

정밀소음 측정기술에 관한 연구

1993. 12. 31

721



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 산업재해예방기술의 연구개발 및 보급 사업의 일환으로 수행한 “工場騒音低減을 위한 精密騒音測定技術에 관한 研究”의 최종보고서로 제출합니다.

1993. 12. 31

주관연구부서 : 산 업 안 전 연 구 원
기 계 전 기 연 구 실
연구 책 임 자 : 선임연구원 방 태 규

序 文

최근 工場內 騒音문제가 큰 사회문제로 대두되고 있으며 '92년도 노동부의 산업 재해 통계에 따르면 전체 제조업의 職業病 근로자 수 중 소음으로 인한 難聽者數가 약 42 % 에 이르고 있습니다. 소음이 끼치는 영향은 一時聽力損失(Noise-Indused Temporary Threshold Shift), 永久聽力損失(Noise-Indused Permanent Threshold Shift) 등의 直接的인 것뿐만 아니라 작업도중 소음이 原因이되어 일어나는 事故등 精神的, 身體的, 社會的인 영향 즉, 間接的인 영향은 그 例를 일일이 들기도 어려울 정도로 우리 생활에 密接한 관계를 맺고 있습니다. 그럼에도 불구하고 근로자와 사용자 모두 소음에 대한 基本認識의 缺如로 공장내 騒音低減對策을 세우기 위한 努力이 同伴되지 않고 있습니다. 소음은 보이지 않기 때문에 騒音低減對策을 세우기 위해서는 騒音源에 대한 性質把握 즉 測定技術이 매우 重要합니다.

본 報告書에서는 사업장에서 騒音低減對策을 세우고자 할 때 중요한 측정기술인 소음원의 音響 파워레벨(Acoustic Power Level)을 측정할 수 있는 精密騒音測定에 관하여 研究하였습니다.

본 연구서가 不足하나마 産業現場에서 널리 活用되어 소음으로 인한 災害를 豫防하는 데 조금이나마 寄與할 수 있게 되기를 바랍니다.

1993. 12. 31.

산업안전연구원장

목 차

1. 머리말	3
2. 騒音測定의 目的	6
2.1 騒音의 測定目的	6
2.2 騒音의 分類	7
2.3 音壓 (Sound Pressure) 과 音響파워 (Sound Power)	8
2.4 音響인텐시티 (Acoustic Intensity)	9
2.5 騒音測定의 規格	10
3. 音響計測機器	12
3.1 騒音計 (Sound Level Meter)	12
3.2 옥타브 (Octave) 分析器, 1/3옥타브分析器	15
3.3 實時間 (Real Time) 옥타브 · 1/3옥타브分析器	18
3.4 狹帶域 (Narrow Band) 分析器	19
3.5 레벨레코더 (Level Recorder)	21
3.6 테이프레코더 (Tape Recorder)	24
3.7 L_{50} , L_{eq} 등의 測定器	27
3.8 騒音暴露計 (Dosemeter)	27
3.9 相關 (Corelation)計와 Fourier變換器	29
3.10 高速 Fourier變換器 (FFT)	33
3.11 디지털 메모리 (Digital Memory)	34
3.12 超低周波音의 測定機器	36
4. 機械騒音(파워레벨)의 測定	37

4.1	機械騒音	37
4.2	音響과워레벨의 測定	38
4.3	自由音場 또는 反射가 적은 一般音場에서의 測定点	40
4.4	音壓레벨의 測定	45
4.5	音響과워레벨의 算出	46
4.6	音場補正值 K의 測定	46
5.	音響인텐시티의 測定	48
5.1	인텐시티의 測定理由	48
5.2	音場 (Sound Fields)	48
5.3	音壓과 粒子速度 (Particle Velocity)	52
5.4	音響 인텐시티 탐침자 (Acoustic Intensity Probe)	54
5.5	音響 파워의 決定	54
5.6	空間平均 (Spatial Averaging)	56
5.7	暗騒音 (Back Ground Noise)	57
5.8	騒音源 順位決定 (Noise Source Ranking)	58
5.9	인텐시티 圖解 (Intensity Mapping)	59
5.10	建築音響에의 應用	61
5.11	實際 測定時 留意事項	62
5.12	事例 研究	64
6.	맺음말	68

參考 文獻

- 附 錄 : 1. 實用的 現場調査方法 (과워레벨 측정)
2. 音響에 關한 ISO(國際)規格

1. 머리말

最近 공장내 소음문제가 큰 社會問題로 대두되고 있으며 '92년도 노동부의 산업 재해 통계에 따르면 전체 製造業의 職業病 근로자 數 중 소음으로 인한 難聽者數가 약 42 % 에 이르고 있다. 소음이 끼치는 影響은 일시청력손실, 영구청력손실 등의 直接的인 것뿐만 아니라 작업도중 騒音이 原因이되어 일어나는 事故 등 정신적, 신체적, 사회적인 영향 즉, 間接的인 영향은 그 例를 일일이 들기도 어려울 정도로 우리 생활에 密接한 關係를 맺고 있다. 그럼에도 불구하고 勤勞者와 使用者 모두 소음에 대한 기본인식의 缺如로 공장내 騒音低減對策을 세우기 위한 노력이 同伴되지 않고 있다. 소음은 보이지 않기 때문에 소음저감대책을 세우기 위해서는 소음원에 대한 性質把握 즉 測定技術이 매우 重要하다.

工場 本然의 姿勢를 생각할 때 生産性, 經濟性등의 기본적인요소에 맞춰 소음등 안전에 관한 課題를 소홀히 할수는 없다. 공장에 대한 소음문제는 工場內의 作業環境에 관한 것과 周邊地域의 生活環境에 관한 것으로 크게 大別된다.

前者는, 소음이 심한 공장에서 근무하는 작업자의 聽力保護를 목적으로 한 것이고, 後者는, 업종마다 지정된 특정시설을 대상으로 宅地境界의 소음레벨이 規制基準値로서 주어지고 있다.

공장이라고 해도 重工業에서 부터 輕工業까지 각종의 공장이 있고, 여기에서 가동하는 기계만해도 그종류가 많아 소음대책으로서 가능한 한 소음이 작은 기계를 配置하는 것이 기본이다. 작업환경으로서는, 소음이 문제로 되는 기계에 대하여 隔離을 시키던가 아니면 無人運轉으로 하는 것이 理想的이다. 一般的으로 공장 건물로서는 外部에 소음이 漏泄되지 않도록 密閉하는 것이 많고, 이 경우에는 공장내의 소음대책으로서 建物の 壁,天井등에 吸音處理를 하여 殘響에 의한 소음의 蓄積을 막을 必要가 있다.

또한, 操業에 따라 각종설비에서 放射되는 소음의 종류는 공장에 따라 극히 個別的이다. 또, 설비의 種類, 配置, 時間的인 可動條件, 宅地나 建物の 形狀등이 공

장마다 서로 다르기 때문에 宅地境界에 대한 소음레벨의 狀況이 다양한 反面, 공장 주변의 토지이용상황도 일정치 않다. 計劃적으로 새롭게 건설되는 工場團地와 같은 경우에는 소음문제를 系統的으로 생각하는 것이 비교적 容易하다. 이것에 반해 既存공장의 경우에는 문제가 單純하지 않다. 例를들면 주변지역의 開發이 進行되기 때문에, 공장이 住宅地로 둘러싸여 過去에는 없던 不平이 생기게 되는 예와, 商店이나 住宅에 처마를 접하고 있는 중소규모의 공장인 경우에는 利害關係 기타 近隣關係가 介入되어 소음문제가 複雜化 되는 예도 있다.

現在의 사회적 通念으로서, 狀況이 어쨌든 新設, 既設과 함께 공장내 근로자들의 聽力損失防止와 주변지역에 대한 環境保全의 문제는 피할 수 없는 과제로 되고 있다. 소음문제가 발생한 경우에는 적절한 소음방지책을 가지고 對應하지 않으면 안된다. 공장소음의 방지대책에 대해서는 공장의 立地條件, 音源의 종류, 배치 및 가동조건, 건물상황등을 充分히 檢討하여 가장 效果的인 方法을 適用하는 것이 必要하다.

공장소음은 建設工事와 같이 一時的인 소음이 아니고, 또 道路交通騒音과 같이 不特定多數의 음원에 의한 것도 아니다. 따라서 소음발생원으로서의 공장이 명확히 위치되고, 周圍로 부터 不平이 발생하는 경우에는 직접적인 指摘의 對象이 되는 것이 많다. 그것만으로도 공장소음에 대한 저감대책이 重要な 課題로 되며, 저감대책을 세우기 위해 제일 중요한 것은 소음원의 追跡이 가능한 精密測定技術이다.

소음측정은 현장에 대한 實態調査, 소음이 적은 機械의 研究開發, 발생소음의 傳達經路對策 연구등을 目的으로 소음의 性質을 調査하기 위하여 행한다. 소음측정을 실시하는데 있어서 그 조사목적에 適合한 計劃을 세우는 것이 중요하며, 무턱대고 측정하면 좋은 結果가 얻어지지 않는다. 소음측정을 하는데는 다음과 같은 것이 중요하다. 첫째, 測定의 目的을 明確히 하며 둘째로, 計測器의 性能, 특히 機器의 效用과 限界를 알고 끝으로 慎重히 측정계획을 세운다.

따라서 본 보고서에서는 소음측정과 관련한 國際規格을 考察하였으며, 소음측정

을 하는 目的과 또 이목적에 따른 계측기의 성능및 적용할 수 있는 기기의 효용에 관해 記述하였다. 또한 측정의 목적과 適合한 계측기를 가지고 측정계획에 따라 사용되는 測定技術, 특히 騒音源 追跡이 可能한 정밀소음측정기술에 관한 研究를 照鑑하였다.

2. 騒音測定의 目的

2.1 騒音의 測定目的

음의 計測은 여러 目的을 가지고 행하여진다. 음악홀의 경우는 가운데서 演奏되는 음악이 구석구석까지 골고루 미치는 울림이 있어 기분 좋게 聽取할 수 있는가 어떤가를 判定하기 위하여 實施한다. 한편 소음의 계측은 인간생활에 障礙가 되지는 않는가, 또 聽力등에 影響은 없는가에 대해서 행한다. 소음은 完全히 없애는 것이 理想的인 데 物體가 움직이면 무언가 음을 내기 때문에, 인간에 장애가 되지 않는 手段을 講究하게 된다. 음악은 사람에 따라 좋고 나쁨이 있는 것과 같이, 소음에 있어서도 個人差가 있어 소음인가 아닌가는 基本的인 음의 評價 結果에 따라야만 한다.

소음측정으로서, 일반환경소음과 같이 全般的으로 把握하는 경우와, 特定음원에서 발생하는 소음을 觀測하여, 가능한 한 억제하도록 대책을 세우는 경우등이 있다. 또 職場環境으로서, 기계공장에서 일하는 작업자의 청력에 영향이 있는가 없는가, 또 個人住宅의 寢室에서는 睡眠에 영향이 있는 소음레벨인가 아닌가에 대하여 측정이 행해진다. 음의 評價에 있어서는, 대상으로하는 음의 物理量으로서, 周波數成分(Spectrum), 時間變化등이 關係한다. 따라서 소음의 계측으로서 이러한 物理량을 측정하여 인간의 感覺에 適合하도록 해야 한다.

물리적인 음의 強度에 대해서는 음압레벨이라는 尺度가 利用된다. 또 주파수성분에 있어서는, Fletcher-Munson의 聽感曲線에 나타난 것 같이, 低周波와 4 kHz 以上の 高周波에 있어서 聽覺感도가 低下하기 때문에, 40Phon음의 크기레벨(騒音計의 A特性)에 상당하는 周波數補正回路를 가진 計測器가 사용되어 감각적인 음의 계측이 행해진다. 그러나 기계의 소음대책에 있어서는, 소음을 주파수 分析하여 詳細한 Spectrum을 구하는 것이 필요한 경우, 소음발생원을 確定하기 위하여 特殊한 信號處理를 要하는 경우도 있다.

2.2 騒音의 分類

소음은 測定對象에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

2.2.1 環境騒音

觀測하는 장소에 있어서 모든음을 綜合한 것으로, 일반적으로는 1時間, 1日, 경우에 따라서는 1년에 걸친 소음레벨(A특성 음압레벨)의 平均으로 表示된다.

2.2.2 特殊騒音

特定음원에서 發生하는 소음으로, 공장내의 기계소음,또는 그 중의 특정한 기계소음, 또 一般環境중에서, 자동차, 항공기, 철도로 인한 교통소음, 때로는 家畜의 울음소리를 對象으로 한 것도 있다.

2.2.3 暗騒音

對象으로 하는 특정소음을 除外한 소음으로, 예를들면 空港周邊에서 항공기소음을 대상으로 한 경우는, 부근을 通過하는 자동차소음은 암소음으로 된다.

2.2.4 殘留騒音

特定할 수 있는 소음을 제외한 其他소음을, 특별히 잔류소음이라고 말하는 수가 있다.

이상의 분류외에 소음의 性質, 특히 그 時間變化의 差異에 따라 다음과 같이 나눌 수 있다.

2.2.5 定常騒音

레벨의 變化가 작고 거의 一定하다고 보여지는 騒音으로 送風機소음등이 있다.

2.2.6 不規則 變動騒音

레벨이 不規則하고 連續적으로 넓은 範圍에 걸쳐 變化하는 소음으로 공장내소음, 도로교통소음등이 있다.

2.2.7 間歇騒音

間歇적으로 발생하고, 계속시간이 數秒 이상의 소음으로 자동차 또는 항공기의 通過音등이 있다.

2.2.8 衝擊騒音

한개 事象의 繼續時間이 극히 짧은 소음 (1초 이내)

(1) 分離衝擊騒音

個個의 事象이 獨立하여 分離할 수 있는 소음으로 사격음등이 있다.

(2) 準定常衝擊騒音

극히 짧은 時間間隔으로 反復하여 發生하는 衝擊音으로 리벳음등이 있다.

2.3 音壓 (Sound Pressure)과 音響 파워 (Sound Power)

음원은 음향파를 放射하며 이에 의해 음압이 생겨난다. 음향파는 原因이며, 음압은 그 結果이다. 다음의 類推를 考察해보자. 電氣 히터가 방 안에서 熱을 放射하면 結果로서 溫度가 올라간다. 온도는 우리에게 덥거나 춥게 느끼게 하는 또 하나의 物理量이다. 방안의 온도는 明白히 방 그 自體와 斷熱材, 그리고 다른 熱源이 있는가에 依存하여 달라진다. 그러나 同一한 入力 電力에 대하여 히터는 그 주위환경에 관계없이 같은 功率를 방사한다. 음향 功率와 음압과의 關係도 비슷하다. 우리가 듣는 것은 음압이지만, 그것은 음원으로부터 방사되는 음향 功率에 起因한 것이다.

지나치게 높은 음압은 聽覺損傷을 가져올 수 있으므로 소음에 의한 不快感나 청력 손실 危險度와 같은 음에 대한 인간의 反應을 定量化하려 할 때에는 음압을 測定해야 한다는 것이 명백하다. 또한 음압은 측정하기가 比較的 쉽다. 우리가 소리로서 感知하는 고막에 작용한 壓力의 變動은 콘덴서 마이크로폰에서 檢出하는 압력의 변동과 同一한 것이다.

우리가 듣거나 마이크로폰으로 측정하는 음압은 음원으로부터의 距離 및 音波가

존재하는 音響環境 즉, 音場(Sound Fields)에 의해 左右되며, 또한 방의 크기와 벽면의 吸音 정도에는 관련이 있다. 그러므로 음압을 측정하는 것만으로는 機械가 얼마만큼의 소음을 내고 있는가를 항상 定量化 할 수 있는 것은 아니다. Sound Power는 주위 환경에 대해 거의 무관하며 음원의 시끄러움을 나타내는 고유한 표현수단이므로 우리는 Sound Power를 알아내도록 해야한다.

2.4 音響인텐시티 (Acoustic Intensity)

振動하는 機械類에서는 어느 部分에서나 音響 Energy를 放射한다. 음향 파워는 Energy의 放射率(單位 時間당 Energy)이다. 음향 인텐시티는 한 点에서 單位面積을 通過하는 Energy 流動率을 表示한다. SI系에서 단위 면적의 단위는 $1m^2$ 이므로 음향 인텐시티의 單位는 제곱미터당의 와트(W/m^2)가 된다.

음향 인텐시티 또한 어느 方向으로는 Energy의 流入이 있고 다른 方向으로는 유입이 없다고 하는, 方向을 測定할 수 있다. 그러므로 音響인텐시티는 크기와 方向 모두를 갖고 있는 벡터(Vector)量이며, 한편 音壓은 크기만을 갖고 있으므로 스칼라(Scalar)量이다. 보통 音響인텐시티는 音響Energy가 流動하는 特定 단위면적에 垂直인(90°) 方向으로 測定한다.

또한, 音響인텐시티는 單位 면적당 Energy의 時間 平均된 流動率이라는 것을 알 必要가 있다. 어떤 경우에 Energy는 前後로 進行하는데 이것은 測定되지 않는다. 즉 實際 Energy의 흐름이 없으면 실제 인텐시티도 없다.

그림 2.1에서 음원은 Energy를 放射하고 있으며 이 모든 Energy는 음원을 둘러싸고 있는 面積을 通過하여야 한다. 인텐시티는 면적당의 Power이므로, 음원을 둘러싸고 있는 面에서 空間적으로 平均된 垂直方向의 인텐시티를 測定하고 여기에 面積을 곱하면 Sound Power를 쉽게 구할 수 있다.

인텐시티 또 음압은 自由音場 전파시에는 역자승의 法則을 따른다는 것에 留意하라. 이것은 그림에서 알 수 있듯이 음원으로부터 $2r$ 되는 거리에서 음원을 둘러싸는 面積은 거리 r 에서의 면적보다 4배 크다. 그러나 방사되는 총 Power는

어느 距離에서나 同一해야 하므로, 면적당 Power인 인텐시티는 減少해야 한다.

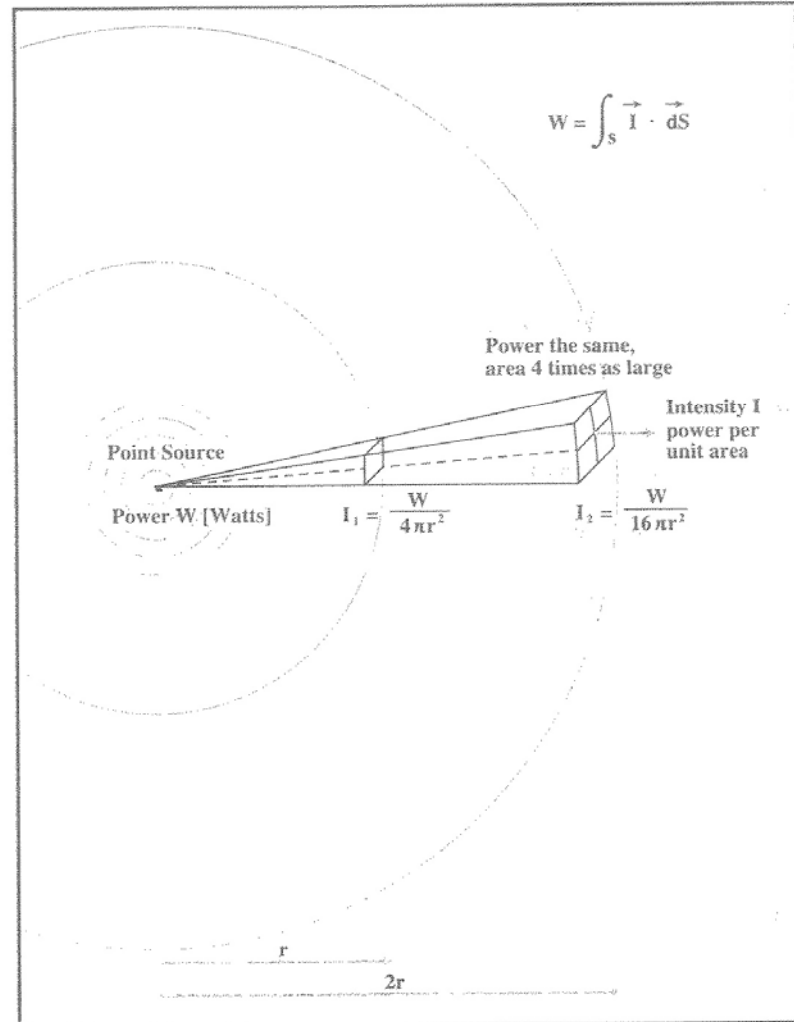


그림 2.1 음향인텐시티

2.5 騒音測定의 規格

騒音測定方法으로서는 各 種類의 音에 대하여 物理量을 測定하여 인간의 감각에 대한 평가량으로 하기 위하여 여러 방법이 提案되고 있다. 從來 세계각국에 있어서, 예를 들면 미국에서는 ANSI(American National Standard Institute), 독일에서는 DIN(Deutsche Industrie Normung), 영국은 BS(British Standard), 일본은 JIS(Japanese Industrial Standard)등이 있고, 各國에서 獨自의 측정방법을 定

하고 있는 데, 1960年 經부터 國際적으로 統一하게 되어, 國際機關 ISO(International Organization for Standardization)에서 各種騒音測定方法을 국제규격으로서 審議 制定하게 되었다. ISO에서는 音響全體에서 부터 環境騒音,개개의 機械騒音에 대하여 측정규격을 制定 發行하고 있고, 各國에서도 이것에따라 國內規格의 改正이 이루어 지고 있다.

3. 音響計測機器

3.1. 騒音計 (Sound Level Meter)

騒音計는 소음의 크기에 相當하는 값에 近似한 물리량을 측정하는 것을 목적으로 설계된 測定器로, KS 規格으로 精密騒音計 (KS C 1505), 普通騒音計 (KS C 1502)가 制定되어 있고, 國際的으로는 IEC 규격 (International Electrotechnical Commission)의 개정된 新規格 (IEC Pub 651)에 Type 0, Type 1, Type 2, Type 3의 4 種類가 있고, KS 規格의 精密騒音計는 Type 1에, 普通騒音計는 Type 2에 相當한다.

騒音計의 基本的인 構成圖는 그림3.1 과 같은데, 감쇠기, 주파수 보정회로 등의 位置는 種類에 따라 다르다. 騒音計로서 重要的 것은 주파수보정회로의 特性과 指示計의 動特性으로, 이것에 의해 우리들의 청감에 近似한 소음레벨을 測定할 수가 있다.

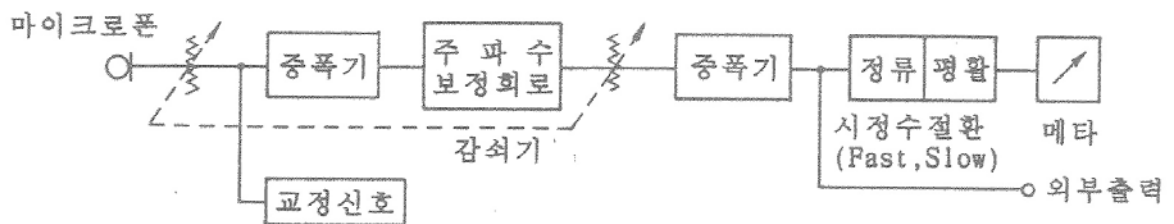


그림 3.1 騒音計의 기본적인 構成圖

주파수보정회로에는 그림3.2에 나타난 A, B, C 3개의 곡선이 一般的으로 利用되고 있는데, 최근의 JIS에서는 B가 없어지고, 精密騒音計에 平坦이 더해졌다. 또 ISO 규격에는 항공기소음측정을 목적으로한 D 特性이 있다.

이들 곡선은 騒音計의 지시치를 청감에 가깝게 하기위한 것으로, A 특성은 Fletcher-Munson의 等Loudness 곡선의 40Phon, B 특성은 70Phon 곡선에 對應하고 있으며, C 특성은 平坦에 가깝다. JIS에서는 以前에 이것을 聽感補正回路라고 불렀는데 그렇게 明確한 것은 아니고 約束한 것이라고 생각하는 것이 適切하다고 생각되어 周波數補正回路라고 부르게 되었다. 이 보정회로를 통해 측정된 값을 dB(A), dB(C) 등으로 表記하고 소음레벨이라고 부른다. 이전에는 소음의 크기에 따라 A, B, C를 나눠서 사용한 적도 있는데 一般騒音에 대해서는 크기에 관계없이 A 특성에 의한 측정치가 청감과 좋은 對應을 갖고 있는 것이 世界적으로 認識되어, 현재는 대부분의 소음측정은 A 특성으로 하며, dB(A)로 표기 하는것이 普及되어 있다.

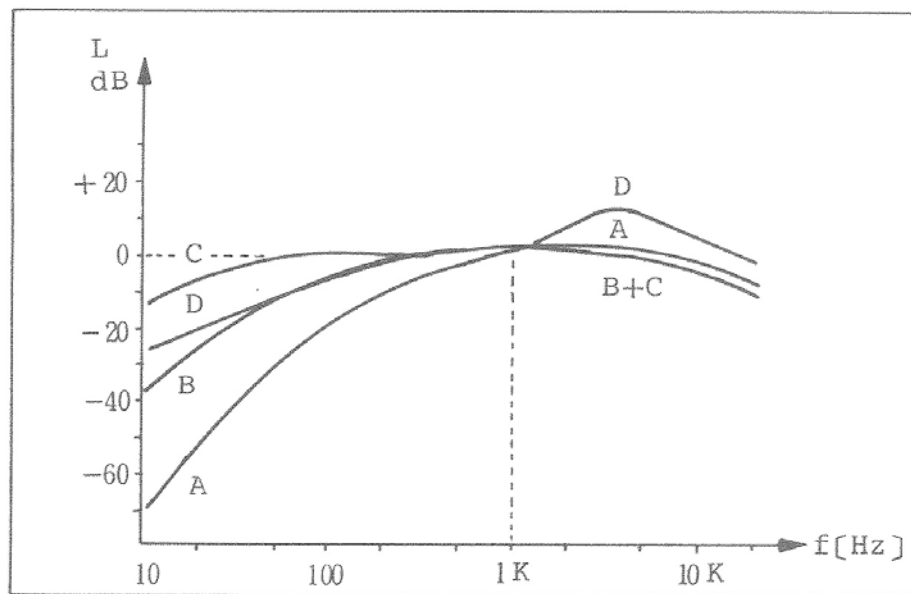


그림 3.2 騒音計의 주파수 보정회로 특성

다음에 騒音計의 지시계 動特性에 대해서는, IEC 규격이나 JIS 규격에서 “Fast”와 “Slow”의 2種이 결정되어 있고, Fast는 청감에 비교적 가깝고, Slow는 變動하

는 소음의 平均的인 값을 읽기 쉽게 하기 위한 것이다. JIS 규격에 의하면 주파수 1000Hz, 繼續시간 0.2S의 正弦波 入力에 의한 지시치가 정현파 입력과 주파수, 振幅이 같은 定常상태의 정현파 입력에 의한 지시치에 대해, 보통騒音計나 精密騒音計 모두 $-1(+0.5, -1)$ dB의 範圍內에 있는 것, Solw는 繼續시간 0.5S의 입력에 의한 최대지시치가 정상상태의 지시치에 대해, 普通騒音計는 -4 ± 2 dB, 精密騒音計는 -4 ± 1 dB의 범위내인 것이 결정되어 있다. 또 보통騒音計에서는 Fast, Slow와 함께 100Hz ~ 8KHz의 任意의 주파수와 一定진폭의 정현파를 급히 걸었을 때의 최대지시치는 정상상태의 지시치에 대해 +1dB 이하로 하도록 規定되어 있고, 精密騒音計에서는 100Hz ~ 12.5KHz에 대해 같은 규정이 있다.

Fast의 경우에서도 繼續시간이 짧은 衝擊性的인 소음에서는, 청감에 비해 騒音計의 지시가 작기때문에, 이와같은 음을 대상으로 한 충격성騒音計의 동특성이 IEC 규격에 表示되어 있다.

오늘날 騒音計의 성능을 가장 支配하고 있는 것은 마이크로폰(Microphone)이다. 일반적으로 넓게 使用되고 있는 騒音計의 마이크로 폰은 以前에는 Dynamic型이 大部分이었는데, 最近 Condenser型으로 變하여 왔다. Dynamic型은 비교적 廉價로 耐久性이 좋고, 低 임피던스(Impedence)이기 때문에 연장코드를 사용해도 유도 잡음이 적고, 普通騒音計用으로서 좋은 性能을 가지고 있다. 短點으로는 주파수 특성에 약간의 문제가 있고 특히 低音域에서 감도가 떨어지는 것, 高音域에서 주파수특성에 떨림이 있는 것 등이 있고 또 Microphone 자체가 電磁誘導에 약하다.

이것에 비해 Condenser型 마이크로 폰은 주파수특성을 비롯하여 많은 우수한 점을 가지고 있는데, 一般的으로 高價이고, 또 濕氣에 약하기 때문에 現場用的인 보통騒音計에는 좀처럼 사용하지 않았다. 그러나 이러한 점이 改善되고, 價格도 떨어져서 최근에는 主流로 되어 있는데, 보통騒音計에 사용되는 부류의 Condenser 마이크로 폰 중에는 온도가 낮아졌을 때에 주파수특성이 약간 變化하는 것이 있다. 또 코드를 연장했을 때 이 부분의 Impedence가 Dynamic型에 비해 일반적으로 높고, 또 불평형이기 때문에 誘導에 의한 노이즈(Noise)를 받기 쉽다.

3.2 옥타브 (Octave) 分析器, 1/3옥타브分析器

소음에 포함되어 있는 주파수성분을 調査하는 것을 周波數分析이라고 말한다. 그 중 가장 간단한 것이 옥타브분석이라고 불리는 1옥타브의 범위만을 통하는 필터(Filter)를 차례차례로 切換하여 분석하는 방법이다.

1옥타브의 下限, 上限 및 中心周波數를 f_1 , f_2 , f_m 라고 하면 다음의 관계가 있다.

$$f_2 = 2f_1, \quad f_m = \sqrt{f_1 f_2}, \quad f_1 = \frac{f_m}{\sqrt{2}}, \quad f_2 = \sqrt{2} f_m \quad (3.1)$$

더욱 詳細한 分析을 希望하는 경우에 1/3 옥타브밴드의 Filter에 의한 분석이 行해진다. 이 경우에 1/3 옥타브의 상한, 하한 및 중심주파수는 다음과 같이 된다.

$$f_2 = \sqrt[3]{2} f_1, \quad f_m = \sqrt{f_1 f_2}, \quad f_1 = \frac{f_m}{\sqrt[3]{2}}, \quad f_2 = \sqrt[3]{2} f_m \quad (3.2)$$

현재 廣範圍하게 사용되고 있는 이들 Filter의 중심주파수와 通過帶域은 표3.1과 같다.

Third-Octave and Octave Passbands				Third-Octave and Octave Passbands			
Band No.	Nominal Centre Frequency Hz	Third-Octave Passband Hz	Octave Passband Hz	Band No.	Nominal Centre Frequency Hz	Third-Octave Passband Hz	Octave Passband Hz
1	1.25	1.12 - 1.41		23	200	178 - 224	
2	1.6	1.41 - 1.78		24	250	224 - 282	178 - 355
3	2	1.78 - 2.24	1.41 - 2.82	25	315	282 - 355	
4	2.5	2.24 - 2.82		26	400	355 - 447	
5	3.15	2.82 - 3.55		27	500	447 - 562	355 - 708
6	4	3.55 - 4.47	2.82 - 5.62	28	630	562 - 708	
7	5	4.47 - 5.62		29	800	708 - 891	
8	6.3	5.62 - 7.08		30	1000	891 - 1120	708 - 1410
9	8	7.08 - 8.91	5.62 - 11.2	31	1250	1120 - 1410	
10	10	8.91 - 11.2		32	1600	1410 - 1780	
11	12.5	11.2 - 14.1		33	2000	1780 - 2240	1410 - 2820
12	16	14.1 - 17.8	11.2 - 22.4	34	2500	2240 - 2820	
13	20	17.8 - 22.4		35	3150	2820 - 3550	
14	25	22.4 - 28.2		36	4000	3550 - 4470	2820 - 5620
15	31.5	28.2 - 35.5	22.4 - 44.7	37	5000	4470 - 5620	
16	40	35.5 - 44.7		38	6300	5620 - 7080	
17	50	44.7 - 56.2		39	8000	7080 - 8910	5620 - 11200
18	63	56.2 - 70.8	44.7 - 89.1	40	10K	8910 - 11200	
19	80	70.8 - 89.1		41	12.5K	11.2 - 14.1 K	
20	100	89.1 - 112		42	16K	14.1 - 17.8 K	11.2 - 22.4 K
21	125	112 - 141	89.1 - 178	43	20K	17.8 - 22.4 K	
22	160	141 - 178					

표 3.1 代役필터의 中心周波數와 通過代役

Filter의 帶域幅을 Δf , 이 대역내의 平均音壓을 P 로 하면 대역내의 에너지 E 와 의 사이에 다음의 관계가 있다.

$$E \propto P^2 \cdot \Delta f \quad (3.3)$$

따라서 옥타브Filter에서는 1옥타브 올라갈때에 Δf 가 2배로 되기때문에 1Hz당 에너지가 같은 백색잡음을 分析하면 옥타브당 3dB의 比率로 高音이 되는 만큼 큰 分析結果도 된다. 이 종류의 Filter를 定比率 대역폭 Filter라 하며, 뒤에 나오는 定帶域幅 Filter와 區別된다. 市販중인 Filter의 特性例는 그림 3.3과 같다.

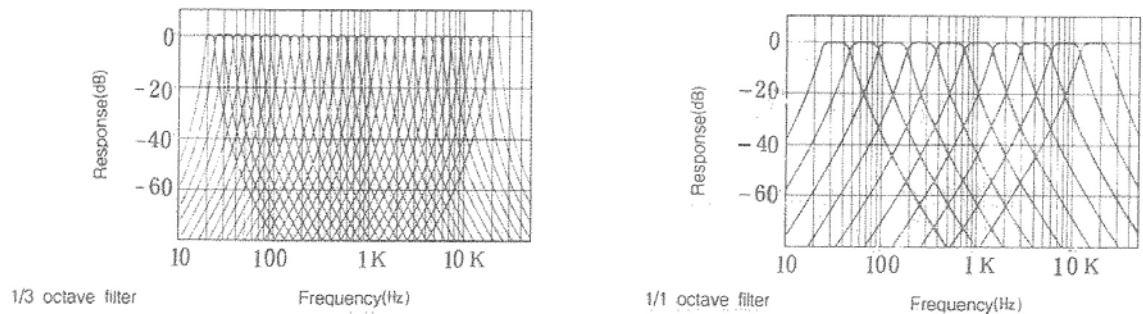


그림 3.3 市販중인 필터의 特性例

現在 이러한 Filter分析器의 構成例는 그림 3.4와 같고, 騒音計의 출력단자 등으로 부터 入力하면 스위치로 대역을 切換, 騒音計와 같은 動特性의 指示計로 分析結果를 읽어내는 構造로, 그 출력단자로부터 레벨레코더 등에 連結하지 않고 기록하는 것도 可能하다.

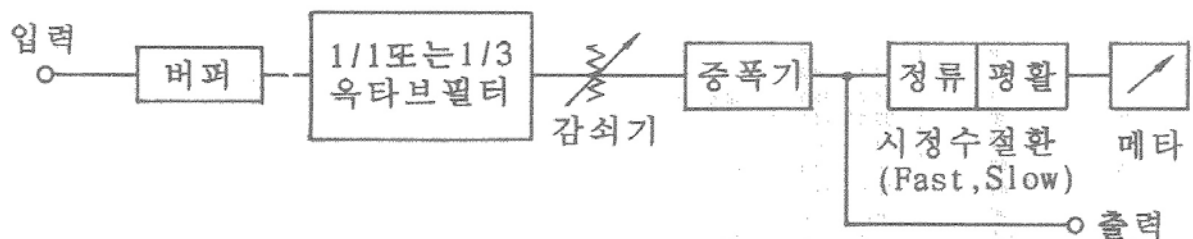


그림 3.4 1/1, 1/3옥타브 分析器의 構成圖

그외에 그림3.5 와 같이 Filter를 騒音計 本體에 直接 접속시켜, 騒音計의 電氣回路에 필터의 전기회로를 삽입하여 騒音計의 지시계로 분석결과를 읽어내는 구조나 騒音計 内部에 組立되어 있는 것도 있다.

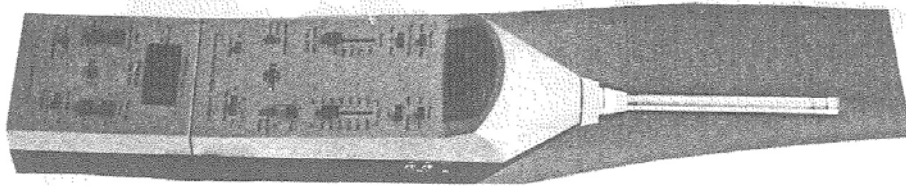


그림 3.5 Filter를 騒音計 本體에 直接 접속한 형태

옥타브 分析과 1/3 옥타브 분석의 結果를 比較할 때, Δf 가 3:1의 관계에 있기 때문에 넓은 주파수帶域에 걸친 Spectrum을 가진 소음에서는 그림 3.6과 같이 兩者 사이에 외견상 약 5dB의 差가 생긴다.

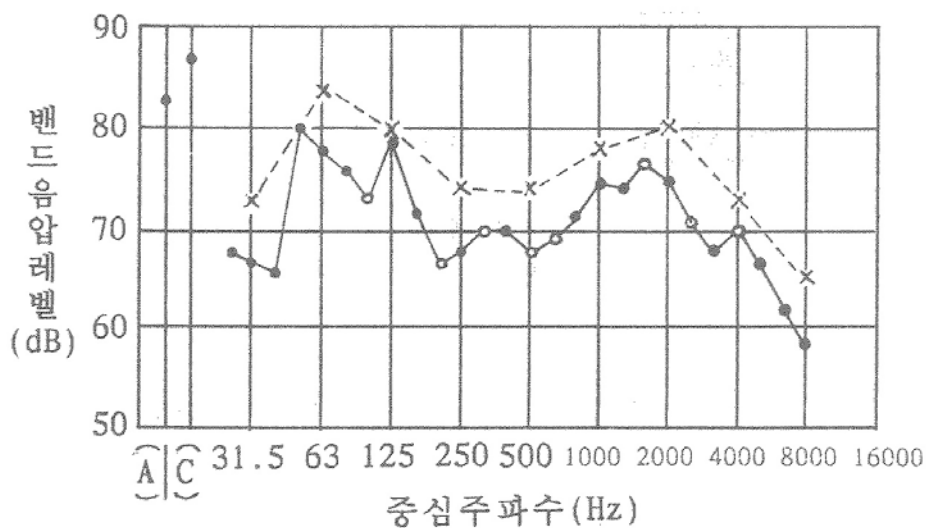


그림 3.6 1/1, 1/3옥타브 分析結果의 比較

이 Filter는 以前에는 코일(L)과 콘덴서(C)를 조합한 受動型의 것이 대부분이었는 데, 최근에는 증폭기에 콘덴서(C)와 저항(R)을 조합한 선택적 피이드 백(Feed

back)을 갖춘 能動型의 것이 普及되어, Filter로서의 性能向上과 小型輕量化에 도움이 되었다. 그 반면, 능동형 필터는 수동형에 비해 素子가 時效變化에 대한 영향을 쉽게 받기 때문에 定期的으로 特性을 조사하는 등의 注意가 必要하다.

3.3 實時間(Real Time) 옥타브, 1/3 옥타브 分析器

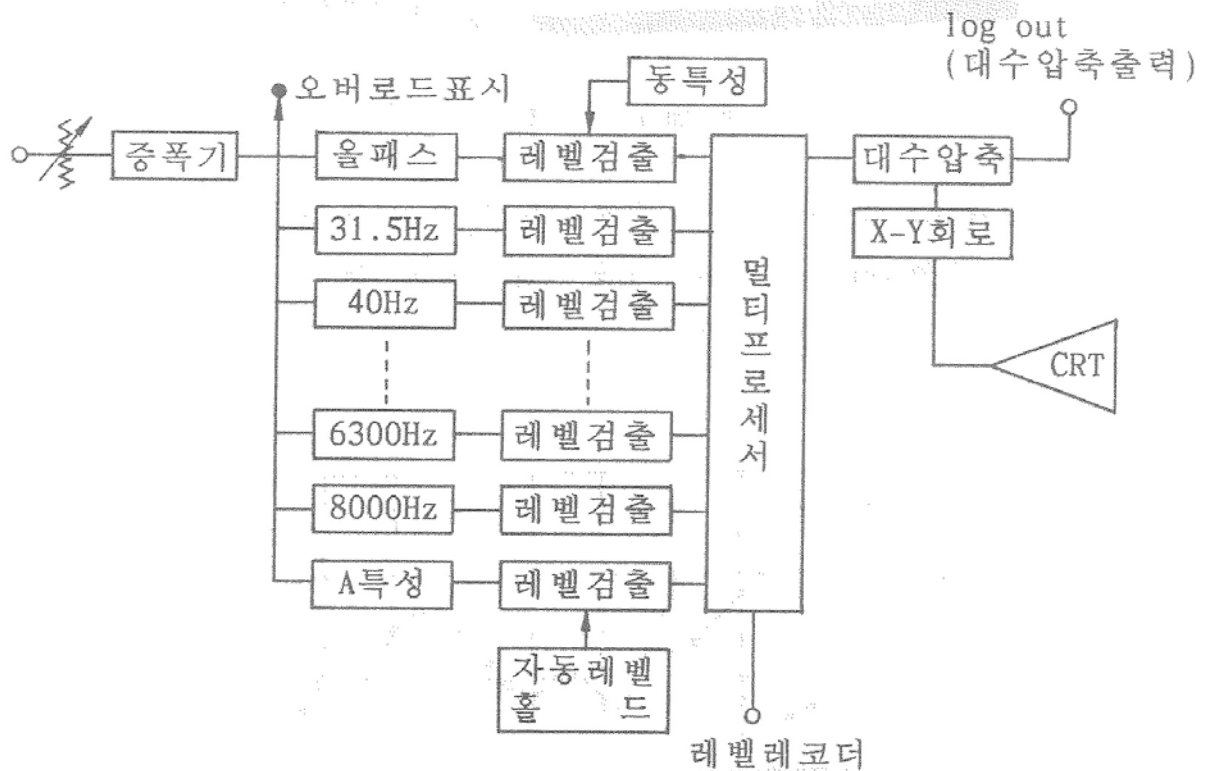


그림 3.7 實時間 1/1, 1/3옥타브 分析器의 構成圖

이 분석기의 名稱自體 만큼 확실히 定意한 것이 없다고 생각되며, 분석기의 構成圖는 그림 3.7과 같으며 分析結果를 곧 CRT상에서 보는 것이 可能하다. CRT에 의한 Display는 그림 3.8과 같이 橫軸에 옥타브 주파수, 縱軸에 밴드레벨이 봉 그래프로 表示되고, 그 Dynamic렌지는 40 ~ 60dB의 것이 많은데, 스위치에 의해 50, 25, 10dB 등 切換되는 것도 있다.

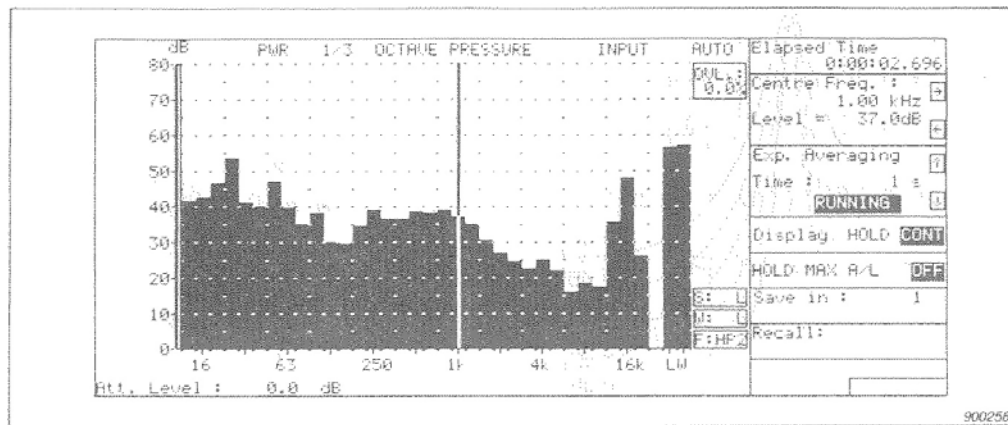


그림 3.8 實時間 1/3옥타브 分析器의 表示例

橫軸에는 over all과 騒音計의 A特性도 더해져 있는 것이 많다. 縱軸에 표시되는 band level 표시의 時定數는, 騒音計의 Fast, Slow에 相當하는 값외에, 몇 段階로 切換되어, 특히 10秒 이상의 긴 값도 가능한 것이 있다. 이와 같이 긴 時定數는, 최근 뒤에 敍述한 디지털 메모리와 並用하여 衝擊性騒音의 주파수분석에도 利用되도록 되었다.

이러한 분석기는 분석결과를 바로 볼수 있는 特徵이 있고, CRT에 표시된 결과는, Hold하여 레벨레코더로 copy 하는 것이 可能하며, Peak Hold나 디지털 출력 단자에서 Computer에 接續하는 기능을 가진것도 있다.

3.4 (定比率) 狹帶域 分析器

그림 3.6과 같은 비교적 좁은 定比率 대역 필터를 주파수에 대해 연속적으로 변화시켜 周波數分析을 하는 것으로 構成은 그림 3.10과 같은 能動型이다. 이전에는 定帶域幅型의 Heterodyne 분석기와 함께 주파수적으로 詳細한 분석을 하기 위하여 넓게 使用되고 있었는데, FFT 등 디지털기기의 發達에 따라 利用頻度가 떨어지고 있다.

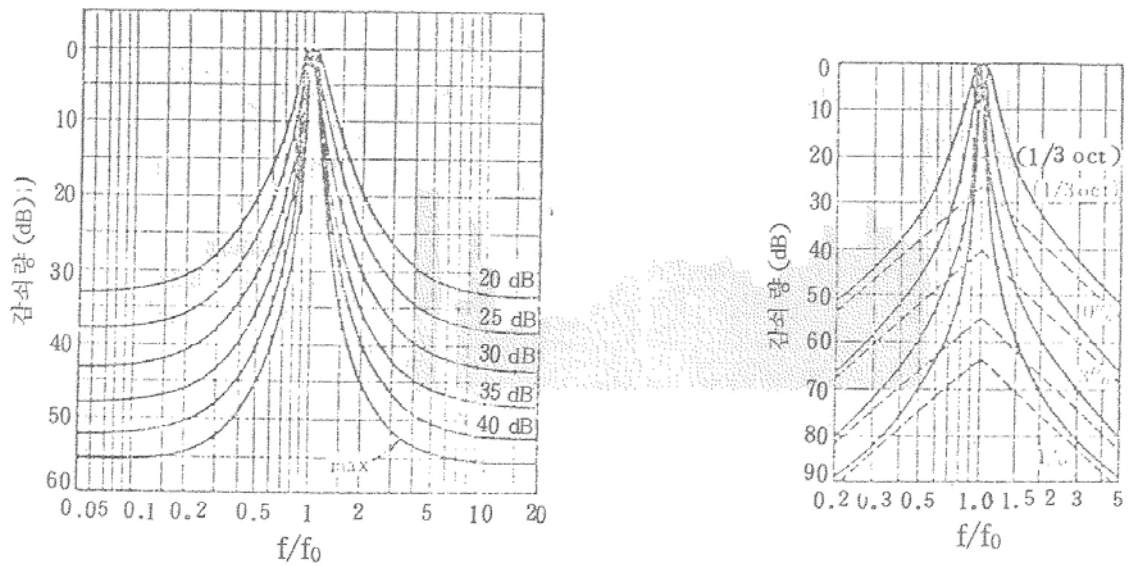


그림 3.9 定比率 狹帶域 Filter의 特性例

그러나, 모타, Fan, Pump 등 回轉數에 관계되는 소음의 異常주파수를 調査하여 어느 機械에서의 소음이 문제인가를 判斷하는 경우 등에 便利하고, 특히 簡易型은 다이내믹 렌지가 그다지 크지 않은데, 騒音計 本體에 直結하여 電氣回路 도중에 이러한 필터를 插入하고 騒音計의 지시계에서 분석결과를 읽어내는 方式의 것이 있어, 現場에서의 사용에 便利하다.

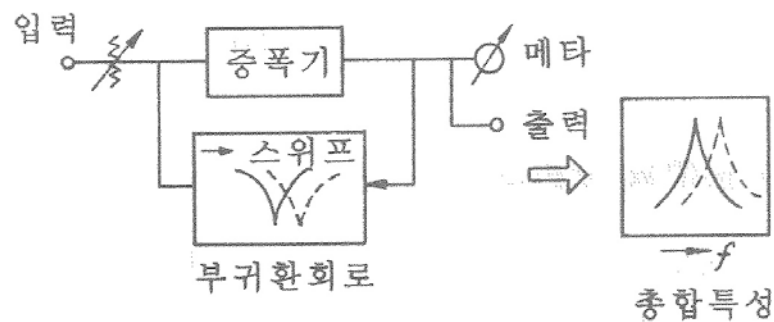


그림 3.10 定比率 狹帶域 分析器의 構成例

3.5 레벨레코더 (Level Recorder)

소음의 레벨은 一般的으로 시간과 함께 變動하기 때문에, 騒音計의 指示를 눈으로 읽어내는 것은 努力을 要하며, 시간적인 變化를 記憶하는 것은 不可能에 가깝다. 그 때문에 記錄係가 필요하고 소음레벨의 기록에 편리하도록 만들어진 것이 레벨 레코더이다. 현재 市販되고 있는 레벨레코더는 機能的으로 나누면, 等速型和 指數應答型이 있고, 구조적으로 自動平衡型和 펜 오실로그래프型이 있다. 그림 3.11에는 가장 代表的인 自動平衡機構에 의한 等速型 레벨레코더의 構成圖로 입력 전압은 Potentiometer로 減壓되기 때문에 증폭기를 거쳐 整流되어 기준전압과 비교된다. 이 단계에서 基準電壓보다 높으면 Potentiometer를 움직이고 더욱 減壓하여 平衡시키도록 되어 있다. 이를위한 기구는 기준전압과 비교하여 생긴 (+) 또는 (-)의 電壓을 증폭하여 圓筒形의 자석내 코일에 전류를 흘리면, (+) (-)에 따라 전류방향이 反對로 되기 때문에, 코일은 左 또는 右로 移動한다. 이 코일과 Potentiometer를 연결하여 놓으면, 기준전압과 平行되는 방향으로 코일이 Potentiometer를 움직여 오기 때문에 자동적으로 平衡점에 到達하며, 이것을 자동 平衡기구라고 말한다. 이 Potentiometer와 코일을 機構적으로 연결한 축에 記錄用 펜을 붙여놓으면, Potentiometer의 움직임에 相當하는 기록을 할 수 있다. Potentiometer가 움직인 크기와 Potentiometer에 의한 입력전압의 減衰關係를 대수적으로 해 놓으면, 대수눈금의 기록이 가능하고, 끝에서 끝까지의 減衰를 50dB로 하면, 50dB幅의 기록이 行해진다. 이와 같이 매우 巧妙한 기구인데, 코일에 흐르는 전류가 펜의 움직이는 폭에 관계없이 一定하게 되도록 하고 있기 때문에, 펜의 움직이는 速度는 일정하고, 40dB 움직이는데는 20dB의 2倍, 10dB의 4倍의 시간이 걸린다. 이러한 종류의 레벨레코더를 等速型이라고 부른다. 펜의 動作速度, 즉 變動하는 소음에 대한 기록계의 응답속도는 스위치로 轉換할 수 있도록 되어 있고, 코일이 원통형의 자석중을 움직이는 動電型의 것에서는 최고 1000dB/S 정도가 잘 利用된다. 이 動電型의 레벨레코더는 強力한 磁石을 필요로하기 때문에 대형이며 무겁고, 이것을 소형경량화 하기 위하여 Potentiometer와 기록펜을

左右로 움직이는 動力으로서 자동제어용의 서보모터를 사용한 기종이 있다. 이 경우에는 응답속도를 動電型만큼 빠르게 하는 것은 不可能한데, 最高 300dB/S 정도의 것이 만들어져 있고, 騒音計測을 目的으로 하는 경우에는 充分하다.

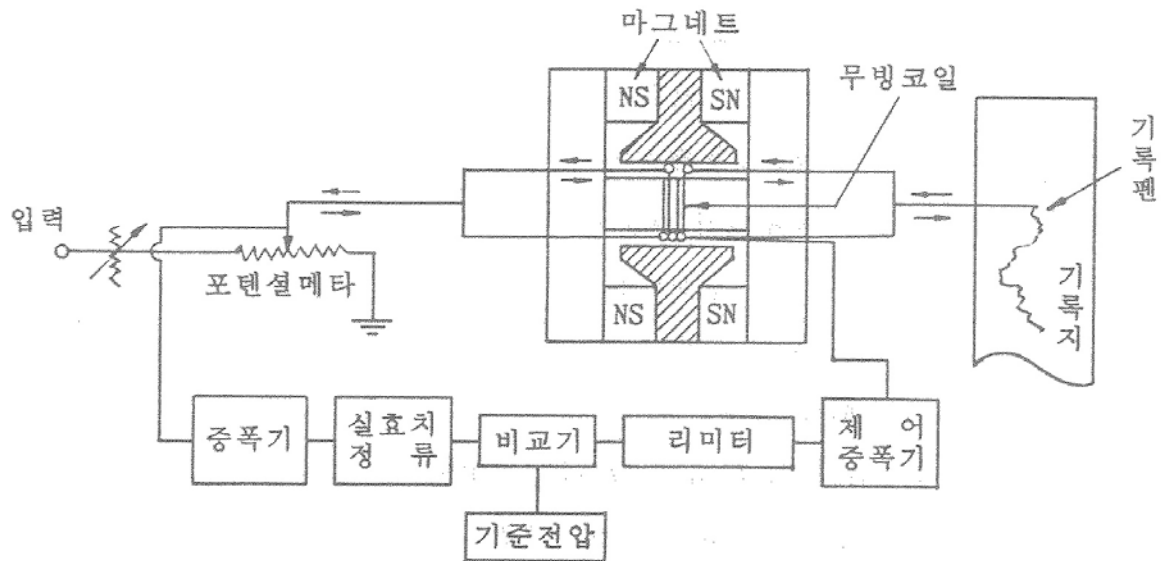


그림 3.11 動電型の 등속형 레벨레코더의 構成例

以上の機種에서는 모두 펜이 움직이기 시작해서 멈출때 까지 거의 등속운동을 한다. 이것에 반하여 騒音計의 지시계 지침은, 움직이기 시작할 때의 速度가 빠르고, 멈출때가 늦게 되어, 指數的으로 變化한다. 이 때문에 충격성소음에 대해서는 等速型の 레벨레코더 記錄과 騒音計의 指示値와의 사이에 어긋남이 생긴다. 따라서 최근, 騒音計의 指示에 類似한 指數應答型の 레벨레코더가 普及되기 시작했다. 그림 3.12는 自動平衡機構에 의한 지수응답형의 레벨레코더의 構成圖로, 입력을 증폭하여 實效値 整流하고 입력신호의 실효치에 비례하는 直流電壓을 만들어, 이것을 대수압축회로를 통해 자동평형형의 적류기록계에 連結하고 있다. 이 자동평형기구에서는 平衡点에서의 貯積에 比例한 전류가 서보모터로 흐르기 때문에 펜은 지수응답적인 動作을 한다.

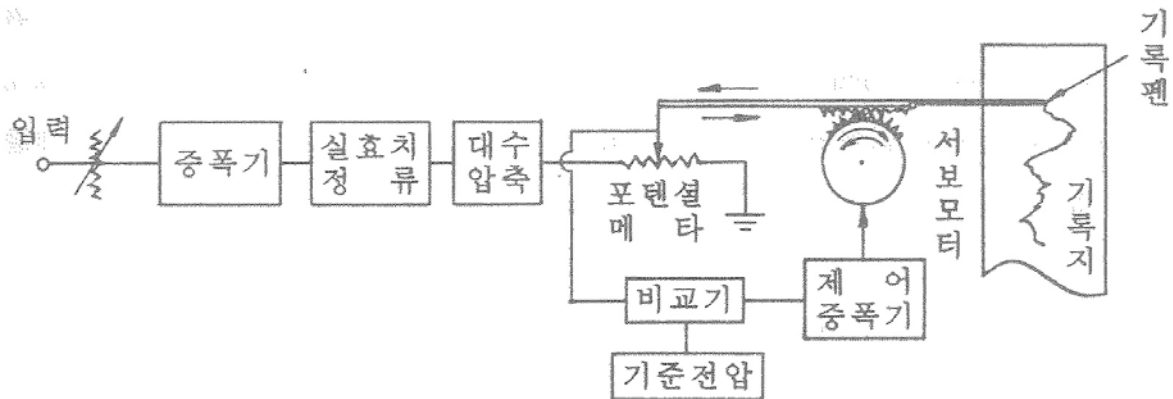


그림 3.12 自動平衡機構에 의한 指數應答型 레벨레코더의 構成例

實際로 소음레벨의 變化를 기록하는 경우에는 실효치 정류회로의 時定數와 기록계 자체의 時定數 사이의 關係인데, 後者를 가능한 한 작게하여 소음레벨의 기록은 거의 실효치 정류회로의 時定數만에 의하도록 하면, 整流回路가 대수압축회로 전에 있기 때문에 펜진폭에 관계없이 騒音計의 動特性規格에 近似한 기록이 행해진다.

지수응답형의 레벨레코더에는 다른 形態로서 펜오실로그래프형의 기록계를 利用한 그림 3.13과 같은 것이 있다. 자동평형형의 기록계에 비교하여 펜오실로그래프는 時定數가 훨씬 작고 應答速度가 빠르기 때문에, 레벨레코더 전체로서 입력변화에 대한 기록응답이 실효치 정류회로의 時定數만으로 결정되고, 이점에서 높은 성능이 얻어진다.

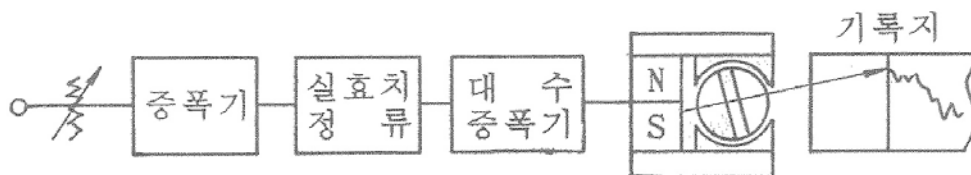


그림 3.13 펜오실로그래프형의 기록계를 利用한 레벨레코더의 構成圖

그러나 펜오실로그래프의 기록은 原理적으로 圓弧이고, 이 대로는 기록지상의 장소에 따라 레벨간격이 일정하게 되지 않고 誤差가 크기 때문에, 이것을 直線化하여, 더욱 오차를 없애는 궁리 끝에, 實用上 문제로 되지 않는 정도의 것이 개발되고 있다.

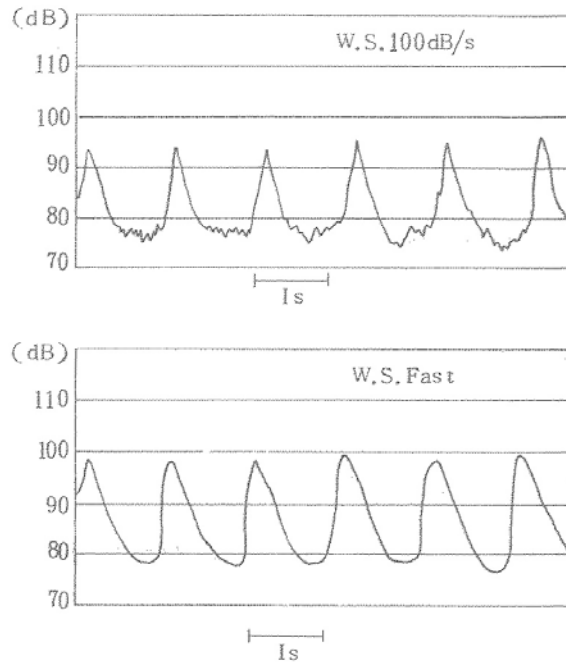


그림 3.14 等速型和指數應答型 레벨레코더의 衝擊性소음기록比較

그림 3.14는 충격성소음인 디젤항타기의 소음을 기록한 것의 비교로, 등속형 기록의 피크레벨은 지수응답형에 비교하여 작은 것을 알수 있다.

3.6 테이프레코더 (Tape Recorder)

소음을 한번 錄音하여 놓으면, 이것을 몇번이고 反復再生하여 여러 角度에서 解析하는 것이 可能하다. 현장에서의 측정시간을 短縮하고, 또 같은 것을 2번 반복하는 것이 不可能한 현상의 해석에는 녹음이 필요하고, 이 때문에 넓게 사용되는 것이 테이프레코더이다. 테이프레코더와 데이터레코더의 區別은 그다지 명확하지 않은데, 磁氣테이프를 媒體로 하지 않는것까지 包含한다고 하는 해석도 있는데,

여기에서는 자기테이프에 기록하는 것만을 생각하기로 한다.

소위 테이프레코더에는 家庭用的 간단한 것으로 부터 HiFi매니아가 사용하는 세미프로(Semipro) 급의 것, 더욱이는 放送局이나 映畫關係에서 사용하는 業務用的機種까지 많은 단계가 있는데, 어느것이나 음악이나 음성을 錄音, 再生하여 듣는 것을 목적으로 만들어져 있다. 이것에 대해 테이타레코더는 音響에 局限되지 않고, 여러가지 현상을 전류의 변화로 바꾸어 이것을 자기테이프에 기록, 재생하여 그 현상을 해석하는 것을 목표로 하고 있다. 兩者는 자기테이프에 기록하는 점에서는 같은데, 목적이 다르기 때문에 當然히 그 사양도 다르고, 사용방법도 같지는 않다. 테이프레코더나 테이타레코더를 소음의 錄音, 解析에 이용하는 경우에, 兩者의 特徵을 잘 理解하여 바르게 사용할 必要가 있다.

테이프레코더는 音聲이나 音樂을 녹음하는 것을 목적으로 하기 때문에 이러한 음의 性質을 조사하여, 충실히 SN비 좋게 녹음하도록 만들어져 있다. 즉 음성을 주파수 분석하면 대부분의 에너지는 1000Hz 以下이고 1000Hz 이상은 子音이나 發音者의 個性을 전하는데 중요한 領域인데, 에너지 그 自體는 그다지 크지 않다.

音樂에 사용되는 樂器의 음도, 심벌즈 등을 제외하고 5000Hz 정도보다 높게되면 음색에 관계하는 부분으로 에너지는 일반적으로 작다.

테이프레코더는 이런점을 考慮하여 고음부에서는 중저음부와 비교하여 낮은 레벨에서 飽和해도 실용상 문제가 되지 않는다고 하는 생각이고, 그대신 전체의 SN비를 改善하는 設計方針이 잡혀져 있다. 이것에 대해 테이타레코더는 전류의 변화라고 하는 아날로그데이터를 記錄하는 것이 目的이기 때문에, 低音부터 高音까지 사양서에 기재된 주파수범위에서는 飽和레벨이 변하지 않도록 만들어져 있다.

또 레코더에 부착되어 있는 레벨미터도 테이프레코더에서는 그 지시치가 0以下이면 일반의 음악이나 음성이 飽和하지 않고 錄音할 수 있도록 調整되어 있다. 즉 테이프레코더의 JIS 규격에서는 오픈릴인 경우에 500Hz 또는 1000Hz이고, 그림 3.15에 나타난 대로 테이프의 飽和재생출력 레벨보다 10dB 낮은 再生出力이 얻어지는 녹음헤드의 入力레벨을 基準녹음레벨로 定하고 있고, 방송규격 등에서는

더욱 5dB 낮은 레벨을 녹음레벨로 하고 있다. 이와 같이 飽和할 때까지 充分한 餘裕를 잡고 있기 때문에 사인파와 다른 복잡한 파형으로 게다가 시간과 함께 振幅이 大幅으로 변화하는 음성이나 音樂에서도 레벨미터가 흔들려 끊어지지 않도록 녹음하면 飽和에 의한 變形이 눈치채지 않도록 設計되어 있다.

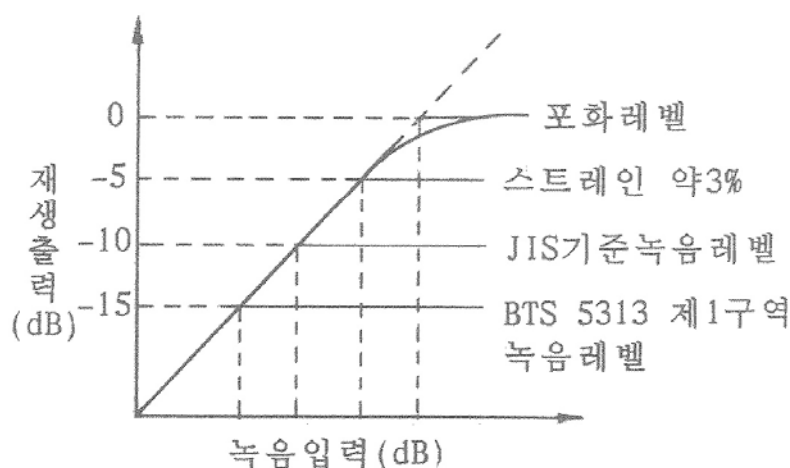


그림 3.15 테이프레코더의 基準錄音레벨

단, 카세트 型의 테이프레코더 중에는, 以上の 說明과 달리, 飽和하기 쉬운기종이 있기 때문에 注意를 요한다.

테이프레코더에서는 이와 같은 配慮는 없고 사인파에 대해 레벨미터 0보다 위, 수dB의 여유로 飽和한다.

音樂등을 錄音하는 경우에는, 레벨미터가 +dB보다 크게 되지 않도록 하여 錄音해야 한다. 원래 테이타레코더의 레벨미터는 다른 계측기와 접속하여 시스템을 構成할 때 사인파에 의해 상호의 레벨 셋을 하기 위한 것으로 이것에 따라 녹음레벨을 監視하기 위한 것은 아니고, 多채널의 테이타레코더에서도, 切換하여 사용하도록 하나밖에 미터가 부착되지 않은 機種이 많다.

또 테이타레코더의 녹음방식의 주류는 周波數變調(FM) 방식에 의한 것으로 直流에서 녹음하는 것이 可能하다. 이외에 일반 테이프레코더와 고주파 바이어스에

의한 직류녹음(DR) 방식도 있다. 이상의 설명과는 다른 음향계측용 테이타레코더 명칭의 製品이 시판되고 있다. 이것은 위의 설명으로는 테이프레코더의 部類에 속하는 것으로, 일반의 음향측정에 適合한 特殊사양으로 만들어진 것이다.

3.7 L_{50} , L_{eq} 등의 測定器

變動하는 소음의 L_{50} , L_{eq} , 항공기소음의 환경기준으로 이용되는 WECPNL에 있어서 近似值 등은 騒音計의 읽음, 레벨레코더의 기록 등으로부터 手計算으로도 구해지는데, 大量의 데이터를 短時間에 처리하는 것은 가능하지 않다. 그래서 마이크로 컴퓨터에 의해 이런 계산을 시키고, 마이크로폰을 적당한 장소에 配置하여, 測定開始時刻, 데이터의 잡는법, 데이터의 處理方法 등을 셋하여, 버튼을 누르면 나머지는 機械가 自動적으로 측정하여 데이터를 收集하고, 命令대로 처리한 결과를 타이프한 것이 나오는 편리한 측정기이다. 마이크로폰도 多數 사용하여 同時測定이 가능하다.

이러한 종류의 계측기는 大規模 측정에 넓게 利用되고 있는데 内外 모두 規格이 없어 騒音計에 상당하는 부분은 그 규격을 준용하여 디지털기술에 의한 데이터처리 이루는 메이커에 따르고 있기 때문에 메이커마다 여러가지 타입의 것이 만들어지고 있는 實情이다. 그 利用에 있어서는, 충분히 그 性能을 체크하고나서 이용하는 것이 바람직하다.

3.8 騒音暴露計 (Dosemeter)

시끄러운 場所에서 오래 勤務한 결과, 귀가 멀게되는 職業性 難聽을 막기에는, 單純히 직장의 소음레벨을 조사하는 것만이 아니고, 1日 또는 一週間の 변동상황을 포함한 계측이 바람직하다. 또 거기에서 일하는 사람이 여러 소음이 있는 장소를 이동하기도 하고, 특히 큰 소음을 발생하는 機械를 가까운 거리에서 操作하는 境遇 등은, 한사람 한사람에 대하여 어느 만큼의 소음에 어느 정도의 시간동안

暴露되었는가를 調査하는 것이 重要하다.

직업성 소음폭로의 評價方法은 國際的으로 ISO 1999에서 정해져 있고, 미국에서는 이것과 약간 다른 OSHA의 規格이 있다. ISO 규격에서는 주 40시간의 취업 시간에 대해 그 사이의 等價소음레벨 Leq dB(A)로 評價하는 것에 비해, 미국에서는 1일의 소음레벨과 暴露時間의 관계에서 許容限度를 표시하고, 이들의 관계를 그림 3.16 과 같다.

ISO에서는 $q=3$ 으로, 소위 等價소음레벨인데, 미국에서는 $q=5$ 로 잡고있다. 이 Leq 를 測定하는 계측기가 소음폭로계이고, 국제적인 IEC 규격안이 檢討중이고 海外에서 Dosemeter로서 市販되고 있는 것은 이안에 맞춘것이 많다.

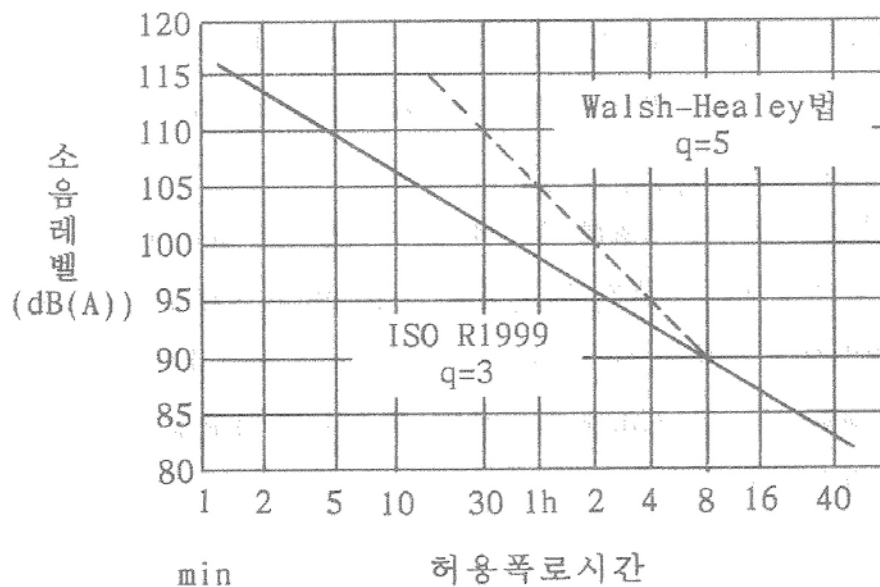


그림 3.16 騒音暴露計의 評價特性

소음폭로계에는 据置用과 携帶用이 있고, 거치용은 공장내가 확산음장에 가깝고, 장소에 따른 差가 그다지 없는 경우나, 작업자가 移動하지 않고 근무할 때 등에 이용된다. 크기, 消費電力 등의 制限이 없기 때문에 응용범위가 넓은 성능을 갖추는 것이 가능하다. 그림 3.17은 거치용 소음폭로계의 構成 例이다.

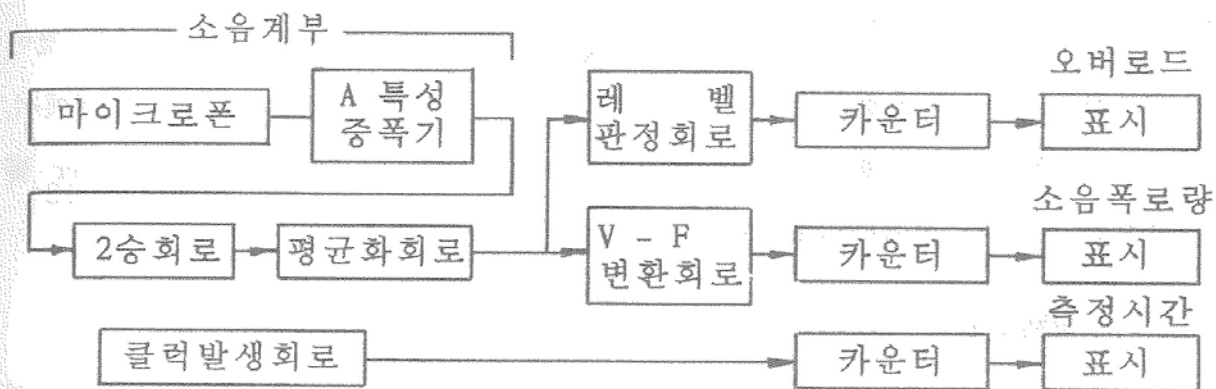


그림 3.17 据置用 소음폭로계의 構成圖

携帶用은 작업자가 개인적으로 몸에 붙여 작업에 支障이 없는 것이 필요하고, 소형경량에 電池로 24시간 이상의 連續使用이 요구된다. 그림 3.18은 휴대용 소음폭로계의 구성 예이다. 폭로계에는 이외에 단순히 長時間의 L_{eq} 를 구하는 것만이 아니고, 소음에 폭로되는 정황을 細密히 검토하기 위하여 5dB마다 10단계 정도로 분할하여, 각 그룹마다의 폭로시간을 구하는 것이나, 10분당 L_{eq} 를 24시간에 걸쳐 連續하여 計測하는 것 등이 만들어져 있다.

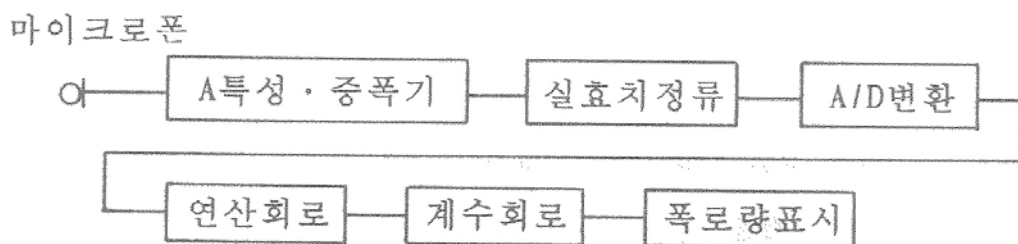


그림 3.18 携帶用 소음폭로계의 構成圖

3.9 相關(Corelation)계와 Fourier 變換器

相關技術의 應用에 따라 많은 소음중에서 特定 소음원으로부터의 소음만을 抽出하여, 各各의 소음원의 寄與度를 구하기도 하고, 暗騒音중에서 목적하는 소음만을

浮上시키기도 하여 直接音과 反射音을 경로따라 나눠 강도를 구하기도 하는 것이 가능하고, 재래의 방법에서는 不可能 했던 것이 가능하게 되었다. 또 상관관계에서, 어느 信號의 自己相關函數(Autocorelation Funtion)를 구하여, 이것을 Fourier 變換하면 파워스펙트럼(Power Spectrum)을 구할 수가 있다.

3.9.1 相關函數와 Fourier 變換

信號 $x(t)$ 와 이것보다 τ 만큼 時間遲延이 있는 신호 $x(t+\tau)$ 의 곱의 平均을 $x(t)$ 의 자기상관함수 $\phi(\tau)$ 라고 하며 다음식으로 표시된다.

$$\begin{aligned}\phi_{xx}(\tau) &= \overline{x(t) \cdot x(t+\tau)} \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot x(t+\tau) dt\end{aligned}\quad (3.4)$$

자기상관함수 $\phi_{xx}(\tau)$ 를 Fourier 변환하면, 다음식과 같이 파워스펙트럼 $\phi_{xx}(f)$ 가 얻어진다. 이 관계는 신호의 스펙트럼分析法의 하나로서 널리 이용되고 있다.

$$\phi_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{xx}(\tau) e^{-2\pi j f \tau} d\tau \quad (3.5)$$

또 신호 $x(t)$ 와는 다른 信號 $y(t)$ 의 t 보다 τ 만큼 시간지연이 있는 신호 $y(t+\tau)$ 와 $x(t)$ 와의 곱의 平均을, $x(t)$ 와 $y(t)$ 의 相互相關函數(Crosscorelation Funtion) $\phi_{xy}(\tau)$ 라 하며, 다음식으로 나타낸다.

$$\phi_{xy}(\tau) = \overline{x(t) \cdot y(t+\tau)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot y(t+\tau) dt \quad (3.6)$$

이 상호상관함수를 Fourier 變換한 것을 크로스스펙트럼(Cross Spectrum)이라고 한다.

$$\phi_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{xy}(\tau) e^{-2\pi j f \tau} d\tau \quad (3.7)$$

3.9.2 相關計

상관계는 식 (3.4), (3.6)의 계산을 하는 기기로, 초기에는 아날로그형이었는데, 현재는 디지털화되고 있다.

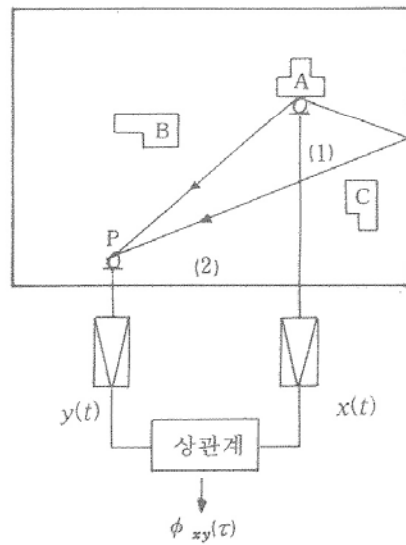


그림 3.19 相關計에 의한 소음의 寄與率을 구하는 방법

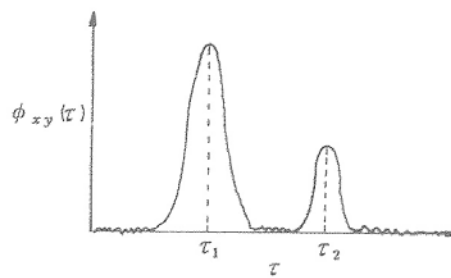


그림 3.20 相互相關函數의 例

그림 3.19는 多數機械의 소음중에서 어느기계 A의 소음의 기여율을 구하는 방법

으로, 기계 A에 近接하여 設置한 마이크로폰 (1)의 출력과 수음점 P에 설치한 마이크로폰 (2)의 출력의 相互상관함수를 구하면 그림 3.20과 같은 結果가 얻어져, 마이크로폰 (2)의 출력중에서 마이크로폰 (1)의 출력과 같은 파형으로, 兩 마이크로폰 사이를 음이 전달하는 시간 τ_1 만큼 늦은 直接음의 레벨, 벽에 反射하여 시간 τ_2 만큼 늦은 1차반사음 레벨 등의 相關値가 구해진다. 또 이런 측정에서 바람 등의 영향으로 지연시간 τ 가 變動하면 측정이 잘되지 않는 것이 있다. 室外의 소음전달측정에서는 바람, 온도 등 氣象狀態의 변동이 있기 때문에, 上記와 같은 방법은 不適當하고, 이 경우에는 靑島 에 의해 개발된 M계열 信號에 의해 noise를 變調한 것을 音源에 이용하여, 수음된 음의 파형을 2승한 것의 포락선과 M계열 신호와의 상관함수를 잡는 방법이 優秀하다. 이 방법에 의하면 相關技法에 의하지 않고 음원으로 부터 음을 직접측정하는 방법에 비해 20dB이상 SN비를 改善하는 것이 可能하다. 이 M계열 변조상관법은, 音響的으로는 변조된 신호인 noise의 傳達性狀을 잡을 수 있음에도 관계없이, 상관함수의 계산은 noise에 비하여 훨씬 낮은 周波數의 M계열 신호에 대하여 行하면 좋고, 상관계의 메모리 용량이 적지않고, 같은 용량이라면 普通의 방법에 비해 훨씬 좋은 現狀의 測定이 가능하다.

3.9.3 Fourier 變換器

Fourier 변환기는 식 (3.5) 및 식 (3.7)의 計算을 하는 것으로, 상관계와 並用하여 식 (3.5)의 계산을 하면, 狹帶域에서 定周波數 대역폭의 주파수 분석을 하여 Power Spectrum이 구해진다. 그림 3.21은 各種 信號波形的 自己相關函數와 Power Spectrum의 關係를 나타낸 것이다. 같은 手法으로 식 (3.7)에 나타난 계산을 하면 상호상관함수로부터 크로스스펙트럼이 구해진다.

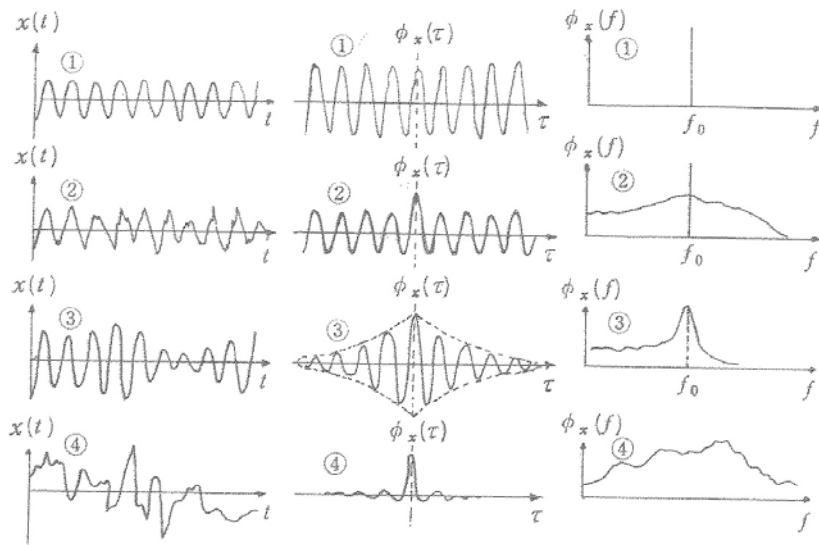


그림 3.21 各種 信號의 自己相關函數와 Power Spectrum

3.10 高速 Fourier 變換器 (FFT)

1965년, Cooley, Tukey에 의해 最初로 提案된 Fourier (Fast Fourier Transform, FFT) 법은 현재 가장 進歩된 信號分析법의 하나로, 이 방법에 의해 입력信號의 Power Spectrum을 구하는 機器가 高速Fourier 變換器이다. 그림 3.22에 나타난 바와 같이 分析을 하려고 하는 信號 $x(t)$ 에서 分析기의 演算能力에 따른 길이의 부분을 절취 그 부분에 대해 Fourier 變換을 하여, 이 조작을 數回 反復하고, 그 演算結果를 平均하여 信號 $x(t)$ 의 파워스펙트럼을 구한다. 衝擊 소음 등의 過度的인 信號에 대해서도 FFT에서는 직접 단시간의 스펙트럼을 구하는 것이 가능하다.

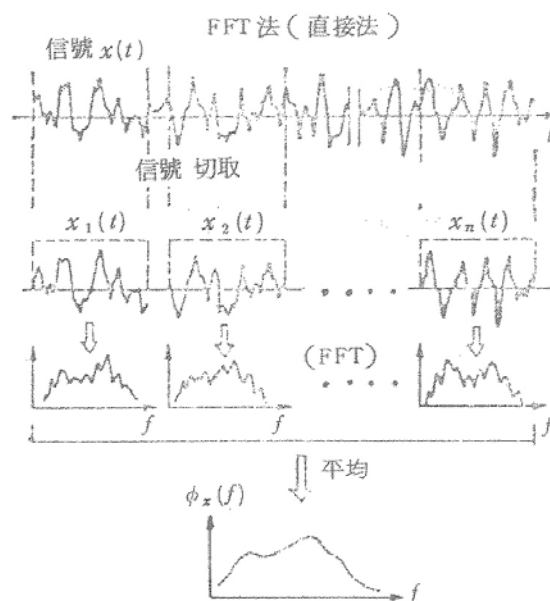


그림 3.22 FFT에 의한 파워스펙트럼을 구하는 법

3.11 디지털 메모리

이名稱은 아직 반드시 一般化된것은 아니고 메이커에 따라 달리 부르는 것도 있는데, 계산기에 사용되는 半導體 메모리에 파형을 기록하여, 再生하는 목적의 기기이다. 騒音.振動解析시 한번 Tape에 기록하여 이것을 몇번이고 再生하여 분석하는 것이 넓게 행해지고 있는데, 특히 衝擊음 등의 短發현상을 對象으로 하는 경우 이 디지털메모리를 사용하는 경우 매우 便利하며 다음과 같은 特徵을 가지고 있다.

(1) 記錄과 再生의 速度比를 大幅으로 變化시키는 것이 가능하고 反復,再生이 가능하다. 테이프 녹음의 경우는 녹음과 재생의 Tape 속도를 變化시켜 그 속도를 變化하는 것이 가능한데, 그 比는 보통 10 ~ 20倍 까지이고 特殊한 것에서도 100倍 정도인것에 대해, 이 디지털型에서는 數千倍에서 100萬倍에 이르는 대폭적인 比를 잡는 것이 가능하고, 고속현상을 천천히 재생하여 펜 레코더 등으로 記錄할 수 있다. 또 반복재생은 Tape에서는 endless로 하는 것이 가능한데, 디지털형에

서는 스위치 하나로 행할 수 있기 때문에 단발현상을 반복재생하여 오실로스코프에 静止象으로서 관찰하여 메모리 스크오프의 역할이 가능하다.

(2) 트리거 以前의 신호도 기록하는 것이 가능하기 때문에, 突發的인 현상을 그 발생 전부터의 기록을 얻을 수 있다. 이것은 큰 特徵으로 돌발현상에서 오실로스코프를 트리거하면 초기부분이 빠져 不明確하게 되는 傾向이 있는데 이 디지털메모리에서는 endless Tape와 같은 方法으로 끊지않고 오래된 것을 지우고 새 記錄을 하기 때문에, 항상 메모리 길이에 상당하는 過去기록이 남아있다. 따라서 돌발상황으로 트리거해도 그것이 전부터의 기록이 가능하다. 實用的으로는 돌발적인 현상을 한번 테이프레코더, 데이터레코더 등에 收錄하여 이것을 디지털메모리에 移送하여 재생하면 편리하다. 概略的인 구조는 그림 3.23과 같고 아날로그 입력신호는 A/D 변환기에 따라 샘플링하여, 디지털화되고 메모리에 記憶되어 필요에 따라 메모리부터 읽어내어, D/A 변환기에서 Analog 양으로 변화시켜 재생한다. 기록과 재생의 속도비는 A/D 변환과 D/A 변환을 하는 Clock 주파수의 비로 결정한다.

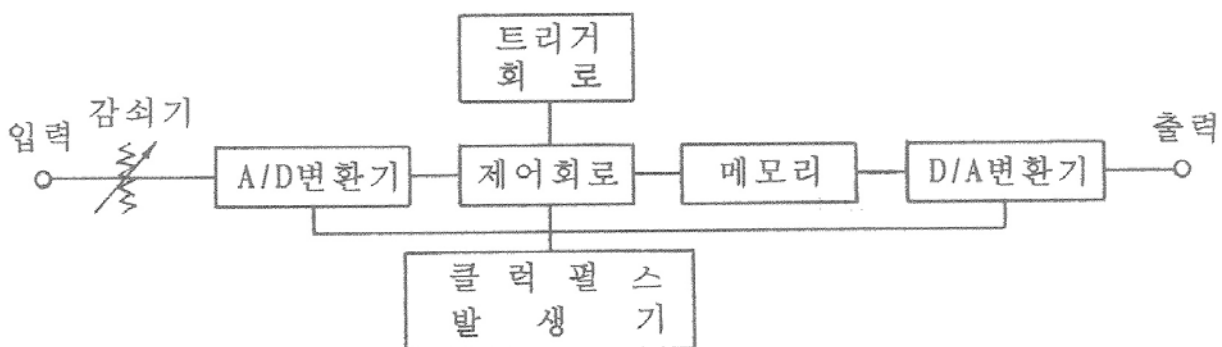


그림 3.23 디지털 메모리의 構成圖

기록 可能한 시간은 A/D 變換을 하는 샘플링간격시간(Clock 주파수의 역수)과 메모리용량의 곱이고, 前者는 기록하는 신호의 周波數에 관계하여, 파형을 觀察하는 데는 정현파의 경우 50 ~ 10점의 샘플링이 필요하다. 後者の 메모리 용량에

는 512 워드, 1024 워드, 2048 워드 등이 있다. 따라서 100Hz 이하의 신호를 對象으로 생각하면 1cycle 당 100 샘플로서 샘플링간격은 1ms, 1024 워드의 메모리의 경우는 약 1초의 기록이 가능하다. 기록시간에 관해서는 테이프레코더에 비해 훨씬 劣勢이기 때문에 그 특징을 살려 사용하는 것이 중요하다.

3.12 超低周波音의 測定機器

초저주파음이 公害의 하나로서 문제삼게 된 것은 最近의 일이며, 문을 덜컹 거리게 하기도 하고 人體에 미치는 영향에 대해 여러 事例가 보고되고 있는데 아직 確實한 것은 알려지지 않았다. 따라서 評價法도 결정된 것은 없고, 현재 많은 데이터들을 蓄積하고 있는 단계이다.

측정기기도 보통 騒音計로는 측정할 수 없는 低周波領域이고, 精密騒音計중 低音 특성이 좋은 기종이 이용되고 있고, 공해진동계의 증폭기에 초저주파음용의 마이크로폰을 連結하여 測定하도록 한 機種도 있다. 어느것에 대해서도 초저주파음의 計測은, 그 周波數成分과 음압레벨을 측정하여 데이터를 모으는 것이 必要하며, 이를 위한 마이크로폰에는 콘덴서형과 압전형이 있다. 보통의 직류바이어스를 건 콘덴서 마이크로폰에서도 2Hz 정도까지 平坦특성의 것도 만들어지고 있는데, 普通은 대기압변화에 對應하기 위해 진동막의 양측을 연결한 Leak 회로이기 때문에 10Hz 부근부터 저음부에서는 感度が 떨어지는 傾向이 크다. 特殊한 방식으로서 콘덴서형의 마이크로폰과 10MHz 정도의 高周波발진기를 組合하여 근소한 容량 변화를 검출하는 것도 개발되고 있어 0.1Hz 이하까지 平坦특성이 얻어지고 있다.

압전형은 振動板과 압전소자를 조합한 마이크로폰으로 2Hz 정도까지 측정되는 것이 있다. 측정할 수 있는 最小음압레벨은 현재, 직경 1inch의 마이크로폰인 어떤 타입에서도 음압레벨로 약 55dB 정도이다.

또 이와 같은 초저주파음의 實效値를 읽기 위해서는 騒音計의 Slow와 同等以上の 큰 時定數를 갖는 회로가 필요하다.

4. 機械騒音(파워레벨)의 測定

4.1 機械 騒音

機械에서 발생하는 騒音은 다음과 같이 大別할 수 있다.

4.1.1 機械振動에 의한 騒音

機械는 대부분 열 또는 전기적Energy에 의해 回轉, 왕복운동을 하고 衝擊, 불균형, 마찰 등에 의해 振動을 발생하고 이것이 空氣중에 음을 放射한다. 例로서 回轉機械, 왕복기관 등이 있다.

4.1.2 燃燒 騒音

열Energy의 변화가 空氣振動으로 되는 경우로서, 연료의 燃燒불균일 때문이거나 또는 폭발적 연소때문에 空氣의 밀도변화로 음을 발생한다. 例로서 내연기관이나 화기 등이 있다.

4.1.3 空氣力學的 騒音

空氣가 고속으로 분출하는 경우, 정지한 空氣와의 경계에서 점성으로 인하여 渦流를 발생하여 騒音원이 된다. 例로서 제트기 등이 있다.

機械에서 발생하는 騒音의 특성에 대해서는, 音源으로서의 파워레벨, 지향성 등을 測定할 수 있으면, 自由空間에서 임의의 거리에 있는 音壓레벨의 推定이 가능하게 된다. 또 옥타브, 1/3 옥타브밴드의 파워레벨로부터 周波數특성 및 A특성 音壓레벨을 구할 수가 있다.

자동차, 항공기, 철도 등 지상을 주행하는 경우는 통상 일정거리 떨어진 지점에서 騒音레벨을 測定하는데, 정지하여 사용되는 機械류에 대해서는 발생한 전음향Energy에 상당하는 파워레벨을 測定한다. 파워레벨의 測定은 엄밀히 무향실 등의 自由空間으로 보여지는 실 또는 殘響室에서 測定이 행해진다. 殘響室에 의한 測定은 특별한 경우로서, 실용적으로는 정온한 室外, 반사가 적은 큰 建物중에서

測定하는 수가 많다. 測定된 파워레벨은 다음과 같은 목적에 유용하다.

- (1) 機械에서 일정거리 떨어진 점의 音壓레벨 또는 A특성 音壓레벨의 推定
- (2) 같은형, 같은크기의 機械에서 발생하는 騒音레벨의 比較
- (3) 다른형, 다른 크기의 機械에서 발생하는 騒音레벨의 比較
- (4) 특정機械의 騒音が 騒音한도이내 인가 아닌가의 判定
- (5) 보다 조용한 機械의 개발
- (6) 機械공장의 騒音대책 (공장내부 및 외부의 騒音환경)
- (7) 機械를 조작하는 사람의 騒音폭로레벨 결정

파워레벨의 測定에 대해서는 기본적인 測定방법으로서 ISO, JIS에도 규격이 제정되어 있다. 또 개개의 機械에 대해서도 많은 규격이 있는데, 모두 이들 기본규격에 기초하여 특정機械의 운전조건, 설치조건 등을 상세히 규정하고 있다. 파워레벨의 測定방법에 대해서는 무향실 등을 이용하는 自由音場에서의 測定, 殘響室을 이용한 測定, 보통실에서의 測定 등에 대하여, 精密測定법(Precision Method), 실용적 測定법(Engineering Method), 간이測定법(Survey Method)로 분류하여, 測定조건 및 測定정도에 대하여 서술되어 있다.

4.2 音響파워레벨의 測定

音響파워레벨의 測定에는, 自由空間에서의 測定, 殘響室에서의 測定 및 표준音源을 이용한 比較測定법이 있다. 여기서는 주로 ISO 3744, ISO 3746, ISO 3747, JIS 8733에 근거하여 일반音場에서의 파워레벨의 測定방법 개요를 서술한다.

4.2.1 自由音場에서의 測定

音源이 단위시간에 발생하는 音響Energy가 W 일때, 音源의 파워레벨은, 基準音響파워를 $W_0 = 10^{-12} W$ 로 했을때,

$$PWL = 10 \log (W/W_0) = 10 \log W + 120 \quad (4.1)$$

로 된다. 無指向性 音源의 경우는

$$IL = SPL = PWL - 20 \log r - 11 \quad (4.2)$$

에 따라 音源으로부터 거리 r 만큼 떨어진 점의 音壓레벨을 測定하여 파워레벨을 구하는 것이 가능한데, 일반적으로 音源은 크기를 가지고 있고, 周波數에 따라 지향성도 다르기 때문에, 파워레벨을 구하기 위해서는 音源을 둘러싼 球面 또는 音源이 반사성의 마루위에 있을때는 音源을 둘러싼 半球面을 통과하는 全音향과 위에 대하여 測定이 필요하다.

4.2.2 殘響室에서의 測定

音源으로부터 단위시간에 放射되는 音響파워를 W 라 하면, 殘響室과 같이 확산 音場에서의 음의 강도 I 는

$$I = 4W/S\bar{\alpha} \quad (4.3)$$

여기서, S 는 殘響室의 표면적, $\bar{\alpha}$ 는 벽면의 평균흡음율이다. 殘響室內에서 음이 정상상태로 되었다고 하면, 音壓레벨은

$$SPL = 10 \log(I/I_0) = 10 \log W + 10 \log(4/S\bar{\alpha}) + 120 \quad (4.4)$$

한편, 殘響室에서 잔향시간을 T 라 하면,

$$T = (0.162V)/(S\bar{\alpha}) \quad (4.5)$$

따라서 잔향시간 T , 실용적 V 및 대상音源에 의한 殘響室內的 평균音壓레벨에서 다음과 같이 音響파워레벨이 구해진다.

$$PWL = SPL - 10 \log T + 10 \log V - 14 \quad (4.6)$$

4.2.3 표준音源을 이용하는 방법

音響과워레벨이 정확히 測定되어 있는 표준音源을 이용하여, 지정된 점의 音壓레벨과 測定대상으로 하는 音源에 의한 동일점의 音壓레벨을 比較하는 것에 의해, 다음식에서 대상音源의 과워레벨이 구해진다.

$$PWL = PWL_{ref} + SPL - SPL_{ref} \quad (4.7)$$

여기서, PWL_{ref} 및 SPL_{ref} 는 각각 표준音源의 과워레벨 및 표준音源을 이용하여 測定된 音壓레벨이다.

4.3 自由音場 또는 반사가 적은 일반音場에서의 測定점

과워레벨의 測定규격에는 測定장소에 대한 조건, 測定기기, 測定환경등에 대하여 규정하고 있는데, 여기에서는 무향실 또는 반사가 적은 일반실내에서 測定하는 경우의 測定점의 배치, 測定환경조건등에 대하여 서술한다.

4.3.1 測定점의 설정

(1) 基準直方體의 설정

音壓레벨의 測定점을 설정하기 위하여 測定대상으로되는 音源에 基準直方體를 설정한다. 이런 경우 주요 音響반사체가 아닌 돌기부분은 무시해도 좋다. 또 바닥面은 반사면으로 한다. 다음에 이 直方體에 대하여 다음식으로 나타나는 특성거리 d_0 를 계산한다.

$$d_0 = \sqrt{(0.5l_1)^2 + (0.5l_2)^2 + l_3^2} \quad (4.8)$$

여기서 l_1 , l_2 , l_3 는 基準直方體의 가로, 세로, 높이의 크기

(2) 測定점을 잡는법

測定점은 원칙적으로 半球面상으로 잡는데, 半球面의 설정이 곤란한 경우에는

별도로 測定直方體를 설정한다.

(a) 測定半球面

원을 둘러싸는 半球面의 중심은 基準直方體의 기하학적 중심의 저면(반사면)에
의 투영점으로 한다. 또 반경은 특성거리 d_0 의 2배 또는 音源의 중심과 반사면
(저면)과의 거리의 4배중 큰 편의 크기 이상으로, 적어도 1m로 한다. 이와같은
測定 半球面의 면적은

$$S = 2\pi r^2 \quad (r : \text{반경}) \quad (4.9)$$

(b) 기본測定점

그림 4.1에 나타난 10점으로 한다. 단, 音源에 탁월한 순음성분이 포함되어 있
는 경우는, 기본測定점외에 기본測定점을 Z축 주위로 180° 回轉한 9점 및 직상점

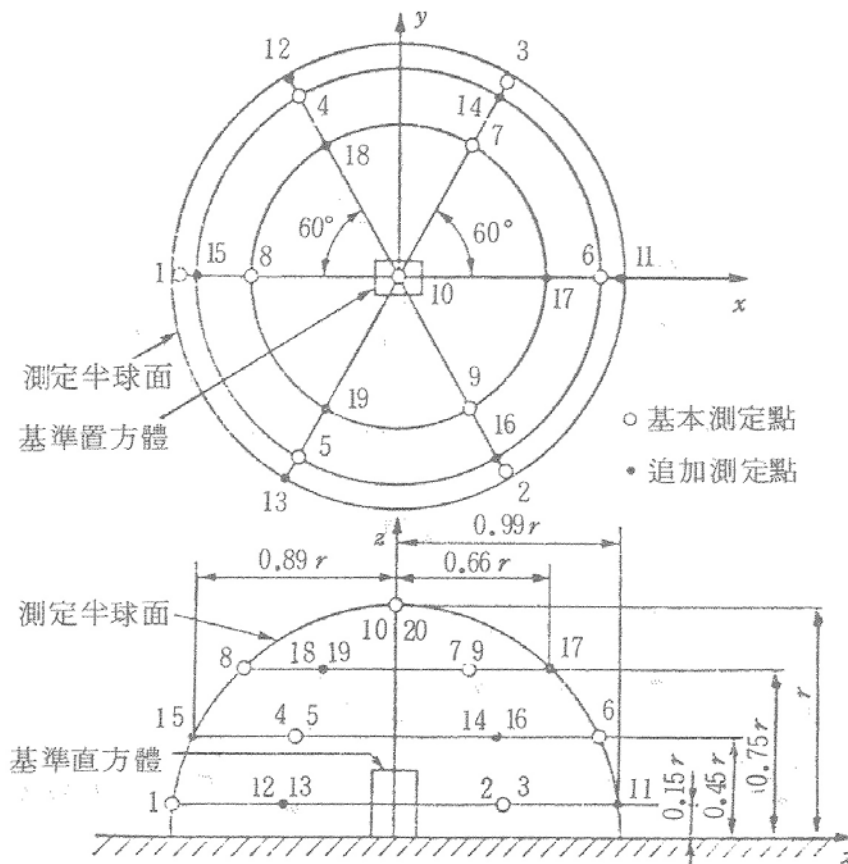


그림 4.1 基準直方體와 測定半球面

을 추가 測定점으로 한다. (직상점은 回轉을 해도 위치가 불변인데, 이것을 2개의 測定점으로 취급한다.)

(c) 測定直方體의 설정

音源을 둘러싼 基準直方體의 저면을 제외한 다섯개의 면으로부터 같은 거리 d 만큼 떨어져, 그面에 평행이 되도록 새로운 直方體를 설정한다. d 는 원칙적으로 1m로 하고, 적어도 0.25m로 한다. 이 直方體의 표면적 S 는

$$S = 4(ab + bc + ca) \quad (4.10)$$

여기에서 $a = 0.5l_1 + d$, $b = 0.5l_2 + d$, $c = l_3 + d$, l_1, l_2, l_3 는 각각 基準直方體의 가로, 세로, 높이이다. 이 直方體에 대하여 그림 4.2에 나타난 9점을 기본測定점으로 한다. 단 그림에 나타난 h 는 원칙적으로 測定直方體의 높이 c 의 1/2로 하여 적어도 0.15m로 한다. 測定점 9의 測定이 곤란한 경우는 이점을 생략해도 좋은데, 그것에 의해 測定결과에 1dB 이상의 오차가 생기지 않는 것을 미리 확인하여

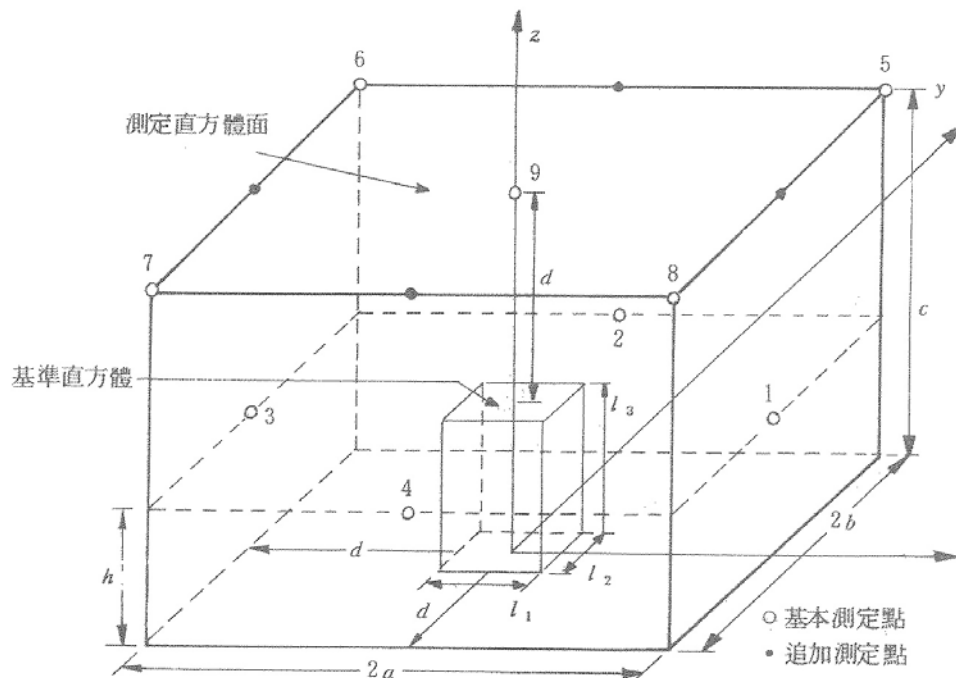


그림 4.2 測定直方體

놓을 필요가 있다. 또 音源에 순음성분을 포함한 경우에는, 그림에 나타난 8점을 추가測定점으로 한다.

4.3.2 간이測定방법

지금까지는 測定정도가 좋은 測定법으로, 이외 ISO 및 JIS에서는 測定점수를 적게한 간이 測定법으로서, 半球面상의 測定과 直方體상의 測定이 규정되어 있다. 이것은 대형機械에도 적용할 수 있도록 되어있다. 단 이 방법을 적용하려 할 때에는 音場보정치가 7dB 이하인 것이 필요하다.

(1) 半球面상의 測定

半球面의 중심은, 基準直方體의 기하학적 중심의 반사면의 투영점으로 한다. 반경 r 은 基準直方體의 최대크기의 2배 이상으로 적어도 1m로 한다. 먼저 예비測定을 하여 半球面상에서 높이 $0.6r$, Z축에서 $0.8r$ 의 원형상의 A특성音壓레벨이 최대로 되는 점을 구한다. 測定점에 대해서는 그림 4.3에 표시한 4점을 설정한다. 그중에 1점은 A특성音壓레벨이 최대로 되는 점으로 한다.

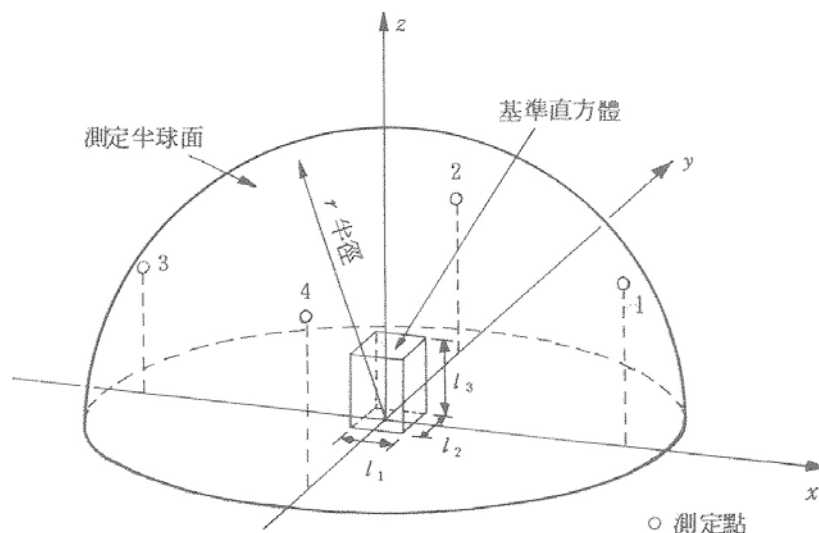


그림 4.3 간이測定の 測定半球面

단, 탁월한 순음성분이 포함되어 있는 경우는 測定半球面에서 반사면까지의 거리가 0.05m 이하로 되는 범위에 4점의 測定점을 설정한다.

(2) 直方體면의 설정

그림 4.4에 나타난 바와 같이, 音源을 둘러싼 測定直方體를 설정한다. 그 각면은 각각 基準直方體의 5面에서 같은 거리 d 만큼 떨어져, 평행하게 되도록 잡는다. 거리 d 는 원칙적으로 1m, 적어도 0.5m로 한다. 이와 같이 설정된 測定直方體 面의 면적 S 를 식 (4.10)에 의해 구한다.

이 경우도 다음의 예비測定을 한다. 測定直方體面에서 그림 4.4에 표시된 높이 h 의 수평방향 경로상에서 A특성音壓레벨이 최대가 되는 점을 구한다. 단, h 는 $C/2$ 로 적어도 0.15m로 한다. 또 基準直方體의 높이가 2.5m를 넘는 경우에는 높이 c 의 수평방향경로상에서도 똑같은 예비測定을 행한다.

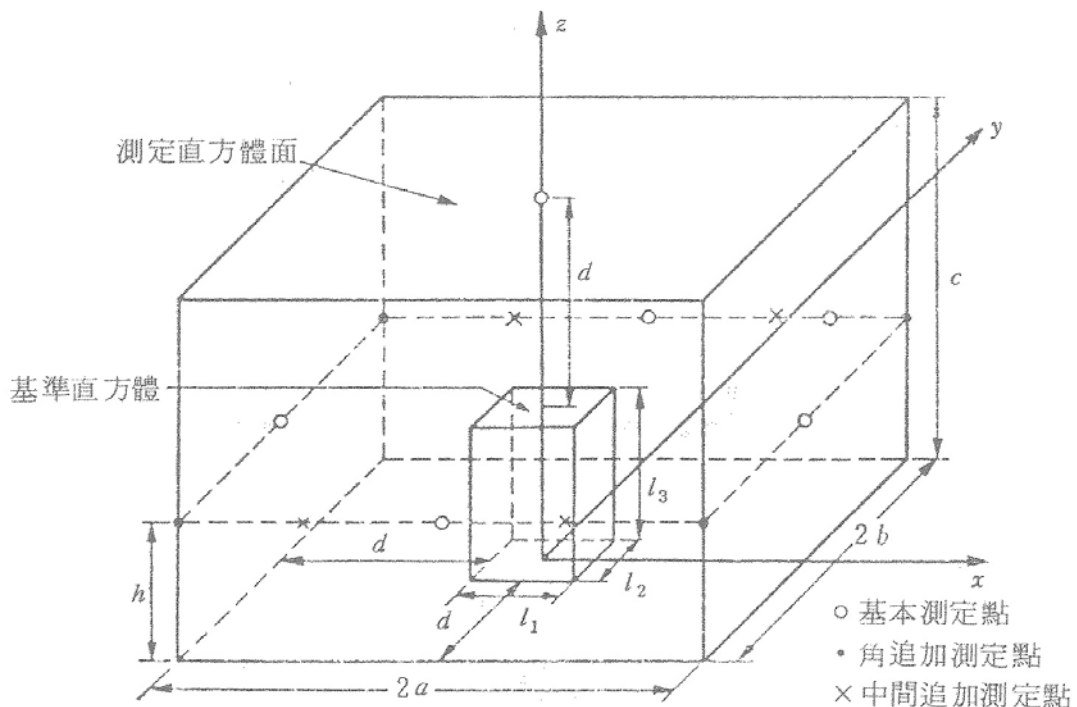


그림 4.4 간이測定の 測定直方體

(3) 기본測定점

간이測定법인 경우 測定점은, 그림에 6점으로 그중 1점은 A특성音壓레벨이 최

대로 되는 점으로 한다. 직상점은 測定이 곤란한 때는 생략해도 좋은데, 그 결과 1dB 이상의 오차가 나지 않는 것을 확인할 필요가 있다.

(4) 추가 測定점

音源의 크기가 크고 기본測定점에서 최대치와 최소치의 차가 5dB를 넘을 경우 또는 基準直方體의 가로 또는 세로가 1m 이상일 때는 그림에 나타난 4점을 추가한다. 또 基準直方體의 가로세로의 크기가 5m를 넘을 경우는 중간점으로서 그림의 4점을 추가한다. 이 중간점은 기본測定점과 각의 測定점을 등분하도록 설정한다. 이 測定점의 간격은 d가 1m 이하인 때는 2m 이하, d가 1m 이상인 때는 2d 이하로 되도록 한다. 또 音源의 높이가 2.5m를 넘을 경우는 높이 h의 다섯개의 測定점외에 높이 c에도 다섯개의 測定점을 추가한다.

4.4 音壓레벨의 測定

각 測定점에 있어서, 옥타브 또는 1/3 옥타브(간이測定법에 있어서는 옥타브) 밴드마다의 音壓레벨을 測定한다. 測定기의 동특성은 'Slow'로 하여 지시치의 변동이 3dB 이내일 때는 정상음으로 보고 그 평균치를 읽는다. N개의 測定점의 결과에서 測定면상의 평균音壓레벨을 다음식에 따라 계산한다.

$$L_p = 10 \log \left[(1/N) \sum 10^{L_{pi}/10} \right] \quad (4.11)$$

音壓레벨의 관측시간으로서는 중심周波數 160Hz 이하의 밴드에서는 30초 이상, 200Hz 이상의 밴드에서는 10초 이상으로 한다. 단 변동하는 騒音의 경우에는 장시간의 평균을 잡을 필요가 있다. 또 암騒音의 영향을 무시할 수 없는 경우에는 표4.1에 따라 보정한다.

표 4.1 測定치에 대한 音騒音의 보정

(단위: dB)

대상음이 있을때와 없을때의 지시치의 차	4	5	6	7	8	9
보 정 치	-2		-1			

4.5 音響파워레벨의 산출

測定면상의 평균音壓레벨로부터, 다음식에 따라 옥타브 또는 1/3 옥타브밴드 音響파워레벨을 산출한다.

$$L_w = L_p + 10 \log (S_m/S_o) - K \quad (4.12)$$

여기서, L_w 는 音源의 音響파워레벨, L_p 는 測定면상의 평균音壓레벨, S_m 은 測定면의 면적, S_o 는 $1m^2$, K 는 音場보정치

4.6 音場보정치 K를 구하는 법

音響파워레벨을 반自由音場에서 測定하는 경우에는, 주위의 벽 등에 의한 반사음의 영향을 받기 때문에, 다음의 방법에 따라 音場보정을 할 필요가 있다.

4.6.1 잔향시간測定에 의한 방법

測定실에서 測定周波數대역마다 잔향시간을 測定하여, 그 결과 測定실의 등가흡음면적 ($A = S \bar{\alpha}$)를 구한다.

$$T = 0.162V/S\bar{\alpha} \quad (4.13)$$

여기서, S 는 測定실의 표면적, $\bar{\alpha}$ 는 평균흡음율, T 는 잔향시간

$$K = 10 \log (1 + 4 S_m/A) \quad (4.14)$$

여기서, S_m : 測定면의 면적, $A = S \bar{\alpha}$ 는 실내등가흡음면적

4.6.2 基準音源을 이용하는 방법

音場보정치에 대해서는, 音響파워레벨을 미리 알고 있는 基準音源을 이용하여 각 測定점에서 音壓레벨을 測定하여 그 결과 산출한 音響파워레벨과 基準音源본래의 파워레벨의 차로부터 音場보정치를 구하는 것이 가능하다.

5. 音響인텐시티의 測定

5.1 인텐시티의 測定 이유

우리는 작업장에서 音壓測定을 하여 작업자들에게 청각손상의 위험이 있는지를 알아낼 수 있다. 그러나 이것을 알아낸 후에는 소음을 감쇄시키고자 할 것이다. 이를 위하여 얼마만큼의 소음이 어느 기계로부터 放射되고 있는가를 알 필요가 있다. 그러므로 각 기계의 音響 파워를 알아내서 音響파워가 높은 순서로 순위를 나열할 필요가 있고, 가장 많은 소음을 내는 기계를 찾아낸 후에는, 소음을 放射하는 각 요소를 찾아내어 소음을 감쇄시키고자 할 것이다.

인텐시티를 測定함으로써 이러한 모든 것을 수행할 수 있다. 종래에는 音場에 영향을 받는 音壓만을 測定할 수 있었다. 특별한 가정이 音場에서 성립하는 극히 통제된 조건하에서만 音壓과 音響파워를 관계지을 수 있다. 무향실이나 殘響室과 같은 특수하게 조립된 방이 이러한 요구조건을 충족시킬 수 있다. 종래에는 音響파워를 구하기 위해서 騒音源을 이러한 방안에 위치시켜야 했다.

그러나 音響 인텐시티는 어떠한 音場에서도 測定할 수 있으며 어떠한 가정도 필요치 않다. 이러한 특성에 의해 현장에서 직접 모든 測定을 완성할 수 있고, 인텐시티를 測定할 때 연속적인 암소음은 音響 파워를 결정하는데 아무런 기여를 하지 못하므로 다른 기계들이 소음을 放射하고 있어도 개개의 기계나 한 요소에 대하여도 測定을 가능하게 한다.

音響 인텐시티는 크기뿐 아니라 방향을 測定하는 척도가 되므로 音源의 위치를 찾아내는 데에도 매우 유용하다. 그러므로 복잡하게 振動하는 기계류의 소음 放射 형태도 현장에서 연구될 수 있다.

5.2 音場 (Sound Fields)

音場이란 음이 존재하는 영역을 말하며 그 안에서 음파가 전파되는 형태와 환경

에 따라 분류된다. 몇가지 예에서 音壓과 인텐시티와의 관계에 대하여 논하고자 한다. 이 관계는 아래에 기술된 경우들 중 처음 2가지 특별한 경우에서만 정확히 알려져 있다.

5.2.1 自由音場(The Free Field)

그림 5.1과 같이 반사가 전혀없는(이상적인) 自由空間에서의 음이 전파를 말한다. 이러한 조건은 대기중(지면으로부터 충분히 멀리 떨어져 있는 곳)에서나, 벽에 부딪치는 모든 소리가 흡수되는 무향실에서 성립된다. 自由音場에서의 음의 전파는 音源으로부터의 거리가 2배로 될때마다(音響 전파 방향으리)音壓 레벨과 인텐시티 레벨이 6dB 감소하는 특징을 갖는다. 이것을 간단히 역자승법칙이라 한다. 音壓과 音響 인텐시티(크기에 한함)사이의 관계도 또한 알려져 있다. 이것이 국제규격 ISO 3745에 설명된 音響 파워를 구하는 방법중의 하나를 제시한다.

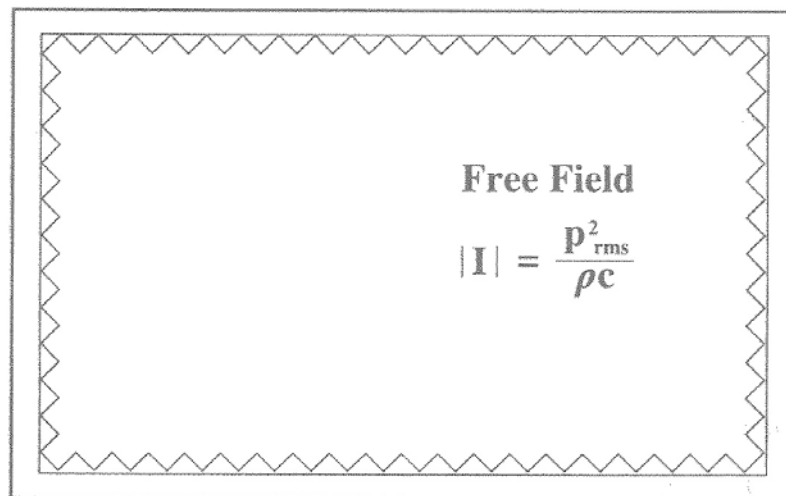


그림 5.1 自由音場

5.2.2 확산音場 (The Diffuse Field)

그림 5.2와 같은 확산音場에서는 음이 무수히 반사되어 모든 방향으로 같은 크기와 확률을 갖고 전파된다. 이러한 音場은 殘響室(Reverberant Room)에서 근사적으로 만들어진다. 방안에서의 실제 인텐시티는 0이지만 音壓과 단일 방향 인텐

시티 I_x 를 연관시키는 이론적인 관계식이 있다. 이것은 크기가 같고 방향이 반대인 성분을 무시한, 한 방향으로의 인텐시티이다. 단일 방향 인텐시티는 음향 인텐시티 분석기로도測定할 수는 없으나, 매우 유용한 물리량이다. 음壓을測定하여, 음壓과 단일 방향인텐시티 사이의 관계를 이용하면 음향파워를 구할 수 있다. 이것이 ISO 3741에 설명되어져 있다.

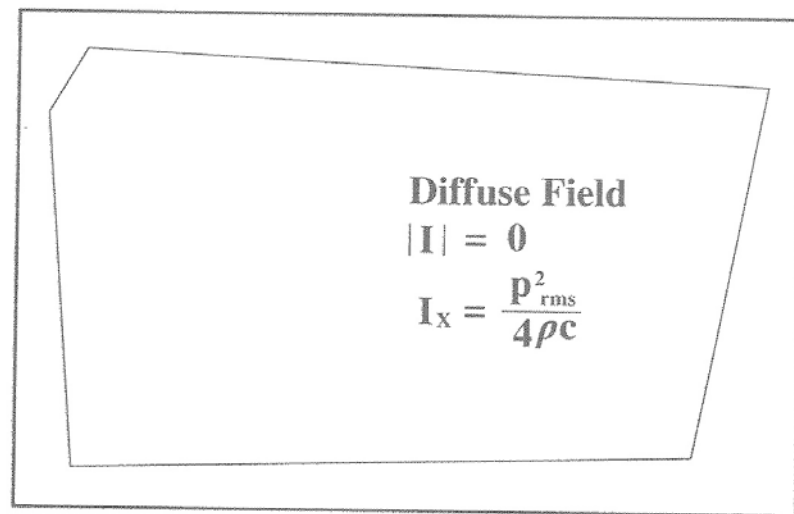


그림 5.2 확산音場

5.2.3 능동(Active) 音場과 반동(Reactive) 音場

음의 전달은 Energy의 유동을 수반하지만 전달이 없어도 음壓이 존재할 수 있다. 능동 音場은 Energy의 유동이 있는 곳이며 순수한 반동音場(Reactive Field)에서는 Energy의 유동이 없다. 어떤 순간에 Energy가 밖으로 전달되면 그 다음 순간에 꼭 되돌아 온다. Energy는 스프링에서와 같이 저장되므로 실제 인텐시티는 0이다. 일반적으로 音場은 능동적인 성분과 반동적인 성분 모두를 갖고 있다. 반동 音場에서 음향파워를 구하기 위해 음壓을測定하는 것은 신뢰할 수 없는데, 그 이유로서 반동적인 부분은 放射되는 음향 파워와 관계가 없기 때문이다. 그러나 음향 인텐시티는測定할 수 있다. 음향 인텐시티는 Energy의 유동을 말하는 것이므로 音場에서 반동 성분에 의한 기여는 없다. 다음에 반동 音場의 두가지

예를 보자

5.2.4 관 내의 정재파

그림 5.3과 같이 관의 한쪽 끝에서 空氣를 가진하는 피스톤을 생각한다. 다른쪽 끝에는 음파를 반사하도록 되어있다. 전방으로 전달되는 파동과 반사된 파동이 합하여져 관을 따라서 일정한 거리만큼 최대 音壓과 최소音壓이 나타나는 형태가 이루어진다. 끝이 완전 강체라면 모든 Energy가 반사되어 실제 인텐시티는 0이된다. 끝부분이 흡음성을 갖고 있으면 어느 정도의 인텐시티가 測定된다. 낮은 周波數에서는 방안에서도 정재파(Standing Wave)가 나타날 수 있다.

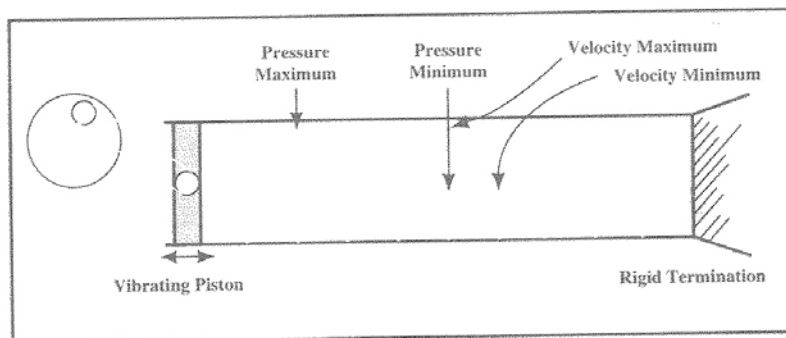


그림 5.3 관 내의 정재파

5.2.5 音源의 근접장

그림 5.4와 같이 音源에 매우 가까운 곳에서는 空氣가 Energy를 저장하는 질량-스프링계처럼 작용한다. Energy는 전파되지 않고 순환되며 이처럼 Energy가 순환하는 영역을 근접장(Near Field)이라고 한다. 여기서는 音響 인텐시티 測定에 의해서만 音響파워를 구할 수 있으며, 音源에 가까이 접근하는 것이 가능하기 때문에 신호대잡음비(Signal-to-noise-Ratio)가 향상된다.

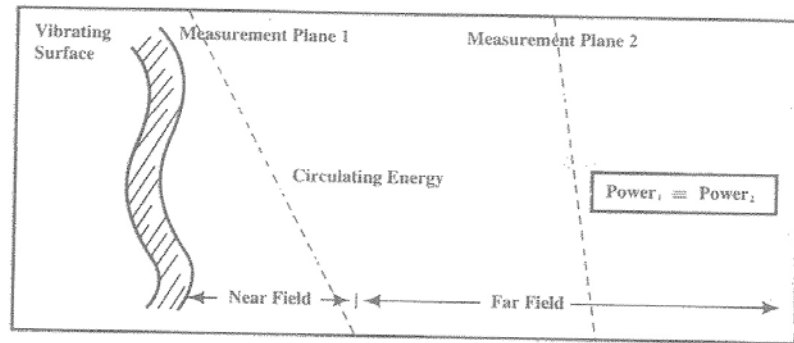


그림 5.4 音源의 근접장

5.3 音壓(압력)과 입자속도

空氣입자가 본래 위치로부터 변위되면 일시적인 압력 상승이 일어난다. 이 압력 상승은 두가지로 작용한다. 즉 입자를 원래의 위치로 되돌리는 것과 옆의 입자로 교란을 전달시키는 것이다. 압력의 증가(압축)와 감소(희박)의 반복은 음파로서 매질을 통하여 전파된다. 이 과정에 두개의 중요한 변수가 있다. 즉 音壓(주위에 대하여 국부적인 압력의 증가와 감소)과 일정한 위치에서 振動하는 空氣입자의 속도이다. 그림 5.5 에서 音響 인텐시티는 입자속도(Particle velocity)와 압력(Pressure)의 곱이며 아래의 변환식에서 볼 수 있듯이 앞서 설명한 단위 면적당의 파워로서 정의된 것과 동등하다.

$$\text{인텐시티} = \text{압력} \times \text{입력속도}$$

$$= \frac{\text{힘}}{\text{면적}} \times \frac{\text{거리}}{\text{시간}} = \frac{\text{Energy}}{\text{면적} \times \text{시간}} = \frac{\text{파워}}{\text{면적}}$$

능동 音場에서의 압력과 입자 속도가 동시에 변화한다. 音壓신호에서의 최대는 입자속도 신호의 최대와 동시에 나타난다. 따라서 이들은 동 위상이며 두 신호의 최대와 동시에 나타난다. 따라서 이들은 동 위상이며 두 신호의 곱이 실제 인텐시티가 된다. 반동 音場에서는 音壓과 입자속도가 90도의 위상 차를 가져서, 한

신호는 다른 신호에 대하여 1/4 파장 만큼 이동되어 있다. 이 두 신호를 서로 곱한 것은 0을 중심으로 정현파적으로 변화하는 순간 인텐시티(Instantaneous Intensity) 신호가 된다. 그러므로 시간 평균된 인텐시티(Time-averaged Intensity)는 0이다.

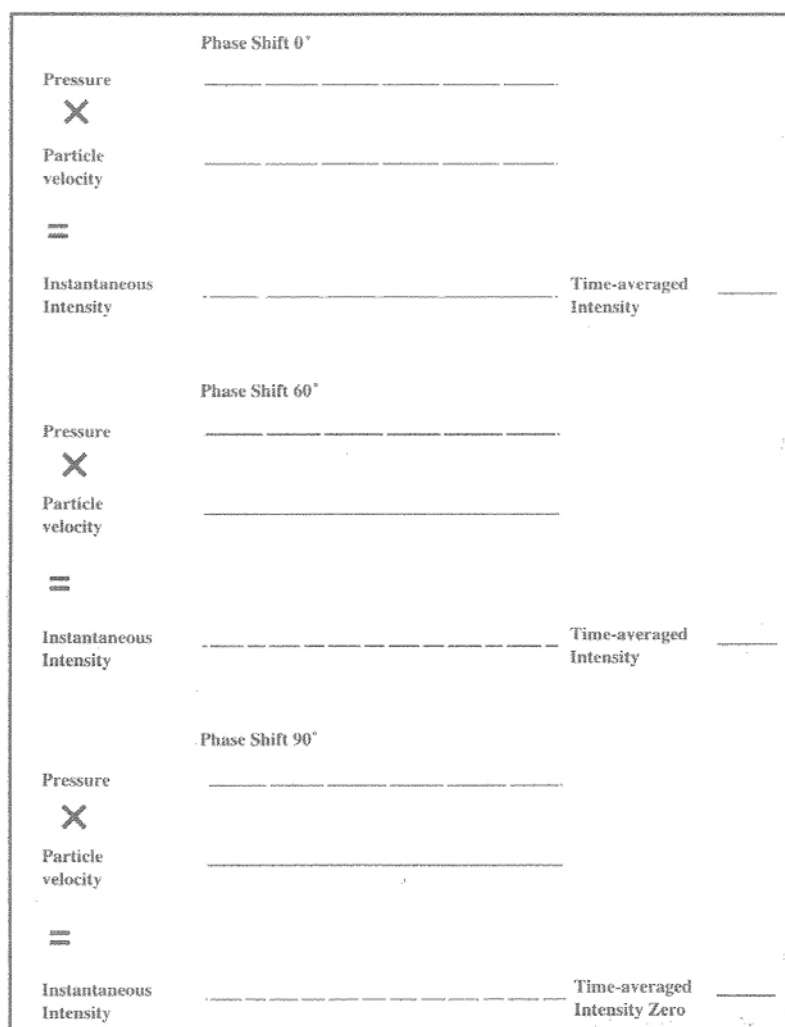


그림 5.5 음압과 입자속도

확산音場에서는 입력과 입자 속도의 위상은 랜덤하게 변화하므로 실제 인텐시티는 0이다.

5.4 音響 인텐시티 탐침자

音響 인텐시티 탐침자는 고체로된 스페이서(Spacer)사이에 정면으로 대향된 2개의 마이크로폰으로 이루어져 있다. 이러한 배열은 병행배열(side-by-side), 배면 대향 배열(back-to-back) 또는 고체 스페이서가 없는 정면 대향 배열보다 周波數 응답과 지향 특성이 더 좋은 것으로 알려져 있다. 마이크로폰의 유효 간격을 6, 12, 50mm로 결정하는 스페이서를 선택 사용한다. 1/2 인치 마이크로폰은 저 周波數대를 위해 사용되며, 1/4 인치 마이크로폰은 간섭효과를 줄이기 위하여 고주파대역 測定에 사용된다.

音響 인텐시티 분석 시스템의 지향 특성(Characteristic)은 (2차원적으로) 8자 모양처럼 보이는데 이는 여현(Cosine)특성으로 알려져 있다. 이것은 탐침자와 분석기 내에서의 계산에 의한 것이다.

音壓은 스칼라 량이므로 음의 입사 방향에 관계없이 음아변환기는 같은 응답특성을 가져야 한다(무지향 특성을 필요로 한다). 이에 반하여 音響 인텐시티는 벡터량이다. 그러나 2개의 마이크로폰 탐침자로는 완전한 벡터를 測定하지 못하지만, 탐침자 축 방향의 한 성분을 測定한다. 완전한 벡터는 3개의 서로 수직인 성분(서로간에 90°)인 3개의 각 좌표방향으로 이루어진다.

축에 대하여 90°로 입사하는 음에 대하여는 音壓신호 사이에 차이가 없기 때문에 탐침자 축 방향에 대해 아무런 성분이 없다. 그러므로 입사 속도와 인텐시티가 0이 된다. 축에 대하여 임의의 각도로 입사하는 음에 대하여는 축 방향의 인텐시티 성분이 $\cos$ 의 인수만큼 감소된다. 이 감소량이 여현 지향특성(Cosine Directivity Characteristic)을 나타낸다.

5.5 音響 파워의 결정

音響 파워를 測定하기 위하여 音壓을 이용하지 않고 音響 인텐시티를 사용하는 것은 연속적인 암소음이 있어도 기계의 근접장에서 현장 測定을 할 수 있다는 것

을 의미한다. 이는 가장 단순한 기법이다. 音響 파워는 音源을 둘러싸는 표면상에 수직 방향의 인텐시티와 그 표면의 면적을 곱한 것이다. 우선 그림 5.6과 같이 가상적인 표면을 정의할 필요가 있다.

내부에 다른 音源이나 음의 흡수가 없다면 어떠한 표면으로 둘러싸도 된다 바닥은 모든 파워를 반사하는 것으로 가정하여 測定面에 포함시키지 않는다. 이론적으로는, 표면이 音源으로부터 어떠한 거리에 있어도 좋지만 여기에 3가지 예를 든다.

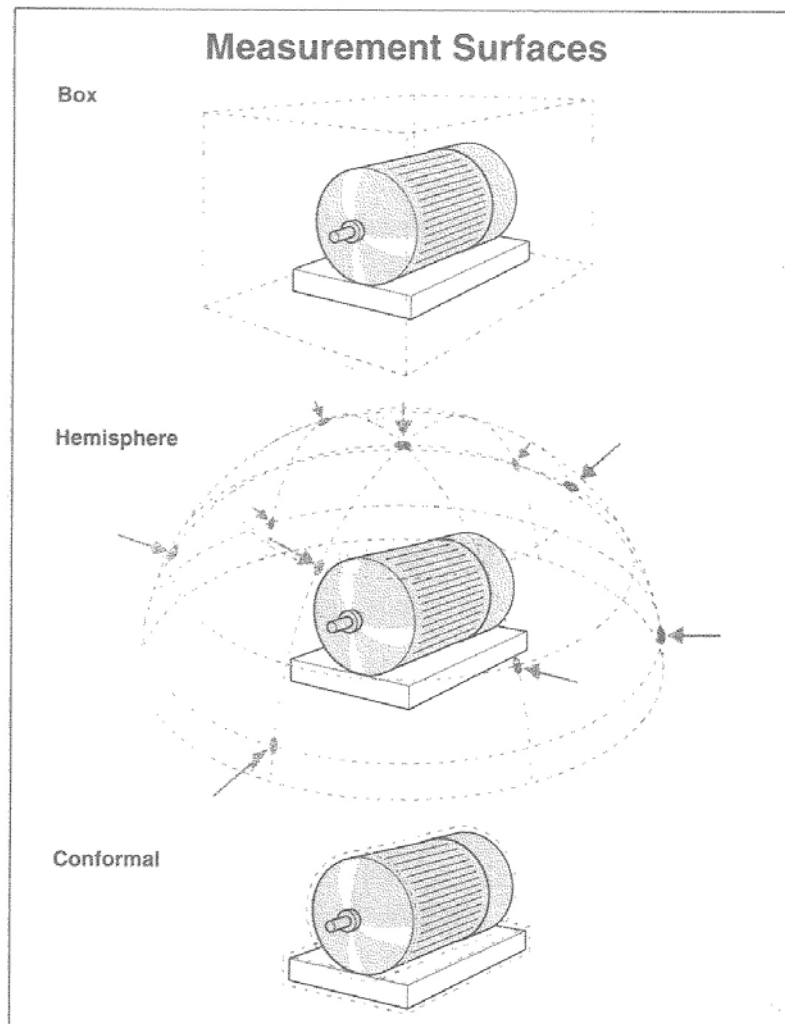


그림 5.6 音響 파워의 결정

첫째로 상자형(Box)이다. 이는 어떠한 모양이나 크기로도 할 수 있다. 이 표면은 정의하기에 쉽고, 표면이 편편해서 그 위에서 인텐시티를 평균하는 것이 간단하다. 부분적인 음향 파워를 각 측면에서 구하여 더하면 된다.

두번째는 반구형(Hemisphere)으로, 이런 형상으로서, 측정점의 수를 가장 적게 할 수 있다. 自由音場에 위치한 전방향성(Omnidirectional) 음원에 대해서는 반구 전체에서 인텐시티가 일정할 것이다. 국제규격 ISO 3745(音壓測定에 의한 음향 파워)는 3반경에서 각 3개의 마이크로폰과 반구의 최고점에 하나의 마이크로폰을 놓는 방식으로 10개의 마이크로폰 위치에서부터 시작하는 것을 권장한다.

세번째는 물체의 모양에 맞추는 형상(Conformal)으로, 이것은 신호대 잡음비를 향상시킬 수 있는 근접音場에서의 측정을 가능하게 한다. 또한 측정된 인텐시티는 특정한 騒音源 위치와 연관지어 질 수 있다.

5.6 空間평균

표면이 정의된 후, 표면에 대해 수직인 방향으로 측정되는 인텐시티 값들을 空間적으로 평균해야 한다. 표면은 실제적인 격자, 또는 단지 基準위치로부터의 거리로서 정의될 수 있다는 것에 주목한자, 각 면에서 평균 인텐시티 값을 구하기 위하여 다음의 두가지 중의 한가지의 空間평균(Spatial Averaging)기법이 사용된다.

5.6.1 표면상의 소인測定 (Swept Measurements)

적절히 평균시간을 길게하여 표면에 페인트 칠하듯이 탐침자를 표면위에서 단순히 움직인다. 이렇게 하여 空間 평균된 인텐시티 값을 구한 후 면적을 곱하면 이 면으로부터의 음향 파워를 구할 수 있다. 그 후 모든 면에서부터의 음향 파워 기여분을 모두 합산한다.

5.6.2 이산점 평균 (Discrete Point Averaging)

또 다른 평균 방법은 평면을 작은 부분으로 나누고 각 부분에서의 인텐시티를

測定하는 것이다. 測定점은 보통 격자(Grid)로 정한다. 이것은 자 또는 줄자가 사용되기도 하지만, 줄이나 철사로 프레임을 만들 수 있다. 測定결과를 평균하고 면적을 곱하여 그 면으로부터이 音響파워를 구한다.

두 방법중 모든 응용에 대하여 최상인 것은 없으며 어떤 경우에는 두 방법 모두 유용하다. 소인 방법이 수학적으로는 연속적인 空間 적분에 대하여 더 좋은 근사법이므로 보다 정확한 경우가 많다. 그러나 일정한 비율로 탐침자를 소인하고 표면을 균등하게 훑어가기 위해서 더 뛰어나다. 測定이 반복되어 수행되어야 할 때에는 두가지 방법 모두 쉽게 자동화 될 수 있으며, 또한 이에 의해 정확도를 높일 수 있다.

5.7 暗騒音

인텐시티 방법으로 音響 파워를 구하는데 있어 주요한 장점 중의 하나로는 높은 레벨의 연속적인 암소음이 있더라도 별로 관계가 없다는 점이다.

空間상에 하나의 면을 가정한다. 폐쇄된 용적이면 어떠한 것이라도 좋다. 音源이 폐쇄된 표면 내에 있으면, 상자 표면 위에서 평균 인텐시티를 測定하고 면적을 곱하여 音源으로부터 放射되는 자체 音響 파워를 구할 수 있다.

音源을 상자 밖으로 이동시키고 音響 파워를 계산하면 0으로 될 것이다. 어느 한 면에서는 어느 정도의 Energy가 유입되는 것으로 測定되지만, 다른 면에서는 Energy가 유출되므로 상자로부터 放射되는 音響파워에 기여하는 양은 0으로 된다.

이러한 것이 성립되기 위해서는 암소음 레벨이 시간에 따라 크게 변화하지 않아야 한다. 이 조건이 만족되어질 때 소음이 정상상태(Stationary)라 한다. 주위:평균시간이 충분히 길면 레벨이 조금씩 랜덤하게 변화하더라도 문제가 되지 않는다. 더 나아가서 상자 안에는 흡음 물질이 없어야 한다는 조건이 있다. 그렇지 않으면 약간의 암소음은 상자 밖으로 다시 유출되지 않게 된다.

암소음은 測定 상자 밖에 존재하는 音源으로 볼 수 있으므로 音源의 音響 파워

測定에 아무런 영향을 미치지 못한다. 사실상 이것은 암소음보다 10dB정도 낮은 음源에 대하여 1dB내의 정확도를 음響 파워를 測定할 수 있다는 것을 의미한다. 암소음이 문제가 되는 경우에는 測定표면을 작게 선택한 후 신호대 잡음비를 개선하여 測定할 수 있다.

5.8 騒音源 순위결정 (Noise Source Ranking)

복잡한 구조물에서는 여러 음源으로부터 음이 방출되고 다른 부분에서는 음을 흡수하기도 한다. 소음低減방법의 유효성을 평가하기 위해서 기계의 각 요소마다 얼마만큼의 소음이 放射되는가를 알 필요가 있다. 이는 기계 각 부분의 음響 파워를 구한다는 것을 뜻한다.

음響 인텐시티 測定에서는 하나의 부품만을 둘러싸는 測定面을 정의할 수 있기 때문에 한 부품으로부터의 음響 파워 계산은 단순한 작업이다. 다 부품들로부터 放射되는 모든 소음은 암소음(소음이 정상상태라는 조건하에서)으로 취급할 수 있다. 더 나아가서 전체 음響파워는 소음을 放射하는 모든 부품에서의 음響 파워를 합산함으로써 쉽게 구할 수 있다. 오른쪽에 보인 전동톱에 대한 연구에서는 각각의 모든 騒音源을 둘러싸는 것이 불가능하였으나 그래도 연구결과 몇몇 표면에서 소음이 크게 나타남을 보여준다. 전체 소음 레벨을 크게 줄이기 위해서는 몇개의 부품품에 대하여 처리해야 할 것이다.

인텐시티 기법은 매우 간단하다. 조사는 현장에서 있는 그대로의 상태에서 행하여 질 수 있으며, 이는 지금까지의 기법보다 대단히 개선된 것이다. 종래에는 예를 들어 디젤 엔진과 같이 복잡한 구조에 대해서는 각 부품들을 방음물질로 봉하여 차폐해야만 했었고, 이 부품으로부터의 音壓레벨은 기계를 무향실이나 殘響室에 설치하여야만 測定할 수 있었으며, 이 과정은 때때로 여러 주일 정도의 시간이 소요되었다.

5.9 인텐시티 도해

모든 소음제어 문제에서 최우선적인 것은 音源의 파악과 위치 결정이다. 이를 수행하는데 있어서 音響 인텐시티 測定은 이전의 기법에 비하여 탁월한 장점을 보유한 여러가지 방법을 제공한다.

5.9.1 등고선도와 3차원도

그림 5.7과 같이 등고선(Contour)과 3차원도(3D Plot)는 音源에 의해 만들어진 音場의 자세한 그림을 제시한다. 여러 개의 音源이나 흡수되는 곳(Sink)도 정확하게 파악할 수 있다.

표면을 정의하는데 격자를 설치하고, 표면에 균일하게 배치된 여러점에서 面에 수직한 방향으로 音響 인텐시티를 測定한다. 격자 위에서 서의 音響 파워를 계산하기 위해서도 같은 測定을 사용할 수 있으며 이들 값들이 기억된다. 이렇게 하여 각 점에 하나의 값으로 된 인텐시티 레벨의 행렬을 만든 뒤 보간법에 의해 같은 인텐시티를 갖는 점들을 연결하여 동일 인텐시티 선을 그릴 수 있다. 이들을 때때로 등인텐시티 선(Isointensity Line)이라 부르기도 하며 하나의 周波數 값 또는 전체 레벨값에 대하여 그려질 수 있다. 마이너스 방향으로 진행하는 인텐시티에 대하여 별개의 그림을 그릴 수 있으며 이것은 音響 Energy의 흡수 위치를 알아내는데 이용할 수 있다.

같은 데이터로써 音源에서 발생하는 音場을 쉽게 가시화할 수 있는 3차원도(3D Plot)를 그릴 수 있다. 3차원도는 격자 위에서의 인텐시티 레벨(수직한 방향으로)의 플롯이다. 또한 양의 방향이나 음의 방향으로 진행하는 인텐시티도 그릴 수 있다. 그러나 데이터를 저장하고 계산을 하기 위해서는 어느 정도의 후처리(Post-processing)장치가 필요하다. 프린터를 시료로 하여 測定된 등고선도와 3차원도를 그림 5.7에서 보여주고 있다. 대부분의 소음이 위부분의 종이 주입구와 오른쪽 아래 구석의 스위치 부분으로부터 放射되고 있다.

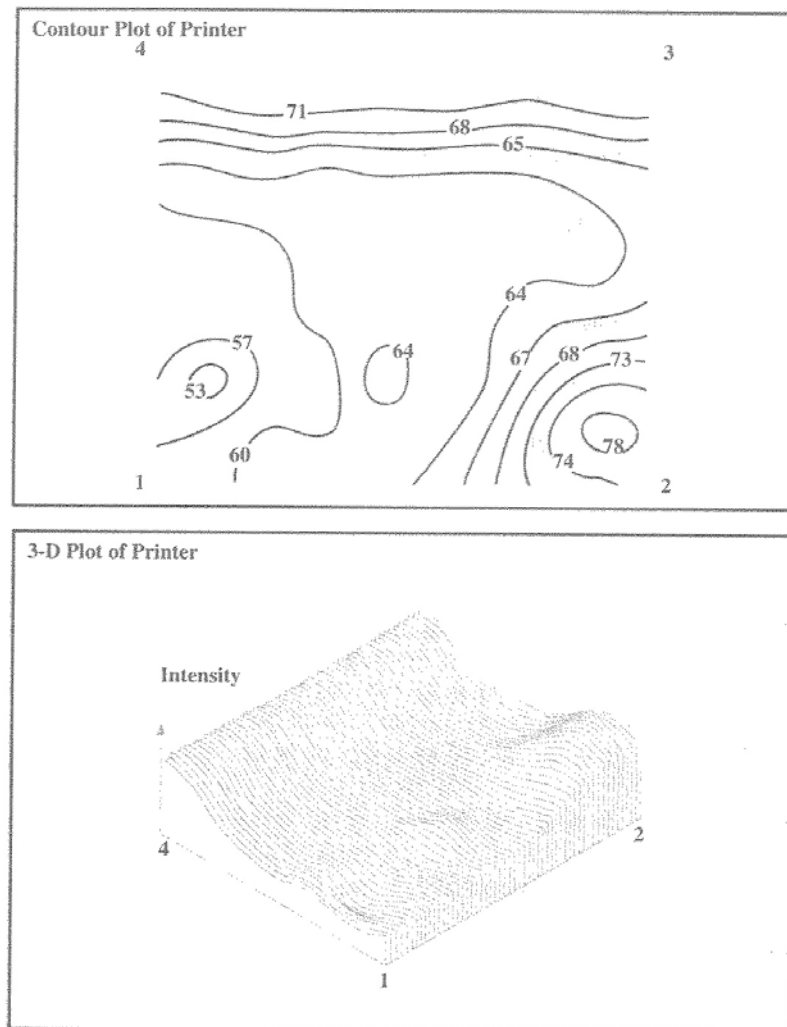


그림 5.7 등고선과 3차원도

5.9.2 騒音源 위치 영점 탐색법 (The Null Search Method)

신속하고 간편한 시험법으로서 탐침자의 지향특성을 이용할 수 있다. 측에 대해 850로 입사하는 소리는 양의 방향으로 진행되는 인텐시티로 기록되나 950로 입사하는 소리는 마이너스 방향으로 진행되는 것으로 나타난다. 즉 작은 각도 변화에도 방향의 변화가 생긴다.

화면을 보면서 소音源이 위치하리라고 생각되는 면에 평행하도록 하여 탐침자의 축을 움직여 나간다. 어느 점에서 방향이 갑자기 바뀔 것이다. 이 위치는 화면

에서 양의 방향과 마이너스 방향 인텐시티 사이에서 갑자기 변화하는 것으로 확인된다. 이 점에서는 소리가 탐침자축에 90°로 입사하는 것이며 따라서 騒音源의 위치를 알 수 있다. 이 방법은 오직 하나의 音源이 두드러질 때 유용하며 다른 音源이나 흡음체가 있으면 결과에 혼란이 생길 수 있다.

5.10 건축音響에의 응용

音響 인텐시티 測定은 건축 音響에서도 많은 응용 사례가 있다. 소음低減이나 흡음과 같은 양들은 근본적으로 音響 파워에 관계가 있으므로 音壓보다는 인텐시티가 測定에 있어 논리적인 양이다.

音響 測定에 의하여 音響감쇠 지수(Sound Reduction Index)를 測定하는 고전적인 절차는 ISO 표준 140에 설명되어 있다. 이 방법에서는 두개의 서로 차단된 殘響室 사이의 개구부에 시편을 놓아야 한다. 이러한 설비를 전달 測定실(Transmission Suite)이라고 하며 장치하는데 많은 비용이 든다. 音源실(Source Room)과 수음실(Receiving Room)에서 空間 평균된 音壓 레벨을 測定하고 이로부터 판에 입사하는 인텐시티와 판을 통하여 전달되는 인텐시티를 각각 구한다. 수음실의 잔향시간도 測定한 후 音響감쇠 지수를 계산한다.

이에 반하여 인텐시티 방법에는 단지 하나의 殘響室만이 필요하며 대부분의 경우에 있는 그 자리에서 測定할 수 있다. 音源실에서는 규격에서 정한 방법과 같이 空間 평균 音壓 레벨을 測定하지만 수음실에서는 인텐시티 분석기로 판을 통과하면 소리가 판으로 재 반사되어 흡수되거나 다시 통과될 수 있으므로 이런 상태를 피해야 하며, 이런 경우에는 수음실에 흡음재를 약간 넣어야 한다.

이 방법은 예를 들어 벽에 창문이 있는 경우와 같은 여러가지 다른 복합 구성판넬에 대하여도 測定할 수 있다. 속이 비어 있는 구조물을 殘響室에 놓고 구조물 내부로부터 감쇠량을 구할 수 있다.

5.11 실제 測定시 유의사항

아직까지 인텐시티 測定에 대해서는 표준이 마련되어 있지 않으므로 인텐시티 測定시에 고려해야 할 몇가지 요소들에 대해 이야기하기로 한다.

5.11.1 현장교정

인텐시티를 測定할 때에는 2개의 마이크로폰 각각을 피스톤폰이나 음량레벨 교정기에 차례로 연결하거나, 커플러에 의해 마이크로폰을 동시에 삽입하여 진폭을 교정한다. 測定된 인텐시티가 교정기에 의해 공급된 인텐시티 레벨과 比較하여 교정한다. 주위 온도나 기압에 의해 조금씩 변화하는 空氣 밀도에 따라서도 인텐시티 계산이 달라진다. 그러므로 작은 값이나 보정 작업을 해야 하지만 보통 고도가 높을 때를 제외하고는 이 보정값은 무시할 수 있다. 音響 인텐시티 교정기는 또한 音壓-인텐시티 지수를 찾아냄으로서 분석 스프램에서의 위상-정합의 결과, 시스템의 동작능력을 점검하는 데에도 이용될 수 있다.

5.11.2 시간평균 (Time Averaging)

랜덤 오차를 최소화하고 안정된 결과를 얻도록 충분히 긴 시간동안 평균화 할 필요가 있다. 필요한 평균시간을 결정하기 위해서는 여러번 測定을 하여 결과가 재현성이 있을 때까지 평균시간을 길게 한다.

5.11.3 空間평균 (Spatial Averaging)

소인測定(Swept Measurement)에서는 전면적을 균일하게 훑도록 해야한다. 따라서 소인 속도는 일정해야 하고 測定 면적은 人의 총 횡수로서 감싸져야 한다. 이산점 測定에 있어서는 測定面 위에서의 인텐시티 변화정도에 따라 필요한 測定 점 수를 결정한다. 변화정도가 크면 測定점의 수를 늘려야 한다. 空間평균이 정확한가를 알아보는 것은 어렵지 않다. 여러 개의 다른 測定面에 대해서나, 같은 面 위의 다른 測定위치에 대하여 재현성 있는 결과를 얻었다면 空間 평균이 옳다는 것을 의미한다.

5.11.4 암소음 (Background Noise)

암소음이 안정상태라면, 암소음 레벨이 音源의 레벨보다 10dB 정도 높은 경우에도 1dB의 정확도를 測定 할 수 있다. 가능하다면 音源을 끄고 (암소음만 있는 상태) 音響 파워를 測定하여 암소음의 기여도를 알아 볼 수 있다. 音源에 가까이 접근하여 測定하면 암소음의 영향이 줄어든다.

5.11.5 스페이서의 선택

6, 12, 50mm 세가지 길이의 스페이서를 선택할 수 있다. 이론 전개시의 가정에 의해 인텐시티 測定의 고주파 한계가 설정된다. 즉 스페이서가 작을수록 測定할 수 있는 周波數가 높아진다. 분석 시스템내의 위상 부정합(Phase Mismatch)이 낮은 周波數 한계의 원인이 되고 스페이서가 클수록 하한 周波數가 낮아진다. 이 저주파 한계는 音場에 따라서도 변화한다. 일반적인 音場에서의 測定 용이도는 音壓-인텐시티 지수(Pressure-Intensity Index)로 나타내어 질 수 있다.

그림 5.8은 測定의 한계를 결정하는데 사용된다. 이를 사용하기 위해서 音場을 표현하는 音壓-인텐시티 지수를 測定할 필요가 있다. 音壓-인텐시티지수는 단순히 인텐시티 레벨에서 音壓 레벨을 뺀 것이다. 저周波數 한계를 결정하는 다른 인자는 분석시스템 내의 위상 부정합인데, Bruel & Kjaer 장비에서는 대략 ± 0.30 정도이다. 音壓-인텐시티 지수가 -3dB인 音場에서의 測定한계를 알아보도록 하자. 12mm 스페이서에 대한 막대 그래프를 보면 周波數 한계는 약 250Hz에 불과하게 된다. 낮은 周波數를 測定하기 위해서는 50mm의 스페이서를 사용할 필요가 있는데, 이로서 63Hz까지의 周波數를 測定할 수 있다. 그러나 이 스페이서의 높은 周波數 한계는 1.25Hz 밖에 되지 않는다. 따라서 하나의 스페이서로 넓은 周波數 범위를 담당할 수는 없다.

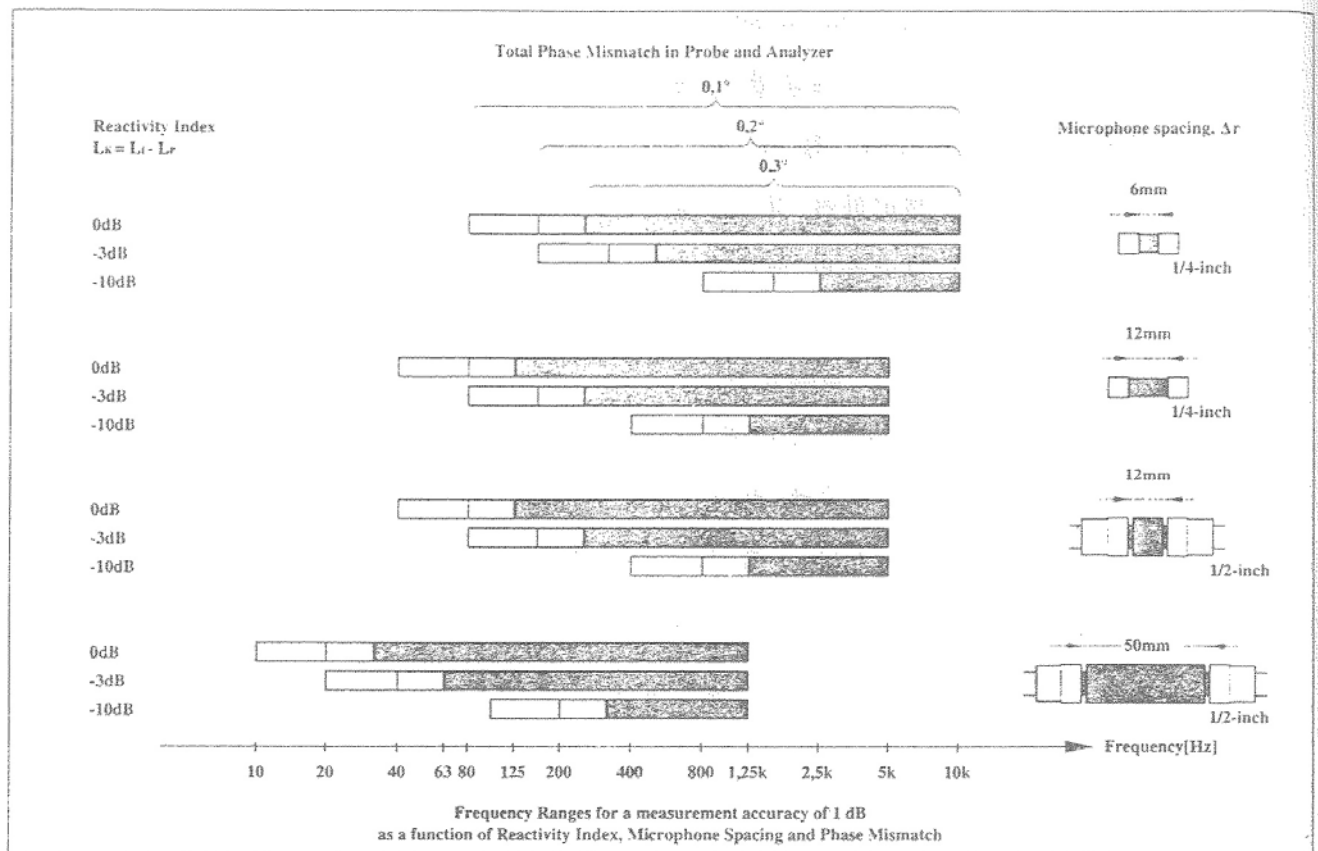


그림 5.8 스페이서의 선택

5.12 사례 연구

音響 인텐시티 방법의 중요성과 유용성을 설명하기 위하여, 인텐시티 測定에 의해 실제 문제를 명확하고 신속하게 해결한 실제 응용 例제를 아래에서 보여주고 있다.

그림 5.9와 같이 펌프와 모터의 결합체에서 너무 심한 소음이 발생되었다. 펌프와 모터를 音壓測定으로 音響 파워를 구하기 위하여 殘響室에서 測定하였더니 결과는 88.4dB로서 허용할 수 없는 소음 수준이었다. 펌프를 제거하고 모터 단독으로 測定하였더니 音響 파워는 단지 65dB에 불과하여 문제는 펌프에 있는 것 같았다.

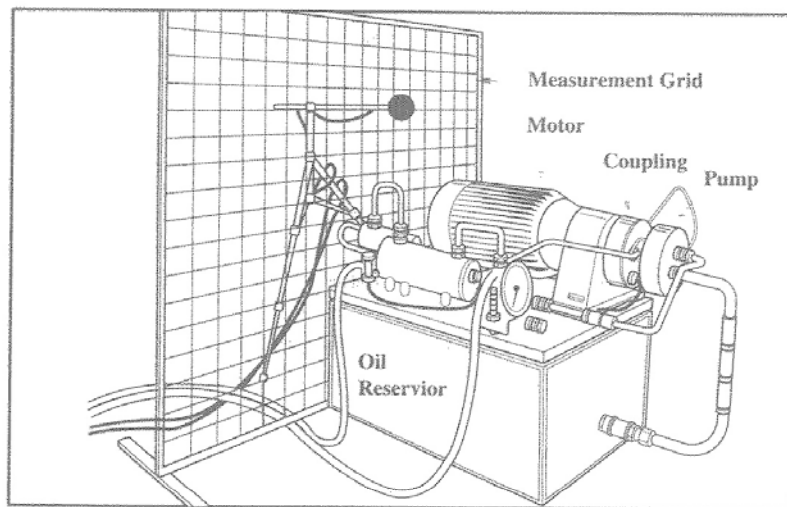


그림 5.9 펌프와 모터

그러나 확실히 이 測定은 작동조건에서 이루어진 것이 아니었다. 音壓 測定방법에 의하여 부하가 걸린 상태의 펌프만을 測定하는 단 한가지 방법은 모터를 방음막으로 둘러싸는 것이었다. 이것도 비실제적 일뿐 아니라, 어떠한 방음막도 완전히 방음이 되지 않기 때문에 또한 부정확하였을 것이다. 그렇지만 인텐시티 測定법을 쓰면 펌프와 모터를 현장에서 구별할 수 있다. 이 결합된 기계는 이미 殘響室에 놓여 있었기 때문에, 그곳에 그대로 두었다. 왜냐하면 音響 인텐시티 測定을 하는데에는 특별한 音場이 필요없기 때문에 현장에서 測定을 하여 시간을 줄이기 위해서 였다.

音響 파워를 알아내는 첫 순서로는 그림 5.10과 같이 測定면을 정의하는 것이 었다. 두개의 상자는 사각형 틀과 測定점을 나타내는 줄로 만든 격자(Grid)로 조립되었다. 작은 상자로는 펌프를 둘러 싸고 큰 상자로는 모터와 그 기름 저장통(Oil Reservoir)을 둘러쌌다. 상자들은 기계에 아주 가깝게 맞추어서 신호대 잡음비를 향상시키고자 했다. 이 경우, “잡음”은 방의 벽으로부터의 반사음이었다.

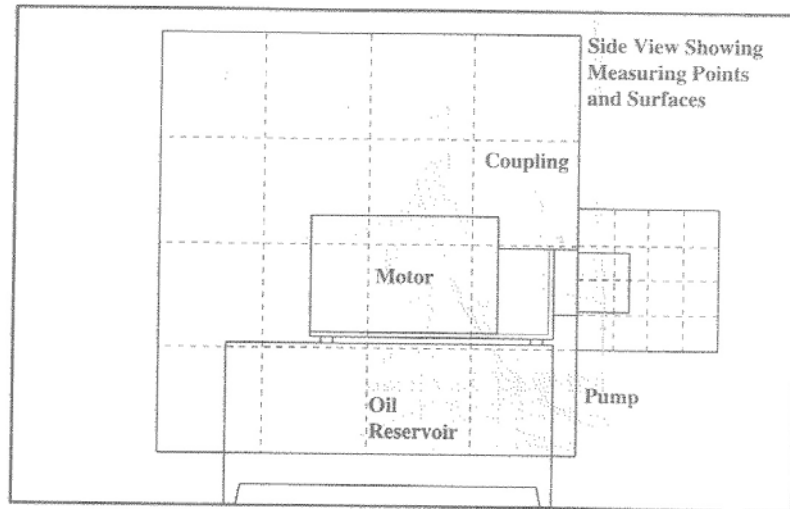


그림 5.10 測定面の 설정

각 상자의 音響 파워가 그림 5.11과 같이 測定되었는데, 모터가 펌프보다 더 큰 소음을 放射하는 것을 알아냈다. 모터로부터의 레벨은 86.7dB, 펌프로부터의 레벨은 83.5dB이었다. 이러한 결과는 앞서 언급된 방음막이 없이 測定된 音壓으로 는 알 수 없는 것이었다.

모터로부터의 소음레벨이 높은 이유는 소리로 放射되는 振動 Energy가 펌프로 부터 커플링(Coupling)을 통해 전달되기 때문이었다. 모터와 기름 저장통은 소음 을 放射하기에 극히 적합한 큰 표면적을 갖고 있어 소음을 低減시키기 위해 기름 저장통을 제거하였다. 이러한 결과는 경험에 의해 내려질 수도 있었으나, 소음제 어 기술자는 音響 인텐시티를 測定함으로써 명백한 실험적인 증거를 갖게 된다.

이 測定은 비록 音壓과 인텐시티의 차이(音壓-인텐시티 지수)가 큰 확산音場에 서 행해졌지만, 그래도 測定은 유효하였다.

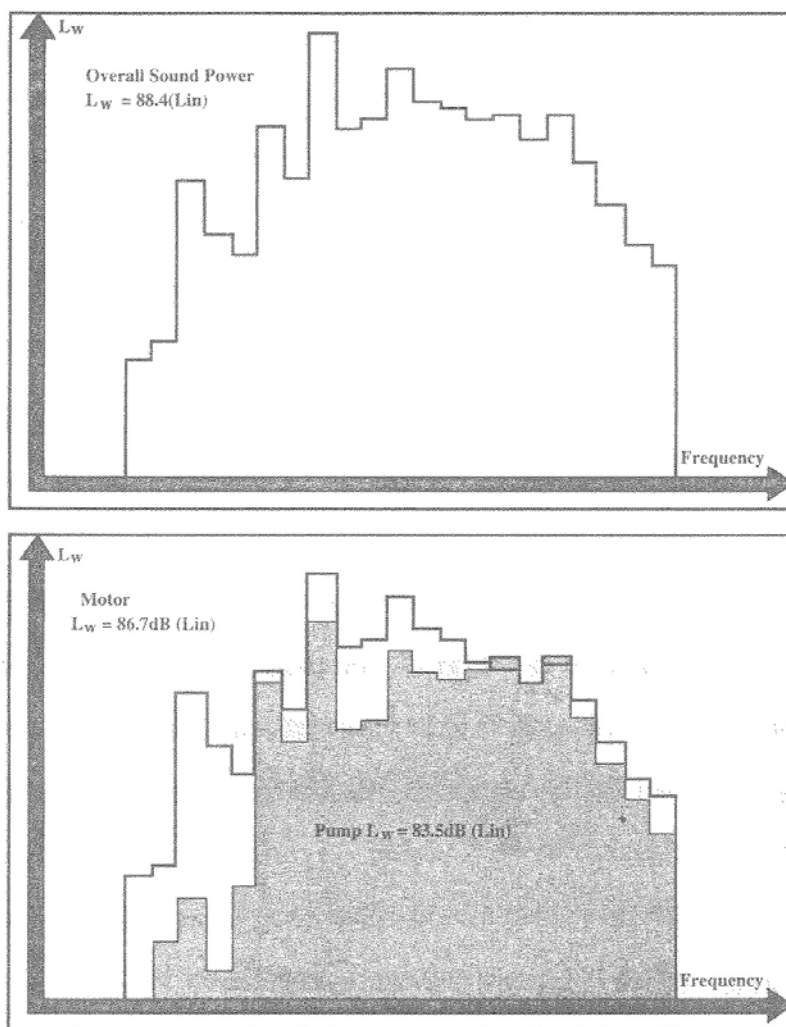


그림 5.11 音響 파워의 測定

제 6 장 맺음말

産業發展과 더불어 많은 工場이 지어졌으며 앞으로도 더욱 건설될 豫定이다. 그러나 公廠의 規模나 外形에 비해서 騒音재해예방등 안전에 관한 수준은 극히 低調한 실정이다. 최근 騒音문제가 큰 사회문제로 대두되고 있으며 '92년도 노동부의 産業災害 統計에 따르면 전체 제조업의 직업병 勤勞者 數 중 騒音으로 인한 難聽者數가 약 42 % 에 이르고 있다. 騒音은 인체에 미치는 영향 以外에도 振動을 수반하여 機械의 精度등 성능을 低下시키고 誤動作을 誘發하여 많은 산업재해의 중요한 原因이 되고 있다. 따라서 騒音재해에 대해 政府관련부처및 相關기관, 기업체, 근로자등 모두가 재해예방에 관심을 갖고 騒音低減對策을 강구해 나가야 할 것이다.

첫째로, 政府次元에서는 ISO등 국제규격관련 情報를 조속히 入手, 分析하여 각종 騒音에 대한 測定方法등을 設定, 告示하고 事業主및 勤勞者등이 지켜야 할 遵守事項, 그리고 이에 필요한 技術指針과 Program을 開發, 補給하여야 한다.

둘째로, 事業場 次元에서는 限界値 이상의 騒音을 放出할 가능성이 있는 모든 機械및 시설들에 대해 測定을 實施하고, 限界値를 초과하는 경우에는 騒音低減對策을 강구하여야 한다.

셋째로, 騒音多發지역에서 작업하거나 機械를 취급하는 근로자등은 사업장내 騒音災害豫防守則을 충분히 認識하여, 철저히 遵守하여야 한다.

산업이 발전함에 따라, 各種機械, 설비의 사용은 점점 늘어나고 機器數의 增加등으로 인하여 우리 주위의 騒音환경은 날로 惡化되어 가고 있다. 이에 대처하여 騒音으로 인한 산업재해를 減少시키고 人間과 環境을 보호하기 위해서는 모두의 관심과 함께 하루빨리 測定評價 등에 관한 基準및 標準化를 확립하고, 각종 騒音재해에 대한 深度있는 研究를 활발히 進行하여 적절한 低減對策을 수립하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] ISO 3740-1980, Determination of Sound Power Levels of Noise Sources-
Guidelines for the Use of Basic Standards and for the Preparation of
Noise Test Codes.
- [2] ISO 3741-1975, Determination of Sound Power Levels of Noise Sources-
Precision Methods for Broad-Band Sources in Reverberation Rooms.
- [3] ISO 3742-1975, Determination of Sound Power Levels of Noise Sources-
Precision Method for Discrete-Frequency and Narrow-Band Sources in
Reverberation Rooms.
- [4] ISO 3743-1976, Determination of Sound Power Levels of Noise Sources-
Engineering Methods for Special Reveration Test Rooms.
- [5] ISO 3744-1981, Determination of Sound Power Levels of Noise Sources-
Engineering Methods for Free-Field Conditions over A Reflecting Plane.
- [6] ISO 3745-1977, Determination of Sound Power Levels of Noise Sources-
Precision Methods for Anechoic and Semi-Anechoic Rooms.
- [7] ISO 3746-1979, Determination of Sound Power Levels of Noise Sources-
Survey Method.
- [8] ISO DIS 3747-1984, Determination of Sound Power Levels of Noise
Sources-Survey Method using A Reference Sound Source.
- [9] ISO DIS 3748-1984, Determination of Sound Power Levels of Noise
Sources-Enginering Method for Ssmall, Oomnidirectional Sources under
Conditions over Reflecting Plane.
- [10] ISO 532-1975, Method for Calculating Laudness Level
- [11] ISO 1999-1975, Assessment of Occupational Noise Exposure for Hearing
Conservation Purposes

- [12] 音響材料協會, 騒音・振動対策 ハンドブック, 技報堂, 1982
- [13] 山下充康, 機械工学大系, 騒音工学, コロナ, 1989
- [14] R L.Stepkin, Noise Control, ASSE, 1984
- [15] L.L. Beranek, Noise & Vibration Control, McGRAW-Hill, 1971
- [16] 노동부, '92 산업재해분석, 1993
- [17] S.Gade, "Sound Intensity (Part 1 Theory)," Bruel & Kjaer Technical Review 3, 3-39, 1982
- [18] S.Gade, "Sound Intensity (Part 2 Instrumentation and Applications)," Bruel & Kjaer Technical Review 4, 3-32, 1982
- [19] S.Gade, "Sound Intensity and its Application in Noise Control)," Sound and Vibration March, 14-26, 1985
- [20] C.F.Clapp & F.A.Firestone, "The Acoustic Watt Meter-An Instrument for Measuring Sound Energy Flow," J.Acoust. Soc. Am. 13,124-136, 1941
- [21] H.F.Olson, "System Responsive to the Energy Flow of Sound Waves," U.S.Patent No.1, 892, 644, 1932
- [22] T.J.Schultz, "Acoustic WattmeterSound Waves," J.Acoust. Soc. Am. 28, 693-699, 1956
- [23] J.Y.Chung, "Cross-Spectral Method of Measuring Acoustic Intensity Without Error Caused by Instrument Phase Mismatch," J.Acoust. Soc. Am. 64, 1613-1616, 1978
- [24] F.J.Fahy, "Measurement of Acoustic Intensity Using the Crose Spectral Density of Two Microphone Signals," J.Acoust. Soc. Am. 62, 1057-1059, 1977
- [25] J.Y.Chung & D.A.Blaser, "Transfer Function Method of Measuring Acoustic Intensity in a Duct System With Flow, " J.Acoust. Soc. Am. 68, 1570-1577, 1978

- [26] J.Y.Chung, J.Pope & D.A.Feldmaier, "Application of Acoustic Intensity Measurement to Engine Noise Evaluation," J.Acoust. Soc. Am. 64, 1613-1616, 1978
- [27] 青島, "M系列の相關を用いた音響測定", 日本音響學會誌, 24, 4, 1968.
- [28] J.W.Cooley and J.W.Turkey, "An Algorithm for The Machine Calculation of Complex Fourier Series", Math. of Comp., Vol 19, No.90, 297, 1965.
- [27] B. Fprssen & M.J.Cprcker, "Estimation of Acoustic Velocity, Surface Velocity and Radiation Efficiency by use of the Two-Microphone Technique." J.Acoust. Sec. Am. 73, 1047-1053 (1983).
- [28] S. Gade, K.B.Ginn, O.Roth, & M.Brock. "Sound Power Determination in Highly Reactive Environments Using Sound Intensity Measurements" Proc. INTER-NOISE 83, 1047-1504(1983) also in Bruel & Kjaer Application Note BO 0074 (1983)
- [29] K.B.Ginn & R.Upton. "Business Machines Measurements Using Sound Intensity." Bruel & Kjaer Application Note BO 0126 (1986).
- [30] R.E.Halliwell & A.C.C.Warnock. "Sound Transmission Loss: Comparison of Conventional Techniques." J.Acoust. Soc. Am. 77, 2094-2103.
- [31] T.G.Nielsen, "Intensity Measurement in Building Acoustics." Bruel & Kjaer Application Note BO 0147 (1986).
- [32] T.G.Nielsen & E.Walton. "Sound Power Determination of Household Appliances on the Production Line." Bruel & Kjaer Application Note BO 0148(1986).
- [33] J.Pekkinen, Halton OY, J.Nuotio & K.B.Ginn. "Sound Insulation of Ventilation Elements using Sound Intensity Techniques." Bruel & Kjaer Application Note BO 0151(1986).

- [34] G.Rasmussen . "Measurment of Intensity." Bruel & Kjaer(1983).
- [35] P.Rasmussen . "Measurement of Vibration Intensity." Bruel & Kjaer (1983). The latter two, and many other papers, are published in "Intensity Measurements" BA 7196-11(1985).

부 록

1. 실용적 현장조사방법 (파워레벨 측정)

1.1 반구면상의 측정

반구면의 중심은, 기준직방체의 기하학적 중심의 반사면의 투영점으로 한다. 반경 r 은 기준직방체의 최대크기의 2배 이상으로 적어도 1m로 한다. 먼저 예비측정을 하여 반구면상에서 높이 $0.6r$, Z축에서 $0.8r$ 의 원형상의 A특성音壓레벨이 최대가 되는 점을 구한다. 측정점에 대해서는 그림 1에 표시한 4점을 설정한다. 그중에 1점은 A특성音壓레벨이 최대가 되는 점으로 한다.

단, 탁월한 순음성분이 포함되어 있는 경우는 측정반구면상에서 반사면까지의 거리가 0.05m 이하로 되는 범위에 4점의 측정점을 설정한다.

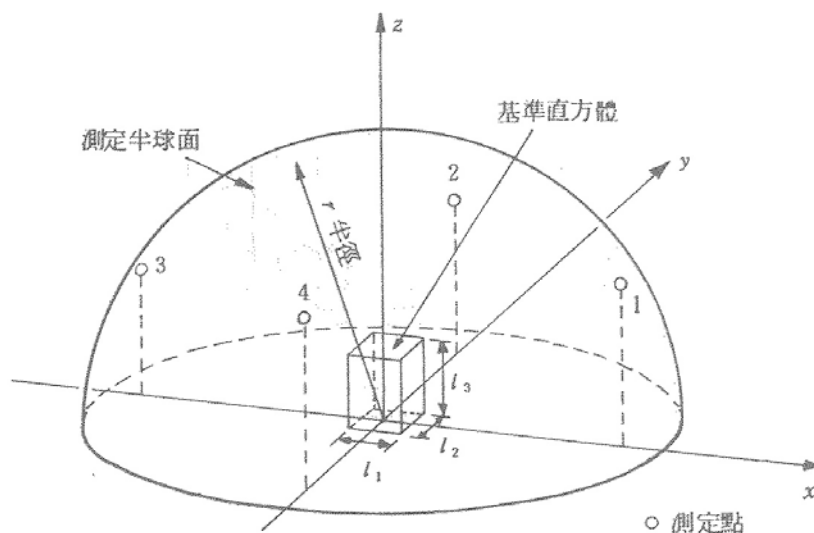


그림 1 측정반구면

1.2 직방체면의 설정

그림 2에 나타난 바와 같이, 音源을 둘러싼 측정직방체를 설정한다. 그 각면은 각각 기준직방체의 5면에서 같은 거리 d 만큼 떨어져, 평행하게 되도록 잡는다. 거리 d 는 원칙적으로 1m, 적어도 0.5m로 한다.

이 경우도 다음의 예비측정을 한다. 측정직방체면상에서 그림2에 표시된 높이 h 의 수평방향 경로상에서 A특성音壓레벨이 최대가 되는 점을 구한다. 단, h 는 $C/2$ 로 적어도 0.15m로 한다. 또 기준직방체의 높이가 2.5m를 넘는 경우에는 높이 c 의 수평방향경로상에서도 똑같은 예비측정을 행한다.

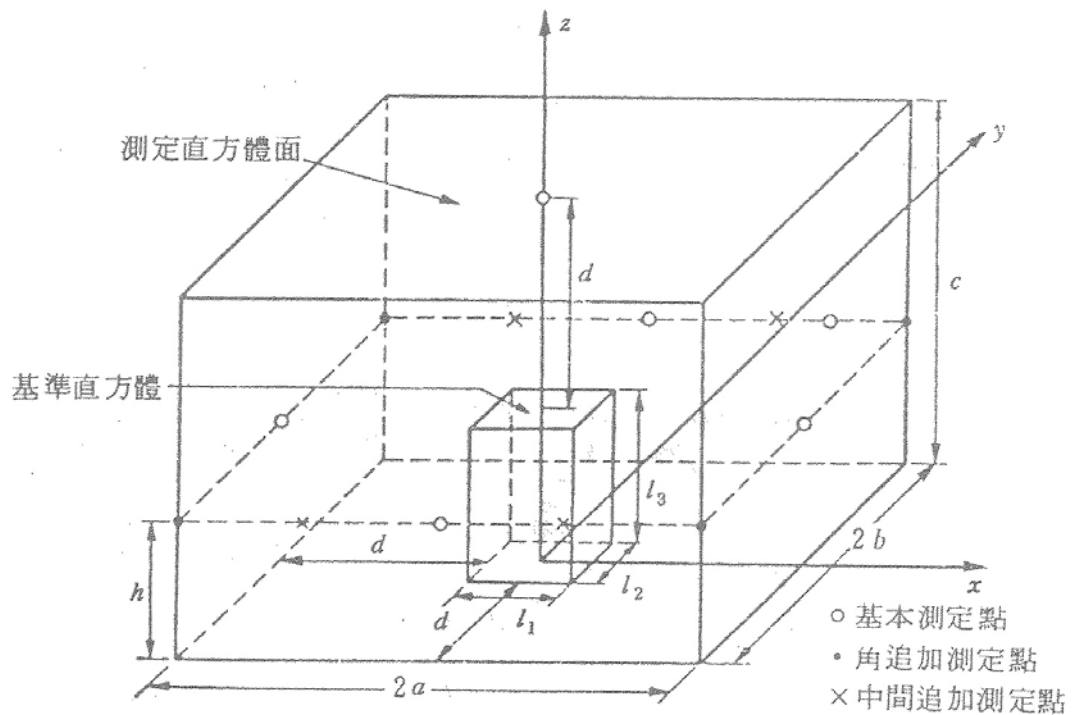


그림 2 측정직방체

1.3 추가측정점

音源의 크기가 크고 기본측정점에서 최대치와 최소치의 차이가 5dB를 넘을 경우 또는 기준직방체의 가로 또는 세로가 1m 이상일 때는 그림 2에 나타난 4점을 추가한다. 또 기준직방체의 가로세로의 크기가 5m를 넘을 경우는 중간점으로서 그림 2의 4점을 추가한다. 이 중간점은 기본측정점과 각의 측정점을 등분하도록 설정한다. 이 측정점의 간격은 d가 1m 이하인 때는 2m 이하, d가 1m 이상인 때는 2d 이하로 되도록 한다. 또 音源의 높이가 2.5m를 넘을 경우는 높이 h의 다섯개의 측정점외에 높이 c에도 다섯개의 측정점을 추가한다.

1.4 音壓레벨의 측정

각 측정점에 있어서, 옥타브 또는 1/3 옥타브 밴드마다의 音壓레벨을 측정한다. 측정기의 동특성은 'Slow'로 하여 지시치의 변동이 3dB 이내일 때는 정상음으로 보고 그 평균치를 읽는다. N개의 측정점의 결과에서 측정면상의 평균音壓레벨을 다음식에 따라 계산한다.

$$L_p = 10 \log [(1/N) \sum 10^{L_{pi}/10}]$$

音壓레벨의 관측시간으로서는 중심주파수 160Hz 이하의 밴드에서는 30초 이상, 200Hz 이상의 밴드에서는 10초 이상으로 한다. 단 변동하는 騒音의 경우에는 장시간의 평균을 잡을 필요가 있다. 또 暗騒音의 영향을 무시할 수 없는 경우에는 표에 따라 보정한다.

표. 측정치에 대한 暗騒音의 보정

(단위: dB)

대상음이 있을때와 없을때의 지시치의 차	4	5	6	7	8	9
보 정 치	-2		-1			

1.5 음향파워레벨의 산출

측정면상의 평균音壓레벨로부터, 다음식에 따라 옥타브 또는 1/3 옥타브밴드 음향파워레벨을 산출한다.

$$L_w = L_p + 10 \log (S_m/S_o) - K$$

여기서, L_w 는 音源의 음향파워레벨, L_p 는 측정면상의 평균音壓레벨, S_m 은 측정면의 면적, S_o 는 $1m^2$, K 는 음장보정치

1.6 음장보정치 K를 구하는 법

음향파워레벨을 반자유음장에서 측정하는 경우에는, 주위의 벽 등에 의한 반사음의 영향을 받기 때문에, 다음의 방법에 따라 음장보정을 할 필요가 있다.

1.6.1 잔향시간측정에 의한 방법

측정실에서 측정주파수대역마다 잔향시간을 측정하여, 그 결과 측정실의 등가흡음면적 ($A = S \bar{\alpha}$)를 구한다.

$$T = 0.162V / S \bar{\alpha}$$

여기서, S 는 측정실의 표면적, $\bar{\alpha}$ 는 평균흡음율, T 는 잔향시간

$$K = 10 \log (1 + 4 S_m/A)$$

여기서, S_m : 측정면의 면적, $A = S \bar{\alpha}$ 는 실내등가흡음면적

1.6.2 기준音源을 이용하는 방법

음장보정치에 대해서는, 음향파워레벨을 미리 알고 있는 기준音源을 이용하여 각 측정점에서 音壓레벨을 측정하여 그 결과 산출한 음향파워레벨과 기준音源본래의 파워레벨의 차로부터 음장보정치를 구하는 것이 가능하다.

2. 음향에 관한 ISO(국제)규격

2.1 음향일반

ISO 1000 : SI units and recommendations for their multiples and of certain other units.

ISO 2204 : Guide to the measurement of airborne acoustical noise and (1979) evaluation of its effects on human beings. Second edition.

ISO 131 : Expression of physical and subjective magnitudes of sound or (1979) noise in air.

ISO 1683 : Preferred reference quantities for acoustic levels. (1983)

ISO 1996 : Description and measurement of environmental noise. (1983) Part 1 : Basic quantities and procedures.

DIS 1996/2 : Part 2. Acquisition of data pertinent to land use.

DIS 1996/3 : Part 3. Application to noise limit.

DIS 7731 : Danger signals for workplaces-Auditory danger signals (1985) (TC 159)

DIS 7196 : Method for describing infrasound.

2.2 파워레벨의 측정

ISO 3740 : Determination of sound power levels of noise (1980) sources-Guidelines for the use of basic standards and for the preparation of noise test codes.

ISO 3741 : Determination of sound levels of noise sources-Precision (1975) methods for broad-band sources in reverberation rooms.

ISO 3742 : Determination of sound power levels of noise (1975) sources-Precision method for discrete-frequency and

narrow-band sources in reverberation rooms.

ISO 3743 : Determination of sound power levels of noise

(1976) sources-Engineering methods for special reverberation test rooms.

ISO 3744 : Determination of sound power levels of noise

(1981) sources-Engineering methods for free-field conditions over a reflecting plane.

ISO 3745 : Determination of sound power levels of noise

(1977) sources-Precision methods for anechoic and semi-anechoic rooms.

ISO 3746 : Determination of sound power levels of noise sources-Survey

(1979) method.

ISO DIS 3747 : Determination of sound power levels of noise sources-Survey method using a reference sound source. (1984)

ISO DIS 3748 : Determination of sound power levels of noise sources-

Engineering method for small, omnidirectional sources under conditions over reflecting plane. (1984)

ISO DIS 6926 : Determination of sound power levels of noise sources-characterization and calibration of reference sound sources

2.3 機械騒音

ISO 7574 : Statistical methods for determination and verifying

(1985) stated noise emission values of machinery and equipment.

1. Definition.

2. Method for determining and verifying labelled individually.

3. Simple (transition) method for determining and verifying labelled

values for batches of machines.

4. Determining and verifying labelled values for batches of machines.

ISO 4871 : Noise labelling of machinery and equipment.
(1984)

ISO 7779 : Measurement of airborne noise emitted by computer and business equipment
(1984)

DIS 9295 : Measurement of high frequency noise emitted by computer and business equipment. (1986)

DIS 9296 : Declared noise emission values of computer and business equipment (1986).

ISO 5131 : Tractors and machinery for agriculture and forestry-Measurement of noise at the operator's position.
(1982) -Survey method.

ISO 5135 : Determination of sound power levels of noise from air terminal devices, high/low velocity/pressure assemblies, dampers and valves by measurement in a reverberation room.
(1984)

ISO 6393 : Measurement of airborne noise emitted by earth-moving machinery Method for determining compliance with limits for exterior noise- Stationary test condition.
(1985)

DIS 6081 : Noise emitted by machinery and equipment-Guidelines for the preparation of test of engineering grade requiring noise measurement at the operator's position

DIS 7182 : Measurement at the operator's position of airborne noise from chain saws. (1981)

DIS 7216 : Agricultural and forestry wheeled tractors and

self-propelled machines-Measurement of noise in motion.
(1984)

DIS 7217 : Agricultural and forestry wheeled tractors and
self-propelled machines-Measurement of noise of motion.
(1984)

DIS 1680/1.2 : Test code for the measurement of airborne noise
emitted by rotating electrical machinery- (1984)
(Revision of R 1680)

Part 1 : Engineering method for the free field conditions over a
reflecting plane.

Part 2 : Survey method.

DIS 3889 : Measurement of noise emitted by compressor unit
including prime movers- (1985).

Part 1 : Engineering method for determination of sound power
levels.

Part 2 : Method for checking compliance with noise limits.

DIS 3481 : Measurement of airborne noise emitted by pneumatic tools
and machines- (1985).

Part 1 : Engineering method for determination of power levels.

Part 2 : Method for checking compliance with noise limits.

DP 6798 : Test code for the measurement of airborne noise emitted by
reciprocating combustion engines.

Part 1 : Survey method.

Part 2 : Engineering method.

2.4 청각

ISO 7029 : Threshold of hearing by air conduction as a function of age

and sex for otologically normal persons.

DIS 226 : Normal equal-loudness contours for pure tones under
free-field listening conditions. (Revision of ISO/R
226-1961) (1985)

ISO 454 : Relation between sound pressure levels of narrow bands of
(1975) noise in a diffuse field and in a frontally incident free
field for equal loudness.

ISO 389 : Standard reference zero for the calibration of pure tone
(1985) conduction audiometers. Second edition.

DIS 8253 : Pure-tone audiometric test method. (1985)

ISO 4869 : Measurement of sound attenuation of hearing protectors-
(1981) Subjective method.

ISO 6189 : Puretone air conduction threshold audiometry for hearing
(1983) conservation purposes.

DIS 6290 : Simplified method for a measurement of insertion loss of
hearing protectors of ear-muff type for quality control
purposes.

DIS 1999 : Determination of occupational noise exposure and
estimation of noise-induced hearing impairment. (1986)

DIS 6189 : Pure tone air-conduction threshold audiometry for hearing
conservation purposes.

DIS 7566 : Standard reference zero for the calibration of pure-tone
boneconduction audiometers. (1985)

DP 9612 : Guidelines for the measurement and assessment of exposure
to noise in the working environment

ISO Technical Report 3352 : Assessment of noise with respect to its

effect on the intelligibility of speech. Published 1974.

2.5 교통騒音

ISO 362 : Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles
(1981) Engineering method.

ISO 5128 : Measurement of noise inside motor vehicles.
(1980)

ISO 5130 : Measurement of noise emitted by stationary road
(1982) vehicles-Survey method.

ISO 7188 : Measurement of noise emitted by passenger cars under
(1985) conditions representative of urban driving.

ISO 3891 : Procedures for describing aircraft noise heard on the
ground.

Adendum 1 : Measurement of noise from helicopters for certification
purposes.

ISO 5129 : Measurement of noise inside aircraft
(1981)

ISO 3095 : Measurement of noise emitted by railbound vehicles.
(1975)

ISO 3381 : Measurement of noise inside railbound vehicles.
(1976)

정밀소음 측정기술에 관한 연구(기전연 93-12-18)

발 행 일 : 1993. 12. 31

발 행 인 : 원 장 서 상 학

연구책임자 : 선임 연구원 방 태 규

발 행 처 : 한국산업안전공단

산업안전연구원

기계전기연구실

주 소 : 인천직할시 북구 구산동 34-4

TEL : (032)513-0230

(032)518-6484~6

<비매품>