

## 화학물질의 이독성

산업안전보건연구원 직업병연구센터 / 김 규 상

### 주요내용

- ① 인간의 청력 ② 일반인의 소음 노출 ③ 환경소음과 도시소음의 문제
- ④ 일상생활에서의 저주파음의 노출과 건강영향 ⑤ 소음환경 하에서의 어음인지와 청력손실
- ⑥ 소음 노출과 일시적 난청 ⑦ 소아 아동의 소음 노출과 청력영향
- ⑧ 취미 및 스포츠 활동에 따른 소음 노출과 청력영향 ⑨ 청력의 연령효과와 노인성 난청
- ⑩ 건강행태(음주, 흡연 등)와 청력영향 ⑪ 일반 질병(당뇨, 심장질환 등)에 의한 청력영향
- ⑫ 화학물질의 이독성 ⑬ 소음 이외 물리적 요인(진동, 라디오파, 방사선 등)에 의한 청력영향
- ⑭ 특수 종사자의 청력영향(공공 근무 종사자, 군인, 음악가, 기타 등) ⑮ 청력보존프로그램의 평가
- ⑯ 소음성 난청의 청능재활

### 이독성

이독성 난청은 치료약물에 의한 경우와 산업용으로 사용되고 있는 여러 가지 화학 물질에 의한 경우에 발생할 수 있다.

이독성 약물들은 내이의 구조물 중 특히 청각과 평형기능을 관장하는 말초감각세포나 신경세포 또는 중추신경에 기능적 장애를 초래하거나 손상을 야기하기도 한다. 대부분의 이독성 난청은 독성물질에 의한 유모세포의 손상과 미로의 항상성 기전이 파

괴되어 발생한다.

특정 약물들은 선택적 이독성을 가지고 있고 와우나 전정기관에 가역적 혹은 비가역적 변화를 준다. 일반적으로 와우증상인 이명이 난청보다 먼저 발생하여 더 심한 내이손상을 방지할 수 있다. 현훈은 항생제가 전정계에 우선적으로 침범하는 경우에 발생한다.

가역적인 이독성을 초래하는 약제로는 이뇨제(loop diuretics)와 살리실산 제제

(salicylate, nonsteroidal antiinflammatory drugs; NSAID)가 대표적인 약물이며, 비가역적인 이독성을 야기시키는 약제로는 아미노글리코사이드계 약물과 항암제가 대표적이다.

작업장에서 산업화학물질에 노출되어 나타나는 청력손실은 다양하고 복합적이며 또한 논란이 있다. 최근에는 동물실험 연구만이 아니라 화학물질에 노출된 인간에 대한 청각학적 영향을 밝혀내고 있다. 청력손실을 가져올 수 있는 산업용 이독성 물질로는 다음과 같은 것이 보고되고 있다.

중금속으로는 비소, 코발트, 납, 리튬, 메틸수은, 카드뮴, 망간 등이 있고, 화학물질로는 시안화합물, 벤젠, 아닐린 염료, 요오드, 일산화탄소, 이황화탄소, 트리클로로에틸렌, 크실렌, 톨루엔, 스타일렌, 헥산, 디메틸설폭사이드, 사염화탄소 등이 있다(Rybak, 1992).

일례로 수은중독의 경우에 Hunter-Russell 증후군과 미나마타병으로 진단되어 발견되었고, 청각장애와 관련하여 청력손실 초기에는 와우, 말기에는 후미로성 병변에 의해 진행 발전된다.

일산화탄소는 소음과 상승적으로 작용하여 난청을 일으키는 가장 명확한 물질이다. 일산화탄소와 소음에 대한 동시 노출은 단독노출의 합보다 더 큰 영구적 난청을 유발

하고, 무산소증은 소음성 난청을 악화한다.

이와 같은 산업화학물질에 의한 이독성 난청의 특징적인 증상으로 고음역의 청력손실, 이명 및 전정기능 장애가 있다. 이독성 위험에 영향을 미치는 소인으로는 용량, 신독성, 임신, 약물의 상승효과 작용, 유전적 소인, 소음 노출, 연령, 성과 과거의 청력손실 등이 있다(D'Alonzo와 Cantor, 1983).

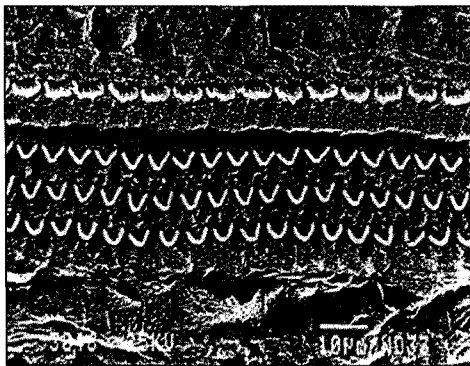
동물실험상 병리조직학적 연구와 청성뇌간반응에서 톨루엔은 와우각(Johnson 등, 1988), 노말렉산은 중추 청신경 경로(Rebert 등, 1982)에 주로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

톨루엔에 노출된 쥐에서 영구적인 고음청력 손실과 와우각 기저부의 유모세포의 손상을 보였고, 특히 어린 쥐는 어른 쥐보다 더 심한 영향을 받는 것으로 나타났다(Pryor 등, 1984). 즉, 유기용제가 감각세포와 와우신경말단 부위, 그리고 뇌에 영향을 미쳐 청력에 있어서 와우성 난청의 영향과 더불어 후미로성 영향의 가능성 또한 주목되고 있다.

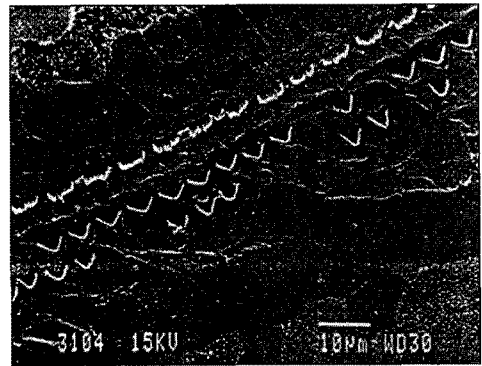
## 화학물질의 이독성

### 1. 톨루엔과 복합유기용제

톨루엔의 이독성 연구는 Pryor 등이 동



Scanning electron micrograph (X1000) of the 16 kHz region of the organ of Corti (OC) from a control rat.



Scanning electron micrograph (X1200) of the 16 kHz region of OC from a toluene-treated rat.

〈그림 1〉 톨루엔 흡입 노출에 따른 청각 영향(Lataye와 Campo, 1997)

물실험을 통해 수행되었다.

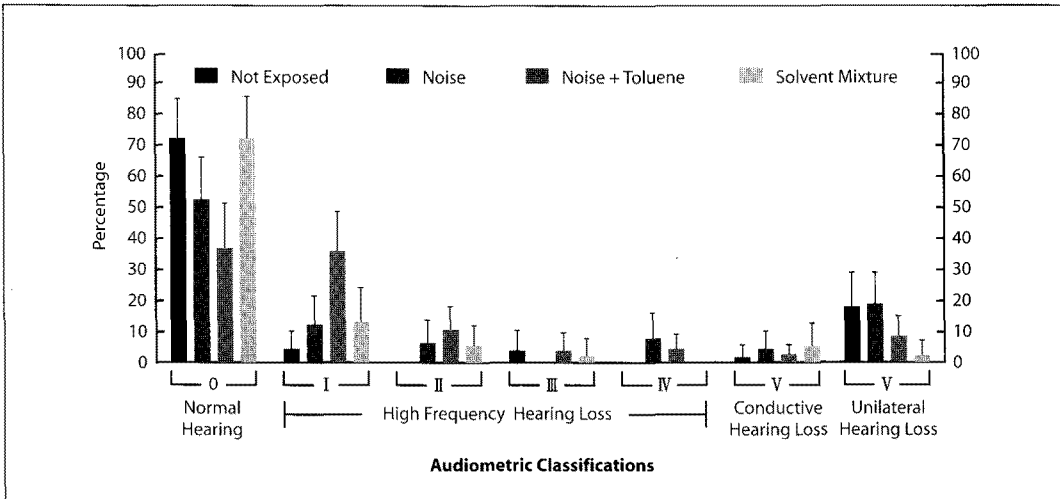
톨루엔의 비가역적인 이독성은 청성뇌간 반응의 고주파수역(12-20 kHz)에서 가장 큰 영향을 보였다. 4 kHz에서 정상이었으며, 8 kHz에서는 경미한 손상을 나타냈다. 톨루엔에 노출된 쥐는 청력역치가 13-27 dB 상승했고, latency-intensity 기능에서 소량의 톨루엔(1000 ppm)은 청력 손실이 없으나 2000-4000 ppm의 높은 양의 노출은 수 일 내에 이독성의 원인이 된다.

톨루엔의 피하주입 시에도 이독성을 보이는데, 혈액순환계를 통해 내이로 흡수되는 것으로 나타났다(Pryor 등, 1983, 1984, 1986). 〈그림 1〉은 Lataye와 Campo(1997)의 동물실험에서 톨루엔 2000 ppm에 4주

간(5일/주, 6시간/일) 공기 중 노출된 결과를 보여주는 전자현미경 사진으로, 소음성 난청처럼 와우 외유모세포의 손상을 특징적으로 보여주고 있다.

Morata 등(1993)은 작업자 청력에 미치는 소음과 유기용제의 직업적 노출 영향을 연구하기 위해 인쇄 및 도료 제조업체에서 1년 이상 일한 브라질 남성을 대상으로 청력, 소음/유기용제의 노출 및 상호 관련성을 평가하였다.

85 dBA 이하의 소음과 내이신경 독성물질에 직업적 노출이 없는 비노출군, 88-97 dBA 정도의 소음에 노출되나 청력보호구를 사용하지 않는 소음 노출군, 88-98 dBA 소음과 톨루엔에 노출되는 그라비아 인쇄작



〈그림 2〉 소음과 유기용제 노출군의 청력(Morata 등, 1993)

업군, 85 dBA 이하의 소음과 혼합유기용제에 노출되는 도료제조업체 근로자군으로 노출 특성에 따라 분류한 후 순음청력검사와 중이검사를 통해 청각을 평가하였다.

청력손실에 대한 평가는 정상 청력(0), 평균청력과 고주파에서 양측성의 청력손실(I - IV), 골도검사와 고막운동성 검사로 밝혀진 전음성 난청(V·C), 일측성 청력손실(V·U)로 분류하였다(그림 2).

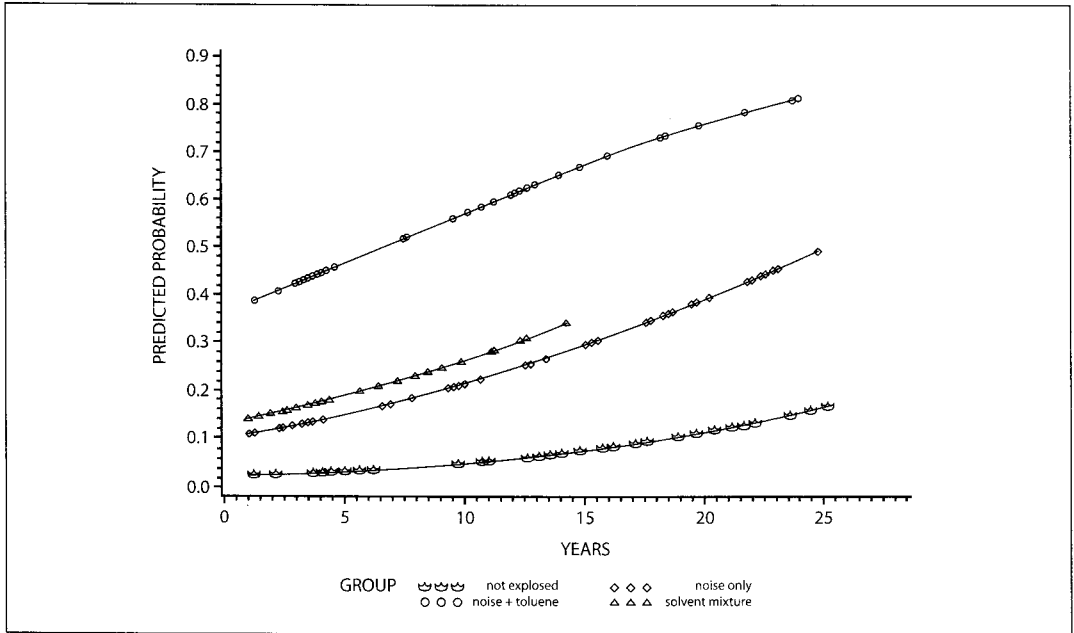
청각 평가 결과, 소음과 톨루엔 복합 노출군은 다른 군보다 고주파수 청력손실률이 높았으며, 복합유기용제 노출군은 비노출군보다 고주파수 청력손실률이 2배로 높았다.

청력과 노출간의 관련성은 로지스틱 회귀

분석을 통해 분석하였다.

비노출군, 소음 노출군, 소음 및 톨루엔 노출군, 혼합 유기용제 노출군으로 분류하여 청력에 미치는 영향을 조사한 결과에서 비노출군에 비해 소음 노출군의 위험비가 4, 유기용제 노출군이 5, 소음과 톨루엔 노출군이 11이었다(Morata 등, 1993).

모든 노출군에서 청력손실의 위험 요소로 화학물질의 만성노출 영향과 독성을 강하게 제안하고 있다. 비록 소음과 톨루엔 노출군의 청력평가 결과가 크게 대두됐지만, 유기용제 복합 노출군의 청력손실과 관련된 위험도 매우 중요한 의미를 가지고 있다. 소음 단독 노출군보다 유기용제 복합 노출군이 청각계에 대해 더 큰 위험을 갖고 있는 것으로 보인다. 이는 유기용제가 청각계에 독성



〈그림 3〉 소음과 유기용제 노출군의 청력(Morata 등, 1993)

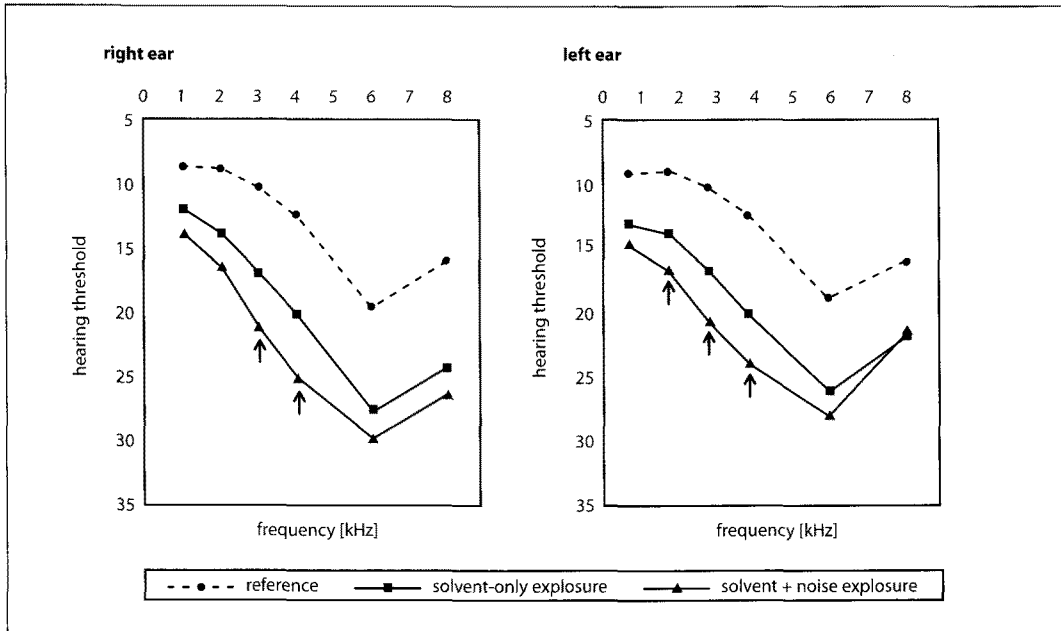
을 갖는다는 것으로 보이며, 중추 청신경로에 소음과 유기용제의 상호작용으로 영향을 미친다는 것을 시사하고 있다.

각 군의 청력손실 변화 부위 차이는 누가현상과 이소골반사 피로검사를 통해 나타난다고 할 때, 다른 세 군보다 누가현상이 많이 나타나는 단독 소음 노출군은 와우성 청력손실을 시사했고, 다른 세 군보다 등골근 반사 과형 진폭의 감퇴가 많이 나타나 소음과 톨루엔 복합 노출군은 후미로성 난청 장애를 가진다고 볼 수 있다. 유기용제 복합 노출군은 청각 및 전정기능 검사를 통해 중

추 청신경로에 영향을 미친다고 검사 결과가 도출되었다.

결론적으로 누가현상과 청각피로 검사상의 등골근 반사 감퇴 소견은 소음과 톨루엔 복합노출군의 청력손실이 더 우세할 뿐 아니라, 소음 단독노출군에서 관찰되는 청력손실과는 다르다는 것이 나타났다.

청각피로검사 결과에 의하면, 소음과 톨루엔 복합노출군의 청력손실이 단지 소음 노출 때문이라고 할 수 없다. 등골근 반사검사는 병변 부위와 소음과 톨루엔 복합노출군의 청각 영향 근거가 되는 기전을 제안하였는데,



〈그림 4〉 유기용제와 소음 노출군의 청력(Sliwinska-Kowalska 등, 2001)

이 사실로 톨루엔과 소음의 장기적인 직업적 노출은 나이 이상의 청각 시스템에 독성 영향을 가지게 할 것이라는 것을 알 수 있다.

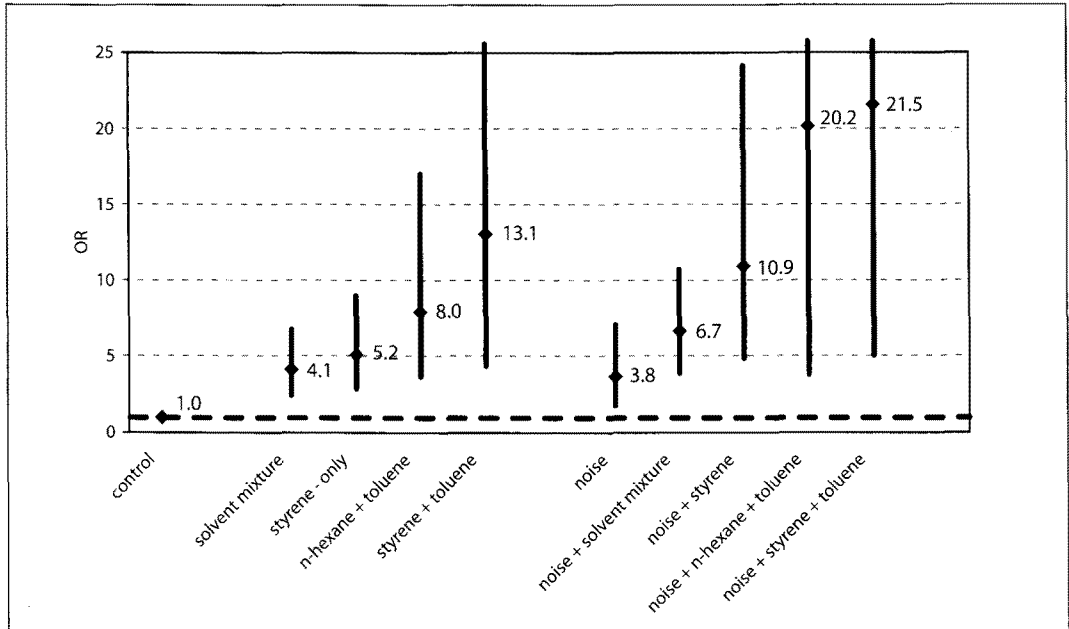
이 연구에서 톨루엔과 소음의 직업적 노출은 다른 군과 비교했을 때 그라비아 인쇄공에게서 확인한 청력손실 증가를 발견할 수 있었다. 게다가 도로 제조공장의 유기용제 복합노출군은 소음에만 노출된 군보다 큰 청력손실의 증가를 보인다.

하지만, 청력보존프로그램에서는 화학물질 노출에 대해 고려하지 않고 있기 때문에 많은 수의 작업자들은 청력보호를 받지 못

한다.

또한 소음과 더불어 톨루엔, 에틸아세테이트, 에탄올 등의 혼합용제에 노출되는 그라비아 인쇄공장 근로자를 대상으로 한 Morata 등(1997)의 연구에서도 나이와 톨루엔 노출의 생물학적 지표인 마요산만이 청력손실에 영향을 미치는 요인으로 나타나 톨루엔이 청각계에 영향을 미치는 독성을 가지고 있는 것을 시사하고 있다.

노출기준 이하의 유기용제 단독 노출과 소음 복합 노출에 따른 Sliwinska-Kowalska 등(2001)의 연구에서 유기용제와 소음



(그림 5) 유기용제와 소음 노출군의 청력손실 비차비(Sliwinska-Kowalska 등, 2001)

복합노출군이 단독 노출군에 비해 2-4 kHz 역치가 유의하게 높게 나타났으며, 대조군에 비해서는 유기용제 노출군이 1-8 kHz의 청력역치가 유의하게 높게 나타났다(그림 4).

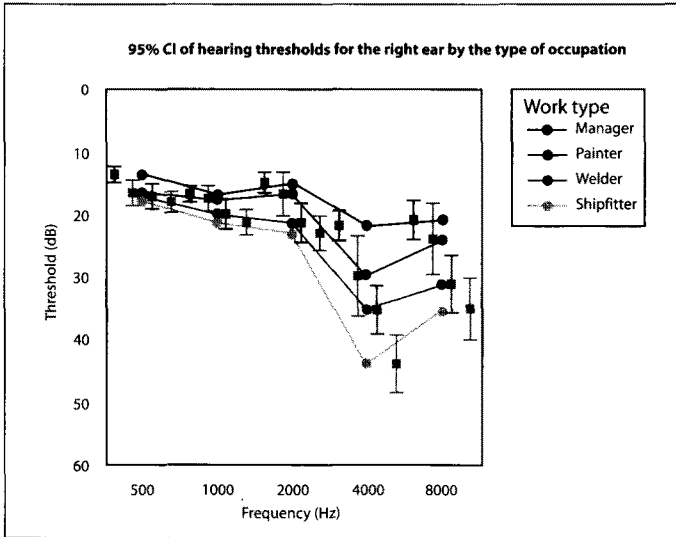
유기용제 단독 노출군은 80-85 dBA의 소음 노출군에 비해 청력손실의 위험비가 2-8 kHz대역에서 2.8-4.4배를 보였다.

또 다른 Sliwinska-Kowalska 등(2005)의 연구에서는 대조군에 비해 소음 단독 노출군이 3.8배의 청력손실의 비차비를 보인 반면에 유기용제 단독 노출군이 4.1-5.2배의 비차비를 보였으며, 소음과 유기용제 복합노출에서는 6.7-21.5배의 비차비를 나타

냈다(스틸렌과 톨루엔 또는 노말헥산과 톨루엔 등 2 종류 이상의 이독성 화학물질과 소음에 복합노출이 되는 경우에는 가장 높은 20배 이상의 비차비를 보였다.) (그림 5).

신해련 등(1997)의 연구에서 톨루엔, 메틸에틸케톤, 메틸이소부틸케톤 등 혼합 유기용제에 폭로된 비디오테이프 제조공장 근로자에 대한 청력검사 결과, 비노출군에 비해 기도, 골도, 청력, 모두에서 평균청력역치가 더 높게 나타났다고 보고하고 있다.

김규상 등(2002)의 연구는 화학물질에 의



〈그림 6〉 조선업에서 직종에 따른 청력역치(김규상 등, 2002)

한 청각학적 장애를 정량적으로 보지는 못했지만 노출에 따른 직종에서 비록 80 dBA 내외의 소음에 노출되거나 유기용제 등 화학물질에 노출되는 도장 작업자군이 비노출군보다 높은 청력장애율과 2-8 kHz에서의 높은 청력손실률을 나타내고 있었으며, 4 kHz에서 화학물질 단독 또는 소음에 부가적인 청력 영향이 있다는 것을 보여주고 있다(그림 6).

이 연구에서처럼 조선업에서 취급되는 페인트, 희석제 및 경화제의 유기용제 성분에는 중추신경장해를 유발할 수 있는 크실렌 등 방향족 탄화수소가 많으며, 페인트에 함유된 안료에는 lead chromate와 zinc potassium chromate가 주로 사용되므로

크롬과 납 등 중금속을 포함하고 있어 주의를 요한다.

이와 같이 화학물질에 의한 청력 영향을 간접적인 직종 특성으로 제시하였지만 외국에서는 동물실험 연구만이 아니라 최근에 화학물질에 노출된 인간에 대한 청각학적 영향을 다각적으로 밝혀내고 있다.

## 2. 크실렌과 스티렌

크실렌(xylene)은 페인트나 광택제를 포함한 용제 혼합물에서 발견되고 스티렌(styrene)은 고무, 합성수지, 다양한 플라스틱 생산품으로 이용된다.

크실렌의 저농도 노출은 고음역의 연령에 따른 청력손실을 증가시키지 않지만 최소 노출과 최대 노출 사이의 그룹간 비교에서 고음역의 청력역치의 차이를 보인다(Miuser 등, 1988).

스�티렌에 만성적으로 노출된 플라스틱 보트공장 근로자 18명 중 7명이 청성유발반응 검사에서 비정상적인 결과와 왜곡된 어음검사 결과를 보였으나 소음 노출 등 다른 원인에 기인한 난청으로 보이지는 않았다(Moller 등, 1990).



동물실험에서 크실렌이나 또는 스틸렌의 공기 중 흡입시 청각에 변화가 오는데, 크실렌 노출 6주 후에 모든 주파수에서 청력역치가 상승하였다.

작은 농도에서는 고주파수(12-20 kHz)만 영향을 받지만 1200 ppm의 높은 농도에서는 전 주파수에서 역치상승을 관찰할 수 있었다.

유사한 결과가 스틸렌 노출 3주 후에 관찰되었다(Pryor 등, 1987).

### 3. 트리클로로에틸렌

트리클로로에틸렌은 무색의 유기용제로 드라이클리닝 세제, 얼룩제거제의 원료로 사용하며, 페인트, 왁스, 살충제, 접착제와 윤활유의 화학적 중간제로도 사용된다.

트리클로로에틸렌에 노출된 50명의 근로자들을 대상으로 한 Szuk-kuberska 등(1976)의 연구에서 청각과 전정기관 신경손상이 대다수에서 발견되었으며 청각검사를 실시한 40명 중 14명은 정상이었으나 26명은 청력손실이 있었다.

난청의 특징은 ① 양측성(대칭적) 청력손실을 보였으며, ② 2 또는 3 kHz에서 급격하게 떨어지는 특징적인 청력손실(dip)과 함께 고주파수 청력손실을 보였고 ③ 감각신경성 난청은 트리클로로에틸렌에 보다 더 장시간 노출된 근로자에서 좀 더 비정상적인 청각도를 보였으며, 난청과 전정기관의 장애는 트리클로로에틸렌에 노출된 근로자 건강상

태의 초기 징후라는 것을 언급하였다.

### 4. 헥산

헥산(hexane)은 신발공장을 포함한 산업장에서 다양하게 사용되고 있는 유기용제다.

작업장 또는 휘발성 용매의 고의적 흡입과 같은 약물 남용, 만성적으로 헥산에 노출된 근로자의 청성뇌간반응에서 V파와 I-V 파간 잠복기가 지연됨을 볼 수 있다(Huang와 Chu, 1989).

쥐의 청성뇌간반응에서 주 5일, 일 24시간, 11주 기간 동안 1,000 ppm의 헥산에 노출시켰을 때 I파 잠복기의 현저한 지연은 3주 후에 발견되고, 48,000 ppm의 단속적인 노출은 I파의 진폭(amplitude)를 감소시켰다(Rebert 등, 1982).

새끼 쥐는 일 14시간, 주 7일, 14주 기간 동안 헥산에 노출시켰을 때 청성뇌간반응에서 V파의 진폭만 단지 감소되었다(Pryor 등, 1983).

위의 결과를 토대로 헥산은 이독성을 보인다라는 것을 알 수 있다.

### 5. 이황화탄소

이황화탄소(carbon disulfide)는 무색 휘발성 액체로 비스코스 인견, 살충제, 용제, 고무용 가황 촉진제로 사용한다.

비스코스 산업장에서 이황화탄소에 노출된 259명의 근로자에 대한 연구를 보면, 이

황화탄소 중독으로 진단된 101명의 근로자와 이황화탄소에 노출되지 않은 군의 노출군의 청력도를 비교하면, 노출군에서 감각 신경성 난청이 저명하게 나타난다.

발병률은 노출군에서 60%(42% - 후미로성), 중독군이 81%(63% - 후미로성), 대조군은 단지 46%(33% - 후미로성)였다. 비스코스 인견 산업에서 이황화탄소에 노출된 근로자의 청각도상 고주파 청력역치가 상승하며, 발병률뿐만 아니라 청력손실 정도도 시간 경과에 따라 커졌다. 그리고 소음과 이황화탄소의 상호 연관성을 보여주고 있다.

동물실험에서 청성뇌간반응에서 V파의 잠복기가 I파의 잠복기보다 더욱 지연되었고, 파간잠복기의 지연이 나타나 청성뇌간반응 결과는 Sulkowski(1979)가 언급한 후미로성 감각신경성 난청과 일치하였다.

청성뇌간반응의 역치 상승과 자극음의 강도 출력 감소 결과는 이황화탄소가 추가적인 말초성의 청각 영향을 반영한 것으로 보이나 말초성 청각 영향이 감각신경성 난청이라고 단정 지을 수는 없다.

잠복기와 강도의 변화는 평형하게 나타나 전음성 난청과 비슷하며, 이 경우 이황화탄소 흡입으로 인한 비염과 이관기능장애로 설명된다.

## 6. 일산화탄소

일산화탄소(carbon monoxide)에 중독

되면 심한 정신적, 신경학적 증상을 보인다. 급성 일산화탄소에 중독된 32명의 환자 중 8명에게 청성뇌간반응에 이상이 있음을 발견하였다.

6명에게서 파간 잠복기와 모든 I파 잠복기 지연의 말초성 청각 이상, 그리고 2명에서는 중추성의 파간 잠복기와 모든 파의 잠복기 지연이 나타났다.

청성뇌간반응의 비정상적 양상은 일산화탄소 중독으로 24시간 이상 의식을 잃을 경우에 더 커진다(Choi, 1985). 기니피그 실험에서 일산화탄소의 중독으로 대뇌의 청각 피질과 하구(inferior colliculus)가 훨씬 영향을 받는다(Makashima, 1988).

## 7. 부틸 아질산염

부틸 아질산염(butyl nitrite)는 방향제의 원료이다.

동물실험에서 부틸 아질산염에 노출된 쥐는 reflex-inhibition audiometry에서 10과 40 kHz의 청각감각 손실이 있었고, 40 kHz는 회복되었으나 10 kHz는 6일 이상 청각감각 손실이 있었다. 메트헤모글로빈 수준은 부틸 아질산염 노출 1시간 30분 후에 30-45%가 증가되었다(Fechter 등, 1989).

## 중금속의 이독성

### 1. 비소

비소(arsenic)는 흙이나 광석에서 자연적으로 발생하는 비금속이며, 주로 아메바, 트리파노소마, 스피로헤타 등 기생충의 억제제로 사용된다. 비소에 노출된 사람들에게 난청이 발견되었다.

톤당 900-1,200 g의 비소량을 가진 석탄 공장 근처 인구를 대상으로 연구한 결과, 하루당 공장의 매연으로 0.5 톤 방출된 비소 오염지역의 아이들 머리카락, 혈액, 소변 분석에서 비소량이 증가한 노출군을 비노출군 아동과 비교했을 때 125, 250, 500 Hz에서 유의한 청력손실이 발견되어 비소가 인간에게 주요 이독성 물질이라는 것을 알 수 있다 (Bencko 등, 1977).

sodium arsenilate(atoxyl)와 아세틸 유도체 (acetylated derivative, arsacetin)에 관한 동물 연구를 보면 atoxyl로 유도된 와우의 손상은 내/외유모 세포의 변성과 함께 침부부터 시작하여 와우공(helicotrema)의 외유모 세포가 가장 먼저 영향을 받았고, 손상 진행은 시간, 노출된 용량에 의존한다.

혈관조(stria vascularis) 상피세포와 유모세포의 손상과 더불어 atoxyl은 미로혈관에 손상을 주고 Reissner막을 손상시켰다.

## 2. 수은

수은은 직업적 노출로 운동실조증, 무기력, 시각 감각변화로 잘 알려진 수은중독 징

후와 함께 청력손실이 관찰된다. 최근에 수은중독의 급격한 증가는 Hunter-Russell syndrome으로서 미나마타병(Minamata disease)으로 진단되어 임상적으로 발견되었다.

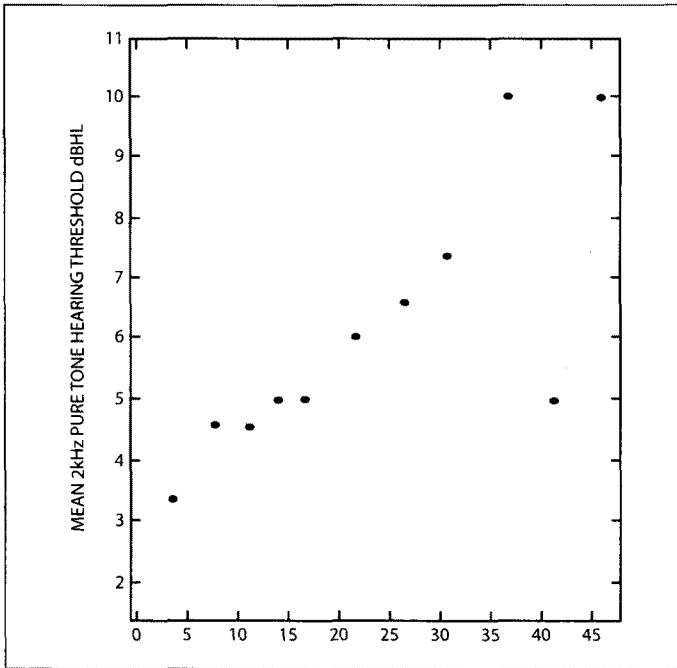
1968-1978년 사이의 미나마타병으로 진단된 35명에 대한 장기 추적조사 연구에서 순음청력 재검사를 실시한 결과, 58귀에서 16귀가 청력이 감퇴(28%)되었다.

메틸수은 중독은 미나마타병과 일치하는 징후를 보이는데 신경학적 장애를 지닌 149례 중 104명의 귀에서 경도난청이 관찰되었고, 48귀에서 30-60 dB의 중도난청, 136명의 정상청력이 관찰되었다(Mizukoshi 등, 1989).

또한 자기청력검사와 미세증가 감성지수(short increment sensitivity index: SISI)검사를 통해 메틸수은 중독의 초기/중기에는 와우병변, 말기에는 후미로 병변의 특성을 시사하고 있으며(Mizukoshi 등, 1989), 중독자의 (뇌)부검을 통해서 가로측 두이랑(transverse temporal gyri)에서 중금속의 침착과 측두엽의 탈수초성을 보인다고 보고하고 있다(Mizukoshi 등, 1975).

## 3. 주석

동물실험에서 trimethyltin(TMT)는 중추 청각계를 손상시켜 잠복기의 지연, 반응의 강도와 수 감소 등의 영향을 미친다.



〈그림 7〉 혈중 납 농도와 청력역치(Schwartz와 Otto, 1987)

TMT는 behavioral testing에서 편평형의 청력손실을 유발하는데, 40 kHz를 제외하고 대부분 가역적인 형태의 청력도를 보인다.

전기생리학적 연구에서 24 kHz 이상에서는 CM(cochlear microphonics) 역치가 상승되고 4 kHz 이상에서는 CAP(compound action potential) 역치가 지속적으로 상승되었다(Fechter 등, 1986).

또 다른 유기주석 화합물로 triethyltin(TET)은 중추신경계에서 수초(myelin)의 양을 감소시켜 백질 부종의 원인이 된다.

이 병변은 파간잠복기 뿐만 아니라 I, II, III, IV파의 잠복기를 현저히 지연시킨다. TMT는 TET보다 더 강력한 화합물이다.

이독성의 빠른 시작과 양상은 유기주석들이 초기에 내유모세포나 신경절세포(ganglion cells) 기능을 파괴하면서 CAP 역치를 상승시킨다.

#### 4. 납

납은 주위 환경에 산재해 있는 금속으로 많은 산업장에서 중요하게 사용되나 이미 토양, 대기에 오염되어 있고 산성비로 음식이나 식수를 통

해서 인간에서 노출 정도가 증가되고 있다.

급성으로 납에 노출된 근로자는 현훈과 심한 난청을 경험하며 특히 고주파수에서, 노출 기간이 긴 근로자에게서 청력손실 정도가 더 크다.

혈액에서 납이 검출되면 일반적으로 납 농도의 증가에 따라 500 Hz, 1, 2, 4 kHz의 청력역치가 증가된다. 납중독은 난청뿐만 아니라 아동의 걷기, 말하기, 행동에도 영향을 준다고 밝혀졌다. 또 중금속 중 혈중 납 농도와 4000 Hz 청력역치의 상관성을 통해

소음노출과 납의 상호작용을 보고(Forst 등, 1997)하거나 혈중 납 농도와 아동기/청소년기의 청력역치의 상관성을 보고(Schwartz와 Otto, 1987)하고 있다.

〈그림 7〉은 14-19세의 4,519명의 NHANES II 자료를 이용하여 청소년의 2 kHz 청력역치와 혈중 납 농도와의 관계를 본 결과인데, 용량-반응관계를 뚜렷하게 보여주고 있다.

## 5. 망간

망간(manganese)은 전기도금이나 철 함유 금속의 도금시에 근로자에게 노출되고 배터리 공장에서 만성적으로 노출된 근로자에게 발견된다.

망간 중독의 증상은 청력이나 전정기관의 감소 및 약화, 이와 관련된 청력 손실 경향은 저-고주파수 감각신경성 청력손실이 보이며 이에 비해 중주파수 청력손실은 더 적다.

망간 이독성 역시 소음 노출 상황에서 더 악화되고 청력손실의 정도도 더 커진다.

작업장이나 주위환경에서 몇 가지 화학물질의 존재는 이독성의 주요 원인으로 명백하며, 다양한 이독성 화학물질간의 상호작용이나 소음노출로 인해 더 악화된다.

## 나가며

자연발생적 이독성 메카니즘은 완전히 밝혀지지 않았으며 지속적인 연구가 필요하리라 본다.

일반적으로 화학물질의 이독성은 소음노출과 함께 상승작용을 하여 큰 청력손실을 유발시킨다. 난청과 청력역치 손실에 영향을 미치는 화학물질과 중금속 등 이독성 물질에 대한 더욱 세밀한 임상적, 실험적 연구가 필요하다.

이와 같이 유기용제와 소음의 청력에 대한 복합작용은 노출기준 미만이라도 충분히 고려되어야 하고, 난청 예방 프로그램이 전환점에 위치한다는 것을 시사한다. 주요 이독성 화학물질에 노출된 근로자는 청각선별검사가 필요하다.

미국산업위생사협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)는 현재의 화학물질 노출기준이 소음과 복합노출로 인해 소음성 난청으로 악화될 가능성을 최소화하는데 적정한지 검토하고 있으며, 톨루엔, 납, 망간 등의 이독성 화학물질과 소음에 복합노출되는 근로자에 대해서 주기적인 청각학적 검사를 권고하고 있다.

이전의 중공업 등의 소음 작업장이 컴퓨터 및 고도 기술산업으로 전환되어 가는 시점에서 화학물질은 청력장애의 주요인으로 소음을 대체할지 모른다.

또한 고령의 산업장 근로자들은 특히 이독성 물질에 더 취약하다는 점에서 지금까지의 소음에 관한 청력 집단검진에도 주의를 요한다고 볼 수 있다.

이전에 실제적인 주의를 주지 못하였지만 최근 소음과 상호작용하거나 산업화학물질

노출이 청력에 영향을 미친다는 보고가 있다. 그래서 소음과 화학물질에 노출되는 근로자의 규모와 작업장에서 쓰이는 다양한 유해 화학물질에 대한 우리의 관심을 요구하고 있으며 특히 물리적 요인과 화학물질의 복합노출에 대한 기준이 없는 마당에 이에 대한 연구의 필요성은 크다 할 것이다. 🍷

### ☞ 참고문헌

1. 김규상, 김소연, 이나루, 고경선, 이정오, 정호근. 조선업 종사 근로자의 직종에 따른 청력 영향. 대한 청각학회지 2002;6(2):95-110.
2. 신혜련, 이종영, 우극현, 김진석. 비디오테이프 제조업체 근로자에서의 유기용제 폭로가 청력에 미치는 영향. 예방의학회지 1997;30(1):61-68.
3. Bencko V, Symon K. Test of environmental exposure to arsenic and hearing changes in exposed children. Environ Health Perspect 1977;19:95-101.
4. Choi, IS. Brainstem auditory evoked potentials in acute carbon monoxide poisoning. Yonsei Med J 1985;26:29-34.
5. D'Alonzo BJ, Cantor A. Ototoxicity: etiology and issues. J Fam Prac 1983;16(3):489-494.
6. Fechter LD, Young JS, Nuttall AC. Trimethyltin ototoxicity: evidence for a cochlear site of injury. Hear Res 1986;23:33-38.
7. Forst LS, Freels S, Persky V. Occupational lead exposure and hearing loss. J Occup

- Environ Med 1997 Jul;39(7):658-660.
8. Huang CC, Chu NS. Evoked potentials in chronic n-hexane intoxication. Clin Electroencephalogr 1989;20:162-168.
  9. Johnson AC, Juntunen L, Nylen P, Borg E, Hoglund G. Effect of interaction between noise and toluene on auditory function in the rat. Acta Otolaryngol 1988;105:56-63.
  10. Makashima K. Otoneurologic manifestations following carbon monoxide poisoning. J Acoust Soc Am 1988;84:38.
  11. Mizukoshi K, Watanabe Y, Kobayashi H, Nikano Y, Koide C, Inomata S, Saitoh N. Neurological follow-up studies upon Minamata disease. Acta Otolaryngol (Stockh) 1989;Suppl 468:353-357.
  12. Miujser H, Hoogendijk EMG, Hooisma J. The effects of occupational exposure to styrene on high-frequency hearing thresholds. Toxicology 1988;49:331-340.
  13. Moller C, Odkvist L, Larsby B, Tham R, Ledin T, Bergholtz L. Otoneurological findings in workers exposed to styrene. Scand J Work Environ Health 1990;16:189-194.
  14. Morata TC, Dunn DE, Kretschmer LW, Lemasters GK, Keith RW. Effects of occupational exposure to organic solvents and noise on hearing. Scand J Work Environ Health 1993;19(4):245-254.
  15. Morata TC, Fiorini AC, Fischer FM, Colacioppo S, Wallingford KM, Krieg EF, Dunn DE, Gozzoli L, Padrao MA, Cesar CL. Toluene-induced hearing loss among rotogravure printing workers. Scand J Work Environ Health 1997;23(4):289-298.
  16. Lataye R, Campo P. Combined effects of a simultaneous exposure to noise and toluene on hearing function. Neurotoxicol Teratol. 1997;19(5):373-382.
  17. Pryor GT, Dickinson J, Feeney E, Rebert CS. Hearing loss in rats first exposed to toluene as weanlings or as young adults. Neurobehav Toxicol Teratol 1984;6(2):111-119.
  18. Pryor GT, Dickinson J, Howd RA, Rebert CS. Neurobehavioral effect of subchronic exposure of weanling rats to toluene or hexane. Neurobehav Toxicol Teratol 1983;5:47-52.
  19. Pryor GT, Dickinson J, Howd RA, Rebert CS. Transient cognitive deficits and high-frequency hearing loss in rats exposed to toluene. Neurobehav Toxicol Teratol 1983;5:53-57.
  20. GT, Howd RA. Toluene-induced ototoxicity by subcutaneous injection. Neurobehav Toxicol Teratol 1986;8:103-104.

21. Pryor GT, Rebert CS, Dickinson J, Feeney EM. Factors affecting toluene-induced ototoxicity in rats. *Neurobehav Toxicol Teratol* 1984;6:223-238.
22. Pryor GT, Rebert CS, Howd RA. Hearing loss in rats caused by inhalation of mixed xylenes and styrene. *J Appl Toxicol* 1987;7:55-61.
23. Rebert CS, Houghton PW, Howd RA, Pryor GT. Effects of hexane on the brainstem auditory response and caudal nerve action potential. *Neurobehav Toxicol Teratol* 1982;4:79-85.
24. Rybak LP. Hearing: the effects of chemicals. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1992;106(6):677-686.
25. Schwartz J, Otto D. Blood lead, hearing thresholds, and neurobehavioral development in children and youth. *Arch Environ Health* 1987;42(3):153-60.
26. Sliwinska-Kowalska M, Zamyslowska-Szmytko E, Szymczak W, Kotylo P, Fiszer M, Dudarewicz A, Wesolowski W, Pawlaczynska-Luszczynska M, Stolarek R. Hearing loss among workers exposed to moderate concentrations of solvents. *Scand J Work Environ Health* 2001;27(5):335-342.
27. Sliwinska-Kowalska M, Zamyslowska-Szmytko E, Szymczak W, Kotylo P, Fiszer M, Wesolowski W, Pawlaczynska-Luszczynska M. Exacerbation of noise-induced hearing loss by co-exposure to workplace chemicals. *Environ Toxicol Phamacol* 2005;19:547-553.
28. W. Clinical usefulness of audiometry and electronystagmography in the diagnosis of carbon disulfide poisoning. *Medycyna Pracy* 1979;30:135-145.
29. Szulc-Kuberska J, Tronczynska J, Latkowski B. Otoneurological investigations of chronic trichloroethylene poisoning. *Minerva Otorhinolaryngol* 1976;26:108-112.