

# EEFL BLU 구동용 인버터 최적화 설계에 대한 연구

(A Study of the Inverter Optimization Design for EEFL BLU)

김상범<sup>\*1</sup>, 이상훈<sup>1</sup>, 강준길<sup>1</sup>, 조미령<sup>2</sup>, 신상욱<sup>2</sup>, 이세현<sup>2</sup>, 황명근<sup>2</sup>, 양승용<sup>2</sup>  
(S B Kim<sup>\*1</sup>, S H Lee<sup>1</sup>, J G Kang<sup>1</sup>, M R Cho<sup>2</sup>, S W Shin<sup>2</sup>, S H Lee<sup>2</sup>, M K Hwang<sup>2</sup>, S Y Yang<sup>2</sup>)

광운대학교<sup>1</sup>, 한국조명기술연구소<sup>2</sup>  
Kwangwoon University<sup>1</sup>, Korea Institute of Lighting Technology<sup>2</sup>

## Abstract

EEFL(External Electrode Fluorescent Lamp) for LCD displays are analyzed on electrical and optical characteristics by various electrode length. The electrodes of EEFL are coated at the outside of the glass tube. Brightness and efficiency of the EEFL are affected on lamp impedance characteristic. So, the experimental models are proposed for analysis and measurements of the brightness and efficiency of the lamps according to the electrode length.

The sample of LCD backlight unit is used for these experiments, EEFL arrayed BLU of 32" for commercial TV display. The parameters of the experiments were quantised for simple result reading as the length of electrodes as 15, 23 and 30 mm. The inverter was designed and manufactured in the laboratory as the Full-Bridge switching inverter. The feature of the output were measured on voltages about 1000 - 1400V at the currents of 11 - 29 mA and the brightness 15,000 cd/m<sup>2</sup> - 40,000 cd/m<sup>2</sup>.

The experiments have shown that the brightness are increased by increasing of the electrode lengths which have the lamp currents increased. But at an certain conditions, the brightness and efficiency were decreased because of unmatched between the inverter output and lamp impedance.

The optimum applications of the EEFL BLU of 32" in this experiments have been shown to choose the parameters for driving frequencies of 100 kHz - 150 kHz, the brightness of 18,000 - 19,000 cd/m<sup>2</sup> and efficiencies of 40 - 45 lm/w.

## 1. 서 론

1990년대 붐이 조성된 노트북용 LCD (Liquid Crystal Display)는 불과 10년의 짧은 기간에 일반화되었다. 2000년대 초반에 이르러 컴퓨터 모니터용으로 브라운관(CRT)에서 LCD로 빠르게 대체되고 있다. 수십 W급 이상의 대 전력이 요구되는 LCD 모듈에서 전체 소모 전력의 80% 이상을 백라이트가 차지하게 되고, 대면적화 될 수록 백라이트가 소모하는 전력의 비율이 커지기 때문에 구동 인버터 기술의 개발이 더욱 중요하다.

본 논문에서는 대면적 백라이트에서 사용되는 EEFL Lamp의 효율의 최대화를 위하여 전극 길이를 가변하여 전기적, 광학적 특성을 분석하여 최적 구동 조건을 제시하고자 하였다. 전기적 특성을

고찰하기 위하여 전압, 전류, 방전 개시 전압, 방전 유지 전압, 방전 전류를 측정하였고 광학적 특성은 휘도와 효율을 측정 검토하였다.

## 2. 본 론

### 2.1. 측정방법

본 실험의 목적은 EEFL 구동에 있어서 가장 큰 변수라고 할 수 있는 전극 길이에 따른 최적화 된 조건을 분석하며 변수간의 상관관계를 알기 위한 것이다. 기존의 EEFL 실험은 대부분 관경이 작은 2.6 ϕ, 램프 길이 400 mm 미만을 사용하였다. 본 실험에서는 현재 EEFL을 적용하여 양산되는 32인치 대화면 LCD TV에 사용되고 있는 관경 4 ϕ, 관두께 0.5 mm, 관장 738 mm의 동일한 램프를 사용하여 실험하였다.

실험에 사용된 EEFL의 전극 길이는 15 mm, 23 mm, 30 mm 의 세 종류를 사용 하였으며, 전극 재질은 카본 페이스트(Carbon Paste)를 사용하였다. 구동 주파수는 50 kHz 단위로 50 kHz ~ 250 kHz 까지 증가 시켜 기존에 사용하지 않던 100 kHz 이상에서의 특성도 실험하였다. 실험에 사용된 inverter는 자체 제작한 full-bridge inverter를 사용하였다. 실험 방법은 inverter의 구동 전압을 3 V ~ 25 V 까지 1 V 단위로 증가시키며, 입력 전압 증가 후 램프의 휘도가 안정되는 시간을 고려하여 5분 후 트랜스포머의 출력 전압, 출력 전류 그리고 휘도를 측정 하였다. 출력 전압은 램프 양 단 중 한쪽에 가해진 전압을 측정하여 2배수를 하여 보정하였다. 실험 과정에서 전극 길이  $l = 15$  mm 에서는 램프에 인가되는 전류가 20 mA 지점에서 램프의 절연파괴현상인 Pinhole현상을 보였다.  $l = 23$  mm 에서는 30 mA 부근에서,  $l = 30$  mm 에서는 40 mA 부근에서 이와 같은 현상을 볼 수 있었다. 따라서 측정 램프를 보호하기 위해서 Pinhole현상을 보이는 지점 바로전의 전류값에서 실험을 중단하였다. 실험에서 측정에 사용된 계측기는 Digital Oscilloscope(Tek. TDS-3034B), 입력 전류 측정 DC/AC Current Probe(Tek. TCP312, TCPA300), 출력 전류 측정 AC Current Probe(Tek. P6022), 출력 전압 High Voltage Probe(P6015, 1000:1)를 사용 하였다. 램프의 휘도 측정은 Minolta사의 Luminance meter(LS-100)을 사용하였다.

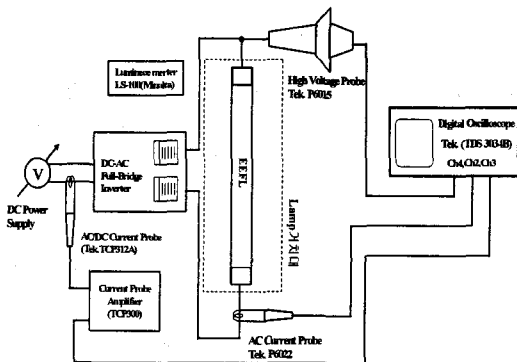
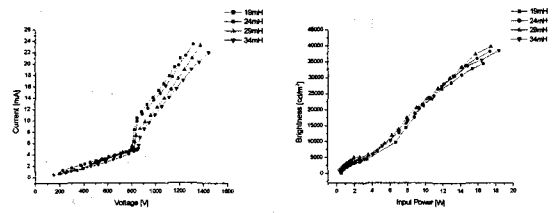


그림 1. EEFL 실험 모델

### 2.3. 측정결과

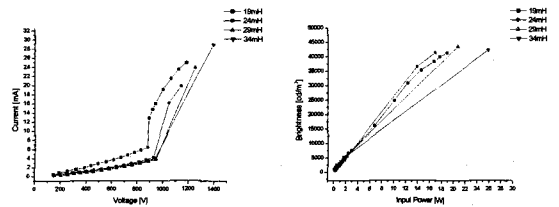
구동 주파수를 가변하여 각각의 전극 길이와 2차 인덕턴스에 대하여 어떠한 현상을 보이는지 실험하였다.



(a) 전류-전압 (b) 휘도-전력

그림 2. 구동 주파수  $f = 100$  kHz  $l = 30$  mm 일때 EEFL의 전기적 특성 및 효율 특성 그래프

그림 2는 구동 주파수  $f = 100$  kHz 에서는 동일한 전극 길이에서 2차 인덕턴스가 작을수록 동일한 전압에서 전류가 더 많이 흐르는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 휘도는 동일한 전력에서 유사한 휘도를 나타내는 것을 알 수 있다. 그러므로 동일한 주파수와 전극 길이에서는 2차 인덕턴스가 증가할수록 효율이 증가함을 알 수 있다.



(a) 전류-전압 (b) 휘도-전력

그림 3. 구동 주파수  $f = 250$  kHz  $l = 23$  mm 일때 EEFL의 전기적 특성 및 효율 특성 그래프

그림 3은 구동 주파수  $f = 250$  kHz 에서는 전극 길이  $l = 23$  mm, 30 mm 에서 방전 개시 전압과 동시에 전류가 급격히 상승하였다. 램프에 인가되는 전류와 휘도의 급격한 상승으로 인하여 램프의 제어가 불가능하였고, 램프의 절연파괴인 Pinhole이 발생하기도 하였다. 본 실험에서는 구동 주파수 250 kHz 에 전극 길이  $l = 23$  mm, 30 mm 에서는 램프의 구동 조건에 적합하지 않음을 알 수 있다.

표 1 ~ 표 5는 각각의 구동 주파수  $f$  에 전극 길이와 2차 인덕턴스를 변화 했을 때 최대 효율을 나타내었으며, 구동 주파수  $f$  가 동일할 때 2차 인덕턴스  $L_2$  와 전극 길이  $l$  이 커질수록 효율이 좋아짐을 알 수 있다.

표 1. 구동 주파수  $f = 50$  kHz 일때 최대 휘도와 효율

$l$ [mm]	$L_2$ [mH]	$P_{in}$ [W]	$I_{out}$ [mA]	$V_{out}$ [V]	Brightness [cd/m <sup>2</sup> ]	Efficiency [lm/W]
15	19	9.60	4.47	962.80	1815	3.96
	24	8.55	2.84	1018.00	1774	4.35
	29	7.65	4.54	1102.40	2758	7.55
	34	7.24	5.79	1145.60	3032	8.77
23	19	14.09	7.31	1046.60	3629	5.24
	24	12.61	4.25	1071.40	5527	8.92
	29	8.32	6.07	1105.00	5860	14.34
	34	8.43	8.93	1151.40	6434	15.54
30	19	19.78	6.57	1049.00	6234	6.42
	24	10.31	7.56	1023.60	7332	14.48
	29	10.57	13.29	1147.00	10060	19.38
	34	9.94	12.74	1156.40	11500	23.55

표 1은 구동 주파수 50 kHz 에서는 전극 길이와 2차 인덕턴스에 관계없이 휘도가 10000 cd/m<sup>2</sup> 이거나 조금 넘는 수준에서 있는 확인 할 있다. 구동 주파수 50 kHz에서는 낮은 램프의 휘도와 효율로 인하여 BLU에 사용하기에 적합하지 않다.

표 2 구동 주파수  $f = 100$  kHz 일때 최대 휘도와 효율

$l$ [mm]	$L_2$ [mH]	$P_{in}$ [W]	$I_{out}$ [mA]	$V_{out}$ [V]	Brightness [cd/m <sup>2</sup> ]	Efficiency [lm/W]
15	19	11.47	12.76	1220.00	12710	23.22
	24	12.63	14.28	1265.80	19010	31.53
	29	10.04	11.65	1247.80	15040	31.36
	34	9.87	11.42	1280.60	15380	32.62
23	19	14.97	18.17	1228.40	27700	37.67
	24	14.15	17.05	1272.80	28470	40.96
	29	14.30	17.31	1313.60	31560	44.90
	34	15.83	16.77	1351.00	33460	43.01
30	19	16.59	20.93	1206.60	34315	42.10
	24	17.35	23.40	1315.69	38180	44.78
	29	17.45	23.24	1373.63	39660	46.26
	34	18.36	21.97	1443.67	38430	42.59

표 2는 구동 주파수  $f = 100$  kHz 일때 최대 휘도와 효율을 나타내었다. 전극 길이 23 mm 에서는 램프의 휘도가 20000 cd/m<sup>2</sup> 이상을 얻을 수 있었으며, 램프의 효율은 30 lm/W 이상을 얻을 수 있었다. 전극 길이 30 mm에서는 30000 cd/m<sup>2</sup> 이상의 휘도를 얻었다.

표 3 구동 주파수  $f = 150$  kHz 일때 최대 휘도와 효율

$l$ [mm]	$L_2$ [mH]	$P_{in}$ [W]	$I_{out}$ [mA]	$V_{out}$ [V]	Brightness [cd/m <sup>2</sup> ]	Efficiency [lm/W]
15	19	16.03	18.63	1338.20	26090	34.09
	24	15.10	16.64	1328.20	25760	35.74
	29	13.66	18.90	1425.62	27738	42.54
	34	14.53	16.45	1378.60	26100	37.61
23	19	19.96	21.51	1196.04	35063	35.75
	24	16.52	17.99	1212.20	36740	45.25
	29	17.05	18.99	1333.20	39120	46.69
	34	15.69	18.66	1426.00	34330	44.53
30	19	22.62	29.08	1237.00	41675	37.49
	24	17.09	21.72	1125.80	41240	49.11
	29	16.74	21.88	1299.78	41000	49.85
	34	18.07	23.46	1437.90	40360	45.45

표 3은 구동 주파수  $f = 150$  kHz 일때 최대 휘도와 효율을 나타내었다. 전극 길이에 상관없이 모든 길이에서 램프의 휘도가 20000 cd/m<sup>2</sup> 이상을 얻을 수 있었으며, 램프의 효율은 34 lm/W 이상을 얻을 수 있었다. 전극 길이 23 mm 에서는 30000 cd/m<sup>2</sup> 이상, 전극 길이 30 mm에서는 40000 cd/m<sup>2</sup>의 휘도를 얻었다.

표 4 구동 주파수  $f = 200$  kHz 일때 최대 휘도와 효율

$l$ [mm]	$L_2$ [mH]	$P_{in}$ [W]	$I_{out}$ [mA]	$V_{out}$ [V]	Brightness [cd/m <sup>2</sup> ]	Efficiency [lm/W]
15	19	17.76	17.42	1237	19400	33.72
	24	15.92	17.28	1313	27800	35.55
	29	13.66	18.90	1425.62	27738	41.34
	34	14.22	17.59	1367.20	26489	37.90
23	19	17.24	22.68	1172.74	37190	43.90
	24	17.50	20.50	1267	40565	47.18
	29	16.72	20.49	1300.71	40908	49.78
	34	18.44	21.89	1303	38800	42.83
30	19	23.67	33.19	1313.20	42910	36.89
	24	23.24	31.12	1334.20	46587	40.79
	29	18.71	23.53	1192.60	44016	47.86
	34	17.29	21.78	1107.40	40730	47.95

표 4는 구동 주파수  $f = 200$  kHz 일때 최대 휘도와 효율을 나타내었다. 전극 길이에 상관없이 모든 길이에서 램프의 휘도가 20000 cd/m<sup>2</sup> 이상을 얻을 수 있었으며, 램프의 효율은 34 lm/W 이상을 얻을 수 있었다. 전극 길이 23 mm 에서는 37000 cd/m<sup>2</sup> 이상, 전극 길이 30 mm에서는 40000 cd/m<sup>2</sup> 이상의 휘도를 얻었다. 그리고 전극 길이 30 mm 와 2차 인덕턴스 34 mH에서는 램프의 전류와 휘도가 방전과 동시에 급격히 상승하여 램프의 제어를 할 수 없는 상태가 되었다.

표 5 구동 주파수  $f = 250$  kHz 일때 최대 휘도와 효율

$l$ [mm]	$L_2$ [mH]	$P_m$ [W]	$I_{out}$ [mA]	$V_{out}$ [V]	Brightness [ $cd/m^2$ ]	Efficiency [lm/W]
15	19	17.27	20.90	1293.20	29906	35.25
	24	17.42	20.33	1369.80	31035	36.27
	29	18.41	19.64	1424.00	31807	35.16
	34	18.10	18.78	1352.80	31290	35.18
23	19	18.90	24.91	1182.37	41361	44.54
	24	16.90	19.74	1143.60	41324	49.77
	29	20.70	23.80	1252.00	43550	42.81
	34	25.81	28.93	1392.80	42300	33.35
30	19	23.04	32.56	1179.40	43860	38.74
	24	18.02	22.70	1004.00	42570	48.07
	29	27.71	34.21	1322.60	54270	39.86
	34	1.26	3.89	853.80	5069	82.09

표 5는 구동 주파수  $f = 250$  kHz 일때 최대 휘도와 효율을 나타내었다. 전극 길이에 상관없이 모든 길이에서 램프의 휘도가  $30000 cd/m^2$  이상을 얻을 수 있었으며, 램프 효율은  $35 lm/W$  이상을 얻을 수 있었다. 하지만, 전극 길이 23 mm, 30 mm 와 2차 인덕턴스 24 mH, 29 mH, 34 mH 에서는 램프의 전류와 휘도가 방전과 동시에 급격히 상승하여 램프의 제어를 할 수 없는 상태가 되었다. 구동 주파수 250 kHz 에서는 대부분의 상태가 램프의 구동에 적합하지 않았다.

### 3. 결론

32인치 EEFL의 단일 램프 실험에서 전극 길이 (15, 23, 30 mm)에 따른 특성을 측정 및 분석하였다. 구동 전압은 대개 1000 ~ 1400 V 이고 전류는 11 ~ 29 mA 이며  $15,000 \sim 40,000 cd/m^2$  의 휘도를 얻었다. 실험을 통하여 2차 인덕턴스가 클수록, 램프 전극의 길이가 길수록, 구동 주파수가 높아질수록 진하량과 전기 용량이 커져 전류가 많이 흘러 휘도가 높아짐을 알 수 있었다. 그러나 어느 이상으로 입력 임피던스 값이 증가하면 전극 부분 길어짐으로 비발광 영역이 커지고 소모 전력이 증가하여 방전 에너지, 휘도, 효율 등의 증가율이 둔화되었다.

구동 주파수가 50 kHz 인 경우 전극의 길이와 2차 인덕턴스에 관계없이 휘도를 얻지 못했으며, 특히 2차 인덕턴스가 19 mH 인 경우에는 인버터에서 많은 열이 발생하며 구동 특성이 변하기도 하였다. 구동 주파수 250 kHz 에서는 방전과 동시에 출력 전류와 출력 전압이 급격히 상승하여 램

프가 제어할 수 없는 상태가 되어 Pinhole이 발생하기도 하였다. 동일한 2차 인덕턴스와 구동 주파수에서는 전극 길이가 길어질수록 방전 개시 전압이 낮아짐을 확인할 수 있었다. 즉, 전극 길이가 길어질수록 방전 공간 내에 형성되는 공간 전하량이 증가하므로 방전 개시 전압과 방전 유지 전압이 낮아지며 전류가 많이 흘러 휘도가 높아짐을 알 수 있다.

동일한 구동 주파수와 전극 길이에서 2차 인덕턴스를 변화시켰을 때 인덕턴스가 증가 할수록 전류는 감소하며, 효율은 증가함을 알 수 있었다.

본 연구를 통하여 32인치 EEFL 단일 램프에서 비발광 영역을 최소화 하고 고효율의 측면에서 램프의 제어가 가능한 상태로 램프에 인가되는 전압이 1000 V로 하여 구동했을 때 가장 BLU에 사용하기에 적합한 휘도와 효율을 나타내었다. 최적구동 조건은 그림 4에서 보는 바와 같이

- 1)  $L_2 = 34$  mH,  $l = 23$  mm 일때  $f = 100$  kHz ~ 150 kHz 인 경우 램프 휘도  $18000 cd/m^2 \sim 19000 cd/m^2$  와 효율  $40 lm/W$
- 2)  $L_2 = 29$  mH,  $l = 15$  mm 일때  $f = 150$  kHz ~ 250 kHz 인 경우 램프 휘도  $18000 cd/m^2$  와 효율  $40 lm/W$
- 3)  $L_2 = 24$  mH,  $l = 23$  mm 와  $f = 150$  kHz 일때 램프 휘도  $19000 cd/m^2$  효율  $45 lm/W$
- 4)  $L_2 = 19$  mH,  $l = 15$  mm 일때  $f = 250$  kHz 인 경우에 램프 휘도  $18000 cd/m^2$  와 효율  $40 lm/W$  이다.

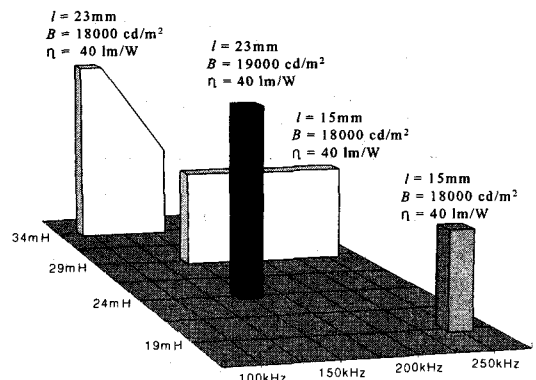


그림 4. Parameter 에 따른 최적 구동 조건

향후에는 본 연구에서 사용된 단일 램프 실험뿐만 아니라 추가적으로 Multi-Lamp에서 2차 인덕턴스, 전극 길이, 구동 주파수에서 본 연구와 같은 경향을 갖는지에 대한 연구와 전극의 재질, 유리관의 두께 등 다양한 변수에 관한 전기적·광학적

특성의 연구가 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 에너지관리공단 “무전극 형광등 시스템의 전기적, 광학적 특성 평가 및 분석 연구”와 “이중관 EEFL의 구동장치 설계 및 시스템의 표준화 기술 개발” 및 표준협회 “평판 디스플레이 백라이트용 유닛(BLU) 국제 표준화를 위한 포럼”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] H. Kim, D. Joh, Y. Kim, J. Ko, D. Kim, C Lee, E. Choi, G. Cho, B. Hong, H. Sohn, and Yu, “Society for Information Display”, 2001 International Symposium, Digest of Technical Papers, Vol.32, pp.687~689, 2001.
- [2] D. G Joh, D. H. Gill, H. S. Kim, Y. G. Kim, J. J. Ko, D. I. Kim, C. W. Lee, Y. H. Seo, E. H. Choi, G. S. Cho, “The Sixth Asian Symposium on Information display & Exhibition Proceedings”, ASID'00, Xi'an, P. R. China, Oct. 18-21, pp.470~474, 2000.
- [3] 최은하, 조광섭, “PDP(Plasma Display Panel) 플라즈마”, Internet (<http://mulli2.kps.or.kr/~pht/7-7/07.htm>), 1999.
- [4] Joseph A. Castellano “Handbook of Display Technology”, Stanford Resources, INC., 1992.
- [5] 노봉규, 김진승, “LCD Engineering”, 아사달 디스플레이, 1998.
- [6] 2000년 신기술 동향보고서 (액정표시장치) p148 -특허청.
- [7] 강운호, 조태환, 강호정, “전자 디스플레이”, 성안당, 1998.
- [8] Application Note, “DC-AC Inverter unit liquid crystal display(LCD) panel”, TDK.
- [9] K. Kalantar, “Functional Light-Guide Plate for Backlight Unit”, SID '99 DIGEST, pp.764~767, 1999.