

광섬유 기술 현황 및 발전동향

강역전

(오토매직 상무)

1. 서론

1978년 국내에서 처음으로 광섬유 개발을 시작한 이래 광통신 기술은 눈부신 발전을 거듭하여 왔다. 모든 산업이 그러하듯 광통신 산업도 개발단계로부터 산업의 꽃으로 완성되는 기간이 약 20여년이 걸린 것이다. 국산 기술에 의한 최초 실용화 시험은 1980년 한국전력 부산지점 - 남부산 지점(토성변전소)이었으며 1983년 구로 - 인천간 24코어 루즈튜브 케이블에 45Mbps system을 적용한 것이 상용화의 효시인 것이다. 표 1은 국내 및 해외의 광통신 역사에 대한 개략을 보여준다.

1983년 말 국내의 통신업체들은 경쟁적으로 외국사와의 기술 제휴 및 합작 등으로 광섬유 제조 기술을 도입하게 된다. 1978년부터 5년간 순수한 국내 기술에 의한 연구개발 노력이 하루 아침에 물거품이 되는 순간이었다. 연구개발에 참여한 필자도 아쉬움은 많았지만 그 동안의 연구 인력 확보라는 소득에 만족 할 뿐이었다. 국내의 광통신 기술은 부문별로는 이미 선진국 수준에 이르는 연구개발력, 생산기술력 등으로 경쟁력을 갖추어 가고 있으며, 광섬유 케이블 수출 자체만으로도 국가 수지 증대에 큰 영향을 미치고 있다. 특히 정보통신시대의 진입을 가속화 할 수 있는 중요한 도구로써 타 정보산업에 미치는 영향이 지대하다고 할

표 1. 국내외 광통신 기술의 발전 개요

	해 외	국 내
	*[1876] 전화 발명 *[1958] LASER 제안	
1960년대	*[1962] GaAs 반도체 레이저 발진 성공(GE, IBM, MIT.) *[1966] 영국 STL, K.C. KAO 박사가 광섬유를 이용한 광통신 system 제안	
1970년대	*[1970] 20dB/km 광섬유 개발(Corning), 0.80 μ m대 반도체 Laser 연속 발진 성공(BELL, NEC) *[1974] 미국 BELL 연구소 MCVD 제법, 일본 NTT VAD 특허 출원 *[1976] 일본 NTT 극저손실 광섬유 실현 (0.47dB/km), 1300nm LD 개발, 45Mb/s 광통신 시험(AT&T, NTT) *[1979] 극저손실 광섬유 (NTT, 0.2dB/km :1550nm), 1550nm LD 실은 연속 발진 성공(NTT, AT&T)	*[1978] KIST, 대한전선, 금성전선 광섬유 개발 공동 연구 착수 *[1979] 광화문-중앙전화국간 2.3km 국내 최초 광케이블 설치(광섬유 수입)
1980년대	*[1980] 미국 AT&T 동계올림픽 45Mb/s 화상 전송 서비스 *[1981] 일본 NTT 32Mb/s, 100Mb/s 상용 서비스	*[1980] 한전 남부산 지점-부산 지점 광케이블 1.2 km 설치 (국산 광섬유) *중앙전화국-남산타워(KETRI) 광케이블 1.9km 설치 *[1982] 한국 광통신 주식회사 설립, 광섬유 생산 *[1983] 구로-인천 전화국간 24c \times 32km 설치, 국내 최초 45Mb/s 상용 서비스 *90Mb/s 광전송 장치 개발 *광복합 가공지선(OPGW), 천해용 광케이블 개발
1990년대	*[1993] 1.2Gb/s-HDTV 전송(미-일) *[1994-] 초고속 통신 연구(WDM, 솔리톤)	*155Mb/s 및 622Mb/s 동기식 광전송장치 개발 *ADSS 케이블, 다심 OPGW 개발 *2.5Gb/s 동기식 광전송장치 개발 *가입자용 리본 광케이블 개발
2000년대	*[2001] 40Gb/s- DWDM 초고속 전송망 실용화	*초고속 정보통신망 구축

수 있어 이 분야에서의 자립은 그 중요성이 무엇보다도 크다고 하겠다.

광통신 기술은 크게 두개 분야의 기술로 나눌 수 있다. 하나는 광섬유 기술과 다른 한분야는 통신 기술이 그것이다. 광섬유 부분은 빛이 통하는 통로인 광섬유 자체와 빛을 발생시키는 광원을 포함한 송신부, 입력된 광신호를 검출하는 수신부로 이루어지며 통신기술은 전기신호 및 데이터의 처리, 변조, 복조등을 수행하는 기능을 갖는다. 본고에서는 통신에 사용되는 광섬유의 종류, 광특성등 광섬유를 구성하는 기본적인 내용과 현재까지의 광섬유 개발 경과 등에 대하여 알아보고 향후 초고속 통신을 위한 차세대 광섬유의 기술동향에 대하여 논의 하고자 한다.

2. 광섬유 기술의 개요

2.1. 광섬유 통신

광섬유는 기본적으로 빛이 전파되는 코어부와 빛의 누출을 제한하는 클래딩층과 이들 코어와 클래딩층을 보호하기 위한 자켓층으로 이루어진다.

광통신에서 쓰이는 광은 대략 850nm에서 1600nm까지의 적외선 파장대역을 이용하게 된다. 특히 광섬유 개발 역사로 보아 몇 가지 사용대역은 아래 그림 1. 과 같이 변화되어 사용되어왔다.

최초의 광통신은 제1창(First Window)이라 불리는 800~900nm의 파장대역을 사용하였는데 당시의 광섬유로는 이 범위에서 가장 적은 손실 특성을 나타내었으며 광원과 수광 소자 또한 이 범위에서 사용할 수 있었기 때문이었다. 이후 광섬유의 제조 방법의 개선으로 수산이온(OH⁻)과 금속이온 불순물의 제거에 의해 1,100nm에서 1,600nm 영역에서 손실이 매우 적은 광섬유의 제조가 가능하게 되어 그중 손실값이 적은 1,310nm 부근을 제2창, 그보다 손실값이 조금 더 적은 1,550nm 부근을 제3창으로 사용하게 되었다.

광섬유통신은 빛의 반사와 굴절 특성을 적절히 응용한 것으로, 굴절률이 다른 두물질의 경계를 지나 진행할 때 높은 굴절율에서 낮은 굴절율의 매질로 진행하는 현상을 이

용한다. 즉 광섬유 코어와 클래드의 굴절율 차를 발생시키고 여기에 송신부의 광원에서 발생된 일정한 폭을 가진 파장의 빛을 통과시키면 빛의 전반사가 일어나고 수신부에서 이를 감지하게 된다. 이들 코어와 클래딩간의 구조와 고유 특성에 의해 광섬유 종류를 나누며 이를 적절한 방법의 광통신으로 응용하게 된다.

광파이버는 사용재료에 따라서 석영계 광파이버(실리카:SiO₂), 다성분계 광파이버, 플라스틱 광파이버등으로 구분하기도 하며 장거리 전송용으로는 대부분 석영계 광파이버가 쓰인다.

2.2. 멀티모드 파이버

초기 광섬유의 간단한 형태였으며 현재는 저렴한 LED광원을 활용하여 근거리통신용 혹은 단파장용으로 사용한다. 광섬유내에 빛이 전파할 때는 많은 수의 경로(Mode)를 갖게되는데 사용과장에 따라 오직 한 개의 경로만을 갖도록 설계, 제작된 광파이버를 싱글모드 광섬유라 부르며 다수의 경로를 갖는 광파이버를 멀티모드 광파이버라 부른다. 이런 멀티모드 파이버는 광원에너지의 입력이 쉽고 광원과 검출기의 배치가 용이하며 큰 코어는 많은 빛의 입력이 가능하지만 경로의 차에 의해 검출기까지 도달시간의 차이를 발생시키게 된다. 따라서 이를 보완하는 방법으로 전파속도를 일정하게 할 필요가 생기게 되며 코어의 중심부쪽으로 굴절율을 높여 설계 제작한 광파이버를 특히 언덕형(Graded index) 멀티모드 파이버라 부른다. 구조적으로는 주로 클래딩경 125 μ m에 코어경 50 μ m, 62.5 μ m의 두종류가 쓰이고 있다.

2.3. 싱글모드 파이버

오늘날 생산되는 대부분의 장거리통신용 광섬유로 사용과장내 오직 한 개의 모드만을 갖도록 설계되어 있다. 따라서 전송대역이 매우 넓어 초광대역 전송이 가능하다. 단일모드 광섬유는 코어경, 코어와 클래딩의 굴절율을 조절하여 제작하며 주로 클래딩경 125 μ m에 모드필드경 8~10 μ m의 구조를 갖는다. 현재 상용화된 표준싱글모드 광섬유 손실특성은 1310nm 파장에서 0.33dB/km, 1550nm파장에서 0.2dB/km 수준까지 도달하였다. 그림 2에 싱글모드와 멀티모드의 빛의 전파경로를 나타내었다.

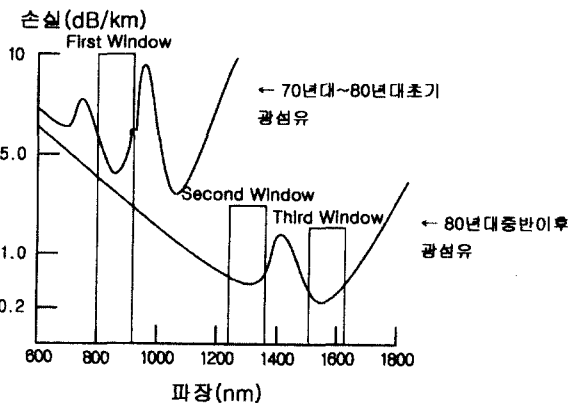


그림 1. 광섬유 파장에 따른 손실 변화

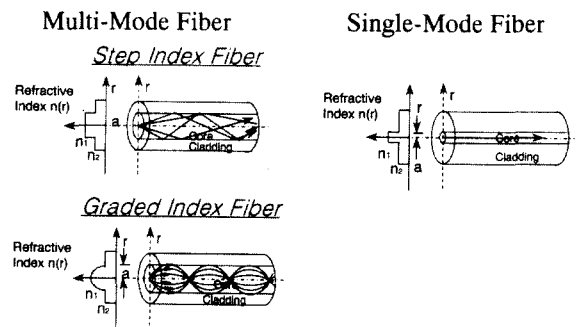


그림 2. 싱글모드와 멀티모드의 빛의 전파경로

2.4. 분산 천이 파이버(DSF)

싱글모드 광섬유는 1310nm파장에서 분산값이 “0”으로 설계되어 있으나 1550nm파장에서는 17ps/nm.km의 분산이 발생하게 된다. 분산이 발생되면 최종 수신측에서는 광신호의 중첩으로 복원이 불가능하여 전송거리에 따른 분산보상이 필요하다. 이를 보상하기위한 파이버가 분산보상 광섬유(Dispersion Compensation Fiber) 이나 값이 비싸고 많은 비용이 발생하게 된다. 따라서1310nm 파장에서 1550nm 파장으로 영분산을 천이시켜 분산과 손실을 최소화한 분산천이 광파이버(Dispersion Sifted Fiber)를 개발 사용하게 되었다. 광섬유의 총분산(Dt)은 광원의 펄스폭 및 굴절율이 파장에 따라 변화하는 재료분산(Dm)과 파장에 대한 기본모드의 군속도 변화에 의한 구조분산(Dw)에 의해 발생되며 다음식으로 표시된다.

$$Dt = \underbrace{\frac{\lambda}{C} \cdot \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2}}_{\text{재료분산}} + \underbrace{\left[- \left(\frac{n_1 - n_2}{\lambda_c} \right) V \frac{d^2 (Vb)}{dV^2} \right]}_{\text{구조분산}}$$

n_1 = 코어굴절율, λ_c = 차단파장, V = 정규화주파수
 n_2 = 클래딩굴절율, λ = 사용파장, b = 전파상수, C = 광속도

장파장(1550nm)에서는 D_m 보다 D_w 의 영향이 크므로 코어경, 굴절율차, profile, λ_c 등을 적절히 설계하여 영분산 파장을 조정한다. GeO_2 를 더 첨가 할수록 MFD값은 감소되며 negative값을 가지는 구조분산의 값이 크게되어 전분산 특성이 장파장 쪽으로 이동되는 결과를 초래하므로, 구조 분산factor의 적절한 설계가 요구된다. 그러나 분산천이 파이버는 각각 다른 파장을 다중화하여 한 개의 광섬유로 전송하는 방식인 파장분할다중전송(DWDM :Dense Wavelength Division Multiplexing) 방식에는 적합하지 않아 현재는 거의 사용하지 않고 있다. 표 2에 WDM용 band를 포함한 광통신용 파장을 표시하였다.

표 2. WDM bands (ITU)

명칭	wavelength(nm)	비고
Region II	1260 - 1360	
Region IIe	1360 - 1460	e = extended
S-Band	1460 - 1530	S = short
C-Band	1530 - 1565	C = conventional
L-Band	1565 - 1625	L = long
M-Band	1625 - 1675	M = maintenance

2.5. 비영분산 천이 파이버(NZ-DSF)

분산천이 광섬유(DSF)에서, 파장분할 다중전송이 가능하도록 코어경 및 굴절율을 조정하여 설계된 것이 비영분산천이 파이버(Non Zero-Dispersion Shifted Fiber)이다. 파장다중전송방식은 서로다른 파장대역에 각각의 입력채널을 분할하여 전송하는 방식으로 초기에는 1310nm 파장과 1550nm 파장대역으로 분할하는 방식이 주로 이용되었으나 최근에는 1550nm파장대역에서 다시 여러 개의 좁은 파장대

역으로 분할하여 전송할 수 있는 DWDM(Dense-WDM) 기술이 개발되어 사용되고 있다. 각채널의 파장은 서로 독립적으로 동작하기 때문에 동일한 광전송로를 이용하여 아날로그와 디지털신호 및 저속과 고속신호등을 동시에 처리, 많은 정보를 전송할 수 있다. 단일모드 광섬유의 광손실은 1550nm파장대에서 0.2dB/km로 가장 낮은 값을 가지고 있으나 전송속도에 영향을 주는 분산치는 17ps/km.nm로 크기 때문에 전송속도를 높이기 위해서는 분산치를 줄일 필요성이 있었다. 이에 따라 영분산 파장을 1310nm파장에서 1550nm파장으로이동시켜 개발된 분산천이광섬유(DSF)는 1550nm 파장에서 단일파장을 전송할 경우에는 전송속도를 높일 수 있었으나 여러 파장을 동시에 전송할 경우 파장간의 혼합(FWM :Four Wave Mixing) 현상이 발생하여 전송에 어려움이 있었다. FWM을 피하기 위해서는 전송파장대역에서 약간의 분산이 존재하여야 하며, 이를 위해 개발된 광섬유가 비영분산 천이광섬유이며 1530~1565nm 파장대역에서 0.1~6(ps/km.nm) 정도의 분산치를 갖도록 설계하고 있다. 이때 FWM은 주파수, 파워, 전파상수(f_i, P_i, β_i)를 갖는 3개의 파동이 상호작용에 의해서 원하지 않는 4번째 파동($f_{ijk}=f_i+f_j-f_k$)를 발생시키는 현상으로 ① 광섬유 유효단면적이 작을 때, ② 색분산 값이 낮을 때, ③ 각채널의 input power가 높을 때, ④ channel spacing이 조밀 할 때 나타난다.

2.6. 전파장 저손실 파이버

광섬유는 $SiCl_4, GeCl_4, H_2, O_2$ 등의 가스를 화염 가스 분해 반응시켜 모재를 제조하지만 이 과정에서 필연적으로 OH^- 이온이 광섬유에 내재하게 된다. 이러한 OH^- 이온은 광섬유 전송 손실 특성을 저하시키며, 특히 1385nm 부근의 파장에 손실 피크치가 있기 때문에 1350~1450nm 파장에서는 전송 손실이 매우 높게 된다. 그러므로 현행 광전송 시스템에서는 이 영역을 제외한 1280~1325nm, 1530~1620nm의 파장대역만을 사용하고 있다.

전파장 저손실 광섬유는 광섬유에 존재하고 있는 OH^- 이온을 완전히 제거하여 지금까지 사용 불가능한 영역으로 인식하고 있는 1350~1450nm 파장을 포함한 전체 파장(1280~1620nm)에서 사용할 수 있다. 따라서 기존의 싱글모드 광섬유보다 사용 파장 영역이 50% 확대되어 Metro(도시계) DWDM에서는 120개 이상의 채널 증가가 가능하며, 또한 1350~1450nm 파장대역인 제5 window는 제2window보다 손실이 낮고 제3window보다 분산이 작기 때문에 사용하며, 10Gbps전송의 경우 제3window보다 분산 보상없이 2배이상의 전송거리를 확장시킬 수 있다. 전파장 저손실파이버를 사용하면 많은 응용 분야에서 보다 간단하고 유연하게 광범위한 서비스가 가능하다. 그림 3참조 예를 들면 동일한 1개의 광섬유로 제2window에서는 아날로그 화상의 파장다중전송, 제5window에서는 10Gbps의 DWDM, 1450nm 이상에서는 2.5Gbps의 DWDM을 구현할 수 있다. 표 3에 종합적으로 ITU-T에서 규정한 각종 광섬유에 대하여 간략히 특성을 비교하였다.

표 3. 각종 광섬유 특성요약
 • 광섬유 종류별 특성 (ITU-T)

구분	G 651	G 652	G 653	G 654	G 655
Fiber 명칭	MM 다중모드 광섬유	SM 단일모드 광섬유	DSF 분산선이 광섬유	CSF 차단파장 선이 광섬유	NZ-DSF 비영분산 선이 광섬유
사용 파장	1300nm	1300 & 1500nm	1500nm	1500nm	1500nm
전송 용량	TDM	40km x 2.5Gb/s	80km x 10Gb/s	80km x 2.5Gb/s	-
	WDM	-	~80km x 20Gb/s (2.5 x 8)	80km x 40Gb/s (10 x 4)	80km x 20Gb/s (2.5 x 8)
영분산파장 (nm)	1300	1300	1550	1300	1530 / 1560
손실 (dB/km)	0.5	0.35 / 0.25	0.25	0.18 / 0.25	0.25
분산치 (ps./nm.km)	1	≤ 3.5 / ≤ 18	≤ 3.0	≤ 20	0.1~6.0
구조도					
특징	-LAN 용 Cable 에 사용	-현재 가장 많이 사용중인 Fiber -2.5Gb/s x ~32ch(WDM) x 80Gb/s 까지 가능	-WDM 전송시 문제점 발생(FWM) -해저 Cable 및 장거리 구간 상용화 -현재는 사용치 않음	-전송용량은 작더라도 중계 거리를 길게 사용할 목적(OPGW 등) -2.5Gb/s x ~32ch(WDM) x 80Gb/s 까지 가능	-WDM 전용 광섬유 -해저 Cable 구간에 사용중 -수백 Gb/s 이상 가능

4. 차세대 광섬유 발전방향

차세대 광섬유로 NZ-DSF와 전파장저손실광섬유를 들 수 있다. 지금까지 선진 외국 업체들은 후발 업체들이 쉽게 만들 수 있는 표준싱글모드 광섬유 보다는 부가가치가 높고 경쟁사들이 제조할 수 없도록 특허로 제한한 NZ-DSF를 제조 판매 하여왔으나 현재 미국 IT산업의 불황으로 장거리 선로에 사용하는 NZ-DSF의 수요가 급감하고 있다. 따라서 대안으로서 Metropolitan 용 전파장 저손실 광섬유의 도입이 유력시 되고 있다. 여기에서는 이 두가지 광섬유에 대해서 논의 하고자 한다.

4.1. NZ-DSF의 기술변화 (DWDM용 광섬유)

DWDM용 광섬유인 NZ-DSF 설계시 Channel 수를 증가시키기 위한 두가지 중요한 factor가 있다. 첫째는 High power signal을 수용하더라도 비선형 효과를 억제시키기 위하여 코어의 유효 단면적(Aeff)를 크게 하여야 하는 것과, 둘째로 Wide-range Bandwidth operation을 위하여 낮은 분산기울기를 갖도록 제조하여야 하는 점이다.

현재 개발 상용화되고 있는 NZ-DSF는 전송속도 2.5~10Gbps 및 100GHz(0.8nm) Channel Spacing에 적합하도록 설계된 DWDM광섬유로서 1550nm 파장에서 2~4ps/km.nm의 분산을 갖는 것이, 비선형 효과를 억제시켜 FWM이 발생하지 않는 것으로 보고되어 있다. 그러나 최근들어 40Gbps의 전송속도에 Channel spacing 50GHz(0.4nm)를 만족시키기 위해서는 영분산과장을 1500nm 부근에서 1400nm

부근으로 옮기고 1550nm에서 8~12ps/km.nm의 특성을 갖는 광섬유로 제작 상용화 하는 추세이다.(그림 3 참조) 즉 C+L Band에서는 40 Gbps, 50Hz(0.4GHz)의 초대용량 서비스를, S Band에서는 10Gbps, 100GHz(0.8nm)의 대용량 통신이 동시에 가능하게 된다.

4.2. 전파장 저손실 광섬유 (CWDM용 광섬유)

NZ-DSF 광섬유가 장거리 DWDM용 광섬유라 한다면 전파장 저손실 광섬유는 Metropolitan C-WDM (Coarse-WDM)용 광섬유라 할 수 있다. 이광섬유는 OH-이온을 완벽하게 제거할 수 있는 기술을 보유한 업체에서 많이 공급할 수있기 때문에, 단일모드 광섬유(ITU G652)와 차별화한 고부가가치 창출의 수단으로 선진업체가 이용할 여지가 있는 것이다.

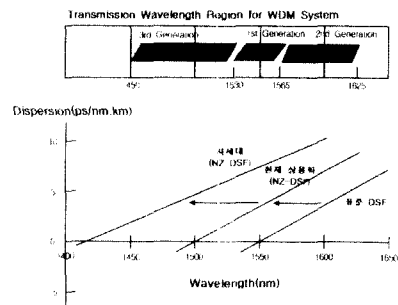


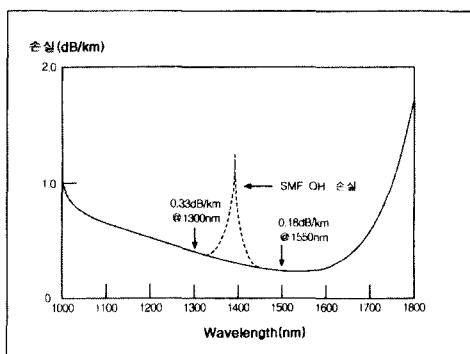
그림 3. NZ-DSF의 적용추세

표 4. 전파장 저손실 광섬유 주요 성능비교

항 목		전파장 저손실 광섬유	일반 SM Fiber	성능 향상	비 고
손실 계수 (dB/km)	1310nm	≤0.34	≤0.36	3%	
	1385nm	≤0.33	≤1.00	300%	
	1550nm	≤0.20	≤0.22	10%	
OH- 피크손실	1383±3nm	≤0.33	≤1.00		
사용파장 대역 (WDM)	1280~1325nm (45nm)		1280~1325nm (45nm)		
	1350~1450nm(100nm)		-		
	1530~1620nm (90nm)		1530~1620nm (90nm)		
계		235nm	135nm	70% (100nm)	
예상 채널 수(WDM)		290ch	160ch	80%	
특기 사항		시내계 WDM 사용시 120ch 추가 확보 가능			

이광섬유는 구조 및 분산 특성 설계가 표준 단일 모드 광섬유(ITU G652)와 동일하고 오직 OH-이온만을 제거하여 전파장에 걸쳐 저손실을 확보 (그림 4. SMF의 OH-손실을 없앤 전파장저손실광섬유 참조)하였기 때문에 기존의 통신라인에 전송장비의 교체없이 그대로 적용하므로 넓은 대역의 이용이 가능하다. 표 4에 전파장저손실 광섬유의 주요성능을 비교하였다.

따라서 Channel Space를 넓게 사용하기 때문에 부품의 단가를 낮출 수 있어 경제적인 망 설계가 가능한 장점이 있으며 현재 각사별로 Anywave Fiber, AllWave Fiber, SMF28e 등의 이름으로 상품화 되어있다



(SMF의 OH 에 의한 손실을 없앤 전파장저손실광섬유)

그림 4. 전파장저손실 광섬유의 손실특성 곡선

5. 전력산업에 이용되는 광섬유 (OPGW)

순수하게 광섬유는 광통신전송망에 사용되는 외에 전력 설비의 계통보호, 설비의 자동화, 업무의 기계화에 대처할 수 있도록 대용량정보를 고품질, 고속으로 전송할 수 있는

디지털 네트워크 시스템에도 중요하게 사용된다. 송전선로를 낙뢰로부터 보호하기 위하여 송전철탑 상부에 설치한 가공지선내에 광섬유 케이블을 내장하여 정보통신 기능을 갖도록 한 광섬유복합가공지선 (OPGW : Composite Fiber Optic Overhead Ground Wire)이 바로 그것으로 꼬임선 중앙부에 광섬유를 내장시켜 송전선로에 필요한 가공지선의 기능과 정보전송로의 양기능을 겸비한 것이다. OPGW는 전자유도 장애의 영향을 받지 않아 높은 신뢰도의 장거리 통신루트가 확보되는 장점과 함께 송전 설비와 통신망이 동시에 구축되므로 타 통신망보다 훨씬 저렴한 비용에 대규모 통신망을 건설할 수 있는 장점도 갖게 된다. OPGW는 광섬유케이블을 수용하는 유닛 구조에 따라 스페이서형, 루트튜브형, 스텐레스파이프형 등의 여러 종류가 있다.

6. 결 론

2000년 현재 광섬유의 전세계 생산량은 약1억km정도로 알려지고 있으며 대략 표준싱글모드광섬유 75%, 비영분산 광섬유20%, 멀티모드광섬유3%, 기타2% 비율로 생산되고 있다. 지역별로는 북미40%, 유럽20%, 일본20%, 한국7%, 중국7%, 기타6%로 생산량을 점유하는 것으로 알려져 있으며 점차 특수 광섬유 수요가 확대되는 경향이 있다. 생산과 공급은 연도별, 지역별, 광섬유 종류별로 각기 다르나 점차 증가하는 초고속, 대용량 통신수요를 수용할 수 있는 차세대 광섬유의 개발로 부가가치를 높일 수 있는 방안을 강구하여야 하며 눈부시게 진보하는 통신기술 및 전송장비의 신기술에 대응한 광섬유케이블의 기술개발, 생산성 향상 등으로 경쟁력을 갖추어야 할 것으로 본다.