

LabVIEW 소프트웨어 패키지를 이용한 고압나트륨램프의 교환시점 및 수명진단 알고리즘

(The Algorithm of Life Time Diagnostics and Evaluating of Exchanges Time about High Pressure Sodium Vapor Lamp Using the LabVIEW Software Package)

한태환*

(Tae-Hwan Han)

요 약

고압방전등을 점등하기 위해서는 고전압의 시동전압이 필요하게 되는데, 이러한 시동전압은 고압력의 나트륨램프에서도 필요하게 된다. 자기장은 전기 방전튜브에서 만들어지게 되며 증기 원자에 대한 전자충돌이 가속화되면서 2차 전자가 발생하고 전기 방전튜브에 전류가 급속도로 흐르게 되며, 나트륨램프의 제작회사마다 서로 다른 램프의 수명 및 교환시점도 서로 다르다는 것을 본 논문의 연구과정에서 발견하게 되었다. 본 논문에서는 LabVIEW 소프트웨어패키지를 사용 중인 나트륨램프의 교환시점의 알고리즘을 제안한다.

Abstract

It is necessary for starting voltage to turn on high pressure discharge lamp. This starting voltage supply to high pressure sodium vapor lamp as electric discharge lamp, Electric field is produced in Electric discharge tube, So accelerative electron collide against vapour atom and second electron is generated, And rapidly the current flow to Electric discharge tube. This paper showed that the life cycle and exchanges time for all electric discharge lamp was different according to each manufacturers. This paper is proposed the evaluating algorithm of exchanges time for high pressure sodium vapor lamp, used LabVIEW software package.

Key Words : Electric discharge lamp, High pressure sodium vapor lamp, Starting voltage, Exchanges time, LabVIEW software package

1. 서 론

오늘날 사회문화생활의 급속한 확산과 더불어서 고압 방전등의 사용이 급속히 증가하고 있는 추세에 있으며 도로를 밝혀주는 가로등 조명, 주택가의 보안조명, 문화재 조명, 대형 교각 및 대형 빌딩조명등을 통해서 어두운 여러 곳곳과 효과 및 광고 선전 등

* 주저자 : 명지전문대학 전기과 부교수
Tel : 02-300-1286, Fax : 02-300-1093
E-mail : thhan@mail.mjc.ac.kr
접수일자 : 2004년 3월 29일
1차심사 : 2004년 4월 2일
2차심사 : 2004년 9월 10일
심사완료 : 2004년 11월 16일

을 위해 고압 방전등이 사용되고 있다. 이러한 때에 고압 방전등에 대한 특성을 이해하고 수명을 연구하며 교체 시점을 연구한다는 것은 필요하다고 할 수 있겠다. 따라서 고압 방전등의 수명을 가능하는 여러 가지 방안을 연구하게 되는데, 이를테면 규격화되어있는 램프의 수명이라든지 초기 구입한 램프와 수명이 다한 램프(깜빡거리는 램프)들에 대해서 구별된 점을 찾아내어 램프의 교환 시기를 가로등이나 보안등의 관리자에게 알려줌으로써 4가지의 교환방식[1]에 따라서 램프를 교환하도록 하여 점등이 안된 후에야 램프를 교환하는 업무에서 수명이 다된 램프를 미리 교환하도록 하는 일을 하도록 함으로써 시민들의 불편사항을 사전에 해소해주는 역할을 하도록 하기 위해 본 논문에서는 LabVIEW소프트웨어 패키지를 이용해서 사용 중인 램프의 고장시점을 진단하는 방법을 제안한다.

2. 고압방전등의 특성

2.1 구조와 동작

고압 나트륨램프는 1961년 K. Schmidt가 발명한 것으로써 고온의 알칼리 증기에도 침식되지 않고 투과성이 있는 고밀도 알루미늄 제조기술 개발로 나트륨 램프의 제작이 가능하게 되었다. 1965년에 GE에서 제품을 개발 발표하게 되었을 때의 효율은 105 [lm/W]이었으나, 근래에는 일반 조명용 광원중 최고의 효율인 140[lm/W]을 갖고 있다[2],[3].

고압 방전등은 고압가스나 증기중의 방전에 의한 발광을 이용한 방전등으로 대표적인 것은 고압 수은등, 형광 수은등, 메탈 할라이드등, 고압 나트륨등 및 크세논등이 있으며, 방전등은 일반적으로 고휘도 광원이므로 고압 방전등(High Discharge Lamp : HID)이라고 부른다. 시동용 크세논가스를 봉입하고 있기 때문에 높은 시동용 펄스전압(0전위를 기준으로한 펄스 첨두까지의 전위)이 필요하며, 통상 3000[V] (KS C 7610에서는 2500[V]±50[V])정도의 펄스전압이 된다[4]~[6]. 크세논가스의 압력이 낮아지면 시동전압이 높아지게 되는 경향이 있다. 그런데 시동 방법에는 안정기내에 시동장치를 내장한 'S'타입과 램프 내에 급속한 전압을 발생하는 시동장치를 설치

한 'L'타입이 있다. 어떠한 고압 방전등을 점등하려면 2500[V]이상의 시동전압을 램프에 인가해주어야 한다[2][3]. 국내에서는 안정기내에 시동장치를 내장한 'S'타입을 주로 사용하고 있으며, 이때 인가한 전압은 안정기 1차측에 220[V]를 공급한다.

2.2 발광 특성과 효율

고압 나트륨 램프의 특성은 400[W] 램프 방사 효율은 0.295이고, 광원의 효율도 120[lm/W]이며 다른 광원에 비하여 매우 높다(수은등의 경우는 70~80[lm/W]). 나트륨 D선(589.0 및 589.6[nm])의 양측에 연속 스펙트럼의 발광이 퍼져있다. 이 발광의 퍼짐은 증기압 및 관내지름과 더불어 증대하여 나트륨 원자 상호의 충돌에 의하여 공진 퍼짐에 의한 것으로 말하고 있다. 이와 같은 상태에서는 D선의 발광은 자기흡수에 의하여 감소하고 황백색이 된다. 램프의 연색선은 색온도 2,000~2,100[K]에서 평균 연색평가지수 R_a 는 15~30으로 형광 수는 램프에는 뒤떨어지지만 최근 60 이상의 것도 있다[7]. 평균 수명은 고압 수은 램프의 수명 정도인 12,000시간이며, 옥외조명이나 공장, 체육관 등의 조명에 적합하다 [2],[3].

점등초기의 램프효율 η 는 열 전도손실이 감소하기 때문에 나트륨 증기압력의 상승과 비례해서 증가하고 효율 η 가 감소하는 것은 분광 분포의 폭이 넓어짐으로 해서 방사시 감각 효율 k 가 감소하기 때문이다. 크세논가스 압력이 높게 되고 아크 중앙부의 온도가 높게 되면 열전도 손실이 작게 되는 것과 같이 온도 분포가 증가한다[2].

램프의 전류를 높게 하면 가시방사효율 η_e 가 증가해서 효율 η 가 올라간다. 관 내경과의 관계에서는 관 내경을 크게 하면 D선의 흡수를 확대함으로써 효율 η 가 감소하지만, 동일 관에서는 램프전류를 증가시켜도 효율 η 의 차이는 발생하지 않는다[8].

3. 고압방전등 교체 방법

3.1 교환 방식

현재 우리나라의 일반적인 가로등교체시점은 수

명하고 전혀 관계없이 램프가 깜빡인다거나 점등이 안 되면 그때 가서 비로소 램프를 교체하게 된다. 이와 같이 램프의 교체시점에 관해서는 기준이 마련되어 있지 않다는 점도 있으며, 제작회사마다 각각 다른 수명과 관련한 자료라든가 시험 데이터 등을 공개하기를 꺼려하고 있는 실정이며 영세한 제작회사의 품질하고도 관계가 있다고 하겠다. 따라서 램프의 교환방법에는 다음의 4가지가 있다고 할 수 있겠다[1],[9].

아래의 표 1에 정리한 4가지의 램프교환 방식 중에서 집단적 램프교환 방식과 개별적 집단교환방식에는 점등되고 있는 램프도 교환하고 있기 때문에 램프의 교환 시기 결정이 큰 문제가 되고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 고압 방전등의 교체시기를 어떤 방법으로 어떻게 결정하여 보안등 및 가로등의 점멸기와 연계하여 기존의 점멸기에서 램프의 교환시기를 알려 주고 활용하게 할 것인가에 달려 있다고 할 수 있으며, 램프의 수명을 나타내는 광속과 램프의 점등 시간에 따라서 감소하는 광속에 대한 램프의 수명 시간을 조사하고, 또한 램프를 초기 점등할 때나 점등중의 전기적인 특성이 수명과 어떤 관계가 있는가를 확인하게 되는데, 이러한 전기적인 특성을 파악하기 위해서 계측의 전문적인 소프트웨어 패키지인 NATIONAL INSTRUMENTS회사의

제품인 LabVIEW를 이용하였다[10],[11].

4. 고압 방전등의 수명예측을 위한 알고리즘

4.1 고압방전등의 수명

고압 나트륨램프 및 모든 방전램프들의 수명예측은 확실히 할 수 없으며, 이것은 램프 수명이 너무나 많은 인자(제작자별, 제작일자별, 안정기, 시동장치, 조명기구, 주위온도, 공급전압, 점멸빈도 및 진동 등등)에 의해 영향을 받기 때문이다[12]. 따라서 본 연구에서는 여러 개의 램프를 수집해서 고압나트륨램프의 시동 특성을 실험한 결과 아래의 그림 3과 같은 그림을 얻었다. 이것은 제작자별, 램프의 용량별, 램프의 상태(정상, 비정상)별 약 30개정도를 수집해서 시험한 결과를 나타낸 것이며, 전기적인 특성을 파악하기 위해서 계측의 전문적인 소프트웨어 패키지인 NATIONAL INSTRUMENTS회사의 제품인 Lab-View를 이용해서 고압나트륨램프의 기동 전류와 전압을 종류별로 나타내고 있다. 그림 3의 실험 결과를 볼 때 램프가 불량인 것 중에서 점등이 안 되는 경우는 정상적인 램프보다 더 많은 전류가 지속적으로 변함없이 흐르는 것을 알 수 있었으며, 이로 인해 안정기까지 소손된다는 사실을 확인할 수 있었다.

표 1. 가로등과 보안등의 교체 방법

Table 1. The exchange method of high pressure sodium vapor lamp

| 교환 방식 | 내 용 | 적 용(비 고) |
|--------|--|--|
| 개 별 | 점등되지 않는 램프를 개별로 각각 램프를 교체 | 규모가 작거나 램프를 교체하기 쉬운 경우 |
| 집 단 | 램프가 점등되지 않아도 그대로 두고 일정기간이 지났을 때, 점등이 되는 램프를 포함하여 모든 램프를 교환 | 규모가 크고 램프의 교환이 비교적 곤란한 경우에는 장점이 많은 램프교환 방식이나, 점등하지 않는 램프를 그대로 두어도 작업하는 일이나 조명에 곤란을 느끼지 않는 경우 |
| 집단적 개별 | 점등되지 않는 램프가 여러 개 있을 때나, 혹은 일정 기간이 경과했을 때 점등되지 않는 램프를 교환 | 램프를 빈번하게 개별 교환하기가 어려우며, 점등하지 않는 램프를 그대로 두어도 작업하는 일이나 조명에 곤란을 느끼지 않는 경우 |
| 개별적 집단 | 점등되지 않는 램프를 그때그때 교환하고, 어느 정도 일정기간이 지났을 때 램프를 전부 교환 | 규모가 크고 램프의 교환에 필요한 인건비가 많은 경우에 경제적 |

또한 램프가 깜박이는 불량 램프에서는 초기에 정상적인 램프보다 더욱 급진적으로 전류가 감소하다가 다시 상승하는 현상을 볼 수 있었고 정상적인 램프에서는 기동 순간에 전류가 상승한 후에 서서히 하강하면서 정상적인 전류가 흐르는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서는 이러한 현상의 전류 데이터를 표 2로 정리했으며 고압나트륨램프의 수명예측에 활용하고 진단하는 조건표로 활용했다.

표 2. 고압나트륨램프의 기동전류 특성 조건표 (램프의 기동 시간은 3분으로 한다)

Table 2. The table for starting current characteristics of high pressure sodium vapor lamp(The starting time of lamps is 3 minutes)

| 정상적인 램프 (k=1) | 비 정상적인 램프 | |
|----------------|------------------|--|
| | 점등이 안 되는 램프(k=2) | 깜박거리는 램프 (k=3) |
| $\Delta I < 0$ | $\Delta I = 0$ | $\Delta I < 0 \text{ a } \Delta I > 0$ |

4.2 수명 예측 알고리즘

경사 감소법(Gradient descent or Steepest Descent Method)은 오차함수의 1차 계열 도함수이다. 경사 감소법의 모멘텀 항을 추가하여[13] 각각의 하중치에 대한 어떤 관성이나 모멘텀을 주어서 느끼는 평균하향 힘의 방향을 바꾸어 주어 학습상수 η 가 크면 발산하는 현상을 보완해주는 이 개념은 이전의 시간 스텝에서 각각의 하중치 변화에 영향을 주는 것으로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta \omega(t) = -\eta \Delta X(t) + \alpha \Delta \omega(t-1) \quad (1)$$

여기서 η 는 학습상수이고 $\alpha \in [0,1]$ 로서 모멘텀 상수이다.

경사 감소법은 고차계열의 도함수로 발전하며, Taylor's 계열을 이용하여 현재점 w_0 에 대한 확장자 $X(w)$ 로 다음 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} X(w) &= X(w_0) + \nabla X(w_0)(w-w_0) + \frac{1}{2} \nabla^2 X(w-w_0)^2 \dots \\ &= X(w_0) + \nabla X(w_0)(w-w_0) + \frac{1}{2} H(w)(w-w_0)^2 \dots \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $H(w)$ 는 Hessian matrix라고 불리우고 식 (3)과 같이 표시되는데, w_0 에서의 2차 계열 도함수이다.

$$H(w) = \nabla^2 X(w_0) \quad (3)$$

$X(w)$ 의 최소값을 찾기 위해 경사도를 '0'으로 하고 3차이상의 계열항목을 무시하면 식 (4)가 된다.

$$\omega = \omega_0 - H^{-1} \nabla X(\omega_0) \quad (4)$$

식 (4)를 학습 k번째 스텝수로 표현하면 식 (5)와 같다.

$$\omega^{k+1} = \omega^k - H^{-1}(\omega^{k+1}) \nabla X(\omega^k) \quad (5)$$

위의 식 (5)를 Newton의 하중치보상법이라고 한다[14].

본 논문에서는 그림 1과 같은 Newton 하중치보상법을 이용하여 모델링 하였다.

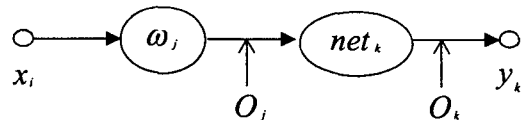


그림 1. 램프의 정상 비정상을 추출하는 하중치 보상 Fig. 1. The up date of weight for evaluating of normal or abnormal lamps

중간층의 입력은 식 (6)과 같이 연결 하중치와 입력들의 곱으로 표현된다.

$$O_j = \sum_{i=1}^n \omega_j x_i \quad (6)$$

여기서 x_i 는 램프의 기동 전류값이고, w_j 는 Newton 하중치이다. Newton 하중치 보상 결과값 O_k 는 식 (7)이며 비용함수(Cost Function) J 는 식 (7)과 같이 출력값 O_j 와 보상 결과값 O_k 과의 차이로 표현할 수 있으며, 이때 하중벡터의 학습은 비용함수가 만족할 만한 범위 안에서 값을 갖게 되면 종료

하도록 하였다.

$$O_k = net_k \cdot O_{j|_{k=1,2,3}} \quad (7)$$

net_k 는 입력값 x_i 에 대한 구분으로 표 4.1의 조건표와 같이 정규화된 값으로써 $k=1$ 은 정상램프, $k=2$ 는 접등이 안 되는 불량램프 및 $k=3$ 은 깜박거리는 비정상적인 램프로 정규화된 값이다.

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N (T_k - O_k)^2 \quad (8)$$

여기서 N 은 학습횟수, T_k 는 목표값으로써 표 2와 같이 정규화된 값이다.

4.3 LabVIEW 소프트웨어 패키지에 의한 고압방전등의 실험과 알고리즘

고압방전등인 나트륨등을 제조회사별 정상적인 램프와 수명이 다된 램프를 수집하고 그림 2와 같은 LabVIEW Software 프로그램으로 실험 해본 결과 전압에는 큰 변동이 없이 정상적인 램프나 수명이 다된 램프나 동일했음을 확인할 수 있었고, 기동전류에서 만큼은 커다란 차이를 확인할 수 있었으며,

그림 3의 실험 결과를 보여 주고 있다.

본 논문에서는 그림 3의 고압나트륨램프 기동시 실험결과로 만든 표 2의 조건표를 기준으로 해서 4.2절의 수명예측 알고리즘을 이용한 신호흐름도를 제안하고자 한다.

5. 결 론

나트륨 램프의 수명 진단 연구결과는 LabVIEW 소프트웨어의 사용과 정상적인 램프와의 비교를 해서 얻은 데이터로서 4장에서 확보한 알고리즘을 램프의 교환시기의 결정 방법으로 제시를 한 것이며, 램프의 교환방법은 개별 교환방식, 집단적 개별교환방식, 집단 교환방식 및 개별적 집단교환방식과 어느 정도 일정기간이 지났을 때 램프를 전부 교환하는 방식이다. 이와 같이 여러 가지 램프의 교환방식에 따라 서로 다른 장·단점이 있음을 알 수 있듯이 어려움도 함께 동반하고 있다고 할 수 있겠다. 따라서 우리 일상생활에 널리 분포되어 있는 가로등과 보안등이 모두 고압방전등임을 감안할 때 램프의 교환 시점에 대한 지속적인 연구와 관심으로 실생활에 적용하기까지 지속적인 연구가 필요하리라고 생각 된다.

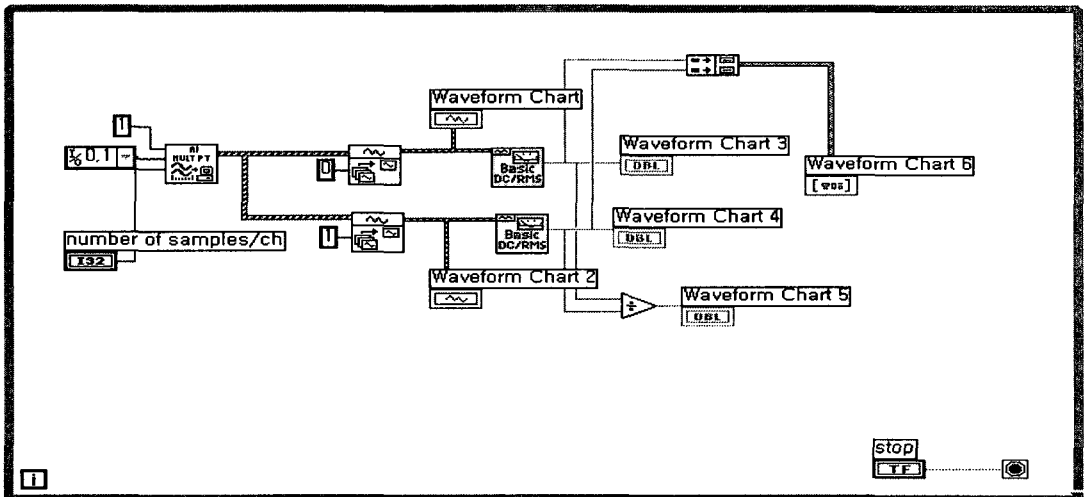
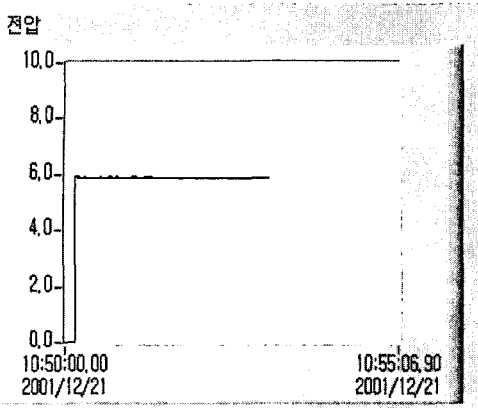
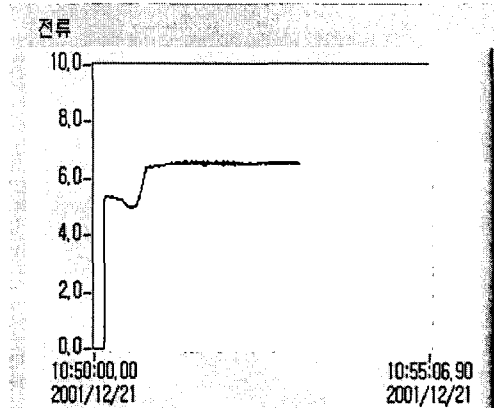


그림 2. LabVIEW 소프트웨어
Fig. 2. LabVIEW Software

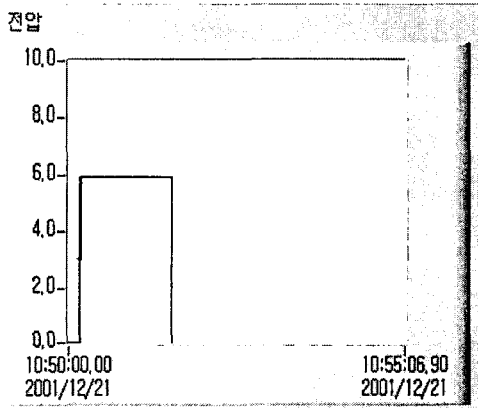
LabVIEW 소프트웨어 패키지를 이용한 고압나트륨전등의 교환시점 및 수명진단 알고리즘



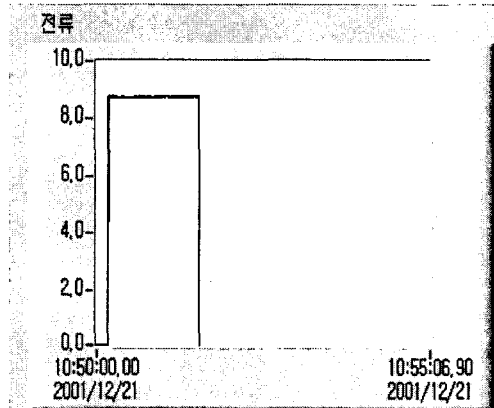
(a) 깜박거리는 250(W)램프의 전압



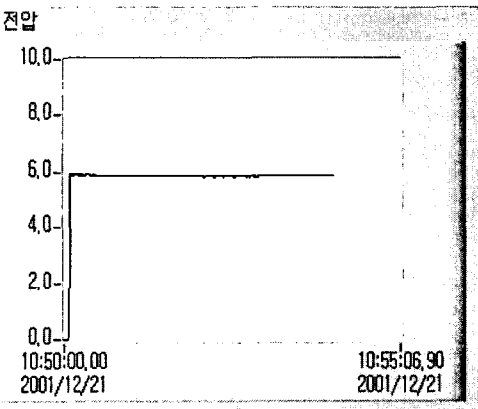
(b) 깜박거리는 250(W)램프의 전류



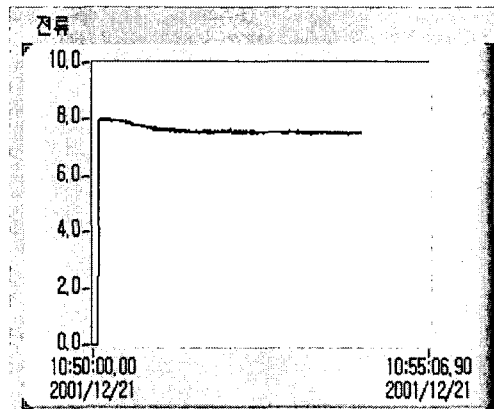
(c) 점등 안 되는 400(W)램프의 전압



(d) 점등 안 되는 400(W)램프의 전류



(e) 정상 400(W)의 전압



(f) 정상 400(W)의 전류

그림 3. 기동특성 시험(정상, 비정상 램프)

Fig. 3. The test of starting characteristics(each rating normal and abnormal lamp)

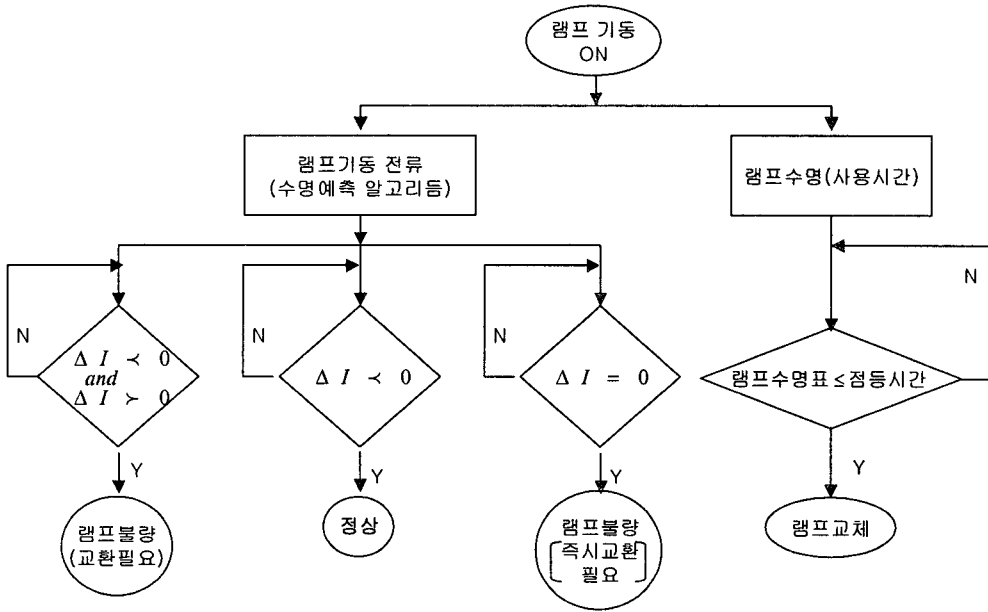


그림 4. 수명진단에 대한 신호흐름도
Fig. 4. The signal flow chart for evaluation of life time

References

(1) 大谷義彦 “照明器具の適正な清掃とランプ交換 の時期” 照明學會誌 第77卷 第7號, 1993년.
 (2) 지철근외 2명 “조명설비 설계와 시공 가이드 북” 도서출판 의제, P34~P46, 2000년 8월.
 (3) 지철근 “최신 전기응용” 문운당, P53~P67, 2004년 1월.
 (4) KSC 8108 “나트륨 램프용 안정기” 국립기술표준원, 1997년 8월.
 (5) KSC 7610 “나트륨 램프” 한국공업표준협회, 1992년 5월.
 (6) 조계현, 송명석, 박종연 “HD램프를 위한 상태 적응형 점화기 설계 방법” 조명·전기설비학회 논문지 제12권 제3호, 2004년 5월.
 (7) 이신우, 지철근, 조경애 “각종 광원의 색 온도, 연색성과 밝은 느낌에 대한 실험적 연구” 조명·전기설비학회 논문지 제17권 제6호, 2003년 11월.
 (8) Nelson, G.J., Gibson, R. G. and Jason, AD. “An Efficiency Analysis of HID Lamps” IESNA Annual Conference, 2000년.
 (9) 伊藤 彰, 上村華三, 石神敏彦, 井上昭浩, 關根征士 “誘導結合型無電極メタルハライドランプ の壽命特性に関する考察” 照明學會誌 第84卷 第8A號, 2000년.
 (10) 최성주 “LabMEW 입문” 동일출판사, 2000년 8월.
 (11) NATIONAL INSTRUMENTS “LabMEW DAQ 6023E user manual” Jan. 1999.
 (12) 이신우 “터널등(저압나트륨등, 고압나트륨등, 형광등)의 수명” 조명·전기설비학회 학회지 제14권 제3호, 2000년 6월.
 (13) PLAUT, D.S. NOWLAN, AND GHINTON. “Experiments on learning by back propagation” Department of

Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA. Technical Report CMU-CS-86-126 [1986].
 (14) LUENBERGER, D.G. “Linear and Nonlinear Programming” Reading, MA: Addison-Wesley. [1976].

◆ 저자소개 ◆

한태환 (韓泰煥)
 1956년 3월 18일생. 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 졸업(석사). 1982~1999년 LG산전 자동차사업부 부장. 1999~2000년 서울대학교 자동화연구소 계측제어센터 선임연구원. 2000년~현재 명지전문대학 전기과 부교수. 1999년 공업계측제어기술사.