

고분자분산 액정(PDLC)을 이용한 광섬유 변조기 제작 및 주파수 응답 특성 연구

Fabrication and Frequency Responses of Optical-Fiber Modulator by utilizing Polymer-dispersed Liquid Crystal(PDLC)

성기영*, 경천수, 이영락, 이상조, 김기현, 곽종훈
영남대학교 물리학과
sung@physics.yeungnam.ac.kr

1. 서론

액정은 낮은 전압에서 액정 방향자의 변화에 따른 굴절을 변조를 일으키고 가시광과 근적외선 파장에서 큰 투과도를 가지고 있어 특히 디스플레이 등의 소자에 널리 이용되고 있다. 그러나 현재 액정만을 이용한 디스플레이 등의 응용제품들은 응답속도, 구동특성으로 인해 대화면 구동이 곤란하고 편광판의 사용으로 시야각은 물론 빛 손실량이 크다는 단점과 광변조기로의 응용에 있어서는 큰 파장의존성이 있어 다중 파장의 빛 조절이 어렵고, 또한 입사편광을 왜곡한다는 단점을 가지고 있다.^[1,2]

이러한 점을 보완하기 위해 폴리머와 액정을 혼합한 후 이들을 상분리 시킨 폴리머 분산형 액정(PDLC)이 널리 연구되고 있다. 외부의 전기장에 의해 거의 불변인 폴리머와 큰 비등방성 광학 특성(anisotropic optical properties)을 가지고 있는 액정의 성질을 이용하여 투명/불투명한 상태만을 조절하기 때문에 편광자도 필요 없고 또한 편광의 변화도 일으키지 않는다는 장점을 가지고 있어 switchable window, spatial light modulator, 대화면 TV 등의 디스플레이 및 광섬유를 이용한 통신용 변조기 등에 이용할 수 있다.^[2]

폴리머와 액정을 상분리 시키는 방법에는 증발에 의한 상분리, 열에 의한 상분리, 광중합에 의한 상분리 방법들이 있으나, 광에 의한 상분리 방법이 생산성이나 가공면에서 상업성이 있어 가장 널리 쓰이는 방법이다. 특히 홀로그래픽 PDLC(Holographic PDLC, HPDLC)에 응용이 될 때 격자의 간격을 자유로이 조절할 수 있어 그 응용성이 매우 큰 장점이 있다.^[3]

본 연구에서는 광중합을 이용한 PDLC를 제작하고 광섬유 변조기 등의 응용에 사용하기 위한 전기광학적 특성을 조사하였다.

2. 실험 및 결과

PDLC는 UV-경화성 고분자와 액정을 6:4의 비율로 섞어서 제작하였다. 24시간 동안 교반기(stirrer)에 넣어 균질하게 섞은 후, ITO(indium-tin oxide)가 코팅된 유리판 사이에 모세관 현상을 이용하여 균일하게 분포시켰다. 원하는 매질의 두께를 조절하기 위하여 ITO 사이에 공간자(spacer)를 사용하였다.

제작된 샘플의 두께는 $20 \mu m$ 이었다. 준비된 샘플을 자외선을 사용하여 상분리를 시켜 PDLC를 제작하였다. 제작된 PDLC는 단일모드 광섬유 사이에 삽입하여 광 변조실험을 수행하였다. 사용된 광원은 p-파로 편광된 650nm의 반도체 레이저를 이용하여 측정하였다. 사용하는 경화 폴리머에 따라 차이가 있을 수 있으나, PDLC에 외부 전기장을 인가하면 PDLC 내부의 폴리머와 액정방울(droplet)의 경계부분에 분극전하가 유도된다. 이 분극전하 때문에 액정방울 내부의 액정은 외부에서 가해 준 전기장의 영향을 충분히 수용하지 못하게 된다. 따라서 실제 외부에서 가해주어야 할 전기장의 세기는 액정방울의 방향자를 지배할하기 위한 전기장의 세기보다 더 커져야한다. 이러한 전기장 차폐효과는 외부 전기장을 교류로 가해 줌으로써 해결할 수 있다. 외부전기장에 의해 PDLC 내부의 droplet 표면에 전하가 유도되면 전기장의 방향을 바꿔서 차폐효과를 감소시키는 것이다. 즉 PDLC의 구동전압은 교류전압의 주파수에 의존한다. 그림 1은 PDLC에 인가하는 외부 전기장의 주파수에 따른 광섬유를 통한 빔의 투과광(I_T)의 세기를 측정한 것이다. 위에서 예측한 대로 실험에 사용한 경화 폴리머는 DC인 경우 외부에서 가하는 전기장의 세기를 감소시키는 분극현상을 초래하였으며 AC의 주파수를 증가함에 따라 차폐현상을 극복하고 투과빔의 증가를 보였다. 또한 제작된 PDLC는 sine 파형의 peak-to-peak 전압이 20V일 때 구동되기 시작하여 60-70V 정도에서 투과율이 최대가 됨을 관측하였다.

그림 2는 peak to peak 전압(V_{p-p}) 60 V, 400Hz를 인가하였을 때의 광변조기에서 얻어진 응답특성 곡선이다. 사진의 위는 교류신호를 추가하는 시간을 펄스로 나타낸 것이고, 아래의 신호는 변조된 PDLC의 응답특성을 나타내고 있다. rising time(t_{on})과 falling time(t_{off})이 각각 2 msec정도였으며, 비교적 빠른 응답 특성을 나타내었다. 그러나 이러한 응답 특성으로는 초고속 광변조기로는 미흡하고, 이러한 소자는 방향성커플러(directional coupler)를 이용한 간단한 양방향 광통신에서의 광변조기로 매우 유용하다. 특히 채널 선택 신호(저주파 신호)를 보내서 원하는 TV신호(고주파수 신호)를 선택할 수 있는 VCD(video-on-demand) 등에 저렴하고 가볍고 크기가 작은 소자로 응용할 수 있다.

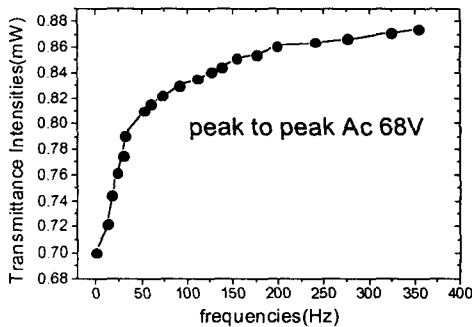


그림 1. PDLC에 인가하는 외부 전기장의 주파수에 따른 투과빔 강도곡선.

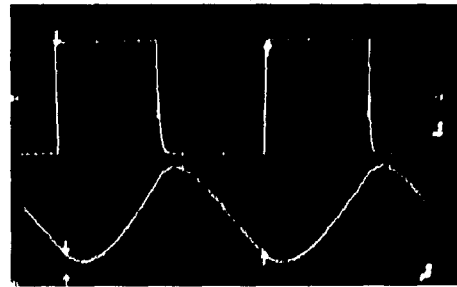


그림 2. $60 V_{p-p}$, 400Hz를 인가하였을 때의 광변조기의 응답특성 곡선 (0.5ms/div).

[1]. J. W. Doane, N. A. Vaz, B. G. Wu, S. Zumer, Appl. Phys. Lett. **48**, 268 (1986).
 [2]. K. Takizawa, K. Kodama, and K. Kishi, Appl. Opt. **37**, 3181-3189 (1998).
 [3]. T. J. Bunning, L. V. Natarajan, V. Tondiglia, R. L. Sutherland, D. L. Vezie and W. W. Adams, Polymers, **36**, 2699 (1995).