

동굴관리를 위한 친환경 쏘라-셀 전원장치와 면광원 전자발광테이프 동굴조명

소대화*, 한상엽(외3)*, 김병상**, 김정희***, 변태근****
*명지대학교, ** (주)라이트가드, ***한국과총연합회, ****한국동굴학회

I. 서론 (Introduction)

우리 사회를 밝게 비춰주는 조명장치나 기구들은 여러 가지 방식과 기술들이 있다. 어린 시절 책상 앞에 앉아 책과 씨름을 하고 있던 때를 생각해 보면, 시골생활에서 밤새 켜놓은 램프불이나 등잔불 때문에 코 구멍이 시커멓게 되던 때의 실내조명에서부터 오늘날의 값비싼 고급 샵들리에 조명장치를 비롯하여 각종 전자제품에 필수적으로 쓰이고 있는 첨단 디스플레이 장치와 거리를 휘황찬란하게 만드는 네온사인 조명기구, 대형 첨단 광고디스플레이패널 등은 우리들의 활동을 낮에서 밤의 시공간까지 연장케 하여주는 다양한 전기조명장치의 기술에 의한 것들이다. 그뿐만 아니라, 인간사회의 시공간은 지상으로부터 지하공간에까지 연장되어 펼쳐져 있으며, 기존의 탄광갱도와 같은 지하공간에서부터 오늘의 그것은 지하공간시설의 극치를 이루는 도시의 지하철 시설공간이나 대륙간을 연결하는 해저터널, 그리고 빼놓을 수 없는 도시의 대형 건축물들의 지하시설 공간 등의 주요 핵심기간시설들과 함께 크고 작은 천연동굴과 인공땅굴들에서도 찾아볼 수 있으며, 여기에는 어느 것 하나에도 빼놓을 수 없는 조명시설이 필수적으로 요구된다.

우리사회에서도 머지않은 지난날들을 거슬러 보면, 석유기름 등잔불은 6-70년대에도 흔히 볼 수 있었던 일로 어린 시절 책상머리에 검은 끝음 연기가 기다랗게 올라가는 석유등불을 놓은 채 밤공부를 하고나면 아침에는 여지없이 콧구멍 밑이 까맣게 그려놓은 것과 같이 검정 칠이 그려졌던 일들이 생각나며, 석유가 없어서 들기름이나 참기름, 아주까리기름에 심지를 넣어 불을 켜던 당시의 우리네 실내조명이 내 머리를 스쳐 간다. 그 뿐입니다, 농번기에는 커다란 램프불을 걸어놓은 채 곡식타작을 했었으며, 역사의 뒤안길을 살펴보면 여기저기마다 봉황불을 밝혔던 봉황대들을 쉽게 찾아볼 수 있는 것은 나름 데로의 그 시대에 썼던 조명기구나 시설물로서, 전자는 우리 주거시설의 전형적인 실내조명 기구이었으며, 중간자는 우리농촌의 대표적인 옥외조명이었고, 후자는 중요한 통신조명 시설물로서 그 당시의 특수조명 시설물이었음에 틀림이 없다.

이렇듯 인간이 이용했던 하나의 조명기술이 당시의 시대상을 여실히 나타내주고 있는데, 오늘날의 조명기술은 등잔불 시대에서 본다면 꿈속의 환상적 현상이 아닐 수 없으며, 백열전등불에서 형광등, 네온사인 조명, 나트륨등, 헬륨전구, 크세논등, 반도체 발광다이오드(LED)와 레이저다이오드, 광통신용 광원과 고속 광 스위치 및 광 전송케이블, 대 소형 컬러전광판, 브라운관 표시장치에서 얇은 박형 플라즈마 디스플레이 패널과 LCD TV, 현미경광원에서 밀폐공간의 의료 및 공업용 내시경조명, 컬러식 분광 조명에서 단색과장의 레이저광 조명과 홀로그래피(holography) 조명 및 레이저광 무기 등 나열하기 어려울 만큼 많은 여러 가지 조명기법과 장치들은 불과 얼마 전의 등잔불 조명과는 너무나

대조적이지만, 캄캄한 지하공간에서 반딧불만한 불빛 하나가 없어서 앞뒤를 분간하지 못하고 대피할 길을 잃고 쓰러져간 대구 지하철화재의 많은 희생자들을 생각하면 너무나 어처구니마저도 없다.

위에서 열거해 본 시설공간의 조명기술 학문영역은 조명공학(illumination engineering)이라고 분류되며, 이것은 크게 옥외조명과 실내조명, 특수조명으로 나누어 구분하며, 옥외조명은 실내조명과 달리 태양광 조명이 이루어질 수 없는 야간조명에 주로 국한되며, 오늘날의 실내조명은 주간에도 필요할 수 있는 것이 그것과 다르게 구분되며, 이와 같은 환상적인 조명기술이 쓰여 지고 발전될 수 있었던 것은 오늘까지도 가장 편리한 에너지자원으로 평가받고 있는 전기에너지와 그 기술 때문이며, 그래서 조명기구나 그 시설물의 대부분이 전기조명 방식이다.

이러한 조명기술과 장치들이 그에 맞는 전원장치나 시설이 뒷받침되어야 하며, 전기에너지를 공급하는 발전시설이나 축전지, 건전지 등은 역시 그 생산에 필요한 에너지와 원료를 거의 대부분 석유와 같은 화석연료에 의존하고, 매장량이 유한한 석유자원은 언젠가는 고갈될 수밖에 없으므로 이에 대한 대체에너지원의 개발이 시급히 대두되고 있음은 주지의 사실이지만, 그 뿐만 아니라 화석연료자원을 사용하는 과정에서 발생하는 이산화탄소는 대기권위의 이온층을 파괴하여 지상에 자외선이나 감마선과 같은 강력한 유해광선이 조사되는 차단막을 상실하게 하여 심각한 문제를 야기 시키는 등 지구촌의 환경오염과 파괴의 원인이 된다. 그러므로 더욱이 우리사회에는 대체에너지와 함께 맑고 깨끗한 청정에너지원의 개발 필요성이 어떤 가식도 없이 요구되는 이유이며, 이런 청정에너지원이 바로 무제한으로 쏟아지고 있는 태양에너지와 지상에서 사라질 수 없는 풍력, 조력, 지열에너지 등이 다투어 꼽히고 있다.

따라서 이 논문은 지상의 청정에너지원의 대표 격인 태양에너지를 이용하여 우리가 사용하는데 가장 편리한 에너지 형태인 전기에너지로 변환시킬 수 있으며, 또한 산악지방이나 특수지역으로 상용 전기시설물 설치와 전원공급이 어려운 원격 장소에서 더욱 효과적인 점을 감안하여 동굴 소재지역의 여건에 적합한 태양광 셀라-셀의 동굴전원장치에 대한 기술적 응용성 고찰과 함께 동굴 환경의 특수성에 비춰 다른 조명기구와 달리 최근 냉광원으로써 면광원소재로 등장한 전기발광LED의 기술적 응용성을 타진하여 동굴내의 특수 생태환경과 구조적 특징을 보호하고 자연환경 파괴를 최소화할 수 있는 독립적 청정에너지친환경전원 및 동굴조명 시스템의 기술적 타당성과 가능성을 비교, 검토하여 동굴환경에 적합한 적용방법을 제시하고자 한다.

II. 동굴관리를 위한 조명 (Illumination for Cave Management)

1. 조명시설

조명시설이란 외부로부터의 불빛 유입이 전혀 없던 지하 공간인 동굴에 탐사, 발굴 및 관람 등을 목적으로 동굴의 신비를 밝히는데 안전하고 그곳에 형성된 지형지물들을 충분히 관찰할 수 있도록 인공적으로 불빛을 밝혀주는 시설물을 총칭한다. 몇 만년동안 혹은 그 이상 자연 상태에서 동굴의 생태를 지켜온 내부 환경이 인간이 필요로 하는 목적으로 개발되는 과정에서 동굴생태계에는 불필요한 치명적인 인공조명을 밝힘에 있어서 어떻게 함으로써 동굴생태계를 지속적으로 유지시키면서 개발

의 목적을 달성할 수 있느냐가 최대의 관심이며 등장하는 문제이다.

그렇다면 인간이 할 수 있는 방법은 동굴생태계의 유지와 함께 개발 목적을 동시에 달성할 수 있는 방법적 모색이 이루어져야 하는 것이 최선의 방법이다

빛이 닿지 않는 밀폐된 동굴 내에는 원래부터 빛에너지에 의한 녹색광합성이 이루어질 수 없으므로 인간의 시감이 미치는 가시광범위 중에서도 녹색광합성에너지로 쓰일 수 없는 자외선 광 파장 대 측근의 냉광원이어야 조명광원으로 쓰일 수 있으며, 조명광원에 의한 피해와 영향을 최소화하기 위해서는 일반 조명방식과 같이 연속총체조명방식이 아닌 부분점멸방식의 조명기술이 적합하다고 할 수 있으며, 이를 위해서는 이동물체 감지신호에 따라서 이동물체를 인식하여 필요시에만 부분 점등되거나 이동물체(군)의 평균이동 속도에 따라 순차적으로 점멸이 교차 진행될 수 있는 자동점멸 식 조명방식이 적합하다. 하지만, 관리자가 필요에 따라서 원격신호를 발사하여 점등과 소등을 시킬 수 있는 조명기법도 병행 설치하여 관리자의 요구에 의한 점등제어가 가능해야 하며, 관리원이 현장으로부터 벗어나 있거나 관람자들이 자유롭게 이동하면서 관람할 경우에는 조명시설의 점등방식과 점등주기 등을 설명해 주는 기술정보 메시지를 전달하여 관람자들이 유도설명 메시지에 따라서 이동하면서 관람할 수 있도록 유도 점등하는 조명방식과 함께 진행방향 등을 안내하는 유도표시물의 동시 또는 교차점등 방식이 요구된다.

가] 이동통로 조명

관객의 통행 시 안전을 최우선으로 하고 동시에 동굴의 자연생태환경을 유지할 수 있는 조명방식이어야 하고, 발광에 따른 열 발생이 없으며 되도록 자연광에 가깝지 않은 조명방식을 선택하여야하므로 일반적인 조명기구 이외에 주광원에 의해 빛을 일시적으로 축적했다가 서서히 발광하는 야광물질을 사용하는 것과 가시광범위 중에서도 자외선 파장 쪽에서 발광하는 광원을 사용하는 것이 생태 환경에 바람직하므로 어두운 지하공간에서는 기존의 LED와 같은 소형 반도체발광 소자를 점멸시켜 유도하거나, 또는 최근에 소개되고 있는 전자발광테이프(electro-luminescent tape)와 같은 면광원 소재를 이용하여 상기 목적에 부합되는 조명기구나 장치로 개발하는 방법도 제시해 볼 만한 대상이다. 한편, 전자디스플레이 장치 목적으로 개발되는 전자종이(electronic paper)와 같은 구부러질 수 있는 플렉서블 첨단 소재들이 등장하는 것을 보면 동굴과 같은 특수 환경에 적합하면서 더 낮은 특성을 지닌 조명소재나 기구들이 머지않아 등장할 수 있을 것으로 기대되지만, 이러한 특수 목적의 친환경 소재 기술 개발에도 최선을 다하여 기술개발에 참여할 수 있는 과학기술인들이 다수로 양성, 발굴되어 환경 개선에 기여할 수 있는 미래 사회가 앞당겨 지기를 기대해 본다.

관람자가 없을 시는 통로 등이라 해도 센서로 관객의 유무를 감지해서 통로 조명시설을 점멸할 수 있는 장치를 시설해야함은 더욱 말할 필요도 없다. 통로 조명시설의 설치 시에도 조명등의 높이 간격 방향 등을 최적 설계하여 동굴내부환경변화 최소화를 도모해야 한다.

나] 지형지물 투영조명

사실상 동굴의 생명을 얼마나 오래 유지할 수 있느냐하는데 매우 중요한 시설이 조명시설이라고

할 수 있다. 투영조명시설은 지형지물을 3방향 이상에서 입체적으로 투사해야 하고 지형지물과 색상을 관찰하는데 필요한 조도와 광색파장[필요 시 변경가능]이 충족되어야 하며, 이동통로 조명시설과 같이 냉광원으로 할 수 없는 만큼 관람자가 지형지물을 볼 수 있는 적당한 위치에 도달해 있을 때 점등되고 장소이탈 시 즉시 소등되어야 함은 물론, 점등시간도 조절 가능한 센서와 타이머 등을 병행 설치해서 PLC 방식으로 최적제어를 할 수 있는 시설로 동굴환경의 훼손을 최대한 방지할 수 있는 시설물 설치를 최우선으로 해야 한다.

다] 동굴내부의 전기설비

전문가[전기기술자]에 의한 설계에 의하여 설계되고 반드시 시공전문가가 설계에 의한 시공을 해야 함이 요망된다. 동굴의 특성에 따라 습기가 많은 장소이므로 내습에 적합한 설계 시공이 필수적이다.

또한 동굴 내부의 훼손을 최대한 방지해야 하며, 도관(Conduit)이나 전선접합상자(Cable Junction Box), 패널보드(Panel Board), 조명기구 지지대(Lamp Support) 등은 동굴내부의 색깔과 어울릴 수 있는 색상을 선택하는 등 세심한 주위가 필요하다.

2. 전기설비의 관리

가] 동굴내부에 시설된 전기설비

일반적으로 우리나라에 있는 지하 동굴은 4계절에 걸쳐 습도가 높게 분포되므로 동굴 내에 있는 전기설비들은 어떤 경우라도 충분한 절연공사를 통하여 감전이나 누전사고에 대비하여야 하며 항상 관리상태를 기록하여 보관하여야 한다.

그러므로 모든 전기설비들은 안전공사에 의한 안전전기점검은 물론이고, 동굴 관리자는 수시로 전기설비를 점검하고 점검일지에 기록하여 보존하여야한다.

준공도면을 안전하게 보관해야 하며, 중설 시나 개보수 시에도 도면에 의한 변경시설물 표기가 반드시 이루어져 보관되어야한다.[안전진단 시 관리자가 변경될 경우에 대비]

관리자는 지형지물 투영조명기구 주변에 녹색이나 흙색 공해의 진행상태 등을 면밀히 관찰하여 일지에 기록하고 비교, 확인하여 상태의 변화에 따라서 조명기구의 조도와 색상 그리고 투영방향 등을 적절히 조절하여 동굴 내부의 훼손이나 내부의 생태환경변화 정도를 최소화하도록 조절하여 운영하는 원활한 관리를 하여야 한다.

III. 태양전지 전원장치 (Solar-cell Power Source)

석탄, 석유, 천연가스는 수억 년 전 지구에 살고 있었던 동물과 식물이 땅 속에 묻혀있다 생긴 것으로 화석연료라고 한다. 많은 에너지 소비의 대부분을 한정된 자원인 화석연료에 의존하고 있기 때문에 매장되어 있는 화석연료의 사용가능 연수는 석유가 약 30년, 석탄이 약 170년, 천연가스는 약 54년 정도이며 원자력발전의 원료인 우라늄조차도 약 63년 정도로 예상하고 있다. 한편으로는 지구온난화, 산성비 등을 일으키는 대기오염 물질을 배출하기 때문에 환경오염의 측면도 고려해야 한다. 이 때

에 선진국의 경우는 이미 훨씬 이전부터 대체에너지 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 중에서 가장 대표적인 것이 태양에너지를 활용하는 방안이 대두되고 있으므로, 이에 대한 동작원리와 종류 및 응용방안에 대해서 고찰하고, 그의 경제성 및 효율성과 원격 동굴의 전원장치로의 타당성을 검토하고자 한다.

1. 동작원리와 종류

태양電池(solar cell)는 태양에너지를 전기에너지로 변환시켜주는 반도체 소자로서 p형의 반도체와 n형의 반도체의 접합형태를 가지며 그 기본구조는 다이오드와 동일하다.

일반적인 태양전지의 구조와 원리를 살펴보면 단결정실리콘 태양전지의 경우에는 실리콘에 5가의 원소들인 인, 비소, 안티몬 등을 함침 시켜 만든 p형 반도체로 이루어진 p-n 결합구조이다. 이와 같이 p형 반도체와 n형 반도체가 하나의 단결정으로 접합이 되면 불순물의 농도 차에 의하여 n형 반도체의 잉여전자(electron)가 p형의 반도체로 확산해 가고, 반대로 정공(hole)은 p형에서 n형으로 확산한다. 이에 따라서 p형 반도체의 전도대내에 있는 전자의 에너지는 n형보다 좁아지고 n형 반도체의 가전자대에 있는 정공이 갖는 에너지는 p형 반도체보다 높아지게 됨으로서 내부 전위차가 발생하게 된다.

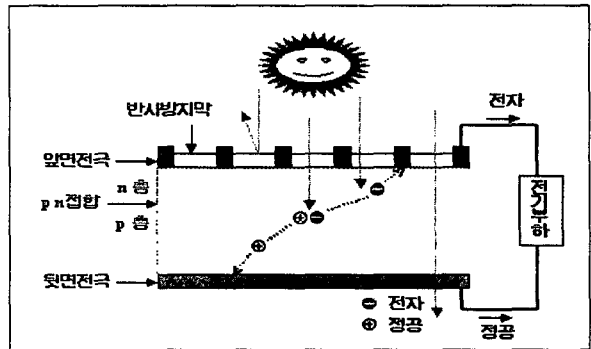
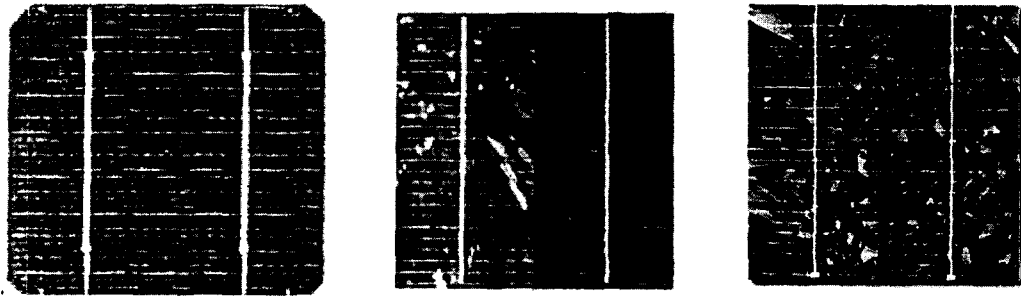


그림 3-1. 쉐라-셀의 구조와 동작원리

이때 금지대폭 이상의 광 에너지가 흡수되면 가전자대에 있는 전자가 여기 되어 금지대폭을 건너 뛰어 전도대로 이동하게 된다. 이와 같은 여기 상황으로 인하여 가전자대에 있었던 전자의 자리가 비게 되어 양전하처럼 행동하는 정공이 형성되므로 양전하(정공)와 음전하(전자)의 쌍이 생기게 된다. 이렇게 생성된 전자-정공 쌍은 각각의 농도 차와 전위차에 의하여 각각 전자는 n형으로, 정공은 p형으로 이동하여 외부회로에 의하여 전류가 흐르게 되는 것이다. 일반적으로 cell은 태양광 방사에너지를 조사했을 때 전기를 발생하는 반도체 소자를 쉐라-셀이라 한다. 즉 빛을 받으면 p-n 접합을 가진 반도체 속에서 빛과 물질의 상호 작용이 일어나 (+) 전하와 (-) 전하가 발생하고, 그 전하를 밖으로 방출함으로써 전기가 흐르고 그 에너지로 모터를 회전시키거나 전등을 켤 수 있다. 따라서 태양 전지는 태양의 빛뿐만 아니라 형광등의 빛도 전기로 바꿀 수 있다.

이러한 쉐라-셀의 종류로는 아래의 3가지가 있다. 단결정질 쉐라-셀은 순도가 높고 결정결합밀도가 높은 고품위의 재료로서 효율이 좋으나 가격이 비싸다. 집광장치 미사용 시 효율은 24%정도 이며, 집광장치 사용 시 효율은 28%이상이며 도달 한계치는 35%이다.

다결정질의 쉐라-셀은 단결정 실리콘 태양전지에 비해 상대적으로 저렴한 재료를 사용하여 만들므로 효율이 약 17%정도이며, 최대효율은 19%정도이다. 하지만 가격적인 메리트와 제조공정상의 간략화 때문에 많이 사용되고 있다. 마지막으로 비정질 쉐라-셀의 경우는 다중접합을 이용하는 디바이스



단결정질 쏘라셀

다결정질 쏘라셀

비정질 쏘라셀

그림 3-2. 대표적인 쏘라셀의 종류

(표 1) 단결정질, 다결정질, 비정질 쏘라셀의 특징 비교

	의 미	특 징		성 능	가 격	물 질
		장 점	단 점			
단결정질 (monocrystalline)	원자 배열 방향이 균일한 물질	순도 높음 결정결함 낮음	고 가	높은 효율 (35%)	고 가	Si, GaAs*
다결정질 (polycrystalline)	원자가 규칙 배열되어 있으나 배열 방향이 서로 다른 여러 부분으로 구성된 물질	비교적 순도가 낮음 비용이 적게 드는 생산방법 사용	효율이 낮고 불 균일	중간효율 (19%)	중저가	Si, CuInSe ₂ *, CdTe*
비정질 (amorphous)	분자가 무작위로 배열되어 규칙성이 없는 물질	대 면적 전지를 균일 저렴하게 제작 가능. 유연성 있는 기판위에 제작가능.	효율이 낮고 시간에 따라 더욱 저하되는 현상 보임.	낮은 효율 (12%)	저 가	Si*

와 빛을 잡아두는 방식을 사용하여 안정된 효율의 태양전지를 제작할 수 있다. 현재 이 방법의 비정질 실리콘 태양전지의 효율은 약 12% 이상 그리고 모듈(module, 1 평방피트)로서는 10% 이상의 고효율을 기록하고 있다. 즉, 태양전지의 다량생산으로 이어지는 반도체들은 주로 실리콘(Si)과 갈륨비소(GaAs)이며, 실리콘이 가장 많이 활용되고 있다. 그러나 최근에는 CdTe와 CuInSe₂ 반도체들도 활용된다. 표 1은 이들 3가지 종류의 대표적인 쏘라셀에 대하여 주된 특징들을 비교한 내용이다.

2. 모듈과 패널 및 설치 운영

쏘라셀 패널의 구조는 셀을 보호하기 위하여 코팅 층과, 셀과 셀 사이를 연결시켜주는 버스 리본으로 크게 나뉘어 지며, 아래 그림과 같은 단면도와 같이 구성된다.

쏘라셀은 태양에너지를 직접 직류전류 출력으로 얻는 장치이며, 쏘라셀 하나당 얻을 수 있는 전압과 전류의 최대치가 정해져 있으므로, 직렬 혹은 병렬로 쏘라셀들을 연결한 후 DC 전원을 요구하는 부하 제품의 경우 직접 전원으로 쓸 수도 있고, AC 전원을 사용하는 기기를 구동하기 위해서는 D/A 컨버터를 이용하여 구동하게 된다. 여기서 쏘라셀은 빛이 들어오는 입사각과 빛의 세기에 직접 영향을 받으므로 일정한 전원으로 사용하려면 일조량이 풍부한 시간에 충전할 수 있는 축전기는 반드시 필요하며, 특히 날씨가 좋아야 한다.

그림 3-4는 쏘라셀을 모듈로 만들어서 일반 가정에서 쓰는 가정 난방용 패널제품의 제작 과정을 나타낸 것이며, 제작된 쏘라 모듈의 설치된 모습을 예시한 것이다.

그림 3-5와 6은 전력을 직접 공급할 수 없는 상황에서 쉘라-셀을 이용하여 모터로 물을 끌어올리는 시스템을 설계한 예와, 극 지점에서 전력공급 장치를 설치한 경우를 보여 준다. 즉 태양에너지를 이용하는 쉘라-셀의 경우는 일단 설치가 되면 거의 영구적으로 사용할 수 있음을 보여주며, 이는 유지 및 보수비용을 줄일 수 있음을 보여 준다. 또한 태양에너지를 이용하는 자동차와 인공위성, 무인도의 등대 그리고 실생활에서 많이 볼 수 있는 태양열 온수기 등등 태양에너지를 이용하는 방법은 실로 다양하다. 하지만 아직까지 높은 효율을 보여주지 못하는 단점이 있으나 이는 기술개발과 연구, 그리고 끊임없는 신소재의 개발을 통하여 개선해야 할 남은 일들이며, 그것이 앞으로 우리가 풀어야 할 과제들이다.

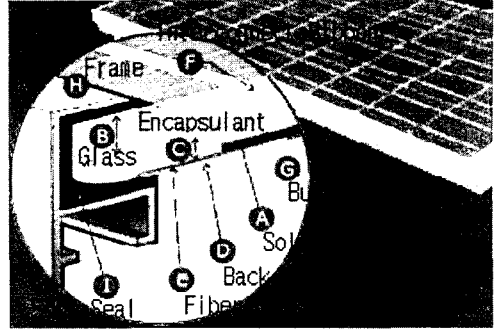
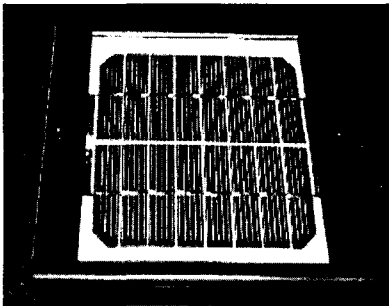
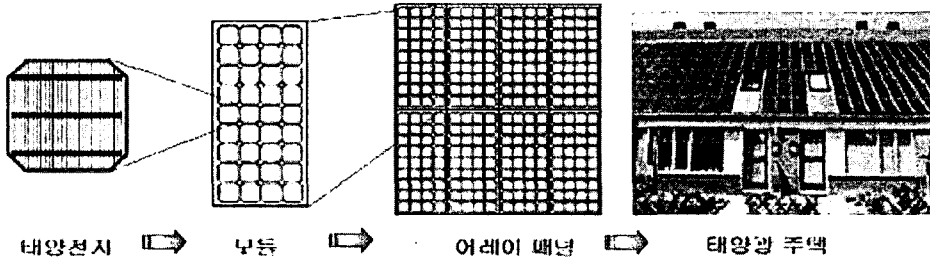


그림 3-3. 쉘라-셀 패널의 내부 단면 구조



Solar Cells : Single Silicon
 Solar Cells (단결정 태양전지).
 Front Cover : Low iron Glass (3.2T).
 Connection : 16 Series.
 Power : P max : 1.44W.
 VOC : 9.20V. ISC : 210mA.
 VOP : 7.60V. IOP : 190mA.
 Dimension : 160 X 140 X 11mm
 (A.B.S CASE)

그림 3-4. 소형 쉘라-셀 모듈과 모듈 배치 패널과 특성 데이터

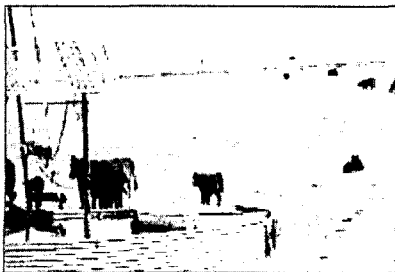


그림 3-5. 초원의 태양전지 물 펌프

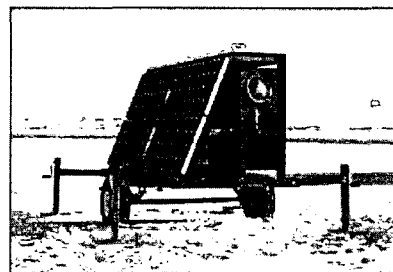


그림 3-6. 극지의 태양전지 발전기

IV. 전자디스플레이와 발광테이프 (Electronic Display & E-luminescent Tape)

최근 첨단 조명장치와 함께 기술 부가가치가 훨씬 큰 첨단 전자표시장치[디스플레이장치]들의 기술 진화과정을 살펴보면, 특히 가전업계의 판도를 바꿀 수 있을 만큼 멀티미디어 및 인터넷의 기술 발전과 더불어 브라운관 중심의 디스플레이 기술은 평판디스플레이 기술로 발전하였으며, 유비쿼터스 및 디지털 컨버전스 기술의 발전은 무기물을 중심으로 한 평판디스플레이 기술로부터 유기물을 중심으로 한 플렉서블 디스플레이 기술로 디스플레이 기술의 진화가 예상된다.

플렉서블 디스플레이는 90년대 후반 주로 저가형 수동구동 방식을 이용한 디스플레이를 중심으로 발전해 왔으나, 현재에는 능동구동 방식을 이용한 디스플레이로 방향이 전환된 상태이다. 플렉서블 능동구동 디스플레이 기술은 크게 두 가지 형태로 진보하고 있는데, 우선 기존의 비정질 및 다결정 실리콘 박막 트랜지스터 기술을 플렉서블 기반에 적합하도록 개선하는 기술이 개발되고 있으며, 또한 active layer를 기존의 실리콘 대신 pentacene, P3HT (Poly (3-hexylthiophene)) 등과 같은 유기 반도체로 대체한 유기 박막 트랜지스터 기반의 플렉서블 디스플레이 기술 개발 역시 최근 들어 활기를 띠고 있다. 비정질 실리콘 기술을 적용한 플렉서블 능동구동 액정디스플레이 (AMLCD) 및 전자종이 (Electronic paper) 시제품은 이미 90년대 후반부터 발표되기 시작되었으며, 이후 일본을 중심으로 미국, 한국 등에서도 많은 시제품들을 선보였다. 최근에는 Transfer 기술을 이용한 플렉서블 기반의 저온 폴리 실리콘 (LTPS) TFT AMLCD, AMOLED 등도 선보였다.

하지만 현재 플렉서블 기반의 디스플레이 관련 기술을 확립시키기 위해서는 몇 가지 극복해야 할 문제점들이 있다. 첫째, 고분자 필름을 기판으로 사용할 경우 공정 중에 bending이나 유기물과 무기물의 열팽창계수 차이에 의하여 잔류 응력이 발생하여 박막에 크랙 등의 손상이 발생하게 된다. 특히 잔류 응력을 줄이기 위하여 pre-annealing, barrier layer, encapsulation layer 등 다양한 방법들이 연구되고 있지만 무기물을 사용할 경우 어느 정도의 특성 저하는 감수해야 한다. 하지만 기존의 무기물 대신 유기 전극, 유기 절연체 등을 사용하여 전유기 디스플레이 소자를 제작할 경우 이와 같은 문제점들은 대부분 해소될 수 있을 것으로 보이나 아직까지는 기판 기술들의 한계로 당분간은 Hybrid 형태로 진행될 것으로 예측되고 있다.

두 번째 문제점은 고분자 기판의 투습율 및 투산소율과 관계가 있다. 고분자 기판은 유리 기판에 비해 매우 큰 투습율 및 투산소율을 가지고 있다. LCD나 OLED의 경우 산소 및 수분에 노출될 경우 특성 저하가 급속히 일어나기 때문에 소자의 수명 향상 및 신뢰성을 위해서는 투습율 및 투산소율 감소는 필수적이다. 현재 고분자 기판 상에 multi-layer를 코팅하는 방식으로 많은 특성 향상이 이루어졌지만 아직까지는 유리 기판에 비해 특성이 떨어지는 것을 사실이다. 하지만 향후 관련 기술의 꾸준한 향상으로 기계적으로도 특성이 우수하며 barrier layer로서도 특성이 뛰어난 필름이 나올 것으로 예상된다.

앞서 언급한 바와 같이, 현재 플렉서블 디스플레이와 같은 첨단 전자디스플레이 장치의 고부가가치 기술개발 추이에 따라서 전자업계의 기술을 주도하는 향방에 커다란 변수로 작용할 것임은 틀림없는 사실이다. 이러한 첨단 소재기술에 의한 디스플레이 기술 개발 추이와 함께, 이미 우주선의 면광원용으로 개발되어 사용되었던 평판 형 고분자발광테이프의 지하 광 차폐 공간에서의 조명시설물 적합성과 활용

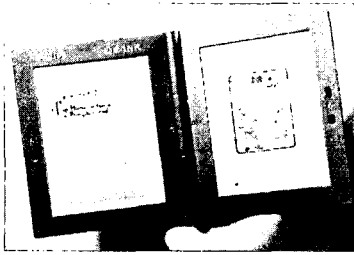


그림 4-1. 전자종이(E-Ink)

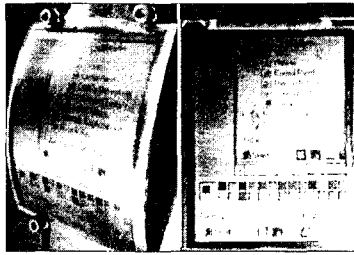


그림 4-2. 플렉서블 LTPS AMLCD (Sony)

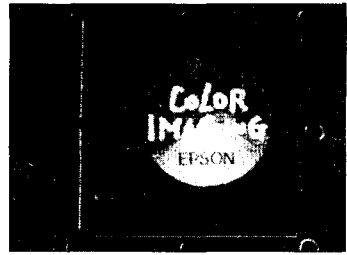


그림 4-3. SUFTRA®, Ink-Jet 기술을 적용한 플렉서블 LTPS AMOLED (Seiko-Epson)

성 및 기술경제성을 중심으로 기술적 검토와 고찰을 통하여 지하 동굴이나 지하철공간에서의 안전조명 시설물이나 친환경 이동통로 조명이시설물 또는 유사시 대피유도조명시설물 등으로의 응용가능성과 적용 타당성을 확인하고, 새로운 밀폐 공간 조명기법으로의 가능성을 기술측면에서 제안하고자 한다.

1. 기술 동향

가] 실리콘 TFT 기반 플렉서블 능동구동형 디스플레이

비정질 실리콘 TFT backplane을 이용한 플렉서블 디스플레이로는 전자 종이 및 AMLCD 등이 있다. 전자종이는 고분자 기판 대신 얇은 steel sheet를 기판으로 사용하며 그 위에 비정질 실리콘 TFT backplane을 형성하여 electrophoretic ink를 구동하게 된다. E-Ink에서는 지난 2002년 5 인치급의 4,096 컬러 디스플레이(320xRGBx234, 80ppi) 시제품을 선보였고 최근에는 Philips와 함께 high resolution의 모노 타입(160ppi)의 전자종이 제품 양산에 박차를 가하고 있다. 하지만 아직까지 잔류영상 등 여러 가지 해결해야 할 문제점이 있는 상태이어서 2004년쯤에나 시장에 출시될 것으로 예상된다. 비정질 실리콘 TFT를 이용한 플렉서블 AMLCD 제조기술은 다른 기술에 비해 상당히 성숙된 상태이다. 이미 90년대 후반부터 시제품이 등장하였으며, 지금은 거의 일반적인 기술로 인식 되어 가고 있다.

나] 유기 박막 트랜지스터 기반 플렉서블 디스플레이

유기물 반도체를 이용한 유기 박막 트랜지스터(OTFT) 개발은 80년대 후반부터 시작되었지만, 최근에 들어서야 가시적인 결과가 나타나기 시작했다. 하지만 기존의 비정질 실리콘 기술에 비해 아직까지는 관련 기술 및 재료 등이 뒷받침해주지 못하고 있어서 실제 제품으로 선보이기까지는 당분간은 힘들 것으로 예상된다. 하지만 유기물만의 고유특성 때문에 앞으로의 성장 가능성은 무한하다고 본다.

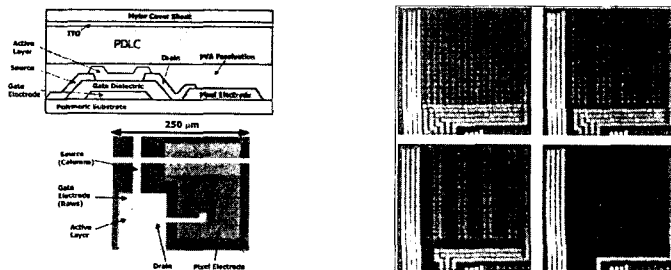


그림 4-4. : Pentacene OTFT driven PDLC 디스플레이 (PSU)

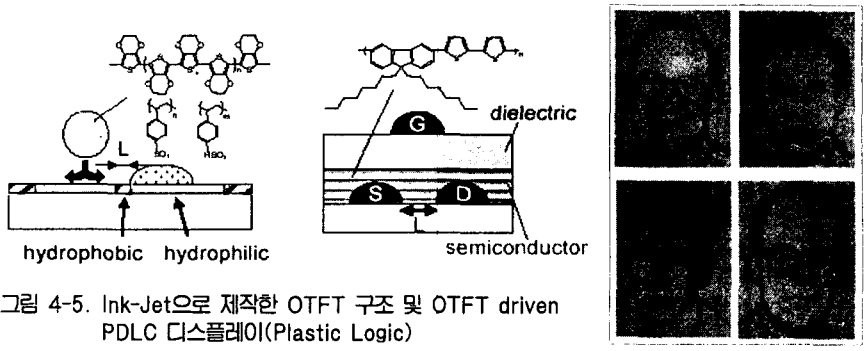
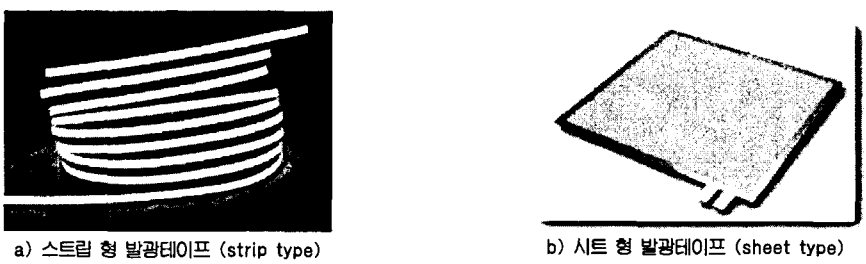


그림 4-5. Ink-Jet으로 제작한 OTFT 구조 및 OTFT driven PDLC 디스플레이(Plastic Logic)

다] 평판 형 전자발광테이프

a) 전자발광테이프 (EL Tape : Electro-luminescent Tape)

전도성 박막전극과 배면전극 사이에 인(P : phosphor)을 포함하는 발광물질과 유연성 절연 막을 비흡수성 고분자수지(fluoropolymer resin : polyvinylidene fluoride) 바인더와 혼합하여 스크린프린트, 스프레이 분사코팅, 롤러코팅 및 진공증착 등의 방법으로 얇은 다층성막을 도포하여 EL 후막테이프(EL thick film tape)를 형성하면 발광성과 유연성이 우수한 EL(electro-luminescent) 램프가 완성된다. 이 후막구조의 발광테이프 전극 사이에 교류 전압을 인가하면 전자의 연속적 충전과 방전이 반복되면서 전자의 거동에 의하여 발생하는 에너지가 빛에너지로 방출되어 발광하게 되는 특성을 나타내며, 이와 같은 발광성 후막구조를 EL테이프 또는 EL램프라고 한다. 이 때 발광현상은 양 전극 사이의 평행한 극판 사이에서 일어나는 현상으로 양 극판이 평판으로 이루어질 경우 평면광원의 구조를 이루는데, 이것은 미국 NASA의 SPACE PROGRAM에 의해 우주선 내의 조명을 위해 개발된 특허 기술로써 친환경 에너지 절약형 신기술 제품 중의 하나이다. 그림 4.8. a)와 b)는 스트립 형 발광테이프와 평판 형 발광테이프의 외형을 나타낸 것이며, 그림 c)는 EL테이프의 내부구성과 전자발광 기구를 나타낸 것이다.



a) 스트립 형 발광테이프 (strip type) b) 시트 형 발광테이프 (sheet type)

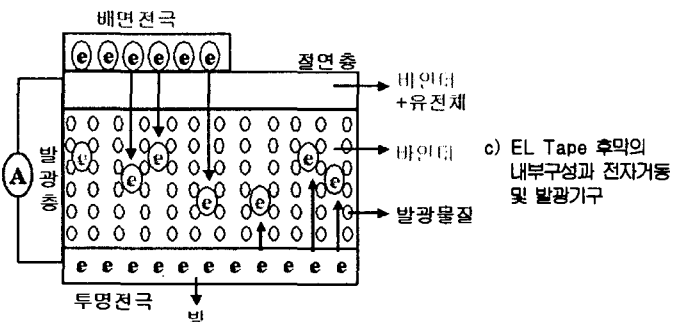


그림 4-6. EL-Tape의 외형과 전자거동 및 발광 기구

b) EL 발광테이프의 특징

EL 발광램프의 일반적 특징과 소비전력 및 전기요금을 타 조명기구의 경우와 비교 측정된 값을 표 2에 정리하여 나타내었고, 소비전력과 요금을 계산한 비교치는 표 3과 같다.

표 2. EL 발광테이프의 특징적 비교

특 징	설 명
완벽한 안전성	<ul style="list-style-type: none"> • 무 발열 (고온 발열로 인체에 유해한 먼지가 타는 화소 현상 미 발생) • 친환경적 제품 (가스 등의 환경오염 물질 미사용) • 내구성이 강해 충격으로 인한 제품 파손 없음 (램프 훼손 시에도 작동) • 방수 기능 / 시계 불량 시에도(연기 / 안개 / 황사 등) 우수한 가시성 • 안정적인 수명 (18,000 ~ 35,000 시간 사용)
에너지초절약형	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 조명 시스템 (네온 및 형광등) 대비 1/8의 전력이 소모되는21C 에너지 초 절약형
간편한 시공성	<ul style="list-style-type: none"> • 특별한 도구 없이 누구나 설치 가능 • 명함 두께와 다양한 제품 크기로 구부러지고 각진 모든 곳에 설치용이 (최대 52") • 유지 보수 거의 필요 없고 간편함 • 다양한 색상연출 (100여종)
무한한 활용성	<ul style="list-style-type: none"> • 안전 시설물 (지하철 및 지하 시설 비상 유도 라인 / 안전 조끼) • 건축물 내외부의 경관 조명 / 테마파크 • 실내외 광고물 / 도로 입간판 • 장식용 (자동차, 가구, 의류, 액세서리 등등)

표 3. EL LAMP와 네온과의 전력 비교

구 분	소비전력 / 1 M	100 M 설치 시	10시간 사용전력	월간(30일) 전력 요금
1 "	3.9 W	390 W	3,900 W	10,260 원
네 온	10.00 W	1,000 W	10,000 W	26,310 원
*도표는 인버터를 제외한 램프만의 소비전력 비교이며, 일반적으로 트랜스를 포함한 네온의 1M당 소비전력은 40W, EL 1"는 5W로 네온의 1/8로 상세도표는 다음과 같다.(순수전력량/하계 8월 기준)				
1 "	5 W	500 W	5,000 W	13,150 원
네 온	40 W	4,000 W	40,000 W	105,240 원

c) 전원공급기(EL Ballast)

EL Lamp에 공급되는 전원장치는 크기와 면적에 따라서 용량이 설계 제작되며, 교류용과 직류용 및 전원전압과 동작주파수에 따라서 구분된다.

d) 패키징의 종류 (MOLDING & NON-SLIP / FRAME)

EL 발광램프는 용도와 사용처에 따라서 외장 패키징의 종류가 결정된다. 표3과 그림 4-9는 제품화된 EL 발광램프의 패키징 유형과 사용처에 따른 외장의 모습을 보여준다. 시중에 공급되는 상품화된 EL 램프는 몰딩 타입, 미끄럼방지 타입, 프레임 타입 등의 3 종류가 있으며, 그 밖의 요구에 따른 형태는 주문 제작으로 공급된다.

표 4. 패키징의 종류

구분	제품	용도	비고
MOLDING	10 mm	램프 보호용	PVC
	20 mm		
	1"		
NON-SLIP	- 자형	계단의 미끄럼 방지 / 조명 설치대	PVC
	ㄱ 자형		
FRAME	크기별 제작	광고용 케이스	알루미늄

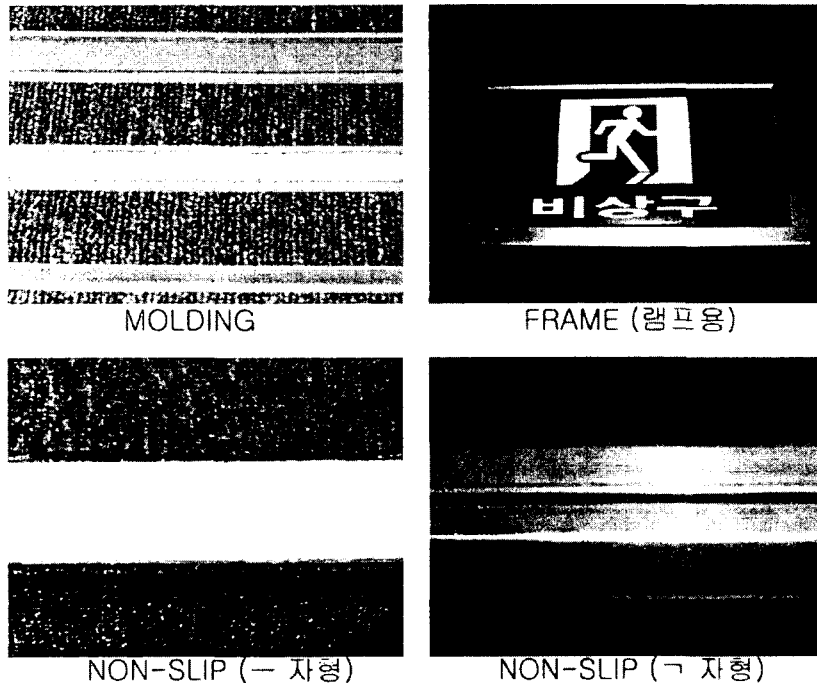


그림 4-7. 외부 패키징에 따른 EL-Tape의 외형 사진

VI. 결과 및 검토 (Results and Discussion)

1. 태양전지 쏠라-셀

에너지를 이용하여 인류는 오늘날의 발전을 가져 올 수 있었으며, 그 에너지의 수요는 발전이 가속화됨에 따라 더욱 더 증가하고 있으며, 지구촌의 주요 에너지원인 화석연료(석유, 석탄 등)와 그 지하자원의 고갈 문제를 심각하게 고려하게 됨으로써, 이를 대체 할 수 있는 에너지원을 찾게 되었고, 그 대안 중 하나가 바로 태양에너지의 이용기술이다.

본문에 기술한 내용은 현재 개발되어 널리 사용되는 쏠라-셀에 대한 응용기술 내용이 주이며, 현재 이보다 더 효율이 높은 셀의 연구가 계속 진행되고 있다. 현재도 에너지위기 상태에 직면하고 있지만, 앞으로는 더욱 더 심각할 것이라 유추해 볼 수 있다. 특히 우리나라의 경우, 에너지의 타국의존도가 90%에 육박하므로 더욱 더 대체에너지에 대한 연구가 활발히 진행되어야 할 것이며, 무한한 태양광 에너지를 이용할 수 있는 쏠라-셀의 기술적 연구야말로 인류의 미래를 보장하기 위한 진정한 대안이 될 것이다.

지금까지의 기술적 검토로부터 쏠라-셀은 구조와 동작메커니즘에서 거의 반영구적이며, 한번의 설치로 무궁한 태양에너지의 전기변환 과정을 지속시킬 수 있으므로, 특히 원격 장소나 관리상 외딴곳의 전력공급에 더욱 효과적이므로, 먼 오지나 깊은 산속에 주로 분포되어 상용 전력공급이 어려운 외딴 동굴을 위한 독립 전원장치로는 더 할 나위 없이 적합한 것이며, 시설 후 특별한 관리비나 시설보수유지비가 불필요한 점을 감안한다면 경제적 효율성이 사용시간에 따라서 더욱 증가할 것으로 평가

된다. 뿐만 아니라, 동굴에서 요구되는 조명시설과 함께 규격화된 하나의 세트상품을 개발하는 것도 충분한 가치를 갖는다.

2. 디스플레이와 EL 발광램프

고부가가치의 최첨단 전자표시장치들의 개발 동향을 살피면서 면광원으로 각광의 대상이 되고 있는 EL 램프의 활용 가능성을 검토한 결과, LCD, OLED 등에 의한 고부가가치 플렉서블 디스플레이의 상용화 추세를 확인하였고, 동시에 EL Tape의 면광원 표시장치 및 조명광원으로의 활용 가능성을 타진하여 검증할 수 있었다. 이에 대하여 유연성을 지닌 발광테이프의 자유로운 디자인과 설치의 편리성, 생태 보호를 위한 냉광원의 장점, 저 소비전력의 발광효율성과 함께 운전수명이 훨씬 긴 이점을 확인하여 새로운 면광원 조명기구로의 활용 가능성을 인식하였다.

본 연구의 대상에서 특히 EL Tape/Solar-cell 시스템은 그 제작과 설치비용에 비하여 소비재가 불필요한 전기에너지 발생장치인 쉘라-셀의 특징과 설치가 간편하고 장 수명, 저 소비전력의 이점을 갖는 EL Lamp 조명기구의 결합은 서로의 상보적 이점을 살릴 수 있으므로, 경제성 면에서 시너지효과를 가져올 수 있음이 분명하며, 더욱이 세트상품으로 개발할 경우 제작비 저감 효과에 따른 예견되는 경제성 제고 효과를 감안할 때, 쉘라-셀과 EL Lamp는 원격 외지의 동굴 전원장치와 지하 동굴의 조명 설비로서 그 타당성이 매우 크며, 비발열성 냉광원이라는 점에서 그리고 단파장 대의 발광 특성을 갖는 점은 동굴내의 생태환경 계를 교란시키거나, 훼손시킬 염려가 매우 희박하여 비파괴 친환경성의 조건과 이점을 충족시킬 수 있는 대상이라고 사료된다.

VII. 결 론 (Conclusion)

따라서 본 논문에서 원격 외지의 동굴관리를 위한 전원공급 장치로써 친환경 쉘라-셀을 적용한 전원장치의 기술적 내용을 검토한 결과, 초기 설치비의 투자비중에 비하여 운전에 요구되는 소비재가 필요치 않으며 별도의 관리운영비가 요구되지 않으므로 설치 후 거의 반영구적으로 사용할 수 있는 점을 감안한다면 동굴관리에서 소 용량의 시설설비로 충분하므로, 동굴 내부에서 쓰이는 주로 조명용 전원장치로는 더 이상 필요한 것이 없다고 판단된다.

또한, 동굴의 조명시설에 관하여 검토한 결과, 여러 가지 첨단 기술이 동원된 많은 디스플레이 용재들의 새로운 등장으로 보아 고부가가치의 첨단장치들에 의한 조명 표시시설이 가능하지만, 설치비용이나 시설물 설치의 간편성과 견고성 및 내구성으로 보아 소비전력이 통상적인 형광등이나 네온사인과의 조명기구에 비하여 불과 1/8 이내인 전자발광테이프를 사용한다면 앞에서 검토한 쉘라-셀과 함께 전원과 부하의 한 세트로 조합을 이루어 초경제적인 동굴관리 시스템을 구성할 수 있으며, 특히 발광파장이 단파장대에서 이루어짐으로 동굴 생태계를 보호하고 파괴를 방지할 수 있으며 나아가 부분순차점멸 점등방식을 개발하여 적용한다면 친환경 생태 보호에 최적의 방식이 될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구논문을 위하여 (주)이룩스코퍼레이션의 배점수 사장님과 임원님들의 깊은 배려와 함께 많은 기술정보를 제공해 주신데 대하여 심심한 감사를 드립니다. 또한, 공동저자인 명지대학교 전자공학과 4학년 한상엽군 외 신현호, 조운상, 강상원 팀원이 수행중인 “솔라 셀의 응용기술” 프로젝트 참여와 연구수행 협력활동에 감사하며, 그간의 노고에 깊은 치하를 드립니다.

참고문헌

- 고려대학교 반도체응용 연구실 <http://solar.korea.ac.kr/>
한국에너지 기술 연구원 <http://www.kier.re.kr>
포토와트 <http://www.photowatt.com>
해성솔라 <http://www.hssolar.co.kr>
에너지관리공단 대체에너지개발 보급센터 <http://racer.kemco.or.kr>
스파이어 솔라 <http://www.spire solar.com>
한국해양정보통신학회 춘계학술발표 논문집, May 29, 2004
Janusauskas, US Patent, No. 5,976,613, Nov. 2, 1999
Janusauskas, US Patent, No. 5,491,377, Feb. 13, 1996
(주)이룩스 코퍼레이션, 비상안전유도라인 설명회, 철도청 지하철 본부
(주)이룩스 코퍼레이션, 코엑스전시자료, May 19-22, 2004
Electro-LuminX, <http://www.lighttape.com>
(주)이룩스 코퍼레이션, EL LAMP 홍보자료