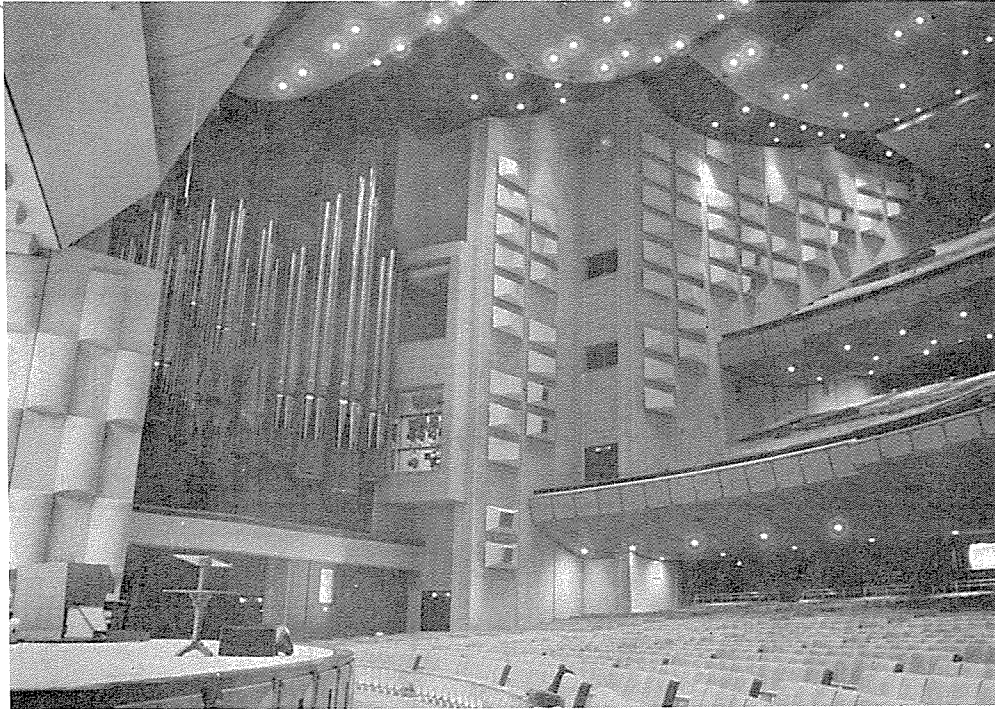


世宗文化會館 大講堂建築音響設計

崔炳虎



머리말

世宗文化會館의 建築音響設計는 音響的으로 重要視하는 大小講堂을 비롯하여 大會議室, 리허실室 等 諸室에 對한 室內 音響設計와 遮音防振設計를 하여 音響的으로 좋은 오디토리엄을 實現토록 하였다.

室內 音響設計에서는 客席에 均一한 音圧分布, 長時間 遲延反射音 等 音響欠陷의 除去, 最適 殘響時間의 設定 및 內裝設計로 室內 音響條件의 完璧을 期하였고 遮音防振設計에서는 聽取하는데 妨害가 되는 騷音과 振動을 減少 또는 遮斷시켜 快適한 音響環境이 되도록 하였다.

특히 4250名을 收容하는 大講堂은 多目的홀의 要求와 大容積 홀에서 起因하는 音響的 問題點 等 그 處理에는 많은 檢討가 要求되었다.

다행히도 筆者는 株式會社 兪·이 建築의 위촉으로 世宗文化會館 全段에 걸쳐 建築音響設計를 담당했을 뿐 아니라 竣工할때까지 滿 2年 6個月間 現場에 勤務하면서 檢討 調整할 期會가 있었다.

이 글은 위와같은 目標로 施行한 大講堂 音響設計의 主要內容과 最經結果의 報告이다.

大韓建築士協會誌 通卷第112號

1. 基本的 音響條件의 檢討

一般的으로 要求하는 音響條件은 오디토리엄에서 公演하는 內容을 觀客에게 快適한 音響을 傳達하고 演技者나 演奏者는 自己의 能力을 마음껏 發揮하는 場所인 것이다. 觀客이 要求하는 音響條件은

- (1) 騷音이나 振動의 妨害없이 目的하는 音을 聽取할수 있고.
- (2) 그 音量은 充分, 明瞭하게 들리고
- (3) 音源位置는 識別되어야 하고
- (4) 客席 어디서나 長時間 遲延反射音 等 音響障害 現象이 없고
- (5) 視覺的 空間과 殘響音 感覺의 不調和는 없어야 한다.

한편 演奏者가 要求하는 音響條件은

- (1) 自己의 演奏音과 協演者의 演奏音이 잘 들리고
- (2) 自己의 演奏하는 音을 意圖하는 곳에 보낼 수 있어야 할 것이다.

이와 같은 音響要求 條件은 擴散音場을 考慮한 基本室

形(舞台周辺 寸數, 断面形 平面形) 과 最適殘響時間의 確保로 達成할 수 있다.

大講堂 室内 音響設計는 (1)多目的 홀에 對한 處理 (2)大容積에 對한 處理 (3)天障 断面形의 決定 및 室形檢討 (4)殘響計劃 等이 主要 檢討課題이다.

2. 多目的 홀에 起因하는 音響的 問題點과 處理

大講堂은 콘서트 홀, 劇場, 映畵館, 集會 等 그 機能이 廣範圍한 多目的 홀이다. 海外에 있는 홀은 大部分 單一目的에 使用하는 專用 홀로 콘서트 홀, 오페라 하우스, 劇場 等 各己 特有의 機能을 滿足하게끔 設計되어 있지만 우리나라는 그렇지 못한 實情이다.

모든 프로그램에 適應할 수 있는 多目的 홀은 舞台施設物(吊物 廻轉, 昇降, 舞台, 오키스트라 플랫폼 等)의 設置로 觀客領域과 演技領域이 分離되는 푸로세니엄 스테이지로 構成하게 된다. 이와같은 建築條件은 (1) 觀客은 푸로세니엄 아치를 境界하여 한쪽 便에만 있게 되어 可視距離가 過大한 客席 配置가 되어 擴聲施設없이는 滿足할 만한 音量을 들을 수가 없다. (2) 넓은 舞台, 높은 舞台타워, 많은 舞台吊物 施設物은 演技領域에서 많은 音響에 너지를 消滅시킨다.

以上 問題點에 對해 考慮할 수 있는 解決策으로

- (1) 建築音響 條件을 可變할 수 있게 하여 使用目的에 따라 最適條件으로 適應할 수 있게 한다.
- (2) 홀의 性格을 明確히 하고 그 性能을 發揮하면서 다른 目的의 要求도 받아 들이면서 使用할 수 있게 한다.
- (3) 電氣音響設備을 活用하여 使用目的에 適應케한 音響條件을 合成 使用한다.

以上 여러 案을 檢討한 結果 (1)은 建物の 可變範圍로 보아 實施하기 어려우며, (3)은 電氣音響設備을 使用치 않은 오키스트라 演奏時를 考慮하여 채택하기 困難하여 (2)의 홀의 性格을 明確히 하고 그 性能을 發揮하면서 다른 目的의 要求도 받아 드리면서 使用할 수 있는 方案을 채택 音響設計를 推進하였다.

3. 大容積 홀에서 起因하는 音響的 問題點과 處理

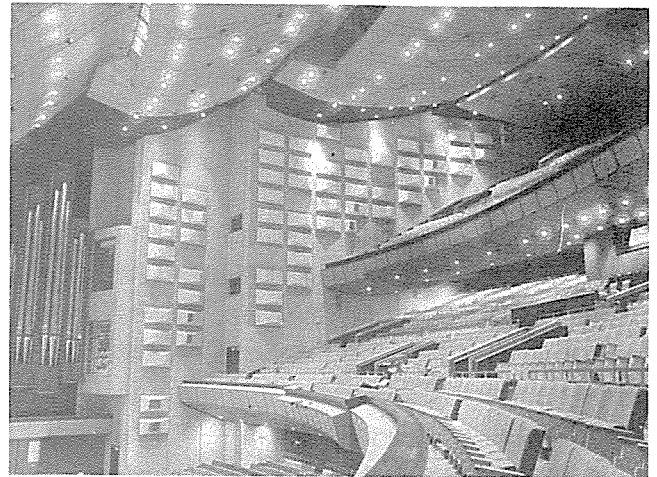
많은 觀客을 收容하는 大講堂은 室容積 36,600m³ (舞台 音響反射板 使用 時)로 大端히 큰 편이다.

이와같은 大容積 홀에서 起因하는 音響的 問題點은

- (1) 많은 觀客의 收容에서 客席바닥이 넓어 側壁과 天障과의 過大한 距離로 反射音 密度가 적은 部分이 많다.
- (2) 可視距離(音線距離)가 멀어지고 2段발코니 構造의 客席은 視野角이 적어 直接音에 對한 音響레벨이 低下되는 客席部分이 많다.
- (3) 大容積의 홀은 吸音力(A) = 表面積(S) × 平均吸音率(α) 이 增大하는 傾向이 있다. 한편 室内 平均 音響에 너지 密度는 音이 擴散狀態에 있을 때

總吸音力에 反比例되어 音響에 너지 密度는 低下되는 傾向이 있으므로 室内 吸音力은 減少시켜야 하는 問題도 提起된다.

以上 問題點을 檢討한 結果 (1)天障 断面形은 理想的인 断面形으로 造成하고 (2)最適 殘響時間을 選定하고 이를 滿足시킬 수 있는 內裝設計를 한다. (3)壁面은 擴散性能이 좋은 擴散體를 設置한다. (4)舞台 音響反射板은 音響에 너지의 消滅이 없는 構造로 하는 것 等이다.



4. 天障 断面形 決定 및 室形檢討

壁面이나 天障面의 效果的인 反射音은 客席에 音壓 分布를 均一하게 하는데 매우 重要하다. 大講堂은 넓은 室幅으로 側壁에 依한 1次 反射音 利用은 期待하기 어렵지만 天障面은 直接音이 弱해지는 客席 后部에 많은 反射音을 보낼 수 있었다. 反射音의 위치와 角度, 크기를 定하는 天障 断面形의 檢討는 舞台 위 無指向性 音源을 假定하고 幾何學的 作圖法에 依해 客席에 到達되는 直接音과 天障反射音과의 時間差가 50m 以內가 되도록 하면서 直接音과 反射音과의 合成 音壓레벨이 各 座席에 可及의 均一하도록 反射板의 位置와 傾斜角度, 크기를 決定하였다.

檢討結果 푸로세니엄 높이는 12m나 되어 天障 反射 利用은 3層 발코니부터 可能하고 1層과 2層 客席은 舞台 音響反射板에 期待하기로 하였다.

各 座席의 音壓레벨 計算은 直接 音線距離와 音像에서 오는 反射音線距離에 對한 音響에 너지의 逆自乘 法則을 適用하였다.

最終調整 結果 后部와의 앞 座席과 音壓레벨 差는 約 15db로 處理할 수 있었다.

座席曲線에 對한 視野角은 舞台 M點에서 1m 높은 處를 視焦點으로 할때 1層은 5~8度, 2, 3層 발코니는 5度로 視野條件은 大體로 좋은 便으로 檢討되었다.

平面形은 多目的 홀에서 많이 볼 수 있는 長方形과 부채꼴形의 混合 平面形이다. 平面形에 對한 音響的 檢討는 幾何學的 作圖法으로 直接音과 1次 反射音의 分布狀態, 反響이 予想되는 壁面을 檢討하여 吸音과 反射, 그리고 擴散이 要求되는 壁面을 檢出하였다.

발코니 先端은 曲率半徑이 적은 平面形이 되어 例外로 吸音處理가 要求되었다.

舞臺近處 側壁에 設置된 파이프 울진은 舞臺音源 以外로 또 하나의 音源으로 인해 對何壁에서 有害한 反響이 予想되어 이에 對한 防止와 客席에 充分한 라우드니스를 供給하기 위해 擴散體 設置가 要求되었다. 擴散體는 擴散性能을 最大限 높이기 위해 側壁바탕은 플렉시블 보오드 穿孔 吸音構造體로 한 后 音波에 自由振動할 수 있는 可振構造의 擴散體(104個)를 設置하였다. 舞臺 音響反射板은 Dr. struve의 助言을 받아들여 立方體 참바(開口幅 19m, 높이 10m, 안길이 11m) 舞臺 先端까지 突出 設置키로 하였다.

5. 殘響設計

余韻의 程度를 表示하는 殘響時間은 오디오리엄의 音響性能을 評價하는 要因의 하나이다. 最適殘響 特性은 最適 殘響時間과 周波數 特性, 客席에 到達되는 反射音과 直接音과의 有益한 比率, 音의 成長과 減衰現象의 最適함을 뜻한다.

一般的으로 오디오리엄의 殘響條件은

- (1) 適當한 殘響은 會話의 라우드니스(Loudness)를 強調하지만 過多한 殘響은 明瞭度를 低下케 하므로 講演, 演劇 等 會話音을 主로 하는 홀의 殘響時間은 짧은 便이 좋고
- (2) 音響은 觀客의 主觀의인 評價나 音樂樣式에 따라 다르지만 親密感 있는 좋은 音質과 生動感 있는 豐富한 音響의 要求에서 音樂을 演奏하는 홀의 殘響條件은 會話音보다 긴 殘響時間이 要求되고 있다.

大講堂의 境遇 홀의 性格을 明確히 하고 他目的에도 適應할 수 있는 多目的 홀로 하는 方針에 따라 最適 殘響時間은 Knudsen과 Harris, 그리고 Beranek가 제창한 室容積과 用途에 對한 最適 殘響時間과 國內外 主要 홀의 殘響時間을 比較하고 Dr. struve(西獨씨멘스社 音響고문)의 助言을 檢討한 結果 홀의 性格은 콘서트 홀(舞臺音響 反射板 사용時)을 主體로 하는 多目的 홀로 하여 最適 殘響時間을 1.7秒(500 HZ)로 하였다.

6. 內裝設計

內裝設計의 音響的 目標은 最適 殘響時間을 調節 確保하고 反射音의 效果의인 利用과 音響障害 現象의 除去이다. 殘響計算은 Eyring의 殘響式

$$T = \frac{0.161 V}{S \{-2.30 \log(1-\alpha)\}}$$

를 使用하고 2000HZ 以上 空氣吸音을 考慮한 것은 knudsen의 殘響式 $T = \frac{0.161 V}{S \{-2.30 \log(1-\alpha) + 4mV\}}$ 로 計算하였다.

殘響計算은 콘서트 홀의 特性을 考慮하여 넓은 幅의 標準 周波數 즉 64, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 大韓建築士協會誌 通卷第112號



8000HZ를 對象하였고 殘響時間에 對한 周波數 特性은 125HZ에서 1.4倍 程度 上昇토록 하였다.

計算結果 殘響時間 1.7秒에 所要되는 總 吸音力은 2922 m-sabin이다. 客席部分의 吸音力은 많은 比重을 占有한다. 內裝材料로 處理 할 吸音力은 觀客이나 椅子의 吸音力, 照明開口部, 유리窓 等의 固定 吸音力을 除外한 殘余分이다.

內裝材料는 吸音特性 그리고 建築意匠 計劃과 強度, 施工 等を 考慮하여 主音響材를 오디오리엄音響에 가장 合理的인 15mm合板을 使用하였다. 材料의 配置는 舞臺위 擴散性音響反射板과 함께 舞臺周邊을 反射性으로 處理하였고 舞臺音源과 對向되는 날개正面壁과 客席后壁은 吸音材를 使用하여 홀에 所要되는 吸音力은 舞臺에서 客席에 걸쳐 漸增的으로 變化케 配置하였다. 따라서 反射가 要求되는 主天障과 壁面은 15mm合板을 使用하였고 兩사이드天障과 날개正面壁, 擴散體周邊壁은 플렉시블보오드穿孔 吸音構造體, 后壁은 넓은 周波數의 吸音處理로 木造리부(30%開口) 吸音構造體로 하였다.

舞臺部分에 對한 殘響은 客席部分과 同等한 殘響條件이 되도록 집섬보오드와 글라스울보오드(능형망保護)를 使用하였다.

7. 遮音, 防振設計

오디오리엄의 基本的인 音響條件은 聽取하는데 防害가 되는 騒音과 振動이 없도록 하는 것이다. 大講堂에 影響을 미치는 外部騒音은 道路交通 騒音, 建物上空 騒音, 等이고 內部騒音은 地下 駐車場, 셋트 製作室, 空調다트 等이다.

이와 같은 騒音은 홀의 바닥, 壁, 지붕 다트 等を 통해 侵入이 予想된다. 遮音 및 防振設計의 目標은 侵入하는 騒音이 室內許容 騒音레벨 以下가 되도록 遮斷 또는 減少케 하는 것이다.

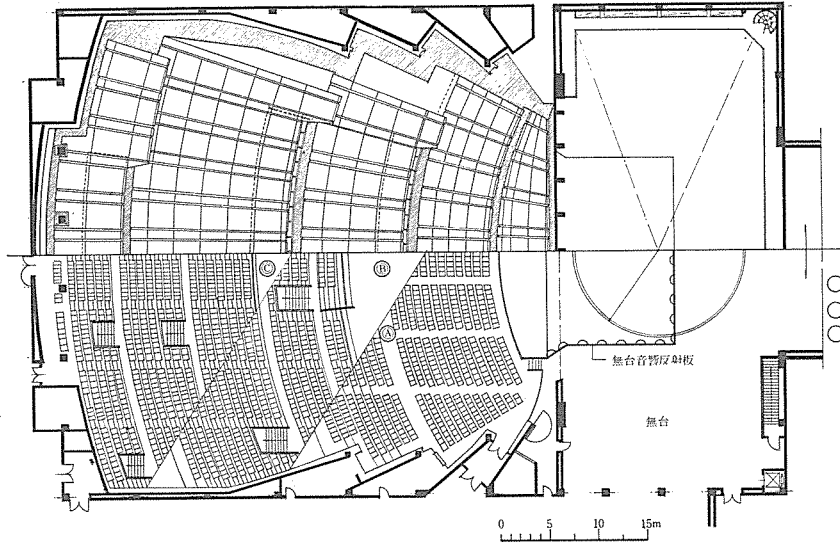
홀의 許容騒音레벨 基準은 Beranek의 NC-25를 適用하고 設計를 推進하였다.

다음은 騒音防振 對策의 主要內容이다.

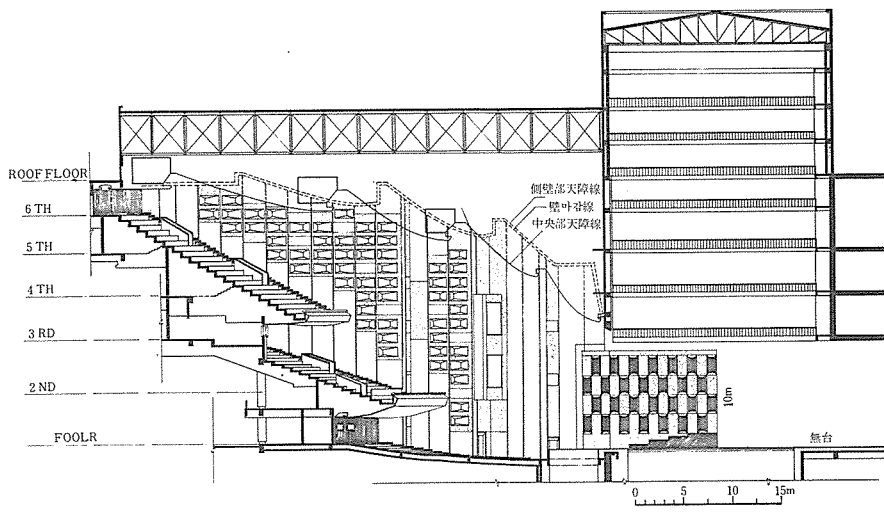
- (1) 홀 出入은 前室을 둔 2重 鐵製 出入門으로 하고 前室壁面은 木造리부 吸音 構造體로 하였다.

- (2) 홀 바닥과 2重 콘크리트로 境界되어 있는 地下 駐車場은 遮音量을 높이고 駐車場 内の 騒音을 減少키 위하여 2重 天障 위 뽀기 吸音材로 處理하였다.
- (3) 홀 天障은 遮音量을 높이고 振動音을 遮斷하기 위하여 金屬코일 스프링으로 支持 防振케 하였다.
- (4) 舞台바닥은 舞台 위의 충격 音과 地下 기계 振動音의 減少를 위해 25mm 두께 絨트로 防振하였다.

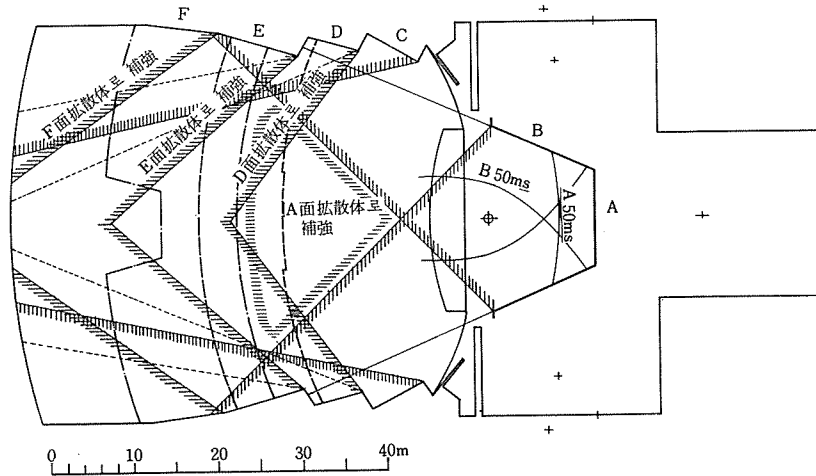
- (5) 各 空調室 壁과 天障은 吸音處理하여 空氣音을 減少시켰다.
- (6) 廻轉設備 機械는 防振고무에 依한 2次 防振을 하였다.
- (7) 홀 內에 連結된 空調다트 換氣口 등에서 侵入하는 送風機 騒音, 風速 騒音은 室內 許容騒音레벨 以下가 되도록 檢討하여 吸音엘보 등으로 騒音防止 處理를 하였다.



大講堂平面 및 天障伏図

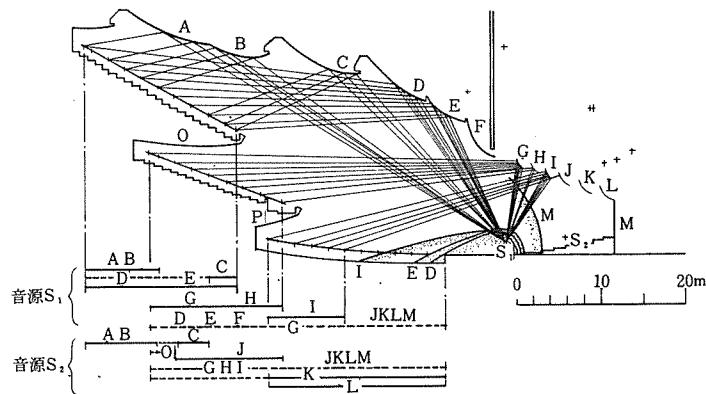


大講堂 断面図



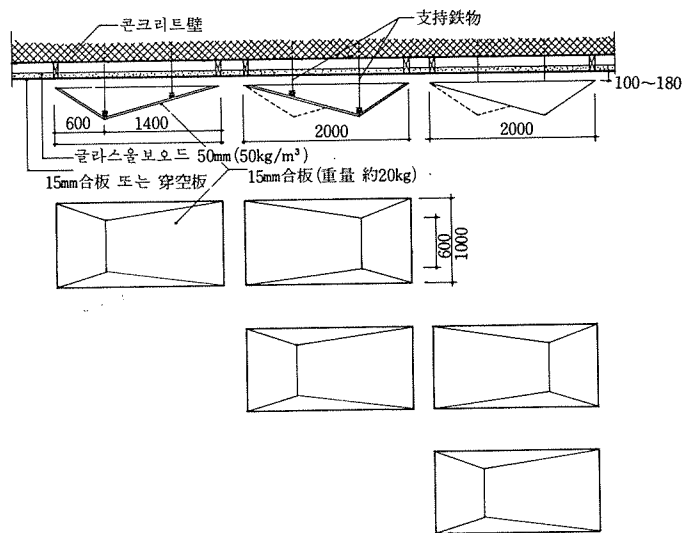
大講堂 平面形 音線 検討図

1. 50ms의 카이브 (第1次反射音과의 時間差가 50ms以上部分) ※ 音響対策 ① A, B, B'面을 拡散處理
 2. 壁面反射音分布 検討 ② D, D', E, E', F, F'面을 拡散處理



1. 天障反射音分布 検討
 2. 50ms의 断面카이브 ※ 音響対策 MLKJIHG 面은 拡散處理

大講堂 断面形 音線 検討図



大講堂 拡散体 詳細

大講堂 諸元

客席部分最大寸数	幅 48m 長 51m 高 25m
無台 寸数	固定 푸르세니엄 開口幅 26m 高 12m 可動푸르세니엄 幅 26m~20m 高 12m~10m 舞台 幅 64.5m 안길이 44m 스타트 높이 39m
바닥 面積	1層 客席 983.07m ² 2層 客席 927.50m ² 3層 客席 1057.00m ² 計 2967.57m ² 舞 台 3660.6m ² 反射板 261 m ² 오키스트라랏트 100m ²

收容 人員	1層 客席 1314 席 2層 客席 1249 席 3層 客席 1441 席 예 비 석 220 席 計 4224 席
表面積 (S)	10.145m ²
室容積 (V)	36.600m ³
V/S	3.6
1席当 客席 寸数	1層 90×48cm 2層 90×48cm 3層 90×46cm
1席当 占有 面積	$\frac{F}{n} = 0.7 \text{ m}^2 / 1 \text{ 人}$
1席当 占有 容積	$\frac{V}{n} = 8.66 \text{ m}^3 / 1 \text{ 人}$

5. 残響設計

大講堂 設計概要

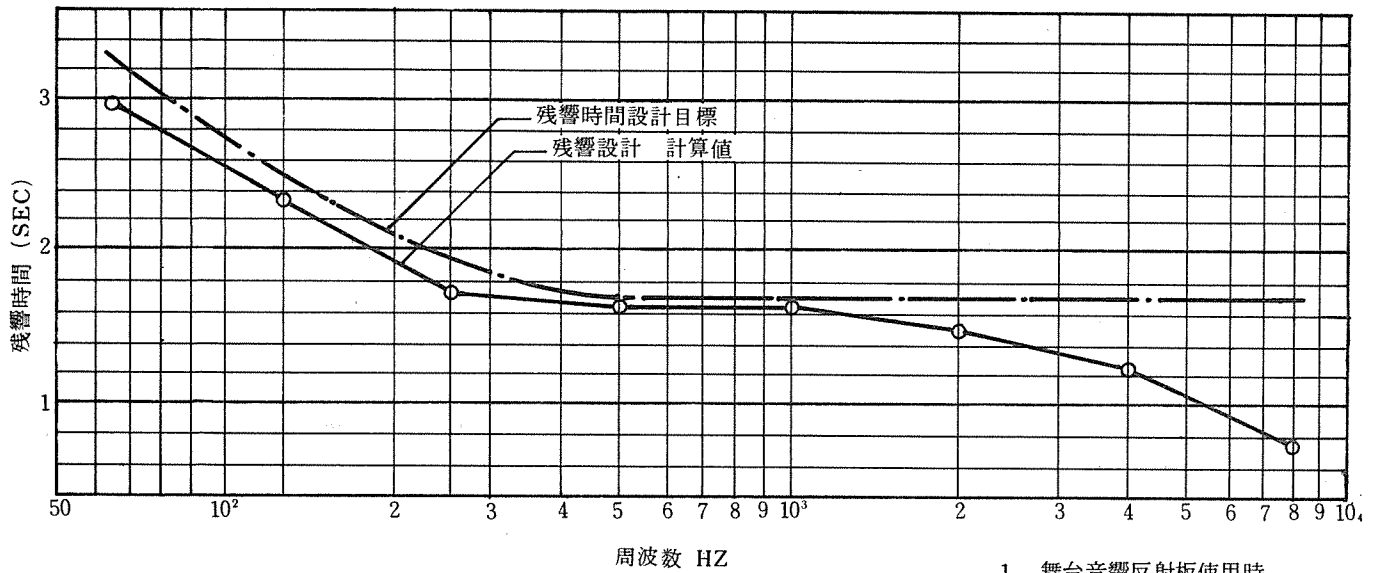
区 分	使用目的	客席数	室容積 (V)	表面積 (S)	V / S	残響時間設計目標 (T)	비 고
大講堂	• 集 合 • 音 樂 • 演 劇 • 映 画 • 其他行事	4224名	36.600m ³	10.145m ²	3.6	1.7秒 (觀客 80% 收容, 舞台音響 反射板 使用時) 2.0秒 (空席時)	

6. 内裝設計

大講堂에 使用한 主要内裝材料

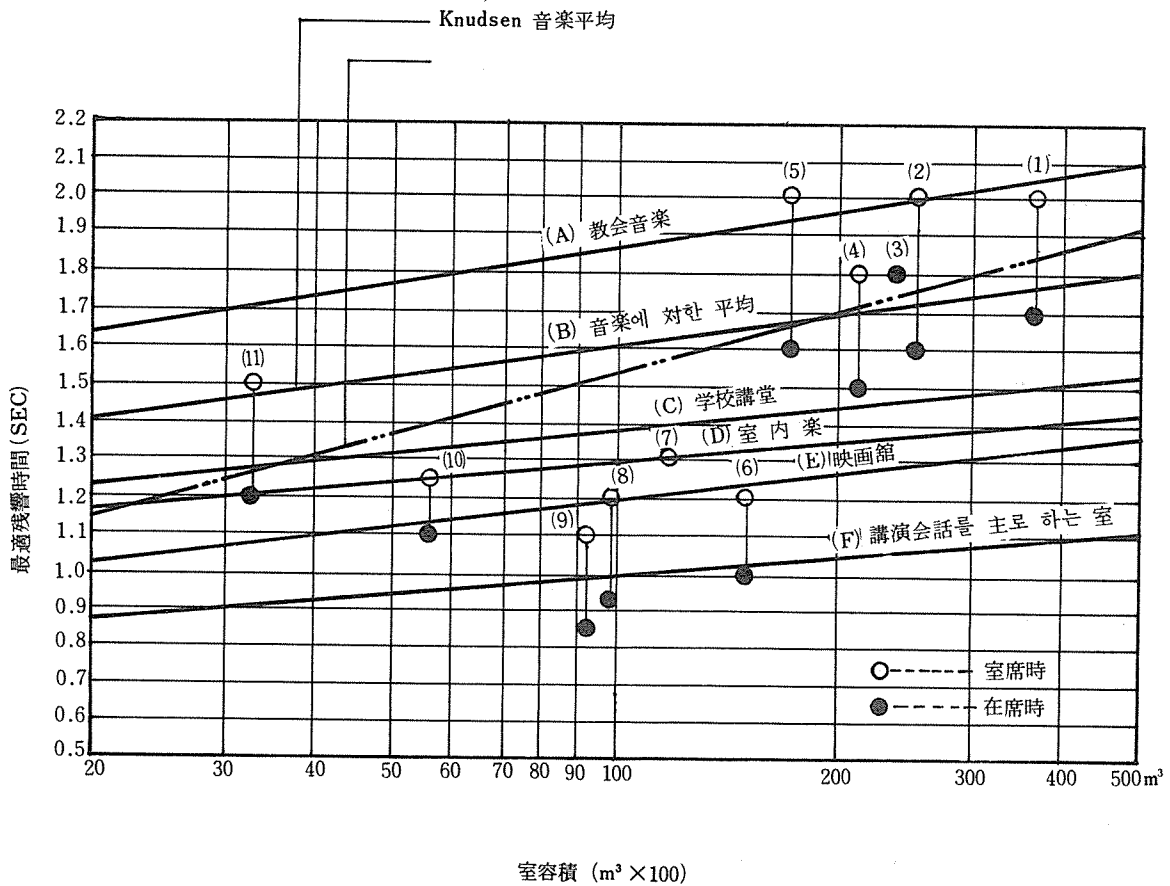
区 分	内 装 材 料	使 用 個 所	使用面積 (m ²)	使用率 (%)
大講堂	• 合板15mm 室氣層 100mm	天障 (主天障)	2042.5	20.13
	• 合板 15mm 空氣層 50mm	天障 (발코니天障其他)	1007.27	9.93
	• 合板 6mm 위 파아라이트 뿔기	天障 (后部 凹部)	32	0.31
	• 合板 12mm	발 코 니	143.12	1.41
	• 合板 12mm	擴 散 体	228	2.24
	• 合板 15mm 空氣層 100~180mm内	側 壁	571	15.63
	글라스울 보오드 50mm			
	• 플렉시블 보오드 穿孔板 (9φ - 15p - 6t)	側 壁	240	2.37
	空氣層 100mm内 글라스울 50mm			
	• 플렉시블 보오드 穿孔板 (9φ - 15P - 6t)	天障 (側凹部)	244.02	2.40
	空氣層 180mm内 글라스울 50mm			
	• 플렉시블 보오드 穿孔板 (9φ - 15P - 6t)	側 壁	236.87	2.34
	空氣層100~180mm内 글라스울 보오드 50mm			
	• 同 上 P P P P P P I I I I I I I I	발 코 니	64.89	0.64
	• 플렉시블 보오드 穿孔板 (6φ - 107p - 5t)	側 壁	132.81	1.31
裏面 용 空氣層 100mm				
• 木造 리부 (開口率 30%) 空氣層 180mm	后 壁 (下壁)	136.56	1.34	
• 木造 리부 (開口率 30%) 空氣層 180mm内	后 壁 (上壁)	140.13	1.38	
글라스울 보오드 50mm				
• 회목 마루 (反射板 内)	舞台바닥	281.84	12.78	
• 合板 15mm, 合板 6mm	舞台反射板	736	7.26	
• 其他 (客席, 通路, 開口部, 出入門, 視窓 等)		3907.99	38.53	
			計 10.145m ²	100%

大講堂 残響曲線



- 1. 舞台音響反射板使用時
- 2. 観客 80% 収容時
- 3. 2000HZ以上 空気吸音 考慮할것

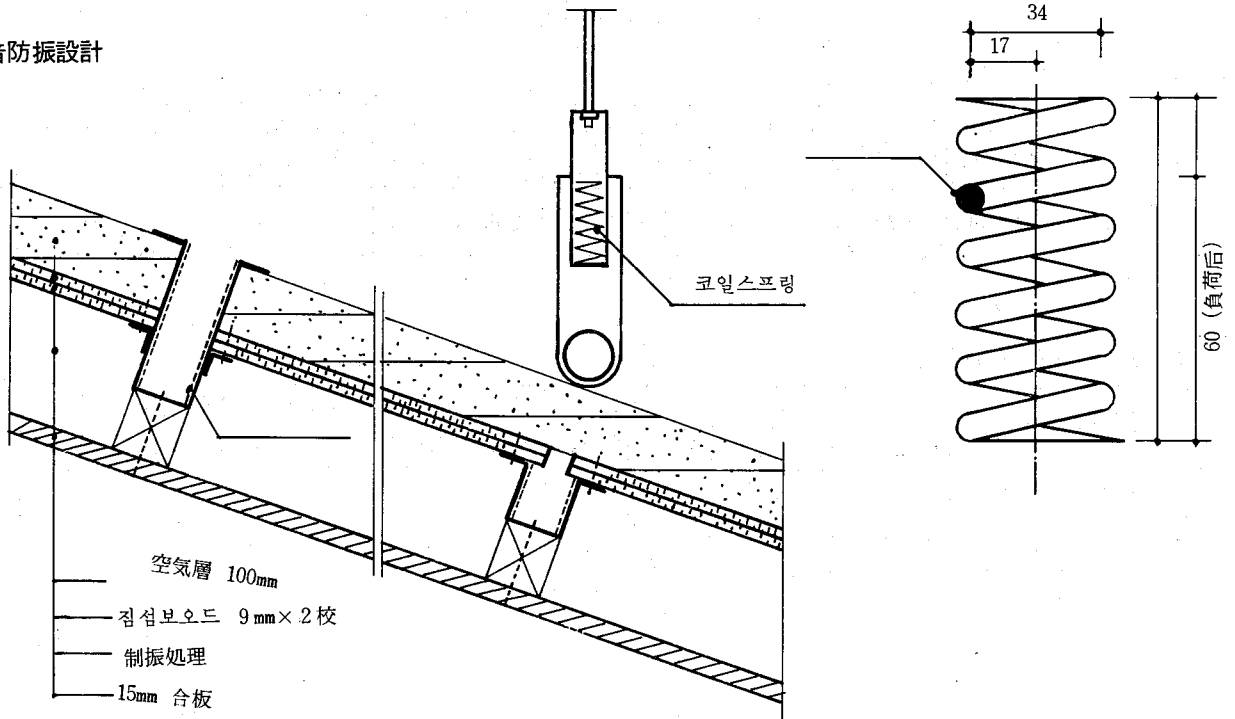
残響設計 5



用途에 따른最適残響時間(500HZ)과容積과의關係(Knudsen a Harris), 国内外 主要 회의 残響時間.

- | | | |
|-------------------------|----------------|----------------|
| (1) 世宗文化会馆 大講堂 | (2) 日本 NHK 廳 | Carnegie Hall |
| (4) Royal Festival Hall | (5) 東京文化会馆 | (6) 韓國国立극장 大講堂 |
| (7) 日本 日比谷公会館堂 | (8) 日本帝国劇場 | (9) 日本国立劇場 |
| (10) 어린이 会馆무지개 劇場 | (11) 世宗文化会馆小講堂 | |

7. 遮音防振設計

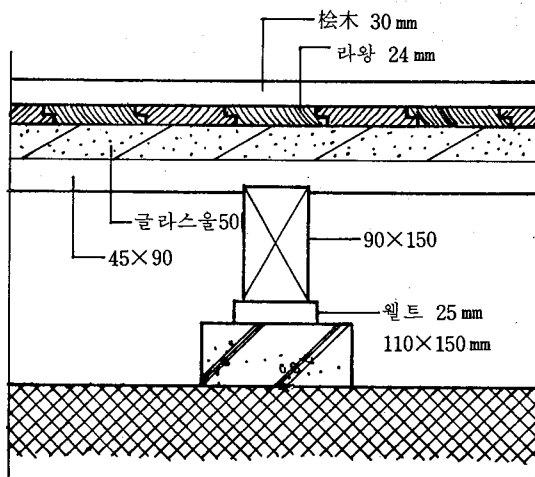


大講堂 天障 및 金属코일스프링 詳細

코일스프링 計算結果

支持荷重	스프링 常数 K	変位置 δ	固有振動数 f_n	最低対象 周波数 F	F/ f_n	振動伝達率 T	音響減衰量 R	応力 J	비고
190kg	145.92kg/mm	15.6mm	4 HZ	25HZ	6.25	2.6%	31.8ab	42.3kg/mm ²	

7. 遮音防振設計



大講堂 舞台바닥 헬트 防振詳細

헬트 防振 計算結果

- 荷重 ○ 固定荷重 60kg/m²
- 移動荷重 440kg/m²
- 計 500kg/m²

헬트 使用寸数	헬트 設計 荷 重	헬트 두께	比重	固有振動数 f_n	防振作用強 制振動数 F	F/ f_n	振動伝達率 T	音響減衰量 R	비고
9 × 15cm (135cm ²)	1.5kg/cm ²	25mm	0.34	28HZ	56HZ	2	33%	9.8db	

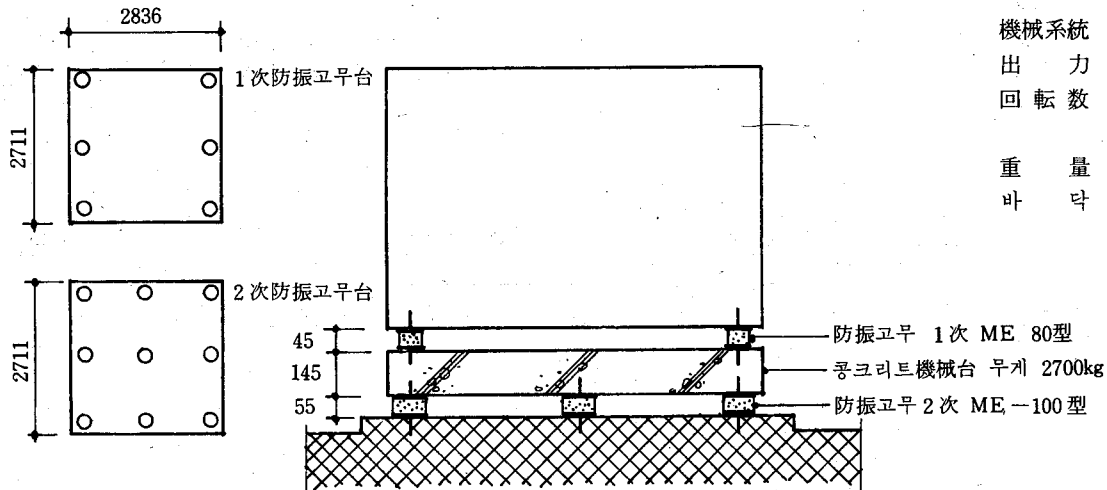
空氣調和機(AHU) 防振고무台設計

1次防振고무台 計算結果

防振고무台 種類	使用 個數	1個當 支持重量	固有振 動數fn	F / fn		스프링常數(K)		收縮 量(S)		고무높이에 對한收縮	振動傳 率(T)		音響退衰量(R)		備 考
				送風機	모 타	靜的kg	動的ka	靜的 δ_{st}	動的 δ_d		送風機	모 타	送風機	모 타	
MA-80 E=20kg/cm ²	6個	343.33kg	8.4HZ	2.59HZ	3.47HZ	88kg/mm	96.8kgmm	3.9mm	3.54mm	10.7%	17%	9%	15.4db		

2次 防振고무台 計算結果

防振고무台 種類	使用 個數	1個當 支持重量	固有振 動數fn	F / fn		스프링常數(K)		收縮 量(δ)		고무높이에 對한收縮	振動傳 率(T)		音響退衰量(R)		備 考
				送風機	모 타	靜的ks	動的ka	靜的 δ_{st}	動的 δ_d		送風機	모 타	送風機	모 타	
MA-100 E=20kg/cm ²	9個	528.88kg	7.9HZ	2.76HZ	3.69HZ	120kg/mm	132kg/mm	4.4mm	4mm	10.3%	2.2%	0.6%	33.2db	44.6db	



機械系統 AHV - 9
 出力 15HP
 回轉數 送風機 1310rpm
 모터 1750rpm
 重量 2060kg
 바 닥 2711×2836mm

끝

보내는 양수기
목마른땅 반긴다