

연구보고서

청정에너지 생태계 선점을 위한 차세대축매 기술개발사업

예비타당성조사 보고서

2013.06

연구기관 : (주)기술과가치



[주관기관] 울산과학기술대학교



[수행기관] (주)기술과가치

차 례

I. 사업 추진배경	1
1. 촉매기술의 중요성	3
2. 차세대 선도형 촉매의 정부지원 필요성	8
II. 촉매관련 국내외 R&D 정책 및 시장 동향	12
1. 주요국 R&D 정책 동향	23
2. 촉매시장 동향	30
III. 세부사업별 기술개발 및 산업 동향	37
1. 기술개발 동향	75
IV. 사업의 개요	107
1. 사업의 목표 및 구조	109
2. 사업 추진체계 및 전략	115
3. 동 사업의 차별성	120
4. 추진경위	123
V. 사업 추진 절차 및 전략	125
1. 사업 추진 전체 프로세스	127
2. 세부사업 발굴 단계	129
3. 사업 운영 방안	132
VI. 세부사업 내용	143
1. 기술개발 사업 개발 분야	145
2. 촉매 허브 기반 구축 사업	170
3. 소요 예산 및 기대효과	180

VII. 정책적 타당성 분석	187
1. 상위정책과의 부합성	189
2. 사업 추진상의 위험요인	199
3. 사업 특수평가 항목	199
4. 정책적 분석 소결	207
VIII. 기술적 타당성 분석	209
1. 기술개발계획의 적절성	211
2. 기술개발 성공가능성	223
3. 기존 기술 및 사업과의 중복성	248
4. 기술적 분석 소결	254
IX. 경제적 타당성 분석	255
1. 경제적 타당성 분석 수행 체계	257
2. 경제적 타당성 분석 개요	259
3. 비용 분석	262
4. 편익 분석	267
5. 경제성 분석 소결	300
X. 결 론	301

표 차 례

[표 1-1] 기술경쟁력 (중국 산업 및 산업기술경쟁력, 석유화학 보고서)	8
[표 1-2] 조사기관별 세계 촉매시장 규모	8
[표 1-3] 세계 촉매시장 규모	9
[표 1-4] 1인당 에너지 공급량의 연평균 증가율(2000~2010)	15
[표 2-1] 미국 Vision2020 로드맵에서의 촉매분야	24
[표 2-2] 유럽의 촉매 및 효소분야 역대 노벨상 수상내역	26
[표 2-3] 세계 화학소재산업 시장규모(2008년 생산액 기준)	37
[표 2-4] 국내정밀화학 산업전망	38
[표 2-5] MEG 시장동향	41
[표 2-6] 납사 공급과잉의 주요 원인 및 향후 전망	44
[표 2-7] 초중질 유분 처리기술의 시장 규모	46
[표 2-8] 정제 아크롤레인의 생산기업 및 연간 생산량3)	48
[표 2-9] 바이오기반 화학제품의 세계시장 예측 과 수익 예측	49
[표 2-10] 바이오기반 화학제품의 세계시장 예측 과 수익 예측	55
[표 2-11] 연도별 합성석유 공급 예상	57
[표 2-12] 부가가치 분석	58
[표 2-13] 친환경자동차 시장규모 전망	62
[표 2-14] 디젤자동차 저감장치 개발에 따른 후처리 시장 기대치	64
[표 2-15] 디젤 탑재 중/소형 자동차 시장점유율	65
[표 2-16] 예상되는 CCS 시장규모 (BCC research, 2008; 지식경제부, 2007)	67
[표 2-17] CO ₂ 활용 현황	69
[표 2-18] 전력수급 4차 계획에 의한 탄소배출량 (지식경제부, 2008)	71
[표 3-1] 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품	75
[표 3-2] 주요선진국 기술수준 비교	81
[표 3-3] 저탄소 화합물 국내외 기술개발 동향	84
[표 3-4] 부다디엔	86
[표 3-5] 부다디엔 생산 공정 보유 사업장	86
[표 3-6] 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술개발 동향	87
[표 3-7] 식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조기술 개발 동향	89

[표 3-8] 반도체 촉매를 적용한 연료 생산 기술개발 동향	97
[표 3-9] 차세대 금속공기전지 고효율 촉매 기술개발 동향	99
[표 3-10] 리튬공기전지 국외 연구 현황	100
[표 3-11] 유럽의 승용 디젤 차량에 대한 배기 규제 (g/km)	101
[표 3-12] CO ₂ 활용 촉매기술동향	104
[표 4-1] 사업 단계별 특징	111
[표 4-2] R&D 단계와 TRL 비교	112
[표 4-3] 차세대 촉매 기술개발사업의 추진 목표	114
[표 4-4] 원천응용단계 수행기관 선정평가 항목	119
[표 4-5] 사업화단계 수행기관 선정평가 항목	119
[표 4-6] '신시장 창출' 목적의 타 사업과의 비교	122
[표 5-1] 사업 추진 전체 프로세스 개요	127
[표 5-2] 과제 선정 기준의 분석 프로세스	131
[표 5-3] 과제 선정 공통 기준	131
[표 5-4] 과제 관리 프로세스 개요	132
[표 5-5] 각 평가의 결과 처리 방안	134
[표 4-6] 과제 수행포기 프로세스	134
[표 5-6] 연차/단계평가 시 절대평가(案)	135
[표 5-7] 연차/단계평가 시 상대평가(案)	135
[표 5-8] 성실/불성실 평가 착안사항(案)	136
[표 5-9] 성과활용현황조사·평가 규정	138
[표 5-10] 산업부 연구관리기관의 성과활용현황조사·평가 추진 형태	139
[표 5-11] 지식경제 R&D 종합 심층성과분석 체계	141
[표 5-12] 성과활용현황조사·평가에 대한 환류 개념도	141
[표 6-1] 석유화학 촉매 세부추진계획	148
[표 6-2] 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학가 제품 개발 수준	149
[표 6-3] 저탄소 화합물 전환기술	150
[표 6-4] 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	151
[표 6-5] 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	152
[표 6-6] 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	156
[표 6-7] 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술 개발	157
[표 6-8] 차세대 금속공기전지 고효율 촉매개발	158
[표 6-9] 고효율, 저비용 배기가스 제거 촉매 시스템 개발	161
[표 6-10] 고효율 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 요소기술	161
[표 6-11] 환경촉매 분야 세부추진 기술개발 로드맵	166

[표 6-12] 환경축매 분야 연차별 기술개발 목표 및 내용	167
[표 6-13] CO ₂ 활용 축매 기술 개발을 통한 최종 산출물	168
[표 6-14] 축매 허브 센터의 층별 구조	174
[표 6-15] 연구 인력 계획	175
[표 6-16] 축매 허브 센터 구축 예정 장비	176
[표 6-17] 전문 연구 인력 양성 계획	177
[표 6-18] 연차별 투자계획, 세부 사업내역	177
[표 6-19] 연차별 투자계획, 총괄내역	178
[표 6-20] 축매 허브 센터 건립 사업비 산출 근거	178
[표 6-21] 기술개발사업 소요재원	180
[표 6-22] 기술개발사업 연차별 투자계획	180
[표 6-23] 기술개발사업 소요예산 산출근거	181
[표 6-24] 기반구축사업 항목별 세부 소요예산	182
[표 6-25] 기술개발부문 인력 투입 계획	183
[표 6-26] 기반구축부문 인력 투입 계획	183
[표 7-1] 과학기술기본계획 개요	189
[표 7-2] 과학기술기본계획(577 Initiative)의 50개 중점추진과제	191
[표 7-3] 과학기술기본계획 7대 중점투자 분야별 기술	192
[표 7-4] 3대전략 및 10대 정책방향	194
[표 7-5] 화학산업 현황	200
[표 7-6] 9개 세부사업별 조기투자 필요성	203
[표 8-1] 세부사업별 목표	211
[표 8-2] 세부사업별 필요 세부기술 Pool	212
[표 8-3] 기술개발을 통한 목표시장/산업과의 연계	214
[표 8-4] 분야별 기술적 및 경제적 성과	215
[표 8-5] 사업참여 주체별 역할	218
[표 8-6] 지원 대상 과제의 선정기준	219
[표 8-7] 지원 대상 과제의 선정절차	220
[표 8-8] 세부사업별 특허검색식	223
[표 8-9] 세부사업별 특허검색결과	224
[표 8-10] 세부사업별 기술개발 대응방안	238
[표 8-11] 세부사업별 기술수준 분석을 위해 도출된 IPC 코드	239
[표 8-12] 세부사업별 기술수준 분석을 위해 도출된 IPC 코드	240
[표 8-13] 주요국가의 미국출원특허수	241
[표 8-14] 미국보유 출원특허수 대비 각국의 보유수준	242

[표 8-15] 세부사업별 피인용수가 높은 특허에 대한 검토	242
[표 8-16] 세부사업별 기술 독과점 수준	246
[표 8-17] 2차 중복성 검토 대상사업 개요	248
[표 8-18] 유사사업 검토내용	250
[표 8-19] 세부사업별 과제검색 키워드	251
[표 8-20] 1, 2차 필터링 후 중복성 검토대상 과제수	253
[표 9-1] 기술개발사업 소요예산 산출근거	262
[표 9-2] 할인율을 적용한 총 연구비 계산표	263
[표 9-3] 유사사업 1차 검토결과	264
[표 9-4] 선진국별 대형 R&D사업 특성	265
[표 9-5] 기술개발 범위에 따른 목표시장 설정 기준	268
[표 9-6] 세부사업별 부가가치율	269
[표 9-7] 정부연구개발사업의 사업화 성공률	270
[표 9-8] 사업 점유효과	270
[표 9-9] 세부사업별 편익기간	272
[표 9-10] 고기능성 고분자 촉매 관련 특허들의 기술수명 분포	273
[표 9-11] 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발 편익 산출 요인	273
[표 9-12] 자동차용 엔지니어링 플라스틱의 세계시장 규모	274
[표 9-13] 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발의 매출 예상규모	274
[표 9-15] 중질유 고도화기술 관련 특허들의 기술수명 분포	275
[표 9-16] 중질유 고도화기술 편익 산출 요인	277
[표 9-17] 중질유 고도화 세계시장 규모	278
[표 9-18] 중질유 고도화기술 개발사업의 매출 예상규모	278
[표 9-19] 석유화학 부가가치율	278
[표 9-20] 중질유 고도화기술 개발사업의 편익 추정	279
[표 9-21] 저탄소 화합물 전환기술 관련 특허들의 기술수명 분포	279
[표 9-22] 저탄소화합물 전환기술개발사업 편익 산출 요인	280
[표 9-23] 인쇄전자 세부사업의 편익 추정	280
[표 9-24] 비식용작물 기반 석유화학제품 제조기술 관련 특허들의 기술수명 분포	281
[표 9-25] 비식용작물 기반 석유화학제품 편익 산출 요인	283
[표 9-26] 바이오플라스틱 세계시장 규모	283
[표 9-27] 비식용작물 기반 석유화학원료 제조기술개발사업의 매출 예상규모	284
[표 9-28] 비식용작물 기반 석유화학원료 제조기술개발사업의 편익 추정	284
[표 9-29] 환경가스를 활용한 자동차 연료제조기술 관련 특허들의 기술수명 분포	285
[표 9-30] 환경가스를 활용한 자동차 연료제조기술 편익 산출 요인	287

[표 9-31] 환경가스를 활용한 자동차 연료 관련 세계시장 규모 287

[표 9-32] 환경가스를 활용한 자동차 연료제조기술개발사업의 매출 예상규모 287

[표 9-33] 부가가치율 288

[표 9-34] 환경가스를 활용한 자동차 연료제조기술개발사업의 편익 추정 288

[표 9-35] 반도체 촉매를 활용한 차세대 연료 생산기술 관련 특허들의 기술수명 분포 289

[표 9-36] 반도체 촉매를 활용한 차세대 연료 편익 산출 요인 290

[표 9-37] 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술 개발사업의 매출 예상규모 291

[표 9-38] 부가가치율 291

[표 9-39] 환경가스를 활용한 자동차 연료제조기술개발사업의 편익 추정 291

[표 9-40] 차세대 금속공기전지 고효율 촉매 관련 특허들의 기술수명 분포 292

[표 9-41] 차세대 금속공기전지 고효율 촉매 편익 산출 요인 294

[표 9-42] 차세대 금속공기전지 고효율 촉매 매출 예상규모 294

[표 9-43] 부가가치율 294

[표 9-44] 사업의 편익 추정 295

[표 9-45] CO₂ 활용 촉매개발기술 관련 특허들의 기술수명 분포 295

[표 9-46] CO₂ 활용 촉매 기술개발사업의 편익 산출 요인 296

[표 9-47] CO₂ 활용 촉매 매출 예상규모 297

[표 9-48] 부가가치율 297

[표 9-49] CO₂ 활용 촉매 제조기술개발사업의 편익 추정 297

[표 9-50] 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 관련 특허들의 기술수명 분포 ... 298

[표 9-51] 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발사업의 편익 산출 요인 298

[표 9-52] 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발사업 매출 예상규모 299

[표 9-53] 부가가치율 299

[표 9-54] CO₂ 활용 촉매 제조기술개발사업의 편익 추정 300

그림 차례

[그림 1-1] 촉매기술의 중요성	3
[그림 1-2] 미래 트렌드 변화에 따른 촉매기술의 중요성	4
[그림 1-3] 촉매의 다양한 부가가치	5
[그림 1-4] 세계 촉매시장의 산업별 구성비	10
[그림 1-5] 촉매분야 수출입 통계 (단위: 천불)	11
[그림 1-6] 세계 주요 기업수의 축소 (26->10개)	13
[그림 1-7] 에너지생태계 전반에 따른 세부사업 및 목표	14
[그림 1-8] 주요국의 TEPS per GDP 추이	15
[그림 1-9] 촉매산업의 생태계 구축을 통한 국가 아젠다 가시화	17
[그림 1-10] 화학산업 내 핵심산업군 분석	18
[그림 2-1] 화학산업과 촉매산업의 관계	23
[그림 2-2] 촉매의 산업 영향력 평가	25
[그림 2-3] 독일의 촉매 연구개발 동향	27
[그림 2-4] IGCC Catalysis Technology roadmap	28
[그림 2-5] 세계 정밀화학시장 규모 전망	38
[그림 2-6] 제철소(POSCO)의 부생가스 발생 현황 및 조성	43
[그림 2-7] 에탄올 생산 기술의 경제성 - LanzaTech 기술 평가 자료	43
[그림 2-8] 유럽지역 바이오디젤 생산량 추이	47
[그림 2-9] 전세계 바이오 연료 시장 규모 예측(2007년 RNCOS Report)	50
[그림 2-10] 국내 바이오가스 관련 산업 동향	59
[그림 2-11] 촉매 시장 동향과 전망	60
[그림 2-12] 가솔린엔진과 디젤엔진에서의 백금 사용량 변화 (Johnson Matthey 자료 2012)	64
[그림 2-13] 세계 디젤 자동차 시장 전망 (2010)	65
[그림 2-14] 디젤자동차 주요시장 및 점유율 (Source : BOSCH GmbH, 2008)	65
[그림 2-15] CO ₂ 시장 전망 추이 및 분야별 시장 규모 (BCC Report “CCS Technology” (2008) 및 IEA 자료 분석	67
[그림 2-16] CO ₂ 분야별 시장 구성 (BCC Report “CCS Technology” (2008)	68
[그림 2-17] CO ₂ 재활용 시장의 구성 (BCC Report “CCS Technology” (2008)	69
[그림 2-18] '05~'10년 국가별 CO ₂ 관련 Funding 현황 (The Global Status of CCS, 2011)	70

[그림 3-1] 고온 촉매 반응 중 입자의 비활성화의 주요 원인 (우측: NEDO 보고서 내용) .. 93

[그림 3-2] 최근 개발되고 있는 yolk-shell 구조체 촉매의 개념도 93

[그림 3-3] 메탈 구조체 촉매 및 콤팩트 반응기 개념도 94

[그림 3-4] F-T 합성 반응에서의 메탈 구조체 촉매 및 열교환 반응기의 효과 94

[그림 3-5] 바이오가스 이용 기술 (Swedish Gas Center, 2007) 96

[그림 3-6] 국내 바이오가스 이용현황 96

[그림 3-7] Perovskite로 백금을 대체한 LNT 촉매의 NO_x 제거 활성 102

[그림 3-8] Pd/CeO₂ 촉매 구조에 따른 메탄 산화반응 거동 103

[그림 4-1] 사업의 목표 및 구조 109

[그림 4-2] 사업 추진 체계도 115

[그림 4-3] 중소·중견기업 참여 관련 규정 120

[그림 4-4] 차세대 촉매개발 사업 차별성 121

[그림 4-5] 예비타당성 조사 기획위원회 구성 123

[그림 6-1] 촉매 허브 센터 구축 및 운영 171

[그림 6-2] 사업 예정 입지로서 울산시 울주군 언양읍 유니스트의 위치 172

[그림 6-3] 촉매 허브 센터의 배치도 173

[그림 6-4] 촉매 허브 센터의 조감도 173

[그림 6-5] 촉매 허브 센터 운영 조직도 175

[그림 6-6] 석유화학/에너지/환경 분야 기대효과 185

[그림 7-1] 27대 중점 녹색기술 195

[그림 7-2] 산업기술로드맵과의 연계 197

[그림 7-3] 한국의 에틸렌 생산능력 201

[그림 7-4] 촉매분야에서의 주요 이슈 203

[그림 7-5] 해외 사례 및 시사점 206

[그림 8-1] 차세대 촉매 소재 및 공정의 협업형 R&BD 216

[그림 8-2] 소재 및 공정 기술의 원천-실용화 단계별 개발 217

[그림 8-3] 석유화학 분야 단계별 기술개발 목표 221

[그림 8-4] 에너지 분야 단계별 기술개발 목표 221

[그림 8-5] 환경 분야 단계별 기술개발 목표 222

[그림 8-7] 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발 특허동향 226

[그림 8-8] 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발 특허동향 227

[그림 8-9] 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발 특허동향 228

[그림 8-10] 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조 특허동향 229

[그림 8-11] 석유화학 사업의 기술별 집중도 230

[그림 8-12] 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조 특허동향 231

[그림 8-13] 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 특허동향	232
[그림 8-14] 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 특허동향	233
[그림 8-15] 에너지 사업의 기술별 집중도	234
[그림 8-16] 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발 특허동향	235
[그림 8-17] CO ₂ 활용 촉매 개발 특허동향	236
[그림 8-18] 환경 사업의 기술별 집중도	237
[그림 8-19] 세부사업별 기술분야의 주요국 RTA값 비교	247
[그림 8-20] 세부사업별 관련 기술분야의 주요국 RPA값 비교	247
[그림 8-21] 과제 검색 → 1차 필터링 → 2차 필터링 → 추가 조사	252

I

사업 추진배경

1. 촉매기술의 중요성
2. 차세대 선도형 촉매의 정부지원 필요성

사업 추진배경

1. 촉매기술의 중요성

가. 촉매기술의 산업 및 경제적 중요성

- 촉매란 자신은 변하지 않으면서 화학 반응이 손쉽게 일어나도록 도와주는 고효율, 고부가가치 및 친환경적인 화학, 에너지 공정에 필수적인 물질로 “마법의 돌 (Magic Stone)”이라 불림



[그림 1-1] 촉매기술의 중요성

- 2차 세계대전 후에는 석유를 원료로 하는 새로운 합성프로세스가 새로운 촉매의 발견에 의해 계속 개발되어, 종래와 전혀 다른 제조기술이 화학공학의 진보와 함께 대규모 공업화를 가능케 함
 - * 프로필렌의 암옥시데이션 촉매에 의한 아크릴로니트릴의 합성, 지글러촉매에 의한 폴리에틸렌의 합성 등
- 1980년대 자원절약, 에너지절약, 원료전환, 프로세스의 무공해화 등을 위한 기술개발이 활발하게 이루어 졌으며, 핵심기술인 촉매기술의 중요성이 높아짐
- 이에 따라 촉매의 개발도 종래의 시행착오적인 수단에서의 의존으로부터 현재는 컴퓨터를 이용한 촉매설계의 단계까지 이르게 되어 촉매개발의 속도 및 경쟁이 심화되고 있음

- 일렉트로닉스, 바이오테크놀로지, 신소재, 신에너지, 신약 등 첨단산업 분야에 있어서도 핵심적 기술요소의 하나로 위치하고 있음
- 석유자원 고갈, 환경규제 강화, 에너지비용 증가 등 국내외 에너지 위기 및 환경 문제에 촉매 기술개발을 통하여 에너지 절감, 유해물질 제거, 고부가가치 생산 등을 실현함으로써 국가 에너지정책 및 환경정책에 매우 중요한 역할을 함



[그림 1-2] 미래 트렌드 변화에 따른 촉매기술의 중요성

- 세계는 천연자원 고갈과 글로벌 환경 변화, 기술 패러다임의 변화에 대처할 수 있는 촉매 등의 화학공정소재 기술개발이 절대 필요한 시점
- 세계 화학산업은 중국과 중동을 양대 pole로 하는 성장축과 함께 잇따른 환경 변화 요인들이 복합적으로 작용할 것으로 예상되어 이를 극복하기 위하여 차세대 촉매기술의 선점과 기술개발 필요성이 매우 높음
- 차세대 촉매 기술은 친환경 소재 및 공정 개발, 에너지절감 및 에너지 전환소재, 자연순환형 소재, 범용제품의 고부가 특화제품을 개발 가능케 해주는 역할로 타 산업의 소재 및 공정에 미치는 영향이 매우 큼

- 현재 촉매기술은 자동차 배기가스 정화, 발전소의 탈질 등 공해방지, 연료전지, 수소 등 미래에너지원 개발, 조리용 오븐, 스토브 등 가정용기기에 이르기까지 그 이용분야가 날로 확대되고 있어 그 수요와 중요성은 계속하여 증가 중



[그림 1-3] 촉매의 다양한 부가가치

- 오늘날 화학공정의 85% 이상이 촉매를 사용하며, 이러한 화학시장의 성장과 관련해 촉매개발은 비례관계를 가짐
- Langmuir Research Institute에 의하면, 2012년 현재 촉매 시장 자체는 150억불(한화 약 16조원) 내외이지만, 촉매를 통한 총 생산 가치는 15조억불 (한화 약 1경 6,000조원)
- 촉매의 소요량은 촉매를 사용해 생산되는 제품량에 비해 극히 소량이고 제품의 원가에 미치는 촉매가격은 상대적으로 작지만 제품의 생산량과 수율을 좌우하는 핵심기술임
- 신촉매나 개량촉매는 이와 관련된 공정기술과 함께 일괄 기술로 판매되어 단순 촉매시장보다 촉매를 통한 신제품, 제품의 가격 경쟁력, 공정의 청정화 등 부가적인 경제 가치가 훨씬 큼
- 이러한, 신촉매의 개발은 신 공정 기술의 개발이며, 촉매의 개량은 화학 공정의 개선으로 자국내 기술혁신뿐 아니라 세계시장으로의 수출을 의미함

나. 우리나라 촉매산업의 현황 및 한계점

- 국내 화학기업들은 화학제품 제조공정의 90%와 전체 제조업의 20%에 해당하는 촉매공정 대부분을 기술도입으로 운영하고 있어 막대한 라이선스 비용을 부담하고 있는 상황
- 2000년대부터, 국내 석유화학 대기업 중심으로 초보적인 수준의 개발 단계이지만 촉매 개발을 시작하고 있음
- 삼성토탈은 2001년 막대한 설비투자가 뒤따라야 하는 메탈로센 촉매 프로세스가 아닌 비메탈로센 촉매를 개발해 기존 Ziegler-Natta 촉매 프로세스에 적용할 수 있도록 한 바 있으나 Ziegler-Natta 촉매 프로세스는 합성수지 제조 시 원하는 특성을 자유롭게 조절하기가 쉽지 않은 한계점이 있음
- LG화학은 메탈로센 촉매를 사용해 생산되는 PE, PP 등 합성수지 시장이 급성장할 것으로 전망하고 촉매 개발에 적극 나서고 있음
- SK는 독자 개발한 자일렌(Xylene) 생산용 촉매 ATH 11를 아시아 최대의 석유화학기업인 인디아 Reliance Industries에 공급하여 촉매 개발 역량과 우수성을 알리고 있음
- 위와 같이, 국내에서는 석유화학제품 생산용 촉매 위주로 개발을 시작하고 있으나 원천기술의 부족으로 아직 한계가 있는 것으로 지적되고 있음
 - * 신촉매/공정 기술 분야의 일류기업 대비 국내기업 기술수준은 미국(BF Goodrich)을 100으로 할 때 60~70(3~5년 정도 기술격차) 수준¹⁾
- 특히 프로세스와 연계하여 촉매 시스템을 개발하여야 하므로 촉매기술만을 개발하지 못하는 한계성을 가지고 있음

1) 2011 산업기술로드맵 화학공정분야, (지식경제부 2011)

- 국내 석유화학 플랜트는 거의 전부가 해외 기술을 도입해 가동하고 있고, 프로세스 설계에 대한 노하우를 이전받지 못하고 있기 때문에 촉매 관련 원천기술 부족에 따른 선진기업 및 선진국가의 기술장벽을 극복하지 못하고 있음
- 촉매는 화학공정의 경제성을 좌우하는 가장 중요한 요소로 주요 석유화학 프로세스의 촉매는 몇몇 Major 외국회사들이 기술을 독점하고 있어 기술력이 취약한 우리나라 기업들이 막대한 기술료를 내고 있는 실정임

[환경촉매 국산화 기대-물거품]

산업용 환경촉매인 탈질촉매 및 탈황촉매의 국산화 기대감이 물거품이 될 가능성이 높아지고 있다. 한국동서발전은 국내 최대 석탄화력발전소인 당진화력발전소 9호기 및 10호기 입찰에 대림산업과 Hitachi의 컨소시엄이 선정됐다고 7월6일 발표했다.

따라서 보일려는 물론 핵심 환경소재인 촉매까지 모두 수입제품이 채택될 가능성이 높아지고 있다. 촉매분야는 설계 단계부터 엔지니어링기업이 턴키 형태로 구매해 적용하고 있어 일부에서는 국산보다는 일본산 촉매를 채택할 가능성이 높은 것으로 예측하고 있다. 시장 관계자는 “대림산업과 Hitachi의 컨소시엄이 선정됐으나 핵심 설계는 Hitachi가 주도할 것으로 예상된다”며 “촉매는 엔지니어링과 설계 초기 단계부터 유기적인 관계가 요구되지만 핵심 설계에 국내기업의 참여가 어려울 것으로 예상됨에 따라 국산 촉매 사용 가능성도 희박하다”고 전했다.

<화학저널 2010/7/13>

- 따라서 촉매를 자급할 수 있는 기술을 보유하는 것은 화학공업의 자립을 뜻하고 세계시장으로의 진출을 의미함
 - 외국기술을 바탕으로 한 국내자체의 기술개발만이 선진국과 떨어져 있는 기술격차를 줄일 수 있을 것으로 판단되고 있으나, 아직 촉매 기술개발을 위한 정부의 지원정책 및 지원사업이 마련되지 못하고 있는 실정임
- * 한국 기술력(미국=100) : 생산 100, 응용 85, 공정 65, 촉매 45, 특화 45²⁾

2) 2011 산업기술로드맵 화학공정분야, (지식경제부 2011)

[표 1-1] 기술경쟁력 (중국 산업 및 산업기술경쟁력, 석유화학 보고서)

구분	기술(미국=100)			
	미국	일본	EU	한국
석유화학용 촉매	100	80~90	90	40~50
정밀화학용 촉매	100	90	90	30

2. 차세대 선도형 촉매의 정부지원 필요성

가. 세계 촉매시장의 높은 성장세

□ 세계 촉매시장 규모

- 세계 촉매시장의 규모 분석 자료는 조사기관 및 조사범위에 따라 시장규모가 다르게 나타남
- 각 조사기관들은 세계촉매시장이 높은 시장성장율을 유지할 것을 예상함

[표 1-2] 조사기관별 세계 촉매시장 규모

구분	World Catalysts	BASF 2011	BCC Research	WinterGreen Research
시장규모	128억 달러 (2009년 기준)	10조 달러 (2010년 기준)	163억달러 (2010년 기준)	32억 달러 (2011년)
시장규모예상	172억 달러 (2014년)	16조 달러 (2015년)	225억 달러 (2015년)	43억 달러 (2018년)
성장률	평균 6.3 %	평균 7%	-	-
범위	석유화학 촉매	에너지환경 촉매	에너지환경 촉매	석유화학 촉매

- 세계 촉매 시장은 2009년 128억 달러에서 2014년 172억 달러(한화 약 18조원) 수준으로 형성 될 것으로 예상되고 있으며, 연평균 6% 이상의 높은 시장성장율을 유지하고 있음³⁾

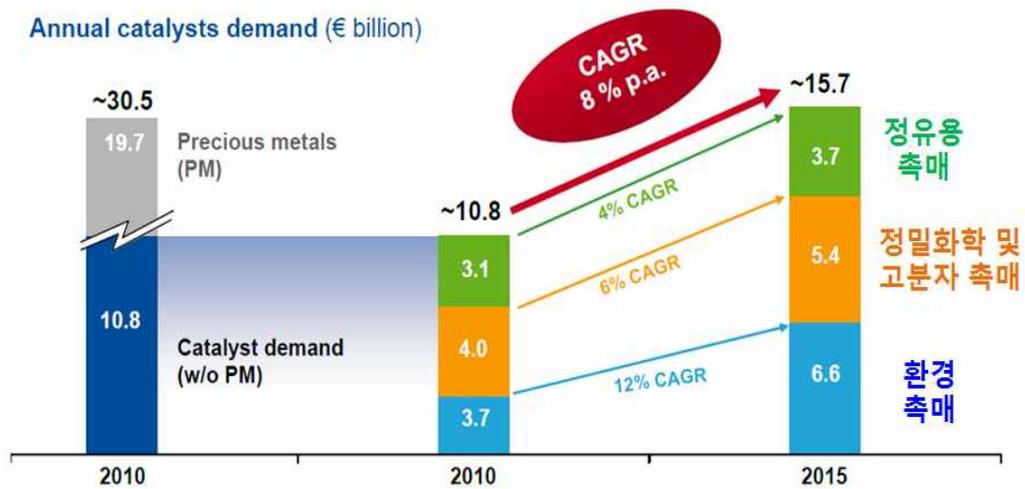
[표 1-3] 세계 촉매시장 규모

지역 (단위:백 만불)	2004	2009	2014	연평균 성장률(%)	
				2004-2009	2009-2014
전세계	9,470	12,830	17,200	6.3	6.0
북미	3,330	4,255	5,180	5.0	4.0
서유럽	2,500	3,075	3,895	4.2	4.8
아시아-태평양	2,405	3,640	5,360	8.6	8.0
기타 지역	1,235	1,860	2,765	8.5	8.3

- 세계 촉매시장은 화학제품, 고분자 제품의 합성 촉매 및 종합 촉매 시장의 높은 성장세와 중동, 아시아, 브라질 등의 신흥국의 수요증가로 급성장 할 것으로 예상되고 있음
- 천연가스 및 석유 정제 및 고분자 합성 촉매 시장의 지속적인 성장세와 석유의 수소화 분해, 유동식 접촉 분해 촉매의 상승추세 및 기타 이산화탄소 환원(광)촉매, 수소생산(광)촉매 등의 새로운 촉매 시장 생성으로 시장규모는 지속 성장 될 것으로 예상되고 있음
- 친환경/지속가능성 자원 및 에너지 산업 부흥, 오염물질 배출 경감 등의 환경규제 강화 등의 화학시장 트렌드 변화에 따라 세계 에너지·환경용 촉매의 수요는 급성장하고 있음⁴⁾

3) Freedonia Group이 발행한 "World Catalysts (Industry Forecasts for 2014 & 2019)"

4) BASF 2011



[그림 1-4] 세계 촉매시장의 산업별 구성비

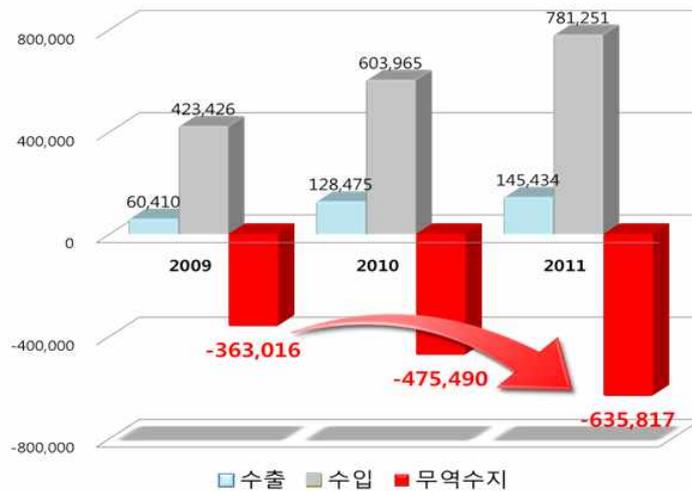
- 석유화학 촉매 세계시장 중 정유용 촉매 및 고분자 촉매는 평균 4-6% 수준으로 시장규모가 확대되고 있으나 환경 촉매 시장은 12% 수준으로 시장규모가 성장하여 촉매시장 내 그 비중과 중요성은 점차 증가하고 있음
- 최근, 셰일가스(Shale Gas)가 에너지 자원 및 화학, 자재산업에 급격한 변화를 유도할 것으로 예상되어 에너지·환경용 촉매의 높은 시장성장율과 더불어 산업적, 기술적 중요성 또한 더욱 높아질것으로 예상
- 에너지·환경용 촉매 시장은 2010년 163억달러에서 2015년까지 225억달러 (한화 22.5조원)를 넘어설 것으로 예상되고 있어 촉매시장 성장세를 견인⁵⁾
 - 차세대 에너지원으로 기대를 모으는 물의 에너지화(수소생산) 및 이산화탄소 환원을 위한 경제적인 광촉매 및 전기화학적 촉매 개발은 필수적이며, 이러한 촉매 개발 성공시 그 경제적 가치는 천문학적일 것으로 추정되며, 학문적으로 노벨상도 예상 가능
 - 수년 내에 본격화되는 연료전지 기반 수소자동차 시대를 맞이하여, 연료전지용 촉매의 개발도 필수적일 것으로 예상

5) BCC Research, Report Code: CHM020D, June 2010

- 석유화학 촉매 시장은 2011년 32억달러에 달하였으며, 최근 강화되고 있는 각국의 환경규제 등으로 인해 2018년에는 43억달러(한화 약 4.8조원)로 성장 할 것으로 예상되는 등 시장의 미래는 매우 밝은 편임⁶⁾
- 해외 석유화학 및 엔지니어링 업체들이 거대 자본과 기술축적을 통해 노하우를 축적한 반면, 대규모 투자와 장기간 기술개발이 어려운 다수의 국내 기업들의 기술 개발 수준은 미미한 편으로 석유화학 촉매 시장 성장세에 부합하는 정부지원 주도의 원천기술확보가 시급함

나. 차세대 선도형 촉매 개발을 통한 무역역조 극복

- 국내 촉매산업은 대표적인 무역역조 산업으로 기술 선진국과의 기술격차로 인하여 무역수지 적자가 계속하여 누적되고 있는 상황이며 2011년 적자 규모는 635백만불에 이르고 있음⁷⁾



[그림 1-5] 촉매분야 수출입 통계 (단위: 천불)

6) WinterGreen Research, "Refinery Catalyst Market Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide, 2012 to 2018"

7) 수출입무역통계 HS code : 3815(촉매)

- 촉매 등의 소재 기술수준 격차가 단기간에 해소되지 않고 있는 국내 현실로 인하여 부품소재의 대일 무역적자 해소와 부품소재 자립화를 위하여 추진되었던 ‘부품소재 특별조치법’이 10년 연장되는 등 소재 분야의 대일 무역적자는 만성화 되어가고 있음⁸⁾
 - 석유화학용 공정촉매, 환경용 자동차 촉매 등은 희성촉매, 오텍, LG 화학 등의 국내 기업이 생산하고 있고 환경 촉매의 경우 국내수요량 대비 생산량이 98%에 이르고 있으나 국내 보유기술에 의한 생산은 약 3% 수준에 그치고 있음
 - 국내 석유화학 촉매 생산규모는 국내 수요량의 5~10% 수준에 머물고 있음⁹⁾
- 촉매기술은 이를 이용하는 산업에서 그 부가가치가 높은 핵심기술이기 때문에 기술료를 받고 공정기술을 라이선싱할 뿐 기술이전을 기피할 정도로 화학산업의 핵심기술임
- 촉매기술은 촉매 그 자체가 제조기술로부터 이를 이용해 화학제품을 생산하기까지 이와 관련된 공정기술을 망라한 종합기술임
 - 촉매 제조에 관한 공정을 포함한 기술들은 상업적인 이유 등으로 철저히 베일 속에 가리워진 상태로서, 거의 독점적 특허 및 상업적인 공정에서의 사용으로서 영구적으로 독점적인 대상임¹⁰⁾
 - 국내에서도 이의 중요성을 인식하고서 연구조합을 결성하여 연구 및 제조와 적용을 오랜 기간 진행해 왔으나, 기술적, 경제적인 한계에 부딪혀서 그 효과가 미미한 실정
 - 특히, 글로벌 메이저기업 들은 지속가능한 성장전략으로 M&A와 연구개발(R&D)투자를 확대하는 등 규모의 경제와 전문화 강화, 글로벌 네트워크를 구축하고 있어 촉매기술 투자가 부족한 우리나라의 촉매 무역역조 현상은 더욱 심화될 가능성이 높음

8) 산업연구원, 한중일 부품소재 무역현황(2010)

9) 희성촉매 내부 시장자료 (2012)

10) 촉매 : 제조공정 및 귀금속 회수공정과 경제성 분석 (도서출판 ITC, 2000)



[그림 1-6] 세계 주요 기업수의 축소 (26→10개)

- 촉매산업의 무역역조 개선을 위하여서는 차세대 촉매소재 및 촉매공정의 원천기술 동시 확보와 이를 바탕으로 한 기업의 실용화기술개발 등 정부의 전주기적인 기술개발지원과 대규모 투자가 매우 시급한 실정

['다이옥신 저온 제거촉매' 개발 .. 매그린, 한전.현대모비스와 공동]

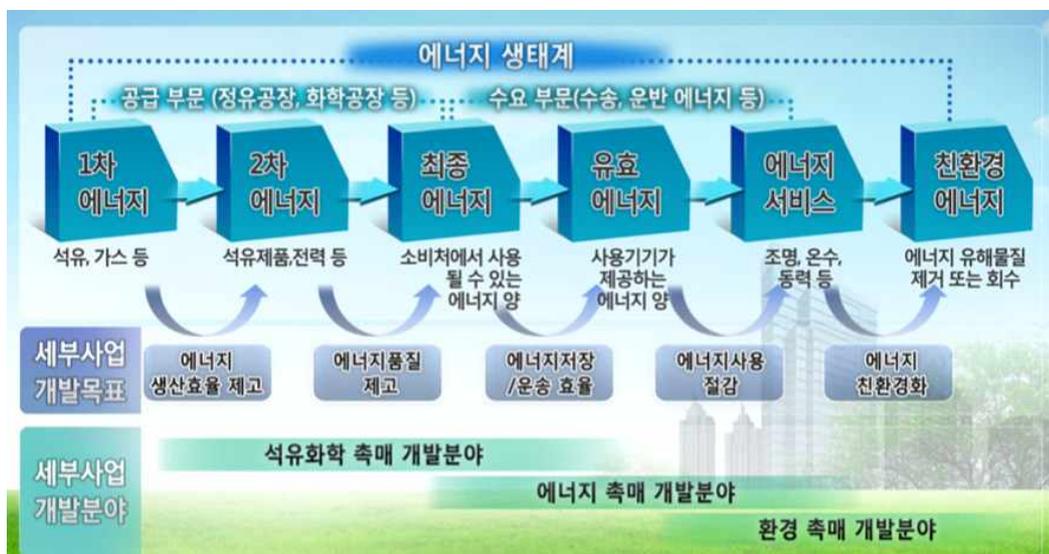
쓰레기 등을 태우는 소각로에서 배출되는 유해물질인 다이옥신을 저온에서 크게 줄여줄 수 있는 촉매가 개발됐다. 매그린(대표 조성종)은 한국전력기술(대표 박용택) 및 현대모비스(대표 박정인)와 함께 저온에서 다이옥신을 90%이상 제거해주는 촉매를 개발했다고 23일 밝혔다.

다이옥신을 없애기 위해 현재 사용되고 있는 촉매는 섭씨 2백50도에서 3백50도까지의 고온 상태를 필요로 한다. 하지만 이번에 개발된 촉매는 2백15도 정도만 돼도 다이옥신을 제거할 수 있어 처리비용을 60%이상 줄일 수 있다고 회사측은 설명했다. 매그린 연구진은 한국에너지기술연구소 박종수 박사, 홍성창 경기대 교수와 4년간의 공동연구 끝에 촉매를 개발했다. 환경부 산하 환경관리공단 중앙검사소에서 이 촉매의 품질을 검증받은 매그린은 쓰레기 소각로에 사용해 성능을 입증받은 뒤 연내 상용화할 계획이다. 조성종 대표는 '이번 신촉매 개발로 국내 다이옥신 촉매 시장에서 연간 1백억원의 수입대체 효과가 기대된다'고 말했다.

<한국경제 2008/6/11>

다. 차세대 촉매산업 생태계 구축하여 미래시장 선점

- 청정에너지 생태계 전반적인 선점이 가능한 차세대 촉매 원천, 실용화 사업 및 과제 추진을 통해 고부가가치 창출
- 전반적인 에너지 생태계를 6단계로 구분하고, 1차 에너지에서 친환경 에너지까지의 각 단계에 따른 세부사업 개발목표 및 개발분야를 정하였음
- 울산 주력산업인 석유화학산업을 차세대 에너지산업으로의 전환함에 따라 울산지역산업의 고부가가치 창출 실현



[그림 1-7] 에너지생태계 전반에 따른 세부사업 및 목표

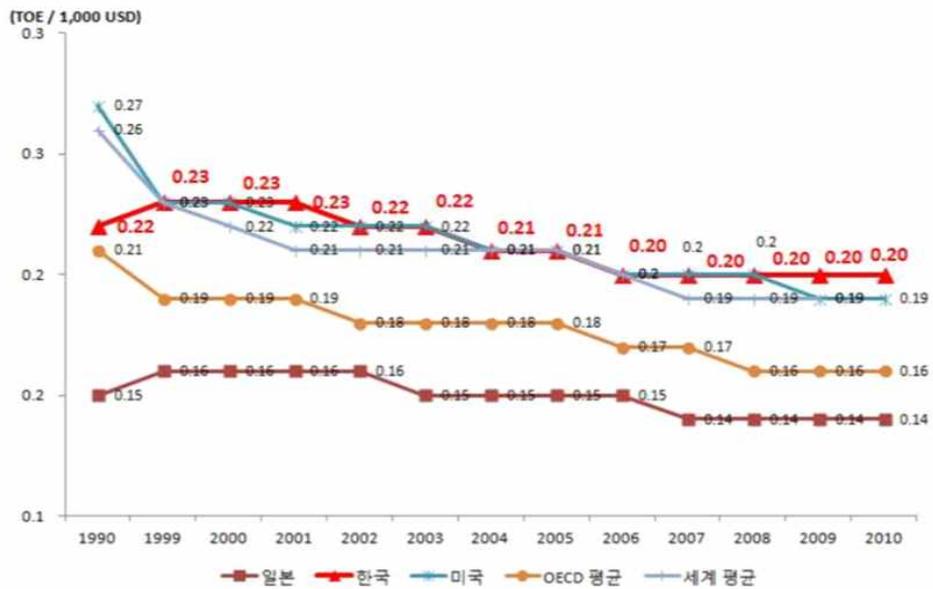
- 글로벌 환경변화 및 규제로 인해 긴박하게 성장하는 에너지 생태계 변화에 적극 대응 필요
- 중국 및 중동의 석유화학산업 호조와 미국·유럽·일본의 환경규제 강화로 인한 촉매산업 수요급증
 - 각종 연료에서 오염물질 배출경감을 의무화하는 각국의 규제로 암모니아·메탄올·원유·가스 촉매 시장이 나날이 성장하고, 천연가스가 청정연료로 부상하고 있어 관련기업들이 촉각을 곤두세우고 있음
- 이에, 촉매산업 관련 메이저기업들은 세계시장 진출 가속화하는 한편, 신기술을 도입해 촉매 수요폭증에 대응

□ 주요국 과학기술 경쟁 심화와 자국 기술 보호 정책 강화 등 혁신적 기술 중요성 증가에 따른 새로운 성장동력의 모색

○ 우리나라 에너지 효율성은 선진국 대비 낮으며, 에너지 소비의 경우 주요국에 비해 높은 수준으로 소득 수준 대비 에너지 다소비 국가임¹¹⁾

- 2006년 이래 TPES per GDP가 0.20TOE를 유지함

· TPES per GDP('10년) : 한국 0.20, OECD 평균 0.16



[그림 1-8] 주요국의 TEPS per GDP 추이

- 1인당 에너지 공급량 연평균 증가율은 2.36%로 주요국과 비교할 때 높은 수준

· 1인당 에너지 공급량('10년, TOE) : 한국 5.05, OECD 평균 4.40

[표 1-4] 1인당 에너지 공급량의 연평균 증가율(2000~2010)

한국	독일	프랑스	영국	일본	미국	OECD
2.36%	-0.1%	-0.15%	-1.43%	-0.47%	-1.11%	-0.42%

- 또한, 우리나라의 원자력 에너지 비중은 OECD 평균보다 높은 수준이나 재생에너지의 경우 세계 하위권을 기록

11) 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 통계브리프 OECD 자료로 살펴본 세계 에너지 현황(2012년 28호)

- 현재 국내 대부분의 촉매 기술은 수입에 의존하고 있으나, 지속가능한 국가 성장발전을 위해서는 독창적인 원천 기술 확보 및 새로운 생태계 구축 필요
 - 기존 기술개발은 수입 촉매 및 수입공정 기반으로 원천기술에 대한 부재 상태에서 개선 및 활용기술만 진행

['화학산업 4.0' 지식경영으로 앞선다! 중 특허·원천기술'은 기업의 혈액]

화학업계의 '특허 전쟁'은 어제 오늘 일이 아니다. 언론에 노출되는 것만 한 해에 수십건에 달한다. 화학산업은 타 제조업에 비해 다양한 소재가 융합되고, 복잡한 여러단계의 공정을 거쳐 만들어지는 특성을 갖는 이유다. 특허 시비에 휘말릴 경우 오랜 시간 쌓아온 기업이미지 실추는 물론 회사 재정이 휘청거릴만큼 경제적 타격을 입을 가능성도 크다. 이에 석유화학업계 리딩컴퍼니인 LG화학은 특허와 관련된 모든 활동을 사업부문의 전략과 연계해 남보다 '먼저' 선점하고, '빨리' 리스크를 제거하는 한편, '자주' 특허현황을 점검하고 있다.

<EBN/2011/10/31>

□ 에너지 산업 집적도가 높은 울산지역은 창조경제 패러다임에서 새로운 고부가가치 창출할 수 있는 선도형 차세대 촉매산업의 생태계 구축을 통한 국가 아젠다 가시화에 있어서 가장 적합한 지역임

- 기존 석유화학 및 자동차 등의 주력산업 인프라 활용
 - 산업의 집적지인 울산은 기존 R&D 추진체계정비가 필요함
 - 산·학·연·지역 연계를 통해 지역대학, 산업, 연구소, 지자체를 부가가치가 높은 차세대 촉매 산업을 매개로 하는 융합 공동체로 육성
 - 이에 따라, 기존 인력들의 재교육 및 신규 일자리에 대한 인력 채용 필요
- 이를 통해 창조기업, 창조계층을 보유하고 있는 창조도시¹²⁾로의 차세대 촉매산업 클러스터 구축이 가능함

12) 한국과학기술기획평가원 이슈페이퍼, 창조경제 개념과 주요국 정책분석(2013년 01호)
 (창조기업) WIPO는 '자신만의 창조성, 기술 및 재능을 기반으로 지식재산 생성과 이용으로 경제적 가치와 일자리 생성이 가능한 기업'으로 정의 (창조계층) 문화예술, 특정분야 전문가 및 관련 분야 지식집약형 산업 종사자 → 기존 범위를 포괄하며 아이디어, 기술보유자 등 일반 국민을 포함하는 등 범위를 확대 (창조도시와 창조클러스터) 창조산업이 도시경제의 주요기반이 되는 도시를 뜻하며, 창조도시에는 과학기술의 발전, 재능있는 사람, 그리고 다양한 문화가 공존하는 사회

- 지역 GDP가 1위인 울산지역의 국가 R&D개발 사업 투자현황은 2011년 1,384억원(비중 1.0)으로 16개도 중 15위 차지(제주도 16위임)하였고, 이 중 기업 연구개발비가 차지하는 비중은 88.8%로 우리나라 전체의 기업 비중(76.5%)보다 상대적으로 높게 나타남¹³⁾
 - 이는 기업들의 자발적인 R&D 노력이 크다는 것을 의미함
 - 상대적 비중에 비해 촉매에 대한 원천기술투자상황은 미비한 정도임
- 이러한 울산 지역의 장점을 활용한다면 정부지원을 통한 자율적 생태계 구축은 최근 6년간 지속되고 있는 GDP 2만불의 벽을 뛰어넘을 수 있는 발판 역할을 할 것임
- 또한, 차세대 촉매 특성상 소재 및 공정이 동시 개발되어야만 의미가 있으므로 대-중소기업 상생형 기술개발을 통한 동반성장형 성과창출 가능할 것임
- 소재 및 공정 개발에 있어 대-중소기업이 상호 개발에 참여하여 원천기술부터 사업화까지의 전주기 참여
 - 차세대 촉매산업은 기존의 Smart-Follower로서의 촉매산업과는 다른 First-Mover를 지향하고 있으며, 기술개발은 Business Solution을 도출하는 것을 목표로 하는 R&BSD(Research & Business Solution Development) 성격을 지님

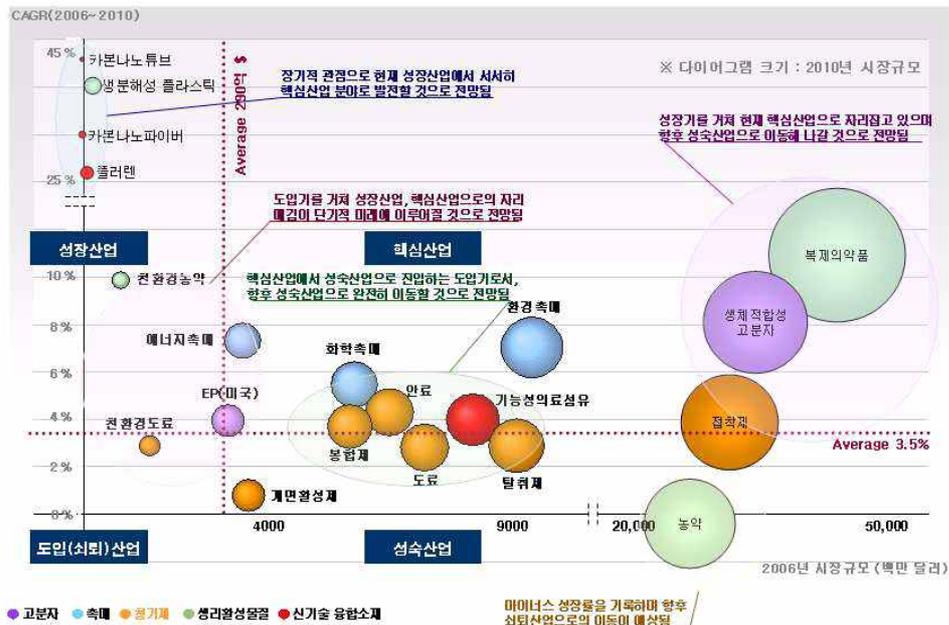


[그림 1-9] 촉매산업의 생태계 구축을 통한 국가 아젠다 가시화

13) 한국과학기술기획평가원, 지역별 연구개발활동 현황 분석(2012년 24호)

라. 울산시의 촉매 허브 역할 필요

- 촉매산업은 울산시에서 집적도가 매우 높은 산업인 동시에 동남경제권인 울산, 부산, 경남의 지역간 산업연관효과가 큰 산업이지만 정부의 지역선도산업육성 지원사업에서 촉매산업이 포함된 화학산업이 누락되어 정책적 지원이 이뤄지지 않고 있는 실정
- 광역권별 산업입지계수(Locational Quotient)를 이용하여 권역별 산업의 특화도(총생산액 기준)를 살펴보면 동남권은 석유산업(2.739)이 가장 높게 특화되어 촉매의 수요와 사회파급성이 매우 높은 산업으로 파악됨¹⁴⁾
- 또한, 생산유발효과의 경우 화학산업(1.704)이 다른 산업에 비해 동남경제권에서 가장 큰 것으로 나타나 전국 석유화학산업 생산량의 36%를 차지하고 화학기업이 집적해 있는 울산시가 촉매산업을 집중 육성할 경우 울산시 및 동남경제권에 높은 파급효과가 예상됨
- 화학산업 중 시장규모와 시장성장율을 분석한 결과, 환경촉매, 석유화학촉매, 에너지 촉매 순으로 촉매분야는 핵심산업군에 속해 있음



[그림 1-10] 화학산업 내 핵심산업군 분석

14) 2003년 지역산업연관표 (한국은행자료, 2007)

- 대규모 투자 및 장기소요가 필요한 축매산업 생태계를 고려하면 단일 기업의 스택화 및 수직계열화가 불가능할 것으로 예상되므로 단지의 집적화 및 클러스터를 통한 스택화가 필요함
- 축매 연구에는 축매 제조 장비부터 축매 특성 파악에 필요한 분석장비, 축매의 활성을 평가할 평가장비가 필요함으로 축매 연구의 원활한 진행을 위해 축매 관련기업의 연구역량을 집적화 시키고 일괄 지원할 수 있는 시스템 마련이 필요
- 연구 집적 시설을 통한 안정적인 연구환경 조성으로 연구성과 향상 및 신규연구 인력의 안정적인 공급에 기여 가능
- 축매 소재원천기술을 보유한 대학과 축매 공정기술력이 뛰어난 중소기업 간 지식의 교류 및 네트워킹으로 연구 시너지 효과를 창출하여 글로벌 경쟁력 확보
- 최신식 일괄 연구시설이 갖추어진 축매허브센터는 해외 우수 축매연구 조직 유치와 글로벌 축매 클러스트 추진을 통한 글로벌 축매 연구 교류회 등의 행사 및 설명회를 정기적으로 개최 실시
- 축매허브센터를 중심으로 축매산업 생태계를 조성하여 진화발전시키므로써 창조경제 구현을 위한 신산업을 창출함
- 축매허브센터를 신산업 창출을 위한 STSI(Science Technology System Integration) platform 역할을 담당하는 창조경제 구현 중심축으로 활용함

II

축매관련 국내외 R&D 정책 및 시장 동향

1. 주요국 R&D 정책 동향
2. 축매시장 동향

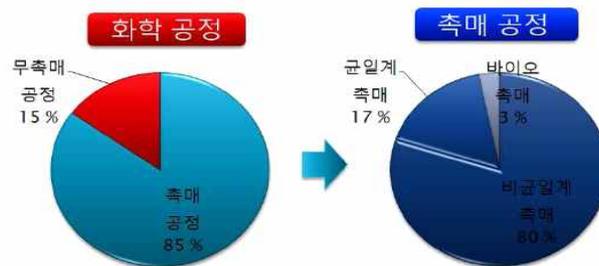
촉매관련 국내외 R&D 정책 및 시장 동향

1. 주요국 R&D 정책 동향

1.1 정책동향 메가트렌드

□ 세계 각국의 촉매관련 정책동향

- 각국 정부 및 글로벌 화학 기업들은 산업적 수요와 정책적 수요에 따라 촉매산업에 대한 투자와 기술개발에 활발한 움직임을 보이고 있음
 - 화학공정의 85%이상이 촉매를 사용하므로 화학산업의 성장은 촉매산업의 동향과 비례하여 성장하는 밀접한 관계를 맺고 있음
 - 특히 최근에는 기존의 화학산업과 관련된 수요 뿐 아니라, 전 지구적 환경규제와 관련된 정책적 수요로 인해 촉매기술개발에 있어서 특정 국가에 한정된 움직임이 아닌 범세계적 관심이 고조됨



자료 : KONETIC Report

[그림 2-1] 화학산업과 촉매산업의 관계

- 최근 중국 및 중동의 석유화학산업 호조와 미국, 유럽, 일본시장의 강세로 촉매산업이 호황 국면을 보이고 있어 글로벌 메이저 업체들은 세계시장 진출을 가속화 하는 한편, 신기술을 도입해 촉매 수요폭증에 대비하고 있음
 - 2008년 글로벌 경기침체 이후 촉매의 세계적인 수요 확대에 따라 화학합성 및 석유정제, 중합에 이용되는 촉매가 강세를 보이며, 연간 6%이상의 성장세를 보이며 시장규모가 확대될 전망이다¹⁵⁾

15) World Catalysts Industry Forecasts for 2014 & 2019(Freedomia Group)

- 한편, 오염물질 배출경감을 의무화하는 규제로 천연가스나 바이오원료가 청정연료로 관심을 받고 있어 각국 정부가 촉매를 곤두세우고 있으며 이에 따라 암모니아, 메탄올, 원유, 가스 촉매시장이 나날이 성장하고 있음
 - 중동 및 아시아 지역에서는 황 함유량이 적은 연료 사용을 규정하는 법안이 입법화되면서 Hydroprocessing 촉매 및 정제수소 수요촉진
- 이러한 흐름에 따라 각국 정부에서 추진하는 촉매기술개발 지원 역시 기존의 화학산업과 연계된 촉매분야 육성과, 에너지·환경 분야 규제 대응에 요구되는 촉매기술의 개발 측면에서 이루어지고 있음

1.2 미국 및 EU

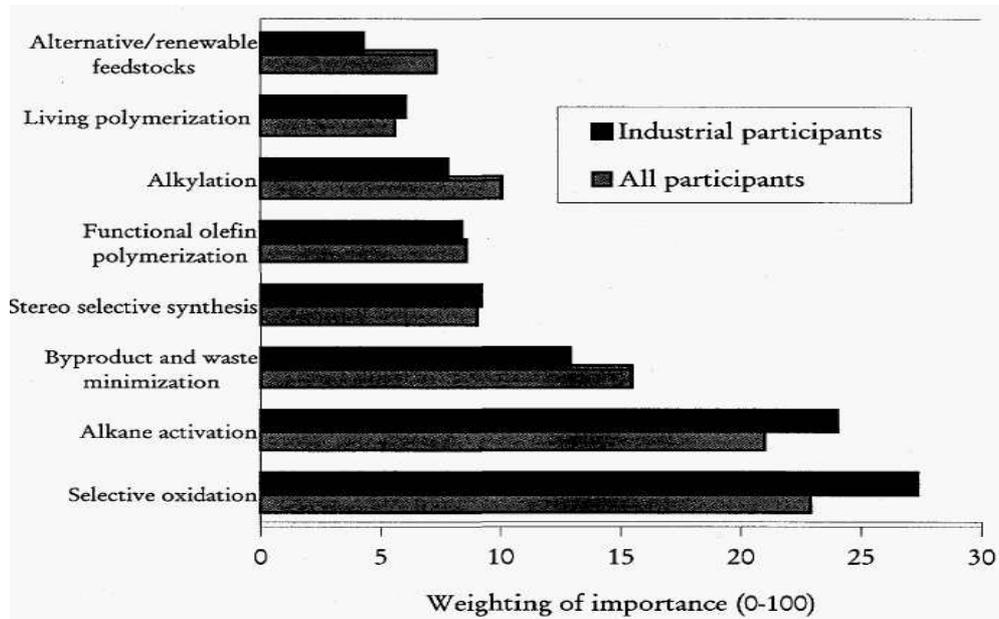
□ 미국 : 로드맵을 기반으로 장기적 촉매산업 육성

- 미국은 1997년 이미 Sandia National Lab에서 촉매 산업 로드맵 ‘vision 2020’을 작성하는 등 중장기적으로 촉매기술개발을 통한 산업 활성화 방안을 검토해온 바 있음
- 로드맵 작성에 참여한 연구원들의 인식에 의한 시급한 연구분야 선정은 아래 표와 같음

[표 2-1] 미국 Vision2020 로드맵에서의 촉매분야

Catalyst Technology	Industry	ALL
Selective oxidation	27	23
Alkane activation	21	21
Byproduct and waste minimization	13	15
Stereoselective synthesis	9	9
Functional olefin polymerization	8	9
Alkylaton	8	10
Living polymerization	6	6
Alternative feedstocks and renewables	4	7

자료 : Sandia Report(1997)



[그림 2-2] 촉매의 산업 영향력 평가

- 한편 미 에너지부(DOE, Department of Energy)에서는 미래 에너지 문제를 해결하기 위한 열쇠로서 촉매의 중요성을 강조하며 그린 반응의 촉매화 연구를 포함, 환경·에너지 분야 촉매기술을 중점적으로 지원하고 있음
 - '07년 8월 개최된 ‘에너지를 위한 촉매(Catalysis for Energy)’ 워크숍에서 130여명의 산·학·연 촉매전문가가 참석, 원유 의존도가 높은 미국의 근본적인 문제를 해결하기 위한 방안으로서 촉매를 이용한 대체에너지 생성에 관한 논의를 진행
 - 촉매관련 물리, 수학, 화학, 생물 등 기초연구부터 선진 바이오연료 전환 기술 로드맵 하의 생물촉매연구, 연료전지 촉매 개발 등 전 과정 및 분야에 걸친 연구가 활발히 수행됨

□ EU : 에너지 촉매 및 환경촉매 분야 투자 집중

- 최근 5년 간 아시아 시장의 약진으로 다소 주춤하고 있으나 EU지역은 전통적으로 화학산업에서 강세를 보여 왔고, 자연스럽게 화학시장의 성장과 직결되는 촉매에 대한 집중적 투자가 정부 및 민간 차원에서 활발히 이루어져 왔음
 - 촉매관련 연구로 수많은 노벨상 수상자가 배출되는 등, 연구개발 수준이 높고 지속적인 연구가 이루어지고 있음

[표 2-2] 유럽의 촉매 및 효소분야 역대 노벨상 수상내역

연도 및 수여자	연구내용
1909 Wilhelm Ostwald	촉매와 화학평형 및 반응속도연구
1918 Fritz Haber	암모니아 합성 촉매 개발
1918 Arthur Harden, Hans von Euler-Chelpin	당의 발효와 효소작용의 관계연구
1929 Carl Bosch, Friedrich Bergius	암모니아 합성 연구, 고압화학 연구
1968 Karl Ziegler, Giulio Natta	고분자 합성
1972 Christian Anfinsen, Stanford Moore, William H. Stein	리보핵산가수분해효소 분자구조 해석
1997 Paul D. Boyer, John E. Walker, Jens C. Skou	ATP 합성효소를 발견
2001 William S. Knowles, Ryoji Noyori, K.Barry Sharples	촉매를 이용한 비대칭 합성기법 개발
2005 Yves Chauvin, Robert S. Grubbs, Richard R. Schrock	올레핀 화합물의 재배열반응
2007 Gerhard Ertl	촉매표면의 화학반응 절차규명

- 최근에는 EU의 에너지정책 및 환경정책에 따라 촉매 연구개발 투자가 큰 영향을 받고 있으며, 특히 공동이행제도, 청정개발체제, 배출권 거래제도의 적극적 도입은 환경촉매 개발에 박차를 가하고 있음
 - 환경촉매는 EU, 미국, 아시아, 일본, 중남미 등 자동차 등의 산업부문 질소산화물(NOx), 다이옥신(Dioxin) 배출 경감을 의무화하고 있는 지역에서 환경규제 강화로 호황을 누림
- 유럽연합의 최대 펀딩 프로젝트인 FP(Framework Program)는 제 6차 FP부터 촉매관련연구를 지원하고 있으며 현재 제 7차 FP에서는 22개의 촉매연구에 관한 프로젝트를 본격적으로 수행하고 있음
 - 6차 FP에서부터 EUROCOMBICAT을 설립하여 유럽 촉매연구개발에 따른 프로젝트 및 세미나를 지원
- 특히 전통적 화학산업 강국인 독일에서는 국가정책 및 유럽연합의 연구개발 프로그램, EU의 정책에 따라 공개된 협의 하에 촉매연구정책이 수립되고 있으며 별도 기구 설립을 통해 전략적으로 촉매기술개발을 수행하고 있음
 - 독일연방교육연구부(BMBF)는 독일의 촉매연구에 대한 주도권 확립을 위해 2000년 촉매에 관련된 핵심역량 네트워크인 ConNeCat을 설립
 - 산·학·연 협력연구를 위한 대규모 프로젝트의 자금조달을 지원하고,

촉매기술에 관련된 효율적인 정보교류, 홍보 및 교육지원에 대한 업무를 수행

- 산업 및 비 산업 연구기관의 9명으로 구성된 관리평의회에서 경영정책 및 전략을 결정함
- 현재 독일의 촉매 연구는 환경촉매와 에너지촉매 개발에 집중



자료 : KONETIC Report

[그림 2-3] 독일의 촉매 연구개발 동향

□ ICCA(International Council of Chemical Associations)

- 미국화학공업협회(CMA)와 유럽화학산업협회(CEFIC)가 주축이 되어 활동하고 있는 국제화학단체협의회(ICCA, International Council of Chemical Associations)는 선진화학공업국을 중심으로 화학산업의 지속가능한 발전을 선도적으로 추진
- ICCA의 Energy & Climate Change Leadership Group (E&CC LG)은 그 일환으로 IEA와의 공동작업 하에 온실가스 감축에 기여할 수 있는 기술로드맵을 작성한 바 있으며 바이오에너지, 에너지고효율 건축물과 함께 촉매분야에 대한 로드맵 발표
 - Catalysis Technology Roadmap은 화학산업 전반의 CO₂ 배출 감소, 그린에너지 기술 발전, 에너지 효율화 등의 핵심적인 역할로서 촉매기술 발전 계획을 수립하고 있음
 - 촉매는 모든 프로세스 상에서 일어나는 화학반응을 최적화시킬 수

있는 핵심요소로서 그 중요성이 강조됨



[그림 2-4] IGCC Catalysis Technology roadmap

1.3 일본

- 산·학·연 장기협력연구를 통한 촉매산업의 신성장동력화 추진
 - 일본 경제 산업성은 새로운 촉매 및 재료개발을 위한 기초연구 추진 정책을 수립하여 기존 백금촉매 등의 대체를 통해 배터리, 연료전지 분야의 경쟁력 강화를 추진
 - Cool Earth 에너지혁신 기술계획(2008.3)에서 에너지 산업 육성 방향의 한 항목으로 기술의 약진(Breakthrough)을 실현하기 위한 기반기술로서 촉매의 중요성을 강조
 - 또한 산업기술 종합연구소를 중심으로 대학, 화학기업이 컨소시움을 형성해 10년간 장기연구에 착수할 방침이며, 기술연구조합 설립을 통해 화학 메이저기업들의 독자적인 기술개발을 통합하는 All Japan 추진체제를 구축할 예정

- 이러한 R&D정책의 일환으로 이산화탄소(CO₂)와 물에서 수지 원료를 제조하는 기술 개발에 착수해 태양광으로 물을 분해해 얻은 수소와 공기 중 이산화탄소에서 올레핀(Olefin)을 생성할 계획을 수립
 - 요소기술로 광촉매의 에너지 변환효율을 2012년 0.3%에서 2021년 말에는 30배 이상으로 향상시키고, 합성촉매는 2016년 말 올레핀 수익률 80%를 목표로 하고 있음
 - 고효율 수소를 제조를 위한 광촉매의 대한 연구 및 투자를 통해 기존 400나노미터 이하의 적외광만 흡수하는 광촉매에서 400-800 나노미터의 가시광을 흡수, 이용 가능한 광촉매 개발 계획수립
 - 비용 문제와 조달난이 예상되고 있는 희귀금속(Rare Metal)을 사용하지 않고 대표면적과 물질의 확산성을 양립한 모듈을 개발할 예정
 - 광촉매의 에너지변환 효율을 2014년 1%, 2016년 3%, 2019년 7%의 향상을 목표로 2021년에는 2012년의 30배 이상인 10%를 달성하여 보다 적은 비용으로 안전하게 수소를 양산하기 위한 기술기반 확보 계획을 수립하고 있음

- 일본의 GSC상 수상 기술은 2002년부터 2009년 사이 총 29종이며, 이중 새로운 촉매를 사용한 합성기술개발이 두 번째 비중을 차지함

2. 촉매시장 동향

2.1 세계 촉매시장

□ 최근 환경변화 및 규제 등으로 급격하게 성장하는 촉매산업

- 중국 및 중동의 석유화학산업 호조와 미국·유럽·일본의 환경규제 강화로 인한 촉매산업 수요급증
 - 각종 연료에서 오염물질 배출경감을 의무화하는 각국의 규제로 암모니아·메탄올·원유·가스 촉매 시장이 나날이 성장하고, 천연가스가 청정연료로 부상하고 있어 관련기업들이 촉각을 곤두세우고 있음
- 이에, 촉매산업 관련 메이저기업들은 세계시장 진출 가속화하는 한편, 신기술을 도입해 촉매 수요폭증에 대응

□ 세계 촉매 시장매출규모는 약 120억달러로 2008년까지 연평균 3.7% 증가할 전망이다

- 미국·유럽·일본을 제외한 세계 촉매 매출은 2003년 28억달러, 2005년에도 5.0%정도 증가한 것으로 추정
 - 미국은 2003년 42억달러에서 2005년 3.0%, 서유럽은 33억달러에서 3.7%, 일본은 17억달러에서 3.2% 증가에 그침
- 2003년 미국, 유럽, 일본의 중합촉매(Polymerization Catalyst) 매출은 18억달러에 달했고 폴리올레핀 촉매가 10억달러로 중합촉매 시장의 55%를 차지

2.2 메이저 기업 동향

□ (미국) Shell·ART, 석유화학용 촉매 호조

- Shell Chemicals의 촉매사업부 CRI Catalysts의 매출액은 EO(Ethylene Oxide) 촉매가 연평균 8-10%, 친환경촉매가 7-8% 신장하고 있음
 - EO 촉매는 중국의 EG(Ethylene Glycol) 및 폴리에스터 부문의 성장

으로, 친환경촉매는 Nitrogen Oxide 및 다이옥신(Dioxin) 배출 감축을 의무화하는 환경규제 강화조치 때문에 호황을 누리고 있음

- ART(Advanced Refining Technologies; Grace Davison과 Chevron의 합작기업)는 촉매사업의 가동률이 높아 수요기업들의 장기구매 계획 늘어 중장기 계약거래 강화
 - ART는 차세대 CATfeed Hydrotreating 촉매의 2006년 상품화를 목표로 석유화학기업들의 수요 증대와 환경규제 강화로 Hydroprocessing 촉매 매출이 2010년까지 30-40% 증가할 것으로 전망
 - 또한, 수요기업들의 요구가 증대돼 수명이 길고 품질이 좋은 촉매 개발노력이 피할 수 없는 대세라고 강조
- ExxonMobil의 촉매사업부 매출은 2004년 10% 증가했고 자일렌(Xylene), Ethylbenzene, Cumene 제조기업들의 수요가 호조를 보여 2005년에는 20% 증가한 것으로 추정됨
 - 정유설비의 Hydrodearomatization 및 Desulfurization 공정에 활용되는 최신 Hydroprocessing 촉매수요가 급증하고 있기 때문

□ (독일)Engelhard·JM, 자동차 성장 타고 관련 촉매산업 호조

- Engelhard는 원유 1배럴당 휘발유 생산량을 극대화할 수 있는 신 촉매 NaphthaMax II 런칭
 - 최근 중국 NCIC(Nanjing Chemical Industry)의 합성가스 촉매 부문 인수
 - 합성가스는 GTL(Gas-to-Liquid) 및 MTO(Methanol-to-Olefin) 공정에 활용되며 대체연료 등의 제조에 이용되며, 도래하는 가스경제 시대의 필수 아이템으로 청정연료 수요가 증가할 전망이어서 큰 기대를 걸고 있음
- JM(Johnson Matthey)은 중국 Shanghai 소재 자동차 촉매 플랜트를 확장하면서 중국시장에 관심을 기울이고 있음
 - 아시아 및 유럽 자동차산업의 성장으로 자동차 촉매 매출과 영업이익이 증가하고 있기 때문
 - 촉매사업부의 2004년 매출 12억파운드(4% 증가), 영업이익 1억1150만파운드(2% 증가)에 달했으며 2010년까지 디젤자동차의 매연배출을 획기적으로 줄여주는 CSFs(Catalyzed Soot Filters) 설치 의무화

는 유럽연합의 법규에 따라 CSFs 플랜트 신설 계획

□ (독일) BASF·Degussa, 차세대 석유화학·환경 촉매 개발

- BASF는 250종의 Specialty Chemical용 촉매제품 보유
 - UOP/Lummus Smart 공정에서 직접 Styrene을 추출할 수 있게 해주는 산화촉매를 개발해 2005년 9월 상업생산에 들어감
 - 환경규제가 강화되는 아크릴산(Acrylic Acid) 80만톤 설비를 갖추고 있어 아크릴산 제조용 촉매 생산 능력 확대, 촉매 사용으로 전력효율 향상은 물론 이산화탄소 배출을 23만톤 감축
- Degussa의 균일계(Homogenous)촉매 사업은 다단계 촉매과정을 요구하는 Chiral Molecules의 수요증가로 2005년 2자리수 성장 기록
 - 모든 종류의 촉매에 대해 중국과 인도의 수요호조가 지속될 것으로 예상
 - Degussa의 주력 촉매제품은 금속 파우더 촉매와 VCM 제조용 촉매이며 Chiral Alcohols과 아미노산 (Amino Acid) 제조용 바이오촉매인 탈수소효소(Dehydrogenase) 기술에 눈을 돌리고 있음

□ 메이저들의 지속 성장전략으로의 M&A와 R&D 투자 확대

- 독일 BASF와 Degussa는 2005년 고급 PU(Polyurethane) Foam 제조용 TEDA(Triethylene Diamine) 촉매에 대한 전략적 제휴 체결
 - 글로벌 마케팅은 Degussa 산하 Goldschmidt의 PU 첨가제 사업부가 담당
- 미국 Eastman Chemical은 자사의 IntegRex 폴리에스터 공법에 적합한 PET(Polyethylene Terephthalate) 제조용 촉매 개발에 주력하기 위해 독일 HTE와 공동 R&D 협약을 체결
- 중국 Sinopec은 총 생산능력 9만 2500톤(Fluid Cracking Catalysts 8만 5000톤 포함) 규모의 촉매 설비 6개를 하나로 통합해 글로벌 시장에 도전

□ 석유화학용, 프로필렌 호조로 성장 지속

- 미국 정유기업들이 FCC(Fluid Catalytic Cracker)를 통한 프로필렌 (Propylene) 생산증대를 꾀하고 있어 올레핀 최적화 촉매(Olefin Optimization Catalyst) 시장도 호조세
- 에틸렌(Ethylene)을 비롯한 프로필렌, Butylene 등 올레핀의 수요 증가와 수급타이트에 따른 가격강세가 지속되고 있어 정유기업 들은 FCC를 통한 프로필렌 생산증대 방안 검토
- CMAI에 따르면, 프로필렌 시장은 PP(Polypropylene) 부문 호조에 힘입어 연평균 5% 성장하고 있는데 2005년 유가상승과 수요강 세로 프로필렌 가격이 파운드당 40센트 상승
- Engelhard Process Technologies는 Steam 크래커의 프로필렌 생산 량만으로는 세계 수요에 부응할 수 없는 상황이어서 많은 정유 기업들이 FCC를 통한 프로필렌과 LPG 생산증대를 통해 수익을 창출할 것으로 예상
- Sabic에 따르면, 앞으로 5년 이내에 완료되는 세계 에틸렌 신증 설 프로젝트의 절반은 중동에 집중돼 있으며 중동의 세계 에틸 렌 생산비중은 2005년 10%에서 2010년 20%로 확대되나 중동지 역 프로젝트의 대부분은 에탄(Ethane) 베이스로 프로필렌 생산량 이 미미한 편이어서 프로필렌 수급타이트가 우려

2.3. 석유화학 촉매분야 시장 동향 및 전망

가. 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품

□ 알킬 알루미늄 화합물 및 MAO 조촉매 개발

- 고부가 메탈로센 폴리에틸렌계 제품 (m-LLDPE, m-EPDM, m-POP, m-POE 등) 생산에 필수적인 조촉매로 제품 수요 증대에 따라 조촉매의 활용도 및 그 수요 또한 급격히 증가하는 추세임
- 알킬 알루미늄 및 MAO 조촉매 전세계 시장 규모는 현재 약 50만톤으로, 글로벌기업 간 조인트벤처 형태의 TEA제조기업 설립 및 중국기업의 약진이 돋보이는 가운데 국내 시장은 공급부족 양상을 보일 전망임
- Global Major 업체인 Albemarle, Chemtura, Akzo Nobel 모두 연산 10만톤 Capa.를 보유하고 있으며 2nd-tier인 Nippon Aluminum Alkyl, Tosoh Finechem, Gulbrandsen 등이 약 1만~2만톤 Capa.로 뒤를 이음
- 미국 Albemarle은 TMA/TEA/TIBA/MAO, 독인 Chemtura는 TMA/TEA/TOA(Tri-octyl-aluminum)/MAO, 네델란드 Akzo Nobel은 TMA/TEA/TIBA/m-MAO/p-MAO (Poly-MAO)를 생산함
- Nippon Aluminum Alkyl은 TMA/TEA/DIBA(Di-isobutyl-aluminum)의 연산 2만톤 생산 Capa., Tosoh Finechem은 TEA/TIBA/DEAC (Di-ethyl-aluminum-chloride)/EASC(Ethyl-aluminium-sesqui-chloride)의 연산 2만톤 생산 Capa 보유
- Gulbrandsen는 TEA/DIBA/EADC(Ethyl-aluminium-di-chloride)/DEAC/EASC의 연산 1만 200톤 생산 Capa.를 보유
- SABIC 산하 SCC(Saudi Chemicals Company)와 미국 Albemarle가 50:50 JV로 사우디아라비아에 연산 6,000톤 TEA 생산 Capa.의 SOCC(Saudi Organometallic Chemicals Company) 설립
- 사우디아라비아의 Zamil과 독인 Chemtura가 JV로 연산 9,000톤 TEA 생산 Capa.의 Zamil metal alkyl 사를 설립함

- 중국에서는 Zhejiang Friend Chemical이 연산 3,000톤 TEA 생산 Capa. 를 가지고 있으며, Nanjing Dongchao Chemical이 연산 3,000톤 TEA/DEAC/EASC 생산 Capa.를 보유
- 국내에서는 최근 대규모 공장 신증설이 이루어졌으나 국내 수요를 충족하기에 부족한 실정으로, 알킬알루미늄 및 MAO 수입량은 향후 지속적으로 증가할 전망이다
- (주)레이크엘이디가 연산 600톤 규모의 TMA/MAO 생산 Capa. (TMA 100톤, MAO 500톤 / 충남 연기군 소재)를 확보하였으나, 다양한 알킬알루미늄 수요를 충족시키기에는 부족한 실정
- 향후 메탈로센 폴리올레핀 생산이 지속적으로 증가할 것으로 예측되는 가운데 알킬 알루미늄과 MAO 수입 역시 증가할 전망이다
- 반응개시제(HS코드 3815)의 2011년 수입량은 약 480톤, 금액으로는 400만불 수준임

□ 메탈로센 폴리에틸렌 및 에틸렌/알파-올레핀 공중합

- 기존 Ziegler/Natta 촉매 기반의 LLDPE/EVA/EPDM 대체에 따라 메탈로센 폴리에틸렌의 지속적 수요 증가가 예상되고 있으며 2015년에는 공급 부족이 전망된 바 있음
- 기존 폴리올레핀 생산업체들의 암묵적 공급조절로 인해 기존 Ziegler/Natta 촉매 기반의 C4 LLDPE와 비교하여 현재 \$500~1,000/톤의 높은 가격 premium을 유지하고 있음
- 글로벌 메이저기업인 ExxonMobil(미), Dow(미), Prime Polymer(일), Mitsui Chemical(일) 등은 세계 각국에 연산 20~30만톤 규모의 생산 공장을 보유하고 있음
- 미국 ExxonMobil은 '11년 3분기 기준 싱가포르에 연산 30만톤 m-POP (polyolefin plastomer)/POE(polyolefin elastomer)제품 생산 공장 가동 중임
- 미국 Dow는 '12년도 태국에 연산 22만톤 m-POP/POE 제품 생산 공장 건설 중임

- 일본 Prime Polymer는 '14년 가동을 목표로 싱가포르 또는 중동에 연산 20~30만톤 규모의 m-LLDPE 공장 건설을 추진 중임
- 제품(m-LLDPE/POP/POE) 별로 약 8~10% 대의 성장이 2020년까지 지속적으로 이루어질 것으로 예측되는 가운데 1-옥텐이 comonomer로 적용되는 제품의 비중이 지속적으로 성장할 것으로 예측됨
- m-LLDPE 시장 규모는 2010년 270만톤 규모에서 2020년 670만톤 규모로 성장이 예상됨
- m-POP 시장 규모는 2010년 약 40만톤에서 2020년 85만톤으로 성장이 예상되고, m-POE 시장은 2010년 39만톤에서 2020년 100만톤 규모로 성장할 것으로 예상됨¹⁶⁾
- 우리나라 에틸렌 생산 능력은 미국, 중국, 사우디, 일본에 이어 세계 5위를 차지하고 있으나 중동 및 중국 지역의 대규모 증설에 따라 수출 의존도가 높은 우리나라 석유화학 기업의 지위가 위협받고 있음
- 중동 및 중국 지역은 2000년대 중후반부터 석유화학 생산시설을 확장하며 지난 5년 간 석유화학제품 생산량이 두 배 가량 증가한 바 있으며 2010년 상반기 역시 각각 300만 톤과 135만 톤 규모의 NCC를 신·증설함
- 사우디아라비아는 2004년 670만 톤에서 2009년 1144만 톤으로, 중국은 2004년 587만 톤에서 2009년 1083만 톤으로 증산하며 세계시장을 빠르게 장악¹⁷⁾
- 따라서, 국내 석유화학업계는 에틸렌계 고부가가치 제품 개발, 저가 원료 활용 등 기술개발을 통한 신성장 동력 발굴을 통해 위기 상황을 타개할 대책을 마련하고 있음
- 이러한 대책 마련의 일환으로 LG화학, SK이노베이션, 대림산업 등 국내 폴리에틸렌 생산 업체는 기존 지글러-나타 촉매를 벗어난 새로운 균일계 촉매 개발을 통한 고부가가치 제품 생산을 도모하고 있음
- LG화학의 경우 '06년 연산 6만톤 규모의 m-POE 생산으로 시작해 '12년도에는 연산 9만톤 규모로 증산하고 있음. SK이노베이션은 '11년도

16) SK 내부 자료 참조

17) 동아일보 (2010.6.29)

연산 23만톤의 m-LLDPE 공장 건설을 착수, '13년도 상업 생산 예정임. 대림산업은 m-LLDPE의 생산, 판매를 지속적으로 확대하고 있음

- High-Value added(메탈로센 축매 기반) 폴리에틸렌 및 m-POP/POE 생산량은 지속적으로 성장할 전망이며 특히 LLDPE의 경우 메탈로센을 이용한 폴리에틸렌 생산량이 급증, 기존 Ziegler-Natta 축매공정을 대체할 것으로 예상됨

□ 정밀화학 소재 및 축매개발

- 첨단산업의 발전으로 고부가가치 소재 분야가 각광을 받고 있으며 정밀화학소재는 기존의 전통적인 범용소재들과 함께 연관산업에 필수적인 소재들로서 중요한 기능을 담당
 - * 산업구조의 고도화, 고급화 추세에 따라 그 역할이 더욱 강화되고 있음
- 디스플레이용 전자재료, 정밀화학 전구체 및 고분자 제조 그리고 각종 정밀화학 제품(염료, 안료, 도료 등) 수요 증대에 따른 소재 개발과 효율적인 개발을 위한 친환경 축매기술 시장이 확대되고 있음

[표 2-3] 세계 화학소재산업 시장규모(2008년 생산액 기준)

(단위: 억달러, %)

연도	석유화학	정밀화학	고분자	파인세라믹	합 계
2008	13,850	13,700	4,150	540	32,240
2012(E)	14,000	16,900	5,100	1,045	37,045
2018(E)	14,210	22,650	6,400	2,750	46,010
성장률	2.5	5.2	4.4	17.7	

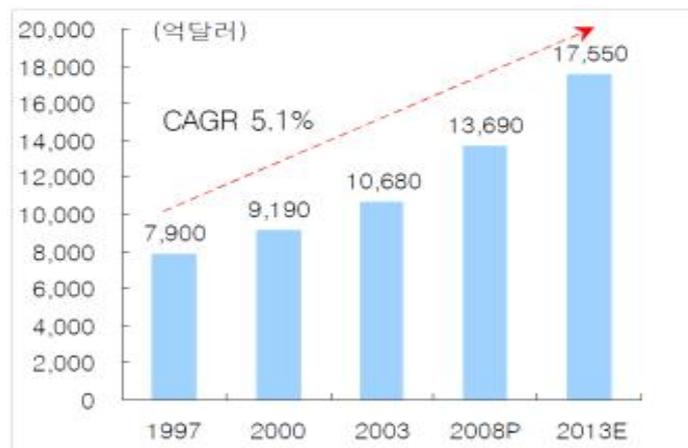
자료 : 업종별 단체 조사결과 (정밀화학진흥협회, 파인세라믹스협회 등)

- 한국은 석유화학분야의 경우 세계 5위 규모의 수출산업이나 정밀화학 분야의 경우 핵심 기술의 부족으로 무역적자가 지속적으로 발생
- 이에 따라 무역역조 개선을 위한 연구개발 투자 필요성이 부각되고 있으며 특히 전자, 자동차, 생활환경, 에너지 분야 등 국내 수출주력 산업의 핵심소재로서 그 중요성이 더 부각되고 있음

[표 2-4] 국내정밀화학 산업전망

구분	2005	2007	2012	연평균증가율
생산(조원)	26.5	42.4	76.4	12.5
수출(억달러)	24.6	42.3	83.2	14.8
세계시장 점유율(생산기준, %)	1.9	2.2	3.0	
세계대비 기술수준(%)	65	80	90	

자료: 산업연구원



자료 : 산업연구원

[그림 2-5] 세계 정밀화학시장 규모 전망

나. 저탄소 화합물(C1~6) 전환 기술

□ 알파 올레핀

- 2006년 기준 전 세계 알파 올레핀의 생산량은 약 420만톤으로 이 중 1-헥센 또는 1-옥텐 (1-부텐 포함)을 LLDPE으로 사용하기 위해 필요한 생산량은 35%인 147만톤 가량으로 추산됨
- LLDPE와 VLDPE의 생산량 증가 추세에 따라 1-헥센 및 1-옥텐의 수급이 타이트하며, 가격 역시 지속적으로 상승함에 따라 생산량 증대가 요구되고 있음

- 알파올레핀 수입 대체 효과는 연간 약 300억원 이상으로 예상되며 특히 LLDPE, VLDPE의 제조 원가 감소에 따른 경쟁력 상승 시 추가 경제적 효과는 더욱 커질 것으로 기대 됨
- 전 세계적인 알파 올레핀의 생산량은 약 420만톤으로 (2006년 기준) 이 중 1-헥센 또는 1-옥텐 (1-부텐 포함)을 LLDPE으로 사용하기 위해 필요한 생산량은 35%인 147만톤 정도의 양이 필요함. 그러나 최근 들어 LLDPE와 VLDPE의 생산량이 증가하여 수급 불균형으로 인한 가격 상승으로 생산량의 조절이 불가피한 상황임

□ 합성기유 (PAO: Polyalphaolefin)

- 전 세계 고급 윤활기유인 PAO 시장 규모는 50만톤 규모로 연 7%의 높은 성장률을 보이고 있으며, 상대적으로 고가 제품군에 해당함에 따라 높은 가격이 유지되며 약 2조원대의 시장을 형성하고 있음
- 우리나라는 윤활기유(Group III 고급 기유) 세계시장의 50% 이상을 점유하여 향후 고급 윤활유 시장을 선점할 수 있는 기반을 갖추고 있는 가운데, 시장을 선점하기 위해서는 고급 윤활기유 (Group IV 고급 기유- PAO)의 개발 및 대량생산이 필수적임
- 고급 윤활기유인 Group IV-PAO의 기술 중 촉매를 이용한 기술은 기존 PAO의 합성 시장을 대체할 수 있는 기반 기술로 2조원 이상의 경제적 효과를 가져올 것으로 기대됨
- 알파올레핀 수입 대체 효과는 연간 약 300억원 이상으로 예상되며 특히 농업용 필름으로 사용되고 있는 저밀도 폴리에틸렌(LLDPE)와 부드럽고 낮은 탄성과 밀폐성이 좋기 때문에 식품포장제나 수축성필름으로 사용되고 있는 초저밀도 폴리에틸렌(VLDPE)의 경쟁력 상승 시 추가 경제적 효과는 더욱 커질 것으로 기대됨

□ MEG 시장동향

- 2011년 기준 국내 MEG 연간 생산량은 약 1.1백만톤이며 세계 시장은 약 23백만톤 규모의 생산량을 보이고 있음
- 국내 시장 연평균 성장률은 석유화학산업의 평균성장률과 유사한 3% 내외로 전망되며 세계시장의 경우 중국 및 인도 등의 급격한 경제 성장에 따라 연간 7% 정도로 빠르게 증가할 것으로 예상됨
- 이에 대응하기 위해서 현재 중국과 중동에는 지속적인 증설이 이루어지고 있음

[표 2-5] MEG 시장동향

연도	현재 (2012년)	1단계 종료시점 (2015년)	2단계 종료시점 (2018년)	기술개발 종료 3년 후 (2021년)	기술개발 종료 5년 후 (2023년)
국내	12,000	13,100	14,300	15,200	16,100
국외	247,000	280,000	297,000	325,000	345,000
산출 근거	- 가격 909\$/톤 (2012. 7. 13 China CFR 기준), 환율 1150원/\$, 2011년 국내 생산량 약 1,100천톤, 2011년 국외 생산량 22,160천톤 기준 - 국내 성장률 연간 약 3%, 국외 성장률 연간 약 7% 기준				

□ 부타디엔 시장동향

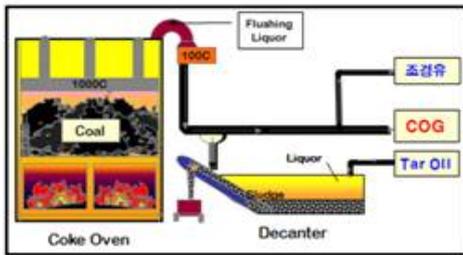
- 부타디엔 경우 중요한 석유화학 기초 원료로 전 세계 부타디엔 생산 능력은 약 1,200 만톤/년이며 단위 공장의 생산능력은 평균 15만톤/년에 달함
- 국내의 경우 부타디엔을 원료로 하는 합성고무 및 ABS수지 생산능력이 세계적인 수준이므로 안정적 수요처가 존재하며 최근 공급부족으로 연간 약 1조원 가량을 수입하고 있어 기술개발 시 수입대체 효과가 클 것으로 기대됨
- 2011년 기준 국내 부타디엔 생산능력은 126만톤 가량이며 공급부족으로 40만톤/년 가량을 수입하고 있으며 이는 금액 기준으로 약 1조원에 해당
- 2012~2015년 부타디엔 설비 증설은 연평균 2.4% 정도로 예상되나 부타디엔 후방 제품인 합성고무와 ABS 수지 공장의 설비 증설은 3.6~5.6%

정도로 예상되어 부타디엔 수급타이트 추세는 지속될 전망

- 내수시장 뿐 아니라 수출 전망 역시 밝아, 최근 중국의 폭발적 자동차 시장 성장 및 북미지역 NCC 가동을 하락으로 인한 부타디엔 공급부족 심화 등이 부타디엔 수출의 호재로 작용할 전망
- 특히, 향후 미국과 중동 지역에서 높은 원가경쟁력을 바탕으로 한 가스 크래커 가동이 활발해질 것으로 예상되며, 이로 말미암아 중장기적으로 해당 지역의 부타디엔 공급이 제한될 것으로 예상됨
- 국내 부타디엔 제조기업의 부타디엔 추가생산을 위해서는 부타디엔이 포함된 Mixed-C4를 구하는 것이 관건인 상황으로, 기업들은 원료 확보 및 새로운 기술개발을 통한 Mixed-C4 제조 등 다른 route의 공급원 개발을 모색하고 있음
- 정유 공장의 부생가스는 대부분 C4 LPG나 Gasoline Blending 용 Alkylate 원료로 사용되고 있는데 중장기적 관점에서 Gasoline 시장 전망이 밝지 않은 상태임
- 중장기적으로 부타디엔 가격은 2,000 \$/톤 이상, Naphtha 대비 Spread 또한 1,000 \$ 이상 유지될 것으로 예상되고 있으므로 부생가스를 활용한 부타디엔을 제조기술 개발 시 고수익 확보가 가능할 것으로 기대됨

□ NGL을 이용한 화학원료 제조 시장동향

- 에너지자원을 확보하기 위한 전략의 일환으로서 합성가스(세일가스의 리포밍 및 제철소의 부생가스 활용)를 이용하여 알코올 연료의 선택적 합성 방법이 주목받고 있음
- 제철소에서 발생하는 부생가스 중 COG의 주성분인 CO/H₂를 촉매화학적 전환을 통하여 화학물질 합성에 활용할 경우 국내 휘발유와의 혼합 사용으로 에너지 자원 확보 가능함



POSCO 부생가스 발생 현황

종류	발생량 [억Nm3/년]	발열량 [kcal/Nm3]	조성(%)				
			H ₂	CO	CH ₄	CO ₂	N ₂
COG (코크오븐가스)	50.6	4,400	56	8	27	3	2
LDG (전로가스)	30.6	2,000	2	64	-	18	16

10만톤/년 규모의 C2H5OH 생산을 위하여 0.5%의 (COG+LDG) 가스 필요
(전세계 2010년 소비 예측량의 20%에 해당함)

참고자료: "부생가스를 활용한 고부가가치 제품 생산기술 개발" 과제 기획자료(RIST, 2009)

[그림 2-6] 제철소(POSCO)의 부생가스 발생 현황 및 조성

- 국내 제철소¹⁸⁾에서 발생하는 COG와 LDG 가스를 이용하여 에탄올을 합성할 경우 연간 발생하는 부생가스의 0.5%만으로 2010년 세계 에탄올 소비 예측량의 20%에 해당하는 10만톤의 에탄올 생산이 가능한 것으로 추산됨
- 세일가스 및 부생가스를 이용하여 청정 연료인 에탄올의 선택적인 생산기술 개발은 기초 경제성 조사와 타당성 검토를 통하여 기존 발효 공정 대비 50% 수준의 생산가격으로 제조가 가능한 기술로 판별된 바 있으며, LanzaTech에서 발표한 자료에 의하면 제철소의 부생가스 및 세일가스등을 원료로하여 에탄올을 합성하는 경우 기존의 발효 공정과 비교하여 경쟁력이 우수한 것으로 발표하였음 (LanzaTech 발표자료- Paris Airshow (2011))

Comparison with Other Routes to Ethanol LanzaTech

Cost Item	China Corn (2009)	China Cassava (2009)	China Sweet Sorghum (2009)	US Corn (2011 YTD)	Brazil Sugarcane (2011)	LanzaTech China BOP Gas (2011)	LanzaTech China Syngas (2011)
Raw materials	675	631	465	402-664	311	252	676.3
Power	82	105.4	75			89	26.5
Labor	10.2	16.1	22			9	6.1
Processing cost	12.9	22	12	174 *	171 *	65	66.2
Fixed costs	136.2	172.8	76			65	58.8
By-products	-136.2	-161	-132			-56	-62.2
Total (US\$/t)	780.1	786.3	518	352	482	424	771.7
CCOPI/Gal	\$2.33	\$2.35	\$1.55	\$1.81-3.19	\$1.44	\$1.28	\$2.30

* Aggregate processing costs including labor, power, fixed costs and by-product credits.

LanzaTech 기술은 당의 발효 공정(옥수수 및 카사바 등)과 비교하여 부생가스를 이용하는 공정으로서 경제성이 우수하며, 기존 대비 55% 수준의 생산 비용으로 에탄올 생산이 가능함

[그림 2-7] 에탄올 생산 기술의 경제성 - LanzaTech 기술 평가 자료

18) POSCO 기준

다. 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술

□ 경질납사 고부가화 (연료 및 합성기유 생산)

- 2007년 이전 원유-납사 가격 스프레드는 배럴당 평균 6.2달러가량이었으나, 2008년 이후 컨덴세이트의 이용 및 세일가스 개발이 본격화되면서 하락 추세로 전환함
- 미국 에너지국(DOE) 장기 예측 결과에 따르면, 납사 공급 과잉이 지속되어 2030년 경에는 2012년 대비 90만 배럴/일의 공급 과잉이 예상됨
- 공급 과잉의 주요 원인은 아래 [표 2-6]와 같으며, 이에 따라 경질납사와 같은 저탄소 화합물의 전환축매기술개발이 시급한 과제로 떠오르고 있음

[표 2-6] 납사 공급과잉의 주요 원인 및 향후 전망

	1차요인	2차요인	향후변화(2013~2030)
납사수요감소	납사크래커 경쟁력 감소	천연가스 생산 증가	천연가스생산 연 평균 2.1% 증가
	수송연료 중 디젤 비중 증가	상업용 수송 수요 증가	가솔린 수요 연 평균 0.2% 감소
	바이오에탄올 사용 증가 하이브리드 차량 증가	기술발전, 정책변화	
납사공급증가	저렴한 컨덴세이트 납사 증가	천연가스 생산 증가	천연가스생산 연 평균 2.1% 증가
일반경향	수요 증가 : 경제성장에 따른 에틸렌 수요 증가		에틸렌 수요 연 평균 3.3% 증가
	공급 증가 : 원유 처리증가에 의한 납사 공급 증가		납사 공급 연 평균 0.7% 증가

- 저탄소 올레핀 화합물을 중합하여 고옥탄가 가솔린을 제조하는 방법은 오래전부터 연구되어 왔으나, 주로 올레핀이 다수 함유된 원료를 대상으로 하는 연구에 집중되어 있음
- 파라핀 유분이 다수 함유된 납사는 석유화학제품의 원료 및 이성화 혹은 리포밍 반응을 통한 가솔린 블렌딩에 사용되어 왔으나, 향후 디젤수요증가 및 경질납사 마진축소에 따라 활발한 연구 개발이 예상됨

- 특히 본 기술 개발을 통해 생산되는 디젤유분은 세탄가가 높고 황 성분도 거의 없는 최상급의 연료유가 생성되므로, 부가가치가 높아 시장성이 충분할 것으로 전망됨
- 개발된 촉매 기술은 글로벌 메이저사와 공동으로 해외 판매를 추진하는 전략을 사용할 수 있을 것으로 예상됨

□ 중질유 처리 촉매기술 (RHDS, HYC, RFCC 촉매개발 및 제조)

- 중질유 탈황 및 분해 공정용 촉매는 글로벌 메이저사 4-5개가 상업화 촉매를 판매하고 있는 상황이며, 기타 일본 일부 정유사에서 자체 개발 촉매를 사용하고 있음
- 현재 상업 촉매를 판매하고 있는 글로벌 메이저사는 4-5 개 정도이고, 기 판매중인 촉매의 성능 개선 연구를 실시하고 있으나, 그 발전 속도는 느린 편임
- 일본 일부 정유사에서 자체 개발 촉매를 사용하고 있으나, 외부 판매를 하지 않고 있으며, 추가 성능 개선 연구는 실시하지 않고 있는 것으로 탐문됨
- 국내의 경우 정유 4사에서 사용되는 촉매를 전량 해외에서 수입하고 있어 막대한 외화유출을 초래하고 있는 실정에도 불구하고, 중질유 탈황 및 분해용 촉매 개발에 대한 연구 개발 투자는 거의 없는 상태임
- 국내 정유 4사에서 도입하여 운전하고 있는 중질유 탈황 공정의 경우 촉매 사용량이 연간 6,000톤 이상, 비용은 800억원 이상이며 중질유 분해 촉매의 경우 사용량은 연간 24,000톤, 비용은 1,000억원 이상에 달함
- 또한, 촉매의 사용 기간도 1년 미만으로 매우 짧아, 촉매 교체 비용으로 인한 국부 유출이 심각한 상황임
- 국내 정유 4사의 촉매 수요가 크므로, 자체 기술 개발 시 비용 저감에 따른 경제성 확보가 가능할 것으로 판단되며 국부 유출 방지와 함께 중소기업 위주인 국내 촉매 산업을 육성할 수 있을 것으로 전망됨

- 또한 우리나라 정유사의 중질유 업그레이드 능력 역시 높은 편이므로, 국내에서 사용하여 검증된 촉매에 대해서는 해외 판매에서도 유리함

□ 초중질 유분 처리기술 (Slurry HC 촉매기술개발)

- 국내 정유기업의 중질유 고도화율은 2010년 기준 약 18%로 선진국의 중질유 고도화율과 비교하였을 때 낮은 수준에 머물러 있어 지속적인 고도화가 이루어질 전망이다
- 국내 정유기업의 고도화율은 S-Oil 25.9%, GS칼텍스 25.6%, SK에너지 20%, 현대오일뱅크 30.8%로 미국 76.3%, 이태리 59.2%, 독일 53.7%, 일본 39.8%, 캐나다 44.6%에 비해 낮게 형성되어 있음
- 2015년까지 세계적으로 upgrading이 필요한 중질유는 약 천만 배럴/일 규모이며, 계획 중인 중질유 upgrading project가 약 6백만 배럴/일 수준이므로¹⁹⁾ 약 4백만 배럴/일의 중질유에 대한 추가 upgrading 수요가 있음

[표 2-7] 초중질 유분 처리기술의 시장 규모

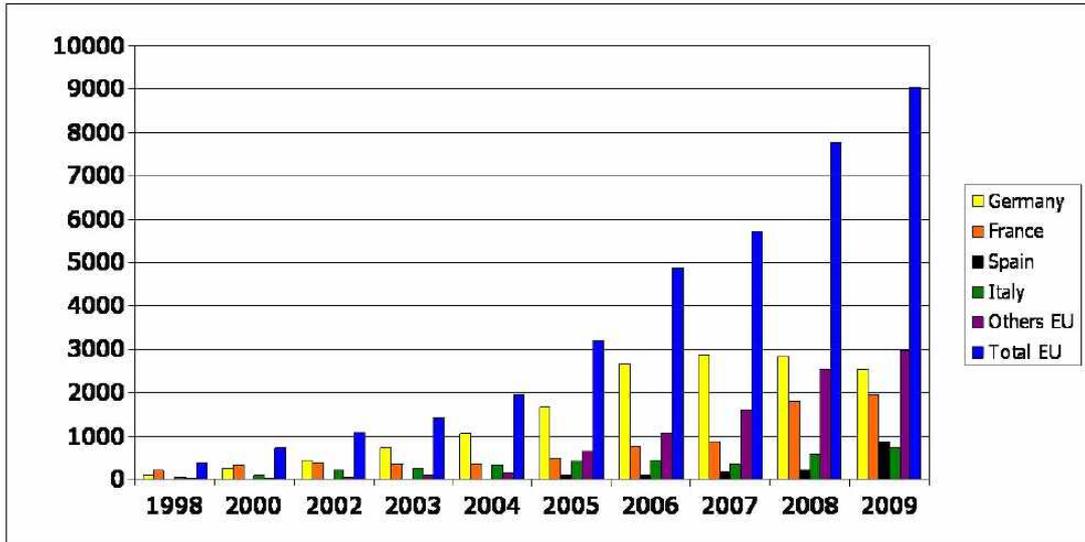
(단위: 억불)

연도	현재 (2012년)	1단계 종료시점 (2015년)	2단계 종료시점 (2017년)	기술개발 종료 3년후 (2019년)	기술개발 종료 5년후 (2022년)
국내	4.5	67	68	71	73
국외	90	133	1,369	1,428	1,468
산출 근거	1. 전세계 Heavy Oil 합성원유 생산 증가량 : 오일샌드의 합성원유 생산 증가량으로 추정 - 오일샌드 Bitumen 생산량 : 126 만배럴/일 (2005년) - 오일샌드 합성원유 생산량 : 84.2 만배럴/일 (2005년) → 250 만배럴/일 (2015년) 계획 - 전세계 Heavy Oil 생산량 : 600 만배럴/일 (2005년) - 전세계 Heavy Oil 합성원유 생산량 : 400 만배럴/일 (2005년) → 1,190 만배럴/일 (2015년) 2. 투자 비용 - 합성원유 생산을 위한 Upgrading 공정별 투자 비용 - Hydrocracking 투자 비용 (CAPEX) = 20 천\$/(배럴/일) (출처 : “2007 Survey of Energy Resources”, World Energy Council, 2007) 3. 세계 시장 규모 산출 - 전세계 Heavy Oil 합성원유 생산량 중에서 Hydrocracking을 이용한 합성원유 생산량 ▪ 2005년 : 400 만배럴/일 x 28% = 112 만배럴/일 ▪ 2015년 : 1,190만배럴/일 x 28% = 333 만배럴/일 - Slurry Phase Hydrocracking 공정 (Hydrocracking의 20 % 점유 가정) 의 시장 규모 산출 ▪ 2005년 : 112 만배럴/일 x 20 천\$/(배럴/일) x 0.2 ≈ 44.8 억\$/년 ▪ 2012년 : 112 만배럴/일 x (1 + 0.104) ⁷ x 20 천\$/(배럴/일) x 0.2 ≈ 89.5 억\$ ▪ 2015년 : 333 만배럴/일 x 20 천\$/(배럴/일) x 0.2 ≈ 133.2 억\$/년 4. 국내는 국외의 5%로 가정				

19) 2007년 9월 발표 기준

라. 식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조

□ 아크롤레인 시장



[그림 2-8] 유럽지역 바이오디젤 생산량 추이 (단위: 103톤)¹⁾

- 미국, 유럽 등 세계 주요 국가에서 바이오디젤 시장이 점증적으로 확대되고 있으며 특히 정부의 친환경 정책기조와 연계되어 시장이 성장하는 양상을 보이고 있음
- 바이오디젤 생산과정에서는 무게대비 약 10%의 글리세롤이 부산물로서 생성되며, 최근 바이오디젤의 생산량 증가에 따라 글리세롤 생산량도 2001년 6만톤에서 2005년 40만톤으로 급증하였음
- 미국의 글리세롤 시장은 과거 30년간 연간 14만톤 규모의 안정적인 생산량을 보였으나 최근의 생산량 증가로 인해 공급과잉 상태로 전환됨
- 일본에서도 글리세롤 생산량 증가에 따라 글리세롤의 가격이 2004년 180엔/kg에서 2006년 165엔/kg으로 2년 동안 약 10% 정도의 하락율을 보임
- 국내 글리세롤 시장은 금액단위로 파악되는데, 약 240억원 규모의 시장을 형성하고 있는 것으로 알려져 있음

- 미국의 Proctor & Gamble(P&G) 사는 글리세롤과 글리세롤 유도물질의 생산량 증가 및 아시아 글리세롤 시장의 급신장에 대비하기 위해 Malaysia Joint Venture, Felda Palm Industries를 통해 년 3.5만톤 규모의 글리세롤 정제공장 신증설을 계획하고 있음
- 2004년 아크롤레인의 시장가격은 약 1,400 \$/톤으로 알려져 있으며²⁰⁾, 2000년을 기준으로 전세계 아크롤레인 생산량은 25만톤/년 규모임²¹⁾
- 상기의 아크롤레인 생산량 수치는 순수한 정제 아크롤레인 생산량이며 아크릴산으로 전환되는 중간물질로 생산되는 아크롤레인을 합산할 경우, 연간 158만톤 규모가 생산되고 있음

[표 2-8] 정제 아크롤레인의 생산기업 및 연간 생산량³⁾

생산기업	생산량 (1000 mt/연)
Degussa	110
Dow	72
Arkema	30
Volzhskiy Orgsynthese	8
Daicel	9
Ohita	4.5
Sumimoto	15
(China)	4

- 아크롤레인의 생산량과 가격은 프로필렌의 선택적 산화에 의해 생산되는 기존 공정에 의한 것으로 추후 글리세롤을 기반으로 한 아크롤레인의 생산량에 따라 크게 변동될 것으로 예측됨
- 프로필렌을 기반으로 한 아크롤레인의 생산단가는 1,400 \$/톤인데 반해 글리세롤을 기반으로 한 아크롤레인의 생산단가는 약 2,700~ 2,800\$/톤으로 약 2배 높게 형성될 전망이다
- 2002년을 기준으로 전체 생산량의 80%에 해당하는 아크롤레인은 필수아미노산인 메티오닌의 합성에 사용되고 있으며, 2006년 CEH

20) S. Vollenweider et. al., Applied Microbiology and Biotechnology 64 (2004) 16.

21) W.G. Etzkom et. al., Kirk-Othmer Enc. Ch. Tech. 1 (2002) 268.

Marketing Research Report에 따르면, 전세계 메티오닌 생산량은 50만 톤 규모로 해마다 3-7% 대의 꾸준한 성장을 보이고 있음²²⁾

- 또 다른 아크롤레인 유도체인 아크릴산은 초흡수제 시장의 급격한 성장과 함께 1980년 기준으로 40만톤 규모에서 2002년 기준으로 340톤 규모로 급성장하였으며 2002년부터 2007년까지 연평균 3.4%의 성장을 보일 만큼 아크롤레인 수요는 지속적으로 증가하고 있음²³⁾
- 2010년 기준 세계 화학제품 시장 규모는 약 1.3~1.7조 달러 수준으로 평가되고 있으며, 이중 바이오 화학제품이 차지하는 비율은 2003년 약 5%에서 2005년 약 7%로 지속적으로 증가하고 있으므로 해당 분야의 시장의 선점을 위한 전략적 투자 개발이 요구됨²⁴⁾
- 향후 화학산업은 매년 3~6%씩 성장하여 2025년 2조 달러 이상의 규모로 성장할 것으로 예상되며 화학산업에서 차지하는 바이오 화학산업의 규모도 22%(약 4천억 달러 수준)까지 성장할 것으로 전망되고 있음

[표 2-9] 바이오기반 화학제품의 세계시장 예측 과 수익 예측

제품분야	공정개선에 대한 비용절감	수익창출효과	2010년	2025년
범용화학제품	100%	0%	1-2%	6-10%
기능성화학제품	75%	25%	20-25%	45-50%
정밀화학제품	35%	65%	20-25%	45-50%
폴리머	40%	60%	5-10	10-20%

출처 : Bachman, 2003; Cygnus Business Consulting & Research; Informa Economics et. al., Biobased Multi-client Study, March 2006.

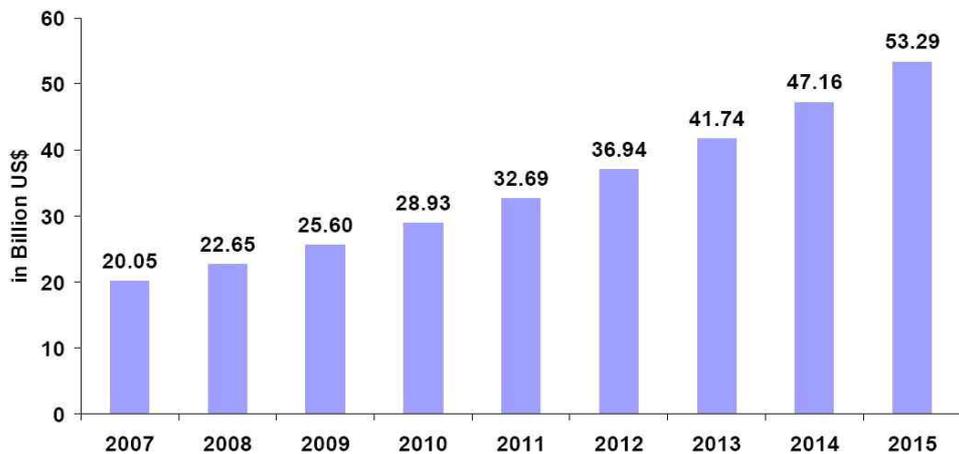
22) M.P. Malveda et. al., CHE Marketing Research Report-SRI Consulting, Major Amino Acids (2006).

23) US Chemical Profile: Acrylic Acid, <http://www.ICIS.com>

24) 폐자원 바이오피라이너리 기술동향 보고서, 환경부 (2011).

□ **비식용작물을 활용한 바이오 연료 시장**

- 고유가로 인한 경제성장 둔화, 제조업 원가 상승에 따른 수출기업의 국제 경쟁력 저하를 막기 위해 정부는 신재생에너지의 보급을 적극적으로 지원하고 있지만 수송부문 및 석유화학원료 생산 부문에서는 석유의 대체가 어려운 실정임
- 2006년 기준 수송부에서 사용하는 에너지는 전체 에너지 소비량의 21%인 3,700만 TOE로 이중 98%를 석유에 의존하고 있음
- 수송용 에너지의 대체는 석유의존도를 낮출 수 있는 효과적인 방법이므로 경제적, 사회적 측면에서 바이오 연료의 생산기술 개발이 시급함
- 경유, 가솔린 및 화석에너지를 바이오매스에서 전환된 탄소중립적인 바이오연료로 대체 시 화석에너지 감축의 주요한 대안이 될 수 있음
- 식용작물의 연료전환은 식량가격 상승을 유발하므로 기아(飢餓)문제와 연결되어서 비윤리적임
- 바이오 연료는 현재 식용 작물에서 추출된 지질을 원료로 이용해서 생산되고 있고 2000년 이후 보급량이 증가하고 있으며 특히 수송용 연료의 대체를 위한 바이오 연료 생산은 비약적인 성장을 지속함
- 현재 전 세계 바이오연료 시장 규모는 20조원에 달하며 매년 13%씩 성장세를 보이며 2015년에는 53조에 달할 것으로 예상됨



[그림 2-9] 전세계 바이오 연료 시장 규모 예측 (단위: 10억 US\$)
(2007년 RNCOS Report)

- 저온유동성, 부식성 등 바이오디젤이 지닌 기술적 당면과제로 인해 확대보급에 어느 정도 한계가 나타날 수 있으나, 향후 바이오연료의 품질향상기술 발전 시 생산량 증대추이는 계속될 것으로 판단됨
- 미국, 유럽 등 세계 주요 국가에서 바이오디젤 시장이 점증적으로 확대되고 있으며 특히 정부의 친환경 정책기조와 연계되어 시장이 성장하는 양상을 보이고 있음
 - 미국의 경우 환경에 대한 관심과 세금공제 혜택으로 2000년대에 연평균 91%의 기록적인 성장을 기록하며 2013년에는 3×10^{10} 리터까지 생산될 것으로 전망됨
 - 캐나다는 바이오디젤 보급 초기단계이지만 2015년까지 1×10^9 리터를 생산할 계획임
 - 중국은 2005년 기준으로 폐식용유로부터 9.6×10^7 리터 규모의 바이오디젤이 생산되었으며 특히 경유시장이 크게 증가하면서 바이오디젤 수요가 꾸준히 증가할 신시장으로 예측되고 있음
 - EU는 CO₂ 배출량을 1990년 배출량 대비 감축해야 하는 의무를 지니고 있으므로 수송용 바이오 연료의 공급을 늘리기 위해서 적극적으로 노력하여 최근 7년간 보급량이 18배 이상 증가한 바 있음
- 한국은 해외 선진국의 예에서와 마찬가지로 정부의 신재생에너지 정책에 따라 단기간에 시장이 급성장할 수 있는 잠재력을 가지고 있다고 할 수 있음

□ 바이오 연료 생산을 위한 탈산소 촉매기술

- 수첨탈산소 (HDO) 반응을 이용한 hydrogenated biodiesel (HBD) 생산의 선구자적인 역할을 한 핀란드 정유회사인 Neste Oil은 NExBTL™이란 상품명으로 상업생산을 실시함
- Neste Oil은 2007년에 핀란드의 Porvoo에 연간 190,000톤 규모의 HBD 생산용 공장을 건설한 후 상업생산을 실시하였으며 2009년에는 생산능력을 연간 380,000톤으로 증설함
- Neste Oil은 또한 거점 경유 거래지인 싱가포르와 네덜란드 Rotterdam에 각각 연간 800,000톤 규모의 HBD 생산 공장을 건설하고 상업생산을 실시하였음

- UOP/Eni, Petrobras, SK Innovation은 각 회사별로 HBD 생산을 위한 독자적인 HDO 공정을 개발하였음
- Petrobras의 경우 원료인 vegetable oil 가격의 상승으로 인해서 공장건설을 2009년에 취소하였지만 “H-Bio”라는 명칭의 HBD 생산공정을 확보함
- UOP와 Eni는 합작으로 “Ecofining”이라는 명칭의 HBD 생산공정을 확보함
- SK Innovation도 HDO 관련 신규축매 및 공정관련 특허를 출원하였고 차세대 바이오 디젤 생산기술의 실증 및 보급을 위해서 20 barrel/day 규모의 설비를 건설하였으며 바이오 디젤 인증을 위해 노력하고 있음
- 미국에서는 정유회사가 아닌 경우에도 Dynamic Fuels, Diamond Green Diesel LLC, KiOR, Joule Unlimited 등의 기업에서 HBD 생산을 실시하고 있음
- Dynamic Fuels사는 연간 75,000,000 gallon을 생산할 수 있는 공장을 미국 Louisiana주 Geismar에 건설하고 2010년 11월부터 상업생산을 시작하였으며 Louisiana주 Norco에 연간 137,000,000 gallon을 생산할 수 있는 공장 건설을 계획
- Diamond Greed Diesel LLC는 또한 생산된 HBD의 부가가치를 높이기 위해서 isomerization, standard fraction을 사용하였으며 일부 항공유를 얻음
- KiOR, Joule Unlimited도 HBD 생산용 공장의 건설을 계획함

□ 비식용작물을 활용한 레블린산 및 유도체 제조용 불균일계 축매

- 꾸준한 유가상승으로 기존의 oil refinery를 대체할 수 있는 bio refinery에 대한 연구 개발에 지속적인 투자가 이루어지고 있으나, bio refinery에서 생산되는 화학소재는 아직 미비한 실정임
- 최근, 기존 석유화학공정으로 제조되는 소재의 한계를 극복하여 이를 대체할 소재로서 연구개발 필요성이 부각되고 있으며 그 예로 BPA로부터 제조되는 폴리카보네이트의 대체를 들 수 있음

- 2008년 기준 BPA 세계 생산량은 5.2백만톤이며, 생산된 BPA 중 66%는 폴리카보네이트 제조에, 30%는 epoxy resins 제조에 단량체로 사용됨
- 국내 BPA 생산능력은 2011년 기준 LG화학 30만톤, 금호P&B 30만톤으로 총 60만톤임
- 2012년에 삼양이노켄이 15만톤을 신규생산하고, LG화학도 증설을 계획하고 있어 2014년에는 총 105만톤의 BPA가 생산될 전망이다
- 폴리카보네이트는 BPA 시장에서 가장 높은 비중을 차지하며 빠르게 성장하고 있는 분야로 2006년 기준, 약 2.9백만톤의 폴리카보네이트가 생산되었음
- 폴리카보네이트는 CD 등 광학 소재에 32%, 자동차 내장재 9%, 전기 부품 소재 23%, 건축용 소재 13%, 유아용 젖병 3%, 의료용 소재 3% 등등 다양한 소재로 활용되고 있음
- 폴리카보네이트는 전 세계적으로 높은 수요를 보유하고 있어 2012년에는 세계 생산규모가 519만톤에 달한 것으로 파악되고 있음
- 국내 폴리카보네이트 생산능력은 2011년 기준 약 45만톤 규모로 제일모직, 호남석유화학, LG화학, 삼양화성이 제조하고 있으며 2012년에는 증설로 인해 약 53만톤의 polycarbonate가 생산된 것으로 파악됨
- BPA로부터 제조되는 고분자는 열적, 기계적 특성이 우수하고 부식 혹은 화학약품에 대한 저항성이 뛰어나 엔지니어링 플라스틱으로 널리 사용되어 왔으나 최근 유해성이 부각되며 대체물질의 개발이 시급해짐
- 미 FDA의 2010년 보고서에서 BPA는 태아, 어린이에 심각한 영향을 줄 수 있는 해로운 물질로서 그 위험성이 증대되고 있다고 언급하는 등 유해성이 대두되며 캐나다, 유럽 등에서 유아용 용기에 사용이 억제됨
- 따라서 BPA를 대체할 수 있는 새로운 폴리카보네이트 제조용 단량체 개발이 시급한 실정으로, 바이오매스를 이용한 DPA가 안전성 및 경제성 측면에서 새로운 대체원료로 대두되고 있음
- 바이오매스를 이용한 DPA 생산 단가는 BPA 생산 단가가 비해 저렴하기 때문에 BPA에 비해 경제적인 단량체임

- DPA를 polycarbonate, epoxy resins, 혹은 다른 고분자를 중합할 때, BPA와 함께 사용하거나 BPA를 완전 대체하여 사용할 수 있고, 이 경우 경제적 파급효과가 매우 클 것으로 전망됨
- DPA 시장은 아직 뚜렷하게 자리 잡고 있지는 않으나 BPA 대체재로서 인지도가 높아가고 있으며 특히 유아용 젖병, 물병 등 환경 규제가 심한 폴리카보네이트 소재 적용 제품에 BPA 대체재로 적용가능성이 높음

□ 바이오 기반 화학제품 제조

- 2010년 기준 세계 화학제품 시장 규모는 약 1.3~1.7조 달러 수준으로 평가되고 있으며, 이중 바이오 화학제품이 차지하는 비율은 2003년 약 5%에서 2005년 약 7%로 지속적으로 증가하고 있음
- 향후 화학산업은 매년 3~6%씩 성장하여 2025년 2조 달러 이상의 규모로 성장할 것으로 예상되며 화학산업에서 차지하는 바이오 화학산업의 규모도 22%(약 4천억 달러 수준)까지 성장할 것으로 전망되고 있음
- 바이오 화학제품의 총생산은 2005년 약 8천억원으로 그 가운데 수출은 약 6천억원 규모를 나타내고 있으며, 이러한 규모는 국내 바이오 산업 총생산(2조 8천억원)의 28%, 총수출(12억 달러)의 50%를 차지하고 있음
- 한국은 우수한 발효산업 인프라 및 기술을 가지고 있어 조기 상업화를 통한 시장선점이 가능한 잠재력을 가지고 있으나 현재 바이오매스에 대한 인식 부족으로 기술력이 선진국 대비 부족한 실정임
- 국내에서는 현재 CJ제일제당, 한국 BASF, 대상, 삼양 등을 포함한 80여개 기업이 산업 바이오와 관련된 생산에 참여하고 있음
- 2007년 기준으로 이미 13조원의 시장으로 급성장한 바이오매스 시장은 바이오화학 산업 분야의 성장 가능성을 보여주고 있으며, 최근 생분해성 플라스틱으로 각광받고 있는 PLA(Polylactic Acid) 등의 범용화학제품을 중심으로 연구가 이루어지고 있음

[표 2-10] 바이오기반 화학제품의 세계시장 예측 과 수익 예측

제품분야	공정개선에 대한 비용절감	수익창출효과	2010년	2025년
범용화학제품	100%	0%	1-2%	6-10%
기능성화학제품	75%	25%	20-25%	45-50%
정밀화학제품	35%	65%	20-25%	45-50%
폴리머	40%	60%	5-10	10-20%

출처 : Bachman, 2003; Cygnus Business Consulting & Research; Informa Economics et. al., Biobased Multi-client Study, March 2006.

- 기술 개발에 따른 화학제품 생산비용과 수익예측에 따르면 현재와는 다르게 바이오기술에 의한 가치상승이 높은 정밀석유화학 제품 분야에 집중적인 개발이 이뤄질 것으로 예상됨
- 미국의 Proctor & Gamble(P&G) 사는 글리세롤과 글리세롤 유도물질의 생산량 증가 및 아시아 글리세롤 시장의 급신장에 대비하기 위해 Malaysia Joint Venture, Felda Palm Industries를 통해 년 3.5만톤 규모의 글리세롤 정제공장 신증설을 계획하고 있음
- 에피클로로히드린은 에폭시 수지 제조에 사용되는 필수 화학물질로서 전 세계적으로도 2005년 140만 톤이 생산되었으며 국내에서도 2001년 12.5만 톤이 생산될 만큼 핵심 석유화학 원료임
- 최근 에폭시 수지 생산량 증가로 인해 수요가 급증하고 있으며 제지 공업의 재질강화와 수질정화에도 사용되고 있어 꾸준한 수요 증가가 있을 것으로 예측됨
- 2005년 이후로 대규모 신설 및 증설이 없는 가운데 중국과 중동지역 수요가 연 10% 이상 지속적으로 성장하며 아시아 지역의 공급부족이 심화될 것으로 예상되어, 주요 기업들이 신증설에 나서고 있음
- 에피클로로히드린 메이저 기업인 Dow Chemical사와 Solvay사는 글리세롤을 원료로 디클로로프로판올을 생산하는 공장을 설립계획 중이며 중국도 2006년 9월부터 연산 3만톤 규모의 공장을 가동 중에 있음

- 한편 현재 바이오화학 산업에서 가장 많은 연구가 이루어지고 있는 분야는 PLA (Polylactic Acid)와 프로판디올을 포함하는 범용화학 제품 분야로 관련시장과 수요가 지속적으로 성장할 전망이다
- 1,2-프로판디올은 폴리에스터수지, 액상세제, 의약품, 화장품, 향료, 페인트 및 부동액 등의 재료로 사용되며 연간 2백만톤 규모의 세계시장을 형성하고 있음
- 1,3-프로판디올은 첨단 섬유인 Sorona (Dupont 사) 와 Corterra(Shell 사) 제품의 원료물질로 사용되는데 최근 1,3-프로판디올에 대한 수요가 폭발적으로 증가하여 향후 연간 10억불 가량의 시장을 형성할 전망이다
- 프로판디올 유래 물질인 PPG(Polypropylene Glycol)의 세계 시장 역시 연간 약 4% 이상의 성장을 보일 것으로 예측됨

2.4. 에너지 축매 분야 시장 동향 및 전망

가. 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술

□ 콤팩트 석탄합성석유 / 천연가스합성석유

- 장기적으로 원유 공급 부족이 우려되는 가운데 이러한 공급부족분을 석탄합성석유 (CTL), 천연가스합성석유 (GTL), 오일샌드, 셰일 오일, 초중질유 등의 비재래형 (unconventional) 원유로 대체하는 것이 불가피할 전망이다
- 2035년까지 태양광과 풍력 등의 신재생 연료 사용이 급증할 것으로 예상되지만, 여전히 화석연료 비중이 총 에너지 소비의 75% 이상을 차지할 것으로 예측되고 있음
- DOE의 EIA, IEO 발표(2010)에 따르면 비재래형 합성석유 생산량은 2007년 3.37×10^6 배럴/일에서 2035년 18.45×10^6 배럴/일²⁵⁾로 급격히 증가될 것으로 예상됨

25) 고유가 (\$201/배럴) 가정 시

- 이에 따라, 유가상승 및 향후 석유 공급부족에 대비하기 위해 세계 각국에서 합성석유 생산을 위한 연구개발 투자가 집중적으로 이루어지고 있음
- 이 중 compact 액화 기술에 의한 합성석유 시장 규모는 약 1,800억\$로 예상되는 가운데 남아공(Sasol), 유럽(Shell, CompactGTL) 및 미국 (Velocys), 중국(Shenhua) 등에서 합성석유 생산을 위한 연구개발 투자를 진행 중
- 최근에는 영국의 CompactGTL사와 미국의 Velocys사를 중심으로 중소가스전의 천연가스 및 석유 생산 시 발생하는 부산물 천연가스 (associated gas)를 합성석유로 전환하기 위한 compact 액화 기술이 많은 관심을 받고 있음

[표 2-11] 연도별 합성석유 공급 예상

(단위: 만 배럴/일)

기술별 \ 연도별	2007	2015	2020	2025	2030	2035	Ave. annual percent change
CTL	20	30	50	80	110	140	7.9
GTL	10	30	30	30	40	40	7.3
합계	30	60	80	110	150	180	7.6

출처: 미국 DOE, EIA, International Energy Outlook 2010; 2035년 유가 배럴당 \$133 기준

- 유가 상승에 의해 GTL 플랜트에 대한 투자비용이 크게 증가하면서, GTL 기술 선진국에서도 플랜트 규모와 경제성에 대한 심각한 고민이 이루어지고 있음
- 세계적으로 확인된 약 6000 tcf의 가스전 중 중소형 가스전의 양은 약 4000 tcf 규모로 약 65년 사용 가능한 것으로 알려져 있어 상용 규모의 compact GTL 공정의 성공적인 개발을 위해서는 중소형가스전의 확보가 절실하게 요구됨
- 중동, 아프리카, 남미 및 아시아 등에 산재한 가스 생산국들에서 관련 대규모 프로젝트가 검토 또는 진행중
- 특히 브라질의 Petrobras가 마이크로 반응시스템에 의한 compact GTL plant의 실증사업을 진행 중이며, 이것이 성공할 경우 off-shore GTL 상업화가 진행될 것임

- 국내에서 관련기술 개발 시 중소형 가스전을 보유하고 있는 나이지리아, 오만, 알제리 등의 아프리카에도 기술 수출이 가능
- 특히 알제리의 경우 최근 사하라 프로젝트를 통해 우리나라와 에너지·자원 분야에서 풍부한 중소 천연가스 유전 자원 개발을 원하고 있어 기술 수출이 크게 기대됨
- 특히 한국은 2007년 기준 세계 5위의 석유 순수입국으로, 석탄합성석유 (CTL) 기술 및 소규모 천연가스전 개발에 대한 컴팩트 액화 기술 개발 시 부가가치 창출효과가 크게 나타날 것으로 기대됨
- 2030년까지 국내에 건설될 연 5조원²⁶⁾ 규모 액화 공장의 10%를 본 연구를 통해 개발된 모듈형 컴팩트 액화 공정 시스템으로 건설 가능할 것으로 예측
- 2030년 220조원²⁷⁾에 해당하는 해외 합성석유 시장 참여를 통한 수출 산업화가 가능하며, 세계 플랜트 시장 진출에 따른 일자리 창출 측면에서도 국민 경제 기여 효과가 매우 높을 전망임
- 2030년 7조원 규모의 해외 컴팩트 GTL 플랜트 시장에서 플랜트 수출에 따른 7000억원의 예상 매출이 기대됨²⁸⁾

[표 2-12] 부가가치 분석

항 목	내 용	산 출 근 거
① 상품화 및 보급 잠재량 (생산량/년)	5백만 배럴/년	1.5만 배럴/일 규모 기준 연간 생산량
② 고부가가치 금액 (억 원/년)	5백억 원/년	원유가 배럴당 100 달러 기준
③ 총 개발비 (억 원)	115억 원	1단계: 35억 원, 2단계: 80억 원
④ 금액성과비율 (②/③)	4.3	500억 원/115억 원
⑤ 수입대체효과 (억 원/년)	5백억 원/년	원료비용을 제외한 순이익

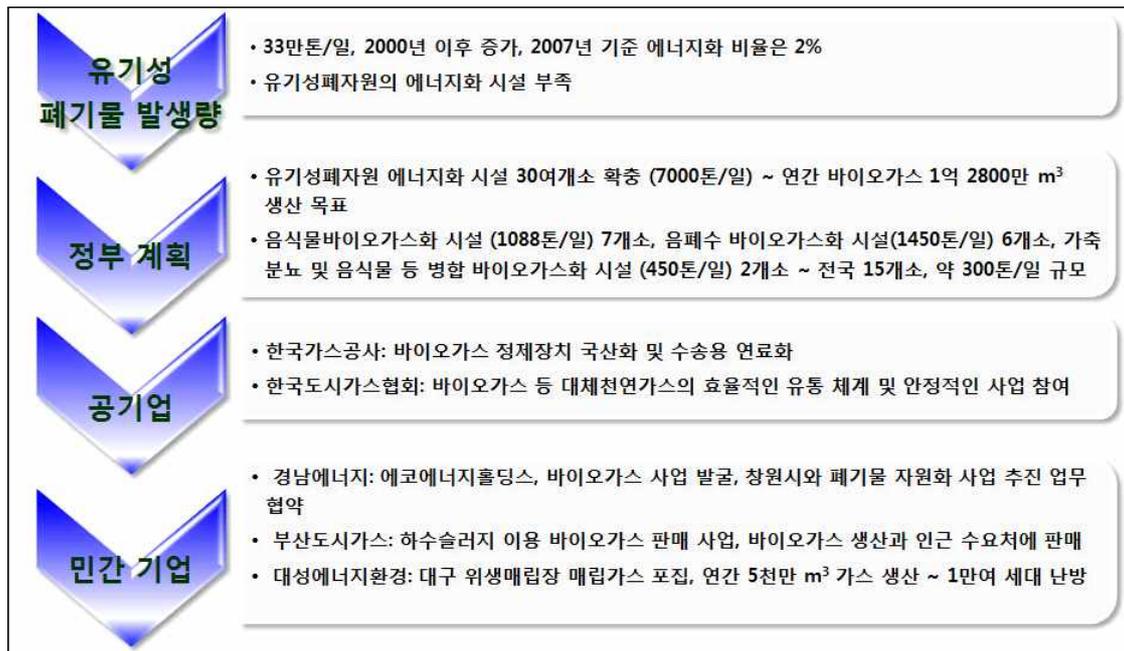
- 또한 유기성 폐기물의 해양 처분을 금지하는 정부시책에 따라 유기성 폐수 슬러지의 처리 대안 마련이 시급한 가운데 바이오가스 개발은 이러한 당면과제 해결 측면에서도 시너지효과를 발휘할 것으로 전망됨

26) 15만 배럴/일*100달러/배럴*1000원*365일

27) 600만배럴/일*100달러/배럴*1000원*365일, DOE/EIA IEO2011 참고

28) 20만 배럴/일*100달러/배럴*1000원*365일, 10% 시장점유율

- 정부는 해양 처분되고 있는 유기성 폐기물을 2013년까지 24%, 2020년까지 100% 수준으로 바이오 가스화 또는 고품 연료화 하는 것을 목표로 하고 있음
- 이에 따라 2013년까지 바이오가스화 시설 17개소 및 하수 슬러지 고품 연료화 시설 4개소를 확충할 계획이나, 이 중 유기성 폐수 처리 슬러지의 경우 완전한 해양 처분의 대안을 마련하지 못하고 있음
- 하수 처리나 고체 쓰레기, 그리고 쓰레기 매립지 등에서 배출되는 에너지로 사용 가능한 폐자원의 양은 연간 약 1,169만 톤이며, 그 중 실제 에너지로 사용되는 양은 약 22만 톤으로 추산됨
- 현재 국내에서는 한국가스공사와 한국도시가스협회에서는 바이오가스의 정제 및 유통에 대한 사업에 참여하고 있으며, 경남에너지, 부산도시가스 등의 민간 기업에서도 바이오가스의 생산 및 판매를 추진 중임



[그림 2-10] 국내 바이오가스 관련 산업 동향

나. 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산기술

□ 광전기 화학적 촉매모듈 및 수소연료

- 물 전기분해 기술은 비화석에너지로부터 수소 연료를 얻을 수 있는 방법으로 유일하게 실용화된 기술로, 사용되는 반도체 촉매에 따라 발전 가능성이 크며 선진국을 중심으로 연구개발이 이루어지고 있음
- 태양광을 이용하여 물로부터 수소를 생산하는 기술은 열적전환이나 전기로 만든 후 전기분해하는 과정에 포함될 수 있는 효율저하 요인이 배제되기 때문에 태양에너지를 이용하는 기술 중 가장 가능성이 높음
- 대부분의 천연원료 수소는 사용되는 지점에서 생산되고 있으며, 2030까지 예상되는 가격범위는 8~12 ct/kWh(2.6~4.0\$/kg H₂)임
- 수소의 수송비용은 수송해야하는 수소의 양과 거리에 영향을 받으며 그 가격범위는 1~4 ct/kWh(0.3~1.3 \$/kg H₂)로 알려져 있음
- IEA와 유럽 위원회에서 기술보급과 에너지 수요공급을 모사하여 시나리오를 전망 한 결과 수소생산 및 기술이 가장 낙관적으로 개발 될 경우 2050년 까지 수소수요는 현저히 증가하여 에너지 수요의 3~8%를 점할 것으로 전망

(단위: 억원, %)

구 분		2000	2005	2010	2020
광촉매	세계시장	7,100	28,000	102,600	198,000
	일본시장	2,500(35.2)	5,500(19.6)	17,300(16.9)	32,900(16.7)
고선택성·고성능촉매	세계시장	1,7800	67,000	74,000	154,000
	일본시장	5,000(28.1)	5,700(8.5)	6,700(9.1)	16,600(10.8)

출처 : 2010 일본 야노경제연구소 (YRI) 광촉매 산업동향

[그림 2-11] 촉매 시장 동향과 전망

- 1900년도 이후 세계적으로 물 전기분해조가 운전되고 있으며, 대규모 시설 및 가압형 전해조를 거쳐 현재 알카라인 물 전기분해법을 사용하고 있으나 촉매의 높은 내구성을 요구됨에 따라 반도체 촉매 개발이 기대되고 있음

- 높은 표면적을 통한 높은 활성도를 얻기 위해 나노 기술이 적용된 촉매전극이 필요
- 높은 효율의 시스템과 타 신재생 에너지로부터 생산된 저가의 전기 에너지를 사용 할 경우 시장 경제성을 만족 할 수 있을 것으로 예상
- 전기를 사용하지 않고 태양광, 태양열 및 풍력 등의 신재생 에너지를 사용하여 효율이 높은 물의 분해가 가능하여 진다면 상업적 사용을 기대 할 수 있음
- 세계적으로 화석 연료가 아닌 재생 에너지를 이용한 수소생산 기술 개발에 많은 나라가 참여하고 있으며, 연료전지의 개발과 함께 많은 연구가 진행될 전망
- 미국의 Hogen사에서 수소생산속도 10 Nm³/hr, 전해전압 15기압의 제품을 생산
- 일본은 WE-NET project에서 단위셀 면적 2,500 cm², 1기압, 80 °C, 1 A/cm²에서 운전되는 5단 스택의 94.4% 효율을 개발
- DuPont은 멕시코에 5억달러를 투입해 20만톤 플랜트를 2014년 완공하여 신설함으로써 반도체 촉매 대량생산 계획
- 캐나다 및 노르웨이 등은 풍부한 수력자원으로 값싼 수력발전이 가능함에 따라 전기분해를 통해 경제성 있는 수소 연료를 제조할 수 있는 것으로 알려짐

다. 차세대 금속공기전지 고효율 촉매개발기술

□ 차세대 금속공기전지

- 차세대 금속공기 전지가 이용될 수 있는 가장 큰 시장은 전기자동차 분야로, 전 세계 전기자동차 관련 친환경자동차 시장 규모는 2015년부터 2020년까지 연평균 15.7%(CAGR)의 성장률을 기록할 것으로 예상됨
- 특히 국제적인 배기가스 규제 강화와 유가의 지속적 상승으로 인해 친환경 자동차 시장은 점차 확대될 전망이다

- 국내 현대자동차社 및 르노삼성자동차社는 각각 2010년, 2011년 EV 양산계획을 가지고 있으며, 전체 전기자동차 시장은 2030년경 성숙기에 이를 것으로 예상함.

[표 2-13] 친환경자동차 시장규모 전망

(단위: 만대)

차량 수 (만대)	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
PHEV	16,020	18,950	21,650	25,520	29,540	32,650
Full EV	850	1120	1480	1,770	2,060	2,270
합계	16,870	20,070	23,130	27,290	31,600	34,920

출처 : 2010 전기자동차용 차세대 리튬금속배터리 기술 개발 보고서

- 전기자동차용 전지는 특히 급변하는 유가와 환경 규제정책으로 인해 각국이 비상한 관심을 갖고 있는 분야로써 파급효과가 매우 커 급속한 시장 확대 가능성이 있음
- 2020년 경 대체재로서 시장을 형성해 나갈 것으로 예상되며, 10년 이내 투자대비 매우 큰 초과 이익이 발생할 것으로 예측되고 있음
- 현재 전기자동차의 전력원은 리튬이온 전지가 점유하고 있으나 차세대 금속공기 전지 기술 수준 향상으로 안정성 및 실용성 확보 시 중대형 에너지 저장 매체 (ESS) 및 긴급보조전원 장치인 (UPS)로의 보완 및 대체 가능
- 금속공기전지는 경량화, 전해액 및 전지 설계 등 기술적 이슈로 즉각적 상용화에는 한계가 있음
- 반면 기존 리튬이온전지 대비 에너지 저장성능과 용량이 매우 우수하여, 현재의 전기자동차의 최대 약점으로 꼽히는 주행거리를 비약적으로 개선시킬 수 있게 됨에 따라 시장 확대의 기회가 될 것으로 기대됨
- 금속공기전지의 본격적인 도입 및 적용 시기는 2020년 이후로 예상되며, 대체 가능 시장은 일반적인 Full EV시장만을 고려할 때 2020년까지 최대 955만대(금액 기준 US \$183.6 Billion) 규모에 이를 것으로 예상됨²⁹⁾

29) EV 차량 필요 전지 용량을 100KWh로 가정하여, Kg당 500Wh로 200Kg에 해당하는 제품 가격을 반영하여

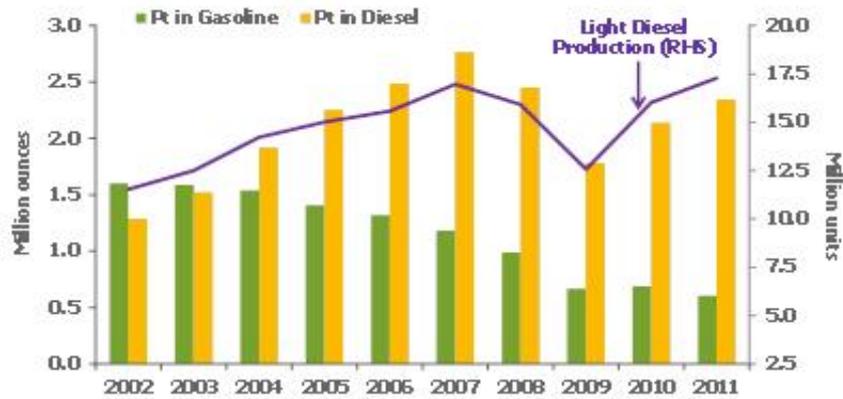
- 국내 자동차 업계의 현재 세계시장 점유율인 5%가 유지된다고 가정했을 때, 국내 업계 매출 규모는 최소 US \$9.2 Billion (~10조원)에 이를 것으로 예상됨

2.5. 환경분야 촉매분야 시장동향 및 전망

가. 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템

- 점차 강화되는 배기가스 규제로 인해 배기가스 후처리장치가 핵심적인 기술개발분야로 대두되고 있고, 특히 기준 충족을 위해서는 여러 단계의 촉매 후처리 시스템이 요구됨에 따라 높은 수준의 기술력이 요구됨
 - 자동차 배기가스 정화용 촉매 시스템은 내연기관의 보조 역할이었지만, 환경 보호를 이유로 전세계에서 규제가 강화되는 경향에 따라 핵심 부분으로 인식되는 상황
 - 자동차 뿐 아니라 비도로 (non-road) 내연기관 (선박, 건설기계)에 대한 규제가 예정됨
 - 대형 강화되는 대기규제 기준을 통과하기 위해서는 DPF, SCR, DOC 등 여러 단계의 후처리 시스템이 필수불가결하며 제한된 공간에서 모든 후처리 시스템을 배치하는데 난해함
- 배기가스 규제가 강화되고 규제 시점이 본격적으로 도래함에 따라 배기가스 정화용 촉매 시스템 관련 산업에 관한 관심 및 투자도 집중되고 있는 상황임
- 미국, 유럽, 일본의 자동차 회사들은 내연기관에서 연료전지, 배터리 등으로 동력원을 교체하려는 시도와 동시에 고연비 엔진 개발에 연구를 집중하고 있음
- 미국 회사들은 “New ICE (internal combustion engine) age”라 칭하며 고연비 내연기관 개발에 박차를 가하고 있음
- 후처리장치에는 백금계 금속이 다량 소요되는데 이러한 귀금속은 시장수급 및 경기변동에 따라 가격 변동성이 크므로 후처리장치 가격 상승의 주요 원인이 되고 있음

- 대형 디젤 차량의 경우 규제가 강화됨에 따라 다양한 후처리 장치가 필요함. 사용되는 귀금속의 가격이 \$1000 - \$2000에 이르고 있는데, 이는 백금계 금속이 다량 필요한 후처리 장치 (DOC, LNT, TWC) 에 기인함. 아래 그림처럼 Pt의 사용처가 삼원촉매의 가솔린 촉매가 아닌 디젤촉매에서의 사용이 역전되어 현재 디젤촉매의 사용이 더 우세함.



[그림 2-12] 가솔린엔진과 디젤엔진에서의 백금 사용량 변화 (Johnson Matthey 자료 2012)

[표 2-14] 디젤자동차 저감장치 개발에 따른 후처리 시장 기대치

구분	2017 년도	2020 년도	2023 년도
수입대체효과(억원)	174	348	869
수출효과(억원)	406	812	2,029

※ 산출근거 : P-DPF 필터 가격 : 100-250만원, DPF : 651-861만원 (<http://www.gg.go.kr>), 시장점유율 : 한국의 자동차 시장 점유율 5%, DPF 필터 점유율 : 20%. 필터가격 하락 예상 (대당 100 만원)

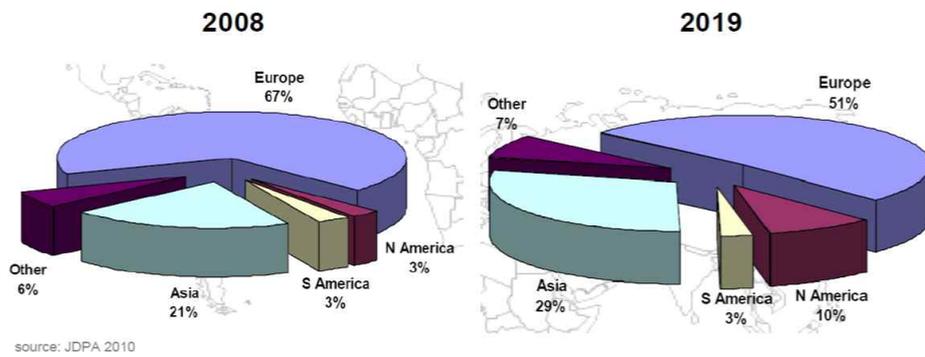
- 디젤자동차 저감장치 개발에 따른 후처리 시장 기대치 UBS 인베스트먼트 등의 조사기관 : 미국에서는 디젤차 판매량이 2006년 55만 대 수준에서 2012년 150만대 이상으로 연평균 18% 이상 성장 전망, 서유럽 시장에서는 디젤 승용차의 시장 점유율이 2006년 승용차 등록대수의 51%를 차지함.

[표 2-15] 디젤 탑재 중/소형 자동차 시장점유율

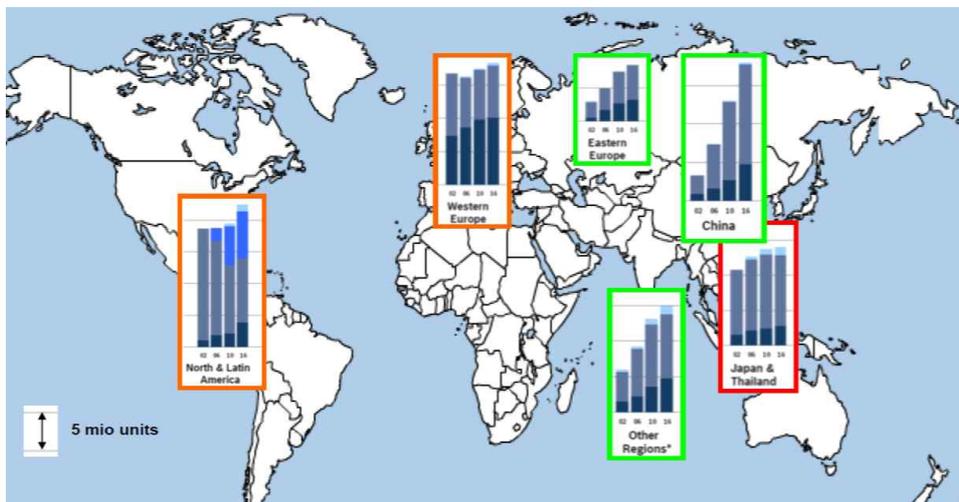
지역/나라	2003	2005	2008	2012	2015
북미	2.3	3.4	7.6	13.0	15.3
서유럽	44.2	47.6	51.7	54.5	55.9
동유럽	10.4	11.8	14.7	20.3	23.6
일본	0.4	1.0	3.0	11.5	16.0
중국	0.5	1.0	4.5	9.0	10.2
한국	31.0	32.0	40.0	49.0	50.0
세계	16.1	17.7	21.4	26.4	28.3

* J. D. Power

- 2017년 세계 신차판매대수 : 9,200 만대 (디젤 차량 31.5% 예상)



[그림 2-13] 세계 디젤 자동차 시장 전망 (2010)



[그림 2-14] 디젤자동차 주요시장 및 점유율 (Source : BOSCH GmbH, 2008)

- 또한 이러한 백금계 촉매 후처리장치는 고온에서 반응성이 떨어지는 낮은 내구성이 한계로 지적되고 있는데, 배기가스 정화 촉매 시스템의 특성 상 우수한 내구성을 지니는 후처리장치의 필요성이 대두되고 있음
- 백금계 촉매 후처리 장치는 기본적으로 고온에서 소결현상이 매우 잘 일어나는 금속을 사용하기 때문에 고온에서도 반응성이 떨어지는 문제점 발생
- 한국은 배기가스 정화 촉매 분야에서 해외 촉매 회사에 기술이 종속되어 있으나, 세계시장을 선도하는 국내 자동차 및 조선산업과의 긴밀한 연계를 통해 선진기술을 추월할 수 있는 최적 환경을 가짐
- 국내 자동차업계는 세계 4위 수준이며 조선업계는 세계 1위 수준이나, 자동차 촉매 산업은 이에 미치지 못함
- 또한 국내 자동차업계가 유럽 및 미국의 친환경 자동차 및 트럭 시장에서 선전 중으로, 유리한 입지 확보를 위해서는 다가올 강력한 배기가스 규제에 대응해 선도적인 핵심기술을 확보할 필요가 있음
- 수년 내로 규제가 예정되어 있는 조선업계도 배기가스 정화용 촉매 시스템에 대한 연구가 미진한 것으로 알려짐

나. CO₂ 활용 촉매개발기술

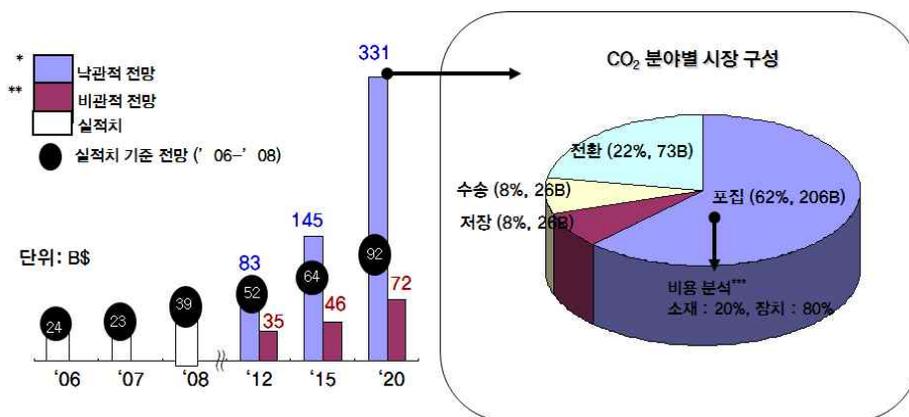
□ CCS 시장

- BCC Research에 따르면 CO₂ 처리 설비 및 연구 개발 투자비를 포함한 CCS 전체 누적시장은 2009년 1,254억 달러에서 연 평균 성장률 25.4%로 성장해 2014년 3,890억 달러에 이를 것으로 전망됨
- 향후 5년간 2,636억 달러 (약 331조원)규모의 시장이 창출될 것으로 예측되고 있음

[표 2-16] 예상되는 CCS 시장규모 (BCC research, 2008; 지식경제부, 2007)

구분	현재의 시장규모	2020년 예상되는 시장규모
세계시장규모	80조원	331조원
한국시장규모	8천억원	2조 6천억원

- CCS 기술적용에 따른 CO₂ 저감량을 배출권 (emission credit)으로 인정하는 CDM 사업 및 사업화시 증명된 배출 감축권 (CER, Certified Emission Reduction)의 배출권거래제(ETS, Emission Trading Scheme) 역시 활발히 추진됨
- CCS 기술이 보급되는 시점에서 CO₂ 배출권 거래 가격 (ETS)보다 CCS 비용을 낮추어야 할 필요성이 점차 증대하고 있음
- 2050년 세계 총 CO₂ 배출량은 약 57 GtCO₂로 예측되며, 이 중 43 GtCO₂ 감축 시나리오에 따르면 연간 4.9~9.1 GtCO₂를 저감할 CCS 기술수요가 예측됨
- CO₂ 분야별 시장은 포집이 전체 시장의 62% ('20년, 206조)를 차지하며, CO₂ 전환 시장이 22% ('20년, 73조)으로 포집과 전환시장이 전체 시장의 84%를 차지하고 있음

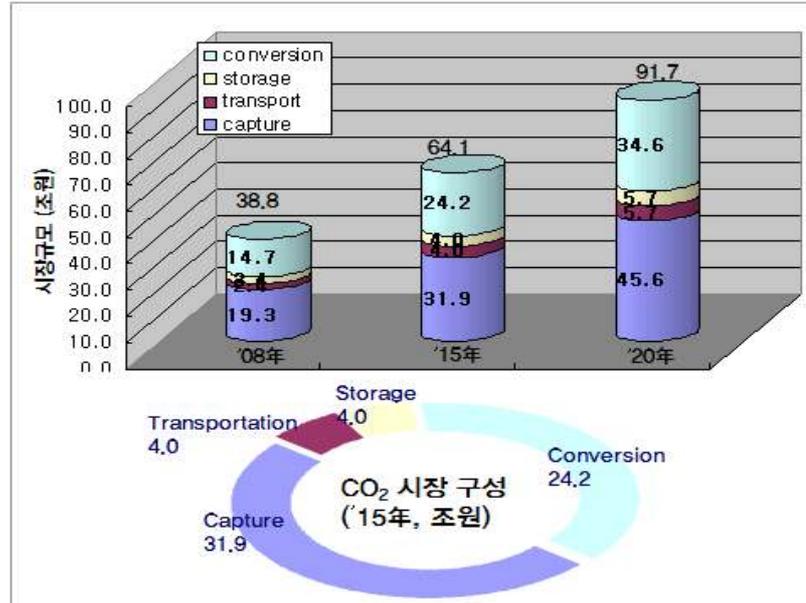


[그림 2-15] CO₂ 시장 전망 추이 및 분야별 시장 규모 (BCC Report “CCS Technology” (2008) 및 IEA 자료 분석)

*낙관적 전망: 주요 선진국 CO₂ 저감의미 이행, 고유가 (>\$80/gal)

**비관적 전망: 미국 등 CO₂ 저감 불이행, 저유가 (<\$40/gal)

- CO₂ 포집 전환 시장은 '08년 39조원에서 에너지/환경 시장의 성장으로 '15년 64조원으로 성장할 것으로 예상됨 [그림 20]



[그림 2-16] CO₂ 분야별 시장 구성
(BCC Report “CCS Technology” (2008))

- CO₂ 재활용 시장은 기존의 CO₂를 활용한 식음료 및 화학제품 활용 시장의 성장 ('09년 2.1조원, '15년 2.5조원, CAGR 2.3%)을 유지하면서, 새로운 에너지 환경제품 전환시장의 성장으로 '09년 15조원에서 '15년 24조원 (CAGR 7.4%)으로 CO₂ 전환시장의 확장이 예상됨

* 식음료 분야 : 탄산음료, 냉각제

화학제품 분야 : 비료

기기제품 분야 : 소화기, 용접, 공조기기 냉매)

에너지 환경제품 분야 : EOR (Enhanced Oil Recovery), EGR (Enhanced Gas Recovery), PC (PolyCarbonate), 올레핀, 수송연료, CCS

- 이 중 화학제품으로의 응용을 살펴보면, 전 세계에서 이산화탄소를 활용한 화학원료 및 제품의 생산량은 163백만톤이며, 이산화탄소는 107백만톤이 원료로 사용됨

- 현재 요소제조가 전체의 88%로 가장 큰 분야를 차지하고 있는데 활용분야의 확대와 고부가가치화가 절실히 요구됨

[표 2-17] CO₂ 활용 현황

Industrial processes that utilize CO ₂ as raw material	World capacity per year	Amount of fixed CO ₂
Urea	143 Mton	105Mton
Salicylic acid	70kton	25kton
Methanol	20Mton	2Mton
Cyclic carbonates	80kton	ca. 40 kton
Poly(propylene carbonate)	70kton	ca. 30 kton

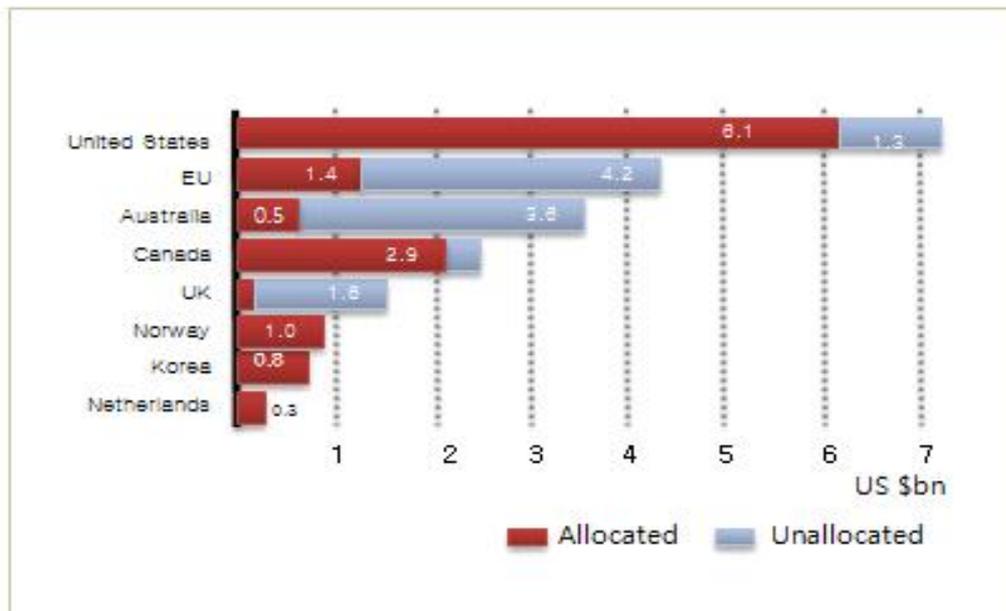
Ref : Yan Li et al., "Utilization of Carbon Dioxide form Coal-fired Power Plant for the Production of Value-added Products"



[그림 2-17] CO₂ 재활용 시장의 구성 (BCC Report "CCS Technology" (2008)

- 주요 선진국들은 CCS 상용화를 온실가스 감축의 핵심으로 인식하고, 막대한 예산을 투입해 실증 프로젝트를 경쟁적으로 추진 중임
- 호주는 세계 최대 석탄 수출국으로서 자국 주도로 '국제CCS연구소 (GCCSI)'를 설립 (09.4) 하여 매년 약 1천억원의 정부예산을 제공, 향후 10년간 상업적 규모의 탄소포집 저장소 10개 건설을 위해 2조원 투자 계획임
- EU는 '20년 CCS 상용화, 화력발전소 CO₂ 배출량 Zero를 목표로 '15년까지 10~12개의 대규모 실증사업에 120억 유로 지원 계획으로 영국은 2개, 독일은 3개 실증 프로젝트를 추진 중임

- 미 에너지부(DOE)는 '17년 CCS 상용화를 목표로 산하에 국립탄소포집센터를 설립('09.6) 하고, '09년 약 1,500 억원을 투자하여 포집기술의 대규모 연구와 기술의 시험 평가를 위한 테스트 베드로 활용
- 일본은 NEDO 및 RITE 주도, '15년 상용화 목표로 실증연구를 추진 중이며, 29개社가 출자한 세계 최초 CCS 전문 민간기업 일본 CCS 주식회사 출범된 바 있음 ('08.5)



[그림 2-18] '05~'10년 국가별 CO₂ 관련 Funding 현황
(The Global Status of CCS, 2011)

- 한편 한국은 온실가스 배출량은 세계 10위 수준일 뿐 아니라, 그 증가 속도 또한 OECD 국가 중 최고임에 따라 대내외적 정책 대응, 경제성 및 시장성 측면에서 CCS기술 개발의 필요성이 부각
- 2013년 국제 기후 변화협약에 대한 전략적 대응 및 2020년까지 BAU(Business As Usual) 대비 30% 수준 감축을 목표로 하는 정부시책 등의 측면에서 경제성 있는 CO₂ 포집 및 활용 기술개발이 필수 선행 과제로 대두
- 국내 CO₂ 배출기업의 처리비용 절감 및 CO₂ 포집 활용을 통한 신산업 전개 측면에서 기술 상용화 성공 시 막대한 경제적 이익 창출이 예상됨

- 국내의 CO₂ 관련 상업화에 필요한 요소기술 개발 및 실증화 기술은 선진국인 미국, 영국, 일본 등에 비해 미흡한 실정이며 화력발전 관련 실증연구가 진행되고 있으나, 가스전 및 유전에서 발생하는 CO₂ 처리 기술개발은 미흡
- 현재 국내 탄소시장 규모는 약 8천억원 수준이며, CCS상용화 시점인 2020년에는 약 2조 6천억원에 달할 것으로 예상됨
- 2014년 국내 CO₂ 관련 누적 시장규모는 6.3조원에 이를 것으로 전망되며 향후 5년간 3.1조원의 CO₂ 관련 시장이 창출될 것으로 전망됨
- 우리나라는 온실가스 배출량의 94%가 에너지(83%) 및 산업부문(12%)에서 발생하고 있으며, 이 중 최대 배출부문인 발전분야의 온실가스 발생 전망치는 [표 2-18]와 같음

[표 2-18] 전력수급 4차 계획에 의한 탄소배출량 (지식경제부, 2008)

년도	2010	2012	2014	2016	2018	2020
탄소배출량 (백만톤CO ₂)	208.1	204.3	200.1	209.2	206.7	194.4
원단위 탄소배출량 (kgC/kWh)	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10

Ⅲ

세부사업별 기술개발 및 산업 동향

1. 기술개발 동향

세부사업별 기술개발 및 산업 동향

1. 기술개발 동향

1.1. 석유화학 촉매 분야 동향

가. 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품

[표 3-1] 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품

	연구개발 현재동향	
	기관명	세부기술명
기업	미국(Albemarle), 네델란드(Akzo Nobel) 및 독일 (Chemtura)	알킬 알루미늄 화합물과 MAO 제조 기술
	한국(레이크엘이디)	TMA & MAO 제조기술 확보 (연산 수백톤 수준)
	미국(UDC, 코닥)	OLED전자재료 제조 기술
	일본(이데미츠고산)	OLED전자재료 관련 시장점유 1위
	미국(Hunstman, Air products) 일본(Tosoh)	친환경 고분자제조용 유기촉매기술
	미국(Dow, ExxonMobil), 일본(Mitsui, Prime polymer), 한국(LG화학, 대림산업)	메탈로센 촉매 기반 m-LLDPE, m-EPDM, m-POP, m-POE 고기능성 폴리올레핀 개발기술
대학	미국(Scripps, Caltech, UC Berkeley)	전이금속촉매를 이용한 정밀화학소재 제조 기술
연구소	Leibniz-Institut(독일)	카보닐화 촉매 개발을 통한 전자재료 제조 기술 개발

□ 알킬 알루미늄 화합물 및 MAO 조촉매 개발

- 알킬 알루미늄(TMA/TEA/TIBA)과 MAO(methylaluminoxane)는 메탈로센 촉매계를 사용한 고부가 폴리에틸렌계 제품 (m-LLDPE, m-EPDM, m-POP, m-POE 등) 생산에 필수적인 조촉매로 사용되고 있음
- 메탈로센 촉매의 활성화에 직접적으로 관여하며 또한 수십-수백 배에 이르는 다량 사용으로 인해 메탈로센 폴리에틸렌계 제품의 고급화와 지속적인 생산 증가에 맞추어 급격한 수요 증가가 예상됨
- MAO는 TMA(trimethylaluminum)를 물과 부분 산화반응시켜 올리고머화한 제품으로, 고분자 중합반응에 직접 투입하거나, 기상 혹은 담지하여 사용함
- m-MAO는 조촉매의 성능 보강을 위해 TMA에 TIBA(tri isobutylaluminum)와 같은 다른 알킬 알루미늄 화합물을 추가하여 제조함
- 알킬알루미늄 화합물과 MAO(m-MAO 포함)는 미국의 Albemarle, 네델란드의 Akzo Nobel과 독일의 Chemtura 3사가 Major 제조업체로 시장을 점유하고 있으며, 5~10개 회분식 반응기에서 합성 후 증류 분리탑에서 연속 생산하는 방식으로 제품이 생산됨
- 알킬 알루미늄과 MAO의 높은 반응성과 장기 보관의 어려움 등으로 인해 고가의 수입에 의존한 현 상황을 극복하고 또한 신규 구조의 조촉매를 개발함으로써 메탈로센 폴리오레핀 제품의 가격 경쟁력과 제품 성능 면에서도 우위를 점할 수 있음
- Major 제조사 외에도 중동이나 중국에서도 이와 같은 요구에 발맞춰 제품 생산에 박차를 가하고 있으나 국내에서는 연구개발이 매우 미진한 상황임
- 지글러-나타 촉매 시스템에 주로 사용되며 TMA, TEAL, EASC, TIBAL, DEAC 등이 있음. 초기 불균일계 촉매시스템에서 보다 온화한 조건의 균일계촉매시스템으로개발 되었음. 폴리머의 수요증가에 따라 꾸준한 증가세를 보이고 있으며, 특히 최근에는 알버말, 켐츄라 등의 선진 개발사들이 중국, 중동지역에서 합작회사 형태로 대규모 플랜트를 건설하였고, 인도의 걸브랜선사도 증산중에 있다. 그러나, TMA의 경우 기술적 난이도로 인하여 전세계적으로 알버말, 켐츄라, 약조 등의 3사만

이 상업적 생산을 하고 있음. 국내의 경우, 레이크엘리디에서 TMA를 양산화에 성공하여 상업 생산을 시작하였음

- MAO는 고분자의 물성과 분자량, 구조를 쉽게 조절 가능한 메탈로센 올레핀 폴리머를 제조하는데 사용되는 메탈로센 촉매 시스템의 조촉매로 사용되고 있으며, 원료인 TMA를 보유하고 있어야 개발 가능하고 기술적 난이도가 높아 기존 TMA를 양산하고 있는 알버말, 켈쥬라, 악조에서만 생산하고 있는 중임. 국내의 경우, 레이크엘리디에서 TMA를 상업화 후, 이를 이용하여 MAO 개발을 진행중인 것으로 확인되었음
- MAO는 통상적으로 TMA에 물을 직접 반응시키는 방법으로 반응제어가 어렵고 가수분해 반응이 폭발적으로 일어날 위험성이 있고, 반응제어를 못해 2량체 또는 3량체를 얻을 경우 중합활성을 대부분 나타내지 않음. 반응 제어 기술과 고분자화 기술을 이용하여 n이 4~20의 것을 얻을 경우 대단히 활성이 높은 것으로 나타났으며, n이 큰 만큼 고활성이 됨. 따라서, 반응장치와 반응방법을 개발하여 반응속도를 억제하고 물을 가능한 한 분산시키는 방법 등으로 고수율, 고성능의 MAO를 제조할 수 있는 기술들을 개발하고 있음.
- 최근에는 MAO가 방향족류 용매에만 잘 녹고 탄화수소 용매에는 잘 녹지 않는 특성이 있어서 용해도를 개선시키는 연구와 함께 낮은 저장 안정성 향상 연구가 활발히 진행 중에 있음. 왜냐하면 폴리머는 식품 접촉시 유해물질로부터 안전해야 되기 때문에 방향족류 용매를 사용하지 않는 추세이기 때문임. 또한, 탄화수소 용매에는 낮은 용해도로 인하여 10%이상의 MAO함량을 제조할 수 없고 낮은 알루미늄 농도로 인한 촉매 시스템 제조에 있어서 비경제적이기 때문임. 이렇게 용해도 및 안정성이 개선된 MAO를 m-MAO(Modified MAO)라고 함
- 상업적 폴리올레핀 중합에 있어서 많은 부분이 슬러리 또는 기상 중합 공정으로 이루어지기 때문에 MAO 및 폴리머 촉매를 알루미나 또는 실리카 등의 고체상에 담지하여 사용하는 방법도 개발되고 있음
- 고가의 MAO 대신에 조촉매로써 붕소 및 알루미늄 이온을 가진 화합물을 이용한 퍼플루오르아릴보레이트 및 알루미네이트 조촉매가 개발되었음. 올레핀 폴리머 중합에 활성은 높지만 탄화수소 용매에 대한 용해도 및 열 안정성이 낮다는 단점이 있어 이를 개선하는 연구가 진

행되고 있음. 현재, 해외 몇몇 선진사들 만이 개발했으며, 국내에는 아직 개발사가 없는 상황이며 레이크엘이디에서 유일하게 개발중에 있음

- 이상을 종합해 보면, 국내의 폴리머 중합 촉매 시스템 개발은 구조적으로 조촉매인 알킬알루미늄 및 MAO를 확보하지 못하여 메탈로센 촉매 개발에 한계가 있었음. 왜냐하면, 조촉매를 해외 선진사에 의존하다보니 개발정보들이 유지되지 않고 선진사에서 개발해 놓은 조촉매에 맞춰 메탈로센 촉매 시스템을 개발해야 하는 한계가 존재하였음. 현재, 레이크엘이디에서 알킬알루미늄 상업화 및 조촉매를 개발중에 있는데, 국내에서도 알킬알루미늄, MAO 및 보레이트 등의 조촉매 개발이 앞당겨진다면 고효율의 메탈로센 촉매시스템 개발이 가속화될 수 있으리라 판단되고 기존 전량 수입에 의존하던 알킬알루미늄, MAO 및 보레이트를 전량 국산화 할 수 있음

□ 메탈로센 폴리에틸렌 및 에틸렌/알파-올레핀 공중합 개발 분야

- 기존 Ziegler/Natta 촉매 기반의 폴리에틸렌 제품인 HDPE(high-density polyethylene)/LLDPE(linear low-density polyethylene)/VA(ethylene-vinyl acetate copolymer)/EPDM(ethylene-propylene-iene terpolymer)을 대체하거나 신규 고기능성을 가지는 메탈로센 폴리에틸렌계 제품 개발이 최근 들어 활발히 진행 중임
- 에틸렌 주 단량체와 다양한 알파 올레핀 공단량체를 이용하여 메탈로센 촉매 중합법을 통해 제조되는 폴리올레핀은 알파 올레핀의 종류와 혼입량 그리고 분자량 및 분자량 분포 조절에 따라 폭넓은 물성과 용이한 물성 조절로 인해 다양한 기능성 제품으로 각광을 받고 있음
- 대표적인, 메탈로센 폴리에틸렌 및 공중합체로는 메탈로센 촉매 기반 m-LLDPE, m-EPDM, m-POP(polyolefin plastomer), m-POE(polyolefin elastomer)를 예로 들 수 있음
- 글로벌 메이저기업인 ExxonMobil(미), Dow(미), Prime Polymer(일), Mitsui Chemical(일) 등은 자사의 메탈로센 촉매 기술을 활용하여 1990년대 초반부터 생산 및 판매를 시작하였음
- m-POP의 예로는, 미국 ExxonMobil 사의 EXACT™과 Dow 사의 AFFINITY™

제품이 대표적임

- 초저밀도 elastomer인 m-POE로는 Dow사의 ENGAGE™를 필두로 Mitsui사의 TAFMER™ 등이 잘 알려져 있음
- Dow 사는 또한 m-EPDM 고무인 NORDEL™ 제품을 자사의 INSITE 촉매 기술로 최초로 상업화하였음
- 메탈로센계 폴리올레핀의 개발과 생산에서 가장 중요한 역할을 담당하는 것이 유기금속촉매 즉, 메탈로센 촉매이며 상기 메이저 기업들은 자사가 보유한 촉매 기술과 중합공정 기술을 제품 개발에 활용하고 있음
- m-POP/POE는 저밀도 폴리에틸렌 제품으로 높은 공단량체를 함유하므로 공단량체에 대한 응답성이 높은 CGC(constrained geometry catalyst) 또는 안사-메탈로센 계열의 촉매가 활용되고 있으며 중합 공정은 고온, 용액 연속반응을 채택함으로써 높은 중합 생산성과 프로세스의 용이성을 제공해 주고 있음
- m-LLDPE는 지르코노센계 메탈로센을 이용하여 밀도에 따라 용액 및 슬러리 공정 그리고 기상 공정을 모두 적용 가능함
- 국내 석유화학 업체들도 최근 들어 메탈로센 폴리에틸렌계 제품 개발에 성공하여 생산 및 판매를 확대하고 있음
- LG화학의 경우 자사 촉매를 활용하여 '06년도에 m-POE 생산에 성공하였으며 SK이노베이션 사 또한 '10년도에 메탈로센 촉매 기반 m-LLDPE 개발에 성공, 최근 생산 공장 건설을 착수하였음. 대림산업은 2000년대 초반 국내 최초로 m-LLDPE의 독자 개발에 성공, 현재까지 지속적인 생산을 하고 있음
- 메탈로센 폴리에틸렌 및 m-POP/POE 생산 및 수요의 지속적인 성장에도 불구하고, 국내 촉매 기술과 제품군은 여전히 제한적임
- 자사 촉매 및 중합 기술을 활용하고 있으나 대다수가 초기 글로벌 메이저 사의 촉매 특허기술의 만료와 함께 늦게 시작되었음
- 촉매 성능 및 중합 생산성 향상을 위해서는 기존 촉매를 뛰어넘는 고활성 및 고기능성 촉매가 필요함

- 또한, 신규 촉매 구조로부터 기존 폴리에틸렌 및 m-POP/POE 제품과는 차별성을 가지는 신규 기능성 제품 개발을 통해 고부가가치 제품 창출이 필요함

□ 정밀화학 소재 및 촉매개발 분야

- 디스플레이 전자재료
 - 디스플레이가 2000년대 화질 경쟁과 대형화 경쟁을 지나서 새로운 형태의 고부가가치 제품을 개발하는 방향으로 전개되고 있음. 현재 LCD와 PDP 기반으로 한 3D TV와 IP TV의 기술개발과 판매에서 점차 유기발광다이오드(OLED) 소자를 이용한 중대형 디스플레이와 플렉서블 디스플레이로 확대되고 있음. 이에 따라 소형 디스플레이에서의 경량화, 슬림화 그리고 대형 디스플레이에서의 슬림화, 에너지효율향상(미국 에너지스타 규제 시행 예정)에 초점을 맞추어 전자재료 부품소재 기술개발이 진행되고 있음
 - 모바일 디스플레이에서 출발한 OLED가 점차 크기를 확대하여 Tablet PC와 TV용으로 개발되어지고 있으며 이에 따른 새로운 부품소재 기술개발이 병행되고 있음
 - 일본은 소재에 대한 원천기술 및 핵심기술을 다량 보유하고 있고, 기초기반기술이 매우 발달되어 있음. 예를 들어, LCD 소재의 국산화율은 2000년대 30%에서 2009년 70% 수준으로 향상되었으나, 그것의 1차 부품 국산화율은 80%, 2차 부품은 45%, 3차부품은 18%로 다운스트림으로 내려 갈수록 국산화율이 낮고 일본 부품소재 채택율이 높은 상태임
 - 단일 국가 기준으로 일본은 미국에 이어 세계 2위의 내수시장을 가짐에도 불구하고 개별기업의 규모는 소규모인 것이 특징이고 상대적으로 화학소재산업이 미국에 비해 늦게 시작되었음에도 불구하고 응용소재분야 특히 정보전자용 화학소재 부문에서는 세계시장의 70~90% 내외를 육박하는 등 세계 최고의 경쟁력을 확보하고 있다는 것이 특징임
 - 부가가치 분야에서는 일본의 핵심부품 및 첨단소재에 기술경쟁력을 가지고 다품종 소량제품의 유연생산체제를 갖추고 있다고 볼 수 있고, 상대적으로 한국은 원천기술에는 취약하지만 개량 및 응용기술이 강하여 제조공정기술이 비교우위에 있어 대규모 투자형 제품의

혁신역량이 뛰어나며 특히 표준형 대량생산 체제에서는 우위에 있다고 볼 수 있음

- 최근 급성장하고 있는 OLED 관련 제조기술은 일본(이데미츠 코산) 및 미국(UDC, 코닥)에서 기술을 점유하고 있으며, 특히 관련 합성 기술은 일본이 독점하고 있음. 국내에서도 관련 기술에 대한 연구는 많이 하고 있으나 최종 화합물 합성 분야에 한정되고, 이를 합성하는 원천 기술에 대한 연구는 미약함.

[표 3-2] 주요선진국 기술수준 비교

디스플레이소재	일본	대만	한국
패널소재	100	10	40
백라이트소재	100	60	80
구동IC소재	100	40	90
차세대 디스플레이소재	100	5	40

- 따라서, 전이금속 촉매를 이용한 디스플레이 유기 전자소재의 제조 기술 개발은 급속히 발전하는 분야이며 국내연구로 현재까지 발표된 기술의 수는 절대적으로 부족한 실정임. 특히 미국, 유럽, 중국, 일본에서 다양한 유기소재 개발 관련한 기초연구가 방대하게 진행되고, 과거 상용화가 어려운 유기소재를 새롭게 개발한 합성법을 통하여 대량생산하는 사례가 늘어나는 추세임.

○ 정밀화학 전구체 및 고분자 제조용 친환경 촉매 기술

- 석유화학제품을 반응성이 높은 할로젠화 및 활성물질로 변환시킨 이후 정밀화학 제품을 제조하는 기술대신 석유화학에서 도출된 출발 물질을 바로 이용하여 고부가가치의 전자재료 물질을 합성하는 합성법 개발이 미국, 중국에서 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 전이금속 촉매 관련 연구자들의 연구가 되고 있음.
- 환경적으로 중요한 일산화탄소 및 이산화탄소를 반응 물질로 사용하여 전이금속촉매의 카보닐화 반응법 개발을 통한 전자재료 합성법은 전세계적으로 관심을 가지고 있는 분야임. 특히 일산화탄소를 이용한 제조법은 독일의 Leibniz-Institut에서 지속적으로 연구 중에 있으나 이산화탄소를 이용한 합성법 개발은 실용화단계에까지는 되지 않고 있음.

- 유기촉매를 이용하여 다양한 정밀화학 제품 생산 기술은 미국, 유럽, 일본이 주도하고 있고, 중국 및 국내 연구진의 연구가 이를 뒤따르고 있음. 연구의 대상으로는 enamine 촉매 반응, iminium 촉매 반응, Quaternary ammonium 촉매를 이용한 phase-transfer 반응, Lewis base 촉매 반응, Brønsted-acidic 촉매 반응들이 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 소수의 대학 연구자에 의해 기초 연구단계로 수행하고 있음. 그러나 대부분 기초 연구에 한정되어 있어 산업체에서 필요로 하는 고분자 합성 분야의 유기 촉매 반응은 극히 미비한 실정임.
- 고분자 합성에서 환경규제에 대체하기 위한 VOCs를 방출하지 않는 친환경적 유기 촉매의 연구는 미국의 Hunstman, Air products, 일본의 Tosoh등이 Non-Emission 혹은 Low VOCs에 대한 연구를 하고 있으며 생산성, 사용량감소 등을 위한 연구개발을 진행하고 있는 상태이며 현재로서는 완벽하게 안착된 제품은 없으나 Air Products가 가장 빠르게 적용되고 있으며, 그 소비량이 국내에서 100ton/year(100% 수입에 의존) 정도에 이르고 있음.

○ 염·안료산업

- 선진국은 핵심기술 및 첨단기술 기반의 중간체 및 신물질 개발을 통하여 지식재산권의 확보에 주력하고 있으며, 특히 신기능 및 특수기능의 새로운 염료소재 기술개발에 총력을 기울이고 있는 선진국 혹은 다국적기업들 간에는 기술적 제품 차별화 및 전략적 제휴 등을 통한 수평적 분업관계를 보이고 있음
- 개도국에게는 범용제품 위주의 완제품 또는 중간체의 일부를 가공하여 공급받는 수직적 분업관계를 유지하고 있음
- 특히, 다른 기술분야에 비해 유럽 국가의 비중이 매우 높고 핵심기술인 염료물질 자체의 특허는 다국적 거대기업인 DyStar, BASF (Ciba Specialty Chemical이 BASF로 M&A됨), Sumitomo화학 등 3~4개 메이저 화학기업이 거의 독점하고 있으나, 업체간의 인수합병이 매우 심하게 일어나고 있음
- 기술특허 출원비중으로 본 기술개발 추세는 반응성염료 53%, 분산염료 24%, 산성염료 8% 순이며 앞으로도 반응성염료와 분산염료를 중심으로 한 기술개발이 지속될 것으로 전망됨
- 향후 섬유 이외의 새로운 소재에 적용 가능한 제품의 개발 및 새로운 염색기술에 적합한 염료개발 등과 함께 환경친화성과 견뢰도가

우수한 반응성염료와 분산염료, 고기능성 형광염료의 개발이 중점적으로 이루어질 전망이다

○ 도료산업

- 전 세계적으로 Low VOC 및, High Solid, 인체에 무해한 수성화, 경화에너지 절감형 도료를 바탕으로 하는 새로운 기술들을 기반으로 멀티공정화 되어 있는 도장공정의 단축과 통합화를 통한 유니도장공정 등의 적용 기술이 전반적인 미래기술의 추세로 각광 받고 있으며, 특히 자동차 도료의 경우 수성화 및 유니도장공정 그리고 UV 경화형 시스템 적용을 위한 새로운 기술개발이 진행 중이며, 선박도료의 경우 신개념의 방오도료 개발이 진행 중임
- 또한 Self-functional 특성을 부여하여, 도료 자체로서 부여된 특성이 자가화 특성을 갖게 함으로써 스스로 부여된 기능을 지능적으로 발현할 수 있는 새로운 분야인 스마트 코팅 및 도료분야가 크게 부각되고 있는 상황으로, 그 대표적인 분야로는 Self-healing 특성을 통한 스마트 스크래치 자기치유형 코팅 기술과 부식 자기치유형 코팅 기술이 주요한 연구분야로 자리잡고 있으며 자기세정형 기술과 주위환경 자기조화형 코팅기술 역시 미래의 기술로 각광받고 있음
- 이러한 시장의 니즈와 트렌드를 바탕으로 도료 및 코팅 원소재의 최적 설계 및 신규소재의 원천기술 개발에 더 많은 노력을 기울이고 있으며 그 이외의 건축용 도료나 일반 공업용 도료는 지역 특성에 맞도록 각 국가별, 지역별로 특화되어 외국에서는 더 이상 기술 개발에 많은 집중을 하지 않고 있어 이에 대한 응용기술 확보가 필요함

나. 저탄소 화합물(C1~6) 전환 기술개발 동향

[표 3-3] 저탄소 화합물 국내외 기술개발 동향

	국내 연구개발 현재동향		연구개발규모	
	기관명	세부기술명	시작년도 (투자액)	연구인력 (연간)
기업	Texaco Ube Sinopec	Syngas로부터 직접 MEG를 합성하는 공정	1980 2012 2011	- 상업규모 파일럿규모
	호남석유화학	ethylene oxide 활용 MEG 제조 공정	-	생산중
	Shell-YPC BASF-UOP Nippon Zeon Dow(Union Carbide) 금호석유화학(주) Samsung Total 여천 NCC(주) 호남석유화학 Mitsubishi Chemical	저탄소 화합물로부터 부타디엔 제조 공정	2009 1984 1989 1981 1979 2007 1992 2011 2009	- 상업화 상업화 상업화 상업화 상업화 상업화 - -
대학	-	-	-	-
연구소	-	-	-	-

- 새로운 그레이드의 PE 개발을 위해서는 새로운 촉매의 개발이 중요하므로 국내외 주요 PE제조기업에서는 새로운 PE제조용 촉매의 개발에 집중하고 있음
- Dow, Univation 등의 선진 업체는 새로운 촉매 개발에 사활을 걸고 있으며 국내에서도 LG화학, SK이노베이션 등이 메탈로센 PE 촉매공정 기술을 보유한 가운데 지속적인 신규 촉매 개발이 진행되고 있음
- 에틸렌으로부터 알파-올레핀을 제조하는 공정(SHOP process)이 Shell사에 의하여 개발되어 현재 생산되고 있으며, 1-헥센/1-옥텐의 선택성을 높인 Ineos 공정이 운전되고 있음
- SASOL은 1-옥텐/1-헥센 만을 선택적으로 제조할 수 있는 공정이 건설중에 있으며, 13년 중 상업 운전 예정

- 국내에서는 SK이노베이션과 LG화학이 선택적으로 1-옥텐/1-헥센만을 제조하는 기술을 개발 중임
- Syngas로부터 직접 MEG를 합성하는 공정은 1970년 중반 UCC 사에서 처음 Rh계 균일 촉매를 사용하여 그 가능성을 제시한 이래 현재까지 상업화가 이루어지지 않았으나 관련 연구가 활발히 진행되고 있음
- 1980년 초반에 미국 Texaco Development Corp. 사에서 연구를 수행
- 풍부한 석탄 자원을 보유한 중국에서 2015년까지 Coal to MEG 10개 이상 프로젝트 (생산규모 180만톤/년)가 활발히 진행 중임.
- 국내에서는 기존 MEG 제조 기술인 ethylene oxide 활용공정이 호남석유화학 등에서 상업화 되어 있으나 syngas로부터 MEG 제조 기술 관련 연구는 전무한 가운데 최근 부생가스 활용기술의 중요성이 부각되면서 관심이 집중되고 있음
- 중국의 Sinopec은 2011년 4월에 합성가스로부터 연간 1000톤의 MEG를 생산할 수 있는 파일럿 규모의 플랜트를 준공하여 기술개발을 추진하고 있음
- 부타디엔은 유럽, 러시아 등에서 아세틸렌, 에탄올을 원료로 하여 제조한 후 Butene, Butane 등을 탈수소화하여 부타디엔을 제조하였으며, 최근까지 Mixed-C4를 원료로 하여 부타디엔을 제조하고 있는데 추출 용매의 종류에 따라 ACN, NMP, DMF Process로 구분할 수 있음. NMP Process(Licenser : BASF)는 운전온도·압력이 비교적 낮으며 용매의 순환유량이 많고, DMF Process(Licenser : Nippon Zeon)은 운전온도·압력이 비교적 높으며 용매의 순환유량이 적은 특징이 있음

[표 3-4] 부타디엔

번호	원료	부타디엔 생산 방법	라이센스사	비고
1	아세틸렌	Aldol Process	유럽, 러시아	-
		Reppe Process		
2	에탄올	Single-step Process	러시아	중국 생산중단
		Two-step Process		인도 가동중단
3	부텐	탈수소화	Esso, Dow, Phillips	미국 95년 생산 중단
		산화 탈수소화	Shell, Dow, Petro-tex	
4	부탄	탈수소화	Houdry	미국 83년 생산 중단
5	Mixed-C4	ACN Process	Shell, JSR-Shell	현재 생산중
		NMP Process	BASF	
		DMP Process	Nippon Zeon	

- 국내에서 부타디엔을 생산하는 공정을 보유한 사업장은 아래와 같으며, 일반적으로 혼합된 C4을 원료로 하여 전처리, 추출증류, 정제공정을 거쳐 생산하며, 라이선스는 해외 기술사들이 보유하고 있는 실정임

[표 3-5] 부타디엔 생산 공정 보유 사업장

사업장명	생산방법	Licensor	생산량(T/Y)
금호석유화학(주)	추출증류(ACN)	JSR	90,000
Samsung Total	추출증류(DMF)	Nippon Zeon	80,000
롯데 대산유화(주)	추출증류(DMF)	Nippon Zeon	100,000
LG화학(주)	추출증류(DMF)	Nippon Zeon	70,000
SK에너지(주)	추출증류(NMP, ACN)	BASF, Shell	100,000
금호석유화학(주)	추출증류(NMP)	BASF	147,000
여천 NCC	추출증류(DMF)	Nippon Zeon	222,000
LG석유화학(주)	추출증류(DMF)	Nippon Zeon	144,000

- Syngas로부터 직접 MEG를 합성하는 공정은 1970년 중반 UCC 사에서 처음 Rh계 균일 촉매를 사용하여 그 가능성을 제시한 이래 현재 까지 상업화가 이루어지지 않았으나 관련 연구가 활발히 진행되고 있음
- 1980년 초반에 미국 Texaco Development Corp. 사에서 연구를 수행하였음

다. 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술개발 동향

[표 3-6] 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술개발 동향

	국내 연구개발 현재동향		기술개발동향	
	기관명	세부기술명	시작년도 (투자액)	연구인력 (연간)
기업	현대오일뱅크	납사고부가화 기술개발	2012	2
	Axens 사	올레핀계 납사를 디젤로 전환하는 기술	상업화 완료 공정	
	Shell, DOW 등 글로벌 메이저 4사	중질유 탈황 및 분해 공정용 촉매 개발		
	CLG (Chevron Lummus Global) 및 Axens	Fixed bed hydroprocessing 공정		
	GS-Caltex	Ebullated bed hydroprocessing 공정		
대학	스페인 폴리테크닉 대학 / 스웨덴 스톡홀름 대학	납사로부터 디젤 직접 전환용 나노사이즈 3차원 다공성 ITQ-39 제올라이트 연구	2012	-
연구소	-	-	-	-

- 현재까지 파라핀 성분이 주인 경질 납사를 이용하여 경유 등의 고부가 물질을 제조하는 연구는 국내에서는 진행된 바 없으며, 해외에서도 연구개발 시작 단계로 관련 기술 발표는 소수에 불과함
- 2012년 2월 스페인 폴리테크닉 대학 및 스웨덴 스톡홀름대학 연구팀이 Nature Chemist 지에 납사의 디젤 직접 전환에 응용할 수 있는 나노사이즈 3차원 다공성 ITQ-39 라는 제올라이트 구조에 대해 발표한 바 있음
- Axens 사에서는 올레핀 계 납사를 원료로 디젤 전환하는 기술을 보유하고 있으나, 디젤 수율이 26% 정도에 불과하며 파라핀계 납사를 사용할 수 없다는 한계가 있음
- 상업화된 경질화 공정은 대부분 중질유로부터 황을 비롯한 불순물을 제거하는 목적의 중질유수소화탈황공정(RHDS)과 불순물이 제거된 중질유 제품을 분해하기 위한 유동층촉매분해공정(RFCC)이 조합되어 있음

- 중질유 탈황 및 분해 공정용 촉매는 글로벌 메이저사 4-5개가 상업화 촉매를 판매하고 있는 상황이며, 기 판매중인 촉매의 성능 향상을 위한 연구를 실시하고 있는 상황이나, 그 발전 속도는 느린 편임
- 우리나라의 경우 정유 4사에서 사용되는 촉매를 전량 해외에서 수입하고 있는 실정이며, 중질유 탈황 및 분해용 촉매개발에 대한 연구 개발 투자는 거의 없는 상태임
- 공정별로 살펴보면, Fixed bed hydroprocessing 공정의 경우 대표적 특허권자로 CLG (Chevron Lummus Global), Axens가 있으며 국내에서 SK 에너지, 현대오일뱅크 및 S-Oil에 도입되어 있음
- 통상적인 feedstock은 상압 잔사유 혹은 일부 감압 잔사유이며, 고정상 탈금속/탈질/탈탄소 잔류물/탈황 촉매 하에서 고온/고압 조건으로 hydroprocessing 함
- 촉매로 Co, Ni, Mo, W sulfide 담지 촉매를 주로 사용하고, 촉매 비활성화가 주요 문제로서 주요 촉매 물성으로 촉매의 기공구조와 활성금속의 분산도를 들 수 있음
- Fixed bed type 특성 상 heavy feed 처리 시 반응기 차압 및 촉매 활성화의 저하문제로 인한 전환율 한계에 따라 중질유 전환율은 20~30%로 높지 않으며, 중질유 분해공정보다는 중질유 탈황공정에 가깝다고 볼 수 있음
- Ebullated bed hydroprocessing 공정의 경우 CLG (Chevron Lummus Global)의 LC-Fining과 Axens의 H-Oil이 공정이 대표적인 공정이며, 국내에서는 GS-Caltex에서 LC-Fining 공정을 도입 추진 중임
- 두 공정 모두 감압 잔사유, bitumen과 같은 중질유를 고온/고압에서 hydroprocessing 하여 경질 유분을 생산하는 공정으로서 기술적으로 유사함
- Slurry hydroprocessing 공정(중질유의 슬러리 수첨분해 기술)은 현재 전 세계적으로 10여개 안팎의 기술이 파일럿 또는 demo plant 수준에서 연구되고 있으며, 일부 공정은 2012년경 상용화를 목표로 개발되고 있음

- 촉매가 중질유 feed와 slurry상태로 혼합되어 고온고압에서 반응하며, ebullated bed 대비 더욱 dirty하고 heavy한 feed를 처리하면서 높은 전환율 달성 가능함

라. 식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조기술 개발 동향

[표 3-7] 식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조기술 개발 동향

	국내 연구개발 현재동향	
	기관명	세부기술명
기업	Neste Oil, Petrobras, SK Innovation, UOP/Eni 등	수첨탈산소 반응 (Hydrodeoxygenation, HDO)을 이용한 탄화수소계 연료 생산
	Petrabras, SK Innovation	HDO 공정 개발 연구
	미국 (Biofine Technology LLC)	바이오매스로부터 레볼린산으로 전환하는 공정 개발
	Dow Chemical, Solvay	글리세롤로부터 디클로로프로판올 제조 촉매 공정
	일본 (Nippon Shokubai)	글리세롤로부터 아크롤레인/아크릴산 제조 촉매 공정
	프랑스 (Arkema)	글리세롤로부터 아크롤레인 제조 촉매 공정
대학	미국(H. Lamb 교수 (NCSU)), 미국 (D. E. Resasco 교수 (Univ. of Oklahoma)) 및 한국 (고창현 교수 (전남대))	백금계열의 귀금속 촉매를 이용해서 DO 반응 연구
	미국 (James A. Dumesic Group (University of Wisconsin))	바이오매스 기반 바이오 연료 생산 공정 연구
연구소	독일 (Leibniz Institut fur Katalyse)	글리세롤로부터 아크롤레인 제조 촉매 공정
	한국화학연구원 (장종산 박사)	카본 담지 귀금속 촉매를 이용한 LA로부터 gamma-valerolactone 제조

- 아크롤레인은 다양한 화합물 제조의 중간 단계물질로 사용되고 있으며, 기존 공정의 원료인 프로필렌의 수급불안과 가격 상승으로 인해 글리세롤을 이용한 방법이 새롭게 주목받고 있음

- 1990년대 중반, 산촉매 상에서 글리세롤의 탈수반응을 통한 아크롤레인 생산 방법이 소개되면서 미국, 일본, 유럽 등을 포함하는 선진국을 중심으로 이에 대한 연구가 이뤄져 왔음
 - 프랑스의 아르케마(Arkema) 사는 포스페이트계 촉매, 제올라이트, 이온교환수지, 헤테로폴리산 등을 포함하는 다양한 산 촉매에 대한 활성 테스트를 통해 해당 분야에 관한 다수의 선점 특허를 확보하고 있음
 - 일본의 Nippon Shokubai 사도 무기산, 고체산 및 복합금속 산화물을 이중층 반응시스템에 도입하여 아크롤레인/아크릴산을 제조하기 위한 촉매 공정을 개발하고 있음
 - 독일 Leibniz Institut fur Katalyse의 A. Martin 연구 그룹에서는 기상 반응시스템에서 다양한 헤테로폴리산 담지촉매에 대한 반응성 테스트 결과를 발표한 바 있음
- 상기한 기업 및 학계의 특허, 논문, 연구보고서에서 나타나는 결과들은 촉매 스크리닝(Screening) 수준의 초보적인 단계로, 탈수 촉매공정 중에 나타나는 촉매 비활성화가 개선되지 못한 채로 해당 분야의 연구는 ‘기초연구 단계’에 머물러 있음
- 탈수공정 중 코크형성으로 인한 촉매 비활성화의 극복을 위해 일본을 중심으로 초임계 반응시스템의 도입, 산소의 도입을 통한 코크생성 억제에 관한 연구가 시도되고 있음
- 국내에서는 서울대학교와 아주대학교에서 금속산화물 및 제올라이트 촉매를 이용한 기상반응 시스템에 대한 연구가 보고된 바 있음
- 기존 정유공정에서 사용하는 수첨탈황공정 (hydrodesulfurization, HDS)의 설비 및 촉매를 기반으로 풍부한 경험을 지닌 세계 각국의 정유회사들(Neste Oil, Petrobras, SK Innovation, UOP/Eni 등)이 HDO(수첨탈산소 반응, Hydrodeoxygenation) 촉매 및 공정을 개발하고 있음
- HDO는 수첨탈산소 반응 (Hydrodeoxygenation)을 통해서 지질 (triglyceride)에 포함된 산소를 제거한 후 탄화수소로 구성된 고품질의 Hydrogenated BioDiesel (HBD)을 생산하는 기술임
- 핀란드의 정유회사인 Neste Oil은 HDO공정을 이용해서 NExBTL™라는 상표로 HBD를 2007년부터 상업 생산함

- UOP와 Eni는 합작으로 HDO공정을 기반으로 Ecofining process를 개발하고 Green Diesel™라는 상표의 HBD를 생산할 수 있는 기술을 확보
- 브라질과 한국의 정유회사인 Petrabras, SK Innovation도 HDS 촉매를 기반으로 수열안정성을 높이고 촉매활성의 유지를 위해서 황화합물의 분리 및 재사용을 종합한 HDO 공정을 개발
- 한편 학계에서는 핀란드의 Murzin 교수가 귀금속 촉매 (Pd/Activated Carbon)를 기반으로 지방산 및 triglyceride의 DO 반응을 선도적으로 연구하고 있고 미국의 H. Lamb 교수(NCSU), 미국의 D. E. Resasco 교수(Univ. of Oklahoma)도 귀금속 계열 촉매를 이용해서 DO 반응 연구
- 한국의 고창현 교수(전남대)도 백금계열의 귀금속 촉매 및 다양한 금속산화물 촉매를 이용해서 DO 반응을 시도하고 있음
- 바이오매스로부터 레블린산(LA)으로 전환하는 공정중 사업화에 가까운 기술로 미국 Biofine Technology LLC에서 개발한 Biofine공정이 있으며 학계에서도 유사 연구가 수행된 바 있음
- Carbolea Research Group(University of Limerick, Ireland)은 바이오매스로부터 레블린산 생산 반응기 시스템을 구축
- James A. Moore (Rensselaer Polytechnic Institute, USA) 교수팀은 다양한 cellulose-rich 화합물로부터 레블린산을 거쳐 DPA(diphenolic acid)를 생산하고 DPA를 폴리에스테르까지 전환하였음.
- James A. Dumesic (University of Wisconsin, USA)연구진은 레블린산으로부터 gamma-Valerolactone, hexoses로부터 hydromethylfurfural 제조 등 다양한 바이오매스 기반 바이오 연료 생산 공정을 구축한 바 있음
- 국내 연구는 바이오매스의 화학원료 전환보다는 해조류 바이오매스의 바이오에너지 이용에 집중되어 있고 플랫폼 화합물 레블린산 기반 고부가가치 화합물 생산 공정에 대한 국내 연구는 미비한 실정임
- 한국화학연구원 장종산 박사 연구팀의 카본 담지 귀금속 촉매를 이용한 레블린산으로부터 gamma-valerolactone 제조, 구리-실리카 컴포지트 촉매를 활용한 1,4-butanediol 제조 결과 등이 보고되어 있음

1.2 에너지 촉매 분야 시장 동향 및 전망

가. 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술개발 동향

□ 원천기술 개발 동향

- 환경가스인 바이오메탄가스를 이용한 압축천연가스 (CBM; Compressed Bio Methane)나 액화천연가스 (LBM; Liquefied Bio Methane) 형태의 연료 변환 기술은 이미 개발되었지만, 가솔린과 다젤 등의 자동차 연료 제조 기술은 아직 개발되지 않았으며 기술 개발에 대한 수요가 최근 기술 선진국인 유럽과 미국을 중심으로 크게 증가하고 있음
- 환경가스로부터 자동차 연료 생산 기술은 크게 메탄개질반응 기술과 F-T 합성 반응기술로 이루어져 있으며, 바이오가스 원료 공급량 변화에 따라 연동하여 장치 운전이 가능한 모듈형 기술 개발이 최근 이슈임
- 2011년 노르웨이 Akershus Energi 사는 바이오메탄가스로부터 개질기를 이용하여 수소를 생산하고, 고순도 수소를 SOFC 연료전지에 공급하여 전기를 생산하여 구동되는 연료전지 자동차를 개발하고 있음
- 또한 독일, 오스트리아, 스페인, 슬로바키아 등의 유럽 국가에서는 하수 처리나 쓰레기 매립지, 농산물 처리 등에서 발생하는 환경가스로부터 MCFC 연료전지 기술을 이용한 분산발전 기술을 개발하고 있음
- 스페인의 UVa 대학에서도 환경가스로부터 리포머 (700~1000℃, Ni 촉매)와 메탄올 반응기 (250~350℃, Cu 촉매)를 이용한 메탄올 합성 연구를 수행하고 있음
- 메탄가스로부터 수소를 생성하는 고온 메탄개질반응의 경우 촉매의 소결(sintering) 문제와 탄소침적(coking) 문제가 촉매의 비활성화에 크게 영향을 주는 것으로 잘 알려져 있음

Deactivation of Reforming Catalysts

- 1. Sintering** : Sintering is the process of agglomeration of the crystallites of the active phase, which leads to loss of active surface and, consequently, a decrease in activity.
- 2. Oxidation** : Oxidation of the metal particles may occur at a high steam-to-carbon ratio and a low catalyst activity. Especially nickel catalysts are prone to oxidation.
- 3. Sulfur poisoning** : Many of the catalyst poisons act by blocking active surface sites. Sulfur is the most severe poison for steam reforming catalysts.
- 4. Carbon Formation** : At the operating temperatures some of the reactant CH_x-species may completely decompose and deposit a thick layer of inactive carbon on the catalyst surface (coke).

< Sintering 방지대책 > (2007년 NEDO report)

- Ni 내포형 복합산화물로 입자 크기 유지
- 나노입자 담지체로 Ni 나노입자의 sintering 방지

[그림 3-1] 고온 촉매 반응 중 입자의 비활성화의 주요 원인 (우측: NEDO 보고서 내용)

- 최근 여러 연구 결과들에서 나노입자들이 각각 하나씩 지지체에 둘러쌓여 있는 yolk-shell 구조체를 지니는 촉매들이 보고 되어 지고 있으며, 이러한 촉매는 고온 촉매 반응에서 매우 안정하며 활성입자 또한 고분산, 고담지 할수 있는 장점을 가지고 있음 (Park et al. *Nano. Res.* **2011**, 4, 33.)

Yolk-shell 구조체 촉매

<High Performance Catalyst>

metal@metal oxide
yolk-shell nanoreactors

1. No agglomeration
2. Diffusion control
3. Reaction study
4. High metal loading with uniform particle dispersion

고온 반응 중 입자간 소결 방지

컴팩트형 반응기용 입자 고담지 촉매

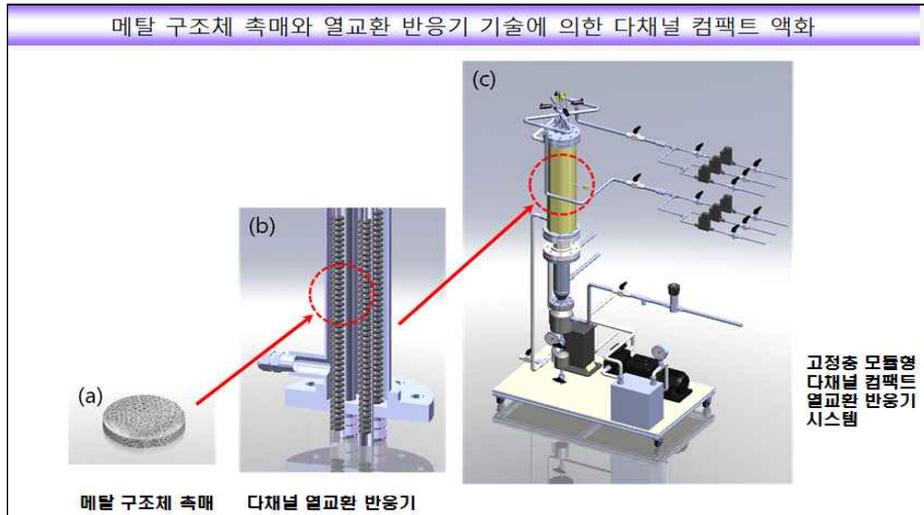
coking 으로 인한 촉매 비활성화 방지

porous silica coating

Methane + Steam
Hydrogen

[그림 3-2] 최근 개발되고 있는 yolk-shell 구조체 촉매의 개념도

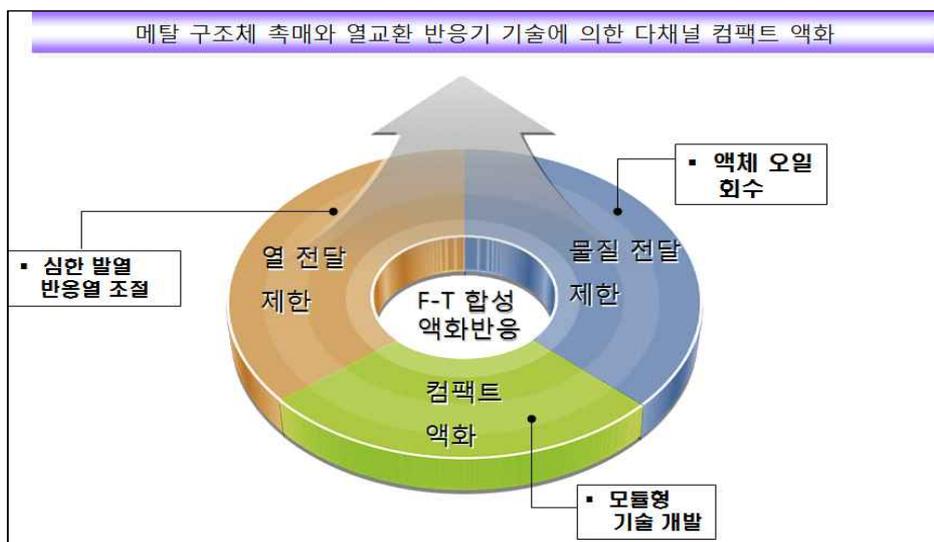
- 한국에너지기술연구원에서는 기존 연구 개발을 통해 선진국과 기술 차별화된 메탈 구조체를 이용한 우수한 컴팩트 액화반응 촉매 기술을 확보하고 있음



[그림 3-3] 메탈 구조체 촉매 및 컴팩트 반응기 개념도

□ 상용화기술 개발 동향

- 한국에너지기술연구원에서는 신규로 개발되어지고 있는 메탈 구조체를 이용한 컴팩트 액화 촉매 반응기술을 개발 중이며, 이렇게 개발되어진 촉매를 바탕으로 다채널 열교환 고정층 반응기의 원천기술을 확보중임

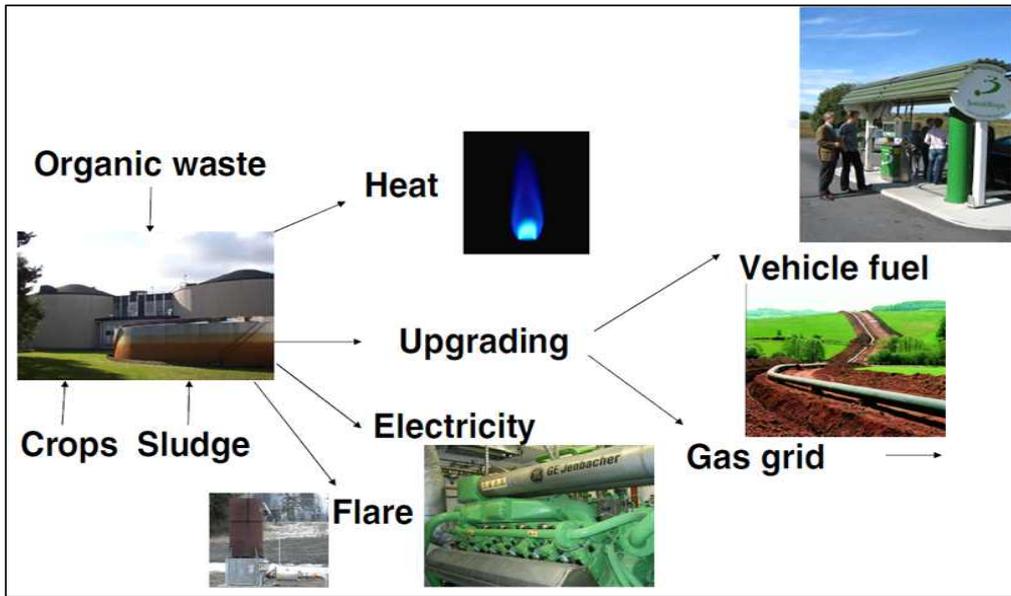


[그림 3-4] F-T 합성 반응에서의 메탈 구조체 촉매 및 열교환 반응기의 효과

- 미국의 Velocys 사는 마이크로채널 기술을 이용하여 컴팩트 GTL 플랜트를 개발하고 있는데, SMR 반응용 마이크로채널 반응기와 코

발트 촉매를 사용하는 F-T 합성 액화 고정층 반응기를 개발하여 현재까지 2 갤런/일 규모 (CO 전환률= 72%, 메탄 선택도= 9%)의 파일럿 플랜트를 개발하였음

- 한국화학연구원에서는 2010년부터 진행되는 과제를 통해 마이크로 반응기 기술을 이용한 GTL 기술을 개발 중이나 여전히 금속 촉매의 코팅 안정성 및 내구성이 문제가 되고 있음
- 영국의 CompactGTL 사는 오일전에서 수반되는 가스 (1,000~5,000 억 cf 용량) 처리를 목적으로 합성석유를 생산하는 마이크로 반응기를 개발하여, 2008년 Petrobras사와 함께 20 배럴/일 규모의 파일럿 플랜트에 적용하여 2009년 11월에 캐나다에서 건설하였으며 2010년에는 실증플랜트를 건설 중이며 투자비는 3,500~17,500만 달러를 예상하고 있음 (GTL tec(2007); CompactGTL 사 발표자료)
- 선진국의 천연가스 액화 기술 수준은 Sasol-Chevron, Shell 등의 회사들에 의하여 3~14만 bpd 규모의 상용화가 가능한 수준이며, ExxonMobil, Syntroleum, Rentech, Conoco-Philips, BP, Synfuels 등의 후발업체의 의하여 활발한 추격이 이루어지고 있는 양상임
- CompactGTL 사 및 Velocys 사에서는 컴팩트 GTL 기술 개발을 위해 마이크로채널 반응기를 활용하는 방법에 대한 연구가 많이 진행되고 있으나, 아직까지는 촉매 장기 안정성 확보 문제 및 채널 내부의 왁스 침적에 의한 반응기 성능 저하 현상 등 해결할 과제가 많은 것으로 알려져 있음
- 바이오메탄가스 이용 기술은 전 세계적으로 주로 가스나 열, 전기 생산에만 국한되어 있고, 연료로서 사용은 일부 유럽 국가에서 바이오메탄가스 자체를 압축 (CBM; Compressed Bio Methane) 형태나 액화 (LBM; Liquefied Bio Methane) 형태로 사용함



[그림 3-5] 바이오가스 이용 기술 (Swedish Gas Center, 2007)

- CBM과 LBM은 단위 부피당 에너지 용량이 각각 가솔린의 20% (24,000 Btu/gallon) 과 70% (84,000 Btu/gallon)으로 낮아 바이오메탄가스를 이용한 가솔린과 디젤의 자동차 연료의 직접 생산 기술은 혁신적인 에너지 기술임
- 국내의 경우 인천도시가스, 환경부, 서울시, 울산시 등이 바이오 가스를 생산 및 정제하여 연료 가스로 사용 중이며, 고양시와 지역난방공사 등에서는 전기와 열에너지원으로 바이오가스를 사용 중임

국내 현황		
인천도시가스, 수도권매립지(관.공)	수도권 매립지, 음식물 폐수처리, 95%+ CH ₄ 연간 200만 Nm ³	가스
고양시, 지역난방공사	일산하수처리장, 바이오가스 1만200 m ³ /일, 지역 난방 에너지원 (전기, 열) 공급	전기 열
서울시, 지역난방공사	난지물재생센터, 최대 4만 m ³ /일 바이오가스, 하루 78 MWh 전기와 90 Gcal 열 생산	전기 열
환경부	수도권 매립지, 바이오가스 자동차 연료화 시설, 하루 800톤 음식물 처리와 바이오가스 (약 1만 m ³ /일) 및 정제 바이오가스 (약 6,500 m ³ /일) 생산	가스
동대문 환경자원센터	바이오가스 이용 하루 2만2000 kW 전기 생산 (음식물 쓰레기 하루 98톤 이용, 바이오가스 생산)	전기
서울시, 에코에너지홀딩스	서남물재생센터 하수처리, 하루 4800 Nm ³ 바이오가스 (정제 바이오가스 2940 Nm ³) 생산	가스
울산시, SK케미칼(주), SBK	울산 하수처리장의 하루 180톤의 음식물 및 하수 슬러지 이용, 바이오가스 13,800 Nm ³ 생산	가스

[그림 3-6] 국내 바이오가스 이용현황

나. 반도체 촉매를 적용한 연료 생산 기술개발 동향

[표 3-8] 반도체 촉매를 적용한 연료 생산 기술개발 동향

	국내외 연구개발 현재동향	
	기관명	세부기술명
기업	ENB Korea	TiO ₂ 금속 산화물 설계 및 투과도 향상
	N-Nano tech	결정성이 높은 금속 산화물 설계
	일본 TOTO	광촉매를 이용한 셀프 크리닝
	SHARP, HITACHI	금속 산화물을 사용한 필터제조
	ABC 나노텍	나노 잉크 제조
	Dyesol	다공성 TiO ₂ 박막 제조를 위한 TiO ₂ paste 생산
대학	POSTECH	이종접합 나노형 금속 산화물 개발
	고려대	TiO ₂ 다공성 필름 제작
	성균관대	산화아연 나노선 합성
연구소	한국전자통신연구원	나노튜브 구조를 적용한 금속 산화물 반도체
	한국에너지기술연구원	촉매용 나노입자 다공성 전극 제작

* 근거 : 전문가 인터뷰 (강만구 연구원)

- 2000년에 설립된 ENB Korea는 TiO₂ 나노구조 금속 산화물 반도체 재료를 공급 및 개발하는 회사로 금속 산화물의 투명도 증대 및 다양한 적용을 시도하고 있음
- 2011년에 창업한 엔나노텍은 금속 산화물 반도체를 사용하여 폐기물 처리 및 폐 촉매 자원화를 실용화 하고 있으나 원천기술의 부족으로 연구 성과 적용 정도가 부진한 편
- 일본의 TOTO 사는 TiO₂의 반도체 촉매의 기능을 이용한 창문의 셀프 크리닝 효과에 주목하여 기술을 개발하고 있으며 전자재에 접목한 제품을 생산하고 있음
- 1912년에 설립된 SHARP사 및 1910년에 설립된 HITACHI사는 광촉매를 응용하여 자동공기 청정 및 필터 제조를 상업화 시켰으며 다수의 출원도 가지고 있는 상태임. 기술성과 적용정도를 비교할 때 국내의 기술력이 부족한 실정임
- ABC 나노텍은 잉크젯 프린터용 나노 잉크를 개발하여 다공성 나노구조의 필름을 생산함. 전극용 재료에 대한 연구가 진행되고 있지만 실용화 가능한 제품생산까지의 기술력이 부족함

- 호주의 Dyesol사는 염료감응 태양전지용 3차원 다공성 TiO₂ 박막을 만들기 위한 TiO₂ paste를 생산 중이며 곡극의 크기 조절 및 TiO₂ 입자의 사이즈 조절을 통해 에너지 생산용 3차원 전극으로 적용을 기대하고 있음
- POSTECH에서는 나노합성 기술을 바탕으로 다양한 금속 산화물 반도체를 제작하며 이중접합 반도체 및 3D 나노막대 금속 산화물 반도체 설계에 성공하였지만 제작이 어렵고 대량 제조 공정 시스템 개발에 있어서는 여전히 한계를 가지고 있음
- 고려대에서는 2005년부터 태양전지 전극소재용으로 다양한 나노구조체 전극을 합성하고 있으나 실제적인 적용이 가능한 제조 공정 시스템 개발이 부족함
- 성균관대에서는 2007년부터 나노구조체를 합성하여 2차전지 및 태양전지, 디스플레이에 적용하였으나 이를 연료생산용 촉매로 활용하였을 효율과 안정성이 떨어짐
- 한국전자통신연구원은 오랜 연구, 개발에 의해 많은 광촉매 분야에 대한 원천 기술을 이미 확보되어 있으나 이를 적용한 향후 적용 방안, 안정성 향상 및 대량공정 기술에 대한 연구개발 지원이 필요한 실정임
- 한국에너지기술연구원에서는 광전기화학적 반응을 통해 태양빛을 이용하여 수소생산이 가능한 산화물 반도체 전극을 제작하였고 이를 이용하여 실제 수소를 생산하였으나 단지 자외선 영역의 빛을 사용함으로써 그 효율이 떨어짐

다. 차세대 금속공기전지 고효율 촉매 기술개발 동향

□ 금속 공기 전지 촉매 기술개발동향

- 현재 금속공기전지중 아연공기 전지의 기술수준은 일차전지로 상용화가 가능한 수준으로 이 일차전지의 성능 향상을 위한 산소환원반응 촉진 촉매 및 공기극 관련 기술이 주를 이루고 있음
- 국내 일부기관에서 금속공기전지관련 연구를 추진하고 있으나 기술 선점을 위한 투자확대 및 전략적 원천기술개발 추진이 필요한 초보적

인 단계로 선진국대비 기술수준이 아직 취약함.

- 현재 삼성종합기술원, KAIST, KIST, 한국에너지기술연구원, 한국전기연구원, 울산과기대 등 일부 기업 및 출연연에서 금속공기 관련 연구개발 추진 중(초기 단계).
- 금속공기전지에 대한 연구는 아연공기전지 위주로 일차전지에 대한 촉매개발이 이루어져왔으나, 충전과 방전이 가능한 2차전지에 대한 개념은 아직 국내외적으로 매우 제한적임

[표 3-9] 차세대 금속공기전지 고효율 촉매 기술개발 동향

	국내 연구개발 현재동향	
	기관명	세부기술명
기업	현대중공업	아연공기 전지 촉매 기술
대학	울산과학기술대학교 (UNIST)	아연공기 전지 촉매 기술
	MIT	금속공기전지 귀금속 촉매 개발 기술
연구소	한국전지연구원	공기극 제조 기술

* 근거 : 전문가 인터뷰 (조재필 교수)

- 현대중공업은 2010년부터 아연공기 전지 공기극 촉매 제조 기술의 연구를 시작하여 중 대형 저장 장치와 발전장치로서의 아연공기전지 개발을 목표로 하였으나 초기 단계로써의 한정된 기술영역과 전문 인력 부족으로 인한 실용화와 개발에 어려움을 가지고 있음. 또한 촉매 합성 원천기술 부족으로 연구 성과와 기술력이 부족.
- 미국의 MIT 는 2010년부터 리튬금속전지를 시행하고 있으나 이 역시 현재로서는 상용화나 실용화에는 어려움이 있는 귀금속 촉매 개발과 연구이며 2차전지화에 대한 제조 기술은 부족한 상황임
- EOS사는 2000년 초반부터 금속공기전지중 아연공기전지에 대한 투자와 연구를 지속하여 현재 대용량 아연공기전지의 상용화에 근접한 수준까지 기술수준을 보유하고 있으나 촉매에 대한 연구라기보다는 전지의 구조와 대용량화, 상용화에 초점이 맞춰지고 있음.

- 금속공기전지중 리튬공기전지에 대한 연구는 최근에 조금씩 관심이 확대되어 몇몇 기업들에서 시도되어 지고 있으나 아직까지도 국가, 산학기관 연계, 대기업 규모의 연구는 거의 없으며 일부 중소벤처기업에서 리튬공기전지 외의 다른 금속공기전지의 연구가 이루어지고 있을 뿐임.
- 리튬공기전지의 국외 연구현황은 영국, 일본, 미국 등에서 연구가 중점적으로 이루어지고 있음.

[표 3-10] 리튬공기전지 국외 연구 현황

국가	연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
영국	세인트 앤드류스 대학 (U. of St. Andrews) 및 협력기관	<ul style="list-style-type: none"> - 현 리튬이온 배터리 보다 5~10배 이상의 고용량 리튬-공기 배터리를 목표로 개발진행. - 영국 EPSRC 지원하에 2009년 7월로 절반이 되는 4년 프로젝트로서 재충전이 가능하고 지속적으로 이용할 수 있는 리튬-공기 배터리 개발 목표. - 배터리의 화학 반응이 어떻게 작용하고 또 향상시킬 수 있는 방법을 조사하는데 집중. 	<ul style="list-style-type: none"> - 일명 STAIR(St Andrews Air) 전지에 전하를 저장하기 위하여 용량을 지금 까지 3배로 확대. - 상용에 5년 정도의 시간을 예상하고 있음. - 휴대폰 또는 MP3 플레이어와 같은 소형 전자제품들을 위한 STAIR 전지 시제품도 함께 계획.
일본	AIST (Advanced Industrial Science and Technology)	<ul style="list-style-type: none"> - 고용량의 리튬-공기 배터리 개발을 목표로 연구진행. - 리튬-공기 배터리 외의 Metal/Air전지도 NEDO를 중심으로 학/연 장기 과제 형식으로 연구가 진행 중임. 	<ul style="list-style-type: none"> - 고품 리튬 산화물이 다공질의 탄소 전극에 축적되어 전해질과 공기의 접촉을 방해 하는 현상을 음극에 유기전해질, 양극에는 수용성 전해질 각각 접촉시키고 고품 전해질막으로 두 전해질을 접촉하지 못하도록 차단하여 50,000 mAh/g의 연속 방전용량을 얻는데 성공.
미국	IBM	<ul style="list-style-type: none"> - 한 번 충전으로 300~500마일 (482~804 km)을 달릴 수 있는 리튬-산소 전지 개발을 목표로 연구 진행. 	

* 근거 : 전기자동차용 리튬금속배터리 기술개발 보고서 (2010)

1.3. 환경 촉매 분야 동향

가. 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템

□ 원천기술 개발 동향

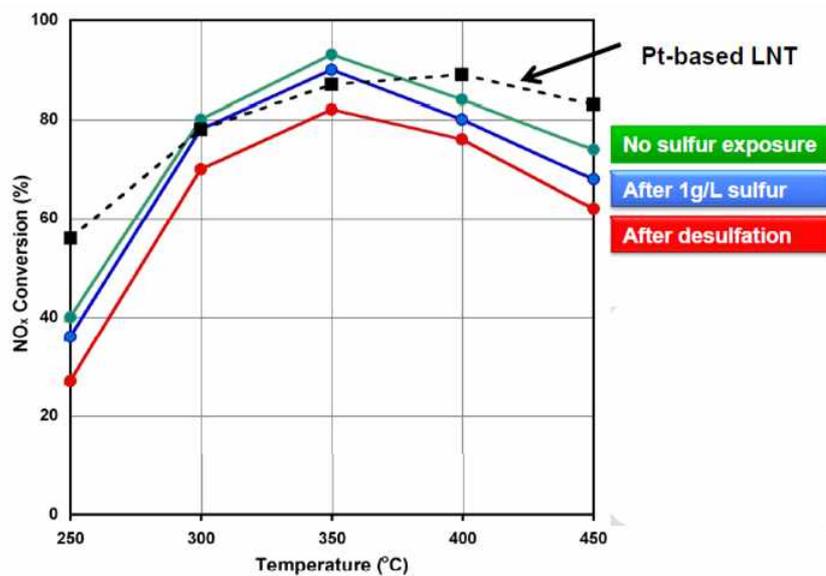
- 전세계적으로 내연기관에서 배출되는 배기가스 (NOx, 탄화수소, CO, 입자상 물질)에 대한 규제가 점차로 강화되고 있음
- 아래 표는 유럽에서의 승용 디젤 차량에 대한 배기 규제임

[표 3-11] 유럽의 승용 디젤 차량에 대한 배기 규제 (g/km)

Tier	적용 시점	CO	NOx	HC+NOx
Euro 1	1992 7월	2.72	-	0.97
Euro 2	1996 1월	1.0	-	0.7
Euro 3	2000 1월	0.64	0.50	0.56
Euro 4	2005 1월	0.50	0.25	0.30
Euro 5	2009 9월	0.500	0.180	0.230
Euro 6	2014 9월	0.500	0.080	0.170

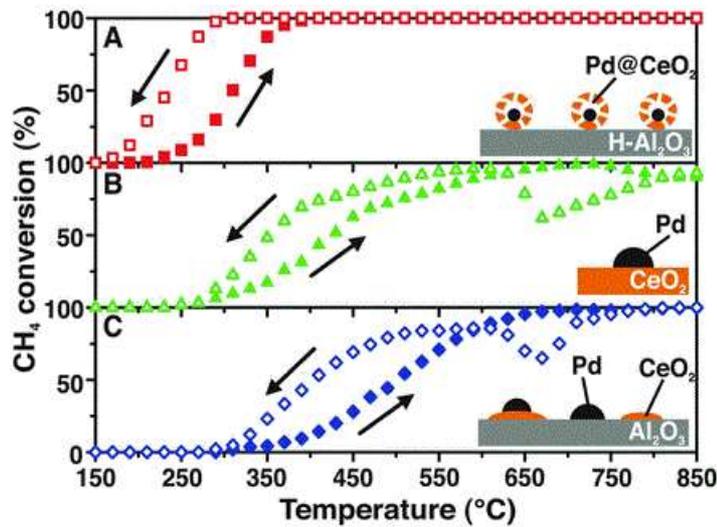
- 기존의 자동차 등 도로용 내연기관에서 배출되는 배기가스에 대해 규제하였으나, 수년 내에 건설기계, 선박, 기차 등 비도로용 내연기관에 대해서도 규제가 예정되어 있음
- 규제가 강화됨에 따라 배기가스 정화 효율이 높은 촉매 시스템의 개발이 요구되며, 배기 가스 정화용 촉매의 가격을 결정하는 귀금속의 함량을 저감하여 경제성을 확보하려는 시도가 지속되고 있음
- 엄격한 배기가스 규제를 만족시키기 위해서 개발된 DOC (산화촉매), DPF (입자상 물질 제거 필터), DeNO_x 촉매 (SCR 또는 LNT) 등과 같은 다양한 후처리 장치가 필요함. 동시에 복잡한 후처리 장치를 통합하여 공간을 절약하려는 시도도 진행 중임
- 새롭게 적용될 자동차 연비 규제를 대응하기 위해 자동차 업계는 내연기관의 연소 효율 향상에 매진하고 있음

- 연소 효율을 향상시키기 위해서는 연료가 저온에서 완전 연소할 수 있어야 함. 따라서 배기가스의 온도가 기존에 비해서 낮은 특징이 있음
- GM 연구진은 NO_x 흡장촉매 (LNT)의 백금 성분을 perovskite 복합산화물 성분으로 대체한 경우에도 우수한 NO_x 제거 능력을 보유했다고 보고함
- 또한 디젤 산화촉매의 백금 성분을 대체할 수 있다고 보고함 (Science, 327, 1624 (2010).)



[그림 3-7] Perovskite로 백금을 대체한 LNT 촉매의 NO_x 제거 활성

- Nanostellar 회사의 연구진은 Mn-mullite (Sm, Gd)Mn₂O₅ 복합산화물이 백금보다 우수한 NO 산화반응 능력을 가진다고 보고함. (Science, 337, 832 (2012)) 반응결과를 해석하기 위해 계산화학으로 반응 메커니즘을 파악함
- 미국 University of Penn. Gorte 교수 연구진은 나노촉매 제조 기법을 이용하여 Pd을 핵(core)에, CeO₂를 껍질(shell)에 포함한 촉매를 제조 하였고 아래 그림처럼 기존의 방법으로 제조된 Pd/CeO₂ 촉매보다 낮은 온도에서 메탄을 제거할 수 있는 성능을 보여줌 (Science, 337 (2012) 713)



[그림 3-8] Pd/CeO₂ 촉매 구조에 따른 메탄 산화반응 거동

- Washing Univ. in St. Louis 대학의 Xia 교수는 polystyrene을 주형으로 이용하여 나노 구조의 Pd/CeO₂ 촉매를 제조하였고, 이를 CO 산화반응에 적용한 결과, 활성이 우수함을 보여주었고, 또한 Pd가 안정된 상태로 유지하기 때문에 소결(sintering)현상에 강한 내성을 보유함

□ 상용화기술 개발 동향

- Ford 및 GM은 Cu-SSZ-13 제올라이트 촉매를 디젤 DeNOx 시스템에 적용하여 150,000 mile 운행한 후에도 우수한 활성을 보유함을 확인하였고 2011년부터 디젤 차량에 대해 Cu-SSZ-13 촉매를 장착하여 시판함
- 미국 PNNL은 미국 PACCAR 트럭회사와 공동으로 DPF와 SCR을 통합하려는 연구를 수행중이고 연구의 핵심은 우수한 DPF 재료를 선정하는 것과 SCR 촉매를 균일하게 coating 하는 것이라고 보고함
- Ford는 냉간 시동 (cold start)시 배출되는 탄화수소를 흡착함으로써 탄화수소 배출량을 줄이기 위한 목적으로 제올라이트 흡착제를 연구 중임
- 제올라이트 구조, 기공크기, 탄화수소의 종류 등에 따라서 최적화된 제올라이트를 선정하기 위해 연구를 수행 중에 있음
- 가솔린 엔진 배기가스 중 입자상 물질의 숫자를 규제하는 법안이 예상됨에 따라서 가솔린 후처리 장치에서 초미세 입자상 물질을 제거하

기 위한 filter가 TWC 후단에 추가로 설치하는 방안이 연구되고 있음.
그 결과 후처리 장치의 추가 비용 및 공간이 필요함

- GM은 디젤 산화촉매 중 Pt를 Pd로 대체함으로써 경제성을 확보하려는 연구를 수행함. 특히 소결후 Pd-Pt 이원금속 촉매의 활성이 더 향상되는 특이한 성질을 보고함

나. CO₂ 활용 촉매 기술개발 동향

□ CO₂ 활용 촉매기술동향

[표 3-12] CO₂ 활용 촉매기술동향

	국내 연구개발 현재동향		연구개발규모	
	기관명	세부기술명	시작년도 (투자액)	연구인력 (연간)
기업	한국전력	발전소 배가스용 건식 재생 CO ₂ 흡수제 성능 최적화 기술	2008 (450백만원)	23명
	제일모직	고효율 Diphenyl Carbonate 제조 기술	2010 (1040백만원)	29명
	삼성토탈	합성가스로부터 올레핀 제조 개발 기술	2006 (1080백만원)	6명
대학	아주대학교 산학협력단	이산화탄소의 폴리카보네이트/폴리에스터로의 혁신적 전환 촉매기술	2011 (200백만원)	14명
	공주대학교 산학협력단	재활용 가능 녹색소재 합성을 위한 촉매 개발 기술	2010 (60백만원)	5명
	고려대학교 산학협력단	고온 CO ₂ 화학흡착제 개발 및 이의 응용 기술	2009 (164백만원)	5명
연구소	한국에너지기술연구원	건식재생 CO ₂ 흡수제 및 유동층 WGS공정 개발 기술	2008 (714백만원)	35명
	한국과학기술연구원	초임계 디메틸카보네이트 합성기술	2009 (310백만원)	1명
	한국화학연구원	합성가스로부터 FT합성유의 제조 기술	2009 (1171백만원)	2명

* 근거 : 전문가 인터뷰 (이기봉 교수, 고려대학교)

- 고려대학교는 CO₂ 포집기술 개발을 위한 흡착제/축매 개발 기술의 기초 연구에 착수, 개발된 흡착제의 장기 평가 및 실제 조건에서의 연구를 진행하고자 하였으나 여러 한계로 인해 기초연구 수준에서 연구 진행 중
- 흡착제/축매 관련 인프라의 부족, 연구관련 전문 시설 이용의 부족, 분석 및 Bench스케일 평가를 위한 장비등의 부족
- 논문 및 학회 발표 단계에서 연구가 종료됨에 따라 향후 신규 소재 개발 및 공정 시뮬레이션등과 같은 원천/응용 단계 연구로 발전하지 못하고 있음
- 삼성토탈은 2006년부터 합성가스로부터 올레핀 제조 개발을 위한 기술 연구를 시작하고 있으며, 합성 가스의 제조 축매 및 공정, 올레핀 제조 축매 및 공정등의 기술 영역의 실용화를 위해 연구를 진행

IV

사업의 개요

1. 사업의 목표 및 구조
2. 사업 추진체계 및 전략
3. 동 사업의 차별성
4. 추진경위

사업의 개요

1. 사업의 목표 및 구조



[그림 4-1] 사업의 목표 및 구조

가. 전체 사업의 목적 및 목표

- 청정에너지 생산 및 환경 제어가 가능한 차세대 촉매 개발로 우리나라의 에너지 자립강화 및 깨끗한 환경의 지속발전국가로의 실현
- 중장기 연구개발 지원을 통해 차세대 촉매산업의 생태계 구축을 달성하여 새로운 고부가가치 창출 및 일자리 등을 제공함으로써 글로벌 표준 선점이 가능하고, 국가 성장동력으로 자리매김

- 세계 5대 촉매 강국 진입 및 에너지 자립화 40% 달성
- 석유화학·에너지·환경 중심으로 9개 차세대 촉매 원천기술 확보
 - 촉매를 활용하는 핵심산업 분야를 중심으로 9개의 지원기술과제를 선정하고, 차세대 촉매 소재 및 공정 공동개발
- 대중소기업이 상생하는 단계별 협력연구 도입으로 촉매산업 분야 30개의 중소/중견기업을 글로벌 강소기업으로 육성
- 사업의 정량적 목표로 9개 세부사업을 통한 촉매 원천기술 개발 통해 '25년 207억 달러 매출 및 2030년 1.5조원 환경부가가치 달성

나. 사업 구조

- 3대 핵심 산업분야별로 각 2~4개씩의 세부사업을 도출하여 총 9개 세부사업으로 구성
 - 주력산업인 석유화학 분야는 4개 세부사업을 추진하며, 차세대 에너지 분야는 3개, 미래 환경 분야는 2개 사업을 추진
 - 3대 핵심 산업분야: 글로벌 석유화학, 에너지, 환경
- 원천응용단계와 사업화단계로 나누어 2단계 사업으로 추진
 - 1단계인 원천응용단계는 2~3년간 지원
 - 차세대 촉매 소재 및 공정 기술의 원천 기술 확보
 - 각 과제별로 산학연 컨소시엄을 소재 및 공정 공동개발 (정부지원 70%, TRL 2~5단계)
 - 2단계인 사업화단계는 1단계 종료 후 3~5년간 지원
 - 사업화를 위한 소재 및 공정의 실용화 기술 개발
 - 각 과제별로 원천응용단계 이후 기업체 주관 컨소시엄 구성하여 소재 및 공정 공동개발 (정부지원 70%, TRL 6~7단계)

[표 4-1] 사업 단계별 특징

항목 \ 단계	1단계 원천응용단계	2단계 사업화단계
목표	소재 및 공정 기술의 원천 기술 개발 (TRL 2~5단계)	사업화를 위한 실용화 기술 개발 (TRL 6~7단계)
기간	2~3년	(1단계 종료 후) 3~5년
지원대상	각 과제별 산학연 컨소시엄	각 과제별 기업체 주관 컨소시엄
정부지원비율	70%	70%

< TRL (Technology Readiness Level) >

- 기술의 기초실험 단계부터 사업화(양산)까지의 단계를 9개 수준으로 세분하고, 산업분야별 평가 guideline을 제시
 - 미국 NASA에서 우주산업의 기술투자 위험도 관리의 목적으로 1989년 Sadin 등이 처음 도입하여 美 국방성 및 NASA에서 사용 중
 - TRL 9개 수준의 정의에 대해서는 여러 기준들이 있지만 미 국방성 (DoD), NASA, European Space Agency 등의 방법들이 주로 통용됨
 - ※ 산통부는 지식경제 R&D 프로그램에 맞게 TRL을 재정의하여 사용 중
 - 그 외 미 국방성의 Technology Readiness Assessment(TRA) Deskbook, TRL 계산기(미 공군), Technology Program Management Model(TPMM, 미 육군) 등의 보조 평가지표들도 개발



[TRL 단계별 정의]

[표 4-2] R&D 단계와 TRL 비교

국가R&D사업 조사·분석 (국가과학기술위원회)		지식경제 R&D 사업			
단계	정의 (OECD)	TRL 단계		단계별 정의	
기초 연구	특수한 응용 또는 사업을 직접적 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구	기초연구	1	【기초실험】 기본원리발견	• 기초이론 정립 단계
			2	【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립	• 기술개발 개념 정립 및 아이디어에 대한 특허 출원 단계
응용 연구	기초연구의 결과 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 아래 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독자적인 연구	실험	3	【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증	• 실험실 환경에서 실험 또는 전산 시뮬레이션을 통해 기본 성능이 검증될 수 있는 단계 • 개발하려는 부품 또는 시스템의 기본 설계도면을 확보하는 단계 등
			4	【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발	• 시험샘플을 제작하여 핵심성능에 대한 평가가 완료된 단계 • 3단계에서 도출된 다양한 결과 중에서 최적의 결과를 선택하는 단계 • 컴퓨터 모사가 가능한 경우 최적화를 완료하는 단계 • 의약품 등 바이오 분야의 경우 목표 물질이 도출된 것을 의미 등
			5	【부품/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증	• 확정된 소재/부품/시스템의 실험실 시제품 제작 및 성능 평가가 완료된 단계 • 개발 대상의 생산을 고려하여 설계하나 실제 제작한 시제품 샘플은 1~수개 미만인 단계 • 경제성을 고려하지 않고 기술의 핵심성능으로만 볼 때, 실제로 판매가 될 수 있는 정도로 목표 성능을 달성한 단계 • 의약품은 GMP(Good Manufacturing Practice, 제조품질관리기준) 파일럿 설비를 구축 등
개발 연구	기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적인 연구	시제품	6	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발	• 파일럿 규모(복수 개~양산규모의 1/10 정도)의 시제품 제작 및 평가가 완료된 단계 • 파일럿 규모 생산품에 대해 생산량, 생산용량, 수율, 불량률 등 제시 • 파일럿 생산을 위한 대규모 투자가 동반되는 단계 • 생산기업이 수요기업 적용환경에 유사하게 자체 현장테스트를 실시하여 목표성능을 만족시킨 단계 • 성능평가 결과에 대해 가능하면 공인인증 기관의 성적서 확보 • 의약품의 경우 비임상 시험기준인 GLP(Good Laboratory Practice, 동물실험규범)기관에서 전임상 시험을 완료하는 단계 등
			실용화	7	【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모
		8		【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증	• 표준화 및 인허가 취득 단계 • 조선기자재의 경우 선급기관 인증, 의약품의 경우 식약청의 품목 허가 등
-	실용화/기술이전사업	양산	9	【사업화】 상용제품생산	• 본격적인 양산 및 사업화 단계 • 6-시그마 등 품질관리가 중요한 단계 등

다. 세부사업 개요

□ 석유화학 산업 세부사업 개요

- 차세대 석유화학 촉매기술의 상용화 및 국내 기술 확보
- 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 기술 개발, 저탄소 화합물(C1~6) 전환기술 개발, 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발, 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료제조 개발환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술
- (원천응용기술 확보) TMA/TEA/TIBA 제조기술 개발, 폴리알파올레핀 윤활유 제조 촉매 기술, 경질납사 고부가화 기술 (연료 및 합성기유 생산), 글리세린으로 아크릴산 중간체 (아크롤레인) 제조를 위한 탈수 촉매 공정개발
- (기술 사업화) 고기능성 고분자 제조용 촉매공정 원천기술 확보, 저급 유분 활용을 위한 촉매공정 상용화 기술 개발, 저급 유분의 고부가화를 위한 상용화 기술 개발, 바이오매스를 활용하 석유화학 기초유분 제조 상용화 기술 개발

□ 에너지 산업 세부사업 개요

- 환경가스, 물, 공기 등을 이용한 차세대 청정 에너지 생산으로 저비용, 친환경 기술의 실용화를 위한 촉매 개발
- 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발, 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발
- (원천응용기술 확보) 활성금속 고담지 촉매 제조 기술 개발, 광반응 연료 생산용 금속산화물 반도체 설계 및 산업화, 차세대 금속 공기전지용 고효율 촉매 개발
- (기술 사업화) 모듈형 표면구조체 촉매 개발 및 단위모듈형 구조체 촉매 활성조사, 이중 접합 및 다양한 산화물 반도체 합성을 통한 연료생산, 금속 공기전지용 비 귀금속 촉매 대량 생산 공정 개발

□ 환경 산업 세부사업 개요

- 배기가스, CO₂ 온실가스 등 유해가스 제거 및 활용을 위한 촉매기술 개발

- 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발, CO₂활용 촉매 개발
- (원천응용기술 확보) 연료직접이용 배기가스 SCR기술, 중고온용(100도 이상)신규 흡착/촉매 소재 개발
- (기술 사업화) 배기가스 촉매 공정 원천기술 확보, CO₂ 흡착제 및 활용 촉매 공정 원천기술 확보

[표 4-3] 차세대 촉매 기술개발사업의 추진 목표

사업목표	석유화학·에너지·환경 중심으로 9개 차세대 촉매 원천기술 확보 2025년 207억달러 매출, 2030년 1.5조원 환경부가가치
-------------	---

세부사업별 목표		1단계(원천응용) : 촉매 생산 및 제조기술 확보	2단계(사업화) : 촉매 신공정 엔지니어링
석 유 화 학	고기능성 고분자 촉매	TMA/TEA/TIBA 제조기술 개발	고기능성 고분자 제조용 촉매공정 원천기술 확보
	저탄소 화합물(C1~6) 전환	폴리알파올레핀 윤활유 제조 촉매 기술	저급 유분 활용을 위한 촉매공정 상용화 기술 개발
	저급 중질유분 고도화	경질납사 고부가화 기술	저급 유분의 고부가화를 위한 상용화 기술 개발
	비식용작물을 원료	글리세린으로 아크릴산 중간체 제조 위한 탈수촉매 공정개발	바이오매스를 활용하 석유화학 기초유분 제조 상용화 기술 개발
에 너 지	환경가스 활용 자동차 연료	활성금속 고담지 촉매 제조 기술 개발	모듈형 표면구조체 촉매 개발 및 단위모듈형 구조체 촉매 활성조사
	차세대 연료 생산	광반응 연료 생산용 금속산화물 반도체 설계 및 산업화	이종 접합 및 다양한 산화물 반도체 합성을 통한 연료생산
	고효율 촉매	차세대 금속 공기전지용 고효율 촉매 개발	금속 공기전지용 비 귀금속 촉매 대량 생산 공정 개발
환 경	정화용 촉매시스템	연료직접이용 배기가스 SCR기술	배기가스 촉매 공정 원천기술 확보
	CO ₂ 활용 촉매	중고온용(100도 이상)신규 흡착/촉매 소재 개발	CO ₂ 흡착제 및 활용 촉매 공정 원천기술 확보

2. 사업 추진체계 및 전략

2.1. 사업 추진체계



[그림 4-2] 사업 추진 체계도

- **(사업추진)** 사업은 ‘지식경제 기술혁신사업 기술개발평가관리 지침’의 대형선도과제 추진절차를 따라 추진
- **(과제기획)** 기술과제 수요조사는 전국단위에서 모집하여 지역편중을 지양함
- **(과제 진행 및 관리)** 사업 분야별 PD를 지정하여 과제 진행을 지원함
 - 글로벌 석유화학, 에너지, 환경 촉매 분야별 연구총괄 PD 지정: UNIST 채용 및 관리 (인건비: 과제비 활용)
- **(개발 및 사업 주체)** 대-중소기업 상생형 기술개발을 통한 동반성장형 성과창출이 되도록 기업을 중심으로 한 드림팀 구성하여 사업수행
 - 기업 중심의 프로젝트 추진단을 구성하여 추진하며 학계 및 연구계는 참여기관으로 기술개발에 참여

- 원천응용기술 확보의 목적 및 사업화 연계 활동 수행에 보다 밀접한 위치에 있는 기업체가 과제 수행의 구심점을 담당
 - 중소기업은 소재개발, 대기업은 공정개발을 중심으로 각각 주관/참여하여 상호 개발
 - 학계·연구계는 소재-공정, 원천-실용화 등 전주기에 참여하는 등의 전문지식 기여와 함께 지식재산권 보유, 후속연구 지원 등의 방법으로 경제적 성과 공유
- 과제총괄기관으로 중소·중견기업이 많이 참여하도록 규정 및 절차를 마련함
 - 다수 기업이 참여하는 대형 프로젝트의 성공적인 수행을 위해 원천응용기술개발 및 사업화를 지원·관리하는 ‘프로젝트 추진단’ 운영
 - 소재-공정의 동시개발 자체 진도점검 및 자체평가 등 원활한 과제 추진을 위한 제반 행정사항 지원 추진
 - ‘프로젝트 추진단’은 허브센터 중심으로 구성하며 허브센터 센터장이 프로젝트 추진단장 역할 수행
 - 기술의 적기 확보와 사업 성공을 위해 Open Innovation(공동개발, 해외 기술도입, 벤처 및 연구소 M&A 등) 적극 추진
- (각 주체별 역할) 사업 목표를 위한 산·학·연의 원천-실용화 연계 기술개발을 위한 단계별 대규모 투자를 통해 대-중소기업 상생형 기술개발을 통한 동반성장형 성과창출
- 촉매기술개발 허브센터
 - 지역기반 혁신 자원 및 글로벌 선도 기술 활용을 위한 글로벌 촉매 연구 허브 구축하여 해외선도기업 및 대학교류, 산업·기술육성 중소기업 지원 인력양성, 장비지원 등의 역할을 수행
 - 지역산업(화학) + 지역특화조직(정밀화학센터 TP)+글로벌 촉매 기술 교류(울산과기대)
 - 울산지역 협력기관과의 긴밀한 관계를 유지·활용

- 촉매기술개발 허브센터 센터장
 - 산업통상자원부 R&D 투자방향, 사업구조조정 등 허브센터 상설 업무를 주관하며 본 사업의 총괄 책임 수행
- 허브센터 총괄지원실
 - 사업 기획, 각 PD/산업분야별 성과 총괄관리 실무
- 프로젝트추진단
 - 허브센터에서주관하고, 모든 세부과제를 총괄관리하며, 세부과제의 결과물을 융합·연계하여 사업화를 책임지고 수행
 - 자체 진도점검 및 자체 평가를 비롯한 수행기관들에 대한 관리·감독 등 원활한 과제 추진에 필요한 제반 활동을 수행
 - * 프로젝트 추진단은 소재-공정 동시 연구관리 수행
 - 프로젝트추진단은 다음과 같은 권한과 책임 부여
 - ① 사업계획서 등 신청 서류 제출
 - ② 과제 협약체결 및 수행에 대한 종합적인 관리
 - ③ 주관기관이 부담하기로 한 사업비의 부담
 - ④ 과제 수행에 필요한 참여인력, 시설의 확보 및 행정지원
 - ⑤ 사업비의 관리 및 사업비 사용실적의 보고
 - ⑥ 연차·단계보고서 및 최종보고서의 제출
 - ⑦ 과제수행결과의 활용 및 활용현황보고서 등 제출
 - ⑧ 기술료의 징수·사용·납부 및 그 실적의 보고
 - ⑨ 국가연구개발사업의 조사·분석·평가자료 제출
 - ⑩ 수행과제의 보안관리
 - ⑪ 연구윤리 준수
- 세부주관기관
 - 기업으로 구성함을 원칙으로 하며, 세부과제의 사업화를 책임지고 수행
 - 세부과제에 한하여 총괄주관기관에 준하는 권한과 책임 부여

○ 참여기관

- 기업, 대학, 연구기관, 사업자 단체 및 산업기술혁신촉진법 시행령에 의한 산업기술개발사업의 실시기관 등이 세부과제의 구성기술 개발
- 기획과제에 참여하지 않은 기업이나, 기획단계에서 탈락한 컨소시엄의 참여기관도 참여 가능
- 참여기관은 다음과 같은 권한과 책임 부여
 - ① 수행과제의 공동 참여 및 협력
 - ② 참여기관이 부담하기로 한 사업비의 부담
 - ③ 과제수행결과의 활용 등

2.2. 사업 추진전략

① (소재-공정 공동개발) 차세대 촉매의 분야별 소재-공정의 협업형 R&BD로 대형성과 창출

- 산업분야별 각 과제별로 소재-공정 동시개발 적정성을 확인하여 수행기관을 선정
- 원천응용단계 수행기관 선정은 KEIT가 주관하는 평가위원회를 통해 서면 심사 후 발표 평가 및 질의·응답 진행 방식으로 평가
 - 기술개발 수행계획서를 대상으로 평가
 - 평가위원회는 전 단계에 걸쳐 동일 위원으로 구성 원칙
 - 평가지표 100점에 가점 10점을 더하여 총 110점 만점으로 평가
 - * 위원별 최고/최저 점수 제외한 점수의 산술 평균 점수 계산 후 가점 포함
 - * 가점 : 중소·중견기업의 세부주관기관 참여비율이 25% 이상
 - 평가결과 60점 이상인 기관을 원천응용단계 수행기관으로 선정
 - 단독신청일 경우 평가결과가 80점 이상인 경우 선정
 - 산업별 특성을 고려하여, 분야별 세부항목 및 배점은 차별화 가능
- '14년 하반기 경쟁기획에 착수하여, 6개월 내외 기획 추진 예정

[표 4-4] 원천응용단계 수행기관 선정평가 항목

평가항목	세부 항목
기술개발과제 결과 (20)	- 기술개발과제 결과의 구체성과 타당성
기술성 및 개발능력 (40)	- 개발 목표의 적정성과 명확성 - 참여주체의 기술개발 능력 - 기술개발 추진전략 및 체계의 적정성 - 융복합 등 개발기술의 혁신성 및 차별성
경제성 및 사업화 가능성 (40)	- 상용화 가능성 및 사업화 전략의 적정성 - 시장 확대 가능성 및 파급효과 - 글로벌 시장 주도의 전략성 - 사업화를 위한 설비투자 등의 구체성

- 사업화 단계 수행기관 선정은 KEIT가 주관하는 평가위원회를 통해서면 심사 후 발표 평가 및 질의·응답 진행 방식으로 평가
 - 원천응용단계 결과 및 사업화단계 기술개발 수행계획서를 평가
 - 평가위원회는 전 단계에 걸쳐 동일 위원으로 구성 원칙
 - 평가지표 100점에 가점 10점을 더하여 총 110점 만점으로 평가
 - * 위원별 최고/최저 점수 제외한 점수의 산술 평균 점수 계산 후 가점 포함
 - * 가점 : 중소·중견기업의 세부주관기관 참여비율이 25% 이상
 - 평가결과 60점 이상인 컨소시엄 중 최고점을 받은 1개 컨소시엄 선정
 - 단독신청일 경우 평가결과가 80점 이상인 경우 선정
 - 산업별 특성을 고려하여, 분야별 세부항목 및 배점은 차별화 가능

[표 4-5] 사업화단계 수행기관 선정평가 항목

평가항목	세부 항목
원천응용단계 개발 결과 (50)	- 원천응용단계 목표 달성 여부 - 원천응용단계 기술개발 결과의 수월성 - 연차평가 결과
기술성 및 개발능력 (20)	- 개발 목표의 적정성과 명확성 - 참여주체의 기술개발 능력 - 기술개발 추진전략 및 체계의 적정성 - 융복합 등 개발기술의 혁신성 및 차별성
경제성 및 사업화 가능성 (30)	- 상용화 가능성 및 사업화 전략의 적정성 - 시장 확대 가능성 및 파급효과 - 글로벌 시장 주도의 전략성 - 사업화를 위한 설비투자 등의 구체성

② (대·중소기업 상생) 대·중소기업 상생형 기술개발을 통한 동반성장형 성과창출

- 대기업과 중소기업이 상호 개발에 참여하는 컨소시엄을 구성하고 중소·중견기업 참여의무화, 중소·중견기업 참여가점제 적용 통한 중소·중견기업 지원 강화 및 대·중소기업 상생 유도

* 세부주관기관으로 중소·중견기업이 업체 수를 기준으로 25% 이상 참여할 경우, 평가 시 총점에 10점을 가산



[그림 4-3] 중소·중견기업 참여 관련 규정

3. 동 사업의 차별성

- 차세대 촉매개발 사업은 기존의 관련 촉매사업과는 근본적인 방향성 및 접근방법에서 차별성이 있음
- **(First-mover)** 신시장을 개척하는 선도자의 관점에서 미래사회의 이슈를 해결하는 융합기술 Package 개발
- **(Hub 기반 STSI 연구)** 창조적 신시장 창출을 위한 소재·공정·시스템 종합기술 개발을 위하여 Science-Technology-System을 Integration 할 수 있는 촉매 Hub 센터 운영
- **(R&BSD)** 기술한계 극복을 통한 기존시장 확대를 목표로 하는 기존의 촉매 연구와는 다른 미래사회를 창조할 수 있는 미래 Issues에 대한 Solution을 도출하는 것을 목표로 함



[그림 4-4] 차세대 촉매개발 사업 차별성

- 협업형 R&BD(소재-공정 동시개발), 대규모 투자, 상생형 개발, 글로벌 허브화 도입이 차별화
 - (협업형 R&BD) 차세대 촉매 소재 및 공정 동시개발 협업형 R&BD 도입
 - 부처 및 산업별 분산, 촉매 단위기술 및 활용기술 수준에 따른 촉매기술 개발계획 부재
 - (대규모 투자 지원) 과제당 평균 사업비 약 250억 원을 투자 지원하는 대규모 사업으로 원천-실용화 연계 기술개발이 가능
 - 기존 기술개발에서의 해외 촉매 기술을 활용한 개선-활용기술 개발의 한계
 - (상생형 개발) 허브센터를 중심으로 대-중소기업 상생형 기술지원을 통해 동반성장형 성과창출 가능
 - 기존 사업은 개선-활용기술에 한해 사실상 대-중소기업의 상생이 어려웠으나, 촉매산업 특성상 소재-공정 동시개발해야 하고, 허브센터를 통한 지원을 통한 상생 가능
 - (글로벌허브화) 지식기반의 혁신 자원 및 글로벌 선도 기술 활용을 위한 글로벌 촉매 연구 허브센터를 구축함으로써 글로벌허브화 가능

[표 4-6] '신시장 창출' 목적의 타 사업과의 비교

항목	차세대축매 기술개발사업	소재·부품 기술개발사업	슈퍼소재 융합제품 산업화 사업	나노·소재 기술개발사업
사업 목적	청정에너지 생태계 선점을 위한 차세대 축매 기술개발	부품·소재산업의 지속적인 발전을 위한 핵심 부품·소재 기술개발	섬유산업의 지속적 성장과 선진국형 전환 위해 슈퍼소재 신기술 및 융합제품 기술개발	나노·소재분야의 창조적 신기술 선점 및 국가 성장 동력 확충을 위해 나노기술 가시화 토대 마련
추진 방법	대형, 중장기사업 (과제당 250억, 5~7년) 소재-공정 동시개발 대-중소기업 상생	연차별 정부출연금 6억원 내외 (3년 이내)	과제당 단기/중기 구분지원 연간 5억원 내외 (5년 이내)	과제당 연간 5~15억원 내외 (5년이내)
지원 분야	3대 산업분야 9대 품목	미래시장 선점 및 기술·경제적 파급효과가 큰 품목	아라미드 섬유, 초고분자 PE섬유 소재 중심 소재 및 융합제품 개발 지원	3대 분야 6대 품목
지원 대상	산학연 공동개발	중소·중견기업	기업 주도 컨소시엄	중소·중견기업

- 산업통상자원부 외 타 부처 대형 R&D 사업 중 소재관련 대표적
인 사업인 교육과학기술부의 '나노소재기술개발사업'과 사업목적
및 목표, 연구수행주체 차별화
- 동 사업은 과제당 평균 250억원을 투입하는 대형 중장기 사업이며, 대
부분의 다른 사업은 중소형 과제로 구성

4. 추진경위

□ 2009. 10 ‘축매연구원 설립’ 제안

- 한미 FTA 대응 정밀/석유화학 수출확대 및 신사업 창출 방안, 울산발전연구원, 2009

□ 2010. 11 ‘울산 석유화학산업의 발전방향’

- 울산경제의 장기비전과 발전전략, 한국은행, 2010

□ 2011. 4 ‘정밀화학산업 국내외 동향분석’

- 한국정밀화학산업진흥회, 2011

□ 2012. 10 ‘예비타당성 조사 기획위원회 구성’

- 울산과학기술대학교를 중심으로 ‘예비타당성 조사 기획위원회’를 석유화학분과, 에너지분과, 환경분과, 총괄분과 등 4개 분과로 구성하여 산학연관 전문가를 참여시킴



[그림 4-5] 예비타당성 조사 기획위원회 구성

- 2012. 12 ‘예비타당성 사전 조사 연구용역
 - 기술과가치, 2012

- 2012. 12 ‘기술수요조사 및 후보과제군 발굴’
 - Bottom-up 식의 기술수요조사 및 Top-down 기획 통해 후보과제군 발굴

- 2013. 1 ‘후보과제 선정 및 사전기획’
 - 공청회 개최(2013. 1~2)

- 2013. 2 울산광역시 업무협약

- 2013. 5 국회공청회, 산업통상자원부 업무보고

V

사업 추진 절차 및 전략

1. 사업 추진 전체 프로세스
2. 세부사업 발굴 단계
3. 사업 운영 방안

사업 추진 절차 및 전략

1. 사업 추진 전체 프로세스

- 동 사업은 「지식경제 기술혁신사업 기술개발 평가관리지침」의 대형선도과제 추진절차를 준용하여 추진

[표 5-1] 사업 추진 전체 프로세스 개요

업무 단계	수행주체
수행기관 공모	산업통상자원부
↓	
수행기관 선정	촉매허브센터
↓	
수행기관 선정(협약, 조정)	KEIT, 촉매허브센터
↓	
산업원천개발추진	수행기관
↓	
마일스톤 점검	촉매허브센터
↓	
산업 원천개발 결과 평가	KEIT, 촉매허브센터
↓	
사업화 개발 수행기관 선정	KEIT, 촉매허브센터
↓	
사업화 개발 추진	수행기관
↓	
마일스톤 점검	촉매허브센터
↓	
최종결과 평가	KEIT, 촉매허브센터
↓	
최종 평가	촉매허브센터

□ (수행기관 선정)

- 촉매허브센터의 검토 및 평가위원회를 통해 소재-공정 동시개발 적정 여부 확인하여 본 사업의 9개 세부사업 수행기관 선정
- 각 세부과제별로 기술개발 목표 및 1~2단계 사업내용에 대해 KEIT가 주관하여 평가, 심의 조정, 협약

□ 사업 수행 (1단계: 원천응용단계)

- (산업 원천개발 추진) 평가위원회를 통해 소재-공정 산업원천개발(TRL 3~5)
- (마일스톤 점검) 촉매허브센터의 각 산업별 PD 주관으로 수행기관을 방문하여 개발현황 점검
- (산업 원천개발 결과평가) 실험 시제품 개발단계 종료 후 개발결과 평가
- (사업화 개발 수행기관 선정) 사업화 기술개발 (TRL 6~7) 수행 기관 선정

□ 사업 수행 (2단계: 사업화단계)

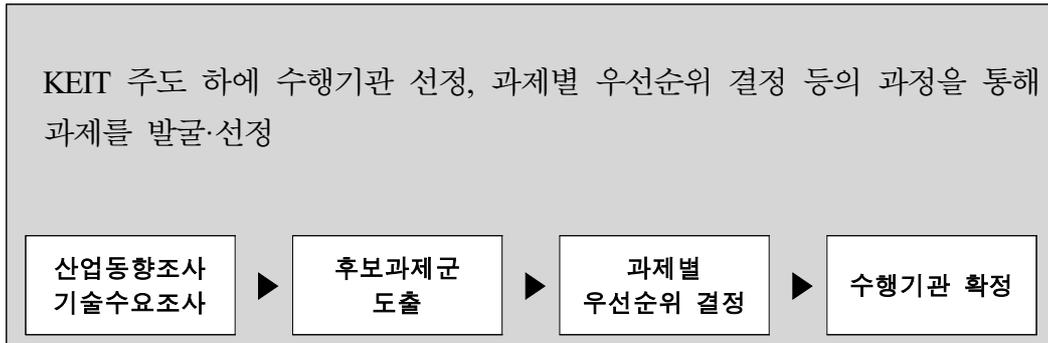
- (사업화 개발 추진) 평가위원회를 통해 소재-공정 사업화 기술개발 (TRL 6~7)
- (마일스톤 점검) 촉매허브센터의 각 산업별 PD 주관으로 수행기관을 방문하여 개발현황 상시 점검
- (최종결과평가) 최종보고서 제출 및 KEIT 주관의 평가위원회의 최종 평가를 거쳐 사업 종료

□ 성과(추적)평가

- 기술개발/사업화 완료기술에 대한 지속적인 성과조사 및 평가

2. 세부사업 발굴 단계

2.1. 세부사업 발굴 절차



Top-down, Bottom-up 방식을 병행하여 후보과제 pool 발굴

- 주요 선진국 및 국내 R&D 동향 분석과 산학연 전문가 면담을 통해 국내 촉매 직접 개발 후보군 도출(총 76개사)

후보과제군 도출

- 각 PD 산하에 객관성·전문성을 확보한 실무작업반을 구성하여 산업 분야별 후보과제군 도출
 - 국내 촉매 활용가능 기업조사 실시를 통해 동남권 촉매 활용 화학 기업 2404개, 울산 촉매관련 기업 150개사의 수요 확인
 - ※ 실무작업반 : PD 산하에 산·학·연·관 전문가로 구성·운영

과제별 우선순위 결정

- 후보과제군을 대상으로 PD 주도의 과제발굴위원회의 평가를 거쳐 소재-공정 동시개발 적정성 확인
 - 과제발굴위원회는 PD를 위원장으로 해당 분야의 産(민간 CEO/CTO)·學·研·官* 15인 내외의 전문가로 구성하고, 산업부 소관국장 포함
 - ※ 필요시 세부분야별 분과위원회 구성
 - (선정기준) 소재-공정 동시개발 적정성 및 글로벌시장 주도, 기업투자 유발 가능성 등 시장성·기술성·공공성 고려

- 선정된 후보과제에 대해 별도의 외부전문가 간담회를 통해 의견 수렴

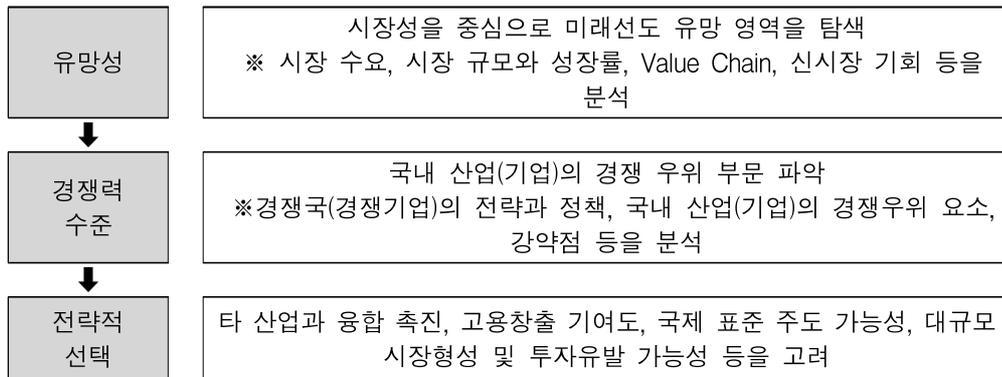
□ 수행기관 선정

- KEIT 주도로 각 산업분야별 후보과제에서 수행기관 선정
- 선정된 공고 대상 후보과제에 대하여 산·학·연 전문가를 대상으로 공청회를 실시하여 의견 수렴
 - 각 산업분야별 산·학·연 전문가를 대상으로 공청회를 실시하여 선정된 과제에 대한 전문가들의 이해를 구하고, 의견을 청취
- 최종 대상 수행기관 선정은 평가위원회를 통해 확정

2.2. 세부사업 선정 기준

- 글로벌 시장 형성, 국제표준 주도, 산업·기술 융합 촉진, 대규모 기업투자 유발 가능성 및 경제적 파급효과가 예상되는 과제 선정
 - ① 글로벌 시장 형성 : 새로운 개념의 제품을 개발하여 기존에 없던 새로운 시장을 창출할 수 있는 과제
 - ② 국제표준 주도 : 경쟁자보다 한발 앞선 제품 개발을 통해 제품의 국제적인 표준을 주도하여 전략적 우위를 확보할 수 있는 과제
 - ③ 산업·기술 융합 촉진 : 타 산업 분야 및 기술과의 융합을 통한 신개념 제품 개발과 시장의 패러다임 변화가 가능한 과제
 - ④ 대규모 기업투자 유발 가능성 및 경제적 파급효과 : 정부의 참여가 신시장·신산업 창출에 영향을 발휘하여 민간의 대규모 투자 유도를 기대할 수 있고, 큰 경제적 파급효과가 기대되는 과제
- 유망성(시장규모, 성장률 등), 경쟁성(기술, 가격/비가격 경쟁력), 전략성(비전/목표 관련, 파급효과 등 고려) 등의 특성 분석
 - 산업 및 기술의 변곡점, 전환점, 특이점의 도출 또는 주도

[표 5-2] 과제 선정 기준의 분석 프로세스



□ 시장성·기술성·공공성 중심으로 과제 선정 평가의 세부 기준 수립

- 후보과제 선정 기준은 공통 기준을 준용하되, 산업별로 평가표 상의 배점 비중을 달리하거나, 별도의 세부 기준을 추가
 - 시장성(40%), 기술성(30%), 공공성(30%)을 공통 기준으로 설정

[표 5-3] 과제 선정 공통 기준

구분	선정 기준	검토 내용
시장성(40%)	시장규모 및 성장률	우리나라 미래성장을 견인할만한 시장규모 및 성장가능성
	경제적 파급효과	해당과제의 성공으로 부가가치 창출 및 수출 기여도
	시장선점 및 진입장벽	글로벌 시장의 선점 가능성 및 진입장벽의 우수성
	기업투자유발	기술개발 완료 시 관련 기업의 투자유발 정도
기술성(30%)	지재권 확보가능성	원천특허, 국제 표준 선점 가능성
	7년 이내 실현가능성	7년 이내에 기술개발이 완료되어 상용화 가능성
	기술적 파급효과	타 산업·기술과의 융·복합 촉진 및 파급효과
공공성(30%)	고용창출효과	사업화 성공으로 직·간접적 고용창출 효과
	국가정책 연계성	중소기업 육성 등 정부정책과의 부합성
	사회적 파급효과	국민 삶의 질, 소외계층 해소 등 사회문화적 기여도

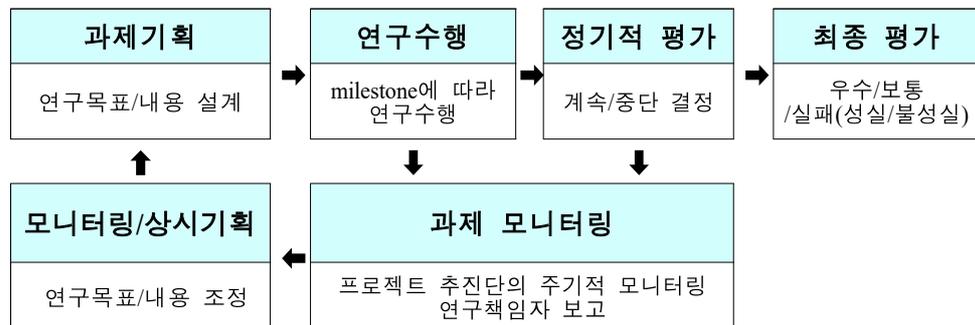
3. 사업 운영 방안

3.1. 과제 관리 및 연차·단계평가

□ 마일스톤 점검

- 프로젝트추진단은 개별 R&D프로젝트에 대해 당 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각하여 목표달성도에 대한 평가를 실시, 관리
 - 연구책임자가 제시한 마일스톤의 목표 달성여부를 확인 및 평가하고 프로젝트의 성과 및 진척도를 판단
 - 과제 진척도 및 성과 추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구 실적·성과정보 모니터링 시스템 구축, 운용

[표 5-4] 과제 관리 프로세스 개요



□ 매 사업년도 종료 시 연차평가 실시

- 연차평가는 각 세부사업 및 세부사업 내 개별 과제 대상 실시
- 각 세부주관기관 및 참여기관은 연차평가를 위해 연차보고서를 작성하여 제출
 - 세부주관기관은 각 개별과제 연차보고서를 작성하여 프로젝트추진단에 제출하고, 프로젝트추진단은 각 개별과제의 연차보고서를 취합하여 제출

- KEIT 중심으로 매년 연차평가를 실시
 - 주관기관이 제출한 연차보고서 점검, 현장실태조사, 평가위원회 심의 등을 거쳐 “계속”, “중단(성실, 불성실)”, “조기완료”로 성과 구분
 - 상대평가에 따라 예산차등지원 및 하위등급과제 중단 조치
 - ※ ‘중단’ 평가 시 협약 해약
- 평가위원회는 다음 항목을 평가
 - 연차별 목표 달성 여부
 - 연차별 기술개발 결과의 수월성
 - 상시 진도점검 결과
 - 차년도 계획의 적절성

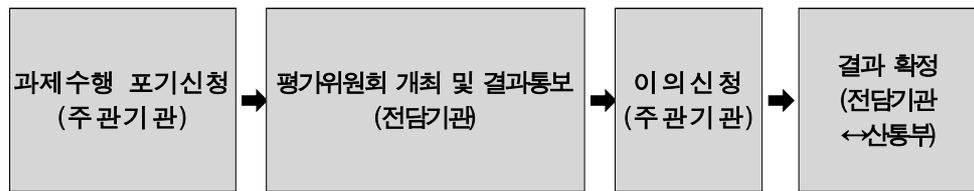
□ 중간평가(연차평가, 단계평가)의 기준 개정

- 중간 탈락("Early Exit") 제도 확대 및 활용 장려
 - ‘중단(성실, 불성실)’: 자발적 중단과 평가에 의한 중단 가능성 모두 확대
 - ※ 실적 부진과제는 연구수행 1차년도 평가를 제외하고, 연차별 상대평가를 통해 중간탈락을 의무화 (매년 하위 10~20%)
 - ‘조기완료’ : 과제목표를 조기 완료하는 경우 후속과제 지원 등 인센티브 부여
 - ※ ‘조기완료’는 최종평가 시의 ‘우수’ 단계와 동급으로 고려
- 연구 수행기관의 “자발적 중단” 인정
 - 수행기관 스스로 상시기획 등을 통해 기술목표를 조정하더라도 최종 목표달성 등이 어렵다고 판단될 경우, 평가를 통해 “자발적 중단” 인정
 - ※ 성실중단과제에 대해서는 원인보고서 작성 등의 과제 정리비용 및 정리기간(6개월 내외) 부여, 연차/단계/최종평가 시 참여제한, 출연금 환수 등의 제재조치 면제 등의 협조방안 구비
 - ※ 엄정한 평가를 거쳐 불성실수행으로 판정 시 참여제한 및 연구비 환수

[표 5-5] 각 평가의 결과 처리 방안

구 분	현행 평가결과	→	개정 평가결과
연차평가	계속, 중단, 조기종료	→	계속, 중단(성실, 불성실), 조기완료
단계평가	계속(우수, 보통), 중단, 조기종료	→	계속, 중단(성실, 불성실), 조기완료
최종평가	성공(우수, 보통), 실패	→	우수, 보통, 실패(성실, 불성실)

[표 4-6] 과제 수행포기 프로세스



□ 원천응용단계 및 사업화단계 종료 시 단계평가 실시

- 원천응용단계(1단계) 종료 시 사업화단계(2단계) 진행 여부에 대한 단계평가를 실시
 - 원천응용단계(2~3년) 수행 이후 과제의 Go/Stop 결정
- 과제 착수 5~7년 후 사업화단계 종료 시 최종평가 수행
- 단계평가는 각 세부사업 및 세부사업 내 개별 과제 대상 실시
- 각 세부주관기관, 참여기관은 단계평가를 위해 최종보고서를 작성하여 제출
 - 세부주관기관은 각 개별과제 최종보고서를 작성하여 프로젝트추진단에 제출하고, 프로젝트추진단은 각 개별과제의 최종보고서 취합하여 제출
- 평가위원회는 다음 항목에 대한 평가를 실시
 - 단계 목표 달성 여부
 - 단계 기술개발 결과의 수월성
 - 연차평가 결과

□ 평가 등급 배점 기준

- 100점 만점 기준으로, 기준점수에 의한 절대평가 또는 사업 수행기관 들 간의 상대평가로 성과등급 결정
 - 절대평가안: 기준점수(90점/75점/60점 등)로 평가등급 구간을 정하고 수행과제 평가점수가 속하는 구간에 따라 성과등급 부여
 - 상대평가안: 사업 전체(세부사업 아님) 수행기관들의 평가점수를 상 대비교하여 상위 10% 가량에 우수성과 등급 부여
 - 성실·불성실수행 여부 판단에 대해서는 성실수행여부 평가 절차로 재 검토

[표 5-6] 연차/단계평가 시 절대평가(案)

구 분	정 의	배 점수준 (안)	구성비율 (예상)
우수성과	도전적인 목표 달성한 과제 (목표 달성도 98% 이상)	평가점수 90점 이상	10% 내외
보통	목표 달성에 일부 미달한 과제 (목표 달성도 90% 이상)	평가점수 75점 이상	50% 내외
성실수행	목표 달성에 실패한 과제 (제출된 연구노트, 보고서 등을 통해 해당 연구의 성실수행을 인정받은 과제)	평가점수 60점 이상	35% 내외
불성실수행	목표 달성에 실패한 과제 (성실수행을 인정받지 못한 과제 또는 사업비 용도와 사용 등 규정 위반 과제)	평가점수 59점 이하	5% 내외

[표 5-7] 연차/단계평가 시 상대평가(案)

최종평가 등급	우수성과	보통	성실수행		불성실 수행
			사업화(성공)	사업화(실패)	
비중	10% 내외	50% 내외	35% 내외		5% 내외
목표달성	달성	달성	미달성		미달성
기술료	징수	징수	징수	비징수	비징수
제재	-	-	면제	면제	부과
인센티브	부여 (大)	부여 (小)	부여 (小)	-	-

□ (성실수행여부 평가) 성실/불성실수행 과제에 대한 재평가

- 성실수행과제에 대해 최종평가위원회를 2심 제도로 운영함으로써 엄정한 평가 수행
 - 최종평가위원회(1심)에서는 기술개발 결과의 평가등급을 결정하여 우수, 보통, 성실수행, 불성실수행 4개 등급중 하나를 부여
 - 심층검토위원회(2심)에서는 평가등급 중 성실수행, 불성실수행 과제에 대해서만 정밀 검토하여 최종 평가등급을 결정
 - 2심 평가대상 과제에게는 사전에 심의 대상임을 공지하여 2차 평가 시 충분한 소명준비를 할 수 있도록 조치
 - * 심층검토위원회(2심) 결과에 대해서는 별도 이의신청 접수/처기 없이 원안 확정

[표 5-8] 성실/불성실 평가 착안사항(案)

위원회	최종평가위원회(1심)	심층검토위원회(2심)
평가 항목	목표달성도(30%)	연구수행 성실성(50%)
	기술성(30%)	전문가 의견(20%)
	경제성 및 사업성(40%)	외부환경요인 및 기타(30%)
평가 내용	4개 평가등급 결정 - 우수 - 보통 - 성실수행 - 불성실수행	2개 평가등급 최종결정 - 성실수행 - 불성실수행
비고	- 성실/불성실수행 판정과제에 대하여 등급결정 예비결과를 통보하고 2심(심층검토위원회) 발표준비 안내	- 연구수행의 성실성, 도전적 목표 달성에 대한 전문가 의견 및 외부환경요인 등을 종합적으로 검토하여 최종 등급 결정 - 2심 결과에 대한 이의신청 불허

- (평가방식) 연구노트, 보고서(진도, 최종 등), PD 의견 등 정밀 검토하여 성실수행 여부 판정 ⇨ 성실수행 과제에 한해 2단계 평가 실시
 - 2단계 평가 : (1차 평가) 평가등급 도출 → 성실실패 판정과제에 대해 연구책임자가 연구노트·원인 보고서 등 제출 → (2차 평가) 심층평가 실시 → 평가등급 확정
 - 아울러, 평가 시 그간 연구실적뿐만 아니라 사업화 가능성, 기술동향·시장 환경변화 대응실적 등을 점검

□ 최종평가

- 프로젝트 추진 지원단은 개별 프로젝트들의 종료시점에 최종보고서 점검, 현장실태조사 또는 평가위원회의 심의를 통하여 과제의 추진실적 및 성과에 대하여 종합평가를 실시
 - 주요 판단기준은 연구책임자가 제시한 프로젝트 최종목표의 달성여부 및 사업화 가능성, 기술개발비 집행의 적정성 등
 - 최종보고서 검토평가 (KEIT, 촉매허브센터)
 - 현장실태조사 (KEIT 촉매허브센터 및 산업부 담당자, 해당분야 전문가)
 - 평가위원회 평가 (KEIT 촉매허브센터 PD, 평가위원회)

- 최종평가 결과는 “우수”, “보통” 또는 “실패(성실, 불성실)”로 구분
 - (현행) 4등급(우수, 보통, 실패(성실실패, 불성실실패))
→ (개선) 4등급(혁신성과, 보통, 성실수행, 불성실수행)
 - 도전적·창의적 목표지향 관점에서 ‘실패’라는 용어 삭제
 - 최종평가 결과 100점 만점을 기준으로 배점 평가

- "성실실패(Honorable Failure)" 용인 제도 도입
 - 위험성 높은 창의적 과제에 대한 도전이 가능하도록 연구의욕 고취
 - 실패과제 처벌보다는 원인 분석, 사례 공유를 통해 실패로부터 교훈을 얻는 것이 중요

- ※ 성실수행과제는 제재를 면제하되, 불성실수행과제는 연구 수행상황 및 실적 등을 고려하여 제재 차등화
 - * 성실수행과제는 추적조사 등을 통해 성과 및 실적을 지속 검증
 - 참여기관이 성과를 성실신고하지 않을 경우(성과누락)와 비영리기관이 기술료 등에 대해 성실신고를 하지 않을 경우, 참여제한 등 제재 조치
 - ** 사업비 환수, 과제참여 제한(예. 1~5년), 제재 부과금 5배 부과 등
 - 사업비 오용 등 불성실수행과제는 마일스톤 점검, 정산내역 감사를 통해 사후 적발 가능

3.2. 추적평가 및 관리 절차

가. 기존 산업통상부 성과(추적)평가 체계

□ 성과(추적)평가 개요

- 프로젝트 종료 후 일정 기간 동안(5년 이내) 연구개발성과에 대한 추적평가 강화
 - 제3자 평가를 통하여 연구단 추진 성과에 대하여 객관적인 평가를 실시
 - 평가 결과, 교훈을 차기 기획 과정에 환류시켜 사업기획, 운영 개선에 반영
- **(목적)** R&D 성과분석을 통한 사업성과 확인 및 정부 예산투입의 정당성 확보, R&D 운영·관리 시스템의 효율성 향상 유도

□ 현행 성과평가 관련 규정 및 현황

- 성과활용현황조사·평가는 과제·사업 단위로 구분하고, 전담기관들이 자체적으로 개별 수행

[표 5-9] 성과활용현황조사·평가 규정

구 분		규 정	주관 부처	시기 (과제종료 후)	실시 (전 부처)
성과활용 현황조사	과제 단위	공동관리규정1) (제21조)	교과부	5년	○ (실시)
		공동운영요령(제37조)·평가관리지침2)(21)	산통부	5년	
성과활용 평가	사업 단위	성과평가법3) (제8조)	교과부 (기재부)	5년	× (미실시)
	과제 단위	공동관리규정 (제21조)	교과부	3년	△ (일부실시)
공동운영요령(제37조)·평가관리지침(21)		산통부	2년/3년		

* 1) 국가 연구개발 사업의 관리 등에 관한 규정(대통령령)
 2) 지식경제 기술혁신사업 기술개발 공동운영요령 및 평가관리지침
 3) 국가 연구개발 사업 등의 성과평가 및 성과관리에 관한 법률

[표 5-10] 산업부 연구관리기관의 성과활용현황조사·평가 추진 형태

구 분	성과활용현황조사			성과활용평가* (실시여부)
	시기	방법	조사·관리	
KEIT	차년 1월~8월	자체 설문조사	e-R&D	○ (2년)
KETEP	매년 8월~차년 1월	외주용역(설문)	시스템 구축 중	×
NIPA	매년 12월~차년 9월	외주용역(설문)	시스템 구축 중	×
KIAT	-	-	시스템 구축 중	×

* KEIT가 관리 중인 기술개발과제만 수행, 기반구축·인력양성 미 실시

□ 현 성과평가 방식의 문제점

- (조사·평가방식) 전담기관별 조사항목, 항목별 개념정의, 조사 및 평가시기 등이 상이 → 조사·분석·평가의 표준화 시급
 - 국가R&D사업 조사·분석과 성과활용현황조사의 조사항목이 유사함에도 불구하고, 조사시기가 상이하야 반복입력 절차 불편
- (조사·분석·평가) 전담기관은 과제별 성과활용현황조사·평가를 통해 성과를 수집·분석³⁰⁾하고는 있으나 성과정리 수준에 머물고 있으며, 입력된 성과자료의 신뢰도 검증도 미흡
 - 연구수행기관이 신고한 특허, 논문, 기술이전 등의 실적 집계 수준에 그침
 - 기업 등이 제출한 매출액 등의 성과자료 검증체계 다소 미흡
- (통계관리) 전담기관 과제관리시스템(PMS)과 e-R&D시스템 간 상호연계에도 불구하고, 정부부처 업무이관, 전담기관 통폐합, 사업구조 개편 등으로 인해 정확한 통계자료 관리체계 미흡
 - 오프라인으로 자료관리 시, 자료관리가 어렵고, 관리비용도 많이 소요
- (성과환류) 분석·평가결과가 새로운 과제기획 및 제도개선 등에 반영되지 않는 등 환류체계도 미흡
 - 도출된 성과에 대한 대(對)국민 홍보 노력도가 부족하고, 평가결과,

30) (프로그램 조사분석) 그간 단위사업의 성과분석은 일부 사업에 한해 간헐적으로 수행(중기거점 사업 및 부품소재산업)되어 산통부 사업 전체 단위의 성과분석은 부재

우수 성과과제에 대한 인센티브 부족

□ **현 체계의 문제점에 대한 개선점을 도출, 본 사업 평가에 적용**

- 지식경제 R&D에 대한 추적조사·평가방식 표준화(서식 표준화 등) 및 성과자료의 신뢰성 제고
 - 전담기관 간 추적조사 및 평가방식 표준화→ 성과관리 매뉴얼 작성
 - 성과자료 신뢰성 제고를 위해 현장실태조사를 통해 성과 확인/점검 실시
- e-R&D를 통한 지식경제 R&D 통계 관리 일원화
- 과제별·사업별 성과분석 강화 등을 통한 환류체계 마련
 - 전담기관별 관리 역할을 명확히 하여 성과관리에 대해 체계적 분석 실시

□ **추적조사(평가)방식의 표준화 및 성과검증 강화 방안**

- **(조사방식)** 표준매뉴얼 작성·보급을 통해 조사분석 대상사업, 시행시기 및 방법, 사업유형별 조사양식 등을 표준화
 - **(대상/일정)** 과제별 당해년도 연구성과를 차년도 1월까지 조사 완료
 - **(조사방법)** 전담기관 PMS에서 자료조사, 검증 후 e-R&D에 등록·관리
- **(성과검증)** 성과입력 자료검증 후 성과상위 10% 및 성과이상 발견 기업에 대해 현장실태조사 실시→ 성과자료 신뢰성 확보
 - 증빙서류 확인 : 세금계산서, 부가세 납입증명서, 기술기여도 작성 서류 등

□ **성과분석 및 성과환류체계 구축 방안**

- **(성과분석)** 추적조사 결과분석과 종합 심층성과분석 실시

[표 5-11] 지식경제 R&D 종합 심층성과분석 체계

구분	추적(성과활용현황)조사 결과분석	종합 심층성과분석
실시주기	종료과제/ 5년간 매년 실시	종료·계속사업/ 사업별 5년마다 성과분석
수행주체	전담기관(KIAT, KEIT, KETEP, NIPA)	KIAT
실시방법	전담기관 자체분석	외부 용역 추진
조사항목	사업화·기술이전, 고용창출, 특허, 논문 등	과거 4년간 추적조사 D/B 활용
분석항목	R&D성공률, 사업화율, 매출증대 등	사회경제적 파급효과, 사업구조 등

- (성과환류) 분석·평가 결과 및 시사점을 과제 기획·사업설계 등에 환류하여 R&D 정책 의사결정에 반영 추진

[표 5-12] 성과활용현황조사·평가에 대한 환류 개념도



나. 차세대 촉매 기술개발사업의 성과(추적)평가안

- 본 사업의 추적평가 체계 및 조사내용의 기본 틀은 산업통상부 체계를 준용
- 산업통상부 R&D 성과평가 체계의 기존 Resource 및 Infra 활용
- 앞서 분석한 성과평가 체계 개선방향 반영

- **(체계 및 담당기관)** 산동부 성과활용조사·평가 업무경험이 있는 전문가를 촉매허브센터 내에 배치하여 성과평가 실무 담당
- **(조직체계)** 촉매허브센터 사업의 기획·운영업무를 담당하는 PD지원팀 내에 성과평가 실무를 담당할 전문가 배치
- **(성과평가 담당자)** 사업 종료 후의 성과평가 업무 전담
 - 산업부 성과활용조사·평가 전담기관(KEIT, NIPA, KETEP, KIAT) 업무 경험자 또는 현 근무자를 발탁

VI

세부사업 내용

1. 기술개발 사업 개발 분야
2. 촉매 허브 기반 구축 사업
3. 소요 예산 및 기대효과

세부사업 내용

1. 기술개발 사업 개발 분야

- 청정 에너지 생태계 선점 가능한 차세대 촉매의 원천, 실용화 사업 및 과제를 추진
- 에너지 생태계에서의 프로세스를 파악하고 이를 근거로 세부사업 개발목표를 설정하였으며, 크게 3대 사업 개발 분야로 구분이 가능함

1.1. 석유화학 촉매

가. 특징 및 중요성

- 차세대 석유화학 촉매기술 상용화 및 국내 기술 확보를 통해 선진국 주도의 글로벌 촉매산업에서의 영향력을 확대하고 수출 산업으로의 전환이 가능할 것으로 전망
- 산업적 중요성 : 석유화학 촉매 인프라를 활용하여 국내 촉매산업 고부가가치화 및 신성장 동력화 가능, 새로운 석유화학 산업 경쟁력 확보와 여수-대산 등 광역경제권 간 연계 협력 활성화 기대
- 경제적 중요성 : 촉매산업규모 5조원, 관련 화학산업 100조원 등 시장 성장이 예상, 촉매산업 관련 사업 확대 및 광역화, 관련 인프라 투자 등으로 연평균 8% 성장 전망

나. 단계별 추진내용

□ 촉매 생산 및 제조기술 확보(2014~2016)

- 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 기술
 - TMA/TEA/TIBA 제조기술 개발
 - MAO/m-MAO 제조기술 개발, MAO 대체 촉매 개발
 - 전자재료용 정밀화학 전구체 및 중간체 촉매제조 개발
 - 에너지소재개발에 필요한 핵심 응용기술개발
 - 메탈로센 촉매 양산화 기술
- 저탄소 화합물(C1~6) 전환기술
 - 폴리알파올레핀 윤활유 제조 촉매 기술
 - 에틸렌/알파-올레핀 공중합 균일계 촉매 기술, NGL을 활용한 알파올레핀 제조 촉매
 - 합성가스로부터의 MEG 직접제조
 - 부생가스로부터 부타디엔 제조
 - NGL을 활용한 화학원료 제조 기술
- 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술
 - 경질납사 고부가화 기술(연료 및 합성기유 생산)
 - 중질유 처리 촉매기술개발(RHDS, HYC RFCC 촉매개발 및 제조)
 - 초중질유분 처리기술 개발(Slurry HC 촉매기술 개발)
- 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료제조
 - 글리세린으로 아크릴산 중간체(아크롤레인) 제조를 위한 탈수촉매 공정개발
 - 탄화수소 생산을 위한 수소, 소모가 없는 탈산소 촉매 개발
 - 비식용작물을 활용한 Levulinic Acid 제조용 불균일계 촉매 기술 개발
 - 비식용작물을 활용한 석유화학 원료 제조 기술 개발

□ 촉매 신공정 엔지니어링(2017~2020)

- 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 기술
 - 고기능성 고분자 제조용 촉매공정 원천기술 확보
 - 메탈로센 촉매 생산 상업 공정 개발

- 국내 엔지니어링 기술 확보 및 신 축매공정 개발
- 저탄소 화합물(C1~6) 전환기술
 - 저급 유분 활용을 위한 축매공정 상용화 기술개발
 - 대체원료를 이용한 기초 유분 제조 상용화 기술개발
 - 국내 엔지니어링 기술 확보 및 신 축매공정 개발
- 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술
 - 저급 유분의 고부가화를 위한 상용화 기술 개발
 - 국내 엔지니어링 기술 확보 및 신 축매공정 개발
- 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료제조
 - 바이오매스를 활용한 석유화학 기초유분 제조 상용화 기술 개발
 - 국내 엔지니어링 기술 확보 및 신 축매공정 개발

다. 세부추진계획

[표 6-1] 석유화학 촉매 세부추진계획

사업명		신규 과제		중단기			장기				현재 기술 수준	목표 시장	
대분야	세부분야	과제명	단계	14	15	16	17	18	19	20			
석유/ 정밀화학	고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	TMA/TEA/TIBA 양산화 기술개발	실용화								응용연구	고분자 촉매	
		MAO/m-MAO 제조기술 개발	응용								기초연구	고분자 촉매	
		MAO/m-MAO 대체제 및 제조기술 개발	원천									기초연구	고분자 촉매
		전자재료용 정밀화학 전구체 및 중간체 촉매제조 개발	실용화									응용연구	정밀화학
		메탈로센 촉매 양산화 기술	실용화									응용연구	고분자
		에틸렌/알파-올레핀 공중합 균일계 촉매기술	응용									응용연구	고분자
	저탄소 화합물(C1~ 6) 전환 기술 개발	NGL을 활용한 알파올레핀 제조 촉매	원천									기초연구	석유화학
		폴리알파올레핀 윤활유 제조 촉매 기술	응용									응용연구	석유화학
		MEG 제조 촉매	응용									응용연구	석유화학
		부타디엔 제조 촉매	응용									응용연구	석유화학
		NGL 화학원료 전환 촉매	원천									기초연구	석유화학
	석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	경질납사 고부가화 기술 (연료유 생산)	응용									응용연구	석유화학
		경질납사 고부가화 기술 (합성기유 생산)	응용									응용연구	석유화학
		중질유 처리 촉매기술개발 (RHDS, HYC, RFCC 촉매개발 및 제조)	응용									응용연구	석유화학
		초중질유분 처리기술 개발 (Slurry HC 촉매기술개발)	원천									기초연구	석유화학
	생물자원유 래석유화학 원료 제조	글리세린으로 아크릴산 중간체 (아크롤레인) 제조를 위한 탈수촉매 공정개발	응용									응용연구	석유화학
		탄화수소 생산을 위한 수소 소모가 최소화된 탈산소 촉매 개발	원천									기초연구	석유화학
		비식용작물을 활용한 레볼린산 및 유도체 제조용 불균일계 촉매 기술 개발(수정됨)	원천									기초연구	석유화학
		비식용작물을 활용한 석유화학 원료 제조 기술 개발(삭제요망)	원천									기초연구	석유화학

□ 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발

[표 6-2] 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학가 제품 개발 수준

최종 산출물	주요특징(요구성능)	현재기술수준	
		주요특징(성능)	보유국가
TMA/TEA/TIBA 및 MAO/m-MAO	TMA : Al 36.4~37.4 mole % Cl 0~0.1 mole % TEA : Al min. 22.9 mole % TEA min. 99.4 mole % TIBA : Al 13.0~13.4 mole % TIBA 96.5~100 mole % m-MAO (m-MAO-3A 기준) Al 6~8 wt% Methane min. 62 mole % Isobotane max. 38 mole %	- 메탈로센 폴리에틸렌 및 공중합체 제조용 조촉매 - major 제조사 위주의 시장 형성	미국(Albemarle), 네델란드(AkzNobel) 및 독일 (Chemtura) 미국(Albemarle), 네델란드(AkzNobel) 및 독일 (Chemtura)
MAO 대체 조촉매	MAO 대비 동등이상 성능 제조원가 50\$/kg 이하, (MAO 시장가격: 200~300\$/kg)	- 약배위 음이온계 조촉매로 활용 - 제조 가격이 높고 대량 생산이 어려움	미국(Albemarle), 네델란드(AkzNobel) 및 독일 (Chemtura)
정밀화학 중간체 및 제조촉매	공액형 중간체 5종 이상 개발 촉매 시스템 3종 이상 개발	- OLED 등의 전자재료용 정밀화학 중간체로 활용 - 다양한 유기반응용 촉매 개발은 미흡함	미국(UDC, 코닥, Scripps, Caltech, UC Berkeley) 일본(이데미츠고산) 독일(Leibniz-Institut)
친환경 촉매 개발	Non-emission유기촉매 3종 이상 개발	- 이산화탄소 등 친환경 전구체의 전환용 유기촉매 - 친환경 소재의 요구에 따라 고효율성 유기촉매 다변화 필요	미국 (Hunstman, Air products) 일본(Tosoh)
메탈로센 촉매 양산 기술	Lab 제조 합성 촉매 대비 95% 이상 성능 구현 10kg/day 생산 설비 구축	- 다국적 기업 및 국내 기업에서도 촉매 양산 시작됨 - 다양한 제품 개발을 위한 촉매 양산 기술은 미흡함	미국(Dow, ExxonMobil, Lyondellbasell), 일본 (Mitsui), 한국(LG Chem)
LLDPE/POP/POE 제조 촉매	촉매 성능 : 100 kg PE/g Cat. 이상 C4-C8 혼입율 10 mol% 이상	- 고기능성 폴리올레핀 공중합체 수요 증가에 따른 신규 촉매 요구 - 촉매 개발의 어려움으로 인해 제한적인 촉매 사용	미국(Dow, ExxonMobil), 일본(Prime Polymer, Mitsui), 한국(LG Chem)

- 국내의 폴리머 중합 촉매 시스템 개발은 구조적으로 조촉매인 알킬알루미늄 및 MAO를 확보하지 못하여 메탈로센 촉매 개발에 한계가 있었으므로, 국내에서도 알킬알루미늄, MAO 및 보레이트 등의 조촉매 개발이 앞당겨진다면 고효율의 메탈로센 촉매시스템 개발이 가속화될 수 있으리라 판단됨
- 한국은 정밀화학분야의 경우 핵심 기술의 부족으로 무역적자가 지속적으로 발생하고 있으므로, 연구개발 투자를 통한 정밀화학 분야의 무역역조 현상을 극복하기 위한 기술 개발이 필요하며, 특히 전자, 자동차, 생활환경, 에너지 분야 등 국내 수출주력산업의 핵심소재개발이 필요함
- 국내 석유화학업계는 에틸렌계 고부가가치 제품 개발, 저가 원료 활용 등 기술개발을 통한 신성장 동력 발굴을 통해 위기 상황을 타개할 대책을 마련할 필요성이 시급함

□ 저탄소 화합물(C1~6) 전환기술

[표 6-3] 저탄소 화합물 전환기술

최종 산출물	주요특징(요구성능)	현재기술수준	
		주요특징(성능)	보유국가
PAO 제조 촉매	C20~50 선택도 : 80% 이상 촉매 성능 : 50 kg LAO/g Cat. 이상	- 대량 생산 기술 고급 윤활기유 생산 설비 구축	한국
MEG 제조 촉매	에틸렌옥사이드로부터 MEG 제조 촉매 개발 (10kg/day 생산 설비 구축) 합성가스로부터 MEG 제조 촉매 개발 MEG 수율 : 80% 이상 MEG 촉매 생산성 : 0.5kg/hr/kg Cat. 이상	- 대량 생산 기반 기술 신규 공정 개발 (원료 물질 변경 등)	중국, 인도
합성가스로부터 고부가 알코올 생산 기술	에탄올 수율 : 50% 이상 발효 공정 대비 경제성 30% 이상 향상 기술 대체 원료인 부생가스 및 세일가스를 활용하는 기술	신규 에탄올 합성 촉매 및 공정 개발 발효 공정과 경쟁력 있는 촉매화학적 전환 신규 공정	미국 (LanzaTech)
부타디엔 제조 촉매	부타디엔 선택도 : 65 wt % 이상 촉매 생산성 : 0.5kg/hr/kg Cat. 이상	상업용 규모로 운전중	미국, 유럽, 일본, 대한민국

- 우리나라는 윤활기유(PAO, polyalphaolefins) 세계시장의 50% 이상을 점유하여 향후 고급 윤활유 시장을 선점할 수 있는 기반을 갖추고 있으므로, 시장 선점을 위한 고급 윤활기유 (Group IV 고급 기유-PAO)의 개발 및 대량생산 기술 개발이 필요함
- 국내 MEG 시장의 연평균 성장률은 석유화학산업의 평균성장률과 유사한 3% 내외로 전망되고 있으며, 중국 및 인도 등의 급격한 경제 성장에 따라 연간 7% 정도로 빠르게 증가할 것으로 예상되고 있으므로, 관련 기술 개발 및 증설을 위한 상용화 기술 개발과 합성가스로부터 직접 생산이 가능한 신규 공정 개발이 필요함
- 세일가스 및 부생가스를 이용하여 청정 연료인 에탄올의 선택적인 생산기술 개발은 기존 발효 공정 대비 50% 수준의 생산가격으로 제조가 가능한 기술로 판별된 바 있으며, LanzaTech에서 발표한 자료에 의하면 제철소의 부생가스 및 세일가스등을 원료로하여 에탄올을 합성하는 경우 기존의 발효 공정과 비교하여 경쟁력이 우수한 것으로 발표하였음

□ 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발

[표 6-4] 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발

최종 산출물	주요특징(요구성능)	현재기술수준	
		주요특징(성능)	보유회사
촉매 탈수소화 및 올리고머화 반응기	납사 80% 이상의 전환을 통한 디젤 합성용 고정층/유동층 반응기	촉매 비활성화를 최소화 할 수 있는 구조를 가지는 반응기	Axens 사
촉매 탈수소화 및 올리고머화 촉매	디젤 수율 40% 이상의 디젤 합성용 촉매 개발	선택적 탈수소화 및 올리고머화 촉매 기술	Axens사
중질유 처리 촉매	RHDS, HYC, RFCC용 저비용 고성능 촉매 개발	촉매 비활성화 개선, 생성물 품질 개선 기능을 가지는 촉매 개발	Axens사, CLG사, Albemarle사, UOP사
유동층 촉매 수소화 반응기	중질유분의 95% 이상을 경질유로 전환 촉매 반응기	중질유 분해 성능 최대화를 위한 반응기 개발	Shell, UOP, CLG등 글로벌 메이저사
나노촉매 기반 슬러리 수첨 분해 촉매	nano 입자크기의 촉매 활용 (전환율 \geq 95%, middle distillate 수율 \geq 60%, 제품품질(API) \geq 30, 황제거율 \geq 65%, 금속제거율 \geq 80%)	중질유 분해 성능 최대화를 위한 고성능 촉매 개발	Shell, UOP, CLG등 글로벌 메이저사

□ 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조

[표 6-5] 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조

최종 산출물	주요특징(요구성능)	현재기술수준	
		주요특징(성능)	보유국가
수소소모가 최소화된 탈산소 반응용 촉매	<ul style="list-style-type: none"> - 수소 소모가 적어야 함 (투입된 반응물의 무게에 대해서 0.3 wt% 이하 수소 사용) - 탄소침적에 의한 촉매의 비활성화가 억제되어야 함 - 고정층 반응기를 이용한 연속 반응에서 반응초기의 활성이 5% 이상 저하되지 않으면서 1000시간 이상 유지되어야 함 (WHSV = 1 h⁻¹ 기준) 	<ul style="list-style-type: none"> - 수소 소모량: 1.5 ~ 3.8 wt% (투입된 반응물 기준) - 기존 귀금속 촉매는 탄소침적이 매우 심함 - 고정층 반응기 실험 결과 초기 활성이 10시간 이내에 급격히 저하됨 (유지되어야 함 (WHSV = 1 h⁻¹ 기준)) 	Neste Oil (핀란드), Petrobras (브라질), SK Innovation (대한민국), UOP/Eni (미국/이탈리아) 등
아크롤레인 제조를 위한 촉매 개발	아크롤레인 수율: 60% 이상, 72시간 동안 60% 이상의 글리세롤 전환율 유지	FeP1.3Si0.67Pt0.02Ox 형태의 포스페이트계 촉매 (아크롤레인 수율: 53%)	Arkema (프랑스), Nippon Kayaku Kabushiki Kaisha (일본), Evonik Degussa GmbH (독일) 등
		Nafion 담지 촉매 (아크롤레인 수율: 47%)	
		대부분의 촉매에서 코크형성에 의한 급격한 비활성화가 관찰	
레볼린산 및 유도체 제조용 불균일계 촉매	기존 강산 촉매를 대체할 수 있는 불균일계 촉매 (전환율 ≥ 80%, 선택도 50% 이상)	균일계 황산촉매사용	Biofina Technology /미국

- 적합한 촉매 활성상의 설계 및 개발, 반응 메커니즘에 대한 분석, 주형기법(Templating method)을 통한 촉매의 골격구조 제어 및 증진제의 도입을 포함하는 기술 개발을 통해 고효율, 고안정성의 아크롤레인 제조용 탈수촉매를 개발하고 나아가 해당 기술을 실용화하고자 함
- 수소 소모가 없는 탈산소 촉매 개발을 위해서는 탄소침적을 막을 수 있는 새로운 반응경로의 개발이 시급함: 기존 귀금속 촉매의 경우 수소를 과량 사용하지 않으면 탄소 침적이 급격하게 발생함

- 미국, 유럽에서 바이오 연료 시장이 확대되면서 수첨탈산소반응 (HDO)를 이용한 바이오 연료 생산공정이 확대되고 있으나 경제성, 공장 입지 선정에 제한이 있어서 수소소모가 없는 탈산소반응의 구현을 위한 촉매 개발이 관심을 끌고 있음
- 현재 수소소모가 없는 탈산소반응에 대한 필요성을 파악하고 대학이나 정부출원연구원에서 귀금속 기반 촉매를 개발하고 있으나 이용한 소규모로 진행되고 있음
- 미국, 일본, 유럽 등의 선진국에서는 글리세롤 기반 화학산업을 포함하는 바이오화학 산업의 중요성을 인식하고 이미 1990년대 초부터 가능성 있는 기술에 대해 기술 검토와 연구개발이 이뤄졌으나, 아직까지도 해당분야의 연구개발은 기초연구단계에 머물러 있으므로 해당 기술에 대한 진입장벽은 매우 낮을 것으로 판단됨
- 글리세롤로부터 아크롤레인 제조용 촉매 개발에 있어 실용화를 목적으로 해당 기술개발에 대한 독창적 원천기술을 확보할 필요가 있으므로 자체적으로 축적된 나노촉매 설계, 제조 및 분석기술을 활용하고 고분자-나노-촉매 융합기술 적용을 통한 촉매의 효율, 안정성, 생산성 향상을 전략화 함
- 상기 추진전략을 기본으로 실용화에 근접하는 결과를 도출한 뒤, 사업체와 긴밀한 연계 하에 벤치규모의 실증화를 구현하고, 경제성 평가 및 실용성 확보를 통해 본 과제의 연구 개발 기술의 가능성 및 바이오화학시장 잠재성을 제언하여 최종적으로 국내 바이오 화학 산업의 주도형 연구 개발의 새로운 패러다임을 제시하고자 함
- 수소소모가 최소화된 탈산소 반응용 촉매의 개발은 기존의 수첨탈산소반응 (HDO)에 비해서 수소 소모량이 현저히 적어야 함
- 기존 HDO의 경우 투입 반응물에 대해서 1.5~3.8 wt%의 수소가 소모되지만 이를 0.3 wt% 이하 혹은 전혀 사용하지 않고 탈산소 반응을 진행해야 함
- 수소를 사용하지 않을 경우 고정층 반응기로 연속반응을 진행하면 초기 활성을 유지하거나 초기활성 대비 5% 이하 감소할 때 까지 1000 h 이상을 유지해야 함 (WHSV = 1 h⁻¹)

- 수소소모가 최소화된 비귀금속계 탈산소 촉매 세계최초 개발 및 원천 특허 확보
- 기존 수침탈산소반응 (HDO)에 비해서 수소 소모량이 매우 적어서 탈산소 공정을 소형화 시킬 수 있으므로 비작용작물 산지에서 직접 생산이 가능함
- 기존 연구는 모두 백금, 팔라듐과 같은 귀금속을 촉매로 사용하지만 본 연구에서는 귀금속을 최소량 사용할 예정이며 귀금속 사용량이 적어지면 촉매가격이 낮아져서 기존 HDO 촉매 및 공정에 비해서 기술 경쟁력이 향상됨

1.2. 에너지 촉매

가. 특징 및 중요성

- 환경가스, 물, 공기 등을 이용한 차세대 청정 에너지 생산 및 상업화 가능한 저비용, 친환경 에너지 촉매 기술의 실용화 개발
- 산업적 중요성 : 에너지 및 수송기기 산업의 새로운 저장, 발전기술 개발 및 상용화 실현, 차세대 에너지 시장 선점 필수기술로 에너지 산업의 신 경쟁력 창출 및 유지
- 경제적 중요성 : 정부의 녹색성장 정책, 에너지 부족 심화, 전기자동차 시장 확대에 따라 매년 큰 폭으로 성장중

나. 단계별 추진내용

- 촉매 생산 및 제조기술 확보(2014~2016)
 - 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술
 - 활성금속 고담지 촉매 제조 기술 개발
 - 환경가스 에너지화 그래핀 기반 촉매기술 개발
 - 촉매 모듈형 컴팩트 열교환 반응기술 개발

- 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발
 - 광반응 연료 생산용 금속산화물 반도체 설계, 산업화
 - 3차원 나노구조체 적용 전극 제조, 대량생산 기술 개발
- 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발
 - 차세대 금속 공기전지용 고효율 촉매 개발
 - 고효율 촉매를 적용한 금속 공기전지 전극 생산 기술

□ 촉매 신공정 엔지니어링(2017~2020)

- 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술
 - 모듈형 표면구조체 촉매개발, 단위모듈형 구조체 촉매 활성조사
 - 촉매 과립화 기술 개발 및 모듈형 구조체 촉매 대량 생산
 - 컴팩트 반응기 모듈화를 통한 국산 파일럿 플랜트 기술 개발
- 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발
 - 이중 접합 및 다양한 산화물 반도체 합성을 통한 연료생산
 - 산업화를 위한 공정 과정의 확보 및 간소화
- 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발
 - 금속 공기전지용 비 귀금속 촉매 대량 생산공정 개발
 - 비 귀금속 촉매를 적용한 금속 공기전지 전극 대 면적화 기술

다. 세부추진계획

□ 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술

○ 기술개발을 통한 최종 산출물

[표 6-6] 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술

최종 산출물	주요특징(요구성능)	현재기술수준	
		주요특징(성능)	보유국가
고분산 및 고담지 나노촉매	활성 금속 30wt% 이상 담지	10~15wt% 담지	네덜란드
메탈 구조체 촉매	반응기 내 온도 분포 10℃이내	마이크로채널 반응기	미국
고효율 열교환 리포머 장치	3 Nm ³ /h	10 Nm ³ /h (10 units)	덴마크
모듈형 열교환 F-T 반응 장치	0.1 bpd	1 bpd	오스트리아

- Utrecht 대학(네덜란드)에서는 고온 Fischer-Tropsch 반응용 촉매로 10wt% 수준의 철이 균일하게 담지된 촉매 제조 기술을 가지고 있으며, 용융침침법을 통한 촉매 제조 기술 개발을 통해 활성 금속을 30wt % 이상 담지 하여 메탄개질 반응 및 Fischer-Tropsch 반응에서의 고효율, 고효성 촉매 기술을 선점이 가능함
- 일본 신에너지·산업기술 총합 개발기구(NEDO)에서는 COSMO OIL CO., LTD., Toyota Motor Corporation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) 등과 협동으로 BTL(Biomass to Liquid)에 적합한 F-T 합성 반응 및 촉매 공정을 개발 중이나 아직까지 기초 연구단계 있어, 향후 고담지 나노 구조체 촉매제조 기술을 선점하여 확보한다면 BTL 기술 및 전반적 F-T 기술에 있어 앞서 나갈 수 있음
- SGC Energia(오스트리아)에서는 마이크로채널 반응기에 코팅된 촉매를이용한 반응 기술을 개발하고 있으며, 현재 채널 내부의 촉매 코팅 안정성에 의한 촉매 침적 문제로 인한 반응기 내구성 문제는 반응기 스케일-업에 있어서 아주 큰 기술 장벽으로 인식되고 있으며, 따라서 고효성 메탈 구조체 촉매 개발을 통한 기술 개발은 자동차 연료 제조 기술 시장에서의 높은 경쟁력과 기술 수출이 기대됨

- 영국의 CompactGTL 사 및 미국의 Velocys 사에서는 콤팩트 액화 기술 개발을 위한 마이크로채널 반응기를 활용하는 연구가 많이 진행되고 있으나, 아직까지는 촉매 장기 안정성 확보 문제 및 채널 내부의 왁스 침적에 의한 반응기 성능 저하 현상 등의 해결할 과제가 많은 것으로 알려짐
- 따라서 기 확보하고 있는 원천 기술인 메탈 구조체 촉매를 이용한 Fischer-Tropsch 액화 촉매 기술과 개발된 촉매가 최적으로 촉매 작용을 할 수 있는 다채널 콤팩트 열교환 고정층 반응기 기술의 원천 기술을 확보하여, 향후 국제 기술 시장에서 높은 경쟁력을 확보할 수 있는 수십 배럴/일급의 고효율 콤팩트 액화 기술을 개발하고자 함

□ 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술 개발

○ 기술개발을 통한 최종 산출물

[표 6-7] 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술 개발

최종 산출물	주요특징(요구성능)	현재기술수준	
		주요특징(성능)	보유국가
3차원 나노구조체 적용 일체형 전극, 금속 산화물 반도체 광촉매 시스템	광촉매 연료 변환효율 15% 이상	광전환효율 4%	스위스
전기화학적 촉매 모듈	이상적인 수용액 조건에서 에너지 변환효율 70% 이상 촉매 모듈	-	-
금속산화물 반도체 생산 공정	Batch당 1kg 이상 금속산화물 반도체 입자 제조	-	-

- 스위스 로잔 공과대학의 Gratzel 박사팀과 일본 동경대 Kazunari Domen 박사팀은 산화타이타늄을 이용한 3차원 나노 구조체를 합성하여 ~4%의 광전화 효율을 발표하였다. 기존 광촉매로 사용되는 산화타이타늄을 3차원 다공성 전극으로 제작하여 표면적을 넓힘으로 효율을 향상시켰다. 더 넓은 표면적을 가진 3차원 나노구조 및 효과적인 전자기동이 가능한 전극 제조, 그리고 Mn, Zr, H 등을 도핑함으로써 에너지 밴드갭을 조절하여 그 성능을 향상시킴으로 광촉매 연료 변환효율을 기대치 만큼 끌어올릴 수 있으리라 예상됨
- 광촉매를 이용한 연료의 생산을 상업화 하기 위해서는 광전기화학

적 시스템을 모듈화 시키는 것이 필요하다. 단일 광전기화학 셀을 광학적으로 으로 배치하는 것과 이러한 셀의 전기에너지를 효율적으로 수집할 수 있는 조절 패널이 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 현재 이러한 광전기화학적 촉매 모듈은 개발되어 있지 않으며 기존 태양전지에 사용되고 있는 기술을 토대로 해당 기술 개발시 원천기술 선점이 가능함

- 독일의 Deggusa, 일본의 Ishihara Sankyo, 호주의 New Millenium사 등에서 고성능 광촉매 소재 개발이 연구되고 있다. 우리나라는 고성능 광촉매 소재를 거의 전량 수입에 의존하고 있어서 해당기술 개발시 해외 의존성이 개선될 것으로 예상되며, 기존의 고성능 광촉매는 대부분 환경분야에 사용되고 있어 연료 생산용 광촉매의 대량 생산 기술 확보시 높은 경쟁력과 기술 수출이 예상된다.

□ 차세대 금속공기전지 고효율 촉매개발

- 기술개발을 통한 최종 산출물

[표 6-8] 차세대 금속공기전지 고효율 촉매개발

최종 산출물	주요특징(요구성능)	현재기술수준	
		주요특징(성능)	보유국가
고효율금속공기전지 촉매	500Wh/kg의 에너지밀도	300Wh/kg	스위스, 미국
고효율고내구성금속 공기전지공기극	1000시간 이상의 고 내구성	500시간	스위스, 일본

- 미국 MIT 및 EOS사는 귀금속 촉매 개발과 공기극 제조 기술을 보유하고 있으며, 새로운 비 귀금속 촉매 개발과 고 내구성 공기극 제조의 원천기술 확보를 위한 연구를 추진하고 있음으로 국내에서 비 귀금속 산화물 계열을 적용한 촉매개발을 귀금속 촉매수준까지 끌어올리는 것을 목표로하여 기술 개발시 원천기술 선점이 가능
- 스위스 Revolt technology는 고 내구성 공기극 제조를 위한 Carbon 전극 개발의 활용 연구단계로 우리나라가 보유한 촉매 제조 기술 및 평가 기술의 응용 및 실용화 개발을 통하여 이를 적용시킨 차세대 금속공기전지 공기극 분야를 먼저 상용화함으로써 시장 선점이 가능함. 이는 다양한 산업 분야 특히 중대형 에너지 저장 발전 장

치로서의 활용 및 적용분야가 넓고 EV 산업에 적용 시 그 파급효과가 매우 클 것으로 전망.

- 이에 비 귀금속 촉매를 적용한 차세대 금속공기전지개발의 실용화를 목표로 하고 있으며, 현재 기술수준인 기초적인 평가 및 전지 제작 수준을 넘어선 고효율 금속 공기전지의 비 귀금속 촉매의 개발과 장기적인 원천기술 확보 및 이를 응용한 연구를 통해 상용화에까지 적용 시킬 수 있는 연구가 목표.

1.3. 환경 촉매

가. 특징 및 중요성

□ 배기가스, CO₂ 온실가스 등의 유해가스 제거 및 활용을 위한 촉매기술, 유해 물질 제거 및 환경제어 원료의 핵심기술

- 산업적 중요성 : 에너지 소비 증가에 따른 환경오염 문제 심화, 녹색기술 실현, 기후변화 협약, 탈석유시대 대응을 위한 환경산업의 필수적 기술(*12.12 녹색기후기금 유치)
- 경제적 중요성 : 환경촉매 시장은 2015년 약 16억 달러 성장 예상, 선진국 중심의 글로벌 환경규제 심화, 탄소배출 거래제 등으로 급격한 성장 전망

나. 단계별 추진내용

□ 촉매 생산 및 제조기술 확보(2014~2016)

- 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발
 - 연료직접이용 배기가스 SCR기술
 - 비백금/초저백금계 저온산화 촉매
 - 배기가스, 탄화수소 흡착
 - 4-way, 일체형 촉매 시스템 개발

- CO₂활용 촉매개발
 - 중고온용(100도 이상) 신규 흡착/촉매 소재 개발
 - CO₂를 이용한 고분자 합성 촉매 개발
 - CO₂ 전환 합성가스 제조 촉매 기술
 - CO₂ 이용 케미컬 직접합성 촉매

□ 촉매 신공정 엔지니어링(2017~2020)

- 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발
 - 배기가스 촉매 공정 원천기술 확보
 - 배기가스 촉매 생산 상용화 공정 개발
 - 국내 촉매기술 확보 및 신 촉매공정 개발
- CO₂활용 촉매개발
 - CO₂ 흡착제 및 활용 촉매 공정 원천기술 확보
 - CO₂ 활용 촉매 생산 상용화 공정 개발
 - 국내 촉매기술 확보 및 신 촉매공정 개발

다. 세부추진계획

□ 고효율, 저비용 배기가스 제거 촉매 시스템 개발

- 기술의 정의
 - 다양한 내연기관에서 배출되는 배기가스를 우수한 효율로 제거하고 저비용으로 제작 가능한 배기가스 정화용 촉매 시스템으로 친환경 자동차 및 선박, 건설기계에 필수불가결한 상용화 기술임
- 기술개발 필요성
 - 전세계적으로 배기가스 규제 기준이 강화됨에 따라 친환경 제품을 시판하는 것은 선택사항이 아니라 필수 요건임. 특히 자동차 분야의 경우 규제를 만족하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있으며, 보다 성능이 우수하고 저렴한 배기가스 정화용 촉매를 개발하는 것은 자동차 업계의 핵심 관심사업
 - 이러한 산업적 트렌드에 유기적으로 대응하기 위해서는 현재 전 세계에서 초기 단계 수준에 머물러 있는 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매 시스템과 관련한 핵심 기술을 확보하는 것이 무엇보다

중요함

- 특히 두 개 이상의 후처리 장치를 통합하여 복합화시, 공간과 경제성이 동시에 개선되어 친환경 차세대 친환경 자동차를 개발할 수 있을 것으로 기대됨
- 또한 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매 시스템 개발은 향후 건설기계, 조선 산업의 이니셔티브를 우리 나라가 계속 주도하기 위해서 필수적으로 획득해야 하는 기술이며 글로벌 시장 선점을 위한 조기 상용화 기술 개발이 절실한 시점임

○ 기술개발을 통한 최종 산출물

[표 6-9] 고효율, 저비용 배기가스 제거 촉매 시스템 개발

최종 산출물	주요 특징 (요구 성능)
일체형, 4-way 촉매 시스템	입자상물질과 NOx을 90% 이상의 전환율로 동시 제거
비백금/초저백금계 저온산화 촉매	실제 반응 조건에서 250 C 이하에서 CO 및 탄화수소 산화 성능이 90%이상
탄화수소 흡착용 신규 재료	cold-start 동안 배출되는 95% 이상의 탄화수소를 흡착하여 저장할 수 있는 신규 흡착재료
연료직접이용 배기가스 SCR 촉매 기술	urea SCR 촉매 대비 90% 이상의 활성을 가지면서 황에 대한 피독이 강한 연료직접 이용 SCR 촉매

○ 세부 추진기술 및 내용

[표 6-10] 고효율 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 요소기술

전략사업	핵심기술	구성기술
고효율 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템	일체형, 4-way 촉매 시스템	세라믹 필터 제조기술
		DeNOx 촉매 제조 기술
		촉매 coating 및 설계기술
	비백금/초저백금계 저온산화 촉매	복합산화물 촉매 제조기술
		나노기술을 이용한 초저백금/복합산화물 촉매 제조 기술
	탄화수소 흡착용 신규 재료	제올라이트 제조 기술
		제올라이트 기공제어 기술
	연료직접이용 배기가스 SCR 촉매 기술	DeNOx 촉매 제조기술
연료에 따른 SCR 시스템 평가 기술		

□ 일체형, 4-way 촉매 시스템 개발

- 기술개발의 개요 및 필요성
 - 내연기관에서 배출되는 입자상 물질을 제거하기 위한 filter와 질소산화물을 제거를 위한 SCR 촉매가 필수불가결한 요소로 포함됨
 - Filter에 SCR 촉매를 coating 하여 통합하는 촉매 시스템을 일체형, 4-way 촉매 시스템이라 칭함
 - 4-way 시스템은 제한된 공간에서 후처리장치 배치에 어려움이 있는 산업계에 공간 활용을 해결해줄 수 있으므로 반드시 개발이 필요함
- 기술개발 수준
 - 미국 PNNL은 트럭회사인 PACCAR와 공동으로 세라믹 필터에 SCR 촉매를 coating 함으로써 연구 개발 중임
 - 전체적으로 연구 초기개발 수준이며 높은 기공도를 가진 filter를 개발하고 촉매 coating 기술을 개선해야 할 것으로 보고됨
- 개발 목표
 - 입자상물질과 NOx을 90% 이상의 전환율로 동시 제거를 할 수 있는 일체형 4-way 촉매 시스템 개발
- 기술개발 산출물 활용 방안
 - 자동차, 선박, 건설기계 등 다양한 내연기관 배기가스 정화용 촉매 시스템으로 활용

□ 비백금/초저백금계 저온산화 촉매

- 기술개발의 개요 및 필요성
 - 배기가스 정화용 촉매 가격의 대부분은 촉매에 포함된 백금계 금속에 의해 결정됨
 - 엔진 크기가 커지면 배기가스 정화용 촉매 가격도 수백만원 수준으로 상승함
 - 따라서 가격 경쟁력 확보 차원에서 백금계를 비백금계 금속 산화물 촉매로 대체하려는 연구가 필요함
 - 엔진의 효율이 향상됨에 따라서 배기가스의 온도가 낮아지는 추세임
 - 저온영역에서 배출되는 CO, 탄화수소를 낮은 온도에서 산화하여 제거할 수 있는 기술이 요구됨

- 비백금계/초저백금계 금속 산화물을 이용하여 저온 산화반응에 적용할 수 있다면 경제적으로 막대한 이익 창출

○ 기술개발 수준

- 현재 실험실 수준에서 저온 산화반응용 산화물 촉매 (Co_3O_4 , perovskite 촉매)에 대한 연구가 보고되고 있으므로 초기 단계임
- 나노 재료 합성 기술을 적용하여 산화물 촉매를 제조하려는 시도가 보고되고 있음
- 자동차 회사를 중심으로 백금의 양을 절감 또는 비교적 저렴한 Pd 금속으로 대체하려는 상용화 연구가 진행 중임

○ 개발 목표

- 실제 반응 조건에서 250 °C 이하에서 CO 및 탄화수소 산화 성능이 90%이상인 비백금계 산화반응용 촉매 개발

○ 기술개발 산출물 활용 방안

- 디젤 산화촉매 (DOC)의 대체 촉매로 활용

□ 배기가스 중 탄화수소 흡착용 신규 재료 개발

○ 기술개발의 개요 및 필요성

- 배기가스 규제 중 탄화수소의 배출량에 대한 규제가 강화되고 있음. 대부분의 탄화수소는 시동초기 (cold-start)의 촉매 온도가 낮은 시기에 배출됨
- 따라서 탄화수소 흡착용 재료를 이용하여 cold-start 동안에 탄화수소를 저장하였다가 온도가 상승하는 과정에서 배출하여 추후에 연소하는 개념임
- 현재까지 연구된 흡착 재료는 제올라이트임
- 기존의 상용 제올라이트를 탄화수소 흡착 반응에 적용하는 수준의 기초연구가 진행되고 있음
- 성공할 경우, 가솔린, 디젤 등 전차량에 적용가능하므로 막대한 부가가치 창출이 기대됨

- 기술개발 수준
 - Ford 등은 탄화수소 흡착 재료 개발에 투자하고 있음
 - 제올라이트 구조, 기공의 크기, Si/Al 비, 이온 교환된 금속 등에 따른 기초 연구를 수행하고 있음. 배출되는 탄화수소에 맞추는 맞춤형 제올라이트 합성은 미진한 수준임
 - 국내의 산업계 및 학계에서 탄화수소 흡착재료 개발 분야에 대한 연구가 진행되고 있지 않음
- 개발 목표
 - Cold-start 동안 배출되는 95% 이상의 탄화수소를 흡착하여 저장할 수 있는 신규 흡착재료 개발
- 기술개발 산출물 활용 방안
 - 소형 가솔린 배기가스정화용 촉매 시스템에 장착함

□ 연료직접이용 배기가스 SCR 촉매 기술

- 기술개발의 개요 및 필요성
 - Urea를 환원제를 이용하는 SCR 촉매 시스템이 상용화되어 있음
 - Urea를 환원제로 이용할 경우, NO_x 제거 활성이 높은 장점이 있으나, 추가 비용 및 공간이 필요함
 - 배기가스 중 존재하는 탄화수소를 환원제로 이용할 경우 추가 비용 및 공간이 필요없기 때문에 이상적임
 - 그러나, 탄화수소는 NO_x와 반응할 때 반응성이 낮아 전체 제거 성능이 저하되는 문제점이 존재
- 기술개발 수준
 - 지난 20년 동안 수많은 촉매가 연구되었으나, 대부분 상용화 수준에 이르지 못함
 - GE가 수년전 Ag/Al₂O₃ 촉매를 가장 우수한 것으로 보고하였으나, 상용화에 실패함
 - 한국에서의 연구도 실험실 수준임
- 개발 목표
 - Urea SCR 촉매 대비 90% 이상의 활성을 가지면서 황에 대한 피독이 강한 연료직접 이용 SCR 촉매 개발

○ 기술개발 산출물 활용 방안

- 다양한 린번 엔진, 디젤 엔진에서 배출되는 배기가스 정화시스템에 적용 가능
- 소형 디젤 차량으로부터 대형 엔진이 사용되는 버스, 트럭, 건설기계, 선박 등에 장착 가능함

□ 세부추진기술 확보 전략

○ 자체 개발

- 고성능 세라믹 필터 제조 기술은 국내의 전남대, 세라믹 제조 회사 등에서 기초 원천기술을 보유하고 있기 때문에 산·학 협력을 통해 충분히 자체 개발이 가능
- DeNOx 촉매 제조 기술은 국내의 포항공대, 서울대 등에서 지속적으로 연구를 수행해왔기 때문에 자체 개발로 원천기술 확보 가능
- 촉매 coating 기술은 국내 자동차 촉매 회사인 세라컴, 희성촉매 등지에서 원천 기술력을 보유하고 있기 때문에 관련 개발 경험을 기반으로 충분히 자체 개발이 가능
- 복합 산화물 촉매 제조 기술은 서울대, 전남대, 화연에서 현재 연구를 수행하고 있기 때문에 자체 개발 가능
- 탄화수소 흡착 재료 합성 기술은 전남대, UNIST 등의 전문가가 다년간의 제올라이트 합성 경험과 원천기술을 보유하고 있으므로, 자체 개발 가능
- 자동차 회사인 현대자동차는 세계 친환경 자동차 시장의 선두주자로 승용디젤 차량 시장을 선도하고 있으며 배기가스 정화용 촉매 평가의 시스템 및 핵심기술을 보유하고 있음
- 조선업계의 현대중공업은 친환경 선박 제조 분야에서 세계를 선도하고 있으며, 선박촉매를 실제로 개발할 수 있는 기술력과 장비, 인력을 가지고 있음

○ 기술도입

- 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매 시스템 기술은 자체개발을 원칙으로 함

○ 글로벌 협력

- 배기가스 정화용 촉매 시스템 기술의 국내 기술 수준은 기초 및 원천 단계로 평가되나 글로벌 시장 진출을 겨냥해서 전략적으로 해외 연구기관 및 기업들과 글로벌 기술 협력을 추진

□ 세부추진기술 로드맵

[표 6-11] 환경촉매 분야 세부추진 기술개발 로드맵

연구개발 내용	세부내용	추진 일정 (개월)		
		1단계 (2년)	2단계 (2년)	3단계 (3년)
일체형, 4-way 촉매 시스템 개발	최적의 반응시스템선정 및 운영조건 탐색	■		
	다종의 세라믹 필터에 대한 기초 데이터 확보	■		
	기공구조의 제어를 통한 신규 세라믹 필터 개발	■	■	
	최적화된 DeNOx 촉매 개발		■	
	촉매 coating 기술 개발		■	■
	촉매 최종 평가 및 촉매 대량생산 기술 확보			■
비백금/초저백금계 저온산화 촉매	최적의 반응시스템선정 및 운영조건 탐색	■		
	다종의 금속산화물 촉매에 대한 합성, 물성 등 기초 데이터 확보	■		
	나노 기법을 이용한 신규 산화물 촉매 개발	■	■	
	증진제 도입을 통한 다중 금속 활성상 개발		■	
	초저량 백금계 금속 포함 산화물 촉매 기술 개발		■	■
	촉매 최적화 및 촉매 대량생산 기술 확보			■
배기가스 중 탄화수소 흡착용 신규 재료 개발	최적의 반응시스템선정 및 운영조건 탐색	■		
	다종의 제올라이트에 대한 기초 데이터 확보	■		
	기공구조의 제어를 통한 신규 제올라이트 담체 개발	■	■	
	금속도입을 통한 제올라이트 개발		■	
	제조 변수에 따른 제올라이트 제조 기술 개발		■	■
	촉매 최종 평가 및 촉매 대량생산 기술 확보			■
연료직접이용 배기가스 SCR 촉매 기술	최적의 반응시스템선정 및 운영조건 탐색	■		
	다종의 촉매상 및 담체에 대한 기초 데이터 확보	■		
	탄화수소 종류에 따른 촉매 성능 파악	■	■	
	증진제 도입을 통한 촉매 개발		■	
	촉매 표면 개질 및 구조제어 기술 개발		■	■
	촉매 최적화 및 촉매 대량생산 기술 확보			■

□ 연차별 기술개발 목표 및 내용

[표 6-12] 환경촉매 분야 연차별 기술개발 목표 및 내용

구분	연구개발 내용	기술개발 목표	기술개발 내용
1단계 (2년)	일체형, 4-way 촉매 시스템 개발	NO 제거 수율: 60% PM 제거 수율: 60%	<ul style="list-style-type: none"> 최적의 반응시스템선정 및 운영조건 탐색 기존 다종의 촉매상 및 담체에 대한 기초 데이터 확보
	비백금/초저백금계 저온산화 촉매 개발	300 C에서 CO, HC 제거 수율 90%	
	배기가스 중 탄화수소 흡착용 신규 재료 개발	상온에서 HC의 제거 능력: 60%	
	연료직접이용 배기가스 SCR 촉매 기술	Urea SCR 대비 60%	
2단계 (2년)	일체형, 4-way 촉매 시스템 개발	NO 제거 수율: 75% PM 제거 수율: 75%	<ul style="list-style-type: none"> 나노 기법을 이용한 신규 촉매 개발 증진제 도입을 통한 다중 금속 활성상 개발 촉매 표면 개질 및 구조제어 기술 개발
	비백금/초저백금계 저온산화 촉매 개발	270 C에서 CO, HC 제거 수율 90%	
	배기가스 중 탄화수소 흡착용 신규 재료 개발	상온에서 HC의 제거 능력: 80%	
	연료직접이용 배기가스 SCR 촉매 기술	Urea SCR 대비 80%	
3단계 (3년)	일체형, 4-way 촉매 시스템 개발	NO 제거 수율: 90% PM 제거 수율: 90%	<ul style="list-style-type: none"> 촉매 표면 개질 및 구조제어 기술 개발 촉매 최종 평가 및 촉매 대량생산 기술 확보
	비백금/초저백금계 저온산화 촉매 개발	250 C에서 CO, HC 제거 수율 90%	
	배기가스 중 탄화수소 흡착용 신규 재료 개발	상온에서 HC의 제거 능력: 95%	
	연료직접이용 배기가스 SCR 촉매 기술	Urea SCR 대비 90%	

□ 기술 상용화 전략

- 기술개발 완료 후 시장 출시가 가능한 제품
 - 자동차, 건설기계, 선박용 고성능, 저비용, 소형 배기가스 정화용 촉매 시스템
 - 소형 가솔린 차량, 소형 디젤 차량용 일체형 4-way 촉매 시스템
 - 디젤 산화촉매 대체형 비백금계/초저백금계 저온 산화반응 촉매 시스템
 - 저온 탄화수소 흡착 시스템
 - 연료 직접 이용 SCR 촉매 시스템
- 기술개발 주체별 상용화 협력 전략
 - 산학연 유기적인 협력 체계 구축을 통한 상용화 개발 기간 단축
 - 원천/응용 기술 및 관련 특허의 조기 확보, 사업화 기반 조기 구축
- 단계별 시장 진입 전략
 - 단기적으로는 이미 시장이 형성되어 있는 자동차 배기가스 정화용 촉매 시스템에 우선 적용하여 시장에 진입함
 - 중장기적으로는 시장이 새로이 형성되고 있는 선박, 건설기계의 배기가스 정화용 시스템을 개발하여 시장을 선점함

□ CO₂ 활용 촉매 기술 개발

- 기술 개발을 통한 최종 산출물

[표 6-13] CO₂ 활용 촉매 기술 개발을 통한 최종 산출물

최종 산출물	주요특징 (요구성능)	현재기술수준	
		주요특징(성능)	보유국가
고 성능 CO ₂ 흡착제	흡착용량 (wt%) > 20 열내구성 (oC) > 400 재생성 (Cycle) > 2000	15 400 1000	Air-Products (미국)
고 성능 CO ₂ 포집 모듈	CO ₂ 제거율 (%) > 95	90	
고 효율 CO ₂ 전환 촉매	합성가스 전환율 (%) > 95 Carbonate 수율 (%) > 20	92 5	Chiyoda (일본) AIST (일본)
CO ₂ 전환 장치	CO ₂ 전환율 (%) > 95 Carbonate 수율 (%) > 20%	92 5	Chiyoda (일본) AIST (일본)

- 미국 Air-Products는 CO₂ 포집 흡착 기술에 대해 고체 흡착제 및 공정의 원천기술 확보를 위한 연구를 추진하고 있으며 고체 흡착제 관련하여 현재까지 가장 많은 특허를 출원, 등록하고 있음. 국내에서는 CO₂ 포집의 흡착기술을, 고성능, 고내구성을 목표로 하여, 연소전 상온 가스전 적용 및 고온 발전소, 화학공정 적용을 중심으로 고압 작동 금속 산화물 흡착 소재 및 공정기술의 상용화가 가능한 기술 확보를 하고자 하며, 기술 개발 시 원천 기술 선점이 가능하며, 상용화를 위한 Basic Engineering Package 를 보유함으로써 해외 원천 기술을 따라 잡는 경쟁력 있는 기술 확보가 가능하게 됨

- 일본 Chiyoda 와 AIST는 CO₂ 전환의 Demo Plant 및 기초 촉매연구단계의 CO₂ 활용 촉매 기술을 보유하고 있으며, 우리나라가 보유한 CO₂ 전환 촉매 기술을 응용하고, 화학원료의 합성 촉매 기술의 실용화 개발을 통하여, CO₂ 전환 합성가스-액체화학원료 분야에 먼저 상용화 함으로써 시장 선점이 가능하며, CO₂ 이용 화학원료 직접 합성 촉매 기술은, AIST 가 기초 촉매연구단계에 있으므로, 우리나라가 보유한 CO₂ 활용 촉매 기술을 응용하여, 원천 직접 이용 촉매 및 공정 기술 개발에 먼저 상용화 함으로써, 시장 선점이 가능함

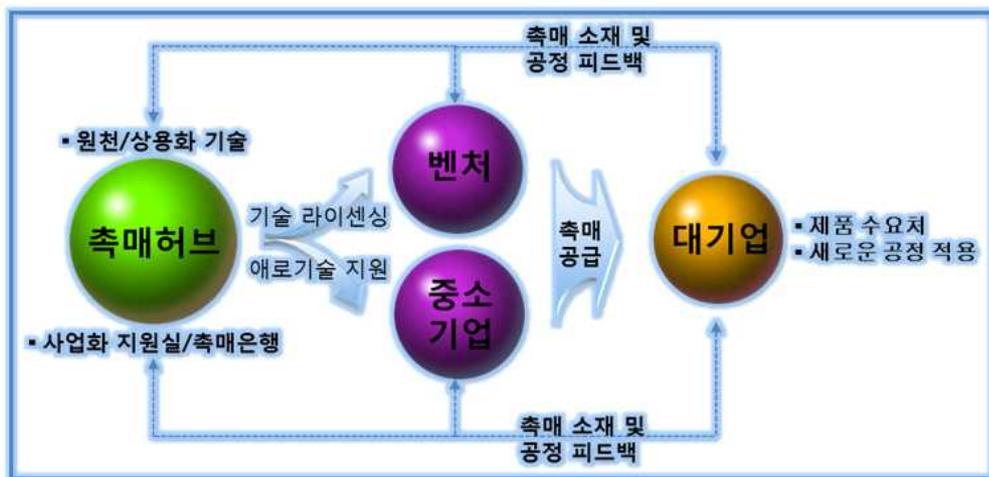
2. 촉매 허브 기반 구축 사업

가. 촉매 허브 센터 구축 및 운영

□ 배경 및 필요성

- 연구개발 측면에서 촉매 허브 센터 필요성
 - 촉매는 그 자체의 중요성뿐만 아니라, 화학 공정의 85% 이상에서 사용되고 있기 때문에 공정을 통한 제품 개발과 함께 개발되어야 함
 - 화학공정에서의 결과가 촉매 개발에 피드백 되어야 실제 적용 가능한 촉매 개발이 완료됨
 - 지금까지 국내에서 촉매 연구의 대부분은 단편적인 촉매 소재 개발에 치우쳐져 있어서 실제 공정에 적용하지 못한 측면이 있음
 - 따라서, 국내 고유의 기술을 이용한 독자적인 촉매 및 공정 개발이 이루어져 오지 못했고, 다국적 기업에 의한 기술종속이 심화되고 있음
 - 예로서, 대기업들이 70-80년대 촉매 및 공정에 대한 기술 도입 이후, 독자적인 촉매/공정 개발 보다는 제품기술 개발에 주력하여 왔음
 - 또한, 개발/양산/검증 기술 역량이 체계적으로 축적되지 못한 것이 현실임
 - 결론적으로 촉매 소재 개발 및 공정 테스트를 위한 연구 개발이 병행될 수 있는 시스템 혹은 허브 센터 구축이 절실히 필요함
- 중소기업 지원 및 벤처 육성 측면에서 필요성
 - 촉매는 투자비 대비하여 매출액 규모가 작기 때문에 국내 화학산업 구조상 대기업이 사업에 진출할 분야가 아님 (다국적 화학기업 세계 1위인 BASF의 경우는 촉매 분야 세계 2위 기업으로서, 촉매 부문에 대한 연구개발 투자를 아끼지 않음. BASF는 촉매 및 공정 개발이 화학산업의 주도권을 잡는 key technology라는 인식을 가지고 있음)
 - 하지만, 촉매 고유 기술 확보 및 그에 따른 공정 기술 개발 없이는 향후 화학산업의 발전도 기대하기 어려움 (앞서 언급한 것처럼 화학공정의 85 % 이상이 촉매를 사용하여 이루어 지기 때문임)

- 따라서, 국내에서도 촉매 전문 중소/중견 기업의 육성이 필요함
- 외국의 사례를 보면, 대부분 촉매 전문기업이거나, 대기업들의 연합을 통해 전문 촉매 제조 회사를 설립하였음 (Shell, PQ Corporate, CRI는 연합을 통해 Zeolyst라는 촉매 전문 회사를 설립)
- 결론적으로, 국내 화학산업 구조상 촉매 산업을 육성하려면, 중소기업이나 새로운 벤처가 촉매 소재 개발과 함께 공정을 테스트할 수 있도록 지원해야 함 (촉매 허브 센터 구축이 필요함)
- 공정과 함께 촉매가 개발되어야 대기업이 수요처로서 촉매를 선택할 수 있으며, 제품 개발 공정상의 피드백을 구체적으로 해 줄 수 있음
- 이러한 역할을 위해 정부 주도의 촉매 허브 센터가 설립되어 촉매 소재 개발 및 공정 테스트를 위한 설비 및 공간을 중소기업 (벤처)에게 제공하는 것이 필요함
- 본 사업에 참여하는 대기업은 수요처로서 개발된 촉매가 실제 제품 생산에 적용될 수 있는 지를 보기 위해 촉매 공정 공동연구를 진행해야 하며, 이를 위해 촉매 허브 센터는 대기업 연구소의 현지 랩을 제공하는 것이 필요함



[그림 6-1] 촉매 허브 센터 구축 및 운영

□ 사업 내용

○ 센터 건립 사업

- 촉매 허브 센터 건립은 울산시 울주군 유니스트 내에 대지면적 10,990㎡에 건축연면적 21,500㎡ 규모로 총 사업비 660억원을 들여 건설함
- 사업위치: 울산광역시 울주군 언양읍 반연리 유니스트내
- 사업기간: 2015년~2017년 (3년)
- 사업규모: 대지면적 10,990㎡, 건축연면적 21,500㎡
(지하 1층, 지상 8층)
- 사업내용: 사업화지원실 (벤처 및 연구소 입주), 촉매은행, 연구개발 시설(촉매공정실)

○ 사업예정지의 입지

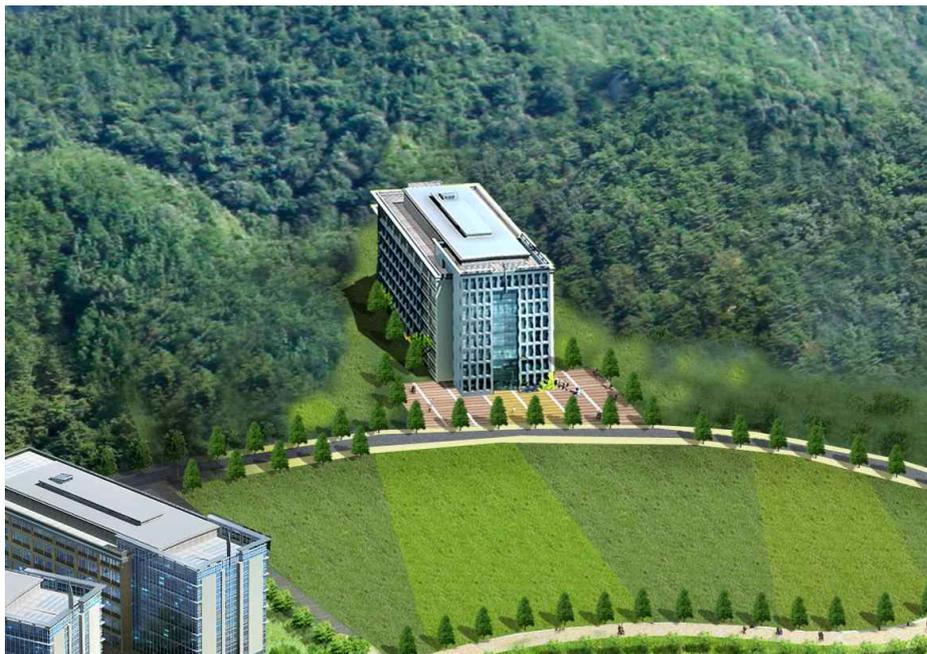


[그림 6-2] 사업 예정 입지로서 울산시 울주군 언양읍 유니스트의 위치

○ 축매 허브 센터 배치도 및 조감도



[그림 6-3] 축매 허브 센터의 배치도



[그림 6-4] 축매 허브 센터의 조감도

○ 촉매 허브 센터의 층별 구조

[표 6-14] 촉매 허브 센터의 층별 구조

층별	면적	용도	비고
8층	2,400㎡	공동연구실	
7층	2,400㎡	공동연구실	외국기업 현지랩
6층	2,400㎡	공동연구실	대기업 현지랩
5층	2,400㎡	세미나실, 공동연구실, 촉매은행	
4층	2,400㎡	사업화지원실	벤처 육성 공간
3층	2,400㎡	사업화지원실	
2층	1,200㎡	분석실2, 촉매공정실 (1, 2층 복층 구조)	촉매공정실
1층	2,500㎡	센터 사무실, 회의실, 교육실(인력양성실), 촉매공정실	인력양성
지하층	3,400㎡	공조실, 기계·전기실, 주차장, 분석실1	
합계	21,500㎡		

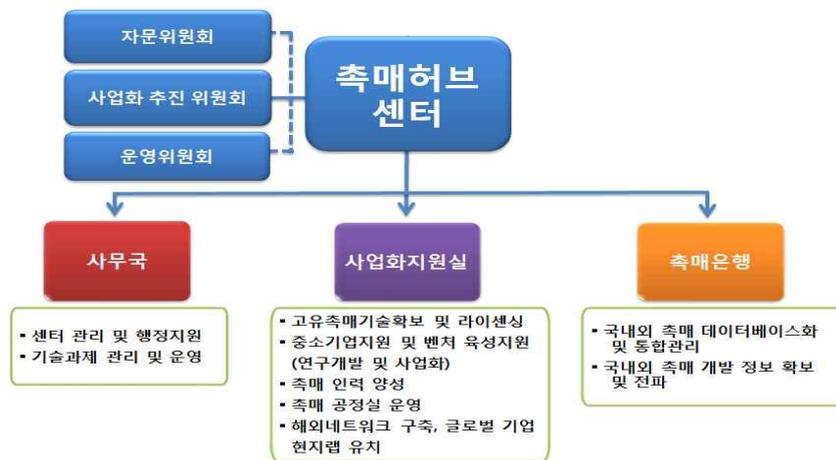
□ 조직 운영

- 촉매 허브 센터는 센터장 (차세대 촉매 연구개발 및 허브 구축 사업 단장 겸임) 1명 외에, 연구 인력 10명 및 지원인력 20명 포함 총 30명으로 구성될 예정임 (* 기술개발사업에서 필요한 연구인력은 각 사업별로 확보해야 함)
- 연구 인력 10명은 사업화지원실 소속으로 중소기업 지원 및 벤처 육성을 위한 촉매 소재 개발 및 공정 연구 지원 역할, 촉매 인력 양성을 위한 교육을 담당할 예정임
- 지원인력 20명은 본 사업단 사무국에 소속되어 연구개발 관리, 센터 운영 및 행정지원, 촉매공정실 운영, 사업화 지원실 운영, 촉매 은행 운영을 담당할 예정임
- 연구(지원) 인력 및 지원 인력은 2015년부터 2018년까지 촉매 허브 센터 건축과 병행하여 순차적으로 확보할 계획이며, 인프라 구축이 완료될 2018년까지 총 30명의 인력을 확보할 계획임 (아래 표 참조)

[표 6-15] 연구 인력 계획

	1단계			
	'15	'16	'17	'18
박사급(명)	3	5	5	8
석사급(명)	4	6	9	10
학사급(명)	6	9	10	12
합계(명)	13	20	24	30

○ 센터 (사업단) 운영을 위한 조직도는 다음 그림과 같음



[그림 6-5] 축매 허브 센터 운영 조직도

□ 사업화 지원실

- 축매 산업의 특성상 전문 중소기업 혹은 벤처 육성 지원이 필요하기 때문에, 축매 허브 센터 내에 사업화 지원실을 설치하여 중소기업 및 벤처기업의 연구개발 지원 및 사업화 지원을 담당하고자 함
- 사업단의 연구개발에 의한 고유기술을 지적재산권화하여 관리하고, 이 기술들을 라이선싱하여 중소기업 지원 및 벤처 기업을 육성하고자 함
- 벤처기업은 본 센터 사업화지원실 내에 창업 공간을 지원받을 수 있고, 센터 소속 연구진에 의한 연구개발 지원을 받을 수 있으며, 개발된 축매의 공정 적용 테스트도 사업화지원실에서 관리하는 축매공정 실험 장치를 이용해 할 수 있음
- 중소기업의 경우 센터 내에 연구실을 설치할 수 있으며, 위와 동일한 연구개발 지원, 공정 적용 지원을 받을 수 있음

- 또한, 허브 센터를 통해 구축된 국내외 기업 네트워크를 마케팅 및 수출에 이용할 수 있어 진정한 사업화 지원을 수행할 계획임
- 사업화 지원실의 또 다른 기능은 촉매 전문 인력 양성으로서, 대학원생들의 촉매 개발 및 공정 적용에 대한 실무 교육을 통해 전문 연구인력 양성에 힘쓰고, 기존 기업 인력들의 재교육 및 촉매 현장 전문가 교육을 수행할 예정임

□ 촉매 은행

- 촉매 연구개발자 및 기업들에게 국내외 촉매 개발 정보를 빠른 시간 내에 제공하여, 연구개발의 자료로 활용하기 위해 촉매 은행을 설치할 계획임
- 국내외 개발 및 상용화된 촉매에 대한 정보를 수집하여 데이터베이스화하고, 촉매들을 수집하여 통합관리 시스템을 구축할 예정임
- 최근 촉매 개발 정보들을 국내 촉매 연구개발자 및 기업들에게 뉴스레터 등의 방법을 이용하여 전달할 예정임

□ 장비 구축

- 다음과 같은 장비들을 촉매 허브 센터에 구축할 예정임

[표 6-16] 촉매 허브 센터 구축 예정 장비

구분	장 비	내 역	금 액
공용 장비	In-situ TEM	촉매 반응 환경에서 (화학물질의 반응 조건에서) 원자 단위의 물질구조, 화학성분, 전자구조, 원자 동역학 정보 등을 얻을 수 있는 최첨단연구 장비	40
	High Pressure Chemisorption	고압에서 일어나는 gas의 화학반응을 측정하는 장비	5
	High-throughput 촉매 제조 및 분석 시스템	기존의 방법보다 훨씬 더 많은 촉매를 제조하고, 빠른 속도로 촉매를 측정하는 장비	10
	Bench-scale Catalytic Test Bed	여러가지 분야, 용도의 촉매개발 시험이 가능한 소규모 평가장비	5
	촉매 공정 파일럿 장비	촉매 공정 장비 및 성능 평가 장비	40
합계			100

□ **촉매 인력 양성**

- 촉매 허브 센터가 건립된 후 2017년부터 사업화지원실을 통해 촉매 전문 연구 인력 (대학원생들의 촉매 개발 및 공정에 대한 실무 교육) 및 기업 현장 전문 인력 (기존 기업체 연구원 혹은 직원들의 재교육) 교육을 시행할 예정이며 다음 표와 같은 인력 양성을 할 계획임

[표 6-17] 전문 연구 인력 양성 계획

구분	총인원	연차별 인력 양성						
		'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21
전문연구인력 (대학원생)	160	-	-	-	20	40	50	50
기업현장인력 (재교육)	240	-	-	-	30	60	75	75
합 계	400				50	100	125	125

나. 사업비

□ **연차별 투자계획 및 허브 센터 설립 사업비 산출 근거**

- 촉매 허브 센터 건립, 장비 구축 및 운영비 투자 계획
 - 센터 건립비는 부지조성비 (지방비 100억), 공사비, 시설부대비로 구성되어 있음.

[표 6-18] 연차별 투자계획, 세부 사업내역

(단위: 억원)

구분	총사업비	연차별 투자계획						
		'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21
센터건립비	국비	30	215	215				
	지방비	100	100					
장비구축비	국비			50	50			
	지방비							
운영비	국비	5	20	20	20	20	10	5
	지방비							
합 계	860	135	335	285	70	20	10	5

[표 6-19] 연차별 투자계획, 총괄내역

(단위: 억원)

구분	총사업비	연차별 투자계획						
		'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21
국비	660	35	235	285	70	20	10	5
지방비	200	100	100					
민자								
합 계	860	135	335	285	70	20	10	5

○ 촉매 허브 센터 건립 사업비 산출 근거

[표 6-20] 촉매 허브 센터 건립 사업비 산출 근거

세부항목	금액	산출근거
부지 조성비	10,000,900천원	-부지조성을 위한 토목공사비 (대지면적 10,990㎡ × 910천원/㎡) =10,000,900천원
직접공사비	50,009,000천원	-건축공사비: (건축연면적 21,500㎡ × 2,326천원/㎡) = 50,009,000천원
시설부대비 (간접공사비)	6,000,000천원	-설계비: (직접공사비×기준요율) = 500억원 × 3.93% = 1,965,000천원 -감리비: (직접공사비×기준요율) = 500억원 × 4.71% = 2,355,000천원 -기타비용: 직접공사비×3.36% = 1,680,000천원
소계	66,000,000천원	토지비 +직접공사비 +간접공사비 (백만단위 이하 절사)

※ 조달청 공사비 분석단가 (2013년 기준, 공공건축물 유형별 공사비 분석) : 2,326천원/㎡

※ 시설부대비(간접공사비) (2013년 기준, 기획재정부 예산안작성 세부지침)

□ 기대효과

○ 국내외 촉매 연구개발의 허브 역할

- 촉매 허브 센터를 통해 국내 촉매 연구개발 인력 및 기업들의 연계, 공동연구, 네트워크 구축, 정보 제공이 가능하며, 이를 통해 차세대 촉매 개발을 통한 신성장동력 창출의 핵심 주체로서 역할을 수행할 것으로 기대

- 촉매 은행을 통해 최근 개발된 촉매들의 라이브러리 구축 및 정보 제공, 글로벌 기업들의 현지 랩을 허브 센터에 유치하여 아시아를 넘어 글로벌 촉매 커뮤니티에서 중요한 위치를 차지하는 허브로 받돋움할 것으로 기대
- 중소기업 및 벤처 육성 지원을 통한 신성장 동력 창출
 - 본 사업단에 의해 개발된 국내 고유 촉매 기술을 허브 센터의 사업화지원실을 통해 공정 개발까지 완료하여, 중소기업 및 벤처 기업에 신기술을 공급하거나 애로기술 지원, 마케팅 지원 예정
 - 촉매 허브에 참여하는 대기업은 수요처로서 중소기업 및 벤처에 의해 개발된 촉매를 이용한 최종 제품 생산 공정 피드백을 제공할 예정이다. 이는 허브 센터-중소기업(벤처)-대기업의 선순환 고리를 형성할 것으로 기대함
 - 따라서, 국내 고유 기술의 촉매 및 공정에 의해 최종 제품 생산을 성공시켜 국내 화학산업의 부흥을 이끌고, 중소기업과 대기업의 상생 협력의 좋은 모델을 제공할 것으로 기대함
 - 아울러, 촉매 전문 인력 양성을 통해 향후 국내 촉매 산업 및 화학 산업을 이끌어 갈 토대를 마련할 것으로 기대함
 - 이러한 촉매 허브 센터의 역할이 성공적으로 이루어지면, 기술라이센싱, 현지 랩 설치 등에 의한 수입을 통해 2020년 이후 허브 센터의 자립화가 가능할 것으로 기대함

3. 소요 예산 및 기대효과

3.1. 소요 예산

□ 총 투입 예산 규모 : 3000억원

○ 기술개발사업 소요재원

[표 6-21] 기술개발사업 소요재원

구분		총사업비				
대항목	소항목	합계	국고	지방비	민자	
연구개발(79.1%)	3개 분야 9개 과제	2140	1340	-	800	
기술개발 센터 및 장비, 운영비 (28.9%)	시설	공사비	500	400	100	-
		시설부대비	60	60	-	-
		부지조성비	100	-	100	-
		소계	660	460	200	-
	장비	일반장비	100	100	-	-
		특수장비	-	-	-	-
		소계	100	100	-	-
	운영비	100	100	-	-	
	합계	860	660	200	-	
	기타 (%)		-	-	-	-
합계		3000	2000	200	800	

○ 연차별 투자계획

[표 6-22] 기술개발사업 연차별 투자계획

구분	총사업비	연차별 투자계획						
		'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21
합계	3000	321	531	557	367	365	420	439
국고	2000	151	358	455	256	236	267	277
지방비	200	100	100	-	-	-	-	-
민자	800	70	73	102	111	129	153	162

- 3개 분야 R&D 사업비 (14~20년/7개년) : 2,140억원
 - 정부출연 1,340억원, 민간 780억원

[표 6-23] 기술개발사업 소요예산 산출근거

세부사업		단계	1단계			2단계			소계
			'15	'16	'17	'18	'19	'20	
석유 화학 촉매	고기능성 고분자촉매 및 정밀화학제품	10	10	31	34	74	90	95	344
	저탄소화합물(C1~6) 전환기술개발	25	25	44	46	37	54	55	286
	석유화학 저급 중질유분 고도화 기술	11	11	33	34	26	33	33	181
	비식용 작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조 기술	68	68	25	31	26	40	40	298
에너지 촉매	환경가스를 활용한 자동차 연료 제조기술	19	25	44	48	50	54	56	296
	반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산기술	8	10	27	32	51	51	56	235
	차세대 금속공기전지 고효율 촉매	8	8	15	17	19	21	24	112
환경 촉매	고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템	23	25	32	32	25	26	31	194
	CO ₂ 활용 촉매 개발	14	14	21	23	37	41	44	194
합 계(100%)		186	196	272	297	345	410	434	2,140
국고		116	123	170	186	216	257	272	1340
지방비		-	-	-	-	-	-	-	-
민자		70	73	102	111	129	153	162	800

- 울산 촉매 기술개발 허브센터 구축 : 860억원
 - 정부출연 660억원, 지방비 200억원
 - 센터설립 및 장비구축 : 국고 560억원, 지방비 200억원
 - 센터운영 및 기업지원 : 국고 100억원

[표 6-24] 기반구축사업 항목별 세부 소요예산

구분	총사업비	1단계			2단계				소계 [지방비]
		'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	
시설	공사비		300 [100]	200					500 [100]
	시설부대비	30	15	15					60
	부지조성비	100 [100]	-	-	-	-	-	-	100 [100]
장비	일반장비	-	-	50	50	-	-	-	100
	특수장비	-	-	-	-	-	-	-	-
운영비		5	20	20	20	20	10	5	100
총사업비	합계	135	335	285	70	20	10	5	860
	국고	35	235	285	70	20	10	5	660
	지방비	100	100	-	-	-	-	-	200
	민자	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. 소요 인력

□ 소요 인력

- 연구개발부문 인력투입 계획
 - 총 사업비 중 인건비의 비중을 30%로 가정하면 총 인건비는 900억
 - 연구 인력의 평균인건비(4대 보험 및 퇴직 총당금 등 실제 지출되는 인건비 총계)를 1억원으로 가정하면, 연인원 900명의 연구인력이 소요됨
 - 연구인력의 평균 참여율을 50%로 가정하면 총 인원 1800명의 연구인력 필요
 - 7년간 일정 규모의 연구진이 투입된다고 가정하면 매년 260명 규모의 연구인력 필요

○ 기술개발부문 인력투입 계획

[표 6-25] 기술개발부문 인력 투입 계획

	1단계			3단계				합계
	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	
박사급(명)	80	80	80	80	80	80	80	560
석사급(명)	60	60	60	100	100	120	120	620
학사급(명)	60	60	60	110	110	120	120	640
합계(명)	200	200	200	290	290	320	320	1820

○ 기반구축부문 인력투입 계획

[표 6-26] 기반구축부문 인력 투입 계획

	1단계			3단계				합계
	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	
박사급(명)	3	5	5	8	8	8	8	55
석사급(명)	4	6	9	10	10	10	10	59
학사급(명)	6	9	10	12	12	12	12	63
합계(명)	13	20	24	30	30	30	30	177

○ 인력 확보 방안

- 국내 산학연 연구자들로 컨소시움을 구성하여 센터 내 연구인력 및 지원인력을 총 30명년 규모로 채용

3.3. 기대효과

□ 분야별 주요 기대성과

○ 석유화학 촉매 분야

- 촉매공정 기술의 상용화를 위한 국내 기반 기술, 국내 엔지니어링 기술 확보 및 신 촉매공정 개발
- 선진국 주도의 글로벌 촉매 산업에서의 영향력 확대, 석유화학 산업단지의 광역경제권 간 연계 협력 활성화
- 촉매 기술의 수출 산업화를 통한 국내 산업구조 개선

- 에너지 촉매 분야
 - 지구온난화 주범 및 환경오염의 주범인 환경가스들의 청정 에너지화 기술 확보
 - 모듈형 분산 발전 바이오 에너지 기술 개발을 통한 국가 에너지 자립과 환경 문제 해결
 - 지역별 에너지 자립을 위한 중소규모 분산 복합발전 시스템 기술개발
- 환경 촉매 분야
 - 신개념 배기가스 정화 및 CO₂ 활용 촉매 개발을 통한 국내 기반기술 확보 및 신 촉매공정 개발
 - 신개념 고효율, 저가 배기가스 촉매, 4-way 일체형 촉매 시스템, CO₂ 흡착제 및 활용 촉매 개발
 - 환경 촉매 기술의 수출을 통한 국내 촉매 산업 활성화 및 수출입 구조 개선

□ **경제적 효과** : 3천억원 규모 투자로 2025년 207억 달러 매출 기대

- 석유화학 분야 : 121억 달러
 - 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 : 39억 달러
 - 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 : 26억 달러
 - 저탄소 화합물(C1-6) 전환 기술 : 20억 달러
 - 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조 : 36억 달러
- 에너지 분야 : 40억 달러
 - 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술 : 11억 달러
 - 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술 : 14억 달러
 - 차세대 금속공기전지 고효율 촉매 : 15억 달러
- 환경 분야 : 46억 달러
 - CO₂ 활용 촉매 : 35억 달러
 - 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 : 11억 달러

□ 2030년 생산유발 4조원, 고용창출 1.4만명, 환경부가가치 1.5조원 창출

- 생산유발효과 : 석유화학(13,694억원), 에너지(18,437억원), 환경(6,023억원)
- 고용창출효과 : 석유화학(4,020명), 에너지(8,023명), 환경(2,753명)
- 환경부가가치효과 : 석유화학(2,241억원), 에너지(2,753억원), 환경(10,098억원)



[그림 6-6] 석유화학/에너지/환경 분야 기대효과

VII

정책적 타당성 분석

1. 상위정책과의 부합성
2. 사업 추진상의 위험요인
3. 사업 특수평가 항목
4. 정책적 분석 소결

정책적 타당성 분석

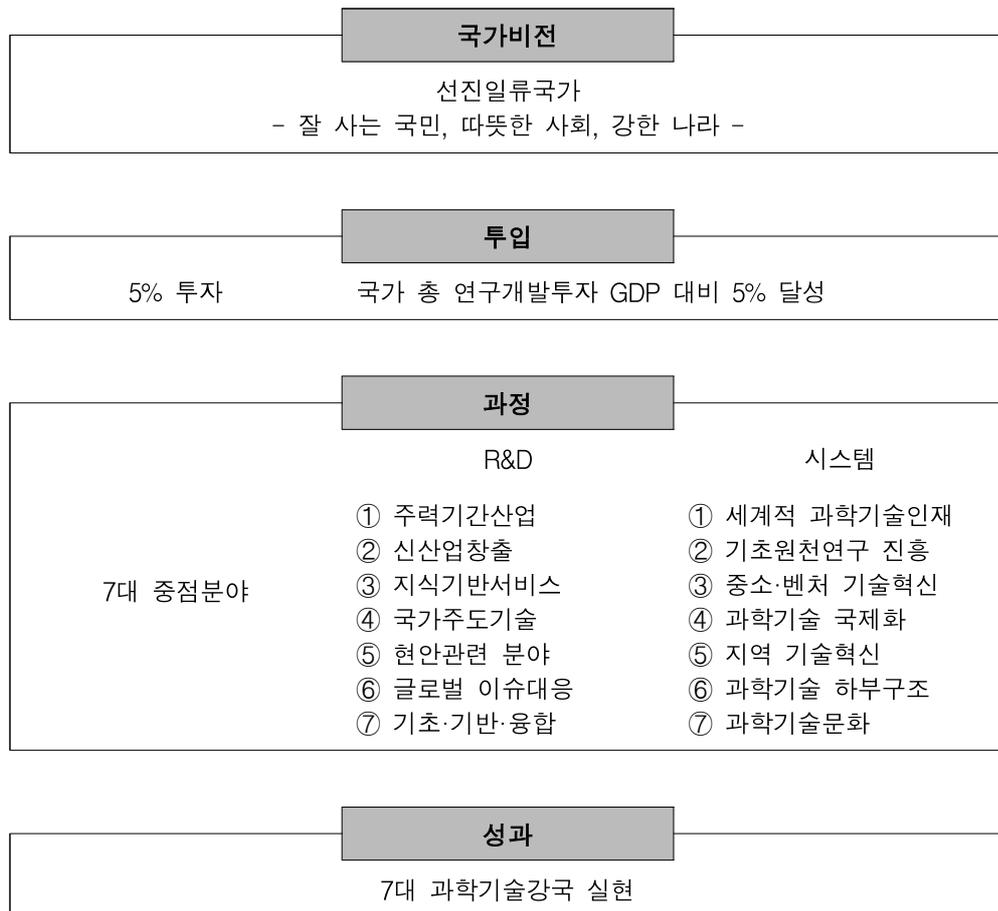
1. 상위정책과의 부합성

가. 국가과학기술기본계획³¹⁾

□ 정부는 '08년 선진일류국가 진입을 위한 577계획 발표

- 과학기술 분야 정부 최상위 계획으로 GDP 대비 5% 국가 총 연구개발투자, 7대 중점분야 및 시스템을 통하여 7대 과학기술강국 실현

[표 7-1] 과학기술기본계획 개요



31) 국가과학기술위원회, 「선진일류국가를 향한 이명박정부의 과학기술기본계획」, 2008.8

□ 총 R&D 투자를 GDP 대비 3.23%('06년)에서 5%('12년)로 확대

- 우리나라 총 연구개발투자는 세계 7위 수준이지만 누적투자는 아직 선진국과의 격차가 크기 때문에 투자확대 기초를 유지
 - 정부 R&D투자를 '08년(10.8조원) 대비 1.5배('12년 16.2조원)로 확대하고 민간부문의 R&D투자 확대를 지원
- R&D 투자의 효율화를 추진
 - 국가과학기술위원회를 R&D재원 배분의 컨트롤타워로 운영
 - 연구지원체계 선진화를 위한 연구관리전담기관 전문화·효율화 추진
 - 연구자 친화적 R&D 관리제도 개편을 추진

□ 7대 중점분야 50개 중점육성기술, 40개 중점육성후보기술

- 주력기간산업 기술(Cash Cow)
 - 자동차, 조선, 기계·제조공정, 반도체, 디스플레이, 이동통신 등
- 신산업 창출 (Green Ocean)
 - 차세대시스템 S/W, 암 진단·치료, 뇌과학, 질환치료제 개발 기술 등
- 지식기반서비스 (Knowledge Based Science & Technology)
 - 융합형 콘텐츠, 첨단물류, 통신방송융합 기술 등
- 국가주도기술 (Big Science)
 - 위성체(본체·탑재체) 개발, 차세대 무기개발, 차세대 원자로 기술 등
- 현안관련 특정분야 (Risk Science)
 - 면역 및 감염질환, 식품안전성 평가, IT 나노소자 기술 등
- 글로벌 이슈대응 (Mega Trend Science)
 - 신재생에너지, 기후변화 예측·적응, 지구 대기환경 개선 기술 등
- 기초·기반·융합기술 (National Platform Technology Initiative)
 - 바이오칩·센서, 지능형 로봇, 나노기반 융·복합 소재 기술 등

[표 7-2] 과학기술기본계획(577 Initiative)의 50개 중점추진과제

5% 투자 달성	과학기술투자의 확대 및 효율화		<ul style="list-style-type: none"> · 연구개발투자의 지속적 확충 · 정부R&D투자의 전략적 배분 · R&D기획 및 성과확산 시스템 선진화 · 연구자 친화적 R&D관리·평가제도 구축 	
	7대 R&D	국가 중점과학기술개발		<ul style="list-style-type: none"> · 주력기간산업 기술 고도화 · 신산업 창출을 위한 핵심기술개발 강화 · 지식기반서비스 산업 기술개발 확대 · 국가주도기술 핵심역량 확보 · 현안관련 특정분야 연구개발 강화 · 글로벌 이슈관련 연구개발 추진 · 기초·기반·융합기술 개발 활성화
7대 시스템 선진화 · 효율화		세계적 과학기술인재 양성·활용		<ul style="list-style-type: none"> · 과학영재 발굴·육성 체계화 · 고등교육과 연구개발 연계를 통한 우수인재 양성 · 해외 우수 과학기술인력의 유치·활용 촉진 · 과학기술인력의 수요지향성 및 진로 다양화 강화 · 여성 과학기술인 육성·지원 활성화 · 과학기술인력의 사기진작
	기초원천연구 진흥		<ul style="list-style-type: none"> · 기초원천연구 투자의 전략적 확대 · 연구자 중심 기초연구지원사업 체계화 · 창의적·도전적 연구지원 강화 · 대학의 연구역량 강화 · 기초원천연구의 사회적 역할 강화 	
	중소·벤처기업 기술혁신 지원		<ul style="list-style-type: none"> · 중소·중견기업의 R&D지원 확대 · 신기술 벤처창업 지원 강화 · 기술금융 활성화 및 역할 강화 · 기술이전·사업화 지원 확대 	
	전략적 과학기술 국제화		<ul style="list-style-type: none"> · 글로벌 공동연구의 전략적 확대 · 권역별 과학기술협력 특화 추진 · 국제기구 및 국제 프로그램 참여 촉진 · 남북한 과학기술 교류·협력 확대 · 과학기술 국제화 투자 확충과 효율성 제고 	
	지역 기술혁신역량 강화		<ul style="list-style-type: none"> · 지역 과학기술인력 유입·활용 촉진 · 지역 연구주체의 역량 강화 · 지역혁신거점과 클러스터 구축 강화 · 지자체의 연구개발사업 기획·관리역량 제고 · 지역의 자발적인 연구개발투자 환경 조성 	
	과학기술 하부구조 고도화		<ul style="list-style-type: none"> · 연구시설·장비의 전략적 확충 및 활용 · 생명자원 확보 및 관리의 체계화 · 과학기술정보 공유 및 활용체제 고도화 · 지식재산의 창출·활용·보호 체제 구축 · 국가표준체제 선진화 및 국제표준화 역량 강화 	
	과학기술 문화 확산	과학기술의 생활화		<ul style="list-style-type: none"> · 창의적인 청소년 성장환경 조성 · 국민의 과학기술 생활화 촉진 · 타 분야 전문가 대상 과학기술문화 확산 · 민간 주도의 과학기술문화 산업기반 육성 · 전국적 과학관 확충 및 과학방송 활성화 · 과학기술문화 활동의 효율적 추진
		과학기술의 사회적 역할 증대		<ul style="list-style-type: none"> · 공동체 문제 해결을 위한 과학기술과 사회 연구 강화 · 과학기술과 사회의 커뮤니케이션 체제 구축 · 과학기술인의 사회적 책임 강화

[표 7-3] 과학기술기본계획 7대 중점투자 분야별 기술

중점과제	중점육성기술(50개)	중점육성후보기술(40개)
① 주력기간산업기술고도화	(1) 환경친화적 자동차기술 (2) 차세대 선박 기술 및 해양·항만구조물 기술 (3) 지능형 생산시스템 기술 (4) 초정밀가공 및 측정제어 기술 (5) 차세대 네트워크 기반기술 (6) 휴대인터넷 및 4세대 이동통신 기술 (7) 메모리 반도체 기술 (8) 차세대 반도체 장비 기술 (9) 차세대 디스플레이 기술	(1) 지능형 자동차기술 (2) 차세대 생산 공정 및 장비기술 (3) 차세대 메모리 반도체 기술
② 신산업 창출을 위한 핵심기술 개발 강화	(10) 암질환 진단 및 치료 기술 (11) 신약개발기술(질환치료제 개발기술) (12) 임상시험 기술 (13) 의료기기 개발기술 (14) 줄기세포 응용기술 (15) 단백질·대사체 응용기술 (16) 신약 타겟 및 후보물질도출기술 (17) 뇌과학 연구 및 뇌질환 진단·치료기술 (18) 차세대 시스템 SW 기술 (19) 차세대 초고성능 컴퓨팅 기술 (20) 차세대 HCI 기술	(4) 생물소재 및 공정기술 (5) 해양생물자원보존 및 해양생명공학이용기술 (6) 세포기능조절기술 (7) 유전체 응용 기술 (8) 생체정보 응용·분석 기술 (9) 유전자 치료 기술 (10) 한방 의학 및 치료기술 (11) 차세대 컴퓨팅 솔루션 기술 (12) 정보보호기술
③ 지식기반 서비스 산업 기술개발 확대	(21) 융합형 콘텐츠 및 지식서비스 기술 (22) 첨단물류 기술	(13) 통신·방송 융합기술
④ 국가주도기술 핵심 역량확보	(23) 위성체(본체, 탑재체) 개발 기술 (24) 차세대 항공기 개발기술 (25) 핵융합 에너지기술 (26) 차세대 원자로 기술 (27) 차세대 무기개발기술	(14) 초고층 빌딩 건축기술 (15) 차세대 철도시스템 기술 (16) 건설기반기술 (17) 초장대교량 건설기술 (18) 미래첨단교통시스템기술 (19) 미래첨단 주거·교육환경기술 (20) 지능형 국토지리정보구축기술 (21) 위성발사체기술 (22) 위성정보활용기술) (23) 해양탐사·우주감시체계개발 기술 (24) 위성항법시스템기술 (25) 해양·항공운항 효율화 및 안전성 향상기술 (26) 방사선 및 동위원소 이용기술 (27) 핵연료주기기술 (28) 원자력 이용 및 안전향상 기술
⑤ 현안관련 특정분야 연구개발 강화	(28) 면역 및 감염질환 대응기술 (29) 인체 안전성·위해성 평가 기술 (30) 식품 안전성 평가 기술 (31) 농수축임산물 자원 개발 및 관리기술 (32) IT 나노소자 기술 (33) 에너지이용 고효율화 기술	(29) 식품자원 활용 및 관리기술 (30) 동식물 병해충 예방 및 방제 기술 (31) 친환경 나노소재 응용기술 (32) 나노 바이오 소재
⑥ 글로벌 이슈 관련 연구개발 추진	(34) 수소에너지 생산·저장기술 (35) 차세대전지 및 에너지저장변환기술 (36) 신재생에너지 기술(태양, 풍력, 바이오) (37) 에너지·자원 개발기술 (38) 해양영토 관리 및 이용기술 (39) 해양환경조사 및 보전 관리기술 (40) 지구 대기환경 개선기술 (41) 환경(생태계) 보전 및 복원기술 (42) 수질관리 및 수자원 보호기술 (43) 기후변화 예측 및 적용 기술 (44)자연재해·재난 예방 및 대응기술	(33) 차세대 초전도 및 전력 IT 기술 (34) 자원활용 고효율화 기술 (35) 친환경 공정기술 (36) 자원순환 및 폐기물 안전처리 기술 (37) 환경정보 통합 관리 및 활용 기술 (38) 생활안전 및 테러대응 기술 (39) 화재안전 및 미래소방장비개발 기술
⑦ 기초·기반 융합기술 개발 활성화	(45) 약물전달기술 (46) 바이오 칩·센서기술(U-Health) (47) 지능형 로봇 기술 (48) 나노기반 기능성 소재기술 (49) 나노기반 융·복합 소재기술 (50) 미래첨단도시 건설 기술	(40) 나노 측정평가기술

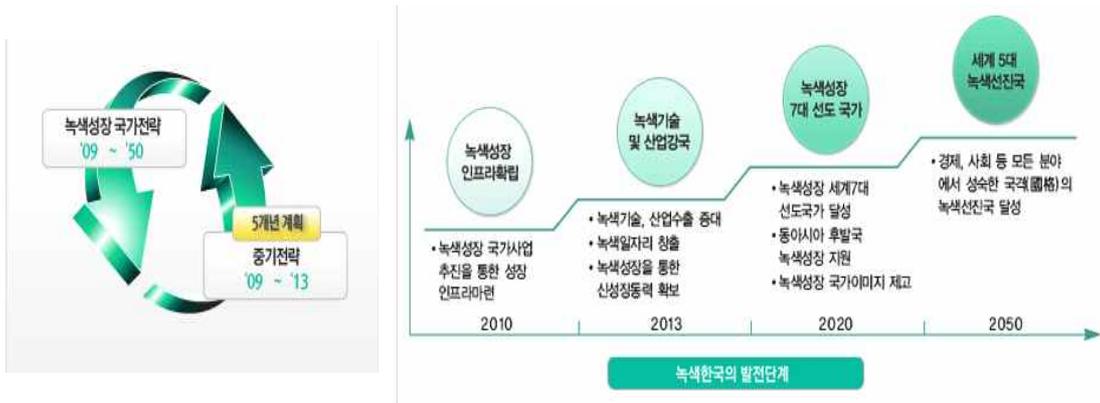
- 청정 에너지 생태계 선점을 위한 차세대 촉매 기술개발사업 중 석유화학 및 에너지 부문 세부사업은 중점육성기술 및 후보기술에 부합함
- 주력기간산업기술고도화를 위한 중점육성기술 중 ‘환경친화적 자동차 기술’은 저연비·저탄소 연료 기반 자동차기술을 포함
 - 세부사업 중 ‘환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술개발사업’ 및 ‘차세대 금속공기전지 고효율 촉매개발사업’이 이에 부합함
- 현안관련 특정분야 연구개발강화를 위한 중점육성기술 중 ‘에너지이용 고효율화 기술’에는 반응분리공정기술이 포함됨
 - 세부사업 중 ‘석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발사업’, ‘반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발사업’이 이에 부합함
- 글로벌 이슈 관련 연구개발 추진을 위한 중점육성기술 중 ‘기후변화 예측 및 적응기술’은 저탄소 배출 제조공정기술을, 중점육성후보기술인 ‘친환경 공정기술’은 환경친화형 촉매기술을 포함함
 - 세부사업 중 ‘CO₂ 활용 촉매개발사업’, ‘고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발사업’이 이에 부합함

나. 녹색성장 5개년 계획³²⁾

- '09년 7월, 녹색성장 국가전략의 시행계획으로서 「녹색성장 5개년 계획」 발표 ('09.07)
- VIP는 2008년 8.15 경축사를 통해 ‘저탄소 녹색성장’을 대한민국의 새로운 국가비전으로 선포한 바 있음
 - 이에 따라 「저탄소 녹색성장 기본법」 정부안을 마련('09.2)하여 경제와 환경이 선순환 하는 새로운 구조 도입을 추진
- 녹색성장 5개년 계획은 3대 전략 및 10대 정책방향과 50대 실천과제로 구성

32) 녹색성장위원회(2009)

- 「녹색성장 5개년계획」은 단기추진과제가 아닌 ‘50년까지의 녹색 성장 국가전략을 위한 초석으로 차기정부에서도 지속적으로 추진 되어야 할 정책으로 대국민 공감대 형성
- 대통령직속 녹색성장위원회에서 실시한 설문에 의하면 국민의 97.2%는 와 녹색성장 정책이 향후에도 지속적으로 시행되어야 한다고 답한 바 있음³³⁾



[표 7-4] 3대 전략 및 10대 정책방향

3대 전략	10대 정책방향
기후변화 적응 및 에너지 자립	1. 효율적 온실가스 감축 2. 탈석유·에너지자립 강화 3. 기후변화 적응 역량 강화
신성장동력 창출	4. 녹색기술개발 및 성장동력화 5. 산업의 녹색화 및 녹색산업 육성 6. 산업구조의 고도화 7. 녹색경제 기반 조성
삶의 질 개선과 국가위상 강화	8. 녹색국토·교통의 조성 9. 생활의 녹색혁명 10. 세계적인 녹색성장 모범국가 구현

33) 녹색성장위원회 및 한국리서치가 2013년 1월 12~13일에 걸쳐 전국 성인남녀 1,000명을 대상으로 실시한 “녹색성장 정책에 대한 국민인식조사” 설문결과(신뢰수준 95% ,표본오차 ±3.1)

- 10대 정책방향 중 ‘녹색기술개발 및 성장동력화’를 위하여 국가 차원의 녹색기술 개념과 투자방향을 제시하고 체계적인 녹색기술 개발을 위해 ‘녹색기술 연구개발 종합대책’ 수립
 - 녹색기술은 저탄소 녹색성장의 핵심요소로서 환경보호와 경제성장이 선순환 되는 전략적 구심점 역할 담당
 - 핵심 원천기술 위주로 27대 중점 녹색기술을 도출, 각 기술에 대한 범정부 차원의 상용화 전략을 수립('09.5)하여 추진
 - 조기상용화가 가능하여 단·중기적으로 경제 효과가 큰 27대 중점기술분야를 선정



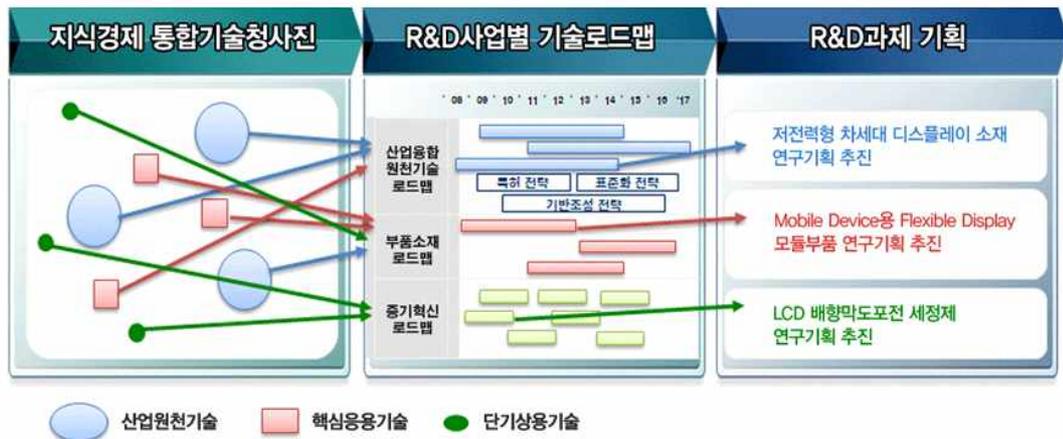
[그림 7-1] 27대 중점 녹색기술

- 청정 에너지 생태계 선점을 위한 차세대 촉매 기술개발사업의 석유화학, 에너지 및 환경부문 세부사업은 ‘녹색기술개발 및 성장동력화’에 제시된 27개 중점기술분야에 포함됨
- 세부사업 ‘환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술개발사업’ 및 ‘고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발사업’은 ‘고효율 저공해 차량기술’에 부합함
- 세부사업 ‘차세대 금속공기전지 고효율 촉매개발사업’은 ‘고효율 2차전지 기술’에 부합함
- 세부사업 ‘CO₂ 활용 촉매개발사업’은 ‘이산화탄소 포집, 저장기술’에 부합함
- 세부사업 ‘반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발사업’은 ‘고효율 수소제조 및 수소저장 기술’에 부합함
- 세부사업 ‘차세대 금속공기전지 고효율 촉매개발사업’은 ‘연료전지 핵심부품 국산화’에 부합함
- 세부사업 ‘저탄소 화합물(C1~6) 전환 기술개발사업’은 ‘합성가스 정제 및 활용기술’에 부합함
- 세부사업 ‘비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조기술 개발사업’은 ‘바이오매스 활용 융합기술’에 부합함

다. 2011 산업기술로드맵(화학공정소재)

- 지식경제부 산하기관인 산업기술진흥원은 2008년부터 매년 산업기술 전문가를 통해 지식경제부 소관 35개 산업에 대해 산업기술로드맵을 작성하고 있음
- 미래시장에 대한 예측을 바탕으로 미래 수요를 충족시키기 위해 기업 또는 산업차원에서 향후 개발하여야 할 필요기술과 제품을 예측하여 최선의 기술대안(alternative)을 선정하는 기술기획
- 지식경제 통합기술청사진을 통해 산업원천기술, 핵심응용기술, 단기상

용기술이 도출되며 이는 R&D사업별 기술로드맵을 거쳐 R&D과제기
획으로 연결



[그림 7-2] 산업기술로드맵과의 연계

- 청정 에너지 생태계 선점을 위한 차세대 촉매 기술개발사업의 석유화학 및 환경부문 세부사업은 화학공정소재 산업기술로드맵 (2011)에 제시된 기술에 부합
- ‘고분자’분야 로드맵은 ‘공정고도화’, ‘구조기능 고분자’, ‘환경기능 고분자소재기술’ 개발을 포함하고 있으며 이는 석유화학 및 환경부문 세부사업과 대응됨
 - ‘공정고도화’를 위한 ‘그린공정기술개발’의 일환으로 ‘균일계 촉매 공정 대체기술’이 포함
 - ‘구조기능 고분자’부문 중 ‘생활산업용 고분자’에는 ‘폴리올레핀 촉매기술개발’이 포함됨
 - ‘환경기능 고분자 소재’ 중 ‘분해성(친환경)고분자 소재기술개발을 위해서는 ‘고활성 촉매제조기술’이 제시되고 있음
- ‘석유화학’분야 로드맵은 올레핀의 ‘재구조화 및 활용’, ‘올레핀계 수지’ 개발을 포함하고 있으며 이는 석유화학 세부사업과 부합
 - 올레핀 ‘재구조화 및 활용’에는 ‘이성화 촉매기술개발’이 포함
 - ‘올레핀계 수지’개발을 위해서는 ‘지글러-나타/크롬계 촉매생산기술’, ‘메탈로센 촉매 생산기술’, ‘차세대 단일활성점촉매생산기술’이 요구됨

라. 울산 정밀화학 산업기술로드맵

- 울산광역시는 2008년 지역 4대 전략산업인 자동차, 정밀화학, 조선해양, 환경산업에 대한 ‘울산지역 전략산업 기술 로드맵 (RTRM : Regional Industrial Technology Road Map)’을 발표
 - 지역산업기술개발사업 및 울산시에서 지원하는 모든 기술개발 사업의 기획 기술로 사용
 - 또한 해당 내용을 국가기술로드맵(NTRM)에도 반영, 정부에서 지원하는 기술개발사업에 울산 기업 및 기관이 참여 할 수 있도록 함
 - 시장·특허분석 및 기업수요조사 등을 통해 4대 전략산업별 대표기술군(제품)을 선정한 것으로 지난 2003년 착수, 2004년 6월 완성됐으며 2008년 자료 업데이트를 통해 최종 완성
 - 자동차(517개사), 정밀화학(363개사), 조선해양(233개사), 환경산업(131개사) 관련기업체 등 총 1,244개사를 대상으로 현장면담, 설문 조사를 거쳐 총 337개의 기술 로드맵을 발굴
- 청정 에너지 생태계 선점을 위한 차세대 촉매 기술개발사업의 9개 세부사업은 ‘정밀화학산업’ 내 ‘촉매’ 소분류에 모두 대응됨
 - 정밀화학산업은 ‘특수화학소재’를 대분류로 하여 ‘고기능성 첨단화학소재’(16개), ‘환경융합화학소재’(16개) 등 총 32개의 기술을 도출
 - ‘고기능성 첨단 화학소재’ 내 ‘촉매’ 소분류에는 ‘석유화학 및 정밀화학 촉매’, ‘고분자 합성용 촉매’, ‘환경가능 기능성 촉매’, ‘연료전지 관련 촉매’가 포함됨
 - 9개 세부사업의 중분류인 ‘석유화학 촉매’는 ‘석유화학 및 정밀화학 촉매’에, ‘에너지 촉매’ 및 ‘환경촉매’는 ‘연료전지 관련 촉매’ 및 ‘환경가능 기능성 촉매’에 대응됨

2. 사업 추진상의 위험요인

- 동 사업 추진과 관련한 민원 및 분쟁 가능성, 지자체 협의 문제 등 사업 추진상의 위험요인 없음

3. 사업 특수평가 항목

3.1. 국고 지원의 적합성

가. 법적 근거 및 요건

- 「산업기술혁신촉진법」에 따라 산업통상자원부 장관이 산업기술 분야의 미래 유망 기술에 대한 기술개발사업 추진 가능
 - 제11조(산업기술개발사업)는 해당 사업 수행에 드는 비용의 전부 또는 일부 출연 가능하다고 규정
 - 산업기술 분야의 미래 유망 기술
 - 산업의 고부가가치화를 위한 공정혁신, 청정생산 및 환경설비 등에 관련된 기술
 - 산업의 핵심기술의 집약에 필요한 엔지니어링·시스템 기술
 - 에너지 절약 및 신·재생에너지 개발 등 에너지·자원기술
- 「산업발전법」에 따라서 정부는 산업기술·생산성 향상 및 온실가스 배출 감축을 촉진하게 하기 위하여 연구개발에 대한 투자 촉진 가능
 - 제27조(사업의 장려)에 따라 산업기술촉진법에 의거한 산업기술개발사업 및 산업기술기반조성사업 참여 및 연구개발투자를 장려할 수 있음
- 「환경기술 및 환경산업 진흥법」에 따라 환경보전 및 국민경제의 지속가능한 발전을 위하여 환경기술개발사업 추진 가능

- 제5조(환경기술개발사업의 추진) 2항에 따르면 개발사업에 필요한 비용은 정부의 출연금이나 정부 외의 자의 출연금, 그 밖에 기업의 연구개발비로 충당할 수 있음
- 「에너지및자원사업특별회계법」에 따라 에너지 기술개발에 에너지및자원사업특별회계 사용 가능
 - 제2조(정의)는 에너지 및 지하자원의 개발·생산·수송·비축·공급·품질관리사업과 관련된 연구개발 및 부대사업을 “에너지 및 자원 관련 사업”으로 규정
 - 제5조(투자계정의 세입·세출)는 에너지 및 자원 관련 사업에 필요한 사업비를 에너지및자원사업특별회계의 세출로 규정

나. 국고 지원의 필요성

- 화학산업은 그 자체로서도 국가경제에 기여도가 크며 특히 최근에는 21세기 첨단산업의 핵심부품소재 공급 산업으로서의 전략적 비중이 강조되고 있음
- '11년 기준 전체 광업·제조업 내에서 화학산업의 출하액은 10%, 부가가치는 8.4%, 종사자 수는 4.1%를 차지함³⁴⁾
- '09년 기준 수출액은 274억불로 총 수출액의 6.5%를 차지하고 있는 국내 5위 수출품목임³⁵⁾

[표 7-5] 화학산업 현황

(단위: 백만원, 명)

	출하액	부가가치	종사자 수
광업·제조업 총계	4,746,425,207	1,548,936,098	8,653,802
화학산업 (화학물질 및 화학제품 제조업)	473,965,236	129,813,404	353,339
화학산업 비중	10.0%	8.4%	4.1%

34) 광업·제조업조사(통계청)

35) 한국석유화학협회

- 한국은 에틸렌생산량 기준 세계 5위로 화학산업강국의 위상을 자랑하고 있으며 세계시장 점유율은 '07년 기준 5.5%로 규모의 경제를 확보함과 함께 해외투자진출 역시 확대되고 있음³⁶⁾



[그림 7-3] 한국의 에틸렌 생산능력

- 최근에는 전기전자, 자동차, 기계, 조선, 항공, 건설, 미래섬유 등 21세기 첨단산업의 핵심소재 및 부품을 공급하는 기간산업으로서의 역할이 강조되고 있음
 - 이에 따라 화학산업 선진국가의 경우 범용제품의 한계를 넘어 기술혁신을 통한 친환경 고부가가치 산업으로 전환되는 동향을 보임
- 화학산업의 발전 및 기술적 자립을 위해서는 공정의 핵심이 되는 촉매원천기술확보가 필수적으로 요구되나 국내 연구개발 수준은 한국 화학산업의 위상에 걸맞지 않는 기초적 수준
 - 오늘날 화학공정의 85% 이상이 촉매를 사용하기 때문에 촉매는 석유화학 및 정밀화학 산업에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며 환경·에너지 분야에서도 그 파급력이 매우 큰 고부가가치 소재임
 - 한국의 석유화학 제품 개발력은 세계 4위, 기술 경쟁력은 선진국대비 약 90 %인 반면, 핵심 기술인 석유화학 관련 촉매 기술은 선진국의 약 65% 수준으로 취약함

36) 한국석유화학협회

- 특히 석유 정제 및 2차 재료 변환 과정에 촉매가 필수적으로 사용되나, 정밀화학 촉매 수준은 선진국 대비 약 40%에 불과
 - 전체 화학산업의 경쟁력도 가까운 일본에 비해 3년 이상 뒤져 있는 주요 요인으로 촉매분야 개발의 취약성으로 판단
- 이에 따라 한국은 대부분의 촉매를 수입에 의존하고 있어 화학산업의 월등한 생산능력 및 수출량에도 불구하고, 무역역조를 초래하는 주요 요인으로 꼽히고 있음
- 주요 선진국들은 전통적 영역인 화학공정용 촉매 뿐 아니라 에너지·환경촉매에 대한 국가차원의 적극적 기술개발투자를 통해 범세계적 에너지원 고갈 및 환경문제에 선제적 대응
- 유럽의 촉매 연구개발 투자는 현재 유럽연합의 에너지정책과 환경정책에 가장 큰 영향 아래 수행되고 있음
- 유럽은 2020년까지 온실가스 배출량을 기준년도 대비 20% 감소하고 유럽연합 차원의 에너지 사용량 가운데 재생가능에너지 비율을 20%까지 올리기 위해 환경촉매와 에너지촉매에 중점적 투자 수행
- 유럽연합의 최대 펀딩 프로젝트인 “FP, Framework Program”은 현재 제 7차 FP에서 2007-2013까지 10대 핵심기술 투자 분야가 선정하여 22개의 촉매연구에 관한 프로젝트가 수행중
- 일본 통산성은 이미 1995년에 “Simple Chemistry”프로그램을 통하여 화학공정을 단순화시켜 오염물질 배출을 최소화하는 혁신적인 개념을 도입하여 새로운 촉매 및 화학반응공정에 대한 투자를 진행
- 이러한 중요성에도 불구하고, 촉매는 투자비 대비 매출액이 적고 다품종 소량생산의 중소기업형 산업이므로 민간 대기업 및 중소기업의 적극적 투자가 이루어지기 어려운 실정임
- 촉매는 투자비 대비 매출액 규모가 적기 때문에 대기업 주력 투자 분야에 적합하지 않음
- 외국의 민간부문 투자의 경우 대부분 촉매 전문기업이나 대기업들의 연합을 통해 전문 촉매 제조회사 설립하고 있음

- Shell, PQ Corporate 및 CRI의 연합을 통해 전문 촉매 제조회사인 Zeolyst 설립
- Global Top-tier 기업 대비 국내 연구인력 및 연구비는 미미한 수준으로, 국내 화학업체 단독으로 이러한 연구기반을 마련하기 어려운 상황을 반영
- Global 2nd 촉매업체인 BASF의 경우 2010년 기준 촉매 전문가 650명 이상, 1년 촉매분야 연구비 약 1700억을 투입하고 있는 데에 반해 국내 대기업은 촉매 전문가가 SK이노베이션 00명, LG화학 00명 수준에 불과
- 고유 촉매 기술의 확보는 국내 화학산업의 글로벌 경쟁력 강화에 필수적인 기술인만큼 국가차원의 투자를 통한 촉매 전문 중소기업의 육성이 절실함



[그림 7-4] 촉매분야에서의 주요 이슈

[표 7-6] 9개 세부사업별 조기투자 필요성

세부사업	주요 선진국	조기투자 필요성
고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	미국, 독일, 네덜란드, 일본 등	<ul style="list-style-type: none"> ○ 핵심 기술의 부족으로 무역적자가 지속적으로 발생 ○ 국내 석유화학업체는 신성장 동력 발굴을 통해 위기 상황을 타개할 대책을 마련할 필요성이 시급 <ul style="list-style-type: none"> - 에틸렌계 고부가가치 제품 개발, 저가 원료 활용 등 - 국내의 폴리머 중합 촉매 시스템 개발은 구조적으로 조촉매인 알킬알루미늄 및 MAO를 확보하지 못하여 메탈로센 촉매 개발에 한계가 있음

세부사업	주요 선진국	조기투자 필요성
저탄소 화합물(C1~6) 전환 기술 개발	미국, 유럽, 일본 등	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우리나라는 윤활기유(PAO, polyalphaolefins) 세계시장의 50% 이상을 점유하여 향후 고급 윤활유 시장을 선점할 수 있는 기반을 갖추고 있음 - 시장 선점을 위한 고급 윤활기유 (Group IV 고급 기유- PAO)의 개발 및 대량생산 기술 개발이 필요 ○ 세일가스 및 부생가스를 이용하여 청정 연료인 에탄올의 선택적인 생산기술 개발은 기존 발효 공정 대비 50% 수준의 생산가격으로 제조가 가능한 기술로 판별 - 제철소의 부생가스 및 세일가스등을 원료로하여 에탄올을 합성하는 경우 기존의 발효 공정과 비교하여 경쟁력이 우수한 것으로 알려짐(LanzaTech社)
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	미국, 프랑스 등	<ul style="list-style-type: none"> ○ 납사 공급 과잉이 지속되어 2030년 경에는 2012년 대비 90만 배럴/일의 공급 과잉이 예상(DOE) ○ 국내 정유기업의 중질유 고도화율은 2010년 기준으로 선진국 대비 약 18% 수준으로서 향후 지속적인 고도화가 이루어질 전망
비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	미국, 일본, 프랑스, 핀란드 등	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미국, 일본, 유럽 등의 선진국에서 1990년대 초부터 기술 검토와 연구개발이 이뤄졌으나 현재까지 기초연구단계에 머물러 있으므로 진입장벽이 낮음 ○ 글리세롤로부터 아크롤레인 제조용 촉매 개발에 있어 실용화를 목적으로 독창적 원천기술을 확보할 필요가 있으며, 선진국에서는 이미 1990년대에 그 중요성을 인식
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	네덜란드, 미국, 덴마크, 오스트리아	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선행연구가 이루어진 선진국이 실용화 단계에 이르기까지 해결해야 할 기술적 장벽 및 당면과제가 산적하여 있는 것으로 알려짐 ○ 국내 연구진이 기 확보하고 있는 원천 기술을 이용 시 향후 국제 기술 시장에서 높은 경쟁력을 확보할 수 있음 - 현재 메탈 구조체 촉매를 이용한 Fischer-Tropsch 액화 촉매 기술을 확보하고 있음
반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	스위스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 태양전지에 사용되고 있는 기술을 토대로 광전기화학적 촉매 모듈 개발기술 개발시 원천기술 선점이 가능함 ○ 우리나라는 고성능 광촉매 소재를 거의 전량 수입에 의존하고 있어서 해당기술 개발시 해외 의존성이 개선될 것으로 예상 - 특히 기존의 고성능 광촉매는 대부분 환경분야에 사용되고 있어 연료 생산용 광촉매의 대량생산 기술 확보시 높은 경쟁력과 기술 수출이 예상
차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	스위스, 미국, 일본	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 세계적 기술 수준이 기초적인 평가 및 전지 제작수준에 머물고 있으므로 장기적인 원천기술 확보 및 조기 상용화를 통한 시장 선점이 시급 ○ 한국에서 보유한 연관 원천기술 활용 시 공기극 분야를 먼저 상용화함으로써 시장 선점이 가능 - 이는 중대형 에너지 저장 발전 장치로서의 활용 및 적용분야가 넓고 EV 산업에 적용 시 그 파급효과가 매우 클 것으로 전망되고 있음

세부사업	주요 선진국	조기투자 필요성
고효율, 저비용 배기가스 제거 촉매 시스템 개발	미국	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전 세계적으로 배기가스 규제 기준이 강화됨에 따라 성능이 우수하고 저렴한 배기가스 정화용 촉매를 개발하는 것이 세계 자동차업계의 공통 관심사로 대두 - 향후 자동차 산업 뿐 아니라 건설기계, 조선 산업 등 국내 수출주력산업의 이니셔티브를 우리나라가 계속 주도하기 위해서 필수적으로 획득해야 하는 기술임
CO ₂ 활용 촉매 개발	미국, 일본	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우리나라가 보유한 CO₂ 전환 촉매 기술을 응용해 화학원료의 합성 촉매 기술의 실용화 개발을 통하여 CO₂ 전환 합성가스-액체화학원료 분야에 먼저 상용화 함으로써 시장 선점이 가능 - 한국은 상용화를 위한 Basic Engineering Package를 보유함으로써 해외 원천 기술을 따라 잡는 경쟁력 있는 기술 확보가 가능

다. 촉매 허브센터 및 촉매 은행 운영 타당성

- 촉매를 전략산업으로 육성하기 위해서는 민간부문의 단편적·산발적 투자가 아닌 학-연-산 클러스터를 중심으로 하는 유기적·집중적 활동이 필수적으로 요구됨
- 촉매산업 발전을 위해서는 미래전략적인 촉매기술 개발 뿐 아니라 기술집중형 중소기업 육성 및 지원, 국제 네트워크 구축, 최신 해외 기술 동향 파악 등의 당면과제가 산적하여 있음
 - 촉매산업은 민간부문의 투자만으로는 육성되기 어려우며, 상기 당면과제의 해결을 위해서는 촉매센터 집중화 및 강력한 산학연 네트워크의 형성과 관리가 요구됨
 - 현재 일부 대학 및 연구원에서 소규모로 운영되는 촉매 연구의 집중화 및 관리를 통해 지속적 연구 환경을 조성하고 모니터링으로 이중 투자를 방지하고 연구를 집중화함으로써 효율적 기술개발 가능
- 정부 주도의 기술 개발로 고부가가치 촉매 고유 기술을 중소기업이 확보하고 대기업이 사업화에 적용할 때 대기업과 중소기업의 상생 협력 및 시너지효과 발생 가능
 - 특히 우리나라는 대기업에 기술 종속적인 중소기업이 대다수이고 글로벌 경쟁력 및 고유기술을 확보한 중소기업은 미약한 실정으로, 촉매 허브 구축 및 연구개발 지원에 정부 주도의 지원이 절실히 필요함

- 선진국에서는 촉매 연구의 중요성을 감안하여 대학을 중심으로 한 연구센터 또는 학-연-산 클러스터를 통한 기초연구에서부터 실용화에 이르는 연구를 유기적으로 진행하고 있음
- 유럽연합은 비영리 허브 역할을 하는 ERIC (European Research Institute of Catalysis)를 통하여 강한 산학연 연합 모델을 구축
 - 수요연계형 기술개발, 교육 및 기자재 공용 사용, 교육과 훈련, 촉매 소재 연구 증진 및 생산품 적용 등의 기능을 수행
- 네덜란드는 Utrecht 대학을 중심으로, Delft 공대, 암스테르담 대학 등 9개 대학 연합하여 NIOK (The Netherlands Institute for Research in Catalyst)를 조직
 - Shell, Dow, Exxon Mobil, BASF 등 세계 유수의 화학기업에 대한 산업체 자문단을 운영
 - 최근 5년 연구비로만 1.1억 유로(약 1600억원)를 투입하는 등 대규모 기술개발투자를 수행하고 있음
- 독일은 독일연방교육연구부 주도로 2000년 촉매반응 우수연구센터(ConNeCat)를 설립한 바 있으며 연구소-대학 및 기업이 파트너십으로 참여하는 촉매우수연구센터(UniCat)를 설립하는 등 촉매연구의 주도권 선점
 - ConNeCat은 촉매에 관련된 핵심역량 네트워크로서 산업체, 대학 및 연구소들의 연구 효율성을 높이고 협력 관계를 증진하며 대규모 프로젝트의 자금조달을 도움
 - UniCat은 2개 막스플랑크 연구소 및 4개 대학 (16개 회사와 파트너)이 연합하여 2007년부터 운영되고 있으며 2012년부터 2017년까지 3천3백만 유로(한화 약 470억원)의 연구비를 투입



[그림 7-5] 해외 사례 및 시사점

4. 정책적 분석 소결

- ‘청정 에너지 생태계 선점을 위한 차세대 촉매 기술개발사업’은 국가과학기술 상위 중장기 계획에 부합
 - ‘청정 에너지 생태계 선점을 위한 차세대 촉매 기술개발사업’의 에너지 및 환경부문 세부사업은 ‘국가과학기술기본계획’의 중점육성기술에 대응
 - 지식경제부의 ‘산업기술 로드맵’에 제시된 화학공정소재분야 기술개발 로드맵에 부합
 - 녹색성장위원회의 ‘녹색성장 5개년 계획’에 포함된 녹색기술개발 및 성장동력화를 위한 중점개발기술과 대응됨
 - 울산테크노비즈에서 발표한 ‘울산 정밀화학 산업기술로드맵’에 제시된 촉매기술에 ‘청정 에너지 생태계 선점을 위한 차세대 촉매 기술개발사업’의 세부사업이 전체 포함됨

- 민원 분쟁 가능성, 지자체 협의 등 위험요인 없음

- 「산업기술혁신촉진법」, 「산업기술혁신촉진법」 및 「산업발전법」, 「환경기술 및 환경산업 진흥법」, 「에너지및자원사업특별회계법」, 등 법적 근거 확보

- 화학산업 뿐 아니라 국내 주력산업의 발전 및 기술자립, 최근의 범세계적 에너지 및 환경문제 이슈에 대한 대응을 위해서는 정부 주도의 선제적 투자 필요
 - 국내 촉매기술은 주요 선진국 대비 낮은 수준에 머무르고 있는 가운데 주요 선진국은 국가 차원에서 촉매중점연구센터를 운영 및 지원하며 관련 R&D를 확대 시행하고 있음

- ‘청정 에너지 생태계 선점을 위한 차세대 촉매 기술개발사업’은 정책의 일관성 및 사업 추진 상의 위험요인, 국고 지원의 적합성 측면에서 정책적 타당성을 확보

VIII

기술적 타당성 분석

1. 기술개발계획의 적절성
2. 기술개발 성공가능성
3. 기존 기술 및 사업과의 중복성
4. 기술적 분석 소결

기술적 타당성 분석

1. 기술개발계획의 적절성

1.1. 기술개발목표의 적절성

가. 사업목표의 적절성

□ 본 사업의 목표 : 세계 5대 촉매 강국 진입 및 에너지 자립화 40% 달성하고 2025년 207달러 매출 및 2030년 1.5조원 환경 부가가치 달성을 목표

- 미래 촉매산업의 신시장 창출이 가능한 9개 세부사업을 국내 최초로 소재-공정 공동 R&D 및 PD 책임관리제를 도입하여 추진
- 산학연의 원천-실용화 연계 기술개발을 위해 단계별 목표를 설정하고 소재-공정을 공동으로 1단계에서는 원천기술을 개발을 통하여 신시장 창출이 가능한 핵심기술을 확보하고, 2단계에서는 실용화기술 개발을 통해 차세대 촉매 글로벌 표준 선점을 추진

[표 8-1] 세부사업별 목표

세부사업	추진목표	
	1단계	2단계
고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 기술개발	TMA/TEA/TIBA 제조기술 개발	고기능성 고분자 제조용 촉매공정 원천기술 확보
저탄소화합물(C1~6) 전환기술 개발	폴리알파올레핀 윤활유 제조 촉매 기술	저급 유분 활용을 위한 촉매공정 상용화 기술 개발
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	경질납사 고부가화 기술	저급 유분의 고부가화를 위한 상용화 기술 개발
비식용작물을	글리세린으로 아크릴산 중간체	바이오매스를 활용하 석유화학

세부사업	추진목표	
	1단계	2단계
원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	제조 위한 탈수축매 공정개발	기초유분 제조 상용화 기술 개발
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	활성금속 고담지 축매 제조 기술 개발	모듈형 표면구조체 축매 개발 및 단위모듈형 구조체 축매 활성조사
반도체 축매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	광반응 연료 생산용 금속산화물 반도체 설계 및 산업화	이종 접합 및 다양한 산화물 반도체 합성을 통한 연료생산
차세대 금속 공기전지 고효율 축매 개발	차세대 금속 공기전지용 고효율 축매 개발	금속 공기전지용 비 귀금속 축매 대량 생산 공정 개발
고효율,저비용 배기가스 정화용 축매시스템 개발	연료직접이용 배기가스 SCR기술	배기가스 축매 공정 원천기술 확보
CO ₂ 활용 축매 개발	중고온용(100도 이상)신규 흡착/축매 소재 개발	CO ₂ 흡착제 및 활용 축매 공정 원천기술 확보

- Top-down(76건), Bottom-up(150건) 방식의 기술수요조사를 통해 PD 중심의 산학연 전문가로 구성된 실무 작업반, 과제발굴위원회를 거쳐 후보과제를 도출
- 공청회(2013. 01)를 개최하여 후보과제 선정 및 사전기획 실시
- 선진국 대비 우리나라 기술 수준 분석을 기반으로 기술개발 목표 및 계획을 수립하여 기술개발 성공 가능성이 높은 것으로 판단
 - 세부사업별 현재 기술개발상태·기술수준·기술필요성 등을 분석하였으며 이를 통해 향후 개발이 필요한 기술의 국내외 기술단계 및 국내 기수준정도를 파악

[표 8-2] 세부사업별 필요 세부기술 Pool

세부사업	필요기술	기술단계	최고대비 기술수준
고기능성 고분자 축매 및 정밀화학 제품 기술개발	TMA/TEA/TIBA 제조기술 개발(실용화)	TRL 6	70%
	MAO/m-MAO 제조기술 개발(응용)	TRL 5	60%
	MAO 대체 조축매 개발(원천)	TRL 2	40%
	전자재료용 정밀화학 전구체 및 중간체 축매 제조 개발(실용화)	TRL 6	70%
	에너지소재개발에 필요한 핵심 응용기술개발(응용)	TRL 5	60%

세부사업	필요기술	기술단계	최고대비 기술수준
	메탈로센 촉매 양산화 기술(실용화)	TRL 7	80%
저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발	폴리알파올레핀 윤활유 제조 촉매 기술(응용)	TRL 5	60%
	에틸렌/알파-올레핀 공중합 균일계 촉매 기술(응용)	TRL 5	70%
	NGL을 활용한 알파올레핀 제조 촉매(원천)	TRL 4	50%
	합성가스로부터의 MEG직접제조(응용)	TRL 4	60%
	부생가스로부터 부타디엔 제조(응용)	TRL 5	70%
	NGL을 활용한 화학원료 제조 기술(원천)	TRL 4	50%
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	경질납사 고부가화 기술 (연료 및 합성기유 생산)(응용)	TRL 5	50%
	중질유 처리 촉매기술개발 (RHDS, HYC, RFCC 촉매개발 및 제조)(응용)	TRL 5	50%
	초중질유분 처리기술 개발 (Slurry HC 촉매기술개발)(원천)	TRL 4	40%
비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	글리세린으로 아크릴산 중간체 (아크롤레인) 제조를 위한 탈수촉매 공정개발(응용)	TRL 5	50%
	탄화수소 생산을 위한 수소 소모가 없는 탈산소 촉매 개발(원천)	TRL 4	50%
	비식용작물을 활용한 Levulinic Acid 제조용 불균일계 촉매 기술 개발(원천)	TRL 3	40%
	비식용작물을 활용 석유화학 원료 제조 기술 개발(원천)	TRL 3	40%
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	활성금속 고담지 촉매 제조기술 개발	TRL 4	60%
	환경가스 에너지화 그래핀기반 촉매 기술개발	TRL 3	70%
	촉매 모듈형 컴팩트 열교환 반응기술 개발	TRL 5	60%
반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	광반응 연료 생산용 금속산화물 반도체 설계, 산업화	TRL 4	70%
	3차원 나노구조체 적용 전극 제조, 대량생산 기술개발	TRL 3	60%
차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	차세대 금속 공기전지용 고효율 촉매개발	TRL 3	40%
	고효율 촉매를 적용한 금속 공기전지 전극 생산 기술	TRL 3	70%
고효율,저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	연료직접이용 배기가스 SCR 기술	TRL 4	70%
	배기가스, 탄화수소 흡착	TRL 3	60%
	4-way, 일체형 촉매 시스템 개발	TRL 3	40%
	비백금/초저백금계 저온산화 촉매	TRL 3	40%
CO ₂ 활용 촉매 개발	중고온용(100도 이상) 신규 흡착/촉매 소재 개발	TRL 3	40%
	CO ₂ 를 이용한 고분자 합성 촉매 개발	TRL 3	60%
	CO ₂ 전환 합성가스 제조 촉매 기술	TRL 4	60%
	CO ₂ 이용 케미컬 직접합성 촉매	TRL 3	50%

나. 사업내용의 적절성

- 세부사업별 목표기술과 해당기술이 응용되는 제품 및 타겟 시장이 명확히 제시되고 있어 사업화 연계 가능성이 높을 것으로 판단

[표 8-3] 기술개발을 통한 목표시장/산업과의 연계

세부사업	축매 생산 및 제조기술 확보	축매 신공정 엔지니어링
고기능성 고분자 축매 및 정밀화학 제품 기술개발	TMA/TEA/TIBA 제조기술 개발, MAO/m-MAO 제조기술 개발, MAO 대체 조축매 개발, 전자재료용 정밀화학 전구체 및 중간체 축매제조 개발, 에너지소재개발에 필요한 핵심 응용기술개발, 메탈로센 축매 양산화 개술	고기능성 고분자 제조용 축매공정 원천기술 확보, 메탈로센 축매 생산 상업 공정 개발, 국내 엔지니어링 기술 확보 및 신 축매공정 개발
저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발	폴리알파올레핀 윤활유 제조 축매 기술, 에틸렌/알파-올레핀 공중합 균일계 축매 기술, NGL을 활용한 알파올레핀 제조 축매, 합성가스로부터의 MEG직접제조, 부생가스로부터 부타디엔 제조, NGL을 활용한 화학원료 제조 기술	저급 유분 활용을 위한 축매공정 상용화 기술 개발, 대체원료를 이용한 기초 유분 제조 상용화 기술 개발, 국내 엔지니어링 기술 확보 및 신 축매공정 개발
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	경질납사 고부가화 기술 (연료 및 합성기유 생산), 중질유 처리 축매기술개발 (RHDS, HYC, RFCC 축매개발 및 제조), 초중질유분 처리기술 개발 (Slurry HC 축매기술개발)	저급 유분의 고부가화를 위한 상용화 기술 개발, 국내 엔지니어링 기술 확보 및 신 축매공정 개발
비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	글리세린으로 아크릴산 중간체 (아크롤레인) 제조를 위한 탈수축매 공정개발, 탄화수소 생산을 위한 수소 소모가 없는 탈산소 축매 개발, 비식용작물을 활용한 Levulinic Acid 제조용 불균일계 축매 기술 개발, 비식용작물을 활용 석유화학 원료 제조 기술 개발	바이오매스를 활용한 석유화학 기초유분 제조 상용화 기술 개발, 국내 엔지니어링 기술 확보 및 신 축매공정 개발
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	활성금속 고담지 축매 제조 기술 개발, 환경가스 에너지화 그래핀 기반 축매기술 개발, 축매 모듈형 컴팩트 열교환 반응기술 개발	모듈형 표면구조체 축매 개발, 단위모듈형 구조체 축매 활성조사 축매 과립화 기술 개발 및 모듈형 구조체 축매 대량 생산, 컴팩트 반응기 모듈화를 통한 국산 파일럿 플랜트 기술 개발
반도체 축매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	광반응 연료 생산용 금속산화물 반도체 설계, 산업화, 3차원 나노구조체 적용 전극 제조, 대량생산 기술 개발	이종 접합 및 다양한 산화물 반도체 합성을 통한 연료생산, 산업화를 위한 공정 과정의 확보 및 간소화
차세대 금속 공기전지 고효율	차세대 금속 공기전지용 고효율 축매 개발, 고효율 축매를 적용한 금속	금속 공기전지용 비 귀금속 축매 대량 생산 공정 개발, 비 귀금속 축매를

세부사업	촉매 생산 및 제조기술 확보	촉매 신공정 엔지니어링
촉매 개발	공기전지 전극 생산 기술	적용한 금속 공기전지 전극 대 면적화 기술
고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	연료직접이용 배기가스 SCR기술, 비백금/초저백금계 저온산화 촉매 배기가스, 탄화수소 흡착, 4-way, 일체형 촉매 시스템 개발	배기가스 촉매 공정 원천기술 확보, 배기가스 촉매 생산 상용화 공정 개발, 국내 촉매기술 확보 및 신 촉매공정 개발
CO ₂ 활용 촉매 개발	중고온용(100도 이상)신규 흡착/촉매 소재 개발, CO ₂ 를 이용한 고분자 합성 촉매 개발, CO ₂ 전환 합성가스 제조 촉매 기술, CO ₂ 이용 케미컬 직접합성 촉매	CO ₂ 흡착제 및 활용 촉매 공정 원천기술 확보, CO ₂ 활용 촉매 생산 상용화 공정 개발, 국내 촉매기술 확보 및 신 촉매공정 개발

○ 각 9개 세부사업별로 소재와 공정이 단계별로 공동 개발되어야 하고, 각각의 기술적 경제적 성과에 대한 기대효과 추산

[표 8-4] 분야별 기술적 및 경제적 성과

구분	기술적 성과	경제적 성과(2030년)
석유화학	촉매공정 기술의 상용화를 위한 국내 기반 기술, 국내 엔지니어링 기술 확보 및 신 촉매공정 개발, 선진국 주도의 글로벌 촉매 산업에서의 영향력 확대, 석유화학 산업단지의 광역경제권 간 연계 협력 활성화, 촉매 기술의 수출 산업화를 통한 국내 산업구조 개선	매출액 4,225억원 [생산유발 1조 3,694억원], 총 3,000명 취업유발, 환경적 부가가치 2,241억원 (*2012.2Q. CER가격 3EUR기준)
에너지	지구온난화 주범 및 환경오염의 주범인 환경가스들의 청정 에너지화 기술 확보, 모듈형 분산 발전 바이오 에너지 기술 개발을 통한 국가 에너지 자립과 환경 문제 해결, 지역별 에너지 자립을 위한 중소규모 분산 복합발전 시스템 기술 개발	매출액 5,662억원 [생산유발 1조 8,347억원], 총 4,020명 취업유발효과, 환경적 부가가치 2,753억원 (*2012.2Q. CER가격 3EUR기준 *수송용 경유 및 휘발유 10% 대체 가정 시)
환경	신개념 배기가스 정화 및 CO ₂ 활용 촉매 개발을 통한 국내 기반기술 확보 및 신 촉매공정 개발, 신개념 고효율, 저가 배기가스 촉매, 4-way 일체형 촉매 시스템, CO ₂ 흡착제 및 활용 촉매 개발, 환경 촉매 기술의 수출을 통한 국내 촉매 산업 활성화 및 수출입 구조 개선	매출액 2,476억원 [생산유발 8,023억원], 총 1,758명 취업유발, 환경적 부가가치 1조 98억원 (*2012.2Q. CER가격 3EUR기준)

1.2. 사업추진전략의 적절성

□ 소재-공정 공동개발 전략의 적절성

- 3대 핵심분야 석유화학, 에너지, 환경의 세부사업인 9개 부분을 주력 산업으로 자리매김하기 위해 촉매 소재와 이를 이용한 생산공정이 동시 개발되어야함
 - 각 부처 및 산업별 분산, 촉매 단위기술 및 활용기술 수준을 차세대 촉매 허브센터를 통해 대중소 기업 및 산학연이 상생하여 소재의 이업종간 기술상승효과와 공정의 대규모 실증 실험 실시
 - 허브센터를 통해 기술 이전 및 시험-검사지원 실시, 중소기업의 소재, 재료 개발 후 대기업의 생산공정을 통해 설계-공정의 실증지원 하는 등의 상생형 기술지원 실시



[그림 8-1] 차세대 촉매 소재 및 공정의 협업형 R&BD

- 기존 해외 촉매 기술을 활용한 개선 및 활용하는 개발의 한계를 원천-실용화 단계별 개발함으로써 차세대 촉매 글로벌 표준 선점할 수 있을 것임
 - 국내 기존 수입 촉매 및 수입 공정기반 기술개발 수준을 차세대 촉매 소재와 공정 기술의 원천-실용화 단계별 대규모 투자 개발



[그림 8-2] 소재 및 공정 기술의 원천-실용화 단계별 개발

□ PD책임관리제의 적절성

- R&D 전주기를 총괄적으로 관리 및 책임질 수 있는 PD책임 관리 제도를 통해 사업추진시 책임소재가 불분명하고 사업 및 과제의 기획의도와 목적이 변질되는 부작용을 방지하도록 기획
 - R&D 전단계(기획-개발-성과)에 걸쳐 PD의 권한과 책임을 강화함으로써 9개 신시장 창출을 위한 추진 전략 및 진도 관리가 일관성 있게 적용이 가능하여 사업의 성공 확률 증가
 - PD 중심으로 사업 및 과제에 참여하는 다양한 주체의 역할분담 및 상호협력 등을 조율할 수 있어 대형 R&BD사업 추진에 따른 소통의 어려움을 해소할 수 있으며 기술개발 과정에서 발생할 수 있는 예측불가능한 문제점 및 애로사항 등에 대한 신속한 대응 가능
 - 미국의 ARPA-E 및 NSF, 일본의 JST도 과제 선정-개발-성과까지 담당 전문가가 일괄 책임 관리하여 사업화 및 성공률을 극대화하는 추세

1.3. 기술개발체계의 적절성

□ 사업추진체계 및 절차의 적절성

- 세부사업별로 기업 중심의 컨소시엄을 구성하여 과제를 발굴·개발 할 수 있도록 함으로써 9개 소재-공정 공동개발 원천기술 창출 목표를 달성하기에 적합
 - 학계 및 연구계는 참여기관으로 기술개발에 참여하여 핵심 원천기술을 확보하는데 기여할 수 있으며 기업 중심의 컨소시엄을 통해 최종적으로 신제품 개발 및 생산이 가능하도록 추진체계를 설계
 - PD의 권한과 책임을 강화하여 과제의 기획, 평가, 선정, 개발, 사업화, 성과관리가 이루어질 수 있어 사업참여 주체들이 보유하고 있는 기술개발 및 사업화 역량을 최대한 활용하여 목표지향적, 전주기적인 사업관리가 가능
 - 총괄주관기관은 모든 세부과제의 총괄관리와 세부과제의 결과물을 융합·연계하여 사업화를 책임지며, 세부주관기관은 세부과제의 관리와 사업화를 책임지고 수행함으로써 사업별, 세부과제별 역할 분담형 기술개발로 대형 성과 창출 가능
 - 사업신청 및 기술개발시 중소·중견기업 참여 비중 및 출연금 활용 비중 의무화의 컨소시엄 구성으로 대기업 및 중소기업의 공동 노력에 따른 신시장 창출과 동반성장 가능

[표 8-5] 사업참여 주체별 역할

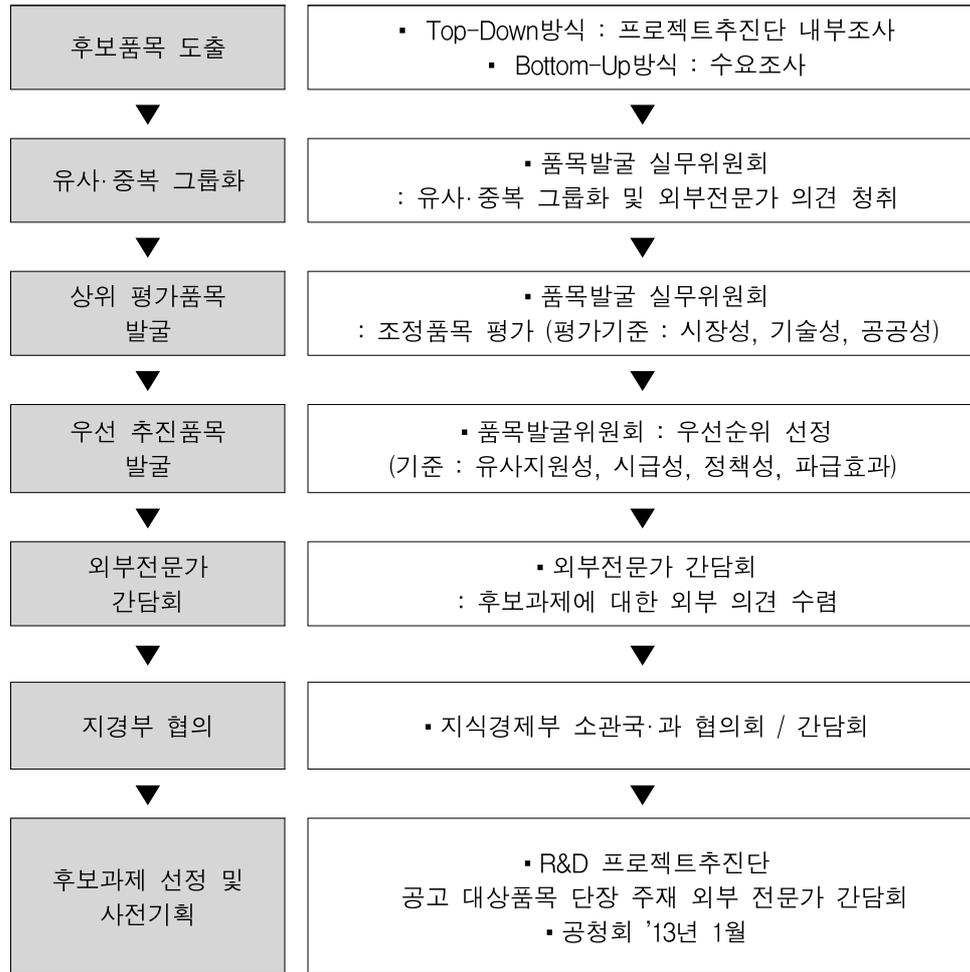
주체	역할
산업분야별 PD	세부사업의 발굴, 기획, 선정, 진도관리, 단계/최종평가, 성과관리 등 모든 과정에 대해 책임관리
총괄주관기관	세부과제를 총괄관리, 세부과제의 결과물을 융합 및 연계하여 사업화를 책임지고 수행
세부주관기관	기업으로 구성함을 원칙하고 세부과제의 사업화를 책임지고 수행
참여기관	기업, 대학, 연구기관, 사업자 단체 및 산업기술개발사업의 실시기관 등이 참여하여 세부과제의 구성기술 개발

- 과제발굴 및 선정 과정에서는 시장성, 기술성, 공공성 측면에서 세부 선정기준을 설정함으로써 객관성을 제고하였으며 선정 단계별로 실무위원뿐만 아니라 외부전문가의 의견을 폭넓게 청취하여 선정의 투명성 및 공정성을 제고
- 과제발굴은 Top-down 및 Bottom-up 방식의 병행으로 다양한 후보 품목을 도출하고, 유사/중복 그룹화, 상위 평가품목 선정, 우선 추진 품목 선정, 외부전문가 간담회, 지경부 협의과정을 거쳐 최종적으로 과제를 선정함으로써 투명하고 공정하게 과제 선정을 추진

[표 8-6] 지원 대상 과제의 선정기준

구분	선정기준
공공성	<ul style="list-style-type: none"> - 국가산업정책과의 연계성 : 산업기술정책과의 연계, 정부지원필요성 - 사회문화기여도 : 일상생활 삶의 질 제고 정도 - 고용창출효과 : 사업화에 따른 직간접적인 신규 고용창출 효과
기술성	<ul style="list-style-type: none"> - 7년이내 실현가능성 : 개발완료되어 활용이 가능한 제품, 서비스 - 독창성 및 선도성 : 지식재산권 확보 및 국제표준 선점 가능성 - 기술적 파급효과 : 타 품목 또는 동 품목 분야 혁신적 발전 견인
시장성	<ul style="list-style-type: none"> - 시장규모 및 성장률 : 미래사회 변화를 견인할 시장규모 및 성장 - 시장선점 및 진입장벽 : 초기시장 선점 및 주도가능, 진입장벽 - 경제적 파급효과 : 시장 기대 부가가치 창출가능 - 기업투자 유도 : 관련 기업의 투자유발 정도

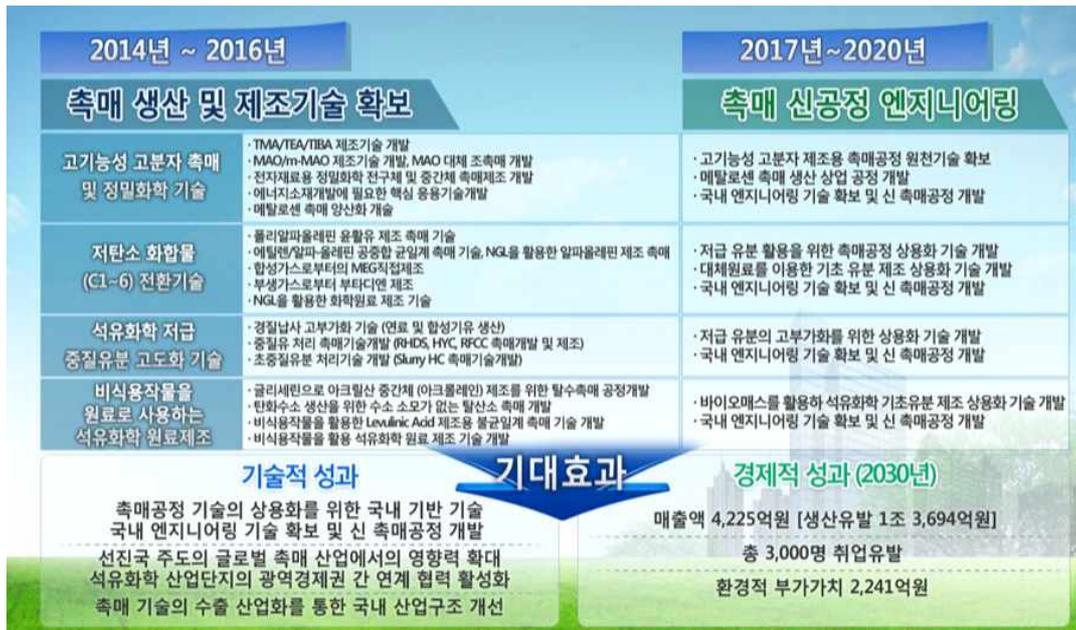
[표 8-7] 지원 대상 과제의 선정절차



□ 세부사업별 기술개발계획의 적절성

- 과제별 주요 구성기술 트리를 작성하여 세부과제 및 과제구성기술을 명확히 하고 필요 세부기술 Pool의 국내외 기술단계 및 최고대비 기술수 준을 바탕으로 1단계(원천응용), 2단계(응용개발)별 기술개발 목표를 설정
- 세부사업별로 현재 기술수준 및 향후 시장진입 시기를 고려하여 개발기간을 합리적으로 산정하여 제시

- 석유화학 분야 단계별 기술개발 목표



[그림 8-3] 석유화학 분야 단계별 기술개발 목표

- 에너지 분야 단계별 기술개발 목표



[그림 8-4] 에너지 분야 단계별 기술개발 목표

- 환경 분야 단계별 기술개발 목표



[그림 8-5] 환경 분야 단계별 기술개발 목표

- 또한, 기술개발단계를 원천응용 및 사업화단계로 나누어 총 3,000억원 예산을 계획하는 한편, 연도별로 투입되는 인력 및 장비구축 비용 등을 고려하여 합리적인 연간 기술개발 예산을 배분
 - 3개 분야 R&D 사업비 ('14년~20년/7개년) : 2,140억원(정부출연 1,340억원, 민간 780억원)
 - 울산 축매 기술개발 허브센터 구축 : 860억원(정부출연 660억원, 지방비 200억원)

세부사업	단계	1단계 - 원천응용			2단계 - 사업화				계 (억원)
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
석유화학	고기능성 고분자 축매 및 정밀화학 제품	10	10	31	34	74	90	92	341
	저탄소 화합물(CI-6) 전환 기술 개발	25	25	44	46	37	54	55	286
	석유화학 저급 중질유분 고도화 기술	11	11	33	34	26	33	33	181
	비식용작물을원료로 사용하는석유화학 원료	68	68	25	31	26	40	40	298
에너지	환경가스를 활용한자동차 연료 제조	19	25	44	48	50	54	54	296
	반도체 축매를 적용한차세대연료 생산기술	8	10	27	32	51	51	53	235
환경	차세대 금속 공기전지 고효율 축매	8	8	15	17	19	21	23	112
	고효율 저비용배기가스 정화용 축매시스템	23	25	32	32	25	26	28	194
	CO2활용 축매 개발	14	14	21	23	37	41	41	194
계		188	197	274	299	346	412	421	2140
울산축매 기술개발 허브센터		센터설립 및 장비구축		센터운영 및 기업지원				계	
		국고	560	지방비	200	국고	100		지방비

[그림 8-6] 세부사업에 따른 단계별 예산규모

2. 기술개발 성공가능성

2.1. 세부사업별 기술수준 분석

□ 기술동향 분석

○ 분석방법

- 검색 데이터베이스로는 wisdomain社의 FOCUST를 사용하였으며, 아래와 같은 키워드를 활용하여, '07년부터 '12년까지 공개된 미국, 유럽, 일본 특허를 선정하여 기술개발 동향을 파악

[표 8-8] 세부사업별 특허검색식

사업명	세부사업	영문 키워드
석유 화학	고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	catalyst, promoter, polymerization, aluminum, hydration, non-iron catalyst, metallocene, LLDPE, POE, POP, EPDM
	저탄소화합물(C1~6)전 환기술 개발	catalyst, promoter, polymerization, lubricant, synthetic base oil, alpha-olefin, homogeneous, dimerization, trimerization, tetramerization, metallocene, transition metal, coordinate complex
	석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	catalyst, Light Naphtha, MEG(mono ethylene glycol), byproduct/synthesis gas, butadiene, intermediate oil, Cracking, fuel oil, synthetic base oil, alternative feedstock
	비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	catalyst, enzyme, biomass, glycerin, Levulinic acid, alternative feedstock, hydrogen-free, deoxygenation, dehydration, acrylic acid, acrolein
에너지	환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	Associated Gas, Biogas, Modular, Yolk-Shell, Core-Shell, Coating, Metallic, Steam Methane Reforming, Fischer-Tropsch, Synthetic Oil
	반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	Photo Catalyst, Hydrogen Generation, Water Splitting, Solar Hydrogen Production, Photocatalytic Hydrogen Production
	차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	Metal air, Lithium air, Zinc air Battery
환경	고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	Integrated Four-way catalyst, Exhaust gas post-treatment, non-platinum/ultralow platinum catalyst, SCR technology using exhaust gas, Low temperature oxidation catalyst
	CO ₂ 활용 촉매 개발	Novel materials for ion exchange and separation, Portable purification catalyst system, Post-combustion methane abatement catalysts

- 특허검색결과, 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발에서는 총 559건, 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발에서는 704건, 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발에서는 263건, 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조에서는 360건의 특허 검색
- 또한, 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술에서는 203건, 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발에서는 691건, 차세대 급속 공기전지 고효율 촉매 개발에서는 547건, 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발에서는 102건 및 CO₂활용 촉매 개발에서는 42건의 특허 검색
- 이와 같이 검색된 특허를 바탕으로 하여 세부사업별로 집중분야에 대한 분석을 수행하고, 각각의 세부사업의 전반적인 특허 동향에 대한 분석을 수행

[표 8-9] 세부사업별 특허검색결과

(단위: 건)

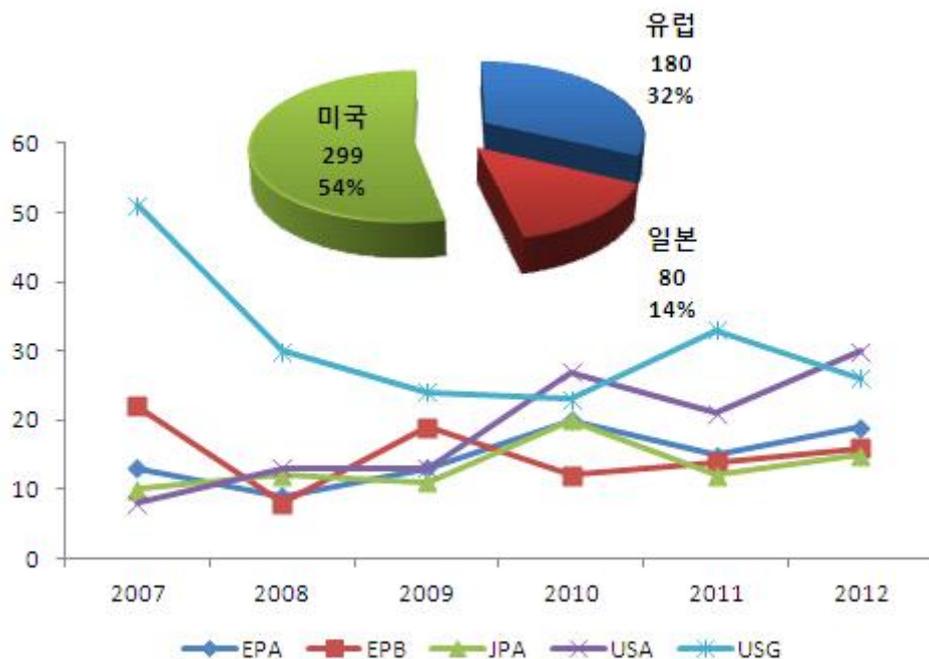
사업명	세부사업	구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	합계
석유화학	고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	EPA	13	9	13	20	15	19	89
		EPB	22	8	19	12	14	16	91
		JPA	10	12	11	20	12	15	80
		USA	8	13	13	27	21	30	112
		USG	51	30	24	23	33	26	187
		소계	104	72	80	102	95	106	559
	저탄소화합물(C1~6) 전환기술 개발	EPA	26	15	12	20	16	19	108
		EPB	24	20	20	18	16	17	115
		JPA	12	18	15	25	30	17	117
		USA	12	15	14	22	28	30	121
		USG	59	40	30	35	51	28	243
		소계	133	108	91	120	141	111	704
	석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	EPA	11	8	27	12	13	9	80
		EPB	22	24	23	15	24	19	127
		JPA	1	1	-	3	1	1	7
		USA	21	25	30	50	50	39	215
		USG	57	36	42	47	47	34	263
		소계	112	94	122	127	135	102	692
	비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	EPA	6	7	11	11	2	5	42
		EPB	14	9	9	11	12	8	63
		JPA	-	-	1	3	3	-	7
		USA	18	17	16	23	23	30	127
		USG	22	12	17	24	27	19	121
		소계	60	45	54	72	67	62	360

(단위: 건)

사업명	세부사업	구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	합계
에너지	환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	EPA	3	7	2	2	4	3	21
		EPB	3	4	4	4	5	4	24
		JPA	1	-	-	1	-	1	3
		USA	10	7	18	18	14	14	81
		USG	14	12	14	13	12	9	74
		소계	31	30	38	38	35	31	203
	반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	EPA	14	22	5	13	12	22	88
		EPB	4	-	1	3	4	11	23
		JPA	29	35	53	43	59	46	265
		USA	22	31	23	37	44	31	188
		USG	12	9	11	32	27	36	127
		소계	81	97	93	128	146	146	691
	차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	EPA	7	10	6	4	9	28	64
		EPB	8	9	4	3	7	3	34
		JPA	2	4	7	20	31	30	94
		USA	35	19	17	27	57	69	224
		USG	23	21	21	25	21	20	131
		소계	75	63	55	79	125	150	547
환경	고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	EPA	1	3	-	3	3	2	12
		EPB	3	2	1	1	-	1	8
		JPA	1	9	2	3	4	7	26
		USA	1	5	4	6	3	8	27
		USG	1	4	7	5	1	11	29
		소계	7	23	14	18	11	29	102
	CO ₂ 활용 촉매 개발	EPA	-	1	-	2	-	-	3
		EPB	-	-	1	2	-	1	4
		JPA	-	-	-	3	-	-	3
		USA	2	1	6	5	3	4	21
		USG	-	2	4	2	1	2	11
		소계	2	4	11	14	4	7	42

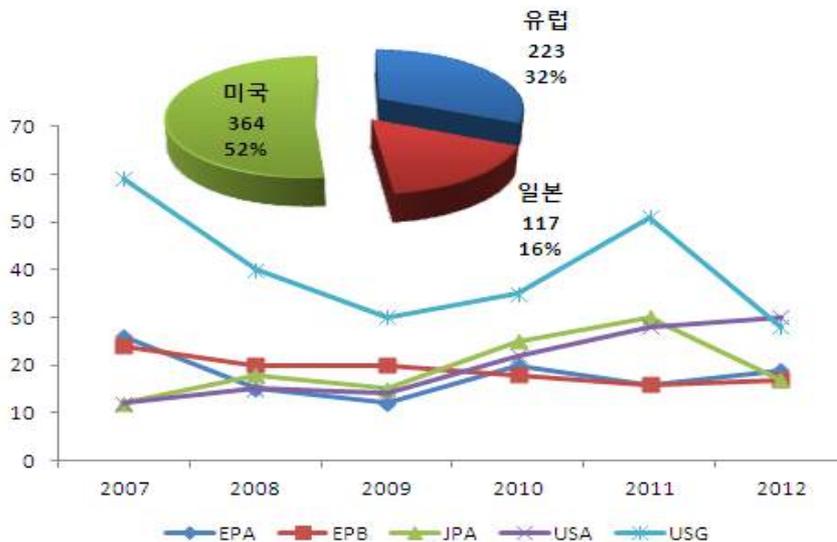
주) EPA : European Patent Office published applications, EPB : European Patent Office patents
 USA : USPTO Published Applications, USG : USPTO Patents
 JPA : Japanese published applications

- 석유화학 사업에 있어서, 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발 사업 특허동향
 - '07년 기준으로 등록특허는 다소 감소하였으나, 관련 기술은 시장이 성숙기에 접어들면서 다시금 공개되는 특허가 증가하고 있는 것으로 분석됨
 - 미국에서는 전반적으로 등록된 특허가 더 많은 것으로 조사된 반면에 유럽에서는 2010년을 기점으로 하여 등록된 특허에 비하여 공개특허가 더 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 조사됨
 - 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발 분야는 미국에서 299건(약 54%)으로 가장 활발하게 나타나고 있으며, 그 다음으로 유럽 180건(약 32%), 일본 80건(약 14%) 순으로 나타남
 - 이와 같이, 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발 사업에 있어서, 미국에서의 점유율이 매우 높은 것으로 보아 미국 시장이 가장 활성화 되어 있는 것으로 보이며, 미국이 석유화학 사업에 있어서 시장을 선도하고 있는 것으로 분석됨



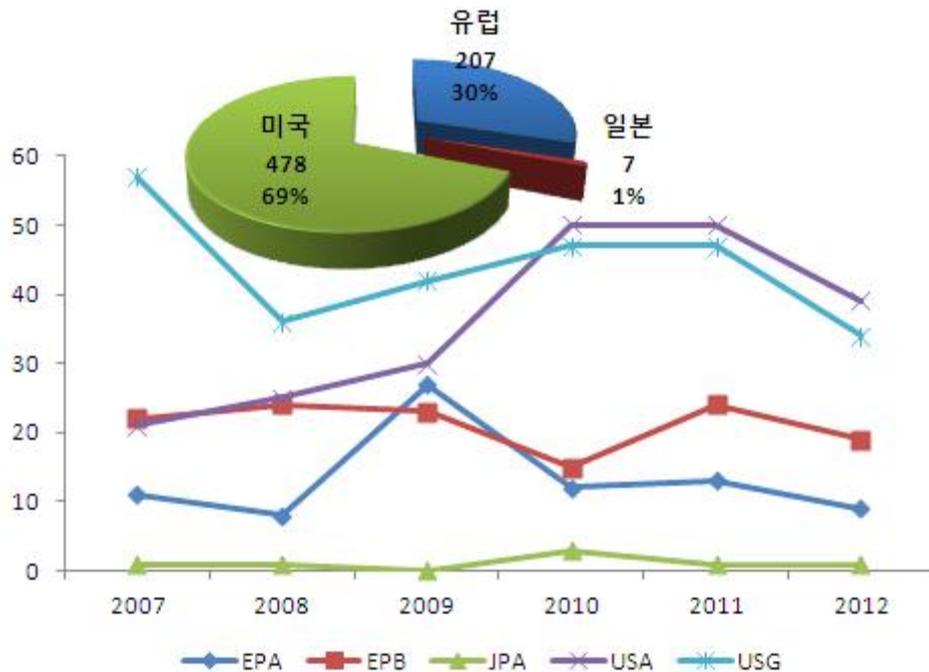
[그림 8-7] 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발 특허동향

- 석유화학 사업에 있어서, 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발 사업 특허 동향
 - '07년 기준으로 등록특허는 다소 감소하였으나, 관련 기술은 시장이 성숙기에 접어들면서 다시금 공개되는 특허가 증가하고 있는 것으로 분석됨
 - 미국에서는 전반적으로 등록된 특허가 더 많은 것으로 조사된 반면에 유럽에서는 2010년을 기점으로 하여 등록된 특허에 비하여 공개 특허가 더 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 조사됨
 - 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발 분야는 미국에서 364건(약 52%)으로 가장 활발하게 나타나고 있으며, 그 다음으로 유럽 223건(약 32%), 일본 117건(약 16%) 순으로 나타남
 - 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발 분야는 앞선 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발 분야와 비교하여 볼 때, 미국의 점유율은 조금 감소한 반면에 일본의 점유율이 조금 상승한 것으로 나타남
 - 이와 같이, 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발 사업에 있어서, 미국에서의 점유율이 매우 높은 것으로 보아 미국 시장이 가장 활성화되어 있는 것으로 보이며, 미국이 석유화학 사업에 있어서 시장을 선도하고 있는 것으로 분석됨



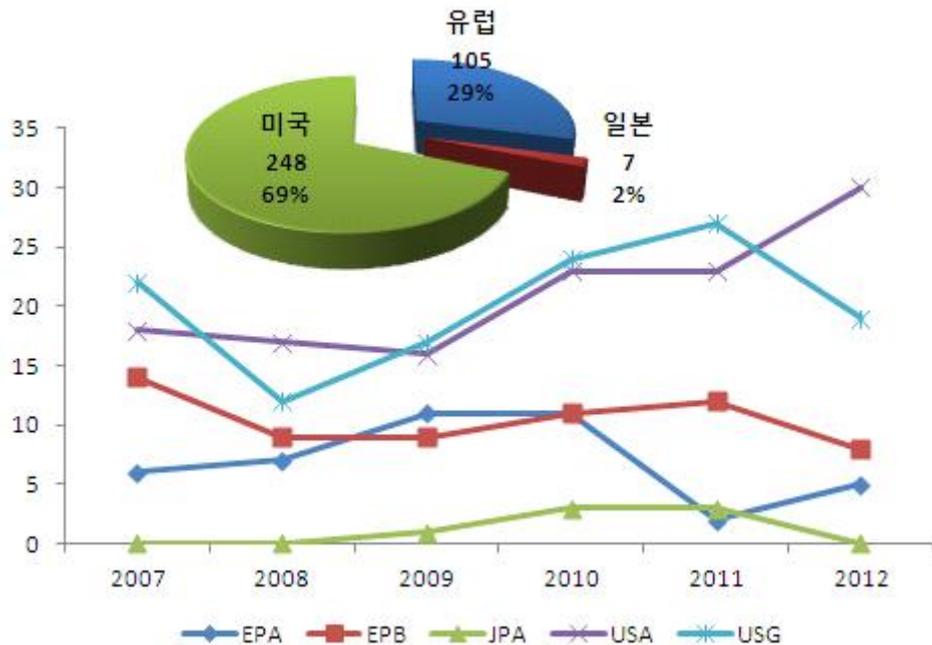
[그림 8-8] 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발 특허 동향

- 석유화학 사업에 있어서, 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발 사업 특허동향
 - '07년 기준으로 등록특허는 다소 감소하였으나, 관련 기술은 시장이 성숙기에 접어들면서 다시금 공개되는 특허가 증가하고 있는 것으로 분석됨
 - 특히, 미국에서 공개특허는 2010년까지 지속적으로 증가하는 동향을 보이고 있으나, 유럽에서의 공개특허는 점차 감소하는 동향을 보임
 - 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발 분야는 미국에서 478건(약 69%)으로 가장 활발하게 나타나고 있으며, 그 다음으로 유럽은 207건(약 30%)이나 일본은 7건(약 1%)에 불과한 것으로 나타남
 - 이와 같이, 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발 사업에 있어서, 미국에서의 점유율이 매우 높은 것으로 보아 미국 시장이 가장 활성화 되어 있는 것으로 보이며, 미국이 석유화학 사업에 있어서 시장을 선도하고 있는 것으로 분석됨



[그림 8-9] 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발 특허동향

- 석유화학 사업에 있어서, 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조 사업 특허동향
 - 전반적으로는 증가하는 추세를 보이고 있어, 관련기술 시장은 발전기를 지나 성숙기로 접어들면서 지속적으로 특허가 공개되고 있는 것으로 분석됨
 - 특히, 미국에서 공개특허는 지속적으로 증가하는 동향을 보이고 있으나, 유럽에서의 공개특허는 2010년 이후 감소하는 동향을 보임
 - 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조 분야는 미국에서 248건(약 69%)으로 가장 활발하게 나타나고 있으며, 그 다음으로 유럽은 105건(약 29%)이나 일본은 7건(약 2%)에 불과한 것으로 나타남
 - 이와 같이, 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조 사업에 있어서, 미국에서의 점유율이 매우 높은 것으로 보아 미국 시장이 가장 활성화 되어 있는 것으로 보이며, 미국이 석유화학 사업에 있어서 시장을 선도하고 있는 것으로 분석됨



[그림 8-10] 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조 특허동향

○ 석유화학 사업에 있어서, 세부사업별 특허현황

- 석유화학 산업에 있어서, 세부사업을 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발, 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발, 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발 및 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조로 구분하고, 각각의 세부사업별 점유율 및 2008~2011년까지의 특허 증가율을 통해 특허현황을 살펴봄
- 이와 같은 세부사업에 있어서는 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발 분야가 특허 점유율 및 특허 증가율이 모두 평균 이상을 보이고 있는 것으로 보아 최근에 가장 각광받고 있는 분야인 것으로 판단됨
- 현재까지는 가장 점유율이 낮은 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조 분야가 증가율이 가장 높은 것으로 보아 점차적으로 점유율이 확대될 것으로 예측됨

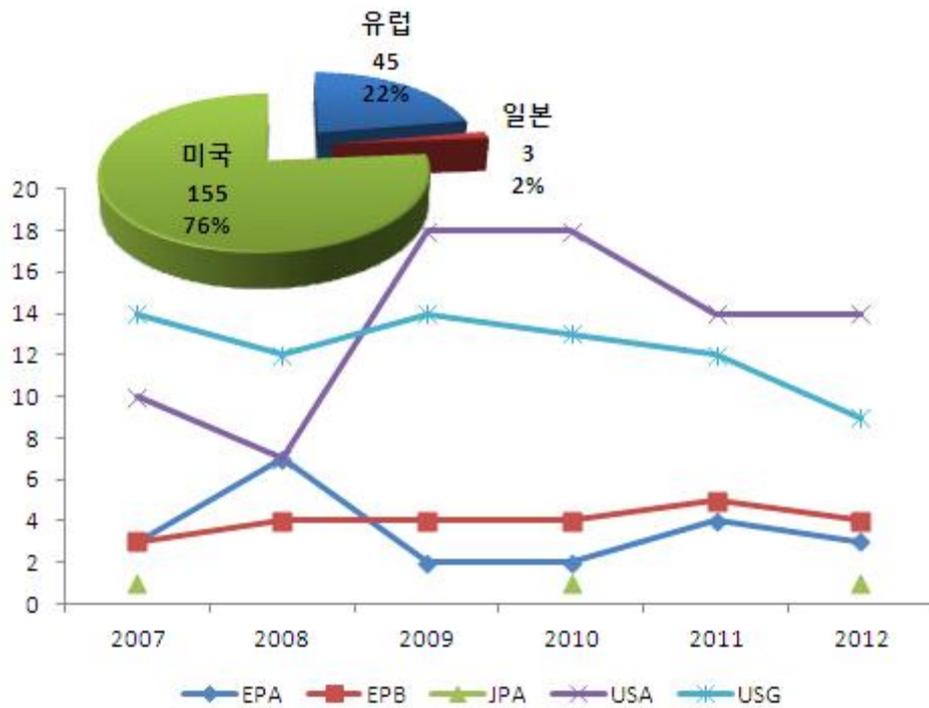


- AA: 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발
- AB: 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발
- AC: 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발
- AD: 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조

[그림 8-11] 석유화학 사업의 기술별 집중도

○ 에너지 사업에 있어서, 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술 사업 특허동향

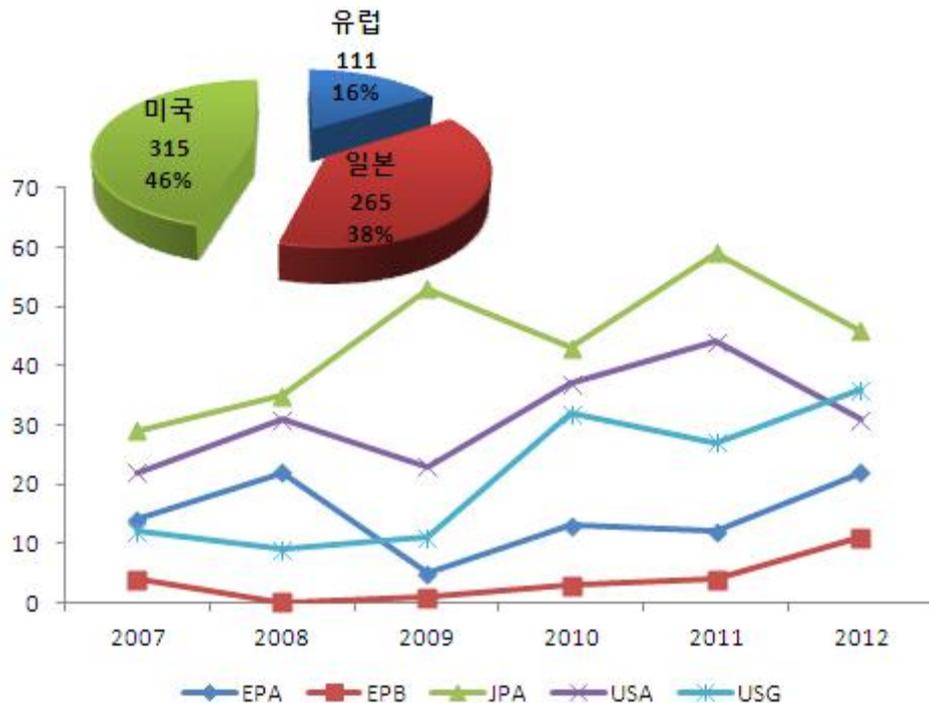
- 전반적으로는 꾸준히 특허가 공개되고 있는 것으로 나타났으며, 미국공개특허의 경우에는 2009년 이후 등록특허 건수를 앞서고 있어 출원이 지속적으로 이루어지고 있는 것으로 판단됨
- 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술 분야는 미국에서 155건(약 76%)으로 가장 활발하게 나타나고 있으며, 그 다음으로 유럽은 45건(약 22%)이나 일본은 3건(약 2%)에 불과한 것으로 나타남
- 이와 같이, 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술 사업에 있어서, 미국에서의 점유율이 매우 높은 것으로 보아 미국 시장이 가장 활성화 되어 있는 것으로 보이며, 미국이 에너지 사업에 있어서도 시장을 선도하고 있는 것으로 분석됨



[그림 8-12] 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조 특허동향

○ 에너지 사업에 있어서, 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술 개발 사업 특허동향

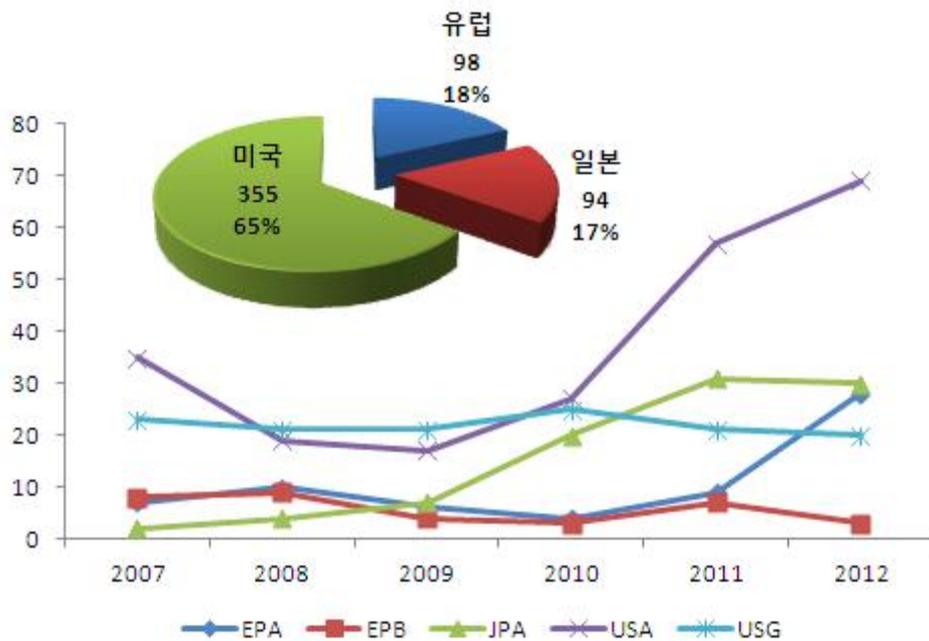
- 전반적으로는 증가하는 추세를 보이고 있으며, 2009년도를 기점으로 하여 지속적으로 공개되는 특허가 증가하고 있는 것으로 보아 관련기술 시장은 지속적으로 발전하고 있는 것으로 판단됨
- 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 분야는 미국에서 315건(약 46%)으로 가장 활발하게 나타나고 있으며, 그 다음으로 일본에서 265건(약 38%), 유럽에서 111건(약 16%)이 출원되어 공개된 것으로 나타남
- 이와 같이, 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 사업에 있어서, 미국에서의 점유율이 매우 높은 것으로 보아 미국 시장이 가장 활성화 되어 있는 것으로 보이며, 미국이 에너지 사업에 있어서도 시장을 선도하고 있는 것으로 분석됨
- 또한, 일본에서도 비교적 높은 점유율을 보이고 있는 것으로 보아 관련기술에 대한 시장이 활성화 되어 있는 것으로 예측됨



[그림 8-13] 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 특허동향

○ 에너지 사업에 있어서, 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발사업 특허동향

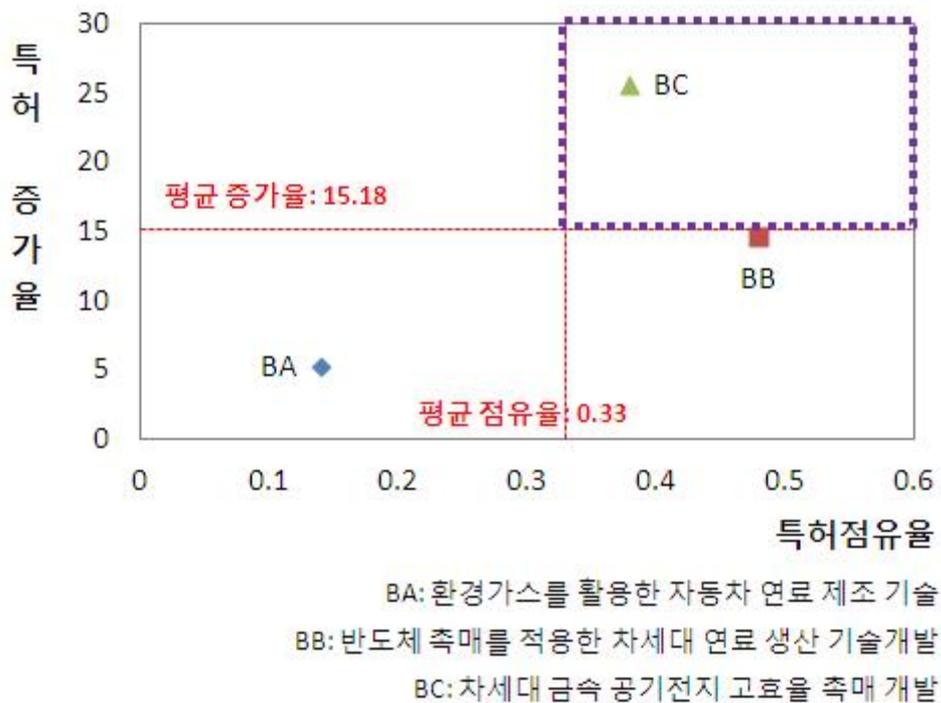
- 전반적으로는 증가하는 추세를 보이고 있으며, 2010년도를 기점으로 하여 미국에서의 다수의 특허가 공개되고 있는 것으로 조사되었고, 이데 따라 등록 특허 역시 점차적으로 증가하는 추세를 보이고 있음
- 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발 분야는 미국에서 355건(약 65%)으로 가장 활발하게 나타나고 있으며, 그 다음으로 유럽에서 98건(약 18%), 일본에서 94건(약 17%)이 출원되어 공개된 것으로 나타남
- 이와 같이, 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발 사업에 있어서, 미국에서의 점유율이 매우 높은 것으로 보아 미국 시장이 가장 활성화 되어 있는 것으로 보이며, 미국이 에너지 사업에 있어서도 시장을 선도하고 있는 것으로 분석됨
- 이에 반해, 상대적으로 유럽 및 일본에서는 공개되는 특허가 적은 것으로 나타남



[그림 8-14] 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 특허동향

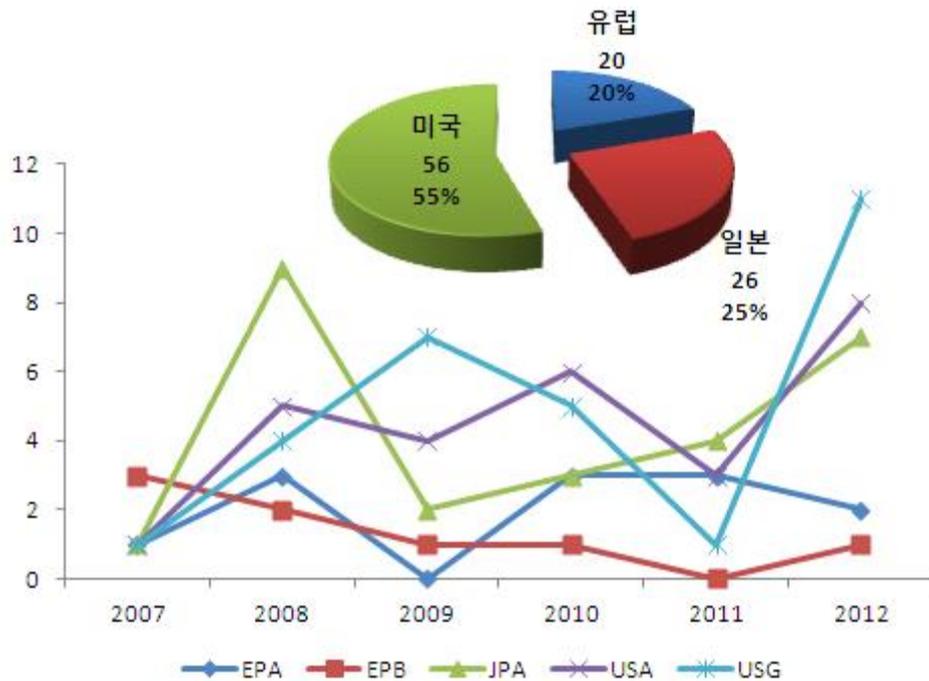
○ 에너지 사업에 있어서, 세부사업별 특허현황

- 에너지 산업에 있어서, 세부사업을 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술, 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발, 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발로 구분하고, 각각의 세부사업별 점유율 및 2008~2011년까지의 특허 증가율을 통해 특허현황을 살펴봄
- 이와 같은 세부사업에 있어서는 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발 분야가 특허 점유율 및 특허 증가율이 모두 평균 이상을 보이고 있는 것으로 보아 최근에 가장 각광받고 있는 분야인 것으로 판단됨
- 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 분야는 가장 높은 점유율을 차지하고 있으나, 특허증가율이, 평균에 조금 미치지 못하고 있음



[그림 8-15] 에너지 사업의 기술별 집중도

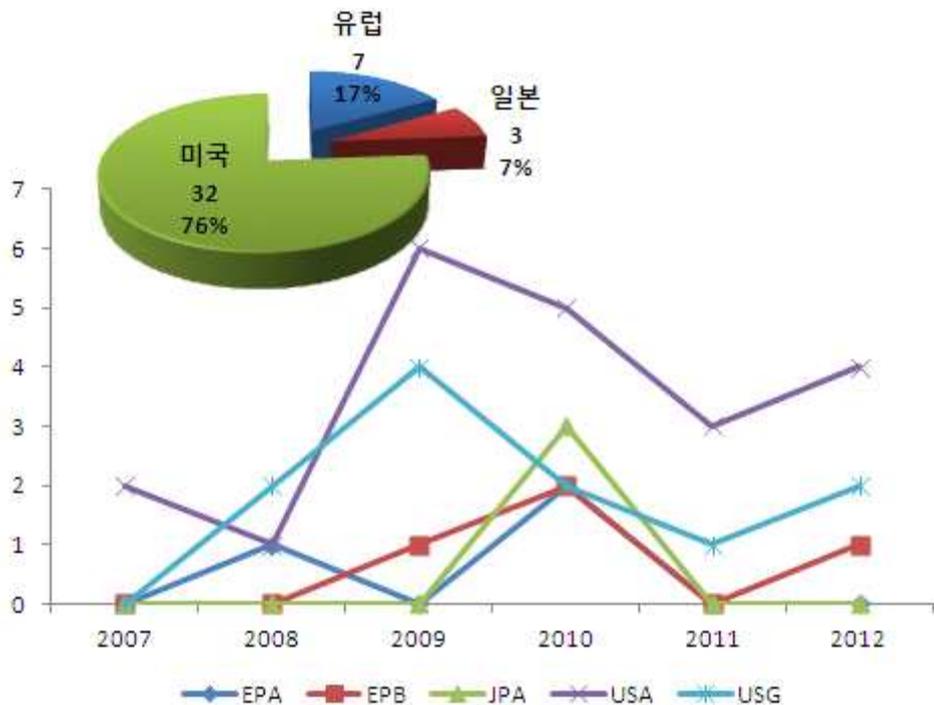
- 환경 사업에 있어서, 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발 사업 특허동향
 - 전반적으로는 꾸준히 특허가 공개되고 있는 것으로 나타났으며, 2012년에도 특허가 지속적으로 공개되고 있는 것으로 보아 관련기술 시장이 점차 확대될 것으로 예측됨
 - 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발 기술 분야는 미국에서 56건(약 55%)으로 가장 활발하게 나타나고 있으며, 그 다음으로 일본은 26건(약 25%), 유럽은 20건(약 20%)의 특허가 공개되고 있는 것으로 나타남
 - 이와 같이, 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발 사업에 있어서, 미국에서의 점유율이 매우 높은 것으로 보아 미국 시장이 가장 활성화 되어 있는 것으로 보이며, 미국이 환경 사업에 있어서도 시장을 선도하고 있는 것으로 분석됨



[그림 8-16] 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발 특허동향

○ 환경 사업에 있어서, CO₂활용 촉매 개발 사업 특허동향

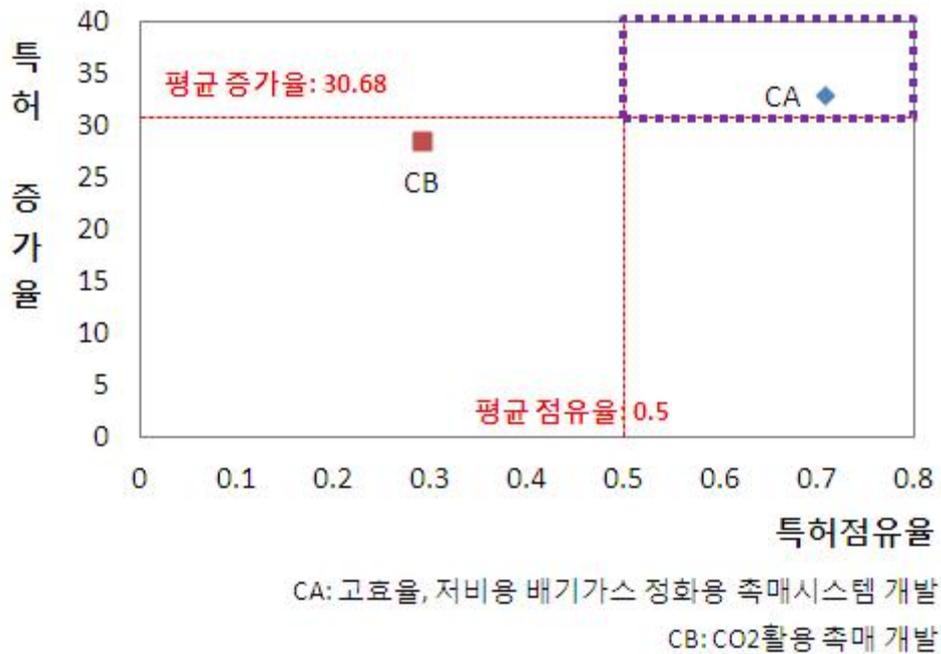
- 전반적으로는 꾸준히 특허가 공개되고 있는 것으로 나타났으며, 2012년에도 특허가 지속적으로 공개되고 있는 것으로 보아 관련기술 시장이 점차 확대될 것으로 예측됨
- CO₂활용 촉매 개발 기술 분야는 미국에서 32건(약 76%)으로 가장 활발하게 나타나고 있는 반면에 유럽에서는 7건(약 17%), 일본에서 3건(약 7%)에 불과한 것으로 나타남
- 이와 같이, CO₂활용 촉매 개발 사업에 있어서, 미국에서의 점유율이 매우 높은 것으로 보아 미국 시장이 가장 활성화 되어 있는 것으로 보이며, 미국이 환경 사업에 있어서도 시장을 선도하고 있는 것으로 분석됨



[그림 8-17] CO₂활용 촉매 개발 특허동향

○ 환경 사업에 있어서, 세부사업별 특허현황

- 환경 산업에 있어서, 세부사업을 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발 및 CO₂활용 촉매 개발로 구분하고, 각각의 세부사업별 점유율 및 2007년부터 2012년까지의 특허 증가율을 통해 특허 현황을 살펴봄
- 이와 같은 세부사업에 있어서는 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발 분야가 특허 점유율 및 특허 증가율이 모두 평균 이상을 보이고 있는 것으로 보아 최근에 가장 각광받고 있는 분야인 것으로 판단됨
- 그러나, 환경분야는 전반적으로 공개된 특허건수가 많지 않으며, 최근에 집중적으로 출원되고 있는 분야이기 때문에 특허 증가율이 매우 높은 것으로 분석됨



[그림 8-18] 환경 사업의 기술별 집중도

2.2. 기술개발 위험요인 및 성공가능성

□ 기술개발 위험요인의 사전검토

- 세부사업별 세부기술에 대한 국내외 관련기술 동향 및 수준분석 등을 통하여 추진 과정에서 발생할 수 있는 위험요인을 사전에 검토하여 대응방안을 마련

[표 8-10] 세부사업별 기술개발 대응방안

세부사업	위험요인	대응방안
고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> - 신촉매기술 공정적용시 라이선스 보유기술의 확보가 어려움에 의한 위험요소 발생 - 신촉매 양산공정 확보 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> - 촉매기술 개발과 동시에 공정기술 및 촉매양산기술을 병행하여 개발함으로써 통합적 독자촉매공정 기술 확보
저탄소화합물(C1~6) 전환기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 저탄소 전환에 의한 원료 및 연료생산 단가대비 기존단가가 낮을 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> - 단순한 전환반응이아니라 기존 제품과는 성능차별성이 있는 제품개발 목표로 촉매시스템 설계
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 중질유분 고도화 촉매의 불순물에 의한 비활성화로 수명 단축 	<ul style="list-style-type: none"> - 신개념의 담체 및 촉매설계로 고수명 촉매 개발 - 중질유분 고도화 공정의 혁신
비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	<ul style="list-style-type: none"> - 선진사의 새로운 비식용작물 기술개발에 의한 원료 경쟁력 저하 - 원료 경작, 수집, 전처리의 차이에 의한 원료품질의 다양화 문제 	<ul style="list-style-type: none"> - 원료물질 재배를 위한 종자개발로부터 석유화학 제품생산까지 전과정에 대한 과제기획 및 추진
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 안정한 물질의 변환에 필요한 에너지로 인한 제조원가가 상승하여 기존제품 대비 경쟁력 저하 	<ul style="list-style-type: none"> - 신재생에너지 등 저탄소 에너지원의 활용 및 고성능 촉매, 신공정을 융복합함으로써 제조원가 낮춤
반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> - 대량생산을 위한 scale-up의 어려움 때문에 상업적 공정 확보 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> - 광의 효율적인 공급을 위한 디스플레이, 조명, 반도체 등 타산업의 기술 융합
차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 습도, 온도, 오염물질 등 외부환경 변화인자에 의한 전지효율의 경시변화 	<ul style="list-style-type: none"> - ICT와 접목하여 센싱, 피드백, 작동 최적화가 가능한 백그라운드 기술 병행 개발
고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 귀금속 촉매사용시 기존 촉매와의 제조원가 경쟁력 저하 - 기존 촉매시스템의 고부가에 한계성 존재 	<ul style="list-style-type: none"> - 귀금속을 사용하지 않는 촉매설계 및 회수기술개발 - 배기가스 능동처리 컨셉의 촉매시스템 개발
CO ₂ 활용 촉매 개발	<ul style="list-style-type: none"> - CO₂를 전환하는데 투입되는 에너지에 의한 저탄소 효과를 상쇄하는 문제 	<ul style="list-style-type: none"> - Mg사이클 에너지, 솔라사이클 에너지 등 저탄소에너지 사용에 의한 신공정 개발

□ 세부사업별 기술수준 분석

○ 분석방법

- 기술동향 조사분석시 구축한 특허폴을 바탕으로 해당 분야별 주요 국가의 기술수준 분석을 위한 영역을 도출
- 기술영역은 각 분야별로 연관성이 높은 국제특허분류(International Patent Classification) 코드를 5개씩 선정
- 해당 기술영역에서 주요국(미국, 일본, 독일)의 미국특허출원수를 활용하여 각국의 특허점유율을 상대적으로 비교
- 분석범위는 '01년 이후 미국출원특허를 대상으로 하였으며 미국 특허청 DB를 활용하여 분석을 실시

[표 8-11] 세부사업별 기술수준 분석을 위해 도출된 IPC 코드

사업	IPC 코드	기술 내용
고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	C08F-004/6592	결합에 관계없이, 적어도 1개의 시크로펜타디에닐환을 포함하는 것, 예.인데닐 환 또는 플루오레닐환
	C08F-010/00	단 하나의 탄소-탄소 이중 결합을 가지고 있는 불포화 지방족 탄화수소의 호 모 중합체 또는 공중합체
	C07F-017/00	메탈로센(Metallocenes)
	C08F-004/02	중합 촉매를 위한 담체
	C08F-004/64	티탄, 지르코늄, 하프늄 또는 그들의 화합물
저탄소화합물 (C1~6)전환기술 개발	C08F-004/6592	결합에 관계없이, 적어도 1개의 시크로펜타디에닐환을 포함하는 것, 예.인데닐 환 또는 플루오레닐환
	C08F-010/00	단 하나의 탄소-탄소 이중 결합을 가지고 있는 불포화 지방족 탄화수소의 호 모 중합체 또는 공중합체
	C07F-017/00	메탈로센(Metallocenes)
	C08F-004/02	중합 촉매를 위한 담체
	C08F-004/64	티탄, 지르코늄, 하프늄 또는 그들의 화합물
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	C07F-017/00	메탈로센(Metallocenes)
	C07C-001/00	어느 것이나 탄화수소가 아닌 1개 이상의 화합물로부터 탄화수소의 제조
	C08F-004/6592	결합에 관계없이, 적어도 1개의 시크로펜타디에닐환을 포함하는 것, 예.인데닐 환 또는 플루오레닐환
	C08C-019/02	수소화
	C07C-001/20	헤테로 원자로 산소 원자만을 함유하는 유기 화합물을 원료로 하는 것
비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	C08C-019/02	수소화
	C08F-004/42	금속; 금속 수소화물; 유기 금속 화합물; 그들의 촉매 전구체로서의 사용
	C08L-051/00	그래프트 성분이 탄소-탄소 불포화 결합만이 관여하는 반응으로 얻어지는 그래프트 고분자의 조성물 및 그런 고분자 유도체의 조성물
	C08F-004/22	크롬, 몰리브덴 또는 텅스텐의 중합촉매
	C08F-008/00	후처리에 의한 화학적 변성(그래프트고분자, 블록고분자, 불포화단량체 또는 고분자를 사용하는 가교)

[표 8-12] 세부사업별 기술수준 분석을 위해 도출된 IPC 코드

사업	IPC 코드	기술 내용
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	B60L-001/00	전기 추진차량의 보조장치에 전력공급(차량용 신호 또는 조명장치, 또는 그의 탑재 또는 지지 또는 그의 회로 배치 일반
	B60H-001/00	난방, 냉방 또는 환기장치(다른 공기처리수단에 의한 난방, 냉방 또는 환기장치, 다른 처리가 관련하여 있는 것
	H01M-008/04	연료전지; 그의 제조에 있어서, 보조적인 장치 또는 방법, 예. 압력제어를 위한 것, 유체순환을 위한 것
	H02J-007/00	축전지의 충전 또는 감극 또는 축전지로부터 부하에의 전력급전을 위한 회로장치
	B60K-001/00	차량의 추진장치의 배치 또는 설치
반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	H01M-008/06	반응물질의 제조 및 잔여물의 처리를 위한 수단과 연료전지와와의 결합
	H01M-008/04	연료전지; 그의 제조에 있어서, 보조적인 장치 또는 방법, 예. 압력제어를 위한 것, 유체순환을 위한 것
	C01B-003/38	수소; 수소를 함유하는 혼합 기체; 수소를 함유하는 혼합물로부터의 그의 분리; 수소의 정제함에 있어서 촉매를 사용하는 것
	C01B-003/08	수소; 수소를 함유하는 혼합 기체; 수소를 함유하는 혼합물로부터의 그의 분리; 수소의 정제함에 있어서 금속에 의한 것
	H01M-008/18	재생형 연료전지
차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	H01M-012/06	금속전극과 기체전극이 있는 것
	H01M-012/08	연료전지형식의 반전지와 2차전지형식의 반전지 로서 되는 것(수리 또는 보수를 위한 방법 또는 장치, 예. 충전을 위한 것
	H01M-008/22	탄소, 산소 또는 수소와 이것들 이외의 원소로서 되는 물질을 연료로서 사용하는 연료전지; 탄소, 산소 및 수소 이외의 원소로만 되는 물질을 연료로서 사용하는 연료전지
	H01M-002/16	발전요소 이외의 부분의 구조의 세부 또는 그의 제조방법에서 재질에 특징이 있는 것
	H01M-004/90	촉매 물질의 선택
고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	H01M-004/90	촉매 물질의 선택
	H01M-008/10	고체전해질이 있는 연료전지
	F01N-003/00	배기의 청정, 무해화 또는 다른 처리를 하는 수단을 가진 배기 혹은 소음장치(전기적 제어 9/00; 배기 처리장치를 위한 감시 또는 진단장치 11/00)
	B01D-050/00	증기의 응축; 응축에 의한 휘발성용제의 회수
	H01M-004/86	촉매에 활성화된 비활성전극, 예. 연료전지를 위한 것
CO ₂ 활용 촉매 개발	B01L-003/00	실험용용기또는접시,예.실험용글라스기구(병(bottles)
	C07C-031/22	3가 알코올, 예. 글리세롤
	F01N-003/20	특히 촉매에 의하는 변환에 적용되는 것
	G01N-027/447	전기영동을 이용하는 것
	B01D 15/04	흡착제로서 이온 교환제를 이용하는 것

○ 분석결과

- 미국출원특허점유율을 활용하여 기술수준을 비교해본 결과, 6개 세부사업 모두 미국 및 일본이 보유하고 있는 수준에 미치지 못하고 있으며 향후 기술사업화를 추진할시 전략적인 특허 포트폴리오를 통한 산업적 권리 확보 필요
- 한국이 보유하고 있는 미국출원특허수를 살펴보면, 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 세부사업 관련 특허가 46건으로 가장 많고, CO₂활용 촉매 개발 세부사업 관련 특허는 존재하지 않는 것으로 나타남

[표 8-13] 주요국가의 미국출원특허수

세부사업	미국	일본	독일	한국
고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	133	28	23	20
저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발	164	56	34	27
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	282	28	44	19
비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	125	20	31	2
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	95	3	12	3
반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	101	106	2	46
차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	206	25	17	17
고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	26	9	3	8
CO ₂ 활용 촉매 개발	16	2	2	-

- 미국보유 출원특허를 기준으로 한국의 보유수준을 비교해보면 전반적으로 기술격차가 높으나 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발과 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발 부문에서는 상대적으로 격차가 낮음
- 그러나 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 부문에서는 일본이 미국을 앞서고 있어 세계최고수준과의 격차가 높음
- 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발, 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발, 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발, 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조, 환경가스를 활용한 자동차 연료

제조 기술, 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발, 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발 부문에서는 미국의 기술력이 선도적이나 국내와 일본 및 독일과의 격차는 크지 않음

[표 8-14] 미국보유 출원특허수 대비 각국의 보유수준

세부사업	일본	독일	한국
고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	21.1	17.3	15.0
저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발	34.1	20.7	16.5
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	9.9	15.6	6.7
비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	16.0	24.8	1.6
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	3.2	12.6	3.2
반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	105.0	2.0	45.5
차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	12.1	8.3	8.3
고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	34.6	11.5	30.8
CO ₂ 활용 촉매 개발	12.5	12.5	-

주) 미국의 출원특허수를 100으로 하여 비교

- 피인용도가 높은 주요 특허를 검토해본 결과, 본 사업을 통해 확보하고자 하는 원천특허와 연관성이 낮으며, 사업의 1단계 목표인 원천기술 확보가 가능할 것으로 판단

[표 8-15] 세부사업별 피인용수가 높은 특허에 대한 검토

세부사업	특허명	구분	출원인	피인용수
고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	Multiple catalyst system for olefin polymerization and polymers produced therefrom	USG	Exxon Mobil Chemical Patents	41
검토의견	올레핀 중합체를 제조하는 연속식 방법에 관한 것이나, C2 내지 C40 올레핀이 C3 내지 C40 알파-올레핀을 이용하고 있어 위험요인으로 판단할 수 없음			
저탄소화합물(C1~6) 전환기술 개발	Multiple catalyst and reactor system for olefin polymerization and polymers produced therefrom	USG	Exxon Mobil Chemical Patents	35

세부사업	특허명	구분	출원인	피인용수
검토의견	메탈로센 촉매를 사용하는 특허이나, C2 내지 C40 올레핀이 C3 내지 C40 알파-올레핀을 이용하고 있어 위험요인으로 판단할 수 없음			
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	Methods of cracking a crude product to produce additional crude products	USG	Shell Oil Company	95
검토의견	알킬화 탄화수소를 생성하는 방법에 관한 것으로 본 과제와 직접적인 관계가 없음			
비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	Blend functionalized polyolefin adhesive	USG	Exxon Mobil Chemical Patents	29
검토의견	올레핀 중합용 다중 촉매 시스템 및 이로부터 제조된중합체에 관한 것이나, 올레핀의 종류에 있어 차이가 있기에 위험요인으로 판단할 수 없음			
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	Power source, charging system, and inductive receiver for mobile devices	USG	Mojo Mobility, Inc.	28
검토의견	휴대용 유도형 전력소스에 관한 것으로 환경가스를 활용하여 자동차 연료 제조하는 본 과제와 직접적인 관계가 없음			
반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	Hybrid generation with alternative fuel sources	USG	Los Angeles Advisory Services	22
검토의견	질소, 탄화수소, 이산화탄소 그리고 미립자의 옥사이드의 방출을 감소시키는 것에 관한 것으로 반도체 촉매를 사용하는 본 과제와 직접적인 관계가 없음			
차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	Operating an infusion pump system	USG	Asante Solutions, Inc.	44
검토의견	주입펌프 시스템으로부터 유체를 분배하는 것으로 본 과제와 직접적인 관계가 없음			
고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	Nonwoven composites and related products and processes	USG	GEO2 Technologies, Inc	47
검토의견	세라믹 디젤 배기 필터에 관한 것으로 후처리 장치에 있어서의 촉매시스템과는 일부 차이가 있어 위험요인으로 판단할 수 없음			
CO ₂ 활용 촉매 개발	Antibody purification	USG	Abbott Biotechnology Ltd.	12
검토의견	이온 교환 물질로 처리하는 이온 교환 분리 단계를 포함하고 있으나, 항체 정제 장치에 관한 것으로 본 과제와 직접적인 관계가 없음			

□ 기술개발 성공가능성 검토

○ 검토방법

- 세부사업별 관련 기술분야에서 연구를 수행하고 있는 주체들의 경쟁 강도를 파악하는 한편, 각국별로 해당 기술분야에 기술혁신 역량 제고를 위해 노력하고 있는 집중도를 분석
- 기술집중력 지수(Concentration Ratio n) 및 허핀달 지수(Herfindahl Index)를 활용하여 해당 과제 분야에서 기술력을 보유하고 있는 주체들 간의 경쟁강도를 파악하여 향후 6개의 대표 주력산업으로 개발할 수 있을 것인가에 대한 가능성을 점검
 - 집중력지수는(CRn)은 원래 독과점 수준을 평가하기 위해 사용되는 지표로서 이를 특정 산업부문에서의 기술 독과점 수준³⁷⁾을 파악하는데 활용하여 기술경쟁의 강도를 파악 가능

$$CRn = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N} \times 100 \right)$$

(S_i는 i사의 특허점유율, N_i는 i사의 특허건수, N은 전체 특허건수)

- 일반적으로 CR₄ = 40% 정도이면 경쟁적 시장, CR₄ ≥ 90% 이상이면 독점적 시장으로 판단가능³⁸⁾

- CRn은 특허 보유 상위 n개의 기업수가 보유한 특허 점유율 임
- CR₄ = 40%는 상위 4개 기업이 전체 특허의 40%를 보유한 경쟁 시장
- CR₄ ≥ 90%는 상위 4개 기업이 전체 특허의 90%를 보유한 독점적 시장

- 허핀달지수(HHI)도 CRn 지수와 같이 특허점유율이라는 간단한 지표를 사용하여 기술 독과점 현황과 기술경쟁 환경에 대한 정보를 제공해주지만 CRn이 보여주지 못하는 기술의 집중상황에 대한 정보 제공

$$HHI = \sum_{i=1}^m S_i^2 = \sum_{i=1}^m \left(\frac{N_i}{N} \times 100 \right)^2$$

(S_i는 i사의 특허점유율, m은 산업부문의 전체 기업 수, N_i는 i사의 특허건수, N은 전체 특허건수)

37) F.malerba and I. orsenigo (1996), Schumpeterian patterns of Innovation are Technology-Specific에서 특허데이터를 활용한 C4지수를 기술집중 현황을 보여주는 지표로 활용

38) W. G. Shepherd(1987), Concentration Ratios. In John Eatwell et al., eds. The New Palgrave - A Dictionary of Economics, London, MacMillan. ; F. M. Schere and D. Ross(1990), Industrial market Structure and Economic Performance, Third Edition, Boston, MA, Houghton Mifflin. (CR4 값, 40이하 : 경쟁시장, 40~60 : 최적 경쟁시장, 90이상 : 독과점시장)

- HHI는 관련 산업 내 전체 기업이 보유한 특허 분산도로 최소·최대값 100~10,000의 범위 값을 가짐
- 1개 기업이 관련 산업의 전체 특허 보유시 HHI는 10,000 으로 기술 독점 상황
- 100개 기업이 각각 1개의 특허를 동일하게 보유시 HHI는 100 으로 기업별 기술력이 분산됨을 의미

• 일반적으로 HHI가 100~1,000 정도이면 집중도가 거의 없는 시장, 1,000~1,800이면 경쟁적 시장, 1,800~4,000이면 과점적 시장, 4,000 이상이면 독점적 시장으로 판단 가능³⁹⁾

- 현시기술우위지수(Revealed Technological Advantage) 및 현시특허우위지수(Revealed Patent Advantage)를 활용하여 세부사업별로 4개국의 기술혁신활동을 비교

• RTA는 기술특허 현황의 파악을 위해 가장 많이 사용되는 지수 중 하나로서 한 국가가 다른 국가와 비교하여 상대적으로 어떠한 기술분야의 기술혁신 활동에 집중하고 있는가에 대한 정보를 제공

$$RTA = \frac{(P_{ij} / \sum_i P_{ij})}{(\sum_j P_{ij} / \sum_i \sum_j P_{ij})} \quad (P_{ij} \text{는 } i \text{ 분야에 대한 } j \text{의 특허 수})$$

- RTA=1 : 대상국가에서 특정 기술분야 차지하는 비율이 전체 기술분야에서 해당 기술분야가 차지하는 평균적 비율과 같다는 의미로서 특정 기술분야에 집중하는 정도가 전체 산업계의 평균적인 수준
- RTA<1 : 대상 국가가 해당 기술분야에 상대적으로 덜 집중하고 있는 경우
- RTA>1 : 대상 국가가 해당 기술분야의 평균적인 수준 이상으로 집중하고 있는 경우이며, 값이 클수록 특정 기술분야 특화된 정도가 높음

39) 한국경제를 읽는 7가지 코드 (2005, 최승희, 101p) : HHI가 1,000이하면 시장집중도가 낮으며, 1,800이상이면 시장집중도가 높으며, 1,000~1,800이하면 다소 시장이 집중된 것으로 여김, 우리나라 제조업은 평균 2,467 ('98~01년)로 국내 시장 집중도가 높은 편

※ HHI 유럽 예 : Concentration Indices and Market Shares in the EU Horizontal Merger Guidelines (European Commission, DG Competition, <http://www.usdoj.gov/atr/public/workshops/docs/202601b.htm>) ① HHI < 1,000 (such cases normally do not require extensive analysis), ② 1,000 < HHI < 2,000, ③ HHI > 2,000

※ HHI 미국 예 : Horizontal merger guidelines, (department of justice and the federal trade commission, http://www.usdoj.gov/atr/public/guidelines/horiz_book/15.html) ① HHI < 1000 (해당시장에 집중 현상이 존재하지 않음), ② 1000 < HHI < 1800 (다소 집중현상), ③ HHI > 1,800 (집중현상)

- RPA는 RTA와 마찬가지로 특정 기술분야에 대한 집중도 또는 특화 현황을 보여주는 지표로서 RTA 지수의 비대칭성(Skewness)을 극복하고 정규성(normality)를 확보하기 위해 고안된 지수

$$RPA = 100 \ln RTA$$

$$RPA_h = 100 \tanh \frac{RPA}{100} = 100 \frac{(RTA^2 - 1)}{(RTA^2 + 1)}$$

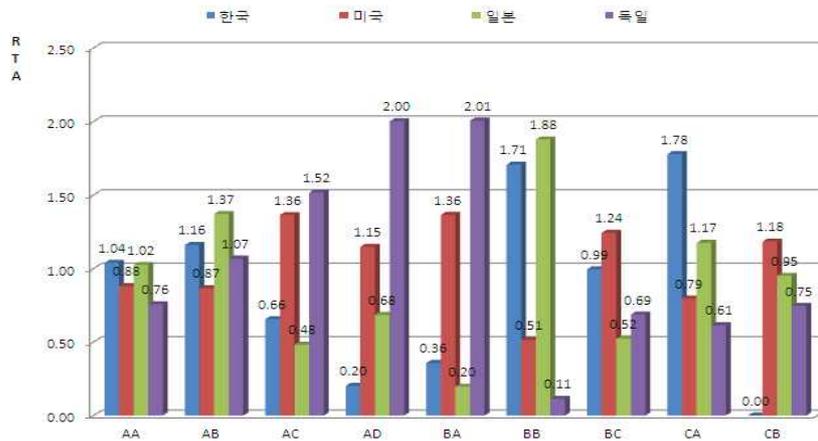
○ 검토결과

- 9개 세부사업의 CR4 값은 13~57%로, 각 분야 상위 4개 기업의 특허 점유율이 높지 않으나, 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 및 CO₂활용 촉매 개발 분야는 일부 독·과점 현상을 보임
- 9개 세부사업별 HHI 지수는 311.4~3265.3으로, 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 및 CO₂활용 촉매 개발 분야는 독과점 형태가 높으나, 그 외에는 비교적 낮음
- 선택과 집중을 통한 효과/효율적인 기술개발을 통해 신시장 창출을 위한 원천기술 확보 기회가 존재

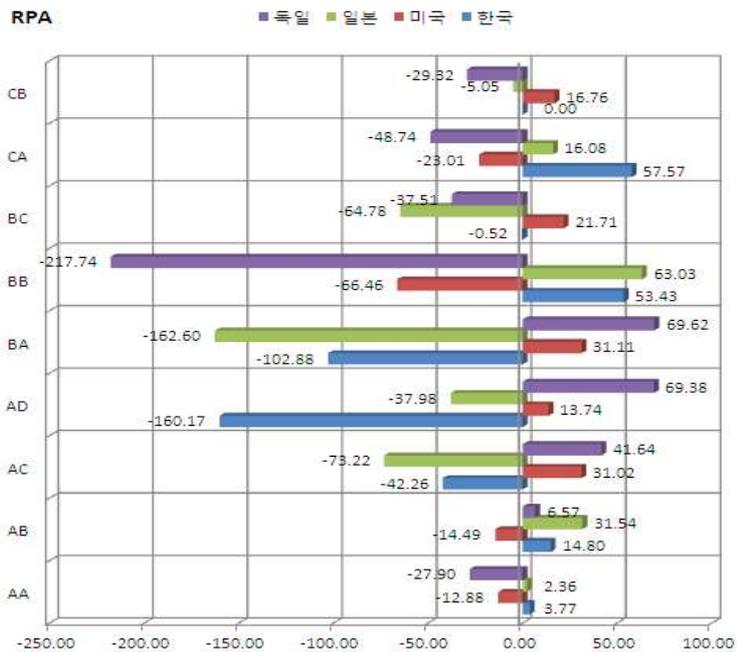
[표 8-16] 세부사업별 기술 독과점 수준

		CRn (n=4)	HHI
낮은 기술 경쟁 및 비 독점 기술의 기준 값	코드	40% 이하	1,000이하
고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	AA	28.09%	788.82
저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발	AB	30.54%	932.68
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	AC	26.88%	722.46
비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	AD	13.06%	170.45
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	BA	33.99%	1155.33
반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	BB	40.96%	1677.32
차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	BC	21.76%	473.28
고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	CA	17.65%	311.42
CO ₂ 활용 촉매 개발	CB	57.14%	3265.31

- RTA 결과로 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발 및 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발 분야의 한국 기술집중도는 미국, 일본, 독일보다 높은 수준인 것으로 나타났음
- 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발 관련 기술분야에서의 기술혁신 집중도는 낮은 수준이나 미국을 제외한 국가와는 그 수준이 유사하거나 부분적으로 높아 전략적으로 기술개발을 추진 할 경우 기술경쟁력 확보 가능



[그림 8-19] 세부사업별 기술분야의 주요국 RTA값 비교



[그림 8-20] 세부사업별 관련 기술분야의 주요국 RPA값 비교

3. 기존 기술 및 사업과의 중복성

3.1. 기존 연구개발 사업과의 중복성 검토

□ 차세대 촉매 기술개발사업의 중복성 검토

- '09년~'11년 정부연구개발사업 6개 사업을 대상으로 연구수행주체, 경제사회목적, 개발 단계, 연구개발기간, 정부투자규모 측면에서 차세대 촉매기술개발사업과 유사한 사업을 1차 필터링하여 4개 사업을 선별
 - 연구수행주체 : 사업단 및 산업체 중심의 산학연 협력사업인지 확인
 - 경제사회목적 : 산업생산 및 기술, 에너지의 생산, 배분 등을 주목적으로 하는지 확인
 - 개발단계 : 기초/응용/개발단계의 연구가 종합적으로 이루어지는지 확인
 - 연구개발기간 : 총 연구기간이 5~7년으로 계획되어 있는지 확인
 - 정부투자규모 : 조기사업형 R&D사업인지 확인
- 4개 사업에 대해 차세대 촉매기술개발사업의 주요특징과 비교 실시

[표 8-17] 2차 중복성 검토 대상사업 개요

구분		내용
나노소재 기술개발	지원분야	나노·소재원천기술 개발분야, 나노인프라분야
	연구수행주체	기업, 대학, 연구소, 기타 등
	지원목적	연구개발
	연구개발단계	기초(55%), 응용(13%), 개발(7%), 기타(25%)
	연구개발기간	3년~5년 지원
	'11년도 정부투자규모	264억원
	사업목적	나노·소재분야의 창조적 신기술 선점 및 국가 성장 동력 확충을 위해 나노기술 가시화 토대 마련

구분		내용
산업소재 원천 기술개발	지원분야	7대 신산업분야, 8대 주력산업분야, 5대 정보통신 분야
	연구수행주체	기업, 대학, 연구소, 기타 등
	지원목적	산업기술개발, 기반구축
	연구개발단계	기초(10%), 응용(17%), 개발(61%) , 기타(12%)
	연구개발기간	과제별 특성에 따라 3~5년 지원
	'11년도 정부투자규모	742억원
	사업목적	국가 성장전략에 기반한 전략기술 분야의 핵심원천기술 개발지원을 통해 주력기간산업의 경쟁력 제고 및 미래신산업 육성
부품소재 산업 경쟁력 향상	지원분야	이공계 전분야
	연구수행주체	대학, 연구소, 기업
	지원목적	연구개발, 산업기술개발
	연구개발단계	기초(15%), 응용(16%), 개발(60%) , 기타(9%)
	연구개발기간	3년~5년 지원
	'11년도 정부투자규모	413억원
	사업목적	세계 최고 수준의 10대 핵심소재 개발
슈퍼소재 융합부품 산업화	지원분야	미래시장 선점 및 기술·경제적 파급효과가 큰 품목
	연구수행주체	대학, 연구소, 기업, 기타
	지원목적	섬유산업의 지속적 성장과 선진국형 전환 위해 슈퍼소재 신기술 및 융합제품 기술개발
	연구개발단계	기초(21%), 응용(27%), 개발(49%) , 기타(3%)
	연구개발기간	5년 이내
	'11년 정부투자규모	128억원
	사업목적	섬유산업의 지속적 성장과 선진국형 전환 위해 슈퍼소재 신기술 및 융합제품 기술개발

[표 8-18] 유사사업 검토내용

구분	차세대축매 기술 개발사업	나노소재 기술개발	산업소재원천 기술개발	부품소재 산업경쟁력 향상 (소재원천)	슈퍼소재융합 제품산업화	
사업 목적 및 내용	성장 동력 확보	청정에너지생태계 선점 및 신시장창출	나노·소재분야의 창조적 신기술 선점 나노기술 가시화	주력기간 산업경쟁력 제고 및 신산업육성	금속, 화학, 세라믹, 섬유 4대 소재분야	아라미드 섬유, 초고분자 PE섬유 소재분야
	원천 기술 확보	9개 분야 원천응용 및 사업화	나노·소재분야 신기술 선점과 원천기술 확보	11대산업 원천기술 분야	10대 핵심 소재개발	슈퍼소재 신기술 및 융합제품 기술개발
	사업화 추진	축매분야 9개 주력 신제품 창출	원천기술의 개발 및 인프라 활용	일반형 (R&D중심), 통합형/병렬형 (사업화연계)	'18년 세계 시장점유율 30%이상 달성가능 소재개발	미래 고부가가치 산업 발굴 및 집중 육성 위한 신성장동력 기술개발
	축매 개발 범위	축매소재·공정 시스템 동시개발 (차세대 축매 제품개발)	축매용 나노 소재개발 (고기능 담체)	축매용 소재개발 (축매용 담체)	기존축매의 국산화 및 개선기술 개발	소재제조용 축매기술
사업 추진체계 및 추진 방식	단계별 지원 체계	2단계 (원천응용 +사업화)	2단계지원 (3+2)	2~3단계 지원	3단계 지원	단기/중기 지원
	기획	사업단 선정 후 결과 평가하여 사업자 확정	과제기획 및 공고 후 선정평가	연구기획 과제/기관 선정후, 결과 평가하여 과제공고	사업단 선정시 경쟁	과제기획/지원 과제선정 후, 결과 평가하여 사업자확정
	책임 관리제	PD책임 관리제	사업자중심	총괄주관 기관중심	사업단 중심	사업자 중심

- 사업중복성 검토 결과, 미래유망 신산업을 육성하기 위해 핵심원천기술을 개발하는 한편, 이를 사업화와 연계시키기 위한 사업목적 및 내용 측면에서는 유사한 사업이 존재하지만 추진목표를 제품/공정 동시 개발로 명확히 하고 있는 사업은 없음
- 사업을 효과적으로 수행하기 위한 단계별 지원체계 및 경쟁체제는 도입하고 있으나 연구기획 단계부터 경쟁을 촉진하고 PD의 책임과 권한을 강화하여 소재 및 공정 공동개발을 통한 원천·응용개발 단계를 연계 지원함으로써 사업화를 추진하는 것은 매우 차별적 사업 방식

3.2. 기존 연구개발 과제와의 중복성 검토

□ 타 연구개발사업 세부과제와의 중복성 검토

- 9개 세부사업별로 과제검색을 위한 키워드를 선별한 뒤, NTIS DB 검색서비스를 활용하여 '09년에서 '11년도까지 수행된 유사과제를 도출 및 분석

[표 8-19] 세부사업별 과제검색 키워드

사업	검색키워드
1. 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 기술개발	촉매, 조촉매, 고분자 중합, 알루미늄, 수화반응, 비철금속 촉매, 메탈로센, LLDPE, POE, POP, EPDM
2. 저탄소화합물(C1~6) 전환기술 개발	촉매, 조촉매, 중합, 윤활유, 합성기유, 알파올레핀, 균일계, 이량화, 삼량화, 사량화, 메탈로센, 전이금속, 배위결합
3. 석유화학 저급 중질 유분 고도화 기술 개발	촉매, Light Naphtha, MEG(mono ethylene glycol), 부생/합성가스, 부타다이엔, 중질유, Cracking, 연료유, 합성기유, 대체원료
4. 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	촉매, 효소, 비식용, 바이오매스, 글리세린, Levulinic acid, 대체원료, 수소 free, 탈산소, 탈수, 아크릴산, 아크롤레인
5. 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	Associated Gas, Biogas, Modular, Yolk-Shell, Core-Shell, Coating, Metallic, Steam Methane Reforming, Fischer-Tropsch, Synthetic Oil

사업	검색키워드
6. 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	반도체, 반도체 촉매, 차세대 연료, 차세대 연료 생산
7. 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	금속, 금속 공기전지, 공기전지, 고효율 촉매
8. 고효율 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	고효율, 저비용, 배기가스 정화용 촉매, 배기가스 정화용 촉매시스템, 연료직접이용, 배기가스, SCR 기술, 탄화수소 흡착, 4-way, 일체형 촉매, 비백금/초저백금계 저온산화 촉매
9. CO ₂ 활용 촉매 개발	CO ₂ , CO ₂ 활용 촉매, 중고온용(100도 이상) 신규 흡착, 촉매 소재 개발, 고분자 합성 촉매

- 키워드 검색결과 중복과제를 포함하여 대량의 과제가 검색되므로, 앞서 정리한 유사사업 4개를 대상으로 총 497개의 과제가 검색되었으며, 이중 촉매 상용화 및 촉매 제품 연구가 실제 가능한 5억원 이상의 과제만 1차 필터링하여 213개 과제를 선정
- 2차 필터링에서는 사업명 및 과제명을 중심으로 검토를 실시하고 연구내용이 비공개인 과제를 추가로 제외하여 최종적으로 142개 과제에 대해 세부적인 검토를 실시

[그림 8-21] 과제 검색 → 1차 필터링 → 2차 필터링 → 추가 조사

[표 8-20] 1, 2차 필터링 후 중복성 검토대상 과제수

세부사업	'09년 ~ '11년 과제		
	검색된 과제수	1차 Filtering 후 과제수	2차 Filtering 후 과제수
1. 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 기술개발	81	38	22
2. 저탄소화합물(C1~6)전환기술 개발	77	30	23
3. 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	48	17	12
4. 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	56	20	15
5. 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	81	27	21
6. 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	45	23	15
7. 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	74	40	23
8. 고효율,저비용 배기가스 정화용 촉매 시스템 개발	32	18	11
9. CO ₂ 활용 촉매 개발	3	0	0
합계	497	213	142

- 세부사업별로 유사과제의 연구내용을 검토하여 기술 및 목표(시장)의 중복성을 확인하고 향후 차별화 또는 연계 전략을 수립
 - 검토결과, 기술적인 중복성이 있는 과제는 없으며, 일부 과제는 기술개발을 위한 세부 구성 기술로서 유사 기술범위가 있으나 기초연구 단계 또는 기술개발을 위한 일반적 활용 기술로서 개발내용 중복은 없음
 - 목표시장에 대한 중복성이 있는 과제는 일부 있으나 이는 산업분류 수준에서의 광범위한 시장이 동일하거나 유사한 경우로서 목표시장을 세분화 할 경우 중복성 없음
 - 세부 구성 기술 중 기술개념 정립 및 기본원리 발굴 등의 기초 연구 단계의 유사 기술에 대해서는 본 과제에서 개발하지 않고, 성과물의 연계 활용을 통한 후속기술 개발로 중복투자 방지
 - 세부 구성 기술 중 기술 수준 및 사양, 기술 활용 범위가 본 사업에 연계 할 수 없는 유사 기술은 대형성과 창출이 가능한 차별화된 개발 범위 및 개발 단계의 목표를 수립하여 중복투자 방지

4. 기술적 분석 소결

- 세부사업별 개발 필요기술의 기술단계와 수준과약을 통해 기술개발 목표 및 계획을 수립하여 성공가능성이 높은 것으로 판단됨
- 세부사업별 목표기술과 해당기술이 응용 및 활용되는 제품 및 시장을 명확히 제시하고 있어 사업화 연계 가능성이 높은 것으로 판단됨
- 소재-공정 공동개발 전략이 적절하고 사업 참여 주체별 역할을 명확히 하고 있어 이를 바탕으로 한 세부사업별 기술개발 계획이 적절하게 구성되었음
- 특허분석(동향분석, 사업별 기술 집중도 분석, 기술독과점 수준 분석 등)을 바탕으로 기술개발의 사전 위험요인을 검토하고 대응방안을 마련하였음
- 동 사업은 세부사업별 기술수준 및 경쟁력 분석 등을 바탕으로 기술개발 성공가능성을 사전에 검토하였으며 이를 통해 세부추진 계획이 수립되어 충분한 기술적 타당성을 확보

IX

경제적 타당성 분석

1. 경제적 타당성 분석 수행 체계
2. 경제적 타당성 분석 개요
3. 비용 분석
4. 편익 분석
5. 경제성 분석 소결

경제적 타당성 분석

1. 경제적 타당성 분석 수행 체계

1.1. 분석 목적

- 경제적 분석은 본 사업에서 수행하는 기술개발의 경제적 효과와 비용의 적절성 등을 종합적으로 조사·분석하는 것을 목적
- 사업 목표를 고려한 사업 전체 및 세부사업별 규모의 적절성을 분석하고 세부사업별 편익 규모의 적절성 검토 및 편익 규모를 고려한 경제성 확보 가능성을 분석

1.2. 분석 방법 및 내용

- 기술개발의 경제적 효과 분석은 세부사업별 기술개발이 성공적으로 종료되었을 때 얻을 수 있는 직접적 결과물의 성과를 기존 관련 자료 및 전문가 의견을 수렴하여 정량적 분석 실시
- 차세대 선도형 그린 촉매 연구 기술 개발 및 기반 구축사업의 경우 원천기술 확보부터 상용화를 위한 모든 기술개발 비용과 미래 시장 규모 및 점유율 예측을 통해 편익을 산정하고 정량적인 경제성 분석을 실시
- 비용 분석
 - 분석 대상사업의 총 사업비 산정 과정 및 기존에 추진된 정부 연구개발 사업 및 관련된 유사 과제들의 규모 및 기간을 NTIS DB 및 해외 유사 사례를 검토하여 규모의 적절성 분석
 - NTIS에서 검색된 기 추진 정부 연구개발 사업 중 유사 사업의 사

- 업비 규모, 정부 및 민간 부담 비중을 고려하여 기획보고서에서 제시한 총 사업비 및 세부사업비 규모에 대한 분석 수행
- 정부 R&D투자사업 중 동 사업 관련 18개의 유사사업 규모를 분석하여 동 사업의 투자 규모와 비교 분석하여 적절성 평가
 - 동 사업의 목표와 지원분야가 유사한 해외 사업 분석과 지식경제부의 지원 가능한 예산 범위를 분석하여 적정 규모 산정

□ 비용편익 분석

- 미래 시장규모 추정이 가능한 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치 증대의 시장접근법을 사용하여 비용편익 분석 수행
 - 각 세부사업별 시장 출시 시점에 달성하고자 하는 세계시장 점유율을 기점으로 동 사업에 의한 편익을 계산
 - 세부 사업별 시장규모에서 동 사업이 기여하는 편익을 도출하기 위하여 세계시장 전망보고서를 토대로 세계시장 규모를 전망하고, 매출액을 산출
 - 동 사업 추진으로 인한 부가가치 창출 비율을 도출하고자 세부사업별 부가가치율, R&D 기여도, 사업화 성공률을 도출
 - 사업점유효과는 세부사업별 유사 분야의 국가연구개발 투자비 중, 동 사업이 차지하는 비중을 도출하여 동 사업에 의한 직접적인 편익을 도출
 - 세부사업별 기술수명주기 분석을 통하여 편익 발생 기간을 산정하고 할인율은 KDI에서 '07년 7월 발표한 일반지침 상의 5.5%를 적용

2. 경제적 타당성 분석 개요

2.1. 분석항목

- '09년 예비타당성 운용지침'⁴⁰⁾ 제34조에 의거하여 비용-편익분석 (Cost-Benefit Analysis)을 기본적인 방법론으로 채택하여 분석
 - 사업 시행에 따른 수요를 추정하여 편익을 산정하고, 총사업비와 해당 사업의 운영에 필요한 모든 경비를 합하여 비용을 산정
 - B/C 비율이 1보다 클 경우 경제적 타당성이 있음을 의미

- 경제성 분석에서의 비용의 정의는 'R&D 투자비용 및 사업화에 수반된 모든 비용'을 의미하며, 동 사업 분석에서는 R&D 투자비용만을 적용
 - R&D 투자비용으로는 세부사업별 예산정보를 반영
 - '09년 예비타당성 운용지침' 제6조의 '총사업비' 해당 내역 반영
 - '사업 추진에 소요되는 모든 경비를 합한 금액'
 - 국가 부담분, 지방자치단체·공공기관 및 민간 부담분 등을 모두 포함
 - 동 조 ④항에서 국가연구개발사업의 총사업비는 인건비, 직접연구비(위탁연구비 포함), 간접비, 장비비 등으로 구성
 - 그 외 사업화 과정에 수반되는 비용은 포함하지 않음
 - 사업 전체의 예상 비용, 편익 대상들 중에서 R&D가 기여한 부분만을 산정하도록 하고, 사업화 관련 부분의 예측은 배제

- 편익 산출은 '미래 시장규모의 추정에 의한 편익 산출유형'을 채택하여 수행
 - 사업 추진의 예상매출액 및 부가가치 창출액으로부터 연구개발이 기여한 값을 추정

40) 2009. 4. 기획재정부. '10년도도 '09년 지침과 동일.

<편익추정의 유형>

- ① 편익의 형태가 시장재화이고, 관련된 미래 시장규모의 추정이 가능한 경우, 미래 시장 상황을 바탕으로 사업추진으로 인한 추가창출 부가가치액을 추정해볼 수 있다. 즉 시장규모, 시장점유율, 기술개발 성공률 등을 통해 기술개발을 통한 추가창출 생산액과 부가가치액의 기댓값을 산출하고 이 중 연구개발이 기여한 값을 추정하는 방식이다.
- ② 편익의 형태가 시장재화이나 관련된 미래 시장규모의 추정이 어렵고 사업이 다과제로 구성된 경우, 기존사업의 성과통계를 이용해 추가창출 부가가치액을 추정해볼 수 있다. 즉 기존의 유사사업·과제의 성공률 및 평균 생산액 등을 통해 추가창출 생산액의 기댓값과 부가가치액을 산출하고 이 중 연구개발이 기여한 값을 추정하는 방식이다.
- ③ 편익의 형태가 시장재화로서, 관련된 미래 시장규모의 추정이 어려우나 사업추진으로 인한 지식재산권 산출 규모의 추정이 가능한 경우, 지식재산권의 성과통계 등을 이용해 추가창출 부가가치액을 분석해볼 수 있다. 즉 기존 유사사업·과제의 특허산출량, 특허당 사업화 비율, 그리고 사업화특허당 평균생산액 등을 통해 추가창출 생산액과 부가가치액을 추정하고 이 중 연구개발이 기여한 값을 추정하는 방식이다.
- ④ 편익의 형태가 지식재산권 창출과 해외로의 기술이전을 통한 기술로열티인 경우, 유사사례를 바탕으로 예상되는 기술로열티를 분석할 수 있다. 기술로열티는 크게 고정로열티와 경상로열티로 구분할 수 있는데, 고정로열티는 기술개발성공률을 반영한 계약금 기댓값과 추가개발단계별 마일스톤 기댓값이 포함되고, 경상로열티는 사업화성공율과 경상로열티 비율을 반영해 추정할 수 있다.
- ⑤ 사업목표가 기술개발 자체가 아니고 연구력 향상 등을 목표로 하는 경우 연구력 제고효과에 대한 자료를 기반으로 편익(또는 파급효과)의 규모를 추정해볼 수 있다. 신규 연구시설 설립 및 기존시설의 이전·통합 등이 이에 해당한다.
- ⑤-1. 기존시설의 이전·통합에 따른 지식재산권 추가창출효과를 유사사례의 성과자료(연구비 대비 특허 증가수 등 이전·통합에 따른 연구개발 시너지 효과) 등을 바탕으로 추정한다. 이 후 과정은 유형 ③과 유사하다.
- ⑤-2. 신규시설 설립의 경우 연구력 제고효과 이외에 비용절감 등 해외시설 이용 대체효과 추정을 통해 편익을 분석할 수 있다. 즉 해외시설에 대한 국내 연구자의 이용현황과 여행비용, 시설이용비용 차액 등을 바탕으로 비용절감액을 추정할 수 있다.
- ⑥ 편익의 형태가 비용절감인 경우 미래비용과 현재비용의 차액을 추정함으로써 편익을 분석할 수 있다. 단 그 효과가 생산량 증가 등 양의 부가가치 창출의 형태로 추정될 경우 중복 산출하지 않도록 주의해야 한다.
- ⑥-1. 개발기술의 효과가 기존방식을 일부 효율화시키는 경우, 효율화 과정에 해당하는 현재비용을 산출함으로써 비용절감액을 추정할 수 있다.
- ⑥-2. 개발기술의 효과가 기존의 방식을 완전히 대체하는 경우 기존방식에 의한 비용(현재비용)과 신규방식에 의한 비용(미래비용)의 차액을 산출함으로써 비용절감액을 추정할 수 있다.

(출처) “국가연구개발사업 효과 분석 시스템 개발”, 박지영, KISTEP, 2009. 4.

2.2. 기본가정

- 분석기간은 '14년부터 최대 '30년까지의 기간으로 설정
 - 사업비를 지원하는 '14~'20년을 비용 발생 구간으로 설정
 - 세부사업별 성과가 사업 종료 후('21년)부터 일정 기간 동안 발생 할 것으로 가정하여 편익을 산출
 - 세부사업별로 개발기술·제품의 특성에 따라 각각 다른 기술수명값을 지정하고(6년~11년) 그 기간 중의 예상편익을 산출
 - 모든 세부사업의 편익은 기술개발 종료 1개년 경과 후('20년)부터 발생한다고 가정

- 연도별 비용, 편익 산출을 현재가치로 변환하여 합산 비교
 - (분석기준시점) '13년 기준으로 현재가치 산출
 - (할인율) 연구개발의 사회적 할인율 5.5%를 적용
 - 한국개발연구원의 「예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완: 사회적 할인율의 조정」('07) 기준을 따름

3. 비용 분석

3.1. 사업비 구성

- 동 사업은 '15년부터 '21년까지 총 2,140억원의 사업비를 지원 (정부 1,340억원, 민간 800억원)

[표 9-1] 기술개발사업 소요예산 산출근거

세부사업		단계	1단계			2단계				소계
			'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	
석유화학 촉매	고기능성 고분자촉매 및 정밀화학제품	10	10	31	34	74	90	95	344	
	저탄소화합물(C1~6) 전환기술개발	25	25	44	46	37	54	55	286	
	석유화학 저급 증질유분 고도화 기술	11	11	33	34	26	33	33	181	
	비식용 작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조 기술	68	68	25	31	26	40	40	298	
에너지 촉매	환경가스를 활용한 자동차 연료 제조기술	19	25	44	48	50	54	56	296	
	반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산기술	8	10	27	32	51	51	56	235	
	차세대 금속공기전지 고효율 촉매	8	8	15	17	19	21	24	112	
환경 촉매	고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템	23	25	32	32	25	26	31	194	
	CO ₂ 활용 촉매 개발	14	14	21	23	37	41	44	194	
합계(100%)		186	196	272	297	345	410	434	2,140	
국고		116	123	170	186	216	257	272	1340	
지방비		-	-	-	-	-	-	-	-	
민자		70	73	102	111	129	153	162	800	

- 연차별 소요예산을 '14년 기준으로 5.5%의 할인율을 적용하면 현재 재가치 금액 총 1,699.8억 원이 투입될 것으로 산정

[표 9-2] 할인율을 적용한 총 연구비 계산표

(단위: 억 원)

※ 각 연도 우측의 숫자는 당해년도 투자액을 나타냄
 ※ 각 행은 당해년도 기준으로 할인된 금액을 나타냄

						'21	259.8	
						'20	259.8	246.2
					'19	327.5	246.2	233.4
			'18	338.7	310.4	233.4	221.2	
		'17	300.4	321.0	294.2	221.2	209.7	
	'16	298.7	284.7	304.3	278.9	209.7	198.8	
'15	300.3	283.1	269.9	288.4	264.4	198.8	188.4	합계
'14	284.7	268.4	255.8	273.4	250.6	188.4	178.6	1699.8

3.2. 비용 산정 규모의 적정성

- 미래 신산업 창출 및 세계 수준의 기술경쟁력 확보를 견인할 수 있는 대표적 국가 R&D 사업이 필요
 - 미래 성장동력 창출을 위해 세계 각국에서 R&D 투자 증대 추세
 - 정부의 R&D 투자 확대 정책기조를 담을 수 있는 큰 그릇이 충분치 않은 상태이며, 미래사회의 과급성이 큰 분야의 기술개발 및 사업화 기반을 예비하는 중장기 국가전략사업이 필요
 - 기술경쟁력 육성을 위해 R&D 단위 사업·과제마다 대규모 투자를 집중할 수 있는 사업 설계 필요
 - R&D 투자자원이 소규모, 다수로 분산된 구조를 탈피하여 단위사업
 - 과제별로 대형 성과를 기대할 수 있는 충분한 지원규모 확보
 - 또한 사업 초창기부터 정부 투자 주도를 통해 사업의 중요성 및 추진 의지를 명백히 함으로써 신기술개발 성공 리스크, 사업화 단계의 투자 부담에 대한 기업의 참여 기피를 예방

□ 동 사업은 신산업 창출 목적의 대형 R&D 지원사업으로서 적절한 예산 규모 반영

- 동 사업과 유사한 목적(대규모 R&D 추진, 단위사업 규모 확대)을 지닌 국내외 지원 사례 검토
 - 국내에서는 유사사업 중복성 검토 중 지원목적, 연구개발기간, 정부투자규모 등에서 유사한 사례들을 선정, 비교

[표 9-3] 유사사업 1차 검토결과

부처명	사업명	지원 목적	연구 개발 기간	정부 투자규모 ('10, 억원)	과제당 투자규모 ('10, 억원)
교육과학기술부	21세기 프론티어연구 개발사업	△	△ (3~10년)	△ (1,052)	○ (80~100)
교육과학기술부	미래기반기술개발사업	X	X (1년단위)	△ (1,523)	분야별 구분
교육과학기술부	미래유망 융합기술 파이오니어사업	△	○ (5~6년)	X (160)	X (0.3~10)
교육과학기술부	지역거점연구단 육성사업	X (다목적)	△ (3~10년)	X (145)	△ (20)
교육과학기술부	다목적실용위성개발사업	X (특정부문)	△ (1~9년)	X (556)	○ (89~239)
교육과학기술부	한국형발사체개발사업	X (특정부문)	△ (1~10년)	△ (154:단일)	○ (154)
지식경제부	에너지자원기술개발지원	△ (특정부문)	X (2~3년)	○ (2,100)	X (5.4 예상)
지식경제부	전력산업원천기술개발	△ (특정부문)	X (2~3년)	△ (1,136)	△ (10)
지식경제부	원자력발전기술개발	○ (특정부문)	X (2~3년)	X (640)	X (5.4)
지식경제부	산업원천기술개발사업	△	○ (2~3년씩 2~4단계)	○ (11,251)	△ (20~30)
지식경제부	우수제조기술연구센터 (ATC)사업	△	△ (3~5년)	X (409)	X (4)
지식경제부	부품소재산업경쟁력향상 (R&D)	△ (특정부문)	△ (2~10년)	X (600)	△ (10)
지식경제부	Eco-Ener 플랜트 경쟁력 확보 사업	△ (특정부문)	△ (1~5년)	X (55)	△ (18.3)
환경부	차세대 핵심환경기술 개발사업	△ (특정부문)	X (1~3년)	△ (1,003)	X (2.5)
국토해양부	플랜트기술고도화사업	△ (특정부문)	△ (1~6년)	△ (333: 2개)	○ (166)
국토해양부	미래도시철도기술개발사업	△ (특정부문)	△ (0~5년)	△ (711)	○ (89)
방위사업청	핵심기술연구개발사업	○ (특정부문)	X (1~3년)	△ (1,902)	△ (19.4)
중소기업청	중소기업기술혁신개발사업	△	X (1~3년)	○ (2,797)	X (1.6)

주) ○ : 매우 유사함, △ 유사함, X : 상이함

- 외국 사례로는 미국 DARPA, ATP/TIP, 일본 경제산업성, EU Framework Programme 7 등의 지원사업들을 검토

[표 9-4] 선진국별 대형 R&D사업 특성

국가	사업명	목적 및 지원분야	연간 지원규모
미국	DARPA	기초과학을 무기 기술로 연계한 혁신적이고 성과 높은 연구 지원 (국방, 우주/항공, IT, BT 등)	70년대말부터 지속적 투자. 과제당 10078~1,000억원
	ARPA-E	에너지분야 혁신기술개발. 중소기업, 대학 등을 지원.	(’09) 37개 사업, 1억 5,100만\$. 과제당 408만\$ (약 47억원)
	ATP/TIP	성공 시 경제파급효과 크고, 정부 협조가 없으면 사장될 우려가 높은 고위험/고수익 기초원천기반기술 개발 지원	’90년부터 착수, 지원 수행 ’07년 TIP 신설. 세부기술 1개당 100~180만\$ 규모 (약 10~20억원) 지원
	경기부양법 (ARRA)	미국 경제회복, 일자리 창출 및 미래성장잠재력 확충. (첨단교통기술, 재생가능에너지, 광대역통신, 의학 분야)	총액 중 6.3%인 약 494억 \$를 과학 기술 관련 투자. 프로그램 별 200억원 ~*5조원. *최대: 대형 광대역 프로그램
일본	NEDO의 프로젝트형 연구 개발	5~10년의 중장기 과제연구 (대기업 참여, 학·관 공동연구)	과제당 100~500억원
	나노테크·첨단부품 실용화개발사업	“혁신적인 나노 기술” 활용, 3~5년 후 실용화 연계 목표	사업기간: ’05~’14 (’10) 24.6억엔 (325억원)
EU	Framework Program 7차 (FP7)	유럽 공동의 과학기술 발전 도모, 혁신적인 지식기반 경제 구축. (정보통신, 의료, 교통, nano, 식품/농업/바이오기술 분야)	(’07~’13) 7년간 505억€ 지원
	PPPs	산업 파급효과가 큰 혁신기술에 대규모, 장기 투자. (미래형 공장, 에너지효율건물, 그린카의 3대 분야 지원)	(’10~’13) 4년간 32억€ 지원. 3대 분야 각각 10~12억€ 지원. (’10) 과제 42건, 268백만€ - 과제당 640만€(약 100억원)

(2010년 기간평균 환율 적용 산출, 외환은행 고시자료)

- 국내외 대형 R&D 사업들에서는 대체로 개발기간 5년 이상, 사업당 연간 투자금액 100~500억원 수준의 투자 진행 중

- 국내 국가연구개발사업 중 대형 사업들은 ’10년 사업규모 2,000억원 이상, 과제별 지원규모 80~200억원대로 분포

- 지식경제부 「산업원천기술개발사업」은 총 사업규모 연간 1조원대의 초대형 사업이지만, 11대 산업원천기술분야(산업기술 7, 정보통신 4)별 구분보다는 약 400~550개의 세부과제별로 작게 분할 관리(과제당 연간 20~30억원)
- 교육과학기술부의 위성발사체 관련 사업, 국토해양부 플랜트기술고도화사업 등은 단위과제별 연간 100억원 이상의 투자를 시행하고 있으나, 특정 대형 산업부문에 국한된 점이 특징
- 교육과학기술부 신규사업인 「글로벌프론티어연구개발사업」('11~'21)은 21세기프론티어 사업의 후속 개념으로, 단위사업(연구단)별로 9년간 연간 100~300억원 지원 계획
- 해외 선진국에서는 사업 기간 5~10년 가량, 단위사업별 연간 지원 규모 100억원 이상, 특정 기술과제당 10억원 이상의 R&D 지원 중
- 국내 유사사업 현황 분석 결과 이러한 규모의 대형 R&D사업이 부재 상태이므로, 적정 규모의 투자를 실행하면서 미래 성장동력 창출을 도모할 수 있는 등 사업의 추진 필요

3.3. 연차별 예산소요 계획의 적절성

- 세부사업별 기술개발 및 사업화 목표 달성을 위해 연도별로 적정 규모의 예산액을 안배
- 개발단계의 목적과 목표 수준에 따라 예산을 효율적으로 배분
 - 기초연구에서 응용개발, 그리고 사업화 단계로 나가감에 따라 예산이 증가하는 것이 일반적이며 특히 사업화 단계에서 많은 예산이 소요

4. 편익 분석

4.1. 편익 산출 요인

- 동 사업의 편익은 미래 시장규모 추정액 중에서 연구개발이 기여한 값으로서 하기 식에 따라 정의

$$\text{편익} = (1)\text{시장규모} \times (2)\text{시장점유율} \\ \times (3)\text{부가가치율} \times (4)\text{R\&D기여도} \times (5)\text{사업화성공률} \times (6)\text{사업점유효과}$$

○ (시장규모) 기술개발범위에 따라 목표시장 설정기준 차별

- 기술개발로 인해 편익이 발생할 것으로 예상되는 목표시장은 세부 분야별 기술개발범위에 따라 완제품시장과 촉매시장으로 구분이 가능
 - 유형 1. 제품 A의 생산공정 개발을 포함하는 경우 : 제품 A시장을 목표시장으로 하며 ‘본 사업을 통해 개발된 공정을 적용하여 생산되는 A의 비중’을 편익발생 범위로 설정
 - ex) 세계시장에서 A제품의 70%는 a공정을 통해 제조되며, 30%가 b공정에 의해 제조될 경우 공정기준 시장점유율은 a공정이 70%인 것으로 해석 가능
 - 유형 2. 촉매 그 자체가 완제품으로서 A분야에 적용되는 촉매를 개발하는 경우 : 전체 촉매시장 내 A분야 촉매가 차지하는 비중을 편익발생 범위로 설정
- 시장전망에 대한 자료는 전문 리서치 회사의 관련 기술·산업분야 시장보고서, 국책 연구기관 연구보고서, 기획위원회 제시 값 등을 이용

[표 9-5] 기술개발 범위에 따른 목표시장 설정 기준

시장규모 산정유형	기술개발 범위	목표시장
<p>유형 1</p>	<p>완제품 제조를 위한 촉매와 해당 촉매를 이용하는 제조공정을 함께 개발</p>	<p>완제품 시장 내 해당공정 적용분</p>
<p>유형 2</p>	<p>특정 분야에 이용하기 위한 촉매 자체를 완제품으로서 개발</p>	<p>촉매시장 내 해당 분야 수요 비중</p>

- (시장점유율) 세부사업별 현재 시장점유율 및 예측치 적용
 - 시장점유율은 '12년 기준 세계촉매시장 내 국내생산 촉매 비중인 5~10%(환경촉매의 경우 3% 추산)⁴¹⁾내에서 세부기술분야별로 기획위원회 회의를 거쳐 적정 점유율과 추세를 산출함
 - 시장점유율의 변동 추이는 '08~'11년간 한국의 촉매 수출액(HS Code 3815)의 3개년 누적평균변화율과 동일하며, 시장점유율 상한선을 설정하여 일정 시점 이후로는 동일한 점유율이 유지된다고 가정
- (부가가치율) (1)×(2)의 계산에 의한 매출액 내에서 동 사업이 창출한 부가가치의 비율로, 6개 세부사업별로 유관 산업분야들의 부가가치율 평균값을 적용
 - 산업연구원 산업통계 자료 활용
 - 석유화학, 정밀화학, 반도체·전자부품, 석유정제 등의 산업부문 중 각 세부사업과 연관성 높은 부문들의 '08~'10년간의 부가가치율 평균값을 대입
 - 제조업의 3개년도 평균은 20.13%
 - 9개 세부사업별 부가가치율은 9.5%~23.9% 범위로 산출

41) 회성촉매 내부자료, 기획위원회 조정

[표 9-6] 세부사업별 부가가치율

사업명	부가 가치율	산정기준
고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	24.2%	정밀화학산업 플라스틱산업 3개년도('08-'10) 부가가치율 평균
저탄소 화합물(C1~6) 전환 기술 개발	13.4%	석유화학산업 3개년도('08-'10) 부가가치율 평균
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	9.5%	석유정제산업, 석유화학산업 3개년도('08-'10) 부가가치율 평균
비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	13.4%	석유화학산업 3개년도('08-'10) 부가가치율 평균
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	18.1%	자동차산업, 석유화학산업, 정밀화학산업 3개년도('08-'10) 부가가치율 평균
반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	23.9%	반도체산업, 정밀화학산업 3개년도('08-'10) 부가가치율 평균
차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	21.4%	자동차산업, 정밀화학산업 3개년도('08-'10) 부가가치율 평균
고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템	23.9%	일반기계산업, 정밀화학산업 3개년도('08-'10) 부가가치율 평균
CO ₂ 활용 촉매 개발	22.8%	정밀화학산업 3개년도('08-'10) 부가가치율 평균

- **(R&D 기여도)** (1)~(3)의 계산에 의한 부가가치액 내에서 연구개발투자의 기여비중을 반영
 - 국내 산업 전체에 대한 분석결과인 28.1%⁴²⁾를 일괄 적용
- **(사업화 성공률)** (1)~(4)의 계산에 의한 R&D의 부가가치창출액 중 사업화 성공 확률을 반영
 - 산업기술개발 분야의 9개 사업을 대상으로 '02~'06년 동안 완료된 과제 2,259건의 사업화 성공률 조사 사례 참조⁴³⁾
 - 과제 2,259건의 분야별 사업화 성공률 도출

42) “연구개발투자의 경제성장에 대한 기여도”, 신태영, STEPI, 2004

43) “국가연구개발사업 효과 분석 시스템 개발”, 박지영, KISTEP, 2009

[표 9-7] 정부연구개발사업의 사업화 성공률

유형분류	과제 수	사업화 성공 과제 수	사업화 성공률
기계소재	701	278	39.66%
섬유화학	879	268	30.49%
계	1,580	546	34.56%

- 9개 세부사업 각각과 밀접한 유형 2개의 사업화 성공률 평균값을 적용
 - 모든 세부사업분야에 ‘기계소재’분야와 ‘섬유화학’분야의 평균 사업화 성공률인 34.56% 일괄적용
- (사업 점유효과) (1)~(5)의 계산에 의한 R&D의 부가가치창출액 중 기타 R&D 지원을 제외한 동 사업만의 비중을 반영
- 국내에서 촉매가 단일 산업부문으로 분류되지 않고 있으며 정부 및 민간에서 이루어지는 연구개발 역시 촉매 자체가 아닌 활용분야를 중심으로 이루어지고 있어 민간 및 정부투자 규모를 명확히 산출하는 데 어려움이 있음
 - 이에 따라 촉매 관련 정부투자규모를 추정 후 민간 투자 금액규모를 예측하여 본 사업의 사업점유율을 추산
 - '11년 기준 화학공정부문에 대한 정부연구개발투자는 1,207.6억원으로⁴⁴⁾ 기획위원회를 통해 공정부문 투자규모 중 촉매관련연구개발에 대한 비중을 10%로 추산
 - 본 사업의 연평균 정부투자규모인 191.44억원, 민간투자규모 114.23억원 및 공공부문 총 촉매관련 연구개발 투자규모 120.76억원을 아래 산출식에 적용한 결과 본 사업의 사업점유효과는 25.46%로 균일하게 적용

[표 9-8] 사업 점유효과

사업구분	연구개발주체	산출방법	투자규모(억원/년)
A1. 동사업	정부	1310.1억원/7년	191.44
A2. 동사업	민간	775.0억원/7년	114.23
B1. 기타	정부	1,207.6억원 x 10%	120.76
B2. 기타	민간	아래 산출식 참조	765.66
사업점유효과 $[(A1+A2)/(B1+B2)]$			25.15%

44) “2011 국가연구개발총보고서”, KISTEP

세부사업 1개의 연간 R&D 투자액

= (A) = (A1 + A2)

-- A1: 정부 투자 금액(사업 예산의 %)

-- A2: 민간 투자 금액(사업 예산의 %)

해당 세부사업과 관련된 기타 R&D 사업들의 연간 R&D 투자액 합계

= (B) = (B1 + B2)

-- B1: 정부 투자 금액(사업·과제 정보 검색 가능)

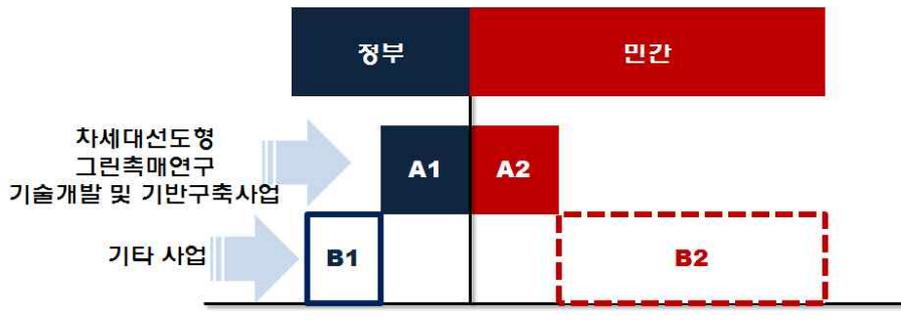
-- B2: 민간 투자 금액(전략 조회 불가능; B1 금액으로부터 추정)

B1:B2 = (정부 투자 규모):(민간 투자 규모) = 26%:74% 준용 ('09)

(“2010년 연구개발활동조사보고서”, 교육과학기술부, KISTEP, 2010.11)

[사업화 점유율 산출식]

$$\begin{aligned} \text{사업화점유율} &= \frac{A}{A+B} = \frac{(A_1+A_2)}{(A_1+A_2)+(B_1+B_2)} = \frac{(A_1+A_2)}{(A_1+B_1)+(A_2+B_2)} \\ &= \frac{(A_1+A_2)}{(A_1+B_1) + (A_1+B_1) \times \frac{\text{민간}(74\%)}{\text{정부}(26\%)}} \end{aligned}$$



□ **(편익기간)** 세부사업별로 일정 기간을 편익기간으로 설정하고, 해당기간 내의 연도별 편익액을 합산

- 9개 세부사업별로 기술수명주기에 따라 각각의 편익기간 산정
 - 기술수명주기는 1년 단위로 반올림하여, 세부사업 A의 관련 기술분야 평균 기술수명주기가 9.58년일 경우 10년으로 계상
 - 세부사업 A의 관련 기술분야의 평균 기술수명주기가 10년일 경우, '21~'30년을 편익 발생 기간으로 정함

- 기술수명주기 산출을 위해 관련 특허의 “TCT” 개념을 적용

- TCT (Technology Cycle Time, 기술교체지수)
= (선행특허를 인용한 후속특허의 발행년도) - (인용된 선행특허의 출원년도)
- 인용문헌의 발표시점을 활용하여, 해당 기술분류의 발전속도나 성과물의 속도를 측정하기 위한 지표
- TCT 값이 짧은 것은 해당 기술이 최근 성과에 기반을 두고 빠르게 발전함을 의미

- (TCT 산출) 관련 기술분야에 속한 특허들의 기술수명 평균값을 해당 기술/산업의 수명주기로 고려
 - 9개 세부사업별로 관련 특허들의 IPC(International Patent Classification) 코드를 조회하고, 이를 USPC(US Patent Classification) 코드로 변환한 목록 작성
 - USPC의 Class급 분류에서 각 Class의 평균 기술수명값⁴⁵⁾을 반영하여 세부사업별 기술수명 산출

- 9개 세부사업의 편익기간은 8~10년 범위로 산정

[표 9-9] 세부사업별 편익기간

사업명	편익기간(년)
고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	9.34
저탄소 화합물(C17~6) 전환 기술 개발	9.29
석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	9.33
비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	8.34
환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	9.16
반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	10.19
차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	8.76
고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템	8.19
CO2활용 촉매 개발	9.10

- (현재가치화) 편익기간 내의 연도별 편익액에 할인율을 적용한 현재가치를 합산하여 세부사업별 총 편익을 도출

- (할인율) 사회적 할인율 5.5% 적용
 - 한국개발연구원의 「예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완: 사회적 할인율의 조정」('07) 기준 (전술)

45) IPC 또는 USPC의 해당 Class에 속한 모든 특허들의 TCT를 조사하여 그 평균값(mean)을 구한 것임.

<http://www.uspto.gov/web/patents/classification> 을 참조하여 IPC, USPC 간 상호 코드 변환도 가능함.

본 보고서에서는 직접 특허분석 작업을 수행하는 대신 기 분석 자료를 참조(기술보증기금, 2008. 5).339

4.2. 세부사업별 편익 산정

□ 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발

○ 편익기간: 9년으로 산정

- 관련된 특허들의 USPC code 분포 평균값: 9.34년

[표 9-10] 고기능성 고분자 촉매 관련 특허들의 기술수명 분포

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
029	1.0	10.0	0.1%
106	1.0	10.0	0.1%
264	6.0	-	0.3%
422	2.0	10.0	0.1%
428	5.0	9.0	0.3%
436	1.0	8.0	0.1%
473	1.0	12.0	0.1%
502	743.0	10.0	40.3%
525	26.0	9.0	1.4%
526	962.0	9.0	52.2%
528	1.0	9.0	0.1%
534	1.0	8.0	0.1%
546	2.0	7.0	0.1%
548	2.0	7.0	0.1%
549	7.0	8.0	0.4%
554	1.0	9.0	0.1%
556	74.0	8.0	4.0%
564	1.0	9.0	0.1%
568	4.0	10.0	0.2%
585	3.0	12.0	0.2%

○ 편익 산출 항목

[표 9-11] 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발 편익 산출 요인

(1) 시장규모	'12년 201억불, '29년 676억불
(2) 시장점유율	'14년 5.6%, '21년 이후 7.7% 유지
(3) 부가가치율	24.20% (플라스틱산업, 정밀화학산업)
(4) R&D 기여도	28.10% (일괄적용)
(5) 사업화 성공률	34.56% (기계소재, 섬유화학 일괄적용)
(6) 사업 점유효과	25.15% (일괄적용)
(3)×(4)×(5)×(6)	0.77%

(1) 시장규모 : SERI에서 발표한 '10년 기준 자동차용 엔지니어링플라스틱 시장규모로부터 '29년까지의 시장규모를 추정함

- 자동차용 엔지니어링 플라스틱 시장은 '10년 173억달러 규모로 형성되었으며 '13년에는 215억 규모로 성장할 것으로 전망된 바 있음

[표 9-12] 자동차용 엔지니어링 플라스틱의 세계시장 규모

(단위: 십억불)

2010	2011	2012	2013	...	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	CAGR ('10-'13)
17.3	18.7	20.1	21.5		38.1	40.9	43.9	47.2	50.7	54.5	58.5	62.9	67.6	7.4%

(2) 시장점유율 : 기획위원회를 통해 보수적으로 산정 시 2014년 국내 엔지니어링 플라스틱 제조공정기준 점유율은 5.6%로 2017년 이후 7.7%의 시장점유율을 유지할 것으로 추산

[표 9-13] 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발의 매출 예상규모

(단위: 십억불)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
A. 시장규모	38.1	40.9	43.9	47.2	50.7	54.5	58.5	62.9	67.6
B. 시장점유율	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%
C. 매출 예상규모	2.9	3.2	3.4	3.6	3.9	4.2	4.5	4.9	5.2

(3) 부가가치율 : 고무·플라스틱산업 및 정밀화학산업의 3개년 간 평균 부가가치율 24.2%적용

(5) 사업화 성공률 : “기계소재”, “섬유화학” 부문 평균 사업화 성공률인 34.56% 적용

(6) 사업 점유효과 : 25.15% 일괄적용

- '21~'29년에 걸쳐 9년간 발생하는 총 편익은 2,754억원이며 '13년 기준 PV(현재가치)는 1,426억원으로 추산됨
 - 세부사업의 BCR은 4.92로 추정

[표 9-14] 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발사업의 편익 추정

(단위: 억원)

	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	합계
편익	226	243	261	280	301	323	347	373	401	2,754
PV('13)	147	150	153	155	158	161	164	167	170	1,426

□ 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발

○ 편익기간: 9년으로 산정

- 관련된 특허들의 USPC code 분포 평균값: 9.29년

[표 9-15] 중질유 고도화기술 관련 특허들의 기술수명 분포

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
005	9		0.3%
008	1	10	0.0%
029	4	10	0.1%
036	3	17	0.1%
044	11	13	0.4%
048	3	11	0.1%
052	6	14	0.2%
053	5	13	0.2%
060	1		0.0%
065	2	11	0.1%
095	4	11	0.1%
106	2	10	0.1%
136	1	10	0.0%
137	2	16	0.1%
138	1	15	0.0%
152	3	16	0.1%
156	24		0.9%
166	7		0.3%
174	7	9	0.3%
175	1		0.0%
203	1	13	0.0%
205	5	10	0.2%
206	5	14	0.2%
208	92	14	3.3%
210	6	13	0.2%
215	5	15	0.2%
220	2		0.1%
222	1	15	0.0%
239	1	15	0.0%
252	5		0.2%
257	1	6	0.0%
264	37		1.3%
280	1	13	0.0%

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
285	2	18	0.1%
310	1	11	0.0%
313	1	10	0.0%
361	1	8	0.0%
385	2	7	0.1%
399	2	7	0.1%
422	33	10	1.2%
423	21	12	0.8%
424	23		0.8%
425	1	15	0.0%
426	2	14	0.1%
427	10		0.4%
428	167	9	6.0%
429	1	10	0.0%
430	13	8	0.5%
431	1	8	0.0%
435	11	8	0.4%
436	15	8	0.5%
438	1	6	0.0%
442	12	10	0.4%
473	4	12	0.1%
474	3	14	0.1%
502	240	10	8.6%
507	4		0.1%
508	15	12	0.5%
510	8	8	0.3%
512	3	9	0.1%
514	18		0.6%
516	4	11	0.1%
518	30	11	1.1%
520	1	12	0.0%
521	37	10	1.3%
522	43	9	1.5%
523	12	9	0.4%
524	216	10	7.8%
525	365	9	13.1%
526	597	9	21.5%

○ 편익 산출 항목

[표 9-16] 중질유 고도화기술 편익 산출 요인

(1) 시장규모	'21년 140억불, '29년 206억불
(2) 시장점유율	'21년 - '29년 15.4%
(3) 부가가치율	9.5% (석유화학, 석유정제)
(4) R&D 기여도	28.10% (일괄적용)
(5) 사업화 성공률	34.56% (기계소재, 석유화학 일괄적용)
(6) 사업 점유효과	25.15% (일괄적용)
(3)×(4)×(5)×(6)	

- (1) 시장규모 : “2007 Survey of Energy Resources”(World Energy Council, 2007)를 근거로 Slurry Phase Hydrocracking을 통한 저급중질유분 고도화시장규모를 산출
- 전세계 Heavy Oil 합성원유 생산 증가량 : 오일샌드의 합성원유 생산 증가량으로 추정
 - 오일샌드 Bitumen 생산량 : 126 만배럴/일 (2005년)
 - 오일샌드 합성원유 생산량 : 84.2 만배럴/일 (2005년) → 250 만배럴/일 (2015년) 계획
 - 전세계 Heavy Oil 생산량 : 600 만배럴/일 (2005년)
 - 전세계 Heavy Oil 합성원유 생산량 : 400 만배럴/일 (2005년) → 1,190 만배럴/일 (2015년)
 - 합성원유 생산을 위한 Upgrading 공정별 투자 비용
 - Hydrocracking 투자 비용 (CAPEX) = 20 천\$(배럴/일)
 - 전세계 Heavy Oil 합성원유 생산량 중에서 Hydrocracking을 이용한 합성원유 생산량
 - 2005년 : 400 만배럴/일 x 28% = 112 만배럴/일
 - 2015년 : 1,190만배럴/일 x 28% = 333 만배럴/일
 - Slurry Phase Hydrocracking 공정 (Hydrocracking의 20 % 점유 가정) 의 시장 규모 산출
 - 2005년 : 112 만배럴/일 x 20 천\$(배럴/일) x 0.2 ≈ 44.8 억\$/년
 - 2012년 : 112 만배럴/일 x (1 + 0.104)⁷ x 20 천\$(배럴/일) x 0.2 ≈ 89.5 억\$
 - 2015년 : 333 만배럴/일 x 20 천\$(배럴/일) x 0.2 ≈ 133.2 억\$/년

[표 9-17] 중질유 고도화 세계시장 규모

(단위: 십억불)

2005	...	2012	...	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	CAGR ('05-'12)
4.48		8.95		20.84	23.01	25.40	28.04	30.95	34.17	37.72	41.63	45.96	10.4%

- (2) **시장점유율** : 기획위원회를 통해 시장점유율 추정 결과 '12년 기준 10.0%의 점유율에서 상용화 시점인 '21년 이후에는 15.4%의 점유율을 유지할 것으로 예상

[표 9-18] 중질유 고도화기술 개발사업의 매출 예상규모

(단위: 십억불)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
A. 시장규모	20.84	23.01	25.40	28.04	30.95	34.17	37.72	41.63	45.96
B. 시장점유율	15.4%	15.4%	15.4%	15.4%	15.4%	15.4%	15.4%	15.4%	15.4%
C. 매출 예상규모	3.2	3.6	3.9	4.3	4.8	5.3	5.8	6.4	7.1

- (3) **부가가치율** : 석유정제(5.6%), 석유화학(13.4%)산업의 3개년도('08-'10) 부가가치율 평균치 적용

[표 9-19] 석유화학 부가가치율

	2008	2009	2010	3개년 평균
석유화학	11.73	13.69	14.73	13.4%
석유정제	5.28	5.45	5.96	5.6%

- (5) **사업화 성공률** : “기계소재”, “섬유화학” 부문 평균 사업화 성공률인 34.56% 적용

- (6) **사업 점유효과** : 25.15% 일괄적용

- '21~'29년에 걸쳐 9년간 발생하는 총 편익은 715억원이며 '13년 기준 PV(현재가치)는 373억원으로 추산됨
- 세부사업의 BCR은 2.53으로 추정

[표 9-20] 중질유 고도화기술 개발사업의 편익 추정

(단위: 억원)

	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	합계
편익	65	68	72	75	79	83	87	91	96	715
PV('13)	42	42	42	42	41	41	41	41	41	373

□ 저탄소 화합물(C1~6) 전환 기술개발사업

○ 편익기간: 9년으로 산정

- 관련된 특허들의 USPC code 분포 평균값: 9.33년

[표 9-21] 저탄소 화합물 전환기술 관련 특허들의 기술수명 분포

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
106	1	10	0.0%
260	1		0.0%
264	6		0.3%
422	2	10	0.1%
428	8	9	0.3%
436	1	8	0.0%
473	1	12	0.0%
502	852	10	37.2%
523	1	9	0.0%
524	4	10	0.2%
525	41	9	1.8%
526	1178	9	51.4%
528	3	9	0.1%
534	2	8	0.1%
546	3	7	0.1%
548	12	7	0.5%
549	11	8	0.5%
554	1	9	0.0%
556	136	8	5.9%
560	1	9	0.0%
562	1	9	0.0%
564	4	9	0.2%
568	15	10	0.7%
585	8	12	0.3%

○ 편익 산출 항목

[표 9-22] 저탄소화합물 전환기술개발사업 편익 산출 요인

(1) 시장규모	-
(2) 시장점유율	-
(3) 부가가치율	13.4%
(4) R&D 기여도	28.10% (일괄적용)
(5) 사업화 성공률	34.56% (기계소재, 석유화학 일괄적용)
(6) 사업 점유효과	25.15% (일괄적용)
(3)×(4)×(5)×(6)	0.33%

(1) 시장규모

(2) 시장점유율 : '10년 우리나라의 석유화학시장 점유율 자료를 기반으로 전문가 델파이 조사 결과 적용

- 동 사업과 관련된 기술개발이 이루어질 경우 국가 간 기술 수준을 상대적으로 비교할 때 우리나라가 확보 가능할 것으로 기대되는 시장점유율 추세를 도출

(3) 부가가치율 : 석유화학 부문 부가가치율 13.4% 적용

(4) 사업화 성공률 : “기계소재”, “석유화학” 부문 평균 사업화 성공률인 34.56% 적용

(6) 사업 점유효과 : 25.15% 일괄적용

○ '18~'25년 동안 편익 3조 4,070억원, PV 1조 8,384억원 규모

- 세부사업의 BCR은 10.14로 추정

[표 9-23] 인쇄전자 세부사업의 편익 추정

	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	합계
편익	1,578	2,059	2,701	3,381	4,225	5,285	6,615	8,225	34,070
PV	1,085	1,342	1,668	1,980	2,344	2,780	3,298	3,887	18,384

□ 비식용작물을 원료로하는 석유화학원료 제조기술

○ 편익기간: 8년으로 산정

- 관련된 특허들의 USPC code 분포 평균값: 8.34년

[표 9-24] 비식용작물 기반 석유화학제품 제조기술 관련 특허들의
기술수명 분포

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
008	2	10	0.1%
029	2	10	0.1%
044	16	13	1.1%
048	1	11	0.1%
053	9	13	0.6%
060	1		0.1%
095	5	11	0.3%
096	1	10	0.1%
106	15	10	1.0%
134	6		0.4%
137	3	16	0.2%
138	2	15	0.1%
156	17		1.1%
162	2	13	0.1%
166	4		0.3%
174	4	9	0.3%
206	8	14	0.5%
208	11	14	0.7%
210	5	13	0.3%
216	5	7	0.3%
220	1		0.1%
222	2	15	0.1%
252	14		0.9%
257	8	6	0.5%
264	41		2.8%
343	1	9	0.1%
359	1	7	0.1%
361	1	8	0.1%
366	1	16	0.1%
399	2	7	0.1%
422	23	10	1.5%

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
423	10	12	0.7%
424	51		3.4%
425	1	15	0.1%
426	6	14	0.4%
427	28		1.9%
428	158	9	10.6%
429	4	10	0.3%
430	23	8	1.5%
431	1	8	0.1%
433	3	13	0.2%
435	17	8	1.1%
436	2	8	0.1%
438	4	6	0.3%
442	7	10	0.5%
473	7	12	0.5%
502	64	10	4.3%
507	10		0.7%
508	8	12	0.5%
510	18	8	1.2%
512	2	9	0.1%
514	20		1.3%
516	5	11	0.3%
518	9	11	0.6%
520	1	12	0.1%
521	24	10	1.6%
522	44	9	3.0%
523	9	9	0.6%
524	179	10	12.0%
525	199	9	13.4%
526	150	9	10.1%
528	37	9	2.5%
530	4	8	0.3%
536	4	7	0.3%
540	1	7	0.1%
544	3	7	0.2%
546	1	7	0.1%
548	5	7	0.3%
549	11	8	0.7%

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
554	8	9	0.5%
556	12	8	0.8%
558	8	8	0.5%
560	6	9	0.4%
562	15	9	1.0%
564	5	9	0.3%
568	13	10	0.9%
570	2	10	0.1%
585	59	12	4.0%
604	1	10	0.1%
623	2	9	0.1%
977	11	7	0.7%

○ 편익 산출 항목

[표 9-25] 비식용작물 기반 석유화학제품 편익 산출 요인

(1) 시장규모	'21년 171억불, '28년 298억불
(2) 시장점유율	'21년부터 23.2% 유지
(3) 부가가치율	13.4%
(4) R&D 기여도	28.10% (일괄적용)
(5) 사업화 성공률	34.56% (기계소재, 석유화학 일괄적용)
(6) 사업 점유효과	25.15% (일괄적용)
(3)×(4)×(5)×(6)	0.33%

(1) 시장규모 : 일본경제신문/미쓰비시 종합연구소(Environmental leader 재인용)에 따르면 생분해성 고분자 시장은 '10년 72억\$ 규모, CAGR('10-'13)은 8.2%로 상용화시점인 '21년에는 171억\$ 규모의 시장을 형성할 전망

[표 9-26] 바이오플라스틱 세계시장 규모

(단위: 십억불)

2010	...	2013	...	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	CAGR ('10-'13)
4.48		9.1		17.1	18.6	20.1	21.7	23.5	25.4	27.5	29.8	8.2%

- (2) 시장점유율 : 기획위원회를 통해 시장점유율 추정 결과 '12년 기준 15.0%의 점유율에서 상용화 시점인 '21년 이후에는 23.2%의 점유율을 유지할 것으로 예상

[표 9-27] 비식용작물 기반 석유화학원료 제조기술개발사업의 매출 예상규모

(단위: 십억불)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
A. 시장규모	17.1	18.6	20.1	21.7	23.5	25.4	27.5	29.8
B. 시장점유율	23.2%	23.2%	23.2%	23.2%	23.2%	23.2%	23.2%	23.2%
C. 매출 예상규모	4.0	4.3	4.7	5.0	5.4	5.9	6.4	6.9

- (3) 부가가치율 : 석유화학 부문 부가가치율 13.4% 적용

- (4) 사업화 성공률 : “기계소재“, ”섬유화학“ 부문 평균 사업화 성공률인 34.56% 적용

- (5) 사업 점유효과 : 25.15% 일괄적용

- '21~'28년에 걸쳐 8년간 발생하는 총 편익은 1,809억원이며 '13년 기준 PV(현재가치)는 963억원으로 추산됨
- 세부사업의 BCR은 4.22로 추정

[표 9-28] 비식용작물 기반 석유화학원료 제조기술개발사업의 편익 추정

(단위: 억원)

	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	합계
편익	169	183	198	214	231	250	271	293	1,809
PV('13)	110	113	116	119	122	125	128	131	963

□ 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조

○ 편익기간: 9년으로 산정

- 관련된 특허들의 USPC code 분포 평균값: 9.16년

[표 9-29] 환경가스를 활용한 자동차 연료제조기술 관련 특허들의 기술수명 분포

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
002	6		1.2%
029	3	10	0.6%
037	1		0.2%
044	22	13	4.4%
048	4	11	0.8%
060	42		8.5%
062	7	12	1.4%
073	1	10	0.2%
089	3		0.6%
095	1	11	0.2%
102	1		0.2%
104	4		0.8%
106	1	10	0.2%
110	1	13	0.2%
114	2	17	0.4%
123	32	12	6.4%
126	1	16	0.2%
134	4		0.8%
137	7	16	1.4%
141	5	13	1.0%
165	7	12	1.4%
166	11		2.2%
180	42	10	8.5%
206	1	14	0.2%
208	19	14	3.8%
210	3	13	0.6%
212	1		0.2%
219	3	12	0.6%
220	1		0.2%
224	1	13	0.2%
237	3	11	0.6%
239	2	15	0.4%
244	35	16	7.0%
264	1		0.2%
280	1	13	0.2%
290	8	10	1.6%
296	10	11	2.0%
307	4	8	0.8%

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
310	1	11	0.2%
315	1	9	0.2%
318	1	9	0.2%
320	9	8	1.8%
340	8		1.6%
342	1	8	0.2%
361	6	8	1.2%
362	5	11	1.0%
366	6	16	1.2%
372	5	7	1.0%
384	2	13	0.4%
404	1	16	0.2%
414	1	14	0.2%
422	1	10	0.2%
423	5	12	1.0%
427	2		0.4%
428	13	9	2.6%
429	21	10	4.2%
431	1	8	0.2%
432	3	12	0.6%
434	2	13	0.4%
435	5	8	1.0%
455	1	6	0.2%
477	2	7	0.4%
501	1	9	0.2%
502	8	10	1.6%
507	1		0.2%
508	19	12	3.8%
510	1	8	0.2%
518	1	11	0.2%
524	7	10	1.4%
560	2	9	0.4%
585	10	12	2.0%
600	1	8	0.2%
604	1	10	0.2%
700	1	7	0.2%
701	21	7	4.2%
702	1	7	0.2%
703	1	6	0.2%
705	4	7	0.8%
709	1	5	0.2%
901	1	8	0.2%
903	7		1.4%
977	4	7	0.8%

○ 편익 산출 항목

[표 9-30] 환경가스를 활용한 자동차 연료제조기술 편익 산출 요인

(1) 시장규모	'10년 20억불, '29년 168억불
(2) 시장점유율	'21년 이후 23.2% 유지 목표
(3) 부가가치율	18.7% (석유화학/정밀화학/자동차 부문 평균)
(4) R&D 기여도	28.10% (일괄적용)
(5) 사업화 성공률	34.56% (기계소재, 석유화학 일괄적용)
(6) 사업 점유효과	25.15% (일괄적용)
(3)×(4)×(5)×(6)	0.46%

(1) 시장규모 : “DOE International Energy outlook 2009”(DOE)로부터 세계 Compact GTL 시장규모를 산출 시 관련 시장은 2010년 20억불 규모로 추산됨

[표 9-31] 환경가스를 활용한 자동차 연료 관련 세계시장 규모

(단위: 십억불)

2010	2011	2012	2013 (E)	...	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	CAGR ('10-'13)
2.0	2.4	2.6	2.8		6.9	7.7	8.6	9.6	10.8	12.0	13.5	15.1	16.8	11.9%

(2) 시장점유율 : 한국의 세계 플랜트 시장 점유율 전망치('20년 0.1%, '25년 0.5%, '30년 10%) 및 기술개발 완료 시점의 자동차 시장 성장 전망치를 바탕으로 기획위원회 추산 결과 '21년 이후 23.2%의 세계 시장점유율 유지 목표치 산정

[표 9-32] 환경가스를 활용한 자동차 연료제조기술개발사업의 매출 예상규모

(단위: 십억불)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
A. 시장규모	6.9	7.7	8.6	9.6	10.8	12.0	13.5	15.1	16.8
B. 시장점유율	23.2%	23.2%	23.2%	23.2%	23.2%	23.2%	23.2%	23.2%	23.2%
C. 매출 예상규모	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.5	3.9

- (3) 부가가치율 : 석유화학, 정밀화학, 자동차 3개부문 부가가치율 평균 18.7% 적용

[표 9-33] 부가가치율

	2008	2009	2010	AVERAGE
석유화학	11.73	13.69	14.73	13.4%
정밀화학	22.07	24.05	22.38	22.8%
자동차	18.58	20.62	20.79	20.0%

- (4) 사업화 성공률 : “기계소재”, “섬유화학” 부문 평균 사업화 성공률인 34.56% 적용

- (5) 사업 점유효과 : 25.15% 일괄적용

- '21~'29년에 걸쳐 9년간 발생하는 총 편익은 931억원이며 '13년 기준 PV(현재가치)는 481억원으로 추산됨
- 세부사업의 BCR은 2.39로 추정

[표 9-34] 환경가스를 활용한 자동차 연료제조기술개발사업의 편익 추정

(단위: 억원)

	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	합계
편익	73	80	86	93	101	110	119	129	140	931
PV('13)	48	49	50	52	53	55	56	58	59	481

□ 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술

○ 편익기간: 10년으로 산정

- 관련된 특허들의 USPC code 분포 평균값: 10.19년

[표 9-35] 반도체 촉매를 활용한 차세대 연료 생산기술 관련 특허들의 기술수명 분포

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
029	4	10	0.3%
040	1		0.1%
044	16	13	1.3%
048	144	11	11.3%
055	1	11	0.1%
060	4		0.3%
062	2	12	0.2%
068	2	15	0.2%
073	1	10	0.1%
075	1	11	0.1%
095	17	11	1.3%
096	22	10	1.7%
122	5	14	0.4%
123	25	12	2.0%
126	4	16	0.3%
136	1	10	0.1%
137	10	16	0.8%
141	13	13	1.0%
149	2		0.2%
165	4	12	0.3%
180	4	10	0.3%
201	1	11	0.1%
204	55	10	4.3%
205	21	10	1.6%
206	2	14	0.2%
208	10	14	0.8%
220	4		0.3%
222	2	15	0.2%
251	2	16	0.2%
252	15		1.2%
257	2	6	0.2%
264	2		0.2%
290	3	10	0.2%
307	2	8	0.2%
320	5	8	0.4%
324	1	9	0.1%
356	9	8	0.7%
363	1	8	0.1%
408	1	17	0.1%
419	2	9	0.2%

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
420	1	10	0.1%
422	202	10	15.9%
423	83	12	6.5%
427	2		0.2%
428	2	9	0.2%
429	457	10	35.9%
431	16	8	1.3%
435	5	8	0.4%
436	11	8	0.9%
446	1		0.1%
455	1	6	0.1%
502	29	10	2.3%
518	15	11	1.2%
549	1	8	0.1%
568	4	10	0.3%
585	10	12	0.8%
700	5	7	0.4%
701	2	7	0.2%
705	2	7	0.2%
709	1	5	0.1%
977	1	7	0.1%

○ 편익 산출 항목

[표 9-36] 반도체 촉매를 활용한 차세대 연료 편익 산출 요인

(1) 시장규모	'12년 55억불, '30년 328억불
(2) 시장점유율	'21년 이후 7.7% 유지
(3) 부가가치율	23.9%(정밀화학, 반도체·전자부품 부문)
(4) R&D 기여도	28.10% (일괄적용)
(5) 사업화 성공률	34.56% (기계소재, 섬유화학 일괄적용)
(6) 사업 점유효과	25.15% (일괄적용)
(3)×(4)×(5)×(6)	0.59%

(1) 시장규모 : BCC Research에 따르면 수소생산, 저장 및 분배, 에너지전환을 모두 포함한 수소시장 규모는 '12년 기준 55.1억불로 집계됨

(2) 시장점유율 : '12년 기준 시장점유율 약 5%를 기준으로 기획위원회 추정치 도출 결과 7.7% 시장점유율 유지 가정

[표 9-37] 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술 개발사업의 매출
예상규모

(단위: 십억불)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
A. 시장규모	13.4	14.8	16.4	18.1	19.9	22.0	24.3	26.9	29.7	32.8
B. 시장점유율	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%
C. 매출 예상규모	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5

(3) 부가가치율 : 정밀화학 (22.8%) 및 반도체·전자부품 (25.1%) 3개년
평균 부가가치율 의 평균치로 23.9% 적용

[표 9-38] 부가가치율

	2008	2009	2010	AVERAGE
정밀화학	22.07	24.05	22.38	22.8%
반도체·전자부품	26.19	23.65	25.31	25.1%

(4) 사업화 성공률 : “기계소재”, “섬유화학” 부문 평균 사업화 성공률
인 34.56% 적용

(5) 사업 점유효과 : 25.15% 일괄적용

- '21~'30년에 걸쳐 10년간 발생하는 총 편익은 931억원이며 '13년 기준
PV(현재가치)는 481억원으로 추산됨
- 세부사업의 BCR은 2.39로 추정

[표 9-39] 환경가스를 활용한 자동차 연료제조기술개발사업의 편익 추정

(단위: 억원)

	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
편익	75	83	91	100	110	121	134	147	162	178	1,201
PV('13)	49	51	53	56	58	61	63	66	69	72	597

□ 차세대 금속공기전지 고효율 촉매

○ 편익기간: 9년으로 산정

- 관련된 특허들의 USPC code 분포 평균값: 8.76년

[표 9-40] 차세대 금속공기전지 고효율 촉매 관련 특허들의 기술수명 분포

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
015	2	13	0.2%
029	33	10	2.5%
030	5		0.4%
040	3		0.2%
053	1	13	0.1%
055	9	11	0.7%
060	1		0.1%
073	10	10	0.8%
096	4	10	0.3%
106	1	10	0.1%
118	8	10	0.6%
126	4	16	0.3%
128	3	10	0.2%
136	7	10	0.5%
138	7	15	0.5%
148	4	8	0.3%
156	9		0.7%
165	2	12	0.2%
174	2	9	0.2%
180	11	10	0.8%
181	5	14	0.4%
184	1	15	0.1%
204	34	10	2.6%
205	21	10	1.6%
206	5	14	0.4%
221	18		1.4%
222	1	15	0.1%
244	2	16	0.2%
248	1		0.1%
250	2	8	0.2%
252	19		1.4%
257	8	6	0.6%
264	5		0.4%
285	2	18	0.2%
290	1	10	0.1%
307	15	8	1.1%
320	36	8	2.7%
324	2	9	0.2%
333	2	9	0.2%
335	1	11	0.1%
340	5		0.4%

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
356	5	8	0.4%
359	1	7	0.1%
360	3	7	0.2%
361	9	8	0.7%
362	1	11	0.1%
381	43	9	3.2%
385	6	7	0.5%
401	4	18	0.3%
404	1	16	0.1%
417	7	14	0.5%
420	2	10	0.2%
422	13	10	1.0%
423	8	12	0.6%
424	1		0.1%
427	41		3.1%
428	11	9	0.8%
429	610	10	45.9%
431	4	8	0.3%
432	3	12	0.2%
436	20	8	1.5%
438	4	6	0.3%
442	1	10	0.1%
449	2		0.2%
454	1	11	0.1%
482	1	11	0.1%
502	57	10	4.3%
505	1	8	0.1%
521	8	10	0.6%
523	1	9	0.1%
524	6	10	0.5%
525	3	9	0.2%
528	6	9	0.5%
548	2	7	0.2%
556	1	8	0.1%
600	13	8	1.0%
601	2	10	0.2%
604	26	10	2.0%
606	1	9	0.1%
607	12	8	0.9%
700	2	7	0.2%
701	7	7	0.5%
702	3	7	0.2%
703	1	6	0.1%
705	1	7	0.1%
713	4	6	0.3%
903	6		0.5%
977	33	7	2.5%
D09	18		1.4%

○ 편익 산출 항목

[표 9-41] 차세대 금속공기전지 고효율 촉매 편익 산출 요인

(1) 시장규모	
(2) 시장점유율	'21년 이후 7.7% 유지
(3) 부가가치율	21.4%(정밀화학, 자동차 부문)
(4) R&D 기여도	28.10% (일괄적용)
(5) 사업화 성공률	34.56% (기계소재, 섬유화학 일괄적용)
(6) 사업 점유효과	25.15% (일괄적용)
(3)×(4)×(5)×(6)	0.59%

(1) 시장규모

(2) 시장점유율

[표 9-42] 차세대 금속공기전지 고효율 촉매 매출 예상규모

(단위: 십억불)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
A. 시장규모									
B. 시장점유율									
C. 매출 예상규모									

(3) 부가가치율 : 정밀화학 (22.8%) 및 자동차 (20.0%) 3개년 평균 부가가치율 의 평균치로 21.4% 적용

[표 9-43] 부가가치율

	2008	2009	2010	AVERAGE
정밀화학	22.07	24.05	22.38	22.8%
반도체·전자부품	26.19	23.65	25.31	25.1%

(4) 사업화 성공률 : “기계소재“, ”섬유화학“ 부문 평균 사업화 성공률 인 34.56% 적용

(5) 사업 점유효과 : 25.15% 일괄적용

- '15~'24년 동안(각 세부기술별 편익기간 7년) 편익 1조 7,511억원, PV 1조 1,000억원 규모

[표 9-44] 사업의 편익 추정

	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	합계
편익	731	953	1,232	1,917	2,433	3,065	3,838	860	1,093	1,388	17,511
PV	590	729	893	1,318	1,586	1,893	2,247	477	575	692	11,000

□ CO₂ 활용 촉매개발

- 편익기간: 8년으로 산정
 - 관련된 특허들의 USPC code 분포 평균값: 8.19년

[표 9-45] CO₂ 활용 촉매개발기술 관련 특허들의 기술수명 분포

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
008	15	10	11.1%
029	1	10	0.7%
048	5	11	3.7%
055	1	11	0.7%
060	3		2.2%
065	1	11	0.7%
095	1	11	0.7%
204	2	10	1.5%
210	19	13	14.1%
219	1	12	0.7%
239	1	15	0.7%
422	14	10	10.4%
423	4	12	3.0%
424	7		5.2%
427	2		1.5%
428	1	9	0.7%
429	5	10	3.7%
435	2	8	1.5%
436	3	8	2.2%
502	17	10	12.6%
506	3		2.2%
518	1	11	0.7%
530	18	8	13.3%
562	1	9	0.7%
568	4	10	3.0%
585	1	12	0.7%
977	2	7	1.5%

○ 편익 산출 항목

[표 9-46] CO₂ 활용 촉매 기술개발사업의 편익 산출 요인

(1) 시장규모	'07년 138억불, '21년 1,427억불
(2) 시장점유율	'21년 이후 1.7% 유지
(3) 부가가치율	22.8%
(4) R&D 기여도	28.10% (일괄적용)
(5) 사업화 성공률	34.56% (기계소재, 섬유화학 일괄적용)
(6) 사업 점유효과	25.15% (일괄적용)
(3)×(4)×(5)×(6)	0.56%

- (1) 시장규모 : BCC Research Report에 따라 본 기술의 적용시장규모를 추산한 결과 '07년 138.4억불, '12년 459.3억불 및 '21년에는 1,427억불의 CO₂ 포집-전환 활용 시장이 형성될 것으로 전망됨
- 2007년 기준 CO₂ 포집 전체 시장은 887 억\$, 2012년은 2363억\$으로 누적 시장 규모가 성장할 것으로 전망된 바 있음 ('Carbon Capture & Storage Technology', Market Research Report, BCC Research, 2008)
 - 본 기술이 적용되는 Pre-Combustion Carbon Capture 시장은 346 억\$ ('07년), 1249 억\$ ('12년)으로 누적 시장규모가 전망이 되어, CAGR 21.8을 적용하여, 166 억\$을 2012년 시장 규모로 산정
 - CO₂ 전환 시장은 기존의 GTL,CTL을 대체하는 시장의 크기로 선정하여, GTL ('07년, 70억\$, '12년 166억\$), CTL ('07년 54억\$, '12년 127억\$)으로 전망됨 (IEA, 2007, IEEJ 2008, Annual Energy Outlook, 2006)
 - 본 기술이 적용되는 CO₂ 포집-전환 활용 시장은, 포집과 전환 시장을 합하여, '07년 138.4 억\$, '12년 459.3 억\$을 최종 시장 규모로 산정함
- (2) 시장점유율 : CCS 세계시장 및 국내시장 성장전망치(BCC Research)를 바탕으로 기획위원회 및 전문가 추산 결과 상용화시점인 '21년 시장점유율은 1.7%로 전망

[표 9-47] CO₂ 활용 촉매 매출 예상규모

(단위: 십억불)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
A. 시장규모	142.7	157.0	172.7	190.0	209.0	229.9	252.9	278.1
B. 시장점유율	1.7%	1.7%	1.7%	1.7%	1.7%	1.7%	1.7%	1.7%
C. 매출 예상규모	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.8

(3) 부가가치율 : 정밀화학 3개년 평균 부가가치율 22.8% 적용

[표 9-48] 부가가치율

	2008	2009	2010	AVERAGE
정밀화학	22.07	24.05	22.38	22.8%

(4) 사업화 성공률 : “기계소재”, “섬유화학” 부문 평균 사업화 성공률인 34.56% 적용

(5) 사업 점유효과 : 25.15% 일괄적용

○ '21~'28년에 걸쳐 8년간 발생하는 총 편익은 2,030억원이며 '13년 기준 PV(현재가치)는 1,076억원으로 추산됨

- 세부사업의 BCR은 6.83으로 추정

[표 9-49] CO₂ 활용 촉매 제조기술개발사업의 편익 추정

(단위: 억원)

	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	합계
편익	177	195	215	236	260	286	314	346	2,030
PV('13)	116	121	126	131	137	143	149	155	1,076

□ 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템

○ 편익기간: 9년으로 산정

- 관련된 특허들의 USPC code 분포 평균값: 9.10년

[표 9-50] 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 관련 특허들의 기술수명 분포

USPC	빈도	기술수명(년)	비중
029	6	10	2.2%
048	1	11	0.4%
060	43		16.0%
072	2	13	0.7%
075	1	11	0.4%
095	9	11	3.4%
096	12	10	4.5%
123	6	12	2.2%
166	4		1.5%
180	3	10	1.1%
201	3	11	1.1%
202	1	16	0.4%
210	5	13	1.9%
252	4		1.5%
366	3	16	1.1%
420	4	10	1.5%
422	17	10	6.3%
423	17	12	6.3%
427	6		2.2%
429	37	10	13.8%
502	72	10	26.9%
518	1	11	0.4%
544	1	7	0.4%
558	1	8	0.4%
585	2	12	0.7%
977	7	7	2.6%

○ 편익 산출 항목

[표 9-51] 고효율, 저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발사업의 편익 산출 요인

(1) 시장규모	'11년 138억불, '21년 1,427억불
(2) 시장점유율	'21년 이후 1.7% 유지
(3) 부가가치율	23.9% (정밀화학/일반기계)
(4) R&D 기여도	28.10% (일괄적용)
(5) 사업화 성공률	34.56% (기계소재, 섬유화학 일괄적용)
(6) 사업 점유효과	25.15% (일괄적용)
(3)×(4)×(5)×(6)	0.58%

- (1) **시장규모** : BCC Research Report에 따라 본 기술의 적용시장규모를 추산한 결과 '07년 138.4억불, '12년 459.3억불 및 '21년에는 1,427억불의 CO₂ 포집-전환 활용 시장이 형성될 것으로 전망됨
 - BCC Research 추산 2010년 환경축매 분야의 전세계 시장 규모는 120억 \$로 자동차 정화용 축매 시장은 2/3 규모이므로 2010년 기준 80억 \$
 - 8%씩 성장추세 적용 시 시장규모는 각각 다음과 같을 것으로 추정됨
 - '11년 86억\$, '12년 93억\$, '13년 101억\$로 CAGR('10-'13)은 8.1%이며 이 같은 추산은 선박축매나 건설기계축매 등 신규 환경축매 시장의 성장률을 포함하지 않은 수치임
- (2) **시장점유율** : 환경축매 분야 현재 세계시장 점유율은 약 3%로 보고되며, 이를 바탕으로 상용화시점의 기획위원회 추정 시장점유율은 4.6%로 유지될 전망

[표 9-52] 고효율, 저비용 배기가스 정화용 축매시스템 개발사업 매출 예상규모

(단위: 십억불)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
A. 시장규모	18.8	20.3	22.0	23.7	25.7	27.7	30.0	32.4	35.0
B. 시장점유율	4.6%	4.6%	4.6%	4.6%	4.6%	4.6%	4.6%	4.6%	4.6%
C. 매출 예상규모	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6

- (3) **부가가치율** : 정밀화학(22.8%) 및 일반기계(25.0%)의 3개년 평균 부가가치율 23.9% 적용

[표 9-53] 부가가치율

	2008	2009	2010	AVERAGE
정밀화학	22.07	24.05	22.38	22.8%
일반기계	24.43	25.53	25	25.0%

- (4) **사업화 성공률** : “기계소재“, ”섬유화학“ 부문 평균 사업화 성공률인 34.56% 적용
- (5) **사업 점유효과** : 25.15% 일괄적용

- '21~'29년에 걸쳐 9년간 발생하는 총 편익은 829억원이며 '13년 기준 PV(현재가치)는 428억원으로 추산됨
 - 세부사업의 BCR은 2.72로 추정

[표 9-54] CO₂ 활용 촉매 제조기술개발사업의 편익 추정

(단위: 억원)

	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	합계
편익	66	72	77	84	90	98	105	114	123	829
PV('13)	43	44	45	46	47	49	50	51	52	428

5. 경제성 분석 소결

- 미래 시장규모 추정에 의해 연구개발이 기여한 편익을 산출함으로써 동 사업의 투자 경제성을 분석
- 비용 지원 규모에 대한 타당성 확보
 - 미래 신기술·신산업 창출을 위해 필요한 대형, 장기 연구개발 투자 규모 달성 (세부사업별 평균 1,250억원/6년 정부지원)
 - 부처 연구개발 예산 범위 내에서 지원 가능
- 세부사업별 비용편익분석 결과는 BCR 2.39~6.83 범위로 산출되어 사업 추진의 경제성을 확인
 - 석유화학 촉매 분야 BCR은 2.39~4.92 범위임
 - 에너지 촉매 분야 BCR은 2.39임
 - 환경 분야 BCR은 2.72~6.83임
- 동 사업은 적절한 편익유형 선택에 따라 비용편익분석을 수행하였으며, 투자비용의 적절성, 기대편익 수준에 근거하여 사업 추진에 대한 충분한 경제적 타당성을 확보

IX

결 론

결론

- 동 사업은 시장 형성단계의 기술개발을 목표로 함으로써 신시장 창출을 위한 대상기술로서 적정하며, 창조경제 구현을 위한 대형 R&D 사업에 부합하는 사업 추진 절차와 체계로 기술적 타당성 확보
 - 신시장 창출의 사업 목표와 기술개발상태 및 수준에 따른 현실적인 사업 목표 등이 연계되어 전체 사업계획 완성도가 높음
 - 세부사업별 목표기술과 해당기술에 타겟하는 구체적인 목표시장과 산업을 명확히 제시하고 있어 실현가능한 목표를 제시
 - 소재-공정 공동개발, PD 책임관리 제도 및 대·중소기업 상생 등의 차별적 개발방향을 근거로 사업 추진절차, 추진체계의 논리적 구성과 구체적인 전략이 제시되어 신시장 창출을 위한 기술개발 계획으로 매우 적정
 - 관련 기술 동향 및 기술 수준은 시장 초기 단계로서 기술개발 성공 가능성이 높으며, 시장 초기 선점시 신시장 창출의 목표 달성 가능
 - 기존 기술개발 사업과 사업목표, 개발내용 등이 중복되지 않는 사업으로서 동 사업의 정부 투자 및 기술개발 필요성이 높음

- 동 사업은 국가과학기술 상위계획 및 중기재정계획에 부합되며 지식경제부의 사업추진 의지가 확고하여 신시장 창출을 위한 일관성 있는 정책적 타당성 확보
 - 신시장 창출의 사업 목표와 9개 세부사업은 ‘국가과학기술기본계획’과 ‘신성장동력 비전 및 발전전략’에 모두 부합되어 국가 전략적 중요성과 시급성으로 인한 동 사업의 추진 타당성 확보
 - 국고지원의 법적 근거 및 요건이 구체적으로 제시 되어있고, 주요 선진국들의 대규모 신시장 창출형 R&D 투자 경쟁으로 신시장 창출 경

쟁의 선점을 위해 국고지원 필요성이 매우 높음

- 세부사업별 비용편익분석 결과는 BCR 2.39~6.83 범위로 산출되어 사업 추진의 경제성을 확인
 - 석유화학 촉매 분야 BCR은 2.39~4.92 범위임
 - 에너지 촉매 분야 BCR은 2.39임
 - 환경 분야 BCR은 2.72~6.83임



**< 청정에너지 생태계 선점을 위한 차세대촉매
기술개발 사업 타당성 분석 결론 >**

예비타당성조사 결과 기술성, 정책성, 경제성 분석 항목과 기술개발계획 적정성, 기술개발 성공가능성, 기존 사업과의 중복성, 정책적 일관성 및 추진 의지, 국고지원의 적합성, 비용편익 등의 세부 분석항목 모두 사업 추진에 대한 타당성을 확보

부록 1. 기술수요조사서

안녕하십니까?

울산과학기술대학교(UNIST)는 화학 공정 및 소재 분야의 기술 기획과 정책 활동을 통해 화학산업 R&D 발전전략을 제시하고 국가 R&D사업의 효과적 관리를 통해 우수한 연구 성과를 창출하도록 지원하고자 합니다.

이러한 기관고유의 임무수행과 고객중심의 역할을 충실히 다하기 위해서 산·학·연 전문가 분들의 일선수요를 파악하여 국가연구개발사업의 과제발굴에 반영함으로써 기술정책·경제적 활용성 및 실용화 가능성이 높은 연구개발 사업을 수행하고자 합니다

특히, 국가연구개발사업 중 **울산과학기술대학교는 화학소재 및 공정의 신규 R&D 사업을 추진하고자** 기업의 기술개발 수요제안서를 요청 드리오니, 귀 기관의 기술개발 수요제안서 작성시 **향후 R&D사업의 확보 및 참여 가능성이 향상됨으로 적극적인 참여를 부탁드립니다.**

귀 기관의 기술수요가 대한민국의 화학소재 및 공정 R&D 발전 및 국민소득 4만불 달성의 견인차가 될 수 있음을 양지하시어 적극적인 수요제안을 부탁드립니다.

끝으로 귀하(기관)의 무궁한 발전과 건승을 기원합니다.

감사합니다.

2012.12.11

울산과학기술대학교
울산광역시
지식경제부

담당자 : 울산과학기술대학교 0000, (전화번호 0000000), (이메일 000000000000)

기술수요조사서 작성방법

1. 제안기술 개요 : 제안하는 기술의 가장 핵심적인 내용을 표현하여야 합니다.

가. 제안기술명 (가장 유사하거나 연관된 기술, 활용가능한 기술을 선택하여 주십시오)

대분야	중분야	세부분야	세부기술
석유 화학	1. 고기능성 고분자 촉매 및 정밀화학 제품 개발	알킬알루미늄 조촉매 개발	TMA/TEA/TIBA 제조기술 개발(실용화)
			MAO/m-MAO 제조기술 개발(응용)
			MAO 대체 조촉매 개발(원천)
		정밀화학 소재 기술 개발	전자재료용 정밀화학 전구체 및 중간체 촉매제조 개발(실용화)
	에너지소재개발에 필요한 핵심 응용기술개발(응용)		
	메탈로센 촉매 양산화 기술(실용화)		
	2. 저탄소화합물(C1~6) 전환기술 개발	알파 올레핀 제조 및 활용 기술	폴리알파올레핀 윤활유 제조 촉매 기술(응용)
			에틸렌/알파-올레핀 공중합 균일계 촉매 기술(응용)
			NGL을 활용한 알파올레핀 제조 촉매(원천)
		저급 가스 고도화 활용 기술 개발	합성가스로부터의 MEG직접제조(응용)
			부생가스로부터 부타디엔 제조(응용)
			NGL을 활용한 화학원료 제조 기술(원천)
	3. 석유화학 저급 중질유분 고도화 기술 개발	경질납사 고부가화 기술	경질납사 고부가화 기술 (연료 및 합성기유 생산)(응용)
		중질유 고부가화 기술	중질유 처리 촉매기술개발 (RHDS, HVC, RFCC 촉매개발 및 제조)(응용)
	4. 비식용작물을 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	비식용작물 전환 공정 개발	초중질유분 처리기술 개발 (Slurry HC 촉매기술개발)(원천)
			글리세린으로 아크릴산 중간체 (아크롤레인) 제조를 위한 탈수촉매 공정개발(응용)
비식용작물 전환 촉매개발		탄화수소 생산을 위한 수소 소모가 없는 탈산소 촉매 개발(원천)	
		비식용작물을 활용한 Levulinic Acid 제조용 불균일계 촉매 기술 개발(원천)	
비식용작물을 활용 석유화학 원료 제조 기술 개발(원천)		비식용작물을 활용 석유화학 원료 제조 기술 개발(원천)	
		활성금속고담지촉매제조기술개발(원천)	
		환경가스 에너지화 그래핀 기반 촉매기술 개발 (원천)	
에너지	5. 환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	환경가스를 활용한 자동차 연료 제조 기술	
		촉매 모듈형 컴팩트 열교환 반응기술 개발 (응용)	
	6. 반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	반도체 촉매를 적용한 차세대 연료 생산 기술개발	광반응 연료 생산용 금속산화물 반도체 설계 (원천)
3차원 나노구조체 적용 전극 제조 기술 (응용)			
촉매 대량 생산 기술 (실용)			
7. 차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	차세대 금속 공기전지 고효율 촉매 개발	금속 공기전지 고효율 촉매 개발 (원천)	
		고효율 촉매를 적용한 금속 공기전지 생산 기술 (실용)	
환경	8. 고효율,저비용 배기가스 정화용 촉매시스템 개발	고효율,저비용배기가스 정화용 촉매시스템개발	연료직접이용 배기가스 SCR기술 (실-응)
			비백금/초저백금계 저온산화 촉매 (원)
			배기가스, 탄화수소 흡착 (응)
	4-way, 일체형 촉매 시스템 개발 (원)		
	9. CO ₂ 활용 촉매 개발	CO ₂ 활용 촉매 개발	중고온용(100도이상)신규흡착/촉매소재개발(실),
CO ₂ 를 이용한 고분자 합성 촉매 개발 (실)			
CO ₂ 전환 합성가스 제조 촉매 기술 (실-응)			
'CO ₂ 이용 케미컬 직접합성 촉매 (원)			

나. 기초, 응용, 개발 구분기준

구분	내 용
기초 연구	- 자연현상의 원리 규명을 통해 새로운 창조적 지식을 획득하는 연구 - 미래의 광범위한 응용을 위하여 원천지식의 토대를 산출하는 연구
응용 연구	- 이미 알려진 지식을 심화·발전시켜 특정 문제를 해결하거나 특정 상황에 적용하여 활용하는 연구 - 연구가 성공적으로 이루어져 기대하는 결과(물)를 얻을 경우, 그 결과(물)가 적용될 분야가 확실한 연구
개발 연구	- 실용적이고 유통 가능한 (시)제품, 물질, 장치 또는 제품의 공정과정을 개발하기 위한 연구

다. 기술분류는 (별첨 1), (별첨 2), (별첨 3)를 참조하여 기재합니다.

라. TRL은 제안기술의 개발단계(시작, 종료)를 기재합니다.

□ TRL(Technology readiness Level) : 핵심요소기술의 기술적 성숙도에 대한 일관성 있는 객관적인 지표

OLED사업화기술개발은 TRL 3단계~7단계까지 범위의 사업

< TRL 단계별 정의 >



< TRL 단계별 평가지표 예시 >

구분	단계	TRL정의	산업분야							
			기계·로봇	소재	전기전자	정보통신	S/W	섬유화학	고분자세라믹	바이오
기초연구 단계	1	기초실험	과학적 연구단계 (기초논문, 기초연구 수준)				기초 이론/실험	과학적 연구단계 (기초논문, 기초연구 수준)		응용원리
	2	개념정립	기본원리가 응용기술개발로 전이되는 단계 (응용논문, 특허 수준)				실용목적의 아이디어, 논문 등 개념 정립	기본원리가 응용기술개발로 전이되는 단계 (응용논문, 특허 수준)		탐색·정제
실험 단계	3	기본 성능검증	모델링/설계	소재 합성/배양	모델링/설계	모델링/설계	SW 모델링 (분석/설계)	소재 합성/배양	소재 합성/배양	효능연구
	4	부품/시스템 성능검증	핵심 요소기술	최적의 배합비	핵심 요소기술	핵심 요소기술	연구시제품 (프로토타입) 구현	최적의 배합	최적의 배합비	핵심요소기술
시제품 단계	5	부품/시스템 시제품 제작	제작기술 확보	공정 최적화	제작기술 확보	제작기술 확보	서비스시스템 개발(분석/설계/구현)	공정 최적화	공정 최적화	공정최적화 (분리·배양)
	6	시제품 성능평가	시제품 성능	시제품 성능	시제품 성능	시제품 성능	서비스시스템 시험/유효성 확인	시제품 성능	시제품 성능	제재화 전임상
실용화 단계	7	시제품 신뢰성 평가	신뢰성 평가	신뢰성 평가	신뢰성 평가	신뢰성 평가	시스템 통합/검증	신뢰성 평가	신뢰성 평가	임상 (1,2상)
	8	시제품 인증	KS/ISO 인증	KS/ISO 인증	KS/ISO 인증	KS/ISO 인증	(실제 환경에서의) 시스템 시험/검증	안정성 인허가	KS/ISO 인증	임상 (3상)
양산	9	사업화	-	-	-	-	사업화	-	-	식약청 허가

2. 제안기술개발의 목표 및 내용

가. 제안기술 개발목표 : 해당기업에서 향후 차세대 화학 및 촉매 R&D사업을 추진시 참여 가능 및 개발 하고자 하는 기술(또는 공정)의 수준성능 및 품질을 가능한 한 정서정량적으로 기술

나. 제안기술 개발내용 : 기술개발의 목표를 달성하기 위하여 수행할 세부기술의 내용 및 범위를 기술하고, 연구개발 예정품에 대한 사양성능·용도 및 기능 등에 대하여 기술하여야 합니다.

※ 필요시 현재기술의 한계와 이의 극복을 위하여 요구되는 새로운 기술원리, 재료 또는 기능 등을 기입

다. 예상 기술개발 기간 : 제안기술 개발에 소요되는 예상 기간을 연 단위로 기술합니다.

수요조사서

1. 제안기술 개요

제안기술명	상단에서 선택		
제안기관	서울(), 부산(), 대구(), 인천(), 대전() 울산(), 광주(), 경기(), 강원(), 충남(), 충북(), 전남(), 전북(), 경남(), 경북(), 제주()	대기업(), 중견기업(), 중소기업(), 대학교(), 정부기관(), 연구소(), 협회(), 기타()	
기술 유형	기초(), 응용(), 개발()		
	기술준비도 (TRL) 1~9중 선택	시작 : ()단계 종료 : ()단계	

2. 제안기술개발 내용

제안기술 개발목표	
제안기술 개발내용	
예상 기술개발 기간	() 년

3. 제안기술개발 규모 및 추진체계

가. 제안기술개발의 규모

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계
연구비	백만원	백만원	백만원	백만원	백만원
연구인력	(M/Y)	(M/Y)	(M/Y)	(M/Y)	(M/Y)

나. 제안기술개발의 추진체계

- 주관기관 : 산업체 대학 연구소 제한없음
- 참여기관 : 산업체 대학 연구소 제한없음

4. 제안자 인적사항

성명		소속기관명	
소속부서		직위	
주소	(TEL)	(FAX)	(E-mail)
소속기관 주소			

부록 2. 사업비 총괄

□ 석유화학 분야

대분야	중분야	세부분야	세부 기술 (원천/응용/실용화)	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		6차년도		7차년도		총액			
				정부	민간	정부	민간	정부	민간												
석유화학	고기능성 및 복합 촉매 및 정밀화학제품 개발	알킬알루미늄 조촉매 개발	TMA/TEA/TIBA 제조기술 개발(실용화) MAO/m-MAO 제조기술 개발(응용) MAO 대체 조촉매 개발(원천)	20	12	20	12	20	12	20	12	20	12	20	12	20	12	20	12	60	36
				10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	70	42
				2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	36	21
	정밀화학소재 기술 개발	전자재료용 정밀화학 연구제 및 중간제 촉매 제조 기술(실용화) 에너지소재개발에 필요한 핵심 응용기술 개발(응용)	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	15	6	
			2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	16	9	
			6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	18	12	
	저탄소 화학(1~6) 전 기술 개발	알파 올레핀 제조 및 활용 기술 에틸렌/알파-올레핀 공중합 균일계 촉매 기술(응용) NGL을 활용한 알파올레핀 제조 촉매(원천)	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	29	14	
			5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	29	14	
			2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	36	21	
	석유화학저탄소 정밀유분 고도화 기술 개발	저급 가스 고도화 활용 기술 개발 정질납사 고부가가치 기술 (연료 및 합성기유 생산)(응용) 중질유 고부가가치 기술 비식용잔물 전환 공정 개발	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	29	14	
			5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	29	14	
			2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	36	21	
	비식용잔물 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	비식용잔물 전환 공정 개발 비식용잔물 원료로 사용하는 석유화학 원료 제조	7	4	7	4	7	4	7	4	7	4	7	4	7	4	7	4	81	46	
2			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	36	21		
2			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	36	21		
소계																		704	402		

□ 에너지 분야

		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	총액	
대분야	중분야	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	
	세부분야	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	
에너지	세부기술 (원천/응용/실용화)	실용화, 응용, 원천 여부	원천							
		활성금속 고담지 촉매 제조 기술 개발 (원천)	10	6.15	12	7.38	12	7.38	7	4.31
에너지	세부기술 (원천/응용/실용화)	원천	5	3.08	5	3.08	5	3.08	5	3.08
		환경가스를 활용한 저온 저온 연료 제조 기술 개발 (원천)	5	3.08	5	3.08	5	3.08	5	3.08
에너지	세부기술 (원천/응용/실용화)	응용		20	12.3	30	18.5	10	6.15	100
		촉매 모듈형 컴팩트 열교환 반응기술 개발 (응용)		20	12.3	30	18.5	10	6.15	100
에너지	세부기술 (원천/응용/실용화)	원천	14	8.6	9	5.52	9	5.52	9	5.52
		광반응연료 생산용 금속산화물 반도체 설계 (원천)	14	8.6	9	5.52	9	5.52	9	5.52
에너지	세부기술 (원천/응용/실용화)	응용	14	8.6	13	8	10	6.2	9	5.52
		3차원 나노구조체 적용 전극 제조 기술 (응용)	14	8.6	13	8	10	6.2	9	5.52
에너지	세부기술 (원천/응용/실용화)	원천	6	3.69	6	3.69	6	3.69	6	3.69
		금속 공기전지 고효율 촉매 개발 (원천)	6	3.69	6	3.69	6	3.69	6	3.69
에너지	세부기술 (원천/응용/실용화)	실용	4	2.46	4	2.46	4	2.46	4	2.46
		고효율 촉매를 적용한 금속 공기전지 생산 기술 (실용)	4	2.46	4	2.46	4	2.46	4	2.46
소계									406	
									250	

□ 환경 분야

대분야	중분야	세부분야	기술 (원천/응용/실용화)	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		6차년도		7차년도		총액		
				정부	민간	정부														
환경	자동차용, 일체형 배기가스 저리시스템 개발	세부분야	연료직접이용 배기가스 SCR기술 (실-응) 비백금/쏘저백금계 저온산화 촉매 (원) 배기가스, 탄화수소 흡착 (응) 4-way, 일체형 촉매 시스템 개발 (원)	실용	5.71	3.52	5.71	3.52	5.71	3.52	5.71	3.52	5.71	3.52	5.71	3.52	5.71	3.52	40	24.6
				응용	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64
환경	CO2활용 촉매 개발	세부분야	중고온용(100도 이상)신규 흡착/촉매 소재 개발 (실), CO2를 이용한 고분자 합성 촉매 개발 (실), CO2전환 합성가스 제조 촉매 기술 (실-응) CO2 이용 케미컬 직접합성 촉매 (원)	실용	5.71	3.52	5.71	3.52	5.71	3.52	5.71	3.52	5.71	3.52	5.71	3.52	5.71	3.52	40	24.6
				실용	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64	4.29	2.64
환경				실용	2.86	1.76	2.86	1.76	2.86	1.76	2.86	1.76	2.86	1.76	2.86	1.76	2.86	1.76	20	12.3
소계																		240	148	