

총 설

환경 오염 물질과 암 발생의 최근 동향

김남득[†] · 임은옥

부산대학교 약학대학 약학과

Current Overview of Environmental Carcinogens and Cancer

Nam-Deuk Kim[†] and Eun-Ok Im

Department of Pharmacy, College of Pharmacy, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea

서 론

최근 지구 환경은 사람들에 의해 심각할 정도로 파괴되어 산림 자원, 농경지, 음용수 등이 급속히 고갈되어 가고 있다. 현재의 추세대로 인구 증가가 계속된다면 21세기말에는 약 300억이 되어 지구 자원이 한계점에 이를 것으로 예상되고 있고, 현재 식량 증산과 노동력 절감을 위한 무절제한 농약(살충제) 살포는 자연 파괴와 종국에는 인간에게도 그 해독이 돌아왔으며 산업화에 따른 대기 중 탄산가스는 지구 복사열의 방출을 감소시켜 일종의 온실 효과를 초래하여 평균 기온을 상승시켰는데, 이는 다시 생태계의 변화를 가져왔고 극지방의 얼음을 녹여 바다의 수면을 높일 위험성마저 있다. 또한 대기권의 오존층이 파괴되어 태양의 자외선이 차단되지 않아 돌연변이 및 피부암의 발생률이 높아질 위험이 있다.

환경 질환이란 유전 질환과는 대조되는 개념으로, 실제로 유전인자에 의해 발병되는 질환을 제외한 모든 질환이 이에 속한다. 환경 질환의 유형은 형성 집단의 구성 인구나 환경에 따라 다르나 식량, 대기, 토지, 음용수 같은 가장 삶에 기본적인 환경 요소의 화학적 성상을 파악함으로써 대체적인 환경 질환 결정 요인을 알 수 있다.

발암 환경을 유발시키는 직접적인 원인이 되는 것은 공업 발전에 따른 수많은 폐기물들인데 예를 들면, 화공 및 의약품, 분해되지 않는 농약, 연구실 및 실험실의 폐수, 자동차 매연, 프레온 가스, 각종 쓰레기, 핵 폐기물 등등이다. 이들은 자연계의 자정 능력을 훨씬 초과하여 대지, 지하수, 하천, 호수, 해양, 대기권에 이르기까지 광범위하게 영향을 미치고 있다.¹⁾ 매년 0.002%씩 누적되고 있는 가스 방출로 인한 '온실효과', 남극 상공에 '구멍난 오존층', 1980년 세계 자연보존 연맹이 제출한 보고서에 나타난 지구상의 25,000여종의 식물과 1,000여종 또는 아종의 '취추동물의 멸종 위기', 벌채와 원주민의 경작에 따른 매년 76,000km²의 '열대림의 감소', 미개발 아프리카에 매년 50km²씩 들어가는 '사하라 사막의 확장', 그리고 원인을 정확히 모르는 '질병과 기후 변화' 등과 같은 사실은 지구의 장래를 염려하는 많은 사람들을 공포에 짓눌리게 한다.

제2차 세계대전 이전에는 종양 질환(악성 종양을 암이라고 칭칭 : 따라서 종양은 양성 및 악성을 포함하는 용어로 사용)이 인간의 노화에 동반되어 발생하는 것으로 여겼으나 의학과 관련 학문의 눈부신 발전에 힘입어 현재는 모든 종양 질환의 80% 이상이 환경 요인에 의해 발생된다는 것이 인정되고 있다. 암에 관한 연구는 암 역학(cancer epide-

[†] Corresponding author

Table 1. Relative cancer incidence by site and sex of korean (1993)

Rating	Male		Female	
	Site	%	Site	%
1	Stomach	27.5	Cervix uteri	22.3
2	Lung	16.4	Stomach	16.8
3	Liver	15.0	Breast	12.3
4	Colon & Rectum	7.2	Colon & Rectum	7.7
5	Esophagus	3.3	Lung	5.8
6	Bladder	3.2	Liver	5.1
7	Biliary System	3.0	Thyroid	4.9
8	Hemopoietic System	2.7	Biliary System	3.2
9	Larynx	2.2	Ovary	2.9
10	Pancreas	2.1	Hemopoietic System	2.7
11	Others	16.5	Others	16.3

miology)에 의해 유발되어지는데 대개 암의 발생에 관한 인과적 관계를 추구함으로써 이루어진다.

암 통계는 흔히 인구 10만명(또는 100만명) 당의 비율로 표현되는 발생률, 유병률, 사망률 등이다. 모든 부위의 종양 발생에 있어서 우리 나라는 1992년 기준으로 연간 인구 10만명 당 110.9명이며 연간 5~6만명의 새로운 환자가 발생된다. 원발 부위별 상대 빈도를 보면 Table 1과 같다.

종양의 발생 요인은 매우 많으며 또한 어느 하나의 독립된 요인이 있다고 볼 수 없을 정도로 복잡한 발생 기전을 가지는 것으로 알려져 있다. 그러나 유전적 소인, 인종과 지리적적 요인, 연령, 암유전자의 활성화 및 종양 억제 유전자의 결손에 의한 분자생물학적 요인, 방사선, 화학 물질, 균류 독성 물질(Aflatoxin B₁), 호르몬의 과잉 혹은 부조화, 바이러스 등이 관여하는 것으로 알려져 있다. 본문에서는 환경 오염 물질들에 의한 암과 이러한 암 발생으로부터 벗어날 수 있는 사회적 차원의 대책에 대해 간략히 살펴보고 하겠다.

환경 오염 물질과 발암

앞에서 열거한 여러 가지 발암 요인 중 환경 오염 물질들이 주요한 요인으로 많이 열거됨을 알 수 있다. Table 2는 국제암연구협회(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 평가한 인체 발암 인자들의 유형이다.²⁾

인체 발암 인자는 실제 인체에 암을 일으킨다는 명백한 보고가 있는 것이다. 인체 발암 인자 가능성이 높다는 물질은 것은 인체 발암 증거가 제한적으로 있으나 동물 실험 결과가 충분히 있는 경우이다. 인체 발암 가능성이 있는 물질은 인체에 대한 연구 결과는 많지 않지만 동물 실험 결과가 많은 경우이다. 나머지의 경우는 인체와 연관시킬 수 없는 경우의 화학 물질들이다.

Table 2. International agency for research on cancer evaluation of human carcinogenicity

Rating : Interpretation	Number of Chemicals
1 : Agent(or process) is carcinogenic to human	50
2A : Agent is probably carcinogenic to humans	37
2B : Agent is possibly carcinogenic to humans	159
3 : Agent is not classifiable as to its carcinogenicity to humans	381
4 : Agent is probably not carcinogenic to humans	1

그리고 인체에 암을 일으키는 대표적인 발암 물질들을 열거하면 다음과 같다(Table 3).

Table 3. Examples of environmental human carcinogens³⁾

Acrylonitrile	Coal tar (aromatic hydrocarbons)
Aflatoxin	Cyclophosphamide
4-Amino biphenyl	Diethylstilbestrol (hormone analog)
Arsenic	Leather and wood dust
Asbestos	Mustard gas (alkylating agents)
Benzene	Neoprene
Benzidine	Nickel compounds
Beryllium	Nitrosamines
β-Naphthylamine	Radiation (ionizing and ultraviolet)
BCME	Tobacco smoke
Chromium compounds	Vinyl chloride

이들 물질들에 대해 많은 연구가 되어 있으나 본문에서는 흔히 우리 주위에서 쉽게 접촉할 수 있는 물질들의 발암 기전을 좀 더 자세하게 설명하겠다.

대기 오염 물질들에 의한 발암 기전
자동차 배기 가스

대기 오염의 주역으로 간주되는 디젤 차의 배기가스에 들어 있는 미립자(Diethyl phthalate, DEP)가 폐암을 유발하는 것으로 일본 국립환경연구소 등의 동물실험에서 처음으로 밝혀졌다.⁴⁾ DEP는 교통량이 많은 대도시에서 농도가 높아지면서 도시형 천식의 원인이 되는 것으로 확인된 적이 있다. 일본 국립 환경 연구소, 국립암센터, 및 산업 외대 등 공동 연구팀은 480마리의 실험 쥐를 대상으로 디젤엔진을 가동시켜 모은 DEP를 기관에 주입, 폐조직에 대한 영향을 검토한 결과 주 1회 0.05mg씩 10주간 걸쳐 주입시킨 쥐의 3%가 폐조직에 악성 종양이 발생한 사실을 확인했다.

매연 및 황산화물 등의 대기 오염 물질

중국은 현재 급속한 산업화로 매연과 황산화물 등 대기 오염 물질 배출이 증가해 호흡기 질환이 크게 늘었다고 한다.⁵⁾ 이 보고에 의하면 대기 오염이 폐암, 기관지염, 폐렴과 같은 다른 호흡기 질환의 주요 원인의 하나가 되고 있다면 중국 도시의 폐암 사망률이 지난 88년 10만명 당 18.5명에서 93년 34명으로 증가해 1993년 한해 11만65명이 사망했다고 보도했다.

석면폐증

석면 섬유에 장기간 노출되었을 경우 폐에 섬유화가 생

기는 질환으로서 조선소, 절연체 공장, 건설 공장 등의 근로자에 특히 잘 생기며, 그밖에도 현재 인간 생활과 밀접한 관련이 있는 약 3,000여종의 물질 제조에 쓰이므로 작업 환경 및 도시 환경 어디서나 노출될 수 있는 기회가 있어 질병의 발생에 유의해야 한다. 이 질환은 폐 간질에 미만성 섬유화가 생기고, 또 폐기종, 기관지 확장증 및 폐기능 장애 등이 생긴다. 사인은 대개 심부전이고, 기관지암이나 흉막 중피종과 합병되는 빈도가 높다. 기관지암종은 흡연과 석면이 서로 상승 작용을 일으켜 나타나므로 보통 흡연자가 비 흡연자보다 기관지암종에 걸릴 확률이 10배나 높다고 한다.

나무 가루

나무 가루를 많이 마시게 되는 직업에 종사하는 남성들에게 선암의 발생 위험이 높은 것으로 나타났고, 나무와 관련된 직업에 종사하고 있는 여성에게는 편평세포암이 많이 발생한 것으로 밝혀졌다. 이것은 7개 나라에서 남자 680명, 대조군으로 남자 2,349명, 그리고 여자 250명, 대조군으로 여자 787명을 대상으로 나무 가루와 암과의 관계를 조사한 결과 나타난 것으로 이 결과는 나무의 재질과 나무의 종류에 따라서 어느 정도 차이를 보였다.

흡연과 암 발생

흡연과 폐암과의 관계에 대해서는 많은 연구 보고가 있다. 담배 연기 속에는 polycyclic aromatic hydrocarbons, aromatic amines, phenols, nickel, carbon monoxide, nicotine, nitrosamin 등의 대단히 많은 발암물질과 유해 물질이 들어 있어, 폐기종, 만성 기관지염 같은 만성 폐쇄성 폐질환과 심근경색과 같은 허혈성 심장 질환 등을 유발할 뿐만 아니라, 기관지암을 비롯한 각종 암종(후두암, 구강암, 식도암, 신장암, 방광암, 췌장암 등)을 많이 발생시키며, 임신부 흡연 시 태아에도 심각한 영향을 미쳐 자연 유산, 임신 중 사망, 저체중아의 원인이 된다. 특히 담배로 인한 관상동맥질환은 사망 원인 중 가장 중요한 질환으로 주목되고 있다. 또한 다른 발암물질에 의한 발암 가능성을 배가시킬 수도 있는데, 예로서 석면의 발암 효과를 5배 증가시킬 수 있다. 흡연에 대한 반대 여론 때문에 미국에서는 무연 담배에 대한 선호도가 젊은 청소년층에서 증가하는 추세인데 무연 담배도 장기간 애용할 경우 구강암의 발생 위험도는 현저히 높아지는 것으로 추정된다.

지난 94년 1년 동안 우리 나라에서 폐암으로 사망한 사람은 전국적으로 8천 1백 96명에 이르는 것으로 파악되었

는데 이는 전체 암 사망자 4만 9천 32명의 16.7%로 암 종류별로는 사망자 수 1위인 위암(1만 2천 5백 53명 사망), 2위인 간암(1만 29명 사망)에 이어 3위를 기록하고 있으며, 4위인 대장암(2천 4백 60명 사망)과는 4배의 현격한 차이를 보이고 있다.⁶⁾ 중요한 사실은 감소, 현상유지 추세를 보이고 있는 다른 암들과는 달리 폐암은 꾸준한 증가 추세를 보이고 있다는 점이다. 인구 10만명 당 폐암으로 인한 사망자 수는 90년 14.5명, 91년 15.2명, 92년 17.0명, 93년 17.7명, 94년 19.1명으로 계속 늘고 있다(Table 4). 원인은 흡연이 압도적으로 의학적으로 담배를 피우는 사람은 비흡연자에 비해 폐암에 걸릴 확률이 약 15~64배인 것으로 나타났다. 흡연 외에 폐암의 원인으로 석면, 대기오염, 방사선 노출, 비타민 A 결핍 등이 꼽히고 있으나 그 비중은 극히 미미하다는 것이 전문가들의 지적이다.

비흡연자도 흡연자의 담배 연기에 노출됨으로써 폐암에 걸릴 확률이 매우 높아져 폐암으로 사망하는 직접 흡연자 60명당 한명꼴로 간접 흡연자가 사망하는 것으로 나타났으며, 특히 흡연 남편을 둔 비흡연 주부에서 좀더 높은 폐암의 발생 위험이 있다는 통계가 나와 있다(Table 4). 연령대 별로는 40대 이후에 발생하기 시작해 50~60대에 가장 많이 발생하였다. 여성보다는 남성이 4배정도 높은 발병률을 보이는 것으로 추정되지만 요즘 여성 흡연 인구가 증가되는 추세이므로 '여성 폐암'도 갈수록 늘어날 것으로 예상된다.

최근 미국 존스홉킨스대학 연구팀은 흡연이 폐암 외에도 일부 다른 암을 유발한다는 확정적인 증거를 포착했다.⁷⁾ 이 연구팀을 이끈 데이브드 시드란스키 박사는 뇌암과 경부암 환자 129명의 종양 샘플을 검사한 결과, 담배를 피운 환자는 비흡연자에 비해 암환자에게서 일반적으로 나타나는 p53 유전자 변이가 2배나 높았다고 했다. 또한 흡연이 결장 직장암을 유발하며 각종 선종의 발달과도 긴밀한 관계 있음이 밝혀졌다. 흡연을 중지한지 10년이 지난 후에도 선

종의 재발율이 사라지지 않아, 선종 발달의 초기 단계에 흡연이 관여함을 유추할 수 있다.

다이옥신의 발암 가능성

인간이 만든 화학 물질 중에서 가장 독성이 강하다고 하는 다이옥신은 1970년대 미국 미주리 주 '타임즈비치 사건'과 이탈리아 '세베소 사건'으로 잘 알려져 있다.⁸⁾ 다이옥신은 두개의 벤젠 고리가 두 산소 원자에 의해 연결된 일정한 구조를 가지고 있다. 이것도 대부분의 환경 오염 물질과 같은 유기 염소 화합물이다. 비교적 녹는 점이 높고, 상온에서 고체이며, 물에는 거의 녹지 않는 화학 성질을 가지고 있다. 인위적인 용도가 없어 일부로 만들지는 않지만, 여러 가지 화학 연료의 연소 공정, 폐기물의 소각, 염화방향족의 생산 공정, 자동차 배기가스 등이 주요 배출원으로 추정되고 있다. 월남전에 사용된 고엽제에도 이 다이옥신이 포함된 것으로 알려져 있다.⁹⁾ 우리 나라 보훈처에서 고엽제의 후유증으로 인정하는 질환으로는 비호즈킨스씨 임파선암, 연 조직 육종, 염소성 여드름, 말초신경염, 폐암, 후두암, 다발성 골수종, 호즈킨스병, 기관지암, 만발성 피부포푸린증, 기타 역학 조사로 고엽제 후유증으로 입증된 질환으로 정하고 있다.

또한 국제암연구협회는 동물실험 결과를 바탕으로 다이옥신 종류 중 2, 3, 7, 8-TCDD(tetrachlorodibenzo-p-dioxin)를 사람에게 암을 유발할 가능성이 있는 물질로 분류하고 있으며, 이들 물질과의 접촉을 가능한 한 피할 것을 권하고 있다. 실제 모르모트를 사용한 동물실험에서는 극도의 발암-맹독성이 입증됐다. 청산가리의 1만배 독성이라는 표현이 흔히 사용될 정도로 독성이 높다.

1995년 12월 1일자 American Journal of Epidemiology에 다이옥신의 한 종류인 polychlorinated dibenzo-p-dioxins and -furans(PCDD/F)의 암유발에 대한 강력한 증거와 심혈 관계 질환에 대한 유의성 있는 증거가 보고되

Table 4. Relative death rates of major four cancers, 1990-1994(percentage of total death)

Site	1990	1991	1992	1993	1994
Stomach	31.5	29.5	30.6	29.8	29.3
Liver	24.1	23.7	23.9	23.4	23.4
Lung	14.5	15.2	17.0	17.7	19.1
Cervix uteri	7.1	7.3	7.5	6.8	7.0

Table 5. Estimated yearly increase (ng/kg of blood fat) in TCDD* and TEQ* (without TCDD) levels due to working times in different production departments : Hamburg, Germany, (1952-1992)

Production department	TCDD	TEQ
2,4,5-Trichlorophenoxy acetic acid	75.6(56.0-95.2)	8.5(-1.9-18.9)
Trichlorophenol after or during 1957	39.1(14.9-63.3)	14.5(1.4-27.5)
Trichlorophenol before 1975	292.1(139.3-444.9)	34.0(-48.8-116.8)
Alpha decomposition	0.3(-29.7-30.4)	57.4(41.7-73.2)
Trichlorobengene	37.7(-67.4-142.8)	39.4(-16.9-95.7)
Bromophos	9.9(-19.0-38.8)	8.1(-7.4-23.6)
Hexachloeocyclohexane synthesis	16.3(-13.4-46.1)	3.2(-12.3-18.7)
Lindane	3.8(-19.6-27.2)	7.2(-5.3-19.7)
Formulation	13.8(-25.1-52.7)	10.4(-12.5-33.3)
Manual workers	12.3(-2.9-27.4)	12.4(4.4-20.4)
Unskilled workers	14.8(-61.7-91.2)	18.8(-21.2-58.8)
Store and transport	-4.2(-30.8-22.3)	5.7(-8.4-19.8)
Administration and others	2.7(-16.2-21.7)	1.3(-9.8-12.4)
Opiate(morphine production)	-0.1(-57.9-56.8)	5.4(-26.6-37.5)

* TCDD, tetrachlorodibenzo-p-dioxin ; TEQ, toxic equivalencies of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and furans.

Table 6. Relative risk of total, cancer, CVD*, and IHD* mortality in relation to quintiles (upper quintile divided into deciles) of estimated TCDD levels (ng/kg of blood fat) at the end of exposure above German median background levels using the cohort of gas workers as reference : Hamburg, Germany, 1952-1992

TCDD	Total mortality	Cancer	CVD	IHD
	1.0	1.0	1.0	1.0
0-2.8	1.55(1.21-1.98)	1.59(1.01-2.51)	1.22(0.81-1.83)	1.43(0.83-2.44)
2.81-14.4	1.30(0.98-1.71)	1.29(0.75-2.22)	0.88(0.54-1.44)	0.81(0.41-1.61)
14.5-49.2	1.47(1.14-1.90)	1.66(1.03-2.66)	1.35(0.91-2.01)	1.18(0.65-2.16)
49.3-156.7	1.48(1.15-1.91)	1.60(1.02-2.52)	1.64(1.12-2.39)	0.90(0.47-1.75)
156.8-344.6	1.37(0.99-1.90)	1.70(0.99-2.93)	1.53(0.95-2.44)	1.61(0.85-3.04)
344.7-3,890.2	2.43(1.80-3.29)	3.30(2.05-5.31)	1.96(1.15-3.34)	2.48(1.32-4.66)

* CVD, cardiovascular disease ; IHD, ischemic heart disease ; TCDD, tetrachlorodibenzo-p-dioxin

었다. 본 논문에 의하면 독일 연방 공화국의 함부르크에 있는 제조업 생산 공장에서 1952년부터 공장이 문을 닫은 1984년까지 최소 3개월 이상 일했던 남자 근로자 중 1,189명을 대상으로 1952년부터 1989년까지 암으로 사망한 사람의 수를 추적하고, 1952년부터 1992년까지 지속된 연구를 하였다. PCDD/F중에서도 가장 강력하다고 하는 TCDD와 그 밖의 다른 PCDD/F에의 노출량을 근로자들이

일한 14개의 부분에서 각각 측정된 결과, 각 부분마다 TCDD와 다른 PCDD/F(TEQ로 표기)의 정량적 노출량이 다르게 측정되었다(Table 5).

또한 이들 근로자들 중에서 190명의 혈액과 지방조직에 TCDD와 PCDD/F의 축적되는 양과 사망률의 상관관계를 조사한 결과, TCDD와 그 밖의 모든 PCDD/F에 노출이 많을수록 총사망률 및 암 발생률, 심혈 관계 질환, 허혈성

Table 7. Relative risk of total, cancer, CVD*, and IHD*-cause mortality in relation to quintiles (upper quintile divided deciles) of estimated TOTTEQ* levels (ng/kg of blood fat) at the end of exposure above German median background levels using the cohort of gas workers as reference : Hamburg, Germany, 1952-1992

TOTTEQ	Total mortality	Cancer	CVD	IHD
	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0-12.2	1.46(1.11-1.93)	1.38(0.93-2.43)	0.93(0.57-1.50)	1.02(0.54-1.95)
12.3-39.5	1.39(1.07-1.81)	1.71(1.07-2.74)	0.92(0.59-1.46)	0.96(0.51-1.82)
39.6-98.9	1.54(1.20-1.97)	1.50(0.93-2.42)	1.48(1.01-2.17)	0.97(0.52-1.81)
99.0-278.5	1.34(1.04-1.74)	1.56(1.00-2.43)	1.55(1.07-2.24)	1.13(0.64-2.00)
278.6-545.0	1.65(1.20-2.25)	1.71(0.98-2.98)	1.63(1.01-2.64)	1.73(0.92-3.27)
545.1-4,361.9	2.28(1.67-3.12)	3.27(2.04-5.26)	2.06(1.23-3.45)	2.72(1.49-4.98)

* CVD, cardiovascular disease ; IHD, ischemic heart disease ; TOTTEQ ; toxic equivalencies of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and furans

심장 질환이 증가한 것으로 나타났으며 이는 용량 의존성인 관계를 나타내었다(Table 6, Table 7). 특히 가장 위험성이 높은 것이 TCDD였다.

결론적으로 불 때 암의 경우는 PCDD/F의 인간에 대한 발암 효과는 명확한 증거가 나타났으며, 허혈성 심장 질환에 대해서는 동물 실험에 의한 TCDD의 동맥경화증 유발 효과가 몇몇 증거로 보고되고 있으나 인과관계적인 해석을 통해 불 때 인간에 대한 심장 질환 유발 효과도 가능성이 크다고 볼 수 있다.

우리 나라에서는 최근에 실시되고 있는 쓰레기 종량제로 말미암아 많은 사람들이 간이소각로를 이용하여 쓰레기 양을 줄이려고 노력하고 있고 또 행정기관에서도 이것을 장려하고 있는 실정이다.¹⁰⁾ 그러나 환경 보전이란 측면에서는 쓰레기 무단 소각으로 심각한 대기 오염이 야기되고 특히 다이옥신이 많이 배출되기 때문에 이로 인한 피해가 우려된다.¹¹⁾

자연 방사선과 피부암

남극의 오존층이 파괴됨으로 말미암아 우주선, 특히 자외선의 투과량이 증가됨으로 말미암아 전 세계적으로 피부암의 발생률이 증가하고 있다. 미국의 경우 1973년 이후 매년 피부암 중 가장 대표적인 흑색종이 매년 4%씩 증가하고 있는 실정이다.¹²⁾ 피부암의 주 요인은 자외선, 하얀 피부, 직업적으로 코올 타르, 피치(pitch), 석탄산(cresote), 비소 화합물, 라듐 등에 노출 될 경우이다. 가장 큰 문제는 자외선의 증가인데 이것은 결국 오존층 파괴와 관련되고

오존층 파괴는 환경오염 물질인 염화불화탄소(chlorofluorocarbon, CFC)이다. 1990년대 초에 염화불화탄소의 사용을 전 세계적으로 규제하기 시작했고 몬트리올 의정서에 의해 매년 각국이 사용할 수 있는 염화불화탄소, 할론 가스 등의 사용 한도량이 정해지기도 했으나 전세계적으로 전면 금지가 되려면 수년이 더 필요하다.¹³⁾ 오존층 파괴 방지를 위해서는 물론이거니와 국내 산업 보호를 위해서도 대체 물질의 개발이 신속히 이루어져야 하겠다.

수돗물과 발암 물질

1990년 수돗물에서 발암 물질인 트리할로메탄이 검출되었다 하여 한동안 떠들썩한 일이 있었다. 트리할로메탄은 휘발성 물질로서 물 속의 오염 물질이 염소와 반응하여 생성된다. 정수장에서 가정으로 물을 보내기 전에 염소 소독하는 과정에서 생성되는 물질인데 염소 소독을 하지 않고 이산화염소나 오존과 같은 물질로 소독할 경우에는 생성되지 않는다.

최근 부산 경남 지역의 계속되는 가뭄으로 인해 1천만 주민들의 식수원인 낙동강의 수질이 악화되면서 원수에서 인체에 치명적인 청색증 등을 유발하는 암모니아성 질소 농도가 사상 최대치인 4.3ppm이 검출된 이후 계속 높은 수치를 유지함에 따라 정수를 위해 염소 투입량을 기존 10 ppm에서 3배 이상인 30~40ppm까지 늘려 사용하고 있어 트리할로메탄의 생성 우려가 어느 때보다 높다.¹⁴⁾

트리할로메탄은 클로로포름, 디클로로브로모메탄, 디브로모클로로메탄, 브로모포름의 4가지 물질로 구성되어 있다.

우리 나라의 경우 트리할로메탄 중에서 브로모포름이 가장 높고, 클로로포름, 클로로디브로모메탄, 브로모포름 순이다.¹⁵⁾

이 중에서 클로로포름은 동물 실험 결과 발암성이 확인된 물질이다. 미국 환경보호청의 연구 결과에 따르면 클로로포름이 물 1리터에 1마이크로그램 포함되어 있는 물을 평생 동안 하루에 2리터씩 마셨을 경우 암에 걸릴 확률은 1.7×10^{-6} 정도라고 한다. 이를 인구 집단으로 환산하면 100만 명 당 1.7명이다.

우리 나라의 수도물의 트리할로메탄 농도는 연세대 환경공해 연구소가 1988년부터 1989년까지 전국 14개 도시를 대상으로 조사한 바에 따르면 1리터 당 20~60마이크로그램 수준이었다. 이 수치는 우리 나라의 음용수 중 트리할로메탄 기준인 100 $\mu\text{g/L}$ 보다는 낮은 값이나,¹⁶⁾ 건강에 아무 지장이 없다고 단언할 수 없는 수치이다.

다행히 트리할로메탄은 휘발성이 있기 때문에 끓일 경우 모두 날아간다. 꼭 끓이지 않더라도 실온에 하루 정도 방치하면 대부분 공기 중으로 날아가므로 그리 염려할 것까지는 없다.

이종 에스트로젠(xenoestrogens)과 암

유방암은 에스트로젠 및 프로그스테론 자극에 의해 세포분열이 촉진되는데 위험 요인으로는 초경이 빠를수록, 폐경이 늦을수록, 폐경기의 비만, 폐경기 때의 에스트로젠 투여 등이다. 최근에 유전적 유방암과 관련된 유전인자인 유방암 유전자(breast cancer gene, BRCA1)가 확인되었다. 그러나 이것은 전체 유방암의 5% 정도에만 관여하고 있고 나머지의 경우에는 아직 명확한 인자를 발견하지 못하고 있다.

유방암의 발생 인자 중 가장 주목받는 발암 인자는 에스트로젠이다. 에스트로젠은 생체 내에 존재하는 호르몬으로써 크게 3 종류가 있는데 에스트론(estrone), 에스트라디올(estradiol), 에스트리올(estriol)이다. 이 중 에스트라디올이 가장 대표적인 에스트로젠이며 부신과 남성 고환 및 여성 난소에서 생성된다. 이들은 여성의 성장에 관여하고 또 생리 주기 및 임신과도 관련 있는 매우 중요한 호르몬 중의 하나이다. 이것은 대사 과정을 2-hydroxyestrone-16-alpha-hydroxyestrone으로 대사 되는데 2-hydroxyestrone은 정상적인 작용을 가지는 '좋은' 에스트로젠 대사물이다. 16-alpha 형은 유방 세포에 강력하게 작용하여 세포 성장을 촉진시키는데 이 과정 중에 정상 세포가 암세포

화 될 것이다. 따라서 전체적인 에스트로젠에 노출되는 것이 좋는데 만일 많은 에스트로젠에 노출될 경우 자연히 많은 16-alpha형이 많이 생성되고 또 암이 발생할 가능성이 높은 것이다.

최근의 연구에 의하면 인체에서 생성되는 에스트로젠 외에 자연에 존재하는 이종에스트로젠이 많다고 한다(Table 8). 이들 이종에스트로젠이 인체에 축적될 경우 불필요한 대사 과정을 거쳐 나쁜 에스트로젠 대사물이 많이 생성될 경우 이로 인한 유방암 발생 가능성이 훨씬 증가될 것이다.

이들 이종 에스트로젠은 대부분 지용성이기 때문에 주로 동물의 지방 조직에 많이 포함되어 있으며 자연히 먹이사슬을 통해 고등동물로 전해지고 최종 인체에 축적된다. 따라서 수질 및 환경 오염이 심각한 지역에 사는 사람일 수록 많은 이종 에스트로젠이 체내에 축적될 가능성이 많다. 가장 대표적인 것이 DDT(dichlorodiphenylchloroethane)과 유사 유기염소화합물이다. 1972년 사용이 중단될 때까지 과거 50년간 엄청나게 많은 DDT가 뿌려졌고 이들이 아직 먹이사슬을 통해 잔류하고 있다.¹⁸⁾ DDT, DDE (DDT 부산물), atrazine, 및 Kepone가 16-alpha형 에스트로젠 대사를 많이 만드는 것이 확인되었다.

최근의 보고에 의하면 이종 에스트로젠과 같은 산업용 유해 화학 물질-DDT, dioxin, PCBs-이 유방암의 발생을 증가시키는 것 외에 남성의 정자 수를 감소시킨다는 보고가 있다.¹⁹⁾ 건강한 남성의 경우 한 번 사정될 때 보통 4천만 개에서 1억 2천만 개의 정자가 방출된다.

그런데 영국 의학계의 보고에 따르면 지난 1959년 이전에 출생한 사람의 정자 수에 비해 1970년 이후에 출생한 사람의 정자 수가 25%나 감소하였다. 이는 매년 2.1%씩 감소하였음을 나타낸다. 또한 21개국에서 15,000명의 남성들을 대상으로 1995년에 관찰을 한 결과 지난 20년 동안 2.1%가 해마다 감소되어 왔음을 볼 수 있었고, 덴마크의 과학자들은 지난 반세기 동안 평균 정자 수가 50%나 감소했다고 밝히고 있다. 정자 수의 감소뿐만 아니라 그 질에 있어서도 퇴보를 가져와서 건강한 정자의 수가 점점 줄어들고 있으며, 고환암, 남성 생식기 기형 등이 현저히 증가되었다.²⁰⁾ 여기에는 스트레스, 흡연, 약물 복용 등의 원인이 있을 수 있으나, 가장 중요한 요인은 산업용 유해 화학 물질이라고 여겨진다. 정자 수의 감소에 대한 산업용 유해 화학 물질의 작용 기전은 이들이 공기, 물, 토양 등의 오염

Table 8. Some proved xenoestrogens

Compound	Use	Comment
1. Chlorinated organic compounds		
Atrazine	Weed killer	Widely used today
Chlordane	Termite killer	Widely used before it was banned in 1988
DDT	Insecticide	Widely used before it was banned in 1972 ; still present in virtually everyone's body
Endosulfan	Insecticide	Widely used today
Kepone	Bait in ant and roach traps	Banned in 1977
Methoxychlor	Insecticide	A close relative of DDT
Some PCBs	Component of electrical insulation	No longer made in the U.S. but still found in old transformers
2. Plastics		
Bisphenol A	Breakdown product of polycarbonate	Leaches, out into fluids when hot
Nonylphenol	Softner for plastics	Leaches out into fluids readily at room temperature
3. Pharmaceuticals		
Synthetic estrogens	Constituent of birth-control pills and estrogen replacement therapies	One drug diethylstilbestrol (DES), was given to several million women during pregnancy before it was essentially banned in 1971
Cimetidine	Ulcer treatment	
4. Fuel constituents		
Aromatic hydrocarbons	Components of petroleum	Can be inhaled readily from gasoline and from car exhaust

을 통해 인체 내에 들어와서 정상 상태에서 생식 기능에 중추적인 역할을 하는 에스트로젠과 그 밖의 다른 호르몬이 결합하는 수용체에 결합해 작용을 나타냄으로써 남성 배자의 여성화를 유발하고, 고환의 크기가 작아지며, 정자의 방출이 줄어드는 것이라고 동물 실험에 의해 밝혀졌다. 또한 각종 임상 실험 결과 남성의 생식 기능 이상은 태아와 유아기에 유독 물질이 체내에 축적되면서 초래되는 것으로 믿어진다고 전문가들은 잠정 결론을 내렸다.

따라서 이중 에스트로젠에 의한 암 발생 억제 및 생식에 대한 부작용을 최소화하기 위해서는 여러 가지 조치를 강구할 수 있다. 첫째, 현재 연료, 의약품, 플라스틱류에 사용되고 있는 이중 에스트로젠의 실정을 파악한다. 둘째, 인체에 대한 에스트로젠의 작용을 보다 명확하게 규명하는 연구가 한층 더 강화되어야 한다. 셋째, 현재 사용 중인 이중

에스트로젠의 사용을 전면 금지시키거나 대체 물질을 찾아야 할 것이다.

살충제의 발암 가능성

현재 일상적으로 사용되는 살충제들 가운데 많은 것들이 인체의 면역 기능을 떨어뜨린다는 보고가 최근에 나왔다.²¹⁾ 인체의 면역 반응은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 체액성 면역 반응으로 항체를 생성해서 이를 체액 내에 분비하는 반응이며 여기에는 B세포라는 림프구가 관여한다. 또 다른 하나는 세포 매개성 면역 반응으로 감작된 림프구를 생산하여 이들 세포 표면에 있는 수용체와 항원이 상호작용을 하게 하는 반응이며 여기에는 T세포가 관여한다. 이 T세포는 세균이나 바이러스 감염에 대한 저항, 장기이식의 거부 반응 및 종양에 대한 면역 반응을 나타내며 또한 조절 기능으로서 다른 T세포나 B세포에 의해 진행되는 면

역 반응을 조절하는 기능을 갖는데 helper T cell과 suppressor T cell, 두 가지 형으로 나뉜다. 이중 suppressor T cell은 면역 반응을 억제하는 것에 관여하는데 살충제에 인체가 노출되는 정도에 따라서 이 cell이 증가되어 면역 반응을 변화시켜 감염율이 증가하였다. 소련의 키시네브 지역 주변의 물, 토양, 농작물들 속에 있는 살충제의 잔류량이 기준을 초과하였는데 이 지역에 사는 어린이들이 폐렴을 포함한 급성 호흡기 질환이 증가되었음을 볼 수 있었고, 피부병, 귀 감염, 결핵, 치아 부식 등도 증가되었다. 또한 어른들은 비정상적으로 높은 감염율 상승으로 고생을 하고 있었다. 또한 캐나다의 북부 허드슨 베이 지역의 아이들에게 유기 염소 화합물을 소량 섞은 우유를 일정 기간 먹인 결과 감염율이 크게 증가하였고, 어떤 아이의 경우는 항체를 전혀 생산하지 않아 예방주사를 놓는 것이 아무런 효과를 나타내지 못했다.

이와 같은 연구 결과를 살펴 볼 때 충분하지 못한 영양 공급, 나쁜 위생 시설, 그리고 살충제 사용에 대한 적절한 교육이 없는 개발도상국의 농부들에게 그 유해성이 큰 DDT같은 유기 염소 화합물이나 malathion같은 유기인 화합물, aldicab 같은 카바메이트 등을 광범위하게 사용할 경우 인체 면역 기능이 저하될 것이고 나아가 기회 감염이 증가됨으로 해서 중앙 바이러스 등의 침투가 용이하게 되어 결국 장기적으로 본다면 발암 가능성이 증대된다고 볼 수 있다.

암의 예방 및 그 대책

이상으로 환경 오염 물질들에 의한 발암 과정을 살펴 보았다. 그러나 우리의 노력에 따라 환경 오염 물질들에 의한 종양 발생을 예방할 수 있다는 사실은 우리에게 매우 고무적인 뉴스이다. 종양의 발생 자체를 방지하기 위한 예방은 발암 환경의 유발 방지, 개인의 건강 형태 및 습관의 변화 등을 포함한다. 현재 각 가정, 사회단체 및 국가적인 단위에서 발암 환경의 유발을 방지하기 위해 다각적인 노력이 강구되고 있으나 아직도 미흡하다. 그 동안 자연에 내버려진 환경 오염 및 발암 물질들을 제대로 처리하지 못했는데 지금 이 시간에도 그보다 많은 양이 쏟아져 나오거나 파묻히고 있는 실정이다. 그리고 가장 우리를 두렵게 하는 것은 광범위한 환경 오염으로 이미 생태계가 엄청나게 파괴되었는데도 이것을 현실적으로 파악하지 못하고 자국 혹

은 개인의 경제적인 이익을만을 추구하는 인간의 이기심이다. 그리고 모든 국가 경제의 뿌리가 되는 공업 및 기간 산업이 대부분 환경 파괴 물질을 생산해 내는 것들인데도 재빠른 변신을 보이지 못하고 아직도 관성의 힘으로 과거와 같이 앞으로 마냥 달려간다는 것이다. 이러한 현상이 지속될 때 이 좁은 지구는 언젠가는 종말이 올 것이라는 것은 명백한 사실이다. 이와 더불어 공해 및 환경 오염에 의한 수많은 질병, 특히 암에 의해 많은 생명들이 고통을 당할 것이다. 그렇기 때문에 이러한 발암 환경의 유발 방지를 위해서 우리는 다각도로 아주 많은 노력을 하여야 할 것이다. 이를 위해 최근 리우 회의를 통해 관심이 더욱 고조된 환경 보호 정책들과 대체 산업 및 대체 물질 연구, 혹은 발암 물질들의 사용 중단 등이 되겠다. 이런 일을 위해서는 먼저 현재 사용하고 있는 물질들의 발암 가능성에 대한 다각도의 연구가 필요하고 또 확인된 발암 물질들이 절대로 사용되지 않도록 하는 강력한 환경 보호 정책이 필요하다.

결론

산업이 급속도로 발전하면서 그 부산물로 발생하는 이러한 환경 오염 물질들은 서서히 인류의 생활 터전인 자연을 파괴해 왔다. 그것은 가공할 잠재력을 가지면서 인류의 생명을 위협하고 있는데 그 중 가장 대표적인 것이 환경 오염 물질에 의한 집단적인 질환 발생이며 그 중 암은 장기간에 걸쳐 발생되기 때문에 우리가 인식하지 못하는 가운데 우리의 생명을 위협하고 있다는 측면에서 매우 심각한 폐해라 하겠다.

따라서 환경 속에 마구 버려지는 발암 물질들을 적절히 규제하지 않는 한 이것은 언젠가 우리에게 큰 재앙을 안겨 줄 것이다. 재앙을 피할 수 있는 길은 이제부터라도 우리 스스로가 그 위험성을 인식하고 깨끗한 환경, 인류가 함께 공존할 수 있는 지구를 후손들에게 물려줄 수 있도록 노력하는 일뿐일 것이다.

참고 문헌

1. Shaeffer, F. A. *Pollution and the Death of Man*, 송준인 역, 공해, 서울, 두란노 서원(1990).
2. Garter, S. J. *Environmental Carcinogenesis*. In: *Environmental and Occupational Medicine*, (eds.) Wil-

- William N. Rom. 2nd edition, pp. 105-123, Little, Brown and Company, Boston(1992).
3. Nicholson, W. J. *Quantitative Risk Assessment for Carcinogens*. In : *Environmental and Occupational Medicine*. (eds.) William N. Rom, 2nd edition, pp. 1377-1388, Little, Brown and Company, Boston(1992).
 4. Cohen, A. J. and Pope III, C. A. Lung cancer and air pollution. *Environ. Health Perspect.* 103(Suppl 8), 219 (1995) : 조선일보, 1994. 5. 13.
 5. 부산일보, 1994. 6. 6. (1993년 중국 국가환경보호국 보고서 인용 보도)
 6. 주간조선, 1996 2. 15.
 7. 조선일보, 1995. 3. 17.
 8. 이두호, 박석순, 지구촌 환경 재난, 도서출판 따님, pp. 173-176(1994)
 9. 구자건. 파월 장병의 다이옥신 중독. 환경 상식 백가지, 현암사, pp. 378-381(1995)
 10. 조선일보, 1996. 1. 8. 태우면 쓰레기는 줄지만
 11. 구자건, 쓰레기 소각장파 다이옥신, *ibid*, pp. 54-57.
 12. *Cancer Facts & Figures-1993*. American Cancer Society(1994).
 13. 구자건. 오존층 파괴의 주범 염화불화탄소, *ibid*, pp. 77-81.
 14. Morris, R. D. : Drinking water and cancer. *Environ. Health Perspect.* 103(Suppl 8), 225(1995) : 국제신문, 1996. 3. 5.
 15. 구자건. 트리할로메탄-우리는 매일 발암 물질을 마시고 있다? *ibid*, pp. 278-280.
 16. WHO, *Guidelines for Drinking Water Quality*, Geneva, pp. 240-246(1984).
 17. Davis, D. L. and Bradlow, H. L. : Can environmental estrogens cause breast cancer? *Scientific American*. October, 144-149(1995).
 18. Rachel Carson, *Silent Spring*, 봄의 침묵, 정대수 옮김, 넥서스(1995).
 19. Stone, R. Environmental estrogens stir debate. *Science*, 265(1994) : 조선일보, 1995. 6. 12.
 20. *Time*, 1996. 3. 18.
 21. *Science News*, Vol. 149, No. 10, p. 149 (1996).