

중앙관제시스템에 의한 LED 도로조명제어

LED Street Light Lamp Control by Central Command System

조 시 형* 박 찬 원**
Cho, Si-Hyeong Park, Chan-Won

Abstract

This paper presents the development of LED street light lamp which is controlled by central command system. This system includes a lamp unit controller, data repeater and command repeater as well as the LED lamps. These devices enable the individual power control and partial on/off control of the LED lamps by the control repeater through full duplex communication line. Also, they have the ability to control the brightness and period of on/off timing by detecting the car's existence. As a result of this development, it is founded that the performances of the system have been satisfied to apply for the actual road test.

키워드 : 중앙관제시스템, 지능형 도로 시스템, LED 라인조명
Keywords : *Central command system, Intelligent road system, LED Line-Lamp*

1. 서론

절전과 내구성이 우수한 LED를 이용한 조명은 최근 실내조명 뿐 만아니라 실외 및 도로조명에 이르기 까지 급속히 기존의 조명장치를 대체하고 있다. 본 연구는 고속도로 또는 일반 차도의 가드 레일상에 장치되어 기존의 가로등을 대체하고자 하는 LED라인 조명장치이다. 여러개의 고휘도 LED와 마이크로프로세서를 사용한 LED 조광회로를 장치하고 밝기 변화조절에 의한 절전과 기능성 점멸 동작을 수행하며 램프의 불량 상태를 확인할 수 있는 기능을 포함한다. 또한 조명등의 효율적인 관리와 절전을 위하여 차량의 유무에 따라 등기구

의 조도를 단계별로 조절할 수 있고 일몰일출시의 조도제어기능을 가지며, 사고시에는 점멸제어기능을 가지는 지능화 도로 LED라인조명 시스템이다 [1].

본장치의 구성은 자동차도로의 노면 또는 중앙 분리대에 일정 구간마다 마이크로프로세서를 포함하는 LED조광 제어장치(Lamp Unit Controller : LUC)와 차량감지센서(Car Sensor : CS)가 설치되고 일정구간은 유선통신으로 데이터중계기(Data Repeater : DR)를 통하여 데이터를 송·수신하는 무선통신장치가 통합된 1개의 장치인 명령중계기(Command Repeater : CR)로 구성된다. 이들은 다시 상당구간마다 전체시스템을 제어 및 관리유지하는 중앙관제시스템으로 전체적인 제어를 양방향으로 수행한다. 본 연구에서는 이들 개발에 관한 하드웨어와 소프트웨어의 구성과 기술내용에 대하여 다루고자 한다[2].

* 강원대학교 전기전자공학과 박사과정
** 강원대학교 전기전자공학과 교수, 공학박사, 교신 저자

2. 전체 시스템 구성

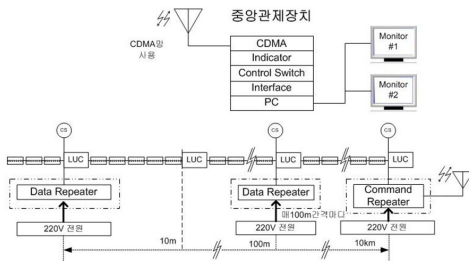


그림 1 전체시스템 개요도

중양관제시스템은 도로망의 라인램프에서 전달되는 실시간의 조명상태와 기기상태를 관리자가 알 수 있도록 컴퓨터를 포함한 모니터장치에 GUI(Graphic User Interface)화면을 생성하고 표시하는 장치이다. 하부장치(LUC, CS, DR, CR)로부터의 상황정보뿐만아니라 중앙장치로부터의 명령전달체계의 하향통신도 가능한 관제시스템구성이다.

그림 1은 중앙관제장치의 개요도이다. 기본적으로 2개의 모니터 화면에 관리자가 상체제어를 관장하는 제어화면과 1개의 CR이 구성하는 CDMA 구획단위별 전체상태표시화면으로 구성된다. PC의 직렬통신단자에 전용으로 개발된 하드웨어 인터페이스장치를 탑재하고 자체 상태진단기능을 수행하도록 하였으며 윈도우XP운영체제에서 실행되는 자체개발한 실행소프트웨어는 두 개의 모니터화면에 상태표시창과 제어창을 표시하여 관리자가 관리업무를 수행할 수 있도록 하였다. 제어창에서는 관리자가 해당장치의 위치에 마우스를 클릭하여 윈도우 팝업창이 활성화되어 각각 관리자 이벤트처리와 명령처리를 수행할 수 있도록 구성하였다. 하부장치와의 통신은 무선 CDMA망을 사용하는데 도로와 인접한곳에 중앙관제장치를 설치할 경우 CR과의 통신선 확장으로 유선으로도 제어할 수 있도록 하였다[3][4].

3. 시스템 설계 및 제작

3.1 하드웨어 장치의 설계 및 제작

3.1.1 Lamp Unit Controller (LUC)

LUC장치의 가장 큰 특징은 220V 직접 구동방식에 있다. LED소자의 순방향 전압강하가 부품별로 조금씩 다르기 때문에 병렬연결은 각 LED휘도의 편차를 발생시킨다. 따라서 본연공서는 배치구조와 제어기의 연결을 고려하여 전원전압 220V에 근접하는 직렬구동 방식으로 설계하였다. 발열이

적은 정격전류 350mA의 1W소비전력 LED를 연결하여 1개의 조명유닛에 12개씩 연결할 때 LED 한 개당 순방향 전압강하가 3.2V정도 이므로 이를 직렬연결하면 약 38V 정도가 된다. 상용전원 220V로 구동하기 가장 근접한 구성은 12개의 LED 유닛을 5개 직렬 연결할 경우 200V에 근접하므로 PWM제어의 동작여유를 고려하면 이정도의 구성이 가장 좋을것으로 결정된다. 이방식은 직렬연결 LED가 1개라도 불량이 되면 5개 유닛전체가 소등되는 문제점이 있는데 5개유닛의 조명구간은 10m정도 이므로 50m이상의 일반 가로등조명과 비교할 때 큰문제점이 되지않을 것으로 판단된다. 그러나 220V를 직접구동하기 위해서는 출력단에 LED가 직렬연결 되어야 하므로 제어회로에 220V 전위가 일부 공통전위로 연결구성되는 것을 피할 수가 없다. 따라서 그림 2에서와 같이 전원부는 입력측과 출력측이 아이솔레이트 된 절연분리회로를 구성하여야 한다. 그림 3의 회로에서 보는 바와 같이 디지털 전원용이 5V전원과 통신용의 12V전원은 접지가 분리된 형태로 설계되었고 PWM용 FET드라이버제어용 전원은 5V전원에서 다시 12V 승압하여 공급하는 방식을 취하였다. EH한 램프드라이버회로 부분은 인덕턴스와 커패시턴스를 조합하여 부단한 시행착오의 실험으로 LED부하에 가장 매칭이 잘되는 역할을 유지할 수 있도록 역률 개선회로를 추가하였다[5][6][7].

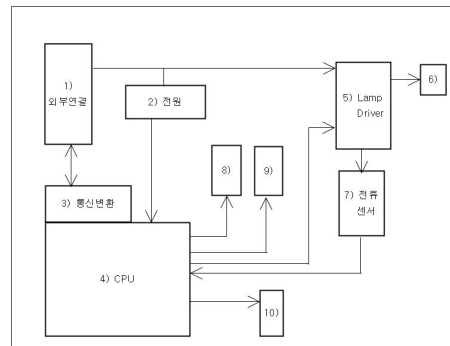


그림 2 LED 램프 유닛 구성도

3.1.2 차량통행 검출장치(CS)

그림 4와 그림 5는 차량감지센서의 구성도와 전체 회로도이며 그림 6은 방향성 감지회로이다 각각의 동작에 대한 설명은 다음과 같다. 먼저 그림 4의 2개의 초음파 센서 초음파 센서로 송수신을 분리하고 각각 증폭기를 연결하여 A/D 컨버터가 포함된 one chip CPU에서 초음파의 송수신에 대한 도플러계산으로 거리를 산출한다[8]. 출력은 cm 레벨의 정밀도로 디지털 데이터를 CPU에 전송한다. 이와 연동하여 그림 6의 회로에서 차동 음파

신호처리기에서 좌우의 차량소음 음파신호의 크기를 시간차로 비교 분리하여 방향성을 탐지다. 그림 5에서와 같이 외부 연결 단자를 통하여 LED Lamp의 CPU에서 이러한 처리를 수행하여 보다 정확한 도로상의 차량접근 유무를 판별하여 통신 모듈을 통하여 중계기로 차량 존재를 전송한다[9].

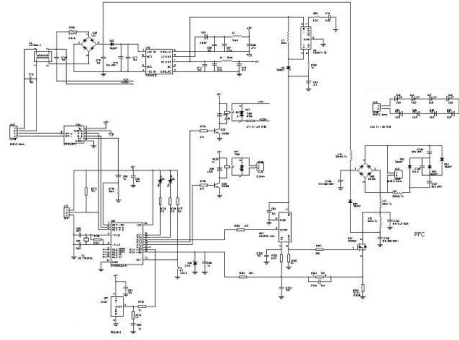


그림 3 Lamp Unit Controller의 회로도

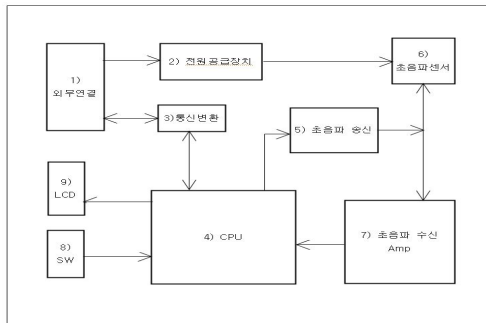


그림 4 차량통행 검출장치의 구성도

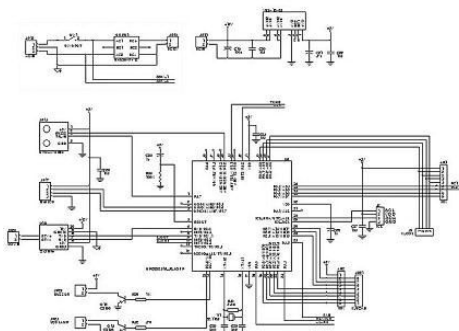


그림 5 차량통행 센서장치의 전체 회로도

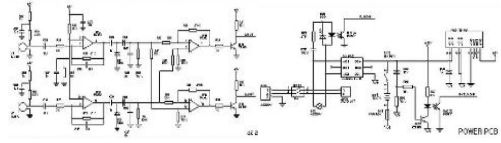


그림 6 차량 이동방향성 감지회로

3.1.3 중계제어장치의 공용회로 개발

LED 구동방식이 220V 직접드라이브 방식을 사용함으로써 LUC와 CR, DR, 그리고 휴대장치의 모든장치에 직류저전압 전원과 상용전원 220V가 혼재하여 전원 아이솔레이션이 필요하고 신호선과 전원선의 접지그라운드 분리가 필요하다. 따라서 모든 전원부가 필요에 따라 접지선을 분리하였고 신호선과 전원드라이브간에는 포토커플러나 릴레이를 이용한 아이솔레이션 기법이 도입되었다[9]. 이와 함께 각종장치의 유지관리와 부품의 상호 호환성을 최대화 하기 위하여 각 장치들을 공통적인 기능을 같은 하드웨어로 구성하는 공용기판을 개발하게 되었다. 각 장치 기능별로는 소프트웨어와 통신 모듈같은 소형의 탑재기판의 탈부착을 달리 함으로써 다른 기능을 수행할 수 있도록 하였다.

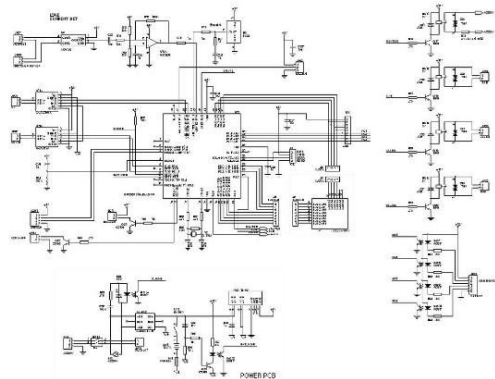


그림 7 중계 제어 장치

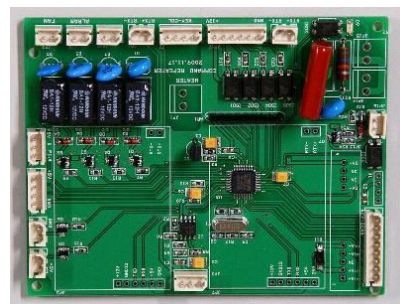


그림 8 CR, DR, 휴대제어장치 공용 PCB



그림 9 CR, DR 및 휴대제어장치의 장치외형

그림 7은 이를 실현한 전체 회로이며 좌측부에 통신모듈을 탑재하는 커넥터가 있고 아래부분의 전원회로는 아이솔레이션된 전원으로 5V 신호처리용 전원을 공급하고 있다. 그림 8은 CR, DR, 휴대장치를 운용하기 위한 공용PCB을 보여주고 있고, 그림 9는 개박 제작된 CR, DR, 장치 외형과 휴대 제어장치 외형을 보여주고 있다.

3.2 중앙관제장치의 설계와 제작

3.2.1 중앙관제장치 하드웨어의 제작

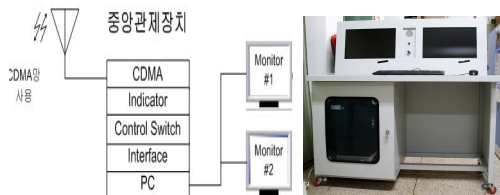


그림 10 중앙관제 시스템 장치

개발된 중앙관제시스템은 도로망의 라인램프에서 전달되는 실시간의 조명상태와 기기상태를 관리자가 알 수 있도록 컴퓨터를 포함하는 모니터장치에 GUI(Graphic User Interface)화면을 생성하고 표시하는 장치이다. 하부 장치(LUC, CS, DR, CR)로부터의 상황정보 뿐만 아니라 중앙장치로부터의 명령전달체계의 하향통신도 가능한 관제시스템 구성이다. 기본적으로 2개의 모니터 화면에 관리자가 상태제어를 관장하는 제어 화면과 1개의 CR이 구성하는 CDMA구획단위별 전체상태표시화면으로 구성된다. PC의 직렬통신단자에 전용으로 개발된 하드웨어 인터페이스장치를 탑재하고 자체 상태진단기능을 수행하도록 하였으며 윈도우 XP운영체제에서 실행되는 자체개발한 실행소프트웨어는 두 개의 모니터화면에 상태표시창과 제어창을 표시하여 관리자가 관리업무를 수행할 수 있도록 하였다. 제어창에서는 관리자가 해당장치의 위치에 마우스를 클릭하여 윈도우 팝업창이 활성화되어 각각 관리자이벤트처리와 명령처리를 수행할 수 있도록 구성하였다. 하부장치와의 통신은 무선 CDMA망을 사용하였는데 도로와 인접한 곳에 중앙관제장치를 설치할 경우 CR과의 통신선 확장으로 유선으로도 제어할 수가 있다[10][11].

3.2.2 중앙관제장치 표시화면의 구성

중앙관제장치의 모니터화면표시는 두 개의 화면으로 분리표시된다. 그림 11은 상부에 CDMA 버튼을 20개 구성하고 한 개의 CDMA가 아래의 CR 이하 화면을 담당표시한다. 화면 우측상부에는 각 버튼의 바탕 배경색깔별로 장치가 설치되지 않은 경우, 장치가 설치된 경우, 에러상태인 경우의 표시와 LUC동작에 의해 LED램프가 켜진 경우 그리고 램프가 꺼진경우의 구분법례로 표시한다. 아래 중앙화면에서는 좌로부터 CR한개가 담당할 수 있는 100개까지 확장할 수 있는 DR의 상태가 99개 표시된다. 이때 CR은 DR의 작업을 겸한다. 그 아래에 CS와 LUC의 상태를 제어할 수 있는 버튼이 표시되는데 이 화면에서 해당 DR을 클릭하면 해당 CS와 LUC의 상태가 표시되고 LUC는 화면에서 L01에서 L10까지 상태가 색깔별로 표시되는데, 마우스로 해당 LUC버튼을 좌클릭하면 팝업메뉴가 떠서 원하는 명령어를 선택할 수 있다. 한편 제어 화면의 아래부분에는 해당구간의 소비전력과 전압 그리고 온도가 실시간으로 표시된다.

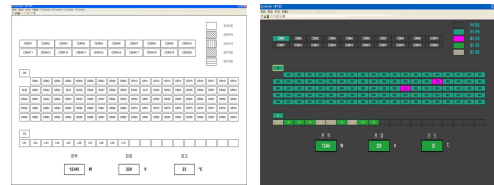


그림 11 중앙관제장치의 제어화면

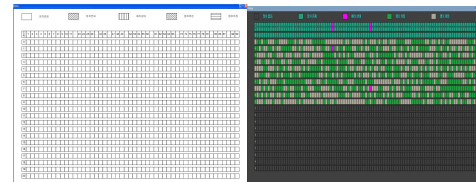


그림 12 중앙관제장치의 전체상황표시화면

그림 12는 전체상태표시화면이다. 맨 위엔 각 색깔별 구분을 표시하고 옆으로 100개의 표시칸이 있는데 제일 윗줄 맨 좌측이 CR을 표시하고 이후 우측으로는 DR을 01에서 99까지 표시한다. 다음줄은 CS를 표시하는데 아래위로의 한 개의 라인은 DR(CR)-CS-LUC에 이르는 종속 접속라인을 표시한다. 관리자는 상태표시화면으로 CDMA한개 구간을 본 창으로 한번에 파악할 수 있으면 각 상태의 표시는 색깔로 구분되어 표시한다.

4. 소프트웨어 구성 및 설계

윈도우XP 운영체제에서 실행되는 자체개발한 실행소프트웨어는 두 개의 모니터화면에 상태표시

창과 제어창을 표시하여 관리자가 관리업무를 수행할 수 있도록 하였다. 제어창에서는 관리자가 해당장치의 위치에 마우스를 클릭하여 윈도우 팝업창이 활성화되어 각각 관리자이벤트 처리와 명령처리를 수행할 수 있도록 구성하였다. 그림 13에서 중앙관제장치의 주 프로그램의 실행은 먼저 중앙관제장치의 실행프로그램을 실행하면 프로그램은 통신부를 통하여 연결된 CDMA를 찾고 CDMA모듈을 초기화 하고 상태를 체크한다. 이때의 수순은 각 통신사별 CDMA모듈의 사양에 따라 진행된다. 다음으로 등록된 CR을 찾아 CR의 기본상태 정보를 요청하고 최고 셋팅값을 확인한다. 이어서 하부의 DR상태를 수신하고 각각의 초기상태를 세팅하고 그림의 기본화면디스플레이를 수행한다. 화면표시를 수행하면서 설정된 보고주기에 따라 CS의 정보를 수신하고 갱신하며 동시에 관리자로부터의 제어명령도 이벤트에 따라 대기하면서 실행한다.

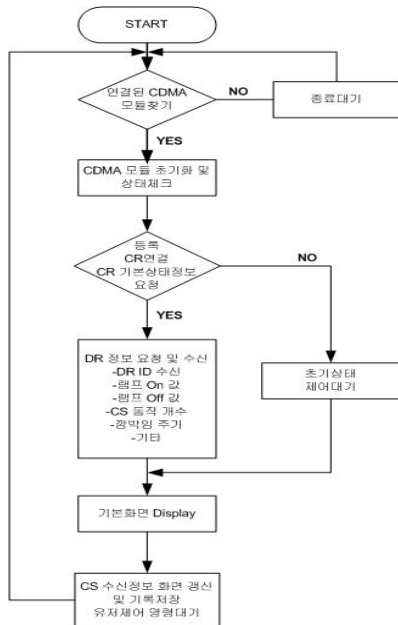


그림 13 주 프로그램처리 흐름도

그림 14는 기본화면처리프로그램의 흐름도이다. 먼저 모니터의 해상도를 판단하는데 본 장치에서는 1920 x 800디스플레이를 기준으로 하여 제반 표시마크가 설정된다. 모니터 해상도가 판단되고 난후 좌측화면의 제어창과 우측화면의 전체상태표시창으로 구분하여 프로그램이 실행되는데 먼저 제어창에는 최대 CDMA모듈 20개가 먼저 등록좌표로 계산되어 표시된다. 한 개의 CDMA는 10km 구간을 표시하므로 본 중앙관제장치로 200km까지의 표시와 제어가 가능하도록 하였다. 그이상의 구

간은 서버연동으로 가능하다. 또한 CS와 LUC는 한 개의 CS가 DR과 대응되고 LUC는 한 개의 DR 당 20개까지 설정이 가능하다. 한편 전체상태표시창에서는 또다른 포맷으로 DR을 한줄에 100개씩 표시하는 좌표를 계산하고 CS 한 개당 LUC 20개의 좌표를 계산하여 표시하도록 하였으며 CDMA로부터 전송되어오는 상태를 색깔별로 표시하게 된다.

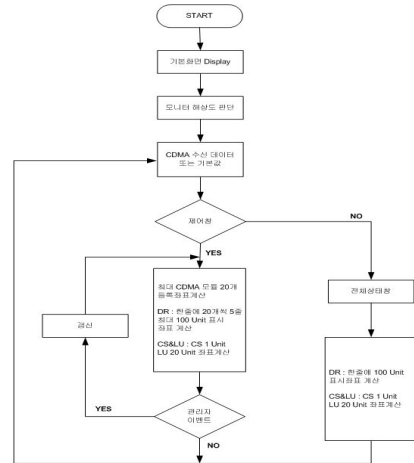


그림 14 기본화면표시처리 구성흐름도

5. 기구장치의 성능 시험평가

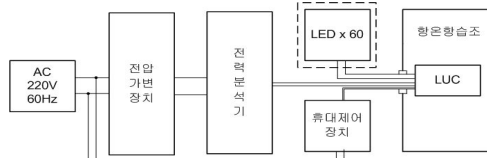


그림 15 항온항습시험 구성도

그림 15는 개발된 장치들의 전기적특성들을 평가하기위한 실험장치 구성도이다.

상용교류전압 220V를 입력하여 180V에서 260V까지 가변할 수 있는 전압가변장치에 연결하고 이를 전력분석기를 통하여 전력(W), 전압(V), 전류(A), 역률(%)을 평가한다.

온도를 변화시키기 위한 항온항습조는 -25℃에서 55℃까지 일정 습도 하에서 온도를 가변시키면서 전기적 특성들을 평가하였다. LUC를 항온항습조에 장치하고 LED 밝기단계변화의 제어를 하기위한 제어신호는 휴대제어장치를 통신선으로 연결하여 외부명령으로 제어하면서 측정하였다.

본 실험에서 LED부하 일부만을 투입한 평가와 LED 60개 모의부하를 제작하여 외부에서 인위적

으로 히이터로 가온시키고 적외선 비접촉식 온도계로 온도를 측정하면서 전기적특성을 평가하는 방법을 병행하였다.

5.1 전원전압 변동시험

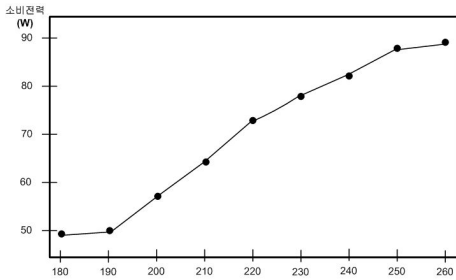


그림 16 전원전압 변동에 대한 역률의 변화

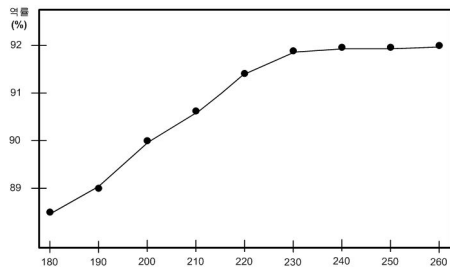


그림 17 전원전압 변동에 대한 소비전력의 변화

그림 16은 개발된 LUC와 LED부하에 대한 전원전압을 변동시켜 측정된 실험결과이다. 상용교류 전원 220V를 전압가변장치에 입력하여 180V에서 260V까지 10단계로 전압을 변동시켜가면서 소비전력과 역률을 측정된 결과이다. 측정결과 소비전력은 정격 220V에서 73W정도를 소비하였는데 LUC만 따로 측정해본결과 1W정도 소비되므로 LED부하의 소비전력은 72W 정도로 계산된다. 190V에서 250V 범위내에서는 전압변동에 비례적으로 증감하는 것으로 측정되었으며 그 이상의 범위에서는 포화되는 양상을 보였다. 하지만 LUC의 LED 점등방식이 정전류 점등방식이므로 전압변동에 대한 LED의 밝기 변화는 눈에 띄는 변화는 관찰되지 않았다.

그림 17은 같은 변화에 대한 역률특성을 관찰한 것으로 220V 정격인가 전압에서 91.5%의 비교적 양호한 특성을 보였다. 230VRK지의 전원전압 변동에서는 전압변동에 같이 비례하여 증감하는 양상을 보이다가 230V에서 최고 역률 92%에서 더 이상 증가하지 않았다.

정격전압보다 낮은 입력전압에서 역률과 효율이 저하하는것은 구동조건을 맞추기위한 PWM제어과정에서 전압전류의 위상과 회로의 효율저하에 의한 것으로 분석되며 저전압에서의 역률과 효율의

개선은 지속적인 연구가 필요하다.

5.2 온도변화특성

그림 18은 개발된 LUC와 LED부하에 대한 동작 환경 온도를 변화시켜 측정된 시험결과이다. 정격전압 220V를 인가한 상태로 -25℃에서 55℃까지 10℃간격으로 온도를 변화시켜가면서 소비전력과 역률을 측정된 결과이다. 이때 온도의 상승과 하강은 0.5℃/min의 비교적 완만한 속도였으며 해당 측정온도에서 10분이상의 안정을 유지한 후 측정을 하였다. 측정결과 소비전력은 5℃에서 75.5W정도를 소비하였는데 영하에서 급격히 감소하고 상온 이상에서는 완만히 하강하는 것으로 관찰되었다. 하지만 마찬가지로 본 장치의 LED점등방식이 정전류 점등방식이므로 전압변동에 대한 LED의 밝기를 관찰해 본 결과 눈에 띄는 변화는 보이지 않았다.

그림 19는 같은 변화에 대한 역률 특성을 관찰한 것으로 대체적으로 온도가 내려가면 역률이 감소하는 경향을 보였는데 35℃ 이상에서는 92.3%의 값에서 더 이상 증가하지 않았다. 온도변화에 대한 소비전력과 역률의 특성변화는 LED자체의 온도특성에 기인하는 것으로 실용상 큰문제점이 되지 않는 범위에 있는 것으로 평가되었다.

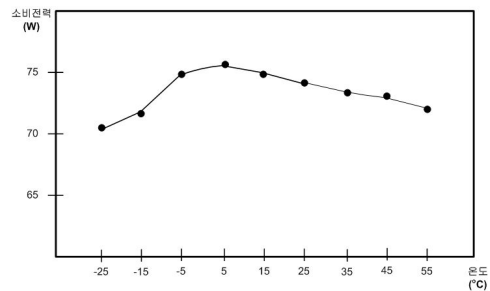


그림 18 LUC 온도변화에 대한 소비전력특성

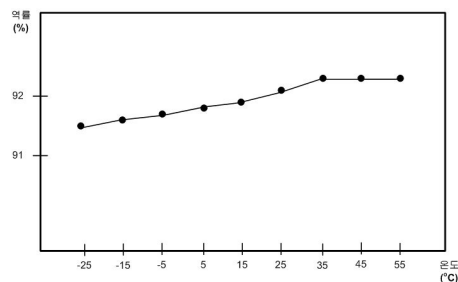


그림 19 LUC 온도변화에 대한 역률 특성

5.3 LED 휘도 단계별제어에 대한 특성

그림 20은 휴대제어장치의 명령을 변화시켜 LUC에 LED부하에 대한 휘도제어 신호를 단계별

로 변동시키면서 측정한 시험결과이다. 개발된 LUC장치의 LED조명제어 소프트웨어로 설정된 밝기의 9단계로 레벨을 변동시켜가면서 소비전력과 역률을 측정한 결과이다. 측정결과 소비전력은 5~6단계에서 정격소비전력 72W 정도를 소비하였으며 그 이상에서는 거의 소비전력의 변화가 없었다. 5단계 이하에서는 단계를 줄일 때마다 급격하게 역률이 감소하였다. 당연히 단계변화에 대한 LED의 밝기는 비례적으로 변화하였다.

그림 21은 같은 변화에 대한 역률특성을 관찰한 것으로 전력변화에 대한 결과와 거의 같은 양상을 보였다. 6단계에서 91.5%의 특성을 보이다가 그 이상에서는 거의 증가하지 않았으며 1~6단계 사이에서는 비례적으로 역률이 감소하였다.

회도제어에 따른 역률과 효율이 저하하는 것은 구동조건을 맞추기 위한 PWM 제어과정에서 전압전류의 위상과 회로의 효율저하에 의한 것으로 분석되며 이부분에서의 역률과 효율의 개선은 지속적인 연구가 필요하다.

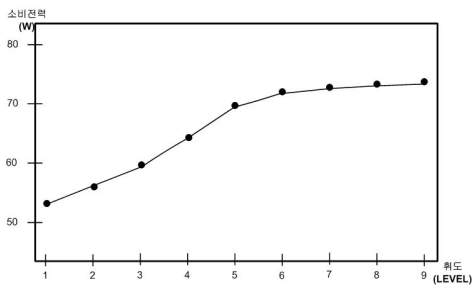


그림 20 LED 회도 단계제어에 대한 소비전력의 변화

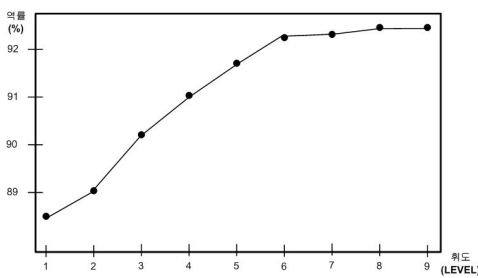


그림 21 LED 밝기 단계제어에 대한 역률의 변화

6. 결론

본 연구에서는 도로망의 LED라인램프에서 전달되는 실시간의 조명상태와 기기상태를 관리자가 알 수 있도록 컴퓨터를 포함하는 모니터장치에 GUI(Graphic User Interface)화면을 생성하고 표시하는 장치를 개발하였다. 하부 장치로부터의 상황 정보 뿐만 아니라 중앙장치로부터의 명령전달체

계의 하향통신도 가능한 관제시스템구성이다. 두 개의 모니터화면에 상태표시창과 제어창을 표시하여 관리자가 관리업무를 수행할 수 있도록 하였다. 본 연구의 결과는 국도 또는 고속도로의 LED조명 설비와 연동하여 지능시스템을 구축하고 절전 및 효율적인 조명시스템으로서의 역할이 기대된다.

참고 문헌

- [1] J.G. Webster, "The Measurement Instrumentation and Sensors Handbook", CRC press, 1999.
- [2] IEEE Std 1451.0-2007, Standard for a smart transducer interface for sensors and actuators IEEE Instrumentation and Measurement society, 2007.
- [3] Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll, "Operational Amplifiers and Linear ICs", Prentice Hall, 2007.
- [4] Berlin, H. M., "OP-amp. Circuits and Principles", SAMS, 1991.
- [5] John R. Jensen, "Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective, Second Edition", Prentice Hall, 1996.
- [6] Roland E. Thomas, Albert J. Rosa, "The Analysis and Design of Linear Circuits", Prentice Hall, 1997.
- [7] Stephen D., "Interfacing : A Laboratory Approach Using the Microcomputer for Instrumentation, Data Analysis and Control", University of California, Berkeley, Prentice Hall, 1990.
- [8] Joseph H. Carr, "Elements of Electronic Instrumentation and Measurement", 3th ed., Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1996.
- [9] 高橋 清, 小長井 誠, "센서 전자회로", 昭晃堂, 2000.
- [10] 장용구, "GPS 기술기반의 동적 도로소통 정보시스템 개발", 한국지리정보학회지 9권 3, 2006.
- [11] 장용구, 구지희, 이상훈, 김태훈, "GIS/LBS 기술을 이용한 동적 도로소통정보 조사·분석 체계 타당성 고찰", 한국지리정보학회지 춘계 학술대회, 2005.