

완전 광 네트워크에서 파장 변환의 효과에 관한 연구

정희원 최한규*, 남우춘*, 강안구**

Study on the Effects of Wavelength Conversion in All Optical Network

Han-Kyoo Choi*, U-Chun Nam*, An-Goo Kang** *Regular Members*

요약

본 논문은 회선 교환을 제공하는 완전 광 파장의 라우팅 네트워크의 블러킹 성능을 분석하고 비교한다. 특정 경로의 두 노드 사이를 연결하기 위해서는 경로 내에 있는 모든 링크에서 하나의 파장을 사용하여야 한다. 이때 임의의 토폴로지를 갖는 네트워크에서 파장 변환을 사용하는 광 경로에 대해 블러킹 확률을 산출한다. 그리고 본 논문에서는 제한된 파장 변환 노드를 사용하는 경우 네트워크의 성능이 향상됨을 보여준다.

또한, 파장 변환이 가능한 노드 또는 파장 변환을 제공하지 않는 노드들(NC, FC, LC)로 구성되는 여러 네트워크 구조의 성능을 분석하기 위하여 새로운 도식적 방법을 제안한다.

ABSTRACT

This paper analyzes and compares the blocking performance of all-optical wavelength-routed networks providing circuit switching among users. A connection between two nodes along a particular path must use a single wavelength on all hops, or links, within the path. We then calculate the blocking probability along a lightpath with wavelength conversion in a network with an arbitrary topology and show the network performance improvement offered by node with limited translation technology.

We also propose a new schematic method for the performance analysis of different types of network architecture which is composed of nodes with or without wavelength conversion (NC, FC or LC).

I. 서론

광 소자 기술과 광 전송 기술은 단 기간의 짧은 역사에도 불구하고 급속한 발전과 기술혁신을 이루고 있으며, 그 결과 현재는 가장 경제적이고 효율적으로 초고속 정보통신망을 구축할 수 있는 핵심 기술로 부각되고 있다. 이에 따라 전기적인 정보 처리와 버퍼 기능이 없는 광 경로층(optical path layer)을 기존의 기간 전송망에 도입하여 대용량 정보를 경제적으로 전달하는 완전 광 네트워크(all optical network)를 구성할 수 있게 되었다. 완전 광 네트워크는 정적(static) 네트워크와 재구성 가능한(reconfi-

gurable) 네트워크로 크게 구분할 수 있다. 정적 네트워크는 고정된 스위치와 NC(No wavelength Conversion)의 노드를 가지고 항상 일정한 라우팅을 수행하며, 재구성 가능한 네트워크는 스위치와 WC(Wavelength Conversion)노드를 가지는 구조로 라우팅 패턴을 자유롭게 변경할 수 있다.

일반적으로 재구성 가능한 네트워크를 동적으로 구성하기 위해서는 파장 라우팅과 파장 할당의 WRA(Wavelength Routing Assignment) 기술이 요구된다. WRA는 네트워크의 구성 방법에 따라 그 성능이 변화된다. 완전 광 네트워크의 주요 구성 요소는 노드이며, 노드의 기능에 따라 전체 네트워크의 특성이 변화된다. 재구성 가능한 네트워크는 파

* 주성대학 정보통신기기(hkchoi@jsc.ac.kr), (ucnam@jsc.ac.kr)
논문번호 : 99036-0930

접수일자 : 1999년 9월 30일

** 주성대학 컴퓨터하드웨어응용(ankang@jsc.ac.kr)

장의 재사용과 확장성의 이점을 제공하며, WAN (Wide Area Network)에 적합하다. 이때 노드는 입력파장을 출력파장으로 전달하는 기능에 따라 그림 1과 같이 NC, FC(Full wavelength Conversion), LC (Limited wavelength Conversion)의 서로 다른 기능을 갖을 수 있다^[3].

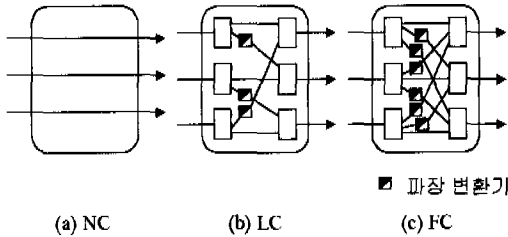


그림 1. 여러 형태의 파장 변환 방식

또한 재구성 가능한 네트워크는 노드의 기능에 따라 수용할 수 있는 범위 내에서 즉, 블러킹 확률을 유지하는 네트워크로 구성할 수 있으며 파장 라우팅이 가능하다. 파장 변환이 없는 네트워크에서는 파장 연속성의 요구가 증가할수록 블러킹 확률은 증가하게 된다. 이에 따라 파장 변환을 사용하는 파장 라우팅 네트워크는 블러킹 성능에 상당한 이점을 갖고 있으므로 미래의 WAN에 많이 사용될 것이며, 기존 광 경로 설정의 많은 제한 요소들을 줄일 수 있을 것이다^[3,4,5,8,11,12].

파장 변환을 사용하는 네트워크는 보다 많은 융통성과 보다 적은 블러킹 확률을 가진다. 최근에는 이러한 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 파장 변환 노드의 비용부담으로 인해 현재 개발 및 운용되는 네트워크는 파장 변환 노드를 사용하지 않고 있다.

파장 변환 네트워크를 설계하기 위한 연구는 대부분 FC, LC를 이용하여 네트워크의 성능을 향상시키기 위한 연구이다^[1,2,5,6,7,9,10,13]. 본 연구는 네트워크 성능을 도식적으로 쉽게 분석할 수 있는 방법을 제시하며, 이 방법을 이용하여 네트워크의 블러킹 성능을 산출하고자 한다. 제한하는 도식적 방법은 기존의 수식적 방법과는 다르게 각 링크의 파장 이용률과 파장 수가 다른 경우와 NC, LC, FC 등의 여러 노드들로 구성되는 복합 네트워크의 경우에 대하여 블러킹 성능을 쉽고 간단하게 분석할 수 있다.

본 논문의 구성은 II장에서 기존에 많은 연구가 진행되고 있는 NC, FC, LC를 사용할 때의 광 경

로 블러킹 성능을 비교 분석하고, III장에서 새로운 도식적 방식을 제안함과 아울러 제안 방식을 사용하여 블러킹 성능을 분석한다. 또한, 도식적 분석 방식을 사용하여 여러 형태의 노드들로 구성될 수 있는 복합적 네트워크 구조들의 성능을 분석한다.

II. 파장 변환 방식 분석

2.1 파장 변환 개념

재구성 가능한 완전 광 네트워크는 파장 연속성(wavelength continuity)의 제한 때문에 실현하기가 어려웠다. 현재는 파장 연속성의 제한을 없애거나 줄이기 위하여 그림 2와 같이 파장 변환(wavelength converter) 광 소자가 개발되었으며, 이에 따라 재구성 가능한 완전 광 네트워크의 구현이 가능하게 되었다. 그러나 파장 변환기의 가격이 고가이므로 이를 제한적으로 사용하면서 파장 변환의 좋은 장점을 얻기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 이에 따라 기존에는 주로 FC를 대상으로 파장 변환의 이점을 분석하였으나^[5,8,9,11], 현재는 FC 대신에 네트워크의 비용을 줄이면서 성능을 향상시킬 수 있는 LC에 대한 연구가 진행되고 있다^[1,2,5,6,7,12,13].

그림 2의 파장 변환기는 입력 파장(λ_i)을 다른 출력 파장(λ_o)으로 변환시키는 기능을 수행한다. 출력 파장이 고정되어 있으면 파장 변환이 정적으로 동작하며, 출력 파장이 다양하게 동적으로 변환될 수 있으면 완전 광 네트워크를 더욱 융통성있고 재구성이 가능하도록 설계할 수 있으며, 보다 긴 경로에 대해 광 파장 신호의 블러킹 확률을 줄일 수 있다.

노드의 파장 변환 능력은 파장의 변환정도(wavelength degree) d ($1 \leq d \leq W$; d, W 는 정수)에 의해 좌우된다. 노드에 입력되는 특정 파장은 d 거리 내에 있는 파장으로 변환하여 출력된다. 가장 융통성있는 네트워크의 구성은 노드가 완전 변환 능력을 갖는 경우($d=W$)이며, 파장 변환이 고정적인 $d=0$ 경우는 입력 파장이 출력 파장과 동일한 경우($\lambda_i = \lambda_o$)이므로 NC를 사용하는 네트워크를 의미한다. 제한된 파장 변환기를 사용하나 경제성이 있으며 FC와 비슷한 성능을 제공하는 LC 즉, ($1 \leq d < W$)의 경우는 입력 파장(λ_i)이 변환될 수 있는 제한된 파장들 중의 한 ($\lambda_o \in S(\lambda_i)$)파장으로 출력된다^[7,12,13]. 또한, 그림 1과 같이 LC노드가 FC 노드보다 파장 변환기가 적으며 구성이 간단하므로 LC를 사용하는

완전 광 네트워크는 더욱 쉽고 간단히 설계될 수 있는 이점을 갖는다.

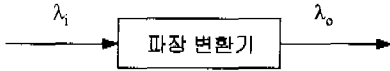


그림 2. 파장 변환기의 기능

2.2 NC와 FC 변환 방식의 비교

파장 변환을 사용하는 완전 광 네트워크의 가장 큰 이점은 파장 재사용과 블러킹 성능의 개선이므로 네트워크를 설계하는 경우 노드의 파장 변환 능력이 주요 관심이 될 수밖에 없다. 요구된 광 경로의 블러킹 확률을 산출하면 NC 경우는 식 (1)과 같고, FC 경우는 식(2)와 같다. 한 링크에서 한 파장이 사용될 이용률은, 각 링크의 파장 수는 W, 광 경로의 길이는 경로를 구성하는 링크 수 H로 가정한다.

$$P_{b,nc} = [1 - P_r \{ \text{광 경로 내의 모든 링크에서 해당 } \lambda \text{ 가 free} \}]^W = (1 - (1 - \rho)^W)^W \quad (1)$$

$$P_{b,fc} = 1 - P_r \{ \text{광 경로 내의 각 링크에서 } \lambda \text{ 가 free} \}^H = 1 - (1 - \rho)^{WH} \quad (2)$$

블러킹 확률을 설정한 후 파장 변환을 사용할 때와 사용하지 않을 때의 파장 이용률 ρ_{nc}, ρ_{fc} 를 구하면 식 (3),(4)와 같다^[5,7,9,10].

$$\rho_{nc} = 1 - (1 - P_{b,nc}^{1/W})^{1/H} \quad (3)$$

$$\rho_{fc} = [1 - (1 - P_{b,fc}^{1/H})^{1/W}] \quad (4)$$

2.3 LC 변환 방식

완전 광 네트워크를 설계하는 경우 파장 변환 기술을 사용하면 네트워크 성능이 개선될 뿐만 아니라 확장성과 융통성에도 많은 이점을 제공한다. 그러나 파장 변환기의 가격이 고가로 있는 한 FC를 사용하는 완전 광 네트워크를 설계하기에 많은 부담을 갖게 될 것이다. 이에 따라 파장 변환의 이점을 얻으며 비용을 줄일 수 있는 제한된 영역의 파장 변환(limited-range wavelength conversion)에 대한 연구가 많이 진행되고 있다^[1,2,5,6,9,12].

LC를 사용하는 완전 광 네트워크에서의 파장 변

환 정도가 d라면 입력 파장(λ_i)은 $\lambda_{\max(i-d, 1)}$ 로부터 $\lambda_{\min(i+d, W)}$ 영역 내의 한 파장으로 출력된다. 예를 들면 d=1, 파장 수 5인 노드에(λ_3)이 입력되면 $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 중의 한 파장으로 변환되어 출력될 수 있다.

LC를 사용하는 완전 광 네트워크의 블러킹 성능을 산출하기 위해 $\overline{\lambda_{i,j}}$ 를 파장 λ_i 가 홉 j부터 최종 홉 H까지의 경로에서 블러킹이 발생될 사건이라고 가정하면, $P(\overline{\lambda_{i,j}})$ 는 홉 j부터 홉 H까지의 광 경로에 대한 블러킹 확률이다. $a(i)$ 를 입력 파장에 의해 출력될 수 있는 제한 파장 영역의 집합이라면, $P(\overline{\lambda_{a(i),j+1}})$ 는 홉 j의 파장 λ_i 에 의해 홉 j+1에서 출력될 수 있는 모든 파장들이 홉 j+1부터 홉 H까지 경로를 설정할 수 없을 확률을 나타낸다.

$$P(\text{홉 j부터 홉 H까지의 광 경로에서 블러킹이 발생될 사건}) = P\left(\prod_{j=1}^W \overline{\lambda_{i,j}}\right) \quad (5)$$

이에 따라 완전 광 네트워크의 모든 광 경로에서 발생할 블러킹 확률(P_b)은 홉 1부터 홉 H까지 어떤 경로도 존재하지 않을 경우로 식(6)과 같다^[7,12].

$$P_b = P\left(\prod_{j=1}^W \overline{\lambda_{i,j}}\right) \quad (6)$$

본 장에서 언급한 기존의 수식적 분석 방법은 광 경로 내의 모든 홉에서 사용하는 파장 수와 각 파장의 이용률(ρ)이 동일하다고 가정할 경우 블러킹 성능을 분석하기가 간단하다. 하지만 실제 네트워크 구성은 항상 일정하지 않고 복잡하게 구성된다. 그러므로 각 홉의 파장 수와 이용률이 다른 경우 또는 광 경로의 어느 한 부분의 특성을 표현하고자 하는 경우 수식적 분석 방식은 많은 어려움을 갖게 된다. 또한, 네트워크에서 NC, LC, FC 등의 여러 노드들을 함께 사용하는 복합 기능의 네트워크 경우 더욱 분석하기가 어렵다. 이에 따라 본 논문의 III장에서는 네트워크가 어떻게 구성되더라도 네트워크의 블러킹 성능을 쉽고 간단히 도식적으로 표현할 수 있는 방법을 제안하고, 복합적 네트워크의 광 경로 블러킹 성능을 분석한다.

III. 도식적 분석 방법

3.1 도식적 방식을 이용한 블러킹 성능 분석

본 장에서는 각 링크의 파장 이용률과 파장 수가 서로 다른 경우와 NC, FC, LC로 구성되는 모든

완전 광 네트워크에서 광 경로 블러킹 성능을 쉽고 간단히 분석할 수 있는 새로운 도식적 분석 방법을 제안한다. 도식적 방식을 사용하여 블러킹 성능을 분석하면 그림 3과 같이 간단하게 표현할 수 있다. 그림 3에서 광 경로의 블러킹 확률은 각 광 경로의 블러킹 상태를 표시한 흐린 부분을 합하여 얻을 수 있다. 한 링크에서 수용하는 파장수가 1이고 광 경로의 길이 즉, 홉 수가 3인 경우의 네트워크를 도식적으로 표현하면 그림 3(a)와 같다. 또한 광 경로 길이가 1이고 한 링크에서 수용하는 파장 수가 3인 경우는 그림 3(b)와 같다. 이에 따라 어떠한 네트워크의 구성도 그림 3과 같은 도식적 방식을 이용하면 쉽게 표현할 수 있다. 예를 들어 한 링크에서 수용하는 파장 수가 3이고 광 경로의 길이가 3인 네트워크 경우는 그림 3(a)의 각 홉마다 그림 3(b)를 삽입하면 도식적으로 블러킹 성능을 표시할 수 있다.

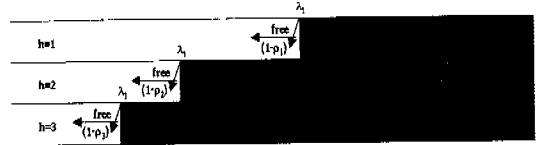
도식적 분석 방법을 상세히 설명하면 다음과 같다. 우선 그림 3과 같이 홉 수와 각 홉에서 사용하는 파장들을 표시한다. 다음은 파장을 사용하지 않을 때(free)와 사용할 때(busy)로 구분하여 도식하고 각 파장이 사용되는 광 경로 경우들을 설정한다. 마지막으로 각 광 경로를 통해 파장들이 전송될 때 발생할 모든 블러킹들을 흐리게 표시한다. 이 때 흐린 부분을 합하면 전체 광 경로 블러킹 확률이 얻어진다. 그림 3(a)를 예로 들면 블러킹될 모든 경우는 홉 1에서 λ_1 이 busy 경우, 홉 1에서 λ_1 이 free이고 홉 2에서 λ_1 이 busy 경우, 홉 1과 2에서 λ_1 이 free이고 홉 3에서 busy 경우의 세 경우이다. 각 경우마다 블러킹이 발생할 수 있는 부분을 흐리게 표시하면 그림 3(a)와 같다. 이에 따라 홉의 모든 파장이 busy이면 다음 모든 광 경로는 블러킹되므로 다음 홉의 모든 부분을 흐리게 표시한다. 한 홉(j)에서 특정 파장의 busy 확률이 ρ_j 이면 파장의 free 확률은 $(1-\rho_j)$ 이다. 이에 따라 그림 3(a)에서 광 파장 경로를 이분법으로 분리하면서 광 경로 블러킹 확률을 산출하면 식 (7)과 같다.

$$P_b = (1-\rho_1) \{ (1-\rho_2)\rho_3 + \rho_2 \} + \rho_1 \quad (7)$$

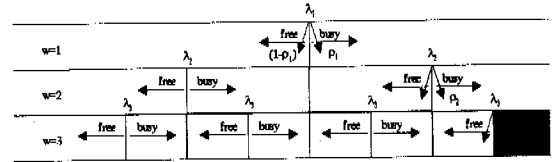
광 경로 길이가 1 즉, 홉 수가 1이며 해당 홉에서 제공하는 파장 수가 3인 경우의 네트워크에서 발생할 광 경로 블러킹 성능을 분석하면 그림 3(b)와 같다. 이 때 각 파장의 블러킹 확률을 ρ_1 으로 가정하면, 서로 독립적으로 발생하는 세 파장에 의

한 광 경로 블러킹 성능은 식 (8)과 같이 산출된다.

$$P_b = \rho_1 \cdot \rho_1 \cdot \rho_1 = \rho_1^3 \quad (8)$$



(a) 링크의 파장수가 1이고 홉 수가 3인 경우



(b) 링크의 파장 수가 3이고 홉 수가 1인 경우

그림 3. 도식적 분석 방법을 이용한 블러킹 확률 분석

도식적 분석과 II장 및 III장에서 설명한 수식적 분석이 상호 일치함을 비교하기 위하여 모든 홉의 파장 이용률이 동일하다고 가정한다. NC 경우를 비교하기 위하여 그림 3(a)를 예로 들면, 식 (1)과 식 (7)은 식 (9.1)과 식 (9.2)로 나타낼 수 있으며, 이 두 식을 분석하면 서로 동일함을 알 수 있다.

$$P_{b,nc} = 1 - (1-\rho^3)^1 = 1 - (1-\rho)^3 \quad (9.1)$$

$$P_b = (1-\rho_1) \{ (1-\rho_2)\rho_3 + \rho_2 \} + \rho_1 \\ = (1-\rho) \{ (1-\rho)\rho + \rho \} + \rho \quad (9.2)$$

FC 경우를 비교하기 위하여 홉 수는 2이며, 각 홉의 파장 수가 3인 완전 광 네트워크를 가정한다. 이때 $d=2$ 이면 FC를 나타낸다. 그림 3과 같은 도식적 분석을 사용하여 $d=2$ 경우의 블러킹 확률을 구하면 식 (10)과 같다.

$$P_b = (1-\rho_1) \{ (1-\rho_1) [(1-\rho_1)\rho_2^3 + \rho_1\rho_2^3] \\ + \rho_1 [(1-\rho_1)\rho_2^3 + \rho_1\rho_2^3] \} + \rho_1 \\ \{ (1-\rho_1) [(1-\rho_1)\rho_2^3 + \rho_1\rho_2^3] \\ + \rho_1 [(1-\rho_1)\rho_2^3 + \rho_1^2] \} \quad (10)$$

모든 파장의 이용률은 동일하므로 식 (10)은 식 (11.2)와 같이 표현된다. 그리고 FC 경우인 식 (2)에 $H=2$, $W=3$ 을 대입하여 블러킹 확률을 구하면 식(11.1)과 같다.

- $P_{b,fc} = 1 - (1 - \rho^3)^2$ (11.1)

- $P_b = (1 - \rho) \{ (1 - \rho) [(1 - \rho)\rho^3 + \rho\rho^3] + \rho [(1 - \rho)\rho^3 + \rho\rho^3] + \rho [(1 - \rho)\rho^3 + \rho^2] \}$ (11.2)

식 (11.1)과 식 (11.2)를 전개하면 NC와 같이 FC도 일치함을 알 수 있다. 또한, 위 예에서 d=1인 경우는 LC를 나타낸다. d=1인 경우에도 NC, FC와 같이 동일하게 전개하면 수식적 분석과 도식적 분석이 일치함을 알 수 있다. 도식적 방법을 이용하여 NC, FC, LC 경우들에 대한 네트워크의 광 경로 블러킹 성능을 분석하기 위해 광 경로의 길이 2, 링크 당 파장 수 5의 네트워크를 가정하면, 네트워크의 구성별 블러킹 성능은 그림 4와 같이 얻어진다.

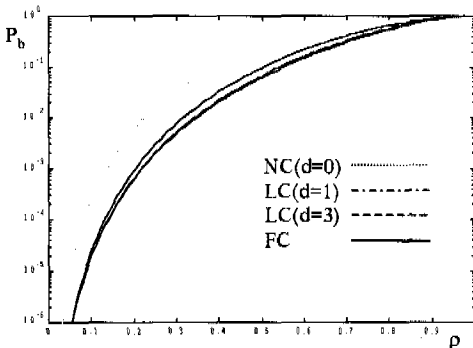


그림 4. 링크 파장 수가 5이고 광 경로 홉 수가 2인 경우의 이용률에 따른 블러킹 확률

그림 4에서 FC 경우가 가장 좋은 블러킹 성능을 나타냄을 알 수 있다. d=1과 d=3 경우는 FC와 비슷한 성능을 나타내지만 NC에 비하여 많은 차이가

발생한다. 이에 따라 LC를 사용하는 것이 네트워크의 성능을 보장하면서 설계 비용을 많이 줄일 수 있음을 알 수 있다. 또한, 도식적 분석 방법은 NC (d=0), FC(d=W), LC()의 모든 네트워크 구성에 대해 블러킹 성능을 트리(tree) 형태로 쉽게 도시할 뿐만 아니라 블러킹 성능을 쉽고 간단하게 구할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 식 (10)에서 링크의 파장 이용률이 다른 경우에는 ρ_1, ρ_2, ρ_3 의 값을 각 홉에 대입하고, 각 홉의 파장 수가 다른 경우는 그림 3(b)의 파장 수를 각 홉에 다르게 할당하면 광 경로 블러킹 확률을 산출할 수 있다.

3.2 복합적 네트워크 구성의 블러킹 성능 분석

본 연구에서 제안한 도식적 분석 방식은 II장의 수식적 분석과 비교할 때 3.1절에서 제시한 도식적 표현의 성능 분석 외에도 많은 이점을 갖고 있다. 전체 네트워크의 특정 부분 네트워크에 대한 블러킹 성능을 도식적으로 간단히 분석할 수 있을 뿐만 아니라 네트워크의 각 링크에서 수용하는 파장 수가 다른 경우와 각 파장의 이용률이 다른 경우에도 쉽게 네트워크의 블러킹 성능을 분석할 수 있다.

또한 FC, LC, NC의 노드가 함께 구성되는 복합적 네트워크의 성능 분석도 용이하다. 예를 들어 그림 5와 같이 광 경로 길이 3, 각 링크의 파장 수 1, 2, 3, 링크 1, 2, 3의 각 파장 이용률이 ρ_1, ρ_2, ρ_3 인 완전 광 네트워크를 가정한다.

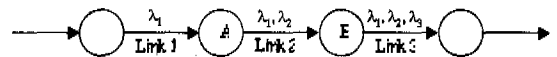


그림 5. NC, LC, FC로 구성되는 복합 네트워크

이때 노드를 여러 형태로 구성하면서 각 구성에 따른 네트워크의 광 경로 블러킹 성능을 상호 비교할 수 있다. 본 연구에서는 그림 5와 같이 링크의

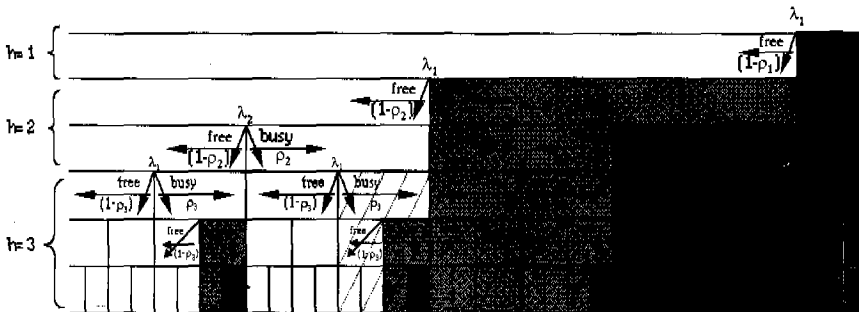


그림 6. 도식적 분석을 이용한 복합적 완전 광 네트워크의 블러킹 확률 분석

파장 수와 노드 특성이 다른 즉, 링크 1, 2, 3의 파장 수를 1, 2, 3으로 설정하고 링크 1과 링크 2 사이의 노드 A와 링크 2와 링크 3 사이의 노드 B를 NC, LC, FC로 변경하면서 각 네트워크 구성에 따른 광 경로 블러킹 성능을 분석한다. 이러한 복합적 네트워크 구조에서 노드 A와 노드 B를 NC, LC, FC로 변경하면서 네트워크별 블러킹 성능을 도식적으로 비교하면 그림 6과 같으며, 블러킹 확률은 아래 식들과 같다. 즉 그림 6의 어두운 부분은 식 (12.1)의 경우, 흐린 부분은 식 (12.5)의 경우, 빛금친 부분은 식(12.6)의 경우를 나타낸다.

- 노드 A와 노드 B가 NC 형태인 경우

$$P_b = (1 - \rho_1) \{ (1 - \rho_2) [(1 - \rho_2) \rho_3 + \rho_2 \rho_3] + \rho_2 \} + \rho_1 \quad (12.1)$$

- 노드 A와 노드 B가 FC 형태인 경우

$$P_b = (1 - \rho_1) \{ (1 - \rho_2) [(1 - \rho_2) \rho_3 + \rho_2 \rho_3] + \rho_2 \} + \rho_1 \quad (12.2)$$

- 노드 A와 노드 B가 LC(d=1) 형태인 경우

$$P_b = (1 - \rho_1) \{ (1 - \rho_2) [(1 - \rho_2) \rho_3^3 + \rho_2 \rho_3^2] + \rho_2 [(1 - \rho_2) \rho_3^2 + \rho_2] \} + \rho_1 \quad (12.3)$$

- 노드 A가 NC, 노드 B가 FC 형태인 경우

$$P_b = (1 - \rho_1) \{ (1 - \rho_2) [(1 - \rho_2) \rho_3^3 + \rho_2 \rho_3^3] + \rho_2 \} + \rho_1 \quad (12.4)$$

- 노드 A가 NC, 노드 B가 LC(d=1) 형태인 경우

$$P_b = (1 - \rho_1) \{ (1 - \rho_2) [(1 - \rho_2) \rho_3^2 + \rho_2 \rho_3^2] + \rho_2 \} + \rho_1 \quad (12.5)$$

- 노드 A가 FC(또는 LC(d=1)), 노드 B가 NC 형태인 경우

$$P_b = (1 - \rho_1) \{ (1 - \rho_2) [(1 - \rho_2) \rho_3^2 + \rho_2 \rho_3] + \rho_2 [(1 - \rho_2) [(1 - \rho_3) \rho_3 + \rho_3^2] + \rho_2] \} + \rho_1 \quad (12.6)$$

그림 5와 같이 링크 별로 수용하는 파장 수가 다른 경우와 광 경로 내의 노드 특성이 서로 다른 경우라도 쉽게 네트워크 성능을 도식적으로 표현하고

분석할 수 있음을 알 수 있다. 식 (12)의 각 네트워크 구조에 대한 블러킹 성능을 비교 분석하면 그림 7과 같다. 그림 7은 그림 4와 같이 LC 경우와 FC 경우가 비슷한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 하지만 NC 노드를 추가함에 따라 성능이 떨어지고, NC 노드를 노드 B 보다 노드 A에 위치할 때 성능이 떨어짐을 알 수 있다.

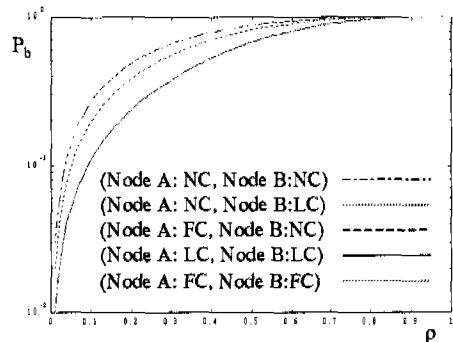


그림 7. 서로 다른 노드들로 구성되는 복합적 네트워크들의 블러킹 확률

IV. 결론

본 논문에서 완전 광 네트워크의 파장 변환 특성들을 고찰한 결과, LC를 사용하여 완전 광 네트워크를 설계하는 방법과 파장의 재사용, 그리고 네트워크의 블러킹 성능에 많은 이점이 있음을 알 수 있다. 또한, 일반적으로 광 경로 길이가 증가할수록 홉 수에 따라 블러킹 확률이 증가하였으나, 파장 변환을 사용하는 구조에서 그 효과는 큰 영향이 없음을 알 수 있다. 그러므로 블러킹 성능을 높이면서 경제적으로 완전 광 네트워크를 설계하기 위해서는 파장 변환기를 도입해야 될 것이다. 이에 따라 파장 변환기를 도입하는 이점을 분석하기 위해 파장 수와 홉 수를 파라미터로 하여 여러 네트워크 구조를 서로 비교하였다.

기존 논문은 수식적 관점에서 네트워크 성능을 분석하기 위한 연구를 수행하였으나, 본 논문에서는 완전 광 네트워크의 실제 환경을 고려하여 링크별로 파장 수가 다른 경우와 각 링크의 이용률이 동일하지 않아도 블러킹 성능을 산출할 수 있는 새로운 도식적 분석 방법을 제안하였다. 또한, 제안한 도식적 분석 방법이 수식적으로 설계한 결과와 동일함을 증명하였으며, 복합적 네트워크의 구조가 어떠한 형태를 갖더라도 제안한 도식적 방식을 통해

쉽게 도식적으로 블러킹 성능을 표현할 수 있음을 알 수 있다. 더구나 각 링크의 용량이 서로 다른 네트워크 환경에서도 도식적 방식이 간단히 적용될 수 있음을 제시하였다. 이에 따라 제안한 방법이 향후 완전 광 네트워크를 효율적으로 설계하는데 많은 기여를 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] J.Yates, M.Rumsewicz, J.Lacey, "Wavelength Conversion in Networks with Differing Link Capacities", *IEEE GLOBECOM*, pp.2315-2320, 1998.

[2] R.Ramaswami, G.Sasaki, "Multiwavelength Optical Networks with Limited Wavelength Conversion", *IEEE/ACM Transaction on Networking*, pp.744-754, 1998.

[3] Biswamath Mukherjee, "Optical Communication Networks", *McGrawHill*, 1997.

[4] Tsong-Ho Wu, Noriaki Yoshikai, "ATM Transport And Network Integrity", *Academic Press*, 1997.

[5] Rajiv Ramaswami, Kumar N.Sivarajan, "Optical Networks", *Morgan Kaufmann*, 1998.

[6] V.Sharma, E.Varvarigos, "Limited Wavelength Translation in All-Optical WDM Mesh Networks", *IEEE INFOCOM*, pp.893-901, 1998.

[7] J.Yates, J.Lacey, D.Everitt, M.Summerfield, "Limited-Range Wavelength Translation in All-Optical Networks", *IEEE INFOCOM*, pp. 954-961, 1996.

[8] R.A.Barry, P.A.Humblet, "On the number of Wavelength and Switches in All-Optical Networks", *IEEE Transactions on Communications*, pp.583-591, 1994.

[9] R.A.Barry, P.A.Humblet, "Models of Blocking Probability in All-Optical Networks with and without Wavelength Changers", *IEEE JSAC/JLT Special Issue on Optical Networks*, pp. 858-867, 1996.

[10] A.Birman, "Computing Approximate Blocking Probabilities for a Class of Optical Networks", *IEEE JSAC/JLT Special Issue on Optical Networks*, pp.852-857, 1996.

[11] R.Ramaswami, K.N.Sivarajan, "Routing and

Wavelength Assignment in All-Optical Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, pp.489-500, 1995.

[12] R.Ramaswami, G.H.Sasaki, "Multiwavelength Optical Networks with Limited Wavelength Conversion", *IEEE INFOCOM*, pp.490-499, 1997.

[13] S.Subramaniam, M.Azizoglu, A.K.Somani, "Connectivity and Sparse Wavelength Conversion in Wavelength-Routing Networks", *IEEE INFOCOM*, pp.148-155, 1996.

[14] M.Kovacevic, "Benefits of Wavelength Translation in All-Optical Clear-Channel Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp.868-880, 1996.

최 한 규(Han-Kyoo Choi)
한국통신학회논문지 제24권 제6B호 참조
현재: 주성대학 정보통신기기 조교수

남 우 춘(U-Chun Nam)
한국통신학회논문지 제22권 제5호 참조
현재: 주성대학 정보통신기기 조교수

강 안 구(An-Goo Kang)
한국통신학회논문지 제24권 제10B호 참조
현재: 주성대학 컴퓨터하드웨어응용 조교수