초음파 연구의 초기 역사

- 감각 밖의 대상에서 실험 도구로 -

구자현*

〈차 례〉

1. 머리말
2. 역사적 배경
3. 윌러스턴의 '들리지 않는 소리'
4. 사바르의 톱니바퀴
5. 골턴의 호각
6. 레일리의 새소리 호각
7. 맺음말

【국문초록】

20세기에 실용적 기술로 이용하게 된 초음파에 대해 18세기만 해도 알려진 것이 거의 없었다. 19세기에 음향학이 크게 발전하였지만 악음에 대한 이해에 우선적으로 초점이 맞추어져 있었기에 초음파에 대한 관심은 주된 연구 관심에서 벗어나 있었다. 그 가운데에서 소수의 연구자들이 초음파를 검출하고 발생시키고 특수한 목적을 위해 실험에서 활용하였다. 초기 연구자인 윌러스턴은 고주파 음과 관련하여 인간의 청각을 탐구하였다. 사바르는 톱니

* 영산대학교 자유전공학부 부교수

바퀴를 이용하여 초음파를 발생시킬 수 있었지만 여전히 관심은 청각에 있었다. 골턴은 골턴 호각을 발명하여 인간의 청각을 뛰어넘어 동물의 청각의 한계에 대하여도 탐구를 수행하여 초음파의 객체성을 심화시켰다. 레일리는 초음파를 실험 도구로 채용했고 초음파에 대한 통제력의 확보를 통해 그것을 활용하여 성공적인 실험을 수행하였다.

주제어: 초음파, 월러스턴, 청각, 사바르 바퀴, 골턴 호각, 객체성, 레일리

1. 머리말

인간의 감각기로 감각할 수 없는 대상에 대한 탐구는 쉽지 않다. 그 대상은 감각되지 않더라도 그 대상이 일으키는 효과가 감각된다면 그 대상에 대한 탐구는 조금 더 수월해진다. 그러나 그 대상에 수반하는 현상조차 잘 감지되지 않는다면, 그러한 대상에 대한 탐구는 지체된다. 다행히 그러한 대상을 검출하고 인공적으로 만들어내고 사람이 원하는 대로 통제할 수 있게 되면 그 대상에 대한 탐구는 진일보하게 되고 더 나아가서 그 대상을 이용하는 기술의 창출로까지 이어지게 된다.

초음파가 그러한 성격을 갖는 대상 중 하나이다. 사람에게 들리지 않기 때문에 좀처럼 사람의 관심을 끌기 어려웠고 그것에 수반하는 현상조차도 잘 감지되지 않았다. 그렇기 때문에 이러한 소리에 대한 초기 연구는 간접적이었고 다른 연구를 위한 연구 속에서 에둘러 연구되었다. 그러다가 인위적으로 이러한 음파를 만들어내게 되면서 연구는 진일보했고 더구나 그러한 음파가 쓰임새가 있다는 것이 알려지면서 이에 대한 연구는 더욱 관심을 끌었다. 20

세기 들어와서 초음파에 대한 관심은 폭발적으로 증가했고 그에 대한 연구 또한 가속화되었다.

본 논문은 이러한 초음파의 독특한 연구사의 초기 연구 단계에 집중하고자 한다. 19세기에 초음파가 소수에 의해서지만 본격적으로 연구되는 과정을 연구 형태나 목적에 따라 단계적으로 분석한다. 이를 위하여 윌러스턴, 사바르, 골턴, 레일리의 초음파 관련 연구를 주로 분석한다.

초음파는 현대 사회에서 진단과 치료, 비파괴 검사, 소나(sonar) 등 그 활용도가 매우 큰 기술이지만 초음파의 역사에 대한 체계적인 연구는 희소하다. 그 역사적 서술이 있다하더라도 20세기에 이루어진 기술적 발전에 주로 초점이 맞추어져 있다.[1] 본 논문은 초음파를 인지하고 그것을 과학적 탐구의 중심으로 가져오는 과정에 참여했던 초기 연구자들의 노력을 집중적으로 조명한다. 이를 통해 초음파라는 물리적 실체가 어떻게 실험실에서 구성되고 통제되고 활용되는 과정을 밝게 되었는지를 밝히고자 한다.

2. 역사적 배경

초음파의 역사는 음향학의 역사와 함께 한다. 음향학이 음악과 긴밀하게 연관된 시발점을 갖고 그로부터 주로 추동되었다는 것은 초음파의 발견과 활용이 음향학에서 변두리로 밀려나 있을 수밖에 없었음을 설명해준다. 기원전 6세기에 피타고라스(Pythagoras, B.C. 570?-495?)가 진동하는 현의 길이와 거기에서 나오는 음 사이의 관계를 찾아내었고 여기에서 음악의 기초가 놓였으며 화성학(harmonics)이 시발되었다. 기원전 4세기에 아리스토텔레스(Aristoteles, B.C. 384-

1) B. W. Orenstein, "Ultrasound History," *Radiology Today* 9, 2008, p. 28.

322)는 음파가 공기 중에서 공기의 운동을 통해 진동한다는 제대로 된 이해를 내놓았지만 그조차도 소리의 진동수가 커지면 속력이 커진다는 잘못된 이해를 가지고 있었다. 6세기경에 철학자 보에티우스(Boethius, 480-524 또는 525)는 음악과 관련이 있는 생각들을 정리하면서 인간의 음고(pitch)에 대한 인식은 진동수와 관련된다고 언급 했지만 표현이 매우 모호했다. 보에티우스의 활동에 힘입어 화성학은 중세 교육에서 교양 과목으로서 중요한 위치를 점유하게 되었고 음악에 대한 수학적 이해는 음악 이론의 기초가 되었다.[2)]

소리에 대한 과학적인 이해는 갈릴레오(Galileo Galilei, 1564-1642)에 이르러 새로운 전기를 맞이했다. 그는 진동의 연구를 본격적으로 전개하며 음고와 음원의 진동수 사이의 관계를 실험에 근거하여 정립하여 소리의 과학을 열었다. 그의 선도적 노력이 이후의 소리에 대한 연구를 더욱 가속화시켰다. 프랑스의 수학자 메르센(Marin Mersenne, 1588-1648)은 당겨진 현을 가지고 수행한 실험을 통하여 현의 장력, 굵기, 길이와 현이 내는 소리의 진동수 사이의 과학적 관계를 정립하였다.[3)] 메르센이 1637년에 출판한 『우주의 조화』(L'harmonie universelle)는 음악 음향학의 기초를 놓은 저작이었다. 나중에 영국의 과학자 훅(Robert Hooke, 1635-1703)은 회전하는 톱니바퀴를 이용해서 정확한 진동수를 아는 소리를 만들어낼 수 있음을 보였다. 그렇지만 아직까지 초음파에 대한 인식은 제대로 이루어지지 않았다.[4)]

---

2) 구자현, 「19세기 음향학과 음악의 교감」, 이화여자대학교 음악연구소, 『이화음악논집』 제11권 제2호, 2007, pp. 82-83.

3) Frederick Vinton Hunt, *Origins in Acoustics: The Science of Sound from Antiquity to the Age of Newton,* New York: Acoustical Society of America, 1992, pp. 87-88.

4) Bruce Lindsay, "The Story of Acoustics," *The Journal of Acoustical Society of America* 39, 1966, pp. 629-644.

18세기에는 파리 과학 아카데미의 회원이었던 소뵈르(Joseph Sauveur, 1653-1716)의 연구를 통해 '음향학'(acoustique)이라는 용어가 처음으로 소리의 과학을 의미하게 되었다. 당시에 음향학은 주로 음계와 정률을 위한 체계적인 지식을 의미하였다. 그리하여 18세기 내내 일반적인 소리 자체에 대한 실험적 연구는 정체되었고 음악과 관련된 악음만이 관심의 대상으로 부각되었다.[5)]

초음파에 대한 실마리가 잡힌 것은 18세기 말에 이르러서였지만 그것은 음향학의 중심에서 한참 벗어난 곳에서 이루어진 발견이었다. 1794년에 이탈리아의 생리학자로서 실험 생물학의 기초를 놓은 스팔란차니(Lazzaro Spallanzani, 1729-1799)는 눈을 가린 박쥐가 어둠 속에서 장애물을 잘 피해 날아다니지만 입을 막으면 장애물에 부딪치는 것을 발견했다. 그는 박쥐가 시각이 아닌 다른 감각을 이용하여 비행을 한다는 생각을 가지고 철저한 실험 연구를 수행하였다. 그는 박쥐의 귀를 막거나 잘라내기도 하고 후각기를 제거하기도 하고, 박쥐의 혀를 제거하기도 하는 일련의 실험을 통해서 곧 그는 박쥐가 사람에게 들리지 않는 음파를 이용하여 비행을 한다는 결론에 도달하였다. 곧 이어 스위스의 과학자 쥐린(Charles Jurine, 1751-1819)도 밀랍으로 박쥐의 귀를 막고 날게 하자 장애물에 부딪치는 것을 발견함으로써 스팔란차니의 이론을 지지했다.

그러나 이 '들리지 않는 소리' 이론은 프랑스의 자연학자이자 동물학자로 비교해부학의 권위자였던 퀴비에(Georges Cuvier, 1769-1832)가 1795년에 출판한 논문의 주장에 부딪쳐 좌초되었다. 퀴비에는 촉각기만 가지고도 박쥐의 행동은 충분히 설명이 된다고 주

---

5) Stephan Vogel, "Sensation of Tone, Perception of Sound, and Empiricism: Helmholtz's Physiological Acoustics," in David Cahan, ed. *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science,* Berkeley: University of California Press, 1993, p. 261.

장했다. 그의 조사에 따르면 박쥐의 날개에는 열, 추위, 저항 등을 감지할 수 있는 온갖 촉각기가 분포하고 있기 때문에 그것들로 충분히 주변의 상황에 대한 판단을 할 수 있다는 것이었다.[6] 스팔란차니의 동료들은 퀴비에의 이론을 확인하기 위하여 박쥐의 날개를 검은 물질로 덮어 씌워놓고 온통 벽과 천장과 바닥이 흰색인 방에 넣고 날게 하였다. 검은 물질은 벽에 날개가 닿을 경우에 벽에 묻게 되어 있었지만 박쥐의 날개는 전혀 벽에 닿지 않았다. 그럼에도 불구하고 사람의 감각 범위를 벗어나는 물리적 대상의 실체에 토대를 둔 스팔란차니의 주장은 허무맹랑한 주장으로 치부되었다. 그리하여 초음파의 반향을 이용하는 박쥐의 비행에 대한 논의는 다음 세기 내내 제대로 받아들여지지 않았다.[7]

초음파에 대한 탐구는 19세기에 들어오면서 진지하게 이루어졌고, 이것은 19세기로 들어오면서 음향학에 대한 탐구 활동이 활발해진 것과 맥을 같이 하였다. 클라드니(E. F. F. Chladni, 1756-1827)와 영(Thomas Young, 1773-1829)의 판과 현의 진동 모드에 대한 체계적인 이해를 바탕으로 이 분야에 대한 관심이 증폭되었다.[8] 19세기 전반기에도 음향학 연구의 우선적인 관심사는 악음의 이해에 모아졌다. 음고의 이해와 그것으로부터 정률을 얻어내려는 시도는 항상 음향학의 중심에 있었다. 그와 더불어 소리에 대한 부분음(partial tone)의 분석에 토대를 둔 이해는 일반적인 소리에

---

6) R. Galambos, "The Avoidance of Obstacles by Flying Bats." *Isis* 34, 1942, pp. 132-140.

7) G. K. H. Zupanc, *Behavioral Neurobiology: Integrative Approach,* Oxford: Oxford University Press, 2010, p. 113; N. Hartridge, "The Avoidance of Objects by Bats in Their Flight," *Journal of Physiology* 54, 1920, pp. 54-57.

8) E. F. F. Chladni, *Traité d'Acoustique,* Paris: Courcier, 1809, p. 375; Thomas Young, *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*, 2 vols., London: Joseph Johnson, 1807, pp. 607-612.

대한 이해도 연구의 대상이 되게 하였다.

3. 월러스턴의 '들리지 않는 소리'

영국의 의사이자 과학자였던 월러스턴(William Hyde Wollaston, 1766-1828)은 1820년에 런던 왕립학회(Royal Society of London)에서 들리지 않는 소리에 대한 자신의 관찰에 대해 보고했다. 그는 의사답게 자신의 논의를 청력과 관련시켜 심화시켰다. 정상적인 귀도 음계의 양쪽 끝에서 나오는 소리는 듣지 못하는 경우가 있다는 것이다. 이것은 사람마다 청 능력의 차이 때문에 가청 주파수에 차이가 있다는 것에 대한 인식이었다. 그는 그것이 전적으로 음을 구성하는 진동수 즉 음고에만 관계되며 소리의 세기에는 의존하지 않는다고 보고했다. 그는 사람에 따라 이 능력에서 차이가 크다는 점을 집중적으로 논의했다.[9)]

월러스턴은 청력의 약화는 질병 때문에 생기지만 일시적인 현상에 의해 청력이 약화될 수 있다는 점을 지적했다. 코와 입을 막고 가슴의 공기를 바깥으로 세게 뿜으려고 하면 고막이 압박을 받으면서 저음을 들을 수 없게 되는데 높은 음에 대해서는 청력의 손실이 거의 없었다. 그는 유스타키오관이 압박을 받아 닫히면 일시적인 청력의 약화가 일어나기도 하지만 침을 삼키는 행동을 통해서 관이 열리고 소리가 다시 잘 들리게 된다고 보고했다.

그는 현악기의 소리는 음고의 추정을 교란시키는 측면이 있다는 것을 보고했다. 즉, 낮은 음을 냈고 그것을 들었다고 생각할 수 있지만 현악기의 소리에는 높은 음도 섞여 있기 때문에 실수가 발생

9) W. H. Wollaston, "On Sounds Inaudible by Certain Ears," *Philosophical Transactions of the Royal Society* 110, 1820, pp. 306-314.

할 수 있다는 것이다. 이것은 이미 윌러스턴이 배음의 존재에 대하여 지식을 가지고 있었음을 보여준다. 윌러스턴은 자신의 귀가 피로해졌을 때, 탁자를 손끝으로 두드리는 소리는 잘 안 들리지만 탁자를 손톱으로 치는 높은 소리는 들리는 것을 체험했다. 그것은 수레가 달리는 소리를 들을 때에도 피곤한 귀에는 둔탁한 소리는 들리지 않지만 사슬이나 헐거워진 나사에서 나는 소리는 잘 들리는 현상과 마찬가지임을 덧붙였다.[10] 이는 일반적으로 저음의 지각 능력이 고음의 지각 능력보다 쉽게 피로해짐을 보여주는 것이며 사람의 청 능력이 같은 사람이라고 하더라도 몸의 상태에 따라 달라질 수 있다는 인식에 도달했음을 보여준다. 이는 듣는 것이 객관적인 속성 외에 주관적인 속성을 가짐을 보여주는 것이었다. 초음파는 이러한 주관적인 청취의 영역에 있는 것으로 인식되고 있었다.

실제로 가청 주파수가 사람마다 차이가 있다는 것에 대해서 윌러스턴이 인식하게 된 것은 작은 오르간 파이프가 내는 소리를 완전히 듣지 못하는 친구들이 있음을 알게 되면서였다. 자신과 또 다른 사람들에게는 듣는 데 문제가 없는 소리가 그들에게는 전혀 들리지 않았다. 조사 결과, 한 사람의 감각은 피아노의 중간 E음의 4옥타브 위의 음에서 멈추었다. 이 음을 그는 불완전하게 듣는 것 같았는데 그 다음 음인 F는 아예 듣지 못했다. 그는 다른 측면에서는 청각에 전혀 문제가 없었으며 음에 대한 식별 능력도 정상이었다.[11]

가청 주파수가 상당히 낮은 사람도 있었다. 윌러스턴에게 두 여성이 찾아와 그들의 아버지가 참새 소리를 듣지 못한다고 말했다. 사람이 박쥐의 찍찍거리는 소리를 듣지 못하는 것은 그렇게 드물

10) Ibid., p. 308.
11) Ibid., p. 311.

지 않았지만 참새의 소리를 못 듣는 경우는 많지 않았다. 귀뚜리미의 소리는 박쥐 소리보다 더 음고가 높았고 다수의 귀에 청 능력의 한계에 접근했다.[12] 월러스턴은 그 음고를 잴 수 없었는데 그러한 높은 소리를 내는 파이프를 만드는 것이 어려웠기 때문이었고 또한 그 음의 진동수를 잴 수단이 없었다. 그는 참새 소리는 피아노의 E음보다 한 옥타브 높고, 박쥐 소리는 참새 소리보다 한 옥타브 높고, 다른 곤충은 그보다 또 한 옥타브 높을 것이라고 추측했다. 4분의 1 인치의 작은 파이프의 소리보다 높은 소리들이 있을 텐데 그 파이프는 중앙 E음보다 6옥타브가 높았다. 이러한 추론으로부터 월러스턴은 사람이 낮은 음에서 높은 음까지 듣는 범위가 9옥타브 이상을 포함한다고 결론지었다.[13]

월러스턴의 관찰은 모두 자연적인 사례에 대한 관찰이었고, 사람의 청력에 그의 관심의 초점이 맞추어져 있었다. 그러므로 그는 초음파 자체의 특성에 대하여 탐구하기보다는 인간의 주관적인 청능력의 차이에 대하여 탐구하였고 들리지 않는 소리의 존재에 대해서는 인지했지만 그것 자체를 탐구의 대상으로 삼지는 않았다. 그에게 있어서 초음파는 객관적 실체로 다가오기보다는 주관적 감각의 대상이었다. 또한 그는 그의 연구에서 진동수를 정확하게 측정하려는 정량화된 시도를 하지 않았다. 그는 오르간 파이프의 소리와의 비교를 통해서 귀뚜라미 소리와 같은 높은 진동수의 음의 음고를 추정했다. 그에게 있어서는 절대 음고에 대한 정확한 지식이 없었기 때문에 음고는 모두 오르간 파이프의 음고를 기준으로 제시되었다. 그의 연구 자체가 많은 사람들의 연구를 촉발시키지는 않았을지라도 소수의 사람들에게는 초음파와 인간의 가청 진동수의 범위에 대한 관심을 불러 일으켰다.

---

12) Ibid., p. 312.

13) 이는 현재 일반적으로 알려진 가청 주파수의 범위인 20~20,000Hz가 10옥타브 정도의 범위임을 고려할 때 약간 좁게 잡은 범위이다.

4. 사바르의 톱니바퀴

원래 의학을 전공했던 사바르(Félix Savart, 1791-1841)는 1817년부터 음향학 연구에 관심을 가졌다. 그는 환자를 보기보다는 물리 실험실에서 실험하는 것을 좋아했다. 1830년경에 사바르는 초음파의 진동수를 알 수 있는 장치인 사바르의 바퀴를 고안했고 이로써 명성을 얻었다.[14] 사바르는 윌러스턴의 선구적 연구의 가치를 인정했고 더 나아가 인간의 높은 음 감각의 한계를 측정해보고자 했다. 당시 일반적으로 가청 진동수의 하한에 대하여는 15Hz 정도로 합의가 이루어져 있었으므로 이것의 600 내지 700배에서 상한이 존재하리라는 생각으로 사바르는 윌러스턴이 인간의 가청 상한을 9,000에서 10,500Hz로 추정했을 것이라고 보았다.[15] 그렇지만 정확한 확정이 이루어지지 않은 점에서 음향학의 진보가 정체되었다고 간주했다. 사바르는 이 문제의 해결을 위한 요건을 두 가지로 제시했다. 첫째는 음원의 진동수를 정확하게 결정하는 것, 둘째는 아주 높은 음이지만 여전히 들릴 만큼 강한 음을 만들어내는 것이었다. 사바르는 원통형 막대의 종진동을 쓰면 이론상 임의의 길이의 막대의 진동수를 정확하게 결정하는 것이 쉬울 것이라고 생각하였다. 그는 여러 차례의 시도를 통해 3밀리미터의 두께에 159밀리미터의 길이의 유리 막대가 약 15,500Hz의 소리를 내는 것을 확인했다. 그는 직경을 더 줄이고 길이를 150밀리미터로

---

14) V. A. McKusick and H. K. Wiskind, "Felix Savart, 1791-1841, Physician-Physicist: Early Studies Pertinent to the Understanding of Murmurs," *Journal of the History of Medicine and Applied Sciences* 14, October, 1959, pp. 411-423.

15) Felix Savart, "On the Sensitivity of the Ear," translated from Poggendorf's Annalen der Physik und Chemie 20, 1830, in R. B. Lindsay, *Acoustics: Historical and Philosophical Development,* Benchmark Papers in Acoustics, Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross, 1973, pp. 203-209.

줄였을 때 16,500Hz의 음을 낼 것을 기대했지만 어떤 때에는 소리를 듣고 어떤 때에는 듣지 못하여 확신을 할 수가 없었다. 사바르는 더 작은 막대의 횡진동에서 같은 결과를 얻으려고 시도했으나 막대가 더 작은 질량을 갖고 진동시키기가 더 어려워서 더 약한 세기의 소리를 얻었다. 이 실험에서 그는 자신이 15,000 내지 16,000Hz의 소리를 들을 수 있었다고 판단했다. 그렇지만 이 경우에 막대의 한 쪽 끝을 바이스에 고정하여 정확하게 진동한 막대의 길이를 구할 수가 없어서 근사적으로 추정한 것일 뿐이었다. 이와 같은 탐구 활동이 가능했던 것은 사바르가 현의 진동을 수학적 법칙 위에 세우고자 노력해 왔고 그것을 통해 바이올린의 개선을 위해 힘써 왔기 때문이었다.[16]

이러한 어려움을 극복하기 위해 사바르는 마음대로 진폭을 증가시킬 수 있고 그 진동수를 쉽고 정확하게 측정할 수 있는 방법을 찾게 되었다. 그리하여 빠르게 도는 톱니바퀴에 카드나 쐐기 모양의 나무판을 대는 방법을 생각해 내었다. 처음에는 둔탁한 소음이 들리던 것이 진동수가 커지면서 연속적인 음으로 들리기 시작했고 이 경우에 나오는 음의 높이는 단위 시간당 부딪치는 수에 의존하였다. 그는 충분히 바퀴의 지름을 늘려서 톱니의 수를 늘려 소리의 세기는 줄지 않으면서 나오는 음의 높이를 높이기를 시도했다.(그림 1)[17]

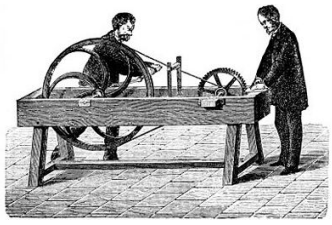


그림 1. 사바르의 톱니바퀴

16) Beyer, op. cit., p. 29.

17) "Wave-Action in Nature," *The Popular Science Monthly* 3, 1873, pp. 7-8.

처음에 사바르는 직경이 24센티미터이고 360개의 톱니가 있는 바퀴를 사용했다. 돌리는 속도를 늘리거나 줄임으로써 음의 높이가 조절되었다. 속도를 2배로 하면 음은 한 옥타브 높아졌다. 3,000 내지 4,000Hz일 때에는 순음을 유지했으나 그 이상으로 음을 높이자 소리가 약해지면서 소리의 순수함도 떨어졌다. 그래서 바퀴의 지름은 더 크게 하되 톱니의 수는 그대로 유지하여 톱니와 톱니 사이의 간격이 더 많이 벌어지게 했다. 그리하여 48센티미터의 직경에 400개의 톱니를 갖는 놋쇠 톱니바퀴를 만들자 10,000Hz까지도 순음을 낼 수 있었다. 그 이상이 되자 소리는 작아졌고 초당 12,000에서 15,000회의 충돌이 일어나자 음을 감지할 수 없게 되었다. 가청 주파수를 넘기는 것에 실패하자 사바르는 82센티미터의 직경에 720개의 톱니를 갖는 톱니바퀴를 새로 만들었다. 그는 초당 24,000회의 충돌을 만들어낼 수 있었는데 15,000회를 넘으면서 소리의 세기가 줄어들기 시작했고 정확하게 언제부터 소리를 들을 수 없게 되었는지를 알기 어려웠다. 그는 실험에 함께 참가한 사람들의 경험으로부터 윌러스턴이 말한 것처럼 사람마다 높은 음을 듣는 능력에 차이가 있음을 확인했다. 그러나 그는 윌러스턴이 사람이 들을 수 있는 높은 음의 상한은 소리의 세기에 무관하다는 주장에 이의를 제기했다. 사바르는 일정한 세기를 갖는 높은 음이 어떤 이들에게는 들리지만 다른 이에게는 들리지 않는데 이것은 진동수의 수준 때문이 아니라 세기의 수준 때문이라고 해석했다.[18] 사바르는 더 큰 바퀴에 톱니수를 유지한다면, 24,000회 이상의 충돌을 만들어내면서도 소리의 세기는 줄어들지 않게 할 수 있고 여전히 그 소리를 들리게 할 수 있을 것이라고 추측하였다. 이렇게 만든 장치를 이용해서 사바르는 사람이 들을 수 있는 음의 최고의 진동수는 24,000Hz라고

18) Savart, op. cit., p. 205.

결정했다.[19]

이렇게 사바르는 인간의 가청 진동수의 한계를 정량화하는 기술에 도달하였고 그의 바퀴는 실질적으로 초음파를 발생시켰다. 그렇지만 그는 이렇게 발생한 초음파의 특성에 대해서는 더 이상의 연구를 수행하지 않았다. 그는 높은 음을 듣지 못하게 되는 원인에 대해서 관심을 가졌고 세기가 줄어들고 반복되는 충격에 대한 잔류 감각이 지속되다보니 개별적 음을 감지하지 못함으로써 청각감이 제대로 이루어지지 않는다는 이론을 제시했다. 이것은 이후에 나오는 헬름홀츠의 공명 이론에 의한 청각에 대한 설명 방식과는 다른 방식으로 청각을 설명하는 이론이었다.[20] 사바르가 잔류감각의 개념에 주의를 돌린 것은 이후 연구에 발판을 마련한 것이었지만 초음파는 인간의 감각기의 한계를 뛰어넘는 영역에 존재하는 대상이었다. 그에게는 그것을 통제하고 그것의 존재를 다른 방식으로 검출할 방안이 없었다. 그러므로 그것의 실용적인 이용이란 생각할 수도 없는 것이었다.

5. 골턴의 호각

영국의 인류학자이자 유전학자이자 우생학의 창시자인 골턴(Francis Galton, 1822-1911)은 1876년에 사람의 청각의 상한을 잴 수 있는 장치로 특수한 호각을 고안함으로써 이 분야의 발전에 기여했다. 그는 내부 직경이 2.5밀리미터도 되지 않는 놋쇠관을 사용하였다. 놋쇠관 위에서 노즐로부터 방출되는 공기가 아래쪽 관의 모서리에서 소용돌이(eddy)를 일으키면서 아래쪽 관에서 공명이 일어

19) Beyer, op. cit., p. 30.

20) 구자현,「헬름홀츠의 생리학 연구의 특성과 청각의 공명 이론」, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 1995, pp. 40-54.

나는데 그 관의 길이는 아래쪽 끝에 끼워진 피스톤에 의해 조절되었다.(그림 2)[21] 관이 길어지면 음이 낮아지고 관이 짧아지면 음이 높아졌다. 피스톤에는 눈금이 새겨져 해당 눈금까지 피스톤을 밀어 넣었을 때 나오는 음의 진동수가 얼마인지를 표시해주었다.[22]

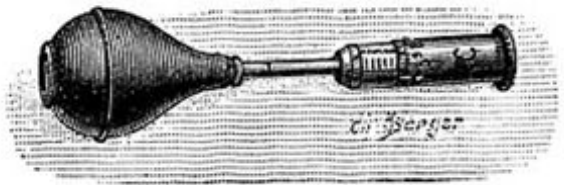


그림 2. 골턴의 호각

골턴이 사람에게 소리를 들려주면서 조사해 본 결과, 나이가 듦에 따라 고음을 듣는 능력이 현저하게 저하되었다. 사람들은 낮은 음을 듣는 데 문제가 없을 때까지 그러한 고음 청취 능력의 상실을 의식하지 못했다. 골턴은 이 호각을 이용해서 그 고음 청취 능력의 상한을 측정할 수 있었다. 그는 정상적인 가청 상한을 18,000 Hz로 측정하였다.

골턴이 나중에 우선권을 주장했던 중요한 실험은 동물들의 가청 상한 대한 비교 실험이었다. 골턴은 다양한 동물에게 자신의 초음파 호각 소리를 들려주었고 그 동물들의 청취 능력의 한계를 비교하였다. 그는 동물원(Zoological Gardens)에 가서 조사 작업을 벌였다. 그는 긴 관으로 된 지팡이의 끝에 그의 호각을 달았다. 손잡

21) Rudolph Koenig. *Catalogue des Appareils d'Acoustique construits par Rudolph Koenig,* Paris 1889, p. 24.

22) Francis Galton, *Inquiries into Human Faculty and its Development,* New York: Macmillan, 1883, pp. 38-39.

이 아래에 인디언 고무로 만들어진 작은 관이 달려 있었고 그것을 누르면 공기가 호각으로 들어가면서 소리가 발생했다. 골턴은 가능한 한 호각을 동물들의 귀에 가까이 가져간 후에 동물들이 그 물건을 친숙하게 느낄 때 갑자기 소리를 발생시켰다. 동물의 귀가 쫑긋하면서 움직이면 동물이 소리를 들은 것이고 아무런 반응이 없으면 아무 소리도 듣지 못한 것으로 간주했다. 이러한 방법은 사람과 명확한 의사소통이 되지 않는 동물이 소리를 들었는지 듣지 못했는지를 그것들의 반응을 통해서 알아낼 수 있었다는 점에서 동물 감각 연구에서 새로운 가능성을 여는 것이었다.

그가 측정을 한 동물 중에서는 고양이가 가장 우수했다. 작은 개는 높은 음을 잘 들었지만 큰 개들은 그렇지 못했다. 작은 도시를 걸어가면서 호각 소리를 발했을 때 작은 개들은 귀를 돌리는데 큰 개들은 그러지 않는 것을 보았다. 골턴이 넓은 벌판에서 호각을 가지고 소리를 냈을 때 조랑말이 그 소리를 들었다. 그는 곤충을 대상으로 측정을 수행하려고 시도하였으나 실패하였다.[23]

골턴의 음향학에 대한 지식은 그렇게 깊지 않았지만 전문가들의 저작을 참고하고 자신의 경험과 실험을 토대로 나름대로 호각에 대한 이해를 구축하였다. 그는 뚜껑을 잔뜩 조이면 호각의 관의 깊이는 더 낮아지고 더 날카로운 음이 나온다면서 폐관(closed pipe)의 진동수는 그 깊이에 의존한다고 말했다. 골턴은 음향학의 이론상 파장은 폐관의 길이의 4배에 해당한다는 것을 알고, 음속이 통상적인 온도와 기압에서 초당 1120피트, 즉 13,440인치로 보았을 때, 통의 끝에서 피스톤까지의 깊이를 인치로 구한 후에 4를 곱하고 그 값으로 13,440을 나누어 이 호각에서 나오는 소리의 진동수를 계산했다. 그는 이러한 계산이 통 속의 공기의 진동을 종진동이라고 가정한 것이고 관의 깊이가 직경의 1.5배보다 적을 때

23) Ibid., p. 40.

는 성립하지 않는다고 이해했다.[24]

골턴은 이 정밀한 기구를 제작하기 위해 런던의 특수 기구 제작자에게 의뢰했다. 브롬턴 로(Brompton Road) 172번지의 광학기구 제작자인 티즐리(Tisley)에게 이 기구의 핵심 부분인 호각의 아래 부분의 제작을 의뢰했다.[25] 이 부분은 호각의 몸체를 둘러싸는 뚜껑과 같은 부분으로 그 자체가 나사에 의해 피스톤에 고정되어 있었다. 그리하여 이 뚜껑을 한 바퀴 돌릴 때마다 나사의 피치 한 칸에 해당하는 깊이가 변하게 되어 있었다. 이때 피치는 인치당 25개가 있었다. 그리고 뚜껑의 둘레에는 10개의 눈금이 새겨져 한 눈금을 돌릴 때마다 250분의 1인치씩 깊이가 변하게 되어 있었다.

사람의 귀에 맞는 호각, 즉 골턴에게 가장 큰 호각은 관의 내부 직경 1.6인치로 40눈금에 해당했다. 그 호각은 21,000Hz의 음을 내서 사람의 가청 주파수 영역을 뛰어넘는 소리를 내었을 것이다. 이러한 구조로는 60눈금 이하에서는 믿을만한 소리를 낼 수 없다는 것이 골턴의 판단이었다. 즉, 14,000Hz에 가서나 안정되고 쓸 만한 세기의 소리를 낼 수 있었다. 그러므로 골턴은 폐관 형태의 호각을 포기하고 놋쇠관을 찌그러뜨린 후에 그 위로 또 하나의 놋쇠판을 지나가게 하여 강력하고 높은 소리를 만들어내기를 시도했다. 그리고 세 개의 원통을 이용하는 고리형 호각(annular whistle)도 만들었다. 여기에서 하나의 원통은 다른 두 원통 사이에서 미끄러지게 되어 있었고 그 위에 눈금이 매겨져 있었다. 이렇게 골턴의 호각은 몇 가지 변형이 존재했다.[26]

당시 런던은 악기, 음향기기, 광학기기 등을 포함하여 정밀한

---

24) Ibid, pp. 375-377.

25) 골턴은 옥스퍼드 가(Oxford Street)의 수술 기구 제작자 혹슬리(Hawksley)에게도 의뢰하여 호각을 만들었는데 이 호각은 특별히 순음을 내는 점에서 우수했다.

26) Ibid., p. 378.

기구 제작에 있어서 세계적인 수준을 자랑하고 있었다. 이러한 전문적인 기술을 바탕으로 골턴은 초음파 호각을 제작할 수 있었다. 그리고 그에게는 그러한 기구들이 내는 음고를 계산할 수 있는 음향학 이론이 확보되어 있었다. 이로부터 음원이 내는 진동수를 추정하는 것이 가능했다. 그렇지만 윌러스턴이나 사바르처럼 그도 청각에 초점이 맞추어져 있었지 초음파의 특성에는 관심을 기울이지 못했다. 그럼에도 불구하고 골턴은 인간의 청각에 대한 관심을 뛰어넘어 동물의 청각으로 관심을 확장함으로써 초음파에 관련된 주관적 감각에 대한 탐구를 벗어나고자 했다. 그가 동물의 청각의 상한을 관찰하면서 그는 초음파라는 실체를 더욱 객관적으로 받아들일 수 있었다. 특정 동물이 인식하는 대상이라면 인간의 감각을 뛰어넘는다하더라도 그것이 존재한다고 볼 수 있기 때문이었다.

6. 레일리의 새소리 호각

케임브리지 대학을 우수한 성적으로 졸업하고 물리학자의 길을 걷고 있었던 레일리(3rd Baron Rayleigh, 1842-1919)에게 음향학은 주된 연구 분야였다. 그는 자신의 음향학 연구를 집대성하여 1877년과 1878년에 『음향 이론』(The Theory of Sound)를 출판하였고 이 책은 이후 음향학 연구의 고전이 되었다.[27] 1876년에 레일리는 골턴의 호각에 대해서 이미 알고 있었고 민감 불꽃(sensive flame)을 이용하면 골턴의 호각이 내는 초음파를 감지해낼 수 있다는 것도 알고 있었다.[28] 그는 고음을 내는 리드를 장착한 관을

27) Ja Hyon Ku, "British Acoustics and Its Transformation from the 1860s to the 1910s," *Annals of Science* 63, 2006, pp. 395-423.

28) Rayleigh, "On the Application of the Principle of Reciprocity to Acoustics," *Proceedings of the Royal Society* 25, 1876, pp. 118-122.

사용하여 소리를 내면서 그 축을 민감 불꽃을 향할 때 반응이 일어나고 그 축을 다른 곳을 향할 때에는 불꽃의 반응이 없는 것을 관찰했다.

1881년 봄에 레일리는 스스로 고안한 초음파 발생 장치인 새소리 호각을 만들어 실험을 수행했다. 처음에 그의 관심은 그의 선배들과 같이 역시 인간의 청각이 한계였다. 그의 귀는 적당한 크기의 매우 높은 음에 대해서 빠르게 무감각해졌다. 귀가 적당한 거리만큼 호각에서 떨어져 있을 때 귀는 처음에는 소리를 들었으나 3, 4초 후에는 소리를 완전히 들을 수 없게 되었다. 그렇지만 소리를 중단하고 다시 개시하면 청력이 바로 회복되는 것을 볼 수 있었다. 그가 간단하게 손을 호각과 귀 사이에 지나가게 하자 소리가 잠깐 다시 들렸다가 사라지는 것을 확인할 수 있었다. 1881년 3월에 독일 음향학의 권위자인 헬름홀츠(Hermann Helmholtz, 1821-1894)가 케임브리지를 방문하는 동안 레일리는 이 실험을 그 앞에게 시연할 수 있었다. 민감 불꽃에 대해서는 틴들(John Tyndall, 1820-1893)이 이미 잘 연구를 해놓았기 때문에 레일리는 그것을 쉽게 활용할 수 있었고 자신이 그것을 개선하는 데에도 일조했다.[29]

레일리의 새소리 호각은 얇은 판에 원형의 구멍이 있고 약간 떨어져 있는 평행한 판에 유사한 구멍이 마주 보고 있었다. 직경이 1-2센티미터인 첫 번째 판이 짧은 기체 공급관에 용접하고 두 번째 판은 삼각형으로 만들어 세 각의 끝 부분을 첫 번째 판에 용접하였다. 구멍들의 직경은 0.5밀리미터로 작고 구멍 사이의 거리는 1밀리미터 정도로 했다. 구멍의 변두리는 날카롭고 깨끗하게 유지되었다.(그림 3) 이러한 장치를 이용하면 1센티미터 정도의 파장을 갖는 음파를 얻는 것은 어렵지 않고, 부는 압력을 조절하면 0.6센

29) 구자현, 「레일리의 실험 음향학 연구의 성과: 도구의 개선과 정밀성의 증진」, 한국음향학회, 『한국음향학회지』 제22권 제2호, 2003, pp. 115-117.

티미터의 파장을 갖는 소리, 즉 50,000Hz의 소리도 얻을 수도 있었다. 새소리 호각은 기체 주머니와 물 압력계와 연결되어 일정한 압력으로 기체가 방출되도록 유지하는 것이 매우 중요했다.[30]

파장을 재기 위해서는 불꽃 뒤에 수직으로 세운 유리판을 두고 그것이 불꽃 쪽으로 다가왔다 멀어졌다 할 수 있도록 미끄럼대 위에 설치했다. 유리판에서 4분의 1파장의 짝수배 떨어진 위치에 마디들이 나타나 그곳에 세운 불꽃은 반응이 없었다. 그렇지만 4분의 1파장의 홀수배 떨어진 곳에서는 배들이 나타나 불꽃이 가장 심하게 교란되었다. 파장을 재는 데에는 마디를 이용하는 것이 편리했다. 다른 곳에서는 불꽃이 길이가 짧아졌다가 마디에 오면 불꽃의 원래의 길이가 회복되기 때문이었다.[31] 이 실험 자체가 소리의 반사와 간섭이 확실하게 일어난다는 것을 보여주는 것이었다. 이런 현상은 일반적인 음파를 이용해서는 검출하기가 쉽지 않았다.

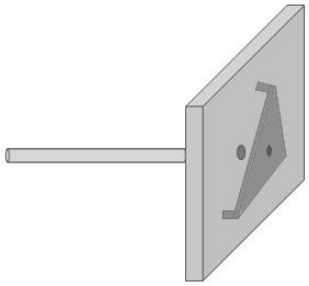


그림 3. 레일리의 새소리 호각

30) Rayleigh, "Interference of Sound," *Royal Institution Proceedings* 17, 1902, pp. 1-7.

31) Rayleigh, "Acoustical Observations II," *Philosophical Magazine* 7, 1879, pp. 149-162; "Acoustical Observations. IV," *Philosophical Magazine* 13, 1882, pp. 340-347.

더 나아가 레일리는 새소리 호각과 민감 불꽃을 가지고 호이헌스 대(Huygens zones)를 관찰하는 실험을 통해 소리의 회절과 간섭을 명확하게 실증하였다. 레일리는 새소리 호각과 민감 불꽃 사이에 원형 구멍이 뚫린 유리판을 수직으로 세웠다. 이때 구멍의 크기는 호이겐스 대 중에서 제1 대(first zone)와 제2 대(second zone)가 포함되도록 조절되었고, 이 구멍을 통과한 소리는 불꽃에 아무런 반응을 일으키지 않아 두 대로 말미암아 상쇄 간섭이 발생함을 드러냈다. 그러다가 구멍의 변두리 부분인 제2 대를 가리거나 중심부의 제1 대를 가려주면 간섭이 소멸되면서 불꽃이 교란되는 것을 관찰할 수 있었다.

또 레일리는 새소리 호각과 민감 불꽃을 사용해서 푸아송 원반(Poisson's disk)을 음향학적으로 실현시킬 수 있었다. 푸아송 원반은 원형의 장애물 뒤에 생기는 그림자의 중심에 회절로 생기는 밝은 점이 광학적으로 생겨나는 현상을 지칭하는 것이었다. 레일리는 새소리 호각과 불꽃 사이에 원형의 장애물을 매달았을 때 장애물 뒤쪽에 불꽃이 교란되는 위치가 존재함을 보일 수 있었다.[32] 이로써 초음파가 회절을 일으킨다는 것이 확증되었다.

레일리에 이르러 초음파는 자유롭게 원하는 진동수와 세기로 만들어지고 민감 불꽃이라는 별도의 검출기를 확보하게 됨으로써 사람의 몸과는 무관하게 따로 존재하는 실체로서 객체화되었다. 이로써 초음파에 대한 실험자의 통제력은 한층 강화되었고 객체화된 이 대상을 인간의 감각과 무관하게 실험 도구로 활용될 수 있게 되었다.[33]

---

32) 구자현, 「소리의 그늘, 반사, 간섭, 회절의 검출을 위한 레일리의 선구적 실험에 대한 연구」, 한국음향학회, 『한국음향학회지』 제26권 제2호, 2007, pp. 55-60.

33) Rayleigh, "Shadows," *Royal Institution Proceedings,* 1904, Jan. 15; Rayleigh, *Scientific Papers by Lord Rayleigh,* Cambridge: Cambridge University Press, 1912, vol. 5, pp. 171-172.

7. 맺음말

인간의 감각 영역밖에 있는 초음파는 좀처럼 연구의 대상이 되지 못했다. 18세기에 박쥐의 반향 비행의 원리를 찾는 과정에서도 초음파의 사용이라는 가정은 쉽게 무시되었다. 그러므로 초음파는 물리적 실체로서 인정을 받지 못했다.

19세기에 들어와 어떤 사람은 높은 음을 잘 듣지 못한다는 것을 월러스턴이 관심을 기울이면서 인간이 들을 수 없는 높은 음의 소리가 존재할 것이라는 인식이 싹텄다. 초음파 연구에 있어서 결정적인 새 단계로 진입하는 데에는 사바르가 인위적으로 높은 진동수의 음을 만들어낼 수 있고 그 진동수를 정확하게 잴 수 있는 장치인 사바르의 바퀴를 개발한 것이 결정적이었다. 이 기구를 통하여 이제 인간의 청력의 상한을 뛰어넘는 소리를 자유자재로 내고 그것의 정확한 진동수를 구할 수 있게 되었다. 이것은 자연에 존재하는 초음파에 비하여 인간이 진동수를 알 수 있는 초음파를 원하는 곳에서는 어디서나 만들어낼 수 있게 되었다는 점에서 초음파를 다루는 데에서 중대한 진보에 해당했다. 그렇지만 사바르의 관심사는 초음파를 발생시키고 그것을 이해하고 이용하는 것에 있지 않았고 여전히 사람마다 왜 들을 수 있는 가장 높은 음이 다른지를 해명하는 데 집중되었다.

골턴은 초음파를 용이하게 발생시키는 다른 장치인 골턴의 호각을 개발했을 뿐 아니라 초음파에 대한 동물의 감각에 관심을 가졌다. 인간의 주관적 감각의 범위를 벗어나서 존재하지만 동물의 감각 범위에 있는 실체로서 초음파가 인식되기에 이른 것이다. 그렇지만 골턴은 동물들의 가청 진동수의 상한을 정확하게 측정하고자 하는 데까지는 나아가지는 못했다. 그것은 동물의 감각을 탐구하는 데 있어서 의사소통의 한계로 인하여 아직 객관성을 확보할 수 없었기 때문이었다.

그런 점에서 레일리는 초음파를 청각이라는 생리적 탐구로부터 분리시켜 그것을 완전히 객체화시킨 인물이었다. 그는 새소리 호각을 발명하여 초음파를 실험에서 이용할 수 있을 정도로 강한 세기로 원하는 대로 발생시킬 수 있는 길을 열었다. 그의 새소리 호각은 충분히 소리가 강했기 때문에 멀리 떨어져 있는 민감 불꽃을 교란시킬 수 있었다. 그가 민감 불꽃을 사용하게 되면서 더 이상 초음파를 사람이 들을 수 있는가 없는가에 관심을 갖지 않아도 되게 되었다. 이제 귀가 하던 역할을 불꽃이 하게 되면서 청각에 대한 관심을 벗어버리고 초음파 자체에 대한 탐구가 가능해졌다. 레일리는 이러한 통제된 음원과 검출기를 사용하여 여러 가지 실험을 수행할 수 있었고 이것은 음향학에서 큰 진보를 이룩하는 데 기여했다. 이로써 초음파는 탐구 대상일 뿐 아니라 실험 도구로서 다른 음향학 실험을 돕는 일에 사용될 수 있게 되었고 20세기에 초음파가 실체적 대상으로 여러 용도로 광범위하게 사용되는 기초가 단단히 수립된 것이다.

20세기에 들어서면서 초음파가 잠수함 탐지나 의료용 진단장치, 비파괴 검사 등의 용도로 사용되는 것은 초음파가 인위적으로 만들어 이용할 수 있는 대상이라는 개념이 이미 정립되어 있었기 때문에 순조롭게 진행될 수 있었다. 그것은 한 세기 전에 초음파의 실체조차도 인정되지 않았던 상황과 비교하면 엄청난 개념상의 변화로서 그러한 변화의 과정의 핵심적 단계에서 윌러스턴, 사바르, 골턴, 레일리의 선구적 연구가 중요한 역할을 했기에 가능했던 것이었다.

참고문헌

1. 논문

구자현, 「헬름홀츠의 생리학 연구의 특성과 청각의 공명 이론」, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 1995.

구자현, 「레일리의 실험 음향학 연구의 성과: 도구의 개선과 정밀성의 증진」, 한국음향학회, 『한국음향학회지』 제22권 제2호, 2003, pp. 113-120.

구자현, 「19세기 음향학과 음악의 교감」, 이화여자대학교 음악연구소, 『이화음악논집』 제11권 제2호, 2007, pp. 81-102.

구자현, 「소리의 그늘, 반사, 간섭, 회절의 검출을 위한 레일리의 선구적 실험에 대한 연구」, 한국음향학회, 『한국음향학회지』 제26권 제2호, 2007. pp. 55-60.

Galambos, R. "The Avoidance of Obstacles by Flying Bats," *Isis* 34, 1942, pp. 132-40.

Hartridge, N. "The Avoidance of Objects by Bats in Their Flight," *Journal of Physiology* 54, 1920, pp. 54-57.

Ku, Ja Hyon. "British Acoustics and Its Transformation from the 1860s to the 1910s," *Annals of Science* 63, 2006, pp. 395-423.

Lindsay, Bruce. "The Story of Acoustics," *The Journal of Acoustical Society of America* 39, 1966, pp. 629-644.

McKusick, V. A. & H. K. Wiskind. "Felix Savart (1791-1841), Physician-Physicist: Early Studies Pertinent to the Understanding of Murmurs," *Journal of the History of Medicine and Applied Sciences* 14, October, 1959, pp. 411-423.

Orenstein, B. W. "Ultrasound History," *Radiology Today* 9, 2008, pp. 28-30.

Rayleigh, 3rd Baron. "On the Application of the Principle of Reciprocity to Acoustics," *Proceedings of the Royal Society* 25, 1876, pp. 118-122.

Rayleigh, 3rd Baron. "Acoustical Observations II," *Philosophical Magazine* 7, 1879, pp. 149-162.

Rayleigh, 3rd Baron. "Acoustical Observations IV," *Philosophical Magazine* 13, 1882, pp. 340-347.

Rayleigh, 3rd Baron, "Interference of Sound," *Royal Institution Proceedings*

17, 1902, pp. 1–7.

Rayleigh, 3rd Baron. “Shadows,” *Royal Institution Proceedings*. Jan. 15, 1904; Rayleigh, *Scientific Papers by Lord Rayleigh.* Cambridge: Cambridge University Press, 1912, vol. 5, pp. 166–172.

Savart, Felix. “On the Sensitivity of the Ear,” translated from Poggendorf’s *Annalen der Physik und Chemie* 20, 1830 in R. B. Lindsay, *Acoustics: Historical and Philosophical Development (Benchmark Papers n Acoustics).* Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross, 1973.

Wollaston, W. H. “On Sounds Inaudible by Certain Ears,” *Philosophical Transactions of the Royal Society* 110, 1820, pp. 306–314.

2. 단행본

Cahan, David(ed.), *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science,* Berkeley: University of California Press, 993.

Chladni, E. F. F. *Traité d'Acoustique,* Paris: Courcier, 1809.

Galton, Francis. *Inquiries into Human Faculty and its Development,* New York: Macmillan, 1883.

Heywang, Walter, Karl Lubitz, & Wolfram Wersing. *Piezoelectricity: Evolution and Future of a Technology,* Berlin: Springer, 2008.

Hunt, Frederick Vinton, *Origins in Acoustics: The Science of Sound from Antiquity to the Age of Newton,* New York: Acoustical Society of America, 1992.

Szabo, T. L. *Diagnostic Ultrasound Imaging: Inside Out,* Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2004.

Young, Thomas, *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts,* 2 vols., London: Joseph Johnson, 1807.

Zupanc, G. K. H. *Behavioral Neurobiology: Integrative Approach,* Oxford: Oxford University Press, 2010.

[Abstract]

An Early History of Ultrasound:
- From an Object Out of Sensation to an Experimental Tool -

Ja Hyon Ku

Ultrasound, which appeared as practical technology in the twentieth century, was rarely known to the world in the eighteenth century. In the nineteenth century, acoustics greatly developed but the interest in ultrasound went out of the major current of acoustical research which primarily focused on the understanding of musical sounds. A small number of researchers detected, generated, and utilized ultrasounds for specific purposes in laboratories. In the early times, Wollaston investigated human hearing with respect to the sounds of very high frequency. Though Savart generated ultrasounds by means of toothed wheels, his concern still remained human hearing. Galton invented Galton whistle for ultrasounds, extended his concern to the limits of hearing of animals beyond human hearing, enhancing the objectivity of ultrasound. Rayleigh employed ultrasound as an experimental tool and harnessed it by obtaining its control to perform successful experiments with it.

Key words: ultrasound, Wollaston, hearing, Savart's wheel, Galton whistle, objectivity, Rayleigh

구자현
소속: 영산대학교 자유전공학부
주소: 626-790 경남 양산시 주남로 288(주남동)
전화번호: 055-380-9261
전자우편: flamingsword@hanmail.net

이 논문은 2014년 2월 17일 투고하여
2014년 4월 11일까지 심사 완료하여
2014년 4월 16일 게재 확정함.