

# 광섬유 지연선로 트랜스버설 필터를 이용한 파장 가변 OADM의 특성

정희원 윤찬호\*, 신종덕\*\*

## Characteristics of A Tunable OADM Using A Fiber-Optic Delay-Line Transversal Filter

Chan-Ho Yoon\*, Jong-Dug Shin\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 광대역 파장 영역에서 반사율이 일정한 금속 박막이 증착된 광섬유 탭 지연선로들과 광섬유 결합기들로 구성된 트랜스버설 필터 구조를 응용한 파장 가변 광섬유 OADM을 제안하였다. 이상적인 조건에서, 제안된 파장 가변 OADM의 DROP과 PASS 파장들의 손실은 거의 발생하지 않았으며, 지연선로의 단위 시간 지연을 2 ps에서 0.1 % 변환시 모든 포트의 파장이 약 0.78 nm 천이되었다. 또한, 노드로 입력되는 광 신호의 중심파장이 DROP 스펙트럼의 침투 파장에서 드리프트되었을 경우, DROP 포트에서 손실과 각 포트에서 발생하는 누화를 계산하였다. 입력 가우시안 펄스 폭이 10 ps인 경우에 제안된 구조가 처리할 수 있는 최대 비트 전송률은 46.26 Gb/s로 계산되었다.

### ABSTRACT

We have proposed a tunable optical ADM using a fiber-optic transversal filter which is composed of fiber couplers and metal-film coated fiber-optic tapped delay-lines with a flat spectral response in a broad range of wavelength. Simulation results show that the optical loss at the DROP and PASS wavelengths of the OADM is negligible and the wavelength tunability is 0.78  $\mu\text{m}/\text{ps}$  for the unit time delay of 2 ps. In order to investigate the effects of wavelength drift of the input optical signal on the OADM, the loss at the DROP port and the crosstalks to the other ports have been calculated. The maximum bit rates have been calculated at 46.26 Gb/s for the input Gaussian pulse width of 10 ps.

### I. 서론

차세대 통신망에서는 고속 대용량 정보를 경제적으로 전송할 수 있게 됨에 따라, 음성 통신에 주력해 온 기존의 통신기술은 음성, 데이터, 화상 및 영상 등의 다양한 정보를 효율적으로 전달할 수 있도록 각 가입자당 보다 많은 대역폭의 할당이 요구되고 있다. 영국 BT의 트래픽 예측에 의하면, 2010년

이후 통신 트래픽은 약 10 Tbps 이상 수십 Tbps까지 증가될 것으로 전망하고, 세계 시장에서의 신규 회선 수요는 매년 10-15% 씩 증가할 것으로 예상하고 있다. 따라서 광섬유의 대역폭을 보다 효율적으로 활용하기 위해서는 각각의 채널을 서로 다른 파장을 이용하여 하나의 광섬유에 동시에 전송하는 파장 다중화 (Wavelength Division Multiplexing, WDM) 기술이 최근에 활발히 연구되고 있다. WDM 전송 기술은 불과 십 수년 전 그 개념이 처

\* (주)오피콤 멀티미디어팀(chanho@opicom.co.kr),

\*\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 (jdshin@saint.soongsil.ac.kr)

논문번호 : 00129-0417, 접수일자 : 2000년 4월 17일

※ 본 논문은 한국과학재단의 핵심전문연구(KOSEF 971-0919-123-2) 지원에 의한 연구결과임.

음 나온 이후, 전 세계적으로 연구가 되어 왔고 현재는 상용 장비가 나올 정도로 빠른 진전을 보이고 있다. WDM은 전송용량의 증가뿐만 아니라, 통신망 운용 및 제어, 저잡음성, 이중의 데이터 형식 및 프로토콜, 저 오율, 그리고 보다 향상된 통신망 구성 및 복구에 폭넓은 유연성을 제공하므로 결국 보다 경제적인 통신망을 구축할 수 있다. 또한, WDM 통신망의 핵심 구성 요소인 OADM(Optical Add/Drop Multiplexer)의 구조 및 성능 분석에 관한 연구가 미국, 일본, 유럽 연합등에서 활발히 연구되고 있다. OADM은 삽입손실이 적고, 온도 특성이 우수하며, 입력된 신호간에 간섭이 적어야 하며, 넓은 파장 영역에서 신호처리가 가능하고, 소형으로 제작 가능하여야 한다.

현재까지 제안된 OADM 구조들은 다음과 같다. 광섬유 격자를 이용한 OADM은 광섬유 결합기가 직렬 연결된 Mach-Zehnder 간섭계의 각 암(arm)에 광섬유 격자를 위치시킨 구조<sup>[1]</sup>, 광섬유 격자와 광섬유 쿨레이터 이용한 방식<sup>[2]</sup>, DROP과 ADD 신호사이의 간섭 누화를 감소시키기 위해 두 개의 MZ-FG를 직렬 연결한 구조<sup>[3]</sup>, 그리고, 안정된 동작을 위해 100 % 결합기의 결합 영역에 격자를 제작하는 방식<sup>[4]</sup>이 보고되었다. 이와 같은 방법들은 삽입 손실이 적지만 격자 제작시 반사 파장이 이미 결정되어 있으므로 노드에서 서로 다른 파장을 삽입/추출하기 어렵다는 단점을 갖는다. 최근에는 광섬유 격자에 인장이 가해졌을 때 브래그 파장이 변하는 성질을 이용하여 파장 가변적 특성을 지닌 구조<sup>[5]</sup>가 제안되었다. 또한, 일본의 NTT에서는 브래그 격자를 PLC로 구성하여 1 dB 이하의 삽입손실과 20 dB 이상의 소광비를 얻었다<sup>[6]</sup>. 그리고 미국의 Lucent와 일본의 NTT등에서 개발된 AWG(Arrayed Waveguide Grating)는 OXC (Optical Cross Connect), ADM, 그리고, 수동 광 라우터(Passive Optical Router)등에 응용되고 있다. 이와 같은 AWG의 성능은 삽입손실, 편광과 온도 의존성, 누화, 그리고 통과 대역의 형태와 위치에 의해 좌우된다. AWG를 이용한 다채널 ADM 구조는 파장 선택성이 우수하지만 파장 가변을 위해서는 TO (Thermo-Optic) 스위치<sup>[7]</sup>나 EO(Electro-Optic) 스위치<sup>[8]</sup>와 같은 다른 소자와 결합해야 하며, 이러한 소자에 의해 스위칭 속도가 제한된다. 1969년 S. E. Harris와 R. W. Wallace에 의해 제안된 AOTF를 이용하는 OADM 구조<sup>[9]</sup>는 1.3-1.6  $\mu\text{m}$ 의 파장영역에서 SAW(Surface Acoustic Wave)의 주파수를 바꾸어 파장을 가변하여 선택할

수 있다. 이와 같은 OADM은 다채널 추출, 넓은 파장 영역, 그리고 파장 가변이 빠르다는 장점을 갖지만, 필터의 대역폭이 넓고 사이드 로브가 크다. 이와 같은 단점을 해결하기 위해 LiNbO<sub>3</sub> 기판 위에 두 단의 AOTF를 위치시킨 구조가 제안되었다<sup>[10]</sup>. 그 밖에 광섬유 지연선로와 방향성 결합기를 직렬 연결한 공진 결합기를 이용한 OADM이 발표되었다<sup>[11]</sup>. 이 구조는 지연선로의 길이와 단의 수를 조절하여 여러 파장의 삽입/추출이 가능하다. 이상에서와 같이, OADM은 WDM 통신망 아키텍처에 유연성을 제공할 수 있도록 통신망 노드들에서 선택적으로 파장을 분기/결합할 수 있는 파장 가변 기술에 중점을 두고 있는 추세이다. 따라서, 본 논문에서는 현재까지 제안된 OADM들이 파장을 가변시킬수 없다는 단점을 보완할 수 있도록, WDM 통신망의 임의의 노드에서 원하는 채널을 선택적으로 삽입/추출이 가능한 파장 가변 OADM을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 제안된 파장가변 OADM 구조 및 원리에 대해 간단히 설명하였으며, III장에서는 제안된 OADM의 성능을 평가하기 위해, 1550 nm 파장영역에서 각 포트의 강도 스펙트럼과 지연선로의 길이 변화에 따른 파장 가변도를 구하였으며, 입력 파장 드리프트에 의한 손실 및 누화에 관하여 고찰하였으며, 입력 신호의 펄스 폭에 의한 OADM의 출력 펄스폭과 최대 전송률에 관하여 기술하였다. 마지막으로 IV장에서는 본 논문의 연구 결과를 정리하였다.

## II. 파장 가변 OADM의 구조 및 원리

제안된 파장 가변 OADM은 그림 1과 같이 4개의 2x2 3 dB 광섬유 결합기, PZT, 그리고 넓은 파장영역에서 균일한 반사율을 갖는 금속 박막이 증착된 광섬유 지연선로<sup>[12]</sup>로 구성된다. 제안된 구조는 광섬유 결합기와 단면에 금속 박막이 증착된 광섬유 지연선로의 수동소자들만으로 구성되므로 초고속 신호 처리가 가능하며, 적은 숫자의 광소자들로 구성되므로 부피가 작고 저손실의 장점을 보인다.

그림 1에서 인접 광섬유 지연선로 탭의 길이 차이에 따른 시간 지연,  $\Delta\tau$ ,은 다음과 같다.

$$\Delta\tau = \frac{2n_g\Delta L}{c} \tag{1}$$

여기서,  $c$ 는 진공 중에서 빛의 속도,  $n_g$ 는 광섬유의 굴절률, 그리고  $\Delta L$ 은 광섬유 탭 지연선로 간의

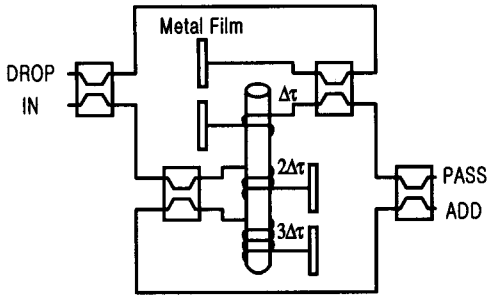


그림 1. 광섬유 탭 지연선로 트랜스버설 필터를 사용한 파장 가변 OADM의 구조

단위 길이 차이이다. 광섬유 탭 지연선로 간의 단위 길이 차이,  $\Delta L$ ,는  $c\Delta\tau/2n_g$ 이므로 지연선로에 의한 왕복 위상 지연,  $\Delta\Phi$ ,은 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi c\Delta\tau}{\lambda} \quad (2)$$

여기서,  $\lambda$ 는 파장이다. 식 (2)와 같이 지연선로의 단위 시간 차이를 증가시키면 위상 차는 증가하게 되고, 그 결과 각 포트에 나타나는 스펙트럼을 변화시킬 수 있다. 여기서, 광섬유 지연선로의 단위 길이 변화 메카니즘으로는 PZT(Piezo-electric Tube)를 고려하였다.

제안된 파장 가변 OADM에서 광신호의 삽입 및 추출 동작원리는 다음과 같다. 노드로 입력된 신호는 2개의 2×2 3 dB 광섬유 결합기에 의해 분기된 후, 광섬유 지연선로에 의해 시간 지연되어 광섬유 지연선로의 단면에 위치하는 금속 박막에 의해 반사된다. 반사된 신호들은 지연선로에 의해 다시 시간 지연되어 각 포트에 나타난다. IN 포트에 입력 신호를 주입했을 때 각 포트에서 강도 스펙트럼은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} I_{DROP} &= R \cos^2(\Delta\Phi) \sin^2(\Delta\Phi/2) \\ I_{IN} &= R \sin^2(\Delta\Phi) \sin^2(\Delta\Phi/2) \\ I_{PASS} &= R \cos^2(\Delta\Phi) \cos^2(\Delta\Phi/2) \\ I_{ADD} &= R \sin^2(\Delta\Phi) \cos^2(\Delta\Phi/2) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

여기서, R은 금속 박막의 반사율이다. 또한, ADD 포트에 입력 신호를 주입했을 때 각 포트의 스펙트럼은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} I_{DROP} &= R \cos^2(\Delta\Phi) \cos^2(\Delta\Phi/2) \\ I_{IN} &= R \sin^2(\Delta\Phi) \cos^2(\Delta\Phi/2) \\ I_{PASS} &= R \cos^2(\Delta\Phi) \sin^2(\Delta\Phi/2) \\ I_{ADD} &= R \sin^2(\Delta\Phi) \sin^2(\Delta\Phi/2) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

제안된 파장 가변 OADM은 두 개의 광섬유 결합기가 연결된 간섭계 구조이며 광섬유 지연선로의 경로차는 온도 변화에 의존하게 된다. 또한, 온도 영향에 의한 간섭계의 위상 변화는 출력광의 파장 특성을 변하게 한다. 따라서 본 구조에서 온도에 의한 파장 민감도를 계산하고자 한다. 광섬유 길이의 변화량,  $\Delta l$ ,은 다음 식과 같이 주어진다.

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T \quad (5)$$

여기서,  $l_0$ 는 광 신호 경로의 길이,  $\Delta T$ 는 온도 변화량, 그리고  $\alpha$ 는 광섬유의 열팽창 계수로서 실리콘의 경우  $0.55 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 이다. 온도 변화에 의한 광섬유 지연선로의 길이 변화는 다음 식과 같이 단위 온도당 단위 지연 시간 차이로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta\tau}{\Delta T} = \frac{2n_g l_0 \alpha}{c} \quad (6)$$

광섬유의 길이를 25와 50 cm로 하였을 경우 단위 시간 차이 변화량은 1 °C당 각각 1.34와 2.68 fs로 온도 변화에 민감하다는 것을 확인할 수 있다. 광 신호의 총 길이가 50 cm인 경우에 파장 천이도는 약 1.95 nm/°C이며 온도의 변화를 0.05 °C 이내로 유지하면 약 0.1 nm의 최대 파장 변화를 초래하기 때문에 OADM 구조 제작시 온도 안정화와 광섬유 길이의 최소화가 이루어져야 한다. 또한 평면 광 회로(Planar Lightwave Circuit, PLC)로 구성할 경우 온도 제어와 파장 채널 제어에서 보다 안정된 동작을 얻을 수 있다.

### III. 전산 모의 실험 결과 및 분석

본 장에서는 식(3)과 식(4)를 이용하여, 1550 nm 파장 영역에서, 광섬유 지연선로 단위 왕복 시간,  $\Delta\tau$ ,을 2 ps로 하였을 때 파장 가변 OADM의 각 포트에서 발생하는 출력 스펙트럼을 모의 실험을 통해 측정하였으며, 광섬유 지연선로의 단위 길이가 변할 때 DROP 포트의 스펙트럼 변화에 관하여 고찰하였다. 또한, 수신 노드에 위치한 OADM의 응답 특성을 평가하기 위해서, 노드로 입력된 WDM 신호의 파장 드리프트에 의한 수신 강도의 감쇠와 각 포트의 누화를 계산하였다. 제안된 OADM 구조는 주파수 전달함수에 의해 입력 신호의 전송률이 제한된다. 따라서, 전송 성능을 평가하기 위해 입력되는 광신호의 펄스 폭에 따른 출력신호의 최대 전

송률을 평가하였다.

1. 출력 스펙트럼과 지연선로 길이 변환에 의한 파장 가변도

1550 nm의 파장 영역에서  $\Delta\tau$ 가 2 ps인 경우, 입력 신호를 IN 포트에 주입했을 때 파장 가변 OADM의 각 포트에 나타나는 스펙트럼은 그림 2와 같다. 여기서, 박막의 반사율,  $R$ 은 1로 가정하였다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 DROP과 PASS 파장이 서로 교차하여 나타나며, DROP 포트의 최대 강도가 되는 파장에서 PASS 포트는 최소 강도가 되고, 이와 마찬가지로 DROP 포트의 최소 강도가 되는 파장에서 PASS 포트는 최대 강도가 된다. IN과 ADD 포트 스펙트럼 강도는 입력 신호 강도에 비해 약 2.3 dB 감쇠를 보였으며, DROP과 PASS가 최대 강도가 되는 파장에서 나타나지 않았다. 따라서, WDM 통신망에서 신호가 임의의 노드로 입력되었을 때, DROP 포트의 침투 파장을 갖는 채널 신호는 노드로 추출되며, 그 이외의 파장 신호들은 PASS 포트를 통해 다음 노드로 전송된다. 여기서, DROP 포트 스펙트럼의 FWHM은 약 0.91 nm이고 FSR(Free Spectral Range)은 약 4.01 nm이다.

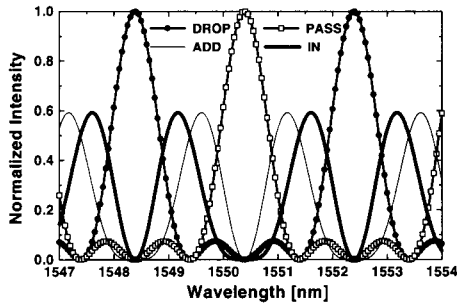


그림 2. 단위 왕복 시간 지연이 2 ps인 경우, 각 포트의 강도 스펙트럼

제안된 파장 가변 OADM은 간섭계의 대칭성으로 인해, 입력 신호를 어느 포트에 주입하는가에 따라서 각 포트에서 발생하는 출력 스펙트럼도 대칭성을 갖는다. 예를 들어, 입력신호를 ADD 포트에 주입했을 때 DROP 스펙트럼은 그림 2의 PASS 스펙트럼과 동일하며, PASS 스펙트럼은 그림 2의 DROP 스펙트럼과 같다. 따라서, 제안된 OADM 구조의 대칭성으로 인해 다중화/역다중화가 같은 구조 내에서 동시에 가능하다. 파장 신호의 동시 삽입/추출을 확인하기 위해 IN과 ADD의 양쪽 포트에 입력 신호를 주입했을 때, 각 포트의 스펙트럼을 그림

3과 같이 도시하였다. 그림 1의 파장 가변 OADM 구조에서 IN 포트에 주입된 신호와 ADD 포트에 주입된 신호는 결합기와 지연선로를 경유하면서 서로 독립적으로 작용한다. 따라서, IN 포트 또는 ADD 포트에만 입력 신호를 주입했을 경우에 180° 위상 천이 되어 나타나는 DROP과 PASS 포트 스펙트럼은 동일한 파장에서 최대 강도를 갖고 동시에 발생되며 IN과 ADD 신호의 최소 강도가 되는 파장에서 침투값을 갖는다.

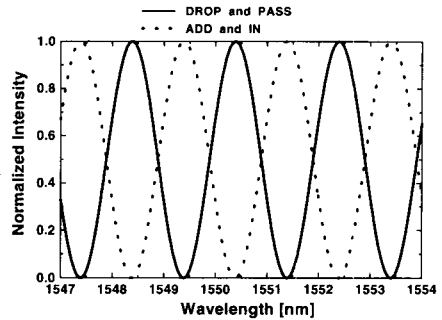


그림 3. 입력신호를 DROP과 ADD 포트에 주입하였을 경우, 각 포트의 강도 스펙트럼

WDM 통신망 구성에 유연성을 제공하기 위해 각 노드에서 파장 신호를 능동적으로 삽입/추출할 수 있어야 한다. 본 구조에서 파장 선택은 광섬유 탭 지연선로의 시간 지연으로 가능하며, 전압을 인가함에 따라 물질을 팽창시켜 그 직경이 변화하는 PZT를 광섬유 지연선로 길이 변환 메커니즘으로 고려하였다. PZT를 이용하여 변화된 직경은 지연선로의 길이를 가변시키고 이로 인해 위상 변화가 발생하여 각 포트의 스펙트럼 변화가 유도된다. 1550 nm 파장대에서, 광섬유 지연선로의 단위 길이 차이,  $\Delta\tau$ ,를 변화시켰을 때 DROP 포트의 스펙트럼 변화를 그림 4에 도시하였다. 광섬유 지연선로의 단위 시간 차이가 2, 2.001, 그리고 2.002 ps일 때, 약 4 nm의 같은 주기로 침투 파장이 발생하였다. 그림에서와 같이, 광섬유 탭 지연선로의 시간 지연을 0.001과 0.002 ps 가변시켰을 때, 추출된 신호의 파장은 각각 0.78과 1.56 nm 천이되었다. 즉, 파장 가변도,  $\delta\lambda/\delta\tau$ ,는  $0.78 \mu\text{m}/\text{ps}$ 이다. 이와 같이, 입력 신호의 파장 영역에 따라 DROP 포트의 투과 대역을 변화시키면 선택적으로 채널 신호를 추출할 수 있다. 지연선로의 단위 길이 차이에 의한 스펙트럼 주기와 FWHM은 표 1과 같다. 표에서 보는 바와 같이 지연선로의 단위 길이 차이를  $N$ 배 늘렸을 경

우, FWHM과 FSR은 약  $1/N$ 으로 감소하였다. 지연선로의 단위 길이 차이를 증가시키에 따라 FWHM과 FSR은 작아지게 된다.

표 1. 지연선로의 길이변화에 따른 FWHM과 FSR

$\Delta t$ [ps]	2	4	6	8	10
FWHM [nm]	0.91	0.46	0.30	0.23	0.18
FSR[nm]	4.01	2.00	1.34	1.00	0.80

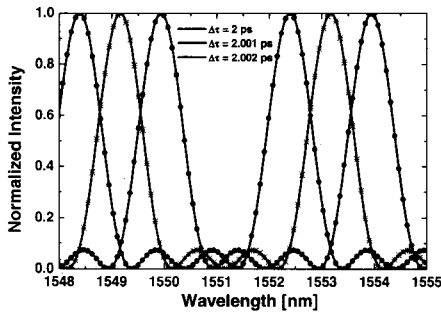


그림 4. 지연선로 길이 변환에 따른 DROP 포트의 강도 스펙트럼

### 2. 전송성능 분석

WDM 통신망에서 각 노드의 송신기에 위치하는 레이저 다이오드의 파장이 통신망에서 규정한 사용 파장과 정확히 일치하지 않을 경우 수신 강도의 감소 및 누화로 인한 오류의 증가가 발생한다. 따라서, 본 장에서는 OADM 필터 특성에 의한 전송성능을 분석하기 위해, 노드로 입력된 WDM 신호가 드리프트되었을 때 수신 노드에 위치한 OADM의 응답 특성에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

OADM 구조의 전송성능을 분석하기 위해 이전 노드에서 PASS된 파장 신호,  $\lambda_{DROP} + \Delta\lambda$ ,가 드리프트되어 자국 노드로 주입된다고 하자. 여기서,  $\lambda_{DROP}$ 은 DROP 포트 신호의 침투파장, 그리고  $\Delta\lambda$ 는 DROP 포트의 침투 파장과 자국 노드로 전송된 신호가 실린 광원의 중심 파장 차이이다.

그림 5는 DROP 포트에서 손실과 IN, ADD, 그리고 PASS 포트에서 발생하는 누화를 계산하기 위해서 단위 시간 지연 차이가 2 ps인 OADM의 각 포트에서 강도 스펙트럼을 도시하였다. 노드로 전송된 신호의 중심 파장과 DROP 포트의 침투 파장의 차이,  $\Delta\lambda$ ,가 커짐에 따라, IN 포트에 귀환되는 신호가 지배적으로 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

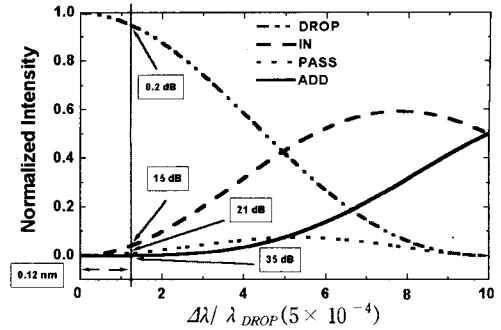


그림 5. 파장 드리프트에 의한 손실 및 누화

$\Delta\lambda$ 가 0.12 nm인 입력 신호가 노드로 주입된 경우, DROP 포트에 추출되는 신호의 강도는 약 0.2 dB의 감쇠를 보이며, IN 포트에 반사 손실은 약 15 dB, PASS 포트와 ADD 포트에 누화는 각각 약 21과 35 dB가 발생한다. IN 포트에 반사되는 신호는 이전 노드의 PASS 포트에 주입되는데 전송로의 길이가 길다면 주입신호에 의한 영향은 무시될 수 있다. PASS 포트에 누화된 신호는 다음 노드로 전송되는 데, 이 신호 레벨 또한 전송로의 길이가 길다면 주입신호에 의한 영향은 무시될 수 있다. 또한, ADD 포트에 누화된 손실은 ADD 포트의 레이저 다이오드에 영향을 미칠 수 있으나, 송신기의 레이저 다이오드 앞단에 위치하는 아이솔레이터에 의하여 무시할 수 있다. 이상에서와 같이 노드로 입력되는 신호 파장이 DROP 스펙트럼의 침투 파장에서 0.12 nm 이내로 드리프트되어 주입된다면, 낮은 신호 감쇠로 신호의 추출이 가능하다.

### 3. OADM 여파기에 의한 최대 전송률

본 절에서는 OADM 노드에 입력되는 데이터의 펄스 폭에 따라 DROP 포트 출력에서 펄스 퍼짐을 계산하여 제안된 구조가 처리할 수 있는 최대 전송률을 계산하였다. 파장 가변 OADM의 필터 특성을 분석하기 위해 노드로 입력된 신호를 다음과 같은 가우시안 펄스 형태로 가정하였다.

$$s(t) = \exp\left[-4 \ln 2 \left(\frac{t}{t_{FWHM}}\right)^2\right] \quad (7)$$

여기서,  $t_{FWHM}$ 은 FWHM 펄스폭이다. 입력 신호  $S(t)$ 의 주파수 특성은 푸리에 변환 정의에 의해 아래의  $S(f)$ 와 같다.

$$S(f) = \frac{\sqrt{\pi} t_{FWHM}}{\sqrt{4 \ln 2}} \exp\left[-\frac{\pi^2 t_{FWHM}^2 f^2}{4 \ln 2}\right] \quad (8)$$

또한, OADM의 주파수 특성은 식 (3)의  $I_{DROP}$ 과 같으므로 아래의 식(9)로 표현된다.

$$H(f) = R \cos^2(2\pi\Delta\tau f) \sin^2(\pi\Delta\tau f) \quad (9)$$

식 (8)과 식(9)에 의해 OADM의 출력 스펙트럼,  $Y(f)$ ,은 다음과 같다.

$$Y(f) = S(f)H(f) = R \cos^2(2\pi\Delta\tau f) \sin^2(\pi\Delta\tau f) \times \frac{\sqrt{\pi}t_{FWHM}}{\sqrt{4\ln 2}} \exp\left[-\frac{\pi^2 t_{FWHM}^2 f^2}{4\ln 2}\right] \quad (10)$$

시간 영역에서 시스템을 분석하기 위해 식(10)을 푸리에 역변환하면 출력 펄스 파형  $y(t)$ 가 구해진다. 그림 6은 단위 지연 시간 차이가 2ps인 경우에, 입력 펄스의 폭에 따른 OADM의 출력 파형,  $y(t)$ 를 나타내고 있다.

그림 6에서 보는 바와 같이 출력 신호는 입력 신호와 동일한 가우시안 형태이며, 단지 주파수 전달 함수에 의해서 입력 신호의 펄스 폭이 좁은 경우에 펄스의 퍼짐이 발생됨을 알 수 있다. 표 2와 같이 입력 신호의 FWHM이 100, 50, 40, 30, 20, 그리고 10 ps인 경우, 출력 신호는 각각 약 0.25, 0.55, 0.70, 0.92, 1.36, 그리고 2.73 ps 만큼 출력 신호의 퍼짐이 발생하였다. 즉, 입력 신호의 FWHM이  $N$ 배 감소함에 따라 출력 신호는 선형적으로 약  $N$ 배 만큼의 퍼짐이 발생하였다.

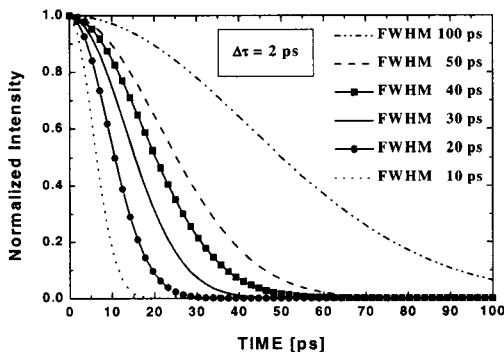


그림 6. OADM의 응답

또한, 실제 시스템을 설계하는 경우 전송률을 고려하는 것은 중요하다. 가우시안 펄스의 경우에 펄스의 주기  $T_B$ 는 하나의 비트 내에 펄스 에너지가 95% 존재하는  $4\sigma$ 로 한다. 여기서  $\sigma$ 는 가우시안 펄스의 강도가  $e^{-1/2}$ 로 떨어지는 시간이다. 따라서 전송률,  $B$ 는 다음과 같다.

$$B = \frac{1}{4\sigma} = \frac{\sqrt{2\ln 2}}{2T_{FWHM,OUT}} \quad (11)$$

광섬유 지연선로의 단위 시간 차이,  $\Delta\tau$ ,가 2 ps 일 때, 계산된 전송률은 표 3과 같다. 입력 펄스 폭이 감소하면 펄스 폭의 퍼짐이 증가하게 되어, 전송률이 떨어지는 것을 알 수 있다.  $T_{FWHM,IN}$ 이 10ps인 경우 전송률은 46.26 Gb/s로 나타났다.

표 2. 입력 신호의 펄스폭에 따른 OADM 출력 펄스폭과 전송률

$T_{FWHM,IN}$ [ps]	100	50	40	30	20	10
$T_{FWHM,OUT}$ [ps]	100.25	50.55	40.70	30.92	21.36	12.73
$\frac{T_{FWHM,OUT} - T_{FWHM,IN}}{T_{FWHM,IN}}$ [%]	0.25	1.11	1.74	3.08	6.79	27.27
B [Gb/s]	5.87	11.65	14.47	19.04	27.56	46.26

#### IV. 결론

본 논문은 WDM통신망의 임의의 노드에서 연속된 파장채널을 삽입/추출할 수 있는 소자인 OADM에 관한 연구로써, 4개의  $2 \times 2$  3 dB 광섬유 결합기, PZT, 그리고 넓은 파장영역에서 균일한 반사율을 갖는 금속 박막이 증착된 광섬유 지연선로로 구성된 새로운 구조의 파장 가변 OADM을 제안하였다.

지연 선로들 간의 단위 시간 지연에 따라, 파장 가변 OADM의 DROP, PASS, ADD 포트에서의 투과 스펙트럼과 IN 포트에서의 반사 스펙트럼을 모의 실험을 통해 측정하였다. 각 포트에서의 강도 스펙트럼을 분석한 결과, 광섬유 탭 지연선로의 길이를 가변시켜 원하는 파장 채널을 선택적으로 추출/삽입할 수 있었으며, 지연선로의 단위 길이 차이를  $N$ 배 늘렸을 경우, FWHM과 FSR은 약  $1/N$ 으로 감소하였다. 광섬유 지연선로의 길이 차이,  $\Delta\tau$ ,를 2 ps에서 0.1 % 변환시 추출된 신호의 파장은 각각 0.78 nm 천이 되었다. 그리고 입력 광신호의 중심 파장과 DROP 스펙트럼의 침투 파장이 일치되지 않을 경우 DROP 포트에서 발생하는 수신 강도의 감쇠와 다른 포트에서의 누화를 계산하여 파장 드리프트가 통신망의 성능에 미치는 영향을 살펴보았으며, OADM 여파기 구조에 입력되는 광신호의 펄스 폭에 따른 출력 신호의 퍼짐과 최대 비트 전송

를 구하였다. 노드로 입력된 광신호의 중심 파장이 DROP 스펙트럼의 첨두 파장에서 0.12 nm 이내로 드리프트되어 입사한다면 낮은 신호 감쇠로 신호의 추출이 가능하다. 또한, 최대 비트 전송률 분석에 의하면 가입자 망 뿐만이 아니라 기간 전송망의 각 노드에서도 초고속 신호들을 처리할 수 있었다.

결과적으로 본 논문에서 제안된 파장 가변 OADM은 기존의 ADM과는 달리 광섬유 지연선로의 길이 변화에 의해 넓은 영역의 파장 범위에서 단일 또는 여러 파장을 동시에 추출하고 삽입할 수 있었다. 이러한 구조의 파장 가변 OADM은 미래의 WDM 통신망에서 파장 재사용의 효율성 향상에 기여함과 동시에, 통신망 구성에 유연성을 제공할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Louay Eldada *et al.*, "Integrated Multichannel OADMs Using Polymer Bragg Grating MZIs," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, no. 10, pp. 1416-1418, 1998.

[2] K. P. Jones *et al.*, "Optical Wavelength Add-Drop Multiplexer in Installed Submarine WDM Network," *Electron. Lett.*, vol. 31, no. 24, pp.2117-2118, 1995.

[3] T. Mizuochi and T. Kitayama, "Interferometric Cross Talk-Free Optical Add/Drop Multiplexer Using Cascaded Mach-Zehnder Fiber Gratings," *OFC'97 Technical Digest*, pp. 176-177, 1997.

[4] F. Bakhti *et al.*, "Optical Add/Drop Multiplexer based on UV-Written Bragg Grating in a Fused 100% Coupler," *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 9, pp. 803-804, 1997.

[5] Se Yoon Kim *et al.*, "Channel-Switching Active Add/Drop Multiplexer with Tunable Grating," *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 1, pp. 104-105, 1998.

[6] Y. Hibino *et al.*, "Wavelength Division Multiplexer with Photoinduced Bragg Grating Fabricated in a Planar -Lightwave-Circuit-Type Asymmetric Mach-Zehnder Interferometer on Si," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, no. 1, pp. 84-86, 1996.

[7] K. Okamoto, K. Takiguchi, and Y. Ohmori,"

16-Channel Optical Add/Drop Multiplexer Using Silica-based Arrayed-Waveguide Gratings," *Electron. Lett.*, vol. 31, no. 9, pp. 723-724, 1995.

[8] C. G. M. Vreeburg *et al.*, "First InP-Based Reconfigurable Integrated Add-Drop Multiplexer," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.9, no. 2, pp. 188-190, 1997.

[9] M. Fukutoku, K. Oda, and H. Toba," Wavelength-Division-Multiplexing Add/Drop Multiplexer Employing A Novel Polarization Independent Acousto-Optic Tunable Filter," *Electron. Lett.*, vol. 29, no. 10, pp. 905-907, 1993.

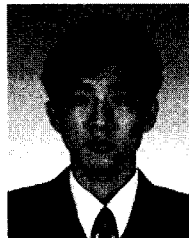
[10] H. Herrmann *et al.*, "Low-Loss Tunable Integrated Acoustooptical Wavelength Filter in LiNbO<sub>3</sub> with Strong Sidelobe Suppression," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, no. 1, pp. 120-122, 1998.

[11] B. J. Offrein *et al.*, "Wavelength Tunable Optical Add-After-Drop Filter with Flat Passband for WDM Networks," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 2, pp. 239-241, 1999.

[12] Jong-Dug Shin, Min-Yong Jeon, and Cheoul-Shin Kang, "Fiber-Optic Matched Filters with Metal Films Deposited on Fiber Delay-Line Ends for Optical Packet Address Detection," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, no. 7, pp. 941-943, 1996.

윤 찬 호(Chan-Ho Yoon)

정희원



1997년 2월 : 숭실대학교  
정보통신공학과(학사)  
1999년 8월 : 숭실대학교  
정보통신전자공학부(석사)  
1999년 8월~2000년 2월 :  
(주)키미넷광통신연구소

2000년 3월~현재 : (주)오피콤 멀티미디어팀  
<주관심 분야> 광패킷통신망, 광스위칭, 광동기, 광신호처리, 파장변환

신 증 덕(Jong-Dug Shin)

정희원

한국통신학회 논문지 제25권 6A호 참조