Regular Paper
J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.
Vol. 33, No. 4, pp. 271-275 July 2020
DOI: https://doi.org/10.4313/JKEM.2020.33.4.271
ISSN 1226-7945(Print), 2288-3258(Online)

액정 기반 스마트 윈도우용 셀의 특성 연구

박병규[1,2], 김순금[1], 이승우[1], 소순열[2], 이 진[2]
[1] 씨에스에너지㈜
[2] 목포대학교 전기제어공학과

A Study on Characteristics of Liquid-Crystal Based Cell for Smart Window

Byung-Gyu Park[1,2], Sun-Keum Kim[1], Seung-Woo Lee[1], Soon-Yeol So[2], and Jin Lee[2]
[1] CS-Energy Company Limited, Jangsung 57247, Korea
[2] Department of Electrical and Control Engineering, Mokpo National University, Mokpo 58554, Korea

(Received March 4, 2020; Revised March 30, 2020; Accepted March 31, 2020)

Abstract: Smart windows are used as windows and doors to determine the cooling and heating efficiency of a building. They have characteristics that can increase the energy efficiency of a building, which leads to energy savings. In addition, smart windows can control the amount of light transmitted from the external environment of a building to the interior of a building according to the needs of the user. In this study, a 297×210 mm^2 liquid crystal cell capable of controlling light transmittance was fabricated using a liquid crystal device as an optical shutter. The effect of driving voltage on the transmittance and the effect of the thermal environment on the driving stability were analyzed. We confirmed the applicability of using smart windows as exterior building materials.

Keywords: Smart-windows, Liquid crystal, Solution process, Transmittance, Heat stability

1. 서 론

환경 보존을 위한 에너지 소비 절감의 필요성이 절실한 상황에서 건물 에너지 절감에 효과적인 스마트윈도우 기술이 주목받고 있다 [1]. 스마트윈도우는 EC, SPD, PDLC 기술이 대표적이지만 투과율 조절과 저전력 소모, 응답속도, 실외환경에 대한 내구성 확보 등의 측면에서 LCD 기술의 활용이 스마트윈도우 기술 구현에 효과적일 것으로 예상된다 [2,3].

현재 디스플레이 산업의 주류를 차지하는 LCD 시장은 중국발 공급과잉으로, 국내 관련 기술 인프라의 시장경쟁력이 떨어진 상태이다. 이에 스마트윈도우 관련 기술의 활용범위를 확대하고 국내 관련 인프라의 리노베이션에도 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

액정(liquid crystal)은 액체와 고체의 중간상태에 있는 물질로, 분자의 배열이 어떤 방향으로는 불규칙한 액체 상태를, 다른 방향으로는 규칙적인 결정 상태를 가지고 있다. 액정은 외부에서 가해진 전기신호에 따라 분자의 배열이 변화하게 되고, 일정한 패턴의 방향성을 나타낸다.

LCD (liquid crystal display) 또는 액정표시장치는 액정의 이러한 성질과 빛의 굴절을 이용하는 장치로, BLU (back light unit)에서 가해진 빛이 액정을 통과하면서 나타내는 각각의 색상과 밝기를 이용하여 화상을 발현하는 장치이다.

액정은 전기신호에 의한 빛 투과량 조절이 가능하며 [4], 투과율 조절이 가능한 특성을 디스플레이 장치가 아닌 창호에 적용하기 위해 LCD 1 pixel에 해당하는 단위셀을 대면적화하고자 하였다.

✉ **Jin Lee; Jinlee@mokpo.ac.kr**

Copyright ©2020 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 연구에서는 기존 연구에 사용하였던 20×20 mm^2의 면적을 갖는 액정셀을 297×210 mm^2 크기로 제작하여 구동전압과 열적 안정성, 응답속도를 시험·평가 후, 셀의 면적 증가에 따른 특성 비교를 통해 건축 외피용 대면적 셀 구현 및 관련 분야 적용 가능성을 확인하였다.

2. 실험 방법

2.1 액정셀 제작

액정셀을 제작하기 위하여 297×210×0.7 mm^3 ITO (indium tin oxide) 유리기판 위에 배향액을 스핀코팅하였고, 배향액의 이미드화를 위하여 70℃에서 30분 동안 건조한 다음, 250℃에서 2시간 동안 이미드화하였다.

그림 1은 배향액이 이미드화된 ITO 유리기판의 단면 FE-SEM 사진으로 ITO 유리기판에 폴리이미드 박막이 형성되었음을 확인할 수 있다. 이미드화된 박막에 액정을 프리틸트(pre-tilt)하기 위해 박막 표면을 러빙장비를 이용해 러빙 처리하였다. LCD의 액정 배향법 중 일반적으로 사용하는 러빙법은 직물을 이용하여 배향막을 일정 방향으로 정렬하는 것이다.

본 연구에서는 그림 2의 모식도와 같이 러빙장비를 구현하였으며 나일론계 섬유를 러빙롤러에 고정시킨 후 롤러의 회전을 통해 배향막을 러빙하였다. 러빙강도는 러빙에 요구되는 인자를 수치화한 식 (1)을 이용하여 계산하였다 [5,6].

$$RS = NM(2\pi rn/v-1) \quad (1)$$

식에서 N은 기판의 러빙 횟수이며, M은 러빙포의 눌린 깊이, n은 러빙롤러의 회전수, v는 기판의 이동속도, r은 러빙롤러의 반경을 각각 나타낸다.

본 연구에서는 반경이 30 mm인 러빙롤러에 3 mm 두께를 갖는 러빙포를 사용하였으며, 러빙포가 눌린 깊이의 영향으로 롤러의 rpm이 감소하지 않는 범위 내에서 M을 최대치로 설정하였다. 러빙포를 통해 러빙할 때 생기는 배향성은 나노단위 크기의 분자가 갖는 전기적 특성에 의한다는 이론이 제기되었지만, 그 이전까지 마이크로 단위 크기의 격자 골형상의 표면에 의한 배향성이 지배적이었다는 것을 감안하여 [7] M을 최대치로 설정하였다. M을 기준으로 러빙장비 사용 중 발생하는 기판 이탈과 배향막 표면의 손상 정도를 고려하여 나머지 러빙에 필요한 인자들의 값을 설정하였으며 표 1에 러빙 조건을 표기하였다.

러빙에 최종 사용된 RS값은 148 mm이다. 러빙된 기판을 셀 형태로 조립하기 위해 200℃ 온도에서 경화되는 실링제를 유리기판 가장자리에 도포하였다. 실링제는 두 기판을 합착할 때 기판 사이 간격이 좁아짐에 따라 불규칙한 모양으로 번지게 된다. 번짐을 최소화하기 위해 스크린프린팅 방법으로 실링제를 기판에 인쇄하였고, 셀을 구성하는 기판과 기판 사이 액정이 주입

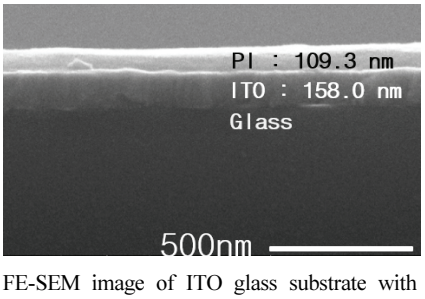

Fig. 1. A FE-SEM image of ITO glass substrate with alignment-solution coated with imidation-reacted.

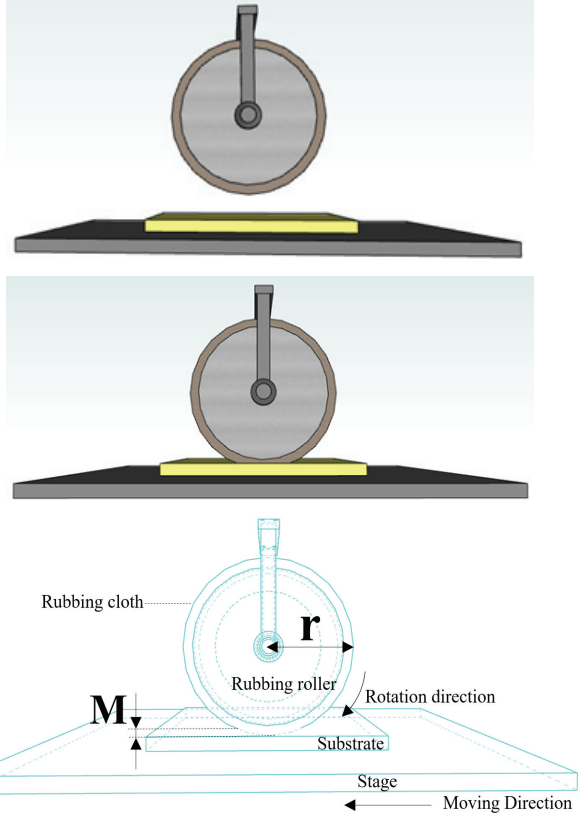

Fig. 2. Schematic diagram of rubbing machine.

될 공간의 확보를 위하여 스페이서(spacer)를 4 μm 두께로 도포하였다. 두 기판은 압착 장비를 사용하여 200℃에서 10분 동안 합착하였고, 합착된 셀은 진공주입장비를 이용해 액정을 주입하였다. 액정 주입은 셀의 면적이 6 inch 이하에서만 모세관 현상에 의한 액정 주입이 가능한 것을 연구를 통해 확인하였다.

Table 1. Rubbing condition.

Factors	Numerical value
N	3
M	0.3 mm
n	800 rpm
v	1,000 mm/min
r	33 mm

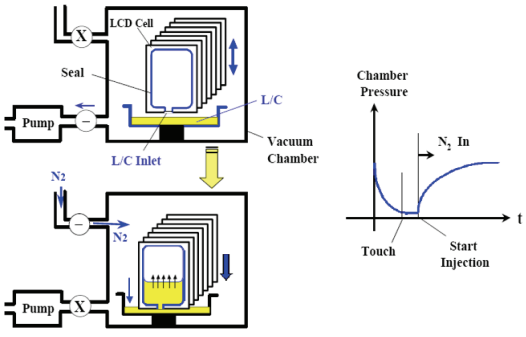

Fig. 3. A liquid crystal injection on using vacuum injection process.

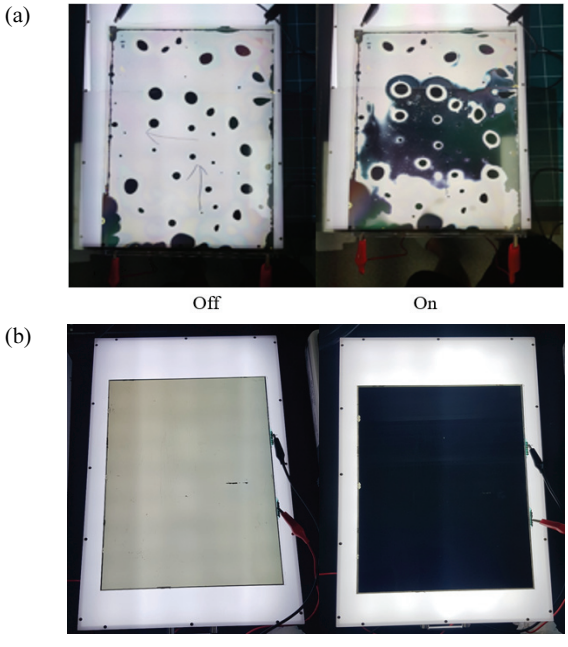

Fig. 4. (a) LCD Image crystal injection using capillary injection method and (b) vacuum injection method.

본 연구에 사용된 297×210 mm^2 면적의 셀은 모세관 현상을 통한 액정 주입이 경험적으로 불가하여, 진공주입공정을 사용하였다. 상자에 셀을 넣은 후 내부와 외부의 기류(air current)를 차단하고 상자 내부의 압력을 100 mTorr까지 감압하였다. 감압된 상태에서 실링제가 도포되지 않은 부분을 액정에 침지 후 상자 내부의 압력을 대기압으로 유지하면 셀 내부와 외부의 압력 차이와 모세관 현상에 의해 액정이 가능하였다. 그림 3은 진공주입공정에 대한 모식도이다.

주입상태의 비교를 위해 모세관 현상에 의해 액정을 주입한 셀과 진공주입방법을 사용한 셀을 그림 4에 비교하였다. 그림 4(a)는 셀 내부에 다수의 기포가 생성되었으며, 그림 4(b)는 진공주입방법을 사용한 셀로 기포 없이 셀 전면에 액정이 주입되었다.

그림 4에서 두 셀의 액정 주입상태를 확인할 수 있다. 액정은 J사 100-xx를 사용하였으며, 액정이 주입되었던 부분은 열경화 실링제를 사용하여 마감하였다. 완성된 셀은 편광판을 부착하여 LCD셀 제작을 완료하였다.

2.2 액정셀 특성

제작된 액정셀의 특성을 평가하기 위하여 동일조건으로 제작한 기존 20×20 mm^2 크기의 액정셀과 특성을 비교하였다. 액정 스마트윈도우의 투과도는 DC

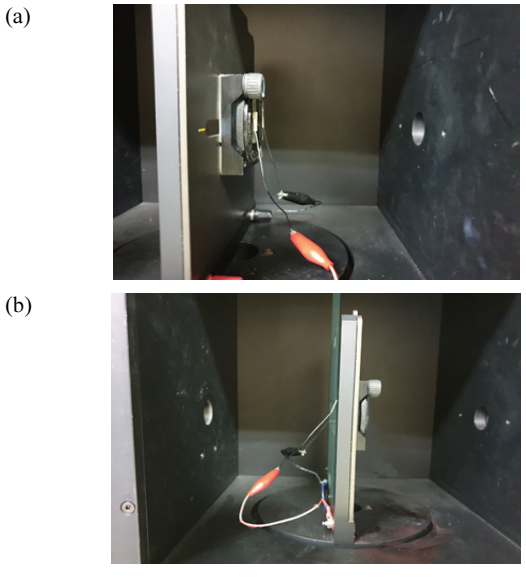

Fig. 5. (a) Transmittance analysis of 20×20 mm^2 LCD cell and (b) transmittance analysis of 297×210 mm^2 LCD.

Table 2. Measuring condition.

Temperature		23℃
Light source		Visible spectrum range
Applied voltage	Start	0 V
	Final	9 V
	Step	0.2 V
Frequency		60 Hz

0~9 V 전압을 인가하여 전압-투과도 곡선으로 측정하였다.

측정은 표 2와 같은 조건으로 진행하였으며, 전기광학특성장치(LCMS-200, 세심광전자)를 이용하였다. 전기광학특성장치는 면적이 4 inch 이하의 시료만 분석스테이지 회전판에 부착이 가능하여 297×210 mm^2 셀은 회전판 뒷면에 부착하여 투과도를 분석하였다. 액정의 열안정성을 평가하기 위하여 convection oven (C-DHD3, Chang shin Scientific)을 이용하여 70℃의 온도에서 10분간 유지한 다음 전압-투과도 특성을 측정하여 분석하였다. 액정 스마트윈도우의 문턱전압 확인을 위해 전압-투과도 측정곡선으로 계산하였다. 문턱전압은 액정 스마트윈도우의 투과도 90%일 때의 전압으로 판단하고 V90으로 판단한다 [8].

3. 결과 및 고찰

제작된 액정셀의 특성을 평가하기 위한 방법으로 그림 6(a)와 같이 전압-투과도 곡선을 통해 문턱전압을 확인하였다. 20×20 mm^2 액정셀의 V90은 1.983 V로 확인하였으며, 297×210 mm^2 액정셀은 2.003 V로 확인하였다. 두 셀의 전압-투과도 곡선의 추이를 볼 때 액정셀의 크기를 상대적으로 증가시켰을 때 액정셀에 인가되는 전압에 따른 투과도 변화가 없는 것을 확인하였다.

그림 6(b)에서 열처리 후 투과도 곡선의 추이를 보면 V90의 전압은 열처리 전과 차이가 적었지만, 투과도 10~90%일 때의 전압은 차이를 보였다. 이것은 액정의 정렬이 열처리 과정에서 cleaning temperature를 거쳐 식혀지는 과정에서 재정렬을 통해 액정의 틸트 방향에 결함이 있는 액정분자들이 방향을 되찾는 어닐링 [9,10]에 의한 결과로 예상된다. 문턱전압의 경우 20×20 mm^2 셀은 2.028 V, 297×210 mm^2 셀은 1.939 V로 각각 측정된 사실은 구동전압 이상에서 동일액정이 갖는 두 셀의 틸트각이 일정하게 기울었음을 판단할 수 있다.

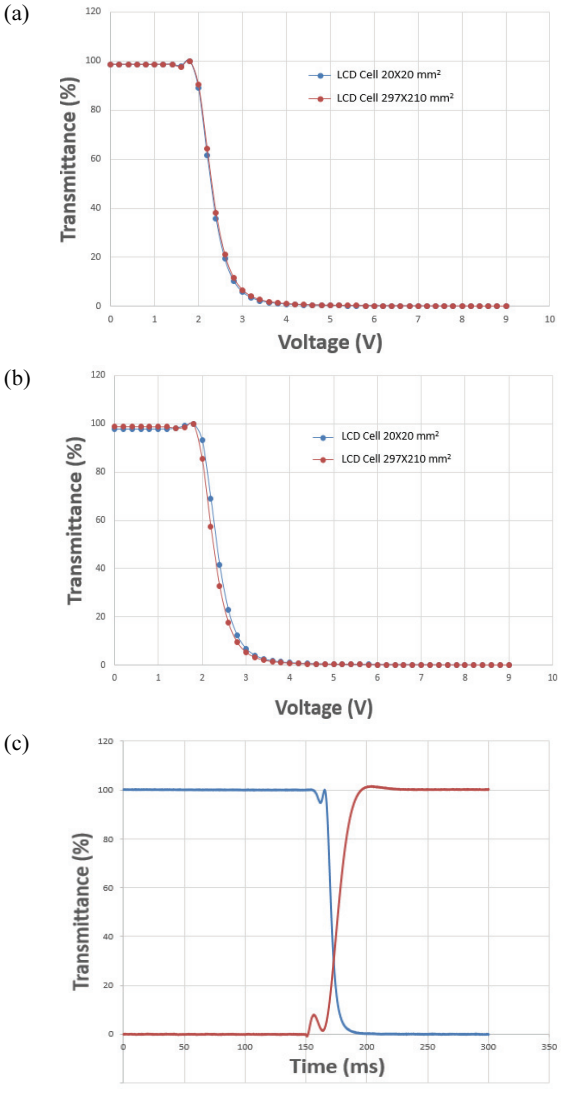

Fig. 6. (a) Comparison of transmittance variation by driving voltage, (b) comparison of transmittance variation by driving voltage after thermal aging 70℃, and (c) response time by driving voltage.

결과적으로 V90이 되기 전까지 액정의 프리틸트 방향이 달라 생길 것으로 예상되는 결함으로 인해 V-T 곡선의 추이는 변하였지만 구동전압인 V90은 유지되는 것을 확인할 수 있으며 20×20 셀의 경우 상대적으로 작은 체적으로 인해 식혀지는 속도가 빨라 어닐링 과정에서 액정결함이 증가하였을 것으로 예상된다.

그림 6(c)는 297×210 mm^2 셀의 응답시간에 대한 그래프이다. 응답시간은 누워 있던 액정분자가 전계에 의해 일어서는 데 걸리는 시간인 상승시간(rise time)

Table 3. V-T curve analysis result.

Sample name	V-T characteristic (V90)
Sam2 20×20	1.983
20×20 (aging thermal)	2.028
297×210	2.003
297×210 (aging thermal)	1.939

Table 4. Response time analysis result.

Factors	Numerical value
Rise time	9.490
Fall time	19.291
Response time	27.781

과 일어섰던 액정분자가 전계가 사라짐에 따라 다시 눕는 데 걸리는 시간인 하강시간(fall time)으로 이루어져 있다 [7]. 상승시간 9.490 ms 하강시간 18.291 ms를 합쳐 27.781 ms의 응답시간을 갖는다는 것을 확인하였다. TN (twisted nematic) 타입의 액정디스플레이는 일반적으로 30 ms 이하의 값을 나타낸다 [11]. 이를 통해 대면적에서 빠른 응답속도를 나타내었음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구를 통해 대면적 셀 제작공정에서 LCD 제작에 요구되는 다양한 변수를 확인하였고, 열처리를 통한 어닐링 공정의 필요성을 확인하였다. 후속연구에서는 관련 변수들에 관한 연구의 수행이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구와 후속연구를 기반으로 대면적 셀 제조공정 설계를 위한 기초자료로 활용하고자 하며 건축외피에 설치되어 외부환경에 대한 내구성이 요구되는 스마트윈도우로서의 LCD 적용 가능성을 확인하였다. 향후 LCD가 스마트윈도우로 상용화될 경우 건축물의 외피면적에 적용되는 점을 고려하면 수요량이 디스플레이 시장과 비견될 것으로 예상되며 성숙기를 지난 국내 LCD 관련 전자재료산업의 활성화를 기대한다.

ORCID

Jin Lee https://orcid.org/0000-0003-1893-973X

감사의 글

산업통상자원부 한국에너지기술평가원의 에너지수요관리핵심기술개발사업 (20182020700110)을 통해 수행되었습니다.

REFERENCES

[1] D. W. Ha, K. S. Park, and W. T. Son, *Pro. 2008 SAREK Summer Annual Conference* (The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Yongpyong, 2008) p. 857.

[2] K. I. Kim, *KISTI Market Report*, **14**, 1 (2016).

[3] H. K. Jung, 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]

[4] J. Y. Shin and Y. T. Chae, *J. Korean Sol. Energy Soc.*, **38**, 75 (2018). [DOI: https://doi.org/10.7836/kses.2018.38.5.075]

[5] D. S. Seo, K. I. Muroi, and S. Kobayashi, *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Sci. Technol., Sect. A*, **213**, 223 (1992). [DOI: https://doi.org/10.1080/10587259208028733]

[6] T. Sugiyama, S. Kuniyasu, D. Seo, H. Fukuro, and S. Kobayashi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **29**, 2045 (1990). [DOI: https://doi.org/10.1143/jjap.29.2045]

[7] J. Hoogboom, T. Rasing, A. E. Rowan, and R.J.M. Nolte, *J. Mater. Chem.*, **16**, 1305 (2006). [DOI: https://doi.org/10.1039/B510579J]

[8] B. Y. Oh, *J. Inst. Korean Electr. Electron. Eng.*, **23**, 904 (2019). [DOI: https://doi.org/10.7471/ikeee.2019.23.3.904]

[9] H. Yokoyama, S. Kobayashi, and H. Kamei, *J. Appl. Phys.*, **56**, 2645 (1984). [DOI: https://doi.org/10.1063/1.333796]

[10] D. S. Seo, H. K. Kim, J. J. Kim, and E. J. Hahn, *J. Inst. Korean Electr. Electron. Eng.*, **13**, 871 (2000).

[11] S. S. Yang, P. J. Kim, and B. Y. Oh, *J. Inst. Korean Electr. Electron. Eng.*, **23**, 1224 (2019). [DOI: https://doi.org/10.7471/ikeee.2019.23.4.1224]