Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2013) 27(2) : 22~28
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2013.27.2.022 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)
논문 27-2-4

# 전류 패턴의 설계가 가능한 SOA Dimming Driver에 관한 연구

## (A Study on SOA Dimming Driver with Current Pattern Design Capability)

이주찬* · 엄진섭**
(Juchan Lee · Jinseob Eom)

## Abstract

In this paper, the low cost SOA Dimming Driver which consisted of LabVIEW programming part capable of current pattern design, DAQ module for analog voltage output, and voltage to current converter has realized. The output current(possible to 3A) from the Driver was clearly constant without ripple and also showed no variance until 1mA unit for a long time operation. The proposed low cost Driver can replace the previous high cost SOA Drivers for wavelength swept lasers fully and provide the convenience and safety of auto-supplying a designed current pattern.

Key Words : SOA/Dimming Driver/Current Pattern/Constant Current

## 1. 서 론

광 코히어런스 토모그래피(OCT : Optical Coherence Tomography)는 수 ㎛ 이하의 분해능으로 생체 조직의 표피단면 이미지를 얻는 기술이며 앞으로 안과, 피부과, 내과, 심장내과, 치과 등에서 진단에 필요한 영상을 획득하기 위하여 널리 사용될 예정이다[1-3].

* 주저자 : 강원대학교 전자공학과 박사과정 수료
** 교신저자 : 강원대학교 전자공학과 교수
* Main author : Completion of courses, Kangwon National University, Dr.
** Corresponding author : Professor of Electronics Engineering, Kangwon National University
Tel : 033-250-6327, Fax : 033-244-7274
E-mail : jeom@kangwon.ac.kr
접수일자 : 2012년 12월 21일
1차심사 : 2012년 12월 25일, 2차심사 : 2013년 2월 13일
심사완료 : 2013년 2월 15일

파장 스위핑 레이저를 사용하는 OCT를 SS-OCT (Swept Source-OCT)라고 한다. 최근에는 고화질 및 고속 영상획득에 유리한 SS-OCT 기술이 많은 각광을 받고 있다[4].

SS-OCT 시스템의 성능을 결정하는 중요한 구성요소는 광원에 해당하는 파장 스위핑 레이저(Wavelength Swept Laser)이다. 그런데 파장 스위핑 레이저의 균일한 고출력 발진 및 광대역 파장 스위핑 특성은 이의 구성부품중의 하나인 SOA (Semiconductor Optical Amplifier)의 동작 성능에 의해 크게 좌우된다. SOA는 ASE(Amplified Spontaneous Emission)를 방출하며 아울러 이를 통과하는 광을 증폭시키는 역할을 하는 매우 고가의 소자이다.

SS-OCT의 원활한 작동을 위해서는 일반적으로 파장 스위핑 레이저로부터 10mW급의 강한 광 출력이 일정하게 공급되어야 한다. 이를 위해서는 SOA에 수백 mA의 전류가 안정적으로 그리고 리플 없이 일정


Copyright ⓒ 2013 KIIEE All right's reserved

하게 인가되어야 한다[5]. 또한 고가인 SOA의 긴 수명을 위하여 전류 ON 시에 충분한 경과시간이 필요하며 전류 OFF시에도 충분한 경과시간을 거쳐 전류가 차단되어야 한다. 이외에도 작동하는 동안에 SOA의 온도를 일정하게 유지하여 온도에 따른 출력 광 파워의 변동이 없어야 한다. 이들은 파장 스위핑 레이저의 성능 및 SS-OCT 시스템의 영상품질을 높이고 장비의 긴 수명을 확보하기 위한 중요 요구사항들이다.

본 실험실에서는 위에서 언급된 요구사항을 만족시키기 위하여 고가의 SOA Dimming Driver(약 850만원대)를 구입하여 사용하여 왔다. 하지만 공급할 전류를 매번 수동으로 조정하여야 하므로 사용에 불편이 많았다. 따라서 이를 개선하기 위하여 저렴하면서도 미리 설계된 전류 패턴에 따라 전류의 공급이 자동으로 이루어지는 최적의 SOA Dimming Driver를 설계·제작하여 기존의 고가 Driver를 대체하고자 한다.

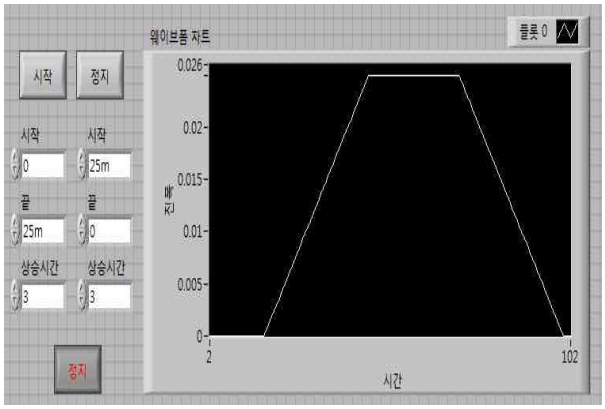
## 2. 시스템의 구성 및 작동원리

SOA는 수동으로 가변저항을 조절하거나 PC의 모니터 상에서 수동으로 전류를 조절하는 등의 아날로그 Dimming 방식을 사용하여 출력 광의 세기를 조절하여 왔다. 만일 수동 조정의 불편함을 벗어나 Auto Dimming의 편리함을 얻고자 한다면 LED 조명에 많이 사용되는 디지털 Dimming 방식을 고려해 볼 수 있다. 디지털 Dimming 방식에는 여러 가지가 있으나 그 중 많이 사용되는 것 중의 하나는 벅형 컨버터방식이다[7]. PWM을 이용하는 이 방식은 조명에 적용하기에는 적합하지만 SOA Dimming Driver로서는 부적합하다. 그 이유는 PWM Dimming시에 MOSFET 스위치를 동작시키지 않는 구간이 발생하고 이는 SOA 전압과 평균 전류에 리플을 발생시킨다[6-7]. 조명의 경우에는 사람의 눈이 이에 둔감하지만 SS-OCT에서는 이러한 리플이 영상의 품질을 저하시킨다. 따라서 디지털 Dimming 방식은 SOA에는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

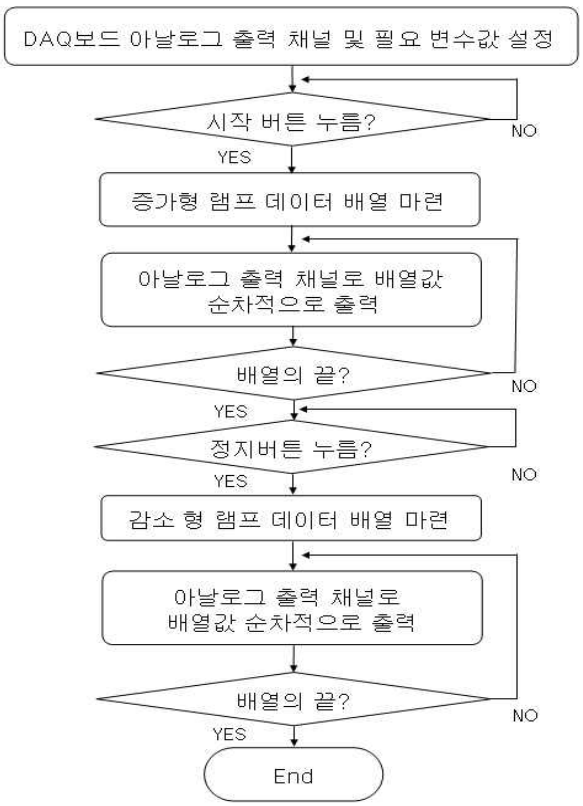
SS-OCT에서 사용되는 SOA는 일반적으로 0~600mA의 전류 공급을 요구한다. 이를 제공하기 위한 아날로그 Dimming의 경우 낮은 제어전압을 요구하므로 외란에 대해 취약한 문제가 있고 선형적으로 정밀제어를 하여야 하므로 어려운 점이 있지만 본 논문에서는 이를 극복하고 안정적인 SOA Dimming Driver를 구현하였다. 구현된 SOA Dimming Driver는 전류패턴을 설계할 수 있는 LabVIEW 프로그램부, 제어전압 출력을 위한 USB-6009 DAQ 모듈, 그리고 전압-전류 변환회로 등으로 구성된다. 아래에서 각 부분에 대하여 설명하도록 하겠다.

### 2.1 LabVIEW 프로그램부

LabVIEW 프로그램부에서는 원하는 전류 패턴을 설계할 수 있다. 설계된 전류 패턴은 USB-6009 DAQ 모듈을 통하여 동일한 패턴의 전압으로 출력되는데 이는 전압-전류 변환회로에 제어전압으로서 인가된다. 그림 1의 (a) 프론트 패널과 (b) 흐름도를 바탕으로 LabVIEW 프로그램을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 DAQ 어시스턴스 함수를 사용하여 DAQ 보드인 USB-6009의 아날로그 출력 채널 및 필요변수들을 설정한다. 프론트 패널에서 시작 버튼을 클릭하면 선형 램프함수를 사용하여 증가형 램프 데이터 배열을 마련한다. 배열의 갯수는 증가 경과시간(sec)의 10배에 해당하고 각 배열에는 시작 전압(보통 0V)부터 목표 전압(mV)까지를 배열의 갯수만큼 선형 분배한 값이 저장된다. 다음으로 각 배열값은 설정된 아날로그 출력 채널을 통하여 100ms의 간격으로 외부의 전압-전류 변환회로에 인가된다. 마지막 배열 값은 목표 전압이 되며 프론트 패널에서 정지 버튼을 클릭하기 전까지는 동일한 값이 계속 출력된다. 정지 버튼을 클릭하면 시작 버튼 때와는 역으로 감소형 램프 데이터 배열을 마련한다. 배열의 갯수는 감소 경과시간(sec)의 10배에 해당하고 각 배열에는 시작 전압(mV)부터 목표 전압까지(보통 0V)를 배열의 갯수만큼 선형 분배한 값이 저장된다. 다음으로 각 배열값은 100ms의 간격으로 외부의 전압-전류 변환회로에 인가된다. 마지막 배열 값은 목표 전압이 되며 프론트 패널에서 시작 버튼을 다시 클릭하기 전까지 0V가 계속 출력된다.




(a)




(b)

그림 1. (a) LabVIEW 프로그램의 프론트 패널,
(b) LabVIEW 프로그램의 흐름도
Fig. 1. (a) Front panel of LabVIEW program,
(b) Flow chart of LabVIEW program

## 2.2 LabVIEW DAQ 모듈

본 논문에서 사용한 DAQ 모듈인 NI USB-6009는 USB를 사용하여 컴퓨터와 연결되며, 저가이면서 bus-powered multifunction 특성을 지닌다. 구체적인 사양은 다음과 같다. 8개의 아날로그 입력(14 비트, 48 kS/s), 2개의 아날로그 출력(12 비트, 150 S/s), 12개의 디지털 I/O, 그리고 32비트 카운터로 구성된다.

## 2.3 전압-전류 변환회로

아날로그 전압 Dimming 방식으로 출력전류를 제어

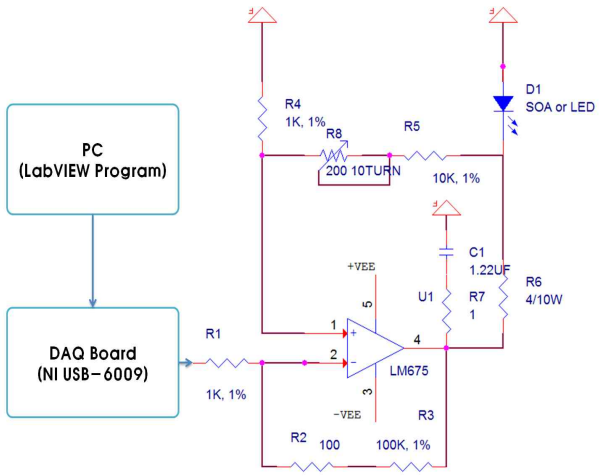



그림 2. 설계된 전압-전류 변환 회로도
Fig. 2. Circuit of designed voltage to current converter

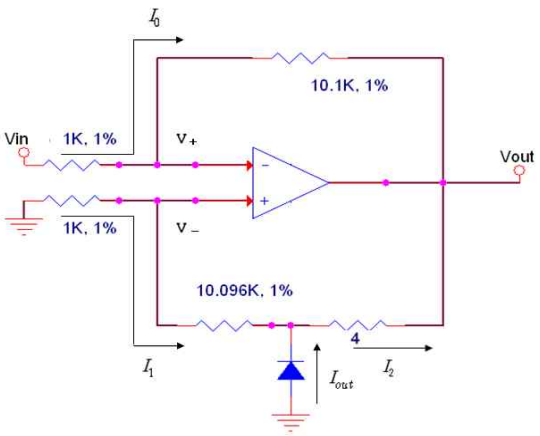



그림 3. 전압-전류 변환식을 유도하기위한 회로분석
Fig. 3. Circuit analysis for inducing voltage-to-current conversion relationship

하기 위해서 그림 2와 같이 LM 675 power op-amp를 이용한 전압-전류 변환회로를 구현하였다.

설계된 전압-전류 변환회로에서 회로에 인가된 제어전압과 출력전류와의 관계를 유도하는 과정을 아래에 정리하였다. 그림 3은 그림 2에서 보여진 전압-전류 변환회로를 분석에 편리하도록 다시 그렸다.

위의 블록 다이어그램에서 op-amp의 입력단에서는 다음의 식이 성립한다.

$$V_+ = -1K \cdot I_1 \tag{1}$$

$$V_- = V_{in} - 1K \cdot I_0 \tag{2}$$

그리고 위의 회로로부터 다음의 4개의 식이 얻어진다.

$$V_+ = V_- \tag{3}$$

$$I_0 = \frac{V_- - V_{out}}{10.1K} \tag{4}$$

$$V_{out} = -4I_2 - 10.096K \cdot I_1 - 1K \cdot I_1 \tag{5}$$

$$I_{out} = I_2 - I_1 \tag{6}$$

식 (1), 식 (2), 그리고 식 (3)으로부터

$$I_1 = \frac{1K \cdot I_0 - V_{in}}{1K} \tag{7}$$

식 (2)와 식 (4)로부터

$$I_0 = \frac{V_{in} - V_{out}}{11.1K} \tag{8}$$

식 (7)과 식 (8)로부터

$$I_1 = \frac{-10.1 \cdot V_{in} - V_{out}}{11.1K} \tag{9}$$

식 (5)에서

$$I_2 = \frac{-V_{out} - 11.096K \cdot I_1}{4} \tag{10}$$

식 (6), 식 (9), 그리고 식 (10)으로부터

$$I_{out} = I_2 - I_1 = \frac{10.1}{4} V_{in} \tag{11}$$

식 (11)로부터 전압-전류 변환회로의 SOA에 흐르는 전류 $I_{out}$은 입력전압 $V_{in}$ 즉 USB-6009 DAQ 모듈로부터 출력되는 제어전압에 의해서만 결정된다는 것을 알 수 있고 부하의 변동(SOA 또는 LED의 교체)에는 무관함을 알 수 있다.

SOA에 흐르는 전류가 USB-6009 DAQ 모듈로부터 출력되는 제어전압에 비례한다는 사실로부터 제어전압의 패턴을 임의로 설계하면 이와 동일한 패턴으로 SOA에 전류가 흐르게 됨을 알 수 있다.

일반적으로 전압-전류 변환회로는 op-amp를 사용한 부임피던스(negative impedance)회로를 구성하여 구현한다. 그러면 출력전류는 입력전압에만 비례하고 부하의 종류에는 영향을 받지 아니한다. 그러나 본 논문의 경우처럼 부하에 높은 전류가 흘러야 하는 경우에는 입력전압을 제공하는 신호원의 출력임피던스가 매우 낮아야 하며, 또 신호원이 높은 출력전류를 제공할 수 있어야 한다. 하지만 일반적인 신호원들은 이를 만족시키기가 어렵다. 따라서 이를 만족시키기 위해서는 또 하나의 power op-amp로 voltage follower를 구성하여 이를 신호원과 전압-전류 변환회로 사이에 삽입하여 낮은 출력임피던스와 높은 출력전류를 모두 제공할 수 있어야 한다.

요약하면 종래의 전압-전류 변화회로를 부하에 높은 전류를 필요로 하는 경우에 적용하기 위해서는 power op-amp로 voltage follower를 구현하여 이를 신호원과 전압-전류 변환회로 사이에 추가하여야 한다.

반면에 본 논문의 전압-전류 변환회로는 변환회로 내의 power op-amp가 대부분의 전류를 제공하는 구조이므로 voltage follower를 필요로 하지 않는다. 따라서 하나의 power op-amp만을 사용하여 구현되며 일반 신호원을 바로 전압-전류 변환회로에 연결할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 USB-6009 DAQ 모듈을 직접 전압-전류 변환회로에 연결하는 것이 가능하다.

## 3. 실험 결과 및 검토

그림 4는 제작된 전압-전류 변환회로를 보여준다. 회로의 동작특성을 확인하기위하여 고가의 SOA 대신에 소자의 구조 및 동작원리가 유사한 저가의 고출력 LED를 사용하였다. SOA와 LED는 III-V족 반도체 $pn$ 다이오드로 구성되며 빛의 생성 원리도 유사하여 모두 ASE를 방출한다. 그리고 SOA와 고출력 LED는 유사한 범주의 저항값을 가진다.

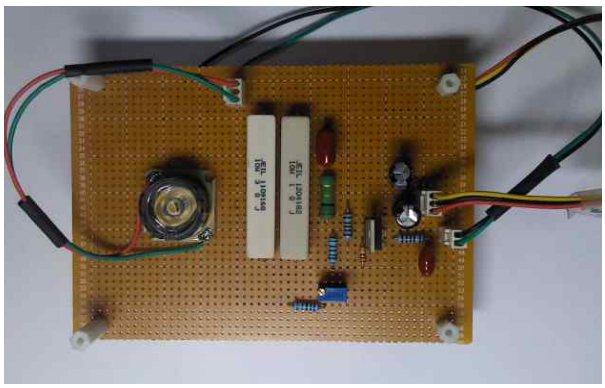


**그림 4. 제작된 전압-전류 변환회로.**
**Fig. 4. Realized voltage to current converter**

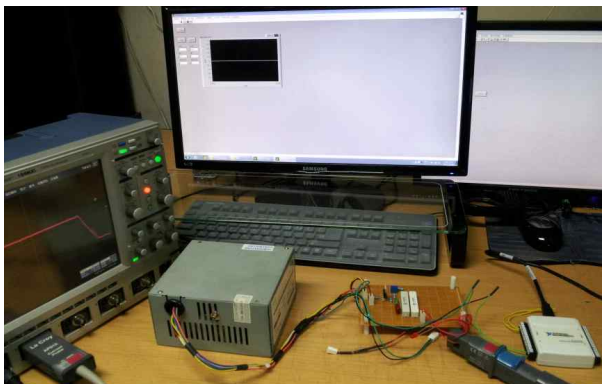


**그림 5. SOA Dimming Driver 실험을 위한 set-up**
**Fig. 5. Experimental set-up for SOA Dimming Driver**

그림 5는 구현된 SOA Dimming Driver를 이용하여 출력전류의 시간에 따른 흐름 파형을 측정하는 실험 set-up이다. 그림의 중앙에 있는 컴퓨터 모니터에는 LabVIEW 프로그램의 프론트 패널이 보여진다. 여기에는 시작 버튼과 정지 버튼이 위치하며 아울러 출력되는 제어전압의 파형을 그래프로 모니터링할 수 있다. 그림의 왼쪽에는 LeCroy WaveRunner 104MXi 오실로스코프가 놓여있다. 이는 시간에 따른 전류 및 전압 파형을 동시에 측정할 수 있으며 오실로스코프 전면의 measure 버튼을 통하여 전류 및 전압의 순간적인 측정치를 실시간으로 읽을 수 있다. 그림의 우측에는 제어전압을 출력하는 USB-6009 DAQ 모듈이 놓여 있으며 중앙 하단에는 제작된 전압-전류 변환회로가 놓여 있다.

그림 6은 제작된 driver를 작동시킨 후 LeCroy WaveRunner 104MXi 오실로스코프를 사용하여 전압-전류 변환회로에 인가된 제어전압 및 출력 전류의 파형을 정밀하게 측정한 결과를 보여준다. 그림에서 보여진 것처럼 출력 전류의 파형은 리플이 없는 깨끗한 정전류임을 알 수 있었다. 그리고 오실로스코프의 measure 버튼을 눌러 전류의 실시간 측정치가 오랜 시간에 걸쳐 1mA 자리까지 변동이 없음을 확인하였다.

이는 제작된 저가형 SOA Dimming Driver가 파장 스위핑 레이저에서 사용되던 고가의 상용 SOA Driver를 충분히 대체할 수 있으며, 기존에 수동으로 전류를 조정하여야 하던 불편함을 개선하여 설계된 패턴에 따라 자동으로 전류를 공급하는 편리성 및 안전성을 제공할 수 있음을 보여준다.

제작된 driver가 사전 설계된 전류 패턴과 동일하게 전류를 공급하는지를 측정하여 그림 7에 나타내었다. LabVIEW 프로그램의 프론트 패널에 있는 시작 버튼을 누름과 동시에 USB-6009 모듈의 아날로그 출력 채널로부터 정해진 패턴의 제어전압이 출력된다. 이 전압은 3초(경과시간 조정 가능함) 동안에 0V에서 25mV까지 선형적으로 증가되며, 이후로는 25mV를 유지한다. 제어전압이 전압-전류 변환회로에 인가되면 그림 7에서 보여진 것처럼 제어전압과 동일한 패턴의 전류가 안전하게 흐르게 되며 궁극적으로는 50mA의 전류가 일정하게 공급됨을 알 수 있다. 프론트 패널상의 정지 버튼을 클릭하면 제어 전압은 3초(경과시간 조정 가능함) 동안에 25mV에서 0V까지 선형적으로 감소하며 이와 동일한 패턴으로 전류가 50mA에서

0A까지 완만하게 감소함을 알 수 있다. 따라서 제안된 아날로그 Dimming 방식을 이용하면 평탄한 전류특성 뿐만 아니라 안전한 과도전류 과정도 얻을 수 있다. 그러나 앞에서 언급한 것처럼 리플을 포함하는 디지털 Dimming 방식[7]은 일정한 전류 공급을 필요로 하는 SOA Dimming에는 부적합하다.

그림 6. 제어전압 및 전류 파형의 정밀 측정
Fig. 6. Detailed measurement of control voltage and current waveforms

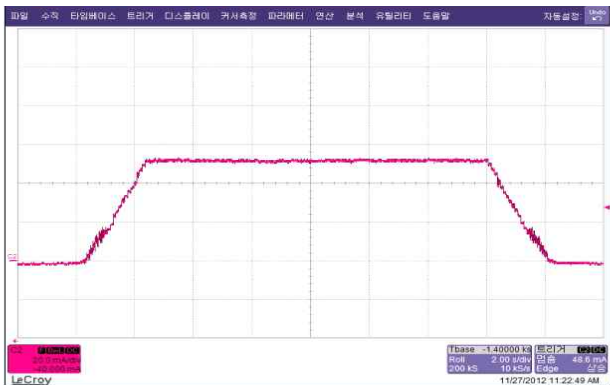


그림 7. 제작된 SOA Dimming Driver의 전류패턴 측정
Fig. 7. Current pattern measurement of SOA Dimming Driver realized

그림 8은 구현된 driver를 파장 스위핑 레이저에 적용하여 얻어진 출력 광의 스위핑 스펙트럼을 보여준다. 약 120㎚에 걸친 파장 스위핑을 확인하였으며, 이때 광 파워 미터를 사용하여 측정한 평균 광 출력은 약 10㎽이었다. 이와 같은 고출력 광대역 스위핑 특성을 지니는 파장 스위핑 링 레이저 기술은 SS-OCT뿐만 아니라 기존의 분광학 장치의 광원으로도 응용될 수 있을 것으로 사료된다[8].

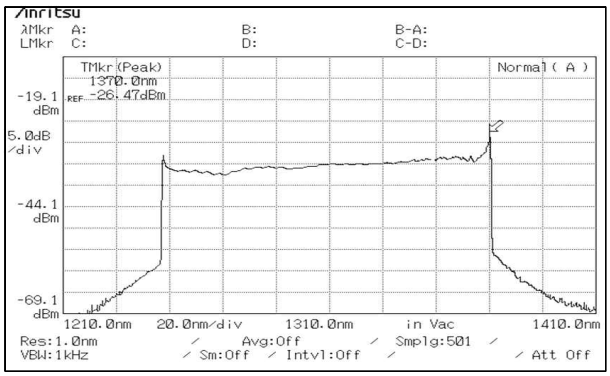



그림 8. 제작된 SOA Dimming Driver를 사용한 파장 스위핑 레이저의 출력 스펙트럼
Fig. 8. Sweeping spectrum of wavelength swept ring laser using realized low cost SOA Dimming Driver

## 4. 결 론

본 논문에서는 원하는 전류 패턴을 설계할 수 있는 LabVIEW 프로그램부, 제어전압 출력을 위한 USB-6009 DAQ 모듈, 그리고 전압-전류 변환회로 등으로 구성된 저가형 SOA Dimming Driver를 구현하였다. 제작된 driver의 출력 전류(3A까지 가능)는 리플이 없는 깨끗한 정전류이었으며, 오랜 시간에 걸쳐 1mA 자리까지도 변동이 없음을 확인하였다. 그리고 SOA의 ON/OFF시에 수백 mA급의 전류가 순간적으로 변화함으로 인한 SOA의 손상을 방지하기 위하여 정상전류까지의 도달시간이 조정되도록 전류 패턴을 설계하였다. 또한 기존의 driver에서는 수동으로 전류를 조정하여야 하는데 반하여 본 driver는 설계된 패턴에 따라 자동으로 전류가 공급되도록 하여 편리성 및 안전성을 추구하였다. 이로부터 제작된 저가형 SOA Dimming Driver는 파장 스위핑 레이저에서 사용되던 기존의 고가 SOA Driver들을 충분히 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 추후에는 구현된 SOA Dimming Driver를 TEC와도 연계하여 SOA의 전류 및 온도를 안정적으로 구동할 수 있는 종합형 SOA Driver를 구현하고자 한다.

**감사의 글**

본 연구는 중소기업청의 출연금으로 수행한 산학연공동기술개발사업의 연구결과입니다.

## References

[1] Mark Brezinski, "Optical Coherence Tomography, Principles and Applications", OP Institute of Physics, 2003.
[2] David Huang James G. Fujimoto, "Optical Coherence Tomography", Science, vol. 254, pp. 1178~1181, 1991.
[3] Young Kwan Kim, "A study on time-domain optical coherence tomography(OCT) based on piezoelectric transducer optical delay line", Kyung Hee University, 2011.
[4] Y. Yasuno, V. D. Madjarova, S. Makita, "Three-dimensional and high-speed swept-source optical coherence tomography for in vivo investigation of human anterior eye segments, OPTICS EXPRESS 10652, vol. 13, No. 26, 2005.
[5] Jinseob Eom, "Realization of Swept Source-Optical Coherence Tomography using FDML Laser", Journal of Sensor Science and Technology, vol. 20, No. 1, pp. 46~52, 2011.
[6] Soo-Bin Han, Suck-In Park, Eugine Song, Hak-Guen Jeoung, Bong-Man Jung, Sung-Won You, "Modeling and Simulation of LED Driver", Proceedings of KIIEE Annual Conference, pp. 113~115(3pages)
[7] Soo-Bin Han, Suck-In Park, Hak-Guen Jeoung, Su-Young Chae, Eu-Jin Song, Bong-Man Jung, "A Study on the Modeling and Simulation of LED Driver Using HV9910 IC", Journal of Korean Institude of Illuminating and Elestrical Installation Engineers, vol. 26(4), pp. 14~21, 2012.
[8] W. J. Yoo, I. Y. Heo, D. h. Cho, K. W. Jang, J. K. Seo, B. S. Lee, Y. H. Cho, J. H. Moon, B. G. Park, "Fiber-optic sensor, optical fiber, optical sensor, pH sensor, phenol red", Journal of Sensor Science and Technology, vol. 18, No. 5, pp. 365~371, 2009.

## ◇ 저자소개 ◇

**이주찬** (李柱燦)
1969년 8월 27일생. 98년 충주산업대학교 전자통신공학과 졸업. 2000년 충주대학교 전자공학과 졸업(석사). 2011년 강원대학교 전자공학과 박사과정 수료.
주관심분야 : 광통신, 광센싱, 광교환

**엄진섭** (嚴震燮)
1959년 2월 20일생. 1982년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1984년 서울대학교 전자공학과 졸업(석사). 1990년 미국 Texas A&M University, Dept. of Electrical Eng. 졸업(박사). 1984년 3월~1985년 2월 금성반도체 연구소 전임연구원. 1985년 5월~1987년 7월 KT 품질보증단 전임연구원. 1991년 3월~1992년 8월 KT연구소 선임연구원. 1992년 8월~현재 강원대학교 전자공학과 교수.
주관심분야 : 광통신, 광센싱, 광교환