

랜덤 표본화 오차에 따른 스펙트럼 잡음 분석

Analysis on Spectral Noise due to Random Sampling Errors

배효욱, 오승일, 김대성, 박도현
고등기술연구원 원격탐지팀
e-mail 주소 : bhw@iae.re.kr

FTIR 기법은 적외선 영역의 광원을 사용하여 간섭무늬(Interferogram)를 얻은 뒤 이를 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform) 시켜 주파수 스펙트럼의 흡수 peak의 모양과 투광도를 측정하여 화학물질을 탐지하는 기법이다.

FTIR 신호처리 과정에서 발생하는 잡음은 많은 종류가 있다. 잡음은 무시 할 수 있을 정도로 작게 또는 크게 시스템에 영향을 미친다. 따라서 기본적으로 발생 될 수 있는 잡음에 대한 철저한 분석과 보상 방법의 연구가 필요하다. FTIR 시스템에서 기본적으로 A/D 변환을 위해 사용되고 있는 참조광원 클럭 신호에 대한 안정성이 우선적으로 중요시 된다. 참조광원은 일정한 간격에 비례하는 일정 광경로마다 샘플링을 하기 위해 일반적으로 단일 파장의 참조광원을 사용하여 광원의 일정한 파장마다 신호를 샘플링 한다. 그러나 아날로그 형태의 간섭무늬 신호가 샘플링 과정에서 외부적 요소의 외란(온도, 진동, 이동거울 모터축 불안정 등)에 의해 샘플링 오차가 발생 하면 이로 인한 신호 스펙트럼에 가상의 스펙트럼(Ghost) 성분을 생성시켜 스펙트럼 간의 충돌 및 오차발생과 간섭무늬의 위상 오차 생성, 신호 대 잡음비를 제한하게 된다. 샘플링 할 때 각 요소마다 동일한 간격으로 지연되었을 경우 샘플링 함수는 일정한 간격으로 샘플링 한 것과 같으나 가장 큰 문제가 되는 샘플링 각 요소마다 랜덤 하게 위치 오차가 발생하게 되면 시간영역의 신호가 왜곡되어 주파수 영역으로 변환 했을 때 신호정보에 잡음이 더해진다. 이러한 잡음이 추가된 스펙트럼은 백색잡음과 같은 전 주파수에 고루 퍼져 잡음이 나타나는 것이 아니라 입력 신호에 의존하는 형태로 신호 스펙트럼에 가상 스펙트럼 성분을 추가시키기 때문에 잡음처럼 보이지 않고 가상의 성분이 있는 것처럼 보여 잡음이 있는지 구별하기가 쉽지 않다.

샘플링 오차($\epsilon(x)$)에 따른 간섭무늬 신호 $I(x)$ 는

$$I(x + \epsilon(x)) \approx I(x) + I'(x) \cdot \epsilon(x) \quad | \epsilon(x) | \ll x \quad (1)$$

이고, 식(1)에 나타난 것과 같이 샘플링 오차는 입력신호 미분 값에 비례하는 값이다. 이 신호로부터 획득한 스펙트럼 S_e 는

$$S_e = S(\nu) + [2\pi i \nu S(\nu)] * E(\nu) \quad (2)$$

$S(\nu)$: 간섭무늬 스펙트럼

$E(\nu)$: 랜덤한 오차 스펙트럼

이다. 이러한 샘플링 잡음으로 인한 스펙트럼은 샘플링 오차가 랜덤할 경우 여러 번 스펙트럼을 측정하여 평균하면 어느 정도 제거가 된다. 하지만 평균하기 위해 각각 받은 데이터들도 샘플링 오차로 인해 위상오차를 가지고 있기 때문에 이에 대한 보상 및 알고리즘을 연구 또한 필요하다.

본 연구에서는 샘플링 잡음에 대한 스펙트럼의 영향 및 관계, 위상 오차, 제한된 신호 대 잡음비에 대해 시뮬레이션 및 Manning 간섭계를 적용한 FTIR 분광 장비를 통하여 랜덤한 샘플링 잡음에 대해 분석하였다.

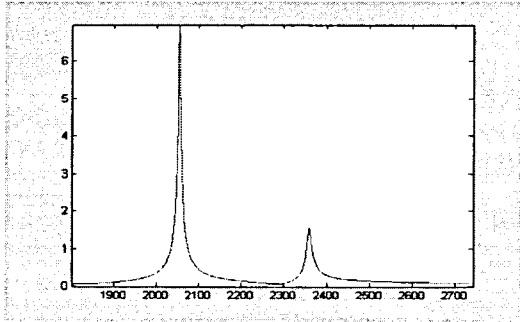


그림 1. 원 신호 스펙트럼

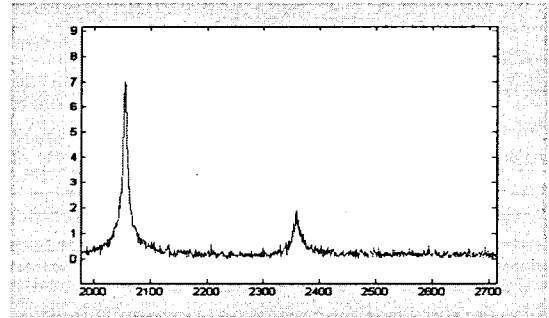


그림 2. 원 신호+백색잡음의 스펙트럼

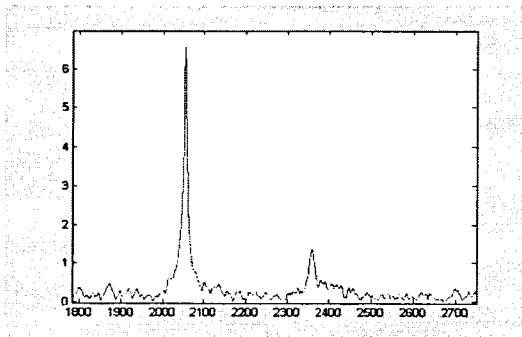


그림 3. 원 신호+샘플링 잡음의 스펙트럼

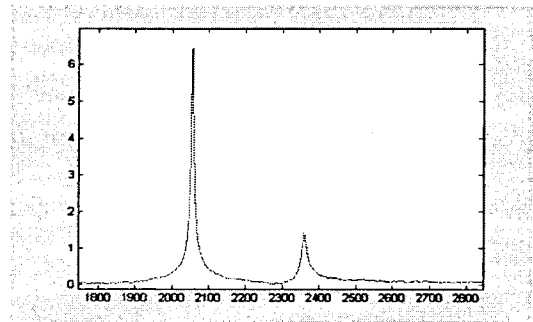


그림 4. 원 신호+샘플링 잡음 평균화한 스펙트럼

1. P. R. Griffiths, J.A. de Haseth, "Fourier Transform Infrared Spectrometry", John Wiley & Sons, New York(1986)
2. D. Cohen, "Performance degradation of a Michelson interferometer when its misalignment angle is a rapidly varying random time series," Appl. Opt. 36, 4034-4042 (1997)

