

Head And Torso Simulator의 음향연구에의 활용

강성훈, 강경옥, 장대영

한국전자통신연구소 / 신호처리연구소

Head And Torso Simulator for Acoustic Researches

Seonghoon Kang, Kyeongok Kang, Daeyoung Jang

Signal Processing Sec. / Electronics & Telecom. Res. Inst.

1. 서론

음향기구나 콘서트홀의 설계, 평가에는 청각심리의 주관평가가 측정되어, 음향기술의 발달에 크게 기여해 왔다. 이 주관 평가 측정에서는 측정 정밀도를 높이기 위해, 3차원 음장을 미리서 녹음하여 청취실에서 재생하여 평가하는 방법을 사용하고 있다. 또 최근에는 스테레오 전파의 연구 착수와 원격 회의 시스템의 이용이 증가하고 있어, 3차원 음장 재생을 포함한 고도의 통산처리 시스템의 구축이 검토되고 있다[1].

이와같이 3차원 음장의 수음, 재생 및 평가를 위해서 더미헤드(Dummy Head; 좌우 외이도에 마이크로폰을 장착한 마네킹)를 사용하고 있다. 1983년에 IEC에서는 보청기 측정을 위한 더미헤드를 심의하여, 몸통(Torso)을 포함한 계속용 더미헤드는 Head and Torso Simulator(HATS)라고 명명하였다(이하에서는 음장의 Simulator를 갖는 것은 HATS, 머리 부분만 있는 것은 더미헤드라고 한다). 최근에는 음장의 계속 평가 및 헤드폰, 스피커, 보청기 등의 전기음향 측정의 활용도 적극적으로 검토되고 있으며, KEMAR, B&K - HATS, SAMRAL, AACHEN HEAD, OSS - HATS 등이 시판되어 사용되고 있다[2][3].

본 고에서는 시판되는 더미헤드의 종류 및 특성을 전반적으로 소개하고, 음향기구의 전기음향 특성 측정, 3차원 음장 재생 및 임장감 통신 등에서의 응용 분야에 대해 기술한다.

II. 음향측정을 위한 HATS의 요구 조건

음향 시스템은 원래의 Orthoreference 음장내에서의 청각인상을 사용자에게 전달하는 것을 목적으로 설계되어 있다 [5]. 전기통신음향(Telephonic) 시스템의 경우에 Orthoreference는 두 사람이 자유공간에서 1m 떨어져 대화할 때의 공간 특성을 말한다. 입무음 및 입반음 음향(Stereophonic 또는 Ambiphonic) 시스템의 경우에 Orthoreference는 회의실이나 콘서트홀 등 청각상이 생기는 장소에 있어서 두 귀로 청취하는 것(Binaural Hearing)이다.

따라서 음향 시스템에 대한 객관 측정용 HATS는 그 음향 시스템이 전달하려고 하는 오리지날의 Orthoreference 상황을 충실히 시뮬레이션해야 할 뿐만이 아니라, 테스트 대상

인 음향 시스템과의 인터페이스 및 상호작용도 정확히 시뮬레이션 해야 한다. 이와 동시에 HATS 자세에 의한 비선형 왜곡이 일어나서는 안된다. 이러한 조건이 만족되어야만 음향 시스템에 의해 일어난 주파수, 시간, 공간 등의 영역에 있어서 품질열화(또는 개선)의 양을 정하여, 삭제 또는 최적화할 수 있다. Telephonic이나 Stereophonic 등의 음향 시스템 및 무속의 근접 마이크로폰이나 스피커 시스템에 미치는 광범위한 변환기에 적용할 수 있는 하나의 국제 기준 HATS가 요망된다.

III. 전기음향 특성 측정

1. 헤드폰

헤드폰은 아주 종류가 많은 전기음향 변환기에 속한다.

그 종류는 Circumaural Type, Supraaural Type, Intra Concha Type, Insert Type 등이 있고, 또 이것들을 더욱 세분할 수 있고, 점점 복잡화되어 가고 있다[5]a. 현재까지 현실적이고 객관적이며, 국제적으로 인정되는 측정법이 없고, 객관 측정 규격으로 규정된 IEC 318 인공귀는 Supraaural Type에만 적용할 수 있다.

단순화된 인공귀의 구조와 충실하다고 할 수 없는 Impedance Simulator와 측정용 마이크로폰의 부적절한 위치 등의 한계에 의해 얻어진 측정결과와 실제 사용시의 평가와 일치하지 않는다. 수가 많지 않은 Insert Type에 대해서만은 IEC 711 규격의 Ear Simulator가 존재한다.

실제 귀내의 Probe 측정용 기본으로 하는 최근 연구에서는 객관적인 HATS가 헤드폰 장착식의 "in situ" 청취의 시뮬레이션과 같고, 헤드폰을 착용하지 않을 때의 확산 음장에 있어서 청취에 대해서도 아주 현실성 있는 시뮬레이션이 가능하다는 것을 증명하고 있다[7]. "in situ"란 "본래의 위치에서"를 뜻하는 라틴어로 이 방법은 사람이 보청기를 착용한 상태의 보청기 특성을 구하는 것이나, 이 보청기의 의사 "in situ" 측정에서는 사람대신에 그것을 모사한 소위 dummy head microphone을 사용한 점이 특징이고, 이러한 의사 "in situ" 측정의 표준화에 따라 이 dummy head microphone의 정식 명칭으로서 HATS가 제정된 것이다. 그러나 이제 시뮬레이터의 기계 콤프라이언스의 한계에 의해 딱딱한 Ear Pad를 사용한

정확 검사용 Supraaural Type 헤드폰이나 Ear Pad의 길이가 짧은 헤드폰에 대해서 음향 누설이 문제가 되는 경우도 있다. 그 외의 모든 경우에는 HATS를 이용하여 빠르고, 객관적이고, 대표적인 측정이 가능하다. 그림 1에 헤드폰의 측정예를 나타낸다. 그림 1에서 (a)는 확산 음장 기준 레스폰스, (b)는 헤드폰의 "in situ" 감도 주파수 레스폰스, (c)는 헤드폰의 등가 확산 음장(삽입이득) 레스폰스를 나타낸다.

2. 스피커 시스템의 측정

고품질 스피커 시스템 설계는 모달 해석이나 인덴티티 분석으로 크게 진보되었다. 여기에서 스피커 시스템의 전기음향 특성을 무할실내 뿐만이 아니고, 원음장을 재현할 필요가 있는 회의실, 거실 등 이상적인 상태가 아닌 실제 사용 환경에서 최적화 하지 않으면 안된다.

Orthostereophonic과 같이 현재 상황에서 얻을 수 있는 수단을 사용하여 HATS의 Binaural 신호 파형을 녹음, 재생, 분석하는 것. 그리고 시간과 주파수 영역에서 스피커 시스템의 Binaural 특성을 조사하는 것은 비교적 간단하지만, 시간적 음향의 모든 특성을 표현하는 음향 심리적으로 적절한 Binaural Processing Model 등은 해명해야 할 문제이다. 확산감 (auditory Spaciousness), 방향지각 (perceived source location)이나 음상의 폭/해상도 (width/definition) 등과 같이 기본적인 공간 파라미터가 주어지지 않으면 안될 것이다. 그렇게 되면 음향기구나 능동 음향계어 시스템, 홀 특성까지를 포함하는 시스템 설계자에게 문제가 되는 음상 채널의 시간, 주파수, 공간 영역의 모든 특성을 비로소 직관화하고, 최적화할 수 있는 수단을 갖게될 것이다.

3. 보청기

동태 보청기의 음향특성 측정에는 IEC Pub. 1261(8)에 따른 2cc 컵플러를 이용한 측정방법이 주로 사용되어 왔다. 그러나 Inglis 등에 의하여, 사람의 자연적인 청취상태에서의 고막음압을 기준으로 하여 각종 음향기구나 전송계의 특성을 평가하는 정조통화 레스폰스(OTR)가 확립되고 난 후, 이를 전화뿐만 아니라 보청기 측정에도 적용하려는 시도가 계속되어 1983년 IEC에 의해 보청기의 의사 "in situ" 측정(9)이 표준화되었다. 이 방법은 HATS가 음압의 주파수 특성이 평탄한 이상적인 스피커에 정면으로 대하고 있을 때의 고막음압 P_0 와, HATS가 보청기를 착용한 상태의 고막음압 P_m 를 구하여 보청기의 실제이득(삽입이득: insm gain)을 (1)식과 같이 구할 수 있다.

$$\text{삽입이득} = 20 \log_{10} \frac{P_m}{P_0} (\text{dB}) \quad (1)$$

이는 결국 정조통화계에서 전화전송계의 송화기에서 수화기까지가 보청기로 대체된 것으로 생각할 수 있다.

4. 핸드-프리 전화기

핸드-프리 전화기의 전송특성에 대해서는 CCITT 권고 P. 34(10)에서 그 주관측점과 객관측점 등에 관해 권고하고 있다. 그 측정원리는 일반 핸드셋 전화기의 음향정격 측정에서 송화 음향정격 및 수화 음향정격을 측정하는 것과 동일하게, 송화감도 및 수화감도를 측정하여 CCITT 권고 P. 79에 따른 알고리즘을 사용하여 송,수화 음향정격을 계산한다.

한편 HATS를 사용하여 핸드프리 전화기의 정조통화 레

스폰스를 측정할 경우, HATS를 사용한 기존의 핸드셋 전화기의 "in situ" 측정의 개념을 적용할 수 있고, 따라서 핸드프리 전화기의 송화 주파수특성은 (2)식과 같다(11).

$$S_{mj} = 20 \log_{10} \frac{V_{jk}}{P_m} (\text{dB}) \quad (2)$$

여기서 P_m 은 HATS의 MRP에서의 음압에 해당하고 V_{jk} 는 마이크로폰의 출력전압이다. 마찬가지로 수화 주파수특성은 (3)식과 같다.

$$S_{je} = 20 \log_{10} \frac{P_e}{V_j} (\text{dB}) \quad (3)$$

여기서 P_e 는 스피커 출력에 의한 HATS의 ERP에 생기는 음압, V_j 는 스피커의 입력전압이다. 이와 같이 HATS를 이용한 의사 "in situ" 측정방법을 사용하여 송,수화 주파수특성을 측정할 수, 이로부터 송,수화 음향정격을 계산할 수 있다. 핸드프리 전화기의 측정의 예를 그림 2에 나타낸다.

IV. 음장재생

음향기술의 진보로 인류의 공이었던 시간과 공간에 관계 없이 음악을 즐길 수 있게 된 것은 약 100여년이 지났다. 그 사이의 진보에서 음악을 신호로서 전송하거나 기록하는 것은 비약적으로 진보한데 비해, 입장감 같은 공간음향 신호의 전송이나 기록은 처음 시도된 실형은 오래되었으나 별로 진전되고 있지 않다. 그 커다란 이유는 공간음향 정보를 전송할 수 없기 때문이다.

1. 공간음향 지각(Spatial Hearing)

Binaural 전화와 비교하여 더미헤드 녹음헤드폰 재생 방식의 입장감이 도약적으로 개선된 이유는 무엇인가? 사람이 자연상태에서 듣고 있는 신호자체를 수용하고, 그대로 재생하는 것이 충실한 입장감 재생이라는 것은 사실이다. 그러면 도대체 우리들은 어떻게 하여 입장감의 기본이 되는 음상이나 음색을 지각하는 것일까? 최근에는 그 이유가 명백해졌다. 예를 들면 머리를 움직이지 않고도 음원의 방향을 지각할 수 있는 것은 머리의 양측에 귀가 위치하고, 귀는 각 개인 고유이 이개(Pinna)와 이개개공(Concha)이 있어, 그 첫수와 간섭을 일으키는 파장의 주파수 대역을 음향 신호가 갖을 필요가 있다는 것이 가장 큰 이유이다.

눈을 감고 있어도 음의 방향을 지각할 수 있지만, 이때 두 귀에 입사한 음향신호가 그 실마리가 된다. 청취자의 두 귀에 도달하는 음향신호는, 음원으로 부터 나온 음이 공간의 벽으로 부터 반사된 반사음을 포함하여 공간을 전반하는 동안에, 또 음원과 청취자의 위치관계에 의해 결정되는 머리와 이개부의 영향에 따라 변한다. 이와같이 음이 전반되는 공간과 청취자에 대한 음원방향이 고유적으로 결정되는 음향신호의 변화를 만들어 내는 것을 음향 전달함수라고 한다. 따라서 두 귀에 입사하는 음향신호의 음압 $f_L(t)$ 는, 음원 자체의 음향신호의 음압 $p(t)$, 음이 전반되는 공간의 공간음향 전달함수 $s(t)$, 그리고 음원과 청취자의 위치관계로 결정되는 청취자 고유의 머리 전달함수 $h_R(t)$ 의 3가지 요인으로 (4)식과 같이 결정된다.

$$f_L(t) = p(t) * s(t) * h_R(t) \quad (4)$$

여기서 *는 convolution을 의미한다.

머리를 고정하고 청취자 전방향의 음원 범위를 빠르게 판단하는 데는 음원에 6kHz에서 8kHz 이상의 신호가 포함되어 있어야 한다. 또 청취자 정면에 있는 음원의 거리 판단은 반사음이 없는 경우는 아주 애매하고, 음의 크기에만 의존하며, 음이 클 수록 가깝게 느낀다. 이와같이 음상의 방향이나 거리, 확산감, 음에 둘러싸인 느낌과 같은 공간음향 지각에는 위에서 기술한 3가지 요인이 중요하다. 이 중에서 음향신호는 음색과 같은 정도로 동시에 모든 청각 지각에 작용하고, 공간 음향 전달함수와 머리 음향 전달함수는 공간의 특성을 지각하기도 하고, 음원 위치에 중요한 역할을 한다.

2. 공간음향 재생방식

1) 헤드폰 재생 방식

사람이 음장에 있어서 음을 지각하는 실타라로서 고막에 입사하는 음파에만 착안하면, 더미헤드 녹음.재생계의 물리적인 목표는 더미헤드로 수음하고, 헤드폰으로 청취하였을 때 청취자 고막상에서의 음압을 원음장에서의 청취자 고막상의 음압에 진폭과 위상을 같게 하는 것이다. 이렇게 하기 위해서는 그림 3에서 음원으로 부터 청취자 고막까지의 머리 전달함수 H_M , 음원으로 부터 더미헤드 출력까지의 머리 전달함수를 H_D , 전송계의 전달함수를 H_T , 헤드폰으로 부터 고막까지의 전달함수를 H_p 라 하면, 두 귀에서

$$H_M = H_D \cdot H_T \cdot H_p \quad (5)$$

이 성립되면 된다. 또 직접음만이 아니고 간접음이 있는 경우에도 간접음 전부에 대해서 (5)식의 관계가 성립하면 된다. 헤드폰으로 재생하는 경우에는, 실제로는 정면이나 정중면의 음상재생이 안되는 경우가 많고, 가끔은 머리내에 음상이 정위(In-Head Localization)하는 경우도 있다. 그 원인에 대해서는 아직 해명된 것은 없다

2) 스피커 재생 방식

2개의 스피커로 더미헤드 녹음을 재생하는 경우에는 오른쪽 스피커로 부터 청취자의 오른쪽 귀에, 왼쪽 스피커로 부터 오른쪽 귀에 입사하는 공간 Crosstalk 성분이 존재하므로 음상의 방향정위가 정확히 재생되지 않는다. 스피커로 재생할 경우는 그림 4와 같은 방법으로 Crosstalk를 제거하는 TRADIS(True Reproduction of All Directional by Stereophony)방식이 있다[12]. 즉 스피커와 두 귀사이의 전달함수를 가까운 쪽의 귀에 대해 $S = S(\omega)$, 먼 쪽의 귀에 대해 $A = A(\omega)$ 로 하고 보상회로 중의 함수 $C = C(\omega)$ 를 $C(\omega) = \cdot A(\omega) / S(\omega)$ 로 하면, L, R은 더미헤드로 녹음한 좌우 신호이고, 이 보상회로를 통하여 재생음장내에서 두 귀에 도달하는 신호 Y_L, Y_R 은

$$\begin{aligned} Y_L &= (L+R \cdot C) \cdot (1-C^2)^{-1} \cdot S^{-1} \cdot S + (R+C \cdot L) \cdot (1-C^2)^{-1} \cdot S^{-1} \\ &= L \cdot (1-C^2)^{-1} \cdot [1+C \cdot A \cdot S^{-1}] + R \cdot (1-C^2)^{-1} \cdot [C + A \cdot S^{-1}] \end{aligned} \quad (6)$$

이 되고, 우변 제1항 []안은 1, 우변 제2항 []안은 0이 되므로 $Y_L = L$ 이 되고, 같은 방법으로 $Y_R = R$ 이 되며, 재생음장에서의 머리 외절 효과는 상쇄된다. 회로구성은 스피커와 두 귀사이의 임펄스 레스폰스 $s(t)$ 와 $a(t)$ 를 구하여 푸리에 변환에 의해 $S(\omega)$ 와 $A(\omega)$ 를 구하여, 그 역 필터를 구성하면

된다. 이 방법으로 수평면내 360도 방향에 음상정위가 가능하다. 그러나 이 재생방법은 청취 위치가 한점에 고정되어 있으며, 머리를 조금이라도 움직이면 조건이 만족되지 않은 문제점이 있다.

V. 입장감 통신

하나의 회의 테이블상에 마치 모든 참석자가 있는 것처럼 다른 지점의 각 통과 상대방을 접속하여, 현재 발생하는 장소의 송화자가 누구인지를 쉽게 알 수 있고, 직접 참석해서 하는 회의에 한층 유사한 회의 통신 시스템을 실현하려면 공학적으로 많은 기술이 필요하다.

약 30년전에 Yoshida는 "입체음의 본질"이라는 주제로 입체음질의 요인을 분석하였는데, 방향성 인자와 잔향감 인자(배경 인자)가 입체감에 크게 기여한다는 것을 밝혔다. 더구나 입체감의 재생에는 음을 충실히 전송하고 재생하는 시간적 구조의 전송과 함께, 방향성, 잔향감을 재생하는 공간적 구조의 전송이 필요하다고 지적했다 [13].

표 1에 음성통신에 관한 기술 계층(Layer)이 새롭게 제안되고 있다[14]. 계층 1은 지금까지의 음성통신의 기본적인 기술이고, 계층 2이상은 공간적 구조를 전송하기 위한 상태정보의 처리기술이다. 즉 계층 2에서는 발생자가 어느 방향에 있는가 혹은 어디에 송화자가 있는가 하는 방향성을 위한 기술을 나타내고, 계층 3에서는 하나의 가상 공유 공간을 생성 또는 재생하기 위한 배경음의 처리 기술을 나타내고 있다. 이들 음성정위나 배경음 처리는 이 공간 구조에 있어서 상태정보의 하나의 처리 기술이다. 음성통신 정보는 단순히 계층 1만 필요한 것이 아니고, 앞으로는 계층 2, 계층 3도 점차 실현되어야 한다고 생각되지만, 기술 계층이 높아질수록 통신정보로부터 청취자에게 입체감을 실현시키는 상태 처리 기술이 중요해진다.

현재 음장 제어 방법으로는 음원을 자기가 있는 쪽에 자유롭게 가져가는 방식 1과, 청취자의 음장에서 음원의 음장을 재생하는 방식 2의 두 가지가 제안되어 있다.

방식 1은 청취자측에서의 복수의 발생 음원을 사용하여 송화자의 음성과 그 복수의 발생 원과를 대응시켜, 따로 전송된 송화자 식별 신호에 의해 음상 정위를 제어하는 방식이다 [15]. 이 기술은 앞으로의 다지점간 동시 접속시 가상 공유 공간의 실현에 중요한 역할을 하리라 예상된다.

방식 1을 통신 회의에 적용할 경우의 특징은 다음과 같다.
o 다지점간 통신 및 2점 스테레오 통신에도 용이하게 응용할 수 있다.

o 청취자측에서 음원의 위치를 자유롭게 배치할 수 있다.
o 수신정보는 하나의 신호원(Monaural)으로도 가능하며, 공간 구조적 파라메타(상태 정보 신호)를 별도로 전송하고, 미리 음장 변화의 정보를 얻을 수 있으므로 방향제어가 용이하다[16,17].

o 음원의 위치 추정 기술이 중요하다.

방식 2는 일반적으로 TRANSAURAL로 불리며, Atal이 제안[18]한 것으로 현재 많은 연구결과가 발표되고 있다[19]. 그림 5에 이 방식의 구성도를 나타낸다. 이 방식은 음원의 좌.

우 양 쪽에서 취한 음을 동일한 상태로 청취자의 두 귀에 발생시키는 것으로, 청취자측의 두 개의 스피커로부터 방사되어 두 귀에 도달하는 음파를 원음장의 음파와 일치시키는 처리(역 필터 처리)를 하는 방식이다. 이 방식은 2 채널 스테레오와 같이 음상 경위 처리와 배경 처리가 동시에 수행되므로 계층 2와 계층 3이 통합된 것이라고 생각할 수 있다. 통신에 있어서는 회의 통신, 방송형 통신에 적용할 수 있다.

방식 2를 통신 회선에 적용할 때의 특징은 다음과 같다.

- 좌우 2개의 채널을 전송로에서 사용하므로 종래의 2채널 스테레오의 적용이 가능하다.
- 송화 상대방의 음상을 충실히 재현할 수 있으므로, 보다 자연적인 통신이 가능하다.
- 스피커에서는 긴 지연시간의 적응필터, 역 필터에 대한 convolution 연산처리가 필요하다.

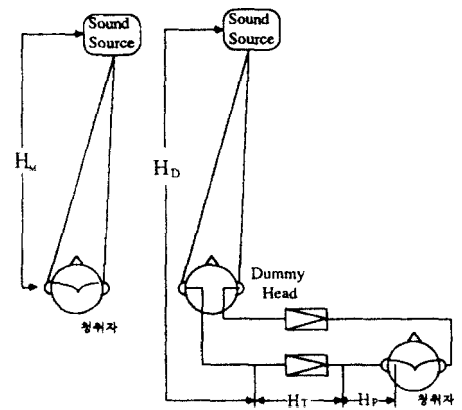
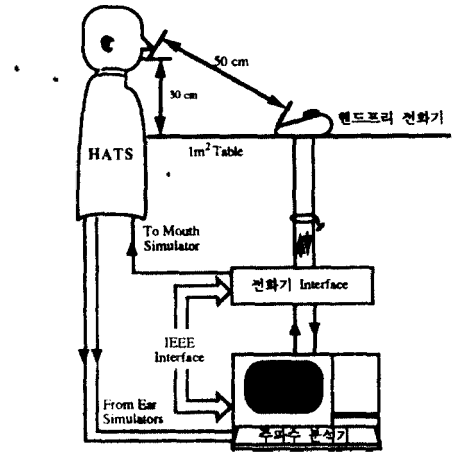
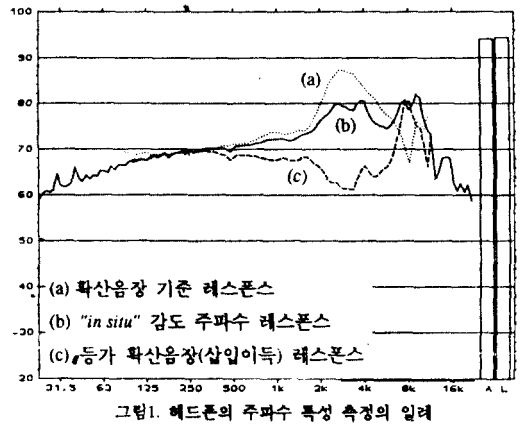
방식 1의 다지점간 접속에서는 망 및 접속장치에서는 여러 회자의 동시 제어 및 처리(계층 2)가, 단말에서는 음상의 배경 처리 기술(계층 3)의 확립이 앞으로의 과제이다.

VII. 결론

객관적 기준 HATS는 단순히 개량된 입과 귀의 시뮬레이션에 의한 조합 셋트가 아니다. HATS는 송화자 및 수화자의 음향 특성을 충실히 재생한 인간의 시뮬레이션이다. 따라서 HATS는 Orthotelephonic이나 Orthostereophonic 등의 특성의 측정을 가능하도록 하였고, 음향 시스템의 사용시 "in situ" 특성 뿐만 아니라, 그 "in situ" 특성이 판단되는 기준이 되는 Orthoreference 특성을 충실히 시뮬레이션 할 수 있다. 해부학적으로도 충실히 복제된 기준 HATS는 음향 인터페이스를 갖는 시스템의 계획에 커다란 공헌을 할 것이다.

전화회선의 음향계의 평가에 있어서도 HATS를 사용하여 객관적 Telephonometric 측정이 가능하다. 이것은 현재의 협대역 전화 뿐만 아니라, 장래의 광대역 전화나 핸드프리 전화의 성능 평가에도 유익하게 활용될 수 있을 것이다. CCITT SG XII에서는 이러한 개선책의 도입 방법에 대해 적극적으로 검토되고 있다.

업무용이나 일반용 음향 시스템의 평가에 HATS를 사용하면, 이러한 시스템과 마이크로폰, 헤드폰, 스피커 등의 객관적 "in situ" 성능 평가에 크게 기여할 것이다. 예컨대, 대부분의 헤드폰에 대해 오늘날 규격화되어, 현실적 측정용 변환기가 없던 상황에 대해서 HATS는 현실적이고 객관적인 측정을 위한 기준이 될 것이다. 이때문에 HATS는 IEC에서 이러한 측정을 위한 규격안을 채택하여 검토하고 있다. 객관 측정용 HATS의 이용 가치를 높이기 위해서는 라우드니스 지각, 요해도, 음상정위(localization), 확산감(Spaciousness) 등을 모델화하는 객관적 Binaural 음향 심리 신호처리 알고리즘의 개발과 그 통일이 얻어지면 가능할 것이다. 이것이 가능하면 음향 시스템의 시간, 주파수, 공간 변조 등의 영역에 있어서 열화나 개선도를 측정하여, 최적화하는 것도 가능할 것이다.



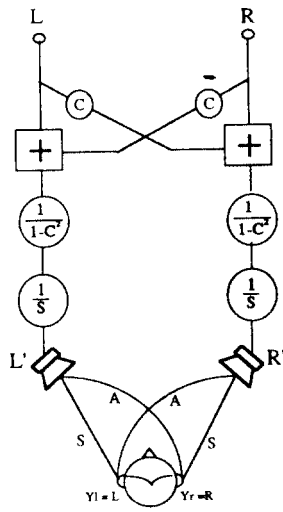
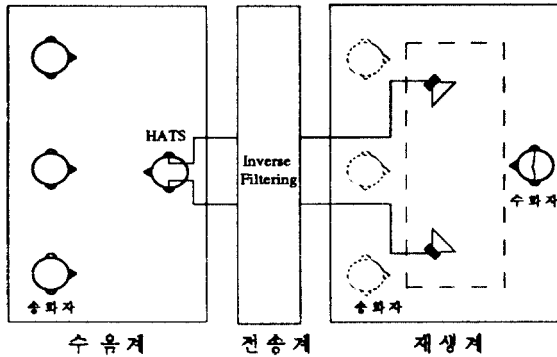


그림4. 스피커에 의한 음장 재생 방식



수음계 전송계 재생계

그림 5. Transaural System의 개요

표 1. 음의 통신 기술 계층(Layer)

기술 Layer	송화계		전송계	수화계	
	요소기술	요소기술		요소기술	요소기술
공간구조의 정보처리	Layer 3 (배경음 처리)	간향제어 처리	·심리음향 ·음향 공유 공간 생성처리	확산감 제어	확산감 처리(배경음)
		·송화계에서의 실내 간향 특성 ·명료성			·수화계에서의 실내 간향감 ·음원 일체화(복수 화자시)
시간구조의 정보처리	Layer 2 (정위처리)	수음처리(방향성)	·음원위치의 부호화 ·음상 정위의 부호화 ·실내공간 음향 특성	음상정위 제어	음상정위처리(방향감)
		·음원위치의 명확함 ·다수 음원의 분리화			·음상생성 위치의 명확함 ·다수 음원 위치의 분리 ·원근감 제어 ·명료도
시간구조의 정보처리	Layer 1 (통신로 처리)	수음처리 (S/W)	·전달 용량 ·전송 대역	음부호 ·전기 음향	음의 박력
		·입력 다이내믹 레인지 ·실내잡음			·전달 지연 ·에코 ·하울링
		·음부호 ·음향정위 제어 ·잡음제거			·통화 응답성

참고문헌

1. R. Botoros, O.A. Abdel - Ajim, P. Damaske and R. Goubram. "Stereophonic Telephony". Proc.12th Int. Cong. Acoust. (Toronto). Vol.II, E9 - 2 (1986).
2. B&K. "Hand - free and Handset Mobile telephoning : Simulated in situ Assessment of Telephonic Signals and Noise using HATS". CCITT WP XII / 2 D.19 (CCITT, Geneva, 1990).
3. C. J. Struck. "Evaluation of Headphone Performance with a Head and Torso Simulator", 13th ICA, Belgrade, Yugoslavia (1989).
5. L. L. Beranek. "Acoustical Measurements". Revised Edition, pp 609-611, American Institute of Physics. New York(1988).
6. CCITT. "Provisional definition of terms". Annex A. Question 12/XII. COM. XII-R-2-E(CCITT, Geneva, 1989).
7. G. Theile. "On the standardization of the frequency response of high-quality studio headphones". J. Audio Eng. Soc. 34, pp 956-969(1986).
8. IEC Pub. 126. "IEC reference coupler for the measurement of hearing aids using earphones coupled to the ear by means of ear inserts", IEC, Geneva(1973).
9. IEC Pub. 118-8. "Hearing aids, Part 8 : Methods of measurement of performance characteristics of hearing aids under simulated *in situ* working conditions", IEC, Geneva(1983).
10. CCITT Rec. P. 34. "Transmission characteristics of hands-free telephones". CCITT, Geneva(1989).
11. Keld Baden-Kristensen. "음향회로-관련 응용". 日本音響學會誌 46巻號 pp 662-671(1990).
12. P. Damaske. "Head-related two channel stereophony with loudspeaker reproduction". J. Acoust. Soc. Am. 52, pp 1109-1115(1971).

13. 吉田登雄, 岩崎俊一, 永井健三, "立音の本質は何かの基礎品質の因子分析", 音響学会誌 16, pp 249-257(1960).
14. 五輪一彦, "ISDNの現状と将来", NTT R&D 30, pp 365-370(1989).
15. 島田政治, 鈴木純司, "多基地音響会議通信システムの基地識別音源生成方式", 通電学会誌 J70-B, pp 1017-1023(1987).
16. 安倍正人, 野戸廣之, 城戸健一, "多数マイクロホンによる音源位置推定の一方法", 電気技報 EA 82, 29(1982).
17. 永田仁央, 安倍正人, 城戸健一, "多数センサによる音源位置の推定", 音響学会誌 46, pp 531-540(1990).
18. B. S. Atai & M. R. Schroeder, "Apparent sound source translator", U. S. Patent 3, 236, 949(1966, 2, 22).
19. 板田晴夫, P. A. Nelson, S. J. Elliott, "マルチチャネル音源再生アルゴリズムとその音場再生システムへの適用", 音響論集 2-7-10, pp 431-432(1990, 3).