

공액고분자를 이용한 태양전지 및
유기 전기발광 소재 기술

한국과학기술정보연구원

<제 목 차 례>

제1장 서론	1
제2장 기술동향 및 전망	2
1. 기술의 개요	2
가. 공액고분자	2
나. 공액고분자를 이용한 태양전지	6
다. 고분자 발광 다이오드	10
2. 연구개발 동향	12
가. 국내 기술개발 동향	12
나. 해외 기술개발 동향	13
제3장 시장동향 및 전망	16
1. 산업동향	16
2. 국내 시장동향	18
가. 태양전지 시장 및 산업현황	18
나. 국내 OLED 시장	20
3. 해외 시장동향	23
가. 태양전지 시장 및 산업 추이	22
나. OLED 시장	28
제4장 결론	31
<참고문헌>	32

<표차례>

<표 3-1> 국내 태양전지 관련 산업 및 회사	20
<표 3-2> 국내 OLED 관련 업체 및 현황a	22
<표 3-3> 2006년 회사별 태양전지 생산 점유율	27

<그림차례>

<그림 2-1> 대표적인 발광고분자의 분자구조식	4
<그림 2-2> 공액이중결합형 고분자의 광에너지 흡수 및 발광메카니즘	5
<그림 2-3> 대표적인 공액고분자 구조	6
<그림 2-4> 고분자 태양전지 작동원리	7
<그림 2-5> P3HT와 PCBM의 화학구조	9
<그림 2-6> 포스트 어닐링한 BHJ 태양전지	10
<그림 2-7> 전기발광다이오드의 구조	11
<그림 3-1> 태양전지 시장의 분류	17
<그림 3-2> 국내 태양전지 설치 보급 누계	19
<그림 3-3> 전세계 태양전지 설치 보급량 추이	23
<그림 3-4> 용도에 따른 태양전지 시장(2005)	24
<그림 3-5> 결정질실리콘 태양전지 관련 산업 체계	25
<그림 3-6> 태양광모듈까지 단계별 제조단가 구분	25
<그림 3-7> 국가별 태양전지 생산추이	26
<그림 3-8> 전 세계 태양전지 종류별 생산 점유율	28
<그림 3-9> 시장조사기관별 OLED 시장 현황 및 예측	29
<그림 3-10> OLED 시장 현황 및 전망	29
<그림 3-11> 응용기기에 따른 AMOLED 시장	30

제1장 서론

고분자는 필요한 성능을 가질 수 있도록 분자설계가 가능하고 합성하여 고분자를 얻을 수 있다. 공액고분자는 π 결합의 전자여기 에너지가 반도체 영역에 속하므로 이온으로 도핑하면 전기전도도가 도체에 속하는 합성금속을 얻을 수 있다. 전기전도성 고분자는 저항이 낮을 뿐만 아니라 산화 환원반응이 가능함으로 고분자 배터리의 전극으로 사용이 가능하다.

공액고분자는 n 또는 p형의 반도체로 구분되며 발광다이오드와 레이저의 발광재료로서 사용될 수 있다. 또한 자외선 및 가시광선을 흡수하면 π - π^* 변성이 생겨 전자와 전공으로 분리되므로 태양광 전지의 핵심소재가 된다. 이와 같이 무기 또는 금속화합물반도체가 가지는 모든 기능을 고분자재료로부터 얻을 수 있다는 사실이 증명되었다. 기능성 고분자의 설계 및 합성이라는 장점 이외에도 스핀 캐스팅 방법에 의한 소자제작은 공정상 큰 이점을 가지고 있다. 그러나 성능이 뛰어난 기능소자를 고분자 재료로부터 얻기 위해서는 재료의 전기적 및 광학적 성질을 근본적으로 이해해야만 가능하다. 짧은 역사를 가진 기능성 고분자에 대한 연구가 특히 전자기능에 관련된 물리적 해석이 다행히도 빠른 속도로 발전되고 있으므로 전자기능성고분자가 미래에는 전자소자의 핵심재료로 사용될 것으로 전망된다.

본 보고서에서는 이러한 공액고분자에 대한 개요 및 기술개발 동향을 분석하고, 공액고분자의 응용분야인 태양전지와 OLED에 대한 시장동향을 살펴 보도록 하겠다.

제2장 기술동향 및 전망

1. 기술의 개요

가. 공액고분자

원소간의 결합은 각 원소의 원자가전자(valence electron) 수가 $2n^2$ 이 되도록 한다. 이 때 n 은 K, L, M, N, O 준위를 나타내며 고분자는 거의 대부분 L 준위 즉 n 이 2이며 전자수가 8개가 되도록 한다. 그 중에서 대표적인 원소가 탄소이며 이 원소의 L 준위에는 전자가 4개가 있다. 탄소의 원소결합은 $2n^2$ 을 만족시키기 위해 다른 원소들과 전자를 주든지 또는 받는 것보다는 공유하는 쪽이 된다. 탄소의 전자구조는 2s와 2p에 전자가 각각 2개씩 있지만 결합을 할 때는 전자의 혼성화(hybridization)가 일어나 4개의 sp^3 상태의 전자 구조를 가지며 탄소 또는 다른 원소와 전자를 공유하는 공유결합 즉 σ 결합을 한다. 탄소는 탄소, 산소 및 질소와 2중으로 공유결합을 하기도 한다. 이때 3개의 전자는 sp^2 혼성화를 이루고 나머지 한 개는 두 원자간에 2중결합 즉 π 결합을 이룬다.

탄소들끼리 sp^2 와 sp^3 가 교대로 연결되어 있으면 즉 π (2중 공유)결합과 σ (1중 공유)결합이 교대로 연결되어 있으면 이러한 구조를 공액이중결합이라 한다. 탄소 6개가 공액이중결합을 유지하면서 등근 고리를 만든 분자가 벤젠으로서 이 벤젠이 다른 벤젠과 σ 결합으로 연결되었을 때도 이들을 공액이중결합형 고분자라 한다. 공액이중결합형 고분자에서 π 결합에 참여한 전자의 결합띠와 전도띠 간의 에너지 벽은 3.5 eV 이하이며 반도체의 영역에 속한다. 공액이중결합을 가진 분자는 음이온이나 양이온으로 도핑을 하면 에너지 벽은 아주 작아져서 전자를 여기시키면 결합띠에서 전도띠로 전자가 쉽게 이동을 하고 전자가 분자 내에서 비편재 현상을 일으켜 전도성을 띄게 된다.

(1) 전기 전도성 고분자

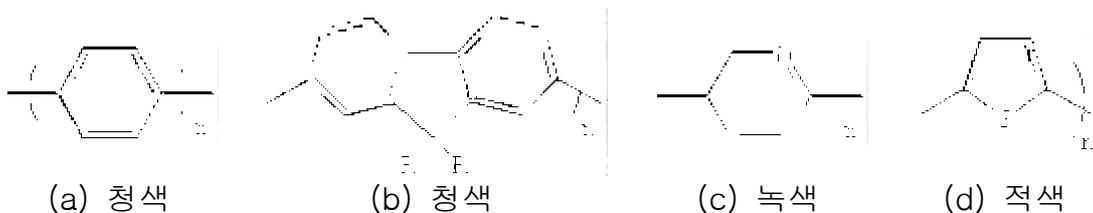
아세틸렌(acetylene) 분자에서는 각 탄소의 2개의 전자가 sp 혼성화를 이루며 나머지 2개의 전자는 다른 탄소와 2중으로 π 결합을 형성함으로써 탄소와 탄소간에는 3중결합이 생긴다. 그 중 한 개의 π 결합이 끊어지면서 생긴 자유라디칼이 다른 아세틸렌분자에서 생긴 자유라디칼과 σ 결합을 해 나가면 이 고분자를 폴리아세틸렌(polyacetylene)이라 한다. 결합띠의 크기가 반도체에 속하며 전자의 비국지화에 따라 중성 솔리톤(soliton)이 쉽게 되고 분자에 전자들을 주든지 빼내면 음성적 또는 양성적 솔리톤이 된다. 폴리아세틸렌을 합성할 때 이상적으로 분자배열이 되도록 하면 이 물질은 결정성을 가지게 된다. 음이온으로 도핑을 하면 전기전도도가 크게 향상된다는 것이 1977년에 발명되었고 이상적인 상태에서는 전기전도도가 10^5 S/cm에 도달하며 구리와 맞먹는 전기전도성 물질이 되므로 합성금속(synthetic metal)이라고도 한다.

폴리아세틸렌 외에도 폴리피롤(polypyrrole), 폴리아닐린(polyaniline), 폴리아사이온펜(polythiophene) 등 환상구조를 가진 화학물질이 중합하여 공액이중결합 구조를 유지하면 폴리아세틸렌과 같이 도핑하였을 때 이들 합성금속은 전기전도도가 103 S/cm 정도로 증가한다. 특히 폴리피롤이나 폴리아닐린은 특수한 조건에서 합성을 하면 클로로포름이나 크레졸과 같은 유기 용매에 녹는 합성금속이 되며 스핀-캐스팅(spin-casting)에 의해 얇은 필름을 생산할 수 있고 필름의 두께도 쉽게 조절이 된다. 도핑된 고분자의 전기전도메카니즘은 준1차원도약전도모형(Quasi one-dimensional hopping model)으로 설명이 되고 실온 이상에서 온도상승에 따른 전도도의 상승은 금속과의 근본적인 차이를 나타낸다. 고분자는 금속결정구조와는 달리 선형의 분자가 비결정성을 이루며 온도의 상승과 함께 분자운동이 활발하여 전자의 이동을 촉진하게 된다.

전기전도성 고분자는 산화환원 반응을 일으키므로 배터리의 전극으로서의 가능성에 대한 심도 있는 연구가 진행되었고 시제품까지 생산되었었다. 전기전도성 고분자가 1977년에 발명되어 23년의 역사를 가지고 있으므로 이 재료의 용도에 대한 확실한 대답을 얻기에는 너무 이른지도 모르겠지만 그 중에서도 배터리의 전극재료로서의 가능성은 아직 확답을 얻지 못하고 있다. 전도성 고분자를 도료로 사용하여 철판 위에 필름으로 입히면 전극역할 때문에 철의 전기화학적 산화를 막아 철의 부식을 방지할 수 있다. 전기전도성

고분자를 핵심소재로 사용한 전자제품에는 알루미늄 또는 탄탈륨 전해 콘덴서가 대표적이다. 알루미늄과 탄탈륨을 산화처리하면 표면에 치밀한 산화막이 형성되고 이 산화막은 우수한 절연체이다. 표면적을 극대화한 산화막 위에 폴리피롤을 입히면 산화되지 않은 금속과 폴리피롤이 각각 전극이 되고 산화막이 절연체가 되는 캐퍼시터(capacitor) 구조를 가지게 된다. 이 소자는 온도 및 주파수에 따른 캐퍼시턴스의 1차적인 함수관계를 가지므로 캐퍼시턴트 값을 정확히 예측할 수 있다. 성능은 세라믹 콘덴서 보다 전기량 축적 밀도 및 캐퍼시턴스 예측가능성이 더욱 뛰어나며 따라서 소형 경량 전자제품에는 필수적인 부품이다.

<그림 2-3>대표적인 발광고분자의 분자구조식

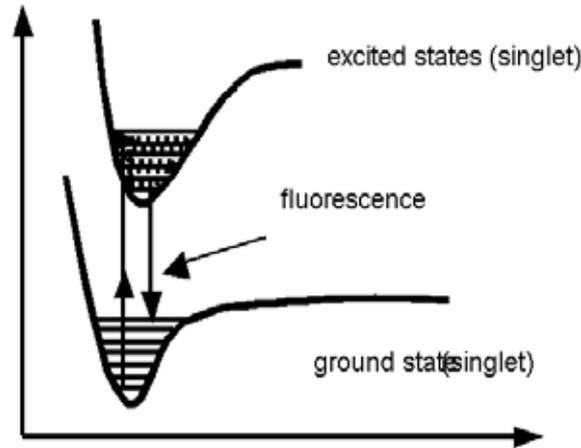


자료 : 김정엽, 고분자와 물리: 공액이중결합형 고분자, 물리학과 첨단기술, 제 9권 9호, 2000. 9.

(2) 발광고분자

<그림 2-1>과 같은 π 결합을 가진 분자단으로 구성된 공액이중결합형 고분자는 자외선 및 가시광선 정도의 에너지를 흡수하면 <그림 2-2>와 같이 $\pi-\pi^*$ 전이에 의해 전자가 여기되고 곧 이어서 중성 엑시톤(exciton)이 된 후 흡수한 에너지를 주로 열로 발산하지만 물질에 따라서는 흡수 에너지 일부를 빛(photoluminescence)으로 발산한다. 이 때 Stokes' shift가 일어나며 발광에너지는 흡수에너지보다 작다. 발광고분자의 발색 기본원리는 선상으로 연결된 분자단의 동일평면성(coplanarity)의 크기를 얼마로 하느냐가 에너지 준위와 상관관계가 있고 동일평면성을 크게 하면 에너지 준위가 낮아 적색쪽으로 빛이 나고 동일평면이 겹가지 등으로 입체장애를 받으면 작아지고 따라서 에너지가 큰 청색쪽으로 빛을 낸다.

<그림 2-4>공액이중결합형 고분자의 광에너지 흡수 및 발광메카니즘



자료 : 김정업, 고분자와 물리: 공액이중결합형 고분자, 물리학과 첨단기술, 제 9권 9호, 2000. 9.

공액이중결합형 고분자는 실리콘반도체와 비슷한 크기의 띠간격을 가지며 분자구조에 따라 p 또는 n도핑된 특성을 가진다. 공액이중결합으로 연결된 주쇄가 전자가 풍부한 방향족 화합물로 구성되어 있으면 정공(hole)의 이동이 쉽고 주쇄에 달려있는 화학단이 주쇄로부터 전자를 가져간 상태가 되면 전자의 이동이 쉬워진다. 한 개의 공액이중결합형 고분자를 일함수(work function)가 다른 두 금속 사이에 넣고 전압을 가하면 일함수가 낮은 전극에서는 전자의 투입이 쉬워지고 일함수가 큰 쪽에서는 정공의 투입이 쉽다. 전하(charge)의 주입은 고분자의 최고점유분자궤도함수(highest occupied molecular orbital: HOMO) 및 최저비점유분자궤도함수(lowest unoccupied molecular orbital: LUMO)와 전극의 일함수가 각각 만드는 에너지 벽에 의해 좌우되며 그 벽이 낮으면 낮을수록 전하 주입은 낮은 전압에서 일어난다. 주어진 전압에서 전하가 주입되면 반대 쪽 전극으로 이동하게 되는데 이 때의 전하이동속도는 전하의 종류, 매질의 구성 및 가해진 전압에 따라 결정된다. 대체로 정공의 이동속도는 실리콘반도체를 매질로 했을 때보다 몇 자리 수가 낮으며 전자의 이동속도는 정공에 비해 두 자리 수가 또 낮다.

주입된 두 가지 전하는 반대전극으로 이동하며 마주오는 정공과 전자는 서로 만나 중성 엑시톤을 형성한다. 높은 발광효율을 얻기 위해서는 두 개의 전극에서 전하의 주입량이 비슷해야 한다. 발색단이 광에너지를 흡수하면 싱글렛(singlet)만 생기지만 주입된 정공과 전자가 만나면 싱글렛과 트립플렛

(triplet)이 1:3의 비율로 생기므로 전기발광(electroluminescence)은 광발광(photoluminescence)에 비해 발광효율이 25% 밖에 되지 않는다. 트리플렛은 수명이 길고 바닥상태로 떨어질 때 내는 발광은 인광(phosphorescence)으로서 싱글렛에 비해 낮은 에너지의 빛을 오래 내게 된다.

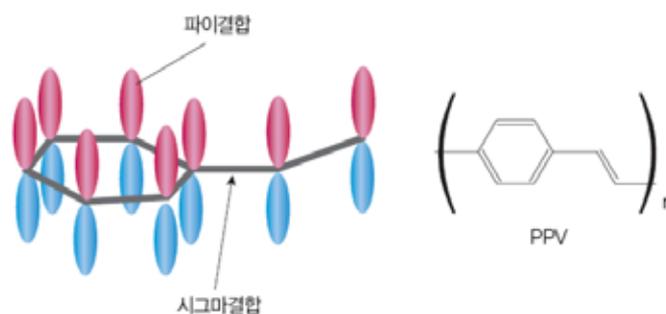
나. 공액고분자를 이용한 태양전지

실리콘 태양전지의 단점 및 한계를 극복하기 위해 다양한 소재와 제작기술에 관한 연구가 진행 중에 있다. 실리콘 태양전지의 대안으로 각광받고 있는 차세대 태양전지가 바로 고분자 물질을 사용하여 제작된 박막형 고분자 태양전지이다.

고분자 태양전지를 구성하는 핵심 물질은 공액고분자이다. 공액 고분자는 실리콘 태양전지와는 다르게 흡광계수가 높아서 얇은 박막(100nm 정도)으로도 태양빛을 충분히 흡수할 수 있기 때문에 얇은 소자로 제작이 가능하며, 고분자의 특성상 굽힘성 및 가공성 등이 좋아서 실리콘 태양전지가 주로 사용되고 있는 건축물 이외의 다양한 응용분야가 있다는 장점이 있다.

작동원리는 실리콘 태양전지와 비슷하다. 먼저 공액 고분자는 전자들이 원자의 핵 사이에 상대적으로 단단하게 결합되어 있는 시그마 결합과 핵과의 거리가 상대적으로 멀어 시그마 결합보다는 상대적으로 느슨하게 결합되어 있는 파이결합(시그마결합과의 수직방향)으로 이루어져 있다(<그림 2-3>).

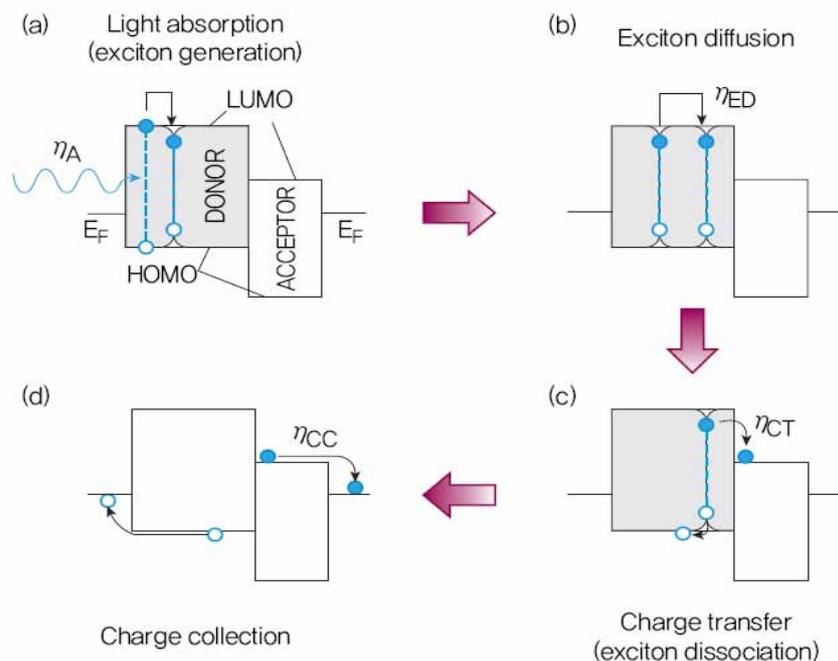
<그림 2-5> 대표적인 공액고분자 구조



자료 : 태양전지 기술동향 - 고분자 태양전지, 전자부품, 2008. 3.

파이결합에 있는 전자는 상대적으로 핵의 영향을 적게 받기 때문에 파이결합 사이를 자유롭게 이동할 수 있게 된다. 이 상태를 비편재화된 상태라고 한다. 그러므로 파이결합 내에 존재하는 전자는 작은 에너지를 주어도 파이결합의 바닥상태에서 전자를 쉽게 여기(excite)시킬 수 있다. 상대적으로 작은 에너지인 가시광선 영역의 빛에너지가 공액 고분자에 가해지면 파이결합 내에 있는 전자가 여기상태가 되고 여기된 전자와 전자가 여기된 자리에 남아있는 홀이 쿨롱 힘에 의해 서로 쌍을 이루는 엑시톤(여기자, exciton)이 생성되게 된다(<그림 2-4>의 (a)). 태양빛을 받아서 생성된 엑시톤이 실제로 전기를 발생시키기 위해서는 전자-홀 쌍인 엑시톤이 쪼개져서 각각의 전자와 홀이 되고 이들이 전극으로 흘러야 된다(<그림 2-4>의 (c), (d)).

<그림 2-6> 고분자 태양전지 작동원리



자료 : 태양전지 기술동향 - 고분자 태양전지, 전자부품, 2008. 3.

(1) 고분자 태양전지의 한계 - 낮은 엑시톤 이동도

공액 고분자는 도우핑을 통해서 전도성이 크게 증가하여 플라스틱 도체의 응용으로 많이 연구가 진행되었으나 1990년 초 영국의 프렌드(R.H. Friend)

그룹에서 전기를 가해주었을 때 빛을 내는 고분자 전기발광을 최초로 보고 하면서부터 고분자 전기발광소자(Organic Light Emitting Diode)로 많이 연구가 됐다.

고분자 태양전지도 이와 비슷한 시기에 프렌드 그룹에서 전기발광소자에 사용되는 고분자와 동일한 물질인 PPV(poly-pphenylenevinylene)이라는 고분자를 사용하여서 고분자 태양전지를 최초로 시도하였다. 그때의 소자구조는 일함수가 다른 양쪽 전극사이에 PPV가 있는 샌드위치 타입의 단일층 형태의 소자였다. 그러나 단일층 태양전지의 효율은 0.1%도 되지 않았다. 그 이유는 엑시톤의 짧은 확산 또는 이동 속도 때문이다. 앞서 설명하였듯 공액 고분자가 빛을 받으면 엑시톤이라는 것을 만들어내고 엑시톤이 p-n 정션 계면에서 전자와 홀로 쪼개지게 되는데, 전자-홀 쌍인 엑시톤이 다시 재결합하여 없어지는데 까지 걸리는 시간이 100피코초(1피코초는 10-12초)라는 짧은 시간이기 때문에 엑시톤이 재결합 없이 공액 고분자 내에서 움직일 수 있는 거리는 약 10nm라고 알려져 있다(<그림 2-4>의 (b)과정).

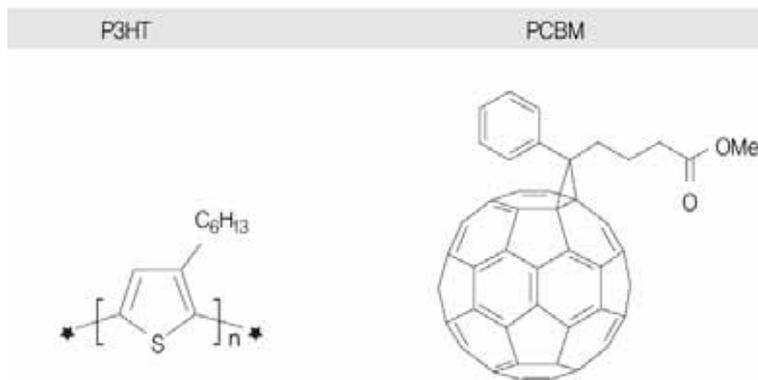
그러므로 빛을 받아서 생긴 엑시톤이 재결합 없이 쪼개져 전자와 홀을 생성하려면 p-n 정션 계면이 엑시톤이 생긴 곳으로부터 10nm 이내에 존재하여야 한다. 보통 단일층 태양전지의 두께는 100nm 정도이므로 필름의 중간에서 생긴 엑시톤의 경우는 계면으로 이동하지 못하고 대부분 재결합되어 전기발생에 참여하지 못하게 된다. 이러한 짧은 엑시톤의 이동거리가 공액고분자를 이용한 태양전지의 가장 큰 단점이다.

(2) 고분자 태양전지의 진보 - 벌크 헤테로정션 태양전지

이러한 단일층 태양전지의 단점은 1990년 초 히거(Heeger)그룹에서 C₆₀를 공액고분자와 섞어서 만든 벌크 헤테로정션(Bulk Heterojunction (BHJ)) 태양전지가 개발됨으로써 어느 정도 극복될 수 있었다. 히거 그룹에서는 PPV 유도체와 C₆₀를 블렌딩해 필름을 만든 후 빛을 쬐어 주었을 때 PPV에서 생성된 엑시톤의 전자가 굉장히 빠른 속도(10~15펨토초)로 C₆₀로 이동한다는 것을 밝혀냈고, C₆₀가 전자를 하나 받은 상태에서도 안정하게 존재할 수 있다는 것도 여러 과학자들에 의해 밝혀졌다.

이러한 BHJ 태양전지의 장점은 p형 반도체인 PPV 유도체와 n형 반도체인 C₆₀를 블렌딩해 필름 내의 모든 곳에 p-n 정션이 만들어져서 p-n 정션의 표면적이 급격히 늘어나게 되고 태양빛에 의해서 생성된 엑시톤들의 가까운 거리에 p-n 정션이 존재하게 되어, 엑시톤이 효과적으로 전자와 홀로 쪼개질 수 있다는 장점이 있다. 그러나 C₆₀의 용해도 문제로 필름 내의 C₆₀의 농도를 더 이상 증가시킬 수 없다는 한계가 있었다. 이러한 단점을 극복하기 위해 미국 UC 산타바바라에 있는 과학자들이 C₆₀에 유도체를 도입하여 용해도 높은 C₆₀유도체(PCBM)를 개발해 효율을 3%대 까지 향상시켰다.

<그림 2-7> P3HT와 PCBM의 화학구조



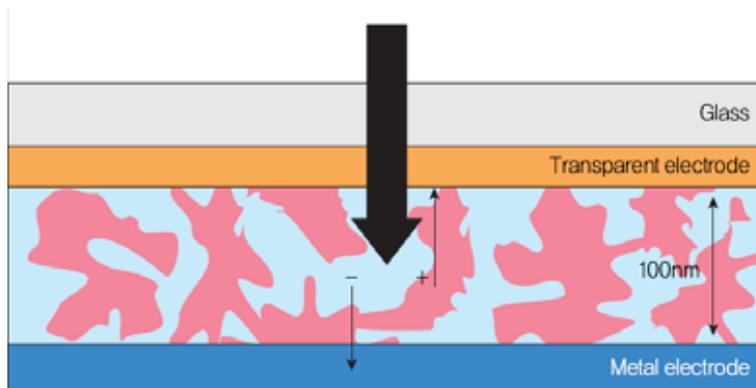
자료 : 태양전지 기술동향 - 고분자 태양전지, 전자부품, 2008. 3.

(3) 고분자 태양전지의 진보 - 포스트 어닐링

BHJ 태양전지는 p-n 정션의 표면적을 증가하는 장점이 있으나 p형 반도체와 n형 반도체가 섞여있기 때문에 n형 반도체에서 모아진 전자가 전극으로 이동하기 위해서는 반드시 p형 반도체인 고분자를 지나가야 한다. 이 과정에서 p형 반도체에 있던 홀과 n형 반도체로부터 이동한 전자가 재결합되어 전극까지 전자가 도달하지 못하는 단점이 있었다. 또한 고분자의 낮은 전하(전자 또는 홀)이동도 때문에 재결합의 가능성이 더욱더 커지게 된다. 이러한 단점은 결정성 높은 고분자(poly-3-hexylthiophene, P3HT)를 사용하고 태양전지 소자를 만든 후 열처리 과정을 추가한 포스트 어닐링(post annealing) 방법이 도입됨으로써 극복될 수가 있었다(<그림 2-5>).

이 방법은 2005년 웨이크 포레스트 대학과 UC 산타바바라 대학에서 각각 거의 동시에 개발되었고 효율을 6%까지 높일 수 있었으며 고분자 태양전지에 사람들이 관심을 가지게 되는 계기가 되었다. 이후 지속적인 연구 결과, 열처리 과정 중 온도를 올려주었다가 식히는 과정에서 P3HT 고분자의 결정성이 향상되고 P3HT과 PCBM의 나노 도메인이 형성된다는 것이 밝혀졌다. 이러한 나노 도메인들이 각각 전자와 홀이 전극으로 잘 이동할 수 있는 길을 만들어 준다는 것도 밝혀졌다(<그림 2-6>).

<그림 2-8> 포스트 어닐링한 BHJ 태양전지



자료 : 태양전지 기술동향 - 고분자 태양전지, 전자부품, 2008. 3.

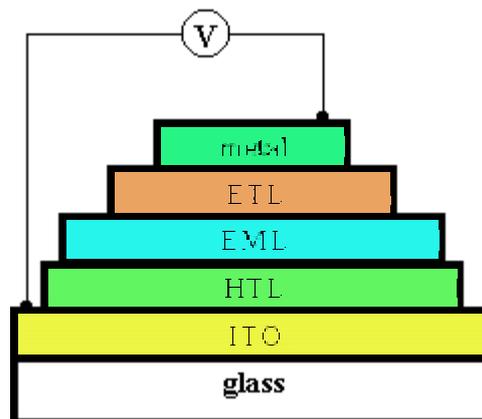
다. 고분자 발광 다이오드

고분자 발광 다이오드는 1990년에 처음 발명되었으며 유기발광다이오드보다 3년 늦게 소개되었다. 그 동안 많은 발전을 거듭하여 현재는 녹색 고분자 발광 다이오드는 100 cd/m^2 밝기로 20,000시간 사용할 수 있는 발광소자가 유럽에서 개발되었고 휴대용 전화의 표시소자로 활용단계에 있다. 이 소자의 작동은 5V 이하이고 발광효율은 10% 및 20 lm/W 에 이르고 있으며 백열전등의 발광효율에 맞먹는다. 감색고분자발광다이오드는 미국에서 개발되어 응용단계에 와 있으며 청색과 적색 고분자 발광 다이오드도 빠른 속도로 개발되고 있다. 고분자 발광 다이오드의 장점은 최적의 발광물질 또는 보조물질을 설계합성할 수 있다는 것이 첫째이고 다음은 이들 물질을 용액상태에서 스핀-코팅(spin-coating)이라는 아주 간단한 방법으로 다중층을 만들 수 있기

때문에 무기 또는 유기재료의 진공 증착에 필요한 장비나 공정이 생략된다
는 것이다. 특히 최근에는 잉크-젯(ink-jet)방식의 인쇄기술이 발달되고 있어
아주 간단한 방법으로 픽셀(pixel)을 만들 수 있다. TFT(thin film transistor)
와 조합을 이루면 발광다이오드로부터 우수한 동화상을 얻게 된다.

<그림 2-6>과 같은 구조를 가진 고분자 발광다이오드(LED)로부터 높은 효
율의 전기발광을 얻기 위해서는 일 함수를 감안한 전극의 선택, 전하 주입을
쉽게 할 수 있는 낮은 에너지 장벽의 계면 설정, 반대의 두 전하가 발광층에
서 결합하여 엑시톤이 되는 확율을 높이기 위해 이동도가 큰 전하에 대한
장벽쌓기, 전하의 이동도를 향상시키는 수송층 삽입 등 많은 인자를 조화시
켜야 한다. 물론 이와 같은 기능을 유기고분자로부터 모두 얻을 수가 있다.

<그림 2-9> 전기발광다이오드의 구조



- Metal: 음극
- ETL : 전자수송층
- EML : 발광층
- HTL : 정공수송층
- ITO : Indium-Tin Oxide, 양극

2. 연구개발 동향

가. 국내 연구개발 동향

(1) 유기 고분자 박막 태양전지 및 염료감응형 태양전지

C₆₀계의 사용을 본격적인 연구개발의 착수 시점으로 보더라도 90년대 초반반에 시작한 외국에 비해 국내 연구는 6~7년 정도 늦은 2000년대 초반부터 시작되었다. 초기의 유기박막 태양전지에 대한 연구는 부산대 팀에 의해 MEH-PPV와 PCBM의 복합재를 이용한 전지에서 단색광에서도 1~2%의 낮은 효율을 보고하였고, 인하대 팀도 단분자인 CuPc와 C₆₀의 이중층 구조를 이용하여 1% 이하의 에너지 전환 효율을 보였다. 이러한 초기의 연구들을 바탕으로 최근에는 부산대, 광주과학기술원, 서울대, KAIST, 포항공대, 서강대와 같은 대학을 중심으로 유기박막 태양전지에 대한 연구가 확대되고 있다.

특히 광주과학기술원은 히거(Heeger) 신소재 연구센터를 세워 미국 UCSB와 공동으로 유기박막 태양전지 연구를 수행하고 있는데, 2007년에는 코나르카사의 신소재를 이용하여 2층 탠덤 형태로 제작된 고분자 태양전지에서 세계 최고의 효율인 6.5%를 보고하였다. 한편, 한국화학연구원 등의 출연(연)과 삼성SDI 등의 기업연구소에서도 그동안의 염료감응형 유기전지에 대한 연구를 바탕으로 유기박막 태양전지에 대한 연구를 가속화하기 시작하였다.

한국화학연구원에서는 2002년 이래 가장 핵심인 신소재 합성을 중심으로 소자화까지의 연구를 꾸준히 수행해 오고 있는데, 현재 단층구조의 태양전지에서 세계 수준인 5% 대의 에너지 전환효율을 구현하고 있다. 최근에는 KIST, 생산기술연구원, DGIST 등 출연(연)과 S기술원, K그룹연구소 등의 기업연구소에서도 유기박막 태양전지에 대한 연구를 진행하려는 움직임이 있다.

현재 국내의 유기박막 태양전지에 대한 연구 역사는 선진국에 비해 짧고 연구층도 매우 얇은 편이지만, 유사 분야인 유기발광 소자에 대한 연구가 지난 10여 년간의 활발한 연구를 바탕으로 지난해부터 이미 상용화되고 있음을 고려할 때, 이러한 기술을 유기박막 태양전지 개발에 응용한다면 선진국과의 기술 격차는 매우 빠른 시간 내에 줄일 수 있을 것으로 보여진다. 또한 신물질이나 신소재 합성기술, 소자 제작기술 등 기반이 되는 기술들도 이미 국내 수준이 상당히 올라와 있기 때문에 본 분야에 보다 적극적인 연구개발 투자가 이루어진다면 수년 내에 선진국 수준의 결과도 가능하리라고 생각된다.

다.

결국, 유기박막 태양전지 분야는 이제 막 기술적 가능성을 확인하고 본격적인 연구개발이 시작되고 있는 분야로서, 선진국이나 국내 모두 효율과 수명 향상, 대면적화 등 실용화를 위해 훨씬 많은 일이 요구되는 초기 개발단계에 있다고 볼 수 있다.

(2) 고분자 유기전기발광소자 연구개발 동향

1990년대 중반 이래로 국내의 몇몇 연구진에 의해 고분자 전기발광 재료의 합성에 대한 연구가 시작되었고, 현재까지 계속되고 있다. KAIST, 경상대학교, 부산대학교 등의 대학과 전자통신연구원, 한국과학기술연구원 등의 국책연구기관에서 주로 PPV 계열 고분자 합성에 대한 연구가 진행되어 온 바 있다. 기업체에서의 연구는 삼성SDI, 엘지필립스LCD, 네스디스플레이 등에서 1998~2000년 사이에 고분자 유기전기발광소자의 연구가 시작되었다.

국내에서의 고분자 발광재료에 대한 연구는 SK 대덕연구소, 삼성종합기술원 등에서 Polyfluorene 계열의 소재에 대해 이루어지고 있으며, 최근에는 인광계열 고분자에 대한 연구가 진행되었다.

나. 해외 연구개발 동향¹⁾

최초의 유기 태양전지는 1986년 미국 Eastman Kodak사의 C. W. Tang의 연구 결과로 발표되었는데, Donor 물질로는 CuPc를 Acceptor 물질로는 perylene tetracarboxylic derivative의 물질로 구성하여 발표하였다. 최초의 유기 태양전지의 효율은 1%미만으로 매우 낮은 값을 보였으나, 유기 태양전지의 가능성을 확인하였다. 그 후 1995년 A.J Heeger 그룹에서 PPV계열의 전도성 고분자와 Acceptor로서 C₆₀와 유기물과 잘 섞이는 C₆₀ 유도체인 PCBM을 섞어 한 층으로 태양전지를 구현하였다. 이렇게 만들어진 유기태양전지의 효율은 약 3%에 근접하는 값으로 기존의 유기 태양전지에 비하여 높은 효율을 나타내었다. 이후 유기 태양전지는 꾸준한 발전을 이루었고 2004

1) 방창현 외, 유기태양전지의 개발현황, 한국진공학회지 제16권 3호, 2007년 5월, pp.167~171

년에는 미국 Princeton 대학교의 S. R. Forrest 교수팀에 의해 D/A mixed layer를 donor와 acceptor 사이에 도입한 단분자 Heterojunction bi-layer를 형성하여 넓은 파장 영역의 햇빛을 전환하여 5% 이상의 태양광 에너지 전환 효율을 보였다.

최근 유기태양전지는 새로운 소자 구성 및 제조 공정조건의 변화 등으로 효율이 두드러지게 향상되고 있다. 유기태양전지는 단분자 물질의 증착을 통해서 활성층을 도입하는 단분자 유기태양전지와 고분자를 스펀코팅, 스크린 프린팅, Roll-to-roll printing과 같은 상대적으로 간단한 공정으로 활성층을 도입할 수 있는 고분자 태양전지로 구분되나, 최근에는 고분자를 donor 물질로 사용하고, 고분자 donor 물질에 비해 전자친화도가 큰 C₆₀ 유도체를 acceptor로 사용하고 있다.

플러렌 유도체가 도입되면서 donor 고분자와 blending현상이 향상되었다. 이러한 물리적 성질로부터 고분자 bulk hetero-junction 태양 전지의 개발이 이루어 졌으며, 유기태양전지의 효율을 급속히 향상시킴으로써 상용화의 기반을 마련하였다. 재료자체의 개발이외에도 다양한 공정의 개발로 유기태양 전지의 효율을 향상시키는 연구가 활발하다. 한 예로서, QSEL의 F. Padinger 그룹에서 열처리의 도입으로 효율을 높인 연구가 진행되었다. Donor 고분자 P3HT와 acceptor 고분자 PCBM을 사용하여 active layer를 형성하였으며, 열처리를 하지 않은 소자의 경우 0.4%의 낮은 효율을 보였지만, 소자를 만든 후 75°C에서 4분 동안 열처리 하여 P3HT 고분자의 결정성을 증가함으로써 효율이 2.5%로 급격하게 향상된다. 또한, 열처리 과정 중에 전기장을 추가로 걸어주면 효율이 3.5% 까지 증가 된다.

용매를 건조시키는 공정 방법에 따라서 정공과 전기 이동도를 향상시키는 연구가 2005년 Yang Yang 그룹에서 진행되었다. P3HT:PCBM=1:1인 Active layer를 210~230nm의 다소 두꺼운 두께로 spin coating한 후 활성층에 포함되어있는 용매를 서서히 건조시키는 방법을 통해 효율이 증가함을 보고하였다. 전자와 정공의 이동도의 조화로 에너지 변환 효율이 AM 1.5, 100mW/cm²의 조건에서 4.4%까지 향상됨을 보여주었다. 또한, Heeger 그룹도 P3HT:PCBM=1:0.8 100nm의 active layer를 음극까지 제작한 후 150°C에서 30분 열처리 해줌으로써 고분자의 결정성을 향상시키고 활성층의 전극

계면 접촉을 증가시켜 AM 1.5, 80mW/cm²의 조건 5%에 근접할 정도로 효율을 향상 시켰다. 두 물질로 활성층을 제작 시 비율과 공정 조건, 또한 전처리, 후처리 조건의 변화, 사용 용매 등 그 제작 공정에 따라 현저한 효율 차이가 나고 있다. 이를 통해 P3HT의 결정화 정도와 두 물질의 혼합정도 및 전극과의 흡착 정도에 따라 결과의 차이가 있는 것으로 결론을 내릴 수 있다.

앞에서 서술한 바와 같이, 유기 태양전지에 대한 연구 확대와 관심은 유기 태양전지의 상용화 가능성을 높이고 있다. 선진국과는 다르게 국내의 유기태양전지의 연구는 기간이 짧고 연구층도 부족하지만, 유기 태양전지와 비슷한 분야인 유기발광소자(organic/polymer light emitting display)기술을 유기 태양전지 개발에 응용한다면 선진국과의 기술 격차는 매우 빠른 시간 내에 줄일 수 있을 것으로 보인다. 유기 발광 소자와 마찬가지로 유기물질로 구성된 유기태양전지 역시 수명과 안정성이 태양전지의 보급화에 중요한 이슈이며, 체계적인 연구가 필요하다. 결국, 유기 태양전지 분야는 이제 막 기술적 가능성을 확인하고 본격적인 연구개발이 시작되고 있는 분야로서, 선진국이나 국내 모두 효율과 수명 향상, 대면적화 등 실용화를 위해 훨씬 많은 일이 요구되는 초기 개발단계라고 전문가들은 보고 있다.

제3장 시장동향 및 전망

본 장에서는 공액고분자가 적용되는 태양전지 시장과 OLED 시장에 대하여 살펴보도록 하겠다.

1. 산업동향

오늘날 지구에서 소비되는 에너지는 1년에 약 13테라와트(1테라와트는 1012와트)이고 그 양은 2050년에는 약 30테라와트로 증가한다고 예상하고 있다. 그러나 우리가 현재 에너지원으로 주로 사용하고 있는 화석 연료는 약 10년 후에 그 생산량이 감소하기 시작할 것이라는 예상이 나오고 있다. 또한 화석연료를 태움으로써 발생하는 이산화탄소 배출로 인한 온실효과로 지구 온난화 문제도 심각한 수준에 있다.

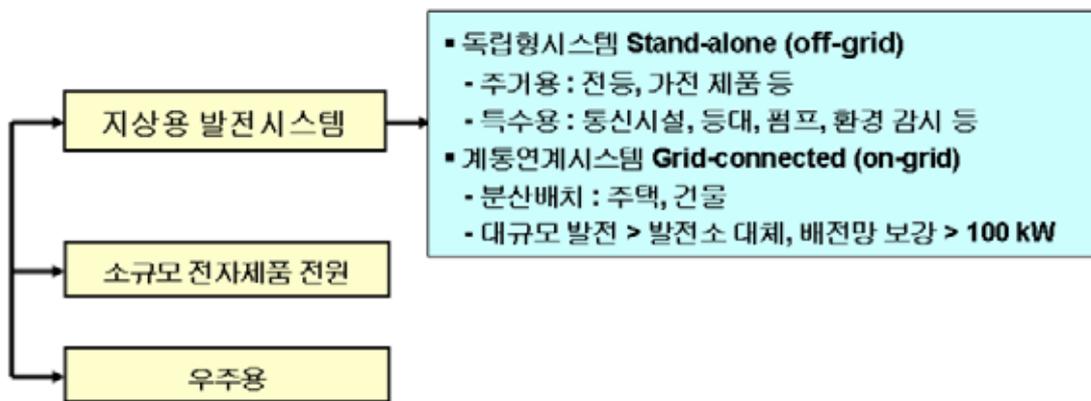
이러한 화석연료의 한계점 때문에 전 세계적으로 화석연료를 대체할 에너지 변환 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그중에서도 현재 지구가 직면한 환경문제를 해결하기 위하여 친환경적인 에너지 변환 기술에 대한 연구가 집중되고 있는데, 예를 들면 수력, 풍력, 바이오매스, 태양광 등의 에너지원을 우리가 사용할 수 있는 전기에너지로 변환하는 기술도 이에 포함된다.

안전하고 친환경적인 측면에서 태양에너지도 앞서 언급한 친환경적인 에너지원 중 하나로 사용될 수 있다. 연간 태양으로부터 지구에 도달하는 에너지의 양은 약 12만 테라와트로서 현재 지구가 연간 소비하는 에너지의 약 1만 배 정도가 된다. 그러므로 태양으로부터 나오는 에너지를 효율적으로 변환하면 지구가 직면해있는 에너지 문제를 극복할 수 있게 된다. 재미있는 예로 터너라는 과학자는 미국에 있는 네바다 사막에 150평방킬로미터 면적에 15%의 광변환 효율(태양광을 전기에너지로 변환해주는 비율로써, 모든 태양광을 전기에너지로 완벽하게 바꿔주면 효율은 100%가 된다)을 가지는 태양전지를 설치하면 미국 전체에 전력을 제공할 수 있다고 주장하기도 했다.

태양전지 시장은 규모 면에서 크게는 지상발전용, 소규모 전자제품의 전원

공급용, 그리고 우주용으로 나눌 수 있다. 지상발전용은 다시 계통연계 유무에 따라 독립형 태양광발전시스템과 계통연계형 태양광발전시스템으로 구분되고, 다시 독립형 태양광발전시스템은 주민의 전원공급용과 특수 목적의 용도(통신용, 해양, 도로교통, 환경 개선 등 다수)로 구분한다. 그리고 계통연계형시스템은 배치 규모에 따라 소규모 분산배치형시스템과 대규모 발전용 시스템으로 구분한다.

<그림 3-1> 태양전지 시장의 분류



한편, 1998년 AMOLED가 최초로 개발된 이래 AMOLED는 꿈의 디스플레이로 인식되며 많은 기업이 AMOLED 사업에 참여하여 연구개발 혹은 생산을 시도하였다. 2003년 Sanyo와 Kodak의 합작사인 SK Display는 디지털카메라용 AMOLED의 생산을 시도하였으며, 소니 또한 PDA용 AMOLED 생산을 시도하였으나 품질, 생산기반 등의 어려움으로 인하여 제대로 생산이 이루어지지 않았으며, AMOLED에 대한 비관적인 견해가 확대되었다.

2000년 중반 AUO, Pioneer, Sanyo 등 AMOLED 사업에 참여하였던 많은 기업들은 낮은 수율, 높은 제조가격, 생산기반의 취약성, 낮은 수명 등으로 인하여 사업 철수를 발표하며, AMOLED에 대한 비관적인 견해가 더욱 확대되었다.

그러나 2006년 이후로 OLED 재료의 성능 개선이 급속히 이루어졌으며, 삼성SDI를 시작으로 AMOLED에 대한 본격 생산 계획이 발표되며 AMOLED 생산 기반이 확대되었다.

2007년 초 소니가 새로운 TFT backplane 기술 및 OLED 화소 형성 기술

을 기반으로 상용화 제품에 가까운 11인치 및 27.3인치 AMOLED prototype 을 발표하였으며, 11인치 OLED TV에 대한 양산 계획을 발표함에 따라 AMOLED TV에 대한 상용화 가능성이 새로운 이슈로 대두되었다.

삼성SDI의 순조로운 AMOLED 생산 및 노키아 등을 위주로 한 휴대폰 업체의 단계적 AMOLED 채용 계획이 발표되었으며, LG전자, LG필립스LCD, CMEL, 소니, TMD 등 많은 기업에서 AMOLED 생산을 발표하고 있어, 소형 AMOLED를 시작으로 본격적인 AMOLED 상용화를 목전에 두고 있다.

2. 국내 시장동향

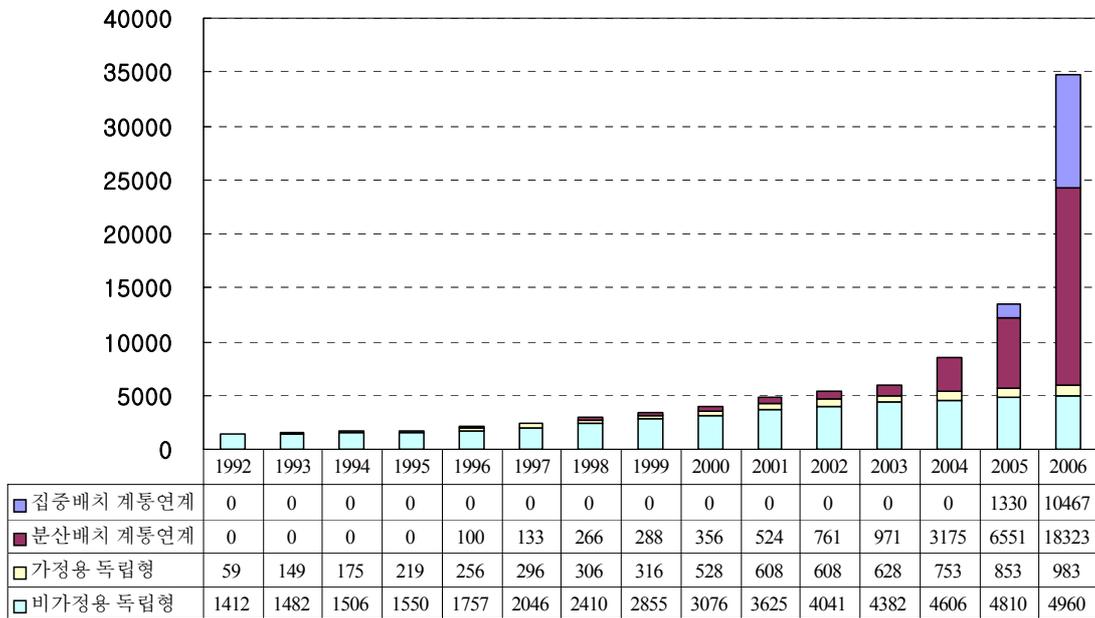
가. 태양전지 시장 및 산업현황

국내에서 태양전지의 연도별 용도별 누적 보급량은 <그림 3-2>과 같다. 2006년 말 한국의 전체 보급량은 약 34.7MW이고, 2006년 한해 21.2MW를 보급하였다. 이는 2005년도 한해 보급량 5.0MW에 비해 4배나 많은 것으로 최근 정부의 대폭적인 지원정책에 따른 발전용 대규모 태양광발전시스템의 보급이 크게 증가하였기 때문이다. 2007년도 보급은 약 50MW에 달할 것으로 추정되고 있다.

2003년까지 국내시장은 독립형시스템 중심으로 소규모의 시장이 형성되었으나, 2004년 이후 계통연계형이 주 시장을 이루고 있음을 볼 수 있다. 2006년 말 현재 대규모 발전용이 11.7MW, 분산배치형이 9.2MW로 각각 55%, 43%를 차지하고 나머지가 독립형시스템의 몫이다.

국내 2006년 시장을 금액으로 환산하면 시스템 기준으로 약 1,590억 원에 달한다. 태양전지 모듈 기준으로는 그 반 정도가 된다.

<그림 3-2> 국내 태양전지 설치 보급 누계



자료 : 2006년 국내 태양광 보급 및 산업 현황, 산업자원부, 2007.

(2) 국내 태양전지 산업

2006년 말 현재 웨이퍼 및 태양전지 제조회사가 1개, 그리고 모듈 제조회사가 8개 정도이다. 소재 수급 측면에서 LG실트론이 2007년 10MW 규모의 웨이퍼 생산라인을 완성하였고, 2007년 웅진에너지가 잉곳 생산에 착수하였다. 한편 동양제철화학이 원소재인 다결정실리콘 생산라인을 건설중에 있어 조만간 원재료부터 모듈까지 완전한 형태의 산업구조를 갖출 수 있게 된다. 모듈 제조업체는 그동안 소요 태양전지를 대부분 수입에 의존하였고, 또 최근 수년간 전 세계적인 원재료 공급차질로 인하여 수입도 어려운 실정이었으나, 현대중공업가 미리넷솔라가 태양전지 생산라인을 갖추게 되면 130MW 용량의 모듈 제조라인 가동률을 크게 높일 수 있을 것이다.

<표 3-1> 국내 태양전지 관련 산업 및 회사

실리콘 잉곳 웨이퍼	동양제철화학 : 2007년 5,000톤 규모 태양전지용 고순도 폴리실리콘 공장 준공 KCC : 2010년 가동을 목표로 연산 6천톤 규모의 폴리실리콘 공장 계획 LG : 10MW 웅진에너지 : SunPower 합작 실리콘 잉곳 생산
소재	
태양전지	KPE : 35MW(2006 18MW) 현대중공업 : 2007년까지 연간 각각 30MW 한국철강 : 박막 실리콘 태양전지 모듈 생산 계획
모듈	심포니에너지 : 30MW(2006 6.5MW) 현대중공업 : 10MW, 2008년 110MW 계획(2006 4.5MW) S-Energy : 20MW(2006 2.2MW) 경동솔라 : 20MW(2006 2MW) 유니슨 : 10MW(2006 1MW) LS I&E : 10MW(2006 0.5MW) 솔라테크 : 10MW(2006 0.2MW) 해성솔라 : 10MW(2006 0.2MW)
장비	주성엔지니어링 및 진공 박막 제조장치 회사 다수

나. 국내 OLED 시장

국내에서 삼성SDI는 4세대 AMOLED 양산라인 투자를 진행하고 2007년부터 생산을 개시하였다. 삼성SDI는 약 5000억원을 투자하여 2007년부터 LTPS 기반의 AMOLED를 생산하고 있다. TFT backplane으로는 4세대의 ELA 기반 LTPS backplane을 사용하고 있으며, Non-laser 방식의 LTPS backplane 또한 개발 중에 있다.

OLED 화소 형성 장비는 Tokki사의 730 x 460 장비를 이용하고 있으며, LITI 기술을 이용하여 4세대 pilot 장비를 구축하고 있다. 2~3 inch의 AMOLED를 생산하고 있으며, AMOLED에 적합한 UI를 개발하기 위해 통신 업체인 SKT과 MOU를 체결하였다.

삼성전자는 대형 AMOLED를 위한 연구개발을 진행하고 있으며, 아직 사업화에 구체적인 발표는 없다. 대형 AMOLED를 위해 비정질 Si TFT

backplane, 미세결정질 Si backplane, Non-laser 방식의 TFT backplane 등 다양한 방식을 시도하고 있다. OLED 또한 대형화에 초점을 맞추어 잉크젯 방식, WOLED/CF 방식 등 대형화에 유리한 방식을 주로 검토하고 있다. 2005년에 WOLED 방식을 이용한 40" AMOLED를 개발한 바 있으며, 그 후 잉크젯 방식을 이용하여 40" AMOLED를 개발하였다. 또한 14" AMOLED 등 다양한 크기의 AMOLED를 개발하였다.

LG전자는 LG필립스LCD로부터 LTPS backplane을 공급받아 2.2 인치 AMOLED 패널 등 2인치 급의 AMOLED를 개발하고 있으며, 구미의 PMOLED 라인을 일부 개조하여 2007년 내에 AMOLED를 생산할 계획을 갖고 있다. 이를 위해 AMOLED 장착을 위한 휴대폰 모델을 개발하고 있는 것으로 알려져 있다. LG전자는 단계적으로 PMOLED 생산을 줄이고 AMOLED 사업에 역량을 집중하기로 한 것으로 알려져 있다.

LG필립스LCD는 2006년 2월 코닥과 기술협약을 체결하고, 코닥의 유기재료 및 자사의 LTPS 생산라인을 이용하여 AMOLED를 개발하고 있으며, DMB 겸용 휴대폰 등의 용도로 3인치 급의 AMOLED 시생산을 2007년말부터 시작하기로 하였다.

네오뷰코오롱은 자사의 PMOLED 생산 경험을 바탕으로 AMOLED에 대한 생산 계획을 검토하고 있는 것으로 알려져 있다.

<표 3-2> 국내 OLED 관련 업체 및 현황a

구분	업체	주요 현황
패널	삼성SDI	- PMOLED 개발 및 생산 - 2007년 소형 AMOLED 생산 개시
	삼성전자	- a-Si 및 미세결정질 Si TFT AMOLED 개발 - 잉크젯프린팅 및 WOLED/CF 방식 개발
	LG전자	- PMOLED 개발 및 생산 - LTPS TFT AMOLED 개발, 2007년 생산 예정
	LG필립스LCD	- LTPS TFT AMOLED 개발 - 3인치 QVGA AMOLED 2007년 생산 예정
	네오뷰코오롱	- PMOLED 개발 및 생산 - AMOLED 생산 검토
기판재료	신안SNP	- OLED 기판재료 개발 및 생산
유기재료	LG화학	- 수송/주입재료, 발광재료 개발 및 생산
	제일모직	- ETL 및 고분자 재료 개발
	Gracel	- 발광재료, 수송/주입재료 개발 및 생산
	SFC	- 발광재료, 수송/주입재료 개발 및 생산
	루디스	- 발광재료, 수송/주입재료 개발 및 생산
	ELM	- 발광재료, 수송/주입재료 개발 및 생산
	잉크테크	- 잉크젯용 재료 개발
봉지재료	나노닉스	- Etching 방식 유리 캔 개발 및 생산
	현원	- Etching 방식 유리 캔 개발 및 생산
	RNDis	- 제습제 개발 및 생산
	모디스텍	- OLED 봉지 소재 / 장비 개발 및 생산
장비 및 부품	비아트론	- OLED backplane 제조 장비 개발 및 생산
	선익시스템	- OLED 제조장비 개발 및 생산
	ANS	- OLED 제조장비 개발 및 생산
	세메스	- OLED 제조장비 개발 및 생산
	주성엔지니어링	- OLED 제조장비 개발 및 생산
	야스	- OLED 증착원 개발 및 생산

자료 : OLED 산업동향, 전자부품연구원 주간전자정보, 2007.

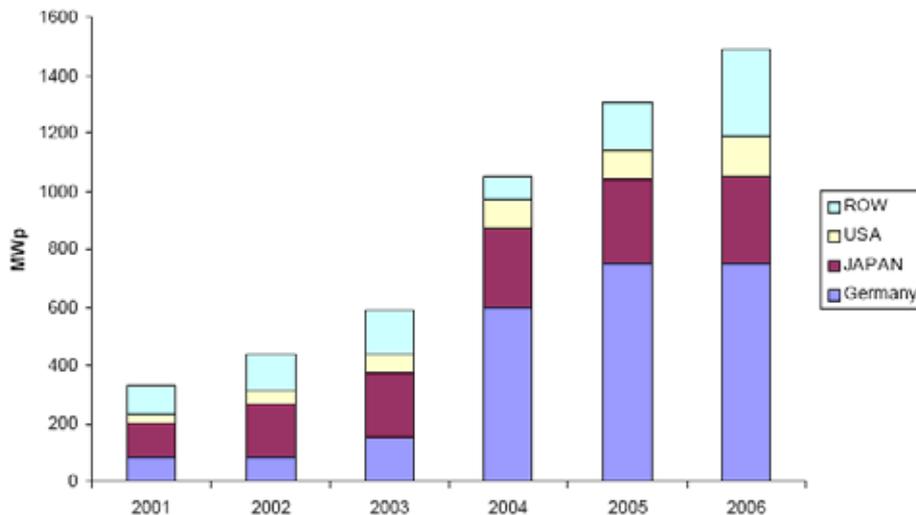
3. 해외 시장동향

가. 태양전지 시장 및 산업 추이

(1) 세계 태양전지 시장

최근 5년간 지상용의 전세계 태양전지 설치 보급량(시장)의 추이는 <그림 3-3>과 같다. 2006년 보급량은 아직 추정치로 약 1,500MW에 달하는데, 독일이 전체의 약 1/2, 그리고 일본, 미국의 순이다. 최근 독일의 시장이 급격히 증가한 것은 발전된 전기를 높은 값으로 매입하는 Feed-In-Tariff(FIT) 지원 프로그램에 의한 것이 주요 요인이다.

<그림 3-3> 전세계 태양전지 설치 보급량 추이



자료 : 차세대 태양전지 소재 및 소자 제조기술 정보조사, 과학기술부, 2008.

한편 2005년 시장은 용도에 따라 <그림 3-4>와 같이 점유율이 집계되었는데, 특수용 독립형이 8%에 108MW, 주거용 독립형이 7%에 86MW, 그리고 계통연계형이 약 83%에 1,106MW이다. 이밖에 소규모 전자제품 전원용이 2%에 24MW를 차지하였다. 현재 계통연계형 시스템 시장은 각국 정부의 지원 대책에 의존하고 있는 반면 나머지 3개 부문은 타 발전기술과 비교하여 이미 경제적으로 경쟁력을 확보하고 있다.

최근의 시장 급성장은 계통연계형 시스템에 의한 것인데, 독일, 일본, 미국 및 기타 OECD 회원국에서 정부의 지원으로 주택 및 건물의 지붕, 외벽, 창에 태양전지를 설치한 것이 대부분이다. 특히 태양전지를 건축물과 일체화한 시스템을 BIPV(Building Integrated Photovoltaics)로 구분하는데, 앞으로도 이

부분의 시장이 지속적으로 크게 성장할 전망이다. 지상에 설치하는 경우는 별도의 부지 비용이 소요되지만 BIPV에서는 부지 비용이 없음은 물론 태양 전지 자체가 건축물의 마감재 역할을 겸하도록 되어 있어 경제성 측면에서도 크게 유리하기 때문이다.

<그림 3-4> 용도에 따른 태양전지 시장(2005)



자료 : Strategies Unlimited - EPIA, 2006.

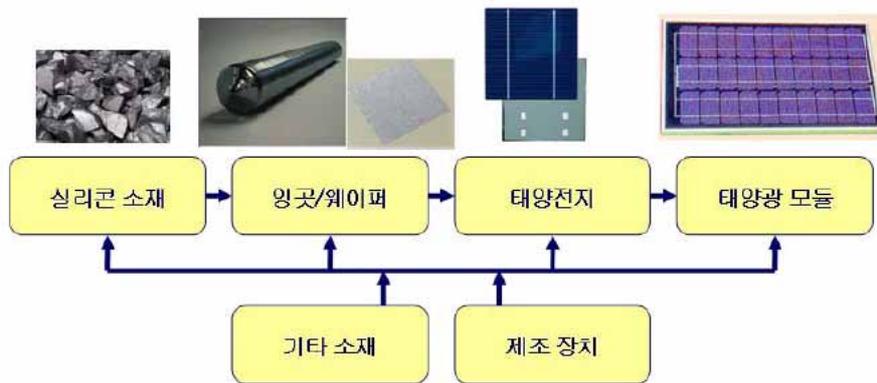
(2) 세계 태양전지 산업

시장의 주류를 형성하고 있는 결정질실리콘 태양전지의 경우 관련 산업 체계는 <그림 3-5>과 같이 분류할 수 있다. 2006년 추정에 의하면 모듈 단가에서 각 기술단계별 소요 비용 점유율은 <그림 3-6>과 같이 기관까지가 43%, 셀이 27%, 모듈이 30%이다.

아직 전체 생산량의 7% 수준에 불과하지만 박막 태양전지의 경우는 그 체계가 완전히 다르다. 잉곳 및 웨이퍼 공정 없이 가스, 액체 또는 고체 상태의 출발원료로부터 특정 기관(유리, 플라스틱, 금속 등) 위에 박막을 형성하여 직접 대면적의 모듈을 제작하게 된다. 제조 공정이 비교적 간단하고 대량 생산에 적합하지만, 결정질실리콘 태양전지에 비해 단위 제조장치의 규모가

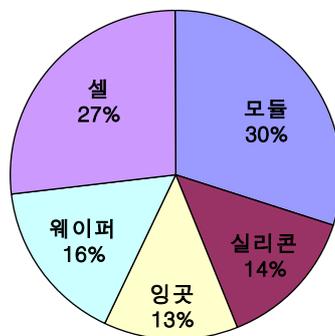
크고 단위 가격도 비싸다. 현 시점에서는 대면적 박마글 고속, 고수율, 저가로 제조할 수 있는 장비가 가장 핵심이 되는데, 이미 반도체 및 디스플레이 분야에서 확보한 유사 기술을 토대로 태양전지에 적합한 기술을 확보한 회사들이 시장을 선점하고 있다.

<그림 3-5> 결정질실리콘 태양전지 관련 산업 체계



자료 : 차세대 태양전지 소재 및 소자 제조기술 정보조사, 과학기술부, 2008.

<그림 3-6> 태양광모듈까지 단계별 제조단가 구분



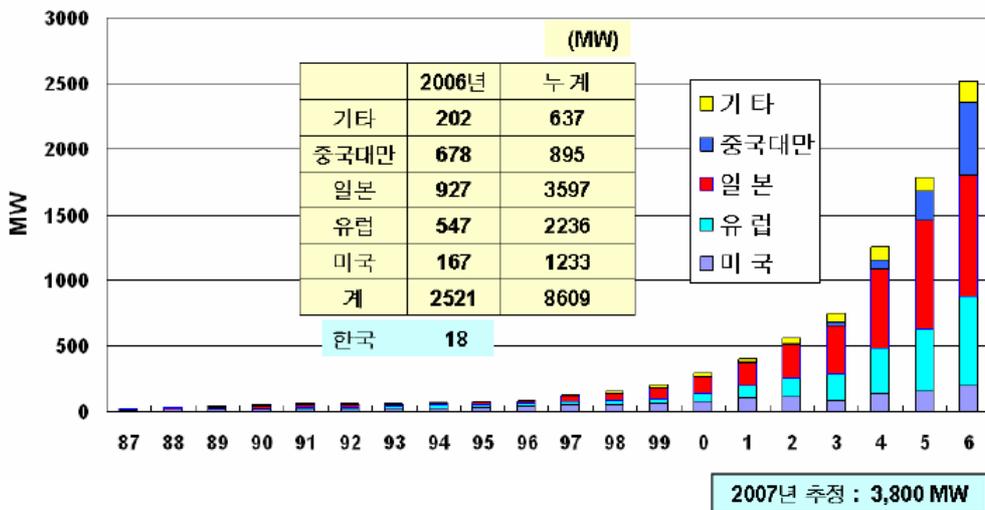
자료 : 차세대 태양전지 소재 및 소자 제조기술 정보조사, 과학기술부, 2008.

박막 태양전지 제조 단가를 항목별로 분류하면 재료비가 45~55%로 가장 많고, 장비가 20~25%, 인건비 10~15%, 그리고 에너지 비용 5~8%이다.

<그림 3-7>과 같이 가장 핵심인 태양전지 생산 규모면에서 매년 급속히 성장하는 것을 볼 수 있는데, 2004년 67%의 성장률에 이어 2005년, 2006년에 각각 전년대비 40% 성장을 이룩하였다. 태양전지 생산량은 실제 설치 보급량보다 더 많은데, 2006년에는 약 2,520MW가 생산되었다.

지역별로 일본이 전년도에 비해 점유율이 낮아지긴 했지만 계속 선두를 지키고 있고, 유럽, 기타 및 미국의 순이다. 유럽에서는 독일이 압도적인 우위를 점하고 있고, 2006년에는 특히 중국과 대만의 성장세가 괄목할 만하다. 2006년 통계에 의하면 일본이 36.4%, 독일 20.0%, 중국 15.1%, 기타 유럽 8.2%, 대만 6.7%, 인도 1.4%, 호주 1.3%이다.

<그림 3-7> 국가별 태양전지 생산추이



자료 : 차세대 태양전지 소재 및 소자 제조기술 정보조사, 과학기술부, 2008.

<표 3-3>의 태양전지 제조 개별 기업으로 보면 일본의 Sharp가 17.2%로 1위이나 전년도 24.8% 점유율에 비해 대폭 줄어들었다. 역시 개별 기업에서도 중국의 Suntech과 대만의 Motech이 태양전지 생산량을 크게 증가시켜 각각 4위와 7위로 올라갔다. 중국과 대만의 기업들이 약진함에 따라 일본을 비롯한 유럽 회사의 점유율이 크게 감소하였다. 한편 미국의 First Solar사가 CdTe 박막 태양전지만으로 한해 60MW를 생산하여 11위에 순위를 올린 것은 전체 박막 태양전지 기술 측면에서 크게 주목해야 할 점이다.

일본과 독일에서는 주택 및 건물용 태양광발전시스템, 그리고 발전용 대규모 시스템의 대량 보급을 통한 시장 확대 정책의 추진으로 태양전지 산업이 이제는 완전히 새로이 자리매김하고 있다. 2006년도 전 세계 태양전지 산업은 태양전지 모듈(평균 단가 4달러/W) 기준으로 약 100억달러에 달한다.

<표 3-3> 2006년 회사별 태양전지 생산 점유율

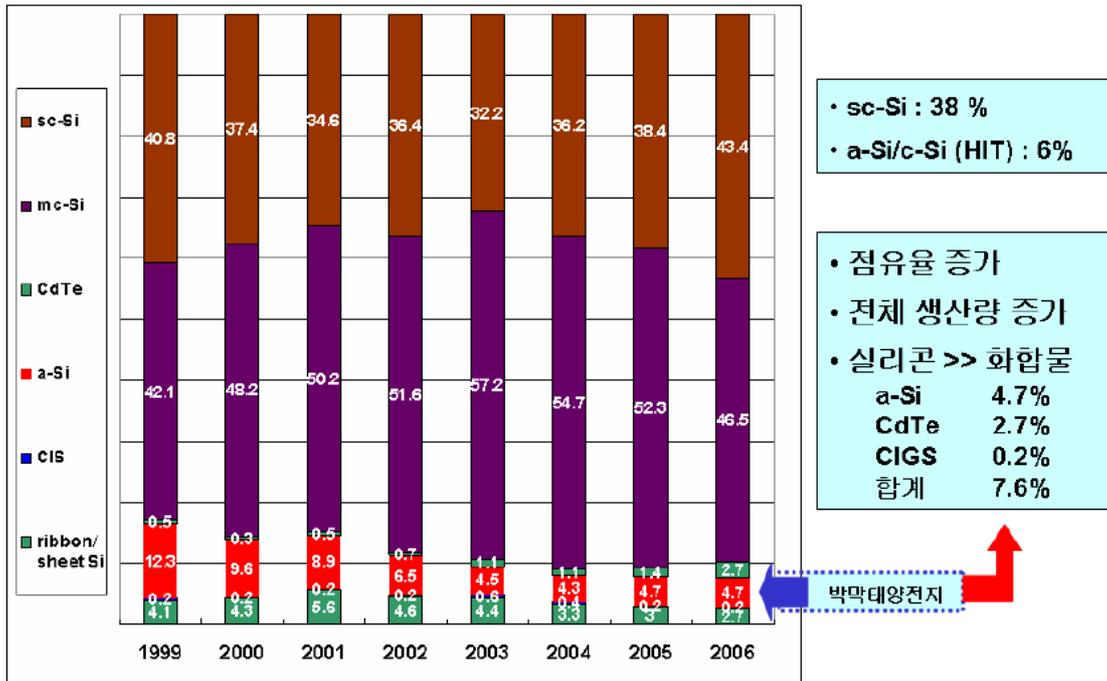
순위	회사명(국명)	점유율 (%)	2005 (%)	순위	회사명(국명)	점유율 (%)	2005 (%)
1	Sharp(일본)	17.2	24.8	2	Q-Cells(독일)	10.0	9.3
3	Kyocera(일본)	7.1	8.2	4	Suntech(중국)	6.1	4.6
5	Sanyo(일본)	6.1	7.2	6	Mitsubishi Electric(일본)	4.4	5.8
7	Motech(대만)	4.4	3.5	8	Schott Solar(독일)	3.3	5.5
9	SunPower(필리핀)	2.5		10	Isofoton(스페인)	2.4	3.1
11	First Solar(미국)	2.4		12	Nanjing PV(중국)	2.4	

자료 : 차세대 태양전지 소재 및 소자 제조기술 정보조사, 과학기술부, 2008.

한편 지금까지 태양전지 기술별로 시장 점유율을 살펴보면, <그림 3-8>과 같이 단결정실리콘(sc-Si) 및 다결정실리콘(mc-Si) 태양전지 비중이 전체의 90%에 달하고 리본형 태양전지가 2.7%, 그리고 박막 태양전지가 7.6%를 차지하였다. 단결정실리콘 태양전지 중 6%는 Sanyo사의 HIT 구조 태양전지로 이는 실리콘 웨이퍼위에 비정질실리콘 박막을 적층하여 접합을 형성한 이중 접합 구조로 웨이퍼 기술과 비정질 실리콘 박막 제조기술이 융합된 기술이다. 최근 다결정실리콘에 비해 단결정실리콘 점유율이 증가한 것은 HIT 태양전지의 생산량이 증가한 측면도 있지만 고효율의 단결정실리콘 태양전지 수요가 그 만큼 증가하였다는 것을 의미한다. 다결정실리콘에 비해 효율이 높은 단결정실리콘 태양전지를 사용하면 태양광 어레이의 면적을 줄일 수 있는 장점이 있다.

박막 태양전지는 그 동안 태양전지 전체 생산량이 급증함에 따라 실제로는 생산량이 매년 증가하였음에도 불구하고 점유율은 하락하였는데, 2006년에 처음으로 점유율이 증가한 것은 박막 태양전지 기술이 시장으로부터 호응을 받고 있다는 반증이다. 기술별로는 실리콘 박막이 4.7%, CdTe 2.7%, CIGS 0.2% 이다.

<그림 3-8> 전 세계 태양전지 종류별 생산 점유율



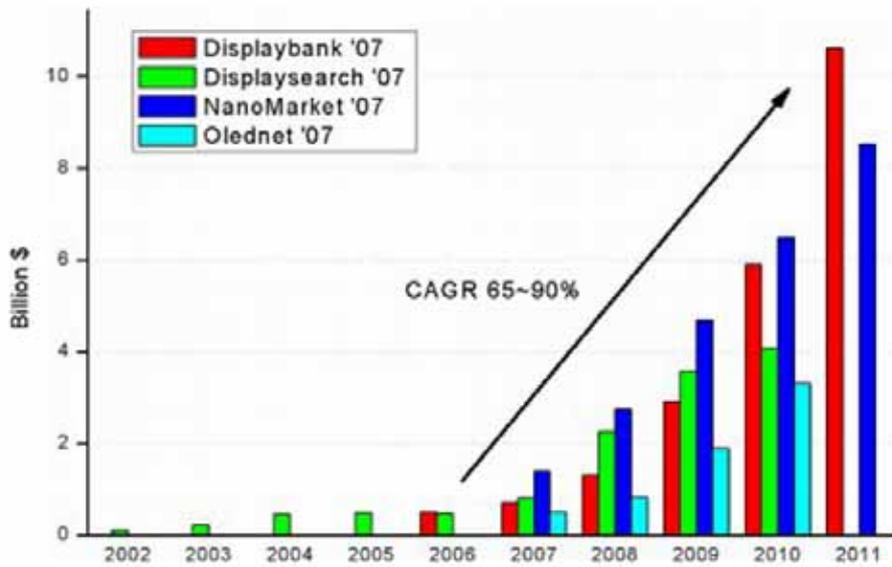
자료 : 차세대 태양전지 소재 및 소자 제조기술 정보조사, 과학기술부, 2008.

나. OLED 시장

OLED 시장은 2006년 5억불 정도의 시장을 형성하였으며, 2007년 약 7억달러 ~ 10억달러 정도의 시장을 형성할 것으로 시장조사기관은 예측하고 있다. OLED 시장은 연평균 65~90% 정도로 고속 성장을 하여 2010년에는 40~65억 달러 정도의 시장을 형성할 것으로 예측되고 있다.

2007년 OLED는 개수를 기준으로 약 1억 개의 시장을 형성할 것으로 예측하고 있으며, 2010년에는 약 4~5억개의 시장을 형성할 것으로 예측하고 있다.

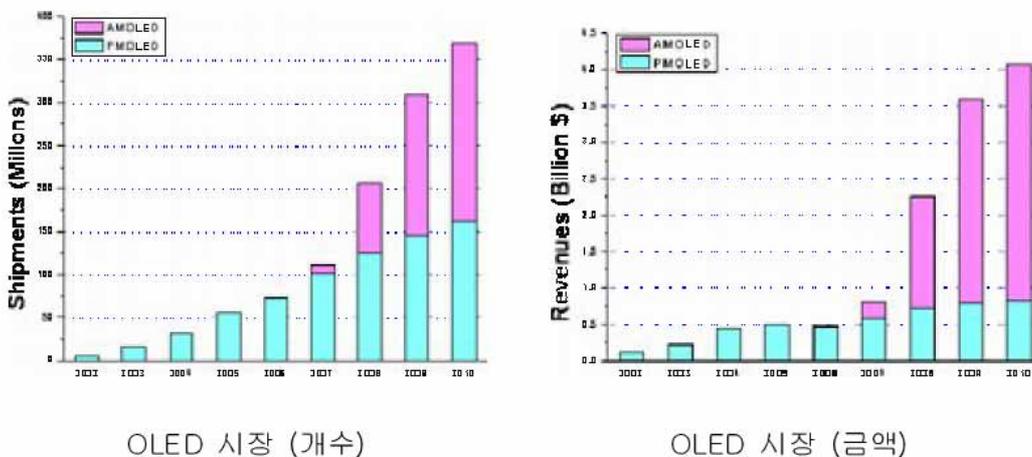
<그림 3-9> 시장조사기관별 OLED 시장 현황 및 예측



자료 : Displaybank, Displaysearch, Nanomarket, Olednet, 2007.

OLED 시장은 2007년까지 PMOLED를 위주로 성장하여왔으나 2007년 이후 AMOLED를 위주로 성장할 것으로 모든 시장조사기관은 예측하고 있다. 2007년 이후 AMOLED의 본격 생산에 따라, AMOLED 시장은 연평균 180 ~ 300% 정도의 고속 성장을 하여 2010년 약 30억달러 정도의 시장을 형성할 것으로 예측되고 있다.

<그림 3-10> OLED 시장 현황 및 전망

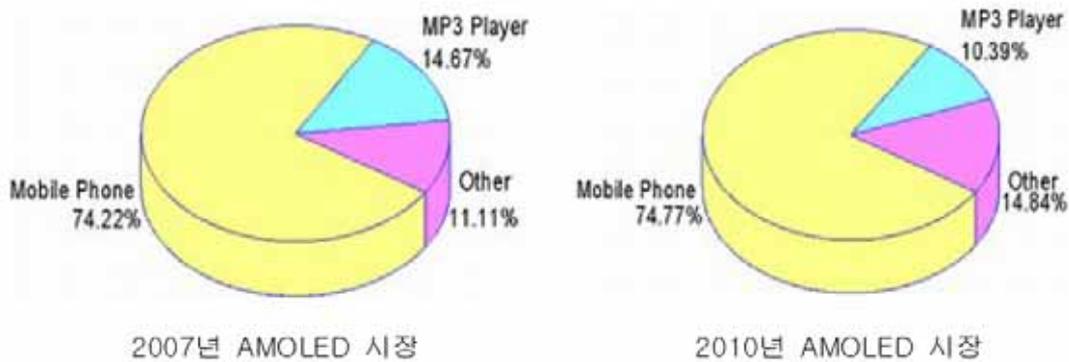


자료 : Displaysearch, 2007.

AMOLED 시장은 주로 Mobile Phone을 위주로 성장할 것으로 예측되고 있다. 2007년 AMOLED 시장에 있어서 Mobile Phone이 차지하는 비중이 약 75% 정도 될 것으로 예측되고 있으며, 2010년 또한 Mobile Phone이 AMOLED 시장에 절대적인 영향을 미칠 것으로 예측되고 있다.

AMOLED 시장의 성장 및 Mobile Phone이 차지하는 비중은 중대형 TV로의 시장 진입 여부에 따라 크게 달라질 수 있을 것으로 판단되나 2010년까지는 그 비중이 크지 않을 것으로 예측되고 있다.

<그림 3-11> 응용기기에 따른 AMOLED 시장



자료 : Displaysearch, 2007.

제4장 결론

공액고분자의 도핑에 의한 고전도성 소재 개발, 비선형 광학소재 기술 등의 발전에 뒤이어 1990년대 이래 가속화된 발광소재, 태양광 발전 소재 및 소자기술의 발전은 유기 및 무기물질을 사용한 디스플레이, 태양전지 등을 값싼 공정 비용과 유연성, 박형 등의 이점으로 대체할 수 있는 미래의 신소재 가공 기술이다.

디스플레이 디바이스, 태양전지 모듈 등 소자 산업 부문에서 국내 연구진 및 업계의 개발 능력은 세계적으로도 인정받는 수준이다. 그러나 부품소재 분야에서는 아직까지 매우 높은 수입 의존도를 보이고 있다.

고분자/저분자 발광소재, 유기트랜지스터 및 유기박막형 태양전지 소재, 그리고 염료감응형 태양전지에 사용될 고체 전해질 등 공액 및 비공액계의 전도성, 반도체 고분자와 관련된 소재기술 부분은 종합적인 정부차원에서의 지원과 아울러 각 응용분야별로 차별화된 소재 개발 추진 전략을 수립하여야 할 것이다.

<참고문헌>

1. 태양전지 기술동향 - 고분자 태양전지, 전자부품, 2008. 3.
2. 김정엽, 고분자와 물리: 공액이중결합형 고분자, 물리학과 첨단기술, 제 9권 9호, 2000. 9.
3. 2006년 국내 태양광 보급 및 산업 현황, 산업자원부, 2007.
4. OLED 산업동향, 전자부품연구원 주간전자정보, 2007.
5. 차세대 태양전지 소재 및 소자 제조기술 정보조사, 과학기술부, 2008.
6. 공액고분자를 이용한 태양전지 및 유기 전기발광 소재 기술, 한국과학기술정보연구원, 2005.
7. 박희웅, "dbrIEL(OLED) 신소재에 사용되는 고분자 재료 특허기술동향, 한국특허정보원, 2004.
8. 염료감응 태양전지, 한국과학기술정보연구원, 2005.4.
9. C. W. Tang, Appl. Phys. Lett., 48, 183, 1986
10. G. Yu and A. J. Heeger, J. Appl. Phys., 78, 4510, 1995.
11. P. Peumans and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett., 79, 126, 2001.
12. S. Uchida, J. Xue, B. P. Rand, and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett., 84, 4218, 2004.
13. J. Xue, B. P. Rand, S. Uchida, and S. R. Forrest, Adv. Mater., 17, 66, 2005.
14. F. Padinger, R. S. Rittberger, and N. S. Sariciftci, Adv. Funct.Mater, 13, 85, 2003.
15. 신원석, 진성호, Polymer Science and Technology 17, 416-424., 2006.