특 집

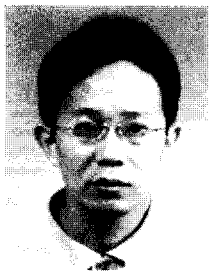
근거리 광대역 통신용 Plastic Optical Fiber 개발 및 IEEE 1394 표준화 최근 동향

황 진 택·최 진 성·조 한 솔

1. 서 론

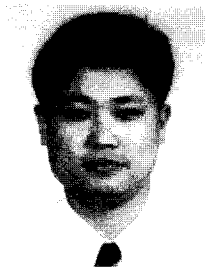
디지털 혁명이라 부르는 오늘날의 인터넷혁명 속에서 이동통신, 디지털 가전제품의 보급, OA 기기에 결합된 PC 등이 가전제품의 하나로 대부분의 가정에 보급되었고, 디지털 위성방송 및 디지털 지상파 방송 등에 대응한 기기 등 가정의 가전제품을 모두 네트워크화 하는 시스템이 급속도로 진행되고 있다. 즉, 오늘날은 가정 내까지 광파이버로 둘러쌓인 멀티미디어의 시대가 도래하고 있고 온갖 정보화 사회의 도래와 인터넷의 폭발적인 보급으로 우리 사회가 필요로 하는 정보통신 데이터의 양은 기하급수적으로 증가하고 있으며, 이미 동화상 이미지의 전송과 같은 대용량의 정보전송이 요구되고 있다. 구리선을 기초로 한 케이블들은 전자파 장애 등의 이유로 수십 Mbps 이상의 신호전송이 불가능하기 때문에, 고속 전송에는 지금까지 널리 사용되어온 구리선을 전송매체로 사용하는 통신시스템을 이용할 수 없다.

현재 정보통신용량의 증대로 도시와 도시를 이어주는 장거리 전화회선의 대부분은 전송손실이 적고, 광신호를 장거리까지 이상적으로 전송이 가능한 매체인 유리 광섬유로 교체되어 기간망에 있어서 통신의 *bottleneck*은 해소된 상태이며, 전화국 사용자간의 access망에 대해서도 광섬유 네트워크를 도입하여 고속화하려는 계획 (Fiber To The Home : FTTH)이 세계적으로 진행되고 있다. 그런데, 가정 및 오



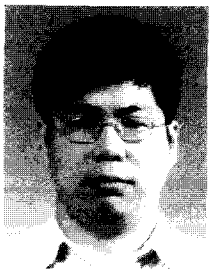
최진성

1984~1989 한양대학교 섬유공학과 (학사)
1989~1991 한양대학교 섬유공학과 (석사)
1991~1995 한국섬유기술 연구소
1995~현재 삼성종합기술원 E-Polymer Lab. POF 개발 Project 담당



황진택

1983~1987 경희대학교 화학과 (학사)
1987~1991 한국과학기술원 화학과 (이학박사)
1991~1994 삼성종합화학연구소 신소재 연구팀
1995~현재 삼성종합기술원 E-Polymer Lab. POF 개발 Project Manager



조한솔

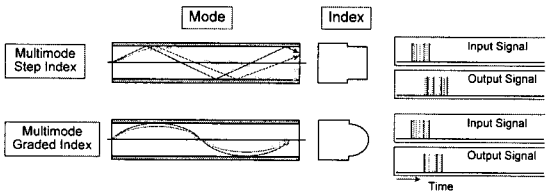
1988~1992 한국과학기술원 화학공학과 (학사)
1992~1994 한국과학기술원 화학공학과 (석사)
1994~1999 한국과학기술원 화학공학과 (박사)
1999~2000 기능성 고분자 신소재 연구센터
2000~현재 삼성종합기술원 E-Polymer Lab. POF 개발 Project 담당

Recent Trends for Development of Plastic Optical Fiber for Short Distance High Speed Communication and Standardization of IEEE 1394

삼성종합기술원, E-Polymer Lab. (Jin-Taek Hwang, Jin-Sung Choi, and Han Sol Cho, E-Polymer Lab., Samsung Advanced Institute of Technology, P.O.Box, Suwon 440-600, Korea)

표 1. GOF와 통신용 POF의 비교

	Single Mode Glass Optical Fiber (SM-GOF)	Multi Mode Graded Index Plastic Optical Fiber(GI-POF)
Fiber의 구조		
광의 진행원리인 굴절률 분포		
용도	국가간, 도시간 기간망 연결	Home network, Office LAN
단점	고가이며 연결이 어려움 부러지기 쉽고 다루기 힘듬	현재 개발 및 상업화 단계 표준이 정해지지 않음
장점	원거리 초고속 통신	대구경, 다루기 쉽고, 저가격 정보 전송량이 많음



(a) (b)

그림 1. POF의 종류.

피스까지 이 광섬유를 끌어 오고자 하면 여러가지의 문제가 생긴다. 유리 광섬유 (이하 GOF)를 이용한 근거리망 구성에 있어서 가장 주된 문제점은 머리털의 1/10 수준의 광섬유를 입사, 접속, 분기시 막대한 비용 (고가의 커넥터, 설치 비용 등)이 소요되기 때문이다.

최근에 이와 같은 이유로 근거리망에서는 코어 직경이 커 접속이 간단하고 유연성이 높은 플라스틱 광섬유 (이하 POF)가 성능 및 비용적인 측면에서 주목받고 있다. GOF와 통신용 POF의 비교를 **표 1**에 나타내었다.

코어부의 높은 굴절률과 클래드부의 낮은 굴절률을 가지는 step index형 POF (이하 SI POF)는 굴절률의 불연속 계면상에서 빛이 전반사하면서 진행하기 때문에 저속, 저용량의 단거리 전송, 조명 및 image guide 등에 응용되고 있으며, 코어부의 굴절률이 중심축에서 외부방향으로 Gaussian 분포를 가지면서 낮아지는 구조를 가지는 graded index형 POF(이하 GI POF)는 빛이 높은 굴절률 내에서 진행하는 원리에 따라 광축에 모든 입사광의 모드들이 교차하면서 진행하기 때문에 전송대역폭이 넓고 대용량 고속 전송에 적합하다. **그림 1**에 코어의 굴절률 분포에 따른 POF의 종류를 나타내었다.

PC 환경을 둘러싼 기술혁신, AV 기기의 디지털화로 인해 10년 전에는 예측할 수 없던 수백 Mbps

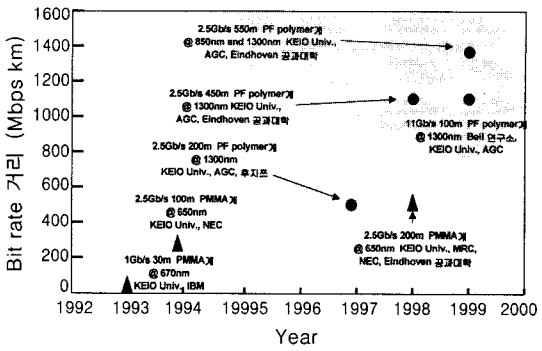


그림 2. GI POF의 전송 역사.

이상의 대용량의 데이터 통신이 가전제품의 영역에서도 필요해지고 있다. 이 요구에 대해 기존의 금속 케이블 뿐만 아니라 SI POF는 모드 분산이 크기 때문에 충분한 전송속도를 확보할 수가 없지만, GI POF는 실험실 수준이기는 하지만 수 Gbps · 수백 m order의 전송이 가능한 것이 확인되어, LAN 및 home network의 물리층으로서 향후 크게 기대된다. **그림 2**에 GI POF를 이용한 고속전송실험의 역사를 나타내었다. 일본의 Asahi Glass사(이하 AGC)와 미국 Bell 연구소가 공동으로 10 Gbps · 100 m의 전송실험성공이 1999년 3월에 보고되었다. 현재까지 근거리 통신 이용은 SI POF가 전송거리 100 m, 전송속도 150 Mbps 내외의 제한적인 용도에서 사용되어왔으나, GI POF가 1990년도 초반에 발표된 이후로 발전을 거듭하여 수백 m 거리에서 1 Gbps 이상의 고속 정보전달이 가능한 통신 매체로서 세계적인 주목을 받고 있다.[1]

본 고에서는 POF의 일반적인 상식 및 개발동향에 대해서는 가급적 소개를 지양하고, poly-methylmethacrylate(이하 PMMA), fluoro polymer 소재를 중심으로 한 근거리 광대역 통신용 POF의 특성 및 최근 시장동향에 대하여 언급하며, 특히 이와 관련된 IEEE 1394 표준화 동향에 대하여 상세히 언급하고자 한다.

2. GI POF 특성

2.1 POF의 전송손실

POF는 고분자가 가지는 고분자내의 원자나 원자단이 광을 흡수하는 성질에 의한 광손실이 크므로 전송손실이 매우 크다. 그러므로 POF는 단거리

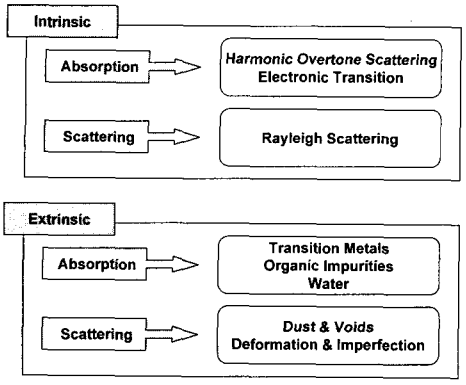


그림 3. 전송손실을 유발하는 factor.

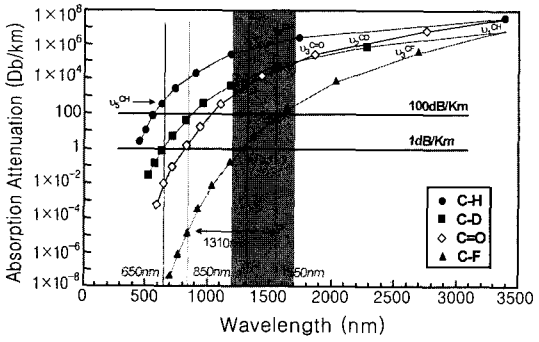


그림 4. C-X overtone에 의한 흡수손실.

전송에 많이 쓰인다. POF의 전송손실 요인은 일반적으로 광섬유를 구성하는 재료 자체의 구조에 의해 기인되는 고유의 흡수 및 산란에 의한 손실과 광섬유의 제조시에 발생하는 불순물이나 구조적인 결함에 의하여 생기는 외적인 요인에 의한 광손실로 크게 나누어 볼 수 있다. **그림 3**에 POF의 전송손실 요인을 나타내었다.[2]

초기에 POF용으로 사용된 PMMA와 PS는 고분자내에 C-H 결합이 많아 고유의 흡수손실이 많으므로, 이러한 C-H 결합에 의한 흡수손실 문제를 해결하기 위하여 1977년 DuPont사에서 PMMA의 수소들을 중수소로 치환한(PMMA-d_8) POF에 대한 전송손실 (180 dB/km, 750 nm)을 보고하였으며, 결과적 중소수의 치환은 harmonic overtone을 장파장으로 이동시킴으로 광원으로 쉽게 구할 수 있는 650 nm 및 750 nm 파장 대에서 최저 손실을 얻을 수 있다. NTT에서도, PMMA-d_8을 사용하여 최저 손실 파장 650 nm에서, 전송손실 20 dB/km를 보고하였다. 또한 C-F 결합에 대한 저손실 가능성에 대한 결과가 알려지면서 불소화 수

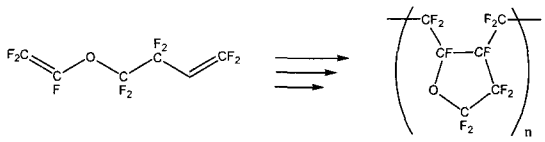


그림 5. Cytop의 단량체와 폴리머 구조.

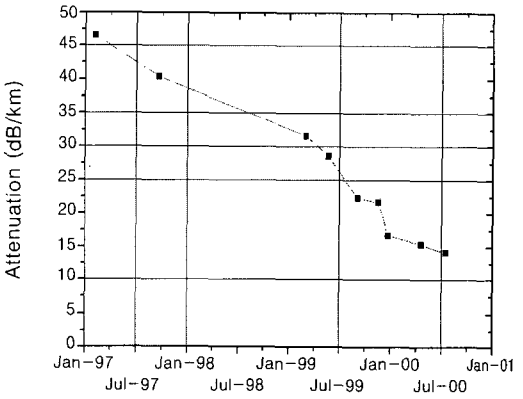


그림 6. History of attenuation reduction.

지를 사용하여 POF의 전송손실을 최소화하는 개발 방향이 정립되었다. **그림 4**는 C-H의 수소를 D, F 등의 무거운 원소로 대체하면 C-H 결합의 적외영역의 흡수가 장파장 쪽으로 이동하는 원리를 응용한 것으로 가시 영역 및 근적외 영역에서의 손실을 감소시킨다. 이 결과로 보면 불소 수지로 PMMA를 완전 치환할 수 있으면 GOF에 필적하는 전송손실을 POF에서 얻을 수 있음을 시사하고 있다.

비결정질 완전 불소 수지 "Cytop"(**그림 5**)을 사용하여 제작된 GI POF "Lucina"의 경우, 1310 nm를 포함한 대부분의 가시 영역과 근적외 영역에서 50 dB/km 이하의 전송손실을 보이고 있다. 또한, 그 이론적인 전송손실 값은 GOF의 이론적인 손실값인 1310 nm에서 0.3 dB/km 및 1550 nm에서 0.1 dB/km 이하의 저손실 특성을 보임에 따라, 향후 POF의 응용 범위를 더욱 넓힐 수 있다. **그림 6**에 완전 불소계 GI POF의 손실감소의 역사를 나타내었다.

POF 용도로 사용될 수 있는 폴리머 구조는 **그림 7**의 모델에서 나타난 바와 같이 시스템내에 결정질 부위가 존재하게 되면 광산란이 많이 일어나 손실을 야기하므로 완전한 비결정질로 구성되어야 한다.

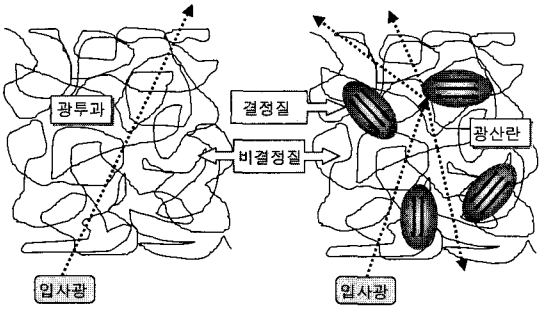


그림 7. 결정질 부위를 가지는 폴리머의 광산란 모델.

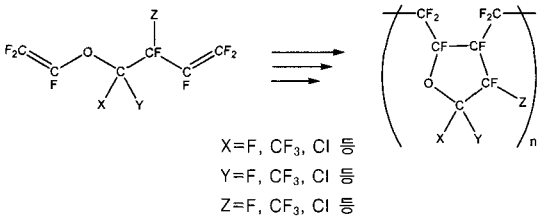


그림 8. High T_g형의 Cytop의 단량체 및 폴리머의 구조.

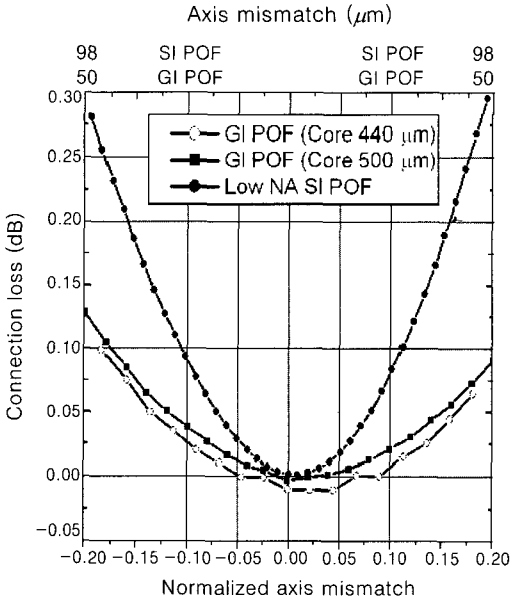


그림 9. 코어 직경이 다른 2가지의 GI POF 및 시판되는 SI POF에 관한 접속손실특성.

최근에 완전 불소 폴리머에 내열성을 향상시키기 위하여 Cl기를 도입하려는 연구가 시도되고 있지만(**그림 8**), 시장확대의 측면에서는 코어의 직경을 확대하고 재료의 가격을 낮추는 것이 필수적이다.

2.2 GI POF의 접속특성

GOF와 비교했을 때의 POF의 최대의 잇점은 광이 전파하는 코어 직경이 크고 유연하고 굽힘에 강한 것일 것이다. 이 때문에 2개의 섬유를 접속할 때에 저가인 플라스틱 사출물 커넥터를 쓰는 것이 가능해진다. 이 섬유간의 접속손실은 섬유끼리의 축차이, 섬유간에 생기는 틈, 섬유 광축의 각도차이 등에 의해 생긴다. 접속손실 특성으로 GI POF간의 접속이 매우 간편해질 수 있으며, 이와같은 특성은 광원으로 652 nm에 발광 중심파장을 갖는 반도체 레이저를 이용해서 20 m과 2 m의 섬유를 접속해 2 m 섬유에서의 축차이에 대한 출사광 강도변화를 측정함으로써 증명되었다.[3]

그림 9에 코어 직경이 다른 2가지의 GI POF 및 시판되는 SI POF에 관한 접속손실 특성을 나타내었다. 그림의 횡축에 나타낸 값은 축 차이량을 코어 반경에서 뺀 규격화 축 차이량이다. 사출성형에 의해 제작되는 커넥터의 정밀도를 30 μm 라고 예상하면 이 축 차이에 대해 GI POF가 0.03 dB 정도의 접속손실인데 비해 SI POF는 코어 직경이 980 μm로 대구경임에도 불구하고 동등한 접속손실이 생기는 것을 알 수 있다. 이 SI형과 GI형과의 사이에 나타나는 축 차이에 의한 접속손실의 차이는 출사 near field pattern (NFP)이 SI형과 GI형에 따라 크게 다르기 때문이다. SI POF의 경우에는 NFP의 강도분포는 섬유 코어 전체에 걸쳐 균일한데 비해 GI POF는 그 강도분포가 코어 중심에서 가장 커지는 포물선 모양으로 되어 있다. 실제로 GI POF의 출사 NFP는 굴절률 분포 형상과 유사한 형상이 되는 것이 이론적으로도 밝혀졌다. 따라서 SI POF끼리는 축 차이가 생겨 접속된 경우에는 겹치지 않는 코어 영역의 면적에 비례한 광손실이 생기게 된다. 한편 GI POF는 약간의 축 차이가 생긴 경우에도 코어-클래드 계면 근방에서의 출사광 강도가 작기 때문에 광손실이 작다. 이 때문에 GI POF는 코어 직경을 500 μm로 한 경우에도 커넥터의 설계는 코어 직경 980 μm의 경우와 같은 정도의 공차가 허용되는 것이 밝혀졌다. 반면에 multi-mode GOF는 코어 직경이 50~62.5 μm이기 때문에 30 μm의 축 차이는 막대한 접속손실이 되는 것을 알 수 있다.

2.3 GI POF의 대역 특성

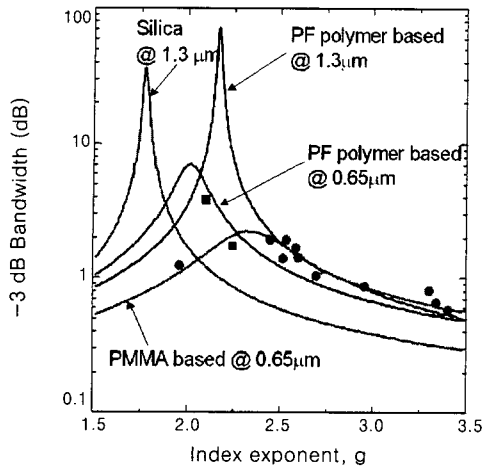


그림 10. GI POF의 굴절률 분포 형상과 전송대역과의 관계.

GI POF의 전송대역은 코어에 형성되는 굴절률 분포형상에 의존한다. 광대역화에 필요한 최적 굴절률 분포를 밝히고 얻어진 이상형상을 형성시키는 방법이 중요과제가 된다. GI POF의 굴절률 분포를 반경 r의 누승함수로서 (1)식으로 근사한다.

$$n(r) = n_1[1 - 2\Delta(\frac{r}{a})^g]^{1/2} \qquad 0 \le r \le a$$
$$n(r) = n_2 \qquad r > a \qquad (1)$$

여기서 n_1, n_2는 각각 코어 중심 및 클래드의 굴절률, a는 코어 반경, Δ는 비굴절률차를 나타내고 g는 굴절률 분포 계수라고 불린다. 반도체 레이저를 광원으로서는 실제의 fiber network를 생각한 경우에 관해서 계산된 전송대역특성과 굴절률 분포계수 g와의 관계를 **그림 10**에 나타내었다. 그림에 나타나 있는 바와 같이 PMMA계 GI POF의 파장 0.65 μm에서의 최적 굴절률 분포형상은 g=2.4부근에 존재하고 그 전송대역은 섬유 길이 100 m에 대해 3 GHz정도이다. 그림 중의 plot는 실제로 여러가지의 분포를 갖는 GI POF를 제작해 그 전송대역특성을 실측한 결과이지만 이론치와 좋은 일치를 나타내고 있다. 상술한 바와 같이 수백 Mbps/s · 100 m 이하의 home network에 PMMA계 GI형 POF를 적용하는 경우에는 GHz order의 전송대역은 충분하다. **그림 10**으로 알 수 있듯이 굴절률 분포형상이 약간 이상 분포형상으로부터 벗어난 형상인 경우에도 충분하게 전송대역을 확보할 수가 있다.

최근 저손실화를 가능하게 해 100 m 이상의 링

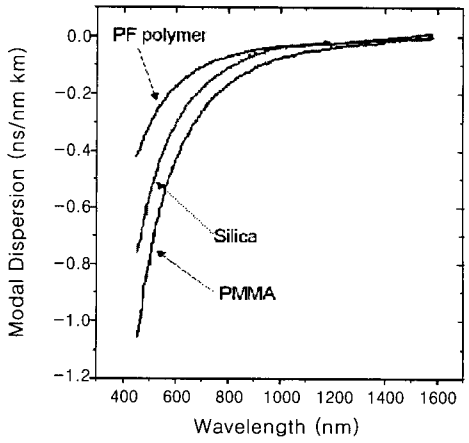


그림 11. 실리카와 폴리머의 material dispersion.

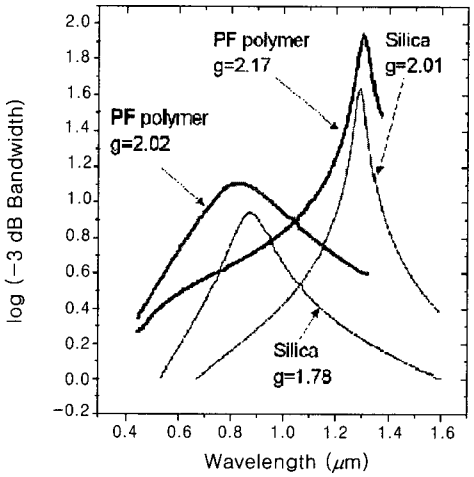


그림 12. GOF를 능가하는 세계최고 속도인 완전 불소계화 폴리머계 GI POF의 전속대역 특성.

크 구축이 가능해지는 완전 불소화 폴리머계 GI POF가 보고되어 있다. 이 완전 불소화 폴리머계 GI POF의 전송대역특성은 **그림 10**에 나타나 있는 바와 같이 파장 0.65 μm에서도 섬유 길이 100 m의 전송대역은 약 7 GHz, 1.3 μm에서는 약 90 GHz의 광대역이 실현되는 것으로 추정된다. 이것은 위에서 언급한 완전 불소화 폴리머가 PMMA에 비해 굴절률의 파장 의존성, 즉 재료분산이 작기 때문이다. 재료분산에 관한 상세한 검토의 결과, 완전 불소화 폴리머의 재료분산은 석영의 그것보다도 작다. 따라서 석영계의 GI형 멀티모드 섬유 이상의 광대역화가 가능한 것을 알았다. **그림 11**에 재료의 분산을 나타내었다.

완전 불소화 폴리머계 GI POF는 넓은 파장역에

걸쳐 저손실성을 나타나 있기 때문에 전술한 DVD-ROM용 반도체 laser (0.65 μm)만이 아니고 0.85 μm대의 VCSEL이나 1.3 μm 대의 통신용 레이저를 광원으로 한 링크가 병행하여 제안되고 있다. 섬유를 제작할 때는 사용파장에 따라서 최적 굴절률 분포형상이 다른 것은 바람직하지 않고 어떤 한 개의 굴절률 분포형상을 갖는 POF가 다파장대에서 항상 광대역을 갖는 것이 바람직하다. 계산으로 예측되는 완전 불소화 폴리머계 GI POF의 전송대역특성의 파장 의존성을 석영계와 비교해 **그림 12**에 나타내었다. **그림 12**에 제시되어 있는 각 굴절률 분포계수 g =2.17, 2.05, 2.02는 완전 불소화 폴리머계 GI POF에서 각각 파장, 1.3, 0.85, 0.65 μm에서의 최적 굴절률분포를 g =1.78, 2.01은 석영계 멀티모드 섬유의 파장 1.3, 0.85 μm에서의 최적 굴절률 분포형상을 나타내고 있다. 각각 알맞게 설계했을 때의 전송대역특성을 비교하면 완전 불소화 폴리머계 GI POF의 전송대역특성이 석영계 멀티모드 섬유를 크게 상회하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 완전 불소화 폴리머의 저재료 분산성에 의한 것이다.

2.4 GI POF의 신뢰성

POF의 신뢰성 평가와 관련된 국제 표준은 유럽의 IEC 60793-1:1995, 60794-1:1999, EN 187000:1992, 188000:1992 등이 있고 일본에는 JIS C-6861:1999, 6862:1991, 6863:1990 등이 있다. 이중 European standard EN은 IEC중 가장 구체화된 표준이다. 이러한 제정들은 독일중심의 서유럽에서 정치 및 경제적으로 독립적이며 비영리를 목적으로 하는 단체들인 VDI와 VDE라고 하는 전기, 전자 및 정보 기술 협회들과 전기 공학의 모든 영역에서 표준과 안전을 규정짓는 역할을 하는 독일의 DKE (VDE 산하단체임, 그밖에 IEC, CLC, ETSI 등도 있음)들이 서로 네트워크를 형성하여 유럽과 국제 표준작업을 하고 있다. VDI와 VDE 두 단체는 DIN이라는 단체를 통해 표준화 작업을 하고 있으며 올바른 테스트와 측정 방법 정의, 테스트와 측정 방법의 화합, 테스트와 측정 방법의 질적 향상, 테스트와 측정 결과의 비교, 반복, 자취성 향상, 기술 발전 자극, 경험 교환과 기술 이전 증진 등의 목적으로 활동중이다. IEC 표준에서 가장 중요하게 생각하는 것은 광평가로 감쇠 (attenuation), 개구수 (numerical aperture), 대역폭 (bandwidth)이고 신뢰성 측면에서는 장력, 하중, 충격, 반복 및 고정 휨, 비틀림, 굽힘성 등이다. 각종 국제표준 및 POF 제조회사와 평가기관의 평가항목은 **표 2**에 정리되어져 있다.[4]

PMMA계 POF의 신뢰성에 영향을 미치는 인자

표 2. POF 신뢰성 평가방법과 표준화

	Standards			Particular Test Methods of Manufacturers and Test Laboratories			
Test Parameters	IEC 60793-1 60794-1	JIS C6861	EN 187000 188000	Asahi Chemical Ind. Co.	BAM	Mitsubishi Rayon Co.	Toray Ind. Inc.
Tensile strength	•	•	•	•	•	•	•
Compressive load	•	•	•	•	•	•	•
Impact	•	•	•	•	•	•	•
Torsion	•	•	•	•	•	•	•
Repeated bending	•	•	•	•	•	•	•
Static bending	•	•	•	•	•	•	•
Flexing	•		•		•		
Snatch	•		•				
Kink	•		•			•	
Abrasion	•		•				
Temperature cycling	•		•	•	•	•	•
High temperature				•	•	•	•
Low temperature					•		•
Ageing					•	•	
Chemicals					•	•	•
Industrial atmosphere					•	•	
Flammability						•	
Radiation	• (nuclear)		• (nuclear)		• (UV)		

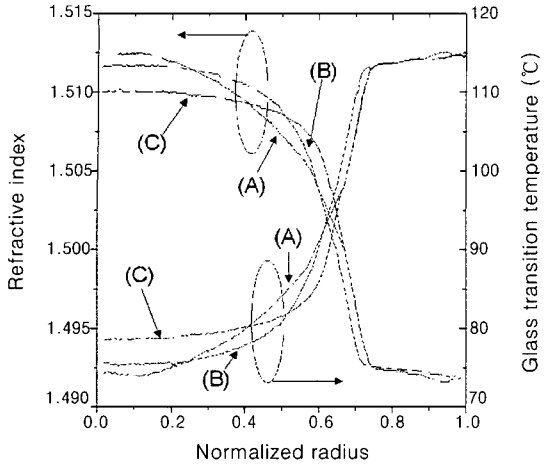


그림 13. Thermal stability of the refractive index profile and glass transition temperature profile of 20 wt% dipheyl after aging at 85 ℃. (A) Original, (B) after 10 h, and (C) after 24 h.

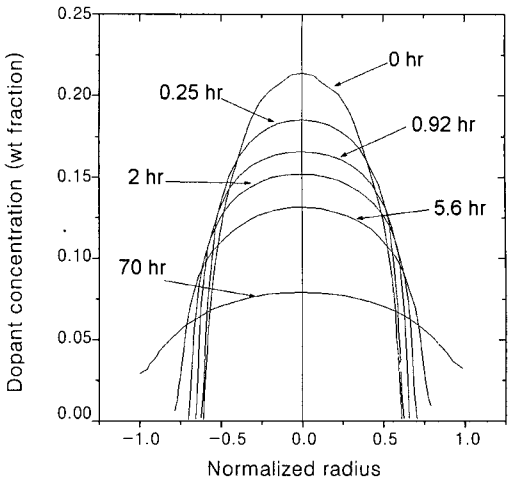


그림 14. Dopant concentration profiles for GI-POF, aged at 150 ℃, predicted by numerical simulation using diffusion data of 7.5 wt% benzyl benzoate.

들에 대한 연구로 특히 GI POF에 대한 열적 안정성에 대한 연구가 Koike group을 중심으로 많이 진행되어 왔다. 특히 Koike group의 GI POF의 경우, dopant로 굴절률 분포를 조절하기 때문에 일반적인 PMMA의 유리전이에 비해 낮은 유리전이 온도를 가지게 되므로 열적 안정성이 중요하다. Dopant의 굴절률이 높고 중심으로 갈수록 농도가 높아지므로 **그림 13**과 같이, 굴절률은 중심으로 갈수록 높고 유리전이 온도는 중심이 낮고 외각으로 갈수록 높아지는 양상을 보인다.[5]

이러한 dopant의 확산에 의한 굴절률 분포의 변형은 Blyler 등에 의해 측정 및 시뮬레이션 되어지기도 하였다.[6] 다음의 **그림 14**에서 볼 수 있듯이, 시간이 지남에 따라 dopant의 확산으로 인해 refractive index profile이 점차적으로 평평해 지는 경향을 보인다.

그러므로 저손실, 광대역 및 열적 안정성을 지니기 위한 dopant는 PMMA와의 좋은 혼화도, PMMA보다 높은 굴절률, 일반적으로 연신 온도인 240 ℃ 이상의 끓는점, MMA보다 큰 molecular volume, 그리고 중심에서 유리전이온도가 높은 특성을 가져야만 한다. 열적 안정성을 가지는 dopant를 선택하기 위해 많은 연구가 되었으며 DPSO와 같은 dopant는 분자량이 비교적 크고 solubility parameter가 크고, refractive index가 커서 제조된 GI POF의 NA가 크므로 좋은 열적특성을 가지는 것으로 알려져 있다.[5,7]

3. 시장동향

3.1 국외 시장동향

POF는 저가격, 연결 용이성 등의 장점 부각으로 근거리 통신분야의 수요확대가 매우 클 것이라고 예상된다. 96년 일본의 POF시장은 총 19만 Km, 59억엔 시장규모이며, 2005년에는 총 800만 Km, 240억엔 시장규모이고, GOF의 약 5% 이내수준의 시장에 불과하나 향후 일반 가정용 통신의 수요 확충과 IEEE1394의 계획에 의거 POF의 규격화가 실현된다면 그 수요는 급속히 늘어날 전망이다. 미국의 경우 현재 시장 형성 초기 시점에 있으며 그 응용 분야로는 데이터 통신망, 프리미시스 통신망, 자동차 배선망 및 디지털 정보가전 (IEEE 1394) 통신망으로 구분되며, 2000년대의 디지털 정보가전 통신망 (IEEE 1394) 잠재시장은 폭발적 증가가 예상된다. **표 3**에 미국내 POF 적용분야 및 시장예측 자료를 나타내었다.

POF의 시장은 주생산국인 일본을 중심으로 형성되어 있으며, 1998년도 market 현황은 **그림 15**와 같다.[8] 주로 POF 시장은 조명, 장식, 자동차 네트워크용 등으로 저급을 중심으로 형성되어 있으며 근거리 광대역 통신용 POF의 시장은 디지털 방송

표 3. 미국내 POF 적용분야 및 시장예측 자료

적용 분야	시장 규모	자료 출처
Home with Digital entertainment networks	$4.5 Billion(2004년)	Park Associates(1999년)
Home network	$70 million(1998년) → $1Billion(2002년)	BOF(1999년)
Home PC network	12 million(2002년)	International Data Corp.

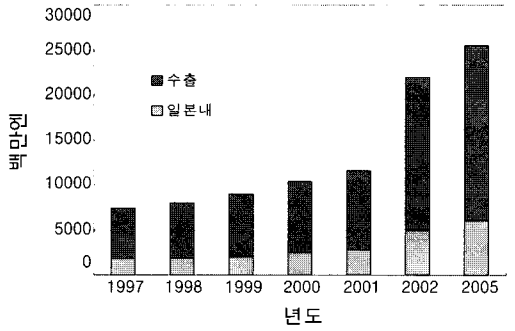


그림 15. 1998년도 일본내 POF 시장현황.

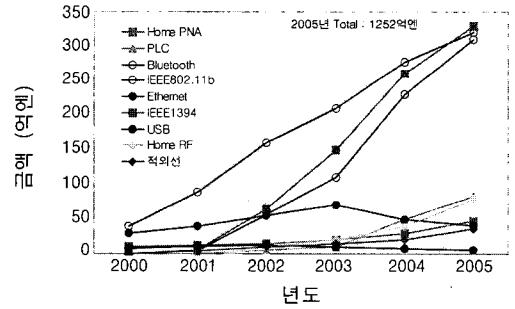


그림 16. Home Network Market Trend & Forecast by Technology.

이 활성화되는 2005년도 이후에 home network 분야에서 IEEE 1394 시장이 폭발적으로 형성될 것이라고 전문가들은 예측하고 있다. **그림 16**에 일본내 home network 분야의 시장예측 자료를 나타내었다.[9]

3.2 국내 시장동향

우리나라의 경우도 1995년에 국내 산업기술정책연구소가 발간한 POF 시장동향은 2000년에 약 360억원 정도 규모로 예측하였지만, 통신용 POF의 시장은 아직 미진하며 2003년 이후에 home network 분야로의 급속한 증가가 예상되며, 년평균 신장율도 25%로 높게 책정하고 있다. 우리나라의 독특한 가옥구조인 아파트 집단주거 형태가 전 주택의 40%를 차지 하고 있으며, cyber 아파트의 확산 및 광대역 전송에 대한 요구가 가속화되고 있어 FTTH 시대가 2005년 이후에 실현될 전망이 밝다. FTTH를 가능하게 해주는 물리층인 GI POF의 큰 확대가 예상된다.

3.3 GI POF의 Application

GI POF는 코어경이 크기 때문에 간이 접속성이 특징이며, 석영 파이버에 비하여 작업시간은 1/10 이면 되기 때문에 케이블 시공에 관련되는 비용은 약 30% 삭감할 수 있다. 이의 용도로는 동화상을 포함하여 대용량의 정보전송이 필요한 LAN 배선, home network에의 응용이 크게 기대되고 있다.

AGC는 불소수지를 사용한 광 파이버를 미쓰비시 상사, 네트웍 인테그레이트의 대기업인 네트웍 시스템과 공동으로 판매를 개시한다고 발표하였다. 동사는 2사의 협력을 얻어 토탈 솔루션을 제공하는 것에 의해 5~6년후에 시스템 총액으로 500억엔의 매상고를 목표로 하고 있다. 인터넷을 이용한 전자상거래, 데이타 웨어하우스에 의한 경영관리 등 대용량 데이타 전송의 필요성이 높은 것은 필지의 사실이다. 이 때문에 LAN 배선분야의 광파이버의 수요는 급성장하고 있으며 2002년에는 세계에서 1,500억엔 정도의 시장이 전망되고 있다.

3.4 표준화 동향

통신용 광대역 POF의 가장 큰 시장으로 예측되는 디지털 가전 interface, home network 및 office network 분야의 국내외 표준화 동향과 이와 관련된 POF의 표준화 동향에 대하여 살펴보고자 한다.

3.4.1 국외 표준화 동향[10]

소비재의 디지털화 물결 속에서 home network와 관련하여 몇 가지 주목할 만한 사항이 있다. IEEE는 1995년 고성능 직렬 버스 인터페이스를 IEEE 1394-1995로 표준화하였는데 이는 Fire Wire 혹은 i.Link라고도 불린다. 최근 몇 년 동안 이미 이 사양을 이용한 몇 가지 제품들이 출시되었다. 이 표준에서는 home network 구축을 위한 옥내 배선의 조건을 규정하고 있다. 최초의 제품으로 디지털 비디오 카메라가 있었고 그 외에 PC, 디지털 카메라, 디지털 VCR, 디지털 프린터 등이 있다. 또한, IEEE 1394-1995 인터페이스를 이용하는 디지털 TV나 STB에 대한 계획도 있다. 한편, DAVIC의 활동은 종결되었고 P1394b 회의는 2000년 10월이 마지막이었는데 전송속도 향상과 거리 연장 면에서 POF 인터페이스 위원회의 활동과 상당한 관련이 있었다. P1394b에는 당시 SI POF의 PMD

(physical media dependent)로서의 물리적 인터페이스에 대해 최고 S200과 50 m라는 조건을 명시했다. SI POF는 대역폭이 150 MHz 이내로 한정되어 낮은 NA형을 사용할 정도이다. 이 단계가 응용분야를 구체적으로 논의하는 것으로 바뀌게 된 것도 바로 그 이유이다. 바야흐로 home network 시대에 들어섰다고 할 수 있겠다. home network에 막강한 영향력을 미치는 POF 인터페이스 위원회의 표준은 국제 표준화 기구에 빠른 속도로 적용될 것이다.

MITI(국제 교역 및 산업부)는 JSA(일본 표준협회)를 새로운 산업을 지원하는 국제 표준화 개발단체로 지정했다. EIAJ(일본 전자 산업 협회)는 다시 광대역 POF 광인터페이스의 국제 표준화 실현이라는 임무를 띠게 될 것이다. EIAJ 내의 POF 인터페이스 위원회는 3년간의 활동의 위해 1998년 6월에 결성되었다. POF 인터페이스 위원회의 의장은 Keio 대학 교수인 Koike 박사이며, 그 산하에 표준 전략 실무단, POF 규정 실무단, 링크 실무단, 인터페이스 실무단이라는 4개 실무단으로 구성되어 있다.

표준 전략 실무단의 주요 임무는 두 가지이다. 하나는 관련 표준 기구나 컨소시엄, 협의회에 대해 조사하는 것이고, 다른 하나는 국제 표준화를 실현하기 위한 전략적 계획을 수립하는 것이다. 관련 표준 기구는 home network와 밀접한 관련이 있는 P1394b, ATM(비동기 전송 모드) 포럼, VESA(영상 전자 표준 협회), DAVIC(디지털 음성/화상 협의회) 등이다. P1394b는 SI-POF를 사용하여 최고 S200과 50 m라는 표준을 확정했다. 그러나 이들의 활동은 1999년 10월 프랑스 렌느 회의에서 종결되었다. P1394b 표준안 1.00은 2000년 2월 발행되었다. ATM 포럼은 1999년 1 "가정용 광대역 물리적 인터페이스" 양 AF-RBB-PHY-0101.000을 등록했다. VESA의 home network 분과 위원회는 P1394b의 개념에 동의하지만, 그들의 의견 중 하나는 케이블 길이가 100 m를 넘는다는 것이다. DAVIC도 P1394b의 개념에 동의하고 1999년 11월에 5년간의 활동을 마감했다.

POF 규정 실무단은 PMMA를 사용한 GI POF의 매개변수들을 구체화할 것이다. 매개변수를 확정하기 위하여, 송신 대역 주파수, 광 송수신기와 POF 간의 연결, 휨 손실, 주위 온도 및 습도의 허용오차, 기계적 장력 등의 특성을 측정하여 평가하게 된다. 측정 및 평가 후 코어 직경과 섬유 직경을 각각 잠정적으로 500 μm와 750 μm로 정할 수 있겠다. 그 밖에 굴절률 분포와 NA (개구수) 등 다른 변수들도 결정하도록 애쓰겠지만, 주파수와 길이의 산물은 S400과 100 m에 35 KHz·Km와 같은 변수들을 나타내기에 충분하다. S400이란 부호화를 포함하여 500 Mbps를 의미한다. 또한, 재킷의 직경으로는 기존의 2.2 mm(1000 μm)보다 훨씬 매끄럽게 느껴지는 1.8 mm(750 μm)가 권장될 것이다. GI POF 양산을 위한 기술적 성능이 확정되면서 머지않아 이런 제품을 생산하는 제조업체들이 생겨날 것이다. 미쯔비시 레이온사의 "ESKA Miu"라는 이름의 다심(Multi-core) POF도 35 MHz·Km을 넘어선다. 섬유와 재킷의 직경은 각각 동일한 750 μm와 1.8 mm이다.

링크 실무단은 상호 연결을 위한 광전자 인터페이스를 구축 중인데, 전자 인터페이스는 P1394b 인터페이스에 따를 것이고 또 하나의 추가 제어 신호는 IEEE1394a-2000이 제안한 광전송용 허가/금지(enable/disable)가 될 것이다. 광송신기에는 LD와 RC-LED, VCSEL 세가지가 있다. 작동 온도, 정밀 조립, 광소자의 크기 및 기타 요인들과 관련된 연결 변수들은 전적으로 P1394b 표준안에 따를 것이다. 2001년 환경 테스트를 완료한 후 각 광원에 대한 사양, 혹은 단일 사양마다 이런 변수들을 결정하게 된다.

인터페이스 실무단은 주로 광커넥터 자체인 물리적 인터페이스와 연관된 실무단이다. 1단계는 1998년 소비자가 사용하기에 적합한 광커넥터를 분석하는 것이었다. 핵심은 안전, 연결 및 분리시 취급상의 용이성, 신뢰도, 물리적 기능, 광학적 기능, 비용 등이다. 2단계는 1999년 광송신기와 광수신기 사이의 피치를 실현하는 것이었다. 이 때 SFF (small form factor) 광섬유 커넥터용 송수신기의 폭은 0.535 inch (13.5 mm)로 결정되었다. 누화에 초점을 맞춘 연구를 완료한 후, 광송신기와 광수신기 사이의 피치는 5 mm로 결정될 것이다. 3월 볼티모어에서 열린 OFC (광섬유 통신) 2000 박람회와 7월 마쿠하리에서 열린 InterOpto(국제 광전자공학 박람회) 2000에서는 POF 컨소시엄 부스에 전시된 최초의 원형(原型) 제품들이 관심을 모았다. 2001년 수백회의 기계적 운전, 내진(耐振) 검사, 환경 검사 등을 거친 다음 광커넥터의 변수들을 결정할 것이다.

IEEE1394-1995와 IEEE1394a-2000에서 광대역 POF를 PMD로 사용하여 최장 100 m까지 S400의 속도로 전송할 수 있는 솔루션은 home network에 있어서 매우 긴요하고 유망한 기술이다. 광대역 POF의 국제 표준화는 가능한 한 강도 높게 그리고 신속히 추진되고 있다. TC86과 관련된 광대역 POF optical interface의 표준은 TC100에 제출될 것이다.

3.4.2 국내 표준화 동향[11]

21세기 최대의 화두로 달아오르고 있는 home networking 시스템을 위한 기술개발과 이를 둘러싼 각 국가들의 표준전쟁이 갈수록 본격화되고 있다. 많은 사람들은 이미 가정 내의 모든 가전 기기 및 PC 관련 제품들을 하나의 네트워크로 연결하고 이 모든 기기들을 인터넷 접속을 통해 제어하고, 인터넷 서비스의 공유는 물론 데이터 전송을 가능하게 하는 home network 솔루션이 IMT-2000 서비스가 몰고 시장 잠재력보다 훨씬 더 폭발적일 것으로 믿고 있다.

2000년 3월 정보통신부는 기존의 가전시장이 겪고 있는 극심한 침체현상을 해소하고 전 국민 정보화 확산을 위해 "인터넷 정보가전 산업협의회"를 구성하고 향후 5년 동안 약 1조1천억원의 연구비를 투입, home network 및 cyber 아파트 구축을 위한 기술개발 및 표준제정을 위한 인터넷 정보가전 표준 포럼 등 다양한 활동을 전개하고 있다. Cyber 아파트는 가정 내의 PC와 프린터 등과 같은 PC 관련 기기는 물론 모든 가전기기들을 하나의 네트워크로 연결하여 서로 정보를 공유하고 각각의 기기가 인터넷에 동시에 접속할 수 있도록 시스템을 구축하는 것으로 가정 내부에서나 혹은 인터넷을 통해 외부에서도 제어가 가능한 첨단 정보통신 시스템이다. 이와 같은 기능을 수행하려면 가정 내에는 각 기기들간의 네트워킹이 형성되어 상호 통신은 물론 이를 통한 정보의 공유 및 entertainment 향유, 그리고 에너지 절약 기능과 홈 오토메이션 기능 등을 제공할 수 있는 시스템과 소프트웨어가 지원되어야 한다.

미래의 가정을 기존의 형태와는 완전히 다른 모습으로 변화시켜줄 home network 기술을 통해 이러한 cyber 아파트는 현실화 될 것이다. 여러 가지 home network 솔루션 중에서 멀티미디어 데이터의 실시간 전송은 물론 비동기 데이터 전송 기능, 그리고 호스트 컨트롤러를 필요로 하지 않는 분산

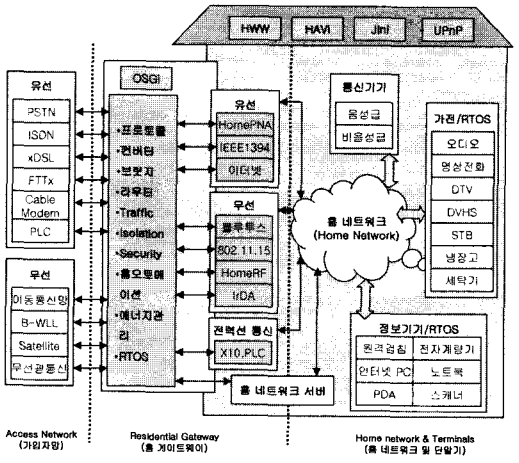


그림 17. Cyber 아파트의 구조.

형 플러그 앤 플레이 기능과 높은 대역폭을 보유하고 있는 IEEE 1394 기술이 궁극적으로 home network 솔루션으로 부상할 것으로 전망되고 있다.

이와 관련 최근 국내에서도 IEEE 1394 기술개발과 표준화를 위한 1394 Forum이 출범했다. 이 포럼은 1394 TA와의 공조방안을 모색하면서 향후 표준화에 대응한 논의를 이끌어 나갈 계획이다.

전 세계적으로 기술개발이 활발히 이루어지고 있는 home network는 가정 내의 여러 기기들을 연결하고 외부에서 인터넷을 통한 제어기능과 인터넷 다중접속 등이 가능하도록 한 새로운 개념의 cyber 아파트 구조를 실현할 것이다 (**그림 17** 참조).

1) 400 Mbps의 IEEE 1394 최적의 솔루션으로 급부상

여러 가지의 home network 기술 중에서 가장 궁극적인 솔루션으로 주목받고 있는 IEEE 1394 기술은 미국 실리콘 벨리에 본사를 두고 있는 1394TA (Trade Association) 표준화 기구에 의해 170여 개 회사들이 참여하여 새로운 기능을 추가하고 상호 운용성(interoperability) 등을 검증하는 등 많은 활동을 전개하고 있다.

오디오/비디오 기기의 디지털화로 인해 멀티미디어 세계로의 이전이 급격히 진행되고 있는 디지털 인터페이스 시장은 시간이 갈수록 높은 대역폭을 요구하고 있기 때문에 1394TA의 활동은 더욱 더 시급한 일이다. 예를 들어보면, SD급 디지털 TV의 경우 최소 4 Mbps, 최대 8 Mbps의 전송속도를 요구하고 있으며, HDTV인 경우는 20 Mbps를 보장

표 4. IEEE 1394와 관련된 표준들

IEEE 1394	PC Products	Consumer Products
IEEE 1394-1995	IETF-IP/1394	IEC61883
IEEE 1394-2000	SBP2	VESA-HN
P1394b	MMC-2	EIA R-4.1
	RBC	EIA R-4.7
		CPTWG/5C
		DAVIC
		Camer a Specifications
		HAVi
		HWW

해 주어야 실시간 전송이 가능하다.

현재까지 개발된 home network용 기술들을 살펴보면, HomePNA 1.0버전의 경우 1 Mbps를 지원하고 있으며, 현재 상용화된 버전 1.1이 720 Kbps를 지원하며, 2002년을 목표로 10 Mbps를 지원하는 버전 2.0이 개발 중에 있다. 따라서 현재의 home networking 기술로는 두 개 이상의 SD급 동영상 신호를 전송하려면 MPEG20TS로 압축한다 하더라도 서비스를 할 수 없다 IEEE 1394 기술은 400 Mbps를 지원하는 IEEE 1394-2000 만으로 프로토콜 오버헤드를 100%로 감안할 경우에도 최소 16개, 최대 32개의 SD급 신호를 처리할 수 있다. 이러한 이유로 광대역 멀티미디어 신호를 송수신할 수 있는 IEEE 1394 기술이 궁극적인 home networking 솔루션으로 주목받고 있으며, 소니 (Sony)와 마쓰시타 (Matsusita)와 같은 업체는 현재 개발되는 모든 캠코더와 노트북 컴퓨터에 IEEE 1394 포트를 기본으로 제공하고 있다. IEEE 1394 기술과 관련한 표준은 **표 4**에 나타낸 바와 같이 자체 기술 부분과 응용 분야에 따라 크게 세가지로 구분할 수 있다. IEEE 1394 기술에는 IEEE 1394-1995와 IEEE 1394-2000, 그리고 P1394b와 P1394.1, P1212r 등 여러 가지가 있다. PC 관련 제품으로는 IEEE 1394 인터페이스를 이용한 디지털 하드디스크 규격을 위한 SBP2 표준과 IEEE 1394 하드웨어 상에 IP 패킷을 전송하기 위한 표준인 IP over 1394 기술이 있고 가전 제품으로는 IEC61883과 VESA-Home Network, 그리고 HAVi와 HWW (Home Wide Wed)이 있다.

2) 전송거리 및 속도향상
P1394b 등 새로운 표준제정.

IEEE 1394-2000은 노드간의 전송거리가 4.5 m로 제한되어 있으며, 16개 이상의 홉(hop)을 가질 수 없을 뿐만 아니라 400 Mbps의 데이터 전송속도 이상을 지원하지 않으므로 화상회의 목적으로는 사용이 불가능하다. 따라서 기가비트급의 전송이 가능한 광케이블과 커넥터를 사용하여 최대 3.2 Gbps의 전송률을 지원하면서 100 m 이상의 홉 간 거리를 가능하게 하고 IEEE 1394-1995와 P1394a를 완벽하게 지원하도록 제정된 새로운 표준이 P1394b이다.

IEEE 1394-1995와 호환이 가능하도록 데이터/스트로브 인코딩 방법과 새로운 기가비트 속도, DC 균형을 위한 전기적 방법을 모두 사용하였다. 즉 FCC 규격을 맞추기 위해 randomizing을 하였으며, 스크램블링과 8B/10B 코딩 기법을 사용하였다. 또한 8비트의 병렬 버스를 통해서 더 높은 데이터 전송률을 지원할 수 있도록 PHY/LINK 인터페이스를 확장하였으며, 여러 가지의 버스 중재 신호들과 더 낮은 속도의 데이터 패킷을 bit-stuffed 패킷 방식을 이용하여 전달할 수 있는 고속 비트 프로토콜을 지원한다. P1394b가 P1394a와 다른 점은 네크워크의 토폴로지가 루프의 형태를 가질 수도 있다는 것이다. 이것은 P1394b의 초기화 시간 동안에 루프들을 자동적으로 인식하여 이를 없애는 알고리즘이 포함되어 있기 때문이다. P1394b는 단순히 속도만을 증가시키는 데에 그치지 않고 전송 거리도 향상시켰다. 기존의 4.5 m로는 home networking 솔루션에 적합하지 않으므로 POF를 전송매체로 이용하면 100 Mbps의 전송속도의 경우 100 m 까지 전송할 수 있다.

3) 1394 Forum 20여개 업체참여
자체 표준안 마련 및 제품개발 주력.

국내의 IEEE 1394에 대한 기술개발 활동은 이미 지난 1996년부터 시작되었지만 개별적 활동에 그쳤다. 지난 1998년 10월에 있었던 IEEE 1394 워크샵에서 삼성전자, LG 전자, 대우전자 들이 한 자리에 모여 그 동안의 진척상황에 대한 발표의 기회가 있었다. 이를 계기로 이후 정보통신진흥협회 산하에 IEEE 1394 분과위원회가 발족하게 되었고 단체를 통한 표준화 활동이 본격적으로 시도되었다 이 분과위원회에서는 매월 한 차례의 정규회의 및 기술 세미나 등을 진행해 오다가 2000년 1월 1394 Forum이라는 이름의 새로운 민간단체로 출범하였다. 1394 Forum은 현재 삼성전자, LG전자, 대우전자, 그리고 한국통신연구소, ETRI 등 국가 출연연구소는 물론 중소 벤처기업을 포함, 약 20여개의

회원사가 참여하고 있다.

4. 맺 음 말

지난 5년 동안 통신용 용도로의 POF 개발에서 큰 진보가 있었으며, POF는 home 및 office 용도로의 사용에 있어서 연결하기가 쉬우므로 high speed POF network으로 고려되고 있다. 그러나 POF는 copper twisted pair와 GOF와 같이 기확립된 기술을 잠식하기 전에 optical attenuation을 감소시키고, bulk material의 cost를 감소시키고, fiber reliability를 증가시키는 것이 필요한 숙제이다.

현재 POF에 대한 관심이 다방면에 걸쳐서 높아지고 있으며, 특히 자동차내 LAN에 처음으로 POF가 채용된 것이 큰 화제가 됐다. 지금까지 플라스틱 제품은 저가격의 대명사로, 성능면에서는 무기재료의 특성을 능가하는 것은 어렵다고 생각되어 온 감이 있다. 그렇지만 POF가 석영계 섬유의 성능을 넘는 특성을 가질 가능성이 보인 것이다. 향후 LAN, 정보가전분야를 비롯해 POF의 새로운 응용분야가 개척될 것으로 기대된다. 국내에서도 정부 주도의 산학연 프로그램 연구가 활성화되면 IT 소재분야에서 전 세계적으로 주도권을 잡을 날이 멀지 않을 것으로 예측된다. 광파이버를 가정까지 직접 도입하는 FTTH라는 시스템이 전국으로 확산되는 것은 경제 면에서 보아 수월한 일은 아니라고 생각되지만 초고속 통신망 계획과 같은 범국가적 계획에 편승하면 전국적 전개도 가능하다.

참 고 문 헌

1. 松山祥 孝, *Optronics*, **8**, 129 (2000).
2. 尾川 元, *工業材料*, **49**(2), 24 (2001).
3. Takaaki Ishigure and Yasuhiro Koike, *高分子*, **7**, 431 (2000).
4. W. D. Daum, M. Hein, and O. Ziemann, *POF 2001 Conf. Proc.*, p. 31, Amsterldam (2001).
5. M. Sato, T. Ishigure, and Y. Koike, *J. Lightwave Tech.*, **18**(7), 952 (2000).
6. L. L. Blyler, Jr., T. Salamon, C. Ronaghan, and C. S. Coeppen, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **531**, 107 (1998)
7. T. Ishigure, A. Horibe, E. Neihei, and Y. Koike, *J. Lightwave Tech.*, **13**(8), 1686 (1995).
8. 광산업편람, Fuji Chimera 연구소 (1999).
9. Intelligence Market Report, May 21 (2001).
10. 정보 기기 간의 상호 연결 실현을 위한 표준화에 관한 연례 보고 : 일본 표준 협회 및 일본 전자 산업 협회, 1999년 3월, 상동 사항에 관한 연례 보고, 2000년 3월, 국책 사업 발표와 시연을 위한 협의회 및 박람회의 관련 자료, 동경 게이오 대학 미타 캠퍼스: 일본 전자 산업 협회, 2000년 4월.
11. NIKKEI ELECTRONICS ASIA, Feb (2001).