

시스템 다이내믹스 기법을 활용한 국가 연구시설의 기여도 분석

Assessment of National Contribution of Research Facilities via the System Dynamics Method

김지용 (아주대학교 에너지학과 박사과정)

곽상만 (시스텍믹스(주) 대표이사, 아주대학교 에너지학과 교수)

최기련 (아주대학교 에너지학과 교수)

<Abstract>

A system dynamics model is developed in order to evaluate the contribution level of the activities regarding HANARO, which is the research reactor in Korea.

The system dynamics model has room to be improved, but it is logically sound enough to evaluate the general level of contributions and to develop strategies for the HANARO to be more contributable. Considering the uncertainty involved with the input variables, the contribution level is ranged from 3 times to about 30 times of the investment made on it. The evaluation results can be summarized as follows :

Evaluating Results

Budget and Contributions (Units : 10 B won/Month)							
Year		2010		2020		2026	
Budget		15.13		19.41		22.04	
		Contributions*		Ratio**		Contributions*	
Total Contributions	C.V†	132.31	8.74	163.30	8.41	169.59	7.69
	P.V‡	98.73		74.81		57.97	
Economic Contributions	C.V†	18.88	1.25	35.52	1.83	40.97	1.86
	P.V‡	14.08		16.27		14.00	
Non-economic Contributions	C.V†	113.43	7.50	127.78	6.58	128.61	5.84
Contributions after Considering Delay Time							
Delay Time				3.33 Years			
Year		2010		2020		2026	
Contributions per Budget ***				7.431		7.323	
						6.537	
Contributions of Year 2002 HANARO Activities ****							
		Contributions		Ratio			
Current Value (C.V)†		207,400 Million Won		13.12			
Present Value(P.V)‡		163,800 Million Won		10.37			

* : Contributions to National Economy

** : Yearly contributions(caused by previous research efforts) divided by current year budget

*** : Yearly contributions divided by the budget of the delay time (10.83 years) before

**** : Comes from comparison of the scenario where the budget of year 2002 is zero and the scenario where the budget is normal

† : Current Value ; 5 % real discount rate

‡ : Present Value ;

1. 서론

1.1 연구개발 프로그램에 대한 평가

평가에 대한 수요는, 기술정책과 기술프로그램의 효과를 이해하고자 하는 열망, 과거로부터 배우고자 하는 열망, 그리고 제도적으로는 그러한 정책들이 지속되어야 하는 당위성을 감시자들에게 옹호하고자 하는 의지에 의하여 제기된다. 이러한 과학기술정책들과 그에 대한 평가노력들은 상호 영향을 미치며 복잡한 관계를 형성시켜 왔다. 과거에는 '내부평가'의 전통이 상당기간 이어져오기도 하였으나, 공공부분의 연구활동이 생산하는 경쟁력 있는 '성과'와 기초과학을 결합하려는 경향이 증가하고 그러한 연결을 효과적으로 수행할 수 있는 방법을 찾기 위한 연구들이 활성화됨에 따라 최근에는 국가 과학기술혁신시스템 내에서 다양한 형태의 '연결'을 촉진하려는 정책적 관심이 집중되고 있다.

과학기술정책과 연구개발 프로그램 및 그에 대한 평가 사이의 복잡한 피드백은, 관련정책과 평가의 발전과정의 복잡성을 나타내는 것은 물론 기술개발 프로그램에 대한 평가가 단선적이거나 단일한 모델로 구성되기 어렵다는 것을 암시한다. 즉, 이미 평가라고 하는 것은 혁신과정을 이해하는 방식에 변화를 초래했던 예기치 못했던 결과들과 많은 피드백 고리를 드러내는 제도적인 프로세스인 것이다.

국가가 주도하는 연구개발 프로그램 혹은 프로젝트의 결과가 미칠 수 있는 경제적·사회적 영향을 평가하고자 하는 노력은 다양한 '평가수요자'들의 요구에 부응하기 위하여 복수의 목표를 가지게 되며, 평가 및 분석의 목표에 따라 이를 달성하기 위한 다양한 접근방법을 채용하고 있다.

국가가 주도하는 전략적 기반기술이나 기초연구개발 프로그램에 대한 대규모의 공적자금 지원은 정부 주무부처로 하여금 납세자인 국민들과 그들을 대변하는 국회에 대한 정부예산지출의 당위를 설명해야 할 입장에 처하도록 하며, 해당 주무부처와 연구기관은 스스로 수행하는 기초연구에 대한 정부투자가 상당한 사회적 투자수익률을 기록한다는 것을 입증하기 위하여 많은 노력을 기울인다. 이에 따라 연구개발 프로그램 평가에 대한 입법기관의 수요는 대개 정량적 척도로 측정된 경제적 평가에 주목하려는 특성이 있는 반면, 정부부처의 수요는 그러한 기초연구에 대한 지속적 자금지원 여부를 결정하는데 요구되는 한계투자수익률 등의 경제통계학적 평가와 더불어 사회적, 문화적 영향을 포함하여 정량화하기 힘든 '국가혁신시스템'에

대한 영향을 반영하려는 경향이 있다.

또 다른 평가수요자이며 정부로부터의 위임을 통하여 기초연구개발 프로그램을 직접 수행하는 연구기관은, 그 기관이 공공연구기관이든 혹은 정부와의 계약을 통하여 기초연구를 수행하는 대학 및 산업체 연구기관이든, 연구성과의 극대화를 통하여 정부 및 산업계로부터의 외부적인 연구자원획득을 실현할 수 있는 역량을 확대하고 연구조직 및 활동의 연속성을 보장받고자 한다. 따라서 동료평가(peer review) 등 내부평가를 선호하려는 경향이 있다.

한편, 본 연구의 목표와 목표달성을 위하여 채택하고 있는 방법론을 언급하기 전에 미리 지적해두어야 할 것이 있다. 첫째, 평가라고 하는 것은 제도화된 사회적 과정으로서 자료의 수집이나 그에 따른 분석을 위한 소위 기법이라고 하는 것과 동일시해서는 안된다는 것이다. 평가를 위한 중요 요소의 선택, 측정시기와 방법, 결과에 대한 설명방식 등은 평가자가 내세운 가설에 따라 설정된 평가모델에 의존하게 된다. 또 하나는, 평가의 분석의 범위에 관심을 가질 필요가 있다. 본 연구의 중심적 분석단위는 '하나로 사업'이라고 하는 프로그램이며, 프로그램은 그 정의에 따라 시간과 공간상의 경계를 드러내고 있고 뚜렷한 목표를 가진다는 것이 평가자에게 매력적일 수 있다. '하나로'에 대한 본 평가연구는 평가자들이 프로그램과의 직접적인 연결관계에 있지 않으며 기술개발 프로그램으로서의 '하나로' 프로그램의 정치적 배경에 대한 비판적 인식도 대개 사라진 시점에서 이루어졌다는 점에서 다양한 국내 기초기술개발프로그램에 대한 독립적 평가노력에 새로운 동력을 확대할 수 있는 기회를 가져올 것으로 기대하고 있다.

1.2 연구의 목표와 접근방법

1.2.1 평가 접근방법 개괄

이미 앞에서 언급한 바와 같이, 정부의 자금지원이 이루어지는 기초기술 연구개발 프로그램에 대한 평가는 단순 모형을 통한 접근을 허용하지 않는다. 과학기술정책의 발전과정에서 '평가'의 문제가 제도적으로 본격 거론되기 시작한 이래, 경제통계학적 연구·표본조사·사례연구 등이 그동안 주요 평가수요자들의 수요에 부응하기 위한 노력으로 등장하였던 평가방법론을 대표하는 것으로 정리할 수 있다. 그러나, 평가를 제기하는 수요자들의 수요에 부응하기 위하여 발전을 거듭해온 이러한 대표적인 평가접근방법들도 나름대로의 한계들을 노출시켜왔다.

커다란 규모의 패턴에 집중하며 국가사회의 통계적 규칙성에 대한 일관된 표현을 제공하는 경제통계학적 연구는 연구개발에 대한 투자수익을 추정하는데 효과적인 반면, 생산함수 추정, 비용편익 분석, 사회적 투자수익률 추정 등 그 구체적 접근방법들은 경제적 편익과 비경제적 편익 사이의 애매한 경계를 과도하게 무시하고 편익의 규모를 정량화함으로써 결과적으로 의사결정자들에게 기초과학기술 연구개발 프로그램에 대한 한계수익을 판단할 수 있는 정보를 제공하는데 실패하고 있다.

표본조사 연구는 분명히 연구평가에 있어서 '생산적인 장르'를 개척한 것이기는 하지만, 공적 연구 혹은 기초연구의 결과와 국가 및 산업의 기술혁신 사이의 관계를 추정해 나가는데 있어서, 기업 내부의 정보에 편중된 지식을 가진 사람이나 정보에 제한을 받고 있는 사람들이 설문에 응함으로써 스스로의 한계를 가지게 된다.

사례연구는 전문적인 표본조사 및 경제통계학적 연구에 대하여 보완적 역할을 수행함으로써 연구결과에 대한 신뢰를 확보할 수 있도록 하지만, 혁신과정과 특정 기술의 역사적 근원을 직접 다룰 수 있는 도구를 제공하는 과정이 많은 비용과 시간을 요구하고 있다는 단점을 아울러 가지고 있다. 또한 실제에 비하여 과도하게 협소한 결과를 내놓는 경우가 많다.

1.2.2 연구 목표

본 연구는 한국 원자력 연구소의 '하나로'를 이용한 기초기술 연구개발 프로그램의 포괄적 '기여도'를 추정하고자 하였다. 일반적으로 기초연구에 대한 평가 접근방법들은 성과측정, 사회경제적 영향평가 등을 결과에 대한 용어로 규정하여 사용하고 있으나 본 연구는 '기여도'라는 용어로 정리하고 있다. 본 연구에서 사용하고 있는 '기여도'는, 연구결과가 가져올 수 있는 직접적인 경제적 영향을 포함하여 '일부' 간접적이거나 비경제적인 영향을 포괄하도록 함으로써, 지나치게 단순화된 경제적 척도를 사용하는데서 올 수 있는 과장된 '숫자의 함정'을 회피하기 위하여 의도적으로 규정된 개념으로서, 사실상 '사회경제적 영향에 대한 정량적·정성적 척도'라고 해야 마땅하며 연구비 대비 기여수준(Contribution level)의 비율로 정의하였다.

1985년 남북한간의 원자력을 둘러싼 냉전상황을 배경으로 탄생한 하나로의 '정치적 임무'는 '완수'된 것으로 평가되고 있다. 그러나, 기초기반연구시설 및 프로그램이 취약한 한국의 상황에서 포항에 위치한 가속기와 더불어 원자력연구소 내에 위치한 '하나로'는 과학기술기반으로서의 그 전략적 가치에 대하여 심각한 도전에 직면해있다. 이러한 환경은 '정치적 임무의 완수' 이후에 급격하게 조성된 것으로서

‘하나로’를 이용한 기초연구개발 프로그램에 대하여 다양한 감시자들이 다양한 평가 수요를 제기하게 되었다는 것을 뜻한다. 즉, 한정된 정부의 기초연구시설 및 프로그램에 대한 투자예산 하에서 자금확보를 위하여 기타 기초연구기관 및 기초연구프로그램들과 경쟁해야 하는 상황으로 전환되었으며, 따라서 ‘하나로’는 스스로의 활동을 고도화하고 효율적으로 조직하는 것을 통하여 경쟁력을 확보해야 할 입장에 서게 된 것이다.

이에 ‘하나로’ 이용 기초연구개발 프로그램에 대한 시스템적 평가를 통하여 본 연구가 얻고자 하는 것은 첫째, 컴퓨터 기반의 모델을 구성함으로써 다양한 실험이 가능한 ‘프로그램 운영전략 지원’ 모형을 구성하는 것이며, 둘째, 에너지관련 기초기술 연구개발에 대한 정부간섭을 보다 과학적으로 수행할 수 있도록 하는 것이고, 셋째, 많은 평가수요자를 만족시키는 것과 더불어 다양한 환경에 노출된 기초연구 프로그램에 대한 평가작업에 시스템 다이내믹스 기법의 적용을 시도함으로써 기존의 전통적인 평가방식에 동적 설명력을 부여하는 것이며, 마지막으로 마케팅 영역에서 수요예측 모형으로 널리 알려진 베스 확산모형(Bass Diffusion Model)을 최초로 평가접근방법에 응용함으로써 ‘경험적 연구’를 근간으로 해온 평가전통에 이론적 기여의 폭을 넓히는 것이다.

1.2.3 평가 방법

특정한 단일 접근모형으로 대규모 기초기술 연구개발 프로그램을 평가하는 것은 결과적으로 유의미한 결과와 더불어 많은 문제점들을 동시에 포함하게 된다는 것이 본 연구가 맞닥트린 첫 번째 어려운 점이다. 이에 따라, 유용한 자료수집의 한계, 프로그램에 대한 시스템적 평가를 요구하는 수요자들의 다양성 등을 배경으로 본 연구는 상술한 바 있는 3가지 유형의 대표적인 접근방법들의 개별적 장점들을 선별하여 수용하였다. 먼저, 경제통계학적 접근방법에서는 기초연구개발 프로그램에 대한 정부투자의 투자수익을 추정하고자 하였으며, 본 연구의 결과 역시 그러한 형식으로 표현된다. 또한 ‘하나로’ 연구 프로그램에 참여했던 기업들에 대한 표본설문조사와 인터뷰 조사를 병행하였다.

본 연구가 이러한 대표적인 평가방법론의 일부를 모두 포괄함으로써 이러한 접근방법들이 가지고 있는 일정한 한계들을 내포한 채 결론을 내리고 있다는 점을 간과해서는 안되, 시스템다이내믹스 모델링의 본원적 장점이라고 해야 할 ‘정성적 비교’ 및 정책대안 선택의 기준으로서의 역할에 결론을 한정해야 할 필요가 있다.

2. 모델의 설계

2.1 모델의 설계

국가 주요 기초연구시설의 하나인 한국 원자력연구소의 다목적 실험로인 '하나로'의 포괄적 기여도를 분석할 수 있는 시스템 다이내믹스 모형의 개발 및 모델을 활용한 다양한 전략적 분석수행을 위하여 본 연구는 몇 가지 가정을 취하고 있다. 본 연구는 '하나로'를 이용한 연구활동의 결과는 모두 '지식 혹은 정보'이며, 따라서 연구개발 프로그램은 '지식생산자'의 지위를 가지게 되고 연구활동의 결과를 이용하는 소위 '이용자 그룹'은 '지식소비자'의 지위를 가지게 되는 것으로 인식하고 있다. 이에 따라 소비에 대한 잠재수요를 추정하는데 광범위하게 이용되고 있는 베스 확산 모형(Bass Diffusion Model)을 적용할 수 있는 논리적 기반을 갖추게 되었다.

또한, 연구활동의 직접적인 영향이나 성과에 대한 무리한 정량화에서 탈피하여 인적자본의 형성이나 네트워크 구성, 학제간 연결(link) 활성화 등에 주요한 초점을 맞추는 최근의 프로그램 평가경향에 견주어, 본 연구의 모델은 경제적 성과와 아울러 비경제적 기여 및 파생적 기여를 고려할 수 있도록 설계되었다. 본 연구가 '하나로' 프로그램의 기여도를 추정하는데 있어서 취하고 있는 기본인식을 정리하면 다음과 같다 ;

- 기여도 분석은 미래에 대한 분석이다.
- 연구활동 및 그 결과는 독립적으로 사회에 기여하지 않는다.
- 연구활동의 결과가 실현되는데는 상당한 시간지연이 존재한다.
- 평가수요자에 따라 기여도는 각기 다르게 규정될 수 있다.

기여도 분석의 미래적 속성은, 프로그램의 운영전략 즉, 해당 기초연구개발 정책에 따라 기여도가 다르게 나타난다는 것을 의미한다. 본 연구의 모델은 연구예산과 연구활동은 상당한 관계가 있다고 가정하고 있으며, 연구의 시너지효과와 연구활동의 한계효용감소를 고려하는 경우 양자간의 관계가 선형관계에 있지 않다는 것을 쉽게 알 수 있다. 즉, 연구비에 대비한 기여수준으로 정의하고 있는 '기여도'는 연구예산 혹은 예산배분전략의 함수로 규정해야 한다.

연구결과의 가치는 그 자체로 존립하기 어려우며, 그 주변여건의 함수로 실현된다고 할 수 있다. 연구의 시너지효과는 이미 널리 알려진 사실이며, 연구결과를 활용하고자 하는 '지식소비자'들의 정보 및 지식흡수능력과 방법, 그리고 하류부문(downstream)의 추가적인 투자에 따라 좌우될 것이다.

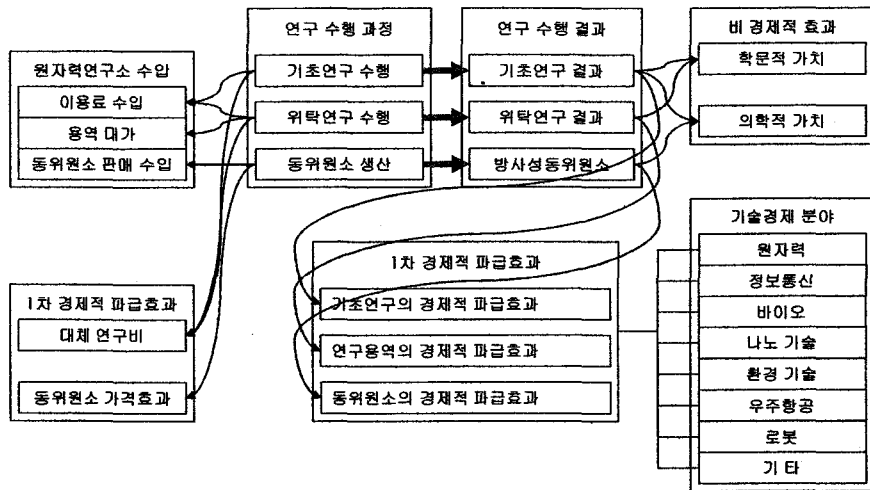
연구활동과 그 결과의 현실화 사이에 존재하는 시간적 지연 역시, 기여도 평가가 단일한 스칼라 양(量)으로 나타낼 수 없다는 점을 암시함과 동시에 기여도에 대한 정의 자체를 어렵게 만드는 것이다. 연구결과마다 시간적 지연이 다르기 때문에 연구활동의 그룹화가 중요한 평가요소로 설정되기도 하지만, 한 연구결과에 대한 기여수준 자체가 시간적 분포를 가지게 된다. 따라서 시간적 지연의 평가 없이 기여도를 평가한다는 것은 불가능하다.

국가 기초연구시설의 국가에 대한 기여도는 관점에 따라 다양한 방식으로 정의할 수 있다. 이미 언급한 바와 같이, 해당 기초연구 프로그램에 대한 정부투자를 결정하는 위치에 있는 사람에게는 '한계 투자회수율'과 같은 척도를 활용한 기여도가 필요할 것이며, 해당 연구기관의 경영자에게는 조직의 영속성과 연구분위기 활성화를 위한 척도가 필요할 것이다.

인 지 의 용 이 성	기초연구의 학문적 가치	비 경제적 효 과	기 여 도 의 크 기
	의학적 가치		
	공공서비스 가치		
	기초연구의 경제적 파급효과	2차 경제적 파급 효과	
	연구용역의 경제적 파급효과		
	동위원소의 경제적 파급효과		
	동위원소 가격효과	1차 경제적 파급 효과	
	대체연구비		
	동위원소 판매수입	원자력 연구소 수 입	
	용역 대가		
	이용료 수입		

<그림 1> 기여방법의 종류와 구분

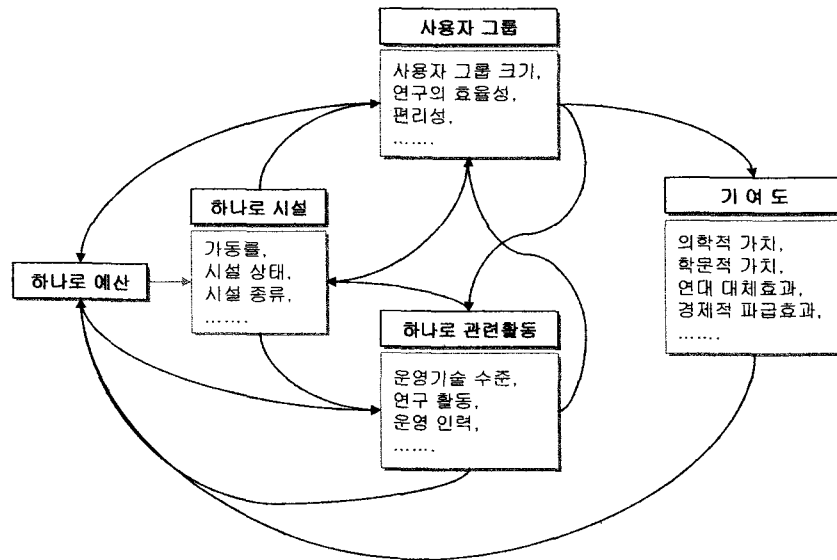
본 연구는 기초연구 프로그램에 대한 사례연구 대상인 '하나로' 활동을 통하여 생산될 수 있는 기여의 유형을 다음의 <그림 1>과 같이 구분하였다. 여기에서 평가가 원자력연구소의 '하나로' 이용프로그램에 대한 예산을 조정하기 위하여 이루어지는 것이라면, <그림 1>의 원자력연구소 수입 부분이 주요한 초점이 될 것이며, 기초연구활동에 대한 포괄적 이해와 전략적 모색을 위하여 이루어지는 평가인 경우에는 비경제적 효과까지를 포함하는 것이어야 한다.



<그림 2> 하나로 연구활동의 사회 기여 구조

주목할 것은 그림에서 직접적인 효과의 경우에는 인지하기가 용이한 반면 기여수준이 낮고, 인지하기가 어려운 영향일수록 기여수준이 높다고 하는 점이다. 따라서 본 연구는 부족한 자료에도 불구하고 연구활동의 포괄적 효과를 고려하고자 하였다.

연구활동의 사회에 대한 기여도 평가에서 가장 먼저 해결되어야 할 작업은 기여하는 경로와 과정에 대한 이해이다. 먼저, 본 연구는 연구조직에 포함된 연구인력들과의 협력을 통하여 하나로 활동을 기초연구, 위탁연구, 동위원소 생산 등으로 구분하여 전술한 기여도와 의 관계를 <그림 2>와 같이 도식화할 수 있었다. 이와 동일한 내용을 예산, 시설, 활동, 사용자 그룹, 기여도 등으로 다시 구분하여 상관관계를 도해하면 <그림 3>과 같이 대략 정리할 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이, 연구활동의 기여를 평가하기 위한 여러 요소들간의 관계가 복잡하며, 따라서 복잡한 비선형 사회시스템(complicated non-linear system)에 대한 동적 분석에 적합한 시스템 다이내믹스 모델링 기법을 사용하게 된다.

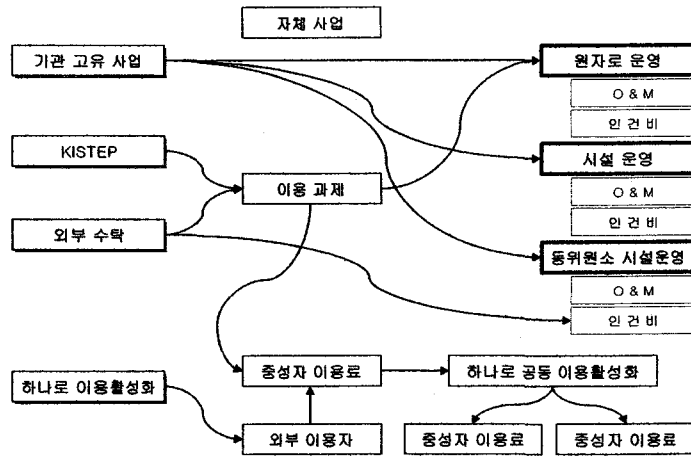


<그림 3> 하나로 기여의 비선형성

2.2 모델의 구성

정량화를 위해 개발된 시스템 다이내믹스 모델은 총 1000여 개의 변수가 결합된 형태로 구성하였다. 모델의 주요 구조는 <그림 3>에 나타난 바와 같이 크게 하나로 예산, 하나로 시설, 하나로 관련활동, 사용자 그룹, 기여도 등의 모두 5개 섹터로 구분하였다.

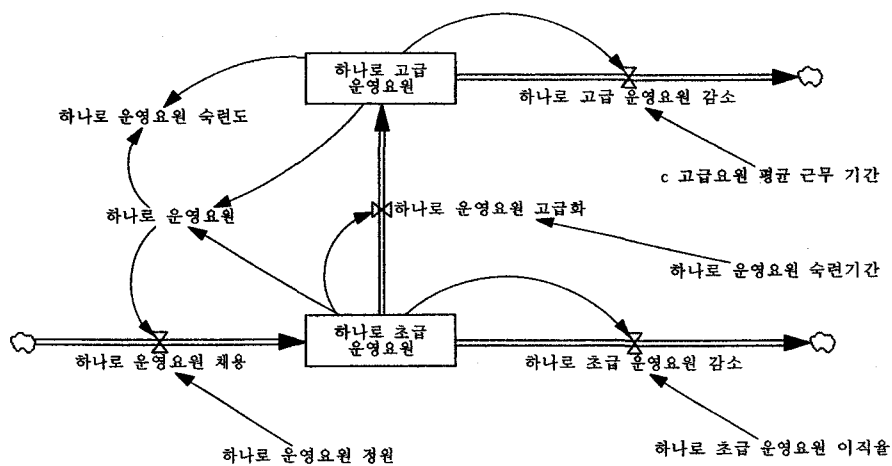
하나로 예산의 주요구조는 <그림 4>와 같이 기관고유사업 예산, 중장기 예산(KISTEP), 외부 수탁연구에 의한 수입, 하나로 이용활성화 기금 등으로 구분되며, 각 계정의 용도는 그림에서 나타난 바와 같이 제한적이다. 기관고유 사업 예산 및 중장기 과제에 의한 예산의 형성은 과학기술부의 승인을 받는 형태로 하나로에 대한 국민의 인식에 따라 다소 조정이 가능하지만, 이번 연구에서는 정책변수로 취급하였다. 외부수탁연구에 의한 예산은 하나로와 관련된 조직이 가지는 능력에 좌우되는 피드백을 고려하여 모델화하였으며, 하나로 이용활성화 자금도 하나로의 사용에 따른 수입임으로 피드백을 고려하였다.



<그림 4> 하나로 예산의 흐름

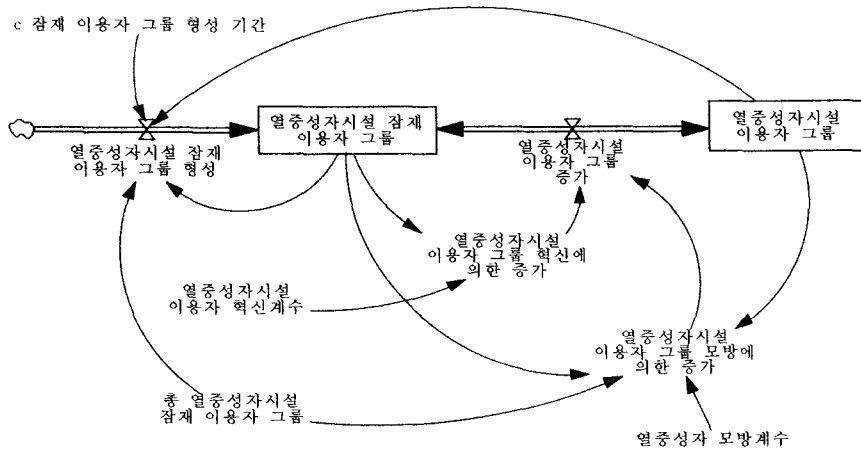
하나로 시설의 경우는 질적인 면에서 하나로의 가동률 및 각종 실험시설의 가동률과 시설의 종류 등이 중요한 변수이고, 가동률의 경우에는 운영팀의 운영능력과 예산에 의한 지원 등으로부터 영향을 받고 있으며, 각종 실험시설은 Vensim DSS의 Subscript 기능을 활용하여 묘사하였는데, 추후 고려 가능한 사실에 대한 분석을 수행할 수 있도록 충분한 여유를 두었다.

하나로 관련 활동에서 중요한 변수로는 운영팀의 기술수준, 운영인력, 연구활동, 교육 등이 있다. 기술수준은 운영팀에 대한 교육, 경험 등의 함수로 나타내었으며, 이와는 별도로 업무량을 보조변수로 사용하였다. 운영인력은 <그림 5>와 같이 숙련도에 따라 초급·고급으로 나누어 기술하였으며, 기 비(比)를 기준으로 숙련도를 계산하는 형태로 모델에 반영하였다.



<그림 5> 하나로 운영인력

하나로 이용자 그룹 섹터에서는 사용자 그룹의 크기, 연구의 효율성, 편리성 등이 중요 변수이다. 이 중 사용자 그룹의 크기는 <그림 6>과 같이 Bass의 확산모형을 적용하여 모델화하였다. 전형적으로 베스의 확산모형에서는 상수로 가정되는 확산 계수들을 시스템 내부함수로 가정하였으며, 혁신계수는 홍보의 함수로, 모방계수는 서비스의 함수로 취급하였다.



<그림 6> 이용자 그룹에 대한 베스 확산 모형(Bass Diffusion Model)

기여도 섹터의 중요 변수는 <그림 1>에 나타난 각종 기여도와 연구결과 및 연구 결과의 실현 사이에 존재하는 지연시간이다.

한편 완성된 모델에 필요한 자료는 크게 예산, 운영인력 등과 같은 실적자료와, 학문적 가치, 의학적 가치 등 기여도 관련변수, 사용자 그룹의 확산모형에 필요한 상수 등으로 구분할 수 있다. 이 중 기여도 관련변수는 사용자 그룹 및 전문가들을 대상으로 설문조사를 수행하여 수집하였으며, 확산모형에서 필요한 자료들은 미국 및 일본의 유사 시설에 대한 자료를 Calibration하여 결정하였다.

실험용 원자로인 '하나로'의 운영과 기술요건에 관련된 모델 내용은 기술하지 않았다.

3. 기여도 평가 결과

3.1 기준 시나리오

시나리오분석의 원래적 취지는 다양한 정책실험을 시도하는 것이다. 그러나 정량

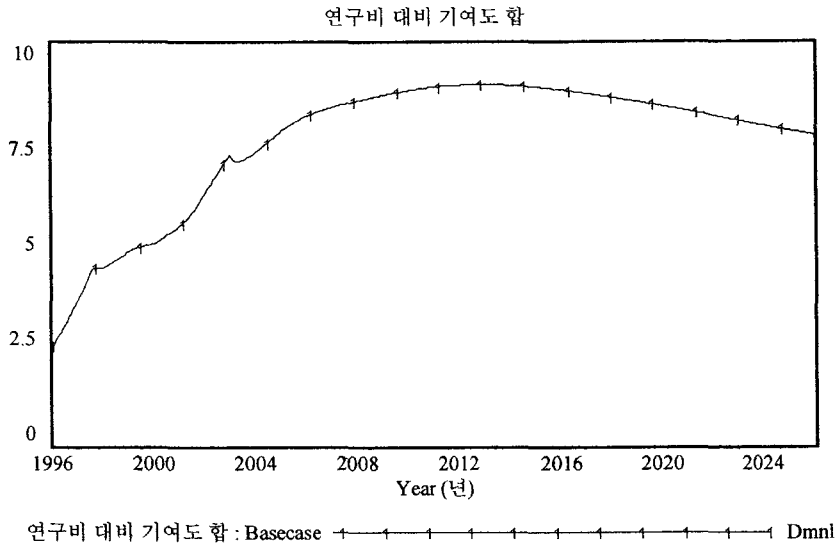
화모델을 구성하고 나서 곧바로 수행하는 시나리오 분석은 정책분석의 수단을 제공하는 것은 물론 모델의 건전성을 평가하는 모델 검정의 기능도 아울러 가지게 된다. 본 연구의 기준 시나리오 분석은 모델의 검증에 보다 초점을 맞추어 수행되었다.

민감도 분석 대상 변수들과 기준 시나리오에서 사용하는 값들은 다음의 표와 같다.

<표 1> 기준 시나리오 주요 변수 및 적용 값

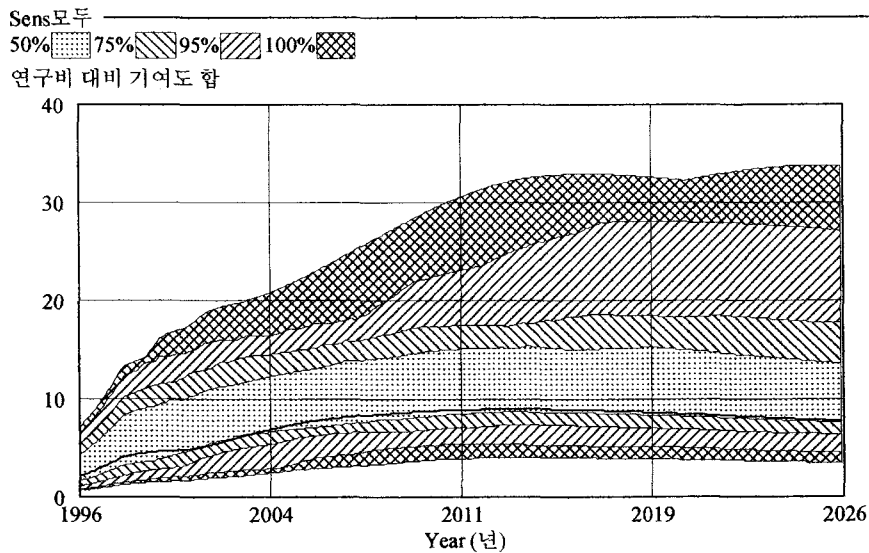
변수 이름	값	비 고
switch 예산	0	
switch 기관고유 예산	1	
switch 중장기 예산	2	
d 기관고유 예산 요인	1	
d 중장기 예산 요인	1	
L 예산 요인	1	Zero 2003 시나리오
d 활성화기금 홍보비용 비율	5 %	홍보전략 시나리오
d 냉중성자시설 총 투자비용	300 억원	시설투자 시나리오
d 냉중성자시설 투자 기간	5년 (60개월)	시설투자 시나리오
d 반도체 도핑시설 총 투자 비용	10 억원	시설투자 시나리오
d 반도체 도핑시설 투자 기간	2년 (24개월)	시설투자 시나리오

기준 시나리오에 대한 연구비 대비 기여도 평가결과는 <그림 7>과 같다. 참고로, 평가결과는 경제적 기여도와 비경제적 기여도를 포괄하는 변수인 '기여도 합'에 대한 것을 중심으로 제시한다. 그림에서 알 수 있듯이, 연구비 대비 기여도는 꾸준히 증가하여 2012년 부근의 정점을 거쳐 약간 감소하는 곡선을 형성한다. 2012년 이후에 감소하는 이유는 시설의 제한성 때문이고, 기여도 자체는 꾸준히 증가하여 포화 곡선을 그리게 된다.



<그림 7> 평가 결과 (연구비 대비 기여도)

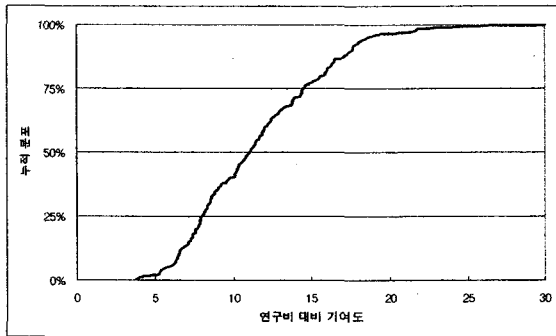
기준 시나리오에 대한 입력자료의 불확실성이 초래하는 영향을 알아본 결과 <그림 8>에서와 같이 연도에 따라 다르게 나타나며, 연구예산에 대하여 약 3.5배에서부터 30배에 이르는 정도가 되는 것으로 나타났다.



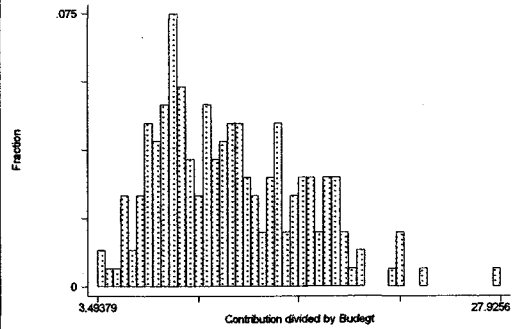
<그림 8> 불확실성 분석 결과

앞의 그림에서 2010년의 경우, 불확실성 정도에 따라 누적 확률분포를 그리면 <그림 9>와 같고, 확률밀도함수를 그리면 <그림 10>과 같다. 그림에서 보듯이 2010

년의 경우 자료의 불확실성을 고려한다고 하더라도 기여도는 투여된 예산에 비하여 최소 3.5배에서 많게는 28배까지 이를 수 있다는 것을 알 수 있다.

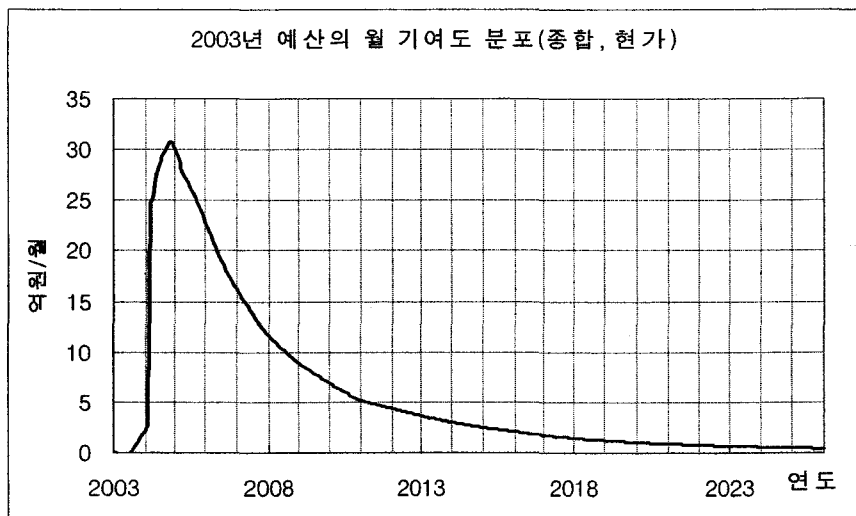


<그림 9> 불확실성 분석 결과
(2010년도의 누적 분포)



<그림 10> 불확실성 분석 결과
(2010년도의 확률밀도함수)

기여도와 관련하여 시간지연도 평가해 보았다. 다음의 그림은 2003년의 예산 50%에 대한 기여도가 연도별 분포 및 누적분포를 평가한 결과를 나타낸 것이며, 지연시간의 중간값은 3.33년으로 평가되었다 (이때 할인율=5%, 지연시간은 할인율의 함수임, <그림 12> 참조). 이렇게 지연시간이 상대적으로 짧게 나타난 이유는, 학문적 가치와 같은 비경제적 가치는 연구결과가 나오는 즉시 모든 가치가 발생한다고 평가하였기 때문이다.



<그림 11> 2003년 예산의 50%에 대한 기여도의 시간에 따른 분포

기준 시나리오에 대한 평가결과를 요약하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 기준 시나리오 기여도 평가결과 요약

연도별 연구예산 및 기여도* (단위: 억원/월)							
연도		2010년		2020년		2026년	
연구예산		15.13		19.41		22.04	
		기여도*		비율**		기여도	
기여도 합	경상가	132.31	8.74	163.30	8.41	169.59	7.69
	현가†	98.73		74.81		57.97	
경제적 기여도	경상가	18.88	1.25	35.52	1.83	40.97	1.86
	현가†	14.08		16.27		14.00	
비경제적 기여도	경상가	113.43	7.50	127.78	6.58	128.61	5.84
지연시간을 고려한 기여도							
지연시간				3.33 년			
연도		2010		2020		2026	
연구비 대비 기여도***				7.431		7.323	
2002년도 하나로 연구활동의 50%에 대한 기여도****				7.431		6.537	
		기여도		연구비 대비 기여도 비율			
경상가		2,074 억원		13.12			
현가†		1,638 억원		10.37			

* : 국가경제에의 기여도

** : 당해연도 월 기여도(과거연구로부터 발생)를 당해연도 월 연구예산으로 나눔

*** : 당해연도 기여도를 지연시간(10.83년) 이전의 연구예산으로 나눔

**** : 2000년의 중장기연구예산을 제외한 시나리오와 그렇지 않은 시나리오를 비교하여 평가

† : 5% 실질 할인율 기준

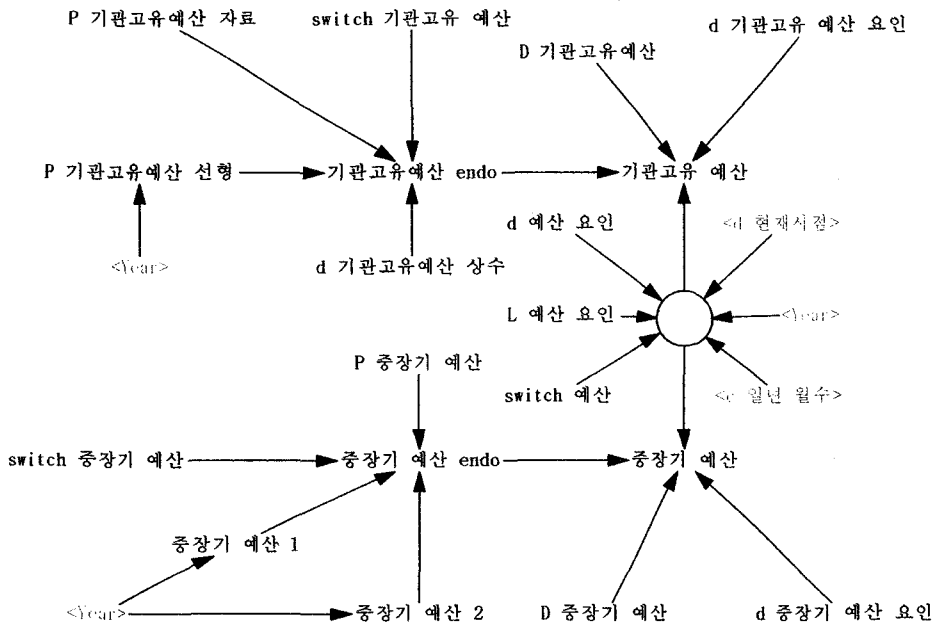
3.2 모델을 활용한 전략 분석

완성된 기여도 평가모형은 다양한 전략에 대하여 분석할 수 있다. 그 예로서 예산 수준, 홍보예산수준, 새로운 시설의 증설 등에 대하여 분석을 시도하였다.

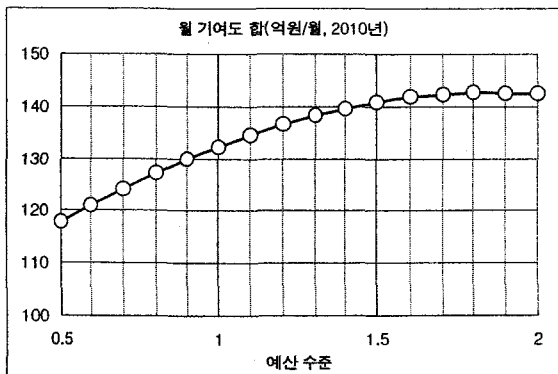
완성된 모델은 예산에 대하여 다양한 시나리오를 시뮬레이션할 수 있도록 준비되어 있다. 이 중 종합적인 예산수준을 결정하는 변수('d 예산요인')를 이용하여 민감도 분석을 수행한 결과 <그림 13>과 같이 예산수준이 기준 값(2003년 예산)의 1.5배로 되는 점까지 기여도가 계속 증가하였고, 기여도를 예산으로 나눈 값도 <그림 14>와 같이 예산수준에 따라 감소하지만, 예산수준이 1.5배로 되는 점까지 6배 이상의 기여도를 유지하는 것으로 나타나고 있어 상당한 규모에 이르기까지는 정부에 의한 투자(예산)를 늘리는 것이 바람직할 수 있다고 생각할 수 있다. 다만, 현재의 연구환경에서 단순히 예산수준을 2배 이상 증가시키는 것은 효율적인 공적 투자로 판단하기 어렵다. 즉, 연구인력이라든지 시설조건, 연구조직방식 및 정부의 주무부처에 대한 기관 독립성과 기관 내에서의 연구인력의 자율성 등 연구환경의 변화 없이 예산을 기준 값의 약 1.8배 수준으로 늘리는 것은 한계투자수익률을 감소시키는

것으로 나타나고 있다는 것을 알 수 있다.

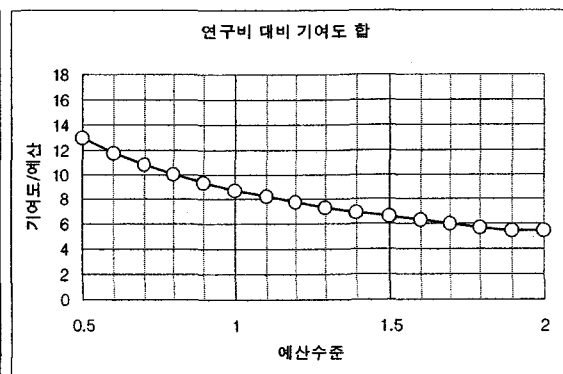
다만, 현재적 조건에서는 연구예산에서 가장 커다란 비중을 차지하고 있는 정부의 공적 투자를 늘리는 것을 대안으로 선택할 수 있으나, 연구기관의 정치적 독립성 확대와 연구인력의 조직 내에서의 자율성 확대를 통하여 민간의 연구개발 및 생산 조직과의 연결을 증가시킴으로써 점차 한계투자수익률이 양(陽)의 값을 가지는 범위 내에서 예산을 늘리는 방안이 고려되어야 한다.



<그림 12> 예산 시나리오를 위한 Stock Flow Diagram

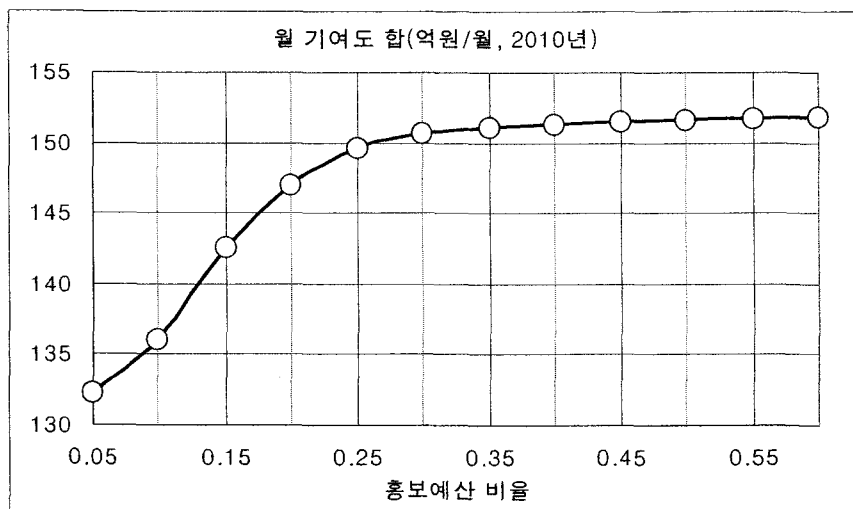


<그림 13> 예산수준에 대한 민감도 분석 결과 (2010년)



<그림 14> 예산수준에 따른 한계효용 감소 (2010년)

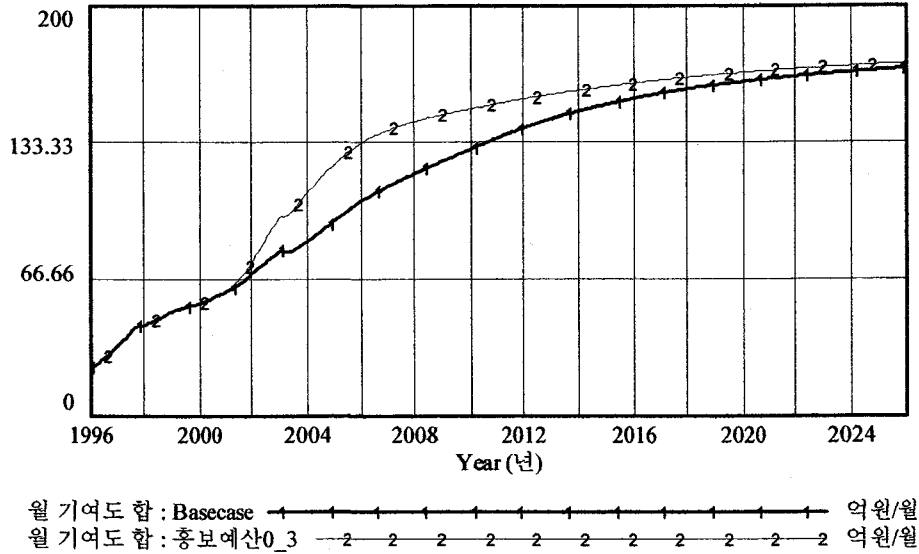
<그림 15>는 홍보예산에 대한 민감도 분석의 결과를 나타내고 있다. 홍보예산에 대한 민감도가 대단히 크게 나타나고 있으며, 현 시점에서 하나로의 홍보가 가져오는 기여도에서의 이득이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 홍보의 중요성은 시간에 따라 차이가 나는데, 이를 위해 홍보예산이 하나로활성화 기금의 30%를 사용하는 시나리오와 기준시나리오를 비교하여 보았다. 그 결과 <그림 17>에서 보듯이, 홍보예산을 늘린 초창기에는 기여도의 변화가 매우 심한 반면 시간이 지날수록 그 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 그 원인은 홍보에 의한 사용자 그룹의 크기변화가 그 초창기에는 대단히 크기 때문이다.



<그림 15> 홍보예산 비율에 대한 민감도 분석 결과

특히, 사용자 그룹의 규모를 추정하기 위하여 본 연구가 베스 확산모형을 활용하고 있다는 점을 고려할 필요가 있다. 기준 시나리오가 활성화기금의 5%를 홍보예산으로 책정하고 있는 반면, 30%를 홍보예산으로 할당하는 시나리오에서는 이러한 초기단계에서의 급격한 사용자 그룹의 크기 변화로 인하여 중기적 기여도가 높아진다는 것을 알 수 있다.

월 기여도 합



<그림 16> 시간에 따른 홍보 중요성의 변화

이외에도 반도체 도핑시설의 도입, 냉중성자 빔 이용시설의 도입이 미치는 영향에 대한 분석도 아울러 시도하였으며, 앞에서의 분석결과를 뒷받침하는 것이었다.

4. 결론

본 연구를 통해 구성된 원자력 연구소 '하나로' 프로그램에 대한 시스템 다이내믹스 모델은 평가에 연속성을 제공한다. 과거의 기여도에 대한 측정 뿐 아니라, 연구 환경의 변화 내용을 모델에 반영함으로써 미래의 프로그램 운영전략을 새롭게 구성하여 프로그램에 의한 사회적 기여도를 극대화할 수 있다. 즉, 구성된 모델 그 자체 만으로도 평가결과를 관련 정책에 피드백하는 것이며, 복잡한 시스템에 대하여 정책결정자로 하여금 능동적으로 상황에 대처할 수 있는 도구를 제공한다. 또한 모델의 구조를 약간 수정하면 거의 모든 국가연구시설 및 기초연구개발 프로그램에 확대할 수도 있다.

일반적으로 모델링하는 과정은 가설설정, 실험설계 및 검증하는 소위 '과학적 실험'과정을 반복하는 것이다. 관계자들에 대한 인터뷰조사와 문헌조사 등 사전연구를 통하여 전체 시스템을 가장 잘 설명할 수 있는 모델을 설계하고, 구성된 모델에 대

하여 민감도 분석을 수행함으로써 모델의 건전성을 검증하게 된다.

본 평가연구의 결과들을 몇 가지로 정리할 수 있다.

한국 원자력연구소의 '하나로' 프로그램에 대한 운영전략을 시험할 수 있는 도구를 제공했다는 것이 첫 번째이다. 정량화 모델의 형식으로 나타나는 각종 분석결과들은 그러나 그 수치의 절대적 의미보다는 정성적 우열을 나타내는 것으로 보아야 타당할 것이다. 대표적으로 변수 '기여도 합'으로 대표된 평가결과가 적게는 연구예산의 3.5배에서 크게는 28배에 이르는 기여도가 있다는 결과를 도출하였다. 직접적인 경제적 효과는 물론 비경제적 효과를 포괄하는 것이므로 곧바로 기초연구에 대한 공적투자의 투자회수율로 등치할 수 있는 것은 아니다. 그러나 상대적으로 폐쇄된 연구공동체를 구성해온 '원자력 분야'의 기초연구시설로서의 '하나로' 운영에 대한 정부의 공적자금투자가 '상당한' 사회적 편익을 생산하고 있다는 것을 확인하기에는 부족하지 않았다. 더구나, '하나로' 프로그램의 경우 국내에서는 민간에 의하여 대체되지 않는 '독점적' 영역임을 고려할 필요가 있다. 즉, 중복투자에 대한 논쟁으로부터는 적어도 자유로울 수 있다는 것이다.

둘째, 홍보예산 시나리오를 통해 포괄적인 기여도가 홍보예산에 대하여 상당히 민감하다는 것을 알 수 있었다. 잠재이용자 그룹의 규모를 추정하는데 본 모델이 적용한 '베이스 확산모형'의 구조에서 확인할 수 있는 것처럼, 적극적인 홍보에 의하여 사용자 그룹 즉 지식소비자 집단의 규모를 확대하려는 전략이 필요하다. 홍보예산과 지식소비자 그룹의 규모 사이에는 상당한 피드백이 존재한다는 것이다. 한편, '하나로'의 경우 사용자 집단의 규모를 늘리는 것도 문제로 지적할 수 있으나, 현재 원자력연구소에 집중되어 있는 사용자 집단의 분포를 적용 가능한 포괄적 산업분야로 확대하는 것이 보다 중요할 수 있다.

셋째, 예산이 현재 수준보다 약 1.8배에 이를 때까지 평가결과를 대표하는 변수 '기여도 합'의 한계 값이 양(陽)의 값을 유지하는 것으로 나타났다. 보수적으로 판단하여 약 1.5배에 이를 때까지 예산수준을 증가시키는 것이 '하나로'의 포괄적 사회적 기여도를 높이는 것으로 작용하였으며, 약 2배 이후로는 한계투자수익률이 음(陰)의 값을 가지는 것으로 나타났다. 두 번째 결론의 내용을 고려하면, '하나로' 이용활성화의 결과로 민간부문의 연구개발 및 생산분야의 지식소비자들과의 연결을 확대함으로써 민간부문으로부터의 연구자원을 확보하는 것이 유력할 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구의 결과가 '하나로' 프로그램을 운영하는 원자력연구소 경영자가 지속적인 정부투자의 확대를 주장할 수 있는 근거로 활용되어서는 곤란하다. 대(對) 정부 독립성을 확대하고 연구인력들의 상대적 자율성을 강화할 수 있는 전략적 접

근을 통하여 정부의 예산제약상황에 적극적으로 대응할 수 있는 방안을 모색해야 하는 당위로 수용되어야 할 것이다.

넷째, 복잡한 사회시스템에 대한 동적 분석에서 탁월한 역할을 수행하고 있는 시스템 다이내믹스 모델링 기법과, 잠재수요량 추정을 위한 베스 확산모형을 '기초연구' 프로그램 평가에 적용함으로써 우리의 평가연구노력에 대하여 미력이나마 이론적 노력이 더해졌다는 것이다.

[참고문헌]

- Luis Sanz-Menendez, Laura Cruz-Castro, Coping with environmental pressures : public research organizations response to funding crises, *Research Policy* 32 (2003), p. 1293-1308
- Glen Weisbrod, Economic Impact Analysis - Using the right tools, Presentation at CUED Annual Conference, 1998
- Paul A. David, Bronwyn H. Hall, Heart of Darkness : modeling public-private funding interactions inside the R&D black box, *Research Policy* 29 (2000), p. 1165-1183
- Bronwyn H. Hall, John Van Reenen, How effective are fiscal incentives for R&D ? A review of the evidence, *Research Policy* 29 (2000), p. 449-469
- Rogelio Oliva, Model Calibration as A Testing Strategy for System Dynamics Models, *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH* 151(2003) p. 552-568
- Ammon J. Salter, Ben R. Martin, The economic benefits of publicly funded basic research : a critical review, *Research Policy* 30(2001), p. 509-532
- Luke Georghiou, David Roessner, Evaluating Technology Programs : Tools and Methods, *Research Policy* 29 (2000), p. 657-678
- Stefan Kuhlmann, Evaluation of Socio-Economic Impacts of Public R&D. Practives and Experiences in Europe, Presentation on Tokyo, April 18-19, 2002