

主 題

PON기술에 의한 FTTH 구현

한국통신 가입자망연구소 전광통신연구실 채 창 준

차 례

- I. 서론
- II. PON 전송기술
- III. FTTH 구축 전망
- IV. 결론

요 약 문

정보통신에 대한 생활의 의존도가 높아지면서 일반가입자 구간의 전송속도도 함께 높아지고 있는 추세이다. 향후 2000년대를 대비하여 각 가정에 까지 광케이블을 연결하자는 FTTH (fiber to the home) 전략에 따라 세계 각 국에서는 이에 대한 연구개발을 추진중에 있다. PON (passive optical network) 은 FTTH를 현실적으로 실현하기 위한 전송장치 개념으로서 본 고에서는 이에 관련된 내용을 중심으로 연구개발 동향과 FTTH 구축 전망을 살펴본다.

제 1 장 서 론

원래 가입자 루프(subscriber loop)는 전화국사의 교환기와 가입자택내의 전화기간에 두 가닥의 동선으로 형성되는 전기적인 루프를 의미하였다. 가

입자 신호는 이 두 가닥의 동선을 통하여 상하향으로 전달되었다. 정보화시대로 접어들면서 고속접속의 필요성이 날로 증대되고 있으나, 기존 동선선로는 이 목적에 부합하지 못하고 있는 실정이다. 이에 따라 광케이블을 사용하여 수 Gbps까지의 전송속도를 미리 확보해 놓자는 전략이 나오게 되었으며, 이를 가입자선로의 광케이블화 (FITL : fiber in the loop) 라고 한다. 현재는 전화국과 대형 가입자 건물 사이에 광가입자 전송장치인 FLC (fiber loop carrier)가 놓이게 됨으로써 전기적이 아닌 논리적인 루프가 형성되게 되었다. 향후에는 각 가입자 구간의 동선선로가 광케이블로 대체되어 어떠한 광대역 서비스라도 이 케이블을 통하여 전달될 수 있게 될 것이다. 이렇게 되면 가입자 루프는 대부분 광신호만으로 구성되며 이는 문자 그대로 광가입자 루프(optical subscriber loop)라고 말할 수 있다. 각국의 통신회사는 이를 FTTH (fiber to the home)이라 부르고, 다가 올 2000년대를 대비하여 이의 실현을 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

FTTH는 고속전송의 문제만을 해결하기 위하여

추진되고 있는 것은 아니다. 광통신은 본래 기간전송용으로 개발되었으며 장거리 전송에 특히 효과적이다. 가입자 구간에 있어서도 이러한 특성이 상대적 우위를 가지고 발휘될 수 있으며, 경영합리화 차원에서 추진되고 있는 가입자망의 광역화가 여기에 해당된다고 볼 수 있다. 미래의 서비스는 고품질의 전달을 요구할 것이며 서비스 전달의 신뢰성 또한 현재보다 대폭 향상되어야 할 것이다. 광통신은 고품질의 전송이 그 특징이며 낙뢰와 같은 외부의 전기적인 자극에 영향을 받지 않아서 여기에 적합하다고 할 수 있다. FTTH는 전화국과 가입자 사이에 광케이블만이 존재하기 때문에 유지보수의 자동화가 쉽고, 급전이 필요없어서 비용의 절감은 물론 신뢰성을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점들 때문에 FTTH는 유선 가입자망의 궁극적인 목표가 되고 있으며, 초기의 FTTH 구현은 PON에 의한 것으로 전망된다. 1980년대 후반부터 TDM (time division multiplexing) PON에 의한 FTTH 현장시험이 실시되어 오고 있으며, 이제는 ATM (asynchronous transfer mode) PON시스템이 대량 상용화를 목표로 국제표준화까지 시도되고 있다. 그러나, 아직까지는 비용 때문에 널리 보급되지는 못하고 있으며 저가화 및 고신뢰화를 겨냥한 연구개발이 지속적으로 추진되고 있다. 본 고에서는 PON 전송기술의 발전추세와 FTTH 구축과 관련된 향후 전망에 대하여 알아 본다.

제 2 장 PON 전송기술

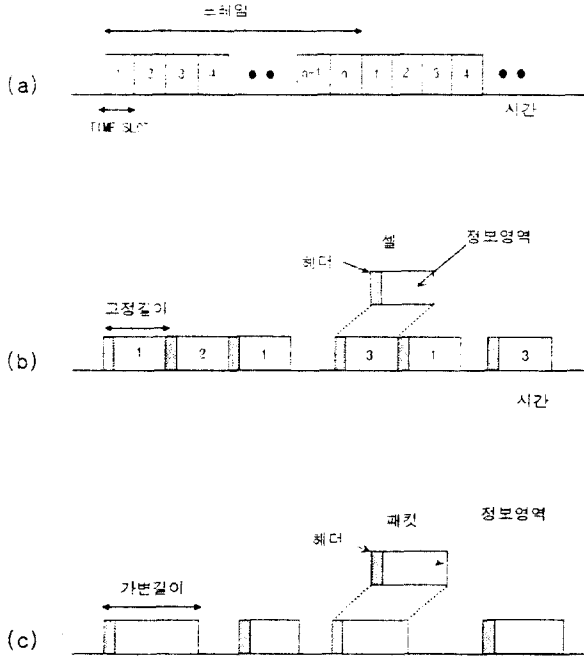
PON은 문자 그대로 수동 광부품만으로 구성되는 가입자 구간용의 광통신망을 의미한다. 보통 1 x N SC (star coupler)를 이용하여 2중 스타형의 구조를 가지며 여기에 적용되는 장치를 PON 시스템 또는 PDS (passive double star) 시스템이라고 한다. PON은 가입자 구간에 들어가는 광케이블의 양과 전송장치의 비용을 줄일 수 있어서 FTTH에

적합한 방식으로 생각되고 있다. 먼저 FTTH에 공통적으로 적용되는 전달모드와 양방향 전송방식에 대해 알아보고, TDM방식의 PON과 WDM방식의 PON에 대해 기술한다.

2.1 디지털 전달모드

FTTH망 구축에서 고려되어야 할 중요한 문제중에 하나는 전송모드를 선택하는 일이다. 전송방식의 선택은 전송시스템의 설계로 이어지고 결국은 FTTH망 구축의 경제성과 확장성을 결정하는 요소로서 작용한다. FTTH 전송은 아날로그 전송방식과 디지털 전송방식으로 나누어지나, 현재는 디지털 전송방식으로 굳어져 가고 있는 추세이다. 따라서 디지털 전송을 전제로 시스템을 설계하여야 한다. 디지털 신호를 전송하는 데는 정해진 전달방식이 있으며 이에 준하여 전송하여야 수신측에서 올바르게 정보를 수신할 수 있다. FTTH망에서 고려되고 있는 전달방식에는 STM (synchronous transfer mode), ATM (asynchronous transfer mode), 패킷(packet) 모드가 있다. (그림 1) 이 중에서 STM은 고정된 속도의 서비스에, 패킷은 버스트(burst) 형태의 데이터 전송에 가장 적합하다고 할 수 있다. BISDN (broadband ISDN)은 저속에서 고속에 이르는 다양한 서비스를 모두 통합하여 전달하고자 하는 통신망이기 때문에 STM이나 패킷모드는 부적절하다고 볼 수 있다. ATM 모드는 이 둘의 장점을 결합한 방법으로서 궁극적으로는 FTTH 전송에 사용될 것으로 전망된다. 그 전까지는 광전송방식의 효율을 높일 수 있는 다양한 방식이 시도될 것으로 보인다. ATM 모드로 전송 시 보내질 정보는 헤더(header)와 정보영역(information field)으로 이루어진 ATM셀로 분해되어 전송된다. 한 셀의 길이는 일정하며 서비스의 전송속도에 따라 전송되는 셀의 숫자는 달라진다. 따라서 STM과 패킷모드의 장점만을 취한 것이라

[그림 1. 디지털 전달모드 : (a) STM, (b) ATM, (c)패킷]



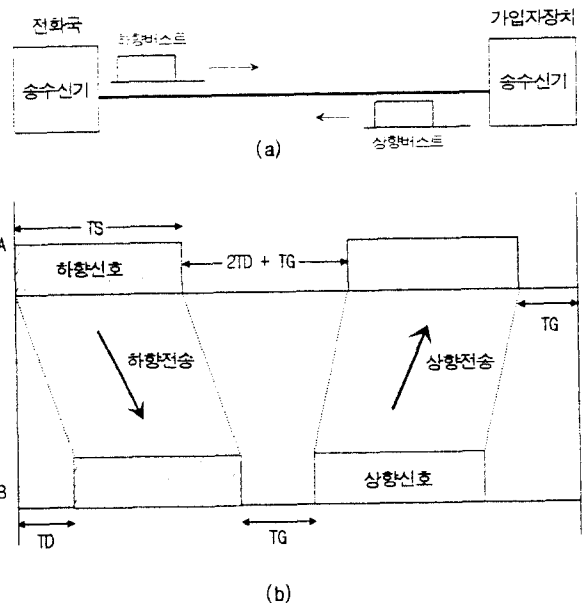
고 볼 수 있으며 전송특성이 서로 다른 서비스를 동시에 전송할 수 있게 된다. ITU 규정에 따라서 하나의 ATM셀은 53바이트(byte)로 구성되며 이중에 5바이트는 헤더로 쓰인다. ATM모드에서의 채널은 헤더에 담겨진 정보에 의하여 셀단위로 확인된다. 통신규약도 패킷모드에 비하여 간단하기 때문에 BISDN에 적합한 전달모드로서 규정되고 있다.

2.2 양방향 전송방식

FTTH에 의하여 문자 그대로 광가입자가 실현되면 가입자당 두 가닥의 광섬유가 할당되며 하나는 전화국에서 가입자로의 하향전송에, 다른 하나는 가입자에서 전화국으로의 상향전송에 사용되게 된다. ITU (International Telecommunication Union)에서 하향으로 155Mbps 또는 622Mbps, 상향으로 155Mbps의 전송속도를 규정한 바 있지만, 지금 각

국의 동향은 하향으로 26Mbps, 상향으로는 수 Mbps를 실제 시스템에 적용하려 하고 있다. 이는 ADSL (asymmetric digital subscriber line)이나 VDSL (very high-speed digital subscriber line) 같은 동선에 의한 전송기술이 발전하는 탓도 있지만, 현실적으로 당분간은 그만큼 속도가 필요하지 않을 것으로 전망되고 있으며 나아가서는 근본적으로는 광섬유를 이용한 전송비용이 상대적으로 높기 때문이다. 따라서 FTTH가 달성되기 위해서는 수 10Mbps의 속도에서도 ADSL이나 VDSL 방식보다도 더 저렴하게 광전송을 구현하는 기술이 필요하다. FTTH는 많은 양의 광케이블을 필요로 하고 이 비용이 매우 높을 것으로 판단, 광케이블의 소요량을 줄이기 위한 연구개발이 추진되어 오고 있다. 그 한 가지 방법으로, 한 가닥의 광섬유만을 사용하여 양방향 전송을 달성하는 TCM (time compression multiplexing)방식이 있으며 상용모듈이 출현하고 있는 상황이다. 처음 일정한 시간동안은 전화국에서 가입자측으로 버스트(burst)형태로 정보를 전송하는 데 할당하고 다음 일정한 시간동안은 가입자측에서 전화국으로 역시 버스트(burst)형태로 정보를 전송하는 데 할당한다. 이 과정이 주

[그림 2. TCM 전송방식 : (a) 양방향 전송, (b) 송수신주기의 구성]



기적으로 반복되도록 하므로써 하나의 광섬유를 양방향 전송에 사용하는 방식이다.

그림 2는 TCM전송계를 설명하기 위한 도식도이며 한 주기동안의 타이밍 차트가 함께 그려져 있다. 여기서는 송신기와 수신기가 따로 없고 하나의 송수신모듈이 한 순간에는 송신기로 다음 순간에는 수신기로 작동한다. TD, TG, TS 는 각각 지연시간, 보호시간(guard time), 정보전송시간을 의미한다. 지연시간 TD는 광파가 광섬유속을 전파하는데 걸리는 시간이며, L이 [m]단위로 광케이블의 길이라고 할 때 보통 $TD = 5L$ [ns]로 잡는다. 보호시간 TG 는 송신모드에서 수신모드로 또는 그 역으로 전환하는데 걸리는 시간이다. 송수신 주기 TB는 $2(TS + TD + TG)$ 로서 헤더, 동기 프레임, 그리고 관리를 위한 시간은 모두 TS에 포함된 것으로 본다. TCM전송에서 전송속도는 전송거리, 송수신주기, 라인코드, 그리고 보호시간에 따라 결정된다. 송수신기 모듈로는 반도체 증폭기가 사용되어 가입자측 광부품수를 줄일 수 있는 장점이 있는 반면, 실제로 보내고자 하는 정보원의 속도보다 높은 속도의 신호처리가 필요하고 많은 양의 메모리를 요구하게 된다. 그러나, 가입자 전송속도가 수 Mbps 정도라면 잘 발달되어 있는 값싼 전자회로 기술을 활용할 수 있으므로 경제성을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

한 가닥의 광섬유를 사용하여 전화국과 가입자 단말간의 양방향 전송을 실현할 수 있는 기술의 대표적인 것이 TCM이기는 하지만, 이 밖에도 DDM(directional division multiplexing), WDM(wavelength division multiplexing) 방식이 있다. 광통신은 광원에서 나오는 빛을 서비스 신호로 변조하여 광섬유를 통하여 상대측 광수신기로 전파시키는 것이다. 광수신기는 광섬유를 통하여 전파되어 온 신호를 전기적인 신호로 바꾸어 서비스를 재생한다. 하나의 광섬유 속에서 똑같은 빛이 하나는 전화국에서 가입자측으로, 다른 하나는 가입자측에

서 전화국으로 전파하는 일이 가능하다. 때문에 전화국과 가입자측에서 전파방향을 분리시켜 광송신기나 광수신기를 연결하면 동시에 송수신을 할 수 있다. 이렇게 전파방향을 다르게 하여 상하향 전송을 수행하는 방식을 DDM이라고 한다. 광원은 파장을 갖고 있으며 파장은 WDM 소자를 이용하면 결합 또는 분리가 가능하다. 전화국측의 광원과 가입자측의 광원을 파장이 서로 다르게 선택하여 사용하고, 전화국과 가입자측에서 파장을 결합 또는 분리하여 광송신기와 광수신기에 연결하면 DDM에서와 같이 양방향 전송이 가능하다. 이를 WDM 방식이라고 한다. DDM이나 WDM 방식은 나름대로 장점이 있기는 하지만, TCM에 비하여 실제로 적용되는 예는 드물다. DDM은 성능에 문제가 있고, WDM은 가격에 문제가 있기 때문이다.

2.3 상하향 전송방식

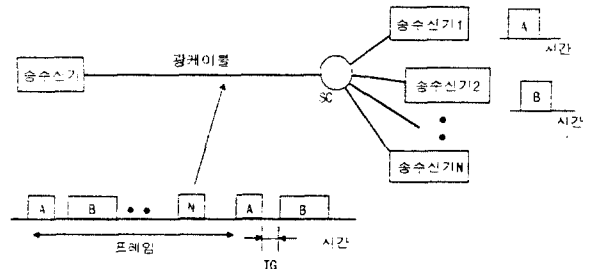
원래 가입자당 두 개의 광섬유가 필요하던 것이 TCM전송방식을 적용하므로써 절반으로 줄어들 수 있게 되었다. 그러나 가입자의 수가 수천만에 이룬다면 이것도 큰 비용을 요구하게 된다. 또, 가입자가 어떤 지역에 모여 있는 경우 전화국에서 각 가입자까지의 광케이블 구간은 대부분 겹치게 되므로 인하여 관로가 포화되거나 광케이블의 유지보수에 많은 시간과 비용이 따르게 된다. TCM 적용후에도 광케이블의 양을 더욱 절감하기 위한 방안으로 나온 것이 TDM (time division multiplexing) PON 전송방식이다. 전화국에서 가입자군의 중심까지는 한 가닥의 광섬유로 연결하고 여기서부터 각 가입자까지는 개별 광섬유를 사용하는 방식이다. 이렇게 되면 N 가입자군의 경우 요구되는 광섬유 길이가 거의 1/N으로 줄어들게 된다. 가입자가 서로 가까이 모여 있을 수록 경제성이 향상되는 방식이라고 할 수 있다. 또, 전화국에는 하나의 광송수신기만이 설치되어 N가입자가

이를 공유하기 때문에 전송장치면에서도 비용감소 효과가 나타날 수 있다. 각 가입자에게 보내는 정보는 전화국에서 전기적으로 다중화되어 하나의 고속 광신호로 바뀌고, 가입자군의 중심까지 한 가닥의 광섬유를 통하여 전파된다. 그 곳에서 1 x N SC (star coupler)에 의하여 N 갈래로 분할되어 각기 서로 다른 광섬유를 통하여 각 가입자측으로 전달된다. 각 가입자 단말은 이 신호를 수신하여 자신에게 보내어진 정보만을 찾는다. 분기비 N은 POTS (plain old telephone service) 같은 저속 서비스만 접속할 경우 128까지 개발되고 있으며, 광대역 서비스가 고려되는 현재는 16 또는 32로 결정되어 가고 있는 중이다. 이 PON 방식은 구조적으로는 수동 이중성형이기 때문에 NTT는 이를 PDS (passive double star)라고 부르고 있다.

상하향 전송에 하나의 광섬유만을 사용하기 위하여 TCM전송방식과 WDM방식이 검토되고 있으나, 전송용량이 낮은 경우 TCM방식이 더 일반적으로 사용되는 경향이다. TCM사용시 하나의 정보 전송시간 TS는 N 가입자 정보를 수용할 수 있도록 그림 3에 보인 바와 같이 분할되어야 한다. 이렇게 주어진 시간을 쪼개어 사용하는 것을 TDM (time division multiplexing) 이라고 하며 쪼개진 시간단위를 타임슬롯 (time slot) 이라고 한다. 가입자 정보전송을 위한 시간이 N개 주어지고 각각은 보호시간 TG로 구별된다. 이렇게 구성된 시간적인 짜임새를 프레임(frame)이라고 한다. 이 정보는 모든 N가입자에게 전달되고 각 가입자는 자기에게 할당된 타임슬롯만을 접속하여 정보를 수신하게 된다. SC는 단지 입력된 광전력을 균등분배하여 N개 출력단에 내놓기 때문에 모든 정보가 각 가입자에게 전달되고 약의의 가입자가 남의 타임슬롯에 접속할 수 있는 여지가 있다. 이 때문에 소프트웨어 열쇠를 설치하는 경우도 있다. 상향 전송은 원리적으로는 반대의 과정을 따르지만 몇 가지를 고려하여야 한다. SC에서 각 가입자까지의 거리가 다르기 때문에 각 가입자측에서 전화국으로 전송되

는 광펄스가 SC에 이르는 시간이 전부 다르게 된다. 따라서 각 가입자장치에서 전자적으로 시간을 조정하므로써 각 가입자 정보가 주어진 타임슬롯에 위치하도록 한다. 이렇게 전송시간을 조정하는 것을 레인징 (ranging) 이라고 한다. 전화국장치에서는 타임슬롯을 순차적으로 분리하여 각 가입자 정보를 수신한다. 지금까지는 가입자 정보전송 시간이 N가입자에게 균등하게 배분되는 경우만을 설명하였으나 실제에 있어서는 어떤 가입자는 더 긴

[그림 3. TDM PON 전송방식]



시간을, 다른 가입자는 더 적은 시간을 할당받을 수 있다. 이것은 사용하지 않고 있는 가입자 정보 전송 시간을 적절한 프로토콜을 적용하여 다른 바쁜 가입자에게 재배분함으로써 가능하다. 이러한 상향 전송방식을 TDMA (time division multiple access) 라고 한다. N 가입자가 있어서 각 가입자마다 B Mbps의 속도로 정보를 송수신하도록 하는 경우, 라인 (송수신) 속도는 대략 $2 \times N \times B$ Mbps이 되어서 전송속도가 높아진다는 단점이 있다. 그러나 B가 수 Mbps 정도라면 비용상 기술상 큰 문제가 아니다.

2.4 WDM PON 전송방식

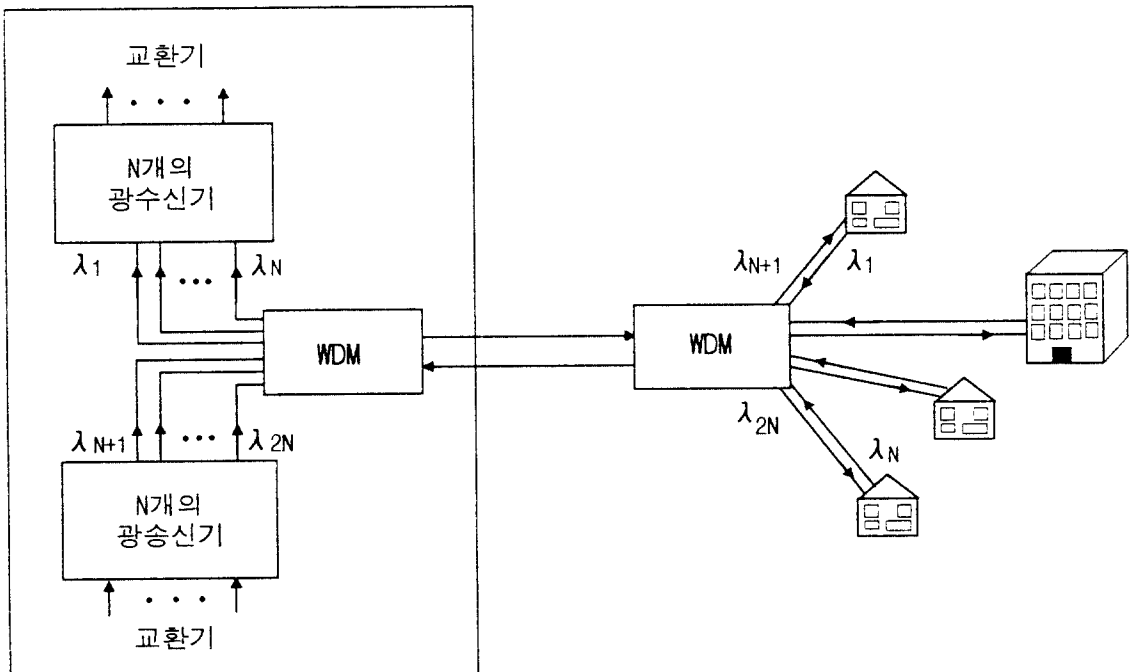
TDM PON 방식은 여러 가입자가 전화국에 설치되는 광송수신기와 전화국에서 SC까지의 광케이블을 여러 가입자장치가 공유하므로써 경제성을 확보하는 장점이 있으나, 송신된 정보가 모든 가입자에게 전달됨으로써 정보보안에 문제가 있고 고속 서비스의 제공에는 한계가 있다는 단점이 있다.

광대역 서비스가 일반 가입자에게 널리 보급될려면, 우선 고속 전송이 가능하여야 하며 덧붙여 가입자마다 접속속도가 독립적으로 결정될 수 있어야 한다. 가입자의 취향과 형편에 따라 가입하는 서비스가 다를 수 있기 때문이다. 이를 위해서는 가입자마다 경제적인 방법으로 독립적인 채널을 확보해 주어야 한다. 여기에 적합한 전송방식으로 그림 4에 보인 WDM PON이 있다. 앞서의 PON과 같이 수동적인 이중스타 구조를 갖고 있으나, SC대신 WDM 소자가 사용되고 있다. 전화국에서는 파장이 각기 다른 N개의 광원이 있어서 N 가입자에게 보낼 정보를 하향전송하는데 사용된다. 각 광송신기의 출력은 WDM에 입력되어 하나의 광파로 합쳐진 뒤, 가입자 가까이에서 위치한 WDM

은 다시 분리해체하여 각각의 수신기로 연결하므로써 상향전송이 마무리된다.

각 가입자 구간마다 서로 다른 파장을 사용하기 때문에 전송속도나 전송방식을 독립적으로 선택할 수 있고, 전화국에서 송신된 신호는 특정 가입자에게만 보내지기 때문에 다른 가입자의 정보를 불법으로 접할 수 없다. 그러면서도 전화국과 WDM사이의 광케이블을 절약할 수 있기 때문에 점대점 전송방식에 비하여 더 경제적이다. 다채널 광원과 다채널 수신기가 집적화되어 양산이 가능하게 된다면 경제성은 더욱 높아 질 것으로 보인다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 WDM PON 시스템은 아직도 연구수준에 머물러 있으며 여러 가지 변형

[그림 4. WDM PON 전송방식]



에 의해 분리해체되고, 각각은 서로 다른 가입자에게 전파된다. 각 가입자는 자신에게 할당된 파장의 광원만을 사용하여 상향전송하며 가입자 근처의 WDM은 여러 가입자로부터의 신호를 광학적으로 결합하여 전화국으로 보낸다. 전화국에 있는 WDM

된 모델이 제시되고 있는 실정이다. 그 이유는 가입자 장치에서 레이저의 파장을 정확하게 조정한다던가 아니면 정확한 파장의 레이저를 선택하여 사용하여야 하는 데, 현실적으로 어렵기 때문이다. 이는 가입자 장치의 비용을 증가시키는 주요 원인

이 될 뿐만 아니라 가입자측의 레이저에 기인하는 전송성능 및 신뢰성 저하가 예상되기 때문이다. 또, 가입자마다 서로 다른 파장을 사용하여 상하향 전송을 수행하므로써 많은 수의 파장이 필요하게 된다. WDM PON에서는 상하향 분리를 위하여 2개의 파장을 사용할 수도 있고, TCM을 사용하여 총 소요 파장수를 절반으로 줄일 수도 있다.

제 3 장 FTTH 구축 전망

FITL을 추진하던 초기에는 FTTH의 시대가 금방 도래할 것으로 전망되었으며, 국가에 적용되었던 다양한 광전송기술들을 가입자 구간에 응용하고자 하는 노력이 많이 경주되었다. 그래서 경제성을 고려하여 제시되었던 것이 PON이었고 여러 지역에서 현장실험이 이루어졌다. 하지만, 가입자 구간의 환경은 국가의 그것에 비하여 매우 열악하였고, 이 때문에 광통신의 장점이 부각되기 어려웠다. 이를 극복하기 위한 노력이 현재 전세계적으로 꾸준히 추진되고 있다. TDM PON은 이제 ATM PON으로 발전하여 상용화되고 있는 실정이며, 더욱 더 경제화를 꾀하기 위하여 국제적인 표준화 노력이 여러 방면에서 진행되고 있다.

그 중에는 하나의 PON 장치로서 FTTH는 물론, FTTC (fiber to the curb), FTTP (fiber to the pole), FTTCab (fiber to the cabinet) 전략에 대처하고자 하는 것으로서, NTT를 비롯한 구미의 주요 통신사업자와 장치 제조업체를 중심으로 움직이고 있다. 이들은 ADSL (asymmetric digital subscriber line)과 VDSL (very high-speed digital subscriber line) 같은 고속 동선전송기술도 함께 활용하여 FSAN (full services access network)을 구현하고자 하고 있다. DAVIC이나 ITU등에서도 유사한 노력이 이루어지고 있기 때문에 PON기술은 조만간 널리 적용될 것으로 전망된다. PON의 대량 상용화를

위한 노력이 경주되고 있으며, 또한 이의 단점을 극복하거나 PON을 upgrade 하려는 시도도 꾸준히 이루어지고 있다. WDM PON 기술은 여기에 해당되는 것으로서 아직은 연구차원에 머무르고 있다. WDM 기술이 국간 전송로에 적용되고 현장적용기술에 대한 노하우가 쌓이면, 기존의 PON을 대체하는 기술로 자리 잡을 수 있을 것으로 전망된다.

TDM PON이던 WDM PON이던 FTTH가 실현되면 가입자망은 현재보다도 더 광역화될 수 있을 것으로 보인다. 광섬유는 전파손실이 작기 때문에 수 10km까지 무중계 전송이 가능하여 전화국사에서 멀리 떨어져 있는 가입자를 용이하게 수용할 수 있다. 지금의 전화국은 WDM SHR (self-healing ring)으로 서로 연결되고 WDM을 이용한 광 ADM(add-drop multiplexer)은 PON장치를 직접 접속할 수 있게 될 것이다. 이렇게 되면 교환기의 통합(switch consolidation)이 추진되어 그 결과는 경영합리화로 나타날 것으로 보인다.

제 4 장 결 론

광통신기술이 기간 전송로에 널리 적용되면서 현장적용 기술에 대한 노하우가 많이 쌓여졌으며, 광부품 가격이 계속 내려가고 있다. 이제 이 기술을 가입자 구간에 적용하여 미래의 초고속 정보통신망 구축을 준비하고자 하는 것이 FITL이며 그 종착역은 FTTH라고 할 수 있다. FTTH의 조기 구축을 위해서는 무엇보다도 경제성을 확보하는 것이 중요하다.

PON 기술은 여기에 적합한 기술로 평가되어 세계 각국에서 많은 연구개발이 수행되어 오고 있다. 초기의 TDM PON에 이어 현재는 ATM PON 장치가 상용화되고 있으며, 향후에는 WDM PON이 FTTH에 적용될 것으로 전망된다. FTTH가 본격적으로 추진되면 가입자망의 광역화가 가능하게 되고 이는 곧 경영합리화로 이어질 것으로 보인다. 향후 보다 활발한 사업적용을 위해서는 부품의 저

