

Asymmetrically reweighted penalized least squares에서 최적의 평활화 매개변수를 위한 결정함수

박아론¹, 박준규², 고대영¹, 김순금¹, 백성준^{1*}
¹전남대학교 전자컴퓨터공학부, ²한국생산기술연구원

Decision function for optimal smoothing parameter of asymmetrically reweighted penalized least squares

Aa-Ron Park¹, Jun-Kyu Park², Dae-Young Ko¹, Sun-Geum Kim¹, Sung-June Baek^{1*}

¹School of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University

²Korea Institute of Industrial Technology

요약 본 연구에서는 arPLS(asymmetrically reweighted penalized least squares) 방법에서 분광신호의 길이와 차수를 이용한 최적의 평활화 매개변수를 위한 결정함수를 제안한다. 분광신호의 기준선 보정은 분석 시스템의 성능을 좌우하는 매우 중요한 과정으로 많은 경우에 육안 검사로 매개변수를 선택하여 추정한다. 이 과정은 매우 주관적이고 특히 대량의 데이터인 경우 지루한 작업을 동반하므로 좋은 분석 결과를 보장하기 어렵다. 이러한 이유로 기준선 보정에서 최적의 매개변수를 결정하기 위한 객관적인 방법이 필요하다. 제안한 결정함수는 기준선 보정에 사용 가능한 매개변수 범위의 중앙값이 신호의 길이가 길어질수록 증가하고, 신호의 차수가 작아질수록 감소하는 관계를 정리하여 모델링하였다. 모의실험 데이터는 신호의 길이 7가지에 대해 조합한 분석신호 4가지와 선형 기준선과 2차, 3차, 4차 곡선 기준선을 각각 더하여 모두 112개를 생성하였다. 모의실험 데이터와 실제 라만 분광신호를 이용한 실험에서 제안한 결정함수의 평활화 매개변수가 기준선 보정에 효과적으로 적용될 수 있음을 확인하였다.

Abstract In this study, we present a decision function of optimal smoothing parameter for baseline correction using Asymmetrically reweighted penalized least squares (arPLS). Baseline correction is very important due to influence on performance of spectral analysis in application of spectroscopy. Baseline is often estimated by parameter selection using visual inspection on analyte spectrum. It is a highly subjective procedure and can be tedious work especially with a large number of data. For these reasons, an objective procedure is necessary to determine optimal parameter value for baseline correction. The proposed function is defined by modeling the median value of possible parameter range as the length and order of the background signal. The median value increases as the length of the signal increases and decreases as the degree of the signal increases. The simulated data produced a total of 112 signals combined for the 7 lengths of the signal, adding analytic signals and linear and quadratic, cubic and 4th order curve baseline respectively. According to the experimental results using simulated data with linear, quadratic, cubic and 4th order curved baseline, and real Raman spectra, we confirmed that the proposed function can be effectively applied to optimal parameter selection for baseline correction using arPLS.

Keywords : Baseline Correction, Background Elimination, Smoothing Parameter, Penalized Least Squares, Raman Spectroscopy

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2017R1A2B4012450).

*Corresponding Author : Sung-June Baek(Chonnam National Univ.)

Tel: +82-62-530-1795 email: tozero@chonnam.ac.kr

Received November 28, 2018

Revised December 31, 2018

Accepted March 8, 2019

Published March 31, 2019

1. 서론

분광법은 빛과 다른 방사선의 물질에 의한 흡수, 방출 및 산란에 대한 연구로서 방사선의 파장에 대한 의존성과 관련이 있다. 최근에는 전자, 양성자 및 이온과 같은 입자 간의 상호작용은 물론 충돌 에너지의 함수로써 다른 입자와의 상호작용 연구를 포함하도록 정의가 확장되었다. 과학기술의 거의 모든 분야에 물질의 화학적 구성을 확인하고 물리적 구조를 결정하기 위해 분광법이 사용되고 있으며, 그 중 적외선 분광법과 라만 분광법의 사용이 점점 증가하고 있다[1,2].

적외선 또는 라만 분광 신호는 일반적으로 배경잡음(background) 또는 기준선(baseline)에 겹쳐 놓은 가산잡음(additive noise)과 피크(peak)로 구성된다. 기준선은 평평하고, 양과 음의 기울기로 선형이거나, 곡선 또는 세 가지로 모두 조합할 수 있으며 피크만큼 급격하게 변화하지 않는다. 적외선 분광신호에서 기준선은 고체, 외부 광원 또는 불특정 흡수원의 이질성으로 인해 발생하는 강도의 편차에 의한 적외선 빔의 산란이 원인일 수 있다. 라만 분광신호의 기준선은 낮은 라만 파수(wavenumber)에서 잔류 Rayleigh 산란 또는 분석 샘플에 내재된 유기 분자의 형광 또는 오염에 기인하는 경우가 많다[3]. 분광신호의 기준선 보정은 일반적으로 각 샘플마다 다르기 때문에 해법을 찾는 데 어려움이 있다. 이에 따라 분광신호에서 배경잡음 제거 또는 기준선 보정을 위한 여러 다양한 방법이 제안되었다[4-6].

이전 연구에서는 penalized least squares(PLS)에 일반화된 로지스틱 함수(generalized logistic function)를 새로운 가중 방식으로 도입한 arPLS(asymmetrically reweighted PLS) 방법을 기준선 보정 방법으로 제안하였다[7-9]. PLS 방법은 주어진 분광신호와 제공 오차를 최소화하면서 최대한 부드러운 곡선으로 추정되도록 목적 함수를 설정하여 기준선을 추정한다. 목적 함수를 최소화하여 추정한 기준선은 가중치를 변경하는데 사용하고 이 과정을 반복하여 기준선을 최적화한다. 분광신호가 추정된 기준선보다 위에 있으면 작은 가중치 또는 가중치를 부여하지 않고 아래에 있다면 큰 가중치를 부여한다. 하지만 기준선을 따라 동일하게 분포하는 가산잡음에는 기준선의 위아래 여부에 관계없이 피크가 아니라면 동일하거나 유사한 가중치를 부여하는 것이 바람직하다. 이를 위해 arPLS 방법은 새로운 가중 방식으로 일반화된 로

지스틱 함수를 도입하였다.

대부분의 기준선을 추정하는 방법들은 다항곡선 피팅 방법의 다항식 차수와 웨이브릿 변환 방법의 분해 레벨과 같은 하나 이상의 매개변수를 육안검사에 의해 수동으로 설정한다[10-12]. 하지만 이 방법은 사용자의 주관적인 판단에 의존하고, 특히 대량의 데이터를 처리해야 하는 경우에 일관성을 유지하기 어려운 단점이 있어 그 신뢰성에 한계가 있다. 이전 연구에서 arPLS 방법의 목적 함수의 적응도(fitness)와 평활도(smoothness)를 사용하여 평활화 매개변수(smoothing parameter)를 선택하는 방법을 제안하였다[13]. 하지만 이 방법은 arPLS 방법이 종료되고 목적 함수의 적응도와 평활도를 계산할 수 있는 단점이 있다.

본 연구에서는 이전에 제안한 기준선 보정 방법인 arPLS 방법에서 최적의 평활화 매개변수를 선택하는 결정 함수를 제안한다. 실험에서는 먼저 모의실험 데이터의 길이와 차수에 따른 매개변수의 변화 추이를 고찰하고, 평활화 매개변수가 데이터의 길이와 차수에 종속적임을 이용해 결정 함수를 정의한 다음, 실제 라만 분광신호에 적용한 결과를 살펴보기로 한다.

2. arPLS 방법과 매개변수 결정 함수

분광기를 통해 획득한 모든 분광신호는 잡음을 포함하고 있다. 잡음은 분석의 정확도와 정밀도를 저하시키고 기기의 검출 한도를 감소시킨다. 따라서 기준선의 보정은 분광신호 분석에 필수적이다.

이전 연구에서는 PLS에 부분 균형 비대칭 가중 벡터를 도입하여 기준선을 보정하는 arPLS 방법을 제안하였다[9]. 동일한 간격으로 표본화된 길이가 N 인 분광신호가 \mathbf{y} 이고, 가중 벡터 \mathbf{w} 가 대각 성분인 대각 행렬을 \mathbf{W} 라고 하자. \mathbf{y} 와 \mathbf{z} 를 열벡터로 가정하면 기준선 \mathbf{z} 는 다음의 목적 함수를 최소화하여 찾을 수 있다.

$$S(\mathbf{z}) = (\mathbf{y} - \mathbf{z})^T \mathbf{W} (\mathbf{y} - \mathbf{z}) + \lambda \mathbf{z}^T \mathbf{D}^T \mathbf{D} \mathbf{z} \quad (1)$$

여기에서 \mathbf{D} 는 미분 행렬이고, 본 실험에서는 2차 미분 행렬을 사용한다.

식 (1)의 첫째 항은 데이터에 대한 적응도를 나타내고, 다음 항은 에 대한 평활도를 표현한다. 평활화 매개

변수 λ 는 두 항 사이의 균형을 조절한다. 목적 함수의 최소화는 해당 식의 편미분 벡터를 0으로 설정하여 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial S}{\partial \mathbf{z}^T} = -2\mathbf{W}(\mathbf{y} - \mathbf{z}) + 2\lambda \mathbf{D}^T \mathbf{D} \mathbf{z} = 0, \quad (2)$$

$$\mathbf{z} = (\mathbf{W} + \lambda \mathbf{D}^T \mathbf{D})^{-1} \mathbf{W} \mathbf{y}. \quad (3)$$

가산잡음은 피크가 없는 영역에서 기준선의 위와 아래에 거의 동등하게 존재하는 것으로 가정할 수 있다. 따라서 기준선이 과소평가되지 않도록 이 영역의 신호와 유사한 값을 할당하고, 신호가 기준선보다 훨씬 큰 경우에는 이 영역을 피크 영역으로 간주하고 가중치를 0으로 할당한다. 이러한 요건을 충족하기 위해 다음과 같이 부분적으로 균형을 이루는 비대칭 가중치를 사용하였다.

$$w_i = \begin{cases} \text{logistic}(y_i - z_i, m_{\mathbf{d}}, \sigma_{\mathbf{d}}), & y_i \geq z_i \\ 1, & y_i \leq z_i \end{cases}, \quad (4)$$

$$\text{logistic}(d, m, \sigma) = \frac{1}{1 + e^{2(d - (-m + 2\sigma))/\sigma)}. \quad (5)$$

이 때, $m_{\mathbf{d}}$ 와 $\sigma_{\mathbf{d}}$ 는 \mathbf{d} 의 평균과 표준편차이다. 주어진 $\mathbf{d} = \mathbf{y} - \mathbf{z}$ 에서 \mathbf{d} 는 $y_i < z_i$ 인 영역에서 정의한 \mathbf{d} 의 음수 부분이다. 로지스틱 함수는 신호와 기준선의 차이가 추정된 잡음의 평균보다 작은 경우에 기준선 위와 아래의 신호에 거의 동일한 가중치를 주고, 평균 잡음보다 큰 경우에는 신호 레벨이 증가할수록 가중치가 점차적으로 감소한다.

arPLS 방법에서 기준선 보정을 위한 최적의 평활화 매개변수를 결정하기 위해 신호의 길이와 차수의 사용을 고려할 수 있다. 이를 위해 다양한 기준선을 가진 모의실험을 행했으며 그 결과를 Fig. 1에 신호의 길이와 차수의 변화에 따른 기준선 보정에 사용 가능한 매개변수의 범위와 중앙값(median)으로 나타내었다. 그림에서 평활화 매개변수 λ 는 신호의 길이가 길어질수록 증가하고, 신호의 차수가 높아질수록 감소하는 것을 확인할 수 있다.

따라서 신호의 길이와 차수 정보에 기초하여 평활화 매개변수와 의 관계를 정리하면 기준선을 추정하는 최적의 매개변수를 신속하고 간단하게 얻을 수 있을 것이다. 신호의 길이를 N 이고 차수를 t 라고 하면, 기준선을 추정하는 최적의 평활화 매개변수 λ 는 위 실험 결과를 기초하여 다음 함수로 근사할 수 있다.

$$\lambda = 10^{\log_2 N - 0.5t - 3.5}. \quad (6)$$

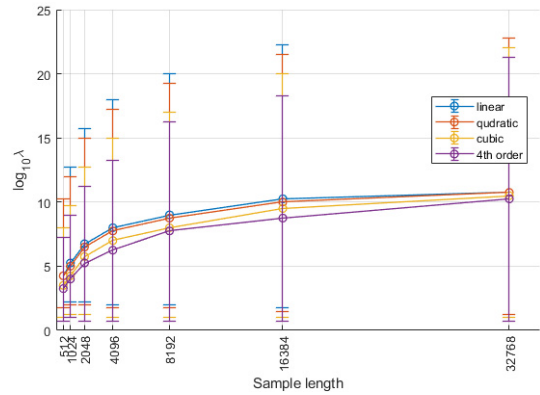


Fig. 1. The Range and median of smoothing parameter by length and order of the signal

3. 실험방법 및 결과

모의실험 신호와 실제 라만 분광신호를 이용하여 제안한 최적 평활화 매개변수 결정함수의 유효성을 검증하였다.

3.1 모의실험 신호

모의실험 데이터는 다양한 기준선과 가산잡음을 분석 신호와 혼합하여 구성하였다. 기준선은 1차부터 4차 곡선을 묘사할 수 있도록 하고, 가산잡음은 표준 정규분포를 갖는 백색잡음을 이용하였다. Fig. 2에 가우시안 피크가 2개이고 길이가 512인 분석신호를 보였다. 피크의 높이는 왼쪽부터 오른쪽으로 각각 0.4, 0.2이다.

모의실험 신호는 기준선, 백색잡음과 분석신호를 여러 길이에 대해 생성하고 다양하게 조합하여 사용하였다. 본 실험에서 사용한 신호의 길이는 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384, 32768로 모두 7가지이다. 표준정규분포를 갖는 백색잡음은 0.01과 0.005 배수와 분석신호의 피크는 1과 0.5 배수를 하고 모두 4가지로 조합하였다. Fig. 3에 1차에서 4차 곡선까지를 묘사한 기준선과 분석신호를 보였다. 본 실험에서 사용한 모의실험 신호는 길이 7가지에 대해 분석신호를 조합한 4가지와 기준선 4가지를 각각 더하여 모두 112개를 생성하였다.

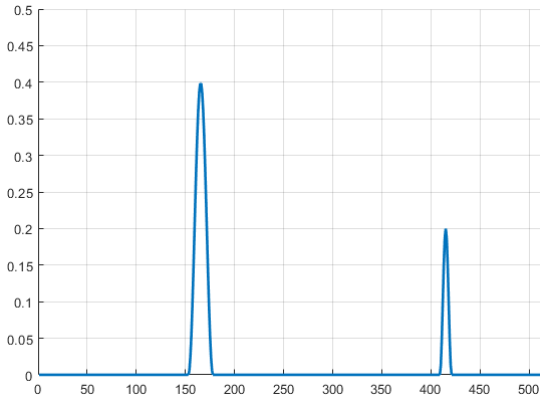


Fig. 2. A analytic signal with 2 Gaussian peaks

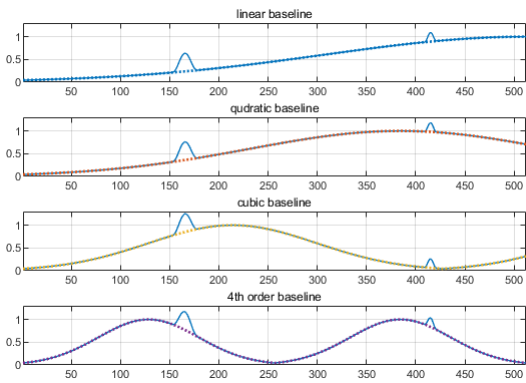


Fig. 3. Various baselines and analytic signals used for simulated signals

기준선 보정에 사용 가능한 매개변수 λ 값을 조사하기 위해 그 값을 10^1 에서 10^{12} 까지 변화시키면서 실험을 수행하였다. 기준선의 차수에 대한 모의실험 신호는 7가지 길이에 백색잡음과 분석 피크의 조합이 4개씩 각각 28개이다. 기준선의 차수별 각 길이에 대한 분석 피크 조합 4가지 신호의 기준선에 모두 만족하는 매개변수의 범위와 중앙값을 Fig. 4부터 Fig. 7까지 보이고, 본 연구에서 제안한 결정함수로 구한 최적의 평활화 매개변수를 나타내었다.

기준선의 모든 차수에 대하여 가능한 기준선 평활화 매개변수의 중앙값과 제안한 결정함수로 얻은 값이 모든 신호의 길이에서 매개변수 값의 변화가 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 그림에서 보듯이 제안한 평활화 매개변수 결정함수가 적절하게 정의되었음을 확인할 수 있다.

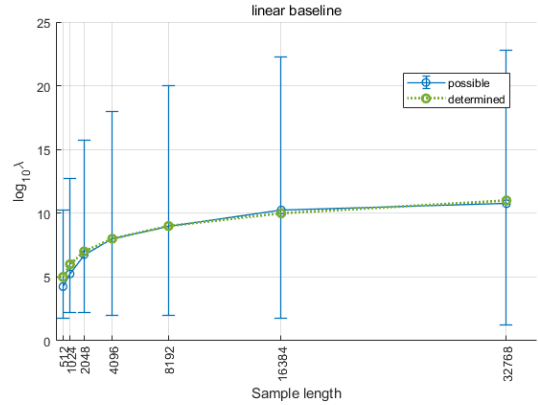


Fig. 4. The Range, median of smoothing parameter and determined parameter by length of the signal with linear baseline

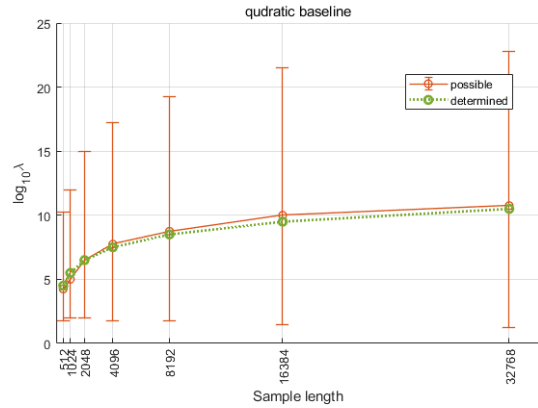


Fig. 5. The Range, median of smoothing parameter and determined parameter by length of the signal with quadratic baseline

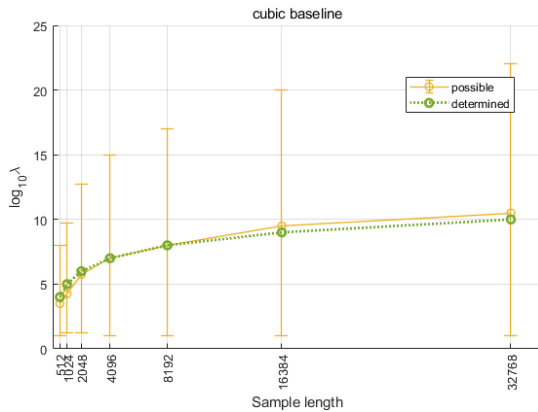


Fig. 6. The Range, median of smoothing parameter and determined parameter by length of the signal with cubic baseline

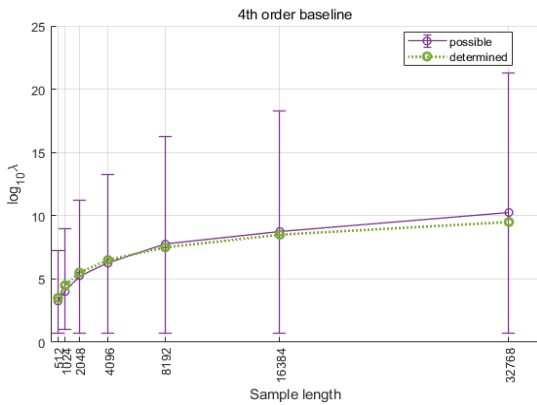


Fig. 7. The Range, median of smoothing parameter and determined parameter by length of the signal with 4th order baseline

3.2 라만 분광신호

실제 데이터를 이용한 실험에서는 4가지 화학 물질 3,5-DNT, 4-ADNT, Ethanol, NTO를 측정된 라만 분광 신호를 사용하였다[14]. 라만 분광신호 측정은 레이저 가열을 피하기 위해 레이저 파워를 1.0mW 이하로 유지 하였다. Rayleigh 라인은 측정 과정에서 홀로그래픽 노치 필터를 사용하여 라만 산란으로부터 제거하였다. 분광신호는 정적 스캔을 통하여 200-3500 cm^{-1} 영역에서 측정되었다. 라만 분광신호 측정 시간은 5초이고 레이저의 초점을 맞추는 데에는 50x 대물렌즈를 사용하였다.

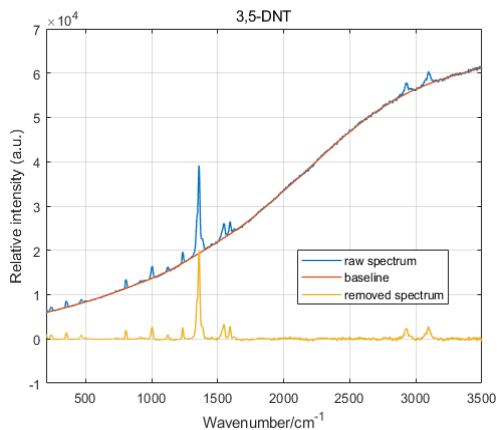


Fig. 8. The result of baseline correction of 3,5-DNT Raman spectrum by determined parameter using the proposed method

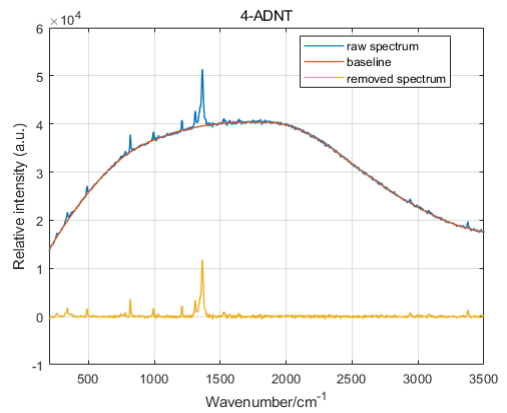


Fig. 9. The result of baseline correction of 4-ADNT Raman spectrum by determined parameter using the proposed method

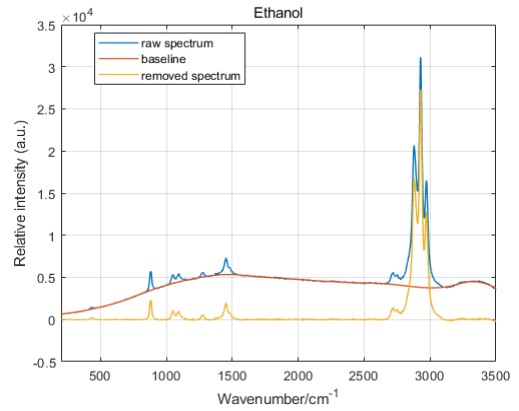


Fig. 10. The result of baseline correction of ethanol Raman spectrum by determined parameter using the proposed method

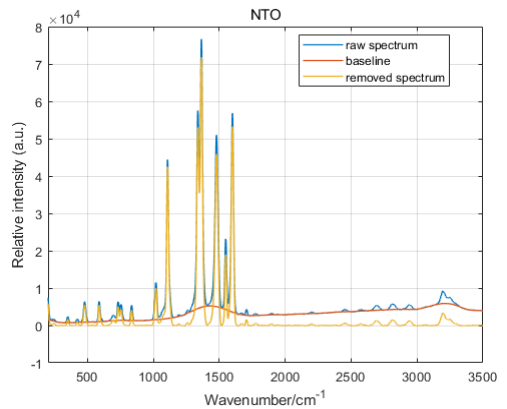


Fig. 11. The result of baseline correction of NTO Raman spectrum by determined parameter using the proposed method

선형 기준선과 유사한 기준선을 포함한 3,5-DNT 라만 분광신호의 기준선을 보정한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 기준선 보정에 사용한 평활화 매개변수는 제안한 결정함수로 얻은 $10^{7.7}$ 이다. 2차부터 4차 곡선 기준선을 포함한 다른 세 가지 라만 분광신호에서 4-ADNT는 2차 곡선 기준선, ethanol와 NTO는 각각 3차와 4차 곡선 기준선의 예로 선택하였다. Fig. 9에서 Fig. 11까지 각각 4가지 화학 물질의 라만 분광신호를 나타내었다. 기준선 추정을 위해 제안한 결정함수에서 얻은 매개변수는 각각 $10^{7.2}$, $10^{6.7}$, $10^{6.2}$ 이다. 그림에서 보듯이 기준선을 보정한 모든 분광신호는 피크의 높이와 위치가 매우 자연스럽게 바람직하다. 따라서 4가지 분광신호의 모든 기준선은 제안한 방법으로 적절히 결정되었다고 할 수 있다.

4가지 라만 분광신호는 동일한 분광법으로 측정하였지만 화학 물질에 따라 다양한 기준선을 보인다. 이것이 바로 기준선 보정이 매 측정 샘플에 대해서 각각 이루어져야 하는 이유이다. 기준선 추정을 위해 모든 라만 분광신호에 동일한 매개변수를 적용하거나 각 분광신호를 육안검사와 같은 주관적인 방법으로 하나씩 매개변수를 결정하는 기존의 방법에 비해 제안한 방법은 시간, 비용, 정확도 측면에서 모두 우수하며, 이후에 통계적인 분석을 용이하게 할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 논문에서 제안한 arPLS 방법에서 최적의 평활화 매개변수를 신호의 길이와 차수만으로 결정하는 방법은 분석 화학 전처리에 사용될 수 있는 간단하지만 효과적인 함수를 제공한다. 모의실험 데이터의 실험 결과에 따르면 제안한 방법이 결정한 최적 매개변수와 사용 가능한 매개변수의 중앙값이 거의 일치하는 것을 확인하였다. 실제 라만 분광신호를 사용한 실험에서도 제안한 방법은 다양한 기준선에 대해 유효한 결과를 보였다.

arPLS 방법은 시료의 조성에 대한 사전 지식, 피크 검출 과정, 배경잡음 분포에 대한 수학적 가정이 필요하지 않으므로 다양한 분광신호에 쉽게 적용할 수 있다. 이 방법에서 최적 매개변수를 결정하는, 제안한 결정함수는 기존의 육안검사와 같은 주관적인 방법으로 매개변수를 선택하여 기준선을 보정하는 것보다 더 간단하고 안정적인 모델을 제공할 수 있다. 이것은 통계적 분석에서 쉬운

해석과 높은 신뢰도를 달성할 수 있다는 것을 의미한다. 현재 본 연구팀은 분광신호 차수 추정 알고리즘을 개발 중에 있으며, 추후 본 논문에서 제안한 방법에 도입한다면 지금보다 신속하고 정확한 최적의 기준선 보정 방법을 제안할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Wolfgang Demtroder, *Laser Spectroscopy: Basic Concepts and Instrumentation*. pp. 1-5, Springer Science & Business Media, 2013.
- [2] R. G. Cooks, *Collision Spectroscopy*. pp. 19-26, Springer Science & Business Media, 2012.
- [3] V. Mazet, C. Carteret, D. Briea, J. Idier, B. Humbert, "Background Removal from Spectra by Designing and Minimising a Non-Quadratic Cost Function", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol. 76, Issue 2, pp. 121-133, Apr. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2004.10.003>
- [4] D. Chen, X. Shao, B. Hu, and Q. Su, "A Background and noise elimination method for quantitative calibration of near infrared spectra", *Analytica Chimica Acta*, Vol. 511, Issue 1, pp. 37-45, May 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.01.042>
- [5] P. Heraud, B. R. Wood, J. Beardall, and D. McNaughton, "Effects of pre-processing of Raman spectra on in vivo classification of nutrient status of microalgal cells", *Journal of Chemometrics*, Vol. 20, No. 5, pp. 193-197, May 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/cem.990>
- [6] J. Zhao, H. Lui, D. I. McLean, and H. Zeng, "Automated autofluorescence background subtraction algorithm for biomedical Raman spectroscopy", *Applied Spectroscopy*, Vol. 61, Issue 11, pp. 1225-1232, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1366/000370207782597003>
- [7] Z.-M. Zhang, S. Chen, and Y.-Z. Liang, "Baseline correction using adaptive iteratively reweighted penalized least squares", *Analyst*, Vol. 135, Issue 5, pp. 1138-1146, Feb. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1039/b922045c>
- [8] P. H. Eilers, "A perfect smoother", *Analytical Chemistry*, Vol. 75, no. 14, pp. 3631-3636. Jul. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1021/ac034173t>
- [9] S.-J. Baek, A. Park, Y.-J. Ahn, and J. Choo, "Baseline correction using asymmetrically reweighted penalized least squares smoothing", *Analyst*, Vol. 140, Issue 1, pp. 250-257, Jan. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1039/c4an01061b>
- [10] Y. Hu, T. Jiang, A. Shen, W. Li, X. Wang, and J. Hu, "A background elimination method based on wavelet transform for Raman spectra", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol. 85, Issue 1, pp. 94-101, Jan. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2006.05.004>
- [11] S.-J. Baek, A. Park, J. Kim, A. Shen, and J. Hu, "A simple background elimination method for Raman

spectra", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol. 98, Issue 1, pp. 24-30, Aug. 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2009.04.007>

- [12] S.-J. Baek, A. Park, A. Shen, and J. Hu, "A background elimination method based on linear programming for Raman spectra", *Journal of Raman Spectroscopy*, Vol. 42, Issue 11, pp. 1987-1993, Nov. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1002/jrs.2957>
- [13] A. Park, S.-J. Baek, J.-Q. Park, Y.-G. Seo, and Y. Won, "Automatic selection of optimal parameter for baseline correction using asymmetrically reweighted penalized least squares", *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 53, No. 3, Mar. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5573/ieie.2016.53.3.124>
- [14] J. Hwang, N. Choi, A. Park, J.-Q. Park, J. H. Chung, S. Baek, S. G. Cho, S.-J. Baek and J. Choo, "Fast and sensitive recognition of various explosive compounds using Raman spectroscopy and principal component analysis", *Journal of Molecular Structure*, Vol. 1039, pp. 130-136, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2013.01.079>

박 아 른(Aa-Ron Park) [정회원]



- 2006년 2월 : 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 (공학학사)
- 2008년 2월 : 전남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 전남대학교 전자공학과 (공학박사)

<관심분야>
디지털 신호처리, 패턴 인식, 바이오 응용 패턴 인식, 특징 추출/선택

박 준 규(Jun-Kyu Park) [정회원]



- 2009년 2월 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 (공학학사)
- 2017년 2월 : 전남대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2018년 10월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 Postdoc

<관심분야>
디지털 신호처리, 패턴인식, 머신러닝

고 대 영(Dae-Young Ko) [준회원]



- 1999년 2월 : 전남대학교 전자공학과 (공학학사)
- 2002년 2월 : 전남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2016년 8월 : 전남대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2018년 4월 ~ 현재 : 씨에스에너지(주) 연구소장

<관심분야>
디지털 신호처리, 임베디드 시스템

김 순 금(Sun-Geum Kim) [정회원]



- 2012년 2월 : 동신대학교 수소에너지학과 (공학학사)
- 2018년 8월 : 전남대학교 산업대학원 전기전자컴퓨터공학과 전자공학 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 전남대학교 일반대학원 전자컴퓨터공학과 (박사과정)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 씨에스에너지(주) 대표이사

<관심분야>
디지털신호처리, 패턴인식, 태양광시스템, ESS저장장치시스템

백 성 준(Sung-June Baek) [정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학학사)
- 1992년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

<관심분야>
의료 통신 음성 관련 디지털 신호처리