

## 환경·에너지분야의 연구개발(R&D) 국제비교

자원고갈 및 자원민족주의 대두 등으로 세계 주요국들은 에너지정책을 중시하여, 관련기술연구개발을 전략적으로 강화하는 추세임. 일본의 환경·에너지에 관한 연구개발의 국제적인 위상을 파악하여 신기술개발의 동향을 포착하기 위한 목적으로, 에너지, 환경보전, 자원순환, 자연생태관리의 4개 분야에 있어서 미국, 유럽, 중국, 한국과의 국제 비교함

### □ 에너지분야

- (에너지정책 기초) 에너지 안보(Energy security), 온난화 대책(Environment), 효율적 공급(Economy)뿐만 아니라 에너지를 기축으로 한 경제성장의 실현과 에너지산업 구조개혁
  - 에너지 자급률 및 화석연료의 자주개발 비율을 배가(~ '30)
  - 에너지 자급률 : 38%( '10)→70%( '30)
  - 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 무배출 전원비율 : 34%( '10)→70%( '30)
  - 가정부문의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출 반감
  - 산업부문 세계최고의 에너지 이용효율의 유지·강화 도모
  - 일본 기업군의 에너지제품 등의 국제시장 점유율 확대
- 저탄소사회로의 이행은 세계적인 흐름으로서 화석자원이용을 전제로 한 기술체계와 산업구조의 근본적인 개혁이 필요한 시기에 접어들
  - 에너지분야는 다양한 기술의 효율성과 환경부하를 평가하고 경제성, 사회적 수용성 등에 따른 적재적소의 도입을 목표로 일본 및 세계 각 지역의 중장기계획 필요

## (재래형 석유자원)

- 기존 유전에서 생산효율 향상을 위한 기술개발이 진행되고 있으며 타이트가스(gas-tight), 셰일가스(shale gas), 오일샌드(oil-sand) 등 비재래형자원이용 기술개발이 미국, 캐나다에서 추진되고 있으며 일본, 한국은 상대적으로 뒤쳐져 있음

## (연료전지)

- 기초·응용 개발연구는 미국이 주도하고 있으며 상용판매하고 있는 회사의 대부분은 미국에 위치하고 있음. 일본의 연구도 높은 수준에 있으며 한국에서는 연료전지의 보급이 급속하게 진행될 것으로 예상됨. 고체전해질형 연료전지도 일본, 미국, 유럽에서 경쟁적으로 기초·개발연구가 진행되고 있음

## (석탄가스화 복합발전)

- 세계발전량의 40%를 차지하는 석탄화력의 CO<sub>2</sub>배출량을 억제하고 고효율을 달성하는 석탄가스화복합발전(IGCC)은 미국, 호주에서 CCS를 조합한 시스템으로 기초·응용개발연구가 진행되고 있음. 일본도 기초연구를 바탕으로 꾸준한 기술개발을 추진하고 있음. 한국, 중국은 선진기술 도입으로 연구개발에 박차를 가하고 있음

※ IGCC(Integrated coal Gasification Combined Cycle) : 석탄을 고온·고압에서 가스화시켜 전기를 생산하는 차세대 친환경 발전기술

※ CCS(Carbon dioxide Capture and Storage) : 대규모 온실가스 배출원에서 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 포집하여 지중해양에 저장하는 기술

- (일본) 최신형 가스터빈 연구개발에 주력하여 세계 최초로 1600℃급 가스터빈 상용운전을 칸사이(關西)전력과 도쿄(東京)전력에서 추진하고 있으며, 또한 국가프로젝트로 연소온도가 1700℃급 가스터빈을 개발 중에 있음

- (시사점) 일본이 세계최고 수준을 지니고 있는 초초임계압(USC: Ultra-Super Critical) 화력발전분야는 유럽, 중국이 방대한 생산능력과 저비용으로 추격해오고 있어 일본의 우위는 앞으로 5년 정도로 예측됨. 개량형 초초임계압(A-USC: Advanced Ultra-Super Critical)에서는 700℃를 넘는 耐熱재료의 개발이 핵심. IGCC는 기술력, 생산능력 모두 일본이 전 세계를 주도하고 있으며 당분간 일본이 세계 최고의 산업기술력을 유지할 것으로 예측

#### (원자력발전)

- 에너지 안정공급과 온난화가스 저감대책으로 원자력발전소 건설계획은 늘어날 경향이며 각국에서는 신형경수로 등의 연구개발이 진행되고 있음. 특히 중국, 인도는 자체개발, 해외기술을 바탕으로 한 지속적인 연구개발로 상당한 진전이 예상됨. 유럽에서는 원자력 추진국인 프랑스, 러시아가 신형경수로, 고속증식로의 연구개발을 적극 추진하고 있으며 기술개발 수준도 높음. 일본은 2011년 3월 후쿠시마 제1 원자력발전소 사고로 인해 자연재해에 대한 안전, 방사선被曝, 오염제거 등에 관한 연구가 강화될 것으로 예상됨
- (시사점) 원전건설시장을 선점하기 위하여 프랑스, 일본, 한국, 러시아 등이 경쟁하고 있는 가운데 신형경수로의 연구개발에 박차를 가하고 있음. 향후 원전건설이 예상되는 중국, 인도에서는 경수로건설·운전에 관한 기술 확보와 인재 육성을 적극적으로 추진하고 있음. 고속증식로 사이클 연구개발은 일본, 프랑스, 인도, 중국, 러시아에서 이루어지고 있음

#### (재생가능에너지)

- 각 국의 정책지원을 기반으로 도입량이 급속히 증가하고 있으며, 태양전지, 풍력발전, 바이오연료분야는 매년 수십%씩 증가함. 급격한

시장 확대가 기반이 되어 재생가능에너지 연구개발의 중점영역도 변화하고 있음

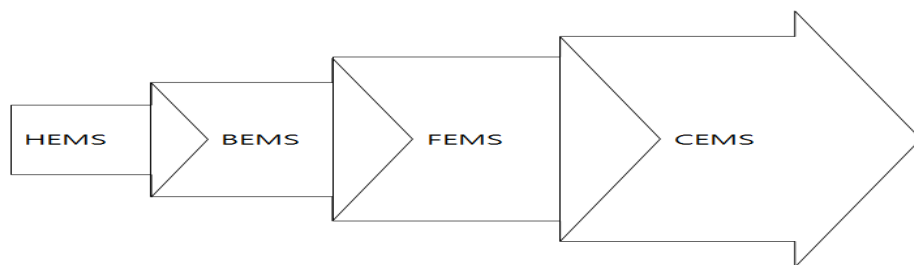
- (풍력발전·태양전지) 각국 모두 재생가능에너지기술에 관한 기초·응용개발 연구에 주력하고 있음. 박막실리콘, 유기계, 화합물, 차세대태양전지의 기초연구는 일본, 미국, 유럽이 선두경쟁을 하고 있지만, 제품개발·시장도입에서는 독일, 중국, 일본이 선행하고 있음. 풍력발전은 유럽, 바이오연료는 미국이 선행하고 있음. 일본은 해상풍력개발을 시작하였으며, 중국은 바이오연료 연구개발에 진전이 있음
- (태양열발전) 일조조건이 좋은 스페인과 북아프리카 등에서 도입 계획이 이루어지고 있음. 장비기술은 일본, 미국, 유럽이 앞서있으나 향후 송배전기술을 포함한 시스템기술이 좌우하게 될 것임. 태양열을 열원으로 한 제습(Desiccant)냉방시스템은 프랑스, 독일, 미국, 일본에서 연구개발이 진행되고 있음
  - ※ 태양광발전과 태양열발전 비교: 태양광발전은 반도체 등에 의해 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 반면에, 태양열발전은 태양열에너지를 집열, 기름 등의 매체를 고온가열, 증기를 생성시켜 발전
- (열전병합발전) 고효율 가스엔진시스템은 유럽이 선행하고 있으며 일본에서는 고체고분자형 연료전지를 이용한 가정용 시스템의 연구개발에서 선행하고 있음
  - ※ 연료전지는 도시가스, LP가스 등에서 수소를 추출하여 공기 중의 산소와 반응시켜 발전하는 시스템. 발전시의 폐열도 이용하기 때문에 에너지 효율이 상당히 높음

#### (스마트그리드)

- 스마트그리드에 대한 정의는 아직 확립되어 있지 않지만 일반적으로 정보통신기술(ICT: Information and Communication Technology)을 이용해 전력공급자와 수요자 사이의 정보교환을 통해 보다

## 스마트하게 운용하는 전력시스템임

- (일본) 초고압송전기술, 초전도선재기술 등에서 선행하고 있으며 유럽은 파워일렉트릭기술, 직류송전기술에서 선행하고 있음. 자연에너지의 대량도입을 위한 그리드기술 등의 연구개발도 활발함. 스마트그리드를 구성하는 스마트미터 및 정보통신단말기, HEMS에 관한 연구개발이 각국에서 진행되고 있음. 각국의 스마트그리드 도입목적, 제도 등이 달라 연구개발상황은 나라마다 차이가 있음
- (시사점) 스마트그리드는 수요자가 전력시스템의 운용에 참여함으로써 재생가능에너지 도입에 의한 악영향을 완화시키거나, 전력시스템의 발전소나 송배전시스템 확충을 위한 투자를 지연시켜 전기요금을 안정화시키는 것이 목적임. 미국은 후자에 유럽과 일본은 전자에 초점을 두고 있음. 한편, 전력수요가 급증하고 있는 중국에서는 전력시스템의 확충과 함께 스마트그리드를 계획하고 있음



### 전력수급균형을 효율적으로 조정하기 위한 EMS 개념

(HEMS) Home Energy management System, (BEMS) Building Energy Management System, (FEMS) Factory Energy Management System, (CEMS) City Energy Management System

## (이차전지)

- NaS전지, 하이브리드자동차(PHV), 전기자동차(PHEV)의 리튬이온전지의 연구기술수준은 일본이 구미보다 선행하고 있지만 산업측면에서는 구미, 중국이 집중투자와 함께 長수명 전극재료, 전해액 등의

연구기술에 박차를 가하고 있음. 한편으로는 현재의 이차전지 성능은 거의 한계에 도달해 있어 한층 더 발전을 위해서는 혁신적인 재료개발이 필요함. 차세대 리튬이온전지로서 리튬-공기전지가 구미에서 주목받고 있으며 금속-공기전지의 기초연구도 시작되고 있음

※ NaS(Sodium-Sulfur battery): NaS전지는 2010년 기준으로 전 세계적으로 약 200여곳에 총 270MW규모로 운영되고 있으나 일본의 NGK가 독점 공급하고 있으나, 포스코의 국내 최초 개발성공으로 우리나라의 에너지저장 장치기술을 한 차원 높이는 계기가 될 것으로 전망

- (시사점) 태양광이나 풍력발전과 같은 재생가능에너지가 도입됨에 따라 대규모 전력저장기술, 특히 이차전지의 중요성이 높아지고 있음. 도쿄전력은 NaS전지 지속적인 개발로 실적을 쌓고 있음. 한편, 스마트그리드 개발예산의 70%는 이차전지와 관련되어 있음. PHV, PHEV용으로 개발된 리튬이온전지를 내장하여 전력저장용으로 대용량화 개발연구도 진행되고 있음. 카와사키중공업이 니켈-수소전지를 기반으로 대용량 이차전지(기가셀)을 개발하여 차량탑재 및 철도전력망에 연결하여 실증시험을 시작함

#### (건물·주택)

- 구미에서 제로에너지주택(ZEH), 에너지생산주택에 대한 연구 개발이 진행되고 있으며, 일본에서는 고단열주택의 건설이 시작되어, 앞으로 이러한 연구가 활발해질 것으로 예상됨

- (경제산업성) 2020년까지 「net zero energy house」 신축주택 표준 모델 구축

※ ZEH는 주택·건축구조물의 에너지절약 성능향상 및 부하제어 등을 종합적으로 설계하여 주거건물의 에너지 소비량을 실질적으로 제로에 가깝게 하는 기술. 여기에서, Net Zero는 태양전지 등으로 만든 잉여전력을 전력회사 등에 파는 전력량과 악천후나 야간 등에 전력회사로부터의 구입전력



량이 거의 동일하여, 외부에서 구입하는 에너지량이 실질적으로는 zero가 된다는 의미

- (시사점) 에너지소비의 큰 비중을 차지하는 냉·난방부하를 저감시키기 위해서는 건물의 열적성능 향상, 태양열 등의 자연에너지 이용, 열손실의 억제 등이 중요함

#### (교통)

- 하이브리드자동차(HV), 전기자동차(EV), 연료전지자동차(FCV), 수소저장 관련 연구개발은 일본, 미국, 유럽이 선행하고 있음. 한국에서의 개발도 빠르게 진행되고 있으며, 소형 EV에 대해서는 중국의 추격도 가파름. 향후의 시장도입 시나리오는 현재의 HV에서 PHV로, 전지개발과 함께 근거리용 EV, 그리고 수소인프라 정비와 함께 FCV의 도입이 예상됨

#### □ 자원순환분야

- 이 분야의 기술과 연구개발은 각국, 각 지역의 법제도와 지리적 조건과 밀접한 관계를 가지고 있음. 일본은 개별기술에 대해서는 높은 수준에 있지만 시스템화가 충분하지 않아, 특히 아시아지역의 해외 전개에서는 패키지가 중요함. 연구 성과의 영어로의 정보발신이 부족하기 때문에 일본의 기술이 국제적으로 충분히 인지되어 있지 않은 것도 문제로 지적되고 있음. 제품의 유해물질 사용규제에 있어서는 유럽의 리더십이 국제적으로 큰 영향을 발휘해 왔지만, 일본이 추진해 온 3R의 국제적 보급을 정맥산업의 국제경쟁력 강화에 연결해 나가는 것이 과제임

#### (바이오매스계 순환자원 재활용기술)

- (일본) 현장실태나 요구와 연구개발의 방향성에 다소 괴리가 있

음. 지역에 적합한 시스템에 의해 바이오매스계 폐기물을 합리적이고 효율적으로 처리, 활용할 필요가 있음

- (유럽) 바이오매스계 폐기물로부터의 에너지 회수에 열화학반응 이용이 진행되고 있음. 목질 등 유기질의 연소·에너지회수 기술에 있어서는 유럽이 선행하고 있으며, 고상메탄발효 기술을 활용하여 도시쓰레기, 축산폐기물, 식품폐기물 등의 처리, 에너지회수·활용시스템구축이 진행되고 있음
- (한국) 음식물쓰레기의 사료화·퇴비화시스템의 도입에서 선행하고 있음. 물질수지, 에너지 수지, 경제성, 환경영향 이외에 지역적합성 등을 지표로 한 시스템 구축·도입과 적절한 기술의 연구개발 및 평가 필요

#### (비금속광물계 순환자원 재활용기술)

- 주요 재활용용도는 건축자재 및 시멘트 원료로서의 이용되고 있으며, 각국의 재활용 요구는 천연 자원공급과 폐기물매립처분장의 제약으로 결정
- 재활용기술은 순환자원에 유해물질 함유되어 있는 경우도 있어서 환경리스크에 대한 배려도 요구되어 각국이 요구하는 환경리스크 감소에 대한 수준에도 차이가 있음
- 따라서 각국의 연구수준, 기술개발수준, 산업기술력의 양상은 크게 달라, 국내문제, 국내시장에 접근하는 경향이 강하기 때문에 국제간의 경쟁이 거의 없는 분야임
- 일본과 유럽은 기술력이 높으며 통계적으로도 비금속광물계 순환



자원 재활용비율은 매우 높음

- (일본) 시멘트 원료화기술이 뛰어나고 염소와 중금속 등의 저감기술을 포함한 품질관리기술은 높음. 이 분야의 기술력이 높은 것은 일본의 토목분야의 높은 제조기술력에 원천이 있음. 기타 유해물질을 포함한 석탄재 등의 용융고화기술(일부 원천기술은 유럽이 보유)에 우위가 있지만, 일본의 제로리스크를 요구하는 사회가 세계에서 유례없는 독자적인 기술체계를 구축함
- (유럽) 새로운 패러다임에 의한 환경정책 선행으로 도입하여 연구개발, 산업기술과 연동하여 선구적으로 진전시켜 나가는 것에 우위성이 있음. 그 외의 환경배려에 관한 평가방법의 연구가 선행하여 국제표준화에서 주도권을 취하고 있으며 이 분야에서는 국제경쟁이 거의 없는 현재 상황에서는 문제가 없지만 앞으로 주시할 필요 있음

(금속광물계 순환자원 재활용기술)

- (일본) 기반금속 재활용기술은 성능한계를 정확히 파악하여 고품질관리 및 제어기술에 의해 성분관리를 하고 있음. 이러한 재활용 불순물 처리·재이용기술에 대해서는 일본이 세계를 선도하고 있음
- 고철에서 고품질 강철을 제조하는 기술은 한국과 일본이 높은 수준을 유지하고 있음
- 희소금속의 재활용기술, 연구수준, 기술개발수준, 산업기술력의 모든 항목에서 일본이 압도적으로 세계를 선도하고 있음
- 중국의 희토류의 일시적인 수출금지 조치를 발단으로 자원빈국인 일본의 자원 전략이 주목되는 가운데 희소금속의 재활용기술의

연구개발이 더욱 중요한 과제가 되고 있으나 이 분야의 기술자·연구자가 감소하는 추세에 있기 때문에 인재육성을 위한 중장기적인 대책이 요구됨

- 현시점에서는 아직 중국의 재활용기술 수준은 전반적으로 낮지만 관련 분야에 종사하는 인력이 많으며, 정치주도로 연구 수준도 급속히 높아지고 있음. 중국은 왕성하게 선진국의 기술을 흡수함으로써 세계 산업구조를 바꿀만한 잠재력을 지니고 있음

#### (화석계 순환자원 재활용기술)

- 플라스틱 재활용기술은 기업의 기초기술개발에서 실용화되는 경우가 많으며 이미 성숙되어 있음. 재료재활용에 관계되는 선별기술은 구미가 선행하고 있으며 일본에서는 feed stock 재활용기술(또는 화학적 재활용기술)개발로 선행하고 있음
- feed stock재활용 공정은 지속적인 회수를 가능케 하는 사회 제도나 신규설비, 고도의 운전관리기술이 필요하기 때문에 해외로의 전개는 한정적임
- 전세계의 다양한 분별장치나 세정장치, 파단장치, 반송장치 등을 시스템화하는 산업기술은 각국에서 진행되고 있음. PET 병은 일본에서의 재활용시스템이 중국의 수급관계에 크게 영향을 받기 때문에 사업리스크가 큼
- 일본에서 실용화된 PET모노머 재활용기술은 경제적으로 지속하기가 곤란하기 때문에 사회과학, 정책과학 등의 관점에서 리스크나 지속성에 관한 연구가 기대됨

- LCA에서는 일본의 연구가 세계를 선도하고 있으며 국제 자원순환평가를 위해 개발도상국을 포함한 인벤토리 데이터베이스 구축은 AIST가 추진하고 있으며, 폐가전 등의 국제순환흐름조사에 대해서는 국립환경연구소가 추진하고 있음

(폐기물처리기술; 중간처리)

- (유럽) 1999년 매립법령에 의해 매립지에 유기물반입이 금지됨에 따라 바이오매스계 폐기물의 RDF화, 바이오가스화, 열처리에 의한 가스화 연구가 많이 행해지고 있음
  - ※ 유럽에서는 가연성물질과 불연성물질을 분별하지 않고 혼합쓰레기를 수집 후, 기계선별하여 가연성 물질을 선별한 것을 RDF라고 정의하고 있으며, 일본은 가연성쓰레기로서 수집하여 고형화한 것을 RDF라고 정의하고 있음
- (한국) 기술개발 측면에서는 뒤떨어지지만 유기성폐기물의 자원화를 적극적으로 추진하고 있음
- (일본) 기존의 소각, 가스화용융 등의 기술개발에서 두드러지지만 시설 채용여부는 지자체가 담당하고 있으며 다이옥신문제가 일단락된 후에는 연구·개발이 주춤함. 현재 유럽에는 큰 비즈니스 기회가 있기 때문에 지금까지의 기술과 쌓아온 경험을 활용할 좋은 기회이기 때문에 국내시장 지향에서 벗어나 적극적인 홍보가 필요함
- 저탄소화 및 자원순환은 지금 대응해야 할 과제이나, 신기술개발에는 시간이 필요하기 때문에 기존 기술을 어떻게 사용하느냐가 중요함. 지금 요구되고 있는 것은 발생에서 이용까지 포함하는, 그리고 경제성과 사회성을 고려한 기존기술을 최대한 이용한 ‘사회시스템’을 만들어내는 것이 무엇보다도 필요함

(폐기물처리기술; 최종처분)

- (유럽) 오랫동안 매립을 처리의 중심으로 여기고 있어 관리가 장기화하는 것을 피하기 위해 2000년 이후 유기물자원화, 매립전처리를 적극적으로 지향하고 있음
- 수집에서 중간처리, 매립을 포함하여 하나의 ‘폐기물처리시스템’으로 파악하고 종합적인 대책을 수립하려고 함. 메탄가스 회수를 매립법령에 추가하는 작업도 진행하고 있으며 온난 화대책도 상당히 진행되고 있음
- (일본) 폐수처리, 매립공법 등 개별기술에 대해서는 앞서가고 있지만, 예를 들면 소각재매립지에 생물학적 처리를 설치하여 농촌경관을 고려한 루프식 처분장을 건설하는 등의 조화롭지 못한 경우가 있음. 우수한 기술을 잘 활용하려면 폐기물처리영역에 매립처분을 포함시킬 필요가 있음

## □ 시사점

- 동일본대지진의 여파로 탈원전정책을 내세우는 등 에너지정책의 불투명한 전망이 기본계획에 반영되었으며, 또한 재해로부터의 부흥과 지속적인 성장을 실현하기 위해 과학기술이노베이션 정책을 전면적으로 내세워 중요성을 강조함

자료 : 環境・エネルギー分野 科学技術・研究開発の国際比較2011年度版 (2011)