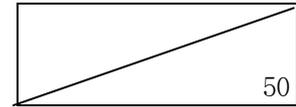


<별지 1 내표지>

2012 년 12 월

보 고 서 번 호



교감형 스마트 OLED 광원 핵심 기술 개발

Core technologies of OLED light sources for interactive smart lighting

인 사 말 씀

오늘날의 디스플레이 산업은 국가 산업의 중추적 역할을 하며 눈부신 발전을 하고 있으며, ‘세계 제 1 위 디스플레이 생산국’ 으로서 위상을 굳건히 하고 있습니다. 그러나, 선진국의 핵심원천기술의 장벽 강화와 중국의 디스플레이 산업에 대한 적극적인 투자 등의 위협에 접해 있습니다. 이와 같은 세계의 변화 속에서 차세대 디스플레이 산업을 위한 원천기술 확보만이 우리나라의 위상에 걸맞는 경쟁력을 유지할 수 있는 최선의 방안일 것입니다.

OLED (Organic Light Emitting Diode)는 디스플레이로 응용될 수 있을 뿐만 아니라 조명용 광원으로도 응용될 수 있는 기술로서 디스플레이 산업의 경쟁력을 유지함과 동시에 성장력이 매우 높은 신수종 산업을 일으킬 수 있는 기술로 주목받고 있습니다. 특히, 조명 산업은 한국의 국제 경쟁력이나 시장 점유율이 매우 낮은 분야로서 OLED 산업의 높은 기술력을 기반으로 시장 경쟁력이 매우 높을 것으로 기대되며, 향후 고부가가치 산업으로 성장할 수 있는 가능성이 매우 높다고 판단됩니다.

본 사업은 교감형 스마트 OLED 광원 핵심기술의 개발을 목표로 하는 것으로서 OLED 조명 분야에 있어서도 차세대 스마트 광원 기술을 개발하는 것입니다. 앞으로 OLED 조명 산업이 발전함에 따라서 단순한 친환경 고효율 광원 이상의 새로운 기능을 갖는 광원을 시장에서 요구할 것으로 판단되며, 이러한 시장의 요구를 선제적으로 대응할 수 있도록 기술 개발을 수행하고 있습니다. 본 사업의 결과물이 한국의 조명 산업 발전의 성장 추진력이 될 수 있기를 기대하며, 기술 개발을 위하여 노고를 아끼지 않은 연구원들에 치하를 드립니다.

2012 년 12 월
한국전자통신연구원 원장 김 흥 남

제 출 문

본 연구보고서는 주요사업인 "교감형 스마트 OLED 광원 핵심기술개발에 관한 연구"의 결과로서, 본 과제에 참여한 아래의 연구팀이 작성한 것입니다.

2012 년 12 월

연구책임자 : 책임연구원 유병곤 (신소자소재연구부)

연구참여자 : 책임연구원 이정익 (OLED 조명연구팀)

책임연구원 조두희 (OLED 조명연구팀)

책임연구원 박승구 (OLED 조명연구팀)

선임연구원 문재현 (OLED 조명연구팀)

선임연구원 조남성 (OLED 조명연구팀)

연구원 한준한 (OLED 조명연구팀)

연구원 황주현 (OLED 조명연구팀)

연구원 이수진 (OLED 조명연구팀)

연구원 박은숙 (OLED 조명연구팀)

연구원 최성우 (OLED 조명연구팀)

책임연구원 추혜용(차세대디스플레이연구단)

책임연구원 최현미(신소자소재연구부)

책임연구원 강석열(융합부품소재연구부문)

책임연구원 김대용(융합부품소재연구부문)

책임연구원 전용일(융합부품소재연구부문)

요 약 문

I. 교감형 스마트 OLED 광원 핵심 기술 개발

II. 연구목적 및 중요성

- 교감형 스마트 OLED 조명은 OLED 기술의 한계를 극복하는 초박형, 내충격성을 갖는 광원을 기반으로 하여 센서 기술, 구동 기술 등의 IT 기술과의 융합을 통하여 신개념의 조명임
- 초박형, 내충격성을 갖는 유연 면광원 핵심기술과 OLED 광원을 이용한 교감형 조명 응용 기술을 선제적으로 확보하여 국내 OLED 조명의 국제 경쟁력 및 기술 우위를 확보

III. 연구내용 및 범위

- 교감형 스마트 OLED 광원 핵심기술 개발
- 스마트 OLED 광원 핵심 기술 개발
- 유연광원용 소재/부품 (유연기판 평탄도 < 8 nm, 광추출효율 > 40%)
- 유연 면광원 (두께 < 1mm, 효율 25 lm/W)
- 교감형 OLED 조명 (Intercative lighting) 응용 기술 개발
- 정보표시 스마트 조명 시스템 (4bit dimming, 센서연동)

IV. 연구결과

- 유연 광추출 시뮬레이션 기술 (부산대 결과, 조두희)
- 유연 광추출층 기술 (prepolymer 광경화 결과, 문제현/박승구)
 - Prepolymer 광경화 결과 위주로
 - 평탄층 공정 (Ra 8nm 이하 결과)
 - 광추출 결과 (40% 효율 달성)
- 저온공정용 진극 기술 (경희대 결과, 문제현/황주현)
- 유연기판 백색 OLED 기술 (황주현)
 - 두께 0.8 mm, 효율 25 lm/W 이상 달성 (@ 3000 nit)
- 유연 OLED 광원 기술 (문제현/황주현)
 - 유연 봉지 공정
 - 백색 OLED 면광원 시현

- 스마트 OLED 조명 시스템 (한준한)
- 모듈 기술
- 무선 전력 전송 OLED

V. 기대성과 및 건의

- 유연 OLED 면광원 제조를 위한 기초 기술을 확보하였으며, 이를 기반으로 효율과 신뢰성이 향상된 스마트 OLED 광원 핵심 기술을 개발
- 유연 OLED 면광원 제조를 위하여 구축된 인프라는 관련 부품/소재 개발 기업의 지원에 활용
- 무선 통신 및 전력전송을 기반으로 한 교감형 스마트 OLED 조명 응용 기술을 활용한 조명 시스템 개발에 활용

ABSTRACT

I. TITLE

Development of Key Technology for Interactive Smart OLED Lighting

II. THE OBJECTIVITIES

- Interactive Smart OLED Lighting is a technology that overcomes conventional OLED technologies. It offers ultra-slimness and resistance against fractures. In addition it can be combined with sensor and driving technologies to offer a new concept in lighting.
- We aim to develop interactive OLED light sources by combining planar OLED technology and features such as ultra-slimness and fracture resistance. Such development will enable us to have international competitiveness and technological superiority in OLED technology.

III. THE CONTENTS AND SCOPE OF THE STUDY

Development of key technologies for interactive smart OLED light sources.

-Development of key technologies for smart OLED light sources.

Materials and components for flexible light sources. (surface roughness < 10 nm, light extraction efficiency > 20%)

Flexible planar light source. (thickness < 1mm, power efficiency 20 lm/W)

-Development of applied technologies for interactive OLED lighting. Information display smart lighting system. (4bit dimming)

IV. RESULTS

○ Materials for flexible planarization.

Planarization forming technologies using solution processes.

Double coated high refractive index polyimide film. Surface roughness $R_a = 2.84$ nm achieved.

Surface roughness < 10 nm on flexible surfaces.

○ Flexible light extraction simulation methods.

Establishment of optical simulation methods for various nanostructures and refractive indices.

Optimized geometrical light extraction structures using FDTD optical simulations

Possibility of achieving double light extraction efficiency by combining low refractive nanostructure and high refractive

planarization layer.

○ Fabrication technologies for flexible light extraction structures.
Nano hybrid Epoxy/TiO₂ film with light extraction capacity
33% improvement in power efficiency compared to conventional
OLEDs

Light extraction efficiency > 20 %.

Achievement of 77% in total transmittance of nano hybrid
Epoxy/TiO₂ films.

In order to find new materials additional experiments are in need. In
particular films thickness and light adsorption have to be
considered.

○ Electrode and insulating materials for low temperature
processes.

Fabrication method for graphene anode equipped OLED.

Graphene laser patterning technology.

Structural design for leakage current suppressed graphene anode
OLED.

○ White OLED technologies on flexible substrates.

Development of flexible OLED light source on Polycarbonate/IZO
substrates.

Convergence technology of flexible substrates and OLED lighting
technologies.

Operating conditions for IZO anode equipped OLED.

Light emitting OLEDs under bending conditions.

Thickness 0.8 mm, power efficiency 24 lm/W (@ 3000 nit).

○ Constructing infra facilities for film encapsulation.

Flexible encapsulation process and vacuum lamination set up
installed in a glove box.

Suppression of air void formations between device and
encapsulation film surfaces.

Modified flexible encapsulation process for large area substrates.

○ Smart OLED lighting system.

Short distance wireless communication technology. Android platform
based smart phones. Wireless control of smart OLED using smart
tablet apps.

○ 4bit dimming OLED lighting operation driver.

Current driver for stable operation of OLED light source.

Possibility of using 6 port in one channel simultaneously.

4bit dimming operation.

○ Wireless power transport for OLED lighting.

Wireless power transport using magnetic resonance technology.

Operation of lighting facilities without electrical wires or

connectors.

V . EXPECTED RESULTS AND PROPOSITIONS

- We have established fundamental technologies for the fabrication of flexible OLED light sources. We plan to develop improved core technologies for reliable smart OLED light sources.
- Our infrastructure for the fabrication of flexible OLED light sources will be used as supporting facilities to related companies of components and materials developments.
- Wireless communications and power transport based interactive smart OLED lighting technologies will be applied to construct lighting systems.

CONTENTS

CHAPTER 1 Introduction -----	17
SECTION 1. Motivation -----	17
SECTION 2. Technology and market status -----	24
1. Overseas technology status -----	24
2. Domestic technology status -----	29
3. Market status -----	31
CHAPTER 2 Development objectivity and method -----	33
SECTION 1 Research objectivity and contents -----	33
SECTION 2 Methods and expected effects -----	34
1. Methods -----	34
2. Expected effects -----	36
CHAPTER 3 Development research -----	43
SECTION 1 Development schedule -----	43
SECTION 2 Achievement compared to plan -----	44
SECTION 3 Results -----	46
1. Smart OLED lighting key technologies -----	46
2. Smart OLED integrated substrate technologies -----	75
3. Interactive lighting system technologies -----	120
SECTION 4. Quantitative achievements -----	130
CHAPTER 4 Conclusion -----	133
SECTION 1 Conclusion -----	133
SECTION 2 Plan to use the interactive smart OLED -----	137

<Table1. The road map of lighting project of DOE, USA>

<Table2. Comparison between OLED and conventional lightings>

<Table3. The economical weight of lighting industry in nations>

<Table4. The device stack of white hybride OLED>

<Table5. Experimental conditions of film encapsulation and temperature for different substrates>

<Table6. The OLED stack structure of phosphorent white on ITO and PC/IZO support>

<Table7. The OLED characteristics of phosphorent white on ITO and PC/IZO support>

<Figure 1. Forecasted energy saving in lighting>

<Figure 2. The road map of OLED lighting technology development>

<Figure 3. Conceptual diagram of interactive smater OLED lighting>

<Figure 4. The road map of OLED lighting commercilization>

<Figure 5. Current status of worldwide OLED technology development>

<Figure 6. Prototype of flexible lighting by GE>

<Figure 7. OLED lighting by Osram and Ingo Mauer>

<Figure 8. OLED lighting by Philips>

<Figure 9. OLED lighting in Zero emission house, Japan>

<Figure 10. OLED panels and lighting ETRI>

<Figure 11. Prototype of flexible lighting by Samsung SMD (left) and LG Chem (right)>

<Figure 12. The road map of OLED lighting market and its applications>

<Figure 13. Research approach>

<Figure 14. The forecasting of OLED lighting market>

<Figure 15. The vacuum lamination facility and the lamination part installed in a glove box.>

<Figure 16. Heat and power supplying units of the vacuum lamination facility.>

<Figure 17. The operation panel of the vacuum lamination facility>

<Figure 18. Vacuum and nitrogen gas supplying controlling unit of the vacuum lamination facility.>

<Figure 19. Flow diagram of the processing using the vacuum lamination facility>

<Figure 20. An actual example using the the vacuum lamination facility>

<Figure 21. The OLED characteristics on various substrates at 60 °C>

<Figure 22. The OLED characteristics on various substrates at 80 °C>

<Figure 23. Adhesion test on film encapsulation>

<Figure 24. (a) The preparation of substrates and graphene anodes (b) The schematic device structure of OLED with graphene (c) The energy level diagram of sky-blue Phosphorescent OLEDs>

<Figure 25. (a) The high resolution TEM image of as-grown graphene films on Ni/SiO₂/Si substrate. (b) The AFM image of transferred graphene films on SiO₂/Si substrate (c) Transmittance versus wavelength of graphene layers (d) The cross-sectional SEM image of graphene anode on OLED>

<Figure 26. (a) The current-voltage-luminescence (JVL) characteristics without and with O₂ plasma treated sky-blue Phosphorescent OLEDs (b) External Quantum Efficiency (c) Electroluminescent Spectra of Sky-blue Phosphorescent OLEDs (PT refers to Plasma Treatment) (d) The optical simulation results on radiance and HTL thicknesses on ITO and graphene anodes.>

<Figure 27. The emitting images of white OLEDs fabricated on PC/IZO and ITO>

<Figure 28. The measured white OLED characteristics fabricated on PC/IZO>

<Figure 29.The measured white OLED characteristics fabricated on ITO>
<Figure 30.PC/IZO film encapsulation>
<Figure 31.The emitting images of white OLEDs fabricated on PC/IZO>
<Figure 32.The emitting images of white OLEDs fabricated on PC/IZO under bending>
<Figure 33.The conceptual schematics of light extraction in OLED>
<Figure 34.The OLED schematics: conventional (upper) and including light extraction structures (lower)>
<Figure 35.The principle of light extraction using micro lens array>
<Figure 36.>
<Figure 37.The microstructure of microlens array (upper) and an image of its sheet(lower)) (from temicon homepage)>
<Figure 38.The optical principle of low reflectivity film (from Wikipedia) >
<Figure 39.Application of Bragg mirror for inducing micro cavity effect (from NEEL homepage) >
<Figure 40.The structure of photonics crystal for internal light extraction (ref 15)>
<Figure 41.The fabrication of internal light scattering layer for internal light extraction>
<Figure 42.The fabrication of internal light scattering layer on an ITO support using polymer lattice>
<Figure 43.The fabrication of internal light scattering nano structure using nano imprinting method (ref 23)>
<Figure 44.29 OLED with nantostuctural MgO/ZrO₂ thin films (ref 25)>
<Figure 45.The cross-sectional OLED structure with Epoxy/TiO₂ coated substrate>
<Figure 46.The transmittance curves of films made using BE07 and BE06>
<Figure 47.The power efficiency of OLED using BE06 as a light scattering layer>
<Figure 48.The J-V-L characteristics of OLED using BE06 as a light scattering layer>
<Figure 49.The power efficiency of OLED using BE07 as a light scattering layer>
<Figure 50.The J-V-L characteristics of OLED using BE07 as a light scattering layer>
<Figure 51.The transmittance curves of films made using BE11 and BE12>
<Figure 52.The power efficiency of OLED using BE11 as a light scattering layer>
<Figure 53.The J-V-L characteristics of OLED using BE11 as a light scattering layer>

<Figure 54.The power efficiency of OLED using BE12 as a light scattering layer>

<Figure 55.The J-V-L characteristics of OLED using BE12 as a light scattering layer>

<Figure 56.BE13 coated on an AMG embossed glass substrate (SEM)>

<Figure 57.The surface morphology of BE13 coated film (SEM photo)>

<Figure 58.The surface morphology of D1-15 coated on BE13 film (SEM)>

<Figure 59.The surface roughness of high refractive planarization film>

<Figure 60.The energy efficiency of OLED using BE13 as a light scattering layer>

<Figure 61.The J-V-L characteristics of OLED using BE13 as a light scattering layer>

<Figure 62.The power efficiency of OLED using BE15 as a light scattering layer>

<Figure 63.The J-V-L characteristics of OLED using BE15 as a light scattering layer>

<Figure 64.The transmittance curve of Epoxy acrylate/TiO₂ composite>

<Figure 65.Synthesis of polyamic acid>

<Figure 66.The IR spectrum of polyamic acid>

<Figure 67.The DSC curve of polyamic acid>

<Figure 68.Synthesis of hybrid material using polyamic acid and titanium (IV) ethoxide>

<Figure 69.The DSC curve of polyamic acid and polyamic acid-TiO₂>

<Figure 70.The refractive indices of polyamic acid and polyamic acid-TiO₂ measured by an ellipsometric method>

<Figure 71.Conceptual diagram of smart OLED>

<Figure 72.Applicable wireless telecommunication method for the operation of smart OLED lighting>

<Figure 73.The diagram for current operation driving>

<Figure 74.Fabricated smart OLED lighting operating part>

<Figure 75.The schematic of blue-tooth communication module>

<Figure 76.The structure of controlling software>

<Figure 77.Measurement results of OLED light source operated using smart driving unit>

<Figure 78.Dimming measurement results of OLED light source operated using smart driving unit>

목 차

제 1 장 서론 -----	17
제 1 절 연구의 필요성 -----	17
제 2 절 기술 및 시장현황 -----	24
1. 세계 기술 현황 -----	24
2. 국내 기술현황 -----	29
3. 시장 현황 -----	31
제 2 장 연구개발 목표 및 수행방법 -----	33
제 1 절 연구목표 및 과제내용 -----	33
제 2 절 과제수행방법 및 기대효과 -----	34
1. 과제수행방법 -----	34
2. 기대성과 -----	36
가) 기술적 측면 -----	36
나) 경제 산업적 측면 -----	38
다) 상용화 전략 -----	41
제 3 장 연구 결과 -----	43
제 1 절 연구개발추진일정 -----	43
제 2 절 연구개발 계획대비 실적 -----	44
제 3 절 주요연구결과 -----	46
1. 스마트 OLED 광원 핵심 기술 -----	46
1.1 -----	46
1.2 -----	54
1.3 -----	61
1.4 -----	67
2. 교감형 조명 시스템 응용 기술 -----	120
제 4 절 주요 연구 성과 -----	130
제 4 장 결론 및 연구결과의 활용계획 -----	133
제 1 절 결론 -----	137
제 2 절 활용계획 -----	59

표목차

- <표 1. 미국 DOE 프로젝트의 광원 기술 로드맵>
- <표 2. OLED 조명과 기존 조명의 성능 비교>
- <표 3. 조명 산업 분야의 국가 경제적 비중>
- <표 4. 백색하이브리드 OLED의 적층구조>
- <표 5. 필름봉지 및 합착온도 기관별 실험조건>
- <표 6. ITO, PC/IZO 기관에 사용된 백색 인광 OLED 소자 구조>
- <표 7. ITO, PC/IZO 기관에 사용된 백색 인광 OLED 소자의 주요지표 >

그림목차

- <그림 1. 조명 에너지 소비 절감 예측도>
- <그림 2. OLED 조명 기술 개발 로드맵>
- <그림 3. 교감형 스마트 OLED 조명 개념도>
- <그림 4. OLED 조명 상용화 로드맵>
- <그림 5. 세계 주요국의 OLED 기술 개발 현황>
- <그림 6. GE의 플렉서블 조명 시제품>
- <그림 7. 오스람과 인고마우러가 발표한 OLED 조명>
- <그림 8. 필립스의 OLED 조명>
- <그림 9. 일본 Zero emission house 내의 OLED 조명>
- <그림 10. ETRI에서 개발된 조명용 OLED 패널 및 조명>
- <그림 11. 삼성 SMD(좌)와 LG화학(우)의 조명 패널 시제품>
- <그림 12. OLED 조명 응용분야 및 시장 예측>
- <그림 13. 추진체계도>
- <그림 14. OLED 조명의 시장전망>
- <그림 15. 글로브 박스 내부에 설치된 유연봉지공정 진공합착장비 및 합착 부분>
- <그림 16. 진공합착장비의 전열 및 전력공급 부분>
- <그림 17. 진공합착장비의 구동부분>
- <그림 18. 진공합착장비의 진공 및 질소충전 제어 부분>
- <그림 19. 진공합착장비를 이용한 공정진행의 순서도>
- <그림 20. 진공합착공정을 적용한 실시예>
- <그림 21. 60도의 합착온도조건에서 기관별 OLED 특성 >
- <그림 22. 80도의 합착온도조건에서 기관별 OLED 특성 >
- <그림 23. 필름인캡의 접착성 테스트>
- <그림 24. (a) 기관 전공정 (b) OLED 소자의 개략도 (c) 인광 스카이블루 OLED의 에너지수준도>
- <그림 25. (a) Ni/SiO₂/Si 기관상 그래핀의 고해상도 투과전자현미경 (b) 그래핀 표면의 AFM 이미지 (c) 그래핀의 가시광역대역내의 투과도 (d) 그래핀 양극 OLED의 단면 SEM 이미지>
- <그림 26. (a) 산소플라즈마 처리 여부에 따른 JVL 특성 (b) 외부양자효율 (c) 전기발광스펙트럼(d) 정공수송층 두께에 따른 radiance 변화 시뮬레이션>

- <그림 27. PC/IZO 및 ITO 기판에 제작한 백색 OLED 소자의 발광 이미지>
- <그림 28. PC/IZO 기판을 사용한 백색 OLED소자 측정 결과>
- <그림 29. ITO 기판을 사용한 백색 OLED소자 측정 결과>
- <그림 30. 필름인캡을 적용한 PC/IZO 기판의 사진>
- <그림 31. PC/IZO 기판에 제작한 백색 OLED 소자의 발광사진>
- <그림 32. PC/IZO 기판에 제작한 백색 OLED 소자의 휘어진 상태에서의 발광사진>
- <그림 33. OLED에서 광추출의 원리 개념도>
- <그림 34. 일반적인(위) OLED 및 외부(중간)/내부(아래) 광추출 구조를 포함하는 OLED 개념도>
- <그림 35. 마이크로 렌즈 어레이의 광추출 원리>
- <그림 36. 마이크로 렌즈 어레이의 미세구조(위) 및 시트 사진(아래) (from temicon homepage) >
- <그림 37. 저반사 필름의 광학적 원리 (from Wikipedia) >
- <그림 38. 브래그 미러를 이용한 미소공진 개념도 (from NEEL homepage) >
- <그림 39. 광결정을 이용한 내부광추출 구조 (ref 15) >
- <그림 40. 내부광산란층을 이용한 내부광추출 구조의 제조방법과 현미경 사진>
- <그림 41. ITO 위에 폴리머 격자를 형성하여 제작한 내부광추출 구조의 개념도>
- <그림 42. 나노 임프린팅 방법을 이용한 내부광추출 나노구조 제조공정 (ref 23) >
- <그림 43. MgO/ZrO₂ 박막을 나노 구조로 이용한 OLED 개념도 (ref 25) >
- <그림 44. Epoxy/TiO₂ 나노 복합체를 코팅한 기판을 이용하여 제조한 OLED 소자 단면 구조>
- <그림 45. BE07과 BE06으로 제조한 필름의 투과 곡선>
- <그림 46. BE06을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 전력효율 특성>
- <그림 47. BE06을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 J-V-L 특성>
- <그림 48. BE07을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 전력효율 특성>
- <그림 49. <그림 35. BE07을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 J-V-L 특성>
- <그림 50. BE11과 BE12으로 제조한 필름의 투과 곡선>
- <그림 51. BE11을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 전력효율 특성>
- <그림 52. BE11을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 J-V-L 특성>
- <그림 53. BE12을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 전력효율 특성>
- <그림 54. BE12을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 J-V-L 특성>
- <그림 55. BE13을 AMG 엠보싱 유리기판 위에 코팅한 모습 (SEM) >
- <그림 56. BE13을 코팅 한 필름의 표면 형상 (SEM 사진) >
- <그림 57. BE13위에 D1-15를 2차 코팅한 후 필름의 표면 사진 (SEM) >
- <그림 58. 고굴절 평탄층의 표면 조도 측정 결과>
- <그림 59. BE13을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 전력효율 특성>

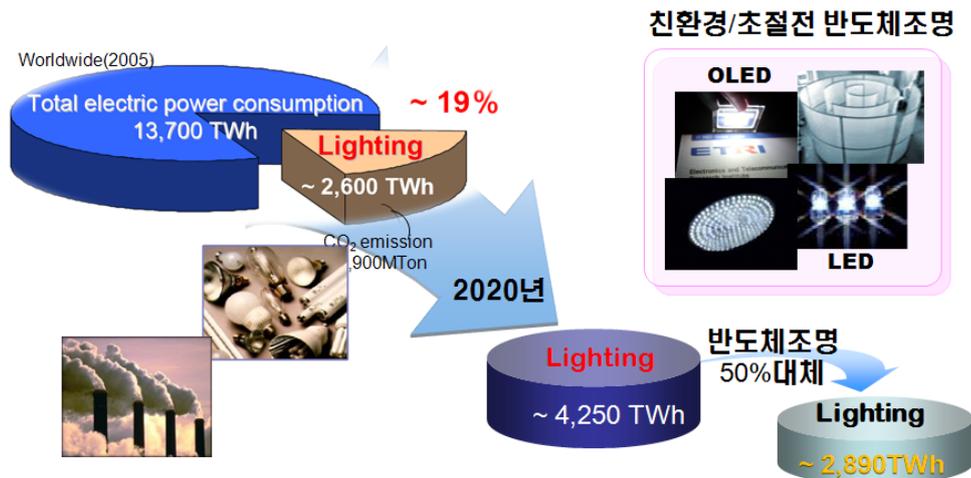
- <그림 60. BE13을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 J-V-L 특성>
- <그림 61. BE15을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 전력효율 특성>
- <그림 62. BE15을 광산란층으로 사용한 OLED 소자의 J-V-L 특성>
- <그림 63. 에폭시 아크릴레이트/TiO₂ 복합체 필름의 투과곡선>
- <그림 64. 폴리아믹산의 합성>
- <그림 65. 폴리아믹산의 IR 스펙트럼>
- <그림 66. 폴리아믹산의 DSC 곡선>
- <그림 67. 폴리아믹산과 titanium (IV) ethoxide를 이용한 유무기 하이브리드의 합성>
- <그림 68. 폴리아믹산 및 폴리아믹산-TiO₂ 유무기하이브리드의 DSC 곡선 >
- <그림 69. Ellipsometer로 측정한 폴리이미드 및 폴리아믹산-TiO₂ 유무기 하이브리드 필름의 굴절율 스펙트럼 >
- <그림 70. 스마트 OLED 조명 개념도>
- <그림 71. 스마트 OLED 조명 구동 장치에 적용가능한 무선 통신 방식>
- <그림 72. 전류구동 드라이버 부분의 schematic 설계 도면>
- <그림 73. 제작한 스마트 OLED 조명 구동장치>
- <그림 74. 블루투스 통신모듈의 schematic 설계 도면>
- <그림 75. 제어 소프트웨어의 설계 구조>
- <그림 76. 스마트 구동부로 구동된 OLED 면광원의 측정결과>
- <그림 77. 스마트 구동부로 구동한 OLED 면광원의 디밍 측정결과>

제 1 장 서론

제 1 절 연구의 필요성

가. 연구개발과제의 중요성

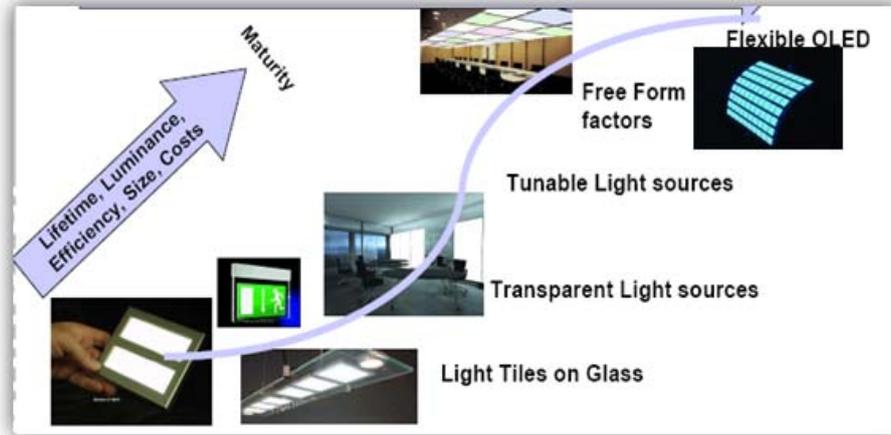
- 전 세계 전력소모의 약 19%에 달하는 조명의 효율을 향상시켜 온실가스의 배출을 억제하기 위하여 차세대 반도체 조명인 OLED 조명 개발을 위한 연구가 다각적으로 이루어지고 있음.



<그림 1. 조명 에너지 소비 절감 예측도>

- 전 세계 조명용 전력소모의 50%가 넘는 백열등 (효율 15 lmW)의 사용 및 판매를 중지시킬 법안이 선진국을 중심으로 준비 중에 있어 이를 대체할 수 있는 우수한 효율의 광원 개발이 요구되며, 백열등에 비하여 7 배의 우수한 효율 특성을 갖는 형광등(CFL 포함)은 수은을 사용하고 있어 RoHS, WEEE 환경규제로 인하여 점진적으로 사용을 줄이고 있는 실정임.

- 우리나라도 2013 년부터 Post Kyoto 기후협약에 가입하게 됨으로서 이산화탄소 발생량을 7%이상 의무적으로 감소시켜야 하므로, 이산화탄소 감축 정책에 선도적인 역할을 위하여 저탄소 녹색 성장 기본법을 제정하고 2020 년까지 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 국가 온실가스 배출량의 30%를 감축하는 것을 중기 감축을 목표로 하고 있음.
- 저탄소 배출 녹색성장 동력원으로 OLED 조명이 주목받고 있으며, 미국 에너지부(DOE)는 OLED 조명 기술이 DOE 로드맵에 따라 성공적으로 개발된다면, 2027 년까지 미국 전체 조명을 OLED 로 대체할 경우에 기존조명(형광등, 백열등 등)을 계속 사용할 때에 비하여 약 348 TWh 의 에너지를 절약할 수 있다는 에너지 절감 시나리오를 발표한 바 있음.
- 이는 OLED 조명이 고효율과 장수명, 저가격의 특성을 확보할 수 있는 가능성이 높아 저탄소배출이라는 사회적 요구에 부합할 수 있는 차세대 기술로 기대되고 있기 때문임.
- OLED 조명은 단기적으로는 유리를 기반으로 하여 타일링한 형태의 조명이 2011 년부터 상용화될 것이며, 중기적으로는 투명 조명/색가변 조명이, 장기적으로 플렉서블 조명이 상용화될 것으로 예상되고 있으며, 현재의 OLED 조명 기술의 개발은 조기 상용화를 위한 고효율화 및 가격경쟁력 확보에 초점이 맞추어져 있음.
- 조명의 발전추이를 보면, 기존의 수동형 조명에서 능동형 조명으로 발전하고 있으며, 이를 위해서는 광출력, 디밍, 색, 색온도의 제어가 가능한 광원의 개발과 선형, 원형의 형태를 탈피한 면광원, 투명광원, 유연광원 등 새로운 형태의 광원 개발과, 센서연동 구동, 무선제어, 콘텐츠를 포함한 IT 융합형 조명 시스템의 개발이 요구됨.



<그림 2. OLED 조명 기술 개발 로드맵>

- 또한, 조명은 그 자체로의 산업뿐만 아니라 건설업, 운송업(자동차, 선박, 항공 등), 농수산업, 가전산업, 의료산업등과의 융합을 통하여 기존 산업을 고부가가치화하거나 신산업이 창출을 위한 동력원으로 부각되고 있음.
- 조명의 발전 트렌드에 부합할 수 있도록 에너지 절감, 친환경과 더불어 인간 친화, IT 컨버전스형 조명에 걸맞게 환경의 광량, 온습도, 실내 환경, 피조광물의 상태, 조광의 목적에 따라 환경을 감지하여 광원의 조도, 색온도, 컬러가 변화하는 인간-환경-빛의 교감하는 정보표시/전달형 교감형 OLED 조명의 개발이 요구됨.
- 이와같은 교감형 OLED 조명(Interactive OLED Lighting)을 구현하기 위해서는 센서와 연동하여 구동이 가능한 OLED 패널과 OLED 기술의 한계를 극복하는 고연색성, 고내열성, 저발열성, 초박형, 내충격성을 갖는 면광원 기술의 개발이 요구됨.
 - OLED 를 구성하는 소재들의 스펙트럼이 LED 광원과 비교하여 넓고(wide) 평탄(flat)하여 모든 색의 광원을 구현할 수 있으며, 연색성이 우수하고 색변환이 용이함.

- 기존 OLED 면광원 기술과 대비하여 고연색성, 고내열성, 저발열성, 초박형, 내충격성 면광원, 광추출 기술과 저가격 센서 연동 면조명의 개념 및 핵심기술이 전혀 없음.
- 전 세계적으로 기술개발이 미약한 상태이므로 선진국과 차별화된 원천 특허를 확보할 수 있어 적기 기술개발이 요구됨.



<그림 3. 교감형 스마트 OLED 조명 개념도>

- o 교감형 OLED 조명 기술은 OLED 광원을 기반으로 하여 센서 기술, 구동 기술 등의 IT 기술과의 융합을 통하여 신개념의 조명을 구현할 수 있게 됨.
 - 1mm 내외의 초박형 OLED 조명의 장점을 활용하여 센서연동 건축, 가구 공간 임베디드 조명
 - 유연, 초경량, 초박형 및 저발열 OLED 조명의 특징과 자유로운 디자인 구현이 가능한 특징을 기반으로 자동차, 선박, 항공기용 조명
 - 생체와 같은 유기소재의 이용하는 진단/치료 기능을 갖는 바이오 유기조명

- 감성조명을 이용한 조명 콘텐츠에 대한 새로운 개념을 정의하고 색상, 모양, 글씨 등의 정보를 지능적으로 제어할 수 있는 디지털 조명 등의 다양한 응용분야 및 신개념의 조명 산업을 창출할 수 있음.
- o 특히, 인구 고령화와 소득 증대를 통해 건강한 삶의 질을 추구함에 따라 헬스케어에 대한 수요는 급격하게 증가하고 있으며, 특수 광원을 이용하여 Photothermal, Photomechanical 효과와 Photodynamic Therapy 기술 등으로 피부의 상처 치유 활성화, 주름 제거, 여드름 치료, 통증 완화, 점막 치료, 미백 등에 활용할 수 있는 새로운 형태의 광 치료 연구가 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있음.
- o 자동차 개발 관점에서 완성차 자체의 성능을 제외하고 빠지지 않는 트렌드가 안정성과 디자인이며, 최근에는 높은 에너지 효율성과 친환경성을 들 수 있다. 다양하고 스타일리쉬한 디자인을 가능케하는 슬림형 OLED 조명이 내/외장 조명으로 활용될 수 있고, 큰 시장이 형성될 것으로 전망됨.
- o 쇼윈도우, 자동차, 박물관, 미술관, 건축물 장식, 광고 등의 응용 분야에 조명이 중요한 요소로 사용되고 있으며 각 응용 분야에 따라 요구되는 조명의 특성이 다르다. 각 분야의 디자인 및 성능 업그레이드를 위하여 얇고 휘어지는 OLED 조명은 중요한 역할을 할 것으로 기대되며 그의 다양한 요구에 최적화된 OLED 면광원의 개발이 요구됨.
- o 전통조명기준으로 전 세계 조명시장의 2% 점유에 그치고 있으나, OLED 조명이 본격적으로 시장에 진입하여 다양한 응용분야를 확보할 경우에 2015 년 540 억원 규모로 형성되어 연평균성장률 41.7%의 고속성장을 통하여 2018년에는 6 조원규모로 발전할 것으로 전망됨.(출처 : 유비산업리서치 2009, DisplaySearch 2009, 야노경제연구소 2009)
- o 2010 년부터 시장이 형성되어 2015 년 3 조 정도의 시장이 형성될 것으로 예측될 정도로 전망이 밝다. 성장 가능성이 무궁무진한 OLED 면조명 시장에서 OLED 광원시장의 동향에 따라 크게 차이를 보일 것으로 전망됨.



<그림 4. OLED 조명 상용화 로드맵>

o OLED 조명은 Back light Unit (BLU), 옥내외 주조명 및 보조조명, signage, 차량용 조명 등에 응용될 수 있는 실용화 기술로 100 조 이상의 시장을 이끌 수 있는 국가성장동력 기술임.

나. 연구개발과제 수행의 제약요인

- o OLED 기술의 한계를 극복하는 고휘도, 고연색성, 고내열성, 저발열성, 초박형, 내충격성 면광원 핵심 기술의 구현을 위한 소재/부품 및 스마트 OLED 광원 기술과 이를 기반으로 하여 IT 기술과 융합한 인간-환경-빛이 교감형 OLED 라이팅(Interactivel Information OLED Lighting) 기술을 개발함.
- o 특히, 고휘도, 고연색성, 고내열성, Color tunable, 적외선 OLED 면광원은 기존에 개발되어진 OLED 디스플레이용 소재로는 구현이 불가능하며 이를 해소하기 위해서는 신개념의 소재 개발이 선행되어야 함.
- o 국내에서는 관련한 선행기술이 전혀 없는 관계로 1 단계에서는 학교를 중심으로 다양한 접근방법을 통하여 소재개발을 추진하며, 2 단계에서는 1 단계에서 확보된 DB 등을 활용하여 소재의 신뢰성확보와 소자의 고효율화로 접근함.

- OLED 면광원이 저발열, 초박형, 내충격 특성을 확보하기 갖는 기존의 유리를 기반으로 하는 OLED 면광원의 부품 및 제조방식을 탈피하여 유연성이 있는 기판에 적용할 수 있는 기술 확보가 요구되나, 현재까지 관련 요소기술의 개발이 전혀 없는 실정임.
- 이와같은 특성을 확보하기 위해서는 고내열 특성을 갖는 플라스틱 소재의 기판이 개발되기 전까지는 금속박막을 기판으로 한 유연 광원 개발을 중점 추진하며, 금속박막 기판을 기반으로 할 때 해결해야 할 난제인 기판의 평탄화, 제조공정 등을 해소할 수 있는 기술 개발에 집중함.
- 교감형 OLED 조명 기술 개발의 구현을 위해서는 OLED 광원을 디지털 제어 기술을 확보하고 센서(환경-, 오감-, 동작센서 등) 기술, 감성인식 기술 등 IT 기술과의 융합을 통하여 빛과 환경, 빛과 감성을 교감하는 조명을 구현함.
- 고효율 OLED 조명 구동 드라이버와 환경/감성 센서를 연동하는 구동 알고리즘을 개발하고 슬림형 센서 연동 구동 장치를 개발하여 초박형 유연 OLED 면광원의 장점과 광특성을 극대화할 수 있는 슬림형의 유연 OLED 조명 등기구 및 슬림형 구동 드라이버를 개발함.
- 광치료 메커니즘과 OLED 조명 광원과의 연관 관계를 규명하고 이를 이용한 치료 알고리즘을 개발하여 OLED 면광원을 이용한 패치형 의료기기를 개발함.
- 초박형, 내충격성 OLED 면광원을 이용한 공간 임베디드 조명, 고내열성, 유연 OLED 면광원을 이용한 자동차용 조명, color tunnable, 적외선, 저발열, OLED 면광원을 이용한 패치형 피부치료 Kit, 센서연동 디지털 구동기술 기반 정보표시형 타일 조명 기술 개발

제 2 절 기술 및 시장현황

1. 세계 기술 현황

국 가	주요 기술 개발 현황	산업체 현황		
		GE	KODAK	UDC
	<ul style="list-style-type: none"> ● DOE project ; - "Next Generation Lighting" - '09 전체투입연구비의 46.8% 투자 - 2012년, 100lm/W, 5OS/kl, 30OS/m² - 2015년, 150lm/W, 10S/klm, 9OS/m² 	<ul style="list-style-type: none"> ● 블렉서블 OLED 광원 개발 중 ● '10 양산 투자 계획 	<ul style="list-style-type: none"> - OLED 소자 원천기술 확보 - LG그룹과 라이선스체결 	<ul style="list-style-type: none"> - PHOLED 원천기술 확보 - 2011년 양산 계획수립
	<ul style="list-style-type: none"> ● OLED100.eu ; - Osram등, 12.5m€/3Y - 2012년, 100lm/W, 5OS/kl, 15OS/m² ● NEMO; 가용성유기소재개발, 32m€/2.5Y ● BMBF project (특) - Lili ; Merck주도, 장비개발 11MS/3Y - Solight : Novaltec, 기술·용역, 14.7m€ 	<ul style="list-style-type: none"> ● Osram ● 세계최초 OLED 조 명시판('07) ● Orbeos광원 시판('09)  	<ul style="list-style-type: none"> ● Philips ● Lumiblade, Tech. kit 시판('09) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Novaltec - OLED 소자/소자 원천기술 확보 - 조명용 소재 개발/생산
	<ul style="list-style-type: none"> ● NEDO project ; - '04-'11년, 43억엔투입 - 2011년, ¥670/kl, ¥10,000/m² ● 최첨단연구개발지원 프로그램 ; - 고효율 조명용 소재/소자 개발 지원 	<ul style="list-style-type: none"> ● Tohoku Devices ● OLED 광원 시판('09) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Konica Minolta ● 양산설비 투자 계획 확정 ('09) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lumiotec ● '11 OLED 광원 양산 계획 

<그림 5. 세계 주요국의 OLED 기술 개발 현황>

[미국]

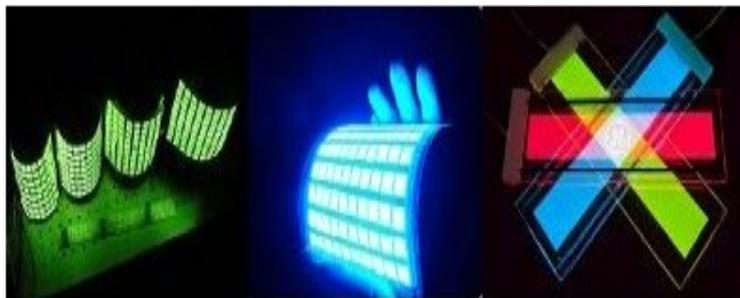
- 1999년부터 2020년까지 DOE (Department of Energy)의 지원으로 미국 전체 에너지의 20%를 소비하고 있는 조명용 에너지의 절약을 위해 진공조명을 고체 조명으로 대체하기 위한 “Next generation lighting” 프로젝트가 수행중임
- DOE 프로젝트는 최근 3년 동안 74.9억불 규모의 연구비로 51개의 프로젝트가 수행되었으며, 이중 OLED 분야는 25개의 프로젝트에 전체 연구비의 49.2%인 36.9억불이 투입되었음

<표 1. 미국 DOE 프로젝트의 광원 기술 로드맵>

Metric	2007	2009	2012	2015
Efficacy- Lab (lm/W)	44	76	150	150
Efficacy- Commercial (lm/W)	N/A	34	76	150
OEM Device Price- (\$/klm)	N/A	72	27	10
OEM Device Price- (\$/m ²)	N/A	216	80	30
Device Life- Commercial Product (1000 hours)	N/A	11	25	40

출처: technical committee, Fall 2008

- DOE 프로젝트의 OLED 조명 기술 개발은 2015년까지 100 lm/W의 효율, 10 \$/klm 가격을 목표로 Philips, GE, OSRAM Opto Semiconductors, Universal Display Co., Dow Corning Co.,와 Princeton Univ. 등의 산·학·연이 참여하여 2009년 1월 현재 25개의 프로젝트가 진행 중에 있음
- Universal Display Co.는 인광소재 및 이를 이용한 백색 OLED 개발을 수행하고 있으며, 2008년 외광효율향상법을 이용하여 1000 nit에서 102 lm/W 효율 특성을 발표함
- GE는 2007년 Konica Minolta와 파트너십을 맺으며 3년 내에 제품을 출시하는 것을 목표로 연구 개발중이며, 2008년 세계 최초로 Roll-to-Roll 제조공법을 적용한 OLED 조명 제작을 시현하여 저가형 OLED 조명의 가능성을 제시함



<그림 6. GE의 플렉서블 조명 시제품>

- Dupont 는 2009 년 7 월부터 DOE 로부터 26 백만 불의 자금을 받아 14 개의 프로젝트를 진행 중이며, 용액공정용 저분자 OLED 재료개발과 함께 저가 OLED 용액공정 기술 개발을 목표로 하고 있음
- Kodak 은 2009 년 5 월부터 2년 동안 OLED 조명 패널을 위한 기술 및 공정의 개발을 목표로 1.7 백만 불의 자금을 받아서, 15cm×15cm OLED 패널에서 50lm/W 이상의 효율과 20,000 시간 이상의 수명 시간을 프로젝트를 진행 중

[유럽]

- OLLA (Organic Light emitting diodes of ICT & Lighting Applications)프로젝트는 2004 년 10 월에서 2008 년 8 월까지 15 × 15 cm², 50 lm/W, 70 CRI, 10,000 시간 수명의 백색 OLED 면조명 개발을 목표로 Philips, Seimens, Osram-OS, Novaled, Merck 등 24 개 업체와 학교가 참여하여 성공적으로 수행을 완료함
- OLLA 프로젝트의 후속 프로젝트로 OLED100.eu 프로젝트가 2008 년 9 월부터 3 년간 100 lm/W, 1 m X 1 m, < 100 euro/m² 를 목표로 30 M\$ 연구비를 투입하고 있음
- 독일 교육연구부(BMBF) 프로젝트인 OPAL(Organic Phosphorescent diodes for Applicaions on the Lighting market)은 Osram, Philips, Aixtron AG, Seimens CT, Applied Materials 등을 중심으로 고효율의 OLED 광원을 수 cents/cm² 가격으로 생산할 수 있는 기술 개발을 목표로 추진되고 있음
- OPAL 의 2008 년도 목표는 고효율 백색 OLED 를 수 € cents/cm² 가격으로 생산할 수 있는 생산 기술 개발이며, OSRAM-OS 는 OPAL 2008 의 일환으로 투명하며 1,000 cd/m² 밝기에서 20 lm/W 이상의 발광 효율을 갖는 프로그 타입의 백색 OLED 조명을 시연함
- ROLLED 프로젝트는 2004 년부터 2008 년까지 Roll-to-Roll 기술로 저가격의 OLED 개발을 목표로 VTT, CSEM, INM, UPM, Hansaprint, Ciba, PolyIC 사 참여함

- ComboLED 프로젝트는 Osram, Siemens 등 4 개국 7 개 기관에 의해 3 년간 수행되며 저가격의 OLED Lighting 을 목표로 2008 년 1 월부터 진행중임
- Fast2light 프로젝트는 2008 년부터 2011 년까지 Philips, OTB, IMEC 등 15 개 기관이 참여하여 지능형 PLED 조명을 위한 저가격, roll-to-roll, 대면적 공정 기술 개발을 목표로 함
- Aeviom 프로젝트는 2008 년부터 2011 년까지 Philips, IAPP 등 10 개 기관이 참여하여 2 세대급 OLED 조명용의 100 lm/W 소자구조 개발을 목표로 함
- OLED 조명용 저분자 재료에 집중하여 OLED 조명 개발을 진행 중인 Philips 는 틈새시장 진입을 목표로 2009년 OLED 조명 양산을 계획 진행 중임
- 영국은 정부의 지원하에 TOPLESS(Thin Organic Polymer Light Emitting Semi-conductor Surfaces) 프로젝트가 2008 년부터 2010 년까지 £3.3M 의 연구비가 투입되어 수행되고 있으며, Thorn Lighting 조명회사를 중심으로 Sumation, Durham 대학 등이 참여하여 polymer 소재 기반으로 하여 20 lm/W 의 백색 OLED 개발을 목표로 함
- 오스람은 세계적인 조명 디자이너인 인고마우러(Ingomaurer)와 함께 다양한 디자인으로 OLED 조명의 부가가치를 높이려는 노력을 해 왔으며, 2009 년 하반기부터 'Orbeos' 브랜드로 광원 판매를 시작함.



<그림 7. 오스람과 인고마우러가 발표한 OLED 조명>

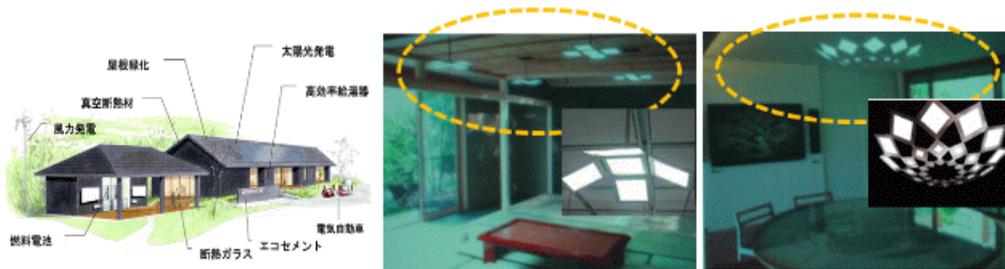
- 필립스는 2009년 8월부터 'Lumiblade' 라는 브랜드의 OLED 조명용 광원 판매를 시작했으며, 세계 최초로 교감형(Interactive) OLED 조명을 시연한 바 있음.



<그림 8. 필립스의 OLED 조명>

[일본]

- 산업기술총합개발기구 (NEDO)/산업기술 진흥기구 주관으로 2004년 4월 ~ 2011년 3월까지 43억엔의 연구비를 투입하여 BLU 및 일반조명 개발을 목표로 미쯔비시중공업과 IMES 등의 OLED 조명 관련 업체들이 참여함
- NEDO는 2008년 G8 정상회담에서 'Zero emission house'를 공개했으며, 저탄소배출형 조명으로 OLED 조명을 시연함으로써 정부차원의 OLED 조명 기술개발 지원을 표방한 바 있음
- Yamagata 대학과 IMES 사가 공동으로 조명용 고휘도 백색 OLED를 MPE (Multi-Photon Emission) 구조로 개발하여 2005년 국제조명박람회에서 $28 \times 28 \text{ cm}^2$, $6 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ 백색 OLED 면조명을 시연함
- Yamagata 대학의 Kido 교수팀은 조명용 인광 OLED 발광재료로 133 lm/W 효율의 Green OLED와 53 lm/W White OLED를 개발함
- Tohoku Devices에서는 LCD용 백라이트 유닛으로 저분자 인광소자를 이용한 장수명 백색 OLED 소자를 개발하였음 ($1,000 \text{ cd/m}^2$, $10,000 \text{ hr}$)



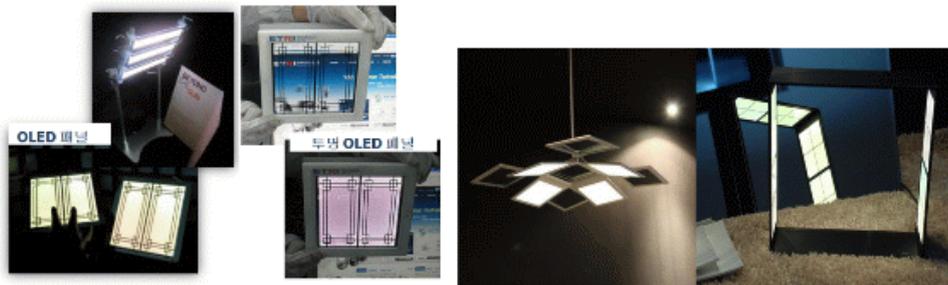
<그림 9. 일본 Zero emission house 내의 OLED 조명>

- Matsusida 사에서는 OLED 면조명을 개발하고 있으며, 71 lm/W 의 고효율 조명을 2005 년 국제조명박람회에서 시연함
- Matsusida 중공업, ROHM, Toppan printing, Mitsui & Co. 사가 합작 설립한 Lumiotec 사는 MPE 구조와 형광소재를 사용한 14 x 14 cm² 크기, 5000 nit 밝기, 20 lm/W 전력소비를 지닌 조명용 OLED 패널을 2009 년부터 양산할 계획을 발표함

2. 국내 기술현황

- 국내에서는 세계 제 1 위의 OLED 디스플레이 산업 환경에도 불구하고 조명 응용을 위한 기술 개발은 선진국에 비하여 약 5년 이상 늦게 시작됨.
- 2006년 11월에 국내에서는 처음으로 지식경제부의 지원하여 2012년 10월까지 100 lm/W 백색 광원을 개발하는 것을 목표로 OLED 를 이용한 면광원 기술 개발 과제가 시작됨.
 - 한국생산기술연구원의 주관으로 16 개 산학연이 참여함.
 - 2009 년 현재, 1 단계의 연구결과로 150 x 150 mm² 의 대면적 광원(생산기술연구원)과 50 lm/W 이상의 백색 광원(한국전자통신연구원) 특성을 보고함.

- 한국전자통신연구원은 2001 년 정보통신부 지원하에 ‘ Flexible 디스플레이’ 사업에 참여하여 백색 OLED에 대한 연구를 수행한 이래로 OLED 조명용 백색 광원에 대한 주요 핵심기술 및 인력, 인프라를 확보하고 있음.
 - 2001 년 2 월 ~ 2007 년 1 월 ; ‘ Flexible 디스플레이’ 과제중 백색 OLED 기술 및 플렉서블 OLED 기술 개발함.
 - 2006 년 11 월 ~ 현재 ; ‘ OLED 기술을 이용한 면광원 기술 개발’ 과제중 고효율 백색 OLED 기술 개발에 참여하여 70lm/W 이상의 효율 특성을 보고함. (국내 최고 특성)
 - 2009 년 3 월 ~ 현재 ; ‘ 환경/감성형 OLED 면조명 기술’ 과제를 주관하며, 고효율 투명 백색 OLED 및 색가변 OLED 조명 기술을 수행하고 있으며 20 lm/W 급의 효율 특성으로 보고함 (세계최고특성)



<그림 10. ETRI 에서 개발된 조명용 OLED 패널 및 조명>

- 조명용 OLED 패널 양산을 추진하고 있는 업체로는 국내의 LG 화학, 삼성 SMD, 네오뷰코오롱, 금호전기 등이 있다. 특히 LG 화학은 2012 년 양산을 목표로 OLED 조명 사업을 준비 중이라고 발표한 바 있다.

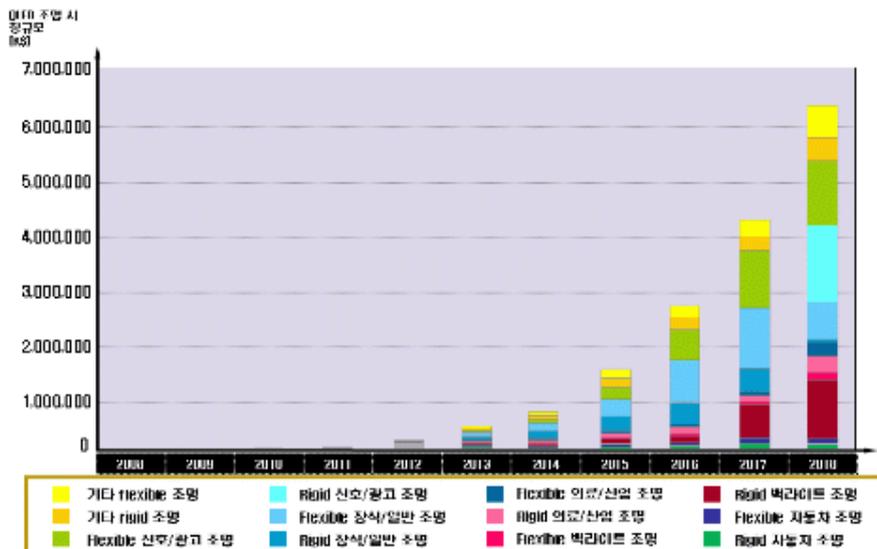


<그림 11. 삼성 SMD(좌)와 LG 화학(우)의 조명 패널 시제품>

- 국내 OLED 디스플레이 인프라를 이용하여 산학연 협력하에 조기 상용화를 위한 기술개발에 매진하고 있으나, 핵심요소기술은 선진국에 비하여 부족한 실정임.
- LED 조명을 이용한 센서 연동 스마트 조명에 대한 연구는 최근 기획 단계에 있으며 OLED 면조명을 이용한 센서 연동 교감형 조명에 대해서는 아직 본격적으로 연구개발이 이루어지고 있지 않음.
- OLED 를 이용한 치료용 광원을 연구한 예는 없음.
- 아직 OLED 조명을 자동차 조명으로 응용하기 위한 연구는 없음.

3. 시장 현황

- OLED 조명이 본격적으로 시장에 진입하여 기존의 조명인 할로젠등, 백열등, 형광등을 대체하는 대체시장뿐만 아니라 OLED 조명의 장점을 이용한 자동차, 의료, 장식, 광고, 신호, 백라이트 조명 등 다양한 분야에 응용될 것으로 예측됨.



출처 : DisplaySearch 2009

<그림 12. OLED 조명 응용분야 및 시장 예측>

- OLED 조명 산업의 활성화로 본 과제의 종료후 1년이 경과한 2016년에는 1조 5천억원의 수입 대체 효과와 2조 6천억원의 수출이 예상되며, 4만개의 일자리 창출 효과가 예측되므로 국가 핵심기반 산업으로 자리매김할 것으로 기대됨.
- 전 세계조명시장에서 약 2% 시장점유율을 하고 있는 현황을 고려할 때에 OLED 조명의 본격적인 상용화가 이루어질 경우 2020년 전 세계 OLED 조명시장의 30%를 점유할 것으로 예상되므로 우리나라 조명산업의 선진화에 기여할 수 있을 것으로 기대됨.

제 2 장 연구개발 목표 및 수행방법

제 1 절 연구목표 및 과제내용

1. 연구목표

가. 최종목표

구 분	내 용
최종목표	교감형 스마트 OLED 광원 핵심기술 개발
세부목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트 OLED 광원 핵심 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 유연광원용 소재/부품 (유연기판 평탄도 < 2 nm, 광추출효율 > 90 %) - 유연 면광원 (두께 < 1mm, 효율 > 50 lm/W @ 3000 nit & 3000 K) ○ 교감형 OLED 조명(Interactive lighting) 응용 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 교감형 공간 임베디드/정보표시 스마트 조명 시스템 (유연 광원, 센서연동)

2. 당해년도 연구개발 목표 및 내용

구 분	목 표	내 용
2 차년도 (2012)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트 OLED 광원 핵심 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 유연광원용 소재/부품 (유연기판 평탄도 < 8 nm, 광추출효율 > 40 %) - 유연 면광원 (두께 < 1mm, 효율 > 25 lm/W, @ 3000 nit & 3000 K) ○ 교감형 OLED 조명(Interactive lighting) 응용 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 교감형 정보표시 스마트 조명 시스템 (4 bit dimming, 센서연동) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유연 내부 평탄층 필름 코팅 기술 ○ 유연 광추출 시뮬레이션 최적화 기술 ○ 유연 광추출 구조 제작 기술 ○ 저온공정 전극 코팅 기술 ○ 저온공정 절연소재 코팅 기술 ○ 유연기판 고효율 백색 OLED 기술 ○ 필름 봉지 공정 최적화 기술 ○ 슬림형 패널 프레임 및 접속 단자 최적화 기술 ○ 환경 센서연동 정보표시 조명 구동/제어 기술

제 2 절 과제수행방법 및 기대효과

1. 과제수행방법

- 교감형 스마트 OLED 광원 핵심 기술 개발은 소재기반의 후방산업부터 조명시스템 및 응용의 전방산업까지 산업 가치사슬에 따라 전주기적으로 통합 연계 추진함으로써 기술개발의 단계에 수요기업의 니즈(Needs)가 적극 반영할 수 있도록 함.
- OLED 광원 핵심 기술을 보유하고 있는 신소자소재연구부의 OLED 조명 연구팀을 중심으로 스마트 OLED 광원 핵심 기술 개발을 추진하면서, 부문내 소자/패널기술, 광학설계 및 공정기술 등의 필요기술을 보유한 부서와 협력을 통하여 효율적으로 과제를 수행함.
- 교감형 조명시스템 기술 개발에 필요한 요구사항을 반영한 광원 핵심기술을 개발할 수 있도록 관련 부서 및 전문가의 자문을 적극적으로 활용함.
- 또한, IT 의료, IT 자동차, IT 조선, IT 건설 등과의 융합을 통한 신산업 창출을 위하여 관련 산업 전문가들의 자문을 적극적으로 활용함.
- 산학연 전문가로 구성된 OLED 조명 융합신기술 자문단을 구성하여 기술로드맵과 산업체의 Needs 를 반영한 기술 개발을 추진함.



<그림 13. 추진체계도>

- 교감형 스마트 OLED 광원 핵심 기술 개발은 소재기반의 후방산업부터 조명시스템 및 응용의 전방산업까지 산업 가치사슬에 따라 전주기적으로 통합 연계 추진함으로써 기술개발의 단계에 수요기업의 니즈(Needs)가 적극 반영할 수 있도록 함.
- OLED 면광원이 초박형, 내충격 특성을 확보하기 갖는 기존의 유리를 기반으로 하는 OLED 면광원의 부품 및 제조방식을 탈피하여 유연성이 있는 기판에 적용할 수 있는 기술 확보가 요구되나, 현재까지 관련 요소기술의 개발이 초보적인 개발 수준임.
 - 이와 같은 특성을 확보하기 위해서는 고내열 고내투습 특성을 갖는 플라스틱 소재의 기판이 개발이 요구되는바, 관련 국가 과제와의 협력을 통하여 기판을 확보하는 한편, 해외에서 개발 중인 기판의 사용도 적극적으로 검토함.
 - 기판 이후의 전극 공정 및 이를 위한 패터닝 공정에 필요한 소재 및 공정 개발에 집중하여 소재/공정 핵심 기술 확보에 집중함.
 - OLED 제조 공정은 기 확보된 진공공정을 기반으로 수행하는데, 유연 기판의 이송과 저온 공정 OLED 제조 기술을 개발함.
- 교감형 OLED 조명 기술 개발의 구현을 위해서는 OLED 광원의 디지털 제어 기술, 센서(환경-, 오감-, 동작센서 등) 기술, 감성인식 기술 등 IT 기술과의 융합을 통하여 빛과 환경, 빛과 감성을 교감하는 조명을 구현하는 것으로서, 본 과제에서는 구동 관련 핵심 기술에 집중함.
 - 고효율 OLED 조명 구동 드라이버와 환경 센서를 연동하는 구동 알고리즘을 개발하고 슬림형 센서 연동 구동 장치를 개발하여 초박형 유연 OLED 면광원의 장점과 광특성을 극대화할 수 있는 슬림형의 유연 OLED 조명 등기구 및 슬림형 구동 드라이버를 개발함.
- 초박형, 내충격성 OLED 면광원을 이용한 공간 임베디드 조명, 센서연동 디지털 구동기술 기반 정보표시형 타일 조명 기술을 개발

2. 기대성과

가) 기술적 측면

- OLED 조명은 고효율화의 잠재성이 높은 기술로 2020 년에 기존 조명(백열등, 형광등 등)의 50%를 대체할 경우에 2005 년 대비 약 28%의 에너지 절감 및 6%이상의 탄소배출억제 효과가 기대됨.

<표 2. OLED 조명과 기존 조명의 성능 비교>

Technology	OLED 조명			백열등	형광등	LED (2020 년 기준)
	2007 년	2012 년	2020 년			
Luminous Efficacy(lm/W)	50	150	200	16	85	200
Life time(Khr)	5	10	20	1	10	>100
Flux(lm/lamp)	3,000	6,000	12,000	1,200	3,400	1,500
Input Power(W/lamp)	60	40	60	75	40	7.5
Lumens Cost(\$/klm)	100	<5	<1	0.4	1.5	<2
Lighting Market Penetrated		백열등	모든 시장			

- 인간-환경-빛 교감형 OLED 디지털 조명은 전 세계적으로 연구 발아기이므로 원천기술 확보가 가능하며 선진국과의 기술 격차를 해소하거나 기술 우위 점유할 수 있는 핵심기술임.

- 특히, OLED 디스플레이 기술을 기반으로 한 신수종 기술로 OLED 디스플레이 양산 기술을 확보하고 있는 산업체가 참여하여 기술 개발을 할 경우에 적기 기술 확보 및 세계적으로 양산 기술을 선점할 수 있음.
- 교감형 OLED 디지털 면조명을 위한 고휘도, 유연, 초박형, 내충격 OLED 광원 핵심 요소기술들이 확보되면 혁신적 디자인을 채용한 인텔리전트 녹색 빌딩, 가구일체형 조명, 자동차 조명, 정보전달 기능창 등에 활용이 가능함.
- 고휘도 고연색성 면광원 및 적외선 등의 의료용 특수 파장 OLED 면광원은 세계적으로도 거의 연구가 이루어지지 않은 새로운 분야로 원천기술을 확보할 수 있음.
- 광원을 기반으로 한 치료용 범용 모듈 개발을 통해 동종의 다양한 의료기기에 적용이 가능한 원천기술을 확보함으로써, U-Health 시장의 도래에 맞추어 의료산업분야에서 우수한 경쟁력을 보유하고 기술 이전 및 상용화를 통해 새로운 시장 개척이 가능함.
- 현재 기술 개발되고 있는 BioShirts 와 연계한 생체정보 능동 구동형 역동성 광치료기, 생체 진단을 위한 Lab. on a chip 용 광원, 통증 치료 등을 위한 patch 형 flexible 광원, 피부 주름 개선을 위한 미용/치료 용 저준위 광원 등을 활용한 의료기기용 모듈 시장 창출할 수 있음.
- 병원용 의료장비의 국산화 및 고도화로 해외 기술 위주의 광 치료기기를 광원 기반의 원천기술 확보를 통한 광 치료기기로 대체함으로써 가격경쟁력 강화 및 성능 향상으로 광 치료기기 분야의 새로운 시장을 선점할 수 있을 것으로 기대됨.
- 가정용 handpiece 형태의 광 치료기기 출시를 통한 새로운 시장 창출 및 관련 기술을 이용하여 치료기기 이외에도 치료보조기기 등 다양한 신제품 개발에 활용됨.
- 현재의 조명은 단순히 어둠을 밝히는 기능을 넘어서 특정 대상물을 돋보이게 만들어 주거나 외관을 수려하게 주는 등 인간친화적인 기능으로 발전하고 있다. 이것이 바로 LED 와 OLED 이며, 조명과 손을 맞잡으며 미래의 빛의 혁명을 주도하게 될 것임.

- OLED 조명시장은 Flexible 신호·광고조명과 Flexible 장식·일반조명, Rigid 신호·광고조명과 Rigid 백라이트 조명, 의료·산업용 조명, 자동차 조명 등에서 가파른 성장세를 보일 것으로 전망. OLED 의 경우 자동차 조명, 경관조명 등을 중심으로 상당한 시장창출이 가능할 것임.
- OLED 조명 시장이 여러 가지 장점을 각광 받으면서 2014 년경에 이르면 PMOLED 디스플레이 매출을 앞설 것으로 보임. OLED 조명 기술의 도전 과제였던 수명과 발광성, 원가 등은 빠른 속도로 개선되고 있는 추세임.

나) 경제 산업적 측면

- 세계 조명시장은 2008년 기준 약 1,130억불 규모로 연5.4%씩 지속 성장 중이며, 현재 세계 조명시장은 GE, OSRAM, Philips 등 빅 3가 점유율 50%이상을 차지함.
- 국내 조명시장 규모는 수출 27 위, 수입 29 위로서 전 세계시장 규모의 2.3%를 차지하며, 등기구분야의 경우 수출 27 위, 수입 25 위 규모로 국가 경쟁력이 취약함 (근거 : LG 전자(주)/한국조명기술연구소)
- 국내 조명시장은 수출 49 M\$, 수입 106 M\$로서 무역 역조가 2 배이며, 수출의 경우 멕시코, 폴란드, 태국, 싱가포르 등 후발 주자 등에 비해 낮은 순위로 조사됨 (근거 : 세계무역통계자료 2005.01)

<표 3. 조명 산업 분야의 국가 경제적 비중>

(단위 : 천불, %)

구 분	2002 년	2003 년	2004 년	2005 년	2006 년	비고	
수출	해당산업	225,271	291,878	472,971	605,315	847,441	
	총수출*	162,470,528	193,817,443	253,844,672	284,418,743	282,599,292	
	비중	0.14 %	0.15 %	0.19 %	0.21 %	0.30 %	
생산	해당산업	1,762,330	1,888,765	2,000,687	2,130,732	2,269,228	
	총생산**	642,748,100	662,654,800	693,424,000	699,875,200	-	

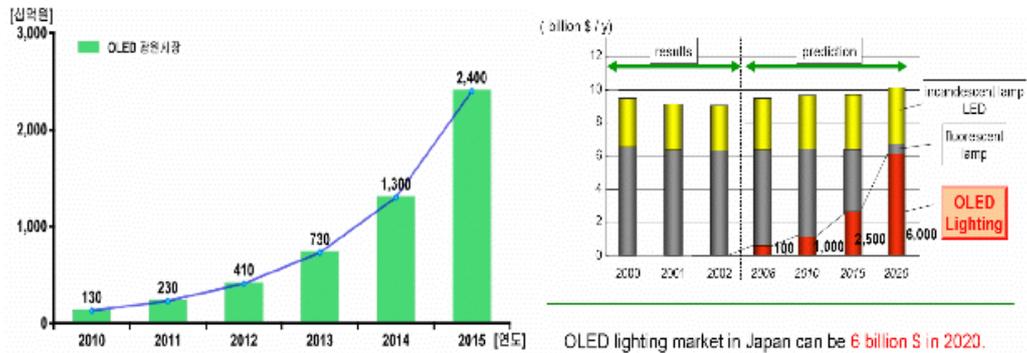
	비중	0.27 %	0.29 %	0.29 %	0.30 %	-	
고용	해당산업	25,788	27,227	25,775	27,064	28,417	
	총종업원	14,326,666	15,126,111	15,161,764	15,035,555	14,956,316	
	비중	0.18 %	0.18 %	0.17 %	0.18 %	0.19 %	

* 2006 년은 1~2 月 실적치를 근거로 한 추정치임 (환율 : \$1=1000 원)

** 경제 활성별 국내총생산 I (2000 년 불변가격)의 기준

근거 : 산업자원부 ‘고용노동현황’, 한국무역협회 ‘년도별 수출입 동향’, 한국은행 ‘국민계정’

- o OLED 조명시장은 2009 년부터 시장을 형성하여 RoHS 가 발효되는 2006 년경 본격 시장을 형성할 것으로 예상되며 2010 년 4 천억원, 2020 년 1 조 5 천억원 시장 규모가 예상됨 (근거 : IDTechEx)



※ 근거 : 유비산업리서치 2008, IDTechEx 2006

<그림 14. OLED 조명의 시장전망>

- o OLED 디스플레이 산업의 가치사슬과 동일한 산업구조를 갖는 특징으로 인하여 세계 1 위 경쟁력을 지닌 디스플레이 산업의 기술력 및 인프라를 이용함으로써 막대한 투자비 절감 효과가 기대됨.

- 고휘도 고연색성 저전력 OLED 조명 기구를 지능형 스마트 녹색 빌딩과 융합함으로써 새로운 건축 디자인 및 저탄소 녹색성장 효과가 기대됨.
- 초박형 유연 OLED 조명 기구를 건축 인테리어, 가구, 디지털 가전, 의료 (라이팅테라피) 및 실버산업, 자동차 산업과 융합함으로써 고부가가치 창출 효과가 기대됨.
- 차세대 조명 기구의 한 축인 반도체 LED 조명 산업의 기존 인프라를 일부 공유함으로써 공동 성장할 수 있는 계기를 마련하며 수입 의존도가 높은 국내 조명시장의 국산화 및 국가 경쟁력 확보 가능함.
- OLED 면광원 기술과 IT 기반의 휴면/환경 센서 기술을 접목함으로써 국내 IT 산업은 물론 건축, 산업 디자인 기반의 융합/응용기술로 신규 시장 창출 가능함.
- 광원 기반 피부진단 및 치료기술은 자체 기술의 가치뿐만 아니라 타산업과의 융합화를 통해 고부가가치의 기기, 산업, 서비스가 가능한 기술로서, 의료산업의 시장 규모 확대와 융합 신시장 형성을 통해 기술개발에 따른 기술적, 산업적 파급효과는 산업전반에 영향을 미칠 것으로 예상됨.
- 유연 고휘도 고연색성 면광원을 비롯하여 조명-IT 융합 분야의 원천 기술 확보를 통하여 선진국 및 개발도상국과의 특허권 협상에서 유리한 위치를 확보할 수 있으며 특허권에 의한 순이익 창출도 가능함.

다) 사회적 측면

- 인간-환경-빛 교감형 OLED 디지털 면조명은 고효율/장수명/에너지 절감형 친환경/인간 친화적 well-being 조명으로 백열등, 형광등으로 대표되는 기존 조명 산업의 패러다임의 변화를 선도할 것으로 기대됨.
- 대면적 면광원, 디자인 자유도, 박형화 및 경량화가 가능하여 효과적인 공간 활용의 장점으로 인하여 참신한 디자인으로 기존 조명시장을 잠식하고, 신규 기능성 조명 시장도 창출할 수 있을 것으로 예상됨.

- 광, 온습도 등 환경 및 인간의 신체 상태에 따라 조명의 휘도/색온도를 제어할 수 있도록 하여 인간-환경-빛 교감형 OLED 디지털 면조명에 응용함으로써 조명의 발달과 더불어 문제점으로 대두되는 조명공해로부터 자유로울 수 있을 것으로 기대됨.
- 신기술/신제품의 미래 산업 창출이 가능하며, NT, IT, ET, CT 가 융합된 기술로서 정부의 선행 투자에 따른 국가 기간산업으로의 발전이 기대됨.
- 기존 조명용 전기에너지를 발생시키는데 필요한 화석 연료 뿐만 아니라 LED 또는 할로겐 조명의 단점인 고열 발생으로 인한 냉방부하 감소로 수억톤의 이산화탄소의 배출량을 저감시킴으로 RoHS, WEEE 등의 환경 규제 기준을 충족하여 모범적인 저탄소 녹색 성장 국가를 지향함.
- 세계 조명 시장의 빅 3 인 GE, OSRAM, Philips 가 주도하고 있는 조명 시장을 신개념 조명 기구인 환경, 감성형 OLED 조명을 이용하여 선점함으로써 선진기술국으로서의 국가 이미지 제고가 가능함.
- 헬스케어의 일반화라는 시대적 흐름에 발맞추어 활용성이 높은 의료분야의 원천기술 확보가 필요하며, 본 제안에서 제시하고 있는 광원 기반 진단/치료기기 개발 기술 및 시뮬레이터 시스템 기술 등은 의료 산업에서 그 응용 범위가 상당할 것으로 예상됨.
- 유연 초박형 면조명의 조기 개발은 디자인 산업에도 큰 영향을 미쳐 우리나라가 뒤쳐진 디자인 산업의 위상을 선도적 위치로 끌어 올릴 수 있는 기회를 줄 것으로 기대됨.

라) 상용화 전략

- 기술의 응용분야 및 활용방법
 - 실내 간접조명 및 주조명
 - 건축용 공간 임베디드 조명
 - 차량용 유연 조명
 - 에너지절감형 인텔리전트 조명

- 휴먼인터페이스 다기능 조명 시스템
 - 패치형 진단/치료용 조명
 - 감성기반 조명 인테리어 콘텐츠
 - 쇼윈도우 디스플레이 조명
 - 갤러리 회화작품 및 조형물 일체형 조명
- 적용상의 애로점과 극복(개선) 방안
- 신뢰성 확보에 어려움이 예상되며 극한 환경에서의 활용을 위한 기판, 봉지 기술 개발이 요구됨.
 - 관련기술에 대하여 정부지원하의 개발이 추진되고 있으므로 중복투자의 배제하고 타 과제와의 유기적인 협력을 통하여 에서 수행되고 있는 요소기술과의 접목을 통하여 해결하고자 함.
- 제품/서비스의 예상 수요자(층)
- 일반수요자
 - 조명용 부품소재, 패널, 등기구 산업체
 - 건설회사, 인테리어/가구 제조회사
 - 가전기기 제조회사
 - 자동차 제조회사
 - 의료기기 제조회사
 - 병원(비부과, 성형외과, 일반외과, 한의원)

제 3 장 연구 결과

제 1 절 연구개발 추진일정

연구내용	연도		비고
	1 차년도		
	상반기	하반기	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트 OLED 광원 핵심 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 유연광원용 소재/부품 ○ 평탄층개발 ○ 광추출층 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 유연 면광원 ○ 플라스틱 기판상 백색 OLED 			
<ul style="list-style-type: none"> ○ 교감형 OLED 조명 시스템 응용 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 정보표시 스마트 조명 시스템 - 무선전력 전송 기술 			
<p><u>주요 마일스톤 완성점에서의 수행결과물</u></p>			

제 2 절 연구개발 계획대비 실적

1. 연구목표 계획 대비 실적

주요 연구결과(계획)	주요 연구결과(실적)
<p>o 스마트 OLED 광원 핵심 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 유연광원용 소재/부품 (유연기관 평탄도 < 8 nm, 광추출효율 > 40 %) - 유연 면광원 (두께 < 1mm, 효율 > 25 lm/W) <p>o 교감형 OLED 조명(Interactive lighting) 응용 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 정보표시 스마트 조명 시스템 (4 bit dimming, 센서연동) <ul style="list-style-type: none"> -특허출원 6 건 -SCI 논문 2 건 -표준기고서 1 건 -중소기업애로기술지원 2 건 -기술이전 0.5 억/1 건 	

2. 연구내용 계획 대비 실적

주요 연구결과(계획)	주요 연구결과(실적)

제 3 절 주요연구결과

1. 스마트 OLED 광원 핵심기술

1. 1 유연 광추출 시뮬레이션 기술

가. 서론

나. 실험

다. 결과

라. 결론

1.2 유연 광추출층 기술

가. 서론

나. 실험

다. 결과

라. 결론

1.3 저온공정용 전극 기술

가. 서론

나. 실험

다. 결과

라. 결론

1.4 유연기판 백색 OLED 기술

가. 서론

나. 실험

다. 결과

라. 결론

1.4 유연 OLED 면광원 기술

가. 서론

나. 실험

다. 결과

라. 결론

2. 교감형 교감형 조명 시스템 응용

가. 서론

나. 실험

다. 결과

라. 결론

제 4 절 주요 연구 성과

○ 지적재산권

구 분	제 목	국 명	출원/등록번호	출원/등록일	비고
국내					
국제					

○ 논문

구 분	제 목	게재지	연도, 호	비고
국제논문 (SCI)				
국내논문				
국제발표				
국제발표				
국내발표				
국내발표				
국내발표				

○ 시제품

구 분	제 목	주 요 내 용	비 고
H/W			
H/W			

○ 전시홍보

- 한국전자전 (KINTEX,)

제 4 장 결론 및 연구결과의 활용계획

제 1 절 결론

-
-
-
-
-
-
-
-

제 2 절 활용계획

- OLED 조명은 고효율화의 잠재성이 높은 기술로 2020 년에 기존 조명(백열등, 형광등 등)의 50%를 대체할 경우에 2005 년 대비 약 28%의 에너지 절감 및 6%이상의 탄소배출 억제 효과가 기대됨.
- OLED 조명이 본격적으로 시장에 진입하여 기존의 조명인 할로겐등, 백열등, 형광등을 대체하는 대체시장뿐만 아니라 OLED 조명의 장점을 이용한 자동차, 의료, 장식, 광고, 신호, 백라이트 조명 등 다양한 분야에 응용될 것으로 예측됨.
- OLED 조명 산업의 활성화로 본 과제의 종료후 1년이 경과한 2016년에는 1조 5천억원의 수입 대체 효과와 2조 6천억원의 수출이 예상되며, 4만개의 일자리 창출 효과가 예측되므로 국가 핵심기반 산업으로 자리매김할 것으로 기대됨.
- 교감형 스마트 OLED 광원 핵심 기술 개발을 위해서 구축된 인프라를 통해서 국내 관련 소재 및 부품 기업의 시제품 또는 제품의 성능을 검증하는 도구로 활용할 수 있음.
- 개발 된 유연 면광원 기술은 OLED 면광원 생산을 목적으로 하는 기업으로 이전하여 면광원 생산에 활용될 수 있도록 함.
- 또한, 교감형 스마트 조명 시스템의 구현 및 응용분야 창출을 통하여 유연 OLED 면광원의 수요처를 발굴하고, 이를 통하여 면광원 생산 투자를 유발하는 선순환 고리를 유도함.

주 의

1. 이 연구보고서는 한국전자통신연구원의 기초연구과제로 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 한국전자통신연구원에서 수행한 내부연구결과임을 밝혀야 합니다.