대한산업의학회지 제 16 권 제 4 호 (2004년 12월)
Korean J Occup Environ Med, 2004;16(4):391-400

청력상한치를 이용한 복합유기용제의 이독성 연구

울산대학교 의과대학 산업 · 환경의학교실

이지호 · 유철인 · 이충렬 · 이 헌 · 최영희 · 김남정 · 김양호

— **Abstract** —

Evaluation of Ototoxicity by Mixed Organic Solvents Using the Upper Limit of Hearing

Ji Ho Lee, Cheol In Yoo, Choong Ryeol Lee, Hun Lee, Young Hee Choi, Nam Jung Kim, Yangho Kim

Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine, University of Ulsan

Objectives: This study evaluated the ototoxicity by mixed organic solvents on workers' hearing using the upper limit of hearing(ULH).

Methods: Seven hundred ninety-seven male workers in the ship building industry who were evaluated by interview with an upper limit of hearing from August 2000 to July 2002 were enrolled in the study. The subjects were divided into 3 groups according to exposure profile and job: officers, field supporters, and painters. To assess the ototoxicity of mixed organic solvent exposure on hearing, with regard to confounders, the general liner model was used.

Results: After controlling for the possible confounders, such as age, career, noise exposure level, tinnitus, alcohol intake, and smoking, the estimated mean for ULH of the painter group was higher than that of the officer and the field supporter groups. These differences of mean ULH were at the borderline of statistically significance(p=0.069).

Conclusions: The results of this study suggest that a relatively lower level of mixed organic solvent chronically affected the hearing organ or auditory pathway. ULH seems to be a useful method for early detection of the ototoxicity of organic solvents.

Key Words: Solvent, Ototoxicity, Upper limit of hearing.

<접수일: 2004년 7월 2일, 채택일: 2004년 9월 16일>

교신저자: 이 지 호 (Tel: 052-250-7284) E-mail: chungang@dreamwiz.com

* 본 연구는 울산대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

서 론

최근 근로자들의 청력 저하에 대한 연구가 단순히 소음에 의한 영향만을 파악하던 고전적인 소음성 난청의 관점에서 직업적으로 노출되는 다양한 이독성 물질의 영향을 고려하고자 하는 직업성 난청의 방향으로 바뀌고 있으며, 이러한 포괄적인 접근법을 이용할 경우 근로자의 청력관리를 보다 성공적으로 이끌 수 있다(Morata와 Lemasters, 1995; 이지호 등, 2000; 김규상 등, 2003).

유기용제의 신경독성이 1863년 보고된 이후로 이독성에 대해 실제로 관심을 가지게 된 것은 불과 40여 년 전부터이며, 약 25년 전부터 비로소 유기용제의 이독성과 작업장내 청력손상 요인과의 상호작용에 대해 심각하게 고려하기 시작하였다(Johnson과 Nylen, 1995). 초기 연구의 대부분은 동물실험을 근거로 하였는데, 소음의 경우 음압이 92~100 dBA 정도였고, 유기용제의 경우 단일 성분으로 1,000~2,000 ppm 정도의 고농도를 이용하여 동시에 노출될 경우 상가적 또는 상승적 효과가 있는 것으로 보고하였다(Sliwinska-Kowalska 등, 2004). 그러나 실제로 산업현장에서 노출되는 유기용제는 단일 성분이 아니며, 대부분이 소음과 동시에 노출되므로 동물실험에서 나타난 결과를 일반화하기 어려운 문제점이 있다(Morata와 Dunn, 1994).

근로자를 대상으로 한 연구는 Barregard와 Axelsson(1984)의 4가지 증례보고를 통해 유기용제와 소음에 동시에 노출된 군에서 단순히 소음에 노출된 군에 비해서 감각신경성 난청의 정도가 심하다고 보고한 것이 처음이다. 그 이후로 다수의 연구자들이 산업장 근로자들을 대상으로 유기용제의 이독성 문제에 대해 연구한 결과, 유기용제가 중추신경 및 말초신경계를 침범하여 청력손실을 유발하며 소음이 있을 경우 그 영향이 커지지만 소음이 주로 3000~6000 Hz를 침범하는 반면, 유기용제의 경우 주로 8000 Hz 이상의 고주파수 영역에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다. 그러나 일부에서는 유기용제의 노출이 청력변화에 유의한 변화를 주지 못하는 것으로 보고하기도 하여 아직도 논란의 소지가 있다(Jacobsen 등, 1993; Schaper 등, 2003; Sliwinska-Kowalska 등, 2004).

국내에서 유기용제에 의한 직업성난청에 관한 연구는 그리 활발히 이루어지지 않고 있는 실정이다. 최근에 들어 이황화탄소 노출 근로자의 진행성 난청(이은일과 김순덕, 1990), 비디오테이프 제조공장에서 혼합유기용제 노출이 청력에 미치는 영향을 파악한 연구(신혜련 등, 1997), 금속제품제조업 근로자에서 유기용제 노출이 소음에 노출되는 근로자의 청력에 부가적인 영향을 미치는가를 파악한 연구(이지호 등, 2000), 소음과 중금속, 유기용제 등 유해물질의 노출특성에 따른 직종별 청력손실을 비교한 연구(김규상, 2002) 등이 있을 뿐이다.

이러한 유기용제의 이독성에 관한 논란에 대해 Morioka 등(1999, 2000)은 근로자를 대상으로 한 역학적 연구의 대부분에서 소음과 유기용제의 농도가 실험실적 연구에 비해 상대적으로 낮을 뿐만 아니라, 통상적인 순음청력계를 이용하여 500 Hz에서 8000 Hz 까지 주파수별 청력역치를 측정하였으므로 유기용제의 이독성 영향이 나타나는 8000 Hz 이상의 고주파수 영역에 대한 영향을 충분히 반영하지 못했기 때문인 것으로 보고하면서 고주파수 영역의 청력손실을 검사하기 위해 청력상한치(Upper limit of hearing, ULH)를 이용할 것을 제안한 바 있었다.

청력상한치란 기존의 청력검사와는 달리 오디오메터의 출력음압의 강도를 고정시키고 주파수를 변화시켜 청취 가능한 최고의 주파수를 측정하는 방법이다. 이는 Takeda 등(1992)이 6,105 귀를 대상으로 연령변화를 측정하는데 도입한 이후로 Morioka 등(1995)이 소음성난청에 대한 연구, 유기용제의 이독성에 대한 연구(Morioka 등, 1999), 소음과 유기용제의 동시노출의 영향에 관한 연구(Morioka 등, 2000)에 이용하였다. 이처럼 청력상한치는 여러가지 유해요인에 의한 청력변화를 조기에 반영하는 민감한 지표로 제시되었으나 연구결과의 수가 부족하고 국내에서는 지금까지 연구된 바가 없어 그 실용여부의 판단이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 2년간의 단면적 연구를 실시하여 상기 제시한 청력상한치의 실용적 활용여부를 파악하고자 하였으며 그 구체적인 목적은 다음과 같다. 첫째, 정상사무직 근로자의 청력상한치는 얼마인가? 둘째, 산업장내 복합유기용제의 노출이 실제 청력상한치를 감소시키는가? 셋째, 소음과 연령 및 다른 변수의 영향을 통제하더라도 직업적으로 노출되는 정도의 유기용제가 청력상한치를 감소시키는가?

대상 및 방법

1. 연구대상

연구기간은 2000년 8월부터 2002년 7월까지 2년간이었다. 울산지역소재 일개 선박제조업 남자 근로자중 사무직 350명(대조군), 현장지원 및 검사자 150명과 도장작업자 297명 등 총 797명을 대상으로 하였다. 연구대상자는 설문조사와 건강진단 결과에서 과거 청력에 영향을 주는 이과적 질환이나 고혈압, 당뇨 및 고지혈증이 없으며, 취미생활에서 사격, 모터사이클 등 고소음에 노출된 경험이 없는 대상자로 제한하였다.

2. 연구방법

1) 청력상한치

청력상한치는 일반적인 청력검사와는 달리 일정한 강도의 음을 고정시킨 후 주파수를 변화시키면서 청취 가능한 최고 주파수를 측정하는 방법이다. Clinical Audiometer AC40(Denmark)과 헤드폰은 KOSS HV/Pro digital(Denmark)을 이용하여 청력상한치를 측정하였으며 헤드폰에서의 출력음압은 60 dBHL로 설정하였다. 측정은 저주파수에서 고주파수로 이동하면서 반응이 사라지는 경우와 고주파수에서 저주파수로 이동하면서 반응이 나타나는 최고주파수를 기록하였고 동일한 과정을 5회 반복하여 중앙값을 선택하였다. 측정 주파수범위는 8000 Hz부터 18000 Hz까지로 설정하였으며, 측정한 주파수는 8000 Hz, 8476 Hz, 9000 Hz, 9514 Hz, 10000 Hz, 10678 Hz, 11200 Hz, 12000 Hz, 12500 Hz, 13454 Hz, 14000 Hz, 15102 Hz, 16000 Hz, 18000 Hz 였다. 이는 Ahmed 등(2001)의 보고에서 소음에 노출되지 않은 대상자에서 18000 Hz의 평균청력역치가 100 dBSPL이었고, Takeda 등(1992)이 측정한 결과에서도 20대의 최대 청력역치가 18000 Hz 였다는 것을 근거로 하였다.

2) 작업환경측정

(1) 소음 노출수준

소음측정은 작업환경측정 실시규정(노동부고시 제93-12호)에 의하여 Audio DosiMeter (dB-307, metrosonic, USA), Noise Logging Dosimeter (M-27, QUEST, USA), Noise Logging Dosimeter(M-28, QUEST, USA)를 이용하여 각 공정별 소음 측정을 하였으며, 근로자 개인의 노출량을 측정하기 위해 Audio Dosimeter, Noise Logging Dosimeter를 이용하여 작업자의 귀부근 30 cm 이내에 microphone을 설치하고 일중 노출량을 측정하였다.

(2) 유기용제 노출수준

유기용제의 측정은 Stand Air Sampler(S-50W, SIBATA. JAPAN), Stand Air Sampler(MP-602T, SIBATA. JAPAN) 등으로 기중농도를 측정하였으며, Personal Air Sampler(HFS-513A, GILIAN, USA)와 Personal Air Sampler(LFS-113, GILIAN, USA)를 사용하여 근로자 호흡기 위치에 charcoal tube를 장착하고 시료공기를 통과시킨 후 charcoal tube에 흡착된 유기용제를 Carbon Disulfide(CS_2) 1.0 ml로 용출하여 Gas Chromatograph로 분석하였다. 탈착율을 보정하기 위한 방법으로 시료공기를 통과하지 않은 charcoal tube에 분석물질을 일정량 주입하여 24시간 후 유기용제 시료와 같은 조건으로 분석을 실시한 후 시료분석결과에 탈착율을 보정하여 오차를 최소화하였다.

측정된 유기용제의 종류는 Toluene, Xylene, Stylene, Trichloroethylene, MBK, MIBK, Isopropyl alcohol, Ethanol, Methanol, Trimethyl benzene, Acetone, Ethylbenzene, n-Butyl acetate, 1,1,1-trichloroethane, Butyl alcohol, Cumene, Butyl cellusolve 등 17종이며, 유기용제 농도는 노출기준(TLV: Threshold Limit Value)에 따라 혼합물 농도(Em)를 산출하였다.

3) 설문조사

자기기입식 설문지를 이용하여 군복무경력, 음주, 흡연, 이명여부, 과거병력 등과 사격, 헤드폰을 이용한 음악 감상이나 어학공부, 모터사이클 등 청력에 영향을 줄 수 있는 내용여부를 조사하였다.

4) 생물학적 지표 측정

유기용제의 흡수정도와 청력상한치의 관련성을 파

악하고자 흔히 사용하는 유기용제인 톨루엔, 크실렌 및 스타이렌에 대한 생물학적 지표인 마뇨산, 메틸마뇨산, 만델린산과 같은 대사산물의 농도를 측정하였다.

3. 자료분석방법

자료의 분석은 좌측 귀의 청력상한치를 이용하였다.

첫째, 분산분석법을 이용하여 사무직, 현장지원 및 검사직, 도장작업자 3군의 각 군별 연령, 근무경력, 유기용제 노출수준, 청력상한치의 차이를 분석하였고, χ^2-검정을 이용하여 각 군과 흡연유무, 음주유무 및 이명유무와의 관련성을 검정하였다.

둘째, 유기용제에 의한 이독성을 파악하기 위해 청력상한치를 종속변수로 두고 이에 영향을 미치리라 예상이 되는 나이, 근무경력, 유기용제 노출수준, 소음노출수준, 이명유무, 음주유무, 흡연유무 등을 독립변수로 다중회기분석을 실시하였다. 소음노출수준은 사무직, 85 dBA 미만 노출군 및 85 dBA 이상 노출군 각각에 대해 가변수 0, 1, 2를 대입하여 회귀분석 하였다.

셋째, 청력상한치와 생물학적 지표와의 관련성을 나이, 근무경력, 이명, 소음수준의 영향을 보정한 상태에서 파악하고자 편상관분석을 실시하였다.

넷째, 유기용제에 노출되는 직무특성별로 나뉜 3군 간의 청력상한치의 차이를 혼란변수(나이, 근무경력, 유기용제 노출수준, 소음노출수준, 이명유무, 음주유무, 흡연유무)를 보정한 상태에서 비교하고자 일반선형모형을 이용하여 분석하였다.

결 과

1. 대상자들의 일반적 특성

대상자들은 모두 남자였으며, 연령은 26~61세 범위였다. 사무직, 현장지원 및 도장공의 평균연령은 각각 35.3세, 44.6세 및 45.8세로 사무직의 연령이 다른 두 군에 비해 통계적으로 유의하게 낮았다 ($p<0.05$). 근무경력도 사무직이 평균 9.8년으로 현장지원 및 도장공의 17.4년, 17.7년에 비해 통계적으로 유의하게 낮았다($p<0.05$). 소음노출수준은 전체 평균 82.4 dBA 정도이며 현장지원과 도장공이 비슷한 수준으로 노출되었다. 유기용제 혼합물 농도는 현장지원자의 0.04에 비해 도장공에서 0.66으로 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.05$). 청력상한치의 평균은 사무직, 현장지원 및 도장공이 각각 14656 Hz, 13285 Hz 및 12543 Hz로 각 군간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 흡연과 음주빈도는 전체적으로 49.8%와 35.5%였으며 각 군에서 비슷한 분포를 나타내었다. 이명은 사무직에서 7.4%, 현장지원자에서 26.0%, 도장공에서 29.3%로 그 빈도가 점차 증가하는 양상이며 통계적으로 유의한 관련성이 있었다($p<0.05$)(Table 1).

Table 1. General characteristics of the subjects mean±S.D.

	officer N=350	supporter N=150	painter N=297	Total N=797
Age (years)*	35.3±8.3	44.6±5.4	45.8±5.8	41.0±8.5
Career (years)*	9.8±8.0	17.4±4.1	17.7±4.3	14.1±7.3
Noise level (dBA)	-	82.2±11.8	82.5±8.9	82.4±9.7
Organic Solvent (Em)*	-	0.04±0.03	0.66±0.78	0.51±0.73
ULH (Hz)*	14656±2425	13285±2795	12543±2990	13610±2879
Smoking (%)	174 (49.7)	76 (50.7)	147 (49.5)	397 (49.8)
Alcohol drinking (%)	123 (35.1)	53 (35.3)	107 (36.0)	283 (35.5)
Tinnitus (%)†	26 (7.4)	39 (26.0)	87 (29.3)	152 (19.1)

ULH: Upper limit of hearing

*: $p<0.05$, by ANOVA, †: $p<0.05$, by χ^2-test

2. 유기용제에 노출되는 직무특성별 및 변수별 청력상한치

유기용제 노출에 대한 직무특성별로 나뉜 3군에서 연령, 근무경력, 이명유무, 소음노출수준, 음주유무 및 흡연유무에 따라 청력상한치를 비교한 결과는 Table 2와 같다. 전반적으로 Table 1에서와 같이 사무직 , 현장지원 및 도장공 순으로 청력역치가 감소하는 경향을 나타내었다. 연령군별로는 나이가 증가할수록 감소하는 경향을 보이며, 20대와 30대에 비해 40대가 통계적으로 유의하게 낮았으며, 50대의 경우 그 이하의 다른 3군에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다($p<0.05$). 근무경력별의 경우 근무경력이 높을수록 낮아지는 경향을 보이며, 9년 이하 군에 비해 10년 이상 군과 20년 이상 군에서 통계적으로 유의하게 낮았다($p<0.05$). 이명유무에 따른 차이를 보면 이명이 있는 경우가 이명이 없는 경우에 비해 통계적으로 유의하게 낮았다($p<0.05$). 소음노출수준별로는 85 dBA 미만에 노출된 군에 비해 85 dBA 이상에 노출된 군에서 통계적으로 유의하게 낮았다($p<0.05$). 그러나 음주 및 흡연여부에 대한 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 각 군내에서도 연령이 증가할수록, 근무경력이 증가할수록, 이명이 있는 경우에 청력상한치가 통계적으로 유의하게 감소하는 경향을 나타내었다($p<0.05$).

3. 청력상한치에 대한 회귀분석 결과

청력상한치를 종속변수로 두고 각 변수들의 영향을 살펴본 결과는 Table 3과 같다. 연령, 근무경력, 혼합유기용제 노출수준, 소음노출수준, 이명 및 음주가 모두 청력상한치를 저하시키는 방향으로 작용하고 있었다. 이들 변수 중 연령과 이명 순으로 청력상한치에 대해 통계적으로 유의한 영향을 미치고 있는 것으로 나타났으며($p<0.01$), 혼합유기용제 노출수준의 경우 영향력의 정도가 통계적으로 경계역의 유의수준으로 나타났다($p<0.057$). 청력상한치에 대해 전체 독립변수들의 설명력은 28.5% 정도였다.

4. 청력상한치와 혼합 유기용제농도 및 대사산물과의 편상관분석

Table 2. Upper limit of hearings of the subjects by each variable according to organic solvent exposure level and job characteristics

mean±S.D.

Variables		officer	supporter	painter	Total
Age(years)*	-29	15749±815†	16000†	15820±401†	15759±779
	30-39	15284±1970	14422±2340	14878±2528	15165±2071
	40-49	13089±2590	13612±2606	13080±2812	13231±2716
	50-	11556±2909	11463±2865	10845±2595	11105±2713
Careers (years)*	-9	15293±1898†	14600±1917	15930±249†	15312±1854
	10-19	14064±2801	13432±2822	12784±2904	13146±2894
	20-	12792±2775	12733±2767	11492±2927	12197±2899
Tinnitus*	No	14938±2126†	13922±2407†	12879±2889†	14090±2608
	Yes	13031±3237	12166±3206	11935±3187	12818±3203
Noise level(dBA)*	<85	-	13298±2849	12684±2926	13822±2804
	≥85	-	13239±2647	12240±3120	12505±3023
Alcohol drinking	No	14499±2485	13373±2819	12625±2985	13573±2887
	Yes	14947±2292	13123±2771	12399±3009	13549±2935
Smoking	No	14571±2422	13087±2876	12418±3064	13489±2927
	Yes	14743±2431	13478±2720	12671±2919	13734±2829

* $p<0.05$, by ANOVA or t-test for difference among total means in each variable

† $p<0.05$, by ANOVA or t-test for difference among means in each variable according to group

청력상한치에 대한 유기용제의 영향을 실제 흡수된 유기용제의 양과 관련하여 파악할 목적으로 유기용제의 기중 혼합농도(Em)와 유기용제의 대표적 대사산물이라 할 수 있는 마뇨산, 메틸마뇨산 및 만델린산의 농도와의 상관분석을 연령, 근무경력, 이명, 소음수준에 대해 보정한 상태로 실시한 결과는 Table 4와 같다. 청력상한치는 혼합 유기용제 농도와 통계적으로 유의한 음의 상관관계가 있었으나 ($p<0.05$), 마뇨산, 메틸마뇨산, 만델린산과 같은 대사산물들과는 유의한 상관성이 없는 것으로 나타났다.

5. 유기용제에 노출되는 직무특성별로 각 군의 청력상한치 비교

사무직, 현장지원자 및 도장공의 청력상한치를 연령, 근무경력, 소음노출수준, 이명, 음주, 흡연에 대해 보정한 상태에서 비교할 목적으로 일반선형모형을 이용해 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 추정된 평균 청력상한치는 사무직이 13882 Hz, 현장지원자가 13930 Hz, 도장공이 13322 Hz로 사무직과 현장지원자에 비해 도장공에서 낮게 나타났으며, 통계학적으로 경계역의 유의성을 나타내었다($p=0.069$).

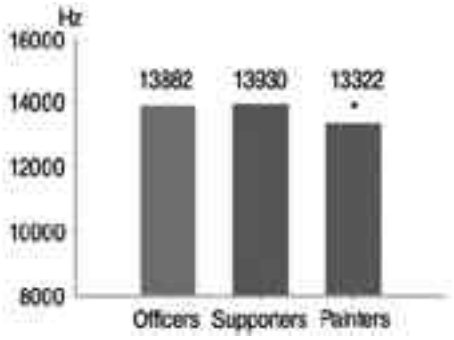

Fig. 1. Comparisons of adjusted mean of Upper limit hearing among groups
*: p=0.069, from GLM adjusted by age, noise level, career, tinnitus, alcohol drinking, smoking

Table 3. Results of regression analysis for upper limit hearing as a function of variables

Variables	β	S.E	adjusted β	p-value
Age (years)	-1243.2	193.5	-0.376	0.001
career (years)	-149.2	212.9	-0.039	0.484
Organic solvent (Em)	-284.6	149.0	-0.090	0.057
Noise level (dBA)*	-33.1	336.5	-0.004	0.922
Tinnitus (yes/no)	-1124.7	266.8	-0.164	0.001
Alcohol drinking (yes/no)	-93.1	177.3	-0.030	0.428
Smoking (yes/no)	354.7	228.6	0.059	0.121

R^2=0.285, adjusted R^2=0.276 Model F=29.7, p=0.001
*: analysis with three categories (officer(0), below 85 dBA(1), and over 85 dBA(2))

Table 4. Partial correlation coefficient between upper limit hearing and organic solvent exposure level and its typical metabolites.

	ULH	Em	Hippuric acid	Methyl HA	Mandelic acid
ULH†	-				
Em‡	-0.127*	-			
Hippuric acid	0.080	0.057	-		
Methyl HA	0.035	0.018	0.111*	-	
Mandelic acid	0.057	-0.008	0.007	0.004	-

*: $p<0.05$, partial correlation coefficient adjusted by age, career, tinnitus, noise level.
†: ULH : Upper limit of hearing, ‡: Em: Exposure index of mixed organic solvent

고 찰

유기용제가 산업적으로 이용된 것은 적어도 150여 년 이상이며, 그 잠재적인 독성은 1863년부터 보고되기 시작하였다. 비록 고도로 산업화된 나라에서는 그 노출수준이 낮아지기는 하였으나 아직도 많은 근로자들이 유기용제에 지속적으로 노출되고 있다. 우리나라에서도 특수건강진단 대상근로자 864,294명 중 127,712명이 유기용제를 취급하고 있어, 전체 근로자 중 상당수가 직업적으로 노출되고 있는 실정이며(노동부, 2004), 이는 과거 스웨덴의 전체근로자 중 5~10% 정도의 근로자가 유기용제에 노출되고 있다는 보고와 비슷한 상태이다(Johnson과 Nylen, 1995). 또한, 산업현장에서 소음은 피할 수 없는 환경자극 요인인 점을 감안한다면 국내에서도 유기용제를 취급하는 근로자들의 대다수가 소음과 동시에 노출되고 있을 것으로 추정할 수 있다.

일반적으로 유기용제의 이독성은 감각세포와 청각경로 모두에 나타나는데, 유기용제는 친지성(lipophility)에 있어 지방에 잘 녹으며, 뇌혈관 장벽을 통과하므로 와우보다 중심부위인 후미로성 청력경로에 영향을 미치기 때문이다(Bilski 등, 2003). 이는 소음성 난청이 소음에 오랜 동안 노출됨으로써 와우 유모세포의 비가역적인 손상이 점진적으로 진행되어 특징적인 C5-dip현상을 나타내는 것과는 차이가 있다(Morata와 Lemasters, 1995).

소음과 동시에 노출됨으로써 유기용제의 이독성이 증가되는 독물역동학적 기전은 첫째, 광대역 소음노출이 와우의 혈류를 증가시키고 이독성 물질의 와우 내 이동이 증가되며 둘째, 소음이 와우세포의 손상을 초래하여, 정상적으로는 도달할 수 없었던 이독성 물질이 작용할 수 있게 하고 셋째, 이독성 물질에 저항성이 있던 세포가 소음에 노출 후 활성화되어 독성물질의 흡수가 증가되는 것으로 알려져 있다(Fechter, 1995).

지금까지 유기용제에 의한 청력손상을 평가하기 위해 사용한 검사법은 일반적인 순음청력검사가 대부분이었으며 이는 재현성은 높으나 민감도가 떨어지는 단점이 있고, 고주파수 청력검사(8000~16000 Hz)는 민감도는 높으나 재현성이 적을 뿐만 아니라 검사방법에 표준화가 이루어지지 않았다. 이음향방사 검사의 경우 비침습적이고 청력손상의 미로성 여부를 감별할 수 있으나 중이이상이나 경도이상의 난청에서 사용하지 못하는 단점이 있고, 유발반응검사의 경우 객관적이고 환자의 협조가 없어도 측정이 가능하나 검사자, 측정법, 환경에 의한 변동이 크다는 단점이 있다(이비인후과학, 2002).

이에 반해 본 연구에서 사용한 청력상한치는 높은 민감도와 재현성이 있으며, 배경소음에도 영향이 없을 뿐만 아니라 일반 청력검사상 변화가 없는 상태에서도 연령, 소음, 유기용제 각각에 대해서 뿐만 아니라 소음과 유기용제의 복합적 영향까지 잘 반영하는 것으로 알려져 있다. 그러나 사용시 고려해야 할 점은 단독검사로써 청력장애의 정도는 추정할 수 없다는 것이다.

청력상한치를 이용한 연구를 살펴보면 1992년에 최초로 Takeda 등이 6,105 귀를 대상으로 청력상한치를 측정하여 연령변화를 반영하는 매우 유용한 지표로 제시하였다. 이후 Morioka 등이 1995년에 239명을 대상으로 소음성 난청의 조기발견에 대한 이용 가능성을 제시하고, 1999년에는 93명을 대상으로 한 연구에서 5년 이상의 노출 근로자에서 스타이렌의 농도와 청력상한치의 관련성이 있음을 발견하였으며, 2000년에는 48명을 대상으로 노출한계이하의 소음과 유기용제에 동시에 노출된 근로자들을 대상으로 적용하여 소음과 유기용제에 동시에 노출될 경우 대조군과 소음 단독 노출군에 비해 청력상한치가 낮음을 결과로 제시하였다.

본 연구에서도 연령과 근무경력이 증가할수록 청력상한치가 의미있게 감소하는 경향을 나타내며, 소음수준이 85 dBA 미만인 군에 비해 85 dBA 이상에 노출된 군이 청력상한치가 유의하게 낮아 기존의 연구와 비슷한 결과를 나타내었다. 또한 사무직 근로자나 현장지원자에 비해 도장공에서 연령과 소음수준, 근무경력, 이명을 보정한 상태에서도 통계적으로 경계역의 유의성을 나타내었다. 이는 청력상한치를 연구한 기존의 결과들(Morioka 등, 1999, 2000)과 직접적인 비교는 어려우나 연구대상자 중 도장공의 유기용제의 혼합물 평균농도가 0.66임을 감안할 때 비교적 낮은 농도에서도 유기용제의 이독성 영향을 반영한 결과로 해석된다.

동물실험에서 밝혀진 대표적인 유기용제의 이독성 영향을 살펴보면, 톨루엔의 경우 이독성 영향은

Pryor 등(1983)에 의해 최초로 보고된 이후 계속된 연구에 의하면 총 노출기간보다는 당일의 노출농도가 보다 중요하며, 그 대사산물보다는 톨루엔의 혈중농도가 원인인 것으로 보고되었다(Pryor 등, 1991). 또한 톨루엔은 외유모세포의 세번째 층에 주로 손상을 초래하고, 노출된 지 5일 이후부터 시작되며, 노출종료 후에도 진행하는 것으로 알려져 있다(Johnson과 Canlon, 1994). 크실렌은 대체로 톨루엔보다 이독성이 강한 것으로 보고되고 있으나 상반된 견해도 있어 이는 이성체의 구성비율에 의한 영향이 있는 것으로 보고 있다(Pryor 등 1987). 스티렌과 트리클로로에틸렌은 톨루엔보다 낮은 주파수인 중주파수 영역을 침범하는 것으로 알려져 있으며 트리클로로에틸렌의 경우 적어도 2,000 ppm에 노출되어야 청력손실이 초래된다. 이황화탄소와 노말헥산도 청력저하를 초래하며 이는 후미로성 또는 신경독성 기원으로 추측되고 있다. 대부분의 연구에서 단일 유기용제에 노출되는 경우보다 두 가지 이상 동시에 노출되었을 때 청력저하의 정도에 미치는 영향이 커지며, 서로 상가적(additive) 또는 상승적(synergistic)으로 작용하는 것으로 보고되고 있다(Johnson과 Nylen, 1995).

본 연구에서도 청력상한치와 혼합물 유기용제 농도 및 대사산물인 마뇨산, 메틸마뇨산, 만데린산과의 편상관분석에서 청력상한치는 대사산물과는 상관성이 없었고, 혼합물 유기용제 농도와 유의한 상관성을 나타내어 유기용제의 이독성이 당일의 노출농도와 대사산물보다는 그 물질자체의 혈중농도와 관련이 있다는 사실과 일치하는 결과였다.

유기용제가 청각기관과 청각전달경로에 영향을 미치는 이론적 가설은 다음과 같다. 첫째, 세포내 항상성과 칼슘이온의 분포에 혼란을 초래하여 세포막사이의 전위를 저하시키고, ADP 인산화를 방해함으로서 외유모세포의 위축시키게 된다. 이러한 변화는 와우의 기저부부터 침범되어 고음역의 청력손상을 초래한다. 둘째, 세포막인지질 대사에 영향을 주어 외유모세포와 섬모의 안정성을 저하시키고 세포막구조에 변화를 초래하거나 space of Nuel에 칼륨을 축적시키는데 주로 스타이렌에 의한 변화를 설명하는 기전이다. 셋째, GABA(gamma-amino benzoic acid)와 같은 신경전달물질과 길항작용으로 그 작용을 방해한다. 넷째, 신경미세섬유의 변화를 초래하여 응축시키고 신경전달속도를 저하시킨다. 다섯째, 이황화탄소와 같은 물질에 의해 2차적으로 혈관 및 혈액순환에 지장을 초래한다(Bilski, 2003). 상기 기술한 기전들은 신경섬유의 부분손상, 와우내 삼투압과 생물화학적 지표의 변화, 유모세포의 섬모손상 등 이명의 발생기전으로 소개되고 있는 병태생리와 매우 유사하다(대한이과연구회, 1999). 본 연구에서도 복합유기용제와 소음에 노출된 군에서 그 강도가 증가할수록 이명의 빈도가 증가하는 양상이었는데 위에서 설명한 기전으로 해석이 가능하리라 생각되며, 이명이 영구적 청력손실의 조기지표라는 일반적 사실을 감안할 때 이명이 있는 근로자에 대한 건강관리가 필요할 것으로 생각된다. 또한 이명은 청력상한치와 같이 일종의 결과변수이며 청력손실과 밀접한 관련이 있으므로 청력손실을 설명하는 변수를 선정하기 위해 이명여부에 대한 변수를 제외한 상태에서 분석을 실시하였으나 나머지 변수의 영향력은 크게 달라지지 않았다.

본 연구에서 청력상한치를 측정하면서 출력강도를 60 dBHL로 고정하였는데, Morioka 등이 사용했던 75±10 dBA과 측정단위가 달라 직접적인 비교는 할 수 없으나 연구수행과정 중 청력상한치를 측정하는 데는 특별한 지장없이 이용할 수 있었다. 향후 청력상한치를 측정하기 위한 출력강도의 선택에서 고려할 필요가 있을 것으로 생각된다.

유기용제의 이독성에 관한 청력상한치(Upper limit of hearing)의 연구는 산업보건학적으로 중요한 의미를 지니는데, 첫째, 유기용제에 대한 저농도 장기간 노출의 평가지표로써 청력상한치를 국내에서는 연구한 적이 없어 건강장애를 조기에 발견하는 지표로써의 타당성을 파악할 수 있다는 점이며 둘째, 유기용제는 소음이나 연령 외 근로자들의 개인적 청력감수성에 영향을 미치는 요인 중의 하나이지만 조절이 가능한 환경인자라는 점에서 실제 현장에서 근로자 건강관리를 위해 활용가능성이 크다는 점이다.

본 연구를 통해 유기용제에 의한 이독성을 조기에 파악할 수 있는 지표를 현장 근로자를 통해 적용함으로써 향후 산업현장에서 소음과 유기용제를 비롯한 유해인자에 노출되는 근로자들의 건강관리에 도움이 될 것으로 생각된다.

요 약

목적: 국내에서는 시행된 바 없는 청력상한치를 측정하여 그 실용적 활용 여부를 알아보고, 이를 이용하여 유기용제의 이독성 영향을 파악하여 근로자의 청력관리에 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

방법: 울산지역소재 일개 선박제조업 남자근로자 중 사무직근로자 350명, 현장지원 및 검사자 150명, 도장작업자 297명으로 총 797명을 연구대상자로 2년간 단면조사를 실시하였다. 연구대상자에 대해 설문조사, 청력상한치, 소음노출수준, 유기용제 혼합물농도 및 대사산물의 농도 등을 조사하였다.

결과: 1) 연구대상자의 연령은 41.0±8.5세 였으며, 근무경력은 14.1±7.3년 이었다. 대상자의 35.5%가 보통 이상의 음주를 하였고, 49.8%가 현재 흡연중인 것으로 나타났다. 현장 근로자의 소음노출수준은 82.4±9.7 dB 이었고, 복합유기용제 노출수준은 0.51±0.73 이었다. 청력상한치는 13610±2879 Hz 였으며, 이명은 19.1%에서 있는 것으로 나타났다.

2) 단변량분석에서 청력상한치는 사무직 근로자에서 14656±2425 Hz, 현장지원 및 검사자에서 13285±2795 Hz, 도장작업자에서 12543±2990 Hz로 유기용제에 노출되는 직무특성별로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$).

3) 청력상한치를 종속변수로 다중회귀분석을 실시한 결과 연령과 이명유무가 유의한 영향을 미치고 있었으며($p<0.05$), 유기용제 노출수준은 경계수준이었고($p=0.057$), 근무경력, 소음노출수준, 흡연 및 음주는 영향이 없는 것으로 나타났다.

4) 청력상한치는 연령, 근무경력, 이명유무, 소음수준을 보정한 상태에서 복합유기용제 노출정도와 유의한 음의 상관관계가 있었다($p<0.05$).

5) 일반선형모형을 통해 연령, 근무경력, 이명유무, 소음노출수준, 흡연, 음주 등 다른 인자들의 영향을 보정한 상태에서 청력상한치를 비교 분석한 결과 사무직 근로자는 13882 Hz, 현장지원 및 검사자는 13930 Hz, 도장작업자는 13322 Hz로 도장작업자에서 청력상한치의 감소가 있었으며, 그 차이는 통계학적으로 경계수준($F=2.681$, $p=0.069$)이었다.

결론: 도장작업자에서 저농도 만성적 유기용제의 노출이 이독성이 있음을 시사하며, 이에 대한 조기 발견을 위해 청력상한치의 이용이 유용할 것으로 생각된다.

참고문헌

2002년 근로자건강진단 실시결과. 노동부. 2004. pp399-405.

김규상, 김소연, 이나루, 고경선, 이정오, 정호근. 조선업종사 근로자의 직종에 따른 청력영향. 한국청각학회지 2002; 6(2):95-110.

김규상. 우리나라의 산업청각학적 연구고찰-산업의학적 관점에서. 산업보건 2003;177:32-67.

대한이과연구회. Tinnitus: Basics and clinical management. 중앙문화사. 서울. 1999. pp3-30.

신혜련, 이종영, 우극현, 김진석. 비디오테이프 제조업체 근로자에서의 유기용제 폭로가 청력에 미치는 영향. 예방의학회지 1997;30(1):61-7.

이비인후과학. 대한이비인후과학회, 일조각, 2002. pp451-79.

이은일, 김순덕. CS2 폭로 근로자의 진행성 난청 1례. 한국농촌의학회지 1990;15(2):134-40.

이지호, 고영주, 이헌, 강정학, 유철인, 이충렬, 김양호. 유기용제 노출이 직업적 청력손실에 미치는 영향. 대한산업의학회지 2000;12(4):537-46.

Ahmed HO, Dennis JH, Badran O, Ismail M, Ballal SG, Ashoor A, Jerwood D. High-frequency (10-18 kHz) hearing thresholds: reliability, and effects of age and occupational noise exposure. Occup Med (Lond). 2001;51(4):245-58.

Barregard L, Axelsson A. Is there an ototraumatic interaction between noise and solvents? Scand Audiol 1984;13:151-5.

Bilski B. Influence of volatile organic compounds on hearing organ and auditory pathways. Med Pr. 2003; 54(5):481-5.

Fechter LD. Combined effects of noise and chemicals. Occup Med 1995;10(3):609-21.

Jacobsen, P, Hein HO, Suadicani P, Parving A, Gyntelberg F. Mixed solvent exposure and hearing impairment: An Epidemiological study of 3284 men. The Copenhagen male study. Occup Med 1993;43:180-4.

Johnson AC, Canlon B. Toluene exposure affects the functional activity of the outer hair cell. Hear Res 1994;72:189-96.

Johnson AC, Nylen PR. Effects of industrial solvents on hearing. Occup Med: State of Art Review 1995;10(3):623-40.

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; 19:245-54.

Morata TC, Dunn DE. Occupational exposure to noise and Ototoxic organic solvents Arch Environ Health 1994;49(5):359-65.

Morata TC, Lemasters GK. Epidemiologic considerations in the evaluation of occupational hearing loss. Occup Med: State of Art Review 1995 ; 10(3):641-56.

Morioka I, Kuroda M, Miyashita K, Takeda S. Evaluation of organic solvent ototoxicity by the upper limit of hearing. Arch Environ Health 1999;54(4):341-6.

Morioka I, Miyai N, Yamamoto H, Miyashita K. Evaluation of combined effects of organic solvents and noise by the upper limit of hearing. Ind Health 2000;38:252-7.

Morioka I, Miyashita K, Gowa Y, Takeda S. Evaluation of noise-induced hearing loss by reference to the upper limit of hearing. Int Arch Occup Environ Health 1995;67:301-4.

Pryor G, Rebert C, Kassay K, et al. The hearing loss associated with exposure to toluene is not caused by a metabolite. Brain Res Bull 1991;27 :109-13.

Pryor GT, Dickinson J, Feeney E, Rebert CS. Transient cognitive deficits and high-frequency hearing loss in weanling rats exposed to toluene. Neurobehav Toxicol Teratol 1983;5(1):53-7.

Pryor GT, Rebert CS, Howd RA. Hearing loss in rats caused by inhalation of mixed xylenes and styrne. J Appl Toxicol 1987;7:55-61.

Schaper M, Demes P, Zupanic M, et al. Occupational toluene exposure and auditory function: Results from a follow-up study. Ann occup Hyg 2003;47(6):493-502.

Silwinska-Kowalska M, Zamyslowska-Szmytke E, Szymczak W, et al. Effects of coexposure to noise and mixture of organic solvents on hearing in dockyard workers. JOEM 2004; 46(1):30-8.

Takeda S, Morioka I, Miyashita K, et al. Age variation in the upper limit of hearing. Eur J Appl Physiol 1992;65:403-8.