

WDM 메트로 링 망에서 다양한 입력 트래픽을 고려한 MAC 프로토콜의 성능분석

이규정⁰, 소원호

순천대학교

kyujong0@nate.com⁰, whso@sunchon.ac.kr

Performance Evaluation of MAC Protocols Considering Various Input Traffic in WDM Metro Ring Networks

Kyujeong Lee⁰, Wonho So
Sunchon National University

요 약

본 논문에서는 광대역 통신·방송 융합 서비스 제공을 고려한 WDM 메트로 링 망을 위한 매체 접근 제어 (Medium Access Control; MAC) 프로토콜의 성능을 분석한다. 현재 인터넷은 통신·방송 융합 망으로 진화하고 있으며 다양한 트래픽 특성을 갖는 서비스가 액세스 망에서 메트로 망으로 유입되고 있다. 그러나 기존 메트로 망의 MAC 프로토콜은 이러한 망 환경 변화를 고려하지 않고 단순하고 동일한 트래픽만을 고려하여 성능을 분석하였다. 따라서 본 논문에서는 메트로 링에 연결된 액세스 노드의 입력 트래픽을 Self-Similar와 Poisson 트래픽으로 분류하여 기존 MAC 프로토콜의 성능을 분석하고 평가한다. 메트로 링 망에 연결된 액세스 노드는 이 두 종류의 트래픽 중에서 하나를 망에 유입하며 채널을 공유하는 노드 수에 따라서 다양한 트래픽 환경이 고려된다. WDM 메트로 링망의 기본 MAC 프로토콜은 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)이며, 패킷을 빈 슬롯에 전송하고 송신지에서 패킷을 제거하는 SS (Source-Stripping) 기반으로 운용된다. 본 논문에서는 SS 방식으로 생성된 빈 슬롯을 바로 패킷 전송에 이용하는 방식과 그렇지 않은 방식을 각각 1-Persistent와 non-Persistent로 분류하고 MAC 프로토콜을 분석하여 기존 방식의 장·단점을 비교한다. 또한 전송 공정성과 처리율을 같이 고려하여 적용할 수 있는 확률 기반 p-Persistent MAC 프로토콜도 분석하였으며 시뮬레이션을 통하여 각 프로토콜을 노드 처리율, 전송 지연, 패킷 손실률, 전송 공정성 관점에서 비교하고 평가한다.

1. 서 론

인터넷의 급속한 보급과 사용자의 지수적 증가로 인하여 대용량의 IP/WDM(IP over WDM) 기반의 광 통신 백본 망과 액세스 망에 대한 통신 시장의 관심과 투자가 집중되고 있다. 액세스 망의 경우에는 IEEE 802.3ae 10GbE 표준을 포함한 기가비트 이더넷(Ethernet)이 적어도 향후 몇 년은 충분한 대역을 제공할 것을 예측되고 있다. 그러나 BcN(Broadband Convergence Network)과 같은 서비스를 효과적으로 지원할 수 있는 QoS(Quality of Service) 제공과 관리 기법의 부재, 광대역 채널 제공을 위한 고비용 요구 등으로 인하여 백본 망과 액세스 망 사이에서 병목현상이 발생된다. 따라서 국내외적으로 망의 확장성과 경제성을 고려한 WDM 기반 메트로 MAN 구조와 프로토콜에 대한 연구가 진행되고 있다[1-3].

MAC 프로토콜에 대한 연구는 링 망을 구성하는 노드 구조에 따라 TT-FR(Tunable Transmitter - Fixed Receiver)과 FT-TR(Fixed Transmitter - Tunable Receiver) 방식으로 분류할 수 있다. 본 연구에서 사용될 FT-TR 방식은 FT-FRⁿ(Fixed Transmitter - n Fixed Recivers)노드 구조를 이용한 CSMA/CA 방식이 제시되었으며 이 방식은 이론적으로 TT-FR 방식과 처리율면

서 동일한 성능을 갖는 것으로 보고되었으며 망의 확장성과 전송 공정성 제공, 수신측 충돌이 없는 장점을 갖는다[4-6].

현재 우리 사회는 디지털기술의 발전으로 통신과 방송이 융합되어가고 있어 매체간, 서비스간에도 융합을 야기했다. 또한 협대역의 망이 광대역의 망으로 발전하면서 방송의 융합을 더욱 촉진하고 있다. 그러나 기존 연구에서는 통신·방송 융합 서비스 제공을 위한 트래픽 환경을 고려하지 않아 MAC 프로토콜에 대한 다양한 성능 분석이 요구된다.

다양한 트래픽에서의 전송 공정성은 액세스 노드가 SS(Source-Stripping) 방식으로 전송된 슬롯을 빈 슬롯으로 만든 후 그 노드에서 패킷 전송에 바로 이용하지 않는 단순한 방식이다. 따라서 동일한 파장을 공유하는 액세스 노드가 망에 분산된 경우에는 패킷을 전송하지 않는 빈 슬롯이 발생되어 망의 성능이 낮아지는 문제점이 발생한다. 반면에 액세스 노드가 빈 슬롯을 바로 이용하면 하향 액세스 노드의 전송 기회가 감소하여 불공정한 전송이 발생 하는 문제점을 갖는다[10].

따라서 본 논문에서는 기가 비트 이더넷 (Gigabit

Ethernet: GbE) 액세스 링크에서 입력되는 네트워크 트래픽은 Self-Similar와 Poisson, 그리고 이 두 트래픽을 혼합한 다양한 형태의 트래픽을 고려하여 목적지 망으로 패킷들이 전송 될 수 있도록 한다. 연구 중에 효율적이고 공정성에 문제가 발생하면 기존의 확률기반 MAC 프로토콜을 이용하여 성능분석 한다. 시뮬레이션을 통해 프로토콜에 대한 노드처리율, 전송지연, 패킷손실률, 전송공정성에 대한 효율적인 확률을 얻기 위해 다양한 성능 파라미터를 비교-평가한다.

II. 관련 연구 및 MAC 프로토콜

2.1 메트로 망

본 논문에서 가정하는 광대역 메트로 망은 그림 1과 같은 WDM 슬롯-링(slotted-ring) 망이다. 링 망은 액세스 노드(Access Node; AN)와 단방향 WDM 링크로 구성된다. 그림 1의 경우에는 하나의 WDM 링크가 3개의 파장 채널로 구성된 경우로서 망에 분산된 액세스 노드가 하나의 파장 채널을 공유하는 구조이다. 이때 같은 파장을 공유하는 액세스 노드들을 파장 그룹으로 정의한다. 예를 들면 AN-1, AN-4, AN-13 등이 파장 λ_1 을 공유하는 파장그룹이 된다. AN은 3개의 포트로 구성되며 그 중 2개의 포트는 단방향 광 링크를 연결하기 위하여 사용되며, 나머지 1개는 GbE를 연결하는 링크에 연결된다[10].

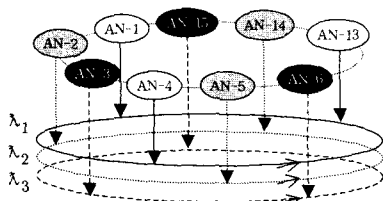


그림 1. WDM Metro Ring Networks

2.2 MAC 프로토콜

본 논문의 FT-FR²은 하나의 파장을 여러 개의 액세스 노드가 공유하기 때문에 적합한 MAC 프로토콜이 요구된다. MAC 프로토콜은 전송된 슬롯을 제거하는 방식 즉, 송신자가 전송된 슬롯을 제거하는 source-stripping(SS) 방식과 슬롯의 수신자가 제거하는 destination-stripping(DS) 방식으로 분류된다. 슬롯이란 GbE 링크에서 입력된 패킷을 전송하는 고정시간 광신호 데이터 프레임으로 정의된다. 따라서 각 액세스 노드는 전송할 패킷이 큐에 있고 자신의 파장에 빈 슬롯(external empty slot; EES)이 입력 포트로부터 감지되면 패킷을 전송할 수 있다. 또한 SS와 DS 방식으로 패킷이 제거된 빈 슬롯을 이용하여 패킷을 전송할 수 있는데 링을 순환하여 전송된 슬롯이 되는데 이 슬롯을 내부 빈 슬롯(internal empty slot; IES)으로 정의한다. 본 논문에서는 유니캐스팅 뿐만 아니라 멀티캐스팅이 가능한 WDM 링 망을 고려하기

때문에 DS 방식은 논외로 한다[8].

기존에 제시된 MAC 프로토콜의 성능 분석에 의하면 non-Persistent 방식과 1-Persistent 방식의 차이는 빈 슬롯인 IES의 사용여부에 의해서 발생된다. 본 논문에서는 주어진 확률값에 의해서 IES의 이용을 결정하는 p-Persistent 방식인 MAC 프로토콜을 이용한다. p-Persistent MAC 프로토콜은 입력 포트로 도착하는 EES에 대해서는 CSMA/CA 방식을 그대로 사용하여 패킷 전송에 이용한다. 반면에 패킷 전송이 완료된 슬롯중에서 자신이 보낸 슬롯은 패킷을 제거하여 IES를 만들면서 동시에 확률 p 로 이 IES에 패킷을 전송할 것인지를 결정한다. 예를 들면 p 가 0.9 이면 빈 슬롯인 IES를 버퍼에 있는 패킷 전송에 90% 사용하고 나머지 10%만을 다음 액세스 노드에 전송하는 것이다. 이렇게 해서 다음 액세스 노드에게 전송의 기회를 주는 방식이다[8].

p-Persistent MAC을 사용하는 이유는 기존의 연구에서 Self-Similar 프로세스 방식으로 성능 평가를 하였을 때는 1-Persistent MAC에서 공정성의 문제가 발생하여 모든 노드가 공정한 전송기회를 갖지 못했지만 0.9-Persistent MAC에서는 non-Persistent MAC과는 3Mb/s 이내의 공정성의 차이를 보였고, 처리율에서도 1-Persistent MAC과 비교했을때 98%의 성능을 보였다. 본 논문에서는 Self-Similar 프로세스 뿐만 아니라 다양한 트래픽(P1S4, P2S3, P3S2, P4S1, Poisson) 입력을 기반으로 하는 메트로(metro) 링 망에서의 공정성 문제 뿐만 아니라 여러 가지의 문제가 발생할 수도 있다고 가정하고, p-Persistent 방식을 통하여 제시된 프로토콜에 대한 효율적 확률을 얻기 위해 시뮬레이션 한다.

III. 다양한 트래픽 생성 및 실험 환경 구축

WDM 메트로 링 망의 GbE 액세스 링크에서 입력되는 네트워크 트래픽은 Self-Similar와 Poisson 프로세스가 있다. 본 시뮬레이션에서는 두 트래픽을 혼합한 형태의 입력 트래픽을 사용함으로써 다양한 시뮬레이션 결과를 분석하고자 한다. 네트워크 모델은 그림 1과 같이 액세스 노드를 배치하고 각 파장마다 하나의 액세스 노드를 하나의 그룹(Group)으로 만들어 트래픽을 입력한다. 즉, 액세스 노드 1~3번은 1그룹, 4~6번은 2그룹, 7~9번은 3그룹, 10~12번은 4그룹, 13~15번은 5그룹으로 한다. 그래서 Self-Similar와 Poisson 트래픽이 각 그룹마다 어떻게 입력되는가에 따라 다양한 형태의 입력 트래픽 프로세스가 결정된다. 예를 들면 입력 트래픽 P3S2는 연속해서 3개의 그룹의 트래픽이 Poisson이고 연속한 2개의 그룹이 Self-Similar 트래픽인 것을 말한다. 즉, 1그룹부터 3그룹까지가 Poisson 트래픽이고 4, 5그룹이 Self-Similar 트래픽이면 이 입력 트래픽은 P3S2 프로세스가 되는 것이다. 또 2그룹부터 4그룹까지가 Poisson 트래픽이고 5, 1그룹이 Self-Similar 트래픽이어도 P3S2 입력 트래픽이 된다. 표1은 각 그룹간의 입력한 트래픽 프로세스를 나타낸다.

표 1. 그룹간 트래픽 프로세스 분류

Traptic process	Groups
Self-Similar	모든 그룹이 Self-Similar.
P1S4	하나의 그룹이 Poisson, 연속 네 개의 그룹이 Self-Similar.
P2S3	연속 두 개의 그룹이 Poisson, 연속 세 개의 그룹이 Self-Similar.
P3S2	연속 세 개의 그룹이 Poisson, 연속 두 개의 그룹이 Self-Similar.
P4S1	연속 네 개의 그룹이 Poisson, 하나의 그룹이 Self-Similar.
Poisson	모든 그룹이 Poisson.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 MAC 프로토콜의 성능 분석을 위하여 시뮬레이션을 수행한다. 기존에 분석한 연구의 결과는 본 시뮬레이션 환경에서 나타나는 시뮬레이션의 결과를 검증하는데 참고자료로 사용하고 노드의 처리율, 전송 지연, 패킷 손실율, 전송 공정성을 시뮬레이션을 통하여 분석한다. 시뮬레이션을 위한 네트워크 구성은 그림 1과 같으며 GbE 액세스 링크에서 입력되는 트래픽은 Self-Similar, P1S4, P2S3, P3S2, P4S1, Poisson 프로세스를 따른다.

패킷의 크기는 이더넷 MTU(Maximum Transfer Unit)를 고려한 고정 크기로 가정하며 패킷의 목적지 결정은 균등 분포로 가정한다. 시뮬레이션은 안정 상태(Steady-state)에 도달될 수 있도록 충분한 시간동안 수행되었으며 시뮬레이션 동안 하나의 액세스 노드당 200~800만 개의 패킷을 전송한다. 전송 공정성(fairness factor)은 각 노드 처리율을 평균 분석으로 정의한다.

4.1 non-Persistent MAC 프로토콜

그림 2은 빈 슬롯인 IES를 사용하지 않는 non-Persistent 방식에서의 6가지 서로 다른 네트워크 트래픽인 Self-Similar, P1S4, P2S3, P3S2, P4S1, Poisson을 15개의 액세스 노드와 3개의 파장을 사용하는 WDM 슬롯-링 망의 시뮬레이터에 적용한 액세스 노드의 평균 처리율 결과이다. 망에 인가되는 입력 부하가 1이 아닌 경우는 파장 그룹의 각 액세스 노드가 최대 500Mb/s로 데이터를 망에 인가하는 경우로서 그 이상의 트래픽이 발생되는 경우도 고려할 수 있다. 하지만 균등분포로 가정했기 때문에 액세스 노드의 평균 노드 처리율은 최대 처리율을 넘지 않는다. 각 트래픽의 최대 처리율은 416.47Mb/s이다. 노드에 입력된 패킷이 많은 Self-Similar 트래픽이 Poisson 성질을 가진 트래픽보다 상대적으로 약간 높은 처리율을 보인다.

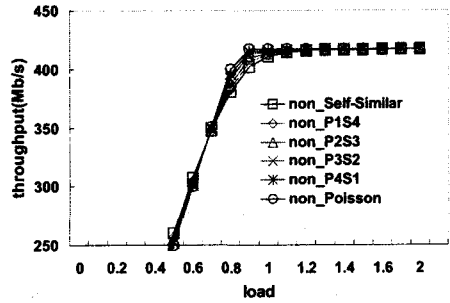


그림 2. non-Persistent 평균 노드 처리율

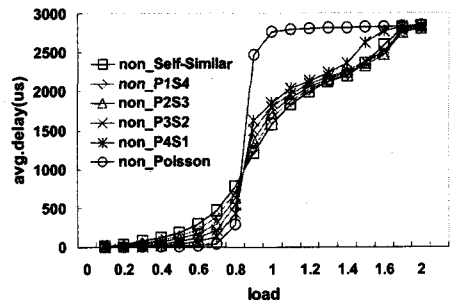


그림 3. non-Persistent 전송 지연

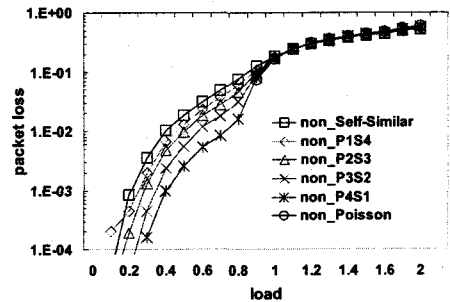


그림 4. non-Persistent 패킷 손실률

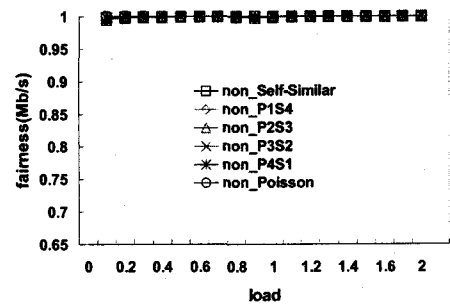


그림 5. non-Persistent 전송 공정성

그림 3은 액세스 노드의 버퍼에 도착한 패킷이 목적지

액세스 노드까지 전송되는데 걸리는 시간을 나타낸다. 그림 2의 처리율이 선형적으로 증가하다 감소하는 시점에서 지연이 급속하게 증가함을 알 수 있다. Poisson 트래픽의 경우 인가된 부하 0.7까지는 지연이 거의 일어나지 않다가 0.8부터 지연율이 급속히 증가함을 알 수 있다. 그 이유는 Poisson 트래픽은 패킷이 증가나 감소 없이 일정량으로 계속 액세스 링크에서 액세스 노드로 입력되기 때문으로 보인다.

패킷의 손실은 GbE 링크에서 입력되는 패킷이 액세스 노드에 공간이 없을 때 발생한다. 그림 4는 각 트래픽에 따른 패킷 손실률을 비교한다. Poisson 트래픽은 액세스 노드에 도착한 패킷이 목적지 노드까지 전송하는데 걸리는 시간이 빠르기 때문에 인가된 부하 0.8까지는 패킷 손실이 전혀 일어나지 않는다. Poisson 트래픽 성질이 많이 가진 트래픽일 수록 손실률이 낮음을 알 수 있다.

그림 5은 non-Persistent 방식에서 전송 공정성을 나타낸다. SS 방식으로 전송 패킷의 제거로 발생하는 IES를 다음 액세스 노드에 전송하는 non-Persistent 방식이라 공정성이 보장되기 때문에 입력 트래픽의 영향을 거의 받지 않는다.

4.2 1-Persistent MAC 프로토콜

그림 6은 빈 슬롯인 IES를 사용하는 1-Persistent 방식에서의 6가지 서로 다른 네트워크 트래픽을 15개의 액세스 노드와 3개의 파장을 사용하는 WDM 슬롯-링 망

의 시뮬레이터에 적용한 액세스 노드의 평균 처리율 결과이다. 1-Persistent 방식은 빈 슬롯인 IES를 사용하여 액세스 노드의 패킷 전송에 사용하고 있다. non-Persistent 방식과 처리율을 비교 하면 성능이 좋음을 알 수 있다. 각 트래픽의 최대 처리율은 500.00Mb/s이다.

그림 7은 패킷이 액세스 링크에서 액세스 노드로 입력된 후부터 WDM 슬롯-링 망에 전송되어 목적지까지 전송되는 평균시간을 나타낸다. 혼합 트래픽인 P3S2와 P4S1에서 지연율이 너무 높아져 망의 심각한 부하를 가져온다. 이런 문제점을 해결하는 방안으로 확률 기반 MAC 프로토콜을 이후에 제시 한다.

그림 8는 1-Persistent 방식에서 각 트래픽의 패킷 손실률을 비교한다. Non-Persistent 방식과 패킷 손실률을 비교했을 때 전체적으로 1-Persistent 방식의 손실률이 낮음을 알 수 있다.

그림 9은 전송 공정성을 1-Persistent 방식에서 각 트래픽마다 나타낸 결과이다. 인가 부하 1.0부터 각 트래픽에 따른 차이가 발생되며 P2S3, P3S2, P4S1의 트래픽인 경우에는 인가된 부하 1.1이후부터는 공정성이 급격하게 감소됨을 알 수 있다. 이것은 같은 파장 그룹의 상위 액세스 노드가 하위 하위 액세스 노드에 비해서 빈 슬롯을 더 많이 사용하여 패킷을 전송하는 1-Persistent 방식의 성질을 반영한 것이다. 그리고 망에 인가되는 혼합 트래픽이 증가될수록 IES를 하위 액세스 노드에게 전송하지 않고 바로 사용하기 때문으로 특정 액세스 노드

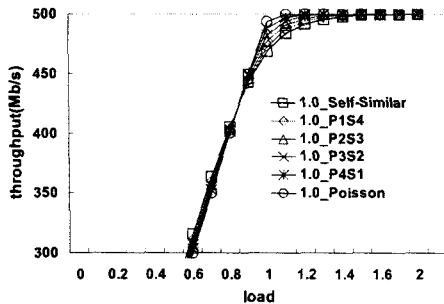


그림 6. 1-Persistent 평균 노드 처리율

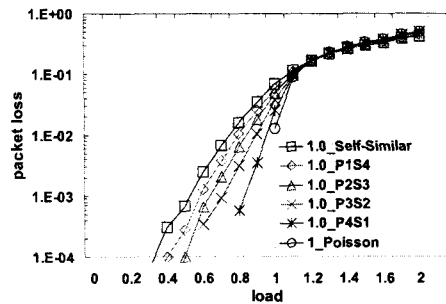


그림 8. 1-Persistent 패킷 손실률

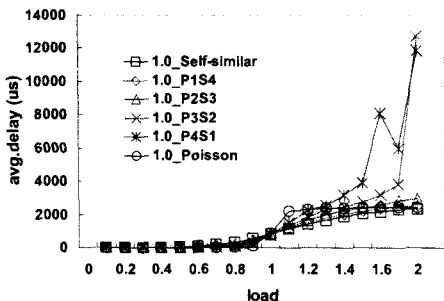


그림 7. 1-Persistent 전송지연

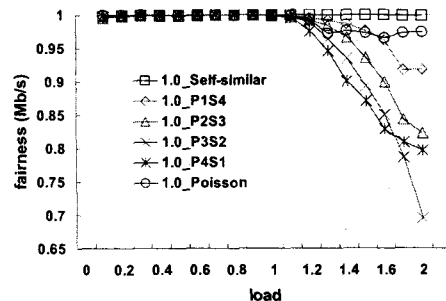


그림 9. 1-Persistent 전송 공정성

의 처리율은 향상되지만 상대적으로 같은 파장 그룹의 다른 노드의 처리율은 낮아지는 문제점을 갖는다. 이런 공정성 문제점을 해결 하는 방안으로 확률 기반 MAC 프로토콜의 필요성이 더욱더 요구된다.

4.3 p-Persistent MAC 프로토콜

4.3.1 0.9-Persistent

1-Persistent 방식에서 P3S2와 P4S1 트래픽에서 전송 지연이 급속히 증가하고 P2S3, P3S2, P4S1트래픽에서 전송 공정성이 급속히 감소함을 나타나 망의 문제점이 나타나는 것을 알 수 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해 확률 기반 MAC 프로토콜을 제안하며 빈 슬롯인 IES를 버퍼에 있는 패킷 전송에 90% 사용하고 나머지 10%만을 다음 액세스 노드에 전송하는 0.9-Persistent 방식의 시뮬레이션 결과를 확인한다.

그림 10은 0.9-Persistent 방식의 평균 노드 처리율로 1-Persistent MAC을 사용하는 경우 처리율에 98%까지 접근하는 성능을 보임을 알 수 있다. 각 트래픽의 최대 처리율은 490.20Mb/s이다.

그림 11은 0.9-Persistent 방식에서의 전송 지연을 나타낸다. 처리율이 선형적으로 증가하다가 감소하는 시점에서 지연이 급속하게 증가한다. IES를 버퍼에 있는 패킷 전송에 90% 사용하고 나머지 10%만 다음 액세스 노드에 양보했는데 1-Persistent에서 나타난 전송 지연

(P3S2, P4S1)의 문제를 해결 할 수 있음을 알 수 있다.

그림 12는 0.9-Persistent 방식에서 각 트래픽의 전송 공정성을 나타낸다. 1-Persistent 에서는 혼합 트래픽 P2S3, P3S2, P4S1에서 인가 부하 1.0부터 공정성이 급속히 감소 되었다. 그러나 확률기반 0.9-Persistent MAC을 사용함으로써 공정성의 문제점을 해결 할 수가 있음을 알 수 있다.

0.9-Persistent 방식에서 각 트래픽의 패킷 손실률은 모든 트래픽에서 Non-Persistent 방식보다 패킷 손실률이 낮음을 알 수 있다. 1-Persistent 방식과는 거의 비슷한 패킷 손실률을 보인다.

4.3.2 0.95-Persistent

1-Persistent MAC 프로토콜에서 나타난 특정 트래픽의 전송 지연과 공정성의 문제를 0.9-Persistent MAC 프로토콜을 사용함으로써 문제점을 해결하였다. 그러나 0.9-Persistent MAC이 효율적인 확률로 가정하기에는 아직 시뮬레이션이 부족하다. 그래서 효율적 확률을 얻기 위해 0.95-Persistent와 0.99-Persistent MAC 프로토콜에서의 성능 분석을 한다. 성능 분석은 1-Persistent MAC에서 문제점으로 나타난 전송 지연과 전송 공정성 부분만을 성능 분석 한다.

그림 13은 0.95-Persistent MAC 프로토콜의 전송 지연이다. 1-Persistent에서 심각한 전송 지연 문제가 발

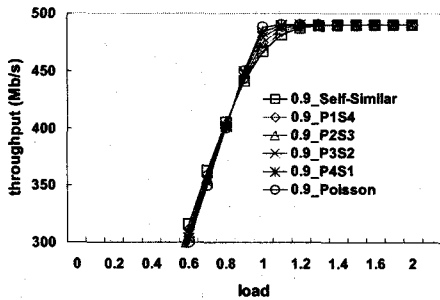


그림 10. 0.9-Persistent 평균 노드 처리율

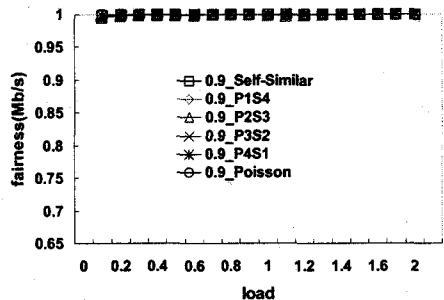


그림 12. 0.9-Persistent 전송 공정성

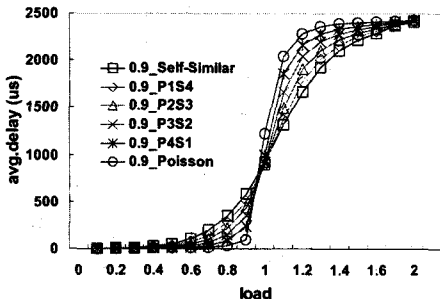


그림 11. 0.9-Persistent 전송 지연

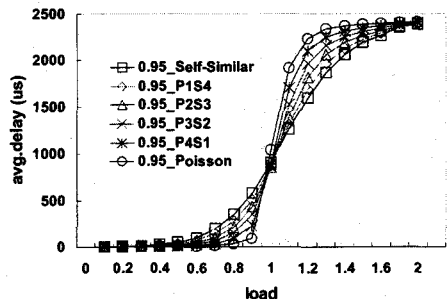


그림 13. 0.95-Persistent 전송 지연

생한 트래픽인 P3S2, P4S1인 경우 문제가 해결되었으며, 다른 트래픽에서도 0.9-Persistent 보다 더 낮은 전송 지연이 되어 빠른 패킷 전송이 이루어진다.

그림 14에서 알 수 있듯이 0.95-Persistent 에서도 non-Persistent와 0.9-Persistent 만큼의 공정성은 보장이 되어 1-Persistent 에서의 문제점을 해결 할 수 있다.

4.3.3 0.99-Persistent

1-Persistent 방식에서 전송 지연과 전송 공정성에 문제점이 나타난 P3S2, P4S1 혼합 트래픽만으로 0.99-Persistent MAC 프로토콜 방법으로 시뮬레이션 한다. 그림 15와 그림 16은 0.99-Persistent에서의 전송 지연과 전송 공정성을 나타낸다. 전송 지연과 전송 공정성 모두 Non-Persistent MAC을 사용하는 경우 망의 성능이 98% 까지 접근함을 알 수 있다.

V. 결론

GbE 액세스 링크에서 입력되는 네트워크 트래픽을 다양한 형태인 Self-Similar, P1S4, P2S3, P3S2, P4S1, Poisson으로 하여 non-Persistent와 1-Persistent MAC 으로 성능분석을 한다. 1-Persistent 경우 P3S2와 P4S1의 트래픽의 경우 전송 지연과 전송 공정성에서 망의 성능에 있어 문제점이 나타난다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 확률기반인 p-Persistent MAC을 이용한다. ρ 가 0.9인 경우 1-Persistent MAC 프로토콜에 의한 최대 처리율의 98%까지 성능을 유지하면서, 전송 지연과 공정성의 문제도 해결함을 알 수 있다. 최상의 확률을 얻기 위해 ρ 가 0.95와 0.99 인경우도 성능분석을 한 결과 1-Persistent 경우의 98%의 처리율을 보이고 전송지연과 공정성의 문제가 나타나지 않으며 망의 성능을 향상시킨다.

참 고 문 헌

- [1] S. Yao, S. J. B. Yoo, and B. Mukherjee, "A Framework of Scalable Optical Metropolitan Networks for Improving Survivability and Class of Service," *IEEE Network*, vol. 16, no. 4, Jul/Aug. 2002, pp. 29-35
- [2] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet PON(EPON)," *IEEE Communication Magazine*, vol.40, no.2, pp.74-80, Feb. 2002
- [3] 서영민, 박현문, 장영민, "통신방송 융합 기술의 진화 방향," *한국통신학회지* 제 22권 4호, pp13-28, 2004
- [4] Martin Herzog, Martin Maier, Martin Reisslein, Metropolitan Area Packet-Switched WDM Networks: A Survey on Ring Systetms," *IEEE Communications Surveys and Tutorial*, 2nd Quarter, 2004
- [5] A. Bononi, "Scaling WDM Slotted Ring Networks," in *Proc. Conf. On Information Sciences and Systems, Princeton*, vol. 1, pp. 659, March 1998
- [6] C. S. Jelger, J. M. H. Elmirghani, "A Simple MAC Protocol for WDM Metropolitan Access Ring Networks," in *Conference Proceedings, IEEE Globecom'01*, San Antonio, Nov. 2001
- [7] K. Shrikhande, et al, "CSMA/CA MAC Protocols for IP-HORNET: An IP over WDM Metropolitan Area Ring Network," *IEEE Globecom 2000*, no.1, pp1303-1307, Nov. 2000
- [8] W. H. So, Y. C. Kim, "MAC Protocols for WDM Slotted-Ring Network with Wavelength-Shared Node Architecture," *The Proc., OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2005)*, Seoul, July 2005
- [9] 소원호, 김영천, "광대역 액세스 망을 연결하는 파장 공유 노드 기반 WDM 메트로 링의 MAC 프로토콜 성능평가," *전자공학회논문지* 제 43권 1호, pp111-120, 2006년 1월
- [10] 소원호, "WDM 메트로 링에서 고정된 전송을 위한 확률기반 MAC 프로토콜에 대한 성능 평가," *한국통신학회논문지* 제 31권 4호, pp323-332, 2006년 4월

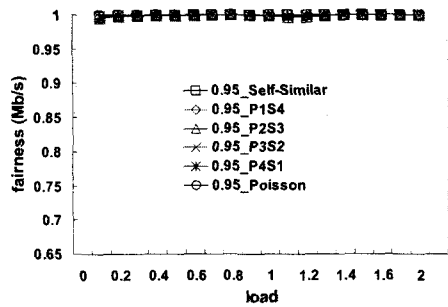


그림 14. 0.95-Persistent 전송 공정성

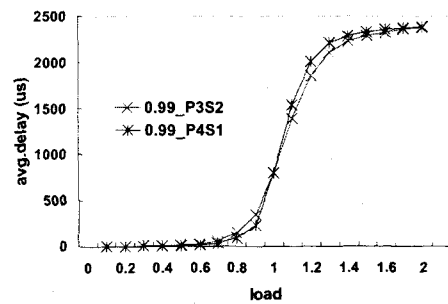


그림 15. 0.99-Persistent 전송 지연

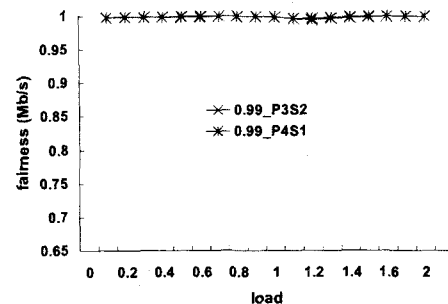


그림 16. 0.99-Persistent 전송 공정성