



## 소음 노출과 일시적 난청

산업안전보건연구원 직업병연구센터 / 김 규 상

### 글 쓰는 순서

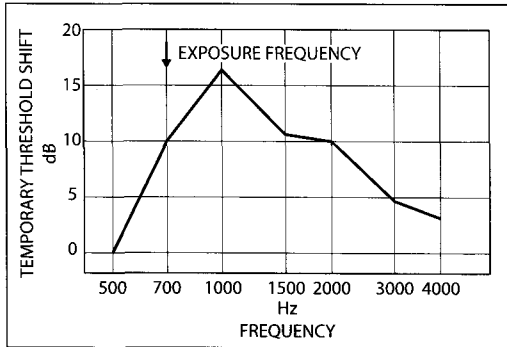
- ① 인간의 청력 ② 일반인의 소음 노출 ③ 환경소음과 도시소음의 문제
- ④ 일상생활에서의 저주파음의 노출과 건강영향 ⑤ 소음환경 하에서의 어음인지와 청력손실
- ⑥ 소음 노출과 일시적 난청 ⑦ 소아 아동의 소음 노출과 청력영향
- ⑧ 취미 및 스포츠 활동에 따른 소음 노출과 청력영향 ⑨ 청력의 연령효과와 노인성 난청
- ⑩ 건강행태(음주, 흡연 등)와 청력영향 ⑪ 일반 질병(당뇨, 신장질환 등)에 의한 청력영향
- ⑫ 화학물질의 이독성 ⑬ 소음 이외 물리적 요인(진동, 라디오파, 방사선 등)에 의한 청력영향
- ⑭ 특수 종사자의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

소음에 의한 청력의 영향으로 나타나는 청력손실 유형은 ① 일시적인 청력손실(temporary threshold shift; TTS), ② 영구적인 청력손실(permanent threshold shift; PTS), ③ 음향성 외상(acoustic trauma)의 3가지가 있다.

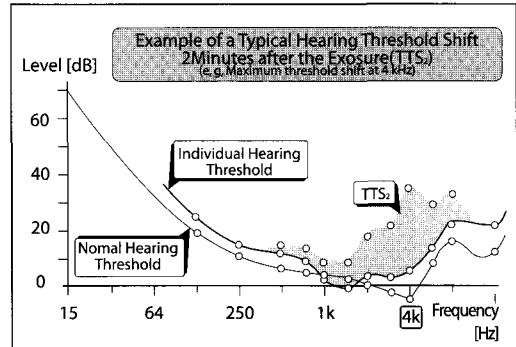
일시적인 청력손실(일시적 난청, 일시적 역치변동, 일시적 역치변화, 일시적 역치상승)은 강력한 소음에 노출되어 생기는 난청으로 4,000-6,000 Hz에서 가장 많이 생기며, 소음에 노출된 지 2시간부터 발생하며

하루 작업이 끝날 때에는 20-30 dB의 청력손실을 초래한다. 일시적인 청력손실은 청신경세포의 피로현상으로, 이것이 회복되면 그 정도에 따라서 12-24시간을 요하는 가역적인 청력저하이나 영구적 소음성 난청의 경고신호로 볼 수 있다.

영구적인 청력손실은 충분히 회복이 되지 않은 상태에서 계속 소음에 노출됨으로써 발생하며 회복과 치료가 불가능하다. 일시적인 청력손실과 영구적인 청력손실과의 사이에 직접적인 생리적 관계가 확인된 것은 아니나 일시적인 청력손실이 반복되고



〈그림 1〉 700 Hz음의 5분간 노출로 인한 일시적 역치 변화(Ward, 1962)



〈그림 2〉 소음 노출 2분 후 주파수별 일시적 역치변화 (Irle 등, 1999)

불안정한 회복상태가 계속되면 축적효과 때문에 영구적인 청력손실이 발생한다.

소음에 의한 일시적인 청력손실은 소음 특수건강진단에서 순음청력검사의 신뢰성에 영향을 미친다. 따라서 일시적 청력손실로부터 회복되는 일정한 소음 격리시간이 필요하다.

이 글은 소음 노출과 일시적 난청에 대한 연구를 중심으로 고찰하고자 한다.

## 1. 일시적 난청 관련 연구

소음성 난청 발생에 영향을 미치는 주요인으로 소음을 들 수 있고 소음의 크기(음압), 주파수, 노출시간을 들 수 있는데, 이는 일시적 난청에서도 마찬가지이다.

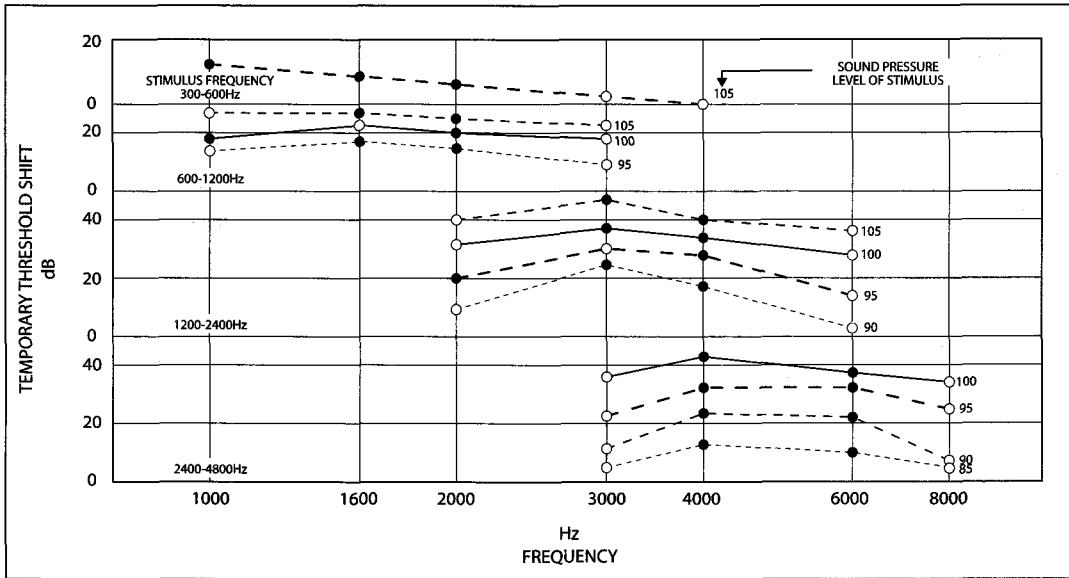
### 가. 소음 노출 주파수

기지의 음향이나 소음 노출로 인한 일시적 난청 발생 또는 청력역치 변화는 실험실적으로 실험 전의 역치(resting threshold)와 실험 후의 역치(post-exposure threshold) 차이로 결정된다.

소음 노출로 인한 청력 영향은 노출 소음의 주파수와도 밀접한 관련이 있다. 주어진 자극음보다 높은 대역의 음에서, 반 옥타브 또는 한 옥타브 높은 주파수 대역에서 일시적인 역치변화가 최대로 나타난다.

Hirsh와 Bilger(1955)는 1000-2000 Hz 음에 의한 일시적 역치변화가 1000-2000 Hz 보다 반 옥타브 높은 1400-2800 Hz에서 더 크게 나타남을 증명하고 있다. 이는 어떤 특정한 소음에 대한 역치변화는 주어진 음의 주파수의 상방향으로 전위한다.

〈그림 1〉은 Ward(1962)의 실험 결과로 700 Hz 음의 5분간 노출로 나타난 일시적 역치변화를 보여준다. 이와 같이 일시적 역치변화는 노출 소음의 주파수 역의 상방으



〈그림 3〉 다양한 주파수 음의 노출 강도에 따른 일시적 역치변화(Ward 등, 1959)

로, 청력손실이 크게 나타남에도 불구하고 광대역 소음에 노출되는 경우 3000-6000 Hz에서 더 민감하게 나타난다. 〈그림 2〉는 소음 노출 2분 후 측정된 각 주파수별 청력 역치(TTS<sub>2</sub>)로 일시적 역치변화(dark area)가 4-6 kHz 영역에서 최대치를 보여 주고 있다(Irle 등, 1999).

저음역의 소음 노출로 인한 일시적 청력 손실의 영향은 그리 크지 않다. 일반적으로 소음에 의한 일시적 청력손실은 보다 높은 주파수 대역의 소음에 의해 발생한다.

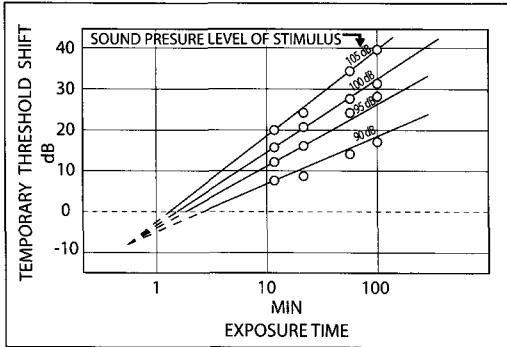
2000 Hz 이하 대역의 강한 음에 대해서는 청각반사(aural reflex)로 고막장근과 등골근의 수축에 의한 이소골에서 내이로의 음

전달이 감소되기 때문이다. 〈그림 3〉은 다양한 주파수 음에 100분간 노출된 2분 후 측정된 일시적 역치변화를 보여준 것이다.

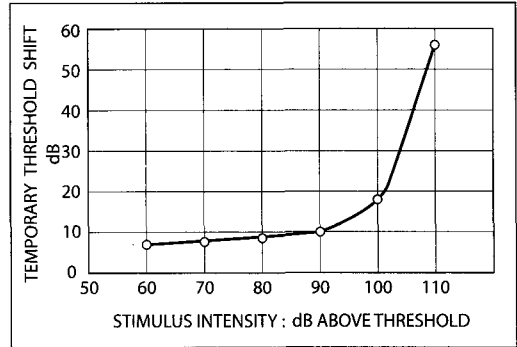
#### 나. 소음 노출 강도와 노출시간

강의실에서 큰 목소리 크기인 70 -75 dB SPL에 1시간 노출에도 청력 역치에 약간의 변화가 일어난다. 소음 노출 강도는 강도의 크기가 증가함에 따라 일시적 청력손실은 크게 나타난다. 특히 노출시간이 증가함에 따라 그 영향은 더 크게 나타난다. 〈그림 4〉는 Ward(1959) 등의 13명 26개의 귀에 대한 실험 결과이다.

1200-2400 Hz 대역의 소음 노출로부터 2분 후 측정된 4000 Hz에서의 일시적 역치



〈그림 4〉 1200 - 2400 Hz음의 노출 2분 후 측정된 4000 Hz에서의 일시적 역치변화(Ward 등, 1959)



〈그림 5〉 2000 Hz음 노출 10초 후 2000 Hz에서의 일시적 역치변화(Hood, 1950)

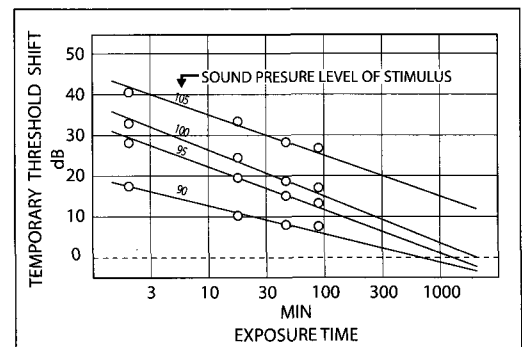
변화로 자극음의 강도와 노출시간에 따른 관계를 보여준다. 노출 강도에 따른 일시적 역치변화는 어느 레벨 이상이면 급격하게 증가하는데, 이에 지속적으로 노출되면 영구적인 난청을 야기한다.

Hood(1950)는 2000 Hz 음의 노출로부터 10초 후 2000 Hz에서의 일시적 역치변화를 측정한 결과, 90-100 dB SPL 사이의 자극음부터 급격한 일시적 역치변화가 나타남을 보여주고 있다(그림 5). 이 때의 자극음의 크기는 절대 크기로서의 자극음이 아니라 피실험자의 역치보다 더 큰 음으로서의 크기(sensation levels, dB above threshold)이다. 즉 90 dB sensation level 이상에서는 일시적 역치변화가 더 크고 회복에서 지연된다고 볼 수 있다.

#### 다. 일시적 난청 회복시간

일시적 난청 또는 역치변화는 소음 노출 방법과 회복시간의 측정 방법에 따라 다양

한 양상을 보인다. 일시적 난청의 회복 과정은 일시적 역치손실의 발생 양상에 영향을 받는다. 일시적 난청의 청력손실 회복은 초기에 보다 빠르며 후기에 서서히 진행된다. 회복은 소음 중단 이후의 시간대수비(logarithm of time)와 선형관계를 갖는다. 최종 소음 노출시간으로부터 2분 이내에 청력 역치 변화에 회복이 나타난다. 〈그림 6〉은 1200-2400 Hz 연속음 노출로부터 시간 경과



〈그림 6〉 1200-2400 Hz 연속음 노출로부터 시간경과에 따른 4000 Hz 일시적 역치변동의 회복(Ward 등, 1959)

과에 따른 4000 Hz 일시적 청력손실의 회복을 보여준다(Ward 등, 1959). <그림 6>은 <그림 4>와 동일한 13명의 피실험자를 연구 대상으로 한 일시적 역치변화의 발생 양상을 보여주고 있다.

일시적 역치변화에서 소음 노출 수준(음압)이 클수록 회복의 속도가 빠르게 나타난다. 그러나 105 dB의 소음 노출인 경우에는 회복이 현저하게 늦춰진다. 이때에는 <그림 6>의 회복선(recovery line)으로 추정하면 50 dB 이상의 일시적 역치손실이 있을 수 있고, 더 낮은 강도의 소음 노출보다는 회복이 지연되어 나타난다.

소음 노출로부터 2분 후 40 dB을 초과하지 않는 일시적 역치변화는 회복이 비슷하게 나타나나 50 dB에 달하는 경우에는 현저하게 회복이 지연되어 나타나게 된다. 연속음 형태의 소음 노출로 인한 2분 후 일시적 역치변화가 40 dB 이하에서는 시간 경과에 따른 역치변화의 회복은 로그 선형과 관련성을 보인다. 이에 소음 노출 2분 후 일시적 역치변화를 알면 추후 변화량과 회복 시간을 예측할 수 있다(Ward, 1963).

#### 라. 불연속음의 일시적 역치 변화

소음 노출에 있어서 작업의 특성으로 말미암아 소음 노출시간(on-time)과 비소음 노출시간(off-time) 즉, 작업시간 8시간 중 4시간은 소음작업, 4시간은 비소음작업, 또

는 극단적으로 5분간 소음작업, 5분간 비소음작업 등에 따른 불연속인 소음 노출환경에서는 일시적 역치손실의 발생과 회복은 노출 종료시점과 청력측정 사이의 간격과 소음 노출의 노출 시간 형태와 규모에 영향을 받는다. 불연속적인 소음 노출로 인한 일시적 역치 손실은 일반적으로 노출시간 비율에 따른 동일 음압의 연속음에 의한 일시적 역치손실을 보인다(on-fraction rule; Ward, 1970). 예를 들면, 2분 노출, 2분 비노출 작업의 소음 노출 비율은 1/2이다.

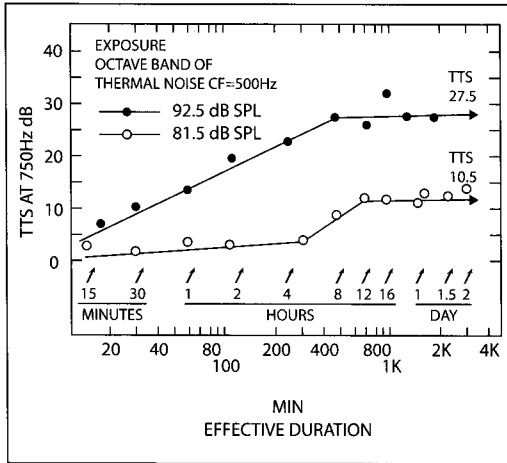
#### 마. 충격음의 일시적 역치 변화

총기 사격, 햄머, 프레스, 리벳작업 시 이와 같은 충격음에 노출될 수 있다. 충격음은 돌발적으로 아주 짧은 소음 노출 시간 특성을 갖는다. 충격음은 체내의 청각 반사기전으로 소음에 대한 방어 효과가 적절하게 작용하지 못하여 더 큰 영향을 미친다.

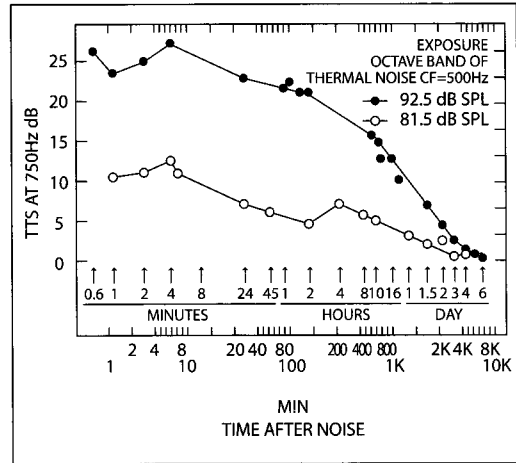
충격음은 최대음압(peak pressure), 충격음의 노출시간, 상승-하강시간, 충격음의 간격, 방향성, 충격음의 노출 회수, 반복률 등의 노출 특성에 따라 다양한 일시적 역치손실을 보인다.

#### 바. 오래 지속된 소음에 의한 일시적 역치 변화

오래 지속된 소음에 의한 일시적 역치변화에 대한 초기 연구로 Mills 등(1970)의 연구가 있다.



〈그림 7〉 오래 지속된 소음에 의한 일시적 역치변화



〈그림 8〉 오래 지속된 소음에 의한 일시적 역치변화의 회복 양상

500 Hz 중심주파수의 옥타브밴드 음 81.5 dB SPL에, 48시간과 92.5 dB SPL에 29.5시간 노출에 따른 750 Hz에서의 일시적 역치변화를 각각에 대해 시간대별로 관찰하였다.

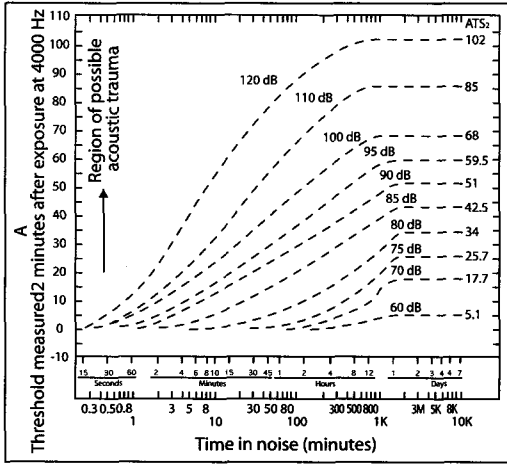
노출로부터 4분 후 측정된(TTS<sub>4</sub>) 결과는 8-12시간까지 역치 손실이 증가하고 81.5 dB 노출에서는 10.5 dB, 92.5 dB 노출에서는 27.5 dB의 역치손실이 고평부(plateau)를 이루었다(그림 7). 이러한 오래 지속된 소음으로부터 발생한 일시적 역치 손실은 3-6일 정도 지나면서 최대로 회복된다(그림 8). 1-9일간의 오랜 기간의 음향자극은 영구적 역치손실 없이 와우의 유모세포에 대해 손상을 줄 수 있다.

#### 사. 일시적 역치변화와 영구적 역치 변화의 관계

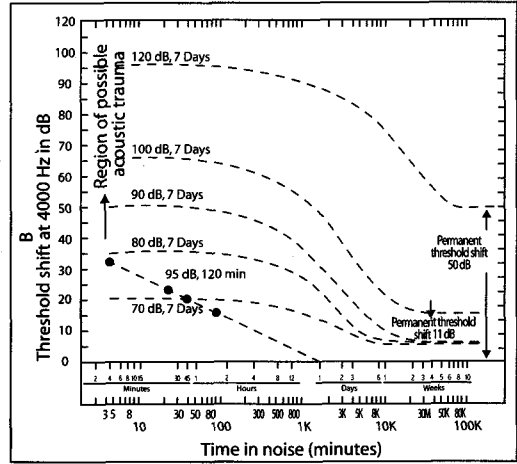
〈그림 9〉와 〈그림 10〉은 소음 노출수준, 기간(시간)과 일시적 역치손실과 회복과의 관련을 보여주고 있다.

〈그림 9〉는 귀에 예민한 2800-4000 Hz 대역의 연속음으로 소음에 노출되는 경우 4000 Hz에서 측정한 역치손실을 최악의 시나리오로 보여준 것이다. 12-24시간 시점에서 역치손실은 편평하게 안정적으로 나타나는데, 이를 무증상 역치변화(asymptomatic threshold shift, ATS)라고 한다. 보다 강한 소음은 더 큰 ATS를 야기한다. 85 dB 보다 작은 소음은 수 시간 후에야 측정가능한 일시적 역치손실이 나타나지만, 120 dB SPL의 음은 5분 만에 30 dB 이상의 일시적 역치손실을 보인다.

〈그림 10〉은 ATS로부터 회복을 나타낸 것인데, 약한 강도의 소음 노출이나 또는 짧



〈그림 9〉 소음 노출에 따른 일시적 역치변동과 ATS



〈그림 10〉 ATS로부터 시간 경과에 따른 회복

은 시간의 노출로 인한 일시적 역치변동은 거의 로그 시간과 선형적으로 1일 이내에 완전히 정상화된다. 어느 정도의 심한 노출이라도 1주일 이내에 정상으로 회복된다. 그러나 아주 강한 소음에 노출되는 경우에는 역치손실로부터 회복되지 않고 영구적 역치변화가 지속되는 소음성 난청을 야기한다 (Miller, 1974).

**아. 소음과 기타 다른 유해요인**

소음과 진동의 노출로 인한 상호작용 효과는 일시적 역치변화에서도 나타난다. 진동 단독 요인만의 일시적 역치변동은 크지 않으며 또한 저음과 고음역에서 역치변화량은 차이가 없으나, 소음과 진동 복합 노출로 인한 역치변동은 둘 다 1k Hz에서보다 4k Hz에서 일시적 역치변화가 크며, 또한 소음과 진동 복합노출의 경우 역치변화가 소음

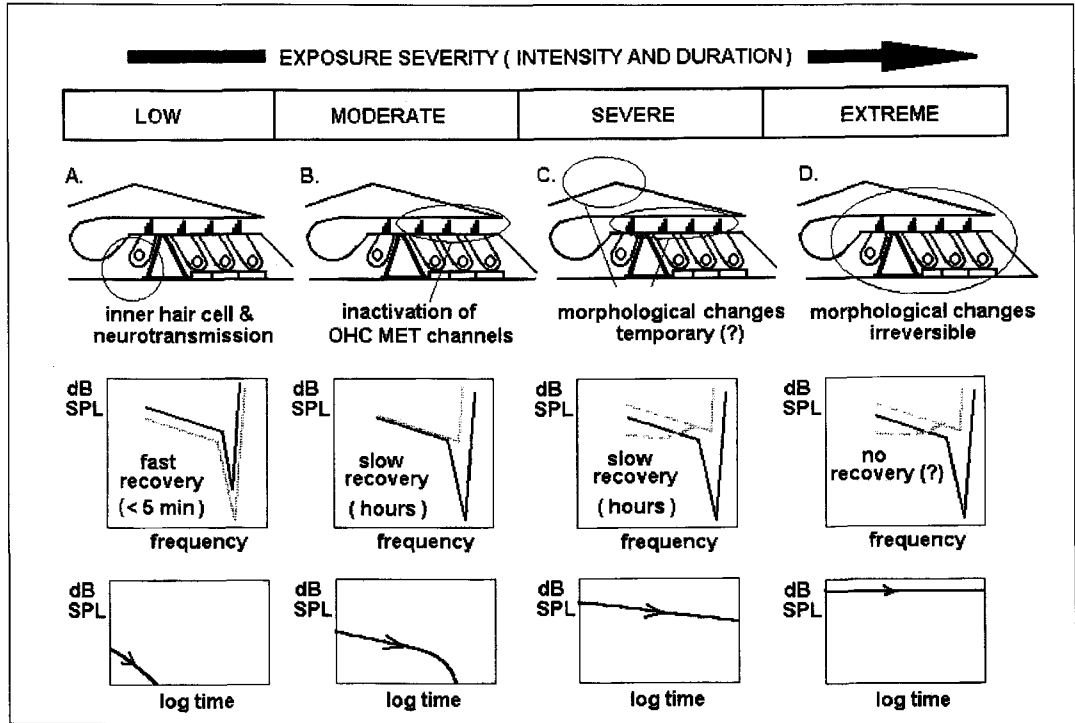
단독노출의 경우보다 더 크게 나타난다 (Humes과 Jesteadt, 1991).

**자. TTS의 PTS로의 변화 기전**

일시적 청력손실의 영구적 청력손실로의 변화 기전을 Patuzzi(1998)는 〈그림 11〉과 같이 도식화하여 설명하고 있다.

작은 강도의 소음 노출은 내유모세포 바로 아래의 제1차 구심성 시냅스(primary afferent synapse)와 내유모세포 자체를 일시적으로 방해한다. 모든 주파수역에서의 역치변화는 짧은 시간 내에 회복된다(A).

중도의 자극음에 대해 외유모세포의 말단(apex)에 있는 활동전압(stretch-activated channel)이 비활성화되고 외유모세포 수용체 전위가 감소한다. FTC(frequency threshold curve)만의 첨단부를 상승시키고, 역치변화로부터 회복시간은 다



〈그림 11〉 노출 소음의 강도와 기간에 따른 일시적/영구적 난청의 변화 기전

중 지수모형에 따른 시간 경과(multi-exponential time course)를 보인다(B).

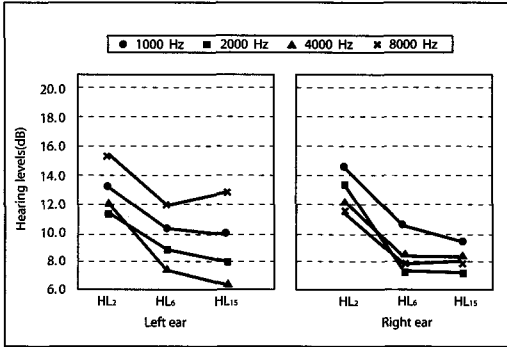
좀 더 강한 자극음에 대해 털 다발(hair bundle)과 개막(tectorial membrane)은 파괴되고 FTC 첨단부의 역치상승으로 나타나며, 회복 시간 경과를 지연되며 단순지수 시간 경과를 보인다(C). 아주 심한 자극은 영구적인 형태학적 파괴와 세포사로 나타난다. 역치변화로부터 회복되지 않고 영구적 청력손실로 나타난다(D).

## 2. 우리나라에서 소음에 의한 일시적 난청에 대한 연구

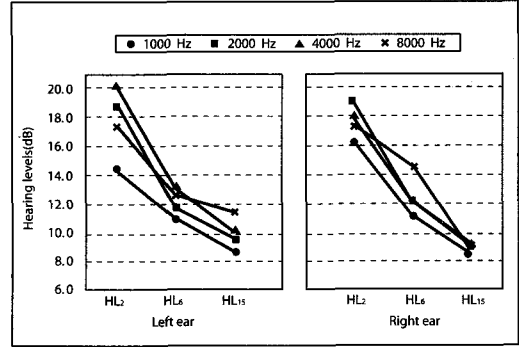
우리나라에서 소음에 의한 일시적 난청에 대한 연구는 소음 노출 시간 경과에 따른 역치변화와 청력저하로부터 회복되는 시간과 양상에 대한 몇몇 연구 보고가 있다.

일시적인 청력손실은 4000 Hz의 고주파 순음보다 1000 Hz의 저주파 순음이 인체의 청력손실에 미치는 영향이 적으며, 일시적 청력손실의 회복양상은 처음 30분 이내에 제일 빠른 회복을 보이며, 시간이 경과함에 따라 서서히 회복되고, 정상 청력으로 회복





〈그림 12〉 청력보호구 착용자의 소음 노출 회피시간대에 따른 청력역치



〈그림 13〉 청력보호구 미착용자의 소음 노출 회피시간대에 따른 청력역치

되는데는 일시적 청력손실이 클수록 시간이 지선적으로 증가한다(김해준과 강병석, 1983).

또한 4000-6000 Hz의 고음역에서 역치 상승의 높은 발현 빈도를 보이고, 역치상승의 정도는 0-35 dB, 대부분 15 dB 미만이나, 4000 Hz 이상에서는 20 dB 이상의 역치상승을 나타내며, 일시적 청력역치 상승의 회복은 대부분의 예에서 60분 이내에 이루어지며, 일시적 청력역치 상승의 회복은 역치상승의 정도와 관련이 있다(오찬환과 박찬일, 1983).

박호선 등(1986)의 소음성 난청으로 진단된 64명에 대한 실험연구에서는 소음에 의한 일시적 청력손실이 클수록 긴 회복시간이 필요했으나, 청력이 나쁠수록 일시적 청력손실치는 적었으며 긴 회복시간이 필요했다.

만 50세 이하, 소음 노출력 5년 이하로 소

음에 의한 영구적 청력손실의 영향을 배제한 H제지, K방직, H강관 3개 사업체의 근로자 92명을 대상으로 한 소음노출 후 경과 시간에 따른 청력변화와 일시적인 청력저하로부터 회복되는데 필요한 시간 연구(조수현 등, 1996) 결과에서는 ① 청력보호구 착용자의 경우, 소음노출 종료 직후의 청력은 11.5-15.4 dB이었다가 5-7시간이 지나면서 좌우 양쪽 모두 정상청력에 가까운 10 dB에 접근하고, ② 청력보호구 미착용자의 경우는 소음노출 후 0-2시간에 14.5-20.2 dB이었던 청력이 5-7시간 경과 후 11.1-14.5 dB로 회복되고, 소음노출 후 14-16시간에서 정상청력대인 10 dB로 접근 또는 이하로 회복하고 〈그림 12〉 〈그림 13〉, ③ 2, 4, 8 kHz에서의 소음격리시간은 각각 중위수로 10.3, 15.6, 8.4시간으로 추정되었다.

1일 평균소음이 80 dB을 초과하는 19개 사업장의 219명의 1차 검진에서 실시하는

〈표 1〉 소음에 의한 일시적 난청과 회복에 대한 연구

연구자	연구 대상	연구 목적	연구 결과
김해준과 강병석 (1983)	실험연구-귀질환의 병력이 없고 소음환경에 근무한 적이 없는 해군 수병 7명	소음의 종류와 음압수준에 따른 TTS와 TTS 정도에 따른 회복 양상	①고주파 순음 4k Hz 보다 1k Hz의 저주파 순음이 인체의 청력손실에 미치는 영향이 적으며, 같은 음압수준인 경우 순음보다 광대역음이 보다 안전 ②일시적 청력손실의 회복 양상은 처음 30분 이내에 제일 빠른 회복을 보이며, 시간이 경과함에 따라 서서히 회복되고, 정상 청력으로 회복되는데는 일시적 청력손실이 클수록 시간이 직선적으로 증가
오천환과 박찬일 (1983)	방적공장 직포장에 근무하는 여자종업원 193명 중 이질환을 가지고 있는 자를 제외하고 근무기간이 6개월 미만인 76명	소음에 의한 일시적 청력역치 상승과 회복	①4, 6k Hz의 고음역에서 역치 상승의 높은 발현 빈도 ②역치상승의 정도는 0-35 dB, 대부분 15 dB 미만, 4k Hz 이상에서는 20 dB 이상의 역치 상승 ③일시적 청력역치 상승의 회복은 대부분의 예에서 60분 이내에 이루어짐 ④일시적 청력역치 상승의 회복은 역치 상승의 정도와 관계
박호선 등 (1986)	실험연구-소음성 난청으로 진단된 64명	강대백색잡음의 부하 후 NITTS와 그 회복 과정	①NITTS량이 많을수록 긴 회복 시간 ②청력이 나쁠수록 NITTS량이 적었으나 긴 회복 시간 필요
조수현 등 (1996)	만 50세 이하, 소음노출력 5년 이하로 소음에 의한 영구적 청력손실의 영향을 배제한 근로자 92명	소음노출 후 경과시간에 따른 청력변화와 일시적인 청력저하로부터 회복되는데 필요한 시간	①청력보호구 착용자의 경우, 소음노출 종료 직후의 청력은 11.5-15.4 dB 이었다가 5-7시간이 지나면서 좌우 양쪽 모두 정상청력에 가까운 10 dB에 접근 ②청력보호구 미착용자의 경우는 소음노출 후 0-2시간에 14.5-20.2 dB이었던 청력이 5-7시간 경과 후 11.1-14.5 dB로 회복되고, 소음노출 후 14-16시간에서 정상청력대인 10 dB로 접근 ③2, 4, 8k Hz에서의 소음격리시간은 각각 중위수로 10.3, 15.6, 8.4시간으로 추정됨
원종욱 등 (2000)	1일 평균소음이 80 dB을 초과하는 19개 사업장의 219명	1차 검진에서 실시하는 1, 4 kHz 순음청력검사 결과, 일과성 청력 손실과 주변환경 소음의 영향	①소음노출 전후의 차이는 제1군에서 좌/우측 귀가 1k Hz에서 8.7/9.6 dB, 4k Hz에서 6.9/7.4 dB의 차이를 보였으며, ② 제2군에서는 1k Hz에서 5.4/6.4 dB, 4k Hz에서 5.5/5.8 dB의 차이를 보였으며, 모두 통계학적으로 의미가 있었음

1, 4k Hz 순음청력검사 결과, 일과성 청력 손실과 주변 환경 소음의 영향을 살펴 본 연구 (원종욱 등, 2000)에서는 소음노출 전후의 차이는 제1군에서 좌/우측 귀가 1k Hz에서 8.7/9.6 dB, 4k Hz에서 6.9/7.4 dB의

차이를 보였고, 제2군에서는 1k Hz에서 5.4/6.4 dB, 4k Hz에서 5.5/5.8 dB의 차이를 보였으며, 모두 통계학적으로 의미가 있었다. 〈표 1〉

참 고 문 헌

1. 김규상. 우리나라의 산업청각학적 연구 고찰. 산업보건 2003;(1):32-67.
2. 김해준, 강병석. 단시간 소음 폭로 후 청력손실 및 회복양상에 관한 연구. 해양의학 1983;5(1):43-56.
3. 박호선, 최호선, 고의경, 왕수건, 전경명, 이종담. 소음성 난청에 있어서 일과성 역치상승에 관한 연구. 한이인지 1986;29(4):448-458.
4. 오천환, 박찬일. 소음에 의한 일시적 청력역치상승과 회복에 관한 연구. 한이인지 1983;26(3):446-456.
5. 원종욱, 방문규, 송중호, 정선아, 송재석, 노재훈. 소음 특수건강진단 1차 검사의 민감도와 특이도에 미치는 일과성 역치 상승과 주변환경 소음의 영향. 대한산업의학회지 2000;12(2):269-276.
6. 조수현, 하미나, 한상환, 주영수, 성주현, 강종원, 윤덕로, 송동빈, 이명학, 김선태. 사업장 소음 폭로에 의한 일과성 역치 상승과 회복. 대한산업의학회지 1996;8(2):320-329.
7. Burns W. Noise and man. William Clowes & Sons, London, 2nd Ed., 1973.
8. Hood JD. Studies in auditory fatigue and adaptation. Acta Otolaryng(Stockh), Supp 92, 1950.
9. Humes LE, Jesteadt W. Modeling the interaction between noise exposure and other variables. J Acoust Soc Am 1991;90(1):182-188.
10. Irle H, Rosenthal C, Strasser H. Influence of a reduced wearing time on the attenuation of hearing protectors assessed via temporary threshold shifts. Int J Ind Ergon 1999;23:573-584.
11. Miller JD. Effects of noise on people. J Acoust Soc Am 1974;56(3):729-764.
12. Mills JH, Gengel RW, Watson CS, Miller JD. Temporary changes of the auditory system due to exposure to noise for one or two days. J Acoust Soc Am 1970;48(2):524-530.
13. Patuzzi R. Exponential onset and recovery of temporary threshold shift after loud sound: evidence for long-term inactivation of mechano-electrical transduction channels. Hear Res 1998;125:17-38.
14. Ward WD. Damage-risk criteria for line spectra. J Acoust Soc Am 1962;34:1610.
15. Ward WD. Temporary threshold shift and damage-risk criteria for intermittent noise exposure. J Acoust Soc Am 1970;48(2):561-574.
16. Ward WD, Glorig A, Sklar DL. Temporary threshold shift from octave-band noise: applications to damage-risk criteria. J Acoust Soc Am 1959;31:522.