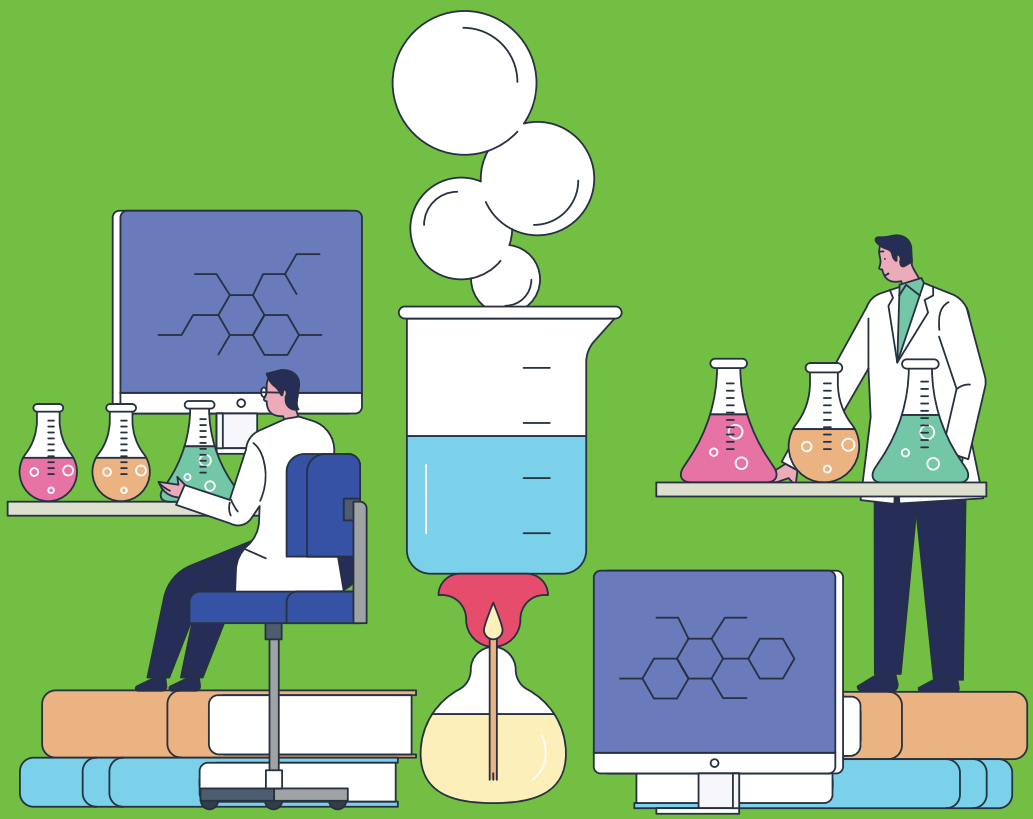
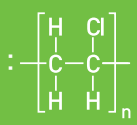
폴리염화비닐
POLYVINYL CHLORIDE, PVC



CAS 번호 : 9002-86-2
동의어 : Cloroethylene homopolymer, Chloroethylene polymer, Clororethene polymer, Polychloroethylene, Vinyl chloride homopolymer, Vinyl chloride polymer, PVC
분자식 : $(C_2H_3Cl)n$
구조식 :



노출기준 : TLV – TWA, 1 mg/m^3(호흡성 분진); A4(사람에게 분류되지 않는 발암성)

요약

여기서 제시하는 TLV 관련 내용은 염화비닐 단량체(Vinyl Chloride Monomer)가 아닌 중합된 형태의 염화비닐에만 적용한다. 모노머(염화비닐)는 건강 영향이 다르기 때문에 별도의 염화비닐 TLV가 있다. 폴리염화비닐(PVC) 입자는 물에 녹지 않는다. 실험동물 및 인간에 대한 유용한 자료에서 순수 폴리염화비닐은 포유류에 유입되어도 대사되지 않는다고 보고하였다.

여러 보고서에 따르면 높은 농도 수준의 폴리염화비닐 입자를 흡입하면 폐섬유증(PVC Pneumoconiosis)이 발생한다는 보고가 있었다. 또한 폴리염화비닐의 노출과 기침, 호흡 곤란의 호흡기 증상 그리고 폐기능 감소가 관련이 있고 흉부 X-레이 상의 결절 및 망상 그림자가 관찰된다는 연구가 많았다.

그러나 염화비닐 단량체와 폴리염화비닐의 분해 생성물, 폴리염화비닐 제조과정의 첨가제 그리고 기타 물질을 포함하는 다른 공기 오염 물질들의 동시 노출에 대한 연구 결과와 혼동할 수 있다. 폴리염화비닐 입자에 노출된 작업자에게서 보고된 건강에 대한 악영향을 고려하여 폴리염화비닐 입자에 대한 직업적 노출기준을 호흡성 분진(Respirable Fraction)의 형태로 TLV-TWA 1 mg/m^3으로 권고하였다.

폴리염화비닐의 TLV는 작업자의 폐부작용을 예방하기 위한 것이다. 폴리염화비닐이 사람이나 실험동물에게 발암물질이라는 결론을 내리기에는 자료가 충분하지 않다. 따라서 인간의 발암물질로 분류할 수 없는 A4 표기로 권

김치년
연세대학교
보건대학원 교수

고하였다. 폴리염화비닐 입자가 피부에 침투하거나 피부 또는 호흡기에 과민성을 유발한다는 자료는 없다. 또한 TLV-STEL을 설정하기 위한 유용한 자료도 부족하다.

폴리염화비닐은 1872년 독일의 바우만에 의해 처음 합성되었다.

역사적인 소개

폴리염화비닐 수지의 개발 및 생산에 대한 자세한 내용은 Patty's Industrial Hygiene and Toxicology(Bingham 등, 2001)에서 제시하고 있다. 폴리염화비닐은 1872년 독일의 바우만(Baumann)에 의해 처음 합성되었다. 1912년 Fritz Klatte는 1920년대 후반 미국에서 폴리염화비닐의 상업적 생산을 시작할 수 있는 기초 자료를 제공하였다.

물리화학적 특성

폴리염화비닐의 물리화학적 특성은 여러 참고문헌(Bingham 등, 2001; Kirk-Othmer, 2004; Merck, 1996)에서 설명하고 있으며 다음과 같다.

폴리염화비닐의 물리화학적 특성

- 분자량(Molecular Weight): 생산 방법에 따라 크게 다르지만 분자량의 범위는 60,000~150,000
- 색깔(Color): 무색에서 백색이며 일부 폴리염화비닐 제품에는 착색제가 첨가될 수 있음
- 입자 크기(Particle Size): 제조 공정에 따라 직경의 범위는 0.05~150 μm
- 비중(Specific Gravity): 1.4
- 녹는점(Melting Point): 212~310°C
- 굴절률(Refractive Index): 1.54
- 용해도(Solubility): 물, 농축 알칼리, 비산화성 산(Non-Oxidizing Acid), 지방족 탄화수소, 미네랄 오일, 에탄올 그리고 페놀에는 녹지 않음
- 폴리염화비닐의 용제(Solvent): 시클로헥사논, 메틸 시클로헥사논, 디메틸 디포름아미드, 니트로벤젠, 테트라 히드로푸란, 이소포론, 디프로필 케톤, 메틸 아밀케톤, 메틸 이소부틸케톤, 메틸 에틸케톤, 디옥산 및 염화 메틸렌
- 분해(Decomposition): 농축 산화성 산(황산, 질산, 크롬산)으로 분해되며 불안정한 폴리염화비닐은 열, 빛 그리고 자외선에 의해 분해 가능

직업적 노출의 주요 발생 요인

순수 폴리염화비닐 제품의 분진 또는 첨가제가 포함된 상업용 폴리염화비닐 그리고 폴리염화비닐 수지의 열분해 산물에 대한 각각의 독성은 많은 차이가

있다. 폴리염화비닐은 액체 및 고체 형태를 포함하여 많은 종류로 생산된다. 고체는 분말, 큐브(Cube), 과립, 펠렛 그리고 섬유 형태이다. 또한 폴리염화비닐은 견고하거나 유연한 형태의 제품으로 생산된다.

일반적으로 폴리염화비닐은 촉매 존재 하에 염화비닐 단량체(CAS 번호 75-01-4)를 열과 압력을 가해서 중합시켜 제조한다. 주요 중합 방법의 유형에 따른 대표적인 입자의 크기(질량 중위 공기역학적 중위직경, Mass Median Aerodynamic Diameter, MMAD)는 다음과 같다.

현탁 중합에 의해 생성된 폴리염화비닐 수지 입자는 일반적으로 직경이 크며 대부분은 호흡성 분진이 아니다.

질량 중위 공기역학적 중위직경

1. 현탁 중합(Suspension Polymerization): 2 μm(MMAD) 이상의 입자 크기
2. 에멀젼 중합(Emulsion Polymerization): 입자 범위 0.05~2 μm(MMAD)
3. 벌크 중합(Bulk Polymerization): 입자 범위 50~100 μm(MMAD)
4. 용액 중합(Solution Polymerization): 입자 크기는 평균 약 75 μm(MMAD)

북미에서는 2003년에 약 150억 파운드의 폴리염화비닐이 생산되었으며(American Plastics Council, www.americanplasticscouncil.org) 현탁 중합 생산이 대부분을 차지하였다. 앞에서 설명한 것과 같이 현탁 중합에 의해 생성된 폴리염화비닐 수지 입자는 일반적으로 직경이 크며 대부분은 호흡성 분진이 아니다. 미국 생산의 약 4%를 차지하는 에멀젼 중합은 폐의 가스 교환 영역에 보다 쉽게 도달하는 훨씬 작은 입자(호흡성)이다.

독성학적으로 관심 대상이 되는 폴리머(PVC)의 다른 성분

폴리염화비닐 분진 노출과 관련된 건강 위험을 평가하려면 수지의 중합 및 배합에 사용되는 성분에 대한 정보가 필요하다. 최종 제품의 제조는 코팅(Coating), 캘린더(Calendaring) 및 몰딩(Molding) 과정을 거친다. 1975년 이전에 생산된 벌크 폴리머에는 최대 1,000~2,000ppm의 중합이 안된 유리 형태(Free Foam)의 염화비닐 모노머를 함유하였지만(Clayton, 1977), 현재의 폴리염화비닐 폴리머에는 0.09~3ppm의 훨씬 적은 염화비닐 모노머를 함유하고 있다. 다양한 화학물질이 생산과정에서 폴리염화비닐 수지에 첨가되어 물리적 및 화학적 특성을 향상시킨다. 현탁 중합으로 제조한 수지의 분진에는 소듐 라우릴 설페이트(Sodium Lauryl Sulfate)와 같은 하나 이상의 계면활성제를 함유 할 수 있다. 폴리염화비닐 분진에 있는 계면활성제는 세포 매개 생물분석에서 생물학적 활성에 영향을 줄 수 있다(Richards 등, 1976).

폴리염화비닐 분진 노출과 관련된 건강 위험을 평가하려면 수지의 중합 및 배합에 사용되는 성분에 대한 정보가 필요하다. 최종 제품의 제조는 코팅, 캘린더 및 몰딩 과정을 거친다.

동물 실험연구

급성/아급성

급성 흡입연구에서 흰쥐(Rat)에게 1~3일 동안 50~60 mg/m^3의 폴리염화비닐 입자(기하학적 평균직경, 1.2 μm)를 흡입 노출시켰다(Srivastava 등, 1980). 30일의 회복 기간 후에 폐에서는 폴리염화비닐 분진이 대체로 제거되었지만 림프 및 기관지 상피에서는 분진이 약간 축적되었다. 섬유증 또는 육아종성 변화(Granulomatous Change) 없이 세포 증식(Cellular Proliferation)의 증거가 관찰되었다. 급성 경구연구에서는 5일 동안 매일 사료에 250g의 폴리염화비닐과 아크릴 수지 섞은 것을 개에게 공급한 결과 부작용은 관찰되지 않았다(Johnson과 Schmidt, 1972).

Nguyen과 Burnett(1988)는 토끼 귀에 폴리염화비닐 수지 분진을 도포한 연구에서 모공을 막지 않는다는 것을 관찰하였다. 저자들은 사람에게서 언급된 폴리염화비닐 노출의 피부 효과(여드름 증상 악화)를 확인할 수 없었다. 저자들은 근로자의 피부 반응이 다른 성분과 관련이 있었지만 폴리염화비닐 분진 자체와는 관련이 없다고 결론지었다. 또 다른 연구에서도 토끼 귀에 하루에 한 번, 2주(5일/주)동안 폴리염화비닐 분진을 피부에 도포하였지만 피부에 병변이 발생하지 않았다(Goh와 Ho, 1993).

저자들은 근로자의 피부 반응이 다른 성분과 관련이 있었지만 폴리염화비닐 분진 자체와는 관련이 없다고 결론지었다.

참고 문헌

Bingham E; Cohrssen B; Powell CH (Eds): Patty's Toxicology, 5th ed, Vol 7. John Wiley & Sons, New York (2001).

Clayton HM: Toxicity and vinyl chloride. In: Developments in Polyvinyl Chloride Production and Processing, pp 43–61. Whelan A; Craft JL (Eds). Applied Science Publishers (1977).

Goh CL; Ho SF: An outbreak of acneform eruption in a polyvinyl chloride manufacturing factory. Dermatosen 36:53–57; 1985; as cited by the Dutch Expert Committee on Occupation Standards (DECOS): In: Health–based recommended occupational exposure limit for polyvinyl chloride dust. Draft. DECOS (1993).

Johnson WS; Schmidt RE: Effects of polyvinyl chloride ingestion by dogs. Am J Vet Res 38:1891–1892 (1972).

Kirk–Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 5th ed, 25:657–691. John Wiley & Sons, New York (2004).

Merck & Co Inc: Polyvinyl chloride. In: The Merck Index, 12th edition on CD–ROM, Version 12:1. Budavari S, O'Neil M, Smith A, et al. (Eds). Chapman & Hall, New York (1996).

Nguyen T; Burnett JW: Local skin reaction caused by the plastic catheter tubing of the continuous subcutaneous insulin infusion system. Cutis 41:355–356 (1988).

Richards RJ; Desai R; Hext PM; Rose F: Biological reactivity of Polyvinyl Chloride dust. Nature 256:664–665 (1975).

Richards RJ; Desai R; Rose F: A Surface active agent involved in Polyvinyl Chloride–induced haemolysis. Nature 260:53– 54 (1976).

Srivastava RK; Sachan AS; Sharma SK; et al.: Indian J Physiol Pharmacol 24(5): Supp 1, Abstr 124 (1980).