

논문 2005-42TE-4-7

PCB산업현장의 능동소음제어

(Active Noise Control in PCB Industry)

박 진 흥*, 남 명 우*

(Jin Hong Park and Myung-Woo Nam)

요 약

현대사회에서 소음과 진동은 일상생활뿐 아니라 산업현장에서도 흔히 접하게 되는 환경오염원으로, 이에 대한 관심이 점차 증가하고 있다. 산업현장에서 소음은 중요한 안전요소의 하나이며, 근로자의 청력에 영향을 미칠 뿐 아니라 정신적으로도 많은 영향을 미쳐 최종적으로 업무효율을 떨어뜨리게 되는 중요한 원인이 된다. PCB 산업 현장에서는 제조공정상 필요한 기계들로부터 다양한 소음들이 발생된다. PCB 산업현장의 소음원은 주로 공조기와 제조 기기에서 발생되며, 발생된 소음제어를 위해서는 소음의 전달경로를 막아 소음을 줄이는 방법과 제조기기의 소음을 저감시키는 방법, 수음자에 대한 제어방법 등이 있다. 본 논문에서는 PCB 산업현장에 쉽게 적용할 수 있는 헤드셋(headset)을 이용한 부대역 feedback 능동소음제어(subband feedback active noise control) 방법에 인간의 청각기능을 모델링한 멜 척도를 적용하여 보다 효과적인 소음제어 방법을 제안하였다. 실험결과 멜 척도를 적용하지 않은 부대역 feedback 능동소음제어방법 보다 동일한 구조를 가지면서도 빠른 수렴속도와 향상된 소음제거 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

Acoustic problems in the environment have gained attention due to the noise and vibration contact often in industry as well as life on modern society. Noise is one of safety element in industry, this proves damaging to humans from both a physical and a psychological aspect and so drop working efficiency. Various noises are happened from machines of manufacturing process in PCB industry. This paper present a new approach for subband feedback Active Noise Control (ANC) using Mel scale for headset system in PCB industry. The proposed Mel scale subband algorithm had a performance advantage over the subband algorithm in the noise attenuation and convergence time.

Keywords : active noise control(ANC), Mel scale, FXLMS, subband feedback

I. 서 론

산업현장에서 소음은 중요한 안전요소로, 근로자의 청력에 영향을 미칠 뿐 아니라 정신적으로도 많은 영향을 미쳐 업무효율을 떨어뜨리고 안전사고를 유발시키기 쉽다. 특히 PCB 산업 현장에서는 제조공정상 필요한 기계들로부터 다양한 소음들이 발생되고 있으며 이는 근로자에게 심각한 영향을 줄 수 있다. 최근 PCB 산업 현장은 많은 근무환경 개선이 이루어졌음에도 불구하고

영세업체들의 경우 심각한 소음에 근로자들이 완전히 노출되어 있는 상태이다. PCB 산업현장의 주요 소음원은 공조기와 제조 기계에서 발생되며, 발생된 소음을 제거하기 위해서는 소음의 전달경로를 막아 소음을 줄이는 방법과 제조기기의 소음을 저감시키는 방법, 수음자에 대한 제어방법 등이 있다.

소음이나 진동을 방지하는 소음 및 진동제어에 대한 연구는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 먼저 소음원으로부터 소음을 적게 방출시키는 방법, 두 번째로 흡음, 차음 등의 부가적인 방법으로 소음을 줄이는 수동적인 방법, 마지막으로 소음을 줄이기 위해서 부가적인 소음원을 사용하는 능동소음제어(active noise control) 방법이 있다. 이중에서 수동적인 방법은 구조물의 재질, 형상 등

* 정희원, 혜전대학 디지털전자디자인과
(Dept. of Digital Electro-Design, Hyejeon College)

※ 본 연구는 2004년도 혜전대학 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

접수일자: 2005년5월12일, 수정완료일: 2005년11월30일

에 대한 정확한 파악이 필요할 뿐 아니라, 고주파 소음에 대하여는 좋은 성능을 보이나 대부분의 전기적 기계적 소음인 500Hz보다 작은 저주파 소음에 대해서는 구조물의 크기가 커져야 하는 많은 제약이 따른다^[1]. 따라서 이런 수동소음제어의 단점을 극복하기 위해 저주파 소음에 대해 탁월한 효과를 보이는 ANC(active noise control)가 최근 많이 연구되고 있다. ANC 시스템은 DSP(Digital Signal Processing) 기술의 발전으로 경량화와 고속화가 가능하게 되어 최근 항공기의 소음제어나 전자장치의 소음제어에 많이 적용되고 있다.

본 논문에서는 PCB 산업현장의 소음제거를 위해 적은 비용으로 쉽게 구현할 수 있는 헤드셋을 이용한 부대역 feedback ANC에 멜 척도를 적용한 방법을 제안하였다. 실험결과 멜 척도를 적용하지 않은 부대역 feedback 능동소음제어방법 보다 동일한 구조를 가지면서도 빠른 수렴속도와 향상된 소음제거 결과를 얻을 수 있었다.

II. 멜 척도(Mel Scale)

인간의 청각신경은 낮은 주파수 신호의 변화에 대해서는 높은 해상도로 반응하는 반면, 높은 주파수 신호의 변화에 대해서는 낮은 해상도로 반응하는 특징이 있다. 그러나 주파수의 높이와 소리의 높이사이의 관계는 선형적으로 나타낼 수 있는 것이 아니다. 정현음파의 주파수 변화에 대한 지각되는 소리의 높이는 가청주파수 값을 올렸을 때 엄청나게 달라진다. 1KHz이하에서 청취자(listener)들은 4~5Hz사이의 주파수 변화도 쉽게 파악할 수 있으나, 그 이상의 주파수에서는 변화를 지각할 수 있는 사람의 능력이 점차적으로 줄어든다. 그래서 약 8KHz부터는 40~50Hz이하의 변화는 인간의 청각 기관으로는 식별하기가 어려워진다. 이러한 이유로 주파수와 음의 높이 간의 관계는 비선형적인 멜(Mel)이라는 지각단위를 고안하여, 음 높이 증가와 주파수와의 관계를 나타낸다. 멜 척도(Mel Scale)은 1937년 Stevens, Volkman, Newman에 의하여 제안되어 졌으며, 청취자들이 판단하는 하나의 피치에서 다른 피치 까지의 동일한 거리를 의미한다. 기존의 연구결과에 따르면 1KHz이하에서는 실제 지각되는 음의 높이와 주파수 사이에 상당한 비례관계가 있지만 그 이상의 주파수에서는 둘 사이의 관계가 대수적으로 나타난다. 멜 척

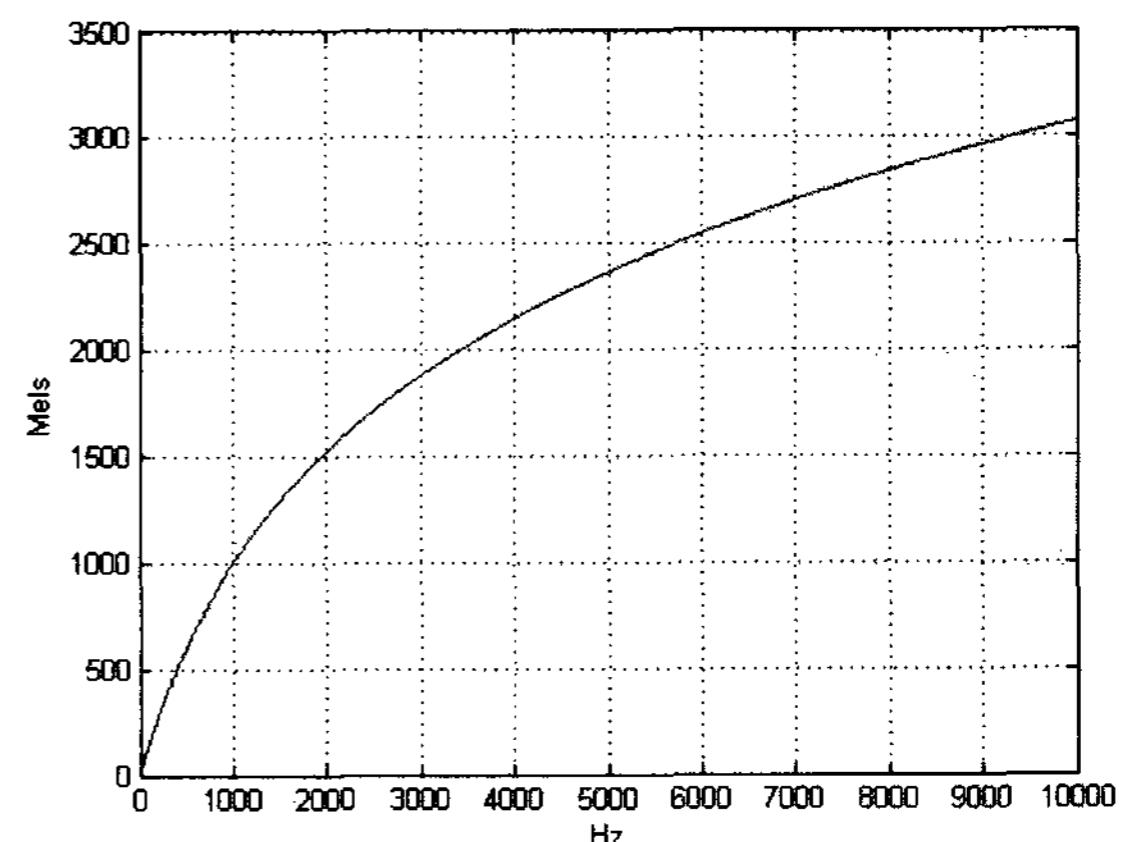


그림 1. 멜 척도

Fig. 1. Mel scale.

도와 주파수와의 변환식은 식 (1), (2)와 같으며, 그림 1과 같은 관계를 가진다.

- 주파수 f를 멜 척도 m으로 변환 :

$$m = 1127.01048 \log_e \left(1 + \frac{f}{700} \right) \quad (1)$$

- 멜 척도 m을 주파수 f로 변환 :

$$f = 700 \left(e^{\frac{m}{1127.01048}} - 1 \right) \quad (2)$$

III. 멜 척도를 적용한 부대역 feedback ANC

1. 부대역 feedback ANC

소음은 분포된 주파수 범위에 따라 광대역(wideband) 소음과 협대역(narrowband) 소음으로 분류될 수 있다. 단일 기계의 경우 좁은 대역폭을 가지는 협대역 소음을 발생시키거나 산업현장에는 많은 기기들이 동시에 여러 소음을 발생시키므로 광대역 소음이 많이 발생된다. 광대역 ANC에는 광대역 소음 제거를 위해 다양한 알고리즘들이 사용되고 있으나 잡음을 효과적으로 제거하려면 수백 개의 단으로 이루어진 적응 필터를 필요로 하며, 이러한 필터들은 많은 연산량과 느린 수렴 속도의 원인이 된다. 이러한 문제들은 부대역 ANC를 이용하여 보완될 수 있다. 부대역 ANC는 광대역 소음을 몇 개의 부대역으로 나누어 처리하는 방법으로 적응 필터의 차수가 현저히 줄어들고 수렴 속도가 빨라지는 장점을 가진다. 그러나 적응 필터에 의한 시간지연 문제가 발생되며, 이것은 ANC 알고리즘의 2차 경로를

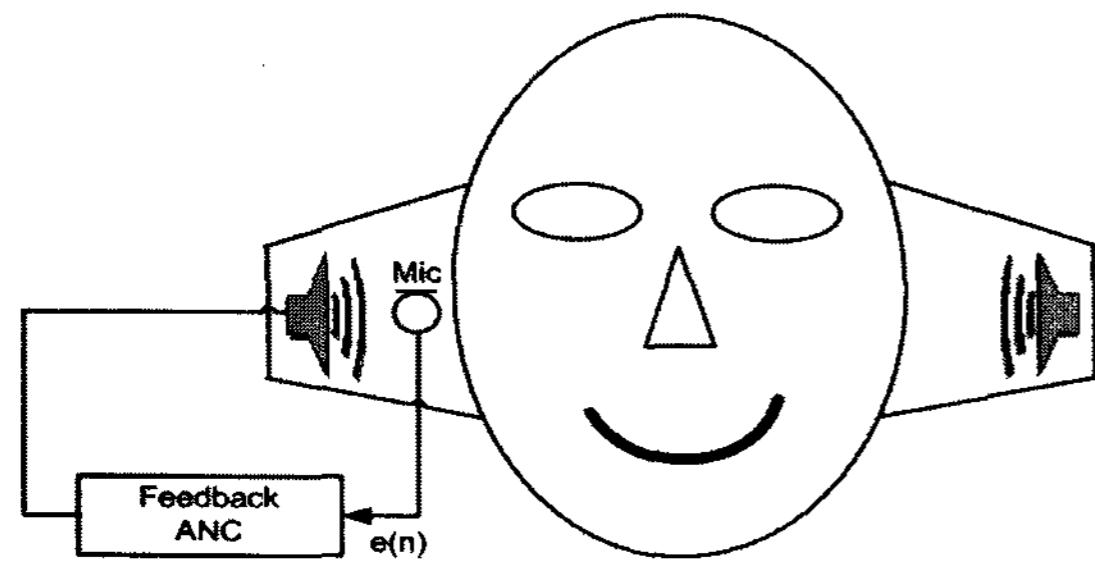


그림 2. 헤드셋을 이용한 feedback 능동소음제어
Fig. 2. feedback ANC using headset.

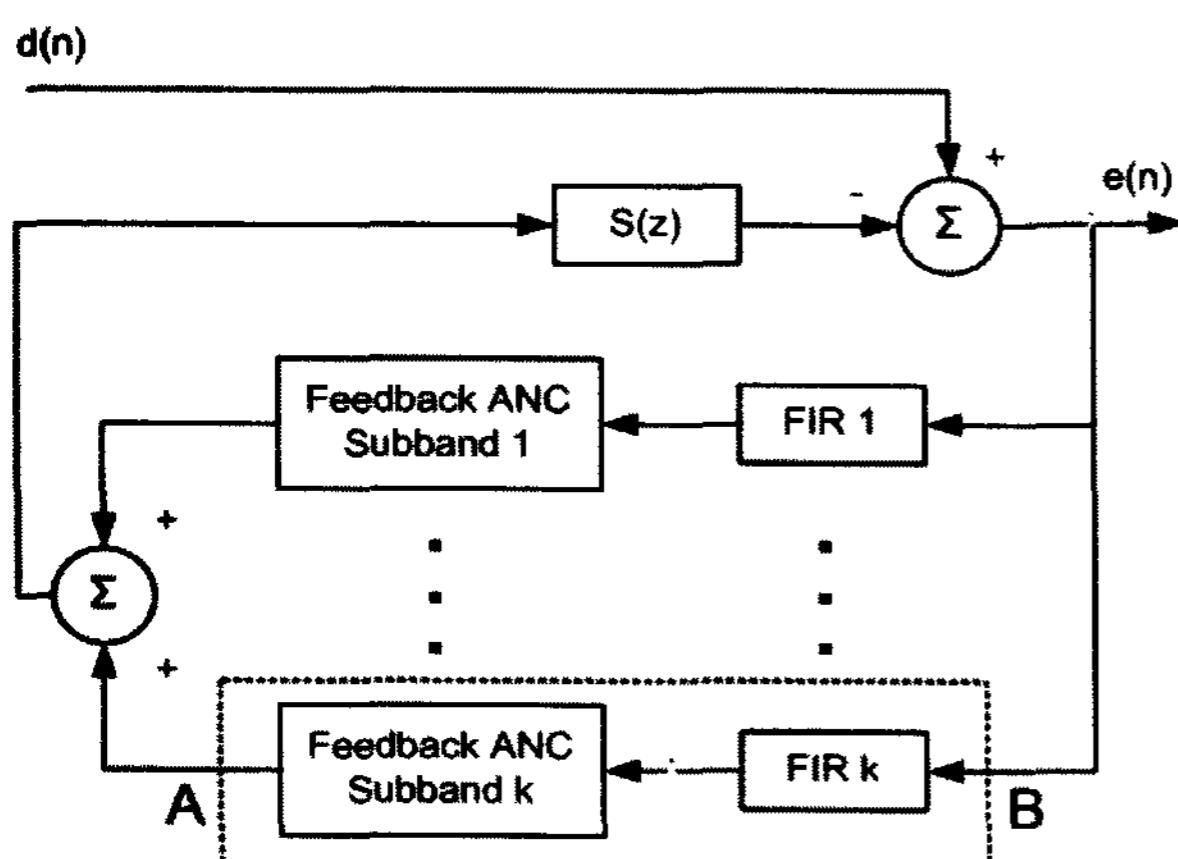


그림 3. 부대역 feedback 능동소음제어 구성도
Fig. 3. Block diagram of subband feedback ANC.

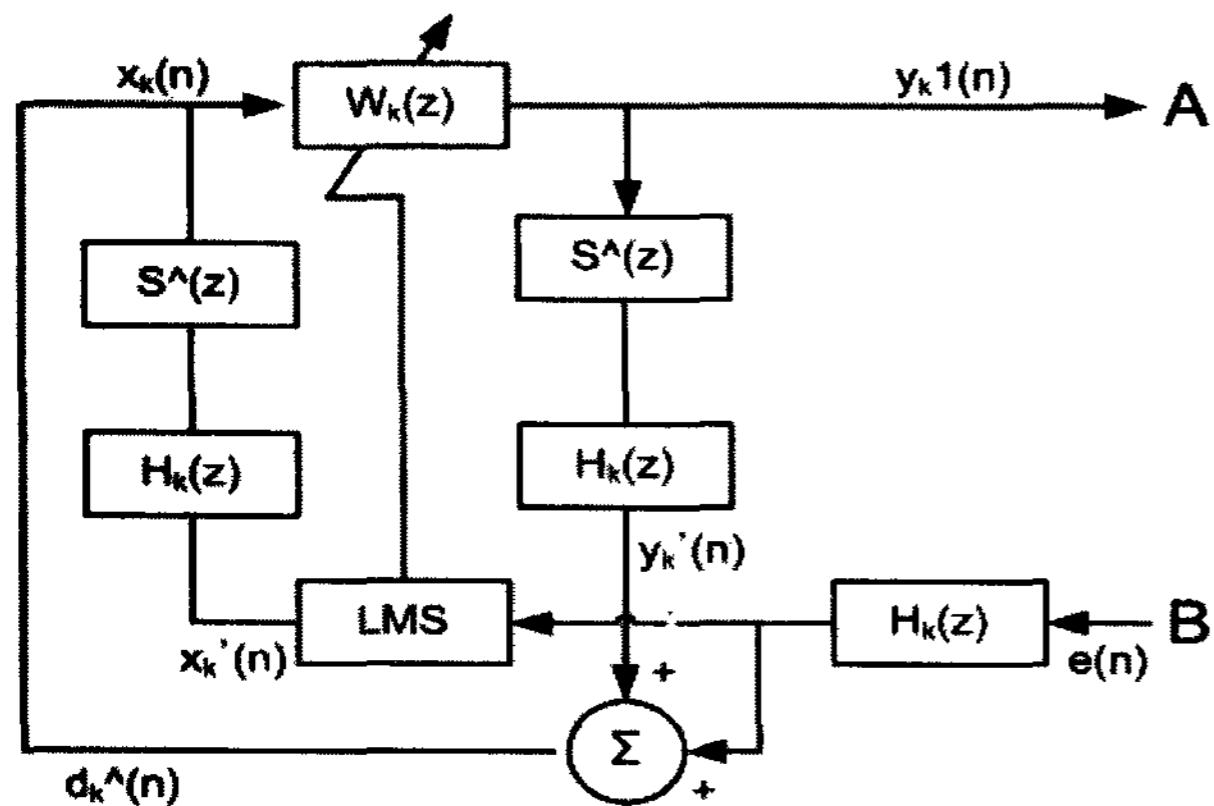


그림 4. k번째 부대역 feedback 능동소음제어 구성도
Fig. 4. Block diagram of kth subband feedback ANC.

수정하여 보완될 수 있다^[2].

헤드셋을 이용한 ANC에는 feedback ANC가 사용되므로, 본 논문에서는 부대역 기법을 적용한 부대역 feedback ANC를 실험에 사용하였다. 그림 2, 3, 4에 실험에 사용된 부대역 feedback ANC의 예를 보였다^[3].

2. 멜 척도를 적용한 subband feedback ANC

일반적으로 산업현장에서 발생되는 소음 주파수는

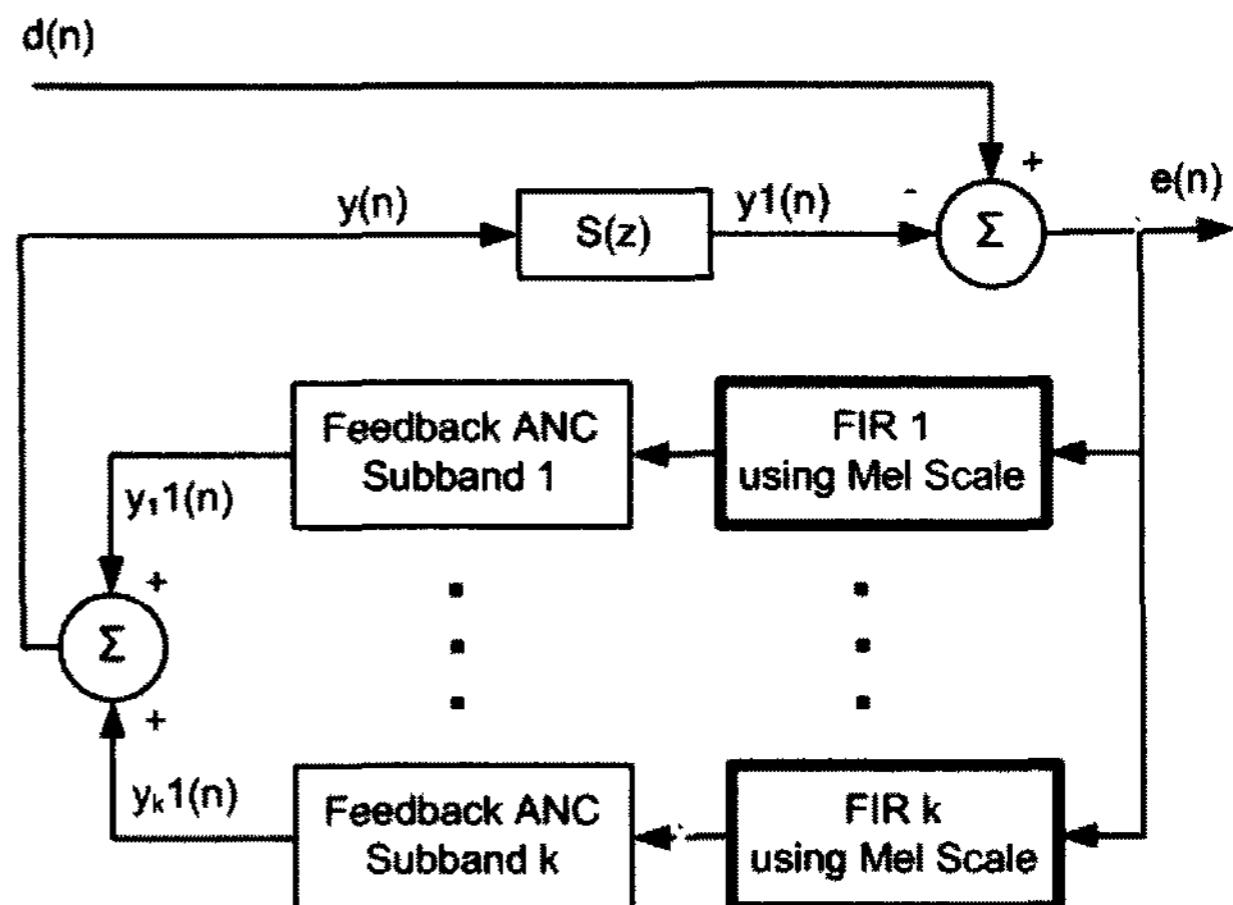


그림 5. 멜 척도 부대역 feedback 능동소음제어 구성도
Fig. 5. Block diagram of Mel scale subband feedback ANC.

저주파 신호가 주를 이루나, PCB 산업현장에서는 다양한 장비들이 복합적인 소음을 발생시키므로 일반적인 ANC 또는 소음 제거용 구조물의 설치는 소음제거에 바람직하지 않으며, 헤드셋을 이용한 ANC가 설치비용과 시간 면에서 가장 적합한 방법이다. 단일 대역 (single band) ANC는 주기적인 협대역 저주파 신호에서 뛰어난 성능을 보인다. 그러나 잡음의 기본 주파수가 높아지면 성능이 현저히 떨어지는 단점이 있다. 이러한 문제는 수백 개의 적응 필터를 이용하면 해결가능하나, 헤드셋의 경우 제한된 하드웨어와 빠른 수렴 속도를 필요로 하므로 부대역 feedback ANC가 가장 적합한 방법을 제공한다.

부대역 feedback ANC는 광대역구간을 몇 개의 부대역으로 분리해서 처리하는데 이때 잡음의 종류에 따라 부대역의 개수가 결정된다. 너무 많은 수의 부대역은 하드웨어와 계산량을 증가시키며, 너무 적은 수의 부대역은 단일 대역 ANC가 가지는 문제점을 그대로 가지게 된다. 본 논문에서는 부대역을 분리할 때 균등분할 방식과 멜 척도를 이용한 방법을 사용하여 소음제거 결과를 비교한 후, PCB 산업현장에서 발생된 소음에 적용하여 보았다.

시뮬레이션에 사용된 부대역 feedback ANC 알고리즘은 아래와 같다^[4].

① 2차 경로 전달함수의 출력을 구한다.

$$y_1(n) = \sum_{s=0}^{N-1} \hat{s}_s(n)y(n-s)$$

② 헤드셋에 내장된 마이크에서 잡음 측정 : $e(n)$

$$e(n) = d(n) - y_1(n)$$

③ 균사 입력 잡음을 계산한다.

$$\hat{d}_k(n) = \sum_{h=0}^{M-1} h_{kh}(n) e(n-h)$$

④ 잡음제거용 신호를 계산한다.

$$y_{k1}(n) = \sum_{w=0}^{W-1} w_{kw}(n) x_k(n-w)$$

⑤ ③번에서 구한 균사 입력 잡음을 이용하여 filtered-x 입력 잡음을 계산한다.

$$\hat{x}_k(n) = \sum_{s=0}^{N-1} \hat{s}_s(n) x_k(n-s)$$

$$x_k(n) = \sum_{h=0}^{M-1} h_{kh}(n) \hat{x}_k(n-h)$$

⑥ LMS 알고리즘을 이용, 필터계수를 업데이트한다.

$$w_{kw}(n+1) = w_{kw}(n) - \mu e(n) x_k(n-w)$$

$$; w = 0, 1, \dots, W-1$$

⑦ ①~⑥번 과정을 반복한다.

IV. 실험 및 결과

시뮬레이션은 MATLAB을 이용하였고, 실험 데이터는 MATLAB을 이용해 생성한 여러 개의 중심주파수를 가지는 소음과 PCB 생산현장에서 수집한 소음을 사용하였다. PCB 현장의 가장 큰 소음 발생원은 정면기와 CNC(computer numerical control) 장비로, 정면기의 경우 모듈의 길이에 따라서 기계의 크기가 결정되며 기판 세척 시에 더욱 큰 소음이 발생한다. CNC 장비의 경우 드릴 공정시 발생하는 소음과 진공기 소음이 합쳐져서 소음의 발생정도가 심각한 수준이다. CNC 장비 역시 기계의 크기가 다양하며 크기에 따라 소음의 종류도 다양하다. 본 논문에서는 전체 장비구동 시 발생된 소음을 실험에 사용하였다.

2차 경로 전달함수 $S(z)$ 은 임의로 15차 필터를 생성하여 실험하였으며 ANC알고리즘으로는 FXNLMS (filtered-x normalized least mean square)을 사용하였다. 실험에 사용된 step size는 식 3, 4와 같다. 부대역

표 1. 부대역 분할 주파수들

Table 1. frequencies of subband.

	1	2	3	4	5	6	7	8
균등분할	1K	2K	3K	4K	5K	6K	7K	8K
멜 척도	178	402	683	1036	1479	2035	2732	8K

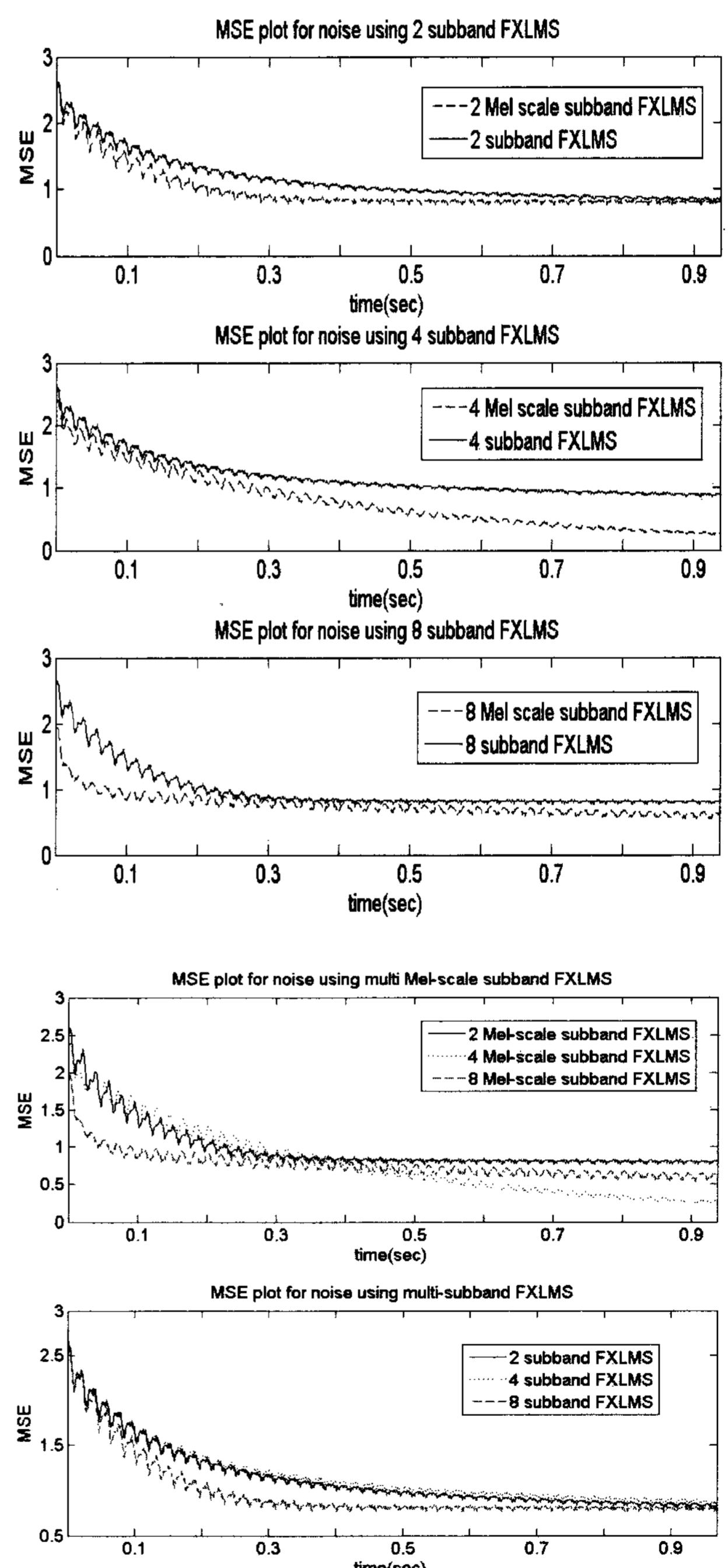


그림 6. 다양한 부대역 개수를 이용한 소음제거 결과

Fig. 6. MSE(mean square error) results of Subband feedback ANC using various number of bands.

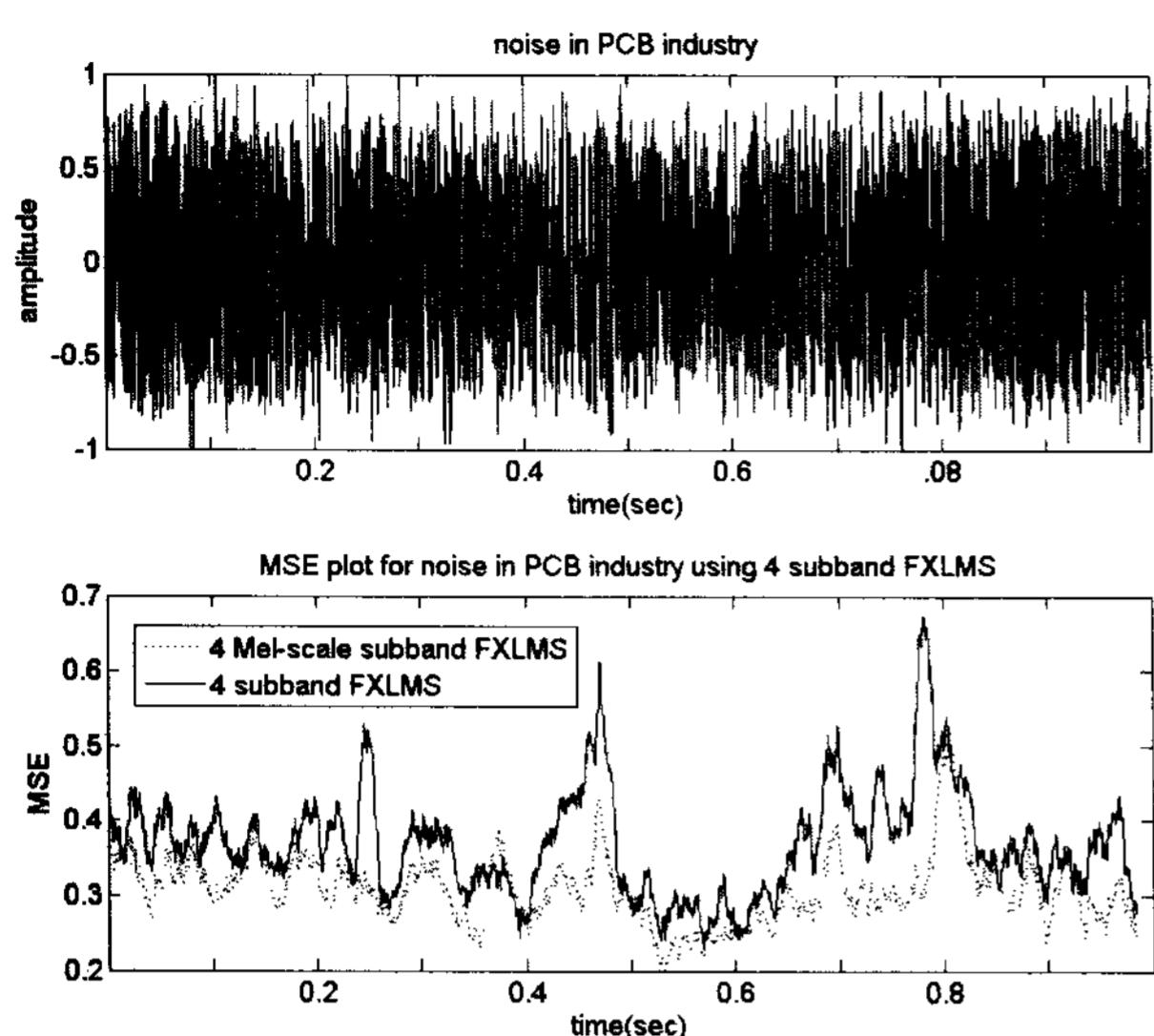


그림 7. PCB 현장소음을 이용한 소음제거 결과
Fig. 7. MSE result of Subband feedback ANC using noise of PCB industry.

에 사용된 대역통과 필터는 linear phase FIR 필터를 사용하였으며, MATLAB을 이용해 20차 필터를 설계해 사용하였다^[5].

$$\mu = \frac{L}{p_i \times P + \Delta} \quad (3)$$

$$\sigma_x^2(n) = \beta \sigma_x^2(n-1) + (1-\beta)x^2(n) \quad (4)$$

그림 6에서 알 수 있듯이 멜 척도를 적용한 부대역 subband ANC가 균등분할 방식보다 수렴속도와 소음제거에서 향상된 결과를 보여준다. 또한 부대역을 2개와 4개, 8개로 나누어 실험한 결과 모두 부대역 개수와 비례하여 수렴속도가 향상되었다. 그림 7은 PCB 제조현장에서 수집한 소음을 이용하여 실험한 결과이다. 수집한 소음의 형태가 백색잡음에 가까워 좋은 결과를 얻을 수는 없었지만, 결과에서 알 수 있듯이 멜 척도를 적용한 방법이 좀 더 좋은 소음제거 결과를 보여주고 있다.

V. 결 론

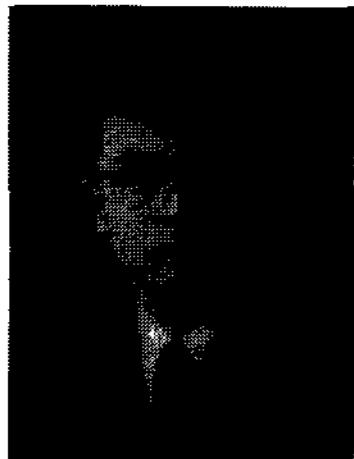
본 논문에서는 PCB 산업현장에 적용할 수 있는 소음제거방법을 제안하였다. 소음제거를 위해 많은 방법들이 제안되었지만, PCB 산업현장의 경우 경제적 효율성 등을 고려할 때 헤드셋을 이용한 방법이 가장 적합하다. 헤드셋을 이용한 ANC에는 제한된 공간과 빠른 수렴속도라는 제약조건이 있으나, 부대역 feedback ANC

를 이용하여 해결할 수 있다. 부대역 feedback ANC는 입력 소음을 여러 개의 부대역으로 나누어 처리를 하게 되는데, 이때 인간의 청각기관을 모델링한 멜 척도를 적용한 경우가 균등 분할한 경우보다 수렴속도와 잡음 제거율 면에서 향상된 결과를 보여 주었다. 또한 멜 척도를 적용한 경우, 균등 분할보다 적은 부대역 개수를 이용해서도 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 추후 시뮬레이션 결과를 바탕으로 하드웨어를 구현하여 실무 현장에 적용해 볼 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] P.M. Joplin and P.A. Nelson, "Active control of low-frequency random sound in enclosures", J. Acoustic. Soc. Am., Vol. 87, No. 6, 1990.
- [2] Bharath Siravara et al., "A novel approach for single microphone active noise cancellation", Speech and Audio Processing., 45th IEEE MWSCAS Conference, 2002.
- [3] Sen M. Kuo, Dennis R. Morgan, "Active Noise Control Systems", John Wiley & Sons. pp.187-212, 1996.
- [4] Vanit-Anunchai, "An implementation of active noise control for headphone using DSK TMS320VC5402", Suranaree J. Sci. Technol. Vol. 10, No. 4, pp.266-274, 2003.
- [5] Mathworks, "Signal processing toolbox user's guide", Mathworks Inc. 1996.

저자 소개



박 진 홍(정회원)
1991년 광운대학교 전자공학과
학사 졸업.
1993년 광운대학교 전자공학과
석사 졸업.
1997년 광운대학교 전자공학과
박사 졸업.
1999년 ~ 현재 혜전대학 디지털전자디자인과 교수
<주관심분야 : 전력전자, PCB설계등>



남 명 우(정회원)
1992년 서울시립대학교
제어계측공학과 학사졸업.
1994년 서울시립대학교
전자공학과 석사졸업.
2001년 서울시립대학교 전자공학
과 박사졸업
2003년 ~ 현재 혜전대학 디지털전자디자인과 교수.
<주관심분야 : 음성인식, 신경망, 신호처리, 능동
소음제어>