

회전 거울을 이용한 광학적 도플러 이동

Optical Doppler shift using to rotating mirror

이회정, 김수경*, 문한섭
 부산대학교 물리학과, *동현중학교
hsmoon@pusan.ac.kr

도플러 이동(doppler shift)은 샘, 관찰자 또는 둘 다의 움직임에 의한 빛의 주파수가 변하는 현상이다. 음파나 마이크로파의 도플러 이동은 쉽게 관측 되지만 빛을 이용한 도플러 이동 실험은 간단하지 않다. 빛을 연속적으로 부드럽게 변화 시켜야 하고 광학적 파장만큼의 작은 섭동이 무시할 수 없는 잡음 만들어 내기 때문에 신호보다 작은 잡음을 일정하게 유지시켜야 한다. 직선으로 움직이는 거울로 도플러 이동 현상을 관찰할 수 있지만 회전거울을 이용하면 더 쉽게 규칙적으로 속도를 변화시킬 수 있으며 광학적 도플러 이동 현상을 쉽게 관찰할 수 있다. 본 연구에서 회전거울을 이용하여 회전거울에서 반사된 레이저의 주파수가 도플러 효과에 의해서 주파수가 변하는 현상을 관측하고 회전거울의 회전주기에 따라 측정하고 이론과 비교하였다.

본 연구에서 레이저(Toptica, DL100)는 ^{87}Rb 에서 파장 780 nm를 사용하였다. 레이저에서 발진된 광은 아이솔레이터(isolator)를 사용해서 레이저를 교란시키지 않도록 하였다. 회전하는 거울에 입사하는 레이저를 공간적으로 분리시키기 위하여 양면 코팅이 된 거울의 중심을 기준으로 왼쪽과 오른쪽으로 입사시켰다. 회전거울을 회전시키기 위한 모터는 컴퓨터의 본체에 들어있는 팬 모터를 사용하였으며 사양은 15V전압에 약 2000 rpm정도다. 회전하는 거울을 통해 반사된 빛은 각각 거울과 50% 대 50%의 빔 분리기(Beam splitter)로 입사했다. 이 때 빔 분리기를 투과하는 광과 거울2(mirror 2)를 통해 나온 광은 완전히 겹쳤다. 광 수신기로 측정된 결과들은 디지털 오실로스코프를 통해 컴퓨터로 저장하였다. 실험장치도는 그림1과 같다.

빛의 주파수가 약 500 THz 정도 되기 때문에 광 수신기로 측정하기가 쉽지 않다. 레이저의 주파수 이동정도를 측정하기 위해서 두 레이저의 맥놀이 주파수(그림2)를 측정함으로써 도플러편이이동 현상을 관찰하였다. 전류의 세기를 변화시킴에 따라 회전각속도를 조절하고 회전각속도를 변화시킴에 따라 맥놀이 신호의 크기를 관측함으로써 도플러 편이 현상을 관찰하였다. 거울의 회전주파수를 측정하기 위해서는 거울의 회전 주기(T)를 측정 하였다. 주기를 구할 때, 회전하는 거울에서 한쪽 면에서만 반사될 때 제일 높은 신호를 주게 되는 것이다. 앞의 실험에서 시간 눈금을 10^5 배 늘려서 맥놀이 주파수를 측정한다.

도플러 이동은 광원의 속력이 빠를수록 더 커지므로 그에 따라서 맥놀이 주파수가 커지게 된다. 또한 거울의 주파수가 빨라질수록 광수신기에 도달하는 빛의 양이 줄어들기 때문에 신호의 크기가 줄어들게 된다. 맥놀이 주파수의 식은 $f_b = \frac{4\pi dF}{\lambda}$ 이다. 이 식으로부터 f_b (맥놀이 주파수) 와 F(거울의 회전 주파수)는 서로 비례함을 알 수 있다 (그림3). 표1은 회전하는 거울의 주파수에 따른 맥놀이 주파수의 이론값과 실험값이다. 거울이 빠르게 회전할수록 맥놀이 주파수가 더 빨라짐을 알 수 있다.

회전거울을 이용하여 응용할 수 있는 방법을 생각해 볼 수 있다. 한 지점에서 계속 광을

검출하며 회전하는 거울에서 도플러 편이 현상에 의하여 주파수가 다양하게 변화할 수 있기 때문에 주파수 변화기로서의 활용 가능성도 생각해 볼 수 있다. 연속적으로 주사하는 빛을 쏘았을 때 그 빛의 각도가 일정하지 않음을 보완해야 하는데 렌즈들을 사용하여 각도가 다른 레이저 빔들을 평행 광으로 만들고 그 평행 광들을 광섬유에 넣는다. 그 결과 광섬유에서 나오는 빛들이 연속적인 주파수를 가질 수 있게 될 것이다.

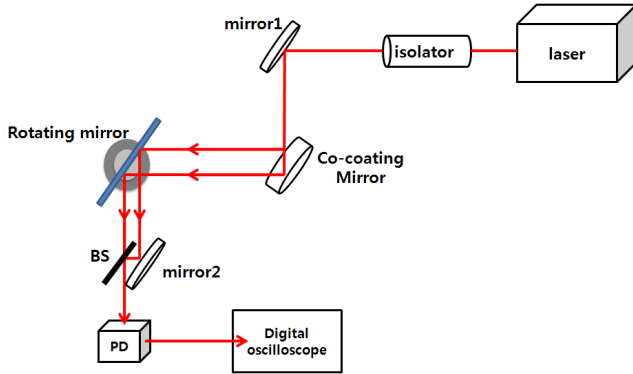


그림 1 실험 장치도

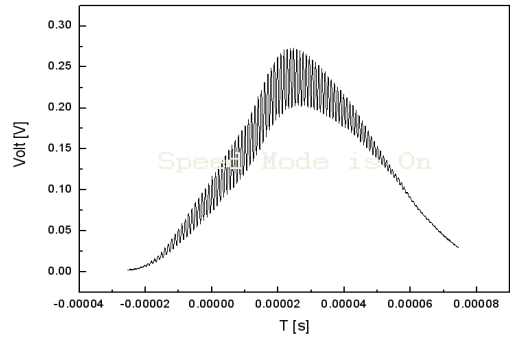


그림 2 맥놀이 주파수를 측정하기 위한 전체적인 파형

거울주파수 [Hz]	맥놀이주파수 실험값 [MHz]	맥놀이주파수 이론값 [MHz]
2.47	0.56	0.56
3.75	0.87	0.85
5.00	1.13	1.13
8.33	1.88	1.88
10.00	2.29	2.26

표 1 회전하는 거울의 주파수에 따른 맥놀이 주파수의 이론값과 실험값

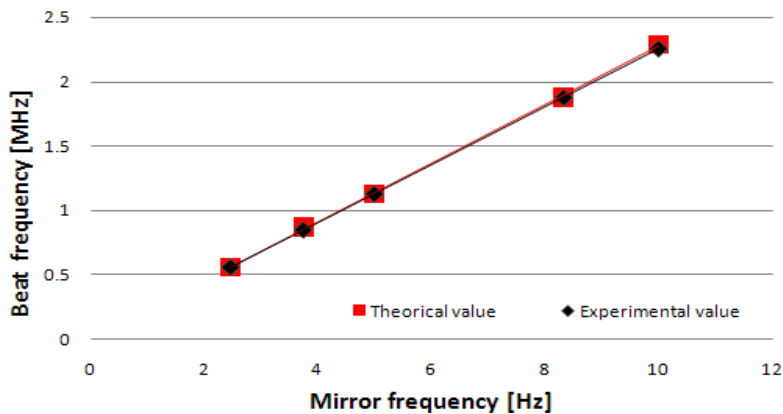


그림 3 회전하는 거울의 주파수변화에 따른 맥놀이 주파수의 변화

1. Gjurchinovski, Aleksandar, "Reflection of light from a uniformly moving mirror" Am. J. Phys. 72, 1316-1324 (2004).
2. Luis Bernal, Luis Bilbao, "Optical Doppler shift measurement using a rotating mirror", Am. J. Phys. 75(3), 216-219 March (2007)