

우리나라 전기산업계의 레이저 광기술 수용전략

(2)

姜 玟 鎬

韓國電氣通信公社 研究開發團長

라. 주파수 제어분야

앞에서 언급한 바와 같이 레이저광의 단색성, 간섭성, 파장가변성을 이용한 주파수 제어분야의 응용에는 광화학 공업(동위원소 분리, 불순물 분리, 반응제어, 합성), 환경 계측(대기오염의 분석 감시, 하천 해양의 오염감시)와 분광, 분석, 측광(발광분광 분석, 초고분해 분광, 비선형 분광, 생체검사)의 3개분야가 있다. 다음에는 실용적인 측면에서 관심이 모아지고 있는 레이저 동위원소 분리와 환경계측 응용분야를 기술한다.

(1) 레이저를 이용한 동위원소 분리⁽¹⁾

이 방법은 레이저의 발전과장을 원자나 분자의 동위체가 갖는 특정 스펙트럼선에 정확히 동조시키는 기술로서, 레이저광의 단색성, 지향성, 집광성, 고휘도성, 편광성이 조합되어 실현되는 기술로서, 현재까지 수 많은 동위원소에 대해 실험이 시도되었다. 현재 미국, 일본, 유럽에서 실용화를 향하여 본격적인 시동을 개시한 레이저 우라늄 농축 기술은 이러한

동위원소 분리에 힘입은 결과로서 종래의 방법보다도 고분리도를 갖고, 가격이 저렴한 차세대 기술로서 주목되어 정보 유출을 막기 위해 비공개리에 연구되고 있다. 또한, 레이저광에 의해 특정 에너지 준위에만 勵起되어지는 여러가지의 물질에는 각종의 화학 반응이 선택적으로 촉진되는 것이 명백해졌다. 레이저 유기화학 반응 또는 광학적 프로세스라고 불리우는 과정도 레이저의 파장 가변성, 단색성, 지향성, 집광성, 고출력성, 편광성 등을 제어함으로써 실용화를 꾀하여 광합성, 광해리, 광이온화, 광냉각, 불순물 제거 등으로부터 최근에는 자외선 영역 이하의 단파장레이저를 이용한 광 CVD, 광 에피택시(epitaxy), 광 여기에칭(etching), 도핑(doping), 리소그래피(lithography)등의 신기술이 차차 개화되고 있다.

이들 분야에 대한 산업 현황 및 발전 추세의 분석은 심층적인 자료의 수집 및 분석이 필요하므로 본절에서는 개념과 원리만을 간단히 살펴보기로 한다.

레이저 동위원소분리(Laser Isotope Separation)란 레이저가 갖고 있는 단색성과 높은

에너지 밀도를 이용하여 서로 다른 동위원소를 포함하고 있는 원자나 분자들을 선택적으로 여기시켜 이를 여러가지 방법에 의해 분리하는 방법을 말한다.

동위원소의 원자핵들은 원자번호는 같으나 그 질량이 다르기 때문에 원자 스펙트럼 선의 진동수 혹은 파장에 미소한 차이를 보이게 되는데 이를 동위원소 변위(isotope shift)라고 한다.

단색성이 좋은 레이저광과 동위원소 변위를 이용하면 시료중 특정한 동위원소를 갖고있는 원자나 분자만을 특정한 여기 상태로 여기시킬수 있으며 이렇게 여기된 원자나 분자들은 여러가지 물리, 화학적 방법으로 분리시킬 수 있다. 이러한 방법을 선택적 여기에 의한 분리라고 하며 광여기된 원자나 분자들을 분리하는 방법은 광 이온화 방법, 광해리 방법, 다광자 해리 방법, 광화학 반응법 등의 4가지가 있다.

(2) 환경 계측^{11, 12)}

레이저의 고지향성, 고출력성 및 단파장에서의 극단 펄스의 발생이 가능한 점을 활용하여, 원거리에 있는 물체의 상태, 방향, 크기, 형태, 속도, 밀도, 조성 등의 계측에 이용이 진전되고 있다. 일반적으로, 레이저의 파장은 대기중에 부유하고 있는 소립자의 크기도 비교 가능한 정도이기 때문에, 전파로는 불가능했던 입자검출도 가능하게 되었다. 더욱이 광의 파장역은 원자, 분자의 흡수 스펙트럼이 풍부한 영역으로서 광과의 상호 작용을 이용하여, 원자, 분자의 검출이나 타겟이 되는 산란체의 화학적 내용에까지 관측이 가능하다. 이러한 각종의 계측, 그 중에서도, 환경 계측을 위해 주로 사용되는 장치가 라이다(LIDAR: Light Detection And Ranging)이다. 레이저 레이더의 원리는 종래의 마이크로웨이브 레이더 등과 거의 동일하다. 그러나 전파레이더에 비해, 대기중 입자, 물질에 의한 감쇄를 받기 쉽다는 결점이 있다. 역사적으로는, 1960년에 루비 레이저가 발명된 직후 연구가 개시되어, 1962년에는 Q스위칭 펄스 레이저가 출현하였으며,

1963년에는 이를 이용 Fiocco등에 의해 초고층 대기의 혼탁도, 대류권의 입자상 물질이 측정되었다. 한편, 레이저 거리 측정 장치는 1961년 이미 개발되었다. 1975년에는 컴퓨터의 개발이 진척됨에 따라, 대량의 공간 데이터의 처리가 가능하게 되어, 표시방법이 다양하게 되었다. 레이저 레이더는 본질에서 다물 환경계측 뿐 아니라, 거리의 정밀 측정에 주요한 장치가 되었다.

이와 같이 여러분야에 응용되는 레이더를 대별하면 다음과 같다.

i) 1국 방식(monostatic system)

ii) 2국 방식(bistatic system)

또, 공간 물질과의 상호작용을 이용하는 형태에 따라, 분류하면 다음과 같다.

i) 레일리(Rayleigh) 산란, 미(Mie) 산란 라이다

ii) 라만(Raman) 산란 라이다

iii) 형광 산란 라이다

iv) 차분 흡수 라이다(DIAL)

v) 도플러(Doppler) 라이다

vi) 코히어런트(Coherent) 라이다

또, 라이다용 광원에는 안정성, 신뢰성, 출력강도, 펄스 폭 등의 관점에서

i) Q 스위칭 Nd:YAG 레이저(1.064 마이크로미터)와 그 제 2 고조파(0.694 마이크로미터)

ii) 루비 레이저(0.6943 마이크로미터)와 그 제 2 고조파(0.3472 마이크로미터)

iii) 질소 레이저(0.3371 마이크로미터)

iv) TEA CO₂ 레이저(10.6 마이크로미터)

v) 색소 레이저

등이 사용되고 있다. 그밖에 레이저에 의한 목표의 추적, 유도, 위치평가 확인 및 영상화가 진행되고 있다. 문제점으로는 고효율화, 고안정화, 장수명화 등을 꼽을수 있다. 다음에는 레이저 레이더를 이용한 대기 탐사 및 식물탐사에 대해 살펴보기로 한다.

먼저 레이저 레이더에 의한 원리를 살펴보기로 한다. 레이저 레이더의 동작원리는 앞서 말한 바와 같이 마이크로파 레이더와 마찬가지로, 원격지에 있는 대기중의 산란물질에 의

해, 발사된 레이저 빔의 안쪽 후방에 반사되는 성분을 수광하여 해석함으로써 대기성분, 상태 등의 정보를 얻는 방법이다.

지구의 환경중 또다른 주요환경의 하나인 식물환경에 라이다를 응용한 예를 살펴보기로 한다. 미항공우주국 산하의 고다드 우주비행 연구센터(NASA/Goddard Space Flight Center)에서는 레이저를 이용하여 식물의 특성을 측정하는 연구가 진행되고 있다. 가뭄이나, 영양 결핍 그리고 산성 비(acid rain) 등의 환경요인이 식물의 성장력에 미치는 영향을 평가하고 식물 형태의 확인, 대삼림 지역의 목재의 양을 측정하는 등 여러가지 응용을 꾀하고 있다. 식물자원의 연구에 있어서, 레이저는 식물이 받는 환경 영향과 식물의 분포확인의 두가지 데이터를 수집하는데, 식물로부터 형광을 유도하는 광원으로서 활용되고 있다. 레이저 유도 형광 신호의 세기와 스펙트럼상의 성질을 이용하여 식물의 건강 상태와 분포 유무를 추정할 수 있다. 또한 삼림의 규모, 생화학 물질의 평가 등에는 라이다를 이용하여 삼림의 높이 등의 정보를 측정함으로써, 궁극적으로 지상의 수목의 양과 녹화 정도를 추정할 수 있다.

마. 에너지 제어분야

(1) 레이저에 의한 가공^(1,2)

레이저광을 렌즈나 오목거울을 사용하여 적당한 에너지 밀도로 집속하여 재료에 공급하면 광이 흡수된 부분의 온도가 급속히 올라가 용융, 증발되는 현상을 이용하는 레이저 기술이 보편화되고 있다. 일반적으로 야그(YAG) 레이저와 탄산가스 레이저가 사용되며 전자는 펄스 발진을 이용하여 전자부품의 제조 등 미세한 가공에 주로 사용되고, 후자는 대출력용으로서, 금속, 세라믹스, 플라스틱, 복합재료 등의 가공에 사용된다. 레이저 가공이 실용화된 최초의 케이스는 1966년 루비 레이저를 사용하여 다이아몬드에 구멍을 내는 일이었다. 두께 1.25mm의 다이아몬드에 구멍을 뚫는데 종래에는 4시간이 걸렸으나 6분

내지 9분에 가능하게 되었다. 그후 고속 반복 펄스를 발진하는 야그레이저가 개발되어 2초 정도에 가공이 가능하게 되었다. 탄산가스 레이저를 이용한 양복지의 재단도 1968년에 실용화되었다. 레이저 가공은 가공형태로 보아 크게 4가지로 분류가 가능하다. 즉, 재료제거, 부가정합, 표면개질, 신가공이다. 표 1-2에서 알 수 있듯이 종래에는 가공법주에 포함되지 않았던 합금화, 코팅 등도 포함되고 있으며, 다종다양화 되었다. 금속재료를 비롯하여 세라믹스, 복합재료, 플라스틱(plastics)으로부터 암석에 이르기까지 전반적인 재료가 가공대상이 되었다. 레이저 가공의 특징으로서는

- i) 10^7 내지 10^8 W/cm²의 높은 전력(power) 밀도로 가공하기 때문에 가공속도가 빠르고, 가공이 어려운 재료도 용이하게 가공할 수 있다.
- ii) 광에 의한 가공이기 때문에 비접촉성이고, 가공물에 힘이 가해지지 않고, 오물이 묻지 않는다.
- iii) 대기중이나 각종분위기에서 가공이 가능하다.
- iv) 레이저 광을 멀리까지 보낼 수 있어, 광의 점멸(on-off), 위치결정 등의 조작이 용이하다.
- v) 레이저광의 파장에 대해 투명한 물체 가운데 있는 물체의 가공이 가능하다.
- vi) 가공중에 X선이 발생하지 않는다는 점 등을 꼽을 수 있다.

일본의 경우 레이저 가공기의 대상고는 '90년도 이후 2000년까지 약 50%의 연평균 성장이 예측되고 있다.

우리나라의 경우, 대부분의 레이저 가공기는 선진국으로부터 도입하여 사용되고 있고 재료가공용 레이저의 주종인 탄산가스 및 야그 레이저개발에 있어서도, 에너지 연구소의 200와트(Watt) 급의 용접기의 실험실 모델이 현재의 최고 기록이다. 향후, 레이저 가공기술은 그 제어성이 우수하여, 절단, 용접, 표면개질 등의 광범위한 분야에서 에너지 절약형, 자원 절약형의 비접촉, 부분가공업으로서 현재의 특수가공기용으로서 뿐만 아니라, 범용성을

〈표 1-2〉 레이저 가공의 분류

레이저 가공의 종류		
제거가공	절단가공	금속, 비금속의 절단
	구멍뚫기	금속, 비금속의 구멍뚫기
	마이크로가공	트리밍, IC기판 및 세라믹 기판의 스크라이빙
	아날링	재료표면의 오염제거
	레이저 포밍	레이저 고아의 집속형상을 제어하여 가공이 곤란한 세라믹등에 나사를 깎기도 한다.
용접가공	용접	저과워 밀도(10^6 W/cm ² 이하)의 용접 높은 파워밀도(10^6 W/cm ² 이상)의 용접 마이크로, 용접(이종금속, 세라믹, 금속, 세라믹의 용접등이 기대된다)
	표면국소가열	표층의 국소부를 금속가열, 냉각하여 경화시킨다.
표면재질가공	표면 열처리	표면온도를 그다지 높지 않게하여 서서히 냉각시켜 국부적으로 경화시킨다.
	클래싱	금속의 표층을 용융시킨 후에 급냉하여 비정질화하여 내부식성을 높인다.
	코팅	레이저광을 광원으로하는 증착이지만 세라믹등 단열재료의 코팅으로서 주목된다.
기타가공	결정육성	융점이 높은 결정의 성장 및 향성의 열원으로서
	선뿔기	광섬유 및 고융점 재료를 선으로 뽑는다.
	절단	국소적인 열차이를 가하여 유리 및 암석을 파괴한다.
	복합가공	레이저 보조가열에 의해 난삭제의 절삭가공 및 아크방전에 의한 예열로 레이저의 용접속도를 향상시킨다.
	레이저 애칭	레이저광을 집광조사하고 국부적 선택적으로 애칭속도를 빠르게 한다.

가지고 공작기계에도 중심적인 요소로 성장해 갈 것으로 전망되고 있다.

(2) 레이저에 의한 에너지 개발^(15, 16)

레이저 핵융합이나 레이저 동위원소분리, 또는 레이저광화학은 레이저 특유의 파장선택성과 에너지 집중성을 최대한으로 이용하는 첨단기술이다. 레이저 빔은 파장정도의 미소점에 코히런트광을 집중할 수 있기 때문에 파장을 1 마이크로미터, 출력을 1TW로 하면 초점에서의 전자파의 강도는 10^{20} W/cm², 이때의 전계는 3×10^6 V/m, 자계는 10 Oe에 달한다. 이러한 극도로 높은 전자계를 국소에 인가할 수 있기 때문에 종래의 수단으로는 달성불가

능했던 여러 현상의 실현이 용이하게 되었다.

레이저 핵 융합은 원래, 레이저 동위원소 분리나 레이저 입자 가속 등 기초 과학으로부터 응용기술까지 광범위한 영역을 포함한 완전히 새로운 과학기술 분야이다. 레이저의 발명후 바로, 레이저의 특징을 이용한 레이저 플라즈마의 연구가 미국, 소련, 프랑스, 일본, 영국, 독일에서 개시되었다. 그림 1-7에서 나타낸 것과 같이 레이저를 핵연료 펠릿(Pellet)에 조사한 경우, 펠릿의 주위로 분출되는 플라즈마 로켓(plasma rocket) 작용에 의해 내부연료를 폭발하는 핵 융합의 개념은 1960년대에 미국에서 비밀리에 입안되어, 1971년에 국제 양자 전자회의에 그 정보가 공개되었다.

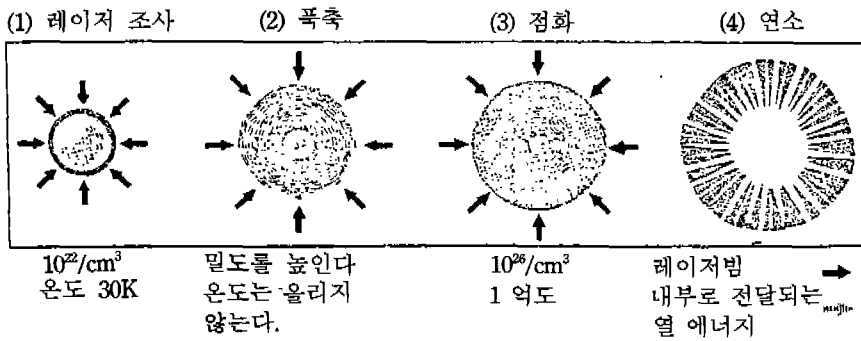


그림 1-7 폭축에 의한 핵융합

에너지 위기에 처하여 있는 세계는 관성 핵융합의 연구를 급속히 전개하여 왔다. 이 방식은 자기를 이용하지 않으며, 외력하에서도 물질이 곧바로 움직이지 않는 관성을 이용하는, 새로운 방식이다. 현재 관성 핵융합의 연구기관은 선진제국에 널리 설치되어, 일본에는 오사카 대학의 레이저 핵융합 연구센터, 미국에는 리버모어 국립연구소, 로체스터대학, NRL, KMS, Fusion사 등이 있고, 프랑스에는 Lemeil 원자력 연구소, Ecole Polytechnique, 영국에는 러더포드 연구소, 소련에는 Levedev 물리연구소, Krutsatov 원자력 연구소, 중국에는 상해정밀광학기계 연구소가 중심이 되어 레이저에 의한 관성 핵융합의 연구가 진행되고 있다.

참고 문헌

- 레이저응용, 오명, 강민호, 청문각, 1987 (개정판)
- 시마다 준이치, 시미즈히데아끼, 광테크노로지, 1985, 통상산업조사회
- 일본능률협회 총합연구소, 5년후 10년후의 성장사업, 성장상품, 1987, 일본비즈니스레포트.
- 시다가니시마다, “차세대 광통신 처리기술의 전망 1. 현상과 전망”, 정보통신학회지 2/89, vol.72, No.2, p. 134.
- 광산업-전망과 발전 전략, 산업 연구원, 1989. 10.
- 컴퓨터 월드, 1989. 4. 컴퓨터 정보사, p. 94.
- 광테크놀로지, p. 174
- 石川正俊, 光컴퓨팅, 1989. 2., 電子通信學會誌, vol.72, No.2, p. 157
- 김용, 레이저를 이용한 동위원소 분리, 전기학회지, 37권, 12호, 1988. 12.
- 電氣通信 技術 審議會, 光通信技術의 現狀과 將來, Gyo-o sei, 1987. 3.
- Naohiro Tanno, Humio Inaba, ‘大氣를 探查하는 laser radar,’ 電子通信學會誌, vol. 69, No.9, p. 902
- E.W. Chappelle at al., ‘Lasers may help in remote assessments of vegetation,’ Laser Focus World, June, 1988, p. 123
- Haruhiko Nakai, ‘레이저 加工技術’, 電子通信學會誌, vol.68, No.4
- Shimada Junichi, Shimizu Hideaki, ‘光 테크노로지, 通商産業調査會’, 1985. 4, p. 100
- Chiyoee Yamanaka(山中千代衛), ‘레이저에 의한 에너지 開發’, 1985. 4, 電子通信學會誌, vol.68, No.4, p. 439.
- 강형부, ‘레이저에 의한 핵융합’, 전기학회지, vol.37, No.12, 1988. 12

2. 전기산업계의 광기술 수용 가능성

가. 전기산업계의 광계측 기술의 응용^{1)~9, 12, 13)}

최근 광응용 계측기술, 특히 광을 이용한 센서나 계측 시스템의 발전이 급속히 진전되고 있다. 광응용 센서는 기계량, 전기량, 열량 등의 센서 및 그것을 이용한 계측 시스템에 폭 넓게 사용되고 있다. 특히 전력분야에서의 계측 또는 계측 정보 전송은 대전류가 흐르는 도체의 근방이나 고전압 기기의 주변에서 행해지는 경우가 대부분이다. 따라서 센서나 정보 전송로 등의 계측계는 전자적·정전적 유도를 받는 환경에 설치되는 경우가 대부분이며, 이로 인한 계측시의 잡음이나 서지(Surge)를 고려해야 한다.

일반적으로 광섬유를 이용한 신호 전송로는 전기적 유도를 받지 않으며 전송로 중간에서 잡음이나 서지의 영향이 없기 때문에 전력

분야에서의 계측 정보 전송로로서 최적이다. 더욱이 신호 전송로를 절연물로서 구성하는 것이 가능해지고 종래에는 어려웠던 고전압부와 접지전위부 사이의 신호 전송이 용이하다. 따라서 물리량을 광학량으로 변환하는 소자를 이용함으로써 광학식 센서를 구성할 수 있다.

이런 여러가지 이유가 광센서 계측 기술을 전력계통 분야에 이용할 수 있는 것으로서, 여기서는 광계측의 개요와 실제 적용되거나 적용 가능한 것들을 설명하고자 한다.

(1) 광응용 계측 방식의 분류

광응용 센서는 전압, 전류, 온도, 압력 등의 물리량을 광학적으로 검출하는 것이며 또한 절연성, 무유도성이 우수한 광섬유를 센서 정보의 전송로로서 사용하고 종래의 전기계측 방식과 비교하여 다음과 같은 특징을 가진다.

- a) 센서부에 전원공급이 불필요
- b) 고절연성, 고내압성
- c) 무유도성

〈표 2-1〉 대표적인 광응용 계측 분야

계측물리량	원 리	광학식 센서방식	Pick-up Probe형식	광섬유 기능형 센서 방식
온 도	광 강 도	차단막에 의한 광로차단 수은주에 의한 광로차단 바이메탈에 의한 광로차단 반도체의 투과율 변화 파라핀의 광로차단	형광방사강도	열팽창에 의한 전파 정수 변화 (위상, 간섭)
	광 강 도 스펙트럼	액정의 흡수 스펙트럼 변화	적외선 방사	
전류·자계	편 광 위 상	복굴절 변화 Faraday 효과		Faraday 효과 자계 효과
	편 광 위 상	Pockels 효과		전계 효과 Sagnac 효과
회 전 속 도	회 전 속 도		Doppler 효과	
	회 전 속 도 위 상		Speckle Pattern 변화	
속 도 유속·유량	회 전 속 도	회전체에 의한 Chop pulse		
	속 도 위 상	차단막에 의한 광로차단 광섬유의 축교차 변화	diaphragm의 반사 강도변화, 액정의 산란 특성 변화	마이크로 밴드 손실
압력·음향	속 도 위 상	광탄성 효과		압력에 의한 광탄성 효과
	속 도 위 상	차단막에 의한 광로차단 광섬유의 축교차 변화		
진동가속도	속 도 위 상		Doppler 효과	광섬유의 광탄성 효과
	속 도 위 상		Fabry-Perot 간섭	
미 소 변 화	속 도 위 상	취색 중심의 생성		
방 사 선	속 도 위 상	굴절을 정합에 의한 손실		
액 면 높 이	속 도 위 상			

d) 안전방폭성

(a) 광/전기 복합 방식

이 방식은 열전대나 전류 probe 등의 전기식 센서로부터의 전기 신호를 발광 다이오드 등으로 광신호로 변환시킨후 광섬유로 전송하여 계측하는 것으로서 광섬유는 단순히 신호 전송로로 사용된다. 센서 근처에 광송신기를 설치할 필요가 있으며, 기술적으로는 거의 확립되어 있는데 전압, 온도, 전동등의 센서가 실용화 되고 있다.

(b) 광학식 센서 방식

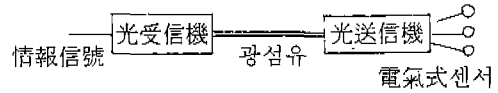
광파이버 단면 또는 송수광용 광섬유 사이에 각종 광학현상(광전 효과, 광자기효과, 광탄성 효과 등)을 가지는 재료 혹은 기계적, 전자적으로 동작하는 광학식 센서를 설치하여 광의 각종 변화들을 계측하는 방식이다.

(c) 픽-업 프로브형 방식

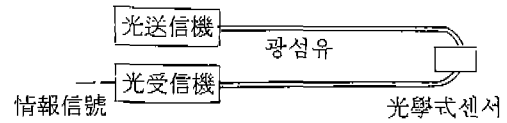
계측대상으로부터 방사되는 광정보 또는 계측 장치측에서 광섬유를 통하여 들어오는 광을 계측 대상에 조사해서 반사 산란되는 광정보가 직접 광섬유 Probe를 통해 광수신기에 입력되는 방식으로서 광섬유의 휨성(bendable)이나 작은 직경으로 인한 좁은 장소에서의 계측에 적합하다.

(d) 광섬유 기능형 센서 방식

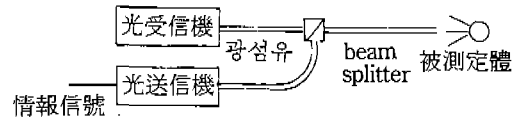
광섬유 자체의 특성이 계측대상에 따라 변화를 받아 그 결과로 광섬유 내부의 광의 속성(강도, 위상, 편광)이 변화하는 것을 이용하는 방식이다. 위상이나 편광을 이용하는 것에는 단일모드 광섬유가 사용되고, 강도 변화를 이용하는 것에는 다중모드 광섬유가 사용된다. 이 방식은 고감도의 성능을 가지는 반면 온도나 외압 등 외부의 영향을 받기가 쉽다는



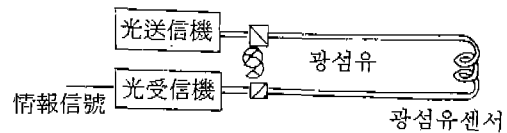
(a) 光/電氣 Hybrid 方式



(b) 光學式 센서 方式



(c) pick-up probe形 센서 方式



(d) 광섬유 機能形 센서 方式

그림 2-1 광응용 계측 방식의 기본 구성 (광섬유의 이용 형태로부터의 분류)

결점을 가지고 있다.

표 2-1에서 광/전기 복합방식을 제외한 대표적인 광응용 계측 방식의 응용 분야를 나타내었다.

e) 고정도, 광대역성

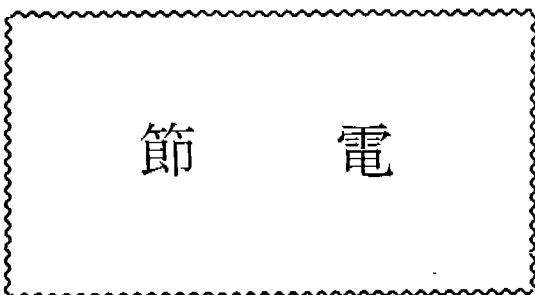
광응용 계측 방식은 다음 그림 2-1과 같이 분류할 수 있다.

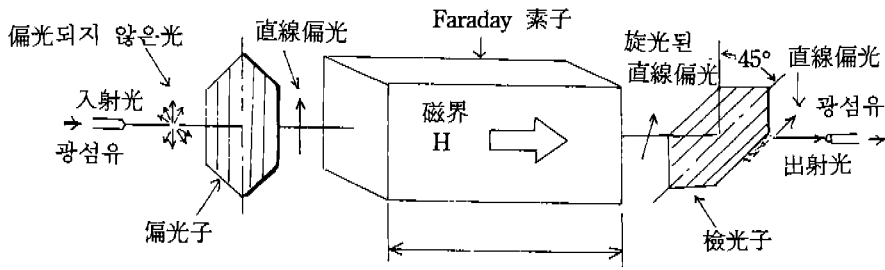
(2) 광계측 기술의 원리 및 응용

앞에서 설명한 것들 가운데에서 전력산업 분야에 가장 많이 이용되는 광전압·전류(전계·자계)계측등의 원리와 그 응용분야에 대해 자세히 설명하고자 한다.

(가) 광전류(자계)계측

광 CT(Current Transformer)는 어떤 물질을 자계중에 설치하면 투과하는 광의 편광면이 회전하는 현상인 패러데이 효과를 이용한다.





<그림 2-2> 자기센서의 구성

그림 2-2는 패러데이 효과를 이용한 자기 센서의 대표적인 구성도이다.

그림에서 투과하는 광의 편광면이 자계에 비례하여 회전하고 그 결과가 검광자를 통하여 나오는 파워 P는 다음 식(2-1)과 같이 표시 된다.

$$P = P_0(1 + \sin 2V_e H l) \dots\dots\dots (2-1)$$

여기서 P_0 는 자계가 없을 때의 파워이고 V_e 는 Verdet 정수로서 패러데이 효과의 정도를 나타내는 재료 고유의 정수이다. l 은 센서의 길이 즉 광로장이다.

출력 광파워 P는 식 (2-1)에서와 같이 자계 H로 부터 강도변조가 일어나며 이때 변조도 m은

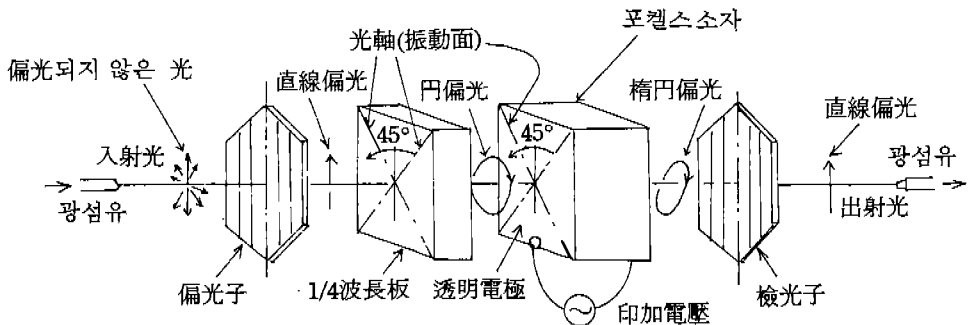
$$m = \sin 2 V_e H l \dots\dots\dots (2-2)$$

이고, 이때 $2V_e H \ll \pi$ 인 경우 근사적으로

$$m \approx 2V_e H l \dots\dots\dots (2-3)$$

<표 2-2> 각종 재료의 Verdet 정수

材 料	Verdet 定數 (min/Oe · cm)	旋光性 (deg/min)	波長 (μ m)
反 磁 性 體	鉛 glass	0.04	無
	As ₂ S ₃ glass	0.10	無
	ZnSe	0.21	無
	Bi ₁₂ SiO ₂₀	0.1	10.5
	Bi ₁₂ GeO ₂₀	0.188	9.6
常 性 磁 體	FR-5 glass	0.11	無
強 磁 性 體	YIG	9.0	無
	(Tb _{0.19} Y _{0.81}) ₃	15.6	無
	I ₅ G ₁₂		
	(YSmLuCa) ₃ (FeGe) ₅ O ₁₂	49	無



<그림 2-3> 전기센서의 구성

이 되며 즉, 변조도 m 은 자계 H 에 비례한다.

예를 들어 표 2-2의 재료 가운데 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 을 광로장이 30mm인 것을 사용할 경우에 1400 Oe의 자계 이하에서는 오차 1%이내의 직선성을 가지고 있음을 알 수 있다.

특히 강자성체는 Verdet 정수가 커서 감도가 매우 좋으나 수 100Oe 이상의 자계에서 포화되는 경향이 있어 센서로서 사용할 경우 충분히 고려되어야 한다.

(나) 광전압(전계) 계측(광 PT : Potential Transformer)

어떤 종류의 결정이 전계중에 있을 때 전계에 따라 굴절률이 변하는 현상을 이용하는 데 이때의 현상을 전기광학 효과라 한다.

굴절률 변화가 전계에 비례할 때를 포켈스(Pockels) 효과, 전계의 2승에 비례하면 커(Kerr) 효과라 부른다. 여기서는 주로 포켈스 효과를 이용한 광 PT에 대해 설명하겠다. 전계센서의 기본 구성도를 그림 2-3에 나타내었다. 포켈스 소자에 전계가 가해지면 굴절률이 변하여 직교하는 두개의 광파면이 위상차가 생기는데 이때의 편광상태를 타원편광이라 부른다.

타원 편광된 빛이 검광자를 통하여 출력되는 광의 파워 P 는

$$P = P_0(1 + \sin \pi \frac{V}{V_\pi}) \dots \dots \dots (2-4)$$

가 되며 여기서, P_0 는 인가전압이 0일 경우의 수광파워이고 V 는 인가전압, V_π 는 소자 고유의 성질인 반파장 전압이며 입방정계의 소자에서 V_π 는

$$V_\pi = \frac{\lambda}{2 n_0^3 \gamma_{41}} \dots \dots \dots (2-5)$$

이고 삼방정계에서는

$$V_\pi = \frac{\lambda}{2 n_0^3 \gamma_{41}} \frac{t}{l} \dots \dots \dots (2-6)$$

이다.

여기서 n_0 는 굴절률, γ_{41} , γ_{22} 는 전기 광학계수, λ 는 파장, t 는 전계방향의 길이, l 는 광로장이다. 역시 변조도 m 은

〈표 2-3〉 각종 Pockels 소자의 전기광학 계수

材料名	結晶	一次電氣光學係數			屈折率
		記號	係數 ($\times 10^{-10} \text{cm/V}$)	波長 (μm)	
ZnTe	立	$\gamma_{41}^{(1)}$	4.55	0.5~0.6	$n_0=3.1$ ($\lambda=0.57\mu\text{m}$)
ZnSe		$\gamma_{41}^{(1)}$	2.0	0.5~0.6	$n_0=2.66$ ($\lambda=0.5\mu\text{m}$)
β -ZnS		$\gamma_{41}^{(1)}$	2.0 ~1.1	0.6	$n_0=2.364$ ($\lambda=0.6\mu\text{m}$)
GaAs	方	$\gamma_{41}^{(1)}$	0.27~1.2	1 ~1.8	$n_0=3.42$ ($\lambda=1.25\mu\text{m}$)
CaP		$\gamma_{41}^{(1)}$	1.06	0.5~0.6	$n_0=3.315$ ($\lambda=0.6\mu\text{m}$)
$\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	晶	$\gamma_{41}^{(1)}$	0.95	0.631	$n_0=2.11$ ($\lambda=0.631\mu\text{m}$)
$\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$		γ_{41}	0.54	0.631	
CdTe	系	$\gamma_{41}^{(1)}$	6.8	1.06	$n_0=2.60$ ($\lambda=1.06\mu\text{m}$)
$\text{Bi}_{40}\text{Ga}_2\text{O}_{63}$		γ_{41}	4.81	0.63	$n_0=2.25$
$\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$		$\gamma_{41}^{(1)}$	2.8	0.579	$n_0=2.67$
$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$		$\gamma_{41}^{(1)}$	3.1	0.85	$n_0=2.41$
$\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$		γ_{41}	4.35	0.87	$n_0=2.45$
LiNbO ₃		三 方	$\gamma_{13}^{(s)}$	8.6	0.5~0.6
	$\gamma_{33}^{(s)}$		30.8		
	$\gamma_{st}^{(s)}=\gamma_{42}^{(s)}$		28		
	$\gamma_{12}^{(s)}$		3.4		
晶	$\gamma_{22}^{(s)}$	7			
	系	$\gamma_{13}^{(s)}$	7		$n_0=2.176$
$\gamma_{33}^{(s)}$		30.3		$n_e=2.180$	
$\gamma_{st}^{(s)}=\gamma_{42}^{(s)}$		20		($\lambda=0.633\mu\text{m}$)	

註 : (s) : constant strain, (t) : constant stress
 n_0 : 상광(Ordinary) 굴절률,
 n_e : 이상광(Extraordinary) 굴절률

$$m = \sin \pi \frac{V}{V_\pi} \dots \dots \dots (2-7)$$

이며, $V \ll V_\pi$ 인 경우 근사식으로 m 은 $\pi V/V_\pi$ 가 된다.

예를 들어 포켈스 소자로 BSO를 사용했을 경우 〈표 2-3〉에서 반파장 전압은 6800V가 되며 직선성은 오차 1%이내로 측정 가능하고 최대 전압은 약 500V정도가 된다.

☞ 다음 호에 계속