

석면 대체재는 안전한가?

산업안전보건연구원 화학물질안전보건센터 / 정 용 현

클릭하는 순서

- ① 석면 대체재는 안전한가? ② 석면분석의 국제공인시험기관 인정체계(NVLAP)
- ③ 나노물질의 유해성 평가 ④ 산업독성과 동물윤리 ⑤ MSDS 화학물질 정보관리의 국제적 동향
- ⑥ ⑦ 나노물질의 유해성 관련 국제 연구 동향 ⑧ 사업장에서 GHS 이행실태는 어떠한가?
- ⑨ 근로자를 위한 화학물질 유해성 정보전달 ⑩ 산업안전보건법상의 화학물질관리

물리화학적 특성

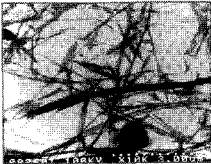
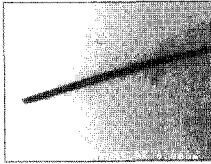
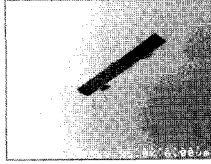
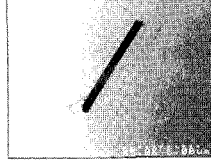



석면대체재는 암면, 유리면, 세라믹 섬유 등의 무기합성계와 아라미드 섬유, 특수비닐론 섬유 등의 유기합성계 및 해포석(세피오라이트), 규회석, 탈크 등의 천연광물계로 분류할 수 있다.

석면대체재는 석면이 사용되었던 제품의 특성에 따라 여러 가지 용도로 사용되고 있다(표 1).

슬레이트, 건축물 외벽, 시멘트 보강재, 단열재 등 석면이 함유되어 있던 건축자재

대체재로 암면, 유리면 등이 사용되고 있으며, 브레이크라이닝, 디스크브레이크 등 석면이 함유되어 있던 마찰재의 대체재로는 아라미드 섬유, 탄소 섬유, 세라믹 섬유, 금속 섬유, 해포석 등이 사용되고 있다. 개스킷, 조인트시트 등에 사용되었던 석면의 대체재로는 흑연 섬유, 금속 섬유, 아라미드 섬유 등이 사용되고 있으며, 내열포, 패킹재 등 방직품에 사용되었던 석면의 대체재로는 아라미드 섬유, 탄소 섬유, 세라믹 섬유 등이 사용되고 있다. 또한 용광로, 항공기, 내연기관, 절연재, 도료, 플라스틱 보강재 등에 사용되었던 석면의 대체재로는 세라믹

〈표 1〉 석면 및 석면대체재 종류별 용도 및 형태

종류	용도	투과전자현미경 사진	배율
백석면	건축자재, 마찰재		10,000
유리면	단열 흡음재		5,000
암면	단열 흡음재, 뽑질재		5,000
세라믹섬유	산업용 내화 단열재		5,000
해포석 (세피오라이트)	건축자재, 마찰재		5,000
규회석	건축자재		5,000
텔크 (트레모라이트 함유)	첨가제, 안정제		5,000

섬유, 탄소 섬유, 흑연 섬유 등이 사용되고 있다.

석면대체재의 특성과 유해성

섬유상의 물질이 인체의 폐로 침투되면 얼마나 해로운 지는 섬유의 크기와 밀접한 관계가 있다. 발암성 물질로 알려진 석면의 크기는 얼마나 될까?

우리나라에서 가장 많이 사용되어진 백석면은 직경이 0.03 μm 정도로 매우 가늘고 긴 곡선 형태를 보이며, 트레모라이트는 직경이 1.6 μm 정도로 백석면보다 50 배 정도 두꺼운 직선 형태를 보인다.

그렇다면 석면대체재의 크기는 어느 정도인가? 건축자재용으로 많이 사용되는 암면의 직경은 1.8 μm , 세라믹 섬유의 직경은 2.9 μm , 유리면의 직경은 3.7 μm 정도로 백석면에 비하여 50 배-100 배 두꺼운 형태를 보인다.

일반적으로 인조광물섬유는 물리적, 화학적 특성상 석면보다는 안전한 물질로 알려져 있지만, 길고 얇은 섬유가 오래 동안 폐속에 남아 있으면 폐 손상, 섬유화, 폐암 등을 유발할 수 있다.

Plato(1995) 등이 인조유리섬유(암면, 유리면) 제조업에 종사 했던 근로자들에 대한

역학조사에 의하면 인조유리섬유의 폭로와 폐암이나 위암과의 관련성은 찾을 수 없었다. 그러나 Brown(1991) 등이 흉막이나 복강으로 주입한 특수목적 유리면에 대한 동물시험 결과에서는 제한적으로 발암성이 인정되었다.

Hesterberg(1995) 등이 랫드에 암면을 폭로시킨 시험에서는 폐에서 염증반응이 나타났다으며, De Vuyst(1995) 등이 실험동물에 내화 세라믹섬유를 폭로시킨 시험에서는 폐 섬유증, 폐종양, 종피종 등이 나타났다.

최근 널리 사용되고 있는 인조유기섬유는 인조유리섬유에 비하여 직경이 두꺼워서 호흡기로 흡입될 가능성이 적으나, 인조유기 섬유 중에는 직경이 매우 가는 것 있어서 생산 후 재가공 과정에서 호흡성 먼지가 발생되기도 하며 3 곳의 나이론 공장 근로자에서 폐질환이 보고된 바 있다(Warheit 등 2001).

호흡기로 폭로되는 섬유상 물질은 폐 조직 내에서 얼마나 오래 동안 제거되지 않고 남아 있는가에 따라 독성의 강도가 결정된다고 할 수 있는데, 석면대체재의 생체 내 내구성과 관련된 연구보고를 살펴보면, 랫드의 호흡기로 흡입시킨 5 μm 이하의 유리 섬유는 폐포 주변의 대식세포에 의해 80 % 이상이 1년 내 제거되지만 30 μm 및 60 μm 등의 기다란 섬유는 대식세포에 의하여 제

거되지 않는 것으로 알려져 있다(Morgan & Holmes, 1984b).

랫드의 기관 내로 주입시킨 암면은 18 개월이 지나도 폐 내에 장기간 존재한다는 보고가 있으며, 암면과 세라믹 섬유는 폐내 지속성을 비교한 결과, 270일 후 암면은 약 6%가 남아 있었으나 세라믹 섬유는 약 25%가 남아 있어 세라믹 섬유가 폐 내에서 지속성이 더욱 긴 것을 알 수 있었다(Hammond, 1984).

그동안의 석면대체재에 대한 연구결과에 의하면, 생체 내 내구성은 세라믹 섬유, 암면, 유리면의 순서로 강하고, 동일한 물질일 경우에는 직경이 동일하면 길이가 길수록 내구성이 강한 것으로 판단되지만, 섬유의 유해성은 흡입량과 섬유의 크기, 화학적 조성, 생체 내구성, 표면 특징 등에 따라 다르게 나타날 수 있다. 폐에 축적된 인조유리섬유는 마크로파아지에 의하여 탐식 되는데, 불완전한 탐식의 경우에는 강력한 염증 자극물이 되어 폐 세포의 증식을 초래하게 되며, 지속적인 염증과 섬유화는 종양으로 발전할 수 있다.

석면대체재와 관련된 또 하나의 문제점은 최근 베이비 파우더 사건과 같이 사회적 문제가 되었던 '석면이 함유된 토탈크'와 같이 석면대체재에 석면이 함유될 가능성이 있다는 것이다. 광물생성 과정에서 트레모

라이트와 같은 발암물질과 혼합되어 있는 활석에 폭로되면 치명적일 수 있다.

우리나라에서는 아직 문제가 되지 않고 있지만, 미국 뉴욕 규회석 광산에서 트레모라이트가 국소적으로 발견된 적이 있다. 이 광산에서 트레모라이트가 발견된 이후로 미국에서는 규회석 생산관리 프로그램을 강화하여 오염 물질을 분리하고 있으며, 제조공정 중 규회석 검사와 적절한 작업환경농도 유지를 위한 공기질 검사, 광석에 대한 투과전자현미경 검사로 석면 검출 유무를 확인하고 있다. 미국 노동부 광산안전보건국에서는 섬유상물질을 함유하고 있거나 섬유형태로 발생할 수 있는 물질 150 여개를 선정한 바 있다.

석면대체재의 관리 현황

국제암연구소(IARC, 2002)는 Volume 81에서 인조유리섬유를 재평가하여 암면과 유리면, 장유리 섬유 등에 대해서는 인체발암가능물질인 group 2B에서 인체발암가능성이 없는 group 3로 재분류하였으나, 세라믹 섬유와 특수유리섬유에 대하여는 인체발암가능물질인 group 2B로 분류한 바 있다.

미국산업위생전문가협회(ACGIH, 2005)에서는 섬유수 농도기준으로 세라믹 섬유의 노출기준(TLVs)은 0.2 f/cc로 규정하고 있

으며, 유리면과 암면 그리고 특수유리섬유에 대해서는 노출기준을 1 f/cc로 규정하고 있다. 장유리 섬유에 대해서는 노출기준을 섬유수 농도 1 f/cc와 중량 5 mg/m³로 규정하고 있다.

그러나 우리나라 고용노동부 노출기준(2011)에는 유리 섬유 분진 5 mg/m³, 활석(석면 불포함) 2 mg/m³, 광물털섬유 10 mg/m³ 등으로 노출기준이 중량기준으로는 설정되어 있으나 섬유수 농도기준은 없으며, 인체발암가능물질인 세라믹 섬유 등에 대해서는 기준 자체가 없는 실정이다.

결론

Morgan 등(1980)은 인조광물섬유는 백석면에 비하여 직경이 크기 때문에 랫드의 폐포에 유리섬유가 침착되는 비율은 낮고 직경이 동일하면 섬유의 길이가 길수록 폐포에 침착되는 비율은 감소한다고 하였다. 섬유상 물질은 직경이 약 1 μm 일 때 가장 효율적으로 호흡기에 침착되며 이 보다 더 큰 입자는 효율이 감소되고 3 μm 보다 큰 직경의 섬유들은 근본적으로 비호흡성으로 결

론을 내린 바 있다(Walton, 1982).

일반적으로, 섬유는 기류의 방향과 평행하게 운반되고 섬유상 입자의 기도 침착은 주로 섬유의 직경에 의하여 결정되게 되며 길이와 직경의 비는 2차 인자로 작용하는 것으로 생각되지만, 동일한 직경을 가진 섬유상 입자라도 섬유의 형태가 직선상이 아닌 곡선상일 경우에는 공기역학적 직경이 증가하여 기도내로 흘러가기가 어려워진다.

유리면, 암면, 세라믹 섬유, 규회석, 해포석 등은 직선의 섬유상으로 호흡기로 침투가 가능한 물질이다.

Pott(1978)에 의하면, 섬유의 형태가 가장 중요한 발암성 요소 중의 하나이며, 직경 0.25 μm, 길이 20 μm의 섬유가 가장 발암성이 높은 섬유형태라고 한 바 있다.

석면대체재는 제조 조건에 따라 크기가 차이가 나고, 탭크, 해포석, 규회석 등은 석면을 함유할 수 있는 광물이므로 광물 채광 과정에서부터 정밀한 분석과 작업환경관리에 유의하여야 할 것으로 판단되었다. ☞

참고문헌

1. 고용노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 고용노동부 고시 제2011-13호
2. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 2005.
3. Brown RC, Davis JM, Douglas D, Gruber UF, Hoskins JA, Ilgren EB, Johnson NF, Rossiter CE, Wagner JC. (1991 Aug). Carcinogenicity of the insulation wools: reassessment of the IARC evaluation, Regul Toxicol Pharmacol. 14(1), 12-23.
4. De Vuyst P, Dumortier P, Swaen GM, Pairon JC, Brochard P. (1995 Dec). Respiratory health effects of man-made vitreous (mineral) fibres, Eur Respir J. 8(12), 2149-73.
5. Hammond, Y. Y, Deposition and elimination of MMMF, WHO, 1984, Vol. 2, 126-142.
6. Hesterberg TW, Miiller WC, Thevenaz P, Anderson R. (1995 Oct). Chronic inhalation studies of man-made vitreous fibres: characterization of fibres in the exposure aerosol and lungs, Ann Occup Hyg. 39(5), 637-53.
7. Morgan, A., Black, A., et al., Deposition of sized glass fibers in the respiratory tract of the rat. Ann. occup. Hyg., 1980, 23, 353-366.
8. Morgan, A & Holmes, A., The deposition of MMMF in the respiratory tract, their subsequent clearance, solubility in vivo and protein coating, WHO, 1984 b, Vol. 2, 1-17.
9. Plato N, Westerholm P, Gustavsson P, Hemmingsson T, Hogstedt C, Krantz S. (1995 Oct). Cancer incidence, mortality and exposure-response among Swedish man-made vitreous fiber production workers, Scand J Work Environ Health. 21(5), 353-61.
10. pott, F, Carcinogenicity of fibers in experimental animals-Data and evaluation, In Bates, D. V., et al., (eds) Assessment of inhalation Hazards, Berlin, springer-Verlag, 1978, 243-253.
11. Walton WH, The nature, hazards and assessment of occupational exposure to airborne asbestos dust : A review, Ann Occuo Hyg, 1982, 25 (2), 117-247
12. Warheit DB, Hart GA, Hesterberg TW, Collins JJ, Dyer WM, Swaen GM, Castranova V, Soiefer AI, Kennedy GL Jr. (2001 Nov). Potential pulmonary effects of man-made organic fiber (MMOF) dusts, Crit Rev Toxicol, 31(6), 697-736.
13. IARC (international agency for research on cancer) Volume 81, man-made vitreous fibers. 2002.