

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.2.275>

JIIBC 2013-2-36

## 네트워크 코딩을 이용한 PON기반 무선백홀 연구

### A Study on PON-based Mobile Backhaul Using Network Coding

정복래\*

Bokrae Jung

**요약** 구리선 기반의 기존 무선 백홀 기술들은 급속히 증가하는 무선 멀티미디어 서비스 요구를 수용하지 못하고 조만간 용량의 한계에 도달할 것이다. PON 기술은 광섬유의 대역이득으로 획기적인 네트워크 용량을 제공하는 동시에 유지 및 보수비용이 저렴하여 기존 무선 백홀을 대체할 기술로 주목 받고 있다. 수십 기가대의 넓은 대역폭을 제공하는 PON기반 무선 백홀을 바탕으로, 무선 환경에서도 화상회의와 IPTV와 같은 광대역 멀티미디어 서비스를 무리 없이 받을 수 있다. 본 논문에서는 우선 PON기반 무선 백홀 기술의 개요와 장점을 소개한다. PON-무선 결합망의 현실적인 예로 EPON-WiMAX의 세 가지 결합망 구조를 제시하고 그 특징을 경제적인 측면과 네트워크 성능의 측면에서 비교 분석한다. 그 후, PON-무선 결합 망에서 상당 부분을 차지할 멀티캐스트 기반 트래픽 전송에 효과적인 네트워크 코딩을 적용할 경우 기대되는 효과, 결합 망구조, 적용방안을 제시한다.

**Abstract** With rapidly growing mobile wireless services, the existing copper-based mobile backhaul technologies suffer from reaching the capacity limits. PON technologies is drawing attention as a key solution to replace the existing mobile backhaul technologies due to not only providing innovative network capacity but also cost-effective maintenance caused by the bandwidth gain from optical fibers. With a PON-based mobile backhaul, broadband wireless multimedia services such as a video conference and IPTV can be seamlessly provided. In this paper, we first introduce overview of the PON-based mobile backhaul technology. For a example of practical integration, three types of EPON-WiMAX integrated architectures are proposed and comparatively analyzed in term of costs and network performance. Then, applicable plan and anticipated effects are presented when applying network coding on the PON-based mobile backhaul to improve the performance of delivering multicast traffic.

**Key Words** : Mobile backhaul, PON, EPON, WiMAX, network coding

## 1. 서 론

차세대 무선 IPTV 서비스와 같은 무선망 기반 HD급 멀티미디어 서비스 보급의 확산과 무선 메쉬(Mesh), 무선 릴레이(Relay), 펌토셀(Femtocell) 등의 다양한 무선

가입자망이 활성화 되고 있다. 디지털 멀티미디어가 다양해지고, 이를 기반으로 단말기 간 콘텐츠 공유 욕구가 증대됨에 따라 기존의 유선 가입자망 중심의 정적인 통신에 비해 모바일 IPTV 서비스와 같이 이동성과 고속 데이터 전송을 동시에 지원하는 무선 가입자망 기반의

\*정희원, 성결대학교 정보통신공학부  
접수일자 2013년 3월 16일, 수정완료 2013년 4월 11일  
게재확정일자 2013년 4월 12일

Received: 16 March 2013 / Revised: 11 April 2013 /  
Accepted: 12 April 2013

\*Corresponding Author: bokrae.jung@gmail.com  
Dept. of Information and Communications Engineering, Sungkyul  
University

멀티미디어 서비스 트래픽 사용량이 급격히 증가하고 있다. 이러한 서비스의 증가에 따라 가입자망 내의 트래픽 전송량은 빠르게 그 한계에 다다르고 있다. 이는 궁극적으로는 통신 사업자들에게 무선 용량 추가를 위한 백홀(backhaul) 설비 지출에 대한 부담을 가져온다. 따라서 통신사업자와 장비 사업자들에게 기존 기술의 한계를 벗어나 비용 출혈을 최소화하면서 무선 백홀 용량을 증가시켜 줄 수 있는 해법이 필요하다.

현재 모바일 백홀로 가장 많이 사용되고 있는 기술로는 T1/E1 회선을 뽑을 수 있다<sup>[1]</sup>. T1/E1은 전용선을 사용하여 안정적인 전송 품질을 제공하지만, 증가하는 사용자의 트래픽 요구를 수용하기 위한 회선을 증설에 필요한 시간과 비용이 많이 든다. 한편, DSL (Digital Subscriber Line)은 유럽을 중심으로 가장 많이 보급되어 있는 고속 전용선이다. 기존의 전화선을 그대로 이용하여 T1/E1 회선에 비하면 확실히 더욱 저렴한 비용으로 빠른 속도를 제공한다. 그러나 이 기술은 같은 사용료를 지불하고도 사용시간과 지역에 따라 전송 속도가 제각기 다르다는 단점이 있다. 즉, 가입자와 전화국과의 거리와 사용 시간대에 따라 인터넷 전송 속도가 심각히 영향을 받아 안정적인 QoS (Quality of Service)를 제공하기 어렵다.

구리선 기반의 기존 가입자망 기술들은 급속히 증가하는 무선 가입자 서비스 요구를 수용하지 못하고 조만간 용량이 포화되거나 증설을 심각히 고려해야 하는 상황에 처할 것이다. 이러한 위기에 획기적인 돌파구를 열어줄 솔루션이 바로 수동 소자를 이용하는 PON (Passive Optical Network) 기술이다. PON은 광섬유의 대역이득으로 획기적인 네트워크 용량을 제공하는 동시에 유지 및 보수비용이 저렴하여 기존 무선 백홀을 대체할 기술로 주목받고 있다.

모바일 데이터 성장에 따른 급증한 무선 트래픽 수용을 위하여 PON을 무선망의 백홀로 활용함으로써 경제적인 백홀 구축이 가능하다. 이를 바탕으로 무선 화상회의와 IPTV와 같은 광대역 멀티미디어 서비스 제공이 가능하다.

음성 및 화상 데이터의 실시간 전송이 필요한 다자간 화상회의나 IPTV 서비스는 멀티캐스트 라우팅이 기반이 된다. PON기반 무선 백홀망에서 빈번히 발생하게 될 이러한 멀티미디어 트래픽에 네트워크 코딩(Network Coding: NC) 기술을 적용하면 멀티캐스트 환경에서 대

역폭 이용률과 처리율을 향상시키는 효과가 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 PON기반 무선 백홀 기술의 개요와 장점을 소개한다. 3장에서는 PON-무선 결합망의 구체적인 예로 EPON-WiMAX의 세 가지 결합 망 구조를 제시하고 그 특징을 경제적인 측면과 네트워크 성능의 측면에서 비교 분석한다. 4장에서는 PON-무선 결합 망에서 상당 부분을 차지할 멀티캐스트 기반 트래픽 전송에 효과적인 네트워크 코딩 적용 시 기대되는 효과, 결합 망구조, 적용방안에 대하여 살펴본다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. PON기반 무선백홀 기술

PON은 별도의 전원 공급이 필요 없는 수동 소자만으로 구성되는 광가입자 망을 말한다. 그림 1에서 보는 바와 같이 PON은 전화국에 설치된 OLT (Optical Line Terminal)가 수동 소자인 광분배기(splitter)까지 20km의 거리에 걸쳐 하나의 광케이블로 연결되어 있다. 광분배기는 OLT에서 내려오는 광신호를 1:N (N: ONU 개수) 비율로 갈라서 연결된 N개의 ONU (Optical Network Unit)로 분배시킨다. 상향 링크는 ONU 당 62Mbps 대역폭을 제공하며 다수의 ONU가 일정한 시간 윈도우를 나누어서 공유하는 시분할다중접속(TDMA) 방식을 사용한다. 반면 하향 링크는 1Mbps 속도를 제공하며 신호는 광분배기에서 연결된 N개의 ONU에게 브로드캐스트 된다<sup>[2]</sup>.

PON은 별도의 전원공급이 필요 없는 광분배기를 전송로에 사용하므로 장비를 위한 공간과 유지비용을 줄일 수 있다. 뿐만 아니라, 전화국에서 가입자간 전송거리가 20-100km (Longreach-PON 일 경우) 달하므로 기존 T1/E1의 4km보다 훨씬 더 확장된 서비스 영역을 지원한다<sup>[4]</sup>. 게다가 PON은 단일 광케이블에 연결된 다수의 ONU가 광분배기를 통해 공유하는 구조이므로 기존의 홈런(Homerun) 방식의 FTTH구현 방식처럼 전화국과 가입자가 1대 1로 광케이블을 연결 할 필요가 없다. 이는 광케이블과 광송수신 장치의 비용을 상당히 절감시킨다.

PON을 가입자망에 도입함으로써 얻을 수 있는 또 다른 이점은 기존의 이더넷 (Ethernet) 기술과의 호환성에 있다. 근거리통신망(LAN)의 대표적인 프로토콜인 이더넷 기술은 구현이 단순하고 가격이 저렴하여 현재 상대

적으로 기술적으로 완성도가 높은 ATM (Asynchronous Transfer Mode)을 따돌리고 대중화에 성공했다. Ethernet-PON (EPON)은 이러한 이더넷 프레임틀을 그대로 이용하여 기존 IP (Internet Protocol)와의 연동이 용이하다.

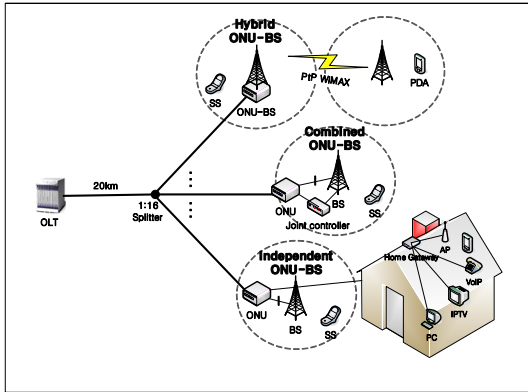


그림 1. PON-WiMAX 결합망 구조  
 Fig. 1. PON-WiMAX integrated architecture

PON기반 무선 백홀 기술은 PON을 백홀로 이용하여 증가하는 무선 액세스단의 트래픽을 수용하는 기술을 말한다. 즉, PON이 제공하는 광대역성과 주파수 자원의 제약으로 PON에 비해 상대적으로 속도가 떨어지지만 이동성을 지원하는 무선기술의 상호 보완 효과를 노린 기술이다. PON기반 무선 백홀 기술은 PON을 백홀로 활용하여 펌토셀 및 메쉬망과 같은 무선 가입자망의 확장고화질 멀티캐스트 스트리밍 서비스의 확대에 따라 급격히 증가하는 광대역 무선 액세스단 트래픽을 효과적으로 수용할 수 있다. 만약 PON과 무선 기술 간의 접합면에서 QoS 연속성이 보장된다면 유선 가입자망과 무선 망 간에 안정적인 멀티미디어 서비스제공이 가능하다.

PON 중심의 유·무선 통합망은 기존의 무선 백홀 기술로 많이 쓰던 T1/E1과 DSL에 비해 망 확장성이 우수하고 전화망, 케이블망, 와이브로망, 3G 망과 같은 다양하게 산재해 있던 유무선 가입자망을 하나로 단순화 하여 트래픽 관리의 효율성 및 보안성을 높일 수 있다. OLT에 유·무선 트래픽을 통합하여 관리 할 수 있는 기능을 둔다면 PON 내에 임의의 셀에 속한 단말기 간에 핸드오버 제어, 통신요금 계산과 부과, 사이버 보안을 위한 트래픽 모니터링이 상당히 용이하게 될 것이다.

### III. EPON-WiMAX 결합망의 구조 분석

PON-무선 결합망의 구체적인 예로 EPON-WiMAX 결합망 구조에 대하여 알아보자. EPON과 WiMAX의 결합으로 다음과 같은 장점을 얻을 수 있다. 첫 번째, 상호 보완적인 시너지 효과다. EPON은 이동성은 없지만 광섬유의 높은 대역이득으로 대용량 유선 가입자 서비스를 제공하는 반면 WiMAX는 제한된 무선 스펙트럼 때문에 기지국(Base Station: BS) 용량이 제한되지만 이동성을 제공한다. 두 번째, 폭넓은 서비스 영역이다. T1/E1과 DSL의 경우 전송 거리가 길어야 4km내인 반면에 EPON의 경우 최대 20km까지 서비스 가능하다. 이는 기존 망에서 서비스 영역확장에 쓰이는 중계기 증설에 필요한 비용과 시간을 상당히 줄일 수 있다. 마지막으로, 적합한 전송용량 조화다. 가격대 성능이 우수하여 상업적으로 가장 널리 사용되는 16분기 EPON의 경우 하향 65Mbps 전송 용량을 가진다<sup>[3]</sup>. 이는 현재 서비스 중인 WiMAX 기지국(BS) 최대 전송 용량인 70Mbps와 거의 일치하여, 두 기술의 결합 시 용량 차이에서 발생하는 병목현상(Bottleneck)을 최소화 시킬 수 있다<sup>[5]</sup>.

그림 1은 EPON과 WiMAX의 결합 구조 형태를 보여준다. 기본적으로 광가입자 서비스 제공을 위해 ONU는 도심지나 아파트 단지 앞에까지 광섬유로 연결되어 있고 스위치를 이용해 가입자까지 트래픽을 전달한다. 그 뒤 단은 WiMAX 백홀로 ONU가 기지국과 결합되는 형태이다. 가장 간단한 결합방식은 그림 하단에서 보는 바와 같이 기존의 ONU와 기지국을 표준 이더넷 인터페이스를 통해 직렬로 연결하는 Independent ONU-BS (IOB) 구조다. IOB 구조의 장점은 특별히 추가적인 장비나 요구사항 없이 ONU와 기지국을 연결하여 결합시스템을 구현 할 수 있다. 그러나 EPON과 WiMAX가 독립적으로 동작하기 때문에 ONU는 기지국이 얼마만큼 단말기에 (Subscriber Station: SS)에 대역폭을 할당했는지, 기지국은 ONU가 얼마만큼 OLT로부터 대역폭을 할당 받았는지에 관해 전혀 인지하지 못한다. 이는 통합망 전체적인 시각에서 볼 때 대역 이용률을 저하시키고 트래픽 엔지니어링을 통한 네트워크 성능 향상을 추구하기 불가능하다.

두 번째 구조로서는 ONU와 기지국 사이에 공동제어기(Joint Controller)를 두는 Combined ONU-BS (COB) 방식이다. 그림 1과 같이 이 구조는 기존의 ONU 및 기

지국 인프라를 그대로 이용하면서 둘 사이를 증가하는 공동제어기를 사용하여 논리적으로 하나의 EPON-WiMAX 결합 망을 구성한다. 그러나 세 개의 네트워크 장비가 물리적으로 떨어져 있기 때문에 상대적으로 높은 대지 임대료와 설비비가 요구된다. 이 구조의 특징 중 하나는 공동제어기가 ONU와 기지국 사이에 위치해 양자간 대역폭 대역요구 및 대역할당 정보를 공유하므로 OLT가 단말기의 트래픽 요구에 즉각적인 대응하여 대역폭 이용률을 높일 수 있다. 이를 통해, 결합 망 전체의 트래픽을 제어하고 모니터링 할 수 있는 통합 트래픽 관리가 가능하다. 따라서 마치 단말에서 국사까지 하나의 통신 사업자가 서비스를 제공하는 것처럼 지속적인 QoS를 보장 받을 수 있다.

세 번째는 ONU와 기지국을 하나의 시스템으로 통합한 Hybrid ONU-BS (HOB) 구조다. 그림 1에서 보는 것과 같이, 이 구조는 ONU, 기지국, 공동제어기의 구성요소를 하나의 캐비닛(Cabinet) 또는 랙(Rack)에 포함시켜 일체형 시스템으로 만든 형태이다. 이렇게 함으로써 통신 사업자에게 좁은 공간을 활용하여 간편하게 결합 시스템을 설치 할 수 있는 기회를 제공한다. COB 구조와 다른 점은 콤팩트한 외형 때문에 대지 임대료와 설비비를 더욱 절감할 수 있다. COB 구조와 유사한 점은 공동제어기의 증가로 인해 결합 시스템의 대역폭 이용률을 극대화시킬 수 있는 통합 트래픽 관리가 가능하다는 것이다. 그 결과 지속적인 QoS 보장이 가능하다.

위에서 언급한 세 구조에 대한 특징을 표 1에서 요약하였다. 이 표에서 항목에 대한 가격이나 성능 평가는 세 구조 비교를 위한 상대적인 정성 평가임을 가정한다. 또한, 장비와 장비 사이의 거리가 다양할 수 있으므로 광케이블 매설 비용은 고려하지 않았다. 우선, ONU와 기지국을 직렬로 연결하는 IOS 구조는 EPON과 WiMAX가 완전히 독립적으로 동작되기 때문에 두 구간의 접합면에서 WiMAX 가입자가 초기에 서비스공급자와 계약한 QoS 수준에 도달하지 못할 가능성이 있다. 뿐만 아니라, 원천적으로 유무선 트래픽을 통합적으로 관리 할 수 없으므로 대역폭 이용률도 떨어진다. 한편, COB 구조는 물리적으로는 별도의 세 개의 장비를 연결한 구조지만 논리적으로 세장비가 일체된 HOB와 똑같이 동작한다. 공동제어기를 도움으로 유, 무선 자원을 통합적으로 운용이 가능하다. 통합 트래픽 관리로 인해 QoS 연속성이 보장되고 높은 대역폭 이용률을 달성 할

수 있다. 세 번째로 HOB 구조는 모든 논리적인 기능은 COB와 동일하지만 일체형 장비와 단일 공간 사용으로 장비 비용과 대지임대료를 낮춘 경제적 형태이다.

표 1. EPON-WiMAX 결합망 구조의 비교

Table 1. Comparison of EPON-WiMAX integrated network architectures

구조	Independent ONU-BS (IOB)	Combined ONU-BS (COB)	Hybrid ONU-BS (HOB)
특징			
토폴로지			
장비비용	낮음	높음	중간
설비비	중간	높음	낮음
대지 임대료	중간	높음	낮음
QoS 연속성	저조	좋음	좋음
대역폭 이용률	저조	좋음	좋음
통합트래픽 관리	불가능	가능	가능

#### IV. PON-무선망에서 네트워크 코딩의 적용

본 장에서는 네트워크 코딩의 기본 개념을 소개하고 PON기반 무선 백홀망에 적용하여 네트워크 성능을 개선할 수 있는 방안에 대하여 알아본다.

네트워크 코딩(Network coding) 기술이란 네트워크의 노드에서 다수의 패킷 정보를 하나의 패킷으로 효율적으로 만들어 전송함으로써 정보 전달의 대역 효율성을 높이는 기술이다. 특히 멀티캐스트 환경에서 네트워크 성능을 향상할 수 있는 기술로서 멀티캐스트 스트리밍 서비스 제공에 탁월하다<sup>[6-7]</sup>. 또한, 무선망에 네트워크 코딩 기술을 적용하면 작은 주파수 대역으로 더 많은 양의 데이터 전송이 가능하므로 망 장비의 대폭적인 교체 없이도 유한한 무선 스펙트럼 한계 극복이 가능하다.

기존의 인터넷의 라우팅은 네트워크의 중간 노드는 단순히 정보를 저장하고 다음 노드로 전달하는 반면, 네트워크 코딩을 적용한 네트워크의 경우 중간 노드는 전송된 둘 이상의 정보를 결합하고 하나의 정보로 생성하여 다음 노드로 전송한다. 즉, 네트워크 코딩은 기존의 라우팅과 달리 네트워크의 중간에서 전송된 정보간의

결합을 허용한다. 그림 2의 기존의 멀티캐스트 방식에서는 소스 S1과 S2가 목적지 D1에 D2에 각각 패킷 X와 Y를 모두 전송할 때 중간 노드 V와 W에서 전송받은 두 패킷을 복사하여 각각의 목적지인 D1과 D2에 전송하므로 이 구간의 대역은 두 개의 패킷을 전송하는데 쓰이게 된다. 이와 달리, 그림 3의 네트워크 코딩이 적용된 멀티캐스트 방식의 네트워크의 경우 V노드에서 두 개의 패킷을 결합하여 하나의 패킷으로 전송함으로써 V-W 구간은 하나의 패킷을 전송하는 대역만 사용하게 된다. 즉, 두 패킷을 동시에 전송하고자할 때, 일반적인 멀티캐스트 방식은 V-W 구간에서 두 번의 전송이 필요하지만, 네트워크 코딩이 적용된 멀티캐스트 방식은 V-W 구간에서 한 번의 전송으로 두 패킷을 전송할 있어서 대역 자원을 반감시키는 효과를 얻을 수 있다.

그림 4는 그림 1에서의 PON기반 무선 백홀 망에 네트워크 코딩을 적용 했을 경우의 기대되는 망 구조와 얻을 수 있는 이점을 나타낸 그림이다. 네트워크 코딩 기술은 PON-무선 결합망에서 상당 부분을 차지할 인터넷 방송 서비스, 모바일 IPTV, P2P 트래픽 전송에 효과적이며 향후 무선망이 수용해야 할 고화질 멀티캐스트 스트리밍 서비스와 같은 광대역 요구 서비스에 유리하다. 특히 AP(Access Point)간 직접 통신이 가능한 WMN(Wireless Mesh Network)는 대역 효율성을 증가시킬 수 있는 랑테부 노드가 상대적으로 많이 존재해 PON과 WMN결합은 대용량 무선 멀티캐스트 서비스에 더욱 알맞은 구조라 볼 수 있다<sup>[8]</sup>. 특히, PON-WMN 결합 망에 네트워크 코딩을 적용한 멀티캐스트 서비스를 제공하기 위해서는 다음과 같은 기술적 이슈를 고려해야 한다. 첫 번째로, 결합 망에서 멀티캐스트 전송 시나리오는 멀티캐스트 콘텐츠 소스와 목적지의 위치에 따라 서비스 그룹에 가입, 제공, 탈퇴 등의 절차가 마련되어야 한다. 다음으로 기존의 EPON에서의 사용되는 멀티캐스트 프로토콜과 WMN에서의 멀티캐스트 전송 프로토콜이 통합망의 목적과 용도에 맞게 수정과 보완을 해야 한다. 마지막으로 네트워크 코딩의 효과를 최적화시키기 위해서는 네트워크 인코딩 노드와 콘텐츠 소스의 위치 결정이 매우 중요하다. 패킷 라우팅이 복잡한 변수와 트래픽 환경에 의해 영향을 받는 PON-WMN 결합 망 환경에서 OLT, ONU-BS, 또는 WMN AP 중 어느 곳에 인코딩 노드와 콘텐츠 소스를 놓아야 네트워크 코딩의 효과가 극대화 되는지에 고려해야 한다.

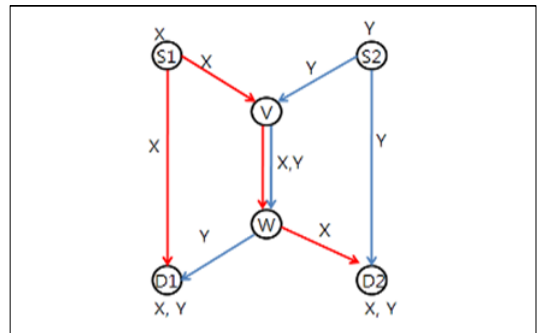


그림 2. 일반적인 멀티캐스팅  
Fig. 2. Typical multicasting

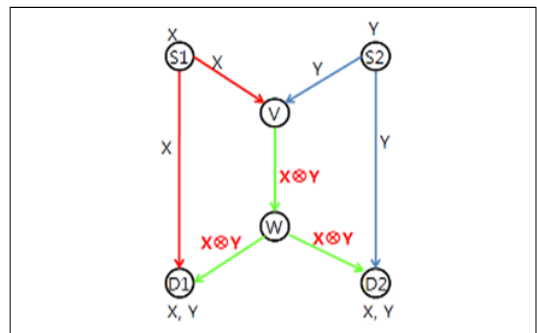


그림 3. NC를 적용한 멀티캐스팅  
Fig. 3. Multicasting using NC

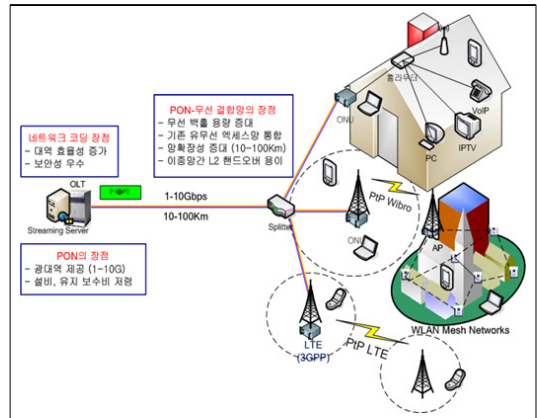


그림 4. 네트워크 코딩을 이용한 PON기반 무선 백홀  
Fig. 4. PON-based mobile backhaul using network coding

네트워크 코딩 기술을 이용한 PON기반 무선 백홀 기술은 네트워크 코딩과 PON-무선 결합 기술을 통해 시너지 효과를 기대할 수 있다. 또한 무선망 대역 한계 극복, 링크 이용률 향상, 전송 시간 단축, 보완성 향상, 보

호/복구 성능 향상이 가능하여 P2P IPTV 서비스, CDN (Contents Delivery Network) 기반 전송 서비스 등의 다양한 응용 분야에 적용할 수 있다.

## V. 결론

본 연구에서는 현재 급성장하는 모바일 데이터 트래픽을 수용하고 통신 사업자 관점에서 경제적이고도 효과적인 PON기반 무선 백홀 기술을 제안했다. 특히, PON 기반 무선 백홀 기술 중에 EPON-WiMAX 결합망의 구조를 제안하고 그 특징을 경제성과 네트워크 성능 측면에서 서로 비교 분석하였다. 더 나아가, PON-무선 결합망에서 상당 부분을 차지할 멀티캐스트 기반 인터넷 방송 서비스, 모바일 IPTV 전송에 효과적인 네트워크 코딩 적용 시 얻는 장점, 결합 망 구조, 적용방안에 대하여 살펴보았다. 네트워크 코딩을 이용한 PON기반 무선 백홀 기술은 날로 증가하는 모바일 IPTV, 다자간 화상통화, CDN 기반 전송 서비스와 같은 대용량 멀티미디어 서비스를 수용할 수 있는 유용한 솔루션으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

[1] Mobile Backhaul: Challenges and Opportunities Nov. 2008 [Online]. Available: <http://www.rad.com>, RAD Data Communications.

[2] Kramer and G. Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network (EPON) : Building a Next-Generation Optical Access Network," IEEE Commun. Mag., vol. 40, no. 2, pp. 66-73, Feb. 2002.

[3] G. Shen, R. Tucker, and C.-J. Chae, "Fixed mobile convergence architectures for broadband access: Integration of EPON and WiMAX," IEEE Communications Magazine, vol. 45, no. 8, pp. 44-50, 2007.

[4] D. Shea and J. Mitchell, "Long-Reach Optical Access Technologies," IEEE Network, vol. 21, no. 5, Sept./Oct. pp. 5-11, 2007.

[5] IEEE Std. for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile BroadbandWireless Access Systems Feb. 2005.

[6] T. Ho and D. Lun, Network Coding: An Introduction, Cambridge University Press, Apr. 2008.

[7] R. Ahlswede, N. Cai, S. R. Li, and R. W. Yeung, "Network Information Flow," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 46, no. 4, pp. 1204-1216, 2000

[8] K. Fouli, M. Maier, and M. Medard, "Network coding in next-generationpassive optical networks (NG-PONs)," IEEE Commun. Mag., vol. 49, no. 9, p. 38-46, Sep. 2011.

## 저자 소개

### 정 복 래(정회원)



- 2010년 : 한국과학기술원 정보통신공학과 (박사)
- 2011년 : 한국전력기술(주) 원자로설계개발단 선임연구원
- 2012년 ~ 현재 : 성결대학교 정보통신공학부 조교수

<주관심분야 : 광가입자망, 유·무선 통합망 기술, 그린에너지 통신망>

※ 본 논문은 성결대학교와 방송통신위원회의 지원을 받는 방송통신표준기술력향상사업의 연구결과로 수행되었음