실내음향에 있어서 심리평가 연구에 관한 동향

Trend of Subjective Assessment in Room Acoustics

강 성 훈*
(Seong-Hoon Kang)

I. 서 론

콘서트 홀에서 오케스트라가 연주하는 음악을 들으면 실로 여러가지 인상을 갖게 된다. 청각적 인상으로는 각 파트의 음상 정위, 홀의 독특한 분위기, 피아노시오에서 포르테시모까지 들을 수 있는 넓은 다이나믹 레인지, 또 음의 울림, 풍부함, 음량감, 확산감이 있고, 이것들은 음악 홀을 평가하는데 중요한 요인이 된다. 이 요인들은 각각 독립이 아니고, 한 쪽이 좋아지면 다른 쪽이 나빠지는 경우도 있기 때문에 음장을 평가할 때에는 주의해야 한다.

실내음향의 연구는 실내음향 효과에 대한 평가, 즉 주관량과 실내의 형태나 내장벽 등의 건축조건 및 잔향시간이나 실내 음압레벨 등의 물리조건과의 상호관계를 명확히 하는 것을 목표로 하고 있다. 이와 같은 연구의 흐름을 보면, 먼저 들 수 있는 것은 실내음향설계법에 관련된 청감상의 평가에 대응하는 실내음향 설계기준에 관한 연구일 것이다. 그 대표적인 것으로 잔향시간이 있고, 실내음향 상태를 규정하는 하나의 물리량으로서 확립되어 있다. 또 직접음과 반사음이 분리되어 들리는 에코 현상이나 반사음의 구조와 음향효과의 관계 등 주로 감각이나 지각레벨의 주관량에 대해서는 명확하다.

그러나, 청각정보의 인식, 정서레벨에 해당하는 심리적 요인, 즉 임장감, 확산감, 원근감, 음의 아름다움(쾌적함), 박력(풍부함) 등은 실내음향 뿐만 아니라 청각전반에 관한 과제로써 남아있다. 이 때문에 실내음향 연구분야에서는 음장을 규정하는 물리량의 해석과 병행하여, 특히 확산감과 같은 단독평가나 실내음향 효과에 관한 종합평가의 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

홀의 음장평가에 필요한 물리량으로써 어떤 것이 있고, 이것들을 이용하여 어느정도 음장을 표현할 수 있는가 하는 문제는 아직 해결되어 있지 않다. 본고에서는 최근 수년간 발표된 실내음향 효과와 건축조건 또는 실내음향 특성과의 관계를 구하는 연구를 대상으로 한 논문 가운데서 콘서트 홀의 심리평가에 관한 연구를 중심으로 소개한다.

II. 실내음향에 있어서 심리평가법

홀의 실내음향 효과에 관한 심리량과 각종 물리량이나 건축조건과의 대응을 구하는 심리 평가법은 대개 다음과 같이 3가지 방법으로 분류할 수 있다.

(1) 실제의 홀을 사용하여 직접 실내의 음향효과에 관한 심리평가 실험을 하고, 동시에 측정 조사한 실내음향 특성이나 건축조건과 상관을 구하는 방법.

(2) 실제의 홀을 사용하지만, (1)과 달리 피험자의 위치에서 음을 녹음하여 실험실적으로 재생한 음장을 평가하여 심리량과 물리량과의 상관을 검토하는 방

*한국전자통신연구소 / 신호처리연구실

법.

(3) 다채널 재생장치 등을 사용하여 무향실내에서 홀 음장을 시뮬레이션하여, 실내 반사음의 시간 및 공간구조를 실험적으로 변화시켜 간접적으로 홀의 음향효과에 관한 심리량과 물리량과의 대응을 구하는 방법.

이러한 방법들은 각각 장점과 단점이 있으며, 그 특징은 다음과 같다.

(1)의 방법은 완전한 음장을 사용하기 때문에 비교판단이 어렵고, 거의 표현용어를 사용한 절대판단이 요구된다. 표현용어를 사용하는 문제점은 언어의 다의성과 피험자에 따른 어감의 차이 등 때문에 판단기준이 변동하는 점이다. 또 절대판단의 문제점은 판단기준인 기준자극이 인간의 기억이기 때문에 개인간의 차이나 시간적 변동 등이 있고, 판정결과의 분산이 크다. 이 방법을 사용한 연구로 Hawks의 연구가 있다.[1]

(2)의 방법은 음향기기 및 녹음.재생기술의 발달에 의해 시험음원의 편집이 가능하므로 비교판단이 가능하다. 이 때문에 피험자의 판단과 실험에 대해 시간의 자유도가 있고, 미소한 것까지 판단할 수 있다. 그러나 실내에 있어서 개개의 반사음은 직접음에 대한 레벨, 지연시간, 입사각도, 주파수 성분이 다르기 때문에 어떻게 각각의 반사음을 충실하게 재현하는가가 문제이다. 이 방법을 사용한 연구로는 Yamaguchi[2], Edwards[3], Gottlob[4][5]등의 연구가 있다. 이 연구들에 있어서 녹음.재생조건을 표1에 나타낸다.

표 1 녹음·재생 조건

녹 음	재 생	연 구 자
무지향성 마이크를 50cm 간격으로 설치하여 스테레오 녹음	헤드폰 재생	Yamaguchi
더미헤드로 스테레오 녹음	오픈타이프 정전형 헤드폰	Edwards
더미헤드로 스테레오 녹음	스피커 재생	Gottlob

(3)의 방법은 실내의 반사음 조건 등에 해당하는 실험조건을 쉽게 가변할 수 있지만, 완전히 홀 음장을 시뮬레이션할 수 없다. 이러한 제한 때문에 비교적 시뮬레이션하기 쉬운 초기 반사음에 대한 실내음향효과의 연구 등에 이용되고 있다. 이 방법에 속하는 연구는 Ando[6], Barron[7]등의 연구가 있다.

여기서의 (2)의 실험법은 특징이 있기 때문에 간단히 소개한다. 이 방법은 Schroeder와 Atal[5][8]에 의해 제안되었고, 실제음장에 있는 사람의 두귀의 고막에서 관측되는 음파신호를 재현하는 것을 목표로 하는 방법이다. 즉 더미헤드(Dummy Head) 두 귀의 고막 부근에 위치한 마이크로폰을 통해 2채널로 녹음하여, 그 재생음을 헤드폰으로 청취하는 방식이지만, 두외정위(Out-of-Head Localization)와 공간적인 인상을 충분히 재생할 수 없다. 이 때문에 Gottlob의 연구에서는 2채널로 녹음한 음을 그림1과 같은 보상회로(Compensation Filter)를 통해 스피커로 재생하여, 오른쪽(왼쪽)귀의 신호는 오른쪽(왼쪽)귀에만 도달하도록 구성한 방법이다 (Crosstalk Calcel).

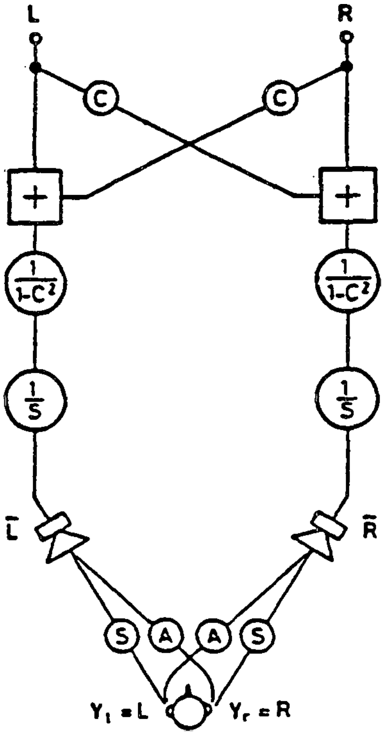


그림 1. 자유음장 재생에 있어서 음장 보정회로.

즉, 그림1과 같이 스피커와 두 귀 사이의 전달함수를 가까운쪽의 귀에 대하여 $S=S(\omega)$, 먼쪽의 귀에 대해서는 $A=A(\omega)$로 하고, 보상회로 중의 함수 $C=C(\omega)$를 $C(\omega)=-A(\omega)/S(\omega)$로 하면, 그림 1의 L, R은 더미헤드로 녹음한 좌.우의 신호이고, 이 보상회로를 통하여 재생음장내에서 두귀에 도달하는 신호 Y_l, Y_r은

$$Y_l=(L+R\cdot C)\cdot(1-C^2)^{-1}\cdot S^{-1}\cdot S+(R+C\cdot L)\cdot(1-C^2)^{-1}\cdot S^{-1}$$
$$=L\cdot(1-C^2)^{-1}\cdot[1+C\cdot A\cdot S^{-1}]+R\cdot(1-C^2)^{-1}[C+A\cdot S^{-1}]$$

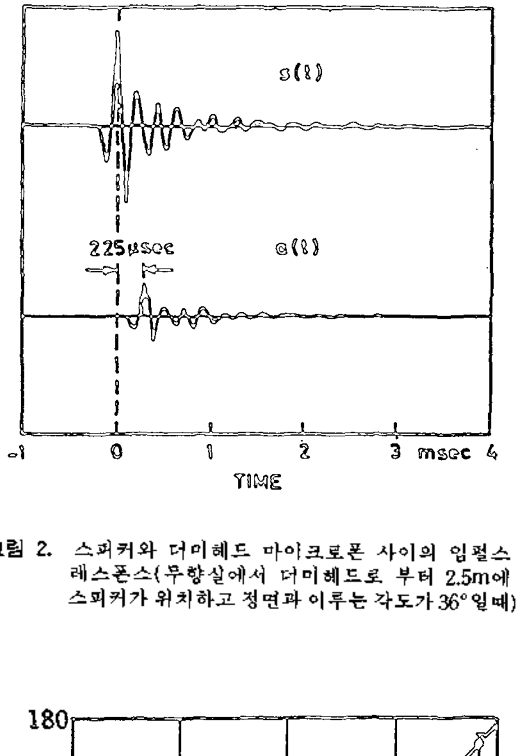


그림 2. 스피커와 더미헤드 마이크로폰 사이의 임펄스 레스폰스(무향실에서 더미헤드로 부터 2.5m에 스피커가 위치하고 정면과 이루는 각도가 36° 일때)

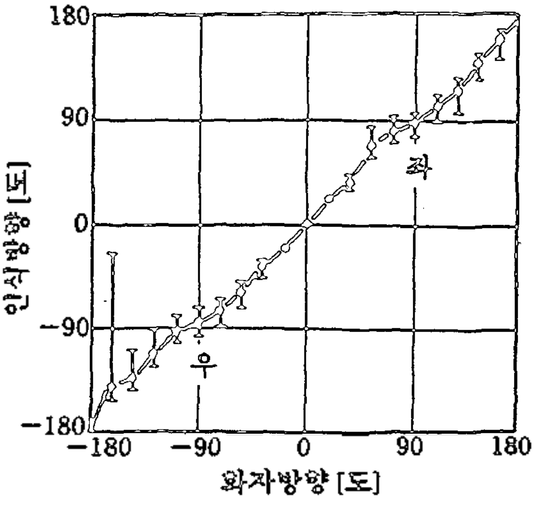


그림 3. 더미헤드를 이용한 음상정위의 실험결과

이 되고, 우변 제1항[ ]안은 1, 우변 제2항[ ]안은 0이 되므로 $Y_l=L$이 되고, 같은 식으로 $Y_r=R$이 되며, 재생음장에서의 머리회절 효과가 상쇄된다. 회로구성은 스피커와 두 귀사이의 임펄스 레스폰스 $s(t)$와 $a(t)$ (그림2)를 구하여 푸리에 변환에 의해 전달함수 $S(\omega)$와 $A(\omega)$를 얻어, 그 역필터 특성을 구성하면 된다. 그림3은 음상의 방향정위(Localization)에 대한 실험결과이며, 수평면내 360도 방향에 음상정위가 가능한 것을 알 수 있다. 그러나 이 재생방법은 청취위치가 아주 좁으며, 머리를 조금만 움직이어도 조건이 만족되지 않는 문제점이 있다.

Ⅲ. 연구 내용

3.1 Hawks에 의한 콘서트 홀의 음향에 관한 주관평가 연구[1]

이 연구는 콘서트 홀의 음향에 관한 주관평가로써, Beranek[9]가 뉴욕 필하모니 홀의 음향설계에 대하여 연구한 결과에서 추출한 16개의 양극척도를 가진 용어를 이용해서 실제의 연주에 의한 실내음향 효과를 평가하고, 그 결과를 다차원으로 척도 구성하여 인자분석을 하였다. 그 연구대상은 다음과 같다.

먼저 로얄 페스티발 홀(R.F.H)의 저음역의 잔향부가장치를 홀마다 가변하여, 실내음향 상태를 변화시킨 경우 주관평가 척도를 구하고, 그 결과를 다차원으로 척도화하는 동시에 인자분석했다. 다차원척도구성의 결과에 의하면 음향효과는 6차원으로 평가되지만, 인자분석의 결과는 이것과 다르고, Resonance, Definition, Proximity, Balance and Blend, Brilliance의 5인자로 나누어져 있다. 이 결과는 홀의 음향상태가 하나의 주관량이나 몇개의 물리량의 조합으로부터 도출된 한개의 주관척도로 규정할 수 없다는 것을 나타내고 있다. 또 4개의 Hall에 대해서 피험자 4명이 4회의 음악회에서 앞좌석부터 뒷좌석가지 4자리에서 평가하고, 분석은 우선 4개 Hall마다 하고, 그 결과로부터 공통인자를 뽑아서 최종적인 결과를 구하였다.

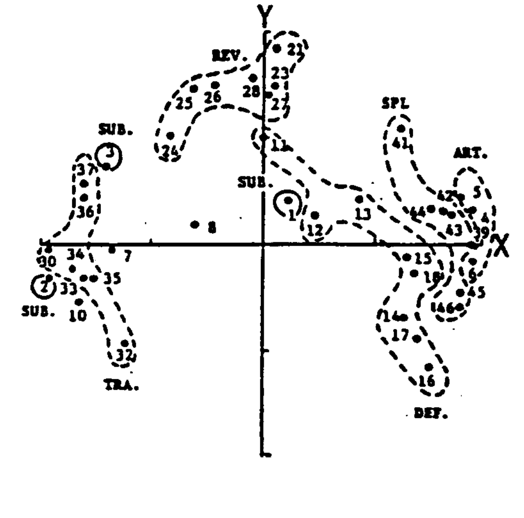
같은 홀에서와 같이 4개 Hall의 객석의 차이에 의한 각 인자를 평균한 결과에서Reverberance는 잔향시간과, Evenness는 오케스트라부터의 거리, Intimacy는 오케스트라에의 근접의 정도와 직접음과 최초 반사음과의 시간간격(Initial Delay Time)이나 실내의 높이가 높고 폭이 좁은 Hall 단면과, Brilliance는 고음역의 잔향시간과 관계 된다고 생각 할 수 있다.

3.2 Yamaguchi에 의한 주관량과 물리량의 상관분석에 관한 연구[2]

이 연구는 Yamacha 음악 Hall을 대상으로 하여, Hall내에서 장소 차이에 의한 음향 효과의 차이를 분석한 것이다.

무향실에서 녹음한(Reverberation-free Music)경음악과 음성을 원음원으로 사용하고, Hall내의 11점에서 마이크 간격 50cm의 2채널로 녹음한 음을 시험음으로 하여, 피험자에게 시험음을 헤드폰으로 들려주어 일대일 비교(Paired Comparison)시켜, 자극음간의 심리적 차이(Total Preference)를 구하였다. 이 결과를 다차원척도구성법(Multidimensional Scaling Method)을 이용하여 분석해서 3차원으로 척도화하고, 그 위에 척도화한 주관 평가량과 44개의 물리량과의 상관관계를 주축법(Principal Axis Method)에 의한 다변량 상관분석을 이용해서 해석하였다. 음원이 경음악인 경우의 상관분석 결과를 그림4에 나타낸다.

이것에 의하면 주관량 1축은 주관량 3축과 독립이



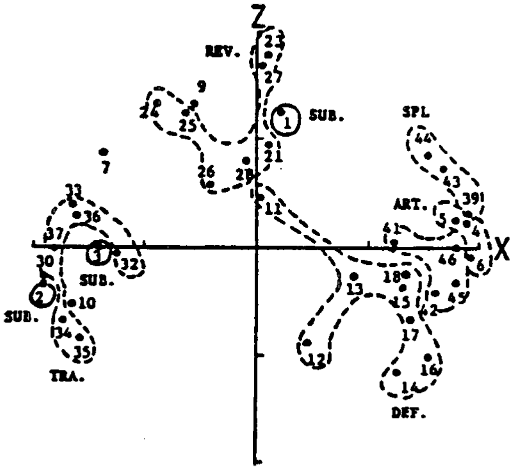


그림 4. 경음악을 음원으로 한 경우 주축법에 의한 분석결과(SUB1, 2,3은 주관축 ; REV, SPL, DEF, TRA, ART는 각각 잔향시간, 음압분포, D값, 전송특성, 음질명료도를 나타낸다)

고, 잔향특성 및 직접음성분 대 분산음 에너지 비(Definition) 와 높은 상관을 가지고 있다. 단, D값과 잔향특성은 마이너스의 상관관계가 있다. 주관량 2축은 상관 분석후의 X축과 관계되고, 이 축과 물리량 사이에서 인자 부하량이 큰 것은 음압분포, 명료도, 전송특성이다. 또한 3축에 대해서는 확실한 의미를 붙일 수 없다.

Yamaguchi의 연구는 음원의 녹음.재생에서 문제점이 지적 되었으나, 홀의 물리량과 주관량과의 상관관계를 구하는 최초의 시도이었다는 점과 그 방법론은 높이 평가되고 있다.

3.3 Gottlob에 의한 유럽 콘서트 홀에 대한 Preference 와 물리량과의 상관에 관한 연구[4][5]

이 연구는 유럽의 22개의 Hall을 대상으로 하여 각각의 Hall에서 스테레오 재생음을 더미헤드로 녹음한 음을 Preference 실험하여, 그 결과와 물리량과의 상관을 구하였다.

음원으로는 모짜르트의 교향곡 Jupiter 제4악장을 이용하여 홀의 중앙위치에서 음원을 녹음하고 그 음원을 Ⅱ절의 (2)에서 기술한 방법으로 무향실내에서 재생하였다. 피험자는 2개의 음을 비교하고 어떤쪽이 좋은가 판단하여, 좋은 Hall에 1점, 다른 Hall에 -1점을

주고, 차이가 없는 경우는 모두 0점을 준다(Preference Test)[10]. 이와같은 방법으로 피험자 13명에 대해 평가를 구하고, 각 홀에 대해서 전 피험자에 의한 Preference를 구해 다차원 인자분석에 의하여 평가가 4차원임을 추출하였다. 얻어진 결과를 그림5와 6에 나타낸다. 알파벳은 22개의 Hall을, 숫자는 12명의 피험자를 의미한다. 각축의 전 분산은 1축에서부터 4축의 순서로 각각 45, 16, 12, 7%이다. 1축은 각 피험자에 공통한 Preference를 나타내고, 2, 3, 4축은 개인에 따른 preference를 나타낸다.

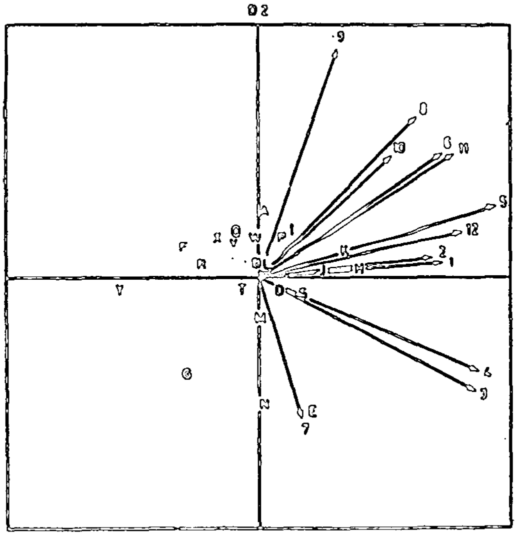


그림 5. Preference 공간: Preference 판단의 인자분석 결과

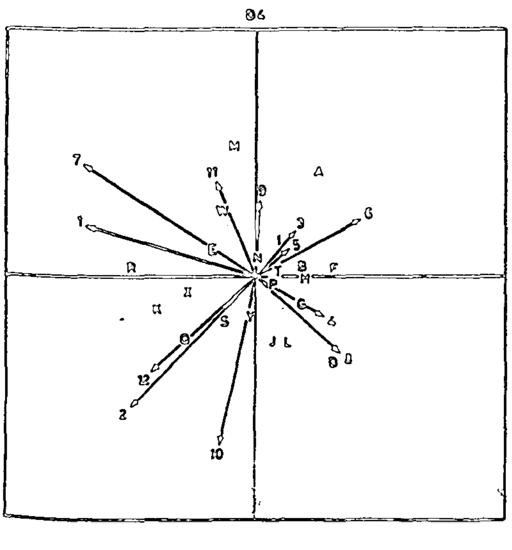


그림 6. Preference 공간에서 3축과 4축과의 상관

주관평가 결과와 대응하는 물리량으로서는 종래부터 제안되어 있는 파라메터를 채용 하였다. 이 물리량들은 인자분석과 결과에 의하면 잔향시간 T, Jordan, Schroeder, Kurer등에 의하여 각각 제안된 T_E, T_I, T_A(초기 감쇠에서 구한 잔향시간에 해당하는 양)는 상관이 높고 같은 그룹에 속한다.

주관평가 결과에 의한 Hall의 Preference는 그림5에 나타난 바와 같이 1축으로 대표되기 때문에 음향물리량과의 상관분석은 1축을 중심으로 하고 있다. 또 대상으로한 Hall의 만석시의 잔향시간은 2.3초 이하이므로 상관분석도 Hall을 잔향시간으로 분류하여 그 효과를 검토하였다. 그 상관분석의 결과의 일례를 그림7과 8에 나타낸다.

잔향시간이 2.2초 이하의 Hall에서는 잔향시간 T는 D1축, 즉 Preference 평가와 일치하고, 역으로 D(직접음 성분과 분산음 에너지와의 비)는 Preference와 마이너스의 상관관계가 있다. 또 이중에서 D1축의 전분산이 88%가 되는 11의 Hall을 추출하면, T, D1에 대해서는 같은 결과이지만, B(홀의 폭)가 D1과 거의 일치하고, Preference와 마이너스의 상관 관계가 있다. 마찬가지로 C(Coherence; 두 귀에 있어서 임펄스 레스폰스간의 상호상관함수의 최대값[8][14])와 D1 와의 상관계수는 -0.5에서 -0.7로 상관이 높다.

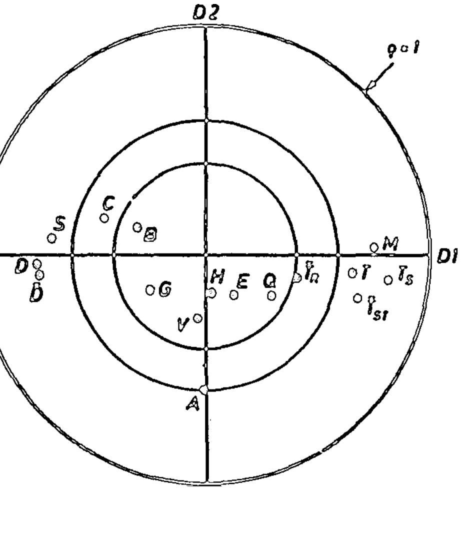


그림 7. 잔향시간이 2.2초 이하인 18개 홀의 물리량과 심리량 D_1, D_2와의 상관분석 결과

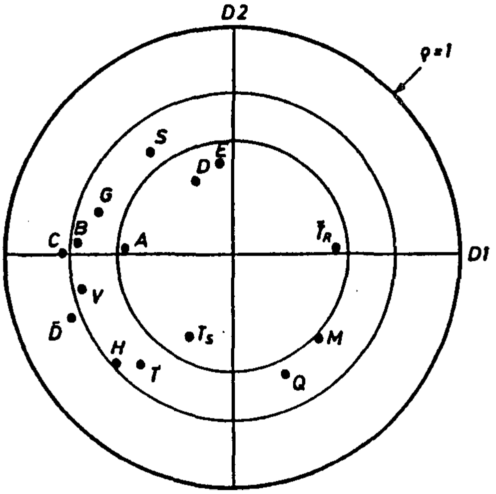


그림 8. 잔향시간이 2.0초 이상인 12개 홀의 물리량과 심리량 D_1, D_2와의 상관분석 결과

한편, 잔향시간이 2.0초 이상의 Hall에서는 T는 D1과 마이너스의 상관을 나타내고, D2와도 관계가 있다. 특히 주목할 만한 물리량은 Coherence이고, D1과 완전히 마이너스의 상관관계를 나타내고 있다는 것이다. 이 C는 잔향시간과 전혀 상관이 없으므로, C는 Hall음장을 나타내는 독립된 파라메타의 하나로써 고려할 수 있을 것이다.

3.4 Barron에 의한 초기 반사음이 음향효과에 미치는 영향의 연구[7]

이 연구는 콘서트 홀에서 초기 반사음의 중요성에 대해 검토하기 위해서 무향실에서 반사음을 시뮬레이션한 음장으로 청감시험을 하여, 측방향으로 부터의 초기 반사음이 음장의 확산감(Spatial Impression; SI)에 기여한다는 것을 명확히 하였다. 단일 반사음의 검지한에 대해서는 음원으로 음악을 사용한 경우, 측방향 검지한은 거의 같다. 측방향 반사음의 검지한을 Schubert의 결과와 비교하여 그림9에 나타낸다.

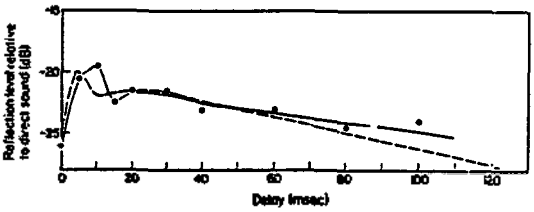


그림 9. 단일 측방향 반사음의 검지한
—: Barron의 결과
⋯; Schubert의 결과

다음에 레벨과 지연시간이 다른 단일 측방향 반사음 (α=40°)의 음향효과에 대해서 검토한 결과를 그림10에 나타낸다. 이 그림에서 실선은 검지한의 선에서도

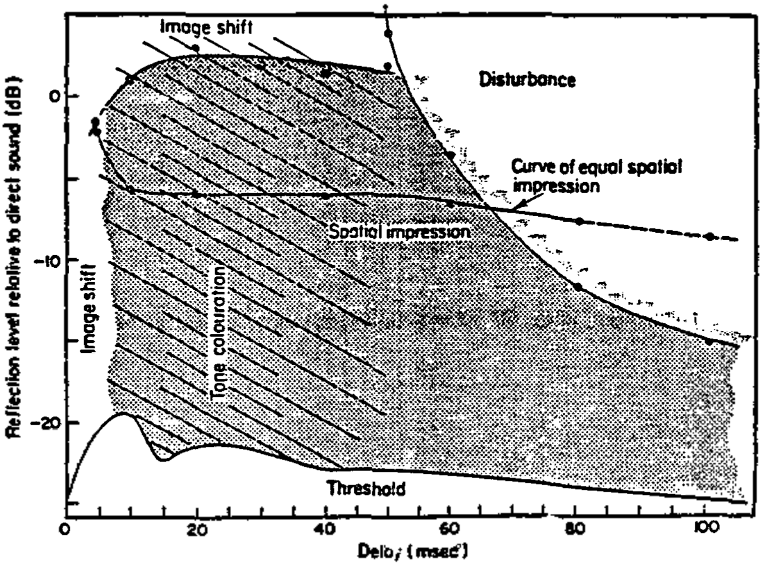


그림 10. 측방향 반사음(α=40°)의 레벨과 지연시간에 따른 반사음의 주관효과

알 수 있듯이 각각 주관적으로 같은 영역을 나타내고 있다. 또 사선은 Coloration의 영역을 나타내고, 사선의 조밀은 Coloration의 정도를 나타내고 있다. Coloration은 약 20ms의 지연시간에서 특히 현저하고, 그 경우의 반사음의 상대레벨의 대소는 Coloration의 정도에 별로 관계없다.

확산감에 대해서는 반사음와 지연시간이 10ms 이상에서 음원이 확대되고,,음악이 풍부해지며 음량감이 증가된다. 확산감을 주는 영역은 그림10의 음영으로 나타낸 부분이다. 또 천정으로 부터의 반사음은 확산감에 영향을 주지 않고, Coloration은 측방 반사음보다도 현저하게 일어난다.

또 측방향 반사음의시간지연, 방위각, 레벨을 변화하여 확산감 SI의 변화 정도를 검토하였다. 지연시간의 효과에 대해서는 α=40°에서 지연시간이 40ms인 측방 반사음과 비교하여 검토하고 있다. 그림10에 직접음에 대해 반사음레벨이 -6dB인 기준음에 대한 방향의 각 반사음의 등 SI 곡선을 나타낸다. 또 그림 11은 직접음에 대한 반사음 레벨이 -6dB이고, 지연시간이 Xms인 반사음 SI와 같은 SI를 주는 같은 방위각 α=40°의 40ms 지연의 기준음의 상대레벨을 구한 결과를 나타내고 있다. 이것에 의하면 지연시간이 10~80ms 사이에서는 지연시간에 관계없이 SI가 거의 같다. 방위각에 대해서는 확실한 결과가 나오지 않았지만 일반적으로 α=40° 부근에서 SI가 최대가 된다.

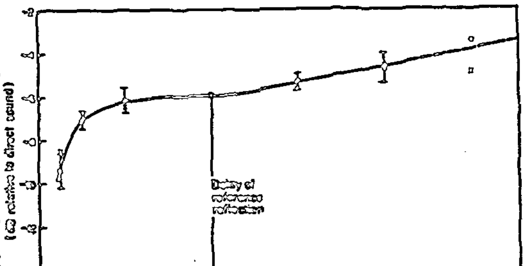


그림 11. 지연시간이 Xms이고, 상대레벨이 -6dB인 반사음의 SI와 등가의 SI가 되는 지연시간이 40ms 일때의 반사음 레벨.

3.5 컴퓨터 Simulation에 의한 음장평가[12]

컴퓨터로 음장을 시뮬레이션하여 절대적으로 음장을 평가하는데는 계산의 정밀도나 계산속도의 점에서 아직 시기적으로 빠른 감이 있다. 실내의 형태나 내장재료의 구속 조건이 있기 때문에, 물리량은 실내에서 완전히 임의로 설정하기 어렵다. Kuttruff는 상대적인 형태의 차이가 물리량에 어떻게 반영되는가에 대해 음장을 시뮬레이션하여 검토하였다. 물리량의 공간분포를 구할 필요가 있기 때문에 계산량이 많아지는 것은 부득이 하지만, 형태를 간략화하여 이것을 극복하였다. Kuttruff가 채택한 물리량은 측방향에서 입사한 초기 반사음과 전후 방향에서 입사하는 초기 반사음의 에너지비(Seitenschallgrad; 측방 반사음의 비율)이다. 측방 반사음의 비율은 다음식으로 정의된다.

$$S = \frac{\int_0^{80ms} E(t)\cos^2\phi\, dt}{\int_0^{80ms} E(t)\cos^2\phi'\, dt} \qquad (1)$$

(1)식에서 E(t)는 시각 t에 있어서 입사음의 파워를 나타내고, ϕ, ϕ'는 각각 좌우 두 귀를 연결한 선과 입사방향이 이루는 각, 음원과 수음점을 연결한 선과 입사방향이 이루는 각을 나타낸다. 이 물리량은 Barron 이 먼저 제안한 Lateral Efficiency를 수정한 것이다. 쌍지향성 마이크로폰을 사용한 측정에 의해 S 정의식의 분모와 분자를 함께 구할 수 있기 때문에, 이 측방향 반사음의 비율이 확산감과 대응하는 물리량으로써 선택되어진 것으로 생각할 수 있다. 그러나, 이 정의식은 측방향 반사음과 전체의 반사음과 청감과의 대응도 충분하지 않기 때문에 음장 시뮬레이션 결과에 의해 공간을 S값이 0~6%(~-12dB), 0~12%(-12~-9dB), 12-25%(-9~-6dB), 25~50%(-6~-3dB), 50%~(-3dB~)의 5단계로 분류한 근거가 분명하지 않다. 이 점에 관해서는 금후 측방향의 초기 반사음 에너지의 대소와 청감과의 대응에 대한 연구가 추진되면 해결될 것이다.

Kuttruff는 시뮬레이션 모델로서 2차원, 3차원으로 실험을 생각하여, 벽면과 천정의 흡음율을 모두 0.05로 일정하게 하고, 바닥은 완전 흡음으로 가정하였

다. 2차원의 형태로서

(1) 장방형의 가로.세로비를 3:2로 일정하게 하고, 면적을 150m²에서 2400m²까지 변화시킨 경우와 (2) 면적을 600m²로 일정하게 하고, 부채꼴의 열림각을 다양하게 바꾼 경우에 대한 결과를 각각 그림 12 (a), (b), 그림 13에 나타낸다. 그림12(a)에서 면적이 증가되면, 측방향 반사음의 비율이 작은 영역이 증가해 가는 모습을 알 수 있다. 이 공간분포를 집약하는 방법으로써 측방향 반사음 비율의음장 전체의 평균치

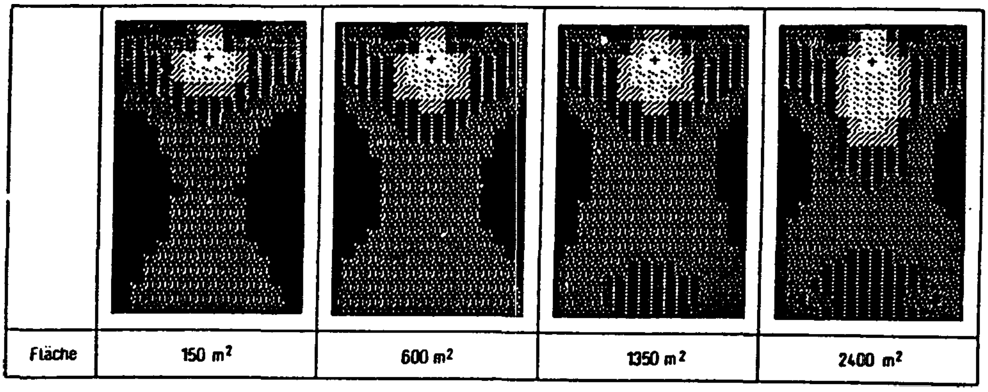


그림 12(a) 바닥면적을 변화시켰을 때 (가로, 세로비 3:2) Seitenschallgrad의 공간분포(+는 음원의 위치,) 색이 진할수록 S가 크다는 것을 의미한다.)

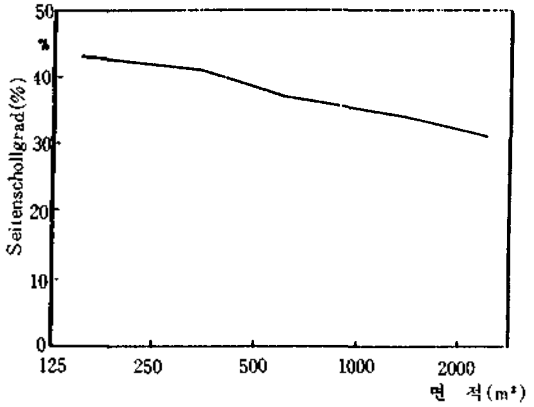


그림 12(b). 바닥면적에 대한 Seitenschallgrad의 평균치 추이

(그림12(b)참고), 20%미만, 50%이상의 면적의 전체를 차지하는 비율을 3종류 채용하였다. 그림12(b)에 나타난 평균치의 추이는 그림12(a)의 패턴차이를 반영하고 있다. 또 현실적은 아니지만, 음원으로부터 후방으로 멀어짐에 따라 부채꼴의 폭을 좁게 하는 형상이 측방 반사음의 비율을 늘린다는 견지에서 바람직하다는 것을 그림 13에서 알 수 있다.

이와같이 기본적인 실내 형상과 물리량과의 대응을 구하는 연구에서 얻어지는 지견은 실내 음향 설계에 적극적으로 활용할 만하다.

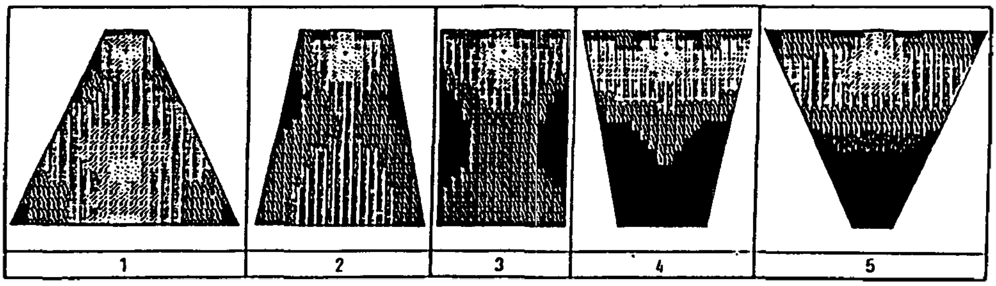


그림 13. 부채꼴의 열림각을 변화시켰을 때(바닥면적 600m)의 Seitenschallgrad의 공간분포

3.6 Jordan에 의한 음장 평가법[13]

실질적으로 음장을 평가하기 위해서는

(1) 측정하는 물리량의 종류와 측정의 용이함,

(2) 그 중요도에 의한 물리량의 순위 결정,

(3) 실제로 측정한 데이터를 평가함에 필요한 허용 한계치의 설정,

등이 필요하다. Jordan은 물리량으로써 4개 파라메터 -잔향시간, Lateral Efficiency, Clarity, 초기 잔향시간(Early Decay Time)의 주파수 특성-를 채택하였다. 음장의 양부를 좌우하는 가장 중요한 물리량은 잔향시간이고, 그 외의 물리량은 잔향시간을 보충하는 역할을 가지고 있다는 것이 Jordan의 기본 사고방식이다. Jordan이 이용하고 있는 물리량의 정의는

$$LE = \frac{(25\sim80ms)\ 측방향\ 에너지}{(0\sim80ms)\ 전방향\ 에너지}$$

$$C = 10\log\frac{(0\sim80ms)\ 에너지}{(80\sim\infty)\ 에너지}$$

$$EDT(f) = \frac{1}{3}\,(EDT_{2kHz\ Oct} - EDT_{250\ Hz\ Oct})$$

이다. 다른 연구에서는 별로 채택하지 않은 물리량인 EDT(f)가 우리들이 자주 경험하는 울림의 음질-울림의 주파수 특성-을 정량화한 양이다.

물리량의 허용 한계치로서,

잔향시간 : 1.4-2.8초
LE : 0.2-0.3 이상
C : ±2dB 이내

을 제안하고 있다. 이들 값은 일단의 목표치이고, 동일한 음장내이라도 측정점에 의해서는 LE와 C의 값이 이 범위를 넘는 경우도 있다. 그러나, 이런 경우라도 물리량끼리가 대응의 관계가 되지 않기 때문에, 예를 들면 잔향시간이 적당하면 청감상은 문제가 되지 않는 경우가 많다. 일반적으로 음향효과가 좋다고 하는 Hall은 잔향시간과 LE가 큰 값을 갖는 경향이 있다고 보고하고 있다(많은 Hall에서 잔향시간과 LE를 측정하여 이것들을 2차원 공간에 배치하여 분류해 보면 Hall의 평가와 대응하는 결과가 나올지도 모른다).

3.7 Preference에 의한 음장평가[6]

Preference를 수량화하는 것은 어려운 일인데, Ando는 Preference에 초점을 두어, 애매한 심리인자에 대해 음장을 나타내는 물리량이 어떻게 영향을 미치는가를 명확히 하였다.

Ando가 이용한 심리평가 방법은 한 쌍으로 제시한 음 가운데 마음에 드는 쪽에 표를 하는 간단한 방법이다(Preference Test). 좋다는 인자가 개인간 또는 동일의 개인내에서 똑같은 경향을 나타내면, 그것을 추출할 수 있는 것은 충분히 기대할 수 있다.

물리량은 시간적 파라메터(Temporal Parameters)로써 잔향시간, 음압레벨, 초기 반사음의 지연시간(Initial Delay Time)과 공간적 파라메터로써 두 귀 사이의 상관도(Interaural Crosscorrelation : IACC)의 4개를 채용했다. 시간 파라메터인 3개의 물리량은 어딘가에 최적인 값이 존재하고, 그 최적치보다 크거나 작더라도 Preference에 예민하다는 것을 예상할 수 있다. 여기에서 Preference에 대한 각각의 물리량의 기여를 나타내는 실험식(함수형)을 구하기 위해, 물리량 전체의 Preference S가

$$S = \sum_{i=1}^{4} g(x_i)$$

라는 식으로 나타낼 수 있다는 것을 가정하였다. 위 식에서, x_i는 최적치로 정규화된 물리량, g는 함수형을 의미한다. 한 종류의 물리량만을 변화시킨 조건하에서 심리실험을 한 결과, Ando는 다음과같은 결론을 얻었다.

(1) 시간 파라메터의 물리량은 대수로 나타내고, 한편 공간 파라메터인 IACC는 선형으로 나타내면, 함수 g는 3/2승의 형태가 된다.

(2) 복수의 물리량에 대해 가산법칙이 성립한다.

(3) 물리량의 최적치는 음원신호 자체의 자기상관함수(단이효과의 경우)와 파워 스펙트럼(양이효과의 경우)으로부터 유도 할 수 있다.

Ando는 연구결과의 응용예로서 Boston Symphony Hall에 대해서 4개의 물리량을 30개의 반사음을 콤퓨터로 시뮬레이션하여 Total Preference에 대한 등가 Preference Contour를 계산하였다. 그림 14에 그 일례를 나타낸다. Ando의 연구는 연주되는 음악 또는

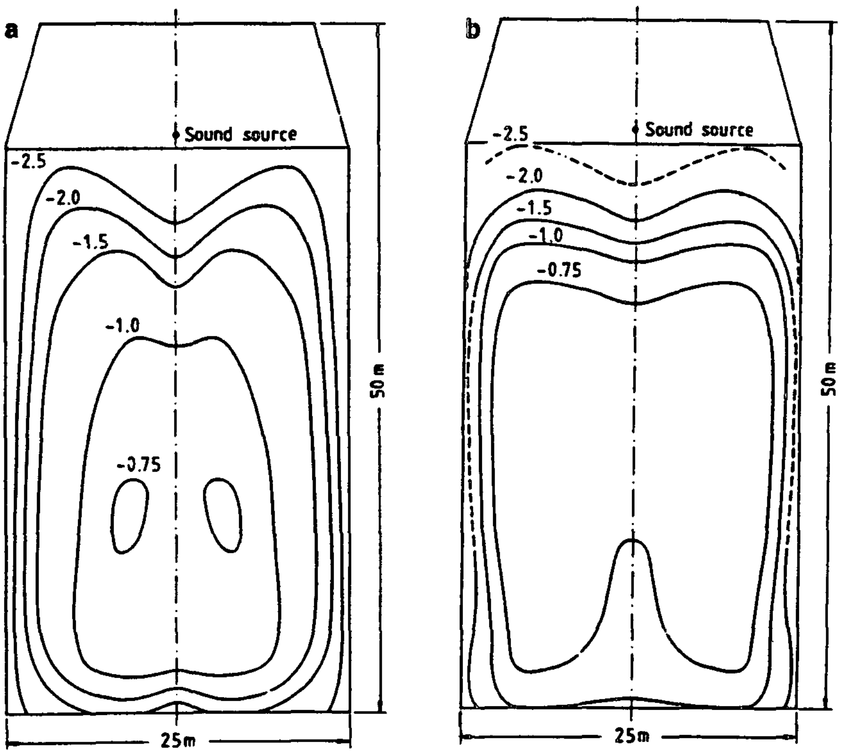


그림 14. 4개의 물리량에 대한 Total Preference의 Contour Lines:
(a) 음원: Roual Pavane by Gibbons
(b) 음원: Sinfonietta by Arnold

음장이 주어지면, 음장 내의 Preference 를 예측할 수 있다는 점과 심리량에 대한 물리량의 기여을 분명하게 하는 방법에 관해 공헌한 바가 크다고 할 수 있다.

Ⅳ. 결 론

최근에 발표된 Concert Hall의 음향효과에 관한 심리량과 건축조건 및 실내음향 특성과의 상관을 구하는 연구에 대해서 소개하였다. 이들 주관평가의 연구에 있어서 일반적으로 주관평가 실험에 의해서 얻을 수 있는 평가치는 (ㄱ) 음원, (ㄴ)피험자까지의 전송로인 실내음장, (ㄷ) 피험자의 3가지를 파라메터로 한 함수로 생각된다. 이 때문에 실내음장을 연구대상으로 하는 경우, 보통 다른 2개의 요인을 분리시킨 결과가 얻어지도록 실험을 계획하여야하지만, 음원의 규정에는 아직 문제가 있다.

이상 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(ㄱ) 실내음향 효과를 완전히 규정하는 양은 추출되었다고는 할 수 없다.

(ㄴ) 실내음향 효과는 4-5종류의 주관 평가척도로 평가되고, 하나의 주관량이나 2-3개의 물리량의 조합으로 유도되는 하나의 주관척도로는 규정할 수 없다.

(ㄷ) 여러 종류의 주관 평가척도에 대응되는 물리량으로서 잔향시간과 D, 음압레벨, 직접음에 대해 측방향의 초기 반사음의 레벨과 두 귀에 있어서 임펄스 레스폰스간의 상호상관함수 등이 독립된 양으로서 생각되어진다.

종래의 연구와 이들의 연구를 종합하여 고찰하면, 실내음향 효과에 관한 심리 물리적인 성질은 확실히 파악되었다고 할 수 있지만, 복잡한 실내음향 효과를 규정하는 데는 아직 불충분하다. 실험방법으로써의 음장의 재현성 문제와 함께 실내음향 특성으로서의

물리적 지표에도 시간적 요인을 지표로 한 것은 많지만, 공간적 요인을 지표로 한 것은 적고, 두 귀 사이의 Coherence가 유력한 파라메터로 발견된 것은 성과가 크다고 할 수 있다.

참고문헌

1. R.H. Hawks and M.H.Douglas, "Subjective acoustic experience in concert auditoria," Acustica 24, 235-250 (1971).
2. K.Yamaguchi, "Multivariate analysis of subjective and physical measures of hall acoustics", J.Acoust. Soc. Am. 52, 1271-1279 (1972)
3. R.M.Edwards, "A subjective assessment of concert hall acoustics", Acustica 30, 183-195 (1974).
4. D.Gottlob, "Vergleich Objectiver Akustisher Parameter mit Ergebnissen Subjectiver Untersuchungen an Konzertsalen", Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen (1973).
5. M.R.Schroeder, D.Gottlob, and K.F.Siebrasse, "Comparative study of European concert halls: correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters", J.Acoust.Soc.Am. 51, 1195-1201(1974)
6. Y.Ando; Concert Hall Acoustics , Springer-Verlag(1985).
7. M.Barron, "The subjective effects of first reflections in concert halls-the need for lateral reflections", J.Sound Vib.15,457-494(1971).
8. M.R.Schroeder and B.S.Atal, "Computer simulation of sound transmission in rooms", IEEE Int. Conv. Rec.7, 150-155(1963).
9. L.L.Beranek: Music, Acoustics and Architecture, John Wiley, New York(1962).
10. L.L.Thurstone, "A law of comparative judgment", Psychol. Rev. 35, 273-286(1923).
11. W.Reichardt and W.Schmidt, "Die Wahrnehmbarkeit der Veränderung von Sehallfeldparametern bei der Darbietung von Musik", Acustica 18, 274-279(1967).
12. M.Vorlander and H.Kuttruff, "Die Abhangigkeit des Seitenschallgrades von der Form und der Flachengestaltung einen Raums", Acustica 58, 118-129(1985).
13. V.L.Jordan, "A group of objective acoustical criteria for concert halls", Applied Acoustics 14, 253-266 (1981).
14. 강성훈, "실내음향연구의 전망", 한국음향학회지, 제8권 제2호, 36-44(1988).

△강성훈 제8권2호 참조