

광 스위치 구조 분석 평가와 파장 변환기를 이용한 회선 경쟁 회피 실험

이상화^{1*}

¹서원대학교 정보통신공학과

Optical Switch Structure Analysis Evaluation and Line Competition Avoidance Test using Wavelength Converters

Sang-Wha Lee^{1*}

¹Department of Information & Communication, Seowon University

요약 본 논문에서는 여러 가지 광 스위치들의 기능, 구조 및 장단점들을 비교 분석하여 이를 토대로 광 스위치를 선택하고, 이 스위치 모듈에 있는 파장변환기를 이용하여 블록킹을 피하기 위한 회선 경쟁 회피 스위칭 실험을 하였다. 스위치 패브릭의 성능을 평가하는 기본적인 기준은 년블록킹(nonblocking), 모듈성(modularity), 업그레이드 능력(upgrade ability) 그리고 광 손실(power loss)인데 이들을 종합적으로 분석 평가하여 스위치를 선택하였다. 이렇게 선택된 스위치 패브릭은 블록킹 발생을 피하기 위한 3가지의 경우에 대하여 파장 변환을 통한 스위칭을 함으로써 회선 경쟁 회피를 할 수 있음을 보여주었다. 이 실험의 결과는 파장 변환기의 제어를 통하여 경로를 바꾼 광신호가 출력단에서 바뀐 광파워(power)의 피크임을 보여줌으로써 라인 경쟁을 피하여 스위칭 되었음을 확인하였다. 또한 스위치보드에서 시간에 따른 광 파워의 변화를 분석하여 스위칭에 필요한 스위치의 채널 설정 시간과 해제 시간을 알아내었다. 이에 대한 분석 결과를 망설계시 반영하면 경제적이고 효율적인 네트워크 구조로 디자인할 수 있다.

Abstract This paper presents the line contention avoidance experiments with an optical switch, which was selected based on the comparison analysis and evaluation of the various characteristics. For example, the function, structure, strengths and weaknesses of the optical switches. After considering the nonblocking, modularity, upgrade ability and optical power loss of the several kind of the switch fabrics, a switch was selected. The selected switch fabric by using wavelength converters was controlled to avoid contention of the optical lines. In this experiment shows an example of three cases. As a result of this experiment, optical signal shows a changed peak of optical power in output. By showing a peak it confirms that the contention was avoided. By analyzing of changed optical power according to the channel setting time and release time to control of the switch could be determined. If this analysis applied to the network design, economical and efficient structures can be formed.

Key Words : Switch, Wavelength Converter, Optical Path Cross-Connect, Virtual Wavelength Path

1. 서론

광경로크로스컨넥트(OPXC: Optical Path Cross-Connect) 노드 시스템은 파장, 데이터 전송속도, 포트수, 년블록킹(nonbloking)의 특성 및 모듈화 능력의 5가지 기능으로 크게 구분되어 평가 된다[1]. 첫 번째로 OPXC는 장거리

전송시에 발생하는 광손실과 스위칭할 때 발생하는 손실을 보상하기 위해 광증폭기를 사용해야 하는데, 광증폭기가 균일하게 증폭할 수 있는 대역이 제한되어 있으므로 그 대역에 맞는 유용한 파장을 고려하여 설계하여야 한다. 두 번째로 WP (Wavelength Path) 또는 VWP(Virtual Wavelength Path)가 적용되는 OPXC는 현재 사용 중인

*Corresponding Author : Sang-Wha Lee(Seowon Univ.)

Tel: +82-10-4312-4567 email: swl@seowon.ac.kr

Received November 26, 2013 Revised December 27, 2013 Accepted January 9, 2014

네트워크에 적용을 위해 그 네트워크에 맞는 전송 속도를 지원해야 한다. 세 번째로 포트수는 예를 들면, ATM 크로스컨넥트는 현재 사용 중인 제품이 2.5Gbps를 수용할 수 있는 8개 포트 구성 되어 있다면 데이터의 양은 8포트 * 2.5Gbps = 20Gbps로 구성 된다. 반면에 OPXC는 16개 포트를 수용할 수 있고, 각각의 포트는 8개의 파장을 사용할 수 있다고 한다면 1개의 파장은 2.5Gbps 전송량을 지원할 것이고 데이터의 양은 16포트 * 8개 파장 * 2.5Gbps = 320Gbps로 구성된다. 따라서 포트수의 차이에 의한 수용할 수 있는 정확한 데이터의 양을 계산하여 설계하여야 한다. 네 번째로 네트워크 복원 또는 새로운 광경로(optical path) 설치 시 사용 중인 광경로에 영향을 주지 않기 위해서 OPXC 노드 구조는 논블록킹 특성을 가져야 한다. 다섯 번째로 트래픽 요구가 적을 경우에는 시스템의 모듈화가 적절이 되지 않지만, 트래픽 요구가 많으면 비용과 확장성 등이 중요하므로 광스위칭 네트워크와 OPXC 노드 구조의 모듈화는 중요하다. 트래픽이 증가한다고 해서 모듈들이 증가 하면, 시스템 구성이 복잡해지므로 지연이 발생할 수 있고, 비용이 많이 들어간다. 하지만, 적절한 모듈방식을 취한다면 이러한 문제는 해결할 수 있다.

본 논문에서는 지금까지 제안된 광스위치의 구조, 특징 및 장단점을 비교 분석 평가하여 실험에 사용할 스위치를 선정한다. 이어서 회선 결합에서 일어날 수 있는 세 가지 경우의 블록킹을 피하기 위하여 선정한 스위치 패브릭의 파장 변환기를 이용하여 경로를 변경한다. 이렇게 경로를 바꿔서 스위칭 된 광파워는 출력단에서 피크를 분석함으로써 스위칭을 통하여 충돌 없이 전송되었음을 확인한다. 또한 광출력 파워 신호를 분석하여 스위칭시의 경로설정 및 경로 해제에 걸리는 시간을 알아낸다.

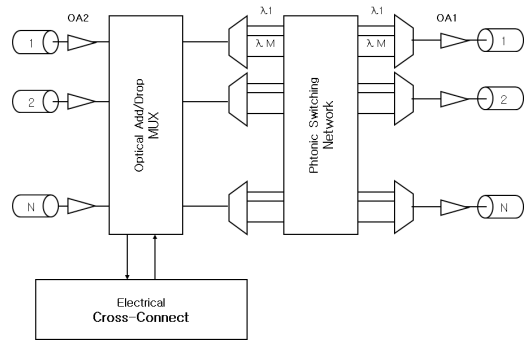
2. 스위치 구조 분석

2.1 일반적인 OPXC 노드 구조

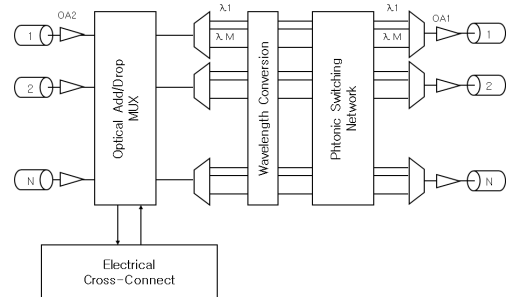
WP/VWP 방식이 적용된 OPXC는 Fig. 1 (a)에서 보여 준다. 광경로는 OADM(Optical Add-Drop Multiplexer)에서 종료되고, OPXC와 EPXC(Electrical Path Cross-Connect) 사이의 인터페이스가 연결된다. Fig. 1 (b)의 VWP-OPXC에는 파장 변환기가 필요하며 이 파장 변환기는 광스위칭 네트워크의 전단에 설치된다. 이 구성을 전방형(prefix type) OPXC 구조라고 하고, 여기에는 가변 파장 LD를 가진 E/O 변환기가 적당하다. 이와 반대로, 광스위칭 네트워크의 후단에 파장 변환기를 설치하는 것도 가능하다. 이 구성을 후방형(postfix type) OPXC 구조라고 하고, 여

기에는 고정 파장 LD를 사용할 수 있다. 그러나 입력되는 파이버(fiber)에서 O/E 변환기에 의해 매우 높은 광손실이 발생하므로, 손실 보상을 위해 광스위칭 네트워크에서 광증폭기를 사용해야 한다.

WP 방식에는 2가지 형태가 있는데 재생 타입 WP는 OPXC 노드에서 O/E-E/O 타입의 광재생 회로를 사용하고 비재생 타입 WP는 in-line 광증폭기를 사용한다. 비재생 타입 WP에서는 스위칭 네트워크로 통과하는 각각의 경로에 나타난다.



(a) WP-OPXC node structure



(b) VWP-OPXC node structure

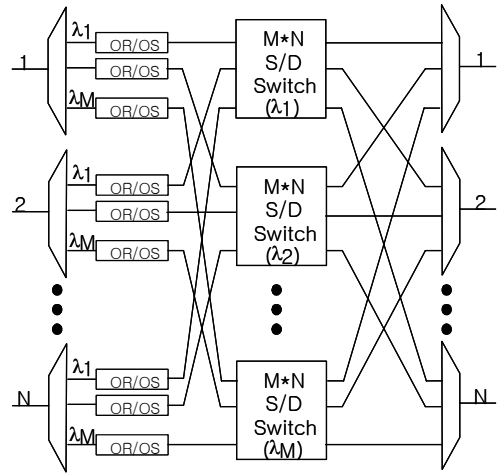
[Fig. 1] General OPXC node structure

2.2 일반적인 OPXC 노드 구조

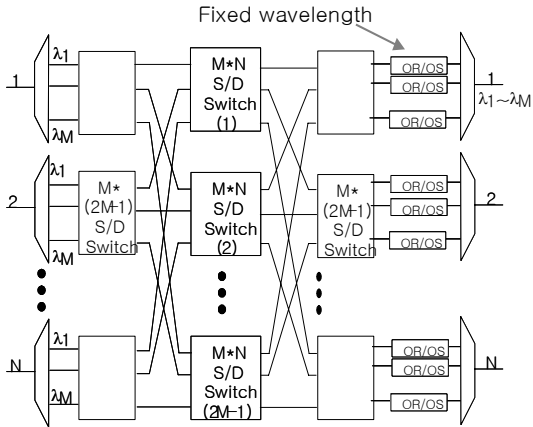
SD(Space Division) 스위치를 기반으로 한 OPXC 스위치 패브릭(fabric) 구조는 Fig. 2의 (a)-(d)에 나타나 있다. Fig. 2 (a)는 대규모 SD 스위치를 구성하기 위해 Clos switching network 처럼 다단식으로 놓여있고 이러한 스위치 네트워크에서는 논블록킹(nonblocking)의 기능이 요구되어진다[2]. 이 구조를 VWP-1 이라고 정의한다. VWP-1은 뒷단에 붙이는 타입의 OPXC(postfix type OPXC)이기 때문에 고정 파장 LD를 OS(Optical Sender)에 사용할 수 있다. Fig. 2 (b)는 가변 파장 LD를 사용하여 OS를 구성한 것으로서, VWP-1보다 간단한 구조로 구성할 수 있다. 이 구성을 VWP-2 라고 정의한다. Fig. 2

(c)는 SD스위치로 구성된 WP 스위치를 나타낸다. WP 스위치는 파장 변환을 하지 않고, 일정하게 파장을 보유하는 동안에 OPXC 접속을 이룬다. 이 구조를 WP-1이라 칭한다. Fig. 2 (d)는 비 재생 타입 WP 네트워크를 나타내고 이 구조를 WP-2라 칭한다. 이 구조는 여러 개의 가변 파장 전송 장치(LD)와 필터들을 가진다. 이 방식은 strictly한 nonblocking 특성은 없지만, 재배치 nonblocking 특성은 지닌다. 때문에 이 방식의 OPXC 구조는 네트워크 복원과 관련한 전송 네트워크(transport network)에 적용하는 것은 적당하지 않다.

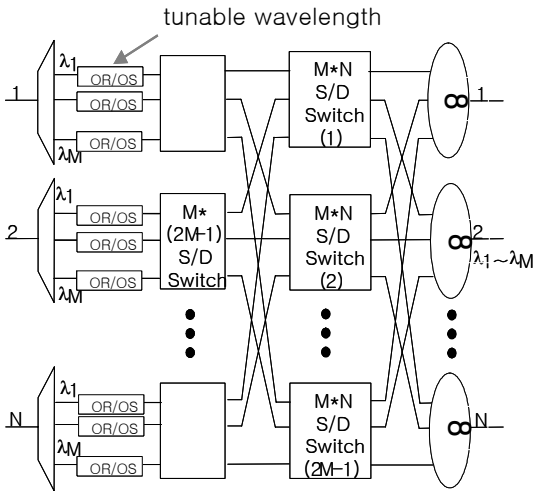
위의 내용을 종합해 보면 SD 스위치를 기반으로 한 VWP-OPXC는 SD 스위치의 수가 입력력 포트 수에 비례하여 엄청나게 많아지게 된다. SD 스위치를 기반으로 한 WP-OPXC는 파장 수 만큼의 SD 스위치만 있으면 되지만 WP 방식의 한계가 있기에 이 또한 단점을 가지고 있다.



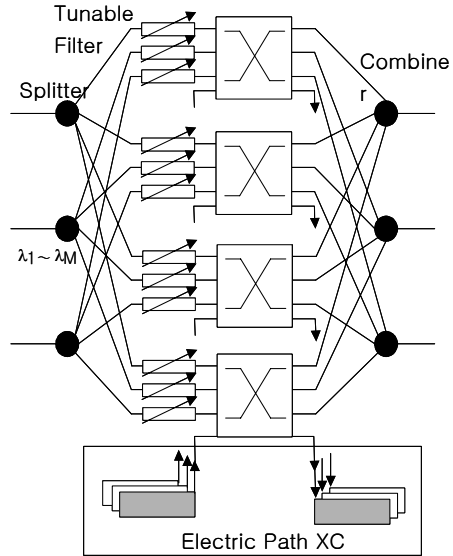
(c) SD-switch OPXC(WP-1)



(a) SD-switch OPXC(VWP-1)



(b) SD-switch OPXC(VWP-2)



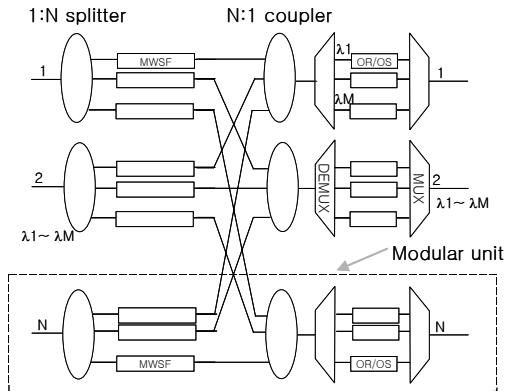
(d) SD-switch OPXC(WP-2)

[Fig. 2] VWP-OPXC node structure

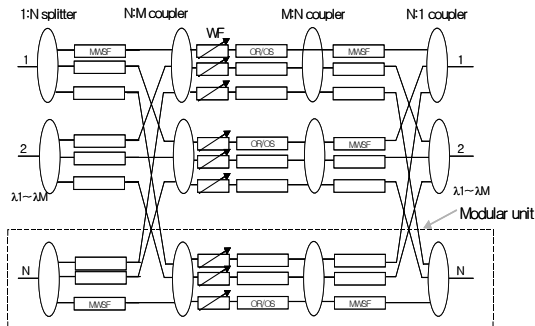
2.3 스플리터와 필터를 사용한 스위치 패브릭

Fig. 2에 있는 SD 스위치는, 광파워 스플리터(optical power-splitter)들과 파장 필터들의 조합으로 대체할 수 있다. 반면에 Fig. 3에서의 WP 스위치는 MWSF(Multi Wavelength Selective Filters)를 사용하여 각각의 링크로부터 입력된 광경로는 MWSF에서 제어하여 입력된 파장들을 적당한 목적지로 전달한다. Fig. 4는 MWSF를 사용한 VWP 스위치를 나타낸다. 이는 rearrangeable nonblocking switch의 형태이다. 여기서, 앞단의 MWSF는

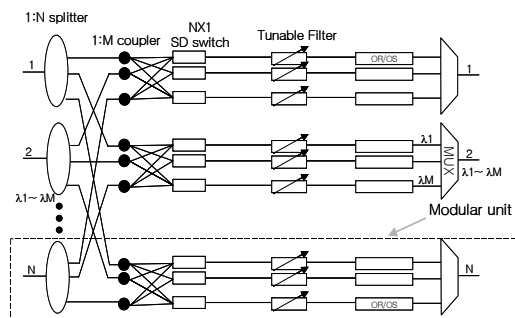
파장 변환기들로 입력된 광경로 신호들을 제어하여 전달하고, 뒷단의 MWSF는 신호들을 변환하여 목적지 포트 로 전송한다. 여기에서 같은 파장의 신호가 같은 스타 커플러(star-coupler)에 들어가지는 않는다. Fig. 5는 광 스타 커플러, tunable WF(Wavelength Filter)와 게이트(gate) 스위치로 strictly nonblocking 스위치 구조를 구현할 수 있는데 이러한 구조를 " λ -스위치"라고 한다.



[Fig. 3] WP switch structure using MWSF



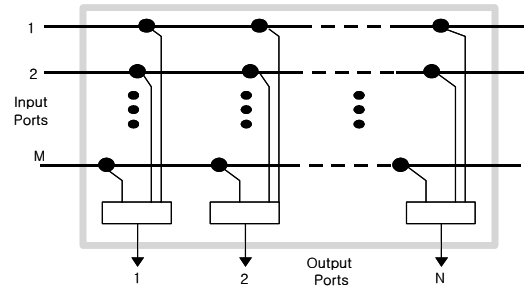
[Fig. 4] VWP switch structure using MWSF



[Fig. 5] OPXC structure using parallel λ -switch

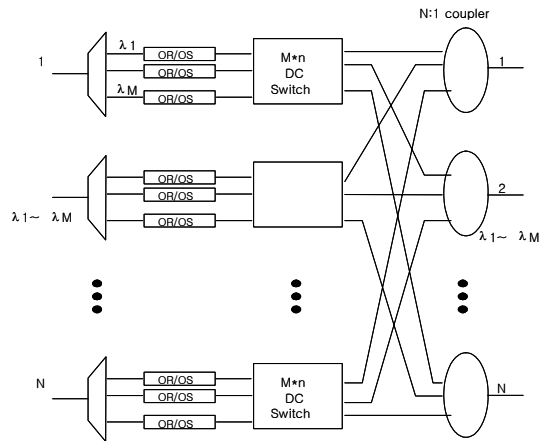
2.4 DC-스위치를 사용한 스위치 패브릭

Fig. 6 (a)는 $M \times N$ DC 스위치 구성을 보여주고 (b)는 DC 스위치로 구성된 OPXC의 구성을 나타낸다. 이러한 DC 스위치의 특징은 간단한 구조로 N 개의 출력 포트들이 M 개의 입력 파장들에 대해 모두 연결되어 있게 한다. 즉, 같은 파장에 있는 광신호들을 서로 다른 출력 포트 로 연결할 수 있다. DC 스위치로 구성된 OPXC의 큰 장점은 SC 스위치 방식보다 소수의 구성 요소와 우수한 모듈화 특성을 가진다는 것이다. 즉, 입력 링크 수만큼의 DC 스위치가 있으면 OPXC 구성이 가능하다. DC 스위치 기반의 OPXC에서는 WP-OPXC에서 VWP-OPXC로의 호환성이 매우 높다.



- : 1 * 2 switch
- : M : 1 coupler

(a) DC Switch 구조

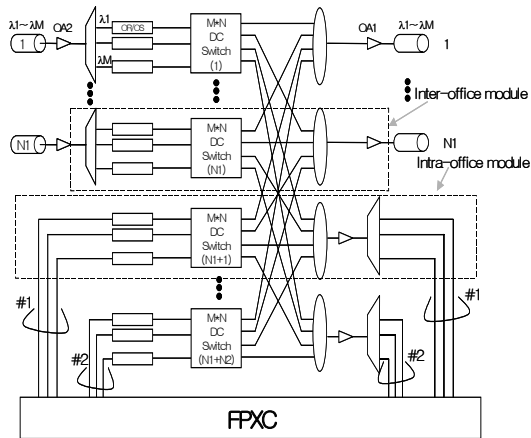


(b) DC-Switch-base OPXC 구조

[Fig. 6] OPXC structure using DC Switch

OPXC와 EPXC의 정합을 통하여 DC 스위치 기반 OPXC 노드 구조를 형성할 수 있다. Fig. 7은 DC 스위치

기반의 OPXC 노드 구조의 WP/VWP 호환성을 보여준다. 두 개의 파장이 OPX로 입력되어 EXC로 drop 되는데 이때 할당된 파장이 같다고 하면, WP 방식일 경우에는 2개의 intra-office 모듈(N2=1)만 있으면 된다. 실제로 다중화된 파장dI M=8일 경우에 WP 방법은 VWP 보다 더 많은 intra-office 모듈을 필요로 한다.



- OR/OS: VWP⇒Wavelength Converter
(with tunable LDs)
- WP⇒Regenerator or Wavelength Converter
(with fixed wavelength LDs)
- Intra-office transmission : single-channel transmission
- $N = N1 + N2$

[Fig. 7] OPXC structure using DC Switch

2.5 OPXC 구조 평가

2.5.1 광 손실

광 손실은 전송 구간에서의 손실과 OXC 구성요소에서 스위칭 동작 과정에서 발생하는 손실이 있다. 각종 스위치를 기반으로 한 OPXC 구조들에 대해 광 손실의 차이를 Table 1에 나타내었다. Table 1에서와 같이 광 손실의 관점에서 보면, SD 스위치로 구성된 OPXC가 손실이 가장 적지만 이는 WP 방식에 해당한다. 따라서 VWP-OPXC를 위해서는 DC-스위치와 λ-스위치가 가장 적합하다는 것을 알 수 있다.

2.5.2 모듈화

모듈화 역시 Table 1에서 보면 알 수 있듯이 DC-스위치와 λ-스위치가 가장 적합하다는 것을 알 수 있다.

2.5.3 진화

DC-switch-based OPXC구조에서, 고정 파장 OS(Optical

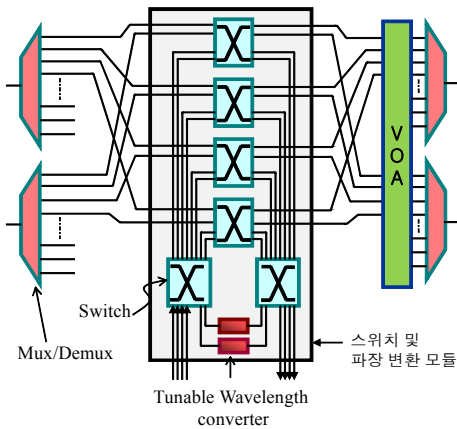
Sender)를 가변 파장 OS로 바꿈으로써 WP 방식에서 VWP 방식으로 업그레이드(upgrade)할 수 있다. 이것은 OR/OS 패키지를 간단히 교체함으로써 WP-OPXC에서 VWP-OPXC로 서서히 발전시켜 나갈 수 있음을 의미한다. 마찬가지로 고정 파장 필터를 가변 파장 필터로 교체함으로써 WP 방식에서 λ-스위치 기반의 VWP-OPXC를 구현할 수 있다.

[Table 1] comparison of Switch OPXC structure

OPXC type	nonblock-ing	modularity	upgrad-ability	Loss
SD-switch (WP-1)	Strictly	low	No	Small
SD-switch (WP-2)	Rearran-gable	Low	No	Small
SD-switch (VWP-1)	Strictly	Medium	Poor	Large
SD-switch (VWP-2)	Strictly	Medium	Poor	Large
MWSF (WP)	Strictly	High	No	Large
MWSF (VWP)	Rearran-gable	High	Poor	extremely large
λ-switch (WP/VWP)	Strictly	High	Good	Medium
DC-switch (WP/VWP)	Strictly	High	Good	Medium

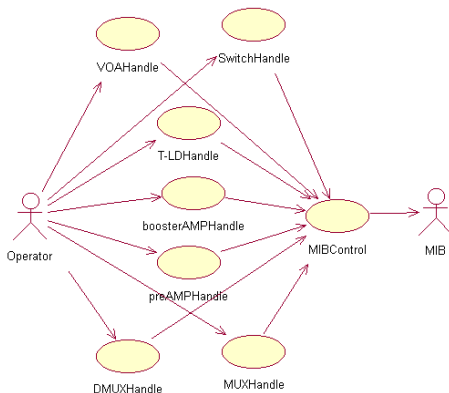
3. 파장 변환기를 이용한 회선 결합 회피 실험

파장변환기를 이용한 회선결합 회피를 위한 실험에는 λ-스위치 패브릭을 선택하였다. Fig. 8과 같이 이 스위치는 각 입력 링크로부터 같은 파장의 광신호를 모아서 스위칭 하는 구조로서 중형 스위치로 구현이 가능하고 파장 변환 모듈을 공유하고 단위 모듈을 추가함으로써 채널수를 확장할 수 있는 모듈 구조를 갖고 있다. 여기에서 VOA(Variable Optical Attenuator)는 가변 광감쇄기로서 입력 링크 차이 및 광스위치 내 광경로 차이에 따른 손실차를 보상하여줌으로써 WDM 전송 조건 충족시켜주는 역할을 하는 모듈이다. 그리고 스위치 하단의 가변 파장 변환기 모듈은 블록킹을 회피하기 위하여 파장 변환하는 역할을 담당한다.

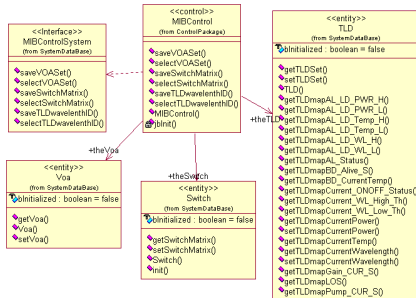


[Fig. 8] Structure using λ -switch fabric

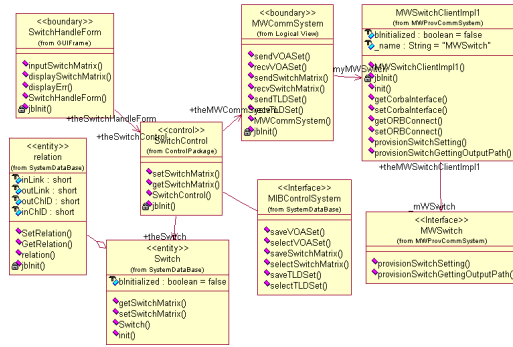
Fig. 9는 시스템 제어 설계에 UML 모델링 도구를 사용한 유즈 케이스(Use Case) 다이어그램을 보여준다. Fig. 10은 MIB(Management Information Base) 제어 클래스 다이어그램을 보여주고, Fig. 11은 스위치 핸들링을 위한 클래스 다이어그램을 나타내었다. 그리고 Fig. 12는 스위치 핸들링을 위한 시퀀스 다이어그램을 보여준다.



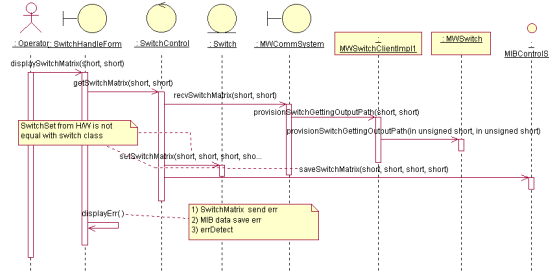
[Fig. 9] UnitHandle Use Case Diagram



[Fig. 10] MIB(management information base) Control Class Diagram



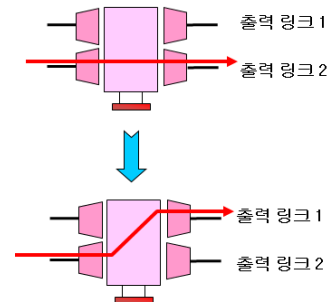
[Fig. 11] SwitchHandle Class Diagram



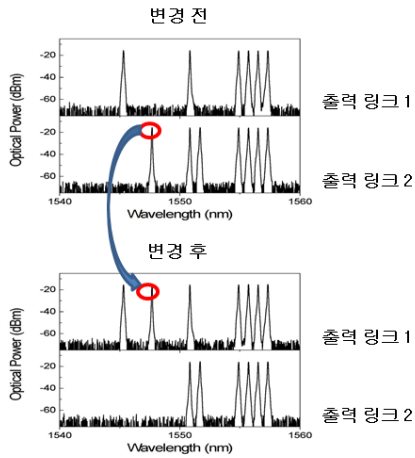
[Fig. 12] SwitchHandle Sequence Diagram

첫 번째 실험으로 변경하고자 하는 경로에 파장 채널이 점유되어 있지 않은 경우 파장 변환 없이 경로를 변경하여 스위칭 되는 모습을 Fig. 13에서 보여준다. Fig. 14에서 보면 출력링크2에서 출력링크 1로 광파워의 피크가 바뀐 것을 확인할 수 있다.

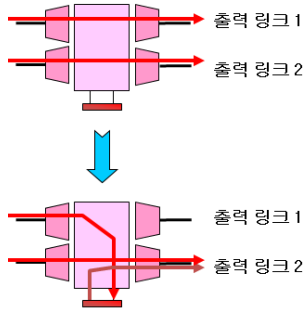
두 번째 실험은 변경하고자 하는 링크의 파장 채널이 점유되어 있는 경우 파장 변환을 통하여 회선 결합을 회피하여 스위칭 되는 모습을 Fig. 15에서 보여주고, Fig. 16에서는 (a)에서 (a')로 링크가 변경되어 출력링크에 새로운 광파워 피크가 나타난 것을 확인할 수 있다.



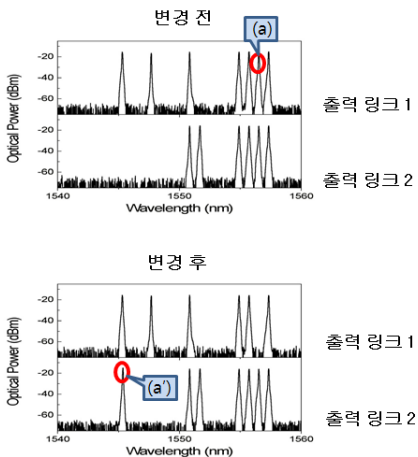
[Fig. 13] first test



[Fig. 14] first test result



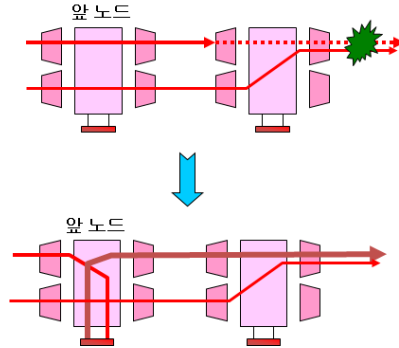
[Fig. 15] second test



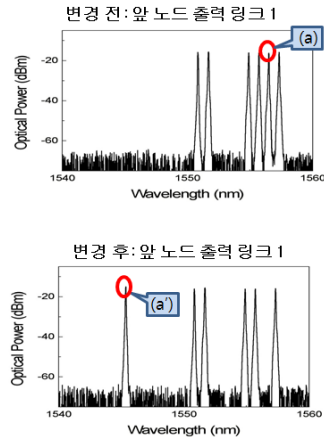
[Fig. 16] second test result

세 번째 실험에서는 Fig. 17과 같이 다음 노드에서 진행하고자 하는 링크의 파장 채널이 점유되어 있고 파장 변환기가 모두 점유되어 있는 경우 앞 노드에서 파장 변환하여 회선 경합을 회피하고 스위칭 되는 것을 보여준

다. Fig. 18의 (a)에서 (a')로 광파워 피크가 바뀌어 있는 것을 확인 할 수 있다.



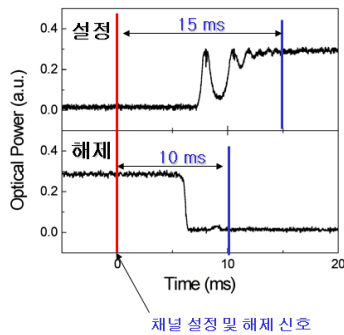
[Fig. 17] third test



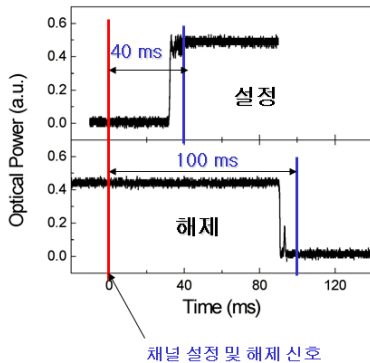
[Fig. 18] third test result

광스위치 및 주변회로로 구성된 스위치보드는 8×8과 16×16의 두 종류 모두에서 경로 설정 및 경로 해제 시간을 측정하였다. 8×8 스위치보드에서의 삽입손실은 0.7dB ~3.6dB이고 PDL(Polarization Dependent Loss)은 0.4 dB 이하이며 크로스톡(Crosstalk)은 -50 dB 이하로 측정되었다. 이 보드에서의 스위치 경로 설정 시간은 Fig. 19에서와 같이 15ms 이하이고 경로 해제 시간은 10ms 이하이다.

16×16 스위치보드에서의 삽입손실은 0.4dB~ 7dB이고 PDL은 0.9dB 이하이며 크로스톡(Crosstalk)은 -50 dB 이하로 측정 되었다. 이 보드에서의 스위치 경로 설정 시간은 Fig. 20에서와 같이 40ms 이하이며 경로 해제 시간은 100ms 이하이다.



[Fig. 19] Channel settings and turn signals by 8×8 Switch board



[Fig. 20] Channel settings and turn signals by 16×16 Switch board

4. 결론

본 논문에서는 여러 가지 특징을 갖고 있는 광스위치들을 비교 분석하고 평가 한 후에 실험에 사용할 스위치 패브릭을 선정하였다. 이 스위치 모듈의 파장 변환기를 이용하여 블록킹을 피하기 위한 3가지의 경우에 대한 회선 경합 회피 예를 보여주었다. 그리고 스위치의 출력단에서 측정된 파장의 광파워 피크의 변화를 보여줌으로써 경로 회피를 성공적으로 마쳤음을 확인하였다. 또한 스위치보드에서 시간에 따른 광파워의 변화를 분석하여 스위칭에 필요한 신호의 스위치 채널 설정 시간과 해제 시간을 측정할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 하여 광네트워크를 설계하면 효율적이고 경제적인 구조로 디자인할 수 있다. 앞으로의 연구는 이를 바탕으로 하여 링, 메시 망 등에서 발생할 수 있는 블록킹 확률을 시뮬레이션 하여 필요한 파장변환기의 개수를 예측하는 것이다.

References

- [1] Papadimitriou, Georgios I., Papazoglou, Chrisoula, "Optical Switching", John Wiley & Sons Inc, 2007.
- [2] Chi-Ping Lee, Chien-Ping Chang, Jiun-Shiou Deng, Min-Hao Li, Ming-Feng Lu, Yang-Tung Huang, Ping-Yu Kuei, "A strictly nonblocking network based on nonblocking 4×4 optical switches", Optical Switching and Networking, Volume 9, Issue 1, pp.1-12, January 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.osn.2011.02.001>
- [3] Jing Ma, Chun Jiang, "Design and analysis of all-optical switches based on fiber parametric devices", Optics Communications, Volume 281, Issue 9, pp.2605-2613, 1 May 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2007.12.059>
- [4] Mehrdad Saif, Behrouz Ebrahimi, Mehdi Vali, "A second order sliding mode strategy for fault detection and fault-tolerant-control of a MEMS optical switch", Mechatronics, Volume 22, Issue 6, pp.696-705, September 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2012.02.008>
- [5] Li, Baojin, Chua, Soo Jin, "Optical Switches : Materials and Design", Woodhead Publishing, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1533/9780857090416>
- [6] Amit Wason, R.S. Kaler, "Lightpath Rerouting Algorithm to enhance blocking performance in all-optical WDM network without wavelength conversion", Optical Fiber Technology, Volume 16, Issue 3, pp.146-150, June 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.yofte.2010.02.003>
- [7] Rajneesh Kaler, R.S. Kaler, "Performance analysis of metro WDM network based on an optical cross connects and arrayed waveguide grating demultiplexer", Optik - International Journal for Light and Electron Optics, Volume 122, Issue 7, pp.620-625, April 2011.
- [8] Rza Bashirov, Tolgay Karanfiller, "On path dependent loss and switch crosstalk reduction in optical networks", Information Sciences, Volume 180, Issue 6, pp.1040-1050, 15 March 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2009.11.017>

이 상 화(Sang-Wha Lee)

[정회원]



- 1994년 10월 : 도르트문트대학교 (컴퓨터공학석사)
- 1998년 11월 : 도르트문트대학교 (컴퓨터공학박사)
- 2000년 2월 ~ 2002년 8월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2002년 9월 ~ 현재 : 서원대학교 정보통신공학과 교수
- 2008년 7월 ~ 2009년 6월 : 한국전자통신연구원 초빙연구원

<관심분야>

정보통신, 인공지능, 컴퓨터 네트워크, RFID/USN