

원자력연구개발활동의 스피노프성과 증진 방안

이태준, 양맹호
한국원자력연구소

배종태
한국과학기술원

요약

원자력연구개발중장기계획사업은 초대형·장기국가연구개발사업으로서 계획의 성공은 물론, 연구개발 성과가 스피노프를 통하여 국가 산업 및 경제발전에 충실히 기여해 줄 것을 요청 받고 있다. 이러한 맥락에서 본 연구는 원자력연구개발성과가 민간부문으로 기술이전되는 스피노프의 성과와 영향요인을 규명하고 그 성과를 증진시키기 위한 방안을 도출하기 위해서, 본 연구는 기술제공자요인, 기술도입자요인 및 상호요인으로 구성된 개념적 모형을 설정하고 12개의 사례에 대해서 심층면담과 설문을 통해서 자료를 수집하였으며, 스피어만 상관관계분석을 통해서 스피노프 영향요인과 그 성과간의 상관관계를 검증하였다. 원자력연구개발 결과의 스피노프는 연구결과의 활용 증진을 통한 국가발전에 기여하고, 연구조직의 연구경쟁력을 강화시킬 수 있도록 원자력 기술혁신 전략의 일환으로서 체계적으로 추진되어야 한다.

1. 서론

1995년 1월에 WTO 체제가 출범하고 국제 기술환경이 자유경쟁, 무한경쟁의 시대로 돌입하면서 세계 각국은 국가경쟁력을 강화하기 방안을 모색하는데 총력을 기울이게 되었다. 출연(연)의 경우에도 국가연구개발사업 수행의 주체로서 국가 과학기술발전을 선도하는 임무지향적 연구개발활동의 성과를 증진시키기 위하여 연구경쟁력을 지속적으로 강화시켜야만 하며, 동시에 연구성과의 기술이전을 장려하여 민간산업의 기술혁신을 선도·지원함으로써 국가 발전에 실질적으로 공헌하는 역할이 한층 더 강조되고 있다¹⁾²⁾³⁾.

한편, 우리 나라는 1960년대 초반에 원자력 연구개발활동을 시작한 이후에, 1980년대부터 원자력발전기술의 자립을 전제로 한 임무지향적 원자력 연구개발이 성공적으로 추진되어 1996년 말 현재 확보된 원전기술을 토대로 11기의 원전을 가동하여 국내발전량의 36%를 원자력으로 공급하고 있다. 특히 1992년에는 원자력 핵심기술자립 및 고도화를 목표로 “원자력연구개발중장기 계획(1992-2001)”을 국가 계획으로 확정하고 국가차원의 종합적이며 체계적인 원자력연구개발이 수행되고 있다. 원자력연구개발중장기계획사업은 계획기간 10년 동안 약 2조원의 예산이 투입되는 초대형·장기국가연구개발사업으로서 계획의 성공은 물론, 연구개발 성과가 스피노프를 통하여 국가 산업 및 경제발전에 충실히 기여해 줄 것을 요청 받고 있다.

따라서 본 연구는 국제과학기술환경변화에 따른 출연(연)의 핵심역할로서, 또한 국가연구개발사업으로서의 원자력연구개발중장기계획사업의 성과를 제고하기 위한 전략적 기술혁신 방안의 일환으로서, 원자력연구개발활동의 스피노프의 성과 및 그 성과에 영향을 미치는 요인들을 분석하고 원자력연구개발중장기계획사업의 스피노프성과를 증진시킬 수 있는 지침을 제시하고자 한다.

2. 스피노프의 개념 및 이론적 배경

일반적으로 기술이전은 어떤 집단이나 제도에 의해 발전된 체계적이고 합리적인 지식이 다른 집단이나 제도에 의해 체화되는 것을 의미한다. 그러나 출연(연)은 국가가 요구하는 임무지향적 연구개발활동을 고유의 업무로서 주로 수행하고 있기 때문에 출연(연)의 민간산업에 대한 기술이전은 스피노프라는 개념하에서 일반적인 기술이전과는 구별되어 연구되고 있다.

출연(연)에서 민간기업으로의 기술이전은 2차 대전이후 미국 국방과학기술정책의 기본방향으로 특징지어진 스피노프패러다임에서 시작되었다고 볼 수 있다. 당시에 국방 연구개발 프로젝트에 참여했던 민간기업의 과학기술자들은 프로젝트에 참여해서 습득한 경험과 결과를 토대로 시장적응용 제품들을 후속적으로 개발하였으며, 이러한 과정을 스피노프(spín-off)라고 부르게 되었다⁴¹⁾. 이러한 관점에서 스피노프는 “국립연구소의 연구개발 성과가 민간산업으로 기술이전되는 것”으로 정의되었고 군사적 연구개발이나 우주 연구개발 등 대형국가연구개발사업에서 일반적으로 통용되어 왔다. 최근에는 연구개발이 그 성과의 실용화 목표를 달성하는 데 필요한 하나의 수단이 된다는 전략적인 연구개발 관점, 즉 제3세대 연구개발관점에서 스피노프의 잠재성을 사전에 인식하고 분석하려는 연구가 이루어지고 있다. 스피노프와 관련된 개념으로서 스피노백(spín-back)과 스피노온(spín-on)이 있으며 스피노백은 스피노프의 후속적 결과로서 스피노프의 경제적 효과보다도 기술적 효과를 강조하는 개념이라고 볼 수 있다⁴²⁾. 즉, 국가연구개발기관에서 개발된 기술을 민간이 채택·사용하게 되면(스피노프), 그 기술은 국가연구개발기관과 민간기업을 포함한 산업공동체내에서 활용되면서 더욱 정교하게 발전되어 향후에 국가연구개발기관의 연구개발활동에 기여하게 된다(스피노백)는 개념이다. 스피노온은 스피노프와 마찬가지로 국방연구개발과 민간산업과의 관계로부터 출현된 용어로서, 국방연구개발의 효율성 증진 측면에서 “민간이 보유한 높은 수준의 기술을 국가연구개발사업에 도입하는 것”으로 포괄적으로 정의된다.

국립연구기관의 입장에서 스피노프의 성과는 주로 기술적 성과로서 기술도입자 입장이 강조된 기술혁신성과와 기술제공자의 연구기관의 입장에서 본 기술학습성과로 구분될 수 있다. 기술혁신 성과는 국립연구소의 연구개발결과를 민간기업에 이전하여, 기업이 국가 산업발전에 기여할 수 있는 유용한 제품이나 서비스로 상품화함으로써 기술의 연구개발단계에서 실용화까지 기술혁신의 전주기적 성과를 달성하게 된다는 개념의 성과이며^{5),6)}, 기술학습성과는 스피노프 활동에 참여한 연구 조직의 새로운 기술적 능력이 구축되거나 기존의 기술적 능력이 확장된다는 성과이다. 연구 조직은 보유한 기술의 실증 기회를 가지며, 또한 스피노프 활동을 통해서 얻어진 엔지니어링 기술 등과 경험이 연구개발조직의 목적과 목표달성에 기여하게 된다. 또한 스피노프에 참여한 연구원들이 민간산업 기술자들과 밀접히 접촉함으로써 연구개발 사고 영역 및 시야가 확장됨으로써, 새로운 연구개발아이디어를 창출해 내고 연구개발프로젝트수행시 개발되는 기술의 활용을 증시하여 목적지향적 초점있는 연구개발프로그램을 추구하게 된다는 것이다^{7),8)}. 이밖에도 스피노프의 경제적 성과로서 연구 기관이 보유한 기술과 가용한 자원으로 최대의 수익을 창출함으로써 연구개발 투자의 효과성을 높일 수 있다는 점과 연구개발프로젝트를 선정할 때나 최종 평가할 때 스피노프성과를 포함시킴으로써 연구개발활동의 성과가 완전하게 분석될 수 있다⁹⁾는 점이 제시되고 있다. 또한 이 외에도 국가 연구개발사업의 성과를 스피노프를 통해서 연구개발 조직외부에 전파함으로써, 국가연구개발 투자 및 성과에 대한 국민적 홍보효과를 현실적으로 증진시킬 수 있다는 사회적 성과도 강조되고 있다.

스피노프성과 평가를 위한 규범적 모형으로서는 단순전수모형과 시장영향모형이 대표적이다.

단순전수모형은 “기술상품이 다른 조직에 의해서 채택되었는가?”만으로 스피노프성과를 파악하는 모형이다. 단순전수모형은 정량적으로 측정가능한 특허, 라이선스 및 지적재산권 등 기술메카니즘의 이전 건수와 품질이 측정요소가 된다. 시장영향모형은 기술이전에 따른 로얄티 수입으로써 스피노프성과를 측정하는 모형으로서, 이전된 기술의 기업화 가능성과 기술도입자에게 혜택을 주는지의 여부에 초점을 둔다. 기회비용모형은 개념적으로는 더 논리적 타당성이 있지만 측정하기가 매우 어려우며, 또한 시간과 노력이 많이 소요되는 단점이 있어서 그다지 많이 사용되지 않는다.

국가연구개발사업의 스피노프성과에 영향을 미치는 요인들은 기술제공자(주로 국가연구기관) 요인과 기술도입자(주로 기업) 요인 및 기술제공자와 기술도입자간의 상호요인으로 대별된다. 기술제공자 요인은 다시 기술제공자의 과제특성과 환경특성에 따라서 세분되는데, 과제특성요인으로서 프로젝트 기술수준, 연구개발유형, 연구개발결과 유형, 스피노프태도, 프로젝트 수행체제, 스피노프경험, 제품시장특성 등이 있으며, 제도/조직특성요인으로서 스피노프제도, 동기부여제도, 스피노프조직, 프로젝트평가 및 관료화 등이 꼽히고 있다. 상호요인에는 기술이전제안자, 기술이전범위/품목, 스피노프경로, 의사소통, 계약조건 등의 요인이 있으며 기술도입자요인은 기술도입목적, 정보획득 원천/능력, 기술흡수능력, 기업규모, 기술도입경험 등이 영향요인으로 작용한다.

3. 원자력 기술의 스피노프 특징

원자력 기술의 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, 원자력 기술은 고도의 기술집약적 성격을 가진다. 원자력 기술에는 방사선을 방출하는 특성이 있기 때문이 원자력 기술의 연구개발, 실용화 및 산업적 이용 등에 있어서도 엄격한 품질보증(QA) 및 품질관리(QC), 인허가 절차 및 안전 규제가 요구되는 고도의 안전성 확보가 우선적으로 전제된다. 둘째, 원자력 기술의 이용에는 기초 및 응용 과학기술이 복합적으로 적용되는 다학제적인 기술이 적용된다. 특히 원전의 경우는 약 3,000만 개의 기기·부품으로 구성되는 복합시스템기술이라고 할 수 있다. 셋째, 원자력 기술개발에는 비용과 시간이 많이 들고 기술개발 성공에 대한 위험이 커서 쉽사리 기술자립을 달성하기 힘든 기술이다. 따라서 기술개발 초기단계부터 체계적이고 전략적인 개발계획이 수립·시행되어야 한다. 넷째, 핵확산금지조약(NPT)에 의거하여 국제 감시 및 간섭하에 기술이전 등이 제한 받는 국제 민감기술이다. 다섯째, 원자력 발전기술은 준국산에너지로서 국가동력체계의 핵을 이루는 원자력발전시스템 및 핵연료주기사업을 지탱하는 국가기간산업의 핵심을 이루는 기술이다, 여섯째, 원자력 기술의 산업적 적용에는 국민이해와 합의형성이 매우 큰 비중을 차지한다.

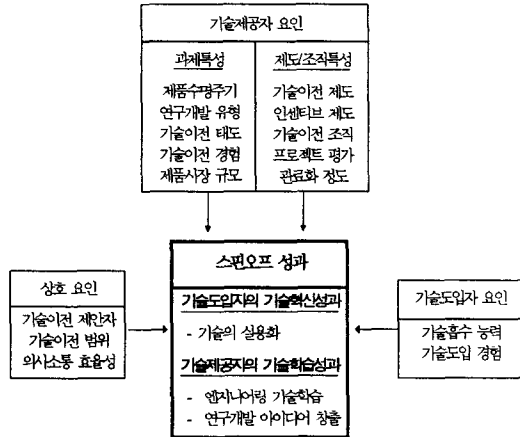
이와 같은 기술적 특징을 가진 원자력 연구개발활동의 스피노프가 대부분 원자력분야의 과학 기술개발에 적용되고 있으며, 원자력분야 이외에는 재료과학, 환경과학, 안정성평가 및 건축 분야에 주로 응용되고 있다. 원자력발전소를 안전하게 운전해야 한다는 요건에 따라 원자력발전소에서는 항상 특수한 재료, 제어시스템 및 극한취급기술을 사용하여 왔기 때문에 이들 분야가 타 산업분야에 비하여 기술적 우수성을 유지하게 되었고 이것이 스피노프를 유발시키는 강한 추진력으로 작용하게 되었다¹⁰⁾. 그러나 원자력발전소에 적용된 엄격한 안전요건과 절차 등은 기술적 우수성에도 불구하고 몇몇 분야에서는 민간 타산업분야의 적용에서 비용상승을 유발할 수도 있다.

4. 연구 모형 및 방법

원자력연구개발활동의 스피노프에 대한 이론고찰을 토대로 스피노프성과의 영향요인을 실증적으로 규명하고 스피노프의 성과를 증진시키기 위한 지침을 도출하기 위한 개념적 연구모형을 본

연구의 목적과 사례에 대한 현실적 적용가능성을 고려해서 [그림 1]과 같이 설정하였다. 스피노프 성과는 스피노프의 대표적 성과이며 또한 출연(연)이 설립취지상 영리를 목적으로 하지 않는다는 점을 감안하여 기술적 성과만을 고려하였다. 기술혁신성과는 기업으로 이전된 이전기술의 실용화 정도로서, 기술학습성과는 Eng'g 기술학습이나 R&D 아이디어 창출 정도로서 측정하였으며 각각의 독립변수 측정을 위한 조작적 정의는 [표 1]에 정리하였다.

[그림 1] 연구의 개념적 모형



[표 1] 변수의 조작적 정의

변수명	조작적 정의
제품수명주기	도입기, 성장기, 성숙기, 포화기, 쇠퇴기
연구개발유형	기초연구, 응용연구, 개발
기술이전태도	기술이전 노력과 중요성 인식 정도
기술이전경험	기술이전계약 건수
제품시장규모	국내 시장 규모
기술이전제도	기술이전절차/규정과 경영지원 만족도
인센티브제도	인센티브 제도 및 동기부여에 대한 만족도
기술이전조직	기술이전관리조직의 운영에 대한 만족도
프로젝트평가	연구과제 최종평가시 실용화 평가비중
판료화 정도	연구과제종료후 기술이전계약까지 소요기간
기술이전제안자	최초의 기술이전 요청자
기술이전범위	기술실시권만제공부터 실용화까지 기술지원
의사소통효율성	의사소통 빈도, 정확성, 신속성의 정도
기술흡수능력	연구개발 인력비
기술도입경험	기술수용자의 기술도입 건수

본 연구는 탐색적(exploratory) 연구로서 연구의 분석단위는 프로젝트 수준이며, 1991년 이후 한원(연)이 국내 민간기업으로 공식적인 계약에 의해 기술을 이전한 12건의 모집단 사례를 대상으로 관련 자료를 검토하고 방문 면담 및 설문조사를 병행하여 자료를 수집하였다. 설문서는 연구과제팀용 설문서, 기업용 설문서 등 두 종류로 구성되었으며 수집된 자료들은 비모수통계분석 기법을 사용하여 독립변수와 종속변수간의 관계를 분석하였다. 먼저 독립변수중에서 제품수명주기, 연구개발유형, 기술이전제안자, 기술이전범위 등 명목척도로써 측정되는 변수들의 독립변수와 종속변수간의 관계는 해당변수별 종속변수의 서술통계량으로 비교·분석하였으며, 제품시장규모 등 7점 서열척도로 측정된 11개 독립변수와 종속변수간의 상관관계는 스피어만의 서열상관계수(Spearman's rank order correlation coefficient)를 이용하여 분석하였다.

5. 연구결과

가. 스피노프성과 영향요인 분석

[표 2]는 독립변수들 중에서 명목척도로 측정된 제품수명주기, 연구개발유형, 기술이전제안자 그리고 기술이전범위에 따라 스피노프성과가 어떻게 달라지는 가를 서술통계량으로 분석한 것이다. 기술혁신성과는 제품수명주기상의 성숙기이후의 기술인 경우와 기술이전범위가 기업의 실용

[표 2] 독립변수(명목척도)에 대한 스피노프성과

독립변수	제품수명 주기		연구개발 유형		기술이전 제안측		기술이전 범위		
	성숙기 이전	성숙기 이후	기초·응용연구	개발	기업	연구소	실용화이전 기술지원	실용화까지 기술지원	
기술혁신 성과	기술의 실용화	3.75	5.80	5.00	4.86	4.80	5.00	4.60	5.25
기술학습 성과	Eng'g 기술학습	4.00	5.00	3.25	5.14	4.80	5.00	4.33	4.60
	아이디어 창출	4.20	5.40	4.25	5.14	5.00	5.25	4.50	5.20

화까지 기술지원한 경우에 높게 나타났으며, 기술학습성과의 경우에는 성숙기이후의 기술과 개발 연구, 그리고 실용화단계까지 기술지원한 경우의 성과가 높게 나타났다.

스핀오프영향요인과 스핀오프성과간의 상관관계의 분석결과는 [표 3]과 같다. 기술혁신성과는 프로젝트 평가와 기업의 기술도입 경험과는 상관관계가 높은 것으로 나타났지만 나머지 요인에 대해서는 상관관계가 낮았다. 그 이유는 연구소로부터 도입한 기술이 기업에서 실용화를 추진중에 있으나 완료하지 못한 때문으로 판단되었다. 사례 중에서 5개 기술은 기업에서 신제품생산 실적이 있지만, 나머지는 기업화를 추진중에 있는 것으로 조사되었다. 기술학습성과는 기술이전경험, 프로젝트평가 및 기술흡수능력을 제외한 대부분의 영향요인과 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 종합적으로 전반적으로 기술제공자의 입장에서 볼 때, [표 3]은 기술이전에 참여하는 연구원의 태도, 제품시장규모, 기술이전 제도, 인센티브제도, 기술이전관리담당부서의 운영, 기술이전계약체결기간 및 연구소와 기업간의 의사소통의 효율성 및 기업의 기술도입경험 등이 스핀오프성과와 상관관계가 높음을 보여주고 있다. 기술혁신성과와 영향요인과의 상관관계가 전반적으로 낮게 나타나고 있음에도 불구하고 기술학습성과가 대부분의 영향요인과 상관관계를 가지고 있다는 점은 스핀오프가 연구경쟁력을 증진시키기 위한 전략적 기술혁신방안의 일환으로 고려된다는 점에서 매우 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다.

[표 3] 스핀오프성과에 대한 Spearman 상관계수

독립변수		기술이전성과	기술혁신성과	기술학습성과	
			기술의 실용화	Eng'g 기술학습	R&D 아이디어창출
기술 제공자 요인	과제 특성	기술이전태도	0.36848	0.52988	0.52988
		기술이전경험	0.27003	-0.10939	-0.20728
		제품시장규모	-0.23532		0.17305
	제도/ 조직 특성	기술이전제도	-0.24691		0.07726
		인센티브제도	0.32275		0.50890
		기술이전조직	-0.24691		0.70996 **
		프로젝트평가		-0.01751	0.09583
		관료화정도	-0.15792	-0.24955	-0.43698
상호 요인	의사소통효율성	0.25986		0.72717 ***	
기술도입자 요인	기술흡수능력	0.25811	-0.25983	-0.28239	
	기술도입경험		-0.68054 *	-0.35955	
비고			(주) *: P-Value≤0.1, **: P-Value≤0.05, ***: P-Value≤0.01		

나. 원자력연구개발 활동의 스핀오프성과 증진 방안

원자력연구개발활동의 스핀오프성과 증진을 위한 기본지침은 다음과 같이 다섯 가지가 제시될 수 있다. 첫째, 연구결과에의 스핀오프 가능성은 연구과제 기획단계에서부터 철저히 분석되어야 한다. 연구과제 기획단계에서 목표기술의 제품수명주기상의 위치와 연구개발유형을 분석하고 성숙기이후의 기술이거나 개발과제의 경우에는 스핀오프 가능성을 철저히 검토한다. 또한 대상기업을 선정할 때는 기업의 도입기술에 대한 경쟁환경, 시장성, 기술도입성공경험을 비롯한 해당기술의 실용화 능력을 세밀히 검토해야 한다. 둘째, 연구조직은 기업의 기술도입목적을 만족시키기 위한 노력뿐만 아니라 연구조직이 얻을 수 있는 성과를 심층적으로 분석하고 그 성과를 달성할 수 있도록 해야 한다. 셋째, 기술이전관리담당부서는 기술이전계약체결과 기술료 관리이외에도 기술이전과 관련된 제반 행정 및 지원업무를 전담하여 연구과제수행과정에서부터 연구결과에의 스핀오프

프가능성부터 스피노프성과 및 홍보까지 스피노프의 전 과정을 체계적으로 관리해야 한다. 넷째, 연구과제의 평가시에는 스피노프를 포함한 연구결과의 최종 활용성이 강조되어야 하며 스피노프 성과가 연구과제 평가에 종합적으로 피드백되어야 한다. 다섯째, 스피노프를 위한 연구과제에 이외의 추가적인 활동에 대한 경영적, 제도적 지원이 확보되어야 한다.

6. 결론 및 향후 연구방향

원자력연구개발 결과의 스피노프성과 및 영향요인 분석하고 스피노프성과를 증진시키기 위한 기본 지침을 제시하였다. 스피노프성과에 대한 주요한 영향요인으로서 스피노프에 참여하는 연구원의 태도, 제품시장규모, 기술이전 제도, 인센티브제도, 기술이전관리담당부서의 운영, 기술이전계약체결기간 및 연구소와 기업간의 의사소통의 효율성 및 기업의 기술도입경험 등으로 분석되었다. 연구조직은 스피노프성과를 제고하기 위한 체계적, 효율적 제도하에서 연구결과의 실용화를 위한 문제해결자로서의 역할을 하고, 기술학습성과를 제고하여 연구개발과 스피노프를 통한 국가 산업발전에 기여하고 원자력기술혁신의 전주기적 경쟁력을 배양해야 한다. 이와 같은 관점에서 출연(연)에서 민간으로의 스피노프는 출연(연)이 보유한 수준 높은 기술이 일방적으로 민간산업계에 이전되는 일회적인 활동이 아니라, 출연(연) 또한 스피노프과정을 통해서 연구경쟁력 향상과 전략적 기술혁신을 도모하는 적극적인 자세가 필요하다. 이러한 연구결과는 원자력연구개발중장기계획사업을 수행을 통한 원자력 연구개발경쟁력 및 국가의 산업경쟁력 제고를 위한 정책대안의 수립에 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 원자력연구개발활동에 대한 스피노프의 제반 경로중에서 연구가 종료된 기술의 공식적 계약에 의한 기술이전만을 고려하였다. 따라서 출연(연)과 연구소의 스피노프성과에 대한 기술교류 초기단계부터의 중단적인 연구 및 공동연구, 위탁 또는 수탁연구 등 대학과 산업을 포괄적으로 고려한 원자력연구개발 성과에 대한 통합적인 연구로 발전·수행될 필요가 있다.

참고문헌

1. Secretary of Energy Advisory Board, "Alternative Future for the Department of Energy National Laboratories," Galvin Report, 1995.
2. Rahm, D., B. Bozeman & M. Crow, " Domestic Technology Transfer and Competitiveness: An Empirical Assessment of Roles of University and Governmental R&D Laboratories," Public Administration Review, Vol. 48, No. 6, 1988, pp.969-978.
3. Wu, Kepi , "A Partnership Approach to Successful, Cost-Effective Technology Transfer," Technology Transfer, Dec. 1994, pp.4-12.
4. Chapman, R. L., "An Exploration of the "Spinback" Phenomenon," Technology Transfer, Dec. 1994, pp.78-86.
5. Jong-Tsong Chiang, "Technological Spin-off : Its Mechanism and National Contexts", Technological Forecasting and Social Change Vol. 41, 1992, pp.365-390.
6. Johoson F. D., "NASA Technology Utilization Program: A Concept Paper on Options," Technology Transfer, Vol. 7, No. 1, 1982, pp.1-4.
7. Roberts, E. B. and E. E. Malone, "Policies and Structures for Spinning Off New Companies," R & D Management, Vol. 26, No. 1, 1996, pp.17-48.
8. Brown, M. A. and C. R. Wilson., "R&D Spinoffs: Serendipity vs. A Managed Process," Technology Transfer, Sum-Fall, 1993, pp.5-15.
9. Mitchell, J. , "NASP Program Technology: An Example of Transfer Benefit for the Medical Industry and Spinback Benefit for the Government," Technology Transfer, Dec. 1994, pp.51-53.
10. OECD/NEA, "Spin-off Technologies Developed through Nuclear Activities," 1993.
11. 홍성범, "민군 겸용 패러다임의 기술 개발 전략," 과학기술정책동향, STEPI, 1994. 7, pp.14-39.