

논문 2009-46IE-4-3

NDIR 대기오염 측정시스템을 위한 미세신호 잡음제거기

(Minute Signal Noise Cancellation System For The Air-pollution Measurement System)

김영진*, 임용석**, 류근택***, 배현덕****, 최훈*****

(Young-Jin Kim, Yong-Seok Lim, Geun-Taek Ryu, Hyeon-Deok Bae, and Hun Choi)

요약

본 논문은 다양한 환경오염물질 (CO, SO₂, NO_x 등)을 실시간 측정할 수 있는 NDIR 기반의 광학분석장치를 위한 새로운 잡음제거기를 제안한다. 센싱된 신호는 높은 주파수를 갖는 측정 노이즈 원과 낮은 주파수를 갖는 드리프트성 노이즈 원에 의해 오염된다. 이러한 잡음들은 시간영역 특성을 고려한 전처리 과정과 부밴드 구조에서 부-전력비를 고려한 후처리에 의해 제거될 수 있다. 제안한 방법에서 전·후처리 잡음제거 과정은 정밀한 측정이 가능하도록 NDIR 기반의 광학분석장치의 하드웨어 구현에 유리하다.

Abstract

In this paper, we propose a new noise cancellation system for the NDIR based optical analyzer, that can measure various environmental air-pollution materials (CO, SO₂, NO_x, etc.) in real-time. The sensed signals are contaminated by the different noise sources that measurement noise with high frequencies and the drift noise with the low frequencies. They can be eliminated by a pre-processing that considering their time-domain properties and by a post-processing that using sub-power ratios in subband structure. In the proposed method, the pre and post-processing for noise cancelling are useful for hardware implementation of the NDIR based optical analyzer with a precision measuring

Keywords : Noise cancellation, NDIR analyzer, Subband filtering, Binary tree structured filter banks

I. 서론

산업화가 이루어짐에 따라 대기 중으로 배출되는 다양한 종류의 오염물질 (CO, SO₂, NO_x, etc.)을 실시간으로 측정할 수 있는 비분산 적외선 분석법

(non-dispersive infrared method : NDIR)을 이용한 측정기술이 활발히 연구되고 있다^[1~5]. 최근 NDIR 기술의 기반으로 한 다중 가스상관필터 휠(multi gas filter correlation wheel : multi GFC wheel)을 갖는 다중오염물질 광학분석시스템이 개발되었고, 실시간으로 동시에 다양한 오염물질을 측정항목별 신호로 구분할 수 있는 신호 검출 알고리즘이 발표되었다^[6]. 대기 중으로 배출되는 미량인 다중오염물질의 농도를 측정함에 있어 측정된 신호는 매우 낮은 레벨의 아날로그 신호이므로 부가되는 잡음은 대상신호의 해석에 있어 많은 문제점으로 작용한다^[7]. 따라서 아날로그 처리부에서는 특성이 안정적인 저 드리프트, 저 잡음의 증폭기가 요구되며 디지털 신호처리부에서는 신호의 특성을 고려한 잡음제거와 분리하는 신호처리 기법이 필요하다. 잡음제거기

* 정회원, ***** 평생회원, 동의대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Eng., Dong-Eui University)

** 정회원, 씨텍
(C Tech.,)

*** 정회원, 극동정보대학
(Dept. of Biomedical Eng., Keukdong College)

**** 평생회원, 충북대학교 전기공학과
(Dept. of Electrical Eng., Chungbuk Nat'l. University)

※ “이 논문은 2009학년도 동의대학교 교내일반연구비 지원에 의해 연구되었음”(2009AA167)

접수일자: 2009년8월7일, 수정완료일: 2009년12월7일

법으로 신호나 잡음특성에 대한 사전지식이 필요치 않는 적응기법, 웨이블릿 변환 (wavelet transform)을 이용하는 기법, 독립성분분석 (independent component analysis)기법, 암묵 (blind) 기법 등이 연구되어 왔다^[8-15]. 적응 알고리즘을 사용하는 잡음제거기법은 일반적으로 두 개 이상의 센서를 통해 기준신호 (reference signal)와 주 신호 (primary signal)를 측정하여 사용할 때 가장 효과적이며 하나의 센서로부터 측정된 신호를 사용하는 응용에서 잡음제거 성능이 심각하게 저하되는 단점이 있다^[9]. 그리고 독립성분분석 기법이나 암묵기법은 많은 계산량이 요구되므로 실시간 처리가 요구되는 다중오염물질 측정장비 개발에서 실제 하드웨어 구현에 매우 불리하다. 웨이블릿을 기반으로 하는 잡음제거방법은 푸리에 변환과는 달리 유한 구간의 모 웨이블릿 (mother wavelets)을 사용함으로써 효과적으로 신호를 분해·합성한다. 그리고 웨이블릿 변환은 신호를 다 해상도로 분해하여 처리함으로써 주파수 영역과 시간영역에서 해상도를 높이는 장점을 가진다. 그러나 웨이블릿 기반의 잡음제거 방법은 웨이블릿 함수의 복잡성으로 인하여 하드웨어 구현이 어려운 단점이 있다. 이렇게 복잡한 형태의 웨이블릿은 비교적 간단한 필터뱅크로 대체함으로써 쉽게 구현이 가능하다.

본 논문은 환경오염물질의 정밀한 측정이 가능한 계측장비 개발 단계부터 효율적인 하드웨어 구현을 고려하여 전·후처리 과정을 이용한 잡음제거 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법은 검출단계에서 빠르게 변화하는 고주파 잡음에 강인한 신호취득을 위한 전처리 과정을 사용하고, 느리게 변화하는 저주파 잡음을 제거하기 위해 필터뱅크를 사용한 부밴드 잡음제거 기법을 후처리 방법으로 사용한다. 이러한 두 가지 상반된 잡음제거 방법은 효과가 다른 전·후처리방법을 통해 효과적으로 제거된다. 제안한 방법의 성능은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증한다.

II. NDIR 다중오염물질 측정시스템 및 측정항목 검출 알고리즘

NDIR 기반의 다중오염물질 광학분석시스템의 NDIR 검출기의 구조는 그림 1과 같다. NDIR 검출기는 다중 GFC 휠과 반사거울에 의해 형성되는 다중 광 경로를 갖는 흡수 챔버 (Multi-path Optical Absorption chamber : MOA chamber) 그리고 IR 센서(sensor)로

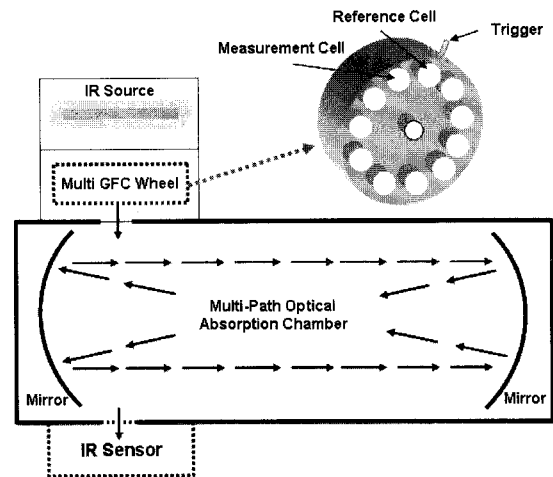


그림 1. 다중 GFC 휠을 갖는 NDIR 검출기
Fig. 1. NDIR Detector with a multi GFC wheel.

구성된다. GFC 방법은 고농도의 표준가스를 충전한 기준셀(reference cell)과 질소가스를 충전한 측정셀(measuring cell)을 교대로 쉘핑(chopping)함으로써 간섭성분에 의한 영향을 상호 상쇄시키는 방법으로 측정시에 다른 간섭물질의 영향을 제거할 수 있다.

광원에서 방출되는 넓은 파장의 IR 복사광은 회전하는 다중 GFC 휠을 통과하게 되는데 광원으로부터 나온 빛이 기준셀과 측정셀을 번갈아 가며 통과하게 된다. 이 결과로서 기준펄스와 측정펄스로 변조되는 빛을 발생시켜 MOA 챔버로 들어가게 된다. 측정펄스가 나타나는 동안에는 질소가스가 충전된 측정셀에서는 흡수가 일어나지 않고 MOA 챔버에서 시료 내에 포함된 측정 가스 농도에 해당하는 흡수가 일어난다. 반면 기준펄스가 나타나는 동안에는 GFC 내의 측정하고자 하는 고농도 표준가스에 의해 해당 파장의 IR 에너지의 대부분의 빛이 흡수되므로 표준가스에 비해 낮은 농도의 측정 가스가 혼합되어 있는 MOA 챔버 내에서 흡수되는 정도는 무시될 수 있다. MOA 챔버를 나온 빛은 광 간섭 필터를 통해 해당 파장의 빛만 검출기에 들어가 전압신호로 변환 증폭된다. 빛이 흡수되는 정도는 물질의 농도에 따라 달라지는데 농도와 흡수도 사이에는 다음과 같은 Beer-Lambert의 법칙이 성립된다.

$$A(\lambda) = \epsilon(\lambda)LC \tag{1}$$

여기서 $A(\lambda)$ 는 파장 λ 에서의 흡수도, $\epsilon(\lambda)$ 는 파장 λ 에서의 흡수계수, L 은 빛의 투과거리(MOA 챔버에서 광경로의 길이), 그리고 C 는 가스 농도이다.

즉 흡수도는 가스 셀의 길이와 가스농도에 비례하게

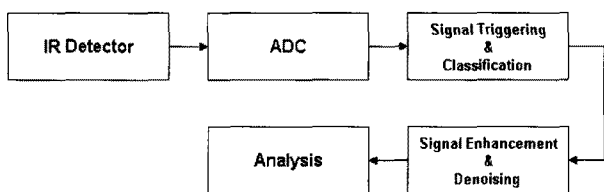


그림 2. 다중오염물질 분석을 위한 신호처리 순서도

Fig. 2. Signal processing block diagram for analyzing various environmental air-pollution materials.

되므로 흡수계수 ϵ 이 충분히 크고 단색광을 측정가스에 통과시켜 투과된 빛의 세기를 측정하면 (1)의 식에 따라 다른 가스의 방해 없이 측정대상가스만의 농도를 계산해 낼 수 있다. 이러한 각 채널의 IR 흡수 신호로부터 각각의 측정물질별 기준셀 신호와 측정셀의 출력신호의 흡수도 차 (differential absorption)를 계산하여 각 측정물질의 농도를 구한다. 이때 검출기는 한 쌍의 기준 셀과 측정 셀을 번갈아 가며 통과한 빛을 검출하므로 검출기 출력신호는 기준펄스와 측정펄스로 변조된 펄스형태를 갖는다.

그림 2는 NDIR 기술을 사용하는 다중오염물질 분석을 위한 신호처리 순서도이다. NDIR 검출기를 통해 측정된 신호는 매우 낮은 레벨의 아날로그 신호이며 전처리 증폭기(pre-amplifier)를 이용하여 증폭한 후 ADC (analog to digital converter)에 의해 디지털 신호로 변환된다. ADC로부터 디지털 변환된 신호는 측정항목별 신호가 연속적으로 반복되므로 이를 분석하기 위해서는 정확한 구분을 통한 각 측정항목별 데이터 확보가 필요하다. 이를 위해 회전하는 다중 가스 필터 상관 휠 외부에 장착된 광 트리거 센서(external optical trigger sensor)를 이용한다. 디지털 변환된 검출신호는 펄스 신호 열(sequence)과 유사한 형태를 가지며 측정항목별 기준 셀과 측정 셀의 출력신호로서 2개의 펄스 신호 쌍이 하나의 측정항목에 대응한다. 측정항목에 해당하는 신호구분을 위해 GFC 외경에 부착된 광 커플러를 통한 트리거 신호와 임계값(threshold value)을 사용하여 다중 GFC 휠의 1 사이클(cycle)에 대한 정확한 동기를 찾는다. 연속적인 펄스 신호로 구성되는 다중 신호로부터 측정항목 구분은 트리거 신호를 기준으로 임계값(TH_{CNT})을 사용하여 펄스 수를 카운트(count)하여 해당 측정항목의 기준 셀 및 측정 셀 신호를 찾는다. 이때 펄스신호의 기저레벨(base level), TH_{base} 는 여러 아날로그 소자 및 기구물 회전 등에 의해 발생하는 고주파 잡음과 NDIR 검출기의 온도특성, 열잡음 등에 의해 발생

하는 드리프트(drift)성 저주파 잡음에 오염된다. 펄스신호 진폭에 부가된 고주파 잡음으로 사이클 내에서 고정된 임계값인 TH_{CNT} 을 사용하여 펄스 수를 카운트할 때 오류가 발생할 수 있으므로 다음과 같은 방법을 사용한다^[6].

$$\begin{aligned} \text{If } \sum_{i=n-l}^n sig(i) < TH_{base}, \\ \text{Then flag} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 l 은 고주파 잡음의 영향없이 임계값 보다 큰 출력값을 선택하기 위해 사용된 파라미터이다^[6].

$$\begin{aligned} \text{If } (flag == 0) \& \left(\sum_{i=n-l}^n sig(i) < TH_{base} \right), \\ \text{Then } CNT = CNT + 1 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 CNT 는 측정셀 혹은 기준셀 위치를 구분하기 위한 파라미터이다.

이때 측정하고자 하는 SO_2 의 농도가 높을 경우 측정셀에서 IR광원의 흡수가 증가하여 측정 셀 출력신호의 진폭크기가 감소하게 된다. 따라서 신호대 잡음비(SNR)가 낮아져 펄스 수를 카운트함에 어려움이 발생한다. 또한 구분된 측정항목에 해당 펄스신호로부터 유효 데이터를 취득함에 있어 펄스 신호의 피크(peak)에 부가되는 고주파 잡음의 영향을 고려해야 한다. 고주파 잡음에 의해 오염된 펄스신호의 피크로부터 유효 데이터를 취득하기 위해 TH_{base} 를 기준으로 펄스의 상위 데이터를 MA (Moving average)함으로써 고주파 잡음을 제거한다^[6].

$$sig_{MA}(k + CNT) = avg_{\gamma}\{sig(n)\}, \quad 10 \leq \gamma \leq 20 \quad (4)$$

여기서 k 는 외부 트리거의 인덱스(index), γ 는 f_s 에 의존하는 상수이다. $avg_{\gamma}\{sig(n)\}$ 는 $sig(n)$ 을 내림차순 정렬 후 상위 $\gamma\%$ 의 평균이다.

측정항목별 신호구분을 위해 사용하는 신호처리 검출 알고리즘은 그림 3과 같다^[6].

III. 전·후처리 잡음제거 기법

그림 3의 신호 검출 알고리즘에서 각 측정항목별 신호의 구분과 동시에 해당 항목신호의 기준전압이 예측(prediction)되며 예측된 기준전압 이상의 데이터 중 상위 $\gamma\%$ (실험에서 $\gamma = 20$ 사용)의 평균(mean)으로부터 측정값을 결정한다. 이는 전처리 과정으로서의 잡음제

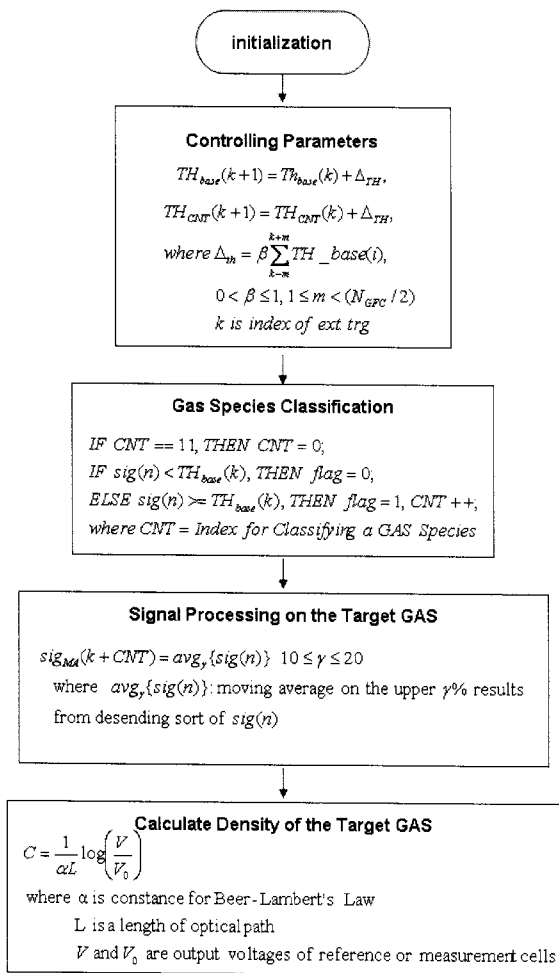


그림 3. 다중오염물질 측정을 위한 신호 검출 알고리즘
 Fig. 3. Signal Detection algorithm for multi-air pollution measurement system.

거기법으로 빠르게 변화하는 고주파 잡음을 제거한다.

측정 데이터의 정밀도를 위해 외부 동기화 신호(trigger signal)와 대상신호 검출 알고리즘을 통한 동기화가 연속적으로 이루어지며 각 측정항목별 데이터 샘플 수 및 기준전압 추정은 반복적으로 확인·수행된다. 이러한 전처리과정으로서의 잡음제거 기법으로 센서 및 전처리 증폭기 등을 포함하는 검출부와 다중 GFC 회로를 포함한 기구부로부터 부가되는 빠르게 변화하는 고주파 잡음은 효과적으로 제거가 가능하나 일정한 측정온도가 요구되는 센서부의 구동회로 및 다중 GFC 회로를 회전시키는 스텝 모터(step motor) 구동부 등에서 부가되는 느리게 변화하는 저주파 잡음의 제거는 어렵다. 이를 위해 필터뱅크^[10]를 사용한 부밴드 잡음제거 기법을 후처리 방법으로 사용한다. 잡음이 포함된 신호를 각각의 부밴드 분해 필터뱅크를 통과시켜 얻는 부밴드 신호의 전력을 이용하여 잡음을 제거한다. 일반적으로 전대

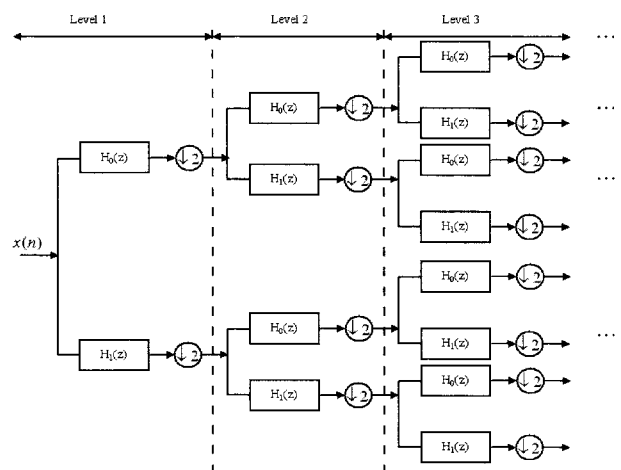


그림 4. 부밴드 신호 분해를 위한 균일 트리구조의 필터뱅크

Fig. 4. Uniform binary-tree structured filter banks for subband signal decomposition.

역에 고르게 분포되는 잡음과는 달리 신호는 한정된 주파수 대역에 분포하게 되므로 분해 필터뱅크를 통과하게 되면 신호의 주파수를 포함하는 해당 주파수 대역에 나타나게 된다. 그리고 SNR (Signal Noise Ratio)이 높을 경우, 신호의 전력은 부가된 잡음의 전력에 비해 크므로, 신호가 포함되어 있는 부밴드의 전력은 다른 부밴드에 비해 크다. 이러한 신호와 잡음의 주파수 특성과 전력의 관계를 이용하여 잡음제거를 시행한다. 그림 4와 같은 균일 트리구조의 필터뱅크^[10]는 각 대역의 분해능이 동일하므로 실제 신호가 임의의 대역에 포함되어 있더라도 잡음제거 성능의 저하는 일어나지 않는다. 또한 각 부밴드는 동일 분해/합성필터 그리고 다운/업 샘플링 수를 가지므로 하드웨어 구현 시 다운샘플링율과 부밴드 필터링에 의한 지연의 차를 고려할 필요가 없으므로 시스템 구현이 용이하다.

일반적으로 대상이 되는 실제 신호는 저주파 잡음보다 낮은 대역에 분포한다. 따라서 그림 4와 같이 각각의 대역을 균일한 분해능을 갖도록 하는 구조에 비해 그림 5는 실제 신호가 포함되어 있는 저주파 대역의 분해능을 높일 수 있도록 균일하지 않은 대역으로 분해한 구조이다. 실제 신호의 주파수 성분은 대부분 저주파 대역에 분포하므로 잡음제거 성능의 저하는 발생하지 않으며 하드웨어 비용을 크게 줄일 수 있다. 만약 신호의 주파수 성분이 고주파 대역 성분이라면 저주파 대역 대신 고주파 대역을 반복해서 분할하는 구조를 사용하면 된다. 그러나 대상 신호가 저주파와 고주파 영역에 동시에 분포할 때 잡음 제거성능의 저하는 심각하게 발

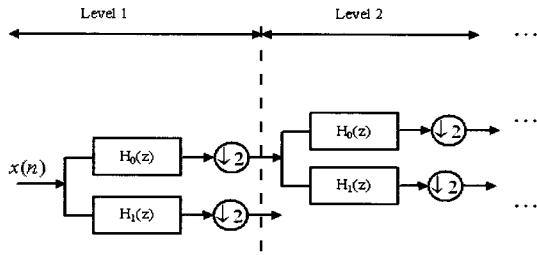


그림 5. 부밴드 신호 분해를 위한 비균일 트리구조의 필터뱅크

Fig. 5. Non-uniform binary-tree structured filter banks for subband signal decomposition.

생할 수 있으며, 하드웨어 구현 시 각각의 부밴드에서 다운샘플링 율과 부밴드 필터링에 의한 지연의 차를 정확히 계산해야 하는 어려움이 있다. 그러므로 검출신호의 특성에 적합하도록 그림 4나 그림 5의 구조를 적절히 선택하는 것이 필요하다. 각 부밴드에서 잡음제거를 하기 위해 이용되는 부밴드 전력의 추정은 다음과 같은 방법을 사용한다.

$$P_i = \sigma_i^2 \quad (5)$$

여기서 σ_i^2 는 i 번째 밴드에서 출력신호의 분산이다.

식 (5)는 각각 부밴드 출력신호의 통계적 특성을 완전히 알 수 있을 때 가능하므로 이를 구하는 것은 불가능하다. 따라서 시간 n 에서의 부밴드 출력신호의 전력을 과거 전력과 누설정도를 제어하는 파라미터 α 를 이용하여 다음과 같이 반복적으로 추정한다.

$$P_i(n) = (1-\alpha)x_i(n-1) + \alpha x_i(n) \quad (6)$$

이때 그림 5와 같이 균일하지 않게 분해한 각각의 부밴드 구조의 경우, 전력 계산은 신호열의 다운샘플링 율(down sampling rate)이 일치하지 않으므로 밴드별 다운샘플링 율수를 고려한 부밴드 출력신호로부터 다음과 같이 반복적으로 구한다.

$$P_i(n) = (1-\alpha)x_{D_i}(n-1) + \alpha x_{D_i}(n) \quad (7)$$

여기서 $x_{D_i}(n) = x_i(n2^{i-1})$, $i = 1, 2, 3, \dots$, $x_i(n)$ 는 시간 n 에서 i 번째 밴드의 출력신호이다.

그림 4의 균일 트리구조를 사용할 경우, 다운샘플링 수를 고려할 필요가 없으므로 식 (7)은 식 (8)과 같이 사용된다.

$$P_i(n) = (1-\alpha)x_i(n-1) + \alpha x_i(n), \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

여기서 $x_i(n)$ 는 시간 n 에서 i 번째 밴드의 출력신호이다.

식 (7) 또는 식(8)의 부밴드 전력을 사용하여 전대역의 전력을 다음과 같이 추정한다.

$$P_{total}(n) = \sum_{i=0}^{Level} P_i(n) \quad (9)$$

식 (7)~식 (9)로부터 i -밴드에서의 전대역 전력과 해당 부밴드 전력의 비를 다음과 같이 구한다.

$$\gamma_i(n) = \frac{P_i(n)}{P_{total}(n)} \quad (10)$$

식 (10)의 전력비는 신호와 잡음의 전력이 해당 부밴드 전력에 차지하는 정도에 따라 식 (11)과 같다. 식 (10)의 전력비를 사용한 잡음제거 방법은 임계치(threshold)를 이용한 잡음제거에서 임계치(threshold value) 선택방법 중 소프트 임계치(soft threshold value)를 이용한 잡음제거 방법^[12]과 유사하다. 일반적으로 소프트 임계치를 이용한 방법은 하드 임계치(hard threshold)를 이용한 방법에 비해 성능이 더 좋지만 구현이 어려운 단점이 있다. 그러나 식 (10)의 전력비를 이용한 잡음제거 방법은 soft threshold 방법과 유사하지만 보다 간단하게 구현할 수 있는 장점이 있다. 식 (10)의 전력비를 사용하여 다음과 같이 각 부밴드에서 잡음제거를 한다.

$$\gamma_i = \begin{cases} \frac{P_{noise}}{P_{signal} + P_{noise}} \approx \frac{1}{P_{signal}} \ll 1, & \text{잡음전력이 대부분일 경우} \\ \frac{P_{signal}}{P_{signal} + P_{noise}} \approx \frac{P_{signal}}{P_{signal}} = 1, & \text{대상 신호전력이 대부분일 경우} \\ 0 < \frac{P_{signal}}{P_{signal} + P_{noise}} < 1, & \text{그 외의 경우} \end{cases} \quad (11)$$

for $P_{noise} \ll P_{signal}$

$$v_i(n) = \beta\gamma_i(n) x_i(n) \tag{12}$$

식 (12)에 의해 잡음이 제거된 각각의 부밴드 신호는 업 샘플링(up sampling)과 합성필터를 통해 복원된다. 비균일 트리구조와 균일 트리구조가 동일한 부밴드 분해능을 얻기 위해서는 같은 level의 부밴드 분해가 필요하다. 4-level의 경우, 균일 트리구조의 부밴드 수는 $2^4 = 16$ 개이며 비균일 트리구조의 부밴드 수는 8개로 균일 트리구조는 비균일 트리구조에 비해 시스템 비용의 많은 증가를 가져오게 된다. 그러나 비균일 구조를 사용할 경우, 잡음제거기 성능의 심각한 저하와 하드웨어 구현 시 다운/업샘플링과 분해/합성 필터링 수의 차이에 의해 발생하는 지연 불일치 문제를 해결해야 하는 어려움이 있으므로 균일한 트리구조를 이용한 잡음제거기를 이용하였다.

IV. 시뮬레이션

제안한 잡음제거기 성능확인을 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. NDIR 다중오염물질 측정시스템의 출력신호를 사용하여 제안한 전·후처리 잡음제거기의 성능을 평가하였다. 성능평가에서 사용한 표준혼합가스(standard mixed gas)는 표 1에 나타내었으며 유량은 오리피스(Orifice)를 사용하여 1000[cc/min]로 유지하였다.

그림 6은 20 [sec] 동안 측정된 NDIR 검출기의 출력 신호 및 외부 트리거 신호와 펄스신호에서 측정항목 순서를 나타낸다. 다중신호 검출 알고리즘에서 다중 GFC 휠의 회전수 $K=0.655$ [cycle/sec], 샘플링 주파수 $f_s=1$ [kHz]^[6], 그리고 고주파 잡음을 제거하기 위해 상위 데이터 처리 파라미터 $\gamma=20$ 을 사용하였다. 시뮬레이션에서 후처리과정을 위해 사용한 분해필터뱅크는 하다마드 변환으로 얻은 길이 2의 분해필터 뱅크를 사용하여 균일 4와 16-부밴드 구조이다.

표 1. 실험에 사용된 표준혼합가스
Table 1. Standard mixed gases used in experiments.

Mixed Gas Density	NO [ppm]	SO2 [ppm]	CO [ppm]
100ppm	105	99	107
250ppm	253	248	252
400ppm	398	392	402

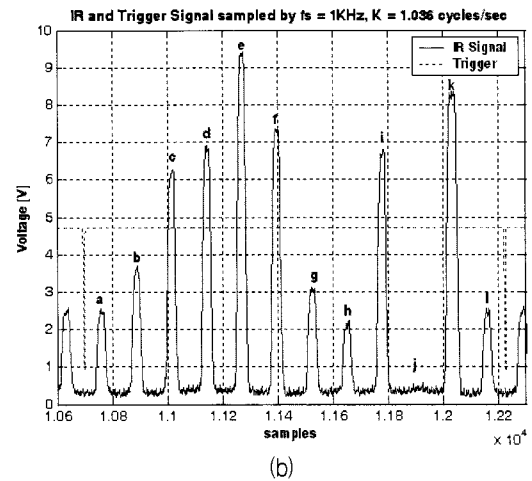
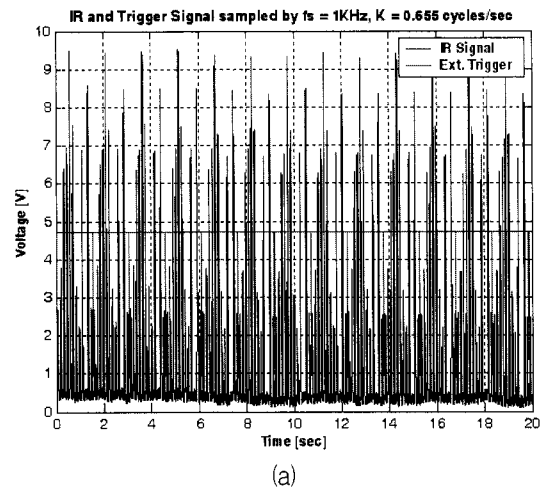


그림 6. (a) IR 검출기신호 및 트리거 신호, (b) 펄스 신호에서 측정된 가스신호
Fig. 6. (a) IR detector output and trigger signal, (b) measured gas signals in pulse signal (a = Smp.HCl, b = Ref.CO, c = Smp.CO, d = Ref.NO, e = Smp.NO, f = Ref.SO2, g = Smp.SO2, h = Ref.H2O, i = Smp.H2O, j = NONE, k = NONE, l = Ref.HCl).

그림 7은 잡음이 포함된 기저레벨과 후처리 과정으로 4 그리고 16-부밴드 구조의 잡음제거 알고리즘에 의해 잡음이 제거된 결과를 비교한 결과를 나타내고 있다. 기저레벨의 변화는 IR 측정신호로부터 각 오염물질 항목별 측정값에 영향을 준다. 그림 8~그림 10은 각각 NO, CO, SO2의 잡음이 포함된 기준셀 신호와 잡음이 제거된 기준셀 신호를 나타낸 그림이다. 잡음제거를 위해 사용된 부밴드 구조는 균일 트리필터뱅크 구조이며 4와 16-부밴드 구조를 사용하였다. 각 오염물질의 항목별 측정값의 변화는 그림 7의 base level의 변화에 의존함을 알 수 있다. 또한 잡음제거기성능은 부밴드 분

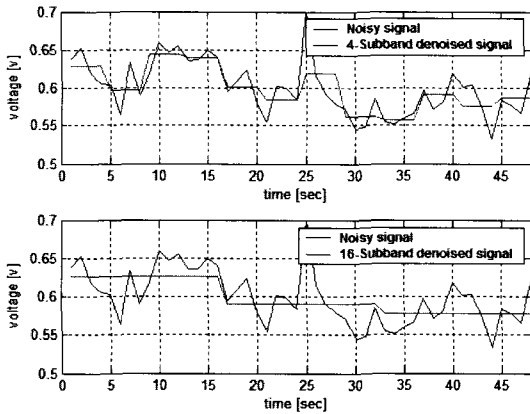


그림 7. 잡음이 포함된 기저레벨과 잡음이 제거된 기저레벨의 비교
 Fig. 7. Comparison noisy base level with denoisy base level.

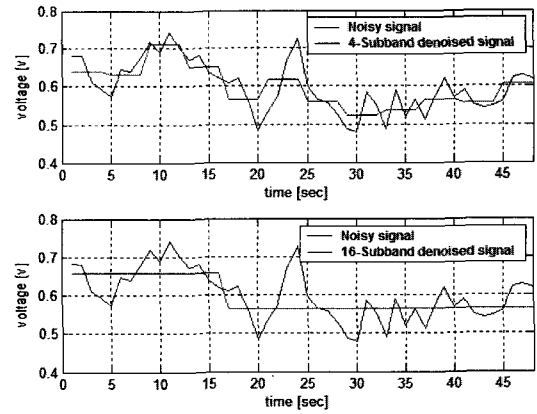


그림 10. 잡음이 포함된 SO2 기준셀 신호와 잡음이 제거된 기준셀 신호의 비교
 Fig. 10. Comparison noisy SO2 reference signal with denoisy reference signal.

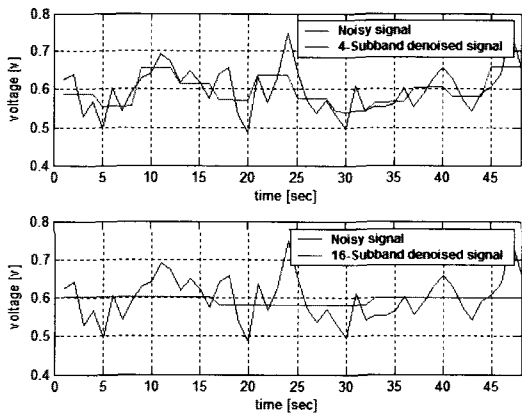


그림 8. 잡음이 포함된 NO 기준셀 신호와 잡음이 제거된 기준셀 신호의 비교
 Fig. 8. Comparison noisy NO reference signal with denoisy reference signal.

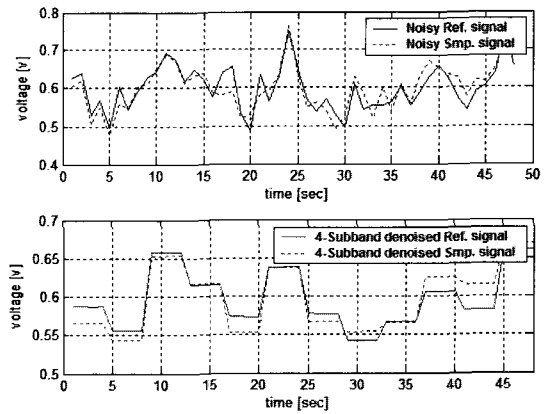


그림 11. 잡음이 포함된 NO 기준셀/측정셀 신호와 잡음이 제거된 기준셀/측정 신호의 비교
 Fig. 11. Comparison noisy NO reference/ measurement signal with denoisy reference signal.

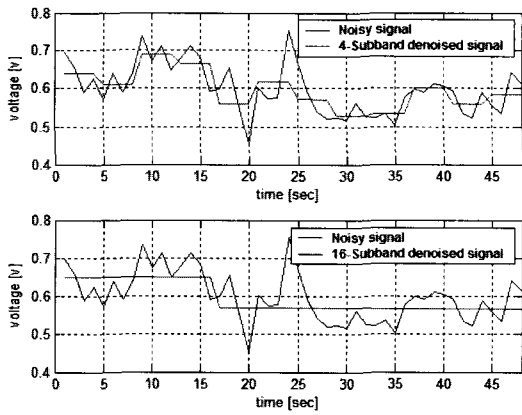


그림 9. 잡음이 포함된 CO 기준셀 신호와 잡음이 제거된 기준셀 신호의 비교
 Fig. 9. Comparison noisy CO reference signal with denoisy reference signal.

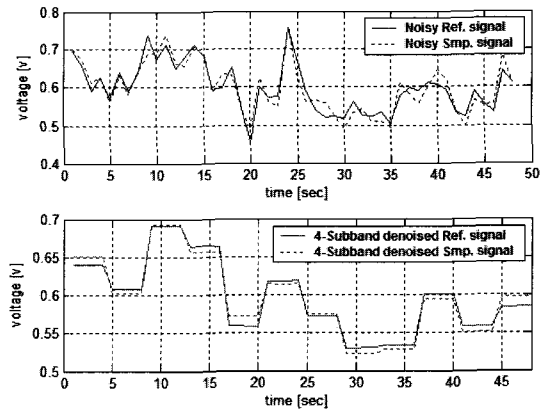


그림 12. 잡음이 포함된 CO 기준셀/측정셀 신호와 잡음이 제거된 기준셀/측정 신호의 비교
 Fig. 12. Comparison noisy CO reference/ measurement signal with denoisy reference signal.

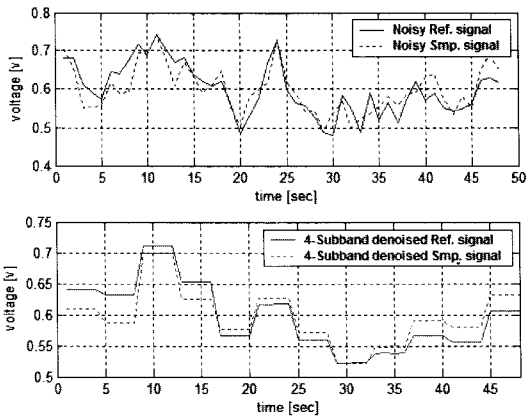


그림 13. 잡음이 포함된 SO2 기준셀/측정셀 신호와 잡음이 제거된 기준셀/측정 신호의 비교
 Fig. 13. Comparison noisy SO2 reference/ measurement signal with denoisy reference signal.

해수가 증가할 수록 향상됨을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 부밴드 수가 증가함에 따라 분해능의 향상으로 잡음신호를 보다 정확하게 제거할 수 있음을 쉽게 유추할 수 있다. 그림 11~그림 13은 각 가스항목별 기준셀 신호와 측정셀 신호의 변화를 비교한 결과이다. 그림에서 각각의 가스 항목은 기준셀 신호와 측정셀 신호의 변화 양상이 유사함을 알 수 있다. 앞에서 설명한 것과 같이 GFC 방법은 고농도의 표준가스를 충전한 기준셀과 질소가스를 충전한 측정셀을 교대로 초핑(chopping)함으로써 간섭성분에 의한 영향을 상호 상쇄시키는 방법으로 측정 시에 다른 간섭물질의 영향을 제거할 수 있다.

심지어 기저레벨이 변화함에 따라 각 가스 항목별 IR 신호의 측정값은 그 변화가 기저레벨의 변화에 의존하지만 상호 상쇄 효과에 의해 드리프트에 의한 영향을 줄일 수 있다.

실협에서 사용한 부밴드 필터뱅크의 분해필터는 필터길이 2의 하다마드 변환^[10]을 통해 얻은 계수를 사용하였다. 이때 각 분해필터의 차단특성은 다소 저하되지만 보다 높은 부밴드 분해능을 위해 많은 수의 분해를 하여도 분해필터의 길이에 의해 발생하는 지연 및 부밴드 분해를 위한 콘볼루션에서 요구되는 곱셈이 없다. 각각은 중첩이 발생하지 않도록 최대 다운샘플링율로 다운샘플링을 거친 후 잡음제거를 하고 계수의 길이가 짧은 합성필터(분해필터의 길이와 같아야 하므로 합성필터의 길이는 2이다.)에 의해 복원된다. 잡음제거가 일정 시간간격으로 블록처리된 것 같은 형태를 보이는 이유는 부밴드 분해할 때 발생하는 다운샘플링 후 잡음제거가 이루어지기 때문이다.

그러나 다운샘플링에 의해 샘플링율이 낮아짐으로써 잡음제거기의 구현 시 연산량 및 메모리 등의 감소로 하드웨어 비용의 절감 발저 사양의 시스템으로도 구현 가능하게 되는 장점을 갖는다.

V. 결 론

비분산 적외선(NDIR) 기반의 다중오염물질 측정시스템에서 미세신호를 효과적으로 처리하기 위한 전·후처리과정을 통한 잡음제거 알고리즘을 제안하였다. 실시간 처리가잡음제한 다중오염물질 측정시스템에서 적용 알고리즘의 사용은 시스템통한 에 어려움이 있으며 성질이 서로 다른 저·고주파 잡음의 동시 제거가잡요구된다. 이를 해결하기 위한 방법으로 측정된 아날로그 신호로부터통디지틸통변환 시 데이터통취득단계에서의 진처리 과정을 통해 고주파 잡음을 제거하고 데이터통취득 후 웨이블릿기반 잡음제거 기법과 유사한 필터뱅크를 이용한 부밴드 잡음제거기법을 후처리 과정으로 하여 성질이 서로 다른 저·고주파 잡음을 효과적으로 제거하였다.

참 고 문 헌

- [1] K. Kaneyasu, K. Otsuka, Y. Setoguchi, S. Sonoda, T. Nakahara, and I. Aso, "Acarbon dioxide gas sensor based on solid electrolyte for air quality control", Sensors and Actuators B, 66, pp. 56-58, 2000.
- [2] M. Arndt and M. Sauer, "Spectroscopic carbon dioxide sensor for automotive applications", In Proc. of the IEEE Sensors 2004,Vienna, vol. 1, pp. 252-255, NJ, Oct., 2004.
- [3] 김우석, 손덕영, 박영무, 유재석, 이종화, "비분산 적외선 분광법을 이용한 CO2 농도 고속 분석기의 Sampling Module 특성에 관한 실험적 연구", 대한 기계학회논문집, B, 제27권, 제3호, pp. 398-405, 2003.
- [4] D. W. Hill and T. Powell, Non-Dispersive Infrared Gas Analysis in Science, Medicine and Industry, Plenum Press, NJ,, 1968.
- [5] 박대순, 허귀석, 오상협, 우진춘, 이진복, 김광섭, 김용두, 문동민, 김병민, 배현길, 이정순, 김현호, 노중섭, 박중보, 한상봉, 이재용, 최훈, "환경·식품 유해성분 측정보증", 한국표준과학연구원 연구보고서, KRISS/IR-2007-062, 1999.
- [6] 최훈, 김현호, 황병한, 임용석, 류근택, 배현덕,

“NDIR 검출기를 이용하는 대기오염 측정시스템을 위한 미세신호 검출 알고리즘,” 전자공학회논문지, 제45권 IE편, 제3호, 27-35쪽, 2008년 9월

- [7] Richard J. Higgins, Digital Signal Processing in VLSI, Analog Devices, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1990.
- [8] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer, Discrete-time Signal Processing, Prentice-Hall Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1999.
- [9] S. Haykin, *Adaptive Filter theory*, 4th Ed. Prentice-Hall, 2002.
- [10] P. P. Vaidyanathan, Multirate System and Filter Banks, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1993.
- [11] A. Chambolle, R. A. DeVore, N. Lee, and B. J. Lucier, “Nonlinear Wavelet Image Processing: Variation Problems, Compression, and Noise Removal Through Wavelet Shrinkage,” IEEE Trans. on Image Proc., vol. 7, no. 3, pp.319-335, 1998.
- [12] D. L. Donoho, “De-noising by Soft Thresholding,” IEEE Trans. on Info. Theory, vol. 41, no. 3, pp613-627, 1995.
- [13] S. Mallat and W. L. Hwang,, “Singularity Detection and Processing with Wavelets,” IEEE Trans. on Info. Theory, vol. 38, no. 2, pp617-643, 1992.
- [14] S. Mallat, A Wavelet Tour of Signal Processing, Academic Press, 1998.
- [15] S. Mallat, “A theory for multiresolutional signal decomposition : the wavelet representation,” IEEE Trans. Pattn. Anal. Mach. Intell., vol 11, no. 7, pp. 674-693, July, 1989.

저 자 소 개



김 영 진(정회원)
1962년 광운대학교 (공학사)
1980년 건국대학교 대학원
(공학석사)
1997년 경남대학교 대학원
(공학박사)
1980년~현재 동의대학교
전자공학과 교수

<주관심분야 : 회로 및 시스템, DSP>

임 용 석(정회원)
대한전자공학회 논문지
제 45권 IE편 제 3호 참조
2003년~현재 씨텍 대표

류 근 택(정회원)
대한전자공학회 논문지
제 45권 IE편 제 3호 참조
1996년~현재 극동정보대학 보건의료공학과 교수

배 현 덕(평생회원)
대한전자공학회 논문지
제 45권 IE편 제 3호 참조
1987년~현재 충북대학교 전기공학과 교수

최 훈(평생회원)
대한전자공학회 논문지
제 45권 IE편 제 3호 참조
2008년~현재 동의대학교 전자공학과 전임강사