



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](#) 

2012년 8월
석사학위 논문

도광판에 적용하기 위한 플라스틱
광섬유 측면 발광 광원의
특성분석

조선대학교 대학원

물리학과

이 승 석

도광판에 적용하기 위한 플라스틱
광섬유 측면 발광 광원의
특성분석

Analysis of plastic optical fiber side emitting for the light guide
panel

2012년 8월 24일

조선대학교 대학원

물 리 학 과

이 승 석

도광판에 적용하기 위한 플라스틱
광섬유 측면 발광 광원의
특성분석

지도교수 최은서

이 논문을 이학 석사학위신청 논문으로 제출함

2012년 4월

조선대학교 대학원

물리학과

이승석

도광판에 적용하기 위한 플라스틱
광섬유 측면 발광 광원의
특성분석

위원장	조선대학교 교수	<u>신용진 (인)</u>
위원	삼성광통신 연구원	<u>문대승 (인)</u>
위원	조선대학교 교수	<u>최은서 (인)</u>

2012년 5월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

제 1 장 서 론	1
제 2 장 이 론	4
제 1 절 광섬유	4
1. 광섬유의 구조	4
2. 광섬유의 종류 및 특성	6
3. 광섬유 모드 및 전파원리	7
제 2 절 레이저	9
1. 레이저의 원리	8
2. 레이저를 이용한 가공의 특징 및 방법	11
제 3 절 광학단층영상법	17
1. 간섭계	17
2. 간섭계를 이용한 광학단층영상법	23
제 3 장 실 험	26
제 1 절 모델링을 통한 플라스틱 광섬유 발광 특성 전산모사	26
1. 플라스틱 광섬유의 미세패턴 모델링	26
2. 광섬유 발광 특성 전산모사	29
제 2 절 미세패턴 레이저 가공	31
1. 미세패턴 레이저 가공 시스템	31
2. 플라스틱 광섬유의 미세패턴 가공	31
제 3 절 가공샘플 측정	35
1. 광원 모듈 키트 제작	35
2. 플라스틱 광섬유 광원 발광특성 측정 및 도광판 적용	36
3. 광학단층영상법을 이용한 플라스틱 광섬유 가공 단면 측정	41

제 4 장 결과 및 고찰	43
제 1 절 미세패턴 모델링 조건에 따른 전산모사 결과 분석	42
제 2 절 미세패턴 가공 조건에 따른 휘도 측정 결과 분석	52
1. 플라스틱 광섬유 광원의 발광 특성 측정 결과 분석	52
2. 도광판의 휘도 측정 결과 분석	54
제 3 절 광학단층영상법을 이용한 비절개 단면 측정 결과 분석	56
제 5 장 결론	58
참고문헌	59

List of Figures

그림 2-1. 광섬유의 구조. (a) 광섬유의 다층구조, (b) 광섬유의 굴절을 분포	4
그림 2-2. 광섬유 모드전파. (a) 단일모드, (b) 다중 모드	5
그림 2-3. 다중모드 광섬유 굴절을 분포. (a) 계단형 굴절을, (b) 언덕형 굴절을	8
그림 2-4. (a) 유도흡수, (b) 자연방출, 그리고 (c) 유도방출	9
그림 2-5. (a) 열평형 상태($N_0 > N_1$), (b) 반전분포 상태($N_1 > N_0$)	10
그림 2-6. 레이저의 구조	11
그림 2-7. 간섭. (a) 보강 간섭, (b) 소멸 간섭	17
그림 2-8. 영의 이중슬릿 실험. (a) 기하학적 분석, (b) 간섭무늬	18
그림 2-9. 위상자를 이용한 계산법	19
그림 2-10. 마이켈슨 간섭계 개략도	22
그림 2-11. 마이켈슨 간섭계와 간섭무늬	23
그림 2-12. 광학단층영상법 시스템의 개략도	25
그림 3-1. 플라스틱 광섬유 미세패턴 가공 모델링. (a) 플라스틱 광섬유의 코어와	

클래딩 직경, (b) 플라스틱 광섬유의 가공 패턴 모델링	27
그림 3-2. 플라스틱 광섬유 미세패턴 간격. (a) P-타입, (b) O-타입, (c) F-타입	27
그림 3-3. 도광판의 미세패턴 가공공정	31
그림 3-4. 미세패턴 가공을 위한 CO ₂ 레이저 시스템 개략도	33
그림 3-5. CO ₂ 레이저를 이용한 패턴가공. (a) CO ₂ 레이저 시스템, (b) 가공된 플라스틱 광섬유	32
그림 3-6. 광원모듈 키트. (a) LED 구동회로도, (b) 광원모듈	36
그림 3-7. 광원모듈 키트 세팅. (a) 광원모듈 키트, (b) 가공된 플라스틱 광섬유, (c) 도광판	37
그림 3-8. 도광판 가공 패턴. (a) 경사 패턴, (b) 가공 부분 확대	37
그림 3-9. 도광판 휘도 측정방법	38
그림 3-10. 분광 방사 휘도계를 이용한 휘도 측정 시스템	39
그림 3-11. 광학단층영상 장치의 개략도	42
그림 4-1. P-타입 플라스틱 광섬유 가공깊이 변화에 따른 휘도분포. (a) P-1, (b) P-2, (c) P-3, (d) P-4, (e) P-5	44
그림 4-2. P-타입 플라스틱 광섬유 광원들의 휘도분포	45
그림 4-3. O-타입 플라스틱 광섬유 가공 깊이에 따른 휘도분포. (a) O-1, (b)	

0-2, (c) 0-3, (d) 0-4	47
그림 4-4. 0-타입 플라스틱 광섬유 광원들의 휘도분포	48
그림 4-5. F-타입 플라스틱 광섬유 가공깊이 변화에 따른 휘도분포. (a) F-1, (b) F-2, (c) F-3, (d) F-4, (e) F-5	49
그림 4-6. F-타입 플라스틱 광섬유 광원들의 휘도분포	50
그림 4-7. 모든 타입 광원들의 휘도분포	51
그림 4-8. 플라스틱 광섬유 가공 위치에서 측정한 휘도값	53
그림 4-9. 도광판 휘도분포. (a) P-2 적용시, (b) P-3 적용시, (c) P-4 적용시, (d) P-5 적용시	55
그림 4-10. 플라스틱 광섬유 가공패턴 깊이를 보여주는 광학단층영상. (a) P-2 모델링과 단층영상, (b) P-3 모델링과 단층영상, (c) P-4 모델링과 단층영상, (d) P-5 모델링과 단층영상	57

List of Tables

표 2-1. 광섬유 구조에 따른 수치 및 재질	5
표 2-2. 레이저 가공의 종류	13
표 2-3. 가공용 레이저 시스템 사양	16
표 3-1. P-타입 패턴의 깊이 변화	28
표 3-2. O-타입 패턴의 깊이 변화	28
표 3-3. F-타입 패턴의 깊이 변화	28
표 3-4. 플라스틱 광섬유의 구조 및 특성	30
표 3-5. CO ₂ 레이저 시스템 사양	34
표 3-6. 실험에 사용된 LED 특성	35
표 3-7. 분광 방사 휘도계 시스템 사양	40
표 4-1. P-타입 가공 위치에서 휘도값	45
표 4-2. O-타입 가공 위치에서 휘도값	48
표 4-3. F-타입 가공 위치에서 휘도값	50
표 4-4. 가공된 플라스틱 광섬유의 측면에서 측정된 휘도값	52

표 4-5. 플라스틱 광섬유 광원이 적용된 도광판 휘도측정 결과54

ABSTRACT

Analysis of plastic optical fiber side emitting for the light guide panel

Seung Suk Lee

Advisor : Prof. Eun Seo Choi, Ph.D.

Department of Physics

Graduate School of Chosun University

In this study, we suggested optical source replacing conventional LED source, which is widely used for light guide panel. In the case of LED source, multiple sources are required. That increases electrical consuming power and provides instability of light emitting intensity. These factors make the performance light guiding panel deteriorate. To solve these problems, alternative for the light source emitting from the side of the light guiding panel using continuous waveguide have been studied. We present a solution which utilizes plastic optical fiber and laser processing method used in light guide panel processing. Before experiment, simulation was performed with plastic optical fiber source model. Based on simulation results, best model resulting in uniform illumination was selected and applied to laser processing of the fiber. Optical coherence

tomography was used to image cross section of laser processed plastic optical fiber, which explained the deviation between simulation results for modeled ones and light emitting characteristics obtained from laser processed samples. Additional simulation to provide optimized processing condition can improve uniformity of the fiber source. Realtime monitoring with optical coherence tomography during adjusting processing depth and inter-distance will enhance utility of the light source for light guiding panel.

제1장 서론

현대사회는 모니터, TV, 노트북, 휴대전화, MP3 플레이어, 디지털 카메라 등의 전자제품의 혁신적인 발전으로 내부의 중요부품인 평판 디스플레이 역시 많은 발전과 혁신이 있었다. 그 중에서도 LCD(Liquid Crystal Display)는 경량과 박형의 장점이 있으며 소비전력이 적어 상품 가치성이 높은 평판 디스플레이로 많은 분야에서 사용되어지고 있으며, 관련 산업의 기술발전과 시장 확대가 급속히 이루어지고 있다. 이러한 LCD는 크게 액정패널과 BLU(Back Light Unit)로 구성되어 있다. 액정패널의 경우 작은 알갱이 모양의 액정분자들로 이루어져 있으며, 전압을 이용하여 빛의 양을 조절하는 장치이다. BLU는 자체 발광을 하지 못하는 LCD의 전체 화면에 균일하게 광을 조사 시켜주는 역할을 한다. BLU는 크게 프리즘 시트, 확산 시트, 도광판, 반사 시트 등으로 이루어져 있다. 이 중에서도 특히 도광판은 BLU의 중요한 기능을 맡고 있다. 투명한 아크릴 패널로 만들어지는 도광판은 도광판 측면에 위치한 광원장치에서 입사되는 빛을 아크릴 표면의 내부 또는 외부에 가공된 패턴을 통해 산란시켜 빛을 균일하게 도광판 전면에 분포시켜주는 역할을 한다[1,2]. 이러한 도광판의 휘도 균일도를 향상시키는 방법으로는 가공패턴의 모양 및 간격을 조절하는 방법과 다양한 광원장치를 이용하는 방법이 있다. 가공패턴의 디자인 변화를 이용한 도광판의 균일도 향상은 레이저를 이용한 3차원적 가공법이 연구 되어 왔다. 도광판의 경우 광원 입사부에 광이 편중되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 도광판의 광원 쪽인 앞쪽의 가공패턴의 높이는 낮게하고 후면으로 갈수록 가공패턴의 높이를 높게하는 패턴들이 연구 되어왔다. 이 연구결과 전산모사 프로그램을 이용한 최적 설계를 위한 데이터를 구축 할 수 있었다[3]. 이와 달리 광원장치의 변화를 줌으로써 역시 도광판의 휘도 균일도를 향상시킬 수 있다.

도광판의 광원장치로는 CCLF(Cold Cathode Fluorescent Lamp), EEFL(External

Electrodes Fluorescent Lamp), LED(Light Emitting Diode) 등이 대표적으로 사용되어진다. CCLF는 고효율로 신뢰성이 검증되어 보편적으로 널리 사용되고 있으나 LCD를 대형화할 경우 주변 부품들의 수가 증가하여 가격이 높아지게 되는 단점이 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 CCLF보다 저렴하고 휘도가 좋은 EEFL이 개발되었으나 이 또한 설계와 생산의 어려움을 가지고 있다. LED의 경우는 소형화가 좋아 핸드폰 같은 휴대용 전자기기에 많이 사용되어지며 색 재현율이 높다. 하지만 LED 또한 휘도와 균일도가 낮으며 도광판에 사용하였을 때 다수의 LED를 사용해야한다는 단점을 가지고 있다 [4,5,6]. 최근에는 플라스틱 광섬유(POF: Plastic Optical Fiber)를 이용한 광원장치가 연구중이다. 플라스틱 광섬유는 기본적으로 빛을 집중시키는 코어와 빛을 가두는 클래딩으로 구성되어 있고 코어의 경우 클래딩층보다 굴절율이 높아 그 차이로 인한 전반사를 유도 할 수 있다. 플라스틱 광섬유에 도광판 가공에 사용되어진 미세패턴 가공을 적용시켜 클래딩층을 특정 모양이나 패턴으로 가공하여 도광판의 광원장치로 사용할 수 있다[7,8]. 이러한 플라스틱 광섬유 광원장치는 단일 광원으로도 넓은 발산각이 가능하고, 저전력으로 구동 할 수 있는 장점이 있지만 클래딩 층에 정밀한 가공이 어렵다는 단점 또한 가지고 있다.

본 연구에서는 위에서 언급하였던 플라스틱 광섬유 광원장치의 장점을 최대한 활용하여 도광판의 광원장치로 사용하기 위해 다음과 같이 실험을 수행하였다. 정밀한 가공이 어려운 플라스틱 광섬유에 앞서 연구되었던 도광판 미세패턴 가공방식에 적용시켜 가공하기 쉬운 디자인으로 변형하여 설계하였다. 가공 깊이와 간격의 변화에 따라 휘도 분포를 분석해 보았으며, 이 광원을 도광판의 광원장치로 적용하여 균일도를 측정해 보았다. 여기서 가공되어진 도광판은 기존연구에서 가장 효율이 좋은 샘플을 선택하여 사용하였다. 또한 빛이 플라스틱 광섬유 길이 방향으로 진행할수록 플라스틱 광섬유자체의 광손실로 인해 빛이 입사되는 부분의 반대편인 끝단 부분에서 빛의 방출이 약해지는 문제점을 보완하기 위하여 플라스틱 광섬유의 양 끝단에 같은 규격의 광원을 설치하였다. 실제 실험에 앞서 3D 설계 프로그램을 이용하여 플라스틱 광섬유 가공패

턴을 모델링하였다. 이를 광선추적 전산모사 프로그램인 Zemax를 이용하여 발광특성을 분석하였으며 데이터들 중 휘도 분포가 균일한 패턴을 택하여 실제 가공을 수행하였다. 플라스틱 광섬유 미세패턴가공의 경우 CO₂ 레이저를 사용하였으며 제작되어진 플라스틱 광섬유 광원을 도광판 광원모듈키트에 부착시켜 분광 방사 휘도계로 측정하여 발광특성을 분석하였다. 또한 OCT(Optical Coherence Tomography)를 이용하여 샘플의 가공되어진 단면을 절개없이 촬영하여 모델링한 모습과 실제 가공된 모습을 서로 비교하였다.

제2장 이론

제1절 광섬유

1. 광섬유의 구조

초고속 통신의 발전으로 말미암아 21세기의 혁신적인 통신망으로 자리잡고 있는 광통신은 우리 일상생활의 많은 발전과 혜택을 주고 있다. 이러한 광통신은 광섬유를 기반으로 광신호를 전달하고 있다. 광섬유는 통신에서 뿐만 아니라 다양한 분야에서 도 파로로 사용되고 있으며, 광통신용 광섬유 이외에 소자 응용을 위한 특수한 광섬유가 개발되고 있다.

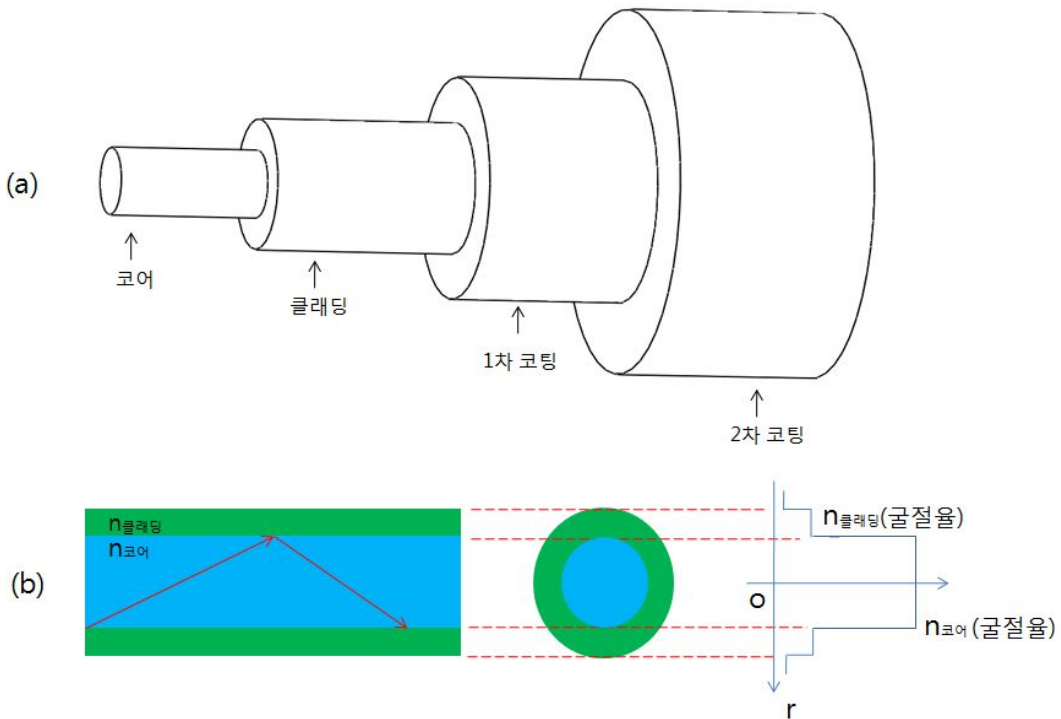


그림 2-1. 광섬유의 구조. (a) 광섬유의 다층구조, (b) 광섬유의 굴절율 분포

표 2-1. 광섬유 구조에 따른 수치 및 재질

	광섬유			1차코팅	2차코팅
	코어		클래딩		
	단일모드	다중모드			
직경	$<10 \mu m$	$60 \mu m$	$125 \mu m$	$250 \mu m$	$900 \mu m$
재질	SiO_2		$SiO_2 + \text{조성물}$	Arcrylate	Nylon

광섬유의 구조는 그림 2-1와 표 2-1과 같으며 크게 코어와 클래딩으로 나누어진다. 여기서 $n_{\text{코어}}$ 와 $n_{\text{클래딩}}$ 은 각각의 굴절율을 말한다. 각 부분별 크기와 재질은 표 2-1에 정리하였다. 광섬유 내에서 광의 전달은 경계면에서 전반사에 의해서 이루어진다. 전반사는 굴절율이 높은 매질에서 굴절율이 낮은 매질로 빛이 입사할 때 입사각이 임계각 이상이었을 경우 모든 빛이 굴절율이 낮은 매질을 투과하지 못하고 내부로 반사하게 되는 현상을 말한다. 광통신용 단일모드 광섬유는 이러한 전반사를 이용하는 구조로 코어의 굴절율이 클래딩의 굴절율보다 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 배 정도 높다. 이러한 차이로 인해서 전파 가능한 빛의 모드가 매우 적게 된다. 그래서 단일모드의 경우 그림 2-2 (a)와 같이 하나의 모드만 전파가 가능하지만, 다중모드 광섬유는 이러한 전반사조건이 상대적으로 느슨하여 그림 2-2 (b)와 같이 여러 전파모드가 가능하다.

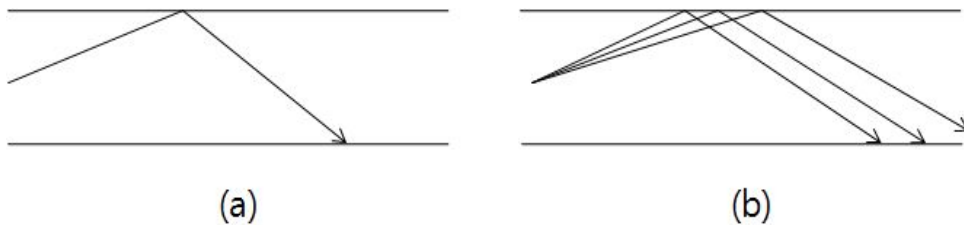


그림 2-2 광섬유 모드전파. (a) 단일모드, (b) 다중모드

이러한 단일모드와 다중모드의 구분은 비굴절율차에 의해서 구분이 가능하다. 비굴절율차는 다음과 같이 주어진다.

$$\text{비굴절율차 } \Delta = (n_{\text{코어}} - n_{\text{클래딩}}) / n_{\text{코어}} \quad (2-1)$$

여기서 비굴절율차는 코어로 전파되는 빛을 코어 밖으로 나가지 못하게 하는 클래딩과 굴절율의 상대적인 차이의 척도를 말한다[9].

2. 광섬유의 종류 및 특성

광섬유의 종류는 전파 가능한 모드, 재질 그리고 코팅에 따라 분류 할 수 있다. 첫째로 모드에 따른 분류는 광섬유 코어 내의 전파되는 광선의 수에 의해 구분을 할 수 있으며, 단일모드 광섬유와 다중모드 광섬유로 구분된다. 단일모드 광섬유 경우, 전송 가능한 전파모드가 하나로 장거리 광통신에 주로 사용되어지고 있다. 또한 모드간의 분산이 없어 넓은 대역폭에서 사용이 가능하다. 하지만 코어 반경이 작아 제조의 어려움이 있었다. 하지만 최근에는 국제규격에 따라 손쉽게 생산이 가능하게 되었다. 반면 다중모드 광섬유는 이름 그대로 수많은 전파모드가 광섬유의 코어 안에서 전송이 가능하며, 단거리 광통신에 주로 사용되어진다. 두 번째로 재질에 따라서는 유리 광섬유와 플라스틱 광섬유로 구분 가능하다. 유리 광섬유는 경우 고온에서 사용이 가능한 장점이 있지만 수직충격에 약한 단점을 가지고 있다. 그에 비해 플라스틱 광섬유는 광손실이 큰 단점이 있지만 유리 광섬유보다 가공이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 마지막으로 코팅에 따라 1차 코팅만 되어 있는 경우 단일코팅 광섬유(직경-250 μm)라 하고 2차 코팅까지 되어 있을 경우를 이중코팅 광섬유(직경-900 μm)라 한다[9].

3. 광섬유 모드 및 전파원리

광섬유 코어 및 클래딩의 경계면에 대한 광파의 입사각과 경계면에서의 경계조건에 따라 광섬유 내 광파모드가 결정되어, 전파 모드 수에 따라 크게 단일모드 광섬유와 다중모드 광섬유로 나누어진다. 단일모드 광섬유는 앞에서 설명한바와 같이 비굴절률 차를 줄여 코어에 하나의 모드만 전파하도록 하는 광섬유이다. 이러한 광섬유로는 분산천이 광섬유와 분산보상 광섬유가 있다. 분산천이 광섬유란 일반 단일모드 광섬유의 분산이 0이 되는 파장이 $1.3 \mu\text{m}$ 근처인데 비해, 분산이 0이 되는 파장이 $1.55 \mu\text{m}$ 근처로 이동된 광섬유를 말하며, 초고속 광통신 전송로에 사용된다. 분산보상 광섬유란 광섬유의 분산이 일반 단일모드 광섬유와는 다른 분산특성을 갖게 하여 특정 파장에서 분산을 보상해 주는 광섬유를 말한다. 또한 모드 분산이 미세하여 광대역, 장거리 전송에 사용되어지고 있다. 다중모드 광섬유는 코어 안에 전파되는 빛의 모드가 여러 개인 광섬유를 말하며, 코어의 직경이 약 $50 \sim 100 \mu\text{m}$ 로 매우 크다. 이러한 광섬유는 코어에 많은 양의 광이 동시에 도파는 장점을 가지지만 광손실도 커서 장거리 전송에 부적합하여 단거리전송에 많이 사용된다. 또한 굴절률 분포에 따라서 계단형 굴절률 광섬유와 언덕형 굴절률 광섬유로 나누어진다[9].

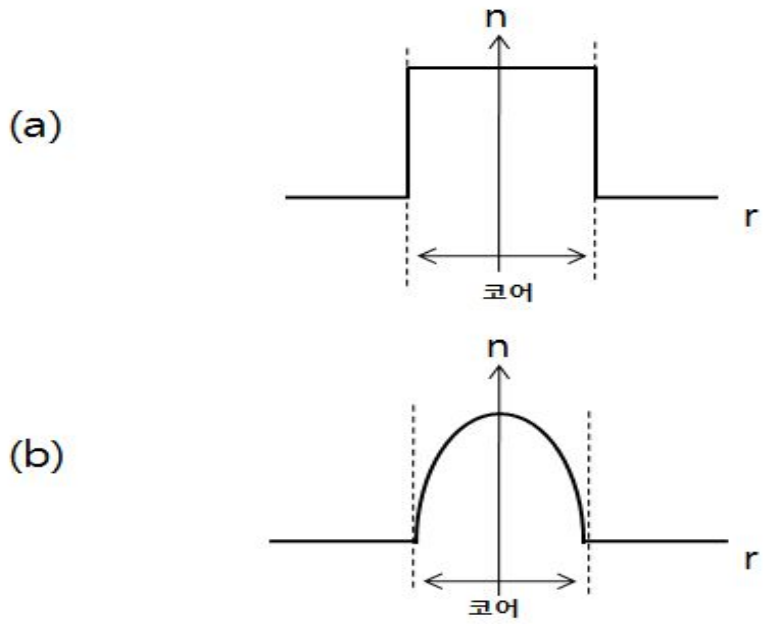


그림 2-3. 다중모드 광섬유 굴절율 분포. (a) 계단형 굴절율, (b) 언덕형 굴절율

제2절 레이저

1. 레이저의 원리

레이저(LASER)는 “Light amplification by stimulated emission of radiation”의 약자로서 유도방출에 의해 빛을 증폭 시키는 장치를 말한다. 유도방출(Stimulated emission)은 1917년에 아인슈타인이 처음으로 제시하였으며 원리는 그림 2-4와 다음과 같이 설명 할 수 있다.

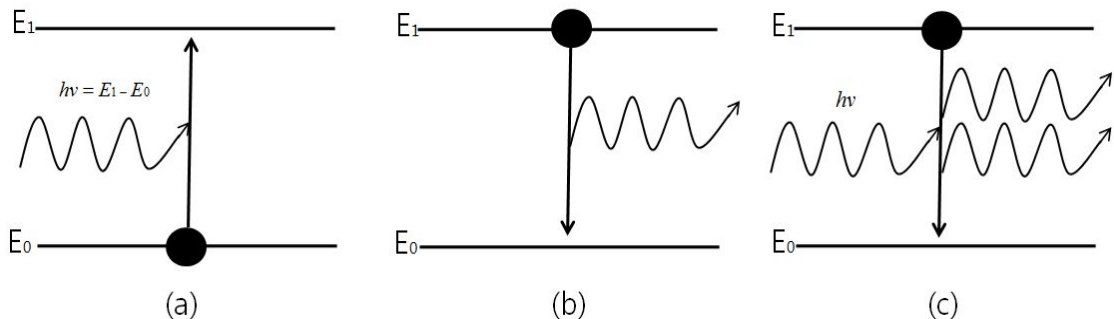


그림 2-4. (a) 유도흡수, (b) 자연방출, (c) 유도방출

일정한 에너지 준위를 가지고 있는 활성매질에 빛을 조사하게 되면 기저상태(E_0)에 있던 입자는 빛을 흡수하여 상위 에너지 상태인 여기상태(E_1)의 에너지 준위로 이동하게 된다. 이러한 과정을 유도흡수(induced absorption)라고 한다. 자연방출(spontaneous emission)은 유도흡수 과정으로 여기상태(E_1)에 있던 입자가 외부의 영향 없이 기저상태(E_0)로 떨어지면서 빛을 방출하는 경우를 말한다. 또한 유도흡수 상태에 있는 활성매질에 빛을 조사하였을 경우 유도방출이 발생하게 되며 그 빛은 입사하는 빛과 동일한 위상을 갖으며 증폭이 된다. 이러한 유도방출은 레이저의 핵심 원리이다. 유도방출이 많이 발생하기 위해서는 그림 2-5와 같이 펌핑(optical pumping)을 통해 기저상태(E_0)에 많이 존재했던 입자들을 여기상태(E_1)로 이동시켜 반전분포(population inversion)상태로 만들어야 한다[10]. 입자들의 에너지 상태에 따른 분포

정도는 맥스웰과 볼츠만의 연구로 알려진 분포함수를 이용해서 설명할 수 있다. 이러한 맥스웰-볼츠만 분포함수는 다음과 같다.

$$f_{MB}(\varepsilon) = Ae^{-\varepsilon/kT} \quad (2-2)$$

여기서 k 는 볼츠만 상수이고 T 는 절대 온도이며, A 와 e 는 각각 정규화 상수와 자연 로그이다. 식 (2-1)로부터 온도 T 의 원자계 안에 있는 에너지 E_0 와 E_1 을 가진 원자의 수 N_0 와 N_1 을 구하면 다음과 같다.

$$N_0 = Ae^{-E_0/kT} \quad (2-3)$$

$$N_1 = Ae^{-E_1/kT} \quad (2-4)$$

$$\frac{N_1}{N_0} = e^{-\frac{E_1-E_0}{kT}} \quad (2-5)$$

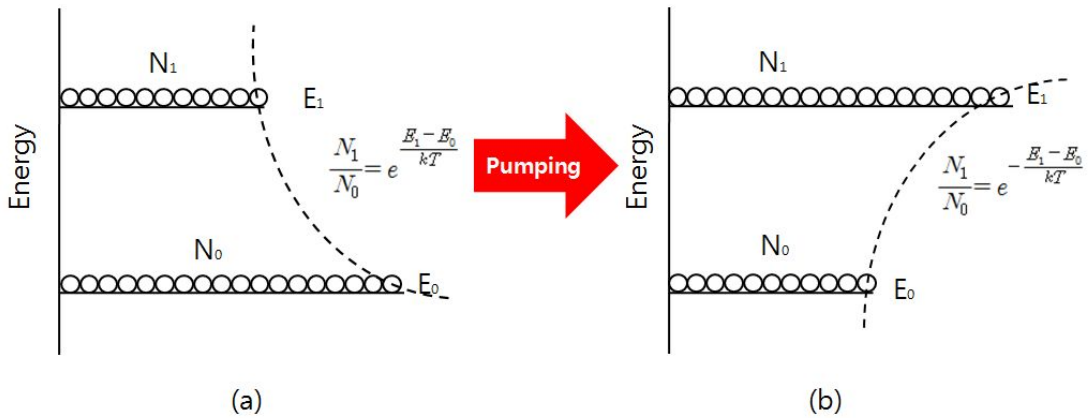


그림 2-5. (a) 열평형 상태($N_0 > N_1$), (b) 반전분포 상태($N_1 > N_0$)

기본적인 레이저의 구조는 활성매질과 공진기 그리고 활성매질을 여기시켜 줄 여기

매체로 구성된다. 공진기는 활성매질에서 유도 방출되는 빛을 증폭시켜주고 특별한 방향성이 없이 사방으로 퍼져나가는 빛에 방향성을 잡아주는 장치이며 여기매체는 활성매질의 입자들이 반전분포가 이루어지게 펌핑을 해주는 장치이다. 이러한 레이저의 작동원리는 간단히 그림 2-6과 같다[11].

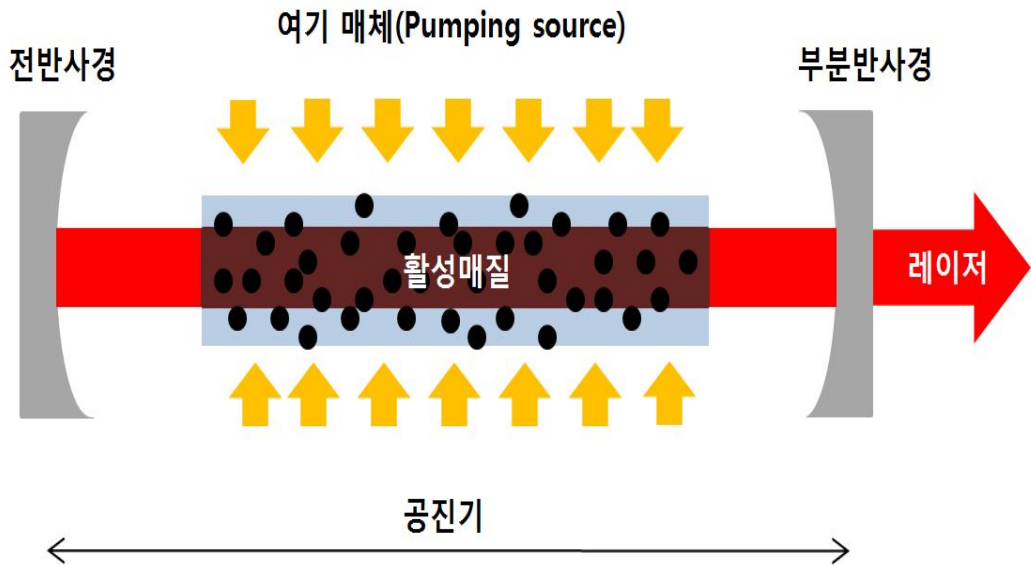


그림 2-6. 레이저의 구조

2. 레이저를 이용한 가공의 특징 및 방법

최근 레이저는 많은 분야에서 응용되어 사용되어지고 있다. 그 중에서도 레이저를 이용한 가공 기술은 급속히 발전되어 왔으며, 가공에 있어서 다음과 같이 많은 장점들을 가지고 있다. 첫째로 세라믹, 유리, 타일, 인조대리석 등의 고경도 및 취성 재

료의 가공에 용이하다. 두 번째로 레이저 가공은 비접촉가공으로 가공 중에 소재에 의한 반력이 없어 극히 얇은 재질을 변형 없이 가공하는 것이 가능하며 소음발생이 적어 설치환경에 관계없이 연속 운전이 가능하다. 세 번째로 컴퓨터 또는 NC(Numerical Control unit) 제어장치로 절삭이나 연삭으로 가공할 수 없는 복잡한 형상과 미세한 형상의 가공이 가능하다. 네 번째로 빔의 집광시 직경이 작기 때문에 가열 영역을 좁게 할 수 있어서 가공중 비틀림이나 열변형이 적은 가공이 가능하다[12].

레이저 가공이 장점만 있는 것이 아니라 다음과 같은 단점들도 있다. 첫째로 레이저는 광학부품들을 사용하고 있어 관리를 소홀히하면 가공시 불량률의 원인이 된다. 두 번째로 레이저의 소모품은 고가의 장비다. 세 번째로 금속 재료의 열처리 등의 가공에서는 빔흡수제를 사용하여 광이 반사하는 것을 방지하는 처리가 필요하며 가공 후 흡수제를 제거시켜야 하는 불편함이 있다. 그러나 레이저 가공은 다른 가공 기술들과 비교하여 적용 범위가 넓어 다양한 활용 및 응용에 용이하다. 이러한 레이저를 이용하는 가공방법은 표 2-2와 같다.

이러한 가공방법들 중에서 마이크로 가공이 가능한 CO₂ 레이저와 Nd:YAG 레이저의 특징은 다음과 같다[12].

CO₂ 레이저는 원자기체 또는 이온기체들의 전자적인 에너지 준위들 사이의 전이에 의하지 않고, 레이저의 능동매질인 CO₂ 분자들의 진동 및 회전준위들 사이의 전이에 의한 분자기체 레이저이다. CO₂ 분자는 가장 낮은 전자에너지 준위상태에서 대칭(symmetric stretching), 비대칭(asymmetric stretching)과 굽힘(bending)운동의 세가지 다른 형태의 진동운동을 한다. 이들 세 가지 기본적인 진동모드에서 발진의 에너지는 양자화되어 있고, 그 분리되어 있는 값들은 정수값들이다. 어떤 순간에 CO₂ 분자는 이들 세 가지 기본모드의 일차적인 조합으로 진동한다. CO₂ 레이저에서는 레이저의 전반적인 출력과 효율을 증가시키기 위하여 능동매질인 CO₂ 이외에 비슷한 용적의 N₂ 가스와 수배의 He 가스를 첨가시킨다. N₂ 가스는 전자와 충돌하여 높은 에너지 준위로 여기되고 여기된 N₂ 가스가 CO₂ 분자와 충돌하여 N₂가 지닌 에너지를 CO₂로 전달시킴으

표 2-2. 레이저 가공의 종류

종류	가공법	내용
재료제거	절단가공	금속, 세라믹스, 양복지, 복합재료, 플라스틱, 고무, 재료, 유리, 종이
	홀가공	고무, 금속, 다이아몬드, 암석, 사파이어, 플라스틱, 세라믹스
	마이크로 가공	트리밍, 마스크 리페어링, 스크라이빙, 밸런싱, 튜닝
	클리닝	기름등으로 표면이 더러워진 것을 열적으로 제거하는 흙의 제거
부가	용접가공	금속, 세라믹스, 마이크로 용접
	증착	가열원으로 이용
표면처리	담금질	표층부, 기계 일부분의 담금질
	글레이징	$10^6 \text{ }^\circ\text{C}/\text{s}$ 의 속도로 금냉해서 표면을 비정질화
	알로잉	국부적으로 합금층을 형성
	어닐링	반도체 결정 표면층의 결정성을 향상
새로운 이용	결정성장	사파이어, 실리콘 리본 등의 결정성을 향상
	선뿔기	유리 파이버
	할단	유리, 암석 등에 국부적인 열변형을 가해서 파괴
	건조	인쇄 잉크의 고속 건조
	보조열원	레이저로 가열해서 다른 가공

로써 CO₂ 분자를 여기상태의 준위로 전이시킨다. 이 여기된 N₂의 에너지 준위는 긴 수명을 가지고 있으며, N₂와 CO₂의 여기된 에너지 준위들 사이의 에너지는 거의 비슷하므로 이러한 충돌과정은 에너지 전달에 매우 효율적이다. He 원자는 레이저 하부준위에 있는 CO₂ 분자와 충돌하여 기저준위로 빠른 전이가 일어나도록 함으로써 큰 분포밀도가 유지되도록 하기 때문에 레이저의 효율을 증가시킨다. 이러한 CO₂ 레이저는 900 ~ 1,100 nm 의 적외선 복사를 방출하며 수백 kW의 연속빔이 레이저 군사용 무기 연구에 사용되기도 하는 등 여러 분야에 걸쳐 사용된다[12, 13].

Nd:YAG 레이저는 능동매질로 비전도 고체, 결정질, 혹은 레이저를 방출하는 원자나 분자로 도핑된 유리등이 사용된다. 결정이나 유리 호스트 물질에 약 1% 비율로 포함된 원자들은 외부 소스에서 나오는 빛에 의해 광학적으로 여기되며, 이 때 밀도반전을 일으킨다. Nd 레이저 자체가 한 종류의 레이저를 지칭하는 것은 아니다. Nd는 다양한 호스트 물질과 합성결정이나 다른 성분의 유리등에 합쳐진다. 특정한 부속기구를 사용하여 원적외선에서 가시광선 혹은 자외선 영역의 출력 파장을 얻을 수 있으며 100 W 이하의 연속빔 혹은 수 MW의 짧은 펄스를 만들어 내므로 응용범위가 상당히 넓다. Nd 레이저의 능동매질은 3중으로 이온화된 네오디뮴이고 결정이나 유리구조속에 결합된다. Nd는 본질적으로 불순물인데 이트륨(yttrium) 혹은 다른 희토류 원소와 같은 비슷한 이온크기의 물질로 대체한다[13]. 현재 가장 일반적인 호스트는 YAG(Yttrium Aluminum Garnet, Y₃Al₅O₁₂) 이다. YAG는 단단하지만 깨지기 쉬운 물질로 Nd:YAG 레이저를 사용하는 가장 중요한 이점은 열적 특성으로 이것이 양질의 연속빔을 만든다는 것이다. 여러가지 다른 결정 호스트들이 Nd와 함께 시험되어왔지만 YAG만큼 많이 사용 되지는 않는다. 결정을 키우기가 어렵기 때문에 YAG 막대의 길이는 10 cm 정도로 제한되고 보통 반경은 수 mm 정도이다. 유리를 사용하면 수십 cm 정도까지 길이가 늘어날 수 있고 더 높은 출력에너지를 얻을 수 있다. 펌핑을 위한 광원으로는 텅스텐 혹은 아크등을 사용한다. 램프는 넓은 스펙트럼의 빛을 내놓지만 Nd 이온은 이중 0.7에서 0.8 μm 사이의 빛만을 흡수한다. 이러한 영역에서 흡수된 광자는 Nd 이온을 여기 시키고 Nd 이온은

준안정 상태로 붕괴하여 밀도반전을 일으킨다. Nd:YAG 레이저는 연속모드 혹은 펄스모드로 동작한다. 연속적으로 1 kW 이상의 출력을 내지만 펄스모드에서 직렬로 몇 개의 레이저를 작동시켜 엄청난 파워출력을 낼 수도 있다. 예를 들어 수 나노초 동안 수 GW의 파워를 만들어 낼 수 있다[13,14,15].

위와 같은 다양한 레이저를 이용한 레이저 가공은 높은 에너지 밀도로 미소의 점에 집광시킨 레이저광을 가공에 적용한 것을 여러 가지 다양한 가공특성을 가지고 있으며 이러한 장점을 이용하여 레이저광의 특성과 가공되는 피가공물의 물성에 따라 절단, 구멍뚫기, 용접, 열처리, 표면가공 등에 응용되고 있다. 이러한 레이저 가공이 갖는 공통적인 특징 중 일반적인 가공기술과 다른 특징 중의 하나는 열로 변환되는 에너지의 강도가 다른 가공법에 비하여 월등이 높다는데 있으며 반도체 소재, 세라믹 재료, 합성수지 등과 같은 다양한 소재의 가공이 가능하다는 것이다. 레이저 가공은 기본적으로 레이저광의 흡수에 의한 열적인 과정으로 재료의 광흡수가 매우 중요한 요소가 된다[16,17]. 레이저광의 흡수를 결정하는 중요인자는 빔의 파장, 입사각, 편광, 빔의 출력분포, 발산각 등이 있다. 따라서 레이저가공의 특성은 가공하고자 하는 재료에 대한 레이저광의 특성과 레이저광을 흡수하여 얻게 되는 열원의 특성과 직접적인 관계를 갖는다[15]. 레이저광은 광학부품을 이용하여 초점위치에 매우 높은 에너지를 주도록 집속 시킬 수 있다. 따라서 가공하고자 하는 부문에만 적당량의 에너지를 집속시킬 수 있어 많은 부문을 동시에 균일하게 가공하여야 하는 통상적인 방법보다는 가공이 빠르고 재료의 내부에서 열로 인하여 발생할 수 있는 응력변화, 뒤틀림, 균열 등을 방지할 수 있어 재료의 손상을 최소화 할 수 있다. 또한 레이저광의 집속으로 인하여 수 mm 이하의 정밀한 가공이 가능하다[18].

표 2-3. 가공용 레이저 시스템 사양

Laser	Wave length (μm)	Operation mode	Pulse energy(W)		Pulse Duration(sec)	Typical Use
			Typical	High		
Nd:YAG	1.06	Continuous	10W	1,000W	CW	Surface heat treatment Welding, Cutting
		Normal	1W	100W	-	Spot welding marking, hole drilling, trimming
		Q-switched	0.1W	1W	1.5×10^{-5}	Annealing of semi conductors
CO ₂	10.6	Continuous	300W	6,000W	CW	Surface heat treatment Welding, Cutting
		TEA	2W	400W	2×10^{-4}	Hole drilling, Marking

제3절 광학단층영상법

1. 간섭계

광학단층영상법(OCT: Optical Coherence tomography)는 광의 간섭 현상을 이용한 단층촬영 방법을 말한다. 간섭 현상은 두 개 이상의 파동이 공간에서 서로 겹치는 현상을 말하며, 중첩의 원리를 따른다. 크게 간섭은 보강간섭과 소멸간섭으로 나누어지며 그림 2-7과 같다. 보강 간섭은 두 파장이 마루와 마루 또는 골과 골이 만나 진폭과 세기가 각각 2배로 증가하는 현상이며, 반대로 소멸 간섭은 마루와 골이 서로 일치하여 진폭과 세기가 상쇄되는 현상이다.

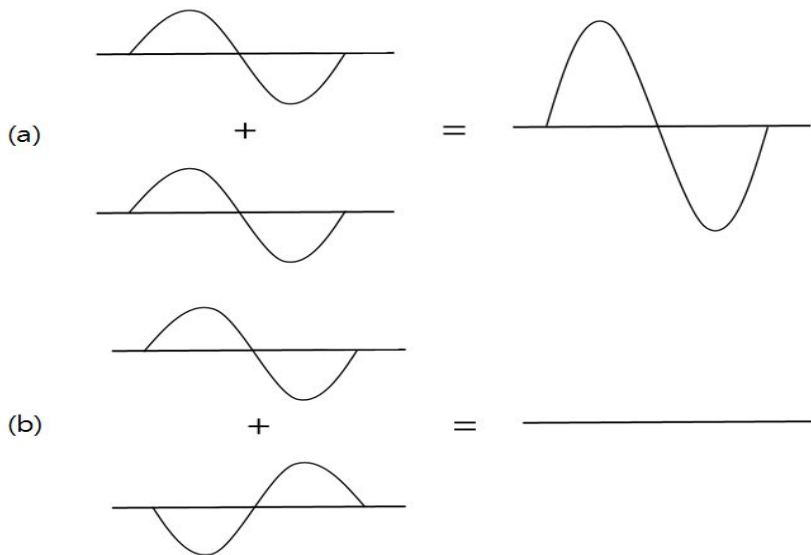


그림2-7. 간섭. (a) 보강 간섭, (b) 소멸 간섭

이러한 간섭은 두 파장이 동일한 위상이어야 한다. 빛의 간섭 현상을 설명한 실험

으로는 영의 간섭 실험이 있으며, 그림 2-8과 같다.

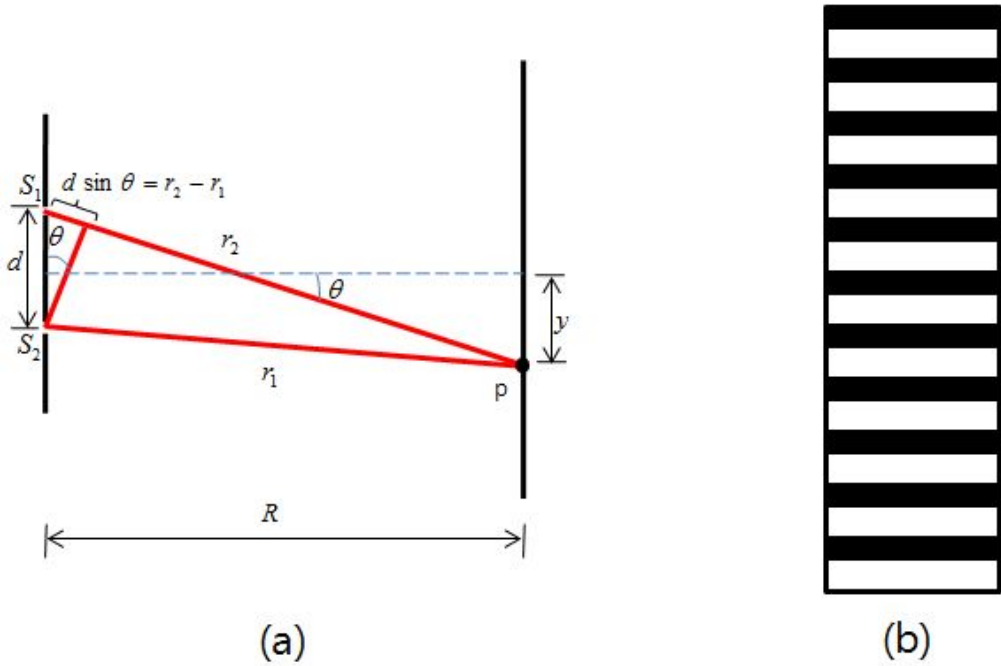


그림 2-8. 영의 이중슬릿 실험. (a) 기하학적 분석, (b) 간섭무늬

S_1 과 S_2 에서 나오는 빛의 경로 차는 $r_2 - r_1 = d \sin \theta$ 이다. R 이 d 에 비해 매우 크기 때문에, r_1 과 r_2 가 거의 평행하다고 가정하자. 따라서 보강 간섭은 다음 식으로 표현할 수 있다. 여기서 R 은 슬릿과 스크린사이의 거리이고, d 는 슬릿 S_1 과 S_2 사이의 거리이며, y 는 밝은 띠의 중심부까지 거리이다.

$$d \sin \theta = m \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots) \quad (2-6)$$

또한, 경로차가 반파장인 소멸 간섭의 식은 다음과 같다.

$$d \sin \theta = (m + \frac{1}{2}) \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots) \quad (2-7)$$

식 (2-6)과 같은 경우는 광경로차가 파장의 정수배 이므로 간섭무늬의 밝은 부분이다. 반면 식 (2-7)은 간섭무늬의 어두운 부분이다. 이러한 간섭 때문에 그림 2-8(b)와 같은 간섭무늬가 생기게 된다. 또한 θ (약 5° 이하) 값이 매우 작으면 $\tan\theta$ 와 $\sin\theta$ 는 같다고 볼 수 있다. 그래서 다음과 같은 식을 유도 할 수 있다.

$$y = R \sin\theta \quad (2-8)$$

위의 식에 식 (2-6)을 대입하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$y = R \frac{m\lambda}{d} \quad (m=\text{정수}) \quad (2-9)$$

이 식을 통해 파장 λ 를 직접 구할 수 있다. 또한, 그림 2-9와 같이 위상자를 이용하여 간섭무늬의 진폭과 세기를 유도 할 수 있다.

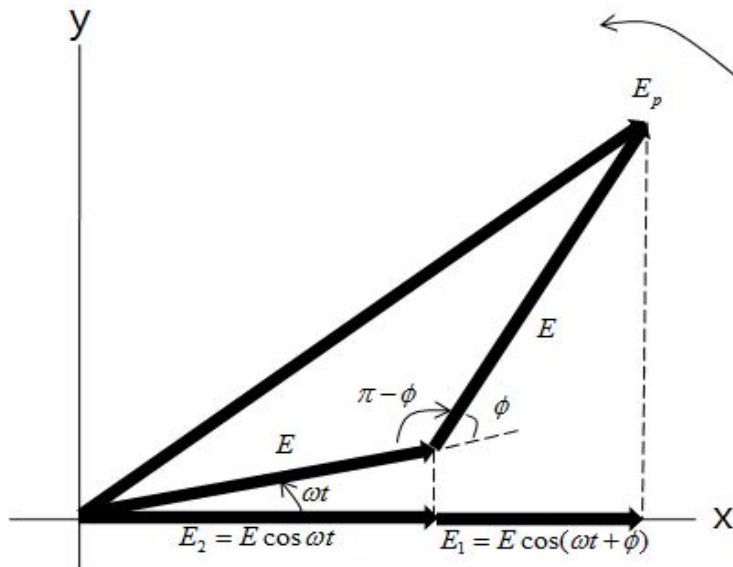


그림 2-9. 위상자를 이용한 계산법

위상차가 있는 두 진동 함수는 평면상에서 벡터(위상자)로 나타 낼 수 있다. 이 때 수평축으로 투영시킨 결과가 진동 함수의 순간 진폭이다. E_1 은 그림 2-8에서 S_1 에서 나온 파의 위상자의 수평 성분이며, E_2 또한 S_2 에서 나온 파의 위상자의 수평 성분이다. E_p 는 P 에서의 합성 진동파의 진폭으로 다른 두 위상자의 벡터합의 위상자 크기이며 다음과 같은 과정의 식으로 구할 수 있다.

$$E_p^2 = E^2 + E^2 - 2E^2 \cos(\pi - \phi) \quad (2-10)$$

여기서 $1 + \cos\phi = 2 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right)$ 를 이용하면,

$$E_p^2 = 2E^2(1 + \cos\phi) = 4E^2 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (2-11)$$

$$E_p = 2E \left[\cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \right] \quad (2-12)$$

마지막으로 간섭무늬에서 세기는 다음과 같은 식으로 유도 할 수 있다.

$$I = \frac{E_p^2}{2\mu_0 c} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E_p^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_p^2 \quad (2-13)$$

여기서 μ_0 는 유전율, ϵ_0 는 투자율, 그리고 c 는 광속이다.

식 (2-13)의 마지막 식에 식 (2-12)를 대입하면,

$$I = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_p^2 = 2 \epsilon_0 c E^2 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (2-14)$$

위상차가 0인 경우($\phi = 0$), 최대 세기를

$$I_0 = 2 \epsilon_0 c E^2 \quad (2-15)$$

식 (2-15)를 식 (2-14)에 대입하면,

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (2-16)$$

위의 식은 임의의 점에서의 두 광원의 간섭의 세기를 구할 수 있다[19].

이러한 간섭을 발생하게 하는 실험 장치를 간섭계라고 부른다. 간섭계는 크게 간섭 분광기와 간섭 굴절계로 나누어 진다. 간섭 분광기는 빛의 파장을 측정하거나 임의의 파장의 빛을 가려내는 장치로 스펙트럼의 미세구조를 보기위해 만들어진 장치이며, 대표적으로 패브리-페로 간섭계, 루머-게르케의 평행판 등이 있다. 간섭 굴절계는 하나의 광원에서 나온 빛을 두 갈래의 빛으로 나누어져 다시 만났을 때 광경로 차가 생겨 간섭무늬가 생기게 하는 장치로 마이켈슨 간섭계, 마하젠더 간섭계, 레일리 간섭계, 자만 간섭계 등이 있다.

대표적으로 두 개의 파동이 겹쳐질 때 광의 간섭현상을 이용하기 위해서 기본적으로 마이켈슨 간섭계를 사용한다. 그림 2-10에서 보는 바와 같이 광원(레이저)에서 나

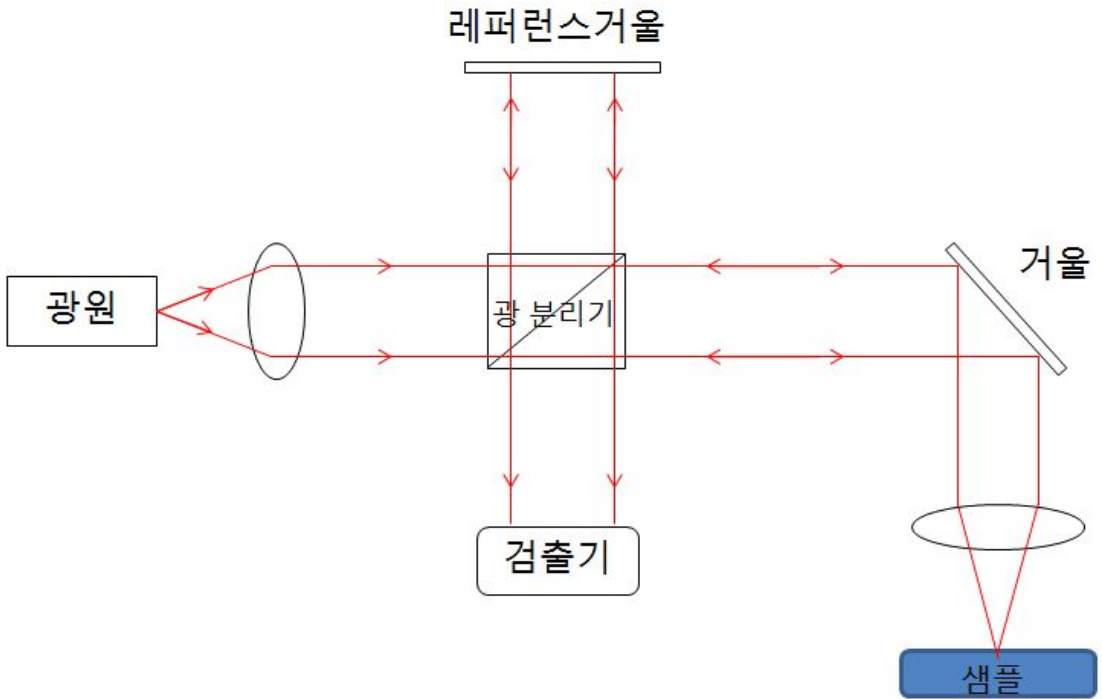


그림 2-10. 마이켈슨 간섭계 개략도

오는 하나의 광을 광분리기를 통하여 레퍼런스 거울방향과 샘플 방향으로 두 개의 광으로 분리시킨다. 분리된 두 광은 각각 샘플과 레퍼런스 거울과 샘플에 반사되어 광분리기를 거쳐 검출기로 들어오게 되는데, 이 때 두 광은 만나 간섭을 발생시킨다[20]. 또한 그림 2-11은 실제 마이켈슨 간섭계를 광학계로 구성한 것이다. 기본적으로는 그림 2-10과 같다.

마이켈슨 간섭계는 빛이 광분리기 지나면서 두 갈래로 갈라졌다가 다시 합쳐지면서 간섭무늬가 발생하는 장치로 빛이 갈라지면서 지나가는 두 경로가 서로 달라 빛의 위상차나 서로 다른 물질을 지나면서 생기는 굴절율 차에 의해 간섭무늬가 발생한다.

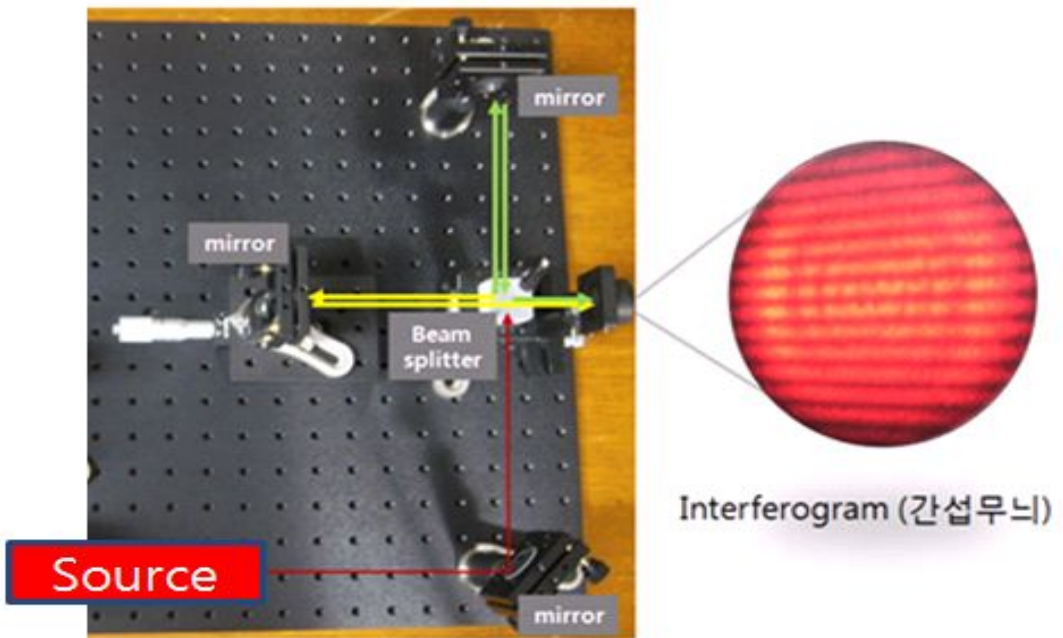


그림 2-11. 마이켈슨 간섭계와 간섭무늬

2. 간섭계를 이용한 광학단층영상법

OCT는 1991년 MIT의 D.Hung에 의해 처음 소개되었으며 그 후로 많은 발전이 있었다. OCT는 기본적으로 절개없이 생체 조직의 단면을 실시간으로 촬영할 수 있으며 다른 단층영상장치와는 다르게 수 마이크로의 고해상도 이미지 촬영이 가능하다. 또한 인체에 무해하고 촬영면과의 접촉이 필요없으며 광섬유를 이용할 시 소형으로 제작이 가능하여 이동성이 좋다. 이러한 많은 장점 때문에 OCT는 의료 장비에서 많이 사용되어지고 있으며, 목적에 따라 ODT(optical doppler tomography), PSOCT(polarization

sensitive optical doppler tomography) 그리고 내시경 OCT(endoscopic OCT)등으로 구분할 수 있다. 또한 최근에는 응용범위가 확대되어 화학, 생리학, 재료학 등에서 사용되어지고 있다[20,21].

이러한 OCT의 기본적인 원리는 다음과 같다. 그림 2-12과 같이 기본적인 진행은 대역폭이 넓은 광을 광분리기(Beam splitter)통하여 Reference arm과 Sample arm으로 각각 나누어 진행하게 되며 각각 반사되어 다시 광분리기로 들어와 합쳐져 Detector로 돌아온다. 여기서 Reference arm과 Sample arm의 광경로 차이로 인하여 단층영상을 얻을 수 있다. 또한 Detector로 검출된 신호의 수식은 다음과 같다.

$$I_d = \rho \{ P_r + P_s + P_x + 2\sqrt{P_r P_s} \cos(k_0 \Delta l) \} \quad (2-17)$$

위의 수식에서 ρ 는 Detector의 응답성이며, P_r 는 광이 Reference arm에서 반사되어 Detector로 들어왔을 때 순간적으로 검출된 광세기이고, P_s 는 광이 간섭된 Sample로부터 산란된 Detector에서의 광세기이다. 또한 P_x 는 광이 결맞지 않은 간섭계의 Sample arm에서 반사된 Detector에서의 광세기이며, k_0 와 Δl 은 각각 광원의 중심파수와 Reference arm과 Sample arm의 경로 차이이다[20,21].

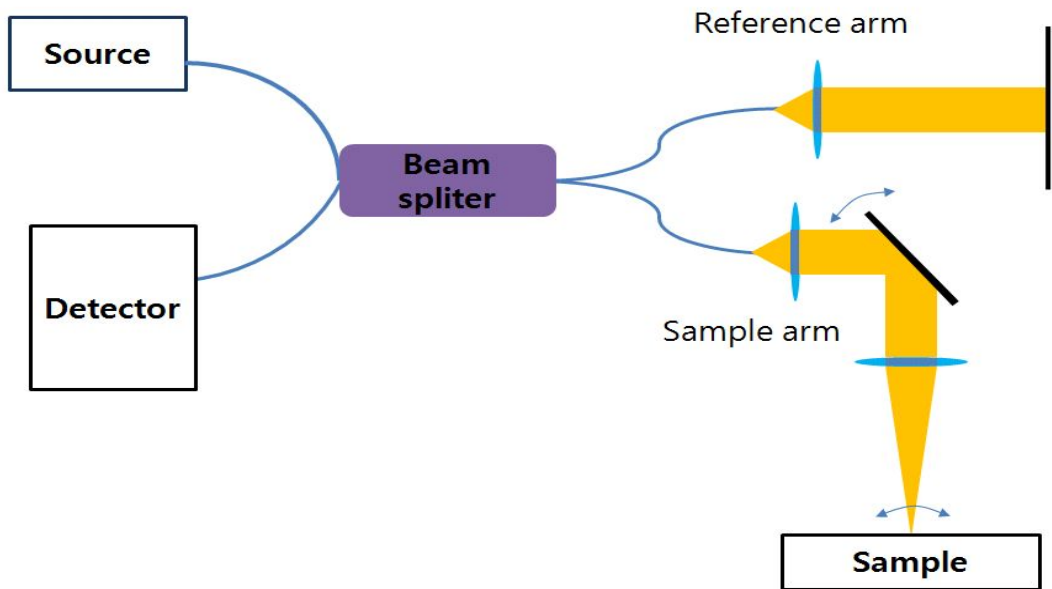


그림 2-12. 광학단층영상법 시스템의 개략도

제3장 실험

제1절 모델링을 통한 플라스틱 광섬유 발광 특성 전산모사

1. 플라스틱 광섬유의 미세패턴 모델링

본 연구에서 플라스틱 광섬유의 코어 및 클래딩의 가공을 통하여 플라스틱 광섬유 밖으로 광을 유도하고자 하였다. 그리고 이러한 일련의 과정을 이용하여 플라스틱 광섬유를 도광판의 광원으로써 이용하고자 하였다. 이를 위해서 가공된 플라스틱 광섬유의 측면에 미세패턴을 모델링 하고자 하였으며, 모델링은 3D 모델링 프로그램을 사용하여 수행하였다. 모델링은 미세패턴 간격과 깊이의 변화에 따른 특성변화를 알기 위해서 그림 3-1과 그림 3-2와 같이 각각 P-타입, O-타입, F-타입으로 모델링을 하였다. 그리고 각각 타입 당 5개의 모델을 표 3-1, 표 3-2, 그리고 표 3-3과 같이 가공깊이 변화를 주어 마련하였다. P-타입은 패턴 간격을 플라스틱 광섬유의 양 끝단에서만 8 mm로 다르게 하였고 나머지 그 사이의 모든 패턴 간격을 3 mm로 하였다. O-타입은 패턴 간격을 플라스틱 광섬유의 양 끝단에서만 6 mm로 다르게 하였고 나머지 그 사이의 모든 패턴 간격을 3.5 mm로 하였다. 마지막으로 F-타입은 모든 패턴의 간격을 4 mm로 하였다.

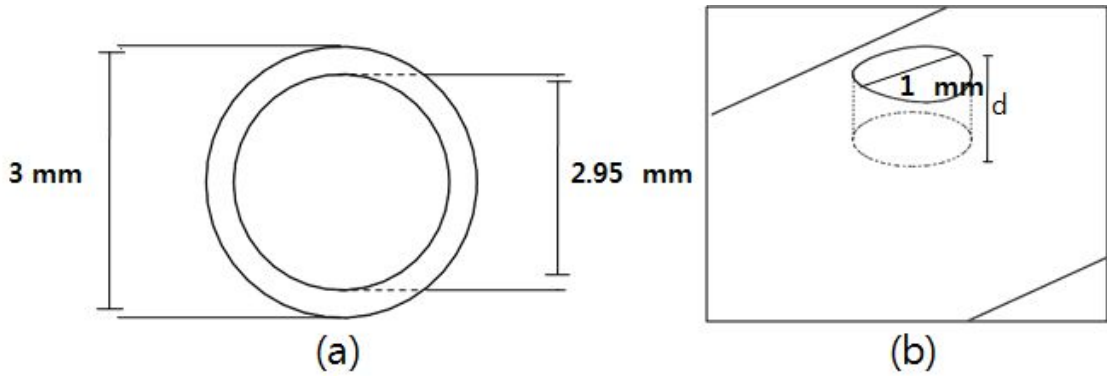


그림 3-1. 플라스틱 광섬유 미세패턴 가공 모델링. (a) 플라스틱 광섬유의 코어와 클래딩 직경, (b) 플라스틱 광섬유의 가공 패턴 모델링

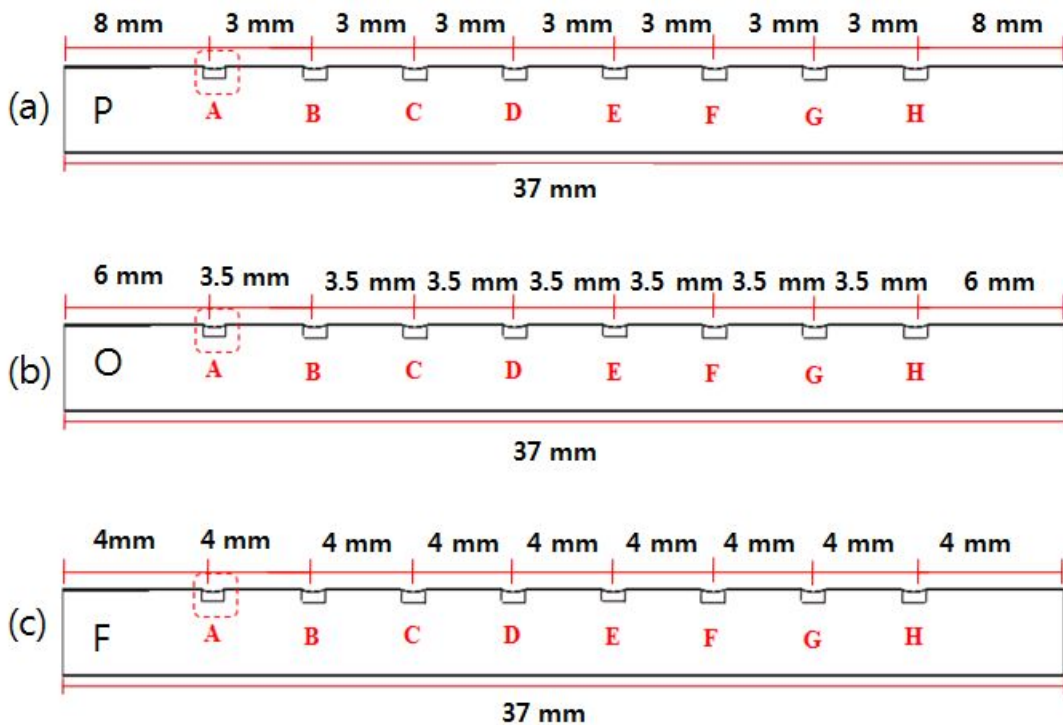


그림 3-2. 플라스틱 광섬유 미세패턴 간격. (a) P-타입 , (b) O-타입, (c) F-타입 패턴간격

표 3-1. P-타입 패턴의 깊이 변화

(단위:mm)

타입	깊이(d)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
P-1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
P-2	0.9	0.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
P-3	0.9	0.2	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
P-4	0.9	0.2	0.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
P-5	0.9	0.2	0.9	0.2	0.9	0.2	0.9	0.2

표 3-2. O-타입 패턴의 깊이 변화

(단위:mm)

타입	깊이(d)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
O-1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
O-2	0.9	0.2	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
O-3	0.9	0.2	0.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
O-4	0.9	0.2	0.9	0.2	0.9	0.2	0.9	0.2

표 3-3. F-타입 패턴의 깊이 변화

(단위:mm)

타입	깊이(d)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
F-1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
F-2	0.9	0.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
F-3	0.9	0.2	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
F-4	0.9	0.2	0.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
F-5	0.9	0.2	0.9	0.2	0.9	0.2	0.9	0.2

2. 광섬유 발광 특성 전산모사 수행 방법

본 연구에서는 실제 실험에 앞서 정밀한 데이터를 얻기 위해 전산모사를 수행해 보았다. 실험에서는 미쯔비사에서 제작된 플라스틱 광섬유(ESKA CK-120)를 사용하였다. 실험에 사용되어진 플라스틱 광섬유는 코어와 클래딩이 각각 고순도 아크릴 레진(PMMA : Polymethyl methacrylate)과 특수 불소 폴리머(F-PMMA : Fluorine Polymethyl methacrylate)로 구성되어 있으며 표 3-4와 같다. 이러한 플라스틱 광섬유를 전산모사에 적용시키기 위해 3D 모델링 프로그램을 사용하여 기본적인 플라스틱 광섬유를 설계하였다. 설계한 플라스틱 광섬유 발광특성을 분석하기 위해 광학 시스템 설계 소프트웨어를 사용하였으며 광선 추적, 최적화, 공차, 회절분석, 레이저 빔 전달, 그리고 CAD 입출력 등 순차 광선 추적 및 비-순차 광선추적과 혼합 광선 추적이 가능한 렌즈 설계 및 조명 설계가 가능하다. 모델링 데이터를 기반으로 수차분석, MTF(Modulation Transfer Function), PSF(Point Spread Function) 등을 계산할 수 있는 Zemax를 이용하여 각각 코어와 클래딩 굴절율을 적용시켜 실제 실험과 최소한 오차를 줄여 전산모사를 수행하였다[8].

제2절 미세패턴 레이저 가공

1. 미세패턴 레이저 가공 시스템

미세패턴 가공은 도광판에서 많이 사용되어 지고 있으며 여러 종류 방법들이 있다. 크게 기계적인 가공법과 인쇄식 가공법이 있다. 인쇄식 가공법은 반복설계에 용이한 장점이 있지만 안전성 문제가 있으며 기계적인 가공법은 자동화가 용이하지만 가공 후 입자 잔류에 의한 후 처리 공정이 필요한 단점을 가지고 있다. 최근에는 레이저를 이용한 3차원적인 가공법이 연구되어 지고 있다. 레이저를 이용한 가공은 기존의 가공법보다 빛의 활용률을 높일 수 있으며 복잡한 전후처리가 없어 시간과 비용을 절약할 수 있다[22]. 본 연구에서는 이러한 도광판 패턴 가공법 중에서 보다 효율적인 레이저 가공법을 플라스틱 광섬유 가공에 적용하였다.

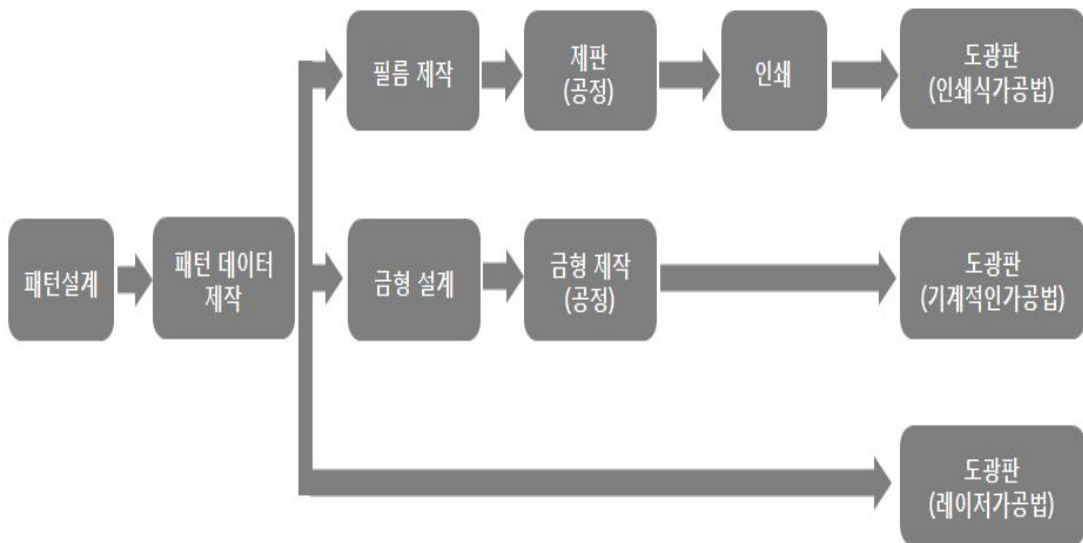


그림 3-3. 도광판의 미세패턴 가공공정

2. 플라스틱 광섬유의 미세패턴 가공

플라스틱 광섬유의 미세패턴 가공에는 파장과 초점 크기가 각각 $10.6 \mu m$, $120 \mu m$ 이며 평균출력이 14 W인 빔 스캔 방식의 CO_2 레이저를 사용하였으며 개략도는 그림 3-4와 같다[23]. CO_2 레이저를 실제 미세패턴 가공에 이용하기 위해 2시간 정도의 예열을 하였으며 스테이지를 움직여 가며 마킹의 가공위치를 조절하였다. 또한 레이저의 파라미터의 마킹시 가공위치와 마킹시 기다리는 시간(갈바노스캐너가 머무는 시간)을 각각 $10 \mu m$, $2500 \mu sec$ 로 설정하였다. 레이저의 출력을 최대 출력의 99%로 하였다. 패턴의 깊이 조절은 0.2 mm 경우 레이저 가공을 1회 실시하였고, 0.4 mm는 동일한 레이저 가공을 2차례 하였으며, 0.9 mm는 레이저 가공을 3차례 반복하였다.

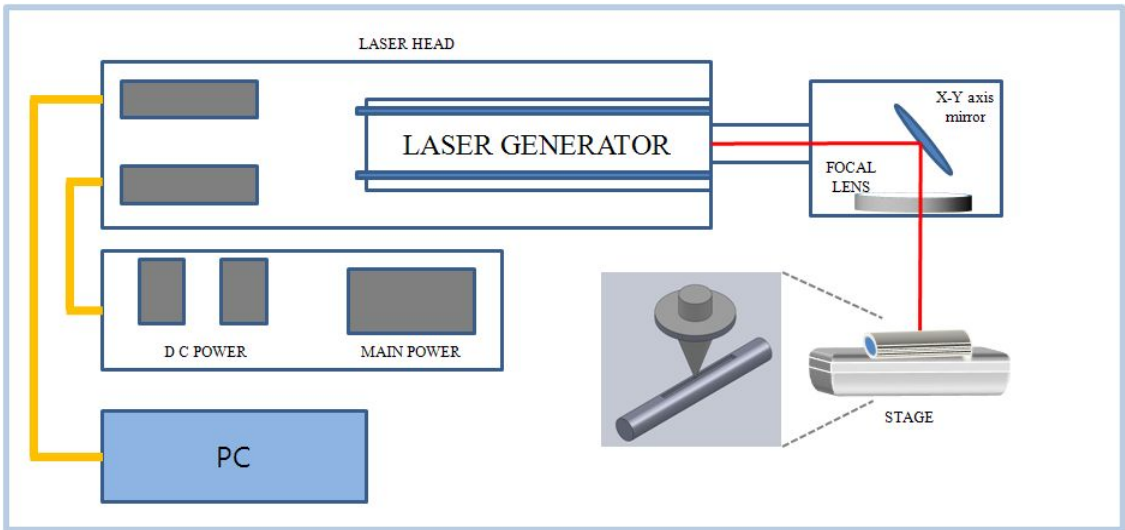


그림 3-4. 패턴 가공을 위한 CO₂ 레이저 시스템 개략도

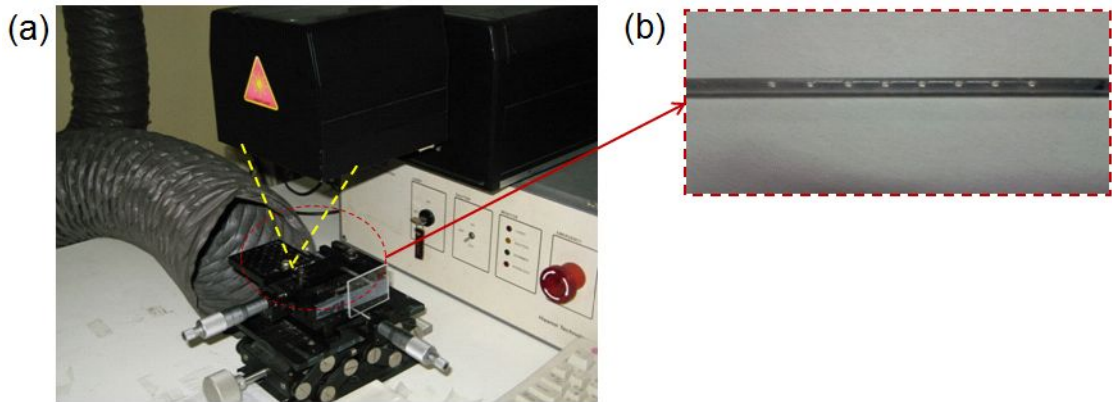


그림 3-5. CO₂ 레이저를 이용한 패턴가공. (a) CO₂ 레이저 시스템, (b) 가공된 플라스틱 광섬유

표 3-5. CO₂ 레이저 시스템 사양

Model	Synard HC-20
Wavelength	10.6 μm
Operation Mode	PWM(Pulse Width Modulation)
Out Power	Max. 17 W, Ave. 14 W
Beam Diameter	3 mm
Beam Divergence	4 mRad
Beam Expander	× 2.7
Focus Lens	152.4mm, f-θ lens
Spot Size	120 μm
Power Supply	AC 220 V three-phase 60 Hz, 15 A
Cooling Method	Air

제3절 가공샘플 측정

1. 광원 모듈 키트 제작

LED(Light Emitting Diode)는 기존의 광원들에 비해 에너지 효율이 좋으며 오랜 시간 유지되는 장점과 내구성이 좋다. 이러한 이유로 본 실험에서 광원모듈 키트에 들어갈 광원으로 LED를 선택하였으며 표 3-6과 같다.

표 3-6. 실험에 사용된 LED 특성

	Symbol	Conditions	Min.	Max.	Unit
Forward Voltage	VF	IF=120 mA	3.14	3.54	V
Reverse Current	VR	IR=5 mA	0.7	1.2	V
Luminous Intensity	IV	IF=120 mA	6.40	9.50	cd
Peek Wavelength	Wp	IF=120 mA	439.1	456.9	nm
Wide beam angle	$\Delta\theta \sim 120^\circ[\text{typ}]$				

광원모듈 키트는 그림 3-6과 같으며 기본적으로 플라스틱 광섬유 양 끝단에서 빛이 입사될 수 있게 LED를 2개 설치하였으며, 각각 LED를 사용할 수 있게 스위치를 따로 제작하였다. 또한 최종적으로 도광판에 적용시켜 측정할 수 있도록 제작을 하였다 [24].

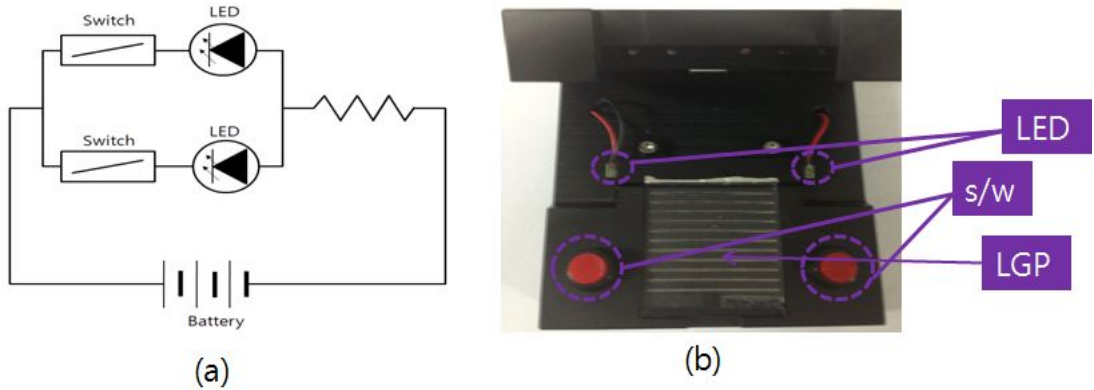


그림 3-6. 광원모듈 키트 (a) LED 구동회로도, (b) 광원모듈

2. 플라스틱 광섬유 광원 발광특성 측정 및 도광판의 적용

먼저 광원모듈 키트에 가공되어진 플라스틱 광섬유 광원만을 장착시켜 발광특성을 측정 하였으며, 그 다음에 개발된 도광판 샘플을 모듈에 추가적으로 장착시켜 그림 3-7과 같이 세팅하였다. 사용한 도광판 샘플로는 경사를 가지고 있는 경사 패턴을 사용하였다.

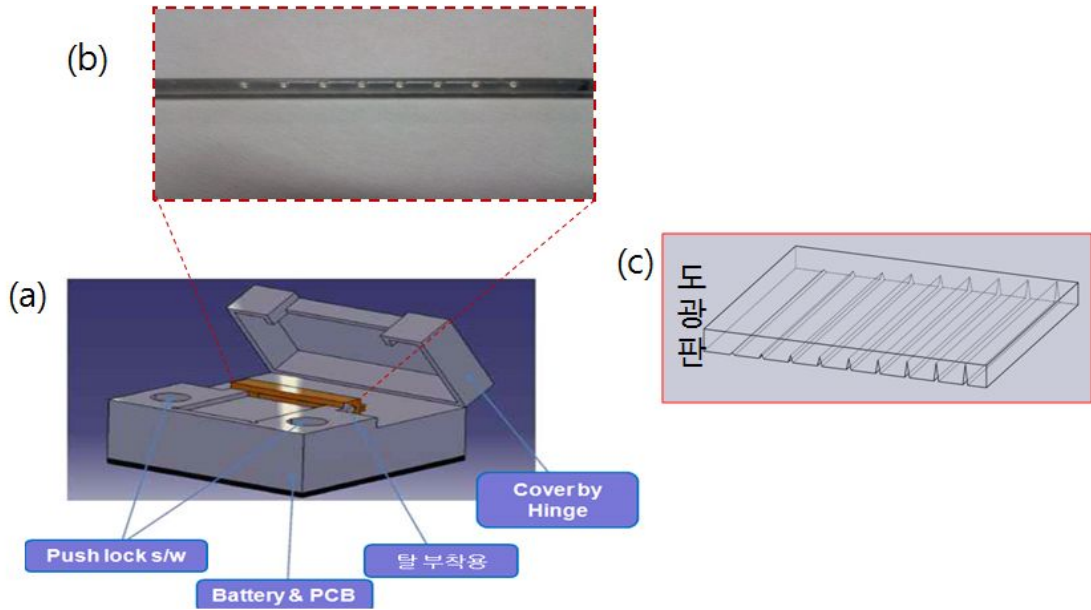


그림 3-7. 광원모듈 키트 세팅. (a) 광원모듈 키트, (b) 가공된 플라스틱 광섬유, (c) 도광판

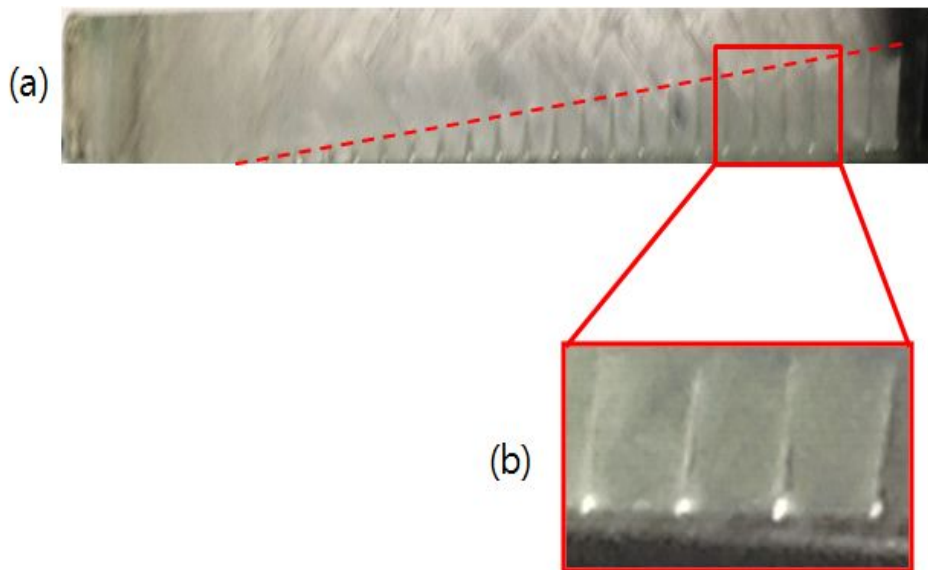


그림 3-8. 도광판 가공 패턴. (a) 경사 패턴, (b) 가공 부분 확대

도광판의 휘도값을 측정하기 위해 그림 3-9와 같이 도광판 윗면을 9개 영역으로 나누어 각각 그 위치의 휘도값을 측정하였다[25]. 본 연구에서 실제 실험 측정은 PDP, LCD, LED 및 여러 광원에 휘도 측정이 가능한 분광 방사 휘도계(KONICA MINOLTA, CS-2000)를 사용하였으며 기본적인 사양은 표 3-7과 같다. 분광 방사 휘도계는 초저 휘도(0.003 cd/m^2) 영역부터 고휘도(300 cd/m^2) 영역까지 측정이 가능한 휘도 측정 장비로써 저휘도에서 고속측정(FAST MODE: 1 cd/m^2)이 가능하고 다양한 대상에 대한 측정각(1° , 0.2° , 0.1°) 선택이 가능하며, 또한 조작성과 휴대성이 편리하다.

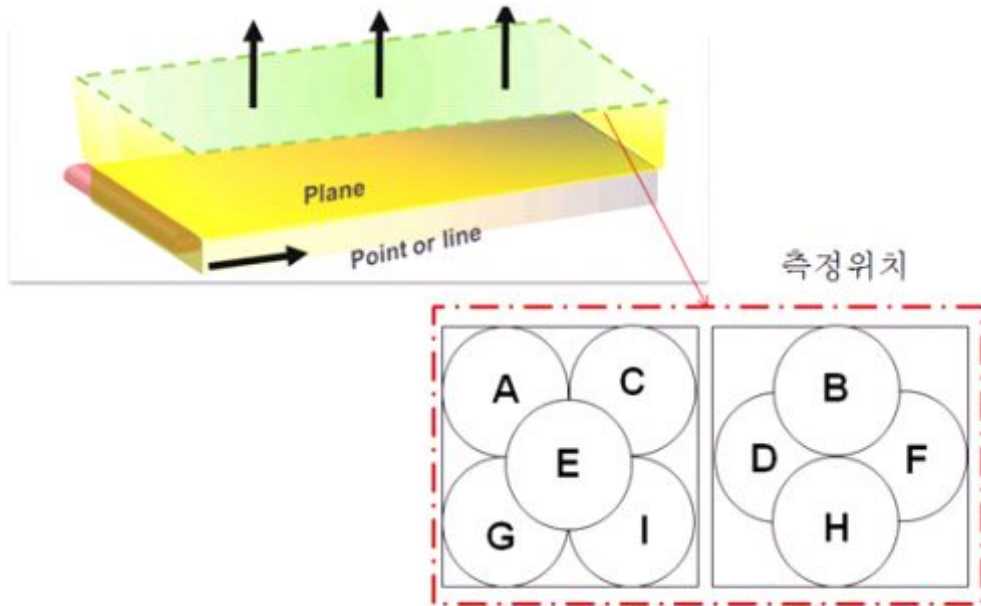


그림 3-9. 도광판 휘도 측정방법.

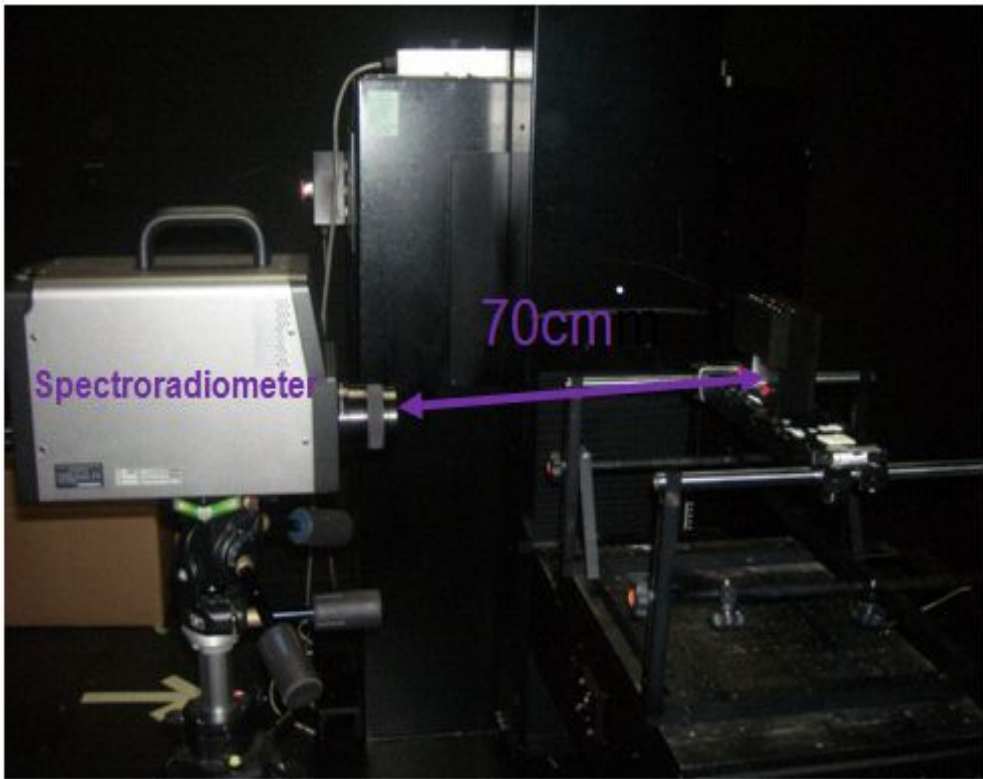


그림 3-10. 분광 방사 휘도계를 이용한 휘도 측정 시스템

표 3-7. 분광 방사 휘도계 시스템 사양

Model	CS-2000		
Wavelength range	380 ~ 780 nm		
Wavelength resolution	0.9 nm/pixel		
Display wavelength bandwidth	1.0 nm		
Wavelength precision	±0.3 nm		
Spectral bandwidth	5 nm or less(half bandwidth)		
Measuring angle (selectable)	1°	0.2°	0.1°
Minimum Measuring diameter	5 mm	0.1 mm	0.5 mm
Measurement luminance range	0.003 ~ 5,000 cd/m ²	0.075 ~ 125,000 cd/m ²	0.3 ~ 500,000 cd/m ²
Minimum Measuring distance	350 mm		
Minimum luminance display	0.00002 cd/m ²		
Accuracy:Luminance	±2%		
Polarization error	1° : 2% or less; 0.1° and 0.2° : 3% or less		
Integration time	Fast: 0.005 ~ 16 sec; Normal: 0.005 ~ 120 sec		
Measurement time	2 sec,min.(Manual mode) ~ 243 sec,max.(Normal mode)		
Interface	USB 1.1		
Size	Main unit:158(W)x200(H)x300(D)mm; Lens:∅70x95 mm		
Weight	6.2 kg		

3. 광학단층영상법을 이용한 플라스틱 광섬유 가공 단면 측정

가공한 플라스틱 광섬유 광원샘플의 가공단면모습을 관찰하기 위해 비절개로 가공부위 단면 촬영가능한 광학단층영상법을 활용하고자 하였다. 그림 3-11은 실험에 사용했던 광학단층영상법 장치의 개략도이다. 최종적으로 광학단층영상법을 이용하여 플라스틱 광섬유 광원 가공부위를 단면을 측정하였다. 이 시스템은 광섬유를 기반으로 구성되어졌다. 광원에서 입사된 빛이 빔분할기 역할을 하는 PCF splitter를 통해서 기준단과 샘플단으로 나뉘어 진행하게 되고 각각의 거울면과 플라스틱 광섬유 가공면에서 반사된 빛이 다시 PCF splitter를 통과하여 간섭을 이루게 된다. 간섭된 빛은 회절격자를 통과한 후에 각각의 파장성분별로 구분되어 CCD 카메라에서 측정되고 파장별 광세기에 대한 그래프를 얻게 된다. 이러한 그래프의 역푸리에 변환을 수행하여 1차원의 깊이 정보를 시각화할 수 있다. 이러한 작업을 샘플단의 스캐너가 빛이 반사되는 위치를 연속적으로 이동하면서 반복하게 되고 최종적으로 2차원의 비절개 단층영상을 얻을 수 있게 된다.

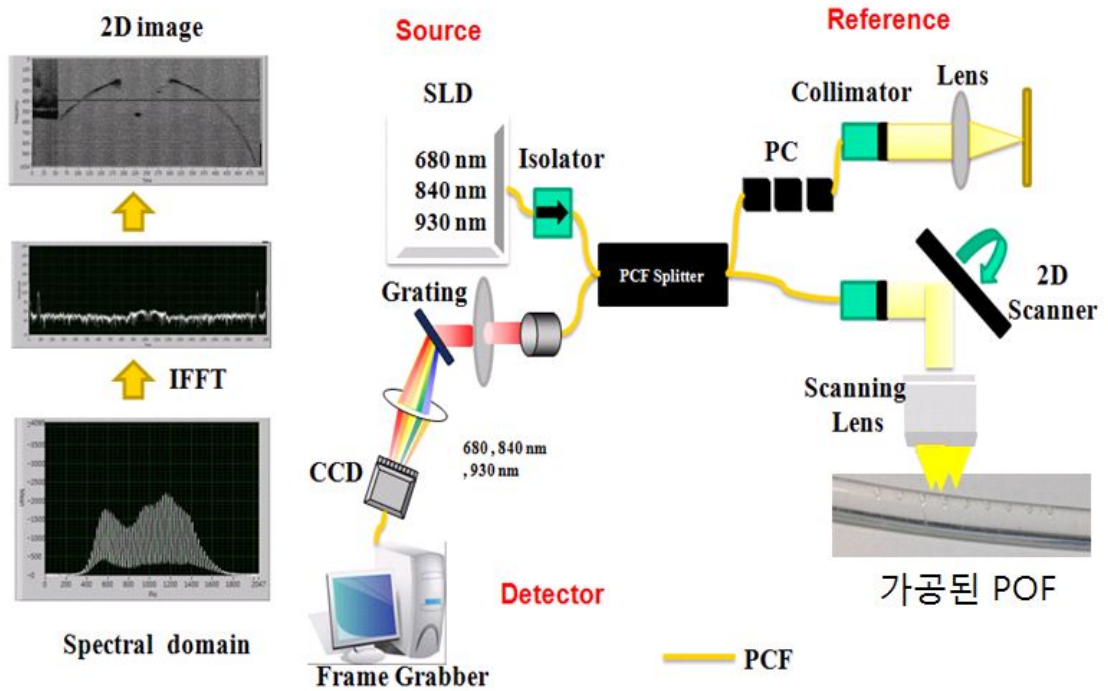


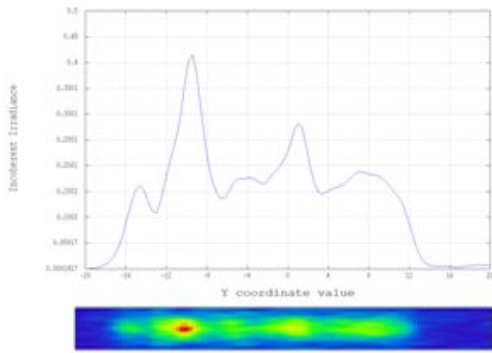
그림 3-11. 광학단층영상 장치의 개략도

제4장 결과 및 고찰

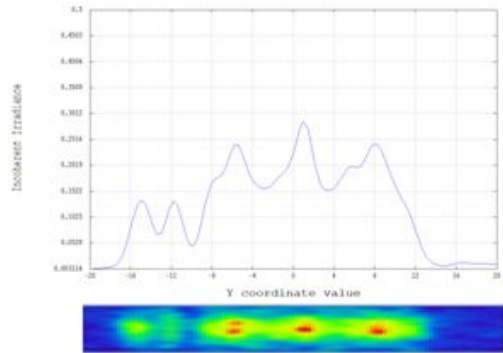
플라스틱 광섬유의 측면발광 특성을 도광판의 광원으로 사용하기 위해 도광판 가공에 적용되었던 CO₂ 레이저를 이용한 가공법을 적용시켜 보았다. 레이저를 이용한 가공은 플라스틱 광섬유에 도광판에서와 같이 일정한 미세패턴을 가공하여 빛이 균일하게 산란할 수 있도록 하고자 하였다. 가공에 앞서 일정한 패턴과 깊이를 조절하며 전산모사를 수행 하였으며 그 결과 데이터를 비교 분석 하였다. 또한 전산모사에서 휘도측정 결과가 좋은 패턴을 CO₂ 레이저를 이용하여 실제로 가공하였으며 기존에 연구되어 균일도가 좋았던 도광판에 실제 적용시켜 휘도분포를 측정하였다. 마지막으로 가공된 샘플의 가공 결과를 모델링 조건과 비교하기 위해 광학단층영상법(OCT)을 이용하여 샘플의 단면을 촬영하였다.

제1절 미세패턴 모델링 조건에 따른 전산모사 결과 분석

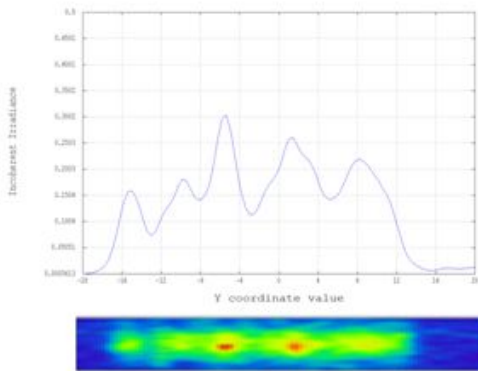
전산모사는 크게 3개의 서로 다른 미세패턴 간격을 가지는 P-타입, O-타입, F-타입으로 나누어 각 패턴별로 가공깊이의 변화를 주면서 수행하였다. P-타입은 패턴 간격을 그림 3-1과 같이 플라스틱 광섬유의 양 끝단에서만 8 mm로 다르게 하였고 나머지 그 사이의 모든 패턴 간격을 3 mm로 하였다. 플라스틱 광섬유의 앞단 부분에 휘도값이 높은 문제점을 해소하기 위해 각 패턴의 깊이를 표 3-1과 같이 조절하였다. 그림 4-1과 표 4-1(모델링 되어진 패턴 부분만의 휘도값)은 P-타입 플라스틱 광섬유의 전산모사 결과이다. P-타입 플라스틱 광섬유 중에서 P-2에서 가장 높은 휘도값(0.3892 cd/cm²)을 보였으며 가장 균일한 휘도 분포는 P-4에서 얻을 수 있었다.



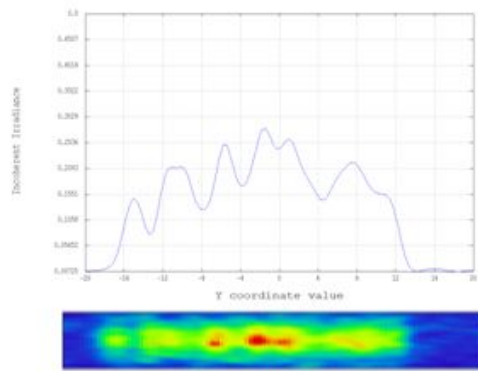
(a)



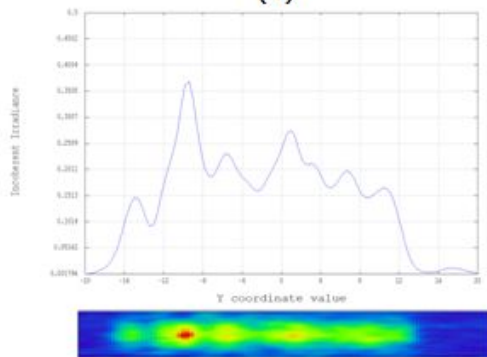
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 4-1. P-타입 플라스틱 광섬유 가공깊이 변화에 따른 휘도분포. (a) P-1, (b) P-2, (c) P-3, (d) P-4, (e) P-5

표 4-1. P-타입 가공 위치에서 휘도값

(단위: cd/cm^2)

위치 타입	A	B	C	D	E	F	G	H
P-1	0.1094	0.1641	0.1798	0.1372	0.1401	0.2209	0.1305	0.1632
P-2	0.1132	0.1400	0.1887	0.0686	0.2206	0.2792	0.2436	0.1876
P-3	0.1235	0.1737	0.1569	0.1559	0.1352	0.2433	0.1695	0.1003
P-4	0.1290	0.1748	0.1538	0.1575	0.1719	0.2701	0.1334	0.1137
P-5	0.1223	0.0918	0.2371	0.1172	0.2725	0.1347	0.2035	0.1355

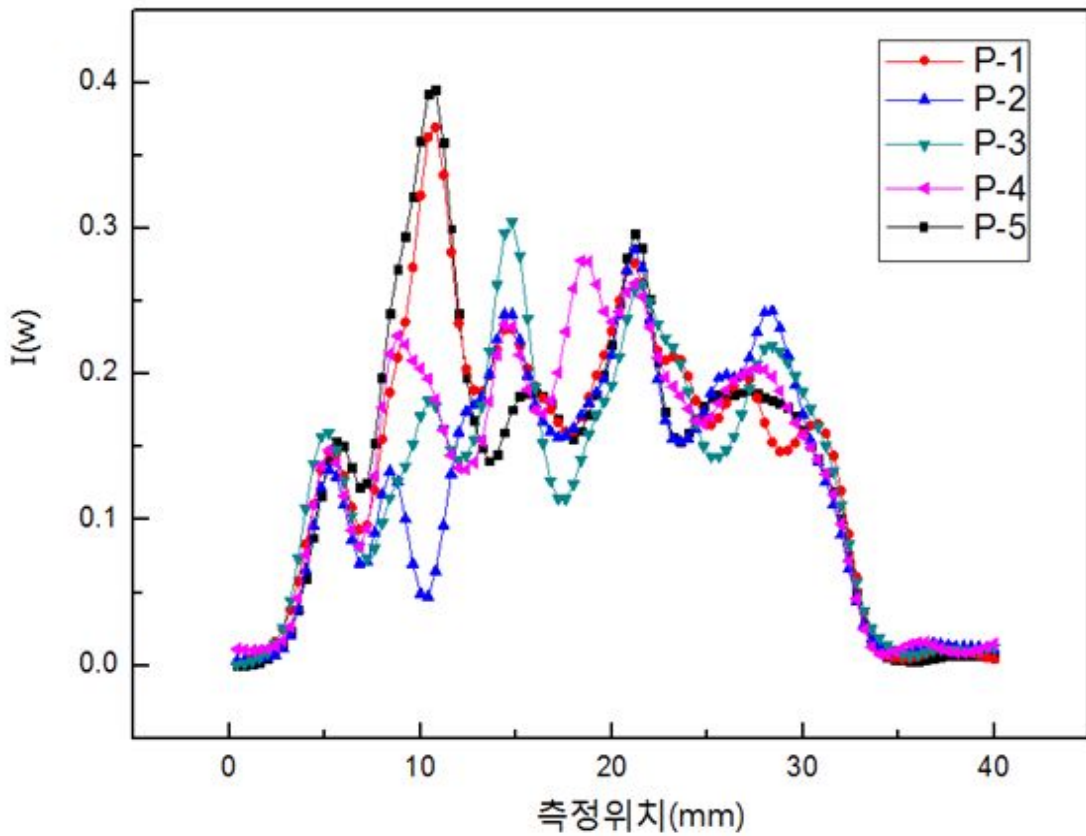
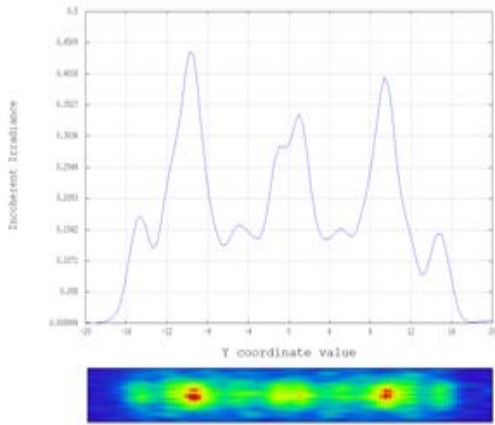


그림 4-2. P-타입 플라스틱 광섬유 광원들의 휘도분포

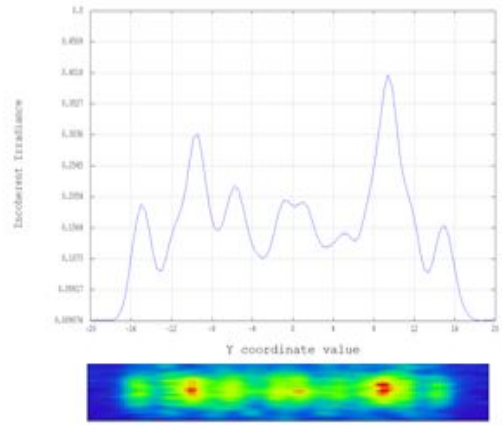
0-타입은 패턴 간격을 그림 3-1과 같이 플라스틱 광섬유의 양 끝단에서만 6 mm로 다르게 하였고 나머지 그 사이의 모든 패턴 간격을 3.5 mm로 하였다. 앞서 언급했듯이 플라스틱 광섬유의 앞단에 빛이 편중되는 문제점을 해결하기 위해 각 패턴의 깊이를 표 3-2와 같이 조절하였다. 그 결과 그림 4-3과 표 4-2(모델링 되어진 패턴 부분만의 휘도값)와 같은 데이터를 얻었다. 플라스틱 광섬유의 양 끝단 간격이 P-타입보다 2 mm 줄어들어 처음과 끝 부분에서 높은 휘도값을 보였고 균일하지 못한 휘도 분포를 보이고 있다. P-타입, 0-타입, F-타입 중에서 가장 높은 휘도값은 0-1(0.4358 cd/cm^2)에서 얻을 수 있었다.

그림 4-5는 F-타입을 전산모사한 결과로 플라스틱 광섬유의 패턴 간격을 그림 3-1과 같이 전부 4 mm로 하였으며 패턴의 깊이는 표 3-3(모델링 되어진 패턴 부분만의 휘도값)과 같이하였다. 그 결과 0-타입과 비슷하게 양 끝단에서 높은 휘도 분포를 보여주고 있으며 가운데로 갈수록 휘도값이 많이 낮아지고 있다. F-2에서 처음 포인트 부분의 높은 휘도값은 0.3347 cd/cm^2 에 비해 가운데 휘도값은 0.1482 cd/cm^2 로 2배 이상의 차이가 난다. 그 이유는 양 끝단의 패턴간격이 P-타입에 비해 4 mm 줄어들어 광원에서 나온 빛이 보다 많이 미세패턴에 반사 및 산란을 했기 때문이다.

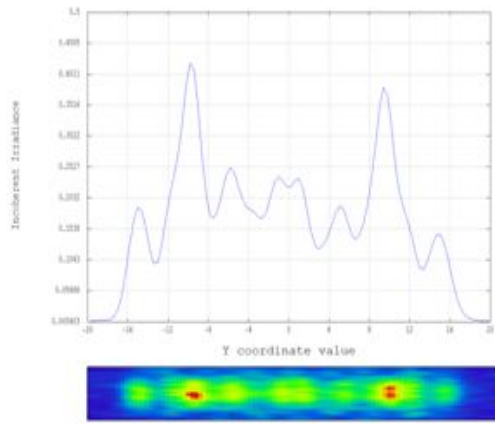
전반적으로 P-타입의 플라스틱 광섬유 광원에서 균일한 휘도 분포를 가지고 있는 데이터를 얻을 수 있었다. P-타입 경우 패턴의 간격이 다른 타입에 비해 0.5 mm에서 1 mm로 만큼 작게 모델링 하였다. 이것으로 미루어 보아 균일한 휘도 분포를 얻기 위해서는 패턴 간격을 좁게 하는 것이 유리하게 작용한다는 것을 알 수 있었다. 그리고 0-타입에서는 가장 높은 휘도 값(0.4358 cd/cm^2)을 갖는 데이터가 나왔다. 또한 가공 깊이는 전체적인 전산모사 결과를 보았을 때 가공 깊이 변화가 균일도에는 크게 영향을 주지는 못하였다. 플라스틱 광섬유의 가공 깊이 변화를 주었던 부분은 앞부분이며 뒷 부분에는 가공 깊이의 변화를 주지 않았다. 하지만 휘도 분포도들을 보면 전체적으로 대칭적인 모습을 하고 있다.



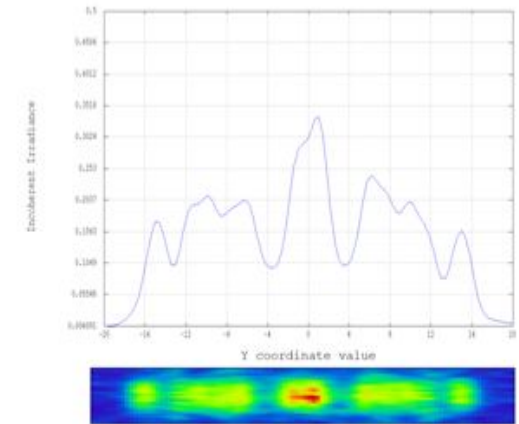
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4-3. 0-타입 플라스틱 광섬유 가공 깊이 변화에 따른 휘도분포. (a) 0-1, (b) 0-2, (c) 0-3, (d) 0-4

표 4-2. 0-타입 가공 위치에서 휘도값 (단위: cd/cm^2)

위치 타입	A	B	C	D	E	F	G	H
O-1	0.0105	0.2634	0.2000	0.1412	0.2990	0.1436	0.1319	0.3991
O-2	0.0033	0.2152	0.2519	0.1641	0.3312	0.1631	0.2320	0.3391
O-3	0.0118	0.2542	0.1624	0.1398	0.2217	0.1797	0.2137	0.3808
O-4	0.0173	0.1864	0.2204	0.1022	0.3103	0.0972	0.2004	0.2070

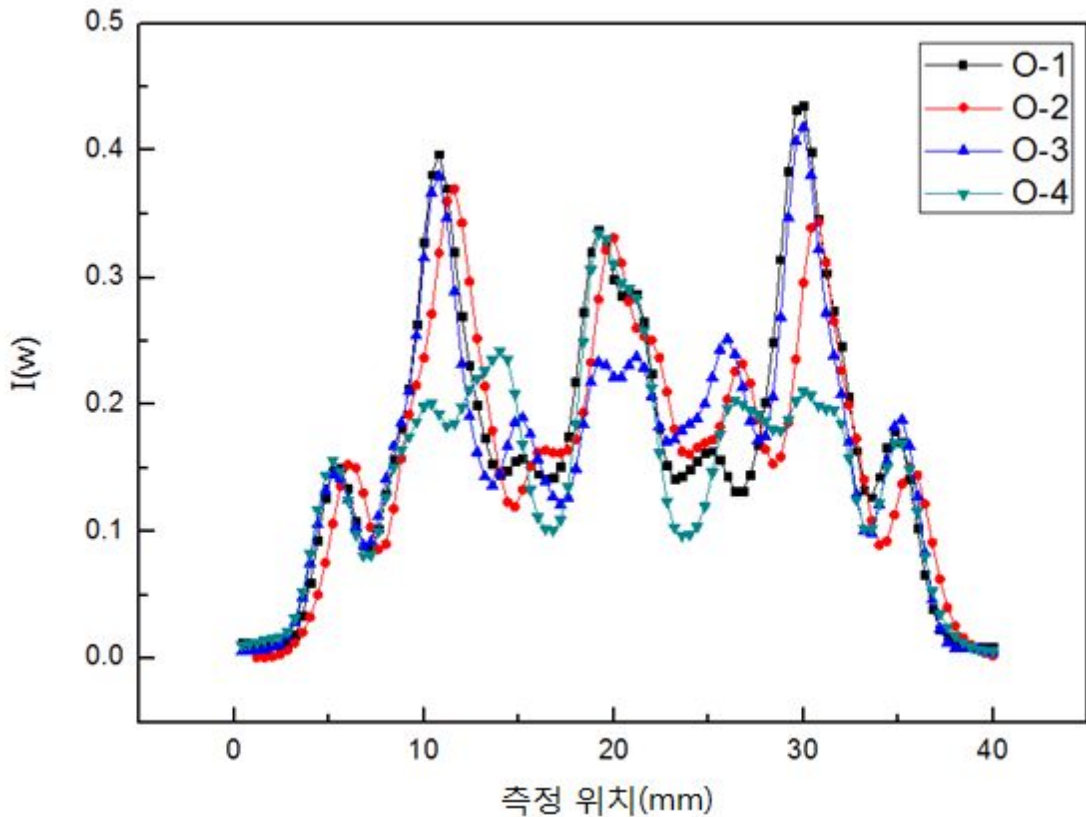
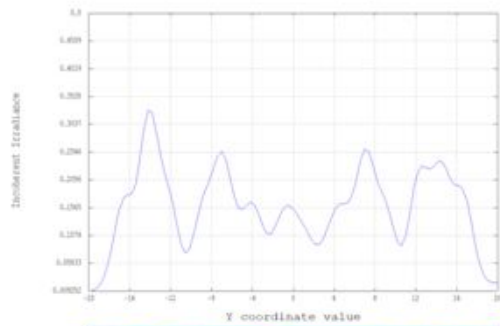
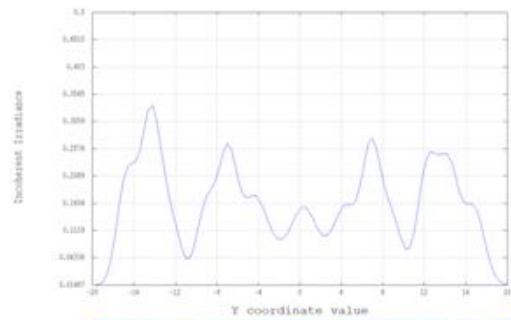


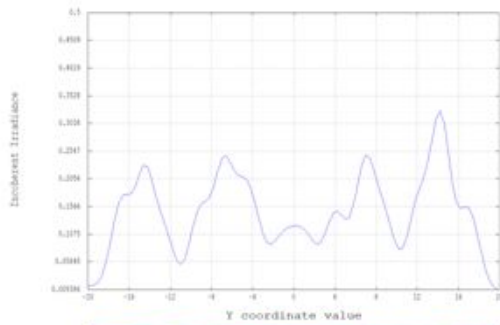
그림 4-4. 0-타입 플라스틱 광섬유 광원들의 휘도분포



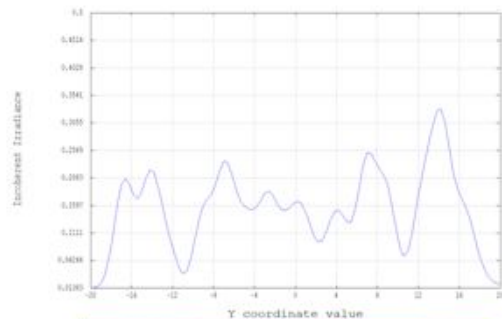
(a)



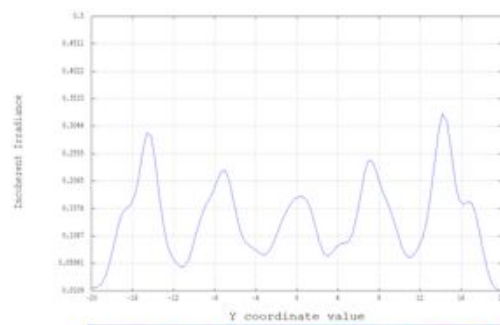
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 4-5. F-타입 플라스틱 광섬유 가공깊이 변화에 따른 휘도분포. (a) F-1, (b) F-2, (c) F-3, (d) F-4, (e) F-5

표 4-3. F-타입 가공 위치에서 휘도값

(단위: cd/cm^2)

위치 타입	A	B	C	D	E	F	G	H
F-1	0.1950	0.2200	0.2053	0.1567	0.1489	0.1613	0.2257	0.1647
F-2	0.1591	0.2397	0.1875	0.1563	0.1535	0.1625	0.2214	0.1100
F-3	0.1531	0.1886	0.1943	0.1468	0.1227	0.1652	0.1906	0.0827
F-4	0.1376	0.2685	0.1957	0.1309	0.1481	0.1812	0.2381	0.0398
F-5	0.1640	0.1030	0.1960	0.0942	0.1790	0.0807	0.2050	0.0612

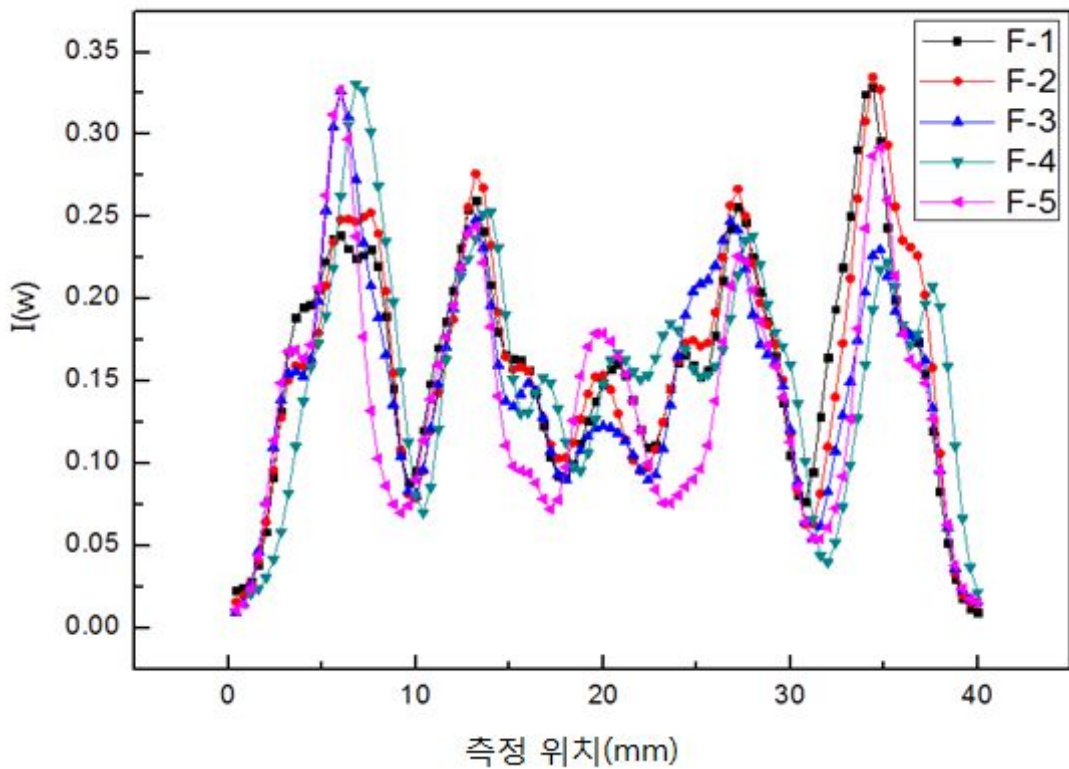


그림 4-6. F-타입 플라스틱 광섬유 광원들의 휘도분포

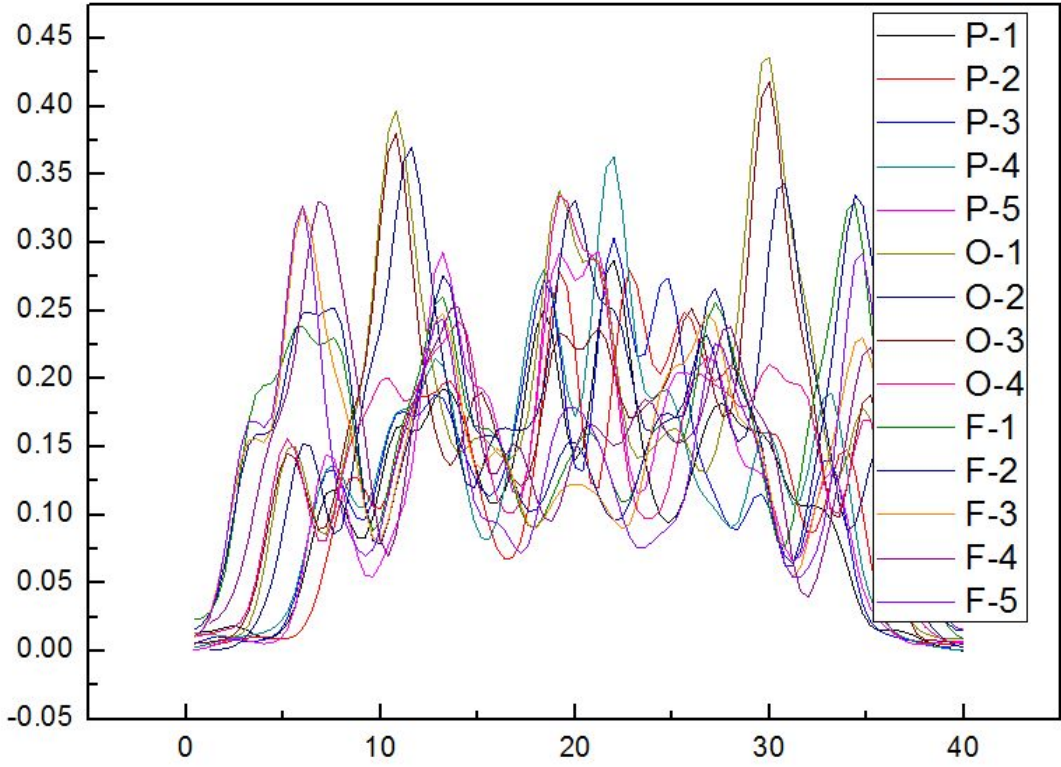


그림 4-7. 모든 타입 광원들의 휘도분포

제2절 미세패턴 가공 조건에 따른 휘도 측정 결과 분석

1. 플라스틱 광섬유 광원의 발광 특성 측정 결과 분석

전산모사 결과 균일도가 좋았던 P-타입의 플라스틱 광섬유 광원(P-2, P-3, P-4, P-5, 총 4개)의 조건에 따라서 CO₂ 레이저를 이용하여 가공을 하였다. 가공한 샘플들은 분광 방사 휘도계를 이용하여 측정 하였으며 결과는 표 4-4와 그림4-8과 같았다. 전체 적으로 P-2, P-3, P-4, P-5는 균일한 휘도분포를 보이고 있으며 P-2 같은 경우는 B를 가공하지 않았기 때문에 휘도값이 0으로 나왔다. 전산모사 같은 경우는 전체적인 면을 측정하였으며 실험의 경우는 가공부분만을 측정하여 전체적으로 다른 그래프 모습을 보이고 있다. 하지만 전산모사와 같이 P-4에서 가장 균일한 휘도분포를 보이고 있어 전산모사와 실험이 전체적으로 비슷한 경향을 보였음을 알 수 있었다.

표 4-4. 가공된 플라스틱 광섬유의 측면에서 측정한 휘도값 (단위:cd/m²)

위치 타입	A	B	C	D	E	F	G	H
P-2	2792	0	2562	2393	2287	2246	2719	2333
P-3	3344	2464	2992	2514	2314	2376	2268	2511
P-4	3191	3153	2923	2930	2791	2961	3399	3269
P-5	2879	1974	2251	1957	2178	1749	2378	1752

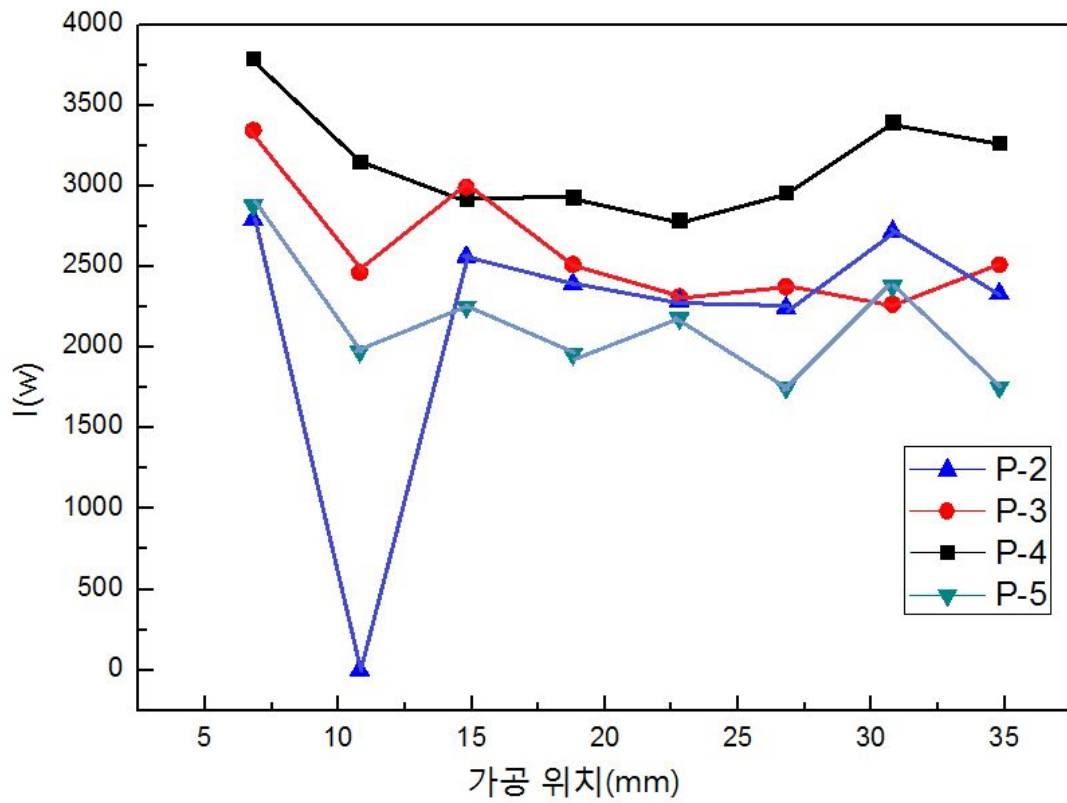


그림 4-8. 플라스틱 광섬유 가공 위치에서 측정한 휘도값

2.도광판의 휘도 측정 결과 분석

개발된 광원모듈 키트에 P-타입 플라스틱 광섬유 광원과 그림 3-8의 도광판을 각각 장착시켜 분광 방사 휘도계로 그림 3-9와 같이 측정하였다. 그 결과 표 4-5와 같은 데이터를 얻었다. 그 결과 뒤로 갈수록 휘도 분포가 낮아지는 경향이 보였다. 앞서 플라스틱 광섬유 광원만을 측정하였을 때 P-4 광원에서 가장 균일하고 높은 휘도값을 얻었으며 그에 맞게 도광판의 휘도측정에서도 P-4 광원이 평균값과 균일도가 가장 좋은 데이터를 얻을 수 있었다.

표 4-5. 플라스틱 광섬유 광원이 적용된 도광판 휘도측정 결과 (단위: cd/m^2)

위치 타입	A	B	C	D	E	F	G	H	I	평균값	균일도
P-2	96.79	95.63	106.7	68.74	59.93	78.91	78.3	73.86	80.42	82.14	0.56
P-3	92.54	85.69	102.2	68.39	58.08	80.22	78.45	70.51	83.22	79.92	0.57
P-4	109.9	94.83	103.3	81.72	64.59	79.78	80.3	71.23	71.26	84.10	0.59
P-5	97.49	86.59	102.2	70.33	59.55	82.66	77.58	72.78	78.2	74.15	0.58

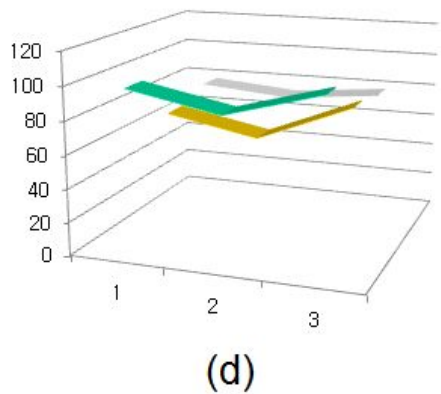
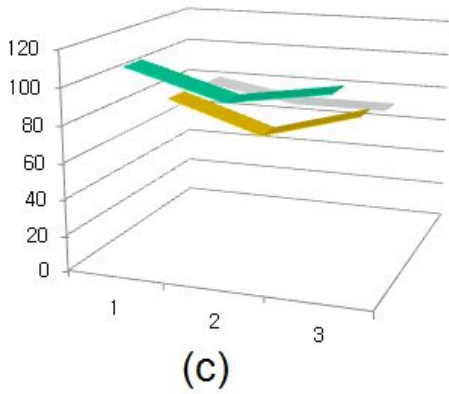
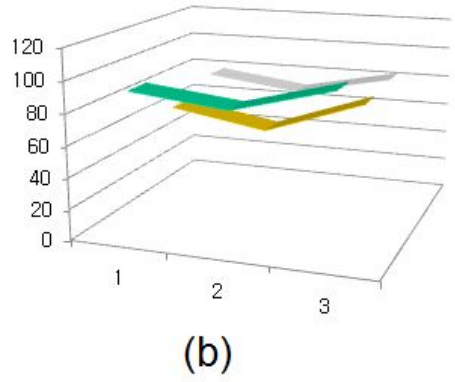
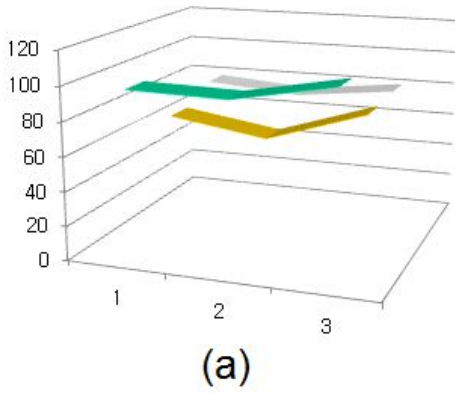


그림 4-9. 도광판 휘도분포. (a) P-2 적용시, (b) P-3 적용시, (c) P-4 적용시, (d) P-5 적용시

제3절 광학단층영상법을 이용한 비절개 단면 측정 결과 분석

가공된 플라스틱 광섬유 광원 샘플의 가공단면을 관찰하기 위해서 광학단층영상법을 이용해서 단면을 촬영하였다. 촬영 결과는 그림 4-10과 같았다. P-2의 경우 B를 제외한 모든 포인트 가공부분의 깊이를 동일하게 모델링 하였지만 실제 실험 샘플은 A와 G에서 오차가 심하였다. P-3는 B에서만 깊이 변화를 주었고 나머지 부분은 P-2와 같게 하였으며 실험샘플은 A와 B를 제외하고는 가공이 가장 잘 되었다. P-4와 P-5같은 경우는 전반적으로 모델링한 깊이와 매우 다른 모습을 보이고 있다. 결과적으로 CO₂ 레이저의 특성상 가스매질을 이용한 레이저이기 때문에 파워가 전체적으로 균일하지 못하여 전체적으로 전산모사 모델링과 실제 가공된 패턴의 깊이의 모습이 매우 달랐다.

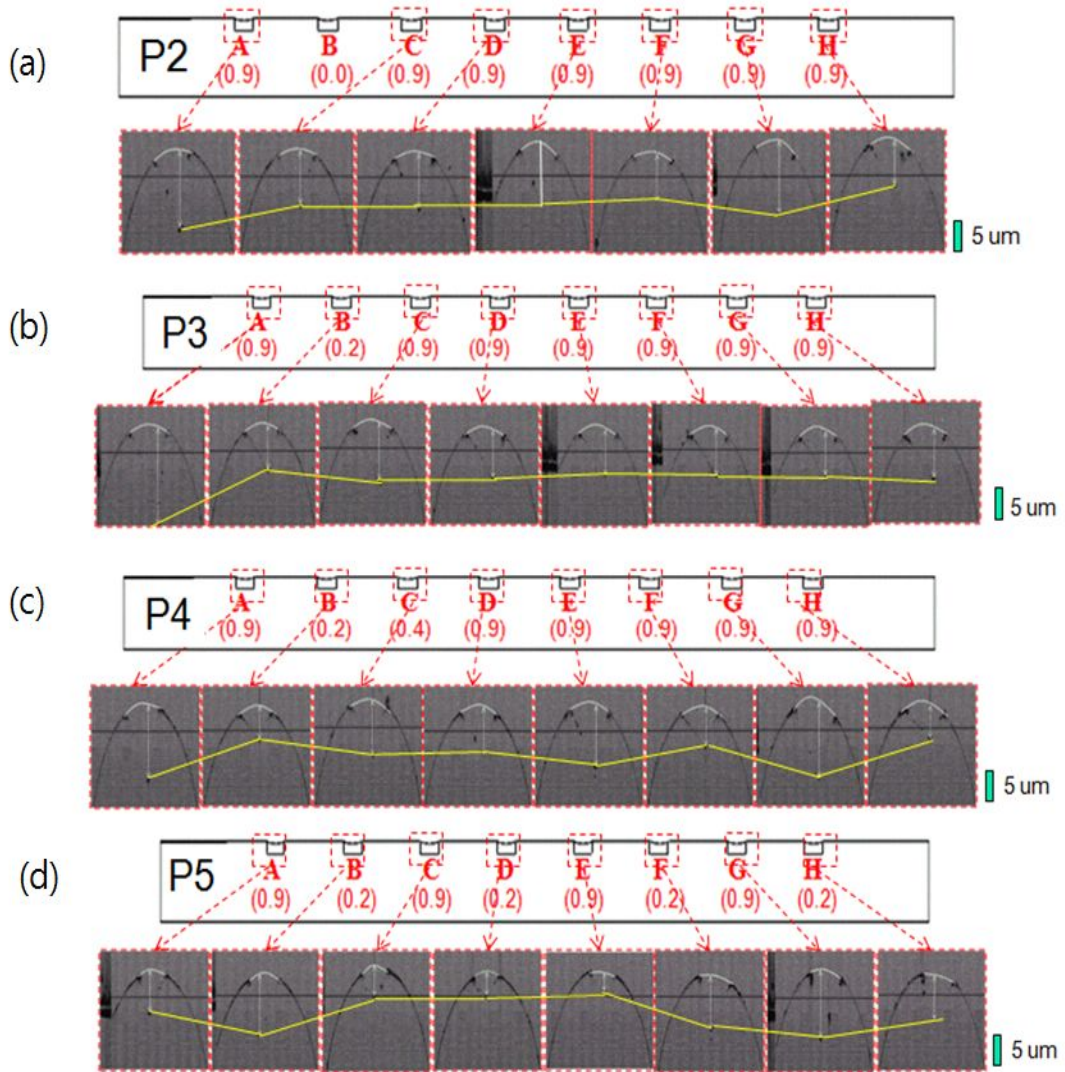


그림 4-10. 플라스틱 광섬유 가공패턴 깊이를 보여주는 광학단층영상. (a) P-2 모델링과 단층영상, (b) P-3 모델링과 단층영상, (c) P-4 모델링과 단층영상, (d) P-5 모델링과 단층영상

제 5장 결론

본 연구에서는 기존에 사용되고 있는 도광판 광원의 단점을 보완한 광원을 만들기 위해서 플라스틱 광섬유의 측면발광을 유도하는 방법을 제안하였다. 플라스틱 광섬유의 측면 발광을 유도하기 위해 도광판 가공법 중의 하나인 레이저 가공법을 플라스틱 광섬유 가공에 적용시켰다. 가공 패턴에 따른 빛의 발산특성을 먼저 연구하기 위해 전산모사를 통해서 몇가지 좋은 특성을 보일 수 있는 가공 조건을 도출하였다. 이러한 데이터를 기반으로 도광판 가공에서와 같이 플라스틱 광섬유의 측면에 CO₂ 레이저를 이용하여 가공하였으며 광이 가공 패턴에 의해서 반사 및 산란되어 측면으로 빛을 발산하도록 유도하였다. 가공에서는 전산모사에서와 같이 가공 패턴의 간격과 깊이의 변화를 주어 플라스틱 광섬유 광원의 균일도를 향상시키고자 하였다. 또한 플라스틱 광섬유 광원을 실제 도광판에 적용해 휘도 특성을 측정하였다.

또한 광단층영상법을 이용하여 플라스틱 광섬유에 가공된 가공 깊이가 모델링한 패턴과의 상관관계를 관찰하고자 하였다. 단층영상을 통해서 전산모사 모델링과 실제 가공되어진 플라스틱 광섬유 광원의 가공 패턴의 깊이가 다르다는 것을 확인할 수 있었다. 실험에서 가공된 플라스틱 광섬유 광원을 도광판에 적용시켜 측정을 하였을 때 전체적인 휘도값은 낮았지만 전체적으로 균일한 휘도분포를 얻어 도광판의 광원으로서 가능성을 보여 주었다.

앞으로 플라스틱 광섬유를 다양한 가공패턴을 모델링하여 최적화된 가공을 위한 전산모사 데이터를 축적할 것이며, 축적한 데이터를 바탕으로 가공패턴에 따른 균일도 및 휘도값에 대한 방향성을 제시하고자 한다. 마지막으로 광단층영상법을 이용하여 실제 가공과 동시에 깊이 변화 패턴 모양을 실시간으로 촬영할 수 있는 가공 시스템을 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1] Jong-Youb Sah. and Jong-Ryul Park "analysis on Optical characteristics of LCD Backlight LGP", J. Korean Soc. Mech. Eng. (A) 28, 365-369, 2004.
- [2] Sunghee Lee, "The Effects of Injection Molding Parameters on Optical Properties of Light Guide Plates" in Proceeding of the 2005 Korean Society of Mechanical engineers, Daegu, Korea, May 25-27, pp.1711-1715, 2005.
- [3] S. H. Park, "A study on the Luminance and Uniformity Improvement of Light Guide Panel according to the Scattering Pattern by Laser processing", 박사학위논문, 조선대학교, 박사학위 논문, 2010.
- [4] A. Horibe, M. Baba, Y. Koike, E. Nihei, "High-Efficiency and High Quality LCD Backlight Using Highly Scattering Optical Transmission Polymer", IEICE Trans. Electron, Vol E81-C, pp. 1697-1702, 1999.
- [5] Kim, Cha-Yon, "Technical Trends of Back Light Unit (BLU)" Korean Information Display Society, Vol. 2 No. 1, pp. 45~51, 2001.
- [6] "BLU용 도광판" 한국과학기술 정보연구원

- [7] P. J. Jaquet, "in the Proceedings of the 1991 Plastic Optical Fiber Meeting of the SPIE edited by M" Kitazawa Boston, MA, pp. 165, 1991.
- [8] E. S. Choi, Y. S. Kim, S. H. Park and Y. J. Shin, "LED display by side luminescence of a plastic optical fiber" *Sea Mulli*, Vol.54, No.5, pp. 409~412, 2007.
- [9] Kim Chang min, "Guided-Wave & Intergrated Optics." ,Ohm, 1999.
- [10] Y. H Choi, "The study of optical characteristics of light guide panel depending on laser-induced scatterer pattern", *조선대학교 대학원 석사학위논문*, 2008.
- [11] 신용진, 최은서, 『레이저 원리 및 치의학적 응용』 조선대학교 ,첨단단치의공학인력사업단
- [12] 김도훈, 『레이저 가공학』 , 경문사, 1996.
- [13] 양성민, "CO2 laser beam을 이용한 backlight용 도광판 개발" , *인하대학교 대학원 석사학위논문*, 2001.
- [14] Y. H Choi, "The study of optical characteristics of light guide panel depending on laser-induced scatterer pattern", *조선대학교 대학원 석사학위논문*, 2008.

- [15] J. Lawrence, L. Li, "Modification of the wettability characteristics characteristics of polymethyl methacrylate(PMMA) by means of CO₂, Nd:YAG, excimer and high power diode laser radiation", Material Science and Engineering A303, pp. 142-149, 2001.
- [16] 황경현 외, "레이저를 이용한 재료가공", The Journal of Optical Society of Korea(Korean Edition), Vol. 1, No. 1, pp. 98-105, 1990.
- [17] 김도훈, "레이저에 의한 재료가공에서 레이저빔의 특성과 조절" 대학금속학지, 제 24권, 제 1호, pp. 59-65, 1986.
- [18] J. Wilson et al., "Laser principles and applications", Prentice Hall International Ltd., UK, pp. 106-118, 1987.
- [19] F. L. Pedrotti and L. S. Pedrotti, Introduction to Optics, Prentice-Hall International, Inc., 2. edition, 1996.
- [20] Young and Freedman, "University physics with modern physics", 10. edition, pp. 1060-1065, 2010
- [21] S. A. Boppart, M. E. Brezinsk, B. E. Boump, G. J. Tearney, and J. G. Fujimoto, "Investigation of developing embryonic morphology using optical coherence tomography," Dev. Biol., 177, pp. 54-64, 1996.

- [22] 김태훈, “레이저 3차원 가공으로 제작된 도광판에 관한 연구” ,아주대학교 대학원 박사학위논문, 2006
- [23] 김태훈, 최영희, 박소희, 최은서, 김영섭, 신용진, “플리라스틱 광섬유를 이용한 측면 발광형 디스플레이 구현” , 한국광학회 동계 학술대회, pp. 261-261, 2007.
- [24] 마혜준, “레이저 가공패턴에 따른 플라스틱 광섬유 측면 발광휘도 특성에 관한 연구” 조선대학교 석사학위논문, 2011
- [25] 박소희, 이승석, 마혜준, 최은서, 신용진 “레이저 가공 산란패턴의 유형에 따른 도광판의 휘도 및 균일도 향상에 관한 전산모사” , 한국광학회지, Vol. 21, No. 6, pp.225-229 , 2010.

Publication

Journal Papers

1. 이승석, 마혜준, 신용진, 최은서, "도광판 산란패턴판기울기 변화에 따른 균일도 향상에 대한 전산모사", 새물리, pp.763-767, 2011.
2. 마혜준, 이승석, 신용진, 최은서, "가공패턴 조건에 따른 플라스틱 광섬유 측면 발광 휘도 성능측정 ", 새물리, pp.768-772, 2011.
3. 박소희, 이승석, 마혜준, 최은서, 신용진, "레이저 가공 산란패턴의 유형에 따른 도광판의 휘도 및 균일도 향상에 관한 전산모사", 한국광학회지, pp. 225-229, 2010.
4. 박소희, 마혜준, 이승석, 최은서, 신용진, "Improvement of luminance and uniformity of light guide panel using scatter pattern by laser processing" Optic & Laser Technology, pp.1301-1306, 2012.

Conference Papers

1. 마혜준, 이승석, 최은서, 신용진, “회절광학소자를 이용한 광학영상용 주사소자 설계”, 한국물리학회 춘계학술대회, pp. 38-38, 2010.
2. 마혜준, 이승석, 박소희, 최은서, 신용진, “Endoscopic optical coherence tomography”, 한국물리학회 춘계학술대회, pp. 39-39, 2010.
3. 마혜준, 이승석, 최은서, 신용진, “소형 광프로브의 광결합 효율 최적화를 위한 광학 시뮬레이션”, 제 17회 광전자 및 광통신 학술회의, pp. 112-113, 2010.
4. 마혜준, 이승석, 최은서, 신용진, “단일 광섬유 광영상장치의 구현”, 한국광학회 하계학술대회, pp. 433-434, 2010.
5. 마혜준, 이승석, 최은서, 신용진, “single-fiber optical imaging device using solid etalon”, 2011 Photonics west conference proceeding, pp. 107-107, 2011.
6. 마혜준, 이승석, 최은서, 신용진, “레이저 가공패턴에 따른 플라스틱 광섬유 측면 발광 휘도 성능 예측을 위한 전산모사”, 한국물리학회 춘계학술대회, pp. 191-191, 2011.
7. 이승석, 마혜준, 최은서, 신용진, “도광판안의 산란패턴판 기울기 변화에 따른 휘도 균일도 향상에 대한 전산모사”, 한국물리학회 춘계학술대회, pp. 72-72, 2011.
8. 박소희, 마혜준, 이승석, 최은서, 신용진, "Improvement of Light Guide Pannel

Performance by CO₂ Laser Patterning", 한국물리학회 추계학술대회, pp. 104-104, 2011.

9. 이승석, 마혜준, 최은서, 신용진 “측면 홀 가공 조건에 따른 플라스틱 광섬유 측면 발광 특성 전산모사” , 한국물리학회 추계학술대회, pp. 104-104, 2011.

10. 이승석, 마혜준, 신용진, 최은서, “측면 발광 광섬유 광원을 이용한 광학적 특성 분석을 위한 전산모사” , Photonic Conference, pp.419-419, 2011.

11. 마혜준, 이승석, 최은서, 신용진, “전산모사를 통한 LED 조명용 산란체의 광학적 패턴 설계", 한국물리학회 춘계 학술대회, pp. 180-180, 2012.

12. 마혜준, 이승석, 김주하, 최은서, “광섬유 커플러를 이용한 Full-field optical coherence tomography 개발 및 특성 평가” , 한국물리학회 춘계학술대회, pp. 180-180, 2012.

13. 이승석, 마혜준, 김주하, 신용진, 최은서, “광영상기법을 이용한 도광판 가공조건 연구” , Conference on Optoelectronics and Optical Communications, pp.10-10, 2012.