



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

2019년 2월

석사학위취득

하이브리드 인터커넥션에  
위한 광전 복합 케이블  
최적설계 및 특성에  
관한 연구

박 령

2019년 2월  
석사학위논문

# 하이브리드 인터커넥션을 위한 광전 복합 케이블 최적설계 및 특성에 관한 연구

조선대학교 대학원  
기계시스템 · 미래자동차공학과  
박 력

# 하이브리드 인터커넥션을 위한 광전 복합 케이블 최적설계 및 특성에 관한 연구

A Study on the Optimum Design and Characteristics of  
Photovoltaic Hybrid Cable for Hybrid Interconnections

2019년 2월 25일

조선대학교 대학원  
기계시스템 · 미래자동차공학과  
박 력

# 하이브리드 인터커넥션을 위한 광전 복합 케이블 최적설계 및 특성에 관한 연구

지도교수 김 재 열

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2018년 10월

조선대학교 대학원  
기계시스템 · 미래자동차공학과  
박 력

## 박력의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 김 경 석 (인)

위 원 조선대학교 교수 박 설 현 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 재 열 (인)

2018년 11월

조선대학교 대학원

## 목 차

LIST OF Fig.URES .....	iii
LIST OF TABLES .....	iv
ABSTRACT .....	v
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
제 1 절 연구 배경 .....	1
제 2 절 연구 동향 .....	3
제 3 절 연구 목적 .....	5
<b>제 2 장 Fiber-Guide 및 Hybrid Cable 최적설계 .....</b>	<b>6</b>
제 1 절 Hybrid Cable의 특성 및 설계 .....	7
제 2 절 Fiber Guide 및 Guide용 Jig 설계 .....	9
제 3 절 Fiber Guide의 3D 설계 및 FEM 해석 .....	25
<b>제 3 장 Hybrid Cable 제작 및 테스트 .....</b>	<b>32</b>
제 1 절 Hybrid Cable의 제작 공정 .....	33
제 2 절 Hybrid Cable의 제작 공정 최적화 .....	39
제 3 절 테스트 베드 시험 및 동작전압 테스트 .....	42
<b>제 4 장 결론 .....</b>	<b>44</b>
Reference .....	45

## LIST OF Fig.URES

Fig. 2-1 Structure of Hybrid Cable .....	7
Fig. 2-2 General structure of HDMI cable and structure of GOF Hybrid Cable .....	8
Fig. 2-3 Fiber Guide 2D Design Drawing .....	9
Fig. 2-4 Fiber Guide top core 2D drawings .....	11
Fig. 2-5 Fiber Guide bottom core 2D drawings .....	12
Fig. 2-6 2D drawings in the original drawing .....	13
Fig. 2-7 Part 2D drawings of fiber guide molding .....	15
Fig. 2-8 Fabricated fiber Guide Molding .....	17
Fig. 2-9 Polishing jig part drawing A .....	20
Fig. 2-10 Fabricated Polishing Jigs Part A .....	21
Fig. 2-11 Polishing jig part drawing B .....	22
Fig. 2-12 Fabricated Polishing Jig Part B .....	23
Fig. 3-1 3D modeling of fiber guide .....	25
Fig. 3-2 Analytical Model .....	26
Fig. 3-3 Analysis Criteria for fiber guide .....	28
Fig. 3-4 FEM analysis results of fiber guide .....	31
Fig. 3-5 Traditional Hybrid Cable Production Process .....	36
Fig. 3-6 Before and after the socket compression process of the Hybrid cable .....	37
Fig. 3-7 Fiber stripper process .....	39
Fig. 3-8 Ultraviolet irradiator .....	40
Fig. 3-9 Abrasive process .....	41
Fig. 3-10 Test board circuit diagram .....	42



## LIST OF TABLE

Table 2-1 MM Characteristics of Optical Cable Types .....	8
Table 3-1 Analysis Criteria for Fiber Guide .....	27
Table 3-2 Analysis of Epoxy Properties .....	38
Table 3-3 4Ch Guide Vmon Test Data .....	43

## ABSTRACT

# A Study on the Optimum Design and Characteristics of Photovoltaic Hybrid Cable for Hybrid Interconnections

Ryeok Park

Advisor : Prof. Kim jae-yeol, Ph.D.

Dept. of Mechanical systems and future

automotive engineering, Dept. of

Graduate School of Chosun University

With the growing use of smart electronics such as PCs, TVs and smart phones commonly used in everyday life, the demand for continued growth in data and video signals, such as faster data processing speed and increased data storage capacity, is gradually increasing. Multimedia optical transport devices are devices that send high definition (HD) or full-definition video over long distances, and are used in large-area population density areas such as department stores, big marts, subways, and bus terminals. Due to the rapid development of the Internet, the use of HDMI is increasing as all information is being digitize due to demand for high capacity, high speed and high quality, and video transmission distances have increased in one location. EMI (Electro Magnetic Interference, Noise from Electromagnetic Interfaces) does not cause any distortion of data and, accordingly, transmission of display signals from medical devices or airplanes is possible. HDMI is expected to grow HDMI cables that require long-distance connectivity such as Home theater, Digital display system, and industrial/medical display system, and support high-quality images such as 1080p. It can gain competitive edge over products that are currently in use and occupy large markets not only in South Korea but also in other countries.

HDMI, which is currently in commercial use, is mainly composed of three types: basic copper cable, copper optical fiber and GOF (glass optic fiber), hybrid cable with copper and POF (plastic optical fiber) have. POF Hybrid Cable has a disadvantage that it can not be transmitted over a long distance due to its large optical loss. Various attempts have been made to fabricate a GOF hybrid cable that combines a GOF and a copper. However, due to a sudden external change, GOF has a bending characteristic It is difficult to fabricate Hybrid Cable that combines GOF and Copper. The purpose of this study is to investigate the difference between the shape of the basic copper cable, which is the conventional HDMI cable, the shape of the copper and the GOF cable, and the shape of the hybrid cable using the combination of the copper and POF , The GOF hybrid cable that minimizes the optical loss by overcoming the GOF bending characteristic in the case where the GOF cable and the copper are separated from each other due to the large loss of light and the long distance loss was impossible) We want to design a fiber guide.

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구배경

일상생활에서 흔히 사용하는 PC, TV, 스마트폰 등의 스마트 전자기기의 사용이 점차 늘어남에 따라 더 빠른 데이터 처리 속도와 데이터 저장 용량 확대와 같이 데이터 및 영상 신호의 지속적인 증가에 대한 수요가 점차적으로 늘어나고 있는 추세이다. 이러한 수요에 맞춰 스마트 전자기기 입출력 인터페이스 산업에서 살펴보면 주변기기와의 인터페이스와 데이터 전송을 위한 ‘USB(Universal Serial Bus) 진영’ 과 고화질의 영상 및 음성 신호를 전송하는 ‘HDMI(High Definition Multimedia Interface)진영’ 의 공통된 트렌드는 데이터 및 영상신호의 지속적인 증가에 대한 요구이다.<sup>(1)</sup>

멀티미디어 광전송기기는 HD(High Definition)나 full - HD급 화질의 영상을 장거리 전송하는 기기로서 백화점, 대형마트, 지하철, 버스터미널 등 대면적의 인구 밀집 지역에 DID (Digital Information Display)로 활용되거나 기차나 지하철, 야구장, 축구장 등 장거리의 영상전송이 필요할 때 사용된다.

인터넷의 급속한 발달에 따라 모든 정보들이 대용량, 초고속화, 고화질의 수요 요구로 인하여 디지털화 되어 가고 있어 HDMI의 사용이 증가하고 있는 추세이며, HDMI의 특징을 살펴보면 화상 전송거리가 증가하였으며 이는 Optical fiber를 이용하여 화상 signal을 전송하여 한 대의 컴퓨터로 여러 장소에서 화상 신호를 주고받는 실시간 양방향 통화가 가능함을 뜻한다. 그리고 EMI(Electro Magnetic Interference, 전자기기에서 발생하는 Noise에 의해 다른 전자기기를 방해하는 상태)가 발생하지 않아 data의 왜곡이 없고 그에 따라 의료기기 또는 비행기 등에서 디스플레이 신호 전송이 가능하다. 그리고 제품의 크기 및 무게가 감소하여 소형의 제품 생산이 용이해 휴대 및 설치, 이동 등이 편리해졌으며 Optical fiber를 통해 대용량의 data 전송이 가능하고, 응답속도가 빠르고, 많은 프레임수를 가지는 고화질의 화상 전송이 가능하다. 고화질 디지털 영상 신호의 요구가 높아짐에 따라 HDMI port의 수는 년 100% 이상의 폭발적인 성장세를 보이고 있으며 최근 출시되는 Digital TV의 대다수가 HDMI port를 장착하여 출시되고 있다.<sup>(2)</sup>

현재 상용화되어있는 HDMI는 기본 Copper Cable로 이루어진 형태, Copper와

GOF(Glass Optical Fiber) cable이 분리된 형태, Copper와 POF(Plastic Optical Fiber)가 결합된 Hybrid Cable을 이용한 3가지의 형태가 주를 이루고 있다. POF Hybrid Cable은 광 손실이 크기 때문에 장거리 전송이 불가능하다는 단점을 가지고 있고, GOF와 Copper를 결합한 GOF Hybrid Cable의 제작 시도를 여러 가지 형태로 하였으나, 외부의 급격한 변화에 의해 GOF가 벤딩(bending) 특성을 유지하지 못했기 때문에 GOF와 Copper를 결합한 Hybrid Cable제작에 어려움이 있다.

POF는 광섬유의 코어부와 클래드부 모두 광 투과성의 플라스틱 재료로 이루어진 광섬유로, 폴리 메탈 메타 아크릴레이트 또는 폴리카보네이트계 수지가 주로 사용된다. GOF와 비교하여 굵기가 5~10배 정도이고, 신호의 전송거리는 약 200m 정도로 짧은 편이다. 값이 싸고 초보자도 간단히 위치를 맞출 수 있고 접속할 수 있는 특징이 있어 공장 안이나 사무실 안 또는 기기 내부에서의 단거리 통신용으로 사용된다. <sup>(3-4)</sup>

GOF는 굴절률이 높은 코어와 굴절률이 낮은 클래드의 2층 구조로 되어있으며, 가격이 비싸고 깨지기 쉬우며, 끝을 접착하기 어렵다. 수광 각도가 크기 때문에 입사광량이 많아 광 손실이 비교적 적은 편이다. POF에 비해 가격이 비싸고 전송 손실이 적으며, 고온에서 사용가능하여 교통 표지판이나 박물관 조명, 의료용 조명, 특수조명 등의 용도로 사용된다.

## 제 2 절 연구동향

광전 복합케이블은 광 신호를 사용하여 신호전송을 하게 되는데 광 신호는 외부의 전자 유도 Noise로부터 간섭을 받지 않아 고속 HD 신호전송에 최적화 되어있다. 또한 가볍고 외경이 가늘어 포설시 무게와 설치 공간을 대폭으로 축소 할 수 있으며 복수 파장의 전송이 가능하여 한 가닥의 광파이버로 다채널 전송 또는 양방향 전송이 가능하다. 그리고 영상/데이터 전원이 하나의 케이블로 구성되어 이동하는 스튜디오, 경기장 등의 방송 중계에 효율적으로 설계 및 적용이 가능하며 향후 지속적으로 발전될 광대역 기술의 적용 등의 기술 확장성이 있다.<sup>(5-6)</sup>

HDMI는 Home theater, Digital display system, 산업용/의료용 display system 등 장거리 연결이 필요한 HDMI cable의 성장세가 예상되며, 1080p등의 고화질 영상을 지원하는 projector system에는 필수적으로 필요할 것으로 예상된다. 현재 사용하고 있는 제품에 비해 경쟁력 우위를 점할 수 있으며 국내 뿐만 아니라 해외에서도 큰 시장을 점유할 수 있다.

HDMI 영상신호 전송이 필요한 digital 영상 system의 구성에는 10m 이상 수백m 정도의 전송거리를 지원할 수 있는 cable이 필요한 바 VCSEL 또는 LD와 PINPD를 이용하여 광섬유를 통해 HDMI 신호를 전송하는 active cable이 요구된다.

인터넷의 급속한 발달에 따라 모든 정보들이 대용량, 초고속화, 고화질의 수요 요구로 인하여 digital화 되어 가고 있어 DVI 및 HDMI의 사용이 증가하고 있는 추세이며 Optical fiber를 이용하여 화상 signal을 전송하므로 원거리(500m 이상) 전송이 가능하다.<sup>(7-12)</sup>

원거리 전송이 가능해 한대의 컴퓨터로 여러 장소에 화상 신호를 주고 받는 실시간 양방향 통화가 가능함, Optical fiber를 사용하므로 대용량의 data전송(1초에 4년치의 일간 신문 내용 전송 가능)이 가능하여 응답속도가 빠르고, 많은 프레임 수를 가지는 고화질의 화상 전송이 가능함. Display의 빠른 발전으로 인해 대화면, 고화질의 화상이 가능해짐으로 인해 optical fiber HDMI system의 필요성은 더욱 증대하게 되었다.

CIR(Communications Industry Researchers) report “PC Interconnect분야 광전 인터페이스 세계시장자료”에 의하면 스마트 전자기기용 광전 인터페이스 세계시장 규모는 2014년부터 꾸준히 100% 이상의 성장률을 보이고, 2016년에는 2647억

원 규모에서 2017년 5408억 원 규모, 2018년에는 1조1045억 원 규모, 2019년에는 2조 2304억 원 규모로 확장 될 것이라고 전망했다.

인터넷 통신에 있어서 케이블 모뎀을 사용해서는 소비자들의 다양한 욕구를 충족시킬 수 없어서 광파이버(Optical Fiber)가 가정까지 직접 들어오게 되면서 광 접속 가능한 모뎀이나 허브의 필요성을 느끼게 되었다. 아파트에도 인터넷TV 설치, 생활 정보와 원격진료, 주차관리 등의 서비스를 제공하는 스마트아파트 관리 시스템이 등장하고 있다. 현재 건축 중인 국내 다수의 아파트가 특 등급 내지는 1등급의 인증을 받고 있으며 단지 내에는 광 스위칭 허브를 사용하게 되어 수요가 확대되고 있다. <sup>(13~16)</sup>

### 제 3 절 연구목적

본 연구의 목적은 기존의 HDMI Cable의 형태인 기본 Copper Cable로 이루어진 형태, Copper와 GOF Cable이 분리된 형태, 그리고 Copper와 POF가 결합된 Hybrid Cable을 이용한 형태의 각각의 단점(POF Hybrid Cable의 경우, 광 손실이 커서 장거리 손실이 불가능했고 GOF Cable과 copper가 분리된 형태는 GOF가 벤딩(Bending)특성을 유지하지 못했다)을 극복하여 광 손실을 최소화한 GOF Hybrid Cable을 설계하고, 그에 따른 HDMI의 Fiber Guide의 설계를 하고자 한다.<sup>(17-20)</sup>



## 제 2 장 Fiber-Guide 및 Hybrid Cable 최적설계

현재 HDMI Cable은 Copper Cable과 별도의 4C의 GOF를 사용하여 제작하고 있는 형태와 GOF가 아닌 POF를 이용한 Hybrid Cable을 제작 및 사용하고 있다. 본 연구에서 설계하고자 하는 Fiber Guide는 기존 생산중인 광 손실이 큰 POF Hybrid Cable의 단점을 보완하여 장거리 전송에 유리한 GOF Hybrid Cable을 설계하고 이를 수용 가능한 Fiber Guide를 설계하였으며 4C의 MM(Multi Mode) Optical Fiber 구조의 최적화를 위해서 Fiber Guide의 3D 모델링을 수행하였다.

유한 요소해석(FEM)이란 공학과 수리 물리학의 문제들(구조해석, 열전달, 유동장, 물질 이동, 전자기장 해석 등)을 풀기 위한 하나의 수치 기법이다. 전체 물체에 대한 문제를 한 번에 풀지 않고 각각의 유한 요소에 대한 방정식을 세우고 그들을 조합하여 전체 물체에 대한 방정식을 구한다. 유한 요소해석에는 총 여섯 개의 단계로 구성되어 있는데 첫 번째로는 Set Preferences 단계가 있으며 그 다음은 요소의 설정과 관련 물성치 입력이 있고 FEM Meshing 작업, 경계조건 설정, Solution, Post Processing 까지 여섯 단계로 구성 된다.

Set Preferences 단계는 해석문제에 대한 Title, 해석 유형 및 Mesh형성 방법, 해석방법 등과 같은 기본적인 사항을 설정하는 단계이다. 그리고 그 다음 단계인 요소의 설정과 관련 물성치 입력 단계에서는 FEM Mesh에 필요한 요소와 해석문제에 관계하는 물성치, 형상 Parameter를 입력 하고, FEM Meshing을 통해 FEM 해석을 위한 형상 및 Mesh를 형성하게 된다. 형성된 Mesh는 요소별 구분을 위해 서로 다른 색으로 표시한다. 그리고 변위경계(Displacement Boundary)와 하중경계(Natural Boundary) 조건을 입력한다. Solution 단계에서는 입력된 수치 값을 기준으로 근사 해를 구하고, 근사해 연산과정이 종료되면 해석자는 관심이 되는 수치결과를 화면상의 그래픽으로 혹은, 정량적인 Data로 출력할 수 있다.

## 제 1 절 Hybrid Cable의 특성 및 설계

Hybrid Cable은 POF Hybrid Cable의 광 손실이 많아 장거리 전송에 어려움이 발생하므로 GOF로 Hybrid Cable을 설계하였으며 Fiber를 Square 구조로 외부에 UV Polymer로 결합하여 외부의 충격 및 벤딩에 잘 견딜 수 있는 구조로 설계하며 Copper에 의한 충격을 완화 할 수 있도록 Aramid Yarn으로 보호하도록 Hybrid Cable을 설계한다. 케이블의 중앙에는 Fiber를 Square 구조로 설계하였으며 전력선은 파랑, 주황, 녹색, 노랑, 갈색, 흰색의 6c의 원형으로 구성하였다. 또한 Fiber 보호를 위해 UV Polymer로 결합하여 외부 충격 및 벤딩에 최적화 되도록 설계하였다.

HDMI 광전 하이브리드 케이블에서 핵심이 되는 GOF는 외부 환경에 민감하고, 벤딩 현상에 취약하기 때문에 이를 해결하기 위해서 일반적인 아크릴레이트 코팅층 위에 피복 처리한 구조를 사용하지 않고, 광섬유 자체에 아크릴레이트로 코팅된 구조를 선정하였다. Fig. 2-1은 Hybrid Cable의 구조를 나타낸 것이며 Fig. 2-2는 주로 광케이블에 사용되고 있는 Tight Buffered Fiber와 광전 하이브리드 케이블 제작을 위해 사용된 Bare Fiber의 구조를 나타낸 것이다.

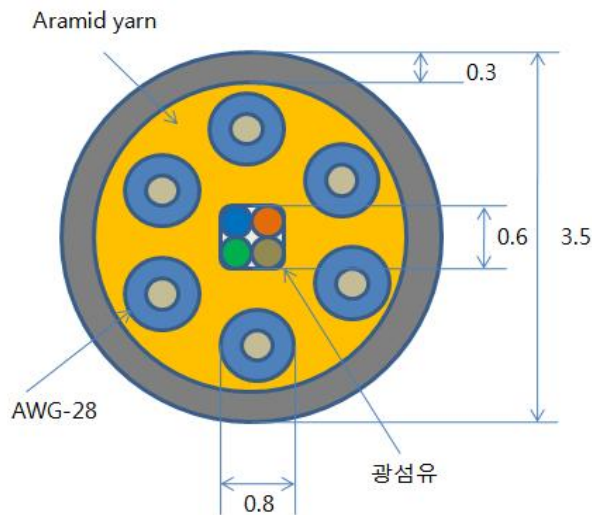


Fig. 2-1 Structure of hybrid cable



Fig. 2-2 General structure of HDMI cable and structure of GOF hybrid cable

이를 바탕으로 광케이블은 OMM(Optical Multi-Mode Fiber)으로 선정하였으며, OMM의 종류별 특성을 분석한 결과HDMI 모듈에 적합한 OM1 4채널을 최종적으로 선정하였다. Table 2-1은 광케이블의 OMM 종류별 특성에 대해 나타내고 있다.

Table 2-1 MM Characteristics of optical cable types

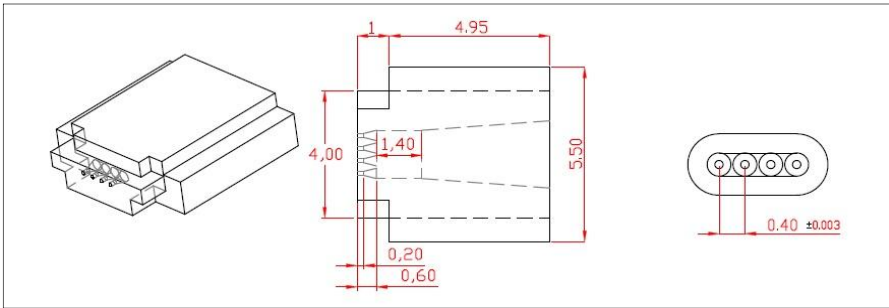
Test Requirement	OM1 — 62.5µm	OM2 — 50µm	OM3— 50µm	OM4— 50µm
OFL Bandwidth @850/1300nm	200/500 MHz-km	500/500 MHz-km	1500/500 MHz-km	3500/500 MHz-km
EMB @ 850nm	No Requirement	No Requirement	2000 MHz-km	4700 MHz-km
Minimum reach @ 1 Gb/s	275/550m (850/1300nm)	550/550m (850/1300nm)	800/550m (850/1300nm)	1100/550m (850/1300nm)
Minimum reach @ 10 Gb/s	33m	82m	300m (850nm)	550m (850nm)
Minimum reach @ 40 & 100 Gb/s	No Requirement	No Requirement	100m (850nm)	125m (850nm)

또한, 동축 케이블은 송·수신을 담당하는 TX, RX Cable 및 전원 및 접지 Cable, UTP\_DN, DP를 각각의 특징을 분석하여 케이블의 두께에 따른 허용 전류를 분석하여 AWG28로 선정하였다. HDMI 광전 하이브리드 케이블 개발에 앞서 선정된 광케이블 MM Fiber와 동축케이블 6Core로 원형 형태를 구성하였으며, 그 중심에 Optical Fiber를 보호하기 위한 최적의 케이블 구조분석을 진행하였다. 광전 하이브리드 케이블 구조선정을 바탕으로 광섬유 4Core 및 동축 6Core, 광섬유와 동축 케이블을 보호해 줄 yarn 및 jacket을 고려하였으며 광전하이브리드 구조 설계를 진행하였다.

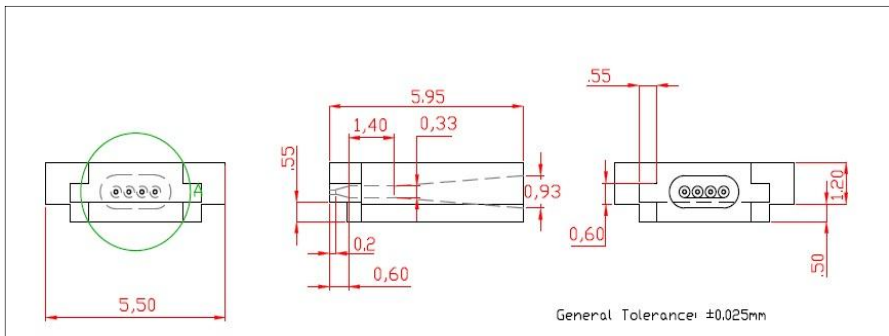
## 제 2 절 Fiber Guide 및 Guide용 Jig 설계

현재 HDMI Cable 은 Copper Cable과 별도의 4C의 GOF를 사용하여 제작하고 있는 형태와 GOF가 아는 POF를 이용한 Hybrid Cable을 제작 및 사용하고 있다, 본 연구서는 기존에 생산하고 있는 광 손실이 큰 POF Hybrid Cable의 단점을 보완하여 장거리 전송에 유리한 GOF Hybrid Cable을 활용하고 GOF을 수용할 수 있는 Fiber Guide의 금형을 설계 제작하였다.

Fiber Guide는 일반 Ferrule처럼 Wire가공 시 가공 또는 제작비용이 많이 소요되기 때문에 금형으로 제작하여 사출함으로써 생산 원가를 현저히 낮출 수 있으므로 대량 생산이 가능한 정밀 금형을 제작하였다. Fig. 2-3은 Fiber Guide의 2D 설계도면을 나타낸 것이고 Fig. 2-4, Fig. 2-5, Fig. 2-6, Fig. 2-7은 Fiber Guide 금형의 2D설계도면을 나타냈고 Fig. 2-8은 제작된 Fiber Guide를 나타낸 것이다.



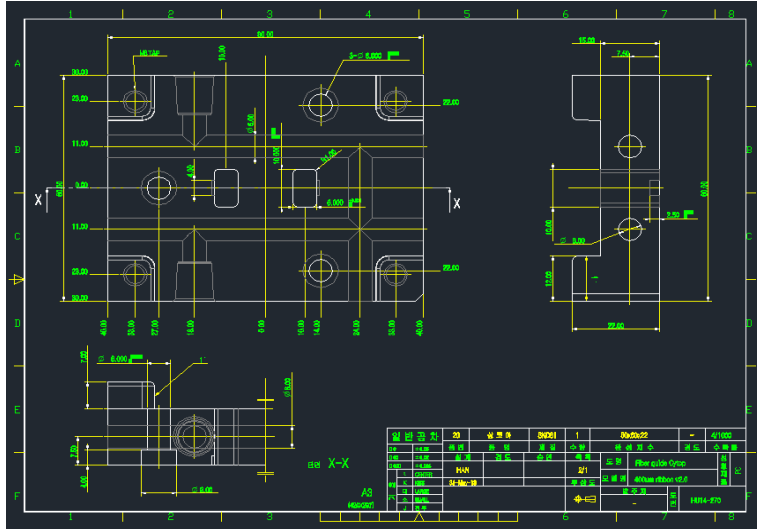
(a) Plan and front view of fiber guide



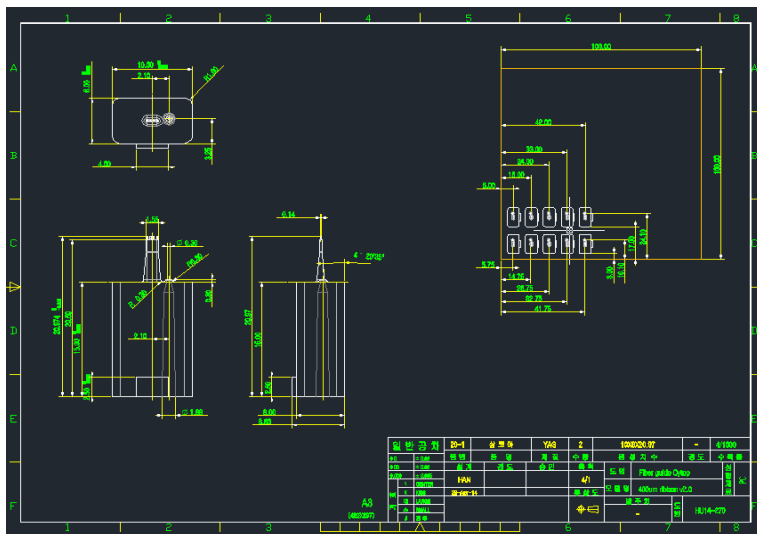
(b) Side and rear view of the fiber guide

Fig. 2-3 Fiber guide 2D design drawing

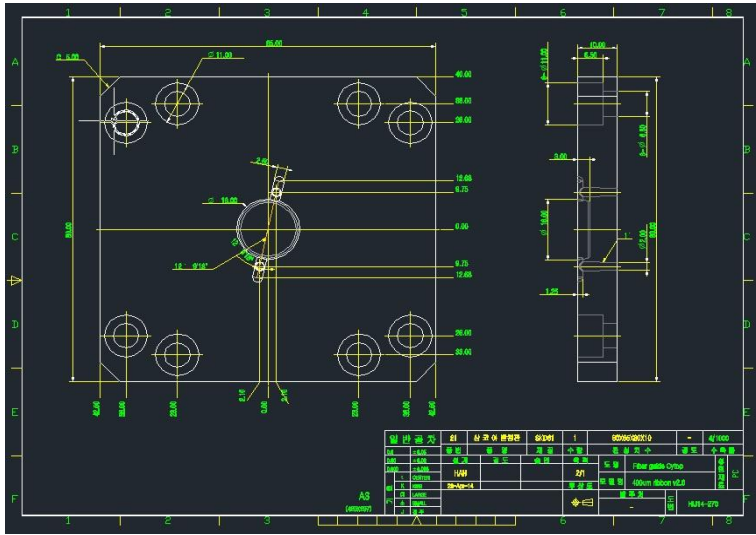
Fiber Guide의 금형 설계 시  $140\mu\text{m}$ 의 Hole size 및 Hole 간 Pitch  $400\mu\text{m}$ 를 사출할 수 있어야 하며 Wire로 가공하지 않고 4C의 Optical Fiber를 삽입할 수 있어야 한다. 기존의 Wire 가공으로 인한 높은 제작비용을 정밀 사출을 통해 절감할 수 있고 대량 생산이 가능하다.



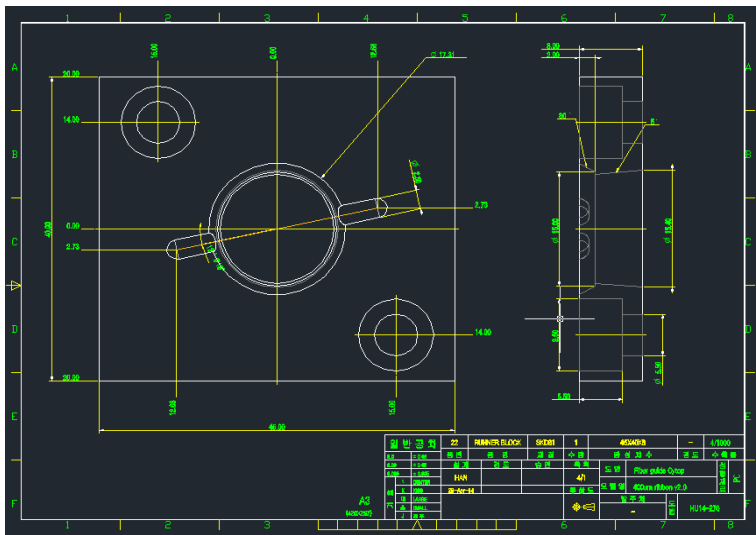
(a) Fiber Guide front View



(b) Fiber Guide side View



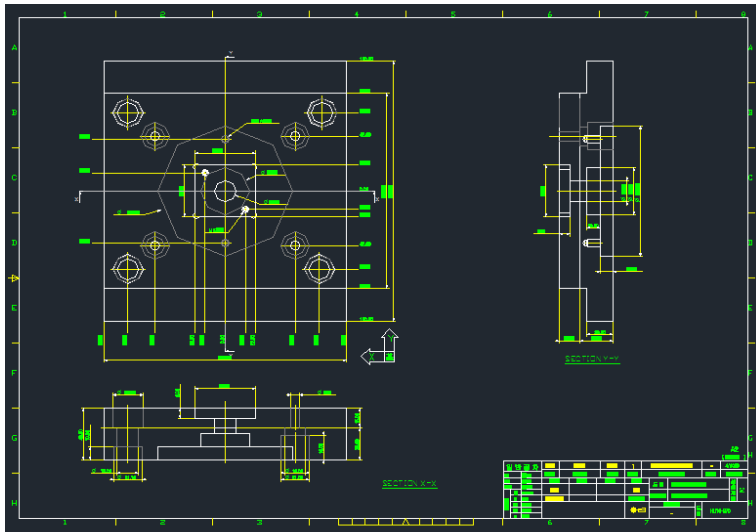
(c) Fiber Guide back view 1



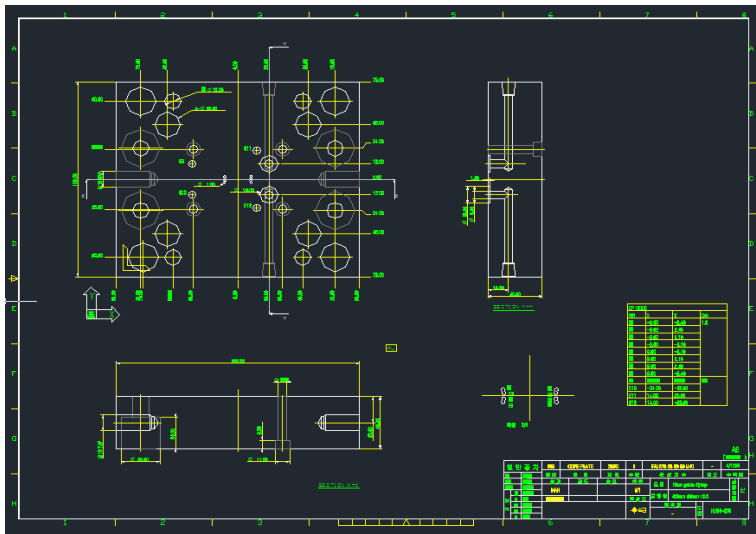
(d) Fiber Guide back view 2

Fig. 2-4 Fiber Guide top core 2D drawings





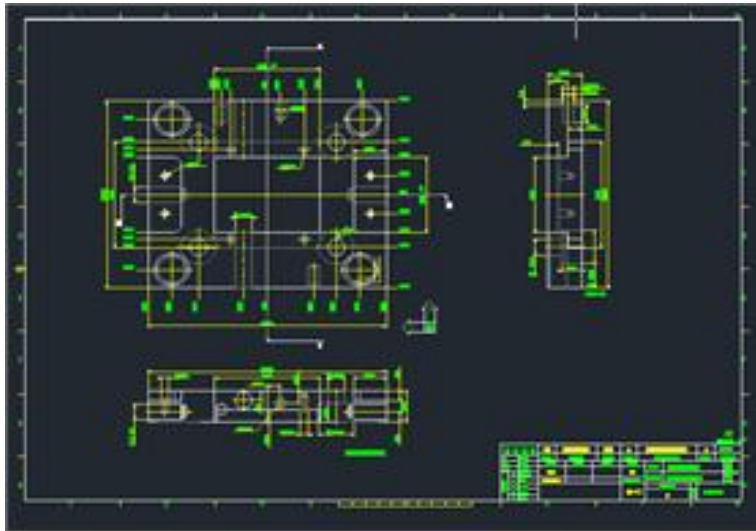
(a) Plan view of original plan



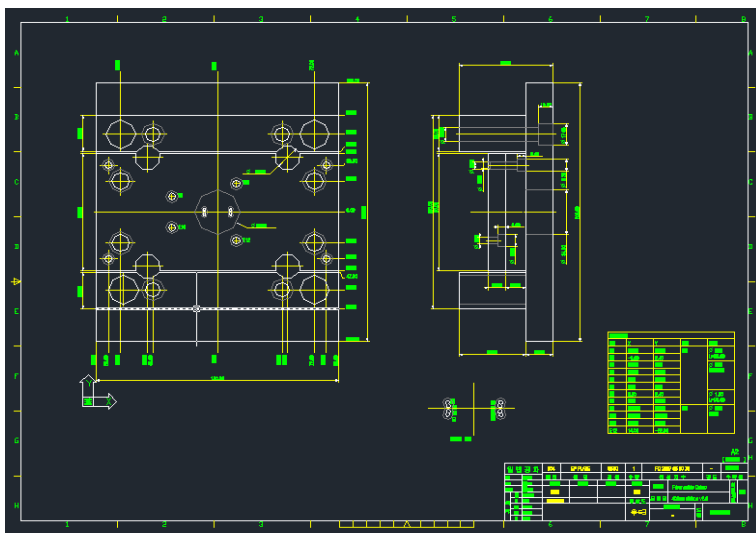
(b) Back view of original plan

Fig. 2-6 2D drawings in the original drawing

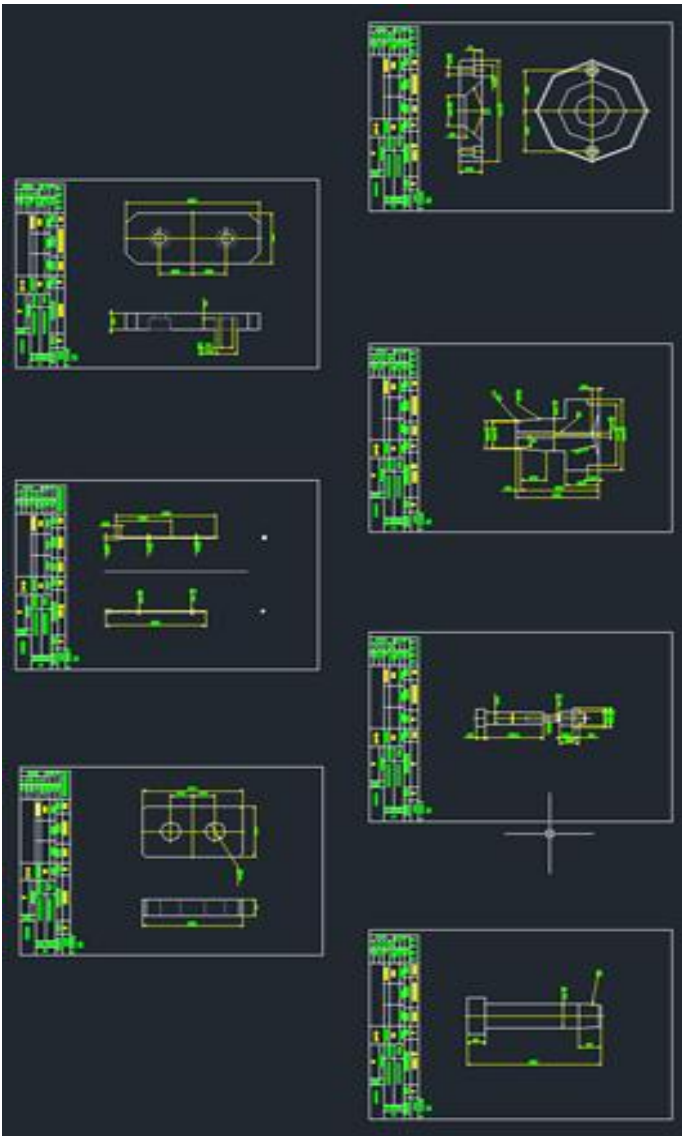




(a) Plan view of main part



(b) Rear view of main part



(c) Sub-part drawing in fiber guide

Fig . 2-7 Part 2D drawings of fiber guide molding



(a) Fabricated fiber guide-plated back view



(b) Fabricated fiber guide-plated plan view

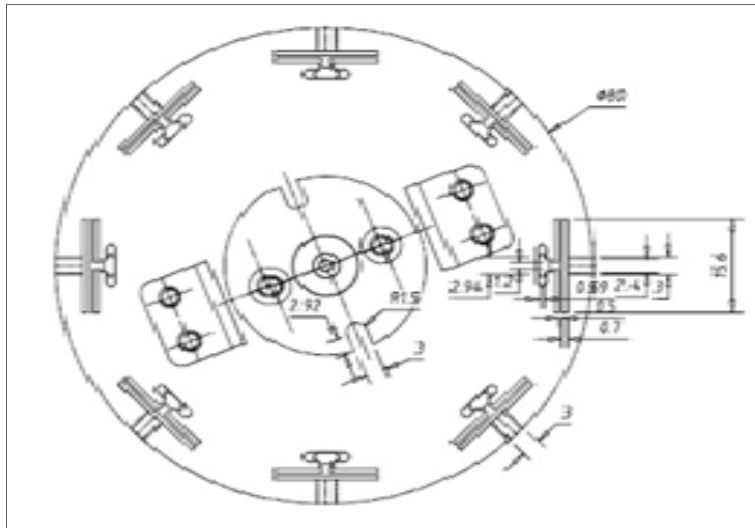


(c) Fabricated fiber guide-plated front view

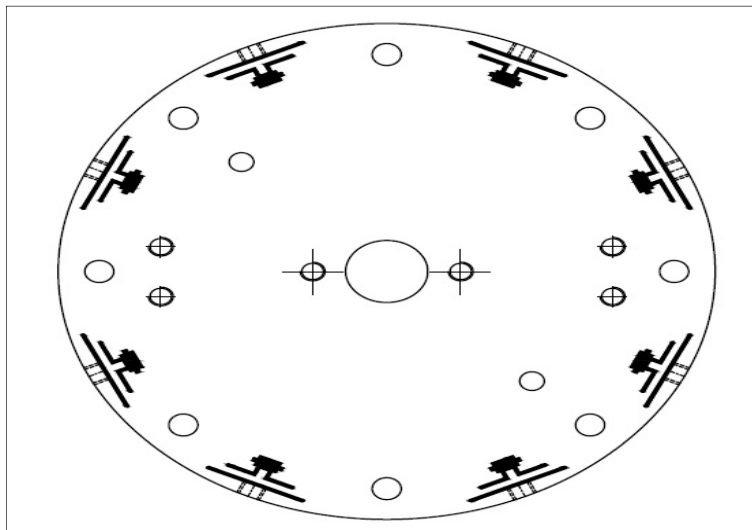
Fig. 2-8 Fabricated fiber Guide Molding

광전 복합 HDMI용 Fiber Guide 제작을 위하여 1차 설계를 진행하여 복층 형태의 Guide 구조에서 GOF의 삽입이 용이 할 수 있도록 가로 형태로 구조를 변경하였으며, 손실 값을 최소화 할 수 있도록 설계를 진행하였다, 또한 대량 생산이 가능하고 원가절감을 이한 Fiber Guide 금형 1×2(open,close)을 진행하였다. 이로써 POF Hibrid Cable의 단점을 보완하여 장거리 전송이 가능한 GOF용 Hybrid Cable 제작이 가능하다.

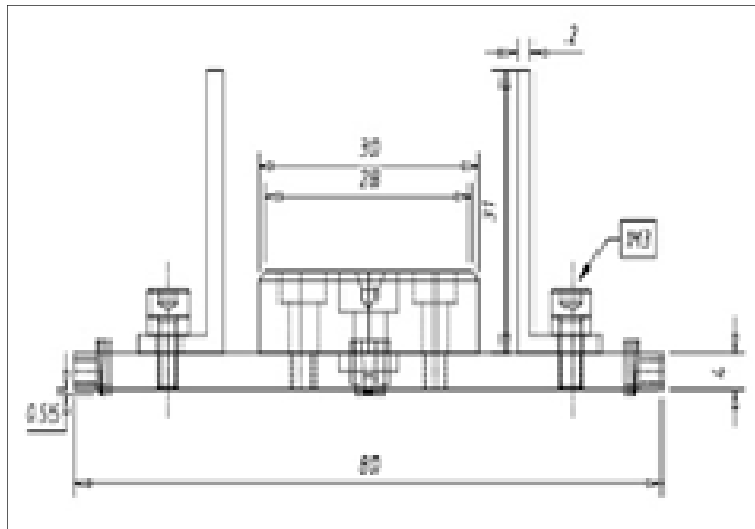
현재 사용되는 광섬유 Polishing Jig는 부품과 결합된 형태와 분리된 형태로 사용하고 있다. 결합된 형태는 안정적이지만 세부 컨트롤이 힘들고 분리된 형태는 세부 컨트롤이 가능하지만 안정적이지 못했다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해 Fiber Guide의 조립이 용이 하도록 부품만 Polishing 할 수 있는 형태로 제작하고 고 품질의 제품을 안정적으로 연마 할 수 있는 Fiber-Guide Polishing Jig를 설계 제작 하였다. Fig. 2-9는 Polishing Jig 파츠 A의 2D 설계도를 나타냈으며, Fig. 2-10은 제작된 Polishing Jig 파츠 A를 나타냈다. 그리고 Fig. 2-11은 Polishing Jig 파츠 B의 2D 설계도를 나타냈으며, Fig. 2-12는 제작된 Polishing Jig 파츠 B를 나타냈다.



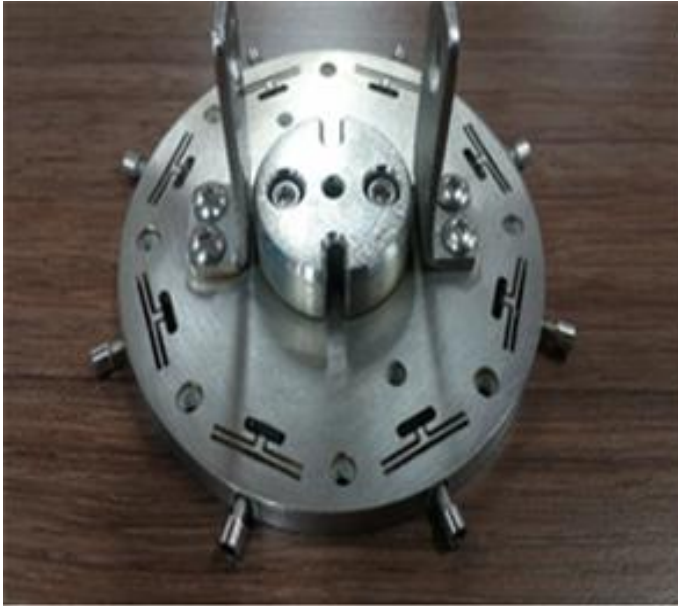
(a) Plan view of polishing Jig



(b) Back view of polishing Jig



(c) Front view of polishing Jig  
 Fig. 2-9 Polishing jig part drawing A



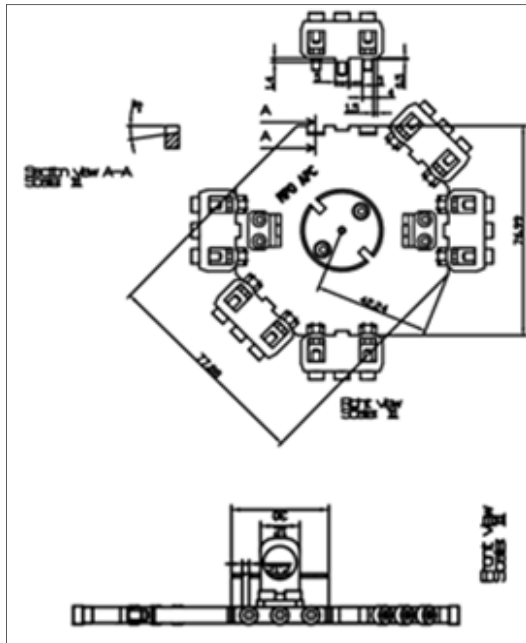
(a) Plan view of a manufactured polished jig part A



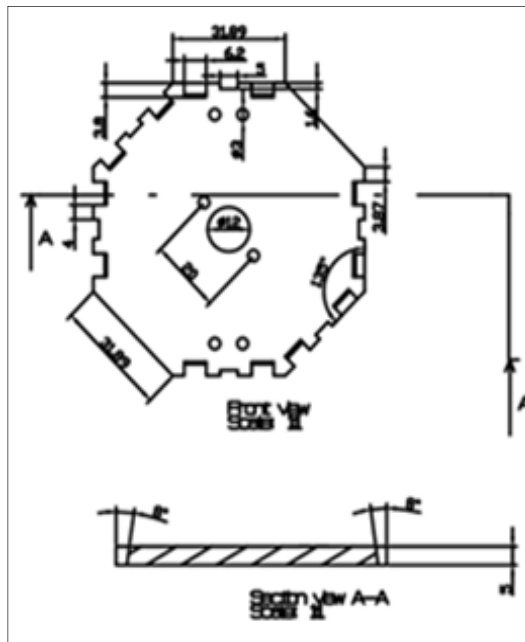
(b) Insertion of a manufactured polished jig part A

Fig. 2-10 Fabricated Polishing Jigs Part A





(a) Plan view of polishing jig part drawing B



(b) Back view of polishing jig part drawing B

Fig. 2-11 Polishing jig part drawing B

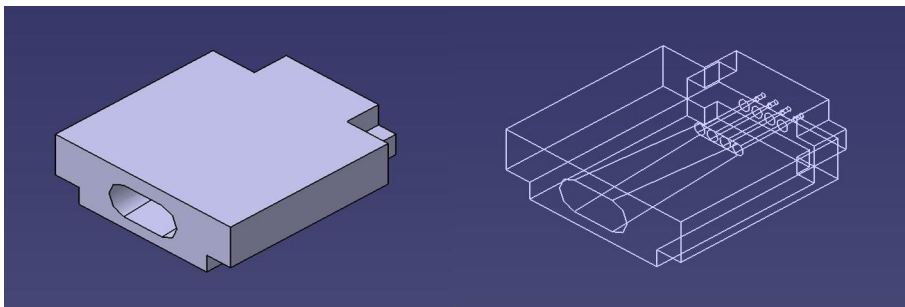


Fig. 2-12 Fabricated Polishing Jig Part B

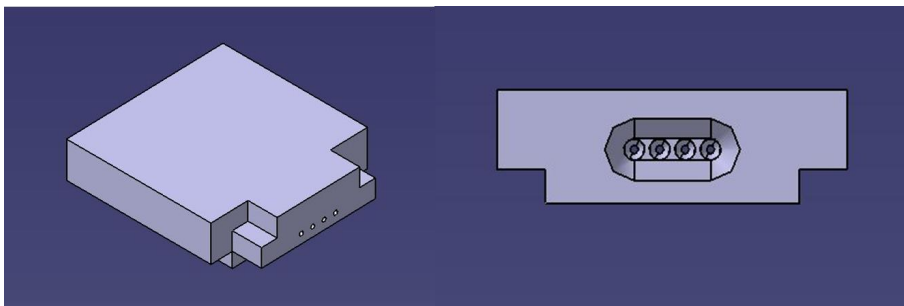
Polishing Jig를 제작할 때 GOF와 Fiber Guide 의 안정적인 연마를 위해서 안정성에 중점을 두어 제작하였으며 8 Port의 Fiber Guide를 동시에 연마 할 수 있도록 제작하였다. 또한 12 Port의 Fiber Guide를 동시에 연마할 수 있도록 하였으며 정확한 Guide정렬을 할 수 있도록 Wire 가공을 진행하였다. 그리고 Fiber Guide의 HDMI 모듈과의 정렬부를 기준으로 장착 할 수 있게 제작 하였으며 기존 연마기에 조립 탈착이 가능하고 호환성이 뛰어나도록 제작 하였다. 그 결과 안정성이 뛰어나고 총 8개의 Fiber Guide를 연마 가능하며 기존의 연마기에 장착이 가능 할 수 있게 되었다.

### 제 3 절 Fiber Guide의 3D 설계 및 FEM 해석

40의 MM Optical Fiber 구조의 최적화를 위한 Fiber Guide의 3D 모델링을 수행하였으며, 유한요소해석을 통한 시뮬레이션을 수행하였다. FEM(Finite Element Method) 해석법이란 필요한 요소를 설정하고 관련 물성치를 설정 한 후 Meshing 작업과 경계조건의 설정이 끝난 이후에 필요한 Pre-Processing 단계가 완료되면, Main Menu의 Solution을 선택하여 근사 해를 구하는 과정을 진행한다. 이 과정은 프로그램이 자동적으로 수행하는 것으로 해석이 완료되면 ‘Solution is done!’이라는 메시지 창을 출력하며 근사해 연산과정이 종료되면 해석자는 관심이 되는 수치결과를 화면상의 그래픽으로 혹은, 정량적인 Data로 출력할 수 있다. 해석결과는 크게 변위, 변형률, 응력분포 등이 될 수 있고 또한, 각 성분별로 선택할 수 있다. Fig. 3-1은 Fiber Guide의 3D모델링 한 것을 나타냈다.



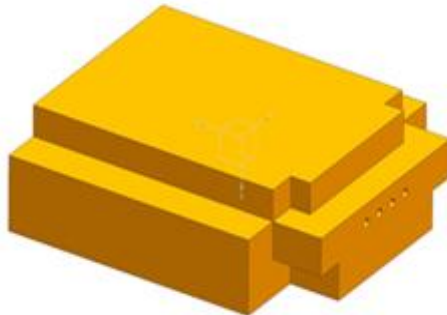
(a) 3D Back view and three-dimensional picture of fiber Guide



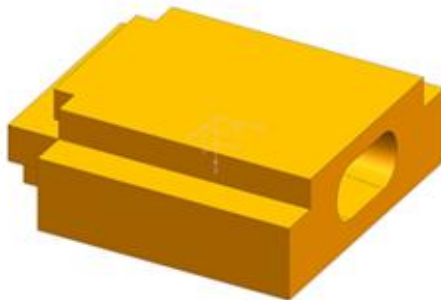
(b) Plan view and rear view of the fiber guide

Fig. 3-1 3D modeling of fiber Guide

3D 모델링 과정을 마친 Fiber Guide는 FEM 해석과정을 거치게 되는데 우선 해석 모델의 해석조건과 Mesh 형성 과정을 진행하였으며 요소망은 Node : 533,581, Element : 379,563으로 생성하였다. Fig. 3-2는 해석모델인 Fiber Guide를 나타낸 것이며 Table 3-1은 Fiber Guide의 해석조건을 나타냈다. Fig. 3-3은 Fiber Guide의 해석 조건을 나타냈으며, 해석 조건은 50N의 하중이 작용할 때의 변형량을 구하는 것으로 설정 하였다.



(a) Analytical Modeling of fiber Guide (Front)



(b) Analytical Modeling of fiber Guide (Rear)

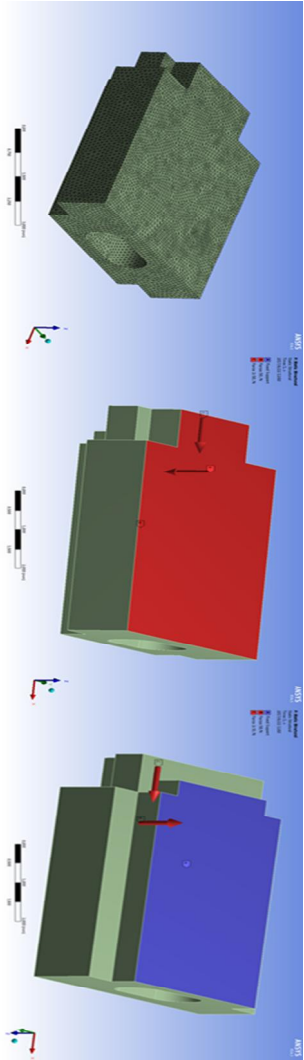
Fig. 3-2 Analytical Model

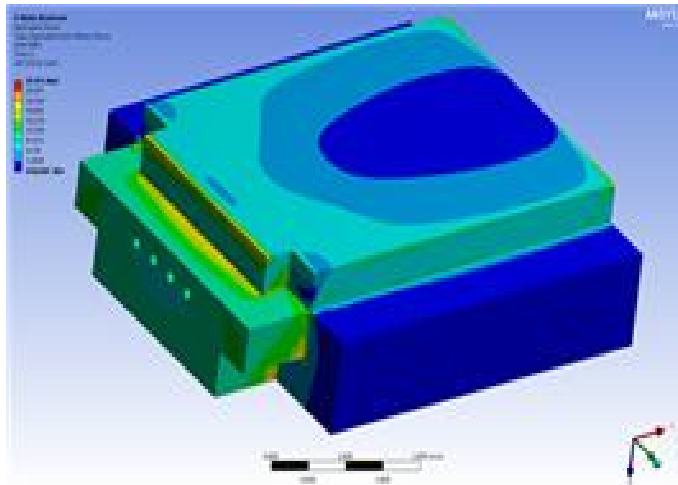
Table 3-1 Analysis Criteria for fiber Guide

재질	C P
$\rho$ (tonne/mm <sup>3</sup> )	1.2e-9
E (MPa)	2350
$\lambda$ (MPa)	0.3902
$\sigma_s$ (MPa)	61

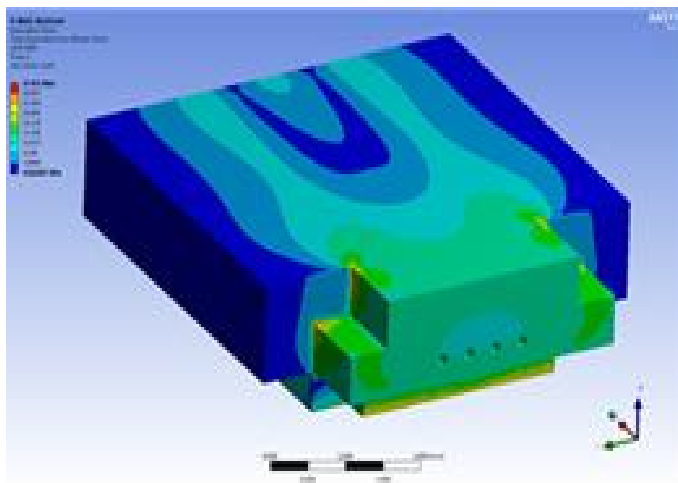
(a) A meshed model (b) Setting boundary conditions (c) Given load (50N)

Fig . 3-3 Analysis Criteria for fiber Guide



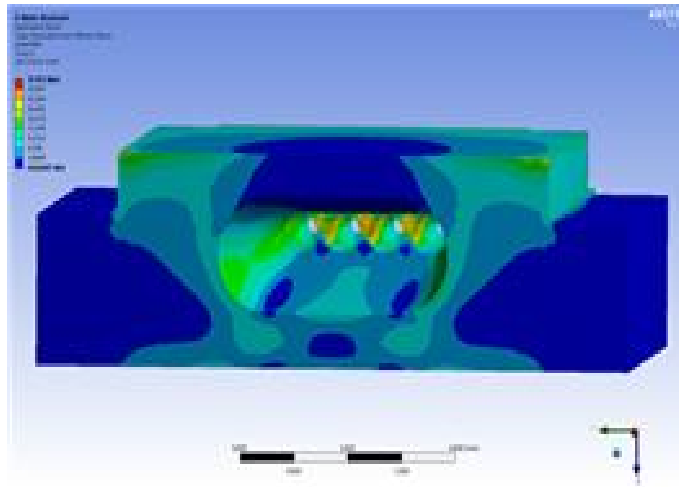


(a) Structural analysis results of fiber guide (plan view)

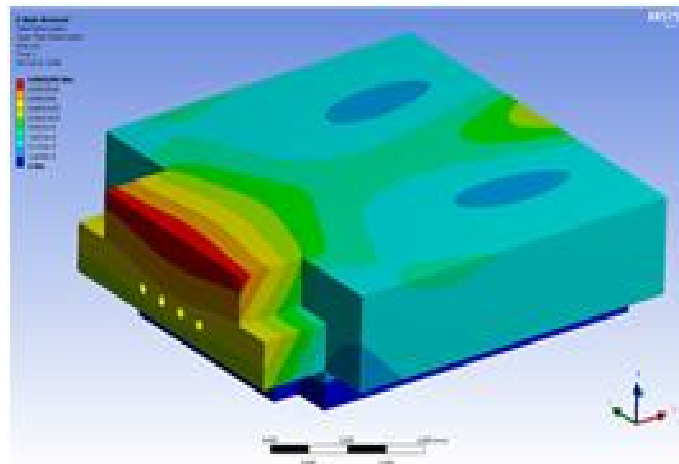


(b) Structural analysis results of fiber guide (front view)

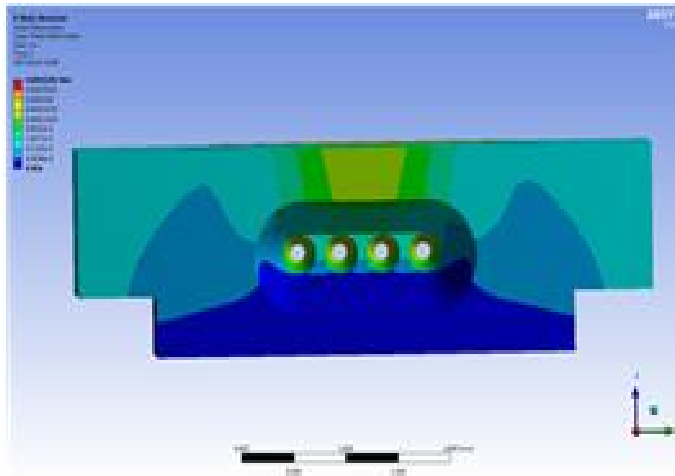




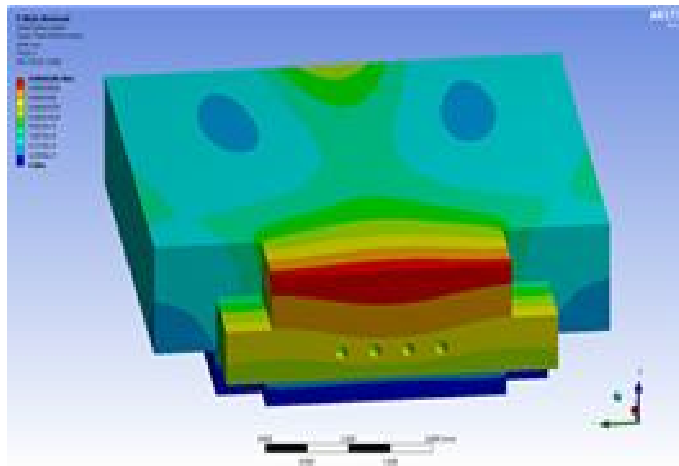
(c) Structural analysis results of fiber guide (back view)



(d) Fiber Guide Strain Analysis Results (plan view)



(e) Fiber Guide Strain Analysis Results (back view)



(f) Fiber Guide Strain Analysis Results (front view)

Fig. 3-4 FEM analysis results of fiber guide

FEM 해석 결과 Fig. 3-4와 같이 50N의 하중이 작용할 때 모든 해석 결과에서 최대 응력이 허용 응력보다 낮아 외부 응력에 대해 구조적으로 안정적임을 알 수 있었다. 이때, 최대 변형량은 0.00021292mm으로 탄성변형에 의한 영향이 거의 없음을 나타냈다.

## 제 3 장 Hybrid Cable 제작 및 테스트

하이브리드 Cable 제작 시 광 섬유가 외부 환경에 노출 되었을 경우 그에 따른 광손실을 최소화 하기위한 패키징 작업이 필요하다. 또한 생산공정의 과정에서 UV 경화, Plastic/Glass 연마공정을 새롭게 셋업 하였다. 그리고 제작된 HDMI의 광 출력 테스트를 위한 테스트 베드를 구축하고 Fiber Guide의 3D 설계 및 FEM 해석을 진행하였으며, 요소망은 Node : 533,581, Element : 379,563으로 생성하였다. 해석 조건은 50N의 하중이 작용할 때의 변형량을 구하는 것으로 설정 하였다. 그 결과 50N의 하중이 작용할 때 모든 해석 결과에서 최대 응력이 허용 응력보다 낮아 외부 응력에 대해 구조적으로 안정적임을 알 수 있었다. 이때, 최대 변형량은 0.00021292mm으로 탄성변형에 의한 영향이 거의 없음을 나타냈다. 따라서 제품 제작에 적합함을 나타내었다.

따라서 FEM 해석 결과를 토대로 Hybrid Cable의 제작을 실행하였으며 기존의 Hybrid Cable 제작 공정을 보완하여 새로운 Hybrid Cable 제작 공정을 확립하였으며, 최종적으로 제작된 제품의 테스트를 위해 테스트 보드를 구축하여 동작전압 검사를 통해 Hybrid Cable의 성능을 검증할 것이다.

## 제 1 절 Hybrid Cable의 제작 공정

기존의 HDMI Cable의 피복은 광 특성, 온도, 인장, 굴곡에 따라 손상되기 쉽기 때문에 이를 만족할 수 있는 LSZH, PVC 수지를 선정하였으며 제품에 이상이 없는 양품을 생산하기 위해서 제조 과정에서 Bending에 의한 광섬유의 불량률을 최소화하고 생산성 향상을 위한 공정기술을 확립할 필요성이 있다. 따라서 외부 자켓의 재질을 LSZH, 두께를 3.15 $\phi$ 으로 선정하고, 동축케이블의 제작 공정에서 AWG 28 제품을 꼬아서 제작하도록 하고 광섬유를 MM Fiber(리본 파이버 4core)로 선정하였다. 효율성을 극대화 한 제품 생산 공정 확립을 위해서 기존의 생산 공정을 도입 하되, UV경화, Plastic/Glass 연마공정을 추가 하고, 측정 공정을 체계적이고 정밀하게 진행하여 수요자의 요구 조건에 부합할 수 있는 최적의 조건을 만족하는 공정을 확립하였다. Fig..3은 기존의 Hybrid Cable의 제작 공정을 나타낸 것이다.



(a) Uncovering



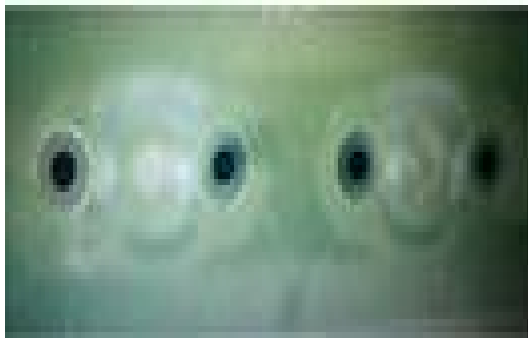
(b) Insert fiber Guide



(c) epoxy hardening



(d) Abrasive process



(e) Section Inspection



(f) Measuring process



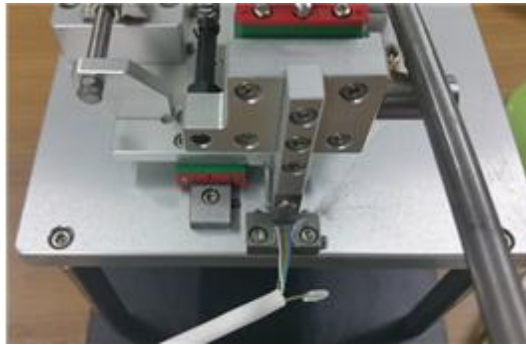
(g) Socket squeeze



(h) Final examination

Fig. 3-5 Traditional Hybrid Cable Production Process

기존의 제품 생산 공정에서 에폭시 경화는 최적화된 UV경화를 통해 체결성과 안정성을 확보하였으며 연마과정을 체계화 하여 최상의 단면 구조를 갖는 연마공정을 확보하였다. 또한 측정공정에서는 mV 값을 세밀하게 측정하였으며 소켓 압착 과정은 AWG 28 6Core에 적합한 소켓 압착 공정을 진행하였다. Fig. 3-5는 기존의 Hybrid Cable의 제품 제작 공정을 나타냈으며 Fig. 3-6은 소켓 압착공정을 나타낸 것이다.



(a) Socket squeeze process



(b) Hybrid cable after socket squeeze process is complete

Fig. 3-6 Before and after the socket compression process of the Hybrid cable

하이브리드 케이블의 광섬유 OM1은 외부에 노출될 경우 광 손실이 일어나는 것을 최소화하기 위해서 광섬유 정렬 패키징을 진행하였다. 1차적으로 Fiber guide와 광섬유의 실장 과정 중 경화 공정을 거치게 되는데 충전 및 경화공정을 진행하기 위해서 우선적으로 UV Epoxy 선정이 매우 중요시 된다. Epoxy는 사용 용도에 따라 종류와 점도가 매우 다양하고 제조사도 많아 선택의 폭이 넓은 대신 사용하는 사용자가 특성에 맞는 Epoxy를 선정하기 위해 Epoxy별 특성 분석이 반드시 필요하다. 이에 따라 표.2와 같이 Epoxy별 특성을 분석하였으며, 저점도 특성 및 수축율, 굴절율, 점도, 경도 등을 고려하여 쉽게 구할 수 있는 UV Epoxy(OP-54)를 1차 선정하였다. Table 3-2는 폭시의 종류별 특성을 분석한 것이다.



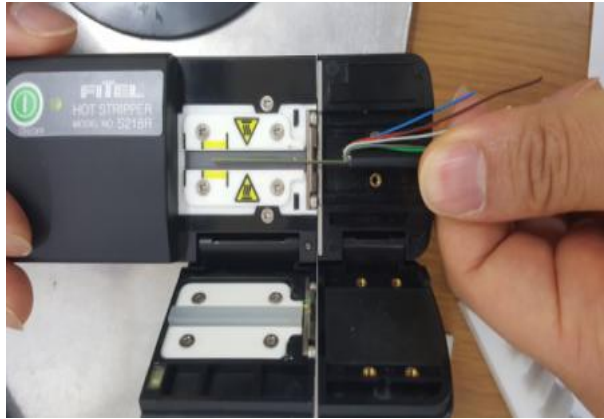
Table 3-2 Analysis of Epoxy Properties

품 목	특 성	수축율	경화 후 굴절율	점도 (cP)	경도 D=Rigid A=Elastic OO=Soft
OP-52	중 점도, butt bonding, bundling and splitting	1.9%	1.520	5,000	D-85
OP-54	저 점도, butt bonding, bundling and splitting	1.8%	1.506	100	D-82
OP-4-206 32	투명, 유리, 금속 접착력 강함, 경화시 저수축. 열을 가하면 Tg가 증가함 내습성 및 내 변색성	<0.2%	1.540	500	D-85
OP-4-206 41	저수축 접착력 좋음 투명, Gap 충전용	<0.5	1.505	21,000	D-55
OP-4-206 58	높은 굴절율, 1.585 유리, 금속에 매우좋은 접착력.	-	1.585	1,200	D-50

Hybrid 광섬유의 피복을 HOT stripper를 활용하여 탈피 후 선정된 UV Epoxy (OP-54)를 활용하여 V-groove와 광섬유 간의 경화를 진행하였으며 이에 따른 경화 조건 수립을 위해 UV 조사기를 활용하였다.

## 제 2 절 Hybrid Cable의 제작 공정 최적화

Hybrid 광섬유의 피복을 HOT stripper를 활용하여 탈피 후 선정된 UV Epoxy (OP-54)를 활용하여 V-groove와 광섬유간의 경화를 진행하였으며, 이에 따른 경화 조건 수립을 위해 UV조사기를 활용하였다. Fig. 3-7은 광섬유 피복을 탈피하기 위해 HOT stripper를 이용한 공정을 나타내고 있다.



(a) Fiber stripper process



(b) Cable after stripper process

Fig. 3-7 Fiber stripper process

또한 UV 경화 공정에서 UV조사 시간을 5sec, 10sec, 15sec, 20sec, 25sec, 30sec, 35sec로 설정한 후 UV GUN의 거리에 따른 결과를 분석 하였으며, UV Epoxy(OP-54)는 Fiber Guide에 광섬유를 투입하여 경화 조건에 대한 분석을 실시 하였다. Fig. 3-8은 에폭시 공정과정에서 사용한 UV조사기로서, EXPO사의 4채널 동시에 경화 가능한 제품으로 최대 출력 100W를 발생하는 장비를 나타낸 것이다. 또한 Fig. 3-9는 9 $\mu$ m, 3 $\mu$ m, 1 $\mu$ m, 0.2 $\mu$ m 의 UV를 조사한 에폭시의 연마공정을 나타낸 것이다.



(a) Ultraviolet irradiator



(b) Ultraviolet irradiation process

Fig. 3-8 Ultraviolet irradiator



(a) 9 $\mu$ m Ultraviolet irradiation



(b) 3 $\mu$ m Ultraviolet irradiation



(c) 1 $\mu$ m Ultraviolet irradiation



(d) 0.2 $\mu$ m Ultraviolet irradiation

Fig. 3-9 Abrasive process

### 제 3 절 테스트 베드 구축 및 동작전압 테스트

개발 부품에 대한 테스트 베드를 구축하고 이에 적합한 모듈을 제작하여 mV값을 측정하여 현장 적용이 가능하게 제작하였다. TX/RX PCB 부분에 HDMI 모듈을 삽입하고 삽입된 모듈위의 정렬부위에 연마된 4Ch의 Fiber Guide를 정렬하여 디지털 멀티메타에서 출력되어지는 확인하여 mV값을 측정하였다. Fig. 3-10은 테스트 보드의 회로도를 나타낸 것이다.

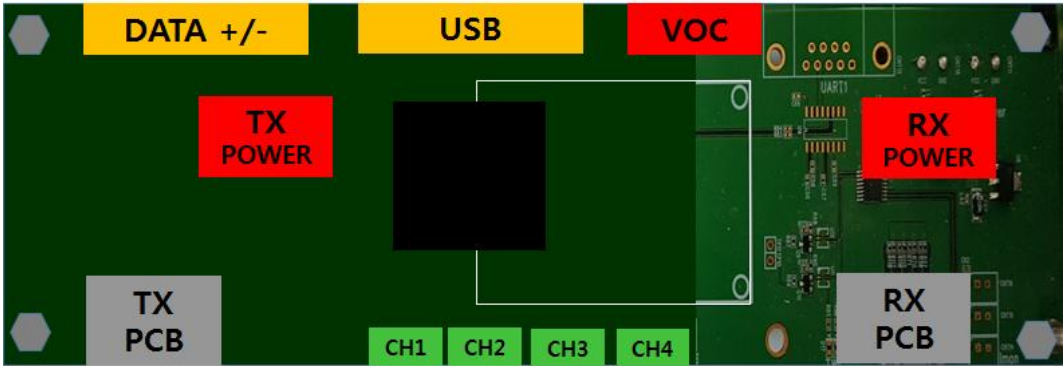


Fig. 3-10 Test board circuit diagram

제작된 HDMI의 AOC 광출력 기초 테스트를 위해서 VCSEL/PD와 광섬유를 용이하게 광정렬 할 수 있게 HDMI 모듈을 장착 할 수 있게 제작하였으며, HDMI 모듈에 시료를 올려 광섬유와 광소자간의 수직 정렬 구상하였다. 최종 정렬 후 출력 파워 체크를 위해 디지털 멀티메타를 이용하여 VCSEL에서 출력되는 광의 출력 값을 확인 할 수 있게 제작하였다.

Table 3-3은연마 공정을 통해 4Ch의 Fiber Guide의 실제 Vmon(mV)를 측정 하였을 때 Data이며 Test 보드에서 각각의 스위치를 눌러 VCSEL을 동작시킨 후 측정값을 읽어 들여 측정하였으며, 이때 HDMI모듈을 동작 할 수 있는 최소한의 동작파워는 30mV이다.

Table 3-3 4Ch Guide Vmon Test Data

Test data									
Cable No	Vmon 측정값				Cable No	Vmon 측정값			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	38	46	47	75	41	36	86	136	37
2	58	116	357	121	42	38	107	148	57
3	182	493	342	222	43	68	87	229	71
4	57	224	248	99	44	66	171	89	39
5	43	186	51	52	45	45	234	170	120
6	74	144	243	113	46	48	134	164	42
7	105	142	218	122	47	138	220	234	105
8	38	50	115	39	48	39	112	175	97
9	36	50	67	57	49	69	209	216	107
10	44	314	247	115	50	43	137	322	101
11	66	89	183	73	51	43	109	210	81
12	108	154	141	89	52	52	220	80	103
13	74	103	104	72	53	111	170	133	57
14	46	45	75	47	54	55	169	134	47
15	39	58	208	83	55	82	222	128	68
16	112	176	141	70	56	38	93	175	65
17	71	169	112	74	57	49	174	238	84
18	98	106	219	88	58	49	202	140	124
19	131	242	346	138	59	55	113	255	50
20	66	114	137	41	60	52	190	197	35
21	40	45	104	68	61	47	230	255	68
22	81	99	229	87	62	40	158	189	82
23	38	101	121	59	63	65	115	191	46
24	68	183	217	128	64	52	129	61	52
25	37	164	238	70	65	70	154	225	39
26	80	138	264	127	66	40	98	186	44
27	180	442	350	163	67	54	266	115	101
28	36	81	204	86	68	45	157	118	47
29	47	87	193	66	69	69	243	225	94
30	36	104	42	51	70	35	144	67	45
31	57	185	51	52	71	45	88	255	58
32	56	152	279	93	72	57	187	150	41
33	39	249	160	77	73	104	280	186	42
34	119	254	152	71	74	59	148	204	50
35	53	74	110	36	75	35	200	226	168
36	104	225	234	95	76	45	109	149	40
37	65	109	218	109	77	59	160	343	118
38	45	189	96	46	78	64	200	213	100
39	36	93	156	41	79	74	180	263	48
40	111	139	263	145	80	38	124	120	40

## 제 4 장 결 론

정보화 시대에서 스마트 전자기기 점차 늘어남에 따라 더 빠른 데이터 처리 속도와 데이터 저장 용량 확대와 같이 데이터 및 영상 신호의 지속적인 증가에 대한 수요가 점차적으로 늘어나고 있다. 기존의 POF cable은 데이터 전송 속도를 늘리는데 한계가 있었고 GOF cable을 제작 시도 하였으나 GOF가 벤딩 특성이 약했다. 그에 따라 벤딩 특성이 강한 GOF cable의 제작을 실행하였으며 그에 따른 최적설계를 진행하였다. 그리고 FEM해석과 동작전압측정을 통해 GOF의 성능을 검증하였으며 이에 대한 결론은 다음과 같이 내릴 수 있었다.

1. Fiber guide에서의 하중에 따른 변형량을 구하기 위해서 FEM 해석을 진행하였으며 그 결과 50N의 하중이 작용할 때 최대 응력이 허용 응력보다 낮아 외부 응력에 대해 구조적으로 안정적임을 알 수 있었다. 이때, 최대 변형량은 0.00021292mm으로 탄성변형에 의한 영향이 거의 없음을 나타냈다.
2. 제작된 GOF cable의 성능 분석을 위해 테스트 베드를 구축하고 이에 적합한 모듈을 제작하여 mV값을 측정하였다. 그 결과 80개의 cable 걸친 Vmon 측정을 통해 최소 전압을 측정하였으며, 80개의 cable 모두에서 최소 동작 전압인 30mV 이상의 전압이 검출됨을 확인 할 수 있었다.

## REFERENCE

1. B. A. Beault, J. C. (Jay) Diepenbrock, and S. Connor, EMI emissions from mismatches in high speed differential signal traces and cables, in 2007 IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat., Honolulu, HI, July 9–13, pp.1–6.
2. [http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_interference#History](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_interference#History)., 전자기 간섭
3. 윤현재, 강현서 “광 HDMI 인터페이스용 2채널 광 송신기 광학 설계” 한국광학회지 2015.09, pp. 269~274
4. N. Schleppe, M. Nishigaki, H. Uemura, H. Furuyama, Y. Sugizaki, H. Shibata, and Y. Koike, “Optoelectronic high-speed HDMI cable with compact optical sub-assembly and 4 - 3.4 Gbit/s plastic optical fibre link,” Electron. Lett. 48, 1611–1613 (2012).
5. Z. Luo, Z. Zhu, and H. Zhang, “HDMI optical extender based on parallel optical transmitter and receiver,” in Proc. Photonics and Optoelectronics Meetings (POEM) 2009: Fiber Optic Communication and Sensors (Wuhan, China, 2009), 75141H.
6. S.-C. Liu, R. R. Liu, W.-P. Chen, C. Z. Wu, and J.-S. Pan, “Optical sub-assembly solution for single fiber optical HDMI connector,” Proc. Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers XIII, 722906 (2009).
7. Y. Kuhara, Y. Fujimura, H. Nakanishi, Y. Iguchi, H. Terauchi, and N. Yamabayashi, “A coaxial-type 1.3/1.55  $\mu\text{m}$  WDM-PD module for optical access networks,” IEEE J. Lightwave Technol. 14, 2374–2381 (1996).



8. 김복현, 안태정, 허 중, 신동욱, 한원택 “UV 폴링용 Ge와 B가 첨가된 실리카 유리 광섬유 제조 및 특성 평가” 한국세라믹학회지 2002.11, pp. 1158~1163
9. A. B. fedotov, A. M. Zheltikov, A. P. Tarasevitch, and D. von der Linde, "Enhanced spectral broadening of short laser pulse in high-numerical-aperture holey fibers," *applphys. B* 73, 181-184, 2001.
10. Jinendra K. Ranka, Robert S. Windeler, and Andrew J. Stentz, "Visible continuum generation in air silica micro-structure optical fibers with anomalous dispersion at 800nm," *Opt. Lett.*, vol. 25, no .1, 25-27, 2000.
11. T. A. Birks, J. C. Knight, and P. St. J. Russell, "Endlessly single-mode photonic crystal fiber," *Opt. Lett.*, vol. 22, no.46, 961-963, 1997
12. Niels Asger Mortensen, "Effective area of photonic crystal fibers," *Opt. Express*, vol. 10, no .7, 341-348, 2002.
13. 박필성, 이재욱, 이택경, 조춘식, 김재홍, 최형도, "소형 및 변형된 접지 면을 이용한 신호선 복사성 복사 레벨의 감소 방법," 전자파학회지 2006. 12.
14. T. M. Shang, S. H. Lee, and P. Sebastian, Signal integrity analysis for high speed digital circuit, in *릿 Int. Conf. Intelligent and Advanced Systems*, Kuala Lumpur, Malaysia, June 15-17, 2010, pp. 1-6.
15. S. Malisuwan and V. Ungvichian, A study of cross-talk applied to ultra-high-speed parallel lossy micro-strip and strip-lines with shielding effectiveness, in *1999 IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat.*, Tokyo, Japan, May 17-19, pp. 742-745.
16. D. A. B. Miller and H. M. Ozaktas, Limit to the bit-rate capacity of electrical interconnects from the aspect ratio of the system architecture,

in Journal of Parallel and Distributed Computing, vol. 41, Feb. 25, 1997, pp. 42-52.

17. L. D. Smith, R. E. Anderson, D. W. Forehand, T. J. Pelc, and T. Roy, Power distribution system design methodology and capacitor selection for modern CMOS technology, IEEE Trans. Adv. Packag., vol. 22, no. 3, pp. 284-291, Aug. 1999.

18. S. Deng, T. Hubing, and D. Beetner, Estimating maximum radiated emissions from printed circuit boards with an attached cable, IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 50, pp. 215-218, Feb. 2008.

19. S. A. Pignari and A. Orlandi, Long-cable effects on conducted emissions levels, IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 45, no. 1, pp. 43-54, Feb. 2003.

20. D. Moongilan, Method of partial shielding for controlling cable radiated emissions, in 2002 IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat., vol. 1, Aug. 2002, pp. 227-232.