

파이버 레이저의 원리 및 응용

1. 파이버 레이저(Fiber LASER)란?

1.1 레이저의 구성 및 원리

LASER(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)란, 외부의 자극에 의해 매질로부터 빛을 방출하게 하고, 공진기에 의해 증폭된 빛을 말한다. 펌핑소스는 매질에 빛을 공급하고, 외부 자극에 의해 매질로부터 유도 방출된 빛은 공진기의 반사미러에 의해 증폭된다. <그림 1>은 레이저의 기본 구성 및 원리를 나타낸다. 레이저는 매질, 공진기, 펌핑 소스로 구성 되고, 매질의 종류에 따라 레이저는 분류된다.

1.2 파이버 레이저의 개발 배경

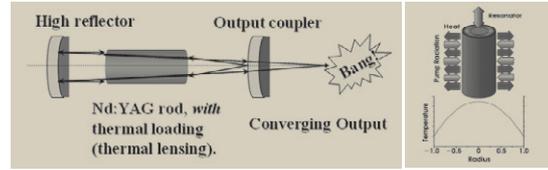


그림 2. rod-type 고체레이저의 열 영향 문제

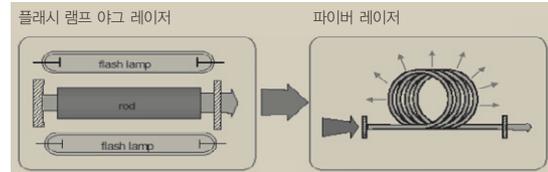


그림 3. 매질의 기하학적 변형 - 파이버레이저

자체가 볼록 렌즈로 작용하여(이러한 현상을 thermal lensing effect라 함) 레이저의 빔 품질과 출력의 저하현상 등의 불안정한 현상을 야기 시킨다.

특집 ■ 레이저 50주년특집 - 레이저의 발전과 응용

파이버 레이저의 원리 및 응용

Principle and Application of Fiber Lasers

한유희*

좋은 빔 품질의 고출력 레이저를 얻기 위해서는 매질의 냉각이 필수적이다. 그러나 고전적인 rod-type의 레이저는 <그림 2>와 같이 rod의 내부와 표면의 온도 차로 인해 rod

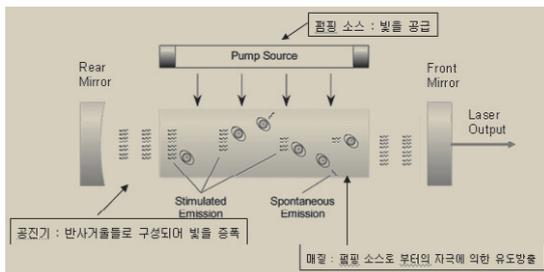


그림 1. 레이저의 기본 구성

이러한 현상을 줄이기 위해서는 매질의 냉각이 관건인데, 매질의 냉각을 용이하기 위해 <그림 3>과 같이 매질을 기하학적으로 변형하여 rod의 직경을 작게 하고, 길이를 길게 함으로서 체적에 대한 표면적 비율을 높여, 냉각 효율을 높이는 방식이 연구 되었는데, 이것이 파이버 레이저의 개발 배경이다.

1.3 파이버 레이저의 구성 및 원리

파이버 레이저는 <그림 4>와 같이 펌프 다이오드 레이저(Pump Diode Laser), 이터븀 액티브 파이버(Ytterbium

* IPG Photonics Korea Ltd.

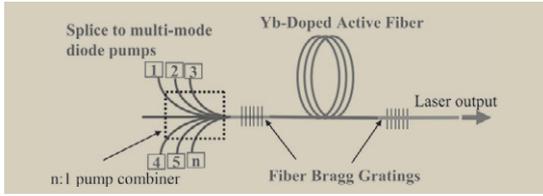
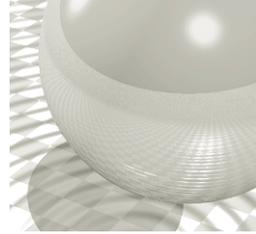


그림 4. 파이버 레이저의 구성

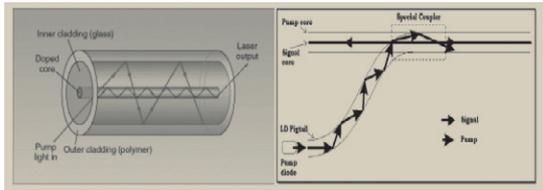


그림 5. 파이버 레이저의 클래드 평면

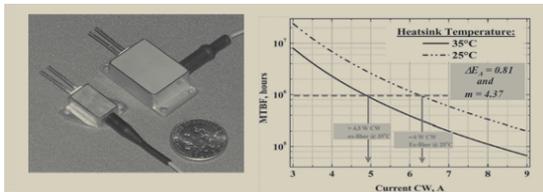


그림 6. IPG 펌프 다이오드

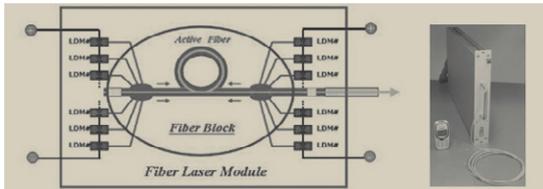


그림 7. 파이버 레이저 모듈의 구성

Active Fiber), FBG(Fiber Bragg Grating)로 구성되어 있다. 펌프 다이오드 레이저는 <그림 5>와 같이 파이버의 클래드를 통해 전파사하면서 파이버 코어에 흡수된다. 흡수된 빔은 빛을 방출하고, 거울 역할을 하는 FBG에 의해 빔이 증폭된다. 파이버 레이저는 빛의 펌핑에서부터 레이저 출력의 모든 과정이 파이버의 내부에서 이루어지기 때문에, 외부 충격에 강하고 광학계의 정렬이 필요 없는 것이 특징이다.

파이버 레이저는 펌핑 소스로서 <그림 6>과 같은 싱글 에미터 다이오드 레이저(single emitter diode)를 사용한다. IPG 다이오드는 광통신에 기초하고, 다양한 조건의 가속 테스트에 의해 10만 시간 이상의 수명을 보장한다. 각 고장에 대한 수리가 용이하고, 여러 개의 다이오드를 모아서 만든 다이오드바를 사용하는 것과 달리 하나의 다이오드가 고장 나더라도 실제 사용에는 영향을 주지 않는다.

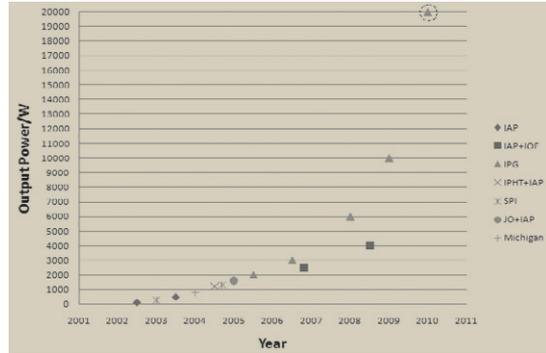


그림 8. Single Mode Fiber Laser 의 연도별 출력증가(1)

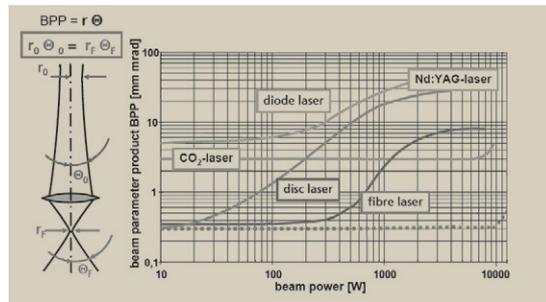


그림 9. 레이저 별 출력에 따른 빔의 품질⁽¹⁾

1.3.1 파이버 레이저의 내부 구성

<그림 7>과 같이 파이버 레이저는 소형의 모듈 개념으로 설계되어, 각 모듈을 직렬로 연결함으로써 파워를 증설하는 구조이다. 모두 파이버로 구성되어 있기 때문에, 열에 강하고, 먼지의 영향이 없으며, 정렬이 필요 없다. 다양한 출력을 갖는 레이저 모듈(400-1,500W) 생산되고 있다.

1.3.2 고출력 Single Mode Fiber Laser

<그림 8> 에서 보듯이 Single Mode Fiber Laser 의 개발 속도는 세계 유명 연구소 및 기업에서 출력 경쟁을 하고 있다. 2008년 중반부터 IPG Photonics 에서 독주하는 양상을 보이고 있다. 이는 2009년 이미 10kW 개발 및 상용화 2010년에 20kW 개발목표를 보면 명확히 알 수 있다. 이미 상용화된 레이저들의 빔의 품질을 비교하면 Fiber Laser 가 월등히 타 레이저 타입에 비해 우수함을 알 수 있다(<그림 9>).

고출력 Single Mode Fiber Laser 는 <그림 10>에서 보듯이 1018nm 파장을 갖는 300W 의 Single Mode Laser

파이버 레이저의 원리 및 응용

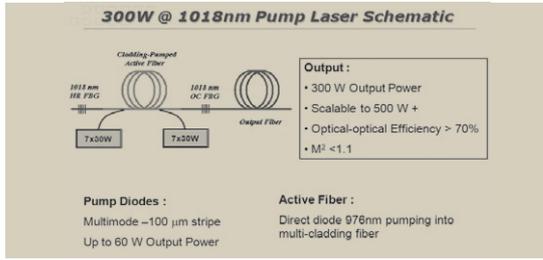


그림 10. 300W@1019nm Single Mode Fiber Laser Module의 Optical Configuration^[2]

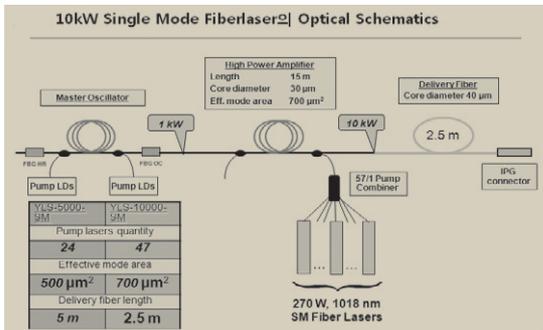


그림 11. 10kW Single Mode Fiber Laser 의 Optical Configuration^[2]

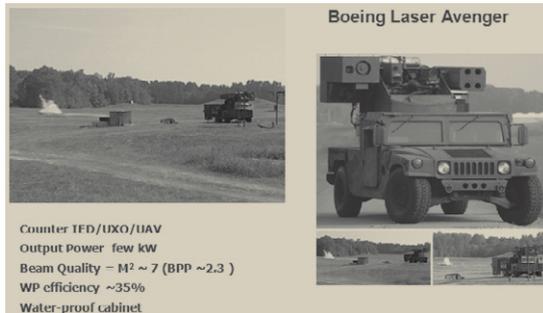


그림 12. Tactical Fiber Laser Application^[2]

를 이용하여 펌핑을 한다.^[2]

Single Mode Fiber Laser 의 용도는 우선 Defense Directed Energy Application 을 꼽을 수 있다. Strategic Directed Energy Application 은 유효사정거리가 10km 이상이며 100kW 보다 훨씬 큰 용량의 레이저가 필요하다. 반면에 Tactical Directed Energy Application 에선 100m 이상 10km 미만의 지역방어 목적이며 표적대상은 지역경제, 선박, 항공기 자위 그리고 대 IED, UXO 등을 들 수 있다. 여기에 사용되는 레이저는 좋은 빔 품질을 갖춘 10-100kW의 출력을 내야 한다. 다음은 비교적 근거리 목표물을 겨냥한 Boeing 사의 Avenger 가 나타나 있다(그림 12). 미사일 대신 레이저를 장착하여 근거리 목표물을 추



그림 13. Laser Area Defense System Phalanx equipped with IPG50kW Laser System^[2]

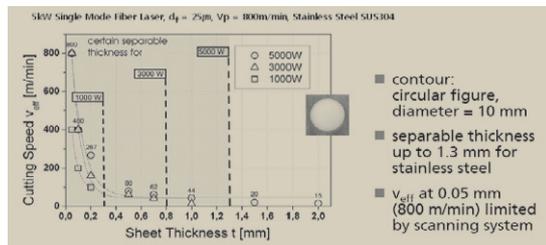


그림 14. Remote Cutting Overview-Cutting Speed and Separable Thickness^[3]

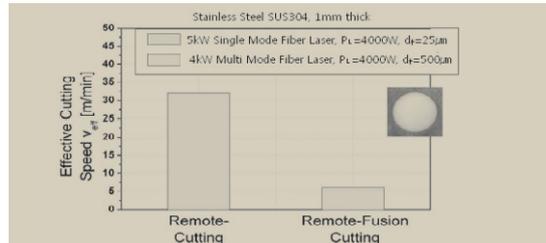


그림 15. Remote Cutting Vs. Remote-Fusion Cutting^[3]

적, 파괴하도록 설계되어 있다. Raytheon 사는 50kW Fiber Laser 로 지역방어 목적의 Phalanx System을 소개 하였다.^[2]

Single Mode Fiber Laser는 산업에서도 유용하게 활용 되고 있다. <그림 14>는 Remote Cutting에서 스테인레스 강판 절단 시 두께 별 절단 속도를 나타낸다. 5kW Single Mode Fiber Laser 사용 시 1.3mm 두께의 강판까지 절단이 가능하고, 0.05mm 철판은 분당 800m의 속도로 절단이 가능함을 알 수 있다. 이는 스캐너에 의한 한계 속도일 뿐, 이를 극복하면 절단 속도의 증가를 예상 할 수 있다.^[3]

<그림 15> 는 멀티모드 빔을 이용한 Remote Fusion Cutting과 Single Mode Beam 을 이용한 Remote Cutting 을 비교한 것으로 Single Mode 의 경우 우수한 빔의 품질을 가지고 있어 이로 인한 좁은 절단 폭으로 인해 절단 속

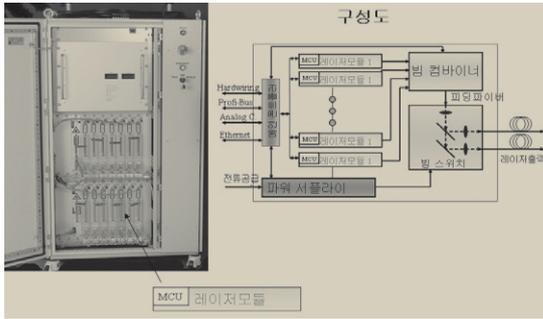
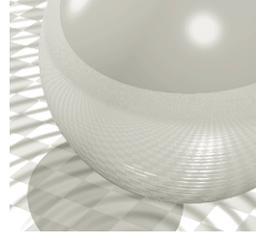


그림 16. 고휒력 파이버 레이저 (4k~50kW)

	Fiber Laser	Solid State Laser ²⁾	
	IPG Fiber Laser, 5kW	Disc Laser 4kW	DPSS Laser 4kW
BPP	5.7	8.8	17.5
M ²	16.8	26.0	52.0
Beam Profile (Caustic 2D)			
Beam Profile (Isometric 2D)			
Beam Profile (Isometric 3D)			

그림 17. 고휒력 레이저의 빔 특성 비교

도 면에서 비교를 허용하지 않을 정도로 빠르다.

1.3.3 고휒력 멀티모드 파이버레이저

<그림 16>은 고휒력 멀티모드 파이버 레이저의 구성을 나타내고 있다. 필요한 파워만큼 모듈을 증설하여 직렬로 연결하여 사용하고 있는 구조이다. 각 모듈에서 나온 레이저는 콤바이너(combiner)를 통해 하나의 피딩(Feeding) 파이버로 모아져서 출력된다. 이러한 피딩 파이버는 최종적으로 각 가공에 맞게 설계된 용접헤드 또는 절단 헤드와 연결하여 가공하게 된다. 또한, 한 대의 레이저로 다양한 가공을 필요로 하는 경우나, 작업 거리가 비교적 멀리 떨어져 있는 경우 최대 200m까지 사용가능하다.

2. 파이버 레이저의 특징 및 장점-재료가공 관점에서

2.1 성능

레이저 빔의 품질을 정의하기 위해 BPP(Beam Parameter Product : 빔 품질을 나타내는 척도로 BPP가 낮을수록 빔 품질이 좋다.)가 사용된다. <그림 17>와 같이 파이버 레이저는 월등한 빔 품질을 나타내기 때문에 실제 가공에서 생산성과 유연성을 갖는다. 빔 품질은 가공에서 초점 크기와 깊이에 직접적인 영향을 보이며 가공 효율을 결정한다. 빔 품질이 레이저 가공 효율을 결정하며, 빔 품질이 뛰어난 파이버 레이저가 용접, 절단 등의 가공에서 유리하다.

<그림 18>은 빔 품질이 다른 레이저를 실제 용접에 적용한 결과를 나타낸다. 빔 품질이 좋은 파이버 레이저는 초점 크기가 작고, 용접의 깊이가 크다. 따라서 초점을 작고 깊게 하기 위해서는 빔 품질이 좋은 레이저를 선택해야 한다.

2.2 유연성

<그림 19>과 같이 파이버 커플러를 사용함으로써, 피딩 파이버를 보호하고 실제 작업에서는 프로세스 파이버를 사용하게 된다. 프로세스 파이버가 손상을 받았을 경우, 커

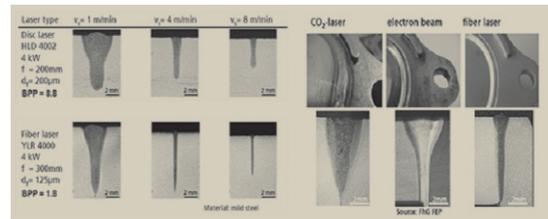


그림 18. 빔 품질에 따른 용접 결과

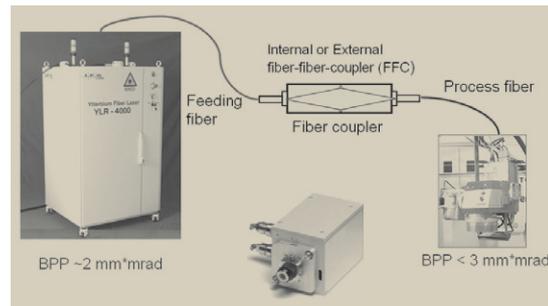


그림 19. 파이버 커플러를 사용한 예

파이버 레이저의 원리 및 응용

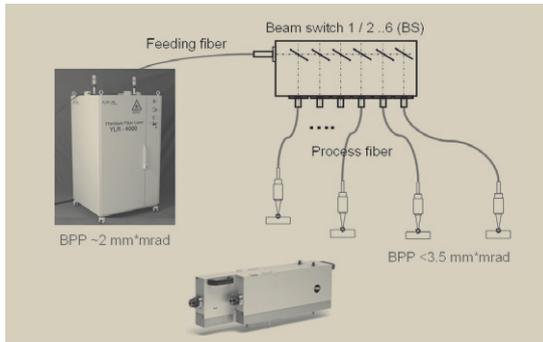


그림 20. 빔 스위치를 사용한 예

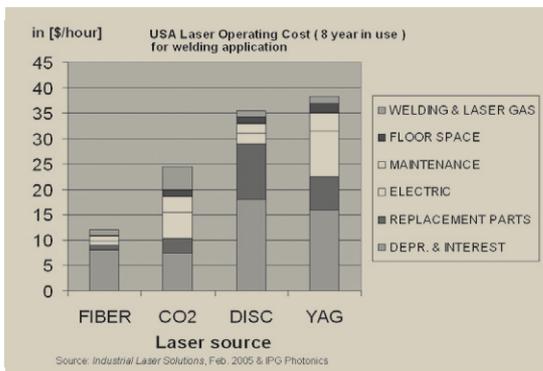


그림 21. 레이저 유지·보수 비용 비교

플링 손실 없이 쉽고 빠르게 교체할 수 있다.

<그림 20> 같이 빔 스위치를 사용함으로써, 피딩 파이버를 보호하고 빔 스위치에 의해 레이저의 사용 듀티를 증가시켜 작업 속도를 향상시킬 수 있고 한 대의 레이저로 다양한 가공을 한꺼번에 진행할 수 있는 이점이 있다. 실제 작업에는 프로세스 파이버가 사용되므로, 손상을 받았을 경우 손실 없이 쉽고 빠르게 교체할 수 있다.

2.3 경제성

파이버 레이저는 소모품이 없는 구조로 설계되었기 때문에 전기료 등과 같은 최소의 부대비용이 발생한다. 소모품이 발생하지 않고, 30% 이상의 효율(Wall Plug Efficiency)을 보장하기 때문에 전기료가 적고, 크기가 작기 때문에 공간적 이점이 있으며, 10만 시간 이상의 다이오드 수명을 갖고 있고 유지·보수가 필요 없는 개념으로 설계되었기 때문에 최소의 비용으로 운영할 수 있는 장점이 있다.

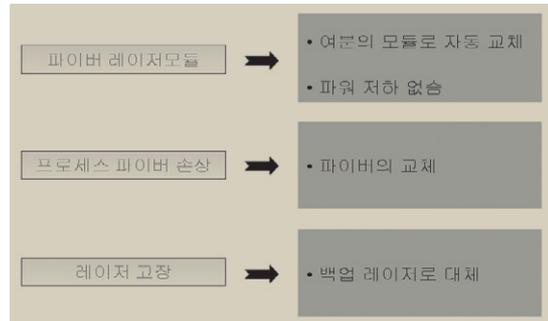


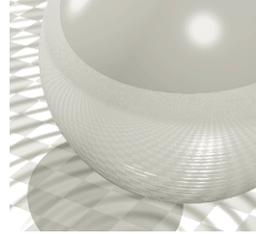
그림 22. 파이버 레이저의 유지·보수 항목

2.4 유지·보수

IPG 파이버 레이저는 유지·보수가 필요 없는 개념으로 설계 되어, <그림 22>와 같은 최소의 항목을 갖는다. 파이버 레이저는 여러 개의 모듈로 구성되어 있다. 특정 모듈의 고장 발생시, 예비 모듈로 자동적으로 교체되기 때문에 레이저 출력저하 없이 장비를 사용할 수 있다. 수리는 장비 휴식 중 모듈을 점검하고 필요에 따라 새로운 모듈로 교체할 수 있다. 로봇등과 같은 동적인 환경에서 사용되기 때문에 프로세스 파이버가 손상을 입을 수 있다. 정렬이 필요 없는 구조의 광 커플러와 파이버를 사용하기 때문에, 예비 파이버로 쉽고 빠르게 교체할 수 있다. 파이버 레이저는 사이즈가 작기 때문에 레이저 자체의 고장일 경우 백업 레이저를 보유하고 있다가 대체할 수 있는 장점이 있다.

3. Fiber Laser 시장 동향

2009년의 세계적인 경기 불황은 레이저산업을 비껴가지 않았다. 2009년 재료가공 분야 레이저 판매 실적을 보면 전년도에 비해 판매량이 43% 감소되었고 레이저 시스템의 경우 45% 감소하였다. 반면에 Fiber Laser 는 21%의 감소를 기록했다. 2010에는 경기가 다소 회복되고 있다는 조심스런 예측과 함께 레이저산업 전반에 걸쳐 15% 성장을 예측하고 있으나, 2008년 수준과는 거리가 먼 것을 알 수 있다. 재료가공 분야에서 Fiber Laser 점유율은 2008년 7%에서 2009년 9.5% 로 증가하였고, 반면 IPG Photonics 가 재료가공 분야에서 점유율이 다소 하락하였다(2008년 89%에서 2009년 85%).



2009 World Market For Fiber Lasers			
Area	All lasers (in USD millions)	Fiber Lasers (in USD millions)	Share % of Fiber Lasers
Materials Processing	1730	165	9.5%
Medical Therapy	360	20	5.5%
Other Application Areas*	3377	80	2.5%
Total	5467	265	4.8%

* Other application areas exclude telecom fiber amplifiers and comprise mainly graphics (flexographic printing), measurement, defense, R&D and laboratory.

Data source: Opotech Consulting, April 2010, Laser Focus World January 2010.

World Market Laser Materials Processing			
(in USD millions)			
	2008	2009	2010 (e)
Lasers	3060	1730	~2000
Laser Systems	9420	5240	~6000

Change % vs. prev. year			
	2009	2010 (e)	
Lasers	-43%		
Laser Systems	-45%	+15%	

Date source: Opotech Consulting, April 2010.

산업의 주역이 되어도 크게 놀라운 일이 아닐 것이다.

5. 참고문헌

- [1] Andreas Tünnermann : High repetition rate short pulse fiber lasers and amplifiers: Fundamentals and perspectives. 5th international workshop on fiber lasers. Dresden, 2009.
- [2] Dr. V. Gapontsev, V. Fomin, N. Platonov, V. Ivshin, O. Shkurikhin, M. O'Connor : Power Scaling of Fiber Lasers. SPIE Photonics West 2010.
- [3] Matthias Lüütke et al. : Recent Developments in Remote-Cutting. 5th International Workshop on Fiber Lasers. Dresden, Sep 30 - Oct 01, 2009.

4. 결론

파이버 레이저는 진동에 강한 특성과 빔 스위치를 이용한 유연한 작업성, 작은 사이즈는 파이버 빔전송을 이용한 효율적인 작업성을 지니고 있어 그 응용 분야가 방대하다.

또한 좋은 빔 품질과 높은 출력, 편리한 유저 인터페이스 등으로 부품 절단, 용접, 열처리, 클래딩, 마킹, 등의 기본적인 분야에서부터 자동차 생산라인, 조선 산업, 군사용등의 산업 및 방산분야 등에서 널리 사용되고 있다. 또한 통신 및 의료용과 유전 및 가스 개발, 원자력, 우주 항공 분야 등의 특수분야에까지 이르고 있다. 또한 그림23에서 보듯 출력증가 면에서 타 레이저와 비교되지 않을 정도로 가파르고 출력 면에선 종래의 기술의 한계를 극복했을 뿐 아니라 경제적인 측면에서 합리적인 가격과 저렴한 운용비는 고객의 층을 두텁게 하고 있다. 향후 Fiber Laser 가 레이저

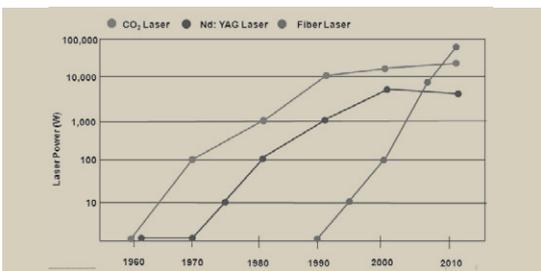


그림 23. 레이저 별 출력증가^[2]