

## 케이블 HFC 네트워크의 효율적인 진화 방안 연구

\*권호진, \*\*문준우

한국디지털케이블연구원

\*hjkwon@klabs.re.kr, \*\*jwmoon@klabs.re.kr

## A Study on Efficient Evolution of Cable HFC Network

\*Kwon, Ho-Jin, \*\*Moon, Joon-Woo

Korea Digital Cable Laboratories

## 요약

최근 유무선 트래픽의 지속적인 증가에 대응하기 위해선 가입자 네트워크의 양적 확충은 물론, 새로운 인터넷 기술을 개발하고 그 구조를 재설계하는 등의 투자가 이루어지고 있다. 특히 차세대 미디어 서비스 등의 인터넷 수요 및 대역폭에 대한 요구가 증가로 인하여 가입자 망 진화의 필요성이 계속해서 이야기되고 있다. 정부에서는 10기가 인터넷 상용화를 목표로 '10기가 인터넷 상용화 촉진 선도 시범 사업'을 추진하고 있으며, KT와 SK브로드밴드 등 주요 통신사에서도 10Gbps 인터넷 상용화를 추진하고 있다. 이에 케이블 사업자도 인터넷 경쟁력 확보를 위해 HFC망 진화 방안에 대한 연구가 필요하다. 우선 상하향 10Gbps 전송이 가능한 DOCSIS 3.1 도입을 위해 망 장비 교체나 업그레이드 없이 주파수 확보가 이루어져야 하며, 상향 전송 속도 확대를 위해 북미에서 표준화 진행중인 FDX(Full-Duplex) DOCSIS 도입을 위해 망 구조를 개선해야 한다.

## 1. 서론

평창올림픽을 시작으로 이동통신사업자는 5G 인프라 구축에 속도를 내는 가운데, 유선 망도 10기가(Gbps)급 네트워크 구축이 한창이다. 이는 5G를 비롯해 사물인터넷(IoT), 인공지능(AI) 등 4차 산업혁명을 기반으로 한 서비스로 인해 무선뿐만 아니라 유선에서도 트래픽 급증이 이뤄지기 때문이다. 특히, 오는 2019년 상용화를 앞두고 있는 5G의 경우 최대 속도가 20Gbps에 달해 자칫 유선 초고속인터넷이 무선인터넷 전송속도를 제약하는 상황이 발생할 수 있다. 과학기술정보통신부 등에 따르면, 우리나라의 2020년 가구당 트래픽은 월 194.4GB 수준으로 예상되지만 전체가구 중 3%에 해당하는 57만여 가구는 월 1TB(테라바이트) 이상의 트래픽을 발생시킬 것으로 추정된다. 이미 각 가정에서는 1기가 이상의 와이파이를 이용해 각 가족 구성원이 대용량 멀티미디어 서비스를 이용하는 경우도 생겨나고 있어 10기가 인터넷의 필요성이 증가하는 추세다.

이에 정부에서는 내년 10기가 인터넷 상용화를 목표로 '10기가 인터넷 상용화 촉진 선도 시범 사업'을 추진하고 있으며, 10기가 인터넷 커버리지를 단계적으로 확대하여 2022년까지 전체 초고속인터넷 커버리지의 50%가 10기가 인터넷망으로 업그레이드 될 수 있을 것으로 기대하고 있다. 더욱이 KT와 SK브로드밴드에서는 정부 정책에 맞춰 10Gbps 인터넷 상용화를 준비하고 있다. 이를 통해 무선인터넷 트래픽을 안정적으로 수용하고 IoT, 증강현실(AR), 가상현실(VR) 등 4차 산업혁명 시대에 맞는 성장동력 확보에 선제적으로 대응한다는 계획이다. 따라서 케이블 사업자도 인터넷 경쟁력 확보를 위해서는 기존 가입자망을 수 Gbps 전송이 가능하도록 HFC망 진화를 추진해야 한다.

최근 케이블 가입자망 진화 기술에는 전통적인 HFC망 구조를 유지하면서 네트워크를 고도화하는 기술과 가입자망을 FTTH망 구조로 고도화하는 양측으로 발전되고 있다. HFC망 구조를 유지하면서 Giga급 광대역 네트워크로 고도화하는 대표적인 기술로 북미 CableLabs는 DOCSIS 3.1 규격을 발표하였고, 노드 분할(Node Split)을 통해 단일 셀의 크기를 줄임으로써 공유가입자 수를 축소시켜 가입자당 대역폭을 증대하고 있으며, 광케이블을 가입자의 주택 근처까지 포설되면서 동축 전송구간은 축소되고 광 전송구간이 확대되는 Fiber Deep 구조로 개선하고 주파수대역을 1GHz이상으로 확장하고 망 품질개선을 통한 4096QAM과 같은 고차 변복조 방식을 적용하여 네트워크 수용용량을 확대하고 있다.

FTTH망 구조에서 RF기반 H/E장치 또는 단말장치를 활용하면서 Giga급의 광대역 네트워크로 고도화하는 대표적인 기술로는 북미 SCTE에서 2010년 발표한 RFoG 규격과 ITU-T에서 2001년 발표한 RF overlay PON 등 표준규격이 있다. RFoG 규격은 FTTH망 구조에 RF방식으로 방송과 인터넷을 제공하고 RF Overlay PON 규격은 PON방식으로 양방향 데이터를 제공하고 방송신호는 별도 광파장을 이용하여 기존 RF방식으로 제공한다.

본 논문에서는 HFC망 업그레이드를 통해 가입자망을 진화 시키는 방안 제시를 위해 북미 케이블 네트워크 진화 방향과 주요 기술들에 대하여 살펴본다. 그리고 국내 HFC망을 효율적으로 업그레이드하기 위해 단계적인 진화 방안 및 주파수 활용 방안을 제시한다.

## 2. 본론

### 가. 북미 케이블 네트워크 진화 방향

전 세계 케이블 산업을 주도하는 북미에서는 Cable 가입자망 진화를 위해 최대 전송 용량 확대, 주파수 이용 효율 증대, 서비스 그룹 축소 및 가용 주파수 대역 확대를 추진하고 있다. 우선 주파수 이용 효율 증대를 위해서는 기존 AM 광 송신기를 제거하고 디지털 광을 사용함으로써 전송 구간을 확대하고 RF 신호 품질을 향상 시켜 하향 4K QAM, 상향 1K QAM 이상의 고효율 변조를 적용하고 있다. 그리고 가용 주파수 대역을 하향 1.2GHz까지 확장을 진행하고 있으며, 상향 대역도 기존 42/65MHz에서 85MHz 또는 204MHz까지 확대를 고려하고 있다. 마지막으로 인터넷서비스 그룹은 FTTH 네트워크 또는 5G 무선 네트워크와 동일한 크기로 축소를 진행하고 있다.

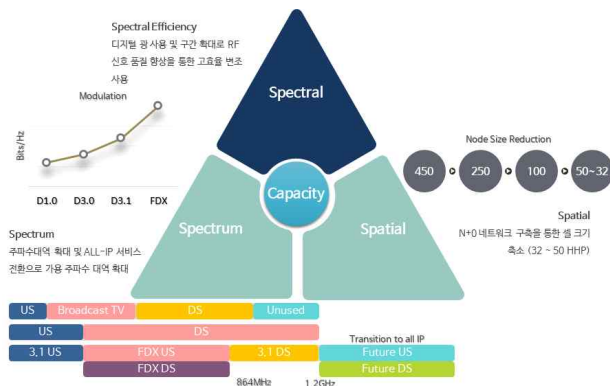


그림 1 대역폭 확대를 위한 요소 기술

상기 주파수 이용 효율 증대, 서비스 그룹 축소 및 가용 주파수 대역 확대의 실현을 위한 핵심 기술로 Remote PHY를 이용한 DAA (Distributed Access Architecture)가 있다. 또한 북미 케이블 사업자는 DAA기반으로 네트워크 운영 효율성 증대, 신규 서비스의 빠른 도입, 투자비 절감 등을 위해 SDN/NFV 기술을 가입자 망에 적용할 계획이며, 최종적으로 유무선 통합 가입자망 구축을 목표로 하고 있다.

따라서 FTTH 네트워크의 Splitter에서 가입자까지의 거리와 5G 무선 네트워크의 셀 크기와 유사한 크기가 됨으로써 동일 셀내에 다양한 형태의 가입자망을 구성할 수 있다. 이를 위해 DMC 또는 NOC에 IDC를 구축하여 다양한 가입자망의 제어 장비를 가상화 시키고 지역별 SO H/E에는 광 분배 장치를 구성함으로써 원하는대로 가입자망을 구성할 수 있다.

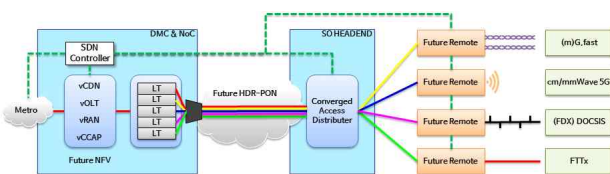


그림 2 Converged Access Network

이를 위해 DOCSIS기반의 Remote PHY 장비는 가입자 망 구성 형태에 따라 변경이 가능한 Future Remote로 발전할 것이며, Intel 등의 주요 Chip 제조사는 이미 R-PHY 구형 Chip을 개발하고 있다.

### 나. 주요 기술

#### ① DOCSIS 3.1

'13년 10월 발표된 DOCSIS 3.1 규격은 차세대 DOCSIS라 불리는 DOCSIS 3.0 기술의 혁신을 목표로 하고 있다. 이는 북미 케이블 사업자들의 HFC망으로 10G-EPON 규격과 속도 경쟁을 위해 제안하였다. DOCSIS 3.1 규격의 주요 서비스 요구사항은 다음과 같다.

- 전송용량 확대 : 하향 10Gbps, 상향 1Gbps 이상
- 기존 시스템 대비 낮은 bps 비용 및 스펙트럼 효율성 증대
- 단계적 진화 전략 지원을 위한 Backward Compatibility 제공

DOCSIS 3.1 표준이 기존 DOCSIS 3.0 표준에서 가장 크게 변화한 것은 물리 계층 부분이다. 이는 DOCSIS 3.1 표준의 가장 큰 요구사항인 스펙트럼 사용 효율성 향상을 위해 기존 DOCSIS들과의 역호환성을 지원하지 않을 정도로 물리계층의 전송 효율을 증대 시키는 기술이 적용되었기 때문이다.

이러한 서비스 요구사항을 위해서 CableLabs에서는 1024/4096 QAM의 고효율 변조를 위한 OFDM 및 LDPC FEC 적용, 상/하향 채널 대역폭 확대 및 주파수 대역 확대, Multi Modulation Profile등을 적용하였다.

표 1 DOCSIS 3.1 상/하향 주요 내용

| 구분       | 하향  | 상향                                |
|----------|---|-----------------------------------|
| 주파수대역    | 54 ~ 1,002MHz<br>108/258 ~ 1,218/1,794MHz | 5 ~ 42/65MHz<br>5 ~ 85/117/204MHz |
| 채널대역폭    | 24 ~ 192MHz                               | 6.4 ~ 96MHz                       |
| 다중화/코딩기술 | OFDM<br>LDPC                              | OFDMA<br>LDPC                     |
| 변복조방식    | BPSK ~ 4,096 QAM                          | BPSK ~ 4,096 QAM                  |

또한 DOCSIS 시스템에서 H/E 장비인 CCAP/CMTS는 구성 형태에 따라 Centralized 구조와 Distributed 구조로 구분된다. 또한 Centralized 구조는 하향 전송을 위한 EQAM 분리 여부에 따라 Integrated 모델과 Modular 모델로 나뉘며, Distributed 구조는 CCAP/CMTS Core 구현 위치에 따라 Remote PHY 모델과 Remote CCAP/CMTS 모델로 나누어진다.

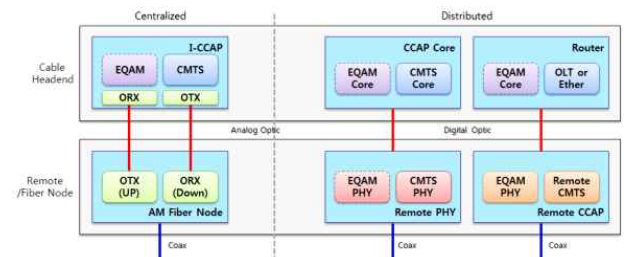


그림 3 CCAP/CMTS 구성 형태

- Integrated and Modular : H/E에 CMTS 및 EQAM이 구성
- R-CCAP/CMTS : H/E에 EQAM Core, Remote에 CMTS와 EQAM PHY 기능 구성
- R-PHY (CCAP/CMTS) : H/E에 EQAM core와 CMTS core, Remote에 PHY 기능 구성

② Full-Duplex DOCSIS (FDX DOCSIS)

케이블 방송망을 기반으로 하여 데이터를 전송하는 DOCSIS 시스템은 사용할 수 있는 상향 주파수 대역이 제한되어 있다. 이러한 제한을 극복하기 위하여 CableLabs는 FDX DOCSIS 전송기술을 제안하였고 현재 이와 관련한 표준화를 진행하고 있다. FDX DOCSIS 전송기술은 하향 전송 채널의 가용 대역폭을 유지하면서 상향 전송 채널에 추가로 대역폭을 제공할 수 있는 기술이다.

FDX DOCSIS에서 CM 복잡성을 최소화하도록 CMTS DOCSIS 채널에서 FDX 모드로 동작하지만 CM은 특정 채널에서 송신 또는 수신 중일 때 다른 채널에서 동시에 송신 및 수신하도록 표준이 진행되었다. 즉 간섭 제거 방식이 CMTS에서만 구현되도록 함으로써 CM은 단순화가 가능하게 된다.

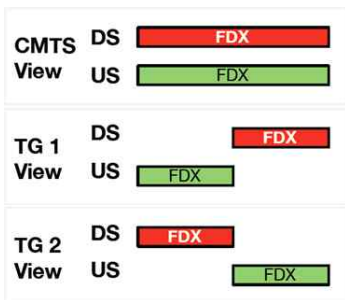


그림 4 FDX CMTS 및 CM 동작 예

다. 기존 망에서 주파수 확보 방안

케이블 네트워크 진화를 위해서는 장비 상용화 등을 주도하는 북미 케이블 네트워크 고도화 방향을 생각하여 진행할 필요가 있다. 이에 국내 네트워크 진화 현황 및 All-IP 서비스 전송을 고려하면 HFC 네트워크 형태로 진화를 진행할 때 하향 주파수 확보 및 상향대역 확대에 대한 검토가 필요하다.

- 하향 : 8VSB 방송을 통한 주파수 활용, SDV 디지털 방송 도입
- 상향 : 65 및 85MHz 확대 시 기존 장치 호환성 여부 및 투자비

① 전송 속도에 따른 소요 주파수 대역폭

HFC 네트워크에서 수 Gbps의 전송 속도를 제공하기 위해서는 주파수 대역을 확보가 우선되어야 한다. 요구되는 전송 속도에 따라 요구되는 주파수 대역폭은 DOCSIS 3.0과 3.1에 따라 차이가 있으며 표에 나타내었다.

표 2 전송 속도에 따른 필요한 주파수 대역폭

| 전송 속도 (Gbps) |     | DOCSIS 3.0 (MHz) |            | DOCSIS 3.1 (MHz) |              |
|--------------|-----|------------------|------------|------------------|--------------|
| 하향           | 상향  | 하향 (256QAM)      | 상향 (64QAM) | 하향 (4096QAM)     | 상향 (1024QAM) |
| 1            | 0.1 | 144              | 25.6       | 96               | 15.4         |
| 4            | 0.2 | 576              | 51.2       | 384              | 30.8         |
| 5            | 0.5 | 720              | 128        | 480              | 77           |
| 10           | 1   | 1,440            | 256        | 960              | 154          |

② 하향

하향 주파수 대역 확보는 기존 870MHz 네트워크를 1GHz 또는 1.2GHz 이상으로 확장하는 것이 가장 쉬운 방법이지만 OTX, ORX, ONU, TBA 등 능동기기와 Tap-off 등 수동기기를 교체해야 하기 때문

에 전체 네트워크를 업그레이드하기 위한 높은 투자비가 필요하다.

따라서 기존 864MHz망에서도 주파수대역 확보할 수 있는 방안 검토가 필요하며, 대표적인 방안으로는 아날로그 방송을 8VSB로 전환 (아날로그방송 Cutoff), 동일 방송이 중복 전송 되는 것을 축소하는 방법 등이 있다. 실제 채널 운용 환경에서 아날로그 Cutoff, 중복 전송 채널 축소, SDV 기술 도입에 따라 확보 가능한 주파수를 분석한 결과는 아래와 같다.

- 8VSB로 전환 후 Cutoff 시 180MHz(6MHz\*30ch) 주파수 확보 (화질 개선 및 UHD 채널 확보 : 84MHz, 인터넷서비스 : 96MHz)
- 중복 전송 채널 축소 후 48MHz(6MHz\*8ch) 주파수 확보 (인터넷 서비스 확대 : 96MHz + 48MHz = 144MHz)
- SDV기반 QAM 방송 서비스 전환 후 48MHz 주파수 확보 (인터넷 서비스 확대 : 144MHz + 48MHz = 192MHz)

③ 상향

상향 대역을 확장하여 양방향 대칭 서비스를 제공하는 방법으로 상향대역을 65MHz 또는 85MHz까지 확장하는 Mid-Split 방식과 204MHz까지 확장하는 High-Split 방식이 있다.

표 3 상향 주파수대역 및 수용용량 예시

| 구 분        | 주파수대역 (MHz) | 주파수폭 (MHz) | 최대수용용량(Mbps) 예시 |            |
|------------|-------------|------------|-----------------|------------|
|            |             |            | DOCSIS 3.0      | DOCSIS 3.1 |
| Sub-Split  | 5 ~ 42      | 27         | 108             | 216        |
| Mid-Split  | 5 ~ 65/85   | 60         | 240             | 480        |
| High-Split | 5 ~ 204     | 189        | 미지원             | 1,512      |

그러나 상향 대역 확대 시 운용중인 아날로그 채널 조정과 시설된 대내 가입자장치들과 주파수대역이 상충하는 문제가 발생한다. 상향 주파수대역을 5~85MHz로 확장하는 경우 대내 가입자장치들은 상향 5~42MHz, 하향 54~1,002MHz로 설정되어 있어 주파수대역이 상충하게 되는 영역이 발생한다. 더욱이 HFC 네트워크 전송 장비의 필터 또는 모듈 교체도 필요하여 투자비까지 검토한 후 결정되어야 한다.

북미 CableLabs에서는 이미 상향을 85MHz 확대에 대한 기존 장치의 상호운용성 시험을 진행하였으며, 망 구성 환경에 따라 총 3가지 시나리오를 고려하였다.

- 시나리오 : 동일 대내, 동일 Tap-off, 서로 다른 Tap-off
- 결과 : 동일 대내 및 Tap-off에 위치한 기존 장치 오동작
- 해결 방안 : STB Firmware Upgrade 또는 Filter Setup

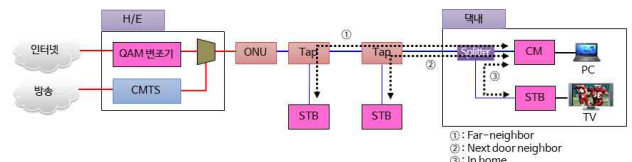


그림 5 상향대역 확대에 따른 Interference

더욱이 상향 대역을 65 또는 85MHz로 확대하기 위해서는 ONU, TBA 등의 업그레이드가 필요하며 소요 비용은 약 2,100억원 (65MHz, 구내증폭기제외)이 필요한 것으로 추정된다.

- 교체 필요 장비 : ONU, TBA, 구내증폭기
- 교체 수량 : ONU 50,000대, TBA 400,000대

### 라. 케이블 가입자망 단계적 진화 방안

HFC망을 효율적으로 진화시키기 위해서는 단계적으로 망을 진화시켜야 한다. 단계적인 진화 시 전송 속도와 투자비를 고려하여 진행해야 하며



그림 6 HFC망의 효율적인 단계적 진화 방안

#### ① 1단계 : 하향 1Gbps, 상향 0.1Gbps

기존 HFC 네트워크 장비 변경 없이 8VSB 전환을 통해 확보되는 주파수를 활용하여 DOCSIS 3.0 기반 16채널 본딩 서비스를 도입한다.

- 주파수 확보 : 아날로그 → 8VSB 전환으로 96MHz 활용
- 전송 속도 : 하향 1.05Gbps, 상향 100Mbps
- 스펙트럼 : 상향 5 ~ 42MHz, 하향 54 ~ 864/1,002MHz

기존 방송 서비스를 위한 EQAM 변조기, 8VSB 변조기, D3.1 CMTS로 구성된다. 망 전송 장비는 OTX, ORX, ONU 및 TBA로 구성되며 기존 장비 변경 없이 구성된다. 마지막으로 맥내 장치인 CM은 기존 서비스 가입자를 위한 D3.0 16채널 본딩 CM과 RF-STB도 운용된다.

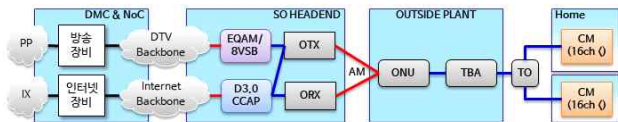


그림 7 1단계 네트워크 구성

#### ② 2단계 : 하향 4Gbps, 상향 2Gbps

기존 HFC 네트워크 구조에서 광 구간을 확대하여 증폭기가 없는 N+0 네트워크를 구성하고 Remote PHY를 도입한다. RF 신호 전송 장치를 전진됨으로써 하향 1.2GHz, 상향 204MHz까지 주파수를 확대하여 광대역 하향 채널 2ch, 상향 2ch 및 고효율 변조를 적용하여 하향 3.8Gbps, 상향 2Gbps 전송 속도를 제공한다.

- 하향채널 구성 : 192MHz x 2CH (816M ~ 1.2GHz)
- 상향채널 구성 : 96MHz x 2CH (12 ~ 204MHz)
- 전송 속도 : 하향 3.8Gbps, 상향 2Gbps
- 스펙트럼 : 상향 5 ~ 204MHz, 하향 54 ~ 1,200MHz

2단계의 하향 3.8Gbps 전송 속도를 제공하기 위해서는 주파수를 864MHz에서 1,200MHz까지 확대해야 한다. 따라서 OTX, ONU, TBA 및 수동기기를 교체 없이 주파수 확대를 위해 Distributed 구조로 전환할 필요가 있다.

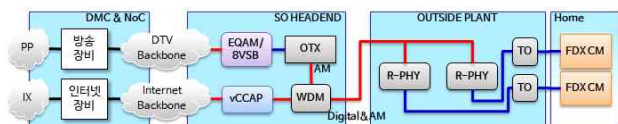


그림 8 2단계 네트워크 구성

#### ③ 3단계 : 하향 10Gbps, 상향 10Gbps

마지막 3단계에서는 북미 케이블 진화 방향과 유사하게 통합 가입자 망으로 진화를 추진하여야 한다. 이 때 다양한 고대역 폭을 요구하는 다양한 미디어 서비스를 수용하기 위해 ALL IP 전송 플랫폼 개발 및 도입이 필요하다. 또한 FTTH망과 동일한 전송 속도 제공을 위해 FDX DOCSIS를 도입하여 양방향 10Gbps 전송 속도를 지원하여야 한다. 마지막으로 통합 가입자 망을 구성함으로써 가입자 주거 환경, 지역 특성을 고려하여 FTTH나 Wireless 망을 가입자 망으로 활용할 수 있다.

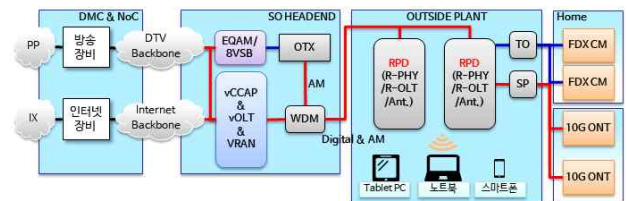


그림 9 3단계 네트워크 구성

### 3. 결론

케이블 사업자는 통신 사업자와 경쟁하기 위해 HFC망 진화를 고려해야 하며, 이때 투자비를 절감하고 분산하기 위해 단계적으로 진행할 필요가 있다. 우선 '18~19년 단계에서는 HFC는 하향 1Gbps, 상향 100Mbps를 목표로 아날로그 방송 종료 및 8VSB 도입으로 주파수를 확보하여 DOCSIS3.0 기반 채널 본딩 수를 확대한다. '20~21년 단계에서는 하향 4Gbps, 상향 2Gbps를 목표로 Remote PHY 기반 N+0 구조로 진화시켜 광 구간을 확대하고 기존 AM 광이 아닌 디지털 광 전송 기술로 대체한다. 마지막으로 '22년 이후에는 HFC망에서도 All-IP 서비스를 제공함으로써 기존 QAM 방송등의 주파수 회수를 통해 하향 10Gbps, 상향 10Gbps 전송 속도를 목표로 한다. 또한 투자비 절감을 위해 가입자망 SDN/NFV 기술을 적용함으로써 유무선 통합망 구축이 가능한 구조로 진행할 필요가 있다. 즉 환경에 따라 장비 설치 없이 다양한 가입자 망 구성이 가능하도록 네트워크를 진화할 수 있다.

상기와 같이 HFC망의 효율적인 망 진화 방안에 대하여 제시하였으나, 실제 케이블 네트워크에 적용하기 위한 다양한 환경에 적합한 진화 방안 재설계가 필요하다. 따라서 향후 실제 HFC망 구축 사례를 바탕으로 실제 적용 시 문제점 도출 및 해결 방안에 대한 연구가 필요하다.

### 참고문헌

1. "Distributed CCAP Architectures Overview Technical Report", CableLabs, 2015.09
2. "Future Proofing Access Networks Through Wireless/Wireline Convergence", SCTE Cable Tech 2017, 2017.10.
3. 정준영외 2명, "10Gbps 케이블 데이터 서비스를 위한 DOCSIS 2.1 표준 기술", TTA, 2014.11
4. 김태진, "10기가 초고속인터넷 서두르는 이유는", ZDNet Korea, 2017.11