

LED 농생명 융합 기술의 현황 및 전망

LED(light emitting diode)는 반도체의 P-N 접합 다이오드의 일종으로, 순방향으로 전압이 걸릴 때 단파장 광이 방출 되는 현상인 전기발광 효과를 이용한 화합물 반도체 소자의 일종으로 발광 다이오드라고도 한다. LED는 화합물 반도체의 화합물의 종류 및 조성비를 조절하여 적외선, 자외선 과 빨강에서 보라에 이르는 모든 가시광선이 구현 가능하고, 소비전력이 기존의 광원에 비해 우수한 특성을 가지고 있어, 일반 조명, 산업용 조명, 전광판, TV의 BLU 등 여러 분야에 걸쳐 다양하게 이용되고 있다.

LED의 특징과 역사

LED는 빛을 만드는 LED Chip과 Chip을 고정하고 전기를 인가하기 위한 전극, 빛의 방출을 효율적으로 만들기 위한 반사판, Lens 등으로 구성된다. 초기 LED는 낮은 휘도와 색상의 한계를 지니고 있어 전자기기의 표시등, 숫자 표시 등에 제한적으로 사용되었으나, 최근에는 새로운 원자재의 개발과 발전된 생산 기술을 통해 백색을 포함한 가시광선의 모든 영역, 모든 색의 고휘도 LED가 생산되고 있다. 이러한 고휘도, 고효율 LED는 선진국과 우리나라에서 이미 대형 전광판, 교통 신호등, 자동차 표시등, 디스플레이, 조명등 등 광범위한 영역에서 사용되고 있으며 기존의 광원을 대체하고 있다. LED는 저소비 전력, 반영구적 수명, 빠른 응답속도, 안정성, 환경 친화성 등의 장점을 지니고 있는 반면 아직까지는 높은 가격,

발열문제 등의 문제점을 갖고 있기도 하다.

LED는 1962년 GE에서 반도체 LED를 개발한 것을 시초로 1968년 GaAsP의 3원 화합물의 적색 LED가 양산되어 미국에서 상용화되었다. 1970년대 실리콘 중심의 반도체 기술 발전을 기반으로 화합물 반도체 기술에 의한 LED 관련 기술이 발전되어, 1980년대 AlGaAs 기술

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> - 광변환 효율이 높아 소비전력이 낮다. - 수명이 길어 유지 및 보수비용이 적다. - 반도체 소자로 기존 광원에 비해 파손 우려가 적다. - 형광등에 사용되는 수은을 사용하지 않아 친환경적이다. - 점광원으로 다양한 형태의 조명을 만들 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 광원에 비해 가격이 높다. - 많은 열이 발생하며 온도 상승 시 광출력이 낮아진다. - 광학적으로 선명한 단색광을 보여 연색성이 낮다.

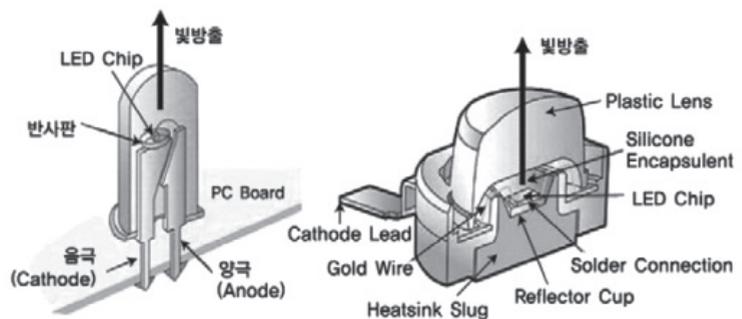
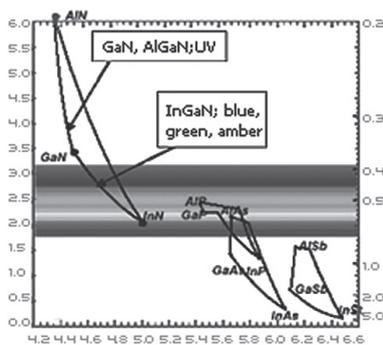


그림 1. LED의 조성 및 Package 형상

을 이용한 고휘도 적색 LED의 출현이 가능해 졌다. 이어 1992년 InGaAlP에 의한 초휘도 적색 및 주황색 LED의 개발로 Red, Green, Blue 삼원색 LED가 등장하였다. 1996년 일본 니치아화학에서 청색 LED에 형광물질을 첨가하여 구현한 백색 LED가 개발되어, 기존의 CCFL과 백열전구 등이 사용되었던 조명과 백라이트 광원 시장에 진입하였다. 1990년대 중반 AlGaAs 적색 LED의 광 효율이 백열 전구 수준을 넘게 되고 2000년도 미국의 Agilent사가 개발발한 TIP(Truncated Inverted Pyramid) 구조의 InGaAlP-LED가 형광램프 수준을 능가하게 되었다. 또한 InGaN 녹색 및 청색 LED도 광 효율이 백열전구 수준을 뛰어 넘게 되고 RGB가 모두 개발되면서 총 천연색 전광판의 제작이 가능하게 되었다. 현재 LED의 발광효율은 100lm/W이상의 수준으로 삼파장 형광램프(80lm/W), 백열 전구(15~20lm/W)에 비해 우수한 발광 효율을 지니고 있다.

LED는 방출하는 빛의 종류에 따라 가시광선 LED(V-LED : Visible Light Emitting Diode), 적외선 LED(IR-LED : Infra Red Light Emitting Diode), 자외선 LED(UV-LED : Ultra Violet Light Emitting Diode)로 구분할 수 있다. 또한 LED의 파장에 따라 응용 범위가 다르기 때문에 파장별로 제품과 용도 개발이 가능하다.

가시광 LED는 전체 LED 시장의 90~95%를 차지하고 있으며 적색, 녹색, 청색, 백색 LED 등이 있다. 가시광 LED 중에서는 적색 LED가 가장 먼저 개발되었으며, 이후 녹색, 청색 LED가 개발되었다. 현재 사용되고 있는

대부분의 백색 LED는 청색 LED에 형광물질을 첨가하여 녹색, 적색을 발현시켜 백색을 구현한 것이다. 적외선 LED는 리모콘, 적외선통신, 보안카메라 등에 사용되고 있으며, 시장의 규모는 전체 LED 시장의 5% 수준으로 알려져 있다. 자외선 LED는 살균, 피부치료 등 생물 보전 분야 등에 사용되고 있으며, 전체 시장의 규모는 2% 미만을 차지하고 있다. 현재까지 자외선 LED의 광 추출효율은 가시광이나 적외선 LED에 비해 비교적 낮은 상태다.

1879년 토마스 에디슨에 의해 발명되어 현재까지 사용되고 있는 백열전구는 저렴한 비용과 다양한 용도로 인하여 일반적인 조명 광원으로 많이 사용되어 왔다. 하지만 효율 특성면에서 15lm/W로 매우 효율이 떨어지며 수명도 약 1000시간이다. 백열등에 비해 일정한 광속과 콤팩트한 규격을 갖는 할로겐 램프의 경우 20~30lm/W 정도이다.

이에 반해 1938년 최초로 개발되어 백열램프 대비 밝기가 7~8배이고 수명이 10배 이상인 형광등은 적은 열 발생과 저 전력 소모로 현재까지 꾸준히 사용되어 오고 있으며 효율은 80lm/W로 약 1만 시간의 수명을 갖고 있다. 하지만 수온으로 인한 환경 문제가 대두되고 있다. 형광등은 기체 속의 방전에 의한 빛을 광원으로 이용한 것으로 필라멘트 발열에 의한 주열 발열을 이용한 백열전구와는 발광 원리가 근본적으로 다르다고 할 수 있다. 일반적인 백열전구는 필라멘트에 전기를 흐르게 하면 저항이 존재하므로 열이 발생하고 그 열로 빛을 낸다. 하지만 형광등은 진공 유리관에 소량의 수은 증기와 방전을 쉽게 만들기 위해 아르곤 가스를 넣고 봉한 다음 양 끝에 전극을 붙인 것으로 이 전극 사이에 전압을 걸면 방전이 일어나 빛을 발하게 된다. 국내에서 1년 동안 사용되고 버려지는 폐형광등은 약 1억 1000만 개다. 하지만 수거율은 20~30% 정도로 수온에 의한 환경 문제가 매우 심각하다.

LED는 반도체 발광 다이오드 기술을 이용한 조명으로 형광등과 달리 중금속 문제에서 자유로우며, 100lm/W (이론 효율은 300lm/W까지 가능)에 이르는 높은 광 효율을 칩을 이용한 조명 기술로 매우 작은 규격으로 제작 가능하다. 또한 평균 5만 5시간부터 최대 10만 시간에 이르

구분	파장대역	응용분야
가시광선 LED (적, 녹, 청, 백색 LED)	400~700nm	휴대폰, 노트북, LED TV, 자동차, 일반조명, 표시소자, 식물 성장 등
적외선 LED	700~1,000,000nm	리모콘, 적외선통신, 광통신, 측정기, 적외선카메라, 근육치료, 농산물 건조기 등
자외선(UV) LED	100~400nm	살균, 피부치료, 폐수처리, 위폐감별, 환경센서, 섬유화학산업, 산업기기 등

는 긴 수명 등 다양한 장점을 지니고 있다. 가격이 높은 것이 단점이지만 사용이 보편화되어 가격이 낮아지면 대부분의 조명이 급속히 LED로 전환될 것이다.

현재 사용되고 있는 백색 LED는 청색 LED에 형광체의 조성을 변경하여 백색 LED 조명으로 사용된다. LED는 비교적 단파장에 해당하는 빛만을 외부로 방출하여 자외선이나, 적외선 등을 포함하지 않으며, 높은 변환효율을 갖는 형광등을 사용하여 백열등이나 형광등에 비해 높은 광변환 효율을 갖는 조명을 만들 수 있다.

표 1. 헤드램프용 10W급 LED PKG 개발 현황(출처: 현대 모비스)

구분	백열등	CCFL	파라볼릭 형광등(T8)	파라볼릭 형광등(FPL)	LED 조명	
					효율 [lm/W]	수명 천 hrs
효율 [lm/W]	광원	12	78	90	85	110
	등기구	7	50	63	60	57
수명	천 hrs	1	12	12	12	>30

LED의 농생명 응용

LED의 농생명 응용 분야는 (그림 1)에서 보는 바와 같이 옆채류를 생산하는 식물 공장, 양계장을 비롯한 동물 사육, 크로레라를 증식하는 미세조류, 작물의 저장 및 생육에 유해한 해충 등의 방제, 농작물을 이용한 신약 및 품종 개량, 기능성 물질의 함량을 증대시키는 분자 농업 등 여러 가지가 있다.

LED를 이용한 식물 공장의 경우 식물의 광합성에 필요한 광원을 LED의 단파장 특성을 이용하여 작물의 광합



그림 2. LED 농생명 융합 응용

성이 기존의 인공광원이나 태양광에 비해 효과적으로 이루어진다. 따라서 작물의 생육기간을 단축시키는 것은 물론 생산량을 증대시킬 수 있으며, 연중 안정적인 작물의 생산이 가능하다.

일반적으로 광합성은 엽록소에서 이산화탄소와 물이 외부의 빛에 의해 엽록소 내부의 화학반응을 통하여 포도당과 산소를 만드는 메카니즘으로 이루어진다. 이때 태양광은 물론 인공광원도 식물의 광합성에 필요한 빛을 제공할 수 있는 것으로 알려져 있다. (그림 2)는 식물에서 광합성을 담당하는 엽록소의 파장별 광 흡수를 측정 한 것이다. 엽록소에서 흡수하는 빛은 450nm 대역의 청색 빛과 650nm 대역의 적색 빛이다.



(그림 3)은 태양, 형광등, 백열등, 식물 성장용 LED등의 분광감도를 나타내고 있다. 태양광의 경우 자외선 영역부터 적외선 영역까지 모든 파장의 광을 지니고 있는 것을 확인할 수 있으며, 형광등의 경우 청색, 녹색, 적색의 광을 모두 포함하여 백색광을 만드는 것을 확인할 수 있

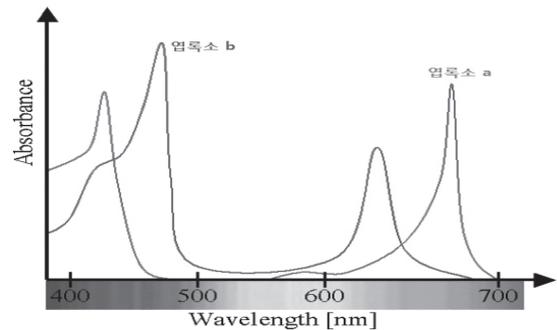


그림 3. 엽록소 흡수 파장

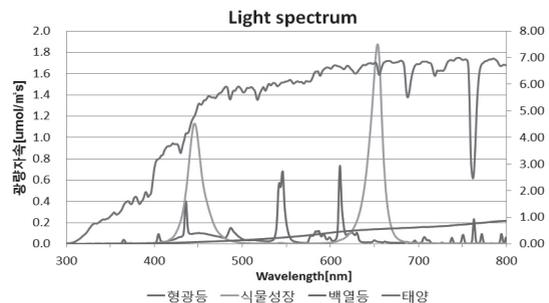


그림 4. 광원이 포함하는 파장

다. 또 백열등의 경우 청색에서 적외선까지의 파장을 포함하며, 적외선 영역의 광을 많이 포함하고 있음을 알 수 있다. LED등의 경우 식물의 광합성에 필요한 광원인 청색영역과 적색영역을 포함하는 광원을 이용할 경우 보다 효율적으로 작물의 광합성을 유도할 수 있다.

태양의 경우 식물의 광합성에 필요한 충분한 광량을 지니고 있어 작물의 생육에 가장 효과적인 광원이다. 하지만 최근 폭우, 폭염 등과 같은 이상 기온 현상에 의해 작물 생육기에 충분한 광원을 제공치 못할 경우 작물의 생육에 장애를 일으켜 생산량이 감소하고 가격이 폭등하는 현상이 매년 반복적으로 발생하고 있다. 또한 일반 환경에서 작물을 재배함으로써 병충해로부터 작물을 보호하기 위하여 다량의 농약을 사용하여 잔류 농약에 의한 인간의 2차 피해가 발생하고 있다.

인공 광원을 이용한 식물 공장에서는 초기 형광등이나 메탈할라이드등과 같은 광원을 태양광의 보조 광원으로 이용하여 작물의 생육을 촉진하였다. 하지만 최근에는 완전 밀폐형 식물 공장에서 작물의 발아에서 생육에 이르는 모든 과정에 인공 광을 이용하여 작물을 재배하고 있다. 형광등과 메탈할라이드등의 경우 식물이 광합성을 할 수 있는 광량을 제공하기 위해 많은 에너지를 소비하거나 열이 발생하여 작물의 생산에 많은 어려움이 있다. 반면 식물 성장용 LED 조명의 경우 (그림 2)의 광합성흡수파장에 해당하는 LED 광원을 이용하여 작물의 광합성에 활용함으로써 광효율이 기존의 인공 광원에 비해 우

수한 특성을 갖는다.

가축 사육을 위한 LED조명은 에너지 소비가 많은 양계장 등에서 주로 사용된다. 양계장의 경우 닭의 생육 촉진 및 폐사를 방지하기 위해 야간에도 백열등을 이용해 사육을 한다. 백열등의 경우 앞에서도 논의한 바와 같이 에너지 효율이 낮아 전력소비가 많은 문제점을 갖고 있다. LED 조명을 이용한 가축 사육은 영국의 LED 조명 업체인 그린게이라이팅 사가 가금 산업에서 닭과 계란의 생산을 위하여 LED 조명을 출시하였으며, Poultec 사에서는 Red, Green, Blue 형광 조명 시스템을 제작하고 있다. 또한 이스라엘과 중국 등에서 단일 광원 LED를 이용한 생산성 향상에 대한 연구가 이루어지고 있는 등 아직 초기단계에서 LED 조명을 가축 사육에 사용하고 있다. LED 조명을 사용하면 자체 면역력의 증가로 집단 폐사에 의한 농가의 손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 닭의 산란률 향상, 계란의 품질 향상 등의 결과를 얻을 수 있다. 지난 2011년부터 정부는 백열등에 비해 80%의 에너지를 절감할 수 있는 LED 조명을 양계장에 보급하는 사업을 실시하여 에너지 절감 및 생산량의 증대 효과를 거두고 있다. 해충 방제를 위한 LED 조명은 해충이 좋아하는 빛인 450nm 대역의 파장을 이용하여 해충을 유인 및 포집하는 방법과 해충이 싫어하는 580~620nm 대역의 LED 조명을 이용하여 쫓아내는 방법이 있다. 현재는 자연의 생태계를 파괴하지 않는 후자의 방법에 대해 연구되고 있다. 우리나라의 경우 해충방제는 전적으로 화학 농약에 의존하고 있는데, 화학 농약의 부작용인 자연평형 파괴와 동식물 체내축적으로 인해 환경오염의 주범으로 인식되어 사회적 반감이 증대하면서 점차 친환경 농산물이

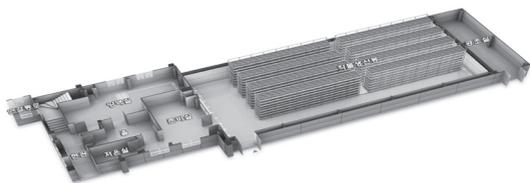


그림 5. LED 식물 공장 조감도 및 식물 공장 내부 전경

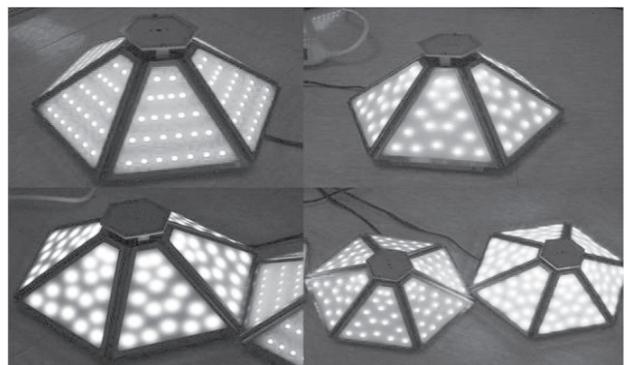


그림 6. 양계장용 LED 조명

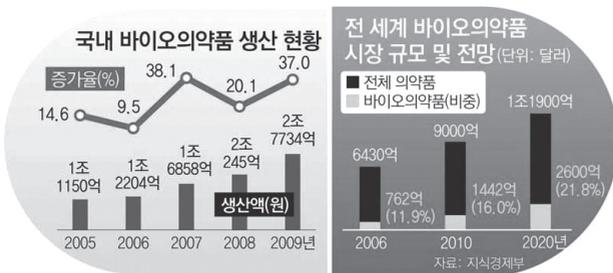


그림7. 바이오 의약품의 생산현황

□ 미국의 의료용 단백질 GM식물의 포장시험 재배면적

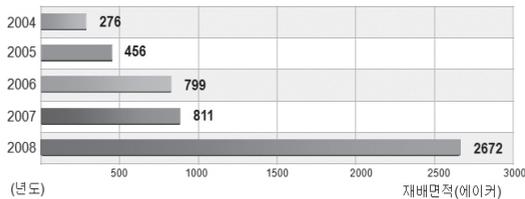


그림8. 미국의 의료용단백질 작물의 포장시험 재배 면적 추이(2004~2008년도)

선호되고 있다.

일본에서는 각종 형광램프의 효과를 비교하였고 고압나트륨 등의 조명을 이용하여 해충의 과실 흡즙, 산란, 교미 등을 억제하는데 효과를 보고 있다. 대부분 노지에서 재배되는 과채류보다 시설물 안에서 재배되는 과채류에 살포되는 농약의 횟수가 더 많다. 따라서 LED 조명을 이용하여 먹이사슬을 끊지 않고도 해충을 쫓아내는 기술이 매우 중요하다.

분자 농업은 생명을 생산 수단으로 삼아 유전자 조작을 통하여 의학적으로 유용한 고부가가치 단백질과 백신, 산업적 가치가 있는 효소 등의 재조합 단백질 및 이차대사 산물을 대량으로 생산하는 것으로 과거에는 주로 식량 확보차원에서 농업적으로 이용하기 위한 유전자 조작을 통한 작물의 생산량 증가나 병해충에 강한 작물의 개발 등에 주로 이용됐다. 최근에는 유용 단백질의 생산, 정밀 화학 제품의 생산 등 고부가가치 대사 산물 획득 및 유용한 물질을 생산하려는 목적으로 진행되고 있다. 유전자 변형 식물의 경우 GMO관리 법령에 안전성을 확인하기 전에는 밀폐된 공간에서만 재배하도록 규정되어 있으므로 밀폐된 식물공장에서 LED등과 같은 인공광원을 이용한 식물체의 고부가가치 단백질을 생산 할 수 있는 우수한 분자농업 관련 GMO를 재배하는 기술들이 연구되고 있다. GMO 식물을 LED광원을 이용하여 식물세포에서 외래

단백질의 다량 발현이 실현되면 고부가가치의 의료용 단백질, 동물 사료, 백신, edible plant vaccine, 산업용 단백질의 대량생산이 가능하며, 특히 LED를 이용하여 식물세포를 배양할 경우 저비용으로 다양한 단백질의 생산이 가능하여 동물세포 배양에 비해 약 1/30, 미생물 발효에 비하여 약 1/3의 비용이면 가능하다는 것이 검증됐다. 식물세포 배양을 통한 유용 단백질 생산 기술은 신기술 분야에 속하여 식물 세포 배양을 이용한 단백질 생산 기술에서 국제적인 경쟁력을 확보하고자 많은 연구를 진행하고 있다. 재조합 단백질의 생산이 불가능한 기술을 확립해 발현성 단백질 생산 분야에서의 기술적 우위를 점할 수 있을 것으로 예측할 수 있다.

결론

LED의 농생명 응용은 농업기술과, 기계, 전기, 기계, 전자제어, 환경제어 등의 기술이 융합되는 새로운 개념의 사업이라고 할 수 있다. 식물의 재배, 동물 사육, 해충의 방제, 의료용, 분자 농업 등의 다양한 분야에 응용되고 있으며, 신기술의 접목으로 인한 타 산업과의 융합으로 새로운 기술 분야를 창조할 수 있는 고부가가치 산업이다. LED 기술이 산업 전반으로 확대되고 일반인들의 LED에 대한 높은 관심과 신뢰성이 검증되며 기존의 재배 방법과 다른 LED 식물 재배 공장에서 만든 농작물에 대한 안전성, 가격의 원가절감, 생산량 증대의 장점이 일반화 되면 농업 분야의 시장 확대와 더불어 이 사업 역시 대중화된 사업으로 성장 가능할 것이다.

참고문헌

[1] IT SoC Magazin, 친환경 고효율 LED 산업동향 및 향후 전망, 2009.7, 윤형도



이규한

원광대학교에서 전자공학 석사 학위를 취득했으며, 전북대학교에서 반도체화학공학부 반도체전공 박사 과정을 밟고 있다. 2000년 9월부터 2011년 7월까지 광반도체 전문회사인 한국고덴스에서 LED 기술부장으로 근무했으며, 2011년 8월부터 현재까지 전북대학교 LED 농생명 융합기술센터에서 책임연구원으로 일하고 있다. 연구 분야는 전자회로 설계, LED Chip 개발, LED 조명 시스템 개발, 완전 제어형 밀폐형 식물 공장 운영 등이다.