

# 다중벽 탄소 나노튜브 현탁액의 광 리미터 특성

## Optical Limiting

### in Multi-walled Carbon Nanotube Suspensions

유효정, 문정호, 김석원  
울산대학교 물리학과  
dalki80@mail.ulsan.ac.kr

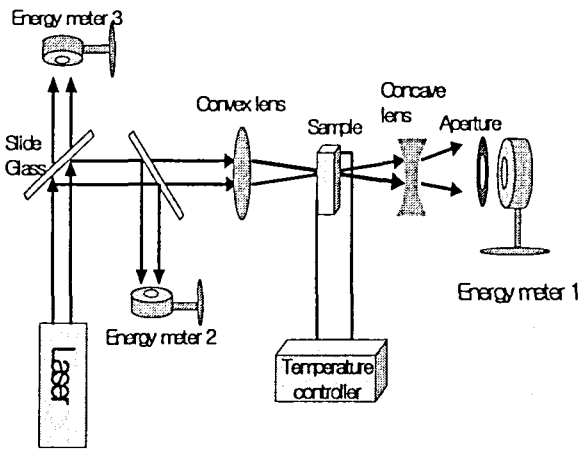
오늘날 레이저가 널리 사용되면서 눈과 광센서 등에 잠재적인 위협을 가하고 있어 광 리미터의 개발이 필수적으로 요구된다. 광 리미터는 높은 세기나 에너지를 가진 레이저 광의 투과도를 줄여서 눈과 광 검출기 등을 효과적으로 보호하기 위한 소자이다.<sup>(1)</sup> 최근에 탄소 나노튜브의 비선형 광학적 특성이 보고되면서 좋은 광 리미터 재료가 될 것으로 예상된다. 본 연구에서는 상용 다중벽 탄소 나노튜브 분말을 증류수, 클로로포름, 에탄올, 에틸렌 글리콜과 같은 용매에 섞어 현탁액을 만들어 실온에서 용매의 끓는점까지 온도를 변화시키고 Q - 스위칭된 Nd : YAG 펄스레이저의 입사 에너지를 증가시키면서 용매의 종류와 온도에 따른 광 리미터 효율의 변화를 조사하였다.

광 리미터 실험장치는 [그림 1]과 같다. 그림과 같이 파장이 1064 nm 이고 펄스폭이 6 ns 인 Q - 스위칭된 Nd : YAG 펄스레이저를 광원으로 사용했고 초점거리가 15 cm 인 볼록렌즈를 사용하여 레이저 빔의 초점을 맺게 하고 그 위치에 현탁액을 놓았다. 이때 4가지 용매로 만들어진 현탁액들의 투과율은 70 %로 일정하게 만들어 주었다. 현탁액 뒤에는 0.2  $\mu$ J 에서 2 mJ 까지 측정이 가능한 에너지 검출기를 놓아 레이저의 입력 에너지와 출력 에너지를 측정하였다.

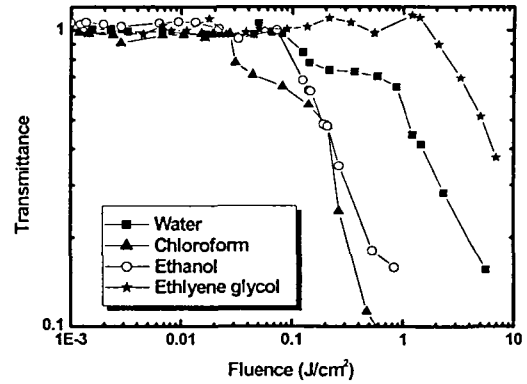
실험 자료를 분석한 결과, 용매의 종류에 따른 다중벽 탄소 나노튜브 현탁액의 광 리미터 효율은 용매의 열적특성에 의존함을 확인하였다. 열적특성은 끓는점, 점도, 표면장력 등을 들 수 있는데 이들의 값이 작을수록 용액이 빨리 기화되어 많은 기포를 형성하게 되고 그 때문에 비선형 산란이 커지고 상대적으로 투과는 작아져 광 리미터 효율이 좋아지는 것으로 해석되어졌다. [그림 2]를 보면 열적특성 값이 작은 클로로포름이 가장 좋은 광 리미터 효율을 보였고 반대로 열적 특성 값이 큰 에틸렌 글리콜의 광 리미터 효율은 가장 좋지 않았다. 그러므로 좋은 광 리미터 효율을 보이는 용매는 클로로포름, 에탄올, 증류수, 에틸렌 글리콜 순이다. 다중벽 탄소 나노튜브 현탁액의 온도증가는 광 리미터 효율에 큰 영향을 미침을 확인하였다. 이것은 다중벽 탄소 나노튜브 현탁액에 열이 가해지면 탄소 나노튜브가 수축하여 표면적이 작아지게 되고 이 때문에 탄소입자와 용매사이의 열 교환이 적어지게 되어 비선형 산란이 줄고 상대적으로 투과율이 높아져서 광 리미터 효율이 나빠진 것으로 해석되어졌다. [그림 3], [그림 4], [그림 5], [그림 6]은 각각 다른 용매로 만들어진 4가지 현탁액의 상온에서 각 용매의 끓는점까지의 온도 변화에 따른 광 리미터 효율을 보여주고 있다. 결론적으로 광 리미터 제작시 용매의 종류와 온도의 영향을 고려하는 것이 필수적임을 확인하였다.

#### 참고문헌

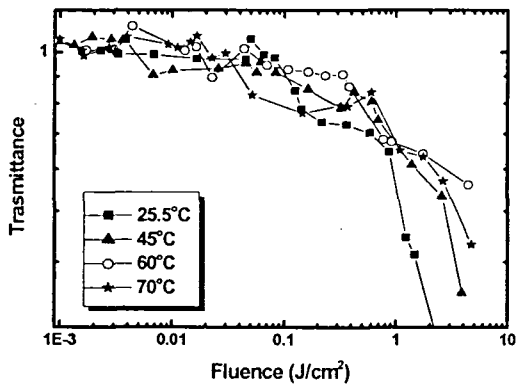
1. L. Vivien, E. Anglaret, et al., IEEE J. Quantum Electronics **36**, 680 (2000).
2. S. K. Mishra, et al., Chemical Physics Letters **317**, 510 (2000).



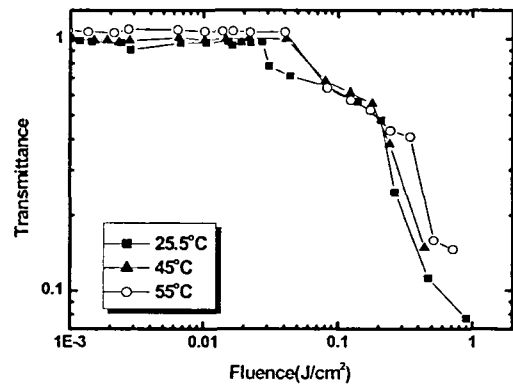
[그림 1] Experimental setup for optical limiting.



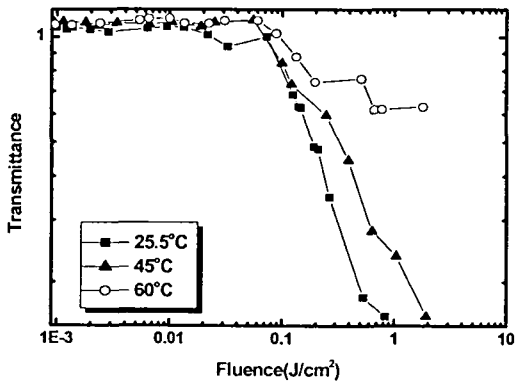
[그림 2] The limiting threshold of carbon nanotube suspensions.



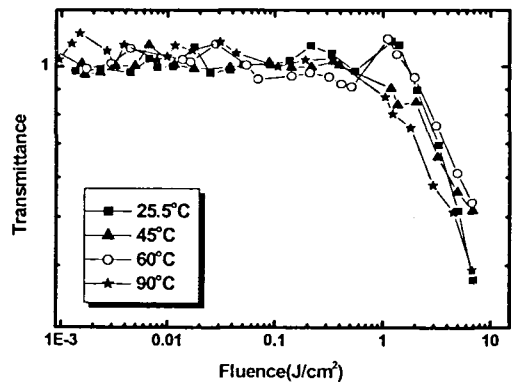
[그림 3] Temperature effect on the optical limiting in MWNTs-water suspension.



[그림 4] Temperature effect on the optical limiting in MWNTs-chloroform suspension.



[그림 5] Temperature effect on the optical limiting in MWNTs-ethanol suspension.



[그림 6] Temperature effect on the optical limiting in MWNTs-ethylene glycol suspension.