



특집

다채널 음향환경에서 Sound Ball의 구현 - 기술현황과 전망

김양한·송민호·장지호·박진영 (KAIST)

I. 서론

우리 가정에 있는 오디오 시스템을 사용할 때 일반적으로 청취자는 청취하는 위치에 따라 다른 음향 환경을 경험하게 된다. 음향 환경은 스피커의 배치 및 방안의 음향학적 특성에 따라서 결정된다. 청취자가 최상의 소리를 경험하는 위치는 극히 제한되어 있고, 그 영역을 벗어날 경우에는 만족스러운 음향환경을 경험하지 못하게 된다. 물론 오디오 시스템이 방안 모든 지점에서 최상의 소리를 제공한다면 좋겠으나, 청취자의 관점에서 음향환경의 좋고 나쁨은 자신을 둘러싸고 있는 극히 일부분의 영역에 의해 결정된다. 즉, 좋은 음향을 제공하는 오디오 시스템이란, 청취자를 둘러싼 공간에 최상의 음장(sound field)을 재생하는 오디오 시스템이라고 할 수 있다.

현재 오디오 시스템에서 최상의 소리를 제공하는 기준 청취 위치는 고정되어 있으며 이를 바꾸기 위해서는 스피커의 배치 등등 물리적인 음향 조건을 바꾸기 전에는 불가능하다. 만약 우리 가정에 있는 오디오 시스템이 물리적인 음향환경의 변화 없이 가변적으로 우리가 원하는 지점, 혹은 영역에 원하는 소리를 제공한다면 이는 매

우 유용할 것이다.

가정에서 보유하는 스피커와 채널의 수가 적은 상황에서는 전기를 사용하여 능동적으로 좋은 음향환경을 구현하는 문제는 쉽지 않다. 그러나 최근 디지털 기술의 급격한 발달을 통해 우리를 둘러싼 음향환경이 변하고 있다. 5.1채널이나 7.1채널 같은 다채널 시스템이 일반 가정에서 널리 보급되고 있으며, 그 이상의 환경에 대한 연구가 이루어지는 중이다. 예를 들면 현재 제공되는 HDTV(High Definition TV) 서비스 이후의 방송서비스로 준비되는 UHDTV(Ultra High Definition TV)의 표준 음향환경으로는 현재의 5.1 채널 대신 22.2 채널까지 지원되고 있다^[1]. 즉, 우리 주위의 음향환경에서 스피커 채널의 수는 빠르게 증가하고 있으며, 곧, 우리가 많은 수의 스피커로 둘러싸인 청취 환경을 가질 것을 보여준다.

다중 채널을 이용한 오디오 시스템은 초 실감(highly realistic) 오디오 시스템의 출현을 뜻한다. 이런 실감오디오의 목적은 세밀한 3차원 음장을 재현하는 것으로 이는 현장의 느낌을 살리는(impression of presence) 것을 목적으로 한다. 또한 새로운 다중 채널 음향환경에서는 기존

에 가능하지 못했던 새로운 음향 경험도 가능할 것이다.

본 기고에서는 다중 채널을 이용한 “Sound Ball”의 개념을 소개한다^[2]. Sound Ball은 다중 채널 오디오 시스템을 통해 원하는 영역에 원하는 음장을 재현하는 개념이다. Sound Ball의 특징은 기존 다중 채널 오디오 시스템을 통해 구현할 수 있다는 점이고 또한 sound ball 내부에서 기존에 가능하지 못했던 새로운 음향 경험도 느낄 수 있다는 점이다.

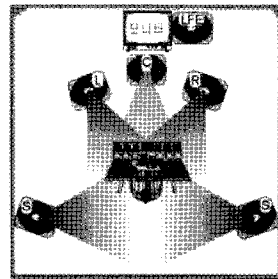
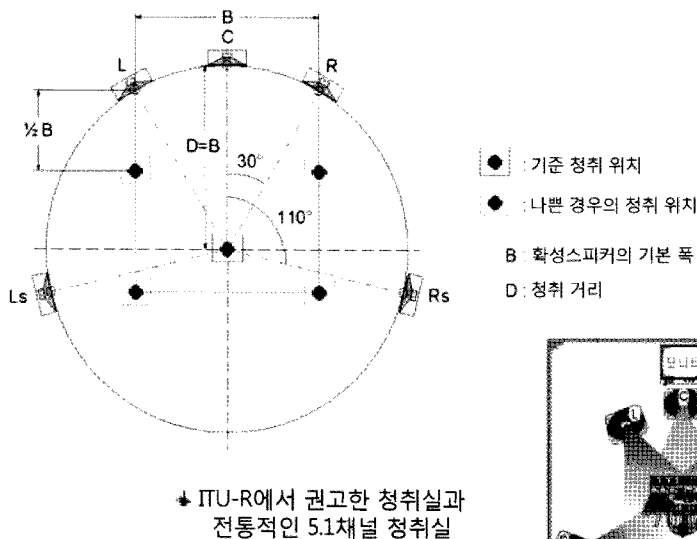
서론에 이어 제II장에서는 현 다채널 시스템의 기술 특징에 대해 알아보고, 제III장에서는 Sound Ball의 필요성, 이론, 구현 방법을 알아보고, 그리고 끝으로 제IV장에서는 Sound Ball 구현을 위한 현재의 기술 상황에 대한 논의의 함께 전망을 해보도록 한다.

II. 다채널 음향 시스템

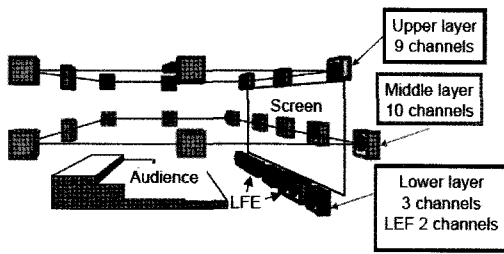
1. 심리음향학에 기반을 둔 상용 다채널 시스템

토마스 에디슨이 1877년에 소리의 녹음과 재생 기술을 개발한 이후, 소리의 공간감에 대한 연구, 즉, 정위감에 대한 연구는 계속되어 왔다^[3]. 스테레오 방식을 그 예로 들 수 있으며, 이는 두 스피커 채널의 레벨 차를 통해 정위감을 구현하는 방식이다^[4]. 이 기술이 발전하여 5.1 채널, 7.1 채널 방식의 서라운드 시스템이 제안되었고, 앞에서 언급한 22.2 채널 방식도 스테레오 방식의 연장선에 있는 방식이다.

주목하여야 할 점은 위에 언급한 상용 시스템, 5.1, 7.1 또는 22.2 채널 시스템 모두 인간의 청감 특성에 바탕을 둔 방법이라는 점이다. 즉, 실제 현장에서 발생하는 음장을 재현하는 방법이



〈그림 1〉 5.1채널에서 기준 청취 위치^[6]



〈그림 2〉 22.2 채널 오디오 시스템 구성도^[1]

아니라 인간의 청각 착각현상(Auditory Illusion)을 이용하여 실제 음장과는 다른 가상의 음장을 구현하는 방법이다^[5]. 심리음향학에 기반을 둔 이러한 방법은 현재 가장 일반적으로 쓰이고 있으나, 주어진 시스템에서 청자의 위치가 바뀌게 되는 경우, 최적의 음향환경을 제공하지 못하는 단점을 가지고 있다. 위의 상용 기술들은 일반적으로 최상의 음향을 제공하는 청취영역(listening area)이 스피커 어레이(array)의 중앙으로 정해진다. 그러므로 이 위치에서 벗어날 경우 원하는 음향을 얻지 못하는 단점을 가지고 있으며, 또한 최상의 음향을 제공하는 영역의 크기도 좁게 한정되어있다.

2. 직접 음장 제어 방식에 기반을 둔 다채널 시스템

위의 방법들과 별개로 실제 음장을 모사하는 연구는 20세기 후반부터 계속되어 왔다. 1970년대 Gerzon이 제안한 Ambisonics^[7], 1990년대 Berkhout이 제안한 WFS(Wave Field Synthesis)^[8] 등이 있으며, 위에 방법들은 Kirchhoff-Helmholtz 적분방정식에 의한 물리적인 현상에 근거하여 음장을 제어하는 방법이다. 위의 방법들은 직접 음장을 재현한다는 측면에서 비선형적인 심리음향학적 변수들에 대해서

자유롭다는 장점이 있으나 시스템 구성에 제약이 많고, 세밀한 3차원 음장 재현을 위해서는 많은 수의 채널이 필요한 것이 단점이다.

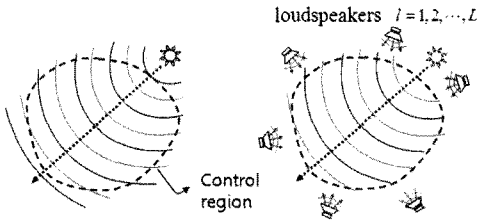
직접 음장 제어 방식에서는 제어하려는 음향 변수를 선택하여 제어하는 것이 가능하기 때문에, 심리음향학적 방법으로 접근하지 못했던 응용사례를 찾을 수 있다. 예를 들면, 공간의 음향 에너지를 제어하여 공간 내부 일부 지점 또는 영역에 음향을 집중시키는 연구(Sound Enhancement), 또는 일부 영역의 음향 에너지를 약하게 하여 개인 음장(Private listening zone)을 구현하는 연구가 바로 그것이다^[9-11].

위의 연구 중, Choi와 Kim이 제안한 공간의 소리제어(Sound Manipulation) 방법은 스피커 시스템의 위치, 종류에 제약받지 않고 원하는 영역에 원하는 음장을 제어할 수 있다는 특징을 가지고 있다^[11-13].

3. 다채널 실감오디오의 조건

UHDTV의 22.2 채널 방식을 제안한 NHK의 Hamasaki는 다음과 같은 실감오디오가 만족해야 할 필요조건을 제시하였다^[14].

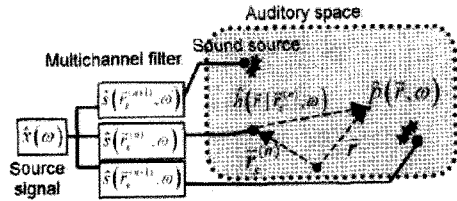
- 정면 스크린 영역에서의 안정된 정위감 확보 (Stably localize frontal sounds over the entire screen area)
- 청취자를 둘러싼 모든 방향에서 높낮이를 포함한 음상 재현 (Reproduce sound image in all directions around a viewer including elevation)
- 실감나는 3차원 공간감 구현(Reproduce a three-dimensional spatial impression that augments the sense of reality)



〈그림 3〉 다채널 오디오 시스템을 이용한 직접 음장 제어 방식

- 고른 음질을 들려주는 넓은 청취영역 확보 (Create a wide listening area with exceptional sound quality)
- 기존 다채널 시스템과 호환되는 시스템 (Be compatible with existing multichannel sound systems)

이에 따르면 다채널 오디오 시스템의 채널 수 증가를 통해 좀 더 넓은 영역에서 최상의 음향환경을 구현하는 것이 목적임을 알 수 있다. 그리고 기존 다중 채널 시스템과 호환이 되어야 한다고 명시하고 있다. 우리가 소개하려는 Sound Ball은 넓은 영역에서 최상의 음향환경을 구현하지는 않지만, 공간상 원하는 영역에 집중하여 음장을 재현할 수 있다는 점에서 실감오디오 조건을



〈그림 4〉 다채널 오디오를 이용한 음장 제어

만족한다고 할 수 있다. 또한 기존 스피커 배치를 그대로 사용할 수 있다는 점에서 기존 다채널 시스템을 통해 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

III. Sound Ball의 개요

1. 배경 이론

공간의 소리 제어 이론 중 하나인 음향 밝기 (Acoustical brightness) 또는 대조(acoustic contrast)는 소리의 크기와 관련된 음향 위치에너지를 제어하는 방법이다^[11]. 우리는 때때로 다채널 오디오 시스템을 사용할 때 청취 위치에 따라 소리의 크기가 매우 다른 것을 경험할 수 있다. 음향 밝기 및 대조 제어는 청취 위치에 따라



〈그림 5〉 음향 밝기 제어와 대조 제어의 응용

소리의 크기를 제어할 수 있고, 공간 안의 특정 영역에 소리를 집중(focusing)하여 난청 영역을 해소할 수도 있고, 음향 대조 제어를 실시하여 한 공간은 조용하게 하면서 다른 공간은 최대한 큰 소리를 갖도록 할 수 있다. 또한 제어 영역을 실시간으로 자유롭게 움직여서 청취자로 하여금 새로운 음향 조건을 느끼게 하는 것이 가능하다.

또한 제어하는 음향 변수를 시공간을 전파해 가는 파면(wavefront)의 진행방향으로 설정하면, 선택한 공간 내에서 청취자가 정해진 방향으로의 파면을 경험하여 원하는 방향으로 가상의 음원을 인지하도록 할 수 있다.

2. Sound Ball의 개념

위에서 언급한 Sound manipulation 방법을 통해 Sound Ball을 구현할 수 있다. Sound Ball이란 제어 공간 내부에 원하는 음장이 재현되는 구(sphere) 모양의 영역(region)을 뜻하는 개념이다. 영역의 모양(shape)은 꼭 구의 형태에

국한되지 않으나, 실시간으로 공처럼 움직일 수 있다는 측면에서 개념적으로 sound ball이라 부른다.

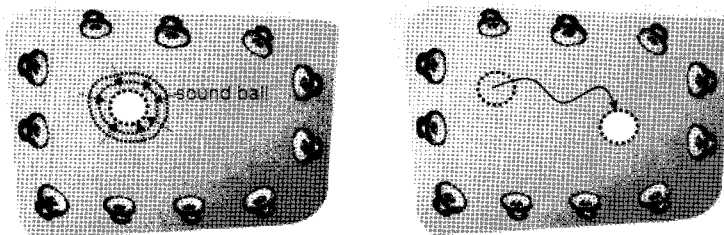
Sound Ball의 위치는 관심영역(공간 정보가 측정된 공간)내에서 자유롭게 때문에, 청취자가 원하는 위치에 구현할 수 있다.

3. 구현

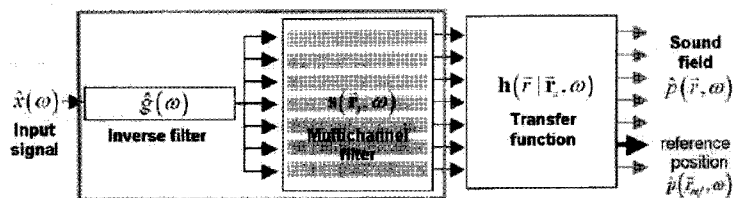
Sound ball 구현을 위해서는 다음과 같은 과정을 거쳐야 한다.

- 관심영역 내의 공간정보의 추출
- 제어하려는 음향 변수에 대한 가격 함수 설정
- 구현하고자 하는 공간에 대한 최적 필터 계수 도출

일반적으로 Sound Ball을 다양한 주파수 성분을 가지는 소리에 대해 구현하려면 <그림 7>에서 볼 수 있는 다채널 필터에 시간에 대해 가변



<그림 6> Sound Ball의 개요



<그림 7> Sound Ball 구현을 위한 다채널 시스템 구성도



적인 필터가 추가되어야 한다.

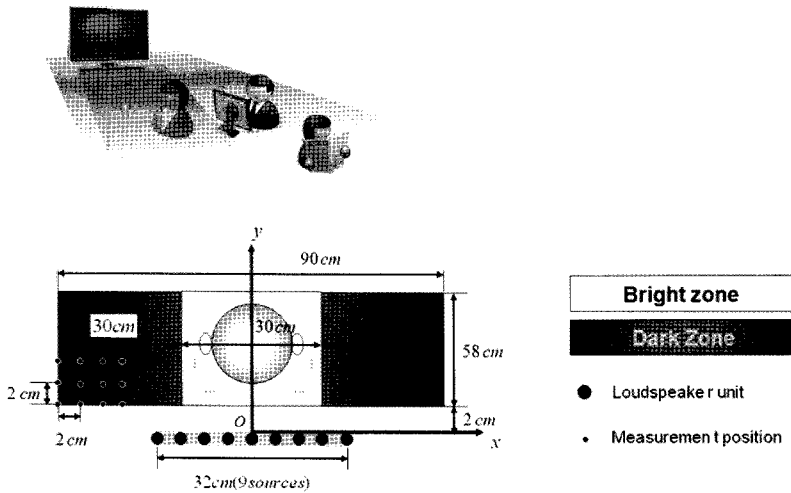
IV. Sound Ball의 기술현황과 전망

1. Sound Ball을 통한 음향 에너지 집중

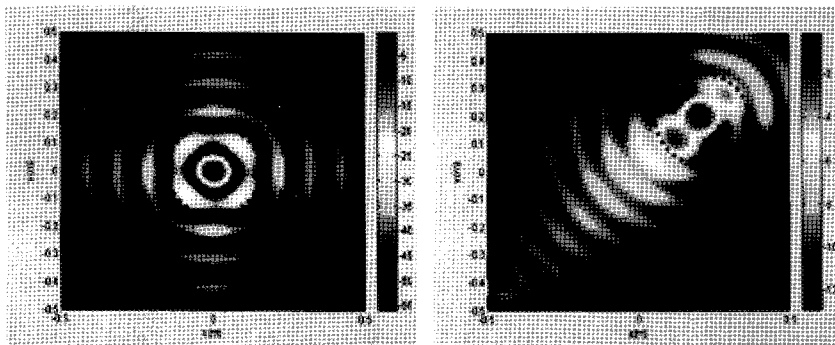
현재 Sound Ball은 아이디어 단계에서 벗어나 실제로 구현되는 수준까지 올라와 있다. <그림 8>에서 볼 수 있듯이, 이미 2008년에 국내에서 구의 형태는 아니지만, 모니터 밑에 놓인 일직선으로 놓인 9개 채널 스피커를 제어하여 헤드폰

없이 모니터 앞에 있는 사람만 청취 가능한 개인 오디오 시스템(Personal Audio System)을 개발하여 발표한 바 있다^[15].

스피커에 의해 모든 방향을 둘러싸인 경우에 구현하는 Sound Ball의 경우 <그림 9>와 같이 컴퓨터 모사 실험 결과를 통해 구현 및 움직임이 가능함을 알 수 있다. 그리고 실제 32 채널 시스템을 이용하여 구현해 본 결과, 주변에 비해 Sound Ball이 10~12dB의 음향 집중 효과를 갖는 것이 학회에서 발표된 바 있다^[2].



<그림 8> 개인용 오디오 시스템^[15]



<그림 9> Sound Ball의 구현(시뮬레이션)

2. 문제점 및 한계

Sound Ball의 경우 기존 다채널 오디오 시스템을 이용하여 원하는 청취 영역에서 자유롭게 원하는 음장을 재현할 수 있다는 점에서 큰 이점을 가진다. 그렇지만, 실용화를 위해서는 다음과 같은 연구과 선행되어야 한다.

- 관심영역 내의 공간정보 추출의 문제
- 제어하려는 음향 변수에 대한 연구

현재 Sound Ball을 구현하기 위해서는 구현하고자 하는 관심영역의 공간정보, 즉, 방안의 음향 조건에 대한 측정이 필요하다. 그리고 원하는 음장을 정량적으로 평가할 수 있는 다양한 가격함에 대한 연구가 필요하다.

3. 전망

다채널 오디오 시스템을 이용한 Sound Ball 구현 기술은 이제 아이디어 수준에서 벗어나 실용화로 접어드는 단계라고 볼 수 있다. 이 기술은 상용 다채널 기술을 대체하는 것이 아니라, 기존 다채널 시스템과 병행하여 쓰일 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 기존 다채널 오디오 기술이 단지 3차원 음장 재현을 위한 것인데 반해, Sound Ball 구현 기술은 개인을 위한 음향 집중 기술 (Private listening zone), 움직이는 청취자의 위치에 최적화 하는 Moving Sound Ball 등 그 활용의 폭이 매우 넓다고 할 수 있다. 이는 다채널 오디오 시스템이 현재 존재하는 콘텐츠를 얼마나 현실감 있게 재생하는가에 국한되지 않고, 새로운 콘텐츠, 실제로 경험하지 못하는 가상현실 속의 음향 콘텐츠의 제작에도 영향을 미칠 수

있는 가능성을 보여준다고 생각할 수 있고 나아가 미래 멀티미디어 콘텐츠 시장의 활성화를 촉진시킬 것이라고 예상된다.

참고문헌

- [1] K. Hamasaki, K. Hiyama, and R. Okumura, "The 22.2 multichannel sound system and its application", AES 118th Convention, Barcelona, Spain, Convention paper 6406 (2005 May 28-31).
- [2] Ji-Ho Chang, Min-ho Song, Jin-Young Park and Yang-Hann Kim, "Realization of sound balls by using 32-channel loudspeaker system", Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, 29-30, Oct., 2009, Hotel Hyundai, Mokpo.
- [3] M.F. Davis, "History of spatial coding," J. Audio Eng. Soc., Vol.51, No.6 (2003).
- [4] A. D. Blumlein, "Improvements in and relating to sound-transmission, sound - recording and sound - reproducing systems," British patent specification, 394, 325(1931); reprinted in J. Audio Eng. Soc., Vol.6, pp.91-98 (1958).
- [5] J. Blauert, Spatial Hearing, Revised edition (MIT Press, Cambridge, MA, 1983), pp.204-222.
- [6] "다채널음향 방송시스템의 원리와 구성", 제6차 디지털방송기술 워크샵, 광주 MBC

- [7] M. A. Gerzon, "Ambisonics in multi-channel broadcasting and video," in Proceedings of the 74th convention of the Audio Engineering Society, Preprint 2034, 1983.
- [8] A. J. Berkhout, D. de Vries and P. Vogel, "Acoustic control by wave field synthesis," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 93(5), pp.2764-2778, 1993.
- [9] M. Fink, "Time-reversed acoustics," Phys. Today, Vol.50(3), pp.34-40, 1997.
- [10] M. Tanter, J. L. Thomas, M. Fink, "Time reversal and the inverse filter," J. Acoust. Soc. Am., Vol.108(1), pp. 223-234, 2000.
- [11] J. -W. Choi and Y. -H. Kim, "Generation of an acoustically bright zone within an illuminated region using multiple sources," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 111(4), pp.1695-1700, 2002.
- [12] J. -W. Choi and Y. -H. Kim, "Manipulation of sound intensity within a selected region using multiple sources," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 116 (2), pp.843-852, 2004.
- [13] J. W. Choi, Spatial manipulation and implementation of sound, Doctoral thesis, KAIST, pp.20-99 (2005).
- [14] SMPTE, "Ultra High Definition Television - Audio Characteristics and Audio Channel Mapping for Program Production," SMPTE 2036-2-2008, 2008.
- [15] J.-H. Chang, C.-H. Lee, J.-Y. Park, and

Y.-H. Kim, "A realization of sound focused personal audio system using acoustic contrast control," J. Acoust. Soc. Am, 125(4), 2091-2097, 2009.

저자소개



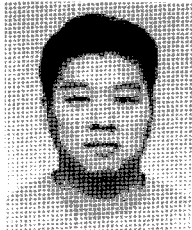
김 양 한

1977년 2월 서울대학교 조선공학과 학사
 1985년 2월 Dept. of Mechanical Engineering(O.E. Program), M.I.T. Ph.D
 1984년 10월~1989년 8월 과학기술대학(KIT) 기계 및 재료 공학부 조교수
 1989년 9월~1995년 2월 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과 조교수
 1995년 3월~현재 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과 정교수
 1998년~2000년 한국과학기술원 학생처장
 2003년~2005년 한국과학기술원 기계공학과 학과장
 2005년~현재 한국과학기술원 (KAIST) 소음 및 진동 제어 연구센터(NoVIC) 센터장

주관심 분야 : 음향학, 음장 가시화, 음장 제어



저자소개

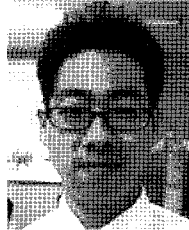


송 민 호

2004년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 학사
2006년 2월 한국과학기술원 응용수학과 석사
2009년 현재 한국과학기술원 문화기술대학원 박사과정

주관심 분야 : Sound Manipulation Algorithm, Generalized basis theory

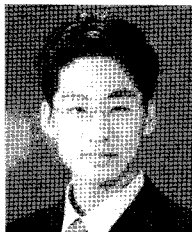
저자소개



박 진 영

2004년 2월 고려대학교 기계공학과 학사
2004년 3월 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과 석박사 통합과정

주관심 분야 : 음향학, 음장 제어



장 지 호

2003년 8월 서울대학교 기계항공공학부 학사
2003년 9월~현재 한국과학기술원 기계항공시스템공학과 석박통합과정 재학 중

주관심 분야 : Sound manipulation, 3D sound, Musical acoustics, architectural acoustics, acoustic holography