

# Optical Transceiver Module for Next-generation Automotive Optical Network, MOST1000

Gye Won Kim<sup>1</sup>, Sung Hwan Hwang<sup>1</sup>, Woo-Jin Lee<sup>1</sup>, Myoung Jin Kim<sup>1</sup>, Eun Joo Jung<sup>1</sup>, Jong Bea An<sup>1</sup>,  
Jin Hyeok Kim<sup>2</sup>, Jong Ha Moon<sup>2</sup>, and Byung Sup Rho<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Korea Photonics Technology Institute, Nano-Photonics Research Center, Wolchul-dong 971-35, Buk-gu, Gwangju 500-779, Korea

<sup>2</sup>Department of Materials Science and Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

(Received July 8, 2013; Revised manuscript August 9, 2013; Accepted August 13 2013)

Heretofore, it was enough that most of optical transceiver modules for automotive networks have the performance of data rate from 10 Mbps to 150 Mbps. As the required data rate in automotive infotainment systems has recently been increasing, the development of a new optical transceiver having high speed data rate over 1Gbps is now required. Therefore, we suggested a next-generation bi-directional optical transceiver module using vertical cavity surface emitting laser technology and plastic clad fiber technology, for the next-generation automotive optical network, MOST1000. We fabricated the high-speed and compact optical transceiver having 1 Gbps data rate and -22 dBm sensitivity satisfying bit error rate  $10^{-12}$ .

Keywords: Optical transceiver, Optical network

OCIS codes: (230.0230) Optical devices; (060.1155) All-optical networks

## 차세대 자동차 광네트워크 MOST1000 용 광트랜시버 모듈

김계원<sup>1</sup> · 황성환<sup>1</sup> · 이우진<sup>1</sup> · 김명진<sup>1</sup> · 정은주<sup>1</sup> · 안종배<sup>1</sup> · 김진혁<sup>2</sup> · 문종하<sup>2</sup> · 노병섭<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>한국광기술원 나노광전융합연구센터

☎ 500-779 광주광역시 북구 월출동 971-35번지

<sup>2</sup>전남대학교 신소재공학부

☎ 500-757 광주광역시 북구 용봉로 77번지

(2013년 7월 8일 받음, 2013년 8월 9일 수정본 받음, 2013년 8월 13일 게재 확정)

본 논문에서는 차세대 자동차용 고속 광네트워크 기술인 MOST1000에 적용이 가능한 1 Gbps 급 광트랜시버 모듈의 설계와 제작에 관하여 언급하고 있다. 종래의 자동차용 네트워크 시스템은 10 Mbps ~ 150 Mbps의 데이터 전송속도를 사용하였으나, 최근 인포테인먼트의 발달로 인해 기기 간 통신 속도를 높여 주는 고속 네트워크 기술이 요구되면서 1 Gbps 급의 광네트워크 시스템이 향후에 도입될 것으로 예상되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 고속 광네트워크 시스템의 핵심 부품인 1 Gbps 데이터 전송이 가능한 광트랜시버 모듈을 설계 및 제작하였다. 본 논문에서는 1 Gbps 데이터 전송을 위해 기존 광트랜시버의 광원인 RCLD (resonant cavity light emitting diode)를 VCSEL (vertical cavity surface emitting laser)로 대체하였으며, 제작된 광트랜시버는 1×2 비대칭 형태의 광도파로를 이용하여 하나의 PCF (plastic optical fiber) 광섬유로 결합되도록 제작하였다. 이때, 수신감도는 -22 dBm @ BER  $10^{-12}$  으로 나타났고, 깨끗한 1 Gbps 데이터 전송 아이디어그램 (eye diagram)을 확인하였다.

Keywords: 광트랜시버, 광네트워크

OCIS codes: (230.0230) Optical devices; (060.1155) All-optical networks

### I. 서 론

최근 자동차용 네트워크 시스템은 인포테인먼트의 발달로

인해 기기 간 통신 속도를 높여 주는 고속 네트워크 기술이 요구되고 있다. 종래의 자동차용 네트워크 기술인 CAN (controlled area network),<sup>[1]</sup> LIN(local interconnect network),<sup>[2]</sup>

<sup>†</sup>E-mail: kalparho@kopti.re.kr

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

FlexRay<sup>[3]</sup>는 차량 내 ABS(anti-lock braking system), ACU (airbag control unit), ESC(electronics stability control), TCU (transmission control unit) 등의 주요 장치를 제어하기 위한 ECU(electric control unit) 시스템에 적용되고 있으며, 10 Mbps ~20 Mbps의 데이터 전송속도를 사용하고 있다. 하지만, 빠르게 발전하는 내비게이션 시스템이나 디지털 TV 수신, 차량 내 이동전화 연결 등의 멀티미디어 컴포넌트 시스템 적용에 한계를 나타내며, 고속 네트워크 기술로 MOST(media oriented system transport)가 도입되었다.<sup>[4]</sup> MOST는 초기 25 Mbps의 전송속도를 사용하는 MOST25에서 50 Mbps의 전송속도를 사용하는 MOST50을 거쳐 현재 150 Mbps의 전송속도를 사용하는 MOST150으로 발전하였고,<sup>[5]</sup> 향후 1 Gbps의 전송속도를 사용하는 MOST1000<sup>[6]</sup>이 채택될 예정으로 보고되고 있다. 따라서, MOST1000에 사용할 수 있는 1 Gbps급 광트랜시버 모듈의 개발이 필수적으로 요구되고 있다.

한편, 현재 차량용 MOST 네트워크의 구조로 송신부와 수신부가 분리되는 구조의 Ring형 네트워크를 사용하고 있으나, 향후 차세대 MOST 네트워크 이상에서는 Ring형 네트워크뿐만 아니라 다양한 방식의 복합적인 네트워크로 진화될 가능성이 있다. 이러한 경우 송신부와 수신부가 결합되고, 하나의 광섬유로 양방향 전송이 가능한 광트랜시버가 필요할 것으로 예상된다.

현재 MOST150에서 광트랜시버의 광원은 RCLED를 사용하고 있으며, 광섬유는 1 mm 코어 지름의 POF를 사용하고 있다.<sup>[7]</sup> 하지만, MOST1000에서는 전송속도와 전송거리의 한계로 인해 광원과 광섬유가 대체되어야 하며, 가장 유력한 대체 광원은 VCSEL이고, 광섬유는 0.2 mm 코어 지름의 PCF(polymer clad fiber) 광섬유이다.<sup>[8]</sup> 따라서, 본 논문에서는 VCSEL과 PCF 광섬유 기반의 광트랜시버 모듈을 설계 및 제작 하였다.

## II. 광트랜시버 모듈 설계

종래의 MOST25, MOST150에 사용되는 광트랜시버는 폴

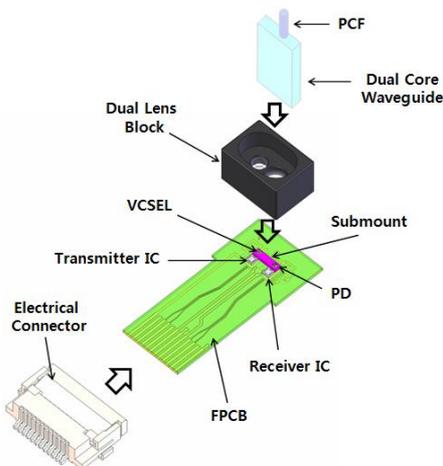


FIG. 1. Structure of our proposed optical transceiver module.

리머 재질의 사출 렌즈를 사용하고 있으며, 각각의 소자와 본딩 와이어를 에폭시 충전재로 감싸고 있는 구조이다.<sup>[9]</sup> 이러한 구조는 외부환경 요인인 온도, 진동, 충격에 따라 본딩 와이어가 단절될 우려가 있다.

이러한 문제점들을 개선시키기 위해 본 논문에서 제안하는 광트랜시버의 구조는 폴리머 사출 렌즈 대신 글래스 렌즈를 사용하여 열팽창에 둔감하게 하고, 각각의 소자와 본딩 와이어에 직접적인 충격 및 진동이 가해지지 않도록 충전재가 없는 구조를 제안하게 되었다.

본 논문에서 제안하는 광트랜시버의 구조를 자세히 살펴보면 FPCB(flexible printed circuit board) 위에 세라믹 서브 마운트와 송/수신회로가 COF(chip on film) 형태로 집적화 패키징 되어있고, 세라믹 서브 마운트 상부에 있는 정렬 마크를 기준으로 VCSEL과 PD(photo detector)가 정밀하게 실장 되어있는 그림 1과 같은 형태로 소형화에 유리한 이점을 가지게 된다. FPCB는 수직 및 수평 구조로 유연하게 구조 변경이 가능하도록 하기 위해서 사용하였으며, 세라믹 서브 마운트는 VCSEL과 PD의 정밀 본딩 및 외부 변형에 덜 민감하게 하기 위해서 적용하였다. FPCB 위에 패키징된 VCSEL/PD, 서브 마운트 및 송/수신회로를 외부환경으로부터 보호하면서 광결합 효율을 높이기 위해서 비구면 듀얼 렌즈 블록을 실장 하였다. 이 듀얼 렌즈 블록은 1×2 비대칭 듀얼 코어 광도파로<sup>[10]</sup>를 이용하여 하나의 PCF 광섬유로 결합되며, 이러한 방식은 하나의 광섬유를 이용하여 양방향 데이터 전송이 가능한 특징을 가지고 있어 자동차용 네트워크 시스템에 적용할 경우 광섬유 수 감소에 따른 저가화 및 경량화의 이점을 갖게 된다.

## III. 광결합 효율 및 정렬 허용도 분석

본 장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 광트랜시버의 VCSEL/PD와 듀얼 렌즈 블록, 1×2 비대칭 광도파로의 광결합 효율과 정렬 허용도를 분석하고자 한다.

그림 2는 분석을 위한 각 부분의 정렬 모습과 위치, 좌표 방향 등에 대해 나타내고 있다. 각 부분들은 한 몸체 형태로

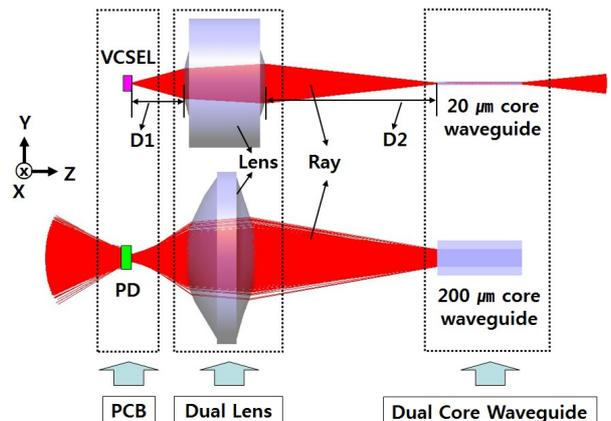


FIG. 2. Optical coupling simulation of the optical transceiver module.

제작되기 때문에 상대적으로 정렬 마진이 더 작은 양방향 구조에 대해서 분석을 진행하였다.

송신부의 광경로를 살펴보면 VCSEL에서 발광한 빛이 렌즈를 통과하여 20  $\mu\text{m}$  광도파로를 통해 진행하게 되며, 수신부의 경우에는 200  $\mu\text{m}$  광도파로를 통해 전송되는 빛이 렌즈를 통과하여 PD로 수광되는데, 이때, 수광부의 직경은 80  $\mu\text{m}$ 이다. 따라서, 송신부의 정렬 마진이 수신부의 정렬 마진 보다 작게 나타나게 된다. 이에 따라 송신부의 분석을 진행하였으며, 분석을 위해 상용 프로그램인 LightTools 를 이용하였다.

그림 3과 그림 4는 송신부의 광경로 상에 위치한 VCSEL과 듀얼 렌즈, 듀얼 렌즈와 1x2 비대칭 도파로의 정렬 허용오차 범위를 시뮬레이션 한 결과이다. 시뮬레이션은 X축과 Y축의 경우 1  $\mu\text{m}$  씩 이동해 가며 수평 거리에 따른 1 dB 정렬 허용오차 범위를 알아보고, Z축의 경우 VCSEL과 듀얼 렌즈, 듀얼 렌즈와 1x2 비대칭 도파로의 광결합 효율 최대 피크 값의 거리인 D1, D2를 기준으로 하여 각각 10  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ 씩 이동해 가며 수직 거리에 따른 1 dB 정렬 허용오차 범위를 알아보았다.

표 1과 표 2는 VCSEL과 듀얼 렌즈, 듀얼 렌즈와 1x2 비대칭 도파로의 광결합 효율 피크 값에 따른 1 dB 수평 정렬 허용오차 범위 및 1 dB 수직 정렬 허용오차 범위를 보여주고 있다.

시뮬레이션 분석 결과, VCSEL과 듀얼 렌즈의 1 dB 수평

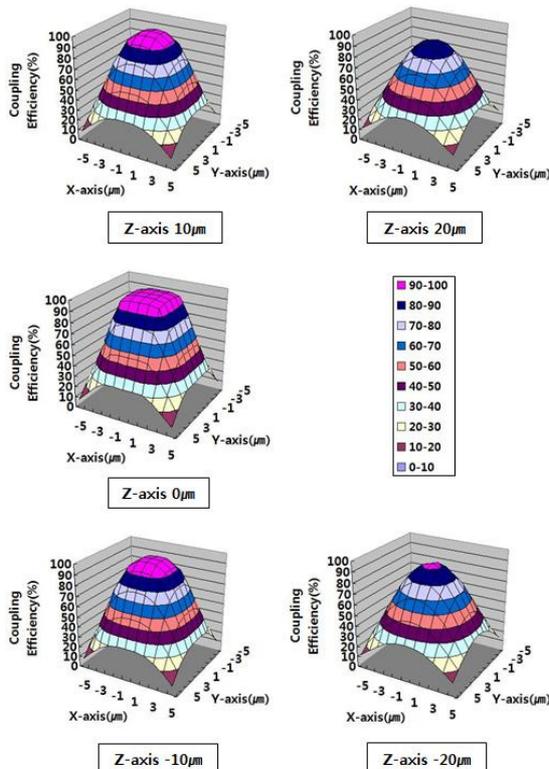


FIG. 3. Alignment tolerance simulation results between VCSEL and dual-lens.

정렬 허용오차 범위는 -3  $\mu\text{m}$  ~ +3  $\mu\text{m}$ , 1 dB 수직 정렬 허용오차 범위는 -20  $\mu\text{m}$  ~ +20  $\mu\text{m}$ 로 나타났다. 듀얼 렌즈와 1x2 비대칭 도파로의 1 dB 수평 정렬 허용오차 범위는 -6  $\mu\text{m}$

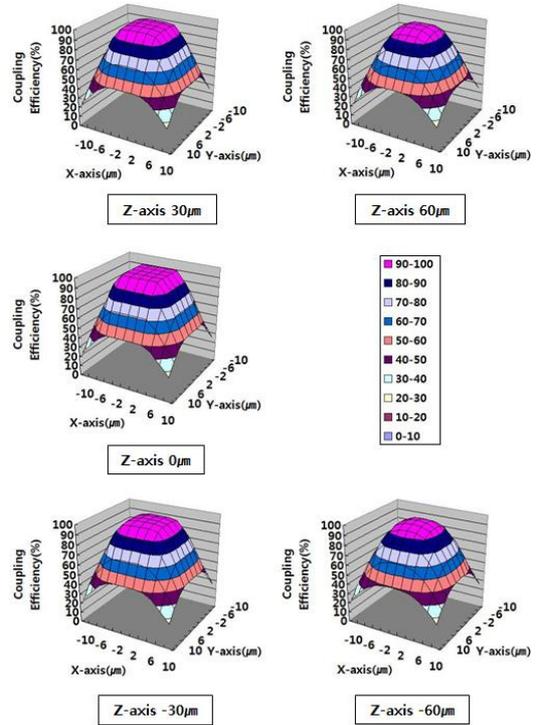


FIG. 4. Alignment tolerance simulation results between dual-lens and 1x2 asymmetric waveguide.

TABLE 1. VCSEL versus dual-lens simulated coupling efficiency and vertical, horizontal alignment tolerance

Coupling Efficiency (%)	1 dB Vertical Alignment Tolerance ( $\mu\text{m}$ )	1 dB Horizontal Alignment Tolerance ( $\mu\text{m}$ )
90.20	20	$\pm 2$
99.54	10	$\pm 2$
99.98	0	$\pm 3$
99.90	-10	$\pm 2$
92.62	-20	$\pm 2$

TABLE 2. Dual-lens and 1x2 asymmetric waveguide simulated coupling efficiency and vertical, horizontal alignment tolerance

Coupling Efficiency (%)	1 dB Vertical Alignment Tolerance ( $\mu\text{m}$ )	1 dB Horizontal Alignment Tolerance ( $\mu\text{m}$ )
96.78	90	$\pm 4$
99.70	60	$\pm 6$
99.98	30	$\pm 6$
99.98	0	$\pm 6$
99.98	-30	$\pm 6$
99.52	-60	$\pm 6$
96.34	-90	$\pm 4$

~ +6  $\mu\text{m}$ , 1 dB 수직 정렬 허용오차 범위는 -90  $\mu\text{m}$  ~ +90  $\mu\text{m}$  로 나타났다.

이 결과에 따르면 수평 정렬 허용오차 범위가 작기 때문에 광트랜시버와 듀얼 렌즈 블록, 1x2 비대칭 도파로 결합시 능동 정렬 방식을 사용해야 한다는 결론을 얻었다. 이러한 결론을 바탕으로 광트랜시버 모듈을 제작하였고, 그 상세 제작 과정은 IV장에서 기술하고자 한다.

#### IV. 광트랜시버 모듈 제작

1 Gbps 급 이상의 데이터 전송속도를 가지는 광트랜시버를 제작하기 위해 고속의 상용 VCSEL과 PD, 송신 및 수신 회로 칩을 준비하였으며, FPCB도 수 GHz에 이르는 대역폭이 보장되도록 전송선을 설계 제작하였다. 서브 마운트는 최적화 광학 설계를 통하여 정해진 위치와 높이 정보를 기반으로 정밀하게 설계 제작하였다. 듀얼 렌즈 블록은 비구면 글라스 렌즈로 송신부와 수신부가 각각 다른 초점거리를 가지는 형태로, 하나의 금속 블록에 동시에 형성되도록 하였다.

그림 5는 패키징 순서로 먼저 FPCB 위에 송/수신칩과 함께 서브 마운트를 에폭시 다이본딩하게 된다. 그 후 서브 마운트에 VCSEL과 PD를 정해진 위치에 정밀하게 에폭시 다이본딩한 후, FPCB에 에폭시 다이본딩한 송/수신칩과 함께 금 와이어 본딩을 실시하였다. 그런 다음, VCSEL/PD와 듀얼 렌즈 블록을 능동 정렬 방법으로 정렬하여 에폭시 다이본딩한 후 광트랜시버 모듈을 완성하였다.

#### V. 데이터 전송 특성 측정

완성된 광트랜시버 모듈의 1 Gbps 데이터 전송 특성을 측정하기 위한 블록 다이어그램은 그림 6과 같다. 블록 다이어그램을 살펴보면 펄스 패턴 제너레이터에서 발생한 신호는 제작한 광트랜시버의 광원에서 PCF 광섬유를 통해 빛으로 전송되며, 전송된 빛은 상용 광트랜시버의 광검출기로 수신

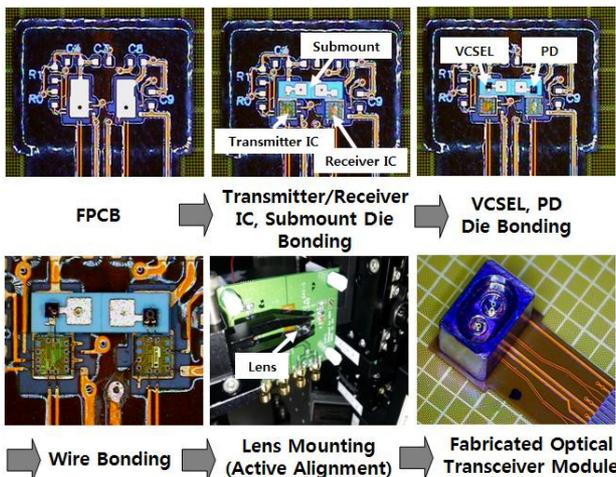


FIG. 5. Fabrication process of our optical transceiver.

되어 분석기를 통해 송신부의 전송 특성을 측정하게 된다. 한편, 펄스 패턴 제너레이터에서 발생한 신호가 상용 광트랜시버의 광원에서 PCF 광섬유를 통해 빛으로 전송되면, 제작한 광트랜시버의 광검출기에서 수신되어 분석기를 통해 수신부의 전송 특성을 측정하게 된다.

그림 7은 제작한 광트랜시버의 전송 특성을 측정하기 위한 실제 장비들의 셋업 모습이다.

그림 8은 분석기를 통해 확인한 송/수신부의 1 Gbps 데이터 전송 아이 다이어그램으로 데이터 에러 발생 없이 깨끗한 전송 특성을 보였고, 수신감도는 -22 dBm @ BER  $10^{-12}$ 으로 측정되었다.

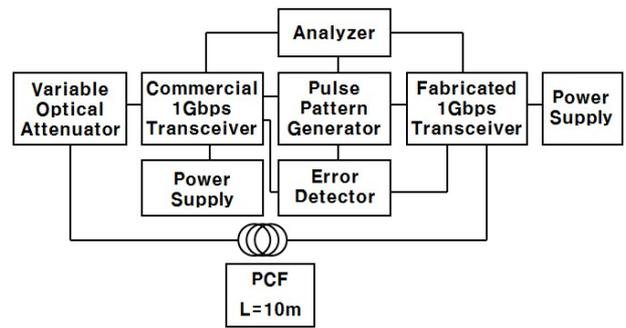


FIG. 6. Block diagram of measurement setup for verifying data rate performance.

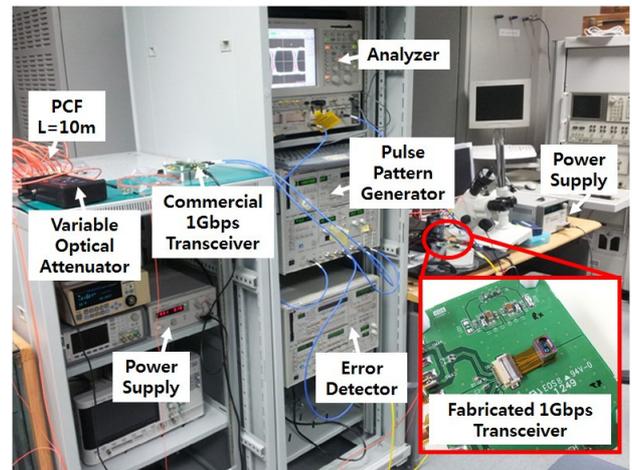


FIG. 7. Photograph of data rate measurement setup.

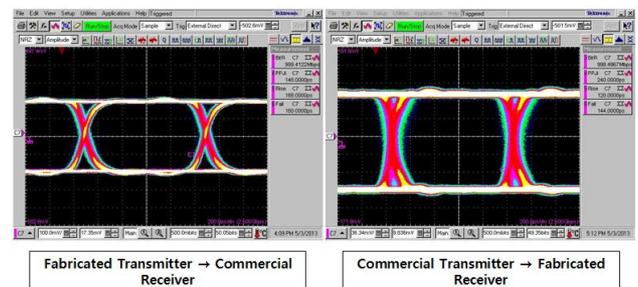


FIG. 8. Measured 1Gbps eye diagram.

## VI. 결 론

본 논문에서는 차세대 자동차용 고속 광네트워크 기술인 MOST1000 에 적용이 가능한 1 Gbps급 광트랜시버 모듈을 설계 및 제작하였다. 1 Gbps 데이터 전송을 위해 VCSEL 광원과 PCF 광섬유를 기반으로 광트랜시버 모듈을 제작하였으며, 1×2 비대칭 도파로를 사용하여 하나의 PCF 광섬유를 통해 양방향 데이터 전송이 가능하도록 하였다. 정렬 허용도 시뮬레이션 결과 VCSEL과 듀얼 렌즈의 1 dB 수평 정렬 허용오차 범위는 -3 μm ~ +3 μm, 1 dB 수직 정렬 허용오차 범위는 -20 μm ~ +20 μm로 나타났고, 듀얼 렌즈와 1×2 비대칭 도파로의 1 dB 수평 정렬 허용오차 범위는 -6 μm ~ +6 μm, 1 dB 수직 정렬 허용오차 범위는 -90 μm ~ +90 μm로 나타났다. 이 결과에 따르면 수평 정렬 허용오차 범위의 정렬 마진이 작기 때문에 광트랜시버와 듀얼 렌즈 블록, 1×2 비대칭 도파로 정렬시 능동 정렬 방식을 사용해야 한다는 결론을 얻었다. 제작한 광트랜시버 모듈의 1 Gbps 데이터 전송 특성을 측정된 결과 깨끗한 아이디어그램을 확인 하였고, 수신감도는 -22 dBm @ BER 10<sup>-12</sup>으로 측정되었다.

## 감사의 글

이 논문은 광역경제권 선도산업 육성사업의 지원으로 수행되었습니다.

## References

1. M. Rahmani, J. Hillebrand, W. Hintermaier, E. Steinbach, and R. Bogenberger, "A novel network architecture for

in-vehicle audio and video communication," Proc. IEEE Broadband Convergence Networks Workshop, Munich, Germany, 1-12 (2007).

2. J. W. Specks and A. Rajnák, "LIN - protocol, development tools, and software interfaces for local interconnect networks in vehicles," 9th International Conference on Electronic Systems for Vehicles, Baden-Baden, Germany, 1-24 (2000).

3. FlexRay Consortium, "FlexRay, requirements specification," Version 2.1 (2005).

4. MOST Cooperation, "Automotive application recommendation for optical MOST interfaces," Version 1.0, URL: www.mostcooperation.com (2003).

5. A. Grzempa, "MOST - the automotive multimedia network - from MOST25 to MOST150," Franzis Verlag, Poing, ISBN 978-3-645-65061-8 (2011).

6. C. Pardo, "Application of advanced communication techniques within KDPOF physical layer, to achieve a robust and low-cost MOST100," 12th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Munich, Germany, 1-4 (2010).

7. O. Ziemann, J. Krauser, P. E. Zamzov, and W. Daum, *Optical Short Range Transmission Systems*, 2nd ed. (POF Handbook, Springer, 2008), ISBN: 978-3-540-76628-5.

8. J. Angstenberger and V. Tiederle, "Reliability assessment of VCSEL-devices for 5Gbit/s data transmission in automotive environments," MOST Forum (2013).

9. MOST Cooperation, "Automotive communication at the speed of light," URL: www.mostcooperation.com (2012).

10. T. H. Lee, S. H. Oh, P. J. Kim, Y. G. Han, C. S. Kim, and M. Y. Jeong, "An imprinted bi-directional waveguide platform for large-core optical transceiver," Opt. Lett. **36**, 2324-2326 (2011).