<특 집>

광섬유, 그 무한한 정보 고속도로

김 기 대

오래 전부터 봉화, 거울의 반사 등 빛을 이용한 의사 전달 수단이 다양하게 있었지만 1880년에 이르러서야 태양광을 이용한 광전화(photophone)로 음성을 공간 전파에 성공함으로써 광통신 방식의 기본 개념이 세워졌다고 할 수 있다.

이 때 전화를 발명한 벨은 송신측에서 태양광을 받아 그 밝기를 변조해 광신호를 만들고 수신측에서는 광전관으로 광신호를 전기 신호로 변환하여 증폭하는 방법을 이용하였으나 적합한 전송로와 광전변환 소자가 없어 광통신은 더 이상 발전하지 못하고 역사의 뒤안길로 사라진 것처럼 보였다.

군사 목적 등 특수 분야 이외에는 관심을 갖지 않았던 빛을 이용하는 통신이 1960년 레이저가 발명되고서야 광통신에 대한 본격적인 연구가 시작되었다.

1966년 영국 STL의 Kao 박사는 당시 1,000 dB/km 수준의 석영 유리로부터 금속 등의 불순물을 제거한다면 통신에 사용 가능한 저손실 광섬유를 얻을 수 있다는가능성을 논문에 발표하였다.

이에 따라 연구는 급진전을 하였으며 1970년에는 최초로 코닝이 20 dB/km 손실을 갖는 광섬유 개발에 성공함으로써 손실을 낮추기 위한 경쟁적 개발이 시작되었고 현재에 이르러서는 이론 한계치인 0.2 dB/km까지 도달하였다.

광섬유에서 발생하는 광손실 발생 요인에 대해서 알아 보기로 하자. 광섬유 고유 손실인 레일리 산란(Rayleigh scattering)은 입사광의 진동수와 입자의 고유 진동수가 같아질 때 공명에 의해 입자 내의 전자가 그 진동수에서 진동을 시작하고 입자가 빛을 사방으로 방출하게 되어 산란 손실이 생기며 이때 고유 진동수가 완전히 일치하지 않는다 하더라도 산란 손실이 적게나마 발생하게 된다.

제조공정에서는 2000 ℃ 정도로 고온에서 광섬유를 뽑아 20 ℃의 실온으로 급격한 냉각이 될 때 밀도 및 조성의 미소한 변화가 생겨 산란 손실을 일으키며 이 산란 손실은 빛의 파장의 4승에 반비례하기 때문에 산란 손실이 적은 파장대를 선택하여 광통신에 이용하고 있다.

흡수 손실은 유리의 주성분인 SiO_2에 의한 흡수와 그 밖의 조성 성분에 의한 손실이 있으며 이 가운데 SiO_2에 의한 흡수는 자외선 영역과 원적외선에서 현저하게 나타나기 때문에 현재 통신에 사용하는 파장 1.3 μm 및 1.55 μm 영역에서는 큰 영향이 없다.

또한 철, 코발트 등 불순물 이온이 일으키는 흡수 손실은 원재료의 정제 기술이 발달하여 무시할 수 있게 되었으며 수산기(OH기)에 의한 손실도 요즈음은 많이 줄어 들어 문제로 대두되지는 않고 있다.

광섬유는 사용 파장, 전파 모드, 재료, 제조 방법 등으로 분류하고 있으며 여기에서는 구조와 재료 측면에서 광섬유 특성을 살펴 보기로 하자.

유리 섬유라고 하면 단열재용의 글라스 울(glass wool), FRP, 위내시경에 사용되는 fiberscope 등이 얼른 연상되기도 한다. 재질면에서는 유리이므로 모두 같다고 할 수 있으나 빛의 투명도에 있어서는 크게 차이가 난다.

광섬유를 개발 초기에는 유리 섬유라고 부르기 시작하였다. 섬유 모양이며 재질이 유리이므로 유리 섬유라고 불러 특히 산업용으로 사용되고 있는 유리섬유와 혼동을 하게 되었으나 어느

Optical Fiber, the Essential Element for Information Superhighway / Ki-Dae Kim
LG전선(주) 광통신연구소 부소장, (430-080) 경기도 안양시 동안구 호계동 555, Phone: 0343)459-6702, Fax: 0343)456-1041, e-mail: kdkim@dari.lgcm.co.kr

때부터인가 유리 섬유 대신에 광섬유(optical fiber)라고 자연스럽게 부르기 시작하였다.

만들어진 재료에 따라 광섬유를 분류하면

- 석영계 글라스
- 다성분계 글라스
- 플라스틱
- 복합재료
  글래스 코어 플라스틱 클래드
  액체 코어 글라스 튜브 클래드
- 적외 재료 등이 있다.

석영계 통신용 광섬유에서 빛을 전달하는 코어는 클래드보다 굴절률이 약간 높으며 크기는 10~100 μm 정도로 코어와 클래드 경계면에서 전반사를 하면서 목적지까지 신호를 전달하는 원통으로 되어 있는 가는 유리섬유로 외경이 125 μm이다.

광섬유를 만드는 초기에는 천연 석영을 정제한 SiO_2를 클래드로 사용하였으나 현재는 천연 석영보다는 주로 합성 석영($SiCl_4+O_2 \rightarrow SiO_2+2Cl_2$)을 사용하고 있다.

다성분계 글라스 광섬유는 Si, B, Na 등 여러 재료를 혼합하여 구성하므로 다성분계 광섬유라고 부르고 있으며 손실이 석영계 광섬유와 비교하여 수 배 이상 크기 때문에 장거리에 쓰이지는 않지만 코어경이 커서 접속이 용이하고 제조가 쉽기 때문에 건물, 공장 내에 한정하여 통신하는 LAN 등에 드물게 쓰이고 있다.

재료적 측면에서 광섬유 특성을 살펴 보자.

재료가 유리로서 절연체이기 때문에 고압선, 번개, 전철 등의 가공선으로부터의 전자 유도를 받지 않으며 전기를 통하지 않기 때문에 전기적인 접지가 불필요하다. 이러한 특징 때문에 전력선과 함께 매설하여 사용하거나 전력 케이블 속에 광섬유를 함께 넣어 사용하고 있으며 전자 장해가 심한 공장 내 광케이블을 시설하여 사용하여도 신호의 전송 품질에 전혀 영향을 주지 않는다. 특히 케이블 내에 전력 공급이 불필요하기 때문에 전기 스파크에 의한 폭발 위험이 있는 화학 플랜트 등에 안전하게 사용할 수 있다.

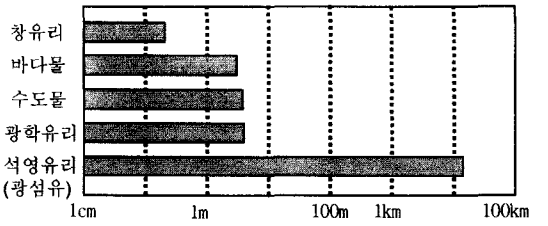
또한 유리의 비중은 기존 구리선의 1/4로 1 km당 27 g 정도에 지나지 않으며 평균 파단 하중은 ~10 kg 정도로 동일 외경인 경우 구리선의 수십 배에 해당되기 때문에 케이블의 크기를 작게 할 수 있고 가벼워서 다루기가 수월하다.

글라스 광섬유 이 외에 요즈음은 플라스틱 광섬유가 조금씩 사용되기 시작하고 있는데 플라스틱 광섬유의 코어는 PMMA, 클래드는 불소 함유 PMMA로 구성되어 있으며 광손실이 석영 광섬유에 비하여 100~1,000배 정도로 손실이 크기 때문에 초기에는 광고용 디스플레이, 장식 등에 사용되어 오다가 요즈음은 손실이 낮아짐에 따라 수 10 m 이내 단거리 LAN, 자동차 내의 배선, 센서 등으로 응용 범위가 확대되어 가고 있다.

또한 플라스틱 광섬유를 통신용으로 사용 범위를 확대하기 위하여 적외선 투과성이 우수한 재료의 연구도 활발하게 진행되고 있다.

복합 재료로 만들어진 광섬유는 고출력 빛을 전달하는 등 특수 용도에 사용되고 있으나 그 용도는 넓지 않다. 또한 3~4 μm 영역에서 투과성이 우수한 할로겐화물 등 적외 재료를 꾸준히 연구하고 있는데 이론적으로 밝혀진 바에 의하면 현재의 광섬유보다 광손실을 1/100 정도까지 낮출 수 있으며 이론적으로 0.01~0.001 dB/km 광손실이 예측되고 있다.

광섬유의 재료 특성은 투명도로 표현되는데 투과하는 빛이 반으로 줄어 드는 거리를 재질별로 알기 쉽게 그림으로 비교하면 다음과 같다.



빛의 강도가 1/2이 되는 거리

통상 투명하다고 느끼는 창유리에서도 15 cm 두께면 빛은 반으로 줄어 드나 광섬유에서는 15 km의 거리에서 대략 반으로 된다.

광전송 기술을 통하여 광섬유가 어느 정도로 투명한지를 알아 보면 광통신 장비의 수신단에서 대략 1/10,000로 감쇠(40 dB)한 광신호를 검출할 수 있으므로 석영계 광섬유에서는 200 km

앞에 있는 빛의 점멸을 식별할 수 있을 정도로 투명하다는 것을 알 수 있다.

통신에 이용되는 광섬유가 전송 선로로서 갖고 있는 장점은 대단히 많다

1. 손실이 적어 전송 거리가 길다.
2. 대역폭이 넓어 대량 정보전송이 가능하다.
3. 부도체이므로 전자유도, 번개 등의 방해를 받지 않는다.
4. 가볍고 가늘어 구부리기가 쉽기 때문에 매설이 용이하다.

이러한 장점을 가진 광섬유 기술은 광통신 선로 기능을 중심으로 하는 정보 전송용 광섬유와 광섬유 특성을 살려서 광부품으로 사용하는 기능성 광섬유로 나눌 수 있다. 최근 광신호 출력이 커지고 신호의 고속화, 파장 다중화가 이루어지면서 종래에는 문제가 되지 않았던 광섬유의 비직선성 때문에 신호가 찌그러져 문제가 되어 비직선성을 적게 할 수 있는 광섬유 개발이 진행되고 있다.

기능성 광섬유에는 광신호 증폭을 위한 Er 등 희토류 첨가 광섬유, 분산을 보상하는 분산보상 광섬유 등이 실용화되어 있으며 비선형성 그 자체를 이용하는 기능성 광섬유가 개발되고 있다.

이미 광섬유 손실은 이론치 한계치에 도달하였기 때문에 어떻게 하면 정보를 많이 보낼 수 있을까 하는데에 관심의 초점이 이루어져 있다. 광섬유 그 자체로서는 무한한 대역폭을 가지고 있다고 할 수 있기 때문에 Terabit 전송 실현도 먼 미래의 기술만은 아니며 머리카락 만한 광섬유 한 가닥으로 많은 가입자에게 동시에 동화상, 음성 및 데이타 등을 제공하는 살아 있는 인터넷 통신이 이루어질 날도 그렇게 멀지 않는 것 같다.

그 무한한 가능성의 정보고속도로인 광케이블은 21세기에 국가 경쟁력을 좌우하는 중요한 인프라가 될 것이다.