

동굴조명에 의한 생태환경 변화의 억제

소대화*

Restraint of Ecological Environmental Change by Cave Illuminance

Soh, Dea-Wha

요 약 - 동굴 내에서 조명으로 인한 생태환경 변화를 억제할 수 있는 방안에 관하여 조사하였다. 어두운 동굴이 인간의 필요에 따라 개방되고, 개방된 동굴은 조명시설에 의해 내부가 밝혀진다. 이 과정에서 동굴생태 변화가 발생하고, 특히 녹색광합성에 의한 식물 개체가 생성된다.

따라서 본래의 동굴생태가 변화되는 환경이 만들어지는데, 이들 자연자원의 환경은 보존되어야 함으로 생태환경의 변화는 억제되어야 한다. 이를 위하여 발광다이오드의 냉광원을 사용하여 선택파장광원에 의한 광합성 억제작용 방안을 제시하였다.

식물의 녹색광합성을 위한 흡수파장이 460nm와 680nm 부근임으로 이들 흡수파장을 제외한 밝은 빛 파장 즉, 550nm 근처의 황색 및 황록색 파장 빛을 써서 동굴조명을 하면, 녹색광합성 및 식물개체의 생성과 성장을 억제할 수 있다.

주요어 : 동굴조명, 생태환경, 녹색광합성, 선택파장광원

1. 서론

동굴 관리를 위하여 필수적인 동굴조명에 관하여 필자는 23년 전에 1편의 논문을 발표한 적이 있다. “동굴관리를 위한 친환경 쏠라-셀 전원장치와 면광원 전자발광태이프 동굴조명”이 그것이다. 여러 가지의 조명장치와 기구들을 비롯하여 이들을 밝히는 전원장치를 소개하고, 동굴환경 보존에 도움이 될 수 있는 냉광소재인 EL-전자발광소자와 쏠라-셀 전원장치 결합시스템의 이용기술 및 이들을 동굴에서 활용할 것을 권장한 것이 주요 내용이다. 그 후 냉광원의 하나인 LED(Light Emitting Diode) 발광소자의 성능이 급속히 발전되어 청색광원은 물론, 발광 효율과 함께 그 출력의 향상도 크게 변하여 신형용 광원이나 실내표시장치 조명뿐만 아니라,

옥외에서의 사용도 급격히 늘어나서 고속 이동 자동차용 전조등이나 교통신호등과 같은 고 휘도용 신호조명장치에까지 그 적용 범위가 크게 늘고 있다. 이와 함께 최근에는 농업생산용 녹색광합성 조명광원의 첨단조명기구로 그 활용성이 크게 과급되고 있는 실정이다.

지상의 생태계는 멀리태양으로부터 전달되는 빛에너지에 의해 생성되고 보존되며, 그 생명력이 유지된다. 에너지의 전달과정은 광합성을 통해 빛에너지를 화학에너지로 변환하는 1차생산자이자 생성물인 녹색식물들과 이들을 섭취하는 초식동물의 1차 소비자, 그리고 다시 그들을 먹고사는 육식동물인 2차 소비자와 동식물의 사체나 유기물을 분해시켜 섭취하는 미생물들로 구성되어 있다. 대부분의 생태계는 태양빛을 에너지원으로 하여 풍부한 유기물질 생산과 먹이사

* 한국동굴학회 회장/명지대학교 교수

슬을 통하여 안정적인 영양공급이 이루어지고 생태계의 평형을 유지하면서 보존되고 있다.

그러나 지하세계의 동굴생태계 특징은, 태양 광선이 차단된 암흑 상태이며, 내부로 들어갈수록 지하온도는 안정되고 연중 10℃~13℃의 평균 기온을 유지한다. 지하의 특성상 지하수의 분포와 유통으로 높은 상대습도(80%이상)를 갖는다. 또한, 생태계 유지를 위한 영양공급원의 필수조건이 제한되는 특성상 많은 먹이를 필요로 하는 동물의 생존은 불가하며, 박쥐를 비롯하여 그보다 작은 나방이 종류나 지네, 노래기, 장님굴새우 등 소수종의 개체만이 생존하게 되는데, 이들은 외부에서 먹이를 잡아먹고 동굴 내에 들어와서 배설물을 내놓는 박쥐배설물(구아노)이 동굴 내에 공급됨으로써 주된 먹이의 영양공급원으로 이루어지며, 그밖에 지하수를 통해 일부 영양원을 보충 공급받아 살아간다.

그러므로 미 개방 동굴의 환경은 햇빛이 차단된 암흑 상태에서 일정한 온도와 수온 및 높은 내부습도의 분포와 한정된 영양공급원의 특징으로 구분된다. 반면에 개방 동굴은 조명등 불빛과 이에 수반되는 열에너지, 방문자와 공기유통 흐름에 의한 온도변화와 이에 따른 이산화탄소 농도의 상승 및 미생물의 유입, 조명시설의 빛과 열에 의한 녹색광합성과 그 생성물 등이 수반되며, 따라서 동굴 내 환경변화에 의해 여러 가지 형태의 지하 공간 생태계 교란의 변화가 일어나게 된다.

그런데, 최근 인천시에서는 연안 해역에서 “다시마 양식재배”를 하겠다고 발표하였다. 그 이유는 한반도 중부지역의 환경이 아열대성 기후로 변화하여 인천 연안근해의 수온이 상승하였고, 이전에 남해지역에서 자라던 다시마가 이제는 위도 상 인천연안 지역이 적합하게 되었다는 것이다. 뿐만 아니라, 다시마는 요즘 인기를

더해가고 있는 웰빙식품 중의 하나로써 여러 가지 형태로 가공되어 시판되는 수요증가의 식품 재료로 각광을 받아오고 있다. 다시마는 온대성 해양식물로서 풍부한 해양수산 자원으로부터 우리의 생활건강에 필요한 필수 유기물질을 합성하여 제공해주는 유익한 수산물중의 하나이며, 특히 한국인이 좋아하는 어패류 전복의 먹이가 되며 다시마에서 나오는 끈끈한 체액은 그 성분을 분석해보지 않더라도 육안으로도 그 영양소가 풍성함을 느껴볼 수 있는 미네랄양질의 수산물자원이다.

바로 이런 특수 수요를 갖고 있는 다시마 양식에서, 다시마의 광합성 생육에 필요한 필수조건인 빛 즉, 광합성필수파장(460nm와 680nm)의 빛만으로 이루어진 선택파장광원을 활용하여 다시마의 양식에 적용하면, 낮 시간대에는 태양광이 풍부하게 공급되기 때문에 불필요하지만 밤이나 구름, 안개 등으로 일기가 순탄하지 않은 때에는 광합성 조건을 만족하기 위한 필수흡수 파장 광원이 필수적으로 요구되기 때문에, 가시광의 전 파장영역의 공급에너지로부터 불필요한 잉여 광-에너지를 제외한 광합성 필수파장만의 선택파장 광원을 적용하는 효율적인 광원을 활용하면 다시마의 대량양식에서 그에 필요한 절대시간을 감소시켜 그에 상응하는 양식속도를 증가시킴으로써 대량양식 사업에 적합한 개량된 첨단양식기술로 발전시켜 다시마의 대량양식 기술로 자리 매김을 할 수 있게 된다.

따라서 재래식 다시마양식에서 선택파장광원을 공급하는 첨단기법을 적용함으로써 양식재배의 해양수산업 근본 목적과 취지에 부합하는 개량된 해양양식기술 개발로 이 시대에 필요한 기술틈새시장[technical niche market]을 조기에 확보할 수 있게 된다.

그러므로 이에 필요한 광원제작기술의 개발,

개발된 선택과장광원의 적용기술 확보, 다시마의 최적양식조건 확립, 다시마의 속성양식 및 증식효과 검증 등의 수반되는 관련 후속 기술개발 사업이 요청된다.

그러나 이와는 반대로 광합성 성장을 억제하거나 금지해야 할 필요를 갖는 특수한 경우가 있다. 바로 동굴 내부와 같이 특정 공간의 생태환경 보존을 위한 경우가 그것이다. 식물재배를 위해서는 필수적으로 요구되는 빛 에너지를 충분히 공급해야 하지만, 이에 반하여 오히려 식물성광합성을 억제하기 위해서는 물, 공기, 빛으로 이루어지는 필수 3요소의 공급을 억제하거나 차단해야 하는데, 동굴 내부의 환경에서는 자연조건인 지하수로부터의 물이나 공기 중의 CO₂를 차단할 수는 없으므로, 이를 위해서는 유일하게 인위적으로 공급되는 조명 빛을 차단할 수밖에 없다.

하지만, 지하 동굴의 암흑 공간을 드나들면서 이를 이용할 수 있도록 하기 위해서는 조명시설에 의한 불 밝힘 역시 필수적인 요건이 아닐 수 없다.

따라서 지하 공간 활용의 필수요건을 충족하면서 공간 생태변화를 억제할 수 있는 기술적 방안을 모색하기 위하여, 자연광의 복합과장 성분으로부터 식물성광합성에 필요한 기본흡수과장성분을 제거하고 공간조명의 최소한의 필요조건을 충족시킴으로써 지하 동굴의 생태환경 안정을 유지하고, 이에 기여하고자 한다.

2. 동굴 조명

1) 조명시설

동굴조명이란 외부로부터의 불빛 유입이 차단된 지하 동굴공간에서 탐사, 발굴 및 관람 등을 목적으로 개방하기 위하여 지하 동굴의 신비

를 밝히는데 안전하게 그곳에 형성된 지형지물들을 충분히 관찰할 수 있도록 인공적으로 불빛을 밝혀주는 시설물을 총칭한다. 따라서 수억 년 혹은 그보다 훨씬 오랜 세월을 자연 상태에서 동굴의 생태를 지켜온 내부 환경이 인간의 필요에 따라서 개발되는 과정에서 동굴생태계에는 전혀 필요치 않은 치명적인 인공조명으로 암흑공간을 밝힘에 있어서, 동굴생태계를 지속적으로 보존하고 유지하는 일의 두 가지 개발목적을 동시에 달성할 수 있느냐가 최대의 관건이다.

그렇다면 인공적으로 가능한 적절한 방법은 동굴개발과 생태계보존이라는 두 가지 목적을 동시에 달성할 수 있는 방법적 모색을 강구하고 도출해 내는 것이 최선의 방안이다.

빛이 닿지 않는 밀폐된 동굴 내에는 원래부터 빛에너지에 의한 녹색광합성이 이루어질 수 없으므로, 인간의 시감이 미치는 가시광범위 중에서도 녹색광합성에너지로 쓰일 수 없는 자외선광과장대 근처의 냉광원이어야 조명광원으로 쓰일 수 있으며, 조명광원에 의한 피해와 영향을 최소화하기 위해서는 일반 조명방식과 같이 연속총체조명방식이 아닌 부분점멸방식의 조명기술이 적합하다고 할 수 있으며, 이를 위해서는 이동물체신호 또는 인체감지신호에 따라서 물체를 인식하여 필요시에만 부분 점등되거나 이동물체(군)의 평균이동속도에 따라 순차적으로 점멸이 교차 진행될 수 있는 자동점멸 식 조명방식이 적합할 것이다. 하지만, 관리자가 필요에 따라서 원격신호를 발사하여 강제 점등과 소등을 할 수 있는 원격제어조명기법도 병행 설치하여 관리자의 요구에 의한 점등제어가 가능해야 하며, 관리원이 현장으로부터 벗어나 있거나 관람자들이 자유롭게 이동하면서 관람할 경우에는 조명시설의 점등방식과 점등주기 등을 기술정보 메시지를 통하여 전달해서 관람자들이 유도설명

메시지에 따라서 이동 관람할 수 있도록 하는 유도점등조명방식으로 진행방향 등을 안내하는 유도표시물의 동시 또는 교차점등 방식이 요구되며, 동굴조명의 대표적 유형은 다음과 같이 대별된다.

가] 이동통로 조명

관객의 통행 시 안전을 최우선으로 하고 동시에 동굴의 자연생태환경을 보존할 수 있는 조명 방식이어야 함으로, 녹색광합성을 피할 수 있는 발광에 따른 열 발생이 없으며 되도록 백색자연광을 벗어나는 조명방식을 선택해야하므로, 일반적인 조명기구 이외의 주광원에 의해 빛을 일시적으로 축적했다가 서서히 발광하는 야광물질을 사용하는 것과 가시광범위 중에서도 자외선 파장 측에서 발광하는 광원을 사용하는 것이 식물생태환경 변화를 억지하는데 바람직함으로, 어두운 지하공간에서는 기존의 LED와 같은 소형 반도체발광 소자를 점멸시켜 유도하거나, 또는 최근에 소개되고 있는 전자발광테이프(electro-luminescent tape)와 같은 면상냉광원 소재를 이용하여 상기 목적에 부합되는 조명기구나 장치로 개발하는 것도 새로운 방법으로 제시해 볼 만한 대상이다.

한편, 전자디스플레이 장치 목적으로 개발되는 전자종이(electronic paper)와 같은 유연성이 있는 플렉서블 첨단소재들이 속속 등장하는 것을 보면, 동굴과 같은 특수 환경에 적합하면서 더 낮은 특성을 지닌 조명소재나 기구들이 머지않아 등장할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 이러한 특수 목적의 친환경 소재기술 개발에도 최선을 다하여 기술개발에 참여할 수 있는 많은 과학기술자들이 양성, 발굴되어 환경개선에 기여할 수 있는 미래 사회가 앞당겨 지기를 기대해 본다.

동굴의 관람자가 없을 시는 통로등이라 해도 센서로 관객의 유무를 감지해서 통로조명시설을 점멸할 수 있는 장치를 시설해야함은 더욱 말할 필요도 없다. 통로 조명시설의 설치 시에도 조명 등의 높이, 간격, 방향 등을 최적 설계하여 동굴 내부 환경변화의 최소화를 도모해야 한다.

나] 지형지물 투영조명

사실상 “동굴의 생명을 얼마나 오래 유지할 수 있느냐?”의 보존, 유지에 관하여 매우 중요한 시설물이 조명시설이다. 투영조명시설은 지형지물을 3방향 이상에서 입체적으로 투사해야 하고 지형지물과 색상을 관찰하는데 필요한 조도와 광색과장[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 물론이며, 점등시간도 조절 가능한 센서와 타이머 등을 병행 설치해서 최소한 PLC제어방식이나 PC제어장치로 최적 제어하여 동굴환경 훼손을 최대한 방지하는 시설물 설치를 최우선으로 해야 한다.

다] 동굴내부의 전기설비

전문가[전기기술자]에 의하여 설계되고 반드시 시공전문가의 설계를 통한 시공을 해야 함이 요망된다. 동굴은 지하공간의 특성에 따라 습기가 많은 장소이므로 내습에 적합한 설계 시공이 필수적이다. 또한, 작업으로 인한 동굴 내부의 훼손을 최대한 방지해야 하며, 도관(Conduit)이나 전선접합상자(Cable Junction Box), 패널보드(Panel Board), 조명기구지지대(Lamp Support), 조명등(Lamp) 등은 동굴내부의 색깔과 조화를 이루는 색상을 선택하는 등 세심한 주위가 필요하다.

최근, 고휘도화 및 저가격화 등에 따라 일반화되고 있는 반도체 발광다이오드가 옥내외의 새로운 조명소자로 각광 받고 있다. 발광다이오드는 소형이면서 여러 가지의 광색으로 발광하며 냉광원인 점에서 광신호원, 전광판 디스플레이, 자동차전조등, 휴대용전등, 교통신호등 등으로 이용이 점차 확대되고 있지만, 그 외에도 식물재배용 인공광원에까지 주목을 받고 있다. 그 이유는 LED가 종래의 인공광원에 비하여 ①식물의 광합성 및 생장에 필요한 파장영역 만을 갖는 단색광, ②소형 패널화가 가능하여 성장챔버와 같이 비교적 좁은 공간에서도 활용 가능, ③저 전력소모량(기존광원의 절반), ④비방사열선, ⑤반영구적 수명, ⑥특정 파장영역의 광질선택이 가능한 장점을 가지고 있기 때문이다.

펙트럼은 그림1과 같으며, 식물의 녹색광합성에 필요한 빛의 흡수스펙트럼은 빨간색(600~700nm)과 파랑색(400~500nm) 계통의 빛으로써 그림2에서 그 중심파장이 각각 660nm(적색)와 450nm(청색) 부근이다.

이에 대하여 적색 LED와 청색 LED의 발광파장은 그림3에서와 같이 광합성에 필요한 흡수파장과 거의 일치하므로 이들 두 색상의 발광다이오드를 사용하면 불필요한 모든 가시광영역의 불빛에너지를 소비하지 않고도 광합성을 할 수 있는 효과적인 에너지 절감방식의 식물재배를 가능하게 하여 작물생산 기간을 단축시켜주거나 생산을 증식할 수 있는 영농기술에 적용할 수 있으며, 특히 특용작물의 배양재배와 같은 식물공장의 개념을 가능하도록 해준다.

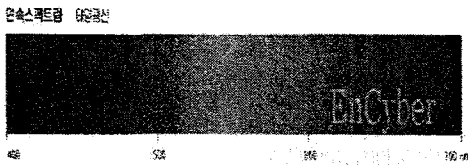
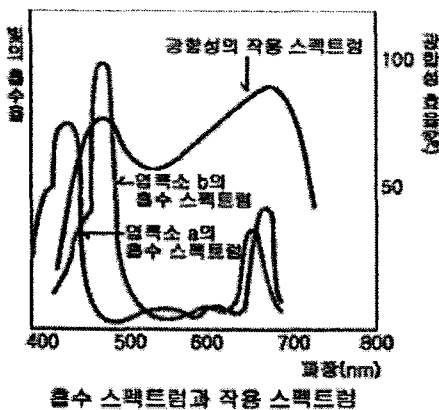


그림1. 태양광선의 파장



흡수 스펙트럼과 작용 스펙트럼

그림2. 광합성 흡수 스펙트럼

일반적으로 백색광을 나타내는 태양광파장스

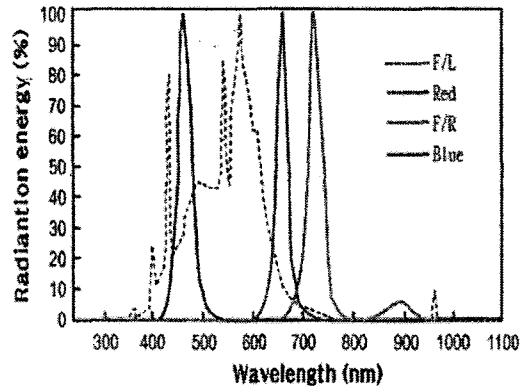


그림3. LED의 방사에너지와 발광파장 분포

이와 반대로, 식물의 광합성을 억제하거나 금지할 수 있는 경우 즉, 동굴 지하공간에서의 녹색광합성 생성물이 발생되지 않도록 하는 방안은 앞에서 분석한 광합성의 필요조건을 파괴하거나 충족시키지 않음으로써 가능할 수 있음을 시사해 준다.

따라서 식물의 광합성에 필요한 빛(흡수파장)과 공기(CO₂) 및 물(영양소 포함)의 3요소 중에

서 어느 한 가지를 차단함으로써 생장을 억제시킬 수 있게 된다. 그러나 동굴의 경우는 지하공간의 특성상 공기(CO2)와 물(습기)을 차단할 수는 없다. 그러므로 이 중에서 빛을 차단하는 방안이 가장 유력한 방안으로 등장하지만, 지하공간에 빛이 없으면 역시 개방동굴로서의 의미를 상실하게 된다.

일반적으로 지금까지는 모든 동굴의 경우 내부 조명을 백색광의 백열전등이나 형광등과 같은 일반 조명등을 주로 사용해 왔으며, 그로 인하여 조명이 설치된 곳이나 조명 불빛이 닿은 지점의 벽면에는 거의 대부분 녹색식물이 자라고 있는 것을 확인할 수가 있다. 바로 이 점이 동굴내부의 생태환경을 변화시키는 요인으로 지적되고 있으며, 제거되거나 생장을 억제시켜야 할 대상이다. 개방동굴의 경우, 국내외를 막론하고 거의 대부분 이런 녹색식물의 광합성 성장현상을 발견할 수 있으며, 동굴을 관람하는 관광객들을 어리둥절하게 해줌과 함께 환경보존을 추구하는 단체나 동호인들을 곤란하게 해주는 요인이다.

물론 그 밖의 지형지물을 파괴하거나 주된 환경파괴를 저지르는 경우도 없지 않으며, 그들을 지키기 위한 최선의 대책도 강구되어야 할 일이다. 필자는 지난 2004년에 중국동굴탐사 활동에서 확인한 일부 자료와 고씨동굴(강원도 영월소재)에서 찍은 사진자료를 그림4에 제시하고, 깊은 지하 동굴 속에서 녹색광합성이 여지없이 발생한 결과를 그림5~9에 제시하였지만 그 밖의 다른 동굴에서도 동일한 결과를 얼마든지 확인할 수가 있다.

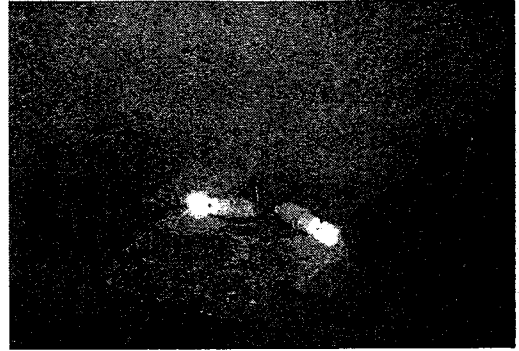


그림4. 중국요녕성본계시 천룡동 탐사현장 사진 - 노출된 조명등 및 전선의 기설상태가 부적합하고 낙후된 수준이며, 특히 조명등 주위의 광합성녹색식물 생장이 확연하다.

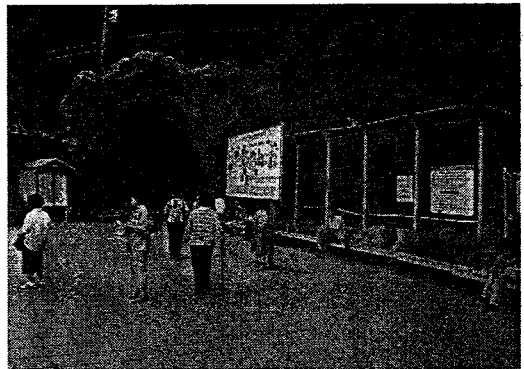


그림5. 강원도 영월군 하동면에 위치한 고씨동굴 입구와 관광안내도 - 동굴입구를 연결하는 전용철교가 동강의 맑은 물과 래프팅보트, 그리고 주위에 형성된 상권 시설물들과 어우러져 있는 모습을 볼 수 있다.

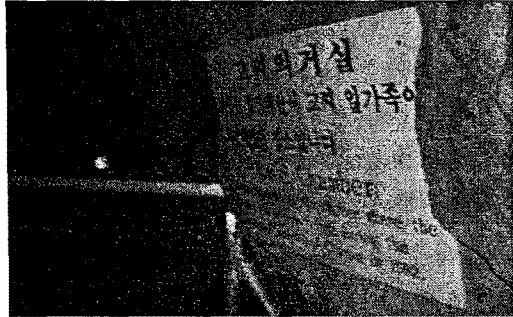
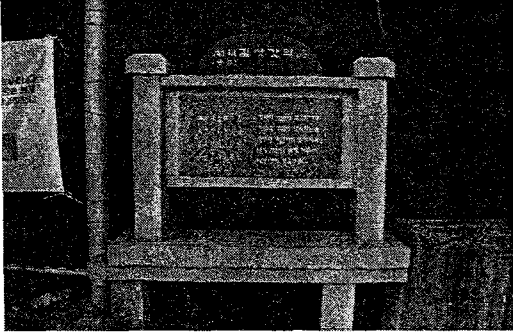


그림6. 고씨동굴 입구의 난고 김삿갓 시비와 고씨동굴 입구로부터 약 100m 안쪽에 있는 과거 임진왜란 때 마을주민과 함께 고씨가족들이 피신했던 '고씨의 거실' 안내표지문

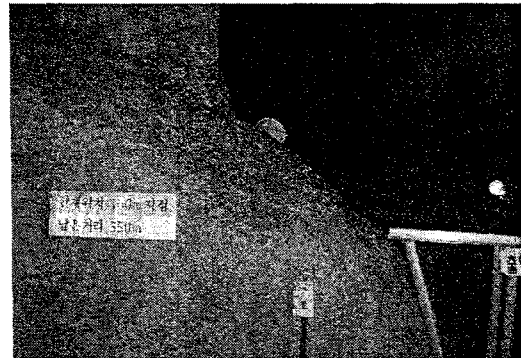


그림7. 임진왜란 때 인근 주민들이 피신했던 동굴 속 공간. 당시 유일하게 살아남은 고씨 가족들의 피신처 '고씨의 거실'이 가지 굴로 갈려 입구에서 100m지점으로 안내되고 있다. 이 지점은 입구로부터 비교적 가까운 위치에 있기 때문에 굴의 온도와 습도 변화가 외기에 따라 영향을 많이 받고 있으며, 그 까닭에 그림 8, 9에서와 같이 녹색식물이 심하게 발생되지는 않았지만 그래도 주위에 푸른 식물이 조명불빛이 닿은 곳에서 번식하고 있다.

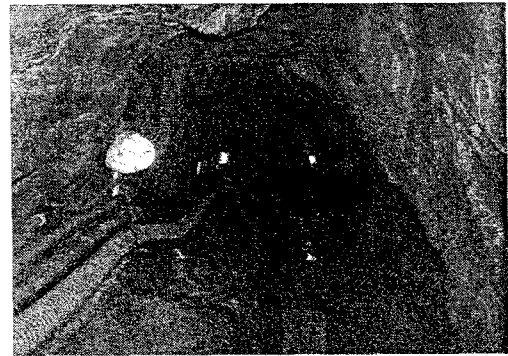
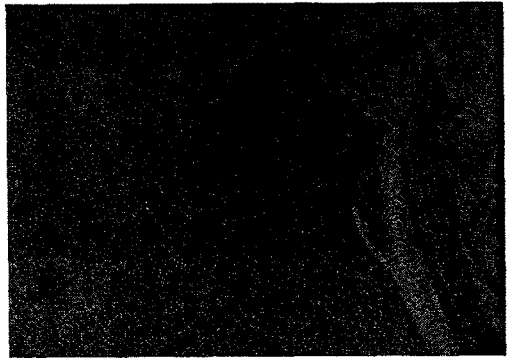
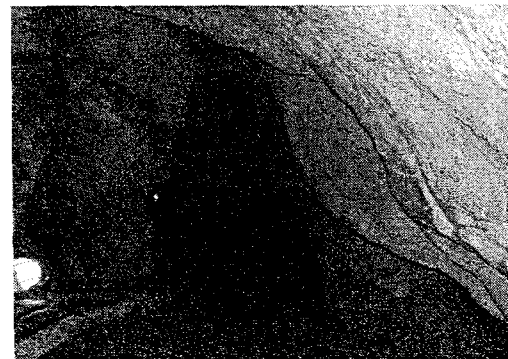


그림8. 굴 내부의 복잡한 가설물과 조명등 - 조명등 주위는 물론 먼 불빛이 닿은 벽면에도 여기저기 푸릇푸릇한 광합성 녹색식물이 번식 성장하여 동굴생태 변화를 심하게 유발하고 있다. 개방관광동굴의 경우 인위적인 구조물의 가설과 조명시설들은 불가피하지만 그의 보존대책도 시급하다.



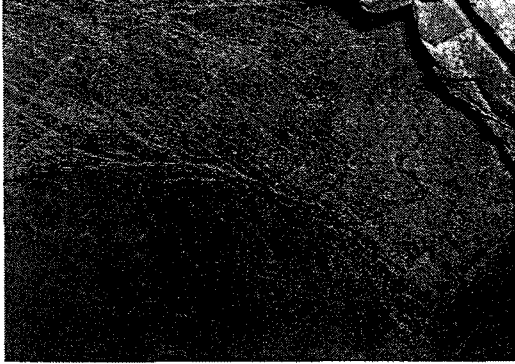


그림9. 동굴 내부 깊숙한 곳에도 조명등 빛이 닿은 곳이면 여지없이 푸른 녹색식물이 번식하고 있다. 빛과 수분 그리고 입장객이 내뿜는 CO2는 녹색광합성식을 번식의 기본 요소이다. 따라서 물과 공기를 차단할 수 없는 만큼 조명에 사용되는 빛을 최적 제어함으로써 녹색식물 번식을 억제하는 기술 개발이 시급히 요구된다.

3. 광 제어시스템 동작과 원리

감광센서 CdS는 황화카드뮴 셀의 약자로, 빛을 감지하는 감광센서이다. 황화카드뮴 결정에 금속선을 붙인 전자소자 부품으로서 빛이 없는 어두운 곳에서는 절연체와 같지만, 빛이 닿으면 도전성이 발생하는 성질이 있어서 어두운 곳에서는 높은 저항 값을 나타내고 빛이 밝아질수록 내부저항 값이 낮아지는 성질을 이용하여 감광 제어회로를 구성한다.

AT89S52는 high(+5V)와 low(0V)값을 인식하므로, 내부저항에 의해 전압이 변화하는 CdS의 특성상 마이크로프로세서에 직접 연결하여 입력신호를 받기에는 어려움이 있다. 따라서 OP-AMP LM741을 이용한 비교기회로(그림10)를 구성하여 일정한 입력신호 값이 전달되도록, LM741 비교기를 통해 기준전압 2.5V보다 작은 값이 들어오면 마이크로프로세서에 low값을 인가하여 LED를 작동하고, 반대로 그보다 높은 값이 되면 LED는 ON 상태로 된다.

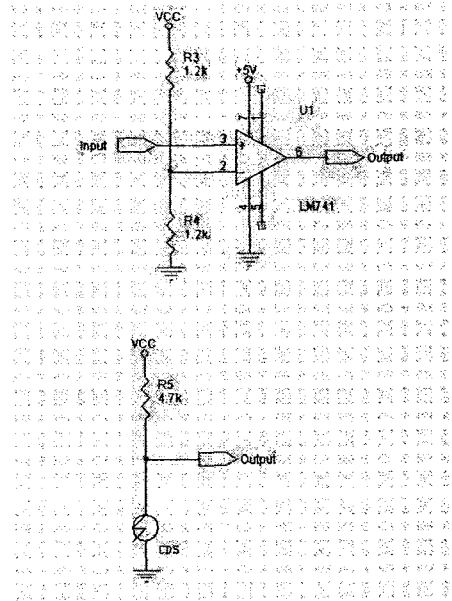


그림10. CdS 비교기

도트매트릭스란 LED를 매트릭스(행렬)의 형태로 나열한 것으로 이러한 LED를 사용한 디스플레이장치는 고 휘도에 수명이 긴 장점이 있다. 도트매트릭스 LED를 구동시키는 방법에는 정적구동(static drive)과 동적구동(dynamic drive)의 2가지가 있으며, 정적구동의 경우는 시프트 레지스터의 비트를 LED 개수만큼 준비하고 여기에 데이터를 보내어 점등하는 방식으로 한 번에 모든 LED를 ON/OFF 시키는 반면, 동적구동은 매트릭스 LED를 1행씩 스캔하면서 LED를 ON/OFF 하는 방식으로 CRT의 표시방법과 동일한 방법으로 구동하게 되며, 스캔라인과 데이터라인으로 구성되어 스캔라인에 의해 각 행 또는 열을 1행씩 스캔하면서 데이터라인에 의해 동기 된 데이터를 출력하는 방식이다. 그러므로 동적구동 방식에 따른 전체 LED의 작동과 함께 필요에 따라 일부 LED를 제어할 수 있도록 구성한다.

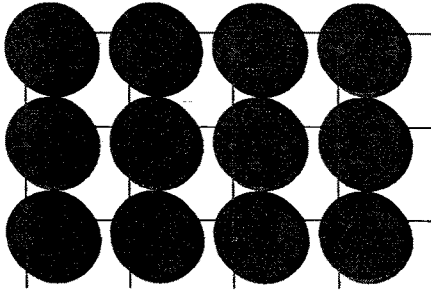


그림11. Dot-matrix Dynamic 구조의 LED 어레이

8x8 도트매트릭스 4조를 연결하려면 (+)극의 8 pin과 (-)극의 32 pin이 필요하다. (+)극의 연결은 P0 포트의 8 Pin과 연결되므로 큰 상관없이 없지만, P2 포트와 연결되는 (-)극의 32 Pin은 각각의 LED를 제어하기 위해 Latch를 이용한 연결방법이 필요하다. latch 소자로 74LS573을 사용하고, P2 포트의 8 pin을 각각 병렬 연결하여 4개의 LED 모듈로 연결한다. 74LS373에 비하여 입력과 출력 핀 배열이 동일하여 혼동 없이 쉽게 납땜접속이 가능하도록 설계되었으며, OE(Out Enable)를 통하여 각각의 LED 모듈을 선택하여 실행할 수 있다.

식용작물의 광합성을 위해 필요한 빛의 흡수 파장은 640~680nm(중심파장 ~660nm) 부근의 적색광파장과 450~480nm(중심파장 ~475nm) 부근의 청색광파장의 광이며, 그 밖의 파장 성분은 거의 흡수되지 않음으로 광합성에 필요한 이 두 종류의 광 파장 근처의 피크파장성분을 포함하는 광원을 사용하여 선택적광파장을 조사함으로써 식물광합성을 촉진하고 생장시키는 인공식물재배기법을 적용할 수 있으며, 그에 따라 상당한 부분의 에너지절감과 연속생장기법으로 재배기간을 단축하고, 비교적 좁은 실내공간을 이용하여 식물배양은 물론, 농작물재배를 위한 인공식물재배공장의 건설로부터 인공식재공법을 적

용할 수 있는 에너지절감형식물재배기를 구성할 수 있다.

그러므로 적외선으로부터 자외선영역에 이르는 가시광영역의 전 파장성분을 포함하는 자연광(태양광)은 광합성에 불필요한 많은 복합파장성분의 에너지를 내포하고 있으며, 또한 야간에 광원으로 사용하는 백열등이나 형광등과 같은 일반적인 인공광원 역시 불필요한 여러 성분의 복합파장을 포함하므로, 이와 같은 인공광원을 필요로 하거나 사용하는 경우에는 특히 에너지의 낭비요소를 크게 갖는다.

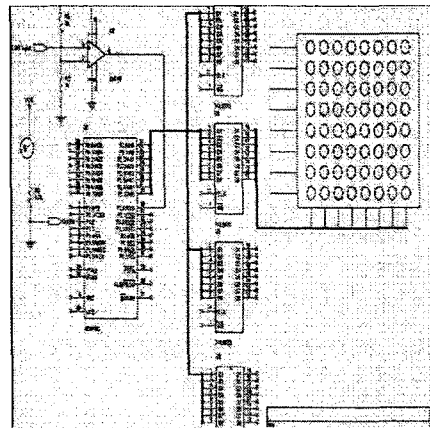


그림12. 74LS573 병렬연결 구조

따라서 선택적 광색성분을 발광하는 LED를 사용하여 필요한 광원을 조합한다면 상기의 필요조건을 충족함과 동시에 불필요한 성분의 낭비를 방지할 수 있으며, 또한 주야간 및 기후조건과 재배식물의 종류에 따른 흡수광량의 정도에 따라서 파장과 광량에 따른 선택 광원을 최적 조합하여 구성하면 상기의 불필요한 에너지의 낭비를 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 최적제어를 통한 첨단재배공법의 효율성을 기할 수 있다.

특히 최근의 반도체제조기술은 높은 발광휘도와 저렴한 생산코스트 기법으로 LED를 일상생활 용품으로 일반화시키기에 적합한 조건을 갖춰주고 있으며, 교통신호체계의 효율적 인공광원의 적용에서부터 차량조명등이나 어선의 집어등 및 각종 휴대용전등에 이르기까지 다양한 용도의 민생용품으로 개발하여 사용하고 있지만, 식물생장연구에서 농업재배기술 분야에까지 새로운 식재기술에 적합한 인공광원으로서 그 응용성을 확대시켜 크게 주목받으면서 계속 시장수요를 증가시키고 있다.

따라서 선택과장조광 특성을 이용한 전자제어식 에너지절감형 LED 식물재배광원을 구성하여 식재용광-패널로의 적합성을 확인하였다. 그러나 동굴생태변화억제의 경우, 적색과 청색의 혼합광원을 필요로 하지 않고 오히려 광합성에 관계되지 않는 황색 또는 황록색의 혼합광이 요구되기 때문에, 요구 조건에 따라 위의 방법을 황록색의 혼합조건에 맞춰 구성하면 동굴내의 녹색식물광합성물의 발생과 성장을 억제할 수 있다. 다시 말하면, 혼합과장 백색광 중에서 적색(660nm)과 청색(450nm) 영역을 제외하고 밝은 색 빛에 해당하는 황색(550nm) 또는 황색 주변의 주황색과 초록색 범위의 혼합광원(500~600nm)을 활용하여 동굴조명을 구성할 경우, 그 중에서 밝은 색계통의 황색광(~550nm)을 주광원으로 채택하면 동굴내의 녹색광합성에 의한 생태계 변화를 억제할 수 있다.

그러므로 나트륨-탈륨-인듐계를 사용한 기존의 나트륨조명등 [나트륨의오렌지색 (주과장 589nm), 탈륨의 녹색(535nm) 및 인듐(452nm)의 선-스펙트럼을 조합한 백색광 등]을 사용하는 방안이나, 또는 본 논문에서 제안한 고휘도의 황색광 과장과 조합된 복합광 과장의 LED 조광램프 및 그 패널등의 사용을 권장한다.

4. 결론

지하 동굴의 생태계 변화는 바람직하지 않을 뿐더러, 생태계 환경은 자연 그대로 보존되어야 한다. 그러나 동굴 내의 여러 가지 활동을 위해서는 불가피 인공조명을 필요로 하게 되며, 인공조명은 암흑공간의 생태계를 변화시킬 수밖에 없다. 그러므로 생태계보존과 인공조명이 공존하면서 동굴 내에서의 활동을 원활하게 하기 위해서는 특별한 방안이 강구되어야 한다.

이를 위하여 현재 범용으로 사용되고 있는 백색광원의 조명기구 사용을 금지시키거나 적절한 대상으로 대체해 줘야 한다. 이에 대한 방안은 여러 가지가 있을 수 있다. 하지만, 광원의 특수성과 아울러 발열 원을 차단해야하는 이중적 조치를 위해서는 냉광원의 사용도 불가피하다.

따라서 본 논문에서는 이에 대한 방안으로 녹색광합성에 작용하지 않는 냉광성의 선택과장광원을 이용하기 위하여, 최근에 이용이 급증하고 있는 높은 발광효율과 고출력조도를 확보한 고휘도발광다이오드를 활용하여 적색과 청색의 녹색광합성 흡수과장을 제외한 밝은 계통의 황색 및 황색 주변의 혼합광원의 사용으로 동굴조명에 의한 생태환경 변화의 억제 방안을 제시하고, 그 제작기법과 함께 환경보존을 위한 채용의 개연성과 확대보급의 필요성 및 그의 사용권장을 강조하였다.

녹색광합성을 위해서 요구되는 광색과 광파장이 적(赤)색과 청(靑)색 계통의 680nm 및 460nm를 주 피크로 하고 그 주변의 과장성분으로 구성됨으로, 광합성에 작용하는 주요 과장성분을 제외한 밝은 색 계통의 나트륨등이나 황색광 과장과 조합된 복합광 과장의 LED 조광램프 및 그 패널등의 조명장치를 사용함으로써, 동굴 생태계의 보존은 물론 천연자원의 보존과 유지

및 지구환경지킴이의 역할에 크게 기여할 수 있음을 확신하며, 기대한다.

참고문헌

[1] <http://solar.korea.ac.kr/>
 [2] 한국에너지 기술 연구원/
<http://www.kier.re.kr>
 [3] 포토왓 <http://www.photowatt.com>
 [4] 해성솔라 <http://www.hssolar.co.kr>
 [5] 에너지관리공단 대체에너지개발보급센터/
<http://racer.kemco.or.kr>
 [6] 스파이어 솔라/
<http://www.spiresolar.com>
 [7] 한국해양정보통신학회 춘계학술발표 논문집, May 29, 2004
 [8] Janusauskas, US Patent, No. 5,976,613, Nov. 2, 1999
 [9] Janusauskas, US Patent, No. 5,491,377, Feb. 13, 1996
 [10] 中國·桓仁, 桓仁滿族自治縣人民政府, 主編/孫旭東 外
 [11] 洞穴旅游學, 陳詩才, 福建人民出版社, 2003. 07.
 [12] 地下名勝 龍門溶洞, 朝鮮文化保存社, 편집/김영옥, 촬영/이인철, 유덕인, 인쇄/외국문중합출판사 인쇄장, 발행/1999.6.30., No-7-985321
 [13] 소현재, 사진 및 영상자료 촬영/편집/제공
 [14] Wang Jun (王軍), YAO-DONG in CHINA (中國窯洞), Ha-Nam Science and Technology Publishing Firm (河南科學技術出版社), 1999.9.
 [15] 소대화, “제주도 화산동굴의 용암석회질화”, 한국동굴학회 학술논문지, 2005.1.
 [16] 소대화, 소현준, 배두안, 김정희, “내추럴 켈즈와 화산암재 스코리아의 기능성

마그네타이징 처리 기술”, 한국동굴학회 2004 전반기학술대회 논문집,
 [17] 고려대학교 반도체응용 연구실
 [18] 소대화, 변길호, 한상엽, “동굴관리를 위한 친환경 솔라-셀 전원장치와 면광원 전자발광다이오드 동굴조명”, 한국동굴학회 2004 전반기학술대회 논문집, 2004.6.
 [19] 안창범, 이동현, 정선규, 조완희, “성장 챔버용 LED패널 혼합 선택과장광원의 마이크로프로세서 제어”, 한국동굴학회 2007 전반기학술대회 논문집, 2007.6.
 [20] 이동욱·안도량, “8051 회로제작에서 프로그램까지” 인터뷰전, 2006.
 [21] 윤덕용, “AT89S52 마스터(어셈블리와 C언어로 익히는)” ohm사, 2006.