

논문 2007-44SD-4-2

FTIR 분광용 간섭계의 샘플링 잡음 영향 분석

(Analysis of sampling noise effect of Interferometer on FTIR Spectrometer)

배 효 욱*, 박 도 현*, 나 성 웅**, 최 승 기***

(Hyo Wook Bae, Do Hyun Park, Sung-Woong Ra, and Seung Ki Choi)

요 약

FTIR 분광계는 간섭계를 사용하여 표적 물질에 대한 간섭무늬를 획득하고, 이를 푸리에 변환함으로써 기체상대 물질의 적외선 영역 스펙트럼을 획득하기 위한 유용한 기법이다. 본 논문에서는 불규칙적 위치에서 간섭무늬 샘플링에 관하여 고속 스캔 간섭계의 신호처리에서의 샘플링 노이즈 영향에 대한 연구와 이에 대하여 실험적으로 검증 하였다.

Abstract

FTIR(Fourier Transform Infrared) spectrometry is a useful method to obtain infrared spectra of materials in gas phase by registering the interferogram of a target material using an interferometer, and then performing a Fourier transform on the interferogram to obtain the spectrum. In this paper, sampling noise effect on signal processing of the rapid scan interferometer was studied with relation to sampling the interferogram points at the improper location and empirically verified.

Keywords : FTIR, rotary scan interferometer, sampling noise

I. 서 론

마이켈슨 간섭계를 이용한 FTIR 분광계는 현재 화학 분석을 위한 기본 장비로 활용되고 있다. 이러한 간섭계는 고분해능을 갖고 있는 반면에 환경에 매우 민감하여 실험실에서 사용할 수 있도록 개발된 것들이다. 최근에는 간섭계 보상기법의 발달, 정밀모터의 출현 등으로 인하여 야외에서 사용이 가능한 FTIR 분광계가 개발되어 사용되고 있다.

본 간섭계에서는 정통적인 방식의 마이켈슨 간섭계

를 변형한 Manning 방식의 간섭계를 적용하여 직선 운동이 아닌 이동 거울을 썸(wedge) 형태로 제작하여 회전 운동에 의해 변조를 주도하도록 고안 되었다. 회전 운동에 의한 변조방식은 굴절식과 반사식이 있는데 본 간섭계에서는 반사식을 적용하였다. 회전 운동에 의한 변조방식의 장점은 고속 주사가 가능하며, 신호대 잡음비를 향상시킬 수 있으며 동시에 측정 간 외부의 영향을 배제할 수 있어 이동 간 측정이 가능하다는 것이다. 회전 방식의 이동 거울은 각속도가 시간에 따라 변하므로 정확한 간섭무늬를 얻기 위해서는 동일한 간격으로 샘플링(sampling) 하기 위한 시스템이 요구된다. 일반적으로 He-Ne 레이저를 참조 채널로 사용하여 레이저 간섭무늬의 영(zero crossing)이 되는 점 즉, 한 주기의 절반($\lambda/2$) 마다 신호를 샘플링 한다. 이렇게 함으로써 온도, 진동 등 외부적 요인에 영향을 받아 생기는 굴절률이 변화, 운동 거울 모터 구동부의 외란 등을 다소 줄일 수는 있지만 비교기 및 전처리 회로의 증폭기에 의해

* 정회원, 고등기술연구원

(Institute for Advanced Engineering)

** 정회원, 충남대학교 전기정보통신공학부

(Department of Electrical Information and Communication Eng.)

*** 정회원, 국방과학연구소

(Agency for Defense Development)

접수일자: 2006년7월7일, 수정완료일: 2007년3월20일

발생되는 지연 시간에 때문에 실제로 샘플링 간격을 일정하게 유지하기가 어렵다. 이러한 현상으로 인하여 발생하는 샘플링 잡음은 시간 영역의 간섭무늬뿐만 아니라 주파수 영역의 스펙트럼에 영향을 주어 신호대 잡음비를 저하시켜 화합물을 식별하는데 큰 어려움을 줄 수 있다.

본 연구에서는 FTIR 시스템에서 소자특성이나 외부 영향에 의해 발생할 수 있는 샘플링 오차의 영향 및 이를 최소화 할 수 있는 방안에 대해 연구 및 분석을 수행 하였다.

II. 본 론

1. FT-IR 시스템 구조

FTIR 기법은 적외선 영역의 광원을 사용하여 간섭무늬(Interferogram)를 얻은 뒤 이를 Fourier 변환시켜 주파수 스펙트럼의 흡수 봉우리의 모양과 투과도를 측정하여 화학 물질을 탐지하는 기법이다. 시스템의 개념도는 그림 1에 나타나 있다. 입사된 빔을 광 분할기에서 같은 세기의 두 빔으로 나누고 이 때 한쪽 경로에 있는 이동거울을 일정한 속도를 내도록 구동시킴으로써 입사하는 빔을 세기 변조시킨다. 두 경로를 통해서 합쳐진 변조 광의 세기는 적외선 검출기에 의하여 간섭무늬(interferogram)의 형태로 정보를 기록한다. 물질이 존재할 경우 나타나는 간섭무늬는 물질과의 상호작용을 통해서 입사광의 간섭무늬를 변화시키고 이 때 간섭무늬를 저장하여 FFT를 거쳐 신호 스펙트럼을 얻게 된다.

본 간섭계에서는 고속 스캔을 통한 실시간 신호처리 및 신호대 잡음비를 개선하기 위해 이동거울을 그림 2와 같이 췌기 형태로 제작하였다. 췌기 거울에 입사하는 신호는 췌기거울이 회전함에 따라 입사각이 달라지고 이에 따른 광경로차가 발생한다.

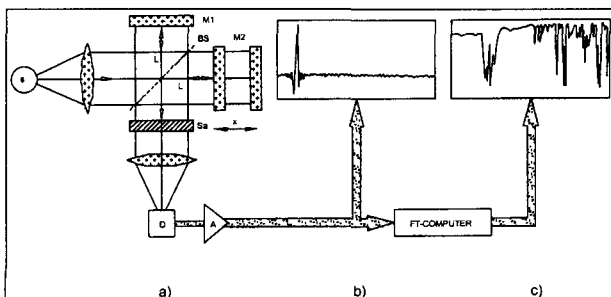


그림 1. FTIR 시스템 개요도
Fig. 1. Optical schematic of FTIR spectrometer.

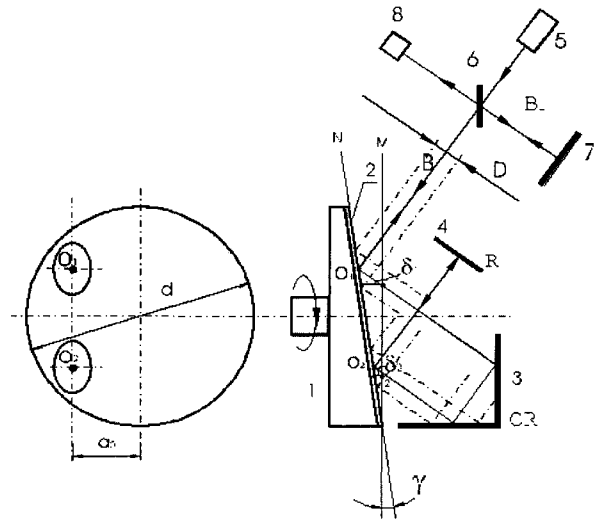


그림 2. 췌기 거울 구조
Fig. 2. Schematic diagram of the wedged mirror structure.

췌기 거울의 회전운동에 의해 생기는 광경로차(OPD)는 다음 식으로 표현된다.

$$x = x_m \cos(wt) \tag{1}$$

w : 각속도

x_m : 췌기거울 중심에서의 최대 광경로차

여기에서 최대 경로차 x_m 은 간섭계의 분광 분해능을 결정하는 파라미터로서 췌기거울로의 입사각, 췌기각, 입사광 궤적의 편심도에 의해 결정된다.

이 때 간섭계를 통과하여 광검출기에서 얻은 간섭무늬는 식 (2)와 같다.

$$I(x) = 0.5I(\nu) (1 + \cos 2\pi\nu x) \tag{2}$$

식 (1)의 양변을 미분하게 되면 광경로차(OPD)의 증분은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta x = -wx_m \sin(wt)\Delta t \tag{3}$$

이것은 일반적인 구분동작 스캔(step scan)방식이나 저속 스캔(slow scan)방식에서 보는 바와 같이 광경로차의 등간격이 등시간 간격에 비례하지 않고 사인 함수적으로 변화함을 볼 수 있다. 이것은 췌기거울을 이용한 간섭계의 고유한 특성을 보여주는 것으로 일정한 시간간격의 클럭을 샘플링 트리거로 이용하는 기존의 신호처리 방식의 경우 동일한 광학 경로차(OPD)로 신호를 획득하기 위해서는 식 (3)에 의한 보상 알고리즘이

필요하다는 것을 의미한다. 그렇지만 실제적으로 등시간 간격으로 신호를 샘플링 하는 경우 회전속도의 오차, 회전축의 틀어짐 등에 의한 부수적 효과들이 개입되기 때문에 단순히 식 (3)을 보상할 수 없게 된다. 즉 오차 성분을 고려하면 식 (1)은,

$$x = x_m \cos(\omega t + \delta_w + \delta_\theta) \tag{4}$$

δ_w : 각속도 오차

δ_θ : 회전축 오차

로 표현가능하며, 식 (3)은 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$\Delta x = -x_m \sin(\omega t + \delta_w + \delta_t)[\omega \Delta t + \Delta \delta_w + \Delta \delta_\theta] \tag{5}$$

그러나 고속 회전의 경우에 시간의 변화량과 비교하여 각속도와 회전축의 오차는 매우 적은 양이므로 무시가능하기 때문에 결국 식 (5)는 다음과 같이 근사적으로 기술할 수 있다.

$$\Delta x = -\omega x_m \sin(\omega t + \delta_w + \delta_t) \Delta t \tag{6}$$

실제로 저속의 경우에는 δ_w, δ_θ 가 큰 문제가 될 수 있으며, 고속으로 갈수록 그 효과가 줄어드는 것을 실험적으로 확인하였다.

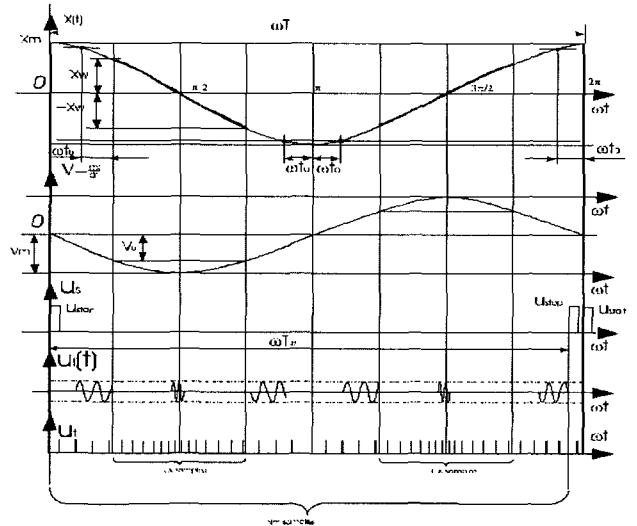
그러나 본 연구에서는 등시간 간격으로 인한 오차발생을 억제하기 위하여 단색파장의 참조광원을 이용하여 등광경로차로 신호를 수집하는 방식을 선택하였다.

2. 신호의 샘플링

정보를 가진 아날로그 신호를 처리하기 위해서는 디지털 신호로 바꾸는 A/D 변환을 해야 한다. A/D 변환 과정은 연속적인 신호를 일정한 시간 단위로 나누고 각 시간 단위에서의 신호의 크기를 정해진 단계만큼 양자화 하는 것이다. 이 시스템에서는 등간격의 광경로차(OPD)로 양자화를 하여야만 주파수 영역에서 스펙트럼을 재생하였을 때 정확한 위치 대응이 이루어진다. 그러나 앞서 기술한 바와 같이 췌기거울을 이용한 간섭계에서는 식 (1)에서 나타난 바와 같이 등시간 간격과 선형적인 관계에 있지 않으므로 샘플링 간격을 광경로차와 동기화하는 것이 필요하다. 이를 위해서 주 간섭계와 동일한 경로를 갖는 참조 간섭계를 사용하게 된다. 이 때 참조 간섭계의 광원은 단색광을 사용하게 되며 본 연구에서는 He-Ne 레이저의 633nm 파장을 사용하였다. 참조 간섭계는 레이저의 결맞음 특성으로 인하여

그림 3에 나타난 $U_i(t)$ 과 같이 $\cos(\omega t)$ 로 변조된 간섭 무늬를 생성하게 된다. 간섭계의 기본이론에 의하여 단색광의 경우 간섭하는 두 빛 사이의 경로차가 π 의 정수배가 될 때마다 보강간섭이 발생하고 π 의 반정수배가 되면 상쇄가 발생하게 된다. 따라서 보강이 이루어지는 위치(영교차점)를 정확하게 추출하게 되면 λ 간격의 광경로차에 해당하는 그림 3의 아래에 있는 U_i 와 같은 트리거 펄스를 발생시킬 수 있다.

그림 3에서는 신호를 획득하는 과정의 상관관계를 나타낸 것이다. x축은 시간축이다. 그림에서 보는 바와 같이 시간에 따른 광경로차 x 가 코사인 함수적으로 변화하고 있음을 알 수 있다. 광경로차의 변화율이 비교적 선형적인 구간에서는 참조광원의 동기 펄스인 U_i 가 비교적 등간격으로 샘플링이 이루어지고 있다는 것을 확인할 수 있다. 샘플링 간격은 신호처리의 대역폭과 관계하기 때문에 일반적으로 Nyquist 기준에 의하여 샘플링 간격의 최소간격을 정하게 된다. 반대로 지나치게 샘플링 간격을 조밀하게 설정하게 되면 데이터 양이 증가하면서 신호처리 속도의 부하가 증가하기 때문에 적절한 샘플링 주파수를 설정하는 것이 중요하다. 따라서 시스템에서 요구하는 대역폭을 유지하면서 신호처리의 효율성을 높이기 위하여 상승 모서리의 영교차점마다



- x_m : 췌기거울 중심에서의 최대 광경로차
- v_m : 광경로 변화율에 비례하는 속도
- U_s : 동기신호
- $U_i(t)$: 참조광원 간섭무늬
- U_i : 참조광원 펄스

그림 3. 샘플링 신호 획득
Fig. 3. Timing diagram for data acquisition.

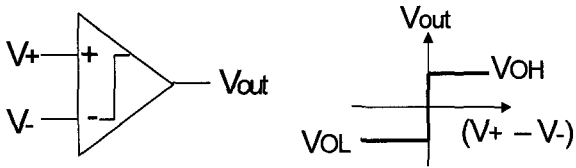


그림 4. 비교기 동작 구조
Fig. 4. Comparator basic.

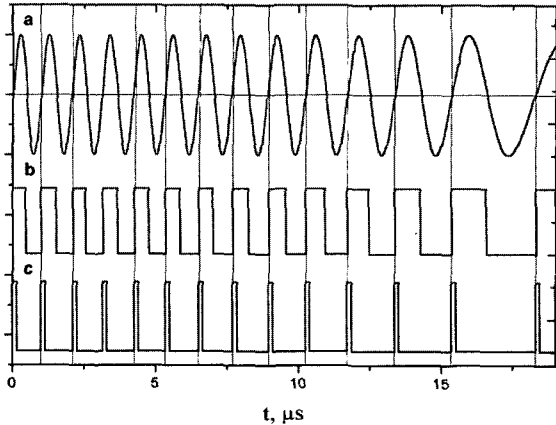


그림 5. 클럭 생성 다이어그램
Fig. 5. Diagram of clock pulses generation.

TTL 펄스를 발생하도록 하였다. 이렇게 발생시킨 펄스는 아날로그-디지털 변환기(A/D converter)의 트리거 펄스로 작용한다.

참조 간섭계의 광검출기에서 획득한 간섭무늬로부터 아날로그-디지털 변환기의 트리거 펄스를 발생시키기 위하여 비교기 회로를 사용하였다. 비교기의 구조 및 전달특성은 그림 4와 같다. 기본 원리는 신호전압과 기준전압을 비교하여 신호전압이 크면 비교기는 높은 출력전압을 나타내고, 신호전압이 기준전압보다 낮으면 비교기는 낮은 출력전압을 나타낸다. 그림 5는 클럭신호 생성 다이어그램을 나타내고 있다.

3. 샘플링 잡음 영향 분석

신호처리 과정에서 발생하는 잡음은 많은 종류가 있다. 이러한 잡음은 무시할 수 있을 정도로 작게 또는 크게 시스템에 영향을 미친다. 따라서 기본적으로 발생할 수 있는 잡음에 대한 철저한 분석과 보상 방법의 연구가 필요하다. 일반적으로 신호처리의 잡음 분석은 신호처리 과정에서 발생할 수 있는 백색잡음, shot 잡음, 열잡음, flicker 잡음 등 소자 또는 전자회로에 의한 잡음들의 영향을 대상으로 하고 있다. 반면에 샘플링 오차에 의한 효과를 분석한 예는 그다지 많지가 않다. 그 이유는 원데이터를 아날로그-디지털 변환할 때 샘플링

의 간격을 매우 정확한 내부 클럭을 사용하기 때문에 샘플링 오차가 개입할 여지가 크지 않기 때문이다. 그러나 FTIR 분광 시스템은 광검출기에서 측정된 간섭무늬를 Fourier 변환이라고 하는 연산 작업을 통해서 최종적으로 스펙트럼을 얻는 과정이 필요한데, 이 때 일정한 간격의 광경로차(OPD)로 샘플링을 하는 것이 요구된다. 광경로차의 증분이 시간의 증분과 비례한다면 일반적인 신호처리 과정과 동일하게 정밀한 클럭 펄스를 트리거로 사용하여 샘플링을 할 수 있지만 본 간섭계에서는 식 (4)에 표현한 바와 같이 비선형적인 관계에 있으므로 참조 간섭계를 이용한 등광경로차(ΔOPD)로 샘플링을 하는 것이 오차를 줄이는 방법이 된다. 등광경로차로 샘플링을 하는 또 한 가지 이유는 외적 요인에 의한 광경로차의 변화가 연동되어 그대로 반영될 수 있기 때문이다.

참조 간섭계와 연동되어 비교기 회로에 의해서 파장의 정수배에 해당하는 등광경로차마다 트리거 펄스를 발생시킬 수 있다. 이와 같이 참조광원을 사용한 샘플링 신호 발생회로를 구현할 경우 근본적으로 등광경로차(ΔOPD)에 의한 신호 샘플링은 구현 가능하지만 비교기의 오프셋 전압, 비교기의 응답 속도, 비교기 전처리 회로의 지연시간, 온도변화에 따른 내부적 광학 파라미터의 변화 등으로 인해 정확한 영교차점에서 펄스가 동기화 되지 않을 수 있다. 이것은 간섭무늬가 일정한 주파수의 사인파일 때에는 문제가 되지 않을 수 있지만 매 위치마다 주파수가 변화하는 본 간섭계에서는 위치오차가 발생할 수밖에 없다. 위치오차로 인한 샘플링 노이즈는 그림 6에 나타난 것과 같이 백색잡음과 달리 허상의 스펙트럼을 발생시켜 실질적으로 성분 측정

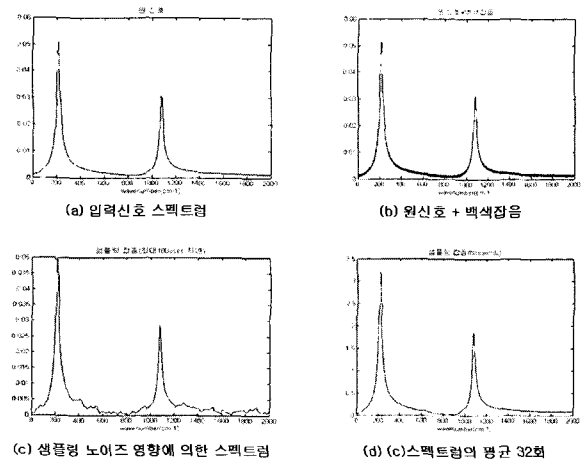


그림 6. 샘플링 노이즈 특성
Fig. 6. Characteristic of sampling noise.

시 샘플링 노이즈가 아니라 임의의 성분이 있는 것으로 오인 할 수 있다. 따라서 FTIR 분광계를 사용하여 정확한 성분분석을 위해 먼저 샘플링 잡음에 따른 영향 분석 및 해결방안 모색이 중요하다.

일반적으로 신호의 샘플링은 다음의 수식으로 나타낼 수 있다.

$$f_s(t) = f(t)p_T(t) \tag{8}$$

샘플링 함수 $p_T(t)$ 가 주기 함수이므로 푸리에 급수로 표현하면 다음과 같다.

$$p_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n e^{jn\omega_0 t} \tag{9}$$

$$F_S(w) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n F(w - n\omega_0)$$

$f(t)$: 신호

$p_T(t)$: 샘플링 함수

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

샘플링 시 각 요소마다 동일한 위치 지연 일 경우 샘플링 함수 $p_T(t)$ 는 주기 함수 이므로 샘플링 오차 없이 신호를 표현할 수 있다. 그러나 가장 문제가 되는 샘플링 각 요소마다 랜덤하게 지연이 발생하게 되면 샘플링 함수의 위치 오차 성분으로 인하여 시간영역의 신호가 왜곡되어 주파수 영역으로 변환 했을 때 신호정보에 잡음이 더해져 신호대 잡음비가 떨어지게 된다. 이에 대하여 표 1과 표 2에 위치오차에 따른 신호 대 잡음비, 평균화 횟수에 따른 신호 대 잡음비를 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

표 1에 나타난 것과 같이 위치오차 크기에 비례하여 신호대 잡음비가 나빠짐을 알 수 있다. 따라서 하드웨어적 요인에 의해 발생하는 응답속도 지연부분을 최소화 할 필요가 있다. 본 시스템에서는 최대 7nsec 응답속도를 갖는 고속의 비교기를 사용하여 위치오차의 영향을 최소화 하였다. 위치오차로 인한 샘플링 노이즈는 어느 정도 랜덤한 특성을 갖고 있으므로 하드웨어적 뿐만 아니라 평균화 알고리즘을 이용하여 신호처리를 할 경우 샘플링 노이즈 영향을 더욱더 줄일 수 있다. 시뮬레이션 결과 그림 7과 같이 어느 정도 횟수 평균화를 할 경우 급격하게 노이즈가 줄어들을 알 수 있다. 그러나 평균화 횟수가 늘어날수록 신호처리 속도가 느려지지만 고속 회전방식 이동거울을 사용한 본 시스템에서

표 1. 샘플링 위치오차에 따른 신호 대 잡음비

Table 1. Signal-to-noise ratio for sampling position error.

위치 오차	잡음 평균	S/N
1μ sec. 지연 (9.7×10 ⁻⁵ cm)	2.898×10 ⁻⁴	0.69×10
500n sec. 지연(4.9×10 ⁻⁵ cm)	1.653×10 ⁻⁴	1.14×10
50n sec. 지연(4.9×10 ⁻⁷ cm)	1.400×10 ⁻⁵	1.35×10 ²
10n sec. 지연(9.8×10 ⁻⁸ cm)	2.919×10 ⁻⁶	6.50×10 ²

표 2. 평균화 횟수에 따른 신호 대 잡음비 (10nsec 지연)

Table 2. Signal-to-noise ratio for averaging number.

스캔 횟수	잡음 평균	S/N
1 scan	3.205×10 ⁻⁶	5.92×10 ²
16 scans	6.827×10 ⁻⁷	2.78×10 ³
32 scans	5.195×10 ⁻⁷	3.65×10 ³
64 scans	3.643×10 ⁻⁷	5.21×10 ³
128 scans	2.727×10 ⁻⁷	6.96×10 ³

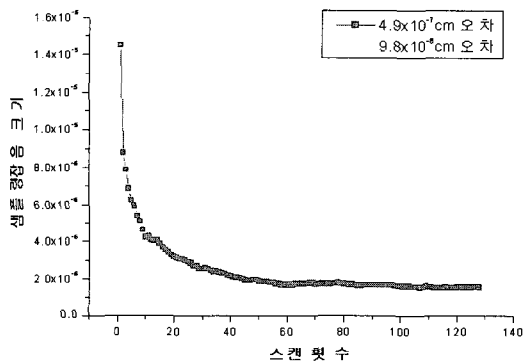
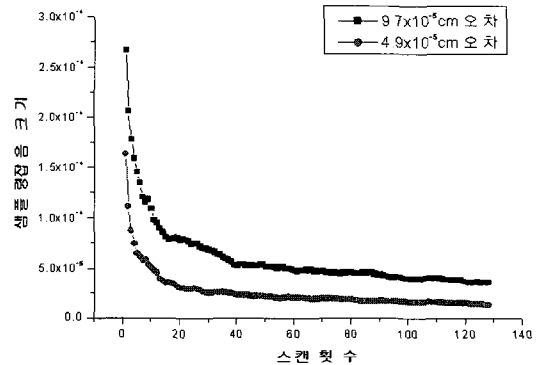


그림 7. 평균화 횟수에 따른 샘플링 노이즈 크기

Fig. 7. Sampling noise dependence on averaging number.

는 실시간 신호처리 속도에 크게 영향을 받지 않고 샘플링 노이즈를 최소화 할 수 있다.

고속 회전방식의 이동거울을 사용한 본 시스템에서 샘플링에 의한 영향 및 성분검출에 대한 신뢰성을 실험을 통하여 확인 하였다.

III. 실험

본 연구에서는 632.8nm의 He-Ne 레이저를 샘플링을 위한 참조광원으로 사용하여 시스템 성능을 분석하였다. 설계 제작된 시스템은 2.0cm^{-1} 분해능과 32scans/sec. 주사속도를 갖는다.

그림 8은 참조광원에 의한 간섭무늬이다. 간섭무늬의 주파수는 이동거울의 순간속도에 따라 주파수가 19Khz ~ 1.6Mhz 범위에서 가변을 한다.

참조광원에 의한 간섭무늬는 샘플링 신호생성 회로를 통해 TTL 형태의 샘플링 신호로 변하게 된다. 그림 9는 샘플링 신호 생성회로에서 출력된 신호이다. 샘플링 생성회로에 사용된 비교기의 응답속도는 7nsec로 샘플링 오차를 최대한 줄이기 위해 빠른 응답속도를 갖는 소자를 사용하였다.

참조광원을 사용한 샘플링과 일반적 등시간 간격 샘플링

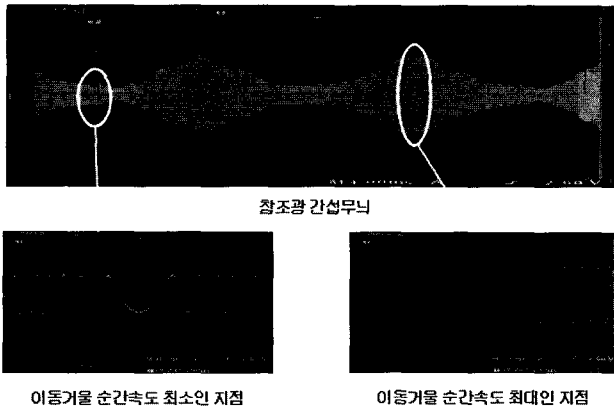


그림 8. 참조광 간섭무늬
Fig. 8. Interferogram measured with the reference laser.

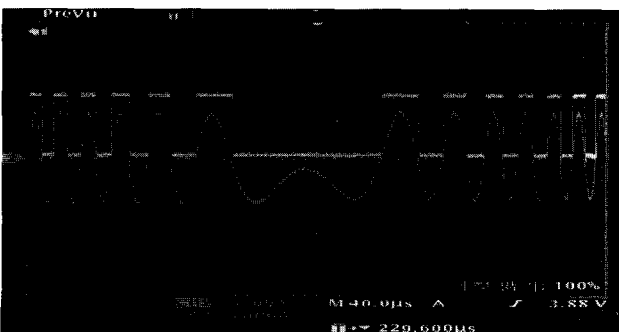


그림 9. 샘플링 신호
Fig. 9. Sampling signal.

플링 결과에 대한 스펙트럼은 그림 10과 그림 11에 나타나 있다.

일정한 등광경로차 마다 샘플링 하지 않은 경우 그림 11에 나타난 바와 같이 샘플링 노이즈 성분과 신호 스펙트럼이 더해져 신호대 잡음비가 떨어짐과 동시에 등광경로차에 대한 간섭무늬를 획득 할 수 없기 때문에 그림 10과 비교하였을 때 파수(wavenumber)에 대한 스펙트럼의 위치가 달라져 대기 성분 분석시 오류를 범할 수 있다. 이러한 이유로 일반적으로 단파장 참조광원을

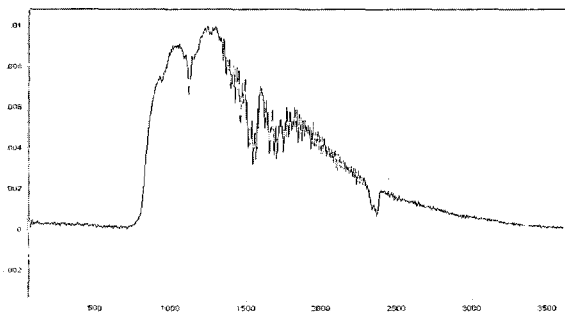


그림 10. 등광경로차 샘플링에 의해 획득된 스펙트럼
Fig. 10. Spectrum obtained by sampling at equal intervals of retardation.

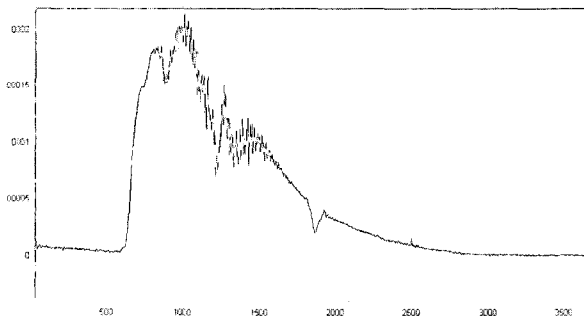


그림 11. 등시간 샘플링에 의해 획득된 스펙트럼 (0.55µsec)
Fig. 11. Spectra obtained by sampling at equal intervals of time.

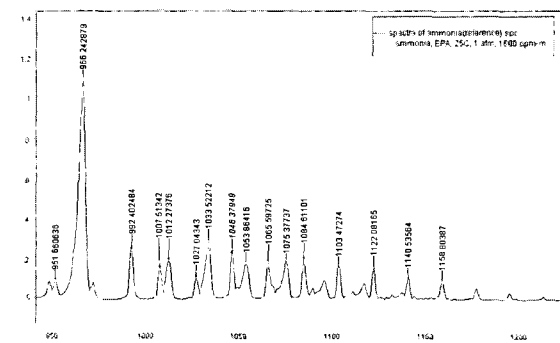


그림 12. 암모니아 표준 스펙트럼
Fig. 12. Standard spectrum of ammonia.

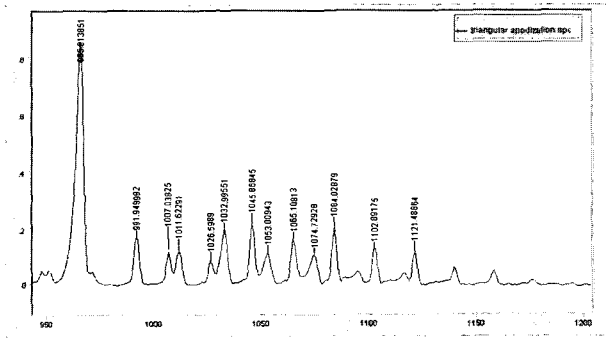


그림 13. 암모니아 시료에 대한 측정 스펙트럼
Fig. 13. The measured spectra of ammonia.

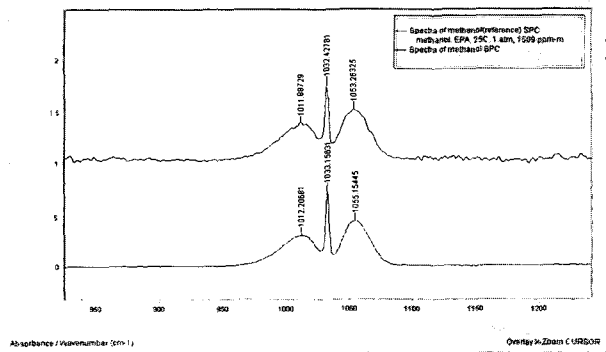


그림 14. 메탄올 시료에 대한 측정 스펙트럼
Fig. 14. The measured spectra of methanol.

사용하고 있다.

그림 11은 0.55μsec 마다 간섭무늬를 샘플링 하여 FFT를 수행한 결과 스펙트럼 이다.

본 시스템에서는 참조광원을 사용하여 등광경로차마다 신호를 샘플링 하였으며, 평균화 알고리즘을 통해 샘플링 오차에 대한 영향을 최소화 하였다. 이에 대한 신뢰성을 확인하기 위해 암모니아와 메탄올 시료를 각각 대기 중에 확산시켜 성분 검출 여부 및 기준스펙트럼과 측정스펙트럼 간의 비교를 수행 하였다.

두 시료에 대한 스펙트럼은 기준 스펙트럼과의 상관관계를 통해 정확히 검출 되었으며, 흡수 peak 위치에 대한 오차도 최대 ±0.5cm⁻¹ 이내의 범위에서 일치함을 확인 하였다. 측정 스펙트럼은 4번의 평균화를 통해 획득 되었다. 실험을 통하여 시스템의 하드웨어적 요소 및 신호처리 알고리즘에 의하여 샘플링 오차에 의한 노이즈 영향이 크지 않음을 확인 하였다.

IV. 결 론

FTIR 분광계의 신호처리 과정에서 발생 될 수 있는 샘플링 노이즈는 스펙트럼의 에너지 분포 및 고유성분

peak 위치에 영향을 주게 된다. 이러한 결과는 신호대 잡음비를 저하시켜 실시간 대기 성분 분석 시 시스템의 성능 및 신뢰성에 큰 영향을 준다.

이와 같은 샘플링 위치오차에 따른 영향을 최소화하기 위해 본 시스템에서는 참조광원을 사용하여 일정한 광경로차마다 신호를 샘플링 하였으며, 부가적으로 참조광원 사용에 따른 샘플링신호 생성회로의 집적소자 고유특성에 따른 영향을 줄이기 위해 빠른 응답특성을 갖는 소자를 사용 하였다.

시뮬레이션을 통해 분석 한 결과 7nsec 정도의 응답 속도 특성은 시스템에 큰 영향을 주지 않았다.

랜덤한 특성을 갖는 샘플링 노이즈는 평균화 신호처리 과정을 통해서도 어느 정도 제거가 되었으며, 실험을 통하여 이를 확인 하였다.

실시간 모니터링을 위해 고속 회전방식의 이동거울을 사용하는 본 시스템에서는 평균화에 횡수에 따른 실시간 신호처리가 크게 문제 되지 않았으며, 시료에 대한 성분 검출에 있어서도 시스템의 신뢰성을 확인 하였다.

시간에 대한 함수가 아닌 광경로차에 대한 함수의 간섭무늬를 신호처리를 하는 FTIR 분광계에서는 샘플링 노이즈의 문제가 크게 대두 될 수 있다. 이러한 부분은 요구되는 시스템의 성능과 관련하여 하드웨어적으로나 알고리즘을 통해 최소화 할 수 있다.

참 고 문 헌

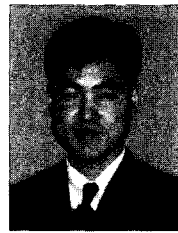
- [1] P. R. Griffiths, J.A. de Haseth, "Fourier Transform Infrared Spectrometry," John Wiley & Sons, New York 1986.
- [2] T. Hirschfeld, "Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Application to chemical systems," vol.2, New York 1979

저 자 소개



배 효 욱(정회원)
2000년 대구대학교
전자공학과 학사 졸업.
2002년 경북대학교
전자공학과 석사 졸업.
2003년~현재 고등기술연구원

<주관심분야 : 통신, 신호처리, 원격탐지>



박 도 현(정회원)
1987년 연세대학교
물리학과 학사 졸업.
1989년 연세대학교
물리학과 석사 졸업.
1995년 연세대학교
물리학과 박사 졸업.

1996년~현재 고등기술연구원
<주관심분야 : 레이저 응용, 광센서, 원격탐지>



나 성 응(정회원)
1976년 서울대학교
전자공학과 학사 졸업.
1978년 한국과학기술원
전자공학과 석사 졸업.
1992년 한국과학기술원
전자공학과 박사 졸업.

1980년~현재 충남대학교 전기정보통신공학부
정교수

<주관심분야 : 통신, 신호처리, 영상처리>



최 승 기(정회원)
1986년 광운대학교
전자공학과 학사 졸업.
1988년 광운대학교
전자공학과 석사 졸업.
1988년~현재 국방과학연구소

<주관심분야 : 통신, 신호처리, 광신호처리>