Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol.53, NO.11, November 2016 http://dx.doi.org/10.5573/ieie.2016.53.11.160
ISSN 2287-5026(Print) / ISSN 2288-159X(Online)

논문 2016-53-11-20

Hopper lens type WDM 설계 및 제작 연구

(A Study on the Design and Production of Hopper Lens Type WDM)

김 경 복*

(Kyung Bok Kim©)

요 약

최근 광섬유를 이용한센서, 센서 시스템, 초고속 광통신에 의해 응용이 빠른 속도로 발전함으로서 이에 따라 광 결합기와 관련된 WDM소자의 수요가 급증해왔다. 본 연구에서는 국내최초로 Hopper type WDM(특허등록번호:10-1502954)을 설계 및 제작 하였다. 제작된 Hopper type WDM은 비대칭 버트 결합 광학계구조의 초고속 광통신용 쌍방향 1×3 WDM 이다. 제작된 Hopper type WDM은 사용중심 파장이 각 각 850nm, 1300nm, 1550nm 이다. Hopper type WDM은 기존의 WDM이 지니고 있는 우수한 장점들을 지니고 있을 뿐만 아니라, 초고속 신호전송과 경제성이 우수하여 실용화에 큰 장점을 지니고 있다. 제작된 Hopper type WDM의 특성은 기존 1×3 광 커플러에 비하여 광 삽입손실이 평균 0.02~0.03dB정도 우수하다. 특히, 초고속 광 MUX 전송 시스템에 적용하여 실용화를 기대할 수 있고, 아울러 광섬유 센서 시스템 구성부품으로 응용되어 고감도 신호 검출 시스템으로 발전될 수 있다.

Abstract

The rapidly developing applications of optical fiber in sensors, sensor system and super high speed optical communication have begun to produce tangible demands for optical coupler and connected WDM. we have designed and made Hopper type WDM (national patent NO:10-1502954). The Hopper type WDM is bi-directional 1×3 WDM of asymmetry Butt coupling for super high speed optical communication. The Hopper type WDM is used central wavelength of each 850nm,1300nm,1550nm. The Hopper type WDM has an excellent merits which the existing WDM and also it has an excellent signal of super high speed and economic in made. The characteristic of Hopper type WDM is superior in ave 0.02-0.03dB as compared with 1×3 optical coupler to excess loss. Especially, we can expect the utilization of super high speed optical MUX and also can be developed as the high-sensibility signal detected system in using optical sensor system parts.

Keywords : Hopper lens type WDM, Hopper type WDM, 1×3 WDM, Butt coupling bi-directional 1×3 WDM, Sensor system in using hopper type WDM

Ⅰ. 서 론

최근 초고속 광통신기술이 비약적인 발전을 이루며, 광통신을 이용한 가입자망 즉, 광가입자망 근거리 통신(Local Area Network of all optical)이 다양한 분야에서 널리 활용되고 있다. 아울러 초고속 광통신 기술이 발전하면서, 광통신 관련 핵심 부품기술 역시 필수적으로 발전을 거듭하고 있는 추세이다. 그 중에 하나가 광신호를 합치고, 파장별로 분리하는 합파 분파기이다. 통상 WDM(wavelength division multiplexer)라 부른다. 그림 1은 이와 같은 내용을 도식화한 그림이다. 본 연구에서는 특수하게 자체 제작된 광학계 부품 hopper lens를 사용하여 쌍방향 통신이 가능한 WDM의 설계 및 제작에 관한 연구이다. 본 연구를 통하여 제작된

* 정회원, 경복대학교 지능로봇과(kyungbok University, computer science)
© Corresponding Author (E-mail : kbkim@kbu.ac..kr)
Received ; July 18, 2016 Revised ; September 8, 2016
Accepted ; October 16, 2016

hopper lens type WDM(1),(2),(3),(4)은 기존의 1×3 광 커플러(1by3 optical coupler)를 대신할 수 있고, 기존 WDM보다 파장의 분지속도가 빠르고, 광 에너지 접속 삽입 손실도가 약 0.02~0.03dB정도 우수한 것으로 나타났다.

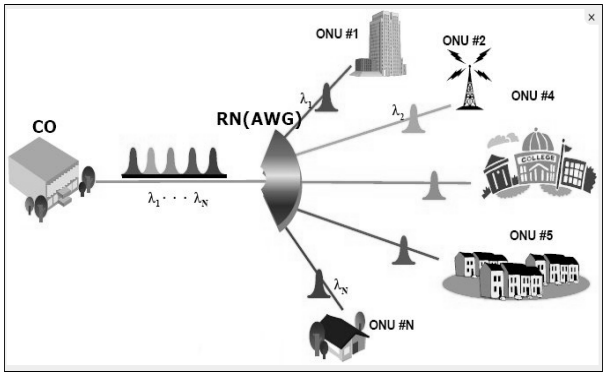


그림 1. 광가입자 근거리 통신 원리
Fig. 1. The principle of local Area Network in all optical communication.

Ⅱ. hopper lens type WDM 모드전송

빛이 진행하는 두 개의 도파로를 인접시키면 도파로 사이에 광 에너지 교환이 일어난다. 방향성결합기는 크게 기존의 상용 광섬유를 이용하거나, 광학계 부품을 이용한 방법으로 나누어진다. 본 연구에서는 광학계 부품을 이용한 비대칭 광학계 단면결합방식의 일명 버트 결합(butt coupling)의 원리를 이용한 것이다. 버트 결합 시, 두 도파로의 최대 수광허용각(α0)과 개구수(NA)는 다음과 같다.

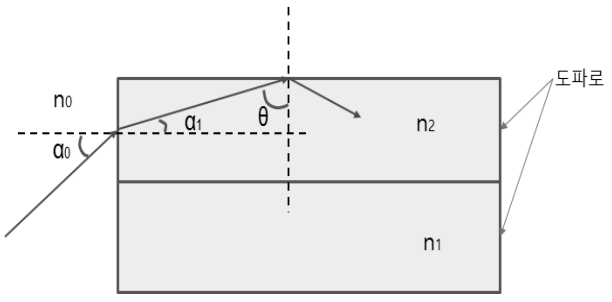


그림 2. Snell의 법칙
Fig. 2. The low of Snell theory.

$$NA = n_0.\sin\alpha_0 = n_1.\sin\alpha_1 = n_1\sqrt[1]{1-\sin^2\theta} = n_2\sqrt[1]{1-(\frac{n_1}{n_2})^2} = \sqrt[1]{n_{1-}^2}\ \sqrt[1]{n_2^2}$$

$$\alpha_0 = \sin^{-1}.NA \quad (1)$$

로 나타난다.(5)

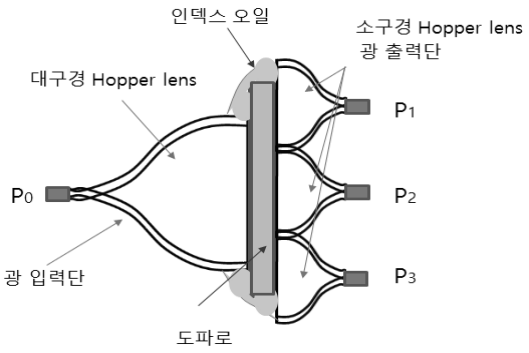


그림 3. hopper lens type WDM의 설계모델
Fig. 3. The Model of design in hopper lens type WDM.

버터결합방식의 방향성결합기는 일반적으로 임의의 광 에너지 입력단에 의해 여기 되는 출력단의 형태로 그 특성을 나타낸다. 따라서 M×N 버터결합방식의 방향성결합기(6)는 출력단들을 조합하여 각 광 에너지 입력단에 대한 최대와 최소화되는 것들로 조합함으로서 광학적 특성을 평가할 수 있다, 이와 같은 광학적 특성에 대한 표현으로는 삽입손실(excess loss)과 광 파워손실(power excess)의 변화량으로 평가한다. 만약 그림3과 같은 hopper lens type WDM의 특성을 고려한다면 다음 식들로 정의된다.

$$\text{결합비(coupling ratio)}=\frac{p_1}{p_1+p_2+p_3}\times 100\% \quad (2)$$

$$\text{결합효율(coupling efficiency)}=\frac{p_1+p_2+p_3}{p_0}\times 100\% \quad (3)$$

$$\text{과잉손실(excess loss)}=10\log\frac{p_1+p_1+p_3}{p_0}dB \quad (4)$$

$$\text{출력포트P1의 방향성(directivity)}=10\log\frac{p_1}{p_0} \quad (5)$$

으로 나타낸다. 광 에너지의 교환이 일어나는 구조의 방향성성결합기(directional coupler)도파로 구조(횟수, 굴절율 분포 등 특성)가 비대칭이라도 동일한 β를 갖는 파장에서는 역시 광 에너지의 완전 이행이 일어난다.

그러나 hopper lens type WDM구조에서는 어느 한 파장 λ0 에서만 동일한 β이고, 다른 영역의 파장에서는 비동기현상이 일어나는 경우가 대부분이다. 그림 4에서

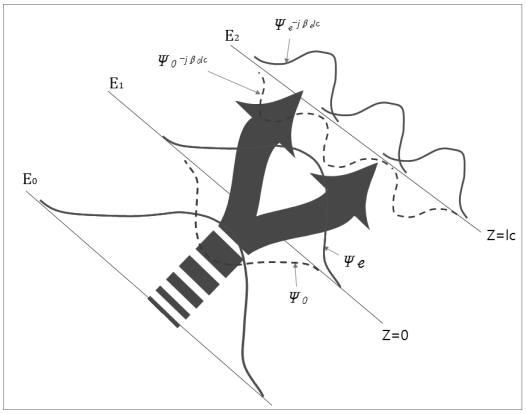


그림 4. hopper lens type WDM의 모드전개 모델
Fig. 4. The Model of propagation mode in hopper lens type WDM.

입력포트 E_0에 입사된 파장은 도파로 E_1, 즉 Z=0인 지점에서 전파모드 ψe와 ψo가 동시에 생성된다. 전파모드 ψe와 ψo는 서로 다른 속도로 진행하며, 이로 인하여 두 모드사이에 위상이 벌어지기 시작한다. 출력포트 Z에서 합성시킨 모드 전개식은 다음과 같다. 그림 4에서 먼저 Z=lc에서 (βe -βo)lc =π 가 된다고 가정하면, 완전결합길이 lc는 lc=π/(βe -βo)가된다. 따라서 Z=lc에서의 전파모드 전계분포는 다음 식과 같다.(7) 식6은 그림 4와 같이

$$\psi(x,lc) = [\psi_e(x)e^{-j\beta_e l_c} + \psi_o(x)e^{-j\beta_e l_c}] \cdot e^{j\pi} \cdot (H_{na1} + H_{nb1} + H_{nc1}) = [\psi_e(x) - \psi_o(x)]e^{-j\beta_e l_c} = E_2(x)e^{-j\beta_e l_c} \cdot (H_{na1} + H_{nb1} + H_{nc1}) \quad (6)$$

입사한 광 에너지는 비대칭 도파로에서 파장과 굴절율의 변화량에 따라 세 개로 나누어진 hopper lens type WDM출력단에 모드분포가 존재함을 알 수 있다.

Ⅲ. 설계 및 제작

두 개 이상의 다른 신호를 동시에 보냄으로서 전송용량을 수 배 이상 늘릴 수 있는 WDM 소자를 설계 및 제작할 때 가장 고려해야 할 두 가지 특성은 신호혼신 및 채널 간 신호분리도 이다. 지향성이라고도 하는 신호혼신은 역 다중화 시, 채널간의 분리정도를 의미한다. 채널 간 분리도는 파장을 분별할 수 있는 커플러의 능력을 나타낸다. 이 두 가지 요소를 충족시킬 수 있는 hopper lens type WDM구조를 설계하기 위하여, 먼저 대칭구조에서 위상정합이 완벽한 광 결합으로 이루어질 수 있고, 스스로 고유한 파장을 자체 흡수할 수 있는 광학계 구조가 필요하다. 이를 위한 완벽한 구조가 각 각의 고유한 해당 파장을 지닌 광섬유 모재를 이용한 광학계를 개발한 것이다. 이것이 그림 5에 나타낸 hopper lens 이다.

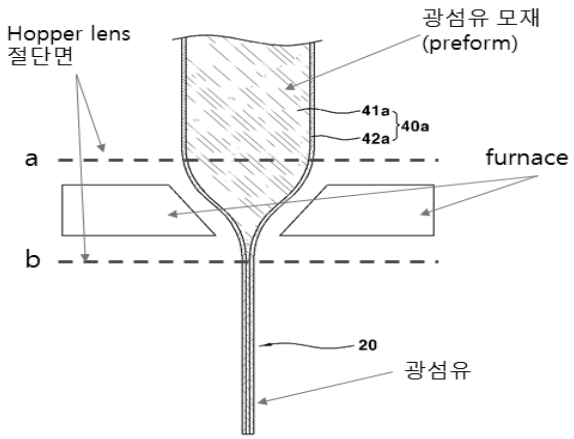


그림 5. 광섬유 모재를 이용한 hopper lens 제작
Fig. 5. The manufacturing of hopper lens in using optical fiber preform.

광섬유를 인발하고 남은 광섬유모재(8)를 그림 a, b지점에서 절단하고 연마를 한다. 이렇게 제작된 출력포트 hopper lens는 중심파장이 850nm, 1300nm, 1550nm 세 종류이다. 입력포트 hopper lens는 파장범위가 830~1570nm이다.

비대칭구조의 이종 간의 hopper lens를 결합시켜 광에너지 교환이 활발히 일어나기 위하여 중간층에 파장영역이 넓은 필터 형 도파로를 삽입하여 버터결합방식의 방향성결합기로 만든다. 그림 6은 hopper lens를 이용한 비 대칭 굴절율분포 및 모드분포로 광 에너지가 원활히 교환 되도록 고려하여 접합한 hopper lens type WDM의 굴절율 분포 설계도이다. 입력포트 hopper lens 코어는 Hn1 이고, 출력포트 hopper lens는 중심파장이 850nm인 경우 코어는 Hna1, 중심파장이 1300nm인 경우 코어는 Hnb1, 중심파장이 1550nm인 경우 코어는 Hnc1이고, 모든 클래드 굴절율은 Hn2가 된다.

그림 6을 토대로 입력포트에서 입사된 파장 830~1570nm의 광 에너지는 도파로를 통과하면서 광 에너지 감쇠현상이 발생한다. 이를 최소화하기 위하여 도파로보다 낮은 인덱스 오일로 감싼다. 출력포트에서는 각기

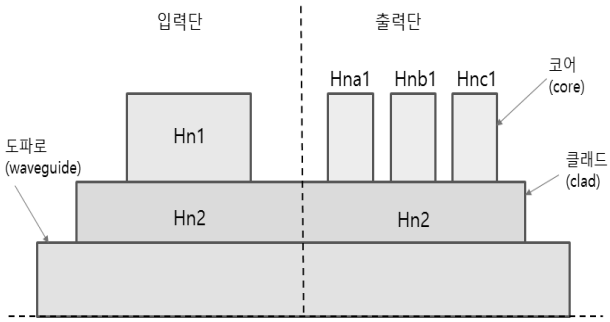


그림 6. hopper lens type WDM의 굴절율분포 모델
Fig. 6. The Model of index profile in hopper lens type WDM.

파장영역이 다른 세 개의 hopper lens가 각 각의 코어에서 해당 굴절율에 적합한 파장영역의 광 에너지만 흡수하고, 나머지는 반사함으로서 전송파장에 적합한 최대의 광 에너지 교환이 일어나며, 그 교환주기도 짧아진다. 이는 양질의 신호전송이 초고속으로 일어남을 의미한다.

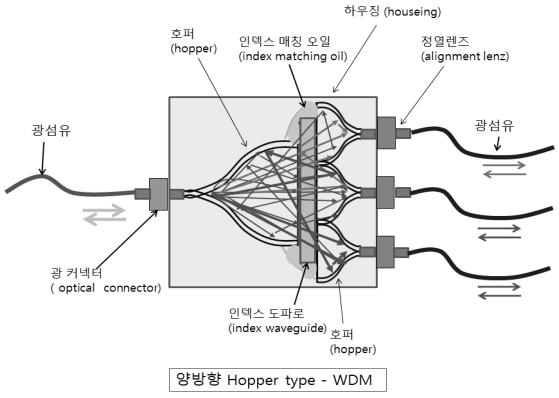
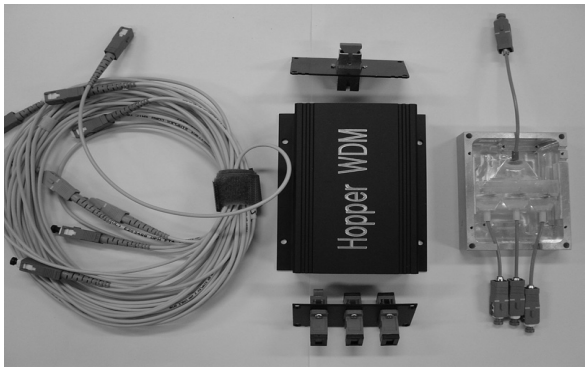


그림 7. hopper lens type WDM의 광 에너지 교환개념도
Fig. 7. The diagram of concept for optical energy exchange in hopper lens type WDM.

사진 1은 그림 6과 7을 바탕으로 실지 제작된 hopper lens type WDM의 부품분리 사진이다. 이종 간에 비대칭 결합된 정열hopper lens가 -30℃~+50℃ 온도변화에 안정성을 유지하기 위하여 내열성 강화금속재질로 외관을 설계하였고, 교환된 광 에너지 삽입손실을 최소화하기 위한 방법으로 각 입력 및 출력 포트별로 해당 중심파장의 상용 광섬유코드로 결합되었다. 구성은 시스템 신호연결 광 점퍼코드와 내구성 강도를 고려한 외관케이스 및 연결 커넥터 그리고 금속으로 감싼 hopper 정열 lens군으로 이루어졌다.



사 진 1. 제작된 hopper lens type WDM
Picture 1. The hopper lens type WDM in the marking.

Ⅳ. 실험시스템구축 및 실험

초고속 광통신망에서 각종 데이터서비스와 고화질의 비디오 서비스가 급격히 증가 하면서, 이러한 데이터를 수용하기 위한 파장분활 다중방식(WDM)의 핵심 부품들의 특성이 현대의 초고속 광통신망의 운영, 유지, 관리의 핵심 근간이 된다. 따라서 본 연구에서 제작된 hopper lens type WDM 부품의 상용화를 위한 성능실험에서 광 에너지 전송출력과 삽입손실 그리고 광 신호를 왜곡시킬 수 있는 요소인 편광모드분산과 색(파장)분산을 함께 측정하였다. 편광모드분산과 색(파장)분산은 광신호 전송 시스템에서 구형파로 변조되는 광 신호의 펄스폭의 확대를 유발하여 광시스템의 최대 전송길이를 제한하고, 전송품질을 악화시키는 요소이다. 먼저 광 에너지 전송과 삽입손실을 측정하기 위하여 그림8과 같이 실험시스템을 구성한다. 구성은 브로드밴드광원, 광 파워 메터(meter), 증폭 및 신호처리 전자회로, 파장 및 스펙트럼 분석기, PC 및 프린터로 구성되어졌다. 사진2는 개발된 hopper lens type WDM의 특성측정시스템 구성 사진이고, 사진3은 실용평가를 위하여 상용화된 광 전송시스템에 적용한 초고속 광 MUX 제품(9) 사진이다.

측정된 광 파워는 그림9와 같이 1mW 브로드밴드 광원에서 중심파장이 1550nm인 경우 출력포트 P1(그림3 참조)은 0.5 V로 광세기가 안정된 특성을 지니고, 중심파장이 1300nm인 P2 경우에는 0.3~05V의 광세기이며, 중심파장이 850nm인 P3는 0.1~0.5V 까지 광세기 변화량이 큰 것으로 나타났다. P3 경우 이는 멀티모드용 장파장의 hopper lens로 출력포트가 구성되었기 때문이다. 따라서 세 개의 모든 출력포트는 양질의 신호전송이 가능함으로 나타난다.

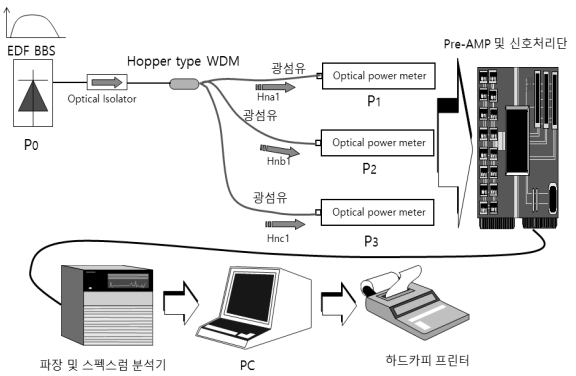
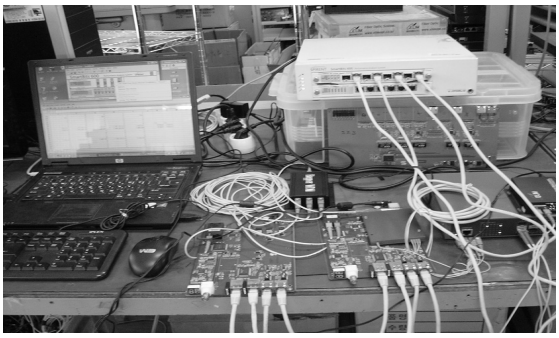


그림 8. hopper lens type WDM의 특성측정시스템구성
Fig. 8. The data analysis and signal measurement system of characteristics based on hopper lens type WDM in the making.



사 진 2. 구축된 hopper lens type WDM 측정시스템
Picture 2. The measurement system of characteristics based on hopper lens type WDM in the making.

그림 10은 다양한 값의 편광모드 분산 값을 측정한 데이터 그림이다. 세 개의 출력 hopper lens(P1, P2, P3)가 안정된 분산 값 ∓ 2.5ps 값으로 나타났다.

그림 11은 다양한 값의 색(파장) 분산 값을 측정한 데이터 그림이다. 세 개의 출력 hopper lens(P1, P2, P3)

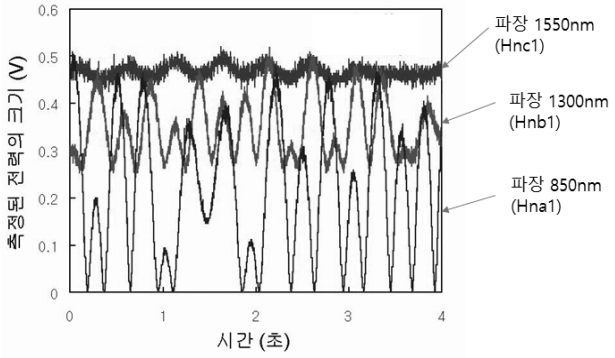


그림 9. 각 hopper lens 포트별 광세기 전력 측정값
Fig. 9. The value of optical power to be take a measurement in each hopper lens output.

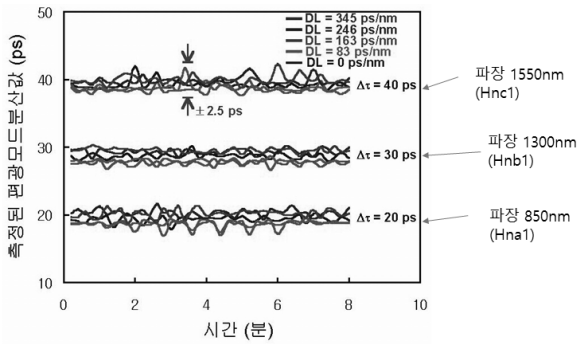


그림 10. 각 hopper lens 포트별 편광모드 분산 측정값
Fig. 10. The value of polarization mode dispersion to be take a measurement in each hopper lens output.

가 안정된 색 분산 폭 값 ∓ 30ps/nm 값으로 나타났다. 출력포트별로 P1은 345ps/nm이고, P2는 246ps/nm이며, P3는 163ps/nm으로 다양한 색 분산에서도 중심파장이 1550nm파장대의 출력 hopper lens에서 우수하게 나나났다.

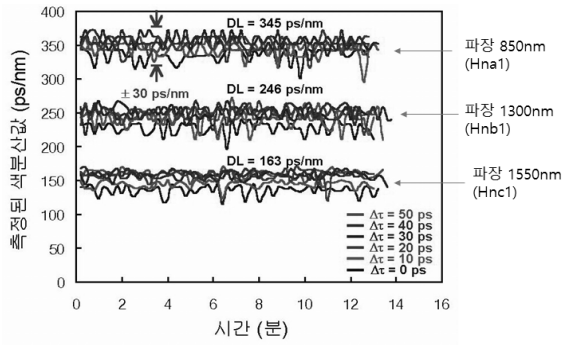


그림 11. 각 hopper lens 포트별 색 분산 측정값
Fig. 11. The value of chromatic dispersion to be take a measurement in each hopper lens output.

사 진 3. Hopper lens type WDM을 이용한 상용 광MUX 시스템
Picture 3. The optical MUX system based on hopper lens type WDM in the making actually.

Ⅴ. 결과 고찰

국내에서 최초로 개발된 Hopper lens type WDM(특허등록번호: 10-1502954)은 비대칭 버트결합(butt coupling) 광학계구조의 광통신용 쌍방향성 1×3 WDM 이다. 기존 1×3 광 커플러(optical coupling)에 비하여 광 삽입손실이 평균 0.02~0.03dB정도 우수한 것으로 나타났다. Hopper lens type WDM은 입·출력 3개 포트에서 사용되는 중심파장이 각각 850nm, 1300nm, 1550nm 이고, 편광모드 분산 값은 세 개의 출력 hopper lens(P1, P2, P3)가 안정된 분산 값 ∓ 2.5ps 값으로 나타났다. 다양한 값의 색(파장) 분산 값은 세 개의 출력 hopper lens(P1, P2 P3)가 안정된 색 분산 폭 값 ∓ 30ps/nm 값으로 나타났다. 그리고 측정된 광 파워는1mW 브로드밴드 광원에서 중심파장이 1550nm인 경우 출력포트 P1은 0.5 V로 광세기가 안정된 특성을 지니고, 중심파장이 1300nm인 P2 경우에는 0.3~05V의 광세기이며, 중심파장이 850nm인 P3는 0.1~0.5V 까지 광세기 변화량이 큰 것으로 나타났다. 개발된 Hopper lens type WDM은 상용 초고속 광 MUX 제품인 광 전송시스템에 적용이 가능한 우수한 광학부품이다.

본 연구를 통하여 비대칭 버트결합(butt coupling)광학계구조의 광통신용 쌍방향성 실용 Hopper lens type WDM에 대한 설계 및 제작기술을 국내처음 마련하였다.

REFERENCES

[1] K.B.Kim, Journal of the Electronics Engineers of Korea, Vol 50, No 12, pp. 3225-3229, December 2013
[2] K.B.Kim, Journal of the Electronics Engineers of Korea, Vol 51, No 10, p2390-2397, October 2014
[3] K.B.Kim, Journal of the Electronics Engineers of Korea, Vol 52, No 11, pp. 2050-2057, November 2015
[4] K.B.Kim San hack researches commissioned of government, “A study of Hopper type WDM be in the making” Report, May 2013.
[5] Brinkman, W.F and D,V.Lang “Physics and the Communications Industry” Review of Modem Physics. Vol 2, 1999.
[6] S. Ohshima et.al.,, “Small Loss-Deviation Tapered Fiber Star coupler for LAN” J .Lightwave Tech., LT-3, pp. 556-560, 1985.
[7] C.M.Kim,et al. “Guided-Wave & Integrated Optics” Vol 2, pp. 343-350, 2002.
[8] Refi, James J.“ Optical Fibers for Optical Networking” Bell Labs Journal. pp. 246-261, March. 1999.
[9] Newell, Wade S. “Multi-Protocol High-Performance Serial Digital Optic Data Links” Proceedings of Design Super Con'95, Santa Clara,CA, Mar2-4, 1995.

저 자 소 개

김 경 복(정회원)
1984년 광운대학교 전자공학과 학사 졸업.
1986년 연세대학교 전자공학과 석사 졸업.
1999년 한양대학교 전자공학과 박사 졸업.
1986년~1991년 LG종합연구소 광통신 시스템실
1992년~현재 경복대학교 지능로봇과 교수
<주관심분야: 광통신시스템, 광섬유센서, 광 신호처리, 광부품 및 소자>