

## 1. 머리말

현재 진행 중인 연구에 따르면, 방향성 음향기술의 이용에 의한 피난능력을 향상시킬 수 있다는 것을 증명하고 있다고 Deborah Withington은 설명하고 있다. 대부분의 건물에서 비상구 통로는 피난표지라는 시각수단으로 확인된다. 그러나 비상조명등, 벽과 문의 부호화 색상, 발광성 유도표지와 같은 모든 표지는 화재 시 낮은 연기 층에 의해 눈에 잘 띄지 않을 수 있다. 예를 들면, 공항 또는 쇼핑몰처럼 여러 가지 간판과 표지 등은 시각적으로 어지러운 공간에서는 비상구를 찾기가 어려울 수 있다.

대부분의 사람들이 화재 시에 그 근처에 있는 피난통로를 발견하는 데 실패하거나 또는 눈에 보이는 명확한 비상구를 지나치고, 그들이 진입했던 통로를 통하여 피난하는 것으로 알려져 있다. 대부분의 경우에 사람들은 가장 빠르거나 가장 적합한 통로로 피난하지 않는다. 익숙하지 않는 건물에 처음 방문한 사람들은 비상상황에 처하게 되면 길을 잃게 되고, 방향감각의 상실로 점점 스트레스나 불안감의 악화를 경험하게 되기 때문이다.

시각은 우리의 환경을 지각하는 1차적인 수단으로, 긴급피난을 도와주는 수단은 오로지 시각적인 기반이라는 것은 놀라운 일이 아니다. 그러나 건물 안이 부분적으로나 전체적으로 연기가 차 있을 때, 시각적 수단에만 의존하는 것은 현대의 피난실무에서는 비효율적이다. 예를 들면, 소리처럼 또 다른 관능법(sensory method)을 활용하는 것은 이러한 문제에 대한 명확한 해결책이다. 게다가 음향기반시스템(sound-based system)은 시각시스템과 같이 쓰일 때, 피난통로를 명확하게 하며 보다 더 효율적인 피난을 보장할 수 있다.

그러나 피난통로의 위치를 확인하기 위해 소리가 이용되었으며, 이러한 소리는 사람들이 그 소

## 위험관리정보 1

• 지향성 음향을 이용한 피난유도방식

출처  
Fire Risk Management  
2008년 6월호

번역  
• 차영환  
한국화재보험협회  
대전충청지부 과장



# 지향성 음향을 이용한 피난유도방식

리가 어디로부터 들리는지의 방향을 즉시 정확히 알 수 있게 해준다. 이것은 피난을 돕기 위해서 지향성, 광대역의 소리—대부분의 인간의 청각범위 전체의 주파수를 포함하는 다주파 소리—의 사용을 통해 이루어졌다.

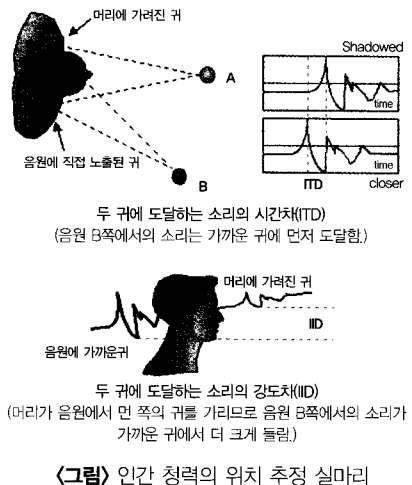
## 2. 가청주파수(Hearing frequencies)

일반적으로 비상음향 피난은 절박한 위험에 직면한 사람들에게 경보를 발하는 형태로 제공된다. 그러나 이러한 경보장치는 가장 가까운 피난통로의 방향, 또는 위치 등에 관련한 정보를 거의 제공하지 않는다. 널리 알려진 현재의 피난 경보장치로는 비상구 문의 상부에 위치하고 있을지라도 음향장치가 방향성을 갖고 있지 않기 때문에 사람들은 비상구의 위치를 찾을 수가 없다. 신경생리학자들은 소리에 대한 인간의 반응 및 음원과 관련된 정보가 뇌에서 어떻게 처리되어 결정되는지에 대해 연구를 수행하여 왔다. 그것은 오래 전부터 음원의 위치를 찾는 것은 중뇌의 상구체—새로운 소리를 감지하고 응답하는 뇌의 해당 부분—에 의해서 방대한 양의 신경 처리과정을 필요로 한다는 것을 인지하여 왔다. 게다가 오직 어떠한 소리의 유형만이 방향적으로 동일함을 증명할 수 있다는 것이다. 결정적으로 소리는 광대역 음향이라고 불리는 큰 주파수 스펙트럼을 포함해야만 한다.

## 3. 뇌는 음원의 위치를 확실하고 빠르게 찾아낸다

인간은 약 20Hz 내지 20,000Hz의 광범위한 범위의 주파수를 들을 수 있으며, 뇌에 허락하는 방향성화 소리의 정보에는 3개의 주요 타입이 있다. 처음 두 개는 입체음향의 신호(두 개의 귀로 소리의 지각)이다. 소리는 중간-라인의 양쪽(왼쪽이나 오른쪽)에서 흘러나오는 것이 먼저 도착하고, 가장 큰소리이며, 귀담아 듣는 영역이 된다(그림). 낮은 주파수에서 뇌는 양쪽 귀 사이에서의 소리 도착시간의 차이점을 인지하며, 높은 주파수에서 주요한 신호는 양쪽 귀에서의 세기와 강도의 차이점을 인지(양귀에 도달하는 소리의 세기)한다. 그러나 단일 주파수의 신호는 찾기가 어렵고 종종 '원추성 혼동 영역', 즉 어떤 주어진 주파수에 대해서 동일한 가장 좋은 시간을 포착하기와 강도의 차이를 발생하는 수많은 공간의 지점이 있다는 뜻이라 불린다. 이것이 인간이 정확한 하나의 음질을 사용하지 못하는 가장 큰 이유이다.

뇌에 의해 처리된 소리의 공간위치 정보의 세 번째 유형은 외이(外耳)가 소리를 가지고 있지 않지만 머리전달함수(head-related transfer function ; HRTF)라는 것이다. 어떤 주파수는 부드럽게 되고 다른 주파수들은 증폭되도록 하기 위해 소리는 변조된다. 비록 우리가 소리를 변조하는 방법에는 어떠한 보편성이 있긴 하지만, HRTF는 각 개인에게 하나 밖에 없는 것이며 소리가 우리의 앞인지 또는 뒤인지를 결정할 때에 특히 중요하다. 따라서 음향신호가 사람들에게 비상구 지점의 위치를 찾아내도록 도울 수 있기 때문에 방향성 음향은 극적으로 안전성, 특히 피난 유도를 향상시켜줄 수 있다. 예를 들면, 초대형 건물의 중앙 코어로부터 복잡한 피난경로에서의 피난 유도는



특히 유용하다. 게다가 뇌의 청각에 의해서 쉽고 빠르게 음원의 위치를 찾아내는 것은 신속한 피난을 위하여 완벽한 것이다.

기존의 화재감지 설비에 의해서 계기가 된 방향성 음향은—주의 깊게 선정된 위치에서 정해진 지점—사람들이 탈출통로를 따라서 이동하고 계단을 올라가거나 또는 내려가는 길잡이 역할을 할 수 있다. 그런 까닭에 현재 피난구유도등이 설치되어 있는 건물 및 기타 상황에서도 실용성을 가지고 있다.

#### 4. 방향성 시험

방향성 음향기술의 완전한 가능성에 대해서 조사하기 위해서 기본 원리에 관한 연구 및 개발 작업이 수행되고 있다. 특히 사람들이 발산된 소리의 방향을 즉시 찾을 수 있도록 하는 길잡이는 지난 10여 년 동안 리즈대학교(University of Leeds, 영국)의 창시자에 의해서 연구되어 왔고, 자동화재탐지설비의 제작사인 System Sensor, Clevertronics, Vimpey and Klaxon에 의해 방향음향장치에 통합되었다.

이 연구에는 다양한 환경에서 시험되어 방향성 음향의 사용을 포함하고 있다. 첫 번째 시험은 리즈대학교의 캠퍼스에 위치한 약 20m×10m인 상대적으로 큰 규모의 TV스튜디오에서 진행되었다. 주위 환경에 익숙하지 않은 대략 10명의 피시험자들은 인공 연기로 가득 찬 스튜디오(시험을 위해서 단지 하나의 피난통로(비상구)가 사용되었음) 내에 있었다. 피시험자들의 움직임은 열화상카메라로 녹화되었다. 그때그때의 환경과 감각에 관한 피시험자들의 기억에 의지하여 개인 한 명당 재래식 피난구 유도등을



찾고 피난하는 데에 3분 50초가 걸렸다. 대조적으로 비상구 근처에 설치된 장치에서 광대역 소리가 신속히 울렸을 때, 같은 피시험자들 개인이 출구를 찾는 데에 15초가 걸렸다.

또 다른 시험은 복잡한 경로를 조사하기 위해 인적이 끊긴 학교 건물 내에서 실시되었다. 방향성 음향장치는 많은 의사결정·방향결정 지점인 복도 교차점과 계단실에 설치되었다. 학교에는 인위적인 연기로 가득 차 있고, 피시험자들은 옥외피난계단을 거쳐서 1층의 출발점에 있었다. 피시험자들은 건물과 방향성 음향장치에 대한 사전정보가 없었으며, 피난경로의 중요한 장소(주요 방화문의 상부)에는 방향성 음향장치가 설치되었다.

어느 한 지점에서 피난경로상의 계단은 상부 방향으로 유도하고 음향장치는 신속하게 광대역 소리와 상향으로 휙 지나가는 선율의 소리를 발생시키며, 계단을 올라가라고 표시된 특수한 위치 용으로 설계되었다. 또 다른 지점에서, 주 계단은 마지막의 의도된 피난통로(비상구)까지 경사져 있다. 이러한 신호에서 아랫방향으로 휙 지나가는 것은 계단을 아래쪽으로 내려가라는 마음을 느끼게 했다. 출발지점에서 마지막의 피난통로(비상구)까지 진행된 신호로서, 개인이 피난통로(비상구)에 좀 더 가까이 도달되어 있는 위치에 있음을 표시하기 위해 신호의 펄스속도가 증가되었다. 방향성 음향장치의 효과는 의심할 나위가 없었으며, 피시험자 어느 누구도 옳지 않은 방향으로 가지 않았다. 모든 피시험자들은 음향이 연상하는 의미를 이해하였고, 계단에서의 올라감

과 내려감의 정보뿐만 아니라 의도된 피난방향 관련 정보를 얻었다고 말하였다.

이들 연구로부터 방향성 음향장치는 시각적으로 장애를 가진 건물 사용자에게 중요한 도움이 된다는 것이 증명되었다. 피난 소요시간은 이상적인 시각 조건과 건물에 대한 사전지식이 있는 거주자들이 피난하는 것에 가까워졌다. 거의 틀림없이 방향의 정보를 제공해 주는 것에 의해 신호는 건물 환경에 대한 사전 경험이 있는 거주자들의 요구에 의해 표지들은 이동되었고 망설임과 길 찾기에서의 실수가 줄어들었다. 결국 피난 소요시간은 2/3 이상 상당히 줄어들었다.

## 5. 심층 연구결과(Further studies)

약 5년 전, 방향성 음향기술을 이용하여 참가자들의 왼쪽 또는 오른쪽의 지각능력을 시험하는 또 다른 일련의 시험들이 수행되었다. 하나의 시험연구에서 참가자들은 방으로 이끌려 들어갔고, 같은 거리의 좌측이나 우측으로 돌아서 피난통로를 선택하도록 임무가 주어졌다. 각각의 피난통로에는 93dB로 설정되고 97.5cm의 높이에 위치한 방향성 음향장치가 설치되었고, 옆에 재래식 유도표지가 사용되었다. 음향장치와 표지는 서로 9.2m의 거리를 두고 있었다. 이 연구의 목적은 참가자들의 안전한 피난통로로 향하게 하는 것이었다.

참가자들은 8개의 상황 중 1개에 참가하였으며, 첫 번째는 어떻게 사람들이 유도표지에 반응을 하는지 알아보는 것이었고, 다른 4가지의 시나리오는 오른쪽이나 왼쪽에 설치된 2개의 방향성 음향장치와 유도표지 중 어느 것이 참가자를 이끄는지를 알아보는 것이었다.

음향설비를 쫓아가도록 필요한 훈련의 정도를 결정하기 위해 참가자들은 가능한 한 빠르게 피난하라고 지시를 받았으며, 다음 중 어느 사항도 있었다.

- ① 더 이상 아무 것도 말하지 않음.
- ② 소리에 대한 정보를 받음.
- ③ 방의 배치도와 방향성 음향장치의 설치 장소를 보여줌.
- ④ 상기 3번과 같은 정보를 받고, 이전에 이미 연기를 경험한 적이 있었음.

마지막 3가지 시나리오에서 참가자들은 가능한 한 빨리 피난하라고 지시받았으며, 다음과 같은 사항에 직면하여 있었다.

- ① 갈등 : 한 쪽에는 유도표지가 있었고, 다른 반대쪽에는 음향장치가 있었음.
- ② 갈등 없음 : 도달하고자 하는 피난통로에 유도표지와 음향장치가 있었음.
- ③ 안내 : 두 개의 피난통로에서 참가자들에게 도달하고자 하는 피난통로에서는 '이쪽으로 오시오' 그리고 다른 피난통로에서는 '이 길은 위험합니다' 라고 방향을 알려줌.

연기로 가득 찬 방에서 오직 유도표지만 보고, 피난통로를 찾도록 지시받은 참가자들은 피난통로에 도달하는 데에 105초가 걸렸다. 방향성 소리와 유도표지를 따라가도록 임무가 부여된 지향성 음향장치 관련 훈련을 받은 참가자들은 거의 7초가 걸리지 않았다. 흥미롭게도 방에 연기가 없을 때에 유도표지만을 따라가도록 임무가 부여된 참가자들은 피난통로에 도달하는 데에 12초가 걸렸다. 연기가 없는 방에서 지향성 음향장치와 유도표지를 따라가도록 임무가 부여된 지향성 음향장치 관련 훈련을 받은 참가자들은 안전한 피난통로에 도달하는 데에 거의 6초가 걸리지 않았다.

참가자들은 또한 개방되어 있고 여러 개의 경로 중에서 하나를 선택하는 시험에 참가했다. 이들

시험에 있어서, 음향설비를 쫓아가도록 필요한 훈련의 정도를 평가하기 위해 방의 중앙에서 문을 통과하도록 유도되었지만, 이번에는 세 개의 피난통로 중에서 하나를 선택하는 임무가 참가자들에게 주어졌다. 지향성 음향장치와 유도표지 둘 모두는 독립된 두 개의 피난통로, A와 B(피난통로 C에는 유도표지만 설치)에 설치되었다. 지향성 음향장치와 유도표지는 해당 참가자로부터 4m 떨어져 설치되었고, 음향장치는 93dB로 설정되었으며, 해당 참가자로부터 1m 떨어져 설치되었다. 이전의 시험연구처럼 참가자들은 비슷한 갈등에 직면했고 가능한 한 빨리 피난하도록 요구받았지만, 이번 시험에서는 참가자들 중 일부는 이미 연기에 대해서 익숙해져 있었다.

피난통로만을 찾도록 지시를 받은 연기가 가득 찬 방에 있는 참가자들은 안전한 피난통로에 도달하는 데에 22초가 걸렸으며(평균 14.5초), 연기가 없는 방에서는 평균 5.5초가 걸렸다. 지향성 음향장치와 유도표지를 따라가도록 임무를 부여받은 지향성 음향장치 관련 훈련을 받은 참가자들은 안전한 피난통로에 도달하는 데에 거의 7.3초가 걸리지 않았다. 그리고 연기가 없는 방에서 지향성 음향장치와 유도표지를 따라가도록 임무를 부여받은 지향성 음향장치 관련 훈련을 받은 참가자들은 평균 4.9초가 걸렸다.

## 6. 복잡한 미로 시험(Complex maze tests)

참가자들이 여러 개의 방을 거쳐서 안전한 피난통로를 찾아 가는 복잡한 미로 시험에도 참가하였다. 미로의 말단에는 참가자들을 유도하도록 지향성 음향장치와 유도표지가 설치되어 있었다. 지향성 음향장치는 93dB로 설정되었으며 참가자들로부터 97.5cm 떨어져 있었다.

연기로 가득 찬 방에서 피난통로를 찾아가도록 지시받은 참가자들은 안전한 피난통로에 도달하는 데에 124초(평균 97.8초)가 걸렸다. 그러나 지향성 음향장치와 유도표지를 따라가도록 임무를 부여 받은 지향성 음향장치 관련 훈련을 받은 참가자들은 안전한 피난통로에 도달하는 데에 13.3초(평균 51.3초)가 걸렸다. 연기 없이 피난통로를 찾아가도록 지시받은 참가자들은 안전한 피난통로에 도달하는 데에 14초(평균 9.7초)가 걸렸다. 지향성 음향장치와 유도표지를 따라가도록 임무를 부여 받은 참가자들은 안전하게 도달하는 데에 거의 7초(평균 10.86초)가 걸리지 않았다.

선행 시도로부터 생겨난 흥미로운 사실은 음향장치와 유도표지를 사용한 결과가 유도표지만 사용하여 피난한 결과보다 빨랐다는 것이다. 이 연구에서는 둘 이상의 센서를 해석하도록 조정되어 있는 세포를 갖고 있는 공간지각정보에 반응하는 뇌의 영역으로 밝혀졌다. 이들 세포는 빛 자체만으로도 반응하고 또한 소리에도 반응하지만, 유도표지와 음향이 함께 주어졌을 때, 이들 세포의 반응은 훨씬 더 좋았으며, 가끔은 1,000% 이상으로 좋았다.

비록 지향성 음향장치가 전통적인 화재경보 음향장치를 대체하려고 의도한 것은 아니지만, 가장 가까운 피난통로를 향하는 탈출통로를 정확하게 가리킬 수 있는 위치 가능한 광대역 음향장치를 갖춘 피난구유도등과 재래식 경보장치를 보충함으로써 명확한 이점이 있다. 게다가 이러한 장치의 사용으로 인하여 특히 건물 피난에서 이점이 되는 적용상의 매우 다양한 융통성이 있다.

비상시 피난에 있어서, 높은 열과 상승하는 연기에 의해 또는 제연설비에 의해서 천장 높이 가까이 차오르는 연기에 의해 표지가 빠르게 불명료하게 된 이후에는 거주자의 시각적 필요성에 역점을 두고 다루어야 할 문제점으로 남아있다. 비록 화재상황에서 누군가가 바깥쪽으로 이동하는 통로를 확실히 찾아낼 수 없을지라도, 광대역 음향장치가 바깥쪽으로 이동하는 통로관련 소리를 들을 수 있도록 해줄 것이다.

현실은 대부분의 사상자들은 화재로 인하여 발생한 연기가 원인이라는 것이며, 사람이 연기로 가득 찬 환경에서 더욱 빨리 피난할수록 더욱 좋은 방법이다. 시각과 청각이 조합된 길잡이가 최적의 안전성을 달성할 수 있도록 해줄 것이다. ㉞