

사한 코호트 연구였다. 후자의 연구에서 근로자의 폭로에 대한 자료는 여러기간중에 그 의심되는 물질이 작업환경중 있었다는 것 뿐이며 폭로 수준을 평가할 수 있는 길이 없고, 많이 폭로된 근로자와 덜 폭로된 근로자를 나눌 수도 없다. 연구결과 국가자료나 지방자료와 비교하여 동일 형태의 암이 약간만 과잉 발생된 것으로 보고되었다. 연구설계의 적절성을 평가하는 기준을 사용하면 후자의 연구가 전자보다 우월하다고 결론지을 수도 있다. 실제 전자의 연구는 연구설계의 기본도 만족시키지 못한다: 기껏해야 일화적인 사례에 불과하다. 반면에 후자의 연구는 대부분의 역학연구에 비해 대규모이고 잘 알려진 연구설계를 사용하였다. 만약 어떤 물질이 사람에게 발암성인지를 결정해야 하는데 방법론적으로 우수한 둘째 연구의 증거에만 의존한다

면 결론은 발암성이 없다고 할 수는 없지만 있다고 하기에는 증거가 애매하다고 할 수 밖에 없을 것이다. 그러나 전자의 연구는 오랜기간의 높은 농도의 폭로에 따른 반응의 특이성이 있으므로 그 물질이 발암성이 있다는 강력한 증거를 제시할 수 있다.

이러한 가상적인 예는 직업병역학에서 일어나는, 또한 일어날 수 있는 모호성의 형태를 보여준다. 두 연구 모두 연구질문에는 불완전한 대답을 제공한다. 이경우 불완전성을 감소시키기 위한 가장 좋은 방법은 더 많은 정보를 알아내는 것이다. 즉 전자의 연구에서 더 많은 대상을 포함시키거나, 후자의 연구에서 더 많은 폭로자료를 수집하는 것이다. 두 연구 모두 만족스러운 결과를 얻을 수 없다면 제3의 형태의 새로운 연구가 시행되어야 할 것이다.

작업환경을 위한 TLV의 근거

FLUORIDES F TLV—TWA, 2.5mg / m³

Fluorides는 공기중에 광범위하게 분포되어 있으며, 지구표면의 0.03%를 구성하고 있다. 주된 불화물 광석으로는 형석(CaF₂)과 빙정석(Na₃AlF₆)이 있다. 인회석이나 인화칼슘같은 인화광석도 일반적으로 불화물을 포함하고 있기 때문에 불화물의 광원으로 이용된다.

불화나트륨(NaF)과 같은 알칼리 금속의 단순 불화물은 일반적으로 물에 잘 용해된다(비중 2.558, 융점 988°C, 비등점 1695°C). 불화칼슘(CaF₂)과 같은 알칼리 암석은 물에 녹지 않거나 약간 녹는다(융점 1402°C, 비등점 2500°C). 4불화규소(SiF₄, 비등점 -86°C)나 6불화우라늄(UF₆, 비등점 64°C)과 같은 고가의 원소들은 휘발성이

다.

많이 알려진 복합물로는 불화붕산(HBF₄), 불화인산(H₂PO₃F), 불화규산(H₂SiF₆)과 Sodium aluminum fluoride같은 염등이 있다. 대부분의 불화물의 독성은 불소이온 존재 때문이나 SF₆나 TeF₆는 불소이온의 존재에 비하여 독성이 약하거나 반대로 독성이 훨씬 강하다.

상업용으로 이용되는 단순 복합 무기불화물은 여러가지가 있다. 불화나트륨은 방부제, 살충제, 살균제, 식수의 첨가제로 이용된다. 또 전기도금, 유리, 예나멜, 자외선 및 적외선 기구의 창문에 이용된다. 불화칼슘은 HF의 원료, 전자, 레이저, fluxes, 도자기, 윤활제로 쓰인다. Sodium

aluminum fluoride는 알루미늄 환원시 전해질로서 중요하다. 불화규산 나트륨은 알루미늄, 베릴륨 정제와 세탁에 이용된다. 불화규산 마그네슘은 콘크리트 경화제, 방수, 증 방지제로 사용된다. 다른 금속 불화물도 어떤 특이한 용도나 비슷하게 이용된다. 불화구리는 고에너지전지, 불화주석은 치약첨가제, 6불화우라늄은 우라늄 강화제, 불화아연은 impregnation lumber로 이용된다.

Roholm은 불화물의 독성을 a) 급성 전신중독(주로 경구로 인한 흡입) b) 피부와 점막의 국소부식 c) 치아에나멜의 이상에서 골격이상에 이르기까지 만성골격변화 등 세가지로 분류하였다.

수용성 불화물의 사람에 있어서 치사량은 약 2.5g 이라고 Largent²⁾는 추정하였다. 그러나 Roholm¹⁾은 동물에 따라 최소치사량은 23~90mg/kg 이라고 하였으며, 사람의 경우는 9mg/kg의 양으로 사망한다고 보고 하였다. 불화물의 분진이나 mist 흡입으로 인한 급성중독에 관하여는 거의 기록된 바가 없다²⁾.

Williams³⁾는 마그네슘 주조공장에서 발생된 흡의 불화물 농도가 10mg/m³ 이상농도에서 자극적이었고, 비강출혈을 일으켰다고 보고하였다. 2.5mg/m³ 이하 농도에서는 아무 영향도 나타나지 않았다고 하였고, 그는 2mg/m³의 잠정적인 허용한계를 제시하였다. Markuson⁴⁾은 강철제조공장에서 하루에 2.5시간 이상, 3mg/m³보다 높은 농도의 불화나트륨에 폭로되는 것은 좋지 않다고 보고하였다. Elkins⁵⁾는 5mg/m³의 농도에서 오심과 호흡기 자극, 눈의 통증을 일으킨다고 보고하였다. 1mg/m³이하의 농도에서는 용접공들에게 부비강의 이상과 비강출혈을 일으킨다고 하였고, 요중농도는 2~9mg/L라고 보고하였는데 이 농도로 보아 기중농도는 낮게 측정되었음을 알 수 있다.

Roholm¹⁾의 빙정석 제조 근로자들에 대한 연구에서는 근로자들의 피부발진, 골, 관절 및 근육이상과 위장, 순환기, 호흡기, 신경계통의 증상을 일으킨다고 보고하였다. 작업실의 분진농도는 22~48mg/m³이고, 불화물의 농도는 11~24mg

/m³이었다. 또 0.2~0.35mg/kg/day 농도로 수년 동안 흡입시 골경화증을 일으킬 수 있다고 결론을 지었다. 이것은 보통 체격의 사람이 14~25mg/day의 농도로 흡입하는 것과 일치하고 있다.

Collings⁶⁾는 작업실에서 불화물의 기중농도가 2.4mg/m³이상인 경우는 '증가된 농도', 10mg/m³이상인 경우는 '초과된 농도'라고 간주하였다. 20~30년간의 산업장 경험을 통해 Irwin⁷⁾은 3~4mg/m³이하의 기중농도에서는 골조직변화의 발생을 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 공기중에서 4mg/m³이상의 농도에 20년간 폭로된 경우에는 소수에서 약간의 골변화가 발생하였다.

Derryberry⁸⁾은 평균 2.65mg/m³의 기중농도에 폭로된 근로자들에게서 골변화가 발생하지 않았고 3.38mg/m³의 농도에서 17명의 근로자들에게서 골변화가 일어났다고 보고하였다. Agate⁹⁾은 알루미늄 제조공장의 근로자들에게서 다수가 X선상에 이상이 있음을 보고하였다. 그 공장의 기중농도 범위는 0.1~2.6mg/m³였다. Largent²⁾는 단지 한 사례의 불소증만 보고하였으나 불구가 남지는 않았다고 하였다.

여러학자가 보고한 불소증과 관련된 불소의 흡수, 배설, 축적에 관한 자료는 제한점이 있다. Machle와 Largent¹⁰⁾는 수용성 불화물의 60% 이상이 6mg/day율로 축적된다고 하였다. Largent¹¹⁾는 이 연구후에 불화물의 축적이 가능한 양은 3mg/day이하라는 것을 발견하였다. Hodge¹²⁾는 20~80mg/day로 10년 내지 12년간 섭취시 불소증 불구가 발생할 수 있다고 보고하였다.

Princi¹³⁾에 의하면 성인의 경우 5ppm의 불화물이 함유된 식수로는 건강장해가 일어나지 않는다고 하였다. Hodge¹²⁾는 8ppm의 불화물이 함유된 식수에서 골경화증 발생률이 10%에 이른다고 보고하였다. 그러나 Waldbott¹⁴⁾는 5, 3, 2ppm농도의 불화물 함유 식수 사용자에게서 발생한 불소증을 보고하였다.

Princi¹³⁾와 Largent²⁾에 의하면 요중 불화물의 배설량이 하루에 5~8mg/day이면 안전한 것이라고 하였다. Hodge¹²⁾에 따르면 요중 불화물의 농도가 5mg/L에서 골경화증이 일어나지 않는다고

하였다 Derryberry등⁸⁾은 골염증이 증가된 17명의 근로자들의 요중 평균 농도를 5.18mg/L임을 발견하였다. Agate등⁹⁾의 연구에서는 요중 불화물의 배설량이 3.6~9mg/day인 경우에서 X선상 이상은 있었지만 장애는 없었다.

Kaltreider등¹⁵⁾은 알루미늄 제련 공장에서 불화물에 폭로된 근로자들을 대상으로 두가지 연구를 하였다. 107명의 근로자중 비교적 2.4~6.0mg/m³의 고농도에 폭로된 근로자들 대부분이 10년 후 불소증이 발생되었고, 15년 후에는 중등도 내지 중증의 골경화증이 흉추의 운동제한과 함께 나타났다. 이들의 요중 불화물의 농도는 평균 8~10mg/L였다.

불화물의 농도가 낮았던 제2공장에서 일한 231명의 근로자중 골불소증은 발견되지 않았다. 작업실의 기중 불화물의 농도에 관한 자료는 없었지만 주말의 작업후 요중 불화물 농도는 1967년에는 10.4mg/L, 1970년에는 3.0mg/L였다. 작업전 농도는 1966년 3.4mg/L였고, 1970년에는 1.4mg/L였다. 이들 두 연구는 골조직이외에 불소증에 관한 언급은 없었다¹⁵⁾.

1975년에 NIOSH에서 발간된 무기불화물에 대한 권고표준에서 시간가중평균치로서 2.5mg/m³이 제시되었고, 같은 농도의 TLV가 오랫동안 유지되었다¹⁶⁾. 또한 요중 불화물 분석에 의한 생물학적 모니터링이 권고되었지만 작업전과 작업후 어느때가 좋은지 아직 명백하지가 않다.

Hodge와 Smith¹⁷⁾는 NIOSH의 자료를 검토한 끝에 현재 권고표준과 TLV는 유용한 자료에 의한 것이라고 하였다. 그들은 TLV이하 농도에 직접적으로 폭로 되었다 하더라도 산모와 태아에게 장애가 나타나지 않을 것이라고 하였다. 또한 보고된 내용중 호흡기 영향은 불소증 때문이 아니라 고농도 폭로 때문이라고 보고하였다.

시간가중 평균치인 2.5mg/m³농도는 장해성 골변화와 자극성을 예방하기 위한 것이었지만 만약 축적 된다 할지라도 불소증도 예방할 수 있을 것이라고 지적하였다.

Smith(1956)는 2.5mg/m³의 허용한계가 높은 농도라고 여겼으며, 미국표준국(ANSI)에서는 2.

5mg/m³을 허용한계(1966)로 받아들였다.

USSR(1966), Czechoslovakia(1969) : 1mg/m³
Germany(1974), Sweden(1975) 2.5mg/m³

인 용 문 헌

1. Roholm, K.: Fluorine intoxication H.K.Lewis & Co., London(1937).
2. Largent, E.J.: Fluorosis. Ohio State University Press, Columbus, OH(1961).
3. Williams, C.R.: J. ind Hyg. Tox 24:277(1942)
4. Markuson, K.E.: Ind. Med. 16:434(1947)
5. Elkins, H.B.: Chemistry of industrial Toxicology, p. 72 Wiley & Sons, New York(1959)
6. Collings, G.H.: Arch. Ind. Hyg. Occup Med 6: 368(1952)
7. Irwin, D.: Presentation at Symposium on Fluorides, Kettering Laboratory, Cincinnati (April 1954)
8. Derryberry, O.M., M.D. Bartholomew and R.B.L. Fleming: Arch. Env. Health 6:503(1963).
9. Agate, J.N. et al.: Industrial Fluorosis, p. 19. Medical Research Council Memorandum No. 22, His Majesty's Stationery Office, London, Cited by Largent in ref. 2
10. Machle, W. and E.J. Largent: I. Ind. Hyg. Tox. 25:112(1943).
11. Largent, E.J.: Arch. Ind. Hyg. Occup. Med. 6: 37(1952).
12. Hodge, H.C.: Arch. Ind. Health 21:350(1960)
13. Princi, F.: J. Occup. Med. 2:92(1960)
14. Waldbott, G.L.: Arch. Env, Health 2:155 (1961)
15. Kaltreider, N.L. et al.: J. Occup. Med. 14:531 (1972)
16. NIOSH: Criteria for a Recommended Standard -Occupational Exposure to inorganic Fluorides. DHEW (NIOSH) Pub No. 76-103 (1975)
17. Hodge, H.C. and F.A. Smith: J. Occup. Med. 19:12(1977)