

## 결맞는 원자 매질에서 진행하는 광펄스 군속도의 편광 의존성

### Polarization Dependence on Group Velocity of Light Pulse Propagation in Coherent Atomic Medium

김경대, 이충희, 문한섭\*, 이림, 김행화, 김수경, 김중복  
한국고원대학교 물리교육과, \*한국표준과학연구원 정보통신표준센터  
atomfree@blue.knue.ac.kr

Lord Rayleigh와 Brillouin 이래로 파동의 전파와 군속도에 대한 많은 논의가 진행되어왔으며 최근까지 초광속<sup>(1,2)</sup> 및 초저속<sup>(3)</sup> 현상에 대한 흥미로운 실험과 이론적 연구들이 보고되고 있다. 초광속 현상의 경우에는 터널링 시간, 이득매질에서의 펄스진행, 분산매질에서 펄스의 진행시간 측정 등이 보고되었고, 초저속 광파의 진행에 대해서는 EIT 현상에 기초한 실험이 주로 보고되었으며 심지어는 광저장까지 가능하게 되었다. 이러한 연구들에 있어 원자 결맞음 성질을 이해하고 이로부터 원자매질에서 전파해나가는 광펄스의 군속도를 제어하는 것이 필요하며, 이를 위해 축퇴된 2준위 원자계에서 레이저광의 편광을 조절하여 원자매질을 전파하는 광펄스의 군속도를 변화시킬 수 있다.

본 연구에서는 결합광과 조사광 펄스의 편광에 따라서 초광속으로 진행하는 펄스와 초저속 광펄스의 전파 속력이 어떻게 달라지는가 하는 점을 조사하였다. 초광속으로 진행하는 펄스 실험을 위해서는 세슘  $D_2$  전이선의  $F=4$  에서  $F'=5$ 의 축퇴된 준위를 사용하는데, 이때의 구도는 축퇴된 2준위 원자계에서 전자기 유도 흡수 현상(EIA) 이 일어나는 구도가 된다. EIA 현상은 서로 반대방향으로 회전하는 원편광인 경우보다, 서로 수직한 선편광일 때 더 큰 EIA 신호가 관측되었다.<sup>(4)</sup> 이러한 결과로부터 결합광과 조사광의 편광 변화에 따른 EIA 매질 분산값의 변화를 가져올 수 있고, EIA 매질을 진행하는 광펄스의 전파속력이 편광에 따라서 변화하게 된다. 결합광과 조사광 펄스의 편광이 서로 수직한 선편광일 때, 기준광 펄스에 대해서 EIA 매질을 통과한 펄스가 가장 큰 시간 앞섬을 보였으며 이때 측정된 값은 1,150 ns으로 군속도를 계산하면  $V_g$ 는  $-c/6,900$  이다.

또한, 저속광을 구현하기 위해서는 결합광과 조사광을 세슘  $D_2$  전이선의  $F=3 \rightarrow F'=2$  전이선에 공진시킨다. 이때 결합광과 수직한 선편광 상태의 조사광이 발생되고, 원자셀 외부에 설치된 솔레노이드를 사용하여 양자축을 정의한다. 그러면, 서로 반대방향으로 회전하는 원편광의 합으로 볼 수 있고, 선택률이  $\pm 1$  이 되어  $\Lambda$ -형 에너지 구도가 형성되어 전자기 유도 투과(EIT) 매질이 형성된다.  $\lambda/4$  위상지연기를 사용하여 결합광과 조사광의 편광을 서로 반대방향으로 회전하는 원편광(C $\perp$ C)인 상황에서 관측한 결과는 그림 1(a)에 보이며, 이때의 시간지연은 1,000 ns 정도이다. EIT 매질을 통과하는 가우시안 형태의 광펄스의 경우에 조사광과 결합광 펄스의 편광이 C $\perp$ C 일 때 가장 큰 시간지연이 있음을 관측하였고, 군속도의 값  $V_g$ 는  $c/6,000$  이다. 같은 상황에서 서로 수직한 선편광의 경우에 그림 1(b)를 보면, 이때 관측된 값이 기준광 펄스보다 200 ns 늦게 EIT 매질을 통과하였음을 보여준다.

그림 2는 실험 장치도를 나타내고 있다. 한 대의 레이저를 사용하여 결합광과 조사광 펄스를 발생시켰으며, 실험에서 관측된 펄스는 전체적으로 거의 펄스의 왜곡이 없어 보이며 펄스의 세기가 0.5 부근에

서 시간 앞섬의 간격이 거의 일정한 것을 볼 수 있고, 이 때 관측된 신호는 512개의 신호가 평균된 값이다. 전체 펄스의 세기는 비교를 위해 그 크기를 규격화하였다. 실험 전체 과정에 있어 뮤-메탈을 사용하여 외부 자장을 차폐하였다. 결합광과 조사광의 세기는  $\lambda/2$  위상지연기(HWP)와 편광 광분할기(PBS)를 사용하여 입력광의 세기를 조정하였고, 셀을 투과한 조사광 펄스만을 APD에서 관측하였다.

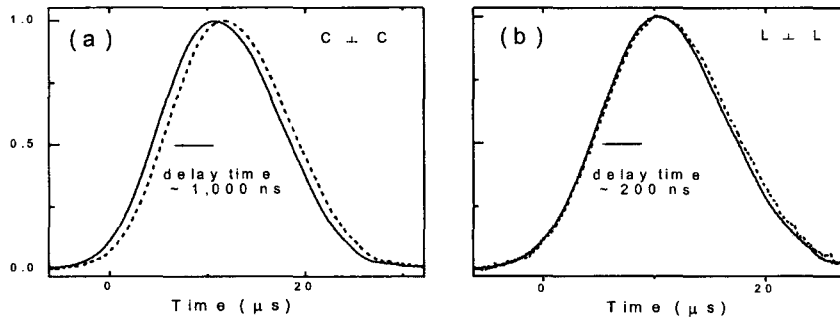


그림 1. 편광에 따른 초저속 광펄스의 시간지연 측정. 결합광과 조사광의 편광이 서로 반대방향으로 회전하는 원편광인 경우(a)와 서로 수직인 선편광인 경우(b). 실선은 공진 전이선에서 멀리 벗어난 주파수의 기준 펄스이며 점선은 EIT에 의한 초저속 광펄스.

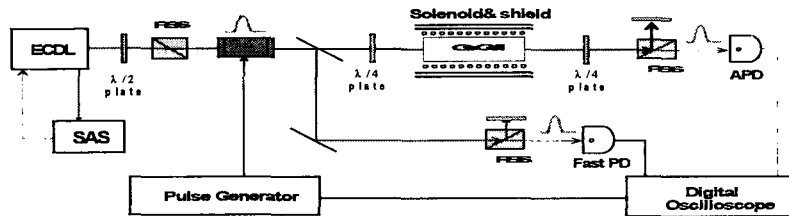


그림 2. 실험 장치도.

1. L. J. Wang and A. Dogariu, "Gain-assisted Superluminal Light Propagation", Nature 406, 227 (2000).
2. R. Y. Chiao, "Tunneling Times and Superluminality", Progress in Optics 37, 346 (1997).
3. L. V. Hau, S. E. Harris, Z. Dutton and C. H. Behroozi, "Light speed reduction to 17 meters per second in an ultracold atomic gas", Nature 397, 594 (1999).
4. Mirang Kwon, Kyoungdae Kim, Han Seb Moon, Hyun Deok Park, and Jung Bog Kim, "Dependence of electromagnetically induced absorption on two combinations of orthogonal polarized beams", J. Phys. B 34, 2951 (2001).