

# 목 차

## 1. 연료전지 개요 .....39

1. 연료전지 기술 .....	39
1-1. 연료전지의 정의 .....	39
1) 정의 .....	39
2) 시스템 구성 .....	40
3) 종류 .....	41
4) 세계 시장 규모 .....	42
1-2. 연료전지의 분류 .....	44
1) 기술별 분류 .....	44
(1) PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell) .....	44
(2) DMFC(Direct Methanol Fuel Cell) .....	48
(3) SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) .....	49
(4) AFC(Alkaline Fuel Cell) .....	52
(5) MCFC(Molten Carbonate Fuel Cell) .....	52
(6) PAFC(Phosphoric Acid Fuel Cell) .....	54
2) 용도별 분류 .....	55
(1) 용도 분류 .....	55
(2) 수송용 연료전지 .....	56
(3) 건물용 연료전지 .....	57
(4) 발전용 연료전지 .....	60
(5) 휴대용 연료전지 .....	62
1-3. 연료전지 활용 사례 .....	63
1) 개요 .....	63
2) 가정용 연료전지 .....	63
(1) 원리와 특징 .....	63
(2) 과제 .....	64
(3) 실용 사례 .....	65
3) 업무용·산업용 연료전지 .....	66
(1) 원리와 특징 .....	66
(2) 과제 .....	67
(3) 실용 사례 .....	67

4) 신재생에너지 발전 시스템 .....	68
(1) 개요 .....	68
(2) 실용 사례 .....	69
5) 휴대용 연료전지 .....	71
(1) 원리와 특징 .....	71
(2) 과제 .....	71
(3) 실용 사례 .....	71
1-4. 수소 경제 .....	73
1) 개념 .....	73
2) 사례 .....	74
(1) 연료전지 모빌리티 .....	74
(2) 탄소제로 섬, 에너지 자립섬 .....	84
2. 수소 에너지 기술 .....	88
2-1. 수소 생산 기술 .....	89
1) 개요 .....	89
(1) 수소 제조 원료 .....	89
(2) 수소 생산 방식 개요 .....	89
(3) 수소 변환 효율 .....	92
2) 수소 생산 방식 .....	94
(1) 부생수소 .....	94
(2) 화석 연료 개질 .....	95
(3) 수전해 .....	99
(4) 바이오매스 열분해 .....	102
(5) 물의 열분해 .....	103
(6) 광촉매를 통한 물 분해(인공광합성) .....	105
(7) 바이오 프로세스 .....	107
3) 수소 생산 현황 .....	107
(1) 글로벌 .....	107
(2) 북미 .....	108
(3) 유럽 .....	109
(4) 아시아 .....	109
(5) ROW .....	112
2-2. 수소 저장·수송 기술 .....	113
1) 개요 .....	113
2) 고압가스 수소 수송 .....	116
(1) 원리와 특징 .....	116

(2) 과제 .....	116
(3) 실용 사례 .....	117
3) 액화수소 수송 .....	118
(1) 원리와 특징 .....	118
(2) 과제 .....	119
(3) 실용 사례 .....	119
4) 유기 하이드라이드 .....	121
(1) 원리와 특징 .....	121
(2) 과제 .....	121
(3) 실용 사례 .....	122
5) 파이프라인 수송 .....	122
(1) 특징 .....	122
(2) 과제 .....	122
(3) 실용 사례 .....	123
6) 수소저장 기술의 로드맵 .....	123
2-3. 수소 공급 기술 .....	126
1) 원리와 특징 .....	126
(1) 수소 스테이션의 종류 .....	126
(2) 충전기술 .....	127
(3) 계량관리기술 .....	127
(4) 품질관리기술 .....	128
(5) 관련 기기 개발 .....	129
2) 적용 사례 .....	129
3. 연료전지 연관 기술 .....	131
3-1. P2G(Power-to-Gas) .....	131
1) P2G의 정의 .....	131
2) ESS와의 비교 .....	132
3) 글로벌 P2G 도입 현황 .....	132
3-2. CCS & CCUS .....	134
1) CCS .....	134
2) CCUS .....	137
3) CCS & CCUS 주요 기술의 현황과 과제 .....	139
(1) 분리·회수 .....	139
(2) 수송 .....	144
(3) 저류 .....	145
(4) 모니터링 .....	146

(5) CO2 이용 .....	147
3-3. 에너지관리시스템(EMS) .....	149
1) 개요 .....	149
(1) 정의 .....	149
(2) 기술 범위 .....	150
(3) 시장 전망 .....	151
(4) 글로벌 EMS 주요 업체와 동향 .....	151
2) BEMS(Building EMS) .....	153
3) HEMS(Home EMS) .....	153
4) FEMS(Factory EMS) .....	154
5) CEMS(Community/City EMS) .....	155
3-4. ESS .....	157
1) ESS 기술의 정의 .....	157
2) ESS 구성 요소 .....	158
3) ESS의 종류 .....	158
(1) 납축전지 .....	158
(2) 리튬이온전지 .....	159
(3) Redox Flow 전지 .....	159
(4) NaS 전지 .....	160
4) 주요 에너지 저장 기술과의 비교 .....	160
5) 용도 .....	161
(1) DR 어플리케이션(Utility 부하 관리를 위한 어플리케이션) .....	161
(2) 계통운영 보조서비스(ancillary service)어플리케이션 .....	162
(3) 신재생에너지 출력 안정을 위한 어플리케이션 .....	162
(4) 분산형 전력저장 어플리케이션 .....	163

## **II. 연료전지 관련 시장 · 기술개발 동향과 경제성 평가 .....167**

1. 연료전지 시장 동향 .....	167
1-1. 글로벌 동향 .....	167
1) 활동 개황 .....	167
(1) 용도별 연료전지 분류 .....	167
(2) 용도별 연료전지 관련 업체·기관 동향 .....	168
(3) 국가별 연료전지·축매제 수출 동향 .....	170
2) 연료전지 주요 글로벌 기업 수익과 동향 .....	171
(1) Bloom Energy .....	171
(2) POSCO Energy .....	172

(3) 두산 연료전지 아메리카 .....	172
(4) FuelCell Energy .....	172
(5) Ballard Power .....	172
(6) Plug Power .....	173
(7) 기타 .....	173
3) 연료전지 시장 전망 .....	175
(1) 연료전지 용도별 시장 전망 .....	175
(2) 2019 KPMG 글로벌 자동차 경영진 설문조사 결과 .....	177
(3) BMS(Battery Management System) 시장 전망 .....	180
1-2. 연료전지 모빌리티 시장 동향 .....	181
1) 승용차 .....	181
(1) 개요 .....	181
(2) 연료전지 모빌리티 시장의 주요 기업 동향 .....	184
2) 상용차 .....	190
(1) 버스 .....	190
(2) 트럭 .....	195
(3) 포크리프트 .....	198
3) 연료전지 기차 .....	200
4) 선박 .....	203
5) 기타 .....	206
1-3. 고정형 연료전지 시장 동향 .....	210
1) 건물용 연료전지 시장 .....	210
(1) 개요 .....	210
(2) 미국 고정형 연료전지 보급 동향 .....	211
(3) 일본의 건물용 연료전지 동향 .....	211
(4) 통신용 연료전지 시장 .....	214
2) 발전용 연료전지 시장 .....	216
(1) 미국 열병합발전(CHP)용 연료전지 보급 현황 .....	216
(2) 북미의 발전용 연료전지 시장 동향 .....	219
(3) 유럽의 발전용 연료전지 시장 동향 .....	221
(4) 한국의 연료전지 보급 동향 .....	223
(5) 중국의 연료전지 시장 동향 .....	227
2. 연료전지 관련 기술 개발동향과 과제 .....	231
2-1. 수소 생산 기술 .....	231
1) 수전해 기술 .....	231
2) CCUS .....	233

(1) 새로운 기술 동향 .....	233
(2) 과학 기술적 과제 .....	234
(3) 앞으로 대응해야할 연구 테마 .....	235
(4) CCUS 관련 글로벌 기술개발 동향 .....	236
3) 수소 생산 기술 개발 사례 .....	239
(1) 아크로랩스의 AEM 수전해 기술 .....	239
2-2. 수소 저장 기술 .....	241
1) 에너지 캐리어 .....	241
(1) 개요 .....	241
(2) 새로운 기술 동향 .....	241
(3) 에너지 캐리어 관련 글로벌 기술개발 동향 .....	242
2) 수소 저장 기술 개발 사례 .....	245
(1) 피리딘계 수소저장 물질을 활용한 수소 저장 및 방출 시스템 .....	245
(2) 소형 스텔링 극저온 냉동기 .....	246
(3) G-M(Gifford-McMahon) 극저온 냉동기 소형 수소액화시스템 .....	247
(4) (일본)JSW 고압쇼와봄베, 신일철주금 수소스테이션용 강제 축압기 .....	247
(5) 기타 기술 개발 사례 .....	248
2-3. 연료전지 기술 .....	250
1) 기술 현황 .....	250
2) 국가별 연료전지 기술개발 동향 .....	253
(1) 촉매 기술개발 동향 .....	253
(2) 새로운 기술 동향 .....	256
(3) 과학기술적 과제 .....	257
(4) 정책적 과제 .....	258
(5) 키워드 .....	259
(6) 연료전지 관련 글로벌 기술개발 동향 .....	259
2-4. 기술개발 과제 .....	266
1) 개요 .....	266
2) 전해조 .....	269
3) Fuel cells .....	270
4) 수소 저장 .....	271
5) 연료전지 자동차(FCEVs) .....	272
6) 수소 T&D와 소매 인프라 .....	272
7) CCS .....	273
3. 연료전지 경제성 & 기술준비도 평가 .....	275
3-1. 연료전지의 경제성 평가 .....	275

1) 연료전지 모빌리티의 현재 성능과 효율, 전망 평가 .....	275
2) 연료전지 운반용 장비의 생산단가 분석 .....	286
3) 발전용 연료전지의 생산단가 분석 .....	290
4) 에너지 저장분야에서의 연료전지의 현재 성능과 효율, 전망 평가 .....	296
5) 미국 연료전지&전기 버스의 비용 평가 .....	303
(1) 연료전지 버스의 비용 평가 .....	303
(2) 전기 버스의 비용 평가 .....	304
3-2. 연료전지의 기술준비도 평가 .....	307
1) Lolland residential CHP, 덴마크 .....	307
2) MYRTE, 프랑스 .....	309
3) Japanese Residential CHP, 일본 .....	311
4) Octagon Apartments, 미국 .....	314
5) Fedex Distribution Centre, 미국 .....	316
6) Hydrogen Office, 영국 .....	320

### III. 연료전지 관련 정책 · 표준화 · 특허 동향 .....325

1. 주요 국가별 연료전지 지원 정책 동향 .....	325
1-1. 미국 .....	325
1) 주요 연료전지 관련 정책 .....	325
2) DOE(Department Of Energy) .....	327
(1) 2018년 연료전지 관련 연구지원 조직도 .....	327
(2) 연구 프로그램 .....	328
(3) H2@Scale R&D Consortium .....	331
(4) 연료전지 로드맵 .....	333
1-2. 일본 .....	335
1) 개요 .....	335
2) 공급 설비 관련 지원 정책 .....	336
(1) 연료전지 관련 중앙정부·지방자치단체 지원제도 현황 .....	336
(2) 지방정부 현황 .....	338
3) 경제산업성 .....	339
(1) 수소기본전략 .....	339
(2) 수소연료전지로드맵(개정판) .....	340
(3) 수소·연료전지전략협의회 .....	342
(4) 연료전지·수소기술개발로드맵(NEDO) .....	343
(5) 연료전지·수소에 관한 사업 일람(NEDO) .....	345
(6) 수소에너지 내비(NEDO) .....	345

(7) 경제산업성 & 차세대자동차진흥센터	
- 연료전지자동차용 수소공급설비 설치보조사업 .....	345
(8) 연료전지자동차 신규수요 창출활동 보조사업 .....	348
4) 국토교통성 .....	348
(1) 수소사회에 따른 하수도 자원 이활용 검토위원회 .....	348
(2) 하수도 혁신적 기술 실증 사업 .....	353
(3) 지역교통 그린화 사업(연료전지차·연료전지버스) .....	354
(4) 연료전지선박 가이드라인을 위한 실증 실험 .....	355
5) 내각부 .....	356
(1) 재생가능 에너지 수소 등 관계 각료회의 .....	356
(2) 전략적 이노베이션 창조프로그램(SIP) .....	356
6) 환경성 .....	357
(1) 재생에너지 수소를 활용한 사회 인프라의 저탄소화 촉진 사업 .....	357
(2) 지역 연계 저탄소수소기술 실증 사업 .....	359
1-3. 한국 .....	360
1) 로드맵 .....	360
(1) 수소경제 활성화 로드맵 .....	360
(2) 전기·수소차 보급 확산을 위한 정책 방향 .....	361
(3) 수소연료전지차 기술로드맵 .....	362
(4) 수소연료전지차 연료전지 시스템 기술개발 로드맵 .....	366
2) 미세먼지 대응 정책·보조금 현황 .....	368
(1) 미세먼지 대응 정책 .....	368
(2) 보조금 현황 .....	368
3) 수소·연료전지 관련 사업 현황 .....	369
(1) 2019년도 산업기술혁신사업 중 수소 관련 사업 .....	369
(2) 수소 충전 시스템 관련 사업 .....	371
(3) 에너지 저장 기술 관련 사업 .....	374
(4) 신재생 에너지 핵심 기술 개발 사업 .....	375
(5) 신재생 하이브리드 이용 미래 에너지저장 기술 개발 .....	376
(6) 국가기술표준원 “수소경제 표준포럼” .....	378
1-4. EU .....	379
1) 개요 .....	379
2) FCH 2JU .....	379
3) 용도별 연료전지 로드맵 .....	382
4) 기술적 로드맵 .....	387
5) 독일의 수소자동차 개발 및 지원 전략 .....	388
(1) 개요 .....	388

(2) 수소자동차 보급 현황 및 지원 전략 .....	389
1-5. 중국 .....	391
1) 개요 .....	391
(1) 정책 동향 .....	391
2) 수소 충전소 현황 .....	394
3) 수소연료전지차 로드맵 .....	395
4) 표준화 .....	402
2. 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 연료전지 관련 연구과제 .....	408
2-2. 일본 .....	420
1) 일본 연료전지 연구개발 테마(347건) 분석(2015-2018) .....	420
(1) 종합 분석(347건) .....	420
(2) 사업 종목별 연구현황(576건) .....	423
2) NEDO 연료전지·수소 연구 동향 .....	427
(1) “고체산화물형연료전지 등 실용화 추진 기술 개발” .....	427
(2) 수소 이용 기술 연구개발 사업 .....	429
(3) 수소 이용 등 선도 연구 개발 사업 .....	430
(4) 수소 사회 구축 기술 개발 사업 .....	430
(5) 고체고분자형 연료전지 이용 고도화 기술 개발 사업 .....	431
(6) 초고압 수소 인프라 본격 보급 기술 연구 개발 사업 .....	432
2-3. EU .....	434
1) Horizon 2020 .....	434
2) 연료전지 관련 연구과제 현황 .....	435
(1) 개요 .....	435
(2) 연료전지 관련 연구 프로젝트 동향(2018~) .....	438
2-4. 한국 .....	442
1) 연료전지 관련 국책 연구과제 완료 현황 .....	442
(1) 환경(2건) .....	442
(2) 화공(6건) .....	443
(3) 에너지/자원(11건) .....	446
(4) 기계(4건) .....	452
(5) 물리학(2건) .....	454

(6) 재료(7건) .....	455
(7) 전기/전자(1건) .....	458
(8) 화학(3건) .....	459
2) 기후변화대응기술사업 .....	460
3) 한국에너지기술연구원(KIER) .....	463
3. 표준화 동향 .....	465
3-1. ISO/TC197(수소 기술) .....	465
3-2. IEC/TC105(연료전지 기술) .....	469
4. 특허 동향 .....	474
4-1. 미국 .....	474
1) 개요 .....	474
4-2. 한국 .....	482
1) 연료전지 스택 특허출원 동향 .....	482
2) 수소충전장치 특허출원 동향 .....	483
4-3. 일본 .....	485
1) 연료전지 특허출원 동향 .....	485
(1) 연도별 특허출원 동향 .....	485
(2) 2018년 주요 출원인 동향 .....	485
(3) 주요 특허 출원인의 연료전지 특허 소개 .....	486
2) 2019년 수소 저장 특허출원 동향 .....	488
3) 2019년 수소 생산 특허출원 동향 .....	489

#### **IV. 연료전지 관련 사업 참여업체 동향과 사업전략 .....493**

1. 부품 및 설비업체 .....	493
1-1. 국내 업체 .....	493
1) 현대모비스 .....	493
(1) 회사 일반현황 .....	493
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	493
2) 현대제철 .....	495
(1) 회사 일반현황 .....	495
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	496
3) 한화에너지 .....	497
(1) 회사 프로필 .....	497
(2) 연료전지 관련 사업 동향 .....	497

4) 코오롱인더스트리 .....	498
(1) 회사 일반현황 .....	498
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	498
5) 한온시스템 .....	500
(1) 회사 일반현황 .....	500
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	500
6) 세종공업 .....	502
(1) 회사 일반현황 .....	502
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	502
7) 모토닉 .....	506
(1) 회사 일반현황 .....	506
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	507
8) 지엠비코리아 .....	508
(1) 회사 일반현황 .....	508
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	509
9) 유니크 .....	510
(1) 회사 일반현황 .....	510
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	510
10) 인지컨트롤스 .....	511
(1) 회사 일반현황 .....	511
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	511
11) 우리산업 .....	511
(1) 회사 일반현황 .....	511
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	512
12) 뉴로스 .....	513
(1) 회사 일반현황 .....	513
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	514
13) 일진복합소재 .....	515
(1) 회사 일반현황 .....	515
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	515
14) 평화산업 .....	518
(1) 회사 일반현황 .....	518
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	518
15) S&T 모티브 .....	518
(1) 회사 일반현황 .....	518
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	519
16) 대우부품 .....	519

(1) 회사 일반현황 .....	519
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	519
17) 동아화성 .....	520
(1) 회사 일반현황 .....	520
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	521
18) 대원강업 .....	521
(1) 회사 일반현황 .....	521
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	521
19) 코다코 .....	522
(1) 회사 일반현황 .....	522
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	522
1-2. 해외 업체 .....	523
1) Bloom Energy .....	523
(1) 회사 일반현황 .....	523
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	523
2) Ceres Power .....	526
(1) 회사 일반현황 .....	526
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	526
3) Ballard Power Systems .....	526
(1) 회사 일반현황 .....	526
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	527
4) Plug Power .....	528
(1) 회사 일반현황 .....	528
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	528
5) Weichai Power .....	529
(1) 회사 일반현황 .....	529
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	529
6) Panasonic .....	530
(1) 회사 일반현황 .....	530
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	530
2. 수소생산, 저장, 이동 및 충전 스테이션 업체 .....	531
2-1. 국내 업체 .....	531
1) 한국가스공사 .....	531
(1) 회사 일반현황 .....	531
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	531
2) 효성중공업 .....	533

(1) 회사 일반현황 .....	533
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	533
3) 이엠코리아 .....	535
(1) 회사 일반현황 .....	535
(2) 수소차 관련 사업동향 .....	535
4) 제이엔케이히터 .....	539
(1) 회사 일반현황 .....	539
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	539
5) 디케이락 .....	541
(1) 회사 일반현황 .....	541
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	541
6) 엔케이 .....	541
(1) 회사 일반현황 .....	541
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	542
7) HnPower .....	543
(1) 회사 프로필 .....	543
(2) 연료전지 관련 사업 동향 .....	543
2-2. 해외 업체 .....	546
1) Linde .....	546
(1) 회사 일반현황 .....	546
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	546
2) Air Liquide .....	547
(1) 회사 일반현황 .....	547
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	547
3) Air Products .....	549
(1) 회사 일반현황 .....	549
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	549
4) Hydrogenics .....	550
(1) 회사 일반현황 .....	550
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	550
5) YARA .....	551
(1) 회사 일반현황 .....	551
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	552
3. 자동차 OEM 업체 .....	554
3-1. 국내 업체 .....	554
1) 현대자동차 .....	554

(1) 회사 일반현황 .....	554
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	554
3-2. 해외 업체 .....	558
1) 토요타자동차 .....	558
(1) 회사 일반현황 .....	558
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	558
2) 혼다자동차 .....	560
(1) 회사 일반현황 .....	560
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	560
3) 다임러자동차 .....	561
(1) 회사 일반현황 .....	561
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	561
4) GM .....	562
(1) 회사 일반현황 .....	562
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	562
5) Nikola Motor .....	563
(1) 회사 일반현황 .....	563
(2) 연료전지 관련 사업동향 .....	563

## **V. 부록 .....567**

1. 글로벌 수소 가스 생산 시설 현황 .....	567
1-1. 북미 .....	567
1-2. 유럽 .....	571
1-3. 아시아 .....	576
1-4. ROW(Rest of the World) .....	580
2. 글로벌 수소 충전소 시설 현황 .....	581
2-1. 가동 중인 수소 충전소 .....	581
1) 개요 .....	581
2) Australia(3개소) .....	582
3) Austria(6개소) .....	582
4) Belgium(3개소) .....	583
5) Brazil(1개소) .....	583
6) Canada(6개소) .....	584
7) China(13개소) .....	584
8) Costa Rica(1개소) .....	585

9) Czech Republic(1개소) .....	585
10) Denmark(11개소) .....	586
11) England(12개소) .....	587
12) Finland(2개소) .....	588
13) France(9개소) .....	588
14) Germany(54개소) .....	589
15) Iceland(2개소) .....	592
16) India(3개소) .....	592
17) Italy(2개소) .....	593
18) Japan(101개소) .....	593
19) Netherlands(3개소) .....	602
20) Norway(9개소) .....	602
21) Scotland(5개소) .....	603
22) Slovenia(1개소) .....	603
23) South Korea(13개소) .....	603
24) Spain(4개소) .....	604
25) Sweden(4개소) .....	605
26) Switzerland(4개소) .....	605
27) Taiwan(1개소) .....	606
28) Turkey(1개소) .....	606
29) United States of America(99개소) .....	606
30) United Arab Emerites(1개소) .....	609
31) Wales(1개소) .....	609
2-2. 계획 중인 수소 충전소 .....	610
1) Australia(1개소) .....	610
2) Bulgaria(1개소) .....	610
3) Canada(9개소) .....	610
4) China(10개소) .....	611
5) Denmark(1개소) .....	611
6) England(3개소) .....	612
7) Estonia(1개소) .....	612
8) France(7개소) .....	612
9) Germany(43개소) .....	613
10) Iceland(1개소) .....	614
11) Japan(11개소 이상) .....	615
12) Latvia(1개소) .....	616
13) Malaysia(1개소) .....	616

14) the Netherlands .....	616
15) New Zealand(1개소) .....	616
16) Norway(5개소) .....	616
17) Poland(1개소 이상) .....	617
18) Slovenia(1개소) .....	617
19) South Korea(12개소) .....	617
20) Sweden(8개소) .....	618
21) United Arab Emerites(1개소) .....	618
22) Wales(1개소) .....	618

## 표 목차

<b>1. 연료전지 개요 .....</b>	<b>39</b>
<표1-1> 연료전지의 전기발생 원리 .....	39
<표1-2> 연료전지의 종류 .....	41
<표1-3> 연료전지 용도별·지역별·종류별 생산량 - MW 기준(2014~2018) .....	42
<표1-4> 연료전지 용도별·지역별·종류별 생산량 - 1,000Units 기준(2014~2018) .....	43
<표1-5> PEMFC 구성, 특징, 개발방향 .....	45
<표1-6> 저온형과 고온형 PEMFC의 차이점 요약 .....	46
<표1-7> 중앙집중식 발전과 SOFC 사용 분산발전의 비용 및 배출량 비교 .....	49
<표1-8> SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 구조, 특징, 개발방향 .....	50
<표1-9> 각국의 SOFC 개발 현황 .....	51
<표1-10> SOFC 시스템의 공급망 .....	51
<표1-11> MCFC의 구성, 장단점, 주요용도 .....	53
<표1-12> 용도별 카테고리 및 관련 연료전지 기술 .....	55
<표1-13> 용도별 연료전지 종류 .....	55
<표1-14> 발전 용량별 연료전지 종류 .....	56
<표1-15> 수송용 연료전지 로드맵 .....	57
<표1-16> 건물용 연료전지 로드맵 .....	59
<표1-17> 발전용 연료전지 로드맵 .....	61
<표1-18> 휴대용 Application의 주요 유인점 .....	62
<표1-19> PEFC와 SOFC의 비용 구조 .....	65
<표1-20> 해외의 가정용 연료전지 개발 이력 .....	66
<표1-21> 글로벌 업무용 연료전지 시스템 사례 .....	67
<표1-22> 업무용 연료전지 시스템 개발 사례 - 일본을 중심으로 .....	68
<표1-23> 태양광 발전 시스템의 기술 범위 .....	69
<표1-24> 건물 일체형 신재생에너지 시스템의 기술 범위 .....	69
<표1-25> 그린홈 연료전지주택 보급실적 .....	71
<표1-26> 각 국의 수소연료전지차 정책 로드맵 .....	76
<표1-27> Zero-Emission 오프로드 차량 프로젝트 중 수소연료전지 포크리프트 일람 .....	77
<표1-28> 토요타 산업-스즈키의 연료전지 포크리프트 제원 .....	77
<표1-29> 현재 진행 중인 유럽의 연료전지 선박 프로젝트 일람 .....	78
<표1-30> 선박에 활용되는 연료전지 타입 .....	79
<표1-31> Zero-Emission 항공기 프로젝트 중 수소연료전지 항공기 일람 .....	79

<표1-32> DP20 파워팩의 제원 .....	81
<표1-33> Ballard의 FCair UAV Power Systems 제원 .....	82
<표1-34> ICCT의 기술 평가 기준표 .....	83
<표1-35> 비행기의 전동화 기술별 평가 .....	84
<표1-36> 선박의 전동화 기술별 평가 .....	84
<표1-37> 오프로드 차량의 전동화 기술별 평가 .....	84
<표1-38> 기차의 전동화 기술별 평가 .....	84
<표1-39> 에너지 자립섬 추진 현황 .....	86
<표1-40> 실증 시스템 계획 규모 .....	87
<표1-41> 수소 에너지 기술의 개요 .....	88
<표1-42> 세계 수소 생산 원료 현황 .....	89
<표1-43> 수소 생산 기술 종류와 특징(1) .....	90
<표1-44> 수소 생산 기술 종류와 특징(2) .....	91
<표1-45> 제조 공정별 수소 변환 효율(1) .....	93
<표1-46> 제조 공정별 수소 변환 효율(2) .....	93
<표1-47> 미쓰비시화공기 HyGeia 제원 .....	97
<표1-48> HYSERVE 시리즈 제원 .....	97
<표1-49> 알칼리 수전해와 고체고분자형 수전해의 비교 .....	100
<표1-50> 글로벌 수소 생산량 상위 10개국 추이(2012~2016, MMSCFD) .....	108
<표1-51> 북미의 상업용 수소 생산 업체별 Capacity와 점유율(2015) .....	108
<표1-52> 북미의 상업용 액화 수소 제조 시설 현황(2015) .....	108
<표1-53> 유럽의 상업용 수소 생산량(2010~2014) .....	109
<표1-54> 유럽의 상업용 수소 생산 업체별 Capacity와 점유율(2015) .....	109
<표1-55> 유럽의 상업용 액화 수소 제조 시설 현황(2015) .....	109
<표1-56> 아시아의 상업용 수소 생산 업체별 Capacity와 점유율(2016) .....	109
<표1-57> 아시아의 상업용 액화 수소 제조 시설 현황(2016) .....	110
<표1-58> ROW의 상업용 수소 생산 업체별 Capacity와 점유율(2016) .....	112
<표1-59> ROW의 상업용 액화 수소 제조 시설 현황(2016) .....	112
<표1-60> 수소 스테이션 공급 시의 각 수소 캐리어 비교 .....	115
<표1-61> 일본의 압축수소 판매량 추이(2013~2017, 단위 : kSm <sup>3</sup> ) .....	118
<표1-62> 글로벌 액화수소 생산 공장 일람 .....	120
<표1-63> 수소 수송을 위한 유기 하이드라이드의 종류 .....	121
<표1-64> DOE의 저전력 휴대 장비용( $\leq 2.5W$ ) 수소 저장 시스템 로드맵(~2020) .....	124
<표1-65> DOE의 중전력 휴대 장비용( $> 2.5W - 150W$ ) 수소 저장 시스템 로드맵(~2020) .....	124
<표1-66> DOE의 휴대용 전력 내구성과 성능 목표 .....	125
<표1-67> ESS와 P2G의 장단점 비교와 특징 .....	132
<표1-68> 글로벌 P2G 프로젝트 현황 .....	132

<표1-69> 주요 국가별 이산화탄소 감소 목표와 전략·스탠스 .....	135
<표1-70> 도마코마이 CCS 실증시험의 전체상 .....	136
<표1-71> EMS의 제품분류 관점 기술범위 .....	150
<표1-72> EMS의 공급망 관점 기술범위 .....	150
<표1-73> 글로벌 EMS 기업 동향 .....	152
<표1-74> 제품분류 관점 기술범위 .....	154
<표1-75> 공급망 관점 기술범위 .....	154
<표1-76> 주요 ESS용 배터리 비교 .....	157
<표1-77> ESS의 종류 .....	158
<표1-78> 주요 에너지 저장기술과 특징 .....	160

## **II. 연료전지 관련 시장·기술개발 동향과 경제성 평가 .....167**

<표2-1> 용도별 연료전지 분류와 사례 .....	167
<표2-2> 연료전지 관련 업체·기관의 동향(2015) .....	168
<표2-3> 국가별 연료전지 수입액 및 증가율 .....	170
<표2-4> 국가별 촉매제 수입액 및 증가율 .....	171
<표2-5> 연료전지 주요 기업 수익표(2015~2018 Q3) .....	173
<표2-6> 주요 연료전지 업체의 수익과 비용 현황(2014~2016) .....	174
<표2-7> 2016년 수소·연료전지 시장 주요 동향 .....	174
<표2-8> 후지경제의 연료전지 시스템 조사 대상 .....	175
<표2-9> 앞으로 5년 동안 가장 많은 투자를 받을 것으로 기대되는 파워트레인 .....	178
<표2-10> 앞으로 5년 동안 어떤 파워트레인의 차량을 구매할 것인지 지역별 설문 .....	179
<표2-11> 향후 각 파워트레인의 점유율에 대한 예상 .....	179
<표2-12> 세계·국내 에너지 저장/관리 시스템 시장규모 및 전망 .....	180
<표2-13> 연료전지 자동차 제원 .....	181
<표2-14> GreenGT LMPH2G의 제원 .....	183
<표2-15> 현대자동차의 2016년 연료전지 관련 주요 동향 .....	184
<표2-16> 토요타의 2016년 연료전지 관련 주요 동향 .....	184
<표2-17> 혼다의 2016년 연료전지 관련 주요 동향 .....	185
<표2-18> 기타 자동차 제조사의 2016년 연료전지 관련 동향 .....	185
<표2-19> 2016년의 연료전지 버스 상용화 계획 .....	186
<표2-20> 2016년의 연료전지 버스 도입 정책 사례 .....	186
<표2-21> 현재 미국에서 운행 중인 연료전지 버스 서비스 일람 .....	188
<표2-22> 미국에서 운행 계획 중인 연료전지 버스 서비스 일람 .....	189
<표2-23> 미국 외의 연료전지 버스 운행 현황 .....	189
<표2-24> AFCB와 Van Hool FECB의 제원 .....	194
<표2-25> 비교 대상인 CNG, 디젤 하이브리드 버스의 제원 .....	195

<표2-26> Hydrogenics HyPM-HD 180 제원 .....	201
<표2-27> Ballard의 FCveloCity®-HD 제원 .....	202
<표2-28> Nedstack의 연료전지 제원 .....	205
<표2-29> 보조 발전용 연료전지 주요 시장 .....	207
<표2-30> 기존 보조 발전용 엔진&배터리 사양 .....	207
<표2-31> 보조 발전용 연료전지 주요 사항 .....	208
<표2-32> 보조 발전용 연료전지의 주요 구성 요소 사양 .....	209
<표2-33> 후지전기의 PAFC FP-100i 시리즈 제원 .....	213
<표2-34> 일본 수소 사용 확대 방안 .....	214
<표2-35> CHP용 연료전지의 특징 .....	216
<표2-36> CHP용 연료전지 성능 예시 .....	216
<표2-37> CHP 연료전지의 자본 비용과 O&M(Operation&Maintenance) 비용 .....	217
<표2-38> 미국 CHP 보급 현황-사용 연료(2017.12.31. 기준) .....	217
<표2-39> 미국 CHP 보급 현황-산업별(2017.12.31. 기준) .....	218
<표2-40> 미국 CHP 보급 현황-연료전지(2017.12.31. 기준, 1,000kW 이상) .....	219
<표2-41> 연료전지 보급 동향(2010~2017) .....	225
<표2-42> 연료전지 지역별 생산량·발전량·누적 보급용량(2017) .....	225
<표2-43> 연료전지 용도별 누적 보급용량(kW)(2017) .....	226
<표2-44> 용량별 누적 보급용량(kW)(2017) .....	226
<표2-45> 촉매제 중국 총수입 및 대한 수입 추이(단위: US\$ 천, %) .....	228
<표2-46> 중국에서 활동 중인 연료전지 관련 주요 기업 .....	230
<표2-47> CCUS 관련 미국의 기술개발 동향 .....	237
<표2-48> CCUS 관련 유럽의 기술개발 동향 .....	237
<표2-49> CCUS 관련 일본의 기술개발 동향 .....	238
<표2-50> CCUS 관련 중국의 기술개발 동향 .....	239
<표2-51> CCUS 관련 한국의 기술개발 동향 .....	239
<표2-52> 에너지 캐리어의 종류와 특징 .....	241
<표2-53> 에너지 캐리어 관련 미국의 기술개발 동향 .....	242
<표2-54> 에너지 캐리어 관련 유럽의 기술개발 동향 .....	243
<표2-55> 에너지 캐리어 관련 일본의 기술개발 동향 .....	244
<표2-56> 에너지 캐리어 관련 중국의 기술개발 동향 .....	244
<표2-57> 에너지 캐리어 관련 한국의 기술개발 동향 .....	244
<표2-58> Dual acting Stirling cryocooler의 제원 .....	246
<표2-59> 현재 연료전지별 용도와 장단점 비교 .....	250
<표2-60> 주요 연료전지의 기술적 특징 비교 .....	251
<표2-61> 연료전지 디자인의 주요 요소 .....	252
<표2-62> CHP용 연료전지의 전형적인 성능 예시 .....	253

<표2-63> 전형적인 상호연결 그리드 CHP용 연료전지 시스템의 추정 자본과 O&M비용	253
<표2-64> 연료전지 관련 미국의 기술개발 동향	259
<표2-65> 연료전지 관련 유럽의 기술개발 동향	261
<표2-66> 연료전지 관련 일본의 기술개발 동향	262
<표2-67> 연료전지 관련 중국의 기술개발 동향	264
<표2-68> 연료전지 관련 한국의 기술개발 동향	265
<표2-69> 전해조 개발 과제	269
<표2-70> Fuel cells 개발 과제	270
<표2-71> Hydrogen storage 개발 과제	271
<표2-72> FCEVs 개발 과제	272
<표2-73> 수소 T&D와 인프라 개발 과제	273
<표2-74> CCS 개발 과제	274
<표2-75> 연료전지 모빌리티 도입 사례	276
<표2-76> FC시스템과 LIB의 장단점 비교	278
<표2-77> 재생가능에너지에서의 전기와 수소의 효율 비교	279
<표2-78> 현재의 주요 연료전지 기술 성능	283
<표2-79> 교통 분야에서의 수소 시스템 성능	284
<표2-80> 교통 분야의 수소 관련 기술 질적 수준 비교	285
<표2-81> 구성 요소별 기능 사양	287
<표2-82> 운반용 연료전지 디자인 특징	288
<표2-83> 1kW 운반용 연료전지 시스템의 유닛 당 비용	288
<표2-84> 5kW 운반용 연료전지 시스템의 유닛 당 비용	289
<표2-85> 10kW 운반용 연료전지 시스템의 유닛 당 비용	289
<표2-86> 25kW 운반용 연료전지 시스템의 유닛 당 비용	289
<표2-87> 1~25kW PEM 시스템 디자인 사양	290
<표2-88> 1~25kW SOFC 시스템 디자인 사양	290
<표2-89> PEM 시스템 제조비	292
<표2-90> SOFC 시스템 제조비	293
<표2-91> 100~250kW PEM 연료전지 디자인 사양	293
<표2-92> 100~250kW SOFC 연료전지 디자인 사양	294
<표2-93> 100~250kW PEM 시스템 생산비	295
<표2-94> 100~250kW SOFC 시스템 생산비	296
<표2-95> 대용량 에너지 저장 분야에서 현재 수소 시스템의 성능	297
<표2-96> 건물용 연료전지 시스템의 현재 성능	297
<표2-97> 주요 수소 생산 기술의 현재 성능	298
<표2-98> 수소 변환 & 저장 기술의 현재 성능	300
<표2-99> 미국을 모델로 산출한 기술별 PLDV 비용	301

<표2-100> 미국을 모델로 산출한 FCEV의 기술경제 요소 .....	301
<표2-101> 연료전지 버스의 현재 성능과 DOE/FTA의 목표치 .....	302
<표2-102> 미국의 FCEB 평가 현장 .....	303
<표2-103> 각 프로젝트별 수소 소요 비용 .....	304
<표2-104> 미국의 BEB 평가 현장 .....	305
<표2-105> 각 프로젝트별 전기 소요 비용 .....	305

### III. 연료전지 관련 정책 · 표준화 · 특허 동향 .....325

<표3-1> Vehicle Technologies Program(VTP) 개요 .....	325
<표3-2> Hydrogen and Fuel Cell Technologies Program 개요 .....	326
<표3-3> Motor Fuel Excise Taxes 개요 .....	327
<표3-4> DOE의 FY18 수소와 연료전지 관련 R&D 집행 동향 .....	329
<표3-5> 2018년 8월 시카고 워크샵의 발표 주제와 발표자 명단 .....	332
<표3-6> 미국 연료전지 내구성 로드맵 .....	333
<표3-7> 미국 연료전지 시스템(엔진) 성능 로드맵 .....	333
<표3-8> 미국 전기 효율 로드맵 .....	334
<표3-9> 미국의 경상용 연료전지차 수소 저장 탱크 로드맵 .....	334
<표3-10> 수소·연료전지 관련 일본 정부 각 부처별 동향 일람 .....	335
<표3-11> 일본 중앙정부 연료전지 지원 보조제도 .....	336
<표3-12> 일본 중앙정부의 연료전지 세계상 우선 조치 제도 .....	338
<표3-13> 일본 지방정부의 수소 스테이션 지원제도 운영 현황 .....	339
<표3-14> 수소기본전략의 시나리오 .....	340
<표3-15> 수소·연료전지 로드맵 개요 총론(1) - 수소사회실현의 의의 .....	341
<표3-16> 수소·연료전지 로드맵 개요 총론(2) - 수소사회실현을 위한 대응의 방향성 .....	342
<표3-17> 수소·연료전지전략협의회 위원명부 .....	343
<표3-18> NEDO 기술 개발 로드맵(업무·산업용 연료전지) 중 보급목표 .....	344
<표3-19> NEDO 기술 개발 로드맵(FCV·모빌리티) 중 보급목표 .....	344
<표3-20> NEDO 기술 개발 로드맵(가정용 연료전지) 중 보급목표 .....	344
<표3-21> NEDO의 연료전지·수소에 관한 사업 일람표 .....	345
<표3-22> 연료전지자동차용 수소공급설비 설치보조사업 보조금 상한액 .....	346
<표3-23> 2017년 교부 현황 .....	346
<표3-24> 2018년 교부 현황 .....	347
<표3-25> 지방자치단체 모델 비교표 .....	349
<표3-26> 전량 이용할 경우의 시나리오 .....	350
<표3-27> 도입 시나리오를 상정한 경우 .....	352
<표3-28> 하수도 혁신적 기술 실증 사업 - 2018년 선정 사업 내용(실제 규모 실증) .....	353
<표3-29> 지역교통의 그린화를 위한 차세대자동차의 보급촉진 사업 .....	355

<표3-30> 실증 실험용 소형 연료전지선의 제원 .....	355
<표3-31> 2018년 SIP 수소·연료전지 관련 연구 과제 .....	356
<표3-32> 재생에너지 수소 스테이션 설치개소 일람(2018.03. 기준) .....	358
<표3-33> 지역연계·저탄소수소기술실증사업 채택안건 일람(2015년) .....	359
<표3-34> 수소경제 활성화 로드맵 주요 추진목표-수소 모빌리티(누적) .....	360
<표3-35> 수소경제 활성화 로드맵 주요 추진목표-수소 공급량 및 가격(누적) .....	360
<표3-36> 수소경제 활성화 로드맵 주요 추진목표-수소 에너지(누적) .....	361
<표3-37> 정부의 전기·수소차 보급 확산을 위한 주요 추진과제와 소관부처 .....	361
<표3-38> 연도별 수소차 및 충전인프라 현황(2013~2017년, 단위 : 대수) .....	362
<표3-39> 정부의 수소차·충전소 보급 목표 .....	362
<표3-40> 수소차 기술 로드맵(1) .....	363
<표3-41> 수소차 기술 로드맵(2) .....	364
<표3-42> 수소차 보급기반 기술 로드맵 .....	365
<표3-43> 연료전지 시스템 기술개발 로드맵 .....	366
<표3-44> 미세먼지 대응 관련 정책의 2018년과 2019년 예산액 .....	368
<표3-45> 친환경 에너지 차량 보조금 및 조세지출 비교(2019년 기준) .....	368
<표3-46> 친환경수소연료선박R&D플랫폼구축사업 추진일정 .....	369
<표3-47> 권역별신산업육성 추진일정 .....	370
<표3-48> 수소융복합단지실증 추진일정 .....	370
<표3-49> 재생에너지 장주기 저장 및 전환을 위한 Power to gas 기술개발사업 추진일정 .....	371
<표3-50> 2017년도 핵심소재원천기술개발사업 중 수소연료전지 관련 과제 개요① .....	372
<표3-51> 2017년도 핵심소재원천기술개발사업 중 수소연료전지 관련 과제 개요② .....	373
<표3-52> 에너지 저장 분야 주요 정부개발사업 .....	374
<표3-53> 신재생에너지핵심기술개발사업 사업목적(2016~2018년) .....	375
<표3-54> 신재생에너지핵심기술개발사업 사업개요 중 연료전지 내역 .....	375
<표3-55> 세부 사업의 연도별 소요예산 .....	376
<표3-56> 각 단계별 세부 사업의 목표와 평가지표 .....	377
<표3-57> EU 전역의 수소 충전시설 구축을 위한 시나리오(단위 : 개소) .....	379
<표3-58> FCH 2JU FACTSHEET .....	380
<표3-59> FCH 2JU의 2019년도 프로그램과 책정 예산 .....	381
<표3-60> State-of-the-art and future targets for fuel cell light duty vehicles (including cars) .....	383
<표3-61> State-of-the-art and future targets for fuel cell electric buses (e.g. non-articulated type of bus) .....	383
<표3-62> State-of-the-art and future targets for fuel cell electric trains (300 passengers, 150seated) .....	384
<표3-63> State-of-the-art and future targets for fuel cell electric aircrafts .....	384

<표3-64> State-of-the-art and future targets for on-board gaseous hydrogen storage tank ...	384
<표3-65> State-of-the-art and future targets for fuel cell forklifts .....	385
<표3-66> State-of-the-art and future targets for Hydrogen Refuelling Stations(HRS) .....	386
<표3-67> State-of-the-art and future targets for hydrogen production from renewable electricity for energy storage and grid balancing using alkaline electrolyzers .....	387
<표3-68> 독일의 수소자동차 개발 및 지원 전략① .....	388
<표3-69> 독일의 수소자동차 개발 및 지원 전략② .....	388
<표3-70> NOW GmbH의 인프라 확장 계획 .....	390
<표3-71> 중국 수소연료전지 관련 정책 .....	391
<표3-72> 중국의 2017년 이후 NEV 관련 정책 개요 .....	392
<표3-73> 중국의 수소 충전소(2017년 기준) .....	394
<표3-74> 중국의 수소 충전소 건설 계획 .....	395
<표3-75> 중국의 수소연료전지차 목표치 .....	396
<표3-76> 중국의 수소연료전지차 세부 개발 목표치 .....	396
<표3-77> 중국의 연료전지 스택 주요 제원 로드맵 .....	398
<표3-78> 중국 연료전지 & 스택 관련 표준화 현황 .....	402
<표3-79> 중국 수소 & 인프라 관련 표준화 현황 .....	404
<표3-80> 중국 수소연료전지 자동차 관련 표준화 현황 .....	405
<표3-81> 미국의 연간 연료전지 연구 프로젝트 수 추이(2008~2017) .....	406
<표3-82> 집행 기관별 연료전지 연구 프로젝트 현황(2008~2017)(단위 : 개, 달러) .....	407
<표3-83> 담당 기관별 연료전지 연구 프로젝트 현황(2008~2017)(단위 : 개, 달러) .....	408
<표3-84> 수행 기관별 연료전지 연구 프로젝트 현황(2008~2017)(단위 : 개, 달러) .....	408
<표3-85> 미국 DOE의 수소·연료전지 관련 연구과제 예산(FY2018 기준) .....	409
<표3-86> Project #FC-017 개요 .....	410
<표3-87> Project #FC-117 개요 .....	410
<표3-88> Project #FC-128 개요 .....	410
<표3-89> Project #FC-135 개요 .....	411
<표3-90> Project #FC-140 개요 .....	411
<표3-91> Project #FC-141 개요 .....	411
<표3-92> Project #FC-142 개요 .....	412
<표3-93> Project #FC-143 개요 .....	412
<표3-94> Project #FC-144 개요 .....	412
<표3-95> Project #FC-145 개요 .....	413
<표3-96> Project #FC-146 개요 .....	413
<표3-97> Project #FC-147 개요 .....	413
<표3-98> Project #FC-154 개요 .....	414
<표3-99> Project #FC-155 개요 .....	414

<표3-100> Project #FC-156 개요 .....	414
<표3-101> Project #FC-157 개요 .....	415
<표3-102> Project #FC-158 개요 .....	415
<표3-103> Project #FC-160 개요 .....	415
<표3-104> Project #FC-161 개요 .....	416
<표3-105> Project #FC-162 개요 .....	416
<표3-106> Project #FC-163 개요 .....	416
<표3-107> Project #FC-170 개요 .....	417
<표3-108> Project #FC-171 개요 .....	417
<표3-109> Project #FC-172 개요 .....	417
<표3-110> Project #FC-173 개요 .....	418
<표3-111> Project #FC-174 개요 .....	418
<표3-112> Project #FC-175 개요 .....	418
<표3-113> Project #FC-176 개요 .....	419
<표3-114> 일본 ‘연료전지’ 연구테마 검색결과 .....	420
<표3-115> 연구 기금 범위별 연구 과제 건 수 .....	421
<표3-116> 연료전지 연구 기금 상위 5개 연구 과제 .....	422
<표3-117> 연료전지 연구 과제 배분액 상위 TOP 15 연구기관 .....	422
<표3-118> 연구종목별 연료전지 연구 과제 수와 총 배분액 .....	423
<표3-119> 주요 기반 연구 과제 개요 .....	424
<표3-120> 주요 도전적 연구(맹아) 과제 개요 .....	424
<표3-121> 주요 신진 연구 과제 개요 .....	425
<표3-122> 국제공동연구가속기금(국제공동연구강화) 과제 중 주요 사업 개요 .....	425
<표3-123> 신학술영역연구(연구영역제안형) 과제 중 주요 사업 개요 .....	425
<표3-124> 연구활동 스타트 지원 과제 중 주요 사업 개요 .....	426
<표3-125> 장려 연구 과제 중 주요 사업 개요 .....	426
<표3-126> 기타 연구 과제 중 주요 사업 개요 .....	427
<표3-127> NEDO “고체산화물형연료전지 등 실용화 추진 기술 개발” 관련 성과 일람 .....	428
<표3-128> “수소 이용 기술 연구개발 사업” 실적 추이(단위 : 백만 엔) .....	429
<표3-129> “수소 이용 등 선도 연구 개발 사업” 실적 추이(단위 : 백만 엔) .....	430
<표3-130> “수소 이용 등 선도 연구 개발 사업” 실적 추이(단위 : 백만 엔) .....	431
<표3-131> NEDO “고체산화물형연료전지 등 실용화 추진 기술 개발” 관련 성과 일람 .....	432
<표3-132> “고체산화물형연료전지 등 실용화 추진 기술 개발” 실적 추이(단위 : 백만 엔) .....	432
<표3-133> EU 연료전지 관련 연구과제 일람(2018~) .....	435
<표3-134> MW Fuel Cell micro grid and district heating at King’s Cross .....	438
<표3-135> Clean Refinery Hydrogen for Europe .....	439
<표3-136> Commercial-scale SOFC systems .....	440

<표3-137> Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe 2 .....	441
<표3-138> 기후산업육성모델 중 연료전지(4개) 현황 .....	461
<표3-139> 2017년 기후변화대응기술개발 사업 대표 연구성과 .....	462
<표3-140> 한국에너지기술연구원의 연료전지 관련 연구 보고서 일람(2015~2017) .....	464
<표3-141> ISO/TC197 멤버 구성과 조직도 .....	465
<표3-142> ISO/TC197 작업반 현황 .....	466
<표3-143> 이미 발행된 국제표준과 관련 배포물 리스트 .....	467
<표3-144> 각 Working Group의 작업 단계(2017년 6월) .....	468
<표3-145> IEC/TC105 멤버 구성과 조직도 .....	469
<표3-146> IEC/TC105 작업반 현황 .....	470
<표3-147> IEC/TC105에서 발행된 국제규격과 관련간행물 .....	471
<표3-148> 각 WG의 진척 스테이지(2017년 7월) .....	472
<표3-149> 연구 주체별 특허 출원 동향(1977~2017, 정부 지원) .....	475
<표3-150> 2017년 미국 DOE FCTO 지원 특허-연료전지 .....	476
<표3-151> 2017년 미국 DOE FCTO 지원 특허-수소 저장 .....	479
<표3-152> 2017년 미국 DOE FCTO 지원 특허-수소 생산·운송 .....	480
<표3-153> 주요 자동차업체 연료전지 스택 국내 특허출원 동향(단위 : 건) .....	482
<표3-154> 일본 연료전지 특허출원 동향(2009~2018) .....	485
<표3-155> 일본 연료전지 관련 상위 10위 특허 출원인(2018년) .....	485
<표3-156> 토요타자동차주식회사의 주요 출원 명칭(2018년) .....	486
<표3-157> 토요타자동차 특허-연료전지차량(特願2017-180766) .....	486
<표3-158> 혼다기연공업의 주요 출원 명칭(2018년) .....	487
<표3-159> 혼다기연공업 특허-연료전지 스택(特願2017-103584) .....	487
<표3-160> 2019년 수소 저장 특허출원 동향 .....	488
<표3-161> 2019년 수소 생산 특허출원 동향 .....	489

#### **IV. 연료전지 관련 사업 참여업체 동향과 사업전략 .....493**

<표4-1> (주)현대모비스 업체 프로필 .....	493
<표4-2> 현대 모비스 수소연료전지 .....	495
<표4-3> (주)현대제철 업체 프로필 .....	495
<표4-4> 한화에너지 업체 프로필 .....	497
<표4-5> (주)코오롱인더스트리 업체 프로필 .....	498
<표4-6> 코오롱FM(패션머티리얼)의 연구개발 실적 및 국책과제사업 요약 .....	499
<표4-7> (주)한온시스템 업체 프로필 .....	500
<표4-8> 한온시스템의 국내 공조시장 점유율 .....	501
<표4-9> 한온시스템의 수소차 공조시스템 관련 부품 .....	501
<표4-10> (주)세종공업 업체 프로필 .....	502

<표4-11> 세종공업 수소 관련 연구개발 실적 .....	503
<표4-12> 세종공업 수소 관련 보유 특허권 .....	504
<표4-13> (주)모토닉 업체 프로필 .....	507
<표4-14> 모토닉 수소 관련 보유 특허권 .....	507
<표4-15> 모토닉 수소·연료전지 관련 부품 일람 .....	508
<표4-16> (주)지엠비코리아 업체 프로필 .....	509
<표4-17> 지엠비코리아의 EWP .....	509
<표4-18> (주)유니크 업체 프로필 .....	510
<표4-19> (주)인지컨트롤스 업체 프로필 .....	511
<표4-20> (주)우리산업 업체 프로필 .....	512
<표4-21> 우리산업의 수소 전기차에 사용되는 PTC 히터 모델 제원 .....	513
<표4-22> (주)뉴로스 업체 프로필 .....	514
<표4-23> 일진복합소재 업체 프로필 .....	515
<표4-24> 일진복합소재의 초경량 복합재료 고압탱크 .....	516
<표4-25> 일진복합소재의 수소탱크와 제품 특징 .....	517
<표4-26> (주)평화산업 업체 프로필 .....	518
<표4-27> (주)S&T모티브 업체 프로필 .....	519
<표4-28> (주)대우부품 업체 프로필 .....	519
<표4-29> EWP 블럭도 및 스펙 .....	520
<표4-30> (주)동아화성 업체 프로필 .....	520
<표4-31> (주)대원강업 업체 프로필 .....	521
<표4-32> (주)코다코 업체 프로필 .....	522
<표4-33> Bloom Energy 업체 프로필 .....	523
<표4-34> 블룸 에너지 서버5 제원 .....	525
<표4-35> Ceres Power 업체 프로필 .....	526
<표4-36> Ballard Power Systems 업체 프로필 .....	526
<표4-37> BALLARD의 연료전지 FCveloCity Motive Module 제품 포트폴리오 .....	527
<표4-38> Plug Power 업체 프로필 .....	528
<표4-39> Weichai Power 업체 프로필 .....	529
<표4-40> Panasonic 업체 프로필 .....	530
<표4-41> Panasonic의 2022년 상용화 예정 연료전지 예상 제원 .....	530
<표4-42> 한국가스공사 업체 프로필 .....	531
<표4-43> 한국가스공사 제35기 연구보고서 중 수소 관련 연구과제 현황 .....	532
<표4-44> (주)효성중공업 업체 프로필 .....	533
<표4-45> (주)이엠코리아 업체 프로필 .....	535
<표4-46> 이엠솔루션의 사업부문 .....	535
<표4-47> 이엠솔루션의 수소스테이션 .....	538

<표4-48> (주)제이엔케이히터 업체 프로필 .....	539
<표4-49> (주)디케이락 업체 프로필 .....	541
<표4-50> (주)엔케이 업체 프로필 .....	542
<표4-51> (주)엔케이의 수소용기 개발 내역 .....	542
<표4-52> HnPower 프로필 .....	543
<표4-53> 도시가스 개질기 HyBlock-N 제원 .....	544
<표4-54> 가솔린 개질기 HyBlock-G-1 제원 .....	544
<표4-55> 가솔린 개질기 HyBlock-G-2 제원 .....	544
<표4-56> 디젤 개질기 HyBlock-G-2 제원 .....	545
<표4-57> Pellet type 개질촉매 Hycatalyst-P 제원 .....	545
<표4-58> Monolith type 개질촉매 Hycatalyst-M 제원 .....	545
<표4-59> 평가장치 HyBlock-Test unit 제원 .....	545
<표4-60> Linde 업체 프로필 .....	546
<표4-61> Linde의 E20 제원 .....	546
<표4-62> Linde가 참여 중인 EU 수소·연료전지 프로젝트 일람 .....	547
<표4-63> Air Liquide 업체 프로필 .....	547
<표4-64> Air Liquide가 참여 중인 EU 수소·연료전지 프로젝트 일람 .....	548
<표4-65> Air Products 업체 프로필 .....	549
<표4-66> Hydrogenics 업체 프로필 .....	550
<표4-67> Hydrogenics Europe이 참여 중인 EU 수소·연료전지 프로젝트 일람 .....	551
<표4-68> Yara International ASA 업체 프로필 .....	551
<표4-69> (주)현대자동차 업체 프로필 .....	554
<표4-70> 토요타자동차 업체 프로필 .....	558
<표4-71> 현대차·토요타·혼다의 수소전기차 모델 비교 .....	560
<표4-72> 혼다자동차 업체 프로필 .....	560
<표4-73> 다임러자동차 업체 프로필 .....	561
<표4-74> GM 업체 프로필 .....	562
<표4-75> Nikola Motor 업체 프로필 .....	563
<b>V. 부록 .....</b>	<b>567</b>
<표5-1> 북미의 수소 가스 제조 시설 현황 .....	567
<표5-2> 유럽의 수소 가스 제조 시설 현황 .....	571
<표5-3> 아시아의 수소 가스 제조 시설 현황 .....	576
<표5-4> 기타 지역의 수소 가스 제조 시설 현황 .....	580

## 그림 목차

<b>1. 연료전지 개요 .....</b>	<b>39</b>
<그림1-1> 연료전지 발전 시스템 구성도 .....	40
<그림1-2> 연료전지 용도별·지역별·종류별 생산량 .....	43
<그림1-3> PEMFC의 원리 및 작동 .....	44
<그림1-4> Polymer Electrolyte Membrane(PEM) 연료전지 작동 개념 및 과정 .....	45
<그림1-5> Ballard-PEM fuel cell의 구조/부품/기능 .....	46
<그림1-6> Ballard PEM fuel cell 의 작동 Process .....	47
<그림1-7> AFCC-Fuel Cell의 구조와 작동 .....	47
<그림1-8> PEMFC 시스템의 공급망 .....	48
<그림1-9> DMFC의 원리 및 작동 .....	48
<그림1-10> SOFC의 원리 및 작동 .....	49
<그림1-11> AFC의 원리 및 작동 개념 .....	52
<그림1-12> MCFC의 원리 및 작동 개념 .....	52
<그림1-13> PAFC의 원리 및 작동 개념 .....	54
<그림1-14> 가정용 연료전지 시스템 .....	58
<그림1-15> 가정용·건물용 연료전지 설치 사례 .....	58
<그림1-16> 발전용 연료전지 설치 사례 .....	61
<그림1-17> 수소 이용 기술의 적용 가능성 .....	63
<그림1-18> 그린홈 개념도 .....	70
<그림1-19> 그린홈 연료전지주택 .....	70
<그림1-20> 휴대용 연료전지 실용 사례 .....	72
<그림1-21> 수소 경제 이미지 .....	73
<그림1-22> 글로벌 교통수단별 온실 가스 배출 전망(2018 to 2060) .....	74
<그림1-23> 수소 경제에서 폭넓게 운용되는 수소연료전지 모빌리티 .....	75
<그림1-24> 토요타 MIRAI 내부 부품 배치도 .....	75
<그림1-25> HY4의 시험 비행 모습 .....	80
<그림1-26> Alstom의 수소연료전지 열차 Breeze 이미지 .....	81
<그림1-27> 글로벌 에코 플랫폼 제주 구상도 .....	85
<그림1-28> 제철소의 부생 수소 : 기타큐슈 수소 타운 시스템 구성도 .....	95
<그림1-29> 하네다 수소 스테이션 .....	99
<그림1-30> 수전해 수소 스테이션의 사례 .....	101
<그림1-31> 도스 수소 스테이션에서의 목질 칩을 이용한 수소 제조 .....	103

<그림1-32> IS 사이클 .....	104
<그림1-33> 광촉매를 이용한 물 분해의 개념과 인공광합성 프로젝트 .....	106
<그림1-34> 미국의 인공광합성 연구 사례 .....	106
<그림1-35> 국내 수소생산 및 유통현황 .....	110
<그림1-36> 수소의 에너지 밀도, 저장 방법 .....	113
<그림1-37> 수소의 수송·저장 방법 .....	114
<그림1-38> 각 수소 캐리어의 저장 밀도 비교 .....	115
<그림1-39> 수소 트레일러 .....	116
<그림1-40> 압축 수소의 생산능력 웨어와 용도 웨어 .....	117
<그림1-41> 액화수소 판매량 추이(2006~2013, 단위 : 100만 m <sup>3</sup> ) .....	119
<그림1-42> 유기 하이드라이드 실용 사례 .....	122
<그림1-43> 수소 스테이션의 구성 .....	126
<그림1-44> 수소 스테이션의 충전 방식 .....	128
<그림1-45> 전 세계 수소 충전소 현황(2017.12.) .....	129
<그림1-46> 일본의 최초 상용 수소 스테이션(시오자키 수소 스테이션) .....	130
<그림1-47> Shell사 P2G 개념 및 독일 함부르크 수소충전소 .....	131
<그림1-48> CCS 대규모 프로젝트 43건의 위치(2018년) .....	134
<그림1-49> 다양한 환경에서 가능한 CCS .....	134
<그림1-50> CCUS를 통한 이산화탄소 저감 .....	137
<그림1-51> CCUS 작업 흐름도 .....	138
<그림1-52> 이산화탄소 포집을 통한 변환·제조 과정 .....	138
<그림1-53> EMS 구성 하드웨어 및 소프트웨어 .....	149
<그림1-54> 세계 산업용·빌딩용 EMS 시장 성장 전망 .....	151
<그림1-55> BEMS의 개요도 .....	153
<그림1-56> 스마트공장 시스템과 FEMS .....	155
<그림1-57> 후지 전기의 CEMS EnergyGate 개요도 .....	156
<그림1-58> ESS 구성도 .....	158

## II. 연료전지 관련 시장·기술개발 동향과 경제성 평가 .....167

<그림2-1> 연료전지 시스템의 용도·분야별 세계시장의 추이 예측 .....	176
<그림2-2> 수요 지역별 세계 시장 점유율 예측 .....	177
<그림2-3> 앞으로 5년 동안 어떤 파워트레인의 차량을 구매할 것인지 .....	178
<그림2-4> 각국의 수소차 보급 계획 .....	183
<그림2-5> 유럽의 연료전지 버스 도입 사례 .....	190
<그림2-6> EU의 FCEB 관련 활동과 계획 타임라인(2010~2020) .....	191
<그림2-7> NREL의 ZEB 평가 계획(2018~2020) .....	192
<그림2-8> 한국과 일본의 연료전지 버스 .....	193

<그림2-9> 미국에서 주행 중인 연료전지 버스 .....	194
<그림2-10> 각 트럭 제조사의 연료전지 트럭 .....	198
<그림2-11> Nobiskrug과 H2-Industries의 수소 연료전지 요트 이미지 .....	203
<그림2-12> Bay Ship and Yacht Co.의 'WaterGo-Round' .....	206
<그림2-13> 보조 발전용 1kW&5kW급 연료전지 구조도 .....	208
<그림2-14> 수전해 기술별 발전상과 그에 따른 상용화 단계 .....	231
<그림2-15> 아크로랩스의 AEM 전해조 .....	240
<그림2-16> 피리딘계 수소저장 물질을 활용한 수소 저장 및 방출 시스템 연구 성과 .....	245
<그림2-17> 강제 축압기 "HyST300 model R" .....	248
<그림2-18> 작동 온도에 따른 연료전지 효율 변화 그래프 .....	251
<그림2-19> 현재와 미래의 에너지 시스템 .....	266
<그림2-20> 고정형 수소 생산과 변환, 그리고 에너지 저장과 재생에너지 통합 시스템의 현재와 미래(1) .....	267
<그림2-21> 고정형 수소 생산과 변환, 그리고 에너지 저장과 재생에너지 통합 시스템의 현재와 미래(2) .....	268
<그림2-22> 연료전지 차량 개발 역사 .....	277
<그림2-23> 차량 중량 등을 고려한 항속거리와 효율의 관계 .....	280
<그림2-24> 연료전지와 이차전지를 동시에 채용한 연료전지 차량 .....	280
<그림2-25> 시기에 따른 가장 저렴한 에너지 저장 기술 변천 .....	281
<그림2-26> 압축 공기와 양수발전으로 사용할 수 없는 경우 2030년 이후 전망 .....	281
<그림2-27> 산업기술종합연구소에서 개발한 PCFC 실용사이즈 셀 .....	284
<그림2-28> 기술별 Well-to-whell(WTW) 배출과 주행 거리 비교 .....	285
<그림2-29> 초기 시장에서의 수소 충전소의 누적 Cash flow 곡선 .....	286
<그림2-30> 운반용 장비 PEM 시스템의 구조도 .....	287
<그림2-31> 대표적인 LTPEM CHP 시스템 구조도 .....	291
<그림2-32> 대표적인 SOFC CHP 시스템 구조도 .....	292
<그림2-33> 대표적인 멀티스택 LTPEM mCHP 시스템 구성도 .....	294
<그림2-34> 대표적인 SOFC 멀티스택 mCHP 시스템 구성도 .....	295
<그림2-35> 전해질별 기술 발전 잠재력 .....	298
<그림2-36> FCEV용 PEMFC의 연간 전기 생산비 .....	299
<그림2-37> 미국의 FCEB 평가 현장에서 운행하는 연료전지 버스 .....	303
<그림2-38> 연료전지 버스의 \$/Mile .....	304
<그림2-39> 미국의 BEB 평가 현장에서 운행하는 전기 배터리 버스 .....	305
<그림2-40> BEB의 \$/Mile .....	306
<그림2-41> Lolland residential CHP의 구조도와 설치 현장 .....	307
<그림2-42> Lolland residential CHP의 기술 준비도 .....	308
<그림2-43> Lolland residential CHP 초기 설치비의 요소별 비중 .....	309

<그림2-44> MYRTE의 구조도 .....	309
<그림2-45> MYRTE 설치 현장과 구상도 .....	310
<그림2-46> MYRTE의 기술 준비도 .....	310
<그림2-47> MYRTE 초기 설치비의 요소별 비중 .....	311
<그림2-48> Japanese Residential CHP의 구조도 .....	312
<그림2-49> Japanese Residential CHP 설치 현장과 구상도 .....	312
<그림2-50> Japanese Residential CHP의 기술 준비도 .....	313
<그림2-51> Japanese Residential CHP 초기 설치비의 요소별 비중 .....	313
<그림2-52> Octagon Apartments의 구조도 .....	314
<그림2-53> Octagon Apartments의 기술 준비도 .....	315
<그림2-54> Octagon Apartments 초기 설치비의 요소별 비중 .....	316
<그림2-55> Octagon Apartments 설치 현장 .....	316
<그림2-56> Fedex Distribution Centre의 구조도 .....	318
<그림2-57> Fedex Distribution Centre의 기술 준비도 .....	319
<그림2-58> Fedex Distribution Centre 초기 설치비의 요소별 비중 .....	319
<그림2-59> Hydrogen Office의 구조도 .....	320
<그림2-60> Hydrogen Office의 기술 준비도 .....	321
<그림2-61> Hydrogen Office 초기 설치비의 요소별 비중 .....	322

### III. 연료전지 관련 정책 · 표준화 · 특허 동향 .....325

<그림3-1> DOE의 수소&연료전지 관련 프로그램 관리 조직도 .....	328
<그림3-2> H2@Scale 개념도 .....	331
<그림3-3> FCTO의 수소연료전지 관련 연구 지원 흐름도 .....	333
<그림3-4> 재생에너지 수소를 활용한 사회 인프라의 저탄소화 촉진 사업 .....	358
<그림3-5> FCH 2JU의 체제 .....	380
<그림3-6> Projekte des BMVI 개요 .....	389
<그림3-7> 중국의 연료전지 스택 로드맵 .....	399
<그림3-8> 중국의 상용차 연료전지 시스템(엔진) 로드맵 .....	399
<그림3-9> 중국의 상용차 연료전지 로드맵 .....	400
<그림3-10> 중국의 승용차 연료전지 시스템(엔진) 로드맵 .....	400
<그림3-11> 중국의 승용차 연료전지 로드맵 .....	401
<그림3-12> 중국의 수소 저장 로드맵 .....	401
<그림3-13> 중국의 수소 인프라 로드맵 .....	401
<그림3-14> 주별 연료전지 연구 프로젝트 수 그래프(2008~2017) .....	407
<그림3-15> Horizon 2020 사업의 사업 단계별 투자액 비교 .....	435
<그림3-16> 한국에너지기술연구원의 주요 연구 사례 .....	463
<그림3-17> 미국 수소&연료전지 관련 특허 추이(2000~2017, 정부 지원) .....	474

<그림3-18> 미국 수소·연료전지 관련 특허 추이(2001~2017) .....	475
<그림3-19> 미국 수소·연료전지 특허 중 FCOT 관계 특허 추이(2001~2017) .....	476
<그림3-20> 수소충전장치 관련 특허출원 현황(2009~2017) .....	483

**IV. 연료전지 관련 사업 참여업체 동향과 사업전략 .....493**

<그림4-1> 현대제철 금속분리판 생산 현황 및 계획 .....	496
<그림4-2> 대산 수소연료전지 발전소 예상도 .....	497
<그림4-3> 유니크사의 FCEV용 수소 제어 밸브 .....	510
<그림4-4> 우리산업의 수소 전기차에 사용되는 PTC 히터 모델 .....	513
<그림4-5> 뉴로스 수소전기차용 공기압축기 .....	514
<그림4-6> 블룸 에너지 서버 단계도 .....	524
<그림4-7> 블룸 에너지 서버의 전력 생성 예시도 .....	524
<그림4-8> Plug Power의 연료전지 .....	529
<그림4-9> 이엠솔루션의 수소제조장치 .....	537
<그림4-10> 오프사이트-온사이트 충전소 작동방식 비교 .....	540
<그림4-11> Air Products의 사우디아라비아 수소 스테이션 이미지 .....	550
<그림4-12> YARA의 WA주 필바라 지역의 암모니아 생산 공장 .....	552
<그림4-13> YARA의 태양광을 이용한 암모니아 탈탄소화 공정 도식 .....	553
<그림4-14> 현대차그룹 수소차 로드맵 .....	555
<그림4-15> GM의 군용 연료전지 차량 Chevy Silverado ZH2 컨셉도 .....	562
<그림4-16> Nikola의 수소 연료전지 로리 이미지 .....	563

**V. 부록 .....567**