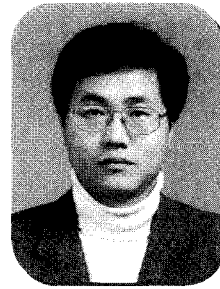


고분자 광섬유의 기술동향



· 김현후 ·
두원공대
전자과 교수



· 김광태 ·
두원공대
전자과 교수

1. 서론

고도의 정보화사회에서 고품질의 화상 서비스, 원격회의 및 실감영상 전달 등의 차세대 서비스를 포함하는 대용량의 광통신, 정보기록과 정보처리의 초고속화를 실현하기 위해서는 현재의 전자기술만으로는 한계에 도달하였으며, 광소자 및 부품들의 성능이 거의 재료의 한계치에 달하였고, 생산가격도 매우 높은 편이다. 따라서, 광전자기술의 개발은 필연적일 것이고, 앞으로 초고속 정보통신사회를 빠른 시일 내에 실현하려면 이러한 부품 물질의 한계를 극복하고, 더욱 향상시키기 위해 신소재의 개발이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

광섬유는 인간의 머리카락 정도의 굵기에 수백 tera bit 급의 신호를 처리할 수 있고, 또한 정보처리의 속도는 일반적인 구리선의 약 수 십만배 이상의 처리능력을 가지고 있다. 석영을 주성분으로 하는 고순도 유리는 자체의 우수한 광학특성, 환경안정성, 내열성 때문에 광섬유 및 광통신 부품제작을 위한 기본 소재로 많이 응용하고 있다. 또한, 최종적으로는 광섬유를 이용하여 광대역 특성을 가지는 빛을 매체로 한 막대한 양의 정보전달을 일상화시키는 것이 목적이라 할 수 있을 것이다. 멀티미디어 사회는

말로 압축되는 고도정보화 시대에서는 정보의 전송, 기록, 보관, 재생 및 표시 기능이 중요시된다.

표 1-1에서는 고분자 광섬유(polymer optical fiber ; POF)와 관련된 기술적 진보를 나타내고 있고, 여기서는 정보전달의 장거리화(저손실화)와 고속화(광대역화)라고 하는 목적으로 얻어진 결과이다. 광을 장거리까지 보다 효율적으로 전송하기 위해 저손실화에 대한 연구는 주로 고분자 분야의 진보를 이룰 수가 있었고, 정보를 동시에 얼마나 많이 보낼 수 있는가를 규정하는 대역특성의 향상에 대한 연구는 유기 첨가물을 이용한 코어의 경사 굴절률화로 대표되고 있으며, 장기적으로 기술의 진전에 의한 고성능의 저가 고분자 광섬유 시스템의 구축은 시간 문제일 것이다.

1968년 미국의 Du Pont사는 PMMA를 사용한 고분자 광섬유의 기초연구 및 개발에 대해 발표하였고, 1972년에 드디어 최초로 상품화하였다. 1980년대 후반에는 고분자 광섬유에 대한 저손실성, 고내열성 및 양산화 등의 생산기술 개발이 이루어졌다. 고분자 광섬유의 개발초기에는 PMMA보다 투명성이 향상된 고분자 재료를 찾지 못하였고, 제작기술의 한계로 인하여 상용화된 고분자 광섬유의 전송손실은 1000dB/km를 상회하여 조명, 장식, 내시경의 이미지

표 1-1. 고분자 광섬유의 주요 개발동향.

연구그룹	주 재료	Cladding material	Class	Minimum Attenuation(db/km)	파장 (nm)	년도
Du Pont	Polymethylmetacrylate(PMMA)	Fluoropolymer	SI	500	650	1966
Toray	Polystyrene (PS)	PMMA	SI	1100	670	1972
Du Pont	PMMA-dB	-	SI	180	790	1977
Mitsubishi Rayon	PMMA	Fluoropolymer	SI	300	650	1978
NTT	PMMA	Fluoropolymer	SI	55	558	1982
NTT	PS	-	SI	114	670	1982
Keio University	P(MMA-VPac)	PMMA	GI	1070	670	1982
NTT	PMMA-dB	-	SI	20	650	1983
Mitsubishi Rayon	PMMA	Fluoropolymer	SI	110	670	1983
Asahi Chemical	PMMA	Fluoropolymer	SI	80	570	1985
Fujitsu	Polycarbonate (PC)	Polyolefin	SI	450	770	1986
NTT	P(5F3DSt)	Fluoropolymer	SI	173	860	1986
Hitachi	Thermoset Resin	Fluoropolymer	SI	600	650	1987
Keio University	P(MMA-VB)	PMMA	GI	130	650	1990
Hoechst Celanese	PMMA	Fluoropolymer	SI	130	850	1991
Keio University	PMMA-dB	PMMA-dB	GI	86	533	1992
Bridgestone	Silicon	Silicon	SI	800	850	1993
Keio University	Perfluoropolymer	-	GI	50	1310	1995
Keio University	Cytop	-	GI	40	1310	1998

유도와 디스플레이 등의 제한된 목적으로만 사용하였다. 1980년대부터 고분자 소재의 다양화와 제작기술의 진보로 고분자 광섬유의 전송손실 감소와 내열성 등이 개선되어 디지털 TV, 컴퓨터, 프린터, 모니터 등과 같은 정보단말을 연결하는 근거리 통신망과 자동차 내부의 통신매체로 응용범위가 급속히 확대되고 있다.

고분자 광섬유에 대한 수요가 확대되리라는 예상은 기존의 석영계 유리 광섬유(glass optical fiber ; GOF)로는 극복할 수 없었던 저가격화를 이룰 수 있었다. 실질적으로 낮은 전송손실 및 넓은 대역특성을 갖는 유리 광섬유와 비교할 때, 고분자 광섬유의 전송 특성은 매우 미흡하다고 할 수 있다. 그러나, 고분자 광섬유의 장점으로는 대구경 코어를 저가격으로 용이하게 얻을 수 있고, numerical aperture(NA)가 높기 때문에 광섬유를 연결할 경우에 접속효율이 높기 때문에 고정밀도를 지닌 고가격의 광 커넥터가 불필요하고, 주위의 부품과의 정밀접촉이 불필요함으로 발광소자에 저가의 LED 또는 vertical cavity surface emitting laser(VCSEL)를 사용할 수 있는 등,

주변부품의 저가화가 가능하다.

단면처리도 금속면 hot-plate를 사용하여 처리하기 때문에 기존의 유리 광섬유에서는 필수적인 고가의 단면연마가 불필요하며 외부 충격에도 안전하므로 근거리 광통신망 설치에 필수적이며, 외부 충격에도 안전하기 때문에 근거리 광통신망 설치에 필수적이며 많은 비용이 요구되는 절단, 연마, 접속, 포설 및 주변부품 등을 저가로 대체할 수 있다.

또한, 광섬유에 고분자 소재를 이용할 때, 가장 큰 장점은 무기재료와 반도체 재료에 비하여 분자화학에 의해서 물질의 성능을 쉽게 제어할 수 있고, 가격이 저렴하며, 응답속도가 빠르고, 광대역폭이 높으며, 소재 제작공정이 저온에서 매우 단순하고 가공성이 좋고, 집적화가 매우 유리하다는 것이다. 특히, 고분자 재료는 저속 및 고속 공간분할광소자 등과 필터소자, 광교환 소자 등에 사용될 수 있다는 매력을 가짐으로 많은 연구기관에서 지원을 아끼지 않는 실정이며, 차세대 이동통신 및 컴퓨터 인터커넥트에 필요한 광교환소자의 제작을 위한 연구과제와 열에 의해 광굴절률의 변화를 이용하는 실용성이 강한 열

광고분자재료 및 소자개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

2. 고분자 광섬유

2.1. 고분자 광섬유의 종류

광섬유는 일반적으로 빛이 유도되는 코어부와 진행하는 빛을 지속적으로 유도하는 클래드부로 구성되어 있으며, 광섬유의 종류로는 실리카가 주성분인 유리 광섬유와 고분자 광섬유로 크게 분류된다. 유리 광섬유는 1966년 Kao 등이 저손실 광섬유의 개념을 도입함으로써 개발되기 시작하였고, 고분자 광섬유는 역시 비슷한 시기에 개념이 도입되었으나 상대적으로 전송특성이 우수한 유리 광섬유에 비하여 큰 주목을 받지 못하였다.

유리 광섬유는 실리카를 주성분으로 하여 MCVD(modified chemical vapor deposition), VAD(vapor axial deposition), OVD(outside vapor deposition) 등의 공법으로 모재를 제조한 뒤에 이를 광섬유상으로 인선하여 만들어진다. 유리 광섬유는 광학적으로 특성이 뛰어나고 전송손실이 0.2~0.3dB/km 수준에 불과한 우수한 전송매체로서 현재 장거리 전송에 사용되고 있는 단일모드 광섬유(single mode glass optical fiber; SMF)와 광역 전송망에 적용되고 있는 중거리 용도의 복합모드 광섬유(multi mode glass optical fiber; MMF)로 나뉘어질 수 있다.

고분자 광섬유는 광학적 특성이 우수한 고분자를 이용하여 모재를 제조한 뒤, 열연신 공정을 통하여 제조하거나 연속인발공법 등을 이용하여 광섬유화한 것으로 유리 광섬유와 마찬가지로 코어부와 클래드부로 구성되어 있다. 고분자 광섬유는 단일모드형도 있을 수 있으나, 장거리 전송용이 아니기 때문에 보통 복합모드형이며, 광섬유 코어의 굴절률이 균일한 SI 고분자 광섬유(step index POF)와 코어 내부의 굴절률이 포물선형의 분포를 나타내는 GI 고분자 광섬유(graded index POF)로 구분할 수 있다. 고분자 광섬유의 코어직경은 50~200 μm 정도이며, 최대 1,000 μm 까지 가능하다는 점에서 SMF 및 MMF와 크게 다르다. 복합모드 광섬유의 가장 큰 특징은 코어경과 NA가 단일모드 광섬유에 비하여 크므로 고가의 LD

대신 저렴한 LED 또는 VCSEL 광원과 쉽게 연결할 수 있고, 정렬 허용값(alignment tolerance)도 상대적으로 크므로 접속손실이 작아 접속작업이 많은 LAN 등 단거리망에 적합하다.

단일모드 광섬유는 대부분 장거리 전송용으로 사용되는 유리 광섬유는 주로 50 μm 또는 62.5 μm 의 코어 직경을 갖는 유리 광섬유와 대부분 고분자 광섬유가 해당된다. 현재까지 개발된 고분자 광섬유는 코어의 높은 굴절률과 클래드의 낮은 굴절률의 불연속 계면 상에서 빛이 전반사하며 진행되는 SI 고분자 광섬유와 코어의 굴절률이 중심축에서 외부방향으로 Gaussian 분포를 가지면서 낮아지며 중심축에 모든 입사광의 모드들이 교차하면서 진행되는 GI 고분자 광섬유의 두 종류가 있다.

2.2. 고분자 광섬유의 제조방법

고분자 광섬유의 제조방법은 전송특성과 밀접한 관계를 갖는다. 고분자 광섬유의 제조과정에서 고분자 재료에 유입되는 불순물이나 공정 미흡으로 인한 광섬유 구조의 변동 등에 의한 고분자 광섬유 특성의 저하가 예상된다. 그러므로, 고분자 광섬유의 제조시에 특성 저하의 요인을 차단할 수 있는 제조방법이 필요하다. 일반적으로 고분자 광섬유의 제조에는 연속 압출법, 단위 압출법 및 모제 인출법 등이 있다. 연속 압출법과 단위 압출법은 단분자의 중합 또는 고분자재료의 준비부터 고분자 광섬유의 제조까지 모든 공정이 밀폐된 연속공정인데 반하여 마지막 방법은 제작된 원통형의 모제로부터 광섬유를 인출하는 방법이다.

연속 압출법은 밀폐된 고열의 반응기 속에 코어용의 단분자를 연속적으로 공급하면서 중합반응을 지속적으로 수행한다. 중합이 끝난 반응기 속의 고분자와 미반응 단분자의 액체 혼합물은 밀폐된 관을 따라 연속적으로 분리기로 전달되고 분리기에서 미반응 단분자를 증류 분리한 후, 정제된 고분자를 압출단에서 압출한다. 동시에 추가의 압출기에서 클래드 재료를 압출하면서 코어와 클래드를 동시에 제조한다. 이러한 방법은 생산속도의 측면에서 큰 장점이 있으나 설비가 복잡하고 고순도의 재료를 얻기가 어려운 단점이 있다. 단위 압출법은 밀폐된 시스템

속에서 단분자 등의 반응물질을 직접 증류하고 정제하여 반응기 속으로 모은 후, 고분자를 소규모로 중합 및 정제하여 고분자를 압출한다. 압출방법은 연속 압출법과 유사하다. 이러한 방법은 고순도의 고분자를 만들 수 있는 장점이 있으나, 생산속도가 느린 단점이 있다. 모재 인출법은 유리 광섬유 인출시 사용하는 가장 보편적인 방법이다. 일반적으로 tube 내에 정제된 단분자를 채우고 그 상태로 중합시켜 고분자 모재를 형성한 후, 인출타워에서 수직으로 모재를 달아 하단부를 가열하여 *take-up drum*으로부터 회전체에 의해 인출한다. 이와 같은 방법은 여러 가지 특성의 고분자 광섬유, 특히 GI 유리 광섬유를 제작할 수 있는 장점이 있다.

2.3. 고분자 광섬유의 전송손실

고분자 광섬유의 전송손실의 요인은 일반적으로 광섬유를 구성하는 재료 자체의 손실과 광섬유의 제조시에 발생하는 불순물이나 구조적인 결함에 의해 생긴다. 불순물이나 구조의 결함에 의한 손실로는 주로 산란손실에 해당하며, 정제기술이나 인출기술 등에 의하여 최소화할 수 있으나, 재료 자체에서 발생하는 흡수손실은 고분자 광섬유의 고유손실이라고 볼 수 있다. 고분자 광섬유의 재료에 따른 전송손실로는 전자전이 흡수손실(*electronic transition absorption*)과 적외선진동 흡수손실(*carbon-hydrogen vibration absorption*)로 크게 구분한다. 일반적으로 고분자는 적외선 영역에서 분자 구조 내의 진동에 의한 고유의 흡수 영역을 가지고 있고, 자외선 영역에서는 전자전이에 의한 고유의 흡수 영역을 가지고 있다. 이러한 흡수 영역들의 영향은 가시 영역 대에서 그 위치나 강도의 차이는 있지만, *harmonic overtone*으로 나타나며, 고분자 광섬유의 전송손실의 중요한 요인이다.

2.4. 고분자 광섬유의 기술현황

PMMA를 코어로 하는 고분자 광섬유는 우수한 가시광 투과성 및 기계적 성질, 저렴한 재료 가격, 대구경화가 가능한 점, 연속공정에 의한 제조가 가능한 점 등으로 Du Pont에 의하여 최초로 개발된 이래 고분자 광섬유의 주류를 이루고 있다. 제품화된

PMMA계 고분자 광섬유는 주로 계단 SI 고분자 광섬유이며, 외경 1mm 정도, 클래딩층의 두께가 10~20 μm 정도로 단면의 대부분을 코어가 점유하기 때문에 축 *alignment*와 결합이 용이하여 커넥터와 허브의 치수정밀도에 대한 요구가 완화된다.

표준화 활동이 왕성하게 이루어지고 있는 광대역 통신용 고분자 광섬유는 비동기 전송모드(ATM) 기기 주변, ATM-LAN 또는 고속 LAN 등에 적용이 기대되고 있다. PMMA계 고분자 광섬유는 손실 특성은 이미 거의 한계까지 도달하였다고 볼 수 있지만, 대역에 대해서는 GI화 등에 의하여 크게 향상될 것으로 예상되고 있다.

고분자 광섬유의 장거리화의 연구목표는 전송손실을 감소시켜 그 한계값에 근사하도록 하는 것이다. 현재 시판되는 제품 가운데 최고의 값을 나타내는 제품은 전송 실용적인 파장인 650 nm에서 손실 한계값이 106 dB/km이다. 이는 PMMA의 이론 한계값에 가까운 값으로 보다 장파장쪽으로 진동흡수를 갖는 고분자의 분자설계가 중요해진다. 실용적인 관점에서 고가의 광섬유는 경제적인 광시스템의 구축의 걸림돌로서 이러한 상황을 극복하기 위한 대안으로 범용 고분자를 코어로 사용한 현재의 고분자 광섬유의 최저 손실치의 활용이 저손실 고분자로서 가장 현실적이라 할 수 있다.

고도 정보화의 의미는 정보말단이 있으면 정보를 자유롭게 즐길 수 있는 환경을 실현하는 것이다. 표 1-2는 622 Mbps의 ATM 규격에서의 말단 영역에 있어 GI 고분자 광섬유가 단거리 고속통신용 전송매체로서 주목받는 이유이다.

GI 고분자 광섬유에서 입사광은 연속적인 굴절현상으로 정현파형으로 전파되는데, 코어의 굴절률은 섬유 중심에서 주위로 갈수록 이차함수적으로 감소된다. 이는 입사각도가 큰 고차 모드와 상대적으로 입사각도가 작은 저차 모드 사이에 군속도 차이를 없앴으로서 모드 분산을 저감하여 광대역화가 가능하게 된다. GI 고분자 광섬유의 제조법에 대해서는 많은 방법이 제안되고 있는데, 표 1-3은 굴절률에 따른 분류를 나타내고 있다.

PMMA계 재료의 100 m GI형 고분자 광섬유의 전송속도 한계는 재료분산의 영향에 의하여 약 3 Gbps

임이 실험적으로 확인되었지만, 전불소화 고분자 재료는 재료분산이 작고 가시광 영역에서 적외선 영역에 이르기까지 투명성이 우수하기 때문에 상이한 파

장의 광원을 사용하여 전송하더라도 광대역으로 될 가능성이 있다.

대량소비가 예상되는 자동차의 엔진룸 내의 배선용 고분자 광섬유, 열세척이 필요한 의료용 내시경에 사용되는 고분자 광섬유, 할로젠 광원을 사용하는 라이트 가이드용 고분자 광섬유 등의 고내열 용도에는 유리 천이온도가 100°C로 내열온도가 80°C 인 기존 PMMA계 고분자 광섬유로는 용도 전개가 어렵다. 이를 해결하기 위하여 PC를 비롯한 많은 내열성 투명 고분자 코어가 개발되어 시판되고 있는데, 내열성과 함께 전송손실의 저감이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 표 1-4는 각종 내열성 고분자 광섬유를 나타낸다. 클래딩 속에 다수의 코어가 배치된 해도구조의 multi core 고분자 광섬유(MC POF)는 내시경 및 이미지 센서 등의 화상 전송용으로 사용되었는데, 최근에 신호전송 용도로 제안되고 있다. MC POF의 최대효과는 굴곡에 의한 광량의 변화가

표 1-2. 622 Mbps-100m 이상 전송시 매체의 특성비교.

조 건	유리 광섬유		고분자 광섬유		금속 전송선	
	SM	GI	GI	SI	UTP	copper cable
전송 손실	◎	◎	○	○	○	○
전송 대역	◎	○	◎	×	×	△
접속 특성	×	△	◎	◎	◎	△
취 급 성	△	△	◎	◎	◎	△
표면 처리	△	△	◎	◎	◎	○
전자노이즈	◎	◎	◎	◎	×	○
섬유 가격	○	△	◎	◎	◎	△
시스템가격	×	△	◎	◎	○	△
신뢰성	◎	◎	○	○	○	◎

◎ : 매우 양호, ○ : 양호, △ : 나쁨, × : 매우 나쁨, UTP : unshielded twist pair

표 1-3. GI 고분자 광섬유의 굴절률에 따른 분류.

Type	준 비 방 법	기 타
Copolymer	Photocopolymerization	Keio Univ.
	Interfacial gel copolymerization 축차식 공중합법	Keio Univ. KJIST
Polymer blending	Ultracentrifugal method coextrusion	Eindhoveo Univ. of Technology(Netheland) Nanoptics, Inc. Florida State Univ.
Du Pont	Interfacial gel copolymerization	Keio Univ.
	Diffusion-out	MIT
	Polymer coating	Sumitomo Electronics
	원심력-분자확산-선택확산법	KIST

표 1-4. 여러 가지 내열성 고분자 광섬유.

연 도	제 작 사	코 어	Loss(dB/km)	파장(nm)	열저항(° C)
1986	Fujitsu	PC	800	765	125
	Asai Chemical	PC	600	770	125
	出光石油化學	PC	560	550	120
	Teijin	PC	600	770	120
	Mitsubishi Rayon	-	1000	700	135
1987	住友電氣工業	Silicone	1000	650	150
	Hitachi wire	crosslinked silicone	1000		150
1992	Bridgestone	liquid silicone	150	590	150
1993	古河電氣工業	Modified PC	380	760	145
1994	일본합성고무	Norborene계	800	680	150
	Toray	acryl copolymer	218	650	125

적다는 것이다.

신호 전송용은 아니지만, 직경이 3mm 이상인 large core 고분자 광섬유(LC POF)가 개발되어 라이트 가이드, 도로 안전조명, 경관 및 장식조명, 자동차용 조명, 센서 등으로 응용되고 있다. LC POF는 재료의 탄성률이 낮지 않으면 굽히기가 매우 어렵기 때문에 재료로서는 엘라스토머나 액체가 채용되고 있다.

초기 평면 도파로형 광소자의 연구는 주로 PMMA를 사용하였다. 그러나, PMMA는 근자외선 영역에서의 광손실이 1dB/cm 이상으로 크기 때문에 개선을 하기 위해 deuterated MMA와 deuterated, perfluoro MA 단량체를 여러 조성비로 공중합하여 굴절률이 조절된 물질을 클래딩 및 코어로 이용하여 광손실이 1.3 μ m에서 0.08dB/cm로 아주 우수한 저손실 광소자를 구현하였다. 미국의 Amoco사에서 광소자용으로 개발한 fluorinated polyimides는 광손실이 1.3 μ m이나 1.55 μ m에서 각각 0.5와 0.9dB/cm로 비교적 크고 불굴절이 큰 단점이 있으나 photo-crosslinking 되도록 분자설계되어 photolithography에 의한 보다 더 단순한 제작 공정으로 쉽게 광소자를 제작할 수 있어 많은 연구가 이루어졌다. 그리고, 최근에는 미국의 Allied Signal사에서 UV-curable fluorinated acrylate를 이용한 광소자를 개발하였다. 1.3 μ 와 1.55 μ m에서의 광손실은 각각 0.03과 0.05dB/cm로 거의 실리카에 대등한 수준을 나타낸다. 표 1-5는 현재까지 발표된 1.3

μ m 또는 1.55 μ m에서의 저손실용 고분자 소재를 나타내고 있다.

광도파로용 선형 광학소재로 요구되고 있는 많은 물질의 특징 중에서 1.3 μ m와 1.55 μ m에서의 낮은 광손실은 가장 중요한 특성이다. 광도파로의 전체 광손실은 물질 고유의 파손수, 고유 광산란, 그리고 먼지, 공정상의 부정확성, void, crack 및 impurities 등의 외부요인에 기인한다.

현재의 광통신시스템은 시간다중분할 방식(TDM)과 파장분할 방식(WDM) 등의 광대역화를 피하고 있고, 필요한 광신호의 발생은 직접변조 방식을 사용하고 있으나, 보다 높은 해상력과 고속정보 처리가 필요한 고도의 종합통신망에서는 비선형광학 물질을 사용하는 수십 Gbps 이상의 처리능력을 갖는 간접구동 방식이 사용될 전망이다. 고속통신 WDM 광네트워크 속에 있는 단말기를 약 100ms 이하의 짧은 시간에 연결시켜 주면서 전기광학 소자의 단점인 편광의존성, 장기 신뢰성의 감소, 광손실 등의 문제를 해결할 수 있는 새로운 광소자의 개발이 절실하다. 이를 만족할 만한 대체 소자가 열광학 소자이다. 열광학 소자의 작동원리는 전기광학 소자의 원리와 유사하게 광도파로 내의 굴절률 변화를 응용한 것으로서 전기광학 소자에서의 전기적인 광신호를 열로 바꾸어 놓은 것으로서, 즉 열에 의해 코어층의 굴절률이 변화하고, 따라서 도파로 내의 광신호 진행방

표 1-5. 저손실용 고분자 소재의 물성.

연구 소	재 료	열안정성(°C)	Birefringence	Optical loss(dB/cm)
Allied Signal	UV-curable Fluorinated acrylate	Td > 350	$\Delta n=0.0008$	0.03
NTT	Deuterated fluorinated methacrylate	Td=100	매우 작음	0.084
	Deuterated polysiloxane	Td > 400	매우 작음	0.17
	Perfluorinated polyimides	Td=309	$\Delta n > 0.04$	0.3
Akzo Nobel	Halogenated polymer	Td > 150	매우 작음	0.25
Dow Chem	Perfluorocyclobutane	Td=400	$\Delta n=0.0008$	0.25
ETRI	Thermal curable FPAE-PEP	Td > 500	$\Delta n < 0.007$	0.2
	Thermal curable FPEK-EP	Td > 400	$\Delta n < 0.003$	0.2
Samsung	Fluoro chlorinated poly(arylene ether)	Td > 400	-	0.2
	Fluoro chlorinated polyimides	Td > 400	-	-

표 1-6. 열광학 소자의 비교.

조 건	실 리 카(silica)	고 분 자
열광학계수(dn/dT)	low($-1.4 \times 10^{-5} / K$)	high($-14 \times 10^{-5} / K$)
열전도율	high(1.4W/mK)	very low (0.05~0.2W/mK)
사용 전력	high(500mW)	very low(5~50mW)
재료 구조	interferometric (Mach-Zehmdner)	interferometric/digital (MZ, DC/X, Y-switch)
광손실 (통신과장영역)	very low(0.04dB/cm)	low(< 0.3 dB/cm)
속도	1ms	1ms
분극 의존	low(< 1 dB)	very low(< 0.3 dB)
가격	cheap	cheap
대표적인 재료	power splitter	thermo-optic switch

향이 바뀌게 되어 스위칭 역할을 하게 되는 것이다. 이와 같은 열광소자는 광도파로 및 스위칭의 제작이 매우 단순하다는 장점과 더불어 시간에 따른 성능의 감소, 극성물질의 존재로 인한 광손실의 감소 등과 같은 비선형 광학소자에서 발생하는 제반문제가 거의 없다는 커다란 장점이 있다. 열광 스위치 재료로는 굴절률 변화가 있는 모든 물질들로 실리카와 같은 무기물 및 유기 고분자가 사용될 수 있다.

최초로 제안된 열광 스위치는 1982년 Haruna 등에 의해 제작된 실리카를 이용한 것으로 이후에는 여러 가지 무기물과 고분자 물질을 이용할 수 있었다. 표 1-6에서는 무기물과 고분자 물질들의 차이를 나타내고 있고, 무기물의 굴절률 변화값이 고분자에 비해 작기 때문에 소비전력이 매우 큼으로 열광학용 소재로는 부적합하다. 반면에 고분자의 열에 의한 광굴절률 변화는 온도에 따른 밀도변화, 즉 열팽창계수와 밀접한 상관관계를 가지고 있으며, 굴절률 변화의 값은 무기물에 비해 10배 이상 큼으로 전력손실을 크게 줄일 수 있다.

2.5. 고분자 광섬유의 응용

최근에 LAN으로 통칭되는 근거리 통신망의 보급을 크게 촉진시키고, 또한 인터넷과 PC 통신 등의 근거리 통신망을 통한 정보사용량이 기하급수적으로 늘어나고 있다. 그리고, PCLAN의 고속화 움직임은 CPU의 처리속도 향상과 오디오/비디오 기기의 성능 향상과 네트워크에 따라 많은 정보량을 처리할 수

있는 기술이 요구되고 있다.

고분자 광섬유는 코어 직경이 약 100~900nm 정도로 통신용 유리 광섬유의 코어 직경(6~62.5 μ m)과 비교하여 대단히 크다. 고분자 재료의 가격은 고순도 석영과 비교하여 대단히 싸다. 예로서, 광학용으로 많이 사용되는 PMMA는 일반적으로 사용하는 PMMA에 비해 상당히 고가이지만, 광학용 고순도 석영과 비교하면 단위 중량

당 가격은 30분의 1 이하이다. 따라서, 재료의 원가에 대한 부담이 없고, 대구경의 광섬유를 제작할 수 있다. 또한, 광섬유 설치에 있어서도 뛰어난 접속작업성으로 저가격성이고, 고분자 재료의 특성상 절단면의 연마처리가 쉽기 때문에 현저한 비용절감을 이룰 수가 있다.

한편, 고분자 광섬유는 전송거리가 짧고 고분자의 기계적 성질을 살릴 수 있는 자동차 분야로의 응용이 클 것을 예상된다. 엔진룸 내의 EMI에 대한 영향을 심하게 받는 장소로부터 통신배선을 자유롭게 할 수 있고, 자동차 내부의 협소한 실장공간으로 인하여 굽힘이나 유연성 등의 요구가 절실한 특성으로 자동차내의 모든 장소에서 자유로이 사용하는 것이 가능하다. 자동차나 비행기 내에 내장되는 고분자 광섬유의 경우, 일반 건물 내에서 사용하는 LAN용의 고분자 광섬유보다 단거리에서 사용하지만, 충격이나 환경 등의 조건에서도 일정한 전송특성의 유지가 요구된다.

종래의 내열온도가 80°C 정도인 PMMA나 PS를 기본으로 하는 고분자 광섬유들은 향후 대량 소비를 예상하는 여러 분야의 내열 특성을 요구하는 용도로는 사용할 수 없었다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 에서 125°C의 내열성과 굽힘 특성이나 내충격성에 뛰어난 PC계열의 고분자 광섬유가 출현하였다. 그러나, 전송손실이 단파장 가시광선영역에서 PMMA보다 매우 뒤떨어지고, 조명용도 등에 사용할 경우 완전한 백색광을 얻을 수가 없다. 최근에는 150

°C 이상의 내열성을 갖는 고분자 광섬유가 개발되어 양산되고 있다.

3. 고분자 광섬유의 전망

초고속 멀티미디어가 수년 내에 보편화될 것으로 전망됨에 따라 홈 네트워크 등에서 초고속 LAN의 필요성이 요구되고 있고, 여러 전자업체는 고분자 광섬유를 연결하여 이용하는 시스템 연구개발이 진행 중인 것으로 알려지고 있다. 현재 연구 개발이 진행 중인 홈네트워크 프로토콜은 대략 8가지로 크게 무선 및 유선으로 분류하는데, 무선 네트워크 기술로는 Bluetooth, Home RF, Wireless LAN이 있고, 유선 네트워크 기술로는 Ethernet, Home PNA(phone line alliance), IEEE1394, PLC(power line communication), USB(universal serial BUS)가 있다. 가까운 시일 내에 HDTV와 케이블 TV 등 멀티미디어가 급속히 보급되면서 정보전송량이 크게 증가할 경우 고분자 광섬유가 크게 주목받을 전망이며, 향후 수년 내에 현실화될 것으로 보이는 고도정보화 사회에서 가격이 저렴하고, 사용이 편리한 고분자 광섬유는 또다시 혁신적인 발전을 가능하게 해 줄 것으로 기대된다.

최근 들어 저손실 고분자 광도파소재(LLPOW)가 계속 개발되어 낮은 광도파로 손실, 높은 열광학 효과, 편리한 가공성을 이용한 다양한 광소자 연구가 진행되고 있다. LLPOW는 WDM 광소자뿐만 아니라 광상호연결소자, power splitter, combider 및 polarizer와 같은 수동소자, 열에 의한 광신호를 제어하는 열광학 스위치, 가변감쇄기 등의 열광학 소자에 사용된다. 통신목적의 고분자 광섬유 및 시스템에 대한 괄목할만한 개발동향은 미국으로부터 알 수 있으며, 광통신에 있어 가장 큰 문제점은 광접속 기술이라는 optical interconnection 기술이다. 이러한 광접속 기술이 저가로 실행되어야만 저가의 고속 LAN을 채택할 수 있기 때문에 미국에서는 1994년부터 고분자 광섬유에 대한 지원을 아끼지 않았다. 이외에도 고분자 광섬유는 자동차, data 전송 및 다른 고분자 광섬유 통신시장에서 주목받는 저가의 매체로서 가장 유망하다고 할 수 있다.

참고문헌

- [1] 강종석, 길상천, 고분자 광섬유, 기술동향분석보고서, 한국과학기술정보연구원, 2002.
- [2] 김세훈, 박수영, 광기능성 유기 고분자소재, 재료마당, Vol. 15, No. 4, p. 5, 2002.
- [3] 전자신문 발췌

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성명 : 김 현 후

❖ 학 력

- 1982년 단국대 전기공학과 공학사
- 1984년 한양대 전기공학과 대학원 공학석사
- 1988년 Louisiana State Univ. ECE(MS)
- 1994년 New Jersey Institute of Tech. ECE(Ph. D)

❖ 경 력

- 1995년 - 현재
두원공과대학 디지털전자과 부교수 재직중

❖ 주 관 심 분 야

- 전자 세라믹

성명 : 김 광 태

❖ 학 력

- 1984년 경북대 전자공학과 공학사
- 1987년 경북대 대학원 전자공학과 공학석사
- 2000년 경북대 대학원 전자공학과 공학박사

❖ 경 력

- 1984년 2월 - 1984년 10월
금성 광통신(주) 근무
- 1987년 2월 - 1996년 2월
국방과학연구소 선임연구원 근무
- 1996년 3월 - 현재
두원공과대학 디지털전자과 부교수

❖ 주 관 심 분 야

- 퍼지제어, 적응제어, 로보틱스