

논문 2013-50-9-19

# 구간 분할과 영역 분류를 이용한 XRF 스펙트럼의 백그라운드 제거

## (Background Removal from XRF Spectrum using the Interval Partitioning and Classifying)

양 상 훈\*, 이 재 환\*, 윤 숙\*\*, 박 동 선\*\*\*

(Sanghoon Yang, Jaehwan Lee, Sook Yoon, and Dong Sun Park<sup>©</sup>)

### 요 약

X-선 스펙트럼 데이터는 물질의 성분과 관련이 없는 많은 양의 백그라운드 신호를 포함하고 있다. XRF는 스펙트럼에서 가우시안 형태의 피크 정보의 위치와 크기를 이용하여 시료의 성분과 함유량을 분석하며, 시료의 성분과 함유량을 정확히 분석하기 위해서는 백그라운드를 정확하게 제거하여야 한다. 백그라운드를 제거하기 위한 방법으로는 모폴로지, SNIP, 임계값 방법들이 적용되고 있으며, 구간별 임계값 방법에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 본 논문에서 제안하는 백그라운드 제거 방법은 구간별 임계값 방법을 개선한 방법으로 구간분할과 영역분류, 백그라운드추정으로 구성된다. 제안된 방법이 백그라운드 제거에서 기존의 모폴로지 기반 방법이나 SNIP 방법에 비해 좋은 성능을 보임을 실험을 통해 검증하였다.

### Abstract

XRF spectrum data of a material include a lot of background signals which are not related to its components. Since an XRF analyzer analyzes components and concentrations of an analyte using the locations and magnitudes of gaussian-shaped peaks extracted from a spectrum, its background signals need to be removed completely from the spectrum for the accurate analysis. Morphology-based method, SNIP-based method and thresholding-based method have been used to remove background signals. In the paper, a background removal method, an improved version of an interval-thresholding-based method, is proposed. The proposed method consists of interval partitioning, interval classifying, and background estimation. Experimental results show that the proposed method has better performance on background removal from the spectrum than the existing methods, morphology-based method and SNIP-based method

**Keywords :** XRF, Background removal, Background Estimation, Interval thresholding, Interval partitioning

## I. 서 론

\* 정회원, 전북대학교 전자공학과  
(Department of Electronic Engineering, Chonbuk National University)

\*\* 정회원, 목포대학교 멀티미디어공학과  
(Department of Multimedia Engineering, Mokpo National University)

\*\*\* 정회원, 전북대학교 IT융합연구센터  
(IT Convergence Research Center, Chonbuk National University)

© Corresponding Author(E-mail: dspark@jbnu.ac.kr)

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역 혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임  
접수일자: 2013년5월15일, 수정완료일: 2013년8월27일

최근 세계적으로 환경 친화적인 제품의 요구와 소비의 자원 순환형 구조증대에 따라 제품을 생산하는 모든 과정에서 유해 중금속 함유 정도를 정성/정량 분석할 수 있는 측정 장비의 개발이 선진국들을 중심으로 이루어지고 있다. 원소를 분석하는 방법은 샘플을 파괴하여 시료를 제작 후 시료의 구성 성분 및 함유량을 측정하는 파괴 방법과 상대적으로 정밀도가 낮지만 샘플의 파괴 없이 샘플을 분석하는 비파괴 방법으로 나

눌 수 있다.

샘플의 구성 성분을 높은 정밀도로 분석하기 위해서 발달된 파괴 방식의 분석 방법으로는 원자흡수분광법(AAS)이 있고, 유도결합 플라즈마를 이용한 유도 결합 플라즈마 원자방출 분광기(ICP-AES)와 유도 결합 플라즈마 질량 분석기(ICP-MS) 등이 발달되었다.<sup>[2-5]</sup> 하지만 이러한 방법들은 많은 분석 시간이 필요하며, 측정자에 따라 분석 정확도가 달라지기도 할 뿐만 아니라, 분석 시료를 만들기 위해서 제품을 파괴하여야 하는 단점이 있다.<sup>[6]</sup>

XRF는 기존의 방법과 달리 시료의 조제 없이 분석이 가능하여 측정 샘플의 파괴 없이 분석이 가능하며, 기존의 분석 방법에 비하여 분석 시간이 매우 짧다. XRF 스펙트럼 신호는 그림 1의 순서를 따라서 성분을 분석 하며 DAQ 시스템을 통하여 획득된다.<sup>[7,8]</sup> 스펙트럼은 성분 분석에 필요한 피크 신호뿐만 아니라 노이즈나 백그라운드 같은 Continuum이 포함되어 있으며, 각각의 채널별로 크기가 다르게 생성된다.

컨티넘 성분중 분석 정밀도에 가장 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 그 크기와 모양을 예측하기가 어려운 백그라운드를 제거하기 위하여 많은 방법들이 적용되었다.<sup>[9,10]</sup> 스펙트럼에서 피크 부분을 제거하여 백그라운드를 추정하는 모폴로지 방법<sup>[11]</sup>, 각 채널의 가우시안 곡선에서 반치 폭 크기만큼 좌우 평균을 비교하여 반복적으로 추정하는 SNIP 알고리즘<sup>[12]</sup>과 구간별 다른 임계값을 적용하여 백그라운드를 제거하는 임계값 방법<sup>[13]</sup>들이 연구 되었다.

기존의 백그라운드 제거 방법에 대한 분석을 바탕으로 본 연구에서는 향상된 백그라운드 제거 방법을 제안하고자 한다. 본 연구에서 제안되는 백그라운드 제거 방법은 사전 정보를 필요로 하지 않으며 주어진 스펙트럼 데이터로부터 자동적으로 백그라운드를 보다 정확하게 제거하는 한편, 기존의 방법들에 비해 상대적으로 복잡도가 낮고 빠른 처리 속도를 가지도록 하고자 한다. 이를 위하여 먼저 스펙트럼 데이터를 구간으로 분할하고 분할된 구간들을 피크 영역과 백그라운드 영역으로 분류한 후 피크영역으로 분류된 영역내의 백그라운드를 추정하여 제거한다.

## II. XRF 스펙트럼 분석

일반적인 형광 X-선 스펙트럼 분석기는 그림 1과 같은 단계를 통해 샘플의 구성 성분과 함유량을 측정하고

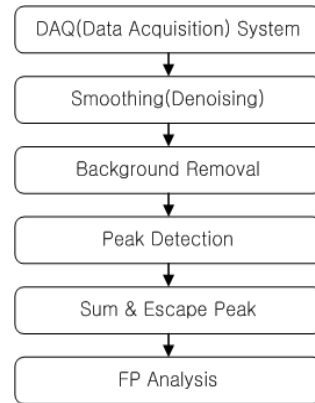


그림 1. XRF 분석 과정  
Fig. 1. XRF processing steps.

분석한다. 스펙트럼 데이터는 DAQ 시스템을 통해 획득되며, DAQ 시스템은 소스에서 발생하는 X-ray에 의하여 발생하는 2차 형광 X-선을 Detector를 통하여 검출한다.<sup>[14]</sup>

스펙트럼 데이터의 잡음은 채널의 위치와 피크의 크기에 따라 각기 다르며, 구성 성분의 검출 확률은 피아송 분포를 따른다. Smoothing은 고주파 성분으로 구성된 잡음을 주변 값들과의 평균을 이용하여 완만하게 변화하는 고주파 성분이 제거된 스펙트럼 데이터를 얻을 수 있다.

DAQ 시스템을 통해서 획득한 스펙트럼 데이터에는 많은 양의 백그라운드가 포함되어 있으며, 백그라운드는 샘플의 정성 및 정량 분석 시 불필요한 성분으로써 피크데이터의 위치와 크기를 이용하여 분석하는 XRF 분석 방법의 정밀도를 높이기 위해서는 스펙트럼 데이터에 포함된 백그라운드 성분을 반드시 제거해야한다.

또한, 샘플의 성분에 따라서 피크데이터는 서로 유사한 위치에서 검출되어, 피크정보의 중첩이 발생한다. 피크 정보의 위치와 크기는 분석 정밀도에 큰 영향을 미치는 에너지 채널의 위치와 그 크기가 중요한 변수가 된다. 피크의 위치는 가우시안 곡선의 반치 폭에 해당하는 피크들만을 남기는 탐헛 필터 등을 적용하여 스펙트럼의 피크의 위치를 찾을 수 있다.

Escape 피크는 검출기 자체의 특성으로 필터의 종류에 따라 전체 스펙트럼 채널 중에서 특정 채널에서 피크 정보로 검출되지만 다른 피크와 상호 관계로 유추하여 제거 가능하다. Sum 피크는 다른 원소의 스펙트럼이 같은 에너지 대역에서 발생되어 중첩되는 현상으로 원소들의 에너지 채널을 이용하여 비율적으로 제거된다.

위의 일련의 과정을 통해 DAQ 시스템에서 획득한 스펙트럼 데이터로부터 Continuum을 제거하여 피크를

획득하면 이러한 피크들을 기반으로 하여 Fundamental Parameter(FP)방법을 통해 채널별 강도를 분석하여 스펙트럼을 원소별로 정량적 및 정성적으로 분석한다.

### III. 기존의 백그라운드 제거 방법

스펙트럼 데이터에서 원소의 에너지는 해당 채널에서 가우시안 형태로 이뤄져 있고, 백그라운드는 여러 채널에 넓게 분포되어 있다. 이러한 백그라운드를 제거하기 위한 알고리즘으로는 모폴로지, SNIP, 임계값 방법 등이 있다.

모폴로지 연산은 기본 연산인 침식과 팽창의 연산의 조합으로 스펙트럼 상에서 뾰족하게 나온 부분을 깎는 열림 연산과 객체에서 움푹 패인 곳을 채워주는 닫힘 연산을 수행한다. 스펙트럼에서 백그라운드를 추정하기 위해 열림 연산만을 수행하여 추정하기 때문에 연산 속도가 빠르지만, 피크가 중첩되어 있는 채널 구간에서는 각 피크의 백그라운드보다 큰 값을 잘라내어 왜곡을 발생시키는 문제점이 있다<sup>[11]</sup>.

SNIP 알고리즘은 가우시안 곡선에서 반치 폭 만큼 좌우 값의 평균과 비교한 후 평균값이 더 작은 경우 해당 값을 백그라운드로 지정하는 작업을 반복적으로 적용하여 백그라운드를 추정하는 방법이다. SNIP 알고리즘을 이용한 백그라운드 제거 방법의 정확도를 높이기 위해서는 피크의 정확한 크기를 측정하여 피크의 반치 폭을 적용하여야 한다. 하지만 스펙트럼 데이터의 각 피크들은 그 크기와 반치폭이 각기 다르기 때문에 각 피크들의 크기를 정확하게 산출하기 어렵다. SNIP알고리즘의 반치 폭과 기본 연산의 적용 횟수는 실험을 통해서 미리 산출되어야 한다. 백그라운드를 미리 알 수 있거나 같은 샘플을 반복적으로 측정할 때에는 유용할 수 있으나, 함유 원소와 그 함유량을 알 수 없는 샘플에 적용할 경우 정밀도가 낮아지는 문제점이 있다<sup>[12]</sup>.

임계값을 적용하는 구간에 따라 크게 크기별 임계값 적용 방법(Level Thresholding)와 구간별 임계값 적용 방법(Interval Thresholding)로 나눌 수 있다. 크기별 임계값 적용 방법은 스펙트럼의 전체 구간을 하나의 임계값을 사용하는 방법으로서 일정한 크기의 잡음에는 효과적이거나 신호의 크기가 다르게 형성되는 경우에는 스펙트럼 전 구간을 하나의 임계값으로 적용할 경우 신호를 잡음으로 인식하여 데이터를 제거 하는 문제점이 있다.

구간별 임계값 적용 방법은 전체 스펙트럼을 피크의

크기 특성별로 구간별로 세분화하여 각기 다른 임계값을 적용하는 방법으로 스펙트럼의 특성별로 그 구간을 분할하여 구간별로 각기 다른 임계값을 적용함으로써 신호의 손실을 막을 수 있다. 기존의 구간별 임계값 방법에서는 임계값을 적용하는 구간을 라만 스펙트럼이라는 과정의 특성과 반복 실험을 통해 임의적으로 스펙트럼의 구간을 분할하였지만 랜덤한 성향의 XRF 스펙트럼은 기존의 방법을 적용할 수 없어 구간을 분할하기 위한 효과적이고 적응적인 구간 분할 방법이 필요하다<sup>[13]</sup>.

### IV. 제안하는 구간 분할과 영역분류를 통한 백그라운드 제거 알고리즘

DAQ system을 통하여 획득한 스펙트럼 데이터를 구성하는 신호별로 각각 모델링하여 그 특성을 파악하기 위하여 다중해상도 분석과 주파수 분석을 진행하였으며 다음과 같은 특성을 파악하였다.

1. 잡음의 세기는 신호의 세기보다 작다.
2. 잡음은 빠르게 변화하는 값으로 주파수 특성상 주로 고주파 성분으로 구성된다.
3. 피크와 백그라운드 신호는 주파수 특성상 저주파 성분이며, 피크의 정보는 백그라운드와 비교하여 생성되는 주파수가 높다.
4. 신호와 백그라운드의 크기에 따라서 잡음의 크기도 변화한다.

스펙트럼의 백그라운드, 피크, 잡음 신호를 주파수대역에 따라 대략적으로 표현하면 그림 2와 같으며, 피크데이터 영역에 잡음과 백그라운드가 포함 되어 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 피크 성분만을 획득하기 위하여, 스펙트럼으로부터 먼저 잡음 성분을 제거하고, 일차적으로 백그라운드 신호를 제거한 후 피크영역내의 남아있는 백그라운드 신호를 추정하여 제거하고자 한다.

스펙트럼의 분석 결과에 따라 스펙트럼으로부터 백

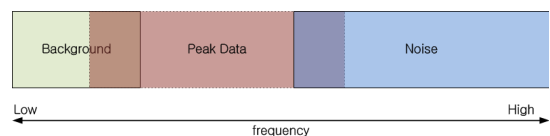


그림 2. 스펙트럼의 구성 성분의 주파수 특성  
Fig. 2. Frequency characteristics of elements of XRF spectrum.

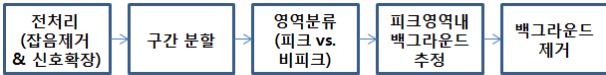


그림 3. 제안한 방법의 전체 블록도  
Fig. 3. Overall block diagram of the proposed method.

그라운드를 제거하기 위해 본 논문에서 제안하는 방법의 블록도는 그림 3과 같다. 스펙트럼은 먼저 전처리된 후 다중해상도 기반 구간 분할 방법을 통해 구간으로 나뉜다. 구간별로 임계값을 적용하여 피크영역과 피크가 아닌 영역, 즉 비피크 영역으로 나누어 비피크 영역을 제거함으로써 백그라운드를 일차적으로 제거한다. 반면에 피크영역에도 여전히 백그라운드 신호를 포함할 수 있으므로 백그라운드 추정을 통해 이를 보완하여 보다 정확히 백그라운드를 제거하도록 한다.

가. 전처리 과정(Smoothing & Enhancement)

잡음은 고주파 성분으로 구성되어 있으며, Moving average, Savitzky-Golay smoothing filter 등을 이용하여 잡음을 제거하였다. 본 논문에서는 전처리 과정에서도 스펙트럼의 잡음을 줄이기 위해서 smoothing filter를 적용한 후 영역분류를 용이하도록 신호를 확장하는 enhancement filter를 적용하여 저주파 성향을 유사한 피크데이터와 백그라운드의 영역을 분류 하였다.

나. 구간 분할

앞서 살펴본 백그라운드의 특성을 이용하여 비교적 높은 주파수 성분인 피크 데이터와 그 크기를 이용하여 구간 분할 점을 유추 할 수 있다. 스펙트럼의 구간 분할 지점을 찾기 위해 다운샘플링의 계수의 차분을 취하여 백그라운드를 제외한 피크의 크기특성을 관찰한 결과, 다운샘플링의 차분된 결과는 피크의 크기가 큰 영역의 차분의 결과도 크게 나타남을 알 수 있었으며 차분 결과의 누적된 데이터는 마치 계단 모양을 이루었다. 피크 영역의 시작 부분은 기울기의 크기가 특정 임계값 이상으로 커지며, 반대로 피크가 끝나는 지점의 기울기는 특정 임계값 이하로 작아진다.

이러한 특성을 이용하여 저자들은 이전 연구에서 다중해상도 기반으로 기울기와 기울기의 비율을 이용하여 피크 영역의 시작점과 끝점의 가능 지점을 찾을 수 있는 다중해상도 기반 구간 분할 방법을 제안하였다<sup>[15]</sup>. 이렇게 검출된 피크 영역의 시작점과 끝점을 모두 이용하여 구간을 분할할 경우, 블록의 세분화에 따른 시스템의 복잡도가 높아지는 문제점이 발생한다. 이러한 문

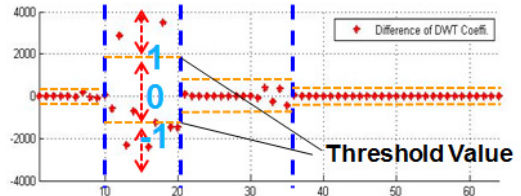


그림 4. 구간별 임계값을 이용한 코드 매핑  
Fig. 4. Code mapping based on interval-thresholding.

제 때문에 검출된 영역의 첫 시작점과 각 영역의 끝점만을 이용하여 구간을 분할함으로써 구간분할의 효율성을 높이고 연산 복잡도를 낮춰 연산 소요 시간을 줄이도록 하였다.

다. 영역 분류

그림 4와 같이 분할된 구간별로 차분값에 구간별 임계값을 적용하여 코드 매핑을 진행한다. 매핑된 코드열의 패턴에 따라 피크영역을 추출 할 수 있으며, 여기에서 선택되지 않은 영역은 일차적으로 백그라운드로서 제거될 수 있다. 피크의 패턴을 추출하기 위해 피크의 경우 부호가 교차하여 변화하는 특징이 있으므로 부호 변화 방법(ZC:Zero Crossing)을 이용한다. ZC는 다음 순서에 따라 피크성분의 영역을 추출한다.

Step1) 다중해상도 분석을 통해 얻어진 계수의 차분을 구한다.

$$x(t) = \text{Difference}(\text{Downsampling}) \quad (1)$$

Step2) 각 구간의 차분결과의 평균값을 이용하여 임계값을 결정한다.

$$\text{threshold}_{ab} = \frac{\sum_{n=a}^b \text{abs}(x(t))}{\text{abs}(a-b)} \quad (2)$$

Step3) 다중해상도 분석의 차분 결과는 피크 성분은 변화 폭이 크지만, 백그라운드 성분은 변화폭이 매우 작다. 구간별 임계값을 이용하여 그림 4와 같이 다중해상도 차분 결과를 '1, 0, -1'로 매핑 한다.

$$\text{mapping} = \begin{cases} x(t) > \text{threshold} & 1 \\ \text{abs}(x(t)) < \text{threshold} & 0 \\ x(t) < -\text{threshold} & -1 \end{cases} \quad (3)$$

Step4) 매핑된 결과에서 '0 1 0 -1' or '1 0 -1' 등의 피크성분 패턴을 검출하여 영역을 분류하여 일차적으로 백그라운드 영역을 제거한다.

Step5) 다운샘플링의 피크 영역을 확장하여 스펙트럼 데이터로 복원한다.

그림 5는 전처리과정, 구간 분할, 영역분할을 통해 일차적으로 백그라운드를 제거하는 일련의 과정을 예시하고 있다. 주어진 스펙트럼은 그림 5(a)와 같이 전처리 과정을 통해 잡음이 제거되고 신호가 확장된다. 전처리된 신호는 다중해상도 기법에 따라 적절한 수준으로 다운 샘플링 되어 차분에 대한 누적치가 그림 5(b)와 같이 구해지게 된다. 이를 바탕으로 구간 분할이 수행되고 구해진 구간에 따라 위의 Step2 - step4를 통해 그림 5(c)가 구해진다. 코드 패턴에 따라 그림 5(d)와 같이 피크영역을 추출할 수 있으며 추출된 피크영역을 중심으로 원 스펙트럼 해상도로 확장 복원하여 일차적으로 백그라운드가 제거된 스펙트럼 데이터를 그림 5(e)와 같이 얻을 수 있다.

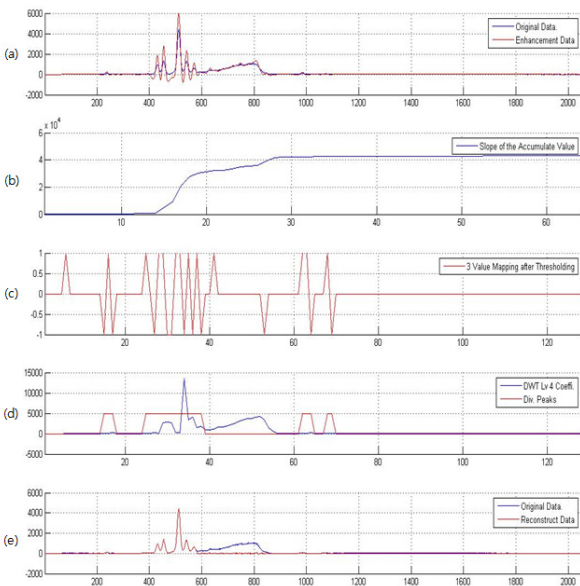


그림 5. 구간 분할과 영역 분류를 통한 백그라운드 제거 과정의 예  
Fig. 5. An example of background removal process by the interval partitioning and classifying.

라. 피크영역 내 백그라운드 추정

피크 영역을 분류함으로써 백그라운드를 제거 할 수 있지만 분류된 피크 영역에도 여전히 백그라운드가 존재하므로 스펙트럼 피크영역의 백그라운드를 제거하기 위한 백그라운드 추정방법이 필요하다.

휴대형 분석기 등에 적용하기 위해서는 높은 정밀도를 유지하면서 짧은 연산시간을 제공하여야 한다. 분

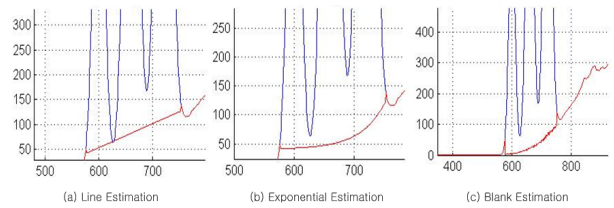


그림 6. 피크 영역내 백그라운드 추정 방법  
Fig. 6. functions used for the estimation of background signals included in a peak area.

류된 영역의 중간 값을 추정하는 방법으로는 여러 가지 방법이 존재하지만, 스펙트럼 데이터의 특징을 고려하여 연산 량이 적으면서 유효한 정밀도를 제공하기 위한 방법이 필요하다.

본 논문에서는 백그라운드를 추정하기 위한 방법으로 비교적 간단한 직선과 지수함수, 또한 실측으로 얻어진 Blank 신호의 백그라운드 형태를 이용한 근사 방법을 적용하였다. 한 피크영역내의 백그라운드를 추정하기 위해 피크영역의 양 끝 경계점을 기준으로 하여 양 경계점사이를 이들 함수들을 이용하여 백그라운드를 추정하였다. 이들을 이용한 백그라운드 추정 결과는 그림 6과 같다.

V. 실험

스펙트럼 신호는 SSD(Silicon Drift Detector)를 통해서 135eV의 분해능을 가지는 iEDX-200AT를 이용하여 스펙트럼의 백그라운드 데이터를 획득하였다. 본 논문에서 제안하는 방법은 MatLab7.10을 이용하여 구현하였고, ISP사의 SmartRay v2.5를 이용하여 샘플의 정성 및 정량 분석을 통하여 분석 정밀도를 검증하였다.

기존의 방법과 제안하는 방법의 성능을 비교하기 위하여 플라스틱 샘플에서 유해물질을 검출할 때 사용되는 스펙트럼의 백그라운드와 가장 유사한 형상을 나타내는 'PE\_Blank' 표준시편을 이용하여 테스트를 위한 백그라운드를 생성하였다. 샘플의 구성 성분과 함유량을 나타내는 피크데이터는 가우시안 피크를 이용하여 이미 알고 있는 위치와 크기를 이용하여 테스트 모델을 구축하였고, 스펙트럼의 잡음을 모델링하여 실측 스펙트럼과 유사한 혼합형 데이터 샘플을 생성하였다.

그림 7의 (a)는 찾고자 하는 가우시안을 피크를 생성한 피크 신호이고, (b)는 ISP사의 iEDX-200AT를 통해서 표준시편 'PE\_Blank'를 측정하여 획득한 백그라운드 모델링 샘플이며 (c)는 생성한 피크와 측정된 백그라운드로 만든 실험 모델이며, (d)는 피크 데이터를 이용하

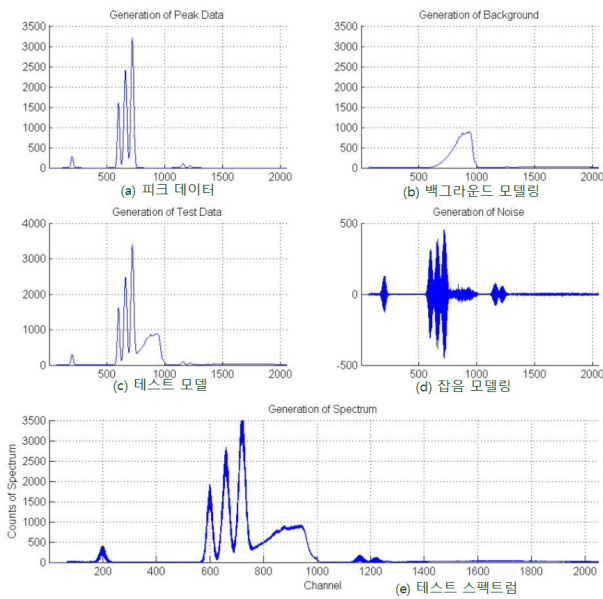


그림 7. PE\_Blank를 이용한 혼합형 테스트 스펙트럼 형성  
Fig. 7. Generation of test spectrum in mixed mode using PE\_Blank.

표 1. 혼합형 데이터를 이용한 백그라운드 제거 방법의 성능 비교.  
Table 1. Comparison on performances of background removal methods using test spectrum data in mixed mode

방법	연산시간(ms)	SNR(dB)
모폴로지	1.1	16.79
SNIP	13.1	24.41
제안한 방법	1.8	31.45

여 잡음을 모델링한 결과이며 (e)는 테스트 모델에 잡음을 혼합한 테스트 스펙트럼 데이터이다.

표 1은 혼합형 데이터를 이용하여 기존 백그라운드 제거 방법인 모폴로지 기반 방법과 SNIP 방법을 제안된 방법과 비교한 결과로서 연산시간과 피크 데이터 복원 성능을 비교하였다. 비교 결과 연산시간은 모폴로지 방법이 가장 빠르지만 복원 성능이 좋지 않고, SNIP 방법은 반복연산에 따른 연산시간이 너무 길게 측정되었다. 제안된 방법은 비교적 짧은 연산시간과 가장 높은 복원 성능을 나타내었다.

또한 제안된 방법의 실측 데이터에서의 성능을 살펴보기 위해, 표준 시편인 PE\_High를 이용하여 50개의 실측 샘플 데이터를 획득하여 실험에 이용하였다. 이렇게 측정된 스펙트럼 데이터로부터 기존의 백그라운드

표 2. 실측 데이터를 이용한 백그라운드 제거 방법의 성능 비교.

Table 2. Comparison on performances of background removal methods using test spectrum data in actual mode

원소(함유량)	방법	Morphology	SNIP	제안한 방법
Cr (1003)	평균(ppm)	1093.5	1150.5	1053.2
	최대오차*(%)	21.44	27.9	16.4
Br (1100)	평균(ppm)	998.6	1077.5	1059.8
	최대오차(%)	20.18	5.1	4.9
Cd (300)	평균(ppm)	354.8	387.7	312.1
	최대오차(%)	34.3	37.3	23.6
Hg (1100)	평균(ppm)	808.8	1002.5	1093.6
	최대오차(%)	58.2	28.7	5.7
Pb (1199)	평균(ppm)	489.5	1307.9	1354.3
	최대오차(%)	68.7	12.9	18.1

\*최대오차

: 각 원소의 함유량과 분석된 함유량과의 최대 오차율.

[기준함유량 - 측정함유량]

$$\text{최대오차율(\%)} = \frac{\text{기준함유량} - \text{측정함유량}}{\text{기준함유량}} * 100$$

제거 방법과 제안된 방법을 이용하여 백그라운드를 제거한 후 획득된 신호를 ISP사의 스펙트럼 분석 상용 프로그램인 SmartRay 2.5를 이용하여 정성 및 정량 분석하여 얻어진 분석 결과를 비교하였다. 표 2은 기존의 방법과 제안한 방법의 분석 결과를 비교한 결과이다.

## VI. 결 론

XRF 스펙트럼의 분석 정밀도를 높이고 연산시간을 줄이기 위한 노력이 계속되고 있다. 기존의 SNIP 방법은 각기 다른 피크의 반치 폭으로 정밀도가 낮아지고 반복연산에 따른 많은 연산시간이 문제가 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 구간별 임계값 방법을 적용하였으나 스펙트럼에 따라 반복실험에 의하여 구간을 분할하는 방법이 이용되었다.

본 논문에서는 구간 분할 지점을 스펙트럼의 피크데이터 특성에 따라서 능동적으로 찾아 스펙트럼을 구간으로 분할하고, 구간을 기반으로 피크영역의 분류 및 백그라운드 추정을 통해 백그라운드를 효과적으로 제거하는 방법을 제안하였다.

테스트 스펙트럼을 통한 결과 제안하는 방법이 효과적임을 알 수 있었고, 실측 데이터와 상용프로그램을 이용한 분석결과 실제 데이터 구성 성분과 함유량 측정 시 낮은 분산과 낮은 최대 오차로 기존의 SNIP방법보다 좋은 성능을 발휘하였다.

## REFERENCES

- [1] 김남훈, 정영철, “평탄한 통과대역 특성을 갖는 새로운 구조의 광도파로열 격자 라우터,” 전자공학회 논문지, 제35권 D편, 제3호, 56-62쪽, 1998년 3월
- [1] Directive 2002/95/EC, “Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment,” Official Journal of the European Union, L37, the European Parliament and the Council of the European Union, 2002.
- [2] M.A. Marabini, B. Passariello, M. Barbaro, “Inductively coupled plasma-mass spectrometry”: *Capabilities and applications Microchemical Journal*, Vol. 46, Issue 3, pp.302-312, 1992.
- [3] Mahesh Batsala, Baburao Chandu, Bhargavi Sakala, Sreekanth Nama and Sreenu Domatoti, “Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry(ICP-MS)”, INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH IN PHARMACY AND CHEMISTRY (IJRPC), 2(3), 2012.
- [4] E. Ivanova, I. Havezov, “Flame AAS determination of dopants and trace metal impurities in single crystals of potassium titanylphosphate”, Vol. 42, Issue 9, pp.1259-1263, 1995.
- [5] Berndt H, Schaldach G, Kägler SH., “Flame AAS/flame AES for trace determination in fresh and used lubricating oils with sample introduction by hydraulic high-pressure nebulization.,” *Anal Bioanal Chem.*, 355(1), pp.37-42, 1996.
- [6] B. Welz and M. Sperling, “Atomic Absorption Spectrometry,” 3rd Ed, Wiley-VCH, New York, 1999.
- [7] Bertin, E. P., “Principles and Practice of X-ray Spectrometric Analysis,” Springer, 1975.
- [8] Ron Jenkins, R. W. Gould, Dale Gedcke, “Quantitative X-ray Spectrometry(Practical Spectroscopy)”, 2nd ed. Marcel Dekker, 1995.
- [9] Rene. E. Van Grieken, Andrzej A. Markowicz, “Handbook of X-Ray Spectrometry,” 2nd ed., Marcel Dekker Inc, 2002.
- [10] Beckhoff, B., Kamngießer, B., Langhoff, N., Wedell, R., Wolff, H., “Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis,” Springer, 2006.
- [11] Steven W. Smith , “The Scientist & Engineer’s Guide to Digital Signal Processing”, 2nd ed. California Technical Publishing. 1999.
- [12] C.G.Ryan, E.Clayton, W.L.Griffin, S.H.Sie and D.R.Cousens, “SNIP, A Statistics-sensitive Background Treatment for the Quantitative Analysis of PIXE Spectra in Geoscience Applications“, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B34*, pp.396-402, 1988.
- [13] Gang Li, “Noise Removal of Raman Spectra using Interval Thresholding Method,” IITA 2008, pp.535-539, 2008.
- [14] Robert Grzywacz, “Applications of digital pulse processing in nuclear spectroscopy,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, B 204, pp.649 - 659, Elsevier Science, 2003.
- [15] 양상훈, 이재환, 박동선, “DWT를 이용한 형광 X-선 스펙트럼의 Interval Threshold를 적용하기 위한 블록화 알고리즘,” 한국산학기술학회논문지, vol. 13, No. 5, pp. 2291-2297, 2012



양 상 훈(정회원)  
2005년 전북대학교 전자공학부  
전자공학과 학사 졸업  
2007년 전북대학교 전자공학과  
석사 졸업  
2013년 전북대학교 전자공학과  
박사 졸업

<주관심분야 : 정보통신, 멀티미디어, image processing>



이 재 환(정회원)  
2012년 전북대학교 전자공학부  
전자공학과 학사 졸업  
<주관심분야 : 임베디드, 신호분  
석>



윤 숙(정회원)  
1993년 전북대학교 정보통신  
공학과 학사 졸업  
1995년 전북대학교 정보통신  
공학과 석사 졸업  
2003년 전북대학교 전자공학과  
박사 졸업

2006년 현재 목포대학교 멀티미디어공학과  
부교수

<주관심분야 : Neural Network, 인공지능, 영상  
처리처리 >



박 동 선(정회원)  
1979년 고려대학교 전자공학과  
학사 졸업  
1984년 미국 미주리대 전기 및  
컴퓨터 공학 석사 졸업  
1990년 미국 미주리대 전기 및  
컴퓨터 공학 박사 졸업

2012년 현재 전북대학교 교수, IT융합센터장  
<주관심분야 : 인공지능, 컴퓨터 네트워크>