

# 목 차

<b>I. 수소연료전지차 현황과 전망</b> .....	<b>41</b>
1. 자동차용 연료전지 개관 .....	41
1-1. 연료전지의 작동 원리 .....	41
1) 연료전지 단위 Cell & Stack .....	41
2) 연료전지 시스템 .....	46
1-2. 연료전지의 구성 및 특징 .....	47
1) 연료전지의 구성 .....	47
2) 연료전지의 특징 및 장점 .....	48
(1) 저 전압, 직류전원 .....	48
(2) 열병합발전에 적합 .....	48
(3) 저 부하 시 높은 발전 효율 .....	48
(4) 높은 발전효율 .....	49
(5) 소규모 발전원으로 유리 .....	49
(6) 가장 안정적인 에너지원 .....	50
(7) 환경친화적 .....	50
(8) 이용가능 연료의 다양성 .....	51
(9) 빠른 개발 속도 .....	51
3) 연료전지의 다양한 유용성 .....	52
4) 연료전지 산업의 특성 .....	53
(1) 융합산업으로서의 연료전지 산업 .....	53
(2) 고정형/발전용 연료전지 산업 .....	55
(3) 수소연료전지차 관련 산업 .....	56
1-3. 연료전지의 분류 .....	58
1) 기술별 분류 .....	58
(1) PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell) .....	58
(2) DMFC(Direct Methanol Fuel Cell) .....	61
(3) SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) .....	62
(4) AFC(Alkaline Fuel Cell) .....	65
(5) MCFC(Molten Carbonate Fuel Cell) .....	65
(6) PAFC(Phosphoric Acid Fuel Cell) .....	67
2) 용도별 분류 .....	68

(1) Applications category .....	68
(2) 수송용(Transportation) 연료전지 .....	69
(3) 휴대용(Portable) 연료전지 .....	70
(4) 발전용(고정형, Stationary) 연료전지 .....	70
3) 연료전지 Type별 특성 및 시장분석 .....	72
(1) 전해질에 의한 연료전지의 분류 .....	72
(2) Fuel Cell Type별 작동 특징 .....	73
(3) Fuel Cell Type별 시장분석 .....	75
2. 수소연료전지차 개관 .....	76
2-1. 수소연료전지차 개요 .....	76
1) 수소연료전지차 구성 및 작동 .....	76
(1) 수소연료전지차의 구성 .....	76
(2) 수소연료전지차의 작동 .....	78
2) 수소연료전지차 개발 연혁 .....	79
(1) 수소연료전지차 발전사 .....	79
(2) Technology Readiness Levels(TRL) .....	80
3) 투싼 ix35 FCEV 對 Mirai FCEV .....	82
2-2. 수소연료전지차 개발 배경 .....	84
1) 수소 에너지의 유용성 .....	84
2) 고연비, 저탄소화를 지향하는 자동차업체 .....	86
3) 기존 내연기관차와 유사한 성능 .....	88
4) 수소연료전지차의 Benefits .....	89
2-3. 수소연료전지차의 시장진입 동향과 전망 .....	90
1) ZEV로서의 수소연료전지차 .....	90
(1) 미국 California 대학의 조안 오그덴 교수팀의 공동 연구 .....	90
(2) 친환경차 개발의 필요성 증대 .....	91
(3) 공기정화장치 및 V2G로서의 수소연료전지차 .....	95
(4) 전기동력 자동차(xEVs)의 GHG와 필요 전기에너지 비교 .....	96
2) 수소 경제 사회의 대응 .....	98
3) 수소연료전지차 수요/공급 전망 .....	100
(1) 수소연료전지차 단기 수요전망 .....	100
(2) 수소연료전지차 장기 시장전망 .....	104
(3) 수소연료전지차 공급 전망 .....	107
4) 수소연료전지차 보급정책과 충전인프라 구축 .....	108
(1) 주요국 보급 지원 정책동향 .....	108
(2) 국내 보급 지원 정책동향 .....	109

(3) 세계 수소 충전인프라 구축 전망 .....	109
-----------------------------	-----

## II. 수소연료전지차 관련 핵심기술 개발동향 .....115

1. 자동차용 수소연료전지 개발동향 .....	115
1-1. US DOE의 개발 동향 및 연구방향 .....	115
1) US DOE Technical Targets .....	115
(1) 자동차용 수소연료전지 Power System .....	115
(2) Fuel Cell Stack .....	117
(3) MEAs(Membrane Electrode Assemblies, 막전극집합체) .....	118
(4) Membranes(전해질막) .....	119
(5) ElectroCatalysts(전극촉매) .....	120
(6) Bipolar Plates .....	121
(7) Air Compression System .....	122
(8) Cathode Humidification System & Humidifier Membrane .....	123
2) R&D 방향 및 Milestones .....	124
(1) DOE의 R&D 방향 .....	124
(2) R&D Milestones .....	127
3) PEMFC & Fuel Cell Components Testing Protocols .....	130
4) Fuel Cell System Cost(2015) .....	138
1-2. 유럽 FCH JU의 R&D Targets .....	141
1) 수소연료전지차 R&D Targets .....	141
2) Hydrogen Production R&D Targets .....	142
3) Hydrogen Storage, Handling & Distribution .....	144
1-3. PEM Fuel Cell Stack 개발동향 .....	145
1) PEMFC의 특성 .....	145
(1) PEMFC의 구성 부분 .....	145
(2) LT-PEMFC와 HT-PEMFC .....	147
(3) 연료전지의 열화 작용 .....	149
2) 고분자 전해질 막 개발동향 .....	149
(1) 고분자 전해질 막의 기능 .....	149
(2) 고분자 전해질 막의 특성 .....	151
(3) 이온전도막 기술 개발동향 및 상업화 전략 .....	152
3) MEA 개발동향 .....	156
(1) 고온 고분자전해질 막의 개발 .....	156
(2) 불소계 강화막 개발 및 시장 동향 .....	157
(3) MEA 형성기술 개발동향 .....	162

4) 촉매와 기체 확산층 개발동향 .....	165
(1) Catalysts .....	165
(2) 기체확산층(GDL: Gas Diffusion Layer) .....	171
5) Gaskets 기술 개발동향 .....	172
(1) Gasket의 기능 및 요구조건 .....	174
(2) 시장 동향 및 전망 .....	175
(3) 국내외 기업들의 기술 개발 현황 .....	176
6) 분리판(Bipolar Plate, BP) 기술 개발동향 .....	176
(1) 수소연료전지차용 연료전지 분리판의 역할 .....	177
(2) 연료전지용 분리판의 종류 .....	178
(3) 수소연료전지차용 분리판 시장 동향 .....	179
(4) 국내외 기술개발 동향 .....	180
(5) 금속분리판의 개발동향 .....	180
7) 연료전지 스택의 냉각기술 개발동향 .....	185
(1) 냉각기술의 중요성 .....	185
(2) 연료전지 스택의 냉각기술 .....	186
(3) 수소연료전지차의 냉각기술 .....	187
8) 연료전지 운전장치(BOP) 개발동향 .....	189
2. 구동 Motor 기술 개발동향 .....	191
2-1. 전기동력기반 Powertrain 개요 .....	191
1) Powertrain 핵심부품 .....	191
(1) 구동용 모터 .....	192
(2) 직류변환 장치 .....	192
(3) 배터리 및 배터리 관리 시스템(BMS) .....	193
(4) 인버터 .....	194
2) 주요 메이커의 상용화된 FCEV System .....	195
3) 양산 차량(xEVs)에 장착된 구동용 모터 기술 현황 .....	198
2-2. 구동용 모터 세부 기술 동향 .....	201
1) 출력 향상 기술 개발동향 .....	202
(1) 전자기적 다단기어 적용 기술 .....	203
(2) 모터 회전자 경량화 및 냉각기술 .....	204
2) 비회토틀류 및 저회토틀류 영구자석 적용 기술 개발동향 .....	207
(1) 차량용 SR 모터 .....	207
(2) 중회토틀류 저감 기술 .....	208
(3) 차세대 Dy-free 영구자석 재료 기술 .....	208
3) 모터 동손 저감 기술 개발동향 .....	209

(1) 권선(Winding) 기술 .....	209
(2) 동 다이캐스팅 기술 .....	211
4) 모터 철손 저감 기술 개발동향 .....	211
(1) 철심코어 박막 기술(Thin Gauge Electrical Steel) .....	211
(2) 영구자석 형상(Shape, Layer) 설계 기술 .....	212
(3) 영구자석 분할(Separation, Split, Step) 설계 기술 .....	212
3. Hydrogen Storage Tank 개발동향 .....	214
3-1. 수소연료전지차용 저장용기의 요소기술 .....	214
1) 고압수소 용기·배관용 재료 평가 기술 .....	215
(1) 수소취화 현상 .....	215
(2) 수소 관련 재료의 역학적 특성 .....	217
2) 수소침투 차단막 기술 .....	218
(1) 고밀도화를 통한 수동형 수소차단막 기술 .....	218
(2) 전기적 구속 기능층을 이용한 능동형 수소차단기술 .....	219
3) 수소 누출 감지기술 .....	220
4) 수소 저장 용기 R&D 주요 이슈 및 전망 .....	221
(1) 수소 저장 용기 R&D 주요 이슈 .....	221
(2) 수소 저장 용기 향후 R&D 및 시장 전망 .....	223
3-2. 국내외 수소 저장 탱크 개발 동향 .....	225
1) 수소연료전지차용 수소 저장 용기의 종류 .....	225
2) 국내 개발동향 .....	227
3) 해외 개발 동향 .....	229
3-3. US DOE의 Hydrogen Storage R&D Activities .....	232
1) R&D 조직, 방향 및 목표 .....	232
2) R&D 현황과 Target Technologies .....	233
(1) R&D 현황 .....	233
(2) Target Technologies .....	234
3) Technical Task 상세 내용 및 R&D 일정 .....	237
(1) Technical Task 상세 내용 .....	237
(2) Technical Task R&D 일정 .....	238
4. H2 Delivery & Refueling Infrastructure 개발동향 .....	239
4-1. 수소 공급 인프라 개요 .....	239
1) 비용효과적인 수소 공급 인프라의 필요성 .....	239
2) 수소공급 인프라 Options .....	241
(1) 수소 공급 경로상의 공통 작업 .....	241

(2) 수소공급 인프라의 분류 .....	242
(3) NREL의 GIS를 이용한 HRS R&D .....	244
3) H2ME의 HRS 작동 Process .....	245
4) H2 Delivery 관련 Standards .....	249
4-2. US DOE FCTO의 수소공급 인프라 개발동향 .....	251
1) Technical Goal and Objectives .....	251
2) Hydrogen Delivery Infrastructure Components 현황 .....	251
(1) Components별 2015년 Status .....	251
(2) Current(2015년) Hydrogen Delivery Projects .....	253
3) Technical & Cost Targets .....	254
(1) Cost Targets .....	254
(2) Technical Targets .....	255
4) Technical Task 내용 및 R&D 일정 .....	258
(1) Technical Task 상세 내용 .....	258
(2) Technical Task R&D 일정 .....	259
4-3. US DOE FCTO의 수소충전소 Design .....	260
1) H2FIRST Project 개요 .....	260
2) H2FIRST Project 연구 방법 .....	263
(1) HRSAM .....	263
(2) Reference Station Design Task .....	264
(3) HyStEP device .....	265
3) HRS Configuration 및 Concepts .....	268
(1) HRS Configuration .....	268
(2) HRS Concepts .....	270
4) HRS Designs .....	272
(1) HRS P&IDs .....	272
(2) HRS Physical Layouts .....	277
5) HRS 장치비용 .....	279
(1) 100kg/day Gaseous HRS 장치비용 .....	279
(2) 300kg/day Near-Term Liquid HRS 장치비용 .....	281
(3) 300kg/day Future Liquid HRS 장치비용 .....	284
4-4. GIS를 이용한 국내 고속도로의 HRS 구축방안 .....	286
1) GIS와 HRS 개요 .....	286
2) 수소 공급시설의 위치와 HRS 방식 결정 .....	286
3) 고속국도의 수소수요량 .....	287
4) 고속국도의 HRS 구축 방안 .....	288
(1) HRS 위치 선정 .....	288

(2) HRS 구축방안 .....	289
4-5. International Hydrogen Stations .....	291
1) 국가별 운영 중 HRS 숫자 .....	291
2) 국가별 HRS List .....	291
(1) US 외 국가별 HRS List .....	291
(2) US HRS List .....	306
5. 수전해(Electrolysis) 기술 동향 및 전망 .....	311
5-1. 수전해(Electrolysis) 기술 개황 .....	311
1) 수전해(Electrolysis) 기술의 개념 및 적용 .....	311
2) 수전해(Electrolysis) 기술의 분류 .....	312
3) 국내외 주요 수전해(Electrolysis) 시스템 업체 .....	313
5-2. 수전해(Electrolysis)기술 R&D 주요 이슈 및 전망 .....	314
1) 알칼라인 수전해 기술 .....	314
2) PEM 수전해 기술 .....	314
3) 수전해(Electrolysis) 기술의 전망 .....	316
5-3. 미국 DOE의 Hydrogen Production R&D 동향 .....	318
1) Hydrogen Production R&D 개요 및 관련기관 .....	318
2) FY 2015 기술 상태 및 진전 현황 .....	319
(1) 수소생산 costs 범위 .....	319
(2) Hydrogen Production FY 2015 progress 상세 내용 .....	320
3) FY 2016 R&D Plans .....	323

### **III. 수소연료전지차 RD&D 국가별 정책동향 .....327**

1. FCEV 보급 확대를 위한 정부 역할의 중요성 .....	327
1-1. 정책적 지원의 필요성 .....	327
1) 친환경 자동차로서의 FCEV .....	327
2) 수소 인프라와 FCEV의 관계 .....	328
3) 국내 수소충전소 보급촉진 정책 당면과제 .....	329
(1) 규제보완 및 재검토를 통한 보급 촉진 .....	329
(2) 지원제도를 통한 보급 촉진 .....	330
1-2. 한국과 일본의 정책적 지원 현황 .....	331
1) 산업 성장을 위한 정부의 역할 .....	331
(1) 정부주도형 산업개발 정책 .....	331
(2) 수요와 공급 양쪽을 움직일 정책의 필요성 .....	333
2) 수소연료전지차 지원 정책 현황 .....	333

(1) 연료전지 R&D 지원정책 .....	333
(2) FCEV 출시 및 보급 지원정책 .....	335
(3) 수소인프라 보급 지원정책 .....	337
1-3. FCEV 도입을 위한 한일 정부의 역할 비교 .....	338
1) 한일 정부 FCEV 지원정책의 공통적 특징 .....	338
(1) FCEV 도입의 산과 역할 .....	338
(2) 보조금과 인센티브 지급 .....	339
(3) 친환경차로서의 FCEV에 대한 낮은 기대 .....	339
2) 한국과 일본의 정책적 목표 및 관점의 차이 .....	340
(1) 정책적 목표의 차이로 인한 결과 .....	340
(2) 수소연료전지차 시장 선점 경쟁의 시작 .....	341
2. 미국 수소연료전지차 RD&D 지원 정책동향 .....	342
2-1. 수소연료전지 관련 RD&D 지원 .....	342
1) US DOE(에너지부)의 관련 예산 .....	342
2) 각 주별 R&D 지원 Funding .....	346
3) US DOE SBIR Program .....	347
4) 2015년 회계연도 DOE 지원 RD&D Project .....	348
2-2. US DOE Cost Targets, Status, 성과, Plan .....	363
1) US DOE Cost Targets & Status .....	363
2) US DOE RD&D 성과 .....	363
(1) 지원 영역의 확장 및 경제적 성과 .....	363
(2) 주요 기술적 성과 .....	364
(3) Collaborations and Partnerships .....	371
3) US DOE 2016년 회계연도 이후 Plan .....	371
(1) Recent 2015년 DOE Funding Plan .....	371
(2) Manufacturing Highlights: 3 New Analysis Projects .....	372
(3) Tech to Market Activities with Labs .....	373
(4) US DOE의 장기 Plans .....	373
2-3. H2USA Project .....	374
1) H2USA Project 개요 .....	374
2) 참여 州별 현황 및 Plan .....	375
(1) CALIFORNIA 州 .....	375
(2) CONNECTICUT 州 .....	384
(3) MAINE 州 .....	388
(4) MASSACHUSETTS 州 .....	391
(5) NEW HAMPSHIRE 州 .....	394



(6) NEW JERSEY 州 .....	396
(7) NEW YORK 州 .....	399
(8) RHODE ISLAND 州 .....	402
(9) VERMONT 州 .....	405
2-4. State Zero-Emission Vehicle Programs MOU .....	408
1) ZEVs Plan 개요 .....	408
2) ZEVs Plan 진행 현황 .....	410
2-5. 미국의 대중교통용 Fuel Cell Buses 동향 .....	412
1) 미국 내 FCEB RD&D 현황 .....	412
(1) FCEBs 기술수준 현황 .....	412
(2) FCEB 상용화를 위한 R&D 현황 .....	413
2) US Fuel Cell Transit Bus 실증 현황 .....	414
(1) 진행 중인 실증 Projects .....	415
(2) 운행거리 및 운행시간 .....	417
(3) Availability(운행율) .....	418
(4) Hydrogen 사용량과 Fuel Economy .....	421
(5) 신뢰성(MBRC) .....	423
3) 미국 FCEB 상업화 Plan .....	425
(1) 상업화를 위한 해결과제 .....	425
(2) National Fuel Cell Bus Program(NFCBP) .....	426
3. 유럽 수소연료전지차 RD&D 지원 정책동향 .....	427
3-1. Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking(FCH 2 JU)의 활동 .....	429
1) FCH 2 JU 개황 .....	429
(1) FCH 2 JU 개요 .....	429
(2) FCH 2 JU 주요 활동 .....	429
(3) FCH 2 JU Budget .....	430
2) FCH 2 JU의 수소연료전지차 관련 주요 Projects .....	431
(1) FP7(7th Framework Program) Project .....	431
(2) Horizon 2020 Framework Projects .....	434
(3) Hydrogen Mobility Europe project(H2ME) .....	435
(4) SWARM Project .....	436
3) MAWP 2014-2020 .....	438
(1) Budget .....	438
(2) Focus Area .....	439
(3) Achievements .....	440
4) Annual Work Plan 2015 & Budget .....	446

5) Annual Work Plan 2016 & Budget .....	446
(1) Annual Work Plan 2016 Objective & Topics .....	446
(2) AWP 2016 Budget .....	448
3-2. 유럽의 대중교통용 Fuel Cell Buses 동향 .....	449
1) 유럽의 지속적인 대중교통 가능성 FC bus .....	449
(1) FC bus 도입에 대한 Study 개요 .....	449
(2) 유럽의 FC bus 도입 Trend .....	450
(3) 유럽의 FC bus 전개 현황과 상용화 Vision .....	451
(4) FC Bus 예상비용 산출을 위한 가정 .....	453
2) Heavy-duty 경로의 FC bus 구입/운영 비용 전망 .....	456
(1) FC bus 구입/유지관리 비용 .....	456
(2) HRS 설치/운영 비용 .....	457
(3) Total Cost of Ownership(TCO) .....	458
3) Automotive 경로의 FC bus 구입/운영 비용 전망 .....	460
(1) 예상 비용에 영향을 주는 요인들 .....	460
(2) FC bus 구입/유지관리 비용 .....	462
(3) Total Cost of Ownership(TCO) .....	463
4) 대중교통으로서의 FC bus's Benefits .....	464
(1) 정치적 측면에서의 이점 .....	464
(2) 환경적 측면에서의 이점 .....	465
(3) 경제적 측면에서의 이점 .....	468
(4) 운영적 측면에서의 이점 .....	470
5) FC bus Coalition과 유럽에서의 보급 전망 .....	471
(1) FC bus coalition 동향 .....	471
(2) 유럽에서의 FC bus 보급 전망 .....	473
3-3. 영국(UK)의 지원정책 동향 .....	476
1) FCEVs Incentives .....	476
2) Hydrogen London Partnership .....	478
3) UK H2Mobility Initiative .....	480
4) FCEVs 관련 주요 Projects .....	483
(1) HyFIVE Project .....	483
(2) HyTEC Project .....	484
(3) CHIC Project .....	485
5) UK HRS Network 현황 및 Plan .....	486
3-4. 독일 지원정책 동향 .....	487
1) 독일 수소연료전지 자동차 관련 주요동향 .....	487
(1) 수소연료전지 자동차 정책 .....	487

(2) HRS Network 구축 지원정책 .....	488
2) H2 Mobility Initiative .....	489
(1) H2 Mobility 개요 .....	489
(2) 독일 내 HRS Network Roadmap .....	489
3) NIP Framework .....	490
(1) NIP 개요 .....	490
(2) NIP Funded CEP Projrcs 현황 .....	491
(3) NIP Funded Further Projects .....	496
3-5. 프랑스 지원정책 동향 .....	500
1) 프랑스 재산업화 계획(Re-Industrialization Plans)의 하나 .....	500
2) MAXITY FUEL CELL Plan .....	500
3) Frence의 HRS/Vehicles 보급 현황 및 전망 .....	502
4. 일본 수소연료전지차 RD&D 지원 정책동향 .....	503
4-1. 일본의 수소사회 정책 추진동향 .....	503
1) 국가적 차원에서 추진하는 수소사회 정책 .....	503
(1) 로드맵에서 실행단계로 진입 .....	503
(2) 정부 주도의 수소 기반 기술개발과 실증사업 .....	503
2) 先 HRS 구축 後 FCEV 보급확대 추진정책 .....	504
(1) 수소충전소 선 구축 추진 .....	504
(2) 수소충전소 규제 대폭 완화 .....	505
(3) 민관 공동으로 다양한 HRS 실증모델 검증 .....	507
4-2. 일본의 수소·연료전지 전략 로드맵 .....	508
1) 수소·연료전지 전략 로드맵 개요 .....	508
(1) 수소사회 실현을 위한 로드맵 수립 .....	508
(2) 수소·연료전지차 보급 확대를 위한 전략 .....	510
(3) FCV 보급 확대를 위한 HRS 구축 Plan .....	512
2) 로드맵 실현을 위한 주요과제 및 대책 .....	514
(1) 연료전지 시스템의 비용저감 실현 .....	514
(2) FCV의 기본 성능 향상 목표 .....	515
(3) FCV의 해외 전개 방안 .....	515
(4) FCV의 인지도와 이해도의 향상 .....	516
(5) 자동차용 연료전지 적용분야 확대 .....	518
(6) 경쟁력 있는 수소 가격 설정 .....	519
(7) HRS Network 설치 전략 .....	522
4-3. FCEV 보급 확대 및 HRS Network 구축 Project .....	524
1) JHFC Project .....	524

(1) JHFC Project 개요 .....	524
(2) JHFC HRS Network .....	524
2) 일본의 HRS 설치 규정에 따른 배치도 .....	533
4-4. NEDO의 연료전지 관련 신규 R&D Project .....	535
1) 연료전지 R&D 프로젝트 개요 .....	535
2) 연구과제 및 수행기관 .....	536
(1) 보급화 기반 확대 기술 .....	536
(2) 생산성 향상을 위한 생산공정 실용화 기술개발 .....	536
5. 국내 수소연료전지차 RD&D 지원 정책동향 .....	537
5-1. 국내 2015 FCEV 관련 주요정책 현황 및 이슈 .....	537
1) 국내 FCEV RD&D 현황 .....	537
(1) 국내 친환경차 추진정책 .....	537
(2) 국내 FCEV산업 육성계획 .....	538
(3) 국내외 수소연료전지차 R&D 정책 주요 이슈 .....	538
(4) 미래부의 2015년 연료전지분야 R&D 추진 현황 .....	540
2) 국내 FCEV 보급 및 HRS 설치 현황 .....	543
(1) 국내 FCEV & HRS 보급여건 .....	543
(2) 국내 FCEV & HRS 보급실적 .....	544
5-2. 국내 2016 FCEV 및 HRS 보급 확대 정책 .....	546
1) 정부의 2016 FCEV 및 HRS 보급 확대 정책 개요 .....	546
2) 수소차 보급 및 시장 활성화 계획안 .....	547
(1) 수소차 보급 및 시장 활성화 계획안의 의미 .....	547
(2) 기본 방향 .....	547
(3) 세부 추진 과제 .....	548
(4) 기대효과(2016~2030) .....	552
(5) 세부과제 추진일정 .....	552
3) 2016 FCEV 및 HRS 보급 진행 현황 .....	553
(1) 수소산업 민관협의체와 컨트롤타워 .....	553
(2) 2016 FCEV 및 HRS 보급 예산 및 현황 .....	554
(3) HRS 예비사업·안전 실증연구 진행 .....	555
(4) 각종 규제에 대한 재검토 및 완화 .....	557
(5) 수소충전소 관련 R&D 추진 .....	558
(6) 수소버스 핵심기술 개발 계획 .....	559
(7) 2017년 수소충전소 구축사업 추진 현황 .....	560
(8) 수소인프라 보급 장애요인과 해결 방안 .....	560
5-3. 미래부 2016 연료전지 관련 R&D Plan .....	562

1) 미래부의 R&D 기본방향 .....	562
2) 2016년 R&D 투자전략 .....	562
(1) 수소제조 및 저장비용 절감 관련 R&D .....	562
(2) 고체산화물 연료전지(SOFC) 발전원가 절감 관련 R&D .....	563
(3) 연료전지 복합발전을 통한 발전원가 절감 관련 R&D .....	563
3) 2016년 R&D 투자계획 .....	564
5-4. 지자체별 FCEV & HRS 보급확대 추진 동향 .....	565
1) 정부의 지역별 전략산업 선정 .....	565
2) 지자체별 FCEV 관련사업 추진동향 .....	566
(1) 충남 FCEV 부품 실용화 및 산업기반 육성 사업 추진 .....	566
(2) 광주시의 융합충전소 실증사업 강화 .....	569
(3) 울산시 FCEV 중심 친환경차 시장 선도도시로 특화 .....	570
5-5. 연료전지버스의 실증 운행 .....	571
1) 현대자동차의 연료전지버스 .....	571
2) 연료전지버스 실증운영 현황 .....	571
(1) 연료전지버스의 운행률 .....	572
(2) 현대 연료전지버스의 연비 .....	574
3) 국내 연료전지버스의 상용화 동향 .....	575

#### **IV. 부록 .....579**

1. Global H <sub>2</sub> Station 설치/운영 현황 .....	579
1-1. 미국의 H <sub>2</sub> Station 설치/운영 현황 .....	579
1) 미국의 운영 중인 H <sub>2</sub> Station .....	579
2) 미국의 Closed H <sub>2</sub> Station .....	595
1-2. 미국 이외 지역의 H <sub>2</sub> Station 설치/운영 현황 .....	605
1) Australia .....	605
2) Austria .....	605
3) Belgium .....	606
4) Brazil .....	606
5) Canada .....	607
6) China .....	610
7) Czech .....	611
8) Denmark .....	611
9) Finland .....	612
10) France .....	613
11) Germany .....	614

12) Greece	621
13) Hong Kong	621
14) Iceland	621
15) India	622
16) Italy	622
17) Japan	623
18) Luxemburg	629
19) Netherlands	629
20) Norway	630
21) Portugal	631
22) Singapore	632
23) 한국	632
24) Spain	634
25) Sweden	635
26) Switzerland	635
27) Taiwan	636
28) Turkey	636
29) England, United Kingdom	636
2. 글로벌 수소연료전지차 관련 기구, 기관, 협회	639
2-1. 수소연료전지차 관련 국제기구	639
1) GGGI	639
2) WEC	640
3) IEA	641
4) IRENA	642
5) IIED	643
6) FCHEA	644
7) IPHE	645
2-2. 수소연료전지차 관련 정부기관 및 공공기관	646
1) 국내 관련 정부기관 및 공공기관	646
2) 미국 관련 정부기관 및 공공기관	654
3) 유럽 관련 정부기관 및 공공기관	662
4) 캐나다 관련 정부기관 및 공공기관	667
5) 일본 관련 정부기관 및 공공기관	669
6) 중국 관련 정부기관 및 공공기관	674
7) 기타 국가 관련 정부기관 및 공공기관	676
2-3. 수소연료전지차 관련 학회·협회	677

1) 국내 수소연료전지차 관련 학회·협회 .....	677
2) 국외 수소연료전지차 관련 학회·협회 .....	680
2-4. 기타 수소연료전지차 관련 단체 및 웹사이트 .....	694

## 표 목차

<b>1. 수소연료전지차 현황과 전망</b> .....	<b>41</b>
<표1-1> Stack의 각 부품별 기능 .....	43
<표1-2> 연료전지 각 구성부분 및 그 역할 .....	47
<표1-3> Fuel Cell Stack Technology 발전 속도(2005-2014) .....	51
<표1-4> 2005년~2006년경의 기술개발단계로부터 2012년까지의 기술발전 요약 .....	52
<표1-5> 연료전지의 유용성 .....	52
<표1-6> 용도별 연료전지 구분 .....	55
<표1-7> 후지경제의 용도별 연료전지 시장 규모 예측 .....	55
<표1-8> 에너지원별 이용률 및 필요 설치면적 비교 .....	56
<표1-9> 자동차용 연료전지의 기대효과 .....	56
<표1-10> PEMFC 구성, 특징, 개발방향 .....	59
<표1-11> 저온형과 고온형 PEMFC의 차이점 요약 .....	59
<표1-12> Ballard-PEM fuel cell 의 구조/부품/기능 .....	60
<표1-13> 중앙집중식 발전과 SOFC 사용 분산발전의 비용 및 배출량 비교 .....	62
<표1-14> SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 구조, 특징, 개발방향 .....	63
<표1-15> SOFC 시스템의 공급망 .....	64
<표1-16> 각국의 SOFC 개발 현황 .....	64
<표1-17> MCFC의 구성, 장단점, 주요용도 .....	66
<표1-18> Applications category 및 관련 연료전지 기술 .....	68
<표1-19> 용도별 연료전지 종류 .....	68
<표1-20> 발전 용량별 연료전지 종류 .....	69
<표1-21> 휴대용 Application의 주요 유인점 .....	70
<표1-22> 전해질에 의한 연료전지의 분류(고온형과 저온형 분류) .....	72
<표1-23> Fuel Cell Type별 작동 특징 비교 .....	73
<표1-24> 연료전지 Type별 기술적 특성 비교 .....	74
<표1-25> Fuel Cell Type별 시장 분석 .....	75
<표1-26> 연료전지 기술별 용도 및 장단점 비교 .....	75
<표1-27> 수소연료전지차 주행 모드별 구동 방식 .....	78
<표1-28> 수소연료전지차 발전사 요약 .....	79
<표1-29> NREL의 FCEB 상용화를 위한 Technology Readiness Levels .....	80
<표1-30> FCH-JU의 Technology readiness levels (TRL) .....	81
<표1-31> 투싼 ix35 FCEV과 Mirai FCEV의 비교 .....	82



<표1-32> H2의 연료 적합성 .....	84
<표1-33> 주요 자동차 생산국의 온실가스 및 연비 기준 설정 현황 (국내 기준 복합 모드 환산치 기준) .....	87
<표1-34> BEV(Battery Only Electric Vehicle)의 해결과제 .....	88
<표1-35> 미국 California 대학의 조안 오그덴 교수팀의 공동 연구 조사 결과 요약 .....	90
<표1-36> 수소연료전지차 개발과 양산에 집중하는 글로벌 자동차 메이커들 .....	91
<표1-37> 강화되는 지역별 연비/환경 규제 .....	93
<표1-38> 미국 California 주의 ZEV 요구비율과 ZEV 산정비율 .....	93
<표1-39> 환경규제 강도에 따른 수요의 변화 예상 도표 .....	94
<표1-40> 전기기반 동력 친환경차 시스템 비교 .....	96
<표1-41> 수소연료전지차의 에너지 절감 및 환경개선 효과 .....	97
<표1-42> 수소사회 시나리오 .....	99
<표1-43> Deloitte Tomatsu의 2025년 수소연료전지차 판매대수와 시장규모 예측 .....	104
<표1-44> 상용화된 수소연료전지차 모델별 제원/성능 .....	104
<표1-45> IEA“Blue Map Scenario”의 자동차 세계 시장 .....	105
<표1-46> IEA 2DS Scenarios .....	105
<표1-47> FCEV Rollout 추정치 .....	107
<표1-48> 주요국의 수소연료전지차 지원 정책 .....	108
<표1-49> 국내의 수소연료전지차 및 수소충전소 보급계획 .....	109
<표1-50> 가스, 정유업체들의 수소 충전 인프라 구축 활동 .....	110

## **II. 수소연료전지차 관련 핵심기술 개발동향 .....115**

<표2-1> DoE Technical Targets(2020): 승용차용 H2 Fuel Cell Power System .....	115
<표2-2> DoE Technical Targets(2020): Fuel Cell Transit Buses .....	116
<표2-3> DoE Technical Targets(2020): H2 Fuel Cell Stack .....	117
<표2-4> DoE Technical Targets(2020): 수송용 FC의 MEAs .....	118
<표2-5> DoE Technical Targets(2020): 수송용 FC의 Membranes .....	119
<표2-6> DoE Technical Targets(2020): 수송용 FC의 ElectroCatalysts .....	120
<표2-7> DoE Technical Targets(2020): 수송용 FC의 Bipolar Plates .....	121
<표2-8> DoE Technical Targets(2020): 자동차용 FC(정격80kWe)의 Air Compression System .....	122
<표2-9> DoE Cathode Humidification System and Humidifier Membrane 기술 목표(2020) .....	123
<표2-10> Technical Task Descriptions .....	124
<표2-11> Catalysts/Electrodes R&D Milestones .....	127
<표2-12> Electrolytes R&D Milestones .....	127
<표2-13> Membrane Electrode Assemblies, Cells, 기타 Stack 부품 R&D Milestones .....	128
<표2-14> Fuel Cell Performance and Durability R&D Milestones .....	128
<표2-15> System BOP Components R&D Milestones .....	129
<표2-16> Fuel Cell Systems R&D Milestones .....	129

<표2-17> Testing and Technical Assessments R&D Milestones .....	129
<표2-18> Electrocatalyst Cycle and Metrics Testing Protocols .....	130
<표2-19> Catalyst Support Cycle and Metrics Testing Protocols .....	131
<표2-20> MEA Chemical Stability and Metrics(Test Using an MEA) Testing Protocols ...	131
<표2-21> Membrane Mechanical Cycle and Metrics(Test Using an MEA) Testing Protocols ...	132
<표2-22> Membrane 화학적/기계적 Cycle&Metrics(Test Using an MEA) Testing Protocols ...	132
<표2-23> Polarization Protocol .....	133
<표2-24> Drive-Cycle Durability Protocol .....	134
<표2-25> Unmitigated Start-Up/Shutdown Durability Protocol .....	135
<표2-26> MEA Recovery Protocol .....	136
<표2-27> Air Compressor Durability Protocol .....	136
<표2-28> Humidifier Durability Protocol .....	137
<표2-29> System design parameters & system cost(2010-2015, 정격출력에서 평가) .....	138
<표2-30> 연간 생산량에 따른 80-kWnet 수송용 fuel cell stacks/systems 2015 Projected Cost ...	139
<표2-31> 2015년 System Cost 분석에서 적용된 Catalysts와 작동환경 .....	139
<표2-32> 연산 500,000 systems 예상비용과 2020 cost targets 비교 .....	140
<표2-33> State-of-the-art(2012년) Transportation R&D Targets .....	141
<표2-34> ESS와 Grid Balancing을 위한 재생에너지 이용 Hydrogen production R&D Targets ...	142
<표2-35> Hydrogen production R&D Targets .....	143
<표3-36> Hydrogen storage, handling and distribution의 R&D Targets .....	144
<표2-37> PEMFC Stack의 주요 구성부품 .....	146
<표2-38> 수소연료전지 스택 및 구성부품 .....	147
<표2-39> 멤브레인을 이용한 수분제어 장치의 분류 .....	152
<표2-40> 두 가지 이온전도막 연구 방향 .....	152
<표2-41> 불소계 강화막 개발 및 시장 동향 요약 .....	157
<표2-42> 불소계 강화막 국내외 기술 개발동향 .....	159
<표2-43> 수소연료전지차의 연간 생산량 대비 핵심부품 소재 비율 .....	160
<표2-44> 불소계 강화막 기술개발 전략 .....	162
<표2-45> 개량 촉매 개발방향 .....	166
<표2-46> 3M의 NSTF와 ANL의 MSTF 특성 .....	168
<표2-47> Gaskets 개발 및 시장동향 요약 .....	172
<표2-48> 국내외 대표적인 가스켓 제조 기업들의 기술 개발 현황 .....	176
<표2-49> 분리판(Bipolar Plate, BP) 개발 및 시장동향 요약 .....	176
<표2-50> 분리판 소재별 장단점 비교 .....	179
<표2-51> 국내외 기술개발 동향 .....	180
<표2-52> 금속분리판 프레스 성형 기술 요약 .....	181
<표2-53> 코팅기술의 분류 및 특징 .....	183

<표2-54> 금속분리판 유로 설계 기술 요약 .....	184
<표2-55> 내연기관 차량과 수소연료전지차의 냉각기술 중요성 비교 .....	185
<표2-56> 수소연료전지차의 냉각기술 특징 .....	189
<표2-57> Balance of Plant(운전장치, BOP)의 구성 및 부품 .....	189
<표2-58> FCEV Powertrain 구성 및 주요 부품 .....	191
<표2-59> 전기동력기반 자동차 구동용 모터 종류별 특성 비교 .....	194
<표2-60> 글로벌 전력기반차 양산형 구동모터 현황 및 제원 .....	198
<표2-61> 국내 전력기반차 양산형 모터 현황 및 제원 .....	199
<표2-62> 국가별 업체별 적용 모터 및 기술개발 현황 .....	200
<표2-63> 구동모터 개요 및 유도모터 원리 요약 .....	201
<표2-64> 자동차용 구동 모터의 냉각 기술 동향 .....	206
<표2-65> 자동차용 구동 모터의 냉각 방식에 따른 분류 .....	206
<표2-66> 네오디뮴(NdFeB)과 MAGFINE재질의 비교 .....	209
<표2-67> 수소의 에너지밀도 특성 .....	214
<표2-68> 수소연료전지차의 수소저장장치와 구성부품 .....	215
<표2-69> 내부가역수소취화와 수소가스취화의 차이점 .....	216
<표2-70> 수동형 수소차단기술과 능동형 수소차단기술의 비교 .....	220
<표2-71> 수소 저장 용기 R&D 주요 이슈 .....	221
<표2-72> 수소연료전지차의 수소 저장용 고압용기의 종류 .....	226
<표2-73> ANL의 고압 수소 저장 탱크 생산비용 비교 .....	227
<표2-74> 국내 수소연료전지차의 수소저장 시스템 변화 .....	228
<표2-75> 글로벌 수소연료전지차 Concept Cars 수소저장 시스템 .....	229
<표2-76> 글로벌 시판 중인 수소연료전지차 수소저장 시스템 .....	230
<표2-77> DOE Hydrogen Storage R&D activities Structure .....	232
<표2-78> DOE Hydrogen Storage R&D activities Goal & Objectives .....	232
<표2-79> Projected Performance of Automotive Hydrogen Storage Systems .....	234
<표2-80> Technical System Targets: Light-Duty FCEVs 장착 Hydrogen Storage .....	234
<표2-81> Technical System Targets: Material Handling Equipment .....	236
<표2-82> Technical Task 상세 내용 .....	237
<표2-83> Technical Task R&D 일정 .....	238
<표2-84> 일반적인 hydrogen delivery pathway에서 작업과정의 공통성 .....	241
<표2-85> 수소충전소의 분류-한국수소산업협회 .....	242
<표2-86> NREL 연구의 2단계 분석과정 .....	244
<표2-87> FCEV 연료용 H2 관련 Standards .....	249
<표2-88> California H2 Fuel Quality standards(2009) .....	250
<표2-89> US DOE의 Technical Goal, Objectives, Approach .....	251
<표2-90> 2015년 FCTO MYRD&D Hydrogen Delivery Projects .....	253

<표2-91> Cost Targets for Hydrogen Delivery .....	254
<표2-92> H2 Gas 공급 Components Technical Targets .....	255
<표2-93> Liquid H2 공급 Components Technical Targets .....	257
<표2-94> Technical Task Descriptions .....	258
<표2-95> Hydrogen Delivery sub-program Milestones(FY 2015~FY 2020) .....	259
<표2-96> H2FIRST Project Summary .....	260
<표2-97> HyStEP 개요 .....	265
<표2-98> HyStEP System Requirements .....	265
<표2-99> Primary Component List .....	266
<표2-100> 필수적인 계측(Required Instrumentation) .....	267
<표2-101> HRSAM에서 도출된 5 station configurations .....	268
<표2-102> Station Concepts 구분 자료 .....	270
<표2-103> 예비경제성 조사결과로 선별된 15 Station Concepts .....	271
<표2-104> Final Design Stations Concepts .....	272
<표2-105> ANSI/ISA 5.1에서 적용된 P&IDs Tag Scheme 및 범례 .....	272
<표2-106> 5 가지 Concepts HRS의 대략적인 Uninstalled Equipment Costs Total .....	279
<표2-107> 100kg/day Gaseous HRS의 Bill of Materials(장치비용) .....	279
<표2-108> 300kg/day Near-Term Liquid HRS의 Bill of Materials(장치비용) .....	281
<표2-109> 300kg/day Future Liquid HRS의 Bill of Materials(장치비용) .....	284
<표2-110> 업체별 수소 공급량(2011) .....	287
<표2-111> 2020년부터 2030년까지의 고속국도에서의 수소수요량 전망 .....	288
<표2-112> 2020년 고속국도의 HRS 구축방안 .....	289
<표2-113> 2025년 고속국도의 HRS 구축방안 .....	289
<표2-114> 2030년 고속국도의 HRS 구축방안 .....	290
<표2-115> 국가별 운영 중 HRS 숫자(2016.03 현황) .....	291
<표2-116> International HRS(미국 제외, 2016년 3월 현황 Opened & Planed) .....	291
<표2-117> US의 HRS(2016년 6월 현황 총 94개소, Opened & Planed) .....	306
<표2-118> 수전해 기술별 장단점 .....	312
<표2-119> 국내외 알칼라인 수전해조 제조사 현황 .....	313
<표2-120> 국내외 PEM 수전해조 제조사 현황 .....	313
<표2-121> Hydrogen production R&D에 관련된 Multiple DOE offices .....	318
<표2-122> 신규 Project .....	320
<표2-123> 분석결과 .....	321
<표2-124> Technical progress .....	321
<표2-125> Technical progress .....	322
<표2-126> Technical progress .....	322
<표2-127> Technical progress .....	323

<표2-128> Technical progress .....	323
<표2-129> FY 2016 수소생산 sub-program projects의 중요한 특정 경로 Milestones .....	324

### III. 수소연료전지차 RD&D 국가별 정책동향 .....327

<표3-1> 각국에서 추진되는 주요 친환경 자동차 도입 프로그램 개요 .....	327
<표3-2> IPHE 회원국들의 국가별 수소연료전지 관련 R&D 예산 현황 .....	328
<표3-3> 수소 인프라와 FCEV 관계의 Egg-Chicken Dilemma .....	329
<표3-4> 보급촉진을 위한 필요한 규제보완 및 재검토 내용 .....	330
<표3-5> 한국과 일본의 FCEV 관련 동향 .....	331
<표3-6> 국가에서 산업 발전을 위해 정부가 수행하는 4가지 역할 .....	332
<표3-7> 한국과 일본의 연료전지 R&D 지원 정책 비교 .....	333
<표3-8> 한국과 일본의 FCEV 출시 및 보급확대 지원 정책 비교 .....	335
<표3-9> 다른 결과를 가져온 한일 양국의 상이한 정책적 목표 .....	340
<표3-10> US DOE의 수소연료전지 관련 RD&D 예산 .....	342
<표3-11> FY13-FY15 Funding by State(FCO) .....	346
<표3-12> Small Business Innovation Research(SBIR) program .....	347
<표3-13> Organizational Project Listings .....	348
<표3-14> DOE Cost Targets, Status, Key Challenges .....	363
<표3-15> R&D에서 Deployment까지 지원영역 확장 .....	363
<표3-16> DOE Impact- H2 and Fuel Cells .....	364
<표3-17> Hydrogen Production & Delivery Highlights .....	366
<표3-18> Hydrogen Storage Highlights .....	366
<표3-19> DOE Funding Plan .....	371
<표3-20> 3 New Analysis Projects .....	372
<표3-21> FCO T2M Strategy .....	373
<표3-22> 장기적인 연구 전략 .....	373
<표3-23> H2USA Project .....	374
<표3-24> CaFCP 개요 .....	375
<표3-25> California의 HRS 추진 현황(2016.05.05. Updated) .....	375
<표3-26> California's HRS Status(기존 및 계획, 2010-2020, 2015.05 현재) .....	381
<표3-27> NEESC 개요 .....	385
<표3-28> Hydrogen Fuel Cell Industry Economic Data(2011) .....	385
<표3-29> Connecticut의 Transportation Targets & FCEV 보급을 위한 Policy/Incentives .....	386
<표3-30> HYDROGEN TRANSPORTATION GOALS: NEESC의 Recommendations .....	386
<표3-31> Hydrogen Fuel Cell Industry Economic Data(2011) .....	388
<표3-32> Maine의 Transportation Targets & FCEV 보급을 위한 Policy/Incentives .....	388
<표3-33> HYDROGEN TRANSPORTATION GOALS: NEESC의 Recommendations .....	389

<표3-34> Hydrogen Fuel Cell Industry Economic Data(2011) .....	391
<표3-35> Massachusetts의 Transportation Targets & FCEV 보급을 위한 Policy/Incentives .....	391
<표3-36> HYDROGEN TRANSPORTATION GOALS: NEESC의 Recommendations .....	392
<표3-37> Hydrogen Fuel Cell Industry Economic Data(2011) .....	394
<표3-38> New Hampshire의 Transportation Targets & FCEV 보급을 위한 Policy/Incentives .....	394
<표3-39> HYDROGEN TRANSPORTATION GOALS: NEESC의 Recommendations .....	395
<표3-40> Hydrogen Fuel Cell Industry Economic Data(2011) .....	396
<표3-41> New Jersey의 Transportation Targets & FCEV 보급을 위한 Policy/Incentives .....	396
<표3-42> HYDROGEN TRANSPORTATION GOALS: NEESC의 Recommendations .....	397
<표3-43> Hydrogen Fuel Cell Industry Economic Data(2011) .....	399
<표3-44> New York의 Transportation Targets & FCEV 보급을 위한 Policy/Incentives .....	399
<표3-45> HYDROGEN TRANSPORTATION GOALS: NEESC의 Recommendations .....	400
<표3-46> Hydrogen Fuel Cell Industry Economic Data(2011) .....	402
<표3-47> Rhode Island의 Transportation Targets & FCEV 보급을 위한 Policy/Incentives .....	402
<표3-48> HYDROGEN TRANSPORTATION GOALS: NEESC의 Recommendations .....	403
<표3-49> Hydrogen Fuel Cell Industry Economic Data(2011) .....	405
<표3-50> Vermont의 Transportation Targets & FCEV 보급을 위한 Policy/Incentives .....	405
<표3-51> HYDROGEN TRANSPORTATION GOALS: NEESC의 Recommendations .....	406
<표3-52> State Zero-Emission Vehicle Programs MOU 전문 .....	408
<표3-53> Eight (8) State MOU Projections for FCEVs .....	410
<표3-54> 고정형/수송용 Hydrogen Fuel Cell에 대한 State Energy Policy/Incentives .....	411
<표3-55> 사용된 Acronyms and Abbreviations .....	412
<표3-56> DOE/FTA Targets과 FCEB 현재 수준 .....	413
<표3-57> 북미의 FCEBs 제작팀 현황(2015.08) .....	413
<표3-58> FCEB Identifiers and Selected Specifications .....	414
<표3-59> US Fuel Cell Transit Bus 실증 현황(2015.08) .....	415
<표3-60> AC Transit ZEB Data Summary .....	416
<표3-61> SunLine AFCB Data Summary .....	416
<표3-62> FCEBs의 운행 Miles & Hours .....	418
<표3-63> FCEBs의 Availability & 운행불가 사유 .....	420
<표3-64> FCEBs와 Baseline Buses의 평균 연비 비교 .....	421
<표3-65> Data 분석기간(2011.08-2015.07, 4년간)의 MBRC 요약 .....	423
<표3-66> FCEB Techno-Economical Challenges .....	425
<표3-67> FTA NFCBP의 New Fuel Cell Transit Buses Plans. ....	426
<표3-68> EU 각국의 HRS 구축 시나리오 .....	428
<표3-69> FCH 2 JU(Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking) 개요 .....	429
<표3-70> FCH 2 JU ACTIVITIES UNDER THE MAWP 2014-2020 STRUCTURE .....	429

<표3-71> FCH JU/FCH 2 JU 주요역할 및 기능 .....	430
<표3-72> FCH JU 주요 Project Budget .....	430
<표3-73> Transport and Refuelling Infra 분야 .....	431
<표3-74> Hydrogen production and distribution 분야 .....	433
<표3-75> Transport 분야 .....	434
<표3-76> Energy 분야 .....	434
<표3-77> Hydrogen Mobility Europe project(H2ME) 내용 .....	435
<표3-78> Contact to SWARM .....	436
<표3-79> SWARM Project의 내용 .....	437
<표3-80> FCH JU의 TRANSPORT ACTIVITIES를 위한 경제적 지원 분배 .....	438
<표3-81> Focus Area별 Main Segments .....	439
<표3-82> LIST OF TRANSPORT DEMONSTRATION PROJECTS .....	440
<표3-83> Transport 실증 Projects 성과 .....	441
<표3-84> FCH JU TRANSPORT RTD PROJECTS의 연구 분야별 배분 현황 .....	442
<표3-85> LIST OF TRANSPORT RESEARCH PROJECTS .....	443
<표3-86> Hydrogen Production, Distribution & Storage 성과 .....	444
<표3-87> LIST OF HYDROGEN PRODUCTION, DISTRIBUTION AND STORAGE PROJECTS .....	445
<표3-88> TRANSPORT 분야 2015 AWP & Budget .....	446
<표3-89> EU wide objectives .....	446
<표3-90> FCH 2 JU Techno-economic objectives .....	447
<표3-91> FCH 2 JU Techno-economic Topics .....	447
<표3-92> TRANSPORT PILLAR Topic별 Budget .....	448
<표3-93> Coalition of the study에 참여한 Stakeholders .....	449
<표3-94> 보고서에 사용된 Acronyms .....	450
<표3-95> 2 Technical Pathways .....	452
<표3-96> Standard/Articulated FC bus characteristics .....	453
<표3-97> Heavy-duty Technology Pathway에서 고려된 주 가정 .....	453
<표3-98> FC bus 가정 값과 Diesel Bus와의 비교(Standard Bus) .....	454
<표3-99> Characteristics of refuelling infrastructure .....	454
<표3-100> Infrastructure Solutions의 Capacity Thresholds .....	454
<표3-101> Feedstock prices 추이/가정 .....	455
<표3-102> Heavy-duty Technology Pathway의 2 Market Scenarios .....	456
<표3-103> Heavy-duty Technology Pathway에서 고려된 Bus 운행률과 운행거리 가정 .....	456
<표3-104> Synergies with adjacent industries .....	457
<표3-105> Automotive pathway에서 FC buses 적용 가정 Components .....	461
<표3-106> FC Stack과 Battery의 연간생산량에 따른 Cost의 변화 .....	462
<표3-107> 4가지 측면에서의 FC bus's Benefits .....	464

<표3-108> Public Transport 분야에서 환경문제에 대한 유럽 대중의 인식 .....	464
<표3-109> energy mix의 국가별 차이 예시 .....	467
<표3-110> FC buses이외의 Zero Emission Powertrains 옵션 .....	470
<표3-111> Zero Emission Bus Concepts의 운영성능 비교 .....	471
<표3-112> FC buses 운영상의 Advantages .....	471
<표3-113> 주요 차종 보유세 부담 변화(7년 보유 가정) .....	477
<표3-114> 자동차 보유세 변화 추이 .....	477
<표3-115> Hydrogen London Partnership의 조직 구성 .....	478
<표3-116> Hydrogen London Projects - Fuel Cell Recovery & LHNE 현황 .....	479
<표3-117> UK H2Mobility Initiative 개요 .....	480
<표3-118> UK H2Mobility Phase 1 Key Achievements .....	481
<표3-119> 2015년부터 가능하리라고 여겨지는 FCEVs의 Typical Specs. 정의 .....	482
<표3-120> 2015년부터 가능하리라고 여겨지는 HRS의 Typical Specs. 정의 .....	482
<표3-121> HyFIVE Project 현황 .....	483
<표3-122> HyTEC Project 현황 .....	484
<표3-123> CHIC Project 현황 .....	485
<표3-124> CEP(The Clean Energy Partnership) 개요 .....	487
<표3-125> H2 Mobility 개요 .....	489
<표3-126> NIP 활동의 개요 .....	490
<표3-127> H2-BER Project 내용 .....	491
<표3-128> HRS Detmoldstraße Project 내용 .....	492
<표3-129> Shell의 HRS Projects 내용 .....	493
<표3-130> Ford fuel cell technology development 내용 .....	493
<표3-131> H2BER H2 Production Facility Project 내용 .....	494
<표3-132> Hy8 Project 내용 .....	495
<표3-133> HyUWE Project 내용 .....	495
<표3-134> HyUWE Project 내용 .....	496
<표3-135> 50 HRS programme의 Accompanying Research Project 내용 .....	496
<표3-136> MAS-TECH Project 내용 .....	497
<표3-137> PEM electrolysis HRS Project 내용 .....	497
<표3-138> BetHy Project 내용 .....	497
<표3-139> HyTrustPlus Project 내용 .....	498
<표3-140> HyTrustPlus Project 내용 .....	498
<표3-141> AltHyPTank Project 내용 .....	499
<표3-142> MAXITY FUEL CELL Plan 개요 .....	501
<표3-143> 일본 정부 주도의 수소 기반 기술개발과 실증사업 및 보급 계획 .....	504
<표3-144> 일본정부의 수소충전소 확충을 위한 규제 완화 내용 .....	506



<표3-145> 수소사회 실현을 위한 행동계획(Action Plan) 5개 항목 .....	508
<표3-146> 수소사회 실현을 향한 3단계 접근 .....	508
<표3-147> 로드맵에서 제안하는 연료전지 시스템의 비용저감 실현 방안 .....	515
<표3-148> 용도별 FCV의 내구도 목표 .....	515
<표3-149> FCV의 인지도와 이해도의 향상을 위한 대처 방안 .....	517
<표3-150> FCV에 활용되는 연료 전지의 적용분야 확대방안 .....	518
<표3-151> HRS 구성 기기에 관한 일본과 유럽의 비교 .....	519
<표3-152> HRS 설치/운영비의 절감 방안 .....	520
<표3-153> HRS의 낮은 가동률에 대한 대응 .....	521
<표3-154> 저렴하고 효율적인 국내 유통 시스템 확립 방안 .....	522
<표3-155> 포스트 2030년을 대비하는 규제외 정비 .....	522
<표3-156> 일본의 HRS Network 설치 전략 .....	523
<표3-157> JHFC Project Overview .....	524
<표3-158> JHFC Hydrogen Stations .....	524
<표3-159> JHFC Co-Operative Hydrogen Stations .....	530
<표3-160> 연료전지 R&D 프로젝트의 방향 .....	535
<표3-161> 보급화 기반 확대 기술 연구과제 및 수행기관 .....	536
<표3-162> 생산성 향상을 위한 생산공정 실용화 기술개발 연구과제 및 수행기관 .....	536
<표3-163> 국내 친환경차 추진정책 내용 .....	537
<표3-164> 국내 FCEV산업 육성계획 연표 .....	538
<표3-165> 국내외 수소연료전지차 R&D 주요 이슈 .....	539
<표3-166> 기술혁신과제 관련 2015년 연구내용 .....	540
<표3-167> 주요 연구성과 .....	541
<표3-168> 국내 FCEV & HRS 보급여건 .....	543
<표3-169> 국내 FCEV & HRS 보급 지원제도 .....	543
<표3-170> 국내 FCEV & HRS 보급실적(2015년 말) .....	544
<표3-171> 수소인프라 관련 실증 및 모니터링 사업 현황 .....	544
<표3-172> 국내 수소충전소 운영 현황(2016.03) .....	545
<표3-173> 비전(전략)과 보급목표 .....	547
<표3-174> 추진과제 .....	548
<표3-175> 성능향상 및 가격 인하를 위한 핵심기술 개발(산업부) .....	548
<표3-176> FCEV 보급기반 조성을 위한 수소충전소 확충방안 .....	549
<표3-177> 수소충전소 보급계획 .....	550
<표3-178> 안전성 확보·설치규정 합리화를 위한 FCEV·HRS 제도정비 .....	550
<표3-179> 민간보급 활성화 방안 .....	551
<표3-180> 시장 확대 방안 .....	551
<표3-181> 지자체 FCEV 보급 여건 .....	551

<표3-182> 2016~2030 전망되는 경제적 환경적 효과 .....	552
<표3-183> FCEV 보급 및 시장 활성화 계획안 세부과제 추진일정 .....	552
<표3-184> 수소산업 활성화 방안 연구과제 주요 내용 .....	553
<표3-185> FCEV & HRS 관련산업 규제프리 내용 .....	558
<표3-186> 산기평이 제시한 R&D 목표 .....	560
<표3-187> R&D 기본방향 .....	562
<표3-188> 수소제조 및 저장비용 절감 관련 R&D 투자전략 .....	562
<표3-189> 고체산화물 연료전지(SOFC) 발전원가 절감 관련 R&D 투자전략 .....	563
<표3-190> 연료전지 복합발전을 통한 발전원가 절감 관련 R&D 투자전략 .....	563
<표3-191> 2016년 30대 기술별 연료전지 관련분야 R&D 투자계획(정부안 기준) .....	564
<표3-192> FCEV 부품시험인증센터(예산) .....	567
<표3-193> FCEV 기술개발지원센터(천안) .....	568
<표3-194> 광주시의 연구용역 내용 .....	569
<표3-195> 1세대/2세대 연료전지버스의 차이점 .....	571
<표3-196> 연료전지버스 실증 운행 결과-년간/월간 운행률 .....	572
<표3-197> 미국에서 운행 중인 타사의 연료전지버스와의 운행기록 비교 .....	573
<표3-198> 현대 FCBUS의 연비 .....	574
<표3-199> 현대 FCBUS의 Targets(Performance, Cost and Durability) .....	575

#### **IV. 부록 .....579**

<표4-1> U.S. Hydrogen Fueling Stations .....	579
<표4-2> 폐쇄된 U.S. Hydrogen Fueling Stations .....	595
<표4-3> GGGI Profile .....	639
<표4-4> WEC Profile .....	640
<표4-5> IEA Profile .....	641
<표4-6> IRENA Profile .....	642
<표4-7> IIED Profile .....	643
<표4-8> FCHEA Profile .....	644
<표4-9> IPHE Profile .....	645
<표4-10> 국내 수소연료전지차 관련 정부/공공기관 프로파일 .....	646
<표4-11> USA 수소연료전지차 관련 정부/공공기관 Profile .....	654
<표4-12> 유럽 수소연료전지차 관련 정부/공공기관 Profile .....	662
<표4-13> Canada 수소연료전지차 관련 정부/공공기관 Profile .....	667
<표4-14> 일본 수소연료전지차 관련 정부/공공기관 Profile .....	669
<표4-15> 중국 수소연료전지차 관련 정부/공공기관 Profile .....	674
<표4-16> 기타 국가 수소연료전지차 관련 정부/공공기관 Profile .....	676
<표4-17> 국내 수소연료전지차 관련 학회·협회 Profile .....	677

<표4-18> 국외 수소연료전지차 관련 학회·협회 Profile ..... 680

## 그림 목차

<b>1. 수소연료전지차 현황과 전망</b> .....	<b>41</b>
<그림1-1> 연료전지 단위 Cell의 구성도 .....	41
<그림1-2> 연료전지 Stack의 구성도 .....	42
<그림1-3> Polymer Electrolyte Membrane(PEM) 연료전지 작동 개념도 .....	42
<그림1-4> Stack의 구성도 .....	42
<그림1-5> 연료전지의 구조 및 작동 Process(1) .....	43
<그림1-6> 연료전지의 구조 및 작동 Process(2) .....	44
<그림1-7> 수소연료전지의 동작 순서 .....	45
<그림1-8> 연료전지 System의 구성 및 동작 .....	46
<그림1-9> 연료전지 시스템 작동도 .....	46
<그림1-10> 발전원별 효율 비교(최고효율 기준) .....	49
<그림1-11> 소규모 연료전지 플랜트 .....	50
<그림1-12> 연료전지 발전시스템의 친환경성 .....	50
<그림1-13> 연료전지 발전시스템의 고효율성과 친환경성 .....	51
<그림1-14> 수소연료전지의 다양한 작동 및 적용 계통도 .....	53
<그림1-15> 연료전지 구성요소 소재개발 로드맵 .....	54
<그림1-16> 연료전지 응용분야 예시 .....	54
<그림1-17> IEA '450 시나리오' 중 그린카 시장 전망 .....	57
<그림1-18> PEMFC의 원리 및 작동 .....	58
<그림1-19> Ballard PEM fuel cell 의 작동 Process .....	60
<그림1-20> AFCC-Fuel Cell의 구조와 작동 .....	61
<그림1-21> PEMFC 시스템의 공급망 .....	61
<그림1-22> DMFC의 원리 및 작동 .....	61
<그림1-23> SOFC의 원리 및 작동 .....	62
<그림1-24> AFC의 원리 및 작동 개념 .....	65
<그림1-25> MCFC의 원리 및 작동 개념 .....	65
<그림1-26> PAFC의 원리 및 작동 개념 .....	67
<그림1-27> 기존의 전력망을 통한 전력전송 효율 .....	71
<그림1-28> 가정용 고정형 연료전지 발전기/보일러를 설치했을 경우의 효율 .....	71
<그림1-29> 수소연료전지차의 주요 구성부품 .....	76
<그림1-30> ANL(Argonne National Laboratory)의 2012 automotive fuel cell system .....	77
<그림1-31> ANL(Argonne National Laboratory)의 2012 bus fuel cell system .....	77

<그림1-32> 수소연료전지차 작동개념 .....	78
<그림1-33> 수소연료전지차 최고수준 기술 대비 국내 기술수준 차이 .....	83
<그림1-34> 수소에너지의 다양한 활용 .....	85
<그림1-35> 주요 국가의 신재생 에너지 이용 비중 및 연비 규제 계획 .....	86
<그림1-36> 미국 DoE EERE의 FCEV홍보용 Infographic .....	89
<그림1-37> 주요지역의 시기별 환경규제 변화 추이 및 전망 .....	92
<그림1-38> UK Automotive Council Future Technologies Roadmap. ....	95
<그림1-39> FCEV의 전기 공급 능력 .....	95
<그림1-40> Powertrain별/사용 연료별/연료제조방식별 GHG/miles(CO2 eq.) .....	97
<그림1-41> 전기기반 동력차(xEVs) 주행에 필요한 Electric Energy .....	98
<그림1-42> 전력기반차 세계시장 단기 시장 전망 .....	100
<그림1-43> 리서치업체별 수소연료전지차 단기 수요 전망 .....	101
<그림1-44> 2025년 연료전지 상용차 시장은 33조원으로 성장 전망 .....	101
<그림1-45> Annual Fuel Cell Car and Bus Sales by Region, World Markets: 2015-2024 .....	102
<그림1-46> 미국 California, On-Road FCEV Populations 현황 및 전망 .....	102
<그림1-47> 2014년과 2015년 Annual Evaluations에서 나타난 FCEV On-The-Road Vehicle 대수 비교 .....	103
<그림1-48> California County Level FCEV 추정치 도표(2018, 2021) .....	103
<그림1-49> 네덜란드 미래 수송분야 에너지 믹스(2013) .....	106
<그림1-50> 미국의 수송분야의 수소차 시장 전망 .....	106
<그림1-51> IEA의 Global 자동차시장 전망(2014) .....	107
<그림1-52> H2FIRST의 FCEV rollout scenarios(for California) .....	108
<그림1-53> 독일의 수소차 및 수소충전소 보급계획 .....	110
<그림1-54> 영국의 FCEVs 수요전망 및 수소충전소 보급전망 .....	111

## II. 수소연료전지차 관련 핵심기술 개발동향 .....115

<그림2-1> Techno-Economic Analysis Guides Fuel Cells R&D Portfolio .....	124
<그림2-2> PEMFC의 구성 .....	145
<그림2-3> 연료전지 시스템 구성(Stack, PEM, MEA, BOP) .....	150
<그림2-4> 생산 대수에 따른 연료전지 스택 부품 중 멤브레인 가격 비중 .....	150
<그림2-5> 나피온 화학 구조 및 이온 채널 모식도 .....	151
<그림2-6> 3M의 multi-acid side chain을 갖는 PFIA(Per Fluoro Imide Acid)전해질막 .....	153
<그림2-7> FuelCell Energy의 multi-component composite membrane(mC2) .....	154
<그림2-8> 랜덤 중합의 블록공중합으로의 개선에 의한 전도성 향상 메커니즘 개념화 도식 .....	155
<그림2-9> 이온전도막 응용 분야 .....	156
<그림2-10> 대표적인 과불소계 술폰화 이오노머의 화학구조 .....	158
<그림2-11> 강화막의 제조 Concept .....	158
<그림2-12> 수소연료전지차 대수 전망 .....	160

<그림2-13> 수소연료전지차용 불소계 강화막 세계 시장 전망 .....	161
<그림2-14> 3M 특허에 표시한 MEA 형성을 위한 gasket 적용공정 .....	163
<그림2-15> Gore MEA 3 Layer 제조공정 .....	163
<그림2-16> PGM loading 저감과 MEA 성능의 개선 도표 .....	164
<그림2-17> Yamanashi대학의 전도성 산화물 담지체 백금촉매 사이클 수명 시험 결과 .....	167
<그림2-18> ORR활성도 향상 비교 도표 .....	167
<그림2-19> 촉매들의 ORR촉매활성도를 표면활성도와의 관계를 정리한 그래프 .....	169
<그림2-20> 전기화학적 활성비면적 변화결과 .....	169
<그림2-21> 표면활성도와 향상도 비교 도표 .....	170
<그림2-22> 3M의 NSTF공정의 개념도 .....	170
<그림2-23> FY 2015 Catalysts 탐색 .....	171
<그림2-24> Ballard 가스확산층의 생산량별 비용 곡선 .....	172
<그림2-25> 미국 AmesSeal사의 디스펜서형 가스켓(좌), 액상전이 제조공정(우) .....	173
<그림2-26> 일본 NOK사의 사출성형형 가스켓 .....	173
<그림2-27> 가스켓 가격 추이 .....	175
<그림2-28> 수소연료전지차용 가스켓 세계 시장 전망 .....	175
<그림2-29> 연료전지 스택 구조와 분리판 .....	177
<그림2-30> 연료전지용 분리판의 종류 .....	178
<그림2-31> 연료전지차용 분리판 시장전망 .....	179
<그림2-32> 수소연료전지차의 냉각 방식 .....	185
<그림2-33> 연료전지 스택의 냉각기술 현황 .....	186
<그림2-34> 수소 연료전지 자동차의 냉각 계통 구성예 .....	187
<그림2-35> Toyota Mirai의 전면부 방열기 배치도 .....	188
<그림2-36> ANL의 시스템 가격 비교 도표 .....	190
<그림2-37> 구동모터 구조 .....	192
<그림2-38> 직류변환 장치 .....	193
<그림2-39> 배터리 및 배터리 관리 시스템(BMS) .....	193
<그림2-40> 인버터 .....	194
<그림2-41> 수소연료전지차 구동 System 구성도 .....	195
<그림2-42> Honda의 수소연료전지차 FCX Clarity System 및 제원 .....	196
<그림2-43> Hyundai의 수소연료전지차 ix35 FC System 및 제원 .....	197
<그림2-44> Hyundai의 수소연료전지 Bus System 및 제원 .....	198
<그림2-45> 야스카와社 전자기적 변속방식의 QMET-II Drive 시스템 .....	204
<그림2-46> BMW i3 구동모터 회전자 구조 .....	204
<그림2-47> 자동차용 수냉식 구동 모터의 냉각 설계 프로세스 .....	205
<그림2-48> Tesla Model S 구동모터 회전자 축 냉각 기술 구조도 .....	207
<그림2-49> Mazda社 구동 모터 / SRM 모터 장착 NIDEC社 하이브리드 버스 .....	208

<그림2-50> 평각동선과 기존 원형권선과의 비교 .....	210
<그림2-51> GM사 Volt-II Powertrain System .....	210
<그림2-52> 유도전동기 회전자 바 적용 방식 .....	211
<그림2-53> 닛폰 스틸社 Thin gauge steel 철손 특성 도표 .....	211
<그림2-54> 영구자석 형상에 따른 PMSM 회전자 구조 .....	212
<그림2-55> GM Spark EV용 구동 모터 Assembly 및 회전자 구조 .....	212
<그림2-56> BMW i3 구동 모터 회전자 자석 분할 .....	213
<그림2-57> 유럽의 HySafe에 의한 수소손상 프로세스 분류법 .....	217
<그림2-58> 상용화된 수소 차단 기술 .....	219
<그림2-59> KRISS 개발 2층구조 수소차단막 원리 .....	219
<그림2-60> 고압용기용 복합재료 수요 추정량 .....	223
<그림2-61> 고압용기 유형별 수요전망 .....	224
<그림2-62> 수소용기의 장착위치 .....	225
<그림2-63> 현대 ix35 Fuel Cell의 수소저장장치(2015) .....	229
<그림2-64> Hyundai에 납품되는 수소저장 시스템 구성(Dynetek & Lincoln composite) .....	231
<그림2-65> 퀀텀이 GM과 공동으로 개발한 수소저장 시스템 구성(Quantum) .....	231
<그림2-66> Techno-Economic Analysis Guides H2 Tank R&D Portfolio .....	233
<그림2-67> Estimates of (a) gravimetric and (b) volumetric capacities(2005-2011) .....	233
<그림2-68> 국내외 수소 공급 인프라 현황 .....	239
<그림2-69> 10~15년간의 누적 적자가 불가피한 수소충전소 사업 모델(IEA) .....	240
<그림2-70> 수소 공급 인프라 보급을 위한 단기/중·장기 전략 .....	240
<그림2-71> 수소공급, 저장, 충전의 기본 시스템 .....	241
<그림2-72> Basic Hydrogen Transport Pathway Options-FCOT .....	243
<그림2-73> Typical hydrogen fueling options-FCOT .....	243
<그림2-74> H2ME의 HRS 작동 Process .....	245
<그림2-75> H2ME의 On-site HRS H2 Production Process .....	248
<그림2-76> Techno-Economic Analysis Guides HRS R&D Portfolio .....	253
<그림2-77> H2 Fueling Concept Diagram .....	261
<그림2-78> 미국 내 HRS 숫자와 Network Capacity 전망 .....	261
<그림2-79> 미국 내 near-term HRS 사용률 전망 .....	262
<그림2-80> California의 계획된 HRS 숫자 및 용량 .....	262
<그림2-81> California주에서 운영되는 HRS Projections 비교 .....	263
<그림2-82> Reference Station Design Task의 Subtasks & Work Flow .....	264
<그림2-83> Reference piping and instrumentation diagram .....	266
<그림2-84> HyStEP 내/외부 모습 .....	267
<그림2-85> 수소 충전소(HRS) 기본 구성 .....	268
<그림2-86> Tube Trailer 공급 액체/가스 HRS P&IDs .....	274

<그림2-87> Liquid Hydrogen 공급 HRS P&IDs .....	275
<그림2-88> Future Liquid Hydrogen 공급 HRS P&IDs .....	276
<그림2-89> NFPA-2 이격거리 준수 가스/액화 수소 공급 HRS Physical Layouts .....	277
<그림2-90> 수전해(Electrolysis) 기술 개요 .....	311
<그림2-91> 수소 인프라 구축 : 수소 제조 기술 및 수소 경제 .....	312
<그림2-92> 대표적인 수전해 시스템 .....	313
<그림2-93> 알칼라인 수전해조 구성요소 .....	314
<그림2-94> PEM 수전해조 시스템 및 스택 부분별 가격 비율 .....	315
<그림2-95> PEM 수전해조 구성요소 .....	315
<그림2-96> 연도별 지역별 신·재생에너지 발전량 .....	316
<그림2-97> Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells .....	317
<그림2-98> 수소생산 costs 범위(untaxed, 단기-중기 분산&집중 방식) .....	319

### III. 수소연료전지차 RD&D 국가별 정책동향 .....327

<그림3-1> 국내 FCEV R&D 로드맵 vs 일본 FCV R&D 전략 로드맵 .....	336
<그림3-2> 국내 수소충전소 로드맵 vs 일본 수소충전소 전략 로드맵 .....	336
<그림3-3> Hydrogen Production R&D Funding .....	343
<그림3-4> Hydrogen Delivery R&D Funding .....	343
<그림3-5> Hydrogen Storage R&D Funding .....	343
<그림3-6> Fuel Cell R&D Funding .....	344
<그림3-7> Manufacturing R&D Funding .....	344
<그림3-8> Technology Validation R&D Funding .....	344
<그림3-9> Safety, Codes and Standards R&D Funding .....	345
<그림3-10> Systems Analysis R&D Funding .....	345
<그림3-11> Market Transformation R&D Funding .....	345
<그림3-12> Nanosegregated Catalysts .....	364
<그림3-13> Advancing Analysis Capabilities .....	365
<그림3-14> FC-APOLLO .....	365
<그림3-15> HRS용 Modeling and Online Tool 개발 .....	367
<그림3-16> Conventional Fuels과 비교한 H2 Pathways의 Water Consumption .....	368
<그림3-17> Fuel Cell Engine Demonstrated Reliability for Transit Bus Fleet .....	368
<그림3-18> Real World Operation .....	369
<그림3-19> H2USA Goal인 Infrasructure를 지원하기 위한 DOE의 H2FIRST project .....	370
<그림3-20> 35,000명 이상의 code officials and first responders 확보 .....	370
<그림3-21> US DOE RD&D Collaborations and Partnerships .....	371
<그림3-22> California의 HRS Network Map(2016.05) .....	379
<그림3-23> California의 Station Projections by County and Statewide(2015년말) .....	380



<그림3-24> California의 County별/State 수소 충전 용량 현황 및 전망(2015.07) .....	381
<그림3-25> Potential Hydrogen and Fuel Cell Applications for Transportation .....	387
<그림3-26> Potential Hydrogen and Fuel Cell Applications for Transportation .....	390
<그림3-27> Potential Hydrogen and Fuel Cell Applications for Transportation .....	393
<그림3-28> Potential Hydrogen and Fuel Cell Applications for Transportation .....	398
<그림3-29> Potential Hydrogen and Fuel Cell Applications for Transportation .....	401
<그림3-30> Potential Hydrogen and Fuel Cell Applications for Transportation .....	404
<그림3-31> Potential Hydrogen and Fuel Cell Applications for Transportation .....	407
<그림2-32> Projected FCEV Deployment by 2025 per Eight (8) State MOU .....	410
<그림3-33> FCEB 상용화 개발 Process 도표 .....	412
<그림3-34> Fuel Cell Power Plant별 총 운행시간 .....	417
<그림3-35> FCEBs & Baseline Buses의 월평균 Mileage .....	418
<그림3-36> ACT ZEBA buses의 Monthly availability & unavailability 일수 .....	419
<그림3-37> SunLine AFCBs의 Monthly availability & unavailability 일수 .....	419
<그림3-38> FCEBs의 월평균 Availability .....	420
<그림3-39> ACT ZEBA & Diesel Buses의 Monthly fuel economy .....	421
<그림3-40> SunLine AFCBs & CNG buses의 Monthly fuel economy .....	421
<그림3-41> 2 Projects의 FCEBs 운행에 사용된 Total Hydrogen(Kilograms) .....	422
<그림3-42> FCEBs의 월평균 연비 .....	422
<그림3-43> FCEBs의 Monthly MBRC .....	423
<그림3-44> DOE/FTA Technical Targets과 비교한 FCEBs의 MBRC rates .....	424
<그림3-45> EVOLUTION OF EUROPE'S ENERGY GOALS AND TARGETS .....	427
<그림3-46> EUROPEAN STRATEGIC ENERGY TECHNOLOGY PLAN(SET-Plan) .....	428
<그림3-47> Hydrogen Mobility Europe project (H2ME)의 HRS Map .....	436
<그림3-48> 대중교통수단의 Emissions Reduction 지지 Trends .....	450
<그림3-49> Hydrogen value chain과 FC bus layout(단순화한 도식) .....	451
<그림3-50> 유럽의 Current FC buses Projects와 전개된 Bus 숫자 .....	451
<그림3-51> FCH JU 상용화 Vision .....	452
<그림3-52> 20 FC buses-용 HRS의 인프라 & 수소 cost(SMR Off-Site & 수전해 On-Site) .....	455
<그림3-53> Heavy-Duty Pathway의 scenarios별 standard FC buses 구입비용 .....	457
<그림3-54> 기존의 Diesel Bus와 비교한 FC bus의 TCO 발달 그래프 .....	458
<그림3-55> Standard FC buses의 구성요소별 TCO 분포도: Heavy-Duty Pathway .....	459
<그림3-56> Standard FC Bus와 기존의 Diesel Bus TCO 비교: Heavy-Duty Pathway .....	459
<그림3-57> 전개 시나리오별 Standard FC Bus와 기존의 Diesel Bus TCO 비교 .....	460
<그림3-58> Standard FC bus 구입 예상가격 .....	462
<그림3-59> Standard FC bus TCO .....	463
<그림3-60> TCO standard bus [EUR/ km]-기술경로별 비교 .....	463

<그림3-61> Diesel & FC buses의 Local Emissions & Noise Levels 비교 .....	466
<그림3-62> Carbon neutral hydrogen value chain .....	467
<그림3-63> CO2emissions of bus fuel(well-to-wheel) in 2015 .....	468
<그림3-64> EU에서 FC buses 전개로 절감 가능한 Bus의 연간 별도비용 .....	469
<그림3-65> Participating locations by country(as of May 2015) .....	472
<그림3-66> FC buses 상용화를 위한 FC bus coalition Set-up .....	472
<그림3-67> Europe에서의 FC buses 보급 Ramp-up scenario .....	474
<그림3-68> FC bus coalition의 Regional clusters와 Initiative의 Next Steps .....	475
<그림3-69> UK H2Mobility의 HRS network development Plan .....	486
<그림3-70> H2 MOBILITY의 독일 내 HRS roadmap .....	489
<그림3-71> NIP Funded Projrcts Map .....	491
<그림3-72> France의 HRS Network 및 FCEV 전개 현황 및 Plan .....	500
<그림3-73> Simultaneous HRS/Vehicles deployment in French Regions .....	502
<그림3-74> 일본의 수소스테이션 보급확대 전략(2011년) .....	504
<그림3-75> 수소충전소 구축 정부 지원 내용 .....	505
<그림3-76> HySUT의 다양한 HRS 실증모델 .....	507
<그림3-77> 일본정부의 수소사회 실현 계획 .....	509
<그림3-78> 수소·연료전지차 보급 확대를 위한 전략 로드맵 요약 .....	511
<그림3-79> 1단계 FCEV 분야 로드맵 .....	512
<그림3-80> 일본의 2015년 HRS 구축 및 지원 Plan .....	513
<그림3-81> 수소연료전지 전략 로드맵 R&D, Action Plan & Budget(FY 2015) .....	514
<그림3-82> 차세대 친환경 자동차에 대한 인지도 도표 .....	516
<그림3-83> FCV용 연료전지의 용도 및 적용차종 확대 .....	518
<그림3-84> 가솔린 가격구성비 대 수소비용구조 .....	520
<그림3-85> H2 Mobility의 구성 .....	523
<그림3-86> HRS 배치-현장형(70MPa 일반규칙 제7조의3) .....	533
<그림3-87> HRS 배치 Off-Site형(70MPa 일반규칙 제7조의3) .....	533
<그림3-88> HRS 배치 Package형(70MPa 일반규칙 제7조의3) .....	534
<그림3-89> HRS 배치 이동식(Mobile) (70MPa 일반규칙 제8조) .....	534
<그림3-90> NEDO의 신규 연료전지 R&D Project .....	535
<그림3-91> 국내 수소차 보급 계획 전망 .....	548
<그림3-92> 기존 및 모듈화 수소충전소 형태 .....	549
<그림3-93> 수소 생산 및 충전소 주요 설치지역 .....	550
<그림3-94> 민관협의체(안)의 구성 및 활동 내용 .....	554
<그림3-95> 2016년 4월 준공된 HCNG 복합충전소 .....	556
<그림3-96> 복합재료 저장용기 허용을 통한 충전절차 간소화 .....	557
<그림3-97> 시도별 지역전략산업 선정 결과 .....	565

<그림3-98> 사업비전 .....	566
<그림3-99> 울산 수소타운의 위치 .....	570
<그림3-100> 울산 수소타운 운영효과 .....	570
<그림3-101> NREL에서 제시한 가이드라인-상업화 프로세스와 기술 성숙도 수준 .....	571
<b>IV. 부록 .....</b>	<b>579</b>