Hydrogen gas cycling test	×	×	×	◎	×
파열전 누출시험	LBB(Leak Before Brake) test	◎ <sup>1)</sup>	◎ <sup>1)</sup>	◎	◎	●
보스토크 시험	Boss torque test	×	×	×	◎	●
순차적 수압시험	Sequential hydraulic test	◎	◎	◎	◎	×
순차적 기압시험	Sequential pneumatic test	◎	◎	◎	◎	×

※ 적용규격에 나온 4가지 기준 모두 적용가능

(◎: 모든 기준 공통 적용, ◇: 각 기준별 적용, ×: 미적용(시험불가) ●: 국내 시험 가능)

### 라. 수소자동차 연관 부품(FCEV 부품) 실증 실적

순번	제조사 명	해당품목	수행년도	해당 기준	성능평가/ 국내·해외인증	수입/가입시험 장비 활용여부	순번	제조사 명	해당품목	수행년도	해당 기준	성능평가/ 국내·해외인증	수입/가입시험 장비 활용여부
1	OO공업	수소차용 압력센서 2종	2012.	EC 79	해외인증(유럽)	수입인용 시험장비	13	OO산업	수소차용 압력센서	2017	국토부고시	국내인증	수입인용 시험장비
2	OO산업	수소차용 용기밸브, PRD	2012.	EC 79	해외인증(유럽)	수입인용 시험장비	14	OO산업	수소차용 용기밸브, PRD	2017	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비
3	OO산업	수소차용 용기밸브, PRD	2013	현대차 E5	성능평가	수입인용 시험장비	15	OO코리아	수소차용 체크밸브, 리셋터용 피팅 5종	2017	국토부고시	국내인증	수입인용 시험장비
4	OO산업	수소차용 용기밸브, PRD	2014	국토부고시, EC 79	국내인증 해외인증	수입인용 시험장비	16	OOOOO	수소차용 용기밸브	2017	EC 79	성능평가	수입인용 시험장비
5	OOO코리아	수소차용 피팅 5종, 리셋터용 체크밸브	2014	국토부고시	국내인증	수입인용 시험장비	17	OOOOOO	수소차용 배관	2017	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비
6	OOOOO	수소부품용 실링	2015	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비	18	OOO	수소차용 조절기, 체크밸브, 리셋터용	2017	국토부고시	국내인증	수입인용 시험장비
7	OO산업	수소차용 용기밸브, PRD	2014	국토부고시, EC 79	국내인증 해외인증	수입인용 시험장비	19	OOOO	수소차용 압력센서	2017	국토부고시, EC 79	국내인증/해외인 용	수입인용 시험장비
8	OO산업	수소차용 압력센서	2016	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비	20	OO산업	수소차용 용기밸브, PRD	2017	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비
9	OOO	수소차용 조절기	2016	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비	21	OOOO공업	수소차용 압력센서	2018	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비
10	OO산업	수소차용 압력센서	2016	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비	22	OO산업	수소차용 용기밸브, PRD	2018	EC 79	해외인증	수입인용 시험장비
11	OOOOO	수소부품용 실링	2017	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비	23	OOOO소재	수소차용 압력센서	2018	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비
12	OO산업	수소차용 용기밸브, PRD	2017	국토부고시, EC 79	국내인증 해외인증	수입인용 시험장비	24	OOOO공업	수소차용 압력센서	2018	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비
							25	OO자동차	수소차용 압력조절기, 실링	2018	현대 E5	성능평가	수입인용 시험장비

<그림 2-76> 수소자동차 연관 부품(FCEV 부품) 실증 실적

## 제4절. 특허 및 논문 분석

### 1. 특허동향

#### 가. 조서관점

- 본 분석에서는 수소전기차 안전성 평가 및 평가장비 개발에 관한 특허를 분석 대상으로 하였으며, 2019년 03월까지 공개된 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO) 및 중국(SIPO) 특허청의 공개특허공보 및 등록특허공보의 공개특허공보를 분석 대상으로 함
- 수소전기차 안전성 평가 및 평가장비 개발 연구를 개발함에 있어, 수소전기차 차량단위 안전성 평가 및 평가장비 개발과, 수소전기차 부품단위 안정성 평가 및 평가장비 개발 분야에 대해 조사함
- 수소전기차 차량단위 안전성 평가 및 평가장비 개발 기술의 경우, 수소전기차 차량단위 안전성 평가방법 및 평가장비 기술, 수소전기차 안전성 해석 평가방법 기술, 수소전기차 충전 평가방법 및 평가장비 기술, 수소전기차 검사평가 및 검사장비 기술로 구분함
- 수소전기차 부품단위 안정성 평가 및 평가장비 개발 기술의 경우는, 수소전기차 내압용기 평가방법 및 평가장비 기술, 수소전기차 부품단위 평가방법 및 평가장비 기술, 수소전기차 내압용기 시스템단위 평가방법 및 평가장비 기술 분야로 구분함

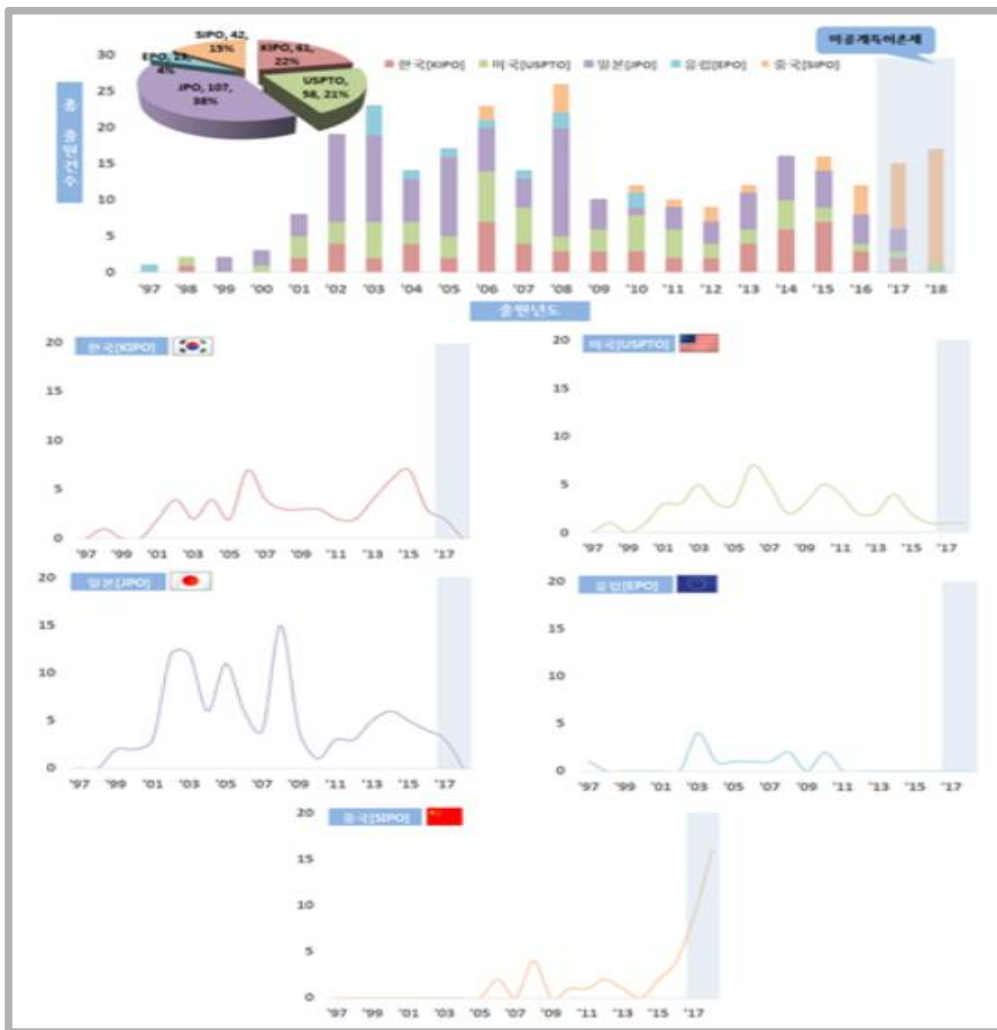
<표 2-52> 기술트리, 기술범위 및 유효특허 건수

대분류	중분류	소분류	유효특허 건수					
			한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	중국 (SIPO)	계
수소전기차 안전성 평가 및 평가장비 개발 (A)	수소전기차 차량단위 안전성 평가 및 평가장비 개발 (AA)	수소전기차 차량단위 안전성 평가방법 및 평가장비(AAA)	12	6	26	2	9	55
		수소전기차 안전성 해석 평가방법(AAB)	3	1	2	0	2	8
		수소전기차 충전 평가방법 및 평가장비(AAC)	19	19	37	1	6	82
		수소전기차 검사평가 및 검사장비(AAD)	5	5	5	1	4	20
	수소전기차 부품단위 안정성	수소전기차 내압용기 평가방법 및 평가장비(ABA)	11	10	12	4	9	46

대분류	중분류	소분류	유효특허 건수					
			한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	중국 (SIPO)	계
	평가 및 평가 장비 개발 (AB)	수소전기차 부품단위 평가방법 및 평가장비(ABB)	5	2	9	1	2	19
		수소전기차 내압용기 시스템단위 평가방법 및 평가장비(ABC)	6	15	16	4	10	51
총계			61	58	107	13	42	281

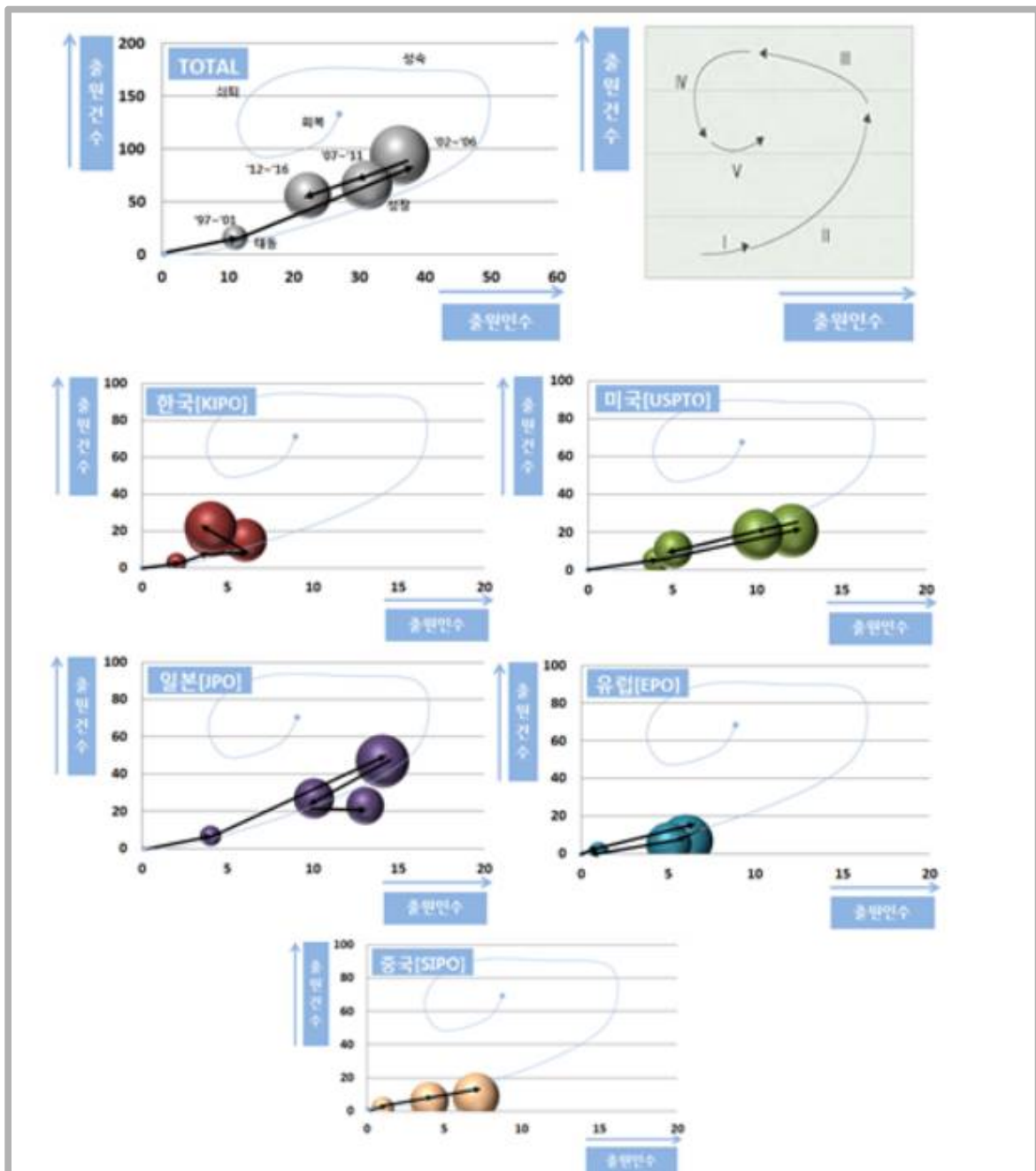
## 나. 특허 동향 분석

- 수소전기차 안전성 평가 및 평가장비 개발 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴 보면, 1990년 후반부터 관련기술의 출원이 확인되고 있으며, 2000년 초반에 들어 본격적인 출원활동을 나타내고, 이후 현재까지 증감을 반복하는 양상을 나타냄



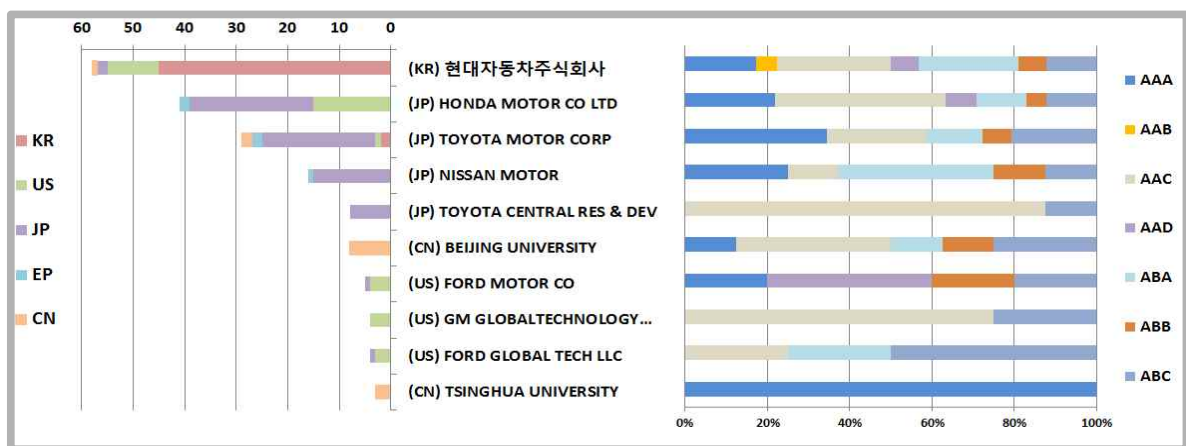
<그림 2-77> 주요 출원국 연도별 특허동향

- 특히, 2008년에 최다 출원량을 나타낸 이후 현재까지 관련 연구가 지속적으로 이루어진 것으로 보아, 이는 2000년대 연구가 활발히 진행 후 현재까지 수소전기차 안전성 평가 및 평가장비 개발 분야에 관한 R&D 관심이 꾸준히 진행된 것으로 보임
- 한국[KIPO]의 연도별 특허동향을 살펴보면, 1990년대 후반 이후 2000년 초반에 들어 본격적인 출원활동을 나타내며 2013년 이후부터는 꾸준히 증가하고 있는 추세임. 특히 2015년에 최다 출원량을 나타낸 것으로 비추어 특허 미공개 존재구간을 고려했을 때, 추후 출원 건수가 더욱 증가할 것으로 추정됨



<그림 2-78> 주요 출원국의 기술시장 성장단계 분석

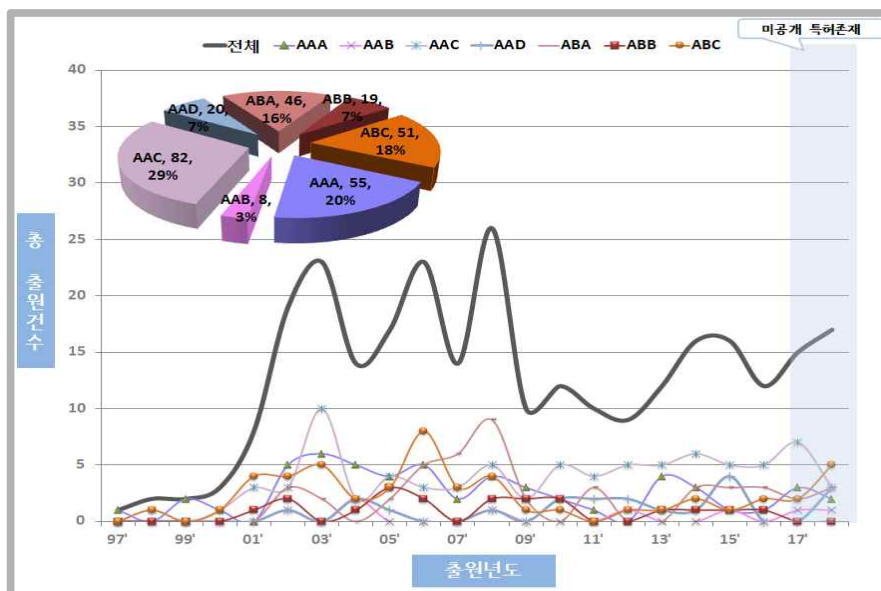
- 국가별/출원인 국적별 특허동향을 살펴보면, 일본에서의 출원이 전체 분석대상 국가 출원규모의 38%를 차지하는 것으로 나타나, 분야를 주도하고 있는 것으로 파악되고, 뒤를 이어 한국이 전체 분석 대상 국가 출원규모의 22%를 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 미국이 21%, 중국, 유럽은 전체의 각각 15%, 4% 수준을 차지하고 있음
- 본 연구과제의 기술 분야는 1구간(1997년~2001년)부터 2구간(2002년~2006년)까지 구간 출원건수 및 출원인수 증가하며 연구가 활발히 진행 후, 근래 3구간(2007년~2011년) 이후 최근까지는 구간 출원건수 및 출원인수 감소의 정체기 모습을 나타내고 있으나, 각국별 기술개발 동향과 정책동향이 현재 수소전기차를 적극 지원하는 방향으로 진행되고 있어 향후에는 연구와 특허 측면에서 재성장세를 보일 가능성이 클 것으로 예상됨
- 특히 중국의 경우, 최근 2014년 이후 여타 국가에서의 출원이 정체하는 상황에서 출원이 급증하는 모습을 보이고 있다는 점에서, 향후 2~3년 이후에는 중국이 본 분야의 출원을 주도할 가능성이 있다고 사료됨
- 본 연구과제의 주요출원인 Top20을 분석한 결과, 한국의 현대자동차주식회사가 전체 다출원인 1위로 나타났으며, 그 뒤를 이어 일본의 HONDA MOTOR CO LTD, TOYOTA MOTOR CORP, NISSAN MOTOR 및 TOYOTA CENTRAL RES & DEV 등이 이 분야에서 다수의 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남
- 주요출원인 Top 1~Top 20가 전체의 약 71%의 점유율을 보이고 있어, 전반적으로 특허 집중도가 매우 높으며, 특정인에 의한 주도 현상이 나타나고 있는 것으로 분석됨



<그림 2-79> 주요 출원인의 세부기술 출원 동향

- 한국의 자동차 대기업인 현대자동차주식회사 및 일본의 자동차 대기업인 HONDA MOTOR CO LTD 각각 1위, 2위를 차지하며, 수소전기차 충전 평가방법 및 평가장비(AAC)에 연구를 집중하고 있는 것으로 나타남

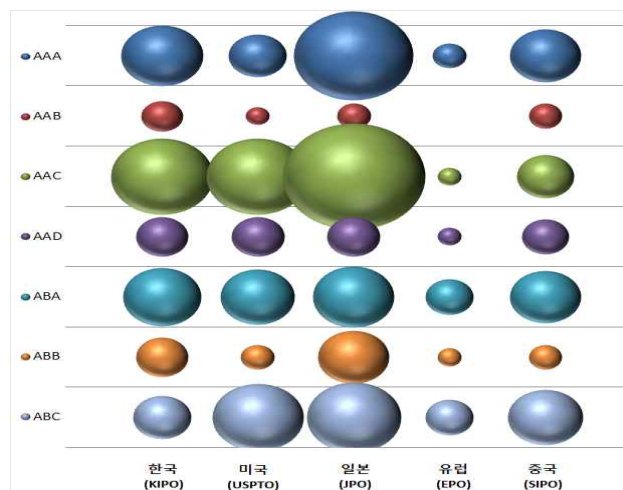
- TOP 1인 한국의 현대자동차주식회사는 유럽을 제외한 주요시장국에서 활발한 출원활동을 하고 있으며, 수소전기차 충전 평가방법 및 평가장비(AAC) 분야를 중심으로 출원활동을 보이고 있음
- 일본의 HONDA MOTOR CO LTD은 한국을 제외한 주요시장국에서 활발한 출원활동을 하고 있으며, 수소전기차 충전 평가방법 및 평가장비(AAC) 분야를 중심으로 출원활동을 보이고 있음
- 일본의 TOYOTA MOTOR CORP은 주요시장국 모두에서 활발한 출원활동을 하고 있으며, 특히 수소전기차 차량단위 안전성 평가방법 및 평가장비(AAA) 분야를 중심으로 출원활동을 보이고 있음
- 세부기술별 연도별 동향을 살펴보면, 가장 높은 출원율을 나타낸 기술 분야는 수소전기차 충전 평가방법 및 평가장비(AAC)로서 전체 출원 중 29%(82건)를 차지하고 있으며, 그 뒤로 수소전기차 차량단위 안전성 평가방법 및 평가장비(AAA)가 20%(55건)로 두 번째로 높은 점유율을 차지하는 것으로 나타남
- 대체적으로 세부 기술 모두 출원건수가 증감을 반복하고 있으며, 최근 수소전기차 충전 평가방법 및 평가장비(AAC) 및 수소전기차 내압용기 시스템단위 평가방법 및 평가장비(ABC)가 증가하는 모습을 보이고 있음



<그림 2-80> 세부기술 연도별 동향

- 세부기술의 집중도 및 공백영역을 살펴보면, 모든 주요국에서 수소전기차 충전 평가방법 및 평가장비(AAC) 분야에 대한 연구가 가장 활발한 것으로 나타나고 있으며, 반면 수소전기차 안전성 해석 평가방법(AAB) 분야 및 다음으로 수소전기차 부품단위 평가방법 및 평가장비(ABB)가 공백영역으로 판단됨

- 세부기술의 다출원인 특허출원 현황을 살펴본 결과, TOP 1인 한국의 현대자동차주식회사는 유럽을 제외한 주요시장국에서 활발한 출원활동을 하고 있으며, 수소전기차 충전 평가방법 및 평가장비(AAC) 분야를 중심으로 출원활동을 보이고 있음
- 한국 주요출원인 중 현대자동차주식회사 이외에는 주요출원인의 보유특허가 매우 미비하며 해외 시장확보력 또한 미흡하므로, 특허의 저변 확대 및 질적인 측면에서의 보강이 시급한 것으로 판단됨
- 한편, 중국의 경우 주로 대학에 의해 특허출원이 이루어지고 있는데, 이는 수소버스 관련하여 대학을 통한 국가 차원의 적극적인 R&D 투자가 이루어지고 있기 때문인 것으로 보이며, 한국도 수소버스 관련 기초 및 핵심기술의 조속한 확보 및 경쟁력 강화를 위해 중국과 같은 국가 차원의 적극적인 R&D 투자가 필요하다고 판단됨



<그림 2-81> 세부기술별 IP 출원국

#### 다. 핵심 특허 분석

- 핵심요소기술(6개)에 대한 핵심특허 분석 결과, 연료장치 안전성 관련 전복시험 및 해석 검증 방법 개발, 운행차 내압용기 수소투과량 정량적 검사방법 개발, 수소저장·공급모듈 내구성 평가방법 및 장비 개발에 대해서는 특허중복성이 보통 수준으로 나타났으며, 내압용기 비파괴 검사방법 개발, 수소저장·공급시스템 화재시험 평가방법 및 기술 개발, 내압용기 충방전 내구성 평가방법 및 장비 개발의 경우 특허중복성이 낮은 수준인 것으로 파악됨
- 특허중복성이 낮은 분야인, 내압용기 비파괴 검사방법 개발, 수소저장·공급시스템 화재시험 평가방법 및 기술 개발, 내압용기 충방전 내구성 평가방법 및 장비 개발 기술의 3개 요소기술의 경우는, 유사기술을 기재하고 있는 선행특허들이 별로 발견되지 않는다는 점에서, 선행특허로 인한 침해위험의 리스크가 낮으면서 집중적인 R&D 를 통해 경쟁국 대비 차별화된 기술 확보가 가능한 기술 분야로 볼 수

있으며, 또한 창출된 고유기술에 대한 적극적인 국내외 권리화의 IP전략을 통해 경쟁우위의 확보도 가능하다고 판단됨

- 특허중복성이 보통 수준인 3개 요소기술, 즉 연료장치 안전성 관련 전복시험 및 해석 검증 방법, 운행차 내압용기 수소투과량 정량적 검사방법, 및 수소저장·공급 모듈 내구성 평가방법 및 장비 분야에 대해서는, 유사기술의 선행특허들이 일정 부분 선점하고 있는 상황이라고 판단되므로 선행특허로 인한 침해위험의 리스크가 현실화되지 않도록 위험특허에 대한 적극적인 회피설계를 포함하는 IP전략과 함께, R&D 수행 시 회피설계의 결과를 반영하는 것이 필요하다고 사료됨

<표 2-53> 핵심요소기술 특허중복성 분석 결과

핵심요소기술	특허중복성
연료장치 안전성 관련 전복시험 및 해석 검증 방법 개발	보통
운행차 내압용기 수소투과량 정량적 검사방법 개발	보통
내압용기 비파괴 검사방법 개발	낮음
수소저장·공급시스템 화재시험 평가방법 및 기술 개발	낮음
내압용기 총방전 내구성 평가방법 및 장비 개발	낮음
수소저장·공급모듈 내구성 평가방법 및 장비 개발	보통

- 수소버스 핵심특허 분석을 위한 핵심요소기술 6개는 다음과 같음

<표 2-54> 분석대상 핵심요소기술 리스트

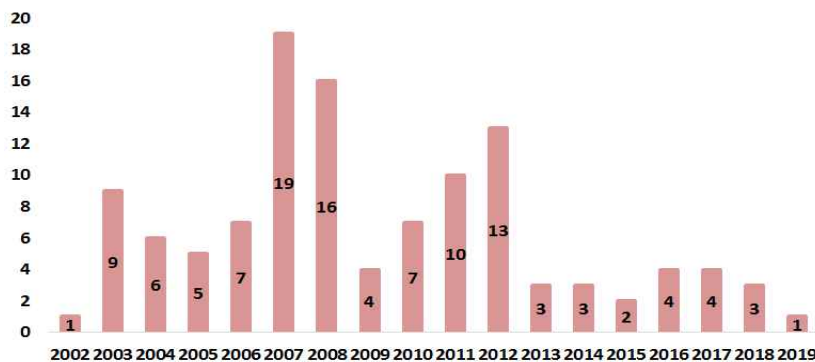
핵심요소기술	특허중복성	세부 기술 내용
1	수소버스(차) 연료장치 안전성 관련 전복시험 및 해석 검증 방법 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소버스(차)의 연료장치 안전성(수소 누출 및 연료장치 파손)을 확인하기 위한 전복 및 충돌(측면 및 후방추돌) 평가시험방법 개발</li> <li>실차 전복/충돌시험을 대체하기 위한 해석평가 및 검증방법 개발</li> </ul>
2	수소버스 운행차 내압용기 수소투과량 정량적 검사방법 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>차량에 장착된 수소고압내압용기에서 투과/누출된 수소가스의 정량적 측정기술 및 관련 장비개발</li> </ul>
3	수소버스 내압용기 비파괴 검사방법 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소버스(차)에 장착된 수소고압내압용기의 파손 여부에 대하여 초음파 측정 등의 방법의 이용한 비파괴 검사 방법</li> </ul>
4	수소버스용 수소저장·공급시스템 화재시험 평가방법 및 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>차량화재 발생 시 수소버스(차)에 장착되는 대형 수소저장용기 및 공급 어셈블리의 대한 안전성 평가를 위한 평가방안 개발</li> <li>화재모델링을 위한 발열량 측정기술 개발 및 실차 연소를 통한 수소 내압용기 화재연소모델 정립</li> <li>화재연소모델을 기반 수소용기 및 어셈블리 화재시험평가 기준 마련</li> </ul>
5	수소버스용 내압용기 총방전 내구성 평가방법 및 장비 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소버스(차)에 장착되는 대용량 수소저장용기에 대하여 연속 총방전 시 발생할 수 있는 용기 내구성 저하 평가방법 개발</li> <li>수소저장용기 총방전 내구성 평가를 위한 초고속·대용량 수소 총방전 장비 개발</li> </ul>
6	수소버스용 수소저장·	<ul style="list-style-type: none"> <li>실차 사용환경을 고려한 수소버스(차)에 장착된 수소저장용기 및</li> </ul>

공급모듈 내구성 평가방법 및 장비 개발	공급모듈 단위에 대한 내구성 평가방안 개발 • 평가항목 : 진동내구성, 환경내구성, 가속(수명)내구성
--------------------------	---

- 한편, 상기와 같은 특허중복성의 판단은 핵심요소기술 간의 상대적인 특허중복성 정도에 초점을 맞춘 것이며, 수소전기차 안전성 평가 및 평가장비 개발 분야 전체적으로 볼 때는 유사도가 일정 수준 이상인 관련 특허의 절대적인 건수가 상당히 적고, 또한 관련 특허기술의 질적인 측면에서도 안전성 평가 자체를 중점적으로 다루고 있는 특허는 아주 소수라는 점에서, 본 분야의 전반적인 특허중복성은 낮다고 판단됨
- 따라서, 핵심요소기술의 R&D 수행을 통해 그 구체적인 구조를 도출해 나가는 과정에서 각 핵심요소기술의 특허중복성을 더욱 낮추는 것이 충분히 가능한 상황이므로, 각 핵심요소기술에 대한 적극적이고 집중적인 R&D투자를 통해 핵심기술의 선점 및 경쟁력 우위를 확보해 나가는 것이 필요하다고 사료됨

## 2. 논문동향

- 2000년대 초반 이후 중후반에는 활발한 모습을 보였으나, 2010년 중반 이후 정체 되는 모습을 보이고 있어 특허동향과 상당히 유사한 양상을 보이고 있으며, 현재의 기술 및 정책 동향상 추후에는 다시 증가할 가능성이 크다는 점에서 향후의 발표 동향을 지속적으로 모니터링해야 할 필요가 있음



<그림 2-82> 연도별 논문발표 동향

- 수소전기차 안전성 평가 및 평가장비 개발 기술에 대한 국가 동향을 살펴보면, 전체 논문 중 일본 33건 한국 33건으로 56%가 일본과 한국에 의하여 발행된 것으로 나타나, 본 기술분야에서 일본과 한국이 연구개발을 주도하는 것으로 분석됨

### 3. 종합결론

#### 가. R&D 방향 및 특허 중복성 분석

- 모든 주요국에서 수소전기차 충전 평가방법 및 평가장비(AAC) 분야에 대한 연구가 가장 활발한 것으로 나타나고 있으며, 반면 수소전기차 안전성 해석 평가방법(AAB) 분야 및 수소전기차 부품단위 평가방법 및 평가장비(ABB)가 공백영역으로 판단되므로, 따라서 실차 시험을 대체하는 수소전기차 안전성 해석 평가방법(AAB) 분야와 내압용기를 제외한 나머지 부품단위의 안정성을 평가하는 수소전기차 부품단위 평가방법 및 평가장비(ABB) 분야를 유망 R&D 방향으로 설정하고 적극적으로 R&D 투자를 수행하는 것이 바람직할 것으로 사료됨
- 이를 통해 해당 공백영역 분야에서의 차별화된 기술개발 및 선도자(First Mover)로서의 입지 구축이 가능하다고 생각되며, 또한 이를 기반으로 강한 특허의 확보 가능성도 극대화 할 수 있을 것으로 사료됨
- 한편, 본 조사의 대상이 된 소분류의 세부 기술분야는 수소버스와 관련하여 반드시 확보하여야 할 주요기술에 해당하는 것이므로, 공백영역이 아닌 세부 기술분야의 경우에도 이들 분야의 기술 경쟁력 확보를 위한 지속적인 R&D 투자는 계속 이루어지는 것이 필요하다고 판단됨
- 수소전기차 안전성 평가 및 평가장비 개발과 관련한 핵심요소기술 6개 기술에 대해 특허 중복성을 조사한 결과, 연료장치 안전성 관련 전복시험 및 해석 검증 방법 개발, 운행차 내압용기 수소투과량 정량적 검사방법 개발, 수소저장·공급모듈 내구성 평가방법 및 장비 개발에 대해서는 특허중복성이 보통 수준으로 나타났으며, 내압용기 비파괴 검사방법 개발, 수소저장·공급시스템 화재시험 평가방법 및 기술 개발, 내압용기 충방전 내구성 평가방법 및 장비 개발의 경우 특허중복성이 낮음 수준인 것으로 분석됨
- 특허중복성이 낮은 분야인, 내압용기 비파괴 검사방법 개발, 수소저장·공급시스템 화재시험 평가방법 및 기술 개발, 내압용기 충방전 내구성 평가방법 및 장비 개발 기술의 3개 요소기술의 경우는, 유사기술을 기재하고 있는 선행특허들이 별로 발견되지 않는다는 점에서, 선행특허로 인한 침해위험의 리스크가 낮으면서 집중적인 R&D 를 통해 경쟁국 대비 차별화된 기술 확보가 가능한 기술 분야로 볼 수 있으며, 또한 창출된 고유기술에 대한 적극적인 국내외 권리화의 IP 전략을 통해 경쟁우위의 확보도 가능하다고 판단됨
- 특허중복성이 보통 수준인 3개 요소기술, 즉 연료장치 안전성 관련 전복시험 및

해석 검증 방법, 운행차 내압용기 수소투과량 정량적 검사방법, 및 수소저장·공급 모듈 내구성 평가방법 및 장비 분야에 대해서는, 유사기술의 선행특허들이 일정 부분 선점하고 있는 상황이라고 판단되므로 선행특허로 인한 침해위험의 리스크가 현실화되지 않도록 위험특허에 대한 적극적인 회피설계를 포함하는 IP 전략과 함께, R&D 수행 시 회피설계의 결과를 반영하는 것이 필요하다고 사료됨

## 나. 유망 R&D 방향 및 IP 전략

- 수소전기차 안전성 평가 및 평가장비 개발과 관련한 세부 기술분야 중에서, 전반적으로 연구 공백영역인 R&D 분야로 나타난 수소전기차 안전성 해석 평가방법(AAB) 분야 및 수소전기차 부품단위 평가방법 및 평가장비(ABB) 분야에 대해 적극적으로 R&D 대상 후보기술을 발굴하는 한편, 이에 대한 R&D 과제 기획 및 수행을 통해 집중적인 R&D 투자가 이루어져야 할 것으로 판단됨
- 특히, 수소전기차 안전성 해석 평가방법(AAB) 분야에 대해서는, 핵심요소기술 중 연료장치 안전성 관련 해석평가 및 검증방법 개발이라는 요소기술이 도출되어 있으나, 수소전기차 부품단위 평가방법 및 평가장비(ABB) 분야에 대해서는 요소기술이 전혀 도출되어있지 않아 해당 분야에 대한 R&D 대상 기술의 발굴이 필요하다고 사료됨

<표 2-55> 수소버스 특허중복성 분석결과

소분류	공백영역	핵심요소기술 (6개 기술)	상대적 특허중복성	과제전체 특허중복성
수소전기차 차량단위 안전성 평가방법 및 평가장비 (AAA)	0	연료장치 안전성 관련 전복시험 및 해석 검증 방법	보통	낮음
수소전기차 안전성 해석 평가방법 (AAB)				
수소전기차 충전 평가방법 및 평가장비 (AAC)		-	-	
수소전기차 검사평가 및 검사장비 (AAD)		운행차 내압용기 수소투과량 정량적 검사방법	보통	
수소전기차 내압용기 평가방법 및 평가장비 (ABA)		내압용기 비파괴 검사방법	낮음	
		내압용기 총방전 내구성 평가방법 및 장비	낮음	
수소전기차 부품단위 평가방법 및 평가장비 (ABB)	0	-	-	
수소전기차 내압용기 시스템단위 평가방법 및 평가장비 (ABC)		수소저장·공급시스템 화재시험 평가방법 및 기술	낮음	
		수소저장·공급모듈 내구성 평가방법 및 장비	보통	

## 제5절. 연구개발 인프라 분석

### 1. 국내 기술역량 분석

#### 가. 수소버스 차량 단위 안전성평가기술 및 평가장비 개발 연구 인력

- 본 과제에서 수행할 수소버스 차량 단위 안전성평가기술 및 평가장비 개발과 관련하여 자동차 차량 단위 안전성 평가 분야는 기계 전공자로 자동차 충돌안전성 평가 및 고압가스(수소 및 CNG 등) 자동차의 연료장치, 구동장치 등에 대한 평가 시험 및 연구 경험이 있는 전문가가 다수 필요함
- 한국교통안전공단 자동차안전연구원은 다수의 자동차 평가 관련 전문인력을 보유하고 있으며, 이미 수소전기차 안전성평가기술개발(07~12)을 수행하며 수소전기차의 평가기술 및 평가장비 개발 연구에 풍부한 경험을 가진 연구원을 다수 확보하고 있음
- 연구진은 지금까지 자동차 전반에 걸친 안전성 평가관련 풍부한 연구경험과 전문 지식을 가지고 있으며 또한, 수소버스 차량 기반 연료장치 평가를 위한 슬래드 시스템, 차량 전복시스템, 모터출력평가시험장 및 수소고압충전시스템 등을 보유하고 있어 관련 평가장비를 운영하고 세부시험절차를 개발 연구를 수행하는데 큰 장점이 있음

#### 나. 수소버스 검사기술 및 장비 개발 연구 인력

- 본 과제에서 수행할 수소버스 검사기술 및 검사장비 개발과 관련하여 자동차 차량단위 및 내압용기 재검사(정기검사) 등에 대한 검사제도 운영 및 법·제도 등을 개발할 수 있는 자동차 검사 전문가가 필요하며, 특히 수소버스와 같은 가스 연료를 사용하는 내압용기가 장착된 상용차에 대한 검사 경험이 풍부한 전문가가 다수 필요함
- 한국교통안전공단은 수십년동안 CNG 내압용기가 장착된 대형버스를 포함한 다양한 차량에 대한 검사 업무를 수행하여 검사 수행능력이 우수하며, 운행안전도에 영향을 줄 수 있는 자동차의 사항을 도출하여 검사기술을 개발하여 적용하여 왔음. 또한 검사장비에 대한 최적화 연구 및 검사 신뢰수준 향상을 위해 검사 세부 절차 및 방법 개발을 수행하여 왔음
- 한국교통안전공단은 수소와 압축천연가스 내압용기 검사전문가 45명을 보유하고

있으며 전용검사장 33개소를 운영하고 있고 매년 12,000대의 내압용기 차량의 용기와 고압연료장치 검사를 수행하고 있음.

- 한국교통안전공단 내압용기검사장에 내압용기 버스와 승용차를 검사할 수 있는 전용 리프트 설비와 열화상 카메라, 초음파누출감지기 등 검사장비 45세트, 누출감지 연동 자동환기설비 등 안전장치를 구비하고 있음
- 한국교통안전공단은 2014년부터 국내에 보급된 전체 수소전기차(투싼, 넥쏘, 수소전기시험운행 버스)에 대한 장착검사와 기술검사를 시행하여 왔으며 현재까지 1,000대 이상의 검사를 시행하였고 수소전기차의 구조와 특성에 대한 많은 노하우와 기술을 보유하고 있음

#### 다. 수소버스 부품 단위 안전성평가기술 및 평가장비 개발 연구 인력

- 한국가스안전공사 가스안전연구원은 수소버스용 내압용기, 밸브 등 부품 안전성 평가기술 개발 및 평가장비 개발과 관련된 초고압 내압용기, 밸브 등 부품 등에 대한 평가시험 및 연구 경험이 있는 풍부한 전문가들이 있음
- 한국가스안전공사 가스안전연구원은 이미 고압내압용기 등 부품 종합시험 기반구축사업(09~14) 및 관련 다수의 과제를 수행하며 수소전기차의 평가기술 및 평가장치 개발 연구에 풍부한 경험을 가진 연구원과 검사원을 보유하고 있음
- 연구원은 강원도 영월에 에너지 안전실증연구센터를 구축하여 단위 내압용기 등 부품의 실증시험을 수행하고 있으며 고압 수소제품에 대한 안전성 평가관련 풍부한 연구경험과 전문지식을 가지고 있어 수소가스 반복시험, 용기 화재시험설비, 수압 반복 및 파열 시험 등에 대한 세부평가시험방법 개발 및 수소버스의 내압용기 특성을 반영한 평가기술을 마련하는 연구 수행에 큰 장점이 있음

## 2. R&D 인프라 현황 분석

### 가. 수소버스 차량 단위 평가시험 인프라

#### □ 국내 수소버스 차량 단위 주행성능 평가시험장

- 자동차안전연구원은 자동차 전반에 걸친 안전성 평가관련 풍부한 연구경험과 전문지식을 가지고 있으며 또한, 승용자동차부터 대형버스까지 평가 가능한 충돌시험장, 모터 출력시험실 및 실도로 수소버스 출력시험 등이 가능한 주행시험장

과 수소가스 등을 사용하는 자동차에 연료장치의 수소 누출 등을 측정·평가를 할 장소에서 수행할 수 있는 종합평가장 환경을 구축하고 있음



<그림 2-83> 국내 수소버스 차량 단위 평가 시험장

### □ 국내 수소버스 차량 단위 평가시험장비

- 자동차안전연구원은 승용자동차부터 대형버스까지 다양한 차량에 대한 충돌평가 및 충돌모의 평가시험시설을 구축하고 있어, 대형버스에 대한 충돌 시의 연료장치안전성에 대한 평가시험장비를 보유하고 있음



<그림 2-84> 대표적인 승용자동차 충돌시험장비



<그림 2-85> 차량 전복시험

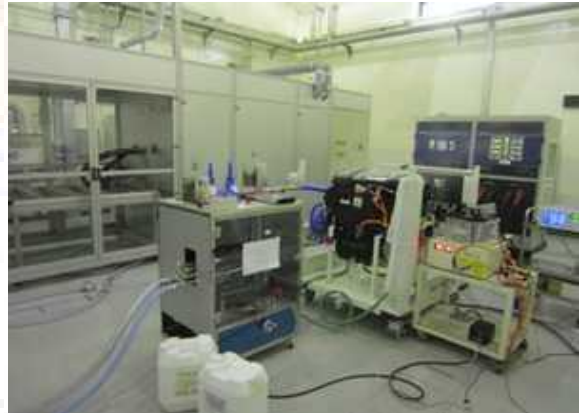


<그림 2-86> 내압용기 차량모의시험

- 수소차량 충돌 시의 수소 누출과 연료전지 출력평가지험장비 등을 보유하고 있음



<그림 2-87> 수소누출 탐지장비



<그림 2-88> 연료전지 출력 시험장비

## 나. 수소버스 검사 인프라

### □ 국내 수소버스 검사시험장

관할지역	공단 검사소		신 설	출장검사장
	증 축	개 축		
서울, 경기북부, 강원	강동, 원주, 동해	상암, 노원, 성산	양주	춘천, 광주
경기남부		서수원		성남, 시흥
인천	인천		계양	김포
부산, 울산, 경남	창원, 김해, 해운대	주례	진주	울산
대구, 경북	포항	수성		경주
대전, 충남·북	천안	신탄진	청주	
전주, 전북	전주			익산
광주, 전남		광주		순천, 목포, 여수
합 계	10개소	8개소	4개소	11개소

### □ 국내 수소버스 검사시험장비

구분	누출 감지기 (수소·NG검용)	포켓형 수소누출 검지기	초음파 누출 검지기	열화상 카메라	수소전기차 전자 진단기	내시경	초음파 금속 두께 측정기	적외선 온도계	UT기	누출 감지기 (NG전용)
성산	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2
상암	2	1	1	-	-	1	2	2	-	2
강동	5	1	1	-	-	4	4	4	-	3

노원	1	1	1	-	-	3	3	3	-	8
서수원	4	1	1	-	-	4	4	4	-	9
계양	2	1	-	-	-	1	2	2	-	5
인천	2	1	1	-	-	1	1	1	-	2
수성	6	1	1	-	-	3	3	3	-	3
신탄진	2	1	1	-	-	3	3	3	-	8
광주	2	1	1	1	-	3	3	2	-	6
전주	6	1	1	-	-	2	4	2	-	2
주례	8	1	-	-	-	1	3	3	-	5
해운대	2	-	-	1	-	1	1	1	-	2
창원	3	1	1	-	-	2	2	2	-	3
합계	49	13	11	3	1	30	36	33	1	60

#### 다. 수소버스 부품 단위 평가시험 인프라

##### □ 국내 수소버스 부품 단위 평가시험장

- 국내 유일하게 한국가스안전공사에서 수소전기차(수소버스 포함)의 내압용기 및 수소 내압용기 부품 시험이 가능하나 현재 자동차 내압용기 안전에 관한 규정과 유럽기준인 UN R 79에 따라 시험이 가능하도록 구축되어 있어, 2019년 중 국내 자동차내압용기 안전에 관한 규정이 세계기술기준(GTR 13)으로 조화되고 추가적으로 대형 고압 상용차 용기 및 부품의 경우 평가 및 인증 대응이 불가능하여 추가 제작 및 업그레이드가 필요한 실정임



<그림 2-89> 국내 수소버스 부품 단위 평가 시험장


- 건립 장소 : 강원도 영월군 주천면 1455번지 외 74필지(305억원, 2012년~2016년)
- 대지 면적 : 129,805 m<sup>2</sup> (42,839평), 연면적4,340 m<sup>2</sup>(1,432평)

- 시험 설비 : 초고압, 초저온, 화재<폭발, 방호시설 분야 시험장비 및 설비 86종 165점
- 건물 현황: 연구동(1), 시험동(9), 고객지원센터(1-예정)

□ 국내 수소버스 부품 단위 평가시험장비

- 한국가스안전공사가 보유한 내압용기 및 내압용기 부품 등에 대한 평가시험장비는 현행 국내 내압용기 기준에 적합한 평가장비로서 향후 세계기술기준(GTR 13)으로 국내기준이 변경될 경우 추가적인 평가장비 개발이 필요한 상황임

<표 2-56> 현행 수소내압용기 인증시험 기관(한국가스안전공사)

시험장비 명	사양	설비 사진
고압가스 공급시설	- 수소 및 CNG - 최대가압압력 수소 1500bar, CNG 500bar	
고압용기 수압반복시험설비	- 최대 가압압력 : 1500 bar	
소형용기 (80리터 이하) 상온수압반복설비	- 최대 가압압력 : 1500 bar	
고압가스 투과성 시험설비	- 500시간 수소 투과량 측정	
극한온도 반복시험 시스템	- 45도 ~ 80도 유지하며 수압반복	

시험장비 명	사양	설비 사진
파열시험 시스템	- 최대 가압압력 : 4000 bar	
소형용기 (80리터 이하) 팽창량 측정설비	- 최대 가압압력 : 1500 bar 탄성팽창량 측정	
수소부품 기밀시험장치	<고압부스터> ·최대 가압압력 : 20000psi(1034 bar)	 
수소부품 반복시험장치	·최대 가압압력 : 1200 bar	 
조정기성능 평가시험장치	·최대 가압압력 : 900 bar	 

<표 2-57 > 국내안전기준이 세계기술기준(GTR 13)으로 변경시 신규 개발 필요장비

번호	명 칭	용도	시험장비 사진	GTR 13 시험항목
1	PRD 성능시험장치	PRD 분출량 검증		- 고압부품 내구시험
2	부품 냉각수소 성능평가 장치	부품 냉각수소 성능 검증		

3	고압부품 수소반복시험설비	고압부품 수소반복성능검증	
4	고압부품 수소 리크 시험설비	고압부품 내외구 누출검증	
5	PRD Thermal Cycle 시험장치	PRD 고온저온 반복검증	
6	Chattering 시험장치	체크밸브 체터링 검증	
7	대형진동설비 지그	초고압부품 진동 검증	

## 제6절. 유사과제분석 및 기존 연구와의 차별성

□ 국가과학기술지식정보서비스 (National Science & Technology Information Service) 홈페이지에서 유사과제를 검색하고 내용을 분석하여 본 과제와의 중복성 및 차별성을 정의함

<표 2-58> 유사과제 분석 결과

연구 내용	구분	과제명(과제기간)	차별성
수소 버스 총돌 안전성 평가 기술 개발과 수소 버스 구동 시스템 평가 기술 및 장비 개발	선행연구와 차별성	수소연료전지자동차 안전성평가기술개발(07~12)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소연료전지자동차는 승용자동차에 대한 평가기술 개발로 수소 버스를 포함한 수소버스에 대한 평가기술개발이 목표인 본 연구 과제와는 적용 대상 차종이 다름.</li> <li>- 선행연구인 “수소연료전지자동차 안전성평가 기술개발 연구”를 통해 승용자동차용 연료전지 스택 단위의 출력시험 기술만 개발되어 시스템 단위의 원동기 및 다중 동력원에 대한 통합 출력시험 불가</li> <li>- “수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발”과제를 통해 수소버스 동력시스템의 출력 평가가 가능토록 시험 장비 개발 필요</li> </ul>
		도심주행용 수소버스 핵심기술 개발(16~20)	- ‘도심주행용 수소버스 핵심기술 개발’은 관련 수소내압용기 부품 및 연료전지의 필터 부품 개발 등으로 본 과제의 수소버스 차량 및 내용용기 부품 등에 대한 화재 및 수소누출 등에 대한 안전성 평가기술개발과는 다름
	기존 기술 활용 방안 (연계 방안)	기존기술	활용방안
		안전기준 제102조(총돌시의 승객보호) 평가방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4.5톤 초과 승합자동차의 전복평가시험방법을 활용하여 연료장치 안전성평가 연구시험방법 설계에 활용</li> <li>- 승용자동차의 측면충돌평가방법의 충돌속도 및 충돌에너지량(대차 무게 등)으로 초기 측면충돌연구시험방법을 설계하고 충돌데이터 분석 기법 등을 활용</li> </ul>
	KATRI 내 연료전지 스택 단위의 출력시험 시험장비 보유	- 기존의 연료전지 스택 단위의 출력시험 시험장비 설치 과정에서의 기술 및 운영 경험 등을 활용하여 보다 향상된 시스템 단위의 동력시스템 및 다중 동력원에 대한 출력 시험장비 개발	
수소 버스 운행차 검사 평가 기술 개발 연구와 수소	선행연구와 차별성	없음	- 수소내압용기 수소가스 투과량 측정장비 확보
		없음	- 수소버스 배기가스에서 배출되는 수소 방출가스 농도 측정장비 확보
		없음	- 수소버스 장착 복합재료 수소내압용기에 대하여 검사현장에서 내외부 결함에 대한 비파괴 측정방법을 이용한 결함정보 데이터 베이스 및 결함판정 기준 확보
	기존 기술 활용	기존기술	활용방안
		없음	- 수소용기 몸체 가스투과량 측정 장비 개발을 통해 운행 수소버

버스 내압 용기 비파괴 검사 기술 개발	방안 (연계 방안)		<p>스의 안전성을 확인하고 사고 발생요인을 조기에 탐지 제거함으로써 운행 수소버스 대형사고 예방에 활용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 운행 중 정기적으로 시행하는 내압용기 자동차 정기검사에 적용하여 운행 간 발생하는 수소 방출가스 농도 측정 장비 개발을 통해 운행수소버스의 정기검사에 적합한 보급형 장비 개발</li> <li>- 수소버스 장착 수소내압용기 복합재료 내외부의 경함과 손상을 조기에 파악하고 검출하여 수소버스 내압용기 파열사고 예방에 활용</li> </ul>
수소 부품 안전성 평가 기술 개발 연구	선행연 구와 차별성	정부의 수소버스 시범사업('19년 35대 실증 추진)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정부의 수소버스 시범사업('19년 35대 실증 추진)과 연계(환경부 및 지자체 협의 필요)하여 수소버스 운행에 따른 데이터를 모니터링 함으로써 향후 발생할 수 있는 운행 특성에 따른 안전성 문제의 기반 데이터로 활용</li> </ul>
	기존 기술 활용 방안 (연계 방안)	기존기술	활용방안
		도심주행용 수소버스 핵심기술 개발 (2016-2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 연구범위에서 다루지 않는 수소버스의 개발 및 운영에 따른 도로주행상황 및 사고상황에 따른 데이터 구축 및 평가모델 개발에 해당함</li> </ul>
		유로-6 배기규제 대응 수소-천연가스(HCNG) 시내버스 개발 (2011-2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 시험운행에 따른 데이터의 지속적인 구축, 안전성 평가를 위한 사고데이터의 축적, 그리고 데이터기반 자동차안전도 평가 프레임워크를 제시함</li> </ul>
EC79(2009) 및 자동차용 내압용기 안전에 관한 규정 수행을 위한 가스안전공사 에안센터 시험 설비 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기 보유 설비 활용하여 GTR 시험중 65% 이상 수행가능 (수소 전기승용차량에 적용된 용기 및 부품 해당)</li> <li>- 신규 설비 구축 시 기 구축된 기반시설 활용가능 (액화질소 공급장치, 극저온 칠러, 산소농도 검지장치, 방폭전기 및 부대시설 등)</li> </ul>		

## 제7절. 종합분석

### 1. 동향 및 환경 분석

- (정책) 수소차 보급확대를 위한 국가단위 구매지원정책과 국제기준도 개정 추진 중이며 국내 수소내압용기 및 수소부품에 대한 안전기준이 국제기준과 조화가 예상됨
- (시장) 국내외 수소버스가 보급중에 있으며 주행거리 및 충전시간 등에 잇점을오 상용차 부분에 수소차가 확대가 예상됨. 아울러 국산 수소트럭 해외 수출과 경력 버스 보급과 특장 수소트럭 시장이 확대가 예상됨
- (기술) 수소내압용기 및 TPRD 등 700bar 기술력은 국내 업계에서 확보하였으나 운행차 안전성 및 충돌 등 사고시 수소누출 관련 안전성 검사/평가기술 및 장비는 미흡
- (특허/논문) 수소 관련 논문의 양적 성장은 일본 다음으로 높은 점유율이나 관련 특허의 저변확대 및 질적 향상을 위해 투자가 요구되며 평가기술분야의 경우 중복성이 낮아 집중적인 투자로 핵심기술의 선점 필요
- (종합) 수소버스의 보급정책 활성화를 위한 운행 및 사고 시 안전성 확보방안 마련하고 국제기준 시험평가가 가능하도록 장비개발과 기술중속 방지를 위한 연구 착수로 국제기준 제시를 통한 수소경제 활성화를 위한 기준·기술선점이 필요



## 2. SWOT 분석

### Strength (강점)

- 국토교통부 및 성능시험 대행자 중심의 기준 및 인증체계 확보와 KNCAP 수행 등과 같은 법/제도적 기반 확보가 가능함
- 자동차 관리법 시행규칙에 따라 국제적 수준의 평가기술 확보역량과 인프라를 보유하고, 첨단안전자동차 안전성 평가기술개발, 기술개발 등 다양한 정부R&D 등 연구수행 경험 및 노하우 보유 가능함
- 새로운 평가기술을 개발하기 위해 既 확보된 연구 인프라(연구인력, 시험장비 등)의 효과적 활용으로 국내·외 신기술의 안전기준 반영 등을 위해 미래형자동차에 대한 R&D의 적극적 수행으로 안전한 톨모델 방향 예측이 가능함

### Weakness (약점)

- 실사고를 기반으로 수소버스 충돌 안전성 향상을 위한 기술 확보 수준 및 안전기준 선도를 위한 연구기반이 선진국 대비 미흡하고, 관련 정책을 추진하기 위한 제도적 기반 및 민간 R&D 역량이 부족함
- 수소버스 안전성 평가시험에 대한 막대한 비용이 소요되며, 각 기관 및 제조사 별 해당 안전성 평가기술 및 장비개발에 대한 기술 공유가 어려움
- 수소버스 안전장치 통합평가 기술 개발 연구 활동이 저조하며, 신기술에 대한 부품업체의 중장기적 투자 인프라 구축이 미흡함

### Opportunity (기회)

- 정부의 수소버스 상용화 지원에 대한 적극적인 추진의지
- 정부의 친환경자동차 보급정책에 따른 수소에 대한 대국민 안전성 우려 해소를 위한 높은 수준의 수소버스 연료장치 안전성 평가기술 마련이 필요함
- 수소상용차 상용화 시 국민안전 최우선 정책에 대하여 정부의 의지가 필요하며, 교통사고 사망사고를 획기적으로 줄일 수 있는 법제도의 개선 등 교통 선진국으로의 발돋움 할 수 있는 정부정책의 획기적인 아이템이 필요함

### Threat (위협)

- 선진국의 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 제시 및 연구에 따른 후속 연구 추진에 대한 제한이 예상됨

- 유럽의 ZEFER, H2ME, H2ME2 등 다양한 실증 프로젝트 추진 및 실운영 데이터가 필요함
- 국내외적으로 수소버스에 대한 차량단위 연료장치 안전성 평가기술 개발의 구체화 필요 및 대규모 실증을 통한 단기간 수소버스의 차량 검증 및 신뢰성 확보 추진이 필요함

### 3. 연구추진 방향 도출

- 수소버스 안전성 평가기술 개발 및 장비개발을 둘러싼 대내외 강점, 약점, 기회, 위협으로부터 8개의 연구추진방향을 통해 수소버스 충돌안전성 평가기술 및 제도적 개선 방안 마련이 필요하며 그에 따른 국내기준 제도화 및 세계기술 규정 개정안 제안 및 운행차 검사기술 확보, 수소버스 부품단위 안전기준 국제화와 이를 위한 장비개발이 필요함을 도출
- 강점 활용을 통한 기획확대(SO 전략)를 탑승객 안전도 강화방안을 위한 ‘수소버스 전복 및 충돌 평가기술’ 개발을 확보하고 ‘수소버스 평가기술 관련 안전기준 법제화 및 국제화 전략 수립’이 필요함
  - 수소버스 사고 시 수소누출 최소화를 통한 2차 사고 위험성 방지를 위한 수소버스 충돌평가기술 연구를 시행하고 수소트럭 등 타분야로 확대접목 활용 검토를 통해 연구결과 활용 시너지를 극대화할 수 있는 방향으로 추진이 필요함
  - 수소버스 안전장치 성능 최적화 평가방안 연구결과를 국내 법제화를 추진하고 국제사회에 발표 및 제안 하는 등의 국제화 전략을 구축하여 국제기준(GTR)과 조화를 통한 국제기준 선도가 필요함
- 강점 활용을 통한 위협극복(ST 전략)을 위해 위해 ‘수소버스 안전성 평가 시나리오 ‘와’ 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발’ 확보 추진이 필요함
  - 국제적으로 추진되고 있는 수소버스 충돌안전성 평가 환경변화를 고려하고 국내의 기술개발 여건과 기 확보한 평가기술 연구역량 등의 강점을 활용하여 수소버스의 다 동력원 병렬 구동시스템에 대한 성능검증을 통한 운행 안전성 확보를 위해 구동시스템 평가기술 및 장비개발이 필요함
  - 수소버스 등 대형승합자동차 운행 및 사고 시 수소누출 등 안전성 강화를 위한 충돌기준 표준화 및 운행차 검사 강화 등에 필요한 관련 정보수집과 데이터 분석 체계 구축 및 유형 별 대표 평가 시나리오 선정 방법론 연구가 필요함
- 약점보완을 통한 기회활용(WO 전략)을 위해 ‘한국형 수소버스 사고 조사분석

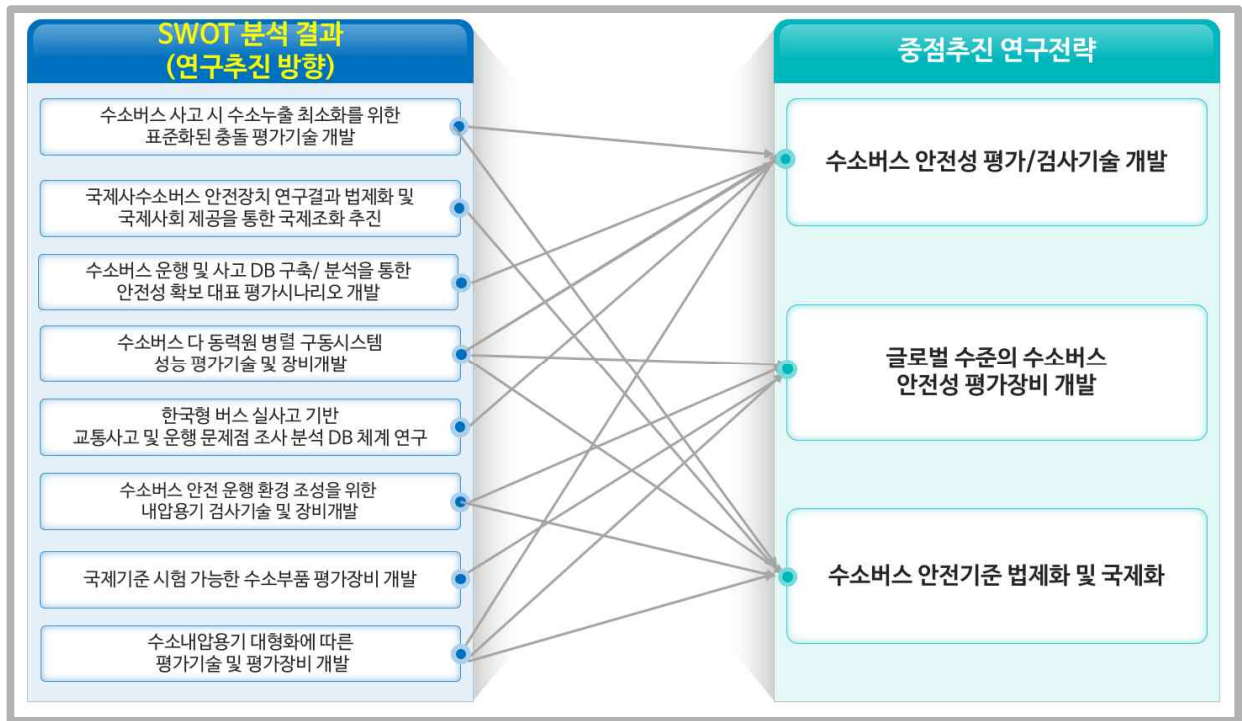
체계구축' 과 '수소버스 안전성 검사환경 구축' 이 필요함

- 국내의 경우 자동차사고 심층조사분석 체계가 구축되지 않음에 따라 한국형 실 사고를 기반으로 한 교통사고 조사분석 DB 확보 및 사고 DB의 MICRO 분석(사고유형, 상해원인 등)이 필요함
- 수소버스의 안전한 운행환경 조성을 위한 수소버스 수소내압용기 누출량, 수소 박이 방출량 및 내압용기 비파괴 검사기술과 검사장비 개발이 필요하며 수소버스 이외 수소전기차 운행 검사로 확대 적용함으로써 안전성 강화 추진이 필요함
- 약점보완을 통한 위협극복(WT 전략)을 위해 '수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발' 추진이 필요함
  - 국제기준에 적합한 수소부품 평가장비를 개발하여 국내 업계 수소부품 인증체계를 완비를 통한 국내기업 육성방안 마련이 필요
  - 국제적으로 연구초기단계인 대형수소내압용기에 대한 시험절차 등의 개선을 선제적으로 연구개발하여 관련 국제표준 및 안전기준을 선도함으로써 관련 기술의 확산이 필요함

#### 4. 중점추진 연구분야 도출

- 상기 SWOT 분석을 통해 도출된 중점추진 방향을 '수소버스 안전성 평가기술개발', '수소버스 안전성 평가장비 개발' 및 수소버스 평가기준 법제화' 의 3개의 중점추진 연구분야로 도출함
  - (수소버스 안전성 평가기술 개발) 국내 자동차 교통사고 데이터를 수집하여, 안전성 대표 시나리오를 도출하고 도출된 시나리오를 통하여 교통사고 유형을 반영할 수 있는 수소버스 전복/충돌안전성 평가기술을 개발, 다중 동력원 및 모터 시스템의 시스템단위 출력 평가기술과 수소버스 운행 시 안전성 확보를 위한 수소내압용기 투과량 및 수소배기 배출량 검사기술 개발, 수소 내압용기 비파괴 검사기술 개발이 필요하며 수소내압용기의 대형화에 적합한 화재평가기술 및 수소부품 모듈단위 평가기술 개선이 필요함
  - (수소버스 안전성 평가장비 개발) 수소버스의 다 동력원 및 다 모터 시스템의 시스템단위 출력평가를 위한 평가장비, 수소버스 운행차 안전성에 대한 객관적 판정결과 도출을 위한 수소내압용기 투과량 검사장비 및 수소배기 배출량 검사장비, 수소부품 안전기준 국제화를 위한 평가장비 및 대형화되는 수소내압용기 등을 국제기준으로 평가할 수 있는 평가장비개발이 필요함

- (수소버스 평가기준 법제화) 수소버스 충돌안전성 평가기술, 구동시스템 출력평가 기술, 운행차 검사기술 및 수소내압용기 대형화에 따른 모듈단위 평가기술을 국내 실정에 적합하도록 법제화를 추진하고 국제회의 제안을 통해 평가기술에 대한 국제안전기준(GTR) 제·개정 추진을 위한 법제도 연구를 수행이 필요



<그림 2-90> SWOT분석을 통해 도출된 중점추진 연구전략

# 제3장 연구개발 과제 구성 및 추진전략

## 제1절. 비전 및 전략

### 1. 연구 비전

- 수소버스 안전성 강화 및 신뢰성 확보를 통한 국민의 생명과 재산 보호 및 대중 교통의 환경 개선과 편익성 증대에 기여
  - (비전) 수소버스 안전성 평가기술 및 장비 개발을 통한 수소버스 안전성(수소누출 Zero 등) 확보
  - (전략방향 1) 수소버스 안전성 평가 및 검사기술 개발을 통한 안전도 강화
  - (전략방향 2) 수소버스 안전기준 법제화 및 국제화를 통한 정책선도
  - (전략방향 3) 글로벌 수준의 수소버스 안전성 평가장비 개발로 평가 신뢰도 강화



<그림 3-1> 수소버스 안전성 평가기술 개발 및 장비개발 비전 및 목표

## 2. 연구 세부 전략

### □ 수소버스 안전성 평가 및 검사기술 개발 전략

- 수소버스가 국내 도로 환경에서 운행함에 있어 기존 버스와 다른 연료장치시스템 특성으로 인하여 발생할 수 있는 다양한 차량안전도(수소 누출 및 화재 등)에 영향을 줄 수 있는 요소들을 확인하는 모니터링 체계 구축
- 실도로 운행정보 및 사고/고장정보 데이터를 기반으로 수소누출 및 화재·폭발 사고 위험도를 반영한 수소버스 연료장치 위험상황시나리오를 개발하여, 위험상황 시나리오를 반영하여 수소버스의 충돌 시의 화재 및 수소누출 등의 위험요소를 최소화 할 수 있는 평가기술을 마련
- 또한, 소량 다품종의 생산 특성을 가진 버스의 특성을 고려하여 기존의 안전기준의 실차 전복시험, 신규 실차 충돌시험을 대체할 수 있는 해석기반 안전성 평가 기법, 충돌모의시험 및 충돌구조기준 등 다양한 평가기법 개발 방향으로 추진
- 수소버스의 보급이 시작됨에 따라 기존의 CNG 버스에 검사기준으로는 연료장치 시스템 등에 차이가 있는 수소버스에 적용하기 어려운 운행대상 수소버스의 정기검사 세부검사방법을 마련하고, 신규 검사방법 등을 개발하여 연료장치시스템 및 배기가스 등에서 발생할 수 있는 수소누출 등으로 인한 위험사고를 예방
- 수소버스의 병렬형 구동전동기(전기모터), 구동축전지(배터리) 및 연료전지 간 연계를 통한 전력공급 등 구동시스템의 구동방식이 복합적으로 작동함에 따라 수소버스의 보다 정확한 실차모사 효율을 측정할 수 있는 성능 평가기술과 세부시험방법을 개발
- 수소버스의 내압용기에 대형화 및 충전 압력 증가 등에 따라 평가시험 조건의 재검토 및 평가시험 기간 증가 등을 최소화할 수 있는 최적화 평가기술 개발 추진
- 차세대 대용량의 고압 복합재 수소내압용기에 대한 평가검증을 할 수 있는 평가 방법 및 규정을 마련하여 제작사의 개발기간 및 개발비용 등에 어려움을 해소
- 수소버스의 대용량 복합재 내압용기에 대한 화재평가 표준화 평가기술, 대용량내압용기 유공압 충방전 평가 기술개발 등을 통해 수소부품 안전 분야 국제 기준을 선도

### □ 수소버스 안전기준 법제화 및 국제화 전략

- 수소버스 운행 및 사고 시 안전성 확보를 위해 필요한 평가·검사기술을 국내 제작사, 부품사 및 유관기관 협의체 구성을 통해 의견수렴을 추진하여 합리적인 기준(안) 마련과 법제화를 추진

- UNECE/WP29의 국제사회에서 추진 중인 대형수소자동차의 안전기준의 제개정 방향을 검토하여 기존 국제화 추진이 가능한 항목을 우선적으로 연구개발 과제에 반영추진
- 수소버스 안전성 확보 및 강화를 위해 국내 법제화가 필요성이 있는 평가기술 내역 검토를 통한 연구항목 선정 방향을 검토하며 국제화 전략을 체계적으로 수립하여 시의적절한 법제도화 및 국제화 추진
- R&D를 통해 개발되는 수소버스 안전성평가 및 검사기술 제도화하여 국내 기준으로 도입하고 국제화함으로써 국내 제작사의 산업경쟁력을 확보 및 수소경제 주도권을 확보하는 방향으로 추진

□ 글로벌 수준의 수소부품 평가·검사 장비 개발 전략

- 대형수소전기차인 수소버스와 같이 다 동력원 병렬 구동시스템의 복합 구동방식에 대한 실차 모사를 구현할 수 있는 평가장비 개발을 통해 최소 성능기준 마련과 이를 통한 수소트럭 등에도 성과를 활용할 수 있도록 추진
- 수소버스에 장착되어 있는 대형 수소내압용기에 대한 투과량과 연료전지에서 반응되고 배출되는 수소가스의 배출량을 검사할 수 있는 장비를 개발하여 자동차 검사소에서 보급할 수 있는 방향으로 추진
- 대형내압용기에 대한 화재평가지험장비가 제도화 되지 않아 국제사회에서도 검토되고 있는 평가지험장비와 동일한 사양을 국내에서 제작개발하여 평가장비의 적합성을 검토하고 보완점 등을 파악하여 국제사회에 제시할 수 있도록 개발
- 수소부품의 국내 안전기준이 국제기준 수준으로 개정이 추진됨에 따라 국내 인증기관에서 시험이 불가능한 항목에 대한 인증시험이 가능하도록 조속한 시일 내 평가장비를 개발
- 현재 국내에서는 인증시험이 불가능한 수소버스의 대용량 복합재 내압용기에 대한 국제기준 수준의 평가가 가능한 최적의 평가장비를 개발하여 국내 수소부품업계의 기술경쟁력 향상할 수 있는 방향으로 추진

## 제2절. 기술수준 분석 및 수요조사

### 1. 메가트렌드 분석

- 미래 인구는 2040년 92억 명으로 전망되며, 인구 증가분 중 대부분은 非OECD 지역에서 발생될 것으로 추정됨. 또한 65세 이상 인구 비율 증가 전망도 현재 8에서 2040년 14%로 증가할 것으로 전망됨

지역별 인구전망(백만명)						전세계 GDP 성장 전망(%)				
	연도				증가 '15~'40		연도			
	'15	'20	'30	'40			'16~ '22	'22~ '30	'30~ '40	'16~ '40
OECD	1,280	1,313	1,363	1,397	116	OECD	2.1	2.1	2.0	2.0
非OECD	6,068	6,466	7,137	7,759	1,692	非OECD	4.7	4.6	4.0	4.4
<b>전세계</b>	<b>7,348</b>	<b>7,757</b>	<b>8,500</b>	<b>9,156</b>	<b>1,808</b>	<b>전세계</b>	<b>3.5</b>	<b>3.6</b>	<b>3.3</b>	<b>3.5</b>

<그림 3-2> 2040년 세계 인구, GDP 성장 전망 (World Oil Outlook 2040, OPEC 2017년)

- 경제성장 전망은 2016년~2040년 기간 중 연평균 3.5% 성장 전망이며, 세계 경제 성장의 대부분은 개발도상국(연평균 4.4% 성장 전망)에서 발생할 것으로 예측됨
- 에너지 소비는 2015~2040년 기간 중 34.6% 증가(276.0 Mboe/d → 371.6 Mboe/d)로 전망되며, 미래에도 석유가 주된 에너지원이겠지만, 점유율은 감소(31.3% → 27.1%)하고, 화석연료(석유+석탄+가스)의 점유율 역시 81.1% → 75.4%로 감소가 예상됨. 이에 석유와 화석연료의 감소분을 재생에너지와 원자력으로 충족할 것으로 예상됨

	2015년		2040년		변동폭 (B/A.%)
	소비(A)	비중(%)	소비(B)	비중(%)	
석유제품	86.5	31.3	100.7	27.1	116.4 ↑
석탄	78.0	28.3	86.2	23.2	110.5 ↑
가스	59.2	21.4	93.2	25.1	157.4 ↑
바이오에너지	28.0	10.1	37.3	10.0	133.2 ↑
원자력	13.5	4.9	23.8	6.4	176.3 ↑
수력	6.8	2.5	10.3	2.8	151.5 ↑
기타 재생에너지	3.8	1.4	20.0	5.4	526.3 ↑
합계	276.0	100.0	371.6	100.0	134.6 ↑

<그림 3-3> 1차 에너지 소비 전망(2015~2040) (World Oil Outlook 2040, OPEC 2017년)

- 미래자동차 트렌드 기술
  - 자동차와 관련된 정책·제도, 사회적, 경제적, 기술적 환경 등이 변화하고, 환경,

에너지, 정보통신, 인지과학, 자동제어/로봇 등 각 분야의 기술과 정책 변화에 따라 미래 자동차 트렌드가 변화함

- 자동차에 대한 기본적 성능에 대한 업체별 기술 격차가 과거에 비해 좁아지면서, 상품성 차별화를 위해 완성차업체들은 안전, 편의성 등의 새로운 이슈를 제기하고 있으며, 환경 및 안전규제 강화, 교통체증, 고령화 인구 증가 등의 산업 환경 변화가 새로운 자동차 트렌드를 이끌어 감
- 자동차와 ICT 기술의 유연한 접목을 위해, 완성차업체, 부품업체, ICT업체 간 활발한 협력이 전개되고 있으며, 애플, 구글, MS같은 거대 ICT 업체들도 모빌리티 산업에 참여하여 영역이 하드웨어에서 소프트웨어 영역까지 확장됨. 또한 네트워크 기술 진화, 디지털 기기 확산으로 언제 어디서나 손쉬운 정보접근이 가능해지며, 인지과학의 발달로 인간-기기 간 상호작용 확대에 의한 직관성과 안정성 강화되고, 기계학습, 인공지능 발전으로 인간과 기기와의 연동 가속화되고 있음



<그림 3-4>자동차 산업의 변화 요소 (자동차산업 미래동향-현대자동차)

- AI(인공지능), 자율주행 자동차로 대표되는 4차 산업기술이 핵심 성장 동력으로 인식되면서 선진국의 개발 경쟁이 치열. 최근에는 관련 기술이 자동차와 융합하면서 자동차·에너지 산업 전반에 핵심 키워드로 자리매김하고 있음

## 2. 미래사회 이슈 및 니즈분석

### 가. 초연결 사회 (Hyper-connected Society)

- 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 분석이 정보처리 속도의 획기적 증가를 초래하고, M2M (Machine-to-Machine)을 넘어, 사람과 사물, 사람과 사회가 실시간으로 연동되어 대량의 정보를 주고 받는 초연결 시대로 진입함. 또한 모빌리티 ICT화 트렌드로 인해 초연결 사회의 중심 매개로 부상할 것으로 예측됨
- 주요 키워드 : 나노 과학, 네트워크, 경험 속도의 증가, 빠른 정보 공유, Anti-FOMO,

## 시간의 동시화, 무한컴퓨팅, 유비쿼터스 이미지

<표 3-1> 주요국의 4차 산업혁명 대응현황 비교

구분	한국	미국	독일	일본	중국
민간과 정부역할	• 민간주도, 정부지원	• 민간주도, 정부지원	• 민간주도, 민관공동	• 민관 공동주도, 공동실행	• 정부주도, 민간실행
거버넌스	• 대통령 직속 4차 산업혁명 위원회 • 4차산업혁명 법,제도 개선 특별 위원회	• 민간 컨소시엄 • 민·관 파트너십	• 플랫폼 인더스트리 4.0 (정부·기업·학계)	• 제4차 산업혁명 관·민회의 (정부·기업·학계)	• 정부(국무원,공업 신식학부)
핵심전략	• 4차산업혁명 종합 대책(예정)	• 산업인터넷 • AMP2.0	• Industry 4.0	• 로봇신전략 • 4차산업혁명 선도 전략	• 중국제조 2025 • 인터넷 플러스
특징	• ICT 기반 제조업과 융합 • ICT 혁신이 가져올 사회 변화 예측	• 기술과 자금을 보유한 기업주도 • 제조업중심	• 제조업과 ICT 융합 • 국제표준화 선도 • 프라운호퍼 연구소	• 기술 인재 양성, 금융,고용,지역경제 등 종합대응	• 제조업 발전을 통한 경쟁력 제고 • 규모의 경제가 가능한 내수시장

### 나. 초고령화 사회 (Hyper-aging Society)

- 고령화된 베이비붐 세대의 기호와 라이프스타일에 대응하기 위한 전략이 중요해지면서, 고령층의 활동성 유지 수단으로 착용식 로봇 등 새로운 타입의 이동 수단의 등장이 예상되고, 타깃 고객층의 전환으로 인해 차량 내 서비스, 모빌리티 상품/서비스 간의 연계 형태에서 고령층 중심 기조가 도래함. 이에 따라 미래 모빌리티는 건강과 힐링, 소통 등 고령층의 우선 가치에 적극적으로 부응하게 될 것으로 예상됨
- 주요 키워드 : 인구증감, 노동 인구 구조, 경제적 생산력, 저출산, 핵가족, 실버 마켓, 건강, 복지, 양극화, 세대갈등

### 다. 녹색 사회 (Eco-ism)

- 전 세계적 환경보호 기조 확산과 에너지 고갈 가속화로 인해 새로운 에너지원 발굴에 대한 니즈가 증가하고, 다양한 저전력, 고효율, 친환경 동력원의 모빌리티가 나타나고 이를 위한 인프라 구축에 대한 기술 개발 및 관련 규제 완화 등의 요구됨
- 주요 키워드 : 신 에너지, 대체 에너지, 바이오 신소재, 에너지 모니터링, 스마트 그리드, 자연재해

## 라. 다층적 융합화 (Multi-Layered Mash-up)

- 기술의 발전으로 이종산업간 평면적인 융합을 넘어 각 산업간 가치사슬(Value-chain)의 융합이 이루어지고, 기술을 비롯한 문화, 과학, 예술 등 각 분야의 장점을 극대화한 혁신을 통해 신사업을 창출해 내는 통합화된 융합(Mash-up Convergence)이 증가함. 또한, 시공간 제약이 약화되면서 모빌리티의 공간성이 극대화되고 보다 매끄러운 공간 이동 개념이 확산됨

## 마. 상황인식 기반 개인화 (Context-Awareness based Individualization)

- 인공지능과 융합된 인지 기술의 발달로 사용자가 인식하지 않고도 신체, 감정, 사용자 및 공간과의 관계 등의 상황인식을 통해 적시적소에 맞춤 정보를 제공하고, AI 기반의 Contextual Curation 기술을 바탕으로 모빌리티 이용자의 신체/정서적 상황에 실시간으로 반응하는 최적화된 초(超)개인적 모빌리티와 in-car 서비스가 실현될 것임
- 주요 키워드 : 자동, 맞춤형 서비스, 퍼스널미디어, 만족, 개인의 행복, 소비자 주권, 맥락

## 바. 하이콘셉트 사회 (High Concept Society)

- 제조방식의 차별화 약화로 감성적 아름다움, 훌륭한 스토리와 아이디어를 결합함으로써 독창성을 부여하고자 하는 시도가 확대되고, AI가 대체할 수 없는 인간 고유 영역에 대한 니즈 또한 커져 예술과 기술이 융합된 개인의 아이디어와 창의성이 실현되는 개방형 모빌리티 제조 시스템이 활성화되면서 다양하고 혁신적인 형태의 모빌리티가 현실화됨
- 주요 키워드 : 스토리, 하이터치, 예술, 감성, 창의성, 공감, 디지털 민주화, 유대감, 호소력, 융합, 공유, 개방성, 클라우드 리소싱

## 사. 힘의 분산과 다원화 (Decentralization of Power)

- 개방적인 네트워크 기술발달로 ‘다양한 소수’가 새롭게 부상하는 다원화 시대로 접어들면서 4차 산업혁명으로 대표되는 기술 융합 및 물리적 세계와 사이버 세계간의 통합이 다원화 추세를 가속화함
- 주요 키워드 : 다극화, 분권화, 인더스트리 4.0, 스마트팩토리, 제조업 붕괴, 업계간 이미지 제휴, 정부 재정 약화, 민영화

## 아. 불안과 혼돈의 가중 (Anxiety and Chaos)

- 기술의 급격한 진화가 불러온 테크노 스트레스, 증가하는 사이버 테러와 범죄 위협, 빈부 양극화와 세대 갈등 심화 등 사회를 불안과 혼돈으로 몰아가는 요인들이 급증하면서 힐링 매개체로 미래 모빌리티의 중요성이 부각되면서, 모빌리티의 이동성과 공간으로서의 가치가 크게 확대될 것이며, 이로 인해 모빌리티 내부에서의 이용 시나리오에 대한 심층적 분석 및 연구가 요구됨
- 주요 키워드 : 재난 재해, 안보 위협, 환경 오염, 경제 양극화, 힐링, 코쿠닝, 프로텍트 기술, 휴머노이드 감성 소재, 재해 예측 기술

## 자. 공유 사회 (Sharing Society)

- 네트워크 발전으로 공유 비용을 큰 폭으로 절감시킴으로써 공유경제를 가속화하는 매개가 되고, 미래 모빌리티는 효율성과 경제성을 기반으로 사용자의 경험 요소를 극대화할 수 있는 온디맨드 서비스나 플랫폼 성장을 촉발할 것으로 예측됨
- 주요 키워드 : 스토리, 경험, 비물질, 영성 마케팅, 참여, 공유경제, 공동선, 집단 지성, 사회적 비즈니스, 공정무역, 적정기술

## 차. 인간과 AI 공진화(共進化) (Co-Evolution)

- 인공지능 및 로봇이 인간의 사고와 감성 체계를 뛰어넘는 확장을 통해 사고와 감정을 교류하고 인간과 물리적, 생체적으로 융합하는 단계로까지 진화하고, 로봇의 발전은 인간의 편익에 기여하는 한편, 비용 효율화 차원에서 폭넓은 노동력의 대체를 가져와 인간과 AI간 상호 교류를 통해 '공동진화' 하는 결과를 초래함. 또한 모빌리티에 AI 적용은 이용자를 이해하는 서비스를 발전시키고, 자율주행 시스템 내에서 인간 이상의 판단력을 보여주는 등 모빌리티 자체의 역량과 모빌리티가 제공하는 가치 측면에서 큰 변화를 가져올 것으로 판단됨
- 주요 키워드 : AI, 브레인 이니셔티브, 3단계 진화(ANI, AGI, ASI), 증강인간, 생체 소재, 기계윤리/도덕, 트롤리딜레마

## 카. 메가시티화 (Mega-Urbanization)

- 전 세계 인구의 70%가 도시에 집중(2030년 약 49억명, UN 기준)할 것으로 예상됨에 따라 메가시티의 범위가 넓어지고 사람들의 거주 및 이동형태의 변화를 가져오

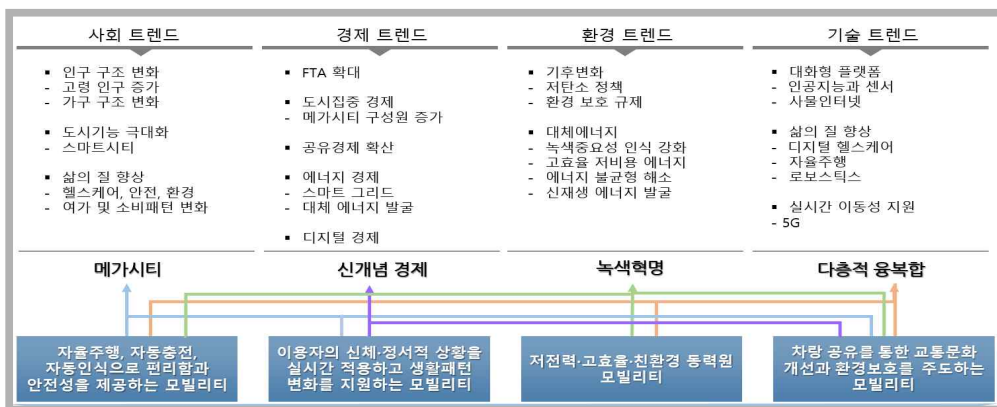
고, 인구밀도의 양극화를 불러와 교통난과 주택난, 환경오염, 에너지 부족 등 다양한 도시문제를 양산함. 이에 따라 메가시티 사람들의 이동 패턴, 필요 및 선호되는 교통수단과 서비스는 급변에 따라, 모빌리티는 개인 이동수단은 물론 공공 이동수단에까지 하드웨어 및 소프트웨어/서비스 측면에서 큰 영향을 미칠 것임

- 주요 키워드 : 도시 과밀화, 인구밀도 양극화, 이동 양극화, 도시계획/설계(인프라), 주택난, 에너지부족, 환경오염, 식량난, 1차 산업의 부흥

### 타. 신 개척주의 (Neo Frontierism)

- 인구과밀화로 인한 이동, 공간, 에너지 부족 등의 각종 포화상태 해결을 위해 드론 기술 진화를 통한 새로운 형태의 항공로 개발 및 다양한 형태로 해양/지하 개척이 활성화 될 것으로 예상되면서 수송, 건설, 에너지, IT 등 다양한 산업군의 혁신적인 변화가 생기고, 다양한 운송로의 확장을 위해 모빌리티 산업이 다변화 또는 과생적으로 성장할 것임

- 주요 키워드 : 신(新) 실�크로드, 드론 진화, 심해 개발, 해양 부유 도시, 지하 도시, 극지 개척, 우주 관광, 에너지 채취 기술



<그림3-5> 미래 기술 메가 트렌드

### 3. 미래 자동차 주요 기술

- 미래 자동차 기술의 초점은 친환경 자동차, 지능형 교통망 구축을 중심으로 배출가스와 사고를 감축하는 것이 기본 목표임. 친환경 자동차는 엔진 및 구동계의 효율 증대, 차체 형상의 설계 변경을 통한 공기저항 감소, 전기차나 연료전지 등의 대체 에너지 개발, 차체의 소형 및 경량화 기술 등으로 이뤄지게 되는데, 이러한 미래 트렌드를 기반으로 미래 자동차에 적용될 주요 기술은 다음과 같음

- (친환경차) 지속적인 온실가스 배출로 지구 온난화가 가속되고, 한파, 가뭄 등 이상기후가 급증하면서 친환경차·고연비차에 대한 기술개발이 가속화 되고 있음.

이에 따른 친환경차 시장의 규모는 친환경차 시장은 2013년 190만대 (2.2%)에서 2025년 1,720만대 (15.2%) 규모로 급속도로 성장이 예상됨

- 현재는 내연기관의 효율화 및 연비개선 기술이 주목 받고 있으나, HEV·PHEV·EV 단계를 거쳐 궁극의 친환경차인 FCEV로 발전이 예상됨. FCEV는 수소와 산소가 반응하여 발생하는 전기에너지로 구동하는 궁극의 친환경차로 상용화 초기단계에 진입하였으나, 높은 초기 구입가격과 미비한 충전인프라가 장애요인임. FCEV의 핵심 부품은 연료전지, 배터리, 전기모터, 수소탱크이며, 현대자동차가 최초로 FCEV를 양산함
- HEV에서 FCEV에 공통적으로 들어가는 핵심부품은 배터리, 모터, 인버터로, 동력 전동화의 핵심기술은 ‘고에너지 배터리’와 이를 제어하는 전력 반도체에 있음. 배터리의 경우 전기차 주행거리 확대를 목적으로 Li-ion 전지 전극 소재 개발을 중심으로 Li-S, Li-Air, 전고체 전지 등을 개발 중이며, 전력반도체는 부품 소형화와 연비 절감을 목적으로 개발 중임
- FCEV 활성화를 위해 수소에 대한 안전설계 및 효율적 사용을 위한 기술 개발이 필수이고, 이 조건을 만족시키기 위해 연료전지 스택에 공급되는 수소공급 및 재순환 시스템의 핵심 부품 개발이 선행되어야 함



<그림 3-6> 자동차 동력원 별 주요 기술 (자동차산업의 미래기술전망 및 동향)

- o (자율주행) 안전 및 운전 편의성을 동시에 추구하는 지능화된 안전기술 발전이 가속화되면서 스마트카의 핵심인 완전 자율 주행 자동차 구현이 가속화 되고 있음. 자율주행 기능은 2020년 상용화 이후 빠르게 성장하여, 2025년 23만대에서 2035년 1,180만대로 약 48% 급성장 할 것으로 예측되며, 자율주행 시스템은 저속정체구간 → 고속도로 → 완전자율주행으로 단계적 상용화가 진행될 것으로 예상됨



<그림 3-7> 자율주행 로드맵 (자동차산업의 미래기술전망 및 동향)

- 많은 자동차회사는 25년까지 레벨4 상당의 완전 자율주행 차를 시장에 투입할 계획이며, 자가용차의 경우 자율주행 레벨은 2, 3, 4로 단계적으로 올라감. 운전자의 인건비를 시스템으로 대체하여 무인 운전차를 실현하는 배차서비스 (MaaS : Mobility as a Service)가 레벨 4의 자율 주행차에 적용함
- 자율주행에 증강 현실 기능을 적용하여, 교통안전정보, 도로주행정보를 제공하고, 탑승자뿐 아니라 외부의 보행자와의 소통을 위한 외부 디스플레이, 도로면에 건물목·화살표 등 다양한 표식을 투사할 수 있는 레이저 장치 등 컨셉카상의 다양한 실험 진행함
- 자율주행의 핵심인 첨단 운전자 보조 시스템(Advanced Driver Assistance Systems)은 중형 방향인지, 제어기술에 대한 안전성 검증 진행함
- 자율주행 데이터 처리 및 딥러닝 연산을 위한 초고속 그래픽 프로세서 내 자연 언어 처리를 위한 알고리즘 설계로 운전자 음성인식 및 입술읽기까지 가능해짐. 또한 제스처 컨트롤 방식의 진화로 컨트롤 이미지가 디스플레이나 창에 투영되는 방식이 아니라 홀로그램 형태로 제공하고, 터치를 통해 이를 직관적으로 제어할 수 있음
- 차량공유 확산에 따라 청소, 충전서비스 등 대중교통으로서의 자율주행차 관리 서비스업이 새로 생겨날 것으로 예상되며, 2040년에는 도로를 달리는 자동차의 75%가 자율주행 차가 되고, 무인 로봇택시가 거리를 24시간 주행하고 배차 서비스와 함께 지역의 보안 서비스도 제공하며, 로봇택시가 갖추고 있는 고도의 센서를 사용하여 군중 속에서 수상한 거동을 찾아내 범죄 가능성이 높으면 통보가 가능함
- 자동차 내 네트워크(IVN), 자동차 사이의 통신네트워크(C2C), 그리고 차와 인프라 간 통신네트워크(C2I)로 구성된 통신 네트워크 기술은 차와 무선통신망이 결합된 대표적인 자동차 IT 융합기술로, 안전 및 진단, 텔레매틱스, ITS 등의 서비스 시장을 형성하며, 완전 자율주행 자동차 구현이 가능함
- (차량 경량화) 엄격해지는 세계의 연비규제에 대응하기 위해 자동차를 경량화 기술이 첨단 나노 기술 기반의 에너지 효율화 및 친환경 신소재 기술이 친환경, 고

연비차 개발에 적용되어 빠르게 발전할 전망이며, 연비규제 강화와 차량 중량 증가에 대응하기 위한 경량 소재 적용 적극 추진 중임

- 승용 5인승 1,500kg 기준으로 경량화를 10% 달성 시, 연비는 3.8%, 가속성능은 8% 향상되며, 제동거리는 5% 단축됨. 또한 배기가스도 CO(일산화탄소) 4.5%, HC(미연탄화수소) 2.5%, Nox(질소 산화물) 8.8%가 감소됨



<그림 3-8> 첨단나노기술 기반 소재 기술 (자동차산업의 미래기술전망 및 동향)

- 자율주행 차의 보급에 따라 경량화와 충돌 안전성을 추구하며 부드러운 재료나 강도가 비교적 낮은 재료를 사용하는 강판이나 알루미늄 (Al) 합금, 마그네슘 (Mg) 합금, 탄소섬유강화수지 (CFRP) 등 ‘다중소재(Multi-material) 구조가 가속화됨

<표 3-2> 경량화 주요기술

주요기술	특징
경량금속	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 재료해석 기반 신합금 개발</li> <li>• 고강도, 고강성, 저가화</li> </ul>
CFRP 저가화 (탄소섬유강화플라스틱)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 열가소성 기반 고속 성형공정</li> <li>• 저가 프리커서(PAN → Cellulose)</li> </ul>
다중재질 기반 경량화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 금속, 고분자 하이브리드 접합</li> <li>• 접합부 특성 평가 및 수명 예측</li> </ul>
신개념 고분자 소재	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연속섬유 3차원 브레이딩 기술</li> </ul>

- (감성기술) 감성기술은 운전자의 시각, 촉각, 후각, 청각은 물론 각자의 기호에 따른 안락성을 맞춤형으로 제공하는 기술 분야로 운전자의 쾌적성 지원에 관련된 기술과 오디오, 비디오 매체와 다양한 정보 등을 네트워크와 연계한 인포테인먼트 시스템, 감성을 자극하는 디자인 기술이 포함됨

- 유해가스 유입 제어시스템(AQS) 기능 발달과 공조기술을 통한 실내 오염 방지

기술로 쾌적한 운전 환경을 제공하며, 내부 내장제가 VOC에서 친환경 소재로 변화중임

- 시트의 운전자 기억장치(IMS : Intergrated Memory System)와 HMI(Human Machine Interface)가 다른 안전 기능과 결합하여 안전성과 안락성을 모두 제공하며, ‘투명 디스플레이’ 나 영상을 공간에 띄어서 표시하는 ‘홀로그램’ 이 제공되고, 스위치 등 물리적인 버튼은 없어지고, 자동차에 음성인식 기술을 적용하여 운전자 요구를 쉽게 전달 가능함
- 기술의 진화와 더불어 감성 디자인이 발달함에 따라 차안에서 조작 필요성 최소화 에 무게를 두어, 고령화 시대에 대비해, 다양한 기능을 제공하되 간단한 조작 을 중심으로 디자인이 변화되며, 이를 위한 통합컨트롤러 연구가 진행 중임

<표 3-3> 감성기술 발전 동향 (한국자동차공학회)

주요기술	특징	주요기술	특징
실내 쾌적성 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multi Zone 공조기술</li> <li>• 차세대 HVAC 기술</li> <li>• 인간친화형 공조기술</li> <li>• VOC 정화기술</li> <li>• Personal 공조기술</li> <li>• 승차시점의 쾌적성 기술</li> <li>• 능동 쾌적공기 제어기술</li> </ul>	인포테인먼트 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안전/ECO 통합 네비게이션 기술</li> <li>• 멀티미디어 및 네비게이션 통합 시스템</li> <li>• 텔레메틱스와 유비쿼터스 융합 시스템</li> <li>• 고성능 디지털 멀티미디어 기술</li> <li>• 차내외 고속통신 서비스</li> <li>• 지능형 방송 서비스</li> </ul>
	인간친화형 시트 기술		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시트 공조기술</li> <li>• 프리세이프 통합 안전시트</li> <li>• 인간친화 소재 적용 시트</li> <li>• IMS 시스템</li> <li>• 슬림 경량 시트</li> <li>• 햅틱 인터렉션 시트</li> </ul>

#### 4. 수소연료전지 자동차의 미래기술 니즈

- 최근 수소연료전지차에 대한 관심의 증가는 자동차 동력원의 전환과 더불어 사회적 관점에서 수소 에너지의 화석연료 대체 및 보완 가능성에 대한 관심에서 비롯 됨. 미래학자 제레미 리프킨은 저서 수소혁명1(' 02)을 통해 수소가 환경문제를 유발시키는 화석연료를 대체할 대안이 될 수 있다고 진단했으며, 일본, EU 등 글로벌 선진국이 수소 사회로의 전환을 지향하는 점 역시 향후 친환경차의 대안 중 하나로 수소전기차가 각광받게 하는 요인이 되었음
- 수소연료전지차는 부품 안정성, 높은 생산 원가, 연료 조달 등의 여러 기술적 난 제에도 불구하고 긴 주행거리, 짧은 충전시간, 친환경성, 대형차 적용가능성 등으로 인해 주목을 받고 있으며, 전기차에 비해 짧은 충전시간, 긴 주행거리, 높은 연비에서 장점을 나타내며, 하이브리드 차, 플러그인하이브리드 차에 비해 친환경

성에 있어 장점이 있음

- 친환경차 기술 중 수소연료전지차는 전기자동차 기술에 포함되나, 이차전지를 사용하여 전기 에너지를 충전하고 동력원을 조달하는 대신 저장된 수소를 전기에너지로 변환하여 동력원으로 조달한다는 점에서 타 전기자동차 기술과 구분됨
- (수소연료전지차 미래기술) 친환경차 기술 중 수소전기차는 전기자동차 기술에 포함되나, 이차전지를 사용하여 전기 에너지를 충전하고 동력원을 조달하는 대신 저장된 수소를 전기에너지로 변환하여 동력원으로 조달한다는 점에서 타 전기자동차 기술과 구분됨
  - 자율주행을 위해서 평균 5개의 카메라센서 외에 라이다, 레이더, 자율주행 AI, 통신 모듈 등이 장착되어야 하며 이러한 전장부품을 사용하기 위해 자동차가 소비하는 전력량이 필연적으로 증가할 수 밖에 없음. 일반 전기차에 비해 충전 시간이 짧고 1회 완충 후 주행거리가 긴 수소연료전지차가 자율주행 기술을 실현하는데 전기차보다 상대적으로 유리한 것으로 평가됨
  - 수소연료전지차는 연료전지 스택(Stack)과 수소연료탱크가 가격의 약 40% 이상 차지하는데, 세계적으로 수소연료전지차 양산이 가능한 곳은 소수에 불과함
- (수소연료전지차 시장동향) 수소전기차 관련하여 활발한 움직임을 보이는 국가는 일본, 미국, 유럽 등이 있으며, 각국은 수소의 생산, 저장/유통, 이용과 관련하여 정책적인 우선순위에서 차이점이 존재함. 또한 수소연료전지차는 향후 완성차 업체의 양산모델 출시시기, 수소충전소 등의 인프라 보급 및 지원정책, 환경 규제 강도에 따라 변동될 것으로 예상됨

<표 3-4> 수소연료전기차 미래기술

미래기술	설명
전해질 막 및 막전극접합체 기술(MEA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 스택 가격 30%이상을 차지하고 연료전지 내구성을 결정짓는 핵심소재</li> <li>• 전해질 막, 가스확산층(GDL : Gas Diffusion Layer) 등 스택 핵심 부품 국산화 기술 개발 중</li> </ul>
분리판 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 산소확산과 물 배출을 개선할 수 있는 다공성 분리판 등의 기술</li> <li>• 공기압축시 마찰, 마모를 최소화할 수 있는 고속베어링 기술을 적용한 공기압축기 기술</li> </ul>
수소저장장치 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소 안전성 관련 연구가 부족해 가능한 많은 카본파이버를 사용 중임</li> <li>• 수소저장용기의 가격저감을 위한 보강섬유 국산화, 독자적인 와인딩 기술 확보, 고압수소용기 종류, 크기에 상관없이 적용 가능한 용기 및 배관 연결부품, 충·방전 부품 기술 고도화</li> </ul>

스택 고도화 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 스택 부피를 가스확산층의 두께 박막화 기술과 고강성 구조기술을 적용하여, 두께는 줄이고 강도를 유지하는 기술</li> <li>• 촉매열화와 카본담지체의 산화 방지기술로 스택의 내구성을 강화함</li> <li>• 스택 성능 향상을 위한 분리판의 공기확산 기술을 개선함</li> </ul>
온도 적용 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고온(60°C)에서 작동 가능한 이온필터 소재를 개발 중임</li> <li>• 영하(-40°C) 조건에서 사용가능한 차단밸브 기술을 개발 중임</li> </ul>

<표 3-5> 수소연료전기차 가격저감기술

구분	가격저감기술
부품 제거/감소	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 저가습운전(막가습기 최소화), 고속베어링 장착(소비전력 저감)</li> </ul>
하이브리드차의 부품공용화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하이브리드 부품을 수소전기차에서 사용하기 위한 수소전기차용 고전압 직류 변환장치 기술 개발</li> </ul>
부품구조 국산화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연료전지 스택 : 막전극접합체 기술 국산화, 카본파이버 소재기술 국산화, 촉매담지량저감 (30% 감소), 스택 출력/효율(60%→65%)향상, 내구성 한계 극복, 팩단위 스택 기술개발</li> </ul>
제조방식 향상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 막전극접합체 제조시간 단축</li> <li>• 수소저장탱크 카본파이버 winding 속도 개선</li> </ul>

- 수소연료전지차의 기술검증을 통해 안전성 및 운영속도 향상을 바탕으로 일반도로 상 Point-to-Point 서비스로 발전할 전망으로 정부는 2040까지 수소자동차를 620만대로 늘리고, 발전용 연료전지 생산 규모 중 10%를 수소로 대체하고 발전 능력 또한 5기가 와트까지 늘리겠다고 발표함

## 5. 기술수요조사

### 가. 전문가를 활용한 기술수요조사 방안

#### □ 기술수요조사 개요

- 본 과제에서 추구하는 기술수요조사의 목적은 미래에 국가 및 기업에서 필요성이 높을 것으로 예상되는 기술을 세부기술과제 수준에서 도출하는 것임
- 즉 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당함

## □ 기술수요조사 수행

- 수소버스 안전성 평가기술 개발 및 장비개발 관련 전반적 분야(수소버스 차량단위/수소버스 부품단위)에 대해 수요조사를 실시함
- 기술수요 조사는 교통안전공단 홈페이지, 관련 학회, 대학 등을 대상으로 bottom-up 식 방식과 기획위원회 회의 내용을 바탕으로 한 top-down 방식으로 진행함
  - bottom-up 식 : 전문가 및 일반인 대상 불특정 다수에 대한 수요조사 진행
  - top-down 방식 : 본 과제의 기획위원들 대상으로 총괄기획위원회 및 1차 기획위원회시 수요조사된 기술을 대상으로 함
- 기술수요조사시 활용한 기술분류체계는 본 과제에 해당하는 기술분류체계가 사전 구축되지 않은 관계로 수소버스 차량단위/수소버스 부품단위/ 국제기준 및 법제도 등 세분류 단위의 분류체계를 적용함

## □ 기술수요조사 절차



## □ 조사범위 설정 및 방법

- 수소버스 안전성평가 및 장치개발 분야에 대한 기술별 전문가 pool 대상으로 기

술수준, 기술예측 및 파급효과 등에 대한 세부사항 및 조사방법에 대한 설계를 실시하며, 브레인스토밍, 주제토론 및 개별자문 방식을 사용함

○ 조사 및 분석 내용

- 수소버스 안전성평가 관련 분야별 기술적 자문
- 수소버스 안전성평가 관련 차량, 시스템 및 부품단위 문제점과 해결방안 도출
- 수소버스 안전성 평가장비 개발 관련 문제점과 해결방안 도출
- 각 문제점과 해결방안에 대한 기술수요조사 및 기술예측 자료 작성

□ 기술수요조사 전문가 구성 및 방안

- 기술수요조사는 대상 집단 별 특성에 맞는 방법으로 선택·적용하여 실시하였음
  - 수요조사대상은 국가 전략적 측면, 국내외 산업·시장 수요측면, 관련분야 연구 현장 수요 측면, 기존연구와의 연계성 등을 고려하여 구성함
  - 수요조사대상 집단의 특성을 고려하여 적합한 조사방법(기술수요조사서 설문, 인터뷰, 문헌조사·분석)을 선택적으로 적용하여 수요조사를 실시함

<표 3-6> 기술수요조사 대상 집단 별 조사방법

대상	조사 방향	조사 방법
정책입안자	관련 부처 공무원을 대상으로 정책목표 달성을 위한 기술수요	해당 관련부처(국토부, 환경부, 산업부 등) 공무원 대상 인터뷰
관련 산업체	수소버스 관련 산업체의 기술수요, 기술개발 애로사항, 정부지원 요구사항	수소버스 제조, 부품, 관련 기업 등 관련 협회대상 설문조사 및 전문가 인터뷰
전문가	국내 산학연의 전문가 및 관련연구 책임자로부터 유망 수요 기술 pool 도출	국내 관련 기술 산학연 전문가 대상 수요조사서 배포 검토
선진국	선진국(미국, EU, 일본) 기술개발 현황, 관련 협약에 대한 분석과 기술수요	국내외 문헌 분석 및 전문가 자문
기존연구	관련 기존연구	수행되었거나 수행중인 연구 데이터 내용분석

□ 기술수요조사의 목적 및 특성을 고려한 기술수요조사서 설계

- 수요조사내용은 연구개발의 목표 및 내용, 연구개발 제안 배경 및 필요성, 연구개발 동향 및 파급효과, 제안기술의 시장동향 및 규모 조사 등을 포함하여 구성

- 수요조사대상은 기술자문위원회(산·학·연) 및 전문가 추천인원을 대상으로 함

<표 3-7> 기술수요조사서 작성방법

과제명	제안하는 기술의 가장 핵심적인 내용을 표현	
연구개발의 목표	연구개발하려는 기술(또는 공정)의 수준·성능 및 품질을 가능한 한 정량적으로 기술	
연구개발의 내용	연구개발의 목표를 달성하기 위하여 수행할 세부기술의 내용 및 범위를 기술하고, 연구개발 예정기술에 대한 사양·성능·용도 및 기능 등에 대하여 기술	
예상 기술개발 기간	( ) 년	
연구개발의 필요성	제안하는 기술의 경제적·산업적 중요성과 이에 따른 연구개발의 필요성을 구체적으로 기술	
연구개발동향	국내	제안하는 기술에 대한 국내·외의 연구개발 현황, 문제점 및 향후전망 등을 기술
	국외	
파급효과	당해 기술의 향상 및 다른 기술에 대한 정치·경제·사회·기술·산업적 파급효과를 기술	
시장동향	당해 기술의 국내외 시장 동향을 기술	
시장규모 (억원)	국내·외로 구분하여 기술하고 산출근거를 제시	
수출입효과 (억원)	수출액	연구개발 결과의 활용에 따른 예상 수출금액 제시
	수입대체	연구개발 결과의 활용에 수입대체금액 제시
기대효과 및 특기사항	연구개발사업을 통하여 활용할 내용을 명확히 기술하고, 정책개발, 제도개선 등 사전 기획연구의 수행여부를 기술	
기존선행연구	과제명	유사한 선행연구(www.ntis.go.kr 검색)의 목록, 특허동향(www.kipris.or.kr 활용), 선행연구와의 차별성 및 신규 연구가 필요한 사유 등을 기술
	연구기관	
	유사내용	
제안기술에 대한 평가의 주안점	평가항목(주요성능)은 구체적인 수치를 기재	

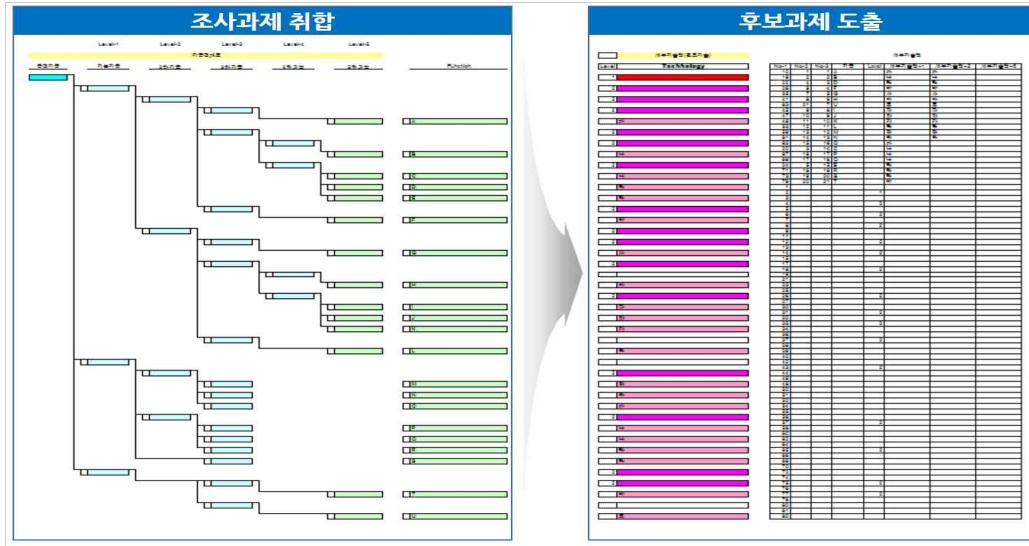
- 설문배포 및 회수에 대한 조사수행

- 설문방식 : 인터넷(이메일) 설문조사 수행
- 설문기간 : 4주
- 목표회수율 : 50% 이상 목표

- 자료정리 및 분석

- 기술수요조사 설문결과를 목적, 기능, 분야 등의 분류기준에 따라 과제별로 정리 및 검토하여 중복성을 제거하고 유사과제의 경우 통합화를 실시함

- 발굴된 수요에 대한 체계적 검증을 위하여 내외부 전문가 및 담당부처 관계자들의 의견수렴을 통해 최종 분류/분석과 기초적인 지원의 타당성에 대하여 검증



<그림 3-9> 후보과제 Pool 도출(예시)

## □ 기술수요조사서

성명		전문분야	
소속기관명		소속기관 유형	
부서명		직위	
소속기관 주소	(우편번호) (주 소)		
연락처	사무실 전화 : 휴대전화 : 팩스 : 이메일 :		

한국가스안전공사와 한국교통안전공단이 공동 수행 중인 「수고버스 안전성 평가 기술 및 장비개발」 연구과제의 기획을 위한 기술수요 조사를 다음과 같이 공고하오니, 연구개발 관련기관 및 연구자의 많은 참여를 부탁드립니다.

- ※ 제안하신 기술수요를 기획연구에 적극 반영할 것임을 약속드리오니, 산·학·연·관 관계자 여러분의 많은 성원과 적극적인 참여를 부탁드립니다.
- ※ 기술수요조사서에 제안하시는 의견의 개수 및 분량은 제한이 없으므로 필요하신 만큼 복사하여 사용하셔도 무방합니다.

**1. 연구개발과제명**

☞ 제안하는 기술의 가장 핵심적인 내용을 표현하여야 합니다.

<b>제안 과제명</b>	
---------------	--

**2. 연구개발과제의 목표 및 기술정의**

☞ 제안하는 과제의 적합한 목표를 가능한 정량적으로 기술하시고, 해당 연구개발의 내용 및 범위를 고려한 기술적 정의를 작성하여 주시기 바랍니다.

<b>목 표</b>	
<b>필요성</b>	
<b>기술적 정의</b>	

**3. 국내외 연구개발 동향**

☞ 제안하는 기술에 대한 국내·외의 연구개발 현황, 문제점 및 향후전망 등을 기술 개발 필요성과 연계하여 구체적으로 기술하여 주시기 바랍니다.

<b>국내 동향</b>	
<b>국외 동향</b>	

**4. 연구개발 내용**

☞ 제안하는 연구의 목표를 달성하기 위하여, 연구개발의 내용에 연구개발 결과물(제품, 프로세스, 시스템, 핵심기술 등)에 대한 명확한 기술을 포함하여 기술하여 주시기 바랍니다.

<b>연구개발내용</b>	
---------------	--

**5 연구개발과정에서 주체별 수행내용**

☞ 본 사업의 성공적 추진을 위한 이해관계자의 역할을 작성해 주시기 바랍니다.

<b>산업체</b>	
<b>대 학</b>	
<b>연구소</b>	
<b>정부 및 공공단체</b>	

**6. 연구개발과제의 규모**

☞ 예상되는 연구개발과제의 규모를 작성하여 주시기 바랍니다.

(단위 : 백만원)

구 분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
연차별 연구비	정 부					
	민 간(추정)					
	합 계					
총 연구비	정부합계			총연구개발 기간	년	
	민간합계					
	총합계			연평균 소요인력	명	

활용방안

기술수요조사 대상 및 후보과제 도출

<b>과제명</b>	<b>수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 기획연구</b>																														
<b>1세부</b>	<p style="text-align: center;"><b>세부명: 수소버스 안전성 평가 및 검사기술 개발</b></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>소속</th> <th>성명</th> <th>기술수요조사 내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>대흥정공</td> <td>조OO</td> <td>실 도로 운행여건을 고려한 수소전기버스의 교통사고 위험도 모델 연구</td> </tr> <tr> <td>아주대학교</td> <td>장OO</td> <td>수소버스 부품안전성 확보를 위한 모니터링 시스템 구축 및 실증</td> </tr> <tr> <td>표준과학연구원</td> <td>백OO</td> <td>시뮬레이션 기반 수소상용차 충돌안전성 해석평가방법 개발</td> </tr> <tr> <td>한국알테어</td> <td>김OO</td> <td>수소상용차 충돌안전성 해석 평가방법 개발</td> </tr> <tr> <td>한국운수산업연구원</td> <td>조OO</td> <td>수소상용차 충돌안전성 평가기술 개발</td> </tr> <tr> <td>경일대학교</td> <td>신OO</td> <td>실도로 버스 충돌사고 분석을 통한 수소버스 충돌평가방법 및 장비개발 제안</td> </tr> <tr> <td>현대자동차</td> <td>지OO</td> <td>수소상용차 TPRD 및 자동소화장치 설치 및 작동 안전기준 개발</td> </tr> <tr> <td>태광후지킨</td> <td>김OO</td> <td>운행수소버스 검사기술 선진화 및 관련 장비개발</td> </tr> <tr> <td>디케이타라</td> <td>정OO</td> <td>고압수소부품 및 모듈단위 안전성 평가기술 및 장비개발</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <b>최종후보과제 도출</b> </div> </div>	소속	성명	기술수요조사 내용	대흥정공	조OO	실 도로 운행여건을 고려한 수소전기버스의 교통사고 위험도 모델 연구	아주대학교	장OO	수소버스 부품안전성 확보를 위한 모니터링 시스템 구축 및 실증	표준과학연구원	백OO	시뮬레이션 기반 수소상용차 충돌안전성 해석평가방법 개발	한국알테어	김OO	수소상용차 충돌안전성 해석 평가방법 개발	한국운수산업연구원	조OO	수소상용차 충돌안전성 평가기술 개발	경일대학교	신OO	실도로 버스 충돌사고 분석을 통한 수소버스 충돌평가방법 및 장비개발 제안	현대자동차	지OO	수소상용차 TPRD 및 자동소화장치 설치 및 작동 안전기준 개발	태광후지킨	김OO	운행수소버스 검사기술 선진화 및 관련 장비개발	디케이타라	정OO	고압수소부품 및 모듈단위 안전성 평가기술 및 장비개발
소속	성명	기술수요조사 내용																													
대흥정공	조OO	실 도로 운행여건을 고려한 수소전기버스의 교통사고 위험도 모델 연구																													
아주대학교	장OO	수소버스 부품안전성 확보를 위한 모니터링 시스템 구축 및 실증																													
표준과학연구원	백OO	시뮬레이션 기반 수소상용차 충돌안전성 해석평가방법 개발																													
한국알테어	김OO	수소상용차 충돌안전성 해석 평가방법 개발																													
한국운수산업연구원	조OO	수소상용차 충돌안전성 평가기술 개발																													
경일대학교	신OO	실도로 버스 충돌사고 분석을 통한 수소버스 충돌평가방법 및 장비개발 제안																													
현대자동차	지OO	수소상용차 TPRD 및 자동소화장치 설치 및 작동 안전기준 개발																													
태광후지킨	김OO	운행수소버스 검사기술 선진화 및 관련 장비개발																													
디케이타라	정OO	고압수소부품 및 모듈단위 안전성 평가기술 및 장비개발																													

번호	기술 수요조사 협의 후 예상 후보과제
1	실 도로 운행을 고려한 수소상용차 교통사고 위험도 모델 연구 및 충돌시나리오 개발
2	수소상용차 충돌해석 등을 통한 충돌시험방법 및 장비규격 개발
3	수소상용차 충돌 시 연료장치 안전성 해석 평가 검증 개발
4	수소상용차 TPRD 자동소화장치 설치 및 작동 안전기준 개발
5	수소상용차 검사 첨단화 기술연구 및 장비 개발
6	수소상용차 실차 충돌 평가방법 및 충돌장비 개발

세부명: 수소버스 안전성 평가장비 개발		
소속	성명	기술수요조사 내용
고등기술연구원	공OO	수소버스용 소재/부품의 환경성 평가시스템 및 표준화 개발
일진복합소재	유OO	70MPa 고압수소저장시스템 기밀성 정량화 측정기술 개발
현대자동차	권OO	충전 시 수소누설량 정량적 측정 장비 및 기술 개발
현대자동차	권OO	고압수소부품 및 모듈단위 가속 내구 평가기술 개발
수소융합얼라이언스	이OO	수소버스 부품안전성 확보를 위한 모니터링 시스템 구축 및 실증
동희산업	박OO	버스용 수소저장장치 수소탱크컴플리트 내구 신뢰성 향상 평가
고등기술연구원	공OO	고압수소부품 및 모듈단위의 안전성 평가검사기술 및 장비개발

최종후보과제 도출	
번호	기술 수요조사 협의 후 예상 후보과제
1	수소버스 화재 안전 평가를 위한 오차율 5%미만, 40MW급 복합 발열량 측정기술 개발 및 국제표준화 적용
2	수소버스 스택 안전성능 평가 및 안전기술 개발 과제 제안
3	수소버스 용기 및 부품에 사용되는 비금속셀 및 라이너 안전성 평가
4	수소전기버스용 CHSS 충방전 안전성 평가기술 개발
5	고압수소부품 및 수소저장시스템 평가 사이트 구축
6	원격시스템을 활용한 고압수소 부품 점검 장치 개발
7	수소버스 연료모듈 실가스 시험을 위한 전용시험 설비 구축

평가근거/ 자료	○ 각 세부별 기술수요조사서(첨부)
-------------	---------------------

○ 후보과제 선정절차

- 기술수요조사서에 대한 전문가 의견내용 등을 반영하여 각 분야별 후보과제 선정 진행
- 각 기술수요 조사 2개 분야 (1세부 - 수소버스 안전성 평가 및 검사기술 개발, 2세부 - 수소버스 안전성 평가장비 개발 분야를 통하여 각 세부 별 1세부 9개, 2세부 7개 총 16개) 의 기술 수요조사를 통하여 13개의 세부 연구과제 후보군을 도출하였음.

## 6. 우선순위 선정

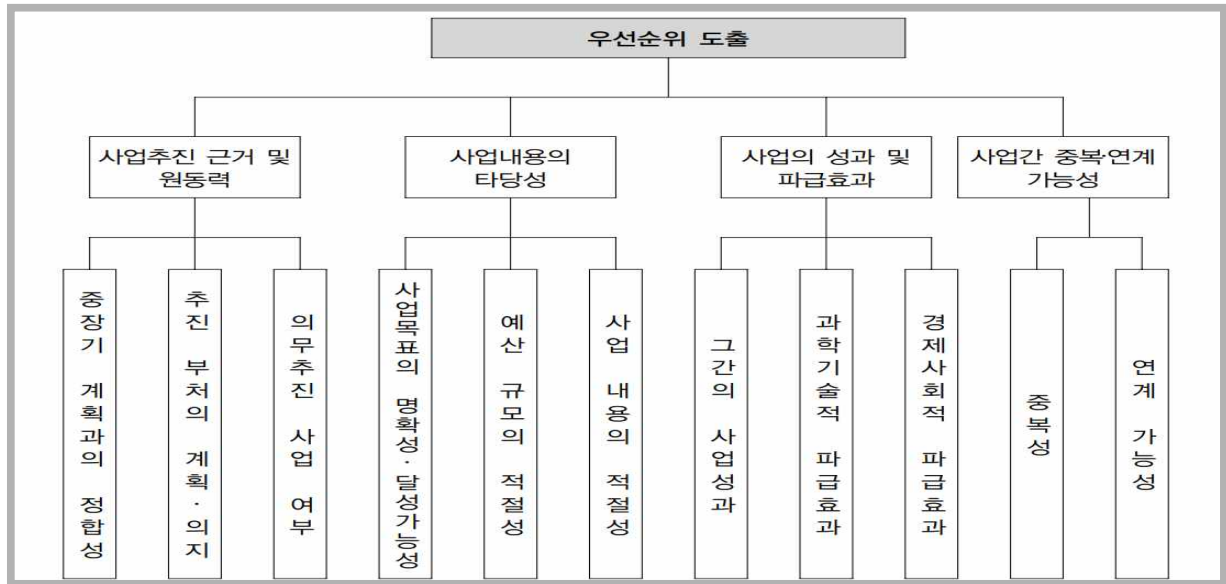
### □ 연구개발 세부 후보과제 우선순위 도출

○ 우선순위 선정을 위한 평가모델을 설계

- 중요도를 평가할 수 있는 평가모델 설계 후 모델의 평가항목에 대한 가중치 설정
- 수소버스 및 자동차 안전분야 연구자들을 대상으로 전략사업 및 핵심요소기술에 대한 평가 의뢰
- 지자체, 연구기관(한국가스안전공사 연구소, 자동차부품연구원 등), 민간기업(완성차 업체, 수소내압용기 부품 제작사 등 협력업체), 학계(수도권 및 지방의 대학의 자동차 및 기계공학 관련학과), 수소전기차 관련 협회 등을 포함함
- 평가결과와 가중치를 활용해 본 연구의 우선순위 산정을 위한 평가지표의 중요도 도출
- ‘사업추진 근거 및 원동력,사업내용의 타당성’, ‘사업의 성과 및 파급효과’, ‘사업간 중복·연계 가능성’ 등의 상위 판단기준(criteria)으로 구성

○ 우선순위 선정을 위한 평가모델

- AHP는 이론의 단순성 및 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이라는 특징으로 인해 의사결정 분야에서 널리 사용되고 있으며, AHP를 통한 의사결정 단계는 다음과 같음



<그림 3-10> 우선순위 판단을 위한 AHP 모델

### □ 우선순위 평가항목

- 정책 부합성, 기술 실현 가능성, 경제성, 시장 수요성, 기술개발의 시급성의 5개 세부평가 항목으로 구성

<표 3-8> 우선순위 세부 평가항목

구분	정의
정책 부합성	정부에서 공식적으로 발표한 중장기계획의 (예: 문재인정부 100대 국정과제, 자동자정책기본계획 등) 부합정도
기술 실현가능성	기술개발이 용이하여 실현 및 산업 적용 가능성이 높은 기술
경제성	새로운 산업을 창출할 가능성, 관련 시장의 규모 확대 가능성, 기존 산업의 재편 가능성, 부가가치화 및 생산성 향상 등에 기여할 수 있는 정도
시장 수요성	관련 시장이 크고 많은 수요자들이 개발을 요구하는 기술
시급성	국내·외 환경에 비추어 볼 때 기술개발의 시급성이 요구되는 정도, 이 기술이 적정 기술수준을 구현해야만 하는 시기의 시급성을 의미함

## 7. 우선순위 도출결과

- 우선순위 평가항목별 배점기준으로 평가결과 아래와 같이 분야별 우선순위가 도출되었음

<표 3-9> 우선순위 도출결과

구성기술	구성기술 중요도					합계	순위
	정책 부합성	기술실현 가능성	경제성	시장 수요성	기술개발 시급성		
수소버스 화재안전 평가를 위한 오차율 5% 미만, 40MW급 복합 발열량 측정기술 개발 및 국제표준화 적용	13	17	17	18	18	83	18
수소버스 스택 안전성능 평가 및 안전기술 개발 과제 제언	16	17	16	18	18	85	10
수소버스 용기 및 부품에 사용되는 비금속셀 및 라이너 안전성 평가 및 제도 개선	15	17	15	15	18	80	24
수소전기버스용 CHSS (Compressed Hydrogen Storage System) 총방전 안전성 평가기술 개발	17	17	15	18	17	84	14
버스용 수소저장시스템 수소탱크컴플리트 내구신뢰성 향상 평가·검증기술 개발	15	17	17	18	18	85	10
고압수소부품 및 모듈단위의 안전성 평가기술 및 장비개발	17	17	17	18	18	87	4
수소버스용 소재/부품의 환경성 평가시스템 및 표준화 개발	18	17	17	15	18	85	10
충전 시 수소누설량 정량적 측정 장비 및 기술 개발	17	15	17	12	15	76	31
고압수소부품 및 모듈단위 가속 내구 평가 기술 개발	19	17	16	18	19	89	2
고압수소부품 및 수소저장시스템 평가 Site 구축	17	17	17	18	18	87	4
대용량 급속 수소 총방전 장비 개발	17	17	11	18	16	79	27
수소저장시스템 복합진동내구 평가장비 개발	15	17	17	17	18	84	14
수소저장시스템 총방전 안정성 개발	15	17	17	18	18	85	10
수소버스 연료모듈 실가스 시험을 위한 전용 시험설비 구축	13	17	12	18	18	78	29

구성기술	구성기술 중요도					합계	순위
	정책 부합성	기술실현 가능성	경제성	시장 수요성	기술개발 시급성		
원격시스템을 활용한 고압수소 부품 점검 장치 개발	17	17	17	18	12	81	21
수소버스 화재안전 평가를 위한 오차율 5% 미만, 40MW급 복합 발열량 측정기술 개발 및 국제표준화 적용	17	17	17	18	18	87	4
수소버스 스택 안전성능 평가 및 안전기술 개발 과제 제안	15	17	18	18	18	86	9
수소버스 용기 및 부품에 사용되는 비금속 씰 및 라이너 안전성 평가 및 제도 개선	17	17	16	15	16	81	21
수소전기버스용 CHSS(Compressed Hydrogen Storage System) 총방전 안전성 평가기술 개발	18	15	17	18	14	82	19
버스용 수소저장시스템 수소탱크컴플리트 내구신뢰성 향상 평가·검증기술 개발	17	17	17	18	18	87	4
고압수소부품 및 모듈단위의 안전성 평가 기술 및 장비개발	14	17	17	18	18	84	14
수소버스용 소재/부품의 환경성 평가시스템 및 표준화 개발	17	17	17	18	11	80	24
충전 시 수소누설량 정량적 측정 장비 및 기술 개발	17	16	12	15	18	78	29
고압수소부품 및 모듈단위 가속 내구 평가 기술 개발	17	10	17	18	18	80	24
고압수소부품 및 수소저장시스템 평가 Site 구축	19	19	17	18	18	91	1
대용량 급속 수소 총방전 장비 개발	17	15	17	18	17	84	14
수소저장시스템 복합진동내구 평가장비 개발	16	17	12	18	18	81	21
수소저장시스템 총방전 안정성 개발	19	17	16	18	18	88	3
수소버스 연료모듈 실가스 시험을 위한 전용 시험설비 구축	17	17	17	18	18	87	4
원격시스템을 활용한 고압수소 부품 점검 장치 개발	12	17	17	18	18	82	19
수소상용차 안전성 평가검증 및 연구개발 Test Bench 구축 및 활용방안 연구	17	11	17	18	16	79	27

## □ 1차 최종 기획과제 선정

- 총 8개(차량단위 : 4개, 부품단위 : 3개, 법제도 등 : 1개) 기초연구 후보과제에 대하여 총괄기획위원회에서 가중치 및 전문가 기술수요조사서 등을 기초로 하여 최종 8개 세부과제 및 16개의 세세부과제를 선정함(차량단위 : 9개, 부품단위 : 5개, 법제도 : 2개)를 확정함

<표 3-10> 1차 최종 기획과제

영역	세부기획과제
수소버스 안전성 평가 및 검사기술 개발	1. 수소버스 안전도 평가기술 개발
	2. 수소버스 정기 검사기술 개발
	3. 수소부품 안전도 평가기술개발
	4. 수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화
수소버스 안전성 평가장비 개발	1. 수소버스 동력성능 평가장비 개발
	2. 수소버스 정기 검사장비 개발
	3. 수소부품 평가장비 개발

## □ 2차 최종 기획과제 선정

- 1차 최종기획과제 내용을 바탕으로 2차 최종기획위원회에서 아래와 같이 2차 최종 기획과제를 선정함
- 1차 최종기획과제 1세부 ‘수소버스 안전성 평가 및 검사기술 개발’을 ‘수소버스 안전성 평가기술 및 평가장비 개발과 기준 국제화’로 변경 및 2세부 ‘수소버스 안전성 평가장비 개발’을 ‘수소버스 운행차 검사기술 및 장비개발’로 변경
- 총괄 기획위원 및 내부과제진의 논의를 거친 후 ‘수소버스 부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발’의 새로운 세부를 추가하여 총 3개의 세부과제로 확대 수정
- 1세부 과제의 1. 수소버스 안전도 평가기술 개발, 2. 수소버스 정기 검사기술 개발, 3. 수소부품 안전도 평가기술 개발을 1. 수소버스 안전성 평가 시나리오 개발, 2. 수소버스 전복/충돌 평가기술 개발, 3. 수소버스 동력성능 평가기술 및 장비개발로 변경
- 2세부 과제의 1. 수소버스 동력성능 평가장비 개발, 2. 수소버스정기 검사장비 개발, 3. 수소부품 평가장비 개발을 1. 수소버스 내압용기 투과량 검사기술 및 장비 개발, 2. 수소버스 내압용기 배출량 검사기술 개발, 3. 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 및 장비개발로 변경

- 3세부 과제의 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비를 새로 개설하여 1. 수소내압용기 화재 평가기술 개발, 2. 수소부품 유공압 연속시험 평가기술개발, 3. 수소부품 안전기준 국제화 평가 장비개발, 4. 수소부품 모듈단위 평가기술 및 장비개발을 추가함

<표 3-11> 2차 최종 기획과제

영역	세부기획과제
(1세부) 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발과 기준 국제화	1. 수소버스 안전성 평가 시나리오 개발
	2. 수소버스 전복/충돌 평가기술 개발
	3. 수소버스 동력성능 평가기술 및 장비개발
	4. 수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화
(2세부) 수소버스 운행차 평가·검사기술 및 장비개발	1. 수소버스 내압용기 투과량 검사기술 및 장비개발
	2. 수소버스 내압용기 배출량 검사기술 및 장비개발
	3. 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 및 장비개발
(3세부) 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발	1. 수소 내압용기 화재 평가기술 개발
	2. 수소부품 유공압 연속시험 평가기술 개발
	3. 수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발
	4. 수소부품 모듈단위 평가기술 및 장비개발

### □ 3차 최종기획과제 선정

- 3차 기획회의 점검 시 1세부 ‘수소버스 안전성 평가기술’ 부문에 대하여 기존 버스 안전성 평가기술과 차별화 되어야 타당하다는 의견 반영
  - 실 운행 및 사고데이터를 기반으로 수소버스의 안전성 평가기술이 구축될 필요가 있으며, 수소버스 뿐만 아니라 다른 상용차에 대한 안전성 평가 부분도 들어갈 필요가 있음
- 3세부의 과제 추진을 위하여 장비개발 필요의 타당성 및 GTR 기준의 각 실험항목에 대한 부분을 공유하도록 추진하였음
- 2차 기획과제 선정 후 각 세부별 과제 항목이 타당하다고 판단하여 세부별 과제에 대한 세세부 과제(15개)를 선정함

<표 3-12> 3차 최종 기획과제

영역	세부기획과제	세세부기획과제
(1세부) 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발과 기준 국제화	2. 수소버스 전복/충돌 평가기술 개발	2-1 수소버스 전복충돌/해석 평가기술 개발
		2-2 수소버스 충돌 평가기술 개발
	3. 수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화	3-1 수소버스 관련 국내규정 제/개정안
		3-2 수소버스 관련 국제기준 제/개정안
(2세부) 수소버스 운행차 평가·검사기술 및 장비개발	1. 수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비 개발	1-1 수소 내압용기 투과량 검사기술 개발
		1-2 수소 내압용기 투과량 측정장비개발
	2. 수소버스 수소박이 배출량 검사기술 및 장비개발	2-1 수소버스 내압용기 배출량 검사기술 개발
		2-2 수소버스 내압용기 배출량 검사장비 개발
	3. 수소버스 구동시스템 출력 평가기술 및 장비개발	3-1 수소버스 구동시스템 출력평가기술 개발
		3-2 수소버스 구동시스템 출력평가장비 개발
(3세부) 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발	3. 수소 CHSS 평가기술 및 장비개발	3-1 수소 CHSS 유공압 연속시험 평가 기술개 발
		3-2 국제화 대응 수소 CHSS 평가장비 개발
		3-3 수소 CHSS 진동내구평가기술 및 장비개발
	4. 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발	4-1 수소버스 내압용기 비파괴 검사 데이터베 이스 구축
		4-2 수소버스 내압용기 비파괴 평가 알고리즘 개발 및 평가기술 개발

□ 4차 기획과제 선정

- 3세부의 3-3세부 ‘대용량 CHSS 모듈 진동내구평가기술 및 장비개발’ 을 3-2세 부인 국제화 대응 평가장비 개발에 포함시키는 연구내용 수정의견 반영
- 3세부의 수소버스 화재평가시험 발열량 제어, 화염의 유출량 제어 및 화염면적 중 국제기 준 (GTR 13) 및 학계 등에서 검토되는 최신 동향을 반영하여 연구내용 수정의견 반영
- 세부 과제내용에 부합되게 세부 과제명 및 세세부과제명 재정리

<표 3-13> 4차 최종 기획과제

영역	세부기획과제	세세부기획과제
(1세부) 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발과 기준 국제화	2. 수소버스 전복/충돌 평가기술 개발	2-1 수소버스 전복충돌/해석 평가기술 개발
		2-2 수소버스 충돌 평가기술 개발
	3. 수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화	3-1 수소버스 관련 국내규정 제/개정안
		3-2 수소버스 관련 국제기준 제/개정안
(2세부) 수소버스 운행차 평가·검사기술 및 장비개발	2. 수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비 개발	1-1 수소 내압용기 투과량 검사기술 개발
		1-2 수소 내압용기 투과량 측정장비개발
	2. 수소버스 수소박이 배출량 검사기술 및 장비개발	2-1 수소버스 내압용기 배출량 검사기술 개발
		2-2 수소버스 내압용기 배출량 검사장비 개발
	3. 수소버스 구동시스템 출력 평가기술 및 장비개발	3-1 수소버스 구동시스템 출력평가기술 개발
		3-2 수소버스 구동시스템 출력평가장비 개발
(3세부) 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발	3. 수소 CHSS 평가기술 및 장비개발	3-1 수소 CHSS 유공압 연속시험 평가 기술개발
		3-2 국제화 대응 수소 CHSS 평가장비 개발
	4. 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발	4-1 수소버스 내압용기 비파괴 검사 데이터베이스 구축
		4-2 수소버스 내압용기 비파괴 평가 알고리즘 개발 및 평가기술 개발

□ 최종 기획과제 선정

- 과제 최종평가 회의 시 세부 별 평가위원 및 내부과제진의 최종 의견 반영하여 총 4개의 연구과제 세부를 구성하였음

<표 3-14> 최종 기획과제

영역	세부기획과제
1세부	수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 기준 법제화
2세부	수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발
3세부	수소버스 운행차 검사기술 및 장비개발

영역	세부기획과제
4세부	수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발

## 8. 기술개발에 따른 미래상

### □ 현재(As-Is)

- 현재 개발 중인 경찰전용 수소버스의 경우 고상형 버스로 개발되고 있으며, 차량 구조 상 수소내압용기시스템 (CHSS: The compressed hydrogen storage system)이 천정에 위치하여 기존 버스에 비해 무게중심이 상부에 위치하고 이로 인하여 전도·전복사고 발생확률이 증가함
- 고상형 수소버스 또는 대형수소화물차의 경우 수소내압용기시스템(CHSS)이 하단 또는 차량의 후방에 위치할 확률이 높으며, 측면 및 후방 충돌사고 등으로 인하여 시스템의 파손 위험성이 높음
- 현행 수소내압용기시스템(CHSS) 검사는 CNG 및 LNG 등 내압용기 검사기준이 적용되어 있어, 더 높은 충전압력과 수소가스 특성 등이 반영되지 않음
- 내압용기 검사는 단순 가스누기 확인을 위한 외부 농도감지 및 육안검사를 통해 진행되며, 차량 사고 또는 정비 중 손상된 부분을 육안검사로 확인하지 못할 경우 대형사고로 이어질 수 있음
- 전 세계적으로 법규화 된 수소버스 및 고압(700Mpa)에 대한 충전프로토콜의 부재로 수소전기차 보급에 필수적인 수소충전적합성 평가·검증이 불가능함
- 수소버스의 경우 승용차 용기와 다르게 길이 및 체적이 늘어나기 때문에 충돌사고, 화재 등의 이상상황 발생에 따른 현상이 다르나, 기존 평가방법 적용 시 PRD 및 차단밸브 등의 성능에 대한 정확한 검증이 어려움

## □ 미래(To-Be)

- 수소상용차(버스 및 화물차 등) 충돌 및 내구파손 등에 따른 폭발 및 화재 위험성에 대한 안전성평가기술 개발 및 기준 마련으로 사고 시 탑승자 안전성 확대 및 2차 사고 예방 강화함
  - 수요자 입장에서는 친환경 차에 대한 니즈가 커지고 있으나 수소상용차의 경우 연료의 안전성 등에 대한 불안이 있어 이에 대한 홍보 및 교육에 활용함
- 대형수소연료전지 친환경 자동차 패러다임 변화에 따른 국민안전 확보를 위한 기술 확보 및 관련 기술 기반 마련과 수소상용차 안전성평가기술 개발을 통해 제품 개발을 활성화 하고, 이를 통한 보급 활성화에 기여함
- 수소상용차 평가기술 확보 및 평가장비 개발 등으로 국내 자동차 및 수소부품 제작사 개발·개선 방향성 제시 및 경쟁력 확보함
  - 수소상용차 기술은 모터, 연료전지, 새로운 구동계, 새시, 안전 설계기술, 소음 진동 저감 기술, 차체 설계기술, 차량 경량화기술, 모듈화 기술, 부품배치 최적화 설계기술, 차량 제어기술 등 매우 다양한 분야의 부품 및 차량기술을 필요로 하고 있어 자동차산업 전반에 걸쳐 전·후방 효과가 매우 크다고 할 수 있음
  - 자동차산업은 금융/보험업, 자동차 판매업, 광고업, 중고차 매매업, 운송업, 정비업, 유틸판매업, 건설업 등 광범위한 산업에 영향을 미치기 때문에 수소상용차의 상용화에 따른 산업파급효과는 매우 클 것으로 여겨짐
- 수소상용차의 연료전지시스템은 기존차량에서는 볼 수 없는 시스템으로 관련부품 업체에서 내연버스를 생산하는 부분과 수소상용차 부품을 생산하는 부분으로 병행이 필수적이이기 때문에 산업과 병행하여 새로운 일자리 창출이 발생할 것으로 보이며 상용화시 관련 산업에서 연평균 5만 명의 일자리 창출이 기대됨
  - 환경적인 측면에서는 탈석유 및 CO<sub>2</sub> 배출 저감에 우수한 기술이기 때문에 수소 산업 관련업계의 자동차산업 진출과 새로운 수소산업이 육성될 것으로 전망됨
  - 특히, 수소상용차 뿐만 아니라 수소상용차 고압가스 관련한 인프라 및 인증 등에 대한 수요가 많아질 것으로 여겨짐

### 제3절. 사업추진체계

- 사업의 전체적인 총괄은 국토교통부가 담당하며, 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술개발 사업관리는 연구단에서 관리하는 형태의 추진체계를 구성함
  - 각 세부기술 분야 수행의 효과성 제고 및 개별 연구그룹의 성과연계를 통한 현장 적용 및 실증 강화를 위해 단일 연구단을 구성
  - 다만, 연구단 형태가 가지는 장점과 더불어 객관성, 공정성 부문의 문제점이 지속적으로 제기되고 있어 이에 대한 보완사항을 제시
    - 연구단 형태로 추진하되 단점을 보완하기 위해 운영위원회를 설치하여 사업단의 주요 의사결정에 대한 심의를 받도록 조치
    - 과제 기획 부문과 사업수행자 선정 부문에서 객관성 및 전문성이 요구되고 있어 기존의 국토교통부 소관 연구관리 전문기관이 전담
- 연구수행 조직(연구단)



<그림 3-11> 사업 추진체계

□ 사업주체간 역할 분담

- 사업의 전체적인 총괄은 국토교통부가 담당하며, 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술개발 사업관리는 연구단에서 관리하는 형태의 추진체계를 구성함
- 사업 목표를 위한 세부과제의 구성 기술별 역할 분담형 기술개발로 전략적 R&D 연계를 통한 대형성과 창출
- 주관부처 : 국토교통부
  - 사업을 주관하여 추진하는 중앙행정기관으로 사업 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정, 기본계획 수립, 투자우선순위 결정, 국토정책과의 연계 및 정책적 수요 정보 제공
- 전문기관 : 국토교통과학기술진흥원 담당 사업실
  - 전반적 사업관리 및 예산 운용 등의 사업추진 시의 실무를 담당하며, 분야별 전략과제의 기획·평가·관리·성과확산 등을 추진
- 연구단
  - 사업추진 권한과 책임 하에 과제기획부터 성과확산까지 총괄업무를 추진하며, 기술개발 사업 사업추진을 위한 컨소시엄 (연구그룹) 구성
  - 연구개발계획, 유·무형의 성과물 관리, 대외협력업무, 사업화 전략수립, 대국민 홍보 등 전주기적 관리
  - 사업단 과제수행에 대한 자체평가 및 사업추진방향·예산 조정에 대한 권한과 책임사업을 주관하여 수행하는 기관을 의미하며 모든 과제를 총괄 관리 및 지원하는 역할을 수행함

<표 3-15> 추진 주체별 역할 및 기능

주체	역할 및 기능
국토교통부	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업총괄 부처</li> <li>• 사업의 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정</li> <li>• 사업 기본·시행계획 수립</li> <li>• 사업투자 우선순위 결정</li> </ul>
전문기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술개발 과제 결과물의 성과연계 및 현장적용 및 실용화 성과창출 극대화를 위한 통합지원               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사업추진 및 과제기획 방향성 설정, 사후관리 등의 총괄 운영기능을 부여함</li> <li>- 기술개발 결과물의 현장적용을 위한 사업화 연계 기능</li> </ul> </li> <li>• 사업관리 실무지원</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 예산 운용계획 지원</li> <li>- 선정평가, 협약체결, 중간 및 최종평가 등 사업 선정·관리 지원</li> <li>- 기술이전 및 사업화 등 성과확산 지원</li> <li>- 성과평가</li> <li>- 사후관리</li> </ul>
연구단	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 업무추진 관리 및 원활한 업무 수행지원을 위한 운영관리 전담 행정조직 구성</li> <li>- 사업 추진계획 수립</li> <li>- R&amp;D발전전략 및 중장기로드맵 수립 지원</li> <li>- 기술수요조사 관리 및 조정</li> </ul>
사업주관 및 참여기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 산업체 주도의 산학연 컨소시엄으로 프로젝트(전략과제) 수행</li> </ul>

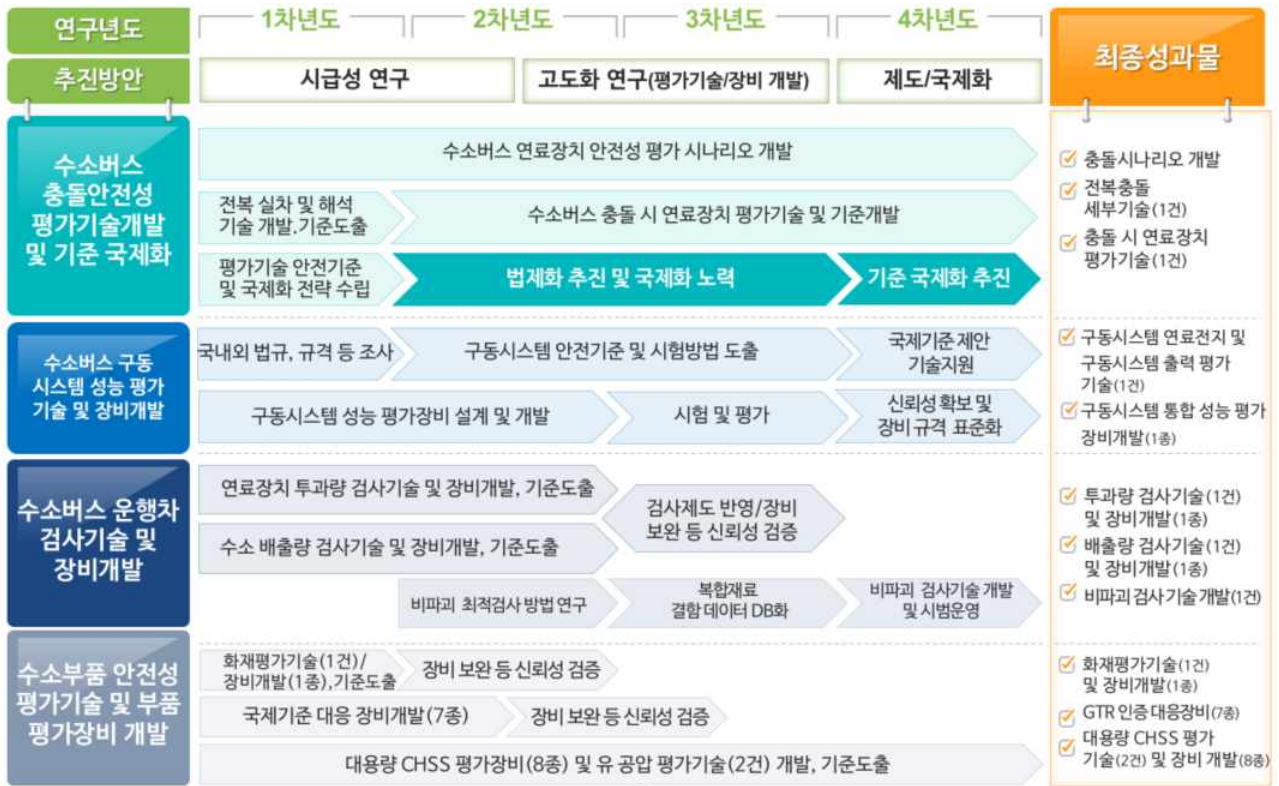
## 제4절. 세부과제별 주요내용, 추진전략 및 성과활용 방안

### 1. 추진전략

- 연구개발 목표를 달성하기 위해 3가지 추진전략을 통해 연구추진전략 구축
  - 추진전략 1 : 산·학·연·관의 공동연구 개발 체제 구축을 통한 연구효율 극대화
  - 추진전략 2 : 수소버스 안전성 평가·검사기술 및 장비 연구를 3세부로 분할 진행하여 협동 연구 체제 구축
  - 추진전략 3 : 과제를 진행하며 개발 된 평가·검사기술 및 장비를 국내에 제도화하고 세계기술 규정으로 제도를 확장하여 우리나라의 기술이 시장을 선도할 수 있도록 기반 마련
- 기존에 보유중인 연구 장비를 효과적으로 활용하기 위해 세부 과제의 연구범위 및 방향을 상호 조율하고, 필요 시 연구 장비 및 인프라를 공유할 수 있는 방안 마련
  - 기관 및 기업에서 보유하고 있는 시험장비 인프라를 활용함으로써 연구장비에 대한 중복투자를 방지하고 기존 사업을 통해 확보된 시설을 사용함으로써 기존 국책사업을 통해 구축된 인프라 공유
- 산·학·연 각각의 특성에 맞는 독자적 연구분야를 설정하고, 연구단을 중심으로 각각의 연구 성과를 종합하고 연구효율 극대화를 위한 유기적 협조체계 구축
- 연구 추진의 효율성을 높이기 위해 세부과제별로 독자적인 전략을 수립함과 동시에 연구단내 상호 정보 교류를 위한 정기적인 회의를 개최하고 정부의 추진방향과의 조화를 위한 정부 인사와의 협의체 진행

- 유사한 목표를 갖는 기술 및 장비개발 연구를 다양한 접근방법을 통해 진행하기 위해 산·학·연·관의 보완적인 협업 체계를 구축
- 정부를 중심으로 연구개발을 통해 얻은 성과물을 국내 기준화하고, 세계 시장에 제안하여 국내기술이 세계시장을 선도할 수 있는 단계적·체계적 기반 마련
- 해외에서 기 개발된 평가기술을 국제 조화하여, 국내 자동차 업계의 중복 투자를 방지하고 국내 산업 경쟁력을 향상시킬 수 있는 방향으로 연구개발 추진하고, 해외에서 기 개발된 평가장비의 기술 및 개념 등을 활용하여, 필수 장비의 국산화를 통한 국내 기업의 경쟁력 향상 추진
- 연구개발과제의 구성은 총 4세부이며 내용은 아래와 같음

<b>1세부</b>	<b>수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 기준 법제화</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소버스 실도로 운행모니터링 및 상황정보(사고/고장/결함 등) 기반 안전성 평가 시나리오 개발</li> </ul> </li> <li>- 수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소버스 전복시험 실차 세부시험 및 해석검증기술 개발</li> <li>· 수소버스 충돌 시 시험방법 및 평가기술 개발</li> </ul> </li> <li>- 수소버스 평가기준 제·개정 및 국제화               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 평가·검사기술 관련 국내 제도화 추진</li> <li>· 수소버스 평가기준 국제화 추진</li> </ul> </li> </ul>
<b>2세부</b>	<b>수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발</li> </ul> </li> <li>- 수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 구동시스템 통합성능 평가장비 개발</li> </ul> </li> </ul>
<b>3세부</b>	<b>수소버스 운행차 검사기술 및 장비 개발</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 연료시스템 통과량 검사기술 및 장비개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소버스 연료시스템 통과량 검사기술 개발</li> <li>· 수소버스 연료시스템 통과량 측정 및 판정 장비 개발</li> </ul> </li> <li>- 수소버스 수소 배기가스 검사기술 및 장비개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소버스 수소 배기가스 검사기술 개발</li> <li>· 검사환경을 고려한 보급형 수소버스 수소 배기가스 측정장비 개발</li> </ul> </li> <li>- 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소버스 내압용기 비파괴 검사 데이터베이스 구축</li> <li>· 수소버스 내압용기 비파괴 평가알고리즘 및 평가기술 개발</li> </ul> </li> </ul>
<b>4세부</b>	<b>수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 대용량 수소내압용기 화재평가 표준화 기술개발</li> <li>· 대용량 수소내압용기 화재평가 장비 개발</li> </ul> </li> <li>- 수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소부품 안전기준 국제화에 따른 평가장비 개발(7개종)</li> </ul> </li> <li>- 대용량 CHSS 평가기술 및 장비개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 대용량 CHSS 유공압 연속시험 평가기술 개발</li> <li>· 국제화 대응 대용량 대용량 CHSS 평가장비 개발(8종)</li> </ul> </li> </ul>



<그림 3-12> 수소버스 안전성 평가기술 및 평가장비 개발 로드맵

## 2. 추진체계 검토

- 수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발을 위해 4개의 세부과제로 구성하고 추진 체계는 연구단 형태로 구성 제안



<그림 3-13> 수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 연구개념도

○ 1세부: 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 기준 법제화



<그림 3-14> 1세부 연구내용

○ 2세부: 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발



<그림 3-15> 2세부 연구내용

○ 3세부: 수소버스 운행차 검사기술 및 장비개발



<그림 3-16> 3세부 연구내용

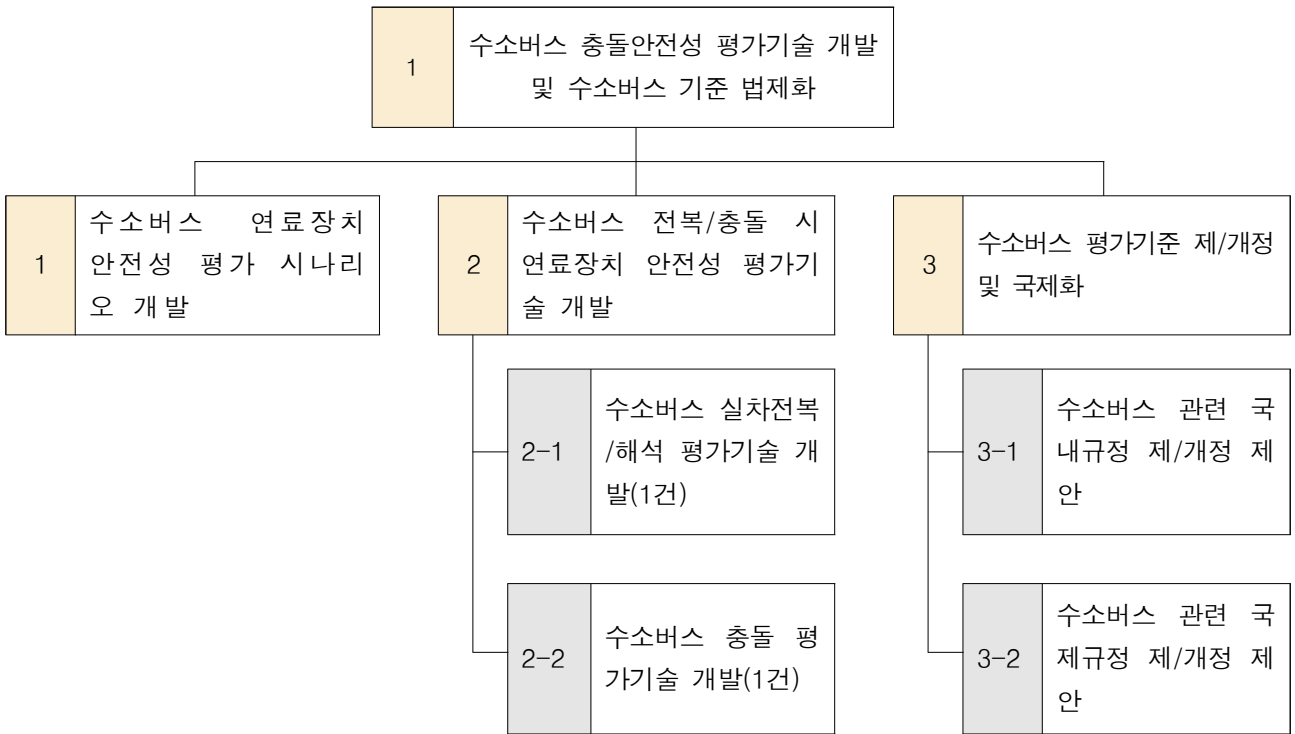
○ 4세부: 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발



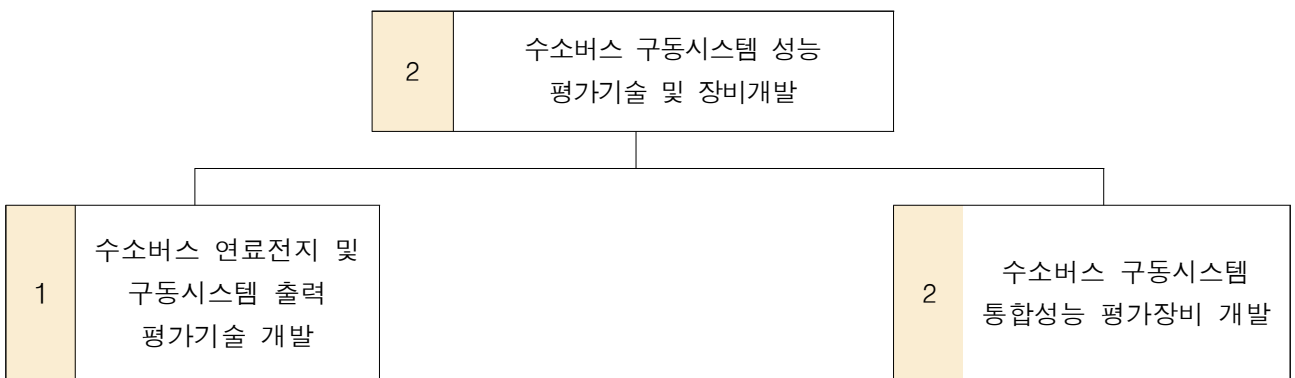
<그림 3-17> 4세부 연구내용

- 1세부 과제는 수소버스가 충돌 시 수소누출 등이 발생할 수 있는 위험 시나리오에 따른 수소버스의 차량단위 연료장치 안전성을 확보할 수 있는 안전도 평가기술 개발 및 법제화를 담당하며 연계되는 핵심기술 간의 요구사항을 구분하여 개발하도록 1세부 내에 3개의 세세부로 연구항목을 분할하였으며, 2개의 세세부에서는 각 기술에 대한 연구를 진행하고 총괄적으로 3세세부에서 제도화 및 국제화를 추진할 수 있도록 2+1로 총 3개의 세세부로 1세부 추진체계를 구성하였음
- 2세부 과제는 수소버스의 다중 동력원 및 모터 시스템에서 출력을 확인하기 위한 신 개념의 시스템 단위 출력 통합 시험이 가능하며 안전기준 개정(안) 도출을 위한 수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발과 수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개발의 2개의 세세부로 구성하였음
- 3세부 과제는 실도로에 운행하는 운행차에 대한 정기검사 시 수소누출 및 방출에 대한 정확한 판단을 반영하기 위한 검사기술 및 장비를 개발하도록 3개의 세세부로 분할하여 수소버스 내압용기 투과량, 수소배출량 검사기술과 장비개발 및 복합소재 수소내압용기(Type 4)에 대한 비파괴 결합검사 평가기술을 개발하여 수소버스 운행차의 안전성을 확보하도록 구성함
- 4세부 과제는 수소내압용기 및 수소연료시스템 등 수소부품에 대한 평가기술 및 평가장비를 개발하는 것으로 수소내압용기 등에 대한 국제기준에 대응할 수 있는 평가장비 개발과 수소버스의 대용량 내압용기 특성을 반영한 신규평가기술 개발 등이 가능하도록 3개의 세세부로 구성함

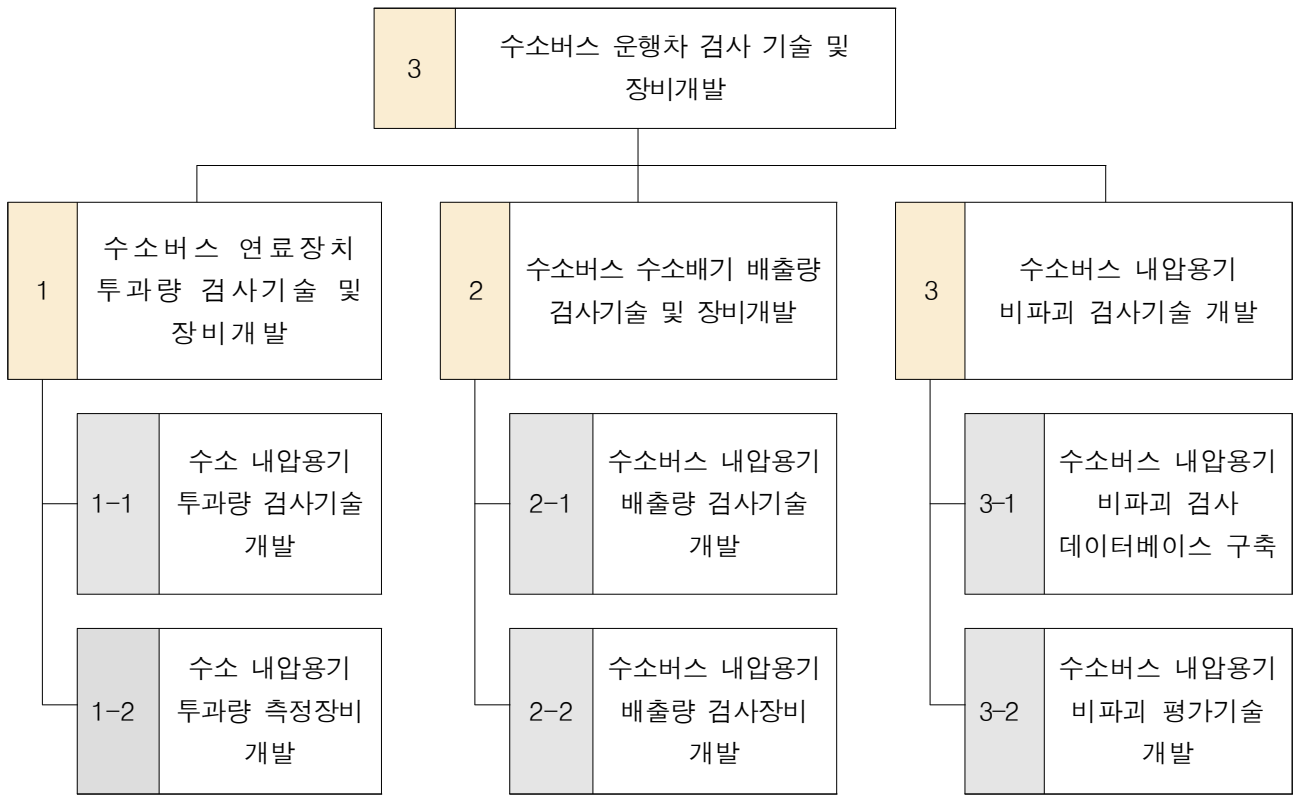
### 최종 기획과제 선정결과 (1세부)



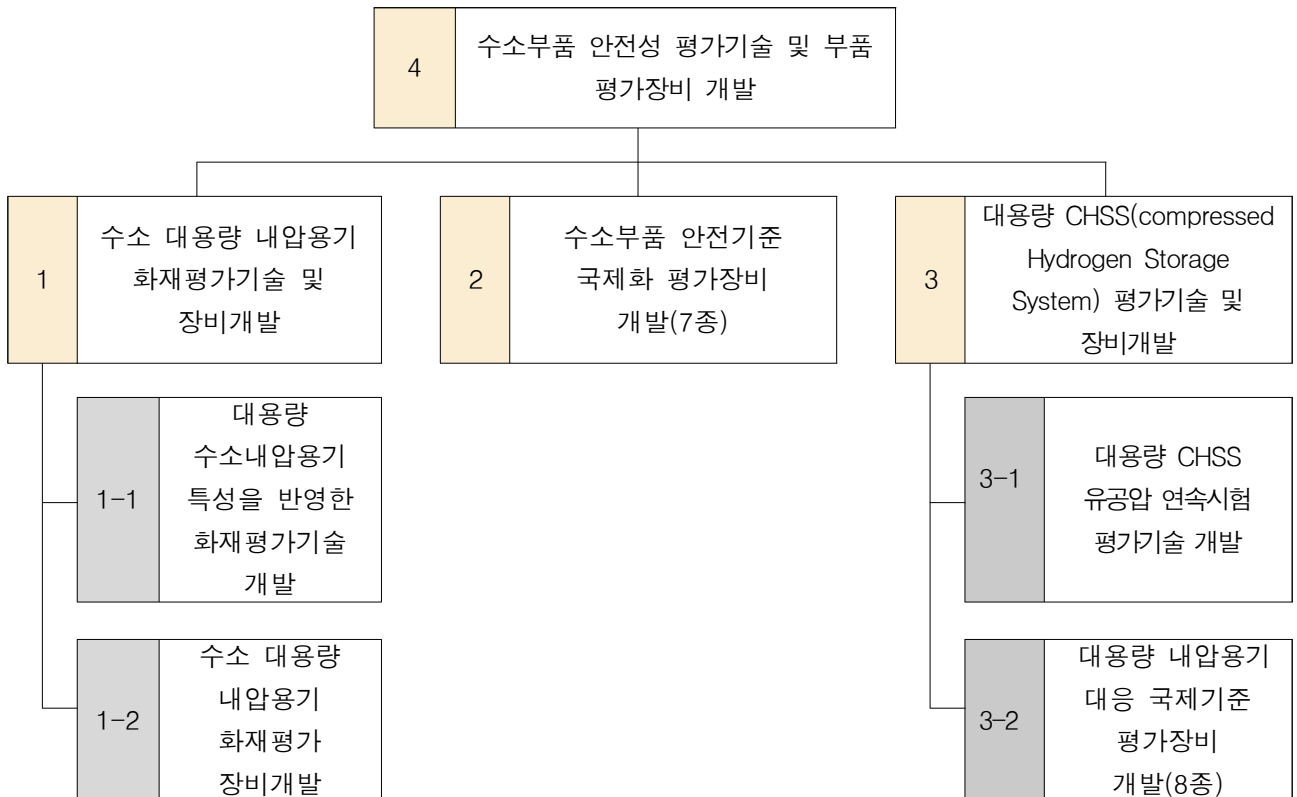
### 최종 기획과제 선정결과 (2세부)



### 최종 기획과제 선정결과 (3세부)



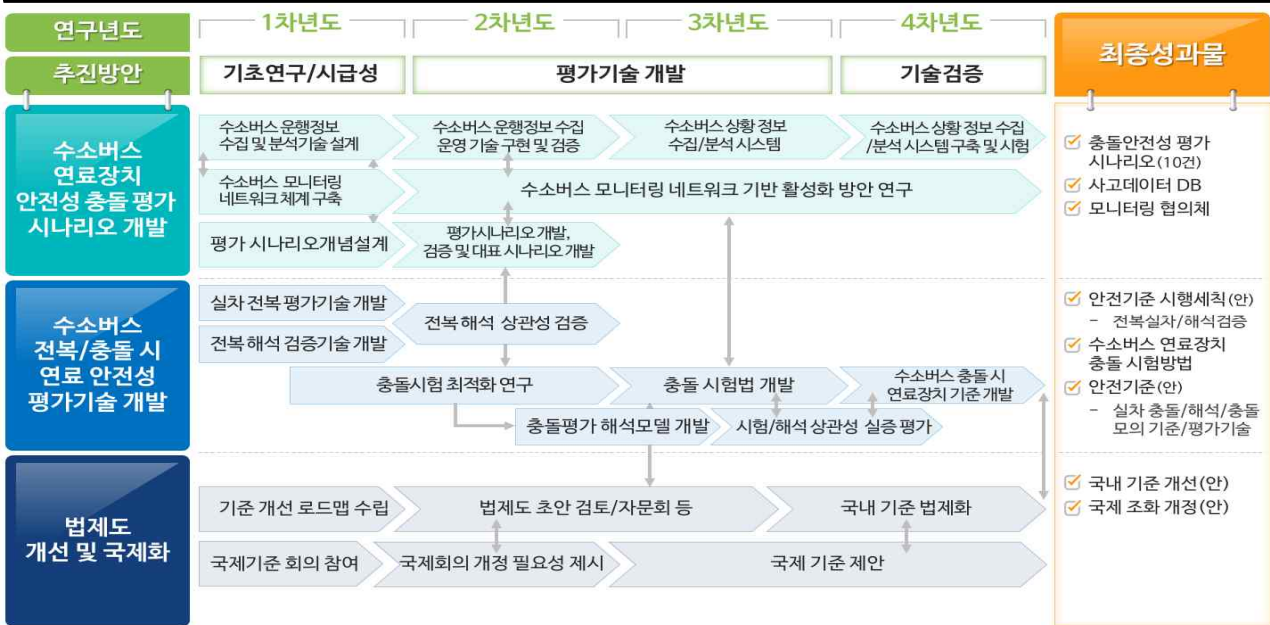
### 최종 기획과제 선정결과 (4세부)



### 3. 1세부과제 개요 : 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 기준 국제화

#### 가. 연구개발 목표

세부과제의 개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 안전운행과 관련된 주행정보, 사고 및 고장 등의 데이터를 수집·분석하여 수소버스 사고 시 연료장치의 수소누출 위험성을 차단하기 위한 평가 시나리오를 개발하고 차량 단위 안전성 평가기준 개발에 활용하며, 향후 지속적인 수소버스 안전성 강화를 위한 데이터 모니터링 시스템을 구축하고자 함</li> <li>- 수소승용차와 다른 수소버스의 차량적 특성을 반영하여 실 도로에서 발생 가능한 전복 및 충돌사고 유형 등에 대한 실차평가를 통해 연료장치의 수소누출 안전성을 검증할 수 있는 평가방법을 개발하고자 함</li> <li>- 수소버스 충돌안전성, 구동시스템 출력평가, 운행차 검사기술 및 대용량 수소내압용기 평가기술에 대한 국내 법령 제·개정 및 국제기준에 제안하고자 함</li> </ul>
세부과제의 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 실 도로 운행 및 사고정보 기반 안전성 평가 상황(사고/고장 등)을 수집 및 분석, 수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발 및 지속적인 검증 모니터링 체계를 구축하고자 함</li> <li>- 수소버스의 전복 및 충돌 사고 평가 시나리오를 바탕으로 재현반복이 가능하도록 표준화된 세부시험절차 및 해석 검증방법을 개발하고 수소누출을 확인할 수 있는 안전기준(안) 및 국제기준(안)을 도출</li> <li>- 수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 연구과제에서 도출되는 차량 및 수소부품 관련 평가 및 검사기술의 제도화를 위한 로드맵 및 국제화 전략 수립 및 법제화 추진</li> </ul>
기술개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 실 도로 운행모니터링 및 상황정보(사고/고장 등) 기반 안전성 평가 시나리오 개발</li> <li>- 수소버스 전복시험 세부시험방법 및 해석 검증기술과 수소버스 신규 충돌평가기술 개발</li> <li>- 수소버스 차량 및 수소부품 단위 국내 안전기준 제·개정 및 국제기준 제안</li> </ul>



<그림 3-18> 1세부 연구개발 로드맵

## 나. 연구개발 주요내용

### □ 세세부 과제(1-1) : 수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발

과제명	수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발	
연구개발 목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 실도로 운행정보 및 상황(사고/고장/결함 등) 정보 기반 안전성 평가 시나리오 개발</li> <li>· 버스 상황(사고/고장/결함 등) 정보기반 안전성 평가 분석</li> <li>· 수소버스 실도로 운행정보 데이터 정보 수집 및 분석</li> <li>· 수소버스 운행 모니터링 체계(운수업체, 제작사, 정부/지자체 관계자) 구성 및 활용체계</li> <li>· 실운영데이터 및 사고정보 기반 안전성 평가 시나리오 개발</li> <li>※ 실도로 운행정보 및 상황(사고/고장) 정보               <ul style="list-style-type: none"> <li>* 운행정보: 차량의 노선, 위치, 속도, 가감속, 운행시간, 연료전지생산량, 전력사용량, 연료전지효율, 연료소모량 등</li> <li>* 사고정보: 사고유형, 버스정보, 탑승자 정보, 충돌각도 및 형태, 버스파손심각도, 인체상해율 등의 실운영시 실사고 정보 등</li> <li>* 고장 정보: 버스 고장현황 모니터링(FC 스택, 수소용기, 전력장치 등) 및 결함이 의심되는 정보</li> </ul> </li> </ul>	
해외 및 국내 기술수준 비교	최고 기술 보유국	현 국내 수준
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유럽은 ZEFER, H2ME, H2ME2 등 다양한 실증 프로젝트 추진 및 실운영 데이터 수집</li> <li>- 유럽, 미국은 자동차 실사고 심층 사고 데이터의 별도 수집 및 분석 체계 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2019년 12월 현재 4개도시(울산, 부산, 광주, 창원)에 19대의 친환경 수소버스가 시내버스로 운행 중이며 순차적으로 2022년까지 총 2000대가 도입 할 예정이나, 수소버스의 운행정보 수집 모델 미비</li> <li>- 버스 관련 실사고 심층데이터 및 고장/리콜 등의 관련 정보 수집, 분석 및 활용체계 부재</li> </ul>
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 다양하게 발생하는 버스 사고사례를 기반으로 수소버스의 사고 시 안전성 확보를 위한 사고 시나리오 모델 개발을 위해 수소버스의 운행특성에 대한 데이터의 수집 및 분석과 핵심 부품의 운행차 단위의 실제 데이터를 확보 필요</li> <li>- 신차단위 및 운행차 단위의 안전성 평가 지표의 선정에 있어 현재 운행되는 수소버스 시범사업과 연계된 운행정보와 고장/결함정보 확보가 필수적이며 이를 지속적으로 수집 및 활용할 수 있는 기반 시스템 마련이 필요</li> <li>- 정부의 수소버스 시범사업('19년 21대 실증 추진)과 연계(환경부 및 지자체 협의 필요)하여 수소버스 운행에 따른 데이터를 모니터링 함으로써 향후 발생할 수 있는 운행 특성에 따른 안전성 문제의 기반 마련이 필요함</li> <li>- 수소버스 도입에 따른 운행네트워크 체계하에서 실제 운영자인 운수업체 측면의 요구사항을 검토하고 이를 반영한 지속가능한 활용체계 연구가 필요함</li> <li>- 수소버스 운행데이터 및 심층사고 데이터를 기반으로 수소버스 이외에 향후 상용차 즉 수소트럭 등에 활용할 수 있는 기반 연구가 요구되며, 지속적인 평가모델의 활용이 가능함</li> </ul>	
연구개발 시급성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 상용화로 정부의 수소버스 시범사업('19년 21대 실증 추진)과 연계(환경부 및 지자체 협의 필요)하여 안전한 수소버스 운행에 따른 데이터를 모니터링할 수 있는 기반 시스템 마련이 선행적으로 필요함</li> <li>- 이를 통하여 향후 발생할 수 있는 운행 특성에 따른 안전성 문제의 기반 데이터</li> </ul>	

	<p>확보 전략이 필요함</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2020년부터 2022년까지 수소버스의 상용화에 따른 급격한 운행대수/운행지역의 확대에 따라 기존 안전성 기술만으로 안전성 검토가 부합하지 혹은 추가적으로 필요한 안전성 기술에 대한 사회적으로 지속적으로 활용할 수 있는 모델이 부재한 실정</li> <li>- 수소버스 보급계획에 따른 운행데이터의 분석, 버스사고 데이터의 지속적인 추적관리 방안 및 평가 시나리오의 활용 등의 기술개발을 통하여 사회적으로 지속적으로 활용할 수 있는 전략이 조속히 확립되어야 할 것임</li> <li>- 수소버스 및 수소트럭 등 중대형 상용차 중심으로 수소연료전지 기술이 확산이 될 경우, 교통사고와의 연관성 및 자동차사고 정책수립의 기반 데이터는 국내 사고감소에 기여할 수 있음으로 이에 대한 필요성이 제기되고 있는 실정임</li> <li>- 특히 차대차 위험상황을 평가하기 위해서는 버스 교통사고 관련 심층적인 분석이 필요하며, 이를 기반으로 수소버스 안전도 평가 시나리오 설계 및 검증이 시급이 필요한 상황임</li> </ul>	
정부지원 타당성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2019년 1월 문재인 정부는 ‘수소경제활성화 로드맵’을 통하여 수소버스의 경우 2022년 2000대, 2040년 5만대, 수소트럭의 경우 2040년 12만대를 생산할 것으로 계획하고 있음</li> <li>- 이러한 계획에는 수소 택시, 수소버스 등 대중교통체계의 전환 정책과 공공부문 수소트럭 활용 정책을 포함하고 있는 것으로 지속적인 수소버스 안전성 평가를 위한 운행/사고정보 데이터 확보 시스템이 필요하며 이는 정부 측면에서 데이터의 중립성과 신뢰성을 확보하여 민간 및 공공에 제공해야 할 의무가 있는 분야임</li> <li>- 2010년 서울시 행당동 대로상 발생한 CNG 버스 용기 폭발사고의 경우 1번의 사고로 인명피해가 매우 큰 경험을 바탕으로 수소버스의 대중화에 있어 차량사고 유형에 따라 기존 버스 안전성 평가기술로 충분한지에 대한 명확한 데이터가 부재하고, 이러한 데이터가 확보될 경우 운수업체등과 지속적인 활용 모델에 대한 공동 검토가 필요한 분야임</li> <li>- 수소버스는 노선을 반복적으로 운행하거나 장거리를 운행하는 데 활용도가 높을 것으로 예상되나, 동일한 차대차사고, 차량단독사고 등이 발생하더라도 차량사고의 가해자 및 피해자 상황에 따라 교통사고의 위험도가 다름</li> <li>- 이러한 사고관련 데이터는 정부주도의 객관적이고 신뢰성 있는 데이터를 기반으로 안전도 평가 시나리오의 연구가 필요한 분야임</li> </ul>	
개선 및 해결방안	<p style="text-align: center;">As-Is</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2018년 하반기부터 수소버스 시범사업등 수소버스 운행 시작하였으나 관련 운행 데이터의 구축 부재</li> <li>- 운행 모니터링 네트워크 체계 구축 체계 부재</li> <li>- 버스의 사고는 전복 사고외에 다양한 충돌에 따른 대형 사고 발생하여 심각도가 높은 실정이나, 차대차 중심의 사고관련 데이터 부재 및 안전도 평가 시나리오 기술 미흡</li> </ul>	<p style="text-align: center;">To-be</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 시범사업 및 수소버스의 확대 정책에 따라 운행정보를 지속적으로 모니터링하고, 상황(사고/고장/결함 등) 정보를 구축하여 수소버스 관련 기술 및 안전성 확보체계 마련</li> <li>- 운행 모니터링 네트워크 체계 구축 마련을 통하여 운영자인 운수업체 및 지자체등과 협의된 지속가능한 활성화 방안 전략 제시</li> <li>- 사고 관련 데이터에 대한 교통사고심층체계 기술을 지속가능한 형태로 고도화하고 이를 기반한 사고안전도 평가시나리오 개발</li> </ul>

		최종목표 : 수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발		
연차별 목표 및 연구내용	1차년도	목표	- 수소버스 운행정보 및 상황(사고정보) 수집/분석체계 및 안전성 평가 시나리오 개념 설계	
		내용	- 수소버스 운행 정보 수집 및 분석 시스템 설계 - 수소버스 사고데이터 구축 및 기초 분석 - 수소버스 안전도 평가 시나리오 개념 설계 - 수소버스 모니터링 네트워크 체계 구성 및 활용 체계	
	2차년도	목표	- 수소버스 운행/사고정보 분석 및 수소버스 안전성 평가 시나리오 도출	
		내용	- 수소버스 운행 정보 수집 운영 기술 구현 및 검증 - 수소버스 사고데이터 구축 및 유의성 분석 - 수소버스 안전도 평가 시나리오(안) 도출 및 재현 - 수소버스 안전성 평가 대표 시나리오 개발 - 수소버스 모니터링 네트워크 체계 기반 활성화 연구(I)	
	3차년도	목표	- 수소버스 운행 정보 및 상황(사고/고장) 활용 안전도 평가 모델 설계	
		내용	- 수소버스 상황(사고/고장) 정보 수집/분석 시스템 설계 - 수소버스 운행 정보 및 상황(사고/고장/결함) 정보 활용을 통한 안전성 평가체계 연구 - 수소버스 모니터링 네트워크 체계 기반 활성화 연구(II)	
	4차년도	목표	- 수소버스 실도로 운행정보 및 상황(사고/고장 등) 정보 기반 안전성 평가 모델 구축	
		내용	- 수소버스 상황(사고/고장) 정보 수집/분석 시스템 구축 및 시험 - 수소버스 운행 정보 및 상황(사고/고장) 정보 활용을 통한 안전성 평가체계 가이드라인 개발 - 수소버스 모니터링 네트워크 체계 기반 활성화 연구(III)	
	연구항목		구성기술 및 중점기술	
	구성기술 및 중점기술 개발		수소버스 운행 정보 및 상황(사고/고장) 분석기술	- 수소버스 운행 정보 수집 및 분석 시스템 설계
				- 수소버스 운행 정보 수집 운영 기술 구현 및 검증
				- 수소버스 상황(사고/고장) 정보 수집/분석 시스템 설계
- 수소버스 상황(사고/고장) 정보 수집/분석 시스템 구축 및 시험				
- 수소버스 사고데이터 구축 및 기초 분석				
- 수소버스 사고데이터 구축 및 유의성 분석				
- 수소버스 운행 정보 및 상황(사고/고장/결함) 정보 활용을 통한 안전성 평가체계 연구 - 수소버스 운행 정보 및 상황(사고/고장) 정보 활용을 통한 안전성 평가체계 가이드라인 개발				
수소버스 안전도 평가 시나리오 연구		- 수소버스 안전도 평가 시나리오 개념 설계		
		- 수소버스 안전도 평가 시나리오(안) 도출 및 재현		
		- 수소버스 안전도 평가 대표 시나리오 개발		
수소버스 모니터링 네트워크 기반 구성 및 활용 연구		- 수소버스 모니터링 네트워크 구성 및 활용 체계		
		- 수소버스 모니터링 네트워크 기반 활성화 방안 연구(I)		
		- 수소버스 모니터링 네트워크 기반 활성화 방안 연구(II)		
		- 수소버스 모니터링 네트워크 체계 기반 활성화 연구(III)		

<p>최종성과물 활용방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구 초기부터 운수업체, 제작사, 정부/지자체 관계자가 공동으로 참여하는 수소버스 모니터링 네트워크 체계를 구축하여 수소버스의 안전성 제고와 공공성 확보를 위한 수요자/운영자/정부간의 소통 간담회로 활용</li> <li>- 연구에서 확보된 운행정보 및 상황(사고/고장) 정보를 기반으로 연구수행과정 및 상용직전에서 데이터의 공유 및 수소버스 안전도 모델의 기반 자료로 활용</li> <li>- 신차단위 및 운행차 단위의 안전성 평가 지표의 선정에 있어 현재 운행되는 수소버스 시범사업과 연계된 운행 데이터 확보</li> <li>- 수소버스 도입에 따른 실운영 여건을 반영하고, 대형사고 가능성에 대한 위험상황을 정의함으로써 전복 시험외에 추가적인 충돌테스트 및 관련 평가 시나리오 기반 객관성 있는 기반 자료 구축</li> <li>- 수소버스 확대 도입에 따른 데이터 활용 체계 구축을 통해 제작사/정부/소비자 모두에게 안전도 상황을 모니터링 및 평가 활용</li> <li>- 수소버스 운행 정보 및 상황(사고/고장/결함) 정보 활용을 통한 안전도 평가체계 가이드라인으로 제공</li> <li>- 수소버스 운행정보 수집 및 분석 가이드라인, 수소버스 안전도 평가 시나리오 세부 지침 마련</li> </ul>					
<p>연구개발 기대효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 상용화에 따른 급격한 운행대수/운행지역의 확대에 따라 기존 안전성 기술만으로 안전성 검토가 부합한지 혹은 추가적으로 필요한 안전성 기술에 대한 명확한 지표를 제시함으로써 수소전기차량의 사회적인 안전성 인식 제고</li> <li>- 수소버스의 운행특성에 대한 모니터링 데이터의 확보 및 분석을 통하여 핵심 부품의 안전성/내구성 검토 및 운행차 단위의 안전성을 보장을 함으로써 수소버스 시장의 안전한 확대 가능</li> <li>- 수소버스의 이용에 있어 안전성기술이 확보된 운행차량을 이용할 수 있어 교통안전성 제고, 데이터를 지속적으로 활용할 수 있어 안전한 사회 시민으로 직접적 수혜</li> <li>- 수소경제활성화 로드맵에 제시한 수소 택시, 수소버스 등 대중교통체계의 전환 정책과 공공부문 수소트럭 활용 정책을 포함하고 있는 것으로 지속적인 수소버스 안전성 평가 제도 및 운행 모니터링 네트워크내에서의 검토를 통한 각 지자체별 확산시 문제점 등의 대응 가능</li> <li>- 수소연료전지 기술 산업, 수소트럭 등 다양한 관련 산업이 급격한 발전이 될 것으로 예상되는 바 수소버스 안전성기술 마련을 통한 부품 및 완성차 중심의 안전성 강화 가능</li> </ul>					
<p>소요인력(명)</p>	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	96	12	12	12	60	
<p>소요 예산 (백만 원)</p>	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	정부	2,350	400	550	400	1,000
	민간	783	133	183	133	334
	합계	3,133	533	733	533	1,334

□ 세세부 과제(1-2) : 수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발

과제명	수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발	
연구개발 목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 경우 수소내압용기시스템의 위치 등에 따라 충돌 등의 사고시 기존의 내연기관 및 CNG 차량에서 안전성을 확인해야하는 분야가 수소 누출 여부 등이 추가되기 때문에 이러한 특성을 반영한 안전성 평가 연구를 통해 수소버스의 충돌사고 시 수소누출 등의 위험요소 최소화하기 위한 안전기준(안) 도출</li> <li>- 소량 다품종 생산 특성을 가진 버스의 특성을 고려하여 시험비용 절감을 위하여 기존 실차 시험을 대체할 수 있는 해석기반 안전성 평가 기법 및 검증방안 관련 안전 기준(안) 도출</li> </ul>	
해외 및 국내 기술수준 비교	<p style="text-align: center;">최고 기술 보유국</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내외적으로 수소버스에 대한 전복/충돌시 차량단위 연료장치 안전성 평가기술은 전세계적으로 개발은 초기 단계임</li> <li>- 충돌해석검증기준의 경우 유럽은 버스(상용차)에 대한 충돌해석평가가 보편화되고, 해석평가를 통한 형식승인 수행 등으로 해석 평가검증기준에서 최고 수준임</li> </ul>	<p style="text-align: center;">현 국내 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실차 전복시험은 전복 시 승객보호를 위한 평가로 오래전부터 수행되어 왔지만, 수소버스 등 가스를 연료로 사용하는 버스에 대한 연료장치의 안전성평가는 시행되지 않았음</li> <li>- 국내의 경우 실차 전복시험 평가를 승객보호 측면에서 시행중임. 전복시험을 해석적 방법으로 대체가 가능하나 세부적인 검증방법은 부재함</li> </ul>
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스는 사고 시 수소누출로 인한 위험성(화재 및 폭발 등)이 수소 승용차에 비해 대형사고로 연결될 수 있는 가능성이 높으므로 수소누출 등을 최소화 하기 위한 평가기술 개발이 필요</li> <li>- 정부의 친환경자동차 보급 정책에 따른 안전하고 안심하게 이용할 수 있는 수소버스 보급 활성화를 위하여 수소에 대한 막연한 대국민 안전성 우려 해소를 위해 타 연료 버스보다 더 면밀한 수준의 연료장치 충돌안전성 평가기술 마련 필요</li> <li>- 수소버스 차량단위 충돌 시 연료장치 안전성평가는 현재 국내외적으로 관련 평가기준(한국만 적용)은 부재하여 수소버스 충돌 평가기술 선도를 통한 수소 모빌리티 우위선점과 국내 업계 기술개발 방향성 제시를 위해 필요</li> <li>- 소량 다품종 생산 특성을 가진 버스의 특성을 고려하여 실차시험에 따른 제작 및 시험비용 경감을 위한 해석평가 및 검증방법 마련이 필요</li> </ul>	
연구개발 시급성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미세먼지 등으로 인한 대기오염이 사회적 문제로 대두되면서, 정부에서는 친환경자동차인 수소전기차 보급 확대 추진을 위해 다양한 정책 방안을 추진하고 있으며, 본격적으로 수소버스가 보급되기 전에 사고 시 수소누출 등에 대한 안전 우려 해소 필요</li> <li>- 수소버스 활성화를 통한 수소경제 사회 가속화를 위해서는 관련 안전기준 개발이 선행되거나 동등한 수준에서 같이 이루어져야 하므로, 평가기술개발을 통한 적기의 안전기준 개정을 위해 2020년부터 연구개발이 필요</li> <li>· 수소버스 연료장치 안전성 평가기준과 세부시험방법을 마련하여 연구개발을 통한 제작 방향성 제시와 안전성 검증이 시급 (경찰수송용 수소버스 '21년 출시, 5톤급 수소화물차/특장차 '21년 출시)</li> </ul>	
정부지원 타당성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스와 같은 대형 대중교통수단은 한번의 충돌 사고(수소누출 시 화재 및 용기 폭발사고 등)로 인명피해가 매우 크기 때문에 대중교통을 이용하는 국민의 안전성을 고려하여 정부지원이 필요한 분야임</li> <li>- 정부의 수소버스 보급 활성화를 위해 사고 시 연료장치의 수소누출 안전성 평가 기술을 개발 및 제작사가 반영하도록 하여 국민들의 안전우려를 해소하고</li> </ul>	

	<p>안전기준에 대한 방향성을 제시할 의무가 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 충돌 안전성 평가 시험에는 막대한 비용이 소요되며, 각 기관 및 제조사별 기술 공유가 어려워 관련 표준의 제정이 필수</li> </ul>					
<p>개선 및 해결방안</p>	As-Is	To-be				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현행 수소버스 차량단위 연료장치 안전성 평가기준(전복시험)은 세부시험방법이 부재</li> <li>- 상용차 충돌 유형을 고려하여 수소고압 내압용기 차체 특성을 반영한 다양한 충돌조건에서의 연료장치 안전성 평가 기술 부재</li> <li>- 현행 제91조(연료장치)에 수소버스에 대한 충돌시의 연료장치의 안전성평가를 전복시험과 함께 해석평가로 대체할 수 있다고 명시되어 있지만, 해석 및 검증 절차가 부재하여 제작사에 개발의 어려움</li> <li>- 4.5톤 이상 수소승합자동차(버스)의 안전도 평가기술은 전복시험 조건만 존재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 차량단위 대표 충돌 유형(전복 및 충돌)을 반영한 연료장치 안전성 평가 기술 및 세부시험방법 마련</li> <li>- 수소버스 전복시 연료장치에 대한 안전성을 확인할 수 있는 해석검증평가방법 개발</li> <li>- 전복시험을 포함한 실 사고유형을 반영한 충돌 유형에 따른 수소연료장치 안전성 평가기술의 프레임워크를 마련하여 국제 제도적 기반 마련 및 국제 기술 선도</li> </ul>				
<p>연차별 목표 및 연구내용</p>	<p>최종목표 : 수소버스 전복시험 세부시험방법 및 해석검증기준 개발</p>					
	1차년도	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">목표</td> <td>- 수소버스 전복시험 실차 세부시험방법 및 해석검증기준(안) 도출</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">내용</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 연료장치 구조 분석</li> <li>- 수소버스 전복에 따른 연료 누출 및 연료탱크 파손 등 안전사고 시나리오 검토</li> <li>- 수소버스 실차 전복시험 수행</li> <li>- 수소버스 전복에 따른 중요 안전성 검토 항목 분석을 통한 세부 시험방법 도출</li> <li>- 수소버스 전복 충돌 해석 모델 개발 및 상관성 검증</li> <li>- 수소버스 전복시험 실차 세부시험방법 및 해석검증기준(안) 도출</li> </ul> </td> </tr> </table>	목표	- 수소버스 전복시험 실차 세부시험방법 및 해석검증기준(안) 도출	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 연료장치 구조 분석</li> <li>- 수소버스 전복에 따른 연료 누출 및 연료탱크 파손 등 안전사고 시나리오 검토</li> <li>- 수소버스 실차 전복시험 수행</li> <li>- 수소버스 전복에 따른 중요 안전성 검토 항목 분석을 통한 세부 시험방법 도출</li> <li>- 수소버스 전복 충돌 해석 모델 개발 및 상관성 검증</li> <li>- 수소버스 전복시험 실차 세부시험방법 및 해석검증기준(안) 도출</li> </ul>
	목표	- 수소버스 전복시험 실차 세부시험방법 및 해석검증기준(안) 도출				
	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 연료장치 구조 분석</li> <li>- 수소버스 전복에 따른 연료 누출 및 연료탱크 파손 등 안전사고 시나리오 검토</li> <li>- 수소버스 실차 전복시험 수행</li> <li>- 수소버스 전복에 따른 중요 안전성 검토 항목 분석을 통한 세부 시험방법 도출</li> <li>- 수소버스 전복 충돌 해석 모델 개발 및 상관성 검증</li> <li>- 수소버스 전복시험 실차 세부시험방법 및 해석검증기준(안) 도출</li> </ul>				
	<p>최종목표 : 수소버스 충돌평가 시 연료장치 안전성 시험방법 및 평가기준 개발</p>					
2차년도	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">목표</td> <td>- 수소버스 실차 충돌 평가기술동향 파악 및 평가시험방법 연구</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">내용</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내외 수소버스 충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발 관련 동향조사</li> <li>- 수소버스 안전도 평가 시나리오 등을 반영하여 충돌 시 연료장치 안전성 평가 절차를 개발</li> <li>- 수소버스 안전도 평가 시나리오 등을 반영하여 충돌 해석 모델링 개발</li> </ul> </td> </tr> </table>	목표	- 수소버스 실차 충돌 평가기술동향 파악 및 평가시험방법 연구	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내외 수소버스 충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발 관련 동향조사</li> <li>- 수소버스 안전도 평가 시나리오 등을 반영하여 충돌 시 연료장치 안전성 평가 절차를 개발</li> <li>- 수소버스 안전도 평가 시나리오 등을 반영하여 충돌 해석 모델링 개발</li> </ul>	
목표	- 수소버스 실차 충돌 평가기술동향 파악 및 평가시험방법 연구					
내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내외 수소버스 충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발 관련 동향조사</li> <li>- 수소버스 안전도 평가 시나리오 등을 반영하여 충돌 시 연료장치 안전성 평가 절차를 개발</li> <li>- 수소버스 안전도 평가 시나리오 등을 반영하여 충돌 해석 모델링 개발</li> </ul>					
3차년도	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">목표</td> <td>- 수소버스 실차 충돌 및 충돌모의시험 평가 연구 수행</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">내용</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실차 충돌평가시험을 통한 연료장치 안전성 분석</li> <li>- 충돌모의시험을 통한 충돌평가시험을 통한 연료장치 안전성 분석 및 실차시험과의 상관성 분석</li> <li>- 충돌 해석 모델링 보완</li> </ul> </td> </tr> </table>	목표	- 수소버스 실차 충돌 및 충돌모의시험 평가 연구 수행	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 실차 충돌평가시험을 통한 연료장치 안전성 분석</li> <li>- 충돌모의시험을 통한 충돌평가시험을 통한 연료장치 안전성 분석 및 실차시험과의 상관성 분석</li> <li>- 충돌 해석 모델링 보완</li> </ul>	
목표	- 수소버스 실차 충돌 및 충돌모의시험 평가 연구 수행					
내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 실차 충돌평가시험을 통한 연료장치 안전성 분석</li> <li>- 충돌모의시험을 통한 충돌평가시험을 통한 연료장치 안전성 분석 및 실차시험과의 상관성 분석</li> <li>- 충돌 해석 모델링 보완</li> </ul>					
4차년도	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">목표</td> <td>- 수소버스 충돌 평가를 반영한 수소버스 연료장치 안전기준(안) 도출</td> </tr> </table>	목표	- 수소버스 충돌 평가를 반영한 수소버스 연료장치 안전기준(안) 도출			
목표	- 수소버스 충돌 평가를 반영한 수소버스 연료장치 안전기준(안) 도출					

		내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 실차 충돌평가시험을 통한 연료장치 안전성 분석</li> <li>- 충돌모의시험을 통한 충돌평가시험을 통한 연료장치 안전성 분석, 실차시험 및 해석평가와의 상관성 분석</li> <li>- 충돌 시 연료장치 안전성 확보 구조안전성 분석 및 최적 구조기준 검토</li> <li>- 수소버스 충돌 시 연료장치 안전성 평가를 반영한 수소버스 연료장치 시험방법 및 평가기준 개발</li> </ul>			
구성기술 및 중점기술 개발	연구항목		구성기술 및 중점기술			
	수소버스 전복시험 세부시험방법 및 해석검증기준 개발		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 전복시 연료장치안전성 세부시험절차 및 방법</li> <li>- 수소버스 실차 전복시험을 대체할 수 있는 해석평가의 검증평가방법</li> </ul>			
	수소버스 충돌평가 시험방법 및 평가기준 개발		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 충돌시 연료장치 안전성 평가기준 및 세부시험방법</li> <li>· 수소버스 충돌 실차 평가기술</li> <li>· 수소버스 충돌 모의충돌시험 평가기술</li> <li>· 수소버스 충돌 해석 평가기술</li> <li>· 수소버스 충돌 구조 안전성 일반기준</li> </ul>			
최종성과물 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 보급 확대 및 대중교통수단으로서 도입에 따른 충돌사고 등에서의 화재 및 수소연료 누출 등의 위험상황을 최소화할 수 있는 충돌평가 및 관련 안전기준 제·개정 등에 활용</li> <li>- 수소연료장치의 장착 설계 등을 연구할 수 있는 수소버스 개발 제작사의 시험 등에 활용</li> <li>- 해석평가를 활용한 수소버스 안전성 평가 기술을 도입함으로써 실차 충돌 시험 비용 및 기간 등의 제약을 최소화할 수 있는 제도를 마련하여 제작사가 연구개발에 활용하여 개발 비용 감소 및 개발 기간 단축</li> <li>※ 승객보호를 위한 전복평가시험에서의 실차평가와 해석평가 수준에 정합성 검증</li> <li>- 새로운 해석평가검증기준 및 전복 시험절차 등의 개발결과를 국제기준으로 제시함으로써 국내제작사에게 진화된 수소버스 기술개발 방향성을 제시하고 경쟁력 확보와 국가 위상 향상</li> </ul>					
연구개발 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 충돌에 따른 안전성 평가 기술 개발 및 기준 마련으로 사고시 탑승자 안전성 확대 및 2차 사고 예방 강화함으로써 수소버스의 사회적인 안전성 인식 제고</li> <li>- 수소버스 형식(고상 및 저상, 연료탱크의 위치 등)에 따른 차량단위 연료장치 안전성 평가기술을 자동차안전기준으로 마련하여 수소버스 개발에 방향성 제시 및 안전성이 검증된 수소버스 확산에 기여</li> <li>- 현행 국내 안전기준의 충돌시의 연료장치 평가방법을 명확화하고 안전도가 향상된 신규 충돌평가기준을 마련하여 국내제작사의 연구개발 가이드라인 제시. 또한, 국제기준에 반영을 추진하여 국내제작사의 기술을 선도할 수 있도록 지원</li> <li>- 수소버스에 대한 글로벌 기준을 선도하여 세계기술 표준화(GTR) 제·개정에 유리한 입장 선점과 미래차량에 대한 가이드라인을 제공</li> </ul>					
소요인력(명)	계		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
		36	9	9	9	9
소요 예산 (백만 원)	계		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
	정부	3,600	900	450	1,100	1,150
	민간	1,200	300	150	367	383
	합계	4,800	1,200	600	1,467	1,533

□ 세세부 과제(1-3) : 수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화

과제명	수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화	
연구개발 목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>- R&amp;D를 통해 개발되는 수소버스 안전성평가 및 검사 기술 제도화</li> <li>- 국내 기준의 국제화를 통한 국내 제작사의 산업경쟁력 확보 및 아국 수소경제 주도권 확보</li> </ul>	
해외 및 국내 기술수준 비교	최고 기술 보유국	현 국내 수준
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소연료전지승용차 관련 기준은 존재 하지만 별도의 수소버스 관련 안전성 기준 無</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 한국은 수소버스의 충돌사고(전복 등)에 따른 연료장치 위험성 등을 고려하여 세계 최초로 4.5톤 초과 수소승합차(수소버스)에 대한 안전기준을 마련하였으나, 다양한 충돌조건에 대한 추가적인 연구개발과 세부 시험절차 마련이 필요함</li> </ul>
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일본의 경우 NEDO에서 주관하여 연료전지자동차의 안전시험법 및 안전기술연구에 대한 연구를 수행 중이며, 이를 토대로 국제기술표준 및 국제안전 규정을 제정하기 위해 노력하고 있음</li> <li>- 국내 수소버스 관련 안전 법규를 국제기준(GTR 등)과 조화하기 위한 자료 조사와 함께 차량 기반 평가기술의 타당성 검토 연구가 필요하며, 관련 시설을 구축하고 시험 수행에 필요한 제반사항에 대한 정부 지원이 요구됨               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소버스의 경우 수소승용차와 달리 저장용량 및 가스사용량이 많고, 용기길이가 길며, PRD가 용기 중심부로부터 멀리 떨어져 있기 때문에 안전성 활용을 위해 문헌조사, 신뢰성 평가를 통해 안전성을 확보하고 국내기준 개정이 필요함</li> <li>· 국내 안전기준 등의 국제화를 통한 국가간 통상마찰 최소화 및 기준개정의 투명성 확보</li> <li>· 새롭게 개발되는 수소버스 안전성 평가기술의 국제화를 통한 자동차강국으로서의 위상 강화 및 기술선도</li> </ul> </li> <li>- 법제화를 위해 평가방법 기술의 수준, 난이도, 도입에 따른 효과 및 경제성 분석, 평가항목 도입의 시급성 등을 감안한 객관적, 논리적 근거 마련 필요</li> </ul>	
연구개발 시급성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 정부에서는 2022년까지 수소버스 2,000여대를 보급하겠다는 계획을 발표하는 등 수소버스에 대한 수요는 높아지고 있으나, 안전성 확보를 위한 기준개발 노력은 미비한 현실</li> <li>- 버스의 경우 사고상황에서 승용차 등에 비해 더 큰 인명피해 등을 일으킬 가능성이 높으며, 선제적인 안전기준 개발을 통해 안전성 확보 필요</li> </ul>	
정부지원 타당성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스는 기술 개발의 초기단계이며, 정부에서는 안전기준 마련을 통해 관련 산업계에 가이드라인을 제공해야할 의무가 있음</li> <li>- 또한, 국내에서 개발된 평가기준의 국제화를 통해 수소버스 제작 및 수출시 정부주도의 기술지원을 통한 국내 수소전기차 산업의 국가경쟁력을 확보하는 효과를 얻을 수 있음</li> </ul>	
개선 및 해결방안	As-Is	To-be
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 기술개발 및 보급활성화 정책이 활발하게 진행되고 있으나, 안전성 평가기준은 전무한 실정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 안전기준 마련을 통해 수소버스의 안전성을 확보하고, 보급활성화 등 국가 정책에 기여</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 또한, 수소버스 관련 기술개발은 국내에서 주도적으로 이루어지고 있어 국제사회에서는 평가기술 개발의 필요성을 느끼지 못하고 있음</li> <li>· 국내에서 개발된 수소버스의 수출 등 국가경쟁력 확보를 위해서는 안전성을 검증할 필요가 있으나, 관련 평가기준이 미비하여 안전성 검증이 어려움</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 안전기준의 국제화를 통하여 국내 자동차 제작사 및 부품회사의 연구개발 효율성 제고</li> <li>· 평가기준 개발 단계에서부터 국제화 및 제도반영 로드맵을 수립함으로써 국내외적으로 제도개발의 투명성 확보 및 제작사의 연구개발의 방향성 제시 가능</li> </ul>				
연차별 목표 및 연구내용	<b>최종목표 : 국내기준 제도화 및 세계기술규정 개정안 제안</b>					
	1차년도	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="475 568 579 604">목표</td> <td data-bbox="579 568 1415 604">- 국내·외 법제화 추진전략 로드맵 수립</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 604 579 822">내용</td> <td data-bbox="579 604 1415 822"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 관련 기준에 대한 국내·외 법제도 현황자료의 수집 및 분석</li> <li>- 국내·외 법제도화, 국제화 현황 및 계획을 검토·분석한 후 국내 관련 기준의 개선 필요항목 선정</li> <li>- 제도화 및 국제화 로드맵 수립 (전북 화재 평가기준 안 제안)</li> <li>- 법제화 경제성 분석</li> </ul> </td> </tr> </table>	목표	- 국내·외 법제화 추진전략 로드맵 수립	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관련 기준에 대한 국내·외 법제도 현황자료의 수집 및 분석</li> <li>- 국내·외 법제도화, 국제화 현황 및 계획을 검토·분석한 후 국내 관련 기준의 개선 필요항목 선정</li> <li>- 제도화 및 국제화 로드맵 수립 (전북 화재 평가기준 안 제안)</li> <li>- 법제화 경제성 분석</li> </ul>
	목표	- 국내·외 법제화 추진전략 로드맵 수립				
	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관련 기준에 대한 국내·외 법제도 현황자료의 수집 및 분석</li> <li>- 국내·외 법제도화, 국제화 현황 및 계획을 검토·분석한 후 국내 관련 기준의 개선 필요항목 선정</li> <li>- 제도화 및 국제화 로드맵 수립 (전북 화재 평가기준 안 제안)</li> <li>- 법제화 경제성 분석</li> </ul>				
	2차년도	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="475 822 579 857">목표</td> <td data-bbox="579 822 1415 857">- 로드맵에 따른 분야별 국내 안전기준 법제화 및 국제화 추진</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 857 579 967">내용</td> <td data-bbox="579 857 1415 967"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 투과/배출량 기준 개정(안) 제안</li> <li>- 법제화 경제성 분석</li> </ul> </td> </tr> </table>	목표	- 로드맵에 따른 분야별 국내 안전기준 법제화 및 국제화 추진	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 투과/배출량 기준 개정(안) 제안</li> <li>- 법제화 경제성 분석</li> </ul>
목표	- 로드맵에 따른 분야별 국내 안전기준 법제화 및 국제화 추진					
내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 투과/배출량 기준 개정(안) 제안</li> <li>- 법제화 경제성 분석</li> </ul>					
3차년도	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="475 967 579 1003">목표</td> <td data-bbox="579 967 1415 1003">- 로드맵에 따른 분야별 국내 안전기준 법제화 및 국제화 추진</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1003 579 1180">내용</td> <td data-bbox="579 1003 1415 1180"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 구동성능, 부품 내구성능 기준개정(안) 제안</li> <li>- 수소버스 부품 내구성능 세계기술규정 개정 제안 협의</li> <li>- 수소버스 내압용기 유공압 평가기준 개정안 제안</li> <li>- 국내외 환경 반영 로드맵 재수립</li> </ul> </td> </tr> </table>	목표	- 로드맵에 따른 분야별 국내 안전기준 법제화 및 국제화 추진	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 구동성능, 부품 내구성능 기준개정(안) 제안</li> <li>- 수소버스 부품 내구성능 세계기술규정 개정 제안 협의</li> <li>- 수소버스 내압용기 유공압 평가기준 개정안 제안</li> <li>- 국내외 환경 반영 로드맵 재수립</li> </ul>	
목표	- 로드맵에 따른 분야별 국내 안전기준 법제화 및 국제화 추진					
내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 구동성능, 부품 내구성능 기준개정(안) 제안</li> <li>- 수소버스 부품 내구성능 세계기술규정 개정 제안 협의</li> <li>- 수소버스 내압용기 유공압 평가기준 개정안 제안</li> <li>- 국내외 환경 반영 로드맵 재수립</li> </ul>					
4차년도	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="475 1180 579 1216">목표</td> <td data-bbox="579 1180 1415 1216">- 로드맵에 따른 분야별 국내 안전기준 법제화 및 국제화 추진</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1216 579 1373">내용</td> <td data-bbox="579 1216 1415 1373"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 충돌 평가기준개정(안) 제안</li> <li>- 수소버스 비파괴 검사기준 개정(안) 제안</li> <li>- 수소버스 세계기술규정 개정안 제안</li> </ul> </td> </tr> </table>	목표	- 로드맵에 따른 분야별 국내 안전기준 법제화 및 국제화 추진	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 충돌 평가기준개정(안) 제안</li> <li>- 수소버스 비파괴 검사기준 개정(안) 제안</li> <li>- 수소버스 세계기술규정 개정안 제안</li> </ul>	
목표	- 로드맵에 따른 분야별 국내 안전기준 법제화 및 국제화 추진					
내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 충돌 평가기준개정(안) 제안</li> <li>- 수소버스 비파괴 검사기준 개정(안) 제안</li> <li>- 수소버스 세계기술규정 개정안 제안</li> </ul>					
구성기술 및 중점기술 개발	연구항목	구성기술 및 중점기술				
	평가기술 제도화 및 국제화 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해외 수소버스 관련 기준 법제화 현황 및 계획 분석 보고서</li> <li>- 국내 안전기준 법제화 현황 및 평가기술 항목별 현황 분석 보고서</li> <li>- UN/ECE WP.29 국제기구의 관련 기준 국제화 현황 및 평가기술 항목별 현황 분석 보고서</li> <li>- 법제도 추진전략 타당성 분석을 위한 기술 항목 정의 및 경제성 분석 방법론 도출</li> <li>- 평가기술 개선 항목별 기술적 경제적 타당성 분석 보고서</li> <li>- 타당성 분석결과, 사회적 니즈, 기술의 유사성 등의 분석 결과 반영한 법제화 및 국제화 로드맵</li> </ul>				
최종성과물 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해당 연구를 기반으로, 평가기술의 수준 및 난이도, 도입에 따른 효과 및 경제성, 평가항목 도입의 시급성 등을 감안한 객관적, 논리적 데이터에 근거한 법제화 전략 수립을 통한 정부의 자동차 관련 정책의 투명성 제고</li> <li>- 수립된 전략에 따라 법제도화를 추진함으로써 자동차 제작사의 예측 가능한 기술개발 유도 가능</li> </ul>					

연구개발 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 선제적인 수소버스의 안전기준 마련을 통한 안전성 확보 및 국제사회에서의 기준주도권 확보를 통한 관련 산업의 국제경쟁력 강화</li> <li>- 국제화를 고려한 안전성 평가기술의 법제화를 통한 국내 자동차 제작사 및 부품회사의 연구개발 효율성 제고</li> <li>- 평가기준 개발 단계에서부터 국제화 및 제도반영 로드맵을 수립함으로써 국내외적으로 제도개발에 투명성 확보 및 제작사의 연구개발에 방향성 제시 가능</li> </ul>					
소요인력(명)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	16	4	4	4	4	
소요 예산 (백만 원)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	정부	500	50	150	100	200
	민간	167	17	50	33	67
	합계	667	67	200	133	267

#### 다. 최종성과물 및 성과물 유형 등

□ 최종성과물 및 성과지표

○ 세세부 과제(1-1) : 수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발

연구성과	성과목표					
	성과지표	측정방법	목표치	가중치 (0-1)	목표치 설정 근거	
수소버스 운행 정보 수집 및 안전성 평가 시나리오 개발	1	논문	학술지 게재·발표	5편	0.2	운행정보 및 상황(사고정보) 평가 관련 학술연구 결과에 따른 논문
	2	평가시나리오 (지침/기준)	관련 문서 작성	5건	0.5	수소버스 운행정보 수집 및 분석 가이드라인 1건, 수소버스 안전도 평가 시나리오 세부 지침 4건
	3	운행 데이터 획득	운행 데이터 취득 모니터링 운영	36건	0.3	1~4차년도 수소버스 운행데이터 수집 및 모니터링 대수 (1차년도: 6건, 2-4차년도: 10건)

○ 세세부 과제(1-2) : 수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발

연구성과	성과목표					
	성과지표	측정방법	목표치	가중치 (0-1)	목표치 설정 근거	
수소버스 전복시험 세부시험방법 및 해석검증기준	1	논문	학술지 게재·발표	2편	0.10	- 수소버스 전복시험 해석검증 도출에 따른 논문 - 수소버스 실차

개발						전북 세부시험방법 도출에 따른 논문
	2	평가기술(기준/ 프로토콜)	관련 문서 작성	1건	0.25	수소버스 연료장치 안전성 전복시험(실차 및 해석평가) 시행세칙
	3	전복 해석 SW개발	SW 등록	1건	0.25	전복시험 해석 검증(정합성 확보) 소프트웨어
수소버스 충돌평가 시험방법 및 평가기준 개발	1	논문	학술지 게재·발표	4편	0.25	신규 연료장치 안전성 충돌평가 시험방법 연구발표
	2	평가기술(기준/ 프로토콜)	관련 문서 작성	1건	0.15	수소버스 연료장치 안전성 신규 시험방법 프로토콜

○ 세세부 과제(1-3) : 수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화

연구성과	성과목표					
	성과지표	측정방법	목표치	가중치(0-1)	목표치 설정 근거	
국내외 관련 기준 현황 및 동향 조사	1	보고서	보고서	1편	0.05	국내외 관련기준 현황 및 동향조사 결과보고서
	2	논문	학술지 게재·발표	1편	0.05	현황 및 동향 분석결과 및 로드맵 수립 방향 논문
수소버스 안전성 평가기술 법제화 항목 선정	1	보고서	보고서	1편	0.05	법제화 항목 선정 근거(현황, 기술수준 등) 보고서
법제화 및 국제화 로드맵	1	보고서	보고서	1편	0.2	법제화 및 국제화 로드맵 보고서
	2	논문	학술지 게재·발표	1편	0.05	로드맵 수립에 따른 향후 추진방향 제시
수소버스 평가기술 국내 법제화	1	건수	기준개정여부	9건	0.3	법제화 항목 선정에 따른 국내 법제도화
	2	논문	학술지 게재·발표	1편	0.05	각 평가기술 효과, 파급성 분석 등
수소버스 평가기술 국제화	1	국제회의 참석	참석횟수	12건	0.2	국제기준 제개정 회의 개최 및 참석(연 3회)
	2	기준 제안	국제회의 제안건수	4건	0.05	- 충돌평가기준 - 구동 및 내구성능 - 대용량 내압용기 화재평가 - 내압용기 유공압 반복시험평가

□ 성과물 유형

세부 과제	구분		세부성과		계획
1-1	공공적성과		평가 시나리오		5
			국내외 기준(표준) 제안		-
	기술적성과	지식재산권	특허	출원	-

				등록	-	
				운영데이터 분석 보고서	36	
		시제품 제작		시제품 제작	-	
	학술적성과		국내외	일반학술지	4	
			학술지게재	SCI(E)	1	
				국내외 학술회의 발표	-	
	공공적성과			국내외 기준(표준) 제안	2	
1-2	기술적성과	지식재산권	특허	출원	-	
				등록	-	
				소프트웨어 (S/W)	1	
		시제품 제작		시제품 제작	-	
		학술적성과		국내외	일반학술지	6
	학술지게재			SCI(E)	-	
				국내외 학술회의 발표	-	
1-3	공공적성과			국내외 기준(표준) 제안	9	
	기술적성과	지식재산권	특허	출원	-	
				등록	-	
				소프트웨어 (S/W)	-	
		시제품 제작		시제품 제작	-	
		학술적성과		국내외	일반학술지	-
				학술지게재	SCI(E)	-
				국내외 학술회의 발표	3	

□ 연차별 성과목표

세부 과제	성과목표	성과지표		연차별 성과목표			
				1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
1-1	수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발	1	논문	1	2	1	1
		2	평가 시나리오		5	-	-
		3	보고서	1	1	1	1
		4	운영 데이터 획득	6	10	10	10
1-2	수소버스 전복시험 세부시험방법 및 해석검증기술 개발	1	논문	1	1	-	-
		2	소프트웨어	1	-	-	-
		3	시험방법 및 평가기술	1	-	-	-
	수소버스 충돌평가 시험방법 및 평가기술 개발	1	논문	-	-	2	2
		2	시험방법 및 평가기술	-	-	1	-
1-3	수소버스 안전성 평가기술 법제화 항목 선정	1	보고서	1	-	-	-
			법제화 및 국제화 로드맵	1	-	-	-
	수소버스 평가기술 국내 법제화	1	논문	1	-	-	-
		2	건수	2	3	3	1
	수소버스 평가기술 국제화	1	논문	1		1	-
		1	국제회의 참석	3	3	3	3
	2	건수	1	1	1	1	

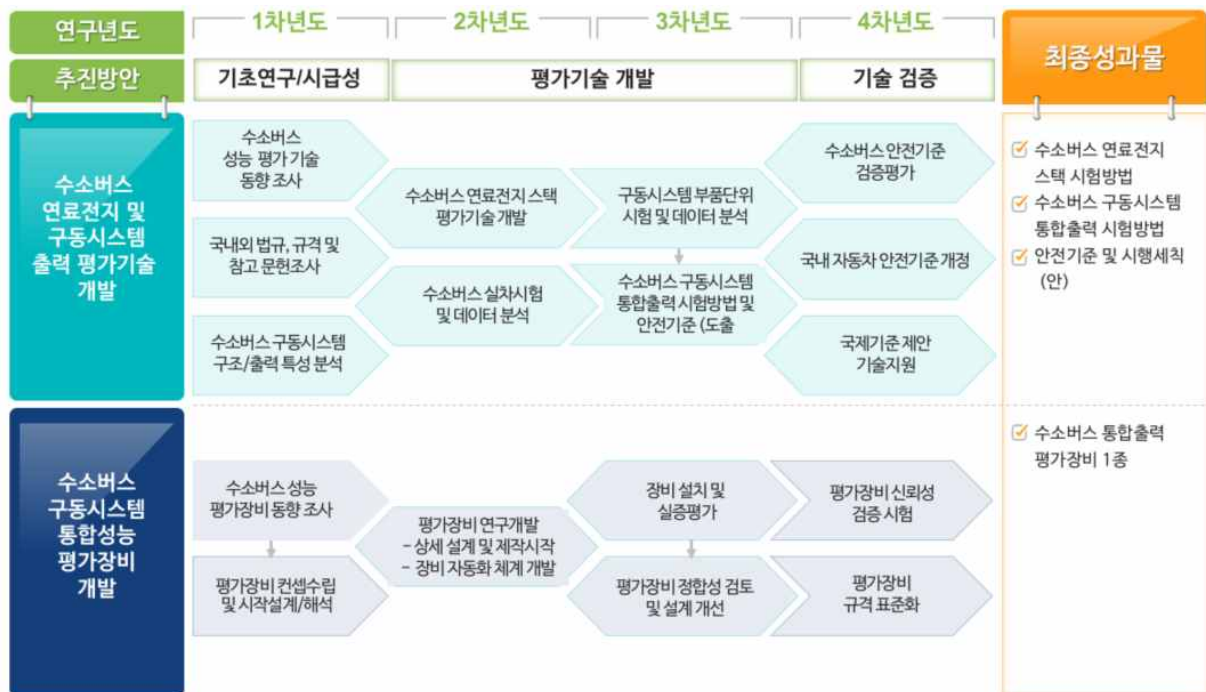
## 라. 기술수요처 및 실용화 방안

세부 과제	세세부 과제	목표성과물	기술수요처	실용화방안
수소버스 안전성 평가기술 및 평가장비 개발과 기준 국제화	1-1	수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발	국토교통부/KATRI/국내 자동차 및 부품회사/운수업체	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구 초기부터 운수업체, 제작사, 정부/지자체 관계자가 공동으로 참여하는 수소버스 모니터링 네트워크 체계를 구축하여 수소버스의 안전성 제고와 공공성 확보를 위한 수요자/운영자/정부간의 소통 간담회로 활용</li> <li>- 연구에서 확보된 운행정보 및 상황(사고/고장) 정보를 기반으로 연구수행과정 및 상용직전에서 데이터의 공유 및 수소버스 안전도 평가기술 개발의 기반 자료로 활용</li> <li>- 수소버스 운행 정보 및 상황(사고/고장/결함) 정보 활용을 통한 안전도 평가체계 가이드라인으로 제공</li> </ul>
	1-2	수소버스 전복시험 세부시험방법 및 해석검증기술 개발	국토교통부/KATRI/국내 자동차 및 부품 회사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 명확한 시험방법 등에 대하여 안전 기준 시행세칙에 마련함으로써 향후 개발되는 수소버스의 안전기준으로 적용하고, 제작사의 수소버스 연료 장치 안전성을 고려한 개발의 방향성을 제시해줌</li> </ul>
		수소버스 충돌평가 시험방법 및 평가기준 개발	국토교통부/KATRI/국내 자동차 및 부품 회사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 충돌평가기준 및 평가방법 등을 안전기준에 반영하여 제작사로 하여금 기준에 평가하지 않던 충돌에 따른 연료장치 안전성 향상을 유도</li> </ul>
	1-3	국내외 관련 기준 현황 및 동향 조사	연구기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가기술 법제화 및 국제화를 위한 로드맵 수립에 활용</li> </ul>
		수소버스 안전성 평가기술 법제화 항목 선정	국토교통부/연구기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 운행안전성 향상 등을 위한 평가기술 법제화 및 국제화 로드맵 수립에 활용</li> </ul>
		법제화 및 국제화 로드맵	국토교통부/연구기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 보급 확대 및 운행안전성 향상을 위하여 시급성 및 기술개발 정도를 고려하여 평가기술 법제화 및 국제화 추진에 활용</li> </ul>
		수소버스 평가기술 국내 법제화	국토교통부/제작사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 운행안전성 향상을 위한 제도 강화와 수소버스 및 관련 부품 제작 등에 연구개발에 활용</li> </ul>
		수소버스 평가기술 국제화	국토교통부/제작사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 아국의 상황을 반영하여 주도적으로 평가기술 국제화로 국내제작사의 수소버스 및 관련 부품 제작 등에 개발 방향성 제시 및 국제적 기술 우위 확보</li> </ul>

## 4. 2세부과제 개요 : 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발

### 가. 연구개발 목표

세부과제의 개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 구동시스템 특성을 반영하여 다중 동력원 및 병렬형 모터의 구동시스템 통합 출력 평가기술과 동력공급 안전성 검증기술 개발에 대한 연구</li> <li>- 수소버스 구동시스템의 성능 및 전달 효율 시험·평가가 가능한 통합성능 평가장비 개발에 대한 연구</li> </ul>
세부과제의 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 새로운 연료전지 스택 평가기술 개발에 따른 원동기 출력 시험방법 개선 연구</li> <li>- 다중 연료전지 스택, 대용량 배터리의 최대 출력 점에서의 동력공급 안전성과 병렬형 모터를 가진 수소버스의 시스템 출력을 측정할 수 있는 평가기술 개발 연구</li> <li>- 수소버스의 구동 시스템(모터, 연료전지모듈, 배터리, 감속기)의 통합 성능 및 전달 효율을 시험·평가할 수 있는 평가장비 HW 및 SW 개발 연구</li> </ul>
기술개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소버스 실차 모사 출력 측정기법 개발 및 안전기준 제/개정</li> </ul> </li> <li>- 수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 다중 동력원 및 병렬형 모터 구동시스템 성능 평가장비 개발</li> <li>· 정격출력 375KW, 정격토크 500Nm급 출력평가장비 개발</li> </ul> </li> </ul>



<그림 3-19> 2세부 연구개발 로드맵

## 나. 연구개발 주요내용

□ 세세부 과제(2-1) : 수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발

과제명	수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발		
연구개발 목적	- 다중 동력원 및 모터 시스템을 가진 수소버스는 시스템단위 출력 통합 시험·평가가 필요하며, 현재 국내 평가기술로는 수소연료전지로 구동되는 구동시스템의 출력 시험·평가가 불가하여 평가기술 개발이 필요함		
해외 및 국내 기술수준 비교	최고 기술 보유국	현 국내 수준	
	- 원동기 출력시험 기준 및 시험방법을 UN R85(승용자동차)으로 규정하고 있음. 수소버스 원동기 출력시험 기준 및 시험 방법 부재	- 원동기 출력시험 기준 및 시험방법을 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙 제111조로 규정하고 있음(UN R85와 조화되어 있음). 수소버스 원동기 출력시험 기준 및 시험방법 부재	
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스는 수소승용차대비 배터리의 동력 비중이 커졌으며, 대용량 배터리, 연료전지 모듈의 다중 동력원으로부터 전력을 공급받아 병렬형 모터시스템을 구동시키는 구조를 가지고 있으나, 현재의 원동기 출력 시험 기준은 각 부품단위 개별 시험으로 되어 있으며 감속기 효율을 고려하지 않는 등 차량상태의 출력을 모사하는데 한계가 있음</li> <li>- 새로운 다동력원 병렬형 모터 구동시스템 출현에 맞추어 실제 운행되는 자동차의 특성을 반영한 출력평가가 가능하도록 안전기준의 개발이 필요</li> <li>- 수소버스의 구동시스템에 부합하는 현실적이고 합리적인 안전기준 및 기술을 개발하여 구동시스템 성능 발전에 기여하고, 이를 통해 수소버스 운행 제반성능 개선 및 보급 촉진 가능</li> <li>- 기존 원동기 출력 법규의 연료전지 시험방법은 성능에 영향을 미치는 여러 인자들의 시험조건이 명확히 규정되어 있지 않으며, 수소버스에는 다종의 연료전지 스택이 사용됨에 따라 수소버스의 연료전지 스택 출력 평가기술이 개발이 필요함</li> </ul>		
연구개발 시급성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 보급 및 운행이 진행 중임에 따라 수소전기차의 구동시스템 출력 평가 기술의 국내 자체 개발이 미비한 실정으로 실제 운행조건을 반영한 기준제정 관련 연구개발이 시급함</li> <li>- 전국 시내버스 및 광역버스 분야 수소버스 보급 활성화('22년 2천대 → '40년대 4만대)를 위해 수소버스 연비·내구성 제고 및 안전 강화(법·제도적 기반완비 등) 관련 제반 여건 조성을 위한 신속한 연구개발 착수필요</li> </ul>		
정부지원 타당성	- 현행 자동차안전기준에 따른 출력평가에서는 수소버스의 다동력원 병렬형 모터 시스템의 출력을 확인할 수 없고, 수소버스 연료전지 출력 평가 방법이 미비함에 따라 기준개정이 필수적이며 안전성 제도정비는 정부의 역할임에 따라 정부지원이 타당함		
개선 및 해결방안	As-Is	To-be	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동차안전기준에 수소연료전지 스택, 모터, 배터리 개별 부품단위 출력 평가 방법 규정</li> <li>- 수소버스 구동시스템 및 연료전 출력 평가 방법 미비</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 연료전지 출력 국내 시행세칙 개정</li> <li>- 수소버스 구동시스템 출력 국내 안전기준 및 시행세칙 개정</li> </ul>	
연차별 목표 및	최종목표 : 수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발		
	1차년도	목표	- 국내외 수소버스 구동시스템 출력 평가기술 동향조사

연구내용	2차년도	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 동력시스템 구조분석 및 출력 특성 분석</li> <li>- 국내외 법규, 규격 및 참고 문헌조사</li> <li>- 국내외 수소버스 연료전지 모듈, 배터리, 모터, 고전압 시스템 등 구조 분석</li> <li>- 운행 특성에 따른 구동축전지 및 수소연료전지 연계 출력 특성 분석, 다중 모터 출력 특성 분석</li> </ul>				
		목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 실차 시험</li> <li>- 수소버스 연료전지 스택 출력 평가기술 개발</li> </ul>				
		내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 실차 시험 및 데이터 분석</li> <li>- 시험·평가 항목 검토</li> <li>- 다중 연료전지 시스템 출력 시험방법 개발</li> </ul>				
		목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 부품 단위 출력시험 및 시스템 단위 통합 시험방법 마련</li> <li>- 수소버스 구동시스템 출력 시험·평가 및 안전기준(안) 개발</li> </ul>				
	3차년도	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소연료전지 모듈, 배터리, 모터 개별 출력시험 및 데이터 분석</li> <li>- 수소버스 구동시스템 출력 통합 시험방법 마련</li> <li>- 수소버스 구동시스템 출력 시험 및 데이터 분석</li> <li>- 수소버스 구동시스템 출력 시험방법 및 안전기준(안) 개발</li> </ul>				
		목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국제기준 제안 기술지원</li> <li>- 시험방법 및 안전기준 검증 평가</li> </ul>				
	4차년도	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 출력 평가 관련 국제기준 표준(안) 제안 지원</li> <li>- 개발된 수소버스 동력시스템 출력 시험방법 및 안전기준 검증시험을 통한 신뢰성 확보</li> </ul>				
		목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국제기준 제안 기술지원</li> <li>- 시험방법 및 안전기준 검증 평가</li> </ul>				
	구성기술 및 중점기술 개발	연구내용		구성기술 및 중점기술 개발			
		수소버스 동력시스템 평가기술 개발	수소버스 동력시스템 분석을 통한 최적 평가 기법 연구				
			수소버스 연료전지, 배터리 연계 출력 모사 기법 연구				
			수소버스 동력시스템 출력 안전기준 및 시험방법 제·개정				
최종성과물 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개발한 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 기준을 통해 국내 자동차 안전기준 및 시행세칙 재·개정</li> <li>- 수소버스 성능 평가기술을 활용하여 수소·전기자동차 구동시스템 성능 및 전달 효율 관련 정부R&amp;D과제 수행</li> <li>- 수소버스 성능 평가기술의 제작사 기술이전을 통해 제작사의 구동시스템 성능 및 전달효율 개발시험 시 활용</li> </ul>						
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 안전기준 국제조화 논의 시 대한민국의 입장을 반영하여 향후 GTR 제정에 유리한 입장 선점</li> <li>- 수소버스 동력성능 평가 방법 개발의 기술이전을 통해 제작사의 수소연료전지 자동차 개발 및 제작에 있어 안전성 확보를 위한 현장 적용 기술로 활용</li> </ul>						
소요인력(명)	계		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	30		6	5	9	10	
소요 예산 (백만 원)	계		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	정부	2,031	106	855	397	673	
	민간	678	36	285	133	224	
	합계	2,709	142	1,140	530	897	

□ 세세부 과제(2-2) : 수소버스 구동시스템 통합 성능 평가장비 개발

과제명	수소버스 구동시스템 통합 성능 평가장비 개발	
연구개발 목적	- 다중 동력원 및 모터 시스템을 가진 수소버스는 시스템단위 출력 통합 시험·평가가 필요하며, 현재 국내 평가기술로는 수소연료전지로 구동되는 구동시스템의 출력 시험·평가가 불가하여 통합 성능 평가장비의 개발이 필요함	
해외 및 국내 기술수준 비교	최고 기술 보유국	현 국내 수준
	(독일) - 수소연료전지 차량 개발 기술은 국내 제작사에 비하여 뒤처지나 동력시스템 평가 장비 기술은 세계 최고 수준임 (일본) - 양산형 수소연료전지 버스를 세계 최초로 개발하였으며, 동력시스템 평가 장비 기술 또한 많이 앞서 있음	- 현재 국내 수소연료전지 기술은 세계최고 수준이나 수소버스 구동시스템 성능 평가 장비는 아주 미비한 수준임
연구개발 필요성	- 수소버스는 수소승용차대비 배터리의 동력 비중이 커졌으며, 대용량 배터리, 연료전지 모듈의 다중 동력원으로부터 전력을 공급받아 병렬형 모터시스템을 구동시키는 구조를 가지고 있으나, 현재의 성능 평가장비는 각 부품단위 개별 평가장비로 구성되어 있어 감속기 효율을 고려하지 않는 등 차량상태의 출력을 현실적으로 평가하는데 한계가 있음 - 새로운 다동력원 병렬형 모터 구동시스템 출현에 맞추어 실제 운행되는 자동차의 특성을 반영한 출력평가가 가능하도록 관련 안전기준이 개정될 예정임에 따라 이를 평가할 수 있는 구동시스템 통합 성능 평가장비의 개발이 필요	
연구개발 시급성	- 수소버스의 보급 및 운행이 진행 중임에 따라 수소전기차의 구동시스템 출력 평가 장비의 국내 자체 개발과 보급은 미비한 실정으로 실제 운행조건을 반영한 장비의 연구개발이 시급함 - 현재의 안전기준 대비 차량상태의 출력을 보다 실질적으로 모사할 수 있는 원동기 출력 안전관리 시스템을 구축으로 출력 관리의 현실화가 시급함 - 전국 시내버스 및 광역버스 분야 수소버스 보급 활성화('22년 2천대 → '40년대 4만대)를 위해 수소버스 동력성능 향상 관련 제반 여건조성을 위한 신속한 연구개발 착수필요	
정부지원 타당성	- 현행 자동차안전기준에 따른 기존 출력 평가장비는 수소버스의 다동력원 병렬형 모터시스템의 통합 성능을 확인할 수 없어 구동시스템 통합 성능 평가장비 개발이 필수적이며 안전기준 적합성 평가 관련 제반여건 조성은 정부의 역할임에 따라 정부지원이 타당함	
개선 및 해결방안	As-Is	To-be
	- 자동차안전기준 관련 수소연료전지 스택, 모터, 배터리 개별 부품단위 출력 평가 장비 운영 - 국내 수소버스 구동시스템 통합 성능 평가 장비 부재	- 수소버스 구동시스템 통합 성능 평가장비 개발 - 제·개정된 수소버스 구동시스템 성능 평가 기준 및 시험방법 검증 - 국내 수소버스 동력성능 향상 시험 시 평가 장비로 활용 보급

		최종목표 : 수소버스 구동시스템 통합출력 평가장비 개발				
	1차년도	목표	- 수소연료전지 자동차 출력 평가장비 관련 국내·외 동향조사 - 평가 장비 컨셉 수립 및 설계			
		내용	- 해외 동력 평가 장비 및 운영 SW 벤치마킹 - 장비 컨셉 및 레이아웃 검토 · 모터,배터리,연료전지 스택, 감속기, LSD 등의 구동시스템이 실차 운행조건에서의 출력성능을 반영할 수 있도록 시스템 컨셉 구성 - 장비 연구개발 (시작 설계,해석,제작 시작)			
	2차년도	목표	- 장비 연구개발 및 제작 - 장비 설치 및 시운전			
		내용	- 장비 상세 설계 (동력 평가 장비 및 SW 개발, 연료전지 스택 평가 장비 최적화) - 장비 제작 및 설치			
	3차년도	목표	- 시스템 출력 통합 시험 및 장비 미비점 보완			
		내용	- 평가 장비 시운전 (개별 부품 단위 시험 데이터 계측) - 평가 장비를 이용한 구동시스템 통합 출력 시험 - 평가 장비 정합성 검토 및 미비점 보완			
	4차년도	목표	- 통합 장비 검증 평가 (신뢰성 확보) · 출력 $\pm 1\%$ , 토크 $\pm 1\%$ 및 속도 허용오차 범위 $\pm 0.5\%$ 이내 - 장비 규격 표준화			
		내용	- 평가 장비의 국내 규격 표준화 수행			
구성기술 및 중점기술 개발	연구내용		구성기술 및 중점기술 개발			
	수소버스 동력시스템 평가장비 개발		- 수소버스 다중 동력시스템 대응 E-motor 동력평가 시스템 연구 - 장비 시스템 구성에 따른 다양한 시험(부품 단위 시험) 기법 연구 - 장비 운영 자동화 체계 개발 연구			
최종성과물 활용방안	- 수입 의존도가 높은 수소연료전지 자동차 성능 평가장비를 개발 및 국내 제작사에 보급함으로써 수소연료전지 자동차 구동시스템 성능 및 전달 효율 관련 기술력 확보에 기여 - 여러 시스템 구성이 가능한 통합 장비 시스템을 개발하여 수소·전기자동차 성능·전달효율 관련 다양한 정부 R&D 과제 및 개별 부품단위(모터,배터리,연료전지 스택, 감속기, LSD 등 구동시스템 부품) 시험 관련 민간 위탁 과제 수행					
연구개발 기대효과	- 수소버스 동력성능 관련 안전기준 제·개정 시 성능 평가장비를 활용한 적정성 검증이 가능하여 국제조화 논의 시 대한민국의 입장을 반영하여 향후 GTR 제정에 유리한 입장 선점 - 수소버스 구동시스템 출력 평가 개발 장비의 민간 기술이전을 통하여 우리나라 자동차 및 부품 제작사의 글로벌 기술 경쟁력 확보 - 수소버스 구동시스템 성능 향상에 직접적으로 활용할 수 있음에 따라 수소버스 기술 향상 및 보급 활성화에 촉매제 역할 가능					
소요인력(명)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	24	7	9	5	3	
소요 예산 (백만 원)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	정부	5,569	993	2,646	1,603	327
	민간	1,855	331	881	534	109
	합계	7,424	1,324	3,527	2,137	436

## 다. 최종성과물 및 성과물 유형 등

□ 최종성과물 및 성과지표

○ 세세부 과제(2-1) : 수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발

연구성과	성과목표					
	성과지표	측정방법	목표치	가중치 (0-1)	목표치 설정 근거	
수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발	1	논문	학술지 게재·발표	2건	0.2	- 연료전지 평가기술 개발에 따른 논문 - 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 개발에 따른 논문
	2	시험방법 및 평가기준	국토부 건의(관련문서)	1건	0.5	수소버스 구동시스템 성능 시험방법 및 평가기준(안) 도출
	3	SW개발	SW등록	1건	0.3	통합성능 평가장비 운영 소프트웨어 개발

○ 세세부 과제(2-2) : 수소버스 구동시스템 통합 성능 평가장비 개발

연구성과	성과목표					
	성과지표	측정방법	목표치	가중치 (0-1)	목표치 설정 근거	
수소버스 구동시스템 통합 성능 평가장비 개발	1	논문	학술지 게재·발표	1건	0.1	통합성능 평가장비 시스템 관련 논문
	2	지식재산권	특허출원	1건	0.3	통합성능 평가장비 시스템구성 특허출원
	3	시제품	시제품 제작	1건	0.6	통합성능 측정 가능 평가장비 개발

- 평가장비 기술개발 목표(1종)

장비명	주요성능		성능수준		기술개발 목표	평가방법	TRL단계	비고
			세계수준	국내수준				
수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비	1	정격출력	375kW	160kW	375kW이상	공인기관 성적서확보	TRL 8	
	2	정격토크	500Nm	500Nm	500Nm이상			
	3	최대속도	23,000rpm	20,000rpm	23,000rpm			

□ 성과물 유형

세부 과제	구분		세부성과		계획
2-1	공공적성과		국내외 기준(표준) 제안		1
	기술적성과	지식재산권	특허	출원	-
				등록	-
		소프트웨어 (S/W)		1	
		시제품 제작	시제품 제작		-
	학술적성과		국내외 학술지게재	일반학술지	2
				SCI(E)	-
국내외 학술회의 발표			-		
2-2	공공적성과		국내외 기준(표준) 제안		-
	기술적성과	지식재산권	특허	출원	1
				등록	-
		소프트웨어 (S/W)		-	
		시제품 제작	시제품 제작		1
	학술적성과		국내외 학술지게재	일반학술지	1
				SCI(E)	-
국내외 학술회의 발표			-		

□ 연차별 성과목표

세부 과제	성과목표	성과지표	연차별 성과목표				
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
2-1	수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발	1	논문	-	-	1	1
		2	지식재산권	-	-	-	-
		3	시제품	-	-	-	-
		4	평가기술 (지침/기준)	-	-	-	1
		5	SW개발	-	-	-	1
2-2	수소버스 구동시스템 통합 성능 평가장비 개발	1	논문	-	-	-	1
		2	지식재산권	-	-	-	1
		3	시제품	-	-	1	-
		4	평가기술 (지침/기준)	-	-	-	-
		5	SW개발	-	-	-	-

## 라. 기술수요처 및 실용화 방안

세부 과제	세세부 과제	목표성과물	기술수요처	실용화방안
수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발	2-1	수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발	국토교통부/KATRI/국내 자동차 및 부품 회사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 구동시스템 출력 평가기준 및 시험방법을 활용하여 자기인증적합 조사 및 안전기준 적합성 평가 수행</li> <li>- 수소버스 동력성능 개발연구 시 활용 (부품/시스템 단위 출력, 효율, 내구 시험)</li> </ul>
수소버스 구동시스템 통합 성능 평가장비 개발	2-2	수소버스 구동시스템 통합 성능 평가장비 개발	국토교통부/KATRI/국내 자동차 및 부품 회사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 구동시스템 출력 평가장비를 활용하여 자기인증적합조사 및 안전기준 적합성 평가 수행</li> <li>- 수소버스 동력성능 개발연구 시 활용 (부품/시스템 단위 출력, 효율, 내구 시험)</li> </ul>

## 5. 3세부과제 개요 : 수소버스 운행차 검사기술 및 장비개발

### 가. 연구개발 목표

세부과제의 개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 수소가스 누출 및 수소부품 손상 여부에 대한 운행차 정기검사에서 객관적인 검사방법 및 평가기준을 개발하고자 함</li> <li>· 수소버스에 적용되는 대용량 복합소재 내압용기(Type 4)와 연료시스템의 복잡성 등을 고려하여 운행차의 수소누기 및 수소배출량 등에 대한 검사현장에서 적용 가능한 검사기술을 개발하는 것임</li> <li>· 수소버스에 장착된 수소복합소재 내압용기에 대한 결함여부 등을 검사하기 위하여 비파괴검사 방법을 이용한 신뢰도 높은 검사방법 및 평가기준을 개발하고자 함</li> <li>- 본 세부과제는 수소버스의 안전성 검사를 위한 검사장비를 개발하는 연구임</li> <li>· 수소버스에 장착된 내압용기 등 연료시스템에 대한 정확한 수소누기량(투과량) 및 배출 수소가스(수소농도)를 검사현장에서 정확하고 실질적인 검사를 할 수 있는 검사장비(수소 투과량 및 수소농도 측정장비)를 개발하는 연구임</li> </ul>
세부과제의 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 본 연구는 국내 수소버스 운행차 검사기술 등에 대한 세부시험방법 개발을 위한 연구임</li> <li>· 수소누기 및 배출특성 매카니즘 분석 및 실증검증 등을 통하여 세부시험방법 개발을 위한 연구를 수행하고자 함</li> <li>· 수소복합소재 내압용기(Type 4)에 대한 비파괴 검사 절차 및 결함검사를 위한 검사기준 개발 연구를 수행하고자 함</li> <li>- 본 연구는 국내 운행차 검사기준에 대한 검사시험 등을 수행할 수 있는 검사장비의 최적화 사양 도출 및 장비개발 연구임</li> <li>· 수소버스에 장착된 연료시스템에 누출 수소가스에 대하여 검사시험환경에서 정량적</li> </ul>

	<p>측정이 가능한 장비 개발 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 운행 수소버스의 배출 수소가스 농도를 검사시험환경에서 외부 요소에 영향 받지 않고 측정이 가능한 장비 개발 연구</li> </ul>
기술개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 검사기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소버스 수소내압용기 투과량 정량화 분석검사방법 개발</li> <li>· 수소버스 수소가스 배기방출량 측정 기술 및 세부검사방법 개발</li> <li>· 수소버스 수소내압용기 비파괴 검사방법 개발</li> </ul> </li> <li>- 수소버스 검사장비 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소버스 수소내압용기 수소투과량 정량화 측정장비 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소가스 버블크기를 이용한 수소투과량((최소 6.0cc/h/l) 측정장비 개발</li> </ul> </li> <li>· 수소버스 배출가스 수소농도 측정장비 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소배기 저농도 측정장비(4~8%)</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>



<그림 3-20> 3세부 연구개발 로드맵

## 나. 연구개발 주요내용

□ 세세부 과제(3-1) : 수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비 개발

과제명	수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비개발
연구개발 목적	<p>운행 수소버스의 정기검사 세부검사방법을 마련하고, 신규 검사방법 등을 개발하여 수소누기 등으로 인한 화재 및 폭발 등의 위험사고 예방 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 내압용기 몸체에서 투과되는 수소가스량 정량적 측정</li> </ul>

해외 및 국내 기술수준 비교	최고 기술 보유국		현 국내 수준	
	- 일본, 독일 등 수소전기차 개발에 속도를 가하고 있는 국가에서도 검사 방법에 대한 개발은 걸음마 단계 이거나 없음		- 신뢰성 있는 측정에 필요한 평가 장비와 기술 없음	
연구개발 필요성	- 대규모로 보급될 수소버스의 운행 중 내압용기 몸체에서 투과되는 수소가스의 양을 측 정하는 기술과 장비를 개발하여 수소전기버스 연료장치 검사기술을 강화 하고 운행안 전성 확보 필요 - 수소전기차 관련 기술은 국가간 기술경쟁 산업으로 국외의 기술을 벤치마킹하기 매우 어려워 독자적인 기술 개발이 필요한 실정임			
연구개발 시급성	- 정부의 수소전기버스 보급확대 정책에 따라 운행 되는 수소전기버스의 연료장치 안전성을 확인 할 수 있는 장비와 기술 부재 - 국내에 수소버스 개발이 완료되어 시험운행 중에 있으며 개선 모델에 대한 양산설비를 구축하고 있는 중임, 정부의 미세먼지저감 정책의 하나로 보급이 급속 확대 될 것으로 전망 됨			
정부지원 타당성	- 자동차관리법 시행령 제9조의2에서 내압용기 검사에 필요한 비용을 지원 할 수 있도록 하고 있으며 수소버스의 수소가스 투과량 측정 신규 개발 장비로 많은 비용과 시간이 소요 되므로 정부의 지원 없이 기술개발이 어렵고 국민안전에 필수 요소임			
개선 및 해결방안	As-Is		To-be	
	- 수소전기버스 내압용기 표면투과 수소량을 측정 할 수 있는 장비와 기술이 없어 투과 가스의 정량적인 평가 곤란		- 수소버스 내압용기 투과가스를 정량적으로 측정 할 수 있는 장비와 분석 소프트 웨어를 개발하여 내압용기 정기검사에 적용하고 가스 누출에 의한 파열 및 화재 사고 예방	
연차별 목표 및 연구내용	최종목표 : 수소버스 수소 투과량 검사기술 개발			
	1차년도	목표	- 수소투과량 측정장비 및 소프트웨어 개발	
		내용	- 수소내압용기에서 투과되는 가스량 정량적 측정 장비 개발 - 수소가스 투과 형태와 속도에 따른 투과량 측정 소프트웨어 개발	
	2차년도	목표	- 수소 투과량 평가기술개발 및 측정데이터 축적	
		내용	- 수소투과 측정기 신뢰성 검증 및 현장 적용 유효성 평가	
3차년도	목표	- 수소버스 투과량 검사 현장적용 방법 및 표준 적립		
	내용	- 내압용기 정기검사에 적용 가능한 최적 기법 개발 보급		
구성기술 및 중점기술 개발	연구항목		구성기술 및 중점기술	
	수소버스 수소 투과량 검사기술 개발	- 수소투과가스 버블 크기와 형성 속도에 대한 연구		
		- 버블 크기와 형성 속도에 기준한 전체 내용적별 용적 계산 연구		
- 투과량 측정기 측정 장비의 결과 수치와 실제 투과량에 대한 보정 연구				
최종성과물 활용방안	- 수소버스에 장착된 복합재료 내압용기의 몸체에서 투과되는 수소가스의 양을 정량적으로 측정하여 법규에서 정하고 있는 허용수치를 만족하는지 여부를 평가할 수 있는 장비와 기술을 개발하고, - 수소버스 운행 중 정기적으로 시행하는 자동차 내압용기 정기검사에 적용하여 운행 간			

	발생되는 투과가스를 측정하고 허용량 이상의 투과로 인한 화재 등 사고 예방과 운행자동차 안전성 확보에 활용					
연구개발 기대효과	- 수소버스 운행안전 확보와 내압용기 파열사고 예방 및 수소가스로 인한 화재 사고 예방					
소요인력(명)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	30	11	12	7	-	
소요 예산 (백만 원)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	정부	800	400	200	200	-
	민간	267	133	67	67	-
	합계	1,067	533	267	267	-

□ 세세부 과제(3-2) : 수소버스 수소 배기가스 배출량 검사기술 및 장비 개발

과제명	수소버스 방출구 수소가스 배출량 검사기술 및 장비 개발	
연구개발 목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 방출구에서 배출되는 수소가스의 순간 최소·최대 농도와 평균 농도를 측정하는 검사장비와 기술을 개발하여 수소버스의 정기검사 세부검사방법과 장비를 마련하고 수소버스 내압용기 정기검사에 적용하여 운행중 수소누기 등으로 인한 화재 및 폭발 등의 위험사고 예방</li> <li>- 수소버스 스택에서 미반응 되어 외부로 방출되는 수소가스의 농도 측정</li> </ul>	
해외 및 국내 기술수준 비교	최고 기술 보유국	현 국내 수준
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일본, 독일 등 수소전기차 개발에 속도를 가하고 있는 국가에서도 검사 방법에 대한 개발은 걸음마 단계 이거나 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 배출구에서 방출되는 수소가스의 농도를 측정하여 이를 평균농도로 실시간 산출 하는 장비외 기술 없음</li> </ul>
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 스택에서 미반응 되어 배출관을 통해 방출되는 농도가 수소가스 연소범위 내에 있을 경우 운행 중 화재 또는 그로인한 내압용기 파열 사고로 직결 되어 내압용기 파열 시 대규모 인명피해 발생 위험성 있음</li> <li>- 수소전기차 관련 기술은 국가 간 기술경쟁 산업으로 국외의 기술을 벤치마킹하기 매우 어려워 독자적인 기술 개발과 최신기술 선점이 필요한 실정임</li> </ul>	
연구개발 시급성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정부의 수소전기버스 보급확대 정책에 따라 운행 되는 수소전기버스의 연료장치 안전성을 확인 할 수 있는 장비와 기술 부재</li> <li>- 국내에 수소버스 개발이 완료되어 시험운행 중에 있으며 개선 모델에 대한 양산설비를 구축하고 있는 중임, 정부의 미세먼지저감 정책의 하나로 보급이 급속 확대 될 것으로 전망 됨</li> </ul>	
정부지원 타당성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동차관리법 시행령 제9조의2에서 내압용기 검사에 필요한 비용을 지원 할 수 있도록 하고 있으며 수소버스의 수소가스 투과량 측정 신규 개발 장비로 많은 비용과 시간이 소요 되므로 정부의 지원 없이 기술개발이 어렵고 국민안전에 필수 요소임</li> </ul>	
개선 및 해결방안	As-Is	To-be
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스 방출관에서 배출되는 수소가스의 농도를 측정할 수 있는 측정 장비와 기술이 없어 가스농도의</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소전기버스 배출가스의 농도를 정량적으로 측정 할 수 있는 장비와 분석 소프트웨어를 개발하여 내압용기</li> </ul>

	정량적인 평가 곤란하고 연소범위 내의 화재가능 수소가스 방출에 대한 사전 조치 곤란	정기검사에 적용하고 가스 누출에 의한 파열 및 화재 사고 예방				
연차별 목표 및 연구내용	최종목표 : 수소전기버스 수소가스 방출량 검사기술 및 장비 개발					
	1차년도	목표 - 수소방출량 측정 및 분석 메카니즘 개발 연구				
		내용 - 수소 방출가스 최대, 최소, 평균 농도 분석 방법 연구				
	2차년도	목표 - 배출관 수소방출량 측정 장비 및 분석 소프트웨어 개발				
		내용 - 수소가스 방출량 측정 및 평가 장비 및 기술개발				
	3차년도	목표 - 수소버스 방출량 검사 현장적용 방법 및 표준 적립				
내용 - 내압용기 정기검사에 적용 가능한 최적 기법 개발 보급						
구성기술 및 중점기술 개발	수소버스 수소 방출량 검사기술 개발	- 수소버스 배출관 방출가스 실시간 농도 측정 장비 개발 - 방출 수소가스의 최대, 최소, 평균 농도 분석 기술 개발				
최종성과물 활용방안	- 수소 배출구에서 배출되는 수소가스의 농도 하한치와 상한치, 평균치에 대한 정량적 측정 장비와 기술을 개발하여 수소버스 운행 중 정기적으로 시행하는 자동차 내압용기 정기검사에 적용하고, - 법규 기준치를 초과하는 차량에 대한 선제적인 시정을 유도하여 운행 중 수소 방출가스에 의한 화재사고 등을 선제적으로 예방 하는데 활용					
연구개발 기대효과	- 수소버스 운행안전 확보와 내압용기 파열사고 예방 및 수소가스로 인한 화재 사고 예방 - 수소버스 방출량 측정장비와 검사기술 개발·보급을 통해 수소전기차 검사기술을 선점하고 국내 수소버스 제작사의 경쟁력 강화를 통해 국제 경쟁력 제고 지원					
소요인력(명)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	30	11	12	7	-	
소요 예산 (백만 원)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	정부	800	300	300	200	-
	민간	267	100	100	67	-
	합계	1,067	400	400	267	-

□ 세세부 과제(3-3) : 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발

과제명	수소버스 내압용기 복합재 비파괴 검사 및 판정 기술 개발	
연구개발 목적	- 수소버스에 장착되는 복합재료 내압용기의 내부결함을 측정할 수 있는 검사기술을 개발하고 결함형태에 따른 분석 데이터를 축적하여 측정에 대한 신뢰성과 판정방법 개발	
해외 및 국내 기술수준 비교	최고 기술 보유국	현 국내 수준
	- 일본, 독일 등 수소전기차 개발에 속도를 가하고 있는 국가에서도 검사 방법에 대한 개발은 결음마 단계 이거나 없음	- 수소버스에 장착되는 복합재료 내압용기의 내부에서 발생하는 결함을 확인하고 결함의 크기를 측정 할 수 있는 기술이 없어 내압용기 내부에서 발생하는 결함의 정량적 측정 불가

연구개발 필요성	- 수소버스용 복합재료 내압용기는 플라스틱라이너에 탄소섬유를 적층구조로 와인딩 되어있는 형태로 탄소섬유가 내압을 모두 지지하고 있지만, 탄소섬유의 끊어짐, 내부 들뜸 등의 재료 내부결함을 측정 할 수 있는 검사장비와 기술이 없어 운행되는 수소버스 내압용기의 안전성에 대한 정량적인 평가가 불가함					
연구개발 시급성	- 정부의 수소경제 활성화와 미세먼지 저감 정책에 따라 수소전기버스의 급속한 확대가 진행되고 있으나, 수소버스에 장착되는 복합재료 내압용기의 내부 결함을 측정 할 수 있는 기술이 없으며, 국외 선진국에서도 유사한 기술이 없어 벤치마킹 또한 불가한 실정으로 조속한 검사기술의 개발이 필요함					
정부지원 타당성	- 자동차관리법 시행령 제9조의2에서 내압용기 검사에 필요한 비용을 지원 할 수 있도록 하고 있으며 수소복합재 내압용기 내부결함 검사기술은 신규 개발 기술로 많은 비용과 시간이 소요 되므로 정부의 지원 없이 기술개발이 어렵고 국민안전에 필수 요소임					
개선 및 해결방안	As-Is		To-be			
	- 수소버스에 장착되는 복합재료 내압용기 내부결함 검사방법의 부재로 신규생산 및 운영 중 내압용기 내부결함 확인 불가		- 수소버스 복합재 내압용기 내부결함 검사방법 및 판정기준 수립을 통해 수소버스 내압용기 복합재료 내·외부 결함을 탐지 방법을 제시하고 정기검사에 적용하여 상시 안전관리 체계 마련			
연차별 목표 및 연구내용	최종목표 : 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발					
	2차년도	목표	- 비파괴검사 최적기법 및 장비에 대한 성능 연구			
		내용	- 수소버스 내압용기 복합재료 내부결함 검출에 가장 적합한 기법을 선정하고, 선정된 검사기법에 대한 장비 능력 분석			
	3차년도	목표	- 복합재료 유사결함 샘플제작 및 검출방법 연구			
내용		- 복합재료에 사용중 발생 가능한 누사결함을 삽입한 샘플용기를 제작하여 비파괴 장비 신호 특성 등 결함 측정 데이터 확보				
4차년도	목표	- 복합재료 비파괴 검사 방법 실증평가				
	내용	- 비파괴 검사방법과 결함 검출 능력을 실증평가하고 검사방법 및 판정 표준 적립				
구성기술 및 중점기술 개발	수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발	- 비파괴 원리 분석을 통한 최적 검사 기법 연구 - 유사결함에 대한 비파괴 장치 측정 데이터 축적 - 검사방법에 대한 신뢰성을 측정하고 표준 검사방법과 판정 방법 개발				
최종성과물 활용방안	- 운행 중 진동, 충격 등으로 인해 발생되는 복합재료 내압용기 내부의 결함을 측정 할 수 있는 기술과 방법을 개발하여 자동차 내압용기 정기검사 및 제작사 생산 검사에 적용함으로써 운행중 발생 할 수 있는 내압용기 파열사고 등 대형 교통 사고 예방에 기여					
연구개발 기대효과	- 수소버스 운해안전 확보와 내압용기 파열사고 예방 및 수소가스로 인한 화재 사고 예방					
소요인력(명)	계		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
	66		-	22	22	22
소요 예산 (백만 원)	계		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
	정부	1,850	-	600	600	650
	민간	617	-	200	200	217
	합계	2,467	-	800	800	867

## 다. 최종성과물 및 성과물 유형 등

□ 최종성과물 및 성과지표

○ 세세부 과제(3-1) : 수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비개발

연구성과	성과목표					
	성과지표	측정방법	목표치	가중치 (0-1)	목표치 설정근거	
수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비개발	1	논문	학술지 게재·발표	2편	0.1	- 내압용기 본체 수소 가스 투과량 측정장비 개발에 관한 논문 - 투과량 측정기술과 판정 기준에 대한 논문
	2	지식재산권	특허출원	2건	0.1	- 투과량 측정 장비 하드웨어 구성에 관한 특허 - 투과량 측정 장비의 구성과 소프트웨어에 관한 특허
	3	평가기술 (지침/기준)	관련 문서작성	1건	0.4	투과량 측정 방법과 절차에 대한 절차서 제정
	4	시제품	시제품 제작	1건	0.3	투과량 측정 장비의 내구성과 신뢰성 확인을 위한 시제품 제작
	5	SW개발	SW 등록	1건	0.1	하드웨어로 측정된 측정수치에 따른 합불 판정과 정량적 수치 환산

- 평가장비 기술개발 목표(1종)

장비명	주요성능	성능수준		기술개발 목표	평가방법	TRL단계	비고
		세계수준	국내수준				
수소가스 투과량 측정 장비	최소 측정량	-	측정기술 없음	세계최초 개발 (6.0cc/h/l)	실제 투과량 대비 측정치 비교 검증	TRL8	

○ 세세부 과제(3-2) : 수소버스 수소배기 배출량 검사기술 및 장비개발

연구성과	성과목표					
	성과지표	측정방법	목표치	가중치 (0-1)	목표치 설정근거	
수소버스 수소배기 배출량 검사기술 및 장비개발	1	논문	학술지 게재·발표	2편	0.1	- 수소가스 배기구 배출량 측정 장비 개발에 관한 논문 - 방출구 배출량 측정기술과 판정 기준에 대한 논문
	2	지식재산권	특허출원	2건	0.1	- 배기구 배출량 측정 장비 하드웨어 구성에 관한 특허 - 방출구 배출량 측정 장비의 구성과 소프트웨어에 관한 특허
	3	시제품	시제품 제작	1건	0.3	- 수소가스 배기구 배출량 측정 장비의 내구성과 신뢰성 확인을 위한 시제품 제작
	4	평가기술 (지침/기준)	관련 문서작성	1건	0.4	- 배출구 배출량 측정 방법과 절차에 대한 절차서 제정
	5	SW개발	SW 등록	1건	0.1	- 하드웨어로 측정된 측정수치에 따른 합불 판정과 정량적 수치 환산

- 평가장비 기술개발 목표(1종)

장비명	주요성능	성능수준		기술개발 목표	평가방법	TRL단계	비고
		세계수준	국내수준				
수소배기 배출량 측정 장비	최소량과 최대량 수치와 평균 수치	4~8%	측정기술 없음	4~8%	실제 배출농도 대비 측정치 비교 검증	TRL8	

○ 세세부 과제(3-3) : 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발

연구성과	성과목표					
	성과지표	측정방법	목표치	가중치 (0-1)	목표치 설정 근거	
수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발	1	논문	학술지 게재·발표	1편	0.1	복합재료 내압용기 결함 표출 특성에 대한 논문
	2	지식재산권	특허출원	1건	0.2	복합재료 결함 측정

						방법과 판정 방법 특허
	3	평가데이터	수소내압용기 비파괴평가결과	20건	0.3	수소 내압용기 형식별 결함 형태에 특성에 대한 데이터
	4	평가기술 (지침/기준)	관련 문서작성	1건	0.4	복합재료 비파괴 검사 및 판정 방법 절차 제정

□ 성과물 유형

세부 과제	구분		세부성과		계획
3-1	공공적성과		국내외 기준(표준) 제안		1
	기술적성과	지식재산권	특허	출원	2
				등록	-
			소프트웨어 (S/W)		1
		시제품 제작	시제품 제작		1
	학술적성과		국내외 학술지게재	일반학술지	2
				SCI(E)	-
국내외 학술회의 발표			-		
3-2	공공적성과		국내외 기준(표준) 제안		1
	기술적성과	지식재산권	특허	출원	2
				등록	-
			소프트웨어 (S/W)		1
		시제품 제작	시제품 제작		1
	학술적성과		국내외 학술지게재	일반학술지	2
				SCI(E)	-
국내외 학술회의 발표			-		
3-3	공공적성과		국내외 기준(표준) 제안		1
	기술적성과	지식재산권	특허	출원	1
				등록	-
			소프트웨어 (S/W)		-
		데이터	기초 데이터 구축		20
	학술적성과		국내외 학술지게재	일반학술지	1
				SCI(E)	-
국내외 학술회의 발표			-		

□ 연차별 성과목표

세부 과제	성과목표	성과지표		연차별 성과목표			
				1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
3-1	수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비 개발	1	논문	1	1	-	-
		2	지식재산권	1	1	-	-
		3	시제품	-	1	-	-
		4	평가기술 (지침/기준)	-	1	-	-
		5	SW개발	1	-	-	-
3-2	수소버스 수소배기 배출량 검사기술 및 장비개발	1	논문	1	1	-	-
		2	지식재산권	1	1	-	-
		3	시제품	-	1	-	-
		4	평가기술 (지침/기준)	-	1	-	-
		5	SW개발	-	1	-	-
3-3	수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발	1	논문	-	-	-	1
		2	지식재산권	-	-	-	1
		3	시험방법 및 평가기준	-	-	-	1
		4	평가데이터	-	-	10	10

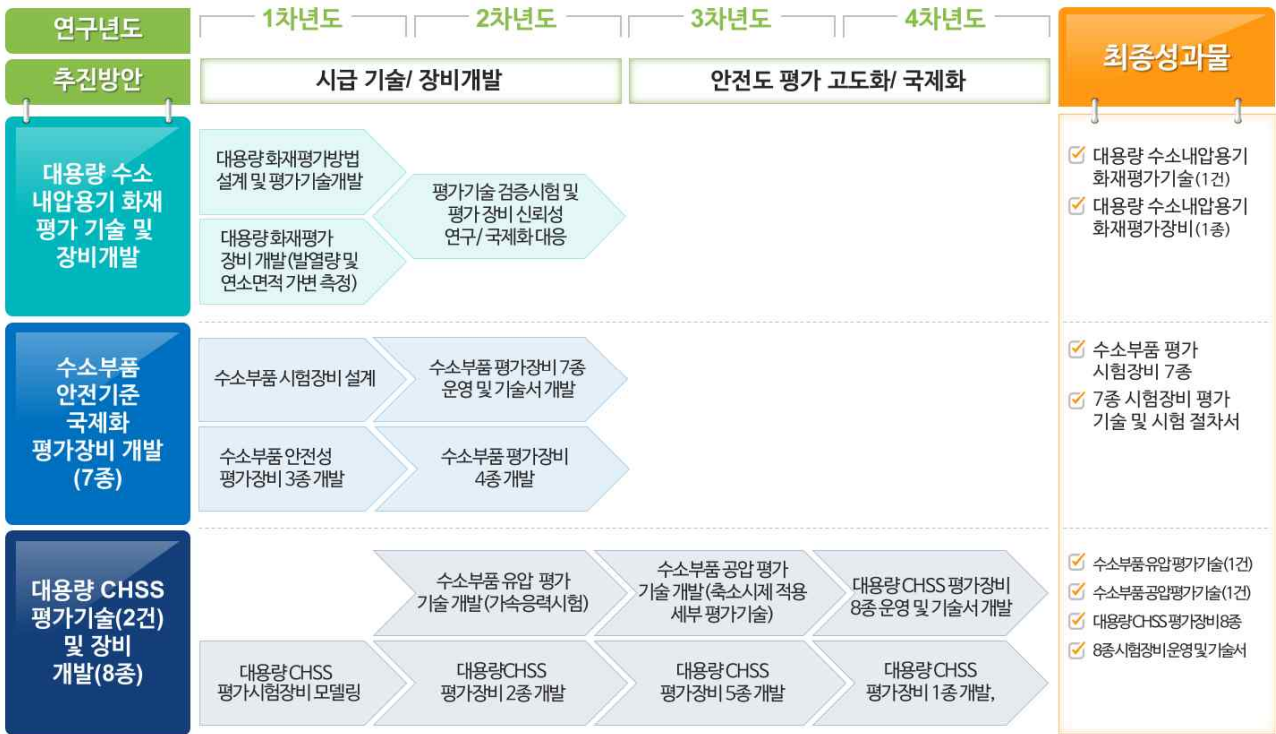
라. 기술수요처 및 실용화 방안

세부 과제	세세부 과제	목표성과물	기술수요처	실용화방안
수소버스 운행차 안전성 검사기술 및 장비개발	3-1	수소용기 몸체 가스 투과량 측정 장비 개발	국토교통부/KATRI/국내 자동차 및 부품 회사/대국민	- 수소용기 몸체 가스 투과량 측정 검사장비 개발을 통한 내압용기 정 기검사에 활용
	3-2	수소버스 수소배기 배출량 검사 장비개발	국토교통부/KATRI/국내 자동차 및 부품 회사/대국민	- 수소내압용기 자동차 정기검사에 적용하여 운행 간 발생하는 수소 방출가스 농도 측정 보급형 장비 개발을 통한 내압용기 정기검사에 활용
	3-3	복합재료 용기 내외부 결함 검출 및 측정 비파괴 검사기술 개발	국 토 교 통 부 /KATRI/국내 자동 차 및 부품 회사	- 복합재료 수소용기 내외부 결함 검 사기술과 비파괴 장비 개발에 활용

## 6. 4세부과제 개요 : 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발

### 가. 연구개발 목표

세부과제의 개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 내압용기의 대용량화 및 시스템의 복잡성 등을 반영하여 수소버스 대용량 고압내압용기 및 내압용기 시스템 모듈 등에 수소버스 부품에 대한 국제적 수준의 안전도 평가 및 위험요소 등을 반영한 내구성능 등에 대한 평가 세부시험방법 및 신규 평가방법 등을 개발하고자 함</li> <li>· 대용량 수소내압용기에 대한 명확하지 않은 화재 평가기준 및 시험절차 을 명확화 하기 위한 평가기술(1건) 및 평가장비(1건)를 개발하고 검증하는 연구</li> <li>· 수소내압용기 등 수소부품 안전기준이 국제화됨에 따라 원활한 평가를 위한 평가장비 개발(7종) 연구</li> <li>· 대용량 CHSS 평가장비에 대한 위험요소 등을 반영한 신규평가기술 및 장비개발(8종) 연구</li> </ul>
세부과제의 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대용량 수소내압용기 화재시험 평가장비(가변연소연적 설비) 개발 및 국제 화재시험 숙련도 시험 실시</li> <li>- 수소부품 건전성 평가를 위한 국제화 기준에 따른 안전성 평가장비(7종)과 현행 국제 조화기준(GTR) 장비개발 및 검증 연구</li> <li>- 수소부품 안전성 평가를 위한 국제화 기준에 따른 대용량 CHSS안전성 평가장비 (7종)과 대용량 대형 수압반복평가장비(1종) 개발 및 검증 연구</li> <li>- 유압(가속응력시험)/ 공압(가스반복 축소시제, 체적 소형화) 관련 평가기술(2건)개발 연구</li> <li>- 수소복합소재 내압용기(Type 4)에 대한 비파괴 검사 절차 및 결함검사를 위한 검사 기준 개발 연구를 수행하고자 함</li> </ul>
기술개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 대용량 수소내압용기 특성을 반영한 숙련도 시험을 통한 화재평가기술 개발</li> <li>· 대용량 수소내압용기에 대한 화재평가를 할 수 있는 장비(가변연소연적)개발                   <ul style="list-style-type: none"> <li>·· 70MPa/1.80m(가변식) 이상 내압용기 화재평가 장비 개발</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>- 수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소부품 안전기준 국제화에 따른 평가장비 개발(7종)                   <ul style="list-style-type: none"> <li>·· 국제기준(GTR 13)에 따른 안전기준 평가 수행 장비 개발</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>- 대용량 CHSS(compressed Hydrogen Storage System) 평가기술 및 장비개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 대용량 CHSS 유공압 연속시험 평가기술 개발</li> <li>· 수소버스 대용량 내압용기 대응 국제기준 평가장비 개발(7종)                   <ul style="list-style-type: none"> <li>·· 대용량 내압용기(1.8m/175L 이상)에 대한 국제기준(GTR 13) 평가장비 개발</li> </ul> </li> <li>· 대용량 CHSS 모듈평가 장비개발(1종)                   <ul style="list-style-type: none"> <li>·· 고압 대용량 CHSS(내압용기, PRD 및 차단밸브 시스템) 평가장비 개발</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>



<그림 3-21> 4세부 연구개발 로드맵

## 나. 연구개발 주요내용

□ 세세부 과제(4-1) : 수소내압용기 화재평가기술 개발

과제명	수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발	
연구개발 목적	수소상용차 안전분야 국제 기술 선도를 위한 - 수소버스의 대용량 복합재 내압용기에 대한 화재평가 기술 개발 및 숙련도 시험 실시 - 대용량내압용기 화재평가장비(가변연소면적 설비) 개발	
해외 및 국내 기술수준 비교	최고 기술 보유국	현 국내 수준
	- 수소전기차량용기 시험기관(캐나다 파워텍 및 CSA, 일본 JARI)	- 현재 GTR No.13에 제시된 화재시험화재시험 가능 (KGS): 화원길이 1.65 m로 고정, 대형화된 용기 및 제품의 화재시험 불가
연구개발 필요성	- GTR No.13은 수소전기차량용 용기가 화재에 노출 시 폭발 방지를 위한 온도감응형 압력방출장치(TPRD)의 성능평가를 위한 1.65 m 길이의 내압용기에 대한 시험방법을 기술하고 있으나 대용량 내압용기의 경우 길이는 2 m를 넘을 수 있는등 화재시험법 개발의 실효성과 타당성에 부합하는 시험절차 및 숙련도 시험을 통한 장비 안전성 파악 필요 - 수소버스 등 수소상용차에 적용될 예정인 대형 용기의 크기인 길이 1.65m 이상 가변연소면적 설비를 통한 대용량 CHSS에 적합한 화재시험 장비 개발 필요	
연구개발 시급성	- 수소 저장용기의 경우 초고압 상태에서 작동 특성상 효율 및 안전문제를 야기할 수 있으며, 특히 화재시험의 위험성이 가장 큰 문제점으로 대형화된 용기등의 실화재시험을 수행 여부가 가장 시급한 분야임	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소 내압용기 길이가 1.65 m를 초과하는 대용량 내압용기가 장착된 수소버스가 2021년부터 보급이 될 예정임. 따라서 평가기술 및 장비를 조속히 설치/연구하여 차후 보급되는 수소버스의 안전성 평가검증 적용하고 관련 기준 제개정의 표준을 만들어야 하기에 시급한 분야임</li> <li>- 국제기준안 제시하기 위해 전세계 모든 시험인증기관이 공통으로 적용가능하며 인정할 수 있는 기술이어야 하므로 Round-Robin 테스트를 포함하여야 함.</li> </ul>					
정부지원 타당성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정부에서 추진하는 수소경제의 정책성과 부합하며, 국제적인 기술 선점을 위해 평가시스템 개발, 시험방법 개발, 표준화 전략 수립 등의 추진과제가 필요함</li> <li>- 정부에서 추진하는 수소경제의 정책성과 부합하며, 대형 수소상용차 화재 평가장비 구축 및 안전성 평가기술 개발을 통해 국제적인 기술 선점을 위해 평가시스템 개발, 시험방법 개발, 표준화 전략 수립 등의 추진과제가 필요함</li> </ul>					
개선 및 해결방안	As-Is		To-be			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현 GTR No. 13 화재안전성 평가시험 기준에 적합한 자체 화재시험기술 개발</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일본자동차연구소 등과 숙련도시험 (Round-Robin Test)가 가능하도록 숙련도 향상기술 개발</li> <li>- 가변형 화원 구성기술 개발</li> </ul>			
연차별 목표 및 연구내용	최종목표 : 수소부품 화재평가 표준화 기술개발					
	1차년도	목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대용량 탱크 화재 시험법 및 장비개발</li> <li>- 다양한 용기 형태에 적용 가능한 화원제작 상세기준 및 열 인가 프로토콜 최적화 장비제작</li> </ul>			
		내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 숙련도시험(Round-Robin Test) 시행</li> <li>- 화재시험기준(안) 개발</li> </ul>			
	2차년도	목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 화재시험장비 검증</li> </ul>			
내용		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가장비 신뢰성 검증</li> <li>- 시험평가 데이터를 통한 국제화 기준안 대응</li> </ul>				
구성기술 및 중점기술 개발	연구항목		구성기술 및 중점기술			
	수소부품 화재평가 표준화 기술개발		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 일원화된 화원 대비 다양한 형태의 용기에 적용가능하며 재연성 및 신뢰성이 발열량 조건의 시험기준 개발로 수소버스용 대형 용기 화재시험에 적용 및 검증</li> </ul>			
최종성과물 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대용량 CHSS제품의 화재시험이 가능한 가변연소면적 설비를 통한 국내외 제품의 안전성 평가 실시</li> <li>- 실증데이터에 기반한 대용량 내압용기 수소상용차 화재 안전성 평가 기술 개발 및 기준 마련</li> <li>- 수소버스 내압용기 및 부품 평가기술을 개발하여 GTR13 국제기준 안전기준 국내 조화에 관련된 시행세칙을 제정에 활용</li> </ul>					
연구개발 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소버스 화재안전 분야 국제 기준 선도 : 승용차용 수소용기에 적용 가능한 기준만 제시된 현재 GTR No. 13기준을 업그레이드하여 다양한 형태에 적용 가능한 기준을 제시하여 대용량 수소내압용기에 대한 세부평가기술 확보</li> </ul> </li> </ul>					
소요인력(명)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	23	15	8	-	-	
소요 예산 (백만 원)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	정부	1,100	900	200	-	-
	민간	367	300	67	-	-
	합계	1,467	1,200	267	-	-

□ 세세부 과제(4-2) : 수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발

과제명	수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발		
연구개발 목적	- 세계기술기준(GTR13) 수행가능 시험평가장비 개발		
해외 및 국내 기술수준 비교	최고 기술 보유국	현 국내 수준	
	- 국외에서는 수소승용 및 상용차에 대한 세계기술기준(GTR13)에 따른 모든 시험이 가능함	- 수소승용차의 경우 국토부 ‘자동차용 내압 용기 안전에 관한규정’에 따라 시험 및 평가 수행가능토록 장비 구축됨 - 상기 규정과 유사한 시험 수행 가능하나 그 외 시험 불가(체터링시험, 벤치탑, 온도 사이클 시험등)	
연구개발 필요성	- 세계기술기준(GTR13) 평가를 위한 실가스(수소)시험 인프라가 부족하여 세계기술기준 수행 가능한 수소전기차량 부품(용기, 밸브류 등) 평가 장비 및 기술 개발 필요 - 국내기준 고압시험평가장비 대비 대용량 부품의 평가 장비 고도화 요구됨		
연구개발 시급성	- 국내 용기 및 부품생산업계에서 해외 수출 등을 위하여 EC79 및 ‘자동차용 내압 용기 안전에 관한 규정’ 평가가 아닌 GTR 의뢰시험 요청으로 기술개발 및 시험·인증이 가장 시급 - 수소버스 등 대형화된 제품의 조기 출시 등으로 인해 안전성 평가시스템의 시급성이 요구됨		
정부지원 타당성	- 정부의 수소버스 보급 활성화를 위한 실증, 보급 사업이 추진됨에 따라 이에 발맞춰 부품등의 대형화에 따른 전용 평가장비구축을 함으로써 국민들의 수소버스에 안전우려를 해소하고 안전기준에 대한 방향성을 제시할 의무가 있음 - 국내 수소버스 관련 안전 법규를 국제안전규제(GTR 등)과 조화하기 위한 자료 조사와 함께 차량 시험 기반의 타당성 검토 연구가 필요하며, 고가의 고압 안전 관련 시설을 구축하고 시험 수행에 필요한 제반 사항에 대한 정부 지원이 요구됨		
개선 및 해결방안	As-Is	To-be	
	- 수소승용차의 경우 국토부 내압용기 안전에 관한규정에 따라 시험 및 평가를 수행하도록 장비들이 구축되어있음	- 국제 조화를 위한 세계기술기준(GTR13)을 위해서는 추가장비 구축과 기존 구축설비 업그레이드 필요	
연차별 목표 및 연구내용	최종목표 : 수소부품 안전기준 국제화에 따른 평가장비 개발(7개종)		
	1차년도	목표	- 세계기술기준(GTR13)에 따른 평가기술 분석 및 시험장비 설계 및 구축(3개종)
		내용	- 세계기술기준(GTR13)에 따른 3개종 안전성 평가장비 설계 및 개발 · PRD 성능평가 시험설비, 냉각수소 성능평가 시험설비, 고압부품 수소반복시험설비
	2차년도	목표	- 세계기술기준(GTR13)에 따른 평가기술 분석 및 시험장비 설계 및 구축(4개종)
내용		- 세계기술기준(GTR13)에 따른 4개종 안전성 평가장비 설계 및 개발 · 고압부품 수소누출 시험설비, PRD 온도사이클 시험설비, Chattering 시험설비, 대형진동설비 지그	

구성기술 및 중점기술 개발	세부연구명	구성기술 및 중점기술 개발				
	수소부품 안전기준	- GTR13 국제기준에 따라 시험평가 가능한 실가스 및 고압인가 시스템 구축 및 기존 보유설비 연동을 위한 업그레이드				
	국제화에 따른 평가장비 개발(7종)	- 수소버스 시험관련 7종 장비 규격 - 수소버스 시험관련 7종 장비 성능평가장비 운영 매뉴얼				
최종성과물 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국제기준에 따른 수소버스의 시험평가를 통한 안전성 선 검증</li> <li>- 내구도 예측으로 차량의 안전성 검증 및 부품 점검을 통한 선제 대응</li> <li>- 고압으로 인해 위험도가 높은 용기 및 부품 성능 평가장비의 국내 개발 및 평가 항목의 규격화를 이루고 평가 항목의 개발 및 평가 기법을 개발하여 국내 보급</li> <li>- 신뢰성 있는 평가장비 개발로 제품 제작사의 비용 감소 및 개발 기간 단축</li> <li>- 국내 독자 설계 개발한 고압장비를 통해 시험평가 기준 국제기준에 반영을 추진함으로써 경쟁력 확보와 국가 위상 향상</li> </ul>					
연구개발 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 초고압 실가스 인프라 구축 및 수소시험관련 기술개발로 해외 실가스시험 의존도를 축소(외화 및 국내부품 기술유출 방지)</li> <li>- 수소관련 부품제조 국내기업 지원(국내시험 인증을 통한 수출지원 등)</li> </ul>					
소요인력(명)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	30	15	15	-	-	
소요 예산 (백만 원)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	정부	3,400	1,750	1,650	-	-
	민간	1,133	583	550	-	-
	합계	4,533	2,333	2,200	-	-

□ 세세부 과제(4-3) : 대용량 CHSS(compressed Hydrogen Storage System) 평가기술 및 장비개발

과제명	대용량 CHSS(compressed Hydrogen Storage System) 평가기술 및 장비개발	
연구개발 목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스의 경우 대용량 CHSS의 위치 등에 따라 기존의 내연기관 및 가스 차량과는 상이한 총방전 특성을 나타내며 이와 같은 특성을 반영한 안전성 평가 및 최적화된 평가장비를 개발하여 수소버스의 부품의 내구성능 안전도 강화로 수소누기 및 CHSS(내압용기시스템 파손) 등의 위험요소 최소화</li> </ul>	
해외 및 국내 기술수준 비교	최고 기술 보유국	현 국내 수준
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 캐나다 파워텍 및 CSA, 일본의 Hytec 등 기관</li> <li>- 유압시험: 내부 라이너의 적정온도(-40~85도)를 초과하지 않는 반복횟수 정의와 과다한 시험기준에 대한 기본자료를 풍부히 가지고 있음</li> <li>- 공압시험: 실가스 시험의 기간단축을 위한 축소시제 및 내부충진제 연구가 활발함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유압시험, 고압시험: 국내시험에 대한 대략적인 기준에 따라 시험 수행하고 있으며 자체적인 시험평가기준 정립을 위한 시험 및 데이터 정립은 전무함</li> <li>- 수소상용차도 국토부 '자동차용 내압용기 안전에 관한규정'에 따라 시험 및 평가 수행가능토록 장비 구축됨</li> <li>- 위의 규정에 따라서 대용량의 용기 및 부</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국외에서는 수소버스 등 상용차에 대한 세계기술기준(GTR13)에 따른 모든 시험이 가능함</li> </ul>	<p>품의 시험을 수행하기 어려운 상황 임(수소극한온도반복시험 등 불가)</p>	
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스용 유압시험 중 가속응력시험의 경우 일정압력에서 1000시간동안 유지하는 시험으로서 시간이 상당히 소요되기에 시험시간을 줄일수 있는 방법이 필요하며 공압 시험은 수소가스반복시험 및 모듈 시험처럼 용기 내부의 체적이 증가할수록 비용도 같이 증가되는 현실로 인해 축소시제 및 내부 체적을 줄여서 수소가스 반복시험 비용 및 시간을 줄일수 있는 방안이 필요함. 따라서 안전성 평가 기술 고도화 및 빠른 시험평가 기술 개발을 한다면 국내외 수소산업 부흥에 기여할 것으로 예상됨</li> <li>- 수소버스의 대용량 CHSS에 적합한 평가장비 개발 필요 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 현행 국내 기 구축된 수소내압용기 평가장비는 현행 주로 사용하는 약 52L 이하의 고압수소내압용기 평가장비로 구성되어 GTR No.13에 따른 향후 수소버스 등에 적용하기 위하여 개발예정인 약 175L 이상의 대용량 수소내압용기 평가가 가능한 평가 시험장비, 시험절차 및 조건 등 연구개발을 통한 시험의 신뢰성 확보 필요</li> </ul> </li> </ul>		
연구개발 시급성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소상용차의 경우 수소승용차를 시험할수 있는 국토부 내압용기 안전에 관한 규정에 따라 시험 및 평가를 수행하도록 장비들이 구축되어있음 따라서 현 국제 조화를 위한 세계기술기준(GTR13)으로 평가하기 위해서는 추가장비 개발(8종)과 대용량 용기 및 부품을 시험할 수 있는 장비의 고도화(Upgrade)가 같이 수행되어야 하는 상황임</li> </ul>		
정부지원 타당성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대용량 CHSS를 세계기술기준(GTR13)으로 평가하기 위해서는 추가장비 개발과 대용량 용기 및 부품을 시험할 수 있는 장비의 고도화(Upgrade)가 같이 수행되어야 하는 상황이며 연구가 필요한 고가의 고압 안전 관련 시설을 구축하고 수소버스에 안전우려를 해소하고 안전기준에 대한 방향성을 제시할 의무가 있음</li> <li>- 정부에서 추진하는 수소경제의 정책성과 부합하며, 대형 수소상용차 평가장비 구축 및 안전성 평가기술 개발을 통해 국제적인 기술 선점을 위해 평가시스템 개발, 시험방법 개발, 표준화 전략 수립 등의 추진과제가 필요함</li> </ul>		
개선 및 해결방안	As-Is	To-be	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유압시험: 가속응력시험 시 건전성 평가를 통한 시험기간이 오래걸림</li> <li>- 공압시험: 대용량 용기의 적용으로 인한 수소가스 반복 시 시험시간이 오래걸리고 및 비용도 상승함</li> <li>- 대용량 CHSS 평가장비 : 국내에 GTR 13으로 평가할 수 있는 장비 부재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유압시험, 공압시험: 온도, 압력 변경 그리고 축소용기 및 내부 체적을 줄일수 있는 방법 적용으로 인한 시험시간을 줄이면서 건전한 평가가 이루어질수 있는 평가방법 도출 예정</li> <li>- 대용량 CHSS 평가장비 : 대용량 CHSS에 대하여 평가할 수 있는 최적 평가장비 개발</li> </ul>	
연차별 목표 및 연구내용	최종목표 : 대용량 CHSS(compressed Hydrogen Storage System) 평가기술 및 장비개발		
	1차년도	목표	- 대용량 CHSS 평가시험장비 모델링 및 설계
		내용	- GTR 13 평가를 위한 대용량 CHSS에 적합한 평가장비 설계
	2차년도	목표	- 대용량 CHSS에 적합한 유압평가 세부평가 기술 및 시험장비 개발(4건)
내용		- 대용량 CHSS에 적합한 유압평가 세부평가 기술 개발 - GTR 13 평가를 위한 대용량 수소 CHSS에 적합한 평가장비 개발(4건)	

	3차년도	목표	· 대형수압 파열시험설비, 대용량 저온평가설비, 대용량 고온평가설비, 대형용기 낙하시험설비			
		내용	- 대용량 CHSS에 적합한 공압평가 세부평가 기술 및 시험장비 개발(3건) - 대용량 CHSS에 적합한 공압축소시제 및 축소체적 용기 세부평가 기술 개발 · 수소가스 반복가압설비, 내압방폭형 수소극한온도 반복시험설비, 대형가스 투과성 시험설비			
	4차년도	목표	- 대용량 대형 수압반복 장비개발			
		내용	- 대용량 대형 수압반복 장비 개발 · 대용량 대형 수압반복 장비			
	구성기술 및 중점기술 개발	세부연구명	구성기술 및 중점기술 개발			
		수소부품 유압연속시험 세부평가 시험기준 개발	- 가송응력시험 시 타시험대비 시험시간이 많이 걸리는 부분을 대체할 수 있는 시험평가 방법 마련 - 수압반복시험 시 반복 속도 및 내외부 온도 측정 시험평가방법 마련			
수소부품 공압연속시험 세부평가시험 기준 개발		- 수소가압 시험 중 반복 속도 및 내외부 온도 측정 시험법 개발 - 축소시제 및 내부 충전재 적용 내구 영향도 평가				
대용량 CHSS 국제화에 따른 평가장비 개발(8개종)		- GTR13 국제기준에 따라 평가검사할 수 있는 대용량 CHSS에 대한 평가장비 개발 및 업그레이드				
		- GTR13 국제기준에 따라 평가검사할 수 있는 대용량 CHSS에 대한 평가장비 개발 및 업그레이드 - 수소버스 시험 관련 8종 장비 성능평가장비 운영 매뉴얼				
최종성과물 활용방안	- 대용량 CHSS 평가를 위한 세부평가기술 및 평가장비를 개발하여 GTR13 국제기준 안전기준 국내 조화에 관련된 시행세칙을 제정에 활용 - 수소버스의 대용량 CHSS에 적용하는 고압 수소부품 제품 개발 중소 제작사의 시험 등에 활용 - 수소내압용기 유공압 연속시험평가방법에 대한 시험시간 단축하고 반복재현성을 향상할 수 있는 신뢰성 있는 평가 기법 개발로 제작사의 비용 감소 및 개발 기간 단축					
연구개발 기대효과	- 기대효과 · 수소버스 유공압 및 모듈 분야 국제 기준 선도 : 현재 GTR No. 13은 최적인 175L 이상인 대용량 CHSS유공압 시험에 최적 평가기술 제시 - 적용분야 · 유공압 평가기술은 실제품 시험 시 건전성 평가의 기준을 제시하여 국내 제품개발의 안전성 향상시킬수 있는 기술임					
소요인력(명)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	60	15	15	15	15	
소요 예산 (백만 원)	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
	정부	7,000	200	1,400	4,400	1,000
	민간	2,333	67	467	1,467	333
	합계	9,333	267	1,867	5,867	1,333

## 다. 최종성과물 및 성과물 유형 등

□ 최종성과물 및 성과지표

○ 세세부 과제(4-1) : 수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발

연구성과	성과목표					
	성과지표	측정방법	목표치	가중치 (0-1)	목표치 설정 근거	
수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발	1	논문	학술지 게재·발표	1편	0.2	- 수소 대용량 내압 용기에 대한 화재평가 기술 개발에 관한 논문
	2	평가기술(기준/ 프로토콜)	관련 문서작성	1건	0.4	- 수소 대용량 내압 용기에 대한 화재측정 방식 및 연소방식 등에 대한 평가기술 개발
	3	시제품	시제품 제작	1건	0.4	- 화염 인가 면적 가 변형 연소시험기 개발

- 평가장비 기술개발 목표(1종)

장비명	주요성능	성능수준		기술개발 목표	평가방법	TRL단계	비고
		세계수준	국내수준				
화재시험 평가장비	1 용기화염 인가면적	70MPa/1.65m (가변식)	70MPa/1.65m (가변식)	70MPa/1.8m (가변식)	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL7	

○ 세세부 과제(4-2) : 수소버스 안전기준 국제화에 따른 평가장비 개발

연구성과	성과목표					
	성과지표	측정방법	목표치	가중치 (0-1)	목표치 설정 근거	
수소부품 안전기준 국제화에 따른 평가장비 개발(7종)	1	논문	학술지 게재·발표 (국내·외)	1편	0.1	수소부품 안전기준 국제화 평가를 위한 시험장비 최적 성능 규격에 관한 논문
	2	장비운영 매뉴얼	관련 문서작성	7건	0.2	시험장비 표준 운영 매뉴얼
	3	시제품	시제품 제작	7건	0.5	극한온도반복장비 등 7종 관련
	4	지식재산권	특허출원	1건	0.2	최적성능장비 개발에 관한 특허

- 평가장비 기술개발 목표(7종)

장비명	주요성능		성능수준		기술개발 목표	평가방법	TRL단계	비고
			세계수준	국내수준				
PRD 성능시험설비	1	압축 시스템	130MPa	120MPa	130MPa 이상	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
	2	저장탱크	99MPa	99MPa	130MPa 이상	공인기관 성적서	TRL8	
	3	시험전기로 온도	1000℃	800℃	1000℃ 이상	공인기관 성적서	TRL8	
냉각수소 성능평가 시험설비	1	수소냉각 온도	-45℃	-40℃	-45℃ 이하	공인기관 성적서	TRL8	
	2	허용압력	87.5MPa	70.0MPa	87.5MPa 이상	공인기관 성적서	TRL8	
고압부품 수소반복시험 설비	1	내압챔버 사이즈	내경600mmX 길이1000mm	내경500mm X 길이800mm	내경800mmX 길이1000mm	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
	2	챔버환경 온도	-50 ~ 130℃	-40 ~ 120℃	-50 ~ 130℃	공인기관 성적서	TRL8	
	3	시험수소 온도	-45℃	-40℃	-45℃	공인기관 성적서	TRL8	
고압부품 수소누출 시험설비	1	수소누출량	~ 30cc/hr	~ 20cc/hr	~ 30cc/hr	장비인수 성적서	TRL8	
	2	챔버온도	-50 ~ 130℃	-40 ~ 120℃	-50 ~ 130℃	공인기관 성적서	TRL8	
	3	가압범위	~ 120MPa	~ 110MPa	~ 140MPa	공인기관 성적서	TRL8	
PRD온도사이클 시험설비	1	열충격시험기	방폭형열충격 시험기	비방폭열충격 시험기	방폭형열충격 시험기	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
	2	시험기 온도 범위	-60 ~ 130℃	-60 ~ 130℃	-60 ~ 130℃	공인기관 성적서	TRL8	
Chattering 시험설비	1	내압챔버 허용설계 압력	1.0MPa	없음	1.0MPa 이상	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
	2	소형수소용 정밀유량계	~3cc/hr (정밀도2%이하)	~3cc/hr (정밀도5%이하)	~3cc/hr (정밀도2%이하)	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
대형진동설비 지그(챔버)	1	내압/방폭 챔버 사이즈	-	-	2500L X 700W X 1000L	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
	2	누출검지기 측정범위	~40,000ppm	~10,000ppm	~40,000ppm	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	

○ 세세부 과제(4-3) : 대용량 CHSS(compressed Hydrogen Storage System) 평가기술 및 장비개발

연구성과	성과목표					
	성과지표	측정방법	목표치	가중치 (0-1)	목표치 설정 근거	
대용량 CHSS(compressed Hydrogen Storage System) 평가기술 및 장비개발	1	논문	학술지 게재·발표 (국내·외)	3편	0.1	대용량 내압용기 최적 유압 반복시험/공압 축소시제 시험 평가 기술과 대용량 CHSS 최적 성능 평가장비 개발에 관한 논문
	2	평가기술 (지침/기준)	관련 문서작성	2건	0.3	세부 평가 기술 개발
	3	시제품	시제품 제작	8건	0.4	대용량 CHSS 평가장비(7종) 및 수압반복평가장비(1종)
	4	장비운영 매뉴얼	관련 문서작성	8건	0.1	장비 운영 표준 매뉴얼
	5	지식재산권	특허출원	3건	0.1	대용량 내압용기 및 CHSS 평가장비 최적 시스템 개발에 관한 특허

- 평가장비 기술개발 목표(8종)

장비명	주요성능	성능수준		기술개발 목표	평가방법	TRL단계	비고	
		세계수준	국내수준					
수소가스반복 시험설비	1	압축시스템	99MPa	70MPa	99MPa 이상	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
	2	저장탱크	99MPa	99MPa	99MPa 이상	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
대형수압파열 시험설비	1	압축시스템	400 Mpa	250 Mpa	400 Mpa	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
대형용기 낙하시험설비	1	낙하시스템	높이:5m, 전용 용기지그	높이:2m	높이:5m, 전용 용기지그	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
내압방폭형 수소극한온도 반복시험설비	1	내압챔버 사이즈	내경 1000mm X 길이 2000mm	내경 800mm X 길이 1000mm	내경 1000mm X 길이 2000mm	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
	2	챔버환경 온도	-50 ~ 130℃	-40 ~ 120℃	-50 ~ 130℃	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
대용량 저온평가설비	1	내압챔버 사이즈	내경 1000mm X 길이 2000mm	내경 800mm X 길이 1000mm	내경 1000mm X 길이 2000mm	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	

	2	챔버 환경 온도	-50℃	-40℃	-50℃	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
대용량 고온평가설비	1	내압챔버 사이즈	내경 1000mm X 길이 2000mm	내경 800mm X 길이 1000mm	내경 1000mm X 길이 2000mm	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
	2	챔버 환경 온도	130℃	130℃	130℃	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
대형가스투과성 시험설비	1	수소누출량	~ 30cc/hr	~ 20cc/hr	~ 30cc/hr	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
	2	챔버 온도	-50 ~ 130℃	-40 ~ 120℃	-50 ~ 130℃	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
대형수압반복 시험설비	1	압축시스템	130MPa	120MPa	130MPa 이상	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	
	2	내압챔버 사이즈	내경 1000mm X 길이 2000mm	내경 800mm X 길이 1000mm	내경 1000mm X 길이 2000mm	자체검증평가 및 세부부품 성능성적서	TRL8	

□ 성과물 유형

세부 과제	구분		세부성과		계획
4-1	공공적성과		국내외 기준(표준) 제안		1
	기술적성과	지식재산권	특허	출원	-
				등록	-
				소프트웨어 (S/W)	-
			시제품 제작	시제품 제작	1
	학술적성과		국내외 학술지 게재	일반학술지	1
				SCI(E)	-
국내외 학술회의 발표			-		
4-2	공공적성과		장비운영 매뉴얼		7
	기술적성과	지식재산권	특허	출원	1
				등록	-
				소프트웨어 (S/W)	-
			시제품 제작	시제품 제작	7
	학술적성과		국내외 학술지 게재	일반학술지	1
SCI(E)				-	
국내외 학술회의 발표		-			

4-3	공공적성과		국내외 기준(표준) 제안		2
			장비운영 매뉴얼		8
	기술적성과	지식재산권	특허	출원	3
				등록	-
		소프트웨어 (S/W)		-	
		시제품 제작	시제품 제작		8
	학술적성과		국내외 학술지 게재	일반학술지	3
				SCI(E)	-
국내외 학술회의 발표			-		

□ 연차별 성과목표

세부 과제	성과목표	성과지표		연차별 성과목표			
				1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
4-1	수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발	1	논문	-	1	-	-
		2	시제품	1	-	-	-
		3	평가기술 (지침/기준)	1	-	-	-
4-2	수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발	1	논문	-	1	-	-
		2	지식재산권	-	1	-	-
		3	시제품	3	4	-	-
		4	장비운영 매뉴얼	3	4	-	-
4-3	대용량 CHSS(compressed Hydrogen Storage System) 평가기술 및 장비개발	1	논문	-	1	1	1
		2	지식재산권	-	-	1	2
		3	시제품	-	3	4	1
		4	평가기술 (지침/기준)	-	1	1	-
		5	장비운영 매뉴얼	-	3	4	1

라. 기술수요처 및 실용화 방안

세부 과제	세세부 과제	목표성과물	기술수요처	실용화방안
수소부품 안전성	4-1	수소부품 화재평가 표준화 기술개발	국 토 교 통 부 /KATRI/국내 자	- 수소버스 내압용기의 화재시험평가 기준 마련 및 장비 개발을 통한 국

평가기술 및 부품 평가장비 개발			동차 및 부품 회사	<p>내외 수소부품의 화재평가 대표 수행평가</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 화재발생 모델링을 이용한 수소버스 실차 화재 안전성 향상 유도</li> </ul>
	4-2	수소부품 안전기준 국제화에 따른 평가장비 개발(7개종)	국도교통부/ 자동차 OEM/ 자동차 부품업체	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국제 조화기준인 GTR13에 따른 승용, 상용차에 대한 평가장비 구축을 통한 고압시험기술 선진화 추진</li> <li>- 고압제품의 국내외 인증시험, 신규 개발제품 성능평가를 시행함으로써, 국내외에서 판매되는 제품의 안전성 향상 및 성능확인에 활용</li> </ul>
	4-3	수소부품 유압연속시험 세부평가시험기술 개발	국도교통부/KGS /국내 자동차 및 부품 회사	- 대형 내압용기 적용을 위한 수압연속 시험법 도출로 수소버스 용기 안전성 향상 및 국제기준화 선도
		수소부품 공압연속시험 세부평가시험기술 개발	국도교통부/KGS /국내 자동차 및 부품 회사	- 축소시제 모사시험을 통한 수소버스용 대형 내압용기 내구성 평가 기술 및 장비 개발에 활용 및 국제기준화 선도
		대용량 수소 CHSS 평가장비 개발(7개종)	국도교통부/ 자동차 OEM/ 자동차 부품업체	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소버스에 적용되는 대용량 수소 CHSS 평가장비를 활용한 제작사의 신제품 개발 및 안전성 검증 및 고압시험기술 선진화 추진</li> <li>- 대용량 수소 CHSS 평가장비를 활용한 신규 평가기술 개발하여 국제기준 제안 등으로 수소 안전기준 선도</li> </ul>
		대용량 대형수압반복 평가장비 개발(1종)	국도교통부/KGS /국내 자동차 및 부품 회사	- 대용량 대형수압반복 평가장비 및 시험절차서 활용을 통한 수소 CHSS 연료시스템에 대한 제품 신뢰성 향상 및 고압시험기술 선진화 추진

## 제5절. 성과관리

### 1. 연구배경 및 필요성

- 국가R&D사업의 사업결과에 대한 성과분석은 연구성과에 대한 체계적 관리뿐만 아니라, 기술이전 사업화 창업 등의 성과확산이 중요한 이슈가 되면서 그 중요성이 더욱 부각되고 있음
- 성과분석이 확대되면서 정량적 성과목표달성도와 성과의 질적 우수성에 대한 증명을 강화하고 있음

본 연구과제가 지향하는 목적 및 연구과제의 특성을 고려하여, 객관적이고 측정 가능한 성과지표를 활용하여 R&D 사업의 목표와 세부 연구활동을 모니터링하고 결과를 분석함으로써 연구과제의 계획된 목적을 달성하고 연구결과의 활용도를 높일 수 있는 방안이 필요함.

### 2. 성과관리 추진체계

- R&D 사업의 구성요소(투입, 과정, 산출, 결과), R&D 사업유형, 세부별 연구내용의 특성을 고려한 성과관리가 필요함

성과단계	투입 (Input)	과정 (Activity)	산출 (Output)	결과 (Impact)		
사업논리	인적자원	1세부 연구활동	평가기술/기준/시행세칙 개발 법률(안)/가이드라인 제언	안전기준/ 시행세칙/ 가이드라인 정책 반영 및 활용	교통사고비용 절감	국민의 삶의 질 향상
	물적자원	2세부 연구활동	표준화된 검사 및 평가기술 국제기준 제언		국민의 생명과 재산 보호	
	정보자원	3세부 연구활동	논문게재/학회발표/시제품		수소버스/부품 산업 보호	
성과점검기준 작성, 모니터링 수행 및 이슈관리, 1,2,3세부간 연구활동 연계				파급효과 분석		

### 3. 성과물 검증방안

- 개발된 평가·검사장비는 평가·검사기술연구 수행을 위한 최소한의 성능을 검정/확보해야함
- 개발된 평가 장비는 해당 세부과제(평가·검사기술 개발)에서 요구하는 평가연구를 수행할 수 있는 장비요구조건을 만족하여야함.
- 개발 완료된 수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비를 활용하여 신설된 수소버

스 구동시스템 출력평가 시험방법 및 평가기준 검증 및 신뢰성을 확보함

- 수소버스 운행단계 안전성 확보를 위한 검사 장비 개발에 대한 성과검증을 위하여 수소버스 운행 중 실시하는 자동차용 내압용기 정기검사에 수소가스 방출농도 측정 장비와 수소용기 몸체 가스 투과량 측정 장비를 적용한 검사를 실시하여 비파괴 검사판단 알고리즘을 확인 등 검사 장비의 정확도와 실효성 검증을 실시함
- 평가·검사기술 개발을 위한 시험 및 검증을 원활히 수행할 수 있는 운영 시스템을 개발하고 이를 평가·검사기술의 표준화를 위하여 연구한 내용을 논문 게재 및 특허를 통해 객관성과 독창성을 입증함
- 수소버스의 안전성 확보를 위한 수소부품 평가장비 개발에 대한 성과검증을 위하여 수소부품개발 및 양산제품에 제품검사를 통한 시험평가 장비의 정확도와 실효성 검증을 실시함
- 양산제품 개발업체의 의뢰시험의 누적된 기록을 통한 구축된 장비의 건전성과 실효성을 검증함
- 수소버스/부품 안정성 평가기술 및 안전기준 중심의 성과지표 설정 및 성과 검증 방안을 검토함
- 질적성과 점검기준 설정과 전문가 검증을 통한 질적성과 검증 프로세스를 강화함
  - 평가결과는 차년도 연구계획에 반영하고 주기적 관리를 통해 연구활동 개선에 활용하는 등 평가 및 환류 프로세스 강화
  - 과제 특성을 고려하여 검증위원 전문분야 및 학·연·산 비율 설정
  - 수소버스 관련 R&D 참여실적, 논문실적, 지식재산권 등록 등 전문가의 R&D 경력 및 실적을 반영하여 검증위원 선정
  - 다양한 정보원을 통해 전문가를 발굴하고 전문가 pool을 구성하며 전문가검증위원회를 통해 전문가에 대한 선정검토를 마친 후 전문가 검증회의에 참여할 전문가 확정

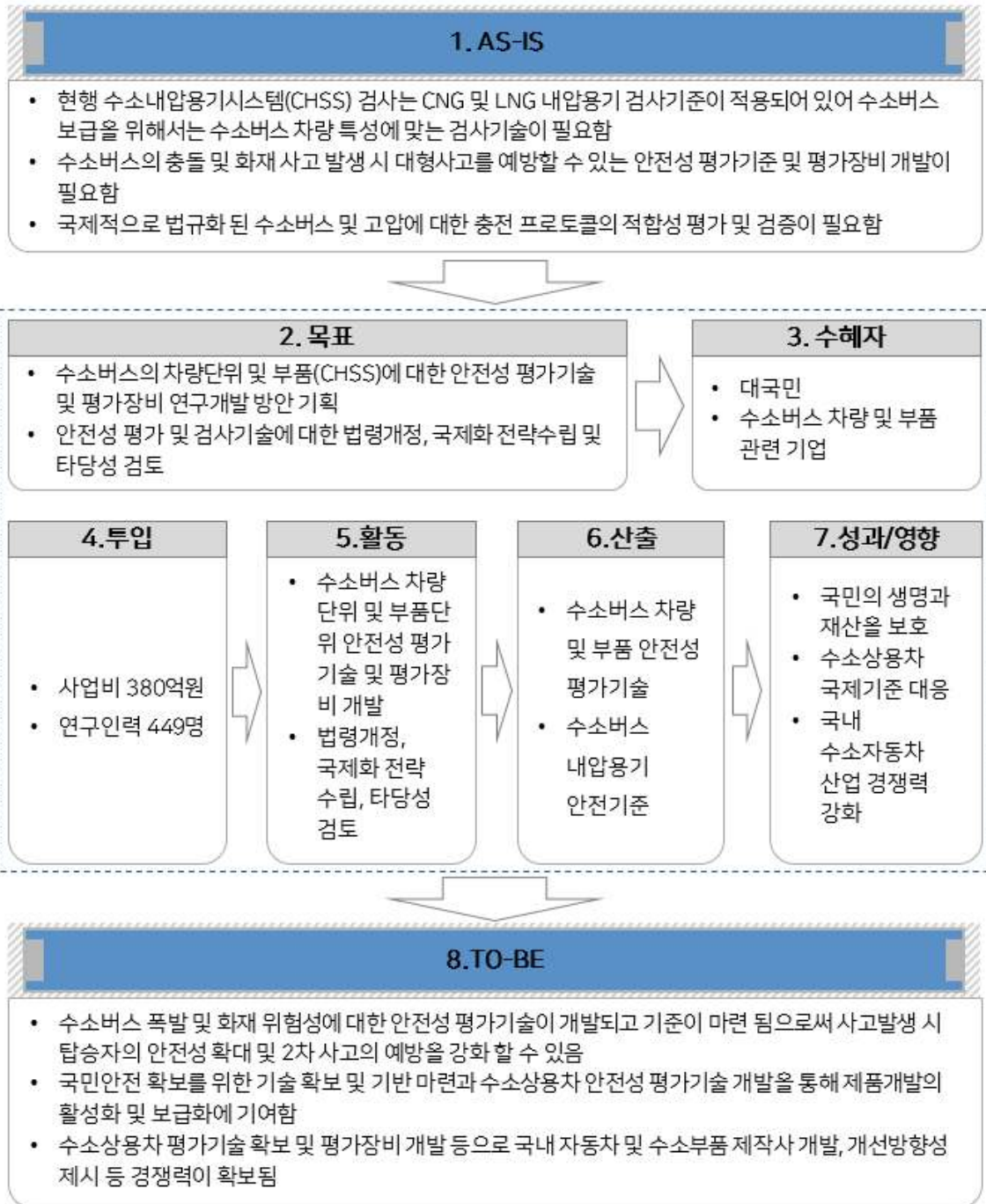


<그림 3-22> 전문가 검증 프로세스

## 제4장 사전타당성 검토

### 제1절. 논리모형(Logic Model, As Is / To Be Model)

- R&D 성과분석 논리모형을 활용하여 수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 사업에 적합한 논리모형을 개발함



## 제2절. 정책적 타당성

### 1. 관련 법령 부합성

#### □ 자동차관리법

- 자동차관리법은 자동차의 안전기준, 자기인증, 제작결함 시정, 점검, 정비, 검사 및 자동차관리사업 등에 대한 사항을 규정하여 자동차의 효율적인 관리와 성능 및 안전을 확보함으로써 공공의 복리를 증진함을 목적으로 제정되었음
- 동법 제29조의2 「자동차의 안전기준 및 자기인증」에 의거 안전 관련 기술 및 연구·개발이 필요할 경우 안전과 관련된 내용의 연구·개발 수행이 가능하며, 연구·개발에 필요한 비용 지원은 국토교통부장관이 하도록 규정하고 있음

제29조의2 (안전기준 관련 연구·개발 등)

① 국토교통부장관은 제29조제1항 및 제2항에 따른 자동차안전기준, 부품안전기준, 제35조의 5제1항에 따른 내압용기안전기준 또는 안전 관련 기술의 연구·개발이 필요한 경우에는 제32조제3항에 따라 성능시험을 대행하는 자로 지정된 자(이하 "성능시험대행자"라 한다)에게 이를 수행하게 할 수 있다. 이 경우 국토교통부장관은 예산의 범위에서 연구·개발에 드는 비용을 지원하여야 한다.

#### □ 제3차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획

- 제3차 재난 및 안전관리기술개발 종합계획(2018-2022)은 재난 및 안전관리 기본법 제 71조의2 및 제79조의5에 의거하여 재난 및 안전관리에 관한 과학기술의 진흥을 위한 범부처 종합계획임
- 중·장기적 관점에서 재난·재해 및 안전사고 저감을 위한 국가차원의 기술개발 투자방향 및 추진전략 수립에 대한 기본계획으로 본 사업의 주요 기술개발 내용은 ‘제3차 종합계획 수정(안) 기본방향’에 부합하는 기술로서 국민안전관리 관점에서 투자가 반드시 이루어져야 할 것으로 분석되어짐

### 2. 국가정책 부합성

#### □ 문재인정부 10대 국정과제

- 동 계획의 “고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성” 과 “안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축” 분야에 해당하여 부합성이 높음

- 동 분야의 주요 내용으로 제시된 전기차·수소차 획기적 보급 확대와 교통사고, 승강기 사고, 지진, 화재 등 각종 재난과 안전사고로부터 국민생명 보호 강화 추진 등은 동 사업의 주요 내용과 직접적인 연관성을 가지고 있음

□ 과학기술 미래비전 2040

- 동 계획의 25개 미래핵심기술 중에는 동 사업의 연구내용과 연관성 있는 기술이 포함되어 부합성이 높음
- ‘신재생에너지 기술’, ‘고효율 에너지 기술’, ‘온실가스 저감기술’ 이 포함되어 동 사업의 연구개발 내용과 직접적으로 관련된 것으로 판단됨

□ 국토교통과학기술 연구개발 종합계획

- 동 계획의 “사람 중심의 국토교통 기술개발” 과 “친환경 생활공간 조성 기술 개발” 분야에 해당하여 부합성이 높은 것으로 분석됨
- 동 분야의 주요 내용으로 제시된 충격흡수 향상 도로안전시설, 보행자 안전지원 시설, 차세대 자동차 안전기준 개발 등을 통해 능동적 교통사고 예방 지원과 소음공해 저감 시설, 에너지 자립형 도로, 수소전기차량 기준 등 녹색교통 인프라 구축 확대를 통해 쾌적한 교통환경 실현 등은 동 사업의 주요 내용과 직접적인 연관성을 가지고 있음

□ 수소경제 활성화 로드맵

- 정부는 세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약하기 위해 수소경제 활성화 로드맵을 발표하였으며 수소 모빌리티 관련하여 2040년까지 수소버스 6만대를 보급하는 로드맵을 제시하였음
- 로드맵의 주요 내용 중에 국민이 안심하고 신뢰할 수 있는 수소경제 이행 기반 마련을 위해 수소생산-저장-운송-활용 쉼주기에 걸쳐 안전관리 기준 및 부품제품의 안전성 평가를 강화하고, 안전관리법 제정은 본 사업과의 연관성이 매우 높은 것으로 판단됨

<표 4-1> 수소경제 로드맵

	2018년	2022년	2040년
<b>수소차</b>	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	620만대 이상 (290만대)
승용차	1.8천대 (0.9천대)	7.9만대 (6.5만대)	590만대 (275만대)
택시	-	-	12만대 (8만대)
버스	2대 (전체)	2,000대 (전체)	6만대 (4만대)
트럭	-	-	12만대 (3만대)
<b>수소충전소</b>	14개소	310개소	1,200개소 이상

□ 국가교통안전기본계획

- 국가교통안전기본계획은 교통부문별 관계부처 합동으로 수립하는 교통안전분야의 종합계획으로서 교통안전법 제15조에 근거한 법정계획으로서, 5년 단위로 수립되는 국가기본계획임
- ‘국민이 신뢰하는 선진 교통안전 구현’ 달성을 위해 수립한 ‘제8차 국가교통안전 기본계획(2017-2021)’의 통합 비전 및 목표달성을 위한 정책방향 4가지 ①이용자 중심의 교통안전대책 강화, ②사람이 안전한 교통인프라 구축, ③첨단 교통 안전기술의 선도, ④시스템 차원의 안전관리 강화는 본 사업과의 연관성이 매우 높은 것으로 판단됨

□ 제2차 자동차정책기본 계획

- 제2차 자동차정책기본 계획(‘17~’ 21)은 자동차 관리 및 안전정책의 중장기 목표와 전략을 제시하기 위한 5년 단위의 법정계획으로 첨단차 운행 생태계 조성 등 자동차 안전기반을 구축하고 자동차 서비스 선진화를 통한 국민 권익을 보호하기 위해 5대 전략, 20개 추진과제를 수립하였음
- 세부추진과제 중 수소연료전지차 안전성 평가를 위해 수소연료전지차의 사고 시 피해와 사상자를 최소화 할 수 있는 안전 기준과 평가 방법을 개발하는 내용은 본 사업의 추진방향과 부합함

### 3. 연구개발 정책부합성

□ 국민의 복지 및 국가 경쟁력 확보를 위하여, 정부의 도로교통 안전도 개선 노력이 요구 됨

- 도로교통 안전도 개선을 위한 효과적인 방법들 중 하나는 정부가 지속적으로 자동차 안전 법규를 강화하는 것임
- 국민에게 높은 안전 수준의 차량을 보급하기 위하여 정부는 지속적으로 안전성 확보방안 연구를 추진해야 하며 평가기술 및 장비의 현실화가 필요

□ 수소버스 안전성 평가기술 연구를 통해 제조검사 및 안전기준이 마련됨으로서 수소버스 안전성이 담보되어야만, 관련 사업의 활성화와 수소전기차 보급 활성화가 가능함에 따라 정부에서 수소버스 안전관리 분야의 종합적 안전관리체계를 마련으로 안전사고를 예방하고, 재산 및 인명을 보호할 수 있는 기본적인 토대 마련이 가능함

- 수소버스 안전성 평가 시험에는 막대한 비용이 소요되며, 각 기관 및 제조사별 기술공유가 어려워 국가 주도의 연구 개발이 필요함. 일본, 유럽의 각국은 국가 주도로 안전성 평가와 관련된 시험소 구축, R&D 등을 수행하고 있음.
- 수소경제 선도국가 도약을 위한 국제적 위상 강화를 위해 국제적 대응 강화와 국제기준 주도 필요
  - 국내 안전기준 등의 국제화를 통한 국가간 통상마찰 및 기준개정의 투명성 확보
  - 수소버스 운행/사고 안전성 및 구동시스템 성능점검 관련 평가기술의 국제화를 통한 자동차강국으로서의 위상 강화 및 기술 주도권 확보
- 국내 수소버스 관련 안전 법규가 국제기준(GTR 등)과 조화됨에 따라 법규 만족을 검증하기 위한 장비개발이 불가피하며 평가장비 개발에는 막대한 비용이 소요됨에 따라 관련 시설을 구축하고 시험 수행에 필요한 제반사항에 대한 정부 지원이 요구됨
- 교통사고 사상자 감소 목표는 기본적으로 국가의 정책을 반영한 사항이므로, 이를 추진하기 위한 연구개발은 정부 주도 사업으로 추진하는 것이 타당함

### 제3절. 기술적 타당성

- 수소버스 핵심기술 개발을 위한 세부 기술은 외부전문가 및 자문위원을 대상으로 기술수요조사를 통해 수집된 기술을 목표 부합성 기술적 시급성 사업화 가능성 파급효과 등을 고려하여 대상 기술을 선정함



<그림 4-1> 기획위원 추진체계

- 기술수준 분석을 통해 기술 실현시기 기술 획득방식 정부개입 필요성 기술 수준 중요도 등을 조사함

<표 4-2> 기획위원회 추진경과

구분	일자	내용	장소	참석자
1차 기획위원회	'19. 1. 11	- 연구 과제의 연구추진방향 설정 - 세부별 기술수요조사 관련 논의	과천시민회관	연구단, 세부별 기획위원
1차 총괄위원회	'19. 2. 20	- 연구예산 후보과제 목표방향 재설정 - 예산 관련 협의 - 과제진행 업무분장 협의	오송 컨퍼런스센터	국토부, 진흥원, 연구단
2차 기획위원회	'19. 5. 14	- 수소버스 기획연구 국내외 동향분석 및 연구 추진전략 협의 - 세부별 기획과제 선정(안) 협의	과천시민회관	국토부, 진흥원, 연구단, 세부별 기획위원
1차 전문가 자문위원회	'19. 6. 27	- 세부별 연구과제 관련 자문의견서 작성 - 전문가 의견서 검토 및 후속 조치사항 협의	양재 더케이 호텔	국토부, 연구단, 세부별 기획위원, 외부 전문가
3차 기획위원회	'19. 9. 25	- 수소버스 평가기술 개발 및 장비개발 관련 협의 - 세부별 연구과제 관련 자문의견서 작성 - 세부별 장비구축 타당성 및 경제성 분석 자료 작성	과천시민회관	국토부, 연구단, 세부별 기획위원
2차 총괄위원회	'19. 10. 31	- 본 과제 평가기술 및 장비개발 일정 보완 협의 - 평가방법 및 장비개발에 대한 국제기준 파악 후 재검토 - 수소버스 운행데이터 취득 방법 관련 국토부 협조 필요성 강조	평택 라마다 앙코르호텔	국토부, 진흥원 연구단, 세부 기획위원장, 전문가

□ 기획위원회 및 전문가 자문위원회 진행 상황 및 주요내용

○ 1차 기획위원회 (과천시민회관)

- 연구과제의 연구추진방향을 설정하며 향후 기획연구의 진행 현황 등을 설명함
- 연구기술 수요조사 내용 및 설명정리 등을 통하여 향후 세부 기획과제 추진방안 및 세부 과제별 기획위원회보고서 작성 방식 등을 논의함

○ 2차 기획위원회 (과천시민회관)

- 수소버스 기획연구 국내외 동향분석 및 연구 추진전략 협의를 통한 세부별 기획

## 과제 선정(안)을 협의함

- 세부별 관련 기획연구 추진방향 및 연구내용 협의를 통하여 특정업체를 통한 수소버스의 실차 정보 수집 및 수소상용차 안전기준 도입이 아닌 실제 수소버스에 필요한 안전기준 마련에 대한 의견을 논의함
- 수소버스 안전성평가기술 기획과제를 통하여 국제공동연구로 추진할 수 있는 과제로 검토 예정

### ○ 3차 기획위원회 (과천시민회관)

- 수소버스 실차 충돌 시 차량 고가 감안에 대한 다양한 해석방법이 필요하며, 수소부품 화재시험, 진동내구 평가기술 및 부품 장비개발에 대한 타 과제와의 중복성 여부를 검토함.
- 수소부품 수소취성 평가 장비개발에 대하여 중복성 제외 검토를 논의함

### ○ 1차 전문가위원회 (양재 더케이호텔)

- 각 세부별 관련 전문가 자문위원을 위한 기획과제 및 연구후보과제 설명을 진행함
- 평가시나리오 관련 수소부품 결함이 포함 된 모니터링 체계 구축, 수소버스 충돌안전성과 관련 된 다양한 충돌조건 반영, 검사기술 및 장비개발 관련 장비검증을 위한 연구기간 확대, 평가기술 국제기준 제안 및 수소부품 평가기술 개발 필요 등과 같이 다양한 전문가 자문위원의 의견을 수렴함
- 수렴된 의견에 대한 조치사항을 각 세부별고 작성하여 향후 연구과제 반영 및 기관별 조치사항 내용을 공유함

## □ 총괄기획위원회 진행 및 주요내용

### ○ 1차 총괄위원회 (오송 컨퍼런스센터)

- 기술수요조사는 2번에 걸쳐 진행하였으며, 기획위원과 과제진을 통하여 각 1세부 및 2세부에서 각각 25건씩 취합을 진행하였음
- 내압용기 관련한 국내기준이 GTR 국제기준과 다르므로 자법을 GTR 국제기준으로 법제화 하는 게 주요 연구 방향으로 논의함
- 차량단위 및 부품단위의 국제기준에 대응의 실험을 위한 인프라 구축이 미흡함
- 각 연구과제별로 향후 본 과제 진행 시, 연구가 가능한 부분과 불가능한 부분에

대한 예산구분 및 패키지형 R&D에 대한 사업 중복성 여부 검토의견을 논의함

○ 2차 총괄위원회 (평택 앙코르라마다호텔)

- 평가시나리오 활용방안에 대하여 운행/사고 데이터 취득방법이 결정되기 위하여 추가적인 평가시나리오 연구항목이 필요함
- 지속가능한 운행데이터 확보를 위해서 4차년도까지 연구기간 연장의견을 논의함
- ‘전북안전성’에 대한 세부평가기술의 실차검증 시험 도입을 논의함
- 각 세부별 예산 재검토 요구를 최대한 반영할 수 있도록 연차별 예산(안) 수정 예정
- 연차별 예산(안)을 제외한 나머지 세부 별 연구내용 등에 대한 RFP를 확정함
- 향후 본 과제에 대한 수소버스 안전성 평가기술 및 평가장비 개발 사업에 대한 경제성타당성 분석 재검토 및 비용 편익 분석 도출과정을 상세하게 작성 예정

□ 기술수요조사 진행 및 주요내용

- 수요조사를 통해 도출된 후보 기술에 대해 외부 전문가를 대상으로 AHP방식을 수행하여 개발과제 우선순위를 결정함
- 수소버스 핵심기술과 관련된 국내외 정책동향 시장동향 기술 개발동향에 대한 분석을 수행했으며 세부 요소기술 조사 기술개발 인프라 차량제조업체 및 운영사의 수요 세부기술의 중요도 기술개발 성공가능성 기술의 난이도 등을 종합적으로 고려한 기술개발 계획이 체계적으로 수립되었음
- 수소버스 핵심기술 개발에 필요한 요소기술들을 체계적으로 분류하였으며 기술개발 계획을 명확하게 제시하였음

□ 주관기관과 공동연구기관의 기관특성에 부합하는 기획연구 추진체계 구축

○ 주관기관(한국교통안전공단)

- 주관기관인 한국교통안전공단은 과제 총괄업무를 수행하며 수소버스 차량단위 안전성 평가기술 및 평가장비 개발 관련 국내외 법제도, 기술 및 시장 동향을 조사·분석하여 향후 과업의 진행방향을 설정하고 자동차 제작사 및 부품업체 등 이해관계 당사자에 대한 의견수렴을 통해 안전성평가항목 및 평가방안을 기획

- 수소버스 차량, 수소내압용기 부품 및 시스템 단위 안전성평가기술 및 평가장비 개발에 필요하여 도출된 연구항목 및 기획방안 등에 대한 결과를 토대로 자동차 관리법 제·개정 및 국제화 전략추진 로드맵 제시
- 연구배경 및 연구타당성을 검토하여 본과제 수행에 따른 기본방향 및 전략내용을 수립하고, 연구내용의 객관적인 산출물 도출을 위하여 기획위원회 및 각 분과별 전문가 위원회를 구성하여 운영

○ 공동연구기관(한국가스안전공사)

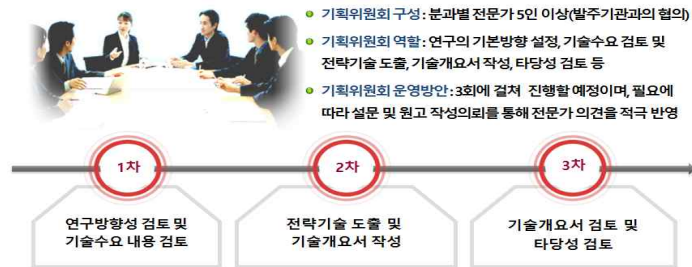
- 공동연구기관 한국가스안전공사는 수소버스 내압용기 부품 및 시스템 등의 평가기술 개발 및 장비개발에 대한 기술동향과 시장현황을 조사·분석하고 이를 반영한 필요한 평가기술개발 항목 및 평가장비에 대한 연구범위 및 방법 기획
- 수소버스 내압용기 부품 및 시스템에 대한 고압가스안전관리법 등에서의 개정 타당성을 검토하고 개정 전략 도출

○ 공동연구기관(위즐리앤컴퍼니)

- 조사된 연구환경 및 동향분석 결과와 이를 토대로 정립된 본 사업의 기본방향 및 전략내용을 기반으로 본 사업의 쟁점사항을 파악
- 도출된 본 사업추진에 따른 예상 쟁점사항 및 이의 해결방안 또는 해결가능성 등을 정책적, 기술적, 경제적 타당성 분석에 반영
- \* (기술적 타당성 분석) 기술개발계획의 적절성, 기술개발의 성공가능성, 기존기술 및 사업과의 중복성 관점에서 본 사업의 쟁점사항을 기반으로 기술적 타당성을 분석
- \* (정책적 타당성 분석) 정부지원의 필요성, 정책적 일관성, 사업추진상의 위험요인 관점에서 본 사업의 쟁점사항을 기반으로 정책적 타당성을 분석
- \* (경제적 타당성 분석) 수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 기획 연구사업에 대한 경제적 타당성분석 및 파급효과분석은 연구비산정 예산의 적절성, 경제적 타당성, 사업추진에 따른 파급효과 분석을 기반으로 분석
- 연구내용의 객관적인 산출물을 도출하기 위해 각 분야별 전문가 위원회를 구성하여 운영

<기획위원회 구성(안) 및 운영(안)>

- 본 연구의 성공적 수행을 위해 총괄기획위원회와 세부기술위원회를 구성하여 객관적이고 공정한 연구를 진행
  - 총괄기획위원회는 전체적인 시각에서 수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발사업의 방향성을 검토하고 각 부문별 중요성을 객관적으로 판단하는 역할과 기능을 수행
    - 분야별 세부 기술위원회에서 제시하는 후보 연구항목을 조정하여 최종연구항목 및 내용을 자문
    - 기관연구책임자, 세부기술위원회 분야별 위원장, 국토부 담당자 등으로 구성
  - 세부기술위원회는 수소버스 차량단위 안전성 평가기술/장비개발, 수소버스 부품단위 안전성 평가기술/장비개발, 수소버스 법제도 및 국제화/타당성 검토 등 3개 소위원회(안)으로 구성
    - 분야별 기획 연구기관에서 검토한 분야별 연구 후보항목 등에 대해 타당성 검토와 연구항목 추가 등을 통해 총괄기획위원회에 후보항목 제시를 위한 자문 역할 수행
  - 전문가 자문위원회 구성은 연구개발사업 담당자 및 국가 연구개발사업 관련 전문가, 산업발전전략 수립 전문가 등으로 구성
    - 최종 전문가 자문위원회 구성은 발주기관과 협의 후 확정 예정



※ 세부기술위원회는 다양한 기관의 전문가가 참여할 수 있도록 산업계, 학계, 연구소 및 정부기관 담당자 등이 참여할 수 있도록 구성함

- 수요조사 실시 : 실제 산학연 현장에서의 본 과제와의 수요와 기술개발 가능성 등 공급과 수요를 정확하게 파악하여 기획내용에 반영하기 위해 기술수요조사를 실시함
  - 대기업, 중소기업, 대학교, 연구소, 협회 및 정부기관을 대상으로 온·오프라인 설문조사 및 이메일 설문조사 병행 실시
  - 총 15개의 기술소요조사서 접수 및 반영
- 우선순위 설정 모델 운영 후 전략과제 도출 : 기술수요조사 및 기획위원회 도출 후보군에 대해서 시장 성장 전망, 기술적 도전성, 사업화 가능성, 공공·공익성, 기술적·산업적 파급효과 등 측면에서의 우선순위를 조사하여 기획위원회에서 확정함
  - 후보과제별 우선순위 선정을 위한 평가모델 설계

- 평가결과와 가중치를 활용하여 후보과제별 중요도 도출 및 우선순위 나열

□ 연구목표의 적절성

- 기술개발 계획은 세 개의 세부과제로 나뉘지며 1세부는 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 기준 법제화, 2세부는 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발, 3세부는 수소버스 운행차 안전성 검사기술 및 장비개발, 4세부는 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발 연구로 구성되어 있음

<표 4-3> 본 과제의 기술 개발 내용

1세부	2세부	3세부	4세부
수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 기준 국제화	수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발	수소버스 운행차 안전성 검사기술 및 장비개발	수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소버스 안전성 평가 시나리오 개발</li> <li>• 수소버스 전복 / 충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발(2건)</li> <li>• 수소버스 평가기준 제 / 개정 및 국제화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소버스 구동시스템 성능 평가기술(1건) 및 장비개발(1종)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소버스 연료장치 투과량 검사기술(1건) 및 장비개발(1종)</li> <li>• 수소버스 수소배기 배출량 검사기술(1건) 및 장비개발(1종)</li> <li>• 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발(1건)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소버스 내압용기 화재 평가기술(1건) 및 장비개발(1종)</li> <li>• 수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발(7종)</li> <li>• 대용량 CHSS 평가기술(2건) 및 장비개발(8종)</li> </ul>

- 기술개발 성공가능성을 향상시키기 위하여 기술개발 과정에서 직면하게 될 기술적 위험성을 사전에 분석하고 위험요인을 극복하기 위한 추진전략이 구체적이고 체계적으로 구성되어 있음
- 메가트렌드 및 미래예측을 통하여 연구목표 및 세세부 과제의 도출한 근거를 타당하게 제시하고 있음
  - “기후변화 및 에너지 자원 부족”에 따라 기존 화석연료에서 친환경 에너지를 이용한 자동차 기술 개발과 기후변화 적응형 시스템 개발에 집중될 것임 → 친환경 대체연료를 활용한 탄소제로 녹색 교통수송 시스템의 실용화 및 안전인증, 전기, 수소, 무인 자동차 인프라 구축, 탄소배출 제로 스마트그리드가 결합된 자동차시스템 등
- 미래이슈 및 니즈분석을 통해 세부 과제의 목표를 도출한 근거를 타당하게 제시

하고 있음

- 현재는 내연기관의 효율화 및 연비개선 기술이 주목 받고 있으며, HEV·PHEV·EV 단계를 거쳐 궁극의 친환경차인 FCEV로 발전이 예상됨.
- 지속적인 온실가스 배출로 지구 온난화가 가속되고, 한파, 가뭄 등 이상기후가 급증하면서 친환경차·고연비차에 대한 기술개발이 가속화 되고 있음.
- FCEV 활성화를 위해 수소에 대한 안전설계 및 효율적 사용을 위한 기술 개발이 필수이고, 이 조건을 만족시키기 위해 연료전지 스택에 공급되는 수소공급 및 재순환 시스템의 핵심 부품 개발이 선행되어야 함

<표 4-4> 정책동향 및 기술수준

구분	주요 내용
국내외 수소버스 안전성 평가기술 관련 정책동향	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ (국내) 2018년 6월 산업부에서 개최된 '산업혁신 2020 플랫폼' 2차 회의에서 세계 수소전기차 시장 선점을 위해 2022년까지 총 2조 6,000억원의 민관투자를 계획 추진 예정               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2022년까지 수소전기차 1만6,000대 보급을 목표로하며, 서울과 울산을 시작으로 2019년에는 전국 5대 도시 시내버스 정규노선에 수소버스를 투입하고 고속버스를 수소버스로 대체해 나갈 계획이며, 점진적 확대를 거쳐 2022년에 수소버스 1,000대 도입을 목표로 함.</li> </ul> </li> <li>▲ (미국) 미국은 수소경제사회 구현과 관련하여, 2006년도에 수립된 Hydrogen PosturePlan을 기초로 현재까지 Department of Energy (DOE)가 주도적인 역할을 수행하면서 다양한 로드맵 발표 및 이를 실행하기 위한 프로그램을 통합적으로 진행하고 있음               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소연료전지차 및 수소 충전소 인프라 확충을 위해, 매년 약 200억원 지속 투자 예정(2013~2024년)</li> </ul> </li> <li>▲ (중국) 2018년 8월 중국 최대 디젤엔진 업체인 웨이차이는 수소연료전지 특허만 130개를 갖고 있는 캐나다 업체 발라드의 지분 19.9% 확보함.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 발라드는 웨이차이에 연료전지 핵심 기술을 이전하고, 2021년까지 중국 수소 트럭·버스에 들어갈 전지를 공동 생산하기로 합의함.</li> </ul> </li> <li>▲ (일본) 2018년 11월 'G20 수소에너지 장관회의'를 열고 '도쿄선언문'을 발표함.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2020년 도쿄올림픽을 '수소 올림픽'으로 명명하고, 도쿄 전역에 수소전기차를 4만대로 늘리고 수소버스를 100대 운영하겠다는 계획임.</li> </ul> </li> <li>▲ (유럽) FCH-JU 공동사업 자금을 활용해 유럽 내 대규모 수소버스 및 수소 충전소 도입을 지원하는 JIVE, JIVE2 프로그램을 추진               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유럽연합은 그동안 FCH-JU 수소버스 지원 프로그램을 통해 총 54대의 수소버스를 실증했으며, 수소버스를 위한 충전소 관련 기술 연구를</li> </ul> </li> </ul>

	<p>완료함. 현재는 이 FCH-JU 프로그램을 기반으로 2019년까지 수소버스 14대, 수소충전소 3개소 보급을 추진하고 있음</p> <p>- 2020년까지 버스용 수소충전소 기술 개발 및 비즈니스 모델 개발 예정</p>
<p>국내 기업 기술수준</p>	<p>▲ (기업) 1998년부터 수소전기차 개발에 착수, 2013년 세계 최초의 양산 수소전기차 투싼ix를 출시하였으며, 2018년 3월엔 완충 시 주행거리(609km)가 전 세계 수소전기차 중 가장 긴 넥쏘를 출시 함. 소음도 적고 전지 효율도 세계 최고라는 평을 받음.</p> <p>- 수소연료전지는 국내 협력사 300여개(1차 150개)와 협업해 만든 것으로, 부품 국산화율이 99%임</p>

○ 사업내용의 논리성 및 적절성

- 연구단을 구성하는 4개의 세부과제는 한국의 수소버스 안전성 평가기술 및 평가장비 개발과 수소버스관련 기준 법제화 방안을 마련하는 1세부과제, 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발을 하는 2세부과제, 운행차 검사기술 및 검사장비 개발 하는 3세부과제, 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발 하는 4세부과제로 구성됨
- 각각의 과제는 기술개발의 범위, 목적에서 차이를 가지고 있으며, 명확한 연계구조를 가지고 있어 사업내용이 논리적이며, 연구단의 목표달성을 위해 적절하게 구성된 것으로 판단됨
- 1세부과제는 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 관련 기준 법제화를 주요 연구내용으로 하며 국내 기준 기초 자료 수집에서부터 대표적 평가방법 도출 및 검증, 해외 평가방법 분석 및 반영을 통한 한국형 안전성 평가기술 (안)을 개발 및 법제화 추진을 위한 타당성 분석 및 전략 로드맵 수립을 주요 연구내용으로 하며, 국내외 법제도 현황 자료 조사 분석, 법제화 추진을 위한 타당성 분석 및 전략 로드맵 수립, 로드맵에 따른 국내 법제도 초안을 마련하는 과제임. 이는 연구목표인 한국형 안전성 평가기술을 반영한 수소버스 안전성 평가기술 개발에 적절한 연구내용 및 기술개발 방향성으로 판단됨
- 2세부과제는 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발을 주요 연구내용으로 하며, 다중 동력원 및 모터 시스템으로 구동되는 수소버스의 출력시험을 위한 평가기술 및 장비개발 하는 과제 임. 이는 연구목표에 적절하다고 판단됨
- 3세부과제는 수소버스 운행차 안전성 검사기술 및 장비개발을 주요 연구내용으로 하며, 수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 측정장비 개발, 수소가스 배출

량 검사기술 및 측정장비 개발, 내압용기 비파괴 검사기술 및 장비개발 하는 과제임. 이는 연구목표인 수소버스 운행차 검사기술 개발 반영에 적절하다고 판단됨

- 4세부과제는 수소버스 부품단위 안전성 장비개발을 주요 연구내용으로 하며, 수소내압용기 화재평가 기술, 수소부품 유공압 연속시험, 수소부품 안전기준 국제화 평가장비, 수소부품 모듈단위 평가기술 및 장비개발을 연구하는 과제임. 이는 연구목표인 수소버스 부품단위 안전성 평가장비 개발 반영에 적절하다고 판단됨

#### □ 사업추진전략의 적절성

##### ○ 사업추진체계의 적절성

- 본 연구의 수행은 기본적으로 주관 및 공동 연구로 구성, 각 세부과제별로 산·학·연 협동 연구체계를 구축하여 연구단으로 진행함
- 기존에 진행된 연구기반을 효과적으로 활용하기 위해 연구범위 및 방향을 세부과제 간 상호 조율하고, 그에 따른 지속적인 연구개발 및 성과도출에 대해 공유하는 방안을 마련함
- 연구 추진의 효율성을 높이기 위해 세부 과제별로 독자적인 워크숍 및 세부전략을 수립함과 동시에 연구단 내 세부과제 사이의 상호 정보 교류를 위한 정기적인 워크숍을 추진하여 진행하고자 함
- 동일한 또는 유사한 목표를 갖는 구성기술들 사이의 상호 접근방법을 다양하게 하여 최종 연구개발 성과의 성공률을 높이기 위해 부분적인 실용화 도입을 유도함
- 산·학·연 각각의 특성에 맞는 연구분야를 설정하고, 연구단을 중심으로 각각의 연구 성과를 유기적으로 종합하여 연구효율을 극대화함
- 동 사업은 산·학·연 및 해외 선진기관과의 협력체계 구축이 필수적이며, 또한 기술개발, 보급 및 활용/확산 측면에서 수요자와 공급자의 긴밀한 협조체계가 구축되어야 함

##### ○ 사업추진체계의 구체성

- 본 과제는 산·학·연 전문가로 구성된 기획위원회를 통하여 총괄목표 및 세세부목표의 단별 목표를 수립하고 이를 달성하기 위한 4개의 세부과제와 11개의 세세부과제를 구성함

- 본 과제는 국내의 수소버스 안전성 평가기술 개발 및 장비개발로서 친환경 대중교통 수단인 수소버스의 안전성이 중요하므로, 법·제도적 개선 및 데이터 취합 방법 등에 대하여 경찰청, 보험사 및 국토부 산하 연구기관 등이 상호협업체계를 구축함
- 연구개발 추진방안은 세부과제별 핵심가치를 구현하는 핵심기술에 전문화된 산학연 체계를 구축하여 효율적인 연구업무 분담과 협력수행 체계를 확립함
- 각각의 핵심주관기관과 협동기관들의 기술개발 역량의 극대화·최적화를 위해, 가용 기술수준, 타 핵심과제 연관성, 국제공동연구 필요성 등을 고려하여 기술개발 로드맵의 우선순위를 탄력적으로 운영하여 핵심기술을 실현함
- 기술적 측면의 완성도와 상용화/사업화 측면의 완성도를 동시에 구현하기 위한 수요자인 국가·공공기관·자동차시장의 요구수준과 수요를 반복적으로 피드백 보완할 수 있는 산·학·연의 관련 전문가 풀 네트워크를 구성하고 운영함
- 첨단기술 활용 및 기술의 융합이 요구되는 핵심기술을 개발하기 위하여 핵심주관 기관과 협력체계를 구축하고 해외 선진기술 산·학·연 기관 및 관련 전문연구기관의 네트워크를 활용하여 선진기술에 대한 지속적 벤치마킹을 실시하여 국내·해외 해당 기술보유 기관과 협력 또는 공동개발 방향으로 추진함

#### □ 사업추진의 당위성

##### ○ 이슈 및 차별성

- (VIP 말씀사항, 수소경제 로드맵 발표 ' 19.1.17) 수소경제는 혁신성장의 새로운 동력이며 수소전기차 특히 미세먼지 저감효과가 큰 수소버스 보급 및 경찰버스 교체 등을 강조함
- 수소경제 로드맵에 따른 수소전기차 보급확대 정책의 안정적 추진을 위해 수소승용차와 비교해서 사고 시 수소누출 및 화재 등의 대형안전사고로 이어질 수 있는 수소버스의 안전성 시험·성능 검증을 위해서는 '20년 예산 지원·개발 착수 타당함
- 수소버스 특성(대형 및 장거리 운송 등)에 맞추어 수소내압용기의 크기 및 수량 증가에 따른 신규 안전성 평가기술(내압용기 모듈시스템 단위 평가기술 등)과 고속 충·방전에 견딜 수 있는 반복내구평가 등의 신평가 기술 개발이 필요함
- (제1차 혁신성장 장관회의 ' 18.6.8) 수소전기차(수소버스 포함) 보급 확대 및 활성화 계획을 발표하였고 이를 원활히 수행하기 위하여 관련 제도기반(안전도평

가) 마련의 필요성을 제시함

- ( ‘제2차 자동차정책 기본계획(2017~2021년)’ , 국토교통부) 친환경자동차 운행기반 조성을 위해 수소버스에 대한 안전성평가기술 개발 필요성을 제시함
- (’18년 8월 관계부처 합동) 온실가스(CO2) 감축 및 미세먼지 저감 등 환경보존 중요성이 국내·외에서 부각되며 정부에서 에너지 패러다임 전환을 통한 플랫폼경제 구현을 위해 수소경제를 3대 혁신성장 전략투자 분야로 선정함

○ 기술개발의 차별성

구분	차별성
수소연료전지자동차 안전성평가기술개발 (07~12)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이전 과제는 승용자동차에 대한 부품단위 출력 평가기술 개발로 수소버스를 포함한 수소버스에 대한 시스템단위 통합 출력 평가기술 개발이 목표인 본 연구과제와는 적용 대상 차종이 다름.</li> </ul>
도심주행용 수소버스 핵심기술 개발 (16~20)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ‘도심주행용 수소버스 핵심기술 개발’은 관련 수소내압용기 부품 및 연료전지의 필터 부품 개발 등으로 본 과제의 수소버스 차량 및 내용용기 부품 등에 대한 화재 및 수소누출 등에 대한 안전성 평가기술 개발과는 다름</li> </ul>
수소버스의 도로운행을 위한 안전성 평가기술 부재	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외로 수소버스가 상용화가 미흡하므로 국내기술 확보 시 세계시장 선점이 가능함</li> </ul>

□ 성과활용 및 실용화 계획

- 수소버스의 차량 및 부품단위 연료장치 안전성 평가기술과 관련 장비를 개발하여 다양하게 개발 중이거나 예정인 수소버스(고상수소버스, 수소트럭 등)의 시험·성능 검증 활용으로 안전성이 확보된 수소전기차 보급을 지원함
- 수소버스 운행차 정기검사 기술 및 개발장비의 보급을 통해 현재 판매되고 있는 수소승용자동차의 정기검사시 활용이 가능하며 향후 개발될 수소트럭 등 수소전기자동차에 대한 검사안전성 확보 가능
- 대형 수소전기차의 수소부품과 관련하여 개발된 안전성 평가기술이 국제기준으로 반영될 수 있도록 하여, 국내 제작사 기술을 선도함
- 본 과제를 통해 개발된 수소부품의 평가장비는 수소내압용기 등 부품의 인증기관

에 설치할수 있도록 하여 국내 중소부품업체 등의 연구개발 및 인증에 활용으로 수소경제 혁신성장 고도화를 지원함

#### □ 기대효과

- 수소버스 평가·검사기술 및 관련 장비 개발 통해 검증된 수소버스의 보급 활성화에 기여하고 사고 등에 따른 대국민 안전성을 확대하고 국내 기술환경을 반영한 수소버스 평가기술을 세계기술기준(GTR) 개정시 반영을 추진하여 국제 위상 제고 및 국내 제작사의 기술 선도에 기여함
- 수소버스 안전성 평가기술 및 관련 장비 개발을 통한 ‘수소전기차 인증평가센터’ 구축방안 마련으로 국내 자동차 및 수소부품 제작사에 개발시험 및 인증 지원을 통한 수소경제 경쟁력 강화 기여함
- 수소버스가 갖는 미세먼지 및 온실가스 저감 효과가 높음. 보통 수소승용차가 2톤 수소택시가 8톤의 온실가스의 저감이 가능한 것에 비하면 수소버스는 연간 56톤의 온실가스 저감이 가능하고, 대기오염물질 저감에 있어서도 수소승용차가 5kg, 수소택시가 25kg의 저감을 할 수 있지만 수소버스는 연간 880kg의 대기오염 물질을 저감할 수 있음
- 수소산업 보급의 문제라고 할 수 있는 수소충전소 보급을 촉진이 가능함
  - 충전소 당 차량 충전 가동률이 승용차의 경우 455대가 필요한 반면 수소버스의 경우 8대만 보급되면 수소충전소의 가동률이 100% 가까이 상승함. 이를 통해 수소버스의 보급이 진행되면 수소충전소의 수익성 제고에 크게 기여를 할 수 있어 장차 수소충전소 보급에 큰 영향을 미칠 것으로 예상됨

#### □ 세부별 기술수준 분석

##### □ 1세부

- 수소버스 연료장치 안전성 평가시나리오 개발 : 수소버스의 운행모니터링 체계에 따른 실운행 및 사고데이터를 기반으로 한 수소버스 안전도 평가시나리오 개발이 필요함
  - 추진방안 : 수소버스 운행모니터링 네트워크 체계 구축 및 운행모니터링 시스템 정보수집 기본설계, 수소버스 운행모니터링 데이터 및 사고데이터 분석을 통한 충돌/결함 안전도 평가시나리오 개발, 수소버스 운행 모니터링 시스템 운영 및 수소버스 안전도 평가 시나리오 활용

- 수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발 : 수소버스 연료장치 안전성 평가에 대한 전복 실차 및 해석 세부평가방법과 충돌평가기준 개발이 필요함
  - 추진방안 : 수소버스 실차 전복 세부시험 절차 마련 및 전복시험 해석모델 개발, 수소버스 전복/해석 평가방법 도출, 수소버스 연료장치 안전성 충돌 평가방법 연구, 수소버스 연료장치 안전성 충돌 평가방법 및 평가기준 도출
- 수소버스 평가기준 제도화 및 국제화 : R&D를 통해 개발되는 수소버스 안전성 평가 및 검사기준 제도화를 통하여 국내기준의 국제화를 통한 수소경제의 주도권 확보가 필요함
  - 추진방안 : 기준 제도화 및 국제화 로드맵 수립, 로드맵의 따른 분야별 안전기준 법제화 및 국제화 추진

## □ 2세부

- 수소버스 구동시스템 출력 평가기술 개발 : 수소버스 구동시스템의 특성을 반영한 시스템 출력시험방법 및 평가기준 개발이 필요함
  - 추진방안 : 국내외 수소버스 구동시스템 출력 평가기술 동향조사, 시스템 출력 시험 평가방법 마련, 평가기술 및 안전기준(안) 개발, 평가기술 검증 및 국제화 지원
- 수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개발 : 다중 동력원 및 병렬형 모터시스템을 가진 수소버스의 성능 시험이 가능한 평가장비 개발이 필요함
  - 추진방안 : 평가장비 컨셉수립, 장비 연구개발(설계 및 제작, SW 개발), 장비 정합성 검토 및 신뢰성 검증, 평가장비 규격 표준화

## □ 3세부

- 수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비개발 : 수소버스 운행차 수소가스 투과량을 측정할 수 있는 전용 검사장비와 측정기준 마련 및 운행 중 수소가스 누출에 따른 화재사고 예방이 필요함
  - 추진방안 : 수소용기 투과량 측정기술 협의체 구성을 통한 측정장비 및 프로그램 개발, 수소용기 투과량 측정기 실증평가 및 투과량 수치정확도 검증, 수소 투과량 평가기술 검사제도 도입 실증평가

- 수소버스 가스 방출량 검사기술 및 장비개발 : 수소버스 운행차 배출구에서 방출되는 수소가스의 농도 측정 평가기술 및 평가장비를 개발하여 방출가스에 의한 화재 및 내압용기 파열사고 예방이 필요함
  - 추진방안 : 수소버스 가스 방출량 측정기술 협의체 구성을 통한 평가모드 개발 연구, 수소가스 방출량 측정기 및 분석 소프트웨어 개발과 시험기 내구성 검증, 수소가스 방출량 측정기술 검사 제도화 연구
- 수소버스 내압용기 복합재 비파괴 검사기술 개발 : 수소버스에 적용되는 차세대 내압용기 복합재료 내부결함을 검출할 수 있는 비파괴 검사방법과 기술 개발이 필요함
  - 추진전략 : 내압용기 비파괴 검사 기법 및 장비 성능연구, 국내외 복합재 비파괴 기법 및 기술연구, 복합재료 유사결함 샘플 제작 및 결함 형상별 검출방법 연구, 복합재료 비파괴 검사 실증 평가 및 판정표준 적립

□ 4세부

- 대용량 수소 내압용기 화재평가기술 및 장비개발 : 대용량 수소내압용기 화재평가를 위한 화재평가기술 개발 및 화재시험 평가장비 개발이 필요함
  - 추진방안 : 누적/순간 열입사량 대비 수소부품의 수명 변화 평가를 통한 수소내압용기 평가시험기술 개발 및 실증, 대용량 수소내압용기 화재평가 시험장비 개발 및 검증
- 수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발 : 수소부품 건전성 평가를 위한 국제화 기준에 따른 안전성 평가장비 개발 및 현행 국제조화기준(GTR) 검증이 필요함
  - 추진전략 : 수소제품 평가장비 설계 및 수소상용차급 제품 안전성 평가장비 구축, 구축 평가장비 시험절차서 개발 및 국제화 기준 대응
- 대용량 CHSS 평가기술 및 평가장비 개발 : 수소부품 안전성 평가를 위한 국제화 기준에 따른 대용량 CHSS 안전성 평가장비 개발 및 검증이 필요함
  - 추진전략 : 대용량 CHSS 평가장비 개발 및 개발평가장비 시험절차서 제시 및 국제화 기준 대응, 대용량 CHSS 진동내구 평가장비 개발 및 시험절차서 제시

□ 예산 미반영시 문제점

- (운행 안전성 우려) 2019년부터 보급예정인 수소버스의 내압용기가 기존보다 커 지나 (650 → 1850mm) 내압용기 안전성 평가기준의 부재로 수소버스 보급 시, 운행 안전성이 우려됨 (2019년 보급된 수소버스는 투싼 내압용기 및 수소부품을 사용, 안전성 검증완료됨)



<그림 4-2> 수소버스 2018 vs 2019

- (국내업계 성장동력 상실우려) 수소전기차 산업 선점을 위하여 수소전기차 세계 기술기준 개정예 미국, 일본, 유럽 등이 자국입장 반영을 추진하고 있어, 연구추진 지연 시 수소버스 기술 해외종속 및 국내업계 성장 동력 상실이 우려됨
  - 수소전기차 세계기술기준 2단계 기준개정 협의가 2017년부터 수행되고 있으며, 미국 및 EU(의장국), 한국 및 일본(부의장국)이 참여하고 있어, 연구를 통한 주도적인 의견피력이 필요
- (업계 비용부담 증가우려) ' 19년 자동차용 내압용기 안전에 관한 규정이 세계기술기준과 조화될 예정으로 현재 평가장비의 Upgrade 및 신규개발이 불가피하여, 연구지연 시 업계의 해외인증 등으로 인한 비용부담 증가 우려됨

<국내 장비개발 인증에 따른 경제적 효과>

- 세계기술기준 조화에 따른 평가장비 Upgrade 및 신규개발을 통해 국내 인증 추진 시 업계의 연간 약 165억원 개발 및 사회적 비용 절감
- \* 내압용기 해외인증 시 2.5억원 소요, 국내 인증 시 0.85억원 소요, 1.65억원 절감  
 $1.65\text{억원(절감액)} \times 100\text{식} = 165\text{억}$

## 제4절. 경제적 타당성

### 1. 분석방법 개요

- 경제성 타당성 분석을 위하여 사회적 편익(social benefit)과 사회적 비용(social cost)을 산출한 후, 순현재가치법(NPV:Net Present Value), 내부수익률법(EIRR:Economic Internal Rate of Return) 및 편익·비용분석법(benefit-cost analysis)을 통하여 본 과제의 경제성을 파악함.
- 또한 가정과 전제조건, 할인율, 비용, 편익 등 주요변수의 변화가 경제성에 미치는 영향에 대한 민감도 분석을 수행함
  - 본 과제는 아직 현실에 존재하지 않은 비용을 추정하여야 하므로, 과거의 자료나 경험, 지식을 토대로 분석하여야 한다는 점에서 기존 자료를 벗어나지 못한다는 한계를 가지고 있음.
  - 이에 비용 추정은 최종적인 결정을 제공하는 것이 아닌, 단일 또는 여러 대안에 대한 정보만을 제공함

### 2. 비용 추정

- 본 사업은 2020년에서 2022년까지4년 동안 29,000 백만원의 투입을 계획하였고 연차별 예산 배분은 다음과 같음

<표 4-5> 연차별 예산배분 (단위 : 백만원)

연차	정부부담금	민간투자	추정 예산
1차년도 (2020)	6,000	2,000	8,000
2차년도 (2021)	9,000	3,000	12,000
3차년도 (2022)	9,000	3,000	12,000
4차년도 (2023)	5,000	1,668	6,668
계	29,000	9,668	38,668

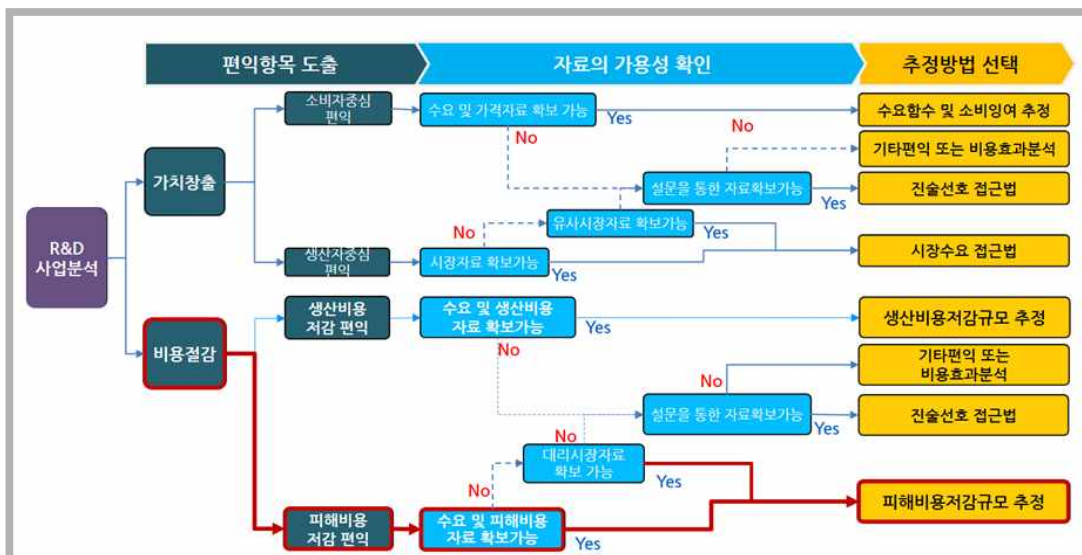
- 본 과제는 상용화 제품·기술 개발을 목표로 하는 R&D 과제와는 달리 파급효과가 큰 공공·사회적 수요에의 기여가 목적인 과제로써, 기술개발의 최종목표가 충돌안전성 평가기술의 개발이므로 공공적인 성격이 강하고 편익에 대한 산정이 제한되는 특징이 있음.

- 이에 수소버스 관련 중소 제조업체의 부담 경감과 수소버스 확대 운행 시 절감되는 환경 비용, 또한 사고에 의한 안전비용 절감 등의 항목을 기준으로 편익을 산출하였음

### 3. 편익 추정

#### 가. 편익가치 계산과정

- 수소버스 및 부품의 안전성 평가기술은 교통사고 건수 및 인명피해를 감소시키는 사회적 비용 감소의 경제적 파급효과를 가져옴
- 수소버스 안전성 평가기술과 안전기준은 산업기술연구개발사업에서 활용되는 상용화 효과(매출증대, 부가가치창출 등)를 추정하는 방법론 보다는 교통사고의 사회적 비용절감, 생명과 재산 보호 등을 중심으로 편익항목을 도출함
- 학술문헌연구와 국토부 규제영향분석서를 통해 안전기준 효과분석 사례와 분석방법을 검토함
- 타당성조사의 편익 추정방법 선택과정에 기초하여 편익항목들을 도출함
- 연구개발부문의 예비타당성조사의 편익 추정은 사업분석 → 편익항목 도출 → 자료의 가용성 확인 → 편익 추정방법의 선택 → 항목별 비용 도출 → 가치계산의 과정을 거침



<그림 4-3 편익항목 도출과정>

- 본 사업의 편익 항목은 과학기술적 관점의 안전성 확보에 따른 교통사고 저감비용과 수소 내압용기 해외 인증 절감 비용으로 구분하였음
- 수소버스의 안전성 평가기술 개발 확보에 따른 교통사고 저감편익은 안전성 평가기술 확보에 따른 교통사고비용 저감편익, 수소버스 검사기술 확보에 따른 교통사고비용 저감편익, 수소버스 해외인증비용 절감 편익으로 구분함.

**나. 안전성 평가기술 확보에 따른 교통사고비용 절감편익**

- 일반버스 ( 시내버스, 시외버스, 고속버스, 전세버스) 사망자 교통사고 비용 도출
- 일반버스 1대당 사망자 비용 도출(445,171,400원)
- 안전성 평가기술의 교통사고 저감효과 적용(KNCAP : 23.6%)
  - 충돌안전성 효과에 대한 사고 감소 기여율은 1999년부터 2017년까지 분석 한 자료를 기준으로 산정하였으며, 오즈비 분석 결과와 같이 실제 사고지표와 안전성 평가기술에 따른 사고지표 감소분을 계산해본 결과 전체교통사고 대비 사망 감소효과가 23.6% 감소를 보였음.
  - 연도별 보급된 수소버스에 도출된 사망자 비용 적용

<표 4-6> 수소버스 연간 내수 누적 (단위 : 대수)

연도	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
연간 누적 대수	2,000	2,362	2,790	3,295	3,892	4,597	5,429	6,412	7,573	8,944	10,564	12,477

**다. 수소버스 검사기술 확보에 따른 교통사고비용 절감편익**

- 일반버스 교통사고 비용 도출(사망자, 부상자)
- 일반버스 1대당 교통사고 비용 도출(3,681,613원)
- 자동차검사제도의 교통사고 저감효과 적용(한국교통안전공단 연구보고서 : 48%)
- 차량결함비율 10% 적용
- 연도별 보급된 수소버스에 도출된 교통사고 비용 적용

## 라. 수소버스 해외인증비용 절감 편익

- 수소버스 안전성 평가 장비의 국내 인증 추진에 의한 해외인증 비용 절감 편익
- 고압용기제품 인증을 위해 114개의 제조사가 연간 0.5건의 인증을 받는데 필요한 해외인증비용 절감 편익
- 고압용기 제품 인증을 위해 제품개발을 위해 114개의 제조사가 연간 사용하는 비용을
- 기준으로 직접비용, 출장비 등 간접비용 합계 3,176,040천원 적용

<표 4-7> 업체당 고압용기 국내외 인증비용 비교표 (단위 : 천원)

구분	국내	국외	절감액
시험/인증비용	81,000	99,720	18,720
출장비(3인)	2,000	30,000	28,000
운송료	1,500	10,500	9,000
계	84,500	249,585	55,720

## 마. 편익 산정 결과

- 본 사업에 의한 편익발생기간은 2024년부터 2033년까지 10년을 기준으로 분석하였으며, 현재 가치 도출을 위한 사회적 할인율은 5%를 적용함
- 비용과 편익을 종합하여 비용편익 비율(B/C Ratio)을 추정된 결과, 1.426로 계산되었으며, B/C 비율이 경제성 분석의 기준인 1을 초과하므로 본 과제의 경제성은 확보한 것으로 분석됨

비용(백만원)	편익(백만원)	B/C(%)	NPV(백만원)
38,668	51,425	1.426	15,453

## 제5절. 자원투입계획

### 1. 연구일정에 따른 인력 투입계획

#### 가. 전체사업 인력투입계획

□ (총 투입 인력) 1차년도부터 4차년도까지 전체 441명 인력 투입

- 수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 기준 법제화 148명, 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발 54명, 수소버스 운행차 검사기술 및 장비개발 126명, 수소부품 안전성평가기술 및 장비개발 113명 투입

(단위 : 명)

구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
수소버스 충돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 기준 법제화	수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발	12	12	12	60	96
	수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발	9	9	9	9	36
	수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화	4	4	4	4	16
	계	25	25	25	73	148
수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발	수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발	6	5	9	10	30
	수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개발	7	9	5	3	24
	계	13	14	14	13	54
수소버스 운행차 평가검사기 술 및 장비개발	수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비개발	11	12	7	-	30
	수소버스 수소배기 배출량 검사기술 및 장비개발	11	12	7	-	30
	수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발	-	22	22	22	66
	계	22	46	36	22	126
수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발	수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발	15	8	-	-	23
	수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발	15	15	-	-	30
	대용량 CHSS(compressed Hydrogen Storage System) 평가기술 및 장비개발	15	15	15	15	60
	계	45	38	15	15	113
합계		105	123	90	123	441

## 나. 세부과제 인력계획

### □ 제1세부

구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발	책임 연구원	4	4	4	12	24
	선임 연구원	4	4	4	18	30
	원급 연구원	4	4	4	30	42
	계	12	12	12	60	96
수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발	책임 연구원	4	4	4	4	16
	선임 연구원	3	3	3	3	12
	원급 연구원	2	2	2	2	8
	계	9	9	9	9	36
수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화	책임 연구원	1	1	1	1	4
	선임 연구원	2	2	2	2	8
	원급 연구원	1	1	1	1	4
	계	4	4	4	4	16
계	책임 연구원	9	9	9	17	44
	선임 연구원	9	9	9	23	50
	원급 연구원	7	7	7	33	54
	계	25	25	25	73	148

### □ 제2세부

구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발	책임 연구원	2	2	3	3	10
	선임 연구원	3	2	5	6	16
	원급 연구원	1	1	1	1	4
	계	6	5	9	10	30
수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개발	책임 연구원	2	2	1	1	6
	선임 연구원	4	6	3	1	14
	원급 연구원	1	1	1	1	4
	계	7	9	5	3	24
계	책임 연구원	4	4	4	4	16
	선임 연구원	7	8	8	7	30
	원급 연구원	2	2	2	2	8
	계	13	14	14	13	54

□ 제3세부

구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비개발	책임 연구원	2	2	1	-	5
	선임 연구원	5	6	3	-	14
	원급 연구원	4	4	3	-	11
	계	11	12	7	-	30
수소버스 수소배기 배출량 검사기술 및 장비개발	책임 연구원	2	2	1	-	5
	선임 연구원	5	6	3	-	14
	원급 연구원	4	4	3	-	11
	계	11	12	7	-	30
수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발	책임 연구원	-	4	4	4	12
	선임 연구원	-	10	10	10	30
	원급 연구원	-	8	8	8	24
	계	-	22	22	22	66
계	책임 연구원	4	8	6	4	22
	선임 연구원	10	22	16	10	58
	원급 연구원	8	16	14	8	46
	계	22	46	36	22	126

□ 제4세부

구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발	책임 연구원	4	2	-	-	6
	선임 연구원	4	2	-	-	6
	원급 연구원	7	4	-	-	11
	계	15	8	-	-	23
수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발	책임 연구원	4	4	-	-	8
	선임 연구원	4	4	-	-	8
	원급 연구원	7	7	-	-	14
	계	15	15	-	-	30
대용량 CHSS(compress ed Hydrogen Storage System) 평가기술 및 장비개발	책임 연구원	4	4	4	4	16
	선임 연구원	4	4	4	4	16
	원급 연구원	7	7	7	7	28
	계	15	15	15	15	60
계	책임 연구원	12	10	4	4	30
	선임 연구원	12	10	4	4	30
	원급 연구원	21	18	7	7	53
	계	45	38	15	15	113

## 2. 전체 소요예산

(단위 : 백만 원)

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계	
수소버스 총돌안전성 평가기술 개발 및 수소버스 기준 법제화	수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발	정부	400	550	400	1,000	2,350	
		민간	133	183	133	334	783	
		계	533	733	533	1,334	3,133	
	수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발	정부	900	450	1,100	1,150	3,600	
		민간	300	150	367	383	1,200	
		계	1,200	600	1,467	1,533	4,800	
	수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화	정부	50	150	100	200	500	
		민간	17	50	33	67	167	
		계	67	200	133	267	667	
	소계	정부	1,350	1,150	1,600	2,350	6,450	
		민간	450	383	533	783	2,150	
		계	1,800	1,533	2,133	3,133	8,600	
수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발	수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발	정부	106	855	397	673	2,031	
		민간	36	285	133	224	678	
		계	142	1,140	530	897	2,709	
	수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개발	정부	994	2,646	1,603	327	5,569	
		민간	331	881	534	109	1,855	
		계	1,324	3,527	2,137	436	7,424	
	소계	정부	1,100	3,500	2,000	1,000	7,600	
		민간	367	1,167	667	333	2,534	
		계	1,467	4,667	2,667	1,333	10,134	
	수소버스 운행차 검사기술 및 장비개발	수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비개발	정부	400	200	200	-	800
			민간	133	67	67	-	267
			계	533	267	267	-	1,067
수소버스 수소배기 배출량 검사기술 및 장비개발		정부	300	300	200	-	800	
		민간	100	100	67	-	267	
		계	400	400	267	-	1,067	
수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발		정부	-	600	600	650	1,850	
		민간	-	200	200	217	617	
		계	-	800	800	867	2,467	
소계		정부	700	1,100	1,000	650	3,450	
		민간	233	367	333	217	1,150	
		계	933	1,467	1,333	867	4,600	
수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발	수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발	정부	900	200	-	-	1,100	
		민간	300	67	-	-	367	
		계	1,200	267	-	-	1,467	
	수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발	정부	1,750	1,650	-	-	3,400	
		민간	583	550	-	-	1,133	
		계	2,333	2,200	-	-	4,533	
	대용량 CHSS 평가기술 및 장비개발	정부	200	1,400	4,400	1,000	7,000	
		민간	67	467	1,467	333	2,333	
		계	267	1,867	5,867	1,333	9,333	
	소계	정부	2,850	3,250	4,400	1,000	11,500	
		민간	950	1,083	1,467	333	3,833	
		계	3,800	4,333	5,867	1,333	15,333	
합계	정부	6,000	9,000	9,000	5,000	29,000		
	민간	2,000	3,000	3,000	1,668	9,668		
	계	8,000	12,000	12,000	6,668	38,668		

### 3. 세부과제별 소요예산

참여연구원 인건비는 '18년도 회계예규 “예정가격작성기준” 학술연구용역 인건비 기준단가 (30% 참여)로 작성

#### 가. 1세부 수소버스 안전성 평가기준 및 검사기술 개발·국제화 비목별 예산 현황 (단위 : 백만 원)

예산 항목	세부 항목	예산 항목						비율 (%)
		단가 (연급여)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	소계	
인건비	책임연구원	23.1	196	196	196	381	970	11.3%
	선임연구원	17.7	142	142	142	389	814	9.5%
	원급연구원	12	78	78	78	390	624	7.3%
	소 계		416	416	416	1,161	2,409	28.0%
직접비	연구 재료비 및 시제품 제작비		1,129	595	1,250	1,269	4,243	49.3%
	기타 직접비		147	431	339	515	1,432	16.7%
	소 계		1,276	1,025	1,589	1,785	5,675	66.0%
간접비			108	92	128	188	516	6.0%
합 계			1,800	1,533	2,133	3,133	8,600	100.0%

#### □ 직접비 세부내역

구분	연구개발비 산출내역	비고
1-1 수소버스 연료장치 안전성 평가 시나리오 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 재료비 및 시제품 제작비: 8.05 억</li> <li>- 수소버스 운행정보 수집시스템 : 1.8억</li> <li>- 수소버스 사고데이터 구축 툴 : 1.2억</li> <li>- 시나리오 시뮬레이션 분석 : 1.0억</li> <li>- 버스운행패턴 분석시스템 : 0.5억</li> <li>- 시뮬레이션 모듈 검증 프로그램 : 2.05억</li> <li>- 운행모니터링 시스템 고도화 : 1.5억</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 기타 직접비: 5.51억</li> <li>- 국외여비(해외출장 3회) : 0.7억</li> <li>- 국내·외 교육훈련비 : 0.7억</li> <li>- 국내여비 및 시내 교통비 : 1.1억</li> <li>- 사무용품비 등 기타비용 : 3.01억</li> </ul>
1-2 수소버스 전복/충돌 시 연료장치 안전성 평가기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 재료비 및 시제품 제작비: 34.38억</li> <li>- 수소버스 시험차량 구매비(3대) : 22.8억</li> <li>- 번위량 및 하중센서(300개) : 0.7억</li> <li>- 초소형 카메라 렌즈구매(60개) : 0.8억</li> <li>- 해석 프로그램(Hyper Works, LS Dyna 등) 구매 및 임대 : 2.6억</li> <li>- 수소농도측정센서(30개) : 0.6억</li> <li>- 번위량 측정 시험지그제작 : 0.35억</li> <li>- 시험준비용역비 : 1.0억</li> <li>- 시험소모품 구매비 : 0.64억</li> <li>- 충돌시험 해석용역 1.0억</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 기타 직접비: 3.96억</li> <li>- 국외여비(해외출장 8회) : 0.48억</li> <li>- 국내·외 교육훈련비 : 0.8억</li> <li>- 회의비 : 0.98억</li> <li>- 국내여비 및 시내 교통비 : 0.9억</li> <li>- 사무용품비 등 기타비용 : 0.8억</li> </ul>
1-3 수소버스 평가기준 제/개정 및 국제화	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 기타 직접비: 4.85억</li> <li>- 국외여비(해외출장 16회) : 2.4억</li> <li>- 국내·외 교육훈련비 : 0.5억</li> <li>- 회의비 : 0.9억</li> <li>- 국내여비 및 시내 교통비 : 0.55억</li> <li>- 사무용품비 등 기타비용 : 0.5억</li> </ul>	

## 나. 2세부 수소버스 구동시스템 성능 평가기술 및 장비개발 비목별 예산 현황

(단위 : 백만 원)

예산 항목	세부 항목	예산 항목						비율 (%)
		단가 (연급여)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	소계	
인건비	책임연구원	23.1	92	92	92	92	370	3.6%
	선임연구원	17.7	124	142	142	124	531	5.2%
	원급연구원	12	24	24	24	24	96	0.9%
	소 계		240	258	258	240	997	9.8%
직접비	연구 재료비 및 시제품 제작비		1,105	4,025	2,183	963	8,276	81.7%
	기타 직접비		33	104	66	50	253	2.5%
	소 계		1,138	4,129	2,249	1,013	8,529	84.2%
간접비			88	280	160	80	608	6.0%
합 계			1,467	4,667	2,667	1,333	10,133	100.0%

### □ 직접비 세부내역

구분	연구개발비 산출내역	비고
2-1 수소버스 연료전지 및 구동시스템 출력 평가기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 재료비 및 시제품 제작비: 21.9억</li> <li>- 수소버스 구동시스템 구매 : 6.5억</li> <li>- 차량 시험 및 구동시스템 시스템 분리 용역비 : 4.0억</li> <li>- 모터 구매 및 시험 : 1.0억</li> <li>- 연료전지 스택 시험 : 2.0억</li> <li>- 연구개발(SW 개발) : 3.0억</li> <li>- 장비사용료 : 5.0억</li> <li>• 연료전지 평가장비 : 3.2억</li> <li>• E-다이노미터 : 1.8억</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 기타 직접비: 1.31억</li> <li>- 국외 여비(해외출장, 세미나 등) : 0.88억</li> <li>- 국내 여비(출장, 회의 등) : 0.2억</li> <li>- 기타비용 : 0.23억</li> </ul>
2-2 수소버스 구동시스템 통합성능 평가장비 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 재료비 및 시제품 제작비: 60.86억</li> <li>- 제어기 및 데이터 수집장치 개발 : 5.0억</li> <li>- 높은Torque 대응 동력 평가장비개발(2대) : 13.0억</li> <li>- 높은RPM 대응 동력 평가장비개발(1대) : 14.0억</li> <li>- 정반 및 이동장치 개발: 4억</li> <li>- 공시체 냉각(유)온도조절장치 : 2.5억</li> <li>- 배터리 시뮬레이터 : 7.0억</li> <li>- 전력 분석기 : 1.5억</li> <li>- 연구개발(설계,해석,개선) : 8.54억</li> <li>- 장비사용료 : 5.32억</li> <li>• 장비 제작 머신 및 작업장 : 2.61억</li> <li>• 설계/해석 (프로그램, 장비) : 2.71억</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 기타 직접비: 1.22억</li> <li>- 국외 여비(해외출장, 세미나 등) : 0.2억</li> <li>- 국내 여비(출장, 회의 등) : 0.32억</li> <li>- 기타비용 : 0.7억</li> </ul>

### 다. 3세부 수소버스 운행차 검사기술 및 장비개발

(단위 : 백만 원)

예산 항목	세부 항목	예산 항목						비율 (%)
		단가 (연급여)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	소계	
인건비	책임연구원	23.1	92	185	139	92	508	11.0%
	연구원	17.7	177	389	283	177	1,027	22.3%
	연구보조원	12	96	192	168	96	552	12.0%
	소 계		365	766	590	365	2,087	45.4%
직접비	연구 재료비 및 시제품 제작비		372	450	485	349	1,656	36.0%
	기타 직접비		140	162	178	100	580	12.6%
	소 계		512	612	663	449	2,236	48.6%
간접비			56	88	81	52	277	6.0%
합 계			933	1,467	1,333	867	4,600	100.0%

#### □ 직접비 세부내역

구분	연구개발비 산출내역	비고
3-1 수소버스 연료장치 투과량 검사기술 및 장비개발	* 재료비 및 시제품제작비 : 3.47억 - 투과량측정모듈 및 시제품제작 : 1.2 억 - 검증평가용 시제품 1세트 추가 제작 : 0.9 억 - 분석소프트웨어 개발 : 0.25 억 - 가스방출마스터 : 0.45 억 - 데이터 수집 및 분석 : 0.29 억 - 측정데이터 수집 및 분석 : 0.1 억 - 정밀도 분석 : 0.2 억 - 분석기 및 프로브 고정장치 : 0.08 억	* 기타 직접비: 1.6억 - 국외여비(해외출장 3회) : 0.45억 - 국내·외 교육훈련비 : 0.45억 - 국내출장비 : 0.15억 - 국내여비 및 시내 교통비 : 0.2억 - 국외자료 번역, 전문가활용, 사무용품비 등 기타비용 : 0.35억
3-2 수소버스 수소배기 배출량 검사기술 및 장비개발	* 재료비 및 시제품제작비 : 4.13억 - 디스플레이 및 통신장치 : 0.6억 - 수소감지기 : 0.4억 - 진공펌프 : 0.43억 - 전장 및 밸브 등 소모품 : 0.1억 - 수소감지기 : 0.4억 - 분석소프트웨어 : 0.3억 - 측정데이터 수집 및 분석 : 0.3억 - 캘리브레이션 툴 및 정밀도 분석 : 0.4억 - 프로브 등 소모품 : 0.2억 - 분석기 및 프로브 고정장치 : 0.08 억 - 상관성 검증용 분석기 시제품 제작 : 0.92 억	* 기타 직접비: 0.94억 - 국외여비(해외출장 3회) : 0.32억 - 국내·외 교육훈련비 : 0.15억 - 국내출장비 : 0.15억 - 국내여비 및 시내 교통비 : 0.16억 - 국외자료 번역, 전문가활용, 사무용품비 등 기타비용 : 0.16억
3-3 수소버스 내압용기 비파괴 검사기술 개발	* 재료비 및 시제품제작비 : 8.96억 - 복합재료 결함 측정기 : 1.6억 - 탐촉자 및 소모품 : 1.98억 - 결함측정 표준용기 제작 : 2.0억 - 캘리브레이션 시편 제작 : 0.2억 - 측정데이터 수집 및 분석 : 1.98억 - 판정 알고리즘 및 소프트웨어 개발 : 1.2억	* 기타 직접비: 2.5억 - 국외여비(해외출장 5회) : 0.5억 - 국내·외 교육훈련비 : 0.4억 - 국내출장비 : 0.3억 - 국내여비 및 시내 교통비 : 0.3억 - 국외자료 번역, 전문가활용, 사무용품비 등 기타비용 : 1.0억

라. 4세부 수소부품 안전성 평가기술 및 부품 평가장비 개발 비목별 예산 현황

(단위 : 백만 원)

예산 항목	세부 항목	예산 항목						비율 (%)
		단가 (연급여)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	소계	
인건비	책임연구원	23.1	277	231	92	92	693	4.5%
	연구원	17.7	212	177	71	71	531	3.5%
	연구보조원	12	252	216	84	84	636	4.1%
	소 계		742	624	247	247	1,860	12.1%
직접비	연구 재료비 및 시제품 제작비		2,778	3,381	5,172	980	12,311	80.3%
	기타 직접비		52	67	95	26	240	1.6%
	소 계		2,830	3,448	5,267	1,006	12,551	81.9%
간접비			228	261	352	80	922	6.0%
합 계			3,800	4,333	5,867	1,333	15,333	100.0%

□ 직접비 세부내역

구분	연구개발비	산출내역	비고
4-1 수소 대용량 내압용기 화재평가기술 및 장비개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 재료비 및 시제품 제작비 : 9.6억</li> <li>- 가변형 버너 제작비(5대) : 3.0억</li> <li>- LPG 연료비 : 0.4억</li> <li>- 열전대 및 압력계 : 0.8억</li> <li>- 수소가스 : 0.5억</li> <li>- 액화질소 : 0.2억</li> <li>- 집자재비(케이블, 피팅류, 배관류) : 0.8억</li> <li>- 데이터로거 : 0.5억</li> <li>- 복합용기(10개) : 0.5억</li> <li>- 화재시험 지그 : 0.5억</li> <li>- 시험제어 프로그램 : 0.2억</li> <li>- 수소감지시스템 : 0.2억</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시험장 토목공사비/폐기물처리비 : 0.8억</li> <li>- CCTV 감시카메라 시스템 : 0.2억</li> <li>- 열플럭스 센서 : 0.3억</li> <li>- 집진필터 교체비용 : 0.5억</li> <li>- 세라크올 단열재 : 0.2억</li> <li>* 기타 직접비: 0.41억</li> <li>- 국외여비(해외출장 6회) : 0.3억</li> <li>- 국내·외 교육훈련비 : 0.02억</li> <li>- 국내출장비 : 0.05억</li> <li>- 국내여비 및 시내 교통비 : 0.0억</li> <li>- 사무용품비 등 기타비용 : 0.04억</li> </ul>	
4-2 수소부품 안전기준 국제화 평가장비 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 재료비 및 시제품 제작비: 37.17 억</li> <li>- PRD 성능평가 시스템 : 7.06억</li> <li>- 부품 냉각수소 성능평가 장치 : 4.95억</li> <li>- 고압부품 수소반복시험설비 : 7.15억</li> <li>- 고압부품 수소리크 시험설비 : 4.05억</li> <li>- PRD Thermal Cycle : 4.06억</li> <li>- Chattering 시험장치 : 9억</li> <li>- 대형진동시험 지그 : 0.9억</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 기타 직접비: 0.5 억</li> <li>- 국외여비(해외출장 4회) : 0.2억</li> <li>- 국내·외 교육훈련비 : 0.05억</li> <li>- 국내출장비 : 0.1억</li> <li>- 국내여비 및 시내 교통비 : 0.1억</li> <li>- 사무용품비 등 기타비용 : 0.05억</li> </ul>	
4-3 대용량 CHSS 평가기술 및 장비개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 재료비 및 시제품제작비 : 76.35억</li> <li>- 고압기 평가 장비 소모품등(밸브) : 0.02억</li> <li>- 대형수압파열시험설비 : 2억</li> <li>- 대용량 저온평가설비 : 5억</li> <li>- 대용량 고온평가설비 : 5억</li> <li>- 대형용기 낙하시험설비 : 2.8억</li> <li>- 수소가스반복 가압설비 : 29억</li> <li>- 내압폭형 수소극한온도 반복시험설비 : 17.2억</li> <li>- 대형가스 투과성 시험설비 : 5.52억</li> <li>- 대형수압반복시험설비 : 9.8억</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 기타 직접비: 1.49 억</li> <li>- 국외여비(해외출장 6회) : 0.3억</li> <li>- 국내·외 교육훈련비 : 0.1</li> <li>- 국내출장비 : 0.15억</li> <li>- 국내여비 및 시내 교통비 : 0.15억</li> <li>- 사무용품비 등 기타비용 : 0.09</li> </ul>	

(공고안내서 참조)

- 우리가 공급했던 수소 이야기(수소융합얼라이언스추진단, 2019.4.)
- 수소경제 활성화 로드맵 발표(관계부처 합동, 2019.1.)
- 수소버스 내당 국내 첫 운행…서초~송례문 오가는 405번(연합뉴스, 2018.7.9.)
- 민관 공동 수소차 산업생태계 구축 가속화(산업부 보도자료, 2018.6.25.)
- 전기·수소차 보급 확산을 위한 정책방향(관계부처 합동, 2018.6.)
- 울산시, 모든 시내버스 수소차로 바꾼다(한국경제, 2018.5.8.)
- 수소승용차 성공적 출시, 이제는 ‘수소버스’ 다(월간수소경제, 2018.5.2.)
- 수소에너지 관련 현황 및 입법적 개선방향(이슈와 논점, 2018.3.5.)
- 수소연료전지차(FCEV) 관련 국내외 동향 및 정책 제안(대한석유협회, 2018.3.)
- 국제 수소에너지 산업포럼 자료집(국회 신·재생에너지포럼 주최, 2018.2.6.)
- 수소연료전지차 국내외 산업동향(융합연구정책센터, 2018.2.)
- ‘수소車기술은 계최고인데…충전소는 전국에 11곳 뿐(문화일보, 2018.1.25.)
- 수소충전소 기술 및 정책 현황(공업화학 전망 제21권 제3호, 2018.)
- 수소산업 안전관리 정책 연구(가스안전연구원, 2017.12.)
- 수소경제사회 준비를 위한 국내외 정책 동향(융합연구정책센터, 2017.12.)
- KB 지식 비타민(KB금융지주 경영연구소, 2017.11.)
- 세계 자동차 통계(한국자동차산업협회, 2017.10.30.)
- 자동차산업[수소차 특집](신영증권, 2017.9.28.)
- 자동차 리포트(삼성증권, 2017.9.)
- 2017 수소전기차 기술개발 동향(구영모 등, 2017.7.)
- 수소연료전지 자동차(FCEV) 충전용 수소 시장조성을 위한 정책 연구(김재경 등, 2017.7.)

- 주요국과의 비교를 통한 국내 수소산업의 발전 방안 도출(에너지경제연구원 2017.봄호)
- 2017년 수소연료전지차 보급사업 보조금 업무처리지침(환경부, 2017.2.)
- 친환경자동차 의무판매제 도입의 비판적 검토(한국경제연구원, 2017.)
- 미래형 자동차 산업동향과 투자유치 방안(KOTRA 자료집, 2016.6.)
- 제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획(관계부처 합동, 2015.12.8.)
- 버스 교통사고 특성을 고려한 안전대책 연구(한국운수산업연구원, 2015.12.)
- 현대자동차 연료전지버스 실증 운영 결과(한국수소 및 신에너지학회 논문집, 2014.)
- 국내외 수소연료전지차 개발 동향 (정보통신산업진흥원, 2013.8.)
- Fuel cell buses A commercially competitive zero emission bus(Elementenergy, 2018.4.)
- Fuel Cell Buses An attractive Value Proposition for Zero-Emission Buses in Scandinavia(2018.4)
- IHS forecasts FCEV production to reach 69,000 upa by 2027(2018.1.)
- Strategies for joint procurement of fuel cell buses(FCH, 2018)
- Fuel Cell Electric Buses An Attractive Value Proposition for Zero-Emission Transit in California(2018)
- Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2017(NREL, 2017.11.)
- Battery-Fuel Cell Hybrid Electric Buses Optimized solutions for zero-emission transit(BALLARD, 2017.3.)
- The FuelCell Industry review 2017(E4tech, 2017)
- Fuel Cells and Hydrogen : US Perspectives(U.S. DOE, 2015.11.)
- Fuel Cell Electric Buses - Potential for Sustainable Public Transport in Europe(FCH, 2015, 9)
- Toyota MIRAI Fuel Cell Vehicle and Progress Toward a Future Hydrogen Society(2015, SUMBER)

### 주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.