

소음(騒音)의 Active Control

(진동과 소음의 Active Control)

浜 田 晴 夫
 동 경 전 기 대 학
 번역 / 성 원 에 드 워 드 (주)
 이 성 복

1. 서 론

본장에서는 소음의 Active제어(Active Noise Control : 이하 ANC) 기술의 내용을 중심으로 기술한다.

ANC란 종래의 흡음현상, 공명현상 등을 이용한 소위 수동적 소음기술이 아니며, 기본적으로 소음에 대해서 다른 음파(2차음원)를 만들어, 음파간섭에 의해 결과적으로 소음을 줄여줄 수 있도록 하는 기술이다.¹⁾²⁾³⁾

ANC의 연구 역사는 오래되었지만, 최근까지 실용화되지 않고 있다. 그렇지만 여러가지 응용분야에서 지금까지 여러번 주목을 받아왔다. 이 배경에는 전자기술, 특히 Digital 신호처리기술의 발전에 의해 이 기술을 현실화할 수 있는 가능성이 급격하게 높아 진정 및 흡음재등을 이용한 수동적인 소음기술로는 어려운, 특히 낮은범위(대개 500Hz이하)에서의 높은 소음효과가 기대되어지고 있는 점 등이다.¹⁾²⁾⁹⁾ 이것들이 현재 여러가지 응용에 대해서 매력적인 장점이 되고 있다. 우선 제

어방식이라는 관점부터 이 분야를 설명한다.

2. 제어방식의 개요

현재 ANC를 실현하기 위한 기본적인 제어방식으로서 다음과 같은 것이 연구 도는 실용화 되어 있다.

- ㉠ Feedforward 제어방식
- ㉡ Feedback 제어방식
- ㉢ 현대제어이론에 따른 제어방식
- ㉣ 적응예측 제어방식

각각의 제어방식에 관해 단일 Channel제어, Multi Channel제어가 고려되고 또 평가대상인 물리량으로는 음압의 2승평균을 기준으로 채용하는 경우가 많지만 일부 목적에 따라서는 음향 Intensity, 진동가속도등 다른 물리량을 대상으로 하는 경우도 있다. 우선 각각의 제어방식의 특징을 간단하게 기술하는 것으로 Active Control을 알아보자.

3. Feedforward 제어방식

Feedforward 제어방식은 현재 가장 많이 실용화 되어있는 방식으로 소음의 대상으로 되는 2차음장에서의 소음과 Coherent(밀접)한 Reference신호(통상소음의 원인이된 1차음장(音場)에서 검출됨)가 얻어지는 경우에는 대단히 유효한 방식이다.

공조 Duct소음⁷⁾인 경우 소음(消音) Duct 상류측에서 검출되어진 신호나 자동차 실내의 울림소리(Booming Noise)의 소음에 쓰이고 있는 Engine회전과 동기시킨 정현파신호 등이 Reference신호의 일례이다.^{8) 10)}

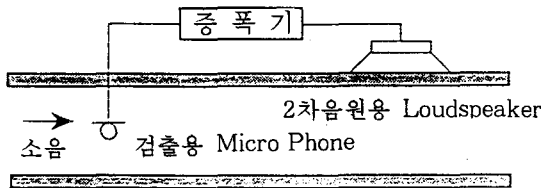


그림 1 P.Lueg가 제안한 Active 소음 System

그림 1은 Micro Phone, 증폭기 및 Loud Speaker로 이루어진 단일 Channel System으로 최초로 제안한 P.Lueg(1936)의 특허출원도 이것과 동등한 것이었다. (ANC System에서는 이러한 Sensor, Controller, Actuator (Loud Speaker)의 3가지 기본 Element가 중요하다.

우선 동작원리로 처음에 강조하지 않으면 안되는 점은 공기중의 음파의 전달속도가 전기신호의 속도보다도 아주 느리다는 사실이다. 즉 음파가 검출되는 장소(Duct 상류측의 Microphone위치)에서 하류측으로 옮겨지고,

소음이 행해지는 장소에 도달할 때까지 걸리는 시간의 승부이다. 이 시간내에 Microphone에 전달된 소음 Sample을 전자회로로 처리하고 전달음과 동진폭, 역위상의 2차음(부가음)을 Louds Peaker에서 발생시킬 필요가 있다. 그러면 하류측에 전달된 소음과 2차음과의 간섭현상을 생각해 보자.

P.Lueg의 System인 경우 신호 처리는 하나의 증폭기로 구성되어 있기 때문에 만약 소음이 정상인 단일주파수인 경우 2차음을 발생시키는 Loudspeaker의 배치장소가 소음에 대해 180도의 위상반전을 일으켜 시간지연을 주는 장소로 되기 때문에 이른바 파괴적 음파 간섭이 일어난다.

여기에서 중요한 것은 2차음의 정밀도이다. 대상으로 하고 있는 음이 정현파인 경우 회전하는 Vector로 생각하면 알기 쉽다. 현실적으로 2차음을 소음인 1차음과 정확한 동진폭, 역위상으로 하는 것은 곤란하며 그림 2에 나타낸 것과 같이 진폭, 위상의 Mismatch를 일으킨다. 예를 들면 20dB의 소음 감쇠를 얻기 위해서는, 가령 동진파의 경우에도 허용된 위상의 Mismatch는 4.7도 이내로 할 필요가 있으며 또 같은 동위상의 경우에도 진폭의 Mismatch는 0.9dB이내로 머무르게 할 필요가 있다. 더구나 요구되는 소음감쇠 30dB에 대해서는 각각 2.8도이내, 0.28dB이내의 고정밀도가 요구된다.

이것은 Analog처리로는 대단히 어려운 기술이지만 뒤에 설명한 것과 같이 근래의 LSI 기술에 따른 Digital 신호처리의 발달은 이것을 현실화하게 하였다. 또 정현파상의 소음이 아니고 복잡한 파형의 경우에도 그것을 구성한 모든 주파수 성분의 위상과 각각 역위상

으로하면 광범위한 소음제어가 가능하다. 만일, 동작환경이 정상이고 Microphone, Loud-speaker등으로 된 구성요소의 특성이 선형으로 시간에 따라 변하지 않는다면 최적의 Controller 특성은 오직 1개의 고정된 것으로 정해지지도 모른다. 그렇지만 음향계에는 온도등의 환경변화, 경시변화 등으로 전달계의 특성이 변화하기 쉽기 때문에 시간의 경과에 따른 최적의 Controller 특성도 그러한 제변동에 따라갈 수 있도록 최적화할 필요가 있다. 그래서 고정도를 유지하면서 적절한 제어를 할 필요성 때문에 알맞은 Filter를 사

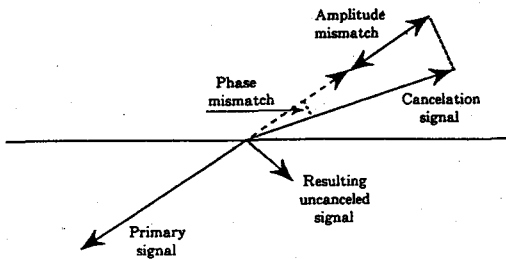


그림 2 정현파상소음의 음파간섭에 관한 Spectral 표현

그림 3은 그림 2와 같은 Duct계의 소음 System을 표시했지만 Lueg의 System과 달리 Controller의 특성을 단순한 증폭기기 아닌 전달함수 $T(w)$ 로 쓰고 있다. 또 2차음원에서 하류측의 Error Microphone에 도달하는 특성을 전달계수 $C(w)$ 로 한다. 그러면 이 소음 System은 그림 4와 같이 등가회로로 나타낼 수가 있다. 여기서 $d(w)$ 는 Error Microphone 위치에서의 소음을 나타내고 $e(w)$ 로 음파간섭된 결과, 즉 잔류신호를 나타내는 것으로 한다.

같은 그림에서 $e(w)$ 는 다음식과 같이 됨

용한 제어기술이 Active소음(消音)에 응용되고 있다. 이것은 Active소음을 실용의 영역으로 끌어올리기 위한 필수 기술이라 말할 수 있다.

(1) Feedforward Controller(주파수 영역에서의 해석)

우선 Duct계의 Active소음에 쓰이는 Controller의 특성을 주파수영역에서 생각해 본다. 이것에 의해 Controller 설계의 기본적인 사항이 이해된다.

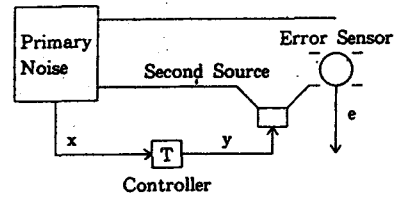


그림 3 Duct 소음에 대한 Active 소음소음(騒音消音)

을 알 수 있다.

$$e(w) = d(w) + T(w) C(w) x(w) \quad (1)$$

따라서 제어 Error $e(w)$ 가 어떤 의미로도 최소로 되도록 Controller $T(w)$ 을 실현하는 것이 바람직한 것을 알 수 있다.

통상은 Error 신호 $e(w)$ 의 2승 평균값 $E(e \times (w) \times e(w))$ 을 평가기준 $J(w)$ 로 취하는 경우가 많다.

나중에 설명할 FIR(Finite Impulse Response) Filter의 경우 2승 평균값을 평가

기준으로 하면 이점이 아주 많다. 그러면 $J(\omega)$ 는 간단한 계산으로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$J(\omega) = (e \times(\omega)e(\omega)) = S(\omega) \tag{2}$$

$$= T \times(\omega) A T(\omega) + T \times(\omega) b + b \times T(\omega) + c \tag{3}$$

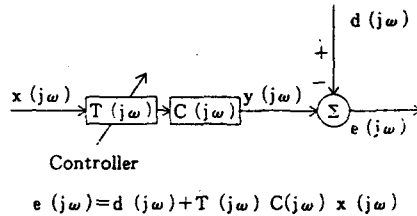


그림 4 그림 3의 등가 Block Diagram

여기서 'A = 'C × (ω)', S_{xx}(ω), 'C(ω), b = C × (ω)' S_{xd}(ω) 및 c = S_{dd}(ω)이며 S_{xx}(ω), S_{xy}(ω)는 식(2)의 정의에 따라 각각 Auto Power Spectral, x와 y간의 Cross spectral을 나타낸다.

(ω)], 허부 Imag [T(ω)]각각을 좌표축으로 하여 음이 아닌 값을 가진 Ball상의 곡면으로 되어 있는 것을 나타냈다. 즉, 하나의 Global한 최소값을 가진 것을 의미한다. 최소값을 갖는 때의 T(ω), 즉 최적 Filter T_{opt}(ω)는 J(ω)을 Real [T(ω)], Imag[T(ω)]로 각각 편미분하여 0으로 한 것으로 다음과 같이 구할 수 있다.

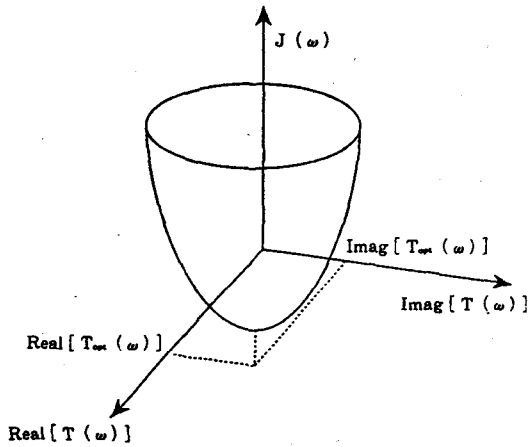


그림 5 성능함계수 J의 모양

$$T_{opt}(\omega) = \frac{-S_{xd}(\omega)}{C(\omega) S_{xx}(\omega)} \tag{4}$$

식(3)의 J(ω)는 명확하게 Controller T(ω)의 실부(實部) Real [T(ω)], 허부(虛部) Imag [T(ω)]에 관한 2차형식(Quadratic function)이다. 이 의미는 성능함수 J(ω)가 그림 5에 나타낸 것과 같이 실부 Real [T

이상의 주파수영역 해석에서는 Controller의 인과성(因果性) 조건등을 고려하지 않는 것에 유의할 필요는 있지만, 식(4)는 최적 Filter가 충족해야할 특성을 정확하게 표현하고 있다. 즉 최적 Filter는 2차음원에서 Error Microphone사이의 전달함수 C(ω)의 역특성과 입력 X(ω)부터 Error Microphone 위치 까지의 소음 d(ω)사이의 가상적인 전달함수 (단 역위상일 것)을 실현하지 않으면 안되는 것을 알 수 있다. 이 최적의 Filter T(ω)을 도입한 때 어느정도의 소음(消音)이 달성되는 가는 S_{ad}(ω) 즉, 입력과 소음(騒

音)간의 상관 정도(정확하게는 Coherence 함수를 사용해서 정량적인 평가가 가능하다)로 그 상한이 결정된다.

(2) Feedforward Controller(시간영역에서의 해석)

다음에 FIR Filter를 이용한 Controller을 실현하는 것으로, 이번에는 시간영역에서의 최적 Filter의 답을 구해보자.

그림 6은 잘 알다시피 적응 FIR Filter를 나타내고 있다. 여기에서 $x(n)$ 은 Filter로의 입력, $d(n)$ 은 희망신호 $e(n)$ 은 Error신호를 각각 나타냈다(모두 표본화시킨 Sample값 표현으로 기술하고 있다). 적응 Filter W 는 알맞은 적응 Algorithm에 의한 2승평균오차 $E(e_2)$ 가 최소로 된 것으로 각 Sample마다 Filter계수를 갱신하여 가장 알맞은 Filter로 넣어주는 것으로 가깝게 할 수 있다.

그런데 앞의 Duct내의 소음 System 그림 3에서도 밝힌 것과 같이 일반적으로 ANC에는 2차음원(Loud Speaker)으로부터 Error 검출 Sensor(통상 Microphone이 많다)까지의 2차음양에 대한 전기음향계가 존재한다. 이 계를 경유하여 2차음을 구동(驅動)하고 또 음과간섭후의 제어결과(Error)가 평가된다.

따라서 이 2차음양의 전기음향계를 C 로 하면 제어계는 그림 6(b)와 같이 Block 그림으로 되는 것으로 이해할 수 있다. 이것은 Echo Canceller 등 적응 Filter의 일반적 응용과는 달리 Error신호가 Controller내부에서 전기신호로서 계산에 의해 구할 수 없다는 것을 의미하고 있다. (Error 즉, 제어결과는 공간에서 Sample할 필요가 있다.)

한편 같은 그림 (c)에는 C 와 W 의 순서를

바꾸어 입력 $x(n)$ 이 C 를 통과한 신호를 $r(n)$ (Reference신호라 부름)이라 하고 Digital Filter W 의 입력으로 하고 있지만 이것은 Filterd-x Algorithm이라고 불리우는 적응 Algorithm을 뒤에 도입하기 위해서이다. 따라서 Error신호는

$$e(n) = d(n) + \sum_{i=0}^1 w_i r(n-i) \quad (5)$$

또는 Vector 표현으로 간결하게

$$e(n) = d(n) + W^T r(n) \quad (6)$$

로 표시된다. 여기서

$$w = [w_0, w_1, \dots, w_{L-1}]^T,$$

$$r(n) = [r(n), r(n-1), \dots, r(n-1)]^T \text{ 이다.}$$

이것에 의해 Performance함수는

$$\begin{aligned} J &= E[e^2(n)] \\ &= E[d^2(n) + W^T r(n)d(n) + d(n) r^T(n) \\ &\quad w + W^T r^T(n)r(n)W] \end{aligned} \quad (7)$$

로 된다.

이것은 Vector w 에 관한 정정치(正定値) 2차형식으로 w 의 각 Filter 함수를 좌표축으로 하여 다차원공간에서 Performance함수는 Ball상의 곡면(차수가 많게 되면 기하학적으로 그려질 수 없지만 선형대수적으로는 용이하게 확장되리라 생각된다)을 갖는다.

이 경우 Performance함수는

$$\begin{aligned} W_{opt} &= E[(r^T(n))^{-1}] \\ E[r(n)d(n)] \end{aligned} \quad (8)$$

로 하나의 최소값을 받는다.

밝혀진 최적 Filter Wopt는 Reference 신호 $r(n)$ 의 자기상관 matrix $[E(r^T(n)r(n))]$, 및 $r(n)$ 과 $d(n)$ 와의 상호상관 Vector $[E(r(n)d(n))]$ 로 기술된 이른바 Winer Filter의 이산판(離散版)인 것을 알 수 있다.

현실의 응용에서는 자기상관함수, 상호상관함수 등은 온도등의 환경변화, 경시변화 등으로 변동하는 비정상적인 환경인 것이 보통이다. 따라서 Performance 함수의 곡면(오차곡면)이 불규칙하게 변동하는 중에 항상 Ball상의 곡면의 낮은 쪽을 추구하고 최적인 Filter 함수를 산출할 수 있는 순차적인 Algorithm이 필요하다. 실용적으로는 실시간처리를 전제로 하고 있기 때문에 필요한 계산량과 성능(예를 들면 수렴속도(收束速度), Robust성(性))등을 총합적으로 판단하여 적응 Algorithm을 선택하게 된다.

LMS Algorithm(또는 그 개량판)을 위에서 설명한 Block 그림(그림 6)에 적용시킨 Filter

-x LMS Algorithm은 그 대표적인 예이다.

(3) Multi Channel.Feed Forward Controller

Duct내 소음의 제어는 통상, 평면과 전반(傳搬)을 가정한 1차원에서의 응용이라고 생각되지만 Duct의 구경이 크게 되면 평면과전반은 가정할 수 없게 되기 때문에 단일 Channel의 제어로는 넓은지역은 제어할 수가 없다. 또 3차원공간에서의 응용에서는 말할 필요도 없이 제어의 규모를 일반적인 Multi Channel의 제어로 확장하여 응용할 필요가 있다(그림 6 참조). 그래서 중요한 것은 무엇을 제어의 평가함수(제어규범, Cost함수 등의 용어로 표현하는 일이 많다)로 하는가이다. 여기에서 설명한 것과 같이 단일 Channel의 응용에는 제어의 규범으로서 음압 p 의 2승평균 $E[p_2]$ 를 취한 한편 다(多) Channel의 경우에는 다시 관측점에서의 합(Sum of Mean Square Error)을 평가함수로 하는 경우가 많다.¹³⁾

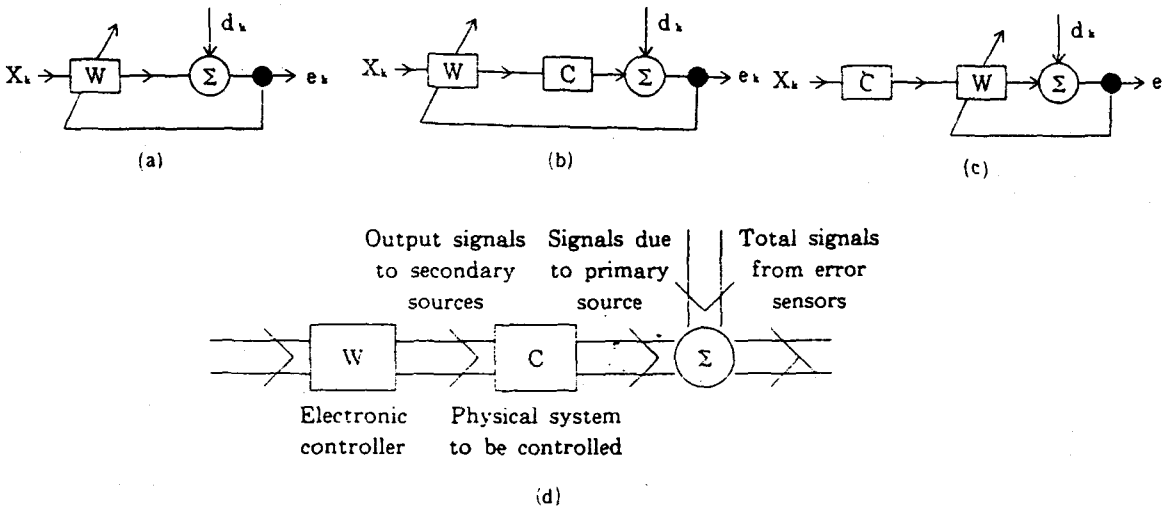


그림 6 Filter-x Algorithm

이 평가함수에 의한 자연형으로 Multi Channel으로의 확장이 행해진다(음장등화 등 다른 응용에서도 같은 Multichannel 제어로의 확장이 행해지고 있다.¹⁴⁾ 이 경우 적용 Algorithm으로서는 Multiple Error Filtered -x Algorithm으로 부르는 LMS(Least Mean Square) Algorithm을 기본으로 한 제어 Algorithm이 널리 이용되고 있다. 이것은 다음식에 따라서 매(每) Sample한 마다 Filter함수를 갱신하는 Algorithm이다.

$$W(n) = W(n-1) - \alpha R^T(n-1)e(n-1) \quad (9)$$

여기서 R은 Single Channel의 경우과 같이 2 차음원 Error Microphone사이의 Impulse 응답과 입력신호를 집어넣은 신소를 요소로한 Matrix이다.

식(9)는 대단히 일반적이지만 2차음원, Error Microphone의 수가 증가함에 따라 막대한 계산량이 필요하게 된다. 그렇기 때문에

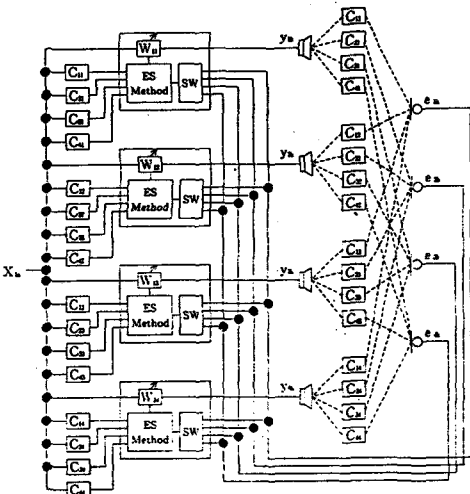


그림 7(a) ES법에 의한 ANC System의 구성 예

1회의 Filter 갱신에 1개 또는 복수개의 Error 신호만을 사용하고, 연이은 Filter계수 갱신에 쓰이는 Error 신호를 Scanning 해두는 간편한 갱신 Algorithm(Error Scanning (ES)법으로 부르고 있다)가 제안되고 있다.¹²⁾

그림 7(a)는 입력 1Channel, 2차음원 수 4, Error Microphone 수 4인 경우(Case 1-4-4로 부름)의 Active소음 System을 나타내고 있다. 이 그림에서는 ES법에 의해 적용 Filter의 계수갱신을 하는 모습을 나타내고 있다. 필자는 국소공간(예를들어 인간의 머리 주변등)에서의 Active소음의 연구에 본 System을 사용하고 있다.¹²⁾

그림 7(b)는 실험예를 나타낸 것으로 200Hz이하로 범위가 제한된 Random Noise에 대한 머리주변(1(m)평방)에서의 소음량을 방음실에서 측정한 예이다.

$E \sum_{i=1}^L (p_i)$ 을 평가기준으로 하고 있기 때문에 각 Microphone 위치(그림중의 No.1~

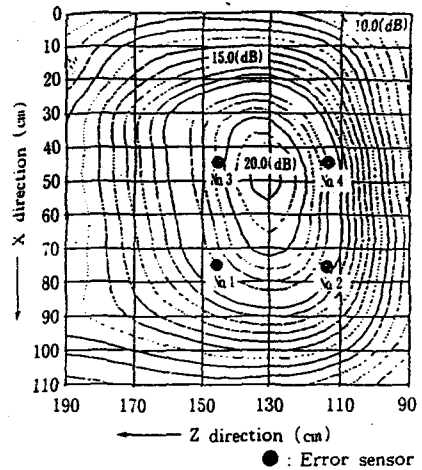


그림 7(b) 국소공간에서의 소음실험 예

No.4)으로 Pin Point적으로 소음량이 최대로 되지는 않고 거의 중앙에서 최고값을 갖는 비교적 안정된 정속한 Zone이 실현되고 있는 것을 알 수 있다.

지금까지의 논의로부터 Feed Forward 제어가 성공하기 위해서는 Reference 신호와 2차음장에서의 소음과의 Coherence가 충분히 높을 것, 또한 완전한 주기성 소음을 제외하면 Controller에 대한 인과성 실현조건을 만족하는가, 어떤가가 양호한 Controller을 실현할 수 있는가가 열쇠를 쥐고 있다는 것을 이해할 수 있다.

4. 최근의 제어방식

현대제어이론에 기초한 제어방식 및 적응예측제어방식등은 연구 단계에서 발전하고 있는 제어방식의 주제이다. 현대제어이론에 기초한 제어방식에는 판진동 등 기계계-음향계결합에 의해 소음이 발생되고 있는 경우 등에 유효하다고 생각된다. H_{∞} 등의 제어이론을 도입하여 진동제어를 하므로써 동시에 발생하는 소음의 제어도 하든가 또는 적응 Filter에 의한 제어를 병용한 Hybrid한 제어방식을 개발하는등 앞으로 더욱더 활발한 연구가 행해질 것으로 생각된다.²⁵⁾

Feed Back제어에 관해서는 안정된 Controller을 실현하기 위해 물리음향적인 조건의 제약때문에 주로 작은 Cavity내의 Active제어, 즉 Ear-Defender 등으로 대표되는 밀폐형 Ear Phone에 의한 국소공간내에의 제어나 Duct내 음장제어등에 이용되고 있다. 기계계의 Active제어에 Feed Back 제어가 많

이 쓰이고 있는것과는 대조적이다. 특히 Ear-Defender는 실용상 중요하며 비행기 기내 소음, 공장등의 작업환경 소음에 의한 청력장애방지(이미 제품화되어 입수가능)에 기대되고 있다. 여기서는 원리등은 지면관계상 생략하였지만 상세한 것은 문헌 (16)~(21)을 참조바란다.

보통 적응예측 제어방식은 (3)에서 설명한 Feedforward방식을 도입하는 것이 곤란한 경우에 사용되는 방식으로 대단히 유효하다.²⁾

예를들면 소음원이 다수 존재하는 공간에 넓게 분포되어 있는 음장의 경우나 소음원의 특징이 곤란해 적절한 Reference신호가 얻어질 수 없는 경우 등에 유효하다. 그렇지만 주기성 소음이나 좁음범위 소음에 대해서는 유효하지만 넓은 범위의 소음에 대해서는 해결할 수 없는 문제가 많다.

또 Multi Channel에 관해서도 연산량을 줄이는 시험이 앞에 설명한 Error Scanning법을 시작으로 해서 Reference 신호계산의 간단화등이 제안되고 있다.

따라서 복수의 Reference 신호를 받는 경우 입력 Referance 신호간의 상관제거가 적응 Speed향상에 유효하다는 것이 알려졌다.¹⁵⁾

또 실용화를 위해서는 제어제도 되도록이면 단순하고 Robust한 것이 요구된다. 그 때문에 Reference신호의 주기성을 충분히 활용한, 예를들면 SFX(Synchronized Filtered-x) Algorithm²³⁾등의 제안이나 적응 Filter의 Step Size Parameter을 Fuzzy으로 하는 것²⁴⁾ 등 다수가 발표되고 있다.

그외 적응 Speed의 고속화를 계산하기 위해 적응 Notch Filter을 사용한 제어용 Filter

의 실현등이 보고되고 있으며 본격적인 실용화를 목표로 한 연구가 앞으로 점점 활발하

게 될 것으로 생각된다(그림 8).

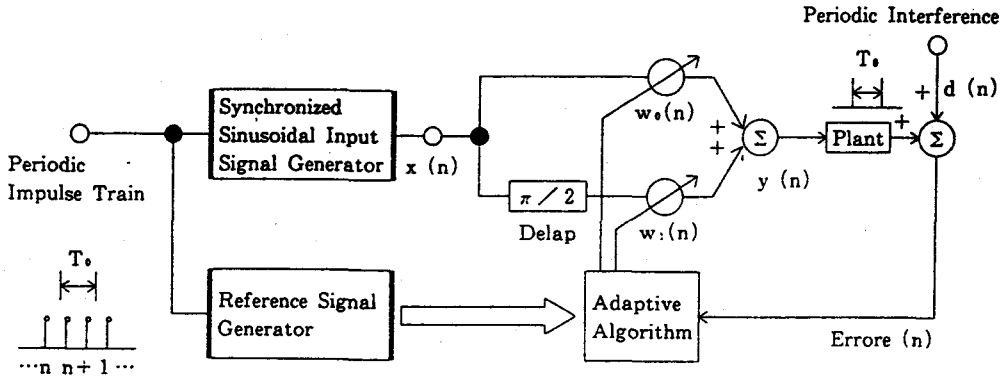


그림 8 적응 Notch Filter 방식과 ANS System

5. 결 론

Active Noise Controller의 기본적인 방법에 관해서 특히 제어 Algorithm의 관점에서 논의하였다. 제어방식, Algorithm에 관해서는 현재의 Feedforward방식에서 Filterd-x Algorithm이 가장 잘 쓰이고 있다. 그러나 Universal한 해석은 현재의 단계에서는 존재하고 있지 않다. 각각의 Application의 특징을 충분히 고려하고 또 다양한 실용상의 문제를 극복할 필요가 있기 때문에 최적 Algorithm의 선택, 개발은 앞으로도 더욱더 중요하게 될 것이라 생각된다.

또한 Active Controller에 필요한 구성요소, 즉 Sensor-, Actuator에 관해서도 똑같다고 할 수 있다. 끊임없는 발전이 실용화를 가속화할 것이다.

또 실용에 있어서 Active Controller는 만능이 아니다. 특히 파장에 기인한 물리적인 제약조건 때문에 종래의 소음대책기술과 서로 보완하는 기술이라는 것을 인식하는 것은

매우 중요하다. 그렇기 때문에 양쪽의 특징을 충분히 활용한 새로운 소음 대책기술의 기반을 만드는 것이 앞으로 중요한 과제이다.

- 참고 문헌 -

1. 浜田 晴夫, “騒音のアクティブコントロールに関する現状の課題”, 電音研資料, EA88-25, (1988).
2. 城戸健一, “騒音のアクティブ制御”, 音聲學會誌 47, 661-667 (1991).
3. 浜田 晴夫, “アクティブフィルタ의基礎 (その1), (その2)”, 音聲學會誌 45, 624-630, 731-738 (1989).
4. S.J. Elliott, Electron. Lett. Vol. 21, pp. 979-981 (1985).
5. H. Hamada, “Signal Processing for Active Control”, Acoust. Soc. Jan. Int. Symp. Active Control of Sound and Vibration. pp. 40-51 (1991)
6. S.J. Elliott, Letter to the Editor of Jour-

- nal of Sound and Vibration 120(1), pp. 183-189 (1988).
7. M. Takahashi, et al. "Broadband active noise Control of air-conditioning duct systems in auditoriums", Proc. 1991 Acoust. Soc. Jpn. Int. Symp. Active control of sound and vibration, 273-278 (1991).
 8. M. Nishimura, "Some problem of active noise control for practical use", Proc. 1991 Acoust. Soc. Jpn. Int. Symp. Active control of sound and vibration, 157-164 (1991).
 9. P.A. Nelson and S.J. Elliott, "Active noise control : A tutorial review", Proc. 1991 Acoust. Soc. Jpn. Int. Symp. Active control of sound and vibration, 45-47 (1991).
 10. S.J. Elliott, et al, "In-flight experiments on the active control of propeller-induced cabin noise", J. Sound. Vib. 140, 219-238 (1990).
 11. T. Hesse, "Commercial considerations for the implementation of active noise and vibration control", Proc. 1991 Acoust. Soc. Jpn. Int. Symp. Active Control of Sound and Vibration. 201-206 (1991).
 12. 浜田他, "アクティブ・ノイズコントロール・チェアの実現", 電子情報通信學會, 應用音聲研究會資料, EA90-2 (1990).
 13. S.J. Elliott, P.A. Nelson "Multiple-Point Equalisation in a Room Using Adaptive Digital Filter", J. Audio Eng. Soc., vil. 37, pp. 899-907 (1989 Nov.).
 14. H. Hamada, P.A. Nelson, S.J. Elliott, "Multiple Point Least Squares Equalisation for Sound Reproduction System", 89 IEEE Workshop on application of signal processing to audio and acoustics.
 15. Abe M, Chen G., Sone T. "A method to increase the convergence speed by using uncorrelators in the active control of multiple noise sources", pp. 759-762, Proc. of Inter noise 93, Leuven, Belgium, 1993.
 16. P.D. Wheeler, "Voice communication in the cockpit noise environment—the role of active noise reduction", Ph. D Thesis, University of Southampton (1986).
 17. P.A. Nelson and S.J. Elliott, "Active Control of Sound", Academic Press (1992).
 18. Ch. CARME, "A new filtering method by feedback for A.N.C. at the ear", Proc. of Inter-Noise 88 (1988).
 19. V. Bartles, "Headset with active noise reduction system for mobile application", pp. 277-281, J. Audio Eng. Soc., Vol. 40, No. 4 (1992).
 20. Bose et al, "Headphoning", United States Patent, No. 4455675, Jun. 19 (1984).
 21. J.N. Denenberg, "Anti-Noise, Quieting the Environment with Active Noise Cancellation Technology", pp. 36-40, IEEE potentials, Vol. 11, No. 2, April 1992.
 22. 浜田他, "適應豫測によるアクティブノイ

- ズコソトロール”, pp. 531-532, 音聲論文 (1992).
23. 伊藤, 宮坂, 宇都, 浜田, “適應速度に着目した Synchronized Filtered-x Algorithmに関する検討” 音聲學會講論集, 10月, 1993.
24. 宮坂, 伊藤, 宇都, 浜田, “Adaptive notchfilterを用いた active noise control” 音聲學會講論集, 10月, 1993.
25. T. Miyazaki, K. Mizuno, R. Kawatani and H. Hamada, “Hybrid Control System using H Control and Adaptive Filtering for Active Micro-Vibration Control”, pp. 1271-1274, Proc. of Inter-noise 94, Yokohama-Japan, August 1994.

산업기술 진흥 자금 총 4천 517억원 조성

정부는 산업기술진흥을 위해 내년에 공업기반기술개발사업·청정생산 기술개발사업 등에 총 4천5백17억원의 자금을 조성, 지원키로 했다.

박재윤 통상산업부 장관은 6월 4일 인천상공회의소에서 가진 인천상공인들과의 간담회에서 『산업의 경쟁력을 확보하기 위해서는 우리산업의 기술력향상과 기술혁신형 산업구조로의 개편이 무엇보다 중요하다』며 이같이 밝혔다.

박장관은 특히 기술인력양성 및 기술정보확산, 연구시설확충 등 기술 인프라 확충을 위한 산업기술기반조성사업에 올해보다 3백78% 증가한 1천4백30억원을 지원하고 개발된 기술을 실용화하는 시제품개발사업 등에 4천5백억원을 지원할 계획이라고 말했다.

한편 박장관은 인천지역 업체의 기술진흥을 위해 현재 인천시가 추진하고 있는 자본재산업 종합지원센터에 60억원의 자금을 올해 지원할 계획이라고 밝혔다.