

# 建築音響과 電氣音響에 關하여

金 容 柳  
(正 會 員)

國立劇場 舞台課長

## 序 論

最近 우리나라는 高度의 經濟成長과 더불어 大都市를 비롯하여 中小都市에서도 藝術에 대한 關心度가 높아져가고 있으며 88年度의 올림픽을 앞두고 地域文化를 소개할 수 있는 文化館, 體育館 等の 建물이 建立되어지고 있으며 또한 建立된 建物이라도 音響장애로 인한 活用目的의 제한때문에 音響環境 개선기획들이 이루어지고 있으며 또한 音響設計 全般에 對한 檢討가 進行되고 있다. 그러나 건축음향과 전기음향이란 音의 發生과 音의 擴聲이 같은 空內에서 이루어지기 때문에 電氣音響設備는 可能한 것과 不可能한 것으로 區分하여 말할 수 있다. 特히 近年에 와서 電子機器의 만능시대에 접어들면서 建築音響을 가정에서 마음대로 음량과 음질을 調整하여 自己 혼자 즐기는 電氣音響으로 착각하는 사람이 우리의 주위에 많이 있으며 大部分의 사람들은 建築音響에 知識이 적기 때문에 室內空間에서의 音의 反射에서 發生되는 모든 問題를 晝일적으로 生覺하여 自己의 전문영역을 초월하여 建築上의 불비한 點이나 致命적인 결함을 電氣音響이란 구세주에 의하여 구제 받고저 한다.

그러나 電氣音響은 建築空間의 창조가 아니라 창조된 建築空間의 보조역할을 한다는 것을 잘 알고 있어야 하며 電氣音響은 창조된 建築環境에 適合한 電氣音響設備의 記置 타당성을 檢討하여 建築空間과 電氣音響設備가 相互 연결되어 대등한 立場에서 調整되어야 쾌적한 音響環境이 이루어질 수 있다.

옛날부터 auditoriums의 音響特性을 決定하는 것은 好運의 女神이라 말할 수 있을 정도로 建築音響 特性에는 여러가지 諸要素가 복잡하게 相互關係되고 있다.

따라서 多目的 auditoriums의 建立 또는 改修에 있어서는 計劃의 初期부터 建築音響의에 適合한 것들인 가를 研究하고 工夫하여 設計者 또는 計劃者에게 施

設의 必要性을 분명히 말겨들 必要가 있다.

## I. 建築音響 設計 計劃

### 1. 音響設計의 基本計劃

建物の 音響設計를 有效하게 하기 위해서는 音響設計者가 基本計劃의 段階부터 完成후 音響測定, 檢討에 이르기까지 建築設計者와 密接한 연결을 갖는 것이 바람직하다.

音響記計의 進行方法을 系統圖로 나타내보면 그림 1과 같다.

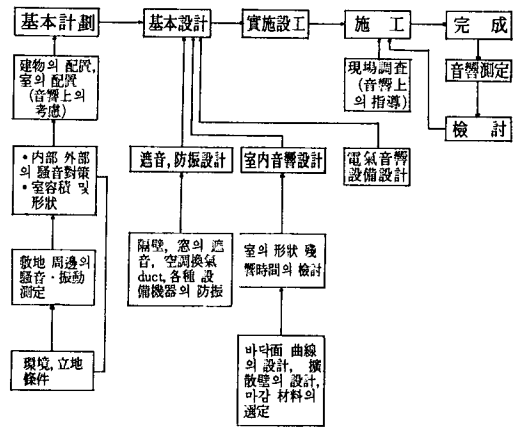


그림 1. 音響設計의 進行

### 2. 基本計劃 段階에서의 音響設計

建築의 基本計劃 段階에서 音響의인 面에 대하여 今後 주변지역의 발전에 關한 都市計劃등 다음 사항에 대하여 검토하여야 한다.

#### (1) 敷地周邊 騒音振動 條件의 調整

遮音 構造의 設定을 위해 부지주변의 소음, 진동의

발생 상황을 파악하고 허용되는 騒音度를 결정할 필요가 있다.

(2) 今後の 주변 環境상황 檢討

今後 주변의 도시발달로 도로의 신설 및 고층 건물 등의 음향장애 요소의 발생 여부에 관한 타당성 검토가 必要하다.

(3) 吸音構造를 必要로 하는 面의 構造

吸音構造의 상세한 實施設計 段階의 業務이며, 基本設計 段階에 있어서는 吸音構造를 必要로 하는 場所에 대해 檢討할 必要가 있다.

이 作業은 音響專門家에게 맡겨서 계획하여야 한다. 吸音의 目的은 롱패스에코(long path echo) 및 플러터 에코(flutter echo) 속삭이는 회랑等 音響障害의 防止와 殘響時間을 調整하는데 있다.

(4) 遮音構造

遮音性能에 關係되는 位置는 지붕(경량의 경우), 벽면 等이며 이러한 部分은 音의 전파경로가 되므로 場所에 따라서는 特別한 遮音構造로 할 必要가 있다. 특히 주위 도로 교통소음의 방지를 위해서는 도로주위의 防音壁 설치, 차량 속도의 제한, 신설도로의 경우 기존도로의 레벨보다 낮춤 等 音源側의 騒音 감쇄를 시도함이 바람직하다.

3. 建築空間에서의 音響章害 現象

에코(echo), 플러터 에코(flutter echo), 音의 焦點, 속삭이는 廻廊(whispering galleries) 등의 異常 現象은 主로 室의 形에 기인한다. 室形에 있어서는 우선 이러한 現象이 생길 可能性이 있는 形은 採用하지 않도록 留意할 必要가 있다. 適切한 形에 있어서는 内裝記計가 대단히 容易하지만, 不適切한 形을 부득이 하게 취한 경우는 最適殘響 條件을 만족하게 하는 것은 2차적으로 생각하고, 障害가 되는 現象이 일어나지 않게 内裝材料의 選定을 먼저 考慮해야 한다.

(1) 에코(echo)

繼續 時間이 대단히 짧은 直接音과 第1次 反射音과의 時間差가 약 50ms(音의 行路差: 17m) 以上이면 에코(echo)가 발생한다.

그림 2에서 音源 S와 壁面 A와의 거리 SH가 8.5m 以上인 경우, 直接音과 壁面 A에서의 第1次 反射音과의 行路差가 17m로 되는 點 P의 軌적을 구하면 쌍곡선(실제로는 회전 쌍곡선)이 얻어진다. 이때 壁面 A가 反射性이고 音源 S와의 거리가 8.5m 以上이며, 直接音과 壁面 A에서의 第1次 反射音간에 다른 壁面 또는, 天井面으로부터 反射音이 들어오지 않는 경우, 斜線 部分

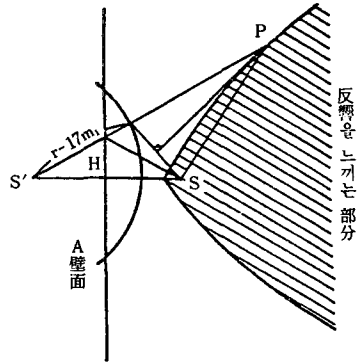


그림 2. 反響(echo)을 느끼는 場所의 檢討

은 反響(echo)을 느끼는 場所가 된다.

反響을 제거하기 위해서는 ① SH < 8.5m ② A面을 吸音性으로 한다. ③ A面을 散亂性 壁面으로 한다. ④ 이 보다 行路差가 적은 다른면(예를들면 天井)에서의 反射音을 利用한다.

一般的으로 平面形은 使用 條件으로부터 決定되기 때문에 SH < 8.5m만으로 解決하는 일은 어려우며, 또한 小室에서는 에코(echo) 문제는 생기지 않는다.

(2) 플러터 에코(flutter echo)

反射性의 平行 壁面이 있고 壁面은 吸音性인 경우, 플러터 에코 現象이 심하게 발생한다. 反射性 平行 壁面의 한면 또는 양면이 内側으로 凹面되면 이 現象은 한층 강조된다(그림 3 참조).



(a) 對向壁面이 平面 (b) 對向壁面中 一面이 曲線 (c) 對向壁面 兩面이 曲線

그림 3. 플러터 에코가 생기는 形

비록, 小面積에 있어서는 吸音率이 비교적 적은 平行 壁面이 있다면 플러터 에코의 가능성이 있기 때문에 放送스튜디오 및 音樂堂등에서는 壁面을 傾斜지게(不整形)한다든가, 散亂性 壁面으로 하여 이 現象이 생기는 것을 피해야 할 必要가 있다.

그러나 그림 4와 같은 形의 경우에는 一定한 音의 反射經路가 생겨 플러터 에코(flutter echo)의 原因이 되기 때문에 作圖에 의해 檢討하는 일이 必要하다. 不整形으로 하여 壁에 傾斜를 들때에는 確定한 基準은 없지만 대개 5~10°程度 以上の 각도를 갖는 것이 좋다.

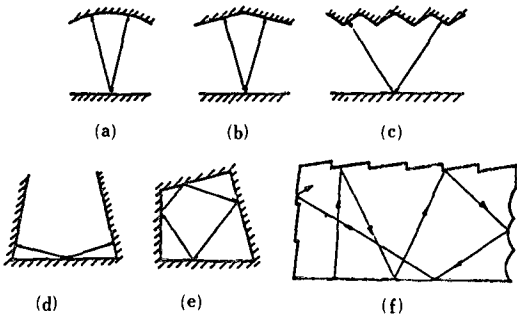


그림 4. 플러터 에코(flutter echo)를 생기게 하는 形 [(a), (b), (c), (d), (e)]과 防止하는 形 [(f)]

(3) 音의 焦點

室內壁의 一部, 또는 全部에 凹曲面은 音響모임 效果에 의해 반드시 室內에 音場의 不均一이 發生한다. 그림 5의 (a), (b), (c), (d)는 音이 特定의 一點에 모이는 例를 나타낸다. (a)의 경우에는 舞臺壁面에서의 反射音이 客席에 向하지 않고 音源에 모이기 때문에, 講演者가 이 位置에 있을때는 큰 소리로 말하고 있다는 착각에 빠지게 되고, 聽衆은 점점 듣기 어렵게 된다. (d)의 경우에는 무대 壁면으로 부터의 反射音이 무대에 전혀 되돌아 가지 않기 때문에, (c)의 경우와 逆의 效果가 있고, 講演者를 庇로하게 하는 結果를 초래한다. 또한 이 경우에는 客席의 湧성거리리는 소리가 講演者 位置에 모이게 된다. 따라서 特定한 위치 에 音의 集中을 意圖하는 경우 以外에는, 비록 壁面의 小部分에 있어서도 凹面은 피하고, 凸面을 利用하는 일이 必要하다.

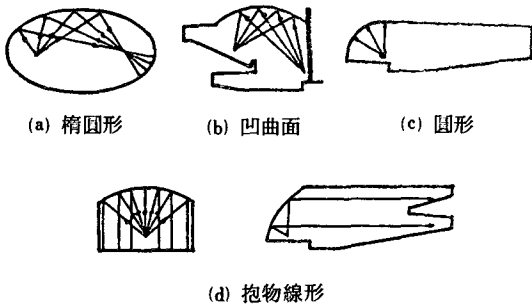


그림 5. 音이 모이는 形의 例

(4) 속삭이는 廻廊(Whispering Galleries)  
反射面이 큰 凹曲面을 이루고 있으면 音은 그 面의

周圍를 進行하여 몇번이고 反射하고 속삭이는 소리는 대단히 멀리까지 明瞭하게 들을 수가 있는 現象으로, London의 St. Paul 寺院의 大廳의 廻廊은 이 現象으로 特別히 유명하다.

비슷한 效果는 긴 曲面, 大體로 圓形, 또는 橢圓形 構造物에서 볼때 全然 害가 되지 않을때도 있지만, 대개는 시끄러운 狀態가 되기 때문에 속삭이는 廻廊이 될만한 形은 피하는 것이 좋다.

II. 殘響時間 및 殘響設計

1. 殘響時間

劇場에서 音樂이 아름답게 들리는 것은, 악기에서 나온 音이 壁에 몇번씩이나 反射하여 演奏가 끝난 후에도 室內에 音이 남아있기 때문이다. 이와 같이 音源에서 발생이 中止된 후에도 音이 室內에 남는 現象을 殘響(reverberation)이라 하고, 그 程度를 나타내기 위하여 殘響時間(reverberation time)을 使用한다.

殘響時間이란 室內의 音源으로부터 소리가 끝난 후, 室內의 音에너지 밀도가 그 百萬分의 一이 될때까지의 時間, 즉, 室內의 平均에너지 밀도가 초기치 보다 60dB 減衰하는데 所要된 時間을 말한다. 이것은 室의 容積과 壁面의 吸音度에 따라 決定되며, 室形能와는 關係가 없다. 또한 주파수에 따라 그 값이 變化하고, 一般的으로 500Hz를 基準으로 한다.

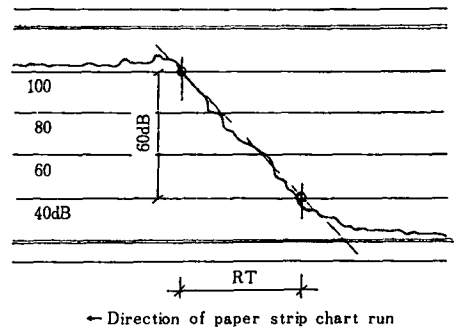


그림 6. 殘響時間의 定義

室의 使用目的 및 容積에 맞는 적당한 크기의 殘響時間을 最適 殘響時間 또는 設計目標 殘響時間이라고 하며 用途에 따른 最適殘響時間과 室容積과의 關係는 Knudsen--Harris, Beranek, Ingerslev Brüel등에 의해 여러가지로 提定되고 있다.

그림 7은 일반적으로 널리 쓰이는 것으로 Knudsen-

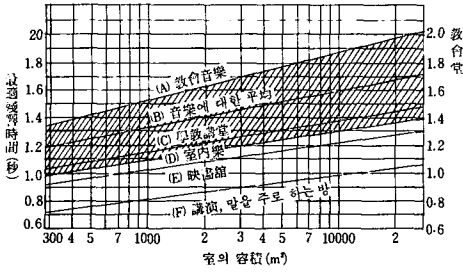


그림 7. 用途에 따른 最適殘響時間(聽衆66% 收用時, 500Hz 基準)과 室容積과의 관계 (Knudsen-Harris)

Harris가 提案한 500Hz에서의 音의 最適殘響時間을 表示한다.

여기서, 講演室, 映畫館, 學校講堂의 홀에 대한 最適殘響時間은 單線으로 音樂에 대한 最適殘響時間은 幅이 넓은 帶로서 나타내고 있다.

最適殘響時間은 먼저 室의 容積과 使用目的을 알고서 그림 7에서 500Hz에 있어서의 最適殘響時間을 決定한다.

室內의 周波數 特性에 대한 最適殘響時間은 그림 8에서 500Hz에 있어서의 最適殘響時間을 決定한 후, 그림 9에서 주어진 것과 같이, 그 周波數에 대해서 適當한 比를 500Hz의 數值에 곱한다.

즉, 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$T_r = T_{500} \times R \tag{1}$$

단,  $T_r$  = 一定 周波數에 대한 殘響時間

$T_{500}$  = 500Hz에 대한 殘響時間

$R$  = 周波數  $f$ 에 대한 比率值

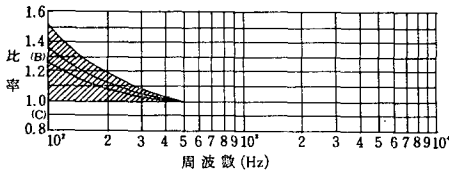


그림 8. 殘響周波數 特性(Knudsen)

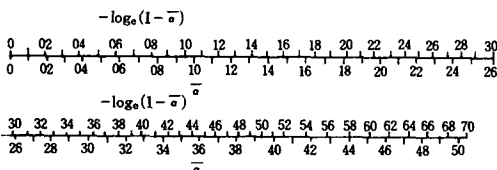


그림 9.  $\bar{\alpha}$ 와  $-\log_e(1-\bar{\alpha})$ 와의 관계

R은 500Hz 以上の 周波數에서는 1 이고, 500Hz 以下에서는 帶域狀 分布를 나타내고 있다.

500Hz 以下の 周波數에 대해서 使用되는 R의 數值는 그림8에 보인바와 같다. 일반적으로 指示된 殘響時間의 計算式으로는 다음과 같은 것이 있다.

Eyring-Knudsen의 殘響式

V. O. Knudsen은 1000Hz 이상의 경우 空氣에 의한 音의 吸收가 있음을 고려하여 다음과 같은 잔향시간식을 얻었다.

$$T = \frac{KV}{-S \cdot \log_e(1-\bar{\alpha}) + 4mV} \tag{2}$$

T: 殘響時間(sec)

K: 音速에 관계된 常數(常溫일 때는  $K=0.161$ )

V: 室容積( $m^3$ )

S: 室內 總表面積( $m^2$ )

$\bar{\alpha}$ : 平均 吸音率

m: 公기에 의한 1m當의 減衰係數

그림10은 溫度가 20°C일 때의 周波數別 相對濕度와 m의 값의 關係로서, 이 m의 값에 대한 溫度의 影響은 比較的 작다.

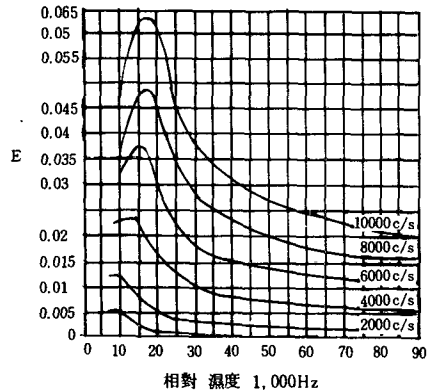


그림10. 相對濕度와 m(空氣中을 音이 傳搬할 때의 1m當 減衰率: Energy attenuation constant)의 關係

## 2. 明瞭度

무의미한 音節을 無作爲로 發聲하여 聽取者가 이것을 받아쓰고, 바르게 알아 들은 數值를 百分比(%)로 表示한 것을 言語의 明瞭度(%-articulation 또는 P.A.)라 한다.

이것은 音環境을 직접, 綜合的으로 평가하는 重要한 指標로서, 원래는 電話의 性能評價에 使用되는 것이나 建築音響의 분야에서 강당과 教室의 音響性能의 定

量的 評價의 한 方法으로서 이용되고 있다.

Knudsen은 이러한 音節明瞭度를 實驗의으로 다음 (2)식으로 표시하였다.

$$P, A = 96K_1 \cdot K_r \cdot K_n \cdot K_s (\%)$$

단,  $K_1$ : 音聲의 平均레벨에 의한 係數

$K_r$ : 殘響時間에 의한 係數

$K_n$ : 騒音에 의한 係數

$K_s$ : 室의 形 등에 의한 係數

여기서 96이라는 定數는 完全한 環境에서 係數가 1 일때라도,  $P \cdot A = 96\%$ 로 되어 100%로 되지 않는 것을 나타내며, 이는 言語 自體가 不明確하기 때문이다.

그림11은 音의 세기와  $K_1$ 과의 관계를 표시한 것으로서 言語는 70dB때 가장 잘 들리고, 40dB이하가 되면 급격하게 나빠지는 것을 알 수 있는 것이다. 그림 12는 殘響時間과  $K_r$ 과의 관계를 표시한 것으로 室內 殘響時間은 말을 듣는다는 目的에서 보면 0일 때가 가장 좋고, 殘響時間이 길어지면 明瞭度가 低下하는 것이다.

다음에 그림13은 騒音과 聽取音의 세기의 比에서  $K_n$ 을 구하는 圖表를 나타낸 것이다.

音樂에 있어서 잘 조정된 에코우 및 殘響은 音樂의

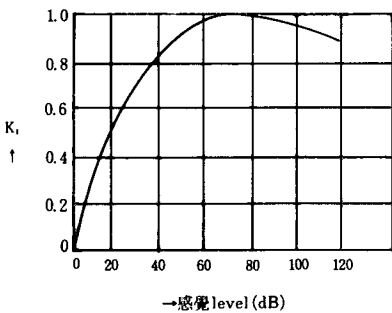


그림11. 音壓레벨에 의한 係數

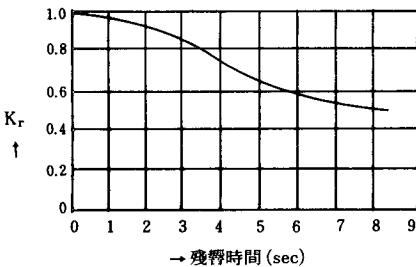


그림12. 殘響時間에 의한 係數

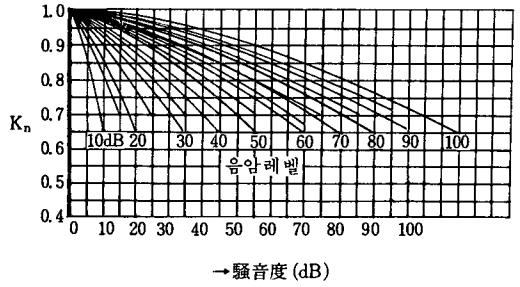


그림13. 騒音에 의한 係數

아름다움을 증가시켜 준다. 會語의 경우 音源보다 30ms 이상 지연된 에코우는 바람직하지 않다.

예를들어 60ms (혹은 그 이상) 지연된 에코우를 減知할 수는 없어도 결국 30ms지연된 에코우에 의하여 原音의 明瞭度는 저하된다. 즉, 에코우에 의하여,發聲 되고 있는 音을 이해하는 能力이 저하된다. 에코우의 影響을 받는 경우 音의 明瞭度는 각 에코우 사이의 時間差, 音源과 比較했을 때 에코우의 音壓레벨 (SPL) 과의 관계 및 기타 여러가지 要素에 의해 左右된다. 이 관계에 대해서는 “子音의 發聲 loss” 라고 하는 概念을 發展시킨 Peutz와 Klein의 研究가 있다. 이들은 既知의 音響的인 變數를 使用하여, 室內에서 不規則하게 말해지고 있는 言語를 이해하고 있는 不規則한 그룹의 數를 豫測한다고 하는 公式을 完成하였다.

이러한 變數에는 室의 殘響時間 및 speaker cluster의 指向性 (Q)가 포함된다. (3)式에서 ALcons는 子音의 發聲 loss를 퍼센트 (%)로,  $RT_{60}$ 은 室의 殘響時間을 秒로,  $D_2$ 는 speaker cluster로부터 가장 먼 聽取者까지의 距離를 feet로, V는 室의 容積을  $feet^3$ 으로, Q는 speaker cluster의 指向성을 나타내고 있다.

$$ALcons \text{ in } \% = \frac{641.81(D_2)^2 (RT_{60})^2}{V \cdot Q} \quad (3)$$

一般的으로 이 公式은 測定된  $RT_{60}$ 이 1.6秒 또는 그 이상의 값을 나타내는 室內에서 가장 有效하다고 알려져 있다.

이 公式은 人間의 行動을 豫測하는 公式의 하나로써 소홀히 해서는 안되며, 有益한 公式으로서 대단히 活用價値가 높다.

실제로 音의 明瞭度는 아래와 같은 사항에 의하여 左右된다.

(1) 講演者의 特性

室의 音響特性에 적합한 속도의 發聲과 明瞭한 가능성

(2) 聽取者의 本質

演에 관심있는 사람과, 無觀心한 聽取者에 따라 差異가 있다. 또 젊은 사람과 늙은 사람에 따라 差異가 있다.

(3) Speech 레벨과 騒音

顯音은 speech를 듣고 이해하는 能力에 影響을 미친다. 明瞭度를 위하여 要求되는 Signal/Noise比(S/N比)는 speech와 소음 레벨과의 관계와 같으며, 절대적인 speech의 레벨에도 관계가 있다. 이와 같이 어떤 音을 들을때 騒音에 의해 明瞭度가 떨어지는 主原因은 騒音이 그 音을 마스킹(masking)하기 때문이다.

Ⅲ. 電氣音響 設備 考慮事項

1. 소리의 지향성

소리의 지향성은 소리가 음원으로부터 어떻게 방사되는가를 표시하는 것이다. 음원의 지향성이 완전 무지향성으로 자유공간에 방사될때 이를 Q=1이라고 한다. 이것은 球面의 中心으로부터 소리가 방사되는 상태이고, 스피커의 경우 無指向性 스피커를 공간에서 작동시키는 경우를 말한다.

Q=2는 반구면으로 소리가 확산되는 것으로 스피커를 벽면 접합부에 붙여서 설치한 경우에는 Q=8이 된다.

Q는 다음 公式에 의하여 계산한다.

$$Q = \frac{180}{\sin\left(\sin\frac{a}{2} \times \sin\frac{b}{2}\right)}$$

a=수직지향각도

b=수평지향각도

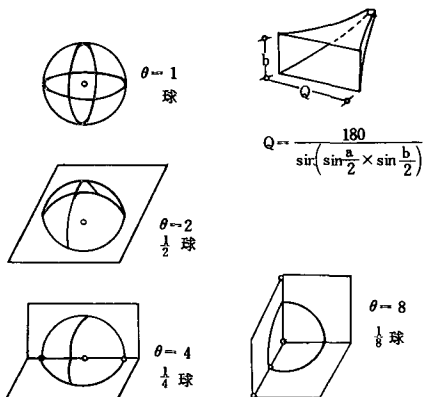


그림14. 소리의 지향성

2. 실정수 R

실정수는 廳의 音響의 條件을 表示하는 것이다.

R=실정수

S=室內 바닥面積 (m<sup>2</sup>)

a=室內 平均吸音率

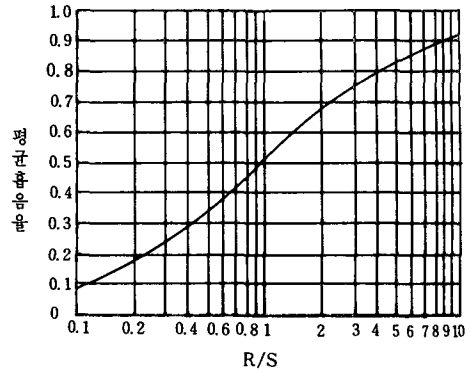


그림15. 室內平均 吸音率(ā)과 실정수(R)관계

3. Hall內的 音壓레벨 計算

Hall의 실정수의 스피커의 지향계수(Q)를 알면 客席內에 있는 各位置의 音壓레벨을 計算할 수 있다. 스피커의 音壓레벨은 1W input 前面圓軸상 1m 接에서의 音壓레벨(SPL)을 表示한 것이다.

$$-10 \log_{10} \left[ \frac{\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}}{\frac{Q}{4\pi} + \frac{4}{R}} \right]$$

스피커의 入力電力과 出力音壓는 直線的으로 보인 된다. 따라서 入力 對 出力音壓 關係는 2W時+3dB, 4W時+6dB, 8W時+9dB等 入力이 倍로 될때 3dB의 音壓이 상승된다.

Hall에서는 보통 2組 또는 3組의 proscenium speaker를 作動 시킨다. 이때 客席內的 音壓레벨은 同一音源인 경우 2個일때 +3dB, 3個일때 +4.7dB音壓이

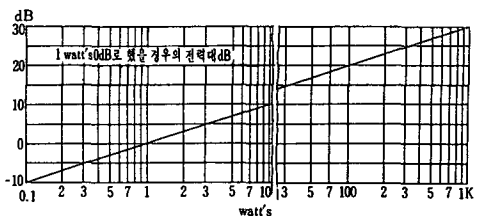


그림16. 入力과 dB關係

상승한다. 그러나 指向性이 強한 horn을 使用한 中고 음부에서는 公式대로 音壓 상승이 이루어지지는 않는다. 또 음원이 2個所 이상일 때의 音壓레벨은 아래의 計算表에 의해서 求한다.

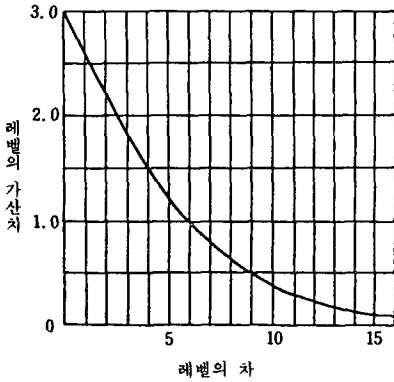


그림 17. dB합의 計算表

4. 直接音 / 殘響音比

$T_{60}$ 이 1.5秒 以下인 경우는 speech 效果를 높혀준다. 이는 音節이 신속히 약해져 다음 音節과 마스킹 되지 않기 때문이다. 音響 system의 設計에 있어서 全座席에 最適의 直接音 / 殘響音比를 갖게 하기 위해서는 增加하는 殘響音의 影響을 檢討해야 한다.

스피커에서의 直接音과 反射音의 音壓레벨이 同一하게 되는 거리를 限界距離(critical distance:  $D_c$ )라고 하며 다음 式에 의하여 求한다.

$$D_c = 0.141 \sqrt{Q \cdot R} \text{ (m)}$$

여기서, Q: 指向性 係數

R: 室定數

그림 18은  $Q=60, R=770$ 인 경우 거리에 따른 音壓레벨의 低下를 나타낸 것이다. 그림에서  $D_c$ 점은 9.6m 이고 이점에서는 직접음이 3.0dB 낮게 된다.  $D_c$ 점을 지나면 直接音과 反射音의 差가 크게 되고 4  $D_c$ 점에서는 直接음이 12dB정도 낮게 되어 거의 反射音만으로 듣는 狀態가 된다. 4  $D_c$  以上의 位置가 되면 音의 明瞭度와 音源에 대한 方向感이 좋지 않게 된다. 또한 容積이 크고 殘響時間이 긴 體育館의 경우에는 거리가 8~10m 떨어져 會話時 明瞭度가 나쁘고 會話가 不可能한 일이 자주 발생한다.

一般的으로  $T_{60}$ 이 1.5~2.5秒時 聽取者는 스피커로부터 4  $D_c$ 以下에 位置하고 있을 때 좋은 發音을 듣게 된다(-12dB의 直接音 / 殘響音比).

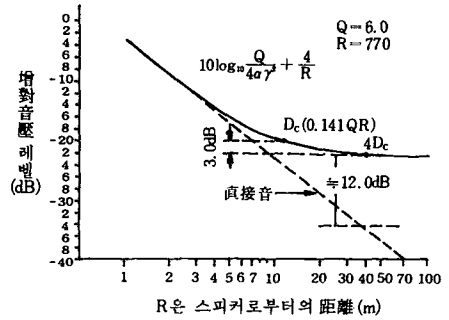


그림 18. 거리의 變化에 따른 音響레벨의 低下 ( $Q=6.0, R=770$ 인 경우)

$T_{60}$ 이 더 크게 되면 音節의 理解度는 直接音 / 殘響音比의 增加에 따라 部分的으로 減少하게 된다.

音源과 聽取者가  $D_c$  以下로 떨어져 있는 경우 Peutz와 Klein은 많은 實測을 一般化하여 그림 18과 같이 표시하였다.

Peutz와 Klein은  $T_{60}$ 이 約1.5抄인 경우 3~4  $D_c$ 의 位置에 있는 聽取者는 85%의 音節 發音을 理解할 수 있다고 하였다. 殘響時間이 3~4抄로 커지면 直接音 / 殘響音比가 커지고 聽取者의 거리는 2~2.5  $D_c$ 가 된다(그림 19참조).

특히 韓國語의 경우에는 accent가 各單語의 첫음절에 오는 경우가 많기 때문에 이에 의해 첫 音節의 여운(殘響)이 발생하여 英語에 비해 明瞭度가 低下하는 特性이 있다.

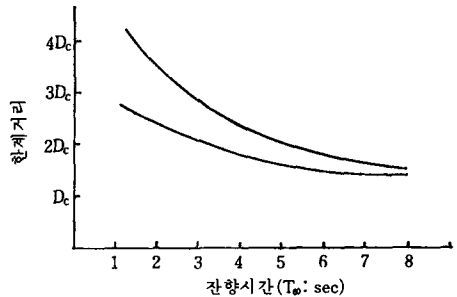


그림 19. 殘響時間과 限界距離( $D_c$ )와의 관계

5. 電氣 音響設備에서의 고려사항

(1) 心理的 音響學 및 建築的인 效果

보통 우리가 들을 수 있는 音은 주위의 壁面 및 기타 表面으로부터의 反射音이 많으며, 音原으로부터 直

接音を 듣는 경우도 있다. 그래서 대부분은 反射音의 경우가 많으며, 그 反射音에 의하여 “殘響”이라고 하는 현상이 생겨나게 된다. 만약에 音源으로부터의 直接音과 第1次 反射音과의 時間差 혹은 2點間的 反射音의 時間差가 30ms 이상일 때에는, 第2次音이 惡 영향을 미치는데 이 效果를 “마스킹效果”라고 한다.

- ① 明瞭度
- ② 自然性

에코우와 殘響은 講演에 대한 明瞭度에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 音を 알아들을 때의 自然스러움에도 관계가 있다. 이것은 특히 擴聲音에 관하여 고려해야 할 事項이다.

Speaker cluster가 천장에 있는 室에서 最前列의 座席에 앉은 경우, 聽取者에게는 우선 講演者에 더 가깝다고 가정하면, 聽取者에게는 우선 講演者로부터의 音이 가장 먼저 들리고 다음에 speaker cluster로부터의 音이 들리게 된다. 따라서 가령 cluster로부터의 音이 講者로부터의 直接音인 것 같이 들려버리는 것이다. 이러한 心理的인 音響現狀을 “Hass效果”라고 한다.

이와 같이 같은 音이 다른 音源으로부터 放射되는 경우, 또한 그 音이 극히 작은 時間差로써 聽取者의 귀에 도달할 때에는, 頭腦와 귀에 의해서 최초로 들린 音源을 유일한 音源이라고 판단하는 것이다.

요컨대 앞의 列에서 講演者로부터의 直接音을 듣고, 계속하여 cluster로부터의 音を 듣기 때문에, 講演者를 유일한 音源이라고 간주하여 버리는 것이다.

이러한 “Hass效果”는 또 各 音사이의 時間差에 관계되어 있으며, 구체적으로는 5ms 이상 30ms이하인 경우에 나타난다. 이 “Hass效果”는 또 各 音사이의 레벨차에 따라서도 좌우된다.

聽取者가 최초로 듣는 音의 SPL이 겨우 10dB 위거나, 第2次音의 SPL보다 낮은 경우에도, 聽取者의 頭腦는 최초의 音を 音源이라고 간주한다. 바꾸어 말하면, 聽取者가 최초의 音에 얼마나 集中하고 있는가를 나타내는 증거라고도 할 수 있다.

(2) 逆 2 乘 法 則

逆 2 乘 法 則은 反射에 의한 간섭이 없는 音場 즉 自由音場에서 성립한다. 野外에서 音源地面으로부터 떨어진 장소에서 放射, 擴散될 경우 실제 音壓레벨은 거리가 2배됨에 따라 정확히 6dB 감소한다. 그러나 地面과 근접한 곳에서 音壓레벨을 측정할 경우, 地面의 여러가지 성질에 의해 정확히 6dB감소하지 않을 수 있다. 이러한 성질을 규명하기 위해 많은 연구가 진행되었다. 이 중 Bekesy와 Rudnick는 매우 흡음성이 있

는 表面상에서 音源 및 측정 마이크의 높이, 거리, 周波數에 의한 音壓레벨에 관하여 발표하였으며 Knudsen과 Harris는 吸音材의 위를 통과하는 音은 吸音材表面에 가까워질수록 감쇠량이 커지는 사실을 보고하였다. 대부분의 경우 逆 2 乘 法 則은 스피커(또는 마이크)가 큰 反射面이나 吸音面에 가까이 있을 때를 제외하고는 野外에서 적용될 수 있다.

(3) 音響계인

SR시스템(sound reinforcement system)의 4 가지 기본요소로써는 마이크, 스피커, 발표자 및 聽取者가 있다. SR시스템은 音響계인이 必要하며, 이는 電氣音響 수단없이 발표자의 音聲이 잘 들리지 않는 경우에서 비롯된다. 音響계인은 聽取者의 위치에 의해 결정되며 시스템을 使用할 때와 使用하지 않을때 발표자로부터 들을 수 있는 감지레벨간의 차이이다. 이것을 그림20에 설명한다.

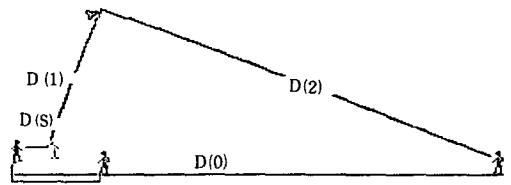


그림20. SR System의 기본요소

- 단,  $D_s$ : 發表者로부터 마이크로폰까지의 거리
- $D_0$ : 發表者로부터 객석까지의 거리
- $D_1$ : 마이크로폰으로부터 스피커까지의 거리
- $D_2$ : 스피커로부터 객석까지의 거리
- $L$ : 마이크로폰의 音壓

다음과 같이 거리를  $D_s=2'$ ,  $D_2=40'$ ,  $D_1=16'$ ,  $D_0=50'$ 로 가정하고, 마이크로폰 앞에서 85dB의 音壓레벨을 내고 있다면 逆 2 乘 法 則에 의하여  $D_0=50'$  떨어져 위치한 聽取者가 느끼는 音壓레벨은 57dB이 된다. 다음 PA(power amp.) 시스템을 작동시켜 feed-back이 일어날 때까지 gain을 올리면, 스피커로부터 다시 마이크에 오는 gain은 85dB이 되고, 스피커에 의해서 聽取者가 느끼는 音壓레벨은 77dB이 된다. 따라서 PA system이 있는 경우와 없는 경우의 音響gain의 차는 20dB이 된다.

(4) 潛在 音響계인

音響시스템의 最大 音響계인은 潛在 音響계인(potential acoustic gain: PAG)으로도 불리운다. 그림21



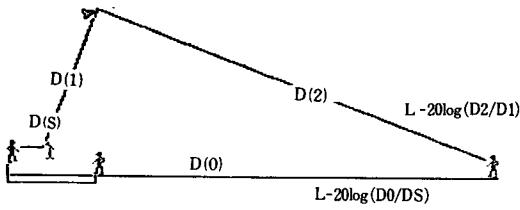


그림21. 野外 音響時의 PAG

은 野外 音響時 PAG의 해설을 위한 설명도이다. 마이크로폰의 音壓을 “L” (임의의 레벨)로 할때 逆 2乘法 則에 의해 聽取者의 위치에 音響시스템이 없는 경우의 音壓레벨은 다음과 같다.

$$L - 20\text{Log}\left(\frac{D_0}{D_s}\right)$$

音響시스템을 사용하면 스피커로부터의 신호에 의해 마이크로폰에 동시에 音壓 L이 나타나 다시 逆 2乘法 則에 의해 聽取者의 위치에서 감지하는 스피커로부터의 音壓레벨을 알 수 있다. 이 경우의 音壓레벨은 다음 式으로부터 구할 수 있다.

$$L - 20\log(D_2/D_1)$$

이 2가지 狀態에서 聽取者 위치의 音壓 레벨 差를 利用하여 音響계인을 정의하면 다음 式과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{계인 (gain)} &= [L - 20\log(D_2/D_1)] - [L - 20\log(D_0/D_s)] \\ &= 20\log(D_0/D_s) - 20\log(D_2/D_1) \\ &= 20\log(D_0/D_s) + 20\log(D_1/D_2) \\ &= 20\log\left(\frac{D_0 \cdot D_1}{D_2 \cdot D_s}\right) = 20\log D_1 + 20\log D_0 - \\ &\quad 20\log D_2 - 20\log D_s \end{aligned}$$

이 式에서 feed back 안전을 6dB를 고려하면 다음과 같이 된다.

$$\text{계인} = 20\log D_1 + 20\log D_0 - 20\log D_2 - 20\log D_s - 6$$

以上은 1개의 마이크로폰 시스템에 관한 경우이며 만약, 동시에 作動한 2개의 마이크로폰을 사용한 경우에는 音響시스템 계인(gain)이 감쇄한다. 이때의 理論的 감쇄량은 마이크로폰이 충분히 떨어져 있을 경우에는 3dB이다.

이 상태가 계속되는 경우에 open 마이크로폰의 數 (Number of Open Microphone: NOM)가 倍로 될 때 마다 계인은 3dB 감쇄한다. 이와 같이 NOM 변수를 고려하여 式(3)을 수정하면 다음 式으로 된다.

$$\text{潛在 音響계인 (PAG)} = 20\log D_1 + 20\log D_0 - 20\log D_2 - 20\text{Log} D_s - 6 - 10\log \text{NOM}$$

그림22은 10logNOM으로부터 減衰量 (dB)을 직접 읽을 수 있는 그림이다.

PAG의 값은 시스템의 마이크로폰方向, 스피커方向, 電氣的 이퀄라이저의 사용에 의하여 자주 變化한다. 이것은 시스템 계인에 있어서 각 파라메타의 效果를 설명하는데 유익한 것이다.

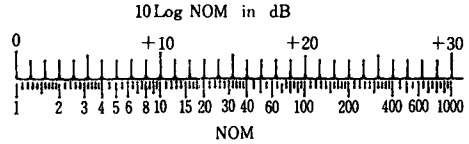


그림22. NOM 변수에 따른 減衰量

(5) 必要 音響계인

必要 音響계인(needed acoustic gain: NAG)이란 音響시스템에서 어느정도의 音響계인이 必要한지를 나타내는 指表이다. 音響시스템의 目的은 마이크로폰의 信號를 증폭하는 것이며, 이것은 電氣 音響시스템에 의하여, 發表者가 聽取者의 편에 가까이 있는 것과 같은 效果로 된다. 이를 그림23에 나타낸다.

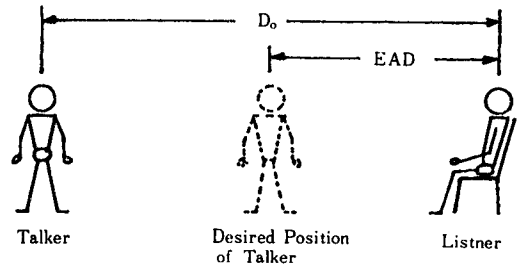


그림23. D<sub>0</sub>와 EAD의 관계

音響시스템에 의하여 發表者가 聽取者의 앞에서 말하는 音壓과 같은 音壓을 聽取者의 위치에서 만들어 내는 것에 의하여 發表者를 聽取者에 가깝게 할 수 있다. 이것을 等價音響距離 (equivalent acoustic distance: EAD)라 하며 NAG는 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$\text{NAG} = 20\log D_0 - 20\log \text{EAD}$$

미리 EAD의 적당한 값을 求하는 方法으로는 경험에 의존하는 것이 가장 效果적이다. 一般的으로 EAD는 보통의 회화를 명료하게 이해할 수 있는 최대거리에 의하여 算定이 가능하며, 일반적인 室內에서는 1.8

~2.4m, 상당히 높은 소음레벨이 있는 屋外스포츠 競技場에서는 0.9~1.2m, 工場の 호출시스템에서는 30cm 以上, 일반적인 극장에서는 6m정도가 된다.

IV. 野外 競技場 電氣音響 設備

1. 野外 競技場의 電氣音響 設備의 特色

野外에서는 室内音場의 性質과는 달리 스피커로부터 상당히 떨어진 장소에서도 스피커로부터의 직접음이 있으며, 音壓레벨은 거리에 따라 감소한다.

그러나 실내에서는 벽과 천장으로부터 反射音이 發生하기 때문에, 音源으로부터 어느정도 거리이상이면 스피커로부터의 직접음보다 벽과 천장에 의한 반사음 성분이 더 크게 된다.

따라서 거리에 의한 감쇄는 극히 작다. 音響效果가 좋은 홀의 경우, 무대로부터 50m이상된 발코니 부분 객석에서도 피아노의 매우 어린음을 충분히 들을 수가 있으나, 野外에서는 곤란하다.

野外에서는 반사음 성분이 없기 때문에 특별한 형태의 경기장을 제외하고는 하울링과 같은 실내음향 장애 현상이 발생하지 않는다. 또 야외시설은 室内施設보다 일반적으로 관객수가 많으며, 시설 면적도 훨씬 크다. 그러므로 야외시설에 필요로 하는 基本的인 性能은 넓은면적의 客席에 대해 균일한 音壓分布와 周波數 特性을 유지하는 것이며, 당연히 音響出力이 큰 스피커 시스템을 필요로 한다.

野外에서는 주위벽면으로부터 反射音이 없기 때문에, 場内の 音은 각 스피커로부터의 직접음과 스피커의 방향에 있는 건물의 외벽, 전광판, 운동장등으로부터의 특정한 反射音밖에 없다. 이로부터의 音은 그림24에 표시한 바와 같이 큰 시간차를 발생시키며, 여러가지 龍패스 에코를 발생시킨다. 결국 音이 중첩되어 들리기 때문에 명도도가 저하된다. 그러므로 野外競技場 音響設備은 스피커의 配置가 상당히 중요하다.

野外競技場에서 體育競技를 한다고 가정할 때 단순히 진행자의 안내방송만을 생각해서는 안된다. 음악을 동

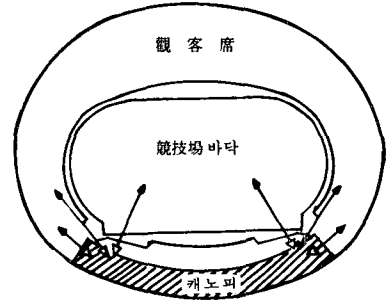


그림25. 野外 競技場에서 集中方式에 의한 스피커 設置例(캐노피 上部設置)

반하는 마스게임과 가장행열, 경기의 배경음악, 進行 順序 및 기록結果에 대한 방송, 野外음악회 등 다양한 용도로 사용될 수 있다. 競技場에서 1개의 트럼펫형 스피커로 안내방송 및 음악의 재생까지 겸할 경우 音響 환경은 불리하게 될 우려가 있다. 또 競技場의 소음 레벨은 항상 60폰을 초과한 경우가 많고 歡聲이 있을 때는 80폰~100폰 이상이 되므로, 아나운서의 音은 단순히 音量만으로는 곤란하며, 會場의 소음에 따라 보다 잘 들리는 音質이 되지 않으면 안된다. 그림25와 같은 스피커의 配置는 音의 傳搬時間差에 의해 音이 지연된다.

따라서 가장행열과 또는 마스게임과 같이 100m이상의 거리에 걸쳐 넓은 면적을 점유할 경우 마스게임의 리듬과 가장행열의 보조가 잘 맞지 않을 수 있다. 따라서 각각의 다른 수음점에서 時間지연이 크게 발생할 경우는 스피커의 적절한 配置를 통하여 이러한 문제를 해결하여야 한다. 이와 같이 용도에 따라 스피커의 配置도 變化되지 않으면 안되는 점이 野外 競技場 音響設備가 지닌 과제이다.

2. 야외 경기장의 전기음향 설비

野外 音響시스템을 設計할 때 고려해야 할 기타 사항으로서는 다음과 같은 現象을 들 수 있다.

- ① 大氣의 吸收에 의한 高音域 損失
- ② 바람의 방향
- ③ 溫度變化의 영향

逆 2 乘法則에 의한 損失 이상으로, 高音域 損失이 屋內·屋外 시스템 모두에서 발생한다. 보통 屋內에서는 시스템 이퀄라이저를 이용하여 補正할 수 있으므로 엄밀한 문제로는 되지 않는다.

그림26은 거리에 대한 高音域 損失表이다. 濕度 20%에서 10KHz 信號音은 低音域에 비하여 1m마다 0.3dB



그림24. 競技場 바닥면의 反射에 의해 발생하는 龍패스 에코우

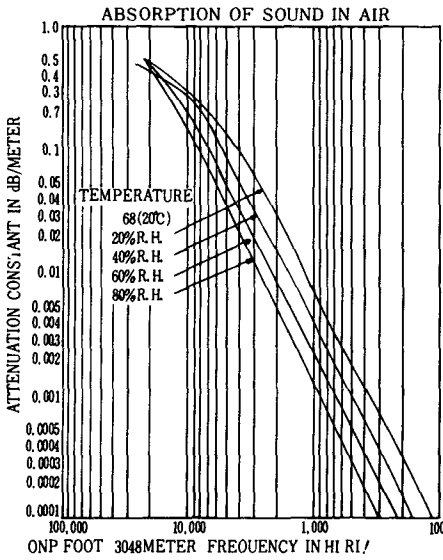


그림26. 空氣에 의한 감쇄

減衰한다. 실제의 조건에서 30m떨어진 10KHz 信號는 9dB가 減衰한다. 이는 一般的인 逆2乘法則에 의한 減衰量을 초과하는 값이다.

그림27은 距離와 大氣吸收의 兩者에 대한 音壓損失을 나타낸 것이다.

바람은 보통 예측하기 어려운 것이지만, 다행히 대개의 野外시스템에서 그 영향은 미약한 것이다. 그러나 遠距離에 있어서는 문제가 되며 기본적으로 風速은 보통 백터의으로 音響擴散에 영향을 미친다. 바람의 방향으로 진행되는 음의 速度는 바람의 속도와 靜

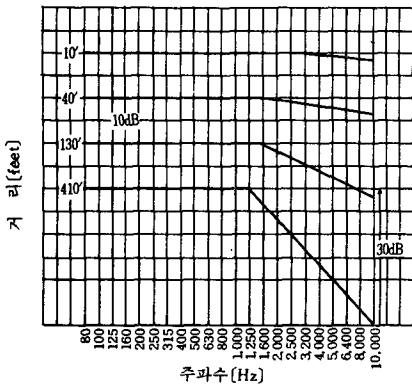


그림27. 거리와 공기흡음에 의한 음압손실

止空間의 음의 速度의 합과 같게 된다.

그림28은 바람이 音響시스템에 미치는 영향을 나타낸 것이다. (Knudsen 및 Harris의 결과에 의함) 強風의 경우에는 聽取者가 바람의 아래에 있는 편이 유리함을 쉽게 알 수 있다. 溫度變化에 의하여서도 영향을 받으며, 이를 그림28에 나타냈다(Knudsen 및 Harris의 결과에 의함).

그림29의 (b)에 나타나 있는 狀況은 아침에 발생하기 쉬우며 또 그림28의 (a)는 저녁에 발생하기 쉬운 狀態이다. 溫度變化에 의하여 발생하는 문제는 變化가 地面에 가까운 장소로부터 발생하기 쉬우므로, 스피커를 가능한 한 높은 장소에 설치함으로써 해결할 수 있다.

3. 分散 cluster를 使用한 野外 concert system

이 시스템은 典型的인 록콘서트(rock concert), 學校의 卒業式 및 기타 용도에 應用할 수 있다. 이 分散 cluster 시스템은 中央 cluster가 모든 listening area를 카바하기에는 막대한 규모가 되어버릴 우려가 있는 경우에 效果의이다. 殘響時間이 극히 길고, 종래의 分散speaker system을 設置할 수 없는 천장 높이의 屋內시스템에도, 分散cluster system을 이용하여 屋內全體의 明瞭度를 충분히 확보할 수 있다. 또 의장적인 면에서의 대규모 中央 cluster의 설치가 불리한 경우, 小規模 分散cluster를 다수 사용하는 것에 의하여 좋은 결과를 얻을 수 있으며 經費面에서도 分散cluster 방식의 경우가 中央cluster 방식에 비해 유리하다.

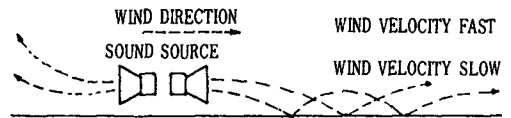


그림28. 音響시스템에 미치는 바람의 영향

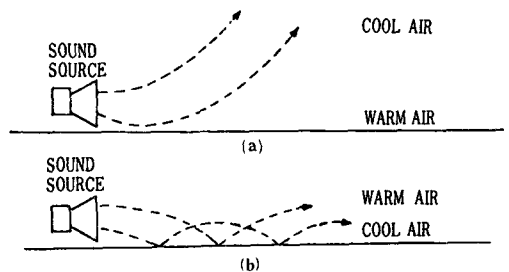


그림29. 音響시스템에 영향을 미치는 溫度變化

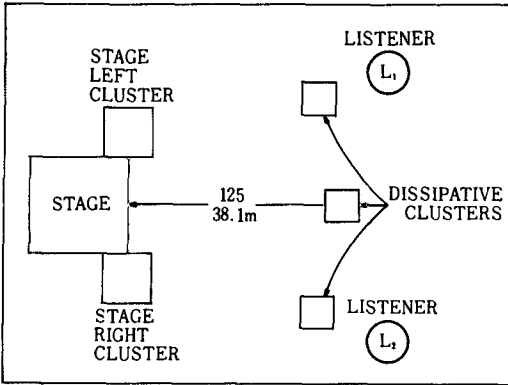


그림30. 分散 Cluster를 사용한 野外 Concert System

이 시스템에서는 그림30에서와 같이 分散 cluster가 무대에서부터 等距離에 위치하기 때문에 各 cluster에는 동일한 시간지연(time delay)을 주는 것이 좋다.

이 경우, 시간지연은 에코우를 排除하여 明瞭도를

유지하는데 111ms (milli second), 또한 자연스러움을 유지하는데 9ms, 合計 120ms가 要求된다.

시간지연을 준 後에도 聽取者 L<sub>1</sub>의 경우, 우선 무대 左側의 cluster로부터의 音을 듣고, 계속하여 무대의 右側의 cluster로부터의 音을 들으며 最후로 가까이 있는 分散 cluster로부터의 音을 듣게 된다. 이때 무대 左右 cluster사이의 音의 時間差가 30ms 이상이면 聽取者 L<sub>1</sub>에게는 마스킹效果가 感知된다. 이것을 防止하기 위하여 무대 左側의 cluster에 시간지연을 주는 일이 가능하나 반대측의 위치에 있는 聽取者 L<sub>2</sub>에 대하여서 이와 같은 문제가 더욱 심각한 형태로써 다시 발생할 우려가 있다. 이러한 문제는 concert system에서 左右 cluster사이의 距離가 먼 경우에 발생하기 쉽다. 이때 어떤 위치에 있는 聽取者에게도 最小한의 時間差밖에 느끼지 않도록 하기 위해서는 스피커의 설치거리와 位相을 고려하여 무대 左右 cluster 사이의 距離를 9.1m 以下로 제한함이 必要하다.\*

### ◆ 用語 解説 ◆

#### Dummy (모조)

고정된 단어길이, 블럭 길이 등과 같이 미리 규정된 조건에 맞게 삽입하는 정보, 즉 인위적인 주소, 명령어, 레코드 등을 말한다. 기계가 바람직한 조작을 하도록 허용하는 것 이외에 기계 조작에는 영향을 미치지 않는다.

#### Graphics Interface (그래픽스 인터페이스)

고급 품질의 그래픽 인터페이스는 비동기 직렬 데이터군을 내부 표현 형태로 변형 저장하여 X, Y 및 명암을 갖는 아날로그 신호로 바꾼다. X-Y CRT 화면 장치 또는 오실로스코프에 이 신호를 보내면 선명하고 똑바른 선들을 만들어 낸다. 컴퓨터 제어로 임의의 길이와 방향을 갖는 선들을 그릴 수 있다.

#### Librarian

운영 체제를 구성하는 데이터, 루틴, 프로그램들의 집합을 만들어 유지하며, 또 사용 가능하게 하는 프로그램, 라이브러리의 기능은 시스템 생성 시스템 편집의 기능을 포함하기도 한다.

#### Rigid Disk (경화 디스크)

두꺼운 금속 표면에 자기 합금한 것을 재료로 사용한 디스크 저장 장치. 조종 장치로부터 매체를 분리할 수 없는 것과 분리할 수 있는 것이 있다. 경화 디스크의 경우 보통 5~200 메가바이트 이상의 용량을 가진다.

#### Reverse Video (역 비디오)

밝은 바탕에 어두움으로 글자를 만드는 기능으로서 특별한 설명이나 주의를 필요로 하는 곳에 사용한다.