



황산(SULFURIC ACID)(2)

CAS 번호 : 7664-93-9

동의어 : Hydrogen sulfate; Matting acid; Oil of vitriol; Sulphuric acid;
Vitriol brown oile

분자식(Molecular formula) : H_2SO_4

TLV-TWA, 0.2 mg/m³, 흉곽성 입자

A2-사람에게 발암성 추정물질(강한 무기산 미스트로 존재할 때)



연세대학교 보건대학원 교수
김치년

동물실험(문헌고찰 요약)

황산 입자 흡입에 따른 부작용은 많은 연구자들이 다양한 실험동물의 종을 대상으로 실험을 하였다. 연구자들은 기능적, 생화학적 및 조직학적 종말점(end point)을 조사하였다. 일반적으로 발견된 것은 황산의 부작용이 투여량과 입자 크기에 따라 다르다는 것이다.

발암성(문헌고찰 및 요약)

프로젝트 일환으로 Laskin과 Sellakumar²⁾는 황산 노출이 benzo[a]pyrene (BaP)에 의한 종양에 촉진(promotion)하는지 관찰하였다. 이 실험은 동물들이 100 mg/m³의 황산 농도에 노출되고 BaP는 기관을 통해 주입되는 혼합 점적 흡입 연구(instillation-inhalation study)였다. 연구의 한 부분은 BaP를 한번 주입한 후 황산에 일생 동안 노출시키는 것으로 시작하였다. 10 mg 또는 60 mg BaP가 주입된 동물에서 호흡기 종양의 발생률에는 유의한 차이가 없었다.

이 연구의 두 번째 관찰 내용은 공기 또는 황산을 각각 일생 동안 노출시키면서 1~4 mg의 BaP를 15회 기관 내에 점적 주입하였다. 고농도의 BaP(4 mg) 투여군은 동물 80%에서 종양이 생성되어 황산 노출에 의해 종양 수가 증가되었다는 것을 관찰하기가 어려웠다.

중요한 것은 BaP 주입량(1 mg)이 적을수록 공기에 노출된 동물(7/60)에 비해 황산(15/59)에 노출된 동물에서 종양이 현저히 증가하였다. 동물실험에서 언급된 종양의

유형은 선암(adenocarcinomas), 선종(adenomas), 유두종(papillomas), 혼합암종(mixed carcinoma) 및 용종(polyp)의 혼합이었다. 저자들은 이 두 그룹 간의 악성 종양 발생률의 실제 차이가 2%(선종은 명백하게 확인되었음)로 황산이 BaP에 의한 종양을 촉진시키는 효과가 없다고 보고하였다. 이 연구의 저자는 황산이 폐종양 발생에 아무런 영향을 미치지 않는다고 결론을 내렸지만, 모든 종양의 유형과 낮은 BaP 투여량 실험을 고려할 때 황산이 BaP 유발 폐종양의 촉진제로 작용할 수 있다는 암시적인 증거를 제공하였다.

사람 대상의 연구

역학연구(Epidemiology)

초기 연구에서는 고농도의 황산에 노출된 근로자들의 심각한 영향을 보고하였다. Goldman과 Hill³⁾은 황산에 대한 심각한 노출이 폐 섬유증, 기관지 천식 및 폐기종과 관련이 있다는 사실을 발견하였다. 축전지 공장의 근로자에 대한 연구에 따르면 성형부에서 황산 미스트 3.0~16.6 mg/m³에 노출된 근로자에게서 치아 산식증이 발생하였다.⁴⁾ 이후에 동일한 축전지 공장을 대상으로 Williams가 다시 연구하였다.¹³⁾

성형부서의 평균 작업장 황산 농도 범위는 비 정량수준(trace level)에서 6.1 mg/m³이었고 평균농도는 1.4 mg/m³이었다. 대조군과 비교하여 성형부서에서 황산 미스트에 노출된 근로자는 호흡기 질환, 특히 기관지염이 약간 있었지만 다른 질환은 없었다.

Jones과 Gamble^{5,6)}은 5개의 납축전지 공장에서 황산 노출을 조사하였다. 연구팀은 이 공장들의 황산 평균 노출농도가 0.18 mg/m³이었으며 측정결과 범위는 불검출~1.7 mg/m³으로 보고하였다. 저자들은 근로자들을 대상으로 설문지와 폐활량 측정 그리고 노출평가 측정치를 수집하였다. 수집된 개인 노출 측정값은 대부분 모두 1.0 mg/m³ 이하였고, 공기역학적 직경(MMAD)의 범위는 2.6~10 μm이었다. 저자들⁶⁾은 이러한 노출 수준에서 급성증상의 증가율을 발견하지 못하였다. 저자들은 납 노출, 흡연, 성별 및 나이를 통제하여 평가하였다. 전반적으로 1.0 mg/m³ 미만의 노출에서는 급성증상이나 폐 기능의 감소가 일어나지 않는다고 결론을 내렸다. 저자들의 세 번째 보고서⁷⁾에서 호흡기계에 대한 장기적인 황산 노출의 영향을 5개 공장 248

명의 근로자를 대상으로 재검토하였다. 노출 수준의 추정치는 약 0.23 mg/m^3 이며, 범위는 $0.06 \sim 0.42 \text{ mg/m}^3$ 이었다. 저자들은 저농도 황산 노출 군에 비해 고위험 군에서 폐 기능이 5% 감소했다고 보고하였다. 고위험 군은 낮은 노출 군에 비해 지속적으로 폐 기능이 감소하였으나, 노력성 폐활량(forced vital capacity, FVC)에 대해서만 통계적으로 의미가 있었다. 저자들은 또한 직업성 기관지염의 비율이 증가하지는 않는다고 보고하였고, 폐 기능에 대한 황산 노출의 효과가 부족한 것은 황산입자의 크기(공기역학적 직경(MMAD) 범위, $2.6 \sim 0.0 \mu\text{m}$)의 영향이라고 제안하였다.

임상연구

Amdur 등⁸⁾은 최초로 통제된 임상 노출 조건하에서 정상인을 대상으로 황산 흡입에 대한 피험자의 호흡 반응을 연구하였다. $1 \mu\text{m}$ 입자에 대한 안면 마스크 노출은 0.35 mg/m^3 에서 5 mg/m^3 의 노출 농도로 5분에서 15분까지 지속되었다. 황산 농도 1 mg/m^3 이하에서는 피험자가 냄새, 맛 또는 자극에 의해 황산을 감지할 수 없었고 3 mg/m^3 에서는 모든 피험자가 감지하였다. 5 mg/m^3 의 황산을 깊게 흡입한 경우는 기침을 동반하였다.

황산 농도 0.35 mg/m^3 수준으로 흡입하면 모든 피험자의 호흡률(respiration rate)이 바뀌었다. 이 변화는 자극에 대한 반사 반응으로 추정하였다. 피험자의 호흡률은 노출기간 동안 35% 증가했으며 노출 후 3분까지는 대조군 수치보다 13% 이내로 떨어졌다. 호흡률의 변화는 1회 호흡량(tidal volume)의 28% 감소를 동반하였다. 이러한 초기 관찰에 이어 많은 연구자들이 정상인 및 천식 환자 모두를 대상으로 황산 효과를 연구하였다. 일반적으로 1 mg/m^3 이하의 황산 단일 노출로는 건강한 피실험자들의 폐 기능 변화를 일으키지는 않았다.^{1, 9, 10, 11, 12)}

Koenig 등¹³⁾은 습한 공기조건(상대 습도 75% 이상)에서 40분 동안 $110 \mu\text{g/m}^3$ 황산에 청소년기 천식 환자(13~18세)들을 운동 중에 노출시켰다. 황산 미스트는 운동 중 마우스피스를 통해 노출시켰으며 공기역학적 직경(MMAD)은 $0.6 \mu\text{m}$ 이었다. 대조군과 비교했을 때 최대 호기 유량값과 1초 강제 호기량(FEV1.0)이 크게 감소하였고 호흡저항이 발생하였다.

Utell, Morrow 등⁹⁾은 일련의 실험으로 흡입된 황산 에어로졸에 대한 성인 천식 환자의 반응을 조사하였다. Utell 등¹⁴⁾은 $100 \sim 450 \mu\text{g/m}^3$ 의 황산(공기역학적 직경(MMAD) $0.8 \mu\text{m}$)에 노출된 천식 환자들을 연구하였다. 천식 환자가 $450 \mu\text{g/m}^3$ 에

노출된 후 FEV1과 특정 기도 전도도(airway conductance)는 감소했지만 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서는 감소하지 않았다. FEV1과 최대 호기유량의 감소는 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 황산에 30분간 노출된 천식 환자에서 나중에 관찰되었다.¹⁵⁾ 🗣️

참고문헌

1. Sackner MA; Ford D; Fernandez R; et al: Effects of sulfuric acid aerosol on cardiopulmonary function of dogs, sheep, and humans. *Am Rev Respir Dis* 118:497–10 (1978).
2. Laskin S; Sellakumar AR: Final report of progress to the Environmental Protection Agency-comparison of pulmonary carcinogenicity of known carcinogens with and without added sulfuric acid mists, airborne respirable particles, and gases. Report No. 68-02-1750. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (1978).
3. Goldman A; Hill WT: Chronic bronchopulmonary disease due to inhalation of sulfuric acid fumes. *AMA Arch Ind Hyg Occup Med* 8(3):205–11 (1953).
4. Malcolm D; Paul E: Erosion of the teeth due to sulfuric acid in the battery industry. *Br J Ind Med* 18:63–9 (1961).
5. Jones W; Gamble J: Epidemiological–environmental study of lead acid battery workers. I. Environmental study of five lead acid battery plants. *Environ Res* 35:1–0 (1984).
6. Gamble J; Jones W; Hancock J: Epidemiological–environmental study of lead acid battery workers. II. Acute effects of sulfuric acid on the respiratory system. *Environ Res* 35:11–9 (1984).
7. Gamble J; Jones W; Hancock J; Meckstroth RL: Epidemiological–environmental study of lead acid battery workers. III. Chronic effects of sulfuric acid on the respiratory system and teeth. *Environ Res* 35:30–52 (1984).
8. Amdur MO; Silverman L; Drinker P: Inhalation of sulfuric acid mist by human subjects. *Arch Ind Hyg Occup Med* 6(4):305–13 (1952).
9. Utell MJ; Morrow PE; Hyde RW: Airway reactivity to sulfate and sulfuric acid aerosols in normal and asthmatic subjects. *J Air Pollut Control Assoc* 34(9):931–35 (1984).
10. Horvath SM; Folinsbee LJ; Bedi JF: Effects of sulfuric acid mist exposure on pulmonary function. Institute of Environmental Stress, University of California, Santa Barbara. EPA Grant No. R804853. EPA 600/1-81-044. Health Effects Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (1981).
11. Avol EL; Jones MP; Bailey RM; et al: Controlled exposures of human volunteers to sulfate aerosols. *Am Rev Respir Dis* 120:319–26 (1979).
12. Kerr HD; Kulle TJ; Farrell BP; et al: Effects of sulfuric acid aerosol on pulmonary function in human subjects: an environmental chamber study. *Environ Res* 26(1):42–0 (1981).
13. Koenig JQ; Pierson WE; Horike M: The effect of inhaled sulfuric acid on pulmonary function in adolescent asthmatics. *Am Rev Respir Dis* 128:221–225 (1983).
14. Utell MJ; Morrow PE; Speers DM; et al: Airway responses to sulfate and sulfuric acid aerosols in asthmatics. *Am Rev Respir Dis* 128:444–50 (1983).
15. Utell MJ; Mariglio JA; Morrow PE; et al: Effects of inhaled acid aerosols on respiratory function: the role of endogenous ammonia. *J Aerosol Med* 2:141–47 (1989).