



## 저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

2015년 2월  
석사학위논문

광반응 재료가 코팅된 단주기격자  
기반 자외선 센서의 휴대성 및  
민감도 향상 연구

조선대학교 대학원

광기술평학과

김우영

광반응 재료가 코팅된 단주기격자  
기반 자외선 센서의 휴대성 및  
민감도 향상 연구

Improving the Portability and Sensitivity of Ultraviolet  
Optical Sensors Based on Fiber Bragg Gratings  
by Coating with a Photo-Responsive Material

2015년 2월 25일

조선대학교 대학원

광 기 술 공 학 과

김 우 영

광반응 재료가 코팅된 단주기 격자  
기반 자외선 센서의 휴대성 및  
민감도 향상 연구

지도교수 안 태 정

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2014년 10월

조선대학교 대학원

광 기 술 공 학 과

김 우 영

# 김 우 영의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 권 민 기 인

위 원 조선대학교 교수 안 태 정 인

위 원 조선대학교 교수 김 현 수 인

2014년 11월

조선대학교 대학원

# 목 차

## ABSTRACT

제1장 서 론 .....	1
제2장 이 론 .....	3
제1절 자외선 센서 .....	3
1. 자외선 카메라 .....	8
2. 반도체 기반 자외선 센서 .....	8
제2절 광섬유 격자 센서 .....	11
1. 광섬유 격자 센서의 원리 .....	11
2. 아조벤젠이 코팅된 식각 단주기 격자 .....	12
3. 응용분야 및 시장성 .....	13
제3장 민감도 및 안정성 향상 .....	23
제1절 민감도 향상 .....	23
1. 평면 반사판을 이용한 민감도 향상 .....	23
2. 곡률을 가지고 있는 반사판 이용한 민감도 향상 .....	29
3. 곡률을 가지고 있는 반사판과 원통형 집광 렌즈를 이용한 민감도 향상 .....	33
제2절 측정 안정성 향상 .....	38
1. 모듈의 필요성 .....	38
2. 모듈 .....	38

제4장 자외선 광센서 시스템 .....	47
제1절 시스템 설명 및 작동방법 .....	47
1. 시스템 설명 .....	47
2. 작동방법 .....	47
제2절 광스펙트럼 분석기와 자외선 광센서 시스템 비교 분석 .....	57
제3절 다중 지점 자외선 측정 실험 .....	60
 제5장 결론 .....	 63

[참고문헌]

[감사의 말씀]

# 그림 목 차

그림 2.1 에탄올 화염의 가시영상	4
그림 2.2 에탄올 화염의 자외선 영상	4
그림 2.3 합성된 영상	4
그림 2.4 고압전선 코로나	5
그림 2.5 코로나 검출 시스템	5
그림 2.6 지문감식 자외선 카메라 작동원리 및 구조	6
그림 2.7 지문감식 자외선 카메라	7
그림 2.8 UV Tron	10
그림 2.9 GaN UV Sensor(UV-A Sensor/GUVA-S12SD)	10
그림 2.10 SiC Photodiode	10
그림 2.11 광섬유 격자 센서의 원리	14
그림 2.12 HF(농도 25%)가 들어가 있는 아크릴 사각 수조	15
그림 2.13 아조벤젠 코팅을 하기 위한 테프론 몰드	16
그림 2.14 자외선램프의 스펙트럼	17
그림 2.15 식각된 FBG에 아조벤젠 폴리머 코팅	18
그림 2.16 직경에 따른 중심파자의 민감도	19
그림 2.17 광섬유 센서의 세계 시장 동향	20
그림 3.1 평면 반사판의 반사율 측정 실험 구성	25
그림 3.2 자외선 센서와 평면 반사판을 결합한 실험 구성	27
그림 3.3 각각의 평면 반사판에 따른 최대 파장 이동량	28
그림 3.4 자외선 센서와 곡률을 가진 반사판을 결합한 실험 구성	30
그림 3.5 알루미늄 반사판의 곡률에 따른 최대 파장 이동량	31
그림 3.6 빨간색 반사판의 곡률에 따른 최대 파장 이동량	32
그림 3.7 곡률을 가진 알루미늄 반사판과 렌즈를 결합한 자외선 센서 구성도	34
그림 3.8 곡률반경과 렌즈 위치에 따른 최대 파장 이동량	35



그림 3.9 자외선 센서의 보조 장치에 따른 최소 측정가능 자외선광 세기	36
그림 3.10 아자외선센서가 측정 가능한 파장 대역	37
그림 3.11 자외선광에 의한 센서 온도 변화	40
그림 3.12 모듈이 없을 때 자외선 on/off에 따른 파장 변화량	41
그림 3.13 자외선 센서의 모듈이 있을 때의 실험 구성	42
그림 3.14 자외선 센서의 모듈이 있을 때 자외선 on/off에 따른 파장 변화량	43
그림 3.15 1차 자외선 센서 패키지 모듈 외형	44
그림 3.16 2차 자외선 센서 패키지 모듈 외형	45
그림 3.17 2차 모듈을 적용한 자외선 세기에 따른 최대 파장 이동량 그래프	46
그림 4.1 자외선 광센서 시스템 외부 패키지 구성 사진	50
그림 4.2 자외선 광센서 시스템의 원리 구성도	51
그림 4.3 자외선 광센서 시스템의 소프트웨어 패널 (LabVIEW)	52
그림 4.4 자외선 광센서 시스템 소프트웨어 LabVIEW 블록 다이어그램	54
그림 4.5 초기화를 위한 블록 다이어그램	55
그림 4.6 광 스위치 기능을 위한 블록 다이어그램	55
그림 4.7 스펙트럼 분석을 위한 블록 다이어그램	56
그림 4.8 데이터 저장을 위한 블록 다이어그램	56
그림 4.9 개발된 자외선 광센서 시스템과 OSA를 통한 자외선 세기 분석 성능 비교 실험 구성도	58
그림 4.10 자외선 광센서 시스템과 OSA를 통한 자외선 반응 분석 비교 그래프	59
그림 4.11 다중 지점 자외선 측정 실험 모식도	61
그림 4.12 다중 지점 자외선 측정 실험 결과 중심파장이 (a)1556 nm (b)1551 nm (c) 1547 nm 인 광섬유격자 센서	62

## 표 목 차

표 2.1 시간에 따른 식각 FBG의 직경 .....	22
표 2.2 최적화된 아조벤젠 폴리머 특성 .....	23
표 3.1 평면 반사판의 반사율 .....	25
표 4.1 자외선 광센서 시스템의 성능표 .....	49
표 4.2 자외선 광센서 시스템 소프트웨어 패널 [그림 4.3]에 버튼 및 기능 설명 .....	53

## ABSTRACT

### Improving the Portability and Sensitivity of Ultraviolet Optical Sensors Based on Fiber Bragg Gratings by Coating with a Photo-Responsive Material

Woo Young Kim

Advisor : Prof. Tae-Jung Ahn, Ph.D.

Department of Photonic Engineering

Graduate School of Chosun University

This study focused on developing an optical sensor that monitors ultraviolet (UV) light. Recently, we proposed and demonstrated a novel, highly sensitive UV sensor based on fiber Bragg grating (FBG). The sensor was coated with an azobenzene polymer material that acts as an UV-induced stretchable functional material in combination with a cylindrical focal lens. The incident UV light is focused on the FBG surface. In this study, we have improved the sensitivity of the sensor by employing a cylindrical focal mirror as a curved reflector to refocus the UV light passing through the FBG. We considered the performance of several different types of reflectors and chose an optimum curvature radius for the reflector. Compared to the UV sensor without an auxiliary device, the sensitivity of the FBG sensor incorporating a focal lens and a curved reflector was 15 times higher.

In addition, we also developed a package module to protect the FBG-based device from environmental factors such as temperature and/or flow fluctuation.

Subsequently, the module was tested to verify its performance.

In previous reports where the FBG sensor was tested, we used individual optical instruments such as a broad-band source and an optical spectrum analyzer. These individual instruments inhibited the implementation of this sensor in industrial fields. For increased portability of the UV sensor, we have developed a single instrument that includes an optical source and a line CCD (charge coupled device) with a diffraction grating to analyze the optical spectrum. In comparison with the previous bulky measurement system, this UV sensing system provides unparalleled performance in terms of mobility and economic efficiency. The system can monitor UV light at multiple regions in four optical channels. For proof-of-concept, we tested the performance of three UV sensors with different center wavelengths placed at different points in series.

## 제1장 서 론

현재 고출력 자외선 발생 장치는 초정밀 부품 생산, 대형 프린팅, 3차원 프린팅 등 많은 산업분야에서 그 활용도가 높아지고 있다. 그에 반해 작업자가 인지 유무에 상관없이 자외선은 눈에 보이지 않기 때문에 자외선 노출에 의한 안전사고 위험이 높다. 자외선은 에너지가 강하므로 UV 램프, UV LED 등 사용자에게 인체나 각종 생체조직에 조사될 경우 피부암, 백내장, 면역체계의 악화 등으로 원인을 유발하기 할 수 있다. 그러므로 눈과 피부에 직접 자외선이 과다 노출되지 않도록 주의해야 한다<sup>[1]</sup>. 이러한 산업현장에서 발생하는 자외선을 감지하기 위해서 다양한 자외선 센서가 개발되었으며, 최근에는 대기 및 천체 관측<sup>[2]</sup>, 화재감시, 핵발전소, 의료분야, 기상관측분야<sup>[3]</sup>, 생물학 분야<sup>[4]</sup>, 코로나 방전 감지<sup>[5]</sup> 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.

기존 상용화된 자외선 센서는 광 이온화 감지기, 광 다이오드나 광전자 증배관과 같은 광전자 방출형 감지기와 CCD와 같은 감지기 등으로 나뉘는데, 주로 무기재료로 만들어지는 이러한 형태의 자외선 감지소자는 열적, 화학적 안정성을 갖는 장점이 있으나, 제작 공정이 복잡할 뿐만 아니라 이로 인한 부대 장비의 추가 요구로 인해 많은 비용이 드는 단점이 있다<sup>[6]</sup>. 또한 대부분의 반도체소자 기반의 자외선 센서는 코로나 방전 감지 같은 고전압을 사용하는 산업현장에서 전자기적 간섭으로 오작동을 일으킬 가능성이 높고 작업자의 현장 접근이 어려운 환경에서 사용하기 불편함 있다<sup>[7]</sup>. 이런 문제를 해결하기 위해서는 전자기적 간섭에 강하며 원거리 측정 등의 장점을 가지고 있는 단주기 광섬유격자 기반 자외선 센서가 연구되었으나, 현장 적용을 위해서는 자외선 광민감도 성능 향상이 요구되었다<sup>[8]</sup>. 최근 연구를 통해 자외선 민감도를 향상시킨 아조벤젠(Azobenzene) 폴리머가 코팅된 광섬유 격자 센서가 개발되었다. 이 광센서의 원리는 자외선 광 노출 유무에 따라 광섬유 격자에 코팅된 아조벤젠 폴리머가 수축 또는 이완을 하게 되어 광섬유격자에 장력을 유도한다. 따라서 자외선 광에 노출에 의한 광섬유격자 간격을 변화시켜 최종적으로 스펙트럼 상에서 광섬유격자의 중심파장이 이동하게 되고, 이 이동량을 분석하여 자외선광의 세기를 측정하는 원리이다<sup>[7, 9, 10]</sup>.

본 논문은 기존에 개발된 자외선 센서에 민감도 향상 방법으로 광섬유격자에

영향을 주지 못하고 지나간 잔광을 다시 반사시켜 아조벤젠 폴리머에 재흡수 시키는 연구를 수행하였고, 또한 외부 환경 변화를 줄이기 위해 자외선센서 패키지 모듈을 제작하고 그 특성을 분석하였다. 기존에 자외선 광을 측정하기 위해서 여러 장치들이 필요하여 불편함이 있었지만 이 여러 장치들을 하나로 통합한 자외선 측정 시스템을 제작하여 기존 측정 장비와 비교 분석하였고, 여러 지점의 자외선 광을 측정하는 연구를 수행했다.

## 제2장 이 론

### 제1절 자외선 센서

#### 1. 자외선 카메라

상업용으로 사용하는 자외선 광학장비는 대부분 살균 및 접촉제의 경화에 쓰인다. 그러나 최근에는 낮에 발전소 및 송전소 간 전기 고압선에서 생기는 코로나 현상을 탐지하여 고장을 알아낼 수 있으며, 화재 발견, 자외선 램프의 성능 검사용, 연소분석 및 플라즈마 연구에 사용할 수 있는 자외선 카메라가 개발되어 자외선의 이용용도를 확장시켜 주고 있다. [그림 2.1]은 에탄올 화염이 주간카메라에는 보이지 않으나 자외선 카메라를 통하여 확인할 수 있고 [그림 2.2], 주간카메라 영상 및 자외선 카메라 영상 합성을 통하여 선명하게 발견할 수 있음을 보여주고 있다 [그림 2.3]. 또한 일반 가시영상서는 확인이 불가능한 고압전선에서 방출되어 발생하는 코로나를 촬영한 사진이다 [그림 2.4]. 코로나 검출 시스템은 [그림 2.5]와 같이 가시광대역의 영상과 UV대역 영상 혼합하여 전시하는 시스템이다. 가시대역의 파장은 Mirror 1, Mirror 2에 반사시켜 일반 비디오 카메라에 입사 시키고, UV대역의 파장은 Catadioptric 망원렌즈와 UV 필터를 통과하여 UV ICCD(Intensified Charged Coupled Device)에 결상시키는 형태이다. Catadioptric 망원렌즈는 일반적인 광학계를 접은 형태로 초점거리가 길고 입사동공이 큰 광학계를 소형화 경량화 하는데 일반적으로 사용된다. 코로나 검출 시스템의 감도를 증가시키기 위해서는 입사동공이 커야하며, 좁은 시야각으로 인해 긴 초점거리가 요구되므로 Catadioptric 망원렌즈가 적당하다<sup>[11]</sup>. 자외선 카메라의 또 다른 용도는 범죄수사에서 지문감식용으로 주로 사용한다. 지문감식용 자외선 카메라의 구조는 [그림 2.7]에서와 같이 양안식과 단안식이 있다. 작동원리와 구조는 [그림 2.6]과 같이 지문 성분의 자외선 반사성향이 표면과 현격히 다른 것을 이용하여, 외부에서 자외선광원을 지문이 있는 표면에 조사하여 지문 잔유물이 있는 곳에서는 난반사하고 그 외의 부분에서는 정반사하는 원리를 이용하고 자외선 필터 및 자외선 증폭관을 이용하여 반사 자외선의 이미지를 획득함으로써 필요한 영상을 얻을 수 있다<sup>[11]</sup>.



그림 2.1 에탄올 화염의 가시영상<sup>[11]</sup>



그림 2.2 에탄올 화염의 자외선 영상<sup>[11]</sup>



그림 2.3 합성된 영상<sup>[11]</sup>



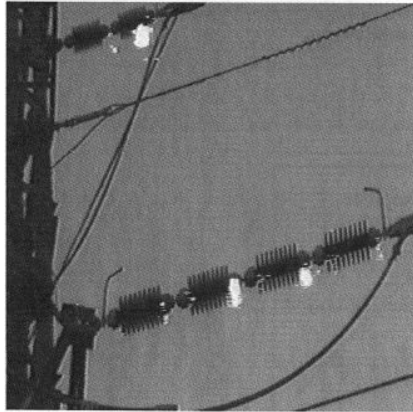


그림 2.4 고압전선 코로나<sup>[11]</sup>

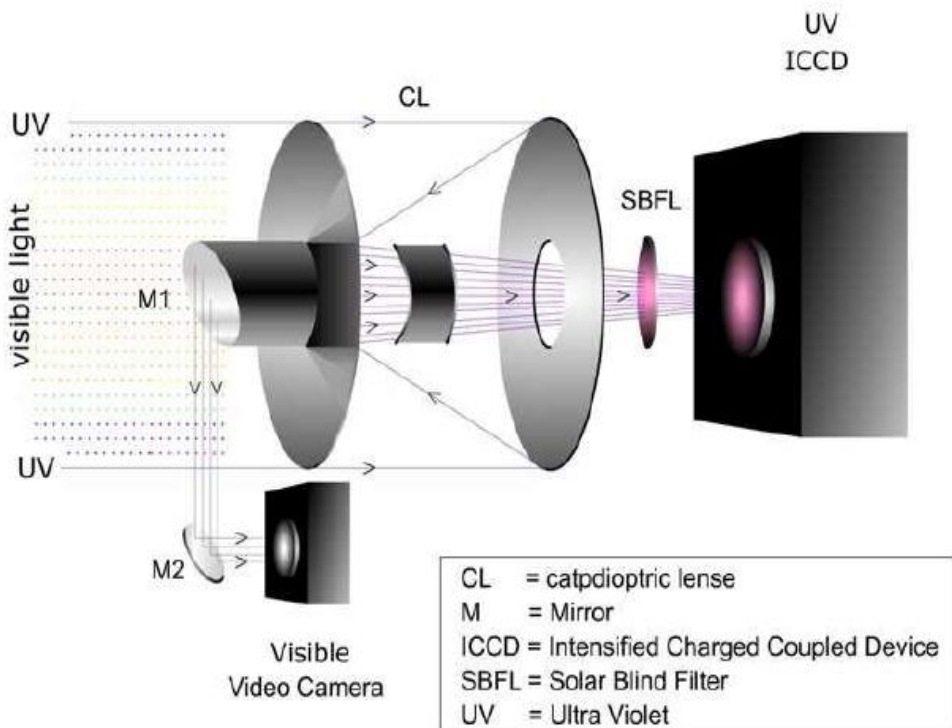


그림 2.5 코로나 검출 시스템<sup>[11]</sup>

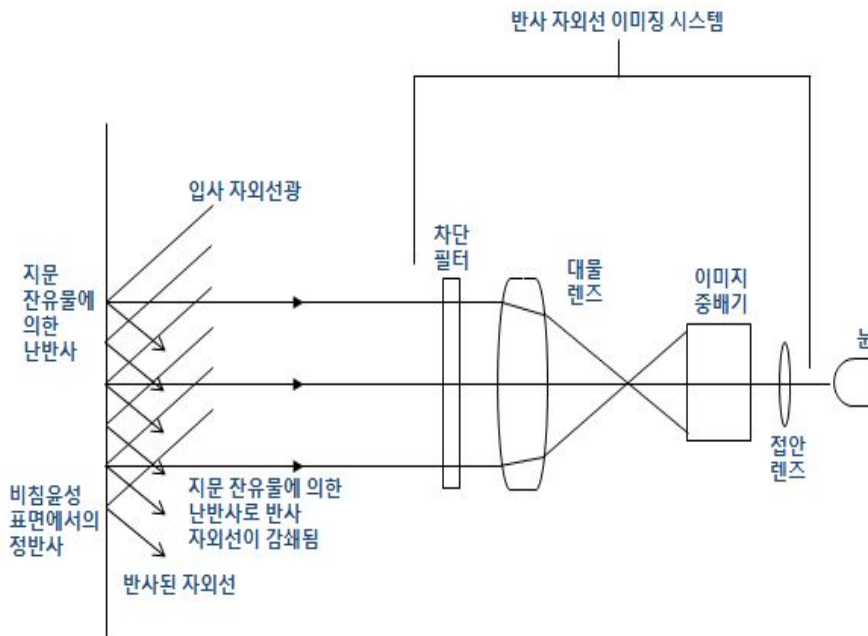


그림 2.6 지문감식 자외선 카메라 작동원리 및 구조<sup>[11]</sup>



- 양안식



- 착용 상태



- 단안식



- 자외선 카메라를 이용한 지문 획득

그림 2.7 지문감식 자외선 카메라<sup>[11]</sup>

## 2. 반도체 기반 자외선 센서

### 가. UV Tron

UV Tron은 자외선투과 등의 자외선을 통하는 재료로 형성된 용기 속에 양극과 음극을 맞보게 하여 직렬저항을 통하여 직류전원에 접속한 구조이다. 외부에서 음극에 자외선을 조사하면 음극표면에서 광전효과에 의해 광전자가 방출된다 [그림 2.8]. 이 조건은 입사광자의 에너지  $h\nu$  ( $h$  : 플랑크 상수,  $\nu$  : 입사광의 진동수)가 음극의 일함수  $\phi$  보다 커야만 한다. 그리고 방출하는 광전자는 전계의 작용으로 봉입기체를 충돌 이온화하면서 양극으로 나아간다. 이것을  $\alpha$  작용이라 한다. 이온화로 인해서 생긴 정 이온은 역으로 음극으로 나아가 그 표면에 충돌하여  $\gamma$  배의 전자를 음극표면에서 방출시킨다. 이것을  $\gamma$  작용이라 한다. 전계가 높아지면 이렇게 하여 양극으로 유입하는 전자수가 지수함수적으로 증대하여 마침내 방전상태가 되어 외부회로에 신호전류  $i_p$ 를 흘린다. 이것은 180 nm ~ 300 nm의 자외선을 검출한다. 용도는 불꽃의 연소상태 검출, 투명 또는 반투명 물체의 핀홀의 검출(보통의 투명·반투명 재료는 자외선을 통하지 않는다.) 등이다<sup>[12]</sup>.

### 나. GaN UV Sensor

[그림 2.9]에 질화갈륨 자외선 센서는 질화갈륨을 이용한 반도체소자로 측정과장은 200 nm - 365 nm로서 여타 소재의 자외선 센서와는 달리 자외선 전용센서로 가시광선에 대한 필터링 장치가 필요 없고, 수신감도가 우수하다. 그리고 질화갈륨의 소재 특성상 열적 및 화학적 안정성이 뛰어나 높은 신뢰도와 안정적인 성능을 가진고<sup>[14]</sup>, 응용 분야로 의료용, 산업용 등으로 쓰이고 있다.

### 다. SiC Photodiode

Silicon Carbide(SiC)을 이용한 광 다이오드의 측정 과장은 210 nm - 380 nm이며, 이 과장을 제외한 나머지 과장에는 반응을 하지 않아 가시광 영역에 대한 필터링 장치가 필요 없고, 내구성이 뛰어나다 [그림 2.10]. 응용분야로 물 처리, 불꽃 감지기, 자외선 노출 측정으로 쓰이고

있다<sup>[16]</sup>.

## 라. 기타 반도체 센서

Sb-Cs의 광전면을 가진 광전자 증배관은 창외 재료로 부규산 유리를 사용한 것은 300 nm 이상의 파장에 대하여 감도를 가지며, 석영유리를 사용한 것은 160 nm 이상의 파장에 대하여 감도를 가지고 있다. 그 밖에 Si 포토다이오드는 200 nm~1100 nm의 근자외선에, GaAsP 포토다이오드(쇼트키형)는 200 nm~700 nm의 자외선에 감도를 가지고 있다. 채널트론은 2차 전자 증배관의 일종으로서 50 nm ~ 150 nm의 자외선에 감도를 가지고 있다<sup>[12]</sup>.

## 마. 광섬유 기반 자외선 센서의 필요성

반도체 기반의 센서들은 넓은 영역의 자외선 대역을 모두 감지하기 불가능하며, 모듈을 생산하기 위한 제작 기반 구축비용이 높고, 실시간으로 원격 모니터링 적용이 어려우며, 특히 전자기파 등에 의해 외부의 잡음으로 인한 오차가 발생할 수 있기 때문에 이러한 단점을 보완하기 위해서 높은 정확성, 작은 크기, 다중 위치 측정가능, 높은 수명, 전자기 내성이라는 장점들을 가지고 있는<sup>[17]</sup> 광섬유 기반 자외선 센서가 필요하다.



그림 2.8 UV Tron<sup>[13]</sup>



그림 2.9 GaN UV Sensor(UV-A Sensor/GUVA-S12SD)<sup>[15]</sup>



그림 2.10 SiC Photodiode<sup>[16]</sup>

## 제2절 광섬유 격자 센서

### 1. 광섬유 격자 센서의 원리

광섬유 격자는 [그림 2.11]와 같이 광대역의 광원이 입사되면 특정 파장의 빛만 반사시키고, 나머지 파장의 빛은 통과시키는 특성을 가지고 있다. 반사되는 특정 파장은 브래그 파장( $\lambda_B$ )이라고 불리며, 광섬유의 굴절률( $n$ ) 및 격자의 간격( $\Lambda$ )에 의해서 결정된다.

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

그 관계식은 식 (1)로 주어지게 되는데 광섬유 격자 주위의 온도 압력 스트레인이 변화되면 그에 따라 광섬유의 굴절률 및 격자의 간격이 변화되고, 이는 브래그 파장의 변화로 나타나게 된다. 따라서 브래그 파장 변화를 측정하면 주위 물리량의 변화를 측정할 수 있다. 광섬유 격자의 센서가 다른 광센서들과 비교해서 높은 정확성, 작은 크기, 전자기 간섭(EMI) 내성, 방폭 성능 등의 장점을 가지고 있다. 또한 파장 분할 다중화 방식을 이용해서 여러 개의 센서를 동시에 측정할 수 있다. 각 다수의 광섬유 격자 센서를 직렬로 연결하고, 이를 하나의 광원을 사용해서 측정할 수 있다. 이 때, 각각의 센서를 구별하기 위해서 각 광섬유 격자의 파장은 서로 다르게 해야 한다. 이렇게 광섬유 격자 센서들을 연결하여 사용하면, 여러 지점의 물리량을 동시에 측정하는 다점 측정 센서 시스템을 구성할 수 있다<sup>[17]</sup>.

하지만 광섬유 격자를 센서로 사용할 때, 단점으로 하나의 물리량에 반응하지 않고, 여러 물리량에 반응한다는 것이다. 예를 들어 변형률을 측정하고자 할 때, 광섬유 격자 센서는 변형률에도 반응을 하지만 주위의 온도에 의해서도 반응을 한다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 온도 보상용 광섬유 격자를 추가로 사용하는 것이다. 즉 측정하고자 하는 지점에 두 개의 광섬유 격자를 설치하여, 하나는 변형률을 측정하고 다른 하나는 온도 변화만 반응하도록 설치해야 한다. 이 후 온도 보상용 격자의 파장 변화를 관측하여 온도변화를 측정하고, 이 온도 변화에 의한 변형률 측정 격자의 파장 변화를 보정하는 방법이다.

또한 광섬유 자체만으로는 실제 센서로 사용하기에는 외부 충격에 약하다. 그렇기

때문에 현장에 사용하기 위해서는 견고성, 가격, 편리성, 신뢰성을 고려하여 센서에 패키징을 해야 한다.

## 2. 아조벤젠이 코팅된 식각 단주기 격자

### 가. 식각 단주기 격자 (Etching FBG)

광섬유 단주기 격자의 식각하는 목적은 자외선 광반응성 고분자인 아조벤젠 폴리머의 반응에 영향을 많이 받아 자외선 감지기의 민감도를 향상시키기 위함이다. 제작 방법으로 [그림 2.12]와 같이 구성하고, 농도 25%의 불화수소(HF, hydrogen fluoride)가 들어 있는 아크릴 수조에 FBG를 넣고, 노출시간에 따라 FBG의 직경이 다르게 제작된다 [표 2.1]. 자외선에 의해 발생하는 아조벤젠의 스트레인이 식각된 단주기 격자에 미치는 영향은 식 (2)와 같다<sup>[18]</sup>.

$$S_F = \frac{S_s}{\pi d^2 E} \quad (2)$$

$S_F$ (force sensitivity),  $S_s$ (stain sensitivity),  $d$ (FBG의 직경),  $E$ (Young's modulus)를 나타내며, 식 (2)에서 통해  $S_F$ 와 FBG의 직경( $d$ )의 제곱에 반비례한다는 것을 알 수 있다<sup>[19]</sup>. 그러므로 광섬유 직경이 작을수록 아조벤젠 폴리머의 반응에 대해서 식각된 단주기 격자가 영향을 많이 받는다.

### 나. 아조벤젠이 코팅된 식각 단주기 격자

식각된 단주기 격자를 지름 0.5 mm, 길이 70 mm인 테프론 주물[그림 2.13]에 고정을 하고 그 주위에 최적화된 아조벤젠[표 2.2]을 적당히 부어 자외선 경화법을 이용하여 [그림 2.14]과 같은 320 nm~ 480 nm 파장 폭을 가진 자외선을 25 mW/cm<sup>2</sup> 노출하여 15분간 경화시킨다. 완성된 아조벤젠이 코팅된 식각 FBG는 [그림 2.15]와 같다. 여기에서 테프론(폴리 테트라 플루오르에치렌)을 선택한 이유는 테프론이 불소수지의 수



요 중 60%를 차지하는 가장 대표적인 불소수지로, 내열성, 내한성, 내약품성, 저마찰 특성, 비점착성, 전기적 성질 등이 뛰어나며 그 특성이 매우 독특하다. 여러 가지의 특성을 동시에 필요로 하는 분야에서 주로 사용되며, 화학공업이나 반도체 산업의 내약품, 내용제성을 필요로 하는 용도로 사용된다. 그 중에서 특히 모든 고체 중에서 가장 작은 마찰계수를 가지고 있으며, 비흡수성과 내약품성, 가공의 용이성 때문에 아조벤젠 코팅을 위한 주물의 재료로 채택하였다<sup>[18]</sup>. [그림 2.16]는 FBG의 직경에 따른 자외선의 노출에 대한 민감도가 향상되는 나타내고 있다. 본 연구에서는 아조벤젠이 코팅된 식각 FBG의 직경을 80  $\mu\text{m}$ 로 선택하였다. 그 이유는 직경이 80  $\mu\text{m}$ 보다 작을수록 자외선 광을 감지 중에 FBG가 아조벤젠의 장력에 의해서 끊어질 수 있는 문제가 발생할 수 있으므로 안정성을 위해서 직경이 80  $\mu\text{m}$ 인 아조벤젠이 코팅된 식각 FBG를 선택하였다.

### 3. 응용분야 및 시장성

현재 광섬유 격자 센서는 일반적으로 온도, 압력, 변형률 측정에 대부분 사용되고 있다. 광섬유 격자 센서의 장점을 활용하여 파장 분할방식을 응용한 브래그 격자 센서 어레이를 하여 대형 건축물(댐, 교량, 원전시설)의 구조 건전성 평가에 응용되고 있고, 건물을 실시간으로 모니터링 하는 곳에서도 응용이 되고 있다. 최근에는 유럽의 SCK·CEN, Fraunhofer-INT 등 기업과 연구소를 중심으로 Fiber Bragg Grating(FBG) 센서를 원전 시설과 우주환경에 적용하기 위해서 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[20, 21, 22]</sup>.

ElectroniCast에 따르면 세계 광섬유 센서 소비액은 2012년 - 2017년 동안 20.3%의 큰 폭의 증가로 2012년에는 연평균 15억 8,000만 달러에서 2017년에는 39억 8,000만 달러에 도달할 것으로 예상되고 있다 [그림 2.17].

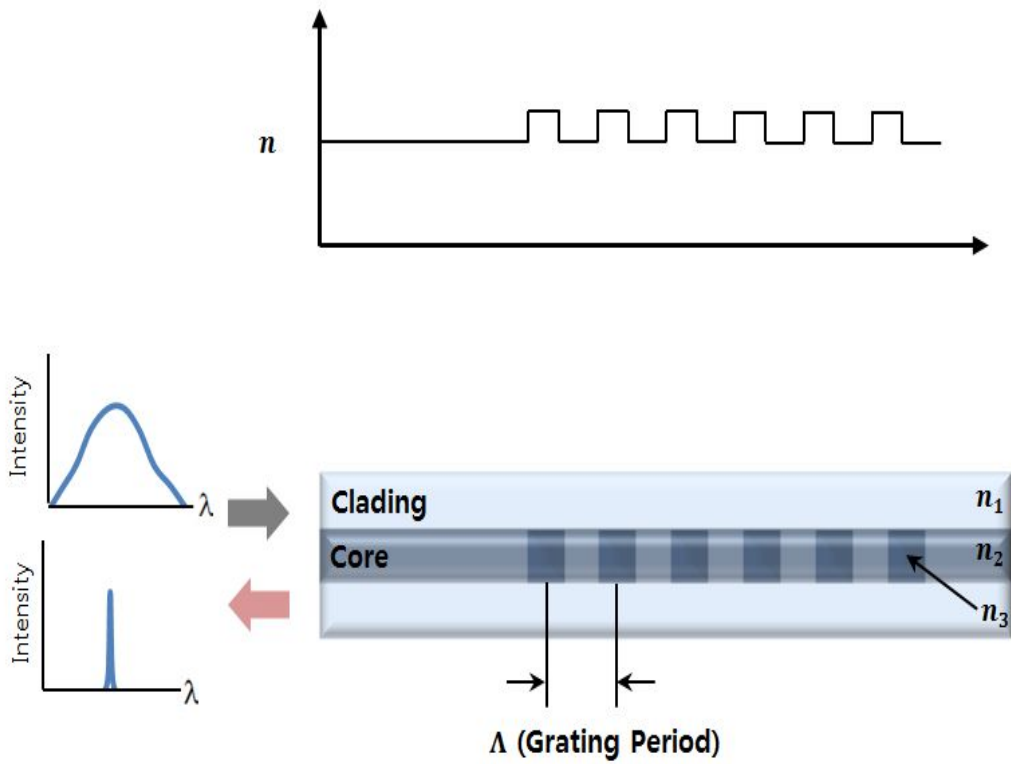


그림 2.11 광섬유 격자 센서의 원리



그림 2.12 HF(농도 25%)가 들어가 있는 아크릴 사각 수조<sup>[18]</sup>

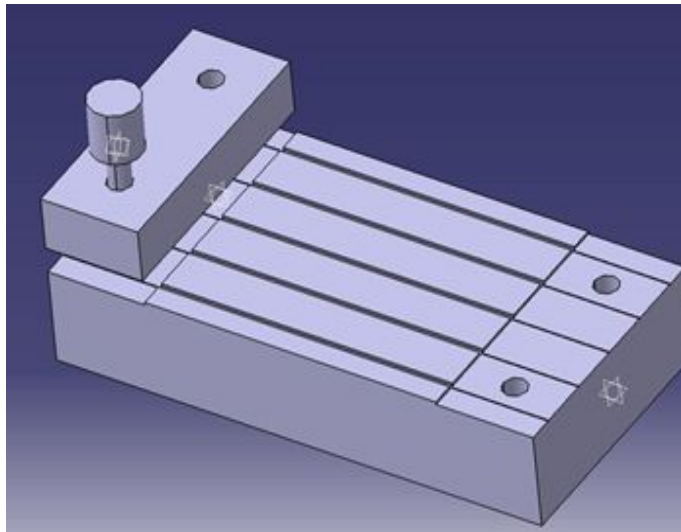


그림 2.13 아조벤젠 코팅을 하기 위한 테프론 몰드<sup>[18]</sup>

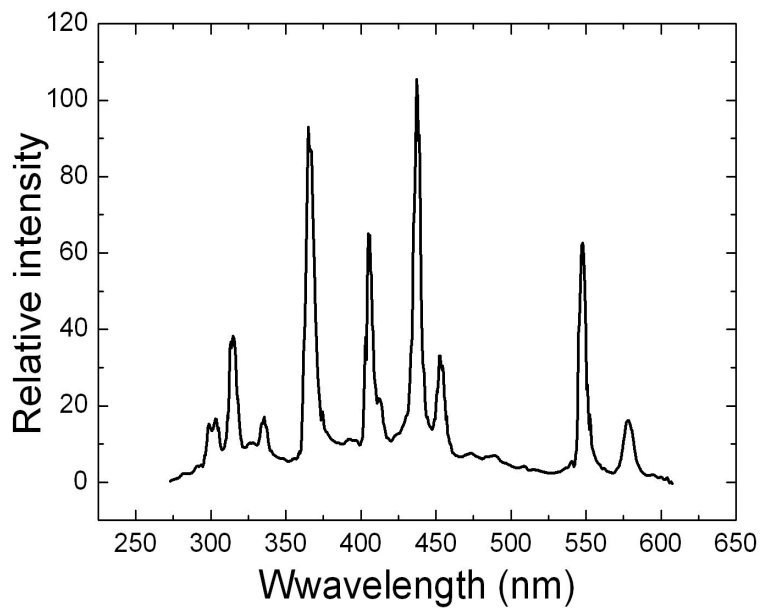


그림 2.14 자외선램프의 스펙트럼<sup>[18]</sup>

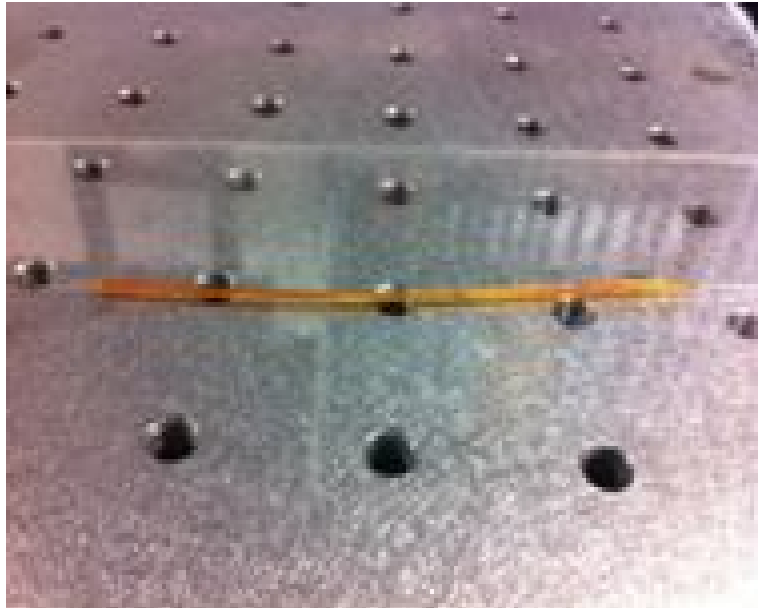


그림 2.15 식각된 FBG에 아조벤젠 폴리머 코팅<sup>[18]</sup>

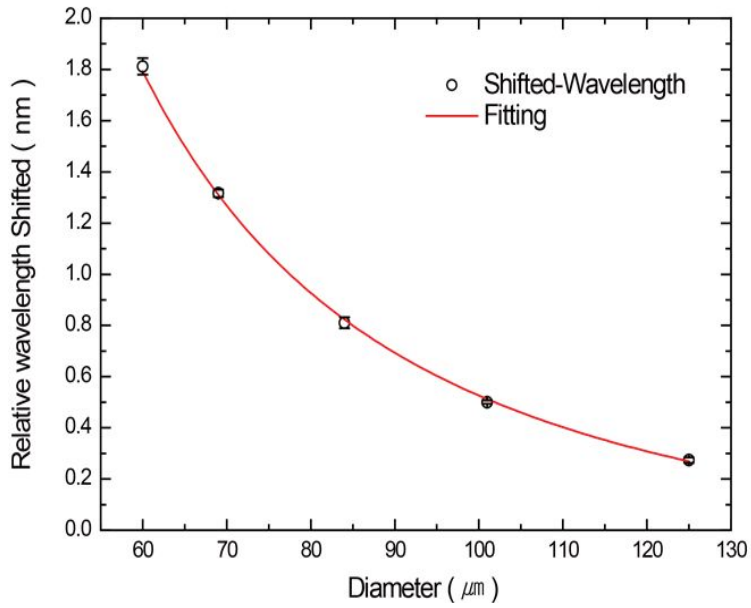


그림 2.16 직경에 따른 중심파장 이동량<sup>[18]</sup>

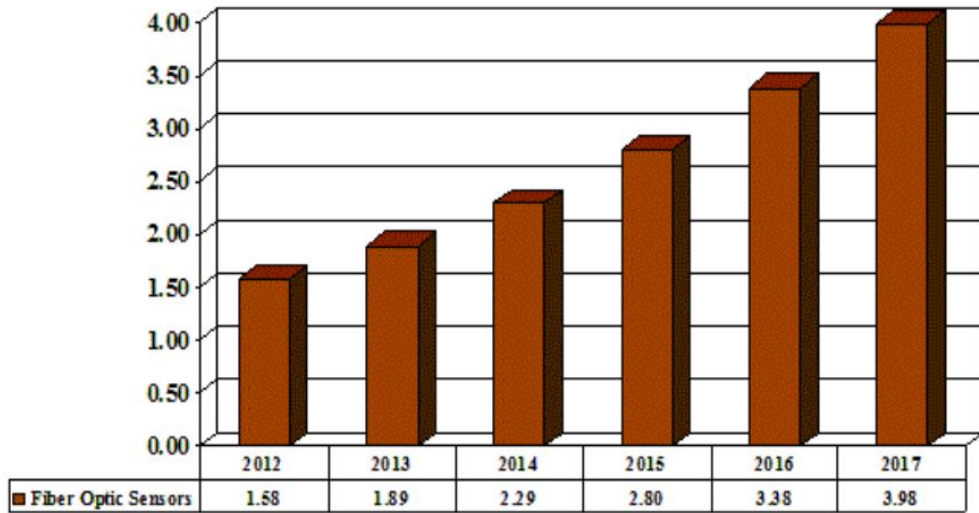


그림 2.17 광섬유 센서의 세계 시장 동향<sup>[23]</sup>



	식각시간(min)	FBG의 직경( $\mu\text{m}$ )
1	6	101
2	12	83
3	18	70
4	22	60

표 2.1 시간에 따른 식각 FBG의 직경<sup>[18]</sup>

구 성 성 분		Azo-VE2
Oligomer		EB 284
Monomer		TMPEOTA, HDDA
Azo 화합물	Azo-A	-
	Azo-VE	5
광개시제	TPO	2
	Irgacure 250	1
점도(CP)		4000
평균 길이 변화( $\mu\text{m}$ )		10.27354
신장률(%)		0.15
재현성		< 2

표 2.2 최적화된 아조벤젠 폴리머 특성<sup>[18]</sup>

## 제3장 민감도 및 안정성 향상

### 제1절 민감도 향상

#### 1. 평면 반사판을 이용한 민감도 향상

자외선 반응물질인 아조벤젠 폴리머가 코팅된 광섬유격자에 자외선이 노출되는 면적이 작아서 많은 양의 자외선을 흡수시키기 어렵다. 많은 양의 자외선을 흡수시킬수록 민감도가 증가하기 때문에 이것을 위해 기존에는 원통형 자외선 집광렌즈(THORLABS LJ4107-UV)를 사용해서 흡수율을 증가시켜 자외선센서의 민감도를 향상시켰다<sup>[10]</sup>. 하지만 아무리 잘 집광시켜도 광섬유격자를 통과해서 지나가는 잔광들이 존재하고 이러한 잔광들을 다시 반사시켜 재흡수를 시키면 민감도를 더욱 향상시킬 수 있다는 아이디어에서 연구가 시작되었다.

본 실험에서는 먼저 원통형 집광렌즈를 사용하지 않고 자외선 센서의 민감도를 향상시킬 수 있는 반사판을 선택하기 위해서 [그림 3.1]과 같이 실험을 구성하고, 여러 종류의 반사판의 반사율을 측정하였다 [표 3.1]. 본 실험에서는 사용한 반사판 중 가장 높은 반사율을 가진 알루미늄이 자외선 센서의 민감도가 높을 것이라고 예상하고, 결과를 확인하기 위해서 [그림 3.2]와 같이 실험을 구성하였다. 파장 분포가 1530 nm에서 1560 nm까지인 광대역 광원 (Broadband Light Source (Opto speed SLED-1550D5A))에서 나온 빛을 자외선 센서의 FBG(Fiber Bragg Grating) 입력단에 입사시킨 후 FBG(Fiber Bragg Grating)에서 반사되는 광을 Circulator를 이용하여 Diffraction filter(Ibsen photonics I-MON interrogation Monitor)와 Linear CCD를 통해 스펙트럼을 얻는다. 자외선이 아조벤젠 폴리머에 노출되면 광섬유격자에 장력을 유도하여 격자 간격을 변화되고, 이것에 의한 스펙트럼 상의 중심파장 변화를 관찰함으로써 자외선 광의 세기를 측정한다. 본 실험에서는 자외선 센서 밑에 각 변이 90 mm인 정사각형 평면 반사판을 두고 자외선 (입사된 자외선광 세기 :  $3.9\text{mW}/\text{cm}^2$ )을 노출시켜 광섬유격자의 중심파장 변화량을 측정하였다. [표 3.1]에서 사용한 6종류의 반사판에 대해 동일한 실험을 반복했다. 그 결과 [그림 3.3]에서와 같이 반사판의 반사율과 민감도가 관계없이 나왔으며, 심지어 반사율이 0.1%로 가장 낮은 빨간색 반사판을 두었을 때, 센서의 중심파

장 변화량이 약 0.46 nm로 가장 높았다. 그 다음으로는 색을 가진 반사판들을 사용하였을 때 민감도가 높은 것으로 분석되었다. 반면 기대했던 반사율이 17.4%로 가장 높은 알루미늄을 사용하였을 때는 파장 변화량이 약 0.1nm로 가장 낮았다. 그 이유는 높은 에너지를 가진 자외선이 색을 가진 반사판에 흡수 후 재발광되는 빛에 의한 것과 난반사에 의한 결과로 확인된다.

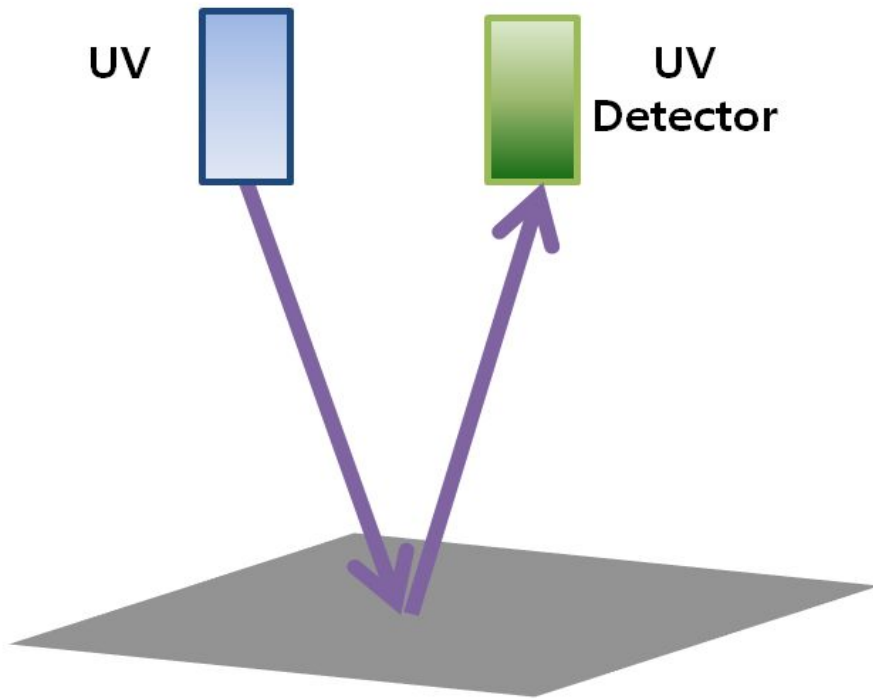


그림 3.1 평면 반사판의 반사율 측정 실험 구성

번호	종류	반사율 (%)
1	알루미늄	17.4
2	회색	1.8
3	흰색	1.2
4	노란색	1
5	파란색	0.8
6	빨간색	0.1

표 3.1 평면 반사관의 반사율

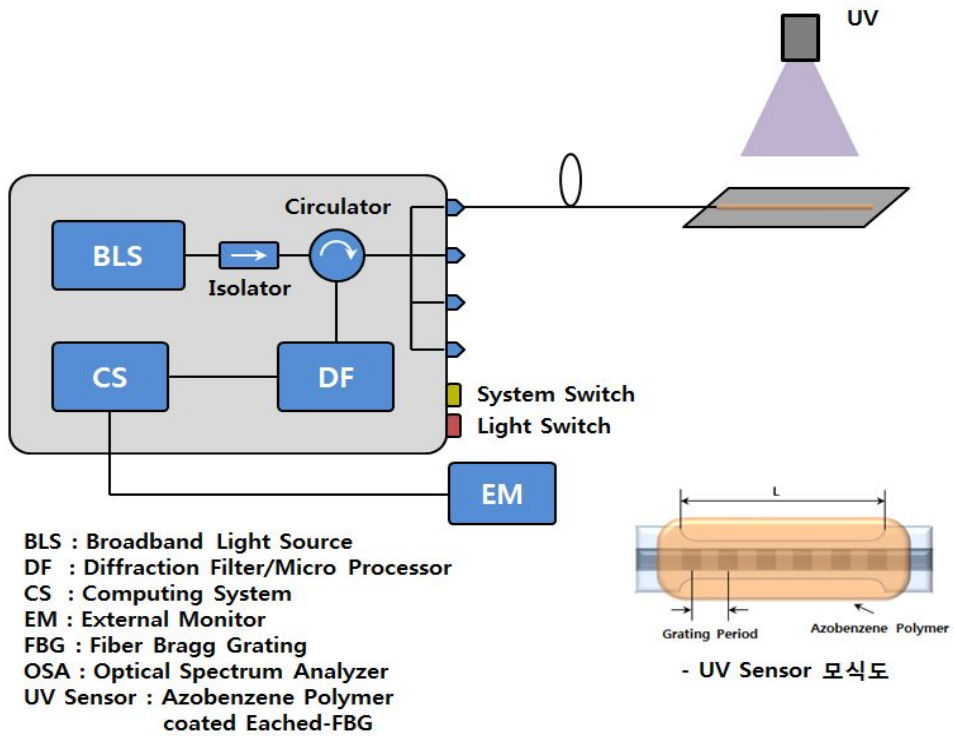


그림 3.2 자외선 센서와 평면 반사판을 결합한 실험 구성

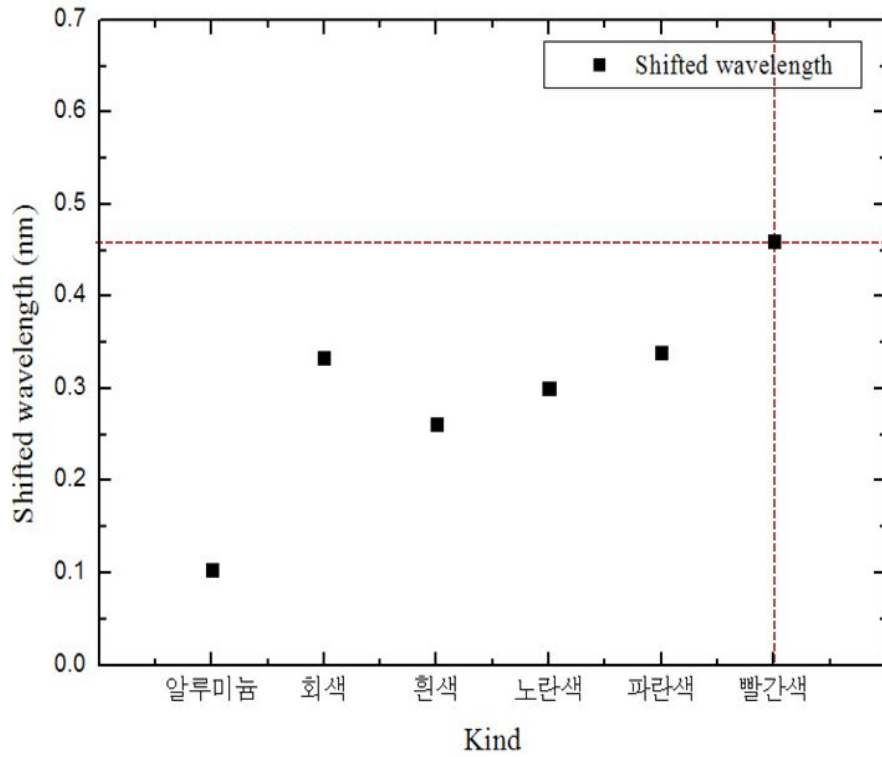


그림 3.3 각각의 평면 반사판에 따른 최대 파장 이동량



## 2. 곡률을 가지고 있는 반사판을 이용한 민감도 향상

반사판을 구부려서 곡률의 초점 위치에 광섬유격자센서를 위치시켜 자외선 반사광을 재집광시켜서 자외선 민감도를 향상시켰다. 본 실험 구성도는 [그림 3.4]와 같다. 반사판은 반사율이 가장 높은 알루미늄 반사판을 선택하였다. 그 이유는 자외선 센서에 직접적으로 영향을 주는 평면 반사판과 달리 곡률을 가진 반사판의 경우 센서와 간격이 떨어져 있으므로, 반사율이 높아야 자외선 센서에 민감도 향상에 효과적이기 때문이다. 실험 방법은 [그림 3.2]에서 정사각형인 알루미늄 반사판을 두고 양쪽에서 힘을 가해 정사각형인 반사판에 구부려 주면서, 자외선 센서에 자외선(입사된 자외선 세기:  $5 \text{ mW/cm}^2$ )을 노출시키면서 센서의 민감도를 측정하였다. 반사판의 곡률반경을 변화시키면서 반복 측정하여 자외선 광민감도를 가장 높일 수 있는 곡률반경을 찾았다. 그 결과, 자외선 센서와 반사판의 사이 거리가 21 mm이고, 곡률반경이 42.9 mm인 지점에서 자외선에 의한 파장 변화량이 1.1 nm로 민감도가 가장 높은 것을 확인하였다 [그림 3.5]. 반사판의 선택의 적절성을 확인하기 위해서 자외선 센서의 민감도가 높았던 곡률반경 42.9 mm와 46.7 mm에서 [그림 3.3]에서의 민감도가 가장 높았던 빨간색 반사판에 적용하여 비교 실험을 하였고, [그림 3.6]과 같은 결과를 얻었다. [그림 3.5]와 [그림 3.6]을 비교해서 보면 자외선 센서의 민감도 차이가 크게 난다는 것을 확인할 수 있었고, 곡률반경을 가진 반사판에서는 반사율이 높은 반사판을 사용해야 함을 확인했다.

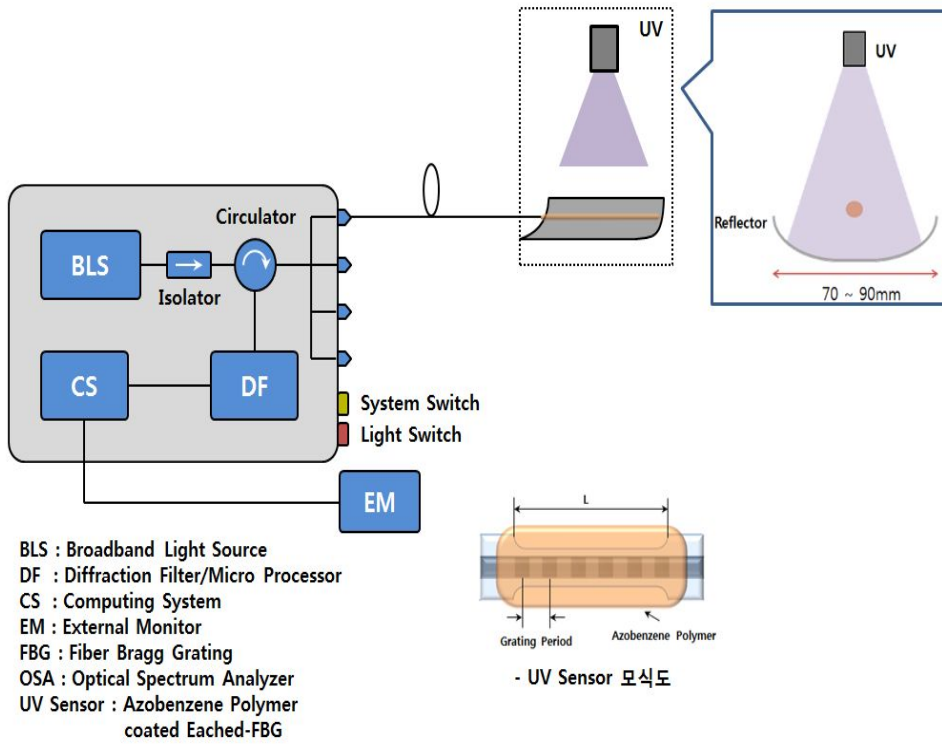


그림 3.4 자외선 센서와 곡률을 가진 반사판을 결합한 실험 구성

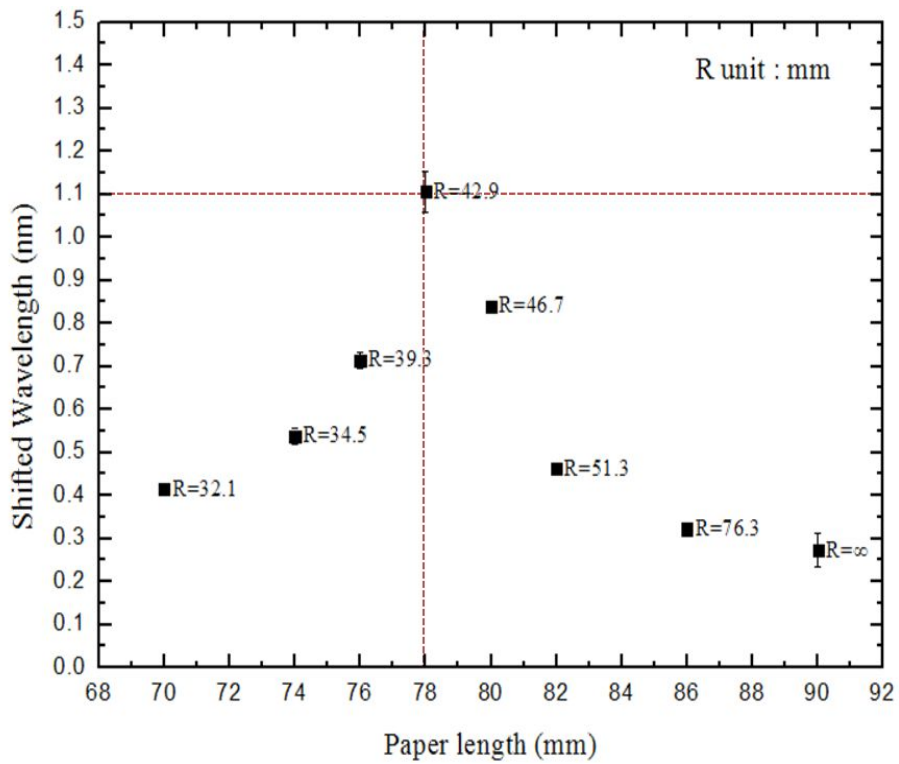


그림 3.5 알루미늄 반사판의 곡률에 따른 최대 파장 이동량

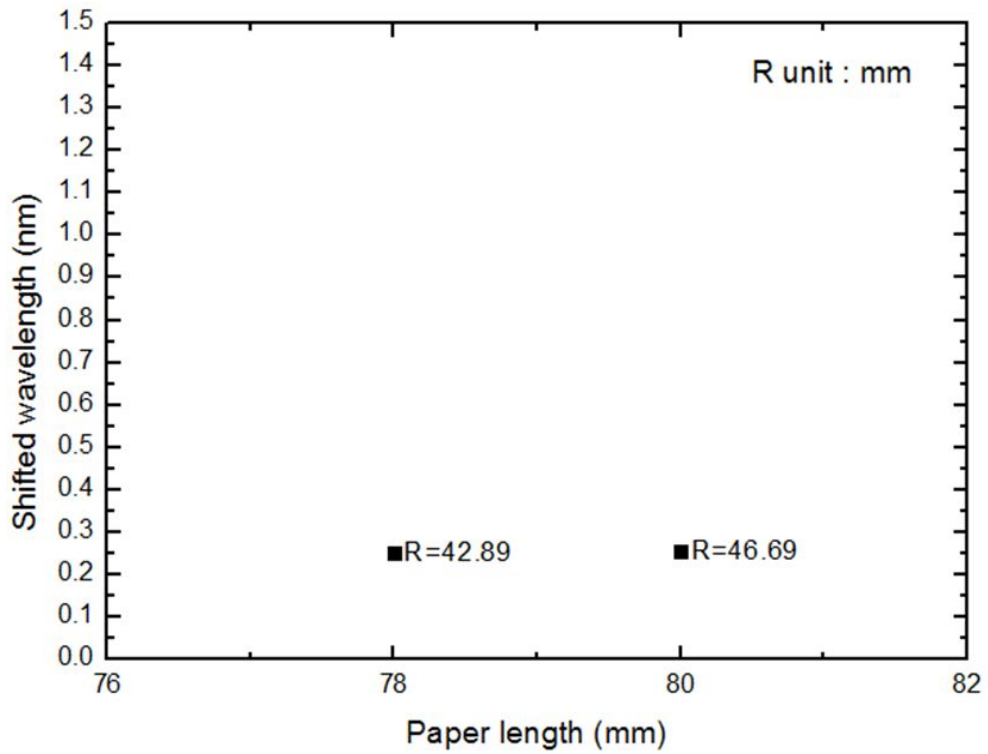


그림 3.6 빨간색 반사판의 곡률에 따른 최대 파장 이동량

### 3. 곡률을 가지고 있는 반사판과 원통형 집광렌즈를 이용한 민감도 향상

최근 연구에서 원통형 집광렌즈를 이용하여 자외선 센서의 민감도를 향상시켰다<sup>[10]</sup>. 본 실험에서는 반사판과 집광렌즈를 함께 사용하여 기존에 얻은 민감도보다 더욱 향상된 결과를 얻었다. 본 실험 구성은 [그림 3.4]와 같고, 자외선 센서 위에 [그림 3.7]과 같고 원통형 집광렌즈를 두고 실험 하였다. [그림 3.5]에서 자외선 센서의 민감도가 효율이 좋았던 곡률반경인 39.3 mm, 42.9 mm, 46.7 mm 경우에서 각각 집광렌즈의 높이를 21.4 mm에서 27.4mm까지 1 mm씩 변화시키면서 실험을 반복하였다. 그 결과 [그림 3.8]에서와 같이 곡률반경 42.9 mm와 렌즈의 높이 24.4 mm에서 파장 변화량이 약 1.9 nm로 가장 효율이 좋았다. 본 연구를 통해 자외선 센서의 민감도를 최적화하기 위한 집광렌즈의 위치와 반사판의 곡률반경 조건을 얻었다.

본 논문은 (i) 자외선 센서(아조벤젠 폴리머가 코팅된 Fiber Bragg Grating)만 사용하였을 경우, (ii) 자외선 센서에 최적화된 곡률반경을 가진 알루미늄 반사판만을 적용했을 경우, (iii) 자외선 센서에 원통형 집광렌즈만 사용하였을 경우, (iv) 마지막으로 자외선 센서에 집광렌즈와 최적화된 곡률을 가진 반사판을 모두 사용하였을 경우 이렇게 4가지로 분류하여 실험을 진행하였다. [그림 3.9]는 각 경우에 따른 자외선 센서가 측정 가능한 최소 자외선 세기를 보여준다. 이 값이 작을수록 자외선에 민감한 자외선 센서라고 할 수 있다. 측정된 결과 자외선 센서에 아무런 장치를 적용하지 않은 경우와 비교하여 반사판만 사용한 경우와 렌즈만 사용한 경우가 각각  $0.3 \text{ mW/cm}^2$ 에서  $0.086 \text{ mW/cm}^2$  그리고  $0.07 \text{ mW/cm}^2$  으로 효율이 각각 약 3.5배와 약 4.3배 증가한 것을 알 수 있다. 렌즈와 반사판을 모두 사용하였을 경우는  $0.3 \text{ mW/cm}^2$ 에서  $0.02 \text{ mW/cm}^2$  으로 효율은 15배가 증가하는 것을 확인하였으며, 자외선 센서가 측정 가능한 파장대역은 [그림 3.10]과 같다.

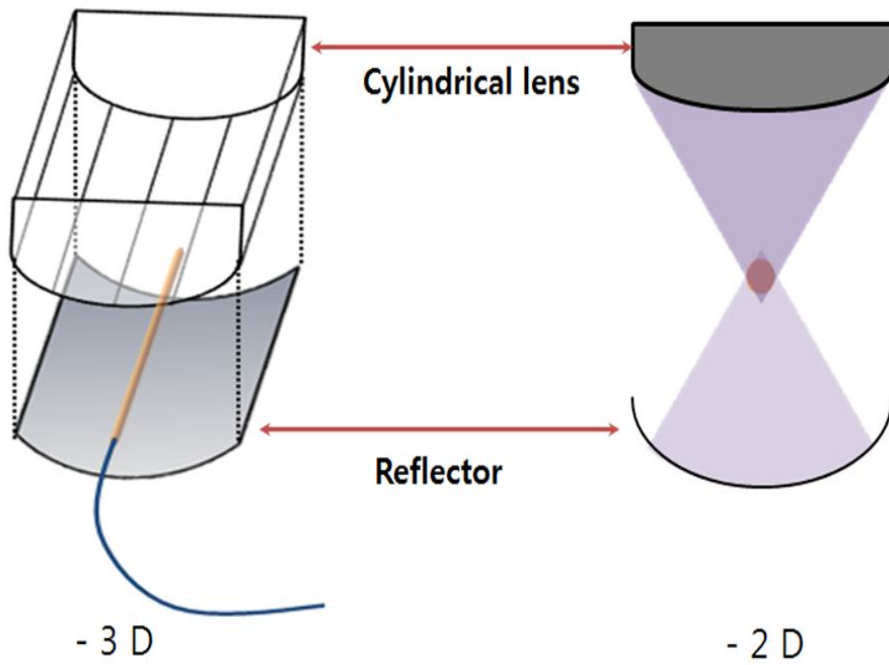


그림 3.7 곡률을 가진 알루미늄 반사판과 렌즈를 결합한 자외선 센서 구성도

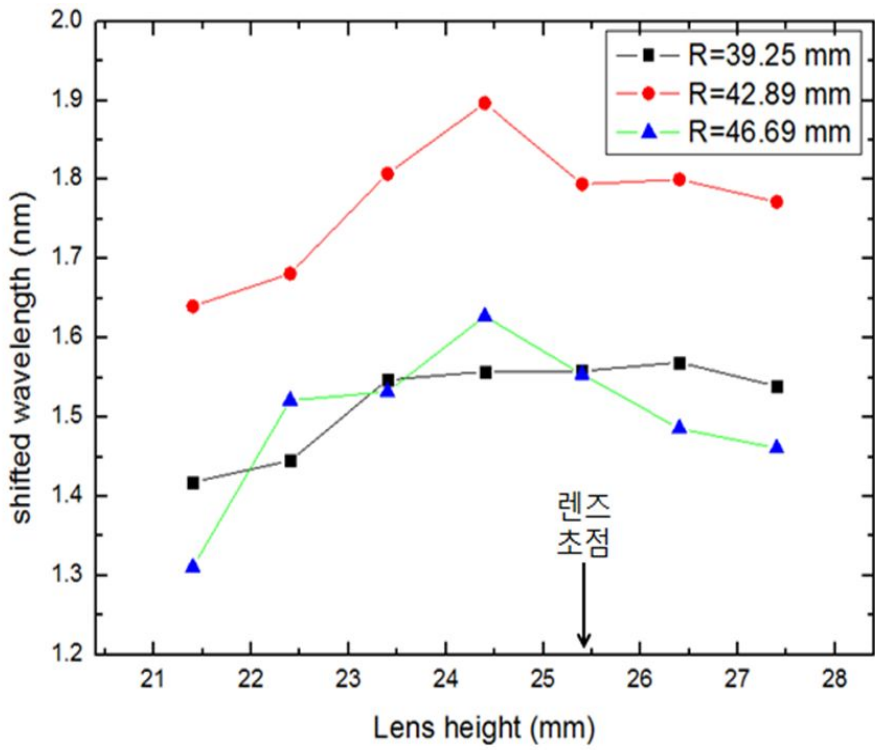


그림 3.8 곡률반경과 렌즈 위치에 따른 최대 파장 이동량

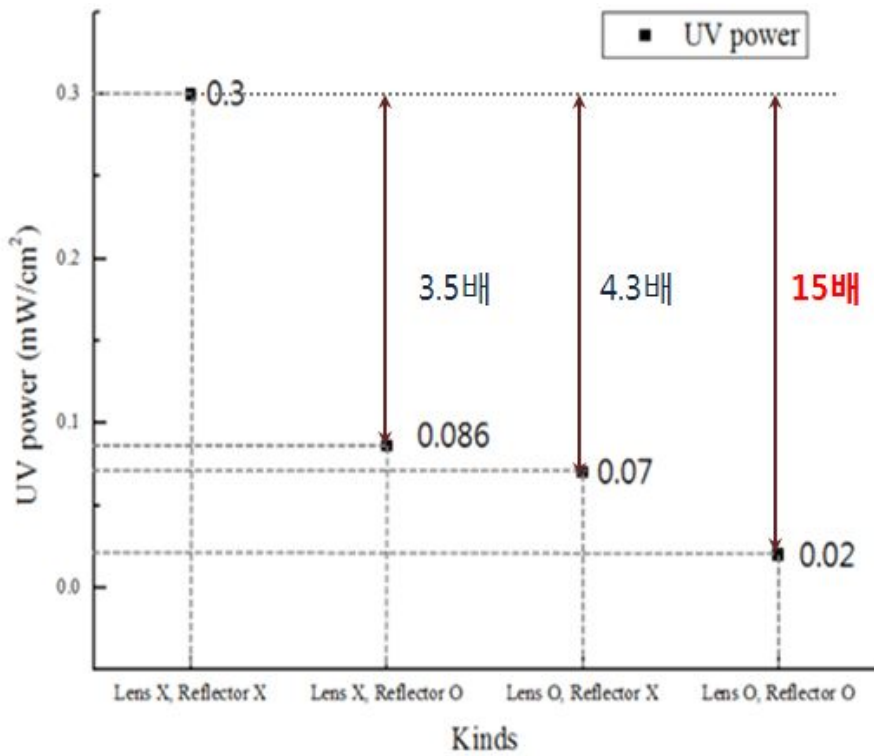


그림 3.9 자외선 센서의 보조 장치에 따른 최소 측정가능 자외선광 세기



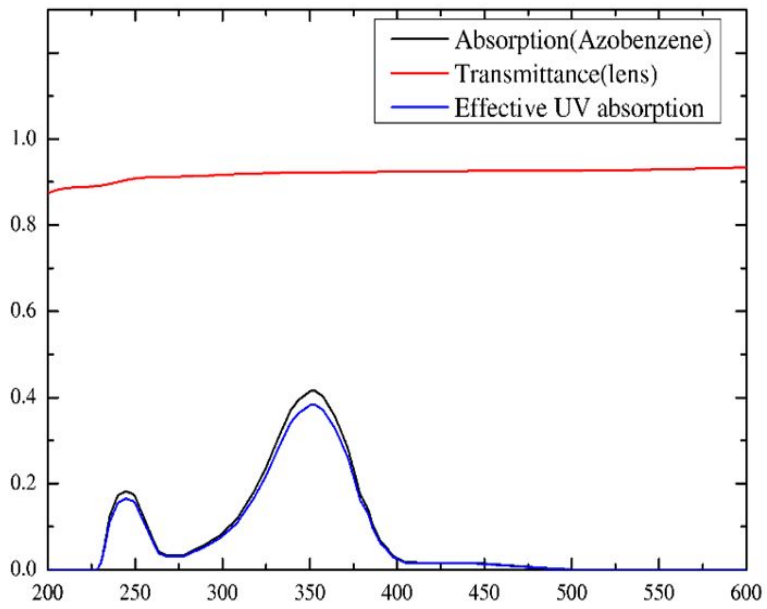


그림 3.10 자외선센서가 측정 가능한 파장 대역

## 제2절 측정 안정성 향상

### 1. 모듈의 필요성

자외선 센서의 측정 결과가 온도변화 또는 대기의 요동 등 외부 환경 요인에 의해 다소 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 여기에서 임의적인 환경 변화에 따른 측정 신뢰성을 실험실 내의 에어컨을 활용하여 실험하였다. 특히 에어컨 작동에 따른 자외선을 측정하는 과정에서 자외선 센서를 진동을 발생시켰다. [그림 3.10]는 자외선의 on/off에 따른 주변 온도 변화 그래프이고, [그림 3.11]은 서로 다른 환경 상황에서 자외선 센서의 중심과장 변화그래프를 보여준다. aircon on\_1과 aircon on\_2는 풍량의 세기가 서로 다르다. [그림 3.10]에서 모듈이 없을 때 자외선 광에 의한 온도 변화가 쉽게 발생하여 광섬유격자 변화에 직접적인 영향을 주게 되어 신뢰성이 떨어진다. 또한 [그림 3.11]에서와 같이 외부 진동이 높은 환경에서 결과에 심각한 영향을 주는 것을 확인하였다. 측정 신뢰도를 향상시키기 위해 아조벤젠 코팅된 광섬유격자를 외부 환경 변화로부터 보호하기 위한 패키지 모듈을 설계 제작하였다. [그림 3.12]는 제작된 모듈을 자외선 센서에 적용하여 실험한 구성도이며, [그림 3.13]는 두 서로 다른 환경에서 측정된 자외선 반응 그래프를 보여준다. 약간의 온도 변화에 따른 차이가 확인되나 진동에 따른 심각한 결과값의 오류는 보이지 않는다. 따라서 설계된 패키지 모듈이 충분히 자외선 센서에 적용 가능함을 확인하였다.

### 2. 모듈

본 논문에서 개발된 아조벤젠 코팅된 광섬유격자 자외선 센서를 외부환경으로부터 보호하기 위해 제작된 1차 모듈의 구성은 다음과 같다 [그림 3.14]. 하지만 개발한 결과 의형적으로 나사부분이 밖으로 돌출됨으로써 자외선 광을 감지하는 부분에서 불편함이 있었고, 온도의 안정성의 부분에서도 다소 문제가 발생하였다. 이런 문제점을 보완하기 위해 2차 모듈을 개발했다. 2차 모듈[그림 3.15]은 향후 전자회로 추가를 통한 일체형 광센서로 제작할 수 있도록 설계하여 향후 모듈자체에 광원과 광검출기 등을 삽입하여

외부 장치 없이 부착만으로 자외선 감지기로 역할을 할 수 있도록 제작하였다. 또한 자외선 센서에 2차 모듈을 적용하여 자외선에 대한 반응도 실험을 진행하였다. 그 결과[그림 3.16] 자외선 세기에 따라서 자외선 센서의 반응도가 선형적으로 반응하였으며, 자외선 센서로서 우수성을 입증하였다.

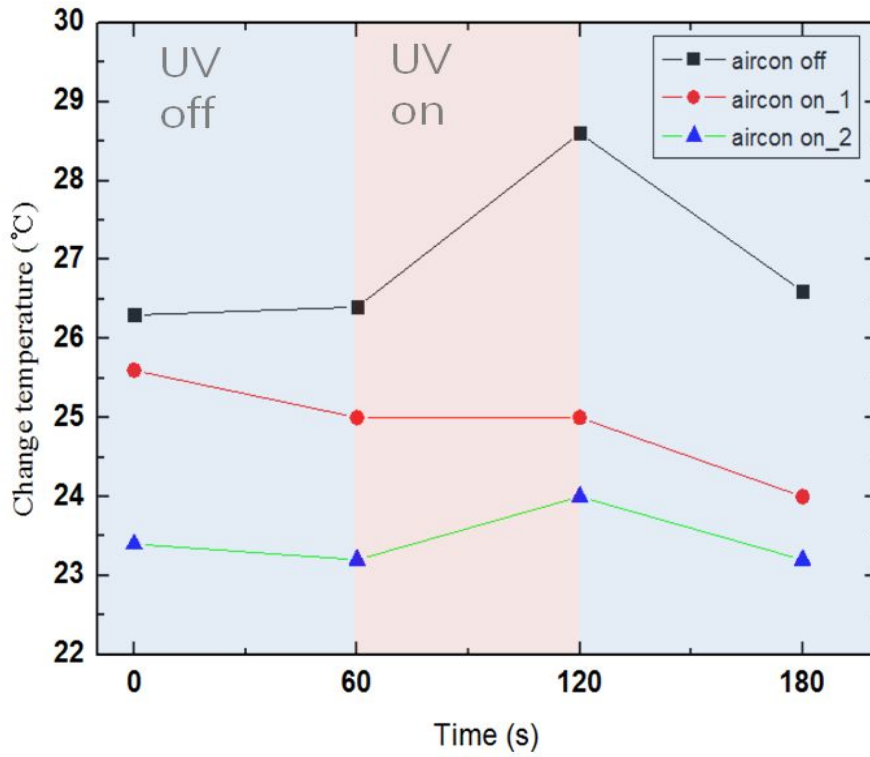


그림 3.11 자외선광에 의한 센서 온도 변화

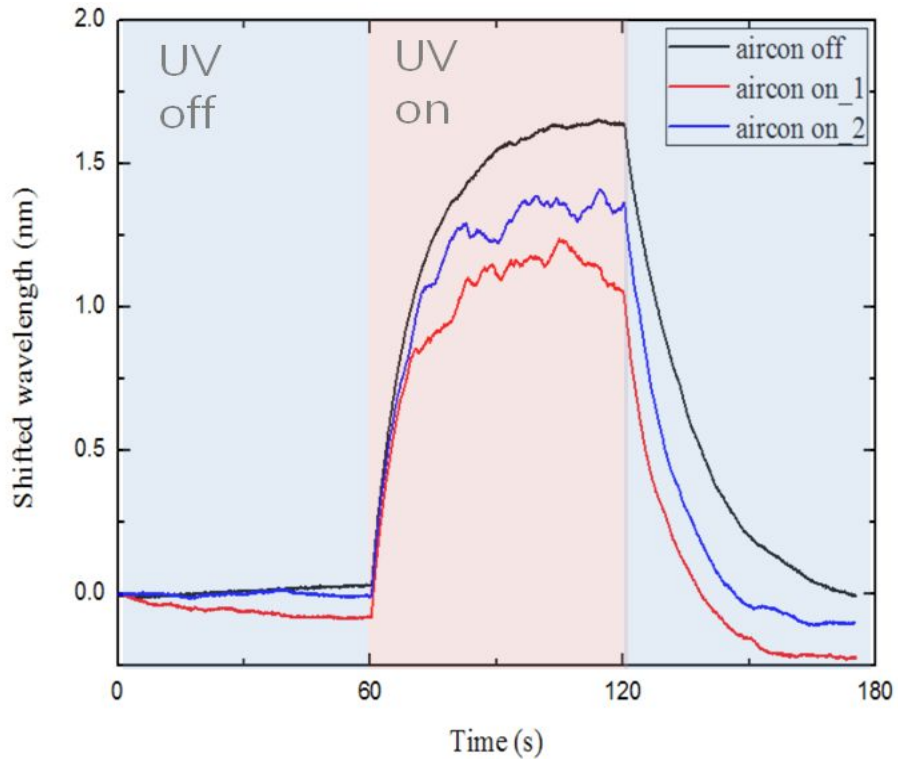


그림 3.12 모듈이 없을 때 자외선 on/off에 따른 파장 변화량

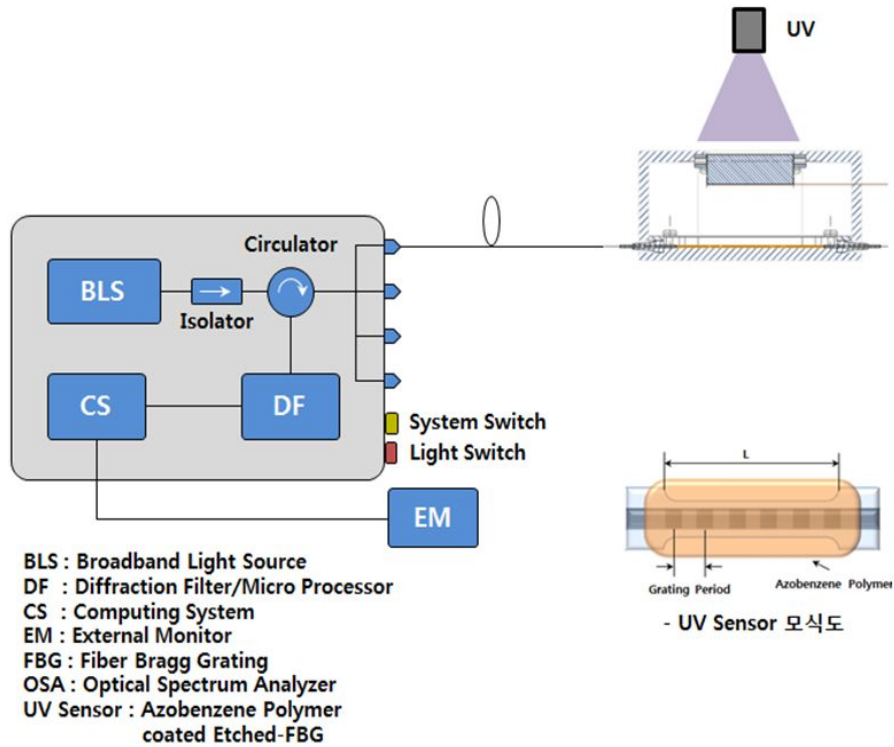


그림 3.13 자외선 센서의 모듈이 있을 때의 실험 구성

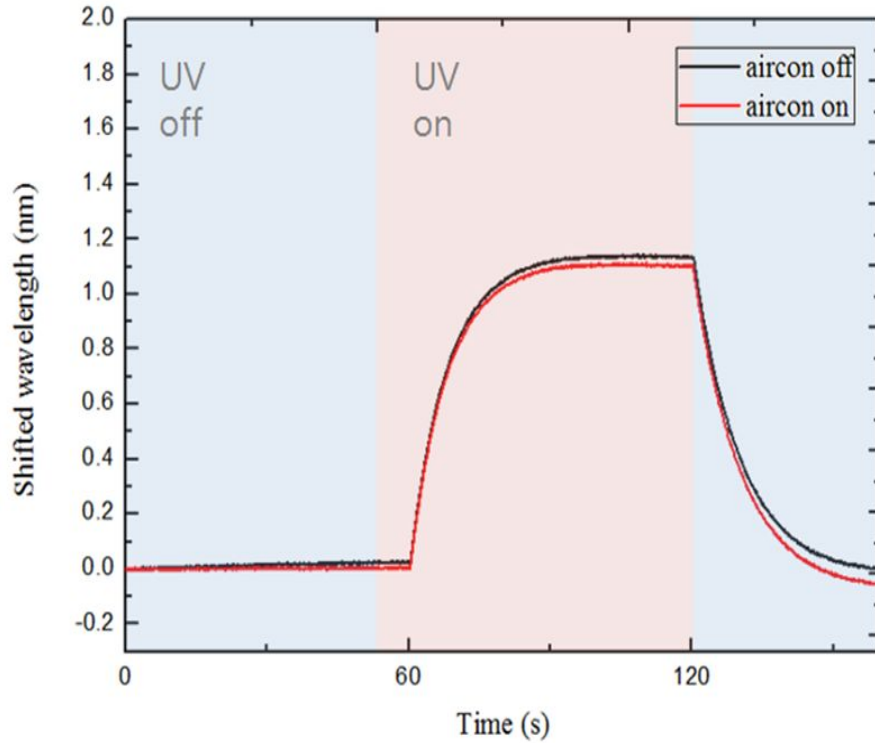
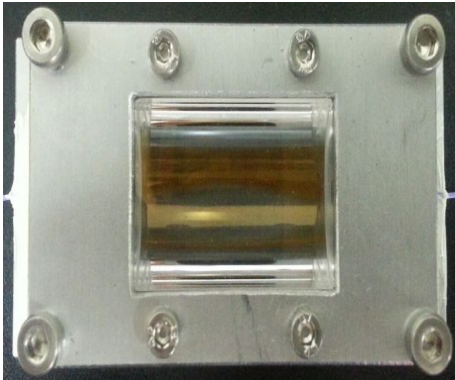


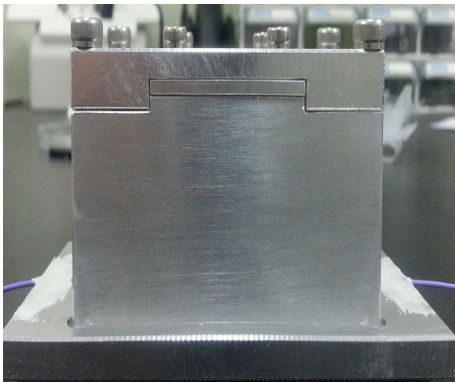
그림 3.14 자외선 센서의 모듈이 있을 때 자외선 on/off에 따른 파장 변화량



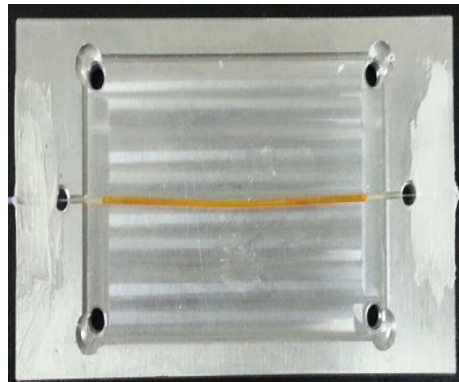
모듈 윗면



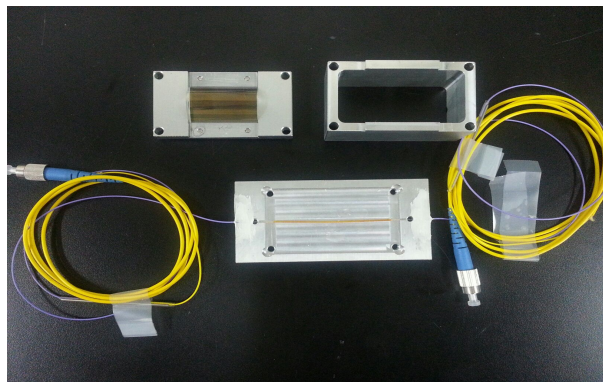
모듈 후면



모듈 좌우 측면



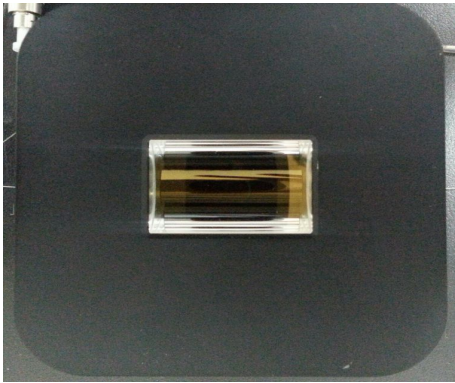
모듈 내부



모듈 센서 외형

그림 3.15 1차 자외선 센서 패키지 모듈 외형





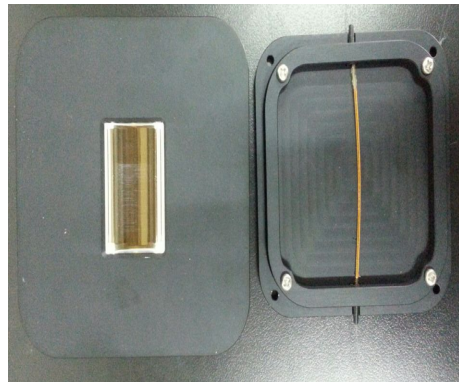
2차 모듈 앞면



2차 모듈 후면



2차 모듈 좌우 측면



2차 모듈 내부



2차 모듈 센서 외형

그림 3.16 2차 자외선 센서 패키지 모듈 외형

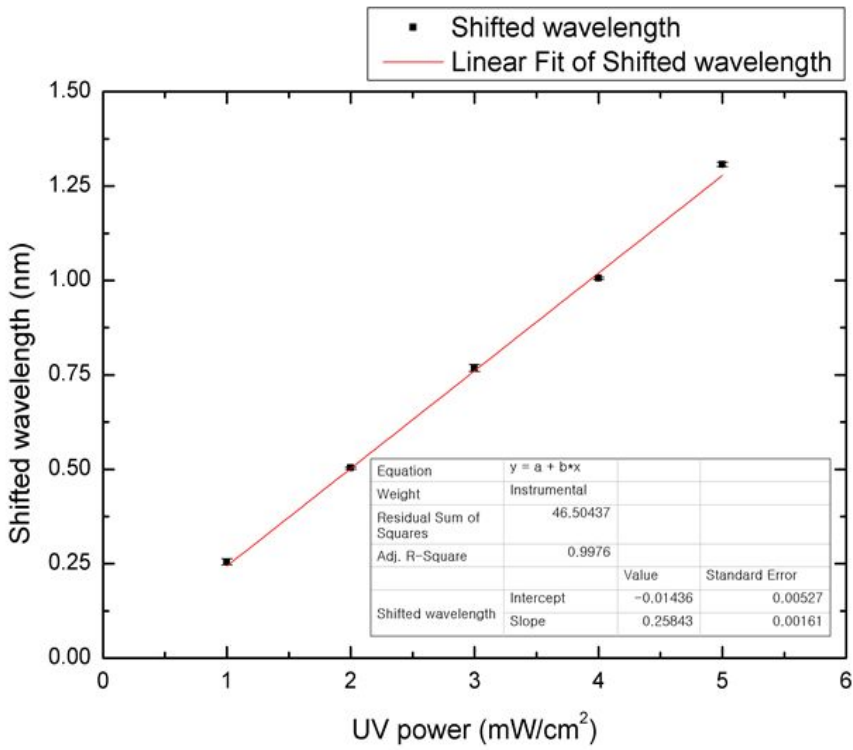


그림 3.17 2차 모듈을 적용한 자외선 세기에 따른 최대 파장 이동량 그래프

## 제4장 자외선 광센서 시스템

### 제1절 시스템 설명 및 작동방법

#### 1. 시스템 설명

자외선 광센서 시스템은 광섬유격자(FBG)의 중심파장을 기존 광스펙트럼 측정기(Optical Spectrum Analyzer)를 사용하지 않고 회절격자와 CCD(Charge-Couple Device)를 이용하여 정밀하고 빠르게 측정하기 위한 장치로써 1530~1560 nm의 넓은 동작 파장 영역과  $\pm 1$  pm의 높은 정밀도를 바탕으로 센서의 변화에 대해 보다 정확하고 정밀한 측정이 가능한 광 계측 장치이다. 여러 채널을 측정하기 위해서 Optical Switch를 사용하는데 최대 채널 수는 4개까지 가능하며 하나의 채널당 5개의 광섬유격자를 설치할 수 있어서 4개의 채널을 사용할 경우에는 20곳의 서로 다른 위치에서 개별적으로 측정되는 자외선 반응 데이터들을 동시에 측정할 수 있다. [그림 4.2] 과 같이 구성은 광대역광원(Broadband Light Source), 광원을 보호하기 위한 Isolator, 광섬유격자에 의해서 반사되어진 광을 Diffraction Filter/Micro Processor로 보내주기 위한 Circulator, 반사된 광을 분석해주는 Diffraction Filter/Micro Processor, Computing system, External monitor로 구성이 되어 있다.

#### 2. 작동방법

측정 방법은 광원에서 나온 광이 광섬유로 입사되어지는데 광섬유격자에서 반사된 광이 Circulator를 통과해서 Diffraction Filter/Micro Processor와 Lear CCD를 이용해서 스펙트럼을 얻는다. 얻어진 데이터는 설계된 LabVIEW 프로그램을 통해서 분석이 되는데 설계된 LabVIEW는 VI 코드 인터페이스인 프론트 패널[그림 4.3]과 그래픽 형태로 구성된 프로그램 코드인 블록 다이어그램[그림 4.4]으로 구성이 된다. 자외선 광센서 시스템의 Front Panel에서 반사된 광의 파장에 따른 빛에 세기를 볼 수 있는 그래프와 시간(s)에 따른 중심파장을 그래프와 자외선 감지에 필요한 기능(초당 얻고자 하는 데이터 입력 수, CCD 노출 입력, 데이터 저장, 시스템 상태 표시, 중심파장 표시,

경과된 저장 시간 표시 등)들을 통해서 자외선 감지의 유무를 실시간으로 확인할 수 있다. 자외선 광센서 시스템의 블록 다이어그램은 크게 시스템을 켜고 초기화시키는 부분[그림 4.5], 광 스위치 설정 부분 [그림 4.6], 반사된 광의 스펙트럼을 분석하는 부분 [그림 4.7], 분석된 데이터를 저장하는 부분[그림 4.8] 등으로 나뉜다.

- Light Source

Model	Unit	BLS-1550M
Wavelength range	nm	1530 – 1560
Output power	dBm/nm	> -30 dBm
Output connector	-	APC

- Interrogation system

Parameter	Unit	Value
Number of channels	Ch.	4
Wavelength range	nm	1530 – 1560
Wavelength measurement resolution	pm	1
Wavelength measurement accuracy	pm	10
Frequency	Hz	Max. 2.5 K
Storage interface	-	USB 2.0
Power supply	V AC	100 to 240 at 50/60 Hz

표 4.1 자외선 광센서 시스템의 성능표



< Front Panel >



< Rear Panel >

그림 4.1 자외선 광센서 시스템 외부 패키지 구성 사진

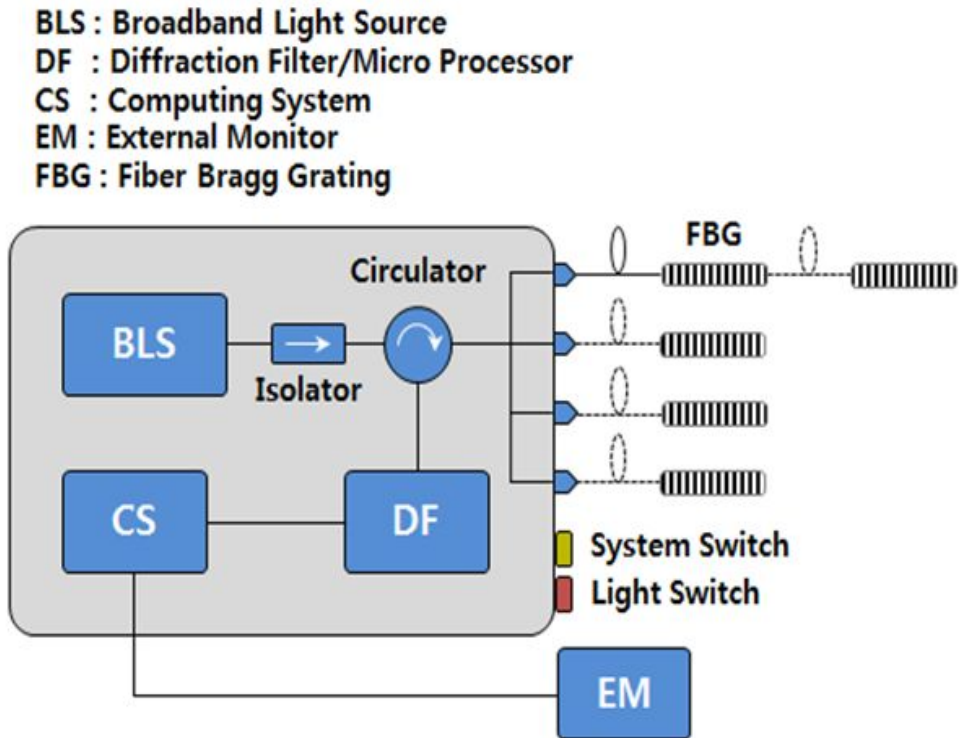


그림 4.2 자외선 광센서 시스템의 원리 구성도

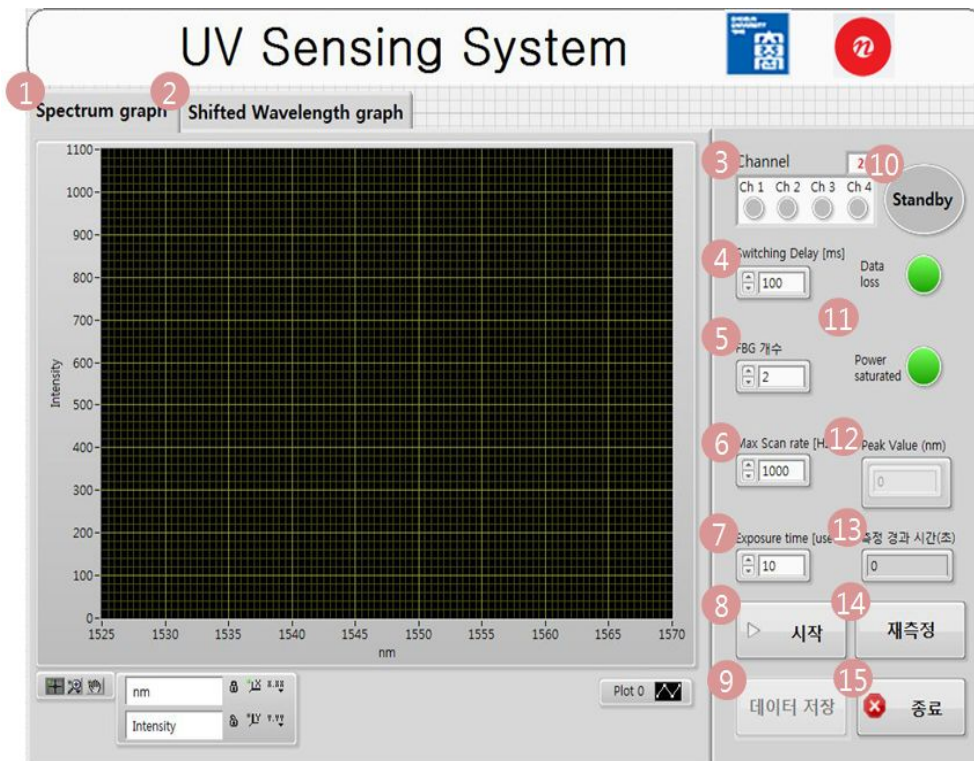


그림 4.3 자외선 광센서 시스템의 소프트웨어 패널 (LabVIEW)



No.	명칭	설명
1	Spectrum graph	파장에 따른 빛에 세기 그래프
2	Shifted Wavelength graph	시간에 따른 중심 파장 이동 그래프
3	Channel	1~4 채널을 선택
4	Switch Delay	채널 변경 시간 입력
5	FBG(Fiber Bragg Grating) 개수	연결된 FBG(Fiber Bragg Grating)의 개수 입력
6	Max Scan rate	초당 얻고자 하는 데이터 수 입력
7	Exposure time	CCD 노출 시간 입력
8	시작	측정 시작/중지
9	데이터 저장	데이터 저장
10	측정 표시등	측정의 상태 표시
11	System 상태 표시등	System의 상태 표시
12	Peak Value	중심 파장 표시
13	측정 경과 시간	경과된 데이터 저장 시간 표시
14	재 측정	측정 오류 발생시 재 측정
15	종료	시스템 종료

표 4.2 자외선 광센서 시스템 소프트웨어 패널 [그림 4.3]에 버튼 및 기능 설명

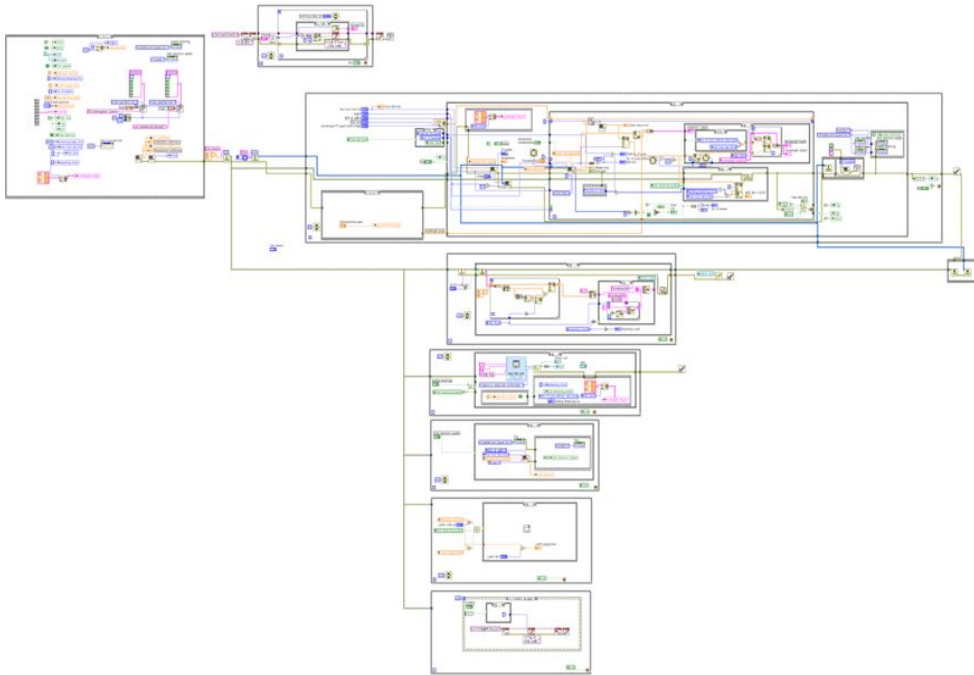


그림 4.4 자외선 광센서 시스템 소프트웨어 LabVIEW 블록 다이어그램

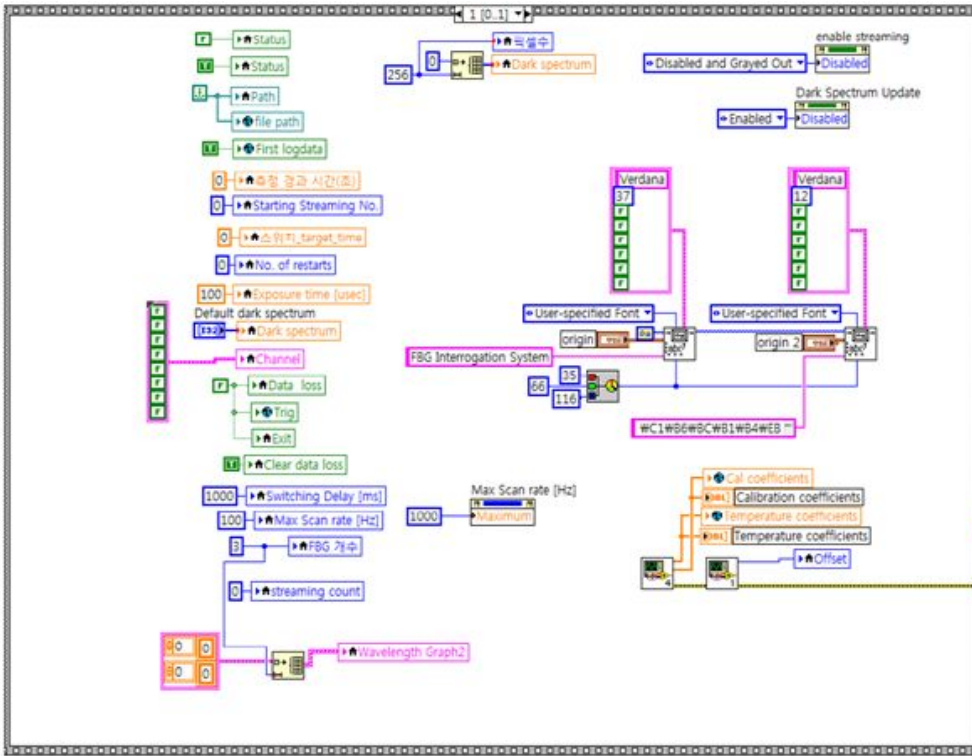


그림 4.5 초기화를 위한 블록 다이어그램

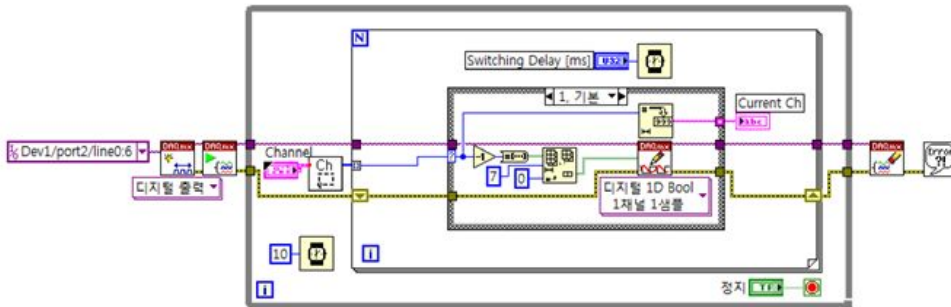


그림 4.6 광 스위치 기능을 위한 블록 다이어그램

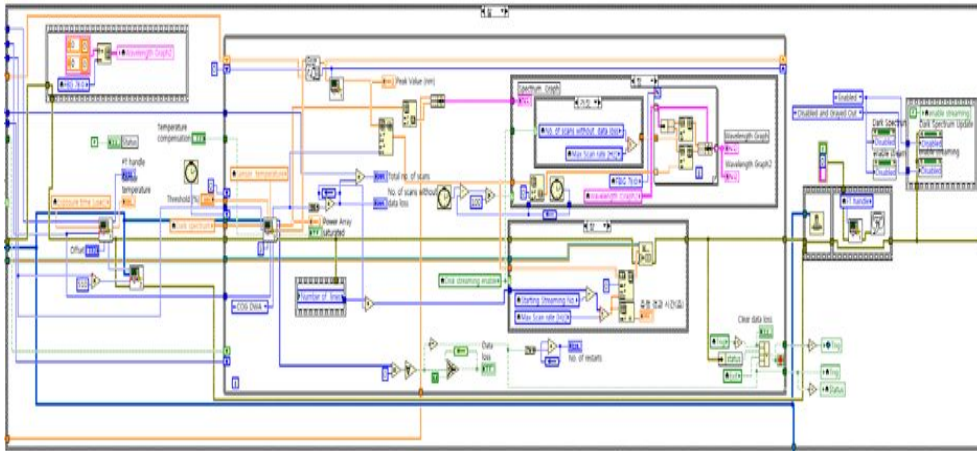


그림 4.7 스펙트럼 분석을 위한 블록 다이어그램

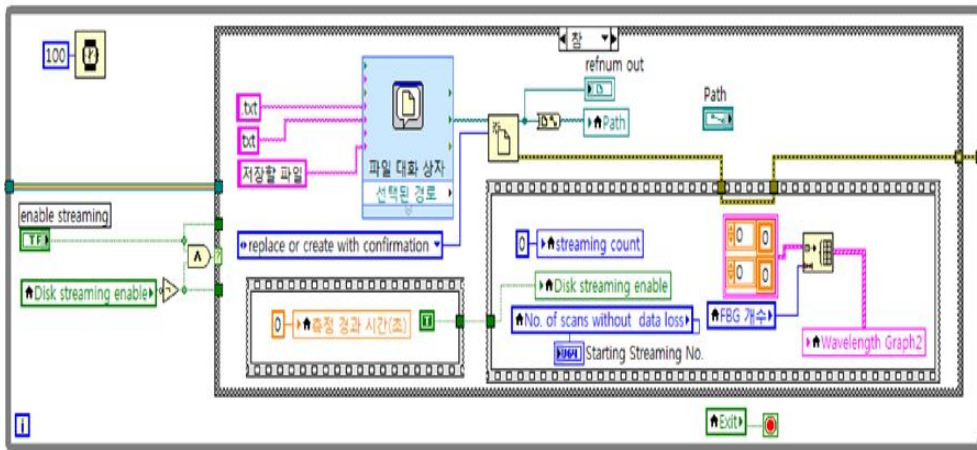


그림 4.8 데이터 저장을 위한 블록 다이어그램

## 제2절 광스펙트럼 분석기(Optical Spectrum Analyzer)와 자외선 광센서 시스템의 성능 비교

이전 논문<sup>[18]</sup>에서는 자외선을 측정하기 위해서 측정 장비인 광스펙트럼 분석기(Optical Spectrum Analyzer, 이후 OSA), 광대역 광원(Broadband Light Source), Isolator, Circulator, Computer 등을 이용했다. 하지만 휴대성을 위해서 이 여러 가지 장비를 하나로 통합하고 LabVIEW라는 프로그램을 통해서 시스템을 설계하고, 이 장비의 명칭을 자외선 광센서 시스템이라고 명명했다. 제작된 자외선 광센서 시스템에서 나온 실험 결과 값이 기존 OSA를 이용한 험값과 비교해서 신뢰할 수 있는 실험 결과 값인지 확인위해 본 실험을 수행하였다.

본 실험에서는 동시에 같은 자외선 노출 조건에서 비교실험을 진행하기 위해서 [그림 4.9]와 같이 자외선 광센서 시스템은 반사광 측정을 OSA로는 투과광을 동시에 측정하도록 구성하였다. 420초 동안 60초 주기로 자외선을 세기 변조시키면서 특성을 측정하였다. 자외선 광센서 시스템에 포함된 광대역 광원에서 나온 빛이 Isolator와 Circulator를 지나 실제 자외선 센서 역할을 하는 아조벤젠 코팅된 광섬유격자를 통과한다. 노출된 자외선에 따른 광섬유격자의 격자 간격 특성 변화에 의해서 특정 파장을 가진 광이 반사하게 되며, 이 반사광은 다시 자외선 광센서 시스템의 Circulator를 지나 Diffraction Filter를 통과한 후 반사광의 중심 파장을 측정한다. 그리고 반대쪽에서는 특정 파장이 반사된 후 남아 있는 투과된 광은 OSA에 의해서 중심 파장 분석을 한다. 이렇게 동일한 자외선 노출 조건에서 본 연구에서 개발된 자외선 광센서 시스템과 기존 OSA를 통한 자외선 분석에 대한 비교 실험을 통해 신뢰성을 확인해 보았다.

[그림 4.10]은 본 실험을 통해서 시간에 따른 중심 파장 이동량을 결과를 분석한 것이다. 자외선 광센서 시스템에서 분석된 자외선 노출에 따른 광섬유격자의 중심 파장 이동량과 OSA로 분석된 이동량을 비교했을 때, 최대 오차가 약 20 pm가 밖에 나지 않는 것을 확인하였다. OSA가 설정 가능한 최대 파장 분해능이 50 pm임을 감안하면 개발된 광센서 시스템의 신뢰성을 확보할 만큼 충분히 낮은 오차임을 알 수 있다. 따라서 OSA보다 훨씬 저렴한 장치 구성으로 동일한 성능을 확인하였으며, 측정 속도 또한 OSA보다 초당 최대 2500회로 훨씬 높음을 추가로 확인하였다.

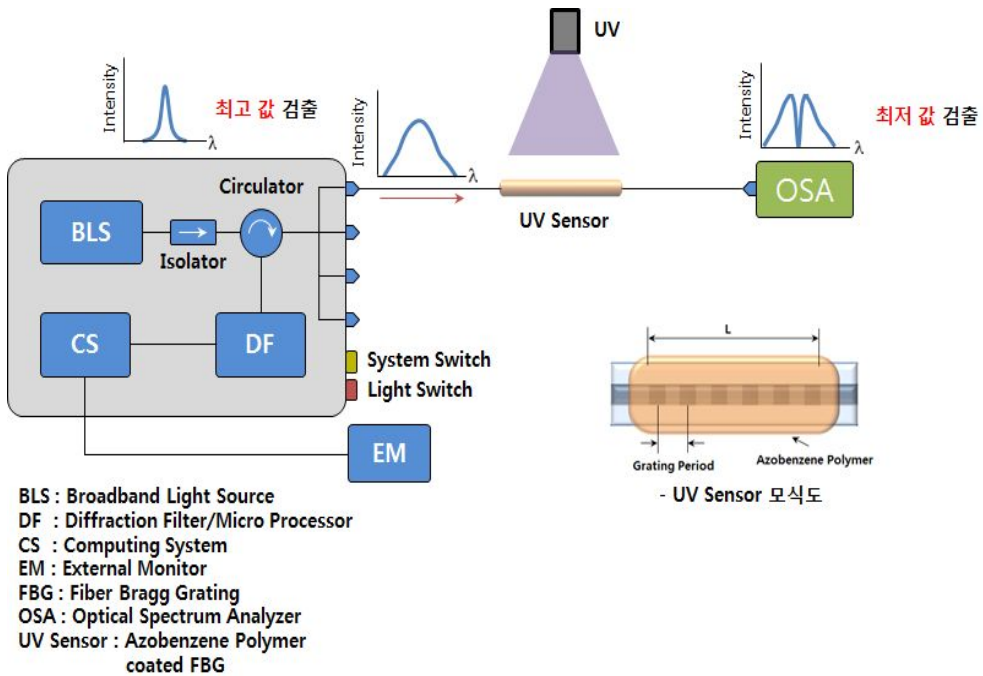


그림 4.9 개발된 자외선 광센서 시스템과 OSA를 통한 자외선 세기 분석 성능 비교 실험 구성도

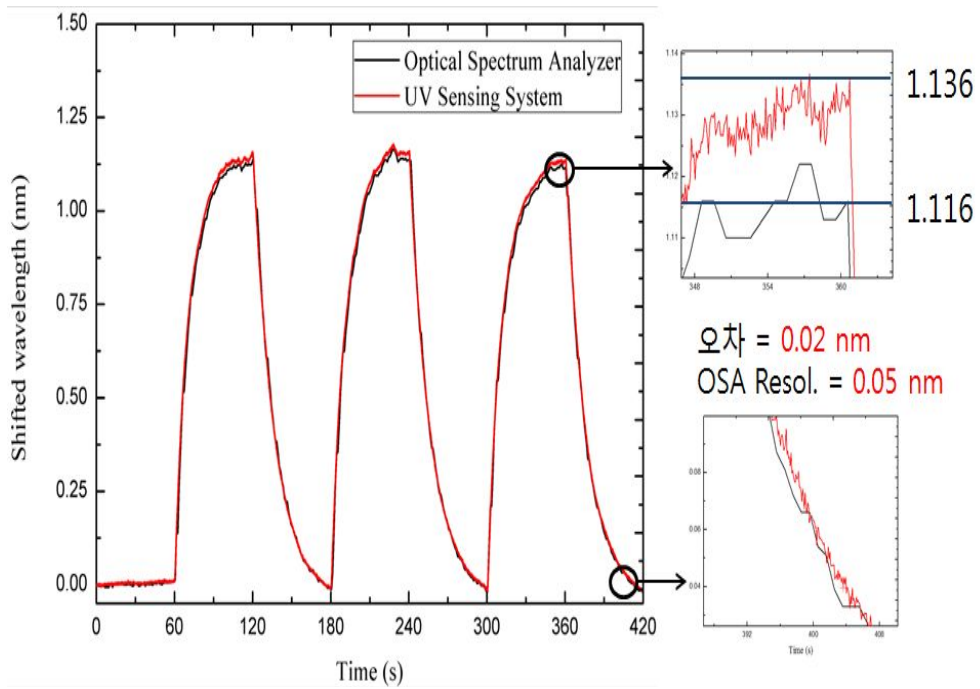


그림 4.10 자외선 광센서 시스템과 OSA를 통한 자외선 반응 분석 비교 그래프

### 제3절 다중 지점 자외선 측정 실험

제 2절에서 자외선 광센서 시스템과 OSA를 통한 자외선 측정 분석 결과를 비교하였고, 그 결과 본 연구를 통해 개발된 광센서 시스템이 충분한 신뢰성을 가짐을 확인하였다.

본 실험은 광섬유형 센서의 장점인 한 시스템으로 여러 구간을 실시간 모니터링을 할 수 있는 특징을 이용해서 실제로 광섬유격자 자외선센서에 적용하여 자외선 광을 여러 구간에서 측정할 수 있는지 확인하기 위한 실험이다.

다중 지점 자외선 측정실험을 하기 위해 [그림 4.11]과 같이 구성을 하였다. 광대역광원에서 나온 1530~1560 nm 파장대역의 광이 Isolator와 Circulator를 거쳐서 중심 파장이 1547 nm, 1551 nm, 그리고 1556 nm으로 서로 다른 3종류의 광섬유격자 자외선 센서들을 직렬로 연결한 후 각 반사광의 자외선 노출에 대한 파장 특성 변화를 측정하였다.

그 결과 [그림 4.12]에서 보는 것과 같이 자외선을 조사했던 하나의 광섬유 격자 자외선 센서만 중심파장이 이동하는 반응만 보이고 나머지의 다른 2개의 자외선 센서들의 중심파장이 이동하는 변화가 없었다. 본 실험을 통해서 중심 파장이 각각 다른 자외선 센서들을 연결하여 사용한다면, 여러 지점에서의 자외선을 측정할 수 있음을 확인했다. 본 개발된 측정 장치는 채널당 5개의 광섬유격자를 설치할 수 있기 때문에 4 채널 모두 사용할 경우 최대 20개의 광섬유격자를 서로 다른 위치에 설치하여 자외선을 모니터링 할 수 있다.



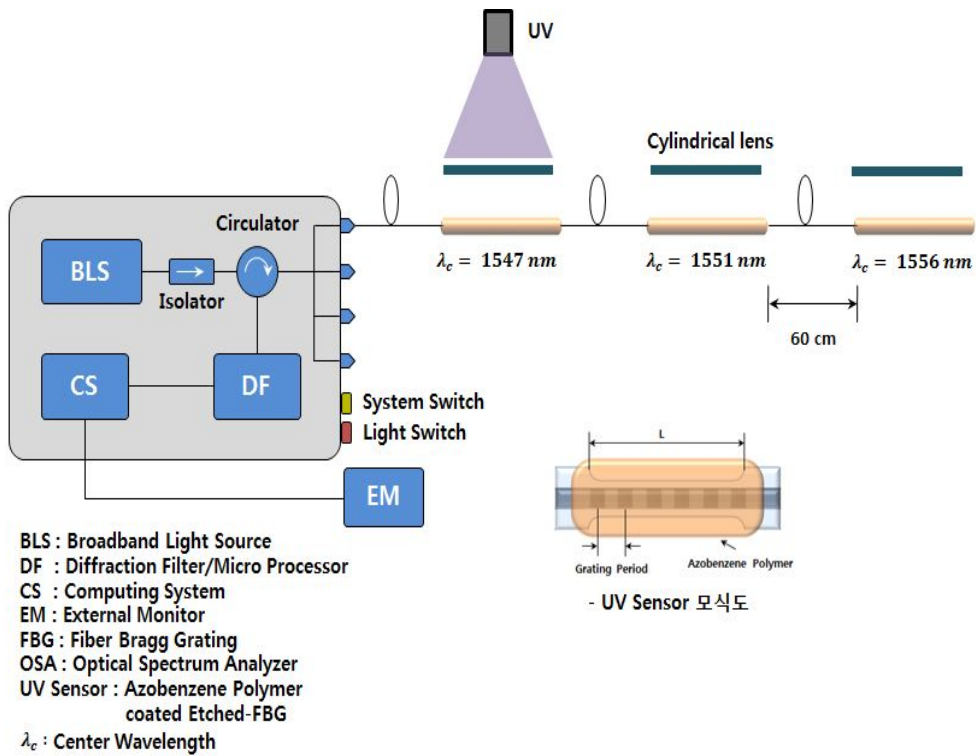
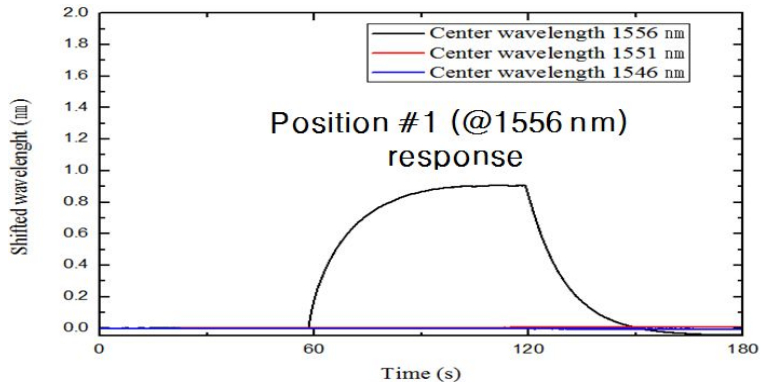
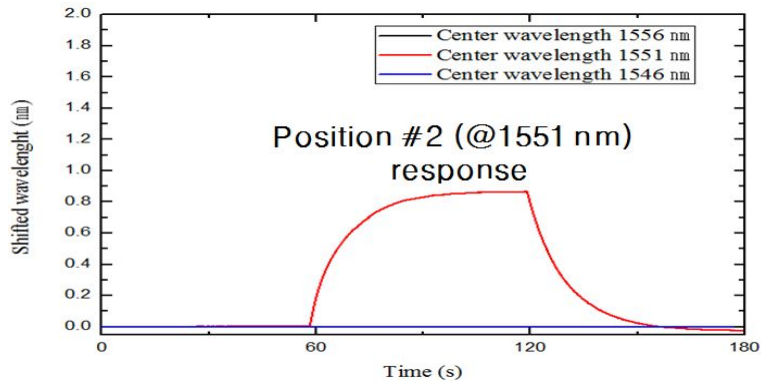


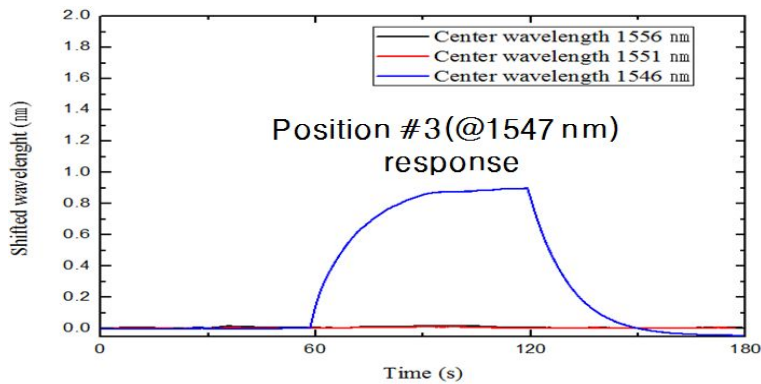
그림 4.11 다중 지점 자외선 측정 실험 모식도



(a)



(b)



(c)

그림 4.12 다중 지점 자외선 측정 실험 결과  
 중심파장이 (a) 1556 nm (b) 1551 nm (c) 1547 nm 인 광섬유격자 센서

## 제5장 결론

본 논문은 자외선 센서(아조벤젠이 코팅된 광섬유격자)의 민감도를 향상시키기 위한 여러 가지 방법들을 제시하고 실험을 통해 그 성능을 확인하였다. 자외선 센서에 흡수 되지 못하는 잔광들을 반사판을 사용해 반사시켜 다시 재흡수 시키는 기술을 개발하였다. 평면 반사판을 적용했을 때 단순히 반사율이 높은 경우 효율이 높을 것이라는 예상과 달리 다양한 형광체가 포함된 색을 가진 반사판에서 형광 발광 및 난반사에 의해 더욱 민감도가 향상된 것을 확인하였다. 그리고 곡률을 가진 반사판을 곡면 렌즈의 효과를 가지게 하여 자외선 센서에 다시 집광되도록 설계하였다. 이때 실험한 여러 개의 반사판 중에 17.4 %로 반사율이 가장 높은 알루미늄이 가장 효과가 좋았으며, 곡률반경은 42.9 mm가 최적화 조건으로 확인됐다. 기존에 원통형 집광 렌즈만 사용해서 자외선 센서에 자외선 흡수율 증가를 통해 민감도를 향상시켰던 방법에서 본 연구결과 최적화된 곡률반경을 가지는 알루미늄 반사판을 함께 적용하여 민감도를 최대로 증가시켰다. 자외선 센서만 사용하였을 경우와 비교하여 두 방법을 함께 적용한 경우 민감도가 약 15배 증가한 것을 확인하였다. 향후 자외선 반사율이 높은 곡면 반사판을 설계하여 더욱 민감도를 최적화할 수 있을 것으로 예상된다.

또한 모듈의 없을 때 자외선을 측정하는 경우 외부 환경 요소 때문에 신뢰성이 떨어지는 것을 확인하였고, 이것을 보완하기 위해 두 차례에 걸쳐서 자외선 센서 보호를 위한 패키지 모듈을 제작하여 안정성을 향상시켰으며, 자외선 센서에 패키지 모듈을 적용하여 자외선에 대한 반응도 실험을 통해서 우수한 센서임을 확인하였다.

기존에 자외선을 측정하기 위해 광섬유격자의 파장 분석을 위해 OSA(Optical Spectrum Analyzer), 광대역 광원(Broadband Light Source), Isolator, Circulator, Computer 등이 필요했다. 하지만 휴대성을 높이기 위해 회절격자 필터와 선형 CCD를 사용해서 OSA의 기능을 대신하는 자외선 광센서 시스템을 개발하였다. 여기서 자외선 광을 효율적으로 측정하여 디스플레이 할 수 있도록 사용자 인터페이스 프로그램인 LabVIEW로 자외선 광센서 시스템의 소프트웨어를 개발했다. 여러 채널을 측정하기 위해서 광 스위치를 사용하는데 채널 수가 4개를 사용할 수 있으며, 채널 당 5개의 광섬유격자를 연결할 수 있어서 모든 채널을 사용할 경우 총 20곳에서 측정되는 자외선을 모니터링 할 수 있다. 그리고 기존 파장 분석 방식인 OSA와 본

논문에서 연구 개발된 자외선 광센서 시스템의 성능 비교를 통해 개발된 광센서 시스템의 신뢰성이 높음을 확인하였다.

## [참고문헌]

- [1] J. Kim, "The strength of surface UV radiation over Korea peninsula and the consequent Minimum Erythema Dose(MED) and its exposure time for Korean skin type and reaction" Institute of Earth & Enviornment, Yonsei University, Health Care Technology Research and Development Project Report, p. 3 (2001).
- [2] J.M. Topaz et al., "TAUVEX: UV space telescope", Ultraviolet Technology IV, Robert E. Huffman Editor, proc. SPIE, Vol. 1764, p. 94 (1993).
- [3] R.Hillton Biggs et al., "Stratospheric ozone depletion/UV-B radiation in the biosphere", NATOASI Series I, Vol. 18, p. 3 (1994).
- [4] J. Jagger, "Solar-UV action on living cells", Praeger Publisher (1985).
- [5] K.M. Shong, Y.S. Kim, S.G. Kim "Images detection and diagnosis of corona discharge on porcelain insulators at 22.9 kV D/L" in proceedings of SDEMPED , Cracow, Poland, pp. 462-466 (2007).
- [6] K.-M. Cho et.al., "UV Sensor using evanescent field coupling of prism and fiber -to-planar waveguide coupler" J of the Korea Sensor Society, vol. 13 No. 5 pp. 350-355 (2004)
- [7] H. K. Kim, W. Shin, and T.-J. Ahn, "UV Sensor based on photomechanically functional polymercoated FBG," IEEE Photon. Technol. Lett. 22, pp. 1404-1406 (2010).
- [8] J.K.Yoon et.al., "Side-polished fiber optic pressure sensor based on stress optical property of polymer planar waveguide", Sensor & Material, Vol.1764, p. 94 (1993).
- [9] D.S. Choi, H.K. Kim and T.-J Ahn, "The study of thermal effect suppression and wavelength dependence of azobenzene-coated FBG for UV sensing application." Optical Society of Korea, 22(2), pp. 37-71 (2011).
- [10] 김우영, 송일신, 김찬영, 김현경, 안태정 "렌즈를 이용한 아조벤젠 기능성 폴리머 코팅된 광섬유 격자 기반 자외선 센서의 민감도 향상 연구" COOC2014, TP- II7 (2014).

- [11] M.J. Lee, B.S. Hwang, W.S. Kim, "Current status of the ultraviolet optical equipments" Korea Association of Defense Industry Studies Vol.15, No.1, pp. 225-245 (2008).
- [12] Ultraviolet- ray sensor, "[http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=657138&cid=42338 &categoryId=42338](http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=657138&cid=42338&categoryId=42338) "
- [13] UV Tron image "[http://www.seeedstudio.com/wiki/Flame\\_sensor\\_UVTRON\\_-\\_R2868](http://www.seeedstudio.com/wiki/Flame_sensor_UVTRON_-_R2868)"
- [14] J. Ahn and J. Kim "Strain-free AlGaIn/GaN nanowires for UV sensor applications" Korea Chem. Eng. Res, Vol. 50, No. 1, pp. 72-75 (2012)
- [15] GaN UV Sensor(UV-A Sensor/GUVA-S12SD) image "<http://navhk.com/en/productn.asp?ArticleID=1442>"
- [16] UV Photodiodes/Photodetectors silicon carbide(SiC) Detector "[http://www.eoc-inc.com/ UV\\_detectors\\_silicon\\_carbide\\_photodiodes.htm](http://www.eoc-inc.com/UV_detectors_silicon_carbide_photodiodes.htm)"
- [17] J.-Y. Kim et.al. "High total dose radiation effects on fiber Bragg grating Sensors" 한국정보통신학회논문지, 제 17권 제 6호 (2013).
- [18] 송일신, "광반응 재료가 코팅된 단주기격자 기반 자외선 센서의 민감도 향상 연구." 석사학위청구논문, 조선대학교 (2014).
- [19] Y.J. Rao, "In-fiber Bragg Grating sensor," Meas. Sci. Technol, Vol. 8, pp. 355-375 (1997).
- [20] H. Henschel, S.K. Hoffgen, K. Krebber, J. Kuhnhehn and U. Weinand, "Influence of fiber composition and grating fabrication on the radiation sensitivity of fiber Bragg gratings", IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol.55, No. 4, pp. 2235-2242 (2008).
- [21] A.F. Fernamdez, F. Berghmansa, A.I. Gusarov, et.al., "Multiplexed fibre Bragg grating sensors for in-core thermometry in nuclear reactors", Conference on Fiber Optic Sensor Technology II, SPIE Proceedings, Vol. 4204A, pp. 40-49 (2000).
- [22] A.I. Gusarov, D.B. Doyle, N.K. Karafolas, F. Berghmans, "Fibers-Bragg gratings as a candidate technology for satellite communication payloads: radiation effects issues", Conference on Photonics for Space Environments VII, SPIE Proceedings,

Vol. 4134, pp. 253-260 (2000).

- [23] 세계의 광섬유 센서 시장 예측과 분석 - ElectroniCast (2011-2016)  
(<http://blog.naver.com/giikorea2?Redirect=Log&logNo=60165593288>)

<b>저작물 이용 허락서</b>					
학 과	광기술공학과	학 번	20137102	과 정	석 사
성 명	한글: 김 우 영      한문: 金 祐 瑩      영문: Woo Young Kim				
주 소	광주광역시 동구 지산동 712-34				
연락처	E-MAIL : kwy_4662@naver.com				
논문제목	<b>한글 : 광반응 재료가 코팅된 단주기격자 기반 자외선 센서의 휴대성 및 민감도 향상 연구</b> <b>영어 : Improving the Portability and Sensitivity of Ultraviolet Optical Sensors Based on Fiber Bragg Gratings by Coating with a Photo-Responsive Material</b>				
<p>본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.</p> <p style="text-align: center;">- 다                    음 -</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함</li> <li>2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.</li> <li>3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.</li> <li>4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.</li> <li>5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.</li> <li>6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음</li> <li>7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.</li> </ol> <p style="text-align: center;">동의여부 : 동의( <input checked="" type="checkbox"/> )    반대( <input type="checkbox"/> )</p> <p style="text-align: center;">2015년    2월</p> <p style="text-align: center;">저작자: 김 우 영    (서명 또는 인)</p> <p style="text-align: center;"><b>조선대학교 총장 귀하</b></p>					



## [감사의글]

이제 학생의 신분을 벗어나 사회라는 새로운 무대에 나아가려고 합니다. 지금까지 저에게 많은 도움을 주신 분들께 졸업논문을 통해서 감사인사를 전하려고 합니다.

먼저 저의 지도교수님인 안태정 교수님께 감사인사를 전합니다. 2년 동안 미숙한 저에게 연구자로서 문제에 직면할 때마다 정답이 아닌 해결방법에 대해서 방향을 제시해 주시고, 올바른 길을 갈 수 있도록 작은 것 하나하나 신경 써 주신 덕분에 많은 자신감을 얻은 것 같습니다. 연구자로서 멋진 모습을 많이 보여주신 김진태 교수님, 항상 온화한 미소와 함께 많은 관심을 가져다주신 김현수 교수님, 논리적인 접근방법을 가르쳐주신 박종락 교수님, 좋은 강의로 많은 가르침을 주신 권민기 교수님, 열정 넘치는 모습으로 작은 것 하나하나까지 전해주시기 위해 노력하신 주기남 교수님께 고마움 마음을 표현합니다.

이렇게 2년 동안 함께 지역혁신인력양성 사업에서 지원을 받아 연구를 진행할 때 옆에서 많은 도움을 주고, 고민도 들어준 동기 찬영이에게 진심으로 고맙고, 저를 잘 챙겨주신 일신이형과 창현이형한테도 감사의 인사를 전하고 싶습니다. 1년 동안 대학원 총무를 맡을 때 대학원 회장으로서는 많은 도움을 주신 승중이형한테도 감사한 마음을 전하고 싶고, 제가 힘이 들 때, 도움이 되는 조언을 많이 해주신 훈국이형, 성선이형, 용범이형에게 감사합니다. 대학원 생활을 함께 했던 현철이, 종현이, 현철이형, 경민이, 재영이, 한범이, 선욱이형, 병권이 외 많은 선후배님에게 진심으로 감사의 인사를 전합니다.

또한 대학 생활을 함께 보냈던 영후, 윤환이, 준석이, 명환이, 흘비, 형용이, 병희, 준현이, 광수형과 고등학교 친구들 원이, 지형이, 주환이와, 산수동 친구들 율이, 종운이, 동혁이, 재열이, 선욱이, 광영이 그리고 힘든 시기 잘 견뎌준 여자친구 은별이한테도 고맙다는 말을 하고 싶고, 지금까지 저를 위해 아낌없이 지원해 주신 저희 부모님께도 감사하다는 말을 전하고 싶습니다.

이 외에도 앞에서 하나하나 이름을 언급하지 못한 분들께 죄송하게 생각하며 모든 분들이 앞으로 행복하길 바랍니다.