기 술 특 집

BLU용 냉음극 형광램프의 계측에 대한 등가회로분석

정 희 석[1], 김 진 선[1], 조 광 섭[2] ([1]한국조명기술연구소, [2]광운대학교 전자물리학과)

Ⅰ. 서 론

디스플레이 산업은 짧은 역사에도 불구하고 빠르게 성장해오고 있다. 특히, LCD(Liquid Crystal Display)는 소형 모바일폰 및 노트북, 중형의 모니터, 그리고 대화면의 TV에 이르기까지 다양하게 사용되고 있으며 대화면의 LCD-TV용 백라이트 광원으로는 냉음극 형광램프(CCFL : Cold Cathode Fluorescent Lamp)가 광범위하게 사용되고 있다.[1-5]

본 연구는 CCFL 구동에서 전류 및 전압을 정확하게 계측하는 방법을 다룬다. LCD-TV의 액정 화면의 목표 휘도는 백색(Full-white)화면을 기준으로 약 500cd/m²이다. 따라서 CCFL의 고휘도를 달성하기 위해서는 AC 50~100 kHz의 고주파와 수 kV의 고전압으로 구동된다. 교류용 전류계나 임피던스가 매우 큰 전류 프로브 및 전압 프로브를 사용하더라도 수 kV의 고전압과 수 십 kHz의 고주파의 교류(AC) 전원으로 구동되는 램프의 계측에는 기생 캐패시터(parasitic capacitor)에 의하여 전류 누설을 피하기 어렵다. 따라서 누설 전류에 의하여 램프의 전류와 전압 값의 계측에 영향을 최소화하거나, 고전압이 인가되는 회로의 계측기의 영향을 고려한 회로 분석을 통하여 계측되는 값을 정확하게 해석하는 것이 필요하다.

LCD-TV중 수요가 가장 많은 32인치 모델에 사용되는 CCFL을 이용하여 단일램프와 병렬연결 다중램프(10개의 램프)로 각각 구동한다. 전류, 전압, 램프 자체의 소모 전력 및 휘도 등을 측정한 후 계측기의 영향을 고려한 회로를 분석하여 계측기술 표준화를 위한 방법을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 계측장비

실험에 사용된 CCFL은 길이 669mm, 외경 4mm, 내경 3mm이다. 램프는 50~70kHz의 고주파와 AC 수 kV의 출력 전압으로 구동된다. 직류(DC) 전원에 의한 회로는 전류의 누설이 거의 없으므로 정확한 전류와 전압을 계측할 수 있다. 이러한 직류 전원에 대한 전기적인 값들은 일반적으로 사용하는 멀티미터 혹은 멀티테스터를 사용하여 계측한다. 교류 전류의 측정은 교류 전류계(멀티미터)와 전류 프로브를 사용한다. 교류 전류계는 AC와 DC 측정이 가능하며, 계측 주파수 영역은 10Hz~100kHz, 전압은 1,000V 이하에서 사용 가능하다. 교류 전류계의 측정 원리는 열선과 열전대(Thermocouple)를 이용하여 교류를 직류로 변환하고, 이를 디지털 신호로 변환하여 표시한다.[6-7] 램프의 고전압부에 연결하는 경우는 코일의 열선이 쉽게 손상되므로 반드시 접지측에서 전류를 측정한다. 전류프로브는 AC회로에서 측정 가능 주파수 영역이 935Hz~120kHz이다. 측정원리는 도선에 전류가 흐를 때, 전류에 의해 생긴 유도 전류를 감지하여 오실로스코프가 읽을 수 있는 전압값으로 변환하는 것이다.

전압측정에는 고압 프로브를 사용한다. 고압 프로브는 DC와 AC 회로에서 사용 가능하며, 측정 영역은 20kV 이하이다. 고압 프로브는 프로브 내부의 캐패시터를 통하여 회로에 흐르는 전압을 분배하여 1/1,000로 감소시켜 오실로스코프로에 전달한다. 자체 임피던스는 주파수 범위 10Hz~100 MHz에서 1kΩ~100MΩ 사이이다. 주파수가 클수록 전압 프로브의 임피던스가 작아진다. 실제 본 실험에서의 램프 구동 주파수는 약 70kHz이므로 전압 프로브 자체의 임피던스는 약 300kΩ이다.

휘도측정은 측정 범위가 0.16~109, 600cd/m²이고 측정각은 1/4°, 측정거리는 44mm~∞인 휘도계를 사용한다.

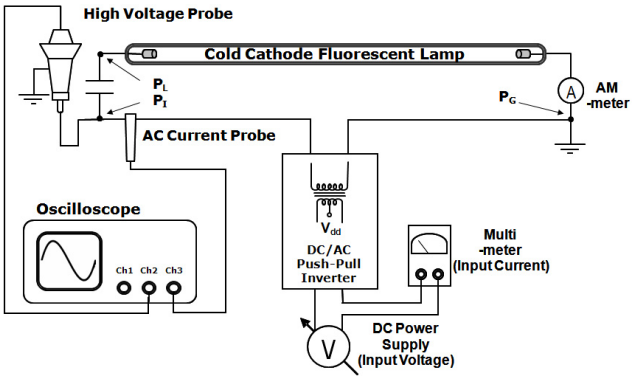
본 실험에서 사용하는 CCFL 구동용 인버터는 자려식 Push-Pull 방식의 스위칭 인버터이다.[8-10] DC-전원 장치(Switching Mode Power Supply : SMPS)를 사용하여, 인버터에 입력되는 DC전압을 수 V~수십 V 범위에서 가변 입력한다. 램프의 임피던스를 고려하여 트랜스의 인덕턴스(Inductance) L값과 1, 2차 코일의 회로를 구동 주파수 60~70kHz에서 매칭되도록 설계하였다. 단일램프의 구동의 경우 트랜스의 1차 및 2차 코일의 권선비는 8 : 800이고, 각 트랜스의 인덕턴스비는 L_1 : L_2=0.0064mH : 57mH, 결합계수는 0.62이다. 병렬연결 다중램프(10EA)의 경우 트랜스의 1차 및 2차 코일의 권선비는 8 : 310이고, 각 트랜스의

인덕턴스비는 $L_1 : L_2 = 0.010mH : 12.95mH$, 결합계수는 0.64이다.

Ⅲ. 단일램프의 계측

[그림 1]은 CCFL의 단일램프의 일반적인 구동 방식에서 전류 및 전압 계측의 개략도이다.

CCFL의 한쪽 전극 끝은 접지되고, 다른 쪽 끝에는 안전 캐패시터(ballast capacitor, C=16.5pF)를 부착하여 고압을 인가한다. 이때, DC-AC 인버터와 고압부의 연결선의 길이는 전류 누설을 최소화하기 위하여 40mm로 하였다. 인버터에 입력되는 DC 전원(power supply)의 DC 전압은 가변 가능한 것을 사용한다. 입력 DC 전압과 입력 전류는 멀티미터를 이용하여 측정한다. 램프전류는 앞에서 소개한 교류 전류계와 전류 프로브로 측정하며 램프에서 150mm지점(P_I, P_G)에서 측정한다. 교류 전류계는 Ⓐ로 표시하고, 접지측에서 측정한다.



[그림 1] CCFL 단일램프의 전류 및 전압 측정을 위한 회로도. P_I는 인버터 출력지점, P_L는 ballast capacitor와 램프 사이의 위치, P_G는 접지 측.

[그림 1]과 같은 회로에서 CCFL 단일램프의 전류 및 전압의 계측결과는 다음과 같다.

(1) 전류계측 시 접지측(P_G)에서 교류 전류계와 전류 프로브의 측정값은 전류 프로브 설치 전후에 램프의 휘도 변화가 거의 없다. 고압측의 인버터 출력지점(P_I)과 램프와 캐패시터 사이(P_L)에서 전류프로브로 전류를 측정하는 경우는 프로브가 회로자체에 영향을 주어 전류 및 휘도값이 크게 변화한다.

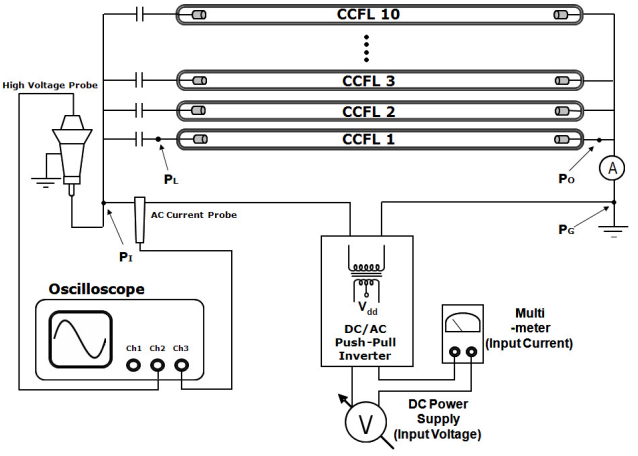
(2) 전압 계측 시 전압 프로브를 위치 P_I에 설치하면 입력 전류와 램프 휘도가 증가하며 위치 P_L에 설치하면 램프의 휘도가 현저히 줄고 방전이 약해진다. 이는 전압 프로브에 의한 임피던스 변화로 기인한 것이다.

(3) 전류 프로브 및 전압 프로브를 동시에 측정한 결과 인버터 출력단(P_I)에 전압 프로브를 설치하면, 측정값은 1.67kV이고 램프전류 및 휘도가 증가한다. 램프측(P_L)에 전압 프로브를 설치하면, 측정값은 1.11kV이고 램프전류와 휘도는 급감한다.

(4) 입력전원의 입력 DC전압을 조정하여 램프의 휘도를 12,000cd/m²로 유지하여 전류 및 전압을 계측하였다. 고압부(P_I)에 전압 프로브를 설치하면, 전류 및 휘도 상승하므로 입력 DC전압을 낮추어 휘도를 유지하며, 램프와 캐패시터 사이(P_L)에 전압 프로브를 설치하면, 램프 휘도 및 전류가 급감하므로 입력 DC 전압을 높여서 휘도를 유지한다. 이때 램프전류와 램프전압의 위상차는 1.50°로 차이가 거의 없다.

Ⅳ. 병렬 연결 다중 램프의 계측

[그림 2]는 CCFL 10개를 병렬연결하여 전류 및 전압을 계측하기 위한 개략도이다.



[그림 2] CCFL 병렬연결(10EA)의 전류 및 전압 측정을 위한 회로도. P_I는 인버터 출력 지점, P_L은 ballast capacitor와 램프 사이의 위치, P_O, P_G는 접지측

단일램프 구동 시와 동일하며 각각의 램프간의 간격은 30 mm, DC-AC 인버터와 고압부의 연결 선의 길이는 40mm이며 램프리드선의 150mm지점(P_I, P_G)에서 전체전류를 측정한다. 또한 각각의 램프와 캐패시터 사이(P_L), 접지쪽(P_O)에 전류를 측정하고 이때의 휘도를 측정하여 특성을 비교하였다.

입력전압을 20V로 고정시키고 교류전류계와 전류프로브 및 전압프로브를 이용하여 위치별 전체 전류 및 전압을 측정하였으며 휘도는 인버터에서 첫번째 램프(CCFL 1)를 측정하였다.

(1) 교류전류계와 전류프로브를 이용하여 전류값을 측정해보면 회로에 미치는 영향이 거의 없다.

(2) 에 전압프로브를 설치하면 입력전류 및 휘도가 증가하며 전체램프전류는 설치전보다 약 1mA 정도 차이가 난다. 또한 에 전압프로브를 설치하면 10개의 램프 중 프로브

가 설치된 램프만 방전이 약해지고 나머지 램프는 휘도가 증가한다.

(3) P_I에 전압프로브를 설치하고 전류값을 측정해보면 교류전류계로 측정한 값은 큰 변화가 없으나 전류프로브로 측정한 값은 고압측(P_I)에서 3.45mA 큰 값이 측정되며, 접지측(P_G)에서 2.67mA로 작은 값이 측정된다. 또한 P_L에 전압프로브를 설치하면 설치된 램프만 방전이 약해지면서 입력전류 및 램프전류가 저하되며 이때 램프전류와 램프전압의 위상차는 44.46°이다.

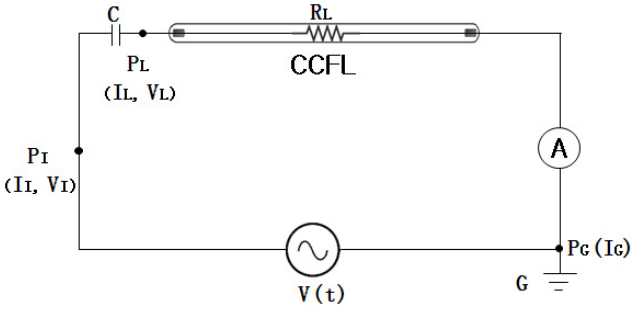
마찬가지로 입력전압 20V를 인가한 후 전압프로브를 P_I에 고정한 후 교류전류계와 전류프로브를 이용하여 10개의 램프 각각의 전류 및 휘도를 측정하였다.

접지쪽(P_0)에서 측정한 값은 회로에 영향을 주지 않으나 램프와 캐패시터 사이(P_L)는 접지측보다 작은 값이 측정된다. 각각의 램프전류값(P_0)의 총합(61.75mA)은 전체전류(P_G) 값(62.5mA)과 거의 일치한다. 또한 각각의 램프전류 및 휘도는 인버터에서 가까운 쪽에서 멀어질수록 증가하다가 다시 감소한다. 10개의 램프 중 중간위치에 있는 5번 램프가 램프전류 7.33mA, 휘도 16,680cd/m²로 가장 높은 값이 측정된다. 단일램프 점등 시 보다 다중램프 병렬연결일 때는 프로브가 회로에 미치는 영향이 줄어든다.

V. 등가 회로 분석

1. CCFL 단일램프 등가회로

CCFL 단일램프 구동의 등가회로를 [그림 3]에 나타내었다. CCFL의 정상 글로우 방전(normal glow discharge)의 램프 저항은 R_L이다. $V(t)$는 교류 전원이고, 인버터 출력 전압은 V_I, 램프 측 전압은 V_L이다. 고압측의 계측 전류는 I_I, 접지측에서 계측되는 램프 전류는 I_G이다. V_I는 램프와 캐패시터 C를 포함한 인버터 출력 전압이다. V_L는 순수한 램프 전압이다. 회로의 누설 전류가 없는 경우는 $I_I=I_G$이며, 램프 전압은 $V_L=I_IR_L=I_GR_L$의 관계가 있다.



[그림 3] CCFL 구동의 등가회로. P_I는 인버터 출력단, P_C는 CCFL에서 ballast capacitor와 램프 사이의 위치, 그리고 P_G는 접지 측. 전류 및 전압은 각각 $P_I(I_I, V_I)$, $P_L(I_L, V_L)$이며 접지측 P_G의 전류는 I_G.

CCFL의 등가 회로는 램프 자체 방전 저항 R_L과 캐패시터 C가 연결된 회로이다. 따라서 전원 $V(t)$ 및 회로전류 $I(t)$에 대한 등가회로 방정식은

$$\frac{dV(t)}{dt}=\frac{I(t)}{C}+R_L\frac{dI}{dt} \quad (1)$$

이다.

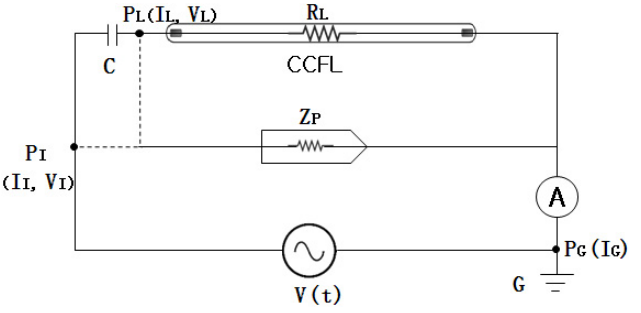
전압과 전류를 $V(t)=V_0\exp(j\omega t)$와 $I(t)=I_0\exp(j\omega t)$로 나타내면, 식 (1)의 해는 $I_0=V_0/(R_L+X_C)$이다. 이때, 캐패시터의 리액턴스(reactance)는 $X_C=1/(j\omega C)$이다. 램프의 임피던스는 $Z_L=R_L-j/\omega C$이며, 임피던스의 크기는 $|Z_L|=[R_L^2+(1/\omega C)^2]^{1/2}$이다.

냉음극 형광 램프의 소모 전력은 $P=Re\{I_0^*V_0\}$에서 계산된다.[11] 여기서 $I_0^*=V_0(R_L+j/\omega C)/[R_L^2+(1/\omega C)^2]$이므로, $P(V_0^2/2R_L)/[1+1/(\omega CR_L)^2]$가 된다. 전류 $I(t)$와 전압 $V(t)$의 위상차가 θ이면, $\tan\theta=|X_C|/R_L=1/\omega CR_L$ 및 $\cos\theta=R_L/|Z_L|=V_L/V_I$이다. 여기서 $V_I=|I_IZ_L|$, $V_L=I_IR_L$ 따라서 누설 전류가 없는 경우($I_I=I_G$), 소모 전력 P는

$$P=I_IV_I\cos\theta=I_GV_L \quad (2)$$

이다.

결론적으로, (i) 램프전류(I_G)는 교류 전류계나 전류 프로브를 사용하여 접지측(P_G)에서 측정한다. (ii) 램프전압(V_L)은 전압 프로브로 램프와 캐패시터 사이(P_L)에서 측정한다. (iii) 램프의 소모 전력은 $P=I_GV_L$ 혹은 $P\sim I_GV_I\cos\theta$이다. θ는 고압측의 전류 $I(t)$와 $V(t)$의 위상차를 오실로스코프로 계측한다. 이때, 임피던스가 큰 고압 프로브를 사용하더라도 정확한 위상차를 얻기 어렵다. 실질적으로 정확한 위상차는 $\cos\theta=V_L/V_I$에서 결정한다.



[그림 4] 단일램프 계측에서 프로브 설치에 따른 등가회로. 인버터 출력단 P_I, 캐패시터 C와 CCFL 사이의 위치 P_L에 프로브를 연결한 등가회로.

[그림 4]는 단일램프 계측에서 인버터의 출력단 P_I에 프로브를 설치한 경우와 램프와 캐패시터 사이 P_L에 프로브를 설치한 경우의 등가 회로이다. 출력단의 위치 P_I에 전류 프로브를 설치하여 측정한 전류는 I_I이고, 고압 프로브를 설치하여 계측한 전압은 V_I이다. P_L지점에 전류 프로브의 전류는 I_L이고, 고압 프로브의 전압은 V_L이다.

CCFL의 램프 저항 R_L과 ballast capacitor C에 의한 임피던스 $Z_L=R_L+X_C$와 프로브 임피던스 Z_P가 병렬 연결된 회로이다. 회로전체의 임피던스 Z_T는 $1/Z_T=1/Z_L+1/Z_P$의 관계이다. 회로방정식의 해는 $I(t)=V(t)/Z_T$이므로 $I_I=V_I/|Z_T|$이다. 일반적으로 병렬연결 회로는 $|Z_T|<|Z_L|$이므로 위치 P_I에 설치한 프로브를 포함한 회로의 전류($I_I=V_I/|Z_T|$)는 설치 이전의 전류($I_I=V_I/|Z_L|$)보다 커진다. 따라서 입력 전압 $V(t)$가 일정한 경우, P_I에 전류프로브나 전압프로브를 설치하면 설치이전보다 전류 및 휘도가 증가한다. 인버터의 출력단에서 측정되는 I_I는 프로브에 의한 누설 전류 I_P와 램프 전류 L_L로 나누어지며 프로브를 설치하더라도 접지측에서 계측된 전류를 램프 전류(I_G)로서 신뢰할 수 있다. 또한, 인버터의 출력단의 전압 프로브의 계측값 V_I도 신뢰할 수 있다. 전압 프로브 계측 전압 V_I와 전류 프로브 계측 전류 I_I 혹은 I_G와의 위상차는 임피던스의 변화로 인하여 신뢰할 수 없다. 따라서 회로 전체의 소모 전력 $P_T=I_I V_I \cos\theta$에서, θ는 프로브의 임피던스 영향이 크므로 신뢰할 수 없다.

캐패시터 C와 CCFL 사이의 위치 P_L에 프로브를 연결한 경우는 프로브 임피던스 Z_P가 램프 저항 R_L과 병렬 연결된다. 이때의 임피던스 Z_{LP}는 $1/Z_{LP}=1/R_L+1/Z_P$이다. Ballast Capacitor C와 Z_{LP}는 직렬 연결되어 회로 전체의 임피던스는 $Z_T=X_C+Z_{LP}$이다. 여기에서 $X_C=1/j\omega C$이며, 그 값은 ~155kΩ이다.

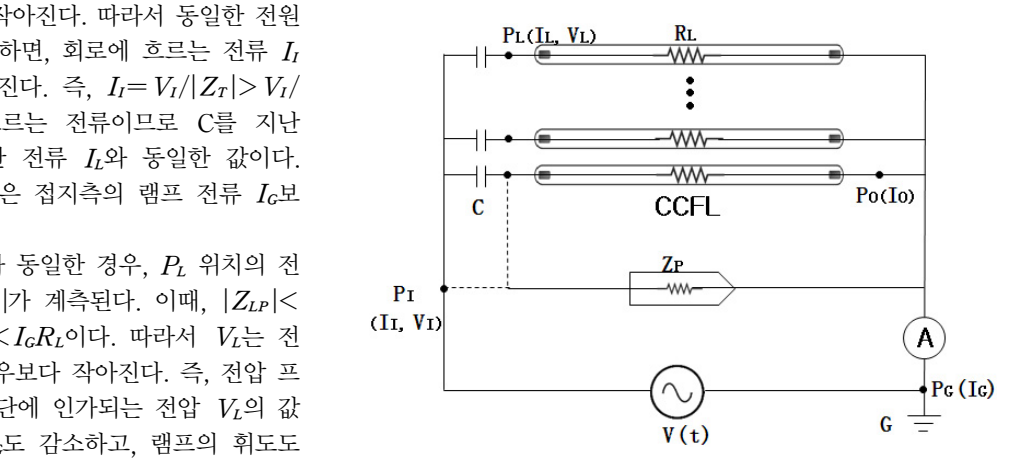
회로의 전류 해는 $I(t)=V(t)/Z_T$이다. $Z_{LP}<R_L$이므로, $|Z_T|<|Z_L=X_C+R_C|$이다. 즉, 프로브를 설치하면 프로브 설치 이전보다 임피던스가 작아진다. 따라서 동일한 전원 $V(t)$에 대하여 프로브를 연결하면, 회로에 흐르는 전류 I_I는 프로브 설치 이전 보다 커진다. 즉, $I_I=V_I/|Z_T|>V_I/|Z_L|$이다. I_I는 회로전체에 흐르는 전류이므로 C를 지난 Cathode측의 P_L점에서 계측한 전류 I_L와 동일한 값이다. 따라서 전류 프로브 측정치 I_L은 접지측의 램프 전류 I_G보다 커진다.

한편, 인버터 출력 전압 V_I가 동일한 경우, P_L 위치의 전압 프로브의 전압 $V_L=I_G|Z_{LP}|$가 계측된다. 이때, $|Z_{LP}|<R_L$이므로, P_L점의 전압은 $V_L<I_G R_L$이다. 따라서 V_L는 전압 프로브를 연결하지 않은 경우보다 작아진다. 즉, 전압 프로브의 연결에 의하여 램프 양단에 인가되는 전압 V_L의 값이 작아지므로 램프의 전류 I_G도 감소하고, 램프의 휘도도 감소한다. 램프 방전이 약화되면서 결국 암전류(dark current)영역으로 떨어지며 램프저항은 가장 커진다.

결과적으로 어떤 특정한 램프 휘도에 대하여 전압 프로브로 계측한 출력 전압 V_I 및 램프 전압 V_L는 신뢰할 수 있는 값이다. 램프 전류는 접지측에서 계측한 교류 전류계 혹은 전류 프로브에서 측정한 I_G이다. 램프 전류(I_G)와 램프 전압(V_L)의 위상차는 거의 없으며, 실제로 계측된 값은 1.50°로서 신뢰할 수 있으며 이때의 램프전압 V_L=1.13 kV, 램프전류 I_G=5.52mA이므로 램프저항 $R_L=V_L/I_G$= 205kΩ이다. 인버터 출력측(P_I)의 고압 프로브의 전압과 접지측 전류 프로브의 전류와의 위상차는 이론적인 값과 다소 차이가 있다. 출력측 전압(V_I)과 접지측 전류의 위상차 cos $\theta=V_L/V_I$이다. 따라서 회로 전체 소모전력(프로브의 손실 전력 감안) $P_T=I_I V_I \cos\theta$이다. 램프 소모전력은 $P=I_G V_L$이다.

2. CCFL 병렬연결 다중램프 등가회로

[그림 5]는 병렬연결 다중램프(10 EA) 계측에서 인버터의 출력단 P_I에 프로브를 설치한 경우와 램프와 캐패시터 사이 P_L에 프로브를 설치한 경우의 등가 회로이다. 출력단의 위치 P_I에 전류 프로브를 설치하여 측정한 전류는 I_I이고, 고압 프로브를 설치하여 계측한 전압은 V_I이다. P_L지점에 전류 프로브의 전류는 I_L이고, 고압 프로브의 전압은 V_L이다. 램프 10개의 전체전류는 I_G이고 각각의 램프전류는 I_o이다. CCFL 10개를 병렬연결 한 경우 램프 저항 R_L과 ballast capacitor C에 의한 임피던스 $1/Z_L=1/(R_1+X_1)+1/(R_2+X_2)\cdots 1/(R_{10}+X_{10})$ 로프로브 임피던스 Z_P가 병렬연결 된 회로이다. 회로 전체의 임피던스 Z_T는 $1/Z_T=1/Z_L+1/Z_P$의 관계이다. 단일램프와 달리 다중램프에서는 $Z_L<Z_P$이므로 인버터의 출력단에서 측정되는 I_I는 프로브에 의한 누설 전류 I_P와 램프 전류 I_L로 나누어지며 프로브를 설치하더라도 접지측에서 계측된 전류를 램프 전류(I_o, I_G)로서 신뢰할 수 있다. 입력전압 $V(t)$가 일정한 경우, P_I에 전류프로브를 설치하면 전류는 0.48mA(0.7%) 증가하며 단일램프 1.69mA(30.4% 증가)와 비교하면 영향이 매우 적다.



[그림 5] 병렬연결 다중램프의 계측에서 프로브 설치에 따른 등가회로. 인버터 출력단 P_I, 캐패시터 C와 CCFL 사이의 위치 P_L에 프로브를 연결한 등가회로.

캐패시터 C와 CCFL 사이의 위치 P_L에 프로브를 연결한 경우는 프로브 임피던스 Z_P가 10개 중 하나의 램프 저항 R_L과 병렬 연결된다. 따라서 10개의 램프 중 어느 하나의 램프 V_L에 고압프로브를 설치하면 설치된 램프의 휘도가 감소하며 램프저항은 무한대로 가정할 수 있다. 나머지 9개의 램프는 휘도 및 전류가 증가하며 램프저항은 작아진다. 이때의 램프전압 V_L=1.05kV, 램프전류 I_G=59.73mA이므로 램프저항 $R_L=V_L/I_G$=17.5kΩ이다. CCFL 10개의 램프의

임피던스가 각각 다르기 때문에 특정한 휘도로 조절할 수 없다. 각각의 램프전류는 접지측(P_0)에서 교류전류계를 이용하여 계측된 전류(I_0)를 램프 전류(I_L)로서 신뢰할 수 있으며 전압프로브로 계측한 V_I 및 램프전압 V_L도 신뢰할 수 있다. 따라서 병렬연결에서 계측된 V_L과 I_G와의 위상차는 신뢰할 수 있으며 각각의 램프 소모전력은 $P=I_0V_L$이며 회로 전체의 소모 전력 $P_T=I_IV_I\cos\theta$이고, 여기서 θ는 V_L와 I_G와의 실제 위상차 또는 V_L/V_I이다.

3. 결과 및 논의

LCD-TV의 32인치 모델에 사용되는 CCFL을 이용하여 단일램프와 병렬연결 다중램프(10개의 램프)를 각각 구동하여 전류, 전압, 램프 자체의 소모 전력 및 휘도를 측정하였다.

단일 램프 측정 시, 램프 전류는 전류프로브의 임피던스 및 누설전류의 영향이 거의 없는 접지측(I_G)에서 교류 전류계나 전류 프로브를 사용하여 측정한다. 램프전압의 측정을 위하여 고전압부에 고압프로브를 설치하면, 수백 kΩ인 램프자체의 임피던스와 주파수 70kHz일 때의 고압프로브의 임피던스가 300kΩ로서 램프와 고압 프로브의 임피던스가 거의 동일하므로 고압프로브가 계측 회로에 미치는 영향을 피할 수 없다. 이때 고압프로브의 영향은 램프의 휘도 저하를 나타난다. 따라서 단일램프 측정 시 인버터에 공급되는 입력 DC전압을 조정하여 램프의 휘도를 일정하게 유지하고 전압을 측정한다. 특정 휘도에서 접지측에서 계측한 램프전류(I_G)와 고압부의 램프전압(V_L) 및 인버터 출력 전압(V_I)의 값은 신뢰할 수 있다. 따라서 램프 자체의 소모 전력은 $P_L=I_GV_L$이다. 또한, ballast capacitor를 포함한 회로 전체의 소모 전력은 $P_T=I_GV_I\cos\theta$이다. 램프의 휘도를 일정하게 유지한 상태에서 램프의 소모 전력은 $P=I_GV_L$, 혹은 $P\sim I_GV_I\cos\theta$이다. 단일 램프의 경우, 고압 프로브의 임피던스가 단일 램프의 임피던스와 차이가 크지 않으므로 신뢰할 수 있는 위상차를 계측할 수 없다. 따라서 안전캐패시터와 인버터 출력단 사이의 전압(V_I)을 계측하여 이론적으로 $\cos\theta=V_L/V_I$에서 결정한다.

병렬연결 다중램프의 측정 시에는 단일램프와 마찬가지로 램프전류 측정 시 접지측(I_G, I_0)에서 교류 전류계나 전류 프로브를 사용하여 측정한다. 다중램프에서는 특정휘도를 유지하기 어려우므로 입력전압 및 입력전류를 일정하게 유지하고 전압 프로브로 V_L을 측정한다. 단일램프와 달리 다중램프에서는 $Z_L<Z_P$이므로 계측기의 임피던스가 회로에 미치는 영향이 줄어든다. 따라서 램프 소모전력은 $P=I_GV_L$이며 $P_T\sim I_GV_I\cos\theta$이고, 여기서 θ는 V_L와 I_G와의 계측 위상차 또는 V_L/V_I로 정해진다.

VI. 결 론

21세기에 들어서면서 한국은 디스플레이 시장을 리드하고 있다. LCD, PDP, LED, OLED 등 많은 디스플레이 광원은 다양한 형태로 개발되고 있으며 휴대폰 액정화면과 같은 소형 디스플레이에서 대형 TV에 이르기까지 응용되는 분야는 다양해지고 있다. 현재 가장 수요가 많은 분야는 LCD 및 PDP분야이며 LCD는 자체 발광을 못하므로 백라이트로서 CCFL이 많이 적용되고 있다.

본 연구는 CCFL의 단일램프 및 병렬연결 다중램프의 전기적 특성인 전류 및 전압, 그리고 소모 전력의 계측 방법을 조사하였다. 램프전류 및 램프전압 측정 시 프로브의 임피던스의 영향을 고려한 관련 등가회로분석을 통하여 계측 오차를 최소화하는 계측 방법을 제시하고 BLU와 관련한 표준화와 백라이트의 계측 기술에 대한 아이디어를 제공하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] M. A. Cayless, A. M. Marsden, *Lamps and Lighting* (Edward Arnold, Baltimore, 1983).

[2] J. Waymouth, *Electric Discharge Lamps* (MIT-Press, Boston, 1971).

[3] J. G. Kim and S. K. Lim, SID'04 Digest, 479 (2004).

[4] H. Yamashita and T. Terada, IDW'98 Digest, 351 (1998).

[5] V. Gibour, P. Boher, and T. Leroux, IMID'04 Digest, 791 (2004).

[6] G. Justice, HP. J. 15, 1 (2004).

[7] H. Levinson, *A Primer for Vacuum Thermocouples* (Best Technology Inc., Seattle).

[8] G. Cho, S. J. Kim, N. O. Kwon, Y. M. Kim, T. S. Cho, E. H. Choi, B. S. Kim, and J. G. Kang, IMID'02 Digest, 537 (2002).

[9] G. Cho, D. H. Lee, J. Y. Lee, H. S. Song, D. H. Gill, J. Kor. Vac. Soc. 14, 48 (2005).

[10] J. M. Jeong, M. J. Shin, S. C. Shin, and G. Cho, J. Kor. Vac. Soc. 15, 587 (2006).

[11] J. R. Reitz, F. J. Milford, and R. W. Christy, *Foundation of Electromagnetic Theory* (Addison-Wesley, New York, 1979), pp. 275.

저 자 소 개

정 희 석

광운대학교 전기공학과 졸업, 광운대학교 전자물리학과 석사과정, 현재 : 한국조명기술연구소 디자인신뢰성개발실 주임연구원

김 진 선

대림대학 전기과 졸업, 광운대학교 전자물리학과 석사과정, 현재 : 한국조명기술연구소 디자인신뢰성개발실 연구원

조 광 섭

1983 : 한국과학기술원 물리학과 석사학위, 1987 : 한국과학기술원 물리학과 박사학위, 1989. 3~1992. 2 : 광운대학교(조교수), 1992. 7~1993. 6 : 미국 MIT(객원연구원), 1993. 3~1997. 3 : 광운대학교(부교수), 1994. 9~1997. 8 : 광운대학교(기획관리실장), 1999. 3~현재 : 광운대학교(정교수)