

# 광통신부품의 시험 기술 동향

Trends in Testing Technology of Optical Communication Components

광통신기술 특집

허영순 (Y.S. Heo)      신뢰성연구팀 연구원  
이혜진 (H.J. Lee)      신뢰성연구팀 연구원

## 목 차

- .....
- I. 서론
  - II. 광통신 기술
  - III. 광통신부품 표준화 기술 동향
  - IV. 광통신부품의 시험 기술
  - V. 결론

국내에서는 1995년부터 초고속정보통신망 구축을 통해 인터넷 사용자가 폭발적으로 증가하였고 이에 따라 정부는 지식정보화 시대의 인프라 구축을 위해 관련 정책을 개선해 왔다. 최근 FTTH 망 구축으로 광통신부품 시장이 다시 한번 도약기를 맞이하여 광통신 산업 육성 및 기술개발이 필요하며, 광관련 기업체는 광통신 부품에 대한 국제적으로 공인된 신뢰성 확보 및 표준화 활동이 절실히 요구되고 있다. 본 고에서는 광통신 기술 및 현황에 대해 간략히 살펴보고, 최근의 광통신 부품을 둘러싼 표준화 동향과 광통신부품 시험 기술동향에 관하여 기술하고자 한다.

## I. 서론

국내에서는 1995년부터 진행된 초고속정보통신망 구축 계획에 따라 추진된 각종 정보화 사업에 의하여 인터넷 사용자가 폭발적으로 증가해 왔다. 이제 국내의 초고속인터넷 서비스 시장은 초기 시장형성 단계를 지나 본격적인 성장 단계에 접어들었다고 볼 수 있다. 이에 따라 정부는 관련 망 고도화, 도메인 관리체계 개선 등 각종 지식정보화 시대의 인프라 구축을 위해 관련 정책을 개선하고 있다[1]. 이와 더불어 한동안 기술의 고도화에만 집중되어 있던 광통신 부품관련 연구개발의 방향은 시장 및 경제원리를 감안한 개발 전략으로 수정, 보완되고 있다.

그 동안 지속적으로 진행된 통신장비의 저가격화는 장거리 광통신 기술에 치중되어 있던 high-end 시스템 기술 발전에서 메트로 및 광가입자망 포설을 촉진시키는 결과를 가져왔다. 2002년, 세계 최대의 인터넷망 운영업체이자 미국 2위의 장거리 전화 사업자인 월드컴(WorldCom)의 파산 이후 세계 광통신 관련 시장이 급격히 냉각되면서 신규 네트워크 증설 시장도 크게 위축되었지만, 최근 국가간 경쟁적으로 추진중인 FTTH 망 구축은 통신기술 그리고 광통신부품의 상용화를 가속화하는 데 결정적인 기여를 하고 있다. 각 가정 당 최소 100 Mbps급으로 양방향 다양한 서비스 제공을 목표로 하는 FTTH 시장은 아시아, 특히 일본을 중심으로 급속히 팽창하고 있다. 이에 따라 장·단거리를 막론한 시스템 고도화는 초고속 데이터 전송을 위해 매우 중요하게 인식되었으며 이와 관련한 핵심 광통신부품 기술은 IT 산업의 인프라로서의 역할을 충분히 담당할 것으로 기대된다. IT 기술 산업 발전의 최 첨병으로 평가 받고 있는 광통신 관련 산업에서 고부가가치를 생산하기 위해서는 선진국의 기술 종속에서 벗어나기 위한 끊임없는 연구 개발이 필요하다. 현재 광통신부품 산업 전반을 돌아보면, 첨단 융합, 복합화 기술의 성공 없이는 날로 발전하는 광통신 시장에서 소외를 면치 못할 것으로 예상되고 있다. 이 부분에서 다소 아쉽지만 현재 우리나라 광통신 및 부품 개발

수준으로 볼 때, 기술개발 전반을 개별 중소기업의 몫으로 남겨두기에는 경쟁력 상실이 우려되고 있는 실정이다.

이처럼 정보통신 산업의 경쟁력 강화를 위해서 국제적으로 공인된 신뢰성 시험 및 분석 서비스와 공정, 설계 및 고장분석 등 개발기술 제공을 통한 광통신 산업 육성, 기술개발의 필요성과 중요성이 더한층 요구되고 있다. 또한 이러한 요구사항에 부합하기 위해서는 광 관련 업체들 사이에 보다 체계적이고 기능적인 협조체제가 구축되어야 하며, 광통신과 관련하여 국가적 차원의 정보통신 표준개발 및 표준화 활용의 강화를 위한 기반구조의 표준화 연구도 필요하다.

이에 본 고에서는 먼저 광통신 기술에 대하여 간략히 살펴 보고, 최근의 광통신 부품을 둘러싼 기술 표준화 동향을 살펴본 다음 주요 광통신 부품별 시험 기술 동향은 어떠한지, 그리고 앞으로의 전망은 어떠한지에 대해 살펴 보았다.

## II. 광통신 기술

### 1. 광통신의 기본구조

광통신은 빛을 이용하여 정보를 전송하고 교환하는 것을 말한다. 빛을 정보전달매체로 하여 통신에 이용하는 개념은 인류의 역사 속에서 어렵지 않게 찾아볼 수 있는데, 예를 들어 고대 그리스인들이 거울로 빛을 반사하여 간단한 메시지를 전달한 것에서 시작하여 BC 800년경에 이르러 중국에서 봉화가 처음 등장하여 거울에 의한 시간 및 거리의 제약을 어느 정도 극복하면서 효과적인 통신 수단으로 자리 잡을 수 있었다. 그 후 19세기 유럽 해군들 사이에서는 램프를 이용하여 모르스 부호로 의사를 전달하였는데, 이것은 전송거리의 한계에도 불구하고 신호를 부호화했다는 점에서 디지털 통신의 시조로 볼 수 있다.

오늘날은 햇빛이나 봉화 혹은 램프 대신 coherent 한 레이저 광원을, 거울이나 봉수대 대신 광섬유를

이용하여 광통신을 실현하고 있다.

광통신 시스템은 빛을 정보전달 매체로 사용하는 광섬유를 전송회선으로 하여 전기신호를 광신호로 바꾸어 정보를 전달하는 통신 시스템을 말한다. 광통신의 진행 과정은 전송하고자 하는 문자, 음성, 화상과 같은 비전기적 신호를 전기 신호로 변환하고 이 전기 신호를 레이저, 포토(광) 다이오드 등에 입력하여 빛으로 변환하는 과정, 즉 신호(정보) → 전기 신호 → 광신호 → 전기 신호 → 신호(정보)의 단계를 거쳐 정보를 전송한다. 이러한 정보 전송은 여러 가지 광부품을 거쳐 진행되는데, 기본 요소로는 발광/수광 소자와 광섬유가 있다.

광통신에서 사용되는 부품은 보통 능동소자와 수동소자로 구분되는데, 간단히 전기적 에너지를 공급받아 동작하는 소자를 능동소자라 하며 그렇지 않은 소자를 수동소자라고 한다.

능동소자는 전원 또는 광원의 공급에 의해 광의 세기를 증폭하거나 새로운 파장의 빛을 발하는 특징을 가지고 있는데, 대표적으로 광원을 발광하는 LED와 이 빛을 수광하는 PD, 광증계장치, 광증폭기, 송수신장치, 시분할장치, 광변조기 그리고 광스위치 등이 있다. 우리나라의 경우 삼성전자와 LG전자가 광증폭기 및 송수신장치용 LD 모듈 등의 개발에 집중하고 있으며 전자부품연구원, 한국전자통신연구원, 한국과학기술원 등도 시제품 개발이 가능한 기술력 확보에 심혈을 기울이고 있다. 일본, 미국 등 선진국은 이미 10 Gbps급 고품격 광변조기의 상용화를 마치고 Tbps급 기술 개발을 추진하고 있는 실정이다. 이와 더불어 광스위치 기술인 PLC 기술 개발도 함께 진행중에 있다[2].

수동소자는 광의 경로를 바꾸거나, 세기를 줄이거나, 특정한 파장의 광을 추출하거나, 광섬유와 광섬유 또는 광부품을 연결하는 기능을 수행하는 광통신 시스템에 사용되는 광소자이다. 자체적인 증폭이나 발진 없이, 굴절률의 변화 등의 물질 특성 변화에 의해 광신호의 경로나 특성을 바꾸거나 단순히 물리적으로 광의 경로를 연결해주는 특징을 갖는다. 신호의 경로나 특성을 바꾸는 것으로 광스위치, 광변

조기, 광감쇠기, 광필터, WDM 합분파기 등이 있으며, 물리적으로 광의 경로를 연결해주는 것으로 광 커넥터, 광커플러 등이 있다. 국내에서는 한국전자통신연구원에서 MEMS 기반의 광스위치를 사용한 2.4 Tbps급의 OXC 전송 시험에 성공하였고, 파장 분할 기술인 WDM을 이용하여 1.6 Tbps급까지 기술개발을 완료했다[2].

## 2. 광통신의 현황

세계 광통신 부품 시장은 1990년대 중반부터 2000년 초까지 통신 네트워크 수요 증가에 따라 고 성장을 이루었다. 하지만 2000년을 기점으로 매년 30% 이상의 마이너스 성장과 함께 관련 기업들의 매출감소와 수익성 저하로 이어졌고, 이는 광통신 부품업체들의 사업정리 및 인원감축 등 구조 조정을 가속화하는 계기가 되었다. 그러나 2004년부터 차세대 광전송장비에 대한 수요가 증가함으로 인해 조금씩 성장추세로 돌아서고 있고, 최근 전세계적인 FTTH 구축의 빠른 성장세는 침체된 광부품 산업에 새로운 성장동력 마련의 계기가 되었다.

시장조사회사인 Paul Budde Communication에 의하면 세계 FTTH 회선은 아시아가 64%, 유럽/중동이 24%, 북미가 12%를 차지하고 있고, 이는 주로 일본이 주도하고 있는 것으로 조사되었다. 우리나라는 KT가 2005년 하반기부터 단독주택을 대상으로 한 FTTH 시범 서비스를 실시했고, 2009년까지 175만 회선의 광케이블 보급 계획을 밝히고 있다. 전자부품연구원의 보고서에 의하면 국내 FTTH 서비스 가입자 수는 2006년 24만 가구를 시작으로 2010년에는 약 600만 가구로 증가할 것으로 내다봤고, 이에 따라 관련 시장도 급성장해 2006년 2492억 원, 2010년에는 2조 145억 원으로 크게 성장할 것으로 전망했다[1].

국내 시장에서는 과거 광전송 장비 업체가 다국적 기업에 밀려 장비의 개발 상황이 늦어지고 있으나, 2007년 KT에 14억에 달하는 서부망 Komet 백본 광전송 장비를 공급 계약 체결한 SNH나, KT, SK

에 제품을 공급하고 있는 텔러필드 등이 제품개발에 박차를 가하고 있고, 특히 일본동경전력에 FTTH 장비를 공급하고 있는 콤텍시스템과 같이 벤처 기업의 시장 진출로 인해 해외 기업들과 경쟁하고 있는 사례도 있다. 전반적으로 꾸준한 데이터 트래픽 증가로 인하여 장비 교체 및 망 확장에 대한 요구가 진행되고 있고, 공공기관 및 기업체의 신규투자가 증가하고 있다. 이러한 결과로 대용량 전송이 가능한 WDM 광전송 장비가 도입되어 향후 WDM 기술 기반의 광전송망 구축이 확대될 전망이다. 그러나 다국적 장비 업체들의 높은 기술력과 브랜드 인지도 및 자본력, 마케팅 능력 때문에 대다수 국내 광통신 관련 업체들은 사실상 경쟁이 거의 불가능한 상황이다. 이를 극복하기 위하여 국내 업체들은 가능성 있는 분야에 대한 집중적인 기술 개발과 투자로 제품 경쟁력을 확보하고, 틈새시장을 적극적으로 공략해야 한다. 그러므로 이미 외국 회사가 점령하고 있는 코어 장비보다는 비용 대비 성능이 우수한 차세대 광가입자 전송장비 분야 등에 투자를 집중하는 전략이 필요할 것이다[1].

### Ⅲ. 광통신부품 표준화 기술 동향

#### 1. IEC TC86 동향

IEC TC86, 광섬유 광학은 1984년 12월에 만들어진 표준화 위원회로 미국, 일본, 한국 등 29개국이 회원국으로 참여하고 있다. 현재 내부에 3개의 소위원회, SC86A, SC86B, SC86C와 각 소위원회 내에 작업반(WG)으로 구성되어 있다. TC86은 광섬유 광학 시스템, 모듈, 장비, 부품을 통신용 장비와 사용하기 위해 표준화 준비를 목적으로 하며 광통신용 용어 및 기호, 교정, 시험, 측정 방법과 신뢰성 있는 시스템 성능 및 동작을 보장하기 위한 기능적 인터페이스, 광학적, 환경적, 그리고 기계적인 요구사항 등을 다루고 있다[2],[3]. 소위원회 SC86A(광섬유 및 케이블)는 단일모드 광섬유와 멀티모드 광섬유 및 옥내·외 케이블의 시험, 측정방법 등을 다루고 있

〈표 1〉 IEC TC86(광섬유 광학) 일반 현황

구분	내용
의장	Dr. Umberto ROSSI(이탈리아)
간사	James E. Matthews Ⅲ(미국)
작업범위	- 광섬유 통신 시스템, 모듈, 기기 및 부품에 관한 국제표준 - 용어, 특성평가, 시험/교정/측정방법, 광학적/환경적/기계적인 요건
회원국	- 미국, 독일, 일본, 한국, 캐나다 등 29개국
규격 수	- IEC 60793 등 332종(TC86 7종, SC86A 87종, SC86B 163종, SC86C 75종)
소위원회 및 작업반	- WG1: 용어 및 기호 - WG4: 시험장비교정 - WG9(with TC91): 전자조립을 위한 광학적 기능 - SC86A: 광섬유 및 케이블 - SC86B: 광섬유 연결 장치 및 수동 소자 - SC86C: 광섬유 시스템 및 능동 소자

<자료>: IEC Strategic Policy Statement.

으며 현재 WG1(광섬유 및 측정방법), WG2(케이블)에서 87종의 국제표준을 제정했다. SC86B(광섬유 연결장치 및 수동 부품)는 5개의 WG를 가지고 있으며 광상호 접속 및 수동소자 등에 관한 국제 표준을 163종 제정하였으며 최근에는 수동소자의 분산 특성이나 전송지연 특성 평가에 대해 표준화를 진행중이다. SC86C(광섬유 시스템 및 능동 소자)는 4개의 WG(WG1: 광통신 시스템 및 서브시스템, WG3: 광증폭기, WG4: 능동소자 및 부품, WG5: 다이나믹 모듈 및 소자)를 통해 광섬유 시스템 및 능동소자를 위한 75종의 국제표준을 제정하였다. 최근에는 MEMS 기술을 이용한 Tilt Equalizer, 초소형 광스위치 등에 대한 표준화가 진행중이다[2].

#### 2. ISO/IEC JTC 1/SC 25 동향

JTC 1/SC 25는 1989년에 만들어진 표준화 위원회로 마이크로프로세서 시스템, 인터페이스, 프로토콜, 아키텍처, 네트워크와 정보기술 기기를 위한 상호연결 미디어와 관련된 표준화에 초점을 두고 있다[2]. 현재 3개의 WG(WG1: Home Electronic System, WG2: Customer Premises Cabling, WG3: Interconnection of Computer Systems and Attached Equipment)과 1개의 PT(Project

Team for Taxonomy and Terminology)로 구성되어 있다. JTC 1/SC 25는 150여 개의 프로젝트를 진행하고 있으며 IEC 또는 IEC/ISO 표준, 기술적인 보고서, 개정안을 포함하여 94종을 발간하였다. WG1은 게이트웨이 프로젝트뿐만 아니라 네트워크에서의 Home Electronic 시스템 아키텍처, 제품 정보 처리 상호 운용, 데이터 보안 등에 대해 16종이 표준을 제정하였다. WG3은 광통신기술과 관련하여 국내 케이블링 광케이블과 홈 네트워크에 사용될 광케이블에 대한 표준화를 추진하여 4종의 국제 표준화를 발간하였다. 음성, 데이터, 비디오 그리고 빌딩 자동화를 포함한 다양한 응용 분야를 지원하고 있다. WG4는 컴퓨터 시스템과 컴퓨터 주변장치와의 상호 연결을 위한 마이크로프로세서 시스템과 프로토콜의 표준화를 추진하고 있으며 8종의 표준화를 제정하였다. PT는 ITU-T, IEC와 JTC 1의 SC와 공통으로 일하고 있으며 지능형 홈을 위한 표준화를 추진하고 있다.

### 3. TIA TR-42 동향

TR-42는 상업적 빌딩, 주거용 빌딩, 가정, 데이터센터 산업 빌딩 같은 곳에서 사용되는 통신케이블 시설을 위한 통신분야의 표준화를 개발하고 유지하고 있다[4]. 통신케이블의 위치를 결정하기 위해 특성뿐만 아니라 일반적인 케이블링 토폴로지, 디자인 구성에 초점을 맞추고 있다. 위원회의 표준화 작업은 구리와 광섬유 케이블링 부품(케이블, 커넥터, 케이블 어셈블리), 설치, 그리고 필드 시험을 위한 요구사항을 포함하고 있다.

TR-42는 2008년에 4개의 SC와 8개의 GW로 구성되어 있는 FO-4와 통합되어 TR-42.11(FO-4.1 Optical System); TR-42.12(FO-4.2 Optical Fibers and Cables); TR-42.13(FO-4.3 Passive Optical Devices and Components); TR-42.15(FO-4.5 Fiber Optic Metrology)로 되었으며 현재까지 총 486종의 표준화를 제정하였다. TR-42의 표준화 분야를 <표 2>에 나타내었다. TR-42.11의 SC(단일모드 시스템)는 하나의 WG를 가지고 있으며

<표 2> TIA TR-42 표준화 현황

구분	내용
의장	- Paul Kolesar(TR-42.11)
	- Tom Hamson(TR-42.12)
	- Greg Sandels(TR-42.13)
	- Dave Fisher(TR-42.15)
작업 범위	- 광섬유 시스템, 광섬유 및 케이블, 수동 소자 및 부품, 시험/교정/측정 방법에 관한 국제 표준
규격 수	- TIA/EIA 455 등 486종(FO-4 433종, FO-4.1 5종, FO-4.2 10종, FO-4.3 35종, FO-4.5 3종)
소위원회	- TR-42.11(FO-4.1): 광학 시스템
	- TR-42.12(FO-4.2): 광섬유 및 케이블
	- TR-42.13(FO-4.3): 수동 소자 및 부품
	- TR-42.15(FO-4.5): 광섬유 계측

point-to-point와 point-to-multipoint 전송을 위한 단일모드 시스템과 파라미터 등에 초점을 두고 있으며 광증폭기 파라미터, 감쇄, 반사, 색 분산, 편광모드 분산, 비선형 효과, 디지털 시스템: BER, 아이패턴, 소광비, 지터, 파워 패널티 등의 측정을 위한 시험 절차 표준화 개발 및 유지하고 있다. TR-42.12(광섬유 및 케이블)는 3개의 WG를 가지고 있으며 디지털 멀티모드 시스템의 위원회는 광섬유, 부품, 서브 시스템, 시스템, 네트워크 부분의 멀티모드에 초점을 두고 있다. 인터커넥팅 기기 및 그와 관련된 부품에 관련된 TR-42.13은 광 인터커넥팅 기기와 커넥터, 케이블 어셈블리, 스플라이스 같은 관련된 부품의 표준화를 개발하고 유지하는 것을 목적으로 하고 있다. 특히 중요한 점은 표준화 채택을 위해 IEC에 의해 개발된 표준화와 기술적인 내용을 일치시키는 것에 중점을 두고 있다. 광섬유 계측학에 관련된 TR-42.15는 광섬유 광학 시험, 측정 그리고 기기 기능성 검사 및 기기 교정, 시험절차 및 시험방법 등에 초점을 두고 있다.

## IV. 광통신부품의 시험 기술

### 1. 광통신부품 시험 기술 동향

광통신 부품 시험은 일반적으로 Telcordia 문서를 기준으로 수행한다. Telcordia는 1984년에 Bell System사를 근간으로 형성된 회사이며, 통신 산업



의 표준화에 많은 노력을 기울이고 있다. 또한 광통신부품의 성능에 대한 규격 및 신뢰성 시험에 대한 규격서를 제정(GR series)하였으며, Telcordia 시험 규격이 IEC와 같은 국제 규격과 더불어 산업표준으로 사용되고 있다. Telcordia에서 시험 규격을 개발한 광통신부품으로는 광커플러, 광필터, 광써큘레이터, 광아이솔레이터, 광점퍼코드, 광커넥터, 광감쇠기와 광터미네이터 등의 수동부품과 광수신기, 광송신기와 증폭기 등의 능동부품으로 이들 규격에 대해서는 전 세계적으로 표준화 되어 있지 않지만 가장 널리 사용되고 있는 실정이다. Telcordia 규격서에서 광통신 부품의 시험 절차는 앞 절에서 언급한 IEC, TIA에서 표준화로 제정한 시험 절차에 따라 각 부품의 특성 및 신뢰성 시험을 수행하도록 하고 있으며 국제 규격에 따라 광통신부품의 시험을 수행하는 기관은 ETRI, KRIS, KTL, KOPTI 등이 있고, ISO/IEC 17025라는 국제표준에 따라 시험소로 인정을 받아 광통신부품의 시험을 수행하고 있다.

광통신부품의 특성 측정 항목은 부품별로 다양하다. 수동부품의 경우 일반적으로 삽입손실, 반사손실, 편광의존손실, 편광모드분산(PMD), 파장대역, 방향성, 아이솔레이션 등을 측정하고 능동부품의 경우 레이저다이오드는 파장, 광 출력, 문턱전류, 선형성 등을 측정하며 포토다이오드는 광전류, 암전류, responsivity, 증폭기는 이득, 잡음지수 등이 대표적인 측정 항목이다.

다양한 시험 항목 중 PMD는 광증폭기를 이용하는 고밀도파장다중(DWDM) 시스템 및 장거리 광해저 케이블시스템 등에서 전송거리를 제한시키는 중요한 문제가 된다. 따라서 다양한 측정 항목 중에서 장거리, 고속 전송 시스템에서 중요한 문제로 대두되고 있는 PMD를 측정할 수 있는 다양한 시험 기술 [5],[6]에 대해 2절에서 논의하고자 한다.

## 2. 편광모드분산(PMD) 측정 기술

편광모드분산(PMD)은 이상적인 원형 코어를 가지는 싱글모드 광섬유에서는 PMD가 발생하지 않으나

통상적인 광섬유에서는 코어가 타원화되어 있거나 또는 각종 응력, bending, torsion, 장력 및 온도 변화에 의한 열 변형력 등에 의한 복굴절이 있어 PMD가 발생한다. 이러한 광섬유의 PMD 측정 방법은 다양하지만 본 절에서는 존스 매트릭스법, 포앙카레구법, 편광상태법 세 가지 경우에 대해 살펴본다.

첫째, JME법은 파장가변레이저와 stokes 파라미터를 구하는 스톡스 분석기(stokes analyzer) 등의 편광해석기(polarimeter)로 구성되어 있다. 피측정 광다이바이스에 기지의 서로 다른 세 종류의 직선편광을 입사시켜 세 개의 출사광의 존스 벡터로부터 피측정 광다이바이스의 존스 매트릭스를 계산한다. 본 측정계에서는 입사편광상태를 0°, 45° 및 90°의 직선편광으로 한다. 각 출사광의 존스 벡터를

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

라 한다면 이를 이용하여 존스 매트릭스 T를 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$T = \beta \begin{bmatrix} k_1 k_4 & k_2 \\ k_4 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

단,  $\beta$ 는 복소상수이며

$$k_1 = \frac{x_1}{y_1}, k_2 = \frac{x_2}{y_2}, k_3 = \frac{x_3}{y_3}, k_4 = \frac{x_4}{y_4} \quad (3)$$

두 파장의 각 주파수  $\omega_1, \omega_2$ 에서의 존스 매트릭스  $T(\omega_1), T(\omega_2)$ 로부터  $T(\omega_1)T^{-1}(\omega_2)$ 를 계산함으로써 고유값  $\rho_1, \rho_2$ 를 얻을 수 있다. 이에 따라 PMD  $\Delta\tau$ 는 (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\Delta\tau = |\tau_1 - \tau_2| = \left| \frac{\text{Arg}\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)}{\Delta\omega} \right| \quad (4)$$

단,  $\text{Arg}(\rho_1/\rho_2)$   $\rho_1, \rho_2$ 의 위상차,  $\Delta\omega = |\omega_1 - \omega_2|$

JME법은 임의의 파장에 대한 균지연 시간의 평균값을 측정값으로 한다.

둘째, 포앙카레구(Poincare Sphere(PS))법의 측정계는 JME법처럼 파장가변레이저와 스톡스 변수

를 구할 수 있는 스톡스 분석기 등의 편광해석기로 구성되어 있다. 편광상태(SOP)를 지구본을 이용해 표현한 것으로, 북극과 남극은 원편광, 적도는 직선 편광, 적도 위에서 극까지는 타원편광을 각각 나타낸다. 포앙카레구 상에서 SOP가 그리는 궤적의 원호(arc) 한 바퀴를 위상차  $2\pi(360^\circ)$ 로 하여 PMD를 구하는 방법이다.  $S_1$ ,  $S_2$  및  $S_3$ 은 스톡스 변수라 하여  $S_1$ 은  $0^\circ$ 의 직선편광(적도와 평행),  $S_2$ 는 적도면에 대해  $45^\circ$ 의 직선편광,  $S_3$ 은 원편광을 나타낸다.

포앙카레구 상의 임의의 두 점의 파장과 이에 대한 스톡스 변수의 회전각으로부터 PMD를 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$\Delta\tau = \frac{\Delta\phi}{\Delta\omega} = \frac{\Delta\phi}{2\pi\Delta f} = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \frac{\lambda_1\lambda_n}{\{c(\lambda_n - \lambda_1)\}} \quad (5)$$

단,  $\Delta\phi$ 는 파장에 대한 스톡스 벡터의 포앙카레구 상의 회전각이다.

셋째, SOP법의 측정계는 포앙카레구법과 같으며 파장가변레이저와 스톡스 변수를 구하는 스톡스 분석기의 조합 외에도 파장가변레이저와 광 파워미터의 조합 및 백색광원(할로겐램프 등)과 회전형 분석기와 록인 증폭기의 조합으로 구성되어 있다.

파장가변 레이저와 스톡스 분석기의 조합 측정계의 경우 파장가변레이저에서 나온 빛은 편광 컨트롤러에서 임의의 편광상태로 만들어져 피측정광 디바이스로 입사된다. 피측정광 디바이스에서 나오는 출사광은 스톡스 분석기 등의 편광계에서 4개의 성분으로 분기수광 된다. 첫번째 성분( $I_1$ )은 1/4 파장판을 통과한 것이고, 두번째 성분( $I_2$ )은 편광소자를 통과한 것, 세번째( $I_3$ ), 네번째 성분( $I_4$ )은 편광 광속분 할기(PBS)에서 서로 직교하는 직선편광으로 분기된 것이다. 이들 4개의 성분을 이용하여 스톡스 변수를 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_0 &= I_1 + I_2 \\ S_1 &= I_1 - I_2 \\ S_2 &= 2I_3 - (I_1 + I_2) \\ S_3 &= 2I_4 - (I_1 + I_2) \end{aligned} \quad (6)$$

또한 이들 스톡스 변수로부터 출사광의 SOP를 타원율  $\eta$ 를 이용하여 (7)로 표현할 수 있다.

$$SOP = \frac{1-\eta^2}{1+\eta^2} \quad (7)$$

단, 파장가변 레이저와 스톡스 분석기의 조합 측정계의 경우

$$\eta = \tan \left[ 0.5 \tan^{-1} \frac{S_3}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}} \right] \quad (8)$$

파장가변레이저와 광 파워미터의 조합 및 백색광원(할로겐램프 등)과 회전형 분석기와 록인 증폭기의 조합 측정계의 경우

$$\eta = \frac{I_{\min}}{I_{\max}} \quad (9)$$

여기서  $I_{\max}$  및  $I_{\min}$ 은 타원편광의 최대 및 최소 광 파워이다. SOP법은, 파장에 대한 SOP 궤적의 극값(피크)과 극값(피크)의 파장간격을 위상차  $\pi(180^\circ)$ 로 하여 PMD를 구하는 방법이다. 세로축인 SOP의 변화는 SOP=1.0일 때 직선편광을, SOP=0일 때 원편광을, 1~0 사이일 때 타원편광을 나타내고 있다.

파장 변화에 따른 SOP의 주기적 변화를 이용해 PMD를 구하는데 SOP의 1주기는 편광상태의 1/2 주기를 나타내므로 PMD는 (10)과 같이 표현된다.

$$\Delta\tau = \frac{\Delta\phi}{\Delta\omega} = \frac{N\pi}{2\pi\Delta f} = \frac{(n-1)}{2} \frac{\lambda_1\lambda_n}{\{c(\lambda_n - \lambda_1)\}} \quad (10)$$

$\Delta\phi$ : 위상차

$\Delta\omega$ : 각 주파수 차

$N$ : 위상차  $\Delta\phi$ 가  $\pi(180^\circ)$ 가 되는 주기 수( $n-1$ )

$n$ : 극값의 수

$c$ : ( $\approx 3 \times 10^8$  m/s)

$\lambda_1$  및  $\lambda_n$ : 1번째 및  $n$ 번째 극값에서의 파장

## V. 결론

광가입자망(FTTH) 서비스를 원활하게 제공할 수 있는 광통신망 인프라 구축을 위하여 지금의 광통신 시스템의 기술적인 한계를 극복하고 네트워크 유연성을 제고하는 신개념의 광통신부품 개발이 요구되고 있다. 이를 위해 WDM 기술을 근간으로 하

는 다양한 광가입자망 구축이 시도되고 있고 이를 구현하기 위한 광통신부품은 그 수와 복잡성이 날로 증가하고 있다. 이러한 광통신부품 기술 발전에 있어서 그 기준이 되는 특성 평가요소와 이를 평가하는 방법 및 부품의 신뢰성을 보장하기 위한 환경적, 기계적 시험방법은 광통신부품의 품질 향상에 커다란 영향을 미칠 것으로 예상된다.

광통신부품에서부터 광통신시스템까지 광범위한 요소기술이 필요한 광통신산업의 표준화를 위해서는 많은 노력이 필요하다. 특히 광통신부품은 핵심 기술과 신뢰성 기술을 동시에 확보하고 있지 못하면 표준화 참여 기회조차 얻지 못하므로 광통신 기술개발을 통한 핵심기술 확보와 표준화가 동시에 병행되어야 한다.

따라서 광통신 관련 부품 및 시스템에 대한 체계적이고 효율적인 서비스를 제공하기 위해서는 광 관련 업체들 사이에 보다 체계적이고 기능적인 협조체제가 구축되어야 하며, 광통신과 관련하여 국가적 차원의 정보통신 표준개발 및 표준화 활용을 강화하기 위한 기반구조의 표준화 연구도 필요할 것이다.

● 용어해설 ●

**FTTH(Fiber to the Home):** ‘가정 내 광케이블’ 혹은 ‘덕내 광케이블’로 불리는 광케이블 가입자망 방식으로 초고속 인터넷 설비 방식의 한 종류이다.

**PMD(Polarization Mode Dispersion):** 편광모드분산은 광섬유 내의 불균질물에 의해 생기는 현상으로 두 개의 편파간에 균지연 시간차가 생겨 광펄스가 퍼지는 현상을 말한다.

## 약어 정리

BER	Bit Error Rate
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplex
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization of Standardization
JME	Jones Matrix Equation
LD	Laser Diode
LED	Light Emitting Diode
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
PBS	Polarization Beam Splitter
PD	Photo Diode
PLC	Planar Light-wave Circuit
PMD	Polarization Mode Dispersion
OXC	Optical Cross Connect
SC	Subcommittee
SOP	State of Polarization
TC	Technical Committee
TIA	Telecommunications Industry Association
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WG	Working Group

## 참고 문헌

- [1] “주요국 광통신 장비 및 부품시장 분석,” IT전문협의회, 2008년 3월.
- [2] 배진석, “핵심기술 확보와 표준화 병행되어야,” 기술표준원 부품소재 Special Theme, 2007년 12월호.
- [3] “IEC Strategic Policy Statement,” IEC, USA, Jan. 2007.
- [4] “2007-2008 TIA Standards and Technology Annual Report,” TIA, 2007.
- [5] Yosinori Namihira, “DWDM 광측정기술,” 2001.
- [6] “Polarization Mode Dispersion Measurement for Single-Mode Optical Fibers by Stokes Parameter Evaluation,” TIA Standard, TIA-455-122-A, 2002.