

전자 재료용 색소 소재

전근 · 신승림 · 신종일 · 박수열

한국화학연구원 신화학연구단 색소화학연구팀

1. 서론

가시광선을 선택적으로 흡수 또는 반사하여 고유한 색을 나타내는 물질을 색소라 정의하며, 가용성인 색소를 염료, 불용성인 색소를 안료라 한다. 합성염료가 개발되기 이전에는 동물, 식물, 광물 등의 천연물에서 색소를 얻어 착색제로 사용하였으나, 1856년 Perkin이 최초의 합성염료(Mauveine)를 합성한 이후, 색소는 섬유, 플라스틱, 종이, 목재, 금속 등 다양한 기질들을 위한 착색 재료로써 광범위하게 사용되고 있다¹⁾. 과거에는 색소의 색 자체만을 이용하여 화합물의 착색 재료로만 응용이 되었으나, 최근에는 전자 산업의 발달로 광전자 응용에 사용되는 특수 용도의 색소가 다양하게 요구되고 있다. 기존의 착색 재료로서의 용도가 아니라 색소가 갖는 다양한 기능(광전도성, 선택적 광흡수, 형광, 인광, 이색성, 비선형 광학, 이광자 흡수 등)을 활용한다는 의미에서 기능성 색소라는 용어를 1981년 “기능성 색소의 화학”이라는 책이 출간된 이후 사용하게 되었다²⁾.

기능성색소는 1990대 초반에는 감압·감열색소, 전자사진 감광체용 색소 등으로 주로 사용되었으나, IT 산업의 급속한 발달로 현재에는 광을 사용하는 모든 제품 및 기기에 필요한 핵심 원천 소재로서 많은 연구 개발이 되고 있다.

Table 1은 기능성 색소의 응용 분야를 나타내고 있다. 정보 기록 분야, 정보 표시 분야, 에너지 변환 분야, 의료 진단 및 분석의 네분야로 분류하였다. 정보 기록 분야로는 CD-R, DVD-R, BD-R, HD DVD 등의 광기록 분야, 잉크젯용 잉크, 전자 사진용 유기 감광체, 토너, 감열·감압 기록지, 위조 방지 잉크 등의 프린터 분야 등으로 분류하였고 정보 표시 분야로는 OLED, LCD용 컬러필터, PDP용 필터(근적외선 차단 및 Neon 또는 Orange 차단 필름), 액정 재료, 전자 종이 등의 분야가 있으며, 에너지 변환분야로는 염료 감응형 태양전지, 색소 레이저, 비선형 광학 재료, 이광자 흡수 재료, 유기박막 트랜지스터, 유기분자전자 재료 등의 분야가 있고, 의료 진단 및 분석 분야로는 PDT(Photodynamic Therapy), 진단시약, 생체 분석으로 다양하게 색소가 이용되고 있다³⁻¹⁵⁾.

일본, 미국, 유럽 등 선진국의 경우 정보전자 산업이 앞서 발달된 관계로 이들 산업에 응용되는 기능성색소에 대한 원천 특허를 거의 선점하고 있는 상태이다. 우리나라는 전자 제품의 양산 및 조립 기술 등은 세계 최고 수준에 있으나 관련 산업에서 사용되고 있는 핵심 소재에 대한 원천 기술 확보는 상대적으로 아주 미흡한 실정이다.

실제 대일 무역 적자의 상당 부분이 핵심 기초 소재 및

Table 1. 기능성 색소의 응용 분야

기능성 색소	정보기록	광기록	CD-R, DVD-R, BD-R, HD DVD
		프린터	잉크젯용 잉크, 전자사진용 감광체, 토너, 감열기록지
		기타	감압기록지, 위조방지 잉크
	정보표시	디스플레이	LCD용 컬러필터, OLED, PDP용 필터, 이색성 필름
		기타	e-페이퍼, 액정재료
	에너지변환	태양전지	염료감응형 태양전지
		파장변환	색소 레이저, 비선형광학재료, 이광자 흡수재료
		기타	유기반도체, 유기분자전자재료
	의료진단 및 분석	PDT(Photodynamic Therapy), 진단시약, 생체분석시약	

부품 소재의 수입에 기인한다. 완제품 조립생산 능력의 세계적 평준화로 핵심 소재의 확보 여부가 산업 경쟁력의 출발점이 되었으며, 소재 산업은 산업 구조상 전방산업에 미치는 파급 효과가 큰 뿌리 산업이 되었다.

본 내용에서는 전자 산업에서 핵심 소재로 사용되고 있는 기능성 색소에 대해서 표1에 분류된 분야 중에서 정보 기록 분야(CD, DVD, HD DVD, 프린터), 정보 표시 분야(LCD, PDP, OLED) 및 에너지 변환 분야(염료 감응형 태양전지)에서 사용되고 있는 색소 소재에 대해서 살펴보기로 한다.

2. 디스플레이용 색소

2.1 LCD용 컬러 필터¹⁶⁻¹⁹⁾

LCD(Liquid Crystal Display)는 액체와 고체의 중간적인 특성을 지닌 액정의 전기 광학적 특성을 표시 장치에 응용한 것으로 유기분자인 액정의 분자 배열이 외부 전기에 의해 변화 되는 성질을 이용하는 표시 장치이다. LCD는 자체 발광 디스플레이와는 달리 백라이트를 사용하며 색상을 재현하기 위해서 컬러 필터를 필요로 한다. 컬러필터를 제작하는 방법으로는 염색법, 인쇄법, 전착법, 안료분산 방법이 있다. Table 2에 컬러필터 제조 방법의 특성을 비교했다.

초기에는 컬러 필터를 제조하는데 있어서 견뢰도가 뛰어난 안료의 분산 안정성과 관련된 기술이 부족하여 가용성인 염료를 사용하였으나, 현재는 분산 안정성 기술 및 안료 입자 분포 제어 기술의 진보로 안료의 투명성을 확보함으로써, 사진식각(Photo

lithography) 방식을 사용하는 안료 분산법이 주류를 이루고 있다. 안료 분산액(Millbase)에 사용되는 안료는 색특성, 내광성, 내열성, 내약품성 등을 고려하여 사용하고 있으며, 주요 사용되는 안료를 Table 3에 나타냈다.

적색 안료는 P.R.177, P.R.254를, 청색 안료는 P.B.15:6으로 결정형이 ε인 것을 사용하고 있으며, 녹색 안료로는 P.G.36을 주요 삼원색으로 사용하고 있다. 그 외에도 색 보정을 위해서 황색 계열의 P.Y.139, P.Y.138, P.Y.150, 보라색 계열의 P.V.23 등의 조색 안료를 사용하고 있다. 안료 분산형 컬러 필터에서의 기술적 이슈는 색재현율 및 투과도 증가, 공정적합성을 들 수 있다. 현재 색재현 영역은 노트북 컴퓨터 40~50%, 일반 모니터 55~65%, TV의 표준이 72% 이지 만, 좀 더 자연에 가까운 색을 재현하기 위해 보다 높은 색 재현율을 요구하고 있다.

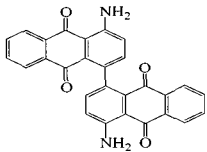
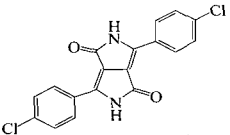
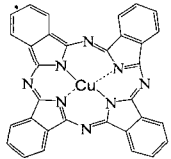
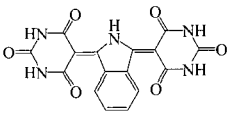
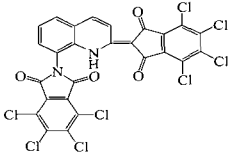
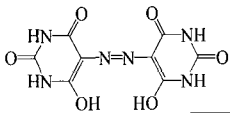
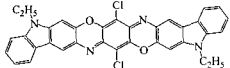
다소 공정이 복잡해지는 문제가 있으나 재현율을 높이기 위해서 RGB(Red, Blue, Green) 삼원색 외에 CMY(Cyan, Magenta, Yellow)를 이용한 6원색으로 거의 100%에 가까운 색재현율을 나타내고 있다.

또한 새로운 공정 개발에 의한 제조비용의 최소화를 위해서 장비 및 재료비 부담이 크고, 공정 처리 시간이 많이 소요되는 사진식각 공정을 대체하기 위해서 잉크젯 프린팅 공정 및 롤 프린팅 공정 기술이 주목받고 있다. 컬러 필터 시장은 LCD 산업의 지속적인 성장과 함께 빠르게 커나갈 것으로 예상되며, 이를 위해서는 제반 물성이 우수한 안료의 개발을 포함한 핵심 재료의 개발이 요구된다.

Table 2. 컬러필터 제조 방법의 특성 비교

제조방법 특성	염색법	인쇄법	전착법	안료분산법
재료	젤라틴/아크릴, 염료	에폭시, 안료	아크릴/에폭시, 안료	아크릴, 안료
필터 두께	1.0~2.5 μ m	1.0~3.0 μ m	1.5~2.5 μ m	1.0~2.5 μ m
Contrast	2,000	800~1,000	300~400	400~500
색특성	◎	○	△	○
내열성	180 $^{\circ}$ C, 1h	250 $^{\circ}$ C, 1h	250 $^{\circ}$ C, 1h	250 $^{\circ}$ C, 1h
내광성	△	◎	◎	◎
내약품성	△	○	○	○
Resolution	10~20 μ m	50~70 μ m	10~20 μ m	10~20 μ m
공정수	X	◎	○	△
대형화 가능성	○	X	○	○
설비투자비	△	○	△	△

Table 3. 컬러 필터용 안료

C.I. (Color Index)	Chemical Class	Chemical Structure	Hue
P.R.177 (65300)	Anthraquinone		Red
P.R.254 (56110)	Diketopyrrolopyrrole		Bright Red
P.G.36 (74265)	Cu-Pc	C ₃₂ N ₈ Cl ₁₀ Br ₆ Cu	Yellowish Green
P.B.15:6 (74160)	Cu-Pc(ε)		Bright Blue
P.Y.139 (56298)	Iso-indolinone		Reddish Yellow
P.Y.138 (56300)	Quinophthalone		Yellow
P.Y.150 (12764)	Monoazo Ni-Complex		Yellow
P.V.23 (51319)	Dioxazine		Bluish Violet

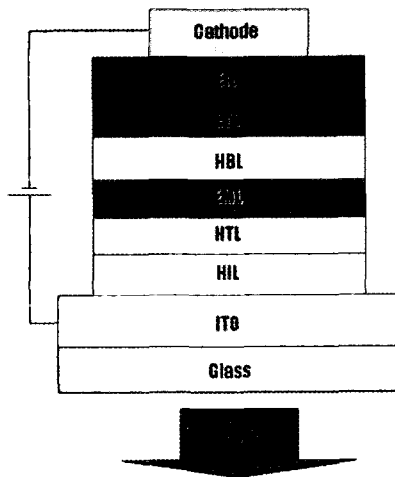


Fig. 1. 유기 EL의 구조.

2.2 OLED용 발광재료^{3,5,20-25)}

OLED(Organic Light Emitting Diode)는 유기물 박막에 양극과 음극을 통하여 주입된 전자와 정공이 재결합(Recombination)하여 여기자(Exciton)를 형성하고, 형성된 여기자의 에너지에 의해서 특정한 파장의 빛이 발생하는 현상을 이용한 자체 발광형 디스플레이 소자이다.

유기 단분자 OLED가 1987년 Kodak의 Tang에 의해, 그리고 유기고분자 박막을 이용한 OLED가 1990년 Cambridge 대학의 Friend 교수팀에 의해 처음 개발된 이후, 1997년 파이오니아 전자회사에서 단색 OLED를 이용한 디스플레이 시제품을 발표하였고, 그 후 Full Color, 고효율, 장수명 OLED를 구현하기 위한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있다.

OLED는 CRT, PDP, LCD 등의 디스플레이 비해서 제조 공정이 단순하고, 동작 온도 범위가 -30~80°C로 넓으며, 자체 발광으로 백라이트를 부착할 필요가 없으며, 시야각이 넓고, 응답 속도가 빠르며, 높은 해상도, 경량 및 박형 디스플레이 제작이 가능하다는 많은 장점으로 해서 차세대 평판 디스플레이로 각광 받고 있다. Fig. 1의 OLED 기본 소자 구조에서 보이는 것처럼 일반적인 유기 EL의 구조는 양극(anode)/정공 수송층(HTL; Hole Transporting Layer)/발광층(EML; Emitting Layer) / 전자 수송층(ETL; Electron Transporting Layer) / 음극(cathode)으로 구성되어 진다.

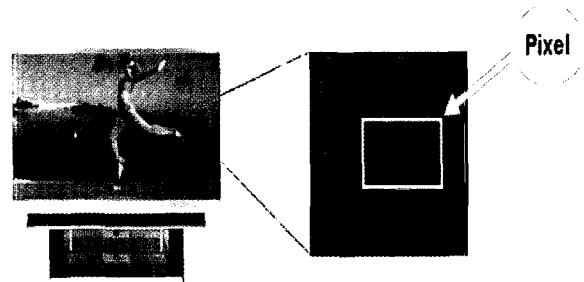


Fig. 2. Full-color화된 유기EL디스플레이.

이 소자에 효율을 높이기 위해서는 상기의 구조에 정공 주입층(HIL; Hole Injection Layer)이나 전자 주입층(EIL; Electron Injection Layer), 정공 속박층(HBL; Hole Blocking Layer) 또는 발광 호스트에 도판트(doping agent)를 추가로 사용하기도 한다. 이 소자에 전원이 공급되면 전자가 이동하면서 전류가 흐르게 되는데 음극에서는 전자(electron)가

전자 주입층을 통해 전자 수송층을 거쳐 발광층으로 이동하고, 양극에서는 정공(hole)이 정공 주입층을 통해 정공 수송층의 도움으로 발광층으로 이동하게 된다. 발광층에서는 전자와 정공이 결합하여 여기자(exciton)를 형성하게 되고, 여기자의 이동 확산에 따라 발광이 일어나게 된다. 에너지 전달에 의해서 발광 특성이 정해지므로 소자의 색특성, 효율, 안정성 등은 호스트 및 도펀트 물질에 의해서 큰 영향을 받는다. 발광층을 구성하고 있는 유기물질에 따라 발광하는 색이 달라지므로, R,G,B 삼원색을 발하는 각각의 유기물질을 이용하여 Fig. 2와 같이 Full Color를 구현할 수 있다. 발광 재료는 발광 기구에 따라서 일중항 상태의 에너지 전달에 의해 발광하는 형광 재료와 삼중항 상태의 에너지 전달에 의해 발광하는 인광 재료로 구분된다. 여기 상태에서의 일중항 상태와 삼중항 상태가 생길 확률은 각각 25%, 75%이다. 따라서 형광을 이용한 발광 재료의 내부양자효율의 한계치는 25%, 인광을 이용한 발광 재료의 내부양자효율의 한계치는 75%이다

2.2.1 형광 재료

단일 물질로 발광층을 구성할 경우 분자 간 상호작용에 의해서 색순도와 효율이 떨어지게 된다. 색순도의 증가와 에너지 전이를 통한 발광 효율을 높이기 위해서 발광층을 호스트/도펀트 계를 사용한다. Table 3은 대표적인 형광 호스트/도펀트 계를 보여 준다.

적색 형광 재료는 Alq3(Tris-8-quinolinato-aluminum)와 DCJTb[4-(dicyanomethylene)-2-tert-butyl-6-(1,1,7,7-tetramethyljulolidyl-9-enyl)]의 호스트/도펀트 계가 사용되고 있으며, DCJTb 계열의 다른 물질도 많이 알려져 있다.

그 외 알려진 적색 형광 재료로는 3-(dicyanomethylene)-5,5-dimethyl-1-[(4-dimethylamino)styryl]cyclohexene(DCDDC), 6-methyl-3-[3-(1,1,6,6-tetramethyl-10-oxo-2,3,5,6-tetrahydro-1H,4H,10H-11-oxa-3a-azabenz[de]anthracene-9-yl)acryloyl]pyran-2,4-dione(AAAP), 6,13-diphenylpentacene(DPP), 3-(N-phenyl-N-p-tolylamino)-9-(N-p-styrylphenyl-N-p-tolylamino)perylene[(PPA)(PSA)Pe-1], 1,1'-dicyano-substituted bis-styrylnaphthalene(BSN) 등이 보고되고 있다.

녹색 형광 재료는 Alq3/C545T{10-(2-benzothiazolyl)-1,1,7,7-tetramethyl-2,3,6,7-tetrahydro-1H,5H,11H-benzo-pyrano[6,7,8]quinolizin-11-one} 호스트/도펀트 계가 사용되며, 그 외 녹색 도펀트로 N,N'-diethylquinacridone(DEQ), 5,12-diphenyltetracene(DPT) 등이 있다.

청색 형광 재료로는 호스트 물질로 DSA(distyrylarylene) 계열의 화합물과 phenylanthracene 계열의 물질이 사용되고 있으며, 도펀트로는 아민이 치환된 DSA 계열과 perylene 계열이 사용되고 있다.

2.2.2 인광 재료

인광 재료로는 일중항 또는 삼중항 여기 상태에서 삼중항 여기 상태로의 계간전이(Intersystem crossing)

Table 4. 대표적인 형광 호스트 및 도펀트용 화합물

	B	G	Y	Or	R
Host	<p>TDK, DPVBi, Idemitsu</p>	<p>Alq-family, Kodak, Alq3, modified, red shift, Gaq3</p>			
Dopant	<p>Perylene, Kodak, Distyrylbiphenyl, Idemitsu</p>	<p>quinacridone, Pioneer, DPT, Mitsubishi</p>	<p>rubrene, Mitsubishi</p>	<p>BTX, Mitsubishi</p>	<p>ABTX, DCJTb, DCJTb (t-Bu), Mitsubishi, Kodak</p>

또는 에너지 전이가 잘 일어나는 전이 금속이 포함된 유기금속착체를 사용한다. 주로 이리듐(Ir), 백금(Pt), 유로피움(Eu), 터비움(Tb)계 화합물이 알려져 있으며, 그 중에서 이리듐계열이 효율 및 수명 안정성이 우수하다고 보고되어 있다.

Fig. 3은 대표적인 인광 호스트/도펀트 계를 나타낸다.

적색 인광 재료로 처음 알려진 재료는 2,3,7,8,12,13,17,18-octaethyl-12H,23H-porphine platinum(PtOEP)이다. PtOEP 이후, 다양한 이리듐계 적색인광 재료가 보고되고 있으며, 호스트 물질로는 카바졸계 화합물이나 bis(2-methyl-8-quinolinolato)(p-phenylphenolato)-aluminum(Balq)이 호스트 물질로 사용된다. 녹색 인광 재료로는 fac-tris(2-phenylpyridine)iridium(Irppy₃)가 알려져 있으며, 호스트로는 카바졸계를 주로 사용한다. 청색 인광 재료로는 fac-tris[2-(4,5'-difluorophenyl)pyridine-N, C'3]iridium(FIrpic)이 잘 알려져 있으며, 호스트로는 실리콘이 들어있는 화합물을 사용한다. Table 5에 형광 및 인광 소자에 대한 색좌표, 효율, 수명을 나타냈다. 인광 재료는 형광에 비해서 효율은 뛰어나나, 수명이 낮은 것이 단점이다. 실용화를 위해서는 고효율, 장수명의 재료를 개발하는 것이 요구된다.

2.3 PDP용 색소^{5,8,26)}

PDP(Plasma Display Panel)는 기체(Xe, Ne) 방전시 발생하는 플라즈마로부터 나오는 진공 자외선(Vacuum Ultraviolet)을 이용하여 무기 형광체(적색, 녹색, 청색)를 여기 시켜서 나오는 광으로 문자 또는 그래픽을 표시하는 소자를 말한다. Fig. 4는 PDP 구조를 나타낸다. PDP는 전기 에너지, 플라즈마, 진공 자외선, 가시광선의 형태로 여러 에너지변환과정을 거치는데,

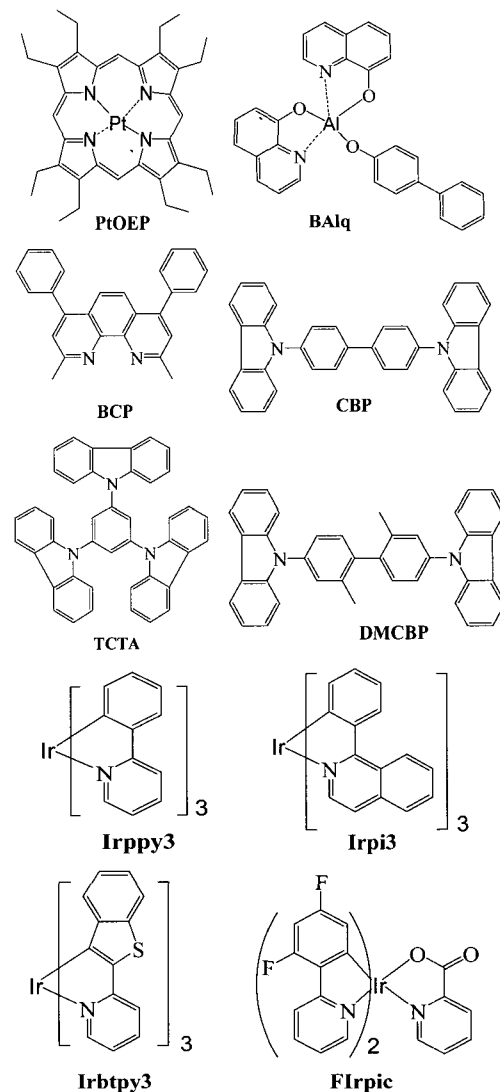


Fig. 3. 대표적인 인광 호스트/도펀트 화합물

각 단계에서 에너지 손실이 발생하기 때문에 세트의 방전 효율이 1% 정도이다. 따라서 다른 디스플레이에 비해서 발광 효율이 상대적으로 낮고, 이미지 표현 능력이 제한적이며, 제조원가가 상대적으로 높은

Table 5. 형광 및 인광 소자에 대한 색좌표, 효율, 수명 비교

재료	종류	색좌표	효율(cd/A)	수명(시간)
형광	R	(0.64, 0.36)	5.0	40,000
	G	(0.30, 0.63)	20	40,000
	B	(0.15, 0.15)	6.0	30,000
인광	R	(0.67, 0.33)	12	40,000
	G	(0.31, 0.62)	50	20,000
	B	(0.15, 0.15)	12	-

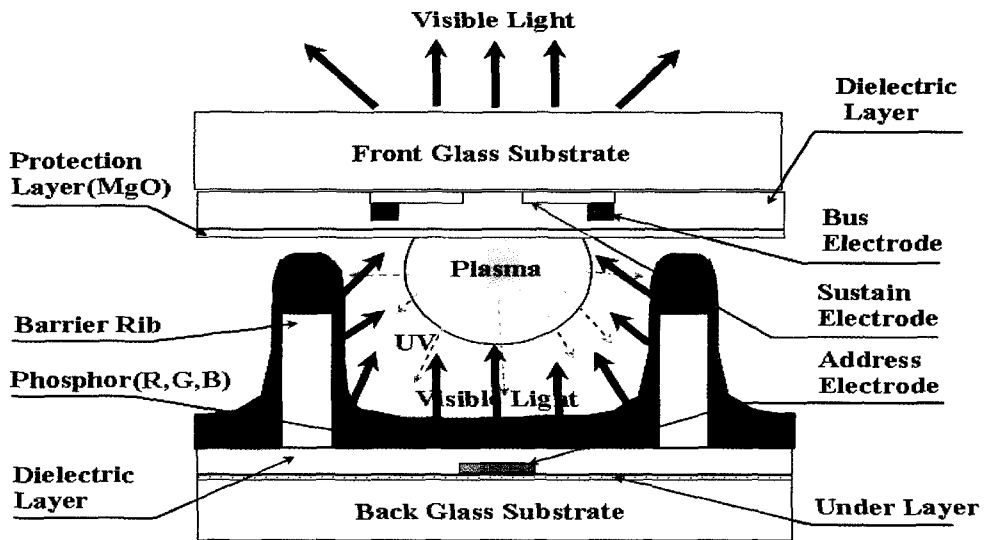


Fig. 4. PDP의 개요도

문제점이 있다. 그러나 최근 가격 및 기술 안정성에 대한 문제점이 보완되면서 40"급 이상 대형 TV 시장에서 시장 규모를 확대하고 있다.

PDP가 최근 LCD, SED(Surface Emission Display), OLED 등의 디스플레이와의 경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 고효율화, 고화질화, 저가격화와 관련된 기술 개발이 필요하다.

PDP에 사용되는 색소 소재로는 플라즈마 방전시 생성되는 황색(Orange) 과 근적외선 파장을 차단하기 위해서 네온 차단(Neon Cut) 또는 오렌지 차단(Orange Cut) 색소와 근적외선흡수 색소(Near Infrared Absorbing Dye: NIR Dye)가 사용되며, RGB 색상을 구현하기 위해서 무기 형광체가 필요하다. 네온 차단 색소는 네온 방전에 의한 황색 발광 파장을 차단함으로써 색 순도를 높이는 기능을 하며, NIR 색소는 850~1100nm 파장 대의 근적외선 영역을 차단함으로써 NIR 레이저를 사용하는 기기의 오작동을 방지시키는 기능을 한다.

Fig. 5는 PDP용 근적외선 흡수 색소, Fig. 6은 네온 차단 색소에 대한 구조를 나타낸다. 근적외선 흡수 색소로는 시아닌(Cyanine)계, 디티올(Dithiol) 금속 착체계, 디이모늄(Diimmonium) 계열 등의 화합물이 사용되며 네온 차단 색소는 시아닌, 포피린(Porphyrin) 계열이 사용되는 것으로 보고 된다.^{6,27,28)} Fig. 6은 플라즈마 방전시 생성되는 황색 발광 파장과 NIR 영역이 포함된 스펙트럼과 네온 차단과 근적외선 차단 필름을 사용한 후의 스펙트럼을 보여준다.

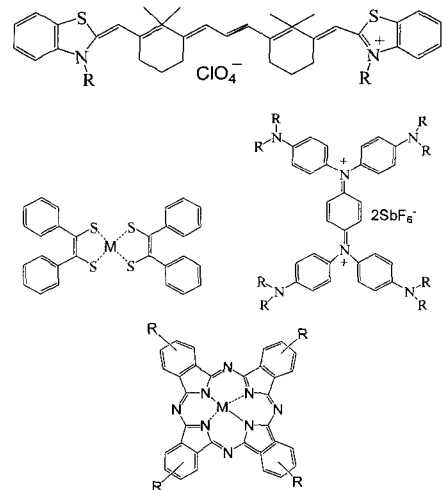
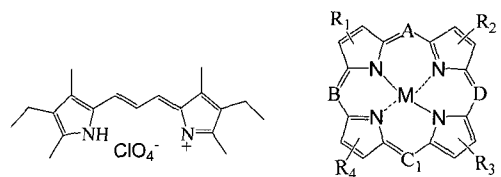


Fig. 5. PDP용 근적외선 흡수화합물



R₁,R₂,R₃,R₄=alkyl, aryl, halogen, etc.

A,B,C₁,D= nitrogen, carbon

Fig. 6. PDP용 네온 차단 화합물

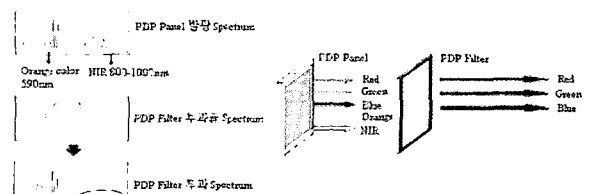


Fig. 7. 네온 차단과 근적외선 차단 개요도.

3. 염료 감응형 태양전지^{10,29)}

염료 감응형 태양전지(Dye Sensitized Solar Cell, DSSC)는 TiO₂를 주성분으로 하는 반도체 나노 입자, 태양광 흡수용 염료, 전해질, 투명전극 등으로 구성되어 있는, 식물의 광합성 원리를 응용한 전지이다. 이 전지가 기존의 태양전지와 다른 근본적인 차이점은, 기존의 태양전지에서 태양 에너지의 흡수 과정과 전자-정공 쌍이 분리되어 전기의 흐름을 만드는 과정이 반도체 내에서 동시에 일어나는 것에 비해, 태양 에너지의 흡수 과정과 전하 이동 과정이 분리되어 태양 에너지 흡수는 염료가 담당하고, 전하의 이동은 전자의 형태로 반도체에서 담당한다는 것이다.

현재 주로 연구되어지고 있는 고효율 염료 감응형 태양전지의 개발은 1980년부터 스위스 로잔에 있는 Ecole Polytechnique Fédérale의 Grätzel 교수의 연구팀에 의해 이루어졌다. 그들은 저가의 나노 기공 TiO₂ 반도체를 도전성 유리 위에 접착시키고, Ru계 염료 및 I⁻/I³⁻ 전해질을 사용함으로 1993년 효율 10% 대의 최고 효율을 지닌 전지를 개발하였다³⁰⁾. 이 때문에 염료 감응형 태양전지를 통칭하여 Grätzel 전지라고 부르고 있다. 염료 감응형 태양전지의 기본구조는 Fig. 8에서 보는 것과 같이 샌드위치 구조 속에, 투명 유리 위에 코팅된 투명 전극에 접착되어 있는 나노 입자로 구성된 다공질 TiO₂, TiO₂ 입자 위에 단분

자층으로 코팅된 염료 분자, 그리고 두 전극 사이에 있는 50~100 μ m 두께의 공간을 채우고 있는 산화-환원용 전해질 용액이 들어있는 형태를 지니고 있다. 전극은 양쪽을 모두 투명 전극을 사용하기도 하지만, 일반적으로 에너지 효율을 높이기 위하여 태양광이 입사하는 반대쪽 전극은 반사도가 좋은 백금을 사용하고 있다.

태양광이 전지에 입사되면 광양자는 먼저 염료분자에 의해 흡수된다. 염료는 태양광 흡수에 의해 여기 상태로 되고 전자를 TiO₂의 전도대로 보낸다. 전자는 전극으로 이동하여 외부회로로 흘러가서 전기 에너지를 전달하고, 에너지를 전달할 만큼 낮은 에너지 상태가 되어 상대 전극으로 이동한다. 염료는 TiO₂에 전달한 전자수 만큼 전해질 용액으로 부터 공급받아 원래의 상태로 돌아가게 되는데, 이 때 사용되는 전해질은 iodide/triiodide 쌍으로써 산화-환원에 의해 상대 전극으로부터 전자를 받아 염료에 전달하는 역할을 담당한다.

Fig. 9는 DSSC에 사용하고 있는 염료의 구조를 나타낸다. DSSC에 사용되는 염료는 Grätzel 그룹에서 발표한 루테튬계 유기금속화합물, 순수 유기화합물 색소 등이 알려져 있다. DSSC용 염료가 갖추어야 할 조건은 가시광선 전영역의 폭 넓은 흡수 밴드를 가져야 하며, 나노입자 반도체 표면과 견고한 결합을 하고 있고, 열 및 광에 대한 안정성이 높아야 한다.

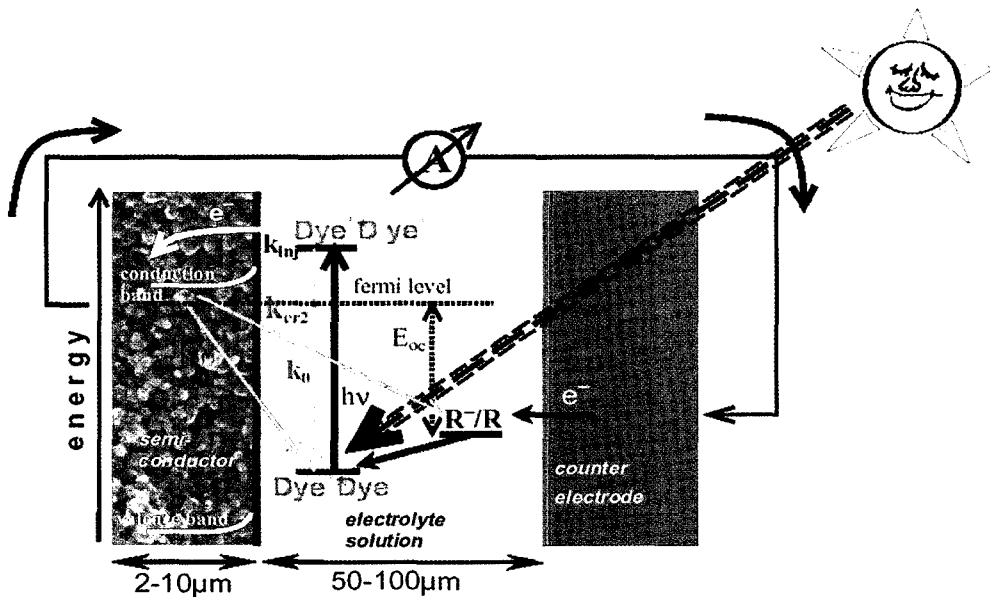


Fig. 8. 염료감응형 태양전지의 기본구조

지금까지 알려진 염료 중에는 루테늄계 유기금속 화합물이 가장 우수한 것으로 보고되고 있다. 대표적인 루테늄계 염료로는 적색의 N3, N719, 검정색의 N749가 있다^{31,32}. 금속착체계 외에도 쿠마린, 인돌, 시아닌 계열의 색소가 보고되고 있다. 순수 유기물로 된 염료는 금속착체계 염료에 비해서 내후성이 떨어지는 단점을 갖고 있으나, 이러한 문제점이 해결된다면 고가의 금속을 사용하는 금속착체계에 비해서 가격 경쟁력 면에서 우수한 소재가 될 수 있다.

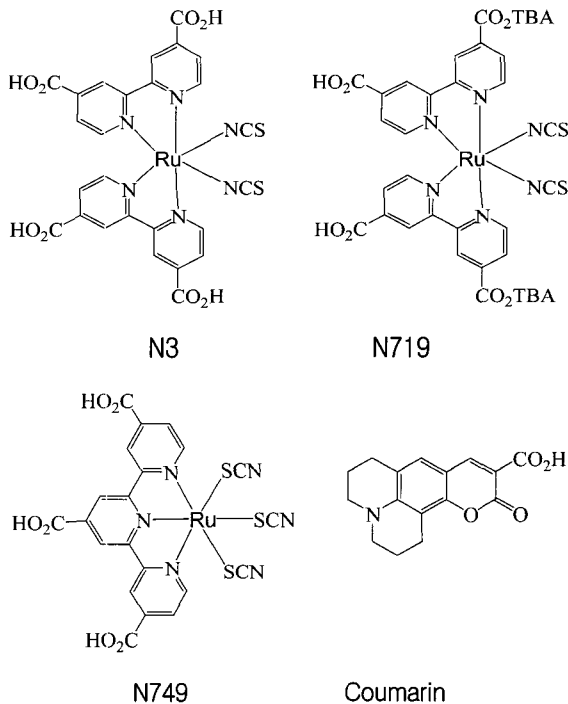


Fig. 9. DSSC용 화합물

4. 정보 저장용 색소^{3-6,8)}

IT 기술의 비약적인 발전과 함께 Digital TV 및 인터넷에 의한 정보량의 증가에 따라 대용량, 고밀도의 기록 매체가 요구되고 있으며, HD TV(High Definition TV)급 고화질 영상정보를 2시간 정도 기록 저장하기 위해 15GB 용량의 디지털 기록매체의 필요성이 증가되고 있다. 일반적으로 CD(Compact Disc) 및 DVD(Digital Versatile Disc)등의 광 저장 기술은 고밀도이면서도 초박형 저가의 디스크형 탈착식 매체를 사용하는 장점 때문에 음반, 영화, 배포용 S/W 뿐 아니라 개인 데이터 저장용으로 자기테이프 레코더, 플로피디스크 등을 대체하면서 시장을 형성하여 왔다. 앞으로 청자색 광원을 사용하는 HD 급은 고화질영상 및 음반물 등을 저장하는

매체로서 그 시장이 증대될 예정이며 1인치 이하의 초소형 장치로서 디지털 캠코더 등에 장착되어 사용될 것으로 기대된다³³⁾.

DVD-R(Recordable)은 2010년까지 기록 용량을 15GB로 향상시켜 광기록 매체 시장을 주도할 것이며, Digital TV시대의 핵심 영상 기록매체인 HD DVD-R (High Definition DVD-R)로 발전이 예상되고, 폭 넓은 호환성 등의 장점이 있어 개인용 및 정보 보관용으로 유망한 차세대 기록 매체이다.

정보 통신 시스템의 진화에 따라 초고속 통신이 가능해지고 정보의 유통량도 기하급수적으로 증가하면서 최근 HD급의 대용량 광정보저장 장치로 BD(Blu-ray Disk), AOD(Advanced Optical Disk)와 HD-DVD(High Definition DVD) 기술이 가장 주목을 받고 있다.

BD는 HP, 델, 애플 등의 PC 업체와 삼성전자, LG 전자, 소니, 샤프, 필립스, 파나소닉 등 국내외 유명업체들이 참여하여 규격을 결정하고 있으며, 기존 DVD가 4.7GB의 데이터를 저장 할 수 있는데 반해, 싱글 레이어 기준으로 23~27GB를 저장할 수 있고, 현재까지 DVD의 13배속에 해당하는 4배속이 발표되었다.

AOD는 도시바와 NEC가 중심이 되어 추진하고 있는 광 디스크의 표준 규격이며, 가장 큰 특징은 기존의 광기록 헤드를 사용하는 DVD와 완벽하게 호환이 된다는 점이다.

HD-DVD는 현재 광저장장치의 미디어 부분에서 세계 시장의 대부분을 차지하는 대만의 AOSRA (Advanced Optical Storage Research Alliance)가 주축이 되어 추진하고 있고, 각종 사양들이 BD와 AOD의 중간 절충형의 모습을 보여준다. 그러나 BD나 AOD에 비해서 아직까지 세계적으로 큰 호응을 얻고 있지 못하다. AOD와 HD-DVD는 청자색의 광원을 사용한다는 점이 BD와 비슷한 기술로 볼 수 있으나, 압축 기술, 기록 방식, 표면 보호용 카트리지 사용 여부 등 세부적인 면에서 BD와는 다르며 데이터 저장 용량이 15~20GB로 BD보다 낮으나 기존 DVD와 호환이 가능한 장점을 가지고 있다. 따라서 BD는 용량면에서, AOD와 HD-DVD는 가격 측면에서 유리한 점을 갖고 있다³⁴⁾.

레이저광을 사용해 광정보를 기록 재생하는 광디스크 드라이브(ODD : Optical Disk Drive)의 저장 매체는 파장이 750~830nm(780nm 전후)인 적색 레이저 광을 사용하는 CD계열, 파장이 640~680nm(650~665nm)인 단파장 적색 레이저광을 사용하는 DVD계열, 그

리고 파장이 350~500nm(405nm 전후)인 짧은 청색 레이저를 사용하므로써 고밀도 광정보를 고속으로 재생 및 기록이 가능하게 할 수 있는 BD 또는 HD-DVD계열로 구분 할 수 있다(Table 6).

정보 기록 매체의 기본적인 구조는 투명한 원반형상 기판 상에 유기색소로 이루어진 기록층, 금, 은, 동, 알루미늄 등의 금속으로 이루어진 광반사층, 수지계의 보호층이 순서대로 적층상태로 구성되어 있다. 이 디스크에 레이저광을 조사함으로써 기록층이 에너지를 흡수하여 발열하고, 열분해에 의해 기록피트가 형성되어 정보가 기록된다. 한편 기록용 레이저광과 같은 파장의 레이저 광을 조사하여 기록층의 변화된 부위(기록 부분)와 변화되지 않은 부위(미기록 부분)의 반사율 차이를 검출하므로써 정보가 재생된다. 지금까지 제안되어 있는 광디스크의 기록 매체로서 유기물과 무기물이 있다.

무기물에 의한 기록층 으로는 광열 자기 효과에 의하여 기록이 가능한 Tb·Fe·Co나 Dy·Fe·Co 등의 희토류 전이 금속 합금, 상변화하는 Ge·Te, Ge·Sb와 같은 칼코젠(Calcogens)계 합금 등이 사용되고 있다. 유기물로는 다양한 유기색소가 사용된다. 유기색소 광기록 매체가 spin-coat에 의한 간단한 방법으로 기록층 형성가능하므로 프로세스 상 용이하고, 상대적으로 가격경쟁에서 우위성을 가진다. CD, DVD-R, HD급의 광기록 매체 기록을 능률적으로 수행하도록 하기 위해 다양한 유기색소 화합물을 기록층에 사용하여 기록의 성능을 향상시키고 있다. 주로 사용하는 유기색소로는 시아닌계, 아조계, 아조-금속 착체계, 포르피린계, 프탈로시아닌계, 나프탈로시아닌계, 디시아노비닐페닐계, 쿠마린계, 나프토퀴논계, 안트라퀴논계 및 인도페놀계 등의 색소가 사용된다^{7,35-49)}. 특히 시아닌과 아조

색소는 생산성이 높은 스핀코트법의 적용이 가능하며, 열전도성이 낮아 국소적 가열이 가능하여 edge의 명확한 치수 안정성을 갖는 좋은 피트를 형성할 수 있다는 점 등의 장점을 갖고 있고, 특히 반도체 레이저 파장 영역에서 높은 흡수성과 반사성을 나타낼 수 있어 많이 사용되고 있다.

그러나 시아닌 색소나 일반적인 아조 색소는 내광성이 낮은 단점이 있다. 따라서 기록 내용을 장기 보존할 수 없으며, 재생 시에 레이저광의 조사로 인한 반복이 잦아지면 열화하기 쉬워 재생에 의한 화상이나 음성의 재현성에 있어서 품질손상이 용이하다. 대응책으로 일반적으로 반도체 발진파장영역에서 흡수 특성을 갖는 시아닌색소의 주성분에 광안정제를 첨가하거나 또는 니켈금속착체계와 같은 산화방지제를 사용하여 색소의 광견뢰도를 증가시킬 수 있다. 광안정성이 우수한 프탈로시아닌계 색소의 경우 유기 용매에 대한 용해도가 낮고, 기록 강도가 낮은 단점이 있으나, 프탈로시아닌계 분자에 입체 장애를 일으킬 수 있는 긴 알킬기와 같은 치환기를 도입함으로써 분자간력을 약화시켜 용해도를 증가시킬 수 있다^{7,48,49)}.

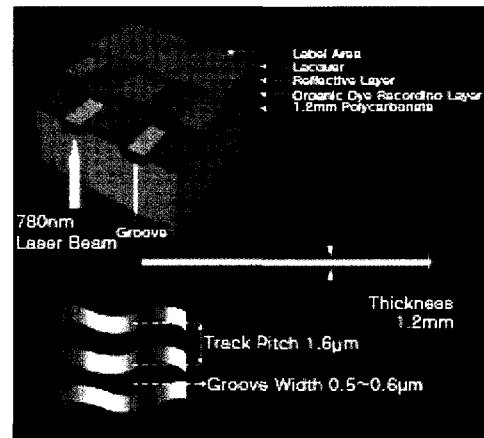


Fig. 10. CD-R의 개요.

Table 6. 광저장 매체의 사양비교

	CD	DVD	BD/HD DVD	AOD/HD DVD
적용	Audio	SD Video	HD Video	HD Video
기록용량	0.7GB	4.7GB/8.5GB	25GB/50GB	17GB/34GB
광원의 표준 발진파장 (λ)	780nm	650nm	405nm	405nm
표준데이터 전송속도(1X)	1.2Mb/s	11Mb/s	36Mb/s	36Mb/s
NA(Numerical Aperture)	0.45	0.60	0.85	0.65
카바층의 두께	1.2mm substrate	0.6mm substrate	0.1mm cover	0.6mm substrate

CD-R, DVD-R 등 추기형 광기록 매체 등의 시아닌색소 함유의 기록층을 개선하고 있으나, 백과사전 같이 내용의 기록을 장기간 보존하고자 할 경우 충분한 역할을 할 수 없으며 광안정제를 첨가 할 경우 국소적으로 가열되는 시아닌 색소의 특징을 감쇄시키는 열 간섭을 일으켜 기록 감도나 지터(Jitter)를 악화시키는 등 기록 특성에 나쁜 영향을 미친다.

DVD-R형의 정보기록 매체는 종래의 CD-R형에 비해서 수배의 정보량을 기록할 수 있기 때문에 높은 기록 감도를 갖고 있는 것은 물론 특히 대량의 정보를 신속하게 처리할 필요가 있다는 점에서 고속 기록에 대하여서도 예외의 발생률이 적은 것이 요구된다.

또한 색소로 이루어지는 기록층은 일반적으로 열 또는 빛에 대한 안정성이 낮아서 장기간 열 또는 빛에 대해서도 안정된 성능을 유지할 수 있는 기록층의 개발이 요구되어진다.

광기록 매체의 기록을 능률적으로 수행하도록 하기 위해 기록층의 유기색소 화합물 역시 기록의 고속화를 가능하게 하는 것이 요구되어 8배속은 물론 16배속과 같은 고속 기록화에 사용 가능한 신규 유기 색소의 개발이 필요하다. 또한, 해상도의 척도가 되는 높은 시그널/노이즈(S/N)비(50dB이상)을 얻기 위해서는 반사율이 20%이상 그리고 흡수 파장 영역에서 굴절률(n)이 1.9가 넘는 유기 색소가 요구된다.

Table 7은 대표적인 광정보 기록 재료용 색소를 보여 준다. 현재 주로 사용되는 유기 색소의 경우 아조계는 다른 색소들과 비교할 때 상대적으로 합성이 용

이한 장점을 갖고 있다. 프탈로시아닌계는 광학 특성을 충족시키고, 광안정성이 우수한 장점이 있고, 시아닌계는 기록 특성이 우수하나 광안정성이 낮아서 이를 향상시키기 위한 quencher를 필요로 한다. 모든 광기록 매체용 유기색소들에 대한 원천 특허 확보를 위해서는 독자적인 유기색소의 개발이 시급하다.

5. 프린터용 색소^{2,3,5,6,8)}

광도전성(Photoconductivity)을 이용한 전자 사진법을 1938년 C.F. Carlson이 최초로 발명했으며⁵⁰⁾, 1950년대에 복사기로서 실용화된 이후 업무효율화, 업무환경의 향상에 대한 요구와 레이저프린터로 대표되는 디지털 기기의 발전과 함께 그 응용분야가 확대되고 있다.

초기의 광도전체는 Se, Se합금, ZnO 등의 무기 재료가 주로 쓰였으나, 1970년대에 유기광도전체(Organic Photoconductor; OPC)가 실용화 된 후에 현재는 전자사진 감광체의 95%이상을 OPC가 점유하고 있다.

전자사진법은 강도전체 위에 형성된 정전잠상(Latent Electrostatic Image)을 대전된 착색분말(토너)에 의해 가시화하는 방법이다. 복사(Photocopy) 과정을 Fig. 11에 나타냈다.

복사 과정은:

- 1: 광도전체 표면(drum or belt)이 대전되고(Charge),
- 2: 화상노광(Expose)에 의해 정전잠상을 형성하고,
- 3: 토너에 의한 현상에 의해 가시화를 행하고(Develop),

Table 7. 광정보 기록매체용 화합물

	CD용	DVD용	HD DVD용
Cyanine 계			
Phthalocyanine 계			
Azo 계			

4: 종이 등에 전사하며(Transfer), 5: 열에 의해 종이에 고착(Fix)을 하여 복사-화상형성 과정을 완료한다. 감광체는 다음의 과정을 위해서, 6: 잔류하고 있는 토너 및 잔류 전하 등의 제거 (Clean)로 다시 초기화 된다. 이 전자사진 과정의 주요 기능인 OPC의 광도전성에 의해서 정전잠상이 형성하는데, 이것이 광을 흡수하여 전하를 발생하는 기능성 재료로서 OPC의 중요한 역할이다.

전자사진에 이용되는 유기광도전체는 이미 C. F. Carlson⁵⁰⁾의 특허에 Anthracene 등이 사용되었으며 1950년대 후반에 PVK(Poly-N-vinylcarbazole)가 개발되어 실용화 개발과 함께 그 분자구조, 전자구조, 광도전성 등이 상세히 연구되었다. OPC의 실용화는 1970년대 초에 색소 증감된 PVK가 마쯔시타전기산업 및 리코사로 부터 상품화 되었다. 같은 시기에 전자수용성 화합물인 TNF(Trinitrofluorenone)와 PVK와의 전하이동착화합물로 부터 이루어지는 OPC가 IBM에서 상품화 되었다. 이것은 종래의 OPC 감도를 10배 이상 향상시켜 Se계 무기감광체와 대등한 성능을 갖게 됐다. Fig. 12에 전하발생에 대한 개요도를 나타낸다. 현재 상품화 되어있는 OPC는 거의가 복층 형태이다.

전하 발생 재료(Charge generating Materials; CGM), 전하 수송 재료(Charge Transporting Materials; CTM)로 두 개의 층으로 되어 있으며, CTM을 Fig. 13에 나타냈다. 전하수송재료로는 TNF, 히드라존(Hydrazone)

유도체, 트리페닐메탄(Triphenylmethane) 유도체, 옥사디아졸(Oxadiazole) 유도체, 옥사졸(Oxazole) 유도체, 스틸벤(Stilbene) 유도체, 아릴아민(Arylamine) 유도체 등이 사용 된다.

CGM으로는 PVK, 아조(Azo)화합물, Thiapyrylium, Perylene tetracarboxy diimide, Dibromoanthrantrone, Squarilium, Azulenium, Phthalocyanine을 Fig. 14에 나타냈다. 아조 염료는 제조의 편리성과 재료의 다양성으로 해서 많은 화합물이 개발되었고 구조와 전자사진특성과의 관계에 대해서도 많은 연구가 되었다.

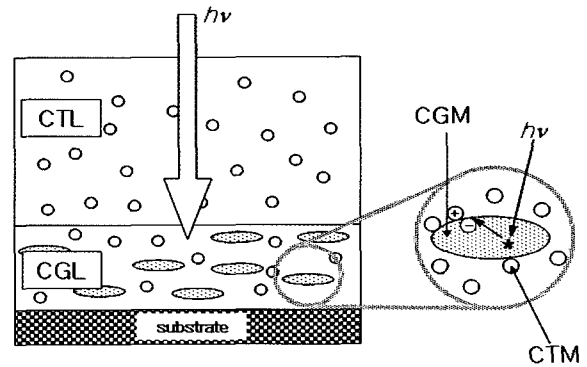


Fig. 12. 전하발생 개요도

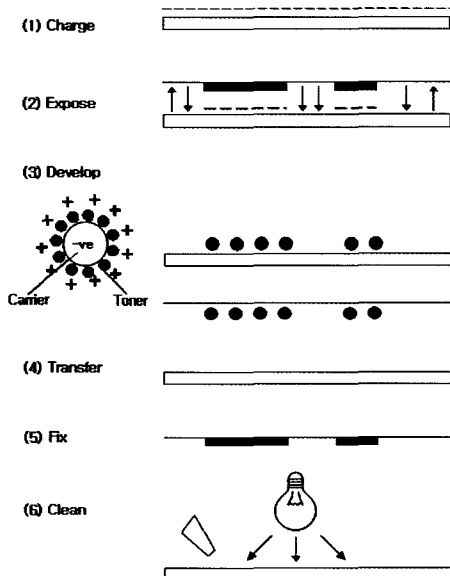


Fig. 11. 복사 개요도

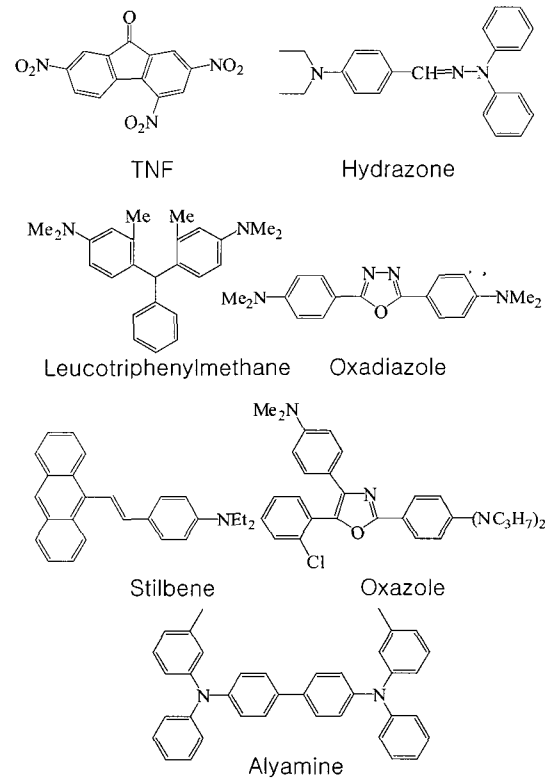


Fig. 13. CTM용 화합물

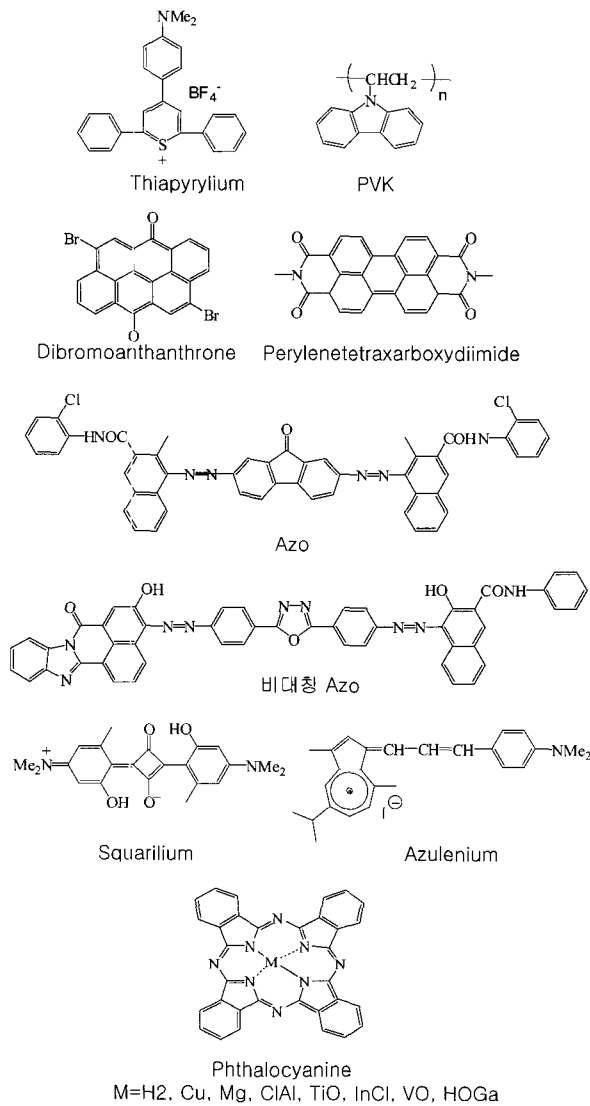


Fig. 14. CGM용 화합물

다른 종류의 커플러를 사용한 비대칭 아조안료⁵¹⁾는 여기상태에서 다른 커플러 간의 전하 이동이 일어나 고감도화가 일어난다. 반도체 레이저의 개발에 의한 노광광원의 장파장화에 대응하여 Azulenium 색소, Squarilium 색소 등의 다양한 색소가 개발되었다.

프탈로시아닌(Phthalocyanine; Pc)계 색소의 광학성질과 관련된 많은 연구가 되어 왔다⁵²⁾. Pc 계 색소는 다양한 형태의 결정형 따라 상이한 광학 및 전자사진 특성을 갖는다. 대표적인 것으로서 Cu-Pc의 α형, β형, γ형, ε형의 전자사진특성이 보고되었다⁵³⁾. α형은 대전성 및 감도가 나쁜 반면, ε형은 대전성 및 감도가 우수한 것으로 보고되어 있다.

그러므로 화합물 합성시에 결정 제어 기술이 중

요하다. 현재 TiO-Pc⁵⁴⁾와 Hydroxygallium-Pc⁵⁵⁾가 OPC 재료로서 폭넓게 사용되고 있다.

6. 결 론

염·안료 산업은 섬유산업과 더불어 70, 80년대에 우리나라 경제 성장을 주도하는 주요 핵심 산업이었다. 그러나 성장 동력이 기존의 자본, 노동 중심에서 지식, 기술로 이행되고 범용 화학제품의 발전 단계가 성숙 단계에 접어들어 따라 노동 집약적이고 장치산업 중심의 기존 산업 생산이 저임금을 바탕으로 하는 중국을 비롯한 동남아 국가로 대부분 전환됨으로 해서 국내 염·안료 산업 및 섬유산업이 다소 침체되어 있는 실정이다. 따라서 이를 극복하고, 새로운 도약의 계기를 마련하기 위해서는 지속적인 신개념의 제품 및 신기술을 시장에 내놓음으로 해서 고부가가치 첨단 산업 구조로 발전시키는 것이 필요하다. 섬유 산업용 염·안료 개발 외에도 실제 이들 기술을 바탕으로 하는 전자 산업용 색소 소재기술은 해당 산업 경쟁력의 근간이 되며, 해당 제품의 성능과 기능을 좌우하는 핵심 소재이다. 소재 산업은 산업 구조상 전방산업에 미치는 파급 효과가 큰 뿌리 산업이며, 실제 대일 무역 적자의 상당부분이 핵심 기초 소재 및 부품 소재의 수입에 기인한다. 광 및 광화학 반응을 이용하는 정보 전자, 광전 변환, 의료용 화학 소재 및 관련 산업에는 광 및 광화학 반응에 대응하는 색소가 핵심 소재로 사용된다. 일본, 미국, 유럽 등 선진국의 경우 정보전자 산업 및 관련 산업이 앞서 발달된 관계로 이들 산업에 응용되는 색소에 대한 원천 특허를 거의 선점하고 있는 상태이다.

관련 시장에서의 국가경쟁력을 유지하기 위해서는 해당 산업의 핵심 소재인 색소에 대한 원천 핵심 기술 확보가 필수적이며, 이를 위해서는 염·안료 산업 종사자를 중심으로 국가적인 지원 아래 산학연이 연계하여 지속적이고 과감한 연구개발이 이루어진다면 세계 시장을 선도하는 핵심 색소소재가 개발될 것으로 생각된다.

참고문헌

1. H. Zollinger, "Color Chemistry, 3rd Ed.", Wiley-VCH, 2003.
2. 大河原信, 黒木宜彦, 北尾梯次郎, "機能性色素

- 化學”, CMC, 1981.
3. S. Tokita, “Organic Colorants for Electronics”, CMC, 1998.
 4. S. H. Kim, “Functional Dyes”, Elsevier, 2006.
 5. H. Nakazumi, “Functional Dyes in Advanced Technologies”, CMC, 2003.
 6. P. Gregory, “High-Technology Applications of Organic Colorants”, Plenum Press, New York, 1991.
 7. S. H. Kim, *고분자과학과 기술*, **14**(1), 57(2003).
 8. M. Matsuoka, “Infrared Adsorbing Dyes”, Plenum Press, New York, 1990.
 9. J. Fabian, H. Nakagwni, and M. Matsuoka, *Chemical Review*, **92**, 1197(1992).
 10. H. Avakawa, “Recent Advances in Research and Development for Dye - Sensitized solar cells”, CMC, 2001.
 11. K. Hunger, “Industrial Dyes”, Wiley-VCH, 2003.
 12. R. P. Haugland, “Handbook of Fluorescent Probes and Research Chemicals 6th Ed.”, Molecular Probes Inc., 1996.
 13. T. D. Mody and J. L. Sessler, *J. Porphyrins. Phthalocyanines*, **5**, 134(2001).
 14. P. Urizzi, C. M. Allen, R. Labglois, R. Ouellet, *J. Porphyrins. Phthalocyanines*, **5**, 154(2001).
 15. R. K. Pandey, *J. Porphyrins. Phthalocyanines*, **4**, 368(2000).
 16. *정밀화학*(한국정밀화학공업진흥회), **82**, 50(2006).
 17. 산업교육연구소, “LCD 부품 및 재료/소재 기술·시장 분석”, 2005.
 18. 김경준, 김동석, 김성현, 박상욱, *Macromol. Chem. Symp.*, **16**(4), 12(2003).
 19. 전자부품 연구원, “국산화 및 기술경쟁력 분석 보고서(부품편)”, 2005.
 20. *정밀화학*(한국정밀화학공업진흥회), **81**, 6(2005).
 21. a) 김영관, *한국정보 디스플레이 학회지*, **2**(2), 6(2001).
b) 이광희, *한국정보 디스플레이 학회지*, **2**(2), 1(2001).
c) 김영규, *한국정보 디스플레이 학회지*, **2**(2), 24(2001).
 22. 권순기, *공업화학전망*, **7**(3), 34(2004).
 23. Y. Sato, “Organic Electroluminescence Materials and Technologies”, CMC, 2004.
 24. 산업교육연구소, “OLED 부품 및 재료/소재 기술·시장분석”, 2005.
 25. H. S. Nalwa and L. S. Rohwes, " Handbook of Luminescence, Display Materials, and Devices. vol. 1 : Organic Light Emitting Diodes", American scientific publishers, 2003.
 26. 산업교육연구소, "PDP부품 및 재료/소재 기술·시장 분석", 2005.
 27. 서휘민, 송이화, 신동훈, 임상규, K.R. Pat. 0121492(2005).
 28. 이수림, 박상현, 황인석, 이연근, 최현석, 김정두, 이동욱, 그루딘인 드미트리, K.R. Pat, 0059787 (2006).
 29. 박남규, *공업화학*, **15**(3), 265(2004).
 30. M. K. Nazeeruddin, A. Kay, R. Humphry-Baker, E. Miller, P. Liska, N. Vlachopoulos, and M. Gratzel, *J. Am. Chem. Soc.*, **115**, 6382(1993).
 31. M. K. Nazeeruddin, P. Pechy, T. Renouard, S. M. Zakeeruddin, R. Humphry-Baker, P. Comte, P. Liska, L. Cevey, E. Costa, V. Shklover, L. Spiccia, G. B. Deacon, C. A. Bignozzi, and M. Gratzel, *J. Am. Chem. Soc.*, **123**, 1613(2001).
 32. Md. K Nazeeruddin, R. Humphry-Baker, P. Liska, and M. Gratzel, *J. Phys. Chem. B*, **107**, 8981(2003).
 33. 박강호, 송기봉, 김은경, 이성규, 김준호 “근접 광광메모리 기술동향” 주간기술동향 1097호, 정보통신연구진흥원(2003).
 34. 한국과학기술정보원, “Blue laser를 이용한 차세대 정보저장장치” Nano Weekly 제 192호(2006).
 35. 三菱化學株式會社, J.P. Pat. 7-254167(1995).
 36. 三菱化學株式會社, J.P. Pat. 9-27703(1997).
 37. 三菱化學株式會社, J.P. Pat. 10-36693(1998).
 38. 三井東壓化學株式會社, J.P. Pat. 10-149583(1998).
 39. 三菱化學株式會社, J.P. Pat. 11-221964(1999).
 40. Eastman Kodak Co., J.P. Pat. 12-36129(2000).
 41. 株式會社東芝, J.P. Pat. 13-250273(2001).
 42. 三菱化學株式會社, J.P. Pat. 15-127542(2003).
 43. 三菱化學株式會社, J.P. Pat. 15-170662(2003).
 44. 三井化學株式會社, J.P. Pat. 16-142131(2004)
 45. 旭電化工業株式會社, J.P. Pat. 16-345212(2004).
 46. 株式會社りこ一, J.P. Pat. 17-4877(2005).

47. Mitsubishi Chemical Corporation, U.S. Pat. 6,815,033(2004).
 48. Taiyo Yuden Co., Ltd., U.S. Pat. 6,291,045(2001).
 49. 太陽誘電株式會社, J.P. Pat. 18-7573(2006).
 50. C. F. Carlson, U.S. Pat. 2,221,776(1940).
 51. O. Murakami, T. Uenaka, S. Otuka, S. Aramaki and T. Murayama : Proceeding of IS&T's 7th International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies. 318(1991).
 52. a) 田村信一, 色材, **58**, 528(1985).
 b) 大倉 研, 色材, **69**, 687(1996).
 53. 熊野勇夫, 전자사진학회지, **22**, 111(1984).
 54. 織田康弘, 本間知美, 藤卷義英, 전자사진학회지, **29**, 250(1990).
 55. 大門克己, 額田克己, 坂口泰生, 五十嵐良作, Fuji Xerox Technical Report, 12(1998).

저자소개

전 근



1977~1984 경희대학교 화학과 학사
 1984~1986 경희대학교 화학과 석사
 1994~1997 충남대학교 화학과 박사
 1998~1999 조지타운대학교, 클락슨대학교
 화학과 박사후 연구원
 1987~현재 한국화학연구원 신화학연구단
 색소화학연구팀 팀장

Tel : 042-860-7662; Fax : 042-860-7669
 E-mail : kjun@kricr.re.kr

신 승 립



1978~1982 성신여자대학교 화학과
 1986~1991 Texas Tech. Univ.
 화학과(박사)
 1997~1998 교토여자대학 박사 후 연구원
 1991~현재 한국화학연구원 신화학연구단
 색소화학연구팀 책임연구원

Tel : 042-860-7657; Fax : 042-860-7669
 E-mail : srshin@kricr.re.kr

신 종 일



1975~1981 고려대학교 화학과(학사)
 1993~1997 한남대학교 고분자학과(석사)
 1981~현재 한국화학연구원 신화학연구단
 색소화학연구팀 선임연구원

Tel : 042-860-7655; Fax : 042-860-7669
 E-mail : jjshin@kricr.re.kr

박 수 열



1981~1986 단국대학교 화학과(학사)
 1996~2001 리즈대학교 색소화학(박사)
 1986~현재 한국화학연구원 신화학연구단
 색소화학연구팀 선임연구원

Tel : 042-860-7666; Fax : 042-860-7669
 E-mail : sypark@kricr.re.kr