

액정 스마트윈도우의 신뢰성에 대한 연구

박병규^{1,2}, 김순금¹, 이승우¹, 박계춘², 이진² 

¹ 씨에스에너지(주)

² 목포대학교 전기제어공학과

A Study on Reliability of Liquid-Crystal for Smart Window

Byung-Kyu Park^{1,2}, Sun-Geum Kim¹, Seung-Woo Lee¹, Gye-Choon Park², and Jin Lee²

¹ CS-Energy Company Limited, Jangsung 57247, Korea

² Department of Electrical and Control Engineering, Mokpo National University, Mokpo 58554, Korea

(Received September 4, 2020; Revised September 14, 2020; Accepted September 17, 2020)

Abstract: In recent years, the challenge of higher energy efficiency has emerged as urban buildings have become taller, and the area of window glasses has increased. To address the problem of energy efficiency in buildings, research on smart windows is being actively conducted. In this study, an accelerated experiment for thermal stability was conducted to fabricate a liquid crystal cell applicable to external windows. It was confirmed from the study that the function is maintained even in a high-temperature external environment through the change in transmittance by voltage. Compared with the initial transmittance, after the passage of time, the smart window cell to which the sealant was applied showed a small change in transmittance of 1~2%. This result confirmed the thermal stability of the liquid crystal-based smart window.

Keywords: LCD smart window, Thermal stability, Sealant, Thermal acceleration, Building exterior window

1. 서론

최근 지구온난화에 기인한 전 세계적인 기후이상 등으로 막대한 피해가 발생되고 있어 이로 인해 환경문제가 중대한 문제로 떠오르고 있는 실정이다. 이러한 환경문제를 해결하기 위하여 각종 대책과 규제가 활발히 진행되고 있으며, 우리나라 역시 신재생에너지의 보급 확산과 기존 화력발전소등의 규제 등을 통하여 환경을 지키기 위하여 다방면으로 노력하고 있다.

특히 도심 건물의 고층화와 창호의 면적이 증가함에 따라 건물의 에너지 사용량이 증가하고 쾌적한 환경과 개인의 프라이버시의 보호가 필요하게 되었다 [1-3]. 따

라서 건물에너지의 체계적인 관리와 에너지 절감 및 사생활보호에 대한 필요성이 부각되고 있으며 이를 해결하기 위한 방안으로 스마트윈도우 기술이 주목받고 있다 [1-5].

가시광선의 투과도를 적절히 조절할 수 있는 능동형 스마트 윈도우의 대표적인 기술로는 이미 상용화에 성공한 전기변색(electrochromic, EC), 분극입자소자(suspended particle device, SPD), 고분자 분산액정(polymer dispersed liquid crystal, PDLC) [6-9]이 널리 알려져 있다.

이러한 여러 가지 스마트윈도우 제작방법 중에서 건물에너지 절감 등을 실현하기 위하여 건축물 외벽으로 사용되는 창호에 적합한 액정소자 타입으로의 제작을 기존 발표를 [10] 통하여 증명하였다 [11,12].

제작된 액정형 스마트윈도우의 건축물 외벽의 창호에 적응하기 위해서는 외부의 환경 요인 중에서도 온도 변화에 대한 신뢰성이 중요한 사항이다.

✉ Jin Lee; Jinlee@mokpo.ac.kr

Table 1. List of materials properties.

Property	Spec		
	a	b	c
Curing method	UV, thermal	UV	UV
Viscosity	25,000±1,000	10,000±2,000	6,500±1,000
Hardness	75±5	70±5	60±5

본 연구에서는 100×160 mm²의 면적을 갖는 스마트윈도우에 표 1의 특성을 가진 실런트 3종을 이용하여 각각 액정셀을 제작하였으며 외부 온도(25~80°C)에서 열적 안정성과 열적안정성을 기반으로 80°C에서 24시간을 기준으로 총 360시간 동안 열 가속 실험을 진행하였다.

열안정성과 열 가속 시험평가 후 적합한 인가전압에 따른 투과율을 분석하여 실런트의 스마트윈도우 적용 확인 및 건축물외피용으로 활용이 가능함을 확인하였다.

2. 실험 방법

2.1 액정 스마트윈도우 셀 제작

액정 스마트윈도우 셀 제작은 두께 0.7 mm, 크기 100×160 mm의 전도성 기판인 산화주석(indium tin oxide, ITO) 위에 배향액을 도포하였고, 배향액의 이미드화를 위하여 70°C에서 30분 동안 초기 건조한 후 250°C에서 2시간 동안 열처리를 진행하였다.

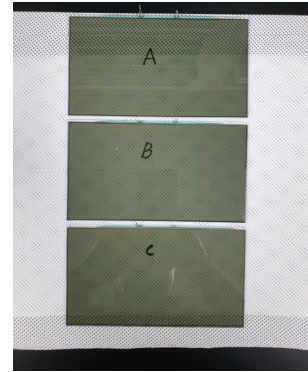
이미드화된 박막에 액정을 프리틸트(pre-tilt)하기 위해 박막 표면을 러빙장비를 이용해 러빙하였다. 이때 사용된 러빙강도는 RS = 148 mm이다.

러빙된 기판과 열경화성 실런트를 사용하여 셀 형태의 스마트윈도우를 제작하였다.

사용된 3종류의 실런트는 TMB사의 열경화제(A), (주)신광화학의 UC-1003B (B), UC133B-A (C) 제품 3가지를 사용하였고, 각각의 셀을 그림 1과 같이 제작하였다.

기판을 조립할 때 기판 표면에 도포된 실런트는 셀 갭(cell gap)이 형성됨에 따라 셀갭 두께의 수직방향으로 번지게 된다. 이를 최소화하기 위해 스크린프린팅 방법으로 실런트를 기판에 프린팅하고 4 μm 직경을 갖는 폴리비드를 스페이서(spacer)로 사용하였다.

조립된 셀은 압착 장비를 사용하여 200°C에서 10분

**Fig. 1.** Liquid crystal smart window cell with sealant.

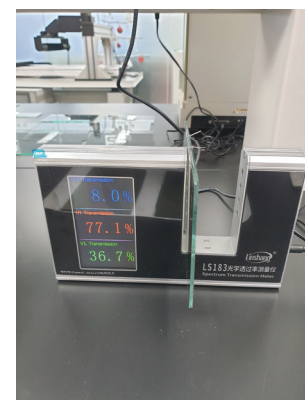
동안 압착하여 실런트를 경화하였다. 압착된 셀은 진공 주입장비를 이용해 액정을 주입하고, 액정이 주입되었던 부분은 자외선 경화제를 사용하여 마감하였다.

완성된 셀은 편광판을 부착하여 스마트윈도우 셀 제작을 완료하였다.

2.2 액정 스마트윈도우 셀 신뢰성 측정

액정스마트윈도우의 신뢰성을 평가하기 위하여 열안정성테스트와 열가속 테스트를 진행하였다. Convection oven (C-DHD3, Chang shin Scientific)을 이용하여 25~50°C의 온도에서 120분 지속 후 전압-투과도 특성을 측정하여 분석하였고 열 가속 테스트는 80°C에서 총 360시간 동안 실험을 하였으며 측정간격은 24시간으로 하였다.

스마트윈도우의 열적 신뢰성 평가를 위하여 투과율 측정을 그림 2의 Shenzhen Linshang사의 LS183 측

**Fig. 2.** Transmittance measurement equipment.

정기를 사용하였다. 투과도는 DC 0~8 V 전압을 인가하여 전압-투과도 곡선으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

스마트윈도우 셀의 열안정성을 평가하기 위한 방법으로 25°C, 50°C와 80°C 2시간 온도 유지 후 실런트별 액정스마트윈도우 투과도 변화율을 그림 3에 나타내었다. 실런트별 온도별 투과율의 특성을 측정하였으며 그 결과 전압-투과도 곡선을 통해 차이가 없음을 확인하였다.

열안정성 측정 결과 적용된 실런트 모두 온도에 상관없이 일정한 투과율 변화를 보였다. 이러한 결과는 적용된 실런트 모두 스마트윈도우 적용이 가능한 것을 확인하였으며, 액정기반의 스마트 윈도우는 80°C 고온에서 열적으로 안정한 신뢰성을 확인할 수 있었다.

열안정성 측정을 기반으로 온도의 신뢰성 테스트를

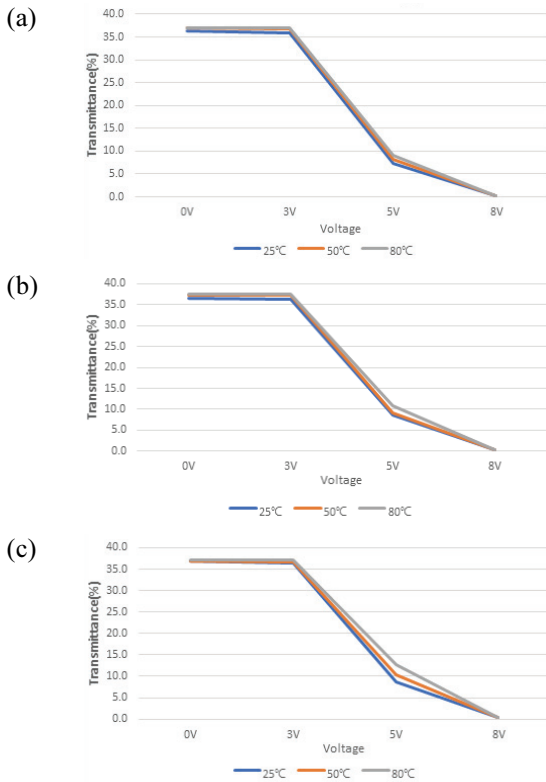


Fig. 3. Result of applied voltage-transmittance of liquid crystal smart window according to sealant type and temperature. (a) Thermal sealant, (b) UC-1003B, and (c) UC-133B-A.

위한 가속 실험한 진행하였고 그 결과를 그림 4에 나타내었다.

제작된 액정셀의 실런트 타입별 열가속 테스트를 진행한 전압-투과율을 나타내고 있다.

UC-1003B 실런트의 경우 투과율이 낮아지는 5 V와 8 V에서 열안정성 테스트와 비교했을 때 가속테스트의 투과율 변화가 2%로 확인할 수 있었으며, d열경화제와 UC133B-A 실런트의 경우의 투과율 변화는 1% 이 내인 것을 확인하였다.

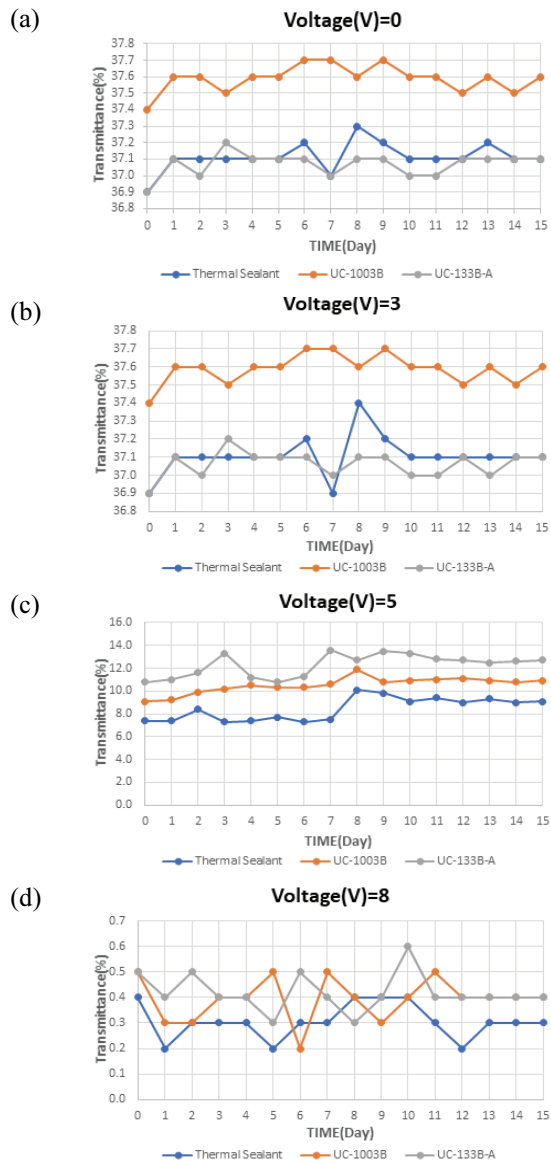


Fig. 4. Thermal acceleration test result of smart window for applied voltage according to sealant type. (a) Applied voltage 0 V, (b) applied voltage 3 V, (c) applied voltage 5 V, and (d) applied voltage 8 V.

세 가지 실린트를 적용한 스마트윈도우 셀의 결과 시간의 경과 후 초기의 투과율과 비교하여 1~2%의 낮은 변화의 결과를 얻었으며 이 결과는 액정기반의 스마트 윈도우의 열적 안정성을 확인할 수 있었다.

열안정성 및 가속테스트 결과 액정기반의 스마트윈도우의 내부 실링을 위한 실린트를 적용하면 실내외 온도가 상승되는 경우에도 스마트윈도우의 기반이 되는 액정 누수를 확인할 수 없었고 안정적인 투과율 특성을 확인할 수 있었다.

따라서 액정 스마트윈도우의 액정의 누수를 방지하는 실링공정을 적용하여 제작된 스마트윈도우는 건축물외장인 창호에 적용 가능하다고 판단된다.

4. 결론

본 연구 결과 액정 스마트윈도우의 건물 외피 창호 적용을 위하여 스마트윈도우의 기반이 되는 액정의 누수를 막기 위하여 실링공정을 위한 실린트의 적용 가능성과 열적 신뢰성을 확인한 결과 다음과 같다.

- 1) 3종의 실린트 모두 25°C, 50°C와 80°C 2시간 온도 유지 후 온도별 투과율의 특성을 측정된 결과 전압-투과도 곡선을 통해 차이가 없음을 확인하였다. 이러한 결과는 적용된 실린트 모두 스마트윈도우 적용이 가능한 것을 확인하였고 스마트 윈도우는 80°C까지 열적 신뢰성을 확인할 수 있었다.
- 2) 열 가속 테스트 결과 UC-1003B 실린트의 경우 투과율 변화가 2%, 열경화제와 UC133B-A 실린트의 경우의 투과율 변화는 1% 이내인 것을 확인하였다. 이러한 결과는 액정기반의 스마트 윈도우의 열적 안정성을 확인할 수 있었다.

최종적으로 적용된 실린트 모두 액정 스마트윈도우의 실링을 위한 공정의 적합한 소재임을 확인하였고, 열안정성과 열 가속 테스트를 통하여 액정스마트윈도우의 열적 신뢰성 확보가 가능하다고 판단된다.

또한 스마트윈도우의 제작공정에서 액정의 누수를 막기 위한 실링공정의 필요성을 확인하였고, 무엇보다 건물외피 창호에 적용 가능한 스마트윈도우 개발을 위해서는 외부의 고온 등의 환경에서도 열적안정성의 확보가 매우 중요함을 확인하였다.

실질적으로 액정기반 스마트윈도우의 건물외피 창호

적용을 위하여 대면적 스마트윈도우의 열안정성 검증을 위한 후속 연구의 수행이 필요할 것으로 판단된다.

ORCID

Jin Lee

<https://orcid.org/0000-0003-4321-5055>

감사의 글

산업통상자원부 한국에너지기술평가원의 에너지수요 관리핵심기술개발사업(20182020700110)을 통해 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] C. M. Lampert, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **52**, 207 (1998). [DOI: [https://doi.org/10.1016/s0927-0248\(97\)00279-1](https://doi.org/10.1016/s0927-0248(97)00279-1)]
- [2] R. Baetens, B. P. Jelle, and A. Gustavsen, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **94**, 87 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2009.08.021>]
- [3] S. D. Rezaei, S. Shannigrahi, and S. Ramakrishna, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **159**, 26 (2017). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.08.026>]
- [4] S. B. Gwon, S. J. Lee, S. Y. Eom, D. S. Yun, and B. Y. Lee, *Information Display*, **20**, 3 (2019).
- [5] D. W. Ha, K. S. Park, and W. T. Son, *Proc. the SAREK Conference (Yongpyong, Korea, 2008)*, p. 857.
- [6] X. Li, K. Perera, J. He, A. Gumyusenge, and J. Mei, *J. Mater. Chem. C*, **7**, 12761 (2019). [DOI: <https://doi.org/10.1039/C9TC02861G>]
- [7] K. H. Kim, *KISTI Market Report*, **5**, 3 (2015).
- [8] A. Ghosh and B. Norton, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **163**, 178 (2017). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.01.036>]
- [9] S. Kumar, H. Hong, W. Choi, I. Akhtar, M. A. Rehman, and Y. Seo, *RSC Adv.*, **9**, 12645 (2019). [DOI: <https://doi.org/10.1039/c9ra00729f>]
- [10] B. G. Park, S. K. Kim, S. W. Lee, S. Y. So, and J. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **33**, 271 (2020). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2020.33.4.271>]
- [11] K. I. Kim, *KISTI Market Report*, **14**, 1 (2016).
- [12] H. K. Chung, Y. I. Kim, J. H. Cho, and K. S. Chung, *J. Energy Eng.*, **21**, 211 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.5855/energy.2012.21.3.211>]