

군용 비행장에서 청력손실의 위험요소 분석

Risk Analysis of Hearing Loss in the Air Base

김 선 경* 이 승 현* 김 동 수*
Sunkyung Kim Seung Hyun Lee Dongsoo Kim

Abstract

Noise is a major cause of hearing loss in the air base. There are lots of risk factors of hearing loss including noise, and hearing loss can be accelerated by combined effects of these risk factors. Here in, we reviewed risk factors of hearing loss, and analysed key risk factors inducing hearing loss in the air base. Risk factors exacerbating hearing loss with noise were mainly investigated in this research because noise could not be an avoidable risk factor in the air base. Analysed data will contribute to make green environment minimizing hearing loss of pilots and supporting personnels in the air base.

Keywords : Hearing Loss(청력손실), Noise(소음), Risk Factor(위험요소), Air Base(공군 기지)

1. 서론

군용비행장에서 피할 수 없는 요소인 소음은 청력에 심각한 문제를 일으킬 수 있다. 특히 전술 항공기를 운용하는 군용비행장에 근무하는 조종사, 정비사 그리고 무장사들은 직접적으로 유해 소음 환경에 노출된다. 고 출력 소음에의 장기간 노출은 유해 환경 근무자들에게 난청을 유발하고 심할 경우 청력 손실에 이르게 할 수도 있다. 따라서 청력 손실을 막기 위한 방안의 필요성이 대두되었다. 현재 공군에는 매년 유해 환경 근무자들의 청력 역치를 검사하여 청력 손실 여부를 확인하고, 보호 장구 착용을 의무화하여 소음 노출을 최소화하는 방안이 시행되고 있다.

그러나 소음만이 청력 손실의 원인은 아니다. 청력 손실 유발 요인은 Table 1에 정리한 것과 같이 내재된 위험요소(Endogenous Risk Factor)와 외부의 위험요소(Exogenous Risk Factor)로 나누어질 수 있다.

Table 1. Risk factors for hearing loss

Endogenous Risk Factor	Exogenous Risk Factor
Age	
Genetic Factor	Noise
Physical Trauma	Vibration
Body Temperature	Ambient Temperature
Stress Sensitivity	Smoking
Skin Pigmentation	Medical Drugs
Magnesium Deficiency	Chemicals
Psychological Factors	

† 2012년 1월 17일 접수~2012년 3월 16일 게재승인

* 공군사관학교(Korea Air Force Academy)

책임저자 : 김동수(kimd@afa.ac.kr)

이들 위험요소들은 독립적으로 작용하여 귀 및 청각 인지 신경에 영향을 줄 뿐 아니라 여러 위험요소가 연 함되어 상승효과를 나타내는 것으로 판단된다^(1~5).

본 연구에서는 청력손실의 위험요소들을 내재된 위 험요소와 외부의 위험요소로 구분하여 정리하고, 군용 비행장 환경에서의 청력 손실 핵심 위험요소이면서 피 할 수 없는 소음과, 이와 연합되어 상승 작용을 일으 키는 청력손실의 위험요소를 규명하여 청력손실 위험 을 최소화하는 대책마련의 기반을 제공하고자 한다.

2. 청력손실의 위험요소

일반적으로 소음이란 모든 불필요한 음을 가리키지 만, 여기에는 개인의 심리적인 요인이 내포되어 있어 서 단순하게 소음의 범위를 규정하는 것은 곤란하다. 일상생활에 영향을 미치는 자동차소음, 항공기소음 등 은 규제기준 등에서 정하고 있는 큰 음량의 소리를 말 하며 일반적으로 대화나 생각, 수면 등을 방해하는 정 도의 소리이다. 소음은 주로 기계의 진동, 마찰, 충격 등에 의하여 발생하며 불규칙적이며 여러 가지 주파수 가 섞여 있는 복합음인 경우가 많다.

소음은 대화나 학습, 수면을 방해하며 소음으로 인 해 혈압 상승, 심박수 증가, 동공 확대, 혈당 상승, 위 의 소화흡수 억제 등의 생리적 기능에도 영향을 준다. 물론 소음에 의한 청력 손상도 심각한 악영향 중 하나 이다. 소음에 의한 청력 손실은 일시적인 소음에 노출 후 회복 가능한 일시적인 청력 손실과 지속적인 소음 에 의해 회복과 치료가 불가능한 영구적 청력 손실, 그리고 강한 소음에 단시간 또는 순간적 노출로 인한 음향 외상성 난청 등으로 구분할 수 있다.

다양한 종류의 소음 중 항공기소음은 고주파음을 많이 포함하고, 일반적인 다른 소음원에 비하여 음향 출력이 매우 크며 소음의 방향이 강한 지향성을 갖 는 경우가 많다. 게다가 특수한 경우를 제외하면 소 음원이 상공을 고속으로 이동하므로 피해지역이 광 범위하며 음원차폐나 차음벽 같은 소음대책이 곤란 하다. 군용비행장 근무자 중 특히, 조종사와 정비사 는 고출력의 강한 지향성을 갖는 소음에 장기간 노 출될 수밖에 없으므로 소음에 의한 많은 악영향을 받을 수 있다. 실제로 많은 근무자들이 근무기간이 늘어날수록 청력 손상의 증세를 호소하는 경우가 적 지 않다.

가. 청각의 측정; 청력 민감도

청력 민감도는 각 주파수에 따라 들을 수 있는 가장 작은 소리, 즉 청력의 임계점(Hearing Threshold)으로 나 타내며 이는 행동반응측정 도구(Behavioral Audiogram) 로 정확히 측정된다. 물론 청력은 소리를 구분하는 능 력을 말하며 소리에 대한 이해 정도를 의미하는 것은 아니다. 청력 손실은 보통 사람들이 들을 수 있는 소 리에 대해 민감하지 못한 정도를 나타내는 상대적 기 준을 말한다. 정상적인 사람의 청력 임계점은 각 주파 수마다 조금씩 다르고, 그 청력 임계점보다 작은 소리는 듣지 못하게 된다. 소음으로 인한 청력에 손상이 생기면 특히 고주파수 영역대의 소리를 잘 듣지 못하 게 된다. 또한 소음과 화학물질이 동시에 영향을 주어 청력 손상이 생기면 청력 손상의 정도가 더 낮은 주 파수 영역까지 확대되어 상태가 악화된다⁽⁶⁾.

나. 내재된 위험요소(Endogenous Risk Factor)

1) 연령(Age)

연령이 늘어나면서 고주파 영역의 소리에 대한 청력 이 점진적으로 손실되는 현상이 나타나며 이를 노인 성 난청(Presbycusis)이라 한다. 노인성 난청의 시작은 성인이 되면서부터이나, 고령이 될 때까지 대화내용을 이해하지 못할 정도의 손실은 관찰되지 않는다⁽⁷⁾. 비록 개인 간의 차이는 존재하나 분명한 것은 노인성 난청 은 기타의 청력 손실 위험 요소인 소음, 독성물질, 의 약품 등에 의한 청력 손실과는 그 경향성이 구분 된다 는 것이다.

2) 유전요인(Genetic Factor)

청력손실은 유전이 될 수도 있다. Waardenburg Syndrome(WS)이 대표적 사례이며 WS는 피부착색과도 관련을 가지는 청력장애 유전질환이다⁽⁸⁾. 열성과 우성, 두 종류의 유전자가 WS와 관련한 청력손실 유발에 관여한다. 오직 한 부모만이 WS 청력장애 유발 우성 인자를 가졌다할지라도 자손에게 청력 장애가 나타난 다. 반대로 WS 청력장애 열성인자의 경우 부모 모두 가 자손에게 이 유전자를 물려줄 때만 청력장애가 나 타난다. 유전자 지도(Mapping)가 완성된 이후 유전요 인에 의한 청력손실 연구가 활발하게 진행되고 있으 며, 최근 청력인지 신경경로의 활성화에 영향을 미치며, 체온과 같은 다른 청력손실 위험요소에 대한 민감도 에 영향을 주는 Otofelin(OTOF) 유전자가 규명되기도 했다⁽⁹⁾.

3) 물리적 외상(Physical Trauma)

머리에 일시적 또는 장기적으로 물리적 충격을 받은 사람은 일시적이거나 영구적 청력손실이나 이명(耳鳴)으로 고통을 받을 수 있다. 근거리에서 제트 엔진 소리와 같이 매우 큰 소음(90 dB 이상의 소리)에의 노출은 진행성 청력손실을 일으킬 수 있으며, 폭발음과 같은 엄청난 소음은 단 한번 노출로도 일시적이거나 영구적 청력손실을 일으킬 수 있다. 음악 콘서트 장의 매우 큰 소리도 청각의 외상성 장애를 일으키는 대표적인 요인이 될 수 있음을 알아야한다.

4) 체온(Body Temperature)

고 체온은 일시적 청력 손실을 유발할 수 있으며 체온이 정상으로 회복되면 손실되었던 청력은 다시 회복될 수 있다. 체온에 민감한 청력 손실은 특정 유전자에 의해 매개될 수 있다는 보고가 있었다^{10~11)}. Otofelin 유전자에서의 돌연변이가 고 체온에 의한 청력손실의 민감도를 증가시켜 일시적 청력 손실을 유발하는 원인이 된다는 것이다.

5) 스트레스 민감도(Stress Sensitivity)

스트레스 반응은 시상하부에서 분비되는 Corticotropin-Releasing Factor(CRF), 뇌하수체에서 분비되는 Adrenocorticotrophic Hormone(ACTH), 그리고 부신에서 분비되는 glucocorticoid 순서로 증폭되어 신체로 연결되는데 스트레스 반응이 억제되었을 때 달팽이관을 통한 소음 민감도가 증가하여 청력 손실이 가속화 될 수 있다. 이런 현상을 보면 스트레스 반응이 외부 환경 변화에 대한 신체의 대처 방식인데, 소음은 스트레스 반응을 유발하고 정상적인 스트레스 반응은 소리에 대한 민감도를 낮춰 청력 손실을 억제하는 작용을 하는 것으로 판단된다.

6) 피부 착색(Skin Pigmentation)

WS는 피부, 모발의 착색 변화와 청력 손실의 정도에 의하여 정의되는 유전질환이다. 청력 손실을 위한 WS 환자 가계 조사에서 청력 손실은 환자의 두 눈동자색이 다를 경우 발생하였으며, 두 눈동자색이 같을 경우에는 밝은 푸른색의 눈동자와 연관이 있었다. 또한 WS 환자는 12살 정도에 모발색이 희어지는데, 모발과 피부 착색이 청력 손실의 정도와 관련이 있었다¹⁸⁾. WS 환자의 경우에서 보이는 특징과 같이 피부 착색과 청력 손실이 연관을 보이지만 정확한 메커니즘은

알려지지 않았다.

7) 마그네슘 결핍(Magnesium Deficiency)

큰 소음에 의한 청력 손실은 내이에서 생성되는 여러 신생 분자들이 용모 세포에 손상을 주고 손상된 세포들은 재생되지 않는 것 때문인데 일부 비타민과 마그네슘이 소음에 의한 청력 손실 진행을 지연시키는 것으로 알려졌다¹²⁾. 소음이 진동을 유발하고 기계적 진동이 내이의 구조를 변형시켜 청력 손실을 유발하는 것만이 아니라, 세포 수준에서 특정 대사 작용을 유발하여 신생 분자를 생성하고 내이의 세포에 영향을 주어 청력 손실을 유발하는 메커니즘이 존재한다는 의미이다. 이때 엽산과 같은 비타민이 마그네슘과 함께 내이에서 일어나는 세포반응을 억제할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 결국 마그네슘 결핍은 큰 소음에 의한 청력 손실을 가속시킬 수 있다.

8) 심리적 요인(Psychological Factors)

청력 손실을 유발하는 심리적 요인은 여러 위험요소가 복합적으로 나타나는 것을 대변하는 현상일 것이다. 소음에 장기간 노출은 정신적·신체적 스트레스 반응을 유발하고 만성적 스트레스는 신체 생리적 작용을 제한할 뿐 아니라 귀의 근육톤을 변형시켜 청력 손실을 가속시킬 수 있고, 뇌의 청각인지 기능에 영향을 주어 청력 변화의 원인을 제공할 수 있다.

다. 외부의 위험요소(Exogenous Risk Factor)

1) 소음(Noise)

공항이나 고속도로 가까이에 사는 사람들은 일반적으로 65~75 dB 범위의 소음에 노출된다. 특히 이러한 조건에서 주로 외부에서나 창문을 열어놓은 채 생활하는 경우라면, 소음에의 노출이 길어져서 청력이 약화될 수 있다. 미국 EPA(환경보호국)에서는 청력 약화의 위험으로부터 사람들을 보호하기 위해 소음 기준을 규정하고 있으며¹³⁾, 70 dB의 소음에 24시간동안의 노출을 청력 손실과 수면 장애 등과 같은 소음에 의한 문제로부터 보호가 필요한 수준이라고 정의했다.

소음에 의한 청력 손실은 특히 3000, 4000, 6000 Hz의 주파수에 집중된다⁶⁾. 소음에 의한 손상이 진행됨에 따라, 청력 손실은 고주파, 저주파 범위 모두에 피해를 주기 시작한다. 연령과 같은 다른 요인에 의한 청력 손실은 주로 높은 주파수 범위(6~8 kHz)에 피해를

준다.

구체적으로 85 dB의 소음에 매일 8시간동안 노출은 안전한 수준이지만, 91 dB의 소음은 오직 2시간이내의 노출만이 안전한 수준이다. 하지만 다른 위험요소들과 연합될 때는 85 dB보다 낮은 수준의 소음에 의해서도 청력에 손상을 받을 수도 있다.

2) 진동(Vibration)

신체 일부나 전체에 유발되는 진동은 소음에 의한 청력 손실의 민감도를 증가시킬 수 있으며, 특히 진동이 혈관계에 영향을 주어 손가락 등이 흰색으로 변하는 수준이 되면 청력 손실 민감도를 크게 증가시킬 수 있다.

3) 주변온도(Ambient Temperature)

체온은 주변 온도에 영향을 받을 수 있고, 체온의 상승이 청력에 민감한 유전자 활성을 조절 할 수 있으며 일시적 청력 손실을 유발하기 때문에^[10] 주변 온도는 간접적으로 영향을 줄 수 있다. 높은 주변 온도는 소음과 연합하여 청력 손실 임계점을 낮추어 일시적인 청력 손실을 유발할 수 있다.

4) 흡연(Smoking)

흡연은 또 하나의 청력 손실 위험인자인데 특히 노인성 청력 감퇴에 영향이 크며 고주파 영역에서 난청을 유발하는 것으로 알려져 있다. 흡연 시 발생하는 화학 물질들이 내이 및 용모 세포에 영향을 주고 니코틴은 인지 청각 처리 기능에 손상을 유발한다. 최근 연구에서는 간접흡연도 청력 손실의 원인이 되는 것으로 밝혀졌는데, 이 경우는 저주파 영역에서 청력 손실을 유발하는 것으로 보고되었다^[14]. 흡연과 소음이 연합되었을 때 상승효과도 있어 흡연은 다른 청력 손실을 유발하는 화학물질과 연합하여 청력 손실을 가속시키는 것으로 해석할 수 있다.

5) 치료약물(Medical Drugs)

어떤 약물은 귀에 되돌릴 수 없는 손상을 주고 이런 이유 때문에 사용이 제한되고 있다. 청각에 영향을 미치는 약물들은 주로 gentamycin과 같은 aminoglycoside 계열 항생제와 이노제, 아스피린과 같은 NSAID(비스테로이드성 항염증약) 등이 있다^[15]. 특히 마약성 진통제 hydrocodone(Vicodin 또는 Lorcet)의 남용은 청력 약화를 일으킨다고 알려져 있다^[16].

6) 화학물질(Chemicals)

청력손실의 위험요소가 되는 화학물질에는 치료 약물 뿐만 아니라, arsenic, cobalt, lead, mercury와 같은 중금속, hexane, toluene, xylene, styrene과 같은 휘발성 유기화합물, 질식제와 같은 특정 약품들이 있다. 주변에서 쉽게 노출될 수 있는 화학물질에 의한 청력손실 위험요소는 휘발성 유기용제와 중금속 종류들이다. Table 2는 청력 손실에 영향을 미칠 수 있는 내이신경 독성 화학물질들을 정리한 것이다.

Table 2. Ototoxic chemicals

Classification	Ototoxic Chemicals
Drugs	anti-malarial, antibiotics, anti-inflammatory(non-steroidal), antineoplastic, diuretics
Solvents	toluene, styrene, xylene, n-hexane, white spirits/Stoddard, carbon disulfide, fuels, perchloroethylene, trichloroethylene, p-xylene
Asphyxiants	carbon monoxide, hydrogen cyanide
Metals	lead, mercury, organotins(trimethyltin)
Pesticides/Herbicides	paraquat, organophosphates

소음은 작업환경에 기인한 청력손실의 주된 원인이거나 화학독성물질 또한 청력손실의 원인이 되며 소음에 대한 민감도를 상승시켜 청력손실을 가속화하는 것으로 알려져 있다^[1~5]. 내이신경 독성(Ototoxic)을 가지는 화학 물질들과 소음이 연합되면 청력 손실의 위험은 대폭 증가된다. 내이신경 독성의 유기화학물질, 특히 toluene이나 styrene에의 노출은 소음에만 단독 노출되었을 때보다 청력 손실의 위험이 크게 증폭시킨다는 보고가 지속적으로 되어왔다^[3]. 화학 물질에 의한 청력 손실은 높은 범위의 주파수에서 시작되고, 되돌릴 수 없는 손상을 준다는 특성을 갖는다. 화학물질은 달팽이관 장애와 청각 시스템의 중간 부분의 퇴화를 일으킨다. 따라서 소음과 내이 독성을 나타내는 유기화학

물질이 함께 존재하는 작업 환경에서는 소음을 통제하고 보호 장구를 사용하는 것만으로는 화학 물질에 의한 청력 손실을 막기에는 충분하지 않은 것으로 판단된다.

3. 군용비행장에서 청력손실 주요 위험요소 간 상승작용

군용비행장에서 청력손실의 첫 번째 위험요소는 단연 소음일 것이다. 따라서 소음에 의한 공군 조종사의 난청 현황은 이미 연구된 바가 있다^[17]. 기종별, 연령별 청력 저하 현황 연구 결과에 따르면 헬기 및 고가속도기 조종사의 청력이 저가속도기 조종사보다 저하되어 있고, 우측 귀보다는 좌측 귀의 청력이 저하되어 있음을 알 수 있다. 하지만 전술항공기를 운용하는 비행장에서 항공기의 이착륙은 물론 엔진의 시험운전, 각종 부수 장비의 작동은 다양한 주파수의 고출력 소음을 양산하며 이러한 작업 환경은 피할 수 없는 것이 현실이다. 하지만 소음에 의한 영향은 보호 장구 착용 등의 방법 정도가 최선일 것이다.

게다가 군용 비행장은 제트 엔진을 사용하는 항공기를 운용하기 때문에 고출력 소음을 유발하고 엔진 연소와 항공기 정비, 그리고 복합적인 임무 수행으로 앞에서 설명된 청력 손실 위험 요소들 중에서 소음뿐만 아니라 휘발성 화학물질(VOCs), 스트레스 등이 상존하는 장소이다.

실제로 비행장에서는 엔진 시험이나 항공기 운용, 그리고 장비 작동에 의한 엄청난 소음이 방출된다. 이와 더불어 Table 3에 정리한 것과 같이 엔진 가동, 장비세척, 보일러 가동 등의 과정에서 휘발성 유기 화합물이 다량 양산되고 있다^[18]. 따라서 휘발성 유기 화합물(VOCs)들이 소음과 연합하여 청력 손실을 유발하는 것은 비행장에서 가장 위험한 청력 손실의 요소가 될 수 있다. 즉, 군용 비행장 환경에서는 sulfur dioxide, toluene, styrene, xylene, dinitrobenzene 등의 유기 화합물들이 소음과 연합하여 청력 손실에 상승작용을 일으키는 것이 문제가 될 수 있다.

화학물질과 소음의 청력 손실 발생에의 상승 작용은 매우 극단적이다. 공장 근로자를 대상으로 한 실험에서 소음 단독에 의한 청력 손실 유발은 통제 집단과 비교하여 4배로 상승한 반면, 톨루엔과 소음에 동시에 노출되었을 경우 청력 손실은 11배로 상승하였다

^[19]. 국내 연구에서도 소음 노출 수준이 85~101 dB인 공장에서 소음에만 노출된 근로자의 청력 손실률은 17%였는데, methylethylketone, toluene, xylene 등을 동시에 취급하는 근로자는 동일 수준의 소음에 노출되었음에도 불구하고 청력 손실률이 54.9%로 증가하였다^[3].

Table 3. Summary of VOCs in Air base

주요 VOCs 생성원	VOCs	방출량 (lb/yr)
- Boiler - Internal Combustion Engine - Engine Test Operation - Incinerators - Fuel Tank & Rack - Organic Solvent Cleaning Unit	Xylene	79.32
	Toluene	29.47
	Hydrogen Chloride	47.67
	Hexane	15.33
	Ethyl benzene	14.38
	Methyl tert-butylether	12.38
	Naphthalene	6.53
	Benzene	5.69
	Cumene	4.86

미국에서는 이미 JP-8 제트 연료로부터 발생하는 여러 가지 화학물질들이 소음과 결합하여 청력 손상을 가속시킨다는 연구결과가 보고되었다^[20]. JP-8은 제트기 표준 연료로 우리나라를 포함한 미국과 북대서양 조약 기구에 가입한 나라들의 군용 비행기에 주로 사용하는 항공유이다. 연구 결과에 따르면 JP-8으로부터 발생하는 탄화수소 물질들에는 decane, nonane, undecane, 1,2,4-trimethyl benzene 등의 가스 상태 물질들과 fluorene, haxadecane 등의 에어로졸 상태의 물질들이 있다. 이런 탄화수소 물질들은 청력 손상에 영향을 주는 화학 물질들 중 일부이다. 동물실험에서 JP-8으로부터 발생하는 탄화수소 물질들은 동물 체내에 일정시간 잔류하여 실험동물의 청력손실 위험 노출 시간을 연장시켰다. 휘발성 유기화합물을 포함한 독성물질의 체내 잔류에 의한 위험 노출시간의 연장은 소음 노출과 중첩될 기회를 늘려 청력손실 위험을 가중시킬 것이다.

본 연구는 군용비행장에서 배출하는 청력독성의 유기화합물들이 소음과 연합한 상승작용으로 청력손실을 가속화하고 청각 및 인지 기능의 비가역적 손상을 유

발할 수 있음을 강조한다. 아울러 비행장 환경 연구를 통해 소음과 진동 뿐 아니라 청력 독성 화학물질로 인한 청력 손실을 최소화 할 수 있는 체계적 연구를 제안한다.

4. 결론

청력은 한번 손상되면 회복되기 어려워 손상 예방을 위한 노력이 무엇보다 중요하다. 따라서 군용비행장 근무자들의 소음에 의한 청력손실을 최소화하기 위해 고성능이면서 착용이 편리한 보호 장구를 지속적으로 개발하고 보호 장구의 착용을 의무화하는 규정을 더욱 강조해야 한다.

본 연구는 소음과 유기화합물의 상승 작용으로 인한 청력손실에 대비하기 위한 체계적인 연구가 필요함을 제안하였다. 구체적으로 군용비행장에서 사용되는 연료 및 휘발성 유기용제의 사용과 사용공간에 대한 분석으로 인체 노출을 최소화하는 방안을 강구해야한다. 이를 위해 비행장에서 배출되는 휘발성 유기용제의 총량 분석과 청력 손상 독성물질 구분, 그리고 청력손실 최소화를 위한 환경구축 연구가 체계적으로 수행되어야 한다는 것을 제안한다. 또한 추가적인 연구를 지속하여 휘발성과 청력 독성이 없는 유기용제를 개발하여 사용하고, 유기용제를 사용하는 작업장의 소음을 차폐하는 시설을 갖추는 방안 등, 소음과 청력 독성 유기화합물에 동시에 노출되지 않는 녹색환경을 구축하는 것이 청력손실을 최소화하는 발전방향이 될 수 있다.

후 기

본 연구는 공군사관학교 국고지원(KAFA 11-19)으로 수행되었습니다.

References

[1] Cary R., Clarke S., Delic J., "Effects of Combined Exposure to Noise and Toxic Substances-Critical Review of the Literature", *Ann. Occup. Hyg.* 41(4), pp. 455~465, 1997.
 [2] Hoet P, Lison D, "Ototoxicity of Toluene and

Styrene : State of Current Knowledge", *Crit Rev Toxicol.* 38(2), pp. 127~170, 2008.
 [3] Kang S. K., Ahn Y. S., Kim K. J., "Recent Advances in Occupational Health Research in Korea", *Ind Health.* 42(2), pp. 91~98, 2004.
 [4] Morata T. C., "Chemical Exposure as a Risk Factor for Hearing Loss", *J. Occup. Environ. Med.* 45(7), pp. 676~682, 2003.
 [5] Morata T. C., Dunn D. E., Sieber W. K., "Occupational Exposure to Noise and Ototoxic Organic Solvents", *Arch Environ Health.* 49(5), pp. 359~365, 1994.
 [6] Johnson A. C., "Occupational Exposure to Chemicals and Hearing Impairment - the Need for a Noise Notation", *Karolinska Institutet.* pp. 1~48, 2009.
 [7] Robinson D. W., Sutton G. J., "Age Effect in Hearing - a Comparative Analysis of Published Threshold Data", *Audiology.* 18 (4), pp. 320~334, 1979.
 [8] Gad A., Laurino M., Maravilla K. R., Matsushita M., Raskind W. H., "Sensorineural Deafness, Distinctive Facial Features, and Abnormal Cranial Bones : A New Variant of Waardenburg Syndrome?", *Am. J. Med. Genet. A.* 146A(14), pp. 1880~1885, 2008.
 [9] Schraders M., Oostrik J., Huygen P. L., Strom T. M., van Wijk E., Kunst H. P., Hoefsloot L. H., Cremers C. W., Admiraal R. J., Kremer H., "Mutations in PTPRQ are a Cause of Autosomal-recessive Nonsyndromic Hearing Impairment DFNB84 and Associated with Vestibular Dysfunction", *The American Journal of Human Genetics.* 86(4), pp. 604~610, 2010.
 [10] Varga R., Avenarius M. R., Kelley P. M., Keats B. J., Berlin C. I., Hood L. J., Morlet T. G., Brashears S. M., Starr A., Cohn E. S., Smith R. J., Kimberling W. J., "OTOF Mutations Revealed by Genetic Analysis of Hearing Loss Families Including a Potential Temperature Sensitive Auditory Neuropathy Allele", *J. Med. Genet.* 43(7), pp. 576~581, 2006.
 [11] Wang D., Wang Y., Weil D., Zhao Y., Rao S., Zong L., Ji Y., Liu Q., Li J., Yang H., Shen Y.,

- Benedict-Alderfer C., Zheng Q., Petit C., Wang Q., "Screening Mutations of OTOF Gene in Chinese Patients with Auditory Neuropathy, Including a Familial Case of Temperature-sensitive Auditory Neuropathy", *BMC Medical Genetics*. 11(1), pp. 79 ~85, 2010.
- [12] Gordin A., Goldenberg D., Golz A., Netzer A., Joachims H. Z., "Magnesium : A New Therapy for Idiopathic Sudden Sensorineural Hearing Loss", *Otol. Neurotol*. 23(4), pp. 447~451, 2002.
- [13] US Environmental Protection Agency, NOISE CONTROL ACT OF 1972, 1972.
- [14] Anil K., Lalwani, Ying-Hua L., M. D., Michael W., "Secondhand Smoke and Sensorineural Hearing Loss in Adolescents", *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 137(7) pp. 655~662, 2011.
- [15] John J. M., "Occupational Hearing Loss", *Am. J. Ind. Med*. 37, pp. 112~120, 2000.
- [16] Schacht J., Hawkins J. E., "2006 Sketches of Otohistory. Part 11 : Ototoxicity : Drug-induced Hearing Loss", *Audiol Neurootol*. 11(1), pp. 1~6, 2006.
- [17] Lee U. Y., Yang S. M., Lim J. K., "The Hearing Loss in Air Force Pilots", R.O.K Air Force Academy Aerospace Research Institute Final Report, KAFA 10-08, 2010.
- [18] Air Quality Branch, Environmental Analysis Division, Air Force Institute for Operational Health, 2003 Air Emissions Inventory for Permitted Point Sources at Hickam AFB, Hawaii, 2004.
- [19] Chang S. J., Chen C. J., Lien C. H., Sung F. C., "Hearing Loss in Workers Exposed to Toluene and Noise", *Environmental Health Perspectives*. 114(8), pp. 1283~1286, 2006.
- [20] Fechter L. D., Gearhart C., Fulton S., Campbell J., Fisher J., Na K. S., Cocker D., Nelson-Miller A., Moon P., Pouyatos B., "JP-8 Jet Fuel can Promote Auditory Impairment Resulting from Subsequent Noise Exposure in Rats", *Toxicological Sciences*, 98(2), pp. 510~525, 2007.