

환경재난재해대응 기술개발사업의 경제적 타당성 분석

박소연* · 유승훈**

I. 서론

산업구조가 복잡·다양해지고 사회시스템이 변화됨에 따라 대형화재, 유해물질 유출, 폭발 등 예측 불가능한 대규모 인적재난과 전 지구적으로 발생하고 있는 기후변화로 인한 자연재해가 지속적으로 발생 등 환경재난으로 인한 사회경제적인 피해가 증가하고 있다.

대부분의 환경재난은 인명과 재산피해를 동시에 일으키므로 이에 대응할 수 있는 환경재난재해대응 기술개발 추진이 시급하다. 2003년~2010년 기간 동안 국내 환경오염사고는 총 579건이 발생하였으며, 태안 기름 유출사고(2007년), 구미공단 불산 누출사고(2012년), 삼성전자 황성사업소 불산 누출사고(2013년) 등 대규모 사고가 지속적으로 발생하고 있다(소방방재청, 2011). 이외에도 수원 주유소 폭발사고(2011), 대불산업단지 조선소 폭발사고(2012), 전주 폐기물공장 폭발사고(2013) 등 폭발사고도 지속적으로 증가하고 있다. 우리나라는 국토 특성상 산업시설이 집중되어있고, 대형화, 노후화되어있다. 또한 다중이용시설이 증가하고 있으며, 생활공간 또한 밀집화 되어있어 향후, 자연재해 및 인적·사회적 재난은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 환경재난을 예방하고 대응하기 위한 전략 마련이 매우 중요한 실정이다.

일본 및 미국 등의 주요 선진국 역시 자연재해 또는 유해화학물질 사고 등 환경오염 사고로 인한 피해규모가 커짐에 따라 피해복구 비용도 크게 증가하고 있다. 2011년 1월 네덜란드 ‘화학물질 저장시설’ 사고로 인해 인근 농경지에 토양오염과 인근 항구에는 수질오염 발생하였다. 또한 대기오염에 따른 주민건강 피해와 사업장내 환경오염 발생 등으로 인해 오염제거 및 정화에 약 55백만달러(한화 약 618억원)의 비용이 발생하였다. 헝가리에서는 2010년 10월 알루미늄 적니 유출사고로 인해 재산피해만 약 600억원이 발생하였고, 일본은 대지진(2011)으로 주택, 기업의 공장설비, 전기·가스·수도 설비나 도로 등 사회기반시설 등의 직접적인 피해액이 약 16조~25조엔(한화 약 222조~347조)인 것으로 나타났다. 또한 미국은 2005년 허리케인 카트리나로 인해 피해비용의 4배에 달하는 3,090억 달러 규모의 피해복구 비용을 투입하는 등 미국 역시 허리케인, 홍수 등의 자연재해로 막대한 인명 피해와 경제적 손실을 입고 있다.

이에 세계 각국은 재난에 효율적으로 대응하기 위하여 적극적인 노력을 하고 있다. 최근 들어서는 사전 예방에 대한 투자의 중요성이 강조됨에 따라 재난관리체계의 중심이 전통적인 재난 대응 및 복구에서 사전 예방으로 이동 중에 있다. 이에 따라 주요 국가는 전통적인 재난의 대응 및 복구 중심의 전략에서 탈피하여 사전예방을 중심으로 한 전주기적 재난대응체계를 구축하고 있으며 이를 위해 연구기관 간 연계강화, 국제협력 강화, 최첨단 IT기술 활용을 통한 재난관리 역량강화에 집중하고 있다.

현재 우리나라는 2004년 이후 재난·재해 극복을 위한 정부 차원의 계획수립과 이에 바탕한 R&D 투자 등 대응 노력을 진행 중이나 환경재난에 대한 투자는 미흡한 상황이다. 정부 차원의 재난·재해 관련 투자는 주로 자연재해를 비롯한 화재, 산불, 감염병 등의 대응에 집중되어 왔으며 화학사고 등 환경재난에 대한 투자가 부족한 실정이다. 따라서 환경재난재해에 효율적으로 대응하여 재난과 재해로부터 국민을 보호할 수 있는 관

* 박소연, 서울과학기술대학교 에너지정책학과 박사과정, 02-970-6960, imsyoon@seoultech.ac.kr

** 유승훈, 서울과학기술대학교 에너지정책학과 교수, 02-970-6802, shyoo@seoultech.ac.kr

런 기술개발사업이 필요한 실정이다. 이에 정부는 “환경재난(유해화학물질사고) 대응역량 강화를 통한 환경 피해 최소화”를 목표로 환경재난재해대응 기술개발사업을 추진하였다. 그런데 이와 같은 기술개발사업은 막대한 정부예산이 소요되므로 경제성 분석이 필수적으로 요구된다.

이에 본 연구에서는 “환경재난(유해화학물질사고) 대응역량 강화를 통한 환경피해 최소화”를 목표에 대한 경제적 편익을 추정한 후 비용을 비교하면서 환경재난대응 기술개발사업의 경제성 분석을 수행하고자 한다. 본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 먼저 2절에서는 환경재난재해대응 기술개발사업의 편익의 개념 및 추정 방안을 검토한다. 3절에서는 편익추정 결과를 제시한다. 그리고 4절에서는 추정 결과를 활용한 경제성 분석에 대해 논하며, 마지막 절은 결론으로 할애한다.

II. 편익의 개념 및 추정방안

1. 편익의 개념

본 사업으로 발생 가능한 편익의 개념과 산정방법은 다음과 같이 세 가지 측면으로 나눌 수 있다. 먼저 유해화학물질사고 저감편익측면이다. 이 편익은 본 사업 미시행 대비 본 사업 시행시 유해화학물질사고 발생 확률 자체를 줄임으로써 발생하는 유해화학물질사고 피해비용 저감효과라 할 수 있다. 두 번째로 유해화학물질사고 피해비용 절감편익으로 본 사업이 시행되더라도 불가피하게 유해화학물질사고 발생시, 본 사업 미시행 대비 본 사업 시행시 그 피해를 줄임으로써 발생하는 복구 이전까지의 유해화학물질사고 피해비용 저감효과를 의미한다. 끝으로 유해화학물질사고 피해복구비용 절감편익으로 본 사업이 시행되더라도 불가피하게 유해화학물질사고 발생시, 본 사업 미시행 대비 본 사업 시행시 유해화학물질사고 발생시 피해복구비용을 줄임으로써 발생하는 유해화학물질사고 피해복구비용 절감효과를 의미한다.

2. 편익추정방안

1) 편익 1 : 유해화학물질사고 저감편익의 추정

편익 1의 추정을 위해서는 유해화학물질사고 1건당 피해비용을 추정하는 것이 필요하다. 그간 유해화학물질사고 발생시 피해비용은 제대로 집계되지 않았는데, 그 이유는 피해비용이란 것이 정부에서 정확하게 집계할 수 있는 것이 아니라 소송의 대상으로서 법정에서 확정될 수 있는 성격을 가지기 때문이다. 최근 언론에 보도된 경북 구미시 불산가스 누출사고(‘12.9.27)에 대해 구미시가 밝힌 기업부문 피해액은 177억 1,000만원인데, 이는 피해자 측에서 주장하는 피해액으로 아직 확정된 값이 아니다. 따라서 본 경제적 타당성 분석에서 활용할 수 있는 유해화학물질사고 1건당 피해비용에 대한 객관적인 정보는 없다고 할 수 있다. 따라서 특별하게 고안된 방법을 적용하여 피해비용을 산정해야 한다. 이와 관련하여 KDI(2013) 「수도권(Ⅱ) 광역상수도 용수공급 신뢰성 제고사업 예비타당성조사 보고서」에서도 동일한 고민을 하다가, 노후관로 사고에 따른 사고 피해액을 합리적으로 추정하기 위해서는 조건부 가치측정법(CVM)을 활용하여 향후 발생할 수 있는 관로사고 피해에 대한 피해회피 지불의사액을 구했다. 즉 관로사고 발생으로 인한 피해비용을 산정하기 위해 수용가들을 대상으로 CVM을 적용하였다. R&D 사업 자체에 대해 CVM을 적용하는 것은 적절하지 않지만, R&D 사업으로 나타날 수 있는 구체적인 효과에 대해 그 효과의 경제적 가치를 산정하기 위해 CVM을 적용하는 것은 합리적이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 KDI(2013) 『수도권(Ⅱ) 광역상수도 용수공급 신뢰성

제고사업 예비타당성조사 보고서』와 유사하게 유해화학물질사고 발생의 피해비용을 산정하기 위해 CVM을 적용하였다. 또한 세계 주요 유해화학물질사고의 자연자산 피해평가(NRDA, Natural Resources Damage Assessment)에서 가장 널리 사용되는 기법은 CVM이다. 따라서 본 연구는 CVM을 적용하여 편익을 추정한다.

① 본 연구의 CVM 적용

표본추출 및 면접조사는 전국에 대해 2013년 6월 중순부터 약 1개월간 여론조사 전문기관인 리서치프라임의 주관으로 실시되었다. 책임있는 가구의 의견에 대한 정보를 도출하기 위해 조사대상은 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 세대주의 배우자로 한정하였다. 설문조사 대상지역은 전국을 대상으로 하면서, 각 지역의 전체 인구를 대상으로 임의표본(random sample)을 도출하기 위해 각 지역 내의 인구 구성비를 고려하여 각 나이의 비율에 맞게 표본 수를 할당하였다. 설문단위는 개인이 아닌 가구로 하여, 무작위 추출된 총 1,000 가구의 설문결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서 적용하는 CVM은 Hanemann(1984)의 효용격차모형에 기반하며, 효용격차모형은 다음과 같은 절차를 따르고 있다. 우선 제시된 금액에 대해 지불의사가 있는 지 여부를 묻는 질문에 대한 응답을 모형화한다. 즉, ‘예’ 또는 ‘아니오’의 이산응답을 모형화한 후 최우추정법을 통해 관련된 모수들을 추정한다. 다음에, 분포의 성격과 평균값 또는 중앙값의 정의를 이용하여 WTP의 평균값 또는 중앙값을 계산한다. 평균 WTP는 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{WTP} = \int_0^{\infty} [1 - G_C(A)] dA - \int_{-\infty}^0 G_C(A) dA \equiv a/b \quad (1)$$

② 단일경계 WTP 모형의 추정

KDI의 예비타당성조사 일반지침(제5판) 및 KDI의 『CVM(조건부 가치측정법) 적용사업의 관리 내실화를 위한 Guideline(2011년 7월)』에 따라 이중경계 모형을 적용하여 자료를 수집했어도 단일경계 모형을 적용하여 추정하게 되어있다. 본 실증연구에서 가장 널리 사용되고 있는 효용격차모형은 단일경계 모형의 경우 Hanemann(1984)에, 이중경계 모형의 경우 Hanemann et al.(1991)에 근거하며, N 명의 응답자에 대해 단일경계 모형의 경우 로그-우도함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \{ I_i^Y \ln [1 - G_C(A_i)] + I_i^N \ln G_C(A_i) \} \quad (2)$$

여기서 I_i^Y 및 I_i^N 은 다음과 같이 정의되는데, $\mathbf{1}(\cdot)$ 은 인디케이터함수로서 괄호 안의 내용이 참이면 1의 값을 가지며 거짓이면 0의 값을 갖는다.

$$\begin{cases} I_i^Y = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 "예"}) \\ I_i^N = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 "아니오"}) \end{cases}$$

2) 편익 2 : 유해화학물질사고 피해비용 절감편익의 추정

전술한바와 같이 유해화학물질사고 피해비용절감편익은 본 사업이 시행되더라도 불가피하게 유해화학물질

사고 발생시, 본 사업 미시행 대비 본 사업 시행시 그 피해를 줄임으로써 발생하는 복구 이전까지의 유해화학물질사고 피해비용 저감효과이다. 따라서 본 사업이 시행되더라도 불가피하게 발생하는 유해화학물질사고 발생건수와 유해화학물질사고 1건당 저감되는 본 사업 시행기준 피해비용 절감분으로 구할 수 있다.

3) 편익 3 : 유해화학물질사고 피해복구비용 절감편익

편익 3은 본 사업이 시행되더라도 불가피하게 유해화학물질사고 발생시, 본 사업 미시행 대비 본 사업 시행시 유해화학물질사고 발생시 피해복구비용을 줄임으로써 발생하는 유해화학물질사고 피해복구비용 절감효과이다 따라서 본 사업이 시행되더라도 불가피하게 발생하는 유해화학물질사고 발생건수와 유해화학물질사고 1건당 저감되는 본 사업 시행기준 피해복구비용 절감분으로 구할 수 있으며, 편익 발생기간은 KISTEP(2011) 「예비타당성조사를 위한 지식기반 및 분석시스템 구축」에 제시된 「C02섹션 : 물, 폐수, 하수 또는 오니(슬러지)의 처리(침강조, 여과, 예. 모래여과 또는 스크린장치, B01D)」에 해당하는 10.5년 적용한다.

III. 편익추정 결과

1) 편익 1 : 유해화학물질사고 저감편익의 추정

① WTP 응답의 분포

제시금액에 대한 응답의 분포는 [표 1]에 제시되어 있는데, 각 제시금액은 대략 동수의 응답자들에게 배분되었다.

[표 1] 제시금액별 WTP 응답 분포

첫 번째 제시금액 (원)	예-예		예-아니오		아니오-예		아니오-아니오				합계	
	가구수	비율 (%)	가구수	비율 (%)	가구수	비율 (%)	지불의사있음		지불의사없음		가구수	비율 (%)
1,000	50	35.0	35	24.5	13	9.1	1	0.7	44	30.8	143	100.0
2,000	37	25.9	28	19.6	18	12.6	4	2.8	56	39.2	143	100.0
3,000	36	25.2	26	18.2	15	10.5	3	2.1	63	44.1	143	100.0
5,000	20	14.0	26	18.2	16	11.2	11	7.7	70	49.0	143	100.0
7,000	12	8.4	23	16.1	21	14.7	10	7.0	77	53.8	143	100.0
10,000	12	8.4	30	21.0	12	8.4	9	6.3	80	55.9	143	100.0
15,000	9	6.3	19	13.4	8	5.6	16	11.3	90	63.4	142	100.0
계	176	17.6	187	18.7	103	10.3	54	5.4	480	48.0	1,000	100.0

대체적으로 볼 때, 제시금액이 커질수록 제시금액에 ‘예’라고 응답하는 비중이 줄어들며, 첫 번째 질문에 ‘예’라고 응답한 사람들에게는 첫 번째 제시금액의 두 배에 해당하는 금액이 제시되었고, 첫 번째 질문에 ‘아니오’라고 응답한 사람들에게는 1/2에 해당하는 금액이 제시되었다.

전체 1,000가구 중 48.0%에 해당하는 480가구는 지불의사가 없다는 의사를 밝혔는데, 이 480가구의 응답은 진정한 영의 WTP와 비합리적인 응답(protest bids)으로 구성되며, 비합리적인 응답은 경제적인 관점에서 지불의사 제시액을 선택하지 않고 환경재난과 관련된 설문조사 자체에 대한 불신 등 비경제적인 관점에서

선택을 한 저항응답들이다.

이러한 비합리적 응답은 적절하게 처리하기 위해 비합리적인 응답으로 간주된 392 가구의 응답을 유효표본에서 제외하고 분석하였다. 따라서 비합리적 응답을 제외할 때의 최종적인 관측치는 1,000개에서 608개로 줄어든다.

② 평균 WTP 추정결과

최우추정법 적용시 전역적 최대값을 쉽게 찾을 수 있도록 제시금액의 단위를 1,000원으로 하여 그 규모를 조정하였다. 추정결과 모든 추정계수는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하며 부호도 선형적인 예측과 일치한다. 제시금액에 대한 추정계수는 음수로 추정되었는데 이것은 제시금액이 커질수록 제시금액에 대해 “예”라고 응답할 확률이 낮아짐을 의미하므로 합리적으로 추정되었음을 알 수 있다.

[표 2] 단일계 모형의 추정결과

변수	추정계수
상수항	1.0090 (7.07)*
제시금액	-0.1079 (-5.61)*
관측 가구수	608
로그우도(Log-likelihood)	-393.49
Wald 통계량: (p-value)	49.95 (0.000)

주) *은 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함.

이상의 추정결과로부터 계산된 WTP의 평균값은 가구당 연간 9,352원으로 계산되었으며, 델타법(delta method)을 적용하여 추정된 이 값에 대한 표준오차는 992원으로, t-값은 9.43으로 계산되므로 추정된 평균 WTP는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하다.

[표 3] 평균값 WTP의 추정결과

구분	추정결과
평균 WTP(매년 가구당)	9,352원
- 표준오차	992
- t-값	9.43*

주) *은 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함.

그리고 전국으로 모집단을 확장하면 전국에서 발생하는 환경재난 12건에 대한 피해비용은 연간 약 167,875백만원이며, 환경재난 1건당 연간 피해비용으로 환산하면 연간 13,990백만원이다.

한편 설문조사 수행시점은 2013년 6월부터 7월 사이이므로 2013년 6월말로 볼 수 있으며, 본 사업에 대한 경제성 분석의 기준시점은 예비타당성조사 일반지침 제5판에 따라 전년도 말, 즉 2012년 12월말이므로 환경재난 1건당 연간 피해비용에 대해 소비자 물가지수를 이용하여 2012년 12월말 기준으로 보정할 필요가 있다. 즉 환경재난 12건에 대한 연간 피해비용은 2012년 12월 기준으로 167,092백만원이며, 환경재난 1건당 연간 피해비용은 13,925백만원(2012년 12월 소비자물가지수 : 106.7, 2013년 6월 : 107.2, 2010년=100 기준)이다.

따라서 편익 1 : 유해화학물질사고 저감편익의 추정결과는 연간 9,265백만원으로 2022년부터 2032년까지의 값을 단순히 합하면 약 97,281백만원에 달한다. 그리고 편익 2 : 유해화학물질사고 피해비용 절감편익은

연간 16,677백만원으로 2022년부터 2032년까지의 값을 단순하게 합하면 약 175,106백만원에 달한다. 마지막으로 편익 3: 유해화학물질사고 피해복구비용 절감편익은 연간 49,761백만원으로 2022년부터 2032년까지의 값을 단순하게 합하면 약 522,489백만원에 달한다. 이와 같이 계산된 경제적 편익을 종합하면 연간 75,703백만원이며 2022년부터 2032년까지 발생하는 경제적 편익을 단순하게 합하면 794,877백만원에 달하게 된다.

IV. 경제성 분석 결과

경제성 분석의 전제 조건으로 분석대상 기간은 015년~2032년(단 2032년은 6개월만 대상)으로 하며, 사회적 할인율은 5.5%를 적용하며 분석대상 시점은 2012년말이다.

경제성 분석 결과 순현재가치는 약 219,399백만원으로 0보다 크며, 편익/비용 비율은 2.50으로 1.0을 상회하고, 내부수익률은 16.9%로 5.5%를 초과하므로 본 사업은 경제적 타당성을 확보한다. 따라서 예산 확보를 통해 본 사업을 조속히 수행하는 것이 국가사회적으로 바람직하다.

[표 4] 본 사업 편익/비용 산출

구분	순현재가치	편익/비용 비율	내부수익률
값	219,399백만원	2.50	16.9%

VI. 결론

산업구조가 복잡·다양해지고 사회시스템이 변화됨에 따라 대형 화재, 유해물질 유출, 폭발 등 예측 불가능한 대규모 인적 재난과 기후변화로 인한 자연재해가 지속적으로 증가하고 있다. 이에 환경재난재해에 효율적으로 대응하여 재난과 재해로부터 국민을 보호하고자 관련 기술개발사업이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 환경재난 재해대응을 위한 기술개발 사업을 대상으로 경제적 편익을 추정한 후 이 사업이 경제적으로 타당한지를 분석하고자 한다. 먼저 환경재난재해대응 기술개발 사업이 실행되었을 경우 경제적 편익으로 유해화학물질사고 저감편익, 유해화학물질사고 피해비용 절감편익, 유해화학물질사고 피해복구비용 절감편익의 3가지를 평가한 후 경제적 타당성을 분석한다. 경제적 타당성 분석결과 순현재가치는 약 219,339백만원으로 0보다 크며, 편익/비용 비율은 2.50으로 1.0을 상회하고, 내부수익률은 16.9%로 5.5%를 초과하므로 환경재난재해대응 기술개발사업은 경제적 타당성을 확보하므로 이 사업의 시행은 사회적으로 바람직한 것으로 평가된다.

참고문헌

- 소방방재청 (2011), 재난연감.
- 고용노동부 (2011), 산업재해현황분석.
- 유승훈 (2012), “해양환경위해성 평가 및 관리 기술의 경제성 분석”, 한국기술혁신학회 2012년도 정기총회 및 추계학술대회, 203-215.

- 한국과학기술기획평가원 (2011), 『예비타당성조사를 위한 지식기반 및 분석시스템 구축』.
- 한국개발연구원 (2013), 『수도원(Ⅱ) 광역상수도 용수공급 신뢰성 제고사업 예비타당성 보고서』.
- Carson, R. T. and Hanneman, W. M., (2005), Contingent valuation. In: Mäaler, KG, Vincent, JR (Eds.), *Handbook of Environmental Economics, vol. 2. Elsevier, Amsterdam (Chapter 17)*.
- Desvousges, W., Mathews, K. and Train, K. (2012), “Adequate responsiveness to scope in contingent valuation”, *Ecological Economics*, 84: 121-128.
- Hanemann, W.M.(1984), “Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses.” *Am. J. Agric. Econ.* 66 : 332-341.
- Hanemann, W.M., (1991), “Willingness to pay and willingness to accept: how much can they differ.”, *American Economic Review*, 81, pp. 635-647.
- e-나라지표 www.index.go.kr