

냉장庫의 低騷音化

1. 머리말

근래의 생활환경은 인텔리전트화나 高級化 趨勢로 보다 쾌적한 환경을 구하는 요망의 소리에 호응하여 큰 변화를 계속하고 있다. 이에 비하여 住居환경은 地價 상승 등으로 인하여 여유 있는 空間을 갖는 것이 어려워지는 傾向에 있다.

이와 같이 좁은 住居환경에서 쾌적함을 구하는 상황 아래서는 家電製品의 低騷音化에 대한 요구가 점차 높아지고 있다. 이는 냉장고의 경우도 마찬가지로서 必らず로 低騷音은 냉장고의 기본 기능이 되어가고 있다.

한편 냉장고는 생활양식이나 식생활의 변화를 배경으로 더욱더 대형화(대용량화)되고 있다. 이에 수반해서 압축기는 能力向上이 시도되고, 그 음향 파워가 증대하는 경향에 있기 때문에 냉장고로의 低騷音化技術 개발이 중요 아이템이 되고 있다.

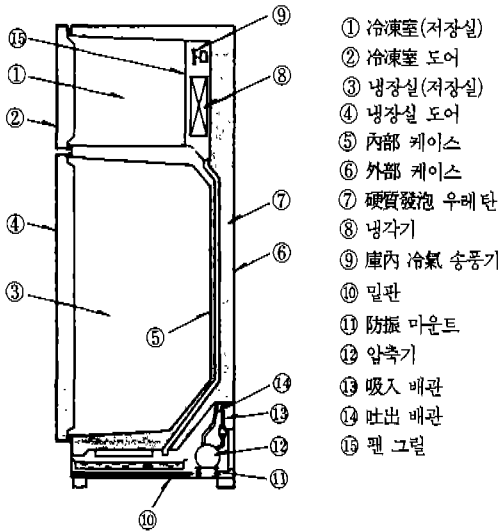
따라서 本稿에서는 소음 레벨의 대폭적인 低減과 더불어 종래 看過되어 왔던 起動音과 그 음질까지 고려한 종합 低騷音化技術을 개발하여 騷音 레벨 19dB(A)라는 톱 레벨을 달성한

MR-B50J형 냉장고 및 MR-CA42J형 냉장고로 제품화시킨 기반기술에 대하여 소개하고자 한다.

2. 冷藏庫의 구조

그림 1은 냉장고의 개략적인 구조를 나타낸 것이다. 背面 下部에 압축기가 있고, 압축기에서 압축된 冷媒는 鋼板製 外部 케이스에 설치된 파이프로 구성된 응축기에서 自然對流의 공기와 열교환하여 응축한다. 그 後에 캐필러리 튜브(Capillary Tube)에서 감압되어 냉동실 背面 측에 있는 핀 튜브(Fin Tube)형 열교환기內에서 氣化하고 열교환기를 통과하는 공기를 냉각한 다음 압축기로 되돌아와 冷凍 사이클을 구성하고 있다. 그리고 이렇게 냉각된 공기를 냉장고內의 저장실 各室에 송풍기로 순환시킴으로써 庫內를 냉각시키고 있다.

또한 송풍기는 팬 모터(Fan Motor)의 베어링부를 防振 고무로 支持하여 팬 그릴(Fan Grill)에 고정되어 있고, 압축기는 4개의 防振 고무와 코일 스프링으로 된 防振 마운트(Mount)를 거쳐 몸체 背面 下部에 있는 기계



<그림 1> 냉장고의 개략 구조

실內的 밀판에 設置되어 있다.

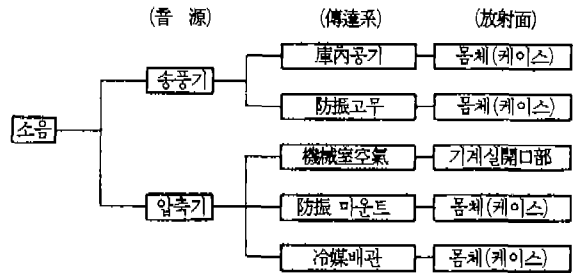
이 때문에 냉장고가 갖는 音源(加振音)은 冷媒압축용 압축기와 庫內 冷氣순환용 송풍기가 주된 것이 된다. 또한 냉장고의 몸체는 강판제 外部 케이스와 수지제 內部 케이스 사이에 硬質 우레탄폼을 充填, 접착한 샌드위치 구조를 하고 있다.

3. 冷藏庫 騒音의 발생요인과 傳搬經路

앞장에서 설명한 바와 같이 냉장고의 音源(加振音)은 압축기와 송풍기이지만 냉장고 소음은 이들 개별적인 소리와 더불어 이것들로부터 몸체에 진동이 傳達되어 몸체에서 外氣로 放射되는 간접적인 소음도 포함되어 있다. 그림 2는 냉장고의 음원으로부터 外氣 속의 受音點까지의 소리의 傳搬經路를 나타내고 있다.

송풍기→庫內공기→몸체→外氣의 空氣 傳搬音은 주로 회전수×날개數를 기본 주파수로 하는 회전음의 高調波成分과 1kHz 이하의 流體 소음을 주성분으로 하고 있다.

송풍기→防振고무→몸체→外氣의 振動傳達音은 앞서 말한 회전음과 전원주파수의 2배를 기본 주파수로 하는 팬모터의 電磁加振力에 의한



<그림 2> 냉장고 소음의 音源과 傳達經路

電磁音의 고조파성분을 주성분으로 하고 있다.

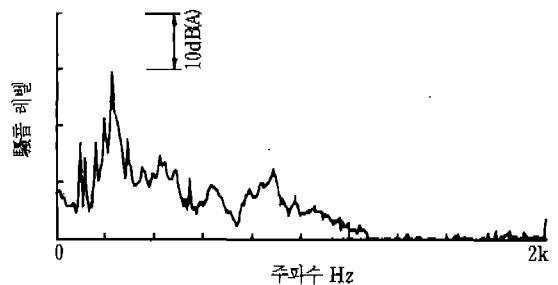
압축기→外氣의 空氣傳搬音은 압축기 모터의 슬롯 고조파성분이나 압축기 내의 流體振動에 의한 1~10kHz의 고조파성분이 주된 것이다.

압축기→防振마운트→몸체→外氣 및 압축기→冷媒배관→몸체→外氣의 진동 傳達音은 압축기의 가스 압축 토크의 변동에 起因하는 압축기 회전수를 기본주파수로 하는 회전음의 고조파와 압축기 모터의 電磁音을 주로 하는 1kHz 이하의 저주파성분이다.

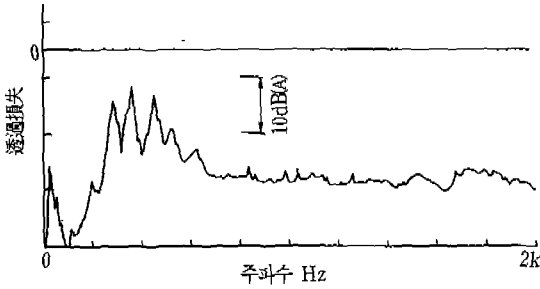
4. 냉장고 소음의 특징

가. 냉장고의 送風機音

그림 3은 최근에 개발된 냉장고의 送風機音 스펙트럼의 일례를 든 것이다. 이 냉장고는 프로펠러 팬을 사용하고 있으며 110Hz를 기본 주파수로 하는 回轉音의 고조파성분과 팬 모터 電磁音 1kHz 이하의 流體騒音에 의해 소음 레벨이 결정되고 있는 것을 알 수 있다.



<그림 3> 냉장고내 送風機音의 일례



<그림 4> 냉장고 저장실의 遮音特性

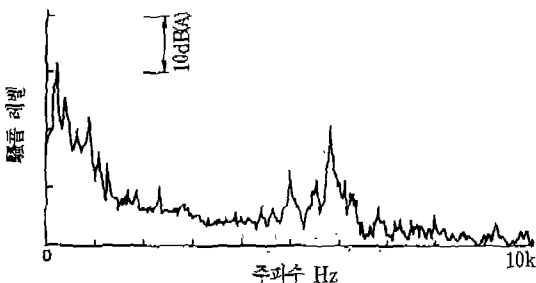
이는 냉장고의 送風機소음은 송풍기 자체가 냉장고 안이라는 密閉空間內에 施設되어 있기 때문에 그림 4와 같은 냉장고 안의 共鳴을 수반한 遮音特性이 부가된 것이 되기 때문이다.

나. 냉장고의 壓縮機音

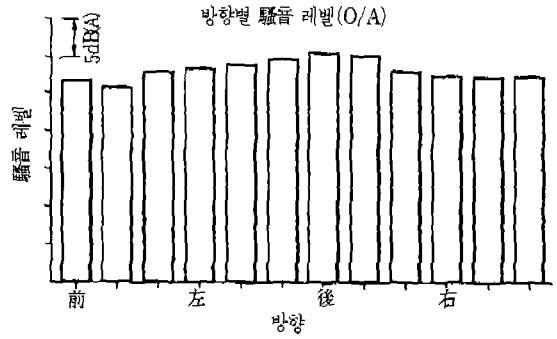
그림 5에 역시 냉장고의 壓縮機音 스펙트럼의 일례를 든다. 그림 6과 같이 냉장고의 각 방향마다의 소음 레벨을 표시해 보면 압축기가 있는 뒤쪽으로 갈수록 레벨이 높아진다. 이는 그림 7에 나타낸 바와 같이 냉장고 기계실에 설치된 압축기의 放熱用 開口部로부터 주로 압축기음의 2kHz 이상의 성분이 放射되기 때문이다.

5. 低騒音化 기술

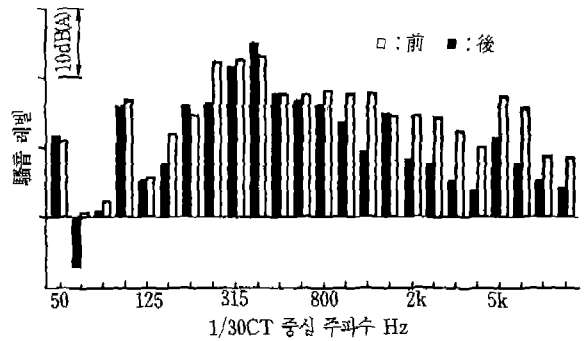
低騒音化 기술은 音源·傳達系·放射面의 각각에 관한 것으로 대별된다. 근본적인 低騒音化를 도모하기 위해서는 音源(加振音) 자체의 소리(진동)의 發生機構부터 대책을 강구하는 것이



<그림 5> 냉장고의 압축기 騒音의 일례



<그림 6> 냉장고의 방향별 騒音 레벨의 일례



<그림 7> 냉장고 소음 前後 비교의 일례

기본이지만 곤란한 경우가 많다. 여기에서는 제품의 소음특성을 살린 低騒音化를 시도하도록 주로 傳達系의 低騒音化技術에 대하여 설명한다.

가. 庫內 송풍기음의 低騒音化

냉장고와 같이 특수한 상황 아래서 사용되는 송풍기 소음의 低減에는 송풍기 單體의 騒音低減策을 강구함과 동시에 庫內 共鳴을 수반한 遮音特性을 고려하여 송풍기 소음을 낮추는 것이 효과적이다. 그러기 위해서는 다음 3가지 조건이 동시에 만족되면 가장 큰 효과를 얻을 수 있다.

(1) 회전음의 發生 그 자체를 억제하기 위하여 현재 많은 냉장고에 채용되고 있는 팬 正面에 근접해서 설치된 冷氣排出口를 없앤다.

(2) 回轉音의 기본 주파수를 냉장고內의 共鳴

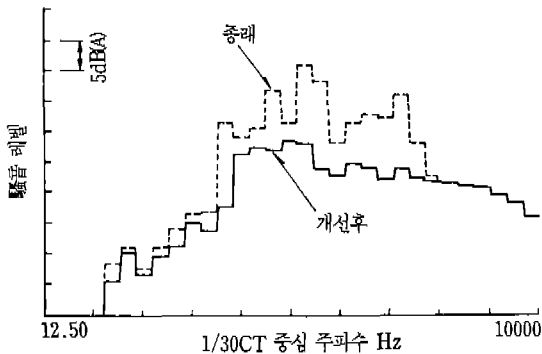
주파수로부터 떼어 낸다. 구체적으로는 그림 4에 표시한 특성을 갖는 냉장고의 경우는 700Hz 이상으로 한다.

(3) 流體 소음의 發生을 억제함과 동시에 主成分을 냉장고內의 共鳴 주파수로부터 떼어 낸다. 마찬가지로 700kHz 이상으로 한다.

이와 같은 3條件을 만족시키는 수단으로서 시로코 팬(Sirocco Fan)을 채용하여 냉장고에 搭載하였다. 시로코 팬은 일반적으로 프로펠러 팬보다 比騒音으로 10dB 정도 낮출 수 있는 것으로 알려져 있고, 또한 流體소음의 主成分도 1kHz 이상이어서 현재의 프로펠러 팬과 같은 지름 100 mm 정도라도 30개 정도의 날개 수로 설정할 수 있기 때문에 設定회전수를 2,000rpm으로 하면 앞서 말한 3條件을 만족시킬 수 있어 低騒音化를 꾀할 수가 있다.

그림 8은 시로코 팬을 도입한 냉장고와 종래의 프로펠러를 사용한 냉장고와의 同一 風量時의 소음 스펙트럼을 비교한 것의 일례이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 효과를 얻을 수 있는 주파수 帶域과 그 레벨은 냉장고 각각의 庫內 共鳴特性과 팬 單體의 소음특성 및 동작점과 그 환경 설정이 달라지면 각각 다르게 되는 것이다.

이는 단순히 시로코 팬을 搭載하면 靜音化가 이루어지는 것이 아니고 어디까지나 製品의 소음 특성을 파악해서 그 개선 조건을 만족시키는



<그림 8> 냉장고內 送風機音에 대한 개선 효과의 일례

최적의 시로코 팬을 선택한 결과이다.

나. 압축기 소음의 低騒音化

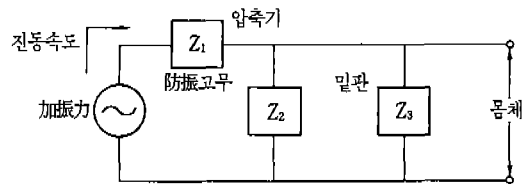
(1) 振動傳達音

압축기를 加振源으로 하는 진동 전달음의 傳達經路로서는 防振고무와 압축기를 施設하는 밀판으로 구성되는 마운트系와 吐出배관과 吸入배관으로 구성되는 配管系가 있다. 이 傳達系는 2自由度系로서 취급할 수가 있어 각 部에 대한 傳達力이 구해진다.

傳達力과 소리와 의 관계는 低周波數 영역에서는 비례관계가 성립된다. 그러므로 소리와 傳達系의 진동 가속도를 사용하여 소리/진동 가속도를 音響放射效率로 정의할 때, 이 음향방사 효율로부터 각 傳達系의 寄與率을 알 수 있으므로 개선하여야 할 傳達系가 명백해진다.

진동 전달음의 문제로는 防振 고무의 스프링 定數 설정보다도 문제가 된 주파수 영역에 있어서 放射面에 이르기까지의 구성부분의 共振에 의해 이너턴스가 높아지기 때문에 충분한 진동 遮斷效果를 얻지 못한다는 점이 있다.

구체적인 예로서 냉장고 마운트系의 100Hz 부근의 소리에 대해 설명한다. 그림 9와 같은 加振源과 防振 고무와 밀판과의 단순한 동가회로를 생각하여, 防振 고무와 밀판의 임피던스를 실험적으로 구하여 비교한 후 어느 정도 몸체에 加振力이 전달하는가를 추정함으로써 밀판의 共振에 의해 防振 고무에 의한 충분한 진동 遮斷效果를 얻을 수 없는 상태로 되어 있는 것을 알 수 있었다. 그러므로 防振고무가 충분한 진동 遮斷效果를 나타내도록 有限要素法에 의한



<그림 9> 냉장고 防振 고무系의 동가회로

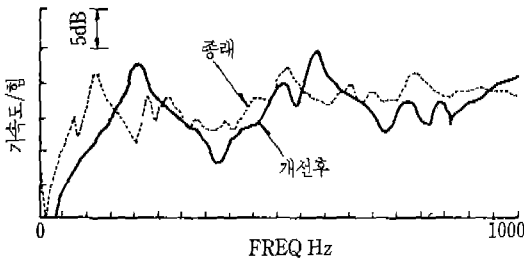
비틀림 에너지(Strain Energy)가 높은 부분을 檢索하여 그 부분의 斷面 2차 모멘트를 크게 함으로써 固有値를 높여 문제가 되는 주파수帶의 이너턴스를 낮추고 있다. 그림10에 나타내는 밀판의 이너턴스의 비교와 그림11에 나타내는 音響放射效率의 비교에 의해 그 효과를 표시한다.

(2) 空氣傳搬音

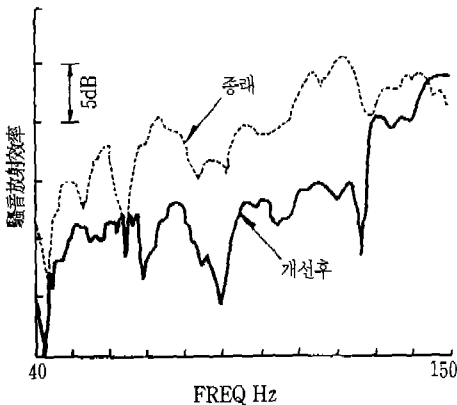
기본적으로 공기로 放射되어 버린 소리에 대해서는 遮音 또는 吸音처리를 하거나 能動制御를 하고 있다.

냉장고의 압축기소음 중, 직접 압축기에서 放射되는 소리의 主成分은 그림 7에 나타낸 바와 같이 주로 2kHz 이상의 高周波音으로서 비교적 간단히 처리할 수 있기 때문에 遮音·吸音처리를 하고 있다.

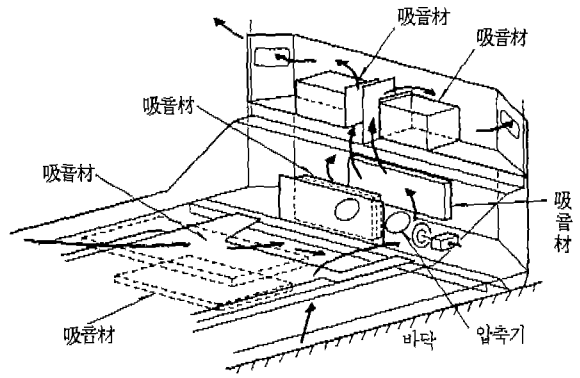
그림12에 최근 채용된 압축기를 施設한 기계



<그림10> 냉장고 밀판의 이너턴스



<그림11> 냉장고 밀판의 음향 방사 효율



<그림12> 냉장고 기계실의 사일런트 덕트 개략 構造

실의 사일런트 덕트(Silent Duct)의 구조를 나타낸다. 냉장고 기계실에 遮音·吸音처리를 하는 경우에는 압축기의 소요 放熱量에 따라서 開口面積이 결정된다. 그리고 開口面積比에 의해 대략 그 低減效果가 아래와 같이 예상된다.

$$\Delta L_p = 10 \log (A_1 / A_2) \quad (1)$$

여기에서

ΔL_p : 파워 레벨의 低減量(dB)

A_1 : 설정하는 開口面積(m^2)

A_2 : 종래의 開口面積(m^2)

또한 위의 식이 성립되는 조건으로서는 擴散音場이어야 하므로 遮音效果가 예상되는 주파수 영역은 대략 다음 식의 범위가 된다.

$$f > c \times (b \times d \times h)^{-K} \quad (2)$$

여기에서

b : 기계실의 폭(m)

c : 音速(m/s)

d : 기계실의 깊이(m)

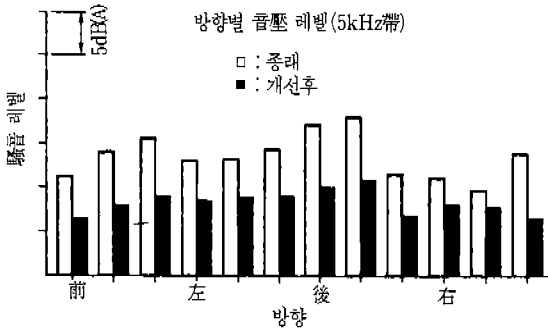
f : 주파수(Hz)

h : 기계실의 높이(m)

K : 실험 定數

아울러 기계실 壁面의 音壓 레벨이 같아야 하므로 다음 식을 사용하여 기계실의 방(房) 定數가 같아지도록 吸音材의 면적과 吸音率을 설정한다.

$$L_p = L_{pc} + 10 \log (1/S_r + 1/R) \quad (3)$$



<그림 13> 사일런트 덕트에 의한 壓縮機音 개선 효과의 일례

여기에서

L_p : 기계실 壁面의 음압 레벨 (dB)

L_{pc} : 압축기의 파워 레벨 (dB)

S_r : 기계실 面上의 음파 波面의 퍼지는 면적 (m^2)

R : 기계실의 방 定數 (m^2)

$$R = \sum diSi / (1 - \bar{\alpha})$$

S_i, di : 各面의 면적과 吸音率

$\bar{\alpha}$: 平均 吸音率

$$\bar{\alpha} = \sum diSi / \sum S_i$$

이와 같은 검토 아래 개발한 遮音·吸音 시방이 그림 12에 든 사일런트 덕트이고 그 減音效果를 나타낸 것이 그림 13이다.

다. 音質 개선

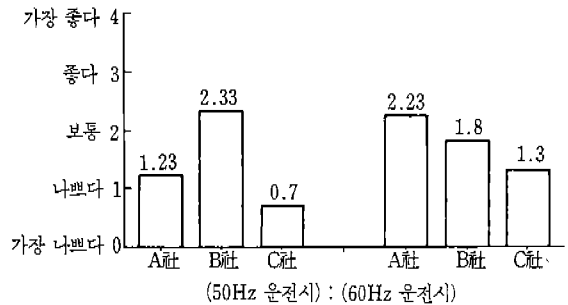
각 주파수 成分의 소리의 음압이 可聽音壓 이하이면 고려할 필요가 없으나 그 이상이면 騒音 레벨에 영향을 주지 않는 정도의 소리라도 인식이 된다.

본래 소리를 騒音으로 느끼느냐의 여부는 개인의 感覺문제이므로 청취자가 그 소리를 인식하고 불쾌하다고 느껴지면 騒音이 되며 소리가 크다는 것이 된다. 그렇게 되면 騒音 레벨이 적으므로 조용하다고 주장하여도 의미없는 低騒音化로 끝나 버린다. 그래서 “불쾌하다고 느끼는 소리는 무엇인가”를 명확히 하면서 음질 개선을 꾀하는 것이 앞으로 低騒音化 성공의 열쇠

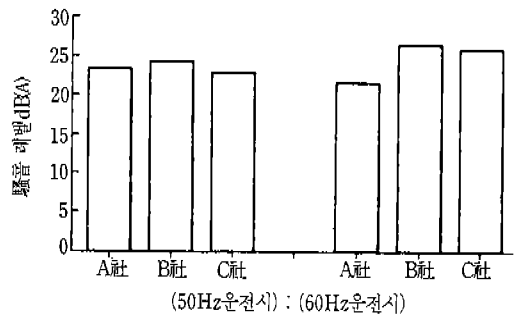
가 된다고 말할 수 있다.

음질 개선은 製品의 운전에서 정지까지를 대상으로 하고, 그 사이에 불쾌하다고 느껴지는 소리를 인식시키지 않도록 하는 것이다. 그러기 위해서는 소리의 변화나 비트(beat), 근접한 다른 주파수 成分으로부터의 10dB 이상 큰 純音 등과 같은 인식되기 쉬운 소리에 대하여 充分한 음질 평가를 하여 改善目標을 명확히 해 두는 것이 중요하다. 그리고 최종적으로는 알지 못하는 사이에 運轉(Soft Start)하고, 알지 못하는 사이에 停止(Soft Stop)해 있었다는 느낌을 줄 수 있는 “소리” 만들기를 지향해 나가야 할 것이다.

그림 14는 音色이 다른 3개 메이커의 4도어 냉장고에 대한 管能試驗 결과를, 그리고 그림 15는 그 냉장고의 騒音 레벨을 나타낸다. 여기서도 알 수 있듯이 騒音 레벨만으로 소리의 시끄러움(感覺의 크기)을 평가할 수는 없다. 여기서



<그림 14> 냉장고 소음의 音質評價 결과



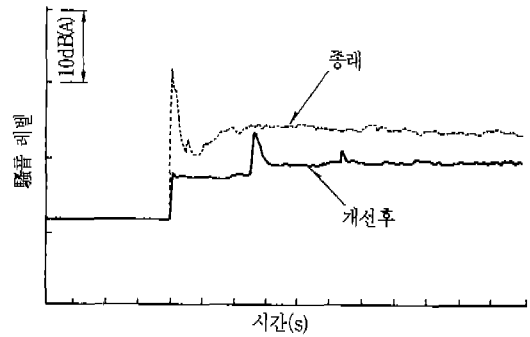
<그림 15> 騒音 레벨 비교

채택한 음질평가 방법은 그림 16에 나타내는 시스템 구성으로 하고, 일반 가정의 부엌을想定한 殘響室 안에서 제품의 運轉음을 테이프레코더에 수록한 뒤 一對比較法으로 相對比較하여 표 1과 같은 기준으로 MOS 값(척도 평균치)을 사용해서 감각을 定量化한 것이다.

그리고 음질상의 문제점을 구하기 위하여 原音과 原音を 필터에 의해 加工한 소리를 이 음질평가 방법으로 비교함으로써 추출하였다.

냉장고의 음질평가에서는 제품 자체가 사용자의 意志와는 관계 없이 주야를 불문하고 運轉·停止를 되풀이하기 때문에 특히 起動時의 소리에 대한 평가가 엄격하다. 이는 그림 17에 든 起動音 레벨의 일례인 종래의 냉장고와 같이 기동시는 暗騒音의 저소음 레벨 상태에서부터 급격히 騒音 레벨로 올라가기 때문에 실제의 騒音 레벨 이상으로 불쾌감을 느끼게 되는 것이다.

이러한 점을 고려하여 최근에는 그림 17의 개선 후의 냉장고 예와 같이 송풍기와 압축기의 起動·停止 타이밍을 제어하고 소음 레벨의 低減과 아울러 급격한 소음 레벨의 변화를 억제해서 音質改善의 최종 목표인 소프트 스타트·소



<그림 17> 起動時의 소음 레벨 일례

프트 스톱의 개념을 도입한 냉장고가 製品化되고 있다.

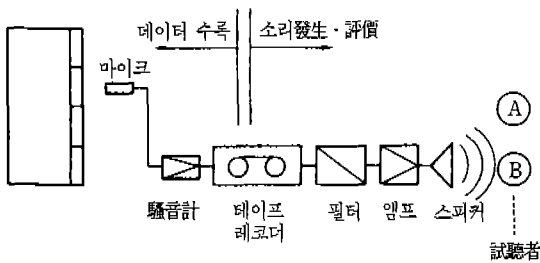
여기서 든 음지평가방법은 相對比較에 의한 것이기 때문에 문제점을 추출하는데 있어서는 개인차가 적은 결과가 얻어지지만 제품이 갖는 주파수 成分이 많을 경우 등도 있어, 目標 설정시에 사용하는 加工音 작성에 많은 시간을 요하는 점이나 실제적 냉장고의 起動停止음을 이용하여 聽覺系의 過渡應答特性을 검증하여야 하는 등의 과제도 많다.

6. 맺음말

최근에 개발한 MR-B50J형 냉장고는 20dB(A)를 하회하는 19dB(A)를 달성했지만 低騒音化의 요구는 계속되리라고 생각된다.

금후 저소음화의 展開로서는 前方뿐 아니라 全周圍의 소음 레벨에도 눈을 돌려 機器로부터 발생하는 음향 파워를 낮추는 방향으로 노력함과 동시에 音質面에서는 같은 소음 레벨이더라도 기분에 거슬리지 않는 音色을 창조하고, 또한 냉장고의 運轉·停止로 인한 소리의 변화를 알아차리지 못하도록 하는 소프트 스타트·소프트 스톱을 더욱 발전시켜 운전에서 정지까지의 소리를 고려한 종합 靜音化를 추진해 나가야 할 것이다.

本稿는 日本 三菱電機(株)의 諒解下에 번역한 것으로서, 著作權은 上記社에 있고 翻譯責任은 大韓電氣協會에 있습니다.



<그림 16> 音質評價 시스템 구성

<표 1> 音質評價기준

	정 도	점 수	사 랑 수
A	가장 좋다	4	1
B	좋다	3	m
C	보통	2	n
D	나쁘다	1	p
E	가장 나쁘다	0	q

주) $MOS = \frac{41+3m+2n+p}{1+m+n+p+q}$