

미국 음향학자 앨프레드 메이어의 음향학 연구

American Acoustician Alfred M. Mayer's Acoustical Research

구 자 현*
(Ja Hyon Ku*)

*영산대학교 자유전공학부

(접수일자: 2008년 9월 23일; 수정일자: 2008년 11월 5일; 채택일자: 2008년 12월 22일)

19세기 내내 미국 음향학이 유럽에 뒤쳐져 있었을 때, 미국의 음향학자인 앨프레드 메이어는 미국의 실험 음향학을 유럽의 수준으로 끌어올리는 데 크게 기여했다. 그는 파리에 머물면서 악기 제작자인 코니히와의 협동 연구를 통해 실험 기술을 전수받았고 영국을 방문하여 레일리를 비롯한 앞선 연구자들의 연구 능력을 배우는 기회를 갖기도 했다. 이러한 노력의 결과로 메이어는 온도에 따른 음속 변화를 이용한 음향 고온계의 개발, 선택적 공명에 의한 모기 청각의 발견, 소리의 잔류 감각 지속의 공식화, 소리의 방향을 찾아내는 토포폰의 개발, 음의 진동수를 가시화하는 장치 등 독창적인 성과를 통해 유럽에서 명성을 얻었다. 그는 유럽의 음향학에 독창적인 연구 성과를 더했을 뿐 아니라 음향학을 물리 교육에도 활용함으로써 차세대 미국 음향학자들의 배출에 기여했다.

핵심용어: 미국 음향학, 앨프레드 메이어, 음향 고온계, 선택적 공명, 잔류 감각, 토포폰, 물리 교육

투고분야: 일반 분야 (0,1)

While American acoustics had been lagged behind European one in the nineteenth century, Alfred Mayer greatly contributed to enhance American experimental acoustics. He inherited experimental skills in collaboration with Koenig in Paris, and got chances to obtain research ability from leading researchers such as Rayleigh during his visit to England. His accomplishments, which brought him fame in Europe, included the creation of the acoustic pyrometer which measured the high temperature by means of the thermal change of the sound velocity, the discovery of mosquito's hearing by selective resonance, the formalization of the duration of the residual sensation of sound, the invention of the topophone which searched for the direction of the sound source, the construction of the apparatus for visualizing the frequency of sound and so on. He not only added new research results to Europe's acoustics but applied acoustics to physical education to help produce the next generation of American acousticians.

Keywords: American acoustics, Alfred Mayer, Acoustic pyrometer, Selective resonance, Residual sensation, Topophone, Physical education

ASK subject classification: General Area (0,1)

I. 서론

1928년에 설립된 미국 음향학회 (Acoustical Society of America)는 세계 최초의 음향학회였다. 이는 미국이 음향학 분야에서 세계를 선도해나간다는 것을 상징적으로 나타낸다 [1]. 미국음향학회의 설립자들은 음향학적 지식의 기술적 응용을 통하여 음향학을 큰 경제적 효과를 파급시키는 혁신적인 기술의 원천으로 자리매김하였다. 20세기 초 미국 음향학의 발전은 기본적으로 건축음

향학에서 소음 통제 기술이 핵심을 이루었고 이 기술의 기초를 놓은 월리스 세이버인 (Wallace Sabine)은 미국 음향학의 기초자로서 추앙받고 있다 [2]. 세이버인은 하버드 대학 물리학과에서 음악 홀의 음향학을 연구하면서 잔향 이론의 수식화에 성공함으로써 미국 음향학의 새로운 가능성을 열었다. 이와 더불어 1870년대에 미국에서 개발되어 엄청난 시장적 가치를 부여받게 된 전화기와 축음기는 그렇게 결정적이지는 않지만 19세기 음향학의 발전에 기초해 있었다. 음성을 전송하고 기록하는 기술의 개선 필요성 때문에 미국 음향학은 더욱 강한 추진력을 얻게 되었다 [3].

이런 19세기 말과 20세기 초 미국 음향 기술의 약진은

책임저자: 구 자 현 (jhku@ysu.ac.kr)
626-790 경남 양산시 주남동 산150 영산대학교 자유전공학부
(전화: 051-900-2185; 팩스: 051-540-9371)

19세기 동안 미국 음향학이 세계의 음향학을 선도했으리라는 예측을 낳는다. 그러나 19세기까지 미국의 음향학의 전반적인 수준은 유럽의 수준과 비교해서 매우 낙후되어 있었다. 오히려 진술한 미국 음향 기술의 발전은 새로운 현대적 미국 음향학의 창출이 이전의 유럽식의 음향학과는 근본적으로 다른 토대 위에서 있었음을 드러내준다. 그러므로 19세기의 미국 음향학의 역사를 살펴보는 것은 미국이 현대 음향학을 선도해 가는 과정을 이해하는데 중요한 토대가 된다. 더불어 왜 현대의 음향학이 물리학의 한 분과가 아니라 공학의 한 분과로 여겨지는지 이해할 수 있는 실마리를 얻을 수 있다.

19세기 미국 음향학의 역사에 있어서 가장 널리 기억되는 인물은 조셉 헨리 (Joseph Henry)이다 [4]. 그는 전자기학에서 그가 이룩한 탁월한 업적과 더불어 음향학 분야에서 선구적인 업적을 내었다. 그렇지만 헨리의 업적은 19세기 전반기에 대기 음향학 분야에 국한되어 있다. 반면에 거의 알려지지 않았지만 19세기 후반에 미국 음향학의 전개에 핵심적인 역할을 한 인물은 앨프레드 메이어 (Alfred Marshall Mayer, 1836-1897)였다. 그는 폭넓게 유럽의 음향학의 이해를 위해 노력했고 당시 음향학의 중심지인 유럽의 음향학계에서도 명성을 얻은 인물이었다. 19세기 후반에 그를 제외하고는 미국의 음향학자로서 주목할 만한 연구자가 없다는 점은 그의 위치를 더욱 부각시킨다. 그는 미국을 활동의 근거지로 삼으면서도 끊임없이 유럽의 음향학의 전통을 이어받으려고 노력하였고 이를 실용적인 기술과 물리 교육에 집착함으로써 음향학을 미국에 토착화시키는 데 결정적으로 기여하였다.

이 논문은 19세기 미국 음향학의 역사에서 지금까지 주목받지 못했으나 핵심적인 역할을 한 메이어의 업적과 그의 음향학의 성격을 출판된 논문과 미출판 자료를 분석함으로써 살펴보고자 한다. 이를 통해 메이어를 19세기 후반 동안 미국 음향학의 선구자이며 중심인물로 새롭게 자리매김하고자 한다.

II. 메이어의 교육과 연구

미국의 물리학자인 메이어는 음향학뿐 아니라 물리학의 다양한 분야에서 연구와 교육에 기여한 인물이다. 그는 원자론의 자기적 모형을 제시하여 윌리엄 톰슨 (William Thomson)과 J. J. 톰슨 (J. J. Thomson)의 원자 모형 수립에 기여한 것으로 주목을 받았다 [5]. 그는 자기장 속에서 작은 자석을 띄우는 방법을 고안하였고 그것을 원자

구조를 발견하고 예시하는 열쇠로 사용하였다.

메이어는 볼티모어의 세인트 메리 대학 (St. Mary's College)에서 고전학을 공부했으나 오히려 과학 쪽에 흥미를 가지고 있었으므로 그에 대한 독학과 기술 교육을 거친 후에 19세에 최초로 탄산 제조에 관한 연구 논문을 발표했다. 이 논문이 조셉 헨리의 눈에 띄게 되었고 그의 도움으로 메이어는 20세에 메릴랜드 대학 (University of Maryland)의 물리학 및 수학 조교수가 되었고 23세에는 비주리 주의 풀턴 (Fulton)에 있는 웨스트민스터 대학 (Westminster College)의 물리과학 교수가 되었다. 그는 1863년부터 65년까지 파리에서 유명한 실험연구자인 르노 (Henri Victor Regnault) 밑에서 고등 물리학, 수학, 생리학을 배웠다. 그 후 미국으로 돌아온 메이어는 몇 대학을 거치 1870년에는 전생 스티븐스 공과대학 (Stevens Institute of Technology)에 물리학과를 개설했고 거기에서 죽기까지 봉직했다. 그는 소리, 열, 빛, 중력에 대해 연구하였고 많은 과학 측정 기구를 제작하였다. 그는 54편의 연구 논문과 3권의 책을 포함하여 100건의 출판물을 내놓았다. 그는 1869년에 촬영한 41장의 정확한 인식 사진으로도 유명해졌지만 그의 주된 연구 분야는 음향학이었다 [6].

III. 메이어의 음향학 연구

1872년에 메이어는 진동하는 오르간 파이프 주위에 형성되는 공기 진동의 위상을 검출하는 방법을 고안하였다 [7]. 이 방법은 쇠니히의 액주식 캡슐 불꽃 표시장치 2대를 활용하여 음원인 오르간 파이프 입구에서의 공기의 진동과 음원에서 떨어진 거리에 놓인 공명기 입구의 공기의 진동을 각각 가시화하여 비교함으로써 위상의 차이를 감지하는 방식으로 이루어졌다 (Fig. 1). 액주식 캡슐 불꽃 표시 장치는 소리를 받아들이는 관으로 들어온 소리의 진동이 캡슐 안에 설치된 박막을 떨게 하고 이 떨림이 박막의 맞은편에 설치된 공간에 유입되는 가스를 진동시키고 그 진동이 불꽃의 진동으로 나타나게 되어 있다. 이 불꽃의 진동은 회전하는 거울에 불연속적인 상으로 나타나서 불꽃이 고정된 위상을 보일 때 단위 시간 당 지나가는 거울의 수와 소리의 진동수가 일치하게 된다는 것으로부터 소리의 진동수를 알아낼 수 있게 되어 있다. 메이어는 오르간 파이프와 공명기의 고유 진동수를 정확하게 일치하게 맞추어주었다. 메이어는 회전하는 거울에 나타나는 불꽃의 흔들림으로부터 공기 진동의 위상이 동일한

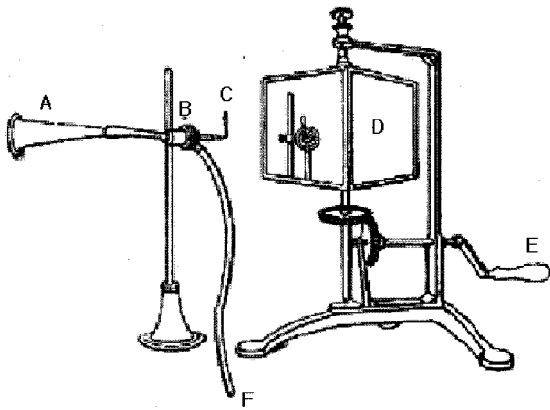


그림 1. 코니히의 액주식 불꽃 캡슐 표시장치
 Fig. 1. Koenig's Manometric Flame Capsule Diplayer.
 A: receiver B: capsule C: flame D: rotating mirror
 E: handle F: gas tube

지 정반대인지를 확인할 수 있었고 공명기를 음원에서 멀어지게 하면서 동일 위상을 유지하는 가장 인접한 두 지점 사이의 거리로부터 음원에서 나오는 소리의 파장을 잴 수 있었다. 동일한 방식에 의해 메이어는 오르간 파이프에서 나오는 파면의 모양을 파악할 수 있었다. 메이어는 흥미롭게도 소리를 내는 오르간 파이프의 위와 아래의 입구를 초점으로 하여 타원체 형태의 파면이 형성된다는 것을 발견했다. 이어서 메이어는 U_{256} (256 Hz)의 오르간 파이프가 132 cm의 파장을 갖는 것을 확인했다. 메이어의 파장 측정 방식은 이전에 시도된 어떤 소리의 파장 측정 방식보다 정밀성을 확보할 수 있다는 점에서 진보적이었다.

이러한 메이어의 연구는 음향 고온계 (acoustic pyrometer)의 개발로 이어졌다. 이러한 소리에 의한 고온의 결정 방법은 매우 중요한 기술상의 혁신이었다. 고온의 노(爐)의 온도를 재는 문제가 당시 각광 받고 있었던 유리 제조나 도자기 제조에서 매우 중요했으므로 이를 위한 손쉬운 방법을 찾아내는 것은 매우 중요한 의미가 있었다. 기온이 상승하면 음속은 빨라진다. 이에 대하여 메이어는 $v = 333 \sqrt{1 + 0.00367t}$ (0°C 에서 333 m/s)라는 식을 사용하였다. 그는 13미터의 백금관 (A)을 코일의 형태로 만들어서 노에 넣고 이 백금관의 끝에 공명기 (B)의 입구를 연결해 놓았다 (Fig. 2). 밖에 있는 오르간 파이프 (C)에서 U_{512} 즉, 512 Hz의 음파를 발생시키면 노와 외부의 온도가 0°C 로 같을 때에는 오르간 파이프와 공명기에서 나오는 소리의 파장이 같아서 오르간 파이프 소리에 의해 진동하는 액주식 불꽃 표시장치의 불꽃 (E)과, 공명기에서 공명에 의해 진동하는 다른 액주식 불꽃 표시장치의 불꽃 (H)의 모양이 일치하게 된다. 그렇지만 노의 온도가 올라가

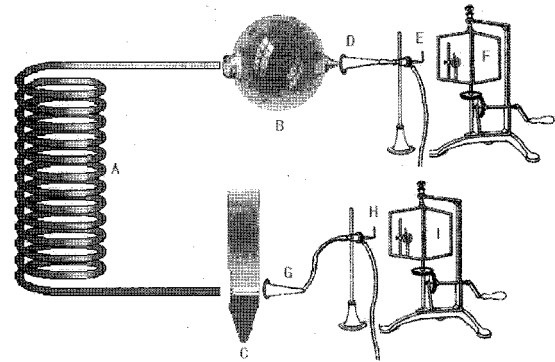


그림 2. 음향 고온계
 Fig. 2. Acoustic Pyrometer.
 A: platinum coil B: resonator C: organ pipe
 D: receiver E: flame F: rotating mirror G: receiver
 H: flame I: rotating mirror

면 백금관 안의 음파가 빨라지고 파장은 길어진다. 이에 따라 두 불꽃의 흔들림의 위상에 차이가 생기게 된다. 820°C 가 되면 백금관 속 공기 속에서 음파의 파장은 2배가 되면서 양쪽 불꽃의 흔들림은 다시 일치하게 된다. 이러한 원리에 의해 메이어는 두 불꽃의 흔들림의 위상차를 재는 방식으로 10°C 의 오차 범위 내에서 온도를 잴 수 있었다 [7]. 이것은 매우 실용적인 기술로서 이후에 나오게 되는 유사한 온도 측정 방법의 토대가 되었다.

메이어의 음향학 연구 중 상당 부분은 청각에 관련되어 있었다. 1874년경에 메이어는 모기의 더듬이에 부착된 작은 섬모의 선택적 공명을 발견하였다. 곤충이 어떻게 소리를 듣는가에 대한 관심에서 시작된 이 연구는 헬름홀츠의 공명이론으로부터 큰 영향을 받았다. 사람의 귀에 피아노 현과 같은 선택적 공명기가 있다는 것에서 착안하여 메이어는 모기의 더듬이에 달린, 길이가 다른 섬모들이 특정한 음에 선택적으로 공명할 것이라고 생각하였다. 실험 관찰 결과, 이러한 메이어의 예측은 적중하여 빨간 집모기 (culex mosquito)의 수컷의 섬모 중 일부가 특정한 음에 반응하여 진동할 때 다른 섬모들은 거의 멈춰 있었다. 또한 섬모 중 하나가 U_{512} 음에 가장 강하게 공명을 일으키는 경우에 그 섬모는 다른 음보다는 U_{512} 와 옥타브의 관계에 있는 U_{256} 과 U_{1024} 에 비교적 강하게 공명을 일으키는 것을 발견하였다 [8]. 또한 그는 음이 나아가는 방향과 섬모의 방향과의 관계도 관찰하여 음의 진행 방향에 수직인 때 섬모의 진폭이 큰 반면에 음의 진행방향과 섬모가 평행할 때에는 진동하지 않는다는 것을 발견했다. 이것으로부터 메이어는 왜 수컷 모기가 그렇게 소리의 방향에 민감한지를 설명하였다. 이 모기의 더듬이 섬모가 청각 기관이라는 주장은 이미 1855년에 미국의 의사인 존스톤 (Christopher Johnston)에 의해 제기된 적이

있지만 그는 섬모의 해부학적 구조를 통해서 이러한 추론을 했을 뿐이었다. 메이어는 이러한 가설을 모기의 섬모에 대한 음향학적 공명 실험을 통해 입증하였다는 점에서 주목할 만한 독창적인 성취였다.

메이어는 1874년에 또 다른 청각에 대한 연구를 수행하였다. 그는 이로써 피치와 소리의 잔류 감각(residual sensation)의 지속 시간의 정량적 관계를 선구적으로 수립하였다. 그는 표준 소리굽쇠와 공명기를 마주보게 하고 그 사이를 수직으로 원반이 회전하도록 하였는데 원반에는 원주를 따라 일련의 구멍을 등간격으로 뚫어 놓아 소리굽쇠에서 나온 소리가 주기적으로 공명기로 들어가게 만들었다(fig. 3). 공명기의 다른 입구에 연결한 고무관의 다른 쪽 끝을 귀에 꽂아 공명음을 듣게 하였다. 이 장치의 회전하는 원반에 의해 소리굽쇠의 소리가 원반의 하나의 구멍을 통과하고 나서 다음 구멍으로 다시 통과하기까지 소리 전달이 중단되는데도 사람이 공명기에 연결된 관을 통해서 소리가 끊이지 않고 지속적으로 동일하게 들린다고 느끼는 경우가 생기는데 이는 청각의 잔류 감각이 지속되는 시간이 구멍 사이의 시간 간격보다 길기 때문이다. 이 잔류 감각의 지속 시간이 끝난 후에 다시 소리가 들어오면 사람은 소리가 끊어진 것으로 인식하게 되지만 잔류 감각이 지속되는 동안 소리가 들어오면 동일한 소리가 계속해서 들어온다고 느끼게 된다. 그러므로 이 원리에 따라 메이어는 디스크의 회전 속도를 늘려가면서 잔류 감각의 지속 시간을 잴 수 있었다. 이 실험의 결과는 소리의 진동수가 높아짐에 따라서 그 소리에 대한 잔류 감각의 지속 시간이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 메이어는 정확한 수식의 형태로 잔류 감각 지속 시간 D 를

구하였다.

$$D = 0.0001 \left(\frac{33000}{N+30} + 18 \right)$$

여기에서 N 은 소리의 진동수이다. 이 식에 등장하는 상수들은 메이어의 귀에 고유한 값이므로 다른 사람의 귀에는 달라질 수 있는 값이지만 쌍곡선 형태의 식은 변하지 않는다. 이미 헬름홀츠가 청각의 잔류 감각이 존재하며 그것이 진동수에 따라 달라진다는 것도 알고 있었지만, 그에 대한 정확한 수학적 정식화까지 이끄는 못하였다[9]. 이런 상황에서 메이어는 독창적이고 치밀한 실험 설계와 인내심으로 진동수와 잔류감각의 지속 간의 수학적 관계를 정립하였다. 매우 짧은 시간 간격을 잴 수 있는 기술을 확보했다는 점에서 메이어의 성과는 미국 음향학의 측정의 정밀성을 세계 최고의 수준까지 올려놓은 것이었다.

다음으로 이어진 메이어의 청각에 대한 주목할 만한 연구는 마스킹(masking)에 관한 것이었다. 메이어는 1876년에 낮은 진동수의 소리가 높은 진동수의 소리를 들리지 않게 할 수 있다는 사실을 발표했다. 그는 음원으로 선택한, 1초에 4번 크게 똑딱거리는 미국산 패총시계(clock)를 몇 피트 거리에 두었다. 그리고 1초에 5회 째까 거리는 독일산 회중시계(watch)를 귀 가까이에 대었다. 이때 1초에 5회씩 째까거리던 회중시계의 소리 중 1회가 1초에 4회씩 똑딱거리는 패총시계의 소리와 1초에 1회씩은 완전히 일치하게 하였다. 그리고 나서 회중시계를 조금씩 귀에서 멀어지게 하였다. 그러자 회중시계의 째까거리고 소리가 1초에 1번씩 패총시계의 똑딱거리고 소리에 가려서 점점 들리지 않았다. 이것은 회중시계의 소리가 패총시계의 소리에 비해서 진동수가 높기 때문에 일어나는 현상이라는 것을 메이어는 확인하였다[10]. 이러한 연구가 다른 연구자들의 후속 연구로 이어지기 위해서는 45년을 기다려야 할 정도로 그는 앞서 있었다[11].

음향학을 실용적 기술에 접목시키는 메이어의 노력으로 특히 주목할 만한 업적이 토포폰(topophone)이었다. 이 장치는 레이더가 출현하기 전인 1차 대전 전후 항공기의 위치를 추적하기 위해 널리 사용된 다양한 음향 위치 추적 장치의 전신이었다. 이 장치는 원래 안개 속에서 선박이 자신의 위치를 파악할 수 있도록 안개 신호(fog signal)를 보내줄 때 안개 신호의 음원의 위치를 정확하게 감지하기 위한 장치로 고안되었다. 안개 신호는 이미 19세기 내내 유럽이나 미국에서 안개 중의 선박의 안전

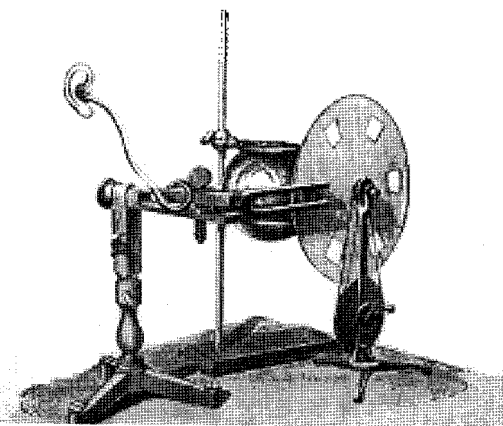


그림 3. 메이어의 소리의 잔류 감각 지속 시간을 측정하는 장치
Fig. 3. Mayer's apparatus for measuring the duration of residual-sensation of sound source: A. M. Mayer, *Philosophical Magazine* 49 (1875), p. 353.

운항을 위한 방법으로 널리 사용되고 있었다. 호각, 사이렌, 총과 같은 다양한 음원이 시도되었고 선박에서는 이 소리를 듣고 해도상의 음원의 위치를 확인함으로써 현재 배의 위치를 가능하였다 [12]. 그렇지만 귀만으로 음원의 위치를 정확하게 파악하는 데에는 어려움이 있었고 이러한 어려움을 해결하기 위한 방안으로 제시된 것이 토포폰이었다. 이는 공명기의 작동 원리와 소리의 방향 지각의 원리에 대한 이해를 바탕으로 하여 고안된 것이다. 소리의 방향 지각의 원리에 대해서는 이미 레일리가 선구적인 연구를 수행한 적이 있었다 [13] (Fig. 4).

메이어는 토포폰을 배에 고정하는 형태와 개인이 휴대하는 형태 두 가지로 개발하였다. 두 가지가 모두 공명기 2개, 가로 막대, 방향 지시기, 이어폰으로 이루어진 것은 마찬가지였다. 이 특허는 1879년 9월 30일에 출원되었고 1880년 2월 3일에 취득되었다 [14]. 그림은 선체 또는 구조물 고정식 토포폰을 보여준다. Fig. 3은 공명기의 종단면을 나타낸 것이다. 왼쪽의 평평한 면에 소리를 받아들이는 구멍이 있고 오른쪽의 뾰족하게 된 부분에는 소리를 이어폰으로 전달하는 관이 연결되게 되어 있다. 수직으로 세워진 회전축 S의 위쪽 끝에 가로 막대 R이 고정되어 있다. R의 양쪽 끝에 동일한 공명기 두 대가 자체의 축을 R에 대하여 수직이면서 수평 방향을 향하도록 고정되어 있는데 두 공명기는 슬라이드 위에 있어서 축 S로부터 같은 거리를 유지하면서 움직여 공명기 사이의 거리를 조절할 수 있게 되어 있다. 공명기는 중간이 마치 망원경 처럼 넓었다 뾰족할 수 있게 되어 있어서 고유진동수의 조율이 가능하고 구멍의 크기를 조절하는 방식으로 조율하기도 한다. 축 S의 아래쪽에는 핸들 N과 지시기 P가 붙어 있어서 공명기에서 나오는 소리를 귀로 들으면서 핸들을 잡아서 회전시켜 공명기들이 향하는 방향을 조절할 수 있게 되어 있다. 공명기에서 공명이 된 소리는 튜브를 통해서 귀로 전달되는데 그 전달되는 경로가 한쪽 경로에 설치된 슬라이드 방식의 길이 조절 장치 (F-G)에 의해 조절이 된다. 양쪽 공명기에서 온 소리는 하나의 관으로 합쳐졌다가 다시 둘로 갈라져서 귀로 들어오게 되어 있다.

이 기구를 사용하면 지상이든 해상이든 어떤 지점에 관찰자가 있는 소리가 나는 방향을 정확하게 알아낼 수 있었다. 우선 일정한 거리만큼 떨어져서 놓은 두 개의 공명기에 도달하는 특정한 소리의 위상과 세기의 차이가 전혀 없도록 공명기의 방향을 조정한다 (Fig. 5). 이때 두 공명기에 도달한 소리가 연결된 이어폰을 통해서 귀로 전달될 때 두 관의 길이가 동일하여 동시에 두 공명기에

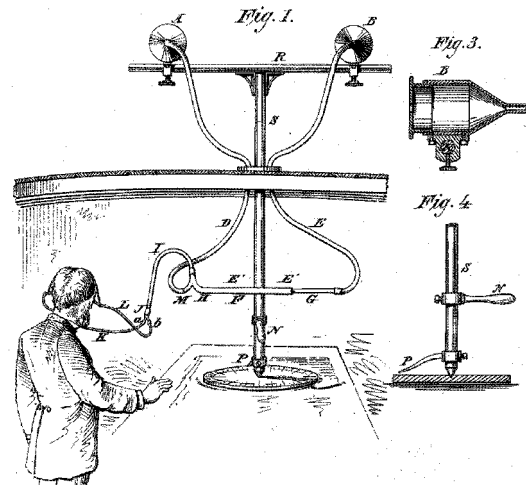


그림 4. 메이어의 토포폰
Fig. 4. Mayer's topophone Source: U.S. Patent, No. 224, 199.

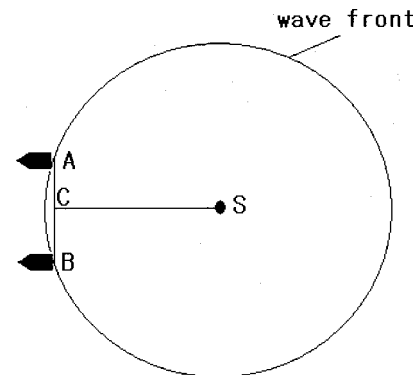


그림 5. 토포폰으로 음원의 방향을 찾는 방법
Fig. 5. How to find a sound source by a topophone.

도달한 소리는 위상 차이가 전혀 없이 귀에 전달되어 강한 세기로 들리게 된다. 어떤 음원 (S)에서 소리가 모든 방향으로 균일하게 퍼져 나와 구면의 파면 (wavefront) 을 형성한다고 가정하면, 두 공명기 (A와 B)의 입구가 정확하게 동일한 파면에 닿을 때, 두 공명기의 입구를 연결하는 선분 AB는 구의 호에 해당하며 그 호의 중점을 지나면서 호와 수직을 이루고 수평면에 있는 직선을 그으면 (CS), 그 직선 위에 음원 S가 있다고 판단할 수 있다. 이런 방법으로 토포폰은 두 공명기의 구멍을 동일한 위상과 세기의 소리에 배치하도록 방향을 조정함으로써 음원의 방향을 찾게 되어 있다.

이 장치는 30미터에서 300미터 거리의 음원에 대하여 1.5도 이내의 정확성에서 방향을 정확하게 잡을 수 있었고 7킬로미터에서 10킬로미터 떨어진 음원에 대하여 비전문가도 10도 이내에서 방향을 알아낼 수 있었다. 일정한 거리를 두고 떨어진 두 지점에서 동일한 음원의 방향을 정확하게 알아내면 삼각측량법을 동원하여 음원의 위

치를 정확하게 알아낼 수 있었다. 메이어의 장치는 즉각적인 성공을 거두지는 못했지만 이후에 나오게 되는 많은 위치추적 장치의 모태가 되었다. 이러한 토포폰의 발명은 천재하게 소리에 대한 공명기의 연구를 바탕으로 하고 있다는 점에서 유럽의 음향학을 채용하고 있고 이러한 음향학 지식을 실용적인 발명품으로 연결시킨 점에서 미국적인 응용이라고 볼 수 있다. 이러한 장치의 작동 원리는 이미 유럽의 음향학자들에게는 친숙한 것이었으나 그것을 기계적 작동으로 변환하여 특수한 목적의 발명품으로 만들어낸 것은 메이어가 미국적 전통에 뿌라내린 인공임을 드러내는 것이다.

비슷한 방식으로 기계적 장치의 구성에 능숙한 메이어의 고안품으로서 소리굽쇠의 음의 진동수를 전기를 이용해서 잴 수 있는 장치가 있다. 1880년경에 메이어가 만든 이 장치를 통해 메이어는 유럽에서도 명성을 얻었다 [15]. 이는 유럽의 음향학자들이 지대한 관심을 갖고 있었던 문제를 정밀성을 확보하여 해결했기 때문이었다. 이 장치는 일종의 선동 진동 표시장치로서 그 음음을 써온 종이를 회전하는 금속 원통에 돌려놓고 그 위에 소리굽쇠의 팔의 한쪽에 부착한 알루미늄 철판로 파형을 그리게 되어 있었다. 그리고 표준 진자 운동에 의해 시간 간격을 원통에 표시하게 함으로써 2초 동안 몇 개의 파동이 반복되는 것을 셀 수 있었다. 이 장치를 사용하면 소리굽쇠의 진동수를 어느 때보다도 정확하고 편리하게 구할 수 있었기 때문에 이것은 중요한 혁신이었다. 당시 미국은 실험을 하기 위해 필요한 기구들의 시장이 형성되어 있지 않았으므로 주요한 실험 도구들을 영국이나 프랑스의 유통 시장에서 수입하여야 했던 미국의 형편과, 유럽에서도 그만큼 정밀성을 가진 같은 목적의 장치가 개발되지 않았던 점을 고려할 때 메이어의 성취는 독보적인 것이었다.

IV. 결론: 메이어의 음향학의 의의

메이어의 음향학은 실험 중심이었고 수학적 논의는 거의 포함하지 않았다. 그는 유럽의 수리 음향학적 논의를 따라갈 만한 수학적 훈련을 거의 받지 못했다. 그는 레일리의 『음향이론』(The Theory of Sound)을 읽었지만 그것의 주된 내용을 구성하는 수학적 논의에 대해서는 언급하지 않았고 실험적 측면에만 많은 관심을 기울였다. 그가 레일리를 방문하여 배웠던 것도 수학적 이론이 아니라 실험적 기술이었다. 이런 점에서 19세기 미국의 음향학은 영국 음향학이 물리학의 핵심에 진입했던 것과는 사

다른 성격을 가지고 있었다. 영국의 음향학이 19세기 말로 접어들면서 이론적 논의에 치중하여 수리 물리학의 성격을 강하게 띠기 시작한 것과는 대조적으로 미국의 음향학은 실제적인 현상을 실험을 통해서 이해하는 성격을 여전히 유지하고 있었다. 그런 점에서 영국 음향학이 20세기 현대 물리학의 과동 역학의 형성 과정에서 확고한 수학적 기초를 놓는 데 기여한 반면에 미국의 음향학은 실용적인 문제의 해결에 집중하는 쪽으로 전환했다. 이것은 20세기 초에 미국 음향학회가 미국 물리학회와는 별도로 독립된 학회를 설립하게 되었던 것과 밀접한 관련을 갖는다. 미국의 음향학자들은 20세기 들어와서 미국의 물리학이 양자역학을 중심으로 한 수리 물리학에 깊이 관여하기 시작하면서 자신들이 추구하고자 하는 실용적인 문제의 해결이 물리학자들의 관심의 밖으로 밀려나고 있다는 인상을 받았고 이것에 대한 반응으로 독자적인 학회의 설립을 추진하게 되었던 것이다 [16].

메이어로 대표되는 19세기 미국 음향학의 또 다른 독특한 성은 '신진' 음향학과 결별이다. 영국, 프랑스, 독일의 당시 '신진' 음향학은 19세기 전반기부터 음악 음향학과 긴밀한 연관을 가지고 발달하였기에 19세기 후반에는 그것에서 상당히 벗어나고 있었지만 여전히 그러한 전통이 강했다 [17]. 이러한 시기에 유럽의 음향학을 접했던 메이어는 유럽의 음향학에서 음악과 관련된 요소는 거의 배제하고 음악과는 별도로 자연적 현상으로서 소리 자체에 대한 탐구로서 음향학을 추구하였다. 그러므로 그는 19세기 유럽 음향학이 여전히 깊은 관심을 기울였던 음악적 문제인 화음, 조함음, 정률의 문제에 대해서는 거의 관심을 갖지 않았다. 이것은 20세기 들어와 미국의 음향학이 악음과는 무관해지고 오히려 그 동안 철저하게 음향학 탐구에서 배제되었던 소음의 문제를 중심 문제로 다루면서 큰 산업적 성공을 거두게 된 배경이 되었다. 이런 점에서 현대 미국 음향학의 성격 형성에 상당 부분 메이어 자신이 기여하였다고 볼 수 있다.

메이어가 이후 미국 음향학에 기여한 측면은 그가 집필한 실험 교재 『소리』(Sound)를 통해서도 드러난다 [18]. 그는 이 책을 통해서 실험 음향학을 물리 교육에서 활용하는 구체적인 방안을 제시하였다. 이 책은 최신 연구 성과를 반영한 130가지의 음향학 실험들을 수행하는 방법과 그로부터 배울 수 있는 사실들을 자세하게 풀어 놓았다. 이러한 책을 통해 미국의 젊은 과학도들은 음향학을 과학 교육의 토대로 배웠고 음향학을 자신들의 물리학 지식의 기초로 삼았을 것이다. 이는 메이어 자신이 당시 미국 사회에서 과학 대중 강연자로서 큰 명성을 누리고 있었다는

섬에서도 지지받을 수 있다. 그의 음향학 대중 강연을 통해서 미국의 지식 대중은 음향학에 대해서 더욱 심화된 이해를 얻을 수 있었고 더불어 그의 저서는 여러 곳에서 차세대 음향학자들에게 널리 읽혔을 것이다. 자신의 연구와 대학 교육과 대중 강연을 통해서 음향학을 미국적 토양에서 뿌리 내릴 수 있도록 노력한 메이어는 미국 음향학의 기초자로 부를 수 있을 것이며 이후 20세기에 미국 음향학의 약진을 위한 토대를 마련한 인물로 자리매김 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. Robert T. Beyer, *Sounds of Our Times: Two Hundred Years of Acoustics* (Springer, New York, 1999), pp.232-233.
2. Emily Thompson, *Soundscape: Architectural Acoustics and the Culture of Listening in America, 1900-1933* (MIT Press, Cambridge, 2002), pp.33-44.
3. Jonathan Sterne, *The Audible Past: Cultural Origins of Sound Reproduction* (Duke University Press, Durham & London, 2003), Chapter 2.
4. Beyer, op. cit., pp.104-108.
5. A. M. Mayer's "Experiments with Floating magnets and Their Use in the Atomic Theories of Matter," *Annals of Science* 33, 67-80, 1876.
6. I. B. Cohen, "Mayer, Alfred Marshall," in C. C. Gillispie ed, *Dictionary of Scientific Biography*, (Scribner, New York, 1970), Vol.8, pp.230-231.
7. Mayer Papers 중 메이어의 강연에 대한 스크랩된 신문 기사, pp.328-329, Syracuse University, E.S. Bird Library, Archives and Records Management에 소장되어 있음. A. M. Mayer, "On a Method of detecting the Phases of Vibration in the Air surrounding a Sounding Body, and thereby measuring directly in the vibrating air the lengths of its Waves and exploring the form of its Wave-surface," *Philosophical Magazine* 44, 321-327, 1872.
8. A. M. Mayer, "Experiments on the supposed Auditory Apparatus of the Culex mosquito," *Philosophical Magazine* 48, 371-385, 1874.
9. Alfred G. Mayer and Robert S. Woodward, *Biographical Memoir of Alfred Marshall Mayer 1836-1897* (National Academy of Sciences, Washington, 1916), p. 252.
10. A. M. Mayer, "Researches in Acoustics, No. VI," *Philosophical Magazine* 49, 352-428, 1875.
11. Beyer, op. cit., p.210.
12. Ja Hyon Ku, "Rayleigh's Acoustical Research on the Fog Signal", *The Journal of Acoustical Society of Acoustics*, 24 (3E), 98-102, 2004.
13. 구자현, "Rayleigh의 소리의 방향 지각 연구의 과학사적 고찰", *한국음향학회지*, 21, 695-702, 2002.
14. A. M. Mayer, "Topophone," U.S. Patent, No.224,199.
15. Ja Hyon Ku, "British Acoustics and Its Transformation from the 1860s to the 1910s," *Annals of Science* 63, 410, 2006.
16. Beyer, op.cit., p.232.
17. 구자현, "19세기 음향학과 음악의 교감", 『이화음악논집』, 11(2),

81-102, 2007.

18. A. M. Mayer, *Sound: A Series of Simple, Entertaining, Inexpensive Experiments in the Phenomena of Sound, For the Students of Every Age* (Macmillan, London, 1881).

저자 약력

• 구 자 현 (Ja Hyon Ku)



서울대학교 물리학과 학사
 서울대학교 과학사 및 과학철학 협동과정 석사 및 박사
 서울대, 건국대, 숭실대, 서울시립대, 성공회대, 숙명여대, 홍익대 감사 역임
 현재 영산대학교 CT 대학 조교수
 ※주관심분야: 19세기 음향학의 역사