

## 라만현미경에서 CCD수감부에 입사하는 라만 신호세기를 높이기 위한 한가지 설계방법

최세혁, 최춘식

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우자면 발전된 과학기술을 받아들이는것과 함께 새로운 과학기술분야를 개척하고 그 성과를 인민경제에 적극 받아들여야 합니다.》  
(《김정일선집》 증보판 제11권 138~139페이지)

진동분광기술의 하나인 라만분광법[1-5]은 화학과 물리학은 물론 의학, 생물학을 비롯한 많은 분야에서 광범히 리용되는 분석기술이다. 라만현미경은 보통 레이자광원, 광학계(거울, 렌즈, 빔섬유), 광학기구(빔거르개), 분산계(살창분광기)와 검출계(CCD수감부)로 구성되어있으며 레이자빔을 시편에 쏘여줄 때 발생하는 라만산란빔을 분석하여 물질의 분자구조를 분석한다. 이 라만산란빔은 함께 산란되어나오는 레일레이산란빔에 비해 그 세기가 비할바없이 작다. 라만현미경에서 중요한 문제의 하나는 세기가 매우 작은 라만산란빔을 검출하는것이며 따라서 이 라만산란빔을 최대한 CCD수감부에 입사시키는것은 매우 중요한 문제로 나선다.

우리는 라만현미경에서 CCD수감부에서의 라만산란빔의 수집효율을 높이기 위하여 최량적인 광학적설계정수들을 결정하는 방법을 론의하였다.

라만현미경의 CCD수감부에서 수집되는 신호세기에 미치는 인자들을 고려하여 식으로 표현하면 다음과 같다.[2]

$$S = LCt_s = (P_D \beta DK)(A_D \Omega_D TQ)t_s \quad (1)$$

여기서  $S$ 는 CCD수감부에서 수집되는 신호의 세기,  $t_s$ 는 측정시간,  $L$ 은 단위시간동안 단위립체각을 통하여 단위면적의 시편에서 나오는 라만산란빔량자의 수로서 시편과 레이자출력에 의존하는 양이며  $C$ 는 신호수집효율로서 분광기의 수집 및 수감특성을 나타낸다.  $P_D$ 는 시편에서 레이자빔의 출력밀도,  $\beta$ 는 라만산란미분단면적,  $D$ 는 분자수밀도,  $K$ ,  $A_D$ ,  $\Omega_D$ 는 각각 분광기에 의해 관측되는 시편깊이, 시편면적, 수집각이며  $T$ 는 분광기의 투과도,  $Q$ 는 수감부의 량자효율이다.

분광기의 신호수집효율을 높이자면 수집효율  $C$ 와 광학계의  $f\#$ ( $f\#$ 로도 표시)와의 관계를 고려하여 분광기를 설계하고 구성해야 한다.

시편에서 신호수집립체각과 광학계의  $f\#$ 사이의 관계는 다음과 같다.

$$\Omega_D = \frac{\pi}{4(f\#)^2} \quad (2)$$

식 (2)로부터  $f\#$ 를 가능한것 작게 하는 방향으로 분광기를 설계하여야 신호수집에서 큰 효과를 볼수 있다는것을 알수 있다. 이것을 실현하기 위한 방도는 시편에서 라만산란빔을 수집하는 렌즈를  $f\#$ 가 작은것으로 택하고 그것에 광학계의  $f\#$ 를 맞추는것이다.[4]

라만현미경설계에 리용된 대물렌즈의 특성값은 배율  $M=63$ , 개구수  $NA=0.7$ 이며 입사동공직경은 16mm이고 초점거리는 11.2mm이다. 이로부터 대물렌즈의  $f\#$ 는 0.7,  $\Omega_D$ 는 1.6sr이다.

신호수집효율과 공간분해능을 높이도록 설계한 라만현미경의 구조는 그림과 같다.

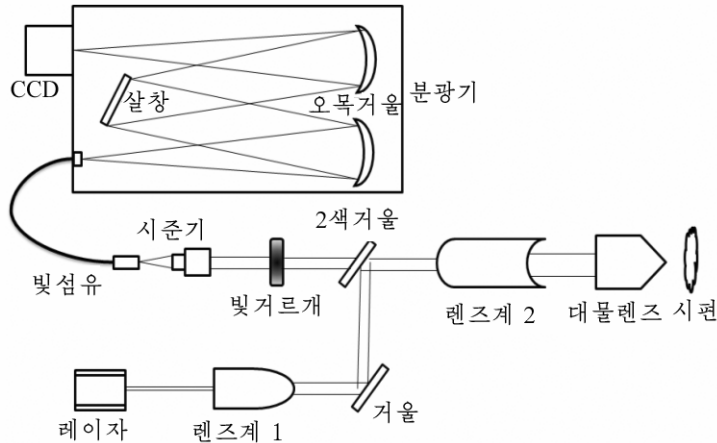


그림. 라만현미경의 구조

그림에서 보는바와 같이 분광기의  $f\#$ 와 시준기의  $f\#$ 를 같게 하면 대물렌즈에서 수집된 라만산란빛을 전부 신호로 전환할수 있다. 분광기의  $f\#$ 는 오목거울의 초점거리와 오목거울과 살창의 크기에 의하여 결정된다. 그런데 이 크기는 파수분해능과 수차를 고려하여 합리적으로 설정해야 한다. 따라서 초점거리가 300mm, 직경이 75mm인 오목거울과 크기가 50mm×50mm이고 살창상수가 1/1 800mm인 살창을 선정하여 분광기를 설계하였다.

새로 설계한 라만현미경의 광학요소들과 그것에 결정되는 특성값들은 표와 같다.

표. 광학요소들과 그것에 의하여 결정되는 특성값

종전의 라만현미경		새로 설계한 라만현미경	
레이자빔뭉음의 직경 $D_0$	1.2mm	레이자빔뭉음의 직경 $D_0$	1.2mm
시준기에서 평행빔뭉음의 직경 $D_{\text{신1}}$	16mm	렌즈 2에서 평행빔뭉음의 직경 $D_{\text{신1}}$	16mm
시준기의 초점거리 $f_{\text{시}}$	90mm	시준기의 초점거리 $f_{\text{시}}$	35.9mm
대물렌즈의 $f\#$ ( $f\#_{\text{대}}$ )	0.7	대물렌즈의 $f\#$ ( $f\#_{\text{대}}$ )	0.7
분광기의 $f\#$ ( $f\#_{\text{분}}$ )	11.11	분광기의 $f\#$ ( $f\#_{\text{분}}$ )	6.92
시준기의 $f\#$ ( $f\#_{\text{시}}$ )	5.63	빔섬유의 $f\#$ ( $f\#_{\text{섬}}$ )	2.22

종전의 라만현미경에는 렌즈 2가 존재하지 않았으며 이때 시준기로는 초점거리가 90mm인 렌즈를 리용하였다.

표에서 보는바와 같이 종전의 라만현미경에서는 시준기의  $f\#$ 가 분광기의  $f\#$ 에 비해 1/2정도 작으므로 분광기에 입사할수 있는 신호는 시준기신호의 1/4정도밖에 되지 않는다. 이것은 분광기와 시준기의  $f\#$ 를 맞추는것이 중요한 문제로 나선다는것을 보여준다.

시준기의  $f\#$ 는 시준기의 초점거리와 시준기에 입사하는 빔뭉음의 직경에 의하여 결정되므로 2색거울과 대물렌즈사이에 렌즈 2를 배치하여 분광기의  $f\#$ 와 맞출수 있다.

분광기와 시준기사이의  $f\#$ 정합을 위하여 얻어야 할 빔뭉음의 직경은  $D_{\text{신2}} = f_{\text{시}} / (f\#_{\text{분}}) = 5.18\text{mm}$  이다. 새로 설계한 라만현미경에서는 렌즈 2를 도입함으로써

분광기와 시준계사이의 정합을 실현하였다.

한편 시편에서 레이자초점의 크기는 다음의 식으로 결정된다.[3, 4]

$$\omega_0 = \frac{4\lambda}{\pi D_{\text{레2}}} f_0 \quad (3)$$

여기서  $\lambda$ 는 레이자빛의 파장,  $f_0$ 은 대물렌즈의 초점거리이고  $D_{\text{레2}}$ 는 대물렌즈에 입사하는 레이자빛의 직경이다.

렌즈계 1과 렌즈계 2에 의하여 확대된 레이자빔뭉음의 직경은 대물렌즈의 입사동공 직경과 같아지며 따라서 얻어지는 초점의 크기는 최소로 된다. 이것은 새로 설계한 광학계가 공간분해능을 최대로 되게 할수 있는 우점도 가진다는것을 의미한다.

## 맺 는 말

렌즈계 2를 새롭게 도입하여  $f/\#$ 가 6.92인 분광기와 초점거리가 35.9mm인 시준기에 대하여  $f/\#$ 정합을 실현함으로써 대물렌즈가 수집한 라만신호를 모두 CCD수감부에 입사시켰다. 렌즈계 2를 리용하는것은 신호수집효를뿐아니라 공간분해능을 높이는데도 효과적이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 조천규; 응용광학, 김일성종합대학출판사, 68~70, 주체99(2010).
- [2] 안광철; 광학, 김일성종합대학출판사, 23~89, 주체101(2012).
- [3] R. L. McCreery; Raman Spectroscopy for Chemical Analysis, John Wiley & Sons, 15~42, 2000.
- [4] B. J. Thompson; Lens Design, Wiley-VCH GmbH, 130~132, 2006.
- [5] F. LaPlant et al.; American Institute of Physics, 198, 1, 4, 1995.

주체107(2018)년 12월 5일 원고접수

## A Method to Increase the Raman Intensity Entering the CCD of Raman Microscope

*Choe Se Hyok, Choe Chun Sik*

We introduced the new lens system to increase the raman intensity entering the CCD of Raman microscope and verified the matching relation between the optic elements.

Key words: Raman microscope, Raman intensity