

환경위해도평가를 위한 한정된 측정자료의 분석방법론

유 동 한

한국원자력연구소

초 록

미국에서 개발된 환경위해도평가는 환경오염물질에 의해 인체가 입는 건강피해를 정량적으로 평가할 수 있는 방법론으로 최근 국내에서도 그 가치가 인식되고 있다. 이에 따라 배출되는 대기오염물질에 의한 주민피해가 염려되는 대규모공단지역에 대한 본격적인 환경위해도평가가 이루어지고 있다. 이러한 환경위해도평가지 중요한 부분중 하나는 환경노출평가에 필요한 대기오염물질의 농도측정치라 할 수 있다. 특히 편차가 심하고 한정된 오염도측정자료를 해석하고 기존 자료로부터 새로운 자료를 이용하여 재검토해야 하는 경우 새로운 접근방법이 필요하게 된다. 본 논문은 이 과정에 대한 기존 방법론의 문제점에 대해 살펴보고 이를 위한 새로운 방법을 제시하고자 한다. 이는 국내에서 대기오염물질에 의한 환경위해도를 정량적으로 평가하여 장단기 인체건강피해를 예측하고 이에 대한 관리방안을 제시하는데 필요한 연구라 사료된다.

1. 서 론

산업화과정에서 건설된 각종 공단지역에는 많은 중화학계열공장이 밀집되어 있다. 이러한 석유계열공장들은 주로 Benzene, Toluene, Xylene 및 Methanol등과 같은 유기용매들을 취급하면서 공장굴뚝등을 통해 많은 대기오염물질을 배출하게 된다. 이에 따른 주변 주민들의 건강피해가 자주 거론되어 왔으므로 이들 공단의 대기오염도를 측정하여 주민들에 대한 장단기 건강 피해를 예측, 관리하는 효과적인 방안의 제시가 필요하게 되었다. 1980년대부터 미국에서 개발된 환경위해도평가 (Environmental Risk Assessment)는 이러한 환경오염물질에 의해 인체가 입는 건강피해를 정량적으로 평가할 수 있는 방법론이다. 최근에 들어서는 국내에서도 이 방법론이 환경문제를 인식하고 해결하는데 있어 가치가 있는 것으로 인식하고 있다. 이에 따라 여천공단단지등에서 배출되는 대기오염물질에 의한 주민피해가 염려되는 지역을 중심으로 하여 본격적인 환경위해도평가가 이루어지고 있는 실정이다. 그러나 신뢰성있는 환경위해도평가가 이루어지기 위해서는 오염물질의 분석기술, 독성학, 자료등을 처리하는 통계적인 연구, 환경노출등을 해석하는 각종 공학적인 기술등을 토대로 하여야 가능하다. 특히 주로 거론되는 휘발성유기물질은 쉽게 호흡을 통해 흡입되는데, 이에 대한 환경위해도평가지 가장 중요한 부분은 환경노출평가에 필요한 이들 오염물질의 농도측정치의 처리라 할 수 있다. 그러나 예산상 비교적 한정된 오염도자료만을 측정하는 경우가 많은데 이들 자료를 처리하는에는 신중한 분석방법이 필요하다. 특히 편차가 심하고 한정된 오염도측정자료를 해석하고 기존 자료로부터 새로운 자료를 이용하여 이들 자료를 재검토해야 하는 경우 논리적인 접근방법이 필요하게 된다. 본 논문은 이 과정에 대한 기존 방법론의 문제점에 대해 살펴보고 이를 위한 새로운 방법을 제시하고자 한다. 이는 국내에서 대기오염물질에 의한 환경위해도를 정량적으로 평가하여 장단기 인체건강피해를 예측하고 이에 대한 관리방안을 제시하는데 필요한 연구라 사료된다.

2. 본론

본 논문에서는 편차가 심하고 한정된 오염도측정자료를 해석하는데 다음과 같은 두가지 사항을 고려하는 방법론을 제시하려고 한다.

자료	측정 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	2.24
2	10.75
3	7.89
4	1.16
5	27.46
6	157.38

- 1) 한정된 자료를 해석하여 분포를 찾는 경우
- 2) 불충분한 기존 자료가 존재하지만 최근 측정자료들을 이용해 이들 자료를 updating하는 방법

Table 1. 대기오염도측정치

Table 1은 한 공단지역에서의 대기오염물질농도를 측정한 실제 오염도측정자료를 보여준다. 기존 연구에서는 한정된 6개의 오염도자료를 바탕으로 하여 농도분포의 평균치를 구하였다. 이 평균치는 보통 오염도측정치가 정규분포를 할 것으로 가정하여 얻어지게 된다. 그러나 본

연구에서는 이러한 농도의 분포를 위해 기존가정인 정규분포가 아닌 Lognormal 분포를 사용하여야 한다고 가정한다. 이를 위해 실제 측정치를 Lognormal 및 Normal 분포로 가정하여 통계처리하였다. Figure 1은 비교치를 보여준다. 그림에서 보듯이 측정자료의 분포는 Normal 분포보다는 Lognormal 분포로 가정하는 것이 더 타당함을 알 수 있다.

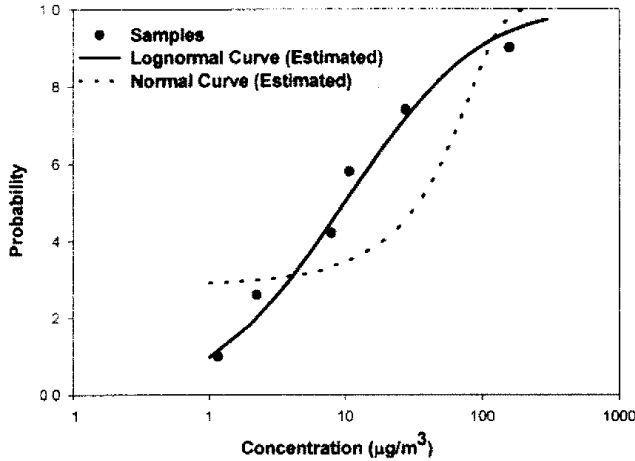


Figure 1. 농도측정치, Lognormal 및 Normal 분포가정시 비교

두번째는 불충분한 기존 자료가 존재하지만 최근 측정자료들을 이용해 이들 자료를 updating하는 방법에 대해 알아보려고 한다. 이는 기존 자료와 새롭게 측정된 자료를 효과적으로 이용하는 방법론을 말하는데 이를 위한 본 연구는 Bayesian Updating 방법을 사용하려고 한다. 이러한 Bayesian framework에서는 현재 자료는 하나의 증거자료로서 이를 통해 기존 자료를 Bayes' Theorem을 이용하여 updating할 수 있다. 즉 수학적인 공식으로 표현하면

$$\pi(x|E) = K^{-1}L(E|x) \pi_0(x)$$

여기서 $\pi_0(x)$ 는 기존의 분포 (prior 분포), E는 증거 (Evidence), $L(E|x)$ 는 이러한 증거를 통해 나타난 현재 측정치분포 (Likelihood 분포), $\pi(x|E)$ 는 기존자료와 현재 측정된 자료를 통해 updating된 자료분포 (posterior 분포)를 의미하며, K^{-1} 는 normalization factor를 의미한다. 즉 기존 자료를 현재 측정된 새자료를 통해 논리적인 방법으로 updating할 수 있다.

자료	측정 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	3.0
2	15.0
3	50.0
4	100.0
5	160.0

Table 2. 새로운 측정자료

만약 동일지역에서 Table 2에 수록된 새로운 오염도측정자료를 얻었을 경우를 가정하여 본 방법을 적용하였다. 우선 앞서 언급된 방법을 통해 얻어진 lognormal 분포를 prior분포로 사용한다. Table 2에 수록된 값들을 lognormal 분포로 가정하여 얻어진 분포를 Likelihood 분포로 이용하였다. 이를 Bayesian updating을 사용하여

posterior분포를 구하였다 (Table 3에 결과를 수록).

	median($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	mean($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Error Factor (X_{95}/X_{50})
Prior 분포	9.92	57.87	18.2
Likelihood 분포	32.45	161.0	13.95
Posterior 분포	18.99	62.17	7.03

Table 3. Bayesian Updating 결과

3. 결론

신뢰성있는 환경위해도평가가 이루어지기 위해서는 한정된 측정오염도자료를 처리하는 분석기법이 필요하다. 본 연구는 편차가 심하고 한정된 오염도측정자료를 해석하여 필요한 분포를 찾는 방법과 불충분한 기존 자료가 존재하지만 최근 측정자료들을 이용해 이들 자료를 새롭게 updating하는 방법을 제시하였다.

앞으로 국내에서 대기오염물질에 의한 장단기 인체건강피해를 예측하고 이에 대한 올바른 관리방안을 제시하는 데는 환경위해도평가 (Environmental Risk Assessment)가 필수불가결한 연구라 판단된다. 따라서 본 연구에서 사용된 방법은 인자들의 불확실성을 고려하는 확률론적 환경위해도평가 (Probabilistic Environmental Risk Assessment)시에도 중요한 자료를 제공함으로써 보다 신뢰성있는 평가가 이루어지는데 도움이 될 것이다.