

## Kerr cell을 이용한 옥소 레이저의 펄스폭 단축과 압축된 펄스의 증폭\*

조성호 · 조민식 · 최병일 · 남창희

한국과학기술원 물리학과

M. R. Motchalov

Russian Federal Nuclear Center

(1994년 6월 20일 받음)

Kerr cell 광스위치를 옥소 레이저 증폭단에서 짧은 펄스를 발생시키는 광절단기로서 그리고 이후의 증폭기들을 광학적으로 분리하는 격리기로 사용하였다. Kerr cell 양단에 인가된 전위차에 따른 편광의 회전에 의해 입사된 펄스를 자를 수 있음을 보였으며, 회로의 전기적 특성을 이용하여 케이블의 길이차에 의해 5 ns와 1 ns 펄스를 발생시켰다. 공진기에서 펄스폭이 긴 펄스가 발생한 경우 한개 이상의 단축된 출력 펄스가 발생함을 확인하였다. 또한 Kerr cell의 동작전압을 변화시켜 얻은 투과도를 Kerr 이론과 비교하였다. 단축된 펄스를 옥소레이저 전 증폭기를 통해 증폭하여 4 ns 펄스에서 2J의 출력을 얻어 0.5 GW의 최종출력을 얻었다.

### I. 서 론

광학적 등방 물질에 외부에서 강한 전기장을 가하면 복굴절을 일으키는 Kerr 전기광학 효과는 오래 전부터 알려져 왔으며, Kerr는 가한 전기장과 복굴절 정도의 상관 관계를 간단한 법칙으로 기술하였고 비선형 매질로 유리를 이용한 Kerr cell을 구성하여 Kerr 효과를 관측하였다.<sup>[1]</sup> Kerr cell에 높은 전압을 가하면 전장 크기의 제곱에 비례하여 매질의 유전상수나 굴절율의 비선형 성분이 변한다. 이러한 Kerr 효과가 큰 매질로 nitrobenzene, nitrotoluene, CS<sub>2</sub> 등의 액체가 발견되었으며, 1964년 Lee 등에 의해서 유기용매 혼합물에 대한 Kerr 상수가 보고되었고 분산관계 등이 연구되고 있다.<sup>[2-6]</sup>

Kerr 효과를 이용하여 Kerr 상수가 큰 용매, 두개의 수직인 편광판 그리고 전극으로써 Kerr cell을 구성할 수 있다. 이러한 성질을 이용하여 동작전압을 조절하면 스위칭이나 검출기 등의 전기광학 변조기로 쓰일 수 있다. 스위칭 응용의 한 예로서 Kerr cell과 편광판을 공진기에 삽입한 뒤 동작전압을 스위칭하면 Q-스위칭된

레이저 빔을 얻을 수 있다.<sup>[7]</sup> 또한 Kerr cell에 정현파(sinusoidal wave)를 가하고 digital lock-in technique과 결합하면 주파수 영역의 전기 복굴절 분광기를 구성할 수 있다.<sup>[8]</sup>

Kerr cell은 Pockels cell 등에 비해 동작 전압이 수십 KV 가량으로 비교적 높지만 보통 액체로 구성되므로 광단면적을 쉽게 증가시킬 수 있어서 두개의 수직인 편광판과 비선형 매질을 이용하여 다른 cell들에 비해 저렴하게 구성할 수 있다. 이 때 편광판으로 흔히 쓰이는 방해석의 굴절율  $n$ 을 비선형 매질의 ordinary와 extraordinary 굴절율 ( $n_o$ ,  $n_e$ )과 비교해 보면  $n_e < n < n_o$ 이어서, 편광판의 표면 반사를 0.1% 이내로 줄일 수 있다는 장점이 있다.<sup>[9]</sup>

본 연구에서 사용된 Kerr cell은 비선형 매질로서 Kerr 상수값이 큰 nitrobenzene과 편광이 서로 수직인 두개의 방해석 편광판(Iceland spar wedge), 그리고 두 전극으로 구성되었다. 옥소 레이저 장치에서 Kerr cell을 광절단기로 도입하여 약 50 ns의 펄스로부터 1 ns와 5 ns의 짧은 펄스만을 잘라 내었다. 이 장치에서 펄스를 자르는 순간을 제어하고 Kerr cell의 스위칭을 위해서 laser-triggered spark gap 스위치가 사용되었다.

실험에서는 각각 1 ns와 5 ns의 펄스를 자르는 방법과

\*이 연구는 한국과학재단(921-0200-029-2)의 지원에 의해 수행되었음을 감사드립니다.

결과를 보였으며, Kerr cell에 전압을 가하는 전기 회로의 특성상 한계 이상의 잘라진 gated pulse 즉, 두번째 window가 나타남을 보였다. 또한 가한 전압의 크기에 따라 Kerr cell을 통과한 펄스의 입사펄스에 대한 상대적 크기를 조사하여 이론적인 값과 비교하였다. 자른 펄스를 후단 증폭단을 거쳐 증폭시킨 결과 1 ns 펄스의 경우는 약 0.4 J의 에너지를 얻었다. 5 ns의 펄스의 경우는 증폭시키면서 펄스 전단부 증폭이 우수하여 주 증폭기 다음에서 4 ns로 축소되었고 약 2 J을 얻어 0.5 GW의 출력을 얻었다.

## II. Kerr Effect 이론

많은 등방성 매질에 전기장을 가하면 복굴절을 일으킬 수 있다. 액체는 분자간 충돌로 인하여 임의로 회전하고 있어서 거시적으로 보면 등방성이고 복굴절은 존재하지 않는다. 그러나 외부의 전기장이 가해지면 분자들은 정렬되고 비등방성을 가져서 복굴절을 일으킨다. 이러한 외부 전기장에 의한 복굴절 발생 현상이 전기광학 효과(electro-optic effect)이다.<sup>[1,7]</sup>

Kerr electro-optic 효과에서 비선형 매질내에 유기된 광축은 가해진 전기장의 방향에 평행하다. 이 효과는 1875년 Kerr에 의해 발견되었으며 고체나 액체 모두에서 관측된다. 전기장안에서 Kerr 효과를 보이는 물질은 전기장이 광축을 정의하는 단축결정과 같이 행동한다. Kerr 효과의 크기는 전기장 강도의 제곱에 비례한다. 물질내에 유기된 광축에 대해 투영되는 광파의 수직인 두 편광 성분이 느끼는 굴절율의 차이  $\Delta n$ 과 길이  $l$ 인 물질을 통과한 후 얻게 되는 위상차  $\Delta\phi(l)$ 은

$$\Delta n = (n_{\parallel} - n_{\perp}) = Kn\lambda E_a^2 \quad (1)$$

$$\Delta\phi(l) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n l = 2\pi l K \frac{V^2}{d^2} \quad (2)$$

과 같이 쓸 수 있다. 여기서  $n_{\parallel}$ 은 가해진 전기장  $E_a$ 에 평행한 방향의 굴절율이고,  $n_{\perp}$ 은 전기장  $E_a$ 에 수직인 방향의 굴절율이다.  $K$ 는 물질의 Kerr 상수,  $n$ 은 물질의 선형굴절율,  $l$ 은 cell의 길이,  $d$ 는 전극 간격,  $\lambda$ 는 물질 안에서의 파장,  $V$ 는 Kerr cell 양전극에 가해지는 전압이다.

위상차  $\Delta\phi$ 는 빔이 Kerr 매질을 통과할 때 편광의 두 수직인 성분 사이에 타원 편광 상태를 만든다. 만약 입사하는 빔의 세기를  $I_0$ 라 하면 임의의 전압에서 Kerr 매질을 거쳐 두번째 편광판을 통과하는 빔의 세기는

편광의 회전각  $\theta = \frac{\Delta\phi}{2}$ 로부터

$$I(V) = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = I_0 \sin^2\left[\frac{\pi}{2}\left(\frac{V}{V_m}\right)^2\right] \quad (3a)$$

$$V_m = d(2lK)^{-1/2} \quad (3b)$$

실험에서 사용된 비선형 매질은 nitrobenzene( $C_6H_5NO_2$ )으로서 298 K의 온도와 1.315  $\mu m$ 의 파장에서 Kerr 상수는

$$K = 1.5 \times 10^{-10} \text{ cm/V}^2$$

이다. 위의 Kerr 상수는 ns 정도의 펄스 전기장에서의 값이고 연속적인 전기장에서의 값은 더 작는데, 이것은 불순물 이온들이 가해진 전기장을 감소시키는 시간보다 입사 레이저 펄스가 더 짧기 때문이다. 그리고 입사빔의 파장이 길어질수록 상수 값은 파장에 반비례하여 줄어든다.<sup>[4]</sup>

전기광학 매질로 입사하는 빔은 두 수직 편광 성분이 서로 다른 굴절율을 가지며 매질을 전파한다. 입사하는 빔이 광축에 45°로 입사하는 경우, 전기장은 같은 크기의 두개의 방향을 가지고 있으나 Kerr cell의 복굴절에 의해 두 수직인 성분사이에 위상차이를 일으킨다. 이것은 외부전기장  $E_a$ 가 전기장에 평행한 광파의 굴절율은 증가시키고 수직인 광파의 굴절율은 감소시키기 때문이다.

## III. Kerr cell의 구조

Kerr cell의 기본적인 구조는 그림 1에 나타난 것과 같이 서로 수직방향으로 놓인 두개의 Iceland spar wedge, 비선형 매질인 nitrobenzene과 두개의 전극으로 구성되어 있다. 표 1에 본 실험에서 사용된 Kerr cell의 작용 변수가 나타나 있다.

여기서 contrast는 편광회전에 의해 통과하는 펄스와 차단되는 펄스 세기의 비이고, response time이란 laser-triggered spark gap 스위치에서 발생된 고전압 신호의 증가시간(rising time)이다. 또한 sensitivity는 laser-triggered spark gap 스위치가 동작하기 위해 입사되는 최소의 레이저 출력이며, delay time은 이 스위치 내부에서 레이저 빔에 의해 발생된 플라즈마가 고전압 신호를 만드는 데 걸리는 시간이다.

Kerr cell을 입체적으로 보면 첫번째 wedge는 좌우로 놓여 있고 두번째 wedge는 위 아래로 서 있어서 두 전극 사이에 전위차가 없을 때, 입사하는 레이저 빔은 통과

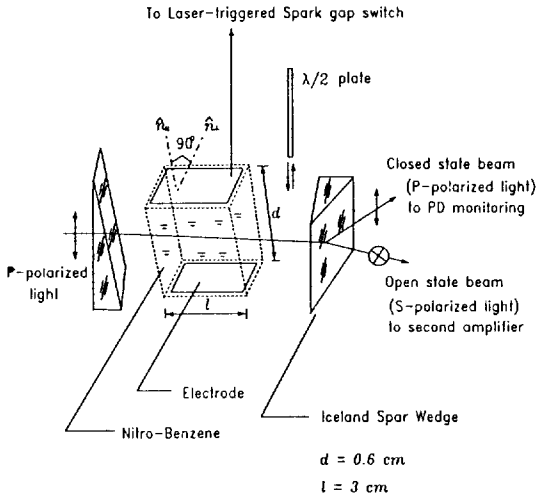


그림 1. Kerr cell의 구조와 Kerr cell 통과시 각 레이저 편광의 경로분리.

하지 못하게 되어 있다. 그림 1에서 보듯이 전압이 걸리지 않은 닫힌 상태(closed state)와 매질에 전기장이 걸린 열린 상태(open state)의 빔 경로를 구분하기 위해서 두번째 wedge는 p편광에 대해 편광이 90°만큼 기울어져 있다.

Kerr cell을 정렬할 때 입사하는 He-Ne 레이저 빔은, 작동시 Kerr cell을 통과할 옥소 레이저 빔과 같은 방향으로 편광되어 있어야 한다. 그리고 실제 잘려 나오는 레이저 빔과 같은 상태로 정렬하기 위해서 λ/2 파장판이 필요하다. λ/2 파장판은 주변에 금속막으로 둘러 싸여져 있어서 Kerr cell안에 가라앉아 있는 것을 영구자석을 써서 빔이 입사하는 곳으로 들어 올린다. 정렬이 끝난 다음에는 자석을 치우고 λ/2 파장판을 다시 내려 놓아야 고전압에 의한 손상을 방지하고 제대로 동작할 수 있다. 그리고 그림 2에 있는 wedge는 레이저 시스템 정렬시 옥소 레이저 빔과 He-Ne 레이저 빔의 파장이 다르기 때문에 나타나는 경로차를 보정하기 위한 것이다.

Kerr cell의 전기 회로도도 그림 3에 나타나 있다. Kerr cell은 레이저 빔으로 trigger되는 spark gap 스위치에 연결되어 있다. Spark gap 스위치 내부에는 7 기압 정도의 질소 가스가 채워져 있어서 절연파괴로 인한 자체 방전을 막고, 표 1의 지연시간을 10 ns 이하로 줄이도록 되어 있다. 두 전극 사이의 간격은 trigger되는 레이저 빔의 문턱세기를 결정하므로 조절나사를 써서 1.5~2 mm 사이로 조정하여 적당한 세기에서 trigger되도록 한다.

Laser-triggered spark gap에서 자가방전(self dischar-

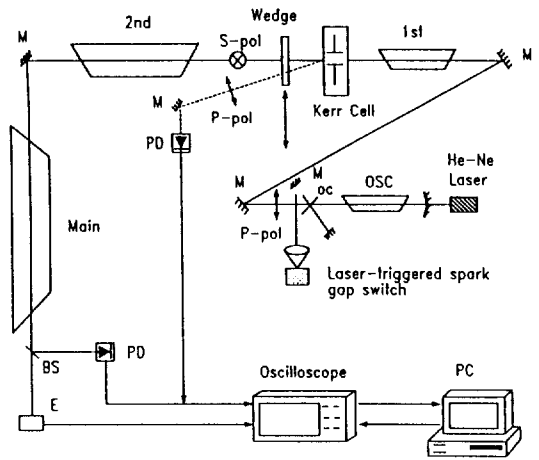


그림 2. Kerr cell을 포함한 옥소 레이저 장치도. Osc: 발진기, OC: 출력거울, L: 집속렌즈, 1st, 2nd, Main: 제 1, 2, 주 증폭기, PD: 광다이오드, BS: 광분리기, E: 에너지미터, p-, s-pol: p-, s-편광, M: 거울

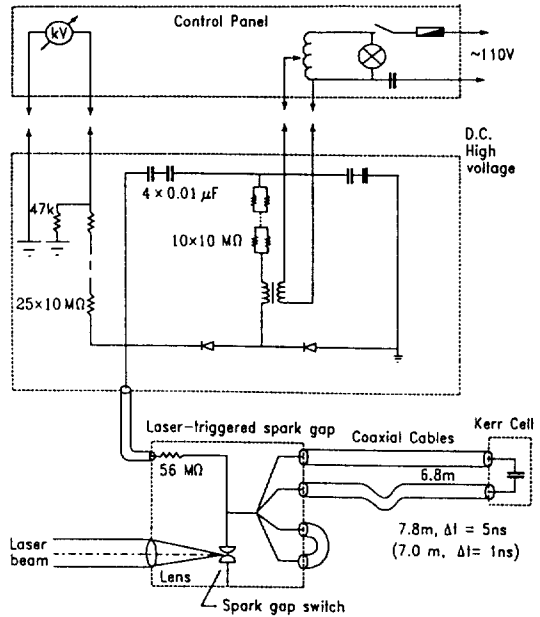


그림 3. Kerr cell의 전기회로도.

ging) 문턱전압은 20 KV 이상을 유지하도록 전극간격을 조정하고, 이 전위차에서 약한 triggering 레이저 펄스에 의해서도 spark gap 스위치가 작동하도록 되어 있다. 강한 전기장을 얻기 위해 레이저 빔은 spark gap 앞에 있는 렌즈로 집속하여 사용한다. Spark gap이 작동하면

표 1. Kerr cell과 spark gap 스위치의 사항

Aperture clearance	6 mm
Length of electrode	30 mm
Voltage for 90° rotation	20 kV
Contrast	>10 <sup>5</sup>
Response time	<0.5 ns
Sensitivity of trigger pulse	≥10 <sup>5</sup> W
Delay time of trigger	<10 ns

이에 연결된 두개의 동축 케이블의 고압 부분이 순간적으로 접지되어 케이블을 따라 고압 펄스가 전파된다. 이 때 두개의 케이블 길이가 다르게 설정되어 고압 펄스의 Kerr cell 전파 시간에 차이가 나게 되며, 이에 따라 Kerr cell의 두 전극 사이에 아주 짧은 시간 동안 고전위차가 형성된다.

IV. 실험 및 논의

1. Kerr cell을 이용한 옥소 레이저의 펄스폭 단축

실험에 사용된 레이저는 광분해 옥소 레이저(photodissociation iodine laser)로서 그림 2에서 보듯이 공진기와 세 개의 증폭기의 4단계로 이루어져 있다. 먼저 발진기와 첫째 증폭기는 Ar 섬광관으로 펌핑되고 이득 매질로 *i-C<sub>3</sub>F<sub>3</sub>I*를 40 torr 사용하였다. 둘째 증폭기와 주 증폭기는 Xe 섬광관으로 펌핑되고 *i-C<sub>3</sub>F<sub>3</sub>I*를 각각 60 torr, 40 torr 사용하였다. 둘째 증폭기에는 완충가스(buffer gas)로 Ar을 100 torr 넣어 기체 압력에 의한 이득 단면적을 확대(pressure broadening)시켜서 자발확대증폭(amplified spontaneous emission)에 의한 이득 손실을 방지하도록 하였다.

20 KV의 전압이 그림 3의 spark gap 스위치에 인가될 때 Kerr cell의 두개의 전극에 똑같이 20 KV의 전압이 걸려서 두 전극의 전위차는 0이 되고 Kerr cell이 닫힌 상태를 유지하게 된다. 일단 spark gap 스위치가 공진기에서 발생된 레이저 펄스에 의해 trigger되면 이곳에 연결된 모든 케이블은 접지로 연결된다. 따라서 Kerr cell로 향하는 두개의 케이블에 5 ns/m의 전파속도로 접지신호(zero potential)가 흐른다. 두개의 케이블 길이에 의해 첫번째 케이블이 먼저 zero 전위가 되고 다른 쪽은 아직 20 KV를 유지하고 있으므로 전위차는 20 KV가 된다. 이러한 전위차는 긴 쪽 케이블의 20 KV 신호가 도달하기까지 지속되면서 Kerr cell에 강한 전기장 *E<sub>0</sub>*를 가하게 된다. 두 케이블 사이에 전위차가 지속되는 시간 동안 Kerr cell은 열린 상태에 해당되며,

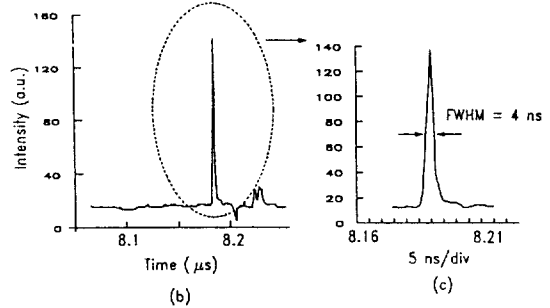
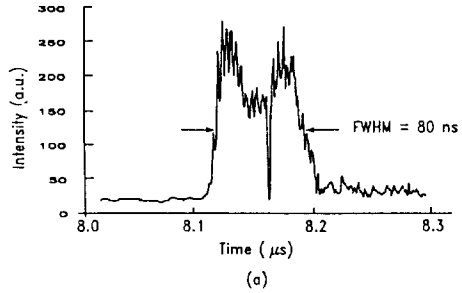


그림 4. (a) 닫힌 상태동안의 Kerr cell을 통과한 레이저 펄스 파형, (b) 주 증폭기 다음에서 관측한 증폭 펄스 파형 (5 ns 펄스폭), (c) 절단 펄스의 확대도.

이 시간 간격이 다른 펄스의 펄스폭이 된다. 이는 케이블의 길이차와 다른 펄스의 펄스폭이 비례함을 의미하며, 케이블의 길이차가 100 cm일때는 5 ns의 펄스가 잘리게 된다.

표 1의 전극 사이의 거리 *d*, 전극의 길이 *l*, 전장 *E<sub>0</sub>*와 식 (1), (2)를 이용하면 Kerr cell로 입사하는 펄스가 얻게 되는 위상차  $\pi$ 를 얻게 된다. 따라서 Kerr cell이  $\lambda/2$  파장판 역할을 하여 입사하는 빛의 편광을 90°만큼 회전시키게 된다. 즉, p-편광된 펄스가 첫번째 wedge를 그냥 통과한 후, 매질을 통과할 때 p-편광에 대해 90° 회전한 s-편광으로 바뀐다. 결국 식 (2)에 의해 p-편광축에 대한 위상차가  $\pi$ 가 되고 그 때의 동작전압이 20 KV가 되는 것이다.

두번째 wedge는 s-편광에 대해 광축이 수직이므로, 편광이 s-편광으로 바뀐 펄스는 p-편광 방향과는 다른 방향으로 휘어 진행한다. 이러한 동작은 Kerr cell이 작동하는 5 ns 동안만 이루어지므로 Kerr cell 이후의 레이어 정렬을 s-편광에 대해 한다면 이후 증폭단에서 단지 5 ns짜리 펄스만을 얻게 된다. Spark gap 스위치가 공진기 펄스의 일부에 의해 trigger된 후 첫번째 케이블의 전파시간 만큼인 38 ns가 걸려 Kerr cell에 20 KV 신호가 들어온다. 그림 4(a)는 첫째 증폭기 다음에서 광다이오

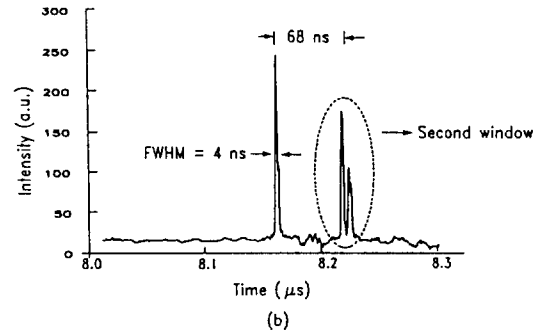
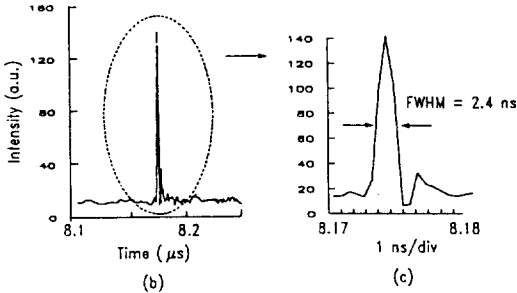
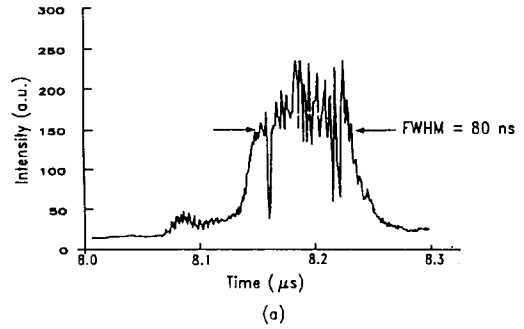
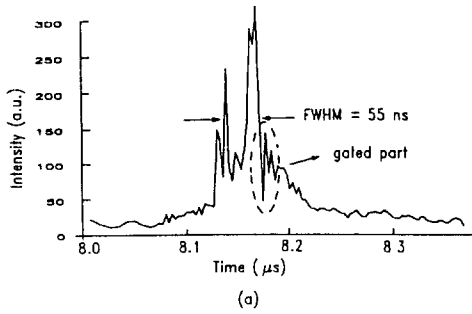


그림 5. (a) 닫힌 상태동안의 Kerr cell를 통과한 레이저 펄스 파형, (b) 주 증폭기 다음에서 관측한 증폭 펄스 파형 (1 ns 펄스폭), (c) 절단 펄스의 확대도.

그림 6. (a) 닫힌 상태동안의 Kerr cell를 통과한 레이저 펄스 파형 (두번째 window 발생), (b) 주 증폭기 다음에서 관측한 증폭 펄스 파형.

드를 이용하여 측정된 p-편광성분(Kerr cell이 닫힌 상태에서 통과한 펄스)의 오실로스코프 파형이며, 시간축 8.16  $\mu$ s 근처에서 잘려진 것을 확인할 수 있다. 그림 4(b)는 주 증폭기 다음에 있는 광다이오드에서 관측한 파형인데 5 ns보다 약간 작은 4 ns 가량의 펄스가 관측되었다. 그림 4(c)는 단축된 펄스의 확대도이다. 주 증폭기 후의 펄스가 더욱 짧아진 것은 자르기 전 펄스가 증폭기를 통과하면서 얻은 소신호 증폭에 의한 결과이다.

그림 5(a)-(c)는 그림 2의 첫째 증폭기에서 증폭된 55 ns의 펄스로부터 1 ns의 펄스를 잘라내는 것을 보여준다. 그림 5(b)와 5(c)는 역시 주 증폭기 다음에서 자른 펄스 모양과 확대된 모습이다. 그림 3에서 두 케이블간의 길이차는 0.2 m이어서 펄스 진행시간의 차이인  $\Delta t = 1$  ns가 된다. 그러나 실제 관측에서는 2.5 ns의 펄스가 관측되었는데 이것은 실험에서 사용된 디지털 오실로스코프 (HP54510A, 1 GSa/s, 250 MHz)와 게르만늄 광다이오드 (EG&G Judson)의 반응시간의 한계로 인한 것이다.

## 2. 두번째 window의 발생

자른 펄스가 이상적으로는 한개만 발생해야 하지만 그림 6(a), (b)에서 보듯이 공진기의 펄스폭에 따라 여러 개의 펄스가 발생한다. 이것은 spark gap 스위치에서

발생된 접지 신호가 케이블 양단에서의 반사에 의해 케이블의 양 끝을 왕복하기 때문에 발생한다. 즉 Kerr cell에 또 다른 전위차를 발생시켜서 여러개의 window를 만들기 때문이다.

그림 7(a)를 보면 laser-triggered spark gap 스위치가 trigger될 때 spark gap 스위치가 접지로 연결되는데 짧은 쪽 케이블은  $t_1$  (34 ns), 긴 쪽 케이블은  $t_2$  (39 ns) 만큼 걸려서 첫번째 window를 열어 5 ns 펄스를 만든다. 그러한 후 다시  $3t_1$ 과  $3t_2$  사이에 spark gap 스위치쪽에서 다시 반사된 접지 신호가 Kerr cell에 도달하여 둘째 window를 만들고 두번째 펄스를 생성시킨다. 이 때 둘째 window의 시간폭은 첫째 window의 5 ns 시간폭이 왕복시 케이블 길이에 따른 시간 지연에 의해 15 ns로 늘어나게 된다.

한편 둘째 window의 가운데 부분이 잘리지 않은 것은 그림 7(a)에서 spark gap 스위치를 통한 접지신호가 동시에 Kerr cell 양단에 생기기 때문이다. 즉, 긴 케이블 쪽을 두 번 왕복하고 짧은 쪽은 한번 왕복하여  $2t_2 + t_1$ 의 시간 후에 Kerr cell 양단에 전위차를 형성하지만, 긴 케이블 쪽을 한번 왕복하고 짧은 쪽은 두 번 왕복하여

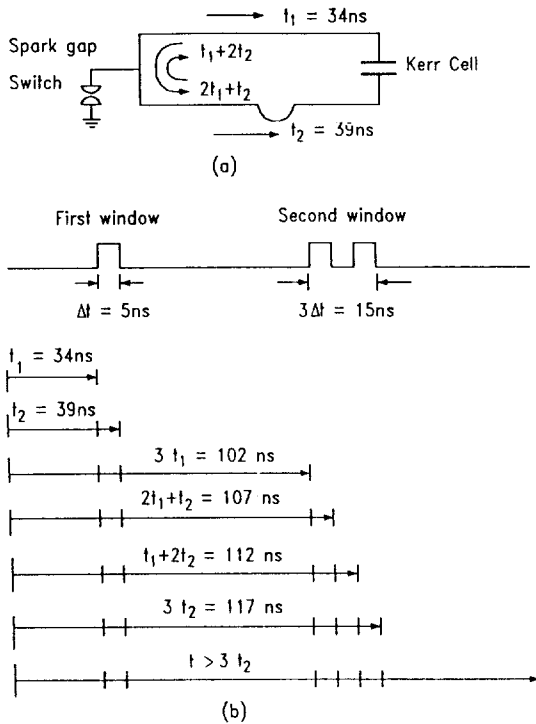


그림 7. (a) Kerr cell spark gap 스위치가 on 되었을때 고압펄스의 이동. (b) Kerr cell 전극에 가해지는 고압펄스의 시간 도식화.

$2t_1 + t_2$ 의 시간 후에 또 다른 전위차가 발생한다. 따라서  $2t_2 + t_1$ 과  $2t_1 + t_2$ 의 시간 동안(5 ns)은 Kerr cell 양단이 모두 접지신호가 걸려 Kerr cell이 작동하지 않는다. 따라서 둘째 window는 그림 7(b)에서처럼 항상 두개의 펄스가 잘리도록 되어 있다. 만약 하나의 window만 발생되길 원한다면 케이블 길이를 공진기 펄스폭보다 충분히 길게하여 둘째 window가 열려도 통과시킬 펄스가 없도록 하면 된다.

### 3. 동작전압에 대한 통과펄스의 세기

임의의 전압 V에서 두번째 편광 프리즘을 통과하는 펄스의 세기는 식 (3a)와 표 1의 작동변수로부터

$$I(V) = I_0 \sin^2 \left[ \frac{\pi}{2} \left( \frac{V}{2 \times 10^4} \right)^2 \right] \quad (5)$$

임을 알 수 있다. 이 때  $I_0$ 는 입사하는 펄스의 세기이다. 여기서 실험치들은 Kerr cell 다음에 있는 광다이오드에서 얻은 것이다.

그림 8에서 17 KV 이하에서는 더 이상 잘려진 펄스를

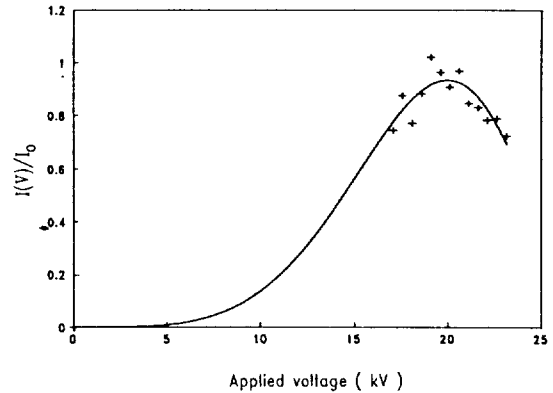


그림 8. Kerr cell 전극에 가해지는 전압에 따른 투과 광선의 강도. +: 실험치, —: 이론적 계산.

얻을 수 없었다. 이것은 laser-triggered spark gap 스위치에 낮은 동작전압이 걸리면, 10<sup>6</sup> W 이상의 공진기 출력이 입사되어도 spark gap 스위치 내부에 질소 플라즈마에 의한 스위칭이 일어나지 않기 때문이다. 한편 인가전압이 23 KV 이상일 경우에도 데이터를 얻을 수 없었다. 이것은 laser-triggered spark gap 스위치의 간극 사이에서 자가방전 되기 때문이다. 즉, 전극을 멀리하면 동작전압을 높일 수 있지만 입사되는 레이저에 의해 trigger되지 않아 Kerr cell에 전위차를 가할 수 없고, 가까이하면 trigger는 쉽게 되어도 자가 방전되는 한계 전압을 높일 수 없다.

이러한 실험 결과를 그림 8에서처럼 식 (5)의 함수로 최소자승법 근사한 결과 20 KV의 전위차에서 최대 투과도가 0.93  $I_0$ 의 값이 나왔다. 이 값이 1과 차이가 나는 것은 Kerr cell이 열리고 닫히는 ns 이하의 짧은 증가 시간(rising time)과 감소시간(falling time)에 따른 계측기의 반응한계에 기인한다고 생각된다. 즉,  $I(V)$  측정에서 오실로스코프와 광다이오드가 자른 펄스 부분을 충분히 감지하지 못하여 과도신호(overshoot)가 나타나서 실제값을 측정하지 못하기 때문이다. 이것은 그림 4와 5의 잘린 흔적이 직각 모양이 아닌 췌기 모양으로 보아 검출 시스템이 충분히 반응하지 못함을 알 수 있다. 이러한 최대 투과도  $I_0$ 를 고려한 최소자승 근사식 (5)의 곡선에 대해 그림 8의 얻어진 실험치는 요동(fluctuation)은 있으나 비슷한 경향을 보이고 있다.

### 4. 단축된 펄스의 증폭

그림 4(c)와 5(c)에서 잘라 낸 각각 5ns와 1ns의 펄스를 둘째 증폭기와 주 증폭기를 거치면서 증폭시켰다.

이득 매질의 저장 에너지는 첫째 증폭기의 경우  $i\text{-C}_3\text{F}_7\text{I}$ 를 40 torr 사용하고 18 KV의 전압으로 섬광 펌핑시켰을 때 40 mJ이었고 둘째 증폭기는  $i\text{-C}_3\text{F}_7\text{I}$ 를 60 torr, 27 KV의 전압으로 섬광 펌핑시켰을 때 약 800 mJ이었다. 주 증폭기의 경우는  $i\text{-C}_3\text{F}_7\text{I}$ 를 40 torr, 27 KV의 전압에서 약 4 J이었다.

Kerr cell을 통과하여 펄스를 단축시켰을 때의 에너지는 5 ns와 1 ns의 경우 각각 5 mJ과 1 mJ이었고, 이 펄스들을 둘째 증폭기와 주 증폭기를 거쳐 증폭하였다. 5 ns 펄스의 경우 증폭단을 통과하면서 펄스폭이 약 4 ns로 짧아졌고 에너지는 2 J이어서 약 0.5 GW의 출력을 얻었다. 1 ns 펄스에서는 0.4 J의 에너지를 얻었다. 1 ns의 경우는 5 ns의 경우에 비추어 앞으로 레이저의 동작 조건을 잘 조절하면 0.5 J 이상을 얻을 것으로 예상된다.

## V. 결 론

본 연구는 Kerr cell 광스위치를 옥소 레이저 증폭단에서 짧은 펄스를 발생시키는 광절단기로서 그리고 첫째 증폭기와 이후의 증폭기들을 광학적으로 격리하는 장치로 사용하기 위하여 연구하였다.

Kerr cell의 펄스 단축 실험에서 인가된 전위차에 따른 편광의 회전에 의해 펄스를 자를 수 있음을 보였다. 또한 전기회로의 특성을 이용하여 케이블의 길이차에 의해 5 ns 펄스를 발생시켜 증폭단을 거치면서 약 4 ns의 단일 펄스로 증폭시킬 수 있었다. 이와 더불어 케이블 길이

차를 줄여서 1 ns의 펄스도 발생시킬 수 있음을 보였다. 특히 공진기에서 펄스폭이 큰 펄스가 발생한 경우 한개 이상의 window가 발생함을 확인하였다. 가변동작 전압에 대해 실험 결과와 Kerr 이론에 의한 계산 곡선과의 비교가 이루어 졌다.

이러한 펄스 단축실험을 행한 결과 첫째 증폭단 다음에서 5 ns, 5 mJ의 펄스를 잘라 낸 경우는 증폭단을 거쳐 약 4 ns, 2 J의 펄스로 증폭되어 단일 펄스로 최종 출력 0.5 GW를 실현하였다. 1 ns의 펄스로 단축한 경우에서는 약 0.4 J을 얻어 0.4 GW를 얻었다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. W. Beams, Rev. Mod. Phys. **4**, 133(1932).
- [2] S. M. Lee, Rev. Scient. Instrum. **35**, 1679(1964).
- [3] N. J. Harrison and B. R. Jennings, J. Phys. Chem. Ref. Data **21**, 157(1992).
- [4] N. G. Theophanous, Optics Commun. **77**, 31(1990).
- [5] N. J. Harrison and B. R. Jennings, J. Phys. Chem. **97**, 1511(1993).
- [6] N. Theophanous et al., Opt. Quantum Electron. **21**, 363(1989).
- [7] P. W. Milonni et al., *Lasers* (John Wiley & Sons, New York, 1988).
- [8] N. Ookubo, Rev. Scient. Instrum. **62**, 948(1991).
- [9] U. Kruger et al., Proc. IEEE **61**, 992(1973).

## Pulse Shortening by a Kerr Cell in an Iodine Laser and the Amplification of a Shortened Pulse

Seong Ho Cho, Min Sik Jo, Byoung Il Choi and Chang Hee Nam  
Dept. of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology,  
Taejon 305-701, Korea

M. R. Motchalov  
Russian Federal Nuclear Center, Russia

(Received: June 20, 1994)

A Kerr cell was utilized as an optical shutter to generate a shortened pulse and as an isolator between amplifiers in an iodine laser system. By rotating the polarization of incident laser pulse only during the timing window of high voltage applied to the Kerr cell, shortened pulses of 5 ns and 1 ns, corresponding to the difference in propagation time of two coaxial cables, were obtained. It was also noticed that more than one timing window of Kerr cell was produced with a long incident laser pulse from the oscillator. The measured transmittance of Kerr cell with respect to applied voltage was compared with the theoretical estimation using the electro-optic Kerr effect theory. Through the amplification of the shortened pulse in iodine amplifiers, a pulse of 0.5 GW(2J in 4 ns) was obtained.