

# 국가기술개발사업의 파급효과분석<sup>1)</sup>

## -에너지절약기술개발사업의 사례-

허은녕\*, 배위섭\*\*, 이영수\*\*\*

### 1. 서론

본 연구의 목적은 1992년부터 산업자원부에서 추진하고 있는 에너지절약기술개발사업에서 2000년까지 투자 완료한 과제 중 상용화에 성공한 과제<sup>2)</sup>만을 대상으로 한 에너지절약효과 산정 및 사회적 비용산출이다.

기술 개발에 의한 에너지 절약효과는 개발된 제품의 사용에 의한 직접적인 절약효과와 기술축적 및 타 산업으로의 기술파급 등에 의한 절약효과 등 간접적인 효과로 나누어 볼 수 있겠으나 본 연구에서는 분석자료 및 시간적인 제약으로 인하여 이 중 개발품의 사용에 의한 직접적인 효과에 한정하여 에너지 절약효과를 측정하였다. 기존의 에너지절약기술개발사업에 따른 에너지 절약성과 측정은 연간 판매량에 따른 에너지 절약량의 누적치나 성과 분석 기준 연도까지의 누적 판매량에 대한 에너지 절약량을 산정하여 측정하여 왔다. 본 연구에서는 에너지절약효과를 좀더 정확히 측정하기 위하여 제품 수명을 고려하였고 이를 기반으로 측정된 연별 에너지 절약량에 에너지 절감금액을 환산하여 연별 성과 자료를 정리하였다. 또한 업종별 기술수명 자료<sup>3)</sup>로부터 측정 대상 과제의 기술 수명을 정하여 개발 기술의 판매 중지 연도를 가정하였다. 이를 이용하여 2000년까지 상용화된 과제의 기술 수명이 다하기까지 절약효과를 계산하였다. 에너지 절약량 측정은 업체가 제시한 자료 유형에 따라 분석 유형을 나누어 성과 측정에 효율을 기하였다.

또한, 화석연료는 연소 시 이산화탄소와 대기오염물질을 발생시켜 인체의 건강장해, 생물손상, 건축물 등 재산상 피해 및 산성비 생성 영향과 나아가 지구전체의 기후변화까지 광범위한 영향을 끼치게 된다. 그러므로 화석연료 사용의 감소는 이

\* 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수 (E-mail: exheo@plaza.snu.ac.kr)

\*\* 광주대학교 환경공학과 교수

\*\*\* 에너지기술연구원 연구위원

1) 본 연구는 산업자원부에서 시행하는 에너지·자원기술개발사업의 지원을 받아 실시한 “에너지 절약기술개발사업 성과분석 연구”(2002, 산업자원부) 내용의 일부임.

2) 2000년까지의 상용화과제는 총 50개(에너지관리공단 조사)로 기술분야별로 설명하면 산업분야 18과제, 요로 금속분야 4과제, 건물분야 2과제, 수송분야 2과제, 전기분야 24과제로 나누어 볼 수 있다.

3) 일본과학기술백서(1985) 1장 3절 참조

산화탄소 및 대기오염물질의 발생을 저감하는 결과가 되어 직접적인 에너지 절약효과 이외에도 사회적으로 지불하고 있던 비용을 감소시키는 효과가 나타나게 된다. 따라서 에너지절약기술개발사업의 에너지 절감량을 바탕으로, 화석연료 사용의 절약에 따른 이산화탄소 및 대기오염물질 저감량을 산출하고 이를 사회적 비용 절감으로 환산하였다.

## 2. 에너지 절약효과 산정

### 2.1 측정 모델

본 연구에서 에너지 절약량 측정을 위한 기본적인 가정은 다음과 같다.

- (1) 판매된 제품에 대한 사용률 및 가동률은 1로 본다.
- (2) 판매된 제품은 제품수명이 다하기까지 다른 제품으로의 교체율은 0이다. 즉, 판매된 제품은 수명이 다할 때까지 사용된다. 이때 수명은 1년 단위로 계산한다.
- (3) 연간 에너지 절약효과는 그 해 가동 제품의 1년 사용을 가정한다.
- (4) 에너지 절감액은 산출한 에너지 절약량에 양 단위 해당 에너지원의 가격을 곱하여 계산한다. 이 때 사용하는 가격은 산출된 값이 개발과제로 인한 국가의 에너지 절감액을 나타내도록 하기 위하여 에너지원 별 공장도 가격을 적용하였다. 절감금액은 연말에 합산하여 발생한 것으로 한다.

### 2.2 분석방법

에너지절약기술개발사업 상용화 성공 과제에 대한 에너지 절약효과 측정의 기초 자료와 이용 방법은 다음과 같다.

- 가. 상용화 성공 과제에 대한 기술개발 보고서와 개발업체 제시자료를 바탕으로 절약 대상 에너지원, 해당 단위시간 에너지량, 에너지 효율 상승 분, 과제 개발로 인해 대체할 수 있는 기존 제품 등 절약량 산정 기본자료를 확보하였다
- 나. 개발품의 연간 가동시간은 조명기기와 전동기의 경우 조명기 보급 실태조사와 전동기 보급 실태조사(한전 '94)자료에서 제시된 일일평균 가동시간과 월 평균 가동일수를 바탕으로 연간 가동시간을 추정하고 그 외 과제의 경우 업체 제시 자료와 관련 연구기관 자료를 통해 산정하였다.
- 다. 연간 총 에너지 절약량을 산정하였다. 이 때 개발품의 분석 년도 가동대수는 업체 상담과 에너지관리공단 조사 자료에서 연간 판매대수를 산정하고 여기에 사용 수명을 고려하여 분석 년도 전(前) 기간 판매 제품이 분석 기간에 사용되고 있는지를 결정하였다. 사용 수명의 통계치가 있는 경우 이를 이용하고 그렇지 않은 경우 업체 제시 제품 수명을 사용하였다. 모든 절약 에너지원은 에

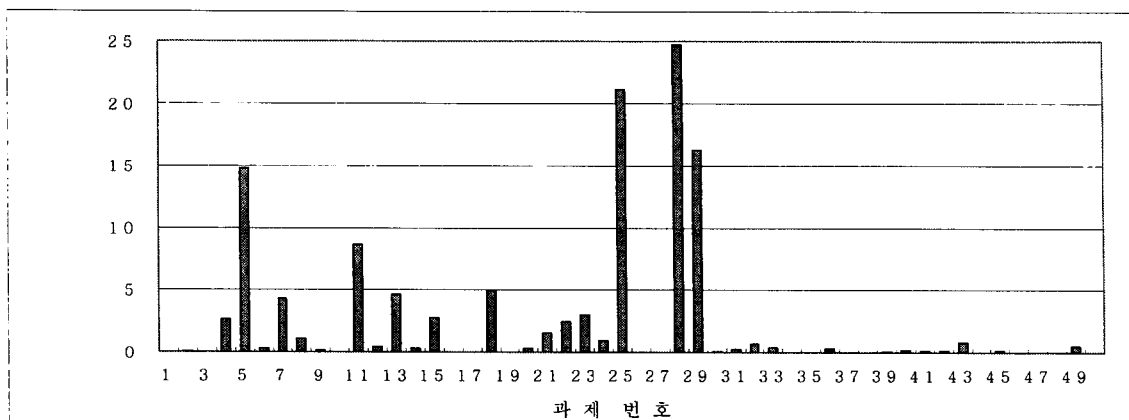
너지원별 TOE단위 환산계수를 이용하여 비교하였으며 이 때 에너지원이 전력인 경우 전력의 최종에너지 환산계수 (0.000086TOE/kWh)를 사용하였다.

- 라. 연간 총 에너지 절감액을 산정하였다. 에너지통계자료를 바탕으로 개발품의 절약에너지원에 적합한 분석 년도 에너지가격을 적용하여 위의 연간 총 에너지 절약량을 절감액으로 환산하였다. 본 연구에서는 기본적으로 공장도가를 이용하여 분석하였으며 정확한 자료를 구할 수 없는 전력이나 도시 가스, 증기 에너지의 경우 평균 판매가격을 이용하였다. 절약 대상 에너지원이 전력인 경우 전력 판매단가(2002년 한국전력통계), 도시 가스는 평균 판매가(에너지 통계정보시스템)를 이용하였다. B-C유, 경유, 부탄 등 LPG는 공장도가 월별 자료(월간 석유수급통계)로부터 연평균 가격을 산정하였으며 증기의 경우 증기 가격에 대한 통계치를 구할 수 없어 증기 절약량을 B-C유 사용 열량으로 환산하여 가격을 추정하였다.
- 마. 이렇게 계산된 연별 절약효과를 2001년 이후 제품 판매 지속 기간을 정하고 이에 제품 수명을 고려하여 분석하였다. 이 때 판매 지속 기간은 업종별 기술수명 자료를 이용하여 각 과제의 기술 수명을 정하고 상용화 년도부터 기술 수명 기간까지 판매가 유지되며 2000년 이후에는 2000년도 연간 판매량이 유지된다고 가정하여 연간 가동대수를 산정하였다. 이 때 2001년 이후 에너지 가격은 2000년의 가격을 적용하였다.

### 2.3. 분석결과

과제별 에너지 절약량 산정 결과를 [그림 1]에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 성공 과제에 따라 에너지 절약효과가 다양함을 알 수 있다. 분석결과 소비자용 가전/전기제품([그림 1] 과제번호 25, 28, 29)이 과제별 총 성과에서 뛰어난 실적을 나타내었다.

(단위: 만TOE)



[그림 1] 상용화 과제별 에너지 절약량

50개 과제의 에너지절약 성과를 기술 분야별로 나누어 분석하였다. <표 1>은 에너지 절감금액을 기술분야별로 정리한 것이다. 에너지절약기술 사업 역시 연구 개발 투자의 성격을 가지고 있기 때문에 1992년 사업 시작 후 본격적인 효과가 나타나기까지는 2년 내지 3년의 기간이 필요하였음을 볼 수 있다.

에너지절약기술개발사업에는 2000년 말까지는 정부지원이 149,364 백만원, 민간 부담이 74,124 백만원으로 총 223,488 백만원이 투자되었다. 본 연구의 성과에서도 나타났듯이 R&D의 성과는 일반적으로 일정한 기간 이후에 나타나는 것이지만 개별 기술의 시차가 각기 다르기에 본 연구에서는 이를 고려하지 않고 해당연도의 정부투자액과 당해연도 에너지절약효과를 비교하는 형식을 취하였다. 에너지 절감금액의 연간 정부 투자액에 대한 비율을 볼 경우 2000년에는 정부 투자액의 12.1배에 해당하는 에너지 비용을 절약하였음을 볼 수 있었다. 이는 1995년 1.1 배에서 5년 만에 10 배 이상 효율이 증가한 것으로서, 에너지절약기술개발사업의 사업효율성이 매우 크게 개선되어가고 있음을 볼 수 있다.

<표 1> 기술분야별 에너지 절감액

(단위: 억원)

	1992년	1993년	1994년	1995년	1996년	1997년	1998년	1999년	2000년
산업	0.0	0.0	0.0	0.0	53.3	195.4	250.1	429.8	872.3
요로금속	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	25.4	39.2	72.0	126.4
건물	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.4	0.7
수송	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	4.6	9.3
전기	0.0	0.0	0.0	178.8	637.5	850.4	983.3	1,656.7	1,990.2
합계	0.0	0.0	0.0	179.9	701.5	1,076.1	1,282.2	2,174.2	3,010.9

	2000년까지 절감액	2001년 이후 절감액	총 에너지 절감액
산업	1800.8	7072.4	8873.2
요로금속	270.0	1992.4	2262.3
건물	1.5	11.5	13.0
수송	16.6	58.7	75.4
전기	6296.9	6505.9	71352.8
합계	8391.4	74190.9	82576.7

본 연구의 에너지절약효과 측정 모델은 적용하는 에너지 가격에 따라 다른 관점에서의 분석이 가능하다. 에너지가격에 소비자가를 적용하여 국민이나 산업계가 피부로 느끼는 에너지 절감액을 산정한 결과 공장도가 적용 경우보다 3,024억원의 절감액 증가를 볼 수 있다. 에너지 절감액 산정 시 에너지 절약량(전력의 경우 1차 에너지로 환산한 양 이용)을 원유로 환산 후, 에너지 가격으로 원유도입가를 적용하면 에너지절약기술개발사업으로 인한 에너지절약효과를 절약된 에너지만큼을 만들기 위하여 필요한 원유수입금으로 표현할 수 있다. 2001년 이후 에너지 절약량은

2,483만 TOE로 원유도입가가 배럴 당 \$1 변할 때 2001년 이후 에너지 절감액 변화는 1.8억 달러로서 2000년도 한해동안의 에너지절약효과와 맞먹는 수치이다.

### 3. 사회적 비용산출

1차 에너지원별 이산화탄소와 대기오염물질 배출계수를 이용하여 배출 절감량을 계산하고 환경오염물질별 단위당 사회적 비용을 이용하여 비용으로 환산한다. 에너지원이 전력이나 증기인 경우는 발전원별 발전량 비율과 산업단지 집단에너지사업의 에너지원별 비율을 활용하여 측정한다. 전력은 1차에너지를 기준으로 측정하였으며 증기의 경우 에너지원은 아니나 증기의 사용량을 감소시키는 제품의 경우 증기를 생산하는 화석연료를 줄이는 효과를 가지므로 포함시킨다.

화석연료 사용 절감에 따른 대기물질 저감효과 측정방법은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{환경오염물질배출감소량(ton/year)} \\ & = \text{화석연료 절약량(TOE/year)} \times \text{배출계수(ton/TOE)} \\ & \text{환경개선효과} \\ & = \text{환경오염물질배출감소량(ton/year)} \times \text{단위당 사회적 비용(원/ton)} \end{aligned}$$

#### 3.1 에너지절약으로 인한 환경오염물질배출감소량 산정

환경부의 대기오염물질배출량(2000)의 연료별 대기오염계수와 IPCC의 탄소배출계수를 이용하여 배출계수(ton/TOE)를 산정하였다.(대기오염물질배출량(1999), 2000, 환경부 국립환경연구원에서 발췌 단위변환 (단위ton/TOE), IPCC의 탄소배출계수 (단위 : Ton C/TOE)) 그리고 전력의 대기오염물질 배출계수는 연료별 대기오염계수와 한국전력통계의 발전원별 발전 비율을 고려하여 산정한다. 이산화탄소 배출계수도 마찬가지로 방법으로 산정한다. 또한 증기를 절감하는 경우에 대해서는 산업자원부, 집단에너지사업 산업단지 에너지원별 연료사용량 통계(2000)로부터 산정한 산업단지 집단에너지사업 에너지원 비율을 이용하여 하여 1차 에너지원별 사용비율로 삼고 대기오염물질 배출계수를 전력과 같은 방법으로 환산하여 사용한다. 그 결과는 아래 <표 2>와 같다.

<표 2> 전력과 증기의 이산화탄소 및 대기오염물질 배출계수 산정  
(단위 : ton/TOE)

	CO2	먼지	SO2	NOx	C0	HC
전력	0.42602	0.00327	0.00734	0.00227	0.00031	3.9E-05
증기	0.63826	0.00237	0.00842	0.00224	0.00025	0.00140

### 3.2 환경오염물질 배출로 인한 사회적 비용 산정

환경오염물질 배출의 사회적 비용 산출은 사회 후생의 평가 관점에서 대기오염 물질의 사회적 비용을 산출한다. 기존의 조준모·유완식(1996), 엄영숙(1998) 등의 연구는 대기오염으로 인한 호흡기 질환 등 인체피해에 대해서만 사회적 비용을 선정하였으나 실제로 대기오염물질이 발생시키는 사회적 비용은 그 범위가 인체의 건강장해, 생물손상, 건축물 등 재산상 피해뿐만 아니라 산성비 생성, 지구전체의 기후변화까지 고려해야 한다. UNEP의 The Indirect Costs and Benefits of Green house Gas Limitations(1998)를 통해 미세먼지, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>에 대해서 이들의 배출로 인해 초래되는 질병유발, 노동 및 농어업 생산성 감소, 구조물 부식 등의 인적, 물적 피해를 고려한 단위당 사회적 비용을 이용한다. CO, HC에 대한 단위당 대기오염의 사회적 비용은 UNEP 보고서에서는 산정하지 않았으므로 한국과학기술원이 산정한 SO<sub>2</sub>를 기준의 오염물질별 대기위해도 지수를 활용하여 단위당 대기오염의 사회적 비용을 추정한다. 그 결과는 아래 <표 3>와 같다.

<표 3> 대기오염물질 단위당 사회적 비용(단위 : 백만원/ton)

	하 한	평 균	상 한
SO <sub>2</sub>	5.2961	6.1308	6.9661
NO <sub>x</sub>	2.7417	5.4582	8.1746
CO	3.9190	4.5365	5.1547
HC	4.5544	5.2722	5.9907
미세먼지	8.7603	17.8200	26.8804

이산화탄소의 경우 대기오염물질은 아니나 대기에 방출되면 온실효과로 인해 대기의 온도를 상승시켜 지구적으로 해산선 상승, 기상 이변 등의 원인이 된다. 한국 전력공사(1997), 이명균(1998)의 연구와 같이 지구온난화로 예상되는 피해 비용의 산출을 통해서 이산화탄소 배출의 사회적 비용을 산출할 수 있으나 한국의 실정에 맞는 총체적인 피해 비용을 산출하는 데에 이견이 많으므로 이산화탄소의 배출 기준을 설정하고 달성을 위한 저감 비용을 산출하는 방법을 취한다. 에너지경제연구원(2000)에 따르면 선진국과 개도국(우리나라)의 의무 부담시 국내 감축에 따른 온실가스 저감비용은 1995년 US달러 기준으로 87.9 \$/TC 으로 예상하고 있다.

이러한 비용은 선진국의 개별적 감축과 함께 우리나라가 제3차 공약기간(2018~2022년)에 2차 공약대비 5% 감축 의무를 가지는 것으로 짜여진 시나리오에 의한 것이다. 1995년 US \$로 계산비용이므로 그 시기의 상황을 반영하여 해당 연도의 환율을 사용하여 달러 단위를 원 단위로 바꾼다. 그리고 1995년 기준의 한국의 GDP 디플레이터를 곱해서 1994년~2000년의 각각의 인플레이션을 반영한 비용을 책정한다. 그 결과는 <표 4>와 같다.

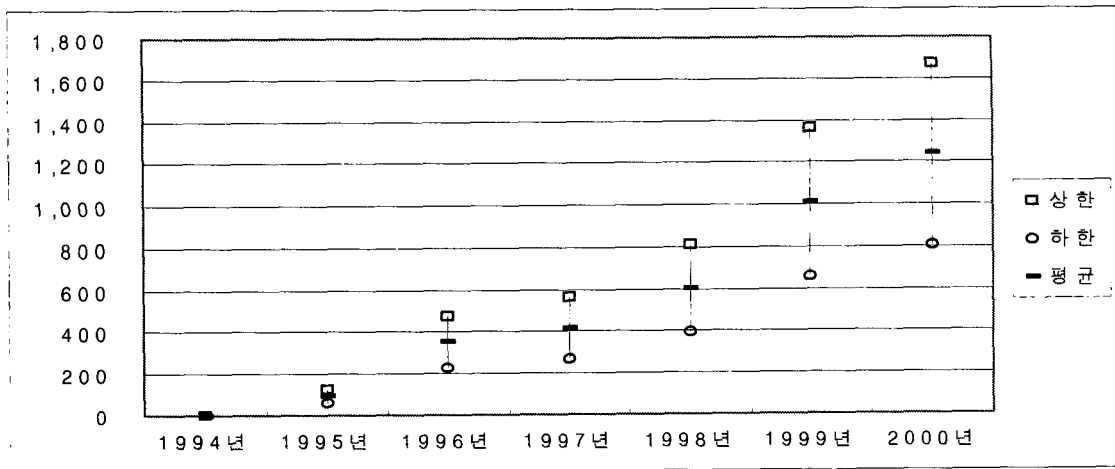
<표 4> 이산화탄소 단위당 저감 비용(단위 : 백만원/TC)

	1994년	1995년	1996년	1997년	1998년	1999년	2000년
이산화탄소	0.0632	0.0678	0.0704	0.0727	0.0763	0.0748	0.0736

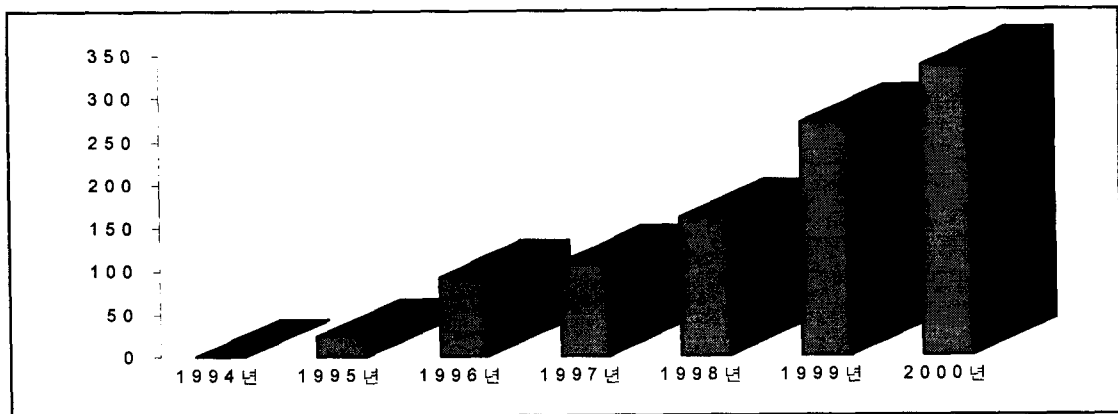
### 3.3. 분석 결과

에너지절약기술개발사업의 시행으로 인한 대기오염물질 및 이산화탄소 배출 감소의 사회적 비용 감소량은 다음 그림과 같다.

[그림 2] 대기오염물질 배출 감소로 인한 사회적 비용 감소액(단위 : 억원)

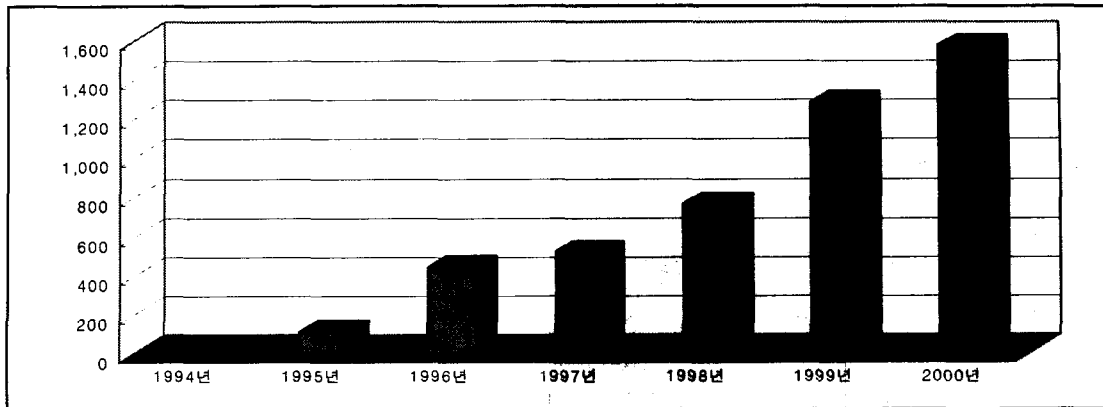


[그림 3] 이산화탄소 배출 감소로 인한 사회적 비용 감소액(단위 : 억원)



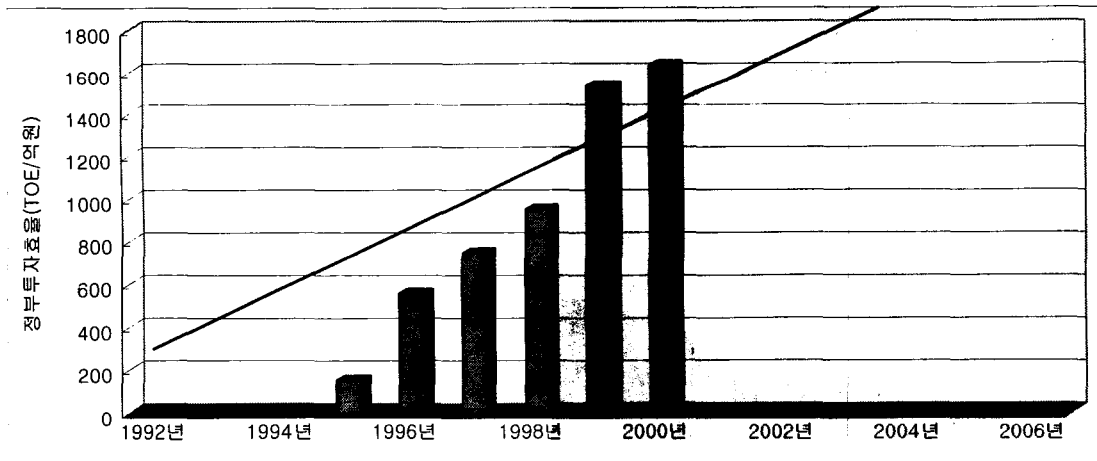
위 결과에 의해 연별 환경오염물질의 배출 감소에 따른 사회적 비용 감소액은 다음과 같다. 대기오염물질의 경우 평균값을 취하였다.

[그림 4] 연별 사회적 비용 감소액( 단위 : 억원)



#### 4. 에너지절약 목표달성을 위한 제언 및 추후연구

에너지절약기술개발사업은 국가기본계획에 따라 2006년 기준 최종에너지의 10% 절감을 목표로 하고 있다. 에너지관리공단의 에너지절약기술개발사업 자료집(2001)에 따르면 2006년 국내 최종에너지사용량은 203.3백만 TOE 로 예측되고 있으며, 이에 따라 에너지절약기술개발사업의 2006년 목표 에너지 절약량은 20백만 TOE 가 된다. 1992년부터 2000년까지의 투자효율 자료에서 회귀분석을 사용한 추세선(<그림 5>)을 통하여 2006년도까지의 정부투자에 대한 효율을 예상하였다.



[그림 5] 연간 정부 투자액에 대한 에너지 절약량 비율

이러한 추정방법을 통하여 얻은 2006년도 예상 정부투자효율은 2,183.3(TOE/억 원)이 된다. 2002년도의 에너지절약기술개발사업 관련 정부투자 예산안인 185 억원을 2006년 정부 투자로 예상한다면 2006년에 연간 절약성과는 403,900TOE 가 된다. 에너지절약기술개발사업의 목표인 2006년 예상 최종에너지 사용량의 10%인



2000만 TOE의 2%에 해당하는 양이다. 투자효율 추계추정방법을 통하여 얻은 2006년 에너지절약기술개발사업 투자효율에 따르면 2006년도 예상 에너지절약 목표달성을 위해 요구되는 정부 지원금은 9,160 억원으로서 2002년도 수준에 대비하여 50배 가까이 증가된 금액이다.

앞서 본 바와 같이 R&D 투자의 효과는 투자 후 3-4년의 lag를 두고 발생하므로 2006년에 정부 지원금을 갑자기 증가시킨다해서 목표량을 달성할 수 있는 것이 아니므로 2006년까지 정부 지원의 꾸준한 증가가 요구되며, 에너지절약기술개발사업의 효율을 높이는 일도 필요하다. [그림1] 에서 볼 수 있듯이 과제별 에너지절감 효과의 크기가 다양한데 이러한 과제별 효과 차이는 제품 대당 에너지 절감량에 원인이 있기보다는 상용화 정도와 제품 및 기술 수명 등에 원인이 있다. 따라서 에너지절감효과를 기술 자체뿐 아니라 향후 상품화 가능성을 고려하여 과제를 선정하는 것이 사업의 효율을 높이는 한 방안이 될 수 있다.

또한, 에너지절약기술개발사업의 실시는 화석연료 사용의 절감으로 인해 1994년의 27만원의 환경개선효과를 보이는 것을 시작으로 2000년에는 1,577억원의 효과를 보임을 알 수 있다. 2000년까지 환경오염물질 배출감소로 인한 사회적 비용의 총 감소액은 4,717억원인 것으로 나타났다. 본 연구에서는 대기오염물질의 단위당 사회적 비용의 산출을 위해 UNEP의 자료를 이용하였으나 이들 수치는 한국 상황에서 아직 검증되지 않은 실정이다. 이와 함께 지구온난화로 인해 예상되는 비용의 산출에 있어서 총체적이고 한국 실정에 맞는 방법에 대한 추후 연구가 필요하다.

## 5. 참고문헌

- A. Markandya, The Indirect Costs and Benefits of Green house Gas Limitations, UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, 1998
- C. A. Webber, et al. Saving estimates for the Energy Star Voluntary labeling program(2000), *Energy Policy*, 28, pp.1137-1149
- 임재규·강윤영(2000), 기후변화협약의 국내 산업구조 및 국제 경쟁력 파급효과, 에너지경제연구원
- 산업자원부(2000), 집단에너지사업 산업단지 에너지원별 연료사용량 통계
- 에너지경제연구원(2000), 기후변화협약 및 교토의정서 대응전략 연구
- 에너지절약 기술개발사업의 성과분석 및 사후관리방안 연구, 통상산업부, 1997. 8.
- 에너지기술, 2000년 에너지관리지 신년호 별책부록, 산업자원부, 에너지관리공단
- 에너지기술개발사업 최종보고서 요약서, 에너지관리공단
- 에너지절약기술개발사업 성과자료집(1992 ~1996), 통상산업부/에너지관리공단 부설 에너지자원기술개발지원센터, 1997. 12.
- 에너지절약기술개발사업자료집, 에너지관리공단, 1997 ~ 2001 연간 자료

- 김인길(1996), 에너지절약시책 평가 모델 개발 연구, 에너지경제연구원
- 엄영숙(1998), 대기오염이 건강에 미치는 영향에 대한 가치평가: 회피행위접근법을 사용하여, 환경경제연구 제7권 1호
- 이명균(1998), 지구온난화의 경제적 영향, 자원경제학회지 제7권 2호
- 조준모·유완식(1996), 이산화질소 배출에 의한 대기오염의 사회적 비용, 자원경제학회지 제6권 1호
- 한국환경정책·평가연구소(2002), 대기오염으로 인한 사회적 피해비용, KEI 보도자료 2002. 4
- 환경부(2000), 대기오염물질배출량, 국립환경연구원