

# 오디토륨의 室内音響性能과 建築条件

朴 棟 珪

(全北大 建築工学科 教授)

## 1. 緒論

이 10數年來 우리나라 各地에 文化活動의 中心의 場이 되는 市民文化館이나 기타 이와 類似한 오디토륨이 많이 建設되어지고 있다. 이들 오디토륨이나 劇場에서는 餘韻이 좋든가 音이 잘 들리지 않는든가의 여러 室内音響效果에 관한 事項이 늘 話題가 되어왔다.

이와같은 室内音響環境에 관한 評價는 人間の 聽感에 依存하고 있기 때문에 애매모호한 점이 많으나 建築音響의 分野에서는 이들 室内音響效果에 대한 主觀量을 分明히 하여 建物の 建築条件이나 室内音場的 物理条件과 対応을 求하는 試圖과 調査, 研究가 行하여져 왔다. 이 音響計劃은 技能的인 것이므로 建築家は 그 全体의 機能을 充分히 理解하고 있어야 하며 나아가 平面計劃이나 構造計劃과 같이 設計当初부터 이루어져야 함에도 불구하고 여태까지 우리 建築家は 너무 無計劃의으로 無責任하게 設計計劃에 임하여 온게 부끄러우나 한편에서는 現實이다.

建築物에서의 音의 調整은 變덕스럽거나 神祕의이거나 또는 偶然성에 맡겨버릴 性質의 것은 아니다. 建築音響은 嚴密한 科學이고 實用的인 技術이다. 이 音響設計에 도움이 되는 原理를 알리는데에 本 研究의 目的이 있다. 여기서 提示하는 原理에 따라 設計함으로써 生活에 妨害가 되는 騒音의 影響을 받지 않고 講演, 音樂 등에 알맞은 音과 建物を 세울수 있을 것이다. 이 技能的인 音響設計는 科學的이며 美的이고 實用的인 計劃을 必要로 한다.

때문에 여기에 오디토륨이나 劇場의 室内音響性能을 中心으로하여 評價와 建築条件의 關係 등에 대하여 基礎的인 事項에서 最近의 研究까지 包含하여 概說하고자 한다.

## 2. 室内音響效果와 評價項目

오디토륨이나 劇場에 있어서 “좋은音”은 使用目的과 우리가 좋아하는것 등에 따라 틀리나 이를 綜合하면 다음과 같다.

(1) 사용목적에 알맞은 적당한 울림과 음질을 갖고 있어야 하며,

(2) 적당한 음량과 명료하게 음이 들려야 하며 그리고

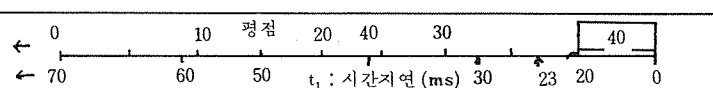
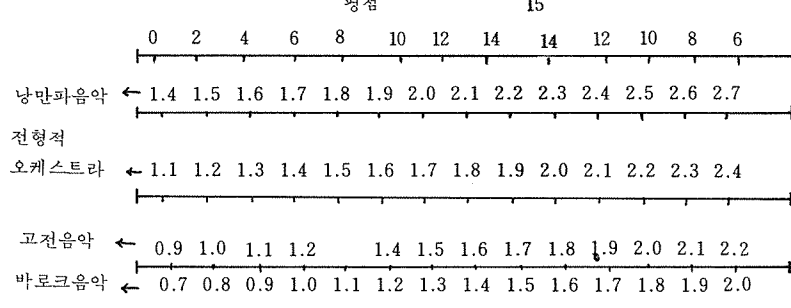
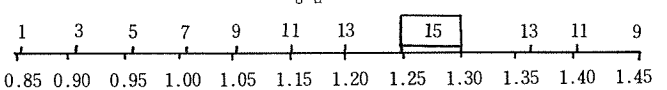
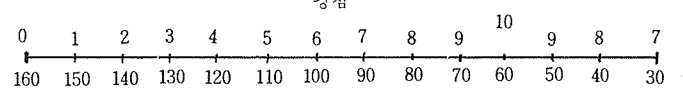
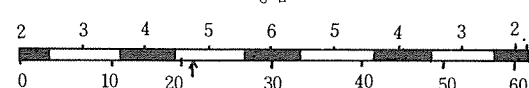
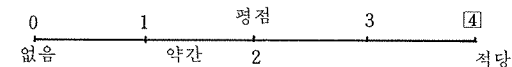
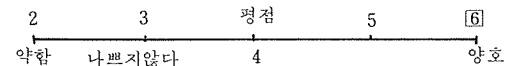
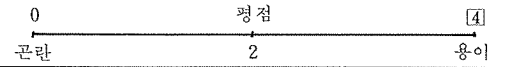
(3) 반향이나 하우링과 같은 특정한 거슬리는 소리를 일으키거나 들리지 않을것 등이다.

室内的 音響現象은 室内에서 音이 發生하였을 때 남는 “餘韻”으로 代表되고 感覺의으로도 物理的으로도 가장 明瞭하게 이를 窺히할 수 있다. 主觀的으로는 殘響感이라는 말로서 나타내어지고 있으나 實際로는 여러 主觀評價尺度로 室内音響效果가 評價되고 있다.

뉴욕의 旧 필하모니홀이며 現在는 熾사홀의 音響設計者인 베라비치는 콘서트홀이나 오페라하우스에서 좋은 音響效果를 얻기 위하여 設計上 必要한 建築 및 物理条件을 室内音響效果에 対応하는 型으로 받아들이고<sup>(1)</sup> 있으나 거기서는 親密感, 臨場感, 殘響感, 다수음, 分離, 明瞭度, 擴散, 발란스, 蝸合, 均一性 등의 17個項目으로 音響效果를 規定하고 있다.

音樂홀의 特性은 音樂-音響上의 主觀的인 評價의 屬性에 対応하는 音響特性의 評点を 주어 尺度化하고자 하는 試圖는 다른데서 찾을 수 없으며 홀의 室内音響性能을 생각할 때 參考가 되는 표 1에 그 內容을 나타내었다. 한편 最近의 研究에서는 實際의 홀을 써서 主觀的評價實驗을 行하고 心理分析手法에 의해 室内音響效果에 관한 心理要因을 抽出하고 있다. 런던의 로얄체스티발홀 등을 사용한 호오크스氏 등의 結果<sup>(2)</sup>에서는 발란스와 蝸合, 殘響感, 親密感, 빛나는것, 遠近感, 明瞭度 등의 要因으로 室内音響效果에 대한 滿足을 表하고 있다. 같은 方法으로 8홀의 音響에 관한 主觀評價結果를 綜合한 에드워드氏의 研究<sup>(3)</sup>에서는 7因子까지 意味가 있는것으로 抽出하고 있으나 重要한 因子로는 홀의 容積과 殘響時間에 直接關係하는 것, 相對레벨이나 初期反射音의 2,3의 量에 關係하는것이 舉論되어지고 있다.

(표 1) 베라빅(11)씨에 의한 음악홀의 각종 음향특성의 척도의 평점  
(화살표는 설계당초의 뉴욕 웰 하모니홀의 값)

속 성	음향조건, 기타	척도와 평점																																	
천밀감 또는 입장감	초기반사음의 시간지연																																		
라이브네스	만석시의 중음역의 잔향시간	<p>평점 15</p> <p></p>																																	
따뜻함	125Hz와 250Hz의 잔향시간의 평균치에 대한 중음역의 잔향시간의 비	<p>평점 15</p> <p></p> <p><math>(T_{125} + T_{250}) / 2T_{500-1000}</math> 저음역과 중음역의 잔향시간의 비</p>																																	
직접음의 라우드네스	발코니석에 대하여는 밑의 A표참조	<p>평점 10</p> <p></p> <p>콘서트마스타로부터 청중까지의 거리 (f)</p>																																	
잔향음의 라우드네스	T : T500~1000Hz(S) V : 실용적 (f <sup>3</sup> )	<p>평점</p> <p></p> <p><math>L = (T/V \times 1000000)</math></p>																																	
확 산	벽면과 천정면의 불규칙성	<p>평점 4</p> <p></p>																																	
발란스와 융화	오케스트라의 악기간의 발란스	<p>평점 6</p> <p></p>																																	
양상분	연주자간의 각 악기 음의 들림의 좋음	<p>평점 4</p> <p></p>																																	
기 타	반향, 소음, 비틀어짐	<p>(A표)</p> <table border="1"> <tr> <td>결 함 량</td> <td>보 점 치</td> <td></td> </tr> <tr> <td>없 음</td> <td>0</td> <td>+ 2</td> </tr> <tr> <td>약 간</td> <td>- 5</td> <td>+ 4</td> </tr> <tr> <td>상 당</td> <td>- 10</td> <td>+ 4</td> </tr> <tr> <td>약간많이</td> <td>- 15 ~ - 50</td> <td>+ 8</td> </tr> </table> <p>반향, 소음, 비틀림의 보정</p> <table border="1"> <tr> <td colspan="2">발코니의 직접음의 라우드네스의 보정치</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">35ms이하의 시간지연의 바람직한 반사음에 대하여 두발코니의 면에서</td> <td>+ 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">두측벽에서</td> <td>+ 4</td> </tr> <tr> <td colspan="2">천정에서의 강한반사</td> <td>+ 4</td> </tr> <tr> <td colspan="2">최대점</td> <td>+ 8</td> </tr> <tr> <td colspan="2">직접음의 라우드네스에 대한 최대점</td> <td>10</td> </tr> </table>	결 함 량	보 점 치		없 음	0	+ 2	약 간	- 5	+ 4	상 당	- 10	+ 4	약간많이	- 15 ~ - 50	+ 8	발코니의 직접음의 라우드네스의 보정치			35ms이하의 시간지연의 바람직한 반사음에 대하여 두발코니의 면에서		+ 2	두측벽에서		+ 4	천정에서의 강한반사		+ 4	최대점		+ 8	직접음의 라우드네스에 대한 최대점		10
결 함 량	보 점 치																																		
없 음	0	+ 2																																	
약 간	- 5	+ 4																																	
상 당	- 10	+ 4																																	
약간많이	- 15 ~ - 50	+ 8																																	
발코니의 직접음의 라우드네스의 보정치																																			
35ms이하의 시간지연의 바람직한 반사음에 대하여 두발코니의 면에서		+ 2																																	
두측벽에서		+ 4																																	
천정에서의 강한반사		+ 4																																	
최대점		+ 8																																	
직접음의 라우드네스에 대한 최대점		10																																	

음의 아름다움이나 餘韻의 훌륭함 등과 音響諸元의 相關을 求한 研究도 많으나<sup>(4)~(7)</sup> 어느거나 評價를 多次元尺度法 또는 多次元因子分析法에 의해 分析하여 3~4次元으로 尺度化하고 있다. 獨立한 評價因子에 關係가 많은 量은 다음에 論하는 殘響時間과 直接音成分對 全에너지比, 音圧分布와 伝送特性 등으로 代表되는 物理量이다.

이들의 心理·物理的要因은 모두 分離하여 抽出되고 있으나 각각 어느 접침을 갖고 室内音響效果에 作用하고 있으므로 現在는 音量感이 評價의 中心이 되어있는것 이외에 評價의 順序는 分明히 되어있다. 이들 餘韻의 좋고 아름다움에 대한 評價이외에 音響의인 障害를 주는 現象이 있다. 이 代表的인 것에 音이 두개로 分散하여 들리는反

響現象이나 規則的인 反射音群에 의해 생기는 하우링이 있다. 이들의 現象은 檢知限에 個人差가 있어도 聽感的으로는 共通으로 認識되는 것으로 그 障害條件은 比較的 明確化되고 있다. (8)~(9)

### 3. 室内音場을 나타내는 諸量

#### 3.1 殘響時間

殘響感은 室의 音響效果를 左右하는 重要한 要素이나 이는 直接的으로는 울림 또는 餘韻의 좋고 나쁨에 關係하고 있다. 殘響時間은 殘響의 大小를 나타내는 量으로 音源停止后 室内의 音의 에너지密度가 定常狀態의 100萬分の 1 즉 60dB 減衰하기 까지의 時間을 이르고 秒로 나타낸다. 室内의 音의 擴散性이 滿足스럽고 나아가 音이 空氣中을 伝搬할 때의 空氣吸收를 考慮하면 殘響時間 T는 다음의 너드슨氏의 殘響式으로 求할 수 있다.

$$T = \frac{0.161V}{-S \ln(1-\alpha) + 4mv} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 V : 室容積 (m<sup>3</sup>), S : 室의 全表面積 (m<sup>2</sup>), α : 室의 平均吸音率이다. 그리고 m은 平面音波가 空氣中을 單位長을 伝搬할 때의 減衰率로 周波數와 湿度의 函數이다. 이 값은 相對溫度가 60%일때 2, 4, 8 kHz로 각각 0.002, 0.007, 0.02 程度이고 周波數가 1kHz이하일 때는 室容積이 적은 室에서는 m은 無視된다. 이와 같이 (1)式에서 m=0로 할 때의 式을 아이링의 殘響式이라 부른다.

#### 3.2 初期殘響時間

홀이나 스튜디오 등의 殘響感은 基本的으로는 殘響時間에 의해 정하여지나 같은 室에서도 場所에 따라 殘響感이 틀린 경우가 있다. 이 때문에 殘響時間을 補充하는 量으로서 室内의 音의 初期의 減衰狀態를 나타내는 量이 여러가지 提案되고 있다.

初期殘響時間은 그 種類의 量의 하나로서 音源停止后의 室内의 音의 에너지密度가 定常狀態에 比하여 10~15dB 程度 減衰할 때 까지의 初期減衰時間을 殘響時間으로 換算한 값을 이룬다. 一般的으로는 10dB 減衰을 挾하고 있다. 이 量은 殘響時間과 比較하여 보다더 殘響感和 密接한 關係가 있다고 한다. (10)

#### 3.3 直接音成分社 全에너지比

室内에서 直接音에서의 遲延되는 時間이 50ms 程度까지의 音은 그 以後의 音에 比하여 聽感에 미치는 效果가 틀려지므로 直接音을 補強하는 效果가 있다. 直接音成分社 全에너지比는 이 現象에 基礎한 量으로 時間幅이 짧은 短音을 音源으로 한 때에 直接音에서 50ms 以內에 到來하는 音의 에너지 즉 直接音成分과 모든 音의 에너지의 比는

$$D = \int_0^{50ms} Pi^2/dt / \int_0^\infty Pi^2 dt \dots\dots\dots(2)$$

로 定義된다.

여기서 Pi는 瞬時音壓을 나타낸다. 이 量은 音의 明瞭

度에 關係하는 量으로 普通 독일어의 明瞭를 意味하는 頭文字를 따서 D라 불리우고 있으나 擴散音場에서는 殘響時間과 同意的인 關係에 있다.

#### 3.4 時間重心

時間重心은 b값과 같이 室内의 初期反射音의 減衰指標의 하나로서 餘韻의 길이를 音이 減衰하는 區間의 平均時間으로 나타내기 위하여 提案된것으로 短音을 音源으로 한 경우 瞬時音壓을 Pi라 하면 다음 式으로 나타낸다.

$$t_s = \int_0^\infty tPi^2 dt / \int_0^\infty Pi^2 dt \dots\dots\dots(3)$$

이 量은 室内反射音群의 時間的인 重心을 나타내는 것이라 할 수 있으나 音의 減衰가 指數的인 경우는 殘響時間을 T라 하면 t<sub>s</sub>=T/13.8의 關係가 있다.

#### 3.5 擴散度

室内에서의 反射音의 擴散度를 나타내는 量으로서 室内의 어느 點에서의 音의 에너지의 흐름을 나타내는 指向性分布나 指向性分布의 凹凸의 程度를 數值化한 量이 一般的으로 쓰이고 있다. 指向擴散度는 그 種類의 量의 하나로 完全擴散場音에서 自由音場에서 0의 값을 나타내도록 다음의 式 d로 定義되고 있다.

$$d = 1 - \frac{m}{m_0} \dots\dots\dots(4)$$

$$m = \frac{\Delta M}{M}, M = \frac{\sum E_i}{n}, \Delta M = \frac{\sum |M - E_i|}{n}$$

여기서 E<sub>i</sub>는 狹指向性 마이크로폰으로 測定한 i方向의 에너지의 크기, M은 그 平均値, ΔM은 M에 대한 偏差의 平均, m<sub>0</sub>는 自由空間에서의 m의 값이다.

指向性分布를 直接 눈으로 볼 수 있도록 여러가지 研究가 행하여지고 있다. 等立体角 마다 구멍을 뚫은 球體에 각각의 方向에서 오는 音의 에너지 E<sub>i</sub>에 比例하는 막대를 꽂아놓은 것으로 反射音의 方向性을 잘 알수 있다.

### 4. 最適殘響時間과 室容積

#### 4-1 最適殘響時間

殘響時間은 式 1에서 보는바와 같이 室容積, 室表面積 및 內裝材料의 平均吸音率 등 建築條件 그것에 의해 결정된다. 會話나 講演 등의 餘韻이 너무 길면 明瞭하게 듣기 어려운 反面 音樂에서는 豊富한 殘響이 必要한 것처럼 殘響時間에는 室의 使用內容에 따라 適當한 값이 있다. 이를 最適殘響時間이라 부른다.

最適殘響時間은 室의 使用目的, 周波數, 室容積 등에 따라 틀리고 音이 좋고 나쁨에도 關係하므로 最適値에는 若干의 幅이 있다. 一般的으로는 使用目的에 대한 最適殘響時間은 室容積의 函數로서 주어진다. 그림 1에서 보는바와 같이 音樂이라도 큰 室에서는 적은 室보다 길게 하고 目的別로는 教會音樂, 콘서트홀, 오페라劇場 講演을 主로하는 講堂의 順으로 적어진다. 그림 2에 代表的인 홀, 劇場의 殘響時間과 室容積의 關係를 나타내었다. 擴聲裝置의 使用을 主로한 多目的 홀에서는 하우링의 점이라든가 電氣音響裝置를 效果的으로 使用하는 點 등에

서 殘響時間이 比較的 짧은편이 좋다. 經驗的으로는 그 림 1에 든 너드슨氏와 핼리스氏의 音樂을 위한 推 奨 値 보 다 10~20% 程 度 짧 게 하 는 것 이 適 當 하 다 여 기 다.

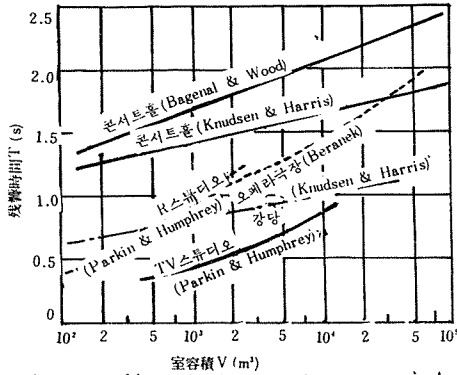


그림 1. 500Hz에서 사용목적별의 최적잔향시간

使用目的이 広範圍한 多目的 홀의 경우는 一 種의 殘響 時間으로 모든 上 演 種 目에 걸 처 滿 足을 주 는 것 은 不 可 能 하 다.

이 를 解 析 하 는 手 段 으 로 서 殘 響 可 變 裝 置 를 設 備 하 는 것 이 研 究 되 고 있 다. 그 한 例 를 日 本 高 知 縣 民 文 化 홀 의 오 렌 지 홀 (11) 로 斷 面 圖 를 그 림 3 에, 殘 響 時 間 周 波 數 特 性 은 그 림 4 에 나 타 내 어 다.

이 홀 은 큰 홀 로 서 使 用 은 물 론 舞 臺 에 可 動 間 막 이 裝 置 에 의 해 中 規 模 홀 이 나 集 會 室 로 도 使 用 할 수 있 도 록 設 計 되 고 있 다. 이 와 같 은 使 用 目 的 에 따 라 그 때 마 다 殘 響 時 間 이 變 하 는 것 은 理 想 的 이 나 經 濟 性 도 감 안 한 경 우 는 主 使 用 目 的 에 맞 는 殘 響 時 間 을 設 計 하 는 것 이 妥 當 하 다.

周波數特性에 대하여도 많은 制限이 있으나 音樂홀에 대하여는 大略 中音域에 대하여 125Hz에서 1.5倍 이하의 比率로 低音域의 殘響時間이 若干 길 어 지 는 特 性 이 바 람 직 하 다. 이 에 대 하 여 広 聲 裝 置 의 使 用 을 주 로 한 多 目 的 홀 에 서 는 平 坦 한 特 性 이 좋 다 고 한 다. 또 古 典 樂 을 주 로 하 는 劇 場 등 에 서 는 空 席 일 때 1.0~1.1秒 程 도 의 平 坦 한 特 性 이 要 望 되 어 지 다. (11)

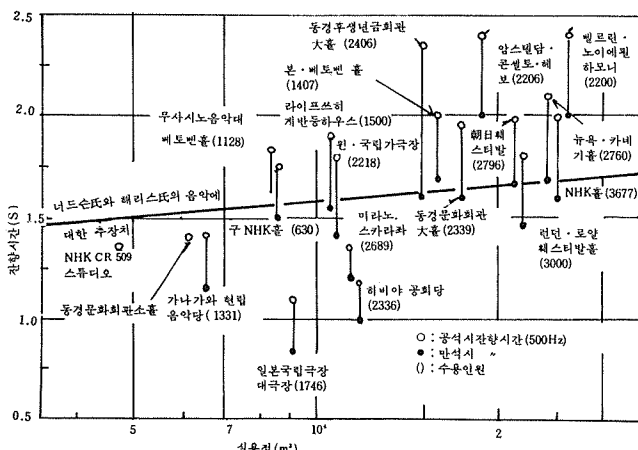
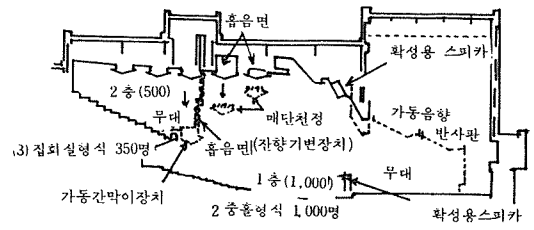


그림 2. 代表的인 홀, 극장의 중음역에서의 잔향시간과 실용적의 관계.



(1) 대출형식 1,500명  
실용적V : 10,620 m³. ( ) 내는 수용인원.

그림 3. 高知縣民文化홀, 오렌지홀의 단면도.

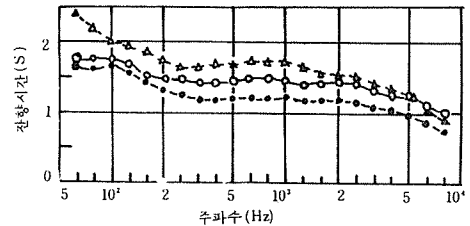


그림 4. 오렌지홀 대출형식대의 잔향시간 주파수특성.

#### 4·2 1席當의 室容積

室容積은 홀의 殘響時間의 設計에 큰 影 響 을 미 치 는 條 件 이 다. 즉 客 席 1 席 當 의 容 積 이 클 수 록 殘 響 設 計 時 의 內 裝 材 料 의 選 擇 의 自 由 度 가 높 아 設 計 하 기 容 易 하 다. 1 席 當 의 容 積 이 5 m³ 以 下 에 서 는 홀 의 吸 音 力 (室 表 面 積 S × 內 裝 材 料 의 平 均 吸 音 率 α) 의 大 部 分 을 客 席 部 의 吸 音 力 이 차 지 하 기 때 문 에 內 裝 壁 面 의 吸 音 條 件 의 檢 討 는 거 의 不 可 能 하 다. 단 같 은 音 樂 出 力 을 갖 는 오 케 스투 라 音 의 客 席 內 의 에 너 지 를 생 각 하 는 경 우 室 容 積 이 增 加 할 수 록 單 位 體 積 當 의 音 響 에 너 지 는 減 少 하 여 客 席 內 의 音 은 적 어 지 다 는 면 으 로 보 면 아 주 큰 容 積 을 잡 을 수 는 없 다. 殘 響 時 間 도 길 게 하 여 單 位 體 積 當 의 音 響 에 너 지 를 適 當 하 기 위 한 室 容 積 으 로 는 1 席 當 8 m³ 程 도 가 가 장 알 람 다. 그 림 5 는 重 要 홀 의 1 席 當 의 室 容 積 v/n 을 나 타 내 어 다.

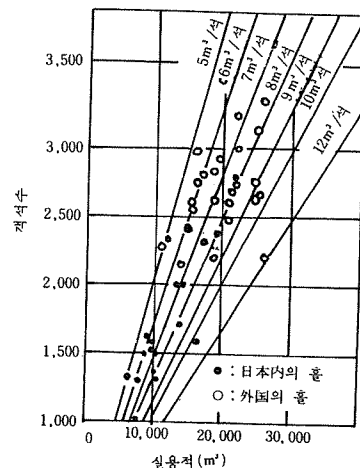


그림 5. 重要홀의 1석當의 실용적

### 5. 室内音压과 室諸元

오디토륨의 室内音響效果를 支配하는 큰 要因의 하나는 音量感에 있고 (5)(6), 受聽音压레벨에 依存하고 있다. (12)

室内에서는 音源에서의 直接音외에 壁 天井 바닥에서의 反射音이 많다. 直接音과 그들의 反射音을 包含한 音의 크기가 受聽音压레벨 즉 音量感에 關係한다. 이는 音源의 길이나 周波數, 時間遲延에도 따르나 人間の 귀에는 直接音에 대하여 約 50ms 以内に 到來하는 反射音이 直接音을 補強하여 크게 들린다. 이 때문에 오디토륨의 設計에는 舞臺에서 먼 客席에도 많은 反射音이 到來하도록 室型이 檢討되고 있다.

音의 세기는 音源에서의 距離의 自余에 反比例하여 적어지므로 이 直接音의 音压레벨  $L_d$ 는 音源自體의 파워레벨을  $L_p$  ( $0dB = 10^{-12}w$ , 普通의 오케스트라에서 1~10  $w$ 程度), 音源과 受音點間의 距離를  $r$ 이라 하면 다음式으로 주어진다.

$$L_d = L_p + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi r^2} \right) \dots\dots\dots(5)$$

한편 室内의 定常音의 音压레벨  $L_s$ 는 音이 壁이나 天井 등에서 反射하여 室内에 充分히 擴散하고 있는 경우 室의 全表面積을  $S$ , 室의 平均吸音率을  $\alpha$ 라 하면 다음式이 주어진다.

$$L_s = L_p + 10 \log \left( \frac{4}{\alpha S} \right) \dots\dots\dots(6)$$

이들 式은 音源에 가까운 어느 程度의 距離까지는 直接音의 距離減衰로 音压레벨이 定하여지나 어느 限界이상 떨어지면 많은 反射音成分의 寄與로 音压레벨의 變化는 적어지는 것을 나타내고 있다 아이링氏의 殘響式으로 나타낸 吸音力  $\bar{\alpha}S$ 와 室容積  $V$ , 殘響時間  $T$ 의 關係를 變形하면 音压레벨  $L_s$ 에 比例하는 量  $-\log(\bar{\alpha}S)$ 는

$$-\log(\bar{\alpha}S) = \log T - \log V - \log(0.163K(\bar{\alpha})) \dots\dots(7)$$

로 주어진다.

단  $K(\bar{\alpha})$ 는 1에 가까운  $\bar{\alpha}$ 의 函數이다. 여기서 日本의 重要홀의 室容積  $V$ 와 500Hz에서의 吸音力  $\bar{\alpha}S$ 의 關係를 그림 6에 나타내었다. 이에 따르면 定常狀態의 音压레벨에 대한 室容의 影響은 크고 30000 $m^3$ 級 홀에서는 10000 $m^3$ 級 홀에 대하여 4~5 dB程度 低下한다. 이에 대하여 實際의 홀에서 생각할 수 있는 範圍內的 殘響時間의 變化는 音压레벨에 별로 影響을 주지 않는다.

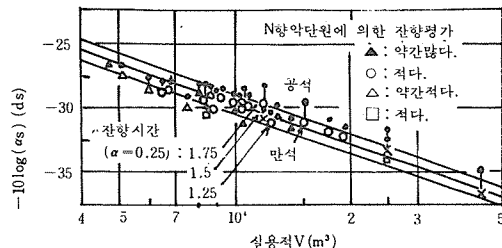


그림 6. 日本의 중요한 몇홀의 흡음력  $\alpha S$ 와 실용적  $V$ 의 관계.

### 6. 音響效果와 室形狀

#### 6-1 室形과 音質

오디토륨 홀 室形의 基本型으로는 長方形, 扇形, 多角形 등이 있으나 베라벡氏의 音樂홀의 調査 (1)에 의하면 윈의 뮤직 체라인잘이나 보스톤의 심포니홀과 같이 주로 19世紀에 세워진 長方形의 홀이 가장 評點이 많다.

한편 다른 調査에 따르면 (13) 가라얀의 本拠地인 벨르린의 노이에필하모니는 場所에 따라 音質이 틀리므로 評點도 별로 좋지 않다. 이 原因의 하나는 室形의 相違를 들 수 있다. 長方形과 多角形 홀의 音質의 比較의 한 例로서 트럼펫의 放射特性을 그림 7에 나타내었다. 노이에필하모니에서는 兩側 및 舞臺后部の 客席에서 音質의 均衡이 매우 나쁘고 홀 全体로서는 均一한 좋은 質의 音を 얻을 수 있다. 이에 대하여 長方形의 뮤직 체라인잘은 거의 均質한 音質로 音이 伝하여지고 있는 것을 알 수 있다.

이에는 極端의 指向性을 가진 樂器에 대한 이야기이나 一般적으로 室型은 춤의 均衡感과 密接한 關係가 있다고 한다.

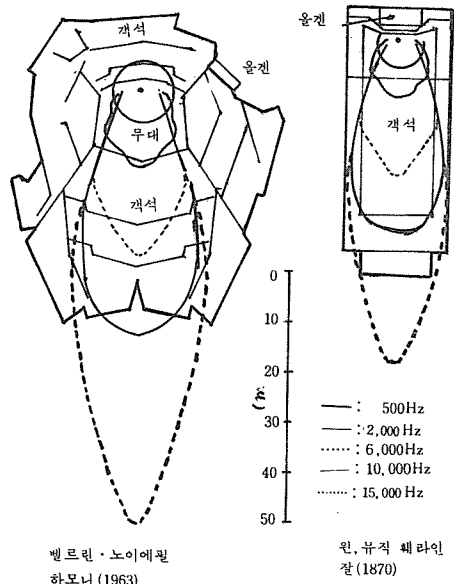


그림 7. 홀 室形에 대한 트럼펫의 指向性的의 例 (13)

#### 6-2 初期反射音密度

音의 明瞭性이나 親密感에 關係하는 初期反射音密度는 주로 舞臺反射板과 舞臺에 가까운 周壁의 位置關係, 傾斜 및 天井의 形狀과 높이에 關係한다. 一般으로 客席바닥面積이 커지면 初期反射音 密度의 희박한 部分의 面積이 增加하는 傾向이 있다. 그러나 室型의 計算機모델을 쓴 檢討結果 (14)에 따르면 客席全部의 反射面條件이 같으면 扇形이라도 4角形이라도 거의 初期反射音密度는 變하지 않는다. 이는 舞臺近傍, 客席全部의 形狀設計가 매우 重要한 것을 意味하고 있다.

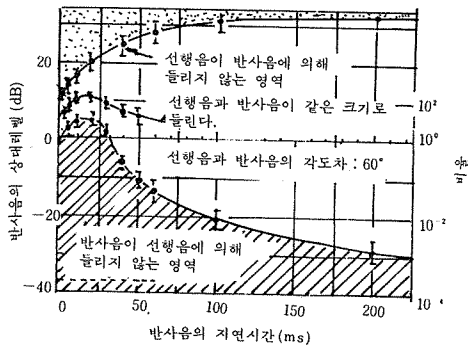


그림 8. 先行音과 反射音의 關係(15)

### 6.3 反射音의 方向性.

一般으로 聽感上의 方向感은 時間的으로 일찍이 到達하는 先行音에 의해 支配된다. 그림 8은 그 定量的인 關係를 나타낸것으로 60°配置의 스피커에 의한 先行音과 反射音과의 레벨差와 遲延時間에 대한 音이 들리는 것에 대한 關係<sup>(15)</sup>를 나타내고 있다. 이에 따르면 先行音과 같은 레벨의 遲延時間이 30ms 까지의 反射音은 先行音에 의해 마스크되고 反響으로서 檢知되지 않는다. 또 늦게 到來하는 反射音의 레벨이 先行音 보다 10dB 이상 強해도 先行音이 들린다. 擴聲裝置는 이 性質을 잘 利用한것으로 音源의 方向感을 손상함이 없이 受聽레벨을 올려 效果가 있다.

한편 反射音의 方向과 크기는 音源의 퍼지는感이나 臨場感과 密接한 關係가 있다. <sup>(16)(17)</sup>그림 9에서 보는바와 같이 直接音에 대한 反射音方向을 左右 22.5°와 45°方向으로 한 경우의 퍼지는感의 實驗結果<sup>(17)</sup>에 의하면 兩方向의 反射音에 의한 퍼지는感이 같으려면 22.5°方向에서 오는 反射音은 45°方向에 대하여 約 2 dB 클 必要가 있다. 이 와같은 點에서 보면 그림 10에 보듯이 準扇形의 多角形홀에서는 客席內에 있어서 反射音의 到來方向이 많이 틀리므로 當然 客席內에서의 퍼지는感도 틀린것이다. 이들 點에서 音樂홀에서는 反響의 低感도 包含하여 側壁에 擴散壁을 두어 反射音을 分散시키는 처치를 하고있다.

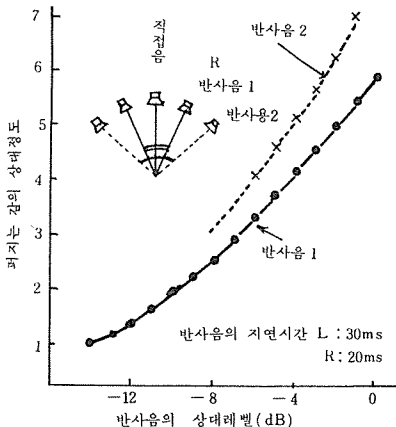


그림 9. 반사음의 상대레벨과 방향의 틀림에 대한 퍼지는 감의 변화.

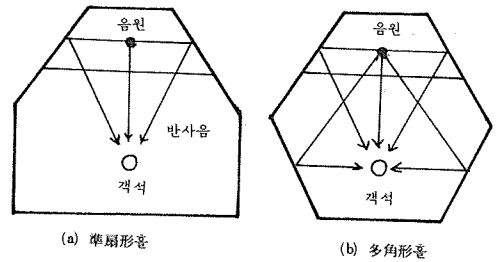


그림 10. 室型에 의한 반사음의 도래방향의 틀란례.

### 6.4 反響

反響은 直接音에 대하여 約 50m 이상 늦어져 強한 反射音이 있는 경우에 들린다. 實際로는 直接音의 音의 레벨, 直接音과 反射音의 레벨差, 音源의 種類등에 關係하고 있으나<sup>(8)</sup> 일반적으로는 音源의 位置와 反射音의 사이의 距離가 50ms 間에 音을 伝하는 距離의  $\frac{1}{2}$  즉 8.5m 程度 이상이면 反響이 생긴다. 홀에서 反響의 原因이 되기 쉬운 反射音은 音源과 壁面間距離가 길어지는 后壁에서의 것으로 幅이나 室高이가 큰 홀에서는 側壁이나 天井도 反響에 관련한다. 이 때문에 側壁은 擴散處理하면서 더불어 后壁은 殘響調節도 겸하여 吸音面으로 하는것이 普通이다.

<표 2> 代表的인 홀의 1席當의 바닥面積 m<sup>2</sup>

원	뮤직테라인갈	0.59
뉴	육 카네기홀	0.61
동	경 NHK 홀	0.68
동	경 동경문화회관대홀	0.67

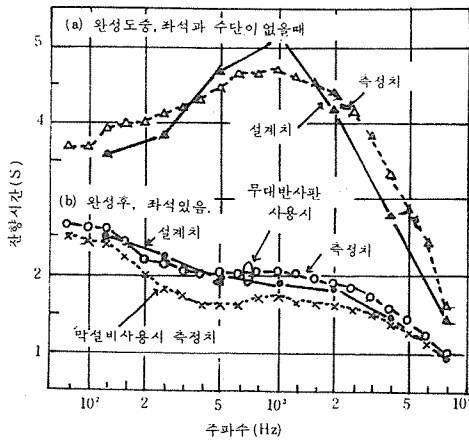
### 7. 客席面의 效果

#### 7.1 客席椅子

客席바닥面은 홀의 重要吸音面으로 그 大小, 構造는 홀의 殘響設計에 큰 影響을 미치고 있다. 흔히 많이 쓰이는 客席치수는 1席當 50cm×95cm 程度이나 通路 등 建築法上 客席幅에도 關係하고 있으므로 홀客席의 넓이를 정할 경우 通路도 包含하여 1席當의 客席바닥面積이 0.7m<sup>2</sup> 程度가 適當하다. (표 2 참조) 한편 室內音響의 으로 홀의 殘響時間은 空席時에도 滿席時에도 變하지 않는것이 바람직하다. 이 때문에 大部分 吸音性椅子를 利用하고 있다. 여기서 吸音에 대한 椅子의 效果가 어느 程度인가를 나타내는 例로서 日本 新宿文化센터 큰 홀의 椅子 有無時<sup>(18)</sup> 殘響時間의 設計値와 實測値를 그림 11에 나타내었다. 椅子가 있는 경우 1,000Hz의 殘響時間은 2.1秒弱에 대하여 없는 경우는 4.7秒나 된다. 이 結果에서 椅子의 吸音力을 算出하면 표 3의 값이 된다.

<표 3> 中程度의 吸音性椅子의 吸音力 m<sup>2</sup>

周波数 (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
吸音力 (m <sup>2</sup> )	0.12	0.22	0.28	0.29	0.31	0.32



(V : 14,714m<sup>3</sup>, 수용인원 n=1,802)

그림 11. 新宿文化센터 大홀의 좌석의 有無에 의한 잔향시간의 比較.

### 7.2 바닥傾斜

客席面의 바닥傾斜는 視覺的, 聽覺的으로 決定된다. 舞臺가 잘 보이는 자리는 一般的으로 소리도 잘 들리는 자리라는 것에서 普通은 客席后部에 갈수록 바닥傾斜가 커진다. 이와같은 形을 취하면 舞臺에서의 直接音은 比較的 感衰가 적고 客席에 到來한다. 한편 圓의 圓柱 圓錐와 같이 單層 평탄바닥의 홀에서는 直接音의 減衰가 크고 直接音에 대한 天井 壁에서의 反射音이 귀에 들리는 比重이 높아지고 있다. 새로이 傾斜홀과 平탄홀의 大 差異는 뒷壁에서의 反射音의 密度가 稀薄한 것에서 즉 平탄홀이 后方의 反射音의 密度가 약간 크다. 文献6의 研究에 따르면 客席内에서의 에너지 前後比도 室内音響效果의 因子의 하나로서 抽出되고 있으나 이 結果에서 보면 辺이 稀薄한 것이, 19世紀에 建設된 直方體홀의 音이 一部의 홀의 音과 에너지密度가 稀薄한 原因이 되는 것도 알 수 있다. 이 점에 關하여는 앞으로 많은 研究가 있어야겠다.

### 8. 結論.

홀이나 劇場 등의 室内音響性能과 그것에 대하여 基礎的인 事項에서 最近의 研究의 움직임 まで 包含하여 紹介하였다.

現在 室内音響效果에 關한 心理, 物理的인 性質에 대하여 前述한바와 같이 어느 程度 分明히 파악되도록 되어 있으나 全體的으로는 아직 不充分하다. 이에 대하여도 앞으로의 研究에 期待하여야겠다. 여기에 最近의 建築音響의 發達과 問題點들을 열거코자 한다.

오늘의 建築音響은 다음의 셋으로 나누어 論할 수 있겠다. 그 첫째는 가장 아카데미한 立場의 것으로, 다음은 建築構造가 近代化하여 온 結果 새로이 發生하는 問題를 어떻게 解決하느냐 이고, 끝으로 騒音公害에 대한 建築으로서의 對策이다.

첫째의 아카데미한 研究는 今世紀初 세빈氏에 의한 殘響理論發表 以來 著실히 研究되어 왔다. 現在 室内音響에 대해 世界的으로 가장 重要한 課題의 하나인 室의 物理

特性과 聽感과의 關係를 明確히 하는 것이다. 그리고 디지털技術은 建築音響의 分野에서 이를 根據로, 關連理論을 發展시키므로 例로 音樂堂의 舞臺에서 客席에의 音의 傳達를 3次元의 音線圖에서 2次, 3次의 反射音까지 求할 수 있도록 하는 것이다. 또 相關技術의 應用으로 아나로그計測으로는 不可能한 SN比의 改善을 갖는 것이다. 쉬레다氏에 따르면 인펄스·레스폰스에서 殘響曲線을 求하는 方法을 採用하면 여지껏 騒音 등을 音源으로 하여 그 斷續을 반복하며 殘響曲線을 그리고 그 傾斜에서 求한 殘響時間을 1회의 測定으로 求할 수 있다고 하였다.

다음은 建築構造의 進歩로서 새로이 發生한 問題는 그 輕量化와 防音性能이 惡化한 것에 대한 對策이다. 즉 建물이 輕量化되고 기둥도 가늘고 基礎工事도 簡單 하여져 建築費도 싸지고 좁은 敷地에 大容量의 오디오룸을 세울 수 있도록 되었다. 그러나 近代建物の 工法은 防音의 立場에서 보면 두개의 巨大한 결함을 갖고 있다. 하나는 間막이壁의 輕量化에 따른 遮音性의 惡化이고 다른 하나는 鉄骨自体를 타고 伝하는 固体伝搬音의 增加이다.

끝으로 公害問題에 대한 建築的인 對策이다. 航空機騒音을 비롯하여 鐵道騒音, 道路交通騒音 등 交通으로 인한 騒音에 대하여는 먼저 音源의 低減을 疎하여야 하나 音源에 가까운 地域에서는 이 方法으로 目的을 達할 수 없다. 防音建築의 研究가 많이 行하여지나 高温多濕한 여름은 매우 어려운 問題이다. 騒音公害의 根源으로 工場, 事業場 등을 들 수 있다. 이들 機械類에서 나는 自体騒音を 줄이는 것과 建物の 防音對策에 의한 外部騒音의 浸入을 막는 것이 重要하고 防音工場建築의 實際가 重要한 研究課題가 된다. 즉 새로운 遮音構造의 開發研究에 달려 있다 할 수 있겠다. (※)

### (參考文獻)

- (1) L. L. Beranek; Music, acoustics and architecture, (1962) John wiley New York,
- (2) R. J. Hawks & H. Douglas; Acoustics 24, (1971)
- (3) R. M. Edwards; ibid 30, (1974)
- (4) M. R. Schroeder, D. Gottlob & K. F. Siebrase; JASA 56, (1974)
- (5) K. Yamaguchi; ibid 52, (1972)
- (6) 山本, 鈴木; 日本音響学会誌 32, (1976)
- (7) 山本, 関口; 日本音響学会誌 32, (1976)
- (8) 山本, 日本音響学会誌 27, (1971)
- (9) 山本; 関口: 日本建築学会論文報告書 No. 177 (1970)
- (10) M. R. Schroeder; Report of the 6th ICA, GP-6-1 (1968)
- (11) S. Furukawa & T. Yamamoto; NHK Technical Monograph No. 27 (1978)
- (12) 中村外; 日本音響学会建築音響委員會資料 AA76-15 (1976)
- (13) J. Meyer; Report of the 7th ICA, 19-A-1 (1971)
- (14) 山本外; NHK技術研究 24 (1972)
- (15) E. G. Richardson, E. Meyer編 "Technical aspects of Sound" (1962) Elsevier, New York,
- (16) M. Barron; Journal of Sound bration 15, (1971)
- (17) 山本, 鈴木; 音響学会研究發表會講演論文集 3-6-2 (1976)