

Optical SDN구현을 위한 Metro용 Port-agnostic 광송수신 기술 개발

(Development of Port-agnostic optical transceiver for Metro-SDN)

박미란, 권오균
한국전자통신연구원

요약

최근 유무선 데이터 트래픽 증가에 따른 추가 설비 비용 등의 증대는 수익성이 정체인 통신 산업체에 부담을 가중시키고 있다. 폭증하는 신규 서비스 대응과 산업체의 수익성을 동시에 확보하기 위해서 기존 망자원의 효율화 증대 및 고성능화하기 위한 방안으로 Optical SDN 시스템 및 부품 기술경쟁이 심화되고 있다. 본고에서는 이러한 요구 사항을 해결하고 국내 광네트워크 산업의 재도약을 위한 광부품 기술개발로써, 미래부 주관 차세대 통신 네트워크 산업 원천기술개발 사업인 ‘Optical SDN 구현을 위한 Metro용 Port-agnostic 광송수신 기술 개발’에 대한 기술을 소개하고 과제의 주요 연구 목표 및 내용인 100G coherent 광송수신 기술, 핵심 요소 부품기술에 대하여 소개함으로써, 향후 과제에서 개발 진행 중인 기술과 연계된 국내 광부품 산업체들이 고려해야할 주요 글로벌 기술 이슈 사항들과 본 과제에서 중점적으로 수행중인 내용을 간략히 소개하고자 한다.

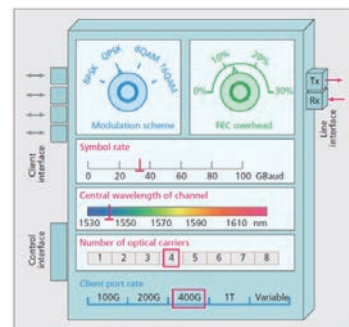
I. R&D 개요 및 필요성

글로벌 정보량은 신규 멀티미디어 서비스의 증대로 2018 년에 1.5 ZB 에 도달할 것으로 예측 (Cisco VNI Global Traffic Focast)되며 네트워크 트래픽은 지속적으로 폭주할 것으로 예측된다. 하지만 네트워크 사업장, revenue는 오히려 정체되는 것으로 전망되어 네트

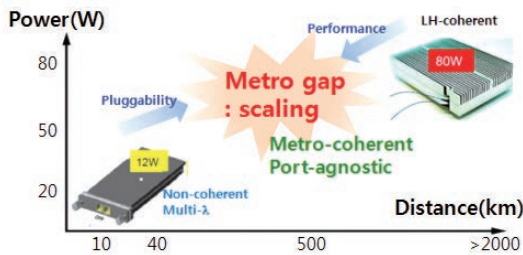
워크 자원의 효율화와 아울러 시스템의 고속화, 유연화, scaling화, 소형화, 저전력화, 저가화 기술 확보를 통한 TCO (total cost ownership: 사용자의 총괄적인 유지관리 비용) 절감 경쟁이 심화되고 있다.

특히, Metro-망은 급증하는 인터넷 트래픽을 대처하는데 물리적, 경제적 한계에 도달하였고, 광섬유의 부족 현상을 해결하기 위하여 단일-파장당 100 Gbps 이상의 초고속 전송 속도를 제공하며, metro망의 다양성에 flexible하게 대응할 수 있는 port-agnostic DWDM-광모듈 기술에 대한 시장요구가 급증하고 있으며, 이에 따른 글로벌 시장 대응 및 핵심 기술의 국내 산업생태계 내 재화가 필요한 시점이 되었다.

이러한 TCO 절감을 위한 네트워크 현안은 Metro 광모듈 시장요구환경을 고성능화 및 scaling이 가능한 광모듈을 요구하고 있으며, 이를 위해서는 채널당 100G 이상의 고속화, large volume 을 위한 pluggable 화와 소형/저전력을 지원하는 새로운 CFP MSA 형상의 DWDM-광모



〈그림 1〉 Port-agnostic 광송수신 모듈 개념도(Verizon 2013)



〈그림 2〉 적용시장에 따른 광모듈 형상 및 특징(ECOC 2013)

둘 산업기술 표준화가 진행중에 있다.

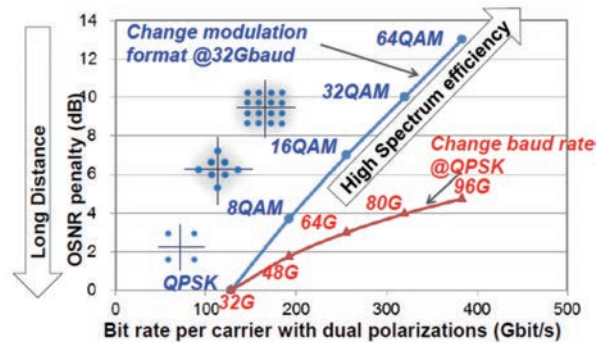
또한, Metro 네트워크는 전송과장, 전송 데이터속도, legacy망 및 신규망 등 다양한 특성으로 구성되어있으며, 이러한 환경 하에서 트래픽 분포 및 이동경로의 다변화 추세를 능동적으로 대처하기 위해서는 Metro 광 네트워크를 Software 기반의 유연하게 관리 운영하는 수요가 급증, 광신호의 파장, 대역폭 등을 동적으로 가변할 수 있는 port-agnostic 광기술이 요구되어지고 있다.〈그림 1〉 상기 언급한 기술적 요구를 해결하기 위한 port-agnostic 기술 기반의 Metro-coherent 광모듈의 적용 시장 특성을 나타내었다.〈그림 2〉

LH-coherent는 장거리, 고성능 중심의 MSA 형상의 광모듈, 액세스망은 저전력 근거리 중심의 pluggability를 중시하며, 상대적으로 짧은 거리에 따른 non-coherent 광모듈의 Metro-coherent는 저전력, pluggability 및 망의 복잡성으로 망 환경에 유연하게 대처 가능한 port-agnostic기능을 요구하는 추세이다.

II. R&D 배경 및 기술개발 내용

1) OIF 및 CFP MSA 산업표준 및 산업기술 동향

향후 100G coherent방안은 망의 주요 특성상 Metro와 LH에서 다른 형태의 optical component 사용이 예상되고 있다. LH의 경우 광모듈의 장거리, 대용량의 high performance 특성을 요구하며, DP-QPSK 방식에 Gbaud rate를 증대시키는 방향으로, Metro 시장의 경우 small size, pluggability 및 네트워크 적용 유연성을 요구하는 port-agnostic 기술로 32Gbaud 기반의 QPSK, QAM, N-ary ASK 등의 방식으로 진화가 예상



〈그림 3〉 메트로, LH의 거리별 대용량 대응 전망 (Fujitsu, ECOC Market focus/2014)

되고 있다.

또한, LH에서 주로 적용되던 coherent-MSA 광부품의 시장 확대 측면에서 Metro 표준 주도의 coherent-pluggable 요구가 증대되고 있으며, form-factor의 소형화 및 저전력화 요구에 따른 optics의 소형화 electronic 부품의 저전력화 극복을 위한 기술로 진화중이다.

2015년 1월 현재 본과제 참여기관인 (주)에이알텍은 최초로 LTE 통신용 100Gbps CFP 트랜시버 제품을 출시하였으며, 중국 ZTE로 부터(광통신 통신망 매출 세계 5위) 트랜시버 모듈 누적판매 및 발주를 1000만 달러를 달성하였고, 참여기관 (주)엘디팩은 에이알텍 CFP 트랜시버에 소요되는 핵심부품인 50Gbps i-ROSA를 생산하여 제품 공급을 진행하고 있다.

이와 같이 100Gbps CFP 및 수신모듈 사업화 실적을 바탕으로 본 과제를 통하여 2015년 하반기에는 광송수신 네트워크장비의 핵심 부품인 100G coherent 광송수신 모듈을 개발 완료하여 국내 최초로 글로벌 시장을 통한 사업화를 진행할 예정이다.

또한, 추후 2015년을 기점으로 전 세계에 걸쳐 100Gbps coherent 광트랜시버가 신규 및 기존 대체로 Metro망에 광범위하게 적용될 것으로 예상된다. 본 과제를 통하여 핵심 부품인 coherent용 광송수신 소자 및 모듈 등의 개발에 참여기관 간의 기술 및 인력 협력을 증대하여 글로벌 시장에 진출 할 수 있는 기술 및 시장적 교두보 확보와 국내 산업 생태계 조성의 기반을 마련할 수 있을 것으로 예상된다.



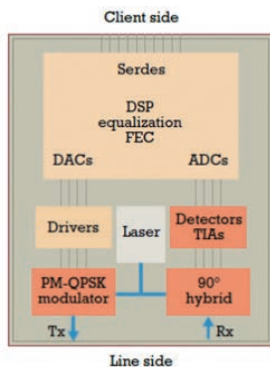
2) Coherent 트랜시버 및 핵심 부품

Coherent 광통신은 종전의 광세기 기반의 OOK (on/off key) 방식이 아니라 광신호의 세기 및 위상을 이용하며, 정보를 encoding 하는 방식으로 QPSK, QAM 등의 방식을 이용함으로써 종전보다 데이터 전송량 및 효율을 증대할 수 있다. <그림 4>는 coherent 트랜시버의 기본 블록도를 나타내고 있다. Coherent 광 트랜시버를 구성하는 핵심 광소자는 크게 optics part에 해당하는 ICT(Integrated Coherent Transmitter), ICR(Integrated Coherent Receiver)와 DSP를 중심으로 하는 electronic part로 구성된다

ICT는 신호 및 LO(local oscillator)광원인 파장가변광원 및 다중변조(multi-level modulation)를 수행하기 위한 위상변조기로 구성되며, ICR은 coherent 수신을 위한 90o hybrid mixer 및 수신 칩 등으로 구성된다.

현재는 LH-coherent 중심으로 OIF 표준인 5"×7" MSA 모듈이 주로 사용되고 있지만 증대되는 저전력, 소형화 요구와 Metro 적용을 통한 시장 확대 요구는 CFP MSA 표준과 이에 부합하는 소형화된 micro-ICT, micro-ICR 등의 optics와 저전력의 DSP가 요구되고 있으며, 선진 기업들은 기술독점 및 시장 선점을 위하여 치열한 기술개발 경쟁을 진행하고 있다.

LH-coherent 시장은 대형 시스템 업체 중심의 독점적인 captive 시장을 형성하고 있다. 또한 관련 핵심 기술들이 제한적인 소수의 선진 기업에 의해 독점되고 있다. 현재의 non-coherent 및 coherent-MSA 모듈 시장에 coherent-pluggable 모듈로 진입하기 위해서는 광모



<그림 4> Coherent 트랜시버 블록도

<표 1> Coherent 광송수신기술 개발 업체 분류(ECOC2014)

	5x7 and 4x5	CFP	CFP2
Coherent (analog and digital)	Acacia, Fujitsu OC, NEC, Oclaro	Acacia, Civcom, Sumitomo, Fujitsu Optical Components	Acacia, NEC, Oclaro, Finisar, JDSU, Sumitomo, and others
Direct Detect		Finisar, Menara, Oclaro, Oplink	

Bold is shipping or ramping

<표 2> Optics 및 Electronic part공급 업체 동향(ECOC2014)

DSP	TIA	Semiconductor Modulator	Micro ITLA	Micro ICR
Clariphy	InPhi	Acacia (captive)	Emcore	Acacia (captive)
NEL	Others?	BrPhotonics	JDSU	Avago, Finisar
Acacia (captive)		Finisar	NeoPhotonics	Fujitsu OC
Ciena (captive)		Fujitsu OC	Oclaro	Furukawa
Cisco (captive)		Gigoptix	Avago	JDSU
Alcatel-Lucent (captive)		JDSU	Furukawa	NEC (captive)
Huawei (captive?)		NEC	NEL	NeoPhotonics
		Oclaro	Skorpios	Oclaro
		Sumitomo	Sumitomo	Picometrix
		Teraxion	Accelink	Sumitomo

Bold is shipping or ramping

듈의 소형화 및 저전력화 할 수 있는 optics와 electronic 부품 공급이 필요하나 글로벌 시장 장벽이 심화되고 있는 상황이다. <표 1>은 현재 Captive 혹은 Merchant유형의 coherent 트랜시버를 개발하고 있는 선진기업들을 분류하였다.

현재 표를 통하여 알 수 있듯이 새롭게 성장하는 metro-coherent 시장에 대응하기 위한 핵심 부품을 공급할 수 있는 업체가 매우 제한적이며, 시장이 배타적이며 독점적인 상황임을 알 수 있다. 그러나 현재의 국내 광 부품 산업 상황은 coherent 분야의 초기 단계로 열악한 상황이지만, 글로벌 시장에서 생존하여 성장하기 위해서는 핵심 광부품 기술에 대한 기술 경쟁력 확보 및 산업 생태계의 구축이 필요함을 시사하고 있다.

3) ICT용 MZM 광소자 및 모듈 기술개발

Coherent-pluggable 모듈 개발을 위해서는 form-factor 표준 형상이 요구하는 size, 소모 전력 등의 어려움을 극복하기 위한 방안이 요구된다. Coherent-MSA의 경우 상대적으로 소모 전력과 형상 크기의 제약이 비교적 적은 관계로 핵심 요소 광부품인 LN기반의 광변조기 등이 사용되었다. 그러나 coherent-metro 모듈은 더 작은 size와 저전력을 요구하며 이에 따른 새로운 소자 개발에

〈표 3〉 ICT, ICR용 소자 및 광모듈 가능형상(ECOC2014)

Where	Feature	Glass	LiNbO	InP	Si
ICR (LO+PBS/OH)	Integrated PD	No	n/a	yes	~Yes (Ge)
	PBS integrated	Yes	n/a	no	Yes?
	Coupling efficiency	Good if low index delta	n/a	Good with 3D taper	?
ICT Modulator (LD)	Maturity	n/a	Incumbent	Already available	Research
	Integrated laser	n/a	No	Yes, not always	Research

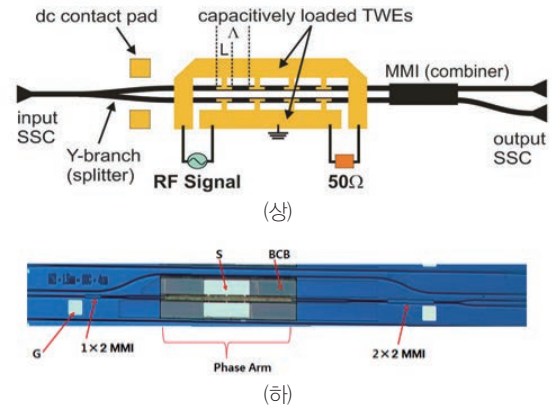
대한 방안 이 요구된다. 아래는 ICT, ICR 광소자의 기술적 이슈 및 적용 가능한 형상을 표3에 나타내었다.

Metro-coherent 시장 확산을 위한 coherent CFP를 개발하기 위하여는 종전의 LN 및 비 반도체 기반으로는 기술적 어려움이 증대되고 있으며, 이에 대한 대안으로 반도체 기반의 광소자기술이 유망 후보로 개발 진행 중이다. 따라서 본 과제에서는 반도체 기반의 광변조 소자 기술로 접근을 하고 있다.

대표적인 경쟁 연구기관은 NTT, HHI (Cogo, Teraxion), Fujitsu, Sumitomo, Oclaro 정도인데, 이 연구기관 모두 활성층은 InGaAsP 또는 AlGaInP MQW 구조를 사용하고 있으며, 기관은 Oclaro만 n-type InP를 사용하고, 나머지 반절연 InP (SI-InP) 기관을 사용하는 것으로 발표되었다. 도파로 구조는 대부분의 연구기관이 deep ridge형 도파로와 BCB passivation을 사용하고 있으며, Fujitsu만 유일하게 Fe-doped InP 재성장을 이용한 PBH (Planar buried heterostructure) 구조를 사용하고 있다.

23G이상의 고속 동작을 위해선 impedance matching 및 electrical/optical velocity matching을 위한 상부 전극 구조가 매우 중요하다. HHI/Cogo/Teraxion과 Fujitsu는 capacitor-load travelling waveguide electrode (CL-TWE) 구조를 사용하고 있고, NTT, Sumitomo, Oclaro의 경우에는 CPW (coplanar waveguide)를 사용하고 있다.

〈그림 5〉에는 MZM의 개략도를 나타내었다. MZM의 기본적인 광도파로는 입력 도파로와 Y-branch 또는 1×2 MMI (Multi-Mode interferometer)와 같은 광 분배



〈그림 5〉 MZM 소자 구조 개략도(상) 및 제작된 MZM칩소재(하)

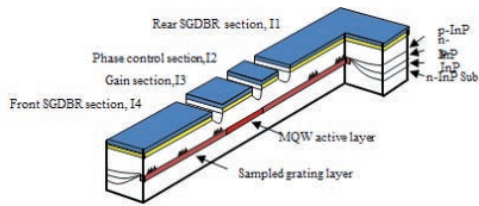
기, 그리고 전압을 인가하여 굴절률 변화를 통해 phase 변화를 일으키는 phase arm 영역, 그리고, coupler로 구성되어 있다. 따라서, MZM의 광설계가 필요한 부분은 single mode 광도파로 조건의 phase arm 영역, 광분배기 및 결합기, 그리고, 광섬유와 MZM 칩 사이의 광결합 효율 증대를 위한 광모드 변환기 (Spot-size converter, SSC)에 대한 설계가 요구된다.

또한 MZM 소자를 구현하기 위해서는 고품위의 반도체 에피 설계 및 성장기술이 요구되며, 제작 공정 측면에서 정밀한 수동 도파로 및 MMI 생성을 위한 건식 식각 기술 및 고속 RF 전극 형성기술 등을 통하여 고수율 고신뢰성의 칩 소자 제작 기술을 수행 중이다.

4) ICT/ICR용 TLD 광소자 및 모듈 기술개발

표3에서 언급한 여러 방안중 레이저 광원의 경우는 현재로서 InP 반도체 물질계 사용이 유일한 방법이다. 〈그림 6〉은 반도체 파장가변 광소자 칩 구조도를 나타낸다. 소자 구조는 전기 신호를 광으로 변환하기 위한 MQW active부, 레이저 발진을 위한 거울층 역할을 하며 발진 파장을 가변적으로 선택하기 위한 전면 및 후면 sampled-grating부 및 발진 파장과 레이저 공진모드를 조절하기 위한 phase-control부로 구성된다.

또한 이러한 파장가변 기능 구현을 위한 각 부분을 하나의 칩에 집적화하여 제작하기 위해서는 많은 단계의 공정이 요구된다. 〈그림 7〉은 단일집적 파장가변 레이저를 제작하기 위한 공정순서도를 보여주고 있다.



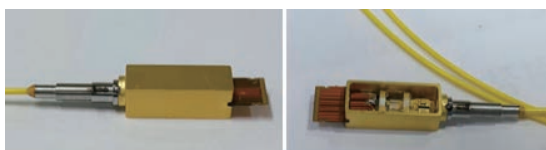
〈그림 6〉 Tunable LD TOSA 모듈 구조

1. Butt-joint regrowth
2. Grating (E-beam Litho)
3. Waveguide
4. PNP regrowth
5. P-clad regrowth
6. InGaAs
7. P-open&metal
8. Ohmic Metal

〈그림 7〉 단일집적 파장가변 레이저 칩의 공정 순서도

능동영역과 수동영역간은 Butt-joint로 재성장에 의해 결합된다. Grating은 E-beam Lithography를 사용하여 식각하고, Grating은 수동도파로 위에 새겨진다. 도파로의 폭은 1.5um의 폭을 가지도록 하여 single mode를 생성하였다. 전류가 인가될 영역에 InGaAs 층만 남겨두기 위해 InGaAs를 선택적 Wet etching을 사용하고, Metal 공정을 위해 ohmic p-metal 공정과 N-metal 공정기술 등이 적용된다.

또한 개발된 칩이 coherent 모듈에 적용되기 위해서는 OSA모듈화가 요구된다. 이를 위해 소형화된 Tunable LD Module의 제작을 위하여 파장가변 반도체 칩과 wavelength locker가 포함된 TOSA (Transmitter Optical Sub-Assembly) 모듈의 제작 과정이 필요하다. Tunable LD Module은 CuW-block에 T-LD Chip이 실장되고, T-LD collimator Lens를 사용하여 back side T-LD Beam을 사용하여 Wavelength Locker와 정렬시킨다. Front side T-LD Beam을 이용하여 Aspherical Lens 통하여 SMF (single mode fiber)를



〈그림 8〉 제작된 tunable TOSA

삽입하여 T-LD로부터 발진되는 광과 능동 정렬한 후 Laser welding 공정으로 고정 시키는 일련의 패키징 공정기술이 개발되고 있다. 〈그림 8〉은 제작된 tunable XMD TOSA 모듈 결과를 나타내었다.

5) 100G 코히어런트 테스트 환경 시험

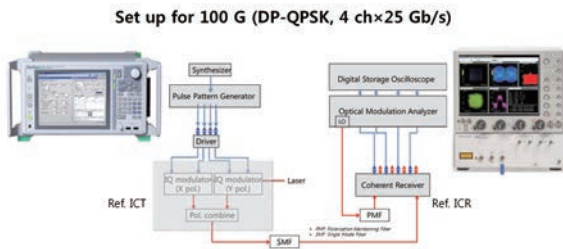
100G coherent 광송수신용 테스트베드는 single-carrier 기반의 100G Port-agnostic 광신호 전송을 위한 전송시험 환경을 구축하여 coherent 방식 기반의 광 모듈 부품을 시험 평가 할 수 있는 시험 환경을 구축하기 위한 기반이다. 100G coherent용 테스트베드의 기본 구성은 멀티레벨 변조 방식의 광송신과 수신된 광신호의 복조로 구성되며, coherent 광송신부는 광원 모듈과 광변조 모듈로 구성되어지고 위상 변조된 광신호를 전기 신호로 복조하는 수신부는 coherent 광수신 모듈로 구성되어 진다.

테스트베드의 실행 시험은 coherent용 광송신 및 수신 모듈의 변조 포맷 (QPSK, QAM, N-ary ASK 등)에 따른 멀티레벨 변조 및 복조 구동 특성과 28 Gbaud 기반의 송수신 속도, 광신호의 Bit-per-symbol, 500 km 전송 성능을 측정하여 모듈의 성능과 특성 평가를 수행한다. 또한, 개발된 ICT/ICR 모듈의 수용 가능한 신호 변조 포맷의 수 및 파장유지 기능과 광신호 변조/복조 기능 등의 결합 평가는, 테스트베드 시험 환경에서 모든 평가 항목에 대해 최적화되어 시험 검증된 ref. ICT/ICR 모듈을 참조 활용한다.

100G port-agnostic 코히어런트 송수신 기능은 100G 송수신속도, 50 GHz간격 및 80채널 수용, 15dB 이하 OSNR (28Gbaud, BER = 10⁻³) 및 500km 광송수신 여부를 최종적으로 평가한다.

〈그림 9〉는 100G 테스트베드 시험 환경의 구성을 보여주며, 구성은 송신부와 수신부로 구분되고 송신부는 신호발생기(Pulse Pattern Generator)와 ref. ICT 모듈(광원 모듈, 광변조기)로 구성, 수신부는 OMA (Optical Modulation Analyzer) 와 Off-line DSP, 광수신 모듈, LO로 구성된다.

신호발생기는 채널당 32Gbps 변조 속도가 가능



〈그림 9〉 100G 테스트베드 시험 환경 구성

하며 4채널로 구성되고 4개의 채널은 독립적 신호 발생이 가능한 independent mode, 채널간 동일한 pattern length 사용 가능하며 1/4 data delay 가능한 combination mode, time synchronization이 되며 채널 간 각각의 pattern length의 사용자 정의가 가능한 synchronization mode 로 동작 가능하여 100G DP-QPSK 와 16QAM 변조 포맷을 위한 신호 발생이 용이하다. 또한, DQPSK와 DP-QPSK pre-coding 신호 발생이 가능하고 역시 사용자 정의 패턴 사용이 가능하며, coherent 광전송을 위한 광모듈 평가에 유용하다. 위상 변조에 의한 coherent 광전송에서 발생할 수 있는 skew 를 조절 할 수 있는 data delay/skew control 기능도 가능하다.

위상변조 신호의 복조를 수행하는 OMA 장비는 DSO(Digital Storage Oscilloscope) 와 Local Oscillator 와 coherent receiver가 장착된 hardware 로 구성되며, 알고리즘을 수행하는 off-line DSP software 가 탑재되어 위상 복조 기능의 시험 평가가 가능하다. 또한, 장비에 탑재되어 있는 코히어런트 리시버를 사용하여 호모다인 모듈 특성 평가와 CD(chromatic dispersion)/PMD (polarization mode dispersion) 보상이 가능하여 광코히어런트 전송신호 특성을 향상 시킬 수 있다. Off-line DSP 를 사용하여 위상 광변조기의 IQ path 의 DC offset 성분, IQ path 의 gain 차이, IQ 변조의 직교성 편차 등의 특성을 정량적으로 분석 가능하도록 하였다.

따라서 본 과제에서 구축된 100G coherent 테스트베드 시험환경은 현재 수행중인 기술 개발 뿐만 아니라 향후, 유사 기술개발이 필요하거나 관련 기술지원이 필요한 기관 및 업체를 위한 활용에도 적극적으로 활용될 계획이다.

III. 결론

국내 광부품 산업은 2000년 초반 IT 벤처붐을 시작으로 종전의 R&D 영역에서 산업화 단계를 시작하였으며, 현재 총 매출 3,000억 규모로 추산되고 있다. 국내의 IT 인프라 및 서비스 강국 지위에 비하면, 기반이 되는 광부품 산업의 글로벌 지위는 미약하지만 지속적인 정부 R&D 및 산업체 지원프로그램을 통하여 액세스를 중심으로 산업 생태계의 뿌리를 내리고 있는 단계이다. 하지만 글로벌 산업경쟁력이 치열해지면서 선진 기관들은 수직 계열화 및 M&A등을 통하여 시장지배력과 기술 장벽 공세를 강화하는 현실에 직면해 있다.

상대적으로 소규모이며, 내수 시장이 부족한 환경에서 국내 광부품 산업은 지속적인 성장과 생존을 위해 적극적인 글로벌 시장진입이 필요하며, 이를 위한 고부가 제품군 시장진입이 절실히 필요하다. 국내의 개별 기관 및 업체의 규모가 적고 이에 따른 기술인력, 자금의 열세를 극복하기 위해서는 산학연 협력, 동종 업체 간의 지속적인 협력을 통한 국내 광부품 산업의 virtual vertical integration을 통하여 글로벌 선진사 들의 수직계열화에 대한 대응이 필요한 시점이다.

미래부 기술개발사업 지원프로그램을 통한 본 사업은 미래의 광통신산업의 인적 재원인 학계, R&D 중추인 출연연구소 및 global hidden champion을 꿈꾸는 중소기업이 각 기관의 역량을 결집하여 광부품 산업의 급속히 성장하는 메트로-coherent 핵심 광부품을 공동 협력 개발하여 국가 IT 산업의 지속적 성장의 기반과 중소기업 중견화를 통하여 일자리 창출 등에 기여하고자 한다.

박미란

- 2000~현재 ETRI 책임연구원/광집적플랫폼연구실/SUNNY Buffalo 공학박사

권오균

- 1991~현재 ETRI 책임연구원/광집적플랫폼연구실 실장/KAIST공학박사