

KEI/1998  
기본과제 연구보고서

# 대기오염 건강피해에 관한 연구

1998. 12

한화진  
오소영



한국환경정책·평가연구원  
Korea Environment Institute

## 序 言

우리나라 대기질은 지역에 따라서는 오염물질별로 개선되는 측면도 있으나 전체적으로 오존과 미세먼지 등의 오염증가로 점차 악화되고 있으며 이로 인한 스모그와 시정장애 현상이 자주 발생하여 체감오염도가 나빠지고 있습니다. 또한 측정·분석기술의 발달과 함께 미규제 오염물질인 유해대기오염물질의 인체 건강피해에 대한 연구결과가 발표되면서 대기중 다양한 유해오염물질에 대한 관심이 증가하고 있습니다.

이러한 국내 대기오염 양상의 변화를 반영하고 체감오염도 개선을 위해 그동안 대기환경정책이 많은 발전을 한 것이 사실입니다만 대기오염원이 다양화되면서 실제 국민이 받는 피해정도를 반영한 정책인지에 대한 의문이 제기되고 있습니다. 또한 현재 대기오염의 피해정도, 국내 오염도 수준을 이용한 실증자료의 축적 및 대기오염수준이 건강에 미치는 영향을 평가하는 기법연구 등은 매우 미비한 실정으로 오염에 대한 국민의 막연한 불안감만 조성되고 있습니다.

최근 선진외국은 그동안의 다양한 오염원(source) 중심의 대기질관리에서 인체건강 및 생태계 피해를 반영하는 수용체(receptor) 중심의 관리로 전환하고 있으며 이를 위해 대기오염이 실제 건강에 미치는 영향에 대한 체계적인 연구를 수행하고 있고 정량화의 신뢰도를 높이기 위해 자료의 분석기법을 개선해오고 있습니다. 건강위해성평가는 대기오염물질로부터 인체를 보호하기 위한 목적으로 이용되는 합리적인 수단이며 대기질에 대한 불신과 비과학적인 논쟁을 과학적인 근거에 입각한 논의로 전환시키는 훌륭한 도구로 활용되고 있습니다.

21세기에는 국내·외 여건 변화에 따라 국내 대기보전정책도 보다 과학적이고 합리적으로 수행되어야 하며 인체건강 및 생태계 영향을 반영하는 수용체 중심으로의 점진적인 전환을 수립하는 전체 틀안에서 장기적, 체계적으로 수립·추진될 필요가 있습니다. 특히, 국내 지역별로 가시화되어 나타나는 건강 피해사례는 우리나라 대기질관리 정책방향에 대전환이 필요함을 강력히 시사한다고 하겠습니다.

이러한 상황에서 본 연구는 국내 대기보전정책이 정량화된 국민의 건강피해 정도를 기초로 수용체인 건강피해를 최소화하는 적정 관리수단을 개발하고 이행하는 관리정책으로 발전하도록 앞으로 개선, 추진되어야 할 방안을 제시하는데 중점을 두었습니다. 아무쪼록 본 연구가 정부가 계획하고 있는 과학적인 대기보전정책 수립에 도움이 되었으면 하는 바램입니다.

끝으로 본 연구를 맡아 성심성의껏 수행한 한화진 박사와 일부 자료정리와 편집을 도와준 오소영 연구원에게 감사를 표하는 바입니다. 아울러 본 연구의 내용은 본 연구원의 공식견해가 아닌 연구자 개인의 견해임을 밝혀 드립니다.

1998年 12月  
한국환경정책·평가연구원  
院長 李 相 垠

# 차 례

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| <b>I. 연구 추진 개요</b>                    | <b>1</b>  |
| 1. 연구 추진배경 및 목적                       | 1         |
| 2. 연구범위 및 내용                          | 2         |
| <b>II. 국내 현 대기질 상태에서의 건강피해에 대한 고찰</b> | <b>3</b>  |
| 1. 국내 대기질 현황 및 특성                     | 3         |
| 1.1. 대기환경기준 오염물질 오염실태                 | 3         |
| 1.2. 기타 주요 대기오염물질의 오염실태               | 6         |
| 1.3. 국내 대기오염물질 배출 및 대기질 특성 요약         | 6         |
| 2. 국내 대기질에서의 건강피해 실증사례                | 9         |
| 2.1. 국내 실증사례 현황                       | 9         |
| 2.2. 현 대기질에서의 건강피해 정도                 | 10        |
| <b>III. 주요 대기오염물질과 건강피해</b>           | <b>12</b> |
| 1. 일반대기오염물질의 건강피해                     | 12        |
| 1.1. 오존의 건강영향                         | 13        |
| 1.2. 먼지(입자상물질)의 건강영향                  | 14        |
| 2. 유해대기오염물질의 건강피해                     | 18        |
| <b>IV. 대기오염의 일반적 건강영향 평가기법</b>        | <b>21</b> |
| 1. 정성적 건강영향 평가방법                      | 21        |
| 1.1. 독성학적연구                           | 21        |
| 1.2. 역학적연구                            | 22        |
| 2. 정량적 건강영향 평가방법                      | 26        |
| <b>V. 선진국의 건강피해를 고려한 대기관리정책</b>       | <b>32</b> |
| 1. 선진외국의 동향                           | 32        |
| 1.1. 미국                               | 32        |
| 1.2. 세계보건기구(WHO)                      | 34        |
| 2. 건강영향평가 활용 사례                       | 36        |
| 2.1. 건강영향평가를 이용한 미국의 대기질 기준 설정사례      | 36        |
| 2.2. 오염물질의 에피소드 기준 설정                 | 44        |
| 2.3. 일본의 유해대기오염물질 대책 수립에의 활용 사례       | 46        |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| VI. 건강피해에 기초한 대기질 관리정책으로의 개선방안 ..... | 49 |
| 1. 대기관리체계 개선 .....                   | 49 |
| 2. 기초자료 축적 기반구축 .....                | 50 |
| 3. 지역별 역학조사 실시 제도화 .....             | 52 |
| VII. 결론 .....                        | 53 |
| 참고문헌 .....                           | 54 |
| [부록]: 유해대기오염물질의 인체 건강영향 .....        | 55 |

## 표 차 례

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| <표 II-1> 주요도시의 SO <sub>2</sub> 대기오염도 추이 .....                         | 3  |
| <표 II-2> 주요도시의 TSP(PM-10) 대기오염도 추이 .....                              | 4  |
| <표 II-3> 주요도시의 오존 대기오염도 추이 .....                                      | 5  |
| <표 II-4> 주요도시의 NO <sub>2</sub> 대기오염도 추이 .....                         | 5  |
| <표 II-5> OECD 주요국가의 아황산가스와 질소산화물 배출량 비교 .....                         | 7  |
| <표 II-6> 외국 주요도시와의 대기오염도 비교 .....                                     | 7  |
| <표 III-1> 일반대기오염물질이 인체 건강에 미치는 영향 .....                               | 12 |
| <표 III-2> 연평균 PM-10 농도와 인구 100,000명당 조기사망자 수(미국, 1990~1994년 평균) ..... | 17 |
| <표 III-3> 오존전구물질로서 자체로 유해한 VOC 화합물질 종류 .....                          | 18 |
| <표 III-4> 대표적 VOC의 건강 위해성 .....                                       | 19 |
| <표 III-5> 자동차 배출오염물질에 의한 초과 발암빈도 .....                                | 20 |
| <표 III-6> 디젤 배출가스중의 유해대기오염물질 성분 (미국 캘리포니아) .....                      | 20 |
| <표 IV-1> 노출 측정방법에 따른 노출측정의 정확성과 비용의 상쇄관계 .....                        | 25 |
| <표 IV-2> 대표적인 선량-반응 모델 .....                                          | 27 |
| <표 IV-3> 개인 및 집단 위해성평가의 장·단점 비교 .....                                 | 29 |
| <표 V-1> 세계보건기구의 대기오염물질 권고기준 .....                                     | 35 |
| <표 V-2> 미국의 오존 대기환경기준 변천과정 .....                                      | 37 |
| <표 V-3> 미국의 오존환경기준 검토단계 .....                                         | 38 |
| <표 V-4> 대기질기준에 따른 실외 어린이들의 반응비교(대상: 미국의 9개 도시지역) .....                | 40 |
| <표 V-5> 대기질기준에 따른 천식환자들의 병원출입 횟수 비교(뉴욕시 지역) .....                     | 40 |
| <표 V-6> 미국 PM 대기환경기준 변천과정> .....                                      | 42 |
| <표 V-7> 미국의 PM 대기환경기준 검토단계 .....                                      | 43 |
| <표 V-8> 오존과 일산화탄소에 대한 대기질 기준과 에피소드 기준 .....                           | 46 |
| <표 V-9> 일본의 우선 취급물질 목록 .....                                          | 47 |
| <표 V-10> 주요오염물질의 발암성 평가 및 대기환경기준 .....                                | 48 |

## 그림 차례

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| <그림 III-1> PM-10농도 변화에 따른 인구 10만명당 조기사망자수 ..... | 16 |
| <그림 V-1> 유해대기오염물질의 평가 및 규제과정의 개략도 .....         | 33 |

# I. 연구 추진 개요

## 1. 연구 추진배경 및 목적

우리나라 대기질은 지역에 따라서는 오염물질별로 개선되는 측면도 있으나 전체적으로 오존과 미세먼지 등의 오염증가로 점차 악화되고 있으며 이로 인한 스모그와 시정장애 현상이 자주 발생하여 체감오염도가 나빠지고 있다. 또한 측정·분석기술의 발달과 함께 미규제오염물질인 유해대기오염물질의 인체 건강피해에 대한 연구결과가 발표되면서 대기중 다양한 유해오염물질에 대한 관심이 증가하고 있다.

뮤즈계곡, 도노라(Donora), 런던, 로스엔젤레스 등지에서 발생한 급성 건강피해 사건들로부터 대기오염이 건강에 심각한 영향을 미친다는 사실이 입증되었고, 불리한 기상조건과 오염물질들에 의해 심혈관질환이나 호흡기질환을 가지고 있는 민감한 인구집단에서 초과사망이 발생한다는 사실도 확인되었다. 1957년 Milan회의에서 유럽지역의 대기오염이 공중보건에 미치는 영향을 다룬 이후 동물실험, 임상실험, 역학조사를 통하여 대기오염물질과 건강과의 관계가 광범위하게 규명되어 왔으며, 그 결과에 따라 환경기준 등 효율적인 규제대책이 수립되어 집행되고 있다.

대기오염에 의한 건강피해를 예방하기 위해서는 대기오염에 의한 건강영향을 정량적으로 밝혀내는 연구가 필요한데, 정량적연구는 대기오염의 건강영향을 밝힌다는 의학적 필요뿐만 아니라 대기환경기준의 항목 설정 및 기준의 적합성 여부, 오염정보/주의보 및 에피소드 기준 선정, 또는 대기질관리 정책을 이행하는데 있어 환경적 편익을 분석하여 정책 우선순위를 결정하는데도 사용되고 있다.

선진외국에서는 그동안의 다양한 오염원(source) 중심의 대기질관리에서 인체건강 및 생태계 피해를 반영하는 수용체(receptor) 중심의 관리로 전환하고 있으며 이를 위해 대기오염이 실제 건강에 미치는 영향에 대한 체계적인 연구를 수행하고 있고 정량화의 신뢰도를 높이기 위해 자료의 분석기법을 개선해오고 있다.

우리나라에서는 현재의 대기질이 건강에 심각한 피해를 초래할 수 있다는 가능성만 무성한 가운데 건강피해에 대한 연구가 간헐적으로 추진되고 있으나, 대기오염수준이 건강에 미치는 영향을 평가하는 기법, 피해정도 및 국내 오염도 수준을 이용한 실증자료의 축적은 매우 미비한 실정으로 오염에 대한 국민의 막연한 불안감만 조성되고 있다. 지금까지 대두된 건강영향에 대한 주장들은 실증적이고 객관적인 증거의 뒷받침이 없는 직관적인 느낌에 기초한 것들이 대부분이다.

물론, 환경오염에 의한 건강장애 즉, 환경성 질환의 원인물질과 건강장애 사이의 인과관계를 파악하여 정량화하는데 어려움이 있는 것도 사실이나 이에 대한 충분한 연구와 기초자료의 축적을 뒷받침할 주위 여건이 성숙되어 있지 않다고 판단된다. 이는 근본적으로는 국민의 건강피해에 기초한 과학적인 대기질 관리정책으로의 전환 의지가 아직 부족한데 원인이 있다.

본 연구는 우리나라 대기오염 상태에서 최근 수행한 실증분석 결과를 기초로 인체 건강 측면에서의 대기오염의 심각성을 제기하고 대기관리정책에 건강영향 평가자료를 실제 활용하는

외국의 동향분석에 기초하여 건강피해 분석기법을 살펴보므로써 향후 대기오염도 악화에 대비한 보다 과학적인 대기질 관리정책으로의 개선방안 제시를 목적으로 하였다.

## 2. 연구범위 및 내용

본 연구는 대기질 관리정책에 있어 건강영향평가를 활용하고 있는 외국의 사례를 토대로 건강영향 평가방법 및 주요 오염물질의 역학적 조사와 위해성 조사결과, 그리고 국내의 경우에는 대기오염측정자료를 실제 이용하여 건강피해 실증분석을 한 결과를 포함하였다.

보고서의 본문은 총 7장으로 구성되며, 제2장 국내 현 대기질 상태에서의 건강피해에 대한 고찰, 제3장 주요 대기오염물질과 건강피해, 제4장 대기오염의 일반적 건강영향 평가기법, 제5장 선진국의 건강피해를 고려한 대기관리정책을 다루었으며 이를 토대로 건강피해에 기초한 국내 대기질 관리정책으로의 개선방안과 결론을 제시하였다.

## II. 국내 현 대기질 상태에서의 건강피해에 대한 고찰

본 장에서는 국내 대기의 오염실태와 특성을 살펴보고 현 대기질 상태하에서 건강피해를 실증분석한 결과에 기초하여 인체 건강피해의 심각성을 제기하였다.

### 1. 국내 대기질 현황 및 특성

국내의 대기질은 1981년부터 정부가 추진해 온 산업과 난방부문의 저황연료공급 등 청정연료공급 대책에 힘입어 과거 산업시설에서 야기된 대기오염 지표로 인식되어온 아황산가스와 부유먼지의 오염도는 점차 감소되고 있는 것이 사실이다. 그러나 1990년 이후에는 자동차 증가와 유기용제 등의 사용증가로 이산화질소, 미세먼지와 오존의 오염도가 증가추세에 있으며 지역적으로는 오존의 경우 단기기준을 초과하는 횟수가 증가하고 있다. 또한 공단지역은 환경기준 오염물질 이외에 중금속, 휘발성유기화합물질, 유해대기오염물질 및 악취물질 등으로 인한 체감오염의 악화로 각종 민원사례가 증가하고 있다.

#### 1.1. 대기환경기준 오염물질 오염실태

##### 1) 아황산가스

서울과 부산을 비롯한 전국 주요도시의 아황산가스 오염도는 저황유공급과 청정연료 사용 의무화 정책 등으로 1990년 이후 꾸준히 감소하여 1997년에는 연간 장기환경기준치인 0.030 ppm뿐만 아니라 단기환경기준치<sup>1)</sup>도 만족하는 것으로 나타났으며, 대부분 대도시의 오염도는 세계보건기구(WHO)권고기준 상한선인 0.023 ppm을 만족하는 것으로 나타나 오염도가 확실히 개선되고 있다. 그러나, 아직도 대도시 아황산가스 오염수준은 세계 주요도시의 수준에는 미치지 못하고 있다<sup>2)</sup>. 국내 주요도시의 연도별 SO<sub>2</sub> 대기오염도 추이는 <표 II-1>과 같다.

<표 II-1> 주요도시의 SO<sub>2</sub> 대기오염도 추이

(ppm)

|     | 1988  | 1990  | 1992  | 1995  | 1996  | 1997  |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 서울* | 0.062 | 0.051 | 0.035 | 0.017 | 0.013 | 0.011 |
| 부산  | 0.044 | 0.039 | 0.033 | 0.023 | 0.022 | 0.018 |
| 대구  | 0.052 | 0.041 | 0.040 | 0.031 | 0.023 | 0.016 |
| 인천  | 0.056 | 0.044 | 0.036 | 0.023 | 0.012 | 0.013 |
| 울산  | 0.028 | 0.031 | 0.031 | 0.028 | 0.022 | 0.019 |

주) \* 서울의 1980년 SO<sub>2</sub> 오염도는 0.094 ppm을 기록하였음.

자료 : 환경부, 『환경백서』, 1998.

1) 0.14 ppm/일, 0.25 ppm/시간, 연간 초과횟수 3회이하를 만족하여야 한다.

2) 예를 들어 1996년도 서울의 아황산가스 오염도는 13 ppb이었으나 미국 LA: 3.2 ppb(1991년), 캐나다 몬트리올: 6.1 ppb(1990년), 일본 동경: 8.0 ppb(1992년)을 기록하였다.

## 2) 부유먼지 및 미세먼지

우리나라 주요도시의 부유먼지(TSP) 오염도는 전체적으로 감소하는 추세를 보여 1991년부터는 연간 환경기준치인  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  을 만족하는 것으로 나타났다. 1997년에는 WHO 권고수준 ( $60\text{--}90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 상한선인  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 대부분 만족하여 TSP오염도는 확실히 개선되고 있는 것이 사실이다. 그러나 매년 봄철에는 중국에서의 황사영향으로 먼지농도가 평상시의 2~4배정도 높게 나타나고 있다<sup>3)</sup>.

1995년부터 측정이 시작된 미세먼지(PM-10)는 시정장애 현상의 주요 원인물질로 인체에 미치는 위해성에 대한 논란이 가중되고 있는 가운데, 차량운행의 급증과 함께 대도시 지역을 중심으로 오염도가 계속해서 악화되고 있다. 1996년에는, 장기환경기준인 연간  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과한 곳이 성남, 대구 등 4개 도시로 나타났고 서울, 대구 등 11개 도시에서 일일 단기환경기준치인  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 285회 초과한 것으로 분석되어 미세먼지 오염의 심각성을 나타내고 있다.

〈표 II-2〉 주요도시의 TSP(PM-10) 대기오염도 추이

(μg/m<sup>3</sup>)

|    | 1988 | 1990 | 1992 | 1995   | 1996    | 1997 |
|----|------|------|------|--------|---------|------|
| 서울 | 179  | 150  | 97   | 85(78) | 85(72)  | 72   |
| 부산 | 214  | 140  | 113  | 93(73) | 89(76)  | 84   |
| 대구 | 155  | 134  | 119  | 73(81) | 75(87)  | 62   |
| 인천 | 162  | 170  | 103  | 93(76) | 86(67)  | 86   |
| 울산 | 238  | 122  | 102  | 97(69) | 105(51) | 84   |

주) ( )은 PM-10 농도를 나타낸 것임.

자료 : 환경부, 『대기오염측정 종합자료집』, 1997.

환경부, 『환경백서』, 1998.

## 3) 오존

오존오염도는 큰 폭은 아니나 대도시 지역에서는 매년 완만한 증가 추세를 보이고 있다. 물론, 오존오염도는 시간적 변화에 민감하므로 연평균 변화는 큰 의미를 갖지 못한다. 특히 서울을 비롯한 주요도시에서는 단기환경기준(연간 3회이상  $0.1\text{ppm}/\text{시간}$ ) 초과횟수가 지속적으로 증가<sup>4)</sup>하고 있는데 이를 반영하듯 1996년에는 오존주의보 발령( $0.18 \text{ppm}/\text{시간}$  이상) 횟수가 서울 11회, 인천 1회로 나타났으며 서울은 1997년, 16회를 기록하였다.

3) 이에 따라 측정된 먼지 오염도가 국내 먼지배출원에만 의한 것이 아니라 중국에서 장거리 이동에 의한 영향이 포함되어 있다. 먼지 오염도는 중국의 산업화 속도에 따라 증가가 예상되는 물질이다.

4) 1993년 81회, 1994년 440회, 1995년 33회, 1996년 324회를 기록하였다.

〈표 II-3〉 주요도시의 오존 대기오염도 추이

(ppm)

|    | 1988  | 1990  | 1992  | 1995  | 1996  | 1997  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 서울 | 0.009 | 0.009 | 0.014 | 0.013 | 0.015 | 0.016 |
| 부산 | 0.014 | 0.017 | 0.015 | 0.016 | 0.020 | 0.019 |
| 대구 | 0.006 | 0.008 | 0.013 | 0.017 | 0.015 | 0.015 |
| 인천 | 0.010 | 0.008 | 0.016 | 0.013 | 0.011 | 0.016 |
| 울산 | 0.019 | 0.013 | 0.013 | 0.015 | 0.015 | 0.015 |

자료 : 환경부, 『대기오염측정 종합자료집』, 1997.

환경부, 『환경백서』, 1998.

오존오염도의 계절별 변화는 서울의 대도시나 여천, 광양 등 공단도시지역이 거의 같은 양상을 보이고 있다. 주로 봄철 상승, 여름철 하락, 가을철 2차 상승을 나타내어 평균오염도는 봄(4, 5, 6월)과 가을(9, 10월)에 높고 여름(7, 8월)에는 다소 낮게 나타나고 있다. 여름철에는 장마의 영향으로 평균농도가 하락하는 경향이 있으나 최고 농도는 일사량이 많은 6~9월에 집중되어 나타나고 있다. 여천, 광양 등 특수한 지형에 위치한 지역의 오존 배경농도(겨울철 농도)는 서울 등 일반 대도시보다 높은 것이 특징이나 이에 대한 과학적 원인은 정확히 규명되어 있지 않은 실정이다.

#### 4) 이산화질소

이산화질소는 도시전체 평균이 장기환경기준(0.050 ppm/년)을 초과한 지역은 없으나 일부 지역에서는 자동차 운행증가로 인하여 불규칙적이지만 농도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 반면 1996년에는 서울 등 4개도시에서 모두 단기환경기준(0.08ppm/일)을 23회 초과한 것으로 나타났다.

〈표 II-4〉 주요도시의 NO<sub>2</sub> 대기오염도 추이

(ppm)

|    | 1988  | 1990  | 1992  | 1995  | 1996  | 1997  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 서울 | 0.033 | 0.030 | 0.031 | 0.032 | 0.033 | 0.032 |
| 부산 | 0.019 | 0.019 | 0.023 | 0.027 | 0.031 | 0.028 |
| 대구 | 0.023 | 0.018 | 0.030 | 0.028 | 0.027 | 0.024 |
| 인천 | 0.032 | 0.021 | 0.034 | 0.024 | 0.028 | 0.026 |
| 울산 | 0.026 | 0.022 | 0.026 | 0.023 | 0.023 | 0.023 |

자료 : 환경부, 『대기오염측정 종합자료집』, 1997.

환경부, 『환경백서』, 1998.

## 1.2. 기타 주요 대기오염물질의 오염실태

대기환경기준 오염물질중 일산화탄소와 납은 1987년부터 실시해온 휘발유 자동차에의 삼원 촉매장치 장착 및 무연휘발유의 보급으로 전반적으로 환경기준을 만족하고 있다(환경백서, 1998).

공단지역에서는 환경기준 오염물질이외에 휘발성유기화합물질, 중금속을 포함한 유해대기 오염물질 및 악취물질 등으로 인한 오염이 악화되어 각종 민원사례가 증가하고 있다(1996.1-1997.6 기간동안 총 161건의 악취 민원사례 발생). 질소산화물과 함께 오존생성의 주요 원인물질인 휘발성유기화합물질은 악취 및 유해대기오염물질의 원인물질로서 관심이 주목되고 있는데, 1996년 여천공단지역의 대기오염문제가 주민 이주대책으로 확대되는데 기여하였다. 우리나라에서는 앞으로 환경기준 설정항목이외의 오염물질에 대한 오염이 점차 가시화될 전망이다.

그러나 휘발성유기화합물질, 악취 원인물질 및 특정대기유해물질들은 중요성에 비해 지역별 오염실태의 파악은 매우 미비한 실정이다. 이들에 대한 오염도는 연구차원에서, 경우에 따라서는 여천공단, 시화공단과 같이 지역적인 오염문제 소송이 제기된 것을 계기로 학계와 연구기관을 중심으로 일부 지역에서 측정된 바 있다. 그나마 이들 측정자료들도 일정한 지점에서 동일 항목에 대해 몇 년간에 걸쳐 정기적으로 측정된 것이 아닌 간헐적으로 측정된 결과이고, 동일한 방법을 이용한 측정·분석이 아니라는 점에서 지역의 오염물질별 변화추이를 파악하는데는 사실상 주의가 요망된다.

결국, 우리나라는 환경기준물질을 제외한 미규제오염물질에 대한 오염실태를 파악할 자료가 현시점에서 상당히 부족한 실정이다. 특히 유해대기오염물질에 대해 공단지역 배출에는 관심이 높으나 자동차 배출가스중의 유해물질에 대해서는 아직까지 관심이 저조한 실정이다.

## 1.3. 국내 대기오염물질 배출 및 대기질 특성 요약

우리나라 오염물질 총배출량은  $SO_2$ , TSP와 같이 일부 1차오염물질 저감을 위해 수행되어온 강화된 정책에 힘입어 점차 감소하는 추세이나, 자동차와 유기용제 사용의 증가로 인해 상대적으로  $NO_x$ 와 VOC의 배출량은 증가하는 추세이다.  $SO_2$ 와  $NO_x$ 의 경우 다음 <표 II-5>에 제시한 바와 같이 1995년도 인구 1인당 배출량은 1990년도 OECD의 평균보다 낮은 수준이나 국토면적당 배출량은 여전히 OECD 국가의 평균수준에 비해 현저히 높은 상태이다.

〈표 II-5〉 OECD 주요국가의 아황산가스와 질소산화물 배출량 비교

|                      | 에너지사용량<br>(kg/TOE) | 인구 1인당<br>배출량 (kg/명) | 국토면적당<br>배출량 (kg/km <sup>2</sup> ) |
|----------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|
| <b>한 국('95)</b>      | <b>10.6(7.7)</b>   | <b>35.5(25.7)</b>    | <b>16,129.7(11,682.9)</b>          |
| 멕시코('90)             | 8.7(9.1)           | 12.8(68.2)           | 561.7(194.4)                       |
| 미 국('93)             | 9.6(10.4)          | 74.9(80.8)           | 1,989.7(2,148.1)                   |
| 일 본('89)             | 2.1(3.6)           | 7.1(12.0)            | 2,318.7(3,906.8)                   |
| 핀란드('92)             | 5.0(9.7)           | 27.4(52.9)           | 411.1(792.7)                       |
| 프랑스('92)             | 5.3(6.6)           | 21.3(26.5)           | 2,214.0(2,754.3)                   |
| 독 일('93)             | 11.6(8.6)          | 47.9(35.7)           | 10,916.2(8,136.7)                  |
| <b>OECD 평균 ('90)</b> | <b>10.0(9.4)</b>   | <b>44.7(42.0)</b>    | <b>1,214.1(1,141.9)</b>            |

주) ( )의 숫자는 질소산화물의 배출량을 나타낸 것임.

자료 : OECD Environmental Data, OECD, 1995.

또한, 1997년도 OECD에서 보고한 '한국의 환경성과 평가보고서'에 의하면(OECD, 1997), 아황산가스의 경우 1990-1995년 기간동안 매년 5%정도 감소되어 1995년에는 150만톤에 이르렀으나 OECD 평균 수준보다는 여전히 높게 나타났다. 특히 국토 단위면적당 배출량(kg/km<sup>2</sup>)은 미국, 일본 등 선진국보다 약 7배정도 높은 값으로써, 국내의 기상·지형 특성과 결부될 경우 우리나라는 환경상태가 지극히 열악한 여건으로<sup>5)</sup> 국내 아황산가스 오염은 더욱 심각하다고 하겠다.

같은 기간동안 NOx 배출량은 25% 증가되어 1995년에는 120만톤에 이른다. NOx발생원은 수송부문이 53%(대부분 도로운송임), 산업부문이 30%, 발전부문이 12% 정도이며, 단위면적당 배출량은 미국, 일본 선진국의 3배-5배 높은 수준을 나타내고 있다.

외국 주요도시의 오염도와 국내 대도시 오염도를 직접 비교하기는 어려우나, <표 II-6>에 제시한 바와 같이 여전히 우리나라 대도시의 아황산가스 오염도는 외국의 대도시보다 높은 수준이며 특히, 1995년부터 측정이 시작된 PM-10 오염도는 외국의 대도시와 비교해 현저히 높은 것으로 나타났다.

〈표 II-6〉 외국 주요도시와의 대기오염도 비교

| 국 가       | 도 시    | SO <sub>2</sub><br>(ppm) | PM-10<br>(μg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------|--------|--------------------------|-------------------------------|
| 미 국 ('92) | 로스엔젤레스 | 0.006                    | 49                            |
|           | 뉴욕     | 0.019                    | 28                            |
|           | 시카고    | 0.009                    | 42                            |
| 영 국 ('92) | 런던     | 0.011                    | 30                            |
| 일 본 ('92) | 동 경    | 0.009                    | 57                            |
| 한 국 ('96) | 서 울    | 0.013                    | 72                            |
|           | 부 산    | 0.022                    | 76                            |
|           | 대 구    | 0.023                    | 87                            |

주): 외국자료 획득의 제약으로 외국의 경우 1995년 이전 오염도 자료를 활용하였음. 외국 도시들의 오염도가 계속 개선되고 있는 실정을 감안하면 1996년도 오염도는 제시한 수치보다 훨씬 낮은 것으로 추측됨.

자료: 환경부 내부자료, 1997.

- 5) 우리나라의 환경상태가 열악하다는 것은 기상조건 중 풍속이 비교적 약한 편이고 지형적으로도 분지형태가 많아 대기오염물질 확산에 불리하다는 것이다.

요약하면, 우리나라 대부분 지역의 대기오염 수준은 환경기준 오염물질만 놓고 볼 때 아황산가스와 부유먼지의 1차 오염물질 오염도는 이들 물질의 총배출량 감소를 반영하듯 확실히 개선되었다. 물론 공업도시 일부지역은 일반 난방 밀집지역에 비해 아황산가스 농도의 계절적 변동이 두드러지지 않은 특징을 보이고 있는 가운데, 여전히 현 국가대기환경기준을 초과하는 경우가 나타나기도 한다.

지난 10여년간 도시지역의 NO<sub>2</sub> 오염도는 국가 장기환경기준 이내에 있으나 교통량의 증가로 조금씩 높아지거나 일정한 수준을 보이고 있다.

TSP의 평균오염도는 1988년이래 대략 반감되어 전지역에서 국가 기준 이하를 나타내고 있으나 봄철에는 편서풍이 중국으로부터 오염물질이 섞인 황사와 먼지를 몰고와 일일 TSP 수치가 2~4배정도 급증하기도 한다. 1995년이래 측정된 PM-10은 기준초과 지역이 대구와 안양 등 점차 광범위한 지역으로까지 확대되고 있으며 앞으로 측정망이 확충됨에 따라 기준초과 지역의 수도 늘어날 전망이다.

오존오염도는 증가하는 추세에 있으며 기준초과 횟수가 1989년이래 증가하는 경향이 있다. 오존현상을 설명하는데 커다란 의미는 없겠으나 서울의 오존 연평균치는 1990년과 1995년 사이에 0.009 ppm에서 0.013 ppm으로 증가(1998년도에는 0.018 ppm)하였다.

국내 대기질 특성에 비추어 대부분 지역의 주민들이 느끼는 체감오염도(인간 오관으로 감지할 수 있는 오염정도)는 악화되고 있는 것이 현실이다. 대도시 시민들은 오존발령 횟수가 매년 증가하고 한낮에도 하늘이 뿌옇게 흐려보이는 시정장애로 인해 오염이 악화된 것으로 인식하고 있다. 이러한 오염현상은 대부분 지역이 과거 산업발전 초기단계에서 나타난 오염(개도국형 오염)에서 선진국형 오염으로 빠르게 전환되면서 변화된 현상으로 인식되고 있다. 결국 대기환경기준오염물질 중에서도 이산화질소, 오존 및 미세먼지 오염도가 증가하는 추세에 있으며 이들 오염물질로 인해 야기되는 스모그와 시정장애 현상이 최근 우리나라 대도시 지역 대기오염 현상의 특징으로 다가오고 있다. 또한 공단지역에서는 휘발성유기화합물질, 중금속 등의 피해로 추정된 각종 질병등의 사례가 증가하고 있는 현실이다.

우리나라는 아직까지 유해대기오염물질등의 미규제대기오염물질에 대해서는 실태파악이 부족하여 오염상태를 논하기 어려운 상황이다. 특히 한반도의 지리적 위치상 중국의 장거리 이동오염물질 배출량이 국내 오염도에 미치는 영향이 상당할 것으로 예측되나, 중국의 산업화에 따른 배출량이 국내에 미치는 영향에 대한 파악은 전문가들 사이에<sup>6)</sup> 일부 이루어지는 상태로 문제해결을 위한 중국과의 공통된 인식은 아직 부족한 상황이다.

이에 따라 현안 대기오염문제를 해결하기 위해 대기환경 규제·관리 정책이 외형적으로는 점차 확대, 개선되는 듯하나, 오염문제가 제기될 때마다 단기간에 정책이 수립되는 감이 든다. 특히, 지금까지 △ 규제·관리정책들이 오염정도의 심화 및 새로운 오염형태를 대처하기에 충분한지, △ 오염자측면에서 현실적으로 대처 가능한 것인지, △ 과학적, 합리적, 효율성 측면을 고려하여 수립된 정책들인지 즉, 대기오염원이 다양화되면서 실제 인체 및 생태계의 수용체(receptor)가 받는 피해정도를 반영한 정책인지에 대한 의문이 제기되고 있다.

6) 국내 전문가들은 20-30%가 중국의 영향으로 보고 있다(조선일보, 1998년 10월 28일).

## 2. 국내 대기질에서의 건강피해 실증사례

최근 우리나라 대도시지역과 공단지역의 대기 체감오염도가 악화되는 추세이고 이러한 원인은 대기중 오존과 미세먼지로 인한 스모그와 시정장애현상의 잦은 발생을 비롯하여 공단지역의 악취 및 유해대기오염물질로 보고되고 있다. 그러나 현 대기체감오염도는 건강위해성에 대한 실증적, 객관적인 증거가 부족한 직관적 느낌에 기초한 것으로 과학적 조사, 분석이 미진한 상태에서 국민의 막연한 불안감만 조성되고 있다.

우리나라에서도 그동안 환경성 질환에 관한 연구가 수행되어 왔으나 상당수는 환경오염과 질병과의 직접적인 상관관계를 제대로 밝혀내지 못하였으며 근본적인 원인으로는 방법론적인 어려움과 함께 대기정책방향의 미설정과 이에 따른 기본적인 자료축적의 미비에 기인한다고 볼 수 있다. 그동안은 특별히 오염 문제가 가시화되어 사회적으로 문제가되어 나타난 지역, 예를 들어 일부 공단지역을 중심으로 대부분의 역학조사가 간헐적으로 실시되어온 정도이다.

### 2.1. 국내 실증사례 현황

우리나라 지역주민에 대한 대기오염의 건강피해 정도가 정량적으로 자세하게 밝혀진 바는 없으나 일부 공단지역의 환경성질환에 대한 조사와 최근 서울의 대기오염 측정자료를 이용하여 건강 피해에 대한 실증사례가 조사되었다.

그동안 체계적인 조사를 통하여 환경성 질환으로 판정된 대표적인 연구로는 1987년 수행한(장관식 외) ‘공해지역(연탄공장주변) 주민에게서 발견된 탄분 침착증’ 연구가 있다. 또한 환경성 질환의 인과관계 규명을 위해 시행된 대규모 연구들로는 ‘대기오염유발 만성호흡기계 질환의 발생 예측기법 개발에 관한 연구(국립환경연구원보, 1993,1994,1995)’와 환경부의 ‘공단지역 주민건강 조사사업에 대한 종합분석 및 평가검토 보고서(1994. 12)’가 대표적이다. 전자의 연구는 대기오염 영향의 정도를 반영해 줄 수 있는 지표를 개발하기 위한 목적으로 수행된 생태학적 연구(단면적 관찰)로서 의료보험 대상자 3,992,027명을 대도시, 중·소도시, 농어촌으로 분류하여 호흡기 질환 외래 수진율을 지역별로 비교하였다. 후자의 보고서는 공단지역 주민 건강조사를 목적으로 한 생태학적인 연구(시계열적인 분석)로서 공단지역(울산, 온산, 여천 등 12개)과 비교지역(강릉)의 13개 지역 주민 8,882명을 대상으로 1980년부터 1994년까지 15년간 설문 조사 및 건강검진을 실시하였다.

서울대학교 보건대학원의 ‘환경오염으로 인한 여천지역 주민건강영향에 대한 역학조사(1997. 5)’ 연구보고서는 역학조사를 통하여 환경오염이 되지 않은 지역 또는 다른 수준의 환경오염 지역과 여천지역의 질병상태와 그 양상을 비교함으로써 여천지역에서의 환경오염으로 인한 주민들 건강영향의 유무와 그 범위를 밝힐 수 있도록 하는 것을 목적으로 한 연구이다. 구체적으로 검토한 건강영향은 호흡기계, 피부, 그리고 신생물(암)에 대한 영향이었다. 호흡기계의 영향을 조사하기 위하여 여천지역에 거주하는 초등학교 및 중학생을 대상으로 알레르기성 호흡기 질환 및 기타 알레르기성 질환의 유병률에 대한 설문조사를 실시하였다. 피부에의 영향은 여천시 공단지역에서 포집된 공기시료를 이용한 피부접촉시험과 여천시 의료보험자료 조사를 이용하였고, 신생물에 대한 영향은 여천시 지역에 거주하는 주민들의 염색체 이상을 조사하여 타지역(서울 및 춘천지역) 주민들과 비교하는 방법과 여천시의 암으로

인한 사망자료를 여천군 및 전국자료와 비교·분석하는 방법을 이용였다.

고려대학교 환경의학연구소의 ‘여천공단지역 주민건강조사보고서(1997. 3)’는 예방의학적 측면에서 향후 주민건강 보호와 관리를 위한 기초자료를 확보하고, 환경오염에 의한 ‘주민건강영향에 관한 역학조사 사업’과 ‘건강위해성평가 사업’의 참고자료로 활용할 수 있도록 하며, 나아가 향후 여천공단의 ‘환경개선 종합대책 수립’을 위한 자료를 확보하고자 하는 목적으로 시행되었다. 이 연구는 여천공단지역 주변지역 주민들을 대상으로 개인별, 집단별 전반적인 건강상태를 조사하고자 체격검사, 시력과 청력검사, 혈압 및 심전도검사, 흉부질환을 선별하기 위한 흉부방사선 및 폐기능 검사, 당뇨 및 신장기능을 검사하는 소변검사, 빈혈이나 백혈병 등을 진단할 수 있는 혈액검사, 간염이나 간기능 이상을 검사하는 혈청검사 그리고 석유화학단지의 특성으로 발생할 수 있는 환경성 질환을 색출하기 위한 특수대사산물 검사 등을 포함한 1차 건강진단을 시행하고, 검사상 이상소견을 보이는 주민 및 질환의심자를 대상으로 정밀건강진단을 시행하였다.

대기오염물질 농도 단위변화량에 따른 건강영향을 정량적으로 평가한 국내 연구는 최근에 이루어지기 시작하였으며 대표적으로 한국환경정책·평가연구원(KEI)에서 서울대학교 예방의학과에 의뢰하여 수행한 연구를 들 수 있다(서울대학교, 1996 & 1998).

## 2.2. 현 대기질에서의 건강피해 정도

서울의 대기오염도를 실제 반영하여 역학조사를 실시한 건강피해 정도는 다음과 같다(서울대학교, 1996&1998).

### 가. 대기오염으로 인한 사망 피해

1991년부터 1996년까지 6년간 서울시의 대기오염자료와 사망자료를 분석한 결과 서울시의 대기오염이 심해지면서 사망자수 증가와 상관성<sup>7)</sup>이 있는 것으로 나타났다. 오염물질 중 오존오염의 증가가 사망자수의 상대위험도<sup>8)</sup>에 가장 두드러진 영향을 미치고 있으며 오존농도 0.025 ppm 이상에서는 오존주의보 발령수준인 오존농도 0.1 ppm에 도달하는 날에는 오존농도가 낮은 날에 비하여 사망자수가 3-10% 증가하는 것으로 나타났다.

### 나. 대기오염으로 인한 천식 발작의 피해<sup>9)</sup>

우리나라 천식유병율<sup>10)</sup>은 1980년 중반이후 급격히 증가하여 입원율이 매년 8-10% 씩 증가하고 있고 이는 대기오염과 상관성이 있다. 특히 오존과 미세먼지가 소아천식 유병율에 영향

7) 대기오염과 일별 사망의 상관성 분석을 위해 운수사고와 추락사고 사망을 제외한 6년간의 총사망자수 195,727명(일평균 89.3명)을 대상으로 분석한 결과이다.

8) 상대위험도란 오염물질 농도가 0.1 ppm증가함에 따라 사망자수에 미치는 위험도를 나타내며  $\text{Exp}(100 \times \beta)$ 로 표현된다. 여기서  $\beta$ 는 모델에서 구한 각 오염물질의 회귀계수이다.

9) 천식은 만성 호흡기 질환으로 기침, 호흡곤란, 천명(喘鳴), 흉부압박감 등의 증상이 단독 또는 복합적으로 나타난다. 미국의 보건복지부는 ‘Healthy People 2000’에서 천식입원자를 1988년도 188명(인구 10만명당)에서 2000년에는 160명으로 감소시키는 계획을 제시하고 있다. 미국의 경우 천식으로 인한 의료경제학적 비용손실이 매년 약 5조원정도 소요되는 것으로 예측되고 있다.

10) 천식은 대기오염의 가장 대표적인 건강지표이다. 1994년 1월 1일 - 1997년 12월 31일 사이 총 1,461일의 응급실 내원 전체환자수와 천식환자수(일평균 15.2명)를 대상으로 분석하였으며 서울시 소재 200병상 이상의 병원 및 종합병원 49개소를 대상으로 1996년 7월부터 1998년 2월까지 매년 여름과 겨울 일정기간 동안 전 응급실을 직접 방문조사한 결과이다.

을 주며 천식 입원율은 오존오염도가 높은 계절 또는 미세먼지 오염도가 높은 계절에 증가하는 것으로 나타났다. 오존농도 0.1 ppm 증가당 천식발작의 상대적인 위험도는 1.38배 높으며 오존농도가 상대적으로 높은 여름철에는 1.57배 높게 나타났다. 특히 미세먼지가 천식발작에 미치는 영향은 국내자료의 제약상 확인이 불가능하였다.

#### 다. 대기오염으로 인한 응급환자 발생피해

오존오염의 증가로 천식, 기관지염, 만성폐색성 폐질환으로 인한 응급환자수가<sup>11)</sup> 증가하고 있는 것으로 나타났다. 오존농도 0.1 ppm 증가당 응급환자수가 2배로 증가하며 유의한 추정치는 아니나 천식 응급환자수는 약 2.5배 증가하고, 소아 호흡기 응급환자수는 오존농도 0.05 ppm증가당 약 5배 증가할 가능성을 나타내었다. 또한 미세먼지의 증가로 천식, 기관지염, 만성폐색성 폐질환 환자수가 늘어나는 경향을 나타내고 있는데 천식과 소아의 호흡기질환은 미세먼지 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 위험도가 약 1.11배 높아져 대기오염 건강피해의 충분한 요인으로 추정되고 있다.

이와 같이 서울시에 국한하여 살펴본 건강피해 실증사례 조사에서 알수 있듯이 대기오염의 증가가 호흡기질환 환자발생을 증가시킬 뿐만 아니라 사망자수의 증가(3-10%)와도 높은 상관관계를 갖는다는 사실은 국내 대도시의 대기질이 쾌적한 생활환경으로서의 가치를 점차 상실해가는 과정임을 예고한다고 하겠다.

선진국의 경우 암발생으로 인한 사망자수의 관리목표는 10만명당 1명정도로 설정하고 있는 바 서울의 대기오염으로 인한 사망자수의 증가가 3-10%에 이른다는 것은 매우 심각한 것으로 향후 더욱 정밀하고 보다 과학적인 실증분석과 원인분석이 요구되는 상황이다.

미세먼지의 경우 국내 자료의 미비로 유의성을 이야기할 수는 없으나 앞에 제시한 <표 II-6>과 같이 우리나라보다 미세먼지 오염도가 낮은 미국의 경우 1996년도 자료에 의하면 매년 약 64,000명의 폐질환 조기사망이 미세먼지 오염에 의한 것으로 추정하고 있고 이는 전체 폐질환 사망의 6.5%에 달하는 수치라는 사실은 국내 미세먼지 오염으로 인한 건강피해의 심각성을 추측하게 하는데 충분하다. 특히 자동차 배출가스에 포함되어 있는 다양한 유해물질과 미세먼지 배출의 증가로 인한 건강피해의 심각성은 기존 대기오염 관리정책의 개념과 수단 전환의 필요성을 강하게 시사한다고 하겠다. 특히 대기환경기준 설정 오염물질이외에 미규제오염물질이 문제시되는 일부 공단지역에서는 주민 환경성질환에 대한 조사가 수행되어 왔으나 정기적으로 모니터링된 자료가 부족하여 오염실태와 건강피해정도를 정량화하기 어려운 실정이다. 그러나 지역별로 가시화되어 나타나는 건강 피해사례는 우리나라 대기질관리 정책방향에 대변화가 필요함을 강력히 시사한다고 하겠다.

11) 의료보험연합회의 1996년도의 의료보험 청구자료중 응급진료, 야간진료, 공휴일진료 자료를 근거로 서울시내 병원과 종합병원에서 호흡기질환으로 인하여 비정규적 진료를 받은 환자를 대상으로 분석한 것이다.

### Ⅲ. 주요 대기오염물질과 건강피해

대기중 오염물질은 가스, 입자상물질, 악취 등 종류와 형태가 다양하므로 인체에 미치는 영향과 정도 또한 매우 복잡하다. 대기오염이 인체에 미치는 영향과 반응 정도는 개개인의 내적 특성, 인종, 성별, 대기중 오염도, 오염에의 노출정도 및 주변환경 등 매우 복합적인 변수가 작용한다.

일반적으로 오염된 대기에 인간이 노출되면 우선 직접적으로 눈, 비강 및 상기도 점막에 대해 감각적인 영향을 받게 되고 지속적으로 노출되면 그 증상이 악화되어 급성질환이 유발된다. 이러한 질환이 반복되면 만성적인 결과로 나타나게 되고 결국 재해로 이어질 수 있다. 대기오염은 급성적으로 호흡기 질환을 야기하거나 악화시키며 장기적으로는 인간의 전신적 면역기능을 약화시키고, 특히 대기중 유해대기오염물질은 돌연변이와 각종 암을 유발할 수 있다.

#### 1. 일반대기오염물질의 건강피해

대기질관리를 위한 목표로 이용되고 있는 대기환경기준은 오염물질의 건강영향에 근거하여 설정되는데 기준이 설정된 일반대기오염물질(criteria pollutants)로는 아황산가스, 질소산화물, 일산화탄소, 오존, 먼지(입자상물질)가 대표적이며 이들의 일반적인 건강영향은 다음 <표 III-1>과 같다.

<표 III-1> 일반대기오염물질이 인체 건강에 미치는 영향

| 일반대기오염물질          | 건강영향                                                                                                                                                                                 |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CO                | 적혈구 세포에 의한 산소흡수의 방해, 인지작용 및 사고능력의 감퇴, 반사작용의 저하, 졸음유발, 협심증을 유발, 무의식 및 사망을 초래. 임신여성에 있어 태아성장 및 어린아이의 조직발달에 영향을 미침. 호흡 또는 순환계 질환자의 사망률을 증가시키는 다른 오염물질과의 상승작용. 노동자의 생산성 감소와 일반적인 불쾌감을 초래 |
| SO <sub>2</sub> * | 급성피해로는 불쾌취기, 시야감축, 생리적 장애, 압박감, 기도저항증 등이 나타나고, 만성피해는 폐렴, 기관지염, 천식, 폐기종, 폐쇄성 질환 등을 유발.                                                                                                |
| NO <sub>x</sub>   | 유행성 독감과 같은 치명적인 전염병에 대한 감수성을 증가시킴. 폐수종(肺水腫), 기관지염, 폐렴을 야기. 천식환자에게는 먼지, 화분에 대한 감수성을 증가시킴. 다른 오염물질과의 결합시 대단히 위험함.                                                                      |
| 오존                | 호흡기 점막에 염증을 일으키고 기침, 질식을 일으키며 폐기능을 손상; 눈의 염증, 두통 및 신체적 불쾌감 유발; 감기 및 폐렴에 대한 저항력 감소.; 만성적 심장질환, 천식, 기관지염 및 기종(氣腫)을 악화시킴.                                                               |
| PM                | 점막에 염증을 일으키고 다양한 호흡기 질환을 유발; 미세먼지는 폐암을 유발할 수 있고 호흡기능 장애로 인한 환자수 및 사망률을 증가시킴. 도시지역에서는 부유입자상물질과 소아 사망률간에 강한 상관관계가 존재                                                                   |

\* 자료: 윤오섭, 홍성길 공저, 『대기오염과 미기상학』, 동화기술, 1991.

OECD, *Cars and Climate Change*, 1993.

위의 표에서 알수 있듯이 일반대기오염물질은 주로 호흡기 계통의 질환과 폐기능에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타나고 있다. 결국, 대기오염으로 인한 건강질환의 발생으로 초과사망자수, 병원입원률, 응급실 방문환자수가 증가하게 된다. 대기오염물질중 오존과 미세먼지는 산업화, 자동차 증가에 따른 대기오염의 심화로 건강영향의 관심이 증대되고 있는 오염물질들로 보다 자세한 영향은 아래와 같다.

### 1.1. 오존의 건강영향

오존은 광화학산화물 및 미세먼지 등과 함께 도시에서 흔히 관찰되는 광화학스모그의 주요 성분이다. 태양광선이 강하고, 기온이 높고, 건조하며 자동차가 많은 지역에서 오존 농도가 매우 높게 관찰된다.

오존이 공중보건학적으로 주목을 받게 된 것은 1950년대에 오존에 노출된 근로자들에 대한 초기 임상검사에서 자극증상과 호흡기에 대한 영향이 있음이 우연히 밝혀진 이후이다. 특히 동물실험 연구에서 1ppm 이상의 오존을 노출시킨 경우 상당한 정도의 기도손상과 폐부종을 초래한다는 사실이 밝혀졌고 이것은 오존에 대한 우려를 더욱 증폭시키는 계기가 되었다. 지난 15년간 인간을 대상으로 한 실험적 연구를 통하여 급성 오존노출에 의해 자극성 기침과 흡기시에 흉골하동통이 발생하고, 흡기능의 감소에 따른 강제폐활량(forced vital capacity : FVC)과 강제호기폐활량(forced expiratory volume : FEV)이 감소하고, 기도 점막 하에 호중성 염증(neutrophilic inflammation)이 생긴다는 사실이 거의 확인되었다. 그러나 반복적인 노출에 의한 영구적 손상의 가능성에 대해서는 충분한 연구가 이루어지지 않았으며 최근 오존에 대한 연구의 주요한 주제이기도 하다(서울대학교, 1998).

오존의 독성에 대한 실험적 연구에 따르면 오존의 피해는 휴식기 동안에는 이렇다 할 영향이 없으나 운동시 기도에 영향을 미친다는 사실이 관찰되었다. 이는 신체적 운동시 환기량을 증가시켜 오존 노출량을 증가시킴으로써 오존에 의한 영향이 증대되는 것으로 판단된다. 일반적으로 폐기능의 변화는 오존이 0.15ppm을 넘을 때 관찰되었으나 장시간(예: 6-8시간 정도) 지속되는 경우 0.12ppm 이하의 농도에서도 폐기능의 감소를 초래할 수 있음이 관찰되었다. 1990년 Horstman등의 실험결과에 따르면 0.08ppm의 오존농도에 6.6시간 노출된 경우 통계상 유의한 강제호기폐활량의 평균값에서 변화가 관찰되었다. 이러한 실험적 연구결과는 대기환경기준 설정시 현재의 1시간 평균치 이외에 더 오랜 시간의 평균치 설정 필요성에 대한 근거를 제공하여 주고 있다<sup>12)</sup>.

오존에 의한 건강영향을 평가하는 역학적연구방법에는 폐기능의변화이외에도 급성호흡기 질환으로 인한 병원입원 또는 일별 사망자수의 변화를 평가하는 방법들이 제시되고 있다. 반복된 오존의 노출이 비가역적인 폐손상을 가져오는지에 대해서는 아직 불확실한 상태로 관련 연구가 진행중이다. 현재 지역사회를 대상으로 장기간 노출영향에 대한 연구는 부족하나 오존노출에 따른 단기간의 건강피해로서 비강형태의 변형과 천식환자에서 입원율의 증가 및 응급실 방문의 증가도 관찰되며, 단기간의 오존증가에 의해 모든 형태의 호흡기계 질환으로 인한 입원율의 증가도 관찰되나 정상인과 비교하여 환자의 일회성 노출에 대한 의미있는 폐기능 감소가 보이지는 않는다.

12) 이러한 연구결과들이 최근 미국의 오존 대기환경기준을 8시간 평균치 기준으로 개정하는데 활용되었다.

결론적으로 현재까지의 연구를 통해 오존에 대한 고위험군은 천식이나 만성폐색성 폐질환자와 같이 약한 폐기능을 가진 환자, 즉 생물학적 약자를 들 수 있으며, 정상인에게서는 심한 운동을 할 때 오존에 의한 영향을 받을 수 있는 것으로 이해된다.

## 1.2. 먼지(입자상물질)의 건강영향

먼지는 공기중에 있는 고체상 물질 및 액체상 물질을 모두 포함하고 있으며 크기에 따라 다양한 구성성분과 배출원을 가지고 있다.

고농도의 먼지가 사망자수의 증가나 호흡기질환의 증가와 관련이 있다는 사실은 과거 수차례의 대기오염 에피소드에서 명확히 입증된 바가 있으며, 최근에는 각국이 정한 대기환경기준치이하의 농도에서도 건강에의 영향이 있다는 역학적연구들이 속속 발표되고 있다. 먼지의 영향을 사망원인별로 분석한 결과에 따르면 만성폐쇄성 호흡기질환 사망이 가장 강한 관련성이 있고 다음이 심혈관계 질환으로 인한 사망인 것으로 나타났다. 먼지에 대한 노출은 호흡기질환의 발생증가와 이로 인한 병원입원의 증가에도 기여하는 것으로 알려져 있다. 먼지가 사망자 수와 호흡기질환으로 인한 입원 또는 응급실 내원환자에 미치는 영향은 여러 연구에서 비교적 일관되게 유의한 것으로 나타나고 있다.

입자상 물질에 대한 노출은 폐기능에 변화를 일으키며 약한 기도에 염증을 유발한다. 더욱이, 산성입자에 대한 노출은 기관지의 압박감을 일으키고 입자상물질이나 감염성 유기체들을 기도로부터 정기적으로 제거해주는 공정을 약화시킬 수도 있다. 결국에는 기존의 호흡기 질환의 악화, 더욱 빈번하고 심각한 조직의 손상, 더 심각한 폐기능의 저하를 일으키게 될 것이다. 또한 박테리아, 바이러스성 감염에 대한 민감성을 증가시키고, 저항력이 약한 사람들, 노인, 만성적인 폐질환을 가지고 있는 사람들, 면역체계에 장애가 있는 사람들에게 있어서는 호흡기 질환에 걸릴 가능성이 증가하게 된다.

이러한 입자상물질의 건강피해는 입자크기가 작을수록 영향이 큰 것으로 보고되고 있다.

### 1.2.1. 디젤배출 입자상물질이 건강에 미치는 영향<sup>13)</sup>

직경  $10\mu\text{m}$  보다 작은 대기중의 입자상 물질은  $\text{PM}_{10}$ 이라 불리우며, 호흡에 의해 인간의 폐속 깊은 곳까지 침투할 수 있으며  $2.5\mu\text{m}$ 보다 작은 입자들( $\text{PM}_{2.5}$ )의 경우에는 폐의 가장 깊은 기낭 속에서 사라지지 않고 오랫동안 머물러 있기도 한다. 미국에서는 디젤 배출가스 중의 전체 입자상물질의 98% 이상이  $\text{PM}_{2.5}$ 로 알려져 있다.  $\text{PM}_{10}$ 은 1982년 부터 미국 캘리포니아 대기자원국(Air Resources Board)에 의해 규제되었고, 1987년 이후로는 미국 환경보호청(EPA)에 의해 규제되고 있다. 그러나  $\text{PM}_{10}$  하나만을 관리하는 방법은 디젤 배출물질 농도를 안전 수준 이하로 감소시키는데 충분하지 못하다<sup>14)</sup>.

미세입자가 건강에 미치는 영향에 대한 이해는 1990년대에 커다란 진전이 있었다. 1987년 이후로 24편 이상의 지역사회 건강에 대한 연구결과는 입자상 물질에 대한 현행의 대기질 기준 이하의 농도에서도 폐기능 저하, 병원 및 응급실 출입 회수의 증가가 나타나는 것을 보여

13) 자료 : NRDC Pro : Exhausted by Diesel-Chapter 2, 1998.

<http://www.nrdc.org/nrdcpro/ebd/chap2.html>

14)  $\text{PM}_{10}$ 의 측정은 질량을 기초로 하기 때문에, 관리전략은 건설이나 농업에서 발생하는 먼지 같은 크고, 무거운 입자들의 저감을 강조하며, 디젤 연소로부터 발생하는  $\text{PM}_{2.5}$ 의 저감에는 초점을 두고 있지 않다. 미세입자들에 의해 발생하는 주요한 위험을 인식하게됨으로써, 미국 EPA는 직경  $2.5\mu\text{m}$ 이하의 입자상 물질에 대한 새로운 대기환경기준을 설정하여, 1997년 9월 16일부터 효력을 발휘하게 되었다.

주었다. 장기 노출에 대한 연구는 어린이와 어른 모두에 대하여 폐기능 저하와 관계가 있는 것으로 보였다. 어린이의 호흡기 질환 재발은 입자상 물질에 대한 노출 증가와 관계가 있으며, 그러한 어린이들의 질병 형태는 차후 폐손상의 민감성에 대한 위험 요소가 될 수도 있다.

최근의 연구에서는 디젤 배출가스가 천식악화의 빈도와 심각성을 더욱 증가시키며, 기도염증을 일으켜 천식을 일으키거나 악화시킬수 있는 것으로 나타났다. 1981~1988년 사이에 미국 어린이의 약 40% 정도까지 천식의 영향범위가 증가하였다는 사실로 비추어 볼때 이러한 연구는 매우 새롭고 중요한 정보이다. 미국의 천식환자는 10,300,000명으로 추정되며, 천식으로 인한 사망률은 1980년부터 1993년 사이에 118% 증가하였다. 천식은 흑인이나 라틴 아메리카 계열의 어린이들에게서 더욱 빈번히 발생하고 있으며, 흑인 어린이들의 천식에 의한 사망률은 백인어린이보다 4배 이상 높은 것으로 나타났다.

1993년 12월 하버드 연구팀은 16년 간의 지역사회 건강연구에 대한 결과를 발표하였는데, 이것은 서로 다른 대기오염 수준을 가지는 미국내 6개 도시지역에 거주하는 8,000명의 성인을 대상으로 이들의 건강상태를 추적한 연구였다. 나이와 흡연에 대하여 조정한 후에, 가장 오염도가 높은 도시에 살고있는 주민의 사망률이 가장 오염도가 낮은 도시에 살고 있는 주민의 사망률보다 26%나 더 높은 것으로 나타났다. 이것은 가장 오염된 도시에 살고 있는 주민들의 수명이 1~2년 더 짧다는 것으로 해석되었다. 또 다른 중요한 연구가 이러한 발견을 확증하였는데 성인 1,200,000명의 건강에 대한 미국암협회(American Cancer Society: ACS)의 자료와 미국 내 151개 대도시 지역의 대기오염 자료를 관련시킨 것이었다. 연구결과 가장 오염이 심한 지역에 살고 있는 사람들은 가장 오염이 적은 지역에 살고 있는 사람들보다 사망위험이 17% 더 큰 것으로 나타났다.

1996년 미국 EPA는 남동부 로스엔젤레스 카운티에 집중적으로 실시한 위해성평가 결과를 발표하였다. EPA는 현행의 연방기준 이상의 입자상 오염물질의 수준으로 인해 이 지역 한곳에서만 매년 3,000명 이상의 초과 사망자가 발생하는 것으로 추정하였다. 연방정부는 1995년 남동부 로스엔젤레스에서 관찰된 입자수준에서 매년 52,000건 이상의 호흡기 증상과 관련된 에피소드 발생을 예상하였고, 그 지역의 입자상물질 오염도가 현행의 연방기준으로 떨어진다면 하더라도 40,000명 이상이 입자상물질에 의해 건강에 영향(300~700명의 사망 포함)을 받을 것으로 추정하고 있다.

### 1.2.2. 입자상물질에 의한 조기사망피해 정도<sup>15)</sup>

미국의 자연자원방지위원회(Natural Resources Defence Council: NRDC)는 하버드 공공보건대학의 Joel Schwartz 박사가 제시한 방법을 이용하여 입자상 오염물질에 기인한 사망율을 추정하였고, 입자상물질에 의한 오염정도를 평가하기 위하여 지역 데이터를 이용한 미국암협회(ACS)와 하바드 의과대학의 1995년 연구자료를 활용하였다. ACS의 연구는 가장 광범위하고 포괄적인 장기 역학적연구로 대기오염물질이 인간의 건강에 미치는 영향을 조사하였다. 연구는 통계학적인 기법을 이용하였으며, 나이, 흡연, 체중, 직업상의 노출, 기타 위해성인자에 의한 효과에 대해서도 조정하였다. NRDC의 분석은 다음의 4단계로 이루어졌다.

#### ① 통계가 가능한 대도시 지역에 대한 EPA의 입자상물질 모니터링 자료의 분석

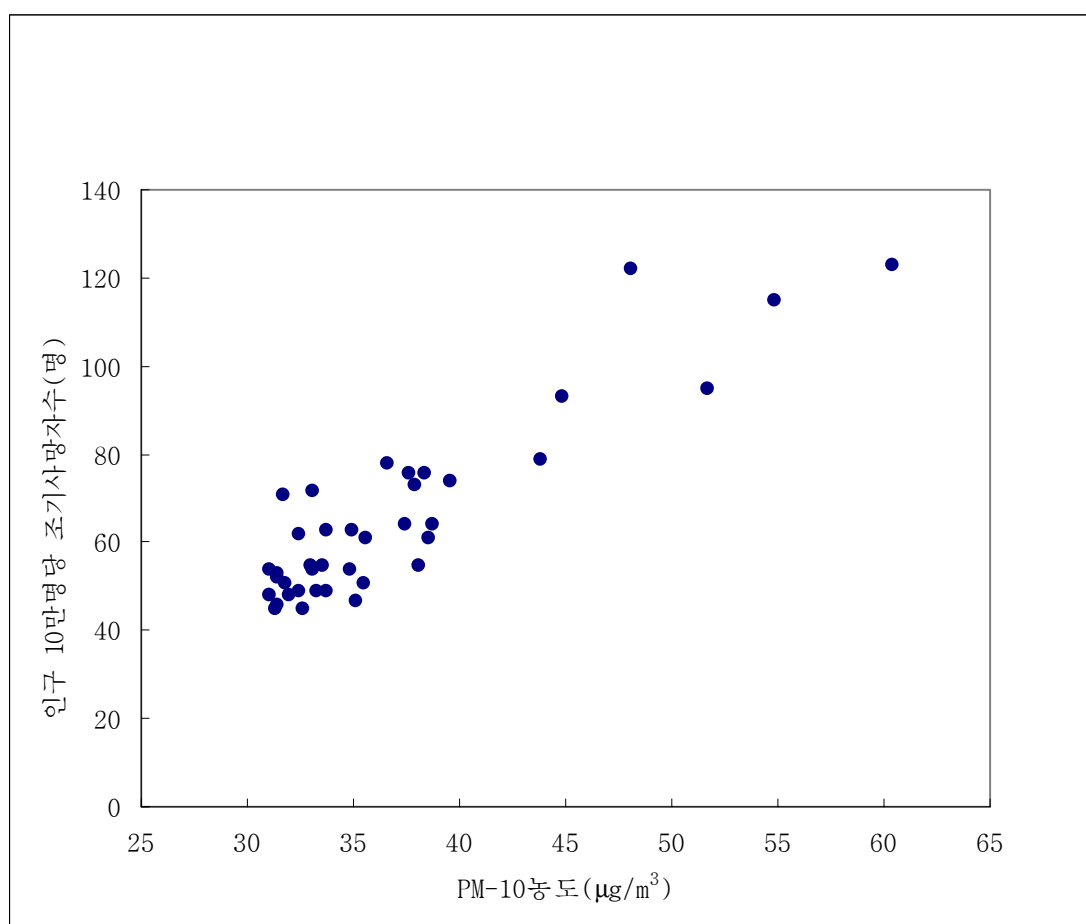
15) AIR at NRDC : Air Pollution FAQ, <http://www.nrdc.org/faqs/>, 1996.

NRDC Pro : Breath-Taking, <http://www.nrdc.org/nrdcpro/bt/>, 1996.

- ② National Center for Health Statistics로부터 지정된 심폐기 질환에 의한 성인 사망을 자료를 입수하여 도표화
- ③ ACS연구에서 제시한 자료로부터 입자상 오염물질  $\mu\text{g}$ 당 위험계수를 계산
- ④ 특정도시의 모니터링 자료와 사망율 자료에 위험계수를 적용

NRDC 보고서에 의하면 매년 심폐기 질환으로 인한 조기 사망자 중 약 64,000명이 입자상 오염물질에 의해 사망하는 것으로 추정하고 있다. 이것은 매년 심폐기질환으로 인한 총 사망자 986,000명의 6.5%에 해당하는 숫자이다.

자료 활용이 가능한 미국내 239개 대도시 지역 중에서 PM-10의 농도가 상위 50위 이내에 드는 도시에 대하여 1) 연평균 PM-10의 농도와 2) 입자상 오염물질에 기인한 인구 100,000명당 심폐질환에 의한 조기사망(premature mortality)자 수를 다음의 <표 III-2>와 <그림 III-1>에 나타내었다. 여기서 PM-10 농도는 1990~1994년 5년간 모든 측정소 자료의 연간 mean 농도의 평균값이다. PM-10 농도와 조기사망자수 사이에 유의한 상관관계가 있음을 알 수 있다.



<그림 III-1> PM-10농도 변화에 따른 인구 10만명당 조기사망자수

자료 : NRDC Pro : Breath-Taking, <http://www.nrdc.org/nrdcpro/bt/>, 1996.

〈표 III-2〉 연평균 PM-10 농도와 인구 100,000명당 조기사망자 수(미국, 1990~1994년 평균)

| 도시명                              | PM-10 농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 인구 100,000명당 조기사망자수 |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| Visalia-Tulare-Porterville, CA   | 60.4                                 | 123                 |
| Bankersfield, CA                 | 54.8                                 | 115                 |
| Fresno, CA                       | 51.7                                 | 95                  |
| Riverside-San Bernardino, CA     | 48.1                                 | 122                 |
| Stockton, CA                     | 44.8                                 | 93                  |
| Los Angeles-Long Beach, CA       | 43.8                                 | 79                  |
| Phoenix, AZ                      | 39.5                                 | 74                  |
| Spokane, WA                      | 38.7                                 | 64                  |
| Reno, NV                         | 38.5                                 | 61                  |
| Las Vegas, NV                    | 38.3                                 | 76                  |
| Anaheim-Santa Ana, CA            | 38.1                                 | 55                  |
| Medford, OR                      | 37.9                                 | 73                  |
| St. Joseph, MO                   | 37.6                                 | 76                  |
| Yuba city, CA                    | 37.4                                 | 64                  |
| Steubenville-Weirton, OH-WV      | 36.6                                 | 78                  |
| Cleveland, OH                    | 35.6                                 | 61                  |
| Omaha, NE-IA                     | 35.5                                 | 51                  |
| Atlanta, GA                      | 35.1                                 | 47                  |
| Chattanooga, TN-GA               | 34.9                                 | 63                  |
| San Diego, CA                    | 34.8                                 | 54                  |
| Chicago, IL                      | 33.7                                 | 49                  |
| Roanoke, VA                      | 33.7                                 | 63                  |
| Philadelphia, PA-NJ              | 33.5                                 | 55                  |
| Detroit, MI                      | 33.2                                 | 49                  |
| Yakima, WA                       | 33.1                                 | 54                  |
| Chico, CA                        | 33.1                                 | 72                  |
| Decatur, IL                      | 33.0                                 | 55                  |
| Knoxville, TN                    | 32.6                                 | 45                  |
| Nashville-Davidson, TN           | 32.4                                 | 49                  |
| Atlantic City, NJ                | 32.4                                 | 62                  |
| Sacramento, CA                   | 31.9                                 | 48                  |
| St. Louis, MO-IL                 | 31.8                                 | 51                  |
| Gadsden, AL                      | 31.7                                 | 71                  |
| Mobile, AL                       | 31.4                                 | 46                  |
| Providence-Warwick-Pawtucket, RI | 31.4                                 | 52                  |
| Huntington-Ashland, WV-KY-OH     | 31.4                                 | 53                  |
| Hamilton-Middletown, OH          | 31.3                                 | 45                  |
| Pittsburgh, PA                   | 31.0                                 | 54                  |
| Lancaster, PA                    | 31.0                                 | 48                  |

자료 : NRDC Pro : Breath-Taking, <http://www.nrdc.org/nrdcpro/bt/>, 1996.

## 2. 유해대기오염물질의 건강피해

대기환경기준이 설정된 일반대기오염물질과는 달리 유해대기오염물질(Hazardous Air Pollutants: HAPs)은 미규제기준오염물질(non-criteria pollutants)로 분류되며, 대부분 대기중에 미량으로 존재하면서 인체에 독성, 발암잠재성 및 생체축적등을 일으키고 낮은 농도에서도 건강에 악영향을 초래한다(한화진, 1994). 유해대기오염물질중에서는 벤젠과 같이 대기중 체류기간이 길어 피해정도가 큰 유기화학종도 포함되어 있다. 유해대기오염물질에는 휘발성 유기화합물질(Volatile Organic Compounds: VOC), 다고리방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs)를 비롯하여 중금속과 같은 무기화학종 등 다양하다. 우리나라는 유해대기오염물질을 특정대기유해물질로 분류하고 1998년 현재 25개물질을 지정하고 있으며 미국은 188종을<sup>16)</sup> 일본은 234개물질을 지정해 놓고 있다.

중금속을 비롯하여 위해성이 알려진 대표적인 유해대기오염물질별로 급·만성 위해 정도와 건강장애 증상을 [부록]에 제시하였다.

VOC는 오존 전구물질(precursor)로써 질소산화물과 광화학반응에 의해 오존 및 PAN(Peroxy Acetyl Nitrate)등의 광화학산화물을 형성하는데 형성된 오존과 광화학산화물은 건강에 커다란 피해를 초래한다. VOC는 건강에 유해한 2차 오염물질의 생성이라는 간접적인 영향 뿐만 아니라 자체로도 물질에 따라서 직접적으로 인체에 아주 유해한 영향을 줄 수 있어 상당종류의 VOC가 유해대기오염물질에 포함되어 있다. 또한 VOC는 악취원인물질로 인체의 감각능력에 영향을 주기도 하고 일시적인 최면효과를 발휘하거나 인체에 대한 발암성 물질로서 작용할 수도 있다. 오존 전구물질로서 VOC 자체로 유해한 화합물질 종류는 다음 <표 III-3>에 제시되었다.

<표 III-3> 오존전구물질로서 자체로 유해한 VOC 화합물질 종류

|                  |                      |                           |
|------------------|----------------------|---------------------------|
| Acetaldehyde     | Diazomethane         | 2-Nitropropane            |
| Acetamide        | 1,4-Dichlorobenzene  | Phenol                    |
| Acetonitrile     | Diethanolamine       | Phenylene diamine         |
| Acetophenone     | Diethyl sulfate      | Propionaldehyde           |
| Acrolein         | Dimethyl sulfate     | Propylene dichloride      |
| Acrylamide       | Epichlorohydrin      | Propylene oxide           |
| Acrylic acid     | Ethyl acrylate       | Styrene                   |
| Acrylnitrile     | Ethyl benzene        | Styrene oxide             |
| Allyl chloride   | Ethylene dichloride  | 1,1,2,2-Tetrachloroethane |
| Aniline          | Ethylene oxide       | Tetrachloroethylene       |
| Benzene          | formaldehyde         | Toluene                   |
| Benzotrichloride | Hexane               | 2,4-Toluene diamine       |
| Benzyl chloride  | Methanol             | 1,2,4-Trichlorobenzene    |
| 1,3-Butadiene    | Methyl chloride      | Trichloroethylene         |
| Caprolactam      | Methyl ethyl ketone  | Triethylamine             |
| Chlorobenzene    | Methyl methacrylate  | 2,2,4-Trimethylpentane    |
| Chloroform       | Methyl-t-butyl ether | Vinyl acetate             |
| Chloroprene      | Methylene chloride   | Vinyl bromide             |
| Cresols          | Nitrobenzene         | Vinyl chloride            |
| Cumene           | 4-Nitrophenol        | Vinylidene chloride       |
|                  |                      | Xylenes                   |

자료 : Patrick, 1994.

16) 당초 189개물질이 지정되었으나 1996년 6월 카프로락탐 항목이 제외되었다.

이상의 범주에 속하는 유기화합물질 중에서 일상적인 환경대기로부터 쉽게 검출될 가능성이 높으며, 또한 독성에 관해 신뢰도 높은 정보가 많이 축적된 대표적인 유기화합물질들의 유해성은 아래와 같다.

- 벤젠과 1,3-부타디엔 : 백혈병 유발 잠재력 지님
- 포름알데히드 : 비암(鼻癌) 유발 잠재력 지님
- 다고리 방향족 탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs) : 폐암 유발 잠재력 지님
- polychlorinated biphenyl compounds와 polychlorinated terphenyl compounds : 인체 유전 독성 유발
- 다이옥신류와 퓨란류 : 인체 유전독성 유발

VOC에 의한 독성은 VOC의 구조, 노출농도와 기간, 다른 VOC와의 복합노출, 개인의 감수성, 표적장기의 분포 등에 따라 다르게 나타난다. VOC에 대한 고농도 및 저농도, 일시적 또는 만성적 노출 정도에 따라 중추신경계, 말초신경계, 피부 및 점막, 호흡기계, 심장 및 순환기계, 신장, 간, 조혈기관, 생식기 등에 영향을 미쳐 건강 장애를 일으킬 수 있는 것으로 알려져 있으며, 일부 VOC 중 인간에 대한 발암성이 입증되거나 의심되고 있는 물질들도 있다. 몇가지 중요 VOC의 특이 위해성에 의한 건강장애는 아래의 <표 III-4>와 같다.

<표 III-4> 대표적 VOC의 건강 위해성

| 물 질                                              | 건 강 장 해                                  |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 벤젠                                               | 조혈기능 장애(범혈구감소증, 재생불량증 빈혈), 부정맥, 발암성(백혈병) |
| 할로젠화탄화수소(CCl <sub>4</sub> , CHCl <sub>3</sub> 등) | 간독성, 신독성, 심장독성(부정맥, 돌연사), 동물에서 발암성       |
| 염화비닐                                             | 근골격계 장애, 간독성, 발암성(간 맥관육종)                |
| 메탄올                                              | 시력상실, 대사성 산증                             |
| 포름알데히드                                           | 알레르기성 피부염, 폐기능 저하, 동물에서의 발암성             |
| 노말 헥산                                            | 말초신경 장애                                  |

자료:한국대기보전학회, 『대기환경과 휘발성유기화합물질』, 1998.

#### □ 자동차 배출가스 유해대기오염물질의 건강피해

1990년 미국 EPA의 조사에 의하면 다양한 유해대기오염물질에 의한 발암위해성중 자동차 배출물질에 의한 것이 약 55%를 차지하고 있으며 자동차 배출물질 중에서도 디젤 입자상물질과 벤젠, 부타디엔 등이 발암성이 큰 것으로 알려져 있다(환경부, 1995).

〈표 III-5〉 자동차 배출오염물질에 의한 초과 발암빈도

| 자동차 배출오염물질 | 미국 초과 발암빈도/년 |          |          |
|------------|--------------|----------|----------|
|            | 1986년        | 1995년    | 2005년    |
| 디젤입자상물질    | 178-860      | 106-662  | 104-518  |
| 포름알데히드     | 46-86        | 24-43    | 27-30    |
| 벤젠         | 100-155      | 60-107   | 67-114   |
| 가솔린 증기     | 17-68        | 24-95    | 30-119   |
| 1,3-부타디엔   | 236-269      | 139-172  | 144-171  |
| 아세트알데히드    | 2            | 1        | 1        |
| 가솔린 입자상물질  | 1-176        | 1-156    | 1-146    |
| 석면         | 5-33         | 0        | 0        |
| 카드뮴        | < 1          | < 1      | < 1      |
| 에틸렌브로마이드   | 1            | < 1      | < 1      |
| 총계         | 586-1650     | 355-1236 | 374-1099 |

자료: Patrick, 1994.

특히 디젤 입자상물질의 건강위해성이 문제시됨에 따라 캘리포니아 EPA에서는 디젤차량에서 배출되는 물질의 건강위해성에 대한 평가를 시행해오고 있으며 이에 따라 최근 디젤입자상물질의 발암성이 확인되어 발표된 바 있다. 디젤 배출물질에는 디젤엔진에서 나오는 복잡한 화학물질의 혼합물인 가스상물질 또는 매우 작은 입자의 탄소핵을 둘러싼 탄화수소류의 유기화합물 등이 포함되어 있다. 디젤배출물질중 미국 캘리포니아 EPA에서 유해대기오염물질로 분류한 41개 물질들의 항목은 다음 〈표 III-6〉과 같다.

〈표 III-6〉 디젤 배출가스중의 유해대기오염물질 성분 (미국 캘리포니아)

|                            |                                              |
|----------------------------|----------------------------------------------|
| 아세트알데히드                    | 무기납                                          |
| 아크로레인                      | 망간 화합물                                       |
| 아닐린                        | 수은 화합물                                       |
| 안티몬 화합물                    | 메탄올                                          |
| 비소                         | 메틸에틸케톤                                       |
| 벤젠                         | 나프탈렌                                         |
| 베릴륨 화합물                    | 니켈                                           |
| 비페닐                        | 4-니트로비페닐                                     |
| bis[2-ethylhexyl]phthalate | 페놀                                           |
| 1,3-부타디엔                   | 인                                            |
| 카드뮴                        | 다고리방향족탄화수소(PAHs)와 그들의 유도체를 포함한 다고리유기화합물(POM) |
| 염소                         |                                              |
| 염화벤젠                       |                                              |
| 크롬 화합물                     | 프로피온알데히드                                     |
| 코발트 화합물                    | 셀레늄 화합물                                      |
| creosol 이성체                | 스틸렌                                          |
| 시안 화합물                     | 톨루엔                                          |
| dibutylphthalate           | 크실렌 이성체와 혼합물                                 |
| 다이옥신 & 다이벤조퓨란              | o-크실렌                                        |
| 에틸벤젠                       | m-크실렌                                        |
| 포름알데히드                     | p-크실렌                                        |

주) 캘리포니아 Health and Safety Code section 39655에 정의된 유해대기오염물질 항목임.

자료: <http://www.nrdc.org/nrdcpro/ebd/chap2.html>, 1998.

## Ⅳ. 대기오염의 일반적 건강영향 평가기법

다양한 종류의 대기오염물질에 대한 정량적인 자료가 마련되지 못할 경우 실제 인체에 피해를 주는 보건학적 영향을 정확히 평가할 수 없게 되며, 각종 대기질관리 정책의 시행에도 불구하고 환경요인에 관련된 건강피해는 증가하거나 일반대중의 체감오염도가 실제 조사된 대기질 상태와는 다르게 나타나 불신감을 초래하는 원인이 되기도 한다. 이에 따라 대기오염이 인체에 미치는 영향을 밝혀내는 과학적인 건강영향 평가방법이 대기질관리정책에 활용되고 있다.

대기오염의 건강영향평가는 크게 2가지로 분류된다. 하나는 역학 및 독성학적연구를 통해 건강위해성을 정성적으로 평가하는 것으로써 화학물질에 노출될 경우 건강에의 악영향의 형태를 확인하고 인과관계(casual relationship)를 결정하는 것이며, 또 다른 하나는 특정 화학물질에 노출될 경우 나타나는 건강에의 악영향을 보다 정량적으로 계량화하는 것이다. 본 장에서는 이러한 건강영향 평가방법에 대해 외국의 사례를 기초로 제시하였다.

### 1. 정성적 건강영향 평가방법

대기오염에 의한 인체영향을 정성적으로 평가하는 방법은 대기오염물질에 의한 건강에의 악영향의 인과관계를 결정하는 것으로 독성학적(toxicological) 연구와 역학적(epidemiological) 연구로 크게 분류되어진다.

#### 1.1. 독성학적연구

독성학적연구에는 급성독성(acute toxicity), 비만성독성(subchronic toxicity), 만성독성(chronic toxicity), 발암성(carcinogenicity), 발육독성(developmental toxicity), 생식독성(reproductive toxicity), 신경독성(neurotoxicity), 유전자독성(genotoxicity) 및 SAR(Structure-Activity Relationship)분석이 해당된다. 급성독성 연구는 단기노출로부터 발생할 수 있는 건강영향에 대한 정보를 제공하며, 비만성독성 연구는 치명적이지는 않으나 해로운 영향을 평가하기 위하여 수행된다. 만성독성 연구는 특정 동물의 일생의 상당기간 동안에 지속적 또는 반복적 노출에 의한 영향을 평가하는 것이다. 발암성 연구는 만성적 실험과 같은 유형이며, 발육독성 연구는 임신 전이나 태아기의 성장 동안의 노출 또는 출생후 성적 성숙 시기 동안의 노출에 기인하여 발생할 수도 있는 성장하는 유기체에 대한 악영향에 대해서 연구하는 것이다. 생식독성 연구는 생식기능, 임신, 출산, 자손의 발육과 진화에 대한 화학물질의 영향과 관련이 있다. 신경독성 연구는 뇌 및 신경계에 대한 악영향을 연구하는 것이며, 유전자독성 연구는 염색체 물질에 대하여 화학물질이 영향을 미친다는 증거를 제공한다. SAR 분석은 독성에 관한 정보가 거의 없거나 또는 전혀 없는 독성 대기오염물질에 의한 잠재적인 위해성을 예상하는데 도움을 준다. SAR은 건강이나 환경에 대한 영향이 체계적으로 정리되어 있는 화학적으로 유사한 물질에 대한 조사를 토대로 시험되지 않은 다른 화합물의 생물학적 영향을 예측하기 위하여 사용된다.

독성학적연구는 동물실험, 세포실험, 인체실험 등을 통해서 이루어진다(Patrick, 1994). 화

학물질에의 노출에 따른 인간의 잠재적인 피해를 결정하는 것은 이상적으로는 인간에 대한 관찰을 기초로 하지만, 그러한 정보는 매우 제한되어있으며, 동물실험자료에 주로 의존할 수밖에 없다.

동물실험이나 세포실험은 연구자 임의로 실험조건을 조절하여 대기오염물질로 인한 손상의 병리적 기전을 밝히는데 주로 사용되고, 오염물질의 만성독성을 보는 데도 매우 유용한 방법이다. 그러나 실험결과를 인체에 적용하기 위해서는 필연적으로 외삽의 과정을 거쳐야 하기 때문에, 동물실험 조건보다 상대적으로 낮은 농도에서 제기되고 있는 현재의 대기오염 수준이 인체에 미치는 영향을 평가하거나 또는 이를 이용하여 대기환경기준을 정하는데 큰 도움이 되지 못하고 있다. 인체실험은 사람을 대상으로 하기 때문에 외삽의 문제는 없으나 실험에 많은 비용이 들어가고 윤리적 문제로 인하여 가역적효과(reversible effect)만을 관찰할 수 있다는 한계가 있다. 또한 실험조건에서는 소수 오염물질의 효과만 파악할 뿐 여러 종류의 오염물질로 구성된 실제 대기상태를 정확하게 반영하지 못한다는 제약도 가지고 있다.

## 1.2. 역학적연구

역학은 한 인구집단내에서 질병의 발생여부에 대하여 연구하는 학문이다. 역학적 자료에 대한 정확한 평가는 잠재적인 선입관에 대한 주의깊은 비교·검토와 개별적인 연구 및 기록의 한계와 장점에 대해 간결하고 명확한 설명을 필요로 한다. 역학적 자료와 기타 인간과 관련된 자료들의 성공적인 사용을 위한 열쇠는 'a weight of evidence' 방법을 사용하여 이러한 자료들을 다른 형태의 자료들과 통합하는 것이다. 역학적연구의 기본은 동물, 인간, 세포실험을 통한 독성학적 연구의 모든 자료를 조사하여 인과성을 확인하고 인간에 대해 가능한 건강영향의 특성을 확립하는 것이다(한국대기보전학회, 1998).

역학(疫學, epidemiology) : 어원상으로 epidemiology는 epidemic에 logos (=science, 학문)를 합한 말이다. 'epidemic'에는 두가지 뜻이 있는데 하나는 epi(=upon) + demos(=people)의 합성어로서, 이를 직역하면 '인간집단에 관한'이라는 의미가 된다. 다른 하나는 Hippocrates(ca 400 B.C.)의 저서 'Epidemic'에서 유래한 것으로 '인간 집단에서 급작스레 유행하는 전염병'을 뜻하기도 한다. 즉, 인간집단에서 일어나는 유행병의 원인을 규명하는 학문이라는 뜻이다. 우리나라와 일본에서는 epidemiology를 역학(疫學)이라고 번역하여 사용하고 있는데 여기에서의 역(疫)자는 유행병을 의미한다. 중국에서는 이를 유행병학(流行病學)이라고 부른다.

역학은 어원에서 보듯, 전염병이 인류의 주된 질병이었던 시대에 이를 예방하고 관리하는 목적으로 시작되고 발전되었기 때문에 1930년대까지의 역학의 내용과 대상은 거의 전부가 전염병이었다. 그러나 인류의 질병 양상이 변천함에 따라 역학의 대상도 급성 전염병에서 만성전염병, 비전염성 질환 등 모든 질병으로 확대되었을 뿐만 아니라 오늘날에는 사회적 병리현상, 생리적 상태 그리고 건강 자체까지도 그 대상으로 하고 있다. 따라서 오늘날의 역학은 다음과 같이 정의되고 있다. "역학은 인간집단에서 발생하는 질병 또는 생리적 상태의 빈도와 분포, 그리고 그러한 분포를 결정하는 요인들에 관하여 연구하는 의과학의 한 분야이다."

이상의 내용을 요약한다면 역학에서는 첫째, 인간집단(human)이 직접적인 연구 대상이며, 둘째, 집단 구성원에서 발생하는 건강에서 사망에 이르는 모든 건강-질병 현상의 빈도, 분포, 그리고 이와 원인적으로 관련되는 결정요인 등을 규명하며, 셋째, 궁극적으로는 질병예방과 건강증진을 위한 실제적인 수단을 개발하는 학문이라고 할 수 있다.

자료: 한국대기보전학회, 『대기환경과 휘발성유기화합물질』, 1998.

역학조사는 크게 현상설명적(descriptive)인 조사연구와 분석적(analytic) 연구로 구분된다. 현상설명적 조사연구는 ① 인구집단 내에서의 질병발생율이 위해성인자(risk factor)의 시간적 또는 공간적 분포에 비교되어지는 상관관계적인 연구와, ② 질병과 몇가지 의심스러운 위해성인자 예를 들면, 인구통계학적인 노출, 생활양식에 따른 노출 또는 환경적·직업적 노출 같은 위해성인자와의 관련성을 보여주는 개개인에 대한 사례기록(case reports)을 포함한다. 현상설명적 조사연구는 일정시점에서 대기오염 정도가 서로 다른 여러 지역의 건강지표를 비교하는 것으로서 대기오염의 장기적인 영향을 파악할 수 있다는 장점이 있는 반면에 흡연이나 사회·경제적 수준, 나이 등 교란 요인을 효과적으로 통제하는데 어려움이 많은 단점이 있다. 또한 장기간에 걸쳐 이루어진 노출을 평가하는 것이 중요한 과제가 되기 때문에 인과성을 논증하는데 있어서 필수적인 조건인 시간적 선후관계의 규명이 어렵다는 한계가 있다. 이러한 유형의 조사는 가정(assumption)을 세운후 그 가정을 더욱 명확하게 만들기 위하여 사용되어지기는 하지만, 인과관계를 추론하기 위한 목적으로 사용하기는 거의 불가능하다.

분석적연구는 크게 2가지로 분류되는데, ① 조사대상이 되는 질병을 가진 개인들을 확인해서 위해성인자에 의한 이들의 질병 발생율을 몇 개의 적절하게 선정된 대조군(질병을 가지지 않는 집단)에서의 발생률과 비교하는 사례통제연구(case-control study)와, ② 조사하고자 하는 몇가지 노출에 대하여 확인된 개인들로 이루어진 그룹의 질병률과 사망률이 적절하게 선정된 참조 집단(reference population)의 질병률 및 사망률과 비교되어지는 코호트(cohort) 연구가 있다(Patrick, 1994).

역학적연구는 관찰연구이기 때문에 통제된 실험실 연구보다 훨씬 더 선입견이 개입될 수 있고, 실험조건을 임의로 조절하지 못하는데서 발생하는 내적타당도의 문제는 있으나, 실제로 대기오염에 노출된 집단을 대상으로 하는 연구이기 때문에 그 결과들을 바로 활용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 최근 들어서는 대기오염 물질에 대한 노출 정도를 평가하는 방법이 개선되고, 시계열분석이나 포아송회귀분석 등 자료분석 방법이 보다 정교화됨에 따라 내적타당도의 문제도 상당부분 해결되고 있어 대기오염 물질의 단위농도 증가에 따른 사망률이나 이환율의 변화를 정량적으로 파악하는 것도 가능해지고 있다.

자료 분석방법중 대표적인 시계열분석 방법은 단일 집단에서 평균노출정도의 변화와 질병 발생율의 변화와의 관계를 연구하는 것으로 대기오염의 단기효과를 평가하는데 매우 유용한 수단이다. 이 방법은 각 연구대상이 자신의 대조군으로 작용하기 때문에 교란요인의 영향을 상당부분 제거할 수 있다. 연구 대상간에는 차이가 있지만 시간에 따라 변하지 않는 흡연상태, 나이, 성별, 사회·경제적 수준 등의 변수는 더 이상 교란요인으로 작용하지 않는 것이다. 또한 각 개인에서 변화가 있는 변수도 그 변화 양상이 대기오염과 관련이 있지 않다면 교란요인으로 작용하지 않는다. 예를 들면 개인에서 흡연량의 일별 변화나 대기오염의 일별 변화는 모두 폐기능이나 다른 건강지표에 영향을 미칠 수 있지만 두 변수의 변화가 서로 관련이 있을 가능성은 거의 없기 때문에 서로가 교란요인으로 작용하지 않는다.

대기오염과 관련된 건강영향의 지표로 사용되는 변수 중 호흡기계 증상의 변화, 폐기능의 변화 같은 지표는 연구 대상 개개인을 조사할 수 있는 현상설명적 조사연구 또는 코호트 연구에서 많이 사용되고, 시계열 분석에서는 주로 초과 사망자수, 병원입원율, 응급실 방문 환자수 등 자료를 통해서 확보할 수 있는 지표들이 많이 사용되고 있다.

□ VOC의 건강영향에 관련된 역학적연구 사례<sup>17)</sup>

전반적으로 VOC에 노출된 인구집단을 대상으로 한 역학적연구의 사례는 수행의 어려움으로 인해 많지 않으며, 기존에 수행된 역학적연구들은 주로 천식을 포함한 폐질환 또는 기, 코, 목구멍의 자극 증상 등 호흡기계 질환과의 관련성을 밝히고자 수행되었다. 또한 VOC의 노출결과에 대한 평가에 앞서 노출수준에 대한 정확한 평가를 위하여 인구집단을 대상으로 한 연구들이 더 많이 수행되었다. 궁극적으로는 VOC가 특정한 건강영향을 초래하는가를 조사하고 이것을 노출과 연계시키는 것이 향후의 연구과제라고 할 수 있다.

VOC와 관련된 역학적연구로는 우선 생태학적연구(ecological study)사례로 ‘음용수 중 VOC와 백혈병 발생률’에 대한 연구가 있다. 이 연구는 지역사회 음용수 이용인구를 기존(1984-1985)에 표본조사된 VOC 오염수준에 따라서 범주화한 후, 1979-1984년 사이의 백혈병 발생률 자료를 해당지역의 암등록자료로부터 수집하여 분석한 것이었다.

단면적연구(cross-sectional study) 사례로는 미국 가타와 지역에서의 대기중 VOC에 의한 호흡기와 자극성 건강영향에 대한 연구가 있다. 1988년 이 지역의 74개 초등학교 3학년부터 5학년까지의 학생전수를 대상으로 연구조사가 이루어졌는데 각 학교별로 15가지의 VOC의 농도가 측정되었고, 노출수준은 각 지역, 5가지의 석유관련 화합물의 농도합, 그리고 지역의 산업공정상 특이적인 10가지의 화합물의 농도합 등 몇가지 기준을 적용하여 종합적으로 구분하였다. ‘유럽 지역주민의 천식증상과 VOC, 포름알데히드, 일산화탄소 노출에 대한 연구’는 천식증상과 건물의 특성, 실내 VOC 농도간의 연관성을 파악하고자 시행된 것인데, 연구대상자는 계층화 무작위 표본추출법으로 스웨덴 중부 도시지역인 옅살라의 일반인구중 20-45세 사이의 88명을 선정하였다. 실내온도, 기습, 호흡성 분진, 일산화탄소, VOC, 포름알데히드, 그리고 집먼지 진드기에 대한 노출평가가 이루어졌다. 구조화된 인터뷰, 폐기능 측정, 최대호기 유속측정, 기관지 과민성에 대한 메타콜린 유발검사, 피부반응검사 등을 실시하였다. ‘천식과 실내환경’ 연구는 천식과 새로 페인트를 칠한 실내 표면에서 발산되는 물질들간의 연관성을 보고자 한 것으로서, 총 562명을 대상으로 수행되었다. 건강영향평가는 자기기입식 설문지, 구조화된 면접, 폐기능 측정, 최대호기유속 측정, 기관지 과민성에 대한 메타콜린 유발검사, 피부반응검사, S-ECP, B-EOS, S-IgE 등의 항목으로 이루어졌으며, 노출평가는 실내의 페인트칠에 관한 정보 수집, 포름알데히드와 VOC의 직접적인 측정(n=62)을 통하여 이루어졌다.

분석적 연구 사례로는 ‘몽샤낭(Montchanin) 산업폐기물 매립지의 단기간 건강영향에 관한 환자-대조군 연구’와 ‘산업폐기물 매립지의 단기간 건강효과에 관한 후향적 추구연구’를 들 수 있다. 전자의 연구는 1980년부터 1988년 중반까지 프랑스 몽샤낭의 거주지역내에 위치하고 있는 산업폐기물 매립지에 수용된 40만톤의 독성 폐기물에서 유출된 VOC와 그에 관련된 악취로 인하여 이 지역 의사들의 주도하에 VOC의 유출에 의한 단기간의 건강영향을 평가하기 위하여 수행된 것이었다. 816부의 설문지가 회수되었고, 432례의 환자군(VOC의 방출과 관련이 있는 질환을 가진 환자)과 384례의 대조군(다른 환자군)으로 나뉘어졌다. 개인별 노출수준은 연구지역내에서 대상자들의 시간-활동 행태(time-activity patterns)에 의해 결정되어지는 대기중 유해물질의 통계적 모델링 기법을 사용하여 계산되었다. 이 연구결과는 그 지역 의회로 하여금 매립지의 폐쇄를 결정하도록 만들었다. ‘산업폐기물 매립지의 단기간 건강효과에 관한 후향적 추구연구’는 산업폐기물 매립지의 단기간 건강영향을 평가하기 위하여 폐쇄된 산업폐기물 매립지 지역 내에 거주하고 있는 주민 694명을 대상으로 연구조사를 실시하

17) 한국대기보전학회, 『대기환경과 휘발성유기화합물질』, 1998.

였다. 개인별 노출수준은 조사지역 내에서의 각 개인의 일상활동양상과 VOC의 확산모델을 이용하여 추정되었고, 상병자료는 3년간(매립지 폐쇄 18개월 이전과 이후) 특별한 치료범주 내에서 사용되는 의약품의 소비를 측정함으로써 간접적으로 추정하였다.

VOC의 노출평가 연구로는 4가지 사례를 예로 들 수 있다. 우선 ‘통근자의 VOC 노출평가’에서는 휘발유와 관련된 6가지 VOC(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, o, m, p-크실렌, 포름알데히드)에 대한 통근자들의 노출수준을 조사하였다. 자가용, 지하철, 도보, 자전거의 4가지 통근 형태 각각에 대하여 VOC의 노출수준의 차이를 비교하였고, 연구참여자들의 가정과 사무실의 VOC 농도도 측정하였다. 차량 내에서의 VOC 농도에 차이를 나타내는 요인으로 운전습관의 차이, 차량모델, 차량내 환기장치 등이 평가되었다. ‘유해 폐기물 매립지 근처 지역주민의 VOC 검사’ 연구에서는 유해 폐기물 매립지 근처에 살고있는 주민들(n=100) 혈액에서의 VOC 농도를 대조지역의 주민들(n=106)의 VOC 농도와 일반인구의 농도를 이용하여 비교하였다. ‘Phase I field study in National Human Exposure Assessment Survey(NHEXAS)’는 금속 살충제, VOC와 같은 다양한 매개체를 통해 운반되는 노출요인들의 분포양상을 파악하고자 하는 연구이다. 구체적으로는 첫째, 일반인구에서의 전체적인 노출발생과 분포, 결정요인들을 파악하고 둘째, 각각의 오염물질별 90%에 해당하는 농도를 제시하며, 셋째, 지리적 또는 시간적 변화추이를 관찰하고, 넷째, 총 노출중에서 다른 종류의 매개체들, 개인적 요인, 시간관련 요인, 그리고 지리적 요인들이 어느정도 기여하는지를 파악하고 다섯째, 소변이나 혈액내의 생체지표를 평가하고 여섯째, 노출요인과 생체지표간의 관련성을 파악하며 일곱째, 총 노출량을 예측하고 여덟째, 인구중 소수인종들의 총 노출량을 측정하는데 그 목적이 있다. 먼저, 1단계로 비율을 맞추어서 블록에 따른 가구단위 표본을 추출하며, 2단계로 설문조사를 실시하고, 이어서 토양, 공기, 음용수 등에서 금속, 살충제를 포집하고 기중에서 총 VOC를 포집한 뒤, 3단계로 대표적인 가구를 선정하여 이러한 노출요인에 대하여 다시 측정하여 재현성을 확인하며 동시에 생물학적 시료(혈액, 소변등)들을 채취하는 방법을 적용하였다. 결국, 향후 이러한 단계를 거친 가구 중에서 무작위로 일부를 선정하여 추구조사를 시행할 예정이다. ‘전국 노출 등록 사업(The national Exposure Registry ; NER)’은 미국 ATSDR(Agency for Toxic Substances and Disease Registry)이 Superfund법령에 의거하여 구축한 것으로 건강장애와 환경노출요인과의 관련성을 파악하기 위한, 그 중에서도 특히 만성적 건강장애와 저농도 장기간의 화학물질 노출의 관련성을 파악하기 위하여 만들어졌다. NER의 가장 중요한 목적은 특정한 화학물질에 노출된 큰 인구집단의 인구학적, 환경적 그리고 건강상태에 관한 다양한 자료원을 구축함으로써 역학적연구를 촉진함을 목적으로 하고 있다. 이 등록자료는 가설을 검증하고자 하는 것보다는 가설을 도출하고자 함을 더 주요한 목적으로 한다.

VOC의 노출평가에 사용되는 방법들을 아래 <표 IV-1>에 제시하였으며, 연구목적에 적합한 노출평가 방법을 선택하게 된다.

<표 IV-1> 노출 측정방법에 따른 노출측정의 정확성과 비용의 상쇄관계

| <노출의 평가 방법들>                                                                                                                                                                                           | 비용과 노출량·적용량에 대한 예측능력                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 총생산량(유해물질)</li> <li>• 총배출량</li> <li>• 일반 환경중의 농도</li> <li>• 미세환경에서의 농도(주거환경, 실내 등)</li> <li>• 인간의 접촉량(개인 시료포집기 등)</li> <li>• 신체내 용량(혈액, 뇨 등의 신체조직)</li> </ul> | <p>일반적으로 낮은 비용과 낮은 정확성</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>일반적으로 높은 비용과 보다 높은 정확성</p> |

자료 : 한국대기보전학회, 『대기환경과 휘발성유기화합물질』, 1998.

## 2. 정량적 건강영향 평가방법

모든 화학물질은 인간에 위험하나 그렇다고 화학물질 배출오염원을 원천적으로 제거할 수는 없는 일이며 배출된 화학물질도 건강에 미치는 정도는 여러 조건에 따라 달라진다. 따라서 건강에 피해를 끼칠 수 있는 화학물질의 내적잠재성(intrinsic ability) 즉, 특정화학물질이 실제상황이나 가정된 상황에서 인체건강에 악영향을 줄수 있는 확률이 사실상 중요하다. 이와 같이 악영향을 주는 확률에 대한 정성 또는 정량적인 결정방법을 위해성(risk)이라 한다. 즉, 위해성이란 개인이나 집단이 특정 농도나 용량의 유해물질에 노출되었을 때 유해한 결과가 발생할 확률 또는 가능성으로 정의되며, 용량 또는 노출의 함수로 표현된다.

환경오염 평가에 있어서 과거에는 주로 유해화학물질의 오염양상을 파악하는 것이 목적이었으나, 근래에 사회적으로 환경의식이 고조되면서 특정 유해화학물질이 인체에 미치는 영향을 밝혀내고, 이를 토대로 허용 가능한 오염수준을 규명할 수 있도록 요구하고 있으며, 이러한 요구에 합리적으로 부응하는 과학적인 방법론이 '위해성평가(risk assessment)'라고 할 수 있다. 위해성평가의 궁극적인 목적은 위해성관리를 위한 유용한 정보로써 사용하기 위함이다. 여기서 얻어진 평가치는 사회제도적인 문제, 기술적, 경제적인 문제들을 고려하여 정책결정자들이 정책결정의 수단으로 이용하는 것을 비롯하여, 국민의 이해와 협조를 끌어내는 위해성홍보의 수단으로 이용된다.

위해성평가는 대기오염물질로부터 인체를 보호하기 위한 목적으로 이용되는 합리적인 수단이며 대기질에 관한 불신과 비과학적인 논쟁을 과학적인 근거에 입각한 논의로 전환시키는 훌륭한 도구로 활용되고 있다.

건강위해성평가는 위험성확인(hazard identification), 노출량(exposure)평가, 선량-반응(dose-response)평가 및 위해성(risk)결정의 4단계로 수행된다.

- 1) 위험성확인 : 특정 오염물질이 인체에 실제 유해한 영향을 유발시키는지의 여부를 결정하는 단계로써 동물 실험자료(독성학) 및 역학자료를 근거로 확인한다. 독성물질의 발암등급에 대한 대표적인 2가지 분류체계는 미국 EPA체계와 국제암연구기관(International Agency for Research on Cancer: IARC)체계를 근거로하여 이루어진다.
- 2) 노출량 평가 : 특정 오염물질의 환경내 농도를 인체의 노출 경로와 연결시켜 지역주민의 노출량을 산출하는 과정으로, 환경 중 농도 또는 생물학적 감시자료(environmental and biological monitoring)를 토대로 한다. 본 평가는 만성 일일노출량과 비만성 일일노출량을 이용하여 발암 위해성, 만성적인 비발암 영향 그리고 비만성적인 비발암 영향을 평가하게 된다.
- 3) 선량-반응평가 : 유해물질에 노출되었을 경우 유해한 영향을 발생시킬 확률을 결정하는 단계로써, 인간의 반응확률을 추정하기 위하여 최대내성용량 이하의 고용량에서 수행된 동물자료를 이용한다. 그러나 실제로 환경매체 내에서 인간은 저농도의 오염물질에 노출되기 때문에 수학적 통계모델을 이용하여 동물에서 사람으로의 중간외삽과 고용량에서 저용량으로의 외삽절차가 필요하다. 즉, 반응결과를 관심영역인 저용량의 범위로 외삽하게 되는데 많이 이용되고 있는 대표적인 모델들은 다음 <표 IV-2>와 같다.

- 4) 위해성 결정 : 특정 농도에 노출되었을 경우 개인이나 인구집단에서 유해한 영향이 발생할 확률을 결정하는 단계이며 환경농도 측정자료가 요구된다. 위해성평가에는 많은 불확실성 분석이 포함되는데 위해성은 산업시설 등으로부터 배출되는 유해대기오염물질로 인하여 인체가 악영향을 겪게 될 확률로 평가된다. 발암물질인 경우 발암에 대한 ‘최대 개인 위해성’과 ‘집단 평균 위해성’으로 결정된다. 최대 개인 위해성은 개인이 최대 노출량으로 노출 기간동안 발암물질에 노출될 경우의 발암확률을 의미하며 집단 평균 위해성은 주민이 평균 노출량으로 노출된 경우의 발암위해성이다. 비발암 물질인 경우 만성적인 건강 위해성은 특정 독성물질에 대한 일생동안의 일일 평균 노출량을 평가하여 이 독성물질의 만성 기준선량(RfD : Reference Dose)과의 비교치인 위해지표(Hazard Index)로 산출한다. 만성 기준선량은 민감한 그룹을 포함한 일반인의 독성물질에 대한 만성 노출 후 어떠한 악영향도 나타날 것으로 기대되지 않는 독성물질의 양으로 정의된다.

〈표 IV-2〉 대표적인 선량-반응 모델

| 선량-반응 모델             | 모델의 특징                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| One-hit 모델           | 이 모델은 발암성에 대한 가장 간단한 모델인데, 모델은 발암물질의 작용으로 인하여 특정의 돌이킬 수 없는 단일 사건(single event)이 세포내에서 발생한다고 가정한다. 이 단일 사건의 성격은 구체적으로 지정되지 않는다. 그러나 이 사건의 일례로는 DNA에 대한 손상일 수 있는데 이러한 결정적인 손상은 실제로 종양으로 이어지고, 노출되는 동물군에서 무작위적으로 발생한다고 가정한다. 이 모델은 더 적합한 multihit 이나 multistage 모델의 극단적인 경우이다.                                                                                                                                                                                               |
| Multihit 모델          | 이 모델은 one-hit 모델과 유사하지만 돌이킬 수 없는 손상이 발생하기까지 여러번의 사건 또는 손상이 요구되는 것으로 가정한다.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Multistage 모델        | 이 모델은 multihit 모델의 더 일반적인 형태로 간주될 수 있다. 모델은 multihit 모델과 같이 결정적인 손상이 발생하기 전에 여러번의 사건 또는 손상이 요구된다고 가정하지만, multihit 모델과는 달리 이러한 사건 또는 손상이 특정 순서에 따라 발생해야 한다고 가정한다. 즉, 이 모델은 세포가 여러번의 “공격(hit)”을 특정순서에 따라 받아야만, 세포 내에 종양이 발생한다고 가정한다. 예를 들어 종양의 발생이 1-2-3……k의 순서에 의한 여러번의 “공격”을 요구한다면, 그 밖의 순서에 의한 공격 즉 1-3-5 또는 1-2-4-3의 공격은 종양을 발생시키지 않는다고 가정하는 것이다. 역으로 얘기하면, 세포선(cell line)이 정의된 순서에 따라 어떤 k 단계들을 통과해야만 세포내에서 암이 발생한다고 가정한다. 세포선이 그러한 단계들을 통과하는 율은 선량율(dose rate)의 함수이다. |
| Weibull 모델           | 이 모델은 발암에 필수적인 사건 또는 손상의 시간 의존성을 더 유연하게 기술한다는 점이 multihit 또는 multistage 모델과 다른 점이다. 모델은 여러번의 “공격”이 단일 세포선에서 발생해야 하고, 다른 세포선들은 종양을 발생시키기 위하여 독립적으로 경쟁하고 있다는 아마도 더 합리적인 가정에 근거하고 있다. 반응은 노출 선량과 노출 시간 모두의 함수이고 따라서 데이터가 다른 모델들에는 맞추어지지 않더라도 Weibull 모델에는 맞추어지게 된다.                                                                                                                                                                                                          |
| Probit 와 Logistic 모델 | probit와 logistic 모델은 일련의 “공격”과 같은 어떤 생물학적인 기작에 대한 개념과는 달리, 큰 집단속의 개인들은 독성물질의 작용에 대하여 개인별로 서로 다른 내성을 갖는다는 개념에 근거하고 있다. Probit모델은 이러한 내성의 분포가 선량에 대하여 대수 정규 분포(lognormal distribution)를 갖는다고 가정하는 반면, logistic 모델은 내성이 지수함수 분포(logistic distribution)라고 가정한다. 내성 준위보다 높은 노출량에 대해 인체는 반응하고 그아래의 노출량에 대해서는 반응하지 않는다. 이와 같이, probit와 logistic 모델은 큰 집단내 개인들이 겪는 바와 같이 발암정도에 대해서도 내성분포를 사용하고 있다. 그러나 관측된 데이터에 우연히 맞는 특정 분포를 그 밖의 것에 대하여도 적용하는 것이 옳다는 데에는 아무런 증거가 없다.            |

자료: 한국대기보전학회, 『대기환경과 휘발성유기화합물질』, 1998.

지금까지 대부분의 유해대기오염물질에 대한 위해성평가에서는 위해성에 대한 단일 평가치(point estimate)를 결정하는 방법을 사용해 왔다(한국대기보전학회, 1998). 그러나 단일 평가치 분석 방법은 3가지 큰 한계를 갖는다. 첫째, 입력변수에 따라 평균 값, 보수적인 값 및 최악의 가정들을 결합하여 위해성을 평가함으로써 위해성평가자나 관리자 모두 평가에 내재된 보수적인 정도(the degree of conservatism)를 알 수가 없으며 일반적으로 충분한 불확실성 분석이 부족하기 때문에 단일 평가치에 대하여 전망을 가지기 어려운 실정이다. 둘째, 최대 개인 위해성의 경우, 많은 변수들 각각의 불확실성을 압도할 정도로 높은 편향(bias)을 설정함으로써 위해성평가는 실제 거의 발생하기 어려운 시나리오에 대한 것이 된다. 마지막으로, 단일 평가치 방법은 대부분 평가시 많은 입력 변수들에 대하여 거의 최대값을 사용하여 평가하기 때문에 최종 단일 평가치의 불확실성을 결정하기 위하여 수행되는 전통적인 민감도 분석 즉, 각 입력변수 값의  $\pm 10\%$  또는  $\pm 25\%$ 에서 계산하는 민감도 분석의 의미가 근본적으로 없어진다.

확률론적 위해성평가는 오염물질의 위해성평가지 사용된 각 인자들의 불확실성까지 포괄하여 고려하는 방법으로서, 장점으로는 첫째 최적 단일 평가치를 선정하는데 따르는 논란을 제거하고, 둘째 단일 평가치 분석에 비해 민감도 분석과 불확실성 분석을 훨씬 유연하게 수행한다는 점을 들 수 있다. 반면에 단점으로는 이 방법이 많은 시간과 자원을 요구하고, 규제기관들이 위해성 계산들의 정확성을 검토하는데 더 많은 어려움이 있을 수 있다는 것이다. 또한 입력 변수들에 대한 확률 밀도 함수를 결정하기 위하여 서로 다른 출처로부터 데이터를 선정할 때, 우수한 공학적 판단(engineering judgement)이 요구되고, 입력 변수들의 상호의존성(interdependency)이 무시될 수 있는 약점이 있다. 그러나 확률론적 분석 방법은 기존의 단일 평가치 방법의 최대 약점인 단일 평가치 대신 위해성의 범위와 발생 확률을 제공하기 때문에 위해성 관리자나 공중은 평가된 위해성의 실제(reality)에 더 가까이 접근할 수 있다.

#### □ 발암물질에 대한 위해성 계산

인체의 평생 발암위해성은 암 유효인자(potency factor)에 발암가능물질의 평균흡입량을 곱함으로써 구해지며 관련정보가 전혀 없을 경우에는 저농도에서 선량-반응의 1차 관계식을 가정한 후 암의 위해성을 계산한다. 특정물질의 발암성 유·무와 발암 유효인자의 추정치는 작업장 또는 장기간의 동물실험에 기초하며 일반적인 위해성 분석은 수학적 모델에 작업장 또는 동물실험의 결과를 외삽함으로써 추정된다. 대부분 암의 유효인자는 동물연구로부터 추정된 것이다(Patrick, 1994).

$$R = CDI \times P$$

R : 암위해성(단위 없음)

CDI : 만성적 일일 흡입량(mg/kg/day)

P : 암의 유효인자((mg/kg/day)<sup>-1</sup>)

여기서 CDI는 다음과 같이 산정된다.

$$CDI = \frac{CA \times IR \times ED \times EF \times L}{BW \times AT \times 365}$$

CA : 대기중 오염물질 농도( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

IR : 흡입율( $\text{m}^3/\text{hour}$ )

ED : 노출시간( $\text{hour}/\text{week}$ )

EF : 노출빈도( $\text{week}/\text{year}$ )

L : 노출기간(year)

BW : 체중(kg)

AT : 평균시간

(평균화되는 노출기간은 일반적으로 발암성물질에 70년(25,550일), 비발암성물질에 1년(365일) 적용)

위해성에는 개인위해성과 집단위해성이 있다.

- 개인위해성: 개인이 특정농도에 평생동안 노출되었을 때 추정된 위해성으로 최대개인위해성(Maximum Individual Risk:MIR)이 일반적으로 사용되고 있다. MIR 계산에는 확산모델을 사용해 추정된 연평균 최대 대기오염물질의 농도가 사용되며 일반적으로 Industrial Source Complex(ISC) model이 사용된다. 개인위해성은 오염원으로부터 거리가 멀어질수록 감소된다.
- 집단위해성: 발암물질에 노출된 전체 집단을 대상으로 추정된 암의 위해성이며 가장 보편적인 분석방법은 오염원 인근에 거주하는 집단에서 추정되는 잉여 발암의 평균 빈도수로 정의되는 집단 군집위해성(aggregate population risk)이다.

〈표 IV-3〉 개인 및 집단 위해성평가의 장·단점 비교

|    | 개인 위해성평가                                                                                                                                     | 집단 위해성평가                                                                                           |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 장점 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 개인의 위해에 초점을 둔다.</li> <li>• 기타 오염배출원, 모집단의 분포 또는 확산에 영향을 덜 받는다.</li> <li>• 집단 위해성평가보다 쉽다.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 현실적인 위해성 추정방법이다.</li> <li>• 노출된 모든 집단에 적용가능하다.</li> </ul> |
| 단점 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 집단 개념을 무시하고 있다.</li> <li>• 부수적인 가정을 사용하기 때문에 위해성이 과대 평가된다.</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 개인의 영향을 부각시킬 수 없다.</li> <li>• 입력자료가 방대하며 복잡하다.</li> </ul> |

미국 EPA는 최대 개인위해성(MIR)의 범위를  $10^{-7} \sim 10^{-4}$  까지로<sup>18)</sup> 정하고 이에 따라 대기 배출오염원을 규제관리하고 있다. 1989년에는 암위해로부터 대중의 건강을 보호하기 위한 결정을 발표한 바 있는데 그것은 대다수의 시민을 보호하기 위하여 개인의 평생 발암위해성이  $10^{-6}$ 을 초과하지 않도록 하고, 오염원 인근 거주자가 70년 동안 최대 오염농도에 노출되더라도 암의 위해성이 약  $10^{-4}$ 를 초과하지 않도록 제한하는 것이었다. 많은 州정부와 지방 대기오염 규제기관은 추정된 MIR이  $10^{-3} \sim 10^{-6}$  또는 그 이상의 범위에 존재할 때 신규 고정오염원에서 배출되는 발암물질을 규제하고 있다.

18)  $10^{-7}$ 은 노출된 1천만명 중 1명이 추가로 사망할 확률을,  $10^{-4}$ 는 1만명 중 1명이 추가로 사망할 확률을 의미한다.

## □ 비발암물질의 위해성 추정

비발암물질에 대한 건강기준은 최대 흡입량으로 표현되며 최근 널리 사용되는 기준은 EPA가 작성한 risk reference dose(RfD)로 “한 개인이 일생동안 특정물질에 노출되더라도 해로운 영향을 주지 않을 것으로 간주되는 일일 노출추정량”으로 정의된다. RfD는 작업장의 인체노출 실험결과 또는 동물실험 결과로 개발되었고 두가지 경우를 일반 대중에게의 노출에 적용하여 환산할 때 불확실성 계수(uncertainty factor)가 사용되어 보정된다.

일반적으로 흡입시의 RfD는 평균 인간의 흡입량값을 사용하여 노출량을 노출농도 즉, risk reference concentration (RfC)로 환산하게 된다. 흡입 RfD나 RfC가 EPA에<sup>19)</sup> 의해 개발되지 않은 경우 흡입 RfD는 존재하는 각종 노출경로 RfD 자료로부터 유도될 수 있으나 피부흡수와 같은 흡수개념은 종종 노출의 다른 경로와는 현저히 다르기 때문에 주의할 필요가 있다. 환산시 단위에 주의해야 하는데 흡입시 건강기준은  $\text{mg}/\text{m}^3$ 이고 섭취시 기준은  $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ 이다. 이때 섭취 RfD를 흡입 RfD로 환산하기 위해서는 인간의 평균 호흡속도, 음식과 물의 하루분 평균 소모량, 물질과 특정 경로로의 흡수인자 등에 대한 가정이 필요하다. EPA는 이와 같은 생리학적 인자에 대한 표준 가정치를 발표한 바 있다. 이밖에 비발암성에 대기오염물질의 건강기준이 없을 경우 규제기관은 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienics) 또는 U.S. OSHA(Occupational Safety and Health Administration)에 의해 개발된 작업장 기준을 적용하기도 한다. 일반적으로 사용되는 두가지 작업장 기준은 다음과 같다.

- 시간 가중평균치(TWA: Time-Weighted Average) : 거의 모든 근로자가 매일 악영향 없이 반복적으로 하루 8시간 또는 1주 40시간 동안에 노출된 평균농도로써 정의된다.
- 단기 노출한계치(STEL: Short-Term Exposure Limit): 근로자들이 단기간 동안 연속적으로 노출될 수 있는 농도(즉 자극성, 만성적 또는 회복 불가능한 조직손상, 사고의 가능성을 증가시키거나 실질적으로 작업능률을 감소시킬수 있는 마취현상 등이 없이 단기 노출될 수 있는 농도)로써 정의된다. 모든 근로자들은 어떤 악영향 없이 STEL 정도의 농도로 하루 4번 노출된다고 가정한다.

일반적으로 독성효과가 장기간 소요되는 오염물질의 단기영향을 알고자 할 때 STEL은 TWA를 보조하는데 사용된다. ACGIH는 역치 한계치(TLV: Threshold Limit Value)라 불리우는 시간 가중평균치(TWA)를 약 400개 오염물질에 대해 기준을 정하고 있으며 주기적으로 수정한다. 또한 OSHA는 허용노출 한계치(PEL: Permissible Exposure Limit)로 불리우는 유사기준을 정하고 있는데 1989년도에 PEL목록을 개정한 바 있다. 작업장 한계치는 근로자와 작업장 노출을 대상으로 특별히 개발되었기 때문에 일반 환경에 적용할 경우 유의해야 한다. 특히 TWA는 1주 즉 168시간 중 약 40시간 정도 노출되는 사람들을 위하여 만들어졌기 때문에 일반 집단노출보다는 노출시간이 비연속적이고 짧다는 점에 주의해야 한다.

비발암성물질에 대한 잠재적 위해성은 다음 3단계로 평가된다.

첫 번째 단계는 추정된 최대 일일 흡입량을 허용건강기준치(즉, 최대 허용흡입량)로 나누는 과정으로 이 비율은 종종 위험지수(hazard quotient)라 불리운다. 위험지수가 1을 초과할 경우 악영향이 발생할 수 있다.

19) 일반적으로 RfD와 RfC 값들은 미국 EPA의 Integrated Risk Information System(IRIS)에서 찾을 수 있다.

$$\text{위험지수} = \frac{\text{MDI}}{\text{RfD}}$$

MDI : 일일 최대 흡입량 (mg/kg/day)

RfD : risk reference dose (mg/kg/day)

두 번째 단계는 한가지 이상의 유해물질에 노출될 경우 이들 혼합물의 잠재적인 영향은 각각의 물질에 대한 위험지수를 더해 계산되며 이를 위험지표(hazard index)라 한다. 위험지표 값이 1을 초과할 때 악영향이 발생할 수 있다.

$$\text{위험지표} = \frac{\text{MDI}_1}{\text{RfD}_1} + \frac{\text{MDI}_2}{\text{RfD}_2} + \dots + \frac{\text{MDI}_i}{\text{RfD}_i}$$

MDI<sub>i</sub> : i번째 최대 하루 흡입량 (mg/kg/day)

RfD<sub>i</sub> : i번째 risk reference dose (mg/kg/day)

이 과정은 영향의 부가적 성격을 표현하는 건강보호 측면을 강조한 보수적 개념을 담고 있으나 각각의 유해물질은 각기 다른 영향을 미치므로 실제로는 비부가적이다.

세 번째 단계는 각 오염물질을 정밀하게 평가하여 이러한 보수적 개념을 보상하는 과정으로 정밀평가란 유해물질의 최종 영향을 분류하거나 흡입경로에 관련된 모든 화학물질들을 분류하고, 추정 흡입량 대비 최대 허용흡입량의 비율을 다시 더하는 과정이다. 그러나 이 과정 역시 보수적 개념을 담고 있다.

RfD의 목적은 다양한 환경상태에서 노출량을 비교하고 기준점을 마련하는데 있는 것으로 RfD 이하의 노출량은 관심대상에서 벗어나며 RfD보다 월등히 큰 노출량은 악영향의 잠재력을 갖는다. 비발암물질에 대한 위해성의 수용여부는 위험지수 또는 지표가 1보다 클 경우 규제기관이 해당 오염원에 대해 추가 배출저감을 요구하게 될 것이다.

#### □ 위해성평가의 불확실성

모든 위해성평가지 자료미비, 부정확한 판단, 가정(assumption) 등에 의해 위해성평가의 불확실성이 핵심문제로 남는다. 다음과 같은 경우 불확실성이 야기된다.

- 측정자료의 분석 및 통계에 오류가 발생한다.
- 유해물질의 확인등급을 분류할 수 없다.
- 부적절한 모델의 선정이나 노출량-반응평가의 정량적 관계설정이 미흡하다.
- 노출평가지 입력변수, 유해물질의 소멸과정, 확산모델이 부적합하다.
- 노출 시나리오와 인구분포에 관한 가정이 부적절하다.

불확실성을 저감시키기 위해 사용되는 기술들은 위해성평가를 큰 방향으로 이끌어간다. 주의해야 될 사항은 보수적인 가정에 중점을 두었을 때 최종 위해성평가는 항상 과대평가될 수 있다는 점이다. 최악의 경우를 중심으로 분석이 이루어지고 이때 오류가 발생했다면 이는 곧 인체건강 보호 측면에 보다 더 중점을 두었다고 할 수 있다.

## V. 선진국의 건강피해를 고려한 대기관리정책

### 1. 선진외국의 동향

대기관리정책수립에 있어, 예를 들어 대기환경기준 설정, 대기오염 경보제 도입을 비롯하여 에피소드 기준 설정시 대기오염의 건강영향에 대한 연구결과가 기초적으로 활용되고 있다. 대기환경기준은 대기질 관리의 목표(goal)로 사용되며, 대기오염 경보제는 건강반응에 대한 뚜렷한 역치가 없고 위해도평가 결과 명확한 경계가 없는 경우 민감한 사람들이 적절한 노출 회피행동을 취할 수 있도록 하기 위해 도입된다. 또한 에피소드 기준은 심각한 건강에의 손상을 방지하기 위해 설정된다.

#### 1.1. 미국

미국은 1980년부터 위해성평가제도를 환경관리의 기초적 수단으로 사용하고 있으며, 1994년부터 인체건강에 대한 영향조사를 연방정부 주도하에 실시하고 있다. 1995년에는 EPA 연구조직을 개편하여 오염원(source) 중심의 연구에서 환경오염에 의해 실제로 피해를 보고 있는 인간의 건강, 생태계 등 수용체(receptor) 중심의 연구로 방향이 바뀌어 가고 있다. 이에 따라 위해성평가(risk assessment)와 위해성관리(risk management)의 2개 주제가 환경관련 연구방향의 기본축을 이루고 있다. 위해성평가 및 위해성관리를 포함하는 규제정책의 결정과정은 주로 3단계를 통해 이루어진다. 1단계는 문헌이나 정보시스템을 이용하여 대상 화학물질이 인체에 유해한 영향을 미치는지를 결정하고, 2단계는 위해성평가 결과를 포함하는 건강평가서 초안을 작성하고 workshop에서 전문가의 면밀한 재검토를 거치게 된다. 마지막으로 3단계는 초안에 대한 공공의 견해가 수렴되고 과학고문단이 재검토한 후, 최종 초안이 작성된다. 이 과정을 통하여 해당물질의 위해성이 인정되면 EPA는 충분한 검토와 다른 부서 및 연방부서와의 긴밀한 조정을 거친후 기준을 설정하게 된다. 대기질관리의 목표인 대기환경기준은 과학적으로 조사된 건강영향 평가결과에 전적으로 기초하여 설정되어진다(정 용, 1996).

다음의 유해대기오염물질 대책은 건강피해를 고려한 대표적인 대기질 관리정책의 한 사례이다.

#### □ 유해대기오염물질 대책 수립에의 활용동향<sup>20)</sup>

유해대기오염물질이란 흡입이나 기타 다른 경로의 노출에 의해 인간건강을 위협하거나 대기농축, 생물축적, 침적 또는 그 이외의 경로를 통해 환경에 악영향을 초래하는 물질 또는 초래가능한 물질로 정의되고 있다. 유해대기오염물질 중에는 환경 내에서의 농도는 낮지만 장기간 노출시 암이나 치명적인 건강장애를 일으킬 수 있는 유해성 물질이 많이 포함되어 있다. 특히 발암성 물질 가운데는 낮은 농도에서도 암발병율을 증대시키는데 기여하거나 우려되는 물질이 존재하고 있어서, 건강영향을 미연에 방지한다는 관점에서 유해대기오염물질에의 노출에 의한 건강위해성을 저감시키기 위하여 지속적으로 노력할 필요가 있다고 본다.

미국의 유해대기오염물질 규제관리의 특징 중의 하나는 공공건강유해성, 기술, 경제성 및

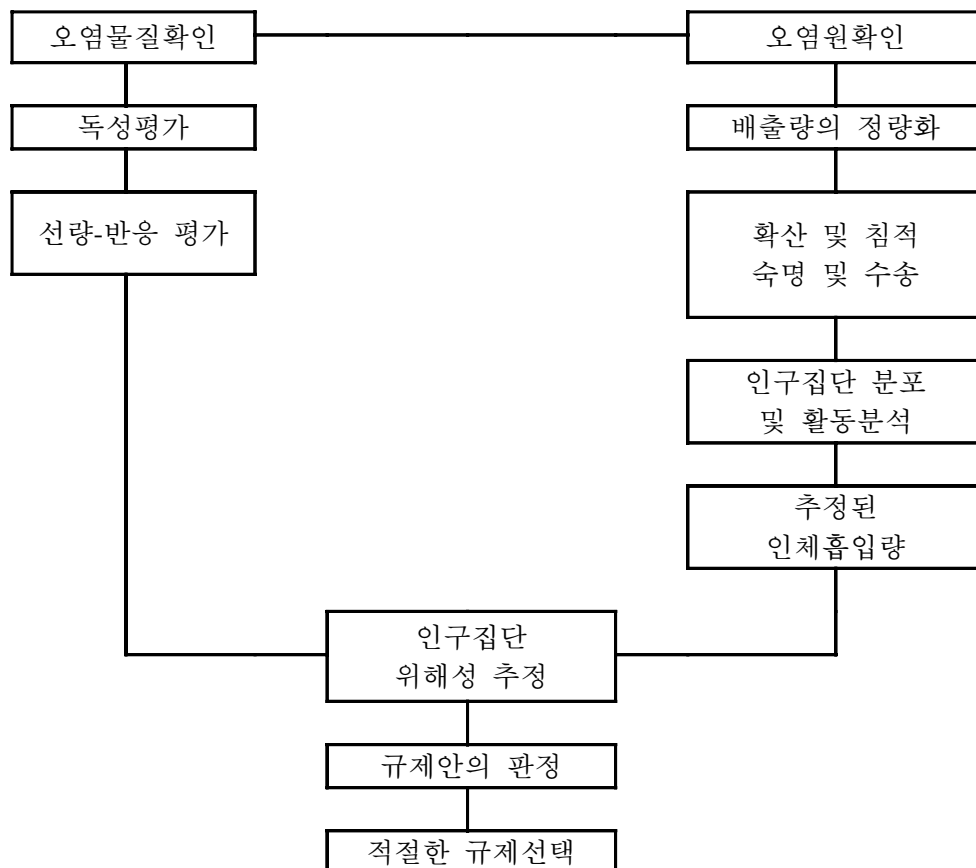
20) 한화진, 『유해 대기오염물질 규제에 관한 국내 대응방안 연구』, 한국환경정책·평가연구원, 1994.

기타 제반사항을 조화시킨 규제제도라는 것이다.

유해대기오염물질 규제제도의 이행절차는 다음과 같다.

- ① 인간에 치사량을 증가시키거나 건강에 심각한 영향을 초래할 수 있고 대기중에 비교적 충분한 양으로 존재할 수 있는 오염물질의 확인.
- ② 오염물질 및 오염원의 건강에 대한 예비 영향시험으로 노출 및 위험수준을 평가
- ③ ②의 결과에 기초한 대상오염물질의 지속적 평가 有·無결정
- ④ 평가대상이 된 유해오염물질에 대한 심도있는 건강영향평가와 오염원에 관한 검토 및 배출량 추정
- ⑤ 과학적 견지에서 심도있는 건강평가
- ⑥ ⑤에 기초한 심도있는 노출 및 위험평가 수행
- ⑦ 일반집단 노출 위험에 따른 연방배출기준의 전면적 개발 有·無 결정
- ⑧ 연방배출기준을 결정해야 하는 오염원부류에 대해 심도있는 공학적인 연구수행(비용, 에너지 및 기타 영향 등에 관한 분석과 이러한 분석을 고려한 성취가능제어기술)

규제절차를 그림으로 나타내면 아래 <그림 V-1>과 같다.



<그림 V-1> 유해대기오염물질의 평가 및 규제과정의 개략도

자료:Patrick, *Toxic Air Pollution Handbook*, 1994.

1976년에 미국 EPA는 발암물질에의 노출로 인한 위해성평가를 위해 정책과 지침을 마련하였고, 여기에 자극받아 학자들 간에 정량적인 암위해성평가 움직임이 일게 되었다. 미국 국립과학원(National Academy of Sciences)은 환경위해에 관련하여 일관된 기본원칙을 수립하기 위해 출판한 ‘Risk Assessment in the Federal Government : Managing the Process’에서 위해성평가를 오염물질에 대한 독성과 인체에의 노출정도를 추정하는 과학적 활동으로 정의하며 위해성평가와 위해성관리를 엄격히 분리할 것을 강력히 권고하였다. 즉, 위해성평가에 내재된 과학적 발전과 정책적 판단은 정책의 선택과 구상에 영향을 주는 정치, 경제, 기술적인 고려와는 구별해야 한다는 것이다. 미국에서 활용하는 유해대기오염물질에 대한 위해성평가 방법은 본문 IV장에 언급되었다.

## 1.2. 세계보건기구(WHO)

세계보건기구(World Health Organization: WHO)는 대기 중에서 검출이 가능한 물질에 대하여 위험성을 확인한 후, 국제암연구기관(International Agency for Research on Cancer: IARC) 분류체계를 이용하여 발암성물질과 비발암성물질로 분류하고, 이들 오염물질 각각에 대한 권고치를 설정한다. IARC 분류체계는 아래와 같다

|          |                                             |
|----------|---------------------------------------------|
| Group 1  | 확인된 인체 발암물질                                 |
| Group 2  | 유력한 인체 발암물질                                 |
| Group 2A | 인체발암성에 대한 증거는 제한되어 있고, 동물발암성에 대한 증거는 충분한 경우 |
| Group 2B | 인체발암성에 대한 증거는 불충분하고 동물발암성에 대한 증거는 충분한 경우    |
| Group 3  | 분류될 수 없는 화학물질(비발암성 물질)                      |

WHO의 대기중 발암성물질 및 비발암물질의 위해성평가절차는 미국 EPA와 크게 다를 바 없으나 WHO에서는 인체자료에 입각한 위해성평가를 실시하여 권고치를 설정하는 것을 더욱 선호하며 위해성 추계 방법은 평균 비교위해성 모델(average relative risk model)을 이용한다. 비발암성물질에 대해서는 사람이나 동물에서 관찰되는 최저영향관찰수준(Lowest Observed Effect Level : LOEL)을 규명하여 예방인자(protection factor) 또는 안전인자(safety factor)를 적용하여 권고치를 설정한다. 권고치 설정절차의 첫 번째 단계는 WHO 과학그룹(scientific group)에 제시된 기준에 따라 우선 순위 오염물질을 선택하는 것인데 선정 기준은 다음과 같다.

- ① 인체에 발생 가능한 유해영향의 심각성 및 발생빈도, 특히 암발생과 같은 비가역적인 영향
- ② 대기 중에서의 오염물질의 분포 및 농도 수준
- ③ 환경 내에서 변형 또는 인체 내에서 대사를 통해 원래물질보다 독성이 더 강한 물질을 생성하는지의 유무
- ④ 환경 내에서 지속성을 지니는 난분해성물질 또는 먹이사슬을 통한 생태농축물질
- ⑤ 노출 가능한 인구집단의 크기 등

다음 단계는 권고치 설정을 위해 위해성평가를 통하여 과학적인 근거 자료 초안을 작성하는 것이다. 이 초안은 전문가들의 평가 및 수정을 거치고 해당분야의 고문에 의해 재검토된 후 최종초안으로 작성된다. 외부의 관련 전문가들이 최종초안을 재검토하고, 최종회의에서 이것을 다시 재검토한 후에 최종적인 권고치가 설정된다. 이와 같은 방법으로 다음 <표 V-1>에 제시한 바와 같이 28종의 대기오염물질에 대해 권고치를 선정한 바 있다(정 용, 1996).

<표 V-1> 세계보건기구의 대기오염물질 권고기준

| 항 목                          | 비발암성 물질인 경우                                                                                                                                             | 발암성물질인 경우(단위위해도)                                                |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 무기물질                         |                                                                                                                                                         |                                                                 |
| Arsenic                      |                                                                                                                                                         | $4.0 \times 10^{-3}$                                            |
| Asbestos <sup>1)*</sup>      |                                                                                                                                                         | $10^{-6} \times 10^{-5}$ (폐암)<br>$10^{-5} \times 10^{-4}$ (중피종) |
| Cadmium                      | $1 \sim 5 \text{ ng/m}^3$                                                                                                                               |                                                                 |
| Carbon monoxide              | $10 \sim 20 \text{ ng/m}^3$<br>$10 \text{ mg/m}^3$ (8hr)<br>$30 \text{ mg/m}^3$ (1hr)<br>$60 \text{ mg/m}^3$ (8hr)<br>$100 \text{ MG/m}^3$ (15 minutes) |                                                                 |
| Chromium 6가                  |                                                                                                                                                         | $4.0 \times 10^{-2}$                                            |
| Hydrogen sulfide             | $0.15 \text{ mg/m}^3$                                                                                                                                   |                                                                 |
| Lead                         | $0.5 \sim 1.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$                                                                                                                 |                                                                 |
| Manganese                    | $1.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$                                                                                                                          |                                                                 |
| Mercury                      | $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (indoor air)                                                                                                               |                                                                 |
| Nickel                       | $4.0 \times 10^{-4}$                                                                                                                                    |                                                                 |
| Nitrogen dioxide             | $150 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (24hr)<br>$400 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (1hr)                                                                           |                                                                 |
| Ozone                        | $100 \sim 120 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (8hr)<br>$150 \sim 200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (1hr)                                                          |                                                                 |
| TSP                          |                                                                                                                                                         |                                                                 |
| Radon daughter <sup>2)</sup> | $120 \text{ Bq/m}^3$                                                                                                                                    | $0.7 \sim 2.1 \times 10^{-4}$                                   |
| Sulfur dioxide               | $125 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (24hr)<br>$50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (1hr)                                                                            |                                                                 |
| Vanadium                     | $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$                                                                                                                            |                                                                 |
| 유기물질                         |                                                                                                                                                         |                                                                 |
| Acrylonitrile                |                                                                                                                                                         |                                                                 |
| Benzene                      |                                                                                                                                                         | $2.0 \times 10^{-5}$                                            |
| Carbon disulfide             | $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (24hr)                                                                                                                   | $4.0 \times 10^{-6}$                                            |
| 1,2-dichloroethane           | $0.7 \text{ mg/m}^3$ (24hr)                                                                                                                             |                                                                 |
| Dichloromethane              | $3 \text{ mg/m}^3$ (24hr)                                                                                                                               |                                                                 |
| Formaldehyde                 | $0.1 \text{ mg/m}^3$ (30min)                                                                                                                            |                                                                 |
| Benzo(a)pyrene <sup>3)</sup> |                                                                                                                                                         |                                                                 |
| Styrene                      | $800 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (24hr)                                                                                                                   | $9.0 \times 10^{-5}$                                            |
| Tetrachloroethylene          | $5 \text{ mg/m}^3$ (24hr)                                                                                                                               |                                                                 |
| Toluene                      | $7.5 \text{ mg/m}^3$ (24hr)                                                                                                                             |                                                                 |
| Trichloroethylene            | $1 \text{ mg/m}^3$ (24hr)                                                                                                                               |                                                                 |
| Vinyl chloride               |                                                                                                                                                         |                                                                 |

1) 단위농도는 500 Fiber/m<sup>3</sup>으로 계산한 수치임. 2) 단위농도는 1 Bq/m<sup>3</sup> 임.

3) 단위농도는 ng/m<sup>3</sup> 임.

\* 안전수준을 권고할 수 없으므로, 단위농도(1 g/m<sup>3</sup>)당 초과발암위해도 표기.

자료: 정 용, 1996.

## 2. 건강영향평가 활용 사례

### 2.1. 건강영향평가를 이용한 미국의 대기질 기준 설정사례

1970년 당시 미국의 기준 오염물질은 광화학산화물(후에 오존으로 바뀜), 아황산가스, 비메탄계 탄화수소(차후 기준오염물질에서 제외됨), 이산화질소, 일산화탄소, 총부유성입자상물질(후에 PM<sub>10</sub>으로 바뀜)의 6가지였다. 1971년 EPA는 위의 6가지 물질 모두에 대한 대기환경기준(National Ambient Air Quality Standard: NAAQS)을 설정하였다. 대기환경기준은 2가지 유형이 있는데, 1차 대기환경기준은 인간의 건강보호 차원에서 설정된 기준으로 전적으로 건강영향의 과학적인 자료에만 의존하며 2차 대기환경기준은 동·식물 보호, 생태계, 가시도 등을 포함하여 공공보건에 악영향을 미치는 것을 방지하기 위하여 설정된 기준이다. 1차 대기환경기준은 확인되어지지 않을 수도 있는 민감한 소수 인구를 보호하기 위하여 ‘안전을 위한 적절한 여유(*adequate margin of safety*)’를 두고 설정되며 2차 대기환경기준은 일반적으로 비용/편익 분석을 수행하여 선정된다.

초기에는 대기환경기준에 대한 주기적인 재평가 메카니즘이 없었으며 이에 따라 국회는 1977년 CAA 개정에서 대기환경기준을 매 5년마다 재평가하도록 요구하고 청정대기과학자문위원회(Clean Air Scientific Advisory Committee: CASAC))를 설립하여 주기적인 재평가를 실시하도록 하였다. 의회가 CASAC에 부과한 책임 중의 하나는 대기질 기준과 관련된 문제의 과학적이고 기술적인 양상에 대한 독자적인 조언을 제공하는 것이었다. 그 후 20년이 지난 1997년 미국은 마침내 오존(O<sub>3</sub>)과 PM에 대한 새로운 대기환경기준을 제정하게 되었다. 이 개정은 수년에 걸쳐서 EPA가 관리하고 CASAC가 검토한 O<sub>3</sub>와 PM에 대한 과학적인 건강위해성 평가결과를 기초로 하여 이루졌다(Wolff, 1996).

#### 2.1.1. 오존 기준

미국 EPA는 1971년 광화학산화물이라는 이름으로 기준이 설정된 이후 오존의 건강영향에 대한 오랜기간의 연구를 통해 1997년 7월 16일 20년만에 오존 대기환경기준을 개정하였다. 건강영향 연구를 포함한 주요내용은 아래와 같다(미국 EPA Office of Air & Radiation, <http://ttnwww.rtpnc.epa.gov/naaqsfin/o3fact.html>, 1997).

##### ① 1차 기준

▲EPA는 1시간 1차 기준이 국민 건강보호에 부적절하다는 결론을 내렸으며, 따라서 현행 기준을 0.08ppm 8시간 기준으로 정하고 농도에 기초한 새로운 형태로 기준을 규정하였다(매년 4번째로 높은 일최대 8시간 농도의 3년 평균값이 0.08ppm이하일 경우, 기준 달성으로 인정함)

▲EPA는 기준의 형태를 ‘초과횟수’에서 ‘농도에 기준한 형태’로 전환하였는데 그것은 건강과 관련된 오존농도에 더 직접적으로 관련되기 때문이다.

▲1996년 11월 EPA는 특정지역의 기준 달성 여부를 판단하기 위한 기초로서 매년 3번째로 높은 일최대 8시간농도의 3년 평균치를 제안하였다. 이 문제에 대한 공개적인 비평을 신중하게 검토한 후, EPA는 매년 3번째의 일최대 농도에서 4번째의 일최대농도로 변경하였다.

▲8-hr, 0.08ppm 기준을 설정하는데 있어서, EPA는 그 이하의 농도에서는 건강에 해로운 영향을 미치지 않는 역치 농도를 식별할수 없으며, 어떠한 수준에서도 모든 위험이 완전히

제거될 수 없다고 판단하였다. 따라서 오존의 무위해(zero-risk) 기준은 불가능하며 CAA에서도 요구하는 바가 아니다. 선정된 0.08ppm 기준은 이 수준에서 ‘안전을 위한 적절한 여유’를 가지로 국민건강을 보호할 수 있을 것이라는 판단에 기초를 둔 것이다.

▲새로운 8-hr 기준은 공표후 60일이 지난 후에 효력을 발휘하게 된다. 그러나 기존의 1시간 기준 0.12ppm은 그 지역이 3년동안 연속으로 1시간 기준을 만족하는 대기질 수준을 달성할 때까지 그 효력을 유지하게 될 것이다. 현행의 1시간 기준을 유지하는 목적은 새로운 기준으로의 원활하고 합법적이며 실질적인 변화를 보증하기 위한 것이다.

▲EPA는 모니터링 자료를 평가할 때 통상적인 과정을 계속 사용할 예정이다.

## ② 2차 기준

▲EPA는 새로운 1차 기준의 달성이 실질적으로 식생을 보호할 것이라는 판단하에 2차 기준(환경, 농작물, 국립공원, 산림을 보호하기 위한 기준)은 1차와 동일한 기준으로 설정하였다. EPA가 이번에 구분되는 계절별 2차 기준을 설정하지 않았다 할지라도, 시골지역의 오존 모니터링 강화, 다른 연방정부기관과의 협력 연구, 식물에 대한 오존의 장기적인 누적에 의한 영향을 계속 고려하고 있다.

다음 <표 V-2>는 1997년 개정에 이르기까지 오존 대기환경기준의 변천과정을 제시한 것이다.

〈표 V-2〉 미국의 오존 대기환경기준 변천과정

| 연도                   | 1차 대기환경기준                                                                           | 2차 대기환경기준                        |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1971                 | 1-hr. @ 0.08 ppm                                                                    | 1차기준과 동일                         |
| 1977                 | 1-hr. @ 0.12 ppm<br>3년 동안 3번 초과 허용                                                  | 1차기준과 동일                         |
| 1993                 | 1977년 대기환경기준을 재차 단언                                                                 | 1977년 대기환경기준을 재차 단언              |
| 1996(안)<br>(SP에서 추천) | 8-hr. @ 0.07-0.08 ppm<br>3년간 평균했을 때 1~5회/년 초과 허용                                    | 3 month<br>SUM06 25-36 ppm-hours |
| 1997                 | 8-hr. @ 0.08 ppm<br>매년 4번째로 높은 일최대 8시간 오존농도의 3년 평균값<br>단, 기존의 1-hr기준은 기준을 만족할때까지 유지 | 1차기준과 동일                         |

자료: Wolff, George T., 「The Scientific Basis for a New Ozone Standard」, Environmental Managers, A&WMA, 1996. 9.

오존의 개정된 기준은 매년 15,000 명의 조기 사망, 350,000명의 천식환자들의 악화, 백만 명의 어린이들의 폐기능 저하를 방지할 것으로 예상하고 있다.

오존기준 검토를 위하여 EPA는 명망있는 과학 저널에 발표된 수천편의 과학적 연구자료를 분석하고, 이 연구들을 통합하여 현재의 기준이 국민건강 보호에 적절한지 아닌지에 대한 추천과 함께 검토자료를 CASAC에게 제출하였다. 오존 검토를 위한 CASAC 심사단은 의사,

유행병리학자, 독성학자, 대기과학자, 식물학자, 위해성평가 전문가 그리고 경제학자 15인으로 구성되어졌다. 125시간 이상의 공개토론을 거치고 250편의 관련된 연구를 기초로하여 CASAC는 현재의 EPA의 기준이 강화되어야 한다는 결론을 내렸는데 이 과정을 완성하는데 수년이 소요되었다.

EPA는 개정된 기준을 제시하고, 전국에 걸친 청문회와 편지, 전화, 컴퓨터 등을 이용하여 광범위한 공개비평 과정을 거치고 57,000편 이상의 검토안을 접수하였다. 또한 제안된 기준은 정부 관련부서간의 격렬한 검토과정도 거쳤다. EPA가 계획하고 시행한 O<sub>3</sub> 대기환경기준 검토 과정을 단계별로 정리하면 아래 <표 V-3>과 같다.

〈표 V-3〉 미국의 오존환경기준 검토단계

| O <sub>3</sub> 대기환경기준 검토 단계 |                                              | 완료일               |
|-----------------------------|----------------------------------------------|-------------------|
| 1                           | CD(Criteria Document)에 대한 CASAC의 검토          | 1994. 6 ~ 1995. 9 |
| 2                           | CASAC의 CD(Criteria Document)에 대한 종결          | 1995. 11. 28      |
| 3                           | Staff Paper 에 대한 CASAC 검토                    | 1995. 2 ~ 1995. 9 |
| 4                           | CASAC의 Staff Paper에 대한 종결                    | 1995. 11. 30      |
| 5                           | EPA가 <i>Federal Register</i> 에 제안된 대기환경기준 발표 | 1996. 11. 29      |
| 6                           | EPA가 <i>Federal Register</i> 에 최종 대기환경기준 공표  | 1997. 6. 28       |

자료: Wolff, George T., 「The Scientific Basis for a New Ozone Standard」, Environmental Managers, A&WMA, 1996. 9.

기준 개정작업을 위해 EPA는 1993년 중반부터 오존 배출원, 오존 화학, 오존의 영향 등과 관련된 모든 과학적 정보를 요약한 CD(Criteria Documents)초안을 작성하기 시작하였으며, 이 초안은 1994년 6월에 CASAC 심사단에게 넘겨졌다. SP(Staff Paper)는 기관에서 추천한 대기환경기준의 범위와 형태 그리고 CD 속에 포함된 자료로부터 유추한 추천내용에 대한 타당성 설명도 포함하고 있다.

EPA에 의한 오존에 대한 건강영향 평가와 검토는 주로 동물연구, 통제된 인간노출(controlled human chamber) 연구, 대기 노출에 대한 현지조사, 병원 출입 조사의 4가지 유형에 의존하였다.

동물연구를 통해서는 오존이 생물학적 반응을 일으키고 호흡계에 손상을 주는 메카니즘에 관한 통찰력을 얻을 수 있다.

통제된 인간 노출연구에서는 각 개인들이 현행의 O<sub>3</sub> 대기환경기준 농도 및 그 이상과 이하의 농도에서 가벼운 운동에서부터 격렬한 운동을 하면서 대략 6시간 이하의 시간동안 노출되어진다. 노출 전·후 및 노출 동안에 개개인의 폐기능(FEV: 1초동안에 내쉴수 있는 최대 공기량)을 모니터링하고 증상(기침, 숨가쁨, 가슴통증)들에 대하여 주의깊게 관찰한다. 운동을 하지 않은 사람들에게서는 현재의 대기환경기준 보다 3배이상의 농도에서 1~2시간의 노출동안에 폐기능 검사에서의 감소율과 증상들이 나타났다. 그러나 운동을 한 사람들 중의 일부는 현재의 대기환경기준 농도 이하 또는 그 농도에 오랫동안 노출될 때 폐기능검사에서의 감소율과 증상을 경험하였다. 이것은 8시간 대기환경기준이 1시간 기준보다 더 적절하다

는 제안에 대한 하나의 증거가 된다.

현장조사는 여름캠프와 성인운동 조사로 이루어졌다. 여름캠프 조사에서는 캠프에서 일어나는 일상적인 신체활동을 수행하는 어린이들을 대상으로 폐기능검사를 실시하고 그 결과를 대기 오존농도와 비교·검토하였다. 성인운동 조사에서는 실외에서 조깅을 하는 성인들에 대하여 조깅 전·후의 폐기능검사를 수행하고 그 결과를 대기 오존농도와 비교하였다. 그 결과 현행의 대기환경기준과 그 이하의 농도에서 증가되는 오존과 폐기능검사에서의 감소율 사이에 작지만 통계적으로 유의한 관계를 보여주었다. 이들 결과는 ‘통제된 인간 노출연구’와 일치하였으며, 8시간 대기환경기준이 1시간 대기환경기준 보다 더 적절하다는 증거를 강화시켰다. 또한 폐기능 검사 결과와 오존사이의 관계가 선형적인 것으로 나타나기 때문에 특정농도 이하에서는 생물학적 반응이 일어나지 않는 역치농도가 존재하지 않을 수도 있다는 것을 시사하였다.

병원출입에 대한 조사는 일일의 오존농도와 호흡계 질환으로 인한 매일의 병원출입 사이의 관계를 조사하였다. 이 조사는 시종일관 오존과 병원출입 사이의 명백한 선형 관계를 보여주었고 EPA는 이러한 관계를 원인과 결과로 가정하였다. 이 관계는 현행의 대기환경기준 이하의 오존농도에서도 유효한 것으로 나타났다. 따라서 역치농도가 존재한다는 증거는 없으며 이것은 현장조사로부터의 결론을 더욱 강화시켜 준다.

이상과 같은 검토 결과를 통하여 CASAC 심사단은 1시간 기준보다 8시간 기준이 인간 건강에 기초한 기준으로써 더 타당하다는데 의견이 일치하였으며, 8시간 기준의 형태는 1시간 기준보다 더 엄격하여야 한다는데도 의견이 일치하였다.

심사단은 배경농도 이상의 오존에 대한 노출로 인해 생물학적 반응이 시작되는 역치 농도가 없다는 것을 깨달았다. 현재 활용가능한 정보를 토대로 할때 오존은 배경농도 이하에서도 생물학적 반응을 일으킬 수 있는 것으로 보인다. 이것은 관찰가능한 최저 영향 수준에서 기준을 선택하고 ‘안전을 위한 적절한 여유(adequate margin of safety)’를 제공하는 모범이 불가능하다는 것을 의미하며, 따라서 적절한 수준을 설정하는데 있어서 위해성평가가 중심적인 역할을 하여야 한다는 것을 의미한다.

위해성평가를 수행하기 위해서 EPA는 위해와 관심의 대상이 되는 생리학적 반응을 경험한 집단을 선정하고 이 집단의 오존에 대한 노출과 노출에 의해 유해한 생리학적 반응이 발생할 가능성을 평가하기 위한 모델을 개발해야 한다. 이를 위해 EPA는 소규모 모집단으로써 실외 어린이들과 실외 작업자들 중에서 이미 호흡계 질환을 앓고 있는 사람들을 선택하였는데 이들은 최상의 위험을 가진 사람들로써 가장 적절한 집단이었다. 그러나 노출과 위해성을 평가하기 위하여 설정된 무수히 많은 가정들 때문에 모델 수행에서 커다란 불확실성이 존재하게 된다.

아래 <표 V-4>와 <표 V-5>는 위해성 분석의 결과를 정리한 것이다.

〈표 V-4〉 대기질기준에 따른 실외 어린이들의 반응비교  
(대상: 미국의 9개 도시지역)

| Health Endpoints    | 실외 어린이들의 반응 퍼센트   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|---------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                     | 1시간 대기환경기준<br>(안) |                  | 8시간 일일 최대기준(안)   |                  |                  |                  |                  |                  |
|                     |                   |                  | 1번 초과            |                  |                  |                  | 5번 초과            |                  |
|                     | 1H1EX<br>0.12ppm  | 1H1EX<br>0.10ppm | 8H1EX<br>0.10ppm | 8H1EX<br>0.09ppm | 8H1EX<br>0.08ppm | 8H1EX<br>0.07ppm | 8H5EX<br>0.09ppm | 8H5EX<br>0.08ppm |
| FEV, 감소율 ≥ 15%      | 5-14              | 3-9              | 7-16             | 5-12             | 3-8              | 2-5              | 5-14             | 3-10             |
| FEV, 감소율 ≥ 20%      | 1-6               | 0-4              | 2-7              | 2-5              | 1-3              | 0-1              | 2-6              | 1-4              |
| 심호흡에서의 보통의 또는 심한 고통 | 0                 | 0                | 0-1              | 0                | 0                | 0                | -                | -                |
| 보통의 또는 심한 기침        | 0-1               | 0                | 0-1              | 0-1              | 0                | 0                | -                | -                |

〈표 V-5〉 대기질기준에 따른 천식환자들의 병원출입 횟수 비교(뉴욕시 지역)

|                                | 1H1EX<br>0.12   | 1H1EX<br>0.10 | 8H1EX<br>0.10 | 8H1EX<br>0.09 | 8H1EX<br>0.08   | 8H1EX<br>0.07 | 8H5EX<br>0.09 | 8H5EX<br>0.08   | AS IS            |
|--------------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|
| Excess Admissions <sup>a</sup> | 207<br>70-344   | 130           | 240           | 180           | 115<br>39-191   | 60            | 180           | 120<br>41-199   | 388<br>132-644   |
| %Δ from present std            | 0%              | -37%          | +16%          | -13%          | -44%            | -71%          | -13%          | -42%            | +87%             |
| Excess+background <sup>b</sup> | 909<br>308-1509 | 810           | 920           | 860           | 804<br>273-1336 | 740           | 860           | 797<br>270-1320 | 1065<br>361-1770 |
| %Δ from present standard       | 0%              | -11%          | +1%           | -5%           | -12%            | -19%          | -5%           | -12%            | +17%             |
| All Asthma Admissions          | 14,819          | 14,742        | 14,852        | 14,792        | 14,727          | 14,672        | 14,792        | 14,732          | 15,000           |
| %Δ from present standard       | 0%              | -0.5%         | +0.2%         | -0.2%         | -0.6%           | -1.0%         | -0.2%         | -0.6%           | +1.2%            |

<sup>a</sup> 배경농도 0.04 ppm 이상의 오존농도에 의한 초과 천식입원자수

<sup>b</sup> background에 의한 입원자수 = 1065 - 388 = 677

위의 <표 V-4>에서 살펴보면 현재의 기준(1H1EX 0.12ppm)과 가장 엄격한 제안된 기준(8H1EX 0.07 ppm)사이에서 항목별 값의 차이는 적으며 그들의 범위는 각항목마다 겹쳐져 있다. <표 V-5>의 경우 1행에서는 몇가지 항목 사이에 상당한 차이가 있으나 전체 천식 환자수(5행)는 크게 차이가 나지 않는다.

이러한 모델을 수행한 결과와 SP에서 제시한 유사한 자료들을 기초로 하여 CASAC 심사단은 국민건강 보호에 더 효과적인 것으로써 제안된 기준의 각각을 구분할 수 있는 “명확한 경계선”이 없다는 결론을 내렸다. 그러나 심사단의 일부는 8시간 대기환경기준의 수준에 대하여 개인적인 선호를 표현하였고, 모든 위원이 수차례의 초과를 허용할 것을 추천하였다. 2명의 위원은 위해성평가에서 고려대상이 된 대기환경기준 중에서 인간 건강 보호에 더 유리하다는 것을 보여주는 대기환경기준이 하나도 없기 때문에 수준의 선택은 엄밀히 정책적인 결정이라고 진술하였다. 반응에 대한 뚜렷한 역치가 없고 위해성평가에서 명확한 경계가 없었기 때문에 많은 심사위원들은 민감한 사람들이 적절한 노출 회피 행동을 취할 수 있도록 하는 확장된 대기오염 경보 체제를 추천하였다.

심사위원들의 의견이 각각 달랐지만 종합적으로는 위원의 대부분이 현재의 1시간 0.12

ppm 대기환경기준과 동등한 엄격함을 가지는 8시간 대기환경기준을 포함하는 견해를 진술하였다.

오존에 대한 EPA의 검토결과 현행 오존기준 이하 수준에서의 장기간 노출은 천식 발작, 호흡과 호흡기 질환, 폐기능의 손실, 장기간에 걸친 폐손상의 가능성, 질병에 대한 면역성 저하 등 주목할 만한 건강에 대한 영향을 일으키는 것으로 밝혀졌다. 이에 따라 EPA는 SP에서 현행의 1시간 0.12ppm 대기환경기준을 8시간 평균 0.07~0.09ppm 범위에서 3년 평균 1~5회/년 초과를 허용하는 대기환경기준으로 변경할 것을 추천하였고, 수차례에 걸친 공개토론과 엄격한 검토과정을 거쳐 마침내 오존 기준을 8시간 기준 0.08ppm으로 개정하고 매년 4번째로 높은 일최대 8시간 오존 농도의 3년간 평균값이 0.08ppm을 초과하지 않도록 규정하였다.

### 2.1.2. 미세먼지 기준

1997년 7월 16일 EPA는 건강에 기초하여 PM<sub>2.5</sub> 기준을 추가하는 아래와 같이 보다 강화된 PM 기준을 개정하였다(미국 EPA Office of Air & Radiation, <http://tnwww.rtpnc.epa.gov/naaqsfm/pmfact.html>, 1997).

#### ① 1차 기준

##### PM<sub>2.5</sub> 기준

- ▲EPA는 지역사회연구에서 밝혀진 PM과 관련된 건강상 악영향으로부터 국민을 보호하기 위하여 PM<sub>10</sub> 기준에 새로운 1차 PM<sub>2.5</sub>의 기준을 추가함으로써 현행의 기준을 개정하였으며, 장기 및 단기 노출 피해로부터 건강보호를 위하여 1차 PM<sub>2.5</sub> 기준은 연간 산술 평균 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 24시간 평균 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 정하였다.
- ▲EPA의 과학적 검토에서 현행 기준이하 수준의 PM 농도에서 미세입자는 사망과 질병에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타난 반면, 조세입자는 천식 악화 등에 영향을 미치는 것으로 나타났다. CASAC는 PM<sub>2.5</sub>에 대한 규정을 추가하고, PM<sub>10</sub> 기준은 조세입자에 대한 지침으로써 계속 유지해야 한다는 추천을 제시하였다.
- ▲국민 건강 보호를 위하여 계획된 PM<sub>2.5</sub> 기준의 개발에 있어서 EPA는 장기 및 단기 노출 증거, 분석, 그리고 기준을 각각 독립적으로 평가하는 방법보다는 기준들의 복합적인 영향을 고려하였다.
- ▲EPA는 단기노출과 관련해서 발생하는 매년의 총체적인 위해는 PM수준이 24시간 최대치 이하인 하위에서 중간 범위에 있는 날들로부터 결과된 것이라고 결론을 내렸다. 따라서 24시간 최대농도를 규제하는데 초점을 맞추기 보다는 연간 기준을 통하여 PM<sub>2.5</sub>의 농도 범위를 낮추는 것이 총체적인 PM<sub>2.5</sub>의 위해를 낮추는 최상의 방법이다. 또한 24시간 기준은 PM<sub>2.5</sub> 농도가 높게 나타나는 날, 국지적인 분쟁지역, 계절적 배출(겨울철 woodsmoke 등)로 인한 위험 등에 대하여 추가적인 보호를 제공할 것이다.
- ▲새로운 연간 PM<sub>2.5</sub> 기준의 형태는 연간 산술평균한 PM<sub>2.5</sub>의 농도를 3년간 평균한 값이 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하일 경우 기준을 만족하게 된다. PM<sub>2.5</sub>의 농도는 지역사회에 설치되어 있는 측정망으로부터 측정된 자료를 이용한다.
- ▲새로운 24시간 PM<sub>2.5</sub> 기준의 형태는 지역내에서 가장 높은 측정값을 가지는 측정소(population-oriented monitoring site)에서 일년 동안의 24시간 PM<sub>2.5</sub> 농도의 98번째 백분

위수를 기초로 한다. 24시간 기준은 계절적으로 높은 농도가 나타나는 지역과 입자상물질 배출원에 기인한 국소적인 분쟁지역에서의 최고 농도를 제한할 것이다.

- 이 형태는 비정상적인 기상학적 조건에 기인하여 발생할 수 있는 일시적인 고농도 노출의 영향을 감소시키며, 따라서 효과적인 관리 계획을 위하여 더욱 안정된 기초를 제공할 것이다.
  - 백분위수 형태는 데이터 손실이 있는 경우와 매일 매일의 측정자료가 아닌 경우에 대해서 별충이 가능하며, 따라서 기준 달성 여부 검사를 위하여 사전에 요구되는 복잡한 절차가 필요없게 된다.
- ▲EPA는 안전을 위한 적절한 여유를 가지고 국민건강을 보호하기 위하여 연간  $PM_{2.5}$ 의 기준을  $15\mu g/m^3$ 으로 정하였다. 더 낮은 연간 농도에서도 건강에 대한 영향이 발생할 수 있지만, 그러한 수준에서의 영향에 대한 증거가 매우 불확실하며,  $15\mu g/m^3$ 보다 더 낮은 배경농도 수준에 접근하는 농도에서는 단지 심각한 건강위해의 가능성이 더 작아지게 된다.

#### PM<sub>10</sub> 기준

- ▲건강에 대한 평가와 기타 활용가능한 정보를 기초로, EPA는 조세입자에 대한 장기 및 단기 노출로부터의 영향을 방지하기 위하여 연간  $PM_{10}$  기준  $50\mu g/m^3$ 을 계속 유지한다.
- ▲EPA는  $PM_{10}$  24시간 기준  $150\mu g/m^3$ 을 '1회 초과 허용' 형태에서 '99번째 백분위수' 형태로 개정한다. 이것은 조세입자에 대한 단기 노출로부터의 영향을 방지하기 위한 것이다. 농도에 기초한 백분위수 형태는 규제 프로그램을 위하여 더 안정된 목표치이며, 누락된 값에 대한 복잡한 데이터 처리과정이 필요없다.

#### ② 2차 기준

- ▲EPA는 2차 기준을 최종 1차 기준과 동일한 값으로 정하였다. 이것은 입자상물질과 관련하여 발생하는 가시도 악화, 더러워짐, 재료의 손상 등을 포함한 복지상의 악영향에 대하여 적절한 보호기준을 제공하게 된다.

1971년 EPA에 의해 총부유성입자상물질(TSP)에 대한 최초의 기준이 설정된 이후 미국의 PM 대기환경기준의 변화과정은 아래의 <표 V-6>과 같다.

<표 V-6> 미국 PM 대기환경기준 변천과정

| 연도   | 측정                                      | 24시간 기준( $\mu g/m^3$ ) | 연간 기준( $\mu g/m^3$ ) |
|------|-----------------------------------------|------------------------|----------------------|
| 1971 | 총부유성입자(TSP)                             | 260                    | 75                   |
| 1987 | PM <sub>10</sub> (입자직경 $\leq 10\mu m$ ) | 150                    | 50                   |
| 1996 | EPA Staff 추천                            |                        |                      |
|      | PM <sub>2.5</sub>                       | 18~65                  | 12.5~20              |
|      | PM <sub>10</sub>                        | 150                    | 40~50                |
| 1997 | PM <sub>2.5</sub>                       | 65                     | 15                   |
|      | PM <sub>10</sub>                        | 150                    | 50                   |

주): 일반적으로 TSP는 직경  $40\mu m$ 이하의 입자들로 구성되어 있다.

자료: Wolff, George T., 「The Scientific Basis for a Particulate Matter Standard」, Environmental Managers, A&WMA, 1996. 10.

PM은 직경 2.5~10 $\mu\text{m}$ 의 큰입자와 직경 2.5 $\mu\text{m}$ 이하의 미세입자가 그 특성, 배출원, 잠재적으로 건강에 미칠수 있는 영향이 매우 다르다. 조세입자의 배출원은 사막이나 들판에서 바람에 날려온 먼지와 비포장도로에서 이동차량이 일으키는 먼지 등이고, 호흡기관 속에 축적되어 천식등과 같은 건강상의 문제를 악화시킬 수 있다. 미세입자는 일반적으로 산업 및 가정난방과 차량의 배기 등에 의해서 배출된다. 또한 연소에 의해 배출되는 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, VOC 같은 기체물질이 대기 중에서 화학반응에 의해 변환될 때도 미세입자가 생성된다.

1971년에서 1987년 사이에 PM에 의해 발생하는 건강문제에 대한 통찰로부터 가장 중요한 PM은 흉부의 호흡계통 속에 축적되는 입자들이라는 것이 밝혀졌다. PM은 코/입으로 동시에 호흡할 때 또는 입으로 호흡할 때 흉부에 가장 많이 침투되며, 축적되는 것은 직경 10 $\mu\text{m}$ 이하의 PM이다. 코를 통한 호흡에서는 직경 1 $\mu\text{m}$ 이하의 입자가 흉부에 축적된다. 결국 EPA는 1987년 TSP에 대한 기준을 PM<sub>10</sub>에 대한 기준으로 개정하였다.

PM을 구성하고 있는 각 입자들은 그 독성이 같지 않으며, 잠재적인 생물학적 반응들이 입자의 크기에 따라 변한다. 앞에서 언급했듯이 코를 통한 호흡인지 코/입을 통한 호흡인지에 따라 관계되는 입자의 크기가 다르며, 미세입자(PM<sub>2.5</sub> 또는 PM<sub>10</sub>) 배출원과 조세입자(입자 직경 $\geq 2.5\mu\text{m}$ )의 배출원도 서로 다르다. 예를 들면 직경 2.5 $\mu\text{m}$  이하의 입자는 주로 연소나 대기중에서의 2차적인 화학반응에 의해 형성되는 반면, 직경 2.5 $\mu\text{m}$  이상의 입자는 대부분 기계적인 과정(건설, 폭파, 비포장 도로, 바람에 의한 침식 등)에서 발생한다. 이러한 이유로 EPA는 미세입자와 조세입자는 서로 다른 오염물질로 다루어져야 하며, 서로 다른 규제 전략을 필요로 한다고 판단하였다. 또한 최근의 지역사회 연구에서 현행의 PM 단기(1일 이하~5일) 및 장기(1년~수년)기준 보다 상당히 낮은 수준의 노출에서도 PM이 인간 건강에 해로운 영향을 미칠 수 있으며, 미세입자는 폐속 깊숙히 침투하여 조세입자보다 건강에 더 큰 영향을 미칠 수 있다는 것이 확인되었다. 여기서 건강에 미치는 해로운 영향이란 조기사망, 병원 입원과 응급실 출입 증가(주로 심폐기 질환이 있는 노인과 성인), 호흡기 관련 증상과 질병(천식 같은 심폐기 질환이 있는 어린이와 성인), 폐기능의 저하, 폐조직과 구조의 변화, 호흡기의 방위기계(防衛機制) 변화 등을 말한다. 이러한 논리와 건강에 대한 영향을 토대로 EPA는 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub> 기준을 각각 설정하게 되었다.

EPA가 계획하고 시행한 PM 대기환경기준 검토 과정을 단계별로 정리하면 아래 <표 V-7>과 같다.

<표 V-7> 미국의 PM 대기환경기준 검토단계

| PM 대기환경기준 검토 단계 |                                              | 완료일                |
|-----------------|----------------------------------------------|--------------------|
| 1               | CD(Criteria Document)에 대한 CASAC의 검토          | 1995. 6 ~ 1996. 3  |
| 2               | CASAC의 CD(Criteria Document)에 대한 종결          | 1996. 3. 15        |
| 3               | Staff Paper에 대한 CASAC 검토                     | 1995. 11 ~ 1996. 6 |
| 4               | CASAC의 Staff Paper에 대한 종결                    | 1996. 6. 13        |
| 5               | EPA가 <i>Federal Register</i> 에 제안된 대기환경기준 발표 | 1996. 11. 29       |
| 6               | EPA가 <i>Federal Register</i> 에 최종 대기환경기준 공표  | 1997. 6. 28        |

주 : CD와 SP의 검토는 21명의 CASAC 위원들에 의해 수행된다.

자료: Wolff, George T., 「The Scientific Basis for a Particulate Matter Standard」, Environmental Managers, A&WMA, 1996. 10.

PM의 건강영향에 대한 검토는 인간의 사망률에 초점을 둔 역학적인 연구가 주요한 대상이었다. EPA에 의해 검토된 PM과 사망률 관계에 대한 연구는 2가지 형태가 있다.

첫번째는, 단기의 급성 사망에 대한 연구로서, 미국내 대략 12개 지점에서 시간 연속으로 매일의 PM농도와 사망률을 비교하였다. 사망에 대한 계절적인 요인, 요일, 기상 등에 의한 효과를 제거하거나 고려한 후에, 나머지 매일의 PM농도와 사망률 사이의 통계학적인 관계가 정량화되어졌다. 이 관계는 각 지점에 따라 변하였지만 평균적으로 PM10 농도가  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가에 대하여 매일의 사망률은 4% 정도로 증가하였으며, 역치농도가 존재한다는 증거는 나타나지 않았다.

두번째는, 전국의 다양한 지역에서 불특정 다수로 이루어진 그룹의 건강상태를 수년에 걸쳐서 조사한 연구였다. 이 연구에서는 주어진 지역내에서 연간 사망률과 연평균 PM10 또는 PM2.5 농도와 관계를 조사하였다. 이때 사망률은 흡연과 기타 혼란을 일으킬 가능성 있는 변수들에 대하여 조정된다. 여기에 관련된 3가지 연구 중에서 2가지는 연간 사망률과 PM 사이에 명확한 관계를 보여주었으며, 사망자의 2/3가 사망원인이 PM에 기인하는 것으로 나타났다. 나머지 한가지 연구는 PM과 사망률 관계를 보여주지 않았는데, EPA는 통계학적인 신빙성의 부족등 많은 이유 때문에 이 연구를 제외시켰다. 앞의 두 연구로부터 EPA는 시간 연속적인 연구에서 확인된 심각한 노출에 의한 사망 이외에도 만성적인 노출에 기인한 조기사망이 발생한다는 결론을 내렸다. 또한 EPA는 사망률이 PM10의 큰입자 부분에 의해서라기 보다는 PM2.5에 기인하다고 결론을 내렸다.

## 2.2. 오염물질의 에피소드 기준 설정<sup>21)</sup>

미국에서는 대기질기준 달성을 위한 주이행계획(state implementation plan) 수립시 국민의 건강을 ‘심각한 손상’으로부터 보호하기 위하여 돌발적인 에피소드 기준과 절차를 포함하도록 법으로 규정하고 있다. 이러한 에피소드 기준을 설정하는데 있어서, 대부분의 주들은 미국 EPA의 지침을 따르고 있다. 심각한 손상 수준을 설정하는데 있어서 PM10은 사망인구의 증가에 기초를 두고 있는 반면에 오존에 대하여는 EPA의 판단으로 인구의 상당한 부분이 호흡기 관련 증상을 심각하게 경험하게 되는 수준으로 설정되어 있다.

### 2.2.1. PM<sub>10</sub>의 에피소드 기준

PM10에 대하여 EPA가 지정한 ‘심각한 손상’의 수준은  $600\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 평균값)이고, 아래와 같은 에피소드 기준의 수준을 제시하였다.

1단계 (경계) -  $350\mu\text{g}/\text{m}^3$

2단계 (경고) -  $420\mu\text{g}/\text{m}^3$

3단계 (긴급사태) -  $500\mu\text{g}/\text{m}^3$

원칙적으로 이러한 수준에 이르게 되면 계속적인 오염물질 축적으로 인해 ‘심각한 손상’이 발생하지 않도록 다양한 중재를 시도하게 된다. 에피소드 기준은 노출농도가 건강에 유해한 영향을 미친다는 증거를 기초로 최근의 역학적연구와 실시간 모니터링 기술의 발달<sup>22)</sup>로 건강보

21) 자료: Lipsett, Michael J., Ostro, Bart D., 「Episode Criteria for PM<sub>10</sub> : A Lesson in Symbolic Regulation」, Air & Waste Management Association, 86th Annual Meeting Proceedings, Denver, 1993.

22) 최근에 PM<sub>10</sub> 입자 수준의 실시간 기록이 가능한  $\beta$ -attenuation monitors과 TEOMs(Transverse Elemental Oscillation Monitors) 두가지 방법을 손쉽게 활용하여 에피소드 기준을 국민건강에 더욱더 깊이 관련시키게 된다. 첫째, 매일 측정함으로써 시간계획이 짜여져 있는 측정기간 동안에 발생할 경우 놓치게 되는 건

호차원에서 설정될 수 있다.

최근의 역학조사에 따르면 PM10 대기질 기준( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )이하의 농도에서도 다양한 건강상의 위해가 발생하는 것으로 나타났다. 대기질기준 달성에 따른 국민건강 보호의 수준에 관하여 논의한다면, PM10 농도가 1단계에 도달하면 심각한 호흡기관 관련 질환과 심지어는 사망이 발생할 것이라는 것은 의심의 여지가 없다.

전통적으로 심각한 손상 수준, 에피소드 기준 및 이에 따라 시행되는 규제 조치는 런던, 도노라(미국 펜실베이니아), 뮤즈계곡(벨지움) 등에서 발생하였던 것과 같은 대기오염 재난을 피하기 위한 것이었다. EPA는 1958년/1959년~1971년/1972까지 런던에서 발생한 겨울철 사망에 대한 역학적연구 결과를 기초로 하여 PM10에 의한 심각한 손상 수준을 선정하였다. EPA는 BS(British Smoke)와 아황산가스로서 측정된 입자들이 둘다  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였을 때 매일의 사망증가를 관찰할 수 있었다고 설명하였다.

PM10에 대한 에피소드 기준은 또 다른 근거를 가지고 있었다. 그 제안을 지지하는 EPA SP는 다음과 같이 결론을 내렸다. “ $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 농도에서 일부 민감한 인구집단에 대한 건강위해가 발행할 수 있다. 따라서 이러한 대기질 수준이 발생할 때 에피소드 기준에 따라서 1단계 관리대책을 실시하는 것이 타당할 것이다.” 경고(2단계)와 긴급사태(3단계) 수준은 더 심각한 영향이 관찰되는 특정 중간 농도에 관련된 것이 아니라 오히려 1단계와 심각한 손상 수준 사이의 간격을 적당하게 3등급으로 세분한 것이었다.  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이상에서 ‘발생할 가능성이 있다’고 판단되는 건강에 대한 영향은 역시 ‘런던 겨울 자료’에서 유추된 것이며, 여기에 만성적 기관지염 환자의 증상 악화가 포함되었다. 심각한 손상 수준과 마찬가지로, EPA는 BS( $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )로 측정된 명백히 관찰되는 영향수준에  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 더하여 1단계 기준을 제시하였다.

오존과 PM10의 심각한 손상수준과 에피소드 기준을 서로 비교해 보면 도움이 된다. 원래 광화학산화물로부터 유도된 오존의 심각한 손상수준은 0.6 ppm(1시간 평균)이고, 1, 2, 3 단계 에피소드 수준은 0.20, 0.40, 0.50 ppm 으로 제안되어 있다. 오존에 대한 대기질 기준은 0.12 ppm이다. 심각한 손상수준의 설정에 있어서 PM10은 사망인구의 증가에 기초를 두고 있는 반면에 오존에 대하여는 EPA의 판단으로 인구의 상당한 부분이 호흡기 관련 증상을 심각하게 경험하게 되는 수준으로 설정되어 있다. 이러한 평가는 소수의 지원자들을 다양한 오존농도에 체계적으로 노출시키는 몇가지 실험을 토대로 하였다. 1, 2단계 에피소드 수준에 근접하는 오존농도에 노출시키는 몇가지 실험에서, EPA는 0.37 ppm에서 폐기능 저하를 발견하였으나, 0.2~0.4 ppm 에서는 심각한 자극적인 증상은 없는 것을 관찰하였다. 0.08 ppm이하의 노출농도에서도 증상과 기능 저하 같은 영향이 발생한다고 증명하는 최근의 연구결과를 토대로 할 때, EPA에 의해 인용된 오존 “영향 수준”은 이미 그 의미가 상실되었다. 그럼에도 불구하고 EPA는 PM10에 대한 수준보다 정성적으로 덜 심각한 건강에 대한 결과에 대응해서 오존에 대한 심각한 손상수준과 에피소드 기준을 선정하고 있다.

---

장에 유해한 수준을 감지할 수 있게 된다. 둘째, 결과에 대한 즉각적인 접근이 가능하므로 에피소드의 예측이 더욱 용이해진다. 에피소드의 예측은 전날의 PM<sub>10</sub> 농도 뿐만아니라 기단의 안정성에 영향을 미치는 기상학적인 변수를 필요로 한다. 매일의 PM<sub>10</sub> 측정은 추가적인 역학적연구의 수행을 용이하게 해 줄 것이다.

지금까지의 검토 과정에서 PM<sub>10</sub>에 대한 이러한 문제들을 고려할 때 오존과 일산화탄소에 대한 대기질 기준과 에피소드 기준 사이의 정량적인 관계를 주목할 필요가 있다(<표 V-8>).

〈표 V-8〉 오존과 일산화탄소에 대한 대기질 기준과 에피소드 기준

|          | 대기기준(1) | 에피소드 1단계<br>(2) | 비율 (1)/(2) | 에피소드 2단계<br>(3) | 비율 (1)/(3) |
|----------|---------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| 오존(1-hr) | 0.12    | 0.20            | 0.60       | 0.40            | 0.3        |
| CO(8-hr) | 9       | 15              | 0.60       | 30              | 0.3        |

자료: Lipsett, Michael J., Ostro, Bart D., 「Episode Criteria for PM<sub>10</sub> : A Lesson in Symbolic Regulation」, Air & Waste Management Association, 86th Annual Meeting Proceedings, Denver, 1993.

만약 EPA가 오존과 일산화탄소에 이용한 모델을 따른다면, PM<sub>10</sub> 1단계와 2단계 에피소드 기준은 각각 대기질 기준의 1.67배와 3.33배가 될 것이다. 새로운 24시간 PM<sub>10</sub> 기준이 50~100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  범위(최근의 몇가지 역학적연구 결과에 나타난 평균적인 수준을 기초로 함)에 있다고 가정한다면, 1단계 범위는 84~167  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이고, 2단계는 167~333  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  사이가 될 것이다. 전적으로 대청성에 기초한 논의를 특별히 강조하는 것은 아니지만, 결국 에피소드 기준의 선택은 노출농도가 건강에 유해한 영향을 미친다는 증거와 연결되어야 한다.

### 2.3. 일본의 유해대기오염물질 대책 수립에의 활용 사례<sup>23)</sup>

일본은 산업발전에 따른 심각한 대기오염을 극복하여 환경보전 측면에서 어느 정도 성과를 얻었으나 다양한 화학물질 사용으로 대기중에서 미량 존재하는 대기오염물질에 대한 관리가 미흡하다는 지적이 있었다. 이에 따라 1996년에 대기오염방지법을 개정하여 1997년 4월부터 시행하였는데, 여기에는 유해대기오염물질대책이 포함되어 있다. 개정된 대기오염방지법에서 유해대기오염물질과 관련하여 규정된 내용을 요약하면 다음과 같다.

- ①건강피해를 미연에 방지하기 위하여 정확한 과학적인 지식과 자료를 바탕으로 대책을 추진한다.
- ②다양한 대기오염물질에 대해서 포괄적인 대책을 추진하는 것을 기본으로 하되, 건강 위해성이 높은 물질에 우선 순위를 두고 단계적으로 취급해 나간다.
- ③사업자, 국가, 지방공공단체, 국민 각각에 대하여 유해대기오염물질 억제에 위한 책임과 의무를 부과한다.

유해대기오염물질 관리를 위한 국가시책에서는 첫째, 대기오염 상태를 파악하기 위하여 지방공공단체와 협력하여 조사를 실시함과 동시에 건강영향에 대한 과학적인 지식 확보에 노력하고, 둘째, 유해대기오염물질의 대기오염에 의한 건강위해성 정도를 평가하고 정기적으로 공표하며, 셋째, 배출억제를 위하여 기술정보를 수집 및 정리하고 성과를 보급하는데 노력할 것을 규정하고 있다. 유해대기오염물질의 대기중 농도 측정은 매년 1회 24시간 시료채취를 원칙으로 하며, 장기노출에 의한 건강영향이 우려되는 오염물질에 대해서 연평균 농도를 정확하게 파악하는 것을 목적으로 한다. 건강위해성평가는 해당물질의 위해성에 관련된 과학적인 지식과 대기환경농도를 기초로 실시하는데, 저농도 장기노출에 의한 건강영향이 염려되는 오

23) 자연환경대책, Japan, 1998. 9.

염물질에 대해서는 그 독성에 관계된 과학적인 지식 및 장기적인 대기오염 상황의 추이 등을 추적하여 위해성을 평가할 필요가 있다.

사업자에게 책임지워진 배출상황 파악과 배출억제의 의무에 따라 사업자는 자체적으로 관리계획을 세워 객관적인 배출 관리목표를 정하여 그 달성상황을 매년 평가하도록하고 있다. 이에 각 사업자가 관리 대상이되는 유해오염물질을 파악하도록하기 위하여 중앙환경심의회는 유해대기오염물질에 해당할 가능성이 있는 물질목록(234개물질)과 특히 우선적으로 다루어져야 할 물질목록(우선 취급물질 22개)을 제시하고 이 물질 분류에 따라 단계적인 취급을 요구하였다. 환경청과 통상산업성에서는 「사업자에 의한 유해대기오염물질의 자주관리를 위한 지침」을 작성하여 다음 <표 V-9>에 제시한 우선 취급물질중 13개 항목을 지정하여 이들에 대해 우선적으로 자체적인 관리계획을 세우도록 하였다.

<표 V-9> 일본의 우선 취급물질 목록

| 우선 취급물질명 <sup>1)</sup> | 환경기준<br>책정물질 <sup>2)</sup> | 지정물질 | 자주관리계획대상물질 |
|------------------------|----------------------------|------|------------|
| 아크릴로니트릴                |                            |      | ○          |
| 아세트알데히드                |                            |      | ○          |
| 염화비닐모노머                |                            |      | ○          |
| 클로로포름                  |                            |      | ○          |
| 클로로메틸메틸에테르             |                            |      |            |
| 산화에틸렌                  |                            |      |            |
| 1,2-디클로로에탄             |                            |      | ○          |
| 디클로로메탄                 |                            |      | ○          |
| 수은 및 그 화합물             |                            |      |            |
| 활석(석면모양 섬유를 포함한 것)     |                            |      |            |
| 다이옥신류                  | △                          | ○    | ○          |
| 테트라클로로에틸렌              | ○                          | ○    | ○          |
| 트리클로로에틸렌               | ○                          | ○    | ○          |
| 니켈화합물                  |                            |      | ○          |
| 비소 및 그 화합물             |                            |      |            |
| 1,3-부타디엔               |                            |      | ○          |
| 베릴륨 및 그 화합물            |                            |      |            |
| 벤젠                     | ○                          | ○    | ○          |
| 벤조(a)피렌                |                            |      |            |
| 포름알데히드                 |                            |      | ○          |
| 망간 및 그 화합물             |                            |      |            |
| 6가크롬화합물                |                            |      |            |

d주) 1) 금속화합물에 대해서는 반드시 그 화합물 모두가 장기독성을 가진다고 확인할 수 있는 것은 아니므로 앞으로 과학적인 지식축적 등을 도모하고 개별화합물의 위해성을 밝혀내는 것이 필요하다.

2) △표시는 대기환경지침치이다.

자료 : 자연환경대책, Japan, 1998. 9.

개정된 대기오염방지법 부칙에서는 유해대기오염물질중 배출억제를 시급하게 시행해야 할 물질로써 벤젠, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌 및 다이옥신류(다이옥신류는 환경중 기작이 충분히 밝혀져 있지 않으므로 대기환경지침값을 사용)를 지정물질로 선정하여 대기환경기준을 정하고 있다. 지금까지 대기환경기준치는 특정 농도 이하에서는 건강영향이 발생하

지 않는 역치값이 존재한다는 이론에 근거하여 설정하였으나 유해대기오염물질중에는 역치가 존재하지 않는 경우도 있으므로 이에 대해서는 다른 방법으로 대기환경기준치를 정해야 한다. 역치농도가 존재하지 않는 물질은 노출시 예상되는 건강에 대한 위해가 충분이 낮을때 실질적으로 안전하다고 생각되는 농도를 근거로 하여 생애위해성레벨이 10-5(일생 동안의 건강영향의 확률이 10만분의 1인 수준)에 상당하는 값을 대기환경기준치로 설정하고 있다. 다음 <표 V-10>은 대기환경기준이 설정된 일본의 유해대기오염물질과 기타 주요 유해대기오염물질의 발암성 평가 및 대기환경기준을 나타낸 것이다.

〈표 V-10〉 주요오염물질의 발암성 평가 및 대기환경기준

| 물질명         | 국제암연구기관(IA<br>RC)의 발암성평가 | 대기환경기준(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),<br>(다이옥신의 단위는 $\text{pg-TEQ}/\text{m}^3$ ) |                   |        |
|-------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------|
|             |                          | EPA( $10^{-5}$ )                                                                   | WHO유럽<br>지역사무국    | 일본 환경청 |
| 아크릴로니트릴     | 2B                       | 0.1                                                                                | $0.5^{*1}$        | -      |
| 아세트알데히드     | 2B                       | 5                                                                                  | -                 | -      |
| 염화비닐모노머     | 1                        | -                                                                                  | $10^{*1}$         | -      |
| 클로로포름       | 2B                       | -                                                                                  | -                 | -      |
| 1,2-디클로로에탄  | 2B                       | 0.4                                                                                | 700               | -      |
| 디클로로메탄      | 2B                       | 0.4                                                                                | 3,000             | -      |
| 다이옥신류       | 1,3                      | 20                                                                                 | -                 | -      |
| 테트라클로로에틸렌   | 2A                       | -                                                                                  | $250^{*2}$        | 0.8    |
| 트리클로로에틸렌    | 2A                       | -                                                                                  | $23^{*1,2}$       | 200    |
| 1,3-부타디엔    | 2A                       | 0.04                                                                               | -                 | -      |
| 벤젠          | 1                        | 1                                                                                  | $1.7^{*1,2}$      | 3      |
| 벤조(a)피렌     | 2A                       | -                                                                                  | $0.000111^{*1,2}$ | -      |
| 포름알데히드      | 2A                       | 0.8                                                                                | 100               | -      |
| 니켈화합물       | 1                        | 0.042                                                                              | $0.026^{*1}$      | -      |
| 비소 및 그 화합물  | 1                        | 0.0023                                                                             | $0.0067^{*1,2}$   | -      |
| 베릴륨 및 그 화합물 | 1                        | 0.0042                                                                             | -                 | -      |
| 망간 및 그 화합물  | -                        | -                                                                                  | -                 | -      |
| 6가크롬 화합물    | 1                        | 0.00083                                                                            | $0.15^{*2}$       | -      |
|             |                          |                                                                                    | 0.00025           | -      |

[주1] 「대기환경기준 등」의 일본 환경청란은 환경기본법 제16조에 기초한 대기환경기준치 또는 중앙환경심의회  
의 답신에 기초한 지점이 되는 대기환경농도.

[주2] 국제암연구기관(IARC) 발암성 평가

1. 사람에 대해 발암성을 나타내는 물질
2. 사람에 대해 발암성을 나타낼 가능성이 있는 물질
  - 2A. 가능성이 높은 물질
  - 2B. 가능성이 낮은 물질

[주3] 다이옥신류의 IARC 발암성 평가는 2,3,7,8-TCDD에서는 1, 기타 이성체에서는 3이다.

[주4] 「EPA( $10^{-5}$ )」의 란은 US·EPA가 설정한 Unit Risk의  $10^{-5}$ Risk Level 환산값이다.

[주5] 「WHO 유럽지역사무국」의 란은 WHO 유럽지역사무국의 가이드라인 값.

\*1. Unit Risk의  $10^{-5}$  Level 환산값이다.

\*2. WHO 유럽지역사무국(1996년)의 개정 가이드라인 값이다.

자료 : 자연환경대책, Japan, 1998. 9.

## Ⅵ. 건강피해에 기초한 대기질 관리정책으로의 개선방안

지금까지 살펴본 바와 같이 대기오염이 각종 질병발생, 병원입원율, 사망을 증가의 건강피해를 초래하고 있으며 우리나라 현 대기질 상태에서도 대기오염으로 인한 건강피해가 분명히 나타나고 있다.

건강위해성평가는 대기오염물질로부터 인체를 보호하기 위한 목적으로 이용되는 합리적인 수단이며 대기질에 대한 불신과 비과학적인 논쟁을 과학적인 근거에 입각한 논의로 전환시키는 훌륭한 도구로 활용되고 있다. 건강위해성평가는 대기환경기준 설정, 대기오염물질 정보제 실시를 비롯하여 정책의 우선순위를 결정하는데 활용되어 수용체 중심의 대기질관리정책으로 전환하는데 있어 가장 기본이 되는 수단이다. 즉, 건강영향의 정량적인 자료는 대기오염 저감 정책 이행시 환경적 편익을 계량화하는데 활용되며 이에 따라 대기오염의 내재화된 비용을 반영한 정책수단 이행에 기초가 된다.

대기오염 건강영향 평가를 국내 대기질관리 정책에 활용하기 위해서는 무엇보다 건강피해에 기초한 관리정책으로의 점진적인 전환을 기본으로 1) 건강위해성평가 활용방안에 대한 국가 Master Plan을 마련하고, 2) 평가결과를 토대로 위해성 관리기술을 개발하는 것이다.

선진외국에서 대기질 관리정책에 건강위해성평가 결과를 활용할 수 있는 것은 무엇보다 평가에 필요한 기초 보완자료가 잘 갖추어져 있다는 데 있으며 상대적으로 우리나라는 그동안 환경정책의 우선순위, 자원부족 등을 이유로 활용도가 부족한 실정이다. 수용체인 인체 건강의 피해를 최소화하는 적정 관리수단을 개발하고 이행하는 관리정책으로 발전하기 위해서 앞으로 개선, 추진되어야 할 방안을 아래에 제시하였다.

### 1. 대기관리체계 개선

건강위해성평가에 기초한 대기질관리 정책으로의 전환을 위해서는 근본적으로 현행 대기관리체계 제도의 개선이 급선무이다.

#### 1) 대기관리 목표(goal)로의 설정

우리나라 대기환경기준은 우리의 여건에서 발생하는 건강피해나 위해성에 대한 조사나 검토없이 단순히 외국의 기준을 토대로 그대로 수용하여 설정된 것으로 그 수치가 갖는 의미는 수치의 높고 낮은 기준치 개념으로만 사용되어지고 있다.

정부는 대기질 개선을 위한 정책목표로서 국가 대기환경기준을 정해놓고 이를 준수하는 것을 대기질 관리의 기본 목표로 삼고 있다. 그러나 개선목표로 설정해 놓고 있는 오염물질 항목은 대기질의 시대적 변화 양상에 맞지 않고 수치 또한 특정지역의 단순 오염도 유지를 목표로 세워져 환경행정목표로 설정된 대기환경기준과의 연계가 부족하다.

제1차, 2차 환경개선중기종합계획에서 우리나라가 그동안 설정한 대기질 개선목표 지표는 1980년대에 주로 문제시 되었던 아황산가스 또는 부유먼지를 대상으로 서울이라는 특정지역의 대기질 개선을 중심으로 제시되어 있어 우리나라 지역적인 대기질의 특성을 충분히 반영하지 못하고 있다. 즉, 정부가 정한 대기질 개선목표는 비교적 상징적인 의미로 대기보전정책의 목표달성 여부를 평가하는데 매우 편협된 감이 있다.

결국, 대기질 관리목표 설정의 일괄된 철학이 결여되어 있다는 평가이다. 다시 말하면 오염 특성은 지역적으로 달리 나타나더라도 중앙정부 차원에서 대기보전정책의 목표가 뚜렷이 세워져야 하며 이는 현재 기준치(standard)로서의 기능이 강한 대기환경기준에 대한 개념이 건강피해 최소화라는 목표(goal)개념으로 설정될 필요가 있다는 것을 시사한다.

## 2) 대기환경기준 설정 및 운영상 개선

앞에 이미 언급하였듯이 미국 등 선진국의 대기환경기준은 인간의 건강보호차원에서 대기오염의 건강피해에 근거를 두고 비교적 과학적으로 설정된다. 미국의 경우(Wolff, 1996) 1차 대기환경기준은 단순히 건강피해만을 고려하여 설정되고, 환경보호를 위한 2차 대기환경기준 설정시에 비용/편익분석이 수반되어진다. 또한 매 5년마다 과학적인 자료에 근거하여 대기환경기준을 재평가하도록 1977년 대기정화법개정안에 추가하였고 이를 위해 ‘대기과학자문위원회(Clean Air Scientific Advisory Committee: CASAC)’를 설립하였다<sup>24)</sup>.

대기환경기준은 궁극적으로 국민 건강보호를 위한 대기질관리 방향과 어떻게 연계되는지, 대기오염으로 인한 피해와의 인과관계는 어떠한지, 단위 대기질 악화에 따른 건강피해정도는 수치상 어느 정도인지 등의 정보가 기초가 되어야 한다. 그러나 우리나라의 대기환경기준은 기준치(standard)개념으로 수치의 초과여부에만 관심이 있고 환경기준을 과학적으로 설정하는 기초적인 작업 등을 수행하는데 소요되는 경제적 부담으로 체계적으로 이행하지 못하고 있다.

아울러, 우리나라는 현재 일반대기오염물질에 대해서만 대기환경기준이 설정되어 대기환경농도는 낮으나 장기간 노출시 암 등의 인체에 치명적인 영향을 일으키는 유해대기오염물질에 대해서는 대기환경기준 설정항목이 없다. 유해대기오염물질 중에는 역치가 존재하지 않는 경우가 많으므로 이에 대해서는 다른 방법으로 대기환경기준치를 정해야 한다. 일반적으로 역치농도가 존재하지 않는 물질은 노출시 예상되는 건강에 대한 위해가 충분히 낮을때 실질적으로 안전하다고 생각되는 농도를 근거로 하여 생애위해성레벨이 10<sup>-5</sup>(일생 동안의 건강영향의 확률이 10만분의 1인 수준)에 상당하는 값을 대기환경기준치로 설정하고 있다.

우리나라 대기환경기준 설정 및 운영상 개선 사항은 다음과 같다.

- ① 대기환경기준 개정작업이 어떠한 근거에 의해 이루어지는지에 대한 검토와 대기환경기준에 대한 주기적인 재평가 시스템을 마련한다.
- ② 기준을 평가하고 새로운 기준 근거 및 항목 추가를 제시할 수 있는 ‘과학적인 자문위원회(가칭)’를 구성하여 기준에 대한 신뢰도를 확충한다. 물론 현재의 대기분과위원회와 수시로 개최되는 전문가 자문회의를 통해 의견수렴 등을 거치기는 하나 다분히 형식적인 면이 많다.

## 2. 기초자료 축적 기반구축

국내에는 건강위해성평가에 필요한 가장 기초적인 자료 즉, 대기오염물질별 실태 파악 자료와 건강질환에 대한 정보가 대기질 관리의 과학적인 도구로 사용하기에는 아직 부족하다.

24) 예를 들어 오존기준 평가를 위한 CASAC 심사단은 의사, 유행병리학자, 대기과학자, 독성학자, 식물학자, 위해평가 전문가 그리고 경제학자를 포함하여 모두 15명으로 구성되어 있다.

대기오염과 건강 질환과의 상관관계 및 계량화를 유도하기 위해서는 이들의 충분한 자료와 신뢰성이 간과되어서는 안된다.

### 1) 대기모니터링 자료 축적 개선

#### □ PM<sub>10</sub> 측정망 확대

일반대기오염물질 항목중에서 건강에 치명적인 영향을 주는 것으로 알려진 미세먼지(PM-10)의 측정망을 확충(현재 전국적으로 미세먼지 측정소는 28개소이며 총먼지 측정소는 70개소임)하고 일부 측정소에서는 PM<sub>2.5</sub> 측정도 병행한다. 외국의 조사결과에 의하면 미세먼지는 입자크기에 따라 건강위해성이 다르고 배출원도 달라 입자크기별로 배출원관리가 차별화되어야 한다는 것이다. 특히 자동차 배출오염물질 중에서 경유차량에서의 미세먼지(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), 심지어 휘발유차량에서 배출될 수 있는 보다 미세한 크기의 입자(PM<sub>1</sub>)로 인한 건강영향에 대한 우려의 목소리가 높아지면서 미세먼지는 대도시 대기질관리의 최우선순위 물질의 하나로 고려되고 있다. 본 연구에서 제시한 서울대학교 분석결과에서도 현재까지의 국내 측정자료로는 건강피해와의 상관관계를 파악하기가 어렵다는 지적이 있었다. 이것은 1995년부터 일부 측정소에서 PM<sub>10</sub>을 측정하기 시작한 관계로 축적된 자료가 불충분한데 큰 원인이 있다.

#### □ 우선순위 유해대기오염물질의 정기적인 모니터링 실시

유해대기오염물질에는 특정농도이하에서도 건강영향이 발생하지 않는 즉, 역치값이 존재하지 않는 물질이 상당종류 포함되어 있어 건강위해성에 기초한 대기질 관리정책에서 중요성이 더해가고 있다. 우리나라에서는 이에 대한 대기중 실태파악이 상당히 부족한 실정으로 지금까지의 간헐적인 측정에서 벗어나 우선 다양한 유해대기오염물질중에서 대기중 위해성이 밝혀진 물질중 관리대상 우선순위 항목을 지정하고<sup>25)</sup> 정기적으로 대기 모니터링을 실시해야 한다. 모니터링시에는 자동차 배출 유해물질로 인한 영향을 파악하는데 활용될 수 있도록 자동차 도로변에서의 조사도 함께 실시한다.

유해대기오염물질 모니터링 자료는 추후 대기환경기준 제정시 활용하도록 한다.

### 2) 의료자료 축적 체계 개선

대기오염의 건강피해를 조사하기 위해서는 오염물질별 대기질 실태자료뿐만 아니라 질병등의 의료(병상)자료 또한 매우 중요한 역할을 한다. 환경과 보건을 연계하여 국민건강에 기초한 대기질관리를 수립하기 위해서는 의료자료가 기본적으로 갖추어져 있어야 하나 우리나라는 단순 상병자료를 환경성질환과 연계하기에는 아직 유용하고 체계적인 자료축적이 상당히 부족한 실정이다. 이는 환경과 보건을 담당하는 유관기관과의 협조체제 구축을 통해 해결되어야 한다.

25) 최근 유해대기오염물질의 일부 항목에 대해 대기환경기준을 제정한 바 있는 일본은 유해대기오염물질에 해당할 가능성이 있는 234개 물질을 정하고 특히 우선적으로 다루어져야 할 물질 22개를 지정하였다. 이중 4개물질(벤젠, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌 및 다이옥신류)에 대해서 대기중 모니터링과 건강위해성평가를 활용하여 대기환경보전법상에 대기환경기준을 정하였다.

## 3) 위해성 평가기법 및 자료 분석기법 개발

위해성평가방법의 불확실성을 최소화하여 노출평가의 대표성을 나타낼 수 있도록 위해성 평가기법의 개선과 자료의 통계적인 분석 기법 개발 또한 중요하다. 따라서 건강위해성평가의 방법론상의 제한점, 불확실성 등에 대한 지속적인 개선연구가 수행되어야 하며 이를 위해 정부의 적극적인 지원이 요망된다.

**3. 지역별 역학조사 실시 제도화**

지역의 대기오염은 지역내 배출원의 특성에 따라 달라지고 이로 인해 주민의 체감오염 정도 또한 다르게 반응하며 결국 건강피해 정도도 지역에 따라 달리 나타날 수 있다. 따라서 지역별 대기오염과 주민의 건강피해에 대해 정기적이고 지속적인 역학조사를 실시하여 대기오염과 질병과의 상관관계를 규명하는 작업이 필요하며 대기배출원의 지역적인 분포와 배출오염물질의 특성에 따른 지역별 차이를 파악하여 위해성관리로 이어질 수 있어야 한다. 이러한 지역별 역학조사는 정기적·장기적으로 수행되어야 하므로 현재 대기환경규제지역으로 지정된 지역을 중심으로 지방자치단체별로 대기보전실천계획 수립시 역학조사의 기초결과가 첨부될 수 있도록 제도화하는 것도 한 방안이다.

## VII. 결론

우리나라의 대기오염이 체감면에서 점차 악화되는 추세라고는 하나 현 대기체감오염도는 건강위해성에 대한 실증적, 객관적인 증거가 부족한 직관적 느낌에 기초한 것으로 과학적 조사·분석이 미진한 상태에서 국민의 막연한 불안감만 조성되고 있다. 선진외국에서는 오랜기간 축적된 건강영향 조사결과를 토대로 비교적 객관적이고 타당한 대기질 관리대책을 마련·이행하고 있어 기업과 국민들로부터 호응을 얻고 있다. 대기오염물질에 대한 환경기준을 설정하거나 노출로 인한 심각한 건강의 손상을 예방하기 위한 대책을 수립하기에 앞서 오염물질에 대한 특성 분석과 위해성 평가 등 다양한 연구를 통하여 자료를 수집하고 이를 토대로 각종 생활환경 및 발생원의 저감방안과 연계되는 적절한 기준을 마련해 나가는 것이다.

우리나라는 대기질 관리의 역사가 짧아 자체적인 기술과 정보의 축적이 미약한 편이며 특히 유해대기오염물질인 미규제기준오염물질에 대한 현황과악 자료는 극히 부족한 실정이다. 지금까지 미규제기준오염물질은 환경기준을 마련하는데 있어서 관련 자료나 과학적 정보가 미비하거나 위해성에 대한(특히 피해유발 농도에 대한) 결정적인 결론에 도달하지 못한 이유로 규제외 범주속에 들지 못하였으나 최근 이들에 대한 자료가 확보되면서 규제의 영역으로 포함, 점차 확대되어가고 있다. 최근 국내 학계와 연구기관의 전문가를 비롯하여 정책입안자들도 건강영향에 기초한 보다 과학적인 대기질 관리정책으로의 전환 필요성을 인식하고 있다. 그러나 국내에는 아직까지 모두가 공감할 수 있는 건강영향 평가를 수행할 만큼 기초적인 자료가 턱없이 부족하고 정책방향 설정 또한 미진한 상황이다.

다양한 종류의 대기오염물질에 대한 정량적인 자료가 마련되지 못할 경우 실제 인체에 피해를 주는 보건학적 영향을 정확히 평가할 수 없게 되며 결과적으로 각종 대기질관리 정책의 시행에도 불구하고 환경요인에 관련된 건강피해는 증가하거나 일반대중의 체감오염도가 수치상의 대기질 상태와는 다르게 나타나 불신감을 초래하는 원인이 되기도 한다.

건강영향의 정량적인 자료는 오염원에서의 오염물질 저감정책의 이행시 환경적 편익을 계량화하는데 활용되며 이에 따라 대기오염의 내재화된 비용을 활용한 정책수단 이행에 기초가 된다. 따라서 적절한 대기관리정책을 수립하기 위해서는 대기오염으로 인한 인체피해의 실증적 연구가 지속적으로 수행되어야 한다.

궁극적으로, 유기용제 등 화학물질의 사용증가로 오염양상이 복잡해지고 관리대상 오염원이 다양화됨에 따라 국내에도 수용체 중심의 대기질 관리정책으로의 전환 필요성이 점차 제기될 것으로 예상되며 현시점에서 건강 위해성평가를 정책이행 수단으로 활용하는 국가체계가 마련되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- 서울대학교 의과대학, 『대기오염에 의한 건강영향평가 연구』, 1996.
- 서울대학교 의학연구원 환경의학연구소, 『대기중 오존과 미세먼지에 의한 건강영향 평가』, 1998.
- 윤오섭, 홍성길 공저, 『대기오염과 미기상학』, 동화기술, 1991.
- 정용, 연세대학교 환경공해연구소, 「대기오염물질이 건강에 미치는 영향과 그 관리」, 『21세기 대기정책 수립을 위한 대토론회 요지집』, 한국대기보전학회, 1996.
- 한국대기보전학회, 『대기환경과 휘발성유기화합물질』, 1998.
- 한화진, 『유해 대기오염물질 규제에 관한 국내 대응방안 연구』, 한국환경정책·평가연구원 (구 한국환경기술개발원), 1994.
- 환경부, 『대기오염측정 종합자료집』, 1997.
- 환경부, 『자동차 배출가스 종합대책』, 1995. 11.
- 환경부, 『환경백서』, 1998.
- 
- Keith, Lawrence H. and Walker, Mary M., EPA's Clean Air Act Air Toxics Database Vol. IV-Medical Signs and Symptoms of Exposure Manual, Lewis Pub., 1993.
- Lipsett, Michael J., Ostro, Bart D., Episode Criteria for PM10 : A Lesson in Symbolic Regulation, Air & Waste Management Association, 86th Annual Meeting Proceedings, Denver, 1993.
- NRDC : Air Pollution FAQ, <http://www.nrdc.org/faqs/>, 1996.
- NRDC Pro : Breath-Taking, <http://www.nrdc.org/nrdcpro/bt/>, 1996.
- NRDC Pro : Exhausted by Diesel-Chapter 2, <http://www.nrdc.org/nrdcpro/ebd/chap2.html>, 1996.
- OECD, Cars and Climate Change, 1993.
- OECD, 『한국의 환경성과 평가보고서』, 환경부 편역, 1997.
- Patrick, David R., Toxic Air Pollution Handbook, Van Nostrand Reinhold, 1994.
- Wolff, George T., The Scientific Basis for a New Ozone Standard, Environmental Managers, Air & Waste Management Association, September 1996.
- Wolff, George T., The Scientific Basis for a Particulate Matter Standard, Environmental Managers, Air & Waste Management Association, October, 1996.

## [부록]: 유해대기오염물질의 인체 건강영향

| 유해물질명                  | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                      | 증상                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acetaldehyde           | 75-07-0  | -피부,눈, 점막 및 기관지에 자극성<br>-마취성 물질<br>-가열시 매운연기,CO,CO <sub>2</sub><br>등 유해가스 방출               | -노출시 메스꺼움, 구토, 두통, 피부염 및 폐<br>부종 야기<br>-피부,눈,상기도에 자극<br>-다량 노출시, 상기도 마비로 인한 사망.<br>-졸음,홍분,환각 및 기억상실 유발.<br>-빛 공포증 유발가능.<br>-일시적 결막염 가능성.                                                                               |
| Acetamide              | 60-35-5  | -피부, 눈에 자극 및 각막에 피해                                                                        | -눈,피부,점막에 피해                                                                                                                                                                                                           |
| Acetonitrile           | 75-05-8  | -섭취,흡기,피부흡수시 위해<br>-피부,눈,코,목에 자극적.<br>-가열시,CO,질소산화물, HCN 등<br>유해 가스 방출.                    | -눈,코,목에 피해를 줌.<br>-노출시, 메스꺼움, 구토, 복통, 허약,<br>홍조, 가슴 답답증 및 통증, 토혈<br>(hematemesis), 졸중, 경련, 뇌사, 질식사 등<br>야기.<br>-피로감 및 설사 야기 가능.<br>-중추신경에 피해.<br>-맥박 감소, 저온증, 피부색 변화, 비정상 순<br>환.                                      |
| Acetophenone           | 98-86-2  | -복막 및 피하계통에 독극물.<br>-피부 및 눈에 심한 장애.<br>-돌연변이 가능성.<br>-고농도에서 마취성,최면성.<br>-가열시 매운냄새 및 혼연 방출. | -                                                                                                                                                                                                                      |
| 2-Acetylamino-fluorene | 53-96-3  | -흡기시,섭취시,피부흡수시, 치명적<br>-눈,피부에 장애.<br>-피부,기관지 및 소화관에서 흡수.<br>-가열시 유해가스 방출.                  | -동물실험시 중추신경장애 및 붉은 색 소변.                                                                                                                                                                                               |
| Acrolein               | 107-02-8 | -취루성 물질.<br>-흡기,섭취,피부흡수시 독성가능성.<br>-가열시 peroxide 등 유해가스 방출                                 | -피부,눈,기관지 등에 장애.<br>-코에 통증 및 무의식 상태 야기.<br>-노출시 눈물. 고농도 노출시 사망.<br>-천식,기관지염 및 폐수종 등이 보고됨.<br>-흡기시 경련,발작 등을 야기.<br>-가슴통,졸립,폐기능 저하등 가능성.<br>-섭취시,폐울혈을 동반한, 위장장애.<br>-눈에 노출시 심한 통증 및 결막염, 각막염,<br>부종, 홍반.<br>-피부염 역시 보고됨. |

| 유해물질명           | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                          | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acrylamide      | 79-06-1  | -섭취 및 흡기시 독성.<br>-신경독성제.<br>-피부 및 점막, 폐, 위장에서 흡수.<br>-가열시, 질소산화물, 암모니아 등 방출.                   | -노출시, 무감각증, 지끈거림, 수족냉각, 손바닥이 벗겨짐. 과도한 땀. 청적색 피부.<br>-말초신경증 야기 가능.<br>-홍반(erythema), 피부변색, 정신착란, 심리적 변화, 피부궤양, 피부염, 위장장애, 체중감소, 직립불가, 진전(tremor), 환각, 중뇌이상 등 야기.                                                                                                                                                         |
| Acrylic acid    | 79-10-7  | -부식성 물질.<br>-피부, 눈, 기관지에 피해가능성.<br>-점막 및 상기도에 매우 피해가 큼.<br>-흡기, 섭취, 피부흡수시 위해.<br>-가열시 유해가스 방출. | -노출시, 피부, 눈, 기관지에 피해.<br>-溶蝕 및 화상 가능.<br>-노출시, 기침, 숨이 가쁘며, 후두염, 두통, 메스꺼움, 구토 등 야기.<br>-흡기시, 경련등으로 치명적이며, 후두 및 기관지에 수종(edema), 폐렴.<br>-섭취시, 입, 인두, 위에 타는 듯한 고통, 설사, 혈압강하, 聲門(glottis)의 부종으로 인한 질식사, 위장점막의 파괴<br>-피부흡수시, 화상증세, 피부발진.                                                                                      |
| Acrylonitrile   | 107-13-1 | -흡기, 섭취, 피부 흡수시 극히 위험.<br>-상처없는 피부에도 쉽게 흡수됨.<br>-최루성 물질.<br>-분해가열시, 극도 유해가스 방출.                | -노출시, 눈에 자극을 주며, 메스꺼움, 구토, 두통, 졸림, 무기력 야기.<br>-그밖에, 피부통, 기관지 통, 현기증, 정신착란, 불안, 호흡곤란, 식욕부진, 청색증, 경련, 무의식상태, 간장 및 신장기능저하, 소변감소, 일시적 신경장애, 부종으로 인한 순환장애, 백혈구 감소, 골수이상, 맥박증가, 목통증.<br>-광공포증, 눈물발생, 불면, 안면홍조.<br>-피부 흡수시, 피부 발진, 일시적 화상 증세 및 무감각증, 홍반 및 피부괴사(necrosis), 피부염.<br>-눈에 노출시, 눈물, 시력장애.<br>-고농도 노출시, 무기력, 질식 및 사망 |
| Allyl chloride  | 107-05-1 | -흡기, 섭취, 피부 흡수시 매우 위험.<br>-피부, 점막, 폐, 코, 목에 피해.<br>-최루성 물질.<br>-분해가열시, HCl, phosgene 등 유해가스 방출 | -노출시, 무의식증, 신장 및 간장에 장애, 눈, 피부, 기관지, 코, 목 등에 장애<br>-눈에 통증, 뼈에 통증. 광공포증.<br>-후두 및 기관지 염증, 폐렴, 폐수종, 화상증세, 호흡곤란 및 구토.<br>-말초신경 및 중추신경에 독성.<br>-수족에 무기력증. 결막염, 각막염<br>-흡기시 마늘냄새.                                                                                                                                            |
| 4-Aminobiphenyl | 92-67-1  | -흡기, 섭취, 피부 흡수시 위험.<br>-가열분해시 유해가스 방출                                                          | -노출시, 염증, 각막손상, 방광손상, 신장 간장 손상, 중추신경에 영향, 무력증.<br>-그밖에 두통, 무기력, 청색증, 요도통, 혈뇨증(hematuria).<br>-방광경 검사에 의하면, 광범위한 충혈, 부종, 딱지 등이 관찰<br>-구토와 메스꺼움 야기.                                                                                                                                                                       |

| 유해물질명                       | CAS 번호     | 급만성위해                                                                                                          | 증상                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aniline                     | 62-53-3    | -흡기,섭취,피부 흡수시 위험.<br>-체내 축적현상.<br>-강한 독성 및 allergin.<br>-가열분해시, 유해가스 방출                                        | -노출시,두통,졸음,청색증,정신착란,경련,신경장애,순환계 이상, 피로, 식욕부진, 현기증 등이 보고됨.<br>-기타,피부통, 눈의 통증,무산소증, 중추신경기능 저하, 골수자극으로 적혈구의 파괴,간장에 영향,황달.<br>-구역질,무기력, 빈혈, 의식상실.<br>-광공포증, 시력장애, 결막.각막.망막 퇴색.<br><br>-흡기시, 재채기, 인두염.<br>-무기력, 혈압강하.<br>-심장 부정맥(arrhythmia). |
| o-Anisidine                 | 90-04-0    | -흡기, 섭취, 피부흡수시 위험.<br>-가열분해시 유해가스 방출<br>-피부에 손상.                                                               | -무산소증, 각막손상, 신장 및 간장손상, 두통, 졸음, 피부의 청회색변화 (청색증), 요통, 구역질, 구토, 사망.<br>-피부접촉시, 피부염.                                                                                                                                                        |
| Antimony                    | 7440-36-0  | -독성, 자극성 물질<br>-혼연 흡기시 매우 위해                                                                                   | -피부접촉시 습진.<br>-코,목의 점막에 피해.<br>-위장장애 및 위염.<br>-구토,설사 및 신경질.                                                                                                                                                                              |
| Antimony oxide              | 1309-64-4  | -독성, 발암물질 가능성.<br>-피부 및 눈에 자극                                                                                  | -피부에 자극, 습진.<br>-점막에 염증, 졸음,피로,현기증,무력.<br>-위염, 구토, 설사, 신경통.                                                                                                                                                                              |
| Antimony potassium tartrate | 28300-74-5 | -가열분해시 Sb, 안티몬산화물 등 유해가스 방출.<br>-섭취시 독성 및 자극성.                                                                 | -노출시, 기침,금속 맛,과다 타액분비,구역질, 설사, 피부발진.<br>-과다 노출시, 간장에 치명적.<br>-눈,호흡기 장애, 두통,현기증,호흡 곤란(dyspnea),저혈압,쇠약.                                                                                                                                    |
| Arsenic                     | 7440-38-2  | -인체 발암물질.<br>-피하근육 및 복막의 독성.<br>-섭취시 피부 및 위장 장애.<br>-실험실 실험에 의하면, 기형발생, 돌연변이 및 종양형성 가능.<br>-간장,신장,피부,폐,림프계에 장애 | -비강 격막(septum)의 종양,피부염, 위장장애,말초신경 장애, 기관지 염증, 피부의 색소침착, 암.                                                                                                                                                                               |
| Arsenic chloride            | 7784-34-1  | -가열분해시 유독가스 방출                                                                                                 | -눈,피부,위장,코,목에 피해.<br>-심장,간장,신장에 피해.<br>-갈증,불안,구토,설사,청색증,허탈상태 야기.                                                                                                                                                                         |
| Arsenic trioxide            | 1327-53-3  | -매우 위해하며, 가열시 또는 산과 접촉시 유해 혼연 방출                                                                               | -노출시 구역질,구토,설사를 동반한 위장 및 소장통증.<br>-심할 경우 구토물과 대변에 혈혼.<br>-식욕부진,위경련(cramp),변비,간장장애,황달,순환계 이상, 신장, 신경계 이상,피부질환(가려움,색소침착),호흡곤란,탈수,혈뇨증(hematuria),단백뇨(albuminuria),당뇨(glycosuria),요통,자각마비(stupor),말초신경염,실신(syncope).                         |

| 유해물질명            | CAS 번호    | 급만성위해                                                                                                                                                                                                  | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Arsine           | 7784-42-1 | -흡기시 매우 위험<br>-가열분해시 매우 유독한 가스 방출.                                                                                                                                                                     | -흡기시, 두통, 현기증, 구역질, 구토, 상복부 통증, 혈뇨, 황달, 간장장애, 빈혈, 오한, 식욕부진 (anorexia), 혈단백뇨, 실신, 무뇨증.<br>-무산소증, 폐수종, 심장장애, 신장장애로 사망.                                                                                                                                                            |
| Sodium arsenite  | 7784-46-5 | -섭취 및 흡기시 매우 위험<br>-가열분해시 유독가스 방출                                                                                                                                                                      | -분진은 눈에 장애를 줄 수 있음.<br>-과다한 섭취 및 흡기는 구역질, 구토, 설사를 동반한 위장, 소장 장애에 의해.<br>-배설물에 혈흔, 쇼크, 의식상실.                                                                                                                                                                                     |
| Asbestos         | 1332-21-4 | -인체에 발암성. 실험실에서는 종양성 확인. 흡기로 인한 피해.<br>-폐질환까지 4-7년 경과기간 필요.<br>-석면폐, 폐암, 인두암, 결장암, 위암, 식도암.<br>-작업장 노출시, 4단계 발병: 석면폐 (asbestosis); 폐암; 흉막, 심막, 복막의 중피증 (mesothelioma); 흉막의 양성 변화. 흡연자에게서 폐암발병 확률이 더 큼. | -노출시 호흡곤란, 호흡계 이상                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Benzene          | 71-43-2   | -흡기, 섭취, 피부 흡수시 극히 위험.<br>-피부, 눈, 코, 목에 의해.<br>-가열분해시 유독가스 방출.<br>-발암물질.                                                                                                                               | -노출시, 구토, 의식불명, 중추신경 장애, 현기증, 가슴압박, 졸립, 빠른맥박, 화학 적 폐렴, 죽음에 대한 공포, 무호흡, 시각장애, 흥분, 피로, 요통, 뇌, 심막, 비노기, 점막 등에서 출혈. 청각 장애. 염색체 변이.<br>-피부의 부종, 혈액변화, 내장염증, 백내장, 태아독성 등이 보고됨.<br>-무기력, 무산소증, 골수장애, 가쁜호흡, 시각장애, 체중감소, 식욕부진, 신경쇠약, 소변변색, 간장, 신장장애.<br>-적 · 백혈구 감소, 백혈병.<br>-망막, 결막 출혈. |
| Benzidine        | 92-87-5   | -흡기, 섭취, 피부 흡수시 극히 위험.<br>-발암물질.<br>-가열분해시 유독가스 방출.<br>-피부를 통해 빨리 흡수됨.                                                                                                                                 | -피부, 눈 등에 염증이 생기며, 순환계에 이상이 생긴다.<br>-섭취시, 구역질, 구토가 발생하며, 간장, 신장에 의해.<br>-피부염 야기. 방광염 증세.<br>-장기간 노출시 소변증가, 혈뇨, 비노기 증양, 방광염 (cystitis).                                                                                                                                          |
| Benzotrichloride | 98-07-7   | -흡기시 위험.<br>-부식성 및 자극성.<br>-가열분해시 유독가스 방출                                                                                                                                                              | -피부, 눈, 점막에 용식성.<br>-동물실험결과, 중추신경장애.                                                                                                                                                                                                                                            |

| 유해물질명                             | CAS 번호    | 급만성위해                                                                                                                     | 증상                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Benzyl chloride                   | 100-44-7  | -용식성 및 극도의 자극성 물질.<br>접촉시, 피부,눈,점막에 화상증세.<br>-최루성이며, 실험실상 발암물질.<br>-가열 분해시, 유독 혼연 방출.                                     | -피부,눈,상기도에 염증.<br>-기침,재채기,후두염,빠른호흡,두통, 구역질,<br>구토,중추신경장애,목 통증.<br>-흡기시, 경련 및 발작, 기관지 수종. 화학적<br>폐렴 야기.                                                                                                |
| Beryllium                         | 7440-41-7 | -정맥내 극약, 발암물질.<br>-실험상, 발암, 신조직형성,종양형<br>성<br>-흡기시,폐섬유증,호흡곤란,체중감<br>소. 돌연변이 가능성.<br>-가열분해시 BeO등 혼연 발생.<br>-폐,피부,눈,점막을 공격. | -노출시, 호흡계질환, 무기력, 피로감및 체중<br>감소.                                                                                                                                                                      |
| Beryllium sulfate<br>tetrahydrate | 7787-56-6 | -흡기, 섭취, 피부접촉시 위독.<br>-가열분해시, 황산화물 등 유독가<br>스 방출.                                                                         | -노출시, 기침,가슴 통증,호흡곤란, 체중감소,<br>무기력, 피로를 동반한 폐질환.<br>-피부,눈 등에 발진 및 종양.<br>-입,식도,위장에 화상 또는 염증.<br>-비염(rhinitis),사망,폐섬유증,협심증,기관지염,<br>virus성 폐렴 등.                                                        |
| Biphenyl                          | 92-52-4   | -                                                                                                                         | -피로,두통,불면,식욕부진.<br>-접촉시, 피부 및 눈에 염증.                                                                                                                                                                  |
| Bromoform                         | 75-25-2   | -최루성, 자극성, 마취성 물질.<br>-가열분해시, HBr 등 유독가스방출<br>-피부로 흡수가능                                                                   | -눈,피부,호흡기에 피해를 줌.<br>-섭취시, 호흡곤란 상태, 무의식, 현기증, 불<br>안, 언어장애.<br>-흡기시, 발작, 염증, 후두 및 기관지<br>부종. 화학적 폐렴, 폐수종.<br>-간장, 신장 피해. 중추신경 장애.<br>-피부염.                                                            |
| 1,3-Butadiene                     | 106-99-0  | -고농도에서 자극성, 마취성<br>-가열분해시 매우 혼연 방출.                                                                                       | -노출시, 구역질, 시력저하, 구강건조, 혈압저<br>하, 맥박감소.<br>-골수피해, 중추신경 장애.<br>-액화물, 증발물에 접촉시 피부염 및동상증<br>세.<br>-고농도시, 기침, 마취효과, 피로, 졸림, 두통,<br>요통, 의식불명, 호흡마비, 사망.<br>-순환계이상, 간장확대, 신장 미비능, 후두<br>염, 상기도 염증, 결막염, 신경쇠약 |
| Cadmium                           | 7440-43-9 | -유해성물질이며, 발암물질 의심                                                                                                         | -타액증가,질식,구토,복통,빈혈,신장부진.<br>-흡기시,목건조,기침,두통,구토,홍부통 증,극도<br>의 불안,폐렴,기관지 폐렴.                                                                                                                              |

| 유해물질명             | CAS 번호     | 급만성위해                                                                                                                                                                | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cadmium chloride  | 10108-64-2 | -섭취, 흡기시 유독. 자극성 물질.<br>-가열시 염소혼연, 금속산화물, 할로겐화물 방출.                                                                                                                  | -가슴압박, 구토(emesi), 세노관 미기능<br>간장, 신장 괴사(necrosis), 피부, 눈의 홍조, 뼈의 밀도감소, 결석생성.<br>-구역질, 설사, 숨이 가쁨, 두통, 쇼크, 입에서 금속내, 거품을 뿜는 기침, 폐기종(emphysema), 폐수종, 근육통, 무기력, 다리통증, 소변량 감소, 고열, 체중감소, 빈혈, 누런치아, 불안, 혈뇨, 단백뇨, 복통, 백·적혈구감소, 기관지폐렴.<br>-피부 상해, 1-2도 화상.<br>-코, 목에 피해. 코에 종양, 고혈압 |
| Cadmium oxide     | 1306-19-0  | -자극성이며 가열분해시 유해혼연 방출                                                                                                                                                 | -노출시, 구역질, 구토, 설사, 두통, 근육통, 복통, 타액분비, 금속내, 호흡부족, 가슴통, 혈담(bloody sputum) 섞인 기침, 무기력.<br>-흡기시, 폐염증, 단백뇨, 혈압상승.<br>-냄새기능 저하, 신장피해. 심장박동 변화                                                                                                                                    |
| Calcium cyanamide | 156-62-7   | -유독하며 흡기 및 접촉시 자극성.                                                                                                                                                  | -노출시, 피부, 결막, 점막에 자극.<br>-종양, 기능장애(lesion), 결막염, 비염, 치은염(gingivitis), 두통, 두피에 붉은색,<br>빠른 맥박, 인두염, 후두염, 기관지염, 각막염(keratitis), 피부염, 피로, 구역질, 호흡곤란, 구토, 가슴압박, 요통, 빠른 호흡, 고혈압.                                                                                                 |
| Caprolactam       | 105-60-2   | -자극성이며 가열분해시 유독가스 방출.                                                                                                                                                | -노출시, 눈에 염증, 시각장애, 기침, 호흡기 장애, 목 건조, 구역질, 호흡곤란, 습진(eczema), 홍반(erythema), 피부염, 피부민감증, 화상.<br>-중추신경 장애.                                                                                                                                                                     |
| Captan            | 133-06-2   | -자극성이며, 가열분해시 염소, 황산화물, 질소산화물 방출.                                                                                                                                    | -구토, 설사.<br>-눈, 피부, 점막에 피해.                                                                                                                                                                                                                                                |
| Carbaryl          | 63-25-2    | -극약. 인체 돌연변이 야기.<br>-발암, 태아 기형생성, 종양형성.<br>-조직에 축적현상 없음.<br>-시각 장애, 두통, 위통, 구토.<br>-증상은 parathion에 의한 영향 보다는 작음.<br>-가열분해시, 질소산화물 등 방출.<br>-호흡계, 중추신경계, 순환계, 피부에 영향. | -노출시 시각장애, 눈물, 콧물, 타액분비, 땀, 복통, 구역질, 구토, 설사, 오한, 청색증, 경련, 피부염증.                                                                                                                                                                                                            |

| 유해물질명                 | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                                                                    | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Carbon disulfide      | 75-15-0  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-독성이 매우 큼.</li> <li>-자극성이며, 신경독성.</li> <li>-피부를 통해 흡수.</li> <li>-가열분해시 황산화물 등 유독혼연 방출.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-마취 효과, 눈,중추신경,시력 장애.</li> <li>-정신착란 및 마비증세. 불안, 점막염증, 구역질, 구토, 무의식 상태.</li> <li>-만성증세:환각,오한,시각장애,체중감소,혈액질환.</li> <li>-화상증세,호흡계 질환.</li> <li>-말초신경염, 적녹색맹, 시력상실, 어둠에 적응불가.</li> <li>-염색체 변형,감상선염,자각마비,두통, 신경염.</li> <li>-정신이상, 불면, Parkinsonian 마비증,기억력상실.</li> <li>-신장,간장,심장 피해.</li> <li>-혈압강하,현기증,설사,무감각.</li> <li>-낙태,생리불순.</li> </ul> |
| Carbon tetra-chloride | 56-23-5  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-섭취, 흡기, 피부흡수시 위험.</li> <li>-자극성 및 최루성.</li> <li>-분해가열시,염소,CO,HCl, phosgene 등 유해물질 방출.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-두통, 정신혼란, 중추신경장애, 피로, 식욕부진, 구역질, 구토, 가사, 복통, 현기증, 무력, 기억상실(amanesia), 지각이상(paresthesia), 기관지염, 내장염증, 심장 및 신경질환.</li> <li>-피부접촉시,피부염.</li> <li>-위장장애,복통,설사,간장확대,간염,소변량감소,적·백혈구감소,단백뇨.</li> <li>-폐질환, 신장질환, 신경질환.</li> <li>-시력장애, 사망.</li> <li>-인체 거의 모든 세포에 피해.</li> <li>-느린 호흡, 느린 맥박, 혈압감소, 갑작스런 체중증가, 빈혈, 졸립.</li> </ul>                |
| Carbonyl sulfide      | 463-58-1 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-흡기시 일반독성 및 자극성.</li> <li>-고농도시 마취효과.</li> <li>-분해시 유독한 황화수소 방출.</li> </ul>                       | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Catechol              | 120-80-9 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-독성,용식성,심한 자극성.</li> <li>-피부에 쉽게 흡수되며, 화상 야기.</li> <li>-가열분해시, 유독가스 방출.</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>-피부 노출시, 경련,혈액이상, 피부염.</li> <li>-노출강도에 따라 조직의 파괴양상이 다름. 구강염 (stomatitis)</li> <li>-신경계 장애, 혈압상승.</li> <li>-빛에 예민하게 됨.</li> <li>-흡기시, 구토, 설사, 식욕부진을 동반한 소화장애.</li> <li>-섭취시, 구강에 화상,복통,두통,현기 증,근육약화,불규칙적 호흡,가사상태</li> <li>-눈에 접촉시, 홍반 및 시력장애,장님.</li> </ul>                                                                                 |
| Chloramben            | 133-90-4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-분해가열시 독성혼연 방출</li> </ul>                                                                         | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| 유해물질명                | CAS 번호    | 급만성위해                                                                                                                           | 증상                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chlordane            | 57-74-9   | -섭취, 흡기, 피부흡수시 위험.<br>-자극성이며, 피부에 흡수.<br>-고단위 노출시 체내축적 가능.<br>-분해 가열시, 염소, CO, HCl, phosgene 등 방출.                              | -노출시, 피부염증,경련,간장에 이상.<br>-운동실조증(ataxia),위염,중추신경자극,호흡곤란,지방분해,사망.<br>-초조,자제불능,혈액장애,급성백혈병.<br>-複視(diplopia),시력장애,구역질,구토,두통,현기증,경련,기침,중추신경장애,가사상태,체중감소,위장염.<br>-혈뇨,고혈압,단백뇨,무의식,무기력,폐렴증세,복통,설사.<br>-폐, 신장, 뇌의출혈, 기억상실, 시력상실, 피로, 식욕부진, 근육약화.<br>-가슴압박, 목의 통증, 눈의 통증. |
| Chlorine             | 7782-50-5 | -흡기시 독성,자극성,기관지 이상.<br>-인체 돌연변이성.<br>-만성 폐수종.<br>-눈(3ppm)과 기관지 점막에 심한피해 야기.<br>-냄새감지(3.5ppm),목에통증(15ppm),위험(50ppm),치명적(1000ppm) | -노출시, 눈, 코의 점막, 목등의 순서 로 진행되며, 질식, 고통, 가슴압박.<br>-노출시, 눈,코,입에 화상 증세.<br>-취루성,비염,기침,질식,고통,구역질,구토,두통,현기증,폐수종,폐렴,저산소증(hypoxemia),피부염.                                                                                                                               |
| Chloroacetic acid    | 79-11-8   | -독성,부식성, 조직의 염증 야기.<br>-가열분해시, 유독가스방출.                                                                                          | -흡기시, 점막에 피해.<br>-액체의 피부 접촉시 조직 화상,염증.<br>-섭취시, 입,목,위의 화상.                                                                                                                                                                                                      |
| 2-Chloroacetophenone | 532-27-4  | -취루성이며, 눈, 목, 피부에 강한 자극성.<br>-고농도일때, 조직에 심한 파괴.<br>-가열분해시, 유독 혼연 발생.                                                            | -피부, 점막에 염증 야기, 鼻漏(rhino-rhea), 피부발진.<br>-후두염,두통,구토,기침,구역질.<br>-짧은 호흡,동공축소,가사상태,폐수종.<br>-고농도시 2도화상.                                                                                                                                                             |
| Chlorobenzene        | 108-90-7  | -섭취,흡기,피부흡수시 위해.<br>-강한 마취성.<br>-가열 분해시, HCl가스 등 유해가스 방출.                                                                       | -노출시,구역질,현기증,두통,간장 및 신장 피해.<br>-중추신경장애, 피부염증, 피부염, 피부 화상, 졸음, 청색증, 사지의 경련·수축, 의식불명                                                                                                                                                                              |
| Chlorobenzilate      | 510-15-6  | -흡기시 유독하며,기관지,소화관 및 피부를 통해 흡수.<br>-자극성이며, 가열분해시 chloride 등 유독 혼연 방출.                                                            | -중추신경 자극,구토,설사,지각이상(paresthesia),홍분,현기증,피로,오한,경련,폐수종,저체온,두통,식욕부진,근육약화,심근독성,무력감,가사상태.<br>-신장,간장 피해.                                                                                                                                                              |
| Chloroform           | 67-66-3   | -섭취,흡기,피부 흡수시 유독.<br>-자극성이며,가열분해시 HCl, CO, 염소, phosgene 등 유독혼연 발생.                                                              | -노출시 구역질, 구토, 눈, 피부염, 무의식, 사망을 야기.<br>-졸음,현기증,두통,마취,결막염등 보고<br>-중추신경,호흡기,소화기능 장애.<br>-간장 확대,심장 장애,복통,피로,간의 괴사,상기도 염증,신경장애.                                                                                                                                      |

| 유해물질명                      | CAS 번호     | 급만성위해                                                                                                                                        | 증상                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chloroform<br>(계속)         |            |                                                                                                                                              | -흡기시 환각,희미한의식,위장장애,동공팽창,<br>안압감소,점막에 염증,반사작용마비,감각기<br>능마비,심장기능마비.<br>-고농도흡기시,저혈압,심근경색,호흡기압박,통<br>제불능한 고체온.<br>-섭취시,목과 구강에 화상.<br>-피부접촉시, 통증 및 홍조,피부염.<br>-눈 접촉시,즉시 고통,눈물,결막 충혈<br>및 각막 표피 상해.<br>-만성적으로는 황달,간장 및 신장 장애 |
| bis(Chloromethyl) ether    | 542-88-1   | -섭취,흡기,피부 흡수시 유독.<br>-인체 발암물질, 신조직 형성, 종양<br>형성 야기.<br>-흡기시,결막염,비염,호흡기 영향.<br>-돌연변이성이 보고됨.<br>-가열분해시 Cl <sup>-</sup> 등 유독가스 방출.              | -                                                                                                                                                                                                                      |
| Chloromethyl methyl ether  | 107-30-2   | -흡기,섭취시 독성.<br>-인체 발암성, 신조직 형성,종양성,<br>돌연변이성.<br>-가열분해시 Cl <sup>-</sup> 등 유독가스 방출.                                                           | -노출시, 눈,피부,점막에 염증, 폐수종, 흉부<br>압박,폐렴;화상,괴사.<br>-기침,무력,혈액이상,체중감소.                                                                                                                                                        |
| Chloroprene                | 126-99-8   | -섭취시 유해.<br>-흡기시 일반 독성.<br>-태아기형성, 돌연변이성.<br>-피부염,결막염,각막괴사,빈혈,머리<br>빠짐,초조,불안감.<br>-호흡기 장애.<br>-중추신경 장애.<br>-가열분해시 Cl <sup>-</sup> 등 유독가스 방출. | -노출시 눈, 호흡기 염증, 초조, 불안, 피부<br>염, 탈모증(alopecia), 결막염, 각막 괴사, 빈<br>혈.<br>-중추신경장애,혈압감소,<br>간장,신장,폐,주요기관의 장애.                                                                                                              |
| Chromium                   | 7740-47-3  | -섭취시 위장장애 등 독성.<br>-실험에 의하면 종양성 및 발암성<br>의심.                                                                                                 | -흡기시 섬유폐                                                                                                                                                                                                               |
| t-Butyl chromate           | 1189-85-1  | -독성이 매우 크며 가열분해시 매<br>운 연기와 자극성 혼연 방출.                                                                                                       | -노출시, 피부화상, 괴사, 종양발생.<br>-줄음,마취,구역질,구토,설사,점막의<br>용식, 폐,간장,신장에 피해 및 출혈.                                                                                                                                                 |
| Calcium chromate anhydrous | 13765-19-0 | -독성,부식성.<br>-피부 및 점막에 흡수.<br>-가열,분해시 독성 혼연 방출.                                                                                               | -노출시, 기관지 염증, 기침, 무기력, 흉부 통<br>증, 종양, 코 격막의 구멍, 황달, 신장장애,<br>결막염, 피부궤양, 폐암.                                                                                                                                            |
| Calcium chromate dihydrate | 8012-75-7  | -독성, 부식성<br>-동물실험시 발암.                                                                                                                       | -노출시 기관지 염증, 눈, 피부, 점막염증, 흉<br>부 통증, 종양, 코격막의 구멍, 황달, 신장<br>장애, 결막염, 피부궤양, 폐암.                                                                                                                                         |

| 유해물질명                          | CAS 번호     | 급만성위해                                                                   | 증상                                                                                                                                                          |
|--------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chromium carbonyl              | 13007-92-6 | -가열분해시 독성 혼연 방출.<br>-자극성이며 흡기, 섭취, 피부흡수시 치명적                            | -섭취시, 현기증, 갈증, 복통, 구토, 쇼크.<br>-피부 접촉시, 부종 및 궤양과 함께 습진성 피부염<br>-흡기시, 무통 궤양, 코 격막의 구멍과 출혈, 결막염, 눈물, 급성 간염, 황달, 구역질, 식욕부진, 간장확대.<br>-소변량 감소, 요독증(uremia)으로 사망. |
| Chromium trioxide              | 1333-82-0  | -독성 및 심한 자극성<br>-발암가능성                                                  | -피부접촉시 궤양과 1차 염증, 습진<br>-흡기시 코에 염증과 격막 구멍.<br>-기관지암 가능성<br>-섭취시 구토와 설사를 동반한 심한 위장 통증                                                                        |
| bis(cyclopentadienyl) chromium | 1271-24-5  | -                                                                       | -                                                                                                                                                           |
| Potassium dichromate           | 7778-50-9  | -흡기 · 섭취 · 피부흡수시 유해<br>-부식성 및 극도의 자극성<br>-가열분해시 유독가스 방출                 | -노출시 발진, 궤양, 화상증세, 기침, 무기력, 후두염, 짧은 호흡, 두통, 구역질, 구토.<br>-섭취시, 격렬한 복통, 요통, 근육통, 가사상태, 당뇨와 함께 신장염.<br>-흡기시, 경련, 기관지 부종, 화학적 폐렴, 폐수종.                          |
| Cobalt                         | 7740-48-4  | -노출시 무기력, 기침, 짧은 호흡<br>-목, 입, 가슴에 화상증세                                  | -                                                                                                                                                           |
| Cobaltocene                    | 1277-43-6  | -섭취시 유독                                                                 | -                                                                                                                                                           |
| Cobalt sulfate heptahydrate    | 10026-24-1 | -독성, 자극성, 피부를 통해 흡수.<br>-가열분해시 황산화물, 코발트산화물 등 유해 혼연 방출                  | -흡기로 인한 노출시, 기침과 짧은 호흡, 기관지 및 점막 염증, 평생불구.<br>-섭취시, 구역질, 구토, 복통, 혈관확장(vasodilatation), 저혈압, 귀에 발진.<br>-피부 및 눈에 접촉시, 통증과 홍조.<br>-두통, 신경장애, 피부염, 폐 질환.        |
| Ammonia                        | 7664-41-7  | -흡기, 섭취시 독약.<br>-흡기시 눈, 점막에 자극성.<br>-돌연변이성.<br>-눈과 기관지에 피해.             | -노출시, 눈, 코, 목에 염증.<br>-호흡곤란, 기관지 경련, 폐부 통증, 폐수종, 피부화상 및 수포성(vesiculation).                                                                                  |
| Hydrogen sulfide               | 7783-06-4  | -흡기시 유해한 가스                                                             | -몇번의 흡기로 기관지 장애, 가사상태 사망을 야기.<br>-저농도시, 결막염, 점막의 염증, 두통, 현기증, 구역질, 피곤.                                                                                      |
| 2-Picoline                     | 109-06-8   | -섭취, 피부접촉시 일반독성<br>-흡기시 약한 독성<br>-피부 및 눈에 자극을 주며, 가열분해시 질소산화물 등 유해가스 방출 | -체중감소, 설사, 무기력, 운동실조, 무의식 상태 야기.<br>-얼굴, 피부 발진 및 홍조.<br>-맥박 및 호흡수 빨라짐, 두통, 현기증, 구역질, 구토.<br>-눈근육장애로 복시현상.                                                   |
| 3-Picoline                     | 108-99-6   | -흡기시 일반 독성<br>-가열분해시 질소산화물 등 유해가스 방출                                    | -2-Picoline과 같음                                                                                                                                             |

| 유해물질명      | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                       | 증상                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4-Picoline | 108-89-4 | -섭취시 일반독성, 흡기시 약독성.<br>-피부 및 눈에 자극을 주며, 가열 분해시 질소산화물 등 유해가스 방출<br>-피부에 빨리 흡수됨.              | -2-Picoline과 같음                                                                                                                                                                                                                             |
| Pyridine   | 110-86-1 | -섭취,흡기,피부 흡수시 위해.<br>-고농도시 마취효과.<br>-피부에 빨리 흡수되며, 자극성.<br>-가열분해시, 암모니아 및 cyanide 등 유해가스 방출. | -피부,눈,코,목,기관지에 염증.<br>-현기증, 구토, 결막염, 피부염 및 중추신경 장애, 복통.<br>-불면,불안감,식욕부진,설사,요추통증, 빈번한 배뇨, 간장·신장 피해, 위장장애.<br>-피로,정신압박,초고열(hyperpyrexia), 폐수종,기관지질환으로 인한 사망.<br>-호흡곤란,광민감성,심장질환.                                                              |
| o-Cresol   | 95-48-7  | -섭취·흡기·피부흡수시 매우 위험.<br>-인체조직에 용식성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                         | -노출시,피부,신장,간장 피해.<br>-눈에 자극, 두통, 현기증, 구역질, 구토, 복통, 피로, 가사상태.<br>-창백,피부홍반,용식,땀,갈증,설사,청색증,출혈, 폐수종,기관지 장애로 인한 사망,황달,소변량 감소.<br>-피부 접촉시 각종 피부염.<br>-빠른 호흡,정신이상,무의식.                                                                             |
| m-Cresol   | 108-39-4 | -피부흡수시 매우 위험.<br>-인체조직에 용식성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                               | -피부접촉시,각종 피부염.<br>-눈 접촉시,눈물,부종,실명.<br>-목,코에 염증,불면,폐,신장,간장,혈액 기관지피해;피부용식,수종,부종,복통<br>-식욕감소,무력,고혈압,심장확대,안면 경련,시력약화,호흡곤란,정신이상<br>-구역질,구토,복통,가사상태.<br>-소화된 출혈,구강에 화상증세.<br>-비장,췌장 상해.                                                           |
| p-Cresol   | 106-44-5 | -섭취·흡기·피부흡수시 매우 위험<br>-인체에 용식성 및 자극성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                      | -노출시, 눈,코,목에 염증, 특히 눈에 피해가 큼. 구토, 불면, 폐,장,신장, 혈액,신경계,호흡계에 피해.<br>-두통,현기증,구역질,복통,피로,피부염, 가사상태.<br>-모든 조직에 용식성. 각종 피부염. 피부탈색.<br>-실명, 피부발진, 근육약화, 시력상실, 난청, 빠른 호흡, 정신이상, 타액과다분비, 의식불명, 사망.<br>-결막 및 각막의 부종,폐수종.<br>-비장 및 췌장의 상해.<br>-소화관의 출혈. |

| 유해물질명                    | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                                                                                                  | 증상                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cumene                   | 98-82-8  | -섭취시 일반 독성<br>-흡기 및 피부접촉시 약한 독성<br>-냄새감각 및 신경계 장애<br>-자연산 cumene과 석유추출 cumene은 독성에 큰 차이가 있다.                                                                           | -눈과 점막에 염증.<br>-두통, 피부염, 마취성 및 가사상태                                                                                                                                                                                                    |
| Calcium cyanide          | 592-01-8 | -섭취시 매우 위독<br>-가열분해시 질소산화물과 CN <sup>-</sup> 방출                                                                                                                         | -                                                                                                                                                                                                                                      |
| Copper(I) cyanide        | 544-92-3 | -섭취시 독성                                                                                                                                                                | -                                                                                                                                                                                                                                      |
| Hydrogen cyanide         | 74-90-8  | -모든 인체로의 경로에 대해 위험<br>-질식으로 인한 사망<br>-청색증.<br>-100-200 ppm으로 30-60분 노출시 사망.<br>-노출후 증상은 매우 빠르나, 비급성일 때, 청색증, 두통, 현기증, 질식, 구역질.<br>-회복 후에 후유증은 적음.<br>-가열분해시 극히 유독가스 방출 | -노출시, 산소부족으로 인한 질식사.<br>-무기력,두통,경련;구역질,구토,호흡이 빨라지거나,느려지며 혈떡거림.<br>-정맥혈은 딸기색. 수분내에 증상이 나타남.                                                                                                                                             |
| Nickel cyanide           | 557-19-7 | -매우 독성이 큼                                                                                                                                                              | -                                                                                                                                                                                                                                      |
| Potassium cyanide        | 151-50-8 | -매우 독성이 크며 극약.<br>-섭취, 상처난 피부로 흡수, 흡기에 의해 독성 유입                                                                                                                        | -노출시 급사                                                                                                                                                                                                                                |
| Silver cyanide           | 506-64-9 | -독성이 큼                                                                                                                                                                 | -                                                                                                                                                                                                                                      |
| Silver potassium cyanide | 506-61-6 | -인체의 모든 경로로 유입되며, 특히 흡기 및 섭취시 독성이 큼.                                                                                                                                   | -                                                                                                                                                                                                                                      |
| Sodium cyanide           | 143-33-9 | -섭취,흡기,피부 흡수시 극히 위험.<br>-자극성 및 용식성.<br>-산과 반응시, 가열분해시, 유독가스 방출.                                                                                                        | -노출시 환각,의식 불확실,근육약화, 위염(gastritis).<br>-청색증, 피부,눈,폐 등에 염증.<br>-피부 용식성.<br>-궤양,심한 염증,고통,2도 화상, 급사<br>-무기력,두통,현기증,구역질,구토,의식불명,사망.<br>-호흡곤란,호흡정지;동공확대,일시적 실명,망막에 수종.경련,시아결손 등.<br>-각종피부염,중추신경장애,상기도염증<br>-흡기시 코피, 코에 궤양, 저혈압.<br>-영원한 실명. |

| 유해물질명                                         | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                                                      | 증상                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zinc cyanide                                  | 557-21-1 | -독성 및 자극성                                                                                                                  | -급성노출시 두통, 식욕감소, 현기증, 빠른 호흡, 빠른 맥박, 구토, 의식불명, 경련과 죽음<br>-만성노출시 두통, 식욕감소, 무기력, 피부의 발진과 염증                                                  |
| 2,4-Dichloro-<br>phenoxyacetic<br>acid(2,4-D) | 94-75-7  | -섭취,피부접촉시 위험.<br>-실험에 의하면, 발암성, 태아기형성.<br>-졸림,경련,가사상태,구역질,구토.<br>-신장,간장 상해.<br>-돌연변이성.<br>-가열분해시 Cl <sup>-</sup> 등 유해가스 방출 | -노출시 무기력, 자각마비.<br>-근육이 꼬임, 경련, 피부염.<br>-동물실험시 간장,신장 피해.<br>-피부,눈에 극히 자극성.                                                                |
| 2,4-D, n-butyl ester                          | 94-80-4  | -독성 및 자극성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                                                                                | -피부,눈,비강경로에 국부 염증.<br>-식욕부진, 설사, 구역질, 구토, 무기력, 자각마비, 근육꼬임, 경련, 체온저하.<br>-가사상태.                                                            |
| DDE                                           | 72-55-9  | -섭취, 흡기, 피부흡수시 위험.<br>-가열분해시 HCl 등 유해가스 방출                                                                                 | -노출시 간장,신장 피해.<br>-유사 화학물질 자료에 의하면 구토, 두통, 피로, 불안(malaise), 마비, 수족마비, 경련, 반사신경 미흡, 호흡수 증가, 구역질, 설사, 머리 및 목근육떨림, 호흡곤란, 사망.<br>-혀,입술,안면 마비. |
| Diazomethane                                  | 334-88-3 | -실험실상 종양성, 발암성, 돌연변이성<br>-흡기시 독성이 강함<br>-폐수종<br>-가열분해시 극히 독성가스 방출                                                          | -노출시 기침, 짧은 호흡, 두통, 홍조피부, 고열, 가슴통증, 폐수종, 폐렴<br>-천식, 피로, 눈에 자극                                                                             |
| Dibenzofuran                                  | 132-64-9 | -                                                                                                                          | -                                                                                                                                         |
| 1,2-Dibromo-3-chloropropane                   | 96-12-8  | -인체의 모든 경로에 노출시 위해<br>-강한 자극성, 마취성<br>-가열분해시 HBr, HCl, CO 등 유해가스 방출                                                        | -눈,코,점막에 자극성.<br>-고농도에서 마취성, 남성불임.<br>-신장기능저하, 간경변(cirrhosis), 폐수종, 중추신경장애, 무감각.<br>-각종 피부염, 졸림, 구토, 호흡계장애, 비장의 괴사, 정자수 감소.               |
| Dibutyl-phthalate                             | 84-74-2  | -자극성이며 고농도에서 독성<br>-최루성<br>-가열분해시 유해가스 방출                                                                                  | -눈,비강경로,상기도 염증.<br>-구역질, 결막염, 과다 눈물, 구토, 두통, 현기증, 광 공포증.<br>-간장 및 신장에 상해.                                                                 |

| 유해물질명                   | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                                          | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1,4 Dichloro-benzene    | 106-46-7 | -섭취, 흡기, 피부 흡수시 유독.<br>-자극성 및 조직파괴.<br>-가열분해시, HCl, phosgene 등 유해가스 방출.                                        | -노출시 피부, 눈, 코, 목, 점막, 폐 등에 염증.<br>-무기력, 현기증, 체중감소, 폐장애.<br>-용혈성 빈혈, 간장괴사, 두통, 비염, 식욕부진, 구역질, 구토, 황달, 간경변.<br>-알레르기성 피부반응, 간장, 신장피해<br>-중추신경장애 및 간장 확대.<br>-상기도 염증, 피부 발진, 요통.<br>-무력증(asthenia), 무감각, 腹水(ascites)                                                                     |
| 3,3'-Dichloro-benzidine | 91-94-1  | -발암물질, 알레르기성, 자극성<br>-피부에 흡수가능<br>-가열분해시 유독가스 방출                                                               | -동물실험 결과 종양성                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Dichloroethyl ether     | 111-44-4 | -강자극성, 최루성<br>-섭취, 흡기, 피부흡수시 위험<br>-실험에 의하면 발암물질<br>-가열분해시 유독가스 방출                                             | -노출시 눈, 피부, 위, 기도 등에 자극<br>-기침, 현기증, 구역질, 폐경변, 폐수종, 피부염, 결막염, 간장, 신장 상해                                                                                                                                                                                                               |
| 1,3-Dichloro-propene    | 542-75-6 | -흡기, 섭취, 피부접촉시 위해.<br>-최루성, 강 자극성, 점막, 상기도 조직 파괴성.<br>-가열분해시, 유독가스 방출.                                         | -피부, 눈, 점막에 심한 염증.<br>-점막조직, 상기도의 용식성, 파괴성.<br>-복통, 호흡기 장애, 비염, 최루, 무의식.<br>-구토, 폐장애, 근육코임, 피로, 가슴압박, 심장, 간장, 신장 질환 및 가사상태.<br>-성적충동 감소, 현기증, 무기력, 목통.<br>-흡기시, 경련, 후두 및 기관지 부종, 화학적 폐렴, 폐수종, 기침, 후두염, 짧은 호흡, 혈떡 거름, 폐질환.<br>-섭취시, 복통과 폐압박.<br>-피부흡수시, 표피 및 조직염증.<br>-눈접촉시, 결막염 및 상해. |
| Dichlorvos              | 62-73-7  | -섭취, 흡기, 피부접촉시 독약.<br>-실험실상 기형생성, 돌연변이성, 발암성.<br>-애완동물의 벼룩박멸에 사용.<br>-신경장애는 보고되지 않았음.<br>-가열분해시, Cl, POx 등 방출. | -노출시, 동공축소(miosis), 눈 통증, 비염, 두통, 가슴 압박, 후두경련, 타액분비, 청색증, 무기력, 구역질, 구토, 설사, 땀, 근육피로, 마비, 저혈압, 심장질환, 눈, 피부 염증.                                                                                                                                                                         |
| Diethanolamine          | 111-42-2 | -용식성, 독성, 피부염증.<br>-가열분해시, 유독가스 방출.                                                                            | -반사신경 마비, 청색증, 사망<br>-두통, 구역질, 구토, 가사상태, 기침, 실명, 피부·눈 염증, 복통, 간장·신장 상해.<br>-짧은 호흡, 후두염, 안질환, 흥반                                                                                                                                                                                       |
| N,N-Diethyl-aniline     | 91-66-7  | -자극성, 피부에 흡수, 섭취시 위독.<br>-반복노출시, 축적현상.                                                                         | -노출시 허약, 경련, 청색증, 졸음, 중추신경장애                                                                                                                                                                                                                                                          |

| 유해물질명                        | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                                  | 증상                                                                                                                                                        |
|------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diethyl sulfate              | 64-67-5  | -피하주사시 독약.<br>-섭취,피부접촉시,흡기시 일반 독성<br>-인체 발암물질,종양성,기형성,돌연<br>변이성.<br>-피부,눈에 심한 자극성.<br>-가열분해시 독성 혼연 방출. | -                                                                                                                                                         |
| 3,3'-Dimethoxy benzidine     | 110-90-4 | -흡기시,섭취시,피부접촉시 유독.<br>-동물에 발암성.<br>-가열분해시, 유독혼연 발생.                                                    | -피부 · 눈에 자극성, 두통, 졸음, 청색증, 방<br>광암                                                                                                                        |
| Dimethylamino-azobenz<br>ene | 60-11-7  | -섭취시,흡기시,피부흡수시 유해.<br>-동물에게 발암, OSHA 발암물질.<br>-가열분해시 유독가스 방출.                                          | -노출시 피부염<br>-간장 · 신장에 유독<br>-빈혈증, 중추신경마비로 인한 무산소증                                                                                                         |
| N,N-Dimethyl-aniline         | 121-69-7 | -피부접촉시 독성, 자극성.<br>-가열분해시 극히 유독가스 방출.                                                                  | -중추신경장애, 빈혈증, 시력장애, 복통, 무기<br>력, 경련, 청색증, 졸음<br>-만성노출시 피로, 식욕감소, 두통, 현기증                                                                                  |
| 3,3'-Dimethyl-benzidin<br>e  | 119-93-7 | -섭취,흡기,피부 흡수시 유독.<br>-피부 접촉시 자극성.<br>-가열분해시 유독가스 방출.                                                   | -노출시 피부 · 눈에 염증.<br>-방광에 염증                                                                                                                               |
| Dimethylcarbamyl<br>chloride | 79-44-7  | -극심한 국소자극성,최루성.<br>-물, 스팀, 산과 반응시, 가열분해<br>시, 독성 및 용식성 혼연 방출.                                          | -접촉시 심한 국소 염증, 최루성                                                                                                                                        |
| N,N-Dimethyl-formami<br>de   | 68-12-2  | -자극성이며, 섭취, 흡기, 피부접촉<br>시 유해.<br>-가열 분해시,독성 가스 방출                                                      | -노출시 눈,점막,상기도에 염증, 현기증, 두<br>통, 간장, 신장 피해<br>-복통, 식욕감소, 구역질, 구토, 변비, 설사,<br>얼굴상기(특히 알콜섭취후), 혈압상승, 피부<br>염, 피부발진<br>-무기력, 간기능저하, 중추신경장애<br>-환각, 소화장애, 식도통증 |
| 1,1-Dimethyl-<br>hydrazine   | 57-14-7  | -극도의 용식성, 섭취 및 피부 노<br>출시 위해<br>-가열분해시 독성가스 방출                                                         | -노출시,화상,간장,신장피해,혈액 및<br>위장장애,코,목,기도 장애,구역질, 구토,두통,<br>안면마비,폐수종,가사,폐렴,사망. 각막피해.<br>-질식,가슴 통,무기력,경련,무산증.<br>-지방간 야기 및 SGPT 상승.                              |

| 유해물질명                          | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                 | 증상                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dimethyl-phthalate             | 131-11-3 | -자극성, 가열분해시 독성 혼연 방출<br>-실험실상 발암물질                                                    | -노출시,피부.입술,혀,구강,기도,눈,점막,식도의 염증 및 중추신경장애<br>-구토,설사,가사상태,기침,마비,결막염.                                                                                                                                                               |
| Dimethyl sulfate               | 77-78-1  | -흡기, 섭취, 정맥주사시 독약<br>-실험실 발암성, 종양성, 기형성, 돌연변이성, 피부,눈,점막에 용식성                          | -짧은 노출후, 결막염, 코,목,후두,기관지 점막의 염증.피부홍반.<br>-장기 노출후 각막에 덮개, 비강염증 및 6-8시간후 폐수종,3-4일후 사망.<br>-간장,신장에 주로 피해를 주며,피부 접촉시,종양 및 국소괴사.<br>-황달,단백뇨,혈뇨.<br>-간장,신장피해후,수주일내 사망.                                                                |
| 4,6-Dinitro-o-cresol and salts | 534-52-1 | -섭취, 피부노출시, 심한 자극성 및 조직에 용식성                                                          | -노출시 피부황색화,두통,구역질,구토<br>호흡곤란(dyspnea),땀,정신이상,빠른 맥박,고열,피로,황달,순환계 이상, 백내장.                                                                                                                                                        |
| 2,4-Dinitro-phenol             | 51-28-5  | -흡기,섭취,피부접촉시 독성<br>-축적현상이 있음<br>-피부 및 눈에 심한 염증<br>-증기는 호흡기에 흡수, 용식성<br>-가열분해시 유독가스 발생 | -노출시 땀, 고열, 짧은 호흡, 피부의 황색화, 신진대사 촉진, 구역질, 구토, 사망, 백내장, 체중감소, 피부염.<br>-과다 산소소비, 피로, 갈증, 폐 압박, 무기력, 현기증, 요통, 두통, 간장장애, 황달, 피부발진, 말초신경염.<br>-심장장애, 간장.신장장애, 청색증, 경련.<br>-2차 녹내장(glaucoma),불안,홍반,약한 맥박,고열,탈수,폐수종,복통,설사,환각,동공 확대,화상. |
| 2,4-Dinitro-toluene            | 121-14-2 | -자극성이며 쉽게 피부흡수<br>-가열분해시 유해가스 방출                                                      | -빈혈증,백혈병,간장괴사,두통,현기증<br>무기력,구역질,구토,졸음,무의식, 청색증,요통,피로,짧은 호흡,불면증, 관절통(arthralgia),경련,마비증.                                                                                                                                         |
| 1,4-Dioxane                    | 123-91-1 | -흡기, 섭취, 피부흡수시 독성<br>-자극성이며 가열분해시 유독성                                                 | -노출시 눈.코에 자극성, 두통, 현기증, 구토, 졸음, 간장 및 신장피해, 중추신경 장애, 최루성, 경련, 고혈압, 호흡기,소화기 장애.<br>-마취성, 소화장애, 호흡곤란, 요통, 신장장애로 인한 사망,위통 및 식욕부진.<br>-피부건조 및 갈라짐, 습진, 피부염, 발진<br>-눈에 통증, 눈에 과도노출시 각막상해.                                             |
| 1,2-Diphenyl-hydrazine         | 122-66-7 | -섭취시 독성<br>-실험에 의하며, 발암성, 종양성, 돌연변이성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                | -                                                                                                                                                                                                                               |

| 유해물질명           | CAS 번호   | 급만성위해                                                                             | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Epichlorohydrin | 106-89-8 | -용식성이며, 피부에 자극성<br>-흡기, 섭취, 피부접촉시 유독<br>-가열분해시 phosgene, HCl 등 유독가스 방출            | -노출시, 호흡기 마비, 결막염, 피부타짐,<br>-심한 고통, 피부염, 만성피로, 복통, 염증<br>현기증, 구토, 구역질, 호흡곤란, 피부의<br>청색화, 화상, 간장, 폐, 신장에 피해.<br>-중추신경장애, 무의식상태, 경련, 두통,<br>눈, 목에 염증, 만성천식, 기관지염,<br>지방간, 조직에 통증, 폐수종, 신장장애, 간<br>장확대, 불임.                                                                         |
| 1,2-Epoxybutane | 106-88-7 | -실온에서 증기는 유독<br>-자극성이며 가열분해시 유독가스<br>방출                                           | -흡기시, 기관지 상해 및 염증, 중추<br>신경 장애, 혈액 및 뼈 이상.<br>-섭취시, 구강, 위장에 염증, 구역질, 구토<br>-눈접촉시 화상.                                                                                                                                                                                             |
| Ethyl acrylate  | 140-88-5 | -섭취, 흡기, 피부흡수시 위험<br>-최루성, 자극성, 용식성<br>-가열분해시 유독가스 방출                             | -노출시, 피부, 눈, 상기도, 점막의 염증.<br>입, 위장, 목에 염증, 눈에 화상(복구<br>불능), 피부상해 (발진, 부기), 현기증,<br>호흡곤란, 조조, 중추신경장애, 신장 ·<br>간장 · 심장에 장애.<br>-결막염, 최루 및 만성 폐질환.<br>-고농도 흡기시, 호흡곤란, 두통, 구역질,<br>폐수종, 무기력, 비염, 경련 및 사망.<br>-가슴에 통증, 의식불명, 기침, 복통, 구토<br>피부염 및 시각장애.                                |
| Ethylbenzene    | 100-41-4 | -자극성, 최루성, 흡기, 섭취, 피부접<br>촉시 유해<br>-고농도에서 마취성                                     | -노출시, 피부의 염증, 홍조. 코, 목, 눈에<br>염증.<br>-최루, 결막염, 각막파괴, 피부염, 졸음,<br>마취, 가슴 압박.                                                                                                                                                                                                      |
| Ethyl carbamate | 51-79-6  | -섭취, 흡기 및 피부흡수시 독성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                              | -노출시, 목에 화상, 물 · 피 설사, 복통,<br>소변감소, 혈압강하, 심장장애, 환각,<br>경련, 근육약화, 기관지 약화, 가사,<br>출혈, 신장·간장 상해.<br>-구역질, 구토, 골수장애, 중추신경장애,<br>뇌장애, 위장장애, 졸음.<br>-대량 노출시 간염 및 간 괴사.                                                                                                                 |
| Ethyl chloride  | 75-00-3  | -저농도에서도 자극성<br>-고농도에서는 마취성<br>-섭취, 피부흡수시 독성<br>-가열분해시 HCl, phosgene 등 유<br>독가스 방출 | -노출시, 눈, 코, 목, 기관지 염증.<br>-약 2%농도에서 마취성.<br>-두통, 구역질, 현기증, 무의식 상태, 중추<br>신경장애(회복가능), 사망.<br>-휘발성이 크기 때문에, 피부접촉시 동상가<br>능성.<br>-졸음, 콧소리, 심근질환, 불규칙한 심장 박<br>동, 신장질환, 복통, 술취한 행동, 폐질환,<br>내장장애, 흥분, 호흡마비, 신장, 간장, 심장<br>에 지방축적.<br>-피부에 습진, 부종, 내장출혈, 뇌출혈.<br>-호흡기 또는 협심증으로 인한 사망. |

| 유해물질명               | CAS 번호   | 급만성위해                                                              | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------|----------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ethylene dibromide  | 106-93-4 | -흡기,섭취,피부흡수시 독성<br>-자극성이며 마취성<br>-가열분해시 산화할로젠 등 유독가스 방출            | -피부,눈,점막,기관지,폐,간장,신장에 염증.<br>-흡기시,폐기능장애,마취성,중추신경장애,심한구토.<br>-피부노출시,피부염,종양,부기 등.<br>-복통, 구역질, 설사, 검은 소변, 소변감소, 현기증, 황달, 일반빈혈, 화상.<br>-가슴압박,졸음,위장,내장 염증,간장의 피사, 피부피사,수포증(vesiculation),화상,후두 및 기관지 부종.<br>-폐렴,안염,점막상해<br>-마취성, 결막염, 기관지염, 식욕감소, 두통, 시각장애, 호흡계 및 순환계 이상으로 인한 사망.                |
| Ethylene dichloride | 107-06-2 | -섭취,흡기,피부접촉시 독성<br>-피부,눈,기관지에 자극성이며, 가열분해시 HCl, phosgene 등 유독가스 방출 | -노출시, 자극성,각막에 덮개,피부염, 결막염, 각막종양,두통,정신혼란, 불안,피로,단백뇨,중추신경장애,경련, 설사,출혈,저혈당증,황달,혼수상태(narcosis),폐수종,무기력한 마비,불면,기침,구역질,종양,지방간퇴화,심장박동변화,청색증,가사상태,폐수종,신장에 독성효과, 취한상태, 졸음, 무의식,호흡기 및 심장이상으로 사망,<br>피부 탈지 및 부종, 폐렴, 복통, 물설사, 내장출혈, 뇌수종, 폐,심장,이자 혈관폐색, 쇼크, 백혈구 증가증(leukocytosis),위장장애,안구진탕 (nystagmus)  |
| Ethylene glycol     | 107-21-1 | -섭취시 독성<br>-가열분해시 각종 유기화합물 등 독성 혼연 방출                              | -노출시,불안,불안정한 걸음,졸음,가사상태,중추신경에 일시자극,구토,신장상해,무뇨 및 요독증<br>-눈물분비,일반 마취,두통,기침,호흡기 자극, 현기증,폐 및 간장 상해<br>-뇌수종 및 종양,산독증(acidosis),신장과 간장의 출혈피사,혼수상태,청색증,폐수종,호흡이상,저혈당,호흡장애로 사망, 혈관출혈,단백뇨,안구진탕,<br>혈액 pH 감소,빈혈증,칼륨과잉혈증,미열,파상풍성 경련,유두염,시력감퇴,맥박감소(tachycardia),저혈압,폐렴,심장확대,소화장애,조혈장애,안염,복통,요통,식욕감퇴,신경장애. |

| 유해물질명                      | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                                    | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ethyleneimine              | 151-56-4 | -섭취, 흡기, 피부접촉시 독성<br>-실험실 발암성, 신조직형성, 종양성, 태아기형성, 돌연변이성<br>-점막, 눈, 피부에 자극성<br>-각종 안질환<br>-탄산수 섭취로서 위장 해독 | -노출시, 구역질, 구토, 두통, 현기증, 폐수종, 간장, 신장상해, 피부, 눈, 코, 목에 자극, 각막상해.<br>-피부접촉시, 무통, 괴사성 화상, 피부염<br>-골수장애, 각결막염, 후두부종, 코분비.<br>-관자놀이(temple) 주변의 통증.<br>-기도, 기관지염, 호흡곤란, 폐렴.                                                                                                                          |
| Ethylene oxide             | 75-21-8  | -흡기시 자극성<br>-가열분해시 독성                                                                                    | -노출시, 피부, 눈, 점막, 상기도 자극성<br>-경련, 구역질, 구토, 후각기관 및 폐의 변화, 고농도시 폐수종, 기관지염, 가사결막염, 각막 상해, 화상 및 물집.<br>-두통, 독성 피부염, 고농도시 무의식.<br>-마취성, 졸음, 흥분, 무기력, 표피박리(desquamation), 두드러기(urticaria)<br>-미각, 후각 상실, 혼수상태, 청색증, 출혈, 신장장애, 사망.<br>-만성노출시, 말초신경마비, 염색체장애<br>-설사, 요통, 중추신경장애, 위장상해, 동상, 호흡부족, 신경독성. |
| Ethylene thiourea          | 96-45-7  | -자극성이며 섭취시, 피부흡수시 독성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                                                   | -노출시, 점액수종(myxedema), 피부 각질 및 건조.<br>-정신·육체적 약화, 감상선종, 안색이 나쁨, 혀의 부기, 신 목소리.<br>-건성 모발, 신진대사 저하.<br>-호흡, 맥박이 느려짐, 자극성.                                                                                                                                                                        |
| bis 2-Ethylhexyl phthalate | 117-81-7 | -자극성이며 섭취 및 흡기시 유해<br>-모든 노출경로에 대해 약독성<br>-가열분해시 매운 연기 및 유독가스 방출                                         | -노출시 눈, 점막, 피부에 염증.<br>-구역질, 설사를 유발, 위장장애.                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Ethylidene dichloride      | 75-34-3  | -흡기, 복용, 피부흡수시 유독<br>-눈, 점막, 피부, 상기도에 염증<br>-가열분해시 유독가스 방출<br>-고농도에서 마취성, 최루성                            | -노출시 간, 신장에 피해, 피부에 염증, 피부염, 피부화상.<br>-무의식, 중추신경 저해 및 졸음.<br>-구역질, 구토, 졸도. 호흡기 염증.<br>-타액분비과다, 재채기, 기침, 현기증, 눈물, 결막충혈, 청색증, 순환계 장애, 고농도에서 최면효과.                                                                                                                                               |
| 포름알데히드                     | 50-00-0  | -피부, 눈, 점막에 자극성<br>-모든 호흡경로에 자극성<br>-피부에 흡수가능, 눈물분비<br>-열분해시 일산화탄소 방출                                    | -흡기시 눈, 코, 점막 및 상기도 자극.<br>-고농도시, 기관지염, 폐렴 또는 후두염<br>-두통, 현기증, 호흡장애, 폐수종.<br>-기침 또는 삼키기 곤란(dysphagia).<br>-피부접촉시, 백화 또는 경화, 조직괴사, 장기노출시 피부 갈라짐 및 종양, 결막염.                                                                                                                                     |

| 유해물질명                            | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                               | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 포름알데히드<br>(계속)                   |          |                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>-섭취시,입,인두에 통증, 현기증,구토</li> <li>-의식불명을 동반한 복통. 단백뇨증, 혈뇨증, 무뇨증, 요통, 호흡계 장애로 인한 의식상실 및 사망.</li> <li>-빈번한 피쉬인 설사, 창백, 쇼크, 배뇨(micturition), 경련 및 무감각.</li> <li>-섭취시, 위장 및 식도 용식, 조직파괴 및 空腸(jejunum).</li> <li>-순환계 및 신장피해.</li> <li>-간장,신장,심장,뇌의 변화.</li> <li>-노출시 급소는 호흡기,폐,눈 및 피부</li> </ul>                                                              |
| Ethylene glycol diethyl ether    | 629-14-1 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-흡기, 섭취, 피부흡수시 유해</li> <li>-가열분해시 유독가스 방출</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>-피부,눈,목,코,점막에 염증.</li> <li>-구토,폐수종,무감각,근육약화,무뇨증, 뇨량 감소,경련,청색증,신장장애, 의식불명,저칼슘 경련. 중추신경장애, 혈뇨, 흥분, 운동실조, 요통, 현기증, 복통, 요추신경통, 탈수, 무기력, 급성신장질환, 과호흡(hyperpnea), 말초 부종,腹水(ascites), 졸음 및 심장장애 사망.</li> <li>-알콜중독과 같은 증세,두통,빈박(tach cardia),급속호흡,저혈압,신경쇠약,저혈당증(hypoglycemia),혼수상태,요독증(uremia),안구 진탕,혈관용혈,뇌장애,호흡장애로 사망.</li> <li>-입,위장 염증 및 각막 피해.</li> </ul> |
| Ethylene glycol dimethyl ether   | 110-71-4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-흡기,섭취,피부흡수시 유해</li> <li>-가열분해시 일산화탄소 방출</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>-노출시, 현기증, 구토.</li> <li>-섭취시, 경련, 무기력, 졸도, 복통, 중추신경 장애, 과복용시 혈액, 간장,신장 장애.</li> <li>-흡기시 현기증 및 호흡장애, 기침, 하품</li> <li>-피부접촉시 국부화상, 중추신경장애.</li> <li>-눈 접촉시 통증,시각장애, 눈물분비.</li> <li>-간장 및 신장 용혈.</li> <li>-알콜 중독현상,청색증,두통,빈박,빠른 호흡,저혈압,폐수종,근육약화,운동실조, 안구 진탕, 경련후 졸도 및 사망, 뇌장애, 요독증 및 무뇨증.</li> </ul>                                                     |
| Ethylene glycol monobutyl ether  | 111-76-2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-피부접촉 독성, 섭취시 졸도</li> <li>-가열분해시 매운연기 및 자극성 혼연 방출</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-노출시, 눈 및 호흡기에 자극.</li> <li>-두통, 빈혈,구역질,구토,현기증,졸음, 무의식,중추신경계 영향,졸도,골수피해,간장 및 신장 피해,암적색 배뇨, 용혈.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                              |
| Ethylene glycol monophenyl ether | 122-99-6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-자극성이며 가열분해시 유독가스 방출</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>-노출시 피부,눈,점막,기관지 염증</li> <li>-기침,두통,복통,구역질</li> <li>-토끼실험시 심한 안구장애</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                          |

| 유해물질명                          | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                       | 증상                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Heptachlor                     | 76-44-8  | -섭취, 흡기, 피부흡수시 독성<br>-피부, 폐 및 위장에 흡수 잘됨<br>-가열분해시 HCl가스를 비롯한 유독가스 방출                        | -노출시, 피부염증, 중추신경자극, 운동실조증, 신장피해, 종양, 경련, 호흡곤란, 사망.<br>-충혈(congestion), 수종, 폐 용혈, 무뇨증, 지각이상(paresthesia), 흥분, 현기증, 피로, 졸도.<br>-섭취시, 구역질, 구토, 설사, 위장염증.<br>-간장괴사, 혈액질환.                                                           |
| Hexachlorobenzene              | 118-74-1 | -자극성이며 가열분해시 유독가스 방출                                                                        | -눈, 피부, 점막, 상기종 염증, 각막 불투명, 수족 위축, 탈모증(alopecia), 과잉 異所모발증, 갑상선 확대, 체중감소, 피부 광반응성, 비정상 발모, 포피린 대사이상(porphyrria).                                                                                                                |
| Hexachlorobutadiene            | 87-68-3  | -섭취 흡기시 유독<br>-자극성 및 용식성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                                  | -노출시, 피부, 눈, 폐, 점막에 염증.<br>-간장, 신장 장애, 중추신경에 영향.<br>-노출된 조직에 용식성.<br>-저혈압, 심장질환, 만성기관지염, 신경장애, 만성 간염.                                                                                                                           |
| Hexachlorocyclopentadiene      | 77-47-4  | -피부를 통해 쉽게 흡수됨<br>-흡수, 흡기 및 섭취시 유해<br>-눈, 피부, 점막에 자극성<br>-조직에 용식성이며, 눈물분비<br>-가열분해시 유독물질 방출 | -노출시 두통, 현기증, 눈, 목, 코, 피부에 염증, 피부염, 조직에 용식성, 구역질, 구토, 토혈(hematemesis), 복부 압박, 설사, 초조, 호흡곤란, 청색증, 졸도, 단백뇨, 혈뇨, 황달, 신경염.<br>-눈물분비, 호흡기질환, 눈, 피부에 화상, 물집.<br>-호흡시 경련, 염증, 후두, 기관지수종<br>-화학적 폐렴, 폐수종, 후두염<br>-뇌, 심장, 간장, 부신, 신장에 변화 |
| Hexachloroethane               | 67-72-1  | -자극성이며 피부흡수 잘됨<br>-가열분해시 HCl, phosgene 등 유독가스 방출<br>-동물에 발암 양성                              | -노출시 피부, 눈, 점막, 상기도 염증<br>-간장 및 신경계에 만성적 영향<br>-고농도시 혼수상태                                                                                                                                                                       |
| Hexamethylene-1,6-diisocyanate | 822-06-0 | -호흡, 정맥경로 노출시 독약<br>-가열분해시 유독가스 방출                                                          | -                                                                                                                                                                                                                               |
| Hexamethylphosphoramide        | 680-31-9 | -독성, 자극성이며 가열분해시 유독가스 방출                                                                    | -노출시 눈, 피부, 점막, 상기도 염증.<br>-신장, 간장 피해.<br>-동물실험시, 체중감소, 위장기능 변화, 신경계 장애, 신장질환, 고환의 퇴화, 코에 종양, 기관지 확장, 기관지폐렴.                                                                                                                    |
| Hexane                         | 110-54-3 | -자극성이며 고농도시 혼수상태<br>-가열분해시 알데하이드 등 유독가스 방출                                                  | -노출시, 눈, 피부, 상기도 점막에 염증<br>-구역질, 두통, 현기증, 피부염.<br>-뇌 장애 및 심장경색을 야기하는 질식<br>-마취성, 구토, 무의식 야기.<br>-수족 감각상실, 혼수상태, 목에 염증, 현기증, 부정맥, 복부팽창.                                                                                          |

| 유해물질명             | CAS 번호    | 급만성위해                                                                                                                                                                            | 증상                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hexane<br>(계속)    |           |                                                                                                                                                                                  | -호흡시 심한 폐 자극성,기침,폐수종, 출혈,화학적 폐렴.<br>-요통, 기관지 염증, 내장 염증, 중추신경계 영향, 사지의 무감각.<br>-시력 장애,안구신경염,기관지 압박.<br>-피부 건조, 흉부통증,수종,사망.                                                                                                                                   |
| Hydrazine         | 302-01-2  | -휘발성이며 호흡시 독성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                                                                                                                                  | -                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Hydrochloric acid | 7647-01-0 | -인체 독약. 흡기시 약 독성, 섭취시 일반 독성.<br>-피부, 눈, 점막에 용식 자극성.<br>-실험실상 기형생성.<br>-35ppm 단기 노출시 목에 자극성.<br>-가열분해시 $\text{Cl}^-$ 방출.                                                          | -노출시, 코,목,후두에 염증.<br>-기침, 목에 화상, 질식, 눈에 화상, 피부염.<br>-동물 실험에서 폐수종.                                                                                                                                                                                           |
| Hydrogen fluoride | 8664-39-3 | -호흡시 인체 독약.<br>-실험실상 흡기, 피하주사시 독약.<br>-피부,눈 (0.05 mg/l),점막에 용식 자극성.<br>-기형생성,돌연변이성 보고됨.<br>-증기 흡기시 상기도 중양.<br>-50-250 ppm 농도 위험 (단기노출 포함). 치료가 더딘 피부 화상.<br>-피부조직 탈저 (gangrene). | -노출시, 눈,코,목에 염증, 폐수종, 피부 및 눈에 화상.<br>-코막힘,기관지염.<br>-증기흡기시 상기도 중양.                                                                                                                                                                                           |
| Hydroquinone      | 123-31-9  | -                                                                                                                                                                                | -구토,질식,호흡곤란,청색증,경련,환상,사망,내장 염증,피부염,각막 불투명.<br>-피부 색소탈실,불분명한 언행,몸서리,근육꼬임,두통,호흡곤란,청색증,가사,녹갈색 소변,심한 염증,광공포증,<br>-눈물분비,각막표피 상해,각막 중양.<br>-저체온 마비증세, 안정성 상실, 저혈압, 현기증, 과다호흡, 복통, 설사, 갈증, 땀, 황달, 무뇨증, 결막 탈색, 눈에 염증, 각막염 (keratitis), 기관지 폐렴.<br>-신장,신경 장애, 맥박 증가. |
| Isophorone        | 78-59-1   | -취루성, 자극성<br>-피부 흡수성, 섭취시 일반독성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                                                                                                                 | -눈,코,목에 염증.<br>-구역질,두통,현기증,허약 및 졸도.<br>-눈에 화상,피부 홍조,구토,무의식,피로 및 불안,기침,짧은 호흡,후두염<br>-마취효과,눈조직 피해,피부 갈라짐,구강 및 위장 염증.<br>-중추신경계 영향, 후각마비,심각한 눈 피해,질식감,피부염,피부건조,각막 및 결막 염증,기관지 염증.<br>-간장 및 신장 피해.                                                              |

| 유해물질명                    | CAS 번호    | 급만성위해                                                                           | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lead                     | 7439-92-1 | -납 분말은 독성, 노출시 축적성                                                              | -노출시 복통, 설사, 쇼크, 근육약화, 통증, 두통, 신장장애, 가사.<br>-만성노출시 어린이에게 뇌장애, 두통, 구토, 환각, 경련, 가사상태, 호흡곤란 및 피로로 인한 사망.<br>-어린이에게 체중감소, 허약, 빈혈 등.                                                                                                                                         |
| Lead acetate             | 301-04-2  | -모든 경로에 대해 독성, 축적성<br>-타 납화합물보다 1.5배 빨리 흡수<br>-고온 분해시 유독가스 방출                   | -납중독의 초기단계 노출시, 피로, 수면 장애, 변비.<br>-심한 노출시, 복통, 구역질, 두통, 식욕감소, 금속성 맛, 근육통, 현기증, 고혈압<br>-악한 중독시, 무기력, 기분 침체.<br>-장기간 과다 노출시, 적혈구 형성장애, 중추신경장애, 말초신경장애, 간장 및 신장장애.<br>-혈액중 고농도시, 경련, 가사상태, 사망.<br>-생식불능, 태아에 영향.<br>-눈에 장애, 복통, 어린이에게 뇌장애, 뇌수종, 뇌출혈. 근육약화 및 마비.            |
| Lead dioxide             | 1309-60-0 | -독성                                                                             | -복통, 설사, 변비, 식욕부진, 근육약화, 두통, 농루증, 구토, 근육통.<br>-잇몸에 푸른 ‘납선(lead line)’                                                                                                                                                                                                   |
| Lead subacetate          | 1335-32-6 | -독성                                                                             | -                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Lindane<br>(all isomers) | 58-89-9   | -자극성이며 섭취, 흡기 및 피부흡수시 독성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                      | -간질성 경련(epileptic convulsions)<br>-위장장애, 중추신경장애, 근육경색, 시각장애, 허약, 현기증, 입에 거품, 무의식, 기억상실, 체온상승, 청색증, 간장확대.<br>-만성 과다노출시, 비가역적 신장 변화, 결막염, 고열, 구토, 정신혼란, 폐수종, 심장 부음, 혈구괴사, 간장·신장에 지방형성.<br>-동물실험시, 호흡이 빨라짐, 불안, 근육경색, 타액분비, 구강 출혈, 중심상실, 혈떡거림, 신장, 체장, 비강점막, 간장의 변화, 호흡곤란. |
| Maleic anhydride         | 108-31-6  | -자극성이며 섭취시 독성                                                                   | -피부, 눈, 점막 염증, 화상<br>-두통, 코피, 구역질, 일시적 시각장애, 결막염                                                                                                                                                                                                                        |
| Manganese                | 7439-92-1 | -실험실상 종양성<br>-뇌변화, 근육약화<br>-피부, 눈에 자극성<br>-돌연변이성 보고<br>-호흡계, 중추신경계, 혈액 및 신장에 피해 | -Parkinson's 질환악기<br>-무력증, 불면, 정신혼란, 갈증, 기침, 답답한 가슴, 호흡곤란, 고열, 요통, 구토, 피로<br>-피부 및 눈에 염증                                                                                                                                                                                |

| 유해물질명                                     | CAS 번호     | 급만성위해                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Manganese(II) sulfate<br>mono-<br>hydrate | 10034-96-5 | -자극성이며 흡기 및 섭취시 독성<br>-가열분해시 황산화물 등 유독가스<br>방출                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | -눈, 기관지 점막에 약한 자극성<br>-무감각, 식욕부진, 두통, 발에 쥐오름, 균형<br>감 상실, 폐렴, 흉부질환<br>-중추신경피해, 상기도 감염, 무기력, 졸음,<br>손떨림, 힘줄 이완, 경련성 걸음걸이, 불면,<br>근의 실조, 피로, 집중력 감소, 정신장애,<br>운동실조증, 눈의 압박임 감소, 무기력, 수<br>중, 수면장애, 피부염, 간장확대, 근육경련,<br>타액의 과다분비, 성생활 장애, 혈액변화<br>-의사소통 장애, 환각, 정신장애<br>-말초신경 마비, 자아상실, 쉼 목소리, 초조,<br>딛걸음 불능, Romberg 징후, 기억력 감소,<br>졸음, 수족의 경직, 배뇨 어려움, 오리걸음,<br>한기를 동반한 고열<br>-구역질, 구토, 갈증, 기침, 전신에 통증, 흉<br>부 통증, 불안, 2중 상, 난청, 빈혈, 요통, 경<br>련<br>-Wilson씨 질환 |
| Mercury                                   | 7439-97-6  | -흡기시 독약. 실험실상 종양성.<br>-피부, 눈, 점막에 용식성.<br>-근육약화, 식욕부진, 두통, 귀울림(tin<br>nitus), 설사, 간장변화, 피부염, 고열.<br>-실험상 기형성, 돌연변이성.<br>-가열분해시 유독 수은혼연 방출.<br>-위장등에 염증이 없다면, 금속 수<br>은은 섭취시 무해.<br>-수은 증기 흡기시 심한 흉부질환,<br>신장에 독성, 치은염(gingivitis)<br>-원소 수은은 가열시 쉽게 휘발하<br>며 유독한 산화 혼연을 생성.<br><br>-중추신경계에 만성적 영향, 정신<br>장애.<br>-수은 증기는 일차적으로 폐부에<br>급성적 영향을 줌(폐렴, 기관지염).<br>-만성노출로, 치은염, 타액과잉분비(si<br>alorrhea), 과민, 근육경련.<br>-만성노출로 인한 신장질환 정도는<br>밝혀지지 않았음.<br>-만성적 수은증기 노출시, 뇌질환,<br>단백뇨.<br>-금속 수은은 일부 피부염 야기. | -수은증기 노출시, 기침, 가슴통증,<br>무기력, 기관지염, 경련, 불면, 우유부단,<br>두통, 피로, 위장염, 타액분비, 위장장애,<br>식욕부진, 체중감소, 단백뇨, 눈, 피부에<br>염증.<br>-흡기시 근육약화, 불면, 두통, 귀울림,<br>설사, 간장변화, 피부염, 고열.<br>-금속 수은증기에 만성노출시, 무기력, 의기<br>소침, 자극에 과다반응, 극도의 수줍음, 불<br>면, 감정불안, 망각, 혼돈, 혈관장애.<br>-수족, 눈꺼풀, 입술, 혀의 떨림.<br>-고농도 수은증기 흡기시, 금속내, 구역질,<br>복통, 구토, 설사, 두통.<br>수 이후, 침선 확대, 위장염 및 치은염으로<br>발전, 이빨이 물러지고, 입술과 뺨에 종양.                                                                              |

| 유해물질명                                              | CAS 번호    | 급만성위해                                                            | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mercuric chloride                                  | 7487-94-7 | -자극성이며 흡기 및 피부 흡수시 유해<br>-조직에 용식성, 각막과 결막에 중양성<br>-가열분해시 유독가스 방출 | -노출시, 구강,목에 화상, 조직과 점막에 용식성.<br>-구토, 구역질, 용혈, 피사, 복통 및 흉부통, 각막중양, 피부염, 경련, 갈증, 각혈, 설사, 신장기능저하, 피로, 쇼크, 심장 부정맥, 사망.                                                                                                                                                                                                      |
| Mercury((o-carb-oxyphenyl)thio) ethyl, sodium salt | 54-64-8   | -자극성이며 섭취, 흡기시 독성<br>-가열분해시 유독가스 방출                              | -폐양성 위장염, 치은염, 구역질, 설사, 통증, 간장장애, 심장질환, 운동실조증.<br>-두통, 혀,입술,수족의 마비, 불특정 기관의 기능저하, 금속내, 가벼운 위장 장애, 설사.<br>-급성적 독성으로 위장 염증, 신장 장애. 초기증상은 손의 미세한 떨림, 측면시 상실, 시력장애, 언행,걸음,글씨 불안정, 직립이 어려움, 불안, 이해부족, 무기력, 가사, 어린애 경우 정신박아, 피부염증, 물집 및 피부염.<br>-말초신경마비, 떨림, 신경염, 타액분비, 이빨의 연화, 잇몸에 푸름선, 불안, 불면, 환각, 중추신경장애.<br>-눈.점막.상기도 염증. |
| Methyl mercury (II) chloride                       | 115-09-3  | -모든 노출경로에 대해 독성<br>-가열분해시 유독가스 발생                                | -노출시, 운동실조증, 마비, 사망.<br>-구역질, 복통, 구토, 설사, 쇼크, 신장장애, 신경장애, 수족의 떨림, 불면, 기억상실, 무기력, 의기소침, 치아의 연화, 타액의 과다분비.<br>-난청,정신질환,무도병(chorea),경련.                                                                                                                                                                                    |
| Methyl mercury(II) hydroxide                       | 1184-57-2 | -섭취,흡기,피부흡수시 유독<br>-눈,피부,점막에 자극성<br>-가열분해시 수은증기 방출               | -급성노출후, 수주일 또는 수개월이 지난 후 징후가 나타남.<br>-급만성 징후는 비슷하며 입술,수족등 무감각 증세, 말더듬(dysarthria),시각장애, 난청 및 운동실조.<br>-언어장애, 약 하수증(ptosis), 무도병, 떨림, 경련.<br>-눈,피부,점막의 자극, 감정불안.<br>-수족,머리,어깨 등 발작적 움직임.<br>-신음,고함,울음 등 발작적 행동.<br>-현기증,과다 타액분비,구역질,구토, 설사, 변비, 신장장애, 피부염, 화상.                                                           |
| Methanol                                           | 67-56-1   | -자극성이며, 독성<br>-피부를 통해 흡수, 졸도 야기                                  | -두통,피로,구역질,현기증,경련,피부염,시각장애,시력상실.<br>-酸毒症, 경련, 散瞳(mydriasis), 순환계, 호흡계 질환, 사망, 점막염증, 중추신경 장애, 신장.간장.심장 장애, 신경염, 위장장애, 광공포증, 결막염, 피사, 무의식 상태, 얇은 호흡, 청색증, 가사, 혈압강하.<br>-기침,후두염,구토,환각,시각장애,요통,복통,불안,말초부위 냉각,설사.                                                                                                            |

| 유해물질명                | CAS 번호    | 급만성위해                                                 | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------|-----------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Methoxychlor         | 72-43-5   | -섭취, 흡기시 유독, 자극성<br>-가열분해시 유독가스 방출                    | -구토, 경련, 간장상해. 졸음, 두통, 구역질, 설사, 수<br>족마비, 신장장애.<br>-중추신경자극, 흥분, 현기증, 피로, 폐수종, 심장<br>독성, 저온증, 가사.<br>-호흡은 초기에 빠르다가 줄어듬.<br>-만성증세로는 식욕부진, 근육약화, 간장의<br>효소활동 증진.<br>-위장에 자극, 구토, 목에 자극, 무기력,<br>혼돈, 느린 맥박, 호흡기 장애로 사망                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Methyl bromide       | 74-83-9   | -흡기, 섭취, 피부흡수시 유독<br>-취루성, 고농도에서 졸도<br>-가열분해시 유독가스 방출 | -식욕부진, 구역질, 구토, 피부 용식.<br>심한 피부화상, 간장확대, 신장상해,<br>심한 경우 세뇨관 파열.<br>-중추신경장애, 시각장애, 정신혼란,<br>수족마비, 떨림.<br>-급성중독후 폐자극 사망.<br>-만성중독시 중추신경장애로 사망.<br>-피부접촉시 따끔거림, 가려움, 냉기, 홍<br>반, 발포진, 말초신경조직 상해, 피부염<br>-이중상, 현기증, 두통, 경련, 근육경련,<br>치명적 폐수종, 신경 및 위장 장애,<br>피부 염증, 정신적 흥분, 광란, 기관지<br>폐렴, 눈에 상해.<br>-복통, 호흡계, 순환계 장애로 사망.<br>-마취성 사망, 무기력, Romberg 징후,<br>가사상태, 근육약화, 걸음 이상, 고열,<br>신장독성, 말초신경마비, 환각.<br>-Parkinson 징후, 세뇨관 괴사, 황달,<br>혈청내 간장 효소활동 증가, 말더듬,<br>간장 기능 비정상, 빠른 호흡, 기관지<br>폐렴.<br>-점막화상, 염색체 이상, 기침, 흉부통,<br>무의식 상태, 요통, 수족 떨림, 무기력,<br>결막염, 건성 가려운 피부염.<br>-눈 자극 및 눈물분비, 일시적 시각<br>장애, 무감각, 동공에 수종 및 출혈.<br>-졸음, 소화장애, 안정성 상실, 난청,<br>영구적 뇌 장애, 무뇨증, 혈압강하,<br>괴사 등 다중 출혈. |
| Methyl t-butyl ether | 1634-04-4 | -가열분해시 맵고 자극성인 가스<br>방출                               | -인체 구강 섭취시 보고 없음.<br>-동물실험시, 일반 마취후 구역질,<br>구토 및 진정작용, 비정상 간장기능, 휘발유<br>-MTBE 복용후 폐렴.<br>-동물 흡기시, 마취성. 만성적 흡기시<br>기관지 및 비강 염증. 호흡장애.<br>-토끼실험시 72시간 계속 결막염, 각막 불투<br>명.<br>-졸음, 구토, 구역질.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

| 유해물질명               | CAS 번호  | 급만성위해                                                    | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------|---------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Methyl chloride     | 74-87-3 | -피부로 흡수가능한 가스<br>-독성,자극성이며 가열분해시 유독 가스 방출                | -구역질,현기증,시력장애,구토,신장, 간장 장애.<br>-동상,눈에 장애,걸음걸이 이상,언행 어려움,두통,가사,중추신경 이상, 골수이상.<br>-허약,경련,졸음,복통,지각이상,정신이상,근육 이상,폐수종.<br>-운동실조증,간질성경련,빈박,호흡 곤란,신경질,불면,기억력 상실,식욕 부진. 위장통,시각장애,정신이상, 가사 및 사망,마취현상,팔꿈질,환각, 급성 신장염,빈혈,심장이상,마취 및 폐,내장에 출혈.<br>-피로,식욕상실,근육약화,정신장애, 설사,혈액 이상,언행 이상,이중상, 졸음,마비,기억 상실,청색증,요통, 뇌수종.<br>-피부,눈에 염증,신경장애,맥박 증가, 취기,떨림,호흡속도 증가.<br>-균형감 상실.     |
| Methyl chloroform   | 71-55-6 | -흡기,섭취,피부흡수시 유독<br>-고농도에서 졸도, 최루성<br>-가열분해시 자극성 독성 가스 방출 | -눈에 자극성,현기증,무의식상태,사망, 점막 및 기관지에 자극성.<br>-반응시간 감소,기민성 상실,운동실조 증,Romberg시험에 양성,설사,호흡기 압박, 구역질.<br>-고농도 흡기시 심장 압박,흡기시 행복감,두통,졸음, 눈,피부에 화상,목에 염증,마취성, 혈압강하,화학적폐렴,출혈을 동반한 출혈.<br>-피부 홍조,중추신경이상,평형상실, 환각,자아인식 왜곡,무기력,위장이상<br>-판단력 상실.<br>-반복된 피부접촉시, 건성 및 갈라지는 피부염, 통증 및 자극성.<br>-호흡곤란, 약 최루성, 불규칙적 심장박동, 무기력 및 가사상태.<br>-고농도시 중추신경장애,뇌출혈.<br>-결막염, 만성노출시 간장,신장 장애. |
| Methyl ethyl ketone | 78-93-3 | -흡기,섭취,피부흡수시 유해<br>-가열분해 자극성 독성가스 방출                     | -눈,피부,상기도에 염증,두통,현기증, 구역질,무기력,피로,호흡기 압박, 설사,구토,위장에 염증,무의식,코,목에 염증,시력약화,약한 요통,괴사.<br>-중추신경 영향,점막 자극.<br>-반복 노출시 영구적 뇌 및 신경장애, 눈 접촉시 결막 충혈, 각막손상, 피부염                                                                                                                                                                                                           |
| Methylhydrazine     | 60-34-4 | -흡기시 독성, 심한 자극성                                          | -노출시 떨림, 경련, 피부,눈,입,기관지,위장에 염증, 호흡기질환, 피부,눈에 화상, 출혈성 빈혈, 구토, 설사, 청색증, 운동실조증                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

| 유해물질명                                | CAS 번호   | 급만성위해                                                               | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Methyl iodide                        | 74-88-4  | -자극성이며, 흡기 및 섭취시 독성                                                 | -심한 피사현상, 급성노출시 폐에 염증, 피부 접촉시 수포성 화상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Methyl isobutyl ketone               | 108-10-1 | -자극성이며 고농도시 마취성<br>-피부에 쉽게 흡수되며, 가열분해시 유독가스 방출                      | -피부,눈,점막의 염증,비강 경로 및 목에 염증,기관지 자극,위장염.<br>-현기증,무의식,허약,두통,구역질,구토, 졸도.<br>-식욕 상실,설사,고농도시 중추신경 장애,장기 피부접촉시 건성피부, 눈 상해.                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Methyl isocyanate                    | 624-83-9 | -자극성이며, 감광제, 흡기 및 피부 흡수시 유독<br>-휘발성이 크며, 최루성, 가열분해시 독성가스 발생         | -눈,코,목,피부,점막에 자극성,폐수종, 분비물과 함께 기침, 가슴 통증, 천식, 피부, 눈 상해,폐 상해,숨이 가쁨, 피부 홍반,후각신경 변화.                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Methyl methacrylate                  | 80-62-6  | -최루성, 자극성, 감광성<br>-가열분해시 매운연기, 자극성 혼연, 독성가스 방출                      | -저혈압,현기증,호흡곤란,구역질,구토.<br>-두통,말초부위 통증,극도의 피로,수면장애,기억상실,졸도,피부접촉시 두드러기,중추신경 영향,접촉성 피부염,피부 및 점막 민감성.<br>-눈,코,목,기관지에 염증.<br>-졸도,각막상해,무의식상태,위장장애, 졸림,식욕부진,피부발진.                                                                                                                                                                                                                        |
| 4,4'-Methylene bis(2-chloro aniline) | 101-14-4 | -자극성이며, 피부로 흡수가능<br>-동물실험에서 발암성<br>-가열분해시 HCl등 유독가스 방출              | -청색증, 혈뇨증,신장자극<br>-청회색 피부<br>-만성노출시 약 방광염(cystitis)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Methylene chloride                   | 75-09-2  | -모든 경로에 대해 위해, 자극성, 피부로 쉽게 흡수<br>-가열분해시 Cl, HCl, Phosgene 등 유독가스 방출 | -두통,구역질,피부,눈에 자극성.<br>-중추신경 장애, 폐수종, 출혈, 졸도, 일시적 신경장애,혈정의 빌리루빈 증가,소변에 formic acid농도 증가, 낙태위험성,혈관 출혈,고통적 자극에 둔감, 느린 호흡, 홍반, 물집, 고통스런 관절, 말초부위의 부음, 정신장애, 당뇨병, 피부발진, 호흡성 폐렴, 혈뇨증.<br>-혈액의 산도 감소,위장 상해,상기도 감염,부자연스런 걸음걸이,무감각, 환각.<br>-건성 피부염, 피부화상,가사상태, 사망,현기증,취기,허약,구토,졸림, 무기력,피로,요통,간장장애,마취현상<br>-피부홍조,혈액질환,맥박의 증가,소화장애,청각 및 시각 장애,식욕부진, 수종,위장출혈,신장,폐상해,각막상해, 복통,침선종양,청색증,경련,환각. |
| Methylene diphenyl diisocyanate      | 101-68-8 | -자극성이며 섭취시 독성<br>-가열분해시 독성, 자극성 증기 방출                               | -눈,피부에 국소 염증, 호흡곤란, 가슴답답함, 폐기능 감소                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

| 유해물질명                      | CAS 번호     | 급만성위해                                                  | 증상                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------|------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4,4'-Methylene dianiline   | 101-77-9   | -자극성이며, 흡기,섭취,피부접촉시 유해<br>-가열분해시 HCN, Aniline등 유독가스 방출 | -간염,부식성 물질,고열 및 오한,황달, 담즙울체,담염,복통,허약,구역질, 구토,식욕부진.<br>-분진의 흡기시 간장피해,눈 접촉시 화상,가려움,눈물 (4ppm).<br>-피부접촉시 홍조,부종,알레르기성 피부염,발진,가려움,수족 부음.<br>-심장 질환,신장장애,안구 맥락막의 흑색종,폐기능 장애,각막 화상.<br>-피부.기관지 염증,혈액 및 이자 상해 각막염.                                              |
| Naphthalene                | 91-20-3    | -섭취,흡기시 유독하며 피부흡수시 유독하며 자극성<br>-가열분해시 유독가스 방출          | -피부,눈,점막,기관지에 자극성.<br>-구역질,두통,구토,땀분비,혈뇨증,고열 빈혈,간장피사,경련,가사상태,피부염.<br>-피부의 가려움,홍반,갈라짐.불쾌감, 복통,방광에 염증,혈관출혈,백내장.<br>-알레르기성 피부반응,피로,소변시 통증,황달,설사,결막염,흑색 소변, 간장,신장 상해,빈번한 소변,시신경염,각막상해,시각장애,현기증,무뇨증,청색증, 신장세뇨관 막힘                                             |
| Nickel                     | 7440-02-0  | -동물실험시 발암성                                             | -분말에 노출시 재채기, 기침, 호흡부족, 구강,목,가슴에 통증                                                                                                                                                                                                                     |
| Nickel cyanide             | 557-19-7   | -매우 독성이 큼                                              | -                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Nickel oxide               | 1313-99-1  | -자극성이며, 동물실험시 발암성<br>-가열분해시 유독가스 방출                    | -피부에 민감하며, 가려운 피부염<br>-눈,피부,상기도에 염증, 결막염<br>-천식, 폐섬유증, 후두암<br>-개실험시 경련, 내장장애, 질식사                                                                                                                                                                       |
| Nickel subsulfide          | 12035-72-2 | -동물실험시 발암성, 가열분해시 황산화물 등 유독가스 방출                       | -피부에 민감하며, 피부염 야기.<br>-흡기시 천식,폐섬유증,폐수종,폐렴.<br>-인체에 폐암,비암.<br>-개 실험시 고농도에서 내장장애, 경련, 질식사.                                                                                                                                                                |
| Nickel sulfate             | 7786-81-4  | -가열분해시 독성물질 방출                                         | -피부,눈에 자극성이며, 피부염 야기<br>-섭취시 구역질, 구토, 설사, 걸음걸이 이상                                                                                                                                                                                                       |
| Nickel sulfate hexahydrate | 10101-97-0 | -섭취,흡기시 유독<br>-자극성이며 가열분해시 유독가스 방출                     | -피부,눈,기관지 염증,피부 반응성, 피부염,손에 화상감 및 가려움,홍반, 만성적인 경우,피부에 반점.<br>-설사,알레르기성 피부발진,기침,목에 통증,호흡곤란,위장염증,복통,눈상해,폐 및 비강 상해,간장,신장상해<br>-구역질,구토,중추신경 장애,심장약화, 구강 및 목에 타는 듯한 고통,출혈, 혈뇨,무뇨,황달,저혈압,경련,고열<br>-폐섬유증,폐수종,폐렴.<br>-동물실험시(양) 먹이에 섞여 먹일때, 실명,주사시 위장염,마비,경련,사망. |

| 유해물질명                    | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                 | 증상                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nitrobenzene             | 98-95-3  | -피부를 통해 쉽게 흡수되며, 접촉 시 자극성, 증기는 독성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                   | -눈,피부,점막에 염증. 두통,식욕부진, 입술,코,콧바에 청색증,피부염,빈혈, 구역질,경련,중추신경장애.<br>-2ml섭취시 사망, 쇼크,무기력,가사, 불안정한 걸음,요통,호흡곤란,호흡기 장애,심장압박,저혈압,맥박 변화, 피부 온도변화, 순환기 질환,적혈구 상해,빈혈,황달,적갈색 오줌,검은색 혀,시각장애.<br>-만성노출시 출혈성 빈혈, 피로,방광 압박, 말초신경염, 체중감소. |
| 4-Nitrobiphenyl          | 92-93-3  | -복막 경유시 독성, 섭취시 약독성<br>-인체 발암성, 태아 기형성, 종양성, 돌연변이성<br>-가열분해시 유독가스 방출<br>-방광 및 혈액에 치명적 | -두통, 무기력, 현기증, 호흡곤란, 운동실조증, 허약, 요도 통증, 출혈성 방광염                                                                                                                                                                       |
| 4-Nitrophenol            | 100-02-7 | -소화, 흡기, 피부흡수시 독성<br>-가열분해시 자극성 및 용식                                                  | -피부,눈,코,목에 자극성,두통,의식 상실,졸음,구역질,청색증,간장,신장 상해,중추신경장애,호흡곤란,땀,목이 건조,근육약화,피로,무기력,복통,각막상해,저 체온.                                                                                                                            |
| 2-Nitropropane           | 79-46-9  | -자극성                                                                                  | -피부,눈,점막,상기도에 염증<br>-두통, 현기증, 구역질, 설사, 구토, 식욕감소, 간세포 암, 간장,신장 상해, 청색증, 폐수종                                                                                                                                           |
| N-Nitroso-N-methylurea   | 684-93-5 | -자극성이며 피부접촉시 및 섭취시 유독<br>-가열분해시 유독가스 방출<br>-분해산물은 폭발성                                 | -구역질,구토,식도 통증,설사,백혈병<br>-피부발진, 동물에 노출시 생식장애, 간장장애, 림프선장애, 조직장애, 이자상해, 당뇨증<br>-눈접촉시 망막손상,색소손상,백내장                                                                                                                     |
| N-Nitrosodime- thylamine | 62-75-9  | -눈,피부접촉시 및 흡기, 섭취시 유독<br>-가열분해시 유독가스 방출                                               | -두통, 발열, 허약, 구역질, 간장상해, 구토, 복통, 설사, 위장출혈, 황달, 腹水                                                                                                                                                                     |
| N-Nitrosomor- pholine    | 59-89-2  | -가열분해시 유독가스 방출                                                                        | -                                                                                                                                                                                                                    |
| Parathion                | 56-38-2  | -섭취, 흡기, 피부 및 눈 접촉시 치명적, 피부를 통해 흡수가능<br>-가열분해시 황화수소 등 유독가스 방출                         | -구역질,구토,설사,타액과다분비, 근육코임,경련,호흡기 장애,가사, 식욕부진,가슴압박,재채기,시각장애, 눈물,콧물,두통,복부압박,현기증, 무기력,말더듬,느린 심장박동,청색증<br>-땀,혼돈,눈에 통증,허약,근육약화.<br>-폐수종,힘든 호흡,신경질,입에 거품, 과다 기관지 분비물,근육마비,사망.<br>-마취성, 신장,방광에 영향.<br>-시력감소,시각장애.             |

| 유해물질명                       | CAS 번호   | 급만성위해                                                                    | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pentachloro<br>nitrobenzene | 82-68-8  | -섭취, 흡기 및 피부흡수시 유해<br>-자극성이며 가열분해시 염소,<br>HCl, phosgene 등 독성가스 방출        | -피부,눈에 자극성이며,홍반,가려움,<br>수종 및 소포진, 피부 민감성.<br>-눈 접촉시 결막염 및 각막 상해.<br>-간장,신장 상해 및 구토.<br>-중추신경장애,설사,지각이상,홍분,<br>무기력,피로,경련,가사상태,폐수종,<br>저체온,간장,신장,심장에 독성.<br>-호흡은 초기 증가후 감소.<br>-만성증세로는 두통,식욕부진,근육약화,미세<br>한 떨림,정신산란.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Pentachloro-<br>phenol      | 87-86-5  | -섭취, 흡기, 피부흡수시 치명적.<br>-자극성이며 피부흡수 용이<br>-가열분해시 HCl, 염화탄화수소 등<br>유독가스 방출 | -노출시, 근육약화,무의식,목에 염증,<br>재채기,기침,식욕감소,체중감소,땀<br>분비,두통,현기증,구역질,구토,호흡<br>곤란,가슴 통증,기관지 염증.<br>-더운 날씨때 더욱 치명적.<br>-복통, 갈증 및 사망.<br>-섭취시 호흡곤란,혈압감소,발열,장<br>(bowel)활동 증가,폐,신장,간장상해,<br>피부 및 결막에 자극,표피의 박피,<br>순환계 및 시각 장애,탈수,경련,염소<br>좌창.<br>-아동에게 홍분감, 홍조 등.<br>-빈박,간비대,단백뇨,고질소혈증,무기<br>력,폐렴,기관지염,형성불능성 빈혈.<br>-피부염,눈에 자극,영구 각막상해,코<br>및 인두에 염증,위장장애,뇌수종,<br>-Hodgkin씨 질환.                                                                                                                                                                                                                                 |
| Phenol                      | 108-95-2 | -섭취, 흡기 및 피부흡수시 치명적<br>-자극성이며 용식성<br>-가열분해시 독성가스 방출                      | -피부,눈,코,목에 염증,실명,두통,<br>현기증,식욕부진,복통,피부색소과피,피부화<br>상,구토,설사,음식 삼키기곤란,<br>근육약화,무의식,가사상태,사망.<br>-심장상해,중추신경장애,호흡기 압박,<br>기관지,구강,위장에 염증,무기력,<br>황달,호흡부족,방광상해,심장압박,<br>-조직,눈에 화상,불규칙한 호흡, 피부,<br>눈에 용식, 시력장애.<br>-간장,신장상해. 구역질,순환계 마비,<br>급속호흡,마비,경련,녹색 소변, 구강,<br>위장관의 괴사, 황달, 점막의 괴사,<br>뇌수종,방광괴사,홍반,폐렴 후 폐수종,땀 분<br>비,갈증,과다 행동,혈압강화,과호흡,적혈구<br>파괴,무뇨증,중추신경<br>장애,각종 눈질환,피부괴사,식도종양<br>후두수종,얼굴,입,식도 괴사,저체온,<br>심장압박,입,코 등에 거품,환청,불규칙하고<br>약한 맥박,저혈압,얇은 호흡.<br>-청색증,기관지내水泡音,발열,경련,<br>소화장애,식욕부진,허약,요통,정신<br>장애,탈저,기관지 및 후두 수종,<br>화학적 폐렴,피부염,기침 등.<br>-이차,지라,폐에 상해,호흡곤란,피부<br>발진,점막 염증,체중감소,근육통,<br>결막에 부기. |

| 유해물질명                     | CAS 번호    | 급만성위해                                                                                                                                                                                                                 | 증상                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| p-Phenylene diamine       | 106-50-3  | -자극성이며, 섭취 또는 흡기시 유독                                                                                                                                                                                                  | -각결막염, 비염, 천식, 얼굴,목,팔 습진, 대적혈구성 빈혈, 저색소성 빈혈                                                                                                                                                                      |
| Phosgene                  | 75-44-5   | -모든 노출경로에 대해 독성<br>-가열분해시 또는 물, 증기에 접촉시 유해 부식성 혼연방출                                                                                                                                                                   | -눈,목에 화상, 호흡부족, 가슴에 통증, 가슴에서 수포음, 폐수종, 폐렴, 사망                                                                                                                                                                    |
| Phosphine                 | 7803-51-2 | -매우 독성이 큼                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                                                                                                                                                |
| Phosphorus<br>(白磷의 경우)    | 7723-14-0 | -백인(황인)은 섭취시 인체 독성.<br>-땀, 구역질, 설사, 청색증 및 심근증.<br>-간장에 급성영향, 눈에 상해.<br>-흡기시 동공축소(myosis)를 동반한 광공포증, 망막출혈, 시신경염.<br>-흡기 및 섭취시 만성노출로 빈혈, 위장장애, 뼈의 부서짐, 턱의 괴사<br>-가열분해시, POx 등 유독가스 방출                                   | -눈,기관지 염증, 복통, 구역질, 황달, 빈혈, 만성적 무기력, 치통, 타액과다 분비, 턱에 통증 및 부기, 피부,눈에 화상증세                                                                                                                                         |
| Phthalic anhydride        | 85-44-9   | -심한 자극성이며, 젖은 표면에서 심화<br>-가열분해시 유독가스 방출<br>-피부에 쉽게 흡수됨                                                                                                                                                                | -눈,피부,점막,상기도에 자극성<br>-분진의 흡기시 기침과 재채기<br>-코피, 천식, 기관지염, 화상, 피부발진, 피부염, 결막염, 만성적 눈에 자극<br>-피부흡수시 청색증<br>-간장,신장에 상해, 폐에 자극성, 코,눈에 화상, 위장장애, 피부에 민감.                                                                |
| Polychlorinated biphenyls | 1336-36-3 | -섭취시 독성, 기타 경로에도 독약.<br>-인체 발암성, 종양성.<br>-피부 및 간장에 주 영향.<br>-염소함량이 클수록 독성이 더 큼.<br>-산화물은 비산화물보다 독성이 더 큼.<br>-가열분해시 Cl <sub>2</sub> 등 유독가스 방출.<br>-Yusho 질환 (1968).<br>-고농도 PCB 노출시, 신생아 체중 감소.<br>-동물에 발암성, 쥐의 간에 종양. | -구역질,구토,체중감소,황달,수종,복통,간장상해로 가사상태 및 사망<br>-1968년 일본 Yusho 사건시 15,000 명 상해 (1500-2000ppm 쉘 복용).<br>5-6개월후,구역질,무기력, 피부,손톱에 갈색소,얼굴에 부종,눈꺼풀에 부기, 치즈 같은 눈곱,위장장애,황달.<br>태아의 경우 체중감소, 피부변색, 사산.<br>-시각장애,난청,사지 무감각,설사,간염 |

| 유해물질명               | CAS 번호    | 급만성위해                                                                                      | 증상                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anthracene          | 120-12-7  | -섭취시 자극성이며 독성                                                                              | -섭취시 눈,호흡기,위장에 자극성<br>-장기 접촉시 피부에 색소침착, 피부암                                                                                                                                                                                    |
| Benzo(a)pyrene      | 50-32-8   | -섭취,흡기시 유해, 자극성이며, 가열분해시 매운연기 등 유해가스 방출                                                    | -점막에 자극성, 피부염, 기관지염, 기침, 결막염, 광민감성, 폐수종, 백혈병<br>-피부접촉시 홍반, 색소침착, 박리, 사마귀형성, 가려움, 눈가장자리에 습진, 각막표피용식<br>-만성노출시 각막 탈색, 눈가에 홍반, 피부발진, 빈혈                                                                                           |
| Chrysene            | 218-01-9  | -실험실상 피부접촉시 발암성, 태아 기형성, 종양성, 돌연변이성<br>-가열분해시 매운연기 방출<br>-연한 자극성                           | -                                                                                                                                                                                                                              |
| Phenanthrene        | 85-01-8   | -자극성이며 가열분해시 매운가스 방출                                                                       | -피부에 민감하며, 피부염, 기관지염, 기침, 호흡곤란, 기관지 종양, 신장에 종양, 피부염증, 기관지 염증                                                                                                                                                                   |
| Pyrene              | 129-00-0  | -피부에 흡수되며, 가열분해시 매운연기 방출                                                                   | -쥐에 대해 흡기시 간장,폐,내장에 병리적 변화<br>-10일간 피부흡수시 체중감소, 간장변화<br>-30일간 실험시 피부염                                                                                                                                                          |
| 1,3-Propane sultone | 1120-71-4 | -피하경로에 독성, 피부접촉시 약독성<br>-실험실 발암성, 태아종양성, 종양성, 기형성, 돌연변이성, 인체 뇌압, 피부에 자극성<br>-가열분해시 유독가스 방출 | -                                                                                                                                                                                                                              |
| β-Propiolactone     | 57-57-8   | -흡기, 섭취, 피부흡수시 유독<br>-심한 자극성, 용식성<br>-동물 발암성, 인체 발암성<br>-가열분해시 매운 연기방출                     | -피부,눈,호흡기에 심한 자극성.<br>-점막,상기도,눈,피부 조직의 용식성 및 파괴.<br>-흡기시 경련,염증,후두수종 및 폐수종,화학적 폐렴. 피부접촉시 물집,홍반.<br>-눈 접촉시 눈물, 흡기시 코,목에 자극, 섭취시 입,위에 화상.<br>-동물실험시 피부접촉 경우 홍반, 털 빠짐. 눈 접촉시 통증,각막 상해, 동공확대,눈꺼풀 부기,결막 수종, 간장괴사,신장장애,사망,호흡곤란, 경련 등. |

| 유해물질명                | CAS 번호   | 급만성위해                                                                                          | 증상                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Propionaldehyde      | 123-38-6 | -독성이며 자극성이고 가열분해시 유독가스 방출                                                                      | -눈,피부,점막,상기도 염증, 피부홍조, 기침, 폐수종, 혼수상태, 구역질, 구토, 설사, 기관계 장애                                                                                                                                          |
| Propoxur             | 114-26-1 | -거의 모든 경로에 대해 독약<br>-흡기시 및 피부접촉시 약한 독성<br>-돌연변이성, 가열분해시 독성가스 방출                                | -Baygon 1. 5                                                                                                                                                                                       |
| Propylene dichloride | 78-87-5  | -섭취, 흡기, 피부흡수시 유독<br>-자극성이며 고농도에서 졸도<br>-가열분해시 유독가스 방출                                         | -피부,눈,호흡기 염증, 코,목,폐점막에 자극성, 피부염, 피부의 홍조<br>-용혈성 빈혈, 신장의 괴사 및 파괴, 간장파괴 및 사망, 심장상해<br>-장기 노출시 구역질, 두통, 구토, 중추신경장애<br>-고농도시 졸도<br>-눈 접촉시 화상, 눈물, 충혈, 눈에 부기, 피부 접촉시 화상 및 부기<br>-흡기시 기침, 콧물, 목에 통증, 현기증 |
| Propylene oxide      | 75-56-9  | -섭취,흡기,피부접촉시 일반 독성<br>-혈액,피부,호흡계에 피해<br>-결막염, 각막 화상, 폐 및 피부에 자극성, 고농도시 중추신경장애, 구토 및 설사, 염색체 변이 | -눈,상기도,폐에 자극성, 피부염증, 물집, 화상, 자극성이며 기침, 호흡곤란, 폐수종, 폐렴, 청색증<br>-고농도에서 두통, 운동실조증, 가상상태<br>-섭취 및 흡기시 구토, 설사, 피부접촉시 피부괴사<br>-동물실험시 위암, 피부염                                                              |
| 1,2-Propylene imine  | 75-55-8  | -섭취,흡기 및 피부접촉시 유독<br>-가열분해시 유독가스 방출                                                            | -눈에 자극성, 코,목에 자극성<br>-흡기시 구역질, 구토, 호흡곤란<br>-피부 및 눈에 화상, 중추신경장애                                                                                                                                     |
| Quinoline            | 91-22-5  | -모든 경로에 대해 독성, 자극성<br>-가열분해시 유독가스 방출                                                           | -피부,눈,점막,상기도에 염증, 망막염, 각막상해, 간장,신장 상해, 구역질, 구토, 위장압박, 발열, 현기증, 불규칙한 빠른 맥박, 코, 목에 염증, 중추신경장애, 시신경에 영향<br>-섭취시 입과 위에 자극성, 졸음, 복통<br>-흡기시, 기침, 호흡부족<br>-피부접촉시 화상, 홍조, 통증, 시력장애<br>-알콜섭취시 독성효과 가증      |
| Quinone              | 106-51-4 | -독성이며 심한 자극성<br>-동물 발암성                                                                        | -피부탈색을 동반한 피부염, 홍반, 피부괴사, 눈에 접촉시 심한 장애, 결막염, 각막에 종양.                                                                                                                                               |

| 유해물질명              | CAS 번호     | 급만성위해                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Radium             | 7440-14-4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-방사독성원소, 흡기, 섭취, 인체노출시 폐암, 뼈에 암, 골염(osteitis), 피부손상, 혈액질환</li> <li>-Ra는 뼈 속의 Ca와 치환되며, 혈액생성기관에 염증</li> <li>-빈혈로 인한 사망, 백혈구 감소증, 백혈병, 폐 섬유증</li> </ul>                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-구역질, 구토, 설사, 내장경련, 타액분비탈수, 피로, 허약, 무감각, 발열, 저혈압,</li> <li>-재생불능성 빈혈(pancytopenia), 출혈, 골수상실</li> <li>-중추신경 질환 : 정신 회미, 졸립, 무기력</li> <li>-인체 노출시 초기의 비치명적 중추신경계상해는 내장 질환이 나타나기 이전에 사라짐.</li> <li>-전신에 노출시, 뇌, 내장, 조혈과정에 증상이 나타남.</li> <li>-내장증세(600-2000 rad), 조혈에 이상(200-1000 rad).</li> <li>-외부노출시 검은 색소침착, 손뼈 괴사, 턱의 괴사.</li> </ul> |
| Radon              | 14859-67-7 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-가스원소의 흡기시 위해, 폐에 침착, 우라늄 광부에게 폐암</li> <li>-인체에 발암성</li> <li>-흡연자에게 폐암위해는 가중됨</li> </ul>                                                                                                                                                                 | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Selenium           | 7782-49-2  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-흡기, 주사시 독약.</li> <li>-실험실 종양성, 태아기형성.</li> <li>-작업장 노출시 초조, 불안, 마늘내, 위장장애, 피부염, 동물실험시 간장상해. 만성적 섭취시(5mg/d) 49% 치사율.</li> <li>-무색소 모발, 말초신경마비, 통증.</li> <li>-식욕부진, 쇠약, 털 빠짐, 관절염</li> <li>-Selenosis 야기 (3.2mg/day).</li> <li>-가열분해시 유독가스 방출.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-눈, 코, 목에 염증, 시각장애, 두통, 오한 및 발열, 호흡곤란, 기관지염, 금속내, 마늘내, 위장장애, 피부염, 눈, 피부에 화상.</li> <li>-동물실험에서 빈혈, 간장, 신장질환.</li> <li>-작업장 노출시, 초조, 불안, 마늘내, 위장장애, 피부염.</li> </ul>                                                                                                                                                                      |
| Selenium disulfide | 7488-56-4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-독성이며 자극성</li> <li>-가열분해시 독성가스 방출</li> </ul>                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>-피부염, 구역질, 피부에 염증, 눈, 점막에 염증, 마늘내, 초조, 무기력, 위장장애, 각막염, 피부에 화상</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Selenium sulfide   | 7446-34-6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-흡기, 섭취시 독성</li> <li>-체내 축적현상, 가열분해시 유독가스 방출</li> </ul>                                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-구토, 식욕부진, 빈혈, 간장의 지방분해</li> <li>-마늘내, 금속내, 허약, 경련, 땀분비</li> <li>-거둬진 노출시 모발 빠짐</li> <li>-각막염 및 염증, 결막염, 피부화상, 피부염, 건조한 모발</li> </ul>                                                                                                                                                                                                  |

| 유해물질명                                | CAS 번호    | 급만성위해                                                                                | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Styrene                              | 100-42-5  | -자극성이며 고농도시 졸도<br>-가열분해시 매운 연기 방출                                                    | -허약, 눈,점막에 염증, 결막염, 중추신경장애, 졸림, 식욕상실, 구역질, 구토, 피부염, 고농도시 졸도                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Styrene oxide                        | 96-09-3   | -용식성이며 화상, 섭취, 흡기, 피부흡수시 독성, 피부에 서서히 흡수<br>-자극성이며 가열분해시 유독가스 방출                      | -피부,눈에 심한 자극성, 조직에 용식성<br>-화상, 점막 및 상기도 염증, 구역질, 구토, 두통, 중추신경장애, 눈에 통증<br>-피부의 갈라짐, 피로, 무기력, 취기, 신경염, 만성노출시 말초신경 마비<br>-동물실험시 심장압박, 신장,간장 손상, 화학적 폐렴                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2,3,7,8-Tetra chlorodibenzo-p-dioxin | 1746-01-6 | -독성, 자극성, 알레르기성, 눈에 염증                                                               | -눈에 염증,알레르기성 피부염,피로, 간장괴사,출혈,림프선 손상,심리적 불안,간장상해, Hodgkin's lymphoma, 지방대사 장애,탄수화물대사 장애, 이자,심장,요도,호흡기 장애.<br>-피부에 기름기,복통,체중감소,두통, 과도한 피로감, 정력상실, 혈중 고 콜레스테롤, 간장에 독성, 면역감소, 사망.<br>-눈,코,목에 화상증세, 두통, 현기증, 구역질, 구토, 가려움, 홍반, 얼굴에 부기, 얼굴,팔, 어깨,목 등에 흑·종기.<br>-자아상실, 근육통,불면, 통증, 간장장애, 감정불안, 출혈성 방광염, 당뇨, 약 섬유증, 사망, 관절통(arthralgias).                                                     |
| 1,1,2,2-Tetra chloroethane           | 79-34-5   | -섭취, 흡기, 피부흡수시 매우 독성이 큼. 모든 경로에 대해 흡수<br>-용식성, 최루성, 자극성<br>-가열분해시 HCl, phosgene 등 방출 | -피부,눈,코,목,점막,기관지에 자극성.<br>-최루성,조직의 용식성.<br>-졸림,두통,황달,복통,경련,피로,변비, 불면,무감각,식욕부진,폐수종,신장염, 요도,신장 상해, 무기력,무의식,중추 신경장애,마취,졸림,환각,간장괴사.<br>-뇌의 변화,말초신경 변화,용혈,타액 분비,불안,피부염,간장상해.<br>-피부염,청색증,사지의 무감각,땀, 간장의 기능저하,불쾌한 구취,정신 혼란,피부발진 및 혈액변화,백혈증.<br>-심장장애,간염,위통,요통,검은색 소변 체중감소,간장에 통증,폐변화,알고 빠른 호흡, 결막염, 극도의 피로, 혈뇨증, 정신장애, 심장의 불규칙.<br>-건조한 피부 및 염증, 심한 병변.<br>-흡기시 타는 느낌, 재채기, 기침, 후두염, 짧은 호흡. |

| 유해물질명                    | CAS 번호    | 급만성위해                                                                           | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tetrachloroeth-ylen      | 127-18-4  | -피부,눈,코,목에 자극성, 최루성<br>-고농도시 졸도, 가열분해시 유독 가스 방출                                 | -피부,눈,코,목에 자극성.<br>-흡기시 현기증,구역질,구토.<br>-고농도시 졸도. 중추신경장애.<br>-간장,신장에 독성, 마취성.<br>-저농도시 두통 및 요통.<br>-무의식,타액분비,금속내,손에 땀.<br>-피부접촉시 화상과 물집,홍반.<br>-말초신경장애,근육약화 및 마비,경련,졸림,<br>피로,시각장애,피부홍반,<br>-간장괴사,상기도 감염,무기력,호흡기<br>압박으로 사망,폐수종,복통,변비.<br>-마취성 사망, 위장에 염증, 기억력 약화, 언<br>행에 이상.                                                                                                    |
| Titanium tetra chloride  | 7550-45-0 | -흡기시 독약, 피부,눈,점막에 용식<br>성 및 자극성<br>-가열분해시 $Cl_2$ 등 유독가스 방출<br>-혼연에 노출시 각막상해     | -눈,점막,피부,호흡기에 염증<br>-인두,기관지 점막에 충혈, 후두, 기관지 상<br>기도에 협착증                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Toluene                  | 108-88-3  | -독성이며 자극성<br>-흡기,섭취,피부흡수시 유독<br>-가열분해시 유독가스 방출                                  | -눈에 자극성이며 눈동자 확대,피로,<br>취기,시각장애,충혈,현기증,두통,구역질,정신<br>혼란,혈액질환,피부염,무기력,환각,지각장애,<br>고농도에서 졸도,<br>중추신경장애,골수이상,빈혈,백혈증,식욕감<br>소,반응시간 감소, 모든 기관에 충혈,심장.<br>간장의 괴사.<br>-간장확대,점상출혈,비응집 혈액,허약,<br>구토,가슴압박,시력장애,경련,알고<br>빠른호흡,마비,무의식,신장.간장상해,피부염<br>증,갈라짐,졸음,초조,복부출혈,사망.<br><br>-심장 압박,불면,걸음걸이 이상,자아<br>상실,홍분,피부 및 수족의 무감각,<br>-높은 소변의 pH,콧물분비,금속내,<br>고농도시 마비,심장에 민감,치명적,<br>폐수종,설사,폐렴,결막염. |
| 2,4-Toluene diamine      | ****      | -눈,피부에 염증, 피부에 흡수<br>-가열분해시 유독가스 방출<br>-암모니아 방출<br>-동물실험시 발암성                   | -피부염, 각막염, 결막염, 안검염<br>-중추신경장애, 간장 장애, 눈에 자극성, 피<br>부에 물집, 구역질, 구토, 황달, 빈혈, 청색<br>증, 가려움, 홍반, 눈물, 피부의 탈색, 신장<br>장애                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 2,4-Toluene diisocyanate | 584-84-9  | -섭취,흡기,피부흡수시 유독<br>-고농도시 조직파괴가 심함<br>-최루성,동물실험시 발암성<br>-가열분해시 HCN 등 유독가스 방<br>출 | -눈,피부,기관지에 염증,기침,재채기<br>폐기능 저하,천식,기관지염,폐수종,<br>구역질,구토,복통,최루성,짧은 호흡,<br>가슴압박,기관지 경련,폐렴.<br>-콧물,목에 통증,설사.                                                                                                                                                                                                                                                                          |

| 유해물질명                            | CAS 번호    | 급만성위해                                                                                                                                          | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2,4-Toluene diisocyanate<br>(계속) |           |                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>-섭취시 위장 염증,호흡곤란 등.</li> <li>-입,위,소화기에 용식성 및 자극성.</li> <li>-두통,불면,눈,피부에 화상,목이 건조, 기억력 감소,집중력 부족,무기력, 후두염,</li> <li>-피부접촉시 홍반,부종 및 물집,발진, 피부염.</li> <li>-고농도시 점막,상기도,눈,피부의 점막 파괴.</li> <li>-눈에 접촉시 각막염, 결막염, 충혈, 부음, 흐린 시야, 광공포증, 안구 통증.</li> </ul>              |
| o-Toluidine                      | 95-53-4   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-흡기,섭취,피부접촉시 유독</li> <li>-자극성으로 인체발암 가능성</li> <li>-가열분해시 유독가스 방출</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>-입술,피부,손톱 등에 청색증.</li> <li>-피부 및 눈에 염증, 두통, 허약, 졸림, 현기증, 혈뇨증.</li> <li>-섭취시 구역질,구토,의식상실,가사, 정신이상,경련,호흡곤란,심리적 불안 간장 및 방광에 염증.</li> <li>-연속적 접촉시 피부의 건조심화, 피부염,눈에 화상.</li> <li>-저농도 흡기시,약한 빈혈,피로,식욕 감소.</li> </ul>                                               |
| Toxaphene                        | 8001-35-2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-섭취,흡기 및 피부접촉시 독성</li> <li>-자극성이며 최루성</li> <li>-가열분해시 유독가스 방출</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>-구역질,정신혼란,수족에 경련,청색증, 눈물, 눈에 통증,두통,요통,복통,설사, 허약,졸림,가사,알레르기성 피부염, 간장상해,중추신경 자극,사망.</li> <li>-타액분비, 수족근육에 경련, 구토, 과도 흥분, 떨림, 호흡곤란, 피부건조 및 홍반</li> </ul>                                                                                                          |
| 1,2,4-Trichloro benzene          | 120-82-1  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-섭취,흡기 및 피부흡수시 유독</li> <li>-피부,눈,폐에 자극성</li> </ul>                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>-피부,눈,점막,상기도에 자극성.</li> <li>-두통,구역질,현기증,위장장애,간장 상해,중추신경자극,피부염,피부화상,졸림,무의식 상태.</li> <li>-피부접촉시 홍반, 눈 접촉시 화상, 가려움, 충혈, 심한 통증.</li> <li>-목,코에 화상,점막에 울혈,목에 통증, 기침,호흡곤란,중추신경에 영향.</li> <li>-장기 과다 노출시 신장장애.</li> <li>-눈 접촉시 결막염.</li> <li>-간장,폐,신장에 영향.</li> </ul> |
| 1,1,2-Trichloro ethane           | 79-00-5   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-섭취,흡기시 독성, 자극성</li> <li>-고농도시 졸도</li> <li>-동물에 발암성</li> <li>-가열분해시 HCl, phosgene 등 독성 혼연 방출</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-피부,눈,코,점막,상기도에 염증</li> <li>-눈상해, 피부갈라짐, 홍반, 중추신경장애, 간장,신장 상해, 피사, 졸림, 무의식, 사망, 두통, 경련, 현기증, 말초신경마비, 마취</li> </ul>                                                                                                                                             |

| 유해물질명                  | CAS 번호   | 급만성위해                                                                      | 증상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trichloro ethylene     | 79-01-6  | -흡기,섭취,피부접촉시 독성<br>-자극성, 피부에 흡수가능<br>-가열분해시 염소, HCl, phosgene 등 유독가스 방출    | -두통,현기증,구역질,눈에 염증,무의식, 졸도,졸립,환각,인식의 왜곡,위장 변화,황달,마취,간장 및 기타 기관에 상해,심장질환으로 사망<br>-중추신경장애,신장상해,피부염,구토. 흥분,불규칙한 맥박,폐수종,체중감소 무기력,시력장애,관절에 통증.<br>-고혈압,호흡계 질환,가사상태,정신 이상,위장장애.<br>-계속된 피부접촉시 탈지방,거칠어짐, 홍반, 피부의 2차감염.<br>-눈에 접촉시 신경마비,괴사,시각장애<br>-폐,위장에 염증,설사,건망증,취기, 무감각증,말초신경 쇠약,정신이상, 신경장애.<br>-눈에 화상 및 상해,요통,경련,불규칙한 심장박동,시각이상,말초신경마비,<br>-피부에 화상감,귀울림,운동실조증, 경련,결막염,코.목에 염증,복통, 기억상실,호흡곤란,눈물.<br>-빈번한 호흡,수족마비,평형감 상실, 눈에 통증,얇은 호흡,느린 심장박동, 심장독성,실명,습진,화상.<br>-중추신경상해,집중력 감퇴,홍반. |
| 2,4,5-Trichlorophenol  | 95-95-4  | -독성, 용식성, 심한 자극성<br>-모든 노출경로에 대해 유독<br>-가열분해시 유독가스 방출<br>-인체발암성에 대한 한정된 자료 | -피부,눈,코,목에 염증. 분진에 의해 눈이 붓고 상해.<br>-눈에 접촉시 결막염, 약한 각막상해.<br>-경련과 귀오름.<br>-폐,신장,간장에 상해. 호흡속도 감소, 소변량 감소,발열,장활동 증진.<br>-피부의 연화 및 백화,통증,두통, 현기증,빠르고 힘든 호흡,허약,내장 상해,소화질환,신경장애,피부발진, 피부염,간장 및 신장 상해.                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 2,4,6-Trichloro phenol | 88-06-2  | -독성이며 심한 자극성<br>-모든 노출경로에 대해 유독하며 피부에 흡수가능<br>-가열분해시 HCl등 유독가스 방출          | -피부,눈,코,목,점막,상기도에 염증.<br>-피부접촉시 홍반,수종,피부염,화상<br>-각막상해 및 홍채염,눈물,호흡속도 감소,소변량 감소,발열,신장질환, 경련,폐질환,간장 및 신장질환.<br>-무통 피부 홍반,용식,과다한 땀분비, 갈증,구역질,구토,설사,청색증,고체온, 피부발진,면역에 영향,혈압강하,과다 호흡,복통,출혈,가사상태,폐렴 후 폐수종,빠른 호흡,황달,무뇨증.<br>-조직의 심한 상해.                                                                                                                                                                                                                                               |
| Triethylamine          | 121-44-8 | -독성, 심한 자극성, 눈물분비                                                          | -눈,점막에 염증, 눈에 자극, 각막수종, 폐에 염증<br>-동물실험시 심장, 간장, 신장 상해                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| 유해물질명                      | CAS 번호    | 급만성위해                                                       | 증상                                                                                                                                                              |
|----------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trifluralin                | 1582-09-8 | -독성이며, 자극성<br>-실험실 발암성<br>-가열분해시 HF 등 유독가스 방출,<br>피부,눈에 자극성 | -눈,피부,위장,호흡기에 자극성<br>-경련 및 가사상태                                                                                                                                 |
| 2,2,4-Trimethyl<br>pentane | 540-84-1  | -고농도시 졸도<br>-가열분해시 매운연기 및 자극성<br>훈연 방출                      | -                                                                                                                                                               |
| Vinyl acetate              | 108-05-4  | -독성이며 가열분해시 졸도                                              | -                                                                                                                                                               |
| Vinyl bromide              | 593-60-2  | -독성이며 자극성, 가열분해시 유<br>독가스 방출                                | -현기증, 졸도, 피부화상 및 염증<br>-점막에 염증, 폐에 염증, 간장 및 신장 상<br>해, 졸음, 마취 및 사망                                                                                              |
| Vinyl chloride             | 75-01-4   | -독성이며 자극성                                                   | -고농도 흡기시 졸도, 치명적임.<br>-결막염, 각막 화상, 피부염, 두통, 현기증                                                                                                                 |
| Vinylidene<br>chloride     | 75-35-4   | -독성, 자극성, 최루성<br>-고농도시 졸도<br>-가열분해시 독성가스 방출                 | -피부,점막에 자극성, 고농도에서 졸도, 중추<br>신경장애, 현기증, 호흡곤란, 피부 및 눈에<br>화상, 최루성                                                                                                |
| Xylenes                    | 1330-20-7 | -자극성이며 섭취시 독성<br>-가열분해시 유독가스 방출<br>-고농도에서 졸도                | -눈,코,목에 염증,피부염,화학적 폐렴,<br>폐수종,출혈,중추신경 장애,현기증,<br>졸음,무의식,구역질,구토,복통.<br>-고농도시 졸도, 두통,피로,권태,무기<br>력,위장장애,눈에 상해,점막상해,<br>타액분비,토혈,언어 장애,가사,경련,<br>얕은 호흡,마비,경련,호린 시야. |
| o-Xylene                   | 95-47-6   | -자극성이며 섭취시 유독<br>-고농도시 졸도                                   | -두통, 현기증, 피부 및 눈에 염증<br>-심한 기침, 호흡기 압박, 폐수종, 구역질, 구<br>토, 경련, 가사, 간장 및 신장 장애                                                                                    |
| m-Xylene                   | 108-38-3  | -자극성이며, 섭취시 유독                                              | -두통, 현기증, 피부 및 눈에 염증<br>-심한 기침, 호흡기 압박, 폐수종, 구역질, 구<br>토, 경련, 가사, 간장 및 신장 장애                                                                                    |
| p-Xylene                   | 106-42-3  | -자극성이며 섭취시 유독<br>-고농도시 졸도                                   | -두통, 현기증, 피부 및 눈에 염증<br>-심한 기침, 호흡기 압박, 폐수종, 구역질, 구<br>토, 경련, 가사, 간장 및 신장 장애                                                                                    |

자료: Keith & Walker, 1993.