

## 눈에 안전한 1.57 $\mu\text{m}$ OPO 광원 개발

송대찬, 박종대, 조창호

배재대학교 전산전자물리학과 (우) 302-735 대전시 서구 도마동 439-6  
jdpark@pcu.ac.kr

레이저 거리 측정기나 화생탐지 라이다용으로 사용할 수 있는 눈에 안전한 적외선 레이저 광원을 개발하였다. 펌프레이저로는 소형 플래쉬 램프로 구동되는 Nd:YAG 레이저를 사용하였으며, OPO(Optical Parametric Oscillator) 결정으로는 Flux 성장된 KTP를 사용하였다. OPO 공진기는 레이저 공진기 내부에 설치하여 비선형 광학 현상에 의한 파라메트릭 발진이 쉽게 일어나도록 하였다. 효율적인 파라메트릭 발진을 위해서 Type II 비임계 위상정합 ( $\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$ )을 사용하여 공진기를 구성하였다. Nd:YAG 레이저는 Cr:YAG 결정을 사용하여 수동형 큐스위칭 되었으며 OPO 출력은 1mJ 정도이었다. OPO 펄스폭은 4 ns 로서 수동형 큐스위칭 레이저 펄스폭보다 20% 정도로 작았다. OPO 출력의 펄스폭이 펌프레이저의 펄스폭 보다 작은 것은 이론적 계산을 통하여 확인할 수 있었다.

### I. 서 론

거리측정기나 라이다 광원으로 사용할 때 사용자의 시력 보호는 중요한 문제이다. 그림 1은 미국 ANSI 표준에 나와 있는 것을 그림으로 나타낸 것으로 시력에 가장 안전한 파장대역은  $1.55 \pm 0.5\mu\text{m}$  영역임을 알 수 있다. 이 파장의 빛은 망막에 도달하기 전에 눈 안에 있는 액체에 의해 대부분 흡수된다. 이 파장대역의 펄스형 레이저로는 Er:YAG 레이저 및 Nd:YAG 레이저를 이용한 KTP-OPO 가 있다.

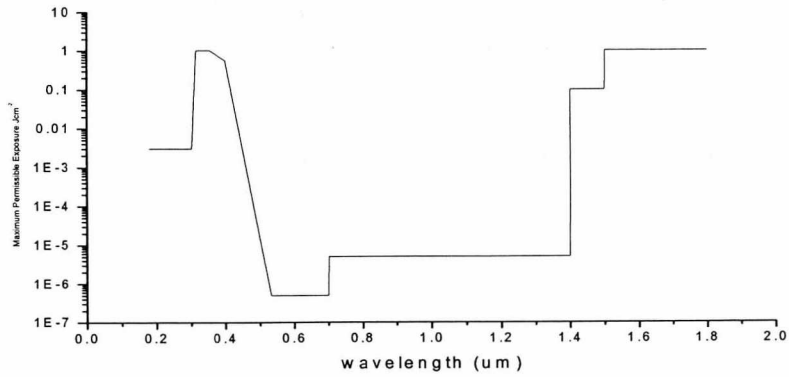


그림 1 눈에 최대 허용되는 빛 에너지 밀도  $J/cm^2$

본 연구에서는 비교적 제작이 쉬운 Nd:YAG 레이저를 사용하여 OPO를 구성하였다. OPO에 사용되는 결정은 KTP를 선택하였다. KTP는 그림 2에서 보는 바와 같이 매우 넓은 영역에서 투명하여 OPO나 제 2고조파 발생에 많이 이용되고 있다. KTP(Potassium Titanium Oxide Phosphate,  $KTiOPO_4$ )는 가시광선에서 적외선 영역에서 사용할 수 있는 저렴하고 효율적인 비선형 결정이다. 1064 nm에서 유효 비선형 광학 계수는 BBO보다 1.5배 크고 손상 문턱은 파장 1064 nm, 반복율 1Hz, 펄스폭 10 ns일 때  $1 GW/cm^2$  정도이다.

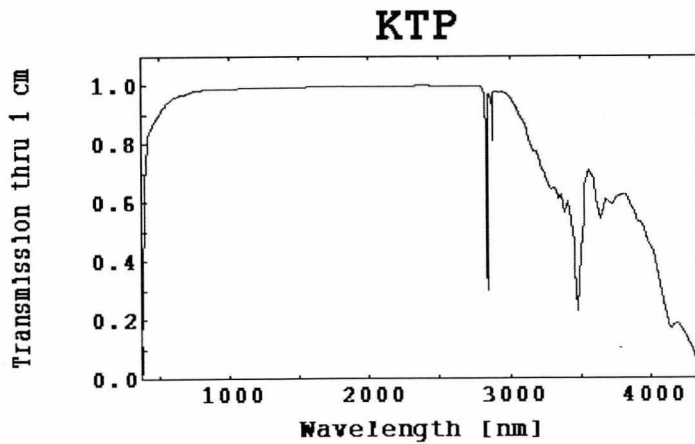


그림 2 KTP 결정의 파장에 따른 투과도

## II. 위상 정합

조화파 발생, 파라메트릭 발진에서와 같이 비선형 광학 현상을 이용하는 경우에는 위상 정합을 시켜 주는 것이 필요하다. 위상 정합은 구동하는 파동과 생성된 파동이 같은 위상 속도로 움직이도록 결정의 방향 및 온도를 조절하는 것을 의미한다.

같은 속도로 움직여야 발생된 파동들이 서로 위상이 맞게 되어 출력이 크게 된다.

일반적으로 파장이 다르면 굴절률이 다르기 때문에 파장이 다른 빛이 같은 속도로 움직이기는 어렵지만 복굴절을 가진 물질에서는 편광에 따라 굴절률이 달라지므로 위상 속도를 같게 할 수 있다. 위상 정합 방법에는 Type-I 과 Type-II 위상 정합 방법이 있다. Type-I 위상 정합 방법의 경우에는 펌프광이 정상광선이고 신호광선과 아이들러 광선은 이상광선이 된다. Type-I 위상 정합의 경우에는 결정의 각도에 따라 발생하는 신호의 파장이 달라지게 된다. Type-I 위상 정합에 의한 OPO는 결정의 각도에 따라 여러 파장을 만들어 낼 수 있으므로 파장 가변한 광원을 얻고자 할 때 이용할 수 있다. Type-I 위상 정합의 경우 Walk-off 이 존재하므로 공진기 내에서 사용하기 어려운데 서로 Walk-off 이 반대인 결정을 두개 사용하여 공진기 내에 사용할 수 있다. 그림 3과 4는 각각 Type-I과 Type-II의 신호 파장과 아이들러 파장을 보여준다.

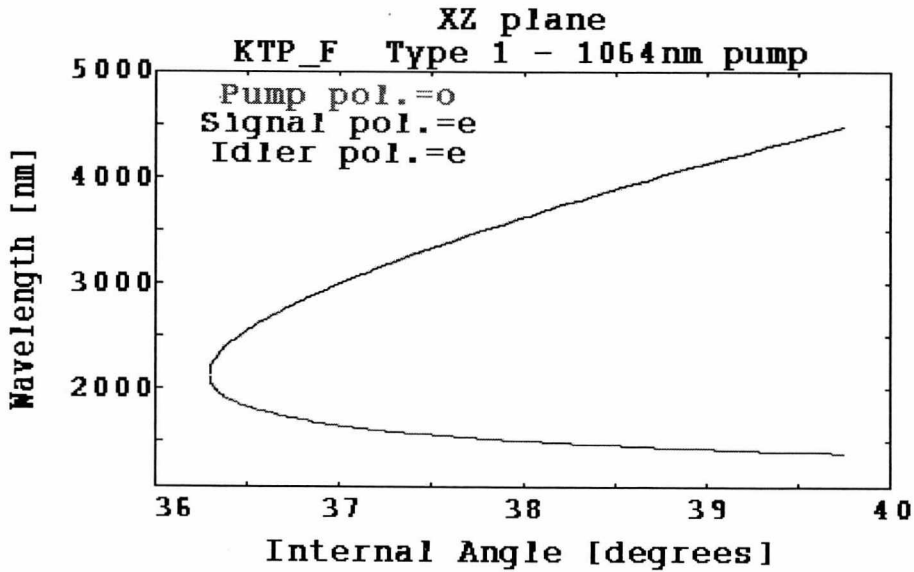


그림 3 KTP OPO 의 Type-I 위상 정합 각.

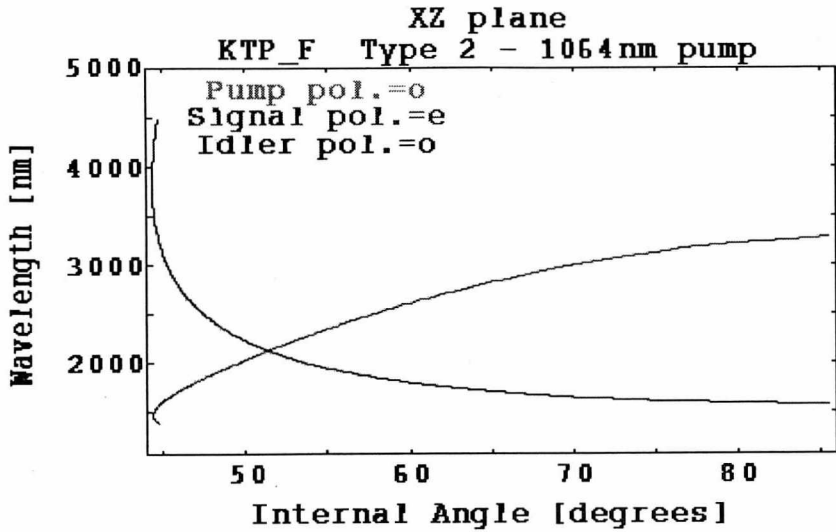


그림 4 KTP OPO 의 Type-II 위상 정합 각.

결정의 각도가 90도 부근이 되면 각도의 변화에 따라 파장의 변화가 거의 없게 된다. 즉 레이저 파장이 결정의 각도에 둔감하게 되는데 이를 non-critical 위상 정합이라고 한다.

### III. OPO 실험 및 결과

OPO는 강력한 레이저를 사용한 비선형 광학 현상을 이용한 것이다. 본 연구에서는 소형 플래시 램프에 의해 여기되는 Nd:YAG 레이저를 펌프광으로 사용하였다. 변환 효율을 높이기 위하여 내부 공진기 타입의 OPO를 구성하였다. 그림 5는 OPO 발생 장치의 개략도이다. 사용한 Nd:YAG 레이저 결정의 크기는  $\phi = 3mm$ , 길이 20 mm 인 것을 사용하였으며, 수동형 큐스위칭 소자로 사용한 Cr:YAG 는 Optical Density 가 0.3인 것을 사용하였다. OPO 결정으로 사용한 KTP는 크기가  $4 \times 4 \times 15 mm^3$  인 것을 사용하였고, 공진기 내에서 펌프광과 신호광의 동시 정렬을 위해 Non-critical phase-matching 이 되도록  $\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$  인 것을 사용하였다. OPO 출력경의 투과율은 약 15%인 것을 사용하였고 별도의 편광자는 사용하지 않았으며, KTP 결정의 온도는 별도로 제어하지는 않았다.

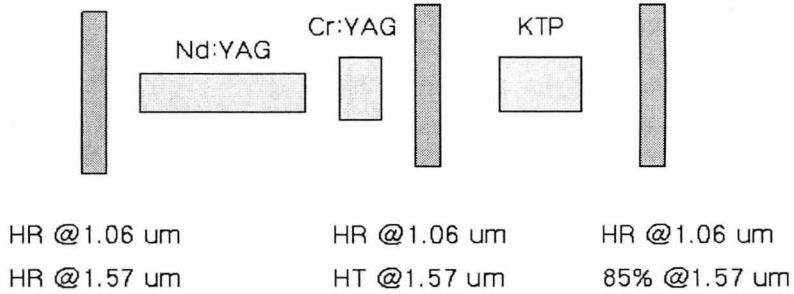


그림 5 OPO 발생 장치의 개략도

그림 6은 실험 장치 사진이다. OPO 결정은 미세 각도 조정이 가능하도록 하였으며, 레이저 정렬은 He-Ne 레이저를 사용하여 수행하였다. 1.57  $\mu\text{m}$  의 레이저 펄스폭을 측정하기 위해서는 Thorlabs 사의 InGaAs 광검출기 DET410/M을 구입하여 사용하였다. 이 InGaAs 광검출기의 검출 파장 대역은 800 nm-1800 nm 이고, 상승시간은 5 ns 이다.

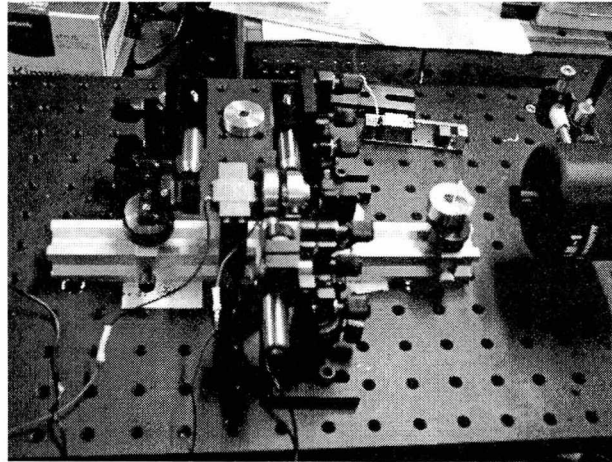


그림 6 실험 장치 사진

그림 7은 광검출기로 측정한 OPO 출력 펄스 파형이다. 펄스폭이 약 4 ns 정도인 것을 알 수 있다.

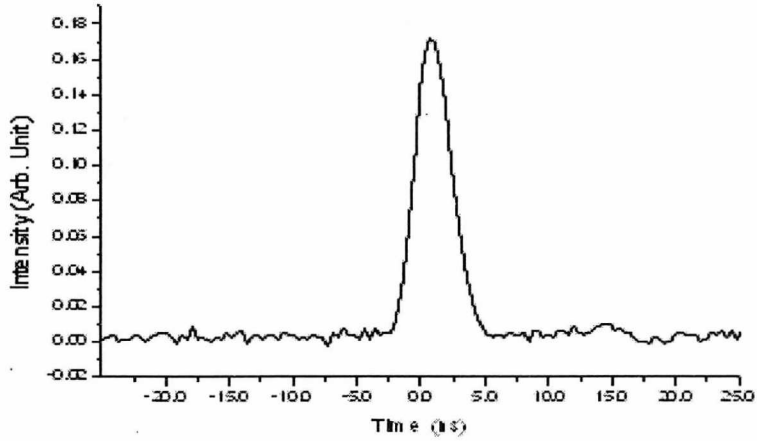
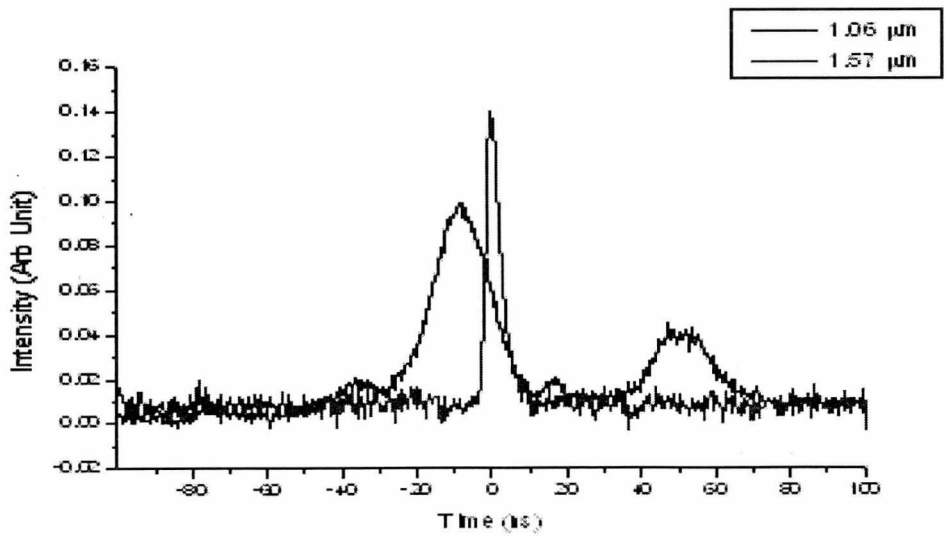


그림 7 광검출기로 측정된 OPO 출력 펄스 파형

그림 8은 펌프광과 OPO 광의 출력 파형 모습을 보여준다. 신호광이 펌프광에 비해 지연되어 발생함을 알 수 있다. 신호광의 출력은 약 1 mJ 정도 였다.



## IV. 결 론

본 연구에서는 눈에 안전한 1.57  $\mu\text{m}$  대역의 레이저를 OPO 기술을 이용하여 제작하였다. OPO에 사용한 비선형 광학 결정으로 KTP를 사용하였으며, 비임계 위상 정합 방식을 이용하였다. OPO 출력은 약 1 mJ 이었고 펄스폭은 4 ns 였다.

## 참고 문헌

1. M. Ebrahimzadeh, "Recent advances in optical parametric oscillators," Lasers and Electro-Optics Europe, 2003. CLEO/Europe. 240(2003).
2. M. Scheidt, K.-J. Boller, "Tunable noncritically phase-matched cw optical parametric oscillators of KTP" Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting, 1994. LEOS '94 Conference Proceedings. IEEE , Volume: 2 , 31 Oct.-3 Nov. 1994 Pages:334 - 335