

플라스틱 이미지가이드 기술

홍 영 기 · 구 자 승

1. 서 론

PIF (Plastic Image Fiber)는 영상전송매체를 의미하는 이미지가이드, 내시경을 의미하는 Endoscope, 구조상 단심 섬유와 대별되는 다심 섬유, 섬유 번들 등으로 불린다. 그 다양한 이름을 가지는 것처럼 PIF는 의료용 내시경, 산업용 내시경, 옥외 디스플레이용, 영상 센서용, 통신용, 조명용 등 그 활용분야가 매우 넓다.

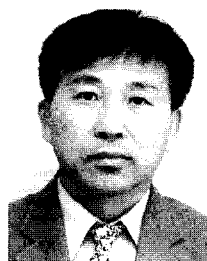
최근 4년간 국내에서 플라스틱 광섬유 (POF, Plastic Optical Fiber)의 개발참여기관의 수가 급격히 증가되었으나 그 개발 방향이 IT산업의 활황과 더불어 통신용 POF에 집중되어 있어 가장 응용분야가 다양하여 후가공산업 및 산업전반에 파급효과가 큰 PIF 제품 및 제조기술에 대한 관심이 상대적으로 낮다. 이로 인하여 고도의 제조기술이 필요한 PIF기술은 선진국가와의 격차가 점점 더 벌어져 가고 있는 실정이다.

Single fiber는 영상을 전송할 수 없지만 특정 강도를 가진 1개의 색은 전달할 수 있다. 이러한 single fiber의 색을 화소 (Pixel)라 하며 영상을 표현하는 최소단위이다. Single fiber가 여러 개가 인접해서 모이면 그 수만큼 화소가 형성되고 영상을 표현할 수 있게 된다. 이러한 원리를 이용한 것이 PIF이며 정확한 배열을 가진 다수의 single fiber로 구성되어 있다.

그림 1에는 image fiber의 영상전송 원리를 나타내었다. 화소와 화소간의 연속성이 없는 점에서 볼 때 디지털 개념이나 영상의 한 컷 한 컷은 연속성

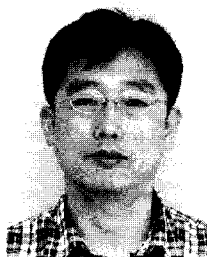
을 지니고 있어 아날로그식이라 할 수 있다. Image fiber는 그것을 구성하는 재료로 대별되는데 석영계와 다성분 석영계, 플라스틱계로 나눌 수 있다. 각 재료별 image fiber의 특성을 표 1에 나타냈다.

석영계와 플라스틱계를 비교해 보면 석영계는 투명성이 높고 내열성이 우수하나 유연성이 부족하여 부러지기 쉽고 가공 공정이 복잡하기 때문에 가격이 높다는 단점이 있다. 그에 비해 플라스틱계는 유연성이 높아 취급이 용이하고 가공이 용이하여 가격이 낮다는 장점이 있어서 최근 수요가 증대되고 있다. PIF의 제조방법에서 이전까지는 단심 섬



홍영기

1979 한양대학교 화학공학과 (학사)
1981 한양대학교 화학공학과 (석사)
1981~ SKC 중앙연구소 수석연구원
현재



구자승

1991 인하대학교 화학공학과 (학사)
1999 Tohoku Univ. 분자화공과 (석사)
1991~ SKC 중앙연구소 선임연구원
현재

The Technology of Plastic Image Guide

SKC 중앙연구소 (Youngki Hong and Jaseung Ku, SKC R&D Center, #911 Chongia-1 dong, Changan-gu, Suwon, Kyonggi-do 440-301, Korea)

유를 한 가닥 한 가닥을 배열, 집속, 고정하는 방법에 의해 제조됨에 따라 불량률이 발생할 뿐만 아니라 수작업 공임에 의해서 가격상승을 초래하였다. 1980년대 미쯔비시레이온에서 섬유제조의 복합방사기술을 이용하여 일체형 다심 섬유를 개발함에 따라 그러한 문제들은 개선되었으나 여전히 해상도 문제는 잔존해 있다.

미쯔비시레이온에서는 1988년도 1,500 화소, 1991년도 3,000화소를 개발하였으나 내시경시장에서는 6,000화소 내지는 12,000 화소를 요구하고 있다. 시장에서는 PIF를 GIF (Glass Image Fiber)와 끊임없이 비교하면서 기술개발을 압박할 것이고 GIF와 비교할 때 내열성 문제는 해결 요원한 테마이므로 사용온도를 기준으로 용도는 양분될 것이나 고해상도의 요구는 시간경과에 따라 강하게 대두될 것으로 예측된다.¹

최근 심장병 환자의 증가로 관상동맥의 내부를 검사 진료할 수 있는 혈관 내시경의 개발이 요구되어 직경 500 μm 정도의 Ultrathin Endoscope의 GIF가 개발되었으나 이러한 석영계의 내시경은 단단하여 쉽게 파손되기 때문에 허용 굴곡반경이 150 mm 이상이다. 이러한 내시경을 굴곡진 관상동맥에 통과시키는 것이 어려울 뿐만 아니라 내시경이 관상동맥을 통과하더라도 필라멘트가 파손되면 생명을 위태롭게 할 수 있으므로 이러한 내시경은 실질적으로 사용할 수 없다. 또한 AIDS, 병균 등으

로부터의 감염을 방지하기 위하여 내시경은 철저한 세척이 필요하고 이러한 세척비용이 일반적으로 1 회당 50-90 달러 정도로 막대하다. 이러한 점에서 볼 때 PIF는 허용곡률 반경이 15 mm 정도로 인체의 굴곡진 부분을 시진하는데 문제가 없고 부러지기 어려워 환자생명에 위험을 초래하지 않는다. 가격 또한 저가이므로 1 회용 내시경에 대한 소망도 충족시킬 수 있는 장점이 있다.

2. PIF의 구조

PIF의 구조는 크게 코어층, clad층, sea층, jacket 층의 4층으로 구성되어 있다. 그림 2에는 PIF의 구조를 나타내었다. 먼저 코어층의 역할은 입사된 광의 강도와 혼합파장을 감소나 필터링 없이 출사단으로 전송하는 것으로 전체 구조 중 50-90%의 면적을 점하고 있다. 코어층의 특성은 제조공정보다 재료 의존성이 크고 코어층의 재료에 의해 clad층과 sea층의 재료가 결정된다. 재료에 대해서는 3항에 기술하였다.

Clad층의 역할은 코어층에 입사된 빛을 내부에서 전반사를 유도하는 것과 코어층을 1차 보호를 하는 것이다. 전반사를 유도하는 것은 통신용 POF와 동일한 원리이나 누광시 발생하는 광의 간섭을 막아 색번짐을 차단해야 한다. 이러한 조건을 충족시키기 위해서는 굴절률차가 커야 하며 clad층이 통신용 POF의 clad층보다는 높은 비율로 두꺼워야 한다.² 코어층 보호의 주역할은 sea층과 jacket 층이 담당하나 clad층도 1차적으로 그 역할을 담당한다. 보호의 역할은 외부충격에 의한 보호와 휨 발생시의 내외부 곡률반경차에 의한 보호를 들 수 있는데 clad층과 sea층은 코어층보다는 높은 신도

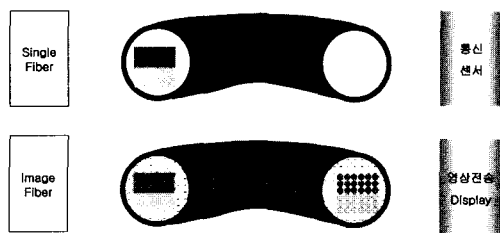


그림 1. PIF의 영상 전송 원리.

표 1. Image Fiber의 재료별 특성

Image Fiber 종류	석영	다성분 glass	plastic
해상도	高	高	中
NA	△	○	◎
Yellow Index	◎	○	△
유연성	△	○	◎
내열성	◎	◎	△
취급용이성	△	△	◎
가격	高	高	低

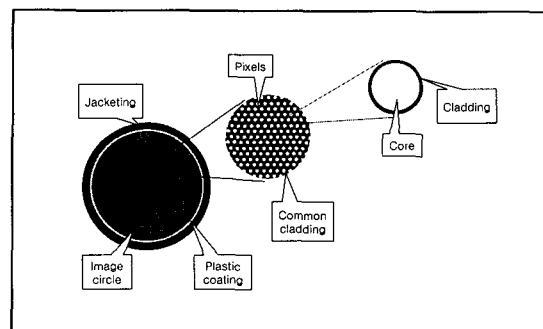


그림 2. PIF의 구조.

를 가져야만 굴곡시 내외부 길이 차이에 의한 파손을 막을 수 있다.

Sea층의 역할은 누광에 의한 색간섭의 차단과 이완 수축시 발생하는 응력을 막아 보호하는 역할이 있다. 차단역할은 clad층과 동일하나 clad층은 반사에 의한 차단을 하나 sea층은 흡수에 의한 차단역할을 수행한다. 보호의 역할은 clad층과 동일한 성격을 가지고 있으나 clad층이 주로 수행하게 되면 낮은 굴절률에 대한 조건 충족에도 영향을 미치므로 sea층이 주로 보호 역할을 할 수 있도록 재료 설계하는 것이 바람직하다.³

Jacket층은 외부로부터의 물리화학적 보호역할을 하고 최대 bending허용치를 결정해 주기도 한다.

3. PIF의 특성 및 조건

PIF가 영상전송을 하기 위해 가져야 할 특성인 해상도, 휘도, Yellow Index, 화소결합 등을 구조적 측면과 재료적 측면, 제조 방법 등의 실용적 관점에서 기술하고자 한다.

그림 3에는 PIF의 영상전송조건을 나타내었다.

3.1 해상도 (Resolution)

광학계에서 해상도의 일반적인 의미는 식별되는 물체 위의 2점 사이의 최소 거리를 말하며 분해능이라고도 한다. 분해능은 PIF의 성능을 결정하는 중요한 요소인데 분해능이 낮은 것은 배율을 높여도 상이 흐려져서 물체의 세밀한 부분을 관찰할 수 없다. 사람의 정상적인 눈의 분해능은 5 m 떨어진 곳에서 1.5 mm 간격의 2점을 분간할 수 있는 정도이다.

PIF는 정해능은 Resolution Test Target을 이용하여 측정하는 방법이 일반적이다 (**그림 4**). Resolution Test Target의 구성은 -2에서 4까지 7개의 group으로 나누어져 있고 각 group별로 6개의 element로 나누어져 있다. Group의 번호와 element의 번호가 높을수록 분해능은 올라간다.⁴

PIF의 구조로 볼 때 단위 직경당 코어수가 많을수록 분해능이 높고 또한 화소수가 많다는 것을 의미한다. PIF 중에 고분해능을 갖는 제품의 예를 들어 설명하면 코어직경이 10 μm, 화소수 1400 일 때의 분해능은 Resolution Test Target 4 group 5 element에 해당하는 25.4 정도이다.

코어직경이 작을수록 단위 circle에 넣을 수 있

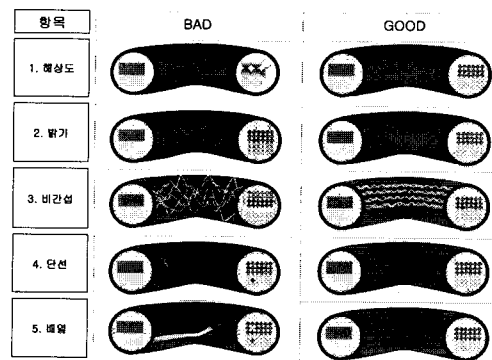


그림 3. PIF의 영상 전송 조건.

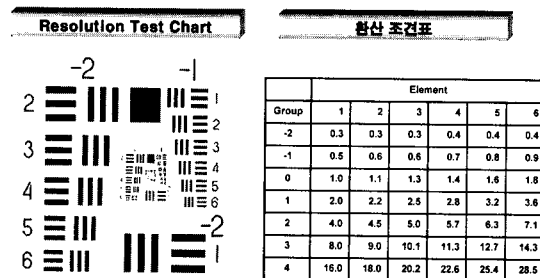


그림 4. Resolution Test Target.

는 코어수의 증가를 의미한다. 그러나 무한히 코어 직경을 줄이면 입사광의 세기가 줄어들어 휘도가 낮아지는 단점이 있으나 내시경의 길이는 1.5 m 이내 이므로 7 μm까지는 일반적 조건에서 휘도를 만족시킬 수 있으며 동일 코어직경을 가지면서도 휘도를 올리기 위해서는 전체 Picture Circle 내에서 코어의 점유율을 높이는 방법이 고안되고 있다.

3.2 휘도 (Brightness)

전송된 상의 밝기 정도를 나타내는 지수로 Brightness Index로 I 가 사용된다. I 의 정의는 다음과 식으로 표현된다.

$$I = S \cdot NA^2 \cdot 10^{-(aL/10)}$$

단 S 는 PIF의 전체 단면 중 코어 부분이 차지하는 면적의 비이다. 이는 코어 점유율 또는 코어 밀도라고도 표현되며 화상밀도와 집적적으로 비례한다. NA 는 Numerical Aperture로 집광능력을 나타내며, a 는 광투과손실, L 은 길이이다.

코어 점유율을 높이기 위한 방법으로 코어 단면 형태와 코어 배열을 조절하는 방법이 있다. 코어의 단면 형태는 직사각형, 정육각형, 그 이상의 다각

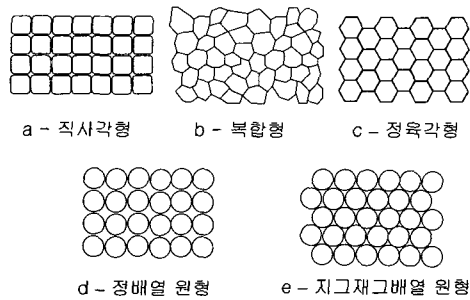


그림 5. 코어 배열 형태.

형 형태와 원형을 들 수 있는데 이중 원형의 경우가 가장 낮은 코어 점유율을 나타낸다. 그림 5에는 코어 배열 형태를 나타내었다. a의 직사각형의 형태는 광의 가이드 과정에서 완전 전반사가 이루어지지 않아 인접 코어로 간섭이 발생하며 코어 부분의 모서리 부분과 중심 부분의 광강도차 및 색상차를 유발하므로 I 값에는 유리하지만 전송 원상의 색과 관련된 품질을 크게 저하시킨다.

b와 같은 정형태의 다각형이 아닌 복합된 형태의 경우 코어 점유율도 높을 뿐만 아니라 재료간의 자유로운 유동성을 그대로 살리는 형태이므로 방사 노즐 설계 및 제조공정에서 용이한 점이 있으나 화소간의 간격과 색변짐을 유발할 수 있다.

실제로 실용화되는 형태는 c, d, e와 같은 형태이며 d와 e는 동일한 원형의 코어 단면을 갖고 있으나 정배열보다는 e와 같은 지그재그 배열에 의해 코어 점유율을 높일 수 있다.⁵ 전송상의 색을 품질에 영향을 주지 않는 가장 완벽한 형태를 취하며 코어 점유율을 높일 수 있는 방법으로는 e형태가 유일하다.

I 값에 영향을 주는 요소로 재료 의존성이 높은 항목이 NA 이며 다음의 식으로 정의된다.

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

여기서 n_1 은 코어재료의 굴절률, n_2 는 clad 재료의 굴절률이다.

광의 도파가 가능한 코어와 clad간의 최소 굴절률차는 0.01이고 그 이하에서는 코어에서 clad로의 누광이 발생한다. PIF에서는 최소 NA 값은 0.16 정도로 알려져 있으며 일반적으로 0.3-0.51의 값에서 구현되고 있다.

표 2에는 코어와 clad재료를 쓰이는 고분자를 나타내었다.

표 2. PIF의 코어와 Clad 재료

Polymer	굴절률	Polymer	굴절률
PMMA	1.49	$CH_2 = C(CH_3)COORf$	
PBMA/PMMA	1.47-1.50	Rf: $CH(CF_3)_2$	1.38
PS	1.58	: $C(CF_3)_3$	1.36
PS/PAN	1.56	: $CH_2CF_2CHFCF_3$	1.40
Poly-4-methyl pentene	1.46	: $CH_2CF(CF_3)_2$	1.37
PE/Poly vinyl acetate	1.46-1.50	fluoromethacrylate	
PC		/PMMA	1.37-1.43
Poly chloro styrene	1.61	$CH_2=CHCOO Rf$	
PVC	1.63	Rf: $CH_2CF_2CHFCF_3$	1.41
Poly vinyl acetate	1.47	$CH(CF_3)_2$	1.38
Poly dimethyl siloxane	1.40		
Poly acetal	1.48		
PTFE	1.35		
PVDF/PMMA	1.42-1.46		

표 3. Light Transmission Loss

A (dB/m) at $\lambda = 6000$ nm		
코어 diameter (μm)	PMMA/FP	PS/PMMA
8-10	1.3	2.5
16-20	1.1	2.3
30-32	1.1	2.1
50	1.0	NA

표 4. 미쯔비시레이온의 PIF의 I 값

	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5
코어수	1350	1350	1350	1350	1350
코어직경 (μm)	10	20	20	50	80
NA	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
Δn	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077
코어점유율 (%)	60	69	40	75	80
A (dB/m)	1.3	1.1	1.1	1.0	0.85
L (m)	2	3	3	5	5
$I (\times 10^{-2})$	7.2	7.1	4.1	5.2	6.6

광투과손실인 a 는 재료 고유의 손실과 불순물에 의한 손실로 나누어지는데 표 3에는 PIF에서의 재료와 코어 직경에 따른 손실을 나타내었다.⁶

코어가 PMMA이고 clad가 fluoropolymer인 경우 코어/clad가 PS/PMMA 구조보다 높은 광전송능을 갖고 있음을 알 수 있다.

종합적 항목의 결과치인 휘도 I 는 4.5×10^{-3} 보다 낮은 수치에서는 영상을 전송할 수 없다. 표 4에는 미쯔비시레이온의 실험결과인 PIF의 I 값을 나타내었다.⁷

3.3 황색도 (Yellow Index)

PIF의 출력단에서 표현되는 전송화상의 착색정도가 균일해야 한다. 380 nm에서 780 nm 정도의

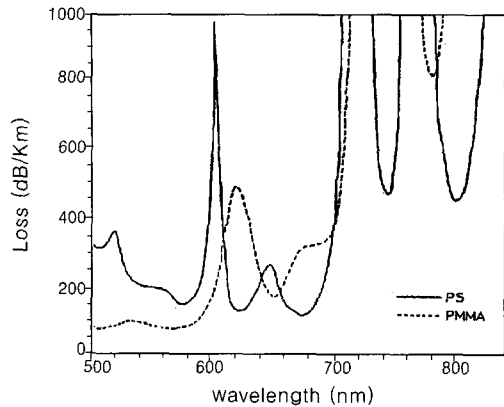


그림 6. PS 와 PMMA의 Transmission Loss.

영역에서 나타나는 가시광의 세기가 어느 특정 영역만 필터링하지 않고 전영역에서 균일하게 나타나야 한다. 그림 6에는 PS와 PMMA의 투과손실을 나타낸 것이다. PS의 경우 600 nm 이하의 영역에서 PMMA보다 흡수가 크기 때문에 균일한 착색을 얻기 어렵다. 이러한 특성은 단파장만을 사용하는 통신용 POF와는 다른 점이고 재료에 대한 의존성이 강한 항목이다. 전송손실의 파장 의존성이 낮으면 낮을수록 Yellow Index 수치도 낮아 우수한 착색 특성을 나타낼 수 있다.

Yellow Index는 다음의 식에 의해 계산된다.⁸

$$\text{Yellow Index} = 100 (128 X - 106 Z) / Y$$

여기에서, $X = \sum_{380}^{780} P_{\lambda} X_{\lambda} \tau_{\lambda}$, $Y = \sum_{380}^{780} P_{\lambda} Y_{\lambda} \tau_{\lambda}$, $Z = \sum_{380}^{780} P_{\lambda} Z_{\lambda} \tau_{\lambda}$

τ_{λ} 는 분광투과율을 나타내며 JIS Z 8722-1971 규격에 잘 나타나 있다. 공업용 BoroScope일 경우 Yellow Index 수치가 40 이하의 범위에서 사용된다.

3.4 화소결함

코어 부분에서 빛이 통과하지 못하거나 인접 코어 부분보다 현저히 빛의 전송능력이 떨어지는 부분 결함이 나타날 경우 화소가 gray point로 나타난다. 이러한 것을 화소결함이라 하고 화소결함의 두 가지 요인은 불순물에 의한 빛의 차단과 단선에 의한 빛의 차단이다. 불순물 중 유기성분 외의 dust와 같은 이물의 경우 제조공정 중 고온 영역에서 탄화가 발생하여 흑점이 되고 이러한 흑점은 빛의 차단과 더 나아가서는 굴곡시 weak point로 작용하여 단선 또는 강신도에도 영향을 준다. PIF에서는 코

어 외층에 clad, sea층 및 보호층이 충분히 신도를 유지하면 단선은 발생치 않으므로 이러한 점이 GIF와 비교할 때 강점으로 작용한다. 화소결함은 특히 의료용의 경우 오진의 원인을 제공하므로 매우 중요한 특성항목으로 대두되어 있다. 의료용 내시경의 경우 제조공정 중의 단선은 물론이고 보관중, 세척중, 사용중 단선이 빈번하므로 사용 전 점검을 실시해야 하는 실정이다.

3.5 제조방법

PIF의 제조방법은 크게 두 가지로 대별된다. 그 하나는 single fiber를 균일하게 집속하고 배열한 후 sea재료를 충전한 후 연신하는 bundle 방법과 용융 압출 후 spinneret이라는 다공판 노즐을 통과시켜 일체형으로 제조하는 단일 공정법이 있으나 전자의 경우는 섬유의 배열시 입사단과 출사단의 개개의 코어좌표 일치와 코어간의 일정간격을 유지하는 것이 곤란하여 화상특성이 저하되는 단점과 수작업 공정이 많아 제조 비용이 높은 단점이 있어 대부분의 경우 후자의 공압출 용융방사 방법으로 제조된다.

공압출 용융방사법은 코어, clad, sea층의 구성 성분의 합쳐지는 feed block과 섬유의 형상을 결정하는 노즐이 핵심공정이며 각 메이커들의 일급비밀로 취급되어 경쟁사간에도 그 형태를 알 수 없을 정도이다. 노즐은 섬유방사공정에서 사용되는 복합방사 노즐 기술을 근간으로 하여 기술이 개량되어 왔고 노즐에서도 수시간 만나는 부분의 edge부와 land부의 설계가 가장 중요한 항목이다. 코어, clad, sea 재료를 방사 feed block으로 공급시 유동성 순서는 sea > clad > 코어 순으로 유지되어야 코어의 형상이 왜곡없이 성형될 수 있다. Feed block

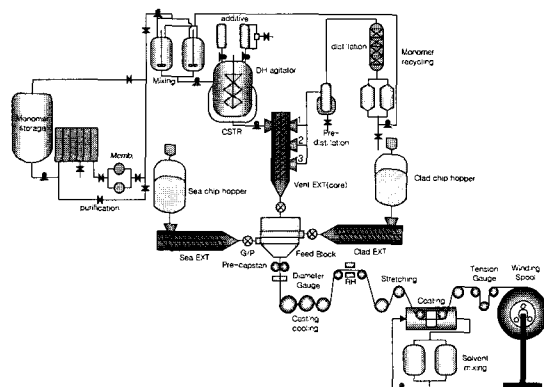


그림 7. PIF 공압출 방사공정 개략도.

내부는 dead space가 없도록 설계하여 장기간 체류된 수지가 열분해되어 기포가 발생하는 것과 열산화되어 탄화되는 것을 막아야 한다. 탄화와 기포는 초기와 말기 공정 도관내부 압력이 급격히 변화할 때 주로 토출되는 현상을 관찰할 수 있다.

그림 7에는 PIF 공압출 방사 공정을 개략도를 나타내었다.

4. Multi 코어의 응용

POF의 제조방법은 Preform Drawing 과 Conjugated Melt Spinning 방법으로 대별되며 Conjugated Melt Spinning 방식은 제조형상의 차이에 따라 single 코어와 multi 코어로 나눌 수 있다. 본 절에서는 PIF 제품의 응용분야를 기술하기 보다는 PIF의 제조 방법인 Conjugated Melt Spinning - Multi 코어법의 관점에서 적용 가능한 분야와 제품을 기술하고자 한다. 표 5에는 multi 코어의 응용에 대해 개략적으로 나타냈다.

4.1 내시경

내시경의 역사를 고찰해 보면 초기 내시경은 rigid type의 내시경으로 1800 년대에 사용되었고 flexible type으로는 1932년에 Shindler & Wolf 라는

사람들이 위 내시경에 사용하면서 발전하여 왔다. 광섬유가 적용된 image fiber는 1960년대 들어서 처음 사용되었고 전자 내시경으로 불리는 CCD를 장착한 방식의 내시경은 1983년 Welch-Allyn사에서 처음으로 탄생하였다. 현재 내시경 분야는 광섬유를 적용한 일반 내시경과 전자 내시경으로 양분되고 용도에 따라 의료용 내시경과 산업용 내시경으로 대별되며 의료용인 경우는 고해상도와 안전성의 요구가 강하고 산업용인 경우 내열, 내충격성의 요구가 강하다.

산업용 내시경은 항공기 엔진, 자동차 엔진, 발전소 터빈, 연료관, 연소기관, 각종 배관의 점검 및 측정에 사용된다. 의료용 내시경은 치료용과 진단용으로 나눌 수 있고 삽입 부위에 따라 소화기, 대장, 취담도, 혈관, 관절내시경 등으로 나눈다. 의료용의 경우 고해상도와 안전상 작은 외경의 섬유가 요구된다.

PIF는 산업용 내시경이나 의료용 내시경 분야에서 GIF와의 경쟁은 피할 수 없는 실정이다. PIF의 장점인 flexibility와 저가성을 충분히 활용하면 독자적인 영역구축도 가능하리라 예상된다. 혈관내시경은 혈관 내의 혈전, 돌기, 혈관경 등을 진단하는데 사용되며 그 외경이 300-800 μm 정도로 Ultrathin EndoScope라고도 한다. 이렇게 가늘기 때문에 혈관 사용시 부러질 경우 생명을 위협을 줄 정도로 위험하므로 현재는 실험단계로 적용중이다. 이러한 혈관내시경 분야가 바로 flexibility가 높은 PIF만이 적용가능한 분야라 할 수 있다.

저가라는 측면에서 볼 때 내시경의 세척비용보다 저렴한 body를 제공할 수 있다면 1회용 내시경의 영역도 PIF의 독자 영역이 되리라 예상된다.

4.2 Image Sensor

연속 제조공정에서 생산제품의 이물 또는 결함을 관찰하는데 적용하거나 복사기 OA기기 등에 도면판독 등에 쓰이는 분야가 image sensor이다. 이러한 image sensor는 light point sensor, line point light guide 등으로 불린다.

Image sensor는 내시경보다는 해상도가 낮으나 상대적으로 넓은 면적을 scanning 해야 하므로 광량의 균일성이 요구되고 최외곽의 형태가 원형보다는 직사각형의 형태가 주종을 이룬다.⁷

4.3 통신용 Multi 코어

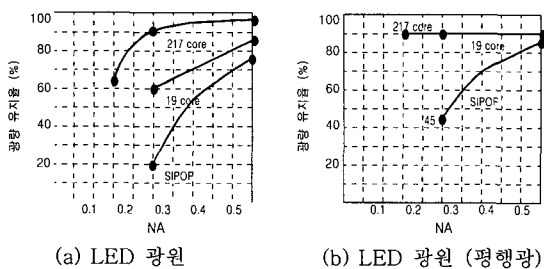
통신용 Multi 코어의 구조는 PIF와 동일하나 화상전송이 아닌 신호전송용으로 적용된 application

표 5. Multi 코어의 응용에

종류	단면구조	적용예	특징	요구조건
Image Guide			-GOF 대비 가격 낮음 -GOF 대비 해상도 및 밝기 부족 (연구중재) -최소 내시경 적용가능	해상도 -외경용 : 12,000core/2.5mm -산업용 : 6,000core/2.5mm
Image Sensor				-결함유무 check : 75core/미만/2.5mm -결함유무 check : 300core/2.5mm
통신용 multi-core			-Single core보다 Bending loss 낮음 -높은 전송속도 (GI와 SI의 중간)	-Core 수 : 217core/mm -전송속도 : 500Mbps -전송거리 : 50m -최소곡률반경 : 4mm (single fiber : 10mm)
대구경 Light Guide			-Single Fiber의 구경 증가(3배) 가능 -내광(복조선 포함) : 미흡관, 전사관 조립	
Side Light			-선발광(산란이동) -Neon sign 대체가능 (100W/100cm) -주간 가시성 우수 -모손유형 불	-Core 수 : 45-150 -30m 균일 발광 (100W Lamp 3100K)
Ribbon			-면발광(산란이동) -Sign, Back light 적용	-발광부의 균일도 -Sign : 14% 이내 -Back light : 3% 이내

이다. Multi 코어 POF를 신호전송용으로 적용시 최대의 장점은 굴곡에도 누광이 없어 광량이 유지된다는 점이다. 특히 NA값이 낮으면 입사광량이 낮으나 multi 코어화하면 NA값에 의해 영향을 적게 받는다.⁹

SI POF에서는 섬유에 입사한 빛은 코어를 통과하고 clad에서 전반사하면서 광을 전송하지만 그 경로차가 NA 값에 비례하여 커지므로 신호전송시 delay time이 발생하여 고속전송시 부적합하다. 현재 사용되는 거의 대부분의 POF는 NA가 0.5 정도로 100 M 전송시 80-100 Mbps가 한계로 나타난다. 이러한 delay time을 극복하기 위해서는 두 가지 방법이 제안되어 있다. 첫째는 graded index 형의 POF이며 또 다른 방법은 NA 값을 낮추어야 한다. 전자의 경우 최적 굴절을 계수에 맞추기가 힘들어 품질의 최우선 항목인 전송속도가 일정하지 못하고 생산성도 매우 낮다는 단점이 있다. 후자의 경우 NA가 낮으면 광량 유지 성능이 현저하게 떨어져 전송거리에 제한을 받는다. 그러나 multi 코어형으로 제작할 경우 개개의 코어 부분의 입사 광량은 작지만 각 코어의 광량 총합이 출력 광량이 되므로 SI POF와 동일 광량을 유지하면서 전송속도를 높일 수 있다. Multi 코어수를 증가시키면 POF의 NA를 0.15 정도까지 낮추어도 광량 유지율은 높게 유지 가능하다. **그림 8**에는 SI POF와 multi 코어 POF의 코어수 변화에 따른 굴곡 광량 유지율을 나타내었다.



(a) LED 광원 (b) LED 광원 (평행광)
*곡률반경 10 mm 360° Fiber Diameter 1000 μm
SIPOF core diameter: 980 μm, 19 core: 18 μm, 217 core: 55 μm

그림 8. POF의 굴곡시 광량 유지율.

표 6. POF 전송대역 측정결과

POF	코어수	Fiber NA	대역 (MHz 100 m)	
			광입사 NA 0.25	광입사 NA 0.50
Single 코어	1	0.50	85	70
Multi 코어	19	0.25	210	170

Multi 코어 POF의 전체적 전송손실은 single 코어 POF에 비해 다소 떨어진다. 그 원인으로 두 가지를 들 수 있는데 그 첫째는 코어 점유율이 낮다는 점이다. Single 코어에 비해 코어 점유율이 70-90%로 그 비율만큼 입사 광량이 낮아진다. 둘째는 코어 clad간의 계면에서의 산란이 크다는 점인데 제조공법상 계면의 균일도가 multi 코어의 경우 상대적으로 낮다. 전송대역 측면에서 볼 때 multi 코어는 single 코어에 비해 신호간 경로차가 적어 delay time이 낮으므로 상대적으로 높은 전송대역 특성을 갖는다. **표 6**에는 multi 코어와 single 코어의 전송대역을 비교하였다.

4.4 기타

Analogue광을 대량으로 전송하는 light guide는 저가와 냉광이라는 장점 때문에 의료용을 비롯하여 산업용, 전시장용, 가정용 등에 많이 사용된다. 실제로 POF 시장에서 60% 정도가 조명용으로 사용된다. Light guide 분야에서 POF에 요구되는 항목은 적외영역의 흡수가 크기 때문에 MH, 할로젠 램프에서 나오는 열에 견딜 수 있는 내열성과 대량의 광량을 전송하기 위한 대구경화가 강하게 요구된다. 내열성의 해결은 재료설계 관점에서 접근이 이루어지거나 별도의 냉각장치를 부착하는 방법으로 해결할 수 있고 대구경화는 제조방법으로 극복할 수 있다. 대구경화의 최대 난점은 flexibility이다. PMMA는 다른 고분자에 비해 신도가 낮아 최대구경이 3 mm 정도로 알려져 있다. 10 mm 이상의 대구경화를 이루기 위한 유일한 방법은 multi fiber형으로 제조하여 집속하여야 한다. 그 외에도 측면 발광효과를 나타내어 board sign, 안전표시판, 실내장식 등에 주로 사용되는 side light나 면발광효과를 나타내는 ribbon fiber 등도 Conjugated Melt Spinning 방법으로 제조 가능한 응용분야이다.

5. 맺음 말

PIF를 비롯한 multi 코어형 섬유는 의료, 산업, 장식, 조명, 통신, 가정 등이 모든 영역에 걸쳐서 적용 예가 다양하다. 또한 소재 관련 산업군이므로 후가공 산업의 발달에 지대한 영향을 끼칠 것으로 예상되는 분야이다. 실제로 이 분야의 시장은 POF 시장의 5할 정도를 차지하고 있고 적용분야는 계속 확대되고 있다.

Single 코어 섬유는 경우 주용도는 통신용에 국한되어 있고 통신용 타경쟁 매체인 Copper, Wireless, Glass Fiber 등과 경쟁이 심각하고 시스템, 네트워크로 제한될 수 밖에 없으나 multi 코어 섬유의 경우 적용분야가 다양하여 사업 risk 분산이 용이하고 많은 분야에서 독자 영역이 구축되어 있다.

이러한 다양성과 잠재력을 충분히 갖추고 있음에도 불구하고 PIF에 대한 관심은 매우 낮다. 실제로 최근 POF 연구개발에 착수한 기업, 정부, 출연연구소, 대학 등은 대부분이 single 코어 type의 통신용 POF에 집중되어 재료 연구와 특성연구에 주력하고 있는 실정이다.

PIF 또는 mult 코어형 섬유의 제조기술은 전통 섬유산업에서 응용된 기술이므로 우리 나라의 코어 영역이라 할 수 있어 기술적으로 접근이 용이하다. Conjugated Melt Spinning기술을 활용한 PIF 제조기술의 조속한 완성을 통해 학계, 정부출연기관

의 재료연구 특성연구의 촉진과 다양한 적용분야와 후가공 산업의 확산이 기대된다.

참 고 문 헌

1. プラチック光ファイバー, 共立出版, 257 (1997).
2. T. Tsumanuma. et al., *Proc. SPIE.*, **906**, 92 (1988).
3. [http://www.nanoptics.com/Fiberoptic paper](http://www.nanoptics.com/Fiberoptic%20paper).
4. USFA 1951.
5. Mitsubishi Rayon Co. Ltd., USP 5,039,457.
6. Mitsubishi Rayon Co. Ltd., USP 4,872,740.
7. JIS Z 8722-1971.
8. Mitsubishi Rayon Co. Ltd., USP 4,812,012.
9. H. Munekuni, S. Katsuta, and S. Teshima, *Plastic Optical Fibers & Applications Conference*, **94**, 148 (1994).