

# Flexible 광PCB용 고분자 광도파로 개발

이종호

## 1. 서론

PCB(Printed Circuit Board)는 컴퓨터, 자동차, 전자기기 등 대부분의 산업에 응용되고 있다. 그런데, 정보의 고속화와 대용량화에 따라 PCB의 전기배선 시스템은 구리선에 의한 전송속도의 제한, 전기 선로간의 누화 특성, 실장 밀도의 제약 및 EMI(Electro Magnetic Interference) 등의 영향으로 인해 대용량 고속 전송에 한계를 가지고 있다. 따라서, 급격한 인터넷 사용에 따른 전송 및 교환 시스템의 대용량화나 전자기기의 고속화 및 고밀도화의 추세에 대응하기 어려운 상황이다. 해결책의 일환으로, 전송 신호거리를 줄이기 위한 FC-BGA (Flip Chip-Ball Grid Array), Stack Via, Multi Layer 개발 등과 더불어 대용량, 고속전송이 가능한 광PCB 기술의 적용 노력이 이루어지고 있다(그림 1).<sup>1~4</sup>

광PCB의 신호전달 역할을 하는 매체로 광섬유(optical fiber)와 광도파로(optical waveguide)가 있다. 클래드(clad)에 비해 굴절률이 높은 코어(core)쪽으로 광신호의 전반사가 일어남으로써 신호가 전달되는데, 기존 제작된 광섬유를 고분자필름 버퍼층에 내장시켜 광섬유를 통해 신호전달을 가능케 하는 화이버 임베디드(fiber embed-

ded) 방식과 클래딩 및 코어를 포함하는 도파로 전부를 고분자재료로 제작하는 고분자 광도파로 방식으로 나눌 수 있다. 코어의 사이즈는 단거리, 대용량전송, 송수신단의 광결합 빈도증가에 따라 다중모드(multi-mode)인 50  $\mu\text{m}$  내외를 사용한다. 특히 다중모드 도파로는 단일모드(single mode)에 비해 직경의 허용오차가 커서 대량생산에 있어 상대적으로 유리하다. 현재 PCB에 대한 광기술 적용은 집적회로의 입출력단 연결, 화이버 시트를 이용한 보드내 광신호 전달 및 보드간 연결용 인터커넥션에 이루어지고 있다(그림 2).<sup>1</sup> 또한, 전송용량 증가에 따라 12채널 이상의 광연결이 필요한데, 한정된 공간에서의 대량 신호전달을 위해 광회로 기반형 고분자 도파로에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.<sup>6</sup>

본 기고에서는 광PCB 기술에 있어서 다채널 대용량 인터커넥션이 가능한 고분자 광도파로용 고분자 재료와 제작공정에 대해 자세히 다루고자 한다.

## 2. 고분자 광도파로용 재료

전자회로의 보드간, 소자간 또는 소자내 연결 등의 초단거리 데이터 전송을 위한 광연결 매체로서, 광섬유, 광도파로 그리고 자유공간(free space)빔이 있다. 이중 광도파로를 이용한 광연결(optical interconnection) 기술이 동일 기판위에 다양한 광소자와의 고밀도 집적이 용이하며 정렬, 안정성 등의 문제에서 기술적 우위를 가지고 있다. 광도파로는 재료에 따라 반도체, 실리카, 고분자재료 등으로 구현이 가능하다. 반도체의 경우 광원 또는 광검출기와의 집적이 가능하나 거리에 따른 손실이 크며 제작 공정이 어려운 단점이 있다. 실리카는 저손실의 우수한 광도파로 제작이 가능하나 고온 열처리 공정을 필

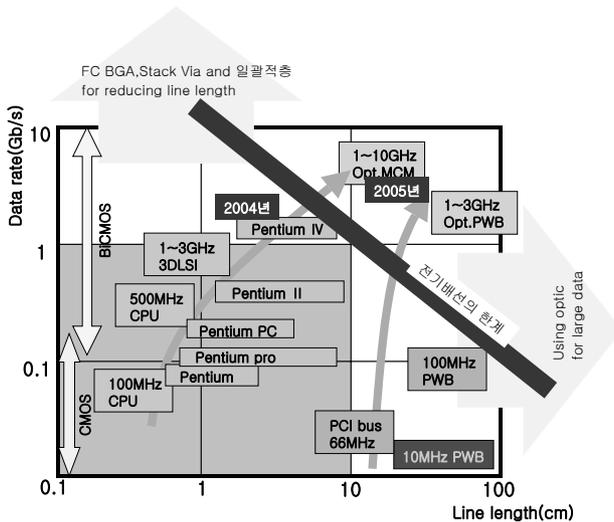


그림 1. PCB 개발 방향.



**이종호**  
 1984 부산대학교 고분자공학과(학사)  
 1986 부산대학교 고분자공학과(석사)  
 1989 SKC(주) 입사  
 1998~ 동경농공대 물질기능시스템부(박사)  
 2002  
 1989~ SKC 중앙연구소 수석연구원  
 현재

### Polymer Optical Waveguide for Flexible Optical PCB

SKC중앙연구소 신규소재개발실 (Jong-Ho Lee, Advanced Materials Development, SKC Co, Ltd, #911, Jeongja-1dong, Jangan-gu, Suwon, Gyeonggi-do 440-301, Korea) e-mail: jongho@skc.kr

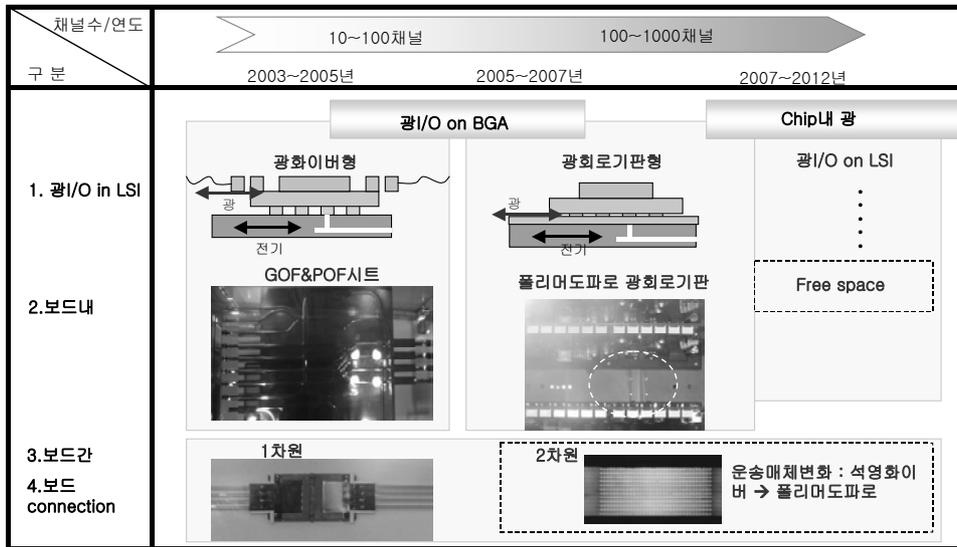


그림 2. 광인터커넥션의 발전.

표 1. 광도파로용 고분자 재료

회사	재료	Thermal stability	광손실 (dB/cm) 파장(nm)
NTT-AT Hitachi	Perfluorinated Polyimide (OPI™)	$T_g=309$ °C	0.3(1300) 0.7(1550)
Terahertz	Acrylate (Truemode™)	$T_g=150$ °C $T_d=350$ °C	0.4(1300) 0.5(1550)
Micro Resist Technology	Sol-Gel ORMOCER <sup>2</sup>	$T_d>270$ °C	0.23(1300) 0.5(1550)
RPO Pty Ltd	UV curable siloxane (IPG™)	$T_d>300$ °C	0.25(1300) 0.51(1550)
Zen photonics	Fluorinated acrylate (ZPU12-RI™)	$T_d=300$ °C	0.06(1300) 0.32(1550)
	Fluorinated ether (ZP-49™)	$T_d=480$ °C	0.14(1300) 0.30(1550)

\* Zenphotonics는 Chemoptics로 바뀌었음.

으로 하고 기판의 제약이 많은 단점이 있다. 고분자를 이용한 도파로는 저렴한 소재, 간편하고 용이한 제조공정, 대량제작 기술의 적용이 가능하여 최근 들어 연구가 활발하다.<sup>7</sup>

대표적인 고분자 재료에는 폴리실록산(polysiloxane) 계열, UV (Ultraviolet) 경화형, 폴리이미드(polyimide) 계열이 있다. 졸겔(Sol-Gel) 방법에 의하여 만들어지는 폴리실록산 계통의 고분자는 실리카를 함유하는 구조적인 특성을 가지고 있으며, 1.438~1.543의 굴절률 범위에서 조절이 가능하여 광도파로 소재로 많은 각광을 받고 있다. NTT사의 polyphenylsilsesquinoxane (PPSQ)는 중수소가 치환된 폴리실록산 구조인데 열분해 온도가 400도 이상으로 우수한 열적 특성을 가진다. UV경화형 고분자는 아크릴레이트(acrylate) 기나 에폭시(epoxy)기를 함유하여 분자구조 내에 광가교(optical crosslink)가 가능하므로, 포토리소그라피(photolithography)나 레이저직접전사(laser direct writing) 공정으로 소자제작이 가능하다. Allied Signal사에서 발표한 UV경화형 아크릴레이트 고분자의 경우 광손실이 실리카 광도파로와 유사한 수준인 0.05 dB/cm(1550 nm)이다. 이밖에 방향족 그룹과 이미드 그룹을 함께 갖는 고분자로서 내

열성이 매우 우수한 폴리이미드계 고분자, PMMA의 광손실을 개선하기 위한 이중수소 및 불소가 치환된 PMMA계 고분자, 그리고 일반적인 전자재료인 BCB(benzocyclobutane)의 광도파로 소재 적용을 위한 노력이 있어왔다. 표 1에 대표적인 광도파로 소재의 간략한 특성을 나타내었다.

### 3. 고분자 광도파로의 제조공정

고분자 도파로의 코어 패터닝(core patterning)법은<sup>8</sup> 크게 나누어 건식 식각, 습식 식각 및 엠보싱(embossing) 방식 등이 있다. 그림 3에는 이들 제조공정을 비교 설명하였다.

건식식각법은 스핀코팅(spin coating), 에칭마스크(etching mask) 공정, 반응이온식각(reactive ion etching) 공정을 통해 도파로를 제작하는 방법이다. 코어패턴의 거칠기가 증가됨에 따라 광손실이 크게 증가되므로 특히 패턴측면(sidewall) 거칠기 감소를 위한 공정변수 최적화가 중요하다. 일반적인 반응이온식각은 고주파전원장치(RF power source)를 가지고 있어 플라즈마 밀도(plasma density)를 만들어 주고 이온에너지를 발생시킨다. 식각률은 고주파 전원에 비례하여 증가 되는데, 높아진 이온에너지의 스퍼터링(sputtering)에 의해 코어 및 클래드가 손상을 입게 된다. 이런 경우 일반적인 반응이온식각 장비에 비해 두개의 고주파 전원을 가지고 있는 고밀도 플라즈마 식각 장비인 ICP(Inductively Coupled Plasma)를 사용하는 것이 상당히 유리할 수 있다. 즉, 이온에너지의 증가없이 플라즈마 밀도를 높일 수 있기 때문에 폴리머 재료의 표면 손상을 줄이면서 높은 식각률을 구현 할 수 있다.

습식식각법은 코어물질이 감광 특성을 가질 때 적용할 수 있다. 감광성 고분자를 기판에 코팅하여 박막을 형성시키고 고분자 위에 포토 마스크를 올린 후 노광시키고 적당한 화학 약품을 이용하여 감광막을 현상 시키는 단계를 거쳐 코어 패터닝을 한다(그림 3). 이 공정은 건식 식각과 더불어 고가의 장비 사용이 필요하며 패터닝 깊이가 한정된다는 단점을 가지고 있지만, 기존 공정의 틀을 그대로 유지할 수 있다는

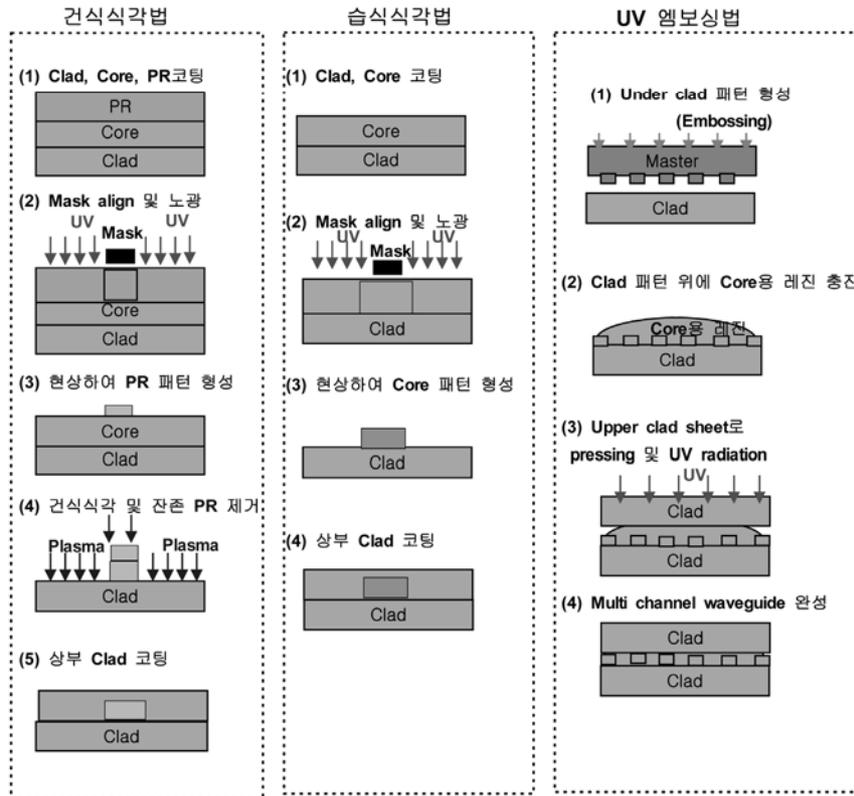


그림 3. 대표적인 광도파로 제조공정.

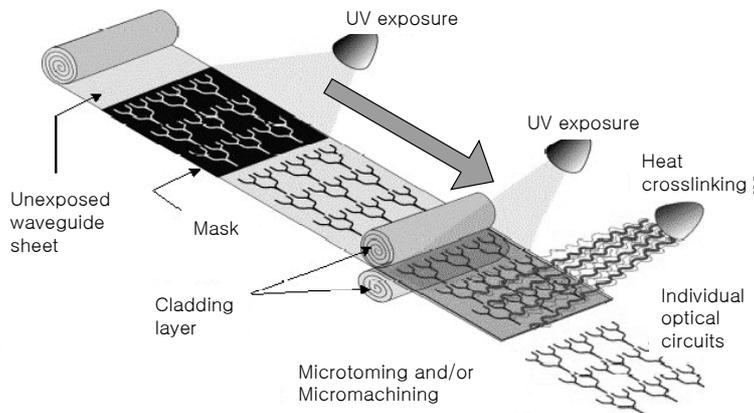


그림 4. Optical Crosslink사의 폴리머광도파로 제작 공정.

측면에서 안정성 있는 공정이다.

레이저직접전사법은<sup>9</sup> 감광성 고분자층에 레이저 조사를 통해 고분자의 굴절률을 변화시킨다. 기존 포토리소그래피 방식과 달리 포토마스크가 필요 없으며 대면적 공정이 가능하다. Optical Crosslink사에서는 UV 패턴의 변형된 방식으로 고분자 도파로필름(polymer waveguide film)을 제작하였다. 포토마스크층을 통한 국부적인 UV 조사를 통해 필름의 굴절률을 변화시키고 상부, 하부클래드층을 라미네이션(lamination) 시킨다(그림 4).

코어패터닝의 또 다른 방법으로 엠보싱법이 있다. 재료특성에 따라 UV(Ultraviolet) 또는 열에너지를 이용하여 제작한다. 독일을 중심으로 발전하기 시작한 핫엠보싱(hot embossing) 기술은 공정이 단순하고 다양한 형태의 평면 광도파로 제작이 용이하여 Fraunhofer 연

구소 등에서 활발한 연구가 진행되고 있다(표 2). 유리전이온도( $T_g$ ) 이상으로 가열시킨 고분자재료와 패턴이 새겨진 몰드(mold) 사이에 압력을 가하여 몰드의 패턴을 고분자에 전사시키는 방식이다(그림 3). 몰드제작은 LIGA(Lithographie Galvanoforming Abformung), Si-DRIE(Silicon Deep RIE), Photoresist 패턴링, 전기도금 등의 방식을 이용한다. UV엠보싱 방식은 핫엠보싱과 유사한 방식으로 몰드로 UV경화형 고분자 위에 일정압력을 가하고 UV를 조사하여 만들어 내는 방법으로 몰드의 패턴을 고분자 위에 전사시킨다.

이와 유사한 기술로 소프트 리소그래피(soft lithography)법이<sup>10</sup> 있다. 연성 재료의 몰드를 이용하여 패턴을 제작하는 기술을 통칭하여 일컫는 말인데, 원형 몰드, 인쇄판 혹은 노광용 마스크 등의 재료로 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS)과 같은 고무계 재료를

표 2. 핫엠프로세싱법에 의한 도파로 제작 사례

기관	소재	구현소자	광손실 (dB/cm) 파장 (nm)
Dormund	Clad: PMMA+lactone Core: UV-curable PFPMA (pentafluorophenyl-methacrylate) + $\alpha$ -methalene-lactone-copolymer	단일모드 열광학 스위치 (1×2, 1×4)	0.6 dB/cm@1300 nm 1.2 dB/cm@1550 nm Thermally stable: 130 °C
IMM	Clad: PMMA Core: UV-curable adhesive+TFPMA (tetrafluoropropylmethacrylate)	단일모드 스플리터 (1×2)	Excess loss: 3.5 dB±0.6 dB
Fraunhofer-ISC	Clad: ORMOCER Core: ORMOCER	단일모드 광도파로	0.06 dB/cm@633 nm 0.2 dB/cm@1320 nm
Fraunhofer-IRM	Clad: COC (cycloolefin copolymer) Core: UV-curable adhesive	EOCB용 다중모드 도파로	Thermally stable: 160 °C

이용한다. PDMS 고무는 계면 자유에너지가 낮고 화학적, 열적으로 안정하며 내구성이 강한 장점을 가지고 있다. 따라서, 기존의 포토리소그라피 방식에서 불가능하였던 공정의 단순화 및 신속성을 구현할 수 있으며, 비평탄 기판 위에서의 패턴 형성이나 특이 물질을 사용한 패턴 형성에 적용이 가능하여 폭넓은 영역에서 활용이 가능하다. 이렇게 만들어진 PDMS 몰드를 이용하여 고분자 레진에 패턴을 복제하는데, 복제법으로는 micro contact printing (uCP),<sup>11</sup> replica molding (REM), microtransfer molding (uTM), micromolding in capillaries (MIMIC), solvent-assisted micromolding (SAMIM) 등이 있다.

#### 4. Roll-to-Roll에 의한 FOCB공정 개발

##### 4.1 FOCB(Flexible Optical Circuit Board)용 광도파로 소재 개발

광PCB용 광도파로 소재로서 고분자 재료는 다양한 제작 공정에 적용이 용이하며 이를 이용한 도파로 제작은 공정이 비교적 간단하게 구현 가능하여 저가의 제작 공정을 실현하는데 매우 적합한 소재라고 할 수 있다.

그러나 고분자 재료의 경우 C-H 결합의 분자 구조에 기인한 분자 진동으로 인해 물질 고유의 광흡수에 의한 1550 nm 대역에서의 높은 광손실을 피할 수 없어서, 불소 등이 치환된 고가의 수지를 사용함으로써 사용 파장 대역에서 저손실을 구현하는 연구가 진행되어 왔다.

광통신용 소자의 경우 일반적으로 단일모드(single mode) 구조이기 때문에 요구되는 클래드층의 두께는 10  $\mu$ m 이하 수준이었다. 또한 일반적으로 석영 또는 실리콘 기판상에 코팅되어 지기 때문에 두꺼운 코팅 형성시 발생할 수 있는 코팅층의 curl 및 내부 스트레스 등에 의한 변형 등의 문제점에 대한 해결방법은 아직 개선되어지고 있지 않다.

또한, 응용분야에 비추어 볼 때 사용되는 광학고분자 재료의 경우 보다 낮은 가격 형성이 필수적으로 요구된다. 상기 열거한 내용에서 보 여지 듯 FOCB 제작을 위한 광학 고분자 재료의 경우는 기존에 연구 되어 오던 광통신용 고분자 재료와 연구 내용에 있어서 차별성을 가질 수밖에 없다. 따라서 FOCB용 광학 고분자 재료는 저가 생산 공정에 적합하고, 850 nm 대역 또는 그 이하 대역에서의 낮은 광손실 구현 하여야 하며, flexibility 확보, 50  $\mu$ m 이상의 박막 형성에 적합, 200도 이상의 고온 환경에 대한 내열성 및 낮은 제조비 구현이 가능한 재료여 야 한다.

본 연구에서는 광도파로 제작 공정으로 UV embossing 방법을 이

표 3. 개발 FOCB용 고분자 재료의 물성

구분		FOE-114	FOE-117	FOE-116	FOE-115
굴절률	@852 nm	1.5580	1.5459	1.5306	1.5072
	dn	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000
Viscosity	cps/25 °C	172	110	250	145
Hardness	pencil	F	F	HB	HB
Thermal property	DSC- $T_g$ (°C)	38.31	34.58	20.86	31.26
	TGA- $T_d$ (1%)	<b>296.33</b>	<b>277.62</b>	<b>280.43</b>	<b>260.61</b>
	TGA- $T_d$ (3%)	294.55	306.11	319.78	304.76
	TGA- $T_d$ (5%)	306.66	319.06	332.90	325.95

표 4. FOCB용 고분자 재료의 광학 특성

구분	Thickness(core/clad)	측정 길이	Loss(dB/cm)
FOE114/FOE116	6.19/12.40 $\mu$ m	10 mm	0.0510
FOE114/FOE115	5.93/11.10	10 mm	0.0100
FOE116/FOE115	5.54/11.10	10 mm	0.0130

용한 roll to roll 공정을 개발하였으며, 재료로서 UV경화형 acrylate resin을 사용하여 요구 특성에 맞게 다양한 종류의 acrylate resin의 조합을 통하여 최적의 재료를 개발하였다. FOCB에 사용되는 광원인 VCSEL의 발광 파장 대역이 850 nm 또는 그 이하 파장대역이기 때 문에 아크릴레이트 계열의 수지로도 충분히 낮은 광손실의 재료 구현 이 가능하다.

표 3은 본 연구에서 개발된 재료의 물성 평가표이다. FOE-114, FOE-117, FOE-116은 광도파로용 코어재료로서, FOE-115는 클 래드 재료로 개발되었다. 예상되는 코어/클래드 간의 굴절률 차이는 0.03~0.05이며 향후 FOCB 제작시 이종 재료간의 formulation(혼 합비) 등을 통하여 원하는 NA(numerical aperture)를 자유롭게 구현 할 수 있다. 점도는 UV embossing 공정에 적합하게 저점도로 개발하 였다. UV embossing 공정에서 사용재료의 점도가 높을 경우 패턴상 에 resin이 균일하게 채워지지 않을 수 있으며, 공정상에 발생할 수 있 는 기포 등의 발생으로 좋은 품질의 도파로를 얻을 수 없다. 내열 특성 의 경우 개발된 4종류의 재료 모두 250도 이상의  $T_d$  값을 보여주었으 며, 향후 soldering 공정에 적용시에도 적합할 것으로 예상된다.

사용재료의 광학적 특성을 측정/평가하기 위하여 Si 기판 위에 개 발 재료를 스핀 코팅하여 광손실을 측정하였으며 측정 결과는 표 4와 같다. 전체적으로 광손실 0.2 dB/cm 이하의 우수한 결과를 얻었다.

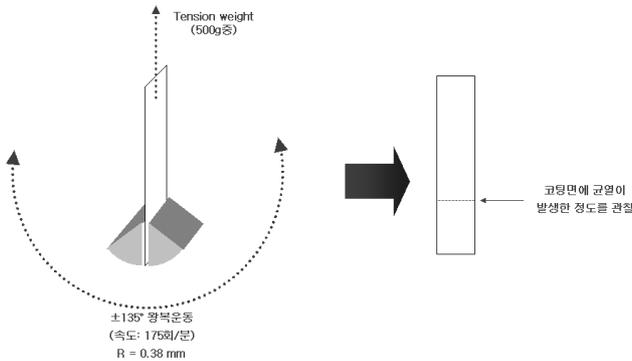
##### 4.2 재료 개선

기 개발된 재료는 Roll to Roll 공정에 적합한 재료이지만, FOCB

특성상 굴곡성 평가중 crack이 발생하여 개선 테스트를 하게 되었다. 그 내용은 다음과 같다.

#### 4.2.1 굴곡성 개선

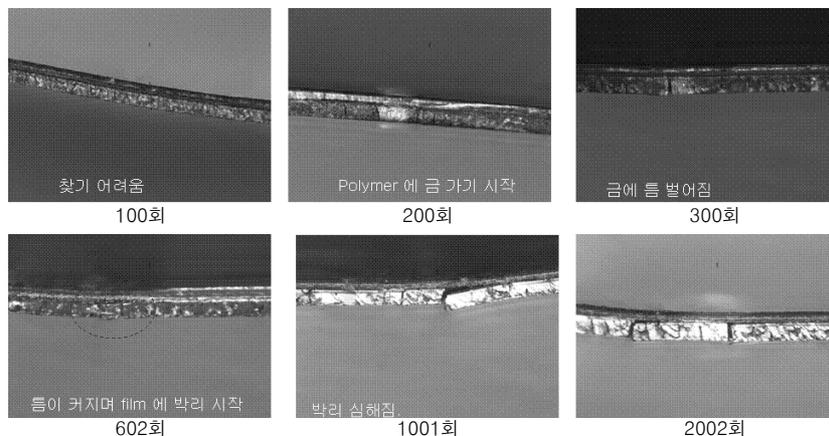
FOCB용 광도파로의 굴곡성을 향상시키기 위하여 클래딩 재료를 개선하였으며 그 테스트 결과 및 개선 사항은 다음과 같다. 코어/클래딩 재료는 FOE-116/FOE-115를, 기판으로는 50 μm PET 필름을 사용하여 Roll to Roll 공정으로 제작하였다. 제작한 FOCB용 광도파로의 굴곡성 평가를 위하여 굴곡성 테스트를 “S” 사에 의뢰하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 테스트 방법으로는 **그림 5**와 같이 FOCB용 광도파로 샘플을 위치한 후에 MIT Machine에 샘플 홀더의 굴곡반경인  $R=0.38$  mm, 각도  $\pm 135^\circ$ 로 분당 175회 500 g을 인가하여 테스트하였으며 이때 광도파로 샘플의 길이는 10 cm이며 폭은 5~10 cm로 통일하였다.



**그림 5.** 굴곡성 테스트 도식도.

속도: 80회/분 (Fail 없이 정해진 Count로 Folding 후 시료상태 관찰)				
1	2	3	4	5
1000회	300회 (#1)	300회 (#2)	200회	100회

**그림 6.** 굴곡성 테스트 결과-각각 굴곡 횟수 후에 위에서 관찰한 모습.



**그림 7.** 굴곡성 테스트 결과-각각 굴곡 횟수 후에 관찰한 현미경 단면사진.

각 테스트를 횟수 별로 분류한 후에 코팅된 상면과 측면에서 관찰하여 결과를 다음과 같이 얻었다. 상면 관찰 즉, 위에서 관찰하였을 때에 200회 이상에서 crack 현상이 관측되었다. 이러한 현상이 실제로 필름에서 발생한 현상인지 코팅된 재료에서 발생한 현상인지 파악하기 위하여 도파로 절단면을 관찰하였다. 그 결과를 **그림 6**과 **그림 7**에 나타 내었다.

그림에서 보면 필름에서의 crack 발생은 거의 없었으며, 코팅된 재료에서 crack이 발생함을 알 수 있었다. 이상의 결과로부터 굴곡성 개선을 위해서는  $T_g$ 가 낮은 재료를 찾아서 flexibility를 향상시킴으로써 crack 발생을 억제하였고, crack 발생이 클래드층에서 일어났으므로, 클래드 부분 재료의 물성 개선에 중점을 두어 **그림 8**과 같이 재료를 개선하였다.

클래드 재료는 flexibility 부여를 위하여 사슬이 긴 모노머(CD-9038)의 함량비를 20~50% 가량 증가시키면서 굴곡성을 평가하였다.

**그림 9**에서 보면 알 수 있듯이 기존의 클래드 재료에 비해 crack 발생 시점이 늘었으며, 모노머의 비율이 50%일때 500회까지 crack이 발생하지 않는 우수한 물성을 보였다.

#### 4.3 신뢰성 평가

내굴곡성이 향상된 클래드 재료의 신뢰성 평가는 High Temperature Storage 테스트와 Temperature cycle 테스트로 진행하였고, 각각의 결과는 **그림 10** 및 **그림 11**에 나타내었다.

##### ① 고온 보관(High Temperature Storage) 테스트

85 °C, 1 기압 상태에서의 굴절률 변화를 측정하였으며 2,000시간까지 굴절률의 변화가 거의 없으므로 인하여 우수한 신뢰성을 확인할 수 있었다.

##### ② 온도 사이클(Temperature Cycle) 테스트

온도를 -40~85 °C, 1 기압 상태에서 변화를 주면서 굴절률을 측정한 결과 200 cycle까지 굴절률 변화가 없음을 확인했고, 베이스 필름과 도파로층과의 분리도 되지 않았다.

#### 4.4 FOCB용 고분자 광도파로 Roll to Roll 공정 개발

광도파로와 관련되어 보고된 연구/개발 내용은 향상된 물성 및 광학 특성을 보여주고 있지만, 아직까지 대량생산 공정에 대한 연구는 미약한 편이다. 대부분의 광도파로 제작이 실험실 규모에서 소량 생산에 적합한 방식으로 제작되어지고 있으며, 그러한 방법으로 제작된 광도파로는 결과적으로 높은 생산 비용과 낮은 수율의 문제점을 갖는다.

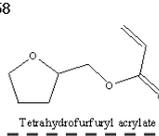
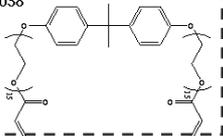
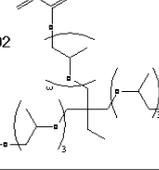
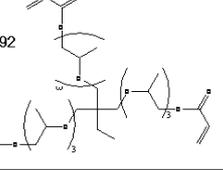
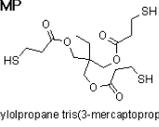
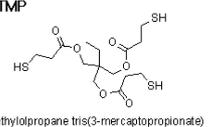
		Clad FOE-115(RI = 1.5072)	함량	Clad FOE-015-3 (RI = 1.5051)	함량
구성성분	Multi-functional monomer	SR-258  Tetrahydrofurfuryl acrylate	45	OD-9038 	50
	Additive	SR-492 	5	SR-492 	30
	Functional oligomer	CN-121 Epoxy acrylate oligomer	45	CN-121 Epoxy acrylate oligomer	15
	High refractive monomer	TMP TMP  trimethylolpropane tris(3-mercaptopropionate)	4	TMP TMP  trimethylolpropane tris(3-mercaptopropionate)	4

그림 8. FOCB용 광도파로의 클래드 재료 개선.

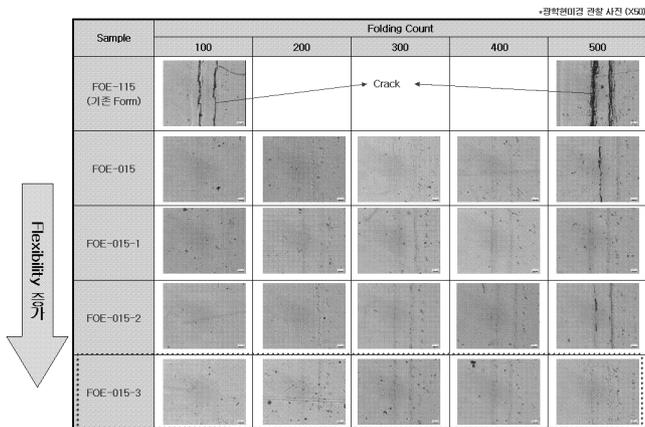


그림 9. 개선 굴곡성 테스트 결과.

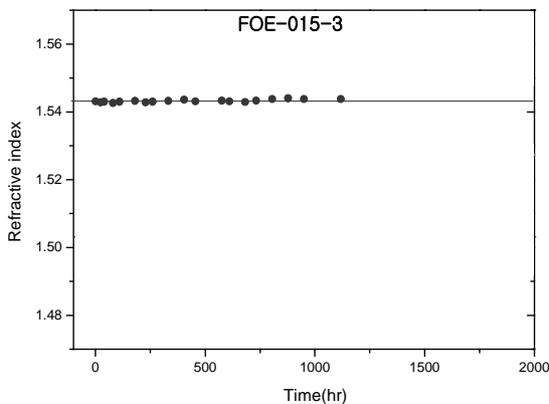


그림 10. 클래딩 재료의 고온 보관 테스트.

산업체에서 광도파로의 보다 폭넓은 응용과 응용제품 개발을 위해서 선행되어야 할 것이 바로 광도파로의 생산성 향상이다. 따라서, 본 연구에서는 FOCB 개발과 관련하여 공정 개발에 역점을 두었으며, 제조원가 및 생산성 향상을 위해서 Roll to Roll 공정을 적용하였다.

그림 12는 광도파로 제작용 Roll to Roll 공정도이다. 그림 13은 제작

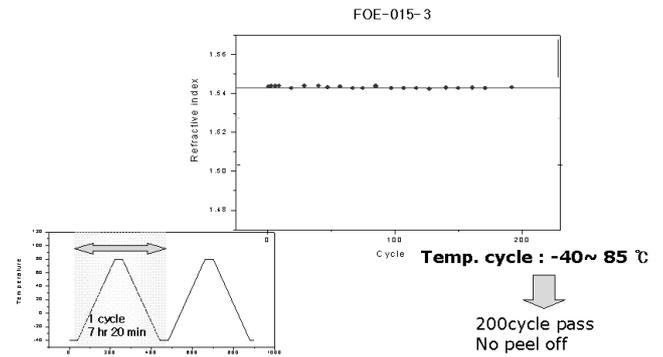


그림 11. 클래딩 재료의 온도 사이클 테스트.

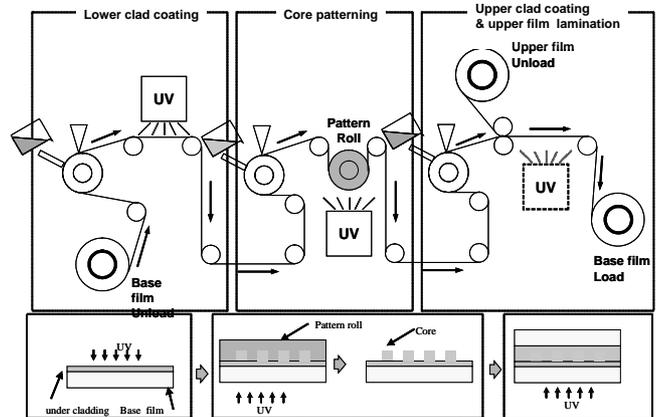


그림 12. FOCB 광도파로 제작용 Roll to Roll 공정 개념도.

된 FOCB 광도파로의 사진이며, 기재로 두께 50  $\mu\text{m}$  PET (polyethylene terephthalate) 필름을 사용하였고, under clad층 두께는 15  $\mu\text{m}$ , core층 두께는 60  $\mu\text{m}$ , upper clad층 두께는 15  $\mu\text{m}$ 이며, 전체 두께는 140  $\mu\text{m}$ 로 제작되었다. 각 core의 크기는 60 $\times$ 60  $\mu\text{m}$ 이며, pitch는 250  $\mu\text{m}$ 로 제작되었다. 제작된 FOCB 광도파로의 물성인 광손실,

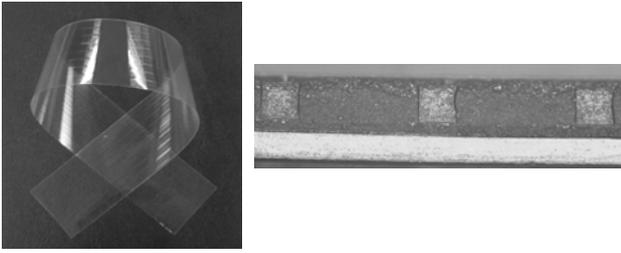


그림 13. 제작된 FOCB 광도파로 사진.

표 5. FOCB용 광도파로의 광학특성치

	개발 목표	달성치
재료의 광손실	0.1 dB/cm	~0.9 dB/cm
Optical layer의 단면 평탄도	50 nm	35 nm
Optical layer의 광손실	0.7 dB/cm	~0.6 dB/cm
Optical layer의 채널 균일도	1	0.2
Optical layer의 채널간 신호잡음	-30 dB	-35 dB

단면 평탄도, 채널 균일도, 채널간 신호 잡음은 표 5와 같은 우수한 물성을 보였다.

## 5. 결론

PCB 전기배선 시스템의 문제점으로 전송속도의 제한, 전기 선로간의 누화 특성, 실장 밀도의 제약 및 EMI(Electro Magnetic Interference) 등이 있는데 이를 해결하기 위한 대안으로 광 PCB가 대두되고 있다. 실장밀도를 낮추고 광소자의 집적화를 높이기 위한 방법으로 광도파로형 구조가 유리할 것으로 보인다. 세계적으로 광PCB시장은 아직 성숙단계에 진입하지 못한 상태이므로 활발한 교류와 연구활동이 필요한 시점이다. 지금까지 광도파로용 고분자 재료와 제

작공정에 대해 알아보았다. 현재 광도파로 재료와 제조 방법에 대해서 여러 학교와 기업들이 경쟁적으로 연구개발을 하고 있다. 특히, 당사는 Roll to Roll 공정 개발을 하여 외국의 타회사들과의 저가 대량 생산 경쟁이 가능하게 되어서 수년 이내에 발생할 광도파로의 수요 증가에 능동적으로 대응할 만하다. 앞으로 광PCB의 폭발적인 성장이 예상되고 있으므로 생산성이 좋은 재료와 혁신적인 방법으로 광도파로를 제작하는 공정개발의 개선이 지속적으로 이루어져야 하겠다.

## 참고문헌

1. L. Eldada, *IEEE Quantum Electronics*, **6**, 54 (2000).
2. 하상원, *FEPCB, WEPCB 기술개발*, 삼성전기(주), 수원시, vol. **1**, p. 1~25 (2004).
3. K. Kazuhiko, *Optronics*, **271**, 154 (2004).
4. T. Yukio, *The Highly Advanced Optoelectronic Circuits Technologies*, Ueno Kenbu, 일본프린트회로공업회, 일본 동경, vol. **34**, p. 1~185 (2004).
5. 윤형도, *광PCB 기술동향 및 시장현황 분석*, 전자정보센터, 성남시, vol. **1**, p. 1~28 (2004).
6. 정명영, *다채널 광커넥터 기반의 고속 광접속 모듈 및 패키징 기술 개발*, 최상국, 한국전자통신연구원, 대전광역시, vol. **1**, p. 1~130 (2002).
7. H. Ma, *Adv. Mater.*, **14**, 1339 (2002).
8. 유필진, *화학공학*, **41**, 1 (2003).
9. 신보성, *기계와 재료*, **15**, 128 (2003).
10. Y. Xia and G. M. Whitesides, *Annu. Rev. Mater. Sci.*, **28**, 153 (1998).
11. 조정대, *기계와 재료*, **15**, 118 (2003).