

냉음극 형광램프의 표준화 계측을 위한 실험과 분석

김동준, 정종문, 정희석, 김진선, 이민규, 김정현, 구제환, 권기청, 강준길, 최은하, 조광섭*

광운대학교 전자물리학과, 서울 139-701

(2008년 4월 15일 받음, 2008년 5월 18일 수정, 2008년 6월 20일 확정)

교류 50~100 kHz의 고주파와 수 kV의 고전압으로 구동되는 냉음극 형광램프의 전류 및 전압을 계측하는 방법을 조사하였다. 고 전압 측에 설치되는 프로브 자체의 임피던스 영향으로 램프의 휘도가 변화하고 누설 전류가 발생하여 정확한 전류 및 전압의 계측이 어렵다. 따라서 프로브의 임피던스와 누설 전류를 고려한 회로 분석을 통하여 올바른 계측 방법을 제시하였다. 프로브 설치로 휘도 변화 시, 인버터에 입력되는 DC 전압을 조정하여 램프의 특정 휘도를 유지하여 계측한다. 램프 전류(I_C)는 접지 측에서 전류 프로브나 고주파 전류계를 계측하며, 전압은 고 전압 측에 설치한 전압 프로브로 계측한다. 램프 전압(V_C)은 고전압이 인가되는 냉음극과 안전 캐패시터 사이에서 계측하며, 인버터의 출력 전압(V_I)은 안전 캐패시터와 인버터 출력단 사이에서 계측한다. 램프 전압(V_C)과 램프 전류(I_C)의 위상차가 없기 때문에, 램프 자체의 소모 전력은 램프 전압(V_C)과 램프 전류(I_C)의 곱이다. 인버터의 출력 전압(V_I)과 램프 전류(I_C)의 위상차(θ)는 전압 프로브의 용량성 임피던스로 인하여 계측값이 부정확하며, 회로의 분석에서 얻어진 $\cos\theta=V_C/V_I$ 로부터 위상차를 얻을 수 있다.

주제어 : 냉음극 형광램프, LCD 백라이트, 전류 프로브, 전압 프로브, 프로브 임피던스, 누설 전류

I. 소 개

냉음극 형광램프(Cold Cathode Fluorescent Lamp; CCFL)는 1910년 프랑스의 Georges Claude가 처음 소개한 '네온 싸인 램프'와 유사하다 [1-2]. CCFL은 1900년대부터 본격적으로 상용화된 액정 표시(LCD; Liquid Crystal Display) 장치에 사용되기 시작하였다. LCD는 소형 모바일 폰 및 노트북, 중형의 모니터, 그리고 대화면의 TV에 이르기까지 다양하게 사용되고 있다. 최근에는 소형 화면의 경우 백라이트의 광원으로는 CCFL이 LED로 대체되고 있으나, 대화면의 LCD-TV용 백라이트 광원으로는 여전히 CCFL이 광범위하게 사용되고 있다 [3-5].

지난 10여 년 동안 CCFL이 LCD에 대규모로 사용되어 왔다. 그러나 램프의 전기적 특성을 정확하게 계측하는 방법이 제시되지 않았다. 램프의 계측에 사용되는 가장 일반적인 장치로는 전류 프로브 및 고압 프로브를 사용하여 오실로스코프로 계측 하는 것이다. 그러나 고주파와 고전압으로 구동되는 CCFL의 전기적 특성을 정확하게 계측하는 것은 쉽지 않다. 특히, 전류 프로브나 고압 프로브가 계측 회로의 임피던스에 크게 영향을 주며, 계측 과정에서 램프의 전기적인 계측 값의 변화를 초래한다. 또한, 고주파 및 고전압에 따른 기생 캐패시터(parasitic capacitor)의 영향

과 계측 프로브에 의한 누설 전류도 심각하게 나타난다. 비록 프로브의 임피던스(수 MΩ 이상)가 상당히 큰 경우에도 프로브의 회로에 미치는 영향이나 누설 전류를 피하기 어렵다. 그 이유는 구동되는 CCFL 자체의 임피던스가 수 100 kΩ으로 상당히 크기 때문이다. 특히, 방전관 내부에 발생된 플라즈마의 양이 작아서 램프의 휘도가 낮은 경우는 램프 자체의 저항이 더 크다. 전류의 계측은 전류 프로브 이외에 고주파 전류계를 사용할 수도 있다. 고주파 전류계는 램프에 흐르는 전류량은 계측할 수 있으나, 전류의 파형과 주파수 등은 알 수 없다.

본 연구에서는 CCFL의 전류 및 전압의 계측 및 램프 자체의 소모 전력 등을 정확하게 계측하는 방법을 제시하고자 한다. 프로브를 사용하는 계측 과정에서 대두되는 문제점을 분석한다. 특히, 프로브 사용에 따른 회로의 임피던스 변화를 등가 회로 분석을 통하여 이해한다. 그 결과로 램프의 전기적인 값들을 정확하게 계측하는 방법을 다룬다.

II. 계측 기기

직류(DC) 전원에 의한 입력전류와 전압은 전류계와 전

* [전자우편] jhkim68@kcch.ac.kr

압계를 사용한다. 이러한 경우는 전류의 누설이 거의 없으므로 정확한 전류와 전압을 계측할 수 있다.

본 연구에서 교류 전류의 측정은 교류 전류계와 전류 프로브를 사용한다. 교류 전류계(YOKOGAWA 201601 Ammeter)는 AC와 DC 측정이 가능하며, 계측 주파수 영역은 10 Hz~5 MHz, 전압은 250 V 이하에서 사용 가능하다. 교류 전류계의 측정 원리는 열선과 열전대(Thermocouple)를 이용하여 교류를 직류로 변화하고, 이를 가동 코일형 계기로 표시한다[6-7]. 교류 전류계는 반드시 접지 측에서 전류를 측정한다.

본 실험에서 사용하는 전류 프로브는 Tektronix P6022이다. 이는 AC회로에서 측정 가능 주파수 영역이 935 Hz~120 kHz이다. 본 실험에서 전류 프로브가 회로에 미치는 임피던스는 약 500~600 kΩ이다.

전압 프로브는 Tektronix P6015A를 사용한다. DC와 AC 회로에서 사용 가능하며, 측정 영역은 20 kV 이하이다. 전압 프로브의 자체 임피던스는 주파수 범위 10 Hz ~100 MHz 에서 100 MΩ~1 kΩ 사이이다. 주파수가 클수록 전압 프로브의 임피던스가 작아진다. 실제 본 실험에서의 램프 구동 주파수는 약 60 kHz이므로 전압 프로브 자체의 임피던스는 약 300 kΩ이다. 이 값은 본 실험에서의 데이터 분석으로도 확인된다.

비록 임피던스가 큰 프로브를 사용할 지라도, 램프의 계측에는 기생 캐패시터에 의하여 전류가 누설된다. 따라서 누설 전류에 의하여 램프의 전류와 전압 값의 계측에 영향을 최소화하거나, 계측기의 영향을 고려한 회로 분석을 통하여 계측되는 값을 정확하게 해석하는 것이 필요하다.

회도계는 Photo Research사의 PR-705를 사용한다. 회도의 측정 범위는 0.16~109,600 cd/m²이다. 측정각은 1/4 °이고, 측정거리는 44 mm ~ ∞이다.

본 실험에서 사용하는 CCFL 구동용 인버터는 자력식 Push-Pull 방식의 스위칭 인버터이다 [8-10]. DC-전원 장치(Switching Mode Power Supply: SMPS)를 사용하여, 인버터에 입력되는 DC전압을 수 V~ 수 10 V 범위에서 가변 입력한다. 램프의 임피던스를 고려하여 트랜스의 인덕턴스(Inductance) L값과 1, 2차 코일의 회로를 구동 주파수 50~70 kHz에서 매칭 되도록 설계하였다. 본 실험에서는 트랜스의 1차 및 2차 코일의 권선 비는 8:800이고, 각 트랜스의 인덕턴스 비는 L₁ : L₂ = 0.0064 mH : 57 mH, 그리고 결합계수는 0.62이다 .

III. 계 측

본 연구에 사용한 CCFL은 길이 669 mm, 외경 4 mm, 내경 3 mm이다. 램프의 구동은 자력식 Push-Pull 인버터로서 구동 주파수는 50~70 kHz로 자체 결정되며, 인버터에 입력되는 전압 DC 수 V에 대하여 램프에 인가되는 인버터의 출력 전압은 AC 수 kV이다.

Fig. 1은 CCFL의 일반적인 구동 방식에서 전류 및 전압 계측의 개략도이다. CCFL의 한쪽 전극 끝은 접지되고, 다른 쪽 끝에는 안전 캐패시터(C=16.5 pF)를 부착하여 고압을 인가한다. 이때, 인버터와 고압부의 연결선의 길이는 가능한 짧게 하여 연결선에 의한 전류 누설을 최소화하여야 한다. DC 전원(power supply)은 전압 가변 한 것을 사용한다. 교류 전류계는 ①로 표시하고, 접지 측에서 측정한다. 전류 프로브에 의한 회로의 전류 측정은 Fig. 1에 나타난 측정점 (P_I: 인버터 출력 단, P_C: 램프 측, P_G: 접지 측)들의 전류를 측정한다. 고압 프로브와 전류 프로브를 동시에 설치할 경우, 고압 프로브의 위치 P_I에 대하여, 전류 프로브의 위치 P_I전후에 대하여 P_{Ia} 및 P_{Ib}으로 구분한다. 고압 프로브 위치 P_C에 대하여도 전류 프로브 위치 P_C 전후에 대하여 P_{Ca} 및 P_{Cb}로 설정한다.

CCFL의 전류 및 전압 계측 데이터를 Table 1에 나타내

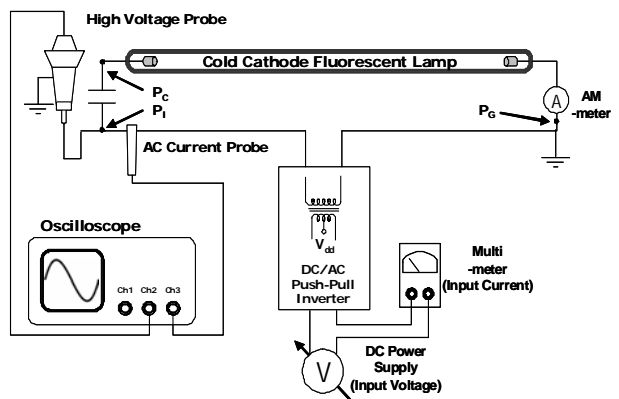


Fig. 1. The schematics of measuring the current and voltage in CCFL circuit is shown. P_I is the point at the inverter output side, P_C is the point between the ballast capacitor and the lamp electrode, and P_G is the point at the ground side. The points measuring current in P_I are P_{Ia} and P_{Ib} that are located at front side and rear side of the voltage probe respectively. The points measuring current in P_C are P_{Ca} and P_{Cb} that are located at front side and rear side of the voltage probe.

었다. Table 1에서 인버터에 입력되는 DC 전압은 V_{IN} , DC 전류는 I_{IN} , 그리고 입력 전력은 W_{IN} 이다. Table 1에서 입력 DC 전압(V_{IN})을 일정하게 하고, 전류 계측은 (1), 전압 계측은 (2), 그리고 전류 및 전압 동시 계측은 (3)에 나타내었다. Table 1의 (4)는 입력 전압을 조정하여 램프의 휘도를 12,000 cd/m^2 로 유지하여 전류 및 전압을 측정한 데이터이다. Table 1에 나타낸 실험 데이터의 문 번호에 대응하여 각각 다음의 단원에서 실험 결과를 자세하게 분석한다.

3.1 전류 계측 (입력 전압 일정)

Table 1의 데이터 (1)의 CCFL 전류 계측에서 인버터에 입력되는 전압을 DC 7.8 V로 고정하였다. 데이터 (1)–①에서, 입력 전류는 DC 0.99 A, 입력 전력은 7.72 W, 그리고 램프 휘도는 12,000 cd/m^2 이다. 접지 측에서 계측한 교류 전류계와 전류 프로브의 값은 각각 5.56 mA와 5.33 mA이다. 전류 프로브의 값이 교류 전류계의 측정치 보다 약 4%

작다. 접지 측의 교류 전류계가 회로에 미치는 영향은 거의 없으며, 접지 측의 전류 프로브도 회로에 미치는 영향이 거의 없다.

그러나, 전류 프로브를 고압 부에 설치하면, Table 1 (1)–②와 (1)–③과 같이 전류 프로브가 회로에 영향을 미친다. 실험 데이터 (1)–②에서, 전류 프로브를 인버터 출력단 (P_1)에 설치한 경우, 입력 DC 전류가 0.99 A에서 1.00 A로 약 1 % 증가하고, 휘도(12,250 cd/m^2)와 교류 전류계의 전류 값(5.61 mA)도 약 1%정도 증가한다. 그런데 전류 프로브의 측정치는 7.25 mA로 크게 증가한다. 이는 고압 부에 설치된 전류 프로브에 의한 누설 전류에 의한 것으로 해석된다. 누설 전류는 고압 측의 전류 7.25 mA와 접지 측의 전류 5.61 mA의 벡터 차이 값으로서 약 3 mA이다.

실험 데이터 (1)–③에서, 전류 프로브를 ballaster와 램프 측의 위치 P_C 에 설치한 경우, 전류 프로브가 회로에 미치는 영향은 더욱 심각하다. 입력 전류 값이 0.83 A로서 약 0.16 A 감소 (약 16% 감소)하고, 휘도가 8,558 cd/m^2 로서 30% 감소, 그리고 교류 전류계의 램프 전류도 4.35 mA로

Table 1. The current and voltage are measured in CCFL circuit

| CCFL [Ⓢ] | # [Ⓢ] | V_{IN} [Ⓢ] [V] [Ⓢ] | I_{IN} [Ⓢ] [A] [Ⓢ] | W_{IN} [Ⓢ] [W] [Ⓢ] | Luminance [Ⓢ] [cd/m^2] [Ⓢ] | $I_{Ammeter}$ [Ⓢ] [mA] [Ⓢ] | I_{Probe} [Ⓢ] [mA] [Ⓢ] (위치) [Ⓢ] | V_{Probe} [Ⓢ] [kV] [Ⓢ] (위치) [Ⓢ] | Phase/freq [Ⓢ] [°/kHz] [Ⓢ] | W_{Out} [Ⓢ] [W] [Ⓢ] |
|--|----------------|---|---|---|---|---|--|--|---|--|
| (1)전류계측 (V_{IN} 일정) [Ⓢ] | ① [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 0.99 [Ⓢ] | 7.72 [Ⓢ] | 12,000 [Ⓢ] | 5.56 [Ⓢ] | 5.33 (P_G) [Ⓢ] | - [Ⓢ] | -/65.3 [Ⓢ] | - [Ⓢ] |
| | ② [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 1.00 [Ⓢ] | 7.80 [Ⓢ] | 12,250 [Ⓢ] | 5.61 [Ⓢ] | 7.25 (P_1) [Ⓢ] | - [Ⓢ] | -/64.7 [Ⓢ] | - [Ⓢ] |
| | ③ [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 0.83 [Ⓢ] | 6.47 [Ⓢ] | 8,558 [Ⓢ] | 4.35 [Ⓢ] | 5.60 (P_C) [Ⓢ] | - [Ⓢ] | -/65.7 [Ⓢ] | - [Ⓢ] |
| (2)전압계측 (V_{IN} 일정) [Ⓢ] | ① [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 1.14 [Ⓢ] | 8.89 [Ⓢ] | 14,670 [Ⓢ] | 6.46 [Ⓢ] | - [Ⓢ] | 1.67 (P_1) [Ⓢ] | -/61.6 [Ⓢ] | - [Ⓢ] |
| | ② [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 0.41 [Ⓢ] | 3.20 [Ⓢ] | 1,367 [Ⓢ] | 0.70 [Ⓢ] | - [Ⓢ] | 1.11 (P_C) [Ⓢ] | -/65.6 [Ⓢ] | - [Ⓢ] |
| (3)전압 및 전류계측 [Ⓢ] (V_{IN} 일정) [Ⓢ] | ① [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 1.13 [Ⓢ] | 8.81 [Ⓢ] | 14,090 [Ⓢ] | 6.29 [Ⓢ] | 6.17 (P_G) [Ⓢ] | 1.66 (P_1) [Ⓢ] | 39.4/61.9 [Ⓢ] | 7.91 [Ⓢ] |
| | ② [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 1.14 [Ⓢ] | 8.89 [Ⓢ] | 14,300 [Ⓢ] | 6.38 [Ⓢ] | 10.58 (P_{1a}) [Ⓢ] | 1.63 (P_1) [Ⓢ] | 72.4/61.2 [Ⓢ] | 5.21 [Ⓢ] |
| | ③ [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 1.10 [Ⓢ] | 8.58 [Ⓢ] | 13,220 [Ⓢ] | 6.05 [Ⓢ] | 8.72 (P_{1b}) [Ⓢ] | 1.62 (P_1) [Ⓢ] | 71.3/60.9 [Ⓢ] | 4.53 [Ⓢ] |
| | ④ [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 0.41 [Ⓢ] | 3.20 [Ⓢ] | 1,132 [Ⓢ] | 0.70 [Ⓢ] | 1.01 (P_G) [Ⓢ] | 1.11 (P_C) [Ⓢ] | 42.7/65.7 [Ⓢ] | 0.82 [Ⓢ] |
| | ⑤ [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 0.38 [Ⓢ] | 2.96 [Ⓢ] | 607 [Ⓢ] | 0.30 [Ⓢ] | 5.95 (P_{Ca}) [Ⓢ] | 0.99 (P_C) [Ⓢ] | 77.8/65.0 [Ⓢ] | 1.24 [Ⓢ] |
| | ⑥ [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 0.38 [Ⓢ] | 2.96 [Ⓢ] | 611 [Ⓢ] | 0.30 [Ⓢ] | 3.95 (P_{Cb}) [Ⓢ] | 1.02 (P_C) [Ⓢ] | 71.8/65.1 [Ⓢ] | 1.26 [Ⓢ] |
| (4)전압 및 전류계측 [Ⓢ] (<u>휘도유지</u>) [Ⓢ] | ① [Ⓢ] | 7.8 [Ⓢ] | 0.99 [Ⓢ] | 7.72 [Ⓢ] | 12,000 [Ⓢ] | 5.56 [Ⓢ] | - [Ⓢ] | - [Ⓢ] | - [Ⓢ] | - [Ⓢ] |
| | ② [Ⓢ] | 7.5 [Ⓢ] | 1.05 [Ⓢ] | 7.88 [Ⓢ] | 12,000 [Ⓢ] | 5.50 [Ⓢ] | 5.37 (P_G) [Ⓢ] | 1.60 (P_1) [Ⓢ] | 35.2/62.1 [Ⓢ] | 7.02 [Ⓢ] |
| | ③ [Ⓢ] | 7.5 [Ⓢ] | 1.05 [Ⓢ] | 7.88 [Ⓢ] | 12,000 [Ⓢ] | 5.50 [Ⓢ] | 9.82 (P_{1a}) [Ⓢ] | 1.60 (P_1) [Ⓢ] | 72.7/61.6 [Ⓢ] | 4.67 [Ⓢ] |
| | ④ [Ⓢ] | 7.6 [Ⓢ] | 1.04 [Ⓢ] | 7.90 [Ⓢ] | 12,000 [Ⓢ] | 5.51 [Ⓢ] | 7.86 (P_{1b}) [Ⓢ] | 1.62 (P_1) [Ⓢ] | 71.4/61.0 [Ⓢ] | 4.06 [Ⓢ] |
| | ⑤ [Ⓢ] | 8.7 [Ⓢ] | 0.93 [Ⓢ] | 8.09 [Ⓢ] | 12,000 [Ⓢ] | 5.52 [Ⓢ] | 5.41 (P_G) [Ⓢ] | 1.13 (P_C) [Ⓢ] | 1.5/64.6 [Ⓢ] | 6.11 [Ⓢ] |
| | ⑥ [Ⓢ] | 8.9 [Ⓢ] | 0.92 [Ⓢ] | 8.19 [Ⓢ] | 12,000 [Ⓢ] | 5.50 [Ⓢ] | 8.16 (P_{Ca}) [Ⓢ] | 1.10 (P_C) [Ⓢ] | 47.0/64.3 [Ⓢ] | 6.12 [Ⓢ] |
| | ⑦ [Ⓢ] | 9.0 [Ⓢ] | 0.92 [Ⓢ] | 8.28 [Ⓢ] | 12,000 [Ⓢ] | 5.57 [Ⓢ] | 6.57 (P_{Cb}) [Ⓢ] | 1.08 (P_C) [Ⓢ] | 33.2/64.4 [Ⓢ] | 5.94 [Ⓢ] |

감소한다. 그러나 계측 위치 P_c 에서 계측한 전류 프로브의 전류 값은 5.60 mA로서 전류 프로브를 설치 않은 경우(1)~(1)에서 5.33 mA)보다 다소 증가한다. 이때, 교류 전류계의 램프 전류 4.35 mA, 전류 프로브 전류 5.60 mA의 벡터 차이가 전류 프로브에 의한 누설 전류로서 약 2 mA가 된다.

전류 계측 실험 결과는 다음과 같이 정리된다. (i) 접지 측에서 교류 전류계와 전류 프로브로 전류를 측정하는 경우는 계측기 설치 전후에 램프의 휘도 변화가 거의 없다. 그리고, 교류 전류계와 전류 프로브의 측정값이 거의 같다. (ii) 고압 측에서 전류 프로브로 전류를 측정하는 경우는 프로브가 회로 자체에 영향을 주어 전류 값이 크게 증가한다. CCFL은 인버터 출력 단에 전류 프로브 설치하면, 입력 전류도 증가하고, 램프의 전류와 휘도가 증가한다. CCFL의 램프 측에 전류 프로브 설치하면, 입력 전류는 급감하고, 램프 전류 및 휘도가 급감하며, 상당 많은 전류는 전류 프로브에서 누설된다.

3.2 전압 계측 (입력 전압 일정)

Table 1의 데이터 (2)는 입력 DC 전압(7.8 V)을 일정하고, CCFL의 구동 회로에서 전압 프로브에 의한 전압 계측이다. Table 1 (2)~(1)에서 출력단 (P_1)에 고압 프로브를 설치하면, 입력 DC 전류가 설치 이전의 DC 전류 0.99 A에서 1.14 A로 증가하고, 램프 휘도가 12,000 cd/m^2 에서 14,670 cd/m^2 로 증가하며, 접지 측의 교류 전류계의 전류도 5.56 mA에서 6.46 mA로 증가한다. 이때의 위치 P_1 에서의 전압 프로브의 계측 전압은 1.67 kV이다. 고압 프로브 설치에 따른 입력 전류의 증가와 램프 휘도의 증가 원인은 고압 프로브에 의한 임피던스 변화로 기인한 것이다. 상세한 내용은 다음 절의 등가회로에서 분석한다.

Table 1 (2)~(2)에서, 램프 측(위치 P_c)에 고압 프로브를 설치하는 경우이다. 램프의 휘도가 1,367 cd/m^2 로 줄고, 방전이 매우 약하다. 이때의 고압 프로브의 전압은 1.11 kV로 계측된다. 이 결과에 대한 분석도 다음 절의 등가회로 분석에서 설명한다.

3.3 전류 및 전압 계측 (입력 전압 일정)

CCFL의 구동에서 입력 전압을 DC 7.8 V로 유지하고, 전류 프로브 및 전압 프로브를 위치 별로 설치하여 전류와

전압을 동시에 측정하는 데이터가 Table 1 (3)이다.

Table 1의 (3)~(1)~(3)에서와 같이 고압 프로브를 인버터 출력 측(P_1)에 설치하고, 전류 프로브를 P_G , P_{1a} , P_{1b} 의 위치에 설치하여 전류를 측정하는 경우이다. 입력 전력이 증가하고, 램프의 전류 및 휘도가 증가하며, 프로브 전압은 1.66~1.62 kV이다. Table 1 (3)~(4)~(6)에서와 같이 고압 프로브를 램프 측(P_c)에 설치하고, 전류 프로브의 위치를 달리하여 측정하면, 램프 전류 및 휘도는 급감한다. 이때의 고압 프로브의 계측 전압은 1.11~0.99 kV이다.

위의 데이터 Table 1 (2)~(3)의 전압 계측 결과는 다음과 같다. 입력 DC 전압이 일정할 때, 인버터 출력 단(P_1)에 고압 프로브 설치하면, 램프 전류 및 휘도가 증가한다. 이때, 측정 전압은 1.6 kV이다. 램프 측(P_c)에 고압 프로브를 설치하면, 램프의 전류와 휘도는 급감한다. 이때의 계측 전압은 ~1.0 kV이다.

3.4 휘도 유지 전류 및 전압

Table 1의 데이터 (4)는 CCFL의 휘도를 일정하게 유지하여, 전류 및 전압을 측정하는 데이터이다. 휘도를 12,000 cd/m^2 로 일정하게 유지하기 위하여, 입력 전원의 입력 DC 전압을 조절한다. Table 1의 (4)~(1)은 프로브를 설치하지 않고 교류 전류계만을 접지 측에 설치한 경우로서 Table 1의 데이터 (1)~(1)와 동일하다. 입력 전압 및 전류는 DC 7.8 V, DC 0.99 A이며, 입력 전력은 7.72 W이고, 램프 전류는 5.56 mA이고, 이때의 휘도는 12,000 cd/m^2 이다. (4)~(2)는 전류 프로브를 접지 측(P_G)에 설치하고, 고압 프로브를 출력 단(P_1)에 설치한 데이터이다. 입력 전압이 DC 7.8 V에서는 휘도가 약 14,000 cd/m^2 로 상승하므로, 입력 전압을 DC 7.5 V로 낮추어 휘도를 12,000 cd/m^2 로 조정하였다. 입력 전력은 입력 전류의 상승으로 7.88 W로 증가한다. 이때의 전류 프로브 값은 교류 전류계와 4 % 범위 이내에서 일치하고, 전압은 1.6 kV이다. 다만, 입력 전력은 프로브에 의한 소모 전력이 약 0.16 W 발생하여 7.88 W로 상승한다.

출력 단에 고압 프로브 설치하고, 전류 프로브를 고압 측의 전압 프로브 전후에 설치 시의 계측 데이터는 Table 1의 (4)~(3) (전류 프로브 설치 위치 P_{1a})과 (4)~(4) (전류 프로브 P_{1b})이다. (4)~(3)에서 전류 프로브를 전압 프로브 전에 설치하면, 전류 프로브의 전류 계측 값은 접지 측에 비하며 약 180% 크다. 이는 램프전류에 전압 프로브 및 전류 프로

브의 누설전류를 포함하기 때문이다. (4)-④에서 전류 프로브를 전압 프로브 후에 설치하면, 전류 프로브의 계측 값은 접지 측에 비하며 약 140% 크고, (4)-③의 값보다는 작다. 이는 전류 프로브의 계측 값이 램프 전류와 전류 프로브의 누설전류를 포함한 것이다. 그러나 전압 프로브의 전압은 1.6 kV로 계측 된다. 즉, 고압 측에서 전류와 전압을 계측하는 경우는 전류는 누설전류 영향으로 전류 값이 크게 계측되고, 전압은 회로에 영향을 받지 않는다.

램프 측(P_C)에 고압 프로브를 설치한 계측 데이터가 Table 1의 (4)-⑤~⑦에 나타내었다. 프로브의 설치로 휘도 및 전류가 급감하기 때문에, 동일한 휘도를 유지하기 위하여 입력 전압을 DC 7.8 V에서 DC 8.7 V로 조정한다. 이때의 입력 전력도 8 W로 증가한다. 전압 프로브의 전압은 약 1.1 kV로 일정하나, 전류는 고압 측의 경우 누설 전류의 영향으로 계측 전류의 값이 커진다.

위의 실험결과는 다음과 같이 정리한다. (i) 램프 휘도는 램프 전류에 비례한다. 램프 전류는 접지 측의 교류 전류계 혹은 전류 프로브로 계측한다. (ii) 램프 전압 계측을 위하여 고압부(P_1)에 고압 프로브 설치하면, 전류 및 휘도 상승. 따라서 입력 DC 전압을 낮추고, 휘도를 유지하여, 고압부의 전압을 계측한다. (iii) 램프 측 고압 부(P_C)에 고압 프로브 설치하면, 램프 휘도 및 램프 전류가 급감한다. 따라서 입력 DC 전압을 높여서 휘도를 유지하고, 전압을 계측한다.

위의 실험에서 제기되는 문제점은 다음과 같다. 첫째, 전류 프로브 및 고압 프로브를 고압 부(P_1 및 P_C)에 설치하는 경우, 램프 전류 및 휘도 변화 원인에 대한 정확한 해석이 필요하다. 둘째, 올바른 전류 및 전압의 계측 방법 및 램프의 순수 소모 전력의 계측법에 대한 제시가 필요하다. 이들 문제를 다음의 등가 회로 분석을 통하여 이해 하고자 한다.

IV. 등가회로 분석

CCFL의 전류 및 전압 계측과 관련하여 등가 회로를 분석한다. 4-(1) 절은 CCFL 구동의 등가회로이고, 4-(2) 절은 고압 프로브나 전류 프로브의 설치에 따른 등가 회로이다.

4.1 CCFL 등가 회로

CCFL 구동의 등가회로를 Fig. 2에 나타내었다. CCFL의

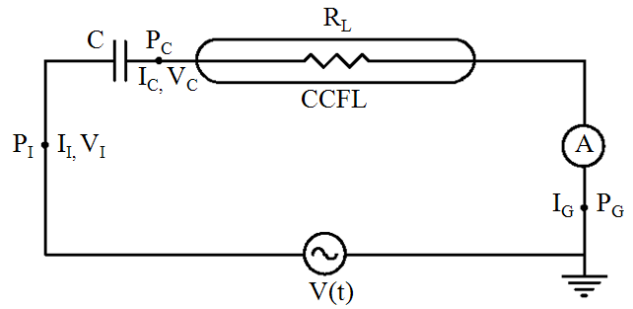


Fig. 2. The equivalent circuit of CCFL is shown. P_1 is the point at the inverter output side, P_C is the point between the ballast capacitor and the lamp electrode, and P_G is the point at the ground side. The current and voltage are I_I and V_I in P_1 . The current and voltage are I_C and V_C in P_C . The current is I_G in P_G .

정상 글로우 방전(normal glow discharge)의 램프 저항은 R_L 이다. CCFL의 구동에서는 안전 캐패시터(ballast capacitor) C를 고전압 출력 단(P_1)에 부착한다. $V(t)$ 는 교류 전원이고, 인버터 출력 전압은 V_I , 램프 측 전압은 V_C 이다. 고압 측의 계측 전류는 I_I , 접지 측에서 계측되는 램프 전류는 I_G 이다. V_I 는 램프와 캐패시터 C를 포함한 인버터 출력 전압이다. V_C 는 순수한 램프 전압이다.

CCFL의 등가 회로는 램프 자체 방전 저항 R_L 과 캐패시터 C가 연결된 회로이다. 따라서 전원 $V(t)$ 및 회로 전류 $I(t)$ 에 대한 등가 회로 방정식은

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

이다. 전압과 전류를 $V(t) = V_o \exp(j\omega t)$ 와 $I(t) = I_o \exp(j\omega t)$ 로 나타내면, 식(1)의 해는 $I_o = V_o / (R_L + X_C)$ 이다. 이때, 캐패시터의 리액턴스(reactance)는 $X_C = 1/(j\omega C)$ 이다. 램프회로의 임피던스는 $Z_L = R_L - j/\omega C$ 이며, 임피던스의 크기는 $|Z_L| = [R_L^2 + (1/\omega C)^2]^{1/2}$ 이다. 전류 및 전압의 측정치인 I_I 및 V_I 와 위의 변수와의 관계는 $V_I = V_o / \sqrt{2}$ 및 $I_G = I_o / \sqrt{2}$ 이고, 누설 전류가 없다면 $I_I = I_G$ 이다.

냉음극 형광 램프의 소모 전력은 $P = \text{Re}\{I_o^* V_o\}$ 에서 계산된다 [11]. 여기서 $I_o^* = V_o (R_L + j/\omega C) / [R_L^2 + (1/\omega C)^2]$ 이므로, $P = (V_o^2 / 2R_L) / [1 + 1/(\omega CR_L)^2]$ 가 된다. 전류 $I(t)$ 와 전압 $V(t)$ 의 위상차의 각 θ 이면, $\tan\theta = |X_C| / R_L = 1/\omega CR_L$ 및 $\cos\theta = R_L / |Z_L| = V_C / V_o$ 이다. 여기서 $V_I = |I_L Z_L|$, $V_C = I_L R_L$ 따라서 누설 전류가 없는 경우($I_I = I_G$), 소모 전력 P_n ,

$$P = I_I V_I \cos\theta = I_G V_C \quad (2)$$

이다.

결론적으로, (i) 램프의 전류는 접지 측 전류 (I_G)이다. 이는 교류 전류계나 전류 프로브를 사용하여 측정한다. (ii) 램프 전압 (V_C)은 고압 프로브의 값이다. (iii) 램프의 소모 전력은 $P=I_G V_C$, 혹은 $P \sim I_G V_I \cos\theta$ 이다. θ 는 고압 측의 전류 $I(t)$ 와 $V(t)$ 의 위상차를 오실로스코프로 계속한다. 이때, 임피던스가 큰 고압 프로브를 사용하더라도 정확한 위상차를 얻기 어렵다. 실질적으로 정확한 위상차는 $\cos\theta = V_C/V_I$ 에서 결정한다.

4.2 프로브 등가회로

Fig. 2에서 고전압측인 P_I 및 P_C 에 고압 프로브 혹은 전류 프로브를 연결하면, 프로브가 회로에 미치는 영향이 크다. 이는 고주파의 고전압부에 연결된 프로브는 자체적인 기생 캐패시터에 의한 임피던스로 의하여 회로에 영향을 크게 미친다. 따라서 고 전압부에 프로브를 설치한 경우의 계측 결과 값에 대한 해석이 중요하다.

Fig. 3는 CCFL의 계측에서 고전압부에 설치된 프로브를 포함한 등가 회로이다. 이때의 프로브는 전류 프로브 혹은 전압 프로브가 된다. Fig. 3(a)는 인버터의 출력단 P_I 에 프로브를 설치한 경우이다. Fig. 3(b)는 램프측 P_C 에 프로브를 설치한 경우의 등가 회로이다. 출력단의 위치 P_I 에 전류 프로브를 설치하여 측정된 전류는 I_I 이고, 고압 프로브를 설치하여 측정된 전압은 V_I 이다. Fig. 3(b)에서는 P_C 지점에 전류 프로브 전류는 I_C 이고, 고압 프로브의 전압은 V_C 이다.

Fig. 3(a)에서 CCFL의 램프 저항 R_L 과 ballast capacitor C에 의한 임피던스 $Z_L=R_L+X_C$ 와 프로브 임피던스 Z_P 가 병렬 연결된 회로이다. 회로 전체의 임피던스 Z_I 는 $1/Z_I=1/Z_L+1/Z_P$ 의 관계이다. 회로 방정식의 해는 $I(t)=V(t)/Z_I$ 이다. 따라서 P_I 에서 측정된 전류 I_I 와 전압 V_I 의 관계는 $I_I=V_I/Z_I$ 이다. 일반적으로 병렬 연결 회로는 $|Z_I| < |Z_L|$ 이다. 따라서 위치 P_I 에 설치한 프로브를 포함한 회로의 전류 ($I_I=V_I/Z_I$)는 설치 이전의 전류($I=V_I/Z_L$)보다 커진다. 따라서 입력 전압 $V(t)$ 가 일정한 경우, P_I 에 전류 프로브를 설치(Table 1 (1)-②)하면 전류는 $I_I=7.25$ mA이며, 전류 프로브를 설치하지 않은 경우의 전류 $I_C=5.33$ mA보다 크다.

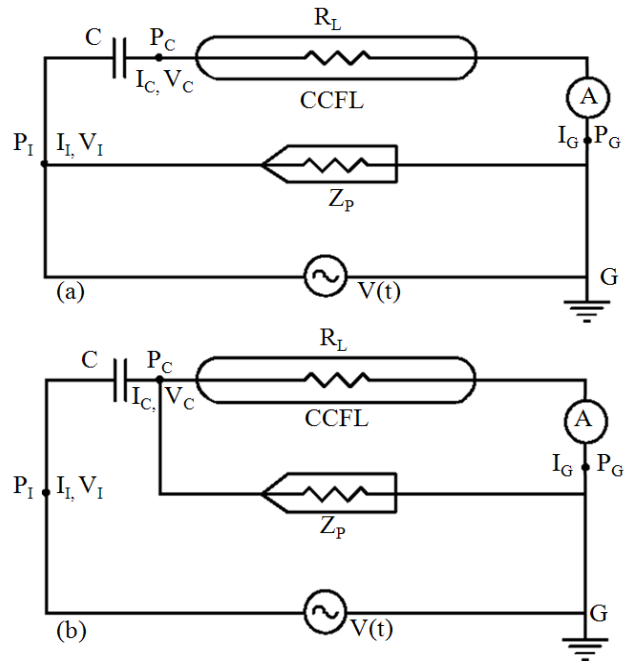


Fig. 3. The equivalent circuit of CCFL with the probe is shown. (a) The probe is set up at inverter output side P_I . (b) The probe is set up at P_C , the point between ballast capacitor and CCFL.

또는, 정상 글로우 방전에서, CCFL 램프 방전 상태는 회로 변동에 민감하다. 즉 인버터 출력 전압을 약간 증가해도, 램프 전류는 큰 폭으로 증가하고, 램프 저항은 작아진다. 그러나 램프 전압은 그의 변동 없다. 본 실험에서 램프는 공진상태에서 구동되며 램프 전류는 주로 안전 캐패시터로 제한된다. 인버터 출력 측에 고압프로브 설치 시, 램프 회로와 병렬된 고압프로브는 주로 용량 성 임피던스 (~ 3 pF)로, 회로 전체 C값이 증가한다, 이로 인해 인버터 공진조건이 변동되며 출력이 약간 증가하며, 램프회로에 더 많은 전류가 흐르게 된다.

P_I 에 고압 프로브 설치하면(Table 1 (2)-①), 램프 전압은 $V_I=1.67$ kV로서 휘도 $12,000$ cd/m²일 때 전압 1.60 kV보다 약 70 V 더 높다. 램프 전류 $I_G=6.46$ mA로서 고압 프로브 설치 이전의 전류 $I_G=5.56$ mA보다 더 크고, 휘도도 $12,000$ cd/m²에서 $14,670$ cd/m²로 증가한다. 동일한 현상들이 Table 1 (3)과 (4)에서도 나타난다.

고압측 전류 프로브에 측정되는 I_I 는 프로브에 의한 누설 전류 I_P 와 램프 전류 I_G 로 나누어진다. 램프 전류 I_G 는 접지 측에서 교류 전류계 혹은 전류 프로브로 측정된 것이다. 따라서 프로브를 설치하더라도 접지 측에서 측정된 전류를

램프 전류로서 신뢰할 수 있다. 또한, 고압 측의 전압 프로브의 계측 값 V 도 신뢰할 수 있다. 고압 프로브 계측 전압 V 와 전류 프로브 계측 전류 I 혹은 I_G 와의 위상차는 임피던스의 변화로 인하여 신뢰할 수 없다. 따라서 회로 전체의 소모 전력 $P_T = I_V \cos\theta$ 에서, θ 는 프로브의 임피던스 영향이 크므로 정확하게 계측할 수 없다.

Fig. 3(b)는 CCFL 계측 시, 캐패시터 C와 CCFL의 냉음극 사이의 위치 P_C에 프로브를 연결한 경우의 등가회로이다. 프로브 임피던스 Z_P 가 램프 저항 R_L 과 병렬 연결된다. 이때의 병렬 연결 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 ~ 155 k Ω 이다.

회로의 전류 해는 $I(t) = V(t)/Z_T$ 이다. $Z_{LP} < R_L$ 이므로, $|Z_T| < |Z_L = X_C + R_L|$ 이다. 즉, 프로브를 설치하면 프로브 설치 이전보다 임피던스가 작아진다. 따라서 동일한 전위 $V(t)$ 에 대하여 프로브를 연결하면, 회로에 흐르는 전류 I 는 프로브 설치 이전 보다 증가한다. 즉, $I_T = V/|Z_T| > V/|Z_L|$ 이다. I_T 는 회로에 흐르는 전류 이므로 C를 지난 Cathode 측의 P_C점에서 계측한 전류 I_C 와 동일한 값이다. 따라서 전류 프로브 측정치 I_C 는 접지 측의 램프 전류 I_G 보다 커진다. 이때, 병렬 회로에서 I_C 는 I_G 와 프로브에 의한 누설 전류 I_P 로 나누어진다.

한편, 인버터 출력 전압 V_I 가 동일한 경우, P_C위치의 고압 프로브 전압 $V_C = I_C |Z_{LP}|$ 가 계측된다. 이때, $|Z_{LP}| < R_L$ 이므로, P_C점의 전압은 $V_C < I_G R_L$ 이다. 따라서 V_C 는 고압 프로브를 연결하지 않은 경우보다 작아진다. 즉, 고압 프로브의 연결에 의하여 램프 양단에 인가되는 전압 V_C 의 값이 작아지므로 램프의 전류 I_G 도 감소하고, 램프의 휘도도 감소한다. 램프 방전이 약화되면서 결국 암 전류(dark current) 영역으로 떨어지며, 램프 저항은 가장 커진다, (3)–(5) 데이터를 보면 $R_L = 0.99/0.3 = 3.3$ (M Ω)이며, 무한대로 볼 수 있다. 등가 회로 3(b)는 ballast capacitor 와 프로브 직렬 회로로 볼 수 있다, 즉 $Z_{LP} \approx Z_P$. 이때, 램프에 걸리는 전압은 $V_C = V_o Z_P / |X_C + Z_P| \approx 1,600 \times 300 / (155 + 300)$ V = 1,050 V이다, 프로브 설치 전하고 큰 차이가 없다, 그러나 램프는 암 전류(dark current) 영역에서 방전하므로, 램프 관에는 가장 작은 전류(0.3 mA) 만 흐른다. 이를 실험 데이터로 확인할 수 있다.

결과적으로 어떤 특정한 램프 휘도에 대하여 고압 프로

브로 계측한 출력 전압 V_I 및 램프 전압 V_C 는 신뢰할 수 있는 값이다. 램프 전류는 접지 측에서 계측한 교류 전류계 혹은 전류 프로브에서 측정된 I_G 이다. 램프 전류(I_G)와 램프 전압(V_C)의 위상차는 거의 없으며, 실제로 계측된 값은 1.5°로서 신뢰할 수 있다. 인버터 출력 측(P_I)의 고압 프로브의 전압과 접지 측 전류 프로브의 전류와의 위상차는 이론적인 값과 다소 차이가 있다. 출력 측 전압(V_I)과 접지 측 전류의 위상차는 $\cos\theta = V_C/V_I$ 이다. 따라서 회로 전체 소모전력(프로브의 손실전력 감안)은 $P_T = I_V \cos\theta$ 이다. 램프 소모 전력은 $P = I_G V_C$ 이다.

실제 측정 데이터를 적용하여 해석하면 다음과 같다. 입력 DC 전압을 조정하여 램프 휘도(12,000 cd/m²)를 일정하게 유지하여 측정된 데이터가 Table 1 (4)이다. 인버터 입력 전압과 전류는 Table 1 (4)–①에서 $V_{DC} = 7.8$ V, $I_{DC} = 0.99$ A로 입력 전력은 7.72 W이고, 교류 전류계에 의한 램프 전류는 5.56 mA이다. 램프의 전압은 Table 1 (4)–⑤에서, 램프 측(P_C)에 고압 프로브를 설치하여 휘도를 12,000 cd/m²로 유지하기 위하여 입력 전압을 DC 8.7 V로 조정하면 입력 전류는 DC 0.93 A이고, 입력 전력은 8.09 W로 증가한다. 고압 프로브를 설치함에 따라서 입력 전력의 차이 8.09–7.72 = 0.37 (W)가 고압 프로브에 의한 회로의 손실 전력이다. 이때의 고압 프로브에 의한 램프 전압은 $V_C = 1.13$ kV이고, 전류계 및 전류 프로브의 전류는 각각 $I_C = 5.52$ mA 및 $I_G = 5.41$ mA이다. 여기서 전류 프로브와 고압 프로브의 전류 및 전압의 위상차는 1.5°로서 거의 없다. 결과적으로 휘도 12,000 cd/m²일 때, 램프 전압 $V_C = 1.13$ kV이고, 램프 전류는 전류계 기준으로 $I_C = 5.52$ mA이면, 램프 자체의 저항 $R_L = V_C / I_G = 205$ k Ω 이고 램프의 순수 소모 전력은 $P_L = I_G \times V_C = 6.24$ W이다. 고압 프로브 설치에 따른 회로의 손실 전력을 고려하면, 순수 인버터의 효율은 $\eta = 6.24$ W / 7.72 W = 0.81이 된다.

Table 1 (4)–②에서 휘도 12,000 cd/m² 유지하여 위치 P_I의 고압 측에 전압 프로브 계측에 의한 램프의 전압과 소모 전력을 분석할 수 있다. 위치 P_I에서 계측한 전압은 $V_I = 1.60$ kV이며, 이때의 접지 측에서 계측한 전류 프로브와의 위상차는 35.2°이다. (4)–⑤의 위치 P_C의 전압 $V_C = 1.13$ kV. 앞에서 이론에서 위상차는 $\cos\theta = V_C / V_I = 1.13/1.60 = 0.706$, 따라서 계산에 의하면, $\theta = 45.1$ °이다. 계측 결과와 약 10°의 차이가 있다. 이러한 차이는 고압 프로브에 의한 임피던스 변화에 의한 것이다. 램프의 소모

전력은 Table 1의 (4)-②에서 $I_C(5.37 \text{ mA}) V_C(1.60 \text{ kV}) \cos\theta (\theta=35.2^\circ) = 7.02 \text{ W}$ 는 실제 값 6.24 W보다 크게 측정된다. 이는 위상차가 프로브 자체의 임피던스 영향으로 실제 45.1° 보다 작은 값 35.2° 로 측정되었기 때문으로 해석된다.

위치 P_1 의 전압과 접지 측의 전류와의 위상차는 다음과 같은 방법으로도 분석할 수 있다. CCFL의 램프의 저항은 $V_C = I_C R_L$ 에서 $R_L = 205 \text{ k}\Omega$ 이고, $\tan\theta = 1/\omega C R_L$ 에서 $\omega = 62 \text{ kHz}$, $C = 16.5 \text{ pF}$, $R_L = 205 \text{ k}\Omega$ 에서 $\theta = 37.2^\circ$ 가 된다. 이는 위의 $\cos(\theta) = V_C/V_I = 0.706$ 에서 얻어진 45.1° 와 다소 차이가 있다. 이는 고주파 고전압 회로에서 안전 캐패시터의 실제 값은 표시 값 16.5 pF보다 작기 때문으로 해석된다.

V. 결과 및 논의

CCFL의 한쪽 전극을 접지하고 다른 쪽 전극에는 고전압을 인가하는 일반적인 구동 방식에서, 전류 및 전압을 측정하였다.

고전압 측에서 전류 프로브로 전류 값을 측정하는 경우는 전류 프로브 자체의 임피던스(500~600 k Ω)가 회로에 영향을 미치며, 누설전류를 피하기 어렵다. 전류 프로브를 인버터 출력 측에 설치한 경우, 회로 전체의 임피던스가 작아져서 입력 전류가 커지고, 접지 측에 측정되는 램프 전류 값도 다소 커지며, 전류 프로브에서의 누설 전류에 의하여 전류 프로브에 측정되는 전류도 상당히 커진다. 전류 프로브를 ballaster와 램프 사이에 설치한 경우, 회로에 미치는 임피던스의 영향으로 램프에 걸리는 전압이 작아져서 램프 전류 및 휘도가 급감한다. 그러나 이때에도 전류 프로브의 누설전류를 포함하는 측정 전류 값은 램프 전류보다 크다.

전압을 측정하기 위한 전압 프로브의 회로에 미치는 영향도 전류 프로브의 영향과 유사하다. 즉, 전압 프로브를 인버터의 출력 측에 설치하는 경우, 전압 프로브의 임피던스가 램프 임피던스에 병렬 연결되므로 전체 임피던스는 작아져서 인버터의 출력 전류가 증가하고, 램프 전류 및 휘도가 증가한다. 전압 프로브를 ballaster와 램프 사이에 설치한 경우, 램프 전류와 램프 휘도가 급감한다. 이때의 전압 프로브의 임피던스(~300 k Ω)가 전류 프로브보다 상당히 작으므로, 램프 전류 및 휘도 변화는 더욱 저하된다.

CCFL의 전압 측정을 위하여 고전압 측에 전압 프로브를 설치하는 경우는 계측 회로의 임피던스 변화를 피하기 어렵다. 즉, 수십 kHz의 고주파와 수 kV의 고전압의 교류 전압의 측정을 위한 고압 프로브의 낮은 용량 성 임피던스를 갖기 때문이다. 또한, 램프 자체의 임피던스가 수 100 k Ω 으로 높기 때문에 고주파 및 고전압에서 사용 가능한 수 M Ω 의 임피던스를 갖는 고전압 프로브의 제작도 어렵다. 따라서 인버터에 입력되는 DC 전원의 전압을 조정하여 램프의 휘도를 일정하게 유지하고 전압을 측정하는 방법이 합리적인 방법이다.

입력 DC 전압을 조정하여 램프 휘도를 일정하게 유지하고, 램프 전류는 접지 측에서 고주파 전류계나 전류 프로브를 설치하여 측정하고, 램프의 고전압부의 전압은 고전압 프로브를 설치하여 동시에 측정할 수 있다.

접지 측에서 측정한 고주파 전류계 및 전류 프로브는 회로에 영향을 주지 않는다. 따라서 접지 측의 램프에 흐르는 전류 값만을 측정하는 경우는 입력 DC 전압을 조정하여 휘도를 일정한 값으로 유지할 필요가 없다. 접지 측의 고주파 전류계와 전류 프로브의 측정 값은 4% 정도의 차이를 보이며 거의 동일하다. 다만, 고주파 전류계의 측정에서는 전류의 파형과 주파수 등을 알 수 없다.

전류 프로브의 측정은 오실로스코프에 의하여 파형을 관측할 수 있으므로 구동 주파수 등을 알 수 있다. 램프 전압(V_C)과 인버터의 출력단과 안전 캐패시터 사이의 전압(V_I)를 측정하는 경우는 인버터에 입력되는 DC 전압을 조정하여 휘도를 유지하여야 한다.

접지 측의 전류 프로브의 전류 파형과 램프 측의 고압 프로브의 전압 파형의 위상차는 램프 자체의 캐패시턴스가 거의 없기 때문에 위상차는 거의 없으며, 실제의 측정에서 위상차는 1.5° 로 측정되었다. 결과적으로 CCFL의 휘도가 12,000 cd/m²일 때, 램프 전압 $V_C = 1.13 \text{ kV}$ 이고, 램프 전류는 전류계 기준으로 $I_C = 5.52 \text{ mA}$ 이면, 램프 자체의 저항 $R_L = 205 \text{ k}\Omega$ 이고, 램프의 순수 소모전력은 $P_L = I_C \times V_C = 6.24 \text{ W}$ 이다.

VI. 결 론

본 연구는 LCD 백라이트용 광원으로 널리 사용되고 있는 냉음극 형광램프의 램프 전류 및 램프 전압과 순수 소모

전력의 정확한 계측 방법을 조사하였다. 입력 정격 DC 전압이 명시된 인버터에 의하여 구동되는 냉음극 형광램프는 특정한 휘도 값을 갖는다. 그러나 이른 상태에서 고전압부에 설치된 프로브의 임피던스는 램프 회로에 영향을 미쳐서 램프의 전류와 휘도가 변화하기 때문에 정확한 계측이 불가능하다.

본 연구는 CCFL의 계측을 위한 프로브의 임피던스를 고려한 등가 회로 분석을 통하여 램프 전류 및 전압, 그리고 소모 전력의 올바른 측정법을 제시하였다. 인버터에 입력되는 DC-전압을 조정하여 CCFL의 특정 휘도를 유지한 상태에서 전류와 전압을 계측한다. 램프 전류는 접지 측에 교류 전류계나 전류 프로브로 계측하며, 전압은 램프 측 고전압부에 고전압 프로브를 설치하여 계측한다.

특정 휘도에서 계측된 접지 측의 램프 전류(I_G)와 램프 측 고압부의 램프 전압(V_C)에 의하여 방전램프 자체 저항은 $R_L=V_C/I_G$ 이며, 램프에서 소모되는 순수 전력은 $P_L=I_G V_C$ 이다. 안전 캐패시터와 인버터 출력 단 사이의 전압(V_I)를 고압 프로브로 계측하며, 이때의 오실로스코프 전압 파형과 접지 측 전류 프로브의 전류 파형으로부터 위상차(θ)를 계측할 수 있다. 이 위상차는 개략적으로 사용할 수 있으나, 정확한 값은 이론적으로 $\cos\theta=V_C/V_I$ 에서 얻어진다.

이 연구는 LCD 백라이트용 냉음극 형광램프의 계측 및 평가를 위한 표준화 기술에 도움이 될 것이다.

감사의 글

본 논문은 2008년도 광운대학교 교내 연구비의 지원으

로 연구되었습니다.

참고문헌

- [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. J. 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.

An Experiment and Analysis for Standardize Measurement on CCFL

Dongjun Jin, Jongmun Jeong, Heesuk Jeong, Jinshon Kim, Minkyu Lee, Junghyun Kim,
Jehuan Koo, Junegill Kang, Eunha Choi and Guangsop Cho*

Department of Electrophysics, Kwangwoon University, Seoul 139-701

(Received April 15, 2008, Revised March 18, 2008, Accepted June 20, 2008)

A method of measuring the current and voltage is suggested in the circuit of cold cathode fluorescent lamps (CCFLs) which are driven at a high frequency of 50~100 kHz and a high voltage of several kV. It is difficult to measure the current and voltage in the lamp circuit, because the impedance of the probe at high voltage side causes the leakage current and the variation of luminance. According to the analysis of equivalence circuit with the probe impedance and leakage current, the proper measuring method is to adjust the input DC voltage and to keep the specific luminance when the probe is installed at a high voltage circuit. The lamp current is detected with a current probe or a high frequency current meter at the ground side and the voltage is measured with a high voltage probe at the high voltage side of lamp. The lamp voltage(V_C) is measured between the ballast capacitor and the lamp electrode, and the output voltage(V_I) of inverter is measured between inverter output and ballast capacitor. As the phases of lamp voltage(V_C) and current (I_G) are nearly the same values, the real power of lamp is the product of the lamp voltage(V_C) by the lamp current(I_G). The measured value of the phase difference between inverter output voltage(V_I) and lamp current(I_G) is appreciably deviated from the calculated value at $\cos\theta=V_C/V_I$.

Keywords : Cold Cathode Fluorescent Lamp, LCD Backlight, Current Probe, Voltage Probe, Probe Impedance, Leakage Current

* [E-mail] gscho@kw.ac.kr