

2-종모드 레이저의 비트 주파수를 이용한 헤테로다인 간섭계용 광원 개발

A Light Source for Heterodyne Interferometry using Beat Frequency between Two-axial Modes of a He-Ne Laser

김민석*, 김승우

한국과학기술원 기계공학과

firestone@kaist.ac.kr

주파수 안정화 레이저 광원은 10^{-6} 이상의 상대 불확도가 필요한 간섭계에서 널리 쓰이고 있으며 특히 변위 측정 시스템에서는 반드시 쓰이고 있다. 상용화된 많은 변위 측정 시스템은 신호 대 잡음비가 우수하고 광학계의 정렬이 더 쉬운 헤테로다인 방식을 채택하고 있으며 이를 위해서 서로 수직 선형 편광인 다른 주파수의 광을 내보내는 광원이 필요하다. 현재 헤테로다인 변위 측정 시스템에 쓰이고 있는 광원은 이중 주파수 광원을 만드는 방식에 따라 지만 효과(Zeeman effect)를 이용한 지만 레이저(HP사)와 음향-광 변조기(Acousto-optic modulator)를 이용한 이중 주파수 레이저(Zygo사)가 있다. 전자의 방식은 최대 맥놀이 주파수가 3 MHz 정도로 측정할 수 있는 최대 속도는 0.95 m/s로 제한되며 편광의 비직교성에 의한 비선형성 오차가 큰 단점이 있다⁽¹⁾. 후자의 방식은 변조 주파수와 맥놀이 주파수가 같으므로 변조 주파수만 크게 하면 속도 제한이 없는 장점이 있으나 음향-광 변조기에 의한 광 손실과 두 주파수의 광을 한축으로 정렬하는데 어려움이 있다. 이에 비해 2-종모드 레이저에서 발진하는 2 개의 종모드간의 맥놀이 주파수는 공진기의 FSR(Free Spectral Range)값과 비슷한 600~1000 MHz로 속도에 제한이 없으며 인접하는 두 모드는 모드 경쟁(mode competition)에 의해 서로 직교하므로 헤테로다인 간섭계의 광원으로서 사용이 가능하다. 또한 기존의 간섭계 광원에 비해 출력이 크므로(약 3 mW, 기존의 광원은 0.5 mW) 다축 측정용 간섭계 광원으로 적합하다.

그림1은 본 논문에서 제안한 2-종모드 레이저를 이용한 헤테로다인 간섭계를 나타낸 것이다. 2-mode 레이저에서 나온 서로 수직인 두 광은 편광판에서 합쳐져 고속 광검출기(APD)에서 간섭이 일어난다. 맥놀이 주파수는 앞서 언급했듯이 매우 크므로 위상 검출기(Phase meter)에서 위상 측정이 어렵다. 본 연구에서는 믹서를 이용하여 위상 정보의 손실 없이 주파수를 1 MHz 이내로 낮추어 고분해능 위상 측정도 가능하게 하며 또한 안정화도 이루는 기법을 이용한다. 맥놀이 주파수와 비슷한 주파수를 PLL 회로를 이용해 만들어 DBM(Double Balanced Mixer)에서 곱해진다. IF단에서는 곱해진 두 신호의 주파수가 합이 되는 신호와 차가 되는 신호가 나오는데 합이 되는 신호는 덧단의 LPF(Low Pass Filter)에 의해 제거된다. 주파수가 낮춰진 신호를 위상 검출기에 넣어 위상을 측정한다.

그림 2는 레이저 공진기의 길이 변화에 따른 맥놀이 주파수의 변화를 본 것으로 실험에 사용한 공진기는 Uniphase사의 모델 098-2 (길이 24.3 cm)였다. 맥놀이 주파수의 크기는 643 MHz로 PLL을 통해 만들어진 642 MHz 신호와 곱하여 주파수를 낮추었다. 공진기 길이가 광의 파장만큼 변할 때 맥놀이 주파수는 화살표 간격만큼 바뀌며 갑작스런 맥놀이 주파수의 변화는 발진하는 두 주파수 광의 편광상태가

그림 2는 레이저 공진기의 길이 변화에 따른 맥놀이 주파수의 변화를 본 것으로 실험에 사용한 공진기는 Uniphase사의 모델 098-2 (길이 24.3 cm)였다. 맥놀이 주파수의 크기는 643 MHz로 PLL을 통해 만들어진 642 MHz 신호와 곱하여 주파수를 낮추었다. 공진기 길이가 광의 파장만큼 변할 때 맥놀이 주파수는 화살표 간격만큼 바뀌며 갑작스런 맥놀이 주파수의 변화는 발진하는 두 주파수 광의 편광상태가 바뀌면서 일어난다. 즉 이득곡선에서 왼쪽에 있는(즉 주파수가 낮은) 광의 편광상태가 I, 오른쪽에 있는 광의 편광상태가 II 일때의 맥놀이 주파수($\Delta f_{II,I}$)와 그 반대 편광상태의 맥놀이 주파수($\Delta f_{I,II}$)는 서로 다르며 그림에서 보면 약 800 kHz 정도 차이가 있다. 이런 맥놀이의 주파수 변화는 주파수 당김효과와 공진기 Q값의 비등방 편광성에 기인한다⁽²⁾. 공진기의 길이에 따른 맥놀이 주파수의 변화를 이용하면 레이저 공진기의 길이를 안정화 할 수 있다. 원하는 맥놀이 주파수를 기준으로 측정된 맥놀이 주파수와 차이를 오차신호로 하여 레이저 공진기를 히터로 제어한다. 그림3은 안정화 결과를 보여준다. 제어가 시작되면 15분 이내에 맥놀이 주파수가 ± 3 kHz 이내로 안정화됨을 알 수 있다. 이는 약 10^{-9} 의 광주파수 안정도에 해당한다. 제어 알고리즘을 개선한다면 더 높은 안정도를 얻을 수 있을 것이라 생각되며 현재 안정도 개선과 헤테로다인 간섭계 시스템을 제작하는 작업을 수행 중이다.

참고문헌

1. Yi Xie, Yi-Zun Wu, "Zeeman laser interferometer errors for high-precision measurements", Applied Optics 31(7), 881-4 (1992).
2. R. Balhorn, F. Lebowsky, and D. Ullrich, "Beat frequency between two axial modes of a He-Ne laser with internal mirrors and its dependence on cavity Q", Applied Optics 14(12), 2955-9 (1975).

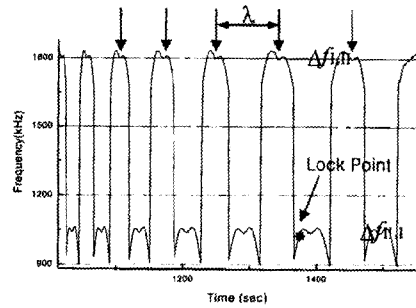
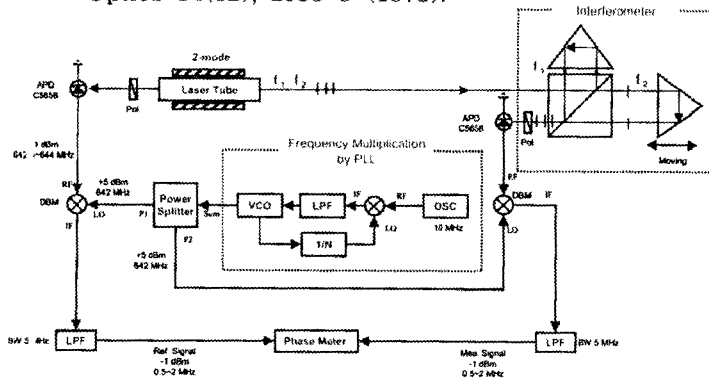


그림 1 2-종모드 레이저를 이용한 헤테로다인 간섭계

그림 2 공진기 길이변화에 따른 맥놀이 주파수 변화

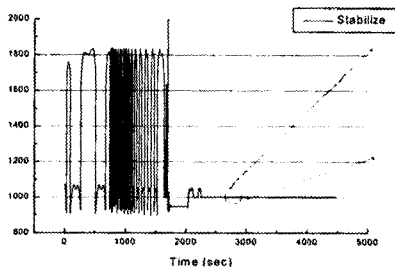


그림 3 맥놀이 주파수의 안정화