



주요 선진국의 원자력 연구 개발 체제 비교 분석 및 시사점(2)

정 만 태
산업연구원 연구위원



프랑스

1. 원자력산업 동향

에너지 자원이 부족한 프랑스는 에너지 자급률을 개선하기 위하여 정부의 강력한 뒷받침하에 원자력 발전을 발전원의 중심 전원으로 개발하여 왔다.

내수 시장이 크지 않기 때문에 안전성 관련 연구 및 규제와 기술 개발, 산업계 편성면에서 정책적으로 노형 전략을 가압경수로형 원자로(PWR) 1개로 결정하고 다수기 반

복 건설을 통한 설계 및 기술 수준 자립화를 추구하고 있다.

현재 프랑스는 설비 용량 65.7 GWe의 58개 원자로를 가동중에 있고, 2008년까지 신규 원전을 건설하지 않고서도 전력 수요를 충분히 감당해낼 수 있는 것으로 평가되고 있다.

한편 건설중인 PWR 1기(152만 kW), 건설 계획중인 PWR가 2기(290만 kW), 원전 중지된 FBR 1기(124만 kW)가 있는 것으로 나타나고 있다.

또한 2기의 고속 증식로를 가동중에 있으며(Phoenix: 25만 kW, 및 Super Phoenix: 124만 kW), 19기의 연구용 원자로를 가동 중에 있다.

프랑스 원전의 경우 안전 운영과 수명이 끝난 원자로의 폐기 처분이 중요한 과제로 부각되고 있으며, 프랑스 원전은 운영자들간의 일관된 작업 체제와 책임 운영 체제를 통해

안전성을 유지해 오고 있는 것으로 정평이 나있다.

프랑스는 부족한 에너지 자급률을 개선하기 위하여 원자력 발전에 매우 적극적인 자세를 취하고 있으며, 프랑스의 에너지 정책은 장기적 에너지 공급 능력 확보, 환경 보호와 함께 하는 지속적인 개발 및 에너지 경쟁력 강화에 목적을 두고 추진되어 왔다.

프랑스는 에너지 공급의 안정성을 장기적으로 강화하는 데 주력하면서 점차 원자력 개발, 에너지 절약, 재생 에너지와 외부 공급의 다양화 등을 위한 대형 프로그램을 수행하였다.

원자력산업은 온실 가스 방출, 산성 공해, 그리고 먼지의 억제 등으로 환경 보전에 크게 기여해 왔으며, 그 결과 프랑스는 산성 공해(이산화질소와 유황)의 배출량이 지난 20년간 60% 이상이나 감소하였다. 이산화탄소 배출량이 양적으로

20% 이상 감소하였으며, 이러한 긍정적인 변화 추세의 60%는 원자력에 기인하며 나머지는 에너지 절감 노력에 의한 것으로 평가된다.

프랑스의 원자력 정책은 정부 주도의 일원적 개발 체제를 확립하여 정부 기관과 국영 기업을 중심으로 연구 개발 및 산업화 등 원자력 개발 계획을 강력하게 추진하고 있다.

원전 발주 규모도 대통령을 의장으로 하는 각료 회의에서 2년마다 결정하게 되어 있고, 효율적인 원전 추진을 위하여 신규 원전 건설에 대한 의사 결정 과정을 계획, 인허가 획득 및 사회적 수용의 3분야로 나누어 심층적인 분석을 통하여 원전 사업을 추진하고 있다.

2. 원자력 연구 개발 관련 부처 및 역할 분담

프랑스의 원자력 이용 개발 체제는 정부 기관인 원자력청(CEA)을 중심으로 진행되고 있는 것이 특징이다. CEA는 산하에 원자력의 평화적 이용뿐만 아니라 군사적 이용 분야도 포괄하고 있어, 원자력과 관련된 총체적 임무를 담당하고 있다.

프랑스전력공사(EdF) 또한 CEA의 정책 방향에 적극 협조적이며, 형식적으로 독립되었지만 여전히 CEA-industries라고 불리는

COGEMA·Framatome 등이 원자로 주요 부품을 생산하고 있다.

즉 연구 개발은 원자력청(CEA), 원자로 제조/공급은 FRAMATOME, 원자력발전소 운전은 프랑스 전력공사(EdF), 원전 연료 주기, 즉 원광 채취, 변환, 농축, 재처리, 혼합 산화물의 제작 및 수송은 COGEMA가 담당하여 국립 연구 기관과 국영 기업을 중심으로 한 개발 체계를 유지하고 있다.

최근 프랑스는 AREVA라는 지주 회사를 만들어 Framatome-ANP·COGEMA 등의 산하 업체들을 관리하고, 공동 R&D 및 평가 등의 원활화를 도모하고 있다¹⁾

프랑스 정부 차원의 원자력 행정 체제 및 연구 개발 체제를 보다 세밀히 살펴보면, 대통령 산하에 대외 원자력정책관계협의회(CSPNE)가 있고, 내각에는 산업우정통신부 원자력 관련 업무를 관장한다.

산업우정통신부에는 1973년 3월부터 산업우정통신부 장관의 자문 기관으로서 원자력안전정보최고회의(CSSIN)가 설치되어 있고, 원자력안전정보최고회의에서는 원자력 시설의 건설, 운영, 운전의 확보 및 이상 사태를 회피하고 만약의 사고 영향에 대해 원자력 시설 안전 문제 전체를 조사하는 일반적인 임무의

자문을 행한다.

원자력안전정보최고회의의 구성은 의장, CEA 최고위원, 상하원 의원, 내무성 및 소관 부처의 대표, 노동조합 대표, EdF 총재 및 각 분야의 전문가를 포함하여 35명의 위원으로 구성되어 있다.

프랑스의 행정 조직은 계층적 구조라고 하기보다는 매트릭스(Matrix) 구조를 지향하므로 타부서와의 연관성이 강하며, 대부분의 경우 위원회 조직이라고 하더라도 집행 업무를 수행하고, 행정 조직간의 경계가 분명한 것이 아니라 복합적이고 중층적인 구조를 나타내고 있다.

프랑스의 원자력 행정을 총괄하는 CEA의 경우에도 산업우정통신부의 에너지자원총국(DGEMP)하에 속해 있으면서도 또한 독자적인 행정을 수행하기도 하고, 국방부·환경부·고등교육연구부 등과도 유기적인 관계를 맺기도 한다.

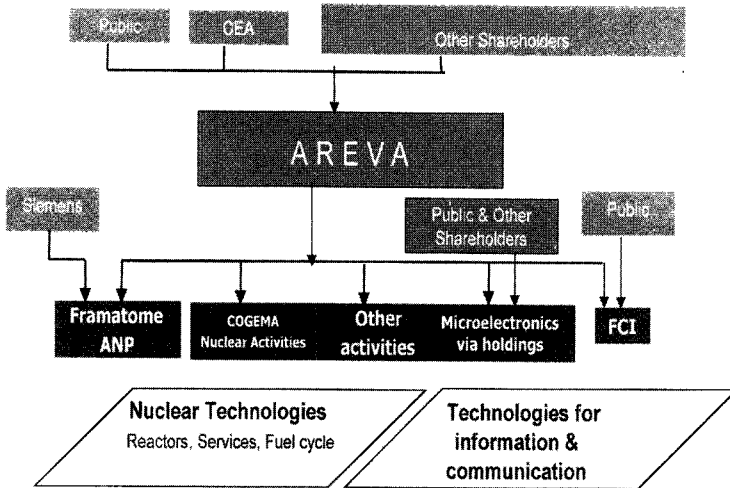
3. 원자력 연구 개발비 규모

원자력청(CEA)은 연구 개발비의 많은 부분을 보조금(CEA 전체 예산의 63%)에 의존한다. 국방부는 대부분의 국방 관련 연구를 보조하고, 민간 연구 프로그램에 대해서는 고등교육연구부 및 산업우정통신부

1) 2001년 9월 설립된 AREVA는 일종의 지주 회사로 '첨단 기술을 통한 삶의 질 향상(Living better through advanced technology)'을 목표로 하고 있으며, 지분 점유 비율은 CEA 78.96%, 정보 5.19%, 투자 증권 보유 4.03%, ERAP 3.21%, EDF 2.42%, ALCATEL 2.23%, 중업원 보유 1.58%, CDC 1.36%, TotalFinaElf 1.02% 등임.



〈그림 1〉 프랑스의 원자력 관리체계도



자료: CEA, Nuclear Energy Div.

〈표 1〉 프랑스의 원자력 연구 이용 개발 체제

구 분	산업우정통신부			환경부	비고
	에너지자원총국		원자력 시설 안전국 (DSIN)		
	원자력청 (CEA)	가스전기 석탄국 (DIGEG)			
1. 원자력 이용 개발 정책	○				군사 부문은 국방부와 연계
2. 원자력 안전 정책 / 안전 규제			○		
3. 원자력 발전 정책		○			
4. 원자력 연구 개발	○				CEA 산하 연구센터
5. 원자력 발전/전력 판매		○			프랑스전력공사 (EdF)
6. 원자력산업 - 핵연료 주기 분야 - 원전 설계/제작 분야 - 방사성 폐기물 관리 분야	○				CEA 산업체 (Cogema 등)
	○				CEA 산업체 (Framatome 등)
				○	ANDRA ¹⁾

주 : ANDRA는 프랑스의 방사성 폐기물 관리 기관

가 예산을 지원한다.

2000년의 경우 71억 3천만 프랑이 국방 분야에서 지원되었으며, 민간 연구 프로그램에서 약 68억 6,900만 프랑이 지원되었다.

CEA의 2000년 예산은 전년 대비 1.5% 증가한 약 190억 프랑이며, 민간 활동(연구)에 약 120억 프랑이 투입되었고 군수 연구에 70억 프랑이 사용되었다.

총급여 비용과 부대 비용(출장 등)은 예산의 총 40%를 차지하며, 프로그램 보조금(연구소 운영)은 40%를 차지하고, 예산의 10%는 투자, 특히 오염시설 및 폐기물 처리(Saclay 및 Cadarache)의 쇄신 비용과 Post-genomic과 Nuclear toxicology biochemistry Department (Marcolue) 부서 창설, DAM의 시뮬레이션 프로그램 유지 등에 사용되었다.

민간 연구의 60%는 정부 보조금으로 지원되고 40%는 CEA 자체 재원으로 지원되는데 동 재원의 절반은 산업체 파트너 (EdF, Cogema, Framatome- ANP, Andra)를 대신하여 수행되는 주요 연구 개발 프로그램에 대한 산업체 지원금에서 나오고, 파트너십 계약을 포함한 비원자력 서비스를 (micro- electronics 등), 인허가 수입, 파이낸싱, 그리고 CEA- Industries (Framatome- ANP, Cogema 그리고 ST Microelect-

〈표 2〉 프랑스 원자력청(CEA)의 재원 및 지출 현황

단위: 백만 프랑스 프랑, %

	1999	2000	증감률
[재원]			
정부 민수 부문	6,676	6,869	2.9
국방성 군수 부문	7,300	7,130	-2.3
외부 재원	4,638	4,824	4.0
이월 수입	104	78	-24.8
[지출]			
인건비, 출장비 등	7,750	7,525	-2.9
프로그램 지원	7,389	7,605	2.9
시설 및 장비	1,906	1,856	-2.6
기타	1,595	1,930	21.0
계	18,640	18,916	1.5

자료: CEA, Financial Report, 2000.

ronics)의 주식 배당금으로 충당한다.

4. 연구 개발 관리 체계

프랑스의 국가 연구 개발 사업은 부처별로 분산 추진되고 있으며, 원자력 기술 분야에 국한된 것은 아니지만 대표적 연구 개발 지원 기관으로 국립연구평가센터(CNER: Center Nationale de Evaluation Recherche)가 있다.

CNER은 1989년 설립되었으며, 민생 연구 개발 예산에 계상된 공공 연구 기관과 연구 프로그램, 관련 조직의 평가를 국가적 차원에서 수행하는 기관이다.

CNER은 과제 제안서의 평가와 관련하여 ① 각각의 사업 주체에 맞

는 방법론 적용, 즉 다원적인 평가 접근 방식 적용 ② 외부 전문가를 위촉하여 평가 위원회를 결성하여 평가를 수행하나, 평가의 객관성과 투명성을 보증하기 위해 가능한 평가 작업은 CNER 스스로 수행 ③ 외부 전문가로 구성된 평가위원회의 작업에는 항상 내부 직원이 참여하여 보조 ④ 평가 결과는 모든 평가위원이 각자의 의견을 낸 후, 심의를 거쳐 만장 일치로 의결함 등을 평가의 기본 원칙으로 삼고 있다.

CNER에서는 평가 위원으로서 외부 전문가를 위촉하는 선정 기준은 ① 전문가의 능력(자격) ② 규정을 준수하는 의지 ③ 평가 대상 사업 주체와 환경에 대한 독립성과 중립성 유지 능력 여부 등을 고려하고

있으며, 선정 대상은 국내외 공공 연구 기관 또는 대학에 소속되어 있는 연구원·기술자이며, 특히 외국 전문가는 평가의 중립성 및 객관성을 보증하기 위해 선정한다.

CNER의 평가위원 시스템과 관련된 큰 특징은 평가 대상자가 선정된 평가위원(즉 외부 전문가)에 대한 의견을 제출할 수 있다는 것이다. CNER은 평가 결과 발표시 평가 결과의 주요 부분만을 발표하는데, 개인 정보, 공업적 소유권, 상업상의 비밀과 정부가 검토중인 안전에 관한 정보는 발표에서 제외하고 있다.

CNER 평가 시스템의 독특한 특징은 '반론 권리'를 인정하고 있다는 것이다. 평가의 최종 단계를 거친 후, CNER의 결론에 대해 평가 대상 기관은 이의를 제기할 수 있는데, 연구 기관의 경우 기관 대표가, 연구 개발 프로그램인 경우에는 해당 프로그램을 지원·관리하는 당국이 이의 사항을 제출한다.

5. 주요 기관별 연구 개발 체제와 특징

가. 원자력청(CEA)

프랑스는 원자력 발전 기술의 개선을 위하여 다양한 연구 개발 프로그램을 수립하여 추진하고 있으며, 이는 산업우정통신부 산하의 CEA를 중심으로 진행된다.

CEA의 주요 임무는 ① 핵무기의



〈표 3〉 프랑스 국립연구평가센터(CNER)의 평가 절차

단계	주요 내용
1단계 (특정화)	<ul style="list-style-type: none"> • 사전 조사 자료 수집: 현지 조사·질문서 송부·면담 등을 통해 평가 대상 조직의 구성 및 인원, 주요 활동 분야, 연혁 등에 대한 자료 수집 • 사전 조사 정보를 근거로 평가 담당자는 작업 일정 기록 • 본 단계에서는 외부 전문가에게 조사를 의뢰하며, 외부 전문가의 활동에 CNER은 개입하지 않는다. 그러나 필요에 따라서는 CNER 현지 조사가 실시될 수도 있으며, 최종 판단시에는 CNER 현지 조사 결과가 우선적으로 고려된다.
2단계 (본 평가)	<ul style="list-style-type: none"> • 평가위원회 구성: 자국 및 외국 전문가로 구성 • 평가 절차는 CNER이 만장 일치로 정한 일정과 계획에 따라 추진 • 보고서: 전문가 개별 보고서, 총괄 보고서(대조 조사 단계의 자료로 활용됨) 두 종류 제출
3단계 (대조 심사)	<ul style="list-style-type: none"> • 위원회를 개최하여 평가 대상 사업 주체의 의견과 반대론 청취
4단계 (의견서 및 권고 작성)	<ul style="list-style-type: none"> • 작성된 의견서와 권고는 평가 대상 기관을 소관하는 장관 및 연구 담당 장관에게 제출

자료: CNER.

연구 설계 제조 ② 원자력의 평화적 이용을 위한 원자로의 설계 및 핵연료 주기의 연구 ③ 원자력 분야 이외에 대한 원자력 기술과 응용, 에너지 절약, 신에너지 이용, 방사성 동위원소(RI) 이용 개발 등이다.

CEA는 공공 연구 개발 기관으로 일반 관리 부문, 집행 부문, 업무 부서 등 3부분으로 구성되어 있고, 일반 관리 부문은 청장의 책임으로 이루어지며, 원자력 안전 규제는 원자력안전검사총장이 책임을 진다.

CEA는 연구 개발이 중심이지만, 동시에 원자력 운영과 규제 업무까지 수행하는 종합 원자력 관리 기관이라고 할 수 있으며, 과학 기술 프

로그램을 관장하고 있는 기관은 집행 부문의 연구센터와 원자력방호 안전연구원과 원자력과학기술연구원이다.

CEA의 주요 연구 분야를 네 가지 부분으로 나눠 살펴보면, 원자력 발전을 위한 연구 개발(R&D for Nuclear Energy), 기초 과학 연구(Fundamental Research), 국방에 관한 연구(Defence), 산업 응용을 위한 기술 개발 연구(R&T for Industry)가 있다.

CEA는 1945년에 설립되어, 1990년에 조직 개편을 통해 현재 산업우정통신부의 소속으로 되어 있으며, 조직 운영은 이사회(정부와

산업계 전문가로 구성, 의장은 청장이 겸임)에서 관장하고, 청장, 보좌역(일반 감사, 원자력 안전 감사 담당 등), 운영/관리 본부 및 연구센터로 구성되어 있다.

CEA는 과학평의회 자문을 받으며 연구 개발을 담당하는 연구센터 및 운영 관리를 담당하는 운영/관리 본부로 구성되어 있고, 청장(General Administrator) 외에 최고위원(High Commissioner)을 두고 있다.

연구 기획 및 평가는 최고위원 주관으로 평가위원회를 구성, 산하 대과제(부서) 별로 1995년부터 평가 받고 있고, 평가위원회는 과제와 관련이 없는 자질 있는 전문가 12명으로 구성하여 연구 평가를 수행하나, 필요한 경우에는 내부에서 재평가한다.

운영/관리 부분은 CEA 내부의 관리에 대한 책임을 지고 집행의 일관성을 감독하고 효율적 관리 운영을 위한 조정 역할을 담당하며, 연구센터는 크게 원자력연구센터와 군사적 이용센터로 분리된다.

각 센터의 책임자는 부서의 목표와 프로그램을 CEA 전체의 목표에 맞추어 설정하고 이를 청장에게 제출하며 목표를 수행하기 위한 수단에 대해서 청장에게 요청하고 집행에 대한 책임을 지게 된다.

CEA의 연구 활동은 연구의 과학 기술적 품질과(산업적 또는 과학적

수요에 대한 타당성, 그리고 연구의 수행 능력(팀의 성취도 및 경쟁력) 등에 대해 외부 전문가로 구성된 평가위원회의 평가를 받는데, 주로 주요 분야에 대해 구성되어 있는 과학위원회(Scientific Councils)가 평가를 맡는다.

모든 CEA의 과학 및 기술 부서는 평균적으로 3년에 한번씩 평가를 받는데 CEA 내 과학위원회는 26개 위원회에 총 300명의 전문가로 구성되어 있으며, 이 가운데 97%는 CEA 외부 인사(타연구 기관·대학·산업체 연구소 등)이고 이 협의회의 31.3%는 외국인으로 구성되어 있다.

기초 과학에 대한 연구에 대해서는 17개의 위원회에서 연구 주제와의 부합성(Cognitive research), 신지식 산출성(New knowledge production), 국제적 부합성(International positioning), 연구팀의 성과 및 경쟁력 등에 대해 평가를 받는다.

응용 연구에 있어서는 9개의 과학기술위원회에서 계획서 수행 양식과의 부합성, 활용 방법에 있어서 과학 기술적 관점에서의 연구 품질, 획득된 결과 등에 대해서 평가를 받는다.

특히 2000년부터는 세계적으로 유명한 과학자들로 구성된 「Visiting Committee」가 만들어져 여기에서 과학 관련 연구 개발

정책에 대한 평가를 수행할 예정으로 있다. Visiting Committee는 세계적 명성을 갖춘 8명의 과학 전문가로 구성되어 있고 국제적 시각에서 다른 관점들에 대한 개괄적인 평가를 제시한다.

CEA의 전략 및 평가 부서는 외부 평가 시스템을 모니터하고, 특히 권고 사항이 잘 이행되고 있는지 감독한다.

나. Framtome-ANP(Advanced Nuclear Power)

Framtome은 독일의 Siemens와 합병을 통해 2001년 1월 Framtome-ANP로 업체명을 바꾼 다국적 기업으로, 지배 구조를 살펴보면 AREVA(프랑스 정부·CEA·산업체로 구성된 일종의 지주 회사)가 66%, Siemens가 34%의 소유권을 가지고 있다.

Framtome-ANP는 원자로 및 기기 공급 회사로서, 이 회사가 공급하여 운전중인 원자로는 전 세계적으로 92개(PWR 84, BWR 6, PHWR 1, FBR 1)에 달하고 있는데, 이는 전 세계에서 운영되고 있는 원전의 약 30%에 해당하는 규모이다.

Framtome-ANP는 원자로 및 기기 공급 회사라는 특징에 걸맞게 EPR, SWR-1000 및 HTR 등의 신형 원자로 개발, Alliance 등의 신형 핵연료 개발 등 다양한 분야에 걸쳐 연구 개발을 수행하고 있다.

Framtome-ANP 본사는 파리에 위치하고 있고 4개의 사업 그룹과 3개의 지부가 있으며, 매트릭스 구조로 형성되어 있다.

4개의 사업그룹은 ① Project & Engineering ② Nuclear Services ③ Nuclear Fuel ④ Mechanical Equipment 그룹으로 구분되어 있으며, 프랑스·독일·미국에 3개의 지부가 있다.

Framtome-ANP의 인력은 2000년 말 기준 총 13,300명이며, 지역별 인력 분포는 프랑스 57%, 독일 26%, 미국 17%이다.

Project & Engineering 사업 그룹은 다음과 같은 4개의 생산 라인으로 구성되어 있고 각각의 고유 기능을 수행하고 있다.

Project & Backfitting Product Line에서는 전력 회사의 전력망에 적합한 노형 제안 및 원자로 건설을 담당하고 있으며, 전력 회사와 공동으로 주기기 및 원자로 증기 공급 계통의 시운전·테스트 등에 대한 Procurement Specification을 책임지고 있다.

Engineering Services Product Line에서는 원자로 설계, 유지 보수 엔지니어링, 가동 원전의 개선 및 수명 연장을 담당하고 있다. 또한 연구 개발 활동과 전산 도구 및 방법의 개발과 Qualification을 수행하고 있다.

Instrumentation & Control



Electrical System Product Line에서는 세계 모든 유형의 발전소로부터 얻은 경험과 최신의 기술을 결합시켜, I&C 전기 계통 설비 설계 및 신형 디지털 I&C 및 감시 계통을 제작한다.

Fast & Research Reactors Special Projects Product Line에서는 PWRs 이외 시설(고속증식로·연구로 및 원자력 시설)의 쇄신(Renovation)·건설·해체를 담당하고 있고, 국제 공동 연구 프로그램인 가스터빈 원자로인 GT-MHR의 개발에도 참여하고 있다.

Nuclear Services 그룹은 일차 계통 제어 및 청소, 증기발생기 튜브 슬리빙(Sleeving), 일차 펌프 및 모터 서비스, 그리고 노내(Incore) 시스템의 통합 보수를 담당하고 있고, 보조 계통, 특히 열교환기 슬리빙, 밸브 진단 및 회전 기기 진단, 그리고 조건 지향 보수를 담당하고 있다.

Nuclear Fuel 그룹은 지르코늄 합금 생산, 우라늄 전환, 핵연료 피복재, 그리고 핵연료 집합체 등의 제작을 담당하고 있으며, MOX 핵연료 집합체를 설계·공급하고 있고, 연구로의 신형 핵연료 설계 및 제조를 담당하고 있다.

Mechanical Equipment 그룹에서는 다음과 같은 NSSS 주기기 제조를 담당하고 있다. 원자로 용기 및 내부 구조물(Reactor vessels

and internals), 증기발생기(Steam generators), 가압기(Pressurizers), 원자로 펌프 및 모터(Reactor coolant pumps and motors), 제어봉 구동 메커니즘(Control rod drive mechanisms), 노내 계측 시스템(Incore instrumentation systems).

Framatome-ANP의 연간 연구 개발 규모는 매출액의 약 5%로 약 1억 5천만 프랑을 상회하는 것으로 추정되고 있다.

EU 공동 연구개발 프로젝트의 경우(신형 원자로 SWR-1000 및 HTR 원자로 등) 독일을 비롯한 기타 유럽 국가와 공동으로 재원을 조달하고 있다.

자체 연구를 위해서는 대부분 자체 연구 개발비를 투입하고 있으나, 프랑스 원자력청(CEA)에서 주관하는 산업체 응용 연구를 공동으로 수행할 경우 CEA로부터 연구 개발비의 일부를 보조받는 것으로 나타났다.

Framatom-ANP의 연구 수행 방식은 자체 사업부 및 연구소 그리고 전문가 네트워크를 이용한 연구 수행 이외에 국제적으로 명성을 얻고 있는 다른 연구센터와 공동으로 연구를 수행하기도 한다.

특히 프랑스 원자력청(CEA)과 긴밀한 협력 체제를 구축하고 있으며, 많은 대학과 과학 및 기술 협력 네트워크를 구축하고 공동 연구를

추진하고 있다.

Framatome-ANP는 자신들의 연구 결과 및 보유 기술에 대해 품질보증을 위한 강력하고 신뢰성 있는 품질 보증체계를 갖추고 있다.

Framatome-ANP의 품질 정책은 고객의 요구 사항을 만족하고 더 나아가 더 좋은 품질의 제품과 서비스를 제공하는 것을 목적으로 하고 있으며, 고객에게 실제의 부가가치를 창출할 수 있도록 하고 있다. 특히 산업체의 적용에 있어 가장 중요한 요소인 생산성·효율성, 그리고 경쟁력을 품질 보증 체계의 근거 원칙으로 삼고 있다. Framatome-ANP 품질보증 체계는 ISO 9001(2000년 판) 표준에 근거를 두고 있으며, 회사 및 자회사 전체에 확산되어 있다. 또한 EFQM(European Foundation for Quality Management)의 회원사로서 전사적 품질 보증 프로그램을 개발해 놓은 상태이다.

독 일

1. 원자력산업 동향

독일은 발전 능력 2,350만kW, 20기의 원자력발전소를 보유하고 있는 세계 4위의 원전 설비 보유국이나 1990년대 후반 이후에는 신규 발전소의 건설 계획이 없어 내수 시장은 유지·보수 및 업그레이드 시장에 머물고 있다.

특히 1998년 사회민주당과 녹색당의 연립 정권 등장 이후 원자력발전소를 2021년까지 단계적으로 폐쇄하기로 하여 원자력 관련 연구 개발 및 산업 규모의 축소가 예상되고 있다.

따라서 자국 내 원전 관련 생산 업체들은 수출 시장의 확보에 주력하고 있으며, 원전 건설이 활발하게 진행되고 있는 아시아 지역의 시장에 마케팅 능력을 집중하고 있다.

독일 원자력 산업회의에 따르면 독일의 총발전량(1999)은 1,697억 kWh로 원자력이 약 1/3을 차지하고 있다.

이 가운데 비등경수로(BWR)가 6기, 가압경수로(PWR) 13기 등 총 19기가 가동되고 있으며, 이로 인해 이산화탄소의 배출 억제량이 연간 1억 7천만톤에 달해 지구 온난화 방지에도 크게 공헌을 하고 있는 것으로 평가되고 있다.

그러나 1998년 사회민주당과 녹색당의 연립 정권이 등장함으로써 사회민주당 출신의 총리가 2000년 6월 RWE, EnBW, Veba, Viag 등 주요 전력 4개 회사와 협의하여 현재 운영중인 원자력발전소를 2018년까지 단계적으로 폐쇄(Phase out)하기로 발표하였다.

이에 따라 향후 전력 수급 정책이 관심사로 나타나고 있으며, 이는 원

자력 관련 연구 기관들에 대해서도 재원 및 인적 자원의 감소로 나타날 것으로 예상되고 있다.

2. 원자력 연구 개발 관련 부처 및 역할 분담

독일은 전통적으로 학문 및 연구에 대한 자유를 최대한 보장하고 있고 대학 및 연구 기관에 대한 정부의 직접적인 간섭이나 영향력이 매우 적은 편이며,²⁾ 연방 정부가 일반적으로 과학 기술 정책을 결정 추진하는 것이 아니라, 연방 정부와 주 정부간의 긴밀한 협의를 거쳐 연구 정책을 수립하고 있다.

특히 연구소 지원 문제 등은 연방 정부-주 정부 협의체(BLK)에서 논의되는데, BLK는 연방 정부와 주 정부에서 파견된 고위 관리로 구성되며 그 역할은 교육 계획 및 연구 진흥에 관한 상설 협의체로서의 기능을 수행한다.

BLK에서는 주로 독일의 교육 체계 발전에 대한 장기 계획 수립을 그 임무로 하고 있으나, 일반 연구 예산을 포함한 교육 예산안의 수립 집행 수정 보완 등의 역할을 수행한다.

독일 연방 정부의 과학 기술 행정 조직의 변화 과정을 살펴보면, 1962년 연방과학연구성을 설치하고 1960년대부터 과학 기술 행정

기능을 본격적으로 발동시켰으나 1972년 연방연구기술성(BMFT)이 설립되어 연구 활동을 전면적으로 지원하기 시작하였다.

독일 연방 정부의 과학 기술 정책은 BMFT에서 주관하고 있으며, 과학 기술 연구의 정책 수립에서 평가에 이르기까지 전과정에 다양하게 관여하고 있어 우리나라 과학기술부와 유사하고 주요 기능은 다음과 같다.

과학 기술 진흥책 등 연구 기술 정책의 수립·집행, 각 기술 분야를 담당하는 부서 별로 연구 기획, 각 기술 분야별 연구 기획 전담 기구 설치 및 운영, 기술분야 별로 Section Head(우리 나라 정부 직제상에는 중앙 부처 과장에 해당) 및 사람의 전문가로 Project Management Group을 구성, 연구 기획 및 과제 선정 결과 조정, 연구 개발 기관들에 대한 연구비 지원, 수행중인 연구 과제들의 추진 상황 검토 및 평가 등이다.

BMFT와 별도로 연방교육과학성(BMBW)도 연구 개발에 일익을 담당하고 있으며, 대학의 운영 예산 공급, 과학 기술 인력 양성 계획 수립 및 추진, 대학 연구비 지원 등의 기능을 수행한다.

BMBW 예산은 일반적으로 독일 연방 전체 예산의 약 8%를 차지하

2) 독일 연방 정부의 이러한 입장을 1949년 독일 연방 헌법에서부터 “예술, 과학, 연구 그리고 교육은 자유로워야 한다”라고 명시하고 있음.



〈표 4〉 독일의 4대 연구회 개요

연구회	기능	연구소 (수)	연구 인력 (명)	예산	중앙 정부와 지방 정부의 재원 부담 비율
막스플랑크 연구회	순수 기초 연구	80	11,600	19억 DM	50: 50
헬름홀츠 연구회	대형 기초 연구	16	15,000	36억 DM	90: 10
프라운호퍼 연구회	응용 연구	48	6,700	14억 DM	90: 10
라이프니츠 연구회	지역의 기술 개발	82	11,000	11억 DM	50: 50
계		215	52,150	80억 DM	

는 데 1990년대 중반에 연방교육과 학성(BMBW)과 연방연구기술성(BMFT)의 역할이 통합되어 연방교육연구성(BMBF)이 설립되었다.

통합은 기존 연방교육과 학성(BMBW)이 연방연구기술성(BMFT)의 기능을 흡수 재편하는 형태로 진행되었다.

이밖에 연방 경제성 및 연방 국방성에서도 일정 정도의 연구 개발 예산을 확보하고 있어 연방 경제성의 경우 산업협동연구조합연합(AiF)의 연구 개발 등을 지원하고 있다.

독일은 정부 부처에 의한 연구 개발 사업의 기획과 추진보다는 4개 연구회에 연구 사업 추진을 위임하는 정책 노선을 견지하고 있으며, 따라서 정부도 부처의 연구 개발 사업 예산보다 공공 연구 기관의 연구 예산을 증가시켜 국가 연구 개발 활동을 장려하고 있다.

지방 정부의 연구 개발 투자도 1997년 146억 마르크(73억 달러)에 달해 거의 연방 정부의 연구 개발 규모(163억 마르크) 수준에 육박

하고 있으며, 지방 정부의 경우도 공공 연구 기관의 4개의 연구회에서 추진하는 연구 개발을 지원하는 방법으로 연구 개발 활동을 장려한다.

3. 원자력 연구 개발 관리 체계

독일의 연구 개발 체제는 매우 복잡한 형태를 띠고 있는데, 우선 연구 기관의 성격으로 분류하면 대학 연구소, 국립 연구 센터, 민간 연구 공동체로 구분할 수 있고, 수행하는 연구 성격으로 나누면, 기초 연구, 기초 기술 및 응용 연구, 산업 기술 개발 등으로 구분된다.

우선 대학은 인력 양성 및 기초 연구를 수행하며, 독일은 주정부에서 대학의 모든 운영비를 지원하고 연구비는 독일연구협회(DFG)에서 일괄적으로 수령하여 과제 심의를 통해 연구 과제 단위로 연구비를 배분한다.

DFG에는 대학뿐만 아니라 항공 우주(DLR) · 환경(UFZ) · 원자력(FZK) 등 16개의 대형 국립연구센

터(National Research Center)가 소속되어 있다.

이 연구 기관들은 특성에 따라 독립적인 운영 방식을 채택하고 있으나, 대부분의 재원 조달은 연방 정부와 주 정부에 의존하고 있다. 대형 국립연구센터는 1950년대 말부터 생겨나서 원자력 에너지 등에 관한 연구를 수행하였으며, 특히 KfA · KfK 등은 원자력 연구로 유명한 국가 대형연구센터로, 원자력 분야의 연구 수요가 줄어들며 따라, 새로운 연구 분야를 발굴하여 역할 변화 및 연구 영역 확대 등으로 변신을 추구하고 있다.

KfK는 최근 원자력 분야 뿐만 아니라 환경 분야 및 신소재 등으로 영역을 확대하여 칼스루헤 연구센터(FZK: Forshungs Zentrum Karlsruhe)로 개편하였다.

민간 연구 공동체로는 막스플랑크 연구소(MPG)와 프라운호퍼 연구소(FhG) 등을 들 수 있으며 이 가운데 막스플랑크 연구소가 순수 기초 연구를 중심으로 하는데 반해 프라운호퍼 연구소는 주로 응용 연구를 중심으로 한다.

따라서 막스플랑크 연구소의 연구비가 거의 연방 정부와 주 정부에서 지원을 받는 데 반해, 프라운호퍼 연구소는 정부로부터 운영비(Basic Funding) 및 연구 과제 단위(Project-Basis)로 50% 정도를 지원 받고, 나머지 50%는 산업계

(표 5) 독일의 연구 개발 기관 및 연구 영역

연구 영역	기초 연구	기초 기술 및 응용 연구	산업 기술 개발
주요 연구 기관	대학 막스플랑크연구소 (MPG)	국립연구센터 프라운호퍼연구소(FhG)	기업체 · AiF

에서 연구 과제 단위(Project-Basis)로 예산을 확보하고 있다.

그 외에도 독립적인 연구 기관으로서 연방 정부와 주 정부로부터 각각 50%씩 연구비를 지원 받는 연구소로 블루리스트 연구소(Research Institute named Blue List)가 있으며, 연방 정부 산하 연구소, 주 정부 산하 연구소 등도 있다.

연방제인 독일의 경우 각 주마다 연구소의 구성 형태 및 지원이 서로 상이한 경우가 많으므로 주 정부 차원의 연구 지원은 상황에 따라 다르다.

가. 독일연구협회(DFG)

독일연구협회는 자연과학·사회과학·인문과학 전 분야에 걸쳐 수행되는 각 프로젝트에 연구비를 배분하는 역할을 담당하며, 주로 기초 연구 분야를 지원하나 화학·엔지니어링·임상의학·경제·법률 등 응용과학 분야도 포함한다.

국립 연구 기관인 경우 연구 기관의 과제 제안서는 DFG의 평가 대상이며 원자력 분야의 연구비(예를 들어 FZK의 연구비 신청) 또한 DFG가 수행하는 제안서 평가의 대

상이 된다.

DFG 예산의 90%는 대학으로 배분되고 약 10%는 기타 연구소로 배분되며, 국립연구센터의 경우 DFG의 제안서 평가를 토대로 BMBF가 계약을 하며 연구 과제를 관리한다.

DFG의 예산 배분 및 과제 선정 방식은 일반적인 경우 상향식(Bottom-Up)으로 결정된다. 즉 각 연구 집단이 새로운 아이디어를 바탕으로 특정한 프로젝트를 발굴하여 예산을 신청하면, 각 신청 과제들은 과학적 가치(Scientific Merit)에 의해 평가되며 제안서의 평가에는 과학계에서 선발된 수백 명의 전문가가 활용된다.

예외적으로 하향식(Top-down)에 의한 과제 발굴도 있는데, 이 경우는 연구 집단 또는 정부나 정치가들이 특정 프로그램을 발의하는 경우 이를 집중 검토하여 타당성이 인정되면 장기 프로그램으로 추진하는데 에이즈(AIDS) 연구 같은 것이 그 예이다.

DFG는 예산 배분 및 과제 선정에 대한 역할을 주도하며, 연구 과제 자체에 대해 간섭하지 않는 것을

원칙으로 하고 있다.

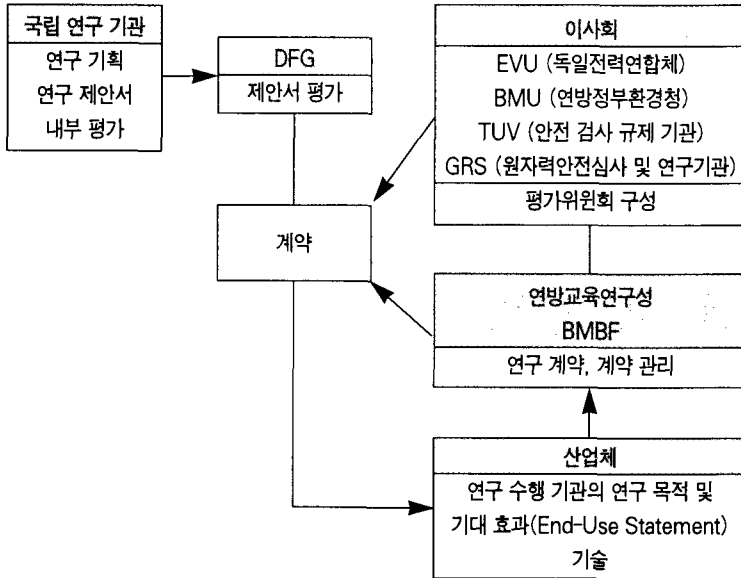
대형 국립연구센터의 경우 기획·평가 및 계약은 일반적으로 다음과 같은 절차를 따르고 있다. 구체적인 연구 프로젝트에 대한 기획은 해당 국립연구센터에서 진행되며, 연방기술연구성(BMFT, 현재는 BMBF에서 역할을 통합수행)이 연구 기획 및 관리를 수행한다.

BMBF가 세부 기술 분야별로 직접 연구 기획 및 관리를 하는 것이 아니라, 각 국립연구센터마다 연구 기획 관리 전담 기구가 있는데, 이 기구의 연구 기획 관리 평가 전담 전문가들이 BMBF의 공무원들과 긴밀히 협조하여 업무를 추진한다.

나. 산업협동연구조합 연합(AiF)

정부에서 대부분의 연구 자금의 지원을 받는 연구 기관에 비해 독일에서는 기업체를 회원사로 하는 여러 산업협동연구조합(Industrial Cooperative Research Association)이 있고, 대부분의 연구조합에는 연구 기능을 하는 연구소들이 소속되어 있다. 이 연구조합들과 관련된 회원사는 약 26,000개의 중소기업으로서 독일의 거의 모든 산업을 포괄한다.

각각의 연구조합은 그 규모 및 조직구성이 매우 다양한데, 어떤 연구조합은 몇 개의 연구소를 가지고 있기도 하고, 몇 개의 연구조합이 공동 연구소를 운영하기도 하는가 하면, 자체 연구소가 없는 대신 대학



〈그림 2〉 독일의 연구 개발에 대한 기획 및 평가 체계

등에 위탁 연구를 줘서 연구 수료를 충족하기도 하는 조합도 있다.

이러한 93개 산업협동연구조합의 연합체가 산업협동연구조합연합(AiF)으로서 본부를 쾰른에 두고 있으며, 회원 연구조합에서 추진하는 공동 연구 사업에 대한 자금 조달, 수행 연구 프로젝트의 조정, 회원 연구조합들간의 정보 및 경험의 상호 교환, 회원 연구조합이 공공 연구비를 확보하도록 지원, 산업계에 새로운 연구조합의 설립에 대한 자문, 회원 연구조합과 공공 기관의

연결 고리 역할 등을 수행한다.

AiF의 소요재원은 회원사가 지출하는 산업계 자체연구자금 및 연방정부의 연방경제성의 지원금으로 충당되는데 연방 정부 지원금은 전체 소요 재원의 약 25% 정도에 해당된다.

4. 주요 기관별 연구 개발 체제와 특징

연방 국가인 독일의 특성상 연구 기관의 체제 및 특징을 일반적으로 평가하기는 어렵지만 전형적 형태

의 국가 연구 기관인 GRS(Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit: 원자력 안전 심사 및 연구 기관)와 민간 연구 기관인 막스플랑크연구소(MPG)·칼스루헤(Forschungszentrum Karlsruhe) 등을 중심으로 분석한다.

가. GRS

GRS는 원자력 안전 및 방사성 폐기물 관리와 관련된 모든 현안을 취급하는 독일의 과학 기술 전문가 조직(Scientific-Technical Experts Organization)이다.

GRS의 임무는 원자력 기술 발전으로 인한 위해와 위험으로부터 인간과 환경을 보호할 목적으로 이와 관련된 과학적 방법 및 결론을 도출해 내는 것이며, 업무 내용은 국제 기술 조항(International State of the art)에 근거를 두고 있다.

GRS는 재원의 대부분을 연방 정부 및 주 정부로부터 확보하지만, 비영리 조직으로 연구 결과의 성과를 민간 기업도 공동 이용할 수 있도록 하고 있다.

GRS는 원자로 안전에 대한 국가적 연구를 수행함과 동시에, 전력 사업자가 원자력발전소의 인허가를 신청할 경우³⁾ 그 안전성 평가에 대한 전문가 견해를 정부에 건의하는

3) 독일은 1960년 원자력법(AtG)을 발효하였고, 이 법은 원자력 에너지의 평화적 이용에 대한 법적 전제 조건이 되었음. 이 법에 따라 사업자는 원자력법(AtG)의 7장 "Construction, operation, ownership and decommissioning of stationary nuclear power facilities for the production, processing, fission or reconditioning of irradiated nuclear fuel(Section 7 AtG)"을 만족할 경우 원자력발전소의 인허가를 취득하여 발전소를 가동할 수 있게 되어 있음.

등 정부를 보조하는 전문가 집단으로서의 역할⁴⁾도 수행한다. 그러나 GRS는 연방 정부에 대해 독립된 전문 자문가 역할을 하지만 정부의 견해에 구속을 받지 않는다.

GRS는 외국 정부 및 독일 내외의 공공 기관과도 계약을 통해 업무를 수행하고, GRS가 개발한 과학 기술적 경험 및 방법론을 민간 사기업들도 이용할 수 있게 하여 민간 및 사기업들이 그들이 책임져야 할 안전 및 환경 보호 업무를 수행하는데 도움을 주고 있다.

GRS의 기술 경쟁력은 GRS 자체의 부단한 연구 개발 활동, 실증 원자로의 운전 경험에 대한 기술적 분석 및 평가 그리고 다양한 국제 기구와의 협력 연구를 통해 구축되었다.

GRS의 구성원은 전원이 관련 기술 분야의 전문가라고 할 수 있을 정도이며, 원자력발전소의 복잡한 계통에 대해 전체적인 안전 평가를 수행할 수 있는 능력을 지니고 있다.

GRS는 궁극적으로 국민 이익을 위해 활동하는 기관이며 따라서 비영리 조직이다. 연방환경성(BMU)은 사업자가 주 정부에 신청한 문서를 전문가 조직인 GRS의 도움을

받아 견해를 피력하는데, 만약 특정 사안에 대해 주 정부와 연방 정부의 평가가 다를 경우 연방환경성은 해당 주 정부에 필요할 경우 지시 공문을 발부하게 되며 이러한 지시 공문은 주 정부에 대해 구속력을 가진다.

GRS에서 추진하는 주요 업무 활동은 아래와 같이 요약할 수 있는데, 초기에 GRS의 주요 업무는 신규 발전소 인허가시 연방환경성(BMU)을 보조하여 안전성 평가를 수행하는 것이었으나 현재 독일에서 새롭게 인허가 신청을 요청하는 발전소가 없기 때문에 주된 업무는 다음과 같다. 운영중 발전소 안전 관련 사항 파악, 발전소 운전 경험 평가, 방사성 폐기물 관련 업무 등이다.

GRS의 구성원은 약 570명이며 그 중 420명이 물리학·기계공학·안전공학·공정공학·건축공학·전기공학·원자력공학·화학·지질화학·기상학·생물학·수학 등의 전 분야를 망라하는 과학자로 구성되어 있다.

GRS는 고객들과의 연구 계약 또는 용역 계약에 의해 대부분의 재원을 조달하는데, 가장 큰 고객은 연

방환경성(BMU)과 연방교육연구성(BMBF)이고, 주 정부와 방사선방호연방사무소(BfS), 기타 연방환경국 및 유럽공동체의 기구 등도 GRS 고객의 일부이다.

한 해 평균 고객들에 의한 GRS의 전체 용역 주문량은 1억 1,500만 마르크(약 7백억원)에 이르고 있다.

정부를 보조하는 전문가 기관이면서도 GRS는 여타 독일의 연구 기관 또는 정부 보조 기관과 마찬가지로 주식회사(우리 나라의 공사와 유사)의 형태를 띠고 있다.

나. 막스플랑크연구소(MPG)

MPG(Max Planck Gesellschaft)는 1911년 설립된 카이저-빌헬름 게젤샤프트(Kaiser-Wilhelm Gesellschaft: KWG)가 전신이었으나 KWG는 2차 대전 중 완전히 와해되어 2차대전이 끝난 1949년 막스플랑크 연구소로 새롭게 설립되었으며, 기초 연구를 수행하는 탁월한 연구소로 세계적으로 명성을 떨치고 있다.

MPG는 단일 연구소가 아니라, 산하에 80개의 연구소(MPI: Max Planck Institute)와 약 11,600명의 연구 인력을 보유한 일종의 연구

4) 독일 헌법(German Constitution)에 의하면, 원자력법의 시행은 연방정부를 대신하여 주정부(Länder: federal state)가 책임을 지게 되어 있고 주정부는 연방정부의 감독을 받게 되어 있는데, 주로 연방환경 자원 원자력안전성(BMU: Federal Ministry of Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety; 이하 연방환경성)이 이를 담당하고 있음. 이때 연방환경성은 방사선방호연방사무소(BfS: Federal Office of Radiation Protection)와 같은 공공 기관의 도움과 원자로안전위원회(RSK), 방사선방호위원회(SSK) 등의 전문가 집단의 도움을 받으며, 특히 원자력 안전평가에 대한 전문가적 조언은 대부분 GRS의 견해에 의존함.



집단(Society)이며, 본부는 뮌헨에 두고 있다.

MPI는 그 규모에 따라 직원이 10명에서 1,000여명에 이르기까지 다양한데, 주로 뮌헨·괴팅겐·하이델베르크·프랑크푸르트·켈른 등 대학 도시에 위치하고 있다.

각 MPI는 이사회(Board of Directors)에 의해 운영되며, 이사진 중의 한사람이 소장이 되며 소장의 자율성이 보장되는 체제이다.

MPG의 핵심 조직은 평의회(Senate)로서, 평의회는 연구소 설립 폐쇄 및 각 MPI의 연구소장 선정 등 핵심적인 사항을 다루는 의사결정 기구이다.

연구소장(Director)은 명망이 높고 학문적으로 매우 높은 수준에 있는 과학자이면서, MPI와 관련된 활동을 한 경험이 있는 사람 중에서 엄선한다.

MPG는 특별한 연구 기획 체제를 가지고 있지는 않으나, 매우 합리적인 과정을 거쳐 연구 과제를 선정 수행한다. 먼저 평의회에서는 신규 연구 영역을 편입할 것인지에 대한 결정, 산하 연구소들의 재구성 설립 폐쇄 등에 관한 의사결정, 학술회원 연구소장 독립 부서장의 임명, MPG 회장을 선임하고, 예산을 집행하며 연구소의 내규를 승인한다.

이를 보조하는 평의회 위원(Senate Committee)들은 연구 환

경을 분석하고 특정 연구 분야의 연구 평가를 수행하며 이를 근거로 특정 분야의 연구 활동의 중단이나 신규 프로젝트를 제안한다.

과학위원회(Scientific Council)에서는 연구소들의 공통 관심 사항을 논의하고 Section별 특별위원회에서는 새로운 학술위원의 임명, 연구소나 연구 부서의 개폐 등 평의회에서 결정할 특정 정책 사항들을 준비하며 이를 위해 전문가들의 조언을 수렴하거나 공청회를 개최한다.

각 MPI는 독립적인 예산 집행을 하며 평의회에서 채택한 정관에 의거하여 연구소의 조직 형태를 취하는데 연구소 차원의 회의에서는 연구진(Staff)들의 의견을 수렴하여 합의점에 도달하지 못하거나 경영진이 연구진의 의견에 반하는 의사결정을 내리는 경우 과학위원회의 해당 Section에 조정을 요구함으로써, 경영진의 독단적인 결정을 애초부터 불가능하게 하고 있다.

다. FZK(Forschungszentrum Karlsruhe)

FZK는 헬름홀츠연구회 산하에 있는 16개 대형 연구 기관 중의 하나로서, 1956년에 설립되었고 원자력 기술과 환경 기술 분야에 특화된 연구 센터이며, FZK가 전략적으로 추진하고 있는 주요 연구 분야는 다음과 같다. 환경 기술, 에너지기술, 마이크로시스템 기술 및 의료기술, 기초 연구 등의 분야에서 ITA(국제

핵융합 연구 프로그램)에 참여, 원자력 에너지 연구 수요의 감소로 점차 환경 기술 분야로 연구 영역을 전환하고 있으며 최근에는 산업계로의 기술 이전 업무를 강화하고 있다.

FZK는 22개 부설연구소에서 총 3,800명의 인력을 고용하고 있으며, 이 가운데 과학기술자는 약 1,200명이다. FZK 조직은 방대하여 연구 부서 산하의 Scientific Executive Division마다 프로그램 섹터, 연구소 섹터, 지원섹터, 프로젝트 agency가 있고 연구소 섹터에 소속된 연구소가 division마다 5~9개씩 있다.

FZK 산하 22개 연구소 가운데 하나인 핵폐기물 연구소(INE: Institute for Nuclear Waste Management)의 경우 60명이 Professor급 연구원이고, 100명의 방문 연구원과 200명의 학생, 380명의 훈련생을 보유하고 있다.

FZK는 매년 5억 2,000만 마르크(약 2억 5,700만 달러)의 연구 개발비를 사용하고 있으며, 이중 90%는 연방 정부로부터 지원 받고, 나머지 10%는 바덴 뷔템부르크 지방 정부가 부담하고 있다.

또한 FZK는 연간 예산 650만 마르크(322만 달러)를 투입하여 22개 산업계 기술 이전 프로젝트를 추진하고 있으며 산업계가 소요 비용의 50%를 부담하여 위험을 분담하고

있다. 기술 이전 사업이 성공할 경우 기업은 FZK에 영업 이익의 20%를 지불하고 있으며, 로열티를 지불하고 있는 대표적인 프로젝트로서 공작 기계 부품(hollow-cathode magnetrons), 나무의 질 측정기(measuring systems for wood diagnosis), 여과기 필터(dioxin filter) 등이 있다.

기술 이전 사업을 추진함과 동시에 연구원의 벤처 창업을 능동적으로 지원하고 있다. 벤처 창업은 주로 생명 공학 분야와 의료 기기 분야에서 일어나고 있는데, 최근 3년간 FZK로부터 4개 회사가 창업되었다.

FZK는 창업을 한 연구원이 재취업을 원하는 경우, 3년 이내에 한하여 허용하는 제도가 마련되어 있으며(창업을 결행한 연구원은 대부분 유능한 과학기술자이기 때문에 연구소로 다시 복귀한 경우는 거의 없음), 계약에 의하여 연구 설비의 활용, 자금 제공 등의 지원을 하고 있다. 한편 매년 60명 정도의 젊고 능력 있는 과학기술자가 유입되고 있으나 연구원의 평균 연령이 높아지고 있는 점이 우려되고 있다.

시사점

1. 국가 원자력 정책의 강화 필요

환경 및 인체에 대한 안전이 가장 중요한 원자력의 경우, 국가 원자력

정책의 일관된 추진을 위해서는 단일하고 강력한 행정 체계 수립과 강력한 국가 정책이 뒷받침되어야 한다.

미국의 경우 클린턴 행정부의 NERI 프로그램에 의해 원자력 연구 개발이 활기를 띠기 시작하였고, 부시 행정부의 신국가 에너지 정책에 의해 원자력의 신 르네상스 시대의 도래가 예견되고 있다.

특히, NERI나 제4세대 원자로 개발 등을 통해 국제 사회에서 원자력 기술의 주도권을 유지하겠다는 미국 정부의 의지는 원자력의 국제 경쟁력은 정부 정책의 뒷받침 없이는 기대하기 힘들다는 것을 보여준다.

프랑스의 경우 국가 연구 개발 시스템은 기본적으로 분산 시스템이라고 볼 수 있으나, 원자력과 같은 특수 분야는 원자력청(CEA)과 같은 단일 기관이 강력한 통제력을 갖고 철저히 국가에서 관리하고 평가하는 시스템을 갖추고 있다.

프랑스의 국가 관리 시스템은 안정적 연구 분위기가 요구되는 원자력과 같은 특수 기술 분야에 대해서는 적합한 시스템으로서, 다음과 같은 장점을 갖고 있다.

CEA에 의해 연구 개발된 기술을 프랑스전력공사(EdF) 등의 사업자가 산업화하는 정책을 채택함으로써 연구 개발된 원자력 기술의 산업화를 촉진할 수 있는 환경이 조성되

어 있다. 또한 전기 사업자인 EdF가 대형 공기업이므로 원자력 발전 계획은 발전 단가, 재정 상태 등의 단기적인 여건 변화의 영향을 적게 받고, 따라서 원전 건설 수요의 정책기라도 비교적 안정된 연구 개발을 수행할 수 있고 꾸준히 연구 수요가 발생하고 있다.

프랑스와 마찬가지로 천연 자원이 부족하고 에너지 자립이 중요한 국내의 상황을 고려할 때, 특히 프랑스의 국가 주도 원자력 사업 체제는 정책 및 연구 개발 방향·재원 조달·평가 시스템 등 여러 측면에서 우리에게 주는 시사점이 크다.

원자력 관련 시스템의 일체화를 통해 새로운 연구 개발 분야에의 도전이나 환경 변화에 대한 대응에 있어서는 순발력을 도모하기 위해서 프랑스의 AREVA 같은 체계의 시스템도 모색해 볼 수 있을 것이다.

또한 프랑스의 원자력 기술 개발도 표준화된 원전 건설 정책에 따라 900MWe급 원자력발전소 34기를 원자로 부분이 완전히 동일한 설계로, 1,300MWe급 원자력발전소 20기는 매우 유사한 설계로 계획하여 단일 기술의 전문화 및 완벽성을 기하고 있고 동시에 비용 절감도 꾀하고 있다.

이러한 동일 모델의 반복 건설 및 설계는 생산비 측면에서는 물론 모델의 안전성·효율성 측면에서 많은 장점을 나타내며 원자력산업체



계를 효율성·신뢰성·경쟁력을 갖춘 산업 조직으로 만들 수 있게 된다.

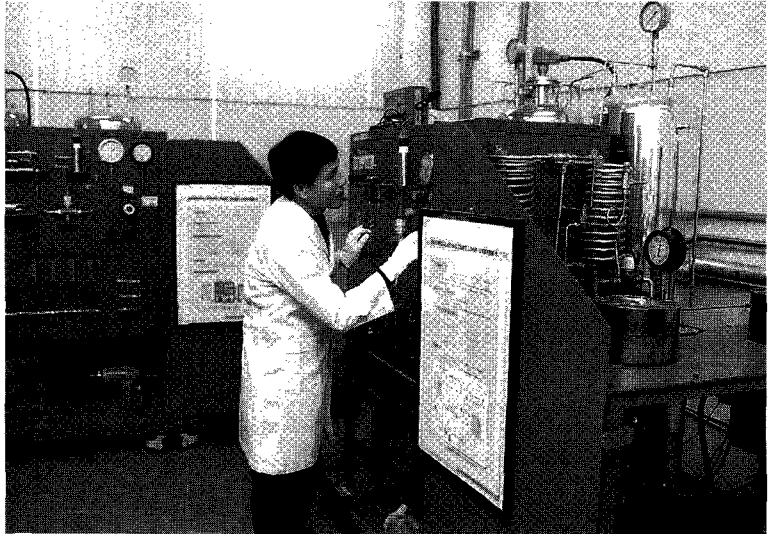
2. 연구 체제의 정비

가. 연구기관의 책임경영 체제 수립

미국의 사례를 참고하여 국내에서도 원자력 연구 개발 참여 기관의 확대를 통해 경쟁 체제를 강화하되, 연구 개발 사업의 관리 운영의 주도권과 연구 기관에 자율권을 대폭 이양하여 책임 경영 체제를 수립할 필요가 있다.

미국의 원자력 연구 개발은 국립 연구소·대학·민간 기업 등 3개의 축으로 이루어져 있지만 원자력 연구 개발의 핵은 역시 국립 연구소라고 할 수 있다. 원자력 연구 개발에만 전념하는 전문 국립 연구소는 존재하지 않고 대부분 종합 연구소의 성격을 띠고 있어 다양한 연구 과제를 수행하고 있다.

특히 ORNL(Oak Ridge National Laboratory)과 ANL(Argonne National Laboratory)에 원자력 관련 예산이 상대적으로 많이 투입되며, BNL(Brookhaven National Laboratory), INEEL(Idaho National Engineering and Environmental National Laboratory), LLNL(Lawrence Livermore National Laboratory), SNL(Sandia National Laboratory) 등이 원자력



내실 있는 원자력 연구를 효율적으로 수행하기 위해서는 창의적·자율적 연구 환경 분위기 조성과 아울러 연구 결과 평가 시스템의 체계화가 매우 중요하다.

관련 연구로 유명한 국립 연구소들이다.

미국의 경우, 정부 주도의 원자력 연구 개발이지만 연구 과제의 할당은 국립 연구소간에도 철저한 경쟁 체제를 지향하고 있으며, 관리 운영에서 민간 기업의 신축적이고 능률적인 측면을 적극 수용하고 있다.

나. 연구 기관에 대한 기관 차원의 주기적 평가 시스템 강화

일본 정부는 산하 연구소 및 출연 기관의 연구 개발 성과 제고를 위해 1997년 8월 내각 총리대신이 「국가 연구 개발 전반에 공통된 평가의 실시 방법의 위상에 관하여 대강적 지침」을 제정 공표하고, 이에 따라 산하 기관의 기관 및 연구 개발 과제

평가를 제도화하여 시행하고 있다.

산하 기관은 기관별 운영 요령을 수립하고, 주기적으로 기관 및 연구 과제 평가를 실시하고 있다. 평가 결과는 기관 운영 및 연구 개발 활동에 반영됨은 물론 국민에게 알기 쉬운 형태로 공개함으로써 국민과의 관계를 개선시키는 데 활용하고 있다.

우리 나라도 국무총리실 산하 연구회 주관으로 기관 평가를 시행하고 있으나, 연구 성과 제고 및 실용화 촉진을 위해서는 다소 미흡한 점이 없지 않다. 따라서 중앙 정부 산하 출연 기관에 공통으로 적용할 수 있는 지침을 수립 공표하고, 산하 기관은 자체적인 운영 요령의 수립 및 시행을 통해 연구 개발 성과를

주기적으로 점검하고, 향후 연구 개발 및 기관 운영 방향을 설정하는데 반영하도록 하는 것이 필요하다고 본다.

다. 산·학·연 연계 강화를 통한 연구 성과 확산

영국은 산업계에 응용 가능성이 높은 응용 연구는 연구와 교육을 병행하여 산·학·연 연계를 강화하는데 정책의 초점을 맞추고 있으며, 이를 위해 연구 기관(대학 포함)과 산업체 사이의 '인력의 교류'를 가장 중요한 요인으로 인식하고 있으며 이를 장려하고 있다.

국내에서도 원자력 연구 개발 성과 확산 및 실용화를 위한 연구 개발 사업이 추진되긴 하나, 단지 문서 또는 소프트웨어 등 기술의 단순 이전을 통한 공동 연구를 권장하고 있는 실정으로서, 실질적인 기술 이전의 효과는 미미한 상태이다.

따라서 영국의 프로그램에서 요구하는 것처럼, 기술 및 노하우를 보유하고 있는 연구원(또는 연구팀)의 산업체로의 파견(또는 전직), 산업체에서는 대학의 학생 또는 Post-Doc의 채용 등과 같이 공동 연구 또는 실용화 기간 동안 산업체에서 근무하는 제도를 도입할 필요가 있다.

라. 원자력 분야의 중장기적 기술 예측 프로그램의 수립

영국의 경우, 국가가 전략적으로 지원하고자 하는 기술 분야의 연구

개발 기본 계획 및 예산 수립시 중장기적 기술 예측 프로그램(Foresight 프로그램)을 수립하여 시행하고 있다.

반면 국내 원자력 연구 개발 사업은 기술 분야별 중장기 동향 예측을 실시하고 있으나, 원자력 관련 내용을 살펴보면 많은 기술 분야와 함께 시행하다 보니 심도 있는 원자력 기술 동향 예측이 이루어지지 않고 있다.

따라서 우리 나라도 영국의 「Foresight 프로그램」과 같은 원자력 분야의 실제적 중장기적 기술 예측 프로그램을 수립하고, 중장기적 기술 동향 예측을 심도 있게 전망하여 그 결과를 토대로 국가 원자력 연구 개발 사업으로 중점 추진할 분야를 도출하고 지원하는 추진 전략을 수립하는 것이 필요하다.

마. 기타 연구 개발 체제의 정비

그 밖에 국내 원자력 연구 개발의 성과 제고를 위해 다음과 같은 연구 개발 체제의 정비가 필요하다.

첫째, 다부처 참여의 연구 개발 사업이 신설되어야 할 것이다.

미국의 연구 개발 성과의 확산을 위한 프로그램(SBIR/STTR)의 경우, 일정 규모 이상의 연구 개발 예산을 확보하고 있는 정부 부처가 동 프로그램의 예산을 각출하여 재원을 마련하고, 단일 프로그램명으로 산하 기관(NSF 등)에서 각 사업 관리 및 예산 집행을 담당하고 있다.

이는 연구 개발 성과의 사회 경제에 대한 파급 효과 증대는 단일 부처만으로는 부족하며, 여러 부처의 협조 아래 체계적으로 이루어지는 것이 더욱 효과적이라는 것을 반증하는 것이라 할 수 있다.

둘째, 연구 개발 실용화 사업 체제의 내실화가 필요하다.

미국 연구 개발 성과 확산 프로그램의 경우, 실용화를 위해 조급하게 서두르지 않고 충분한 사전 조사 기간(Phase I)과 연구개발 기간(Phase II)을 부여하여 내실 있는 실용화를 추진하고 있다. 또한 실용화를 담당하는 기관과 기술 이전 기관 사이의 연구 분담 비율(연구비 기준) 등 세부 내용까지 요건화하여 실제적인 실용화가 이루어질 수 있는 환경을 조성하여 동 사업의 실패 확률을 최소화하기 위한 노력을 경주하고 있음을 참조할 필요가 있다.

3. 연구 평가 활성화

가. 평가 시스템의 체계화

내실 있는 원자력 연구를 효율적으로 수행하기 위해서는 창의적·자율적 연구 환경 분위기 조성과 아울러 연구 결과 평가 시스템의 체계화가 매우 중요하다.

독일은 기초 연구와 응용 연구를 담당하고 있는 연구 기관과 연구자들에게 창의성을 발휘하도록 상당한 자율성을 허용하고 있으며, 평가 시스템의 경우도 다층적 체계 및 외



부의 전문 평가 인력을 활용하여 객관적이고 합리적인 평가를 도모하고 있다.

또한 교육과 연구를 병행할 수 있도록 다양한 시스템과 제도를 개발하여 추진하는 한편 연구 주제에 따라 산업체와 연구기관, 산·학·연의 공조가 활발하게 추진되어 연구의 현장 활용도도 높이고 연구기관의 원활화를 도모함으로써 연구개발 투자의 효과성을 제고하고 있다.

연구 기관에 방문 연구원, 학생, 산업체 훈련생 등 다양한 인력이 연구주제에 따라 결집되어 있어 연구결과의 확산 및 응용 효율성이 상당히 높은 것으로 평가되고 있으며 이러한 점은 국내 연구 개발 시스템에 시사하는 바가 크다.

연구 기관에서의 연구 결과가 특정 기업 및 산업에 활발하게 이전되고 있으며 이에 대한 대응 시스템도 효율적으로 갖춰져 있고, 연구 결과를 통한 벤처 창업도 활발하게 추진되고 있다.

연구 결과의 기술 이전이 성공할 경우 기업은 연구 기관에 영업 이익의 20% 정도를 지불하고 있는 등 연구 결과의 경제적 평가 및 처리 시스템이 원활하게 작동하고 있으며, 연구원의 연구 결과를 활용한 벤처 기업화도 적극적으로 지원되고 있다.

연구 기관의 안정적 연구 분위기 조성도 매우 중요하다. 국내의 경우

PBS 제도의 도입으로 연구원의 연구 개발 의지 및 창의성에 일부 부정적 영향을 주고 있는 것으로 평가되고 있어 PBS 제도의 비합리적인 면들을 개선, 연구원의 안정적이며 창의적 연구가 가능한 시스템으로 전환될 수 있도록 한다.

나. 사후 평가의 내실화

연구 성과의 실용화 결과를 사업 종료 후에도 지속적으로 점검할 수 있는 시스템의 강화가 필요하다.

일본에는 '추적 조사' 라는 평가 유형이 있는데, 이는 연구 개발 성과의 실제 활용 및 실용화를 지속적으로 점검하는 것을 목적으로 하고 있다.

국내에도 사후 평가 제도가 있기는 하나, 연구 종료 후 최종 평가로 이를 가능하고 있는 실정인어서, 실제 연구 성과의 현장 적용 및 실용화를 추적하기가 매우 어려운 실정이다. 따라서 국가 연구 개발 사업의 실용화 촉진을 위해서는 사후 평가 제도의 내실화가 필요하다.

다. 평가의 투명성 및 객관성 제고

연구 개발 평가 체계의 고도화를 통해 연구의 국제 수준화를 지향하고 평가 측면의 투명성 및 객관성 제고를 도모해야 한다.

프랑스의 연구 개발 체제에서 다양한 평가위원회의 구성, 객관적 전문 평가위원들의 구성 및 평가 결과에 대한 피평가자의 반론 권리의 인정 등을 주목할 필요가 있다.

특히 평가위원들의 약 1/3인 31.3%를 외국 전문가들로 구성하여 연구 질의 고도화를 도모한다는 점은 국내 연구 개발 평가 시스템과 비교하여 시사하는 바가 크며, 국내에서도 원자력 관련 연구의 국제화를 도모하기 위해서 이의 도입을 적극 도모할 필요가 있다고 판단된다.

특히 2000년부터 시행하고 있는 세계적으로 유명한 과학자들로 구성된 'Visiting Committee'를 통한 연구 개발 정책에 대한 평가는 연구 개발 수준의 세계화를 꾀할 수 있고 세계적 수준의 과학자들과의 정보 교류 및 구체적 연구 방향에 대한 검토를 도모할 수 있을 뿐만 아니라 범세계적 정보 공유 및 연구 개발 효율화를 꾀할 수 있다는 측면에서 의미가 크다고 하겠다.

Visiting Committee는 세계적 명성을 갖춘 8명의 과학 전문가로 구성되어 있고 국제적 시각에서 다른 관점들에 대한 개괄적인 평가를 제시할 수 있기 때문에 연구 방향의 획기적 전환 및 진전을 도모할 수 있을 것으로 보인다.

4. 연구 개발 자원 조달 체제 정비

가. 일본의 전특 회계 운영 사례
참고 필요

일본의 전특 회계는 부담금을 원자력 발전에 국한하지 않고 모든 원인에 부과하는 반면, 대체 에너지 자원 개발과 발전 지역 정비를 근거

로 조성 자금의 60% 이상을 원자력 부문에 투입하는 구조를 보이고 있다. 아울러 투입 자금의 상당 부분은 원자력 관련 연구 개발 예산으로 사용된다. 이같은 일본의 전특회계 사례는 원자력 연구 개발의 재원 조달에 시사하는 바가 매우 크다.

예를 들면 전력 산업 기반 기금으로 조성된 자금의 일부를 전원 다양화를 위한 연구 개발 명목으로 원자력 연구 개발 예산으로 투입할 수도 있을 것이다. 단, 이 경우 전력 산업 기반 기금은 원자력 R&D 중 발전 관련 연구 개발만 지원하고 비발전 분야 연구 개발은 다른 재원을 통해 지원하는 방안을 강구해 보아야 할 것이다.

나. 재원 분담 체제의 정비

기초 연구는 정부가 부담하고 산업체에서 직접적으로 활용 가능한 실용화 성격의 연구는 수혜자인 기업이 부담하는 재원 분담 체제가 바람직하다.

독일의 경우도 분야와 상관없이 기초 연구는 연방 정부나 주 정부에서 재원을 조달하고 있고, 산업체에 이전될 수 있는 연구의 경우에만 일부 기업들에 의해서 연구 자금이 지원(약 50%)되고 있다.

여타 유럽 국가들과 마찬가지로 원자력 연구 개발에 있어서 수익자의 비용 부담 원칙이 적용되고 있어 국내에서도 연구 개발 기금 부담자의 조정이 불가피할 것으로 판단된

다.

즉 연구 개발의 수혜자가 산업 및 기업 전반에 확산될 수 있는 기초 및 기반 연구는 연구 개발 자금의 부담자가 정부나 공공 기관이 되고, 특정 산업에 국한되어 연구 개발의 결과가 적용되는 경우는 동 산업에 속한 기업군이 연구 개발 비용을 부담하며, 연구 개발의 이익이 특정 기업에 속할 때는 현재와 같이 특정 기업이 분담하는 것이 합리적이다.

5. 연구 인력 양성

실효성 있는 원자력 연구가 지속될 수 있도록 신진 연구 인력의 육성 및 개발에 노력해야 한다.

미국의 경우 정부가 미국의 장기적이고 건실한 연구 능력의 유지는 바로 대학의 연구 능력에 따라 지속될 수 있다는 것을 자각하고 다양한 연구 재원을 마련하여 대학을 지원하고 있다.

독일의 경우에는 반원전 분위기와 사민당-녹색당 연정의 여파로, 새로운 젊은 연구진들의 보강이 수월하지 않고 원자력 관련 신규 프로젝트의 감소로 점차 원자력계가 고령화되어 가고 있어 많은 어려움이 우려되고 있다.

머지 않아 우리 나라의 원자력 신진 인력 수급에 큰 차질을 빚을 것으로 예상되는 바, 국내 대학의 신진 인력 양성에 노력해야 할 것이다.

국내 원자력 분야의 경우에는 국가 원전 정책의 지속적인 추진으로 아직까지는 유망한 분야로 인식되고 있어 관련 분야의 연구 인력 확충이 원만하게 추진되고 있으나 유능한 연구 인력의 지속적인 흡수를 위해서는 인력 양성 및 교육 자원 확충에 노력해야 한다.

6. 기타

일본의 원자력 이해 증진을 위한 대국민 관계 개선 노력을 참조할 필요가 있다. 천연 자원 부재의 한계를 극복하고 안정적 에너지 공급이 시급한 일본은 최근 고속증식로 「몬주」의 나트륨 누출 사고, 도카이 재처리 시설 아스팔트 고화 시설 화재 폭발 사고, JCO 우라늄 가공 공장 임계 사고 등 일련의 사고와 불상사로 원자력에 대한 국민의 신뢰가 크게 손상되었다.

원자력의 지속적 추진을 위해 국민과의 관계 개선을 다른 무엇보다 우선적으로 원자력 정책 수립에 고려하고 있다.

이를 위해 원자력 정책 수립에 국민의 참여를 독려하고 있는 등 국민의 원자력 이해 증진을 위해 다각적인 노력을 하고 있다.

원자력에 대한 국민의 반대가 만만치 않은 우리 나라로서는 일본의 대국민 관계 개선 노력을 참조하여, 국내에도 적절한 방안을 수립하는 것이 필요하다. ☞