

목 차

I. 연료전지산업 개황	41
1. 연료전지 개관	41
1-1. 개념 및 구성요소	41
1) 연료전지의 정의와 작동개념	41
(1) 연료전지(Fuel Cell)	41
(2) 연료전지 시스템	44
2) 연료전지의 구성과 소재개발	45
1-2. 연료전지의 특성과 산업적 이용	47
1) 연료전지의 특징 및 유용성	47
2) 연료전지의 산업적 이용과 시장전망	51
(1) 산업적 이용	51
(2) 용도별 시장전망	52
1-3. 연료전지 산업의 주요 Trend	55
1) 회의적인 시각의 존재	55
2) Stationary 연료전지의 성장세	57
3) 더딘 투자 속도	58
4) FCEVs vs. PEVs의 경합과 엇갈리는 전망	58
5) Hydrogen Infrastructure Stakeholder	59
6) CHP(열병합발전) 분야의 적용	60
7) 엔진/Turbine-based CHP와의 경쟁	61
8) 북미의 Micro-grid Market Booming	62
9) Power-to-Gas Concept	63
10) Portable 연료전지의 Value Proposition	64
2. 연료전지의 분류	65
2-1. 연료전지 분류 방법에 따른 종류	65
2-2. 타입별 연료전지 분류	67
1) PEMFC	67
2) DMFC	69
3) SOFC	69
4) AFC	73

5) MCFC	74
6) PAFC	75
2-3. 용도별 연료전지 분류	77
1) 수송용 연료전지	78
2) 휴대용 연료전지	79
3) 발전용(고정형) 연료전지	80

II. 국내외 연료전지 기술개발 전략과 동향85

1. 연료전지 분야별 기술개발 동향	85
1-1. PEMFC R&D 동향	85
1) PEMFC의 일반적 특징	85
2) HT-PEMFC	85
3) 고온 고분자 전해질 막의 개발	87
4) 촉매와 기체 확산층	88
5) 열화 작용	88
6) 향후 개발 방향	89
1-2. SOFC R&D 동향	91
1) SOFC 개요	91
2) 국내외 개발 동향	91
(1) 미국	91
(2) 일본	92
(3) EU	92
(4) 한국	92
3) SOFC 응용과 전망	93
(1) 발전용 대형 SOFC	93
(2) 발전용 중소형 SOFC	94
(3) 수송용 SOFC	95
(4) 기타 SOFC	95
4) 최근 SOFC 연구동향	96
(1) 더 효율적인 SOFC 후보물질	96
(2) 잉크젯 프린터를 이용한 SOFC Print	98
(3) 회티탄석(Perovskites)를 사용하는 가정용 SOFC	99
1-3. 기타 연료전지 관련기술 R&D 동향	101
1) 새로운 촉매 개발동향	101
(1) 멀티스케일 나노 구조를 갖는 고성능 연료전지 촉매 개발	101
(2) 연료전지 촉매로서 유망한 그래핀 양자점/그래핀 미소 구조체	101

(3) 연료전지용 공기극 촉매의 표면구조 해명에 처음으로 성공	103
(4) 연료 전지 대량 생산에 적합한 비-백금 탄소 합금 촉매	104
(5) 백금을 사용하지 않는 탄소계의 촉매를 개발	105
(6) 성능을 증가시키는 그래핀에 크라운 에테르 삽입	106
(7) 고체 산화물 연료 전지의 장애 극복: 탄소-공기 배터리	108
(8) 직접메탄올 연료전지 촉매 연구	108
(9) 금속 촉매를 이용한 알칼라인 고분자(alkaline polymer)연구	110
(10) 더 나은 연료 전지를 만드는 불완전한 그래핀	111
(11) 신재생 에너지 분야 발전을 촉진하는 새로운 나노물질	112
(12) 백금의 성능을 능가하는 붕소와 질소로 도핑된 그래핀 에어로겔 촉매	113
(13) 청정 연료를 생성하게 하는 코발트 박막	113
(14) 무한 재사용 그래핀 연료전지 촉매	115
(15) 촉매로 활성화되는 micromotor	117
(16) 에탄올 연료로부터 상온상압에서 전력을 생산하는 촉매 개발	117
(17) 연료 전지 촉매로 고안된 라즈베리 형태의 나노재료 촉매 활성화	119
2) 기타 연료전지 관련 기술 개발동향	121
(1) 순수소를 사용하는 가정용 연료전지 개발 시작	121
(2) 상온에서 작동할 수 있는 새로운 연료전지	121
(3) 수소 이온의 고속 이동 경로 연구를 통한 연료 전지 발전 효율 향상	122
(4) 미생물 연료전지의 기능 확장	123
(5) 금속 받침 고체 산화물 연료 전지 연구	124
(6) PEMFC수준의 직접 에탄올 연료 전지를 위한 새로운 양극	125
(7) 연료전지 탑재 무인항공기	127
(8) 연료 전지 스택을 실시간으로 관찰하는 방법	127
(9) 연료 전지 재료의 성능 저하 원인 해명	130
1-4. 글로벌 주요 업체별 R&D 투자 현황	131
2. 연료전지 관련 특허 현황	136
2-1. 고정형 연료전지 분야	138
2-2. 수송용 연료전지 분야	141
2-3. 미국의 연료전지 관련 특허 현황	144
1) FCTO(미국) 동향	144
2) 요약	144
3) 특허 분석	146
4) 특허 사용 분야	147
5) 상업화 정도	150
(1) 상업화된 Fuel Cell 기술	150

(2) 상업화 예정 Fuel Cell 기술	154
(3) Fuel Cell 상업화 관련 Task	157
(4) Fuel Cell 기술 도입제품	160
3. 국내 연료전지 관련 기술개발 과제와 연구테마	164
3-1. 2015년도 하반기 에너지기술개발사업 신규지원 대상과제	164
1) 수소생산단가 저감을 위한 고압형 PEM(Proton Exchange Membrane) 수전해조 스택 기술개발	164
(1) 연구과제의 목표	164
(2) 연구과제의 주요내용	164
(3) 지원형태	165
2) 바이오매스를 기반으로 한 연료전지 융합 발전 시스템 운영 기술개발	165
(1) 기술개발 필요성	165
(2) 기술개발 제안 내용	165
(3) 기대효과	166
(4) 지원요건	166
3) 재생에너지 기반 대용량 저가 수소제조 기술	166
(1) 동향 및 필요성	166
(2) 주요기술	166
4) 가역 수소저장 시스템 개발	167
(1) 동향 및 필요성	167
(2) 주요기술	167
5) 고효율/장수명 일체형 가역연료전지 원천 기술	168
(1) 동향 및 필요성	168
(2) 주요기술	168
6) 음이온 교환막을 사용하는 직접 액체 연료전지 기술	169
(1) 동향 및 필요성	169
(2) 주요기술	169
7) 자동차용 연료전지 가격저감을 위한 출력밀도 0.125g/kW, 5,000시간 수명을 갖는 합금촉매 양산기술(100g/day) 개발	170
(1) 과제 목표	170
(2) 주요성능 및 정량목표	170
(3) 사업 계획서 작성 필수 사항	171
8) 건설용 25kW급 이동식 액체연료 개질형 연료전지	172
(1) 연구과제의 목표	172
(2) 연구과제의 주요내용	172
(3) 지원형태	173

9) PEM 연료전지용 다목적 부품 공용화 기술 개발	173
(1) 연구과제의 목표	173
(2) 연구과제의 주요내용	174
(3) 지원요건	174
(4) 지원형태	174
10) 운전사이클 대응력을 보유한 고신뢰성 SOFC 스택모듈 개발	174
(1) 연구과제의 목표	174
(2) 연구과제의 주요내용	175
(3) 지원요건	176
(4) 지원형태	176
11) 바이오가스 기반 고온형 연료전지 융합 시스템 개발	176
(1) 연구과제의 목표	176
(2) 연구과제의 주요내용	177
(3) 지원형태	177
12) 고분자 전해질 연료전지용 불소계 전해질 막 국산화 개발	178
(1) 기술개발 목표	178
(2) 목표설정 타당성	178
(3) 필수지표	178
(4) 개념계획서 작성시 고려사항	179
(5) 지원요건	179
13) IoT 기반 전원 독립형 연료전지-태양광-풍력 하이브리드 발전기술 개발	179
(1) 제안 내용	179
(2) 개념계획서 작성 고려사항	180
(3) 지원요건	180
3-2. 연료전지관련 실증사업 추진	181
1) 친환경전지 융합 실증화단지 구축을 위한 기술개발 지원과제 선정	181
(1) 부생수소를 이용한 PEMFC 발전시스템 실증연구	181
(2) PEMFC용 그래핀 촉매 담지체 양산 기술개발	181
(3) 실증단지용 보급형 수소센서 개발 및 모니터링 연구	181
(4) 부생수소를 활용한 실증단지 산업발전 로드맵 수립	181
3-3. 무인기용 연료전지 관련 개발동향	182
1) 액체수소 추진시스템, 글로벌 오퍼버 무인기(AeroVironment)	183
2) 수소연료 ‘팬텀아이’(Boeing)	185
3) 프로토넥스(Protonex)사의 연료전지(fule-cell) 무인기	187
4) 연료전지 무인항공기용 수소공급 시스템(한국과학기술원)	189
5) ‘메탄올 연료전지’ 무인기(인하대학교)	190

III. 국내외 연료전지 시장현황과 전망193

1. 글로벌 연료전지 산업동향 개관	193
1-1. 글로벌 연료전지 출하량(Shipment) 동향	193
1-2. 글로벌 연료전지 가격 동향	197
1-3. 글로벌 연료전지 시장 규모 및 전망	198
1) 시장 전망	198
2) 상업화를 위한 조건	201
2. 연료전지 적용분야별 현황	202
2-1. 발전 분야	202
1) Prime Power	203
2) micro-CHP	205
3) Grid-Support/Off-Grid Power	208
2-2. 수송 분야	210
1) Light Duty Vehicles	210
2) Buses	214
3) Materials Handling Vehicles	219
4) 기타	221
(1) Personal Mobility	221
(2) Fuel Cell Scooter	222
(3) Heavy-duty Fuel Cell Truck	223
2-3. 휴대형/이동용/기타 분야	224
1) 교육용 Fuel Cell과 Toys	224
2) Auxiliary Power Unit(APU)	225
3) Consumer Electronics	226
4) Military	227
5) 기타	228
3. Type별 연료전지 시장현황	229
3-1. 개관	229
3-2. PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)	231
1) MEA의 대량생산	231
2) Substitute catalyst (대체 촉매)	232
3-3. DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)	233
3-4. MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)	233
3-5. SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)	234

3-6. PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)	235
3-7. AFC (Alkaline Fuel Cell)	236
4. 지역별 연료전지 시장현황	237
4-1. 권역별 연료전지 시장개관	237
4-2. Europe	240
1) 유럽의 연료전지 산업 현황	240
(1) 유럽의 연료전지 보급 현황 및 전망	240
(2) 2013년의 HFP와 FCH-JU	241
(3) 수소 스테이션 설치	242
(4) Stationary 연료전지 sector	243
2) 유럽의 연료전지 산업 지원정책	244
(1) 기술개발을 위한 유럽의 파트너십 현황	244
(2) 2020년 수소연료전지 분야 예산 및 기술전망	245
(3) 수소연료전지 기술의 재정지원 전략 (2014~2020)	246
3) 독일의 mCHP 보급 지원	248
(1) 운영단계별 보급활성화 정책	248
(2) NIP Program	248
(3) 연료전지 보조금 지원 제도	249
(4) 연료전지 발전 Incentive 제도	252
(5) 신재생에너지 분야 관련 법령	253
4) 영국의 H2 Mobility 프로젝트	254
(1) 수소 충전소 네트워크	255
(2) H2 Mobility 연합	255
(3) 기초 자료 확립	256
4-3. 북미	257
1) 미국의 산업 현황	258
(1) 주요 State 현황	259
(2) H2USA Partnership	270
(3) 연료전지관련 주요 단체	271
2) 보급 지원제도	272
(1) R&D 지원	273
(2) 설치 보조 Program	277
(3) Incentive Program	278
(4) RPS	280
(5) FIT	280
3) 캐나다의 지원정책	281

4-4. Asia	282
1) 일본	282
(1) 수소사회 구축 방향	282
(2) 수소관련 기업	289
(3) 규정 개정 및 규제 완화	290
(4) 일본 수소에너지 주요 실증 단지	291
(5) 일본의 연료전지 보급 정책	295
2) 중국	310
(1) R&D 현황	310
(2) 보급 및 홍보 활동	313
(3) 보급 지원정책	314
(4) 수소경제로의 전환	316
4-5. 기타 지역	316
1) South Africa	316
2) 중남미 지역	317
3) Australia	317
5. 국내 연료전지 산업 현황	318
5-1. 국내 연료전지 산업 현황	318
1) 연료전지 보급 및 운영 현황	318
(1) 발전용 연료전지의 긍정적인 전망	318
(2) 국내 연료전지 보급 현황	318
(3) 국내 연도별 신재생에너지 현황	321
(4) 국내 연료전지 설비용량 추이	327
2) 국내 보급 잠재량 및 전망	329
(1) 연료전지 보급 전망 및 잠재량 파악	329
(2) 지자체별 연료전지 발전소 설치계획	330
5-2. 국내 연료전지 보급 지원 정책	334
1) 신재생에너지 관련 정책 및 제도	334
(1) 신재생에너지 보급지원정책	334
(2) 미래성장동력 플래그쉽 프로젝트	336
(3) 2015년 연료전지분야 보급 촉진 실행계획 확정발표	337
2) 국내 연료전지 운영단계별 지원제도	338
(1) 신·재생에너지 기술개발사업	339
(2) 연료전지 설비 도입 지원사업	340
(3) 신·재생에너지 설비의 시설·생산·운영 자금에 대한 금융지원 사업	342
(4) 에너지 절약시설 투자에 대한 세제 지원	343

(5) 신·재생에너지 공급의무화제도(RPS)	343
3) 국내 연료전지 보급 활성화 정책	346
(1) 신·재생에너지 설치의무화제도	346
(2) 에너지사용계획 협의	350
(3) 친환경 건축물 인증제도	351
(4) 신·재생에너지 건축물 인증제도	351
4) 국내외 연료전지 보급 지원제도 비교분석	354
5) 일본과의 연료전지 관련정책 비교	358

IV. 국내외 주요 연료전지 참여업체 사업동향363

1. 해외 연료전지 사업참여 주요업체 사업동향	363
1-1. 고정형/휴대형 연료전지 업체	363
1) ACAL Energy Ltd. (PEMFC, UK)	363
(1) 일반 현황	363
(2) 기술 및 제품 현황	363
(3) 연료전지 관련 사업동향	367
2) AFC Energy (AFC, UK)	368
(1) 일반 현황	368
(2) 기술 및 제품 현황	369
(3) 연료전지 관련 사업동향	370
3) Alteryg Systems (PEMFC, USA)	373
(1) 일반 현황	373
(2) 기술 및 제품 현황	373
(3) 연료전지 관련 사업동향	380
4) Automotive Fuel Cell Cooperation (PEMFC, Canada)	381
(1) 일반 현황	381
(2) 기술 및 제품 현황	381
(3) 연료전지 관련 사업동향	383
5) Ballard Power Systems (PEMFC, Canada)	384
(1) 일반 현황	384
(2) 기술 및 제품 현황	384
(3) 연료전지 관련 사업동향	392
6) Bloom Energy (SOFC, USA)	395
(1) 일반 현황	395
(2) 기술 및 제품 현황	395
(3) 연료전지 관련 사업동향	400

7) Ceramic Fuel Cells Ltd. (CFCL) (SOFC, Australia)	401
(1) 일반 현황	401
(2) 기술 및 제품 현황	402
(3) 연료전지 관련 사업동향	405
8) Ceres Power Holdings plc (SOFC, UK)	406
(1) 일반 현황	406
(2) 기술 및 제품 현황	406
(3) 연료전지 관련 사업동향	409
9) Dantherm Power (PEMFC, Denmark)	410
(1) 일반 현황	410
(2) 기술 및 제품 현황	411
(3) 연료전지 관련 사업동향	414
10) Dana Holding Corporation (FC부품, USA)	414
(1) 일반 현황	414
(2) 기술 및 제품 현황	414
(3) 연료전지 관련 사업동향	417
11) Electro Power Systems (EPS) (PEMFC, Italy)	417
(1) 일반 현황	417
(2) 기술 및 제품 현황	418
(3) 연료전지 관련 사업동향	422
12) Fuel Cell Energy Inc. (MCFC, USA)	422
(1) 일반 현황	422
(2) 기술 및 제품 현황	424
(3) 연료전지 관련 사업동향	430
13) Intelligent Energy (UK)	431
(1) 일반 현황	431
(2) 기술 및 제품 현황	432
(3) 연료전지 관련 사업동향	433
14) Panasonic Corporation (PEMFC, Japan)	436
(1) 일반 현황	436
(2) 기술 및 제품 현황	437
(3) 연료전지 관련 사업동향	440
15) Mitsubishi Heavy Industries Ltd.(MHI) (SOFC, Japan)	441
(1) 일반현황	441
(2) 기술 및 제품 현황	442
(3) 연료전지 관련 사업동향	444
16) Nedstack (PEMFC, Netherlands)	445

(1) 일반 현황	445
(2) 기술 및 제품 현황	446
(3) 연료전지 관련 사업동향	448
17) Oorja Protonics Inc. (DMFC, USA)	450
(1) 일반 현황	450
(2) 기술 및 제품 현황	451
(3) 연료전지 관련 사업동향	453
18) Plug Power Inc.(PEMFC, USA)	453
(1) 일반 현황	453
(2) 기술 및 제품 현황	454
(3) 연료전지 관련 사업동향	458
19) SerEnergy A/S(HT PEM, Denmark)	458
(1) 일반 현황	458
(2) 기술 및 제품 현황	459
(3) 연료전지 관련 사업동향	469
20) Tropical (PEMFC, Greece)	470
(1) 일반 현황	470
(2) 기술 및 제품 현황	470
(3) 연료전지 관련 사업동향	471
21) Horizon Fuel Cell Technologies (PEMFC, Singapore)	473
(1) 일반 현황	473
(2) 기술 및 제품 현황	474
(3) 연료전지 관련 사업동향	481
22) Jadoo Power Systems, Inc. (PEMFC, USA)	482
(1) 일반 현황	482
(2) 기술 및 제품 현황	482
(3) 연료전지 관련 사업동향	485
23) myFC AB (PEMFC, Sweden)	486
(1) 일반 현황	486
(2) 기술 및 제품 현황	486
(3) 연료전지 관련 사업동향	488
24) SFC Energy AG(DMFC, Germany)	488
(1) 일반 현황	488
(2) 기술 및 제품 현황	489
(3) 연료전지 관련 사업동향	495
25) H2logic (PEMFC, Denmark)	495
(1) 일반 현황	495

(2) 기술 및 제품 현황	496
(3) 연료전지 관련 사업동향	498
1-2. 연료전지차(FCEV) 업체	499
1) 현대자동차(주) (Korea)	499
(1) 일반 현황	499
(2) FCEV 개발 현황	499
(3) 연료전지 관련 사업동향	503
2) Toyota Motor Corporation (Japan)	504
(1) 일반 현황	504
(2) FCEV 개발 현황	504
(3) 연료전지 관련 사업동향	510
3) Honda Motor Co., Ltd. (Japan)	513
(1) 일반 현황	513
(2) FCEV 개발 현황	513
(3) 연료전지 관련 사업동향	518
4) Nissan Motor Co Ltd. (Japan)	518
(1) 일반 현황	518
(2) FCEV 개발 현황	519
(3) 연료전지 관련 사업동향	523
5) Daimler AG (Germany)	523
(1) 일반 현황	523
(2) FCEV 개발 현황	524
(3) 연료전지 관련 사업동향	529
6) General Motors (GM)(USA)	532
(1) 일반 현황	532
(2) FCEV 개발 현황	532
(3) 연료전지 관련 사업동향	534
7) Ford Motor Company (USA)	536
(1) 일반 현황	536
(2) FCEV 개발 현황	537
(3) 연료전지 관련 사업동향	539
8) BMW AG (Germany)	539
(1) 일반 현황	539
(2) FCEV 개발 현황	539
(3) 연료전지 관련 사업동향	541
9) Volkswagen AG (Germany)	542
(1) 일반 현황	542

(2) FCEV 개발 현황	543
(3) 연료전지 관련 사업동향	544
10) Tata Motors Limited (India)	545
(1) 일반 현황	545
(2) FCEV 개발 현황	546
(3) 연료전지 관련 사업동향	546
2. 국내 연료전지 사업참여 주요업체 사업동향	547
2-1. 연료전지 시스템 업체	547
1) 포스코에너지(주) (MCFC, SOFC)	547
(1) 일반 현황	547
(2) 기술 및 제품 현황	548
(3) 연료전지 관련 사업동향	552
2) ㈜두산 퓨얼셀 (MCFC, PEMFC)	556
(1) 일반 현황	556
(2) 기술 및 제품 현황	556
(3) 연료전지 관련 사업동향	565
3) 에스퓨얼셀(주) (S-FuelCell Co., Ltd.) (PEMFC)	566
(1) 일반 현황	566
(2) 기술 및 제품 현황	567
(3) 연료전지 관련 사업동향	569
4) LG퓨얼셀시스템즈 (LG Fuel Cell Systems Inc.) (SOFC, USA)	570
(1) 일반 현황	570
(2) 기술 및 제품 현황	570
(3) 연료전지 관련 사업동향	571
5) 삼성SDI(주) (DMFC, PEMFC)	572
(1) 일반 현황	572
(2) 기술 및 제품 현황	573
(3) 연료전지 관련 사업동향	575
6) 현대하이스코(주) (SOFC, PEMFC, MCFC)	576
(1) 일반 현황	576
(2) 기술 및 제품 현황	577
(3) 연료전지 관련 사업동향	579
7) ㈜효성 (PEMFC)	581
(1) 일반 현황	581
(2) 기술 및 제품 현황	581
(3) 연료전지 관련 사업동향	585

8) ㈜경동나비엔 (SOFC, m-CHP)	586
(1) 일반 현황	586
(2) 기술 및 제품 현황	587
(3) 연료전지 관련 사업동향	587
9) LIG넥스원(주) (DMFC)	588
(1) 일반 현황	588
(2) 기술 및 제품 현황	588
(3) 연료전지 관련 사업동향	590
10) ㈜프로파워 (DMFC)	591
(1) 일반 현황	591
(2) 기술 및 제품 현황	591
(3) 연료전지 관련 사업동향	596
2-2. 연료전지 소재·부품·평가장비 업체	597
1) 코오롱인더스트리(주) (Kolon Industries Inc.)(Membrane)	597
(1) 일반 현황	597
(2) 연료전지 관련 사업동향	597
2) 한국타이어(주)	599
(1) 일반 현황	599
(2) 연료전지 관련 사업동향	600
3) ㈜에프셀텍	602
(1) 일반 현황	602
(2) 연료전지 관련 사업동향	602
4) ㈜미코	603
(1) 일반 현황	603
(2) 연료전지 관련 사업동향	604
5) ㈜지필로스 (인버터, PCS)	609
(1) 일반 현황	609
(2) 연료전지 관련 사업동향	610
6) ㈜제이엔티지(JNTG)	612
(1) 일반 현황	612
(2) 연료전지 관련 사업동향	613
7) 대주전자재료(주) (Catalysts)	616
(1) 일반 현황	616
(2) 연료전지 관련 사업동향	617
8) 희성축매(주) (Catalysts)	619
(1) 일반 현황	619
(2) 연료전지 관련 사업동향	620

9) 한창산업(주)	621
(1) 일반 현황	621
(2) 연료전지 관련 사업동향	621
10) 대정화금(주)	622
(1) 일반 현황	622
(2) 연료전지 관련 사업동향	622
11) (주)창성	624
(1) 일반 현황	624
(2) 연료전지 관련 사업동향	624
12) 트윈에너지(주)	626
(1) 일반 현황	626
(2) 연료전지 관련 사업동향	626
13) (주)오토엔 (AUTOEN Company Ltd.)	627
(1) 일반 현황	627
(2) 연료전지 관련 사업동향	627
14) (주)진영전기	628
(1) 일반 현황	628
(2) 연료전지 관련 사업동향	629
15) 숭크카본테크놀로지(유)	630
(1) 일반 현황	630
(2) 연료전지 관련 사업동향	630
16) (주)플라스포	632
(1) 일반 현황	632
(2) 연료전지 관련 사업동향	633
17) (주)마이크로필터 (Membrane)	634
(1) 일반 현황	634
(2) 연료전지 관련 사업동향	635
18) (주)원아테크 (WonATech)	635
(1) 일반 현황	635
(2) 연료전지 관련 사업동향	636
19) (주)CNL에너지	639
(1) 일반 현황	639
(2) 연료전지 관련 사업동향	639
20) 대양산업	643
(1) 일반 현황	643
(2) 연료전지 관련 사업동향	643
21) 세종공업(주)	644

(1) 일반 현황	644
(2) 연료전지 관련 사업동향	645
22) 주동진썬미켄	649
(1) 일반 현황	649
(2) 연료전지 관련 사업동향	649



표 목차

I. 연료전지산업 개황41

<표1-1> 연료전지 각 구성부분 및 그 역할	46
<표1-2> 연료전지 발전시스템의 친환경성	48
<표1-3> 연료전지의 유용성	50
<표1-4> 용도별 연료전지 구분	52
<표1-5> 용도별 연료전지 시장 규모 예측	52
<표1-6> 에너지원별 이용률 및 필요 설치면적 비교	53
<표1-7> 자동차용 연료전지의 기대효과	53
<표1-8> 전해질에 의한 연료전지의 분류 (고온형과 저온형 분류)	65
<표1-9> Fuel Cell Type별 시장 분석	65
<표1-10> Fuel Cell Type별 작동 특징 비교	66
<표1-11> 저온형과 고온형 PEMFC의 차이점 요약	68
<표1-12> 중앙집중식 발전과 SOFC 사용 분산 발전의 cost와 이점 비교	70
<표1-13> 3가지 광역의 용도별 category와 관련된 연료전지 기술	77
<표1-14> 용도별 연료전지 종류	77
<표1-15> 용량별 연료전지 종류	78

II. 국내외 연료전지 기술개발 전략과 동향85

<표2-1> Fuel Cell Equity and Investment(2012.09)	131
<표2-2> 연료전지 관련 국가별 상위 출원인 현황	136
<표2-3> 고정형 연료전지 분야 국가별 주요 출원인	138
<표2-4> 수송용 연료전지 분야 국가별 주요 출원인	141
<표2-5> 연도별 누적 특허 수	146
<표2-6> Types of Organization Receiving Patent Awards	146
<표2-7> 상업화기술 11가지에 사용되는 24 patent 및 업체	147
<표2-8> Status of Awarded Patents	148
<표2-9> Cumulative Number of Commercial Technologies Entering the Market	148
<표2-10> Number of Emerging FCTO Technology	149
<표2-11> Fuel Cells 상업화 제품 요약	150
<표2-12> 상업화 도입예정(3-5년 내) 기술 Summary - Fuel Cells	154
<표2-13> Fuel Cell Task, 관련 상업화 기술 목록	157
<표2-14> Fuel Cell 도전과제, 관련 상업화예정 도입기술(3-5년 내) 목록	158

<표2-15> Fuel Cell 기술적용 신제품-기술 및 업체 요약	160
<표2-16> Fuel Cell 도입기술 관련 과제목록 요약	162

III. 국내외 연료전지 시장현황과 전망193

<표3-1> Annual Unit Shipments(2009 - 2013)	195
<표3-2> Annual Megawatts Shipped(2009 - 2013)	196
<표3-3> 연료전지 주요 모델별 시장가격 동향	197
<표3-4> 용도별 세계 연료전지 발전량	202
<표3-5> FCH JU의 ‘도시형 버스: Europe용 대체 powertrain’의 8가지 Powertrain	215
<표3-6> 적용분야별 R&D, 실증, 상용화 단계의 예산	245
<표3-7> 독일의 NIP Program	249
<표3-8> 독일 연료전지 보조금 지원 제도	250
<표3-9> 독일 Energy-Efficient Construction 제도	251
<표3-10> 독일 연료전지 세액 공제 제도 - 환경세(Ecotax) 공제	251
<표3-11> 독일 연료전지 발전 Incentive 제도	252
<표3-12> CALIFORNIA주의 FCEV와 수소 INITIATIVES	261
<표3-13> CALIFORNIA 주의 STATIONARY FUEL CELL INITIATIVES	261
<표3-14> California의 고정형 연료전지 설치 현황(Bloom Energy) (2012년 이후 보고)	262
<표3-15> California의 고정형 연료전지 설치 현황(기타업체) (2012년 이후 보고)	263
<표3-16> CONNECTICUT’S FCEV와 수소 INITIATIVES	264
<표3-17> CONNECTICUT’S STATIONARY FUEL CELL INITIATIVES	265
<표3-18> 뉴욕주의 STATIONARY FUEL CELL INITIATIVES	266
<표3-19> Ohio’s ENERGY-RELATED BUSINESS SUPPORT INITIATIVES	267
<표3-20> Ohio’s STATIONARY FUEL CELL INITIATIVES	268
<표3-21> South Carolina 주의 FUEL CELL AND HYDROGEN INITIATIVES	269
<표3-22> State and Regional Fuel Cell and Hydrogen Associations/Coalitions	271
<표3-23> Fuel Cells 2000의 주요 제공 정보	271
<표3-24> 미국의 연료전지 관련 정책 동향	272
<표3-25> 미국 연료전지 R&D 지원 주요 프로그램	273
<표3-26> 미국 DoE의 지원 결정(2013.12) 프로젝트 내용	275
<표3-27> 미국 DoE의 지원 결정(2014.06) 프로젝트 내용	276
<표3-28> 미국 투자 세금 감면 (The investment Tax Credit, ITC) 제도	277
<표3-29> 미국 연료전지 보조금 지원 제도	278
<표3-30> 미국 연료전지 발전 Incentive 제도	279
<표3-31> SGIP 제도의 효과적 적용	279
<표3-32> 미국의 주 별 연료전지 REC 가중치	280
<표3-33> California 주 정부 FIT/공공 유틸리티 FIT	281

<표3-34> 일본 4차 에너지기본계획	282
<표3-35> 일본의 수소 관련 기업과 활동	290
<표3-36> 일본의 규정 개정 및 규제 완화 내용 요약	291
<표3-37> 일본 연료전지 보급 정책의 특징	295
<표3-38> 일본 연료전지 운영단계별 지원제도 세부내용	297
<표3-39> 일본의 '신수소 프로젝트' 주요 내용	298
<표3-40> 가정용 연료전지 대규모 실증사업과 개선 효과	300
<표3-41> 에네팜 구입에 대한 일본 정부 지원 정책	302
<표3-42> 에네팜 파트너의 구성과 주요 활용 내용	304
<표3-43> 수소충전소 규제 완화 주요 내용	308
<표3-44> 다양한 수소충전소 실증 모델	310
<표3-45> 중국의 초기 FCEV 프로토타입(1999-2001)	312
<표3-46> SAIC FCEVs	313
<표3-47> 차량형태에 따른 정부 지원액	314
<표3-48> 2014년 중국 국가 정부 순 전동자동차 보조금 현황	315
<표3-49> 국내 연료전지 발전소 현황	320
<표3-50> 연도별 에너지 생산량	321
<표3-51> 연도별 발전량	322
<표3-52> 연도별 생산량	324
<표3-53> 연도별 보급용량(발전)	325
<표3-54> 연도별 보급용량 (고유단위-발전 외)	326
<표3-55> 신·재생에너지 연도별 발전량 전망 (2013년~2027년)	330
<표3-56> 서울시 고덕그린에너지 발전사업 개요	331
<표3-57> 발전공기업 5개사 2015년 바이오메스를 타 신재생에너지로 변경할 계획	334
<표3-58> 신재생에너지보급사업(주택, 건물용 연료전지) 보조금	335
<표3-59> 국내 연료전지 관련 정책 및 제도	335
<표3-60> 신재생에너지원별 생산량 가중치	336
<표3-61> 미래성장동력 플래그쉽 프로젝트 연료전지 사업분야	337
<표3-62> 국내 연료전지 보급보조사업	341
<표3-63> 신·재생에너지 금융지원 사업	342
<표3-64> 신·재생에너지 금융지원 사업을 위한 자금·세제지원	343
<표3-65> 신·재생에너지 공급의무화 제도(RPS) 연도별 공급의무비율	344
<표3-66> 신·재생에너지원별 가중치	344
<표3-67> 2014년 공급의무자별 의무 공급량	345
<표3-68> 설치의무화 대상기관 범위	346
<표3-69> 설치의무화 대상 건축물	347
<표3-70> 신·재생에너지설치의무화 제도(건물용 연료전지)	347

<표3-71> 건축물 용도별 보정계수 및 지역계수	349
<표3-72> 공공기관 신축 건축물에 대한 신·재생에너지 설치의무화사업 단위에너지 및 원별 보정계수	349
<표3-73> 신·재생에너지 건축물 인증제도 인증심사기준	352
<표3-74> 자발적 설치 제도(건물용 연료전지) 요약 비교	352
<표3-75> 한국과 일본의 연료전지 정책 비교	359

IV. 국내외 주요 연료전지 참여업체 사업동향363

<표4-1> ACAL Energy Ltd. 프로파일	363
<표4-2> AFC Energy plc 프로파일	368
<표4-3> 연료전지 타입별 전기적 효율성 비교(US DoE, 2008.12.)	369
<표4-4> AFC Energy Alkaline Fuel Cell과 Space Mission Alkaline Fuel Cell 비교	370
<표4-5> POWER-UP Programme Project Members	372
<표4-6> Altery Systems 프로파일	373
<표4-7> Freedom Power TM Systems - Fuel Cell Engines 종류	374
<표4-8> Freedom Power TM Systems - Fuel Cell Engines 모델별 제원	375
<표4-9> Freedom Power TM Systems - Nacelle의 모델 및 제원	377
<표4-10> 개질기 통합 Engine 모델별 제원	378
<표4-11> TPM - VRLA Battery 버전 모델별 제원	379
<표4-12> TPM - Ultra-capacitors 버전 모델별 제원	380
<표4-13> AFCC 프로파일	381
<표4-14> Ballard Power Systems Inc. 프로파일	384
<표4-15> FCgen - 1020ACS 제원	385
<표4-16> FCgen - 1300 series 제원	385
<표4-17> FCvelocity - 9SSL 제원	386
<표4-18> FCvelocity - HD6(버스용) 제원	387
<표4-19> ClearGen® Multi - MW Systems 제원	387
<표4-20> hydrogen backup power solution ElectraGen - H2 제원	388
<표4-21> Ballard Power System의 주요 특허	392
<표4-22> Bloom Energy corp. 프로파일	395
<표4-23> Bloom Energy Server 제품군 제원	396
<표4-24> Bloom UPM 제원	398
<표4-25> Bloom Energy의 주요 특허	400
<표4-26> Ceramic Fuel Cells Ltd. 프로파일	402
<표4-27> BlueGen™의 제원	403
<표4-28> Gennex™ fuel cell module의 구조 및 특징	404
<표4-29> Gennex™ fuel cell module의 Specifications	404

<표4-30> Ceramic Fuel Cells Ltd. Partners	405
<표4-31> Ceres Power Holdings plc 프로필	406
<표4-32> SOFC evolution - Ceres Steel Cell	408
<표4-33> 주요 시장에서의 Scenario analysis	410
<표4-34> Dantherm Power 프로필	411
<표4-35> ElectraGen™-H2 Out-door형 제원	412
<표4-36> ElectraGen™-H2 In-door형 제원	413
<표4-37> ElectraGen™-ME 제원	413
<표4-38> Dana Holding Corporation 프로필	414
<표4-39> PEFC와 SOFC System용 Heat-Exchanger 특징	415
<표4-40> Custom Engineered BOP Products 종류 및 특징	415
<표4-41> 내장형 Thermal Subsystem	415
<표4-42> Metallic Bipolar Plates for PEFC 제원	416
<표4-43> Composite Bipolar Plates and Seals 제원	417
<표4-44> Electro Power Systems SpA 프로필	418
<표4-45> ElectroSelf DOX Module 제원	419
<표4-46> Technical Specification과 가정	420
<표4-47> Fuel Cell Energy Inc. 프로필	423
<표4-48> 포스코 에너지의 투자 내용	423
<표4-49> 오염물질 배출량 비교 (Lbs. Per MWh)	424
<표4-50> Versa Power Systems 프로필	430
<표4-51> 주요기업의 매출액 및 매출원가	430
<표4-52> Intelligent Energy 프로필	431
<표4-53> 305 modular fuel cell system	433
<표4-54> Suzuki Burgman의 제원 및 성능	434
<표4-55> Fuel cell system specification ENV-ME 30kW	435
<표4-56> Panasonic Corporation 프로필	436
<표4-57> 단독주택형 fuel cell (ENE FARM) 외관 및 제원	437
<표4-58> 공동주택형 fuel cell (ENE FARM) 외관 및 제원	437
<표4-59> Matsushita Electric의 보유특허	439
<표4-60> Matsushita Electric의 주요특허	439
<표4-61> Mitsubishi Heavy Industries Ltd.(MHI) 프로필	441
<표4-62> MHI의 발전분야 사업 내역	441
<표4-63> MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.(MHPS) 프로필	441
<표4-64> Mitsubishi의 주요 특허	443
<표4-65> Mitsubishi의 보유특허	443
<표4-66> Mitsubishi의 연도별 주요 특허 현황	444

<표4-67> Closed-cycle HEML Fuel Cell System 제원	444
<표4-68> Nedstack 프로필	445
<표4-69> HP STACKS 제원	447
<표4-70> XXL STACKS 제원	448
<표4-71> Oorja Protonics 프로필	450
<표4-72> battery, 수소연료전지, DMFC의 비교(지게차 사용시)	450
<표4-73> 36-Hour Power Outage	452
<표4-74> 72-Hour Power Outage	453
<표4-75> Plug Power Inc. 프로필	453
<표4-76> Counterbalanced Truck용 GenDrive Series 1000 제원	454
<표4-77> Reach Trucks용 GenDrive Series 2000 제원	455
<표4-78> Rider Pallet Jacks용 GenDrive Series 3000 제원	455
<표4-79> ReliOn Series 제품군 제원	456
<표4-80> SerEnergy A/S 프로필(2013.05)	458
<표4-81> Liquid Cooled S165L Stack 제원	460
<표4-82> H3 350 제원	463
<표4-83> H3 700 제원	464
<표4-84> H3 2500 / H3 5000 제원	465
<표4-85> H3 700 Methanol Mobile Power Generator 제원	466
<표4-86> H3 700 - Wall Mount Power System 제원	467
<표4-87> Applications 예	468
<표4-88> Tropical S.A. 프로필	470
<표4-89> Tropical S.A.의 FCEV	472
<표4-90> Horizon Fuel Cell 프로필	473
<표4-91> Horizon Minipak®의 외형 및 제원	475
<표4-92> Horizon Hydropak® 50W의 제원 및 외형	475
<표4-93> Horizon Hydrostik®의 제원 및 외형	476
<표4-94> Horizon Hydrofill의 제원 및 외형	476
<표4-95> Horizon HBox Electrolyzer 제원 및 외형	476
<표4-96> AQUIGEN 180 deep-cycle battery charge maintainer 제원	477
<표4-97> H-Series PEM Fuel Cell Stacks 제원(1/3)	478
<표4-98> H-Series PEM Fuel Cell Stacks 제원(2/3)	479
<표4-99> H-Series PEM Fuel Cell Sytacks 제원(3/3)	480
<표4-100> AutoPAK 3kW module의 제원 및 구성도	481
<표4-101> Jadoo Power Systems, Inc. 프로필	482
<표4-102> PEPSAE Product Platform	482
<표4-103> Fuel Cell Products	483

<표4-104> Jadoo Power의 Energy Storage Platform	483
<표4-105> 독립적인 Ground Sensor Power System : Jadoo UGS-20PS 특징	484
<표4-106> myFC AB 프로필	486
<표4-107> myfc PowerTrek Fuel Cell Charger 사용법	486
<표4-108> SFC Energy AG 프로필	488
<표4-109> SFC 에너지의 연료전지(DMFC) 및 응용제품	489
<표4-110> SFC Energy AG의 EFOY Pro Series 의 제원	490
<표4-111> SFC Energy AG의 EFOY ProCube 2030A 제원	491
<표4-112> EFOY ProEnergyBox 4060P 제원	492
<표4-113> EFOY ProCabinet 제원	493
<표4-114> Fuel cartridges	494
<표4-115> H2logic 프로필	495
<표4-116> 현대자동차(주) 프로필	499
<표4-117> Tucson ix 작동원리	499
<표4-118> 시판 중인 Tucson ix Fuel Cell 구조 및 제원	501
<표4-119> 현대자동차의 보유특허	503
<표4-120> 현대자동차의 연구개발 동향	503
<표4-121> Toyota Motor Corporation 프로필	504
<표4-122> 일본 정부의 FCEV 관련 지원 정책 개요	512
<표4-123> Honda 프로필	513
<표4-124> Honda FCX 클라리티 제원	515
<표4-125> 도요타와 혼다의 수송용 연료전지 기술 발전 동향	516
<표4-126> Honda Motor의 연도별 주요 특허 현황	517
<표4-127> Honda Motor의 보유특허	517
<표4-128> Honda Motor의 주요 특허	517
<표4-129> Honda Motor의 연구개발 동향	517
<표4-130> Nissan Motor Co Ltd. 프로필	518
<표4-131> 닛산의 FCEV 개발 연혁	520
<표4-132> Nissan Motor의 주요 특허	522
<표4-133> Nissan Motor의 연도별 주요 특허 현황	522
<표4-134> Nissan Motor의 보유특허	522
<표4-135> Nissan Motor의 연구개발 동향	523
<표4-136> Daimler AG 프로필	523
<표4-137> Daimler의 FCEV 개발 연혁	524
<표4-138> Area-wide Hydrogen Infrastructure Network	530
<표4-139> General Motors(GM) 프로필	532
<표4-140> Ford Motor Company 프로필	536

<표4-141> BMW AG 프로필	539
<표4-142> Volkswagen AG 프로필	542
<표4-143> Tata Motors Limited 프로필	545
<표4-144> 포스코에너지(주) 프로필	547
<표4-145> 포스코의 주요 특허	550
<표4-146> 포스코의 보유특허	550
<표4-147> 포스코에너지의 건물용 연료전지 제원	551
<표4-148> (주)두산 프로필	556
<표4-149> (주)두산 퓨얼셀의 연료전지 개발 연혁	556
<표4-150> PEMFC 제품군(CellVille, 주택용, 산업용, 상업용 건물에 적합) 및 제원	558
<표4-151> PAFC 제품군(PureCell, 분산 발전용, 산업용, 상업용 건물에 적합) 및 제원	558
<표4-152> 연료전지 주요부품 - Stack의 외형 및 제원	560
<표4-153> MEA의 특징 및 특성	560
<표4-154> 개질기의 특징 및 특성	561
<표4-155> 용역 서비스 정의 및 범주	562
<표4-156> 엔지니어링 서비스 정의 및 범주	562
<표4-157> 두산중공업의 주요 특허	563
<표4-158> 두산중공업의 정부 국책과제 수행 현황	563
<표4-159> 두산중공업의 보유특허	564
<표4-160> 퓨얼셀파워의 보유특허	565
<표4-161> 에스퓨얼셀(주) 프로필	566
<표4-162> 건물용 연료전지 시스템 제품군 제원	567
<표4-163> LG퓨얼셀시스템즈 프로필	570
<표4-164> 삼성에스디아이(주) 프로필	572
<표4-165> 삼성SDI의 주요 특허	573
<표4-166> 삼성SDI의 보유특허	574
<표4-167> 삼성SDI의 연도별 주요 특허 현황	574
<표4-168> 페이턴트 리절트의 업체별 평가점수	576
<표4-169> 현대하이스코(주) 프로필	576
<표4-170> 1kW급 건물용 연료전지(도시가스 사용) 시스템	577
<표4-171> 1kW급 건물용 연료전지(순수수소 사용) 시스템	577
<표4-172> 5kW급 건물용 연료전지 Eertree-NH050 사양 및 신재생에너지설비 인증정보	578
<표4-173> 백업전원용 연료전지 시스템	578
<표4-174> 이동전원용(Portable) 연료전지 시스템	579
<표4-175> 현대하이스코의 연료전지 개발현황	579
<표4-176> (주)효성 프로필	581
<표4-177> 효성의 1kW급 듀얼셀(dual cell) 스택 제원	581

<표4-178> 1kW급 가정용(저온형) PEMFC 시스템 제원	582
<표4-179> 고분자연료전지시스템 HSFC-RW1KPP004 사양 및 인증정보	582
<표4-180> 개발 목표	583
<표4-181> 기존 저온 PEMFC시스템(위)과 고온 PEMFC시스템(아래) 비교	583
<표4-182> 효성의 풍력 발전기 제원	585
<표4-183> (주)경동나비엔 프로필	586
<표4-184> LIG넥스원(주) 업체 프로필	588
<표4-185> LIG넥스원이 참여하는 3가지 분야의 연료전지 사업	589
<표4-186> (주)프로파워 업체 프로필	591
<표4-187> 프로파워의 특허현황	592
<표4-188> 연료전지 단위 셀 size, Test condition, 제작공정	592
<표4-189> DMFC 분석장치 PRO2000F 특징 및 기능	593
<표4-190> 연료전지 교육용 키트 (Smart Fuel Cell Kit) 특징	594
<표4-191> DMFC 전기 스쿠터 Scoophin의 DMFC 제원	594
<표4-192> DMFC 지게차 'SS Drive' 에 적용된 DMFC 제원	595
<표4-193> DMFC 탑재 전동 휠체어 연료전지 제원	596
<표4-194> 코오롱인더스트리(주)	597
<표4-195> 한국타이어(주) 프로필	599
<표4-196> 미국 에너지부(DOE)의 연도별로 제시한 자동차용 분리판 물성 및 제조비용 목표	600
<표4-197> (주)에프셀텍 프로필	602
<표4-198> 소재의 특징	603
<표4-199> 판매 소재	603
<표4-200> (주)미코 프로필	603
<표4-201> 미코의 소재제조 기술	604
<표4-202> Stack QubePower-200 제원 및 외형	607
<표4-203> 단전지 제품군	607
<표4-204> 페이스트 제품군	607
<표4-205> 버튼셀 제품군	607
<표4-206> 전시회/EXPO 참가 동향	608
<표4-207> (주)지필로스 프로필	609
<표4-208> 지필로스의 특허 및 인증 내용	610
<표4-209> (주)제이엔티지 프로필	612
<표4-210> JNTG의 특허	615
<표4-211> GDL 제원	615
<표4-212> 대주전자재료(주) 프로필	617
<표4-213> 대주전자재료(주)의 특허현황	618
<표4-214> 대주 연료전지 촉매의 특성	618

<표4-215> 회성축매(주) 프로필	619
<표4-216> 한창산업(주) 프로필	621
<표4-217> 연료전지용 소재	621
<표4-218> 대정화금(주) 프로필	622
<표4-219> 제조, 개발품목	622
<표4-220> 대정화금(주)의 연구과제 수행 현황(2014.07)	623
<표4-221> 대정화금(주)의 특허 현황(2014.07)	623
<표4-222> (주)창성 프로필	624
<표4-223> 연구 개발 분야와 내용	625
<표4-224> 트윈에너지(주) 프로필	626
<표4-225> 트윈에너지(주)의 연구 연혁	626
<표4-226> 트윈에너지(주)의 사업 동향	626
<표4-227> (주)오토엔 프로필	627
<표4-228> 오토엔의 연료전지 관련특허	628
<표4-229> (주)진영정기 프로필	628
<표4-230> 숭크카본테크놀로지(유) 프로필	630
<표4-231> 숭크카본테크놀로지(유)의 제품군	631
<표4-232> (주)플라스포 프로필	632
<표4-233> 고효율 연료전지 인버터의 특징	634
<표4-234> (주)마이크로필터 프로필	634
<표4-235> (주)원아테크 프로필	635
<표4-236> Smart2 Series PEM/DM 연료전지 Test 시스템 제품 및 특징	636
<표4-237> 제품군 및 특징	638
<표4-238> (주)씨엔엘에너지 프로필	639
<표4-239> (주)씨엔엘에너지가 공급하는 FC 테스트 장비들	640
<표4-240> 연료전지 재료	640
<표4-241> 연료전지 Cell, Stack	641
<표4-242> 특허현황	641
<표4-243> 대양산업 프로필	643
<표4-244> 기술개발과제 진행현황	644
<표4-245> 보유 특허 현황	644
<표4-246> 세종공업(주) 업체 프로필	644
<표4-247> 연료전지 관련제품 현황	645
<표4-248> 이동형 연료전지 제원	645
<표4-249> 연료전지 관련 연구개발 실적	646
<표4-250> 연료전지 관련 특허 현황	647
<표4-251> (주)동진씨미캠 업체 프로필	649

<표4-252> 특허 현황	650
<표4-253> 연료전지 관련 국책과제 수행 내역	650

그림 목차

I. 연료전지산업 개황41

<그림1-1> 연료전지 작동 개념도	41
<그림1-2> 연료전지 구성 및 기능	42
<그림1-3> 연료전지 단위 Cell의 구성도	43
<그림1-4> 연료전지 Stack의 구성도	43
<그림1-5> 일반적인 연료전지의 구조 및 작동	43
<그림1-6> 연료전지 시스템의 동작	44
<그림1-7> 연료전지 System의 구성 및 동작	45
<그림1-8> 연료전지 구성요소	46
<그림1-9> 연료전지 구성요소 소재개발 로드맵	46
<그림1-10> 발전원별 효율 비교(최고효율 기준)	47
<그림1-11> 연료전지 발전시스템의 고효율성과 친환경성	48
<그림1-12> 외부에 설치된 연료전지 Power Plant	49
<그림1-13> Bloom Boxes	49
<그림1-14> 연료전지 응용분야 예시	51
<그림1-15> IEA '450 시나리오' 중 그린카 시장 전망	54
<그림1-16> 용도별 연료전지 생산 용량과 매출 World Markets: 2009-2012	56
<그림1-17> Microgrid 용량과 매출전망(북미: 2014-2018(예상))	62
<그림1-18> 선별된 유럽국가의 연간 풍력발전 설치용량(Power-to-Gas Capacity 2014-2018)	63
<그림1-19> 저온/고온형 fuel cells 비교	66
<그림1-20> PEMFC의 원리 및 작동 개념	67
<그림1-21> PEMFC 시스템의 공급망	68
<그림1-22> DMFC의 원리 및 작동 개념	69
<그림1-23> SOFC의 원리 및 작동 개념	70
<그림1-24> SOFC 시스템의 공급망	72
<그림1-25> AFC의 원리 및 작동 개념	73
<그림1-26> MCFC의 원리 및 작동 개념	74
<그림1-27> PAFC의 원리 및 작동 개념	76
<그림1-28> 기존의 전력망을 통한 전력전송 효율	81
<그림1-29> 가정용 고정형 연료전지 발전기/보일러를 설치했을 경우의 효율	81

II. 국내외 연료전지 기술개발 전략과 동향85

<그림2-1> 국내외 SOFC 기술개발 동향	93
<그림2-2> EDX와 WDX로 분석된 Bi3Ir 결정의 SEM 이미지	97
<그림2-3> 잉크젯 프린터를 이용해서 연료 전지 층을 형성하는 모습	98
<그림2-4> 전기를 생성하는 과정 후에, 연료 전지는 폐기물로서 열과 물을 생성	100
<그림2-5> BN-그래핀 양자점/그래핀 나노복합물의 제조 과정.	102
<그림2-6> 나노플라트렛의 전자 현미경 이미지.	102
<그림2-7> 테스트 그래프	103
<그림2-8> 연구결과 밝혀진 전극표면의 구조	104
<그림2-9> 페로브스카이트형 산화물의 구조	104
<그림2-10> 연료전지용 '카본 합금 촉매'	106
<그림2-11> 크라운 에테르의 배열을 포함하고 있는 그래핀 시트	107
<그림2-12> 튜브에 배치된 배터리-고체 산화물 연료 전지의 오랜 장애를 극복	108
<그림2-13> Mo2C 나노 튜브 상 원자층증착 Pt 나노 입자 표시도	109
<그림2-14> 비교 곡선 그래프	110
<그림2-15> CO 용해 볼트 암페어 곡선	110
<그림2-16> 그래핀 결합	112
<그림2-17> 다공성 코발트 인화물/인산염 박막의 절단면	114
<그림2-18> 기계화학적 공정에 의한 안티몬이 도입된 그래핀 제조 모식도	115
<그림2-19> 안티몬 코팅 그래핀의 주사투과 전자현미경 이미지	116
<그림2-20> 각 샘플의 Capacity Retention 비교	116
<그림2-21> 에너지 생산을 위한 마이크로 전동기	117
<그림2-22> 에탄올 분자와 메탄올 분자	118
<그림2-23> TaPt3 나노입자의 투과전자현미경사진(a, b)	118
<그림2-24> TaPt3 나노입자의 특성 그래프	119
<그림2-25> NIST에서 만들어진 백금 나노입자의 군집을 이룬 현미경 사진	120
<그림2-26> JP-8 바이오연료전지	122
<그림2-27> 안장형 구조 형성	122
<그림2-28> 자이로이드(Gyroid) 계면구조	123
<그림2-29> 미생물 연료전지의 동작	123
<그림2-30> 금속 받침대를 활용하여 개발한 고체 산화물 연료 전지	125
<그림2-31> 600W 연료전지, 3ℓ 용량 수소탱크가 탑재된 연료전지 무인항공기	127
<그림2-32> 탄소 수송자의 상층 위에 백금 나노입자의 결정 조대화를 보여 주는 섹션	128
<그림2-33> 시료로 사용된 미소 전기화학적 전지의 평면도(왼쪽)와 측면도(오른쪽)	129
<그림2-34> 탄소 위에 응집되어 결정 조대화되는 백금 나노입자를 보여 주는 구성도	129
<그림2-35> Catalytic role of platinum nanoparticles	129
<그림2-36> 고정형 연료전지 분야 세부기술별 국가 비중	139
<그림2-37> 고정형 연료전지 분야 국가별 세부기술 비중	140

<그림2-38> 고정형 연료전지 분야 연도별 세부기술 비중	140
<그림2-39> 수송용 연료전지 분야 세부기술별 국가 비중	142
<그림2-40> 수송용 연료전지 분야 국가별 세부기술 비중	143
<그림2-41> 수송용 연료전지 분야 연도별 세부기술 비중	143
<그림2-42> Distribution of Emerging FCTO Technology (FY 2014)	149
<그림2-43> AeroVironment사의 글로벌 오피서	184
<그림2-44> 보잉사의 ‘팬텀아이’	186
<그림2-45> Puma AE	188

III. 국내외 연료전지 시장현황과 전망193

<그림3-1> Application별 출하량(좌)과 Application별 용량(megawatts)(우)	194
<그림3-2> 높은 성장성 예상되는 연료전지 시장	198
<그림3-3> 연료전지 글로벌 시장 전망	199
<그림3-4> 차량용 연료전지 시스템과 Stack 원가 구조	201
<그림3-5> Toyota USA 본사에 설치된 Ballard의 1 MW system	203
<그림3-6> 일본의 가정용 연료전지 증가 속도	207
<그림3-7> Telecom 통신 타워의 Backup power system	208
<그림3-8> Honda가 2015년 출시 예정인 FCX Clarity	212
<그림3-9> 연간 50만대 양산 기준 80KW 차량용 PEMFC Cost 추이 및 전망	213
<그림3-10> 연간 생산량에 따른 80KW 차량용 PEMFC Cost 분석	213
<그림3-11> 각각의 POWERTRAIN별 TCO 비교 (위) 12미터 Bus, (아래) 연결버스	216
<그림3-12> 각각의 POWERTRAIN별 에너지 소모 비교	217
<그림3-13> 유럽의 수소 연료전지 버스	218
<그림3-14> 연료전지 지게차	220
<그림3-15> QBEAK range-extended 버전	222
<그림3-16> Tyrano Class 8 heavy-duty 연료전지 Truck	223
<그림3-17> Horizon Fuel Cell Technologies의 교육용 및 Toy용 Fuel Cell 제품들	225
<그림3-18> 통합된 lighting solution을 가진 Hymera product 버전	225
<그림3-19> MiniPak portable charging device와 Air Liquide Blue Hydrogen concept.	226
<그림3-20> SFC의 군용 연료전지 EMILY 3000	228
<그림3-21> CEKAtec AG는 Fuel cell powered Drinks Trolley	228
<그림3-22> Type별 세계 연료전지 발전량	229
<그림3-23> (좌)Shipments by Fuel Cell Type, (우)MW by Fuel Cell Type(2009 - 2013)	230
<그림3-24> 지리적 위치에 따른 권역 구분	237
<그림3-25> (좌)지역별 Shipments(2009 - 2013), (우)지역별 Megawatts(2009 - 2013)	238
<그림3-26> 지역별 세계 연료전지 발전량	238
<그림3-27> 해외 연료전지 보급 지원제도 분류도	239

<그림3-28> 유럽의 연료전지 보급 전망(발전량 기준)	240
<그림3-29> 유럽의 연료전지 보급 전망(매출액 기준)	241
<그림3-30> 분야별 투자현황 및 JU의 연도별 실행예산 규모	244
<그림3-31> EC, Industry, Member States별 재정지원 비율	246
<그림3-32> 수소생산, 수송, 충전소, 시장, RCS 측면에서의 Time Frame	247
<그림3-33> 독일 연료전지 운영단계별 지원제도 요약	248
<그림3-34> 북미의 연료전지 보급 현황	259
<그림3-35> South Carolina 주의 Fuel Cell Cluster	268
<그림3-36> 미국 연료전지 운영단계별 지원제도 요약	272
<그림3-37> California 주 발전차액 산정기준	281
<그림3-38> 수소·연료전지전략 로드맵	283
<그림3-39> 일본의 연료전지 시장전망	284
<그림3-40> 일본 연료전지 보급 로드맵	285
<그림3-41> ENE-FARM 보급대수 추이	286
<그림3-42> Ene-Farm 업체의 판매대수(2014년 3월)	286
<그림3-43> 일본 ENE-FARM 가격 추이	287
<그림3-44> 일본의 수소 관련 산업구조	289
<그림3-45> 수소 그리드 공항의 전체 구상	293
<그림3-46> 일본의 연료전지 관련 정부 예산안 추이	296
<그림3-47> 일본 연료전지 운영단계별 지원제도 요약	296
<그림3-48> 일본 연료전지 보급촉진 정책 추진 현황	298
<그림3-49> 일본 가정용 연료전지 로드맵	299
<그림3-50> NEDO의 에네파뎀 부품 인터페이스 표준화	303
<그림3-51> 일본 수소충전소 규제 완화 주요 사례	307
<그림3-52> NEDO 기술지원 로드맵	309
<그림3-53> 중국의 연료전지 적용분야(a) 및 연구기관 형태(b)	312
<그림3-54> 2013년 신재생에너지 원별 공급비중	319
<그림3-55> 전년대비 변동량 추이	319
<그림3-56> 국내 연료전지 설치량 추이	320
<그림3-57> 국내 연료전지 운영단계별 지원제도 요약	339
<그림3-58> RPS 의무공급량 추이 및 연도별 의무공급 비율	346
<그림3-59> 국내 및 해외 연료전지 주요 보급 정책 비교	354
<그림3-60> 국내 및 해외 연료전지 R&D 지원정책 비교	354
<그림3-61> 국내 및 해외 연료전지 보조금 지원 정책 비교	355
<그림3-62> 국내 및 해외 연료전지 세제 혜택 비교	355
<그림3-63> 국내 및 해외 연료전지 운영 지원 제도 비교	356
<그림3-64> 국내 및 해외 연료전지 소비 및 판매 지원 제도	356

<그림3-65> 국내외 연료전지 보급정책 비교로 본 시사점 요약	357
<그림3-66> 연료전지 용도별 보급 활성화 방안	358

IV. 국내외 주요 연료전지 참여업체 사업동향363

<그림4-1> FlowCath® stack configuration	364
<그림4-2> FlowCath® Redox reaction	364
<그림4-3> FlowCath® stack and balance of plant	365
<그림4-4> FlowCath® half cell and regeneration system	365
<그림4-5> 기존의 백금기반 MEA를 사용하는 PEMFC와의 비교	366
<그림4-6> E4Tech mass market cost assessment	366
<그림4-7> AFC에너지의 스택 부품 구성도	370
<그림4-8> 산업용 대용량 AFC 설비	371
<그림4-9> Total Cost of Ownership (TCO) 비교	373
<그림4-10> 개질기 통합 Engine 구조	378
<그림4-11> AFCC Fuel의 Cell Technology	382
<그림4-12> AFCC의 연구성과	382
<그림4-13> AFCC가 개발에 참여한 수소연료전지차량들 연표	383
<그림4-14> ElectraGen-ME 제원 및 특징	389
<그림4-15> 엔지니어링 서비스 포트폴리오	390
<그림4-16> 엔지니어링 서비스 Future Market Focus	391
<그림4-17> FCvelocity®-HD7	394
<그림4-18> 독일 Hamburg에 전개된 FCvelocity®-HD7탑재 연료전지 버스	394
<그림4-19> Bloom Energy Server 구성	397
<그림4-20> Uninterruptible Power Module (UPM)의 작동 개념도	397
<그림4-21> Uninterruptible Power Module (UPM)의 외관(백색 점선)	397
<그림4-22> Sample Bloom Energy Mission Critical Topology	399
<그림4-23> Total Cost of Reliable Power (Nominal \$)	400
<그림4-24> BlueGen®의 작동 구조도	402
<그림4-25> BlueGen®이 연결된 이후의 전력/열 계통도	403
<그림4-26> Ceres Steel Cell	407
<그림4-27> Ceres Steel Cell 의 작동 개요 및 개념도	407
<그림4-28> 가정용 mCHP 개요 및 구조도	408
<그림4-29> Dantherm Power의 ElectraGen™ 제품군	411
<그림4-30> Bipolar Plates의 감손 (동일 Design에서)	416
<그림4-31> Electro Power Systems의 ElectroSelf system 작동 개념도	418
<그림4-32> TCO(Total Cost of Ownership), Asia와 Europe의 경우	419
<그림4-33> Capex for Grid-Scale Energy Storage System	421

<그림4-34> DFC power plant의 고효율성	424
<그림4-35> DFC Stack의 구조 및 작동	425
<그림4-36> DFC Power Planr의 구성 및 작동	426
<그림4-37> DFC300 system의 구조 및 제원	427
<그림4-38> DFC1500 system의 구조 및 제원	428
<그림4-39> DFC3000 system의 구조 및 제원	429
<그림4-40> 100kW automotive fuel cell architecture	435
<그림4-41> 일본 내 Panasonic Enefarm 사용 가능한 지역 가스회사 (2015.03)	438
<그림4-42> Matsushita Electric의 연구개발 동향	440
<그림4-43> MHI에서 계획 중인 연료전지 발전소 개념	442
<그림4-44> SOFC를 가스터빈과 결합한 발전소 모델	442
<그림4-45> MHI에서 개발한 SOFC 스택 타입	443
<그림4-46> 개발 중인 250kW급 가스터빈-SOFC 하이브리드 시스템 모형	445
<그림4-47> Nedstack의 표준 생산품 범위와 일반적인 응용 및 Fuel Cell Stack	446
<그림4-48> XXL stacks의 20,000시간 동안의 Performance data	449
<그림4-49> OorjaPac™ Model III의 제원	451
<그림4-50> GenDrive 종류와 사용처	454
<그림4-51> HT PEM의 MEA Voltage/Current	459
<그림4-52> HT-PEMFC의 회로도	459
<그림4-53> 특성 변화 곡선 그래프	461
<그림4-54> Methanol reforming Diagram	461
<그림4-55> Denmark의 미래형 energy system 구성도	462
<그림4-56> H3 350 외형 및 system 다이어그램	463
<그림4-57> H3 700 외형 및 System Diagram	464
<그림4-58> H3 2500 / H3 5000 외형 및 System Diagram	465
<그림4-59> H3 700 Methanol Mobile Power Generator 외형 및 System Diagram	466
<그림4-60> TB-1000R Hydrogen Fuel Cell System이 탑재된 HydroTrain Modular Educational System	473
<그림4-61> Horizon Fuel Cell의 제품 개발 연혁	474
<그림4-62> Jadoo Power의 Renewable/Fuel Cell Infrastructure	485
<그림4-63> myfc PowerTrek 2.0 Fuel Cell Charger 특징 및 제원	487
<그림4-64> Mobile World Congress에서 전시된 JAQ	488
<그림4-65> SFC에너지의 연료전지 EFOY Pro 개념도	489
<그림4-66> H2Station hydrogen 충전소	496
<그림4-67> Electric transport / Sustainability without loss of mobility	497
<그림4-68> Denmark의 H2Station Network	497
<그림4-69> 48시간만에 설치한 H2Station CAR-100	498

<그림4-70> 현대자동차 FCEV 개발 로드맵	500
<그림4-71> TOYOTA의 FCHV-adv	505
<그림4-72> TOYOTA와 히노자동차가 공동으로 개발한 연료전지 버스 FCHV-BUS2	506
<그림4-73> TOYOTA FCEV MIRAI 구조도	507
<그림4-74> TOYOTA FCEV MIRAI	508
<그림4-75> TOYOTA의 연료전지 버스	509
<그림4-76> 관찰된 백금 촉매의 실시간 열화현상 사진	511
<그림4-77> BMW가 공개한 i8 FCEV	512
<그림4-78> 혼다의 FCX	513
<그림4-79> Honda FCX 클라리티 패키지	514
<그림4-80> HONDA FCEV CONCEPT와 외부출력장치	515
<그림4-81> 닛산의 차세대 연료전지 스택 Key Tech.	521
<그림4-82> Daimler의 Fuel Cell Vehicle Rollout Plan	524
<그림4-83> Citaro FuelCELL-Hybrid Bus	525
<그림4-84> 다임러의 B-Class F-Cell	526
<그림4-85> Daimler Fuel Cell Vehicles의 Technical Advancements	527
<그림4-86> Daimler의 F-Cell World Drive Map	527
<그림4-87> IAA Press Conference에 소 공개한 Mercedes-Benz F125	528
<그림4-88> FCEV&BEV : Global Knowledge Network to Support Series Production	528
<그림4-89> Area-wide H2-infrastructure network 구성	531
<그림4-90> GM의 FCEV 개발 이정표	532
<그림4-91> GM의 하이드로젠 4	533
<그림4-92> GM의 하이드로젠3(좌측), GM의 캐딜락 프로보크 컨셉트카(우측)	534
<그림4-93> Ford 자동차의 포커스 세단 FCV	538
<그림4-94> Ford 자동차의 ‘옛지 위즈 하이시리즈 드라이브’	538
<그림4-95> BMW가 2008년 한국에 시승을 위해 들여왔던 하이드로젠7	540
<그림4-96> BMW의 2015년 프로토타입 FCEV와 부품들	542
<그림4-97> 티구안 하이모션 퓨얼 셀 컨셉트	543
<그림4-98> 수륙양용 호버크래프트 콘셉트카 폭스바겐 아쿠아	544
<그림4-99> 아우디의 연료전지를 단 A7	544
<그림4-100> 건물용 SOFC 개발 현황	549
<그림4-101> 포스코의 연구개발 동향	550
<그림4-102> Posco의 발전용 연료전지 제품군	551
<그림4-103> Posco가 국내에서 운영 중인 연료전지 발전소	552
<그림4-104> 노을연료전지발전소 조감도	554
<그림4-105> 두산의 연료전지 로드맵	557
<그림4-106> PureCell 국내 설치사례	559

<그림4-107> 두산중공업의 연구개발 동향	564
<그림4-108> 퓨얼셀과위의 연구개발 동향	565
<그림4-109> 제품개발 연혁 (CETI->GS FuelCell->S-FuelCell)	567
<그림4-110> Free Energy Planet의 system 구성	568
<그림4-111> 부생수소를 이용한 신사업모델 제안	569
<그림4-112> 1MW SOFC System 구성도	570
<그림4-113> LGFCS Technology - recap	571
<그림4-114> Integrated Planar (IP) SOFC	571
<그림4-115> 삼성SDI의 연구개발 동향	575
<그림4-116> LIG넥스원의 군수용 연료전지 적용 분야	589
<그림4-117> LIG넥스원의 연료전지 시스템과 지휘소용 1kW급 연료전지 시스템 개념도	590
<그림4-118> LIG넥스원의 DMFC 탑재 무인항공기(쿼드로터) 시스템과 개념도	590
<그림4-119> 저온형 연료전지 (DMFC, PEMFC) 설계, 제작, System 통합 기술	593
<그림4-120> Ecomate®-H를 사용한 연료전지 수분 재순환 시스템 구성도	599
<그림4-121> 한국타이어(주)의 양극분리판(좌측) 대량생산 계획	601
<그림4-122> 평판형 단전지 제조기술 특징	605
<그림4-123> 마이크로 튜브형 단전지	606
<그림4-124> Fuel Cell PCS 구조도	609
<그림4-125> 지필로스의 Fuel Cell PCS 제품군	611
<그림4-126> PEMFC와 DMFC용 MEA & GDL	613
<그림4-127> GDLs 품질관리	614
<그림4-128> GDL의 Roll Processing 제조 기술공정 및 GDBL 설계기술	614
<그림4-129> GDL에 따른 PEMFC 성능 그래프	616
<그림4-130> 대주전자재료(주)의 연료전지 개발현황.	617
<그림4-131> 플랜트 연계형 MW급 내부개질형 MCFC 모듈 및 시스템 국산화 기술	629
<그림4-132> 원아테크의 FC테스트 장비	636
<그림4-133> 원아테크의 단채널 Potentiostat / Galvanostat	637