

대기오염물질 규제시 비용분석모델에서의 불확실성 분석 Uncertainty Analysis in the Cost Evaluation Model for the Regulation of an Air Toxicant

유 동 한 · 박 원 석

한국원자력연구소

1. 서 론

현재 국내에서는 각종 화학물질의 무분별한 대기방출로 인한 환경오염으로 인해 인체에 직간접적으로 유해한 영향을 미치고 있어 이러한 대기오염물질에 대한 배출규제는 시급한 문제로 대두되고 있다. 그러나 현실적으로 이러한 규제를 뒷받침하는 시설추가에는 상당한 비용이 소요될뿐만 아니라 이러한 비용을 논리적이고 효과적으로 산출하는 것 역시 매우 어려운 일이다. 본 연구에서는 이미 개발된 의사결정모델을 근거로 한 대기오염물질에 대한 배출규제시 비용분석모델[1]을 바탕으로 하고 있다. 수학적 모델은 이러한 모델에서 취급하는 여러 복잡한 인자들 사이의 관계를 기술하여 문제를 풀기위한 사항들을 정량적이며 논리적으로 체계화할 수 있다. 그러나 이런 수학적 모델의 단점은 현실적으로 많은 불확실성을 갖고 있는 인자들의 관계로부터 생산되는 최종결과의 불확실성분포를 알기가 어렵다는데 있다. 본 연구에서는 개발된 비용분석모델을 근거로 입력인자들의 불확실성을 정량화하고 이를 통해 보다 논리적인 의사결정을 제공하는데 도움을 주려고 한다.

2. 불확실성 분석 및 중요도 분석 방법

불확실성분석은 다음과 같이 입력자료들 (X_i) 와 이로부터 얻어지는 최종결과치(Y_i)의 함수관계 또는 모델을 통해 정량화될 수 있다: $Y_i = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ or $Model(X_1, X_2, \dots, X_n)$

입력자료 set을 마련하기 위해 Monte-Carlo Sampling 이나 LHS (Latin Hyper-cuble Sampling)기법을 한다. 이러한 sampling을 통해 얻어진 입력자료들의 set은 대개 100 - 200 개정도 준비하게 되고 이러한 set들을 통해 최종 결과치의 분포가 얻어진다. 이러한 분포로부터 평균치 (mean), 5th 또는 95th percentile 등이 결정되어 최종 결과치의 불확실성을 정량화하게 된다.

중요도 분석이란 최종결과에 가장 영향을 주는 입력자료를 파악하는 것이다. 이때 중요도란 최종결과치의 샘플과 불확실한 입력자료의 샘플로부터 얻어지는 absolute rank-order correlation을 말한다. 보통 수행하는 하나의 입력자료의 변화에 따른 최종결과치의 변화만을 파악하는 민감도분석과 달리 이 분석은 전체 입력자료의 분포에 따른 sampling으로부터 얻어지는 최종결과치의 분포를 사용한다. 이런 경우 실제 최종결과치 의분포에 관계하지 않는 점도 이러한 rank-order correlation이 갖는 좋은 점이다. 그리고 최종 결과치 및 입력자료가 order of magnitude가 차이가 나는 경우도 분포에서 순위 (rank)만을 갖고 결정하기 때문에 상당히 안정된 결과를 얻는 다는 점이 또 다른 장점이 될 수 있다. 여러 종류의 rank-order correlation이 있으나 대개의 경우 Spearman rank-order correlation이 가장 흔히 쓰여진다.

3. 예제 결과분석

제안한 모델을 아래와 같은 예제에 대해 평가 하여 보았다.

“A 공장에서 방출되는 휘발성 유기오염물질인 X에 의해 주변지역주민 (거주민구 4000 명)로부터 많은 민원이 접수되고 있다. 환경부에서는 이 물질에 대한 적절한 배출규제 시설을 마련하여 계속 운영을 허가할지 아니면 당장 주민이주가 필요한지를 결정하려고 한다. 당장 주민들을 이주시키는데 필요한 전체비용은 약 15 억원으로 예상하고 있다. 조사결과 휘발성유기오염물질인 X는 호흡을 통해 인체노출이 이루어지며 발암물질이라고 알려져 있다. 주민거주지역에서 X의 평균 대기농도는 표1에서와 같이 측정되었고 발암력은 연구결과 표1과 같이 불확실성이 있는 것으로 밝혀졌다. 만약 배출감소시설의 설치로 이물질의 방출을 1/10로 감소시키는데 필요한 control cost factor는 불확실성이 있어 표1 과 같은 분포를 갖고 있고 이러한 비용산출은 지수형태를 따른다고 가정하였다. 위해도 기준치를 10^{-6} 으로 적용하려

고 하며 배출시설을 설치하더라도 이러한 위해도기준치를 초과하여 배출이 이루어지면 A 공장은 주변 주민에 대한 의료비 부담 및 환경규제기관에 의한 벌금등 (Value of Life)으로 주민 1인당 60~90 만원 정도를 추가 부담하여야 할 것으로 예상하고 있다.”

Table 1. 불확실성이 고려된 입력자료들

인 자	값
Base Concentration(mg/m ³)	lognomally distributed, median= 3.0e-6 , Error Factor = 5
Control Cost Factor(원)	Normal Distributed, mean= 6*10 ⁹ , s.d. = 2.5*10 ⁹
Value of Life(원)	Uniform Distributed, [600*10 ³ , 900*10 ³]
Cancer Pontency Factor (mg/kg/day) ¹	Triangular Distributed [4,6,8]

이와 같은 불확실한 인자들로부터 얻어진 총비용은 그림 1과 같은 분포로 나타난다. 그림에서 보면 감소율이 20%에서 총비용이 최저임을 알 수 있다. 그러나 그림 2에서 보면 모든 불확실성을 포함하여 총비용이 이주비용 (15억원)보다 작은 경우는 오히려 15 % 감소율이 유리하다고 나타났다.

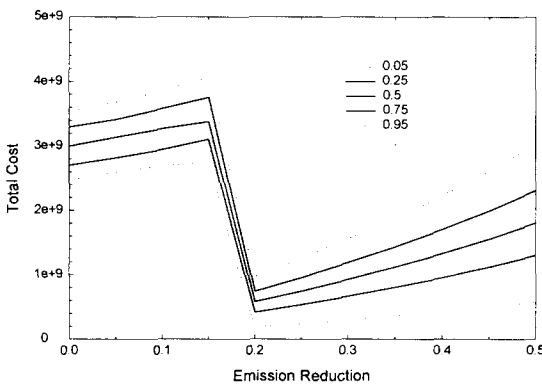


Fig. 1. 총비용의 불확실성 분포

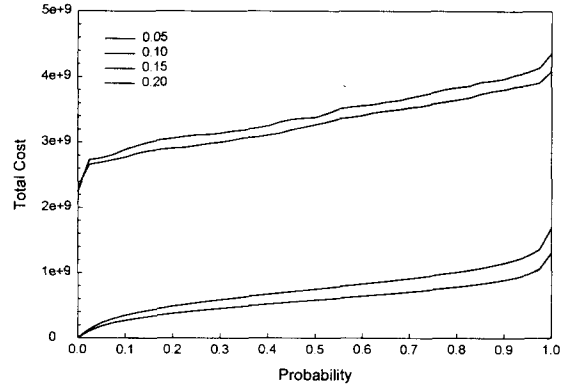


Fig. 2. 각 감소율의 확률분포

불확실성이 고려된 최종결과의 분석을 바탕으로 하여 표 1에서 사용된 입력자료들의 중요도분석을 수행한 결과를 그림 3에 표시하였다. 그림에서 보듯이 Cancer potency factor와 base concentration은 불확실성이 존재하여도 직접적으로 총 비용에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 반면에 value of life나 cost control factor는 각기 다른 영역에서 최종 결과에 상당한 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 따라서 이러한 입력자료들은 실제 해석결과에 상당한 영향을 미치므로 자료선정 및 분석에 주의를 요해야 한다.

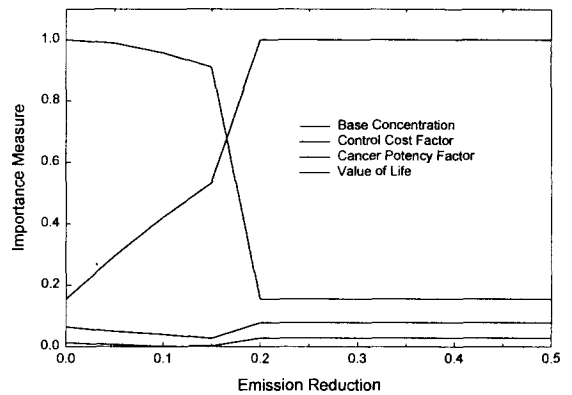


Fig. 3. 중요도분석결과

참 고 문 헌

유동환외 1인 , 위해도평가와 의사결정방법론을 활용한 대기오염물질 배출규제시 비용분석 모델개발, 1999 년 춘계 환경공학회, 광운대