

# 우리나라 전기산업계의 레이저 광기술 수용전략

(5)

姜 玟 鎬

韓國電氣通信公社 研究開發團長

## (마) 지중 송전 감시 시스템

지중 송전선에는 OF 케이블, CV 케이블, 가스절연 케이블 등이 있다. 이러한 케이블은 전력구나 관로에 포설되어 있으며 지락 등의 사고 발생시의 발생개소와 사고 양상을 정확히 파악하고 신속한 대응을 할 필요성이 높히 요구된다. 또 사고를 사전에 예지하기 위하여 케이블 특성이나 부대 설비의 정보를 수집하여 열화 경향을 추정하여 케이블의 신뢰성을 향상시키기 위한 시험을 하고 있다. 이러한 정보전송은 전력케이블에 병설하고 전자 유도 면에서 광섬유 케이블이 적합하다. 그림 2-29는 전력 케이블 감시 시스템의 개요를 나타낸 것으로서, 케이블의 접속개소에 지락 전류 검출기를 설치하여 사고구간의 판정을 실시하고 다음의 정보를 광전송 단말기를 통해 변전소에 전송하여 감시한다.

- a) 보수, 방재 관련 정보, 전력구, 기기의 온도, 수위, 불법 진입, 화재 점검, 가연성 가스 접지, 산소 농도
- b) 보조 설비의 감시 제어 정보, 환기, 배수 펌프, 소화설비, 조명, 냉각설비의
- c) ITV에 의한 정확한 상태 감시

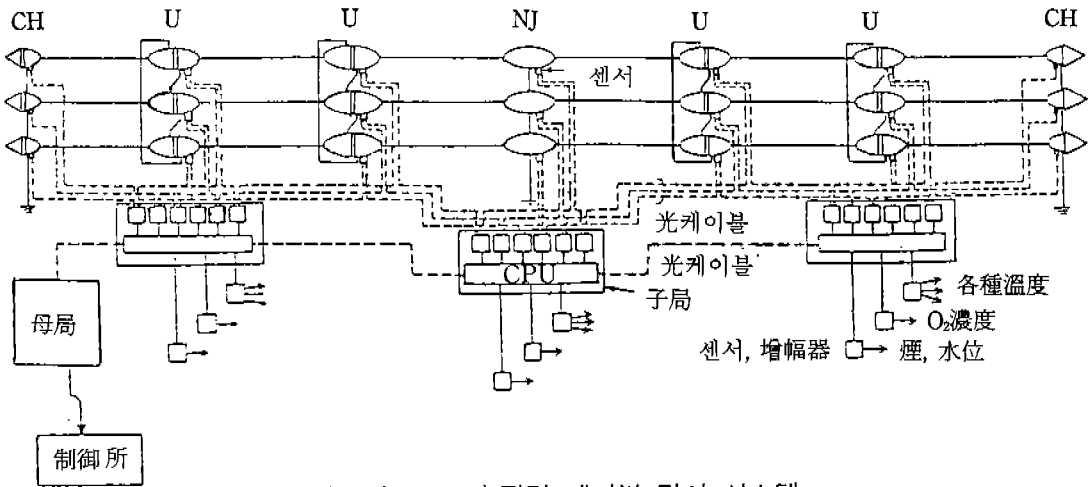
또 그림 2-30에서는 전력구내 감시 시스템의 개요를 나타내었다. 이 시스템의 특징은 다음과 같다.

- a) 전송로로 광섬유를 사용함으로써 전자유도의 영향을 받지 않는다.
- b) 화재, O<sub>2</sub>농도 정보 등에서 피난 유도 등의 제어를 행한다.
- c) 광자계 센서로 케이블 전류를 측정하여 전류의 위상차에서 사고 구간을 검출하고, 전자유도의 영향을 받지 않는 신뢰성이 높은 사고 구간 판정이 된다.
- d) 광 인터폰에 의한 선명한 통화가 가능하다.

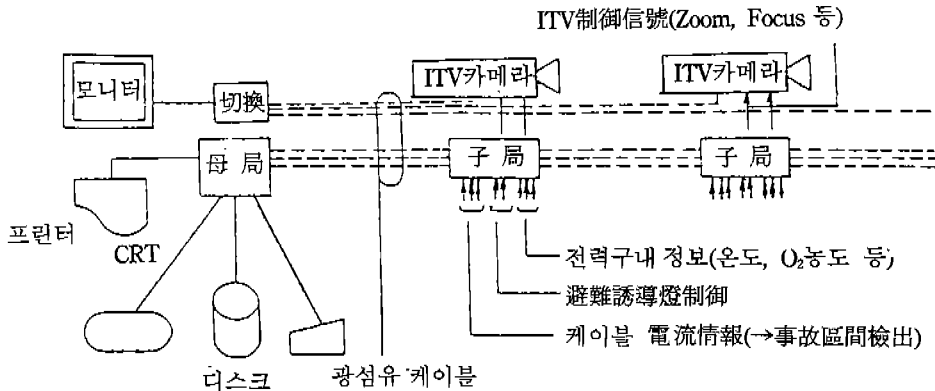
## (바) 배전계통 자동제어 시스템

배전계통에도 광기술을 응용하기 시작했다. 그림 2-31은 그 개요를 보였으며, 배전선의 간선에 따라 광섬유를 설치하여, 개폐기, 변압기, 부하 등의 각 제어점에서 각각의 단말기로부터 광센서에의 정보를 광중계 분기국을 통해 모국으로 보내는 기기를 제어한다. 구체적으로는 다음의 기능을 가지는 것이다.

- a) 광자계 센서에 의한 사고구간 검출, 사



〈그림 2-29〉 전력 케이블 감시 시스템



〈그림 2-30〉 전력구내 감시 시스템의 개요

- 고시의 차단기, 개폐기의 제어 등
- b) 센서에 의한 개폐기, 변압기, 부하 등의 전압, 전류의 계측 및 계통 절환 등의 자동부하 제어, 심야 부하제어, 주상설비의 투입 차단 등
- c) 자동점검

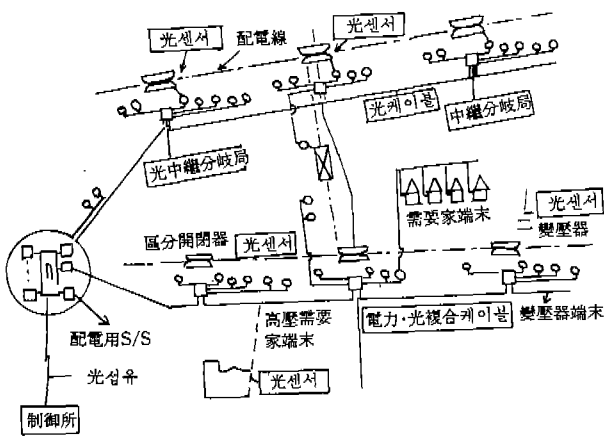
#### 다. 광섬유의 에너지 전송 활용<sup>(14,16,18,20)</sup>

##### (1) 개요

광섬유 에너지 전송이란 광섬유를 통하여 광에너지를 전송하는 기술이다. 전송된 광에

너지의 이용형태로서는 무유도 전원 전력 공급장치, 레이저 가공장치, 조명등에의 응용이 고려되고 있고 수송된 광의 종류로서는 무유도 전원공급 및 조명등의 평균적인 광에너지가 필요한 경우에는 연속광이 사용되며, 또 가공장치 등과 같이 큰 침투 에너지가 필요한 경우에는 펄스 광이 사용된다.

무유도 전원공급은 광기술로서 전체 시스템을 구상할 때 필수 불가결한 기술이다. 전력사업계에서는 광섬유 통신 기술 개발의 진전에 따라 전력 계통의 감시, 제어, 보호용 정보 전송의 고신뢰도화와 전력설비 보수용 계측



〈그림 2-31〉 광기술을 이용한 배전계통 자동화 모델

정보 수집의 효율화를 도모하기 위하여 무유도전송, 광대역의 특징을 갖는 광섬유 통신망을 대규모로 구성중에 있다. 또 계측 기술에 있어서도 광섬유의 고절연성을 이용한 광 CT, 광 PT 등의 광응용 계측기술의 도입에 대하여도 검토되고 있다. 이러한 광응용 계측기술 중에서 최후까지 문제로 되는 것은 전원공급 형태이다. 즉, 정보 전송로 및 전류, 전압 센서는 광섬유와 광학결정으로 구성되어 전자유도 잡음 등에 의한 장애는 문제시 되지 않지만 이것에 광을 공급하는 광증계기와 광원에는 필수적으로 전원장치가 필요하다. 동시에 이러한 전원은 서지와 유도를 받기 쉬운 환경에 설치된다. 따라서 광기술에 의한 전송·계측기술을 보다 더 고신뢰도화하기 위해서는 무유도 전원공급 방식을 개발할 필요가 있다. 고밀도 광에너지를 광섬유를 통하여 전송할 수 있다면 이 광을 이용하여 무유도 전원의 구성이 가능하게 되어, 전기적으로 외부와 완전히 차단된 전면적인 광 시스템 구성을 기할 수 있다. 더불어, 이 광에너지 전송이 통신용으로 쓰이는 수십  $\mu\text{m}$ 의 소구경 광섬유로 가능하다면 이미 설치된 광섬유가 정보 전송로로서 뿐만 아니라 광에너지 전송로로서도 이용 가능하게 된다.

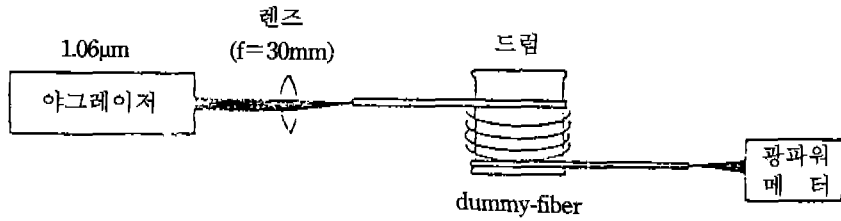
## (2) 광섬유에 의한 에너지 전송 실험에

### (가) 실험 방법

광섬유의 광 에너지 전송 능력을 측정하기 위한 실험 구성을 그림 2-32에 나타낸다. 광원으로는 파장  $1.06\mu\text{m}$ 인 야그레이저를 이용한다. 이 레이저는 단일모드 발진인 경우 CW(연속발진)에서 최대 12W, 또 Q-Switch 펄스 발진에서는 반복 주파수 3kHz(펄스폭 100 ns)에서 최대 8W 정도까지의 레이저 발진이 가능하다. 이 레이저광을 렌즈로 집광하여 광섬유 출사단에서 최대의 광강도가 얻어지도록 입사단을 조정하여 실험을 행한다. 전송용량 및 입사단에서의 온도 상승 측정의 경우에는 광파이버 출사단에서 광파워 미터에 의해 전송광량을 측정한다. 또, 전파 광펄스 측정 및 광스펙트럼 측정의 경우에는 출사광 강도가 측정기의 입력 한계를 초월하므로 출사빔을 확장하여 그 일부를 측정기 입력으로 하거나 감쇄기를 사용하여 측정기의 입력한계내로 조정하여 사용한다.

한편 레이저 가공기술 등과 같이 고밀도 에너지가 필요한 경우에도 저손실 광섬유에 의해 용이하게 임의의 개소에 공급이 가능하게 되면 로보트 등의 메카트로닉스 기술과 상호 협력하여 원자력 분야 등 그 이용범위가 점차 증가할 것으로 기대된다.

광섬유를 이용한 광 에너지 전송에 있어서는 앞서 서술한 레이저 가공기술, 레이저 메스, 광에너지에 의한 전화벨의 구동, 광섬유에 의한 광증계기에의 전원공급의 시험, 광섬유에 의한 태양광의 전송 등 여러분야에서 검토되고 있다. 그러나 이것들은 수백  $\mu\text{m}$ 의 대구경을 갖는 광섬유를 이용하기도 하나 통상의 경우는 광섬유를 묶은 bundle형 광섬유가 주로 이용된다. 즉, 지금까지 개발되어 온 광섬유는 대부분이 정보전송용이고 그 개발 주안점은 소출력의 레이저 광을 가능한한 원거리(저손실)에 동시에 넓은 전송대역(광대역)으로 전송하여 왜곡없이(저분산) 전달하는 것에 있으므로 저손실화 및 광대역화의 검토가 주였다. 따라서 에너지 전송용량이나 한계에 대한 연구실적이 아직 미미한 단계이다.



〈그림 2-32〉 광섬유에 의한 광에너지 전송실험 장치 구성

광섬유 에너지 전송에서는, 정보 전송에 있어서 고려하지 않았던 열적 파괴 현상, 광손상에 의한 파괴현상, 비선형 광학 현상 등에 의한 광에너지 전송효율의 변화 등에 대하여 검토할 필요가 있다. 이 경우, 동일한 광에너지량  $W_{av}$ (평균치)의 전송을 고려하면 연속광에 비해 광펄스는 그 침투 에너지( $W_p$ )가 현격하게 크게 되므로( $W_{av}$ =반복주파수×펄스반치폭× $W_p$ ) 광손상 및 비선형 광학 효과 등의 현상은 연구할 필요가 있다.

(나) 소구경 광섬유를 이용한 실험

실험에 사용한 광섬유의 종류와 패러미터를 표 2-5에 나타낸다. 광섬유의 종류로서는 코어 굴절률  $n_1$ 이 일정한 계단형(SI)과 코어 굴절률이 식 (2-9)에 따른 언덕형(GI)을 이용한다.

$$n^2(r) = \begin{cases} n_1^2 [1 - (gr)^a] = n_1^2 [1 - 2\Delta(r/a)^a], & r \leq a \\ n_2^2, & r > a \end{cases} \quad \dots(2-9)$$

$$\left. \begin{aligned} g &= \alpha \sqrt{2\Delta/a} \\ \Delta &= \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \\ NA &\approx \sqrt{2\Delta/n_1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-10)$$

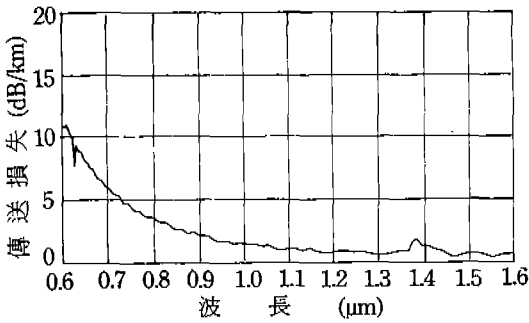
GI형 광섬유의 경우 통상  $\alpha=2$ 이고, 비굴절률차  $\Delta$ , NA 및  $n_1, n_2$ 와는 식 (2-10)의 관계로 된다. 또, 실험에 사용한 소구경 광섬유 전송손실 특성은 파장  $1.64\mu m$ 에서  $\approx 1.2dB/km$ 이다. 그림 2-33에 전송손실과 파장과의 관계를 나타낸다. 실험에 사용한 YAG레이저는 펄스 발진의 경우 반복주기를 3kHz라면 펄스반치폭은 100ns이다.

1) SI형 광섬유의 광에너지 전송능력  
(a) 10/125 SI형 광섬유

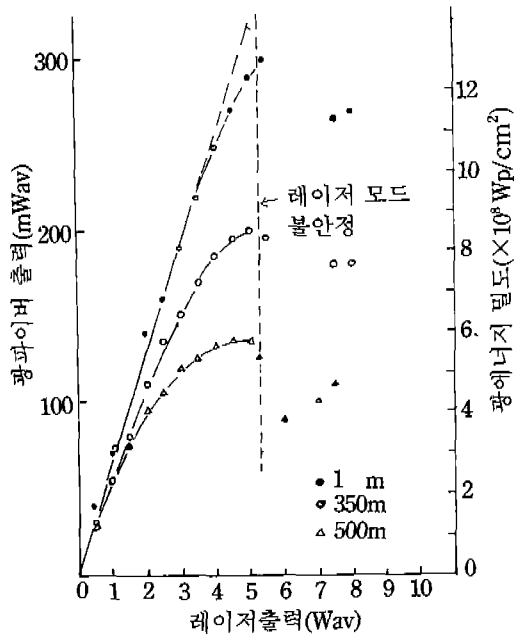
그림 2-34에 코어경  $10\mu m$  클래드경  $125\mu m$ 인  $1.3\mu m$  파장용 단일모드 광섬유에 대한 광에너지 전송 실험 결과를 나타낸다. 광섬유 길이가 1m인 경우 레이저 출력과 광섬유 출력과는 거의 비례 관계에 있지만 350m인 경

〈표 2-5〉 광섬유 패러미터

광 섬유 의 종 류	코아경 ( $\mu m$ )	NA	Nmax	V	Wo ( $\mu m$ )	Lp (mm)	손 실 (dB/km)
10/125 SI형	10	—	—	—	—	—	1.0 (1.3 $\mu m$ )
80/125 SI형	80	0.25	36	59.1	—	—	4.5 (0.85 $\mu m$ )
50/125 GI형	50	0.2	12	29.6	4.6	1.1	3.0 (0.85 $\mu m$ )
80/125 GI형	80	0.25	25	59.1	5.2	1.5	4.5 (0.85 $\mu m$ )
200/250 GI형	200	0.25	65	147.7	8.2	3.8	<10 (0.85 $\mu m$ )



<그림 2-33> 50/125μm GI형 광섬유 전송 손실



<그림 2-34> 10/125μm SI형 광섬유의 광 에너지 전송 능력

우에는 레이저 평균출력 2~3Wav부터 출력광 강도의 직선성이 무너짐을 알 수 있다.

10/125 SI형 광섬유의 광에너지 전송능력을 광섬유 길이 1m인 경우 입사효율 $\eta$ 은 비선형 광학효과가 생기지 않는 범위에서는  $\eta=0.07$ 이므로 식 (2-11)과 같이 된다.

$$W_l(w) = 0.07W_{av}(w) \times 10^{-\frac{\alpha}{10}l} \dots\dots\dots (2-11)$$

$l$ : 광섬유 길이(km)

$\alpha$ : 전송손실(dB/km)

또 입사단에서의 에너지 밀도 침투치는 최대  $\approx 1.29 \times 10^8 (Wp/cm^2)$ 가 얻어진다.

(b) 80/125 SI형 광섬유

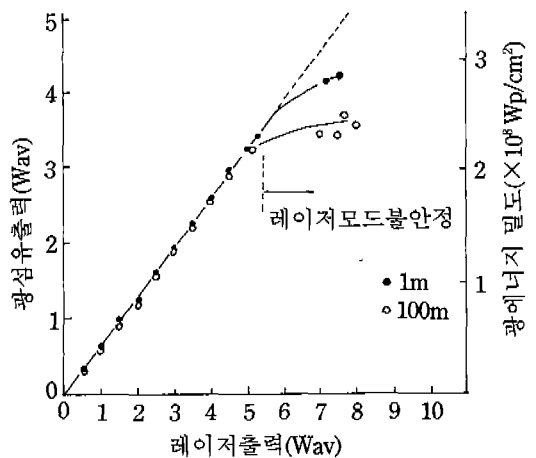
코어경이 80μm인 SI형 광섬유의 경우, 레이저 출력과 평균광섬유 출력(Wav)와의 관계를 그림 2-35에 나타낸다. 레이저 출력 5 Wav정도까지 광섬유길이 1m, 100m에 관계없이 광섬유 입출력은 거의 직선이고 입사효율  $\eta$ 는 0.81이다. 따라서 80/125 GI형 광섬유의 광에너지 전송능력은 식(2-12)와 같다.

$$W_l(w) = 0.64W_{av}(w) \times 10^{-\frac{\alpha}{10}l} \dots\dots\dots (2-12)$$

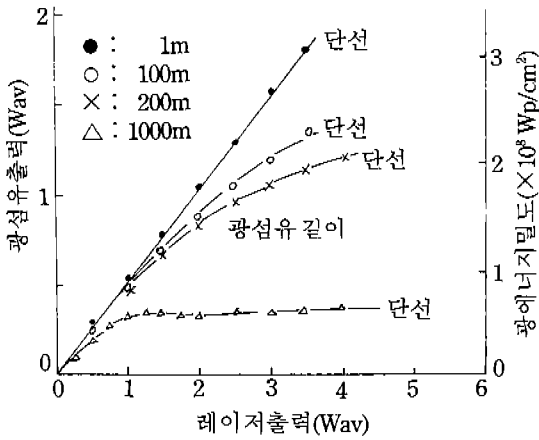
2) GI형 광섬유의 에너지 전송 능력

(a) 50/125 GI형 광섬유

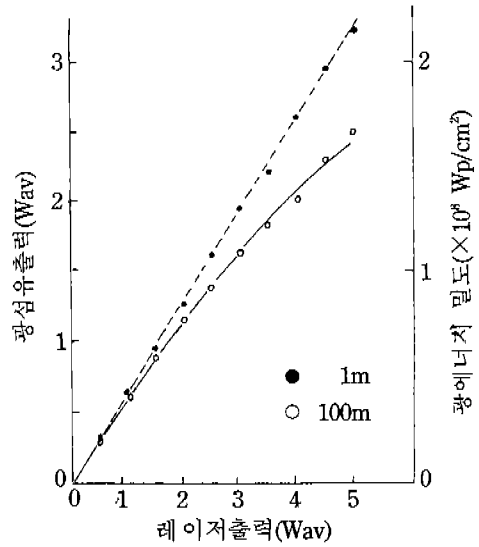
코어경 50μm, 클래드경 125μm인 50/125 GI형 광섬유의 1m, 100m, 200m, 1000m의 길이에 대한 광에너지 전송실험 결과를 그림 2-36에 나타낸다. 1m의 결과로부터 입사효율 $\eta$ 를 구하면  $\eta=0.64$ 가 된다. 따라서 광섬유 중에서의 비선형 광학효과가 발생하지 않는 정도의 광에너지를 전송하는 경우 전송광에너지는 식 (2-13)와 같이 된다.



<그림 2-35> 80/125 SI형 광섬유에너지 전송능력



〈그림 2-36〉 50/125 GI형 광섬유의 에너지 전송 능력



〈그림 2-37〉 80/125 GI형 광섬유의 에너지 전송 능력

$$W(w) = 0.64Wav(w) \times 10^{-\frac{\alpha}{10}l} \dots \dots \dots (2-13)$$

여기서 특징적인 사항은 SI형 광섬유에서는 광섬유 손상이 발생하지 않았던 레이저 출력 3.5~5W(첨두치 출력: 11.67~16.67kW)에서 광섬유 입사단에서 광섬유 손상이 발생한다는 점이고, 또 광섬유 길이가 1000m인 경우, 레이저 출력을 증가하여도, 전송 에너지가 약 0.4 W(광에너지 밀도  $\approx 0.68 \times 10^8 \text{ Wp/cm}^2$ )에서 포화한다는 점이다.

(b) 80/125 GI형 광섬유 전송 능력

그림 2-37은 80/125 $\mu\text{m}$  GI형 광섬유 1m 및 100m에 대한 광에너지 전송실험 결과이다. 이 경우 입사효율 $\eta$ 는 1m에 대한 결과에서  $\eta = 0.81$ 이 된다. 따라서 손실을  $\alpha(\text{dB/km})$ , 광섬유 길이를  $l(\text{km})$ 로 하면 식 (2-14)로 된다.

$$W(w) = 0.81Wav(w) \times 10^{-\frac{\alpha}{10}l} \dots \dots \dots (2-14)$$

또, 광섬유 손상은 레이저 출력 5W(W)일 때, 입사단에서 발생함을 알 수 있다.

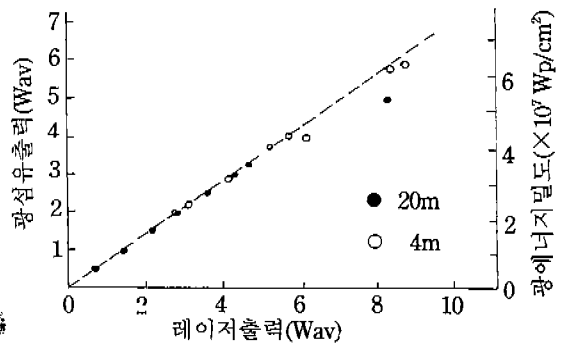
(c) 200/250 GI형 광섬유 전송 능력

(a), (b)는 광섬유 통신용으로 사용되고 있는 광섬유의 에너지 전송능력에 관한 실험 결과

이다. 그림 2-38은 광에너지 수송용으로서 개발된 코어경 200 $\mu\text{m}$ 인 200/250 GI형 광섬유에 대한 실험 결과이다. 4m에 대한 실험결과에서 입사효율 $\eta$ 를 구하면  $\eta = 0.9$ 가 되어 길이를  $l$ 로 하면 식 (2-15)로 된다.

$$W(w) = 0.9Wav(w) \times 10^{-\frac{\alpha}{10}l} \dots \dots \dots (2-15)$$

또, 10/125 SI형, 80/125 SI형 광섬유의 실험에 있어서 단거리(1m)인 경우에도 레이저 출력이 8(W) (반복주파수: 3kHz, 펄스폭 100 ns) 부근에 두면, 광섬유 출력이 레이저 출력



〈그림 2-38〉 200/250 GI형 광섬유의 에너지 전송 능력

〈표 2-6〉 입사효율과 최대 입사 광에너지 밀도

광섬유 종류	입 사 효 율	최대광에너지 밀도**	비 고
10/125 SI형	0.07	$>1.3 \times 10^9 (W/cm^2)$	실험장치 출력한계*
80/125 SI형	0.81	$>2.8 \times 10^8 (W/cm^2)$	실험장치 출력한계*
50/125 GI형	0.64	$3.1 \times 10^8 (W/cm^2)$	광섬유 단선
80/125 GI형	0.81	$2.2 \times 10^8 (W/cm^2)$	광섬유 단선
200/250 SI형	0.90	$6.5 \times 10^7 (W/cm^2)$	실험장치 출력한계*

\* 실험장치 : 야그레이저(스위치 펄스, 펄스 반복주기 3kHz, 펄스폭 100ns), 최대 평균 출력 8W

\*\* 최대 광에너지 밀도 = 최대입사광량/코어면적

5(Wav)의 경우에 비해 감소하는 현상이 일어난다. 그러나 200/250 GI형 광섬유의 경우에는 이러한 현상은 발생된 레이저 출력에 비례하여 광섬유 출력이 증가한다.

이상 코어경이 10 $\mu$ m, 50 $\mu$ m, 80 $\mu$ m인 광섬유 통신용으로서 개발된 광섬유와 코어경 200 $\mu$ m의 광섬유의 광에너지 전송특성을 실험적으로 검토한 결과를 요약 정리하였다. 이러한 광섬유의 입사효율 및 입사 에너지 밀도의 최대치를 표 2-6에 나타내었다.

### 3) 광섬유에 의한 에너지 공급의 가능성

레이저 가공에 필요한 에너지 밀도는 약 10<sup>7</sup> W/cm<sup>2</sup>정도이고 광증계기 등에 필요한 에너지는 연속광으로 통상 수 W정도 필요하므로 광섬유 에너지 전송 실험에서 알 수 있듯이 소구경 광섬유로도 충분히 전송 가능하기 때문에 소구경 광섬유에 의한 에너지 전송의 가능성이 기대된다.

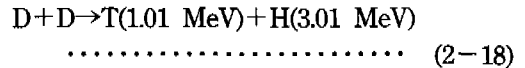
## 라. 레이저 핵융합(Laser Fusion)<sup>(19)</sup>

### (1) Fusion Process

원자핵은 거의 같은 질량의 양자와 중성자로 이루어져 있다. 양자는 정극성의 전하를 가지고 있으며 중성자는 그 이름이 의미하듯 전기적으로 중성이다. 중성자와 양자는 원자핵의 기본적인 구성체이기 때문에 중성자와 양자는 보통 "nucleon"이라 불려왔다. nucleon 사이의 힘이 coulomb type이라고 가정하면 양자사이의 반발력 때문에 nucleon들은 흩어질 수밖에

없을 것이다. 그러나 nucleon들은 원자핵내에서 단단히 뭉쳐 있으므로 nucleon 사이의 끌어당기는 힘이 존재하여야 한다. 실제로 매우 짧은 거리( $\leq 10^{-13}$ cm)에서는 nucleon사이에 매우 강한 인력이 존재하며, 이 힘은 nucleon의 전하량과 무관하다고 믿어진다. nucleon사이의 강한 인력때문에 원자핵을 그것의 nucleon으로 쪼개기 위해서는 일정한 양의 에너지를 공급해야 하는데 이 에너지를 원자력의 결합 에너지라 한다.

3중 수소(tritium) 핵을 형성하는 두개의 중양자(중수소의 원자핵)들이 반응하면 핵 반응은 아래와 같다.

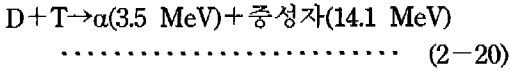


각 중수소핵의 결합 에너지는 2.23MeV이며 3중수소 핵의 결합 에너지는 8.48MeV이다. 그러므로 식(2-18)의 반응으로부터 결합 에너지면에서 4.02MeV의 실제적인 이득이 있다. 물리적으로는 느슨하게 결합된 계통은 단단하게 결합된 계통으로 가게 되어 에너지 방출이 생긴다. 이 에너지는 3중수소와 양자의 운동에너지 형태로 나타나게 되며 이것이 식 (2-18)의 괄호내의 에너지이다. 식 (2-18)과 같은 핵반응 즉, 두개의 느슨하게 결합된 가벼운 원자핵이 단단하게 결합된 더 무거운 원자핵을 생산해 내는 반응을 핵융합 반응이라 한다. 중수소와 삼중수소는 질량번호 2와 3을 가진 수소의 동위 원소이므로 식 (2-18)로 나타난 핵반응은 아래와 같이 나타낼 수 있다.



식 (2-19)에서  ${}_1\text{H}^1$ ,  ${}_1\text{H}^2$  및  ${}_1\text{H}^3$ 는 수소(양자), 중수소, 삼중수소의 원자핵을 의미하며 첨자는 원자핵내의 양자의 수를, 어깨글자는 원자핵내의 총 nucleon의 수를 나타낸다.

아래의 중수소→삼중수소 융합 반응은 가능한 열핵융합 전력원으로 매우 중요하다.



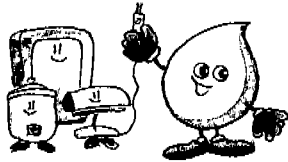
식 (2-20)에 나타난 바와 같이 방출되는 총에너지는 17.6MeV이다. 삼중수소는 자연에는 존재하지 않으며 삼중수소를 생산해내는 하나의 방법은 D-T 반응에서 방출되는 중성자와 리튬을 반응시켜 얻는 방법이다. 중수소는 물의 0.015%를 이루고 있기 때문에 충분히 많이 존재하나 핵융합 Reactor에서는 식 (2-20)의 D-T 반응을 사용하게 될 것이다. 그 이유는, 1억° K에서 D-T 반응이 일어날 확률은 D-D 반응이 일어날 확률보다 100배나 높으며 D-T반응에서 방출되는 에너지는 D-D반응에서 방출되는 에너지보다 4배나 되기 때문이다.

## (2) 레이저 핵융합로

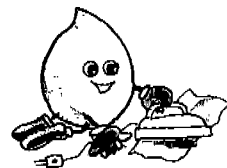
1970년대초에 미국의 과학자들은 그때까지 잘 알려진 magnetic confinement방법과 전혀 다른 레이저를 이용하여 플라즈마를 가열하고 Confine하는 실험을 시작하였다. 레이저 펄스 또는 빔을 같은 강도의 여러빔으로 쪼갠후, 이 쪼갠 빔을 증폭시켜서 렌즈와 거울을 이용하여 이들 빔들이 서로 다른 방향으로부터 조그만 지역에 focus되게 한다 (그림 1-7).중수소와 삼중수소를 플라스틱이나 유리로 만든 반경이 수 mm인 조그만 구형 용기에 담은 연료 소구(燃料小球)를 레이저빔과 교차하게 하여 소구 표면이 균일하게 빛을 받게 한다(그림 2-39).

레이저 펄스는 연료소구의 최 외곽층의 원자들을 거의 순간적으로 전리(ionize) 시키나, 소구의 일정한 임계반경 내부의 물질은 레이저 에너지가 침투하지 못한다. 결과적으로 입사 레이저 에너지는 중수소→삼중수소 연료를 둘러싼 밀도가 매우 높은 플라즈마층에 흡수된다. 가열된 플라즈마 층은 확산하게 되며, 소구의 나머지로부터 폭발하여 나가게 된다. 확산되는 플라즈마의 속도는 초당 1,000 km정도이다.

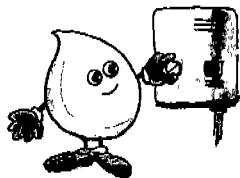
### 가정 에너지 절약요령



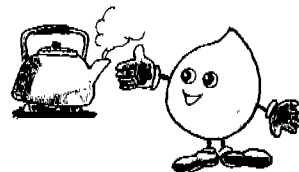
● TV등 가전제품을 사용하지 않을 때는 코드를 뽑아 놓읍시다.



● 다림질할 옷감은 모아서 한꺼번에 다리도록 하고 얇은 세탁물은 다리미의 진열로 다림시다.

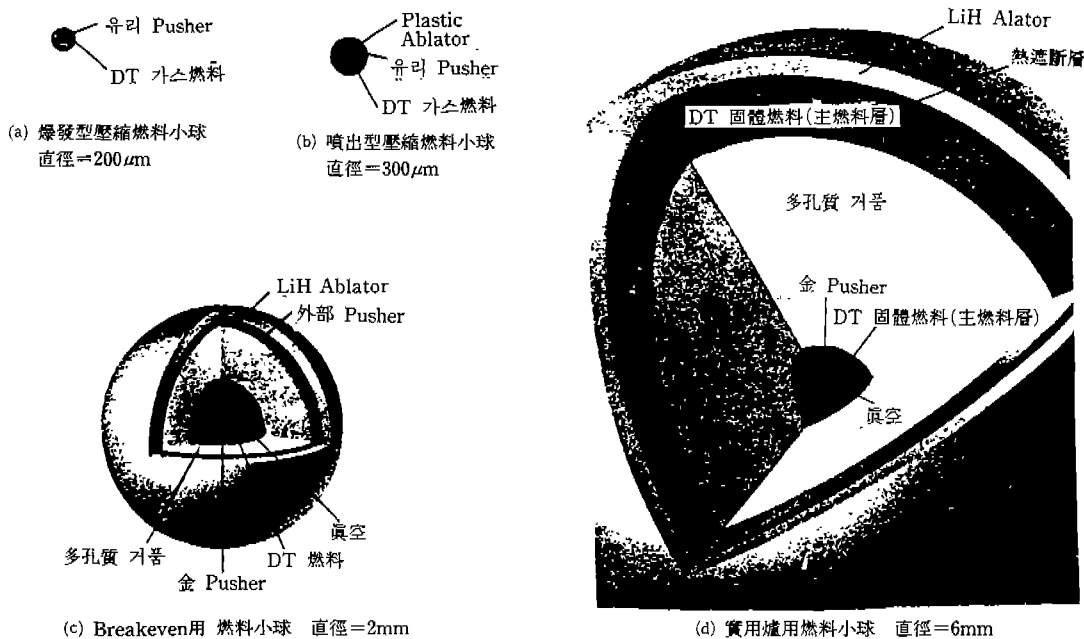


● 가스보일러나 온수기는 꼭 필요할 때만 켜고 화력조절장치를 적절히하여 열소모를 막읍시다.



● 조리기는 밑바닥이 넓은 것을 사용합니다.





〈그림 2-39〉燃料小球的構造

플라즈마층이 확산되어 나갈 때 플라즈마층 내부의 물질에 플라즈마 층에 작용하는 힘과 크기가 동일한 반대방향의 힘이 플라즈마 층 내부의 물질에 작용하여 이 물질을 압축하게 된다. 이것은 Newton의 제 3 운동법칙에 따라서 소구 주위의 확산되는 플라즈마에 의해 추진되는 로켓과 같은 원리이다. 중심으로 향하는 폭발력 때문에 소구는 수억분의 1초 이내에 초당 수백 km속도로 가속되게 된다. 소구의 반경은 1/50이하로 수축하게 되어 그 결과 온도가 높아지게 되고 연료의 밀도가 높아져 핵융합이 일어나게 된다.

레이저 핵융합발전을 실현하는데는 많은 문제점이 있으나 아래와 같은 사항이 가장 어려운 문제이며 현재 이들 분야에 많은 연구가 진행되고 있다.

- 1) 연료를 가열하여 연료가 흩어지기 전에 laser 에너지를 충분히 연료중앙에 공급하는 문제
- 2) 대출력 laser를 제작하는 문제
- 3) Target 설계(pellet 설계) 문제  
실험의 크기에 따라 연료 소구의 구조도

변하여 왔다. 초기에는 폭발형 압축을 지향하여 왔으나, 압축과정에서 연료가 가열되어 높은 플라즈마 밀도를 얻을 수가 없다(a). 따라서 가열을 피할 수 있는 噴出型壓縮法이 고려되었다(b).

大出力의 레이저 개발과 함께 현재는 더 개선된 연료소구가 필요하게 되었다. 연료를 초음속으로 압축하기 위하여 중심부를 진공으로 하고, 그 외부에 연료를 球殼상태로 만든다. 그 외부에는 多孔質의 polyform spacer를 만든다. 이것에 의해 입사하는 에너지와 핵융합에서 발생하는 에너지가 같게 되는 조건 (scientific break-even)을 지향하여 왔다. 여기서서는 비교적 낮은 出力의 레이저로서도 압축이 가능하다(c).

최종적인 實用爐用 燃料小球에서는 연료층은 상당히 바깥쪽에 위치하고, 中心의 바로 바깥의 연료층은 핵융합을 點火하기 위해서만 사용되는 高利得 연료소구이다(d). 이 연료소구의 반경은 최초의 폭발형 압축용의 것보다 30배이며, 레이저 出力도 높아졌다.

☞ 다음 호에 계속