한국소음진동공학회 '93추계학술대회논문집 pp. 125 ~ 130.

Synchronous Sampling Method를 이용한 능동소음제어 성능 향상에 관한 연구

오 재응*, 조 성오**, 김 흥섭**, 신 준**
(정회원) (정회원) (정회원)

(A Study on the Improvement of Active Noise Control using Synchronous Sampling Method)

(Jae-Eung Oh, Sung-O Jo, Heung-Seob Kim, Jun Shin)

1. 서론

산업 문명이 발달됨과 더불어 현대인은 원치 않는 환경에 더욱 빈번히 노출되고 있다. 산업 사회 초기에는 이런 불편한 환경에 대하여 신경을 쓰지 않던가 또는 개선하는데 따르는 경제적 비용의 과대함으로 크게 관심을 기울이지 않았다. 산업사회 중기와 후기에 들어서서 이런 환경에 의한 폐해가 속속 알려지고, 쾌적한 환경에 대한 욕구가 증가됨에 따라 환경 개선 차원에서 대기, 수질과 더불어 소음에 대해서도 관심을 기울이게 된다. 특히, 최근에는 환경 오염원으로서의 소음에 대한 규제가 사회적 관심이 되고 있으며 또한 생활 수준의 향상으로 정숙한 환경에 대한 요구가 증가되고 있다.

소음을 제거하기 위한 종래의 방법으로는 소음이 방출되는 것을 감소시키기 위해 흡음재, 차음재 또는 소음기 등을 사용하는 수동적인 방법들이 있다. 그러나, 이러한 종래의 방법은 여러가지 단점을 가지고 있다. 그중 가장 큰 단점은 500Hz 이하의 저주파 소음에 대해서 감소가 어렵다는 점이다. 이것은 저주파의 소음은 파장이 길기 때문에 이것을 제거하기 위해서는 그만큼 더 두꺼운 흡음재나 차음재를 사용하여야 한다. 그러나, 설치장소의 공간적 제약등으로 흡음재나 차음재를 두껍게 하는 데에는 한계가 있다. 그리고, 흡음재 또는 차음재의 분진으로 인하여 청정을 요하는 환경에서는 종래의 방법을 사용하기 어려우며, 소음기는 부피를 많이 차지하므로 설치장소의 구조변경 등 또다른 문제를 발생시킨다.

최근 제어 방법의 개발과 전자기술의 발달로 인하여 능동소음제어 (Active Noise Control) 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 능동소음제어 방법은 저주파에서의 탁월한 효용성이 부각되고 있는데 이것에 대한 적용에 있어서, 팬과같은 주기성이 강한 회전체에 의한 소음인 경우에는 그러한 주기 성분만을 제거해도 만족할만한 소음제어 효과를 발휘한다. 따라서 이러한 경우 Synchronus Sampling Method를 사용하게 되면 주제어 필터 출력의 시변요소를 없애주어 적응을 빠르게 할 수 있다. 따라서 작은 필터차수로도 좋은 효과를 거둘수 있으며, 이는 실시간 제어시 메모리와 처리속도의 한계가 있는 프로세서에 큰 효용이 있게 된다.

또, 능동소음제어에서 가장 문제시 되어왔던것으로써 음향궤환이 있다. 이는 소음을 제어하기 위해 발생시킨 제어신호가 다시 감지 마이크로 입력되는 현상으로 원래의 소음성분을 변화시켜 정확한 소음성분을 알아낼 수 없음으로 해서 소음제어 효과를 떨어뜨려 왔으며, 계의 불안정성을 유발시키는 주요 원인이 되어왔다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 기존의 능동소음제어 알고리즘인 Filtered-U나 Filtered-X LMS 알고리즘은 각각 온라인 모델링이나 오프라인 모델링을 하여 이것을 해결하고자 하였다. 그러나 전자의 경우 계의 안정성의 문제가 야기되었고, 후자의 경우 보상필터의 추가로 인하여 프로세서의 메모리가 커지고 모델링의 정확성 및 계가 변할 경우의 문제점이 발생하였다. 이러한 경우 전기적 참조신호를 사용함으로써 음향궤환이 본질적으로 제거될 수 있으며 감지 마이크를 사용하기 곤란한 경우에도 이런 신호를 사용함으로써 능동소음제어를 수행할 수 있다.

본 연구에서는 소음의 주기성분에 해당하는 전기적 참조신호인 주기적 펄스신호(pulse train)을 사용하는 실시간 제어용 어셈블리 프로그램을 작성하고, Synchronous Sampling Method를 사용하여 능동소음제어를 실시, 이것에 대한 장단점 및 한계를 고찰하는데 있다.

2. 이 론

2.1 참조신호를 이용한 능동소음제어

회전 운동(rotating motion)을 하거나 왕복 운동(Reciprocating motion)을 하는 기기에서 나오는 소음의 파형은 거의 주기적이며 이러한 기계의 운전 주파수는 회전소음의 주파수와 일치하게 된다.

이것을 이용하여 Fig. 2.1 처럼 자동차 배기계와 같이 감지 마이크를 사용하기 곤란한 경우 감지 마이크를 사

* 한양대학교 자동차공학과, 정회원
** 한양대학교 정밀기계공학과 대학원

용하지 않고 기계로부터 직접 그와 관련있는 참조신호를 이용하여 소음제어를 수행할 수 있다.

2.2 Synchronous Sampling Method

주기적 입력 신호에 대해서는 입력신호를 다음과 같이 둘 수 있다.

$$x_k = C\cos(w_r kT + \theta) \qquad (k = 1, 2, \cdots) \qquad (1)$$

여기서, w_r은 주기입력의 주파수이다.

Fig. 2.2 에서 보듯이 전선부분은 오차신호, ε_k 와 제어력 y_k의 선형시불변 필터 G(z)로 근사화 될 수 있다. 일반적으로 N차 필터에서 i 번째 필터차수에 대하여는 다음과 같다.

$$x_{ik} = C\cos(w_r kT + \theta_i) = \frac{C}{2}[e^{jw_r kT}e^{j\theta_i} + e^{-jw_r kT}e^{-j\theta_i}] \qquad (2)$$

여기서, T는 샘플링 시간이다.

Fig. 2.3 에서

$$z\{\varepsilon_k x_{ik}\} = \frac{C}{2}e^{j\theta_i}z\{\varepsilon_k e^{jw_r kT}\} + \frac{C}{2}e^{-j\theta_i}z\{\varepsilon_k e^{-jw_r kT}\} \qquad (3)$$
$$= \frac{C}{2}[e^{j\theta_i}E(ze^{-jw_r T}) + e^{-j\theta_i}E(ze^{jw_r T})]$$

또 수렴계수 α 와 적응필터계수 $W_i(z)$ 사이의 응답 U(z)는 식 (4)와 같다.

$$U(z) = \frac{1}{z-1} \qquad (4)$$

따라서,

$$W_i(z) = -\frac{\alpha C}{2}U(z)[E(ze^{-jW_r T})e^{j\theta_i} + E(ze^{jW_r T})e^{-j\theta_i}] \qquad (5)$$

Fig. 2.3 에서

$$Y_i(z) = z\{w_{ik}x_{ik}\}$$
$$= \frac{C}{2}[w_i(ze^{-jw_r T})e^{j\theta_i} + w_i(ze^{jw_r T})e^{-j\theta_i}]$$
$$= \frac{\alpha C^2}{4}U(ze^{-jw_r T})[E(ze^{-j2w_r T})e^{-j2\theta_i}) + E(z)]$$
$$+ \frac{\alpha C^2}{4}U(ze^{jw_r T})[E(z) + E(ze^{j2w_r T})e^{-j2\theta_i})] \qquad (6)$$

따라서,

$$Y(z) = \sum_{i=1}^{N} Y_i(z)$$
$$= \frac{N\alpha C^2}{4}E(z)[U(ze^{-jw_r T}) + U(ze^{j2w_r T})]$$
$$+ \frac{\alpha C^2}{4}U(ze^{-jw_r T})E(ze^{-j2w_r T})\sum_{i=1}^{N}e^{j2\theta_i}$$
$$+ \frac{\alpha C^2}{4}U(ze^{jw_r T})E(ze^{j2w_r T})\sum_{i=1}^{N}e^{-2j\theta_i} \qquad (7)$$

$\sum$ 항을 구해보자

$\theta_i = \theta - w_r T[i-1]$ 이므로,

$$\sum_{i=1}^{N}e^{\pm j2\theta_i} = \sum_{(8)}e^{\pm j2\theta}e^{\mp j2W_r T[i-1]}$$

(+) 부분에 대하여

$$\sum_{i=1}^{N}e^{j2\theta}e^{-j2W_r T(i-1)}$$
$$= e^{j2\theta}[e^{0} + e^{-j2W_r T} + e^{-j2W_r 2T} + \cdots + e^{-j2W_r T(N-1)}]$$
$$= e^{j(2\theta - W_r T(N-1)}\frac{\sin NW_r T}{\sin W_r T} \qquad (9)$$

(-) 부분도 같은 식으로 하면

$$\sum_{i=1}^{N}e^{-j2\theta_i} = e^{-j(2\theta - W_r T(N-1)}\frac{\sin NW_r T}{\sin W_r T} \qquad (10)$$

여기서 다음의 식을 정의하자.

$$\beta(w_r T, N) = \frac{\sin NW_r T}{\sin W_r T} \qquad (11)$$

결국, 필터 출력 Y(z)는 다음과 같이 유도된다.

$$Y(z) = \frac{N\alpha C^2}{4}E(z)[U(ze^{-jW_r T}) + U(ze^{jW_r T})]$$
$$+ \frac{\alpha C^2}{4}\beta(w_r T, N)[U(Ze^{-jW_r T})e^{j[2\theta - W_r T(N-1)]}E(ze^{-j2W_r T})$$
$$+ U(Ze^{jW_r T})e^{-j[2\theta - W_r T(N-1)]}E(ze^{j2W_r T})] \qquad (12)$$

윗식의 앞항은 시불변(time invariant) 항을 나타내는데, 이는 E(z) 의 유일한 주파수만이 출력에 나타나기 때문이다. 뒷항은 시변(time varying) 항을 나타내며, E(z)의 주파수 shift 요소가 나타나며 Y(z) 의 원하지 않는 결과이다.

윗식에서 지수항은 단위크기를 가지므로 입력 주파수와 적응필터의 파라미터의 함수로써 시불변요소와 시변요소의 상대적 크기비는 $\beta(w_r T, N)/N$ 이 될것이다. 이 비가 1보다 충분히 작을 경우 시변요소는 시불변요소에 비해 무시될 수 있을것이다.

이를 위해서는 N(필터차수)을 크게하거나 또는 적절한 샘플링을 선택함으로써 없앨수 있는데 샘플링 시간을 이용하는 방법이 Synchronous Sampling Method이다. 즉

$$\beta(w_r T, N) = \frac{\sin NW_r T}{\sin W_r T} = 0$$

으로 하는 샘플링 시간을 적용하면 시변항은 사라지고 시불변 요소만 남을 것이다. 이렇게 되면 적응 필터의 수렴속도는 빨라지게 될 것이다.

Fig.4 는 N의 변화에 따른 β/N의 크기를 나타낸 것으로 N의 증가에 따라 β/N의 값이 작아져 시변항을 무시할 수 있게되며 적절한 샘플링 시간의 선택으로 $\beta/N=0$로 만들 수 있다.

2.3 Waveform Synthesis

참조신호는 원소음과 같을수록 소음제어 효과가 좋게 되는데, 보통 참조신호는 회전체로부터 일정주기의 펄스신호(impulse train)를 많이 이용하므로 이 impulse train으로부터 우리가 원하는 정현파 신호를 만들어야 한다.

이것은 보통 Fig. 2.5 에서처럼 FIR Filter를 이용하여 수행한다. 즉 impulse train에 우리가 원하는 형태의 FIR Filter를 곱하여 신호를 만들어 낸다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

Synchronous Sampling Method(이하 SSM)는 필터출력의 시변요소를 없애주므로써 필터의 수렴속도를 빠르

계 해주어 실시간 제어에 유용하게 하기위함이므로 이를 검증하기 위해 SSM 사용시의 수렴속도를 구해 SSM을 사용하지 않았을 경우와 비교하였다.
또, 입력 신호의 크기와 주파수가 변동할 경우의 소음제어 성능을 조사해 보았다.

입력 신호에 잡음이 많이 섞일 경우를 대비해 S/N 비를 변화시켜 가며 시뮬레이션을 수행해 보았으며, 회전기기들은 정상상태시 일정 RPM으로 작동되므로 감지마이크뿐만 아니라 참조신호까지 없애기 위한 가능성을 조사해 보기위해 참조신호와 원소음과의 주파수차에 대한 고찰을 해 보았다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

4.1 Synchronous Sampling Method의 수렴속도에 대한 고찰

Fig. 4.1 에서 보이는 것처럼 필터출력의 시변요소를 제거한 SSM 적용시 수렴속도가 빠름을 알 수 있다. 보통사람의 경우 소음을 15 dB 즉, 원래 소음의 0.166배 정도로만 줄여도 상당량의 저감을 느끼므로 이것을 기준으로 하여 수렴속도를 비교해 보면 N=2인 경우는 약 5.5배가 빠르며 N=8인 경우는 약 2.5배가 빠르다. N이 커지면 시변요소가 작아지므로 SSM을 적용하지 않았을 경우도 SSM 적용시의 수렴속도에 근접해 감을 알 수 있다.

4.2 진폭 및 주파수 변조시의 제어 성능

모든 제어 시뮬레이션을 하기에 앞서 참조신호은 원래의 소음(Source noise)에 대한 주파수 정보만을 줄 뿐, 크기에 대한 정보는 주지 못하므로 우선 이것에 대한 고찰이 필요하여 참조신호와 원소음과의 크기가 다를 경우, 즉 참조신호가 원소음보다 10배 큰 경우와 10배 작은 경우에 대하여 조사해 보았다. 결과는 Fig. 4.2와 Fig. 4.3 에 나타난 것처럼 이것에 대한 고려는 하지 않아도 될 정도로 좋은 결과를 얻었다. 다만, 참조신호의 크기는 수렴계수의 범위를 결정하므로 이것에 대한 주의가 필요하다.

진폭변조시의 경우 Fig. 4.4와 Fig. 4.5에 나타난 것처럼 지수적으로 감소하는 경우가 정현파적으로 변하는 경우보다 제어성능이 훨씬 좋았다. 실제계에 있어서는 보통 약간의 크기변동이 존재하므로 지수적으로 증, 감하는 모델에 가깝기 때문에 진폭 변화에 대한 제어효과는 만족할만하다고 할 수 있다.

주파수 변조에 대해서는 그에 앞서, 주파수가 변하게 되면 Synchronous Sampling을 하기 위해 그에 따라 샘플링 시간도 변해야만 하지만 이것은 실제계 적용시 하드웨어의 제약을 받으므로 주파수 변조시 실제계에 맞춰 Synchronous Sampling을 한다는 것은 힘들다. 하지만 보통 회전체의 구동주파수는 일정하기때문에 이 주파수에 SSM을 적용시키켜 적용시키고난후 주파수를 변화시켜 다시 변한 주파수에 적용되는 시간을 조사해 보았다. 이것은 필터의 초기치에 대한 문제로 필터 계수를 0로 한 경우와 근처의 주파수에 적용된 필터계수를 갖고 다른 주파수를 적용하는 두가지를 비교하는 것이다.

결과는 Fig. 4.6에 나타난 것처럼 원래의 주파수의 15%이내에 대해서는 15dB저감을 위한 적용시간이 반이상으로 줄어듬을 알수 있으며 이 결과는 주파수 변조시에도 SSM을 유용하게 사용할 수 있음을 의미한다.

일정한 미소 주파수로 증, 감할 경우에 대해서는 증, 감의 크기에 따라 제어 결과가 달라졌다. 즉, 증·감의 폭이 큰 경우에는 제어 성능이 떨어졌다. Fig. 4.7의 결과는 200HZ, 1/2000초의 샘플링시의 10Hz/sec의 증가에 대한 주파수 변조의 제어 결과이다. 이 증가폭은 자동차의 경우 초당 300 rpm정도 증가하는 경우이고, 6 날개 팬의 경우는 초당 100 rpm의 회전수 증가를 나타내는 것으로 제어량은 최대 30 dB의 감소를 보였다. 따라서 이러한 주파수 변조시의 제어량은 실제의 정상상태의 경우를 생각해 볼때 변화폭은 좀더 작으므로 제어량은 더 좋을것이라고 생각할 수 있다.

일정 밴드폭 사이를 랜덤하게 변할 경우에 대해서는 주파수 변화폭과 주파수 변화 시간에 따라 제어량이 조금씩 달라졌다. Fig. 4.8과 Fig. 4.9에서 보이듯이 대체로 변화폭이 크고 빨리 변할수록, 즉 회전기계의 회전수가 빨리 그리고 많이 변할 수록 제어량이 작아지는 경향을 보였다.

4.3 S/N 비에 따른 제어의 성능

S/N 비에 따른 제어 결과를 보면 우선 원소음은 주파수 영역에서 보면 Fig. 4.10에서 보듯이 구동 주파수에 해당하는 성분 피크가 보이며 제어시에는 참조신호에 해당하는 이 성분을 크게 줄일 수 있음을 알 수 있다.

모든 S/N 비에 대하여 이와같은 현상을 보이므로 여기서는 200Hz, S/N=10에 대한 결과만을 표시하였다.

Fig. 4.11은 S/N 비 변화에 따른 제어량을 구동 주파수와 overall level에 대하여 나타내었다. S/N 비가 작아질수록 감소량은 작아지는데 이것은 S/N 비가 작아질수록 원소음에 포함된 구동 주파수에 대한 소음이 상대적으로 작아지기 때문이다. overall level 양만을 보면 마치 제어가 잘 안된것처럼 느낄지 모르지만 구동 주파수에 대하여는 다른 주파수의 소음보다 상대적으로 많이 크기때문에 이 주파수에 해당하는 소음만을 제거해도 효과는 상당한 것으로 느껴진다. 따라서 S/N 비에 따른 제어도 즉 잡음이 많이 섞일 경우에도 만족할만 하다고 할 수 있다.

4.4 참조신호과 원소음과의 주파수차 존재시의 제어 성능

참조신호을 고정하고 원소음의 주파수를 바꿔가며 시뮬레이션을 수행한 결과 이 경우에 대해서는 Fig. 4.12에 나타난 것처럼 원래 주파수에서 벗어날수록 그 제어 성능이 감소함을 알 수 있다. 하지만 원래 주파수의 ± 1.5% 내에서는 앞서서 말한 기준인 15dB이상의 감소를 나타내고있다. 이 범위는 300Hz의 경우에 대해서는

4.5Hz 차이인 295.5Hz ~ 304.5Hz 사이를 나타낸다. 이것은 팬소음의 경우 날개가 6개일때, 회전수가 ±45 RPM으로, 9개일때, ±30 RPM의 범위를 뜻하고, 자동차 엔진인 경우 ±135 RPM의 변화에 해당한다.

위의 결과로 보아, 구동주파수의 변화가 작은 기기일 경우에는 참조신호의 사용없이 만족할만한 소음제어 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

5. 실험

5.1 실험 장치 및 방법

실험은 회전체에서 발생하는 주기적 소음을 대상으로 하므로 본 연구에서는 건축물의 실내 공기 조화용으로 사용되는 덕트내에서 발생하는 팬소음의 제거를 대상으로 하였다. 이러한 덕트에는 실내에 공기를 유입시키기 위한 팬의 설치가 필수적이며 팬이 가동되면서 팬날개와 회전수에 따라 주기성분과 랜덤한 성분이 합쳐진 소음이 발생된다. 이러한 덕트에서의 소음을 능동소음제어하기 위하여 다음과 같은 실험용 덕트를 제작하였다. 실험에 사용된 덕트는 길이 4.8m이며 단면이 180×180mm인 정사각형이다. 재질은 투명한 아크릴이며 두께가 10mm인 것을 사용하였다. 덕트의 양 끝에는 덕트의 길이를 무한길이로 가정할 수 있도록 유리솜(glass wool)을 쐐기형으로 넣었다.

Source speaker에서는 팬소음에 해당되는 주기소음을 발생시켰고 Fig. 5.2의 장치도에 나타난 것처럼 프로세서로 입력되는 신호는 팬의 날개로 부터 얻을 수 있는 소음신호와 같은 주기를 갖는 펄스신호를 발생시키는 펄스발생기를 사용하였다.

실험에 사용된 능동소음제어계는 DSP16Plus 보드로서, 고속 신호처리 프로세서의 일종인 Texas Instrument사의 TMS320C25와 A/D·D/A 회로를 내장하고 있다. 마이크로폰은 B&K사의 type4165이며 스피커는 GS-FOSTER사의 GFW150을 사용하였다. 제어효과를 실시간으로 관찰하기 위하여 Digital Oscilloscope (HP54503A)가 사용되었으며, 결과의 출력을 위하여 IBM PC computer와 Plotter (Roland, DXY-980A)가 사용되었다.

5.2 Synchronous Sampling Method를 이용한 제어

팬과 같은 주기성이 강한 회전체에 대한 소음제어에 앞서 실시간 처리용 어셈블리 프로그램의 검증 및 SSM의 유용성을 알아보기 위해 신호발생기를 이용하여 포토 센서(photo sensor)등으로 얻을 수 있는 펄스 신호와 그에 따른 소음성분을 만들어 소음제어를 수행하였다.

주제어 필터의 차수는 40이고 오차계 보상필터는 75차였으며, 수렴계수는 0.015 (01E3h)를 사용하였다.

5.2 진폭 변조시의 제어

입력신호의 크기가 변동할 경우의 소음제어 성능을 알아보기 위하여 입력 소음의 크기를 임의대로 바꿔가며 진폭변조에 대한 실험을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 주파수 변조 프로그램을 작성하여 소음제어를 수행하였으나, 실험에서는 장비의 부재로 인하여 실험을 하지 못했다.

5.3 참조신호와 원소음과의 주파수차 존재시의 제어

회전기기들은 정상상태시 일정 rpm으로 작동되므로 감지 마이크뿐 아니라 참조신호까지 없애기 위한 가능성을 조사해 보기 위하여 참조신호와 원소음과의 주파수차 존재시의 제어에 대한 실험을 행하였다

6. 실험 결과 및 고찰

6.1 Synchronous Sampling Method를 이용한 제어 고찰

Fig. 6.1에서 보듯이 30~40번의 반복만으로도 만족할만한 결과 (15dB 감소)를 얻을 수 있었으며, 수렴후의 제어결과는 약 30dB를 제거할 수 있었다.

여기서는 주제어 필터를 40차로 하였는데 결과에 나타내지는 않았지만 기존의 Filtered-X 알고리즘을 사용할 경우는 주로 음향궤환의 문제때문에 70~80차를 사용해야 같은 정도의 결과를 얻을 수 있으므로, 이는 주제어 필터의 차수를 상당량 낮춘것으로 TMS chip상의 메모리 문제에도 많은 이득을 주는 것이다.

6.2 진폭 변조시의 제어 성능

Fig. 6.2에 나타낸 것처럼 진폭변조시 일단 제어된후의 진폭 변조에 대해서는 상당한 안정성을 보였으며 실험결과 수렴시의 진폭과정에서도 잘 적응해 감을 알 수 있다. 이것은 진폭변조시 SSM이 좋은 강인성을 지니고 있음을 뜻한다.

6.3 참조신호와 원소음과의 주파수차 존재시의 제어성능

Fig. 6.3은 328 Hz의 입력 참조신호 (펄스 신호)와 324 Hz의 원소음, 즉 4Hz의 주파수차 존재시의 제어결과이다. 약 15dB의 소음제어 효과를 얻을 수 있었으며, -4Hz도 비슷한 결과였으며 그 이하의 주파수차에 대해서는 더 많은 제어 효과를 얻을 수 있다.

Fig. 6.4는 참조신호를 고정하고 원소음의 주파수를 바꿔가며 여러 주파수에 대해 실험한후 주파수차를 참조신호에 대하여 정규화한 것이다. 컴퓨터 시뮬레이션의 결과와 비슷한 결과를 나타내고 있으며, 시뮬레이션 결과 및 고찰에서 언급했듯이 원래 주파수의 ±1.5 % 내에서는 15dB이상의 제어효과를 얻을 수 있었다. 즉, 구동주파수의 변화가 작은 기기일 경우에는 참조신호의 사용없이 만족할 만한 소음제어 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

7. 결론

전기적 참조신호를 사용하고, Synchronous Sampling Method를 이용하여 능동소음제어를 수행한 결과 다음과

같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, SSM을 사용하게 되면 Non-SSM에 비하여 적응 속도가 빠르며, 적은 필터차수로도 좋은 제어결과를 얻을 수 있었다.

둘째, SSM은 주파수 변조에도 좋은 결과를 얻을 수 있었으며, 잡음이 섞인 경우에도 잘 제어함을 S/N 비에따른 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다.

셋째, SSM은 원소음의 크기가 변하여도 잘 적응해 감을 진폭변조에 대한 시뮬레이션 및 실험을 통하여 알 수 있었다.

넷째, 참조신호와 원소음과의 주파수차가 존재할 경우 원소음의 ±1.5%의 차에 대하여는 만족할만한 결과를 얻 을 수 있었으며, 이것은 주파수차가 작을 경우 참조신호를 제거할 수 있음을 시뮬레이션과 실험을 통하여 제시하였다.

참고문헌

(1) John R. Glover, "Adaptive Noise Canceling Applied to Sinusoidal Interferences", IEEE Trans. on ASSP-25, 1977

(2) S. J. Elliott and P. Darlington, "Adaptive Cancellation of Periodic, Synchronously Sampled Interference", IEEE Trans. on ASSO-33, 1985

(3) 우재하, "Filtered-X 알고리즘을 응용한 덕트내 전파 소음의 능동제어", 한국과학기술원 기계공학과 석사학위논문, 1992

(4) 송원식, "Filtered-U 알고리즘을 이용한 능동소음제어에 관한 연구", 한양대 정밀기계공학과 석사학위논문, 1992

(5) 이태연, "적응 알고리즘에 의한 밀폐 음향계의 능동 소음제어에 관한 연구", 한양대 정밀기계공학과 박사학위논문, 1993

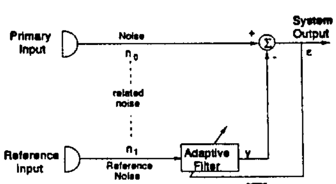


Fig. 2.1 능동소음제어 시스템

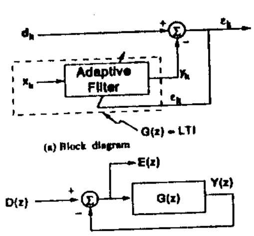


Fig 2.2 적응계에 대한 모델

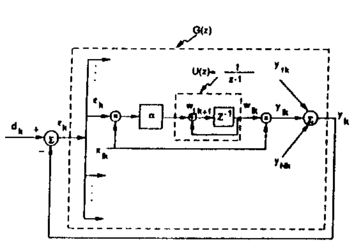


Fig. 2.3 LMS 적응 알고리즘의 블럭선도

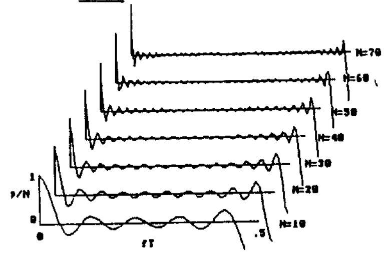


Fig. 2.4 필터차수 (N)에 따른 a/N의 크기

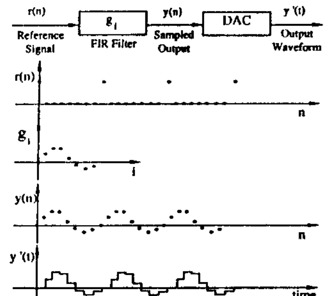


Fig. 2.5 주기적 impulse train으로 구성된참조신호의 FIR필터를 이용한 Waveform synthesis

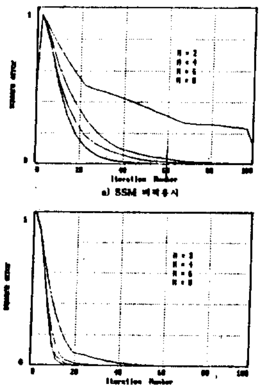


Fig. 4.1 필터차수(N)에 따른 SSM의 수렴속도 비교곡선

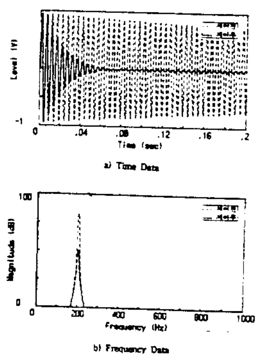


Fig. 4.4 200 Hz의 정현파에 대한 진폭 변조시의 성능 (지수감소하는 진폭 변조:감쇠비=0.001)

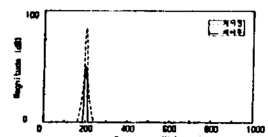


Fig. 4.2 참조신호와 원소음과의 크기차이가 존재할 때의 제어 결과 (참조신호진폭/원소음진폭=0.1)

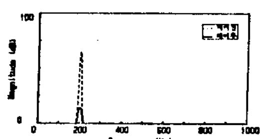


Fig. 4.3 참조신호와 원소음과의 크기차이가 존재할 때의 제어 결과 (참조신호진폭/원소음진폭=10)

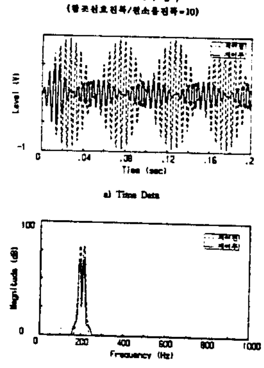


Fig. 4.5 200 Hz의 정현파에 대한 진폭 변조시의 성능 (정현파적으로 진폭 변조:변조주파수=10Hz)

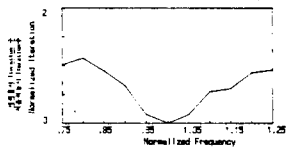
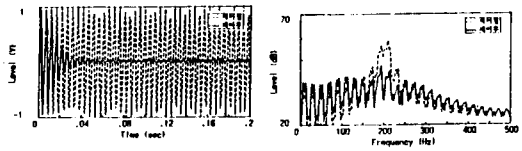
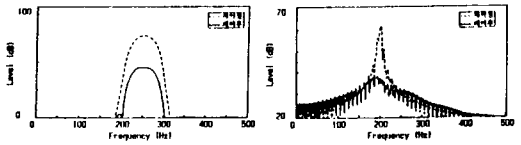


Fig. 4.6 입력 주파수 변화시 제적특성의 속도고찰



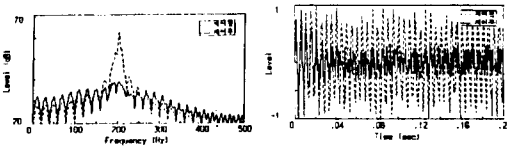
a) Time Data　　a) 1/20 옥타브 주파수 변화

Fig. 4.7 200 Hz의 경위차에 대한 주파수 변조시의 성능 (변조주파수 = 10 Hz/sec)



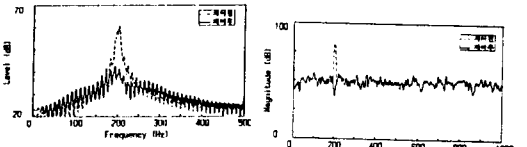
b) Frequency Data　　b) 1/10 옥타브 주파수 변화

Fig. 4.8 200 Hz의 경위차에 대한 주파수 변조시의 성능 (10Hz내를 랜덤하게 변화)



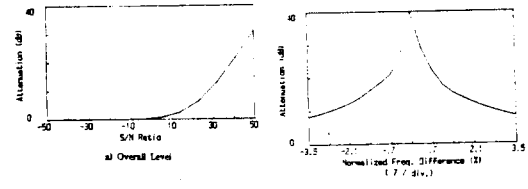
a) 1/20 옥타브 주파수 변화　　a) Time Data

Fig. 4.9 200 Hz의 경위차에 대한 주파수 변조시의 성능 (5Hz내를 랜덤하게 변화)



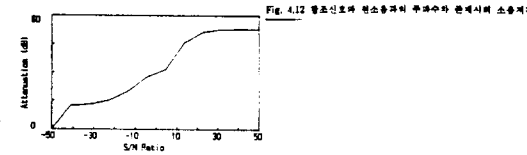
b) 1/10 옥타브 주파수 변화　　b) Frequency Data

Fig. 4.10 S/N 비=10 인 200 Hz의 경위차에 대한 결과



a) Overall Level

Fig. 4.12 참조신호와 원소음과의 주파수와 폰제시의 소음저감량



b) 가중 주파수

Fig. 4.11 S/N 비의 변화에 따른 200 Hz의 경위차에 대한 소음저감량

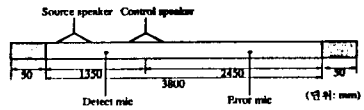


Fig. 5.1 실험에 사용된 덕트 규격

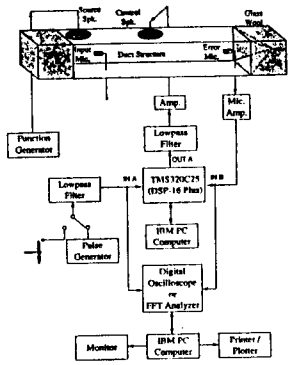
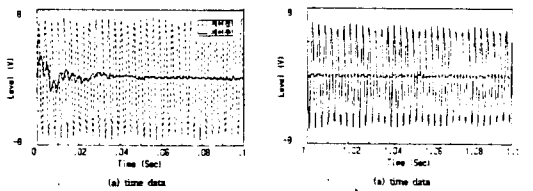
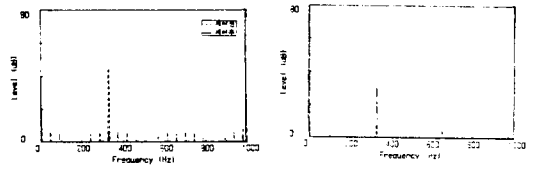


Fig. 5.2 실험 장치도



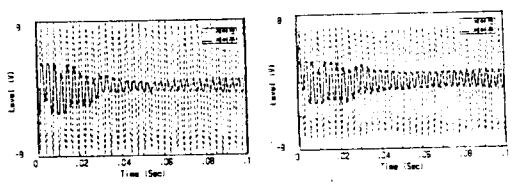
(a) time data　　(a) time data



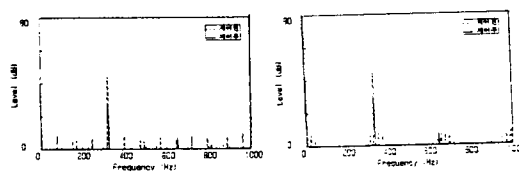
(b) frequency data　　(b) frequency data

Fig. 6.1 SSM을 적용한 328HZ의 추기소음에 대한 제어결과

Fig. 6.2 인공 변조시의 소음제어 결과



(a) time data　　(a) time data



(b) frequency data　　(b) frequency data

Fig. 6.3 참조신호와 원소음의 주파수차가 ±4Hz차이가 날 경우의 328Hz의 소음제어 결과

Fig. 6.4 참조신호와 적소음의 주파수차가 ±4Hz차이가 날 경우의 328Hz의 소음제어 결과

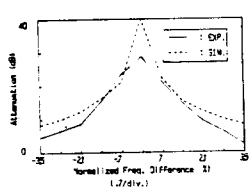


Fig. 6.5 참조신호와 원소음과의 주파수와 폰제시의 소음저감량