

技術解説

가전기기의 소음제어 동향

정 칸 수
(충실대학교)

I. 서 론

공업기술의 발전에 힘입어 가전제품의 성능이 크게 향상되었다. 또한 생산자도 여럿이므로 소비자가 제품을 선택하는 기준에서 그 성능은 물론이지만 소비전력이나 모양새등이 중요한 위치를 점유하고 있다. 최근 경제성장에 힘입어 거의 100%에 가까운 보급율을 보이고 있는 가전기는 편안함, 여유등의 충족을 제공하는 제품만이 소비자의 선택을 받을 수 있으며, 이에 따라 편리성에서 쾌적성으로 질적변화가 요구되고 있다.

가전기기의 쾌적성 개선을 위해 리모콘, 가정자동화 혹은 예약기능 등의 기능적인 측면이 강조되는 것과 더불어 소음제어가 큰 비중을 차지하고 있다. 소음제어가 이렇게 중요해진 것은 주거환경의 변화와 생활패턴의 변화가 큰 원인으로 분석된다. 도시인의 주거환경이 아파트, 연립주택 혹은 다세대 주택등의 비좁은 집집에 따라 방과 방사이 혹은 집과 집사이에 방음시설이 충분치 못한 관계로 옆집의 세탁기 작동 소리가 들리게 되고, 더우기 직장을 찾는 주부들이 늘어남에 따라 밤 늦게까지 혹은 새벽에 가사를 보는 경향이 늘어나게 되어 가전기기의 소음은 가족과 이웃에 큰 피해요인이 되었기 때문이다. 즉, 보다 쾌적한 생활공간을 확보하기 위해서는 가전기기의 저소음화는 점점 중요한 선택의 기준이 되고 이러한 소비자의 요구에 부응해서 제조자도 많은 연구를 하고 있다. <그림 1>은 현재 사용되고 있는 가전기기의 소음

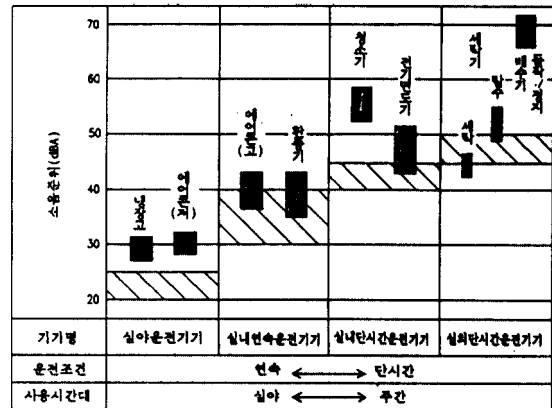


그림 1. 가전기기의 소음준위와 (굵은색) 희망 소음준위 (빗금)

정도와 앞으로의 희망사항(연구목표)를 보여주고 있다. 이 자료는 일본의 한 연구소자료이나 우리나라에서도 비슷한 경향을 보이고 있으며, 한 예로 금성사의 자체 시험결과 냉장고의 경우 27~30 dBA(냉장고 전방 1m에서)이다.

II. 가전기기의 소음원과 대책

가전기기의 소음원은 다른 일반의 전기기기와 같이 전동기 회전에서 발생하는 소음, 유체의 흐름으로 인한 소음, 베어링등의 마찰음 및 기계요소의 고유진동에 의한 진동소음등이 있다. 이외에도 세탁기에서는

표 1. 냉장고의 소음원과 발생현상

	진 동 측 변	소 음 측 변
발생부위	① 냉기 ② FAN의 BPF와 CABINET의 공간 ③ FAN MORTOR 진동 ④ FAN GUIDE SHROUD의 불균형에 의한 마찰 진동 ⑤ CAMP, 회전 진동(58 Hz 부위) ⑥ 압축 가스 백동	① 냉기 유로 저항 ② FAN의 BPF와 CABINET의 공간음 ③ FAN MORTOP 좌부 불균형 ④ FAN GUIDE SHROUD의 마찰음 ⑤ COMP. 회전소음 ⑥ 압축 가스 백동 ⑦ ACCUMULATOR의 냉매 확산음 ⑧ ON/OFF시 OLP 작동음
발생현상	① FAN의 회전에 의해 냉기가 SHROUD를 가전하여 CABINET 전체의 진동음발생(200 Hz 부위) ② FAN GUIDE SHROUD의 위치가 맞지않아 FAN 회전시 발생하는 진동 ③ COMP. 회전 진동 ④ FAN GUIDE SHROUD의 불균형에 ⑤ 기계설 PIPE 진동	① FAN에 의한 CABINET 진동에 의해 발생하는 "웅"하는 소리(200 Hz 부위의 HARMONICS) ② FAN과 GUIDE SHROUD의 마찰에 의한 "비라라라"하는 소리 ③ COMP. 회전 진동(58 Hz의 HARMONICS) ④ 압축가스 백동에 의한 이상 소음 ⑤ 기계설 PIPE 진동에 의한 이상 소음

(주) 삼성사 제공

변속기, 전자밸브, 혹은 제진기에서 큰 소리가 나기도 하며 내장된 벽압기 소음도 큰 몫을 차지하기도 한다. 그런데 <그림 1>에서 보는 바와 같이 심야에도 운전해야하는 냉장고의 소음을 낮추는 것이 가장 어려운 과제이므로 냉장고를 중심으로 검토하고자 한다.

냉장고에서 소음이 발생하는 곳과 현상은 <표 1>과 같다.

소음을 줄이는 최선의 방법은 소음원을 제거하는 것이다. 그러나 전동기와 같은 회전체가 있고 압축기에서와 같이 유체의 흐름이 있으므로 소음을 근본적으로 없앨 수는 없는 일이다. 현재 제조업체가 소음을 최소화하기 위한 노력을 모두 열거하기 어려우나 대체로 다음과 같은 것이 있다.

1)진동시스템의 구조개선

전동기나 압축기의 구조상계, 지지방법 개선등을 통하여 발생된 진동이 다른곳으로 전달되어 공진현상이 일어남을 방지하여 결과적으로 소음및 진동의 원인을 최소화하고자 하는 노력이다. 일본의 한 연구소에서는 압축기 내부분체를 압력용기에 직접 고정시키지 않고 스프링을 통하여 탄아매어서 압축기의 진동이 다른곳으로 전달되는 것을 최소화 하는 방법을 발표하였다. <그림 2>는 이렇게 했을 때의 소음감소를 보여주는 것으로서 흡수 납유등 기술적 어려움이 있었으나 기동시의 소음을 10 dBA나 줄일수 있었고, 앞으로는 더욱 연구해야할 과제이다.

2)저소음 압축기및 저소음 팬의 개발

냉장고의 가장 큰 소음원이다. 압축기인 경우 왕복

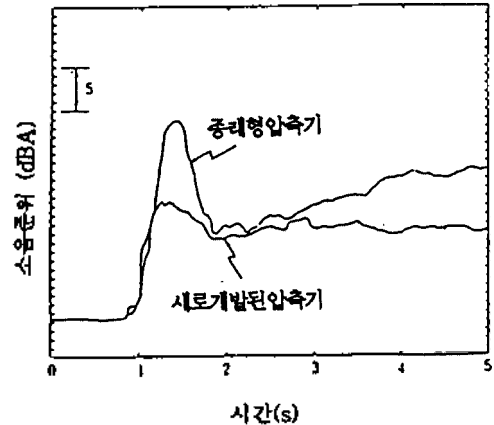


그림 2. 냉장고의 기동시 소음준위

동 압축보다 소음·진동이 적은 회전형 압축기의 채택이 검토되고 있으며, 전동기의 권선등을 개량하여 전계를 균일하게 만들므로써 소음·진동을 최소화 하려는 연구도 진행되고 있다. 또한 팬은 압축기보다 더 지속적으로 운전되므로 그 감소책이 중요시 되는 부분이다. 팬의 날개를 균질로 만들어서 균형을 유지하여 진동을 줄이고, 같은 풍량을 가지면서 낮은 회전수로 운전할 수 있는 날개의 개발을 서두르고 있다.

3)기 타

냉기의 흐름통로를 개선하여 유체의 흐름에 의한 소음을 최소화하기 위한 연구도 계속 진행되고 있으며 압축실을 밀폐형으로 하거나 흡음재를 써서 소음을 차단하는 방법도 사용되고 있다.

저급까지 가전기기의 소음원과 그 대책을 간략히 살펴 보았다. 그러나 소음(혹은 진동)의 발생 및 전달기구가 복잡하므로 수학적으로 완전히 해석할 수 없을 뿐 아니라, 해석된 부분도 그 대책을 수립하는 것은 현실적으로 어려움이 많다. 금성사의 실험결과에 의하면 같은 모델의 제품에서도 소음의 정도가 5dBA까지 차이가 났으며 이는 소음·진동을 제어하는 것이 그 만큼 어려움을 단적으로 보여주는 예이다. 실제에서 조립에 이르기까지 한마음으로 작업해야 하며 무엇보다도 숙련된 많은 Know-How가 축적된 기술자의 확보가 필요하다. <그림 1>에서 보여준 바와 같이 냉장고의 희망 소음준위는 20~25 dBA이고 지금까지의 방법으로 이를 실현하기는 어렵다. 그 대책으로 국내외 가전품 제작자들은 능동 소음제어 기술의 도입을 적극추진하고있다.

Ⅲ. 능동소음제어 기술의 도입

60년대에 그 개념이 소개되어 연구가 진행되었으나 구현상의 어려움으로 빛을 보지 못하던 능동소음제어 기술이 최근에는 고속연산이 가능한 신호처리 전용 칩의 양산체제가 확립됨에 따라 다시 그 연구가 활발해지고 있다. 가전기기 중 소음의 영향이 가장 큰 냉장고의 경우 앞절에서 언급했듯이 20 dBA까지는 소음 준위를 낮춰야하는데 수동적인 방법으로는 한계가 있으므로 능동 소음제어기법이 가장 먼저 연구되기 시작하였다.

일본의 도시바에서 이에 관한 연구를 하여 시제품을 제작하였음을 연구 발표하였다. 도시바에서 91년에 발표한 바에 의하면 흡음제동 수동방식으로 소음을 제거한 결과 냉장고 전면 1.0[m]의 거리에서 37 dBA이던 것이 능동소음제어 기법을 병행한 경우 7 dBA가 낮은 30 dBA의 소음준위를 얻을 수 있었다. 이는 희망 소음준위 20~25 dBA보다 5 dBA이상 높은 값으로 기술적인 연구가 더 진행되어야 하며 더우기 능동소음제어기를 채용하는데 추가비용이 약 35 만원선에 달하므로 제품가격의 상승요인이 커서 실용화에 큰 걸림돌이 되고 있다. 우리나라에서는 금성사의 창원 연구소에서 이와 비슷한 실험을 행하였으며, 1 dBA정도의 소음제거 효과를 얻었다고 보고한 바 있다. 아직은 이 분야의 연구가 초기단계이고 냉장고의 구조상 소리의 전달통로가 짧고 불규칙하여 능동소음제어에 기술적인 어려움이 있으나 앞으로 이에대한 연구가 진행되면 보다 큰 폭의 소음감쇄를

이룩할 수 있을 것으로 보인다.

이는, 공조용 덕트의 경우 능동소음제어 기법을 사용하여 (주)ANC와 숭실대학교 전기공학과의 실험실에서 15 dB정도의 소음감쇄 효과를 얻은 경험이 이를 뒷받침한다고 하겠다.

Ⅳ. 능동소음제어

일본의 도시바 연구소에서 연구발표한 내용을 중심으로 냉장고의 능동소음제어 기법에 대해 간단히 소개하고자한다.

4.1 모형화를 위한 음향통

냉장고의 소음원은 압축기의 전동기 회전에 따른 소음과, 압축가스의 백동에 의한 소음, 냉장실에서의 냉매 확산시 발생하는 소음, 전동기의 기동/정지의 제전기 작동소음 및 냉기를 냉장고로 보내기위한 팬과 그 진동 등으로 인한 소음이 있으며 이들 소음이 냉장고의 몸체등과 공진을 일으키서 발생하는 소음이 있다. 그러나 압축기의 전동기에 의한 소음이 가장 큰 영향을 미치므로 압축실의 소음을 능동제어하고자 그 음향통을 <그림 3>과 같이 모형화 하였다.

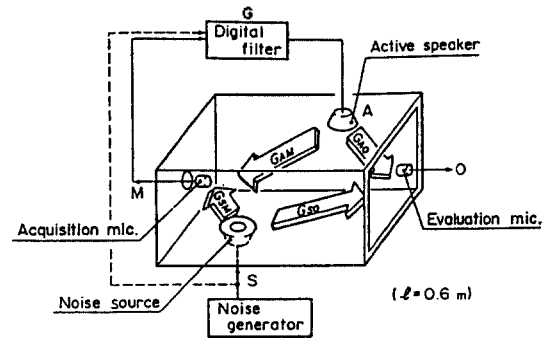


그림 3. 음향통의 모형

<그림 3>을 이해하기 쉽게 블록선도를 그리면 그림 4와 같이 된다. 이때 출력 O가 0이 되도록 하는 것이 목적이며 이에 적합한 디지털 필터 G를 구성하는 것이 필요하다.

그림 4의 출력점 O에서

$$G_6 S + G_6 A = 0 \tag{4.1}$$

이다. 그런데 능동소음제어의 스피커 출력 A는

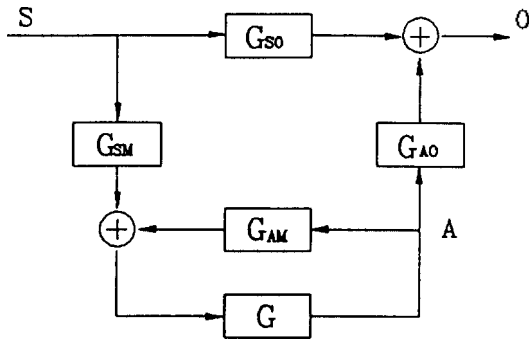


그림 4. 음향동 모형의 신호흐름 블록선도

$$A = (G_M S + G_{AM} A) G \tag{4.2}$$

이므로 위 두식에서 A를 소거하고 정리하면 필요한 디지털 필터의 전달함수 G는 다음과 같다.

$$G = \frac{G_{S0}}{(G_{S0} G_{AM} - G_{A0} G_M)} \tag{4.3}$$

4.2 능동소음제거를 위한 디지털 필터

소음원인 압축기의 진동기 소음이 일정한 주파수 성분을 갖는다면 실험으로(예를 들면, 임펄스 시험) 위 (4.3)식의 전달함수 G를 계산할 수 있고 이에 따라 디지털필터 G를 구성할 수 있다. 그러나 진동기의 회전속도와 부하의 크기등에 따라 소음원의 주파수가 변화하므로 디지털 필터 G를 고정시킬 수 없다. 따라서 적응제어 기법을 도입하여야 하며 DSP 칩을 써서 적응 FIR 필터를 구성하였다. 그런데 <그림 3>에서 보는 바와같이 스피커의 소리가 G_{AM}을 거쳐 서

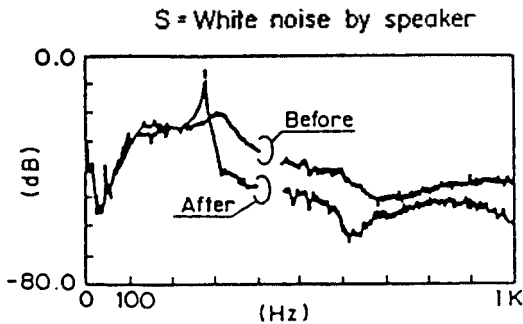


그림 5. 그림 3의 음향동 모형의 ANC 실험결과

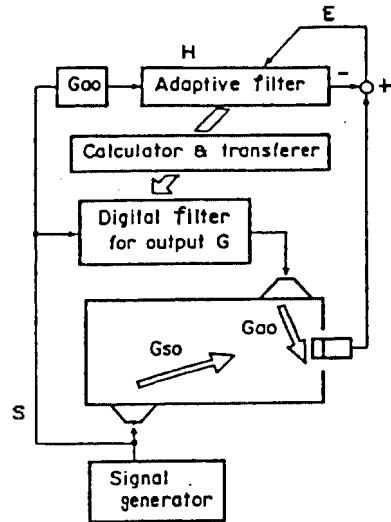


그림 6. 하울링 효과를 제거한 ANC시스템의 블록선도

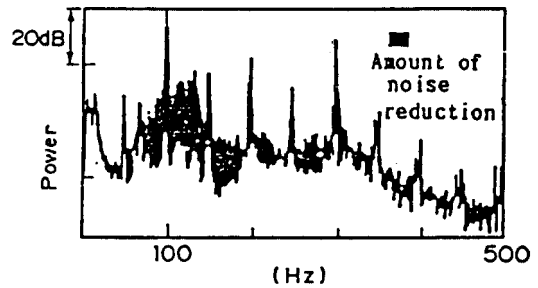


그림 7. ANC 실험결과(그림 6의 시스템)

용필터 G에 개환되므로해서 하울링(howling) 현상이 발생한다. <그림 2>의 시스템에서 실험결과 <그림 5>에서와 같이 $f = 273[\text{Hz}]$ 부근에서 하울링 발생하였으나 이로 인하여 디지털필터의 이득을 높이는 데 상당한 제약을 받았다.

이 문제를 해결하기 위하여 <그림 2>의 점선과 같이 진동기의 소음을 직접 디지털 필터의 입력으로 하고 검출마이크를 생략하였다. 즉 진동기의 소음은 진동기의 진동과 상호상관이 있으므로 진동검출기를 진동기에 부착하여 이신호를 디지털 필터의 입력으로 하였다. 이렇게 하면 디지털 필터의 구성이 복잡해지고 DSP 칩의 계산부담이 증가하는 문제가 있으나 하울링 현상은 근본적으로 해결되며, 이때의 블록선도는 <그림 6>과 같으며 모형으로 제작한 음향동에서의 적응 FIR 디지털 필터의 소음제거 효과는 <그림 7>과 같다.

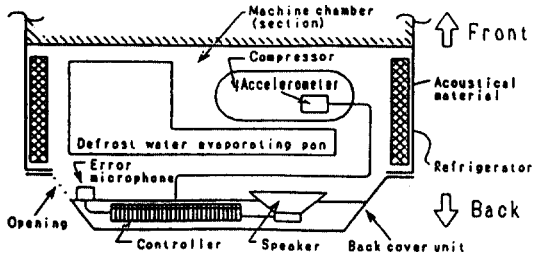


그림 8. 냉장고의 ANC시스템 개념도

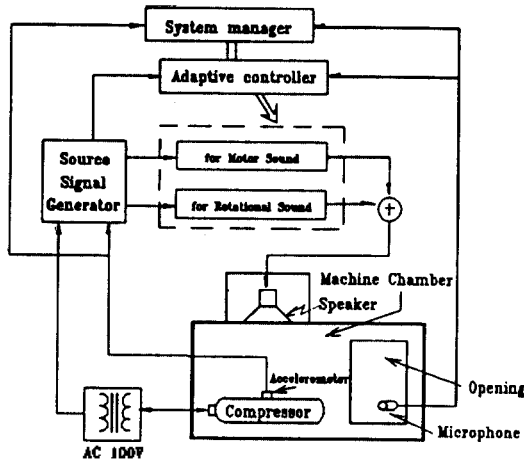


그림 9. 적응 디지털 FIR 필터의 구성도

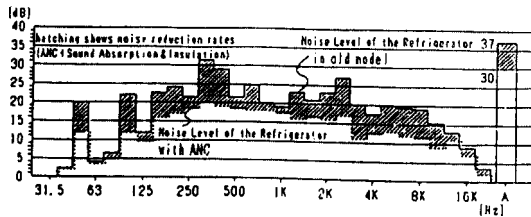


그림 10. 냉장고의 소음 특성과 ANC의 성능(도시바)

4.3 실험 및 결과

〈그림 8〉은 도시바의 모델 GR-W40NVI 냉장고의 뒷면 바닥 부분에 있는 능동소음제어 시스템의 구성도이고 〈그림 9〉는 하울링 현상이 없도록 재구성한 능동소음제어 시스템의 블록선도이다. 〈그림 10〉은 기계설을 밀폐하고 흡음재를 사용하는 등 수동소음 제거기술만을 사용했을 때와 능동소음제어 시스템을 같이 가동하였을 때의 주파수별 소음준위를 나타낸

다. 그림에서 보는 바와같이 전체 소음준위가 냉장고 전면 1[m]에서 37 dBA이던 것이 능동소음제어 시스템을 가동함으로써 30 dBA로 줄었다.

앞에서 언급한 바와같이 7 dBA는 만족할만한 결과는 못되지만 상당히 많이 개선된 것이다. (주)금성사에서 행한 비슷한 실험에서는 약 1 dBA의 소음 감소효과를 얻었다(그림 11). 이는 전동기의 진동신호로부터 소음원을 추정하는 신호발생부분의 기초연구부족에 한 원인이 있으며 또 한편으로는 도시바의 경우는 능동소음제어에 편리하도록 음향통을 새로운 설계한데 반해 금성사의 경우는 기존의 음향통을 그대로 사용했기 때문으로 분석된다.

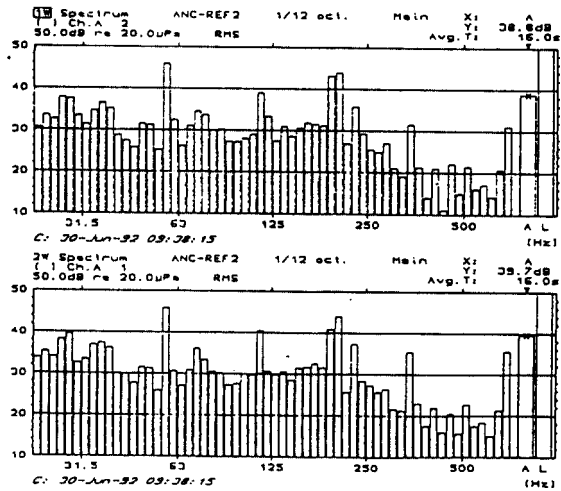


그림 11. 냉장고의 소음특성과 ANC의 성능(금성사)

V. 결 론

가전기기 중에서도 그 사양이 가장 엄격한(소비자의 요구가 큰) 냉장고를 중심으로 소음제거를 위한 연구상황을 살펴보았다. 소음원이 여러곳에 분포되어 있으며 경제성을 고려해야 하므로 가전기기에서의 소음제거기술의 연구는 아직 시작단계라 하겠다. 그러나 소음이 인체에 미치는 효과가 크고 특히 소음공해에 시달리는 도시인의 욕구를 충족시키기 위해서는 가전기기의 소음제거기술은 매우 중요한 의미가 있다. 현재 발표되기는 일본의 도시바, 우리나라의 금성사등이 냉장고에서 능동소음제어 시스템을 구현하고자 실험을 행하였으며 다른 가전기기 제작

회사에서도 이 분야의 연구를 위한 준비를 하고 있거나 이미 시작된 단계에 있다.

그러나, 도시바의 경우 7 dBA, 금성사의 경우 1 dBA의 소음감소효과에 그친점으로 보아 기술적인 연구가 더 진행되어야 한다. 특히 대학에서 이 분야의 기초연구가 보다 활발히 진행되어야 하며 그래서 기술적인 문제해결과 아울러 구현하기 위한 비용을 줄일 수 있어야 한다.

현재 이 분야의 연구가 시작단계이므로 미치 않은 장래에 기술적인 문제가 해결되고 그러면 비용분배는 대량생산으로 해결 될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. "가전기기의 소음대책연구," 91. 금성사 전기연구소
2. "냉장고의 소음관련 연구" 93. 대우전자연구소
3. 안병하, 임금식 "가전기기에 있어서의 능동소음 제어" 92. 9. 능동소음제어의 연구동향과 적용사례 학술회의 논문집
4. S. Sujuki와 6인 "a basic study on an active noise control system for compressor noise in a refrigerator" 91. 4 international symposium on Active control of sound and vibration
5. 정찬수의 3인 "능동소음제어의 실시간 구현" KACC90.
6. 정찬수의 3인 "적용제어 기술에 관한 연구" 90. 한국과 학재단 복작기초 연구보고서

▲정 찬 수(鄭 讚 壽)



1949년 8월 10일생
 1968년 1월 : 경북대 사대부고 졸업
 1972년 2월 : 서울대학교 전기공학
 학과 학사
 1980년 2월 : 서울대학교 전기공학
 학과 석사
 1987년 2월 : 서울대학교 전기공학
 학과 박사
 1975년 7월 : 해군중위로 예편
 1976년 9월 ~ 1981년 2월 : 동양
 공업전문대학 전기
 과 전임강사, 조교
 수

1981년 3월 ~ 현재 : 숭실대학교 전기공학과 조교수,
 부교수, 교수

※주관심분야 : 적용신호처리 및 적용제어(특히, 능
 동소음 제어시스템)