

# 잔류가스분석기의 질량 스펙트럼 검출 성능 향상을 위한 잡음제거 알고리즘

## Noise Reduction Algorithm For The Detection of Fine Ion Signals in Residual Gas Analyzer

허경용\* · 최훈<sup>†</sup>  
(Gyeongyong Heo · Hun Choi)

**Abstract** - This paper proposes a method to improve the mass spectral detection performance of the residual gas analyzer. By improving the mode estimation method for setting the threshold value and improving the additive noise elimination method, it is possible to detect mass spectrums having low peak values of the threshold level difficult to distinguish from noise. Ion signal blocks for each mass index with noise removed by the improved method are effective for eliminating invalid ion signals based on the linear and quadratic fittings. The mass spectrum can be obtained from the quadratic fitted curves for the reconstructed ion signal block using only the valid ion signals. In addition, the resolution of the mass spectrum can be improved by correcting the error caused by the shift of the spectral peak position. To verify the performance of the proposed method, computer simulations were performed using real ion signals obtained from the residual gas analysis system under development. The simulation results show that the proposed method is valid.

**Key Words** : Residual gas analyzer, Noise reduction, Mass spectrum, Curve fitting, Linear fitting, Peak position error

### 1. 서론

잔류가스분석기 (RGA: Residual Gas Analyzer)는 일반적으로 진공챔버 안에 잔류하는 기체의 화학적 조성을 효율적으로 측정하는 장비이다[1, 2]. RGA는 시스템 안에서 일어나는 화학반응의 실시간 모니터링 할 수 있으므로 반도체 제조공정의 공정 모니터링에 주로 이용되며 유기화합물(VOCs)의 분석, 식품에서의 잔류 농약의 분석 등 다양한 환경적 분석연구 분야에서 활용 가능하다. 반도체 공정의 고도화 및 다양한 환경오염물질의 분석 및 실시간 모니터링의 필요성이 증가하고 있지만 현재 국내에서 사용되는 장비는 대부분 외산 장비로 국산화 개발이 시급한 실정이다.

그림 1은 현재 한국표준과학연구원의 원천기술을 바탕으로 국내에서 개발 중인 4중극자 질량필터(quadruple mass filter)[3, 4] 기반의 잔류가스분석기의 시스템 구성도[5, 6]이다. 진공 챔버 내 잔류가스의 성분을 쉽게 감지하기 위해 sub-ppm 검출 능력으로  $10^{-14}$  수준의 미세신호를 측정할 수 있어야 한다. 그러나 이온화기(ionizer)와 질량필터 등을 위한 서로 다른 전원(고압 및

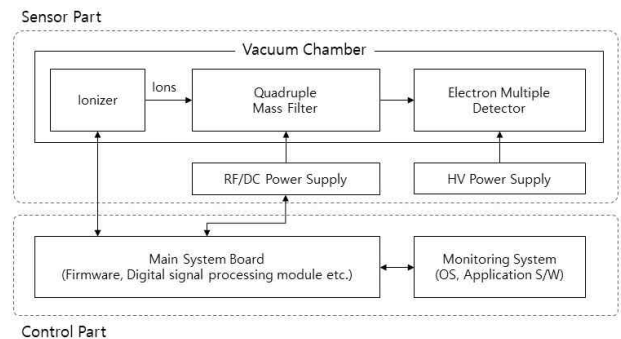


그림 1 개발 중인 잔류가스분석기 구성도

Fig. 1 Configuration of residual gas analyzer under development

RF/DC 전원)에서 발생하는 전력 잡음과 전자 증폭 검출기(electron multiple detector)에 추가되는 잡음과 같은 다양한 부가잡음에 의해 오염된다. 이러한 부가잡음은 분석 대상이 되는 휘발성 화합물의 질량 스펙트럼의 검출 성능을 저하시킨다[6].

최근 가스크로마토그래피 질량분석기(GC-MS)와 잔류가스분석기(RGA)를 위한 하드웨어 설계와 잡음제거, 질량스펙트럼 검출 및 해상도 개선을 위한 연구결과가 발표되었다[5-7]. GC-MS와 RGA는 모두 질량분석기(mass spectrometer)를 사용하는 유사 기능의 분석장비로 이들 연구결과 중 데이터 품질 및 스펙트럼 성능의 개선을 위한 알고리즘[6, 7]은 상호 적용 가능하다.

<sup>†</sup> Corresponding Author : Dept. of Electronic Engineering, Dongeui University, Korea.

E-mail: hchoi@deu.ac.kr

ORCID: https://0000-0003-2669-4875

\* Dept. of Electronic Engineering, Dongeui University, Korea.

Received : October 1, 2018; Accepted : December 3, 2018

[5]에서는 RGA의 전체적인 하드웨어 설계 및 작동원리를 소개하였다. [6, 7]에서는 부가잡음의 제거를 위해 질량 스펙트럼이 존재하지 않는 구간에서 추정된 최빈값을 임계값으로 설정하여 부가잡음을 제거한다. 또한 질량지수(mass index)별 데이터 블록에 대한 선형 근사 및 2차 피팅을 통해 질량스펙트럼 특성기반의 부가잡음이 제거된 유효 데이터 블록을 재구성하여 질량 스펙트럼을 검출하고 스펙트럼의 피크위치보정(peak position error; PPE)을 보정함으로써 인접 스펙트럼과 분리된 높은 해상도의 질량 스펙트럼을 얻을 수 있었다. 그러나 임계값과 유사한 매우 낮은 수준( $10^{-14}$ )의 피크를 갖는 질량 스펙트럼의 검출은 여전히 미흡하다.

본 논문에서는 낮은 피크값을 갖는 질량 스펙트럼의 검출 성능을 개선하기 위한 전처리 잡음제거 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법은 [6]의 개선된 버전으로 기존 방법에서 검출하지 못한 낮은 수준의 질량 스펙트럼을 검출하기 위해 임계값 설정 및 적용 방법을 개선하였다. 제안한 방법의 성능은 실제 개발 중인 장비로 취득한 이온신호를 입력신호로 사용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

## 2. 기존 알고리즘의 전처리 잡음제거 방법

디지털 데이터로 변환된 전압신호를  $x(n)$ 로 정의할 때,  $x(n)$ 은 원자 또는 분자에 대응하는 이온의 전압신호  $s(n)$ 과 잡음신호  $u(n)$ 로 구성되므로 다음처럼 표현할 수 있다[8].

$$x(n) = s(n) + u(n) \quad (1)$$

여기서  $n$ 은 샘플 데이터의 시간순서를 의미하는 샘플 인덱스(sample index)이다.

이때 잡음 신호는 전원 공급 장치, 프리 앰프 등과 같은 다양한 전기 장치로부터 부가되는 백색 가우시안 잡음(white Gaussian noise), 임펄스성 잡음(impulsive noise)과 그 외에 이온신호로 판별하기에 충분하지 않은 샘플 수로 이루어지는 신호 등은 잡음으로 볼 수 있으므로 다음과 같이 구분하여 표현할 수 있다[6].

$$u(n) = u_{wG}(n) + u_{\delta}(n) + u_{lack}(n) \quad (2)$$

여기서  $u_{wG}(n)$ 은 평균이  $m_{noise}$ 이며 분산이  $\sigma_{noise}^2$ 인 백색 가우시안 잡음,  $u_{\delta}(n)$ 은 임펄스성 잡음,  $u_{lack}(n)$ 은 이온신호로 판별하기에 충분하지 않은 샘플 수로 이루어지는 잡음에 해당하는 신호이다.

먼저 측정된 신호로부터 바닥잡음(noise floor)의 제거하기 위한 기준이 되는 임계값을 추정하여 임계값 이하의 낮은 크기를 갖는 바닥 잡음을 제거한다. 측정신호에 부가된 백색 잡음(white noise)은 ADC를 통해 디지털 변환 시 양자화 레벨의 제한으로 인해 낮은 레벨의 최빈값(mode)을 가질 확률이 높다. 따라서 부가잡음을 이루는 주요 배경잡음인  $u_{wG}(n)$ 의 제거 기준인 임계값 설정 시 식 (3)과 같이 최빈값을 추정하여 사용할 수 있다[6].

$$Th = \text{mode}(\{x(0), x(1), \dots, x(N-1)\}) \quad (3)$$

여기서  $\{\cdot\}$ 는 집합표현,  $\text{mode}(\cdot)$ 은 최빈값을 찾는 함수이다.

최빈값으로 설정한 임계값을 사용하여 백색가우시안 특성의 바닥잡음과 단일 샘플 신호인 임펄스 잡음 및 정상적인 신호로 보기에 부족한 샘플 수로 이루어지는 잡음 신호를 제거한다. 백색 가우시안 바닥잡음과 단일 이온신호로 구성된 임펄스 잡음의 제거를 위해 먼저 식 (4)의 임시 버퍼를 구성한다[6].

$$\text{buf}(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-3)]^T \quad (4)$$

여기서  $x(\cdot)$ 는  $\text{buf}(n)$ 를 구성하는 이온신호 요소(element)로서 ADC(analog to digital converter)로부터 취득 후 어떠한 처리도 하지 않은 이온신호이다, 또한  $x(n-1), \dots, x(n-3)$ 의 초기값은  $LevelMin = 10^{-14}$ 이다.

$$x(n) = \begin{cases} LevelMin & \text{if } x(n) \leq Th \\ x(n) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

단일 임펄스 잡음( $u_{\delta}(n)$ )의 제거 후 식 (6)을 사용하여 질량 스펙트럼으로 판단하기에 충분하지 않은 샘플 수로 이루어진 잡음 ( $u_{lack}(n)$ )을 제거한다.

$$\text{buf}_{dc}(n) = \begin{cases} \forall \text{buf}(n) = LevelMin & \text{if } (\text{num}(\text{buf}(n)) > Th) < m \\ & \& (x(n) \leq Th) \\ \text{buf}(n) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

여기서  $\forall \text{buf}(n)$ 는  $\text{buf}(n)$ 의 모든 이온신호 요소를 의미하며,  $\text{num}(\text{buf}(n)) \geq Th$ 는  $\text{buf}(n)$ 의 이온신호 요소 중 임계값 보다 큰 요소(element)의 개수를 구하는 함수이다. 실험에서는  $m = 3$ 을 사용하였다[5].

식 (1)의 이온신호에서 샘플링 율이  $L$  [samples/amu]일 때, 임의의 질량지수  $k$ 의 질량 스펙트럼은 식 (7)과 같이  $(L+1)$ 길이의 이온신호블록으로 표현할 수 있다. 이때 이온신호블록의 좌, 우측 부분으로 분할한 서브블록은 식 (8)~식 (9)와 같이 표현할 수 있다[6, 7].

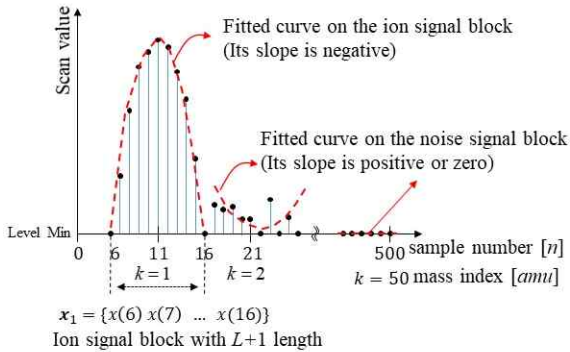
$$\mathbf{x}_k = [x(kL-L/2+1), x(kL-L/2+2), \dots, x(kL+L/2+1)]^T \quad (7)$$

$$\mathbf{xL}_k = [x(kL-L/2+1), x(kL+1), \dots, x(kL+1)]^T \quad (8)$$

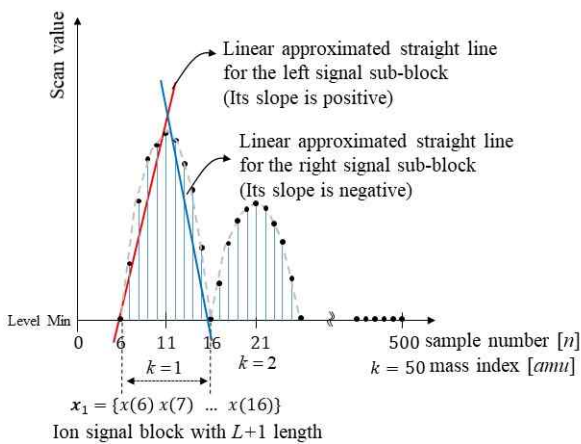
$$\mathbf{xR}_k = [x(kL+1), x(kL+2), \dots, x(kL+L/2+1)]^T \quad (9)$$

여기서  $k$ 는 질량지수로서 정수이며,  $n = kL+1$ 이다.

샘플링 율이  $L = 10$ 일 때, 식 (7)의 이온신호블록이 정상적인 질량 스펙트럼일 경우 그림 2와 같이 이상적으로 좌우 대칭인 위로 볼록한 좌우 대칭형태의 피크신호로 2차 피팅 곡선의 최고차 항은 음의 계수를 갖게 된다. 반면 잡음신호의 경우는 최고차 항이 0(zero) 또는 양의 계수이다. 또한 식 (8)과 식 (9)의 1차 피팅 직선은 각각 양의 기울기와 음의 기울기를 갖는다. 식 (3) ~ 식 (6)의 전처리 과정을 통해 부가잡음이 제거된 이온신호블록



(a) Quadratic fitting characteristics on the idea mass spectrum and noises



(b) Linear fitting characteristics on the idea mass spectrum and noises

그림 2 이상적인 질량 스펙트럼과 잡음의 1차 및 2차 피팅 특성  
 Fig. 2 Linear and quadratic fitting characteristics for ideal mass spectrum and noise

은 그림 2의 정상적인 이온신호블록이 갖는 1차 및 2차 피팅 특성을 사용하여 이온신호블록 내 무효 이온신호를 제거한다. 마지막으로 유효 이온신호들로 구성된 이온신호블록은 피크위치오차 보정과정을 거쳐 질량 스펙트럼을 검출하게 된다[6, 7].

### 3. 제안하는 질량 스펙트럼 검출 개선 방법

[6, 7]에서 제안한 방법은 측정된 이온신호에서 효과적으로 부가잡음을 제거하고 정상적인 이온신호 특성에 기반한 유효신호블록의 재구성과 스펙트럼 겹침 현상 제거 및 PPE 보정을 통해 질량분석기의 질량스펙트럼의 해상도를 개선할 수 있었다. 그러나 임계값 근처의 매우 낮은 수준의 피크를 갖는 질량 스펙트럼의 검출은 여전히 미흡하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존의 전처리 잡음제거 조건을 개선하여 사용하였다.

먼저 식 (3)의 잡음제거 및 유효 이온신호 검출을 위한 기준으로 알고리즘 성능을 좌우하는 중요한 파라미터인 임계값 추정 방법을 개선하였다. 임계값이 너무 높게 설정될 경우, 낮은 수준

의 질량 스펙트럼은 모두 제거되어 질량 스펙트럼의 검출 성능이 저하될 수 있다. 반면 너무 낮게 설정될 경우, 잡음으로부터 이온신호의 분리가 이루어지지 않아 스펙트럼 오검출이 이루어지는 문제가 발생한다. 또한 장비의 실제 사용 시 분석하고자 하는 대상 가스의 분석범위를 사용자가 임의로 설정하게 되는데 시작이 되는 질량지수부터 스펙트럼이 존재할 경우 임계값은 바닥잡음 보다 높은 값으로 추정된 최빈값으로 설정되는 문제가 발생하게 된다. 따라서 운용하는 장비의 바닥잡음을 효과적으로 추정하기 위해 제안한 방법에서는 장비의 초기 자동 교정(auto calibration) 단계에서 질량 스펙트럼이 존재하지 않는 구간의 측정 및 디지털 신호로 변환된 이온신호가 최소값으로 설정한  $LevelMin$ (개발 중인 장비에서는  $LevelMin = 10^{-14}$ ) 보다 큰 값을 갖는  $N$ 개 샘플로부터 추정하여 사용한다.

두 번째로 설정한 임계값을 이용한 임펄스 잡음, 부족샘플로 이루어진 잡음의 제거 단계에서 임계값 수준의 낮은 피크값을 갖는 이온신호를 잡음으로부터 분리하기 위해 잡음제거 조건을 다음과 같이 개선하였다.

**기존 방법:** 임계값을 초과하는 이온신호가 연속적으로 3개 이상일 경우 모두 이온신호

**개선 방법:** 연속된 4개 샘플신호 중 임계값을 초과하는 이온신호가 연속이 아니더라도 3개 이상일 경우 모두 이온신호

개선된 방법에서 임계값 이하의 이온신호가 연속적으로 2개 이상이면 이들 이온신호는 모두 잡음신호로 볼 수 있다. 반면 임계값을 초과하는 이온신호가 연속적으로 2개 이상일 경우 연속적으로 임계값을 초과하기 전후 2개의 이온신호의 레벨을 확인해야 한다. 따라서 잡음신호 여부를 판별하기 위해서는 연속된 4개의 이온신호의 패턴(pattern)과 연속된 4개 이온신호의 전후 2개 이온신호를 동시에 확인할 필요가 있다. 이와 같은 잡음제거 조건을 적용하기 위해 길이가 8인 전처리 잡음제거 버퍼를 다음과 같이 구성한다.

$$buf_{ex}(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-7)]^T \quad (10)$$

여기서  $x(\cdot)$ 는  $buf_{ex}(n)$ 를 구성하는 이온신호 요소(element)로서 ADC(analog to digital converter)로부터 취득 후 어떠한 처리도 하지 않은 이온신호이다.

식 (10)의 전처리 버퍼의 각 요소신호  $x(n)$ 을 임계값 기준으로 그 크기(value)에 따라 0과 1로 변환하여 다음과 같은 새로운 버퍼  $Dbuf(n)$ 을 구성할 수 있다.

$$Dbuf(n) = [x_D(n), x_D(n-1), \dots, x_D(n-7)]^T \quad (11)$$

$$x_D(n-i) = \begin{cases} 1 & \text{for } x(n-i) > Th \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

여기서  $i$ 는  $0 \leq i \leq 7$ 인 정수(integer)이다.

식 (11)에서  $Dbuf(n)$ 을 구성하는 요소신호  $x_D(\cdot)$  중 좌측 끝 2개 요소신호( $x_D(n), x_D(n-1)$ )와 우측 끝 2개 요소신호

$(x_D(n-6), x_D(n-7))$ 를 제외한 나머지 요소신호로부터 다음과 같이 조건수( $NumCd$ )를 구할 수 있다.

$$NumCd(n) = \sum_{i=2}^5 \{2^{i-2} \times x_D(n-i)\} \quad (13)$$

이로부터 잡음이 아닌 이온신호로 판별할 수 있는 조건수의 유효조건은 다음과 같다.

$$EffCd = \begin{cases} 7 & \text{for } Dbuf(n) = [x \ x \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ x \ x]^T \\ 11 & \text{for } Dbuf(n) = [x \ x \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ x \ x]^T \\ 13 & \text{for } Dbuf(n) = [x \ x \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ x \ x]^T \\ 14 & \text{for } Dbuf(n) = [x \ x \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ x \ x]^T \\ 15 & \text{for } Dbuf(n) = [x \ x \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ x \ x]^T \end{cases} \quad (14)$$

여기서  $x$ 는 무관조건(don't care state condition)이다.

식 (14)의 조건수의 유효조건은 위에서 제시한 잡음제거 개선방법에서 이온신호일 조건을 의미하며 이를 통한 잡음제거는 샘플 인덱스  $n$ 에 대해 반복적으로 이루어진다. 따라서 식 (11)에서  $Dbuf(n)$ 의 양쪽 끝의 4개 요소신호가 모두 0( $x_D(n) = x_D(n-1) = x_D(n-6) = x_D(n-7) = 0$ )이며 식 (14)의 유효조건을 만족하지 않는 경우, 임펄스 잡음 및 부족샘플잡음에 해당하므로 식 (11)의 요소신호들은 모두  $\forall buf_{ex}(n) = LevelMin$ 으로 처리된다. 또한 좌측 끝 2개의 요소신호가  $x_D(n) = x, x_D(n-1) = 1$ , 우측 끝의 2개 요소신호가  $x_D(n-6) = x_D(n-7) = 0$ 이며 식 (14)의 유효조건을 만족하지 않을 경우  $\forall buf_{ex}(n) = LevelMin$ 으로 처리된다. 따라서 식 (14)의 유효조건을 사용하여 측정신호에 포함된 바닥잡음, 임펄스 잡음 및 부족샘플잡음의 제거 조건을 다음과 같이 쓸 수 있다.

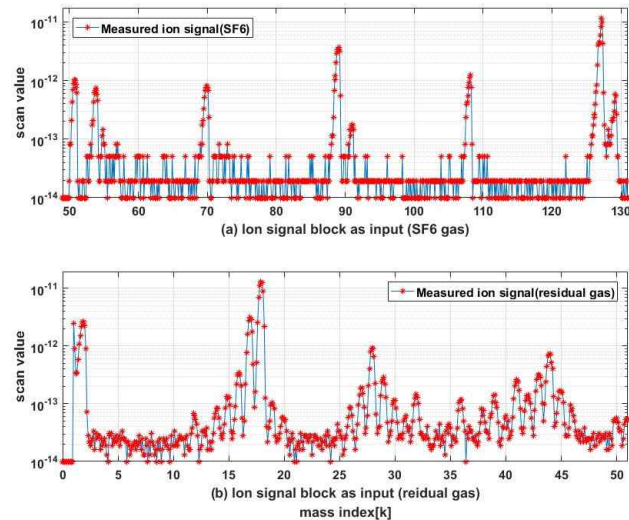


그림 3 입력으로 사용한 이온신호 (a) SF6, (b) 잔류가스  
Fig. 3 Ion signals as input (a) SF6, (b) residual gas

$$case1 : \text{if } x_D(n) = x_D(n-1) = x_D(n-6) = x_D(n-7) = 0 \\ x(n-i) = \begin{cases} x(n-i) & \text{if } NumCd(n) = EffCd \\ LevelMin & \text{Otherwise} \end{cases} \\ \text{for } i = 0, 1, \dots, 7 \quad (15)$$

$$case2 : \text{if } (x_D(n) = x, x_D(n-1) = 1) \&\& (x_D(n-6) = x_D(n-7) = 0) \\ x(n-i) = \begin{cases} x(n-i) & \text{if } NumCd(n) = EffCd \\ LevelMin & \text{Otherwise} \end{cases} \\ \text{for } i = 0, 1, \dots, 7 \quad (16)$$

#### 4. 컴퓨터 시뮬레이션

질량 스펙트럼 검출 성능을 개선하기 위해 제안한 전처리 잡음제거 알고리즘의 성능 평가를 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 입력신호는 그림 1의 개발 중인 질량분석기의 진공 챔버에 대표적 운실가스 중 하나인 육플루오린화 (SF6) 가스와 잔류 가스를 주입하고 취득한 실제 수집 신호를 사용하였다. RGA 시스템으로부터 측정된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 위해 사용한 샘플링 율은  $L = 10$  [sample/amu]이다. 그림 3은 실험에 사용한 입력신호이다.

그림 4와 그림 5는 SF6 및 잔류가스에 대해 식 (3)의 임계값과 식 (15) 및 식 (16)의 조건을 사용하여 배경 잡음, 임펄스 잡음, 그리고 부족샘플잡음이 제거된 전처리 잡음제거의 결과를 보이고 있다. 그림 4(a)와 그림 5(a)는 입력으로 사용한 SF6와 잔류가스 이온신호들에 대해 추정된 최빈값으로 설정한 임계값을 보이고 있다. 그림 4(b)와 그림 4(c)에서 SF6입력에 대한 기

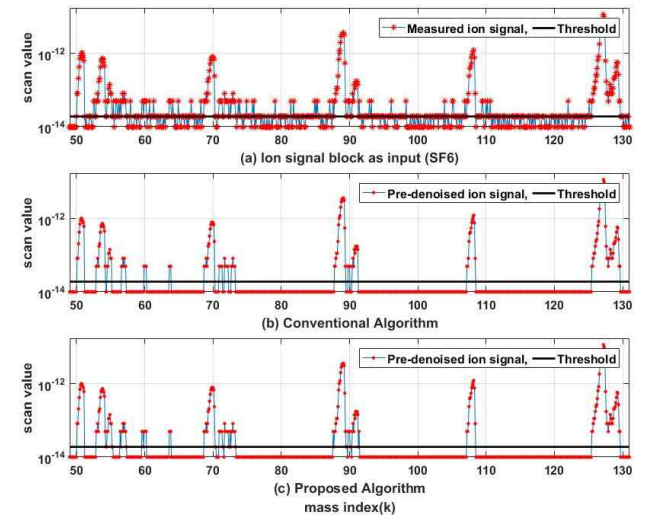


그림 4 SF6에 대한 전처리 잡음제거 결과 (a) 추정된 최빈값으로 설정한 임계값, (b) 기존 알고리즘의 결과, (c) 제안한 알고리즘의 결과

Fig. 4 Results of pre-denoising processing for SF6 (a) threshold value set as the estimated mode (b) result of the conventional algorithm, (c) result of the proposed algorithm



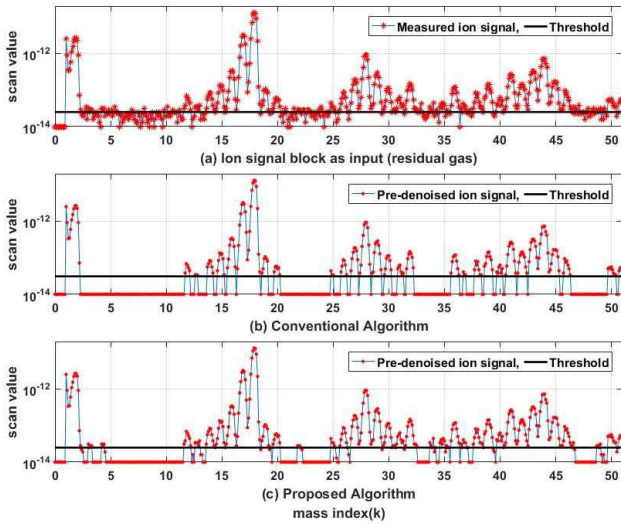


그림 5 잔류가스에 대한 전처리 잡음제거 결과 (a) 추정된 최빈값으로 설정한 임계값, (b) 기존 알고리즘의 결과, (c) 제안한 알고리즘의 결과

Fig. 5 Results of pre-denoising processing for residual gas (a) threshold value set as the estimated mode (b) result of the conventional algorithm, (c) result of the proposed algorithm

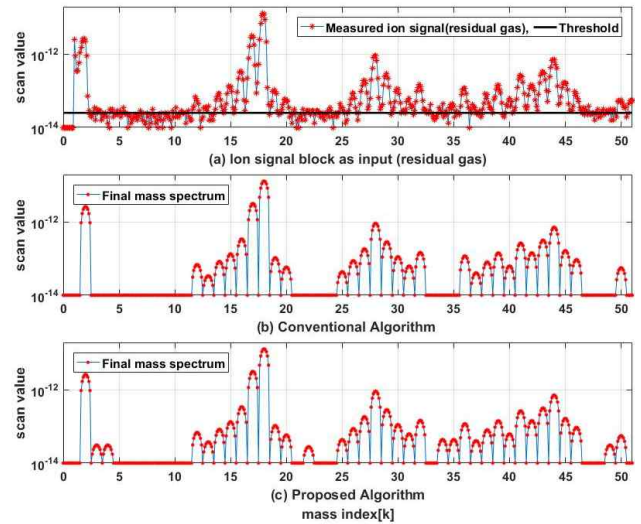


그림 7 잔류가스 입력에 대한 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘의 최종 질량 스펙트럼 검출 성능 비교 (a) 취득 이온 신호, (b) 기존 알고리즘의 결과, (c) 제안한 알고리즘의 결과

Fig. 7 Comparison of detection performance of the final mass spectrum of the conventional algorithm and the proposed algorithm for the residual gas (a) measured ion signals, (b) result of the conventional algorithm, (c) result of the proposed algorithm

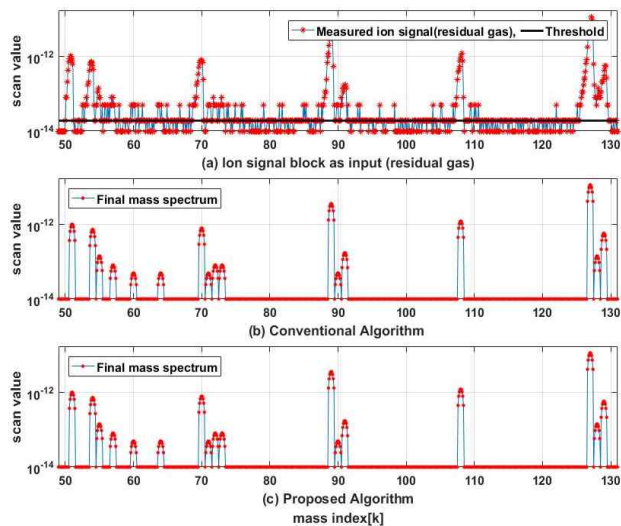


그림 6 SF6 입력에 대한 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘의 최종 질량 스펙트럼 검출 성능 비교 (a) 취득 이온신호, (b) 기존 알고리즘의 결과, (c) 제안한 알고리즘의 결과

Fig. 6 Comparison of detection performance of the final mass spectrum of the conventional algorithm and the proposed algorithm for the SF6 (a) measured ion signals, (b) result of the conventional algorithm, (c) result of the proposed algorithm

존 알고리즘과 제안한 알고리즘의 전처리 잡음제거 결과를 비교 하였다. 그림 4의 결과에서는 임계값과 유사한 수준의 이온신호로 구성되는 스펙트럼이 없으므로 두 알고리즘의 전처리 잡음제거 성능은 큰 차이가 나타나지 않는다. 반면 그림 5는 잔류가스 입력에 대한 결과로서 질량지수  $k=3 \sim 11, 21 \sim 24, 33 \sim 35, 47 \sim 49$ 는 임계값과 유사한 수준의 낮은 피크값을 갖는 스펙트럼이 존재하는 구간이다. 그림 5(b)의 기존 알고리즘의 결과에서 해당 구간의 질량 스펙트럼이 검출되지 않은 반면 그림 5(c)의 제안한 알고리즘은 질량지수  $k=3, 4, 22, 34, 35, 49$ 에서 질량 스펙트럼이 검출되었다. 또한 질량 스펙트럼이 검출된 질량지수의 신호블록을 살펴보면 기존 방법은 임계값 이하의 값이 모두 *Levelmin*으로 처리되지만 제안한 방법에서는 임계값 이하의 값을 그대로 유지하고 있음을 알 수 있다. 이러한 차이는 전처리 잡음제거 이후 무효 이온신호 제거 및 피크위치오차 조정 과정 결과에 영향을 줄 수 있다.

그림 6과 그림 7은 무효 이온신호 제거 및 피크위치오차 보정 후 2차 피팅 곡선을 통해 재형성된 최종 질량 스펙트럼 결과이다. 그림 6에서 전처리 잡음제거 결과와 마찬가지로 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘의 질량 스펙트럼 검출 성능은 차이가 없다. 반면 잔류가스 입력에 대한 결과인 그림 7은 제안한 알고리즘의 개선된 검출 성능을 명확히 보이고 있다. 질량지수  $k=3, 4, 22, 34, 35, 49$ 는 잡음과 구분이 어려운 임계값 수준의 낮은 피크값을 갖는 질량 스펙트럼이 존재하는 구간이다. 그

림 7(b)의 기존 알고리즘은 해당 구간에서 질량 스펙트럼 검출을 하지 못했으나 그림 7(c)의 제안한 알고리즘은 인접 스펙트럼과의 효과적 분리와 낮은 피크의 스펙트럼 정확한 검출이 이루어졌음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 잔류가스분석기의 질량 스펙트럼 검출 성능의 개선을 위한 전처리 잡음제거 방법을 제안하였다. 보다 정확한 최빈값 추정을 위해 시스템의 초기화 단계에서 스펙트럼이 존재하지 않는 구간에서의 최빈값 추정을 통한 임계값 설정을 하였다. 또한 개선된 전처리 잡음제거 방법을 통해 잡음과 구분이 어려운 낮은 수준의 이온신호를 검출할 수 있었다. 개선된 방법에 의해 잡음제거된 이온신호로 구성된 이온신호블록은 1차 및 2차 피팅 기반의 무효 이온신호 제거에 효과적이며 피크위치오차 보정 및 2차 피팅곡선을 통해 개선된 질량 스펙트럼을 얻을 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부와 한국산업기술진흥협회의 학연 공동 기업부설연구소 연계 후속 연구개발 지원사업으로 수행된 연구결과임.

#### References

[1] S. Sujithra, P. Sreelatha, and S. E. Lawrence, "Development of control algorithm for quadrupole mass spectrometer using LabVIEW", in *Proceedings of the 2014 International Conference on Electronics and Communication Systems*, pp. 1-5, 2014.

[2] B. L. Smith, F. P. M. Jjunju, S. Taylor, I. S. Young, S. Maher, "Development of a portable, low cost, plasma ionization source coupled to a mass spectrometer for surface analysis", in *Proceedings of the Conference of 2106 IEEE Sensors*, pp. 1-3, 2016.

[3] R. E. Finnigan, "Quadrupole mass spectrometers", *Analytical Chemistry*, vol. 66, No 19, pp. 969A-975A, Oct. 1994.

[4] S. Sujithra, P. Sreelatha, and S.E. Lawrence, "Development of control algorithm for quadrupole mass spectrometer using LabVIEW", in *Proceedings of the 2014 International Conference on Electronics and Communication Systems*, pp. 1-5, 2014.

[5] C. J. Park, "Operating Principle of Residual Gas Analyzer", *Journal of the Korean Vacuum Society*, Vol. 17, No. 4, pp. 262-269, July 2008.

[6] H. Choi and I. Lee, "Additive Noise Reduction Algorithm for Mass Spectrum Analyzer", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 22, No. 1, pp. 1-9, Jan. 2018.

[7] H. Choi, "Algorithm to Improve Mass Spectral Resolution of Gas Chromatography Mass Spectrometer", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 67, No. 9, pp. 1232-1238, Sep. 2018.

[8] A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, *Discrete-Time Signal Processing*, 2nd ed. New Jersey, Prentice-Hall, 1999.

### 저 자 소 개



#### 허 경 용 (Gyeongyong Heo)

1994년 연세대학교 전자공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전자공학과 석사. 2009년 University of Florida 컴퓨터공학과 박사. 2012년 3월~현재 동의대학교 전자공학과 부교수.  
Tel : 051-890-1675



#### 최 훈 (Hun Choi)

1996년 충북대학교 전자공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전자공학과 석사. 2006년 동 대학원 전자공학과 박사. 1995년~1998년 LG반도체. 2006년~2008년 한국표준과학연구원 Post-Doc. 2008년 3월~현재 동의대학교 전자공학과 부교수.  
Tel : 051-890-1673