

복합재료와 건강



전 의 진

(재료연구부장)

- '65-'69 서울대학교 공과대학 공업교육과 학사
- '72-'74 서울대학교 대학원 기계공학과 석사
- '74-'78 서독 Hannover 대학교 금속공학과 박사
- '78-'80 미국 Delaware 대학교 공과대학
선임연구원
- '81-현재 한국기계연구소 복합재료실장, 재료연구부장



김 병 선

(복합재료실 선임연구원)

- '77.5 미국Grinnell College 물리학 학사
- '78.5 미국Washington 대학교 기계공학 학사
- '80.5 미국Washington 대학교 기계공학 석사
- '90.12 미국Missouri-Rolla 대학교 기계공학 박사
- '91.2-현재 한국기계연구소 복합재료실 선임연구원

1. 서 론

오늘날 급속히 성장하고 있는 신소재 복합재료 산업은 작업장에서의 건강문제도 함께 가져왔다. 신소재로서 각광 받게됨으로써 건강 문제를 덮어 두었거나 충분히 검토될 만큼 사례들이 모아지지 않은 탓이라고 생각한다. 경화되지 않았거나 부분적으로 경화된 항공용 복합재료 수지와 프리프레그는 화학적 반응으로 증발되는 증기 혹은 화학물질 때문에 작업자들에게 심한 경우에 눈의 염증, 피부염, 기역상실증, 암등 여러 질병을 준다.

복합재료와 관련된 모든 질병을 다 피할수 없지만, 적절한 위생 관리법 및 예방 대책등이 철저히 적용되면 복합재료를 작업장에서 안전하게 다룰수 있다는 것이 미국의 정부, 산업계, 학계등 안전 전문가들의 공통된 의견이며, 위생관리법과 예방 대책법을 입법화 시킬 움직임을 보이고있다. 지금까지는 산업 발전에만 급급하여 위생관리가 소홀히 실행 되거나 작업 안전및 위생관리 규정이 미비하였던것이 현실이므로 작업 안전및 위생 관리 규칙을 전문화 하고 올바르게 적용하여 작업자의 안전및 건강문제를 제기해야할 시점이라고 본다. 최근에 도착한 Advanced Composites지에 실린 "Health and Safety in Composite Plants"라는 기사를 중심으로 복합재료와 관련된 건강문제에 대하여 살펴 보고자 한다.

2. 복합재료의 구성요소가 인체에 끼치는 영향

2.1. 수지, 섬유, 경화제등의 영향

첨단복합재료 산업의 발전과 함께 복합재료

작업장에서의 건강 및 안전이 문제가 되어왔으며, 1988년 여름, 미국의 대중 매체를 통해서 복합재료와 관련된 건강문제가 심각하게 제기 되었다. 특히 복합재료를 작업하는 사람들이(Boing 과 Lockheed사) 질병을 얻었고, 이중 일부가 미국 비밀 군용 비행기 프로그램으로 F-117/AStealth 전투기를 만든 사람들인 사실이 밝혀졌을때 복합재료와 건강문제에 대한 관심이 높아졌다. 이후로 노동자, 산업계, 학계, 정부기관 등은 문제의 해결책을 찾기 시작했고, 복합재료와 관련된 건강문제를 토론하기 위한 공개토론회를 조직하였다. 처음으로 이문제에 대한 회의가 1989년 2월에 Supply of Composite Materials Association과 Aerospace Industries Association(미항공우주 산업회)의 협력과 미공군의 후원으로 이루어졌다. 이 토론회에서 International Association of Machinists and Aerospace Workers의 대표는 페놀 수지와 경화제 MDA가 신체에 끼치는 위험성에 대해 발표 하였고, National Institute for Occupational Safety & Health(미국 안전및 건강 관리소)의 대표는 경화제인 methylene dialine(MDA)에 노출된 사람중 일부가 방광암의 초기 증세를 보인 점에 대해 토론하였으며, Lockheed Aeronautical Systems사에서는 원료, 먼지, 기체, 연기 등의 위험성에 대해 발언을 하였다. 이 토론에서 Lockheed사가 추가적으로 제시한 내용은 다음과 같다.

원료는 피부, 눈, 호흡기염증, 아레르기, 만성폐병 뿐만 아니라 생식기능과 중추신경계에도 영향을 끼칠 수 있으며, 간, 콩팥, 뼈, 혈액형성기관과

임파선에도 피해를 준다. 비석면 섬유에 노출되면 허파에 상처를 입게되며, 이와같이 몇 가지의 섬유가 사람에 대한 피해는 아직 알려지지 않았지만 실험실 동물들에게 암을 유발시킨다는것을 발견했다. 경화제로 쓰이는 methylene dianiline과 sulfonyl dianiline이 실험실 동물에게 암을 일으킨다. 인체에 대해서는 아직 불확실 하지만 MDA는 간 중독제로 알려져 있고, 몇몇 glycol ether등은 생식기능에도 영향을 끼친다. Chromium VI(a carcinogen)과 은을 포함한 중금속등은 도료의 중요한 구성요소이며, 중금속에 대한 노출은 각도료와 공정에 따라 다양하게 일어날 수 있으며 암, gastrointestinal disorders, 신경계를 파괴 시키는 등 병세를 일으킬수 있다. 만약 원료가 폭발성이 있거나 불타기 쉬운 성질의 것 이라면 건강에 더욱 피해를 준다.

2.2. 반응제의 영향

복합재료 생산 현장에서는 항상 위험을 줄 수 있는 자재들이 있다. 예로 Burbank에 있는 Lockheed사의 작업장에는 몇 천가지의 화학물질이 늘 사용 되고 있으며, 이중 가장 반응도가 높은 것들은 용제, 경화제, 수지등 우주항공 분야에 사용되는 것 들이다. 취급 부주의로 인한 이 화학물질들의 반응은 건강을 해치게 된다. 우주항공용 수지는 폴리머용 분자, 작용제, 용제등으로 구성되어있다. 복합재료 분야에서 가장 보편적으로 쓰이는 matrix material은 화학적 반응도가 상당히 높은 epoxide group의 epoxy수지이다.

1990년 4월 25일 미국 Washington D. C.에서 개최된 Epoxy Resin Workshop에서 발표된 내용은 다음과 같다.

- Epoxide부류인 glycidyls를 흡입하면 간, 폐, 콩팥등에 해를끼친다.
- Epoxy resin에 항상 사용되는 경화제는 반응도가 높은 물질이며, aromatic amine경화제는 간에 손상을 주며 혈액이 산소를 tissue에 공급하는 능력을 저하 시킨다.
- 용제및 phenol formaldehydes, isocyanates등의 수지도 건강을 해칠수 있다.

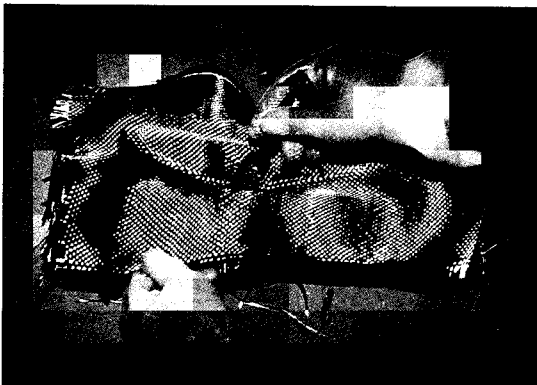


사진 1) 작업시 착용한 고무장갑

Toluene diisocyanate(TDI)는 독성이 강하여 호흡 장애를 줄수있다. 일단 호흡장애가 한번 오면 다시 TDI에 노출되어 있을 때 항상 아레르기 반응이 생긴다(표 2).

표 1) 복합재료의 구성요소가 신체기관에 미치는 영향과 병세.

구성요소	신체기관	알려진 병세
Martix		
Epoxy Resin	피부, 폐, 눈	접촉, 아레르기성 피부염, 결막염
Polyurethane Resin	피부, 폐, 눈	천식, 접촉성 피부염, 결막염
Phenol Formaldehyde and Amino Resins	피부, 폐, 눈	접촉, 아레르기성 피부염, 천식, 결막염(코, 인두, 폐, 압)
보강재료		
Aramid(Kevlar)	피부, 폐	피부와 호흡기염증, 접촉성 피부염 (만성, 갈라지는 폐병)
Ceramic Fiber	피부, 폐	피부와 호흡기염증, 접촉성 피부염 (만성, 갈라지는 폐병, 폐암)
Carbon Fiber	피부, 폐	피부와 호흡기염증, 접촉성 피부염 (만성, 갈라지는 폐병)
Glass Fiber (연속 Filament)	피부, 폐	피부와 호흡기염증, 접촉성 피부염 (만성, 갈라지는 폐병)
강화, 경화제		
Diaminodiphenylsulfone	없음	알려진 병세가 없음
Methylene Dianiline	간, 피부 (공팔, 방광)	간염, 접촉성 피부염 (공팔, 방광, 암)

3. 대책

3.1. 거리 및 환기장치

복합재료 작업장에서 인체에 해를 끼치는 요소에는 먼지, 섬유, 액체, vapor(증기), mist, 부패 혹은 소각된 물질 등 이있다. 이들은 호흡, 피부

표 2) 호흡으로 인한 폐병 유발 물질

Reactive chemicals		
	Trimellitic anhydride(TMA)	천식
	Diphenylmethane diisocyanate	과민성폐렴
	Trimellitic anhydride	출혈성 폐렴
Foreign protein	Cat dander	천식
Bacteria	Micropolyspora faeni	Farmer's lung
Fungal spores		
예1	alternaria	천식
예2	Aspergillus	Farmer's lung
예3	A. fumigatus	Allergic bronchopulmonary aspergillosis

접촉, 섭취(드문 상황이지만) 등을 통해 작업자의 건강을 해칠수있다. 이러한 위협적인 요소를 피하려고 작업장에 안전대책(engineering control)이 있어야 한다. 이 안전대책의 주요 부분은 공장설계(plant layout), 설계, 장비사용 등이 있다. 적절한 장비 설치로서 작업시 발생하는 먼지, 증기, 피부접촉등을 최대한 피할수 있다. 예를 들어 가공기에 설계된 진공(vacuum)장치는 상당히 효율적이며, 가공시 발생하는 냄새 제거에는 휴대용 진공기(portable vacuum)가 효율적이다. 일반적으로, 안전대책에는 두가지 방법이 있다. 즉 환기 장치를 설치하고 자재 및 화학물을 별도의 장소로 분리



사진 2) 환기장치기 없는 작업장

시키는데 있다. 일부 경우에는 환기장치 및 격리 시스템이 함께 사용되고 있다. 안전대책의 적용으로 얻을 수 있는 이점을 요약하면 다음과 같다.

(가) 격리된 작업장 :

- 수지 혼합, 혼합된 수지 이동, honeycomb-dipping 등을 단행된 별도의 장소에서 할 수 있어 작업자들의 접촉을 최대한 피할 수 있다.
- 수지, 페인트 등 화학물을 보관할 수 있어 작업자의 접촉 혹은 흡입을 최대한 피할 수 있다.
- 안전사고 최소화

(나) 환기 및 통풍 장치 :

- 작업장의 대기 속에 있는 여러 가지 불순물을 제거해 준다.
- 온도 및 습기를 알맞게 조절 해 준다.
- 작업장의 환기(air circulation)를 해 준다.

3.2. 피부 보호

North Island(샌디에고)에 위치한 해군항공 본부의 발표에 의하면 에폭시 수지에 접촉이 되면 피부염이 생기며, MDA(경화제)를 계속 사용하면 간염, 카본섬 유강화 복합재료를 가공할 때 생선 먼지를 흡입하므로 폐렴 등이 걸릴 수 있다고 보고했다. 호흡기관에 기능장애 증후군(症候群)이 생기며 정신병도 생길 가능성이 있다고 한다.

우주항공산업조합이 건강 및 안전 관리에 관련해

조사한 결과는 다음과 같이 요약된다. 복합재료와 작업을 하면서 수지, 수지의 증기, 섬유 등에 접촉되었을 때 피부 및 눈에 염증이 생길 수 있으므로 접촉을 최대한 피하면서 장갑(방수 및 내화학성 이면선 프리프레그 한 장을 느낄 수 있을 정도의 부드러운 것)을 끼고 작업복을 착용하되 장갑이나 작업복의 외부가 피부와 접촉되지 않도록 각별히 신경을 써야 한다. 접촉으로 생기는 피부염은 가벼운 것이지만 예민한 피부를 가진 사람에게는 심한 것이 된다. 또 추가로 갖추어야 할 장비는 마스크, 소매(sleeve), 앞치마, 모자(hair covering) 등이 있지만 선택을 잘하여 작업자를 확실히 보호할 수 있어야 한다.

4. 결 론

안전대책이 부적합 할 때는 개인 보호 장비를 착용 하는 것이 바람직하다. 작업자의 안전을 위하여 개인 보호 장비로는 마스크(인공 호흡 장치), 장갑, 작업복, 먼지 보호 안경 등이 있으며, 추가로 열 보호(thermal protection) 장비와 소음 제거 장비 등이 있다.

신소재 복합재료 작업장에는 대기 중에 이 물질들이 있고, 냄새도 나고, 가공시 소음도 심하기 때문에 위에 서술한 것과 같이 작업자의 건강에 여러 가지 해를 끼치게 된다. 따라서, 정부와 산업계는 적절한 산업 위생 법인과 방안을 마련하고 근로자 자신들도 안전 조치 사항에 준수하며 또 추가로 개인 보호 장비를 착용하여 복합재료 작업장에서의 건강 및 안전에 유의 해야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Leonard La Verne, 1991, Health and Safety in Composite Plants, Part I, "Advanced Composites", May/June, P. 37-44

[2] Leonard La Verne, 1991, Health and Safety in Composite Plants, Part II, "Advanced Composites", July/August, P. 46-52

[3] Doyle, Edward J., 1989, Suggested Strategies in Screening for Health Effects in Personnel Who

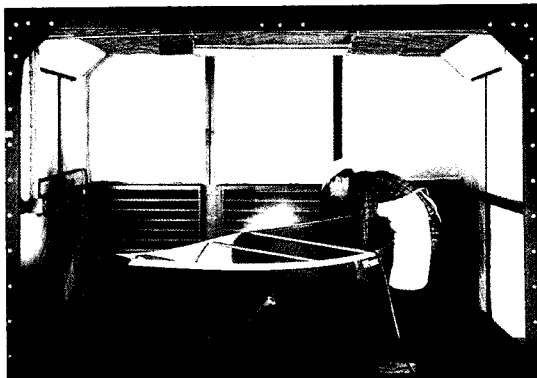


사진 3) 환기장치가 설치된 작업장

- Work With Composites, in Applied Industrial Hygiene(December), American Conference of governmental Industrial Hygienist, Cincinnati, P. 64-67
- [4] International Association of Machinists & Aerospace Workers. 1988. Poisonings Hit Boeing, Lockheed, in The Machinist(October). LAMAW, Washington, D. C. P. 3.
- [5] Jackson, Joseph C. 1991, Industry Health and Safety Initiatives : A Status Report Conference on Advanced Composites, March 5, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, San Diego.
- [6] Jolanki, R, L. Kanerva, T Estlander, K. Tarvainen, H. Keskinen, and M Henriks Eckerman, 1990, Occupational Dermatoses From Epoxy Resin Compounds. Contact Dermatitis, Vol. 23, No. 3. Munksgaard International Publications, Copenhagen. P. 172-183
- [7] Kantz, Melvin R, 1989, Advanced Polymer Matrix Resins and Constituents : An Overview of Manufacturing, Composition, and Handling, in Applied Industrial Hygiene(December). American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati. P. 1-8
- [8] Doyle Edward J., 1989, Suggested Strategies in Screening for Health Effects in Personnel Who Work with Composites in Applied Industrial Hygiene(December) ACGIH Cincinnati O. 64-67
- [9] Hubbell, M. Patricia, 1991, Ventilation Booths and Tool Exhaust Equipment to Control Composite Conference on Advanced Composites sponsored by the ACGIH March San Diego.
- [10] Morris Fine K. and D. R. Bourcier, 1991, Protocol for Risk Assessment and Health Evaluation of New Composite Materials Introduced Into the Workplace Conference on Advanced Composites, sponsored by ACGIH, March, San Diago.