

## 콘서트 홀 음향의 주관평가 방법에 관하여

박 장 섭\*

\*창신전문대학 건축과

강 성 훈\*\*

\*\*한국전자통신연구소

On the Subjective Evaluation Method of Concert Hall Acoustics

Chang-Seob Park\*

\*Changshin Jr. College

Seong-Hoon Kang\*\*

Electronics and Telecom. Res. Inst.

### 요 약

본 고에서는 홀의 음향특성에서 지금까지 주로 사용되고 있는 물리변수들을 추출하여 물리실험을 행한후 이 결과치와 심리실험 결과를 상호분석하여 어떠한 홀에대한 최종적인 판단은 무대의 연주자나 청중의 의하여 판단되어지고 있는것을 감안하여 주관적반응과 상관의 높은 물리량을 얻고자함에 있다

### 1. 서 론

홀에 대한 음향상태의 최종적인 평가는 무대의 연주자나 청중에 의하여 판단되어지고 있으며 이와같은 평가는 사람마다 제각기 다르기 때문에 이러한 개인적인 차를 양적으로 표시하는것은 매우 어려운 문제이다. 최근에는 이와같은 문제점을 심리적 척도법을 이용하거나 통계적 수법에 의하여 홀의 음향상태를 평가하는 연구가 진행되고 있다. 또한 바란직한 홀의 음향상태를 얻기 위하여서는 과학적이며 정확한 자료에 의한 물리적이며 기하학적인 홀의 음향설계에 근간을 두고 있으며 이러한 과정에 의하여 구하여진 물리변수들이 실의 음향특성을 평가하기 위한 지표로 이용되고 있으나 아직 만족스러운 평가방법을 구하지 못하고 있는 실정이다. 홀의 음향설계에 대한 최종목표는 청중들에게 만족스러운 음질을 제공하는 것으로서 이와같은 목표를 위한 물리변수의 활용과 청중들의 반응에 의한 심리적 요인에 기인한 주관적 평가와의 상관성에 관한 검토가 가장 효과적인 홀의 음향상태를 평가하기 위한 접근방법임을 알 수 있다.

본 연구는 홀의 음향특성을 평가하기 위한 지표로서 제시되고 있는 물리변수들에 대한 실험과 청중의 심리적 반응에 대한 선호도를 청감실험을 통하여 구한 후 이 심리적 척도치를 이용하여 물리변수와 심리적 반응과의 상관성을 분석하여 심리적 척도치와 상관의 높은 물리량을 추출하고자 한다.

### 2. 물리실험

물리실험을 위한 실험대상은 A홀 대강당으로 하였으며 홀의 형식은 프로세니움 스테이지 형식을 갖추고 있다. 평면형은 장방형이며 객석 바닥은 계단식 단상으로 되어 있다. 객석 수용인원은 1700석이며 홀의 기능은 음악, 연극, 강연등의 다목적 홀의 성격을 지니고 있으나, 무대의 음향반사판 사용시에는 콘서트 홀로 전환케 되어있다.

물리실험의 종류는 현재 제시되고 있는 물리량기온대 홀의 음장평가시 비교적 활용도가 높은 물리량을 선정하였으며 그 종류는 다음과 같다.

### 1) 잔향시간(Reverberation Time:RT)

잔향시간을 위한 음원의위치는 무대중앙지점으로 하였으며 사용된 음원은 경기용 피스들을 사용하였다. 측정지점은 무대 2개 지점, 객석 10개 지점으로 무대 음향반사판 설치시에만 측정하였으며, 그 결과치는 그림 1과 같다.

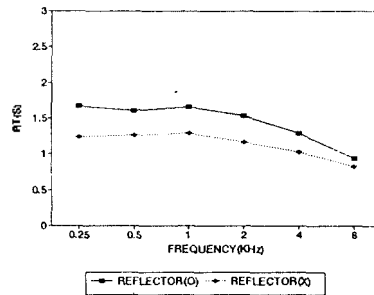


그림 1. 잔향시간 측정결과치

### 2) 초기감쇄시간(Early Decay Time: EDT)

잔향시간 보폭량으로 Jordan에 의해 제안된 물리량으로서의 EDT는 잔향파형에서 초기의 감쇄부분(0-10dB)과 Schroeder가 제안한 적분필름스 방법의이하여 구한 잔향시간 값으로 정의되며 잔향시간보다 주관적울림(Subjective Reverberance)에 대응한다고 볼 수 있다. 측정결과치는 그림 2와 같다.

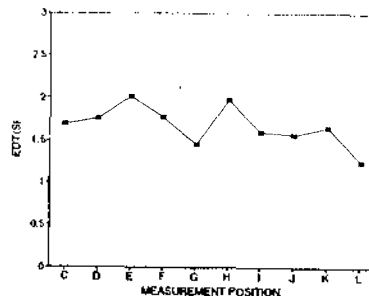


그림 2. 초기감쇄시간 측정결과치

3) 실내음압(Sound Pressure Level:SPL)

실내음압측정은 무대에 설치된 스피커로 백색잡음(white noise)을 발신하여 객석 152개 지점의 음압을 측정하였다. 음압 발신하는 스피커는 무대중앙지점에 설치하여 음향조정실에서 잡음신호발생기(B & K TYPE1027)를 이용하여 스피커로 발신된 음을 객석 각 지점에서 소음측정기(Sound Level Meter)로 음압 레벨을 기록하였다. 측정된 실내 음압분포도는 그림 3과 같다.

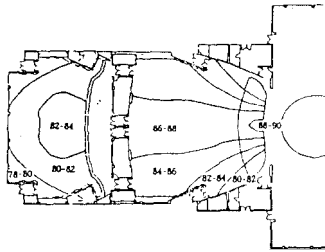


그림 3. 실내음압분포도

4) 음성의 명료도(Definition:D50)

Thiele은 지연시간이 50ms를 초과하지 않는 범위에 도달되는 초기반사음 및 그 뒤에 계속되는 반사음들은 청취자들에게 매우 잘 지각될 수 있으며 이와같은 현상을 지각의 한계(Limits of Perceptibility)라 하였으며 여기에 착안한 그는 유용한 음(Useful Sound)이라 불리는 직접음 및 초기반사음과 잔잔음 에너지와의 비를 제안하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$D = \frac{\int_0^{50ms} P^2(t)dt}{\int_0^{\infty} P^2(t)dt}$$

D50측정사 음원으로는 피스볼을 사용하였으며, 분석에는 FFT분석기(B & K TYPE 2133)를 이용하였다. 측정결과치는 그림 4와 같다.

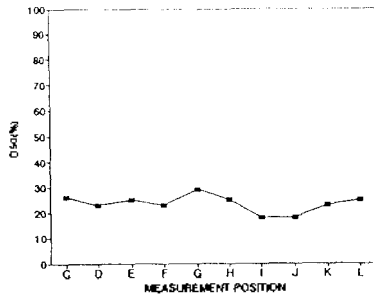


그림 4. D50 측정결과치

5) 음악의 명료도(Clarify:C50)

D50에서 설명된 지각의한계에서 한계의 값은 신호음의 특성에 좌우되며 특히 이 값은 음성보다 음악일 경우 더 커지며, 이러한 이론을 기초로 하여 Reichardt는 음악에 대한 지각의한계치인 80ms를 제안하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} P^2(t)dt}{\int_{80ms}^{\infty} P^2(t)dt} \quad [dB]$$

그는 홀내에서 C50의 허용치는 ±2dB로 제한하고 있으며, 저주파수(125-250Hz)로서 고전음악 연주시 C50의 값은 ±1.6dB, 낭만파음악 연주시에는 -4.6 ≤ C50 ≤ -1.6으로 제한하고 있다. C50 측정결과치는 그림 5와 같다.

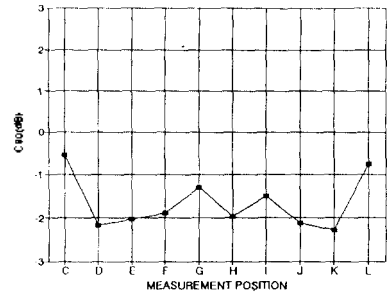


그림 5. C50 측정결과치

6) 초기시간지연(Initial Time Delay Gap:ITDG)

Beranek는 1962년 대용적 홀에 있어서 음향적으로 중요한 문제점으로는 너무 긴 초기시간지연이라고 발표하였다. 그는 대용적 홀의 음향적 설계를 보완키 위해서는 무대나 객석상부에 음향반사판을 설치하여 초기시간지연을 짧게해야 된다고 주장하였다. 이 값은 20ms이내에 있는것이 바람직하며 이럴때 실내 음의 친밀감(Intimacy)이 높아진다고 보고하고 있다. 그림 6은 ITDG 측정결과치이다.

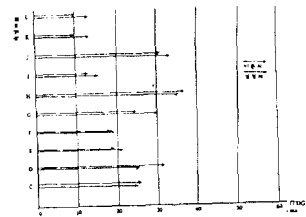


그림 6. ITDG 측정결과치

7) 측방효과(Lateral Efficiency:LE)

측방에서의 초기반사음은 청감상의 공간감상에 영향을 미치는 성질이 있으며 실의 음향상태를 나타내는 중요한 요인이 될 수 있다는 원칙에서 Jordan은 측방효과라는 공간적 변수(Spatial Parameters)를 제시하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$LE = \frac{\int_{25ms}^{80ms} P^2 dt}{\int_0^{80ms} P^2 dt} = \frac{\text{측방에너지(25~80ms)}}{\text{전에너지(0~80ms)}}$$

LE는 80ms까지의 전 에너지에 대한 25-80ms사이의 측방반사음 에너지를 표시하는 양으로 이 값이 클 경우 실의 음향적 공간감이 풍부하게 느껴지게 된다. 일반적으로 음악 홀에서의 LE 허용한계치는 0.3~0.4정도로 제안하고 있다. 실험대상 홀의 LE 측정지점은 각석 10개 지점이며, 측정 결과치는 그림 7과 같다.

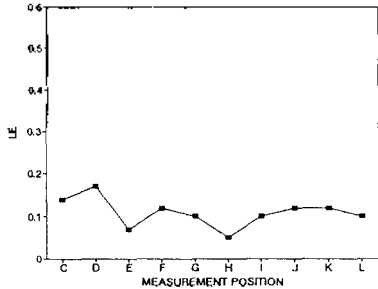


그림 7. LE 측정결과치

8) 실용답(Room Response:RR)

Jordan은 주관적으로 느끼는 공간감으로는 첫째, 25ms에서 80ms사이의 측방반사음과 둘째, 80ms에서 160ms사이의 전방반사음의 공간적 효과(Spatial Effect)와 관계가 깊다고 하였으며 이와같은 이론에 의하여 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$RR = 10 \log \frac{\int_{25ms}^{80ms} Pz1(t)dt + \int_{80ms}^{160ms} Pz2(t)dt}{\int_0^{80ms} Pz0(t)dt}$$

Jordan은 콘서트 홀의 음장평기량의 허용범위에서 LE값은 0.3~0.4이상 RR값은 ±0.5dB, C80값은 ±2dB로 여기서 C80은 Reichardt 가 제안한 허용범위 ±1.6dB보다 약간 높게 제시하였다. 실험대상 홀의 RR 측정방법 및 측정지점은 LE 측정시와 같다. 각 지점별 실험결과치는 그림 8과 같다.

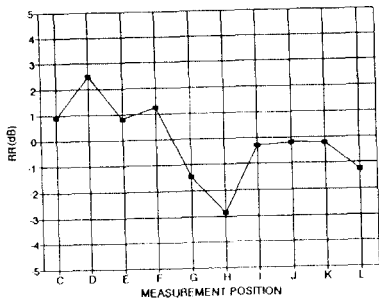


그림 8. RR 측정결과치

9) 두 귀사이의 상호상관도(Interaural Crosscorrelation:IACC)

IACC는 Demacke와 Ando에 의하여 계사된 물리량으로서 청취자의 두 귀에 도달하는 음의 유사도를 나타내며 완전히 같으면 1이 되고 다르다면 0이 된다. 이 값이 적을수록 두 귀에 상관이 적은 음이 도달한다는 것을 의미하며 심리적으로 확산감이 커지며 바람직한 음장이 된다. 측정결과치는 그림 9와 같다.

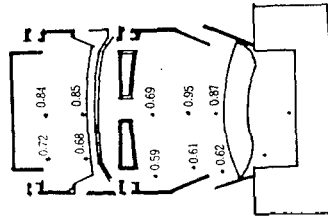


그림 9. IACC 측정결과치

3. 주관 실험

주관실험 대상건들 및 측정지점은 물리실험과 동일하며 주관실험을 위한 청취실험에 사용된 음원은 무향실에서 녹음된 성악곡(스와니강:음원 1)과 관현악곡(평파레:음원:2)를 이용하였다. 무대에서 스피커로 10초간 재생된 음은 각석 10개 지점에서 HATS(Head and Torso Simulator)를 통하여 DAT(Digital Audio Tape Recorder)로 녹음하였다. 여기서 HATS의 머리는 음원으로 향하게 하였다. 홀내에서 녹음된 음은 다시 음장재생 실험을 하였다. 음장재생 방법은 청취자 양쪽귀의 입력신호기원음장에 의한 입력신호에 일치하도록 재생하는 방법을 택하였다. 그림 10은 음장재생 실험계통도로서 여기서 HATS의 양쪽귀의 주파수 특성을 기록한 후 이 특성을 다시 역 필터링(Inverse Filtering)하여 헤드폰에서 고막까지의 전달관수를 명탄하게 보정하였다.

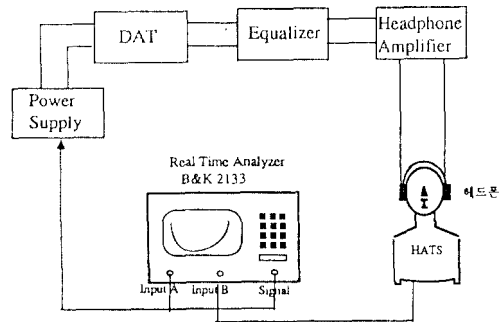


그림 10. 음장재생 실험계통도

필터보정이 끝난 음은 다시 청감시험을 위한 편집을 하였다. 피험자를 위한 시험방법은 Thurstone의 일대비교법(Paired-Comparison Method)에 의한 방법으로 하였다.

본 시험에서 피험자의 수는 40(남:22명, 여:18명)명이며 피험자는 전부 90쌍의 비교음을 듣게 된다. 한쌍의 음을 듣는데 소요되는 시간은 약 25초이며, 첫번째 음을 들은 후 다음 음을 들었을 때까지의 시간간격은 3초로 주었으며, 한쌍의 음에서 다음 쌍의 음이 들려질 때까지의 판단시간은 5초로 하여 편집하였다. 이때 계사되는 음악의 음압은 일정하게 유지하였으며 지금의 쌍들을 제시하는 순서는 무작위로 추출하였다. 이와같은 방법으로 1명의 피험자가 제시된 음악을 듣는데 소요되는 시간은 전부 50분이 된다. 피험자들의 피로를 고려하여 22쌍의 음을 들은 후 10분 간의 휴식이 주어지며 음원이 변경될 시에도 10분

간의 유익을 하게된다. 피험자들은 헤드폰(Open-dynamic Headphone, SENNEHEISER HD 540)으로 한쌍의 음악을 들은 즉시 어느쪽이 좋은가를 판단케 하였다.

#### 4. 분석 및 고찰

음원별 피험자들의 선호도 시험을 한 결과를 F 매트릭스로 정리하고, 이결과에 대한 분석은 CSS/PC:MDG(Guttman-Lingoes)에 의한 통계 패키지를 이용하였다.

10개 요인에 대한 도출가능한 차원의 수를 2-6개로 변화시켜본 결과, 차원의 수가 3개인 때 스트레스 값이 0.347~0.105(음원 1), 0.339~0.065(음원 2)로 나타났으며, 더 이상의 차원의 증가에 따른 스트레스 값의 감소를 보이지않아(2개 음원의 스트레스 값이 모두 0.06이하) 적절한 차원의 수는 3개로 하였다. 또한 일반적으로 요인의 수가 10개 이므로 4차원 이상에 따른 해석이 불가능하므로 3번째 차원까지만 채택하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 여기서 차원 1의 경우에 자극에 따른 심리척도치는 그림 11과 같고 각 음원별 분석된 결과치는 표 2와 같다.

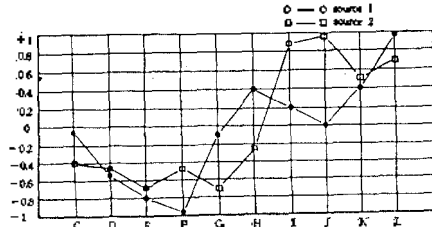


그림 11. 심리척도치

표 1. 심리척도치(음원 2)

	차원1	차원2	차원3
1	-.4809	.2371	-.7438
2	-.5820	.3976	-.4398
3	-.7822	-.6413	.4385
4	-.4770	-.0964	.7253
5	-.7007	-.6184	-.2393
6	-.2733	-.10464	-.2951
7	.9634	-.6465	-.1987
8	1.0004	-.0921	.5630
9	.5483	.7179	-.0292
10	.7440	.4960	-.2598

차원 3까지의 심리척도치와 각 물리변수들의 측정결과치를 이용하여 물리특성과 심리척도치와의 상관관계를 분석하기 위하여 다차원척도법의 일종인 속성대응분석법(Property Fitting Analysis:PROFIT)을 이용하여 분석한 결과 물리속성간의 상관계수는 표2와 같이 나타났다.

표 2. 물리속성간의 상관계수(음원 1,2)

RHO	PROPERTY	RHO	PROPERTY	
1	.3342	IACC		
2	.2356	LE		
3	.7309	RR		
4	.5747	C <sub>90</sub>		
5	.7075	D <sub>50</sub>		
6	.9139	RT		
7	.6832	EDT		
8	.6896	SPL		
9	.5001	ITDG		
1		1	.6127	IACC
2		2	.4911	LE
3		3	.6500	RR
4		4	.4880	C <sub>90</sub>
5		5	.7511	D <sub>50</sub>
6		6	.9928	RT
7		7	.8282	EDT
8		8	.5310	SPL
9		9	.6429	ITDG

상기표에 의하면 음원 1의 경우 물리속성간의 상관이 비교적 높은 것은 RR, D<sub>50</sub>, RT로서 각각 .73, .70, .91로 나타났으며 여기서 각 물리속성치들이 공유하고 있는 변항의 비율을 나타내는 r<sup>2</sup>값 즉, 결정계수(Coefficient of Determination)에 있어서는 RR이 .53, D<sub>50</sub>이 .50, RT가 .83으로 전체 변항에 대한 설명력이 비교적 높은 비율로 나타났으며 그 중에서 RT가 가장 높은 값을 제시하고 있다. 또한 각 물리속성과 차원과의 상관치(Vector값)에 있어서도 음원 1의 경우 RR은 차원 1에서 -.88, D<sub>50</sub>은 차원 2에서 .81, RT는 -.87로 나타났으며 여기서 LE, ITDG등이 대체로 높은 상관치를 보이고 있으나 물리속성과의 상관계수가 각각 .24, .50으로 낮게 나타나 설명력이 부족한 것으로 판단된다.

음원 2의 경우 물리속성과 각 차원과의 상관치에 있어서는 D<sub>50</sub>은 차원 1에서 -.92, RT는 -.83, RR이 차원 2에서 .92로 나타났다. 또한 물리변수 가운데 실내음압(SPL)은 상관계수 값이 .69이며 차원과의 상관치가 -.99로 음원 1의 경우에는 대체로 높게 나타나고 있으며 음원 2의 경우에는 상관계수가 .53, 차원과의 상관치는 .71로 나타나고 있어 비교적 주관적 반응과의 상관이 앞서 설명된 3개의 물리량 외에 높게 나타났다.

#### 5. 결론

측정된 물리변수와 주관평가에 의한 심리척도치들간의 상관성을 다차원척도법의 일종인 속성대응분석법(Property Fitting Analysis:PROFIT)을 이용하여 분석한결과 잔향시간(Reverberation Time)의 상관계수가 음원 1,2 각각 .91, .99로 가장 높게 나타났으며 음성의 명료성을 나타내는 D<sub>50</sub>은 음원 1,2 각각 .70, .75이며 흡의 공간감을 나타내는 RR은 음원 1,2 각각 .73, .65로 제시되어 다른 물리변수에 비하여 높은 상관치를 지니고있다. 또한 각 물리속성치들이 공유하고있는 변항의 비율을 나타내고있는 r<sup>2</sup>값 즉, 결정계수는 RR이 음원 1,2 각각 .88, .92이며 D<sub>50</sub>은 .81, .92이며 RT가 .87, .63으로 높은 설명력을 나타내고 있으며 그밖의 물리변수들 가운데 IACC는 음원 1의 경우에 r<sup>2</sup>값이 .33이나 음원 2의 경우에는 .61로 음원별 차이를 크게 보이고있으며, SPL은 음원 1의 경우 r<sup>2</sup>값이 .46으로 제시되고 있다. 따라서 본 연구결과에 의하면 흡의 음장평가지 일반적으로 사용빈도가 높은 물리량들은 잔향시간, 실내음압, 초기감쇄시간, 초기시간지연, 음성의 명료성, 음성의 명료성, 두 귀사이의 상호상관도, 음향효과, 실용당량 9개의 물리변수들이나 이러한 물리량을 전부 흡의 음장평가지 사용하여 측정하는것 보다 본 연구결과에서 나타난 주관적 반응과의 상관이 높은 물리량으로 잔향시간, 음성의 명료성 및 실용당량 흡의 음장평가지 이용하여 그 지표로 삼는것이 타당할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. Ando, Y., "Subjective preference in relation to objective parameters of music sound fields with a single echo", J. Acoust. Soc. Am. 62 pp1436-1442(1977)
2. Beranek, Leo L., "Concert Hall Acoustics", International symposium on Environmental Acoustics, pp.1-18(1989)
3. Ando, Y., "Concert Hall Acoustics", Springer-Verlag Berlin Heidelberg(1985)
4. 朴昌燮·裴成勳·韓允昊, "室內音響特性 評價를 위한 物理量과 主觀評價語와의 相關性에 관한 研究(I)", 大韓建築學會論文 集 7卷 1號 雜卷 33號(1991年 2月)
5. 朴昌燮·裴成勳·韓允昊, "室內音響特性 評價를 위한 物理量과 主觀評價語와의 相關性에 관한 研究(II)", 大韓建築學會論文 集 7卷 4號 雜卷 36號(1991年 8月)
6. 朴昌燮, "室內音響의 物理特性和 主觀評價의 相關에 관한 研究", 工學博士 學位論文, 嶺南大學校(1992)