≪연구논문≫ 한국진공학회지 제17권 6호, 2008년 11월, pp.481~486

LCD 백라이트용 형광램프의 흑화 현상

황하청 · 정종문 · 김정현 · 김동준 · 봉재환 · 정재윤 · 구제환 · 조광섭*

광운대학교 전자물리학과, 서울 139-701

(2008년 7월 14일 받음, 2008년 9월 11일 수정, 2008년 10월 17일 확정)

나트륨(Na) 함유량이 다른 세 종류의 유리관인 Borosilicate(Na_2O 4 %), Soda-Lime(Na_2O 14 %), 그리고 Aluminosilicate(Na_2O 0.06 %) 유리관의 방전 실험을 통하여 유리관 내벽의 흑화를 관측하였다. 수은 혼합기체(Ne+Ar+Hg)의 방전에서 나트륨 함유량이 많은 유리관일수록 흑화가 심하게 나타난다. 무수은 가스(Ne+Ar)의 방전에서는 흑화가 나타나지 않는다. 나트륨 함유량이 많은 수은 방전 램프에서 봉입 기체의 압력이 작을수록 흑화의 정도가 커진다. 흑화 방지재를 도포한 유리관은 흑화가 미약하게 나타난다. 이 실험을 통하여 흑화는 유리재의 나트륨 성분과 수은 이온의 결합에 의한 아말감($NaHg_2$)이 유리관 내벽에 형성된 것으로 분석된다.

주제어 : 흑화, 형광램프, LCD 백라이트

Ⅰ. 서 론

액정 디스플레이 장치의 백라이트 광원은 주로 냉음극 형광램프(Cold Cathode Fluorescent Lamp : CCFL)와 외부전극 형광램프(External Electrode Fluorescent Lamp : EEFL)가 사용되고 있다 [1-3]. 이들 형광램프의 수명에 영향을 주는 변수들은 수은의 저감, 형광체의 열화, 방전 기체의 오염 그리고 흑화 등이다. 수은의 저감은 수은 이온과 다른 원자와의 결합으로 수은이 소모되는 것이다. 그 결과 방전 중에 수은 발광이 네온 발광으로 변하거나 램프가 점등이 안 되는 등 수명을 다하게 된다. 흑화 현상은 유리관의 내부 표면이 검게 되거나, 형광체의 색이 검게 변색되거나, 전극 앞부분이 검게 되는 현상이다. 이를 "흑화(blackening or darkening)"라고 한다 [4-6].

본 연구는 유리관의 재질에 따른 흑화 실험을 통하여 흑화 현상을 규명하고, 흑화가 없는 유리재를 개발 하는 것이 목적이다. 유리재의 주성분은 이산화규소(SiO_2)이고, 붕소산화물(B_2O_3), 알루미나(Al_2O_3), 산화칼슘(CaO) 그리고 산화나트륨(Na_2O) 등으로 구성된다.

본 연구에서는 종래에 CCFL의 유리관인 보로실리케이트(Borosilicate), 일반 유리재인 소다라임(Soda-Lime) 그리고 유리재의 나트륨 함유량이 매우 적은 알루미노실리케이트(Aluminosilicate) [7-8] 세 종류의 유리관을 EEFL으로 제작하여 흑화 실험을 통하여 흑화를 이해 하고자 한다.

Ⅱ. 실 험

유리재에 따른 흑화 실험을 수행한다. 2.1 절에서 세 종류의 유리관으로 램프를 제작하여 흑화를 조사한다. 2.2 절에서 세 종류의 유리관에 대하여 무수은 램프와 수은 램프의 흑화를 비교 관측한다. 2.3 절은 봉입 기체 압력에 따라서 흑화를 조사한다. 2.4 절에서는 흑화 방지막을 도포한 램프와 도포 하지 않은 램프의 흑화를 비교한다.

본 실험에 사용된 램프는 외경이 4 mm, 유리관 두께가 0.5 mm 이고, 길이는 738 mm 로 제작하였다. 흑화 현상의 관측을 용이하게 하기 위해서 형광체는 도포하지 않는다.

형광체를 도포한 실제 램프에서는 흑화의 진행 정도가 늦다. 즉, 형광체를 도포하지 않은 경우는 수 시간의 방전 실험으로 흑화가 나타난다. 형광체를 도포한 램프는 적어도 1,000 시간 이상의 방전 실험으로 흑화가 서서히 진행된다. 일반적으로 흑화로 인한 백라이트용 램프의 수명은 약 6만 시간이다. 본 연구의 목적이 유리관의 성분 재질에 대한 흑화를 관측할 목적이므로 형광체를 도포하지 않은 램프에서 흑화를 관측하였다.

방전기체는 Ne(95 %)+Ar(5 %) 혼합기체를 주입한다.

* [전자우편] gscho@kw.ac.kr

수은 램프는 4 mg의 액체 수은을 넣고 유리관 양끝을 봉입하였다. 외부전극은 25 mm 길이의 실린더 형태의 금속재를 무연 납을 사용하여 유리관 양 끝에 부착하였다. 램프 구동은 push-pull방식의 자려식 인버터를 사용하고, 구동 주파수는 약 65 kHz이다. 방전 실험은 30일 동안 연속 가동하여 흑화의 정도를 육안으로 관찰하였다.

2.1. 유리재의 종류에 따른 흑화

실험에 사용된 세 종류의 유리관은 각각 CCFL과 EEFL용으로 사용하고 있는 Borosilicate유리관, Soda-lime유리관, 그리고 Aluminosilicate유리관이다. Borosilicate유리관은 열팽창 계수가 CCFL의 전극 리드선의 열팽창계수와 동일한 붕규산염 유리관이다. 유리관의 구성성분은 SiO_2, Al_2O_3, B_2O_3, Na_2O등이고, Na_2O의 성분비는 4 %이다. Soda-lime유리관은 상당량의 알칼리와 알칼리 토류를 포함하고, 높은 유전상수 K와 높은 유전손실을 갖는 유리관으로, SiO_2, Al_2O_3, Cao, Na_2O등으로 구성되어 있다. 유리관의 Na_2O성분비는 14 %이다.

Aluminosilicate유리관은 알칼리 산화물이 적고, 열 충격에 강하며 SiO_2, Al_2O_3, MgO, Na_2O등으로 구성되어 있다. 유리관의 Na_2O성분비는 0.06 %이다 [9].

실험에 사용된 유리관의 Na_2O함유량이 가장 많은 유리관은 Soda-Lime유리관이고, 가장 적은 유리관은 Aluminosilicate유리관이다. 봉입된 가스 기체는 Ne-Ar 혼합기체로 기체 압력은 60 Torr 이다. 수은은 액체수은을 약 4 mg을 램프내 주입하고, 전극은 25 mm의 실린더 형식의 금속재를 사용하였다. 방전 실험은 push-pull방식의 자려식 인버터로 30일 동안 연속 가동 실험을 수행하였다.

Fig. 1은 세 종류의 유리재로 제작한 램프의 30일 동안의 연속 가동 결과이다.

나트륨성분이 가장 많이 함유된 Soda-Lime유리관으로 제작된 램프가 가장 심한 흑화가 나타났다. 그 다음으로 Borosilicate유리관으로 제작된 램프에서 흑화가 나타났다. Aluminosilicate유리관으로 제작된 램프에서는 흑화가 나타나지 않았다.

유리재의 나트륨 함유량이 많은 유리관으로 제작된 램프일수록 흑화 현상이 심하게 나타났고, 나트륨 함유량이 매우 적은 Aluminosilicate유리관으로 제작된 램프는 흑화가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 유리재의 나트륨성분이 흑화 현상을 일으키는 원인으로 추정된다.

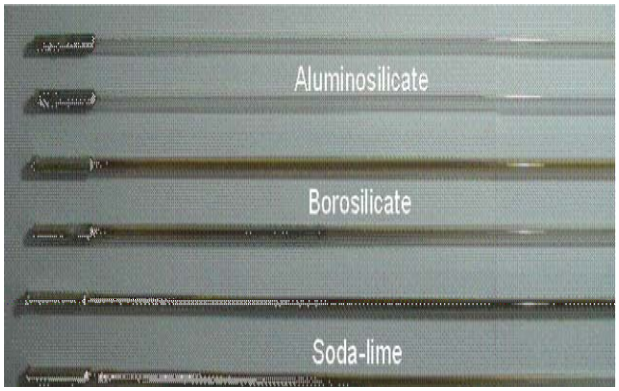

Figure 1. Blackening with the bare glass tubes of Aluminosilicate, Borosilicate, and Soda-lime.

2.2. 수은과 무수은 램프의 흑화

수은이 흑화 현상에 미치는 영향을 알아보기 위해 수은 램프와 무수은 램프를 제작하여 흑화를 비교한다.

각 나트륨 함유량이 다른 Soda-Lime유리관, Borosilicate유리관, Aluminosilicate유리관으로 수은 램프와 무수은 램프를 제작하였다.

램프에 봉입된 기체는 Ne(97 %)+Ar(3 %) 혼합 기체이며, 기체 압력은 60 Torr이다. 액상의 수은 약 4 mg을 주입하였다. 제작된 램프들은 같은 조건에서 30일간의 연속 가동 실험을 수행하였다.

Fig. 2는 수은 램프와 무수은 램프의 흑화의 결과를 나타낸다. 수은 램프는 Soda-lime, Borosilicate유리관으로 제작된 램프가 흑화를 보이는 반면, 무수은 램프와

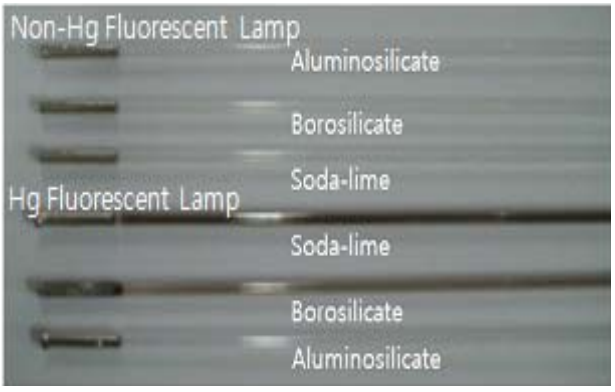

Figure 2. Blackening with Hg lamp and Hg-free lamp.

Aluminosilicate유리관으로 제작된 램프에서는 흑화가 나타나지 않았다.

이는 유리관내의 수은이 흑화의 원인임을 예상하게 한다. Aluminosilicate유리관은 수은 램프 및 무수은 램프 모두에서 흑화가 나타나지 않았다. 따라서 흑화는 유리재의 나트륨성분과 방전 기체의 수은이 결합한 $NaHg_2$ [10] 아말감으로 예상된다.

관련 화학식은 $Na+2Hg^{*}\rightarrow Na(Hg)_2$ 이다.

2.3. 가스 압력에 따른 흑화

실험에 사용된 유리관은 Borosilicate유리관과 나트륨 함유량이 극히 적은 Aluminosilicate유리관이다. 두 종류의 유리관에 봉입 가스 압력 변화에 따른 흑화를 관측한다. 봉입 기체는 Ne(97 %)+Ar(3 %)의 혼합 기체이며, 액상 수은 4 mg를 투입하였다. 램프의 기체 압력은 30, 60, 100 Torr로 하여 30일간의 연속 가동 실험을 하였다.

Fig. 3(a)는 Borosilicat유리관으로 램프 봉입 기체압력을 30, 60, 100 Torr로 제작된 램프의 흑화를 나타낸다.

Ne+Ar의 기체 압력이 30 Torr일 때 흑화가 가장 심하게 나타났고, 기체 압력이 60 Torr일 때는 30 Torr일 때 보다 약한 흑화가 나타났다. 봉입 기체 압력이 100 Torr일 때는 30, 60 Torr의 램프보다 현저히 약한 흑화가 나타났다. 봉입 기체 압력이 낮을수록 흑화가 심하고, 램프 봉입 가스 압력이 높을수록 흑화가 약하게 나타난다.

Fig. 3(b)는 Aluminosilicate유리관의 봉입 기체 압력별 흑화의 결과이다. 봉입 기체압력은 각각 30, 60, 100 Torr 이다. 나트륨 함유량이 극히 적은 Aluminosilicate유리관

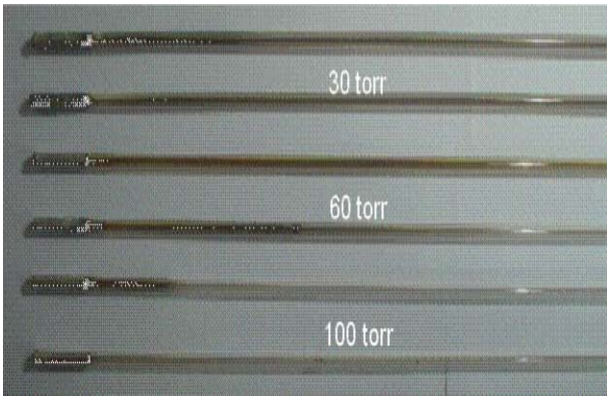

Figure 3(a). Blackening with borosilicate glass tubes of gas pressure 30, 60, and 100 Torr.

Figure 3(b). Blackening with aluminosilicate tubes of gas pressure 30, 60, and 100 Torr.

으로 제작된 램프는 봉입 기체압력의 변화에도 흑화가 나타나지 않았다.

2.4. 흑화 방지막이 도포된 유리관의 흑화

나트륨 함유량이 다른 Soda-lime, Borosilicate유리관 두 종류의 유리관에 흑화 방지막을 도포하고, 방지막을 도포 하지 않은 세 종류의 유리관으로 제작된 램프의 흑화실험 비교하였다. 방지막은 형광체를 도포하기 전에 도포한다고 하여 '사전 도포(Pre-Coating)'라고 한다. 흑화 방지막은 Al_2O_3, Y_2O_3 용액 등을 사용한다. Y_2O_3용액은 Y_2O_3와 IPA(Isopropylene Alcohol)용액의 전구체 화합물로써 흑화 방지용도로 사용된다. 이 실험에서는 Y_2O_3 용액을 사용 하여 램프를 제작하였다. 봉입된 기체는 Ne(97 %)+Ar(3 %)의 혼합 기체이며, 기체 압력은 60 Torr이다. 액상 수은 약 4 mg를 투입하였다. 램프 구동은 push-pull 방식의 인버터를 사용하고, 30일간의 연속 가동 실험을 하였다. Fig. 4는 나트륨 함유량이 다른 두 종류의 유리관에 방지막을 도포한 램프와 도포하지 않은 램프를 제작하여 흑화를 비교하였다.

방지막을 도포하지 않은 세 종류의 유리관으로 제작된 램프는 나트륨 함유량이 매우 적은 Aluminosilicate유리관을 제외한 Borosilicate, Soda-lime 유리관에서 흑화가 나타났다.

흑화 방지막을 도포한 두 종류의 유리재로 제작된 램프에서는 흑화가 미약하게 나타났다. 흑화가 심하게 나타났던 Soda-lime유리관에서도 흑화는 약하게 나타났다. 방지

Figure 4. Blackening with Y_2O_3 pre-coating and without coating.

막을 도포하지 않고 Aluminosilicate유리관으로 제작된 램프에서는 흑화가 나타나지 않았다.

Ⅲ. 결과 및 논의

LCD-TV용 백라이트의 형광램프로 사용되는 세 종류의 유리관을 EEFL로 제작하여 흑화 실험을 수행하였다. 유리관은 Borosilicate, Soda-lime, 그리고 Aluminosilicate를 사용하였다. 이 들 세 종류의 유리관은 Na_2O의 함유량이 각각 4 %, 14 %, 그리고 0.06 %이다. 유리관은 32인치 LCD-TV용으로서 직경은 4 mm이고 길이는 738 mm이다. 램프에 주입되는 방전 기체의 는 Ne(95 %)+Ar(5 %)의 혼합 가스를 주입하였다.

세 종류의 유리관에 혼합 기체 50 Torr와 수은 4 mg을 주입하여 흑화 실험을 관측하였다. 나트륨 함유량에 따라서 흑화의 정도가 나타났다. 나트륨 함유량이 가장 많은 Soda-lime유리관에서 가장 흑화가 심하게 나타나며, Borosilicate유리관도 상당한 정도의 흑화를 나타났다. 나트륨 함유량이 극히 적은 Aluminosilicate유리관에서는 흑화가 거의 나타나지 않았다. 수은과 무수은 램프의 흑화 실험에서 무수은 램프는 세 종류의 유리관 모두 흑화가 나타나지 않았다. 이 실험을 통하여 흑화는 수은과 나트륨의 아말감인 $NaHg_2$임을 알 수 있다.

흑화 방지재를 유리관 내벽에 도포하면 나트륨 함유량이 많은 Borosilicate와 Soda-lime유리관에서도 흑화가 미약하게 나타났다. 이는 수은 방전에서 유리관의 나트륨 성분과 수은의 아말감 형성을 흑화 방지막이 차단하기 때문이다. 수은 방전의 나트륨이 함유된 유리관의 방전 기체 압력에 따른 흑화 실험에서, 압력이 높을수록 흑화의 정도가 낮고 압력이 낮으면 흑화가 심하게 나타난다. 그러나 나트륨을 극 미량 함유한 Aluminosilicate유리관에서는 압력에 무관하게 흑화가 나타나지 않는다. 이는 압력이 낮을수록 평균 주행거리가 긴 수은 이온의 에너지가 크므로 유리관 내벽의 나트륨성분과의 아말감 형성이 더 용이하기 때문이다.

수은 이온의 평균 주행거리는 $\lambda=1/n\sigma$ 이다. 여기서 중성 네온 원자의 밀도는 압력(P)의 함수로 주어지며, $n(P)\sim 3.25\times10^{22}P(Torr)m^{-3}$ 이고, 수은 이온과 네온 원자의 탄성 충돌 단면적은 $\sigma\sim10^{-19}m^2$ 이므로 $\lambda(P)\sim 3/P\times10^{-4}m$ 이다. 압력이 30 Torr이면, 수은의 평균 주행거리는 $\lambda=10^{-5}m$ 이다. 또한, 기체의 압력이 낮은 경우에 수은의 상대적인 농도가 높은 것도 흑화의 정도를 높게 하는 이유가 될 수 있을 것이다. LCD-TV의 백라이트용 형광램프의 흑화는 수은의 저감으로 램프의 수명에 주된 요인으로 작용한다. 따라서 형광체를 유리관 내벽에 도포하기 이전에 흑화 방지재를 사전 도포한다. 비록 흑화 방지막에 의하여 흑화를 어느 정도 지연하더라도 장시간의 사용으로 흑화를 완벽하게 방지할 수 없으며, 수은의 저감으로 인하여 램프에 주입되는 수은의 량을 방전에 필요한 수은량 이상의 주입하게 된다. 본 연구에서 나트륨 함유량이 적은 유리관은 흑화를 근원적으로 방지하므로 수은의 저감을 방지하여 미량의 수은으로 장 수명의 램프를 가능하게 한다.

Ⅳ. 결 론

LCD-TV의 백라이트용 유리관의 흑화는 유리재에 함유된 나트륨 성분과 수은과의 아말감($NaHg_2$)의 형성이다. 흑화는 유리재의 나트륨 성분과 수은 이온이 결합하여 유리관 내벽을 검게하는 현상으로서, 수은 저감의 주된 원인이다. 이러한 수은의 저감은 램프의 수명을 단축하게 되며,

수은의 감소에 따른 램프의 수명을 연장하기 위하여 필요 이상의 수은량을 주입하게 된다.

흑화를 방지하기 위하여 종래에는 흑화 방지막(Y_2O_3 혹은 Al_2O_3)을 형광체 도포 이전에 유리관 내벽에 도포한다. 이러한 흑화 방지막의 사전 도포는 램프 제조 공정을 번거롭게 하며, 램프의 휘도 효율을 저하하는 원인이다. 흑화 방지제의 도포에 따른 램프의 휘도 저하는 흑화 방지제의 투명도가 낮기 때문에 광의 투과도도 낮아진다. 따라서 흑화를 근원적으로 방지하기 위하여 나트륨 함유량이 적은 유리재의 사용이 바람직하다. 나트륨 함유량이 적은 유리재를 사용하여 수은의 주입량을 최소화하는 환경 친화적인 백라이트용 램프가 가능하다.

감사의 글

이 논문은 독일의 Schott AG.의 지원으로 연구되었습니다.

참고문헌

[1] T. S. Cho, H. S. Kim, E. H. Choi, IEEE Trans. on Plasma Science **5**, 2005 (2002).

[2] G. S. Cho, J. Y. Lee, D. H. Lee, J. H. Koo, J. Phys. D: Appl. Phys. **37**, 2863 (2004).

[3] D. H. Gill, S. B. Kim, H. S. Song, D. G. Yu, S. H. Lee, M. S. Pak, J. G. Kang, G. S. Cho, M. R. Cho, M. G. Hwang, Y. Y. Kim, J. Kor. Vac. Soc. **15**, 266 (2007).

[4] S. Van Heusden, B. J. Mulder, Appl. Phys. **23**, 355 (1980).

[5] B. J. Mulder, S. Van Heusden, J. Electrochem. Soc. **130**, 440 (1983).

[6] M. Thielen, E. F. Wassermann, J. Vac. Sci. Technol. A **14**, 2930 (1996).

[7] M. J. Shin, M. R. Lee, S. C. Shin, M. K. Lee, M. J. Kang, J. H. Kim, J. M. Jeong, E. H. Choi and G. S. Cho, SID'07 Digest, 426 (2007).

[8] G. S. Cho, M. J. Shin, J. M. Jeong, J. H. Kim, B. H. Hong, J. H. Koo, Y. K. Kim, E. H. Choi, J. Fechner, M. Letz, F. Ott, J. Appl. Phys. **102**, 113307 (2007).

[9] M. J. Shin, J. M. Jeong, J. H. Kim, G. E. Kim, M. R. Lee, D. G. Yoo, J. H. Koo, B. H. Hong, E. H. Choi, G. S. Cho, J. Kor. Vac. Soc. **16**, 330 (2007).

[10] T. C. T. Chang, B. M. Foxman, M. Rosenblum, C. Stockman, J. Am. Chem. Soc. **103**, 7361 (1981).

≪Research Paper≫ Journal of the Korean Vacuum Society Vol.17 No.6, November 2008, pp.481~486

Blackening of Inner Glass Surface in Fluorescent Lamps for LCD Backlight

Ha-Chung Hwang, Jong-Mun Jeong, Jung-Hyun Kim, Dong-Jun Kim, Jae-Hwan Bong, Jae-Yoon Chung, Je-Huan Koo, and Guangsup Cho*

Department of Electrophysics, Kwangwoon University, Seoul 139-701

(Received July 14, 2008, Revised September 11, 2008, Accepted October 17, 2008)

The different degrees of blackening were observed at the inner surface of borosilicate, soda-lime, and aluminosilicate glass tubes having different sodium (Na) contents. The sodium contents (Na_2O) within the borosilicate, soda-lime, and aluminosilicate glass tubes were found to be 4 %, 14 %, and 0.06 %, respectively. The degree of blackening was shown to increase as the sodium content within the glass of the fluorescent lamp containing Ne+Ar+Hg gas mixture. Higher degree of blackening was observed from the inner surface of the glass tube coated with Y_2O_3. The blackening was found to be originated from the amalgam of $NaHg_2$ generated by the chemical reaction between the mercury ions within the discharge gas and sodium within the glass tube during operation.

Keywords : Blackening, Fluorescent lamp, LCD backlight

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