

◆특집◆ 정밀공학에서의 광계측기술

레이저간섭계와 미터표준

엄태봉*, 서호성*

Laser Interferometer and Length Standards

Tae Bong Eom*and Ho Suhng Suh*

Key Words : Length Standard (길이표준), Laser Interferometer (레이저간섭계), Prototype of the Metre (미터원기), CGPM (국제도량형총회), Stabilized Laser (안정화레이저), Gauge Block (게이지블록), Line Standard (선표준기)

1. 서론

1960년 Jawan 등이 1.15 μm 파장을 포함한 6개의 발진파장을 갖는 He-Ne 레이저의 연속 발진을 성공시킨 이후 레이저는 단색성이나 빛의 진직성을 이용하는 계측에서 특히 정밀길이측정에서 매우 중요하게 사용되고 있다. He-Ne 레이저의 발진선폭은 80 kHz로써 길이표준기로 사용되었던 Kr-86 스펙트럼선의 선폭(400 MHz)의 5,000 분의 1에 해당되는 매우 좁은 선폭을 갖고 있다. 따라서 4 km 수준의 긴 가간섭성을 갖고 있기 때문에 스펙트럼 램프의 단점인 짧은 가간섭성(70 cm 수준)을 해결할 수 있게 되었다. 또한 이 He-Ne 레이저는 단일 모드 발진이 가능하고 수 mrad 수준의 뛰어난 지향성을 갖고 있기 때문에 길이 측정용 간섭계의 광원으로 주목을 받았다.

그러나 He-Ne 레이저의 플라즈마 튜브가 열팽창을 하기 때문에 공진기의 길이가 달라져 Ne의 도플러 이득폭인 1 GHz 범위에서 레이저의 중심 주파수가 변하는 문제가 있었다. 즉 주파수 안정도가 약 4×10^{-6} 수준으로 Kr-86 스펙트럼선의 주파수안정도보다 100배 정도 나쁜 안정도를 갖고 있기 때문

에 정밀길이측정용 간섭계의 광원으로는 사용할 수가 없었다. He-Ne 레이저는 기체레이저로 비교적 쉬운 방법으로 주파수를 10^{-8} 이상 안정화시킬 수 있는 기술과 CH_4 나 I_2 분자의 포화흡수선에 주파수를 안정화시켜 10^{-11} 이상의 안정도를 얻을 수 있는 기술이 개발되면서 길이측정에 사용되기 시작했다. 미터가 광속도로 정의되면서 미터의 현시방법으로 포화흡수선에 주파수가 안정화된 레이저와 그 중심 주파수가 추천되었다.⁽¹⁾ 미터의 정의에 따라 길이를 측정하기 위해서는 주파수가 안정화된 레이저를 광원으로 한 간섭계를 구성하여 길이를 측정하여야 한다. 즉 레이저 간섭계를 구성하여 길이를 측정하게 되면 미터표준에 직접적인 소급성을 갖게 되기 때문에 정밀길이측정이 요구되는 곳에서는 대부분 레이저간섭계가 사용된다. 위에서 언급했듯이 레이저는 길이의 표준소급에서 가장 중요한 역할을 하고 있으며 높은 주파수 안정도를 갖기 때문에 단면표준물, 선표준물, 각도, 표면거칠기등의 표준기 교정에 사용되고 있으며 초정밀가공기와 정밀길이측정기같은 실용적인 길이측정에 있어서도 레이저간섭계가 널리 사용되고 있다.

2. 미터표준과 레이저의 주파수안정화

1791년 프랑스는 지구 자오선의 1/4을 길이의 기본으로 하는 법령을 반포하게 되어 1792년부터

한국표준과학연구원 역학연구부
Tel. 042-868-5108, Fax. 042-868-5012
E-mail tbeom@kriss.re.kr

1798년까지 위도 차가 9·2/3 되는 프랑스 북부 텡케르크와 바로셀로나까지의 거리를 측량한 후 지구의 북극에서 적도까지 길이의 1천만 분의 1을 기준으로 하여 백금제 단면표준(문서보관소 미터원기)을 제작하였는데 이것이 미터의 효시라 할 수 있다. 1875년 5월 세계 17개국이 모여 미터협약에 서명하고 백금 이리튬 합금으로 된 선표준물을 제작하기로 하여 Fig. 1과 같은 Tresca형 단면의 미터원기를 여러 개 제작하였다. 1889년 제1차 국제도량형총회(CGPM)에서 제작된 백금 이리튬 원기중 문서보관소 미터원기와 제일 잘 맞는 No.6을 국제미터원기로 할 것을 결정하였다. 이 미터원기는 온도에 따라 길이가 달라지며 눈금선의 선폭 때문에 측정오차가 발생할 수 있다. 또한 시간에 따라 경년변화가 있으며 인위적으로 만든 물건이므로 천재지변이나 사고로 인해 파괴될 가능성이 있기 때문에 세계 각국의 물리학자들이 영원히 변하지 않는 자연상태의 미터표준에 관심을 갖게 되었다.

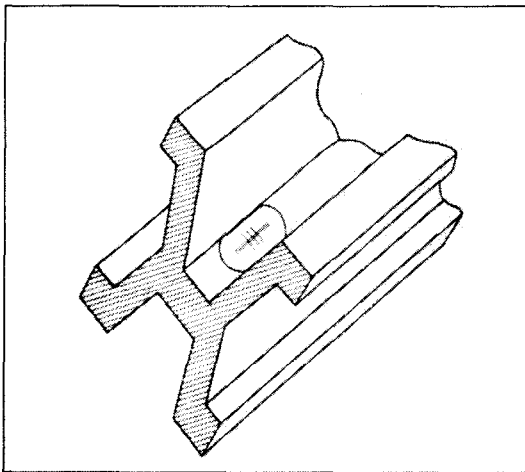


Fig. 1 Prototype of the metre

여러 원자들에 대한 발광선을 연구한 결과 Kr-86의 $2P_{10-5d_5}$ 전이복사선이 새로운 미터표준에 적합한 것을 알게 되어 1960년 제11차 국제도량형총회에서 Fig. 2와 같은 Kr-86 램프에서 나오는 등적색 복사선 파장의 1,650,763.73배를 1 m으로 할 것을 결정하였다. 그후 레이저가 발명되면서 Kr-86 원자의 발광선폭보다 훨씬 좁은 선폭을 갖는 레이저의 스펙트럼선에 관심을 갖기 시작하여 I_2 나 CH_4 분자의 포화흡수선에 레이저의 중심주파수를 안정

화시키는 기술이 개발되었다. 또한 레이저의 광주파수를 절대측정할 수 있는 기술이 개발되고, 또 이들 레이저 사이의 파장비를 측정할 수 있는 기술이 개발되어 이 레이저들에 대한 많은 특성들을 파악하게 되었다. 이 레이저들의 주파수 안정도 및 재현성등 미터표준기로서 갖추어야 할 특성이 기존의 Kr-86 발광선보다 매우 우수한 것으로 밝혀졌다. 그리고 당시까지 계측할 수 있는 물리량 중 가장 정확한 시간의 정의로부터 미터정의를 연관시킬 수 있게 되었다. 그 결과 1983년 제17차 국제도량형총회에서 “미터는 빛이 진공에서 299 792 458분의 1초동안 진행한 경로의 길이이다”라고 정의하고 실제 사용은 주파수안정화레이저로 하기로 정하여 오늘에 이르고 있다. 그후 여러 종류의 주파수안정화레이저가 개발되고 그 특성이 측정 검증된 후 중심주파수가 추천되어 길이측정에 사용되고 있다.

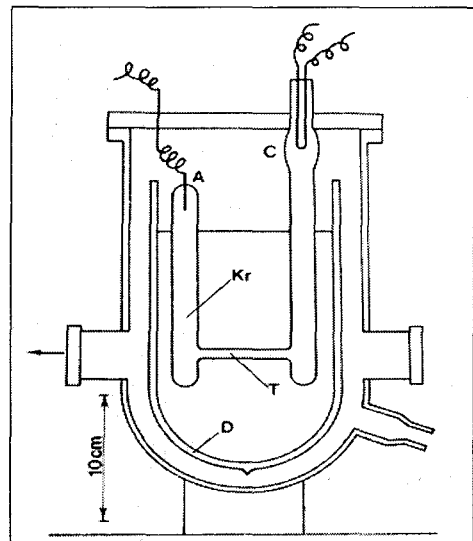


Fig. 2 Krypton 86 lamp metre, A: Anode, C: Cathode, T: Capillary, Kr: Kr-86, LN2: Liquid Nitrogen, D: Vacuum Bottle

국제도량형위원회에서 추천한 주파수안정화레이저는 외부 원자나 분자의 흡수선에 주파수를 안정화한 표준기급으로 대부분 고가이고 출력이 낮으며 주파수가 변조되어 있기 때문에 실험실이나 생산현장에서 직접 간섭계의 광원으로 사용하기에는 적합하지 않다. 따라서 이러한 목적으로는 offset 레이저나 일반적인 간단한 안정화 방법을 적용한 레

이저가 간섭계의 광원으로 사용되고 있는데 이 목적에 적합한 레이저가 633 nm He-Ne 레이저이다. 이 레이저는 가시광선 영역에서 발진되는데 출력 및 모드가 안정적이며 hard seal의 플라즈마 튜브의 제작이 가능하기 때문에 견고한 특성을 갖고 있다. 또한 플라즈마 튜브의 열팽창에 따라 주파수가 변하는데 이 변화에 대한 오차신호를 비교적 간단한 방법으로 얻을 수 있기 때문에 이 특성을 이용하여 주파수를 쉽게 안정화시킬 수 있는 장점이 있다. 따라서 대부분의 길이측정용 레이저간섭계의 광원으로 633 nm He-Ne 레이저가 사용된다. 이에 따라 많은 국가에서 633 nm에서 발진되는 요오드 안정화 He-Ne 레이저를 길이의 국가원기로 사용하고 있다. Fig. 3은 한국표준과학연구원에서 개발하여 길이의 국가표준원기로 사용하고 있는 633 nm의 요오드 안정화 He-Ne 레이저의 사진이다.⁽²⁾

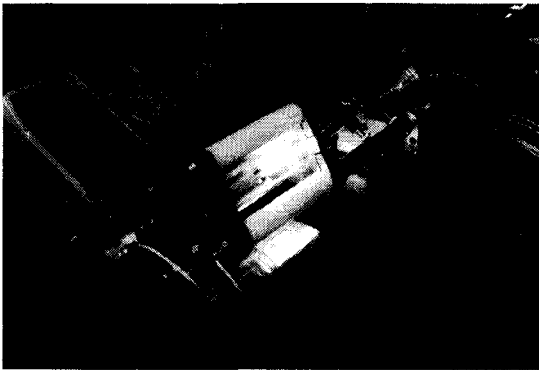


Fig. 3 633 nm I₂-stabilized He-Ne laser

633 nm의 요오드 안정화 헬륨네온 레이저에 대한 연구는 캐나다 NRC의 Hanes에 의해 처음 발표되었는데 14개의 포화흡수 스펙트럼을 관측하였다. 이들은 1차 하모닉 록킹기술을 적용하여 2×10^{-9} 의 안정도를 얻었다. 그 후 He-Ne 레이저 출력곡선의 background slope나 기타 주파수 이동 요인을 감소시킬 수 있는 3차 하모닉 록킹 기술이 개발되어 장기안정도를 향상시켰다. 두 대의 633 nm의 요오드 안정화 헬륨네온 레이저 사이의 맥놀이주파수 측정을 이용한 최초의 국제비교가 수행되었으며 CH₄안정화 헬륨네온 레이저나 다른 파장의 레이저와의 파장비 측정, Cs원자시계로부터 절대주파수가 측정되어 오늘날 국제도량형위원회에서 2×10^{-11} 의 불확

도를 제시하고 있다. Fig. 4는 633 nm의 요오드 안정화 헬륨네온 레이저의 구조도이다.

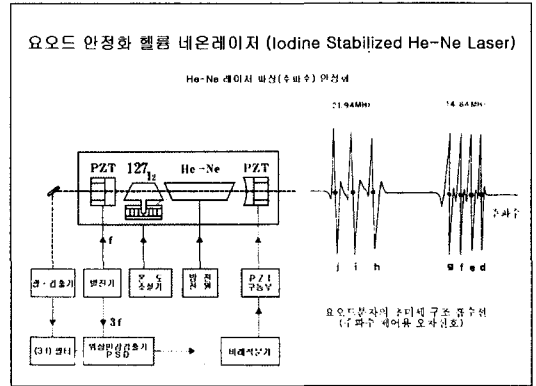


Fig. 4 Schematic diagram of I₂-stabilized He-Ne laser

레이저공진기를 구성하고 있는 두 반사경은 PZT에 고정되어 있는데 한쪽 반사경은 PZT에 의해 일정한 주기(f)로 변조된다. 따라서 레이저의 출력도 변조되는데 이 양이 광검출기에서 검출되고 3f의 신호만 필터링되어 위상민감검출기에서 3차 하모닉스가 그림의 우측 신호처럼 검출된다. 이것이 오차신호로 j에서 d까지의 포화흡수신호 중 하나에 록킹되도록 출력단 쪽의 PZT를 제어하면 공진기의 길이가 일정하게 유지되고 따라서 주파수가 안정화된다. 이 레이저의 출력은 보통 0.1 mW 이하이고 출력이 변조되어 있기 때문에 길이측정용 간섭계의 광원으로는 적합하지 않다.

일반적으로 간섭계의 광원으로 사용할 목적의 레이저는 발진모드의 출력이나 주파수 특성을 이용하여 주파수 변동에 따른 오차신호를 검출한다. 1970년대에 개발된 longitudinal Zeeman 안정화 He-Ne 레이저는 상용의 레이저 길이측정에 많이 사용되고 있다. 단일모드로 발진하는 Zeeman 안정화 He-Ne 레이저의 광축방향으로 자기장을 걸어주면 이 자기장에 의해 Ne원자가 Zeeman분리되어 이득분포도 2개로 분리된다. 따라서 단일모드로 발진하던 레이저가 서로 다른 편광성분을 갖는 2개의 성분으로 분리된다. 이 두 성분을 편광광학소자로 분리하여 출력의 차를 보면 이득곡선의 중심 부근에서 zero-crossing하는 선형적인 오차 신호가 얻어진다. 따라서 이 오차신호가 항상 영이 되도록 공진기의 길이를 조절하면 레이저의 주파수가 안정화

된다. 이 안정화레이저는 두 개의 주파수가 서로 다른 출력이 발전되는데 그들 사이의 주파수 차이는 수백 kHz에서 수 MHz 정도가 되어 헤테로다인 방식의 레이저길이측정에 사용하기 적합하다. 따라서 상용의 길이측정용 레이저간섭계의 광원으로 이 안정화 방법이 많이 사용된다. 레이저의 광축에 수직인 방향으로 자기장을 걸어주는 transverse Zeeman 안정화 방식의 He-Ne 레이저가 있는데 이 방법의 경우 Zeeman 분리되는 두 주파수 사이의 차이가 대략 수백 kHz 이하이고 주파수 안정화에 필요한 오차신호의 기술기가 longitudinal 방법에 비해 완만하여 안정도가 떨어진다.

상용으로 시판되는 대부분의 He-Ne 레이저는 2개의 종모드로 발전하는데 이 모드를 편광광학소자로 분리하여 그 출력의 차이를 보면 이득곡선의 중심부근에서 zero-crossing하는 오차신호가 얻어지기 때문에 이것을 이용하거나⁽³⁾ 두 종모드 사이의 주파수 차이, 즉 맥놀이 주파수를 이용하여 안정화시

킬 수 있다. 3개의 종모드로 발전하는 He-Ne 레이저에서 3개 종모드 사이의 2차 맥놀이 신호의 주파수를 오차신호로 이용하여 주파수를 안정화할 수 있는데 이 경우 높은 출력을 얻을 수 있다.⁽⁴⁾ 포화 흡수선을 이용하지 않은 일반 안정화 레이저는 보통 hard seal의 플라즈마 튜브를 사용하는데 이 플라즈마 튜브에 열선을 감아 열선의 전류를 조절하거나 플라즈마 튜브에 PZT를 부착시켜 이 PZT의 전압을 조절함으로써 공진기의 길이를 조절한다. 이와 같은 방법으로 레이저의 주파수를 안정화하였을 때 보통 10^{-8} 이상의 안정도를 얻을 수 있기 때문에 길이측정용 간섭계의 광원으로 사용하기에 충분하다.

3. 길이표준의 소급체계에서의 레이저간섭계

2절에서 설명했듯이 미터의 표준이 광속으로 정해지고 그 현시 수단으로 주파수 안정화레이저와

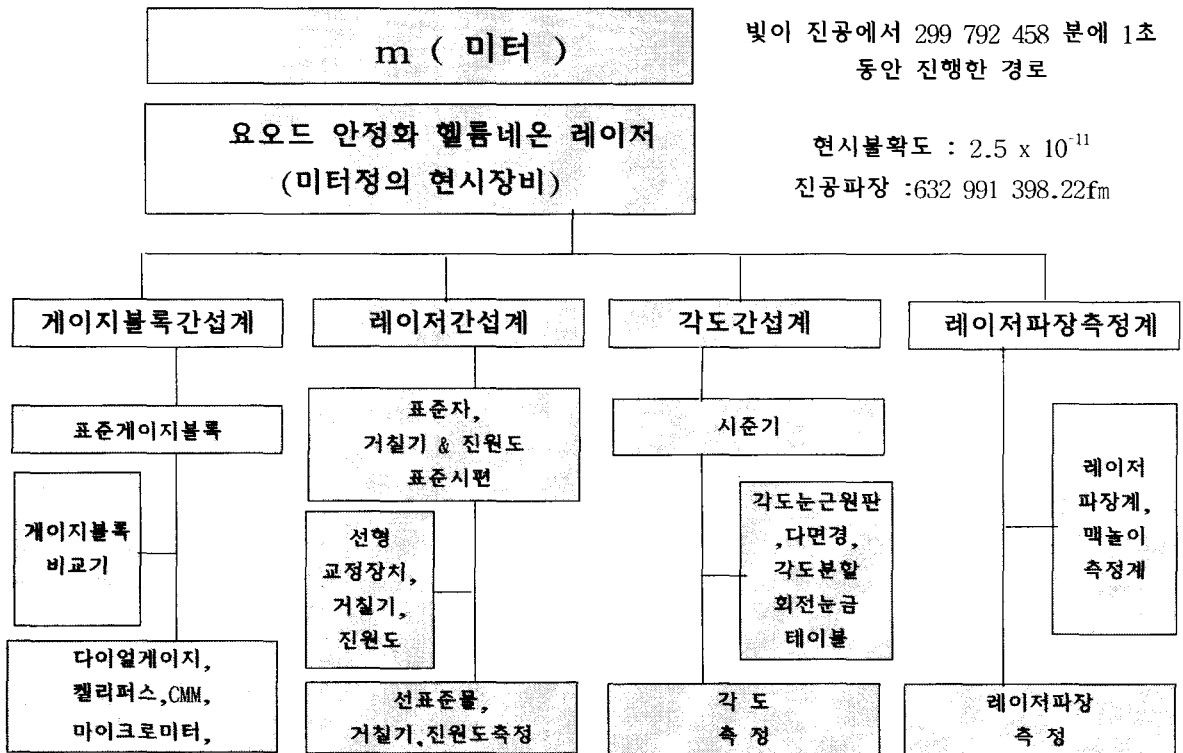


Fig. 5 Example of hierarchic system for length measurement

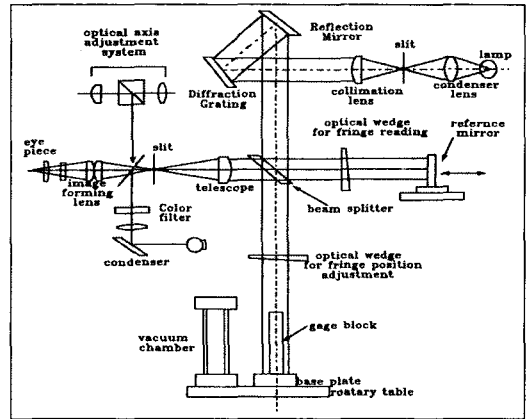
그 중심주파수가 추천되어 있기 때문에 각국의 표준연구기관에서는 각종의 포화흡수선에 주파수를 안정화한 레이저를 국가 길이표준원으로 채택하여 국가 길이표준을 확립하고 길이관련 정밀측정의 표준광원으로 이를 안정화 레이저를 사용하고 있다. Fig. 5에 일반적인 길이표준의 보급체계를 나타냈다. 미터의 현시장비로 원자나 분자의 포화흡수선에 주파수를 안정화한 여러 레이저가 추천되었지만 현실적인 길이측정에서 633 nm He-Ne 레이저가 가장 많이 사용되고 있기 때문에 길이의 국가원기로 633 nm에서 발진되는 요오드 안정화 He-Ne 레이저가 길이표준의 최상위에 있다.

길이표준기는 국제적인 신뢰성을 높이기 위해 BIPM이나 각종 표준기관과 국제비교연구를 거쳐 그 재현성을 확인하고 있다. 이러한 과정을 통해 원기급 레이저의 각종 동작조건과 중심주파수, 불확도등이 결정된다. 633 nm 요오드 안정화 He-Ne 레이저의 경우 진공파장은 632 991 398.22 fm이고 현시불확도는 2.5×10^{-11} 이다. 이렇게 하여 국제적으로 공인되고 표준이 확립된 원기급 주파수안정화 레이저를 바탕으로 하여 각종 간섭계에 사용되는 광원들의 중심주파수 및 안정도를 측정하여 미터표준이 하위 측정기기로 전파된다.

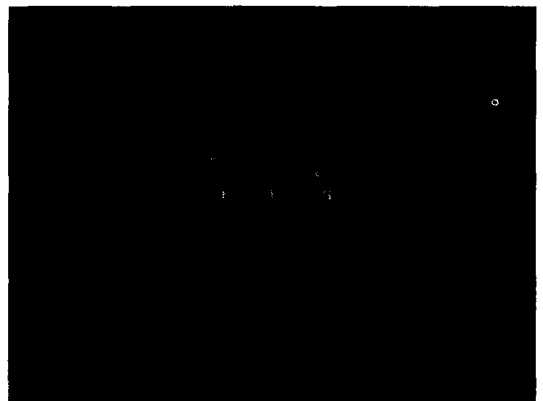
3.1 게이지블록의 표준소급

실용적인 목적에서 단면표준물인 게이지블록이 길이의 표준소급에 있어 가장 중요한 역할을 하고 있다. 게이지블록은 보통 정적인 방법의 간섭계로 절대측정하는데 보통 2개 이상의 다른 파장의 주파수안정화 광원이 사용된다. 광원으로는 2차표준선인 스펙트럼 램프를 사용하거나 원기급 주파수안정화레이저로부터 주파수가 고정된 일반 주파수안정화 레이저가 사용된다. 전자의 경우 스펙트럼 램프에서 여러 개의 파장이 나오기 때문에 게이지블록을 절대측정하는데 필요한 파장들을 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있어 초창기 게이지블록 간섭계에 이 광원을 주로 사용하였다. 그러나 가간섭길이 짧아 긴 게이지블록은 측정이 불가능하기 때문에 최근 이 스펙트럼 램프가 레이저로 대체되고 있다. Fig. 6은 스펙트럼 램프를 사용한 게이지블록 간섭계의 구조도이다. 램프에서 나온 빛은 회절격자에 의해 한 파장의 빛만 선택되어 마이켈슨 간섭계에 입사된다. 광속분리기에서 분리된 한 빛은 평면도

가 좋은 base plate에 광학밀착이 된 게이지블록에 입사되고 다른 빛은 reference mirror에 입사되어 두 반사면에서 반사된 후 광속분리기에서 간섭된다. 이 간섭무늬를 카메라로 획득한 후 화상처리하여 게이지블록의 높이에 의한 게이지블록과 base plate의 위상차를 구한다. 간섭무늬의 예가 그림에 있다. 중앙의 간섭무늬는 게이지블록에 의한 것이고 둥근 부분의 간섭무늬는 base plate에 의한 것이다. 그림에서 두 간섭무늬의 줄무늬가 일치하지 않은데 이 양을 측정하여 게이지블록의 높이를 구하게 된다.⁽⁵⁾



(a)



(b)

Fig. 6 Gauge Block interferometer, (a) Schematic diagram, (b) Interference fringe

이 절대측정방법은 측정시간이 매우 많이 소요되기 때문에 일반적으로 표준기관이 보유하고 있는 표준게이지블록을 절대측정하는데 사용된다. 이렇

계 절대측정된 표준게이지블록을 기준으로 산업체의 게이지블록을 비교측정한다. 비교측정된 게이지블록은 실용적인 계측기인 다이얼게이지, 마이크로미터, 버니어캘리퍼스, 3차원측정기등을 교정하는 기준으로 사용된다. 이와 같이 게이지블록은 광원의 진공파장값이 원기급 주파수안정화 레이저로부터 비교교정된 것을 사용하기 때문에 표준에 소급성을 갖게 되고 따라서 게이지블록을 이용한 실용적인 길이계측기 교정에도 소급성이 유지된다.

3.2 선표준물의 표준소급

선과 선 사이의 길이로 정의되는 선표준물은 1960년까지 길이의 표준으로 사용되었기 때문에 일찍부터 선표준물의 절대측정과 비교측정에 관한 연구가 진행되었다. 대표적인 선표준물로 표준자와 linear scale, 측량에 사용되는 줄자와 invar rod 등이 있다. 이들은 보통 633 nm He-Ne 레이저를 광원으로 한 상용의 레이저길이측정장치를 기준으로 측정되는데 대부분 전용의 측정장치가 사용된다. 길이가 보통 2 m로 제한된 표준자는 항온챔버 안에 설치된 Abbe원칙에 적합한 측정장치에서 절대측정되고 기타 줄자류는 긴 스테이지 위에서 절대측정되는데 이때 사용되는 레이저의 중심주파수는 원기급 레이저와 맥놀이주파수측정을 통해 교정되기 때문에 길이의 표준이 소급된다.

3.3 거칠기 및 진원도의 표준소급

일반적으로 산업체에서 사용되고 있는 거칠기 측정기와 진원도 측정기는 표준시편을 통해 교정된다. 거칠기의 경우 거칠기표준시편과 단차시편이 사용되고 진원도의 경우 진원도가 매우 좋은 표준구와 이득(gain)을 조절하기 위한 표준시편이 이용된다. 거칠기표준시편이나 단차시편은 결국 이들을 측정할 수 있는 거칠기측정기를 이용하여야 하기 때문에 거칠기측정기를 교정하여야 한다. Fig. 7은 거칠기측정기를 교정하기 위한 장치의 개략도이다. EMT(electromagnetic transducer)나 PZT tube 위에 유틸칼 플랫폼이 부착되어 있어 그 위로 거칠기측정기의 촉침이 지날 수 있도록 되어 있다. Function generator로 일정한 주파수의 정현파를 발생시켜 EMT에 인가하면 EMT는 일정한 진폭과 주기를 갖고 상하운동을 하게 된다. 이 상하운동은 거칠기측정기의 촉침에 전달되어 마치 거칠기가 있는 표면을 측정하는 것과 같이 측정기에서 느껴진다. 동시

에 EMT의 길이측정용 레이저간섭계가 이동량을 측정하여 거칠기측정기의 값과 레이저간섭계의 값을 비교함으로써 거칠기측정기를 교정하고 이 측정기로 거칠기시편을 교정하여 표준이 소급된다.

진원도측정기 스펀들의 회전오차를 측정하기 위해 표준구가 사용되는데 이것 또한 진원도측정기를 사용하여야 한다. 진원도의 경우 complete closure method를 사용하여 스펀들의 회전오차와 표준구의 진원도를 동시에 측정할 수 있다. 따라서 진원도측정기에 사용되는 센서인 전기마이크로미터의 이득을 교정할 필요가 있다. 이 전기마이크로미터의 이득은 여러 가지 방법으로 교정할 수 있는데 가장 쉬운 방법이 일정한 높이차를 갖는 두 게이지블록을 이용하는 것이다. 따라서 게이지블록으로부터 측정기의 이득이 조정되고 다시 스펀들의 회전오차를 직접 측정하여 진원도측정기를 교정한다. 이 측정기를 이용하여 산업체에 사용되고 있는 진원도 표준구와 이득조절 시편을 교정하여 길이의 표준이 소급된다.

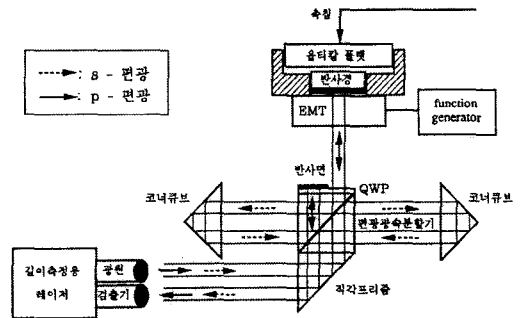


Fig. 7 Schematic diagram for roughness tester calibration system

3.4 각도의 표준소급

각도는 원 자체가 표준이다. 즉 한 원의 각도는 2π rad 혹은 360도로 언제나 원을 기준으로 재현이 가능하다. 그러나 실용적인 목적으로 직각삼각형의 특성을 이용한 길이와 연관된 각도측정이 병용되고 있다. 원을 기준으로 각도를 측정할 경우 각도가 기준으로부터 벗어난 값을 측정하여야 하는데 이 벗어난 각도를 측정하기 위해 시준기나 수준기가 사용된다. 이들은 직각삼각형의 길이측정법을 적용한 각도측정기인데 이 측정기를 교정할 수 있는 장치가 필요하다. 각도는 원이 표준이지만 실용적인

측정에서 여러 종류의 각도표준기가 사용된다. 대표적인 것으로 indexing table, polygon, rotary table 이 있는데 indexing table을 대부분의 표준기관에서 각도의 표준기로 사용하고 있다. 이것은 보통 원을 1440 등분하기 때문에 최소로 형성할 수 있는 각도가 0.25도이다. 따라서 더 작은 각도를 형성시키기 위해서는 미소한 각도를 형성시키고 이 양을 측정할 수 있는 장치가 부가적으로 필요하다. Fig. 8은 시준기를 교정하거나 indexing table이 형성하지 못하는 미소각을 형성하기 위한 레이저 각도간섭계의 사진과 그 원리이다.⁽⁶⁾ 이 장치는 회전하는 팔의 양끝에 코너큐브프리즘이 1개씩 붙여 있는데 팔이 미소각도 회전될 경우 회전중심으로부터 양끝이 움직이는 거리를 레이저간섭계로 측정하고 두 코너큐브의 간격으로 이 값을 나누어서 각도를 환산하는 측정기이다. 보통 여기에 사용되는 레이저는 633 nm He-Ne레이저를 사용하기 때문에 이 레이저의 진공파장을 원기급레이저로 교정하여 그 소급성을 유지한다.

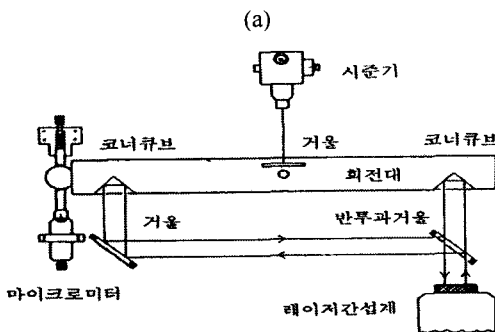


Fig. 8 Angle Interferometer, (a) Photograph, (b) Schematic diagram

3.5 기타분야의 표준소급

위에서 설명한 레이저 간섭계에 많은 레이저가 사용되고 광통신등 산업에서 필요로 하는 레이저의 주파수나 파장을 측정할 필요가 있다. 이를 위해 레이저헤테로다인 측정계나 파장계가 사용된다. 전자의 경우 피측정 레이저의 주파수와 수 GHz 미만의 주파수 차이를 갖는 원기급 레이저가 있을 경우 측정이 가능하다. 측정은 두 레이저 빛을 혼합시켜 고속광검출기와 electronic counter를 사용하여 두 레이저 사이의 맥놀이주파수인 주파수 차이값을 측정하여 피측정레이저의 주파수를 계산하게 된다. 피교정 레이저와 파장이 많이 차이날 경우에는 파장계를 이용하여 피교정레이저의 파장을 측정할 수 있다. Fig. 9는 파장계의 원리를 설명한 그림으로 마이켈슨 간섭계가 보통 사용된다. 원기급레이저와 피교정레이저의 광속이 마이켈슨 간섭계에 입사시켜 두 레이저에서 각각 간섭무늬를 생성시킨다. 간섭계의 한 쪽 팔을 일정한 속도로 이동시키면서 두 간섭무늬를 계수하면 파장의 차이에 의해 간섭무늬 계수값이 달라지게 된다. 이 계수값의 비가 파장비가 된다. 따라서 원기급레이저로부터 길이표준이 소급된다.

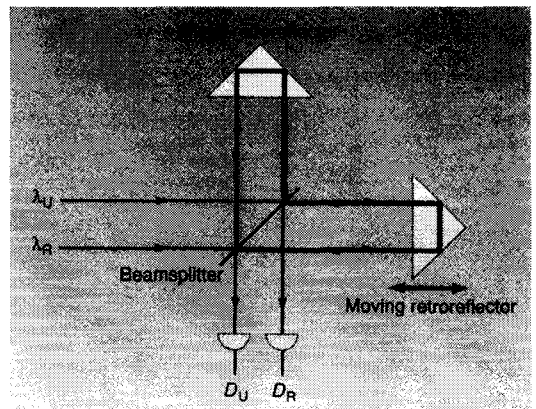


Fig. 9 Schematic diagram of wavemeter

4. 결론

“모든 시대에 모든 국민에게”라는 미터법의 제정 정신에서 통일된 도량형의 표준을 제공하는 SI 단위계 중 미터표준과 이의 실현을 위한 레이저간섭계의 역할을 간단하게 살펴보았다. 17세기부터

거론되었던 인위적인 미터표준에서 자연적이고 영구불변의 물리법칙을 기반으로 하는 미터정의가 결정되고 이의 실현을 위해 레이저를 원자 또는 분자의 흡수선에 주파수를 안정화시켜 길이표준으로 삼고 있으며 실용적인 목적에서는 일반 주파수 안정화레이저를 사용한 간섭계로 각종 기준물이나 길이 관련 측정기를 교정함으로써 길이표준의 소급성이 확보된다.

산업과 과학뿐 아니라 우리의 일상생활이 세계화됨에 따라 측정의 표준 또한 세계와의 일치성이 더욱 강조되고 있다. 한가지 예로 여러 가지의 기준물을 각국으로 순회하면서 측정하게 하는 국제비교가 있다. 각국의 측정값을 공표하여 국제적으로 측정의 상호 호환성을 확인하고 각국 표준기관의 측정능력을 공개적으로 발표하여 각국에서 발행한 교정성적서의 신뢰도를 확인하려 하고 있다. 즉 표준기관의 측정능력에 따라 그 나라에서 발행한 성적서나 제품의 품질관리능력을 평가하려는 또 다른 무역장벽 역할을 기하고 있기 때문에 표준기관 및 산업현장의 측정능력 향상이 절대적으로 필요하다. 현재 길이분야의 경우 게이지블록, 긴게이지블록, 각도, 직경측정, 3차원측정기용 기준물 등 6가지의 기준물에 대한 국제비교가 진행되고 있다.

산업이 고도화되고 정밀화됨에 따라 산업현장에서 요구되는 길이측정의 정밀정확도가 점점 높아지고 있다. 특히 정밀공학은 다른 분야에 비해 가장 길이표준 및 길이측정에 밀접한 관계를 갖고 있다. 최근 나노기술이 실용화됨에 따라 레이저 간섭계에 대한 요구 정밀정확도가 기존의 방법으로는 얻을 수 없는 수준이기 때문에 새로운 간섭계 기술 연구가 절실하다.

참고문헌

1. "Documents concerning the New Definition of the Metre," Metrologia, Vol. 19, pp.163, 1984.
2. 서호성, 강선모, 원종욱, 정명세, "옥소안정화 헬륨네온 레이저의 제작과 안정도 평가," 새물리, 제29권, 제6호, pp.712-718, 1989.
3. 엄태봉, 임재선, 원종욱, 정명세, "송풍기를 이용한 Internal Mirror He-Ne Laser의 주파수 및 출력안정화," 새물리, 제26권, 제1호, pp. 35-40, 1986.
4. H. S. Suh, T.H. Yoon and M. S. Chung, "Frequency and power stabilization of a three longitudinal mode He-Ne laser using secondary beat frequency," Vol.63, No.15, pp. 2027-2029, 1993.
5. 고영욱, 서호성, 이용상, 엄태봉, "디지털 화상처리를 이용한 게이지블록의 측정자동화," 한국정밀공학회지, 제11권, 제5호, pp. 56-65, 1994.
6. 엄태봉, 원종욱, 정명세, 임재선, "레이저간섭계를 이용한 미소각도형성기 개발," 한국정밀공학회지, 제9권, 제5호, pp. 373-378, 1985.