

광전자 화학복합소재 및 스마트 광응답소재기술

유의상 · 최명석 · 노병섭 · 나 건

1. 기술의 정의

광산업이란 빛을 만들고 제어하며, 활용하는 것과 관련된 소재, 부품, 기기 및 시스템 산업을 총칭한다. 자연광 이외에 특정파장이나 에너지를 갖는 광원을 만들고 생산된 광원을 이용하는 목적에 맞도록 굴절, 전송, 집중, 분산시키는 작업이 필요하며 최종적으로 제어된 빛을 이용하여 용도에 맞도록 활용하기 위한 모듈작업 및 평가 등을 광산업의 범위는 매우 넓다 하겠다(그림 1).

광산업의 용도별 주요 분류를 살펴보면 표 1과 같다.

현재 광산업의 국내수준은 범용제품 기술인 광학기기의 경우 선진국의 70~80% 수준이며, 광부품(다이오드, 디스크), 광통신, 레이저 등은 선진국의 30~50% 기술수준으로서 많은 기술력의 차이를 보

이고 있어 시급히 연구육성해야 할 분야 중에 하나라고 할 수 있다. 이러한 광산업의 기술은 물리학, 화학 등을 기초로 하는 기초기술에 서부터 산업계에서 강하게 요구되고 있는 응용기술, 디자인기술, 표준화 기술 등에 이르기까지 그 핵심경쟁력은 매우 넓은 범위의 학문을 포괄하고 있다.

광산업의 타산업과의 경쟁력 수준을 비교하여 보면 표 2와 같다.

정부에서는 현재 광산업을 지역특화산업과 연계하여 집중 육성하고 있는데, 광주지역을 광정보, 광통신, 광정밀, 광소재 등 광산업의 세계적 집적지로 투자하고 있다. 광산업에 활용되는 소재로서는 대부분 무기계 소재 또는 결정형 소재 등을 사용하고 있는데 그 이유는 빛의 생성, 빛의 제어, 빛의 활용 측면에서 무기계 소재가 효율이 매우 높기 때문이다. 최근 사용되고 있는 고기능성 소재들의 경우도 무기계 소재가 많으



유의상

1991 한양대학교 섬유공학(학사)
1993 한양대학교 섬유고분자공학(석사)
1998 한양대학교 섬유고분자공학(박사)
2004 메사추세츠 주립대 고분자공학과 박사후 연구원
현재 한국생산기술연구원 섬유융합연구부 수석연구원



노병섭

1994 부산대학교 금속공학(학사)
1996 한국과학기술원 재료공학(석사)
2000 한국과학기술원 재료공학(박사)
현재 한국광기술원 나노광전융합연구센터 센터장



최명석

1994 경북대학교 고분자공학(학사)
1997 경북대학교 고분자공학(석사)
2002 도쿄대학교 화학생명공학(박사)
2003 JST(일본) 나노공간프로젝트 연구원
2007 (주)SONY 재료연구소 연구원
현재 건국대학교 화학생명공학부 신소재공학 전공 조교수



나 건

1984~1989 전남대학교 공업화학(학사)
1989~1992 전남대학교 공업화학(석사)
1993~1997 전남대학교 공업화학(박사)
2002~2004 유타대학교 약학대학 박사후 연구원
2005~현재 가톨릭대학교 생명공학과 부교수

Smart Photo-functional Hybrid Materials

한국생산기술연구원 섬유융합연구부(EuiSang Yoo, Department of Convergent Textile Technology, Korea Institute of Industrial Technology, #1271-18, Sa-1 dong, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do 426-173, Korea) e-mail: esyoo@kitech.re.kr

건국대학교 화학생명공학부(Myung-Seok Choi, Department of Chemistry & Engineering, Konkuk University, 1 Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul 143-701, Korea)

한국광기술원 나노광전융합연구센터(Byung Sup Rho, Nano Photonics Research Center, Korea Photonics Technology Institute, Chumdan 4-ro, Buk-gu, Gwangju 500-779, Korea)

가톨릭대학교 생명공학과(Kun Na, Department of Biotechnology, The Catholic University of Korea, 43-1 Yeokgok 2-dong, Wonmi-gu, Bucheon-si, Gyeonggi-do 420-743, Korea)

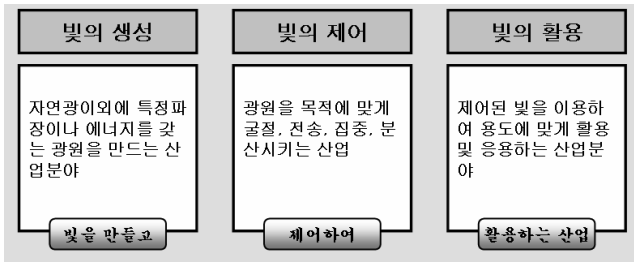


그림 1. 광산업의 범위.

표 1. 광산업의 용도별 분류

범위	주요품목	
광통신	광미디어	광섬유
	광통신부품	광커넥터, ONU, 광증폭기, 송수신기
	광통신 시스템	광전송시스템, 광교환기
광정보기기	광기록 부품	광픽업, 광다이오드
	광기록 매체	MOD, DVD, CD-ROM
	광입출력 장치	스캐너, 레이저 프린터
광정밀기기	레이저 발생기기	산업용 레이저, 레이저용 레이저
	정밀기공	절단-용접기, 마킹, 반도체 가공기
	광계측기기	광센서, 광계측기기
광원응용	의료광학기기	레이저응용 치료기, 영상진단기
	광원	산업용 광원, 고효율 광원
	광변환기기	태양전지, CCD
광소재	디스플레이 소자	LCD, FED, PDP, LED
	광소재	렌즈재료, 광섬유재료, 광촉매
	광학부품	카메라, 복사기, 팩시밀리
광학기기	화상기록재	카메라, 복사기, 팩시밀리
	관측검사기기	쌍안경, 현미경, 야시경
	광학부품	렌즈, 프리즘, 반사기

표 2. 광산업의 경쟁력 비교

산업	구분	1999	2005	경쟁력 수준
섬유 산업	생산(10억원)	35,100	43,471	1인당생산성: 일본의 50~80%
	수출(억불)	171	206	표준화디자인: 선진국의 50~60%
	세계시장점유율 (%)	5.5(4위)	-	신소재-제품개발: 선진국의 70%
컴퓨터 산업	생산(10억원)	13,128	30,000	상품화-제조기술: 선진국에 근접
	수출(백만불)	10,306	5.0	요소기술: 2~6년
	세계시장점유율 (%)	2.0(11위)	-	부족(마이크로프로세서, OS 등은 전적으로 선진국에 의존)
통신 기기 산업	생산(10억원)	8,480	18,524	평균기술수준: 선진국 대비 75.9%
	수출(백만불)	4,030	8,123	ATM 등 교환기술: 68.3% 수준
	세계시장점유율(%)	2.9	4.7	
광산업	생산(10억원)	9,000('98)	18,000('04)	광학기기: 선진국의 70~80%수준
	수출(백만불)	5,000	-	광부품-광통신: 선진국의 30~50%수준
	세계시장점유율(%)	5.0('98)	10.0('04)	

며 이러한 추세는 당분간 지속될 것으로 생각된다.

근래에 IT 및 디스플레이산업을 필두로 하여 유기계 광소재가 각광을 받고 있다. 이러한 유기계 소재의 가장 큰 장점은 가공의 용이성과 저가의 생산공정을 들 수 있다. 무기계 소재의 가장 큰 단점은 자연계에서 채취한 소재를 가공하여 사용하고 있기 때문에 언젠가는 자원의 고갈에 직면할 위험이 크다는 점이다. 실제 특정소재의 경우 이미 공급에 어려움을 겪고 있는 경우도 있다. 유기계 소재는 합성생산을 기본으로 하는 경우가 많기 때문에 자원고갈의 단점을 극복할 수 있는 장점을 가



그림 2. 광산업의 미래형 유기소재.

지고 있다. 현재로서는 무기계에 비해 효율이 낮다는 단점이 있으나, 유기 하이브리드 소재, 광전소자의 개선, 광제어 및 광응답 원리에 대한 지속적 연구가 이루어지고 있어 저효율문제를 극복하고 있으며, 응용의 다양성에 대한 장점이 급부상하고 있다. 한편 광발생, 광제어, 광활용 소재로서 최근 주목받고 있는 분야는 미래형 유기소재로서 **그림 2**와 같은 분야가 있다.

“광전자 화학복합소재 및 스마트 광응답소재기술개발” 소재원천기술 개발 사업단에서는 최근 미래형 광산업 유기소재로서 주목받고 있는 신규 유기 광소재 분야로서 광통신에 사용되는 광증폭 소재, POF(polymer optical fiber), 평면광도파 소재, 광역학치료용 유기소재와 광응용 분야의 가장 큰 시장을 형성하고 있는 디스플레이용 유기소재에 대한 미래형 선도기술을 개발하고 있다. 이러한 분야의 유기소재는 선진국을 중심으로 연구가 활발히 진행되고 있어 향후 8~10년 후에는 새로운 광산업 응용분야로 자리잡을 것으로 기대되고 있다. 특히 디스플레이용 컬러필터에 사용되는 유기소재의 경우 거대한 디스플레이시장의 선점을 위하여 에너지저감형 소재/공정에 연구가 집중되고 있는 실정이다.

본 기고에서 다루고자 하는 광산업용 유기소재의 4개 분야에 대한 간단한 개요는 다음과 같다. 첫째, “집광 히토류 유기 융합소재”는 초고속광대역 광통신을 위한 광증폭 집적소자에 필수적인 소재로서 무기 반도체 소재의 한계성능 극복을 위한 고효율 집광 광증폭 융합소재 기술이다. 둘째, “광집적 유기소재의 물성제어 기술”은 협소공간에서의 초고속 신호 전달용 광도파 시트 소재와 광대역 집적 광소자용 유기소재의 기계적 물성, 안정성 및 광특성의 최적화 기술로서 모바일기기 내의 고용량 정보전달과 광대역 광통신용 사용의 증가에 따른 고효율 광도파소재의 필요성이 급증함에 따라 반드시 개발되어야 할 소재이다. 셋째, “차세대 고효율 광응답 표시기능소재 기술”은 저전력형 LCD 백라이트에 대응할 수 있고, 디지털, Full-HD 방송에 적합한 고색상 재현을 위한 염료형 컬러필터의 필요성의 요구에 따라 ink-jet printing 방식의 컬러필터용 유기소재이다. 마지막으로 “바이오 스마트 광응답소재 기술”은 바이오 광응답 소재를 이용한 질병치료 분야 확대 및 세계시장 규모의 빠른 증가와 이에 이용되는 광원재료에 대한 요구 증가로 인해 관련 소재산업이 크게 주목받고 있으며 이에, 고성능, 고표적화가 가능한 질병인식 기능을 갖는 스마트 광응답 소재와 임상 진단 센서용 초소형 고효율 광원 소재이다.

2. 기술 개발의 필요성

신개념의 고효율 융합나노소재와 새로운 광전자 소자의 원천기술을 확보함으로써 세계적으로 선도하는 차세대 핵심 기술을 보유하고, 국제적으로 독보적인 고유 핵심 소재 및 소자와 지적재산권을 다량 확보로 참여한 국제기술 경쟁에 상당히 비교 우위를 차지한다. 다양한 요구 성

능을 만족시키는 고효율 융합나노소재 개발을 위해서는 고이득 광증폭 융합나노 소재의 분자설계·합성 기술, 고효율 집광 효과를 발현하는 집광나노소재 기술, 소재의 특성 제어기술, 광증폭 응용 기술의 핵심원천 기술 확보가 필요하다.

최상의 광증폭 특성을 발현하는 화학융합소재를 이용하여 광증폭 집적소자의 특성제어가 이루어지면 광증폭을 위한 집광효율이 매우 높아져 이러한 기술을 과장분할형 광고환 소자 및 차세대 태양 전지 등에 응용할 수 있게 되며, 작은 소비전력으로 고효율화 기능을 구현할 수 있어 그린에너지 시장형성에 일조할 수 있다. 2007년부터 본격화되기 시작한 FTTH의 보급, IPTV, UCC 등에 의한 인터넷 트래픽 증가에서 알 수 있듯이 향후 정보통신 데이터는 예측 불가능하게 폭증할 것으로 예상되며 이러한 새로운 통신환경은 인터넷 트래픽의 급증을 초래하고, 관련 기능성 광소자 수요의 확대를 불러온다. 특히 광통신이 기간망 중심에서 각 도시의 메트로망 및 각 가정까지의 가입자망으로 확대 보급됨에 따라 광소자 시장에서의 요구사항이 고성능, 고신뢰성 확보에서 저가의 대량생산과 고집적화 및 저소모 전력화로 변화하고 있다. 유기 광소자는 이러한 시장의 요구사항에 가장 부합되는 광소자로 부각되고 있으며 유기 고분자는 실리카(SiO₂), 반도체, 단결정 무기 재료에 비하여 10배 이상 높은 열광제어특성을 지니므로 가변 광감쇠기, 광스위치 등의 가변제어 광소자의 전력소모를 대폭 절감할 수 있다.^{1,2} 정보통신기 기내 통신에 있어서도 Sony-Ericsson사가 예측한 2012년 모바일 통신기기의 성능을 감안하면 필요한 전송속도는 2.0 Gbps 이상으로 이는 구리선 기반의 정보 전송 시스템(컴퓨터, 휴대 단말기, HD TV, 및 디지털 카메라)내 정보 전송이 향후 5~8년 전기에서 광으로 대체되어짐을 예측케 하며 이에 적절한 광도파로 재료의 개발이 필요하다는 인식 아래 전송 환경에 따라 휘어지는 형태의 광도파로 부품 개발이 진행중에 있다. 휘어짐의 특성은 유기 고분자 재료의 고유 특성으로 화학재료는 이에 적합하며 또한 대용량 및 초고속 전송을 위한 신호다중분할 방식은 광신호 전달 부품 설계 및 공정 측면에서 화학재료의 고유 특성인 고직접효를 이용함으로써 가능하다.³ 광고분자 재료는 고분자 유기 광소자의 핵심 경쟁력을 좌우하므로 세계 각 기업들이 자체 개발 등으로 광소자 제작을 수행하고 있지만 관련 화학 소재 구조 등에 대한 공개가 전혀 이루어지지 않으므로 유기 및 고분자 광소자 개발을 위하여 핵심 화학 소재 기술의 확보가 필수적이며, 미래 시장 개척을 위해 정보기기의 광신호 전달용 광전도물개발은 국내외적으로 활성화되어 있으나 부품간 관련 광도파로 소재 개발 현황은 국내를 포함하여 전 세계적으로 미미하여 미래 재료시장을 겨냥한 연구 개발의 최적기로 생각된다.

국내 디스플레이 산업은 모니터와 TV로 대변되는 브라운관(CRT) 생산의 경우 세계시장의 50%에 육박하는 점유율을 기록할 정도로 세계 최대의 생산국가로 이미 자리잡았다. 또한 TFT-LCD의 경우도 100억 달러 이상의 산업규모를 자랑하며 자동차, 반도체 산업에 이어 한국을 대표할 산업으로 자리를 잡아가고 있다. 특히 국내 TFT-LCD 산업은 세계 1~2위 업체를 보유하고 있을 뿐만 아니라 시장점유율(출하량 기준) 측면에서 또한 2001년에 이어 2002년에도 39.9%를 기록하며 1위를 차지하며 시장 지배적 입지를 유지하여 왔다. LCD에 사용되는 back light는 현재 CCFL을 주로 사용하고 있으나 저전력의 LED 광원을 사용할 경우 저전력, 고휘도의 장점이 있어 향후 CCFL을 대체할 것으로 전망된다. 따라서 LED 또는 OLED back light unit (BLU)용 컬러필터 소재의 개발이 시급한 실정이다(이미 KODAK에서는 시작품 발

표).⁴ 또한 방송규격이 디지털화, full-HD화합에 따라 기존의 3색(RGB) 안료의 색상 재현율이 한계에 도달하면서 동시에 안료의 단점인 가공공정 적용 취약 문제의 근본적인 개선이 요구되고 있다. LCD 10세대 이상의 상업화에 의한 컬러필터 생산공정 효율화가 시급하여, 종래의 비효율적인 lithography 방식을 대체할 ink-jet 방식 도입이 시작되고 있으나 핵심 기술 확보가 되어있지 않은 현실이다. 2010년경 일본에서 염료형 컬러필터 상용화 실현이 예상되어 이에 대응하는 원천기술개발이 시급히 요망되며 일본 LCD 제조업체간 제휴 강화로 인해 일본 염료의 한국 판매가 매우 제한적으로 진행되어 국내 LCD 업체들의 급격한 경쟁력 감소가 우려된다. 현재 일본 잉크회사를 비롯 세계적인 기술 선진국에서는 저전력 BLU용 컬러필터 개발에 많은 진척을 보이는 것이 사실이다. 컬러필터 제조 공정 측면에서 보면, 현재의 안료형 컬러필터는 3원색별 별도로 3회의 에칭공정을 사용하여 RGB pattern을 제조하는 매우 비효율적인 lithography 방식으로 제조되어 공정시간이 길고, 각 공정별 수율이 30% 미만으로 제조 원가 경쟁력이 매우 낮으며 폐기물 생성량이 많아서 환경문제를 야기한다. 본 기획에서는 RGB 3색을 포함한 6색 염료를 ink-jet printer를 사용하여 1회 공정으로 컬러필터를 제조하는 차세대 제조공법에 적합한 잉크 및 응용 기술을 제안하고자 하며 현재의 여러 가지 문제점을 동시에 해결하는 기술이라 사료된다.⁵

광역학 치료(photodynamic therapy; PDT)에 사용되는 광응답소재(광감작제, photosensitizer)는 빛에 노출되지 않으면 높은 농도에서도 세포 독성을 거의 나타내지 않다가, 특정 파장의 빛에 의해서 여기(excitation)될 때에만 반응성 산소종(일함 산소, 산소 라디칼, super-oxide 및 peroxide)을 생성해 내면서 세포 독성을 나타낸다. 광감작제를 정맥 주사 후 일정 시간이 지나게 되면 암 조직에 광감작제가 선택적으로 축적되게 되는데, 이때 암 조직을 중심으로 특정 파장의 빛을 쬐어주게 되면, 그 부분에 있는 암세포만 죽게 되고 빛을 쬐어주지 않은 다른 정상 조직은 보존되게 된다. 이러한 PDT는 미충족 의료수요(unmet medical need)를 만족시키는 새로운 의료 기술로 1928년에 개발된 페니실린과 비교될 만한 희망을 주는 혁명적인 치료법으로 인간의 생명 연장과 삶의 질을 향상시키는 새로운 고품격 의료 기술로 알려져 있다. 하지만 광응답제가 암 부위로 표적화가 되지 않아 암 뿐만 아니라 몸 전체에 퍼지게 되므로 치료 후 환자의 활동을 제한하는 단점을 가지고 있다. 현재 사용되는 광감작제의 경우 물질의 소수성 때문에 쉽게 몸에 축적되어 제거되지 않으며, 따라서 환자가 태양, 조명이 의해 정상 부위가 노출이 될 시에 정상조직에도 축적이된 광응답소재가 활성화되어 정상조직이 손상을 받을 수 있으므로, 광역학 시술 후 1주일간 야외 활동이 금지되고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 친수성이 강한 광감작제가 개발되고 있지만 너무 빠른 신장 배출 때문에 약효가 현저히 저하되는 것으로 알려져 있다.⁶ 또한, 광역학 치료법의 보편화에 따라서 광역학 치료에 사용되는 광응답소재의 시장이 급격히 증가하고 있으므로, 세계시장 선점을 위해서도 기존의 광응답제와 비교될 수 있는 새로운 개념의 차세대 광응답소재의 개발이 필수적으로 요구됨으로,^{7,8} 본 기획에서는 광역학 치료가 갖는 가장 큰 문제점인 광응답소재의 질병 비표적화를 극복하기 위한 질병 부위 인식형 스마트 광응답소재의 개발 기술이 필수적으로 요구된다(그림 3).

바이오 측정 센서 및 시스템 중에서 특정 단분자를 관찰하고, 감지하고, 분석하고, 계량화하는 데는 광학기술이 필요하다. 관심 있는 분자에 형광염료 분자나 발광하는 반도체 입자로 라벨링하고 특정 파장대의

광원을 조사함으로써 분자들의 위치와 활동을 추적할 수 있다. 특히 DNA와 RNA의 상호작용과 발현을 분석할 수 있는 기술로 사용할 수 있다. 또한 세포내의 유전자뿐만 아니라 에너지를 제공하는 ATP, 기타 효소들의 활동을 쉽게 관찰할 수 있다. 효소들의 활동을 광학적으로 분리 고집적시킴으로써 효소들의 반응을 정확히 관찰할 수 있다.⁹

이런 광학적 측정 기술 및 소자 기술을 이용하면 LOC(Lab-on-a-Chip) 형태의 광학 측정 소자를 구현할 수 있으며 이는 한 개의 시스템을 통해 특정 생체 반응 기작을 일괄적으로 측정하여 그 정보를 줄 수 있다. 이를 위한 기술로 MEMS 기술, 유전체학, 광집적회로, 마이크로 유체기술 광학기술을 접목한 소자기술과 그 측정을 위한 평가 기술이 요구된다. 광학 바이오센서는 평면 광도파로, CMOS, 광섬유다발, SPR, 간섭계 배열 등을 모두 망라하고 이러한 센서는 복합 시료 내 각 요소들의 포괄적인 정보를 제공하며 일정 조건에서 변화된 시료의 미세한 조성차도 모니터링이 가능하다. 이러한 장점 외에 소형화에 따른 저비용 및 측

정 속도의 향상 등의 장점을 가진다.

소자의 소형화-고집적화 및 검출물질의 적용범위 확대를 위하여 다양한 발광소재(자외-가시광 영역 및 백색)를 갖는 전기발광 기반의 광원 개발이 필수적이며, 높은 발광휘도와 신뢰성 및 내구성의 실현을 위하여 고효율의 발광소재 원천기술 개발이 요구되고 있다.

3. 화학소재원천기술개발 사업의 구성과 세부 분야별 국내외 연구 개발 동향

광산업용 미래형 유기소재의 가장 주목받고 있는 4개의 분야를 선정하여 “광전자 화학복합소재 및 스마트 광응답소재기술”의 사업을 구성하였다. 표 3에 각 세부과제와 목표를 간단히 나타내었다. 개발초기에

표 3. 세부과제별 연구요약

세부과제		목표
1세부	집광 회절류 융합소재 합성 및 특성 극대화 기술	· 광전자 특성의 기능 극대화를 위한 광통신, 디스플레이 및 의료부품을 구성하는 광전자 화학 융합소재, 평가 및 시스템 최적화 기술 개발 · 무기 반도체 소재의 한계성능 극복을 위한 고효율 집광 광증폭 융합소재 개발
2세부	광집적 유기소재의 물성 제어 기술	· 협소공간에서의 초고속 신호 전달 광도파로 소재와 광대역 집적 광소자용 유기소재의 기계적 물성, 안정성 및 광특성의 최적화 기술 개발
3세부	차세대 고효율 광응답 표시 기능 소재 기술	· CCFL을 대체하는 저전력 백라이트에 대응하고, 기존 안료형의 단점을 근본적으로 개선할 수 있는 고내구성의 printable 칼라필터용 염료형 잉크 기술 개발
4세부	바이오스마트 광응답 소재 기술	· 고성능, 고표적화가 가능한 질병인식 기능을 갖는 스마트 광응답 소재와 임상 진단 센서용 초소형 고효율 광원 소재 기술 개발

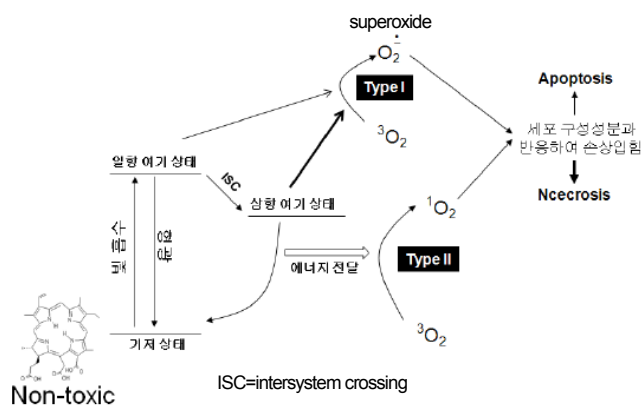
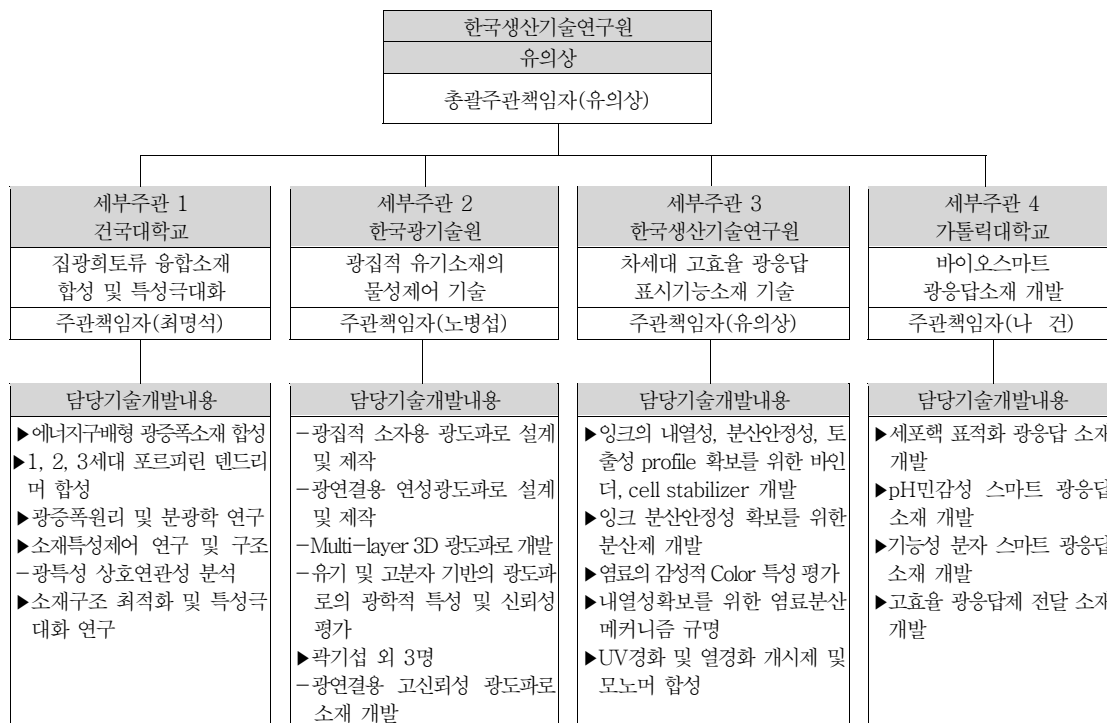


그림 3. 광응답소재의 세포 사멸 메커니즘.

표 4. 광전자 화학복합소재 및 스마트 광응답소재기술 사업단 구성



는 선진국의 유기 및 고분자 소재 분야의 연구 개발 동향을 분석하고 국내외 특허 분석을 실시하였고 이들 분석을 통해 유기 및 고분자 설계 및 합성, 고분자 필름화 및 공정, 광도파이프 및 광소자용 유기소재 기술 부문 등의 국내외의 특허 출원을 통하여 지적 재산을 확보하고자 하였다. 본 사업을 성공적으로 수행하기 위해서는 소재원천 R&D 팀과 참여기업이 실용적 공감대를 처음부터 같이 하고자 노력하고 있으며 최종 수요 업체인 대기업 등이 연구과정에 의견을 제시함으로써 설계, 공정, 평가기술을 상용화에 염두를 두고 개발해야 하며 개발될 원천소재 기술의 실용적 가치를 높이고 사업의 신뢰성을 조기에 확보하도록 유도하고 있다. 표 4에 각 세부과제를 담당하고 있는 연구팀과 간단한 연구개발 내용을 나타내었다.

3.1 집광 희토류 유무기 융합소재 개발 동향

Perfluorinated triphenylphosphine 리간드 (*Chem. Mater.*, **21**, 128–135 (2009).)는 이탈리아 Angelo Monguzzi 연구팀에 의해 연구결과가 발표되었다. 고분자 평면광도파로에 적용가능한 고품형성 광증폭소재의 개발에 성공하였고 고주파 진동모드의 도입을 통한 비복사 quenching을 현저히 감소시켰다(그림 4). Oligothiophene계 광증폭소재(*J. Luminescence*, **127**, 601–610 (2007).)는 이탈리아의 Silvia Destri 연구팀에 의해 개발되었다. 어븀이온 여기자 수명은 2 μ s이며 보조리간드로서 피리딘, phenanthroline을 사용하였다(그림 5). 덴드리머계 광증폭 소재는 (1) C. R. Chimie, **6**, 867–872 (2003), (2) *Chem. Phys. Chem.*, **12**, 769–773 (2001).) 이탈리아의 Balzani팀과 독일의 Vgtle팀이 공동으로 연구하여 3차원의 다분기구

조를 갖는 덴드리머 리간드를 이용해 희토류 금속의 광증폭 현상을 관찰하였다. 특히, 아미드(amide)기로 이루어진 덴드리머 외각에 dansyl기를 도입하여 dansyl기에서 란단계 금속이온으로의 효과적인 에너지 이동에 의한 광증폭이 일어나고 있음을 보고하였다. Dendritic isolation effect: egg-like 구조를 갖는 덴드리머 내부에 금속이온이 결합되면 외부환경(용매, 분자간력 등)에 의한 발광효율의 저하를 억제하며 산소를 제거한 용액 상에서 근적외선 영역에서의 발광을 관찰하였다(그림 6).

Diethylenetriaminepentaacetate acid계 유기 광증폭 소재는 Akzo

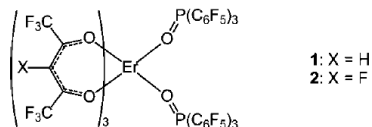


그림 4. Structure of perfluorinated Er^{3+} 착화합물의 구조.

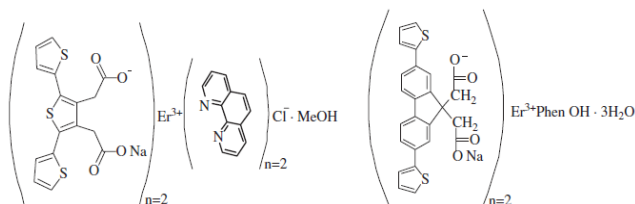


그림 5. Structure of perfluorinated Er^{3+} 착화합물의 구조.

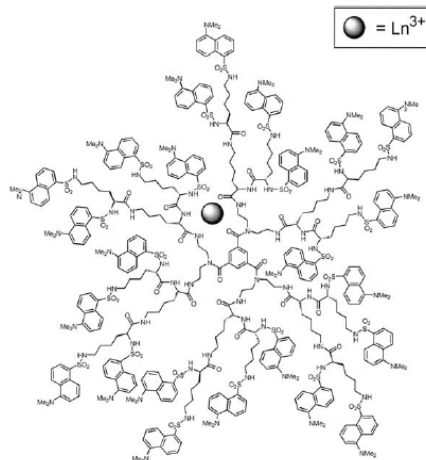
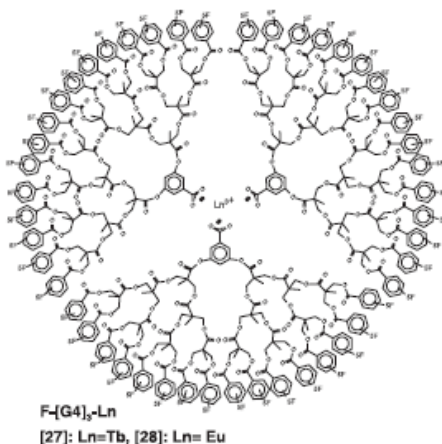
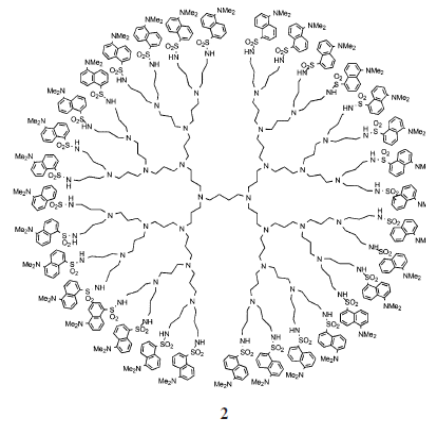
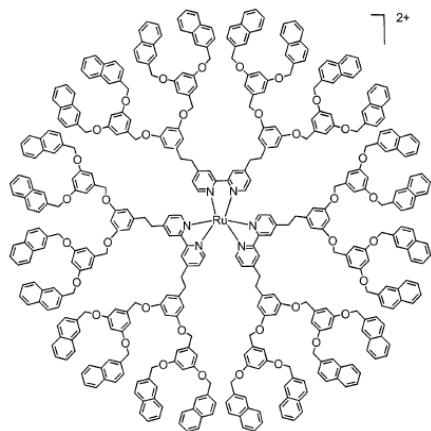


그림 6. 덴드리머형 착화합물의 구조.

Nobel Central Research(네덜란드) 연구팀에서 결과를 발표하였다. 희토류 금속과 수용성 1:1 착화합물을 형성하고 에너지 도너로서는 fluorescein과 tetrabromoeosin을 도입한 착화합물 합성, TRIS-DCI buffer(0.01 M, pD 8)과 D₂O 하에서 적외선영역에서의 발광을 관찰하였다. 산소를 제거한 용액에서는 발광효율이 증가하였다(그림 7).

Nitronyl nitroxide radical lanthanide complexes(*Eur. J. Inorg. Chem.*, 3503-3505 (2005).)는 일본 Sumio Kaizaki 연구팀에서 결과를 발표하였다. 리간드의 이중항상태에서 4f로의 에너지 이동이 관찰되었다(그림 8). *m*-Terphenyl계 complex(*Synthetic Metal*, 127, 213-216 (2002).)는 F. C. J. M. van Veggel(네덜란드) 연구팀에서 결과를 발표하였다. 전이금속착체를 안테나 분자로 이용한 삼중항-삼중항 에너지 이동을 관찰하였다(그림 9). Polydentate hemispherands계 complex는 네덜란드의 Reinhoudt 연구팀에 의해 결과가 발표되었다. Yb³⁺/Nd³⁺-tetraazamacrocyclic complexes에서 적외선 영역에서의 발광현상이 관찰되었고 Er³⁺ 이온의 직접 여기(여기파장: 488 nm)에 의한 1.53 μm에서의 발광현상을 관찰되었다. Terphenyl계 리간드의 여기에너지 이동에 의한 근적외선 영역에서 Er³⁺ 이온의 발광현상이 관찰되었으며 삼중항으로의 계간교차 효율이 높은 발색단을 이용한

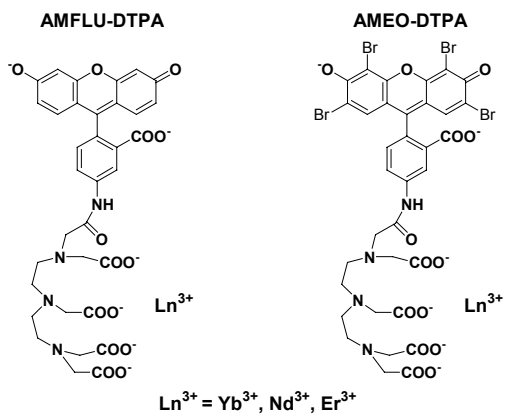


그림 7. DTPA계 착화합물의 구조.

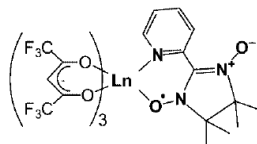


그림 8. 착화합물의 구조.

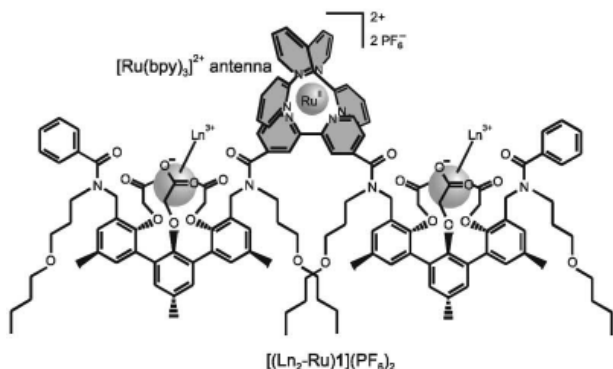


그림 9. 착화합물의 구조.

광증폭이 향상되었다(그림 10).

Porphyrin계 complexes(*Chem. Phys. Lett.*, 426, 124-128 (2006).)는 이탈리아의 R. Pizzoferrato팀이 연구중에 있다. Erbium-porphyrin 폴리아릴렌에틸렌 공중합체를 활용하였으며 NIR 방출수율은 co-polymer backbone의 영향을 받지않았다. 또한 미국의 U. Florida에서는 포르피린 착체 Er(TPP)acac를 합성하여 MEH-PPV와 같은 고분자 매질에 도핑하여 전계 발광을 관찰하였다. Erbium 포르피린 착체의 계간교차에 의한 고수율의 삼중항여기상태를 생성하였다(그림 11).

국내에서는 고려대 김환규 교수 연구실에서는 나프탈렌(그림 9), 포르피린(그림 10), 덴드리머(그림 11) 등 다양한 구조의 리간드 분자를 이용한 어블착체를 합성하였다(관련논문 *J. of Nonlinear Optical Physics & Mater.*, 4, 555-564 (2005).). 착체 DC에서 관측되는 란타게 이온의 발광강도가 IDC에 비해 월등히 증가하였다. 이것은 DC에서 리간드의 단일항상태로부터의 계간교차 수율이 heavy metal effect에 의해 증가했기 때문이다. 에너지 도너-어셉터사이의 거리가 상대적으로 먼 IDC 착체의 경우 효과적인 계간교차가 일어나지 않았다(그림 12).

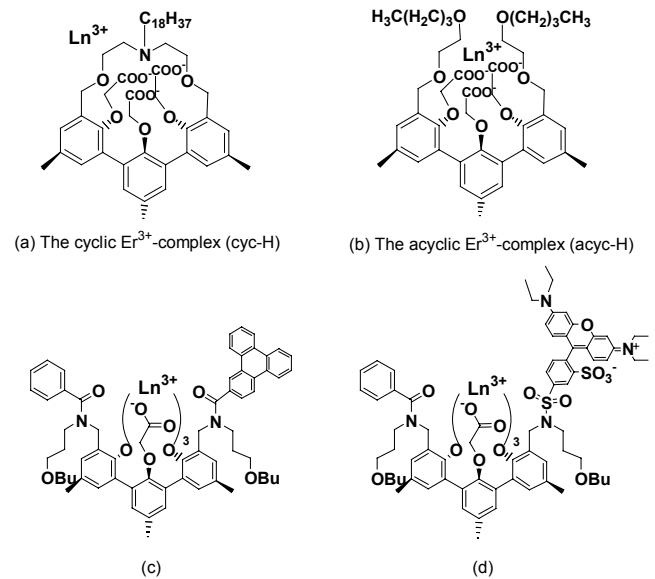


그림 10. Polydentate hemispherand계 착화합물 구조.

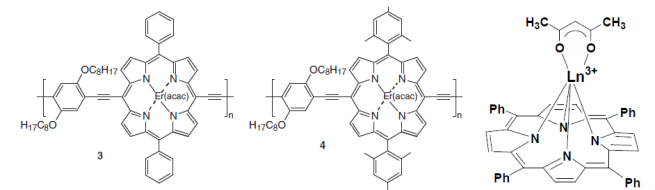


그림 11. 포르피린 착화합물의 구조.

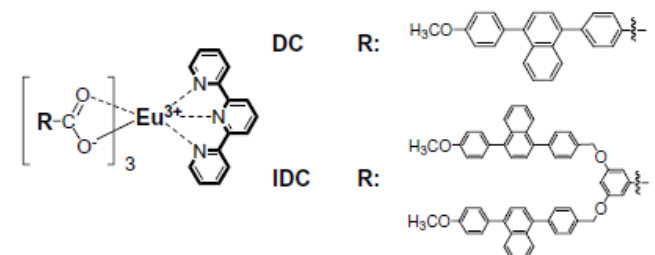


그림 12. 나프탈렌 착화합물.

보조리간드로 terpyridine을 갖는 pt-porphyrin 착체의 계간교차 수율이 상대적으로 높았으며 특히 덴드리머가 도입된 Er^{3+} -(G2-Pt-por 1)₃(terpy) 경우 siter-isolation 효과에 의해 발광강도가 약 7배 향상되었다(그림 13).

3.2 광집적 유기소재의 물성제어 기술의 개발 동향

90년대 초 일본의 NTT에서는 이중수소화(deuterated) PMMA와 이중수소 및 불소가 함께 치환된(deuterated/perfluorinated) PMMA를 사용해 광손실이 1.3 μm에서 0.08 dB/cm로 아주 우수한 저손실 광소자를 구현하였다. 그러나 PMMA계는 T_g가 100 °C 정도로 열안정성이 떨어지는 문제점을 해결하고자 NTT에서는 열분해 온도가 400 °C 이상인 열경화성 이중수소 치환된 폴리실록산(deuterated polysiloxanes)을 silicone resin이란 이름으로 개발하였다.

Silicone resin은 광손실이 1.55 μm에서 0.43 dB/cm으로 비교적 우수하고 특히, 복굴절이 10⁻⁵ 이하로 아주 우수하여 이를 이용한 AWG 소자를 거의 실리카 수준에 이르는 결과를 발표하였으나, 이 재료의 정확한 구조는 알려지지 않고 있으며 다만 PSSQ, MSSQ, polysiloxane 등의 복합체로 추정되고 있다. 또한 NTT에서는 내열성, 가공성이 뛰어난 다양한 종류의 불소 치환된 폴리이미드(perfluorinated polyimides)

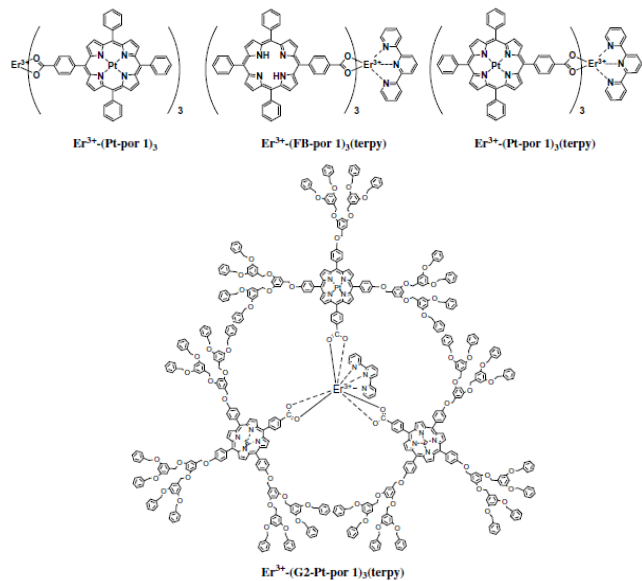


그림 13. 포르피린 착화합물.

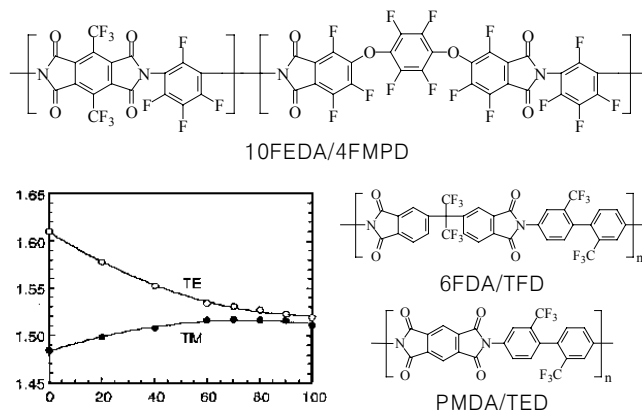


그림 14. NTT 발표 PI계 광도분자 재료 및 OPI-N3000 series PI 분자 구조.

를 개발하여 발표하였고, 가공성이 뛰어난 일부 perfluorinated polyimides는 일본의 히타치사에 기술 제공하여 히타치사에서 OPI-N3000 series로 시판되고 있다(그림 14).

DOW Chemical사에서는 저유전 상수를 가지는 반도체 절연막 재료의 개발을 위하여 BCB 계열보다 불소 치환으로 인하여 유전율이 더 낮고 열안정성이 우수한 PFCB(perfluoro cyclo butane)을 개발하였으나, 반도체 공정에서의 적용은 실패했으나, 열적 안정성(T_g=400 °C)이 우수하며, 불소 치환 고분자로 1.55 μm의 광통신 영역에서 0.4 dB/cm 이하의 광손실 특성을 나타내고, 복굴절이 0.002~0.0008로 비교적 우수하고, 충전성(gap filling)이 뛰어나 PFCB는 폴리머 광소자 재료로의 응용이 되어 많은 연구가 이루어지고 있다. PFCB는 박막 자체의 특성은 우수하나 기판에의 접착력이 떨어지고 다양한 유도체의 부재로 정밀한 굴절률 조절이 불가능하여 초기에 주로 코어 또는 클래드층 한 부분만 담당하는 한계를 가지고 있었으나, 최근까지도 기본 PFCB 구조가 가지는 저손실, 고온 안정성, 저 흡수성 및 우수한 박막 특성과 같은 장점으로 인하여 K-GIST를 비롯한 많은 국내외 연구진에 의해서도 다양한 유도체들이 발표되고 있다. PFCB는 모노머 구조에서 보는 바와 같이 trifluoro vinyl ether 형태가 약 250 °C의 열에 의하여 2+2 cyclo addition 반응으로 cyclo butane ring을 이루어 안정한 형태를 취하고, 일반적인 thermal 2+2 cyclo addition 반응은 일어나지 않지만 불소 치환의 경우 가능하며, 중앙의 tri-phenol에 다양한 유도체를 만들어 경화 특성, 굴절률 변화 등의 개발 등이 이루어지고 있다(그림 15).

1998에 미국의 Allied Signal사에서는 아크릴레이트(acrylate)의 광가교 특성을 이용하여 350 °C 이상의 열안정성을 가지는 자외선으로 경화가 가능한 불소 치환 아크릴레이트(UV-curable fluorinated acrylate)를 이용한 광소자 개발을 발표하였으며, 이는 1.55 μm에서의 광손실이 0.07 dB/cm로서 거의 실리카(SiO₂)에 대등한 수준에 이르렀으며, 복굴절률이 0.0008 정도로 편광 무의존성이 매우 높았다. Allied Signal사의 광경화형 acrylate는 분자 구조에서 보는 바와 같이 다양한

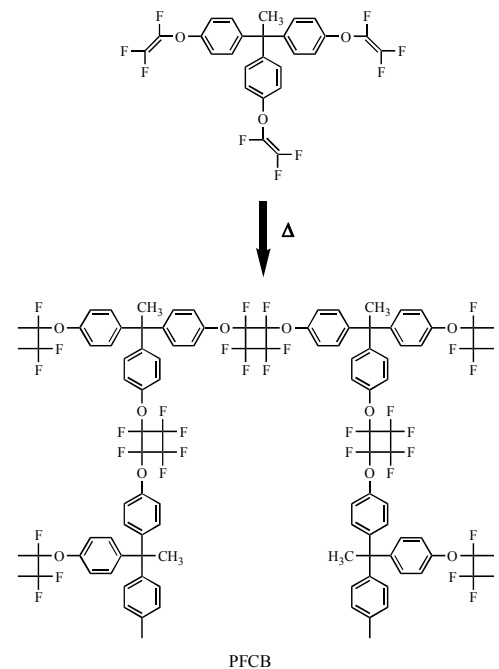


그림 15. Dow Chemical의 PFCB 광도분자 재료.

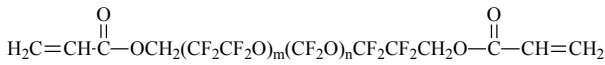
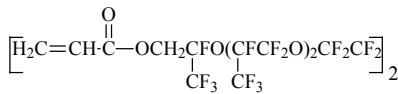
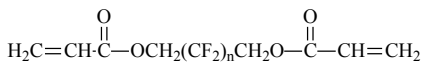


그림 16. Allied Signal의 광도분자 재료.

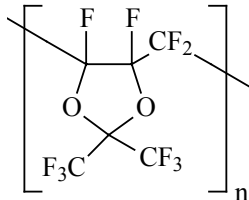


그림 17. Cytop 분자 구조.

분자 구조의 perfluorinated diol 말단에 acrylate 반응을 시켜 만든 monomer, oligomer에 광개시제를 이용하여 용제가 필요 없는 액체의 반응성 용액을 사용하게 되는데, 이 경우 박막은 회전 도포와 자외선 경화만으로 쉽게 제작 가능하며, Allied Signal사의 폴리머 광재료 사업부는 여러 M&A 과정을 거쳐 현재 Dupont Photonics사에서 더욱 개량된 재료를 이용하여 폴리머 광소자를 개발하여 현재 시판하고 있으나, 단지 재료 자체는 철저한 비밀로 부쳐지고 광소자(가변 광감쇠기, V-Mux, ROADM module)만 판매되고 있다(그림 16).

미국의 Gemfire사가 8 채널의 폴리머 가변 광감쇠기(VOA) 소자를 MEMS 기술로 제작한 VOA와 거의 유사한 수준으로 제작하여 판매하고 있지만, 그 고분자 재료에 대한 언급은 전혀 없어 구조나 안정성은 알 수 없고, 다만, T_g 가 아주 낮은 silicone계 polysiloxane일 것으로 추정만 되고 있는 실정이다. 최근에는 독일의 Microresistor사, 호주의 Redfun 등에서 개발되고 있는 졸-젤을 이용한 재료가 많이 발표되고 있다. 과거에는 졸-젤 재료가 재현성 문제와 완전한 젤 공정의 어려움 등으로 광손실이 커서 실용화에 문제가 많았지만 최근에는 이러한 문제를 해결한 제품이 선보이고 있다. 그 외에도 최근 광학 고분자 광소자에 관한 중요성이 증가됨에 따라 물질의 요구 특성이 비슷한 기존의 플라스틱 광섬유(plastic optical fiber)용 물질 및 반도체용 저유전상수 고분자 물질 등의 화학적 구조의 변화를 통한 선형 광학 고분자 소재 개발 연구가 활발히 진행되고 있다.

Cytop(상품명)은 화학 구조에서 보듯이 완벽한 불소 치환 구조로 진동 흡수에 의한 광손실은 전혀 없고, 현재까지 알려진 완전 불소계 고분자는 Teflon과 같이 어떠한 용매에도 용해되지 않아서 광소자와 같은 정밀 소자로의 공정이 불가능하였으나, Cytop은 불소계 용제에 용해되어 박막 공정이 가능하게 되었다. 최근 이 재료를 이용한 광분할기(optical power splitter)의 개발이 일본에서 발표가 이루어지고 있으며, Cytop을 이용하여 게이오 대학의 Koike group이 POF로 제작하여 발표한 광손실은 850~1,310 nm에서 15 dB/km로, 이는 0.00015 dB/cm 수준으로 완전 불소계 고분자의 경우 광흡수에 의한 광손실은 거의 무시할 수 있는 수준이다(그림 17).

이렇게 개발된 광경화용 유기화합물체를 사용하여 기계적 성질이 부여된 유기 광도파로 시트를 제작하고 이를 휴대폰, 디지털 카메라 등의

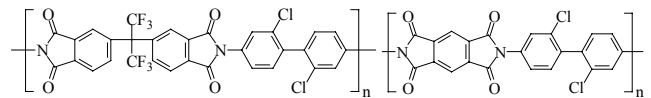


그림 18. 삼성전자 fluoro chloro PI 광재료 구조.

모바일 기기내 광신호전달에 적용하기 위한 모듈 기반의 연구가 최근 몇 년동안 일본의 (주)미쯔비시, (주)요론, NTT 등에서 활발히 연구 중에 있으나, 개발된 유기재료는 대부분 실리콘 웨이퍼를 기재로 하기 때문에 형성된 필름의 기계적 성질은 열악하다. 또한 유기 광도파로 시트용 유기소재로 일본의 (주)히다치화학공업, (주) Japan Synthetic Rubber, (주) 요론 등에서 개발 중에 있으나, 이는 기계적 성질을 포함한 물성은 알려지지 않고 있는 실정이다. 현재까지는 폴리이미드 또는 폴리에스터 필름을 기재필름으로 하여 업체에서 자체 개발한 유기화합물체를 사용하여 광도파로를 제작하고 있으며, 모바일 기기에 적용하기 위한 광도파로 시트의 물성은 현재 표준화되어 있지 않고 있다. 실제 전자제품에 적용되고 있는 연성인쇄회로기판(FCCL, flexible copper clad laminate)을 기준으로 하면 MIT 테스트 1,000회 이상, flexural test 120,000회 이상으로 규정하고 있으며, 모바일 기기내에서의 광도파로 시트도 FCCL과 유사한 기계적 특성을 요구하는 것으로 예상되어 광도파로 시트만의 물성규격이 확립되기 전까지는 이러한 FCCL의 물성규격을 참고로 하고 있는 실정이다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 현재까지는 기계 필름 free 유기광도파로 시트의 물성은 알려지지 않고 있으며, (주) Japan Synthetic Rubber 및 (주)히다치화학공업은 기재필름을 사용하여 유기광도파로 시트를 제작하였고, 이 제품의 내구성이 각각 100,000회, 500,000회 이상으로 보고되고 있다.

국내에서는 삼성전자에서 완전히 불소가 치환된 폴리이미드의 경우 물질 자체의 접착력이 없어서 박막 가공의 어려움을 피하기 위해 주사슬의 디안하이드라이드(dianhydride)에 불소(C-F)가 치환되고 디아민에 염소(C-Cl)가 치환된 폴리이미드 및 불소와 염소가 치환된 폴리머를 개발 발표하였다. 이는 염소와 불소의 함량에 따라 굴절률의 미세 조절이 가능하였고, 열적성질이 우수한 특성을 가지고 있다(그림 18).

한국전자통신연구원에서는 소자제작 공정과 작동상태에서 필요로 하는 우수한 열적 안정성과 화학적 안정성을 만족시키기 위하여 지금까지 다른 연구 그룹에서 많이 진행해왔던 polyimide 계열이 아닌 전혀 새로운 시도로 열경화에 의해 가교화된 불소치환 폴리아릴렌 에테르(crosslinkable fluorinated poly(arylene ethers) : FPAAE)를 개발하였고, 이 재료는 고도로 불소화가 가능하며 다양한 단량체의 변화로 굴절률 조절이 용이하며, 특히 1.55 μm 에서의 손실이 0.28 dB/cm 이하이며, 복굴절률이 0.0045 정도로 편광의존성이 낮은 특성을 나타내었다. FPAAE는 화학 구조(그림 19)의 oligomer 상태에서 300 $^{\circ}\text{C}$ 로 가열하면 말단의 acetylene기가 서로 반응하여 열 가교를 이루는 형태로 열가교를 위한 촉매와 같은 불순물이 전혀 필요 없고, 또한 열 가교 반응으로 인한 휘발성 부산물이 전혀 발생하지 않는 장점이 있다. 한국전자통신연구원에서 개발한 thermal curable perfluorinated arylene ethers series는 광소자로의 적용 우수성이 확인되어 그 후 다양한 유도체가 개발되고 발표되었고, 상기 구조에서 알 수 있듯이 decafluorobiphenyl의 유도체로 decafluorobenzophenone, pentafluorophenyl sulfide 등이 도입되었으며, fluorinated diol part도 다양하게 도입되었다. 이러한 연구는 광주과학기술원 등에서도 많은 논문으로 발표되었다.

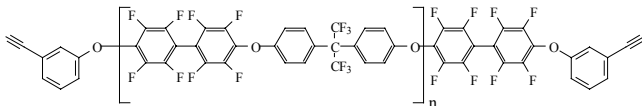


그림 19. 한국전자통신연구원의 FPAA 광도분자 재료.

한국전자통신연구원에서 창업한 젠포토닉스에서는 acetylene terminated fluorinated polyether 유도체의 열경화 특성과 미세한 굴절을 조절 및 복굴절을 개선한 상품명 ZP series를 개발했으며, 이 재료를 이용하여 1×2, 2×2 광스위치 및 가변 광감쇠기 소자를 개발하였다. 개발된 ZP series의 특성은 1.3, 1.55 μm에서의 광손실이 각각 0.11, 0.28 dB/cm로 비교적 우수하고, 복굴절이 0.003~0.005이며, 열안정성이 420 °C 이상으로 120 °C에서 2,000시간 이상 굴절을 변화가 없는 안정성을 보여주고 있다.

한국의 캠옵틱스사는 perfluorinated acrylate monomer를 이용한 UV curable fluorinated polymer (ZPU series)를 개발 시판하고 있고, 이 재료는 앞서 살펴본 Allied Signal과 유사한 acrylate monomer를 기반으로 광소자 공정에 최적화하여 현재 광스위치, 가변 광감쇠기를 자체 제작하여 한국통신 광전송망에 공급하고 있으며, 특히 최근 ZPU series를 더욱 upgrade한 LFR series를 자체 개발 완료하여 광소자에 적용하고 있다. 이러한 LFR series는 광손실이 0.06 dB/cm 이하이고 복굴절성이 10⁻⁵ 이하로 편광 의존성이 없고, 특히 열광학 계수가 기존 재료에 비하여 2~3배 이상으로 열광학 소자 제작에도 매우 유리하다는 강점을 가지고 있다. 유기광도와 시트에 관련된 국내 연구동향을 보면 (주)SKC에서 기재필름을 이용한 광경화 유기소재 광도와 시트를 그리고 인하대에서 기재필름을 이용한 광경화 유무기 하이브리드를 이용한 광도와 시트를 그리고 KAIST에서 기재필름이 없는 광경화형 유무기 하이브리드를 이용한 광도와 시트를 발표하였으나 기계적 성질에 대한 언급은 없는 것으로 파악되고 있다.

3.3 차세대 고효율 광응답 표시기능소재 기술 개발 동향

저전력 BLU에 대한 연구는 현재 LED를 중심으로 OLED 등의 소재를 검토하고 있는 단계로서, 완전히 정립이 되지 않았으나 이미 시제품은 개발된 상태로 가능성은 검증된 상태이다. 저전력 BLU를 사용할 경우 컬러필터도 이에 적절한 구조를 갖는 색소와 CR 등이 개발되어야 하며 이미 안료형 컬러필터가 제품화되었다. 또한 저전력 BLU에 대응하는 컬러필터를 인쇄 가능형으로 제조함으로써 향후 LCD 컬러필터 제조공정이 litho 공정에서 printable형으로 옮기는 추세에 대비하려는 노력이 시작되었다. 아직까지 저전력 BLU 대응 printable 염료형 컬러필터의 개발은 본격적으로 연구가 시작되지 않고, 일부 대학과 연구소를 중심으로 가능성만 타진되고 있는 단계이다.

Ink-jet printing 기술을 LCD 컬러필터 제작공정에 적용하기 위해 안료형 잉크는 시제품이 개발된 상태이며 염료형은 연구소를 중심으로 연구 중에 있다. 이와 같은 연구는 JSR, TOPPAN INK, 후지필름, Sumitomo 등 일본 기업을 중심으로 연구가 진행되었으나 안료를 사용하는 잉크는 안료의 특성상 용매에 용해되지 않기 때문에 우선 안료를 milling하여 수십 내지 수백 나노미터 크기의 입자로 분쇄한 후 계면활성제와 같은 분산제를 첨가하여 분산안정화를 도모하였다.¹⁰⁻¹² 안료의 경우 생산 공정에서 공정의 진행에 따라 안료 입자들의 응집이 쉽게 일어나 고품질 컬러화 구현을 위한 컬러필터의 fine-jetting이 어렵고, 잉크젯 헤드의 막힘 불량도 발생한다. 이러한 문제점을 극복하는 동시에, 넓은 색재현율을 구현하기 위해 안료에 비해 색상, 투과도 등의 분광특

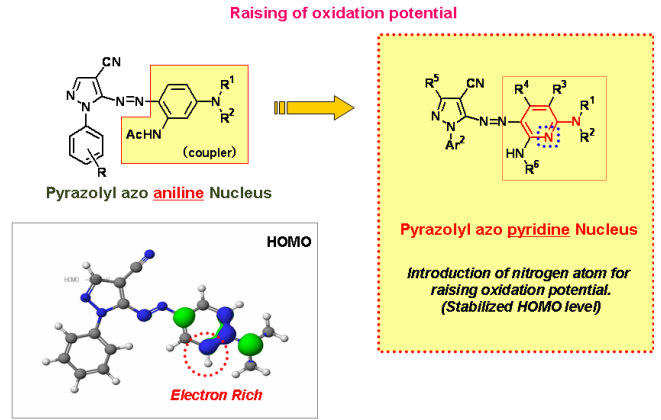


그림 20. 후지필름의 oxidation potential을 활용하여 개발한 고내광성 염료와 고투명 안료.

성이 우수한 염료를 적용하고자 하는 연구가 높은 관심을 받고 있다.^{13,14} 염료는 열에 대한 안정성이 안료에 비해 떨어지기 때문에 액정 배향막 공정 중(250 °C 이상)에서 RGB 고유의 색상을 유지하기 힘들며, 내광성, 내화학적, 내습성 등의 내구성도 약하다는 단점이 있다.^{15,16} 따라서 염료를 ink-jet printing법을 사용한 LCD 컬러필터에 적용하기 위한 연구는 염료의 내구성을 향상시키는데 초점을 맞추어 진행되고 있고 또한 일부 업체에서는 조색용 및 synergist로서 염료를 도입하여 염료 사용 가능성을 보여준다.

염료형 ink-jet printing 기술 연구의 초기 단계(90년대 후반~2002년)에서는 내열성을 향상시키는데 초점을 맞추어서 연구를 진행하였다. 일본의 후지필름, 캐논, TOPPAN INK 등의 기업을 중심으로 진행되었으며, 아조 및 피라졸론, 프탈로시아닌 등 다양한 염료의 치환기 변화를 통한 내열성 향상을 시도하였다. 프탈로시아닌 염료를 포함한 일부 염료만이 만족할 만한 내열성을 나타내었으며, 2003년부터 color index상에 기록되어 있는 고내열성 산성염료를 선택하여 컬러필터에 적용하는 연구를 진행하였으나, 적용 가능한 염료의 수가 매우 한정적이며, 컬러필터에서 요구하는 내열성·내광성 및 색 특성을 동시에 만족시키는 쉽지 않다. 최근에는 염료 내구성을 향상시킬 수 있는 이론적 근거를 바탕으로 염료의 설계 및 합성 연구를 시도하고 있다. 일본의 후지필름은 기존의 고내구성 염료의 구조 변화를 통한 신규 염료의 합성 연구와 내광성이 부족하여 사용하지 못하였던 염료군들의 산화포텐셜(oxidation potential)을 계산·측정하여 고내광성을 갖도록 설계하는 연구를 동시에 진행하고 있고, 캐논은 RGB색상을 완벽하게 구현하는데 필요한 보정염료(violet, yellow)와 RGB 염료간 공유결합을 유도하여 하나의 염료로 하나의 색상을 완벽하게 구현하려는 시도를 하고 있으며 이와 동시에 잉크를 제작하는데 사용되는 바인더와 염료간의 적합성과 구체적인 배합 조건들을 체계적으로 정립해 나가고 있는 상황이다(그림 20).

후지필름은 기존의 안료가 가진 단점중 하나인 낮은 투과성을 획기적으로 개선한 새로운 안료(clear colorant)를 개발하여 최근 Nano tech 2008에 출품하였다. 새로운 안료는 고분자수지에 착색할 경우 종래의 안료 대비 투명성이 크게 개선되어 이러한 안료가 컬러필터에 사용 가능성을 가진 것으로 평가된다.

한편, 국내에서는 LCD에 사용되는 back light는 CCFL에서 저전력의 LED 광원으로 옮겨갈 것으로 전망되고 있다. 또한 플렉서블 디스플레이

레이용 OLED BLU의 사용도 연구되고 있어, 이에 대응하는 컬러필터 개발이 필수(이미 KODAK에서는 시작품 발표)이다. 또한 방송규격이 디지털화, full-HD화합에 따라 기존의 3색(RGB) 안료의 색상 재현율이 한계에 도달하면서 동시에 안료의 단점인 가공공정 적용 취약 문제의 근본적인 개선이 요구된다.

LCD 10세대 이상의 상업화에 의한 컬러필터 생산공정 효율화가 시급하여, 종래의 비효율적인 lithography 방식을 대체할 ink-jet 방식 도입이 시작되고 있으나 핵심 기술 확보가 되어있지 않았다. 2010년경 일본에서 염료형 컬러필터 상용화 실현이 예상되어 이에 대응하는 원천기술개발이 시급히 요망된다. 염료형 ink-jet printing 기술에 대한 연구는 초기단계(~2003년)에서 삼성전자, LG디스플레이(구 LG PHILIPS LCD) 등 LCD 패널업체들을 중심으로 연구가 진행되어 왔으며, 염료 자체에 대한 연구보다는 컬러필터 제작공정의 개선을 통해 내구성 문제를 해결하고자 하였다. 그러나 사용한 염료의 내열성, 내광성이 안료 수준에 도달하기 힘들었다. 최근 들어 SKC, LG미이크론, LG화학, 제일모직, 삼성종합기술원, 서울대학교, 경북대학교, 세종대학교 등에서는 독자적인 컬러필터용 착색제 개발연구를 진행하고 있으나, LG미이크론을 제외한 대부분은 기존의 안료분산형과 안료형 ink-jet printing에 의한 컬러필터 제작에 대한 연구를 진행하고 있다. LG미이크론은 ink-jet printing을 이용한 염료형 컬러필터 제조기술을 개발하기 위하여 고내구성 염료의 개발 연구를 서울대학교와 산학협력과제로 진행하였으며 고내구성을 갖기 위한 염료의 설계부터 잉크 제조, ink-jet printing 방법 등을 연구하였고, LCD 컬러필터에서 요구하는 내열성, 내광성 및 색 특성을 어느 정도 만족하는 RGB 염료와 보정염료를 개발하였으나, 실제 상용화를 위한 원천기술 확보는 미흡한 실정이다.

해외 ink-jet printer 메이커에서 상용화한 현상용 printer를 사용하여 시험 생산한 컬러필터 시제품을 LCD 제조업체인 삼성전자 등에서 최종 품질 평가를 실시하고 있는 단계에 있어 ink-jet printing 방법에 의한 컬러필터 제조법은 곧 실용화될 전망이다. 하지만 안료형 컬러필터로서 일본이 앞서가고 있는 ink-jet printing 방법에 의한 염료형 컬러필터는 관련 기술의 개발이 시급하다.

국내 벤처 기업 NDM은 안료분산 포토레지스트에서 명암비가 가장 취약한 blue의 조색용 violet 안료를 violet 염료로 대체하여 명암비를 대폭 개선시켰으며, 이를 사용하여 제조한 LCD패널을 사용하여 2007년 삼성전자에서 시제품 개발에 성공하였다. 이는 염료형 컬러필터의 성공 가능성을 명확히 보여준 사례로 평가된다. 현재 일본 잉크회사를 비롯 세계적인 기술 선진국에서는 저전력 BLU용 컬러필터 개발에 많은 진척을 보이는 것이 사실이다. 그러나 국내에서는 현재 저전력 BLU용 컬러필터에 관한 연구는 전무하다. 서울대학교 김재필교수 연구팀과 LG미이크론의 산학협력 연구결과로 고내열성 염료의 개발이 진행되었으나 고내열성은 어느 정도 만족하나, 내광성에 있어서는 물성개선이 더욱 필요하였다. 향후 보다 집중화된 연구를 통하여 안료 대비 유사한 내구성을 가진 염료 개발이 성공할 가능성을 제시하고 있다(표 6).

3.4 바이오 스마트 광응답소재 기술 개발 동향

세계적으로 개발되거나 임상시험 중인 2세대 광응답제의 개발동향은 크게 2가지로 나눌 수 있으며, 빛의 조직 투과성이 좋은 근적외선 파장 영역(600~800 nm)에서 높은 흡광계수를 갖으면서 일항 산소 생성 효율도 높은 것들을 개발하는 시도와, 화학구조상에 친수성기를 도입하여 수용성을 높이고 정상조직에 대한 비특이적 축적을 줄이고자 하는 시도가 행해지고 있다(표 6).¹⁷⁻¹⁹

표 5. 국내 연구된 염료의 내구성 자료

색상별 평가항목		기존 염료	연구된 염료	기존 안료
Red	내열성(분해온도, °C)	240 °C 이하	250 °C	300 °C 이상
	내광성(1-8등급)	4~5	7	7~8
Green	내열성(분해온도, °C)	250 °C 이하	260 °C	300 °C 이상
	내광성(1-8등급)	4~5	6~7	7~8
Blue	내열성(분해온도, °C)	250 °C	250 °C 이상	300 °C 이상
	내광성(1-8등급)	4~5	6~7	7~8
Yellow	내열성(분해온도, °C)	230 °C 이하	250 °C	300 °C 이상
	내광성(1-8등급)	3~4	5	5~6

표 6. 치료용 광응답소재의 개발 동향

국가명	상품명	개발단계	개발 내용	개발주체
영국	Foscan	상용화	암세포 타격 범위가 증대한 광응답 소재	Biolitec Pharma사
일본	Mono-L-aspartyl chlorin e6 (NPe6)	미국에서 임상시험 중	소수성 광응답제의 친수성을 증가시킨 소재	Light Science Oncology
러시아	Sulfonated aluminium phthalocyanine (Photosense)	임상시험 중	친수성을 증가시킨 소재	State Research Centre for Laser Medicine
캐나다	Verteoporfin (Visudyne)	상용화	암치료 및 나이관련 황반 변성치료에 이용	QLT Photo Therapeutics

2세대 광응답제중 mono-L-aspartyl chlorin e6는 chlorin e6에 aspartic acid를 결합시켜 친수성을 높임으로써 피부 등의 정상조직에 대한 비특이적 축적을 감소시킨 것인데, 친수성 향상으로 인해서 피부 광민감성을 보이는 기간을 1주일로 단축시켰지만, 암 조직에 대한 특이적 축적이 줄어들고 신장을 통한 체외 배출속도가 빠른 단점이 생김을 감수해야 했다. 현재 미국의 light science oncology사에 의해서 임상 3상이 행해지고 있다.

차세대 광응답제인 3세대 광응답제는 현재 개발된 것이 없으며, 선진국의 몇몇 선도 그룹에 의해 연구실 수준에서 연구가 진행되고 있다.²⁰⁻²³ 3세대 광응답제인 세포핵 표적 광응답제는 질병 치료 효능을 획기적으로 높일 수 있는 소재이다. 광응답제가 특정 파장의 빛을 흡수한 후에 생성된 일항 산소의 생존시간은 생체환경에서 0.04 μs로 짧고 이 시간 동안 영향을 줄 수 있는 효과적인 거리 범위는 직경 20 nm 이내로서 > 10 μm인 세포의 크기에 비하여 광장히 짧은 거리이다. 따라서, 일항산소를 생성하는 시점에서 광응답제의 세포내 위치는 광응답제의 치료 효율과 매우 밀접한 관계를 보이며, 고분자-광응답제 결합체에 NLS 펩타이드를 추가로 결합시킴으로써 세포핵 표적 효율을 향상시켰을 때 2400배 더 높은 광독성 효과를 얻었다는 결과가 보고되었다(러시아 연구자(1997년)와 캐나다(1999년) 연구자). 세포핵 표적화 기술관련하여 1999년 이후로는 더 이상 진전된 연구 결과가 나오고 있지는 않다.²⁴

질병부위의 미세환경 차이를 이용하면 질병 인식형 스마트 광응답소재를 개발할 수 있을 것으로 예상되는데, 암조직과 정상조직의 미세한 pH 차이가 한 예가 될 수 있다. Leroux와 Kataoka 등은 pH 변화에 반응하여 광응답제를 세포에 전달할 수 있는 광응답소재를 탑재한 pH 민감성 나노입자를 개발하고자 시도하였는데, 이 경우 pH 5 이하에서 나노입자가 녹으면서 나노입자내의 광응답제가 방출되는 것으로써 정상조직의 pH 7.4와 암조직의 Ph 6.8을 구별할 수 있는 능력을 갖추고 있지는 않다.

최근 3년 기간 동안에 흥미로운 연구가 발표되었는데, 광응답제의 반

표 7. 광응답소재 기술 개발을 위한 국내 현황

지원부처*(사업명)	기술명 또는 상품명	개발단계	개발 내용	개발주체
산업자원부	5-aminolevulinic acid(ALA) 대량생산 기술	기술보유	유전자 조작을 통한 ALA 합성개발	위디어 사
산업자원부	DH-I-180-3	기술보유	Chlorin 계 유도체 합성	라이트 팜텍

표 8. 광응답소재 기술 개발을 위한 국내 연구 진행 현황

지원부처(사업명)	개발단계	개발내용	개발주체
과기부(국제공동연구사업)	개발중	새로운 포피린계 또는 클로린계 후보물질을 합성하고 효능을 분석함.	인제대학교 심영기
교육인적자원부(기초연구과제지원)	개발중	광응답체에 덴드리머를 결합하여 친수성 향상	연세대학교 장우동
자체연구	기술보유	광응답체를 고분자에 결합시켜 암축적 효율을 높이고 치료효과를 높이고자 함.	권익찬(KIST)
광역학치료제 산업화 공동개발사업(산자부)	Pilot	Hematoporphyrin 유도체인 상품명 Photodin의 새로운 합성법을 개발	동인당제약(주)

응성 산소 생성 능력을 인위적으로 억제하였다가 암과 같은 질병 부위에서 특이적으로 과발현되어 있는 특정 효소의 활성에 의하여서 광응답체의 반응성 산소 생성 효율이 다시 증가되도록 하는 것이 가능한 것에 대한 단서를 주는 연구 결과가 하버드 의대와 펜실베이니아 대학의 두 연구그룹에 의해서 2006년과 2007년에 각각 보고되었으나 이 기술에 대해서는 아직 개념 정립 단계이다.

국내에서 개발된 광증감제 원천소재는 전무하며, 치료에 사용되는 광증감제는 100% 수입에 의존하고 있다. 최근 광증감제 전구체인 ALA의 대량생산 기술과 chlorin계 유도체의 합성 기술이 확보되었으나, 이것은 이미 해외에서 개발된 기술을 복사하는 수준이며 국내에서 새롭게 개발되어 임상 진입한 광응답소재도 전무한 실정이다(표 7).

현재 국내에서는 외국에서 이미 개발된 광응답제의 주변 구조를 약간씩 바꾸는 정도의 연구들이 행해지고 있거나, 광응답제를 고분자에 결합시킨 단순한 기술만이 연구되고 있는 실정이다. 여기에 대한 가장 큰 이유는 광증감제 개발과 관련된 국내 연구 인력의 숫자 및 연구비 규모가 해외에 비하여 턱없이 부족하기 때문이다. 이러한 현실 상황에서 선진국과의 기술격차를 단기간에 줄이고 짧은 기간내에 선진국보다 앞선 원천 기술을 보유하기 위해서는 차세대 기술인 스마트 광응답소재를 개발하는 전략이 요구된다(표 8).

4. 결론

전세계 광산업 시장규모는 2000년초반 1,337억달러 규모였으며 광소재 및 광부품 관련시장은 30% 이상을 차지하는 것으로 추정된다. 현재 미국과 일본이 70%이상의 시장을 점유, 광산업 시장을 주도하고 있고, 일본은 광정보 분야, 미국은 광통신 분야에서 선두를 지키고 있다. 광산업의 국내수준은 광학기기의 경우 선진국의 70~80% 수준이나, 광부품(다이오드,디스크), 광통신, 레이저 등은 선진국의 30%~50% 기술수준이다. 광산업 유기소재분야는 전세계적으로 태동단계에 있는 분야가 많다. 따라서 시급히 개발을 시작함으로써 광유기소재 산업의 기술적, 산업적 선점기회를 놓치지 않아야 한다. 광유기소재 산업의 국내수준은 선진국의 70~80%로 파악되지만 미개척 분야가 많다는 이점이 있다.

희토류 이온과 리간드 구조 및 물성 변화에 따른 에너지이동 속도, 여기자 거동 등의 중폭 원리에 관한 체계적인 연구와 이를 기초로 초고

효율 희토류 금속 착화합물의 구조설계 및 합성기술을 보유하게 됨으로써 미개척 광증폭 첨단소재 분야를 선점함으로써 국가기술 경쟁력을 한층 업그레이드시킬 수 있다. 폴리머용 광도파로 기술개발은 신소재에 대한 고온, 고신뢰성을 확보한 광도파로 공정 개발뿐만 아니라 이로 인해 고온, 고신뢰성을 요구하는 광부품에 기존 실리카 광도파로가 점유하고 있는 시장을 서서히 잠식할 수 있다. 또한 폴리머용 광도파로 기술은 마이크로급 정밀도의 성형 기술 개발 및 2층 이상의 광도파로 형성 과정에서 정밀 패키징 기술 개발 등과 관련된 기초 산업의 고도화에도 기술적 영향을 미친다. 폴리머용 광도파로 기술은 스플리터와 가변용 광감쇄기 등의 수동 광부품 뿐만 아니라 광PCB가 적용되는 모든 전자부품의 기관 제품에 광범위하게 활용될 것으로 예상된다.

차세대 컬러필터 제조공정인 ink-jet printing 기법에 사용되는 광경화 또는 열경화용 잉크는 디스플레이 시장의 확실한 블루칩으로서 조기개발에 의한 시장선점에 큰 의미가 있다. 디스플레이용 고급 잉크를 구성하는 소재인 광개시제, 광중합 모노머, cell stabilizer polymer, binder, 6색의 고내열성 염료 등의 소재시장의 기반을 확보하게 되며 또한 ink-jet용 기능성 잉크 formulation 기술과 평가기술의 표준화 기반을 확보하게 됨으로써 단순한 차세대 LCD뿐 아니라 기타의 많은 디스플레이의 컬러구현 소재 및 기술로서 활용가치가 매우 높을 것으로 기대된다. 인체치료용 광응답소재의 경우 전량 수입에 의존하고 있어 수입대체효과가 가장 클것으로 판단된다. 또한 기능성 의료용 광응답제 개발 원천 기술을 확보함으로써 국내 제약 산업의 경쟁력이 향상되며 레이저 및 광학 소재 산업의 시장 확대 및 새로운 시장을 형성할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

광산업은 대표적인 융합산업으로서 많은 소재군이 포함되어 있으나 광유기소재산업군은 아직 형성이 미미하나, 융합소재 발전가능성과 응용의 다양함 때문에 향후 매우 큰 산업군으로 성장할 것이다.

참고문헌

1. M. Renaud, *et al.*, *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics*, **2**, 277 (1996).
2. P.A. Perrier, *et al.*, *OFC '96*, 218 (1996).
3. Y. P. Li, *et al.*, *IEEE Proc. Optoelectron.*, **143**, 263 (1998).
4. “정보전자용 광응답 소재의 설계 및 제조기술개발”, 2008년 전략

- 기술개발사업 기획보고서 (2008).
5. “인쇄소자용 공액계 화합물의 전기/광학적 특성 제어 기술 로드맵”, 2007년 부품소재로드맵 기획보고서 (2007).
 6. “바이오칩 최근 기술이슈 및 시장동향”, 한국보건산업진흥원 (2005).
 7. “바이오칩 산업의 기술혁신전략 제언”, 한국과학기술기획평가원 (2005).
 8. “나노-바이오센서 기술로드맵”, 전자부품연구원 (2004).
 9. “바이오칩기술 및 응용기술”, 특허청 (2004).
 10. H. T. Wu, M. J. Lee, and H. M. Lin, *J. Supercrit Fluids*, **33**, 173 (2005).
 11. B. Honigmann, *J. Paint Technol.*, **38**, 77 (1966).
 12. R. B. McKay, “Pigment Dispersion in Apolar Media”, in *Interfacial Phenomena in Apolar Media*, H. Dekker, G. Eicke, and D. Parfitt, Editors, New York, Chapter 9, p. 361 (1987).
 13. F. H. Moser and A. L. Thomas, *The Phthalocyanine*, CRC Press, Boca Raton, FL, Vols. 1 and 2 (1983).
 14. R. M. Christie, *The Organic and Inorganic Chemistry of Pigments*, p.20 (2002).
 15. J. R. Fryer, R. B. McKay, R. R. Mather, and K. S. W. Sing, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **31**, 371 (1981).
 16. F. H. Moser and A. L. Thomas, *Phthalocyanine Compounds*, Reinhold, New York, 1963.
 17. “World Biosensor Markets”, Frost and Sullivan (2005).
 18. “Focus on Biochips”, The Freedonia Group (2004).
 19. “국내 Bio-IT 산업의 현황과 과제”, LG경제연구원 (2005).
 20. www.jpo.go.jp (일본특허청).
 21. www.medinet.or.kr (한국의료용구공업협동조합).
 22. www.sensorcall.com (한국센서연구조합).
 23. http://anu.andong.ac.kr/~soongu/word/biosensor.htm.
 24. “Bio-Chip 기술로드맵”, 한국전자부품연구원 (2008).