

R&D 투자에 대한 경제성 분석의 사례연구

- 초전도 한류기 개발을 중심으로 -

조현춘* · 김재천** · 박상덕***

〈 목 차 〉

1. 서 론
2. R&D의 경제성 평가모델
3. 실증적 평가사례
4. 결 론

1. 서 론

최근 기술 패러다임의 변화로 연구개발이 점점 복잡화 되고 대형화됨에 따라 연구 개발에 대한 투자액의 규모가 크게 증가하고, 투자기간도 장기화되어 이에 따르는 위험손실(risk) 또한 증대하고 있다. 더욱이 IMF 구제금융이라는 국가적 위기상황으로, 거품경제가 붕괴되면서 기업의 경영여건이 어려워져 설비투자를 축소하고 불요불급한 곳에 자금지출을 줄이는 초긴축 기조를 유지하고 있다. 이에 따라 연구개발 투자부문에서도 적게 투자하여 많은 결과를 얻는 저비용, 고효율 구조를 추구하면서 연구개발

* 한국전력연구원 기술정책실, 선임연구원

** 한국전력연구원 기술정책실, 위촉연구원

*** 한국전력연구원 기술정책실, 책임연구원

투자의 효율성 개고에 관심이 집중되고 있다.

이러한 상황에서, 기업의 경영자는 새로운 R&D 과제를 수행하기 이전에 향후 예상되는 프로젝트의 수익성과 경제성 등을 포함한 모든 측면을 고려할 필요가 있다. 이를 통하여 최근 R&D 수행에서 부각되고 있는 불확실성, 리스크 등을 줄여 R&D과제의 건실성을 높이고 또한 한정된 연구자원을 효율적으로 운영하여 현재의 어려운 경영여건을 개선해야 할 시점이다.

선진국에서는 이미 R&D과제에 대한 경제성 평가 및 리스크 분석을 실시하고 있을 뿐만 아니라, R&D과제 우선순위설정과 연구비 배분을 위한 훌륭한 평가체계를 각사에 적합하게 개선하여 R&D 투자에 대한 효율성을 증대시키고 있다. 국내의 기업 및 새정부에서도 지금까지의 R&D장려정책에서 탈피하여 R&D투자시 경제성 개념을 도입하려고 추진하고 있지만, 아직 객관성 있는 평가모델을 개발하지 못하고 있다. 이렇게 된 배경으로는, R&D과제 특성상 많은 불확실성과 계량화하기 어려운 부분이 내재하고 있어 국내의 기업, 정부 심지어는 연구자 그룹내에서조차 경제성 평가의 접근방법에 대한 기본적인 이해가 부족하였고 또한 평가자들도 R&D과제에 대해 실제적인 경제성 평가를 수행한 경험이 없었기 때문이라고 판단된다.

그러나 이처럼 경제성 평가가 어렵다고 해서 포기한다면, 축소되고 있는 연구자원을 효율적으로 운영하지 못하여 R&D 투자의 생산성은 감소하고 결국 이러한 악순환은 반복될 것이다. 따라서 이러한 악순환을 벗어나 생산성을 높이기 위해서는 R&D 투자에 대한 효과를 가시화 시킬 수 있는 정량적인 비용효과분석(경제성 분석) 모델 개발이 시급하다고 하겠다.

이런 관점에서, 본 연구는 자체개발한 몬테칼로 시뮬레이션 프로그램과 decision tree(의사결정 수지)모형을 이용하여 국내 K연구소에서 개발 예정인 초전도 한류기 연구과제에 대해 실증적으로 경제성 평가를 실시하여 봄으로써 개발된 시뮬레이션 프로그램의 검증과 함께 R&D과제에 대한 경제성 평가방법을 제시하고자 한다.

2. R&D의 경제성 평가모델

경제성 평가(비용-효익분석)는 일반적으로 사업투자 또는 R&D 투자시 최적으로 투자를 결정하기 위한 기본적인 평가방법으로써 직·간접수익과 R&D의 비용 또는 사업투자 비용을 산출하여 비교하는 것이다. 그 대표적인 산술적 모델로는 현재 DCF 모델(Discounted Cash Flow)과 Option Pricing모델 등이 사용되고 있다.

2.1 DCF모델

DCF모델은 R&D 수행으로부터 기대되는 미래의 수익(현금흐름)을 적절한 할인율을 통하여 현재 가치화하고, 이를 R&D 투자비용과 비교함으로써 R&D과제의 경제성을 평가하는 방법으로 현재 가장 널리 사용되고 있는 모델이다. 표현식으로는 식(1)의 투자회수율법(ROR; Rate of Return) 또는 식(2)의 순현재가치법(NPV; Net Present Value)으로 나타낼 수 있다.

$$ROR : \sum_{t=0}^n \frac{CI_t}{(1+K^*)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{CO_t}{(1+K^*)^t} \dots\dots\dots (1)$$

$$NPV : \sum_{t=0}^n \frac{CI_t}{(1+K)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{CO_t}{(1+K)^t} \dots\dots\dots (2)$$

여기에서 CI_t , CO_t 는 각각 t시점에서의 현금유입(수익)과 유출을 나타내며, n은 분석기간, K는 할인율, K^* 는 현금유입과 유출을 동일하게 만드는 할인율이다. 그러나 1980년대 초부터 Robert Hayes, William Abernathy 및 David Garvin 등은 DCF 모델은 R&D 수행으로 얻어지는 지식 및 노하우를 이익으로 반영하지 못하고 또한 장기간에 걸친 일정한 할인율의 적용, R&D 투자의 불확실성에 기인한 기술적인 리스크(risk) 등을 반영하지 못하기 때문에 분석결과에 대한 오차가 발생하여 R&D에 대한 저평가가 이루어질 수 있다고 지적하고 있다. 이에 따라 미국의 기업들은 기존의 보편적인 NPV방법을 사용하지 않으려는 움직임이 일고 있다. 이에 대해 James E. Hodder와 Henry E. Riggs는 DCF 이론에 문제가 있는 것이 아니고 잘못 적용하였기

때문이라고 지적하면서, 장기적인 분석시에는 식(3)과 같이 단계별로 인플레이션을, 위험률을 적용함으로써 기존의 문제점을 해결할 수 있다고 주장하고 있다. 식(3)에서 RF는 리스크가 없는 현금의 시간적 가치이며, E는 예상되는 인플레이션, Δ는 위험률이다. 단순화하기 위하여 인플레이션이 없다고 가정하면 식(3)은 식(3-1)과 같이 나타낼 수 있고, NPV는 식(3-2)와 같다(CF_n=CI_n-CO_n임).

$$1+K = (1+RF)(1+E)(1+\Delta) \dots\dots\dots (3)$$

$$1+K_t = (1+RF)(1+\Delta_t) \dots\dots\dots (3-1)$$

$$\begin{aligned} NPV &= CF_1/(1+K_1) + CF_2/\{(1+K_1)(1+K_2)\} + \dots + CF_n/\{(1+K_1)(1+K_2)\dots(1+K_n)\} \\ &= CF_1/\{(1+RF)(1+\Delta_1)\} + CF_2/\{(1+RF)^2(1+\Delta_1)(1+\Delta_2)\} + \\ &\quad CF_n/\{(1+RF)^n(1+\Delta_1)\dots(1+\Delta_n)\} \dots\dots\dots (3-2) \end{aligned}$$

또한 D. Hertz와 J. Magee는 각각 몬테칼로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)과 decision tree 분석기술을 DCF에 사용함으로써 기존의 DCF모델을 개선할 수 있다고 주장하고 있다.

2.2 Option Pricing 모델

Option Pricing 모델은 R&D과제가 평가절하될 수 있는 기존 DCF모델의 문제점을 개선하기 위하여 주식시장에서 사용되고 있는 옵션의 개념을 도입하여 R&D에 적용한 모델로서, 미리 정해진 가격(상업화 투자)으로 정해진 기간동안에 R&D 성과를 상업화할 수 있는 권리를 의미하는 것으로 R&D 투자여부에 대한 현재평가와 R&D성과의 상업화시 발생하는 현금흐름에 대한 미래평가를 가정한 2단계 평가를 실시하는 것이다. Option Pricing 모델에는 Binominal Distribution 모델, Black-Sholes 모델과 Magrabe 모델이 있으나 Black-Sholes 모델이 가장 쉽게 활용할 수 있는 모델이다. Black-Sholes 모델은 투자에 대한 가치변화가 일정한 변동성(volatility)을 갖는 정규분포를 따른다는 가정에 기초하고 있으며 옵션의 가치는 이 정규분포 확률에 따른 현재의 기대값으로 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C = SN(d_1) - Xe^{-rt}N(d_2) \dots\dots\dots (4)$$

$$d_1 = \frac{\ln S/X + (\gamma + \delta/2)t}{\delta\sqrt{t}}, d_2 = d_1 - \delta\sqrt{t}$$

여기에서 S는 수익의 현재가치, X는 상업화 투자비용, t는 R&D기간, e는 연속복리 할인율, γ 는 무위험 이자율, δ 는 미래수익의 변동성이다.

한편 Binominal Distribution 모델은 미래의 불확실성이 이항확률분포로 전개된다는 가정에 기초한 것으로 의사결정 방식은 DTA(Decision Tree Analysis)법과 유사하다. Magrabe 모델은 주식과 일반투자의 차이를 분석하여 일반투자의 가치를 평가하는데 적합하도록 주식의 Black-Sholes 모델을 개량한 것으로 수익의 복잡성과 측정변수가 많으므로 적용하기에는 어려움이 있다. 이 Option Pricing 모델은 DCF 모델에 비하여 복잡하고 또한 장기적인 기초연구과제와 제품을 생산하지 않는 공기업의 R&D에 대해서는 적용하기가 곤란하며, 국내에서는 개념이 아직 보편화되지 않아 적용하기에는 아직 시기상조라 생각된다.

2.3. 본 연구의 평가모델

본 연구에서는 기존 DCF 모델의 문제점을 개선하기 위하여 학습효과(learning effect) 함수와 D. Hertz⁽³⁾와 J. Magee가 앞에서 주장한 몬테칼로 시뮬레이션 프로그램 및 decision tree 모형을 개발하여 기초성 R&D과제에 적용하여 보았다.

연구수행으로부터 얻어지는 기술적 노하우는 식(5)를 이용하여 계량화 하였다. 즉 1차연구완료후 얻어진 기술적인 노하우는 2차연구수행시 연구기간의 단축을 가져올 뿐만 아니라 유사한 관련분야에도 습득된 기술을 활용할 수 있는 효과가 있어 이들을 고려하여 계량화 하였다. 이렇게 계량화된 학습효과금액은 식(2)의 기존 DCF 모델에 삽입하여 식(7)와 같이 나타내었다.

$$Y_x = LX^a \dots\dots\dots (5)$$

여기에서 L는 처음 연구개발시 소용되는 연구기간, X는 연구횟수, $a = \log \phi / \log 2$

(ϕ 는 학습곡선의 기울기)이다.

또한, 본 연구에서는 몬테칼로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 이용하여 R&D투자에 대한 리스크 및 기대이익을 계산하였다. 일반적으로 하나의 연구과제가 성공하여 이익을 창출하기까지는 여러 단계의 연구과정을 거치게 된다(〈그림 2〉 참조). 일단 연구과제가 시작되어도 과제가 유용하지 않다고 판단되면 연구과제가 초기에 종결되거나 중간 또는 최종 단계에서 종결되기도 한다. 이중 몇몇은 각 단계의 연구과정을 수행한 다음 그 연구결과가 창출해 낼 수 있는 기대이익을 발생시키는 연구과제도 생기게 된다. 특정 R&D의 총연구과정이 π 단계라고 할 때 각 연구단계에서의 성공확률($P_1, P_2, P_3 \dots P_\pi$)과 각 단계에서의 예상투자비용($X_1, X_2, X_3 \dots X_\pi$)을 무작위 수(random number)로 설정하였다. 이때 예상 연구투자비용 구간은 균일한 확률분포(uniform distribution)를 갖는다고 가정하였으며, 각 단계에서 설정된 다수의 샘플링 값들은 평균값으로 계산하였다.

총시뮬레이션 횟수(총빈도수)를 N 이라 할 때 특정 R&D는 π 단계를 거쳐 성공하거나 그전 i 단계에서 실패하게 된다. 이에 따라 프로그램내에서는 매 시뮬레이션 마다 식(6-1, 6-2)와 같이 기대값(비용 또는 효익)을 계산한다. 이렇게 반복하여 모든 시뮬레이션이 완료된 후 상기기대값의 빈도수를 총빈도수(N)에 대하여 정규화하면 각각의 기대값에 대한 확률분포를 얻을 수 있다. 이때 확률분포의 총면적이 NPV값이며, 그 값은 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{효익} = \sum_{t=0}^T \frac{CI_t + LX^a}{(1+K)^t} - \sum_{j=1}^{\pi} X_j, \quad : \pi \text{단계까지 성공했을 때} \dots\dots\dots(6-1)$$

$$\text{비용} = \sum_{j=1}^i X_j, \quad : i \text{단계에서 실패했을 때} \dots\dots\dots(6-2)$$

$$\text{NPV} = \frac{1}{N} \left[\sum_{n=0}^N \sum_{t=0}^T \frac{CI_t + LX^a}{(1+K)^t} - \sum_{i=1}^{\pi} n_i \cdot \left(\sum_{j=1}^i X_j \right) \right] \dots\dots\dots(7)$$

여기서 n_i 는 i 단계에서 시뮬레이션이 종료된 빈도수이며,

$$N = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_\pi = \sum_{i=1}^{\pi} n_i \text{ 으로 나타낼 수 있다.}$$

한편 <그림 2>는 초전도 한류기의 개발과정에 대한 decision tree를 나타낸 것이다. 한류기를 상품화(실용화)하기까지는 벤치스케일 연구, 스케일 업, 신뢰성 시험 및 시장 진입 과정을 거치게 된다. 이때 각 과정은 일부분에서 중복 또는 동시에 진행될 수 있으나 본 연구에서는 연구기간을 3년단위로 하여 단계별 추진계획을 설정하였다. 각 단계에서 표시한 연구비와 투자회수금액은 일정한 할인율을 적용, 현재화하여 나타내었다. R1은 벤치스케일 연구, R2 및 R3는 스케일 업 연구, T는 신뢰성 시험연구와 직면한 decision상태를 의미하고, 연구비 지출은 불확실성이 내포되어 있기 때문에 연구자와 협의를 통하여 일정 범위를 갖는 것으로 추정하였다. 또한 각 단계별 성공 및 실패 확률은 기술수준 및 연구그룹의 능력 등을 고려하여 설정하였으며 연구가 진행될수록 기술축적이 가능하기 때문에 연구단계가 진행될 수록 성공확률도 높였다.

위와같은 연구단계를 거쳐 최종적으로 연구가 성공하였을 때 기대되는 투자회수금액은 개발된 초전도 한류기의 적용으로부터 얻을 수 있는 효익부분을 도출하여 계산하였다. 본 연구에서 추정되는 초전도 한류기의 개발 및 적용으로부터 얻을 수 있는 회수가능금액은 아래의 계산식으로 부터 추정하였다.

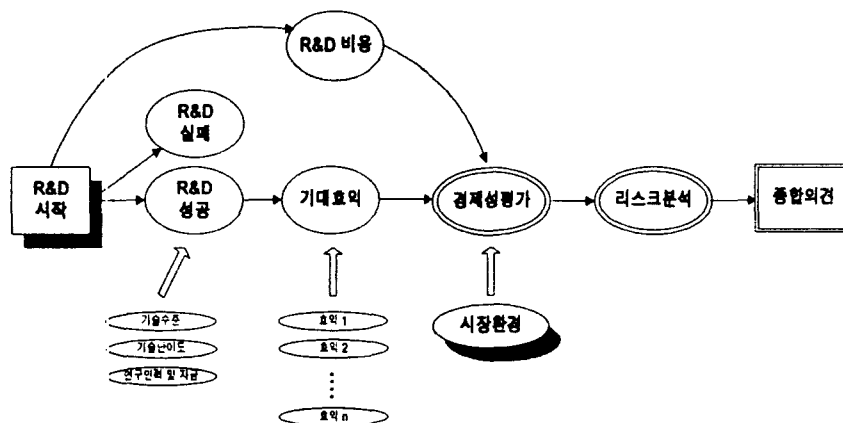
- 전력기기 파손방지 효과 : $\sum_{n=2013} (N \times CB) \times S \times A$
- 전력손실 방지효과 : $\sum_{n=2013} N \times (L + \alpha) \times T \times S \times A$
- 전력기기 교체비용 절감 효과 : $\sum_{n=2013} N \times (L1 + L2) \times S \times A$
- Techno Stock 및 활용효과 : $\sum_{n=2013} \{(M \times P1 \times P2 \times S \times A) + Y\}$

여기서 N은 트립전수(사고전수), CB는 변압기 및 차단기 가격, L은 전력손실액, T는 설비용량×Bank 용량, L1은 인건비, L2는 수송비, M은 초전도 관련기기 세계시장, P1 및 P2는 국내시장비율 및 전력기기 응용비율, Y는 학습효과(연구기간 단축효과등), S와 A는 각각 연구성공확률 및 적용효율이다.

3. 실증적 평가사례

국내 K연구소에서 앞으로 개발예정인 초전도 한류기는 전력수요의 급증으로 전원 설비와 송변전계통의 지속적인 증설로 인하여 발생될 수 있는 송전계통의 고장전류를 제한하여 사고를 미연에 방지할 수 있는 장치로써 개발 필요성이 인정되고 있다. 그러나 실제시스템의 적용은 2010년 이후에나 가능할 것으로 판단되기 때문에 장기적인 연구가 필요하다. 따라서 <그림 1>의 경제성 평가절차에 따라 개발과제의 기술난이도와 개발참여인력 및 능력으로부터 기술수준을 파악한 후, 이를 토대로 하여 연구개발 과제의 성공 가능성을 예측하였다. 연구가 성공적으로 수행될 경우, 연구결과로부터 얻어질 수 있는 파급효과를 도출하여 각 효익항목별로 설정된 분석기간 동안에 기대되는 수익(현금흐름)을 계량화하여 평가기준 연도를 기준으로 현가화하였다. 그 결과를 현가화된 연구개발투자비와 비교함으로써 경제성 평가결과를 얻었으며, 또한 동시에 앞에서 설정된 R&D 성공확률과 수익 및 연구투자비를 데이터로 하여 자체개발한 몬테칼로 시뮬레이션 모델과 decision tree을 이용, 연구개발투자에 대한 리스크(risk)를 분석하였다. 그림에서 사각형은 결정요소를 나타내는 것이고, 선 하나의 타원형은 불확실성이 내포된 것을 의미하며, 선이 두개인 타원형과 사각형은 각각 계산된 결과와 분석의 목표를 의미하는 것이다.

<그림 1> R&D의 경제성 평가 흐름도



3.1 기술성 분석

3.1.1 한류기(fault current limiter)의 정의

한류기란 저전압기기의 과전류 보호용으로써 사용되는 퓨즈와 같은 것이기 때문에 평상시는 거의 손실없이 전류가 흐르지만, 사고시에는 정격전류 이상의 과도한 전류를 순시에 억제하는 기능을 갖는 기기로 다양한 타입의 한류기가 개발되고 있지만 실제 통에 적용할 수 있는 수준의 한류기는 현재 실용화되지 못하고 있다.

3.1.2 한류기의 개발배경

최근 전원설비와 송변전계통의 지속적인 증설로 인하여 전력계통의 등가 임피던스가 점점 작아져 계통의 고장전류가 계속 커지고 있는 실정이다. 특히 우리나라의 경우 외국에 비하여 송전선로가 상대적으로 짧고, 계통 변전소간을 연결하는 연계 송전선로가 망상형태(mesh network)로 되어 있어 송전계통의 고장전류가 기존 차단기의 차단내력을 상회하는 변전소가 많이 나타나고 있다. 고장전류가 차단기의 차단내력을 상회하게 되면 고장발생시 고장전류를 안정적으로 차단할 수 없게 되어 차단기는 물론 인접 전력설비까지 사고가 파급될 수 있게 된다.

따라서 이러한 사고전류를 억제하기 위한 대책이 현재 다각적으로 강구되고 있는데, 초전도를 이용한 한류기의 개발이 현재 세계적으로 관심을 모으고 있다⁽⁸⁻⁹⁾.

3.1.3 국내 변전소의 사고전류 차단내력 현황

현재 한국전력공사의 345kV 전력계통 차단기의 정격차단전류는 40kA이며, 154kV 용 차단기 정격차단전류는 31.5kA, 50kA 두종류가 있다. <표 1>과 <표 2>는 345kV, 154kV 변전소의 차단기 차단내력을 상회하는 변전소 수 및 최대 사고전류 발생상황을 나타낸 것이다. 1998년 154kV 변전소 수가 411개소이고 사고전류가 차단기 차단내력을 상회하는 변전소 수는 146개소로 전체 154kV 변전소의 35.5%를 차지하고 2000년에는 차단내력 초과 변전소수 비율이 38.7%로 증가될 것으로 예측되고 있다.

〈표 1〉 연도별 345kV모선 사고전류 차단내력 초과상황

	변전소 수	차단내력 초과 변전소수(40kA)	최대고장전류
1998년	62	6	서서울 45.9
1999년	65	8	서서울 48.3
2000년	71	13	화 성 53.6

자료 : 전기저널 1998. 5

〈표 2〉 연도별 154kV모선 사고전류 차단내력 초과상황

	변전소 수	차단내력 초과 변전소 수			최대 고장전류(KA)	비고
		31.5(kA)	50(kA)	합계		
1998년	411	56	90	146	당인리 98.7	35.5%
1999년	469	58	109	167	당인리 105.3	35.6%
2000년	512	63	135	196	당인리 119.4	38.7%

자료 : 전기저널 1998. 5

3.1.4 한류기의 요구특성

초전도 한류기에 대한 요구특성으로는 첫째, 정상시에는 임피던스가 작지만 동작시에는 임피던스가 커야 하며 둘째, 사고시에 동작속도가 빠르고, 소정의 전류에서 확실하게 동작해야 하며 셋째, ON-OFF동작에 내성이 강하고, 한류특성의 열화가 없어야 하며 넷째, 한류동작 후, 소정의 시간내에 초전도 상태로 회복해야 하며 다섯째, 냉동기 등의 부대설비를 포함하여 콤팩트 해야 한다.

3.1.5 한류기의 개발동향

저온초전도 한류기(금속계 초전도)에 대해서는 동경전력/도시바가 6.6kV/1.5kA급 유도형 한류기를 개발하였고 현재 500kV급을 목표로 개발하고 있으며 GE - Alstom사는 40kV/1kA급 저항용 한류기를 1996년에 이미 시험완료하였고 1998년 까지

40kV/5kA급을 63kV계통에 적용하려고 하고 있다. 앞으로는 225kV급으로 스케일 업 하려고 추진 중에 있다.

한편 고온초전도 한류기(세라믹스 초전도)는 현재 여러 가지 design의 시험단계에 있는데 교류용 선재개발 미흡으로 대용량 유도형 개발이 지연되고 있다. 현재 lockheed-martin이 2.4kV/2.2kA급을 1995년에 개발한 후 현재는 17kV급을 개발 중 (surge protect)에 있으며 ABB사는 10.5kV/95A(1.2MVA) 자기차폐형 한류기 계통시험 (1996. 11-1997. 5)후 10MVA급을 개발 중에 있다.

3.1.6 초전도 한류기에 대한 국내 기술수준

초전도 한류기 개발과 관련된 요소기술은 전자장 시뮬레이션 기술, 교류손실측정 및 해석기술, 퀀치특성분석 및 이용기술, 전기절연기술, 실증시험 및 평가기술을 들 수 있으며 각 요소기술기술별 국내의 기술수준은 <표 3>과 같다.

<표 3> 초전도 한류기 개발기술과 관련된 국내 기술수준

요소기술명	현재의 기술수준	
	국내 수준	선진국
전자장 시뮬레이션	40	100
교류손실 측정/해석	20	100
퀀치특성분석 및 이용	20	100
전기절연기술	40	100
실증시험/평가기술	20	100

자료: 자체분석

3.1.7 초전도 한류기의 실용화 가능성 및 문제점

초전도 한류기를 많은 국가에서 개발하고 있지만 상용화 하기 위해서는 다음과 같이 해결해야 할 과제가 많이 남아 있다. 첫째 대용량화를 위한 초전도선재(유도형)의 개발 및 통전전류의 향상, 퀀치시의 주울열에 의한 내부압력 및 에너지 상승에 대한 처리방법 개발, 둘째 극저온하에서의 전기절연성능의 파악과 이에 대한 문제점 해결,

셋째 통전특성시험 및 손실측정시험 등을 통한 신뢰성을 향상해야 한다. 이로 미루어 볼 때, 저온형 초전도 한류기의 실용화는 2000년 초기부터 실용화가 예상되나, 경제적인 측면에서 널리 보급되기는 어려울 것으로 보인다. 한편 고온 초전도 한류기는 교류용 선재개발의 미흡으로 선진국에서는 2005년 이후에나 실용화가 가능할 것으로 예상되며, 우리나라의 경우는 2010년 이후에나 가능할 것으로 예측된다.

3.2 경제성 분석

3.2.1 연구비 투자규모 추정(비용분석)

고온초전도 한류기의 실용화를 위해서는 <표 4>과 같은 단계별 연구비 투자규모가 추정된다.

<표 4> 초전도 한류기 개발의 연구비 투자규모 추정

(단위: 백만원, ()는 98년 현가금액)

연구단계	개발내용	연구기간	추정 연구비
1단계	3.3kV급	1998.7-2001.12	2,500 (1,900-2,300)
2단계	22.9kV급	2002.3-2005.8	1,800-2,300 (1,200-1,500)
3단계	154kV, 345kV급	2006.3-2009.8	3,000-3,500 (1,400-1,600)
4단계	계통연계시험	2010.3-2012.2	500 - 800 (150-250)
실용화시기	345.154kV에 실용화	1998년-2012년	7,800- 9,100

자료: 국내 K연구소 개발계획

3.2.2 실용화후 경제적 가치 추정

초전도 한류기를 실용화함으로써 다음과 같은 경제적 효익을 기대할 수 있다. 첫째 사고전류에 의한 전력기기 파손방지 효과, 둘째 전력기기 파손에 의한 전력손실 방지 효과, 셋째 전력기기 교체에 따른 인력 및 제반비용 절감효과, 넷째 초전도 응용기술 확보에 따른 활용효과(techno stock 효과)가 있다. 이와같은 효익항목으로부터 산출된 경제적 효과는 <표 5>와 같다. 표에서 낮음, 보통, 높음은 분석의 민감도를 나타낸 것이며 모두 1998년 현가금액이다.

〈표 5〉 초전도 한류기의 실용화 후 효익금액

(단위: 백만원, 1998년 현가금액)

효익항목	효익금액		
	낮음	보통	높음
전력기기 파손방지	1,100	1,600	2,100
전력손실 방지	11	23	32
전력기기 교체비용 절감	32	65	97
Techno Stock 및 활용	16,625	25,190	35,769
합계	17,768	26,878	37,998

주: 분석기준

- 할인율 : 9% (시장이율)
- 환율 : 1\$=840원
- 한류기 가격 : P(미지수)
- 한류기 설치대수 : 차단기 차단내력 초과변전소 200곳
- 사고전류 발생건 수 : 2회/년 (200곳 변전소 기준)
- 전력기기가격: 주변압기 : 2억 5000만원 - 4억원
- : 차단기 : 1억 5000만원 - 2억 5000만원
- 정전시간(트립시간) : 8분, 4만가구, 1 BANK 기준
- 기기설치 및 운반비 : 98년 공사비 단가기준 적용
- Techno Stock 효과 : 연구개발을 통하여 향후 초전도 변압기, 초전도 케이블, 초전도 에너지 저장등 관련기기 개발에 기여하여 경제적 이익이 기대.
- 초전도 관련시장 : 2013년-2020년의 초전도관련 세계시장규모는 1,000억-2,000억\$ 규모 이중에서 전력관련분야는 15-17%를 차지할 것으로 예측하고 있음. 따라서 국내시장규모는 50억 - 100억\$ 규모에 전력분야는 8억 -17억\$추정됨(자료:ISIS)
- 관련시장 기여도 : 10%

3.2.3 시뮬레이션 프로그램에 의한 리스크(Risk) 분석

〈그림 2〉은 초전도 한류기 기술개발에 대해 연구단계별 성공확률 및 연구비 추정에 대한 사건(chance event)들을 보이기 위한 decision tree이다. 왼쪽에서 시작하여 아래 쪽으로 옮겨가며 연구단계별 의사결정을 표시하고 있다. 가지들이 뻗어나오는 노드(node)는 결정노드(decision node), □ 이거나 기회노드(chance node), ○ 중의 하나이다. 각 연구단계별 연구투자규모(표 4)와 최종 예상효익금액(표 5) 또는 〈그림 2〉의 하단 오른쪽은 모두 분석기준에 의거하여 앞에서 계산된 1998년 현가금액이다.

연구단계별 성공확률과 최종 예상효익금액을 데이터로 하여 자체 개발한 시뮬레이션 프로그램(C.K.P Simulation Program)을 통하여 초전도 한류기 개발과 관련된 기대효익과 기대효익을 얻을 수 있는 확률을 산출하였다. 그 결과 <그림 3>와 <그림 4>에 나타난 것처럼 예상효익에 대한 비율에서 보통수준이 80%, 낮음 또한 높음수준이 각각 10%일 때는 기대효익값은 69억원으로 추정되었으며, 보통수준이 60%, 낮음 또한 높음수준이 각각 20%일 때는 70억원 정도의 기대값이 예상되었다.(단, 투자비에 한류기 제작가격비를 포함하지 않았음)

3.3 경제성 평가결과

2013년 이후 실용화를 전제로 초전도 한류기 개발에 대한 경제성 평가를 실시해 본 결과 한류기의 제작비용을 고려하지 않았을 때 효익금액이 98년 현가기준으로 70억원 정도로 추정되었다. 따라서 한류기를 차단기의 차단내력을 초과하는 200개 변전소에 설치하는 것으로 가정하였기 때문에 한류기 한대의 제작가격이 98년 현가기준으로 3천5백만원 미만일 때에만 경제성이 있는 것으로 추정되었다(표 6). 한류기가 2015년부터 설치가 가능하다고 할 때는 미래가격으로 1억5천만원 이하가 되어야 투자비용 회수가 가능하다고 판단되었다. 그러나 아직까지 한류기가 실용화 되고 있지 않고 있기 때문에 제작가격을 추정하기란 어렵지만 현재 선진국에서는 변압기(1kVA) 가격 정도로 예상하고 있어, 본 연구과제에 대한 투자회수가 어느 정도 가능하다고 판단되고 있다.

〈표 6〉 초전도 한류기 가격대비 경제성 분석

(단위: 백만원, 1998년 가격)

한류기 가격(P)	P < 35	P = 35	P > 35
경제성	충 분	B.E.P	부 족

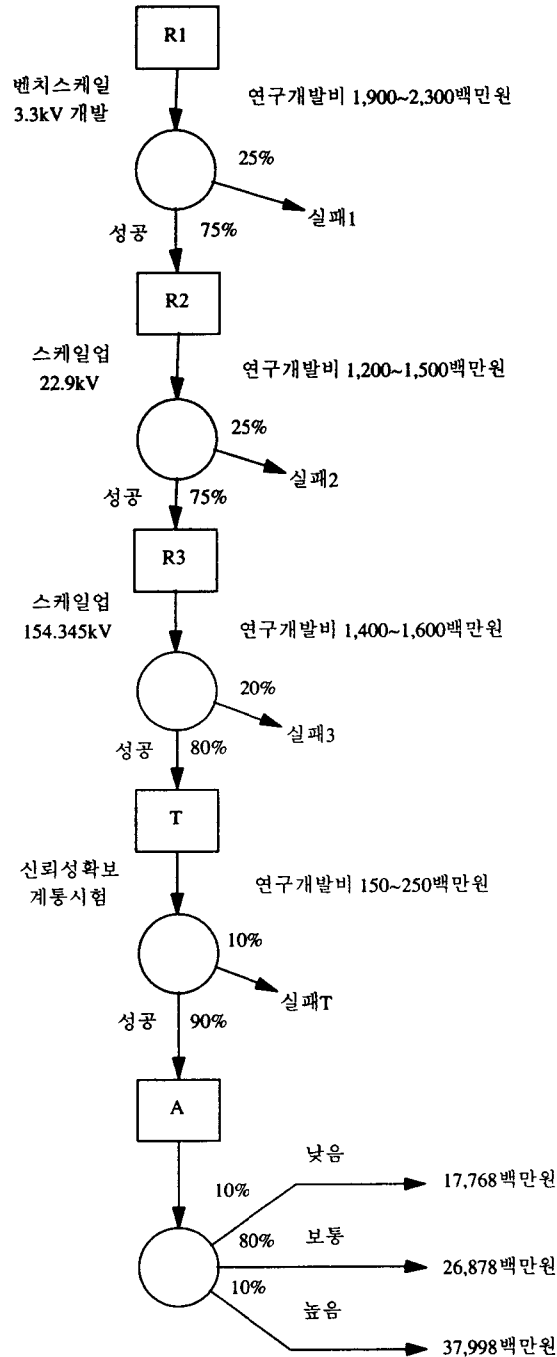
4. 결 론

R&D투자에 대한 경제성을 평가하기 위해서는 먼저 연구과제에 대한 기술적인 속성을 파악하는 것이 매우 중요하다. 그 이유로는 사업투자의 평가와는 달리 R&D투자는 파급효과가 잘 나타나지 않을 뿐만 아니라 연구결과의 성공여부와 정량화하기 어려운 부분(intangible benefit)이 존재하기 때문이다.

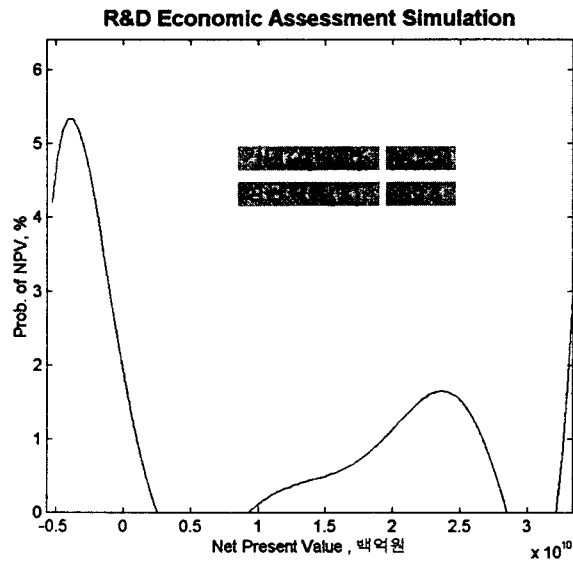
이런 이유로 본 연구에서는 기술성 분석과 환경분석을 먼저 실시하였다. 이를 토대로 하여 자체 개발한 시뮬레이션 프로그램과 학습효과모형을 사용하여 초전도 한류기 개발에 대한 경제성 평가를 실시해 본 결과, R&D수행에 따른 기대이익의 확률분포를 얻을 수 있었으며 또한 R&D투자에 대한 기대이익의 달성확률 및 실패확률도 만족스럽게 구할 수가 있었다. 그러나 아직까지 R&D수행과정에서 얻어지는 기술적인 노하우의 정확한 계량화에는 접근하지 못하였다.

따라서 경제성 분석의 신뢰도를 더욱 높이기 위해서는 앞으로 R&D수행에 따른 기술축적(techno stock)에 대한 더 정확한 계량화 모델의 개발이 필요하며 또한 기대이익의 확률을 연속확률분포로 하여 시뮬레이션 프로그램을 개발할 필요가 있다고 하겠다.

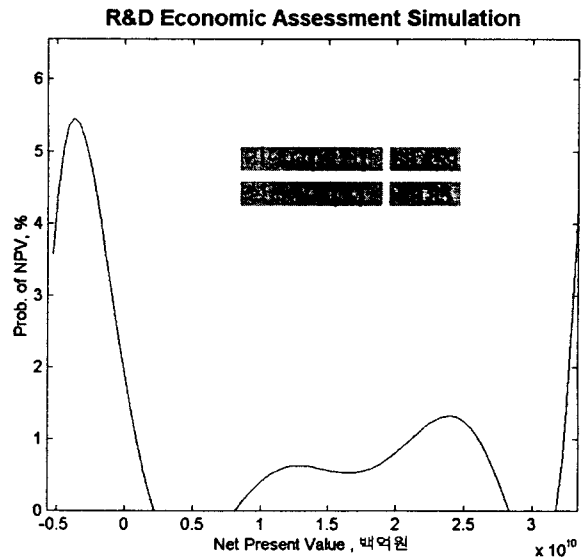
〈그림 2〉 초전도 한류기의 연구개발 과정에 대한 Decision Tree



〈그림 3〉 보통수준이 80%일 때 경제성 평가 시뮬레이션 결과



〈그림 4〉 보통수준이 80%일 때 경제성 평가 시뮬레이션 결과



참 고 문 헌

1. 김영휘외 3인, 「경제성 공학 제8판」, 청문각, 1996.
2. 김승래, “에너지 소비전략의 정책수단별 경제적 효과”, 「자원경제학회지」, 제6권 1호, 1996.
3. 김봉진외 3인, “국내 천연가스 수요관리의 경제성 분석”, 「한국에너지 공학회」, 제7권 1호, 1998.
4. 조현춘외 3인, 「연구과제 경제성 평가를 위한 사전연구」, 전력연구원 TM보고서, 1998.
5. 吉澤四眼, 「燃料電池の 技術と 經濟性」, CRIEP Report, 1976.
6. 内山洋司, 角湯正剛, 「壓縮空氣 貯藏發電 システムの 利點 と 經濟性」, 日本 電力 中央研究所(CRIPI) 報告書, 1991.
7. 後正武, “アウトフット 高める”, 「日本 研究開發 マナジメント」, 1996. 12.
8. ibid, 「エコノミスの 分析(1)」, 1997. 10.
9. ibid , 「エコノミスの 分析(2)」, 1998. 2.
10. 大熊武, 岩田良浩, “超傳導限流器”, 「日本 電氣學會誌」, 117(4), 1997.
11. G. R. Coville, *Application of Cost-benefit Analysis Methodology to Nuclear I&C System Upgrades*, EPRI TR-101984.
12. Magee, John F., “Decision Tree for Decision Making”, *Havard Business Review*, July-Aug., 1964.
13. Paul. S. and Tom. K., “How Smithkline Beecham Makes better Resource Allocation Decision”, *Havard Business Review*, March-April, 1998.
14. W. Fulkner, “Applying Option Thinking to R&D Valuation”, *Industrial Research Institute*, 1996.
15. Morris. P, E. Teisberg and Kolbe A. L., “When Choosing R&D Projects, Go with Long Shots”, *Research Technology Management*, Jan-Feb., 1991.
16. “Monte Carlo Methods”, Dean Karlen/Carleton University, lecture documents, 1997.

17. John R. Schuyler, *Decision Analysis in Project*, Project Management Institute, USA, 1996.
18. Hertz, David B., "Risk Analysis in Capital Investment", *Harvard Business Review*, Jan-Feb., 1964.
19. An Economic Analysis of Cobalt Valve Replacement Strategies, EPRI TR-107169.
20. Application of Risk Analysis to Evaluation of Research Project, Amoco Chemicals Co.
21. "Managing as if Tomorrow Mattered", *Harvard Business Review*, May-June, 1982.
22. "Pitfalls in Evaluating Risky Projects", *Harvard Business Review*, Jan-Feb., 1985.
23. "Risk Analysis in Capital Investment", *Harvard Business Review*, Jan-Feb., 1964.
24. "How to use Decision Tree in Capital Investment", *Harvard Business Review*, Sep-Oct., 1964.
25. Timothy A. Luehrman, "Investment Opportunities as Real Option", *Harvard Business Review*, July-Aug., 1998.
26. Black F. and Scholes M., "The Pricing of Options and Co-Liability", *Journal of Political Economy*, 1973. 1
27. W. Margrabe, "The Value of an Option to Exchange", *Journal of Finance*, 33, March, 1978.
28. A. M. Wolsky, *High Temperature Superconductivity for Electric Power Sector*, Argonne National Laboratory, 1997.