

목 차

1. 수소·연료전지·모빌리티 개요	43
1. 수소 에너지 기술	43
1-1. 수소 생산 기술	44
1) 개요	44
(1) 수소 제조 원료	44
(2) 수소 생산 방식 개요	44
(3) 수소 변환 효율	47
2) 수소 생산 방식	48
(1) 부생수소	48
(2) 화석 연료 개질	50
(3) 수전해	54
(4) 바이오매스 열분해	57
(5) 물의 열분해	59
(6) 광촉매를 통한 물 분해(인공광합성)	60
(7) 바이오 프로세스	62
3) 수소 생산 현황	63
(1) 글로벌	63
(2) 북미	63
(3) 유럽	64
(4) 아시아	65
(5) ROW	66
1-2. 수소 저장·수송 기술	68
1) 개요	68
2) 고압가스 수소 수송	71
(1) 원리와 특징	71
(2) 과제	71
(3) 실용 사례	72
3) 액화수소 수송	73
(1) 원리와 특징	73
(2) 과제	74

(3) 실용 사례	74
4) 유기 하이드라이드	76
(1) 원리와 특징	76
(2) 과제	76
(3) 실용 사례	77
5) 파이프라인 수송	77
(1) 특징	77
(2) 과제	77
(3) 실용 사례	78
6) 수소저장 기술의 로드맵	78
1-3. 수소 공급 기술	81
1) 원리와 특징	81
(1) 수소 스테이션의 종류	81
(2) 충전기술	82
(3) 계량관리기술	82
(4) 품질관리기술	83
(5) 관련 기기 개발	84
2) 적용 사례	84
2. 연료전지 기술	86
2-1. 연료전지의 정의	86
1) 정의	86
2) 시스템 구성	87
3) 종류	87
4) 세계 시장 규모	89
2-2. 연료전지의 분류	91
1) 기술별 분류	91
(1) 개요	91
(2) PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)	92
(3) DMFC(Direct Methanol Fuel Cell)	96
(4) SOFC(Solid Oxide Fuel Cell)	97
(5) AFC(Alkaline Fuel Cell)	100
(6) MCFC(Molten Carbonate Fuel Cell)	100
(7) PAFC(Phosphoric Acid Fuel Cell)	102
2) 용도별 분류	103
(1) 용도 분류	103
(2) 수송용 연료전지	104

(3) 건물용 연료전지	106
(4) 발전용 연료전지	108
(5) 휴대용 연료전지	110
2-3. 연료전지 활용 사례	111
1) 개요	111
2) 가정용 연료전지	111
(1) 원리와 특징	111
(2) 과제	112
(3) 실용 사례	113
3) 업무용·산업용 연료전지	114
(1) 원리와 특징	114
(2) 과제	115
(3) 실용 사례	115
4) 신재생에너지 발전 시스템	116
(1) 개요	116
(2) 실용 사례	117
5) 휴대용 연료전지	119
(1) 원리와 특징	119
(2) 과제	120
(3) 실용 사례	120
3. 수소연료전지차	121
3-1. 수소연료전지차 개관	121
1) 수소연료전지차 구성 및 작동	121
(1) 수소연료전지차의 구성	121
(2) 수소연료전지차의 작동	123
2) 수소연료전지차 발전사	124
3) 기술 준비도 및 자동차 분류 기준	125
(1) 기술 준비도(TRL)	125
(2) 상용차 분류 기준	126
4) 수소연료전지차의 가치 사슬	128
3-2. 수소연료전지 자동차	132
1) 개요	132
2) 주요 동향	132
(1) 지원책	132
(2) 버스	133
(3) 트럭	139

3-3. 연료전지 오프로드 차량	143
1) 개요	143
2) 주요 동향	144
4. 기타 수소연료전지 모빌리티	147
4-1. 수소연료전지 모빌리티 개요	147
1) 개념	147
2) 수소연료전지 모빌리티의 도입 필요성	148
3) 연료전지 모빌리티의 경제성	149
4) 기타 모빌리티용 연료전지	151
4-2. 연료전지 선박	155
1) 개요	155
2) 주요 동향	156
4-3. 연료전지 비행기	162
1) 개요	162
2) 주요 동향	163
(1) 비행기	163
(2) 드론	163
4-4. 연료전지 기차	165
1) 개요	165
2) 주요 동향	165

II. 수소연료전지차 시장 동향171

1. 수소연료전지차 시장 규모·전망	171
1-1. 수소연료전지차 시장 현황	171
1) 글로벌 자동차 시장 전망	171
2) 친환경 전동자동차 보급 현황	173
(1) 전 세계	173
(2) 미국	176
(3) EU	177
(4) 일본	178
(5) 한국	179
1-2. 수소연료전지차 관련 시장 현황	183
1) 연료전지 용도별 시장	183
2) 수소·연료전지의 기술 현황	185
(1) 수소·연료전지 기술의 hype cycle	185

(2) 수소·연료전지 관련 기술 성숙도	186
(3) 바이오/수소연료 변환 기술의 현황	188
3) 재생에너지를 이용한 수소 생산 기술의 성숙도	190
4) 수전해 시장 전망(PEMEL, AEL, HTEL)	192
(1) 수전해 기술의 성숙도	192
(2) 수전해 산업화 로드맵	192
(3) 시나리오를 통한 수요공급 분석	193
1-3. 수소·연료전지 시장 전망	199
1) 글로벌 에너지 리더 대상 설문조사	199
2) 글로벌 자동차 경영진 대상 설문조사	200
2. 수소연료전지차 경제성 분석	203
2-1. 수소연료전지차 제조비 분석	203
1) 승용차	203
(1) 분석용 LDV 시스템	203
(2) 촉매 성능 비교와 제조 공정 변화	206
(3) 시스템 비용 비교	208
2) 상용차	209
(1) 분석용 MDV 시스템	209
(2) 시스템 비용 비교	215
2-2. 수소연료전지차 연비 조사	216
1) 연비	216
2) 경제성	216
3) ICE와 EV, FCEV의 열효율 비교	218
4) 차세대 자동차의 전개 난이도	220
2-3. 수소 생산·저장·운송비 분석	222
1) 수요 예상	222
2) 수소저장비용 분석	223
(1) 700 bar 타입 4 저장 시스템의 비용	223
(2) 13kpsi(약 900 bar)급 수소 저장 용기의 제조비용 분석	227
3) 수소생산 & 운반비용 분석	228
4) APEC 지역의 수소 생산 비용 분석	230
5) 수소 스테이션의 Cash Flow 조사	234
2-4. ICE, EV, 그리고 FCEV 비교	236
1) 승용차에서 ICE와 EV 기술의 발전 방향	236
2) 수소연료전지차-전기차 비교	237
3) 열효율 비교	239

3. 수소연료전지차 주요 기업 동향	243
3-1. 수소연료전지차 관련 현황	243
1) 수소·연료전지 주요 업체 현황	243
2) 수소 스테이션 설치 현황	247
(1) 미국(99개소)	247
(2) 일본(103개소)	250
(3) EU(134개소)	253
(4) 중국(13개소)	264
(5) 한국(15개소)	265
3) 수소 파이프라인 설치 현황	265
3-2. 수소연료전지차 관련 기업 동향	269
1) 수소연료전지자동차 제조 기업 동향	269
(1) GM	269
(2) Mercedes	269
(3) Nikola	270
(4) 야마하발동기	271
2) 수소연료전지자동차 도입 사례	272
(1) 미국	272
(2) 일본	273
(3) 한국	275
(4) 기타	276
3) 수소·연료전지 관련 기업 동향	276
(1) NEL	276
(2) 지멘스	279
(3) ITM POWER	281
(4) CHIYODA	282
(5) 에어워터	285
(6) 스키상관(商館)	286
(7) 오사카가스리퀴드	287
(8) 미쓰비시 화공기계	288
(9) H-TEC SYSTEMS	289
(10) H2SYS	290
3-3. 수소 인프라 관련 기업 동향	292
1) 수소 스테이션 관련 기업 동향	292
(1) FirstElement Fuel	292
(2) Shell	294

(3) 일본수소스테이션네트워크(JHyM)	294
(4) 도호가스	294
(5) 도쿄무역엔지니어링	295
(6) 타이요 닛폰 산소	296
(7) JXTG 에너지	298
(8) 제이엔케이히터(주)	299
2) 수소 운송·저장 관련 기업 동향	301
(1) 일본제철	301
(2) 가와사키중공업	303

III. 수소연료전지차 정책·표준화·특허 동향307

1. 글로벌 수소·연료전지 지원 정책 동향	307
1-1. 미국	307
1) 주요 연료전지 관련 정책	307
2) 2018년 연료전지 관련 연구지원 조직도	310
3) 연구 프로그램	310
4) H2@Scale R&D Consortium	313
5) 연료전지 로드맵	315
1-2. 일본	317
1) 개요	317
2) 공급 설비 관련 지원 정책	318
(1) 연료전지 관련 중앙정부·지방자치단체 지원제도 현황	318
(2) 지방정부 현황	320
3) 경제산업성	321
(1) 수소기본전략	321
(2) 수소연료전지로드맵(개정판)	322
(3) 수소·연료전지전략협의회	324
(4) NEDO의 연료전지·수소기술개발로드맵	325
(5) NEDO의 연료전지·수소에 관한 사업	327
(6) 연료전지자동차용 수소공급설비 설치보조사업	327
(7) 연료전지자동차 신규수요 창출활동 보조사업	329
4) 국토교통성	330
(1) 수소사회에 따른 하수도 자원 이활용 검토위원회	330
(2) 하수도 혁신적 기술 실증 사업	334
(3) 지역교통 그린화 사업	336
(4) 연료전지선박 가이드라인을 위한 실증 실험	336

5) 내각부	337
(1) 재생가능 에너지 수소 등 관계 각료회의	337
(2) 전략적 이노베이션 창조프로그램(SIP)	337
6) 환경성	338
(1) 재생에너지 수소를 활용한 사회 인프라의 저탄소화 촉진 사업	338
(2) 지역 연계 저탄소수소기술 실증 사업	340
7) 국제 연계 동향	341
(1) 일본-사우디 수소	341
(2) 일본-호주(HESC 프로젝트)	342
1-3. 한국	345
1) 로드맵	345
(1) 수소경제 활성화 로드맵	345
(2) 전기·수소차 보급 확산을 위한 정책 방향	346
(3) 수소연료전지차 기술로드맵	348
(4) 수소경제 표준화 전략 로드맵	352
(5) 수소연료전지차 연료전지 시스템 기술개발 로드맵	356
2) 미세먼지 대응 정책·보조금 현황	359
(1) 미세먼지 대응 정책	359
(2) 보조금 현황	359
3) 수소·연료전지 관련 사업 현황	360
(1) 2019 국토교통부 업무계획의 수소경제 과제	360
(2) 2019년도 산업기술혁신사업 중 수소 관련 사업	362
(3) 수소 충전 시스템 관련 사업	364
(4) 에너지 저장 기술 관련 사업	367
(5) 신재생 에너지 핵심 기술 개발 사업	368
(6) 수소연료전지차 부품실용화 및 산업기반 육성 사업 RFP	369
(7) 신재생 하이브리드 이용 미래 에너지저장 기술 개발	370
(8) 국가기술표준원 “수소경제 표준포럼”	372
1-4. EU	373
1) 개요	373
2) FCH 2JU	375
3) 용도별 연료전지 로드맵	378
4) 기술적 로드맵	382
5) 독일의 수소자동차 개발 및 지원 전략	382
(1) 개요	382
(2) 수소자동차 보급 현황 및 지원 전략	383
6) 프랑스	386

(1) 프랑스의 수소연료전지차·수소 스테이션 로드맵	386
(2) Zero Emission Valley	386
(3) JUPITER 1000 P2G Project(Marseille)	387
1-5. 중국	388
1) 개요	388
(1) 정책 동향	388
2) 수소 충전소 현황	391
3) 수소연료전지차 로드맵	392
4) 표준화	399
1-6. 호주	403
1) 수소 산업 진흥책	403
2) 동향 요약	404
2. 글로벌 수소·연료전지 관련 국책 연구과제 동향	406
2-1. 미국	406
1) 2008~2017년간 연료전지 관련 연구 테마	406
(1) 개요	406
(2) 기관별 현황 및 추이	406
2) 에너지성(DOE)의 2018년도 수소·연료전지 관련 연구과제	408
3) 바이오매스를 통한 수소 생산 연구과제	418
4) ZANZEFF 프로젝트	420
2-2. 일본	422
1) 일본 연료전지 연구개발 테마(347건) 분석(2015-2018)	422
(1) 종합 분석(347건)	422
(2) 사업 종목별 연구현황(576건)	425
2) NEDO 연료전지·수소 연구 동향	429
(1) 고체산화물형연료전지 등 실용화 추진 기술 개발	430
(2) 수소 이용 기술 연구개발 사업	432
(3) 수소 이용 등 선도 연구 개발 사업	433
(4) 수소 사회 구축 기술 개발 사업	433
(5) 고체고분자형 연료전지 이용 고도화 기술 개발 사업	434
(6) 초고압 수소 인프라 본격 보급 기술 연구 개발 사업	435
2-3. EU	437
1) Horizon 2020	437
2) 수소연료전지차 관련 연구과제 현황	438
(1) 개요	438
(2) 수소연료전지차 관련 주요 연구 프로젝트 동향(2019~)	439

3) 수소 관련 연구과제 현황	447
(1) 개요	447
(2) 수소 관련 주요 연구 프로젝트 동향(2019~)	448
4) 연료전지 관련 연구과제 현황	454
(1) 개요	454
(2) 주요 연료전지 관련 연구 프로젝트 동향(2018~)	456
3. 국내 수소, 연료전지, 모빌리티 관련기술 연구개발 동향과 연구테마	460
3-1. 국내 수소, 연료전지, 모빌리티 관련기술 연구개발 동향	460
1) 연료전지 관련 국책 연구과제 완료 현황	460
(1) 환경(2건)	460
(2) 화공(6건)	461
(3) 에너지/자원(11건)	464
(4) 기계(4건)	470
(5) 물리학(2건)	472
(6) 재료(7건)	473
(7) 전기/전자(1건)	476
(8) 화학(3건)	477
2) 기후환경연구개발사업	478
3) 한국에너지기술연구원(KIER)	482
3-2. 국내 수소, 연료전지, 모빌리티 관련기술 연구개발 테마	484
▶ 국토부 연구테마	484
1) 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 (연구단 총괄)	484
2) (1 세부과제) 고효율 수소액화 공정 기술 개발	496
3) (2 세부과제) 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발	503
4) (3 세부과제) 수소액화용 극저온 열교환기 개발	507
5) (4 세부과제) 수소액화용 Cold Box 개발	511
6) (5 세부과제) 수소액화용 극저온 밸브 개발	514
7) (6 세부과제) 액체수소 저장탱크 개발(향후, 별도 분리 공모 예정)	518
8) 수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 기획	522
9) 미래 수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 사전기획	526
▶ 에기평 연구테마	532
1) 수소의 메탄화 공정 모듈화 기술개발	532
2) 이동식 수소충전소 성능평가 및 안전관리 기술개발	533
3) 수소충전시스템 종합성능/안전평가기술	534
4) 바이오가스를 이용한 수소융복합충전소 기술개발 및 실증	536
5) 고분자 연료전지 고출력화를 위한 전해질 소재 및 분산액 개발	537

6) 발전용 확장이 가능한 고효율 모듈형 SOFC 시스템 개발	539
7) 25kW급 건물용 연료전지 전력변환시스템 개발	540
8) 25kW급 건물용 연료전지 전극(MEA)의 생산원가 절감을 위한 제조 공정기술 개발	541
9) 재생에너지 변동성에 대응 가능한 MW급 고효율 고분자 전해질 수전해 스택 개발	542
10) 수출목적형 건물용 연료전지 시스템 현지 적용 기술 개발	543
11) kW급 건물용 고체산화물 연료전지 시스템 실용화 기술 개발	544
▶ 산기평 연구테마	545
1) 대형버스용 자율주행 부품·시스템 개발 및 친환경 수소자율버스 시범운행	545
2) (총괄)대형버스용 자율주행 부품·시스템 개발 및 친환경 수소자율버스 시범운행	548
3) (1세부) 대형버스용 자율주행 부품 및 차량장착 기술개발	549
4) (2세부) 대형버스용 자율주행시스템 및 평가검증 기술개발	550
5) (3세부) 대형 수소 및 일반버스 자율주행 실도로 검증을 위한 운영 및 실증기술 개발	551
6) 전기버스 시장경쟁력 확보를 위한 배터리 공용 모듈 및 시스템 기술개발	552
7) 수소전기차 고압연료시스템 요소부품 평가/검증기술 개발	553
8) 수소택시 실증기반 수소저장 및 운전 장치 요소부품 내구성 검증기술 개발	556
9) (총괄) 친환경 수소연료전지 R&D 플랫폼 구축	558
10) (1세부) 수소연료전지 추진선박용 연료저장 및 공급시스템 핵심 소재의 성능평가 설비 구축 및 평가기술 개발	563
11) (2세부) MW급 선박용 수소연료전지-ESS 시스템 성능평가 설비 구축 및 시험기법 개발	564
12) (3세부) 수소연료전지 추진선박 개발을 위한 MW급 전기추진 시스템 성능평가 기술 개발	566
4. 수소·연료전지 표준화 동향	567
4-1. 국가별 표준화 동향	567
1) 개요	567
2) 미국	568
3) 일본	568
4) 유럽	569
5) 중국	569
6) 한국	569
4-2. 주요 국제표준화기구별 동향	570
1) 개요	570
(1) ISO 수소 기술위원회	570
(2) IEC 연료전지 기술위원회	570
(3) 글로벌 컨소시엄(수소상용차 연합)	570
2) ISO/TC197(수소 기술)	571
3) IEC/TC105(연료전지 기술)	575
4) ASTM D03.14	579

5) ASTM F07.04	580
6) CGA	580
5. 수소·연료전지 특허 동향	582
5-1. 미국	582
1) 개요	582
2) DOE FCTO 지원 특허 일람	584
3) 2019년 수소·연료전지 관련 기업 미국 내 특허 출원 현황	589
(1) Toyota	590
(2) Nissan	592
(3) Hyundai	593
(4) Honda	594
(5) Intelligent Energy Limited	596
(6) Bloom Energy	597
(7) Audi AG	598
(8) General Motors	600
(9) 프랑스 원자력 및 대체에너지 위원회	601
(10) Sumitomo Electric Industries	603
5-2. 일본	604
1) 연료전지 특허출원 동향	604
(1) 연도별 특허출원 동향	604
(2) 2018년 주요 출원인 동향	604
(3) 주요 특허 출원인의 연료전지 특허 소개	605
2) 2019년 수소 저장 특허출원 동향	607
3) 2019년 수소 생산 특허출원 동향	608
5-3. 한국	609
1) 연료전지 스택 특허출원 동향	609
2) 수소충전장치 특허출원 동향	610

IV. 수소연료전지차 참여기업 사업동향과 전략615

1. 자동차 OEM 업체	615
1-1. 국내 업체	615
1) 현대자동차	615
(1) 회사 일반현황	615
(2) 연료전지 관련 사업동향	615
1-2. 해외 업체	620

1) 토요타자동차	620
(1) 회사 일반현황	620
(2) 연료전지 관련 사업동향	620
2) 혼다자동차	625
(1) 회사 일반현황	625
(2) 연료전지 관련 사업동향	625
3) 다임러자동차	626
(1) 회사 일반현황	626
(2) 연료전지 관련 사업동향	626
4) GM	627
(1) 회사 일반현황	627
(2) 연료전지 관련 사업동향	627
5) Nikola Motor	628
(1) 회사 일반현황	628
(2) 연료전지 관련 사업동향	628
2. 부품 및 설비 업체	629
2-1. 국내 업체	629
1) 현대모비스	629
(1) 회사 일반현황	629
(2) 연료전지 관련 사업동향	629
2) 현대제철	631
(1) 회사 일반현황	631
(2) 연료전지 관련 사업동향	632
3) 한화에너지	633
(1) 회사 프로필	633
(2) 연료전지 관련 사업 동향	633
4) 코오롱인더스트리	634
(1) 회사 일반현황	634
(2) 연료전지 관련 사업동향	634
5) 한온시스템	635
(1) 회사 일반현황	635
(2) 연료전지 관련 사업동향	636
6) 세종공업	638
(1) 회사 일반현황	638
(2) 연료전지 관련 사업동향	638
7) 모토닉	642

(1) 회사 일반현황	642
(2) 연료전지 관련 사업동향	643
8) 지엠비코리아	644
(1) 회사 일반현황	644
(2) 연료전지 관련 사업동향	645
9) 유니크	645
(1) 회사 일반현황	645
(2) 연료전지 관련 사업동향	646
10) 인지컨트롤스	646
(1) 회사 일반현황	646
(2) 연료전지 관련 사업동향	647
11) 우리산업	647
(1) 회사 일반현황	647
(2) 연료전지 관련 사업동향	647
12) 뉴로스	649
(1) 회사 일반현황	649
(2) 연료전지 관련 사업동향	649
13) 일진복합소재	650
(1) 회사 일반현황	650
(2) 연료전지 관련 사업동향	650
14) 평화산업	653
(1) 회사 일반현황	653
(2) 연료전지 관련 사업동향	654
15) S&T 모티브	654
(1) 회사 일반현황	654
(2) 연료전지 관련 사업동향	654
16) 대우부품	655
(1) 회사 일반현황	655
(2) 연료전지 관련 사업동향	655
17) 동아화성	656
(1) 회사 일반현황	656
(2) 연료전지 관련 사업동향	656
18) 대원강업	657
(1) 회사 일반현황	657
(2) 연료전지 관련 사업동향	657
19) 코다코	657
(1) 회사 일반현황	657

(2) 연료전지 관련 사업동향	658
2-2. 해외 업체	659
1) Bloom Energy	659
(1) 회사 일반현황	659
(2) 연료전지 관련 사업동향	659
2) Ceres Power	662
(1) 회사 일반현황	662
(2) 연료전지 관련 사업동향	662
3) Ballard Power Systems	662
(1) 회사 일반현황	662
(2) 연료전지 관련 사업동향	663
4) Plug Power	664
(1) 회사 일반현황	664
(2) 연료전지 관련 사업동향	664
5) Weichai Power	665
(1) 회사 일반현황	665
(2) 연료전지 관련 사업동향	665
6) Panasonic	666
(1) 회사 일반현황	666
(2) 연료전지 관련 사업동향	666
3. 수소 인프라 업체	667
3-1. 국내 업체	667
1) 한국가스공사	667
(1) 회사 일반현황	667
(2) 연료전지 관련 사업동향	667
2) 효성중공업	669
(1) 회사 일반현황	669
(2) 연료전지 관련 사업동향	669
3) 이엠코리아	671
(1) 회사 일반현황	671
(2) 수소차 관련 사업동향	671
4) 제이엔케이히터	675
(1) 회사 일반현황	675
(2) 연료전지 관련 사업동향	675
5) 디케이락	677

(1) 회사 일반현황	677
(2) 연료전지 관련 사업동향	677
6) 엔케이	677
(1) 회사 일반현황	677
(2) 연료전지 관련 사업동향	678
7) HnPower	679
(1) 회사 프로필	679
(2) 연료전지 관련 사업 동향	679
3-2. 해외 업체	682
1) Linde	682
(1) 회사 일반현황	682
(2) 연료전지 관련 사업동향	682
2) Air Liquide	683
(1) 회사 일반현황	683
(2) 연료전지 관련 사업동향	683
3) Air Products	685
(1) 회사 일반현황	685
(2) 연료전지 관련 사업동향	685
4) McPhy Energy	689
(1) 회사 일반현황	689
(2) 연료전지 관련 사업동향	689
5) Hydrogenics	691
(1) 회사 일반현황	691
(2) 연료전지 관련 사업동향	691
6) YARA	693
(1) 회사 일반현황	693
(2) 연료전지 관련 사업동향	693
7) 이와타니산업	694
(1) 회사 일반현황	694
(2) 수소 생산 설비 증산 동향	695

표 목차

1. 수소·연료전지·모빌리티 개요	43
<표1-1> 수소 에너지 기술의 개요	43
<표1-2> 세계 수소 생산 원료 현황	44
<표1-3> 수소 생산 기술 종류와 특징(1)	45
<표1-4> 수소 생산 기술 종류와 특징(2)	45
<표1-5> 제조 공정별 수소 변환 효율(1)	47
<표1-6> 제조 공정별 수소 변환 효율(2)	48
<표1-7> 미쓰비시화공기 HyGeia 제원	52
<표1-8> HYSERVE 시리즈 제원	52
<표1-9> 알칼리 수전해와 고체고분자형 수전해의 비교	55
<표1-10> 글로벌 수소 생산량 상위 10개국 추이(2012~2016, MMSCFD)	63
<표1-11> 북미의 상업용 수소 생산 업체별 Capacity와 점유율(2015)	63
<표1-12> 북미의 상업용 액화 수소 제조 시설 현황(2015)	64
<표1-13> 유럽의 상업용 수소 생산량(2010-2014)	64
<표1-14> 유럽의 상업용 수소 생산 업체별 Capacity와 점유율(2015)	64
<표1-15> 유럽의 상업용 액화 수소 제조 시설 현황(2015)	65
<표1-16> 아시아의 상업용 수소 생산 업체별 Capacity와 점유율(2016)	65
<표1-17> 아시아의 상업용 액화 수소 제조 시설 현황(2016)	65
<표1-18> ROW의 상업용 액화 수소 제조 시설 현황(2016)	66
<표1-19> ROW의 상업용 수소 생산 업체별 Capacity와 점유율(2016)	67
<표1-20> 수소 스테이션 공급 시의 각 수소 캐리어 비교	70
<표1-21> 일본의 압축수소 판매량 추이(2013~2017, 단위 : kSm ³)	73
<표1-22> 글로벌 액화수소 생산 공장 일람	75
<표1-23> 수소 수송을 위한 유기 하이드라이드의 종류	76
<표1-24> DOE의 저전력 휴대 장비용(≤ 2.5 W) 수소 저장 시스템 로드맵(~2020)	79
<표1-25> DOE의 중전력 휴대 장비용(> 2.5 W - 150 W) 수소 저장 시스템 로드맵(~2020)	79
<표1-26> DOE의 휴대용 전력 내구성과 성능 목표	80
<표1-27> 연료전지의 전기발생 원리	86
<표1-28> 연료전지의 종류	88
<표1-29> 연료전지 용도별·지역별·종류별 생산량-MW 기준(2014~2018)	89
<표1-30> 연료전지 용도별·지역별·종류별 생산량-1,000 Units 기준(2014~2018)	90
<표1-31> 전해질에 의한 연료전지의 분류(고온형과 저온형 분류)	91

<표1-32> 연료전지 Type별 기술적 특성 비교	92
<표1-33> PEMFC 구성, 특징, 개발방향	93
<표1-34> 저온형과 고온형 PEMFC의 차이점 요약	94
<표1-35> 중앙집중식 발전과 SOFC 사용 분산발전의 비용 및 배출량 비교	97
<표1-36> SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 구조, 특징, 개발방향	98
<표1-37> 각국의 SOFC 개발 현황	99
<표1-38> SOFC 시스템의 공급망	99
<표1-39> MCFC의 구성, 장단점, 주요용도	101
<표1-40> 용도별 카테고리 및 관련 연료전지 기술	103
<표1-41> 용도별 연료전지 종류	103
<표1-42> 발전 용량별 연료전지 종류	104
<표1-43> 수송용 연료전지 로드맵	105
<표1-44> 건물용 연료전지 로드맵	107
<표1-45> 발전용 연료전지 로드맵	109
<표1-46> 휴대용 Application의 주요 유인점	110
<표1-47> PEFC와 SOFC의 비용 구조	113
<표1-48> 해외의 가정용 연료전지 개발 이력	114
<표1-49> 글로벌 업무용 연료전지 시스템 사례	115
<표1-50> 업무용 연료전지 시스템 개발 사례-일본을 중심으로	116
<표1-51> 태양광 발전 시스템의 기술 범위	117
<표1-52> 건물 일체형 신재생에너지 시스템의 기술 범위	117
<표1-53> 그린홈 연료전지주택 보급실적	119
<표1-54> 수소연료전지차 주행 모드별 구동 방식	123
<표1-55> 수소연료전지차 발전사 요약	124
<표1-56> NREL의 FCEB 상용화를 위한 Technology Readiness Levels	125
<표1-57> FCH-JU의 Technology readiness levels(TRL)	126
<표1-58> 미국의 차량 중량에 따른 클래스&카테고리①	127
<표1-59> 미국의 차량 중량에 따른 클래스&카테고리②	127
<표1-60> 연료전지 밸류체인별 기업현황	130
<표1-61> 수소연료전기차 가치 사슬의 주요 참여 업체	131
<표1-62> 각 국의 수소연료전지 자동차 정책 로드맵	133
<표1-63> AFCB와 Van Hool FECB의 제원	137
<표1-64> 비교 대상인 CNG, 디젤 하이브리드 버스의 제원	138
<표1-65> Zero-Emission 오프로드 차량 프로젝트 중 수소연료전지 포크리프트 일람	143
<표1-66> 토요타 산업-스즈키의 연료전지 포크리프트 제원	144
<표1-67> ICCT의 기술 평가 기준표	150
<표1-68> 비행기의 전동화 기술별 평가	150

<표1-69> 선박의 전동화 기술별 평가	151
<표1-70> 오프로드 차량의 전동화 기술별 평가	151
<표1-71> 기차의 전동화 기술별 평가	151
<표1-72> 보조 발전용 연료전지 주요 시장	152
<표1-73> 기존 보조 발전용 엔진&배터리 사양	152
<표1-74> 보조 발전용 연료전지 주요 사항	153
<표1-75> 보조 발전용 연료전지의 주요 구성 요소 사양	154
<표1-76> 선박에 활용되는 연료전지 타입	155
<표1-77> 현재 진행 중인 유럽의 연료전지 선박 프로젝트 일람	156
<표1-78> Zero-emission 선박 프로젝트 일람	157
<표1-79> Nedstack의 연료전지 제원	159
<표1-80> Zero-Emission 항공기 프로젝트 중 수소연료전지 항공기 일람	162
<표1-81> DP20 파워팩의 제원	163
<표1-82> Ballard의 FCair UAV Power Systems 제원	164
<표1-83> Hydrogenics HyPM-HD 180 제원	167
<표1-84> Ballard의 FCveloCity®-HD 제원	168

II. 수소연료전지차 시장 동향171

<표2-1> 세계 각국의 수소연료전지차 보급 계획(~2050)	175
<표2-2> EU의 신규 등록 승용차 중 대체 에너지를 이용한 파워트레인의 수(2017, 2018)	177
<표2-3> 2012~2019년 친환경자동차 보급실적	179
<표2-4> 최근 5개월간 친환경차종별 내수 현황	179
<표2-5> 최근 5개월간 친환경차종별 수출 현황	180
<표2-6> 전년대비 신·재생에너지 생산량 및 증가율(월별)	180
<표2-7> 한국 연료전지 2017년도 현황	181
<표2-8> 한국의 수소 및 산업용가스 주요 공급업체 2017~2018 매출	182
<표2-9> 한국의 용기·저장탱크·엔지니어링 주요 업체 2017~2018 매출	182
<표2-10> 후지경제의 연료전지 시스템 조사 대상	183
<표2-11> 다양한 수소 프로젝트의 기술 성숙도 곡선①	187
<표2-12> 다양한 수소 프로젝트의 기술 성숙도 곡선②	188
<표2-13> ALK와 PEM 전해조의 기술경제적 특징(2017, 2025)	191
<표2-14> 시나리오 S3의 파라미터	194
<표2-15> 시나리오 S3에 따른 결과 요약	194
<표2-16> 제조 공정을 고려한 각 수전해 기술 구성 요소의 중요도 평가	194
<표2-17> 수전해조 제작에 필요한 원료의 공급·수요 전망	195
<표2-18> 주요 부품 수요와 생산 Capa를 고려한 적합한 생산 공정	195
<표2-19> 세계의 에너지 이슈 - 비전과 기술	200

<표2-20> 앞으로 5년 동안 가장 많은 투자를 받을 것으로 기대되는 파워트레인	201
<표2-21> 앞으로 5년 동안 어떤 파워트레인의 차량을 구매할 것인지 지역별 설문	202
<표2-22> 향후 각 파워트레인의 점유율에 대한 예상	202
<표2-23> 해당 분석에 적용된 LDV 시스템 정의①	204
<표2-24> 해당 분석에 적용된 LDV 시스템 정의②	204
<표2-25> 해당 분석에 적용된 LDV 시스템 정의③	205
<표2-26> 2016~2018 촉매 모델의 성능 비교	206
<표2-27> PtCo/C Cathode 촉매 분말 합성 제조 비용	207
<표2-28> 2018 웰딩 스테이션 가정	208
<표2-29> MDV 시스템 정의①	211
<표2-30> MDV 시스템 정의②	212
<표2-31> MDV 시스템 정의③	213
<표2-32> MDV의 주요 제원 비교	214
<표2-33> 수소연료전지차의 연비	216
<표2-34> 각 수소연료전지차별 주행 거리와 연비 변환	218
<표2-35> 차량개량기술의 전체 부담	218
<표2-36> Reduce, Reuse, Recycle 관점에서의 열관리	220
<표2-37> 엔진차와 차세대 차의 각종 성능 비교와 전개 난이도①	221
<표2-38> 엔진차와 차세대 차의 각종 성능 비교와 전개 난이도②	221
<표2-39> APEC의 수소 에너지 수요 예상(2040, 2050, 단위 : ktoe)	222
<표2-40> 현재 연료전지자동차 클래스별 시스템 성능(LDV, MDV, HDV)	224
<표2-41> 생산량에 따른 700 bar 타입 4 수소 저장 용기의 제조비 비교	225
<표2-42> 탄소섬유(T-700) 가격 변동 추이(2015, 2018, 2019)	225
<표2-43> MD/HD 연료전지 트럭 시스템 비교①	226
<표2-44> MD/HD 연료전지 트럭 시스템 비교②	226
<표2-45> 압력 용기의 Production Rate와 System Price 비교	227
<표2-46> 수소 생산에서의 주요 구성요소와 수치 현황과 목표치	228
<표2-47> 현재 제조 현장에서 모듈 당 분산 케이스 기계적 BoP의 비용	229
<표2-48> 가스&액화 파이프라인의 주요 요소	230
<표2-49> 각 에너지 캐리어별 주요 요소 비교	230
<표2-50> 수소 생산 기술별 전체 조건	231
<표2-51> 수소 운송·저장 기술별 주요 요소	231
<표2-52> 일본의 수소 생산비 목표치	234
<표2-53> 중국의 수소 생산비 목표치	234
<표2-54> FC시스템과 LIB의 장단점 비교	239
<표2-55> 재생가능에너지에서의 전기와 수소의 효율 비교	240
<표2-56> 수소·연료전지 비즈니스 관련 주요 업체 ① Advanced Manufacturing	243

<표2-57> 수소·연료전지 비즈니스 관련 주요 업체 ② Auto Manufacturer	243
<표2-58> 수소·연료전지 비즈니스 관련 주요 업체 ③ Component Accessories	244
<표2-59> 수소·연료전지 비즈니스 관련 주요 업체 ④ Consulting Service	244
<표2-60> 수소·연료전지 비즈니스 관련 주요 업체 ⑤ Developer	245
<표2-61> 수소·연료전지 비즈니스 관련 주요 업체 ⑥ Electrolyzer	246
<표2-62> 수소·연료전지 비즈니스 관련 주요 업체 ⑦ Fuel Cell Integrator	246
<표2-63> 수소·연료전지 비즈니스 관련 주요 업체 ⑧ Hydrogen Generation	246
<표2-64> 수소·연료전지 비즈니스 관련 주요 업체 ⑨ Manufacturer	246
<표2-65> 수소·연료전지 비즈니스 관련 주요 업체 ⑩ 기타	247
<표2-66> 전 세계 수소 파이프라인 보유 업체	265
<표2-67> 전 세계 수소 파이프라인 설치 지역	266
<표2-68> Praxair의 수소 파이프라인 현황	266
<표2-69> Air Products의 수소 파이프라인 현황	266
<표2-70> Air Liquide의 수소 파이프라인 현황	267
<표2-71> Linde의 수소 파이프라인 현황	267
<표2-72> 기타 수소 파이프라인 현황	268
<표2-73> 야마하발동기 “YG-M FC” 도로 실증의 개요	271
<표2-74> 현재 미국에서 운행 중인 연료전지 버스 서비스 일람	272
<표2-75> 미국에서 운행 계획 중인 연료전지 버스 서비스 일람	272
<표2-76> 일본 정부의 연료전지 버스 보급 계획(2020~2030)	273
<표2-77> 수소연료전지차 승용차와 버스 비교	274
<표2-78> 일본의 연료전지 버스, 택시, 자가용차의 보조제도 사례	274
<표2-79> 미국 외의 연료전지 버스 운행 현황	276
<표2-80> Nel의 A-Range Tailored Electrolysers 라인업과 기본 제원	278
<표2-81> Nel의 A-Range Tailored Electrolysers 라인업 세부 제원	278
<표2-82> Nel의 대규모 플랜트 사례	279
<표2-83> Silyzer 200의 제원	280
<표2-84> Silyzer 300의 제원	280
<표2-85> ITM Power의 용량 규모별 시장 구분	282
<표2-86> ITM Power의 비즈니스 전개 현황	282
<표2-87> HYSERVE-5의 제원	287
<표2-88> HyGeia 시리즈 제원	288
<표2-89> H-TEC Series-S 제원	289
<표2-90> H-TEC Series-ME 제원	290
<표2-91> H2SYS AIRCELL의 제원	290
<표2-92> H2SYS BOXHY의 제원	291
<표2-93> FirstElement Fuel의 과거 모델과 현재&미래 모델의 비교	293

<표2-94> 이와키가시마수소스테이션 개요	294
<표2-95> 센트레아 수소 스테이션 개요	295
<표2-96> 도호가스의 상용 수소 스테이션	295
<표2-97> 액화수소용 선륙간 이송 로딩암 제원	296
<표2-98> 타이요 닛폰 산소의 CO2프리 수소충전 시스템 제원	297
<표2-99> 치바 마쿠하리 수소 스테이션 개요	298
<표2-100> 유기하이드라이드 저비용 제조 기술 검증 과정	299
<표2-101> 오이화력발전소 부지 내 수소 스테이션의 개요	299
<표2-102> HRX19의 화학 성분과 내수소취성	302
<표2-103> HRX19의 각종 성능 그래프	302

III. 수소연료전지차 정책·표준화·특허 동향307

<표3-1> Vehicle Technologies Program(VTP) 개요	307
<표3-2> Hydrogen and Fuel Cell Technologies Program 개요	308
<표3-3> Motor Fuel Excise Taxes 개요	309
<표3-4> DOE의 FY18 수소와 연료전지 관련 R&D 집행 동향	311
<표3-5> 2018년 8월 시카고 워크샵의 발표 주제와 발표자 명단	314
<표3-6> 미국 연료전지 내구성 로드맵	315
<표3-7> 미국 연료전지 시스템(엔진) 성능 로드맵	315
<표3-8> 미국 전기 효율 로드맵	316
<표3-9> 미국의 경상용 연료전지차 수소 저장 탱크 로드맵	316
<표3-10> 수소·연료전지 관련 일본 정부 각 부처별 동향 일람	317
<표3-11> 일본 중앙정부 연료전지 지원 보조제도	318
<표3-12> 일본 중앙정부의 연료전지 세계상 우선 조치 제도	319
<표3-13> 일본 지방정부의 수소 스테이션 지원제도 운영 현황	320
<표3-14> 수소기본전략의 시나리오	321
<표3-15> 수소·연료전지 로드맵 개요 총론(1)-수소사회실현의 의의	323
<표3-16> 수소·연료전지 로드맵 개요 총론(2)-수소사회실현을 위한 대응의 방향성	323
<표3-17> 수소·연료전지전략협의회 위원명부	325
<표3-18> NEDO 기술 개발 로드맵(업무·산업용 연료전지) 중 보급목표	326
<표3-19> NEDO 기술 개발 로드맵(FCV·모빌리티) 중 보급목표	326
<표3-20> NEDO 기술 개발 로드맵(가정용 연료전지) 중 보급목표	326
<표3-21> NEDO의 연료전지·수소에 관한 사업 일람표	327
<표3-22> 연료전지자동차용 수소공급설비 설치보조사업 보조금 상한액	328
<표3-23> 2017년 교부 현황	328
<표3-24> 2018년 교부 현황	329
<표3-25> 지방자치단체 모델 비교표	331

<표3-26> 전량 이용할 경우의 시나리오	332
<표3-27> 도입 시나리오를 상정한 경우	333
<표3-28> 하수도 혁신적 기술 실증 사업-2018년 선정 사업 내용(실제 규모 실증)	334
<표3-29> 지역교통의 그린화를 위한 차세대자동차의 보급촉진 사업	336
<표3-30> 실증 실험용 소형 연료전지의 지원	337
<표3-31> 2018년 SIP 수소·연료전지 관련 연구 과제	338
<표3-32> 재생에너지 수소 스테이션 설치개소 일람(2018.03. 기준)	339
<표3-33> 지역연계·저탄소수소기술실증사업 채택안건 일람(2015년)	340
<표3-34> HESC 타임라인	342
<표3-35> Latrobe Valley에서 적용 중인 기술	343
<표3-36> Port of Hastings에서 적용 중인 기술	344
<표3-37> 수소경제 활성화 로드맵 주요 추진목표-수소 모빌리티(누적)	345
<표3-38> 수소경제 활성화 로드맵 주요 추진목표-수소 에너지(누적)	346
<표3-39> 수소경제 활성화 로드맵 주요 추진목표-수소 공급량 및 가격(누적)	346
<표3-40> 정부의 전기·수소차 보급 확산을 위한 주요 추진과제와 소관부처	346
<표3-41> 연도별 수소차 및 충전인프라 현황(2013~2017년, 단위 : 대수)	347
<표3-42> 정부의 수소차·충전소 보급 목표	347
<표3-43> 수소차 기술 로드맵(1)	349
<표3-44> 수소차 기술 로드맵(2)	350
<표3-45> 수소차 보급기반 기술 로드맵	351
<표3-46> ‘수소경제 활성화 로드맵’ 관련 표준화 현황	352
<표3-47> 한국 수소 모빌리티 표준화 전략 로드맵	353
<표3-48> 한국 수소 에너지 표준화 전략 로드맵	353
<표3-49> 수소 공급 및 가격 표준화 전략 로드맵	353
<표3-50> 표준화 전략 로드맵 요약	354
<표3-51> 한국의 수소·연료전지 표준화 추진일정	355
<표3-52> 수소경제 표준화 전략 로드맵 이행 협력 간담회 참석 기관·기업	356
<표3-53> 연료전지 시스템 기술개발 로드맵	357
<표3-54> 미세먼지 대응 관련 정책의 2018년과 2019년 예산액	359
<표3-55> 친환경 에너지 차량 보조금 및 조세지출 비교(2019년 기준)	359
<표3-56> 국토교통부의 수소경제를 위한 이행계획과 세부 내용	360
<표3-57> 국토교통 7대 혁신기술 '19년 주요과제	361
<표3-58> 친환경수소연료선박R&D플랫폼구축사업 추진일정	362
<표3-59> 권역별신산업육성 추진일정	363
<표3-60> 수소융복합단지실증 추진일정	363
<표3-61> 재생에너지 장주기 저장 및 전환을 위한 Power to gas 기술개발사업 추진일정	364
<표3-62> 2017년도 핵심소재원천기술개발사업 중 수소연료전지 관련 과제 개요①	364

<표3-63> 2017년도 핵심소재원천기술개발사업 중 수소연료전지 관련 과제 개요②	366
<표3-64> 에너지 저장 분야 주요 정부개발사업	367
<표3-65> 신재생에너지핵심기술개발사업 사업목적(2016~2018년)	368
<표3-66> 신재생에너지핵심기술개발사업 사업개요 중 연료전지 내역	368
<표3-67> 수소연료전지차 부품실용화 및 산업기반 육성 사업 RFP	369
<표3-68> 세부 사업의 연도별 소요예산	371
<표3-69> 각 단계별 세부 사업의 목표와 평가지표	371
<표3-70> EU 전역의 수소 충전시설 구축을 위한 시나리오	373
<표3-71> 2017~2018년 EU의 수소연료전지차 관련 동향 요약 : ①수소 모빌리티	373
<표3-72> 2017~2018년 EU의 수소연료전지차 관련 동향 요약 : ②수소 스테이션	374
<표3-73> 2017~2018년 EU의 수소연료전지차 관련 동향 요약 : ③고정형 연료전지	374
<표3-74> 2017~2018년 EU의 수소연료전지차 관련 동향 요약 : ④수소 생산	375
<표3-75> 2017~2018년 EU의 수소연료전지차 관련 동향 요약 : ⑤재생에너지 저장	375
<표3-76> FCH 2JU FACTSHEET	376
<표3-77> FCH 2JU의 2019년도 프로그램과 책정 예산	377
<표3-78> State-of-the-art and future targets for fuel cell light duty vehicles(including cars)	378
<표3-79> State-of-the-art and future targets for fuel cell electric buses	379
<표3-80> State-of-the-art and future targets for fuel cell electric trains(300 passengers, 150seated)	379
<표3-81> State-of-the-art and future targets for fuel cell electric aircrafts	380
<표3-82> State-of-the-art and future targets for fuel cell forklifts	380
<표3-83> State-of-the-art and future targets for on-board gaseous hydrogen storage tank	381
<표3-84> State-of-the-art and future targets for Hydrogen Refuelling Stations(HRS)	381
<표3-85> State-of-the-art and future targets for hydrogen production from renewable electricity for energy storage and grid balancing using alkaline electrolyzers	382
<표3-86> 독일의 수소자동차 개발 및 지원 전략①	383
<표3-87> 독일의 수소자동차 개발 및 지원 전략②	383
<표3-88> NOW GmbH의 인프라 확장 계획	385
<표3-89> 프랑스의 수소연료전지차·수소 스테이션 로드맵	386
<표3-90> 중국 수소연료전지 관련 정책	389
<표3-91> 중국의 2017년 이후 NEV 관련 정책 개요	390
<표3-92> 중국의 수소 충전소(2017년 기준)	391
<표3-93> 중국의 수소 충전소 건설 계획	392
<표3-94> 중국의 수소연료전지차 목표치	393
<표3-95> 중국의 수소연료전지차 세부 개발 목표치	394
<표3-96> 중국의 연료전지 스택 주요 제원 로드맵	395
<표3-97> 중국 연료전지&스택 관련 표준화 현황	399
<표3-98> 중국 수소&인프라 관련 표준화 현황	401

<표3-99> 중국 수소연료전지 자동차 관련 표준화 현황	402
<표3-100> 호주의 수소연료전지차 관련 동향 요약(2018) : ①수소 모빌리티	404
<표3-101> 호주의 수소연료전지차 관련 동향 요약(2018) : ②수소 스테이션	404
<표3-102> 호주의 수소연료전지차 관련 동향 요약(2018) : ③수소 생산	405
<표3-103> 호주의 수소연료전지차 관련 동향 요약(2018) : ④재생에너지 저장	405
<표3-104> 미국의 연간 연료전지 연구 프로젝트 수 추이(2008~2017)	406
<표3-105> 집행 기관별 연료전지 연구 프로젝트 현황(2008~2017)	407
<표3-106> 담당 기관별 연료전지 연구 프로젝트 현황(2008~2017)	408
<표3-107> 수행 기관별 연료전지 연구 프로젝트 현황(2008~2017)	408
<표3-108> 미국 DOE의 수소·연료전지 관련 연구과제 예산(FY2018 기준)	409
<표3-109> Project #FC-017 개요	409
<표3-110> Project #FC-117 개요	410
<표3-111> Project #FC-128 개요	410
<표3-112> Project #FC-135 개요	410
<표3-113> Project #FC-140 개요	411
<표3-114> Project #FC-141 개요	411
<표3-115> Project #FC-142 개요	411
<표3-116> Project #FC-143 개요	412
<표3-117> Project #FC-144 개요	412
<표3-118> Project #FC-145 개요	412
<표3-119> Project #FC-146 개요	413
<표3-120> Project #FC-147 개요	413
<표3-121> Project #FC-154 개요	413
<표3-122> Project #FC-155 개요	414
<표3-123> Project #FC-156 개요	414
<표3-124> Project #FC-157 개요	414
<표3-125> Project #FC-158 개요	415
<표3-126> Project #FC-160 개요	415
<표3-127> Project #FC-161 개요	415
<표3-128> Project #FC-162 개요	416
<표3-129> Project #FC-163 개요	416
<표3-130> Project #FC-170 개요	416
<표3-131> Project #FC-171 개요	417
<표3-132> Project #FC-172 개요	417
<표3-133> Project #FC-173 개요	417
<표3-134> Project #FC-174 개요	418
<표3-135> Project #FC-175 개요	418

<표3-136> Project #FC-176 개요	418
<표3-137> US DOE의 바이오매스 수소 생산 현황과 목표치	419
<표3-138> US DOE의 바이오매스 수소 생산 관련 연구과제와 진행현황	419
<표3-139> 캘리포니아 ARB의 FY 2017-2018 펀딩 현황	420
<표3-140> 일본 ‘연료전지’ 연구테마 검색결과	422
<표3-141> 연구 기금 범위별 연구 과제 건 수	423
<표3-142> 연료전지 연구 기금 상위 5개 연구 과제	424
<표3-143> 연료전지 연구 과제 배분액 상위 TOP 15 연구기관	424
<표3-144> 연구종목별 연료전지 연구 과제 수와 총 배분액	425
<표3-145> 주요 기반 연구 과제 개요	426
<표3-146> 주요 도전적 연구(맹아) 과제 개요	426
<표3-147> 주요 신진 연구 과제 개요	427
<표3-148> 국제공동연구가속기금(국제공동연구강화) 과제 중 주요 사업 개요	427
<표3-149> 신기술영역연구(연구영역제한형) 과제 중 주요 사업 개요	427
<표3-150> 연구활동 스타트 지원 과제 중 주요 사업 개요	428
<표3-151> 장려 연구 과제 중 주요 사업 개요	428
<표3-152> 기타 연구 과제 중 주요 사업 개요	429
<표3-153> NEDO의 2000년 이후 수소·연료전지 관련 연구과제 일람	430
<표3-154> NEDO “고체산화물형연료전지 등 실용화 추진 기술 개발” 관련 성과 일람	431
<표3-155> “수소 이용 기술 연구개발 사업” 실적 추이	432
<표3-156> “수소 이용 등 선도 연구 개발 사업” 실적 추이	433
<표3-157> “수소 사회 구축 기술 개발 사업” 실적 추이	434
<표3-158> NEDO “고체산화물형연료전지 등 실용화 추진 기술 개발” 관련 성과 일람	435
<표3-159> “고체산화물형연료전지 등 실용화 추진 기술 개발” 실적 추이	435
<표3-160> NEDO 요구 피로시험기의 계측장치 기본사양	436
<표3-161> EU 수소연료전지차 관련 연구과제 일람(2019~)	438
<표3-162> 수소연료전지의 획기적인 발전: 다공성 미세 구조 조정을 통한 거시적 질량 수송 특성 향상	439
<표3-163> 열가소성 수소 탱크 최적화 및 재활용	440
<표3-164> SOC 애플리케이션을 위한 점점 강도가 크게 개선된 저비용 인터커넥트	441
<표3-165> 새로운 재료, 공정, 생산법 및 최적화된 인터페이스를 갖춘 PEMFC 스택	442
<표3-166> 항만에서 연료전지 및 수소 기술 구현	443
<표3-167> 바이오 연료전지에서 이산화탄소와 재생 가능한 H ₂ 의 물리적 전환	444
<표3-168> 액화 수소에 의해 연료가 공급되는 항공여객용 고출력 밀도 FC 시스템	445
<표3-169> 수소 구동 차량의 안전 및 터널 등 이와 유사한 제한된 공간 수송을 위한 PNR	446
<표3-170> EU 수소 관련 연구과제 일람(2019~)	447
<표3-171> 오염 노하우와 약화	448
<표3-172> 태양열 기반 원자로에서의 열화학적 수소 생산 : 도전과 그 너머를 직면	450

<표3-173> CO2 재활용과 그린 화학을 위한 플라즈마 촉매	451
<표3-174> 바이메탈릭 촉매 에너지 응용을 위한 지식 기반 개발	452
<표3-175> 초대규모의 수소 스테이션을 위한 메탈 하이드라이드와 기계적 컴프레서를 결합한 하이브리드 솔루션	453
<표3-176> EU 연료전지 관련 연구과제 일람(2018~)	454
<표3-177> MW 연료전지 마이크로그리드와 킹스 크로스에서의 지역 난방	456
<표3-178> 유럽을 위한 청정 수소 제조소	457
<표3-179> 상업 규모의 SOFC 시스템	458
<표3-180> Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe 2	459
<표3-181> 기후·환경연구개발사업 시행계획 대상사업	478
<표3-182> 기후변화대응기술개발사업 '19년 신규과제 현황	479
<표3-183> 수소에너지혁신기술개발사업 '19년 신규과제 현황	479
<표3-184> 2018년 기후환경연구개발사업 대표 성과	480
<표3-185> 기후·환경연구개발사업 내역별 예산 현황	481
<표3-186> 한국에너지기술연구원의 연료전지 관련 연구 보고서 일람(2015~2017)	483
<표3-187> ISO/TC197 멤버 구성과 조직도	571
<표3-188> ISO/TC197 작업반 현황	572
<표3-189> 이미 발행된 국제표준과 관련 배포물 리스트	573
<표3-190> 각 Working Group의 작업 단계(2017년 6월)	574
<표3-191> IEC/TC105 멤버 구성과 조직도	575
<표3-192> IEC/TC105 작업반 현황	576
<표3-193> IEC/TC105에서 발행된 국제규격과 관련간행물	577
<표3-194> 각 WG의 진척 스테이지(2017년 7월)	578
<표3-195> ASTM D03.14 수소·연료전지 관련 표준화 현황	579
<표3-196> ASTM F07.04 수소·연료전지 관련 표준화 현황	580
<표3-197> CGA 수소 관련 표준화 현황	580
<표3-198> 연구 주체별 특허 출원 동향(1977~2017, 정부 지원)	583
<표3-199> 2017년 미국 DOE FCTO 지원 특허-연료전지(11건)	584
<표3-200> 2017년 미국 DOE FCTO 지원 특허-수소 생산·운송(4건)	587
<표3-201> 2017년 미국 DOE FCTO 지원 특허-수소 저장(2건)	588
<표3-202> 2019년 1~2월 미국 연료전지 특허 주요 출원인(2건 이상)	589
<표3-203> 일본 연료전지 특허출원 동향(2009~2018)	604
<표3-204> 일본 연료전지 관련 상위 10위 특허 출원인(2018년)	604
<표3-205> 토요타자동차주식회사의 주요 출원 명칭(2018년)	605
<표3-206> 토요타자동차 특허-연료전지차량(特願2017-180766)	605
<표3-207> 혼다기연공업의 주요 출원 명칭(2018년)	606
<표3-208> 혼다기연공업 특허-연료전지 스택(特願2017-103584)	606

<표3-209> 2019년 수소 저장 특허출원 동향	607
<표3-210> 2019년 수소 생산 특허출원 동향	608
<표3-211> 주요 자동차업체 연료전지 스택 국내 특허출원 동향	609

IV. 수소연료전지차 참여기업 사업동향과 전략615

<표4-1> (주)현대자동차 업체 프로필	615
<표4-2> 현대자동차 NEXO의 제원	617
<표4-3> 토요타자동차 업체 프로필	620
<표4-4> 현대차·토요타·혼다의 수소전기차 모델 비교	621
<표4-5> SimpleFuel의 제원	622
<표4-6> 혼다자동차 업체 프로필	625
<표4-7> 다임러자동차 업체 프로필	626
<표4-8> GM 업체 프로필	627
<표4-9> Nikola Motor 업체 프로필	628
<표4-10> (주)현대모비스 업체 프로필	629
<표4-11> 현대 모비스 수소연료전지	631
<표4-12> (주)현대제철 업체 프로필	632
<표4-13> 한화에너지 업체 프로필	633
<표4-14> (주)코오롱인더스트리 업체 프로필	634
<표4-15> 코오롱FM(패션머티리얼)의 연구개발 실적 및 정책과제사업 요약	635
<표4-16> (주)한온시스템 업체 프로필	636
<표4-17> 한온시스템의 국내 공조시장 점유율	637
<표4-18> 한온시스템의 수소차 공조시스템 관련 부품	637
<표4-19> (주)세종공업 업체 프로필	638
<표4-20> 세종공업 수소 관련 연구개발 실적	639
<표4-21> 세종공업 수소 관련 보유 특허권	640
<표4-22> (주)모토닉 업체 프로필	642
<표4-23> 모토닉 수소 관련 보유 특허권	643
<표4-24> 모토닉 수소·연료전지 관련 부품 일람	644
<표4-25> (주)지엠비코리아 업체 프로필	644
<표4-26> 지엠비코리아의 EWP	645
<표4-27> (주)유니크 업체 프로필	645
<표4-28> (주)인지컨트롤스 업체 프로필	646
<표4-29> (주)우리산업 업체 프로필	647
<표4-30> 우리산업의 수소 전기차에 사용되는 PTC 히터 모델 제원	648
<표4-31> (주)뉴로스 업체 프로필	649
<표4-32> 일진복합소재 업체 프로필	650

<표4-33> 일진복합소재의 초경량 복합재료 고압탱크	651
<표4-34> 일진복합소재의 수소탱크와 제품 특징	652
<표4-35> (주)평화산업 업체 프로필	654
<표4-36> (주)S&T모티브 업체 프로필	654
<표4-37> (주)대우부품 업체 프로필	655
<표4-38> EWP 블럭도 및 스펙	655
<표4-39> (주)동아화성 업체 프로필	656
<표4-40> (주)대원강업 업체 프로필	657
<표4-41> (주)코다코 업체 프로필	658
<표4-42> Bloom Energy 업체 프로필	659
<표4-43> 블룸 에너지 서버5 제원	661
<표4-44> Ceres Power 업체 프로필	662
<표4-45> Ballard Power Systems 업체 프로필	662
<표4-46> BALLARD의 연료전지 FCveloCity Motive Module 제품 포트폴리오	663
<표4-47> Plug Power 업체 프로필	664
<표4-48> Weichai Power 업체 프로필	665
<표4-49> Panasonic 업체 프로필	666
<표4-50> Panasonic의 2022년 상용화 예정 연료전지 예상 제원	666
<표4-51> 한국가스공사 업체 프로필	667
<표4-52> 한국가스공사 제35기 연구보고서 중 수소 관련 연구과제 현황	668
<표4-53> (주)효성중공업 업체 프로필	669
<표4-54> (주)이엠코리아 업체 프로필	671
<표4-55> 이엠솔루션의 사업부문	671
<표4-56> 이엠솔루션의 수소스테이션	674
<표4-57> (주)제이엔케이히터 업체 프로필	675
<표4-58> (주)디케이락 업체 프로필	677
<표4-59> (주)엔케이 업체 프로필	678
<표4-60> (주)엔케이의 수소용기 개발 내역	678
<표4-61> HnPower 프로필	679
<표4-62> 도시가스 개질기 HyBlock-N 제원	680
<표4-63> 가솔린 개질기 HyBlock-G-1 제원	680
<표4-64> 가솔린 개질기 HyBlock-G-2 제원	680
<표4-65> 디젤 개질기 HyBlock-G-2 제원	681
<표4-66> Pellet type 개질촉매 Hycatalyst-P 제원	681
<표4-67> Monolith type 개질촉매 Hycatalyst-M 제원	681
<표4-68> 평가장치 HyBlock-Test unit 제원	681
<표4-69> Linde 업체 프로필	682

<표4-70> Linde의 E20 제원	682
<표4-71> Linde가 참여 중인 EU 수소·연료전지 프로젝트 일람	683
<표4-72> Air Liquide 업체 프로필	683
<표4-73> Air Liquide가 참여 중인 EU 수소·연료전지 프로젝트 일람	684
<표4-74> Air Products 업체 프로필	685
<표4-75> 일반적인 수소 운반 솔루션	686
<표4-76> Air Products의 수소 운반 솔루션	687
<표4-77> Air Products의 On-site 수소 생산 옵션	687
<표4-78> SmartFuel 수소 저장 옵션	688
<표4-79> SmartFuel 모바일 수소 충전소의 구성 요소와 제원	688
<표4-80> McPhy 업체 프로필	689
<표4-81> McPhy의 수전해기 McLyzer의 제원	690
<표4-82> McPhy On-site 수소 스테이션용 McFilling의 제원-중형	690
<표4-83> McPhy On-site 수소 스테이션용 McFilling의 제원-대형	691
<표4-84> Hydrogenics 업체 프로필	691
<표4-85> Hydrogenics Europe이 참여 중인 EU 수소·연료전지 프로젝트 일람	692
<표4-86> Yara International ASA 업체 프로필	693
<표4-87> 이와타니산업 업체 프로필	694
<표4-88> 이와타니산업의 액화수소 플랜트	695
<표4-89> 이와타니산업의 중수소가스 시설 개요	696
<표4-90> 리뉴얼 설비 특징	698
<표4-91> 이와타니 산업의 건설 예정인 수소 스테이션 7개소 개요	699
<표4-92> 이와타니산업의 미국 캘리포니아 상용 수소 스테이션 현황	699

그림 목차

1. 수소·연료전지·모빌리티 개요	43
<그림1-1> 제철소의 부생 수소 : 기타큐슈 수소 타운 시스템 구성도	50
<그림1-2> 하네다 수소 스테이션	54
<그림1-3> 수전해 수소 스테이션의 사례	56
<그림1-4> 도스 수소 스테이션에서의 목질 칩을 이용한 수소 제조	58
<그림1-5> IS 사이클	59
<그림1-6> 광촉매를 이용한 물 분해의 개념과 인공광합성 프로젝트	61
<그림1-7> 미국의 인공광합성 연구 사례	61
<그림1-8> 국내 수소생산 및 유통현황	66
<그림1-9> 수소의 에너지 밀도, 저장 방법	68
<그림1-10> 수소의 수송·저장 방법	69
<그림1-11> 각 수소 캐리어의 저장 밀도 비교	70
<그림1-12> 수소 트레일러	71
<그림1-13> 압축 수소의 생산능력 웨어와 용도 웨어	72
<그림1-14> 액화수소 판매량 추이(2006~2013, 단위 : 100만 m ³)	74
<그림1-15> 유기 하이드라이드 실용 사례	77
<그림1-16> 수소 스테이션의 구성	81
<그림1-17> 수소 스테이션의 충전 방식	83
<그림1-18> 전 세계 수소 충전소 현황(2017.12.)	84
<그림1-19> 일본의 최초 상용 수소 스테이션(시오자키 수소 스테이션)	85
<그림1-20> 연료전지 발전 시스템 구성도	87
<그림1-21> 연료전지 용도별·지역별·종류별 생산량	90
<그림1-22> PEMFC의 원리 및 작동	92
<그림1-23> Polymer Electrolyte Membrane(PEM) 연료전지 작동 개념 및 과정	93
<그림1-24> Ballard-PEM fuel cell의 구조/부품/기능	94
<그림1-25> Ballard PEM fuel cell 의 작동 Process	95
<그림1-26> AFCC-Fuel Cell의 구조와 작동	95
<그림1-27> PEMFC 시스템의 공급망	96
<그림1-28> DMFC의 원리 및 작동	96
<그림1-29> SOFC의 원리 및 작동	97
<그림1-30> AFC의 원리 및 작동 개념	100
<그림1-31> MCFC의 원리 및 작동 개념	100

<그림1-32> PAFC의 원리 및 작동 개념	102
<그림1-33> 가정용 연료전지 시스템	106
<그림1-34> 가정용·건물용 연료전지 설치 사례	106
<그림1-35> 발전용 연료전지 설치 사례	109
<그림1-36> 수소 이용 기술의 적용 가능성	111
<그림1-37> 그린홈 개념도	118
<그림1-38> 그린홈 연료전지주택	119
<그림1-39> 휴대용 연료전지 실용 사례	120
<그림1-40> 수소연료전지차의 주요 구성부품	121
<그림1-41> ANL(Argonne National Laboratory)의 2012 automotive fuel cell system	122
<그림1-42> ANL(Argonne National Laboratory)의 2012 bus fuel cell system	122
<그림1-43> 수소연료전지차 작동개념	123
<그림1-44> 수소의 생산·운송·최종 수요처	128
<그림1-45> 수소연료전지차의 가치 사슬	129
<그림1-46> 토요타 MIRAI의 내부 부품 배치도	132
<그림1-47> 유럽의 연료전지 버스 도입 사례	134
<그림1-48> EU의 FCEB 관련 활동과 계획 타임라인(2010~2020)	134
<그림1-49> NREL의 ZEB 평가 계획(2018~2020)	135
<그림1-50> 한국과 일본의 연료전지 버스	137
<그림1-51> 미국에서 주행 중인 연료전지 버스	138
<그림1-52> 각 트럭 제조사의 연료전지 트럭	142
<그림1-53> 수소 경제 이미지	147
<그림1-54> 글로벌 교통수단별 온실 가스 배출 전망(2018 to 2060)	148
<그림1-55> 수소 경제에서 폭넓게 운용되는 수소연료전지 모빌리티	149
<그림1-56> 보조 발전용 1kW&5kW급 연료전지 구조도	153
<그림1-57> Nobiskrug과 H2-Industries의 수소 연료전지 요트 이미지	158
<그림1-58> Bay Ship and Yacht Co.의 'WaterGo-Round'	160
<그림1-59> HY4의 시험 비행 모습	163
<그림1-60> Alstom의 수소연료전지 열차 Breeze 이미지	165

II. 수소연료전지차 시장 동향171

<그림2-1> 세계의 신차 판매 대수의 현황과 신흥국의 대수 예측	171
<그림2-2> 증감요인을 고려한 2040년 신차 판매 대수 예측	172
<그림2-3> 2018년 전 세계의 수소연료전지차 보급 현황	173
<그림2-4> 2018년 전 세계의 수소 스테이션 설치 현황	174
<그림2-5> 세계 각국의 수소연료전지차 보급 계획 요약(~2050)	174
<그림2-6> 미국의 PEV LDV 판매 추이(2010.12.~2019.02.)	176

<그림2-7> 미국의 FCEV LDV 판매 추이(2015.12.~2019.02.)	177
<그림2-8> EU 28개국의 신차 중 EV 비중(2010~2017)	178
<그림2-9> 일본의 여객승용차 차종별 보유대수 추이(~2016년도)	178
<그림2-10> 연료전지 시스템의 용도·분야별 세계시장의 추이 예측	184
<그림2-11> 수요 지역별 세계 시장 점유율 예측	185
<그림2-12> 수소·연료전지 기술의 hype cycle	186
<그림1-13> 자동차용 연료·에너지의 다양화	189
<그림2-14> 각종 연료별 자동차의 WtW	190
<그림2-15> 재생에너지를 이용한 수소 생산 기술의 현재 성숙도	190
<그림2-16> 다양한 수소 생산 방식의 LCA 기반 온실 가스 배출량	191
<그림2-17> 수전해 기술 공급 업체의 AEL, PEMEL, HTEL 기술 성숙도 그래프	192
<그림2-18> 독일의 수전해 산업화 로드맵	193
<그림2-19> 독일의 수전해 규모 예상 그래프(2020~2030)	196
<그림2-20> PEMEL, AEL, HTEL의 에너지 소비량 전망(~2050)	197
<그림2-21> PEMEL, AEL, HTEL의 셀의 밀도 전망(~2050)	197
<그림2-22> AEL, PEMEL, HTEL의 투자비용(CAPEX) 전망(~2050)	198
<그림2-23> PEM 전해조의 총 비용에서 각 구성 요소가 차지하는 비중의 변화	198
<그림2-24> 에너지 전환에 대한 글로벌 인식	199
<그림2-25> 앞으로 5년 동안 어떤 파워트레인의 차량을 구매할 것인지	201
<그림2-26> 비교 대상 80kWnet LDV(Auto) 시스템	203
<그림2-27> 기존 촉매 제작과 신규 촉매 제작 다이어그램	207
<그림2-28> 2018년, 2020년, 2025년 각 시스템 비용 비교 그래프	209
<그림2-29> 기존 MDV 시스템과 2020/2025 MDV 시스템	210
<그림2-30> 시스템별 생산량과 그에 따른 비용 그래프	215
<그림2-31> 미국 DOE의 수소연료전지차 운용 이력(2006~2018)	217
<그림2-32> On-Road 연비 개선 진척도	217
<그림2-33> 엔진차, HV, EV의 WtW 관점에서의 에너지 소비	219
<그림2-34> APEC 지역의 LV·HV 수요 전망(2011~2050)	223
<그림2-35> 트럭 클래스별 온-보드 수소 저장량, 연료전지 분포도	224
<그림2-36> 700bar 타입 4 저장 시스템의 비용 추이(2013~2018)	225
<그림2-37> 캐스케이드 저장 가격과 목표치 비교	228
<그림2-38> PEM 전해조의 H2A 비용 예비 조사 결과	229
<그림2-39> APEC 지역의 CO2 프리 수소 생산비	232
<그림2-40> APEC 지역의 화석연료+CCS를 통한 수소 생산비 비교	233
<그림2-41> APEC 지역의 재생에너지+전해조를 이용한 수소 생산비 비교	233
<그림2-42> 초기 시장에서의 수소 충전소의 누적 Cash flow 곡선	235
<그림2-43> 화석연료 승용차(ICE)의 기술 발전 방향	236

<그림2-44> 전동 승용차(EV)의 기술 발전 방향	237
<그림2-45> 북미와 글로벌 승용차 시장에서의 파워트레인 점유율 전망(~2030)	237
<그림2-46> 전동화의 코어기술과 각 전동자동차에 적용	238
<그림2-47> 상용 용도에서 수소연료전지차와 전기차의 비용 경쟁력 비교	238
<그림2-48> 전동 모빌리티의 차량 크기와 주행 거리 분류 그래프	239
<그림2-49> 차량 중량 등을 고려한 항속거리와 효율의 관계	241
<그림2-50> 연료전지와 이차전지를 동시에 채용한 연료전지 차량	241
<그림2-51> 시기에 따른 가장 저렴한 에너지 저장 기술 변천	242
<그림2-52> 압축 공기와 양수발전으로 사용할 수 없는 경우 2030년 이후 전망	242
<그림2-53> GM의 SURUS 2018 컨셉	269
<그림2-54> GLC F-CELL의 구성 소재 비율	270
<그림2-55> 한국의 수소경제 활성화 로드맵 요약	275
<그림2-56> NEL이 건설 중인 전해조 공장 공중 촬영 사진	277
<그림2-57> NEL의 수소 충전소 플랜트	277
<그림2-58> Siemens의 Hydrogen blending 설비	279
<그림2-59> Silyzer 포트폴리오 로드맵	280
<그림2-60> 수소 스테이션의 이미지와 ITM Power의 전해조	281
<그림2-61> Chiyoda의 MCH-LOHC 시스템	283
<그림2-62> Chiyoda의 수소 생성용 촉매 실험 수치	283
<그림2-63> Chiyoda의 수소 공급 시나리오(~2050)	284
<그림2-64> AHEAD의 구성원과 스케줄	285
<그림2-65> 수소 가스 발생장치 VHR	286
<그림2-66> 스키상관의 벨스테이션 미니	286
<그림2-67> H-TEC의 PEM 스택과 전해조	289
<그림2-68> FirstElement Fuel의 수소 스테이션 운영 실적 그래프(2015.10~2018.10)	292
<그림2-69> FirstElement Fuel의 수소 리테일 가격 목표 그래프(2018.10.~2026.10.)	293
<그림2-70> 제이엔케이히터의 300Nm ³ /h급 개질기 설치 현장	301

III. 수소연료전지차 정책·표준화·특허 동향307

<그림3-1> DOE의 수소&연료전지 관련 프로그램 관리 조직도	310
<그림3-2> H2@Scale 개념도	313
<그림3-3> FCTO의 수소연료전지 관련 연구 지원 흐름도.	315
<그림3-4> 재생에너지 수소를 활용한 사회 인프라의 저탄소화 촉진 사업	340
<그림3-5> 일본과 사우디아라비아의 CO2프리 수소/암모니아 공급사슬 로드맵	341
<그림3-6> FCH 2JU의 체제	376
<그림3-7> Projekte des BMVI 개요	384
<그림3-8> Zero Emission Valley	386

<그림3-9> JUPITER 1000의 조성도와 시스템별 참여업체	387
<그림3-10> 프랑스의 P2G 로드맵	387
<그림3-11> 중국의 수소 인프라 개발 타겟(2018~2050)	388
<그림3-12> 중국의 연료전지 스택 로드맵	396
<그림3-13> 중국의 상용차 연료전지 시스템(엔진) 로드맵	396
<그림3-14> 중국의 상용차 연료전지 로드맵	397
<그림3-15> 중국의 승용차 연료전지 시스템(엔진) 로드맵	397
<그림3-16> 중국의 승용차 연료전지 로드맵	398
<그림3-17> 중국의 수소 저장 로드맵	398
<그림3-18> 중국의 수소 인프라 로드맵	398
<그림3-19> 주별 연료전지 연구 프로젝트 수 그래프(2008~2017)	407
<그림3-20> Horizon 2020 사업의 사업 단계별 투자액 비교	437
<그림3-21> 한국에너지기술연구원의 주요 연구 사례	482
<그림3-22> 미국 수소&연료전지 관련 특허 추이(2000~2017, 정부 지원)	582
<그림3-23> 미국 수소·연료전지 관련 특허 추이(2001~2017)	583
<그림3-24> 미국 수소·연료전지 특허 중 FCTO 관계 특허 추이(2001~2017)	584
<그림3-25> 수소충전장치 관련 특허출원 현황(2009~2017)	610

IV. 수소연료전지차 참여기업 사업동향과 전략615

<그림4-1> 현대차그룹 수소차 로드맵	616
<그림4-2> BEV와 FCEV의 주행거리와 시스템 비용의 상관관계	622
<그림4-3> Project Portal 1세대 제원·성능	623
<그림4-4> 항구 운반용 트럭의 마일당 수소 연료 비용	623
<그림4-5> 롱비치 항구의 Heavy-Duty용 수소 스테이션의 개요도	624
<그림4-6> 미라이의 세계 판매 지역과 필드 테스트 지역	624
<그림4-7> TOYOTA의 FC 상용차	625
<그림4-8> GM의 군용 연료전지 차량 Chevy Silverado ZH2 컨셉도	627
<그림4-9> Nikola의 수소 연료전지 로리 이미지	628
<그림4-10> 현대제철 금속분리판 생산 현황 및 계획	632
<그림4-11> 대산 수소연료전지 발전소 예상도	633
<그림4-12> 유니크사의 FCEV용 수소 제어 밸브	646
<그림4-13> 우리산업의 수소 전기차에 사용되는 PTC 히터 모델	649
<그림4-14> 뉴로스 수소전기차용 공기압축기	650
<그림4-15> 블룸 에너지 서버 단계도	660
<그림4-16> 블룸 에너지 서버의 전력 생성 예시도	660
<그림4-17> Plug Power의 연료전지	665
<그림4-18> 이엠솔루션의 수소제조장치	673

<그림4-19> 오프사이트-온사이트 충전소 작동방식 비교	676
<그림4-20> Air Products의 사우디아라비아 수소 스테이션 이미지	686
<그림4-21> Air Products의 수소 공급 옵션	686
<그림4-22> YARA의 WA주 필바라 지역의 암모니아 생산 공장	693
<그림4-23> YARA의 태양광을 이용한 암모니아 탈탄소화 공정 도식	694
<그림4-24> FH2R 시스템 개요도	697