



원자력 주요 연구 개발 현황

— KAERI, 1999년도 —

원 병 출

한국원자력연구소 연구기획실장



한 국원자력연구소(KAERI)는 원전 설계 사업이 성공적으로 달성됨에 따라, 1996년도 말에 그간 수행하여 오던 원자로 계통 설계, 경수로 핵연료 설계, 중수로 핵연료 설계·제조, 방사성 폐기물 관리 사업을 관련 산업체에 이관하였다.

반면, 국내 유일의 원자력 전문 연구 기관으로서 원자력 연구 개발의 종합적 수행, 학술 발전 및 원자력의 생산과 이용을 촉진하는 연구

개발 기능 및 역할을 강화하고자 연구 수행 체제를 정비하고 정부의 「원자력 연구 개발중·장기 계획」 프로젝트에 주도적으로 참여해오고 있다.

특히 국책 연구 기관으로서 국가 차원의 원자력 기초·기반 기술 및 핵심 기술을 선진국 수준으로 향상 시키는 물론, 특정 원자력 기술 분야에서는 세계 일류 수준의 기술 경쟁력을 확보하여 국제 무대에서 원자력 기술을 선도할 수 있도록 「원자력 연구 개발중·장기 계획」에 전문 인력 및 핵심 연구 시설을 집중 투입하여 연구 개발을 추진하여 오고 있다.

최근 수년간 KAERI는 원자력 사업 이관, 구조 조정, IMF 경제 위기에 따른 연구비 축소 등으로 연구 개발 활동이 위축되고 이미 수립된 연구 개발 계획을 대폭 축소하거나 개발 일정을 연기하고, 산업체에서 단기에 실용화가 가능한 연구 과

제 위주로 연구 개발 체계를 재편하는 등 연구 수행 측면에서 많은 변화를 겪게 되었다.

이러한 상황에서도 원자력 연구소는 본연의 기능인 원자력 연구 개발에 매진하여 지속적으로 많은 성과를 생산하고 있으며, 이중 많은 성과들이 산업체 현장에 활용되고 있다.

이러한 측면에서 본고에서는 KAERI에서 수행중인 연구 개발 활동 및 1999년의 주요 연구 실적을 소개함으로써 원자력 관련 기관의 성과 확산에 기여하고자 한다.

원자력 연구 개발 사업 수행 현황

1. 국제 원자력 연구 개발 환경

현재 원자력 연구 개발을 둘러싼 국제 환경은 원자력 기술의 선진국을 중심으로 새 천년의 원자력 기술 주도권 확보 경쟁이 심화되고 있다. 특히 미국은 NERI(Nuclear Energy Research Initiative) 프로그램 수



행을 통해 첨단 원자력 기술을 개발하여 원자력 기술 주도권을 회복하고자 하고 있다.

한편 동남 아시아권에서는 지속적인 경제 발전을 위한 전력 공급 수단으로 원자력 발전 도입이 검토되고 있어 원전의 신규 시장화 가능성이 높아지고 있다.

또한 WTO의 출범에 따른 시장 개방이 세계적인 추세로서 원자력계에서도 기술 경쟁력의 확보가 절실하다는 공감대가 이루어지고 있는 시점이다.

따라서 이와 같은 국제 환경의 변화는 우리에게 위기이면서 한편으로는 기회가 되므로 현재 수행하고 있는 원자력 연구 개발 계획을 착실히 수행하여 원자력 핵심 기술의 확보 및 이를 바탕으로 원자력 기술의 해외 수출 등 성과가 달성될 수 있도록 연구 개발 능력을 제고하고 연구 개발 체계 정비 및 효율적인 전략 수립을 통해 체계적인 연구 개발을 추진해야 할 것이다.

2. 원자력 연구 개발 계획의 추진 배경

정부에서는 2000년대 원자력 기술 선진국 수준 진입과 국가 에너지 자립 기반 구축을 목표로 지난 1999년 6월 제230차 원자력위원회의 의결을 통해 원자력 연구 개발 중·장기 계획 사업을 수립하였으며, 5년이 경과한 1997년에는 그



방사성 동위원소(RI) 생산 시설. 원자력 연구 환경이 급격히 변화하면서 정부에서는 국가 경제난 극복 및 국내 원자력 산업체의 경쟁력 제고에 기여하기 위하여, 연구 개발의 시급성 등을 고려하여 연구 개발 일정을 조정하고 산업체의 수요가 있는 단기 실용화 위주의 신규 과제를 발굴하는 등 1998년 12월, 1999년 2월 두 차례에 걸쳐 원자력 연구 개발 중·장기 계획 사업을 수정하여 현재에 이르렀다.

동안 변화된 국내의 여건 및 기술 개발 추세에 적절히 대응하기 위하여 중·장기 연구 개발 계획을 적절히 새롭게 보완·기획하였다.

그러나 1997년도 말에 도래한 IMF 국가 경제난으로 인하여 민간 투자 위축 및 연구 개발 공동화, 출연 연구소의 경영 혁신 등 원자력 연구 환경이 급격히 변화하면서 정부에서는 국가 경제난 극복 및 국내 원자력 산업체의 경쟁력 제고에 기여하기 위하여, 연구 개발의 시급성 등을 고려하여 연구 개발 일정을 조정하고 산업체의 수요가 있는 단기 실용화 위주의 신규 과제를 발굴하는 등 1998년 12월, 1999년 2월 두 차례에 걸쳐 원자력 연구 개발 중·장기 계획 사업을 수정하여 현재에 이르렀다.

이러한 국내 연구 개발 환경 변화에 따라 KAERI도 1997년도에 수립·수행하던 연구 개발 내용·범위를 축소하고 개발 일정을 연기하는 등 연구 과제의 중단·통합·축소 등의 조치가 불가피하게 되었다.

특히 액체 금속로 개발에 있어서는 2006년까지 상세 설계를 완료하기로 하였던 계획을 기본 설계를 개발하는 것으로 목표를 수정하였고, 신형 원자로 요소 기술 개발 및 기본 모델 개발 업무는 중단하고 중소형 일체형 원자로 기술 개발에 집중하도록 하였다.

또한 일체형 원자로 개발은 2003년까지 일체형 중소형 원자로 기본 설계 검증의 당초 계획을 변경하여 기본 설계만 하는 것으로 목표를 조정하였다.

〈표 1〉 KAERI의 원자력 연구 개발 중 · 장기 계획 사업 수행 실적(1999)

단위 : 백만원, M.Y

기술분야	과제명	연구비	연구 인력
원자로 및 핵연료	1. 일체형 원자로 설계 기술 개발	5,938	66
	2. 차세대 원자로 설계 검증 기술 개발	5,280	23
	1. 미래형 핵연료 개발	3,186	25
	2. 경수로용 신형 핵연료 개발	3,354	22
원자력 안전	1. 원자력 안전성 향상 기술 개발	2,250	20
	2. 원자력 열수력 실증 실험 및 평가 기술 개발	6,386	22
	3. 대사고 실증 실험 및 평가 기술 개발	2,874	18
방사성 폐기물 관리	1. 사용후 핵연료 관리 · 이용 기술 개발	6,507	48
	2. 고준위 폐기물 처리 · 전환 기술 개발	4,805	40
	3. 고준위 폐기물 처분 기술 개발	3,193	24
방사선 이용 및 방호	1. 방사성 동위원소 생산 이용 연구	3,056	22
	2. 방사선 식품 · 생명 공학 기술 개발	2,663	18
	3. 방사선의 공업적 이용 연구	2,047	12
	4. 방사선 환경 방호 기술 개발	1,558	13
원자력 기반	1. 액체금속로 설계 기술 개발	4,455	38
	2. 경 · 중수로 연계 핵연료 주기 기술 개발	3,491	33
	3. 원자력 재료 기술 개발	5,222	43
	4. 원자력 산업용 레이저 응용 기술 개발	4,595	29
	5. 연구로 이용 기술 개발	5,013	31
	6. 원자력 요소 기술 개발		
	6.1 중수로용 개량 핵연료 기반 연구 및 실용화	1,335	11
	6.2 원자력 내방사선 로봇 개발	1,994	10
	6.3 핵자료 체제 구축 기반 연구	1,129	9
	6.4 국가 핵물질 계량 관리 및 통제 기술 개발	653	7
	6.5 양성자 빔 가속장치 개발	1,467	6
	계	82,452	589

또한 실증적 연구 개발을 위하여는 필수적이거나 산업계 수요가 불분명하고 장기적인 투자가 요구되는 성격의 과제는 우선 순위를 고려하여 축소 추진하였으며, 대규모 고가의 연구 시설, 즉 사용후 핵연료 관리 실증 시설, 핵종 변환 장치, 지하 모의 처분 시설을 중단하고, 투자 우선 순위가 낮은 노내의 실증

실험 시설, 냉중성자원 시설의 투자를 연기하였다.

3. KAERI의 연구 개발 추진 현황

1999년도에 KAERI가 원자력 연구 개발 중 · 장기 계획 사업에 참여하여 수행하고 있는 과제는 〈표 1〉과 같다.

기술 분야별로는 원자로 및 핵연

료 분야 4개 과제, 원자력 안전 분야 3개 과제, 방사성 폐기물 분야 3개, 방사선 이용 및 방호 분야 4개, 원자력 기반 분야 6개 과제를 주관하여 수행하고 있다.

출연 연구 기관의 고유 기능 및 일류화 · 전문화를 위한 중 · 장기 발전 계획에 따라 수행하는 기관 특화의 고유 연구 개발 사업은 〈표 2〉



와 같다.

1999년도에 수행한 기관 고유 사업은 핵연료 주기 시험 시설 운영, 방사선 방호, 하나로 및 연구로 활용 시설 운영, 원자력통제기술센터 운영, 원자력 기반 연구 및 인력 양성, 연구용 원자로 폐로, 연구 정책 및 지원 사업으로서 총 7개의 사업을 수행하고 있다.

4. 산·학·연 협력 연구 실적

KAERI는 1992년부터 수행한 원자력 연구 개발 중·장기 계획 사업을 통해 국내 연구 자원의 효율적인 활용을 위한 산·학·연 협력 체제 강화에 노력하여 왔다.

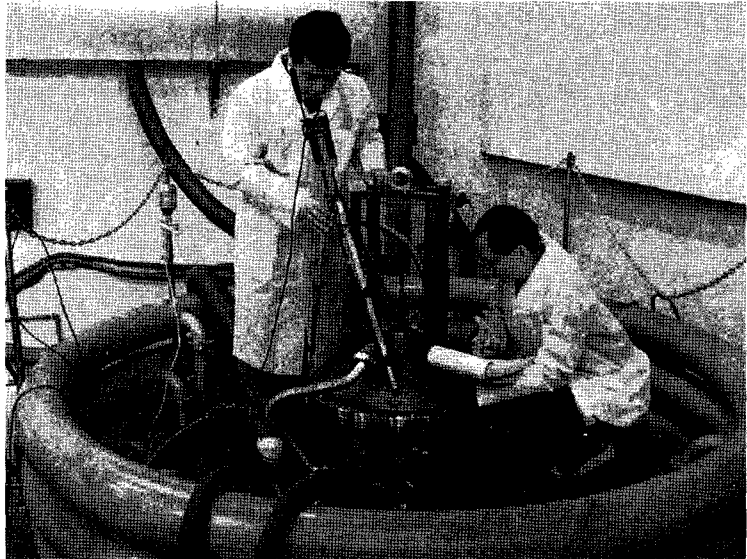
이에 따라 국내 산·학·연 관련 기관과 매년 연구소 연구 개발비의 약 10% 규모에 해당하는 협력 연구를 수행하고 있으며 규모도 점차 증가하고 있는 추세이다. 지난 1999년 국내 산·학·연 협력 연구 추진 실적은 <표 3>과 같다.

주요 연구 개발 실적

1. 기술 분야별 주요 성과

가. 원자로 분야

원자로 분야에서는 1999년까지 330Mwt급 일체형 원자로(SMART) 원자로 계통 개념 개발을 목표로 수행하여 일체형 원자로 (SMART) 설계 기본 요건·기능 요건·안전 요건·성능 요건 및 예비 설계 기준을



연구로용 국산 핵연료 분말을 원심 분무에 의해 제조하는 실험. KAERI가 1999년도에 수행한 기관 고유 사업은 핵연료 주기 시험 시설 운영, 방사선 방호, 하나로 및 연구로 활용 시설 운영, 원자력통제기술센터운영, 원자력 기반 연구 및 인력 양성, 연구용 원자로 폐로, 연구 정책 및 지원 사업으로서 총 7개 사업이다.

<표 2> KAERI의 기관 고유 사업 수행 실적(1999)

단위 : 백만원, M.Y

세부 사업명	연구비	연구인력
1. 핵주기 시험 시설 운영	1,190	4
2. 방사선 방호 사업	2,563	32
3. 하나로 및 연구로 활용 시설 운영	12,835	61
4. 원자력통제기술센터 운영 사업	2,148	19
5. 원자력 기반 연구 및 인력 양성 사업	2,203	15
6. 연구용 원자로 폐로 사업	3,005	6
7. 연구 정책 및 지원 사업	1,215	13
계	25,159	150

<표 3> KAERI의 산·학·연 협력 연구 실적(1999)

구분	산업체	대학	연구소	기타 기관	계
연구비(백만원)	2,521	3,394	1,667	911	8,493
과제수(건)	19	106	14	14	153

확립하고, 개념 설계 적용 범위 및 기술 기준 적용성 검토·평가 및 필요 항목 도출을 통하여 SMART 개념 설계를 완료하였다.

KAERI가 개발중인 SMART 기술은 우리 고유 브랜드의 소형 일체형 원자로 기본 모델로서, 원자로 설계의 독자적이고 선진화된 고유 설계 기술이 반영된 첨단 기술이다.

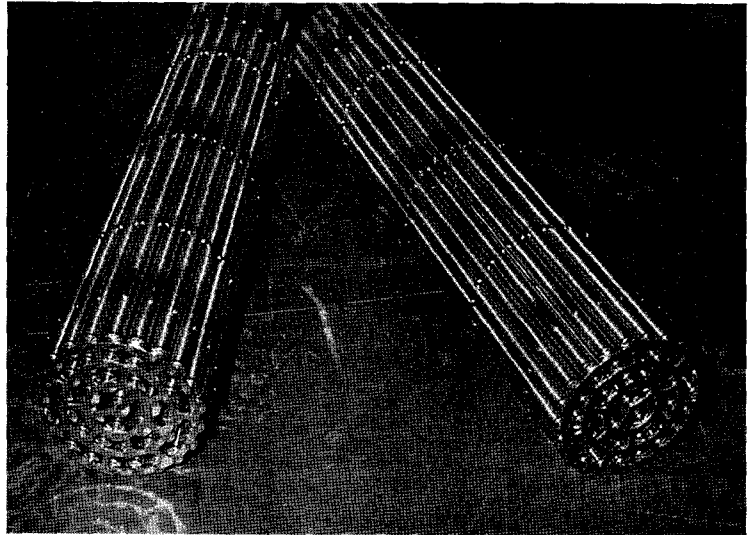
본 연구가 성공적으로 완료될 경우 원전 기술의 해외 수출 및 선진화를 위한 계기가 될 것이다.

차세대 원자로 개발은 2010년 상용화 목표로 추진하고 있으며, 차세대 원자로의 신설계 개념 중 NSSS 관련 부하 추중 운전성 향상을 위한 Mode K 운전 기법 개발 등 9개 항목에 대한 설계 개발 및 검증을 완료하여 차세대 원자로 기본 설계 완성에 기여하였다.

액체 금속로(KALIMER) 설계 개발은 분야별 설계 및 전산 체제 개발, 분야간 연계 활성화 등 150MWe급 칼리머의 개념 설계에 많은 진전을 이루었고, 특히 노심 설계에 필요한 대부분의 기능을 수행할 수 있는 기술을 확보하였다.

나. 핵연료 분야

핵연료 분야에서는 연구로용 우라늄 고밀도 핵연료 실용화를 목표로 추진하여 세계 최초로 연구로용 원심 분무 핵연료 제조 기술을 개발하였으며, 미국과 프랑스에 핵연료 분말을 수출할 정도로 세계적으로



KAERI가 캐나다와 공동으로 개발한 중수로용 개량 핵연료(CANFLEX). CANFLEX-NU 핵연료는 기존 중수로용 핵연료에 비해 운전 및 안전 여유도가 증대되고 연소도 향상 및 사용후 핵연료 방출량 감소가 기대되고 있어 국내 중수로 원전에서의 상용화를 목표로 2000년 7월부터 산업체 주도로 실용화를 추진할 계획이다.

기술의 우수성을 인정받았다.

특히 시험용 국산 연구로용 핵연료는 하나로 정상 출력 연소 시험에서도 핵연료의 안전성을 확인되는 등 연구소가 개발한 고효율 핵연료 제조 기술은 20% 이하의 저농축 우라늄으로 90% 이상의 고농축 우라늄을 원료로 만든 것과 같이 고효율을 얻을 수 있는 우수한 기술로 판명되었다.

또한 미국 알곤 국립연구소(ANL)의 성능 평가 결과, 기존의 파쇄 핵연료 제조 방법에 비해 생산성이나 핵연료 가공성·연소성능면에서 월등히 우수하게 나타났다.

중수로 핵연료 개발 분야에서는 중수로용 개량 핵연료인 CANFLEX-NU 핵연료 시제품을 개발하여 노

내 조사 시험을 성공리에 완수하고 1999년 8월에는 정부로부터 설계 승인을 획득 하였다.

CANFLEX-NU 핵연료는 기존 중수로용 핵연료에 비해 운전 및 안전 여유도가 증대되고 연소도 향상 및 사용후 핵연료 방출량 감소가 기대되고 있어 국내 중수로 원전에서의 상용화를 목표로 2000년 7월부터 산업체 주도로 실용화를 추진할 계획이다.

경수로용 신형 핵연료 개발 분야에서는 핵연료 피복관용 신탍금에 대한 국내외 특허를 확보함에 따라 국제 경쟁력이 있는 우리나라 고유의 피복관 개발이 가능하게 되었다.

특히 원자력 중주국인 미국 등 선진국에서 H/W 관련 특허를 취득하



는 등 개발 기술의 우수성을 국제적으로 인정받았다.

또한 신합금 피복관으로 제조될 동 피복관 시제품은 일본 스미모토 금속이 자체 시설을 활용하여 제조 기술 공동 개발을 제의하는 등 성능 면에서 원자력 선진국에서도 인정 받고 있다.

미래형 핵연료 개발 분야에서는 국내 독자 기술로 혼합 핵연료 제조 기술을 개발하여 그 동안의 분석 결과 우수한 기술로 판명되었으며, 스위스 PSI와의 국제 공동 연구를 통해 시험 혼합 핵연료 제조에 사용되어 성능이 입증 단계에 있으므로 최종 성능 확인 후 산업체에 기술 이전할 계획이다.

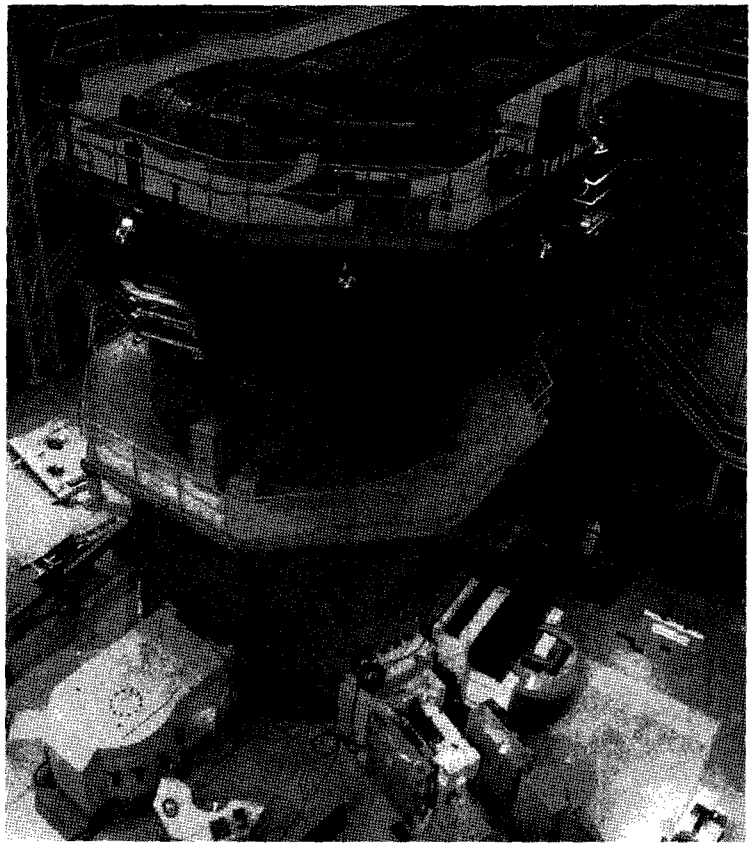
다. 원자력 안전성 분야

원자력 안전성 분야에서는 원자력 안전성 평가, 종합 사고 관리 기술 개발 및 신안전 개념 평가를 위해서, 종합 안전성 평가 코드(KIRAP)를 개발하여 미국 EPRI에 수출하였다.

또한 그동안의 월성 PSA 경험을 바탕으로 루마니아의 중수형 원전 PSA 프로젝트 수주를 추진하였다.

초음파 공명 해석 코드 및 센서 개발, RAM-Pro와 EPIS-Web 등 신뢰도 기반 정비 프로그램을 개발하여 월성 비상 발전기에 적용하여 시험 주기를 개선하는 등 성과를 얻었다.

원전의 안전과 직결되는 원자력



다목적 연구용 원자로 「하나로」. KAERI는 연구용 원자로 「하나로」를 1995년에 자력 설계·건설하고 성공적으로 운전함에 따라 설계 및 운전 경험을 바탕으로 외국에서 발주하는 연구용 원자로 건설 사업에 단독 또는 외국 기관과 컨소시엄을 구성하여 적극적인 참여를 추진하고 있다.

〈표 4〉 원자력 기술 수출 추진 현황(1998~1999)

사 례 명	사업 기간	계약 금액(US \$)	수출국
연구용 원자로용 핵연료 분말 판매	1997.11.27	30,000	프랑스(CERCA)
	1998. 1.30	8,500	미 국(BWXT)
연구용 원심 분무 핵연료 분말 (LEU 및 DU)	1999.7.	20,000	미국
	1999.11.5	18,000	미국
Tc-99m 자동 용매 추출 장치	1999.6.	20,000	IAEA(리비아)
	1999.12		
합 계		96,500	

〈표 5〉 원자력 기술 수출 추진 현황

주요 내용	예상 금액(US \$)	대상국
대만 IEER 연구용 원자로 운전·유지·시운전 교육 및 운전 기록 자료 제공	5,000,000	대만
호주 ANSTO 원자로 건설 캐나다 AECL과 공동 참여	미 정	호주
브라질 CRGM/RPM-1 건조 사업 참여	미 정	브라질
핵연료 분말 수출	50억원/매년 (향후15년간)	프랑스·캐나다· 미국·아르헨티나
Tc-99m 자동 용매 추출 장치	미 정	일본
방사성 동위원소 Co-60 수출	미 정	동남아

〈표 6〉 KAERI의 기술 실시 계약 체결 실적(1999)

단위 : 원

이전 기술명	과제 책임자	실시 기업명	기술료	계약 체결일
1. 비파괴 검사용 Ir-192 방사선원 어셈블리 제조 기술	한현수	호진산업기연(주)	300,000,000+α	1999. 3. 3
2. KJRAP 동 전산 프로그램 8종	김태운·하재주	(주)엑트	무상	1999. 3. 19
3. 고출력 Nd:YAG 레이저 발전용 냉각수 누수 방지용 O-ring의 레이저에 의한 손상 보호 구조 기술	김철중	(주)금광	무상	1999. 3. 19
4. 선형 광다이오드 어레이를 이용한 파장 가변 레이저의 주파수 안정화 및 정밀 파장 스캐닝 방법과 장치 기술	이종민	(주)한국광학시스템	무상	1999. 3. 19
5. 비구대칭 광학계를 사용한 레이저 형상 측정 장치 기술	김철중	(주)파미	무상	1999. 3. 19
6. 중하중 취급 및 미끄럼 방지용 전방향 바퀴 기술	김승호	(주)한울로보틱스	무상	1999. 3. 19
7. 제염 공정 폐기물을 이용한 산업 폐수 처리 방법 관련 기술	박장진	(주)가이아	8,215,000	1999. 4. 7
8. 고성능 공기 여과기의 제조 방법 관련 기술	이상훈 (윤명환)	(주)카엘	11,580,000 +α	1999. 4. 9
9. 방사선 그래프트 반응용 조성물 및 그를 이용한 그래프트 중합된 폴리올레핀계 섬유 제조 방법 관련 기술	노영창	(주)카엘	24,587,000	1999. 4. 9
10. COMET 전산 코드 기술	송진호	서울대학교	무상	1999. 6. 14
11. 4mm 강내 조사용 방사선 어셈블리 제조 기술	한현수	호진산업기연(주)	10,000,000+α	1999.8.11
12. 의료용 고집약형 금속 증기 레이저 장치 개발	이종민	서울전광기기	72,053,000+α	1999.8.26
13. 원자로 잡음을 이용한 결합 진단 기술	박진호	동암실업(주)	76,962,000 +α	1999.11.5
14. 삼단 발전형 ND:YAG 레이저 개발 기술	김철중	(주)한빛레이저	186,630,000+α	1999.11.15
15. 감손 우라늄을 사용한 동위원소 차폐체 제조 기술	김창규	호진산업기연(주)	51,921,000+α	1999.12.6
16. 방사선 식품 저장 및 가공 기술	변명우	그린피아기술(주)	제품매출액의 3~5%	1999.12.10
17. LPMS 및 IVMS 감시 기술	함창식	(주)우진	제품매출액의 3%	1999.12.30
18. 피폭 출입 관리 선량계 시스템 설계 제조 기술	장시영	(주)원우검사기술	제품매출액의 3%	1999.12.30
19. 폐첨착 활성탄 습식 재활용 장치 개발 기술	오원진·문재권	(주)카엘	제품매출액의 3%	1999.12.30
20. 초음파 센서 기본 설계 및 특성 평가 기술	서정문	(주)래트론	제품매출액의 3%	1999.12.30
21. 고가 원소 회수 및 흡착 장치 개발 기술	정홍석	(주)에이스랩	제품매출액의 3%	1999.12.30
22. 차동 유성 감속기의 최적화 설계 기술	김승호	가타엔지니어링	제품매출액의 3%	1999.12.30
23. 핫셀 원격 조정기 설계 및 제조 기술	민덕기	한국차폐기술(주)	제품매출액의 3%	1999.12.30
24. 이온빔 조사에 의한 대전 방지용 IC TRAY 제조 기술	최병호	(주)한국프라이코	제품매출액의 3%	1999.12.30
25. 반도체 방사선 센서 기술	문병수·김용균·황중선	대한검사기술(주)	제품매출액의 3%	1999.12.30
26. 비파괴 결합 탐지 기술	최명선·정용무	중앙검사(주)	제품매출액의 3%	1999.12.30
27. 폐유류의 전기 아크 분해에 의한 고열량 연료 기체 생산기술	김준형	신테크산업(주)	83,143,000	2000. 1. 21
28. 직류형과 표준형 싸이클론을 결합한 고효율 분리체 분리 장치 개발	임성팔	아진공업(주)	18,008,000	2000. 1. 21
합 계			843,099,000+α	



〈표 7〉 KAERI의 연구 개발 성과의 산업화 주요 사례(1999)

단위 : 원

연구 개발 성과 사례	주요 내용	기대 효과
원자력발전소 고장 예방용 감시 장치 개발	원자로 계통의 각종 잡음 신호를 현장에서 실시간으로 측정·분석하여 원자로 내부 구조물의 구조적 건전성을 감시·진단할 수 있는 휴대용 원자로 잡음 신호 분석 시스템 개발	동시에 16개의 채널을 실시간으로 처리 가능하여 노의 중성자 신호 이외에 입력 변동 신호 및 이물질 감시 장치(LPMS) 계통의 가속도 신호 등도 함께 분석 가능함
재료 구조 분석 장치 개발	연구용 원자로 '하나로'를 이용하여 핵연료 재료, 초전도 재료, 자성체, 배터리 재료, 산화물과 유전체 등의 구조를 정확히 분석·평가할 수 있는 고분해능 중성자 회절 장치(HRPD : High Resolution Powder Diffractometer) 개발·설치	원자력 분야의 핵연료 구조물, 각종 합금, 소결체, 산화물, 각종 화합물과 세라믹 소재, 자성체, 초격자 구조와 상전이 분석 가능
비파괴 검사용 방사선원 제조 기술 산업체 이전	비파괴 검사용 방사선원 제조 기술 국산화 성공 - 비파괴 검사 장비 설계 제작 및 공급 업체인 호진산업기연주식회사와 기술 이전 계약을 체결하였음	방사선 사진 촬영시보다 선명한 영상을 얻을 수 있으며, 새로운 연결·조립 방식을 채택하여 선질을 높이고 입찰 후직진성을 높인 제품으로 비파괴 검사용 방사선원의 품질과 작업 안전성 향상에 기여
초소형 고체 색소 레이저 시스템 개발	레이저 시스템의 크기를 최소화하면서 고체 색소를 사용하는 초소형 파장 가변 고체 색소 레이저 시스템 국산화 성공	초소형화 가능, 비용 절감 효과. 외국의 제품에 비해 가격이 1백분의 1 이하이기 때문에 월등한 가격 경쟁력을 가지고 있어 수입 대체 효과 및 수출이 기대됨
자유 전자 레이저 방출 장치 세계 첫 개발	기존 장치에 비해 크기가 5분의 1에 불과하면서도 출력이 높고 안정된 새로운 원적외선 자유 전자 레이저를 발생하는 장치를 세계 최초로 개발	다른 방법에 의한 광원보다 1백만배 이상의 높은 출력을 내면서도 구조가 간단하고 제작비가 낮아 산업화 전망이 매우 밝음
방사능 오염을 효과적으로 제거하는 신기술 개발 및 국제 특허 획득	점토와 고분자 물질 등을 원료로 방사능 오염 표면 정화용 제염제 및 정화 방법을 개발하여 좁은 지역은 물론 넓은 지역의 오염까지 효율적으로 제거 가능 기술임	국내 특허와 영국의 국제 특허를 획득, 상용화 가능 예상
방사성 원소 추출 장치·제품 개발 및 수출	의료용 테크네튬 용매 추출 장치 리버이 수출(2만달러) 의료용 요오드 제품의 방글라데시 수출(5만달러)	장치 및 제품의 해외 수출 확대 예상
어패류를 이용한 기능성 식품 신소재 개발	어패류의 일종인 멧게의 껍질에서 고농도의 식이 섬유를 추출, 제과·제빵·제면·잼·젤리·양갱·음료 등 여러 가공 식품 제조에 필요한 신소재 개발	장기능 개선, 비만/변비 방지에 효과 탁월 세계적으로 연간 1백억달러의 시장을 형성하고있는 위생적인 기능성 소재의 생산과 공급이 가능하여 노령화 방지 및 선진 사회의 소비자 건강 증진이 기대됨

재료의 열화 및 건전성 평가 체계 구축을 위하여 고리·영광·울진 원전의 압력 용기, 배관, 증기발생기 전열관 재료 Baseline 특성 평가 및 조사 취화·부식·강도 평가 등을 통해 안전 운전 및 수명 관리/연장을 위한 기술 개발 자료를 제공하였다.

수명이 30% 이상 개선된 압력 용기강을 이상 영역 열처리법 적용(특허)을 통해 개발하고, 톱날 결정립계 형성법 개발(특허)을 통해 증기발생기 전열관 재료의 응력 부식 저항성을 크게 향상시키고, 중수로 압력관 재료에서의 수소 파괴 저항성 개선을 위해 집합도 개선 방법

(특허)을 개발하여 적용하였다.

라. 방사성 폐기물 관리 분야

방사성 폐기물 관리 분야에서는 사용후 핵연료 차세대 관리·이용 기술 실증을 위한 첫 단계로 중·저준위 폐기물 드림 원격 파지 장치 및 무진동·무충격 크레인을 개발하여 산업체에 기술 이전을 완료하

〈표 8〉 KAERI의 중소기업 기술 지도 실시 실적

기술 지도 및 자문 내용	기술 지도자	대상 기업	비고(M/Y)
방사선 차폐재 설계 기술	강희영	한국차폐기술(주)	240M/Y
방사선 물질 연구 Hot Cell용 원격 조종기 개발	이은표	한국차폐기술(주)	240M/Y
RIB-LATH와 스크래치비닐과의 접합 방법	노영창	대룡강건공업(주)	240M/Y
영능 시설 자동화 기자재 개발	김종균	(주)세운	240M/Y
시각 인식 시스템 개발	조재완	(주)우신에프에이	240M/Y
CAD/CAM의 도입 및 활용 기술	유봉	(주)삼도기업	240M/Y
DC 모터 성능 개선 및 효율 향상	박병석	동진정공(주)	240M/Y
제품 변화에 따른 복원력 강화	노영창	(주)행성사	240M/Y
Al Brazing용 재료 개발	김영석	삼훈산업(주)	240M/Y
원전의 폐이 운수지 운반 · 보관용 Flask 설계 및 차폐 기술	강희영 · 구길모	한국차폐기술(주)	240M/Y
모터 제어 이론 및 프로그램개발	김기호	(주)탐엔지니어링	240M/Y
다목적 복합형 영능 자동 개폐기 개발	김종균 · 염기언	(주)세운	240M/Y
전기 아크 용융 기술	김준형 · 김인태	고려소각로공업(주)	240M/Y
면진 시스템 개발	전영선	(주)케이알	240M/Y

〈표 9〉 KAERI의 연구원 벤처 기업 창업 현황

단위 : 억원

창업 회사명	설립일	사업내용	매출액
민트정보기술(주)	1996. 2	소프트웨어 개발, 설계 전산화 등	1
(주)가이아	1996.12	산업 폐수 처리 약품 제조	20
(주)카이텍	1997. 9	원전 검사에 대한 종합적인 비파괴 검사	50
(주)한빛레이저	1997.10	산업용 Nd:YAG 레이저 및 장치 제작	10
(주)카엘환경연구소	1998. 3	원자력 필터/성능 시험	50
한발 엔지니어링	1998. 9	핵물질 관련 시험 및 취급 장치 개발	3
(주)한울로보틱스	1998. 9	모터 제어기, 이동 로봇 등	1
(주)피미	1998. 9	3차원 센서, 3차원 센서 응용 시스템	2
(주)금광	1999. 1	과학용/의료용 레이저 기기 개발	2
(주)한국광학시스템	1999. 1	원격 분석용 광학 장비 및 광계측	1.5
(주)엑트	1999. 1	원전 안전 설비 장비 최적화, 신뢰도 분석 기술 개발 등	0.5
하나전자	1999. 2	핵물질 운반 차량용 가속도계 등	-

였고 수중 로봇을 개발하여 산업체에 이전중이다.

또한 지표 핵종의 감마선 방출비 측정법에 의한 사용후 핵연료의 비파괴적 연소도, 냉각 시간 및 초기 농축

도 동시 결정 알고리즘을 개발하였으며, 고준위 폐기물 처분을 위한 안전

성 평가 코드인 MASCOT-K와 선원항 평가 모듈 등을 개발하였다.

방사성 폐기물 처리 · 전환 기술

개발을 위한 군분리 공정 개발 및 공학 시험용 Mock-up 공정 설계를 완료하였고 산업체(한전)에 삼중수소 분리 기술을 이전중이다.

마. 원자력 기반 기술 분야

원자 분광 및 레이저 핵심 기술의 원자력 산업 적용을 위하여 원자 밀도 실시간 모니터링 분광 기술, 희귀 방사성 동위원소 극미량 검지 기술, 레이저 대기 분석 시스템을 개발 완료하였다.

특히 레이저를 이용한 대기 오염 정밀 측정 장치는 공해 물질 발생 즉시 종류 · 고도별 분포 · 밀도 · 이동 방향 등 종합적 관측이 가능할 정도의 우수한 성능을 보유하고 있다.

마이크로트론을 이용하여 발전에 성공한 소형 자유 전자 레이저는 구조가 간단하고 제작비가 낮으며, 장치의 소형화가 가능해 현재까지 선진국들도 소형화에 성공한 바 없어 연구소 개발 기술의 우수성을 널리 인식시킨 계기가 되었다.

연구용 원자로 하나로를 이용한 핵연료 및 원자력 재료의 각종 조사 시험을 위한 계장 캡슐 등을 자체 개발함으로써 원자력 압력 용기, 원자력 신소재 등의 물리적 특성 변화를 국내 기술로 분석가능하게 되었다.

특히 본 원전 재료 조사 시험용 계장 캡슐은 유럽 원자력학회에서 발표되어 각국의 전문가로부터 호



〈표 9〉 KAERI의 특허 및 논문 게재·발표 실적(1999)

단위 : 건

특허 종별	등록	출원	계
발명 특허	국내	62	72
	국외	18	16
프로그램	국내	179	-
계	259	88	347

단위 : 편

구분	발표 및 게재 실적		
	1998년도(A)	1999년도(B)	증감(B-A)
국내	논문 발표	799	910
	학술지 게재	265	385
국외	논문 발표	154	255
	학술지 게재	126	164
계	1,344	1,714	370

평을 얻었으며, 여러 국가에서 본 제품의 사용에 대한 많은 관심을 표명하고 있어 수출도 가능할 것으로 판단된다.

바. 방사선 이용 분야

방사선 이용 분야에서는 국민 보건 복지 향상에 기여하기 위하여 신규 방사성 의약품 등 고부가 가치 RI 제품으로서 피부암 치료용 166Ho-Patch 양산법 개발, 간암 치료용 166Ho-CHICO 개발, 국내 다수요 방사성 동위원소 양산법 확립 등을 달성하였다.

이중 치료용 166Ho 방사성 의약품은 세계 최초의 기술로 간암 치료용의 경우 I상 및 전기 II상 임상 시험을 통해 기존 방법에 비해 유효성·안전성·간편성·진보성이 뛰어난 것으로 판단되었다.

간암 치료의 경우 2000년 후반

기에는 신약으로 등록하여 상품화될 예정이다. 또한 I-131은 용액 및 캡셀로 품질을 고급화하여 아시아 지역으로의 수출 추진과 Co-60을 월성 원전에서 생산토록 하고 한전·캐나다의 노르디온사와 공동 협력하여 산업 활용과 국내외의 공급을 추진할 계획이다.

또한 비파괴 검사용 방사선원 제조 기술을 개발하여 산업체에 이전하였다.

원자력 산업체와 병원 등 방사선 취급 업체에서 개인이 휴대하여 방사선량을 측정할 수 있는 측정기를 개발하였으며, 이 제품은 열형광 물질에 방사선 조사 후 방사선의 양에 비례해 형광이 방출되는 원리를 이용한 것으로 사람이나 기타 물체의 방사선량을 정확하게 측정할 수 있는 성능을 보유하고 있다.

또한 방사선을 식품 공학적으로 이용하기 위하여 어패류를 이용한 기능성 식품 신소재 개발, 소세지·햄버거 등 육제품 가공 기술을 개발하여 산업체에 이전하였다.

2. 원자력 기술 수출

KAERI의 연구 개발 성과 및 기술력을 바탕으로 연구 개발 사업을 통해 축적된 기술에 대하여 미국·프랑스 등 원자력 기술 선진국에 약 10만달러의 기술을 수출하였고, 현재 〈표 4〉에서 보는 바와 같이 여러 건의 기술 수출을 추진중이며, 이외에도 연구용 원자로 설계 기술 및 핵연료 등에 대한 수출을 적극 추진중에 있다.

비록 수출 규모는 미미하나 질적인 면에서는 원자력 선진국에서 연구 개발 성과를 구매하거나, 상호 연구 결과의 교환 제의를 하고 있어 국제 사회에서 KAERI의 기술 능력을 인정해 주는 사례라 할 수 있다.

특히, 연구용원자로 「하나로」를 1995년에 자력 설계·건조하고 성공적으로 운전함에 따라 설계 및 운전 경험을 바탕으로 외국에서 발주하는 연구용 원자로 건조 사업에 단독 또는 외국 기관과 콘소시엄을 구성하여 적극적인 참여를 추진하고 있다.

특히 호주 ANSTO 연구로 건설 프로젝트에 참여하기 위하여 현재 AECL과 공동 수출을 위한 협력

합의서를 체결하였고 AECL과 참여 방안 및 범위를 확정하였다.

또한 대만의 INER 연구로 프로젝트에 참여하기 위하여 시운전 범위를 협의중이다.

또한 브라질의 CNEN 연구로 프로젝트도 브라질 경제 위기로 중단되었던 협의를 재개할 예정이다.

3. 연구 개발 성과의 산업 현장 활용

KAERI는 그 동안 연구 개발의 성과를 산업체에 이전하고 산업 현장에서 직접 활용토록 함으로써 현장 애로 기술을 해결하고 공정 개선을 통한 기술 경쟁력 제고를 지원하고 있다.

특히, 1997년도 IMF 경제 체제 이후 산업체 현장 적용을 위한 연구 과제 발굴 또는 연구 개발 목표 수정 등을 거쳐 단기 실용화 위주의 과제를 집중적으로 수행한 결과, 산업체 적용면에 있어서 많은 양적·질적 증가를 가져왔다.

구체적으로 IMF 국가 경제 위기 극복에 기여하고자 「연구 개발 성과 확산 사업」의 일환으로 약 45억 원을 투입하여 연구원 창업 지원, 연구 성과 실용화 지원, 연구소 보유 기술의 산업체 이전 등을 위해 1998년부터 28개 과제 및 1999년에 신규로 9개 과제를 수행하였고, 이 결과 산업체 적용 가능한 기술 개발을 완료하였다.

이에 따라 연구 개발 성과 확산 사업 등을 통해 1999년도 이후에 <표 6>과 같이 총 28건의 기술 실시 계약을 체결하여 산업체에 개발 기술을 이전하였다.

한편 1999년도에 연구소의 연구 개발 수행을 통해 생산된 연구 성과를 산업체에서 직접 활용되거나 계획중인 사례는 <표 7>과 같다.

또한 산업체의 기술 경쟁력 제고를 위하여 산·학·연 공동 연구를 활발히 추진중에 있으며 산업체 현장 애로 기술 개선을 위한 유망 중소기업 등 산업체에 대한 기술 지도·지원 사업과 기술 이전을 <표 8>과 같이 수행하고 있다.

이로 인해 중소기업 기술 지도 실적은 총 14건(3,360Man/Hour)이며, 기술 이전 실적은 유·무상 총 26건, 계약 금액은 742백만원+ α 금액에 달한다.

연구원 창업을 통한 국가 경제 기여 및 고용 효과 창출을 위하여 연구소가 개발·보유한 기술을 대상으로 연구원 창업을 지원하여 <표 9>와 같이 1999년에 4개 등 총 12개의 연구원 벤처 기업을 육성·지원하였다.

이를 통해 12개 회사에서 1999년 141억원의 매출 기대 및 121명의 고용 효과 달성으로 국가 실업 대책 시행에 적극 부응하고, 또한 약 400만달러의 수입 대체 효과를 달성하였다.

4. 특허/논문 게재·발표

KAERI는 1999년까지 국내외에 259건의 특허를 보유하고 있으며, 88건을 출원중에 있다.

또한 연구 논문은 지난 해에만 국내외에 27% 증가한 1,714편을 발표하거나 국내외 유수의 저널지에 게재하였다. 이는 원자력 연구 개발 중·장기 계획이 본격 수행되면서 연구 개발의 활성화가 이루어졌기 때문으로 여겨진다.

결론

KARI는 IMF 경제 체제 이후 연구 개발비의 축소, 연구 내용의 변경 등 급격한 연구 개발 환경 변화에도 불구하고, 적지않은 연구 개발 성과를 바탕으로 국가의 IMF 경제 체제 극복에 미약하나마 기여를 했으며, 아울러 이러한 성과는 국제 원자력 분야에서 우리나라의 위상을 높일 수 있는 계기가 된 것으로 생각된다.

그러나 아직 원자력 선진국과의 기술 경쟁력에서 많은 격차가 있는 것도 사실이나, 국가 차원의 원자력 연구 개발 중·장기 계획 사업이 국내 산·학·연과의 협력하에 착실히 수행되고 있으므로 2000년대 초반에는 적어도 특정 원자력 기술 분야에서는 기술 경쟁력 확보가 가능할 것으로 판단된다. ☞