

## 다양한 망구현이 가능한 파장분리형 광 애드/드롭 다중화기

강 현 서\*, 이 동 열

데이콤 종합연구소 인터넷망기술팀

전화 : 042-220-4074 / 팩스 : 042-220-4177

### Wavelength Separation Add/Drop Multiplexer with the Various Network Topology

Hyun Seo Kang\*, Dong Yol Lee

Internet Network Technology Team, DACOM R&D Center

34, Kajong-dong, Yusong-gu, Taejon 305-350 KOREA

E-mail : hskang87@dacom.net

#### Abstract

We propose a novel structure add/drop multiplexer based on an all-fiber Mach-Zehnder interferometer and fiber Bragg grating. In this structure, wavelength separation is achieved by adjusting the amount of the phase shift in the Mach-Zehnder interferometer. The proposed add/drop multiplexer drops a part of signal at a specific wavelength and transmit the remnant of the signal to the different node separated wavelength in WDM network.

오늘날 정보 사회의 진전에 따라 음성 통신은 물론 영상 통신 서비스 등 많은 양의 고속 데이터 서비스 요구가 점차로 늘어나고 있다. 또한 최근에는 인터넷을 비롯한 통신서비스 수요의 폭발적인 증가로 WDM(Wavelength Division Multiplexing)기반의 광대역 전달망 구조에도 큰 변화가 요구되고 있다[1]. WDM 광전송시스템은 각각의 파장에 정보를 실을 수 있는 여러 개의 파장을 다중화 하여 전송함으로써 수십 Gbps ~ 수 Tbps의 고속 전송이 가능하게 되었다[2]. 특히 신호의 출발 노드에서 도착노드까지 전달되는 과정에 있어서 각각의 중간노드들이 모든 신호를 전기적으로 바꾸어야 하는 현재의 광통신망에서 전달되는 트래픽을 빛의 형태로 그냥 지나

치게 하여 광전/전광변화의 횟수를 최소화하는 광통신망으로 발전하고 있다. 따라서 WDM 광전송시스템을 이용한 광네트워크를 구성하는데 필요한 필수 기능의 하나가 다중화된 파장들 중에서 원하는 신호의 파장을 가변으로 선택(drop)할 수 있고 동시에 새로운 신호를 삽입(add)하여 다음 노드로 전송할 수 있는 add/drop 다중화기이다. Add/Drop소자를 구현하는데 있어서 지금까지는 음향광학(acoustooptic)효과, Fabry-Perot 공진기 또는 waveguide array를 기초로 하는 광학적 필터들로 구성되는 연구가 지금까지 되어 왔으나 최근에는 광섬유 커플러에 광섬유 격자를 직접 제작하는 방법으로 애드 드롭 소자를 구현하기도 하였다[3].

본 논문은 파장분리형 광 애드 드롭 다중화기(ADM, Add Drop Multiplexer)에 관한 것으로서, Mach-Zehnder 간섭계를 구성하여, 간섭계의 양쪽단에 광섬유 격자를 부착하여 원하는 신호를 추출하여 드롭단으로 보낼 수 있도록 하였다. 간섭계의 한쪽단에는 경로길이 조절기를 부착하여 경로길이를 조절함으로써 광섬유 격자를 통과하는 광신호들은 Mach-Zehnder 간섭계 두 개의 서로 다른 출력단으로 파장이 각각 교대로 분리되어 출력되므로 서로 다른 노드로 동시에 신호를 보낼 수 있다. 또한 출력되는 채널의 채널간격 가변이 가능하고, 또 다른 동일한 광섬유 격자를 간섭계 끝단의 양쪽단에 부착하여

광신호를 애드하여 전송할 수 있도록 구성된 파장분리형 광 애드 드롭 다중화기에 관한 것이다. 이러한 광 ADM은 신호의 추출 및 삽입이 용이하고 또한 채널을 교대로 분리하여 출력할 수 있도록 함으로써 서로 다른 노드로 신호를 동시에 전송할 수 있고, 또한 Mach-Zehnder 간섭계내에 부착된 경로길이 조절기를 이용하여 채널 간격을 다양하게 변화시킬 수 있도록 구성할 수 있다. 일반적으로 종래의 WDM을 기반으로 하는 광 애드 드롭 다중화기는 Mach-Zehnder 간섭계를 이용하는 경우 두 출력단중 한쪽단으로만 광 신호가 모두 출력되므로 서로 다른 노드로 신호를 보내는 경우 광신호를 분리할 수 있는 추가적인 장치가 필요하므로 새로이 추가적인 비용이 소요된다. 또한 한 노드에서 서로 다른 노드로 신호를 보내는 경우 노드에 입력된 신호파장 중에서 필요한 변환 신호 파장을 추출해 낸 다음 그 노드에서 필요하지 않은 입력된 또 다른 신호는 다음 노드로 보내야 하므로 불필요한 노드의 진행을 거치게 되므로 삽입손실등 여러 가지 문제점이 야기될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 WDM 통신을 위한 파장분리형 광 애드 드롭 다중화기를 구성하여 그 동작특성에 대해서 시뮬레이션 해보았다.

그림 1은 제안된 ADM의 구조로써 Mach-Zehnder 간섭계로 구성되어 있으며 Mach-Zehnder 간섭계 내부에 광섬유격자를 부착하였다.

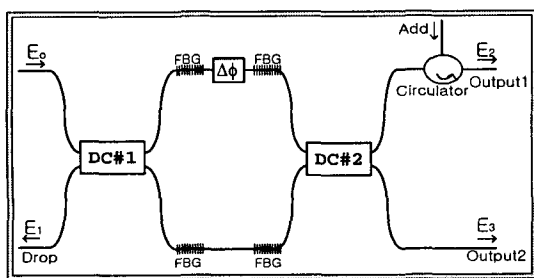


그림 1. 파장분리형 광 애드 드롭 다중화기

또한 간섭계의 한쪽단에 경로길이 조절기를 부착하여 경로길이를 조절함으로써 광섬유 격자를 통과하는 광신호들은 Mach-Zehnder 간섭계 두 개의 서로 다른 출력단으로 파장이 각각 교대로 분

리되어 출력될 수 있도록 하였다. 그리고 채널 간격을 가변할 수 있음으로써 서로 다른 노드로 동시에 신호를 보낼 수 있도록 하였다. 본 논문에서 제안하는 ADM은 입력된 다중파장 신호 중 특정파장 성분의 일부만을 드롭 시키고 모든 파장을 다음노드로 동시에 전송시킬 수 있다. 그림 1에서 보듯이 입력단에 여러개의 파장으로 이루어진 다파장신호  $E_0$ 가 입사하게 되면, 입력신호는 방향성결합기(DC#1)에 의해 두 빔으로 나누어져 그중 하나의 광신호는 광섬유를 통해 광섬유 격자로 전달되어  $\lambda_1 \sim \lambda_m$  파장들 중에서 특정 파장만을 반사시켜, 진행방향과 반대방향으로 피드백 되어 방향성 결합기(DC#1)에 의해 결합된다. 또한 광섬유 격자에서 반사되지 않고 투과되는 나머지 광신호는 경로길이 조절기를 지나 앞단의 광섬유 격자와 특성이 같은 또 다른 광섬유 격자를 통과하는 광신호는 방향성 결합기(DC#2)와 결합된다. 방향성결합기(DC#1)에서 분배된 또 다른 광신호는 광섬유를 통해 광섬유 격자로 전달되어 위와 마찬가지로  $\lambda_1 \sim \lambda_m$  파장들 중에서 특정 파장만을 반사시켜, 진행방향과 반대방향으로 피드백 되어 방향성 결합기(DC#1)에 의해 결합된다. 이렇게 결합된 광신호는 드롭단( $E_1$ )으로 출력된다. 또한 광섬유 격자에서 반사되지 않고 투과되는 나머지 광신호는 앞단의 광섬유 격자와 특성이 같은 또 다른 광섬유 격자를 통과하는 광신호는 방향성 결합기(DC#2)와 결합된다. 방향성 결합기(DC#2)에서 결합된 광신호들은 다시 분배되는데, 이때에는 파장이 교대로 분리되어 제 1 수신부( $E_2$ ) 및 제 2 수신부( $E_3$ )로 출력되어 다음 노드로 전송된다. 즉, 드롭단에서 검출된 파장이  $\lambda_1$ 이라면 제 1 수신부에는  $\lambda_3, \lambda_5, \dots, \lambda_{m-1}$  파장이 출력되고, 제2 수신부에는  $\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6, \dots, \lambda_m$  파장이 출력된다. 이때의 파장간격은 경로길이 조절기를 조절함으로써 변화시킬 수 있다. 이때 제 1 수신부 앞단에는 써큘레이터를 삽입하여 애드단의 광신호를 방향성 결합기(DC#2)에 입력될 수 있도록 하였다. 방향성 결합기(DC#2)에 입력된 광신호는 다시 분배되어 광섬유 격자로 전달되어  $\lambda_1 \sim \lambda_m$  파장들 중에서 드롭단( $E_1$ )에서 검출

된 같은 파장만을 반사시켜, 진행방향과 반대방향으로 피드백 되어 방향성 결합기(DC#2)에 의해 결합되고 다시 분배된 광신호는 제 2 수신부( $E_3$ )로 출력된다. 즉, 제 2 수신부에는  $\lambda_1$ 이 포함된  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4, \lambda_6, \dots, \lambda_m$  파장이 출력된다. 또한 광섬유 격자의 주기를 외부에서 조정하여 광섬유 격자의 반사파장을 가변 시킴으로써 드롭단의 파장가변이 가능하다. 즉, 광섬유 격자에 부착된 strain 재질에 외부 신호를 인가해 주면 가해진 신호의 크기 또는 크기의 제공에 광섬유 격자의 주기를 변화시키고, 따라서 반사파장이 변하며 드롭단으로 나오는 신호 파장이 가변된다.

파장분리형 광 ADM의 동작특성에 대한 수식적 해석은 다음과 같다. DC#1과 DC#2사이의 한쪽 암에 부착된 경로 길이 조절기에 의해 야기되는 위상차를  $\phi$  혹은  $\Delta\phi$ 라고 하고, Mach-Zehnder 간섭계와 광섬유 격자 소자 특성을 고려하였을 경우, 파장분리형 광 ADM의 각각의 단차에서 나오는 출력신호, 즉 드롭단( $E_1$ ), 제 1 수신부( $E_2$ ) 및 제 2 수신부( $E_3$ )에 대해서 수식적으로 나타내면 다음과 같다.

$$E_1 = 2k_1 k_{1c} r E_0 \quad (1)$$

$$E_2 = (k_{2t} k_{1t} e^{i\phi} + k_{2c} k_{1c}) t^2 E_0 \quad (2)$$

$$E_3 = (k_{2c} k_{1t} e^{i\phi} + k_{2t} k_{1c}) t^2 E_0 \quad (3)$$

여기서  $\Delta\phi$ 는 경로차  $\Delta l$ 에 의한 위상차로  $2\pi \Delta n_{eff} / \lambda$ 와 같고,  $n_{eff}$ 는 광섬유 코어의 유효 굴절률이고  $\lambda$ 는 파장이다. 즉, 파장에 따라 위상차가 달라지게 된다.  $E_0$ 는 입사빔의 상태이고,  $k_{m,t}, k_{m,c}$ 는 방향성 결합기의 결합지수이다. 또한  $r$ 과  $t$ 는 각각 광섬유 격자의 반사계수 및 통과계수로서 아래와 같이 S 매트릭스의 요소  $S_{ij}$ 로 나타낼 수 있다.

$$r = S_{21} / S_{22} \quad (4)$$

$$t = S_{11} - S_{12} S_{21} / S_{22} \quad (5)$$

드롭단( $E_1$ )의 광신호는 위상차에 관계없이 항상 최대가 되며, 경로차  $\Delta l$ 이 고정된 경우 제 1 수신부와 제 2 수신부의 출력은 파장이 교대로 출력되어 다음 노드로 전송할 수 있다. 이때의 채널간격은 경로차  $\Delta l$ 을 조절함으로써 변화시킬 수 있다. 또한 방향성결합기(DC#1)와 Mach-Zehnder 간섭계 내부의 각각 암에 연결된 첫 번째 광섬유 격자가 같은 위치에 부착되도록 한다면 입력단으로 결합되는 광신호, 즉 잡음성분은 전혀 없게 된다. 따라서 동일한 위치에 광섬유 격자를 부착하기 위해서는 방향성결합기(DC#1)와 Mach-Zehnder 간섭계 내부의 각각 암에 연결된 첫 번째 광섬유 격자 사이에 또 다른 경로 길이 조절기를 부착할 수 있다.

그림 2는 파장분리형 광 ADM의 경로 길이 조절기를 이용한 경로차가 0.4mm인 경우 제 1 수신부 및 제 2 수신부의 파장에 따른 파워비를 나타내었다. 제 1 수신부의 채널은 1551nm~1559nm 대역에서의 2개의 채널, 즉 1552nm, 1556nm가 출력되고 제 2 수신부의 채널은 각각 1554nm, 1558nm가 출력된다. 이때의 각 출력단에서의 채널간격은 모두 4nm이다.

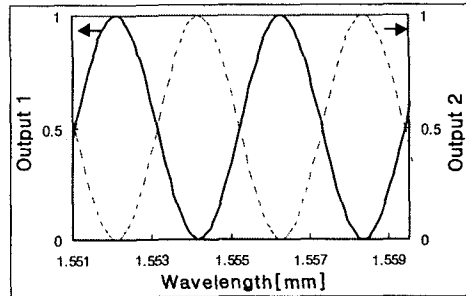


그림 2. 파장분리형 광 애드 드롭 다중화기의 경로차가 0.4mm인 경우 각 출력포트에서 파장에 따른 출력파워

그림 3은 파장분리형 광 ADM의 경로 길이 조절기를 이용한 경로차가 0.8mm인 경우 제 1 수신부 및 제 2 수신부의 파장에 따른 파워비를 나타내었다. 제 1 수신부의 채널은 1551nm~1559nm 대역에서의 4개의 채널, 즉 1551nm, 1553nm, 1555nm 및 1557nm가 출력

되고 제 2 수신부의 채널은 각각 즉 1552nm, 1554nm, 1556nm 및 1558nm가 출력된다. 이때의 각 출력단에서의 채널간격은 모두 2nm이다.

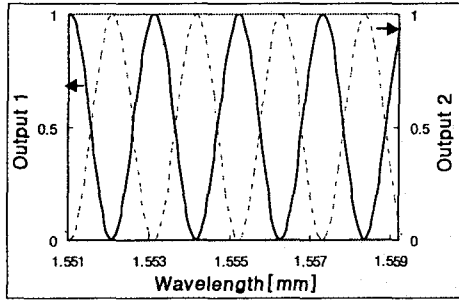


그림 3. 파장분리형 광 애드 드롭 다중화기의 경로차가 0.8nm인 경우 각 출력포트에서 파장에 따른 출력파워

그림 4는 파장분리형 광 ADM의 경로길이 조절기를 이용한 경로차가 1.6nm인 경우 제 1 수신부 및 제 2 수신부의 파장에 따른 파워비를 나타내었다. 제 1 수신부의 채널은 1551nm~1559nm 대역에서의 1552nm 등 8개의 채널이 출력되고 제 2 수신부의 채널은 1551nm 등 8개의 채널이 출력된다. 이때의 각 출력단에서의 채널간격은 모두 1nm이다.

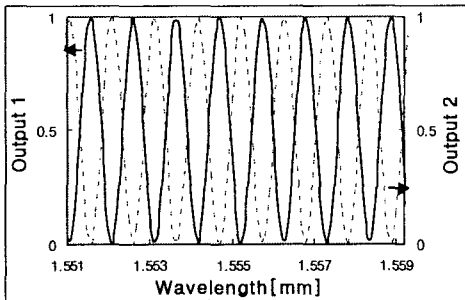


그림 4. 파장분리형 광 애드 드롭 다중화기의 경로차가 1.6nm인 경우 각 출력포트에서 파장에 따른 출력파워

그림 5는 본 논문에서 제안한 WDM 통신을 위한 파장분리형 광 ADM을 이용하여 Ring 네트워크 형태로 연결시킨 응용 예로서, 두 개의 서로 다른 출력단으로 파장이 각각 교대로 분리되어 하나는 시계방향으로 다른 노드에 전송할 수 있고 동시에 다른 하나는 반 시계방향으로 다른 노드에 전송할 수 있음을 보여주고 있다.

이러한 망 구성에서는 하나의 출력만을 이용하는 경우 노드1에서 노드 2 및 노드 4로 전송하는 경우 노드 1에서 노드 4로 전송할 때에는 노드 2를 중복으로 거쳐야 하므로 삽입손실등 많은 문제점이 있으나 본 발명에 따른 파장 분리형 광 애드 드롭 다중화기를 이용하는 경우에는 두 개의 서로 다른 출력단을 이용할 수 있으므로 노드 1에서 노드 2로도 직접 연결 가능할 뿐만 아니라 노드1에서 노드 4로도 직접 연결 가능하다.

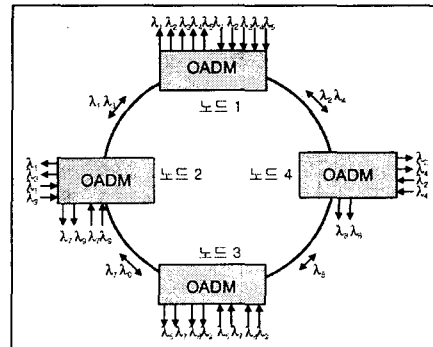


그림 5. 파장분리형 광 애드 드롭 다중화기를 이용한 Ring network

본 논문에서는 다중화된 파장들 중에서 원하는 신호의 파장을 가변하여 선택할 수 있고, 애드된 신호를 포함한 동시에 입력된 모든 신호들은 두 개의 서로 다른 출력단으로 파장이 각각 교대로 분리되어 출력할 수 있는 새로운 구조인 파장분리형 광 ADM을 제안하였다. 또한 출력되는 파장의 채널간격을 가변하여 서로 다른 노드로 동시에 신호를 보낼 수 있는 파장분리형 광 ADM의 그 출력특성도 살펴보았다. 제안된 파장분리형 광 ADM은 전체적인 시스템의 크기를 작게 만들 수 있으며, 파장 가변이 쉽고 통과 파장폭이 좁아서 Mesh 또는 Ring 망을 구성하는 경우 서로 다른 노드로 동시에 전송이 가능하여 다수의 파장을 선택할 수 있다는 장점이 있다.

참고문헌

[1] N. Shimojoh, et al, Electronics Lett., Vol. 36, No. 2, 2000.  
 [2] Y. Zhu, et al, Electronics Lett., Vol. 37, No. 1, 2001.  
 [3] 조준용, et al, 대한전자공학회 논문지, Vol. 37, No. 10.