원적외선 · 근적외선과 그 분광법

大阪大学명예교수 · 前 大阪전기통신대학학장
교수 미나미 시게오(南 茂 夫)

첫머리에

적외선 응용은, 정보와 에너지 두 분야로 분류해서 논할 수 있는데, 이는 전자파 일반의 응용면에 있어서도 통용된다. 왜냐하면, 전자파 자체가 정보와 에너지의 전송매체이기 때문이다.

태고적부터 지상에 내리쏟아지는 태양빛은 오감의 하나인 눈이라는 센서에 주위의 여러 가지 정보를 주는 역할을 해왔고, 또, 태양빛은 온감, 햇볕으로 미지근해진 물, 농지재배 등 에너지원으로서 커다란 역할을 가졌다는 것도 경험적으로 알고 있다. 적외선이 태양관측을 위한 분광실험실에서 발견되어, 열선으로서 가시광의 연장선상에서 논의되지 시작한 이후로 전자파와 정보 · 에너지의 밀접한 관계에 대해 알게 되었다.

전기공학과 강의나 시험과목에 조명 · 전열이라는 명칭이 있는데, 전자는 정보에 후자는 에너지에 대응한다고 보면 된다. 적외라는 파장영역에서 생각한다면, 정보에 대응하는 것은 측온이나 물질분석등 각종 적외응용계측기술이며, 에너지에 대응하는 것이 적외선 건조, 가열, 가공 등의 여러 기술일 것이다.

현재, 적외선 공학이라고 불리는 분야에서는, 계측에의 응용면이 주체가 되어 있다. 그 이유는 제2차 세계대전 중에 부상한 암시기술과, 석유산업에 대한 분석화학기술에의 다대한 공헌 때문이다. 단파장광이 가진 파괴적인 이미지와는 정반대에 위치하는 장파장과의 온열적 평화 이미지가 오히려 군사기술과 강하게 연결되어 있다는 것은 아이러니라고 할 수 있을 것이다. 본고의 주제가 되고 있는 적외선에 의한 온열효과는, 계측분야에서의 엄격한 안정성의 요구와는 약간 방향을 달리하는 듯이 보인다. 왜냐하면, "기분 좋은 따스함"이라던가 "맛있게 몽글몽글 부풀어오른 상태"와 같은 말이 통하는 객관적 평가가 어려

운 세계이기도 하기 때문이다. 그러나 적외선 에너지 응용의 하나인 공작물의 도장이나 가공등에서는 적외선 계측의 정량적 방법을 살려야 한다. 분광계측법이나 분광기기의 선택이 이들의 근저를 뒷받침하는 것은 자명한 일이다.

Ⅰ. 열방사 이론과 스팩트럼 측정

적외선을 정보 또는 에너지라는 시점에서 다룰 때, 아무래도 기본이 되는 것은 열방사에 관한 여러 법칙들이다. 열평형이나 흑체의 개념을 중심으로, Kirchhoff의 법칙, Stefan Boltzmann 전방열칙(全放熱則), Wien의 방열칙과 변위칙, Rayleigh-Jeans의 방열칙 등이 19세기 후반 이후 열역학과 기체운동론 등의 고전론으로서 차례차례 이어져나왔다. 그런, 이들 열방사의 여러 법칙과 실증치와의 불일치는 그동안, Rubens 등의 적외분광실험에 의해 일찍부터 지적되어 왔다. 고전론에 의한 최종적인 방사칙 도출의 시도는, Rayleigh-Jeans에 의해 1905년에 보고되었는데, 공동(空洞) 속의 전자파 진도 모드에의 에너지 분배에 연속적인 에너지 등배칙을 이용한 것으로, λT가 극히 큰 경우에만 실험결과와 일치했다. 1900년에, 에너지 분배에 이산적 생각을 도입한 Planck는 Planck의 정수를 정의하여 실험과 멋지게 일치하는 방사칙을 발표하였고, 결국은 그것이 열방사에 관한 논쟁에 종지부를 찍는 결과가 된다. 이어서 나타난 Einstein의 광양자설과 함께 그의 공헌이 양자론의 원류가 되어, 양자역학을 중심으로 한 근대물리학으로 발전해 나간다.

이렇게, 가열물체에서 나오는 방사광 물질의 정량적 해명은, 물질은 왜 빛을 발하는가. 또 왜 빛을 흡수하는가 등, 빛과 물질의 상호작용을 논하는 분광학의 확립으로 이어진다. 그러나, 분광적 수법은 17세기 후반부터 이미 사용되어 온 것으로, Herschel의 적외선 발견도 단순한 우연의 일치가 아니라, 그가 태양광의 분광관측 도상에서 얻는 견해이다. 그 후의 열전대나 보로미터의 발명이 적외분광측정에 박차를 가해, 열방사이론 발전도상에 중요한 실증수단으로서, 프리즘이나 회절격자 등 분산소자와 함께 크게 공헌했다. 또, 자외·가시역에서의 분광수법도, 1860년의 발광분광분석법의 확립에서도 알 수 있듯이, 광방사와 물질의 관계는 이미 정성적이지만 밝혀져 있었다.

Ⅱ. 열방사와 방사율

적외선의 열에너지 이용에 있어서나, 응용계측에의 이용에 있어서나 기본이 되는 것은

열방사의 흐름의 파악이다. 그것을 위해서는 Planck의 흑체방사식과, 방사율 및 그것을 정의하는 Kirchhoff의 법칙을 알아두는 것이 좋다. Planck의 식에서는 고전론으로부터 도출된 열방사에 관한 모든 식이 근사식의 형태로 유도되기 때문이다. Kirchhoff의 법칙은, 방사열 평형에 있는 물질이 방사하는 방사에너지와 흡수율의 비율은, 온도와 파장만의 관수에서 물질의 종류와 무관하다는 것이다. 이것은 열역학의 제2법칙에 나오는 것이다.

이 법칙에 기초하여, 물체의 열방사의 방사발산도와 그 온도의 흑체 방사발산도와의 비(比)는 방사율이라고 정의되는데, 그 값은 파장, 방사의 방향, 편광성분에 따라 다르다. 파장을 패러미터로 하는 방사율을 본광방사율 $\varepsilon(\lambda, T)$라고 부르며,

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} \Big/ \frac{dR_{bb}(\lambda, T)}{d\lambda} \qquad (1)$$

로 표시한다. 여기에서 $R(\lambda,T)$, $Rbb(\lambda.T)$는 각각 대상물과 흑체의 동일온도 T에 대한 분광방사발산도이다. 위의 식을 전파장에서 정의한

$$\varepsilon(T) = \int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda,T)\, d\lambda \qquad (2)$$

를 전방사율이라고 부리고, 온도의 관수의 된다. Kirchhoff의 법칙에 의해, 열평행 하에서는 모든 흡수율 α와 모든 방사 ε는 같고, 또 분광흡수율 $\alpha(\lambda)$와 분광방사율 $\varepsilon(\lambda)$는 같다. 평탄한 표면을 가진 순수물질에서는 $\varepsilon(\lambda)$는 물성정수를 반영하는데, 표면형상에 따라서도 크게 다르다는 점을 잊어서는 안된다. $R(\lambda)$을 분광반사율로 했을 때,

$$\left.\begin{array}{l} \text{黒体} : \ \varepsilon(\lambda) = 1 \\ \text{不透明体} : \ \varepsilon(\lambda) = 1 - R(\lambda) \\ \text{完全反射体} : \ \varepsilon(\lambda) = 0 \end{array}\right\} \qquad (3)$$

이다.

굴절율 n의 유전체의 분광방사율 $\varepsilon(\lambda)$는, 수직방향 반사율 $R(\lambda)$을 이용하여

$$\varepsilon(\lambda) = 1 - R(\lambda) = \frac{4n(\lambda)}{[1+n(\lambda)]^2} \qquad (4)$$

또, 금속인 $\varepsilon(\lambda)$는 ω를 방사파의 각진동수, μ를 자기감수율, c를 광속으로 했을 때,

$$\varepsilon(\lambda) = 1 - R(\lambda) = \sqrt{\frac{2\omega}{\lambda\mu c^2}} \qquad (5)$$

의 형태로 이끌려나간다. 그림1에 사람의 피부, 그림2에 유전체, 그림3에 금속인 $\varepsilon(\lambda)$을

예시해 두었다. 기체인 경우에는 흡수 스펙트럼이 복잡해지지만, 근사적으로

$$\varepsilon\ (\lambda) = 1 - e^{-a(\lambda)x} \qquad (6)$$

이라고 생각하면 된다. 여기에서 $a(\lambda)$는 파장 λ에 대한 기체의 흡수계수, x는 흡수광로장(吸収光路長)이다.

III. 적외역에서의 분광기술

앞에서 기술한 바와 같이, 열방사의 실험적 해명을 위해, 19세기 중밥 이후부터 암염 프리즘이나 회절격자를 이용한 분광계측법이 이용되어 왔는데, 적외분광법의 확립을 이룬 것은 1905년 Coblentz에 의해 분자구조해석에 적외분광이 불가결한 수단이라는 것이 제창된 이후부터이다. 자외·가시분광기술이 일찍부터 진척되었던 것은, 인간이 가진 눈과 사진감광재 등 우수한 센서가 있었다는 것, 또, 단파장역에서는 광자에너지 $h\upsilon$가 크다는 점 등에 의한 것이다.

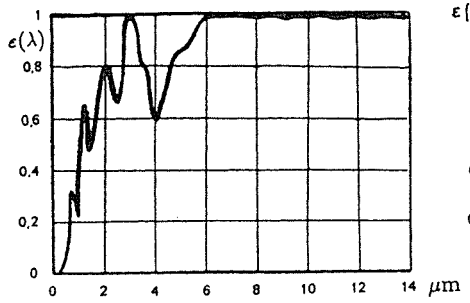

그림. 1 Spectral emissivity of human skin.

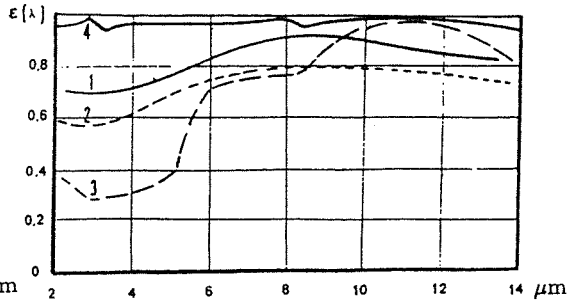

그림. 2 Spectral emissivity of dielectrics: 1-earth, 2-plastic materials, 3-magnesia, 4-water.

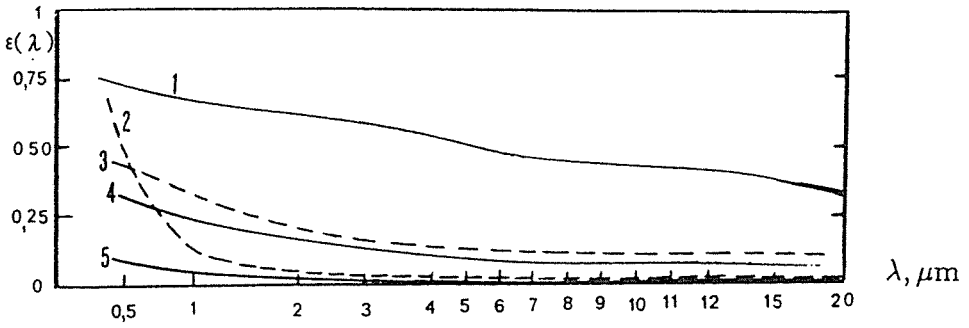

그림. 3 Spectral emissivity of electric conductors: 1-graphite, 2-copper, 3-iron, 4-aluminum, 5-silver.

적외역에서의 측정의 어려움은 흑체방사식으로도 추측할 수 있듯이, 상온물체로 둘러싸여 있는 우리들 주변은, 9 ~ 10㎛을 피크로 하는 스펙트럼 분포의 방사로 채워져 있다는 점으로, 극단적으로 말한다면 밝은 대낮에 별을 보는 것과 같은 것이다. 또 감도가 높은 적외센서가 좀처럼 출현되지 않았다는 점도 있을 것이다. 특히 분광측정의 경우는 측정에 걸리는 파장폭이 저절로 제한되어 한층 더 곤란해지는 것이 당연하다.

분광학은 빛(전자파)와 물질과의 상호작용을 해명하기 위한 학문으로, 적외방사를 다룰 때에도 물질의 미크로적인 움직임이 크게 작용한다. 그림4는 이 움직임과 전자파 영역과의 관계를 나타낸 것이다. 일반적으로는 가시역 파장의 긴 쪽인 파장 0.78㎛에서 1㎜까지의 사이를 적외역이라고 하며, 그 영역을 근적외(0.78 ~ 2.5㎛), 중적외(2.5 ~ 40㎛), 원적외(40㎛ ~ 1000㎛)으로 3분할하고 있는 것이 분광학에서의 정의이다. 그것은 분자의 진동·회전이라는 미크로한 움직임과 분광기술적인 면에서의 분류라고 할 수 있다.

다음에 제시된 그림5는, 중적외 영역에 나타나는 유기화합물의 진동 스팩틀럼의 예로서, 에틸알콜의 적외흡수 스팩트럼을 나타낸 것이다. 각 개소에 나타난 흡수 피크가 어떠한 진동 모드에 대응하는지 알 수 있다. 8㎛보다 단파장쪽에는 유기화합물 안에서의 주요한 원자단의 진동이 나타나며, 또 장파장 쪽은 각 화합물의 특징적인 진동이 나타나는 지문영역이라고 불리는 범위로 되어 있다. Table-1는 주요한 원자단의 흡수역을 표로 나타낸 것이다. 광분석 가운데, 적외분광측정이 중요한 위치를 차지하는 이유는, 흡수 피크파장 위치와 그 피크강도로부터 복잡한 화합물의 동정(同定)과 정량이 이루어지고, 또, 분자구조에 대해서도 많은 식견을 주기 때문이다. 2.5㎛보다 단파장쪽인 근적외역에서는 중적외역에 나타나는 진동의 배음(倍音)이나 결합음의 스팩트럼이, 또 40㎛이상의 원적외역에서는 분자의 회전스팩트럼이 나타나게 된다.

적외의 파장역에 대한 정의에는, 그밖에 적외건조가 시작되는 전열기술분야에 대한 분류, 리모트센싱 분야에서의 분류 등 여러 가지가 있는데, 각각의 분야에서 경험적·관용적인 명칭분류가 존재하는 것도 당연한 일이므로 너무 구애될 필요는 없을 것이다.

적외계측기술에는, 적외선 자체를 재는 기수로가 적외선으로 재는 기술이 있다. 전자는 자연 또는 인공물체로부터의 적외선 방사파워(절대치와 상대치), 파장(주파수), 편광상태, 코히렌스 등 기본적인 데이터를 얻기 위한 측정이고, 후자는 형상, 온도, 물질(투과, 반사, 산란, 분산 기타)등, 적외선을 이용하여 다른 물리·화학량을 간접적으로 측정하는 것을

가리킨다. 또, 후자는 조명용 외부인공광원을 필요로 하는 능동적 수단과, 대상으로부터의 자연방사를 이용하는 수동적 방법으로 나뉜다.

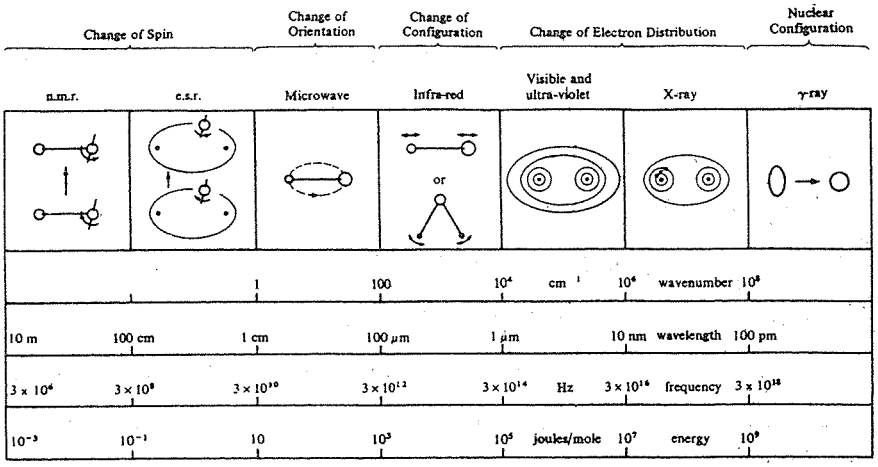

그림. 4 The region of the electromagnetic spectrum.

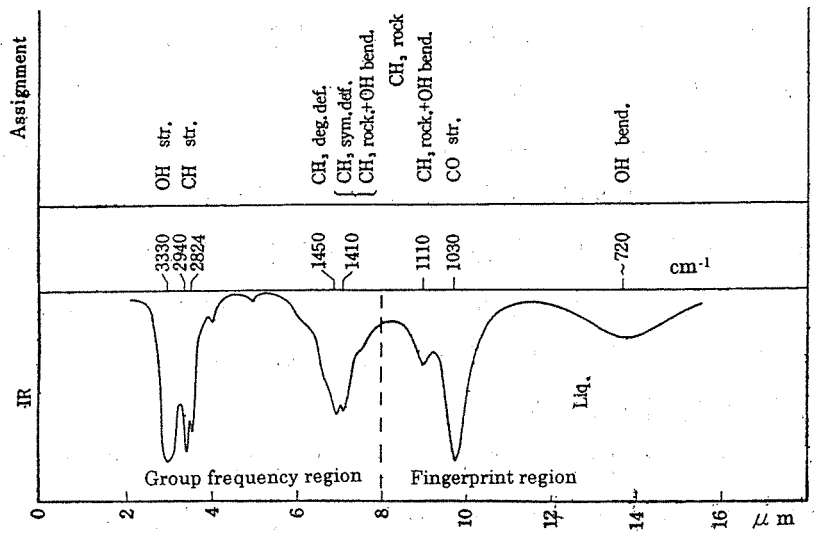

그림. 5 Infrared spectrum of methanol.

적외분광기기의 본격적 상용생산이 시작된 것은, 제 2 차 세계대전 말경의 석유화학공업을 위한 분석의 유용성이 인정된 이후로, 자동화된 적외분광 광도계가 속속 시장에 나오게 되었다. 이와는 별도로, 전쟁 중에는 비밀리에 녹트비전 등 암시병기가 제조되었는데, 분광기기로서의 형태를 가졌다고는 말하기 어렵다.

Table. Abbreviated table of group frequencies for organic groups.

Bond	Type of Compound	Frequency Range, cm^{-1}	Intensity
C—H	Alkanes	2850–2970	Strong
		1340–1470	Strong
C—H	Alkenes	3010–3095	Medium
		675–995	Strong
C—H	Alkynes (—C≡C—H)	3300	Strong
C—H	Aromatic rings	3010–3100	Medium
		690–900	Strong
O—H	Monomeric alcohols, phenols	3590–3650	Variable
	Hydrogen-bonded alcohols, phenols	3200–3600	Variable, sometimes broad
	Monomeric carboxylic acids	3500–3650	Medium
	Hydrogen-bonded carboxylic acids	2500–2700	Broad
N—H	Amines, amides	3300–3500	Medium
C=C	Alkenes	1610–1680	Variable
C=C	Aromatic rings	1500–1600	Variable
C≡C	Alkynes	2100–2260	Variable
C—N	Amines, amides	1180–1360	Strong
C≡N	Nitriles	2210–2280	Strong
C—O	Alcohols, ethers, carboxylic acids, esters	1050–1300	Strong
C=O	Aldehydes, ketones, carboxylic acids, esters	1690–1760	Strong
NO_2	Nitro compounds	1500–1570	Strong
		1300–1370	Strong

적외분광 광도계는 시료의 흡수와 반사 스팩트럼을 투과율이나 분광도 혹은 반사율의 형태로 자동기록하는 것으로, 당초는 분산소자로서 NaCl나 KBr 프리즘을, 또 검출기로서는 열전대나 보로미터를 채용한 기계적 파장주사형이었다. 또 유사한 구조를 가지며, 대상물로부터의 절대방사를 측정하는 적외분광 방사계도 소량이기는 하지만 시장공급되었다. 그 이후, 고성능 회절격자가 양산됨과 동시에 Golay셀과 초전센서 등 고감도 열혈 센서와 반도체를 이용한 양자형 센서가 출현, 탁상형이며 고성능인 적외분광 광도계가 보급되게 되었다. 최근에는 시판 적외분광 광도계의 대부분이 프리에 변형형(FT-IR)이 되었고, 특수용도를 위해서는 파장동조필터형 분광광도계도 실용화되었다. 현재, 회절격자를 분산계로 한 것은 근적외용으로 여기저기서 볼 수 있을 정도이다.

Ⅳ. 적외분광기기의 개요

위에서 기술한 것처럼, 현재 시판되고 있는 적외분광 광도계는 특수용도용을 제외하고는 전부 FT-IR로, 회절격자를 이용한 분산형은 모습을 감추고 말았다. 그 이유는 다음과 같다.

우선은 흑체방사식에서도 알 수 있듯이, 파장장역의 방사파워의 절대치를 높이기 위해서는 대상물(방사원)의 온도를 높일 필요가 있으며, 필연적으로 가시역 등 단파장 성분이

증대하여 여러 가지 방해를 한다는 것이다. 회절격자 분광계에서는 이것이 커다란 고차광 성분이 되는 결점이 있다. 방사원이 흑체에 가까운 것일 때, 장파장역의 1차광 파워 Pλ1 과 거기에 겹쳐지는 단파장 n차광의 파워Pλn의 관계는

$$\frac{W\lambda n}{W\lambda 1} = n^3 \frac{\eta\lambda n}{\eta\lambda 1} \qquad (7)$$

이 된다. 여기에서 N은 차수, η은 회절격자의 효율이다. 실제로는 $\eta\lambda n \fallingdotseq \eta\lambda 1$ 이므로, n차광 파워는 1차광의 n3배가 된다. 가령 가시·근적외역에서의 투과율이 0.001%인 필터를 삽입해도, 원적외역에서는 20% 이상의 위방사(偽放射)가 된다.

이렇게 원래 절대방사파워가 적은 적외역에서 모노크로메터를 파장주사하여 스팩트럼을 잡을 때, 주사의 순간에는 n개의 스팩트럼 엘리멘트 가운데 하나, 즉 전체 파워의 1/n밖에 이용되지 못하여, (n-1) 엘리멘트의 정보는 버려진다. 이에 대해, 같은 순간에 n엘리멘트 전부를 측정할 수 있는 FT-IR에서는, 모든 스팩트럼 측정시간이 같은 상태로 $\sqrt{n}$배 SN비가 향상한다(Fellgett의 이점). 또 분산형 분광계에서는 슬릿트가 필요하며, 파장분해를 높이려면 슬릿트를 좁게 해야 한다. 슬릿트 높이도 광학수차에 의해 제한되므로, 밝은 광학계를 만들 수 없다. FT-IR에서는 광학계에 2광속 간섭계와 입출사 원공(円孔)의 조합을 사용하기 위해 광속 이용율이 커지는(Jacquinot의 이점) 등의 이점이 있기 때문이다.

그러면 무슨 까닭으로 적외역에서 FT-IR의 보급이 정착된 것일까. 우선은, 프리에 분광장치의 주광학계인 2광속 간섭계부에서 파장의 1/10보다 더 정밀한 기계구동기구가 필요하며, 장파장에서는 당연히 유리하다는 점, 그 다음으로 위의 Fellgett의 이점은, 계(系)의 잡음성분이 센서 잡음에 지배될 때 성립되는데, 적외센서의 대부분이 이 조건을 만족시킨다는 점 등을 생각할 수 있다. 그렇지만 FT-IR에서는 분광계 주요부는 2광속 간섭계이며, 광파의 자기상관관수를 구하는 작용을 할 뿐이다. 이 관수를 n점에서 프리에 변환함으로써 비로소 빛의 파워스팩트럼이 얻어진다. FT-IR의 정착은, 컴퓨터의 보급이 있고서야 가능해졌다는 것을 잊어서는 안된다.

(1) 필터형 분광기기

Fabry-Perot형 다광속 간섭계를 원리로 하는 다층막 간섭 필터는 1.25~15.2㎛의 적외역에서도 입수할 수 있게 되었다. 이 필터 두께를 빗 구조로 하여 조사위치의 변화가 투과파

장에 대응하도록 한 가변파장 필터도 시판되고 있으며, 생산라인용 간이 소형 적외분광 광도계로 사용되고 있다. 그림6에 원형회전형 필터의 구조와 그 분광특성을 나타내었다. 그림7은 그것을 이용한 모니터용 적외분광 광도계의 구성 예이다.

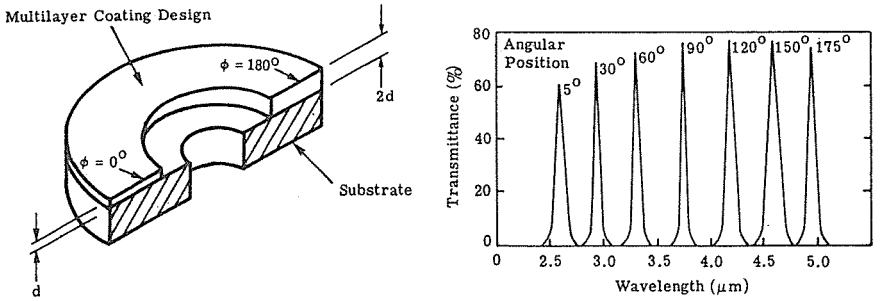

그림. 6 Design of circular variable filter and typical tunable characteristics.

마찬가지로 소형 분광모니터용으로서 빛과 초음파의 상호작용을 이용한 음향광학 동조 필터(Acousto-Optical Tunablr Filter : AOTF)를 채용한 것이 있고, 가시·근적외역(400 ~ 4500nm)에서 사용되고 있다. 이것은 등방성 혹은 이방성 광학매체에 초음파를 가했을 때,

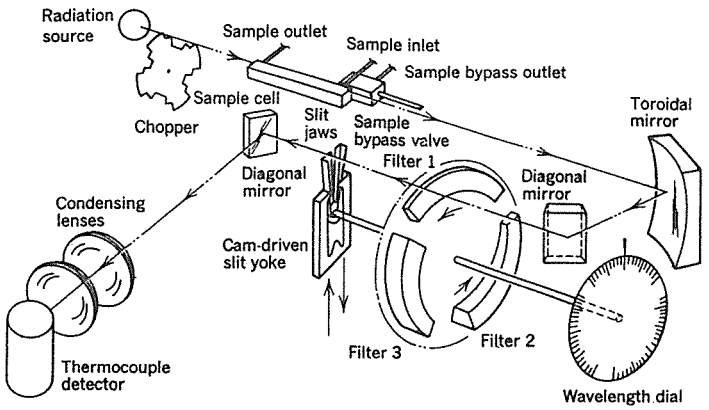

그림. 7 Optical construction of tunable filter spectrophotometer. (Beckman Co.)

내부에 생기는 공간격자로 입사광이 블랙회절을 일으키는 현상을 이용했다. 시판품은 수정, MgF_2TeO_2등의 이방성 광학결정에 의한 이방 블랙회절을 사용했다. 근적외에서는 오로지 TeO_2가 채용된다. 이 경우의 동조식은 λo를 동조파장, Δn을 복굴절율차, fa초음파 주파수, k를 정수로 하여,

$$\lambda o = (\Delta n / fa)\, k \qquad (8)$$

로 표기된다. 초음파의 주파수로서는 20 ~ 200Mhz가 사용되고 있고, 그림8에 그 동작과, 동

조 예를 나타내었다. 그림처럼 입사각과 회절각은 같아서는 안되며, ±1차 광은 서로 수직방향으로 진동하는 편광이 된다. 일반적으로 개구(開口)는 5×5㎟, 수용각은 5 ~ 6°이다.

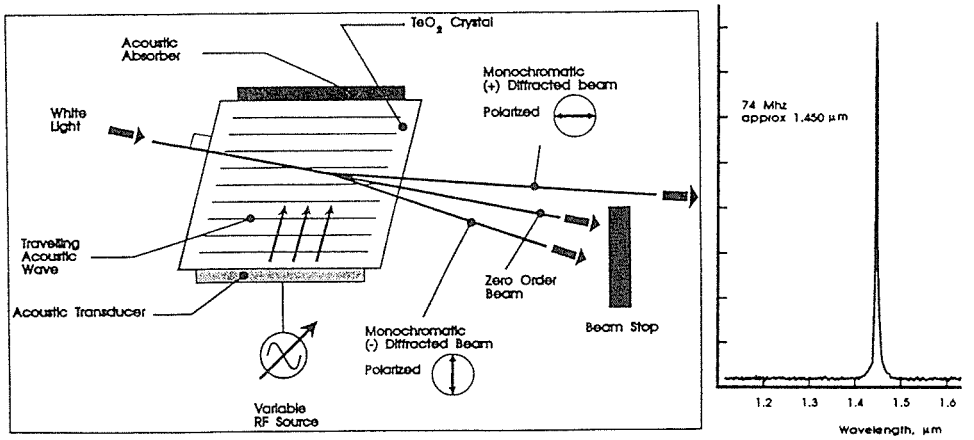

그림. 8 Operational princciple of AOTEand typical tuned output. (Brimrose Co.)

(2) 프리에 변환형 적외분광장치(FT-IR)

FT-IR의 특징 등에 대해서는 이미 언급했었는데, 여기에서는 원리적인 설명을 해 두겠다.

FT-IR는 그 이름대로, 프리에 변환이라는 수학적 처리를 매개로 분광조작을 하는 것이다. 회절격자를 분산소자로 한 분산형 분광계에서는 평행한 가는 홈에 의한 회절과 다광속의 간섭현상을 이용한다. FT-IR에서는 분산광학계를 이용하지 않고, 2광속 간섭계를 사용하기 때문에 그 자체가 분광작용을 갖지 않는다. 2광속 간섭계는 광파의 자기상관관수를 부여할 뿐이므로 그것을 프리에 변환함으로써 비로소 스팩트럼을 얻을 수 있다.

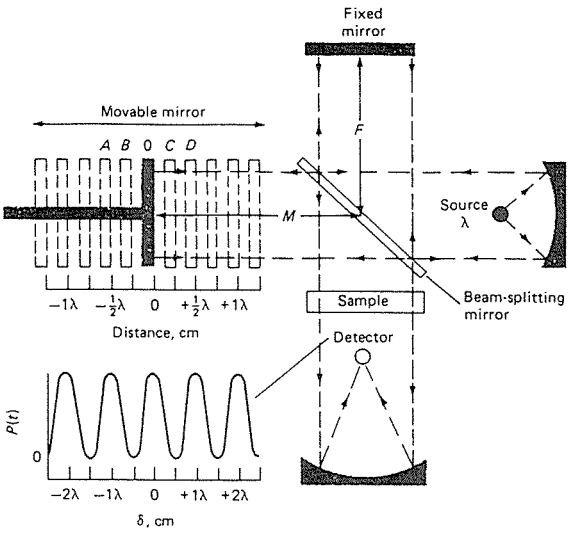

그림. 9 Operation of Michelson type interferometer.

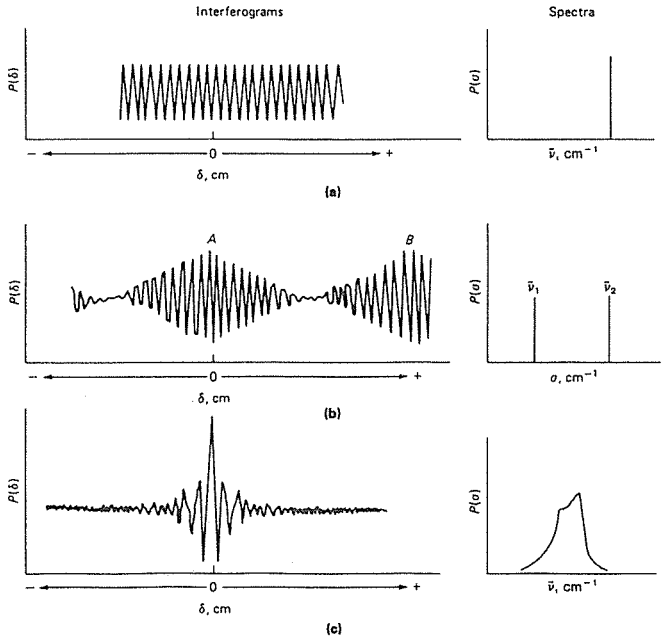

그림. 10 Comparison of interferogram and optical spectra.

그림9은 2 광속 간섭계의 대표라고 할 수 있는 Michelson간섭계를 나타낸 것인데, 시판되는 FT-IR 가운데에도 이것을 사용한 것이 많다. 단파수 υ의 방사를 입사시켜, 그림의 가동거울을 정밀하게 평행이동시켜 나가면, 센서 출력으로서 그림 속에 나타나 있듯이,

$$P = \frac{P_0}{2}(1+\cos 2\pi x\nu) \qquad (9)$$

형태의 간섭파 파형을 얻을 수 있다. 여기에서 x는 2광속간의 광로차(거울 변위량의 2배), P(x), P0는 방사의 입력과 출력 파워이다. 그림10은 입사하는 방사의 파수 엘리멘트를 늘여나갔을 때의 간섭파형의 변화를 나타낸다. 방사가 υ1 에서 υ2까지인 스팩트럼 분포 B(υ)를 가졌을 때, 위의 식은

$$P(x) = \int_{\nu 1}^{\nu 2} \frac{B(\nu)}{2}(1+\cos 2\pi x\nu)d\nu \qquad (10)$$

이 되고, 여기에서 평균치 유분(流分)을 뺀

$$I(x) = \frac{1}{2}\int_0^{\infty} B(\nu)\cos 2\pi x\nu \cdot d\nu \qquad (11)$$

을 인터페로그램(Interferograam)이라고 부르는데, 그것은 B(υ)의 여현변환의 형태를 취하고 있다. 이것을 일반화한 형태로 수학적으로 다루어, 인터페로그램 I(x)의 프리에 역변화으로 하여

$$B(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} I(x)e^{-j2\pi\nu x}dx \qquad (12)$$

의 형태로 스팩트럼을 얻을 수 있다.

에서의 이론적 분석파수 $\Delta\upsilon$는, 최대광로차 L에 대해 $\Delta\upsilon$=1/2L에서 주어지는데, 실제로는 $\Delta\upsilon$=1/L로 하는 경우가 많다. L=2㎝라면 0.5㎝-1의 분해를 갖게 된다. 인터페로그램을 컴퓨터에 입력할 때의 샘플링 신호로서, 안정화 가시 레이저의 간섭부에서 가동경 송출을 감시하고, 그곳으로부터의 출력을 이용하고 있다.

실제의 FT-IR에서는 입사 및 출사공을 이용하여 간섭고리 중앙부의 방사만을 사용하는 형태로 되어 있고, 빔스프리터도 KBr판에 Ge를 혹은 CaFe판에 Si를 증착한 것 등 적외역용을 채용하고 있다.

맺으며

적외분광법은 긴 역사는 갖고 있지만, 산업계에 정착한 것은 이제 겨우 반세기를 지났을 뿐이다. 그러나 전후 바로 수입된 수양의 적외분광 광도계에 놀라움을 금치 못했던 때를 생각하면, 지난 반세기 동안의 장족의 발전에 놀라지 않을 수 없다. 적외선 기술은 군사기술에 뒷받침되는 면도 강하여, 그 성과가 민간에게 다다르기까지 상당한 시간이 걸린다. 특히 적외 레이저, 적외광학재료, 센서 등의 진보는 현저하여, 숨어 있던 요소부품이 점차 시장에 등장할 것이다. 그것들을 평화산업에 어떻게 활용해나갈 것인가가 앞으로 우리들에게 부과된 책무이다.

참고문헌

- J.E.Stewart : "Infrared Spectroscopy"(Marcel Dekker, 1970).
- W.L.Wolfe and J.G.Zissis : "The Infrared Handbook"(Office of Naval Research, 1978)
- L.F.Pau and M.Y.El.Nahs : "An Introduction to IRImage Acquisition and Classification Systems" (Res. Studies Press, 1983)
- P.R.Griffiths and J. A. de Haseth : "Fourier Transform Infrared Spectroscopy" (John Wiley and Sons, 1986).
- C.L.Wyatt : "Electro-Optical System Design"(Mc. Graw-Hill, 1991).
- G.Gaussorgues : "Infrared Thermography (Chapman Hall, 1994).
- 南 合志編 : "분광기술 핸드북" (朝倉書店, 1990)
- 적외선기술연구회 편 : "적외선공학"(옴사, 1991)