

危險性 評價에 관한 考察 〈연재 I〉

한상욱 / 국립환경연구원 환경보건 연구부장

1. 서론

과학문명의 발달과 개발계획들은 그로인한 새로운 기술 및 화학물질의 개발, 정주환경의 파괴, 오염물질의 증가등을 야기시켰다. 이러한 오염물질들은 인간이나 생태계에 악영향을 가속화시켰

으며 인간에게는, 건강은 물론 생명에까지 영향을 주게 되었다. 다음의 표1에서 보여지는 사례들은 환경오염과 관련되어 많은 생명을 앗아간 환경오염 피해사건들을 예로 든 것이다.

〈표-1〉 주요 환경오염 피해사건

사 건 명	장 소	시 간	원 인 물 질	피 해
뮤즈계 폭발사건	벨지움 뮤즈계곡	1930	SO ₂ , H ₂ SO ₄ , CO	6000여명 호흡기환자 발생 60여명 사망
도노라사건	미국의 펜실베니아	1948	SO ₂	5,900여명 호흡기환자 발생 20명 사망
런던스모그사건	영국 런던	1952	SO ₂ , CO, 황화스모그	8000여명 사망
로스엔젤레스스모그사건	미국로스엔젤레스	1954	CO, SO ₂ , NO ₂ , O ₃ 등에 의한 PAN	호흡기환자 급증
미나마따병	일본미나마따	1953, 1963	Hg	6055 시청각 및 보행장애환자 발생 605명 사망
이파이이파이병	일본 부산현	1968	Cd	전신통증, 골연화증 환자 258명 발생 128명 사망
보팔시사건	인도 보팔시	1984	Methylisocyanate	1408명 사망 수십만명 불구
체르노빌원자로 폭발사건	소련우크라이나	1986	방사능오염물질	500명 부상 31명 사망

이런 사건들은 인간생명뿐 아니라 주변생태계에도 심각한 영향을 미쳤고 그 이후에도 만성적인 피해를 인간 및 생태계에 주었다.

환경위해성 물질은 개발계획으로 인한 에너지원이 누출되거나 에너지가 이용되고 난 후의 찌꺼기가 인간에게 흘러들어가 피해를 미치는 것으로 판명되었다. 그리하여 이러한 위험의 정도를 파악하고 위험을 줄이기 위한 노력의 일환으로 위험성평가가 대두되기 시작했다. 환경영향평가가 환경오염물질에 대해 환경기준치에 의해 평가하는 것이라면 위험성평가는 인간의 건강을 고려해서 환경기준치를 설정하고 사업의 타당성 여부를 인간의 건강과 관련하여 평가하는 과정이라고 볼 수 있다.

위험성 평가는 “환경위해에 의해 부과된 위험의 정도와 종류의 평가” “기술적 혹은 어떤 다른 위해의 이용으로부터 초래될 수 있는 부정적 결과를 결정하는 과정” 혹은 “독성학적 자료를 평가하고, 수학적, 통계적 모델을 이들 자료에 적용시키고 다양한 인구의 잠재적 폭로를 계산하며, 병의 발병자수와 범위 혹은 인간에게 미치는 나쁜 건강영향의 확률에 관한 추론으로부터 외삽하는 과학적인 평가는 어떤 잠재적 위험에 대한 발생 가능성 및 정도와 범위까지도 포함하는 개념이라고 할 수 있다.

위험성 평가는 작지만, 환경위해를 처리하는 개인과 사회에 있어서 중요한 과정의 한 부분이다. 체제로서 본다면, 환경과 사회는 사건의 결과와 처리행위의 사슬로 연결되어진다.

2. 위험성 평가의 요소

위험성평가의 과정은 크게 5 단계로 나눌 수 있다.

1) 위해성 규명

위해성물질 또는 위해성환경중 건강에 영향을 미치는 것을 선정한다. 가능한 한 정량적으로 위해성물질의 사용량, 배출량 또는 환경오염량을 결정한다. 이 과정에서 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 자료의 질
- 동물이나 인간에 대한 수의 함수로서의 연구의 중요성을 고려한다.

- 폭로시간이나 폭로경로의 제시
- 양(dose)선택에 대한 적절함

2) 양일반응평가

위해성환경 또는 위험성물질에 대한 건강영향 반응 관계가 실험적 또는 역학적으로 규명되어야 한다. 이 과정에서 고려해야 할 내용으로는

- 가능하다면 인간에 대한 역학자료가 동물에 관한 것 보다는 낫다.

- 적절한 인간에 대한 연구자료가 없을때는 인간처럼 반응하는 동물로부터 얻은 자료를 이용한다.

- 정확한 민감도를 보여주는 장기적인 동물연구로부터 나온 생물학적 자료는 일반적으로 중요하게 다루어진다.

- 중요한 폭로경로로부터 도출된 자료는 바람직하며 그렇지않은 자료는 내용을 서술해야 한다.

- 암위험성에 대한 평가는 하나 이상의 중요한 종양을 가지고 있는 동물들의 수를 셈으로써 계산되어진다.

- 양성종양은 위험성평가를 위해 음성종양과 결합될 수 있다.

3) 폭로평가

위해성물질에 폭로되기 전과 후의 건강상 영향을 가능한 한 실제오염농도로 평가한다. 이를 상습적 위해 환경기준 농도 초과지역과 비오염지역과 비교분석하여 집단위해성(Population Risk)과 개체위해성(Individual Risk)을 판단하기 위한 노출군을 선정한다. 이 과정에서 고려해야 할 내용으로는,

- 오염원 평가-오염원의 특성
- 경로와 피해분석-오염원으로부터 잠정적으로 폭로된 인구에 대해 어떻게 오염물질이 이동하느냐를 기술

- 오염물질 농도의 평가-모니터링 자료를 이용한 평가 잠정적으로 폭로된 인구가 위치해 있는 오염원으로부터의 오염수준의 모델링

- 인구분석 - 잠정적인 폭로인구와 환경수용체에 대한 규모, 위치, 습관의 기술

- 총합된 폭로분석 - 불확실성에 대한 평가와 폭로수준의 계산

4) 위해특성과악

위해성에 따른 특성(질병역 또는 감각적 피해)과 불확실성을 평가한다. 다음 사항들을 고려한다.

- 건강영향정보
- 유독성 물질 상호작용

- 폭로평가

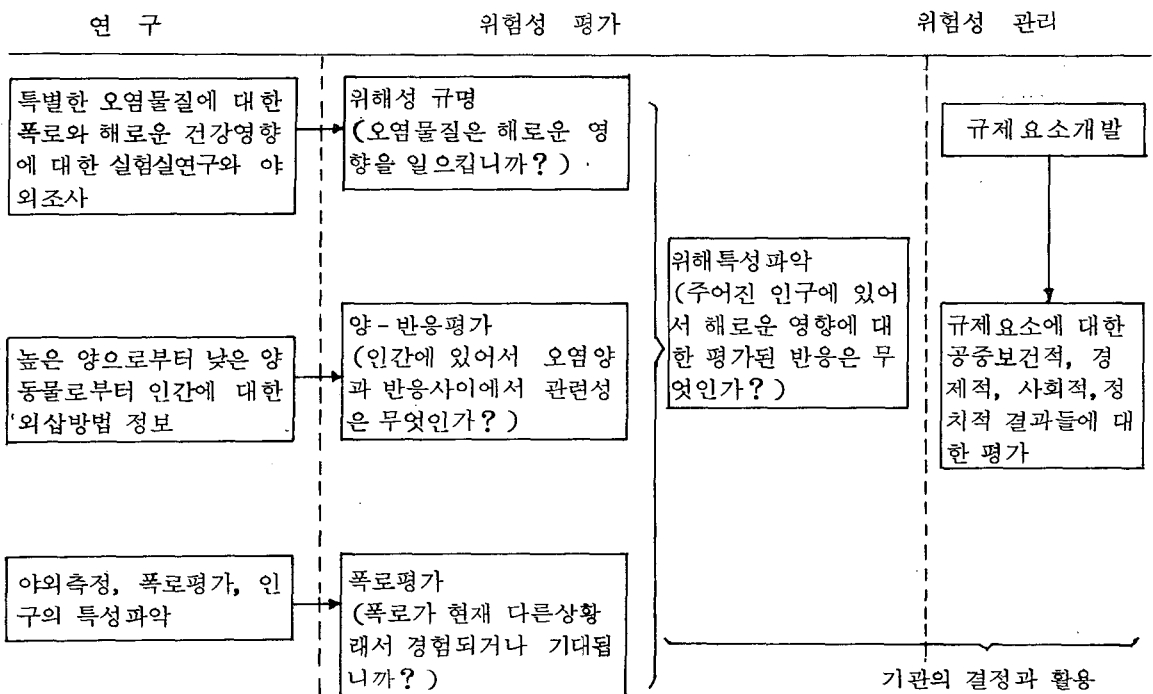
5) 위험성 관리

위해성물질과 환경, 규제농도를 설정한다. 이 과정에서 고려할 사항은 다음과 같다.

- 위험성의 측정 및 수용성 (acceptability) 과 관련된 판단

- 의사결정과 관련된 파급효과에 대한 평가

Risk Assessment의 과정을 그림으로 나타내면 다음과 같다.



<그림 - 1> 위험성평가의 흐름도

3. 위험성평가의 접근방법

오염물에 폭로된 것과 인간의 건강영향사이의 관계성에 관한 정량적인 정보를 얻기 위한 접근방법들은 다음 4가지로 나눌 수 있다.

1) 독성학적 연구

조절된 상황에서 인간의 혹은 동물에 대한 오염물영향을 실험적으로 연구하는 것이다. 이 접근방법은 몸기관과의 조사와 폭로의 넓은 범위의

인식, 주요변수의 조심스러운 조절이 이루어져야 한다.

이 접근의 한계는 다음과 같다.

- 인간에 대한 실험들이 제한된 상황에서만 가능하다.

- 동물에 대하여 얻어진 결과는 인간에의 적용에 어렵다.

- 실험실에서 모든 관련요소들을 재생산하

기가 일반적으로 불가능하다.

• 이 연구들은 비용과 시간소모가 매우 많다.

2) 의학적, 실험적 연구

환자와 지원자에 대한 의학적, 실험적연구는 함께 작용하는 변수의 조절이 필요하며, 폭로수준과 시간의 광범위한 범위가 쉽게 고려되어지지 않는 한계성이 있다.

3) 역학적 연구

감수성 있는 인간그룹에 대한 장기, 단기의 오염물질 폭로에 따른 건강에의 영향을 탐구하는 것이다. 즉 특정 오염물질 폭로의 수준과 사망을 혹은 몸기능에서의 생리적 변화 사이의 관계를 결정하려고 시도하는 것이다. 이 관계결정에서의 변수들의 경험은, 환경오염물질들이 인간 건강에 영향을 미치는 데 대한 범위를 정량적으로 결정하는 데 이용한다. 역학적 연구는 관찰된 폭로수준과 병 발생빈도에 대한 광범위한 정보의 수집을 포함하며 집정된 인구그룹은 지역사회, 도시, 국가처럼 '자연적 환경'에서 연구되어진다. 즉 실험실에서 만들어진 합성대기 아닌 실험적인 오염에 폭로되는 실제세계에 사는 사람들을 대상으로 하는 장점이 있는 것이다.

역학적 연구에 있어서, 오염물질 폭로와 불가피한 건강영향사이의 관련성이 만약 전반적인 생물학적 지식과 부합되어 여러가지 많은 연구로 실증되고, 다른 연구가들에 의해 다른 장소에서 계속적으로 관찰된다면, 증가하는 폭로수준이 증가하는 건강에의 해의 진도와 연관되어 역학적 연구는 보다 객관적이고 일상적인 것이 될 것이다. 이 환경역학적 연구의 목적은 의심되는 변수들과 일상적으로 관련되어진 것으로 알려진 것에 대한 양-반응 관계를 결의하는 것이며, 오염물질 각각 혹은 혼합된 농도들과 관련된 병과 기대되는 사망율을 판단하는데 이용될 수 있다.

4) 통계학적 연구

이 연구는 1), 2), 3) 연구에 활용되어질 수 있는 연구라고 볼 수 있고 여기서는 기존 자료의 활용을 주로 하는 연구로 볼 수 있다. 예를들어 어떤 지역의 오염자료와 그 지역의 환자

수를 파악하여 상관분석, 회귀분석에 의해 상호 관련성을 규명하여 평가를 하는 것이다. 크게 두 가지 범주로 나눌 수 있다. 예를들어 설명하면

• 단면분석법

예를들어 설명하면 한 시점에서의 관련성을 파악하는 것으로 서울의 구별 오염농도와 이환율 및 사망율의 자료를 조사하여 오염농도와의 관련성을 파악하는 것이다.

• 時系列 분석

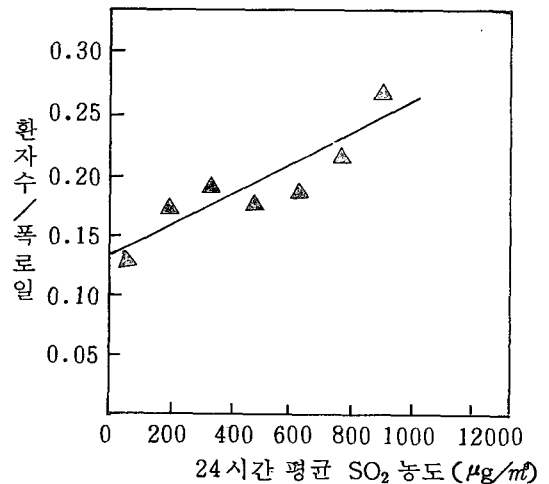
시간에 따른 관련성을 규명하는 것으로 서울의 월별 5개년치 오염농도와 이환율 및 사망율의 자료를 조사하여 년도별 추이를 파악하여 상호관련성을 조사하는 것이다.

4. 위험성 평가의 연구사례

1) 외국사례

① SO₂ : 기관지염에 있어서 병의 악화와의 관련성

Carnow와 Lepper, Shekelle(1969)는 일 평균 SO₂ 농도와 만성기관지염, 3~4기의 55세된 남자들에 대한 병이 악화되는 1일 사람수 사이의 관계성을 연구하였다. 이 연구는 시카



<그림 2> 일일 SO₂ 농도와 55세 이상 남자인 3,4기 기관지염 환자에 대한 병의 악화빈도

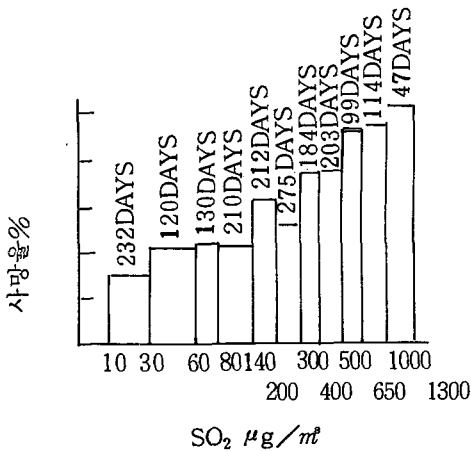
고에서 1967년 10월 1일부터 1967년 11월

30일까지 두달간 실시되었으며 100명의 기관지염 환자(지원자)를 대상으로 하였다. 이 연구의 결과, 아래 그래프에서 보는 것처럼 상당한 관련성이 분석되었으며 기관지염 3기의 환자는 2년이상, 4기의 환자는 5년이상 기침과 가래가 증가하는 증세를 보였다. 이 연구는 대기오염과 이환율 사이의 관계를 연구하도록 계획된 것이며, 겨울을 피하여 낮은 온도변수의 혼란을 배제하였다.

② SO₂ : 사망율(Mortality)과의 관계

Buechler와 Riggan, Hasselblad(1973년)는 SO₂ 농도와 사망율과의 관계를 규명하기 위하여 New York에서 1962년부터 1966년까지, 한 지점의 대기오염측정망에서 측정된 SO₂ 농도와 사망율과의 관련성을 연구하였다.

한 지점의 농도를 전체 도시지역에 적용시킨 것은 정밀하지 못하지만, 계절별 사망율과 온도의 변동, 다른 혼란변수들을 보완하였다. 그 결과 SO₂ 농도가 500 μg/m³ 이상일 때 사망율은 대략 기대된 것보다 2%정도 증가하였고 SO₂ 농도가 30 μg/m³ 이하일 때는 기대한 사망율보다 1.5%가 감소하였다.

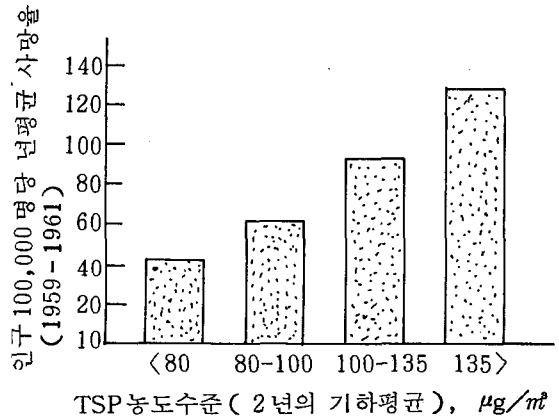


<그림 3> SO₂ 수준에 의한 사망율의 평균

③ TSP : 만성호흡기 질병으로 부터의 사망율

Winkelstein과 Kantov, Davis, Mosher

(1967년)는 Buffalo지역에서 측정된 분진의 오염농도와 만성호흡기 질병으로 부터의 년평균 사망율과의 관계성을 밝혔다. 이 연구에서 50~60세의 백인남자에 있어서 만성호흡기 질병사망과 부유분진농도 사이에는 높은 상관성이 있음이 밝혀졌다. 사용된 TSP농도는 1961년 7월부터 1963년 6월까지의 Buffalo 주위 21개 지점에서 측정된 농도이며, 직업은 고려되지 않았다. 그 결과 가장 낮은 농도에서 10만명당 44명이 사망율을 보이고 있으며 그 다음 높은 농도에서의 사망율은 40%가 더 높고 최고농도에서는 약 3배가량의 사망율을 보이고 있다.



<그림 4> TSP농도와 백인 여자의 만성호흡기 질병으로 인한 년평균 사망율

④ CEQ Air pollution Exposure Risk Model

미국의 CEQ(Council on Environmental Quality)에서는 대도시 지역의 공기오염에 의한 건강의 영향을 연결하는 대기오염과의 건강 위험모델을 개발하였다. 이 모델은 CO에의 폭로와 협심증 환자의 증가사이의 관련성에 관한 분석으로서 어떤 특정 오염물질 농도에의 폭로와 보건위해성 사이의 기능적 상호관련성인 피해함수를 이용하여 오염에 대한 건강의 영향을 파악하는 것이다. 이것을 개념적으로 설명하면,

$$\text{Risk} = \begin{matrix} \text{건} \\ \text{강} \\ \text{위} \\ \text{험} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{대} \\ \text{기} \\ \text{질} \\ \text{자} \\ \text{료} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{인} \\ \text{구} \\ \text{통} \\ \text{계} \end{matrix}$$

위 공식을 좀 더 구체적으로 표기하면 다음과 같다.

$$\text{피해 함수} \times \left[\frac{\text{표본지점에서의 CO 농도 (ppm)}}{\text{CO 기준치}} - 1 \right] = \text{표본지점에서의 (ppm)} \times \text{초과빈도 (일수)} = \text{표본지점에서의}$$

환자발생수(인구 1000 명당)

즉 표본지점에서의 CO 기준치 (8시간 평균치 : 8ppm) 를 초과하는 일수를 구하고 피해 함수를 곱하여 인구 1000 명당 초과 협심증 환자발생수를 계산하는 것이다. 이 때 피해 함수는 미국의 26개 대도시에서 0.176으로 계산되었다.

< 다음호에 계속 >

INPOCO/EMETEX'88

국제환경오염방지기기전

名 稱
 (第10回)'88 國際環境汚染防止機器展示會 :
 International Exhibition For Environmental
 Pollution Control, Measuring And Testing
 Equipment, SEOUL, KOREA

目 的
 ◦ 環境汚染防止技術의 革新에 貢獻
 ◦ 外國의 優秀技術 國內業界에 紹介
 ◦ 新製品 展示로 商談推進

期 間
 1988年 6月 20日~6月 24日(5日間)
 ◦ 開館式: 6月 20日(月)午前 11時
 ◦ 觀覽時間: 午前 10:00 ~午後 17:00 後

場 所
 韓國綜合展示場(KOEX) (공휴일포함)
 서울특별시 강남구 삼성동 159

主 體
 社團法人 環境保全協會, SHK International
 Services Ltd. (SHKIS, 홍콩소재)

後 援
 科學技術處, 環境廳, 大韓貿易振興公社, 韓國機械工業
 振興會, 每日經濟新聞社

參加對象業體
 ◦ 國內環境汚染防止關聯機器製造業體 및 販賣業體
 ◦ 外國環境汚染防止關聯機器製造業體 및 販賣業體
 ◦ 環境保全關聯研究機關 및 有關團體

出品對象品目

◦ 大氣汚染防止機器	◦ 水質汚染防止機器
◦ 騒音, 振動防止機器	◦ 惡臭防止機器
◦ 測定分析機器	◦ 空氣調和機器
◦ 熱管理機器	◦ 廢棄物處理機器
◦ 廢棄物再生利用機器	◦ 下水道關聯機資材
◦ 安全, 保安 및 防災機器	◦ 其他公害防止關聯機器 及 文獻

出品申請
 ◦ 申請期間: 1987年 9月 1日~1988年 4月 30日
 ◦ 申請接受處:
 ○ 社團法人 環境保全協會
 서울시 中區 南大門路 4街 45番地(상공회의소 빌딩)
 TEL. 753-7640, 753-7669

점음으로 가꾸는 보람의 성숙사회