

## 광 투과도 제어형 액정 셀 연구

# A study on the transmittance-controlled liquid crystal cell

양 성 수\*, 김 필 중\*, 오 병 윤\*\*

Seong-Soo Yang\*, Phil-Jung Kim\*, Byeong-Yun Oh\*\*

### Abstract

In this study, a liquid crystal (LC) cell was manufactured for smart window applications, such as blinds, and a system for controlling the light transmission rate was developed. The threshold voltage of the LC cell was 1.325 V and when the transmission rate was 10%, the voltage showed 2.370 V, indicating that the LC cell manufactured is driven at low voltage. The LC cell also operated reliably after being heated for 10 min at 80°C. with a response time of less than 30ms. The operation system designed the applied voltage of the LC cell with a interval of about 0.5 V from 0.15 V to 3.53 V and confirmed that the light transmission rate of the LC varies depending on the actual applied voltage. These results suggest that LC cells are likely to be smart window applications.

### 요 약

본 연구에서는 블라인드와 같은 스마트 윈도우 응용을 위해 액정 셀을 제작하였고, 광 투과율이 조절되는 시스템을 개발하였다. 액정 셀의 문턱전압은 1.325V였고, 투과율이 10%일 때 전압은 2.370V를 보여 제작된 액정 셀은 저전압으로 구동됨을 나타내었다. 또한, 액정 셀은 30ms 미만의 응답속도와 80°C/10분간 열을 가한 후에도 안정하게 구동되었다. 구동 시스템은 액정 셀의 인가되는 전압을 0.15V에서 3.53V까지 약 0.5V 간격으로 설계하였고, 실제 인가되는 전압에 따라 액정의 광 투과율이 변화됨을 확인하였다. 이러한 결과는 액정 셀이 스마트 윈도우 응용이 가능성이 있음을 시사한다.

*Key words : Smart window, Liquid crystal, Light transmittance, Blind, Low voltage operation*

### 1. 서론

최근 유리산업은 에너지 절감효과와 친환경 소재를 바탕으로 하는 제품을 생산하고자 하는 추세이다[1-3]. 이에 따라 유리 소재는 스마트 유리 시장에서 인지도를 높여가고 있고, 가시광선 투과도 조절뿐만 아니라 자외선 차단, 적외선 반사 기능을 가지고 있어 건축 분야, 수송 분야, 광고 분야 등 다양하게 응용되고 있다. 스마트 유리는 외부에서

유입되는 광의 투과 특성을 제어하는 것으로, 센서를 이용하여 주변 환경의 밝기에 따라서 유리에 공급되는 전압을 조절해 광 투과율을 자동으로 변화시키는 방식과 공급되는 전력의 양을 인위적으로 조절하여 유리가 투명하다가 불투명하게 되거나, 또는 반투명하게 되는 방식이 있다[2, 4].

스마트 유리의 구조는 크게 전기변색(EC) 소자, 분극입자방식(SPD), 액정(LC) 등으로 나눌 수 있다[3-6]. 액정을 이용한 스마트 유리는 고분자 분산

\* Dept. of Electronics, Chosun College of Science & Technology

\*\* R&D Division, BMC Co., Ltd.

★ Corresponding author

E-mail : philjung@cst.ac.kr, Tel : +82-62-230-8835

※ Acknowledgment

Manuscript received Dec. 3, 2019; revised Dec. 23, 2019; accepted Dec. 26, 2019.

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.

형 액정(PDLC)이 대표적이며 액정분자와 고분자의 굴절률 차이를 이용한다[6]. 공정이 간단하고 편광판을 사용하지 않기 때문에 일반 액정디스플레이보다 광 추출 효율이 높은 장점이 있으나, 높은 문턱 전압과 재현성이 떨어진다는 단점이 있다. 또한 투명과 불투명 조절은 가능하나 광 투과율을 조절은 쉽지 않고 열 안정성이 낮아 실내의 커튼이나 블라인드 대신 활용되고 있다.

본 연구에서는 편광판을 사용하기 때문에 투명일 때 투과도는 떨어지나, 액정의 열 안정성 범위가 넓고 빠른 응답속도 및 광 투과율을 자유롭게 조절이 가능한 스마트 유리를 제작하였고, 광 투과율 조절을 위한 구동 시스템 설계 및 제작을 통해 액정 셀의 투과도 특성을 연구하였다.

## II. 본론

### 1. 액정 셀 제작

균일한 액정분자제어를 위해서 디스플레이 제조 라인을 이용해서 액정 셀을 제작하였다. 우선,  $35 \times 32 \text{mm}^2$  ITO(indium tin oxide) 기판을 유기 스테이션(organic station)의 세척 공정 순으로 각각 15분씩 기판세척을 하고, 탈이온수(D.I. water)로 5분간 세정한 후 UV(ultraviolet) cleaning 처리를 하였다.

3,500rpm에서 30sec 동안 배향액을 코팅하였고  $80^\circ\text{C}$ 에서 10분간 소프트 베이킹(soft baking)을 한 후  $230^\circ\text{C}$ 에서 1시간 동안 하드 베이킹(hard baking) 과정을 통해 폴리머를 이미드화하였다[7].

러빙장치 기판 홀더 위에 배향막이 코팅된 유리 기판을 로딩한 후 액정분자의 균일한 분포와 일정한 방향성을 위하여 배향막 표면을 러빙강도(RS) 420하에서 1회 러빙처리하였다.

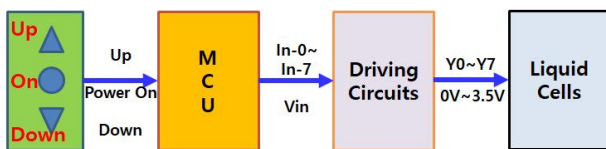


Fig. 1. Driving system for liquid crystal cells.

그림 1. 액정 셀 구동 시스템

상판과 하판을 접합하기 위해서 스크린 프린터 장비를 이용해서 실링(sealing)제를 인쇄하였다. 실링제가 인쇄된 기판은  $100^\circ\text{C}$ 에서 10분간 소프트

베이킹(soft baking)하였고, 하판 표면에  $\varnothing 4.2 \mu\text{m}$  크기의 스페이서(spacer)를 뿌려준 후 상판과 대향되게 맞대어 열 압착기를 이용해서  $180^\circ\text{C}/2\text{hr}$  동안 유지하여 두 기판을 접합하였다.

액정을 주입한 후 주입구를 봉지(end-sealing)하고 접속 단자 연결 및 편광판을 부착하여 액정 셀을 제작하였다. 액정 셀의 투과도를 제어하기 위해 회로를 설계하고 제작하였다.

### 2. 구동 회로 설계

액정 셀 투과율 조절을 위한 구동 시스템은 그림 1과 같이 구성된다. 전원버튼과 Up/Down 버튼 신호가 MCU(micro control unit)에 전송되면, MCU에서는 전원 턴온(turn on) 전압( $V_{in}$ )과 Up/Down 신호 In-0~In-7(8가지 신호) 중 해당하는 하나의 신호에 'high'를 구동회로에 전송한다. 구동회로는 Up/Down 신호 In-0~In-7에 해당하는 출력 Y0~Y7(8가지 전압) 중 각 전압을 액정 셀에 공급한다. 액정 셀 구동을 위해 인가되는 전압은  $0\text{V} \sim 3.5\text{V}$ 이며, 약  $0.5\text{V}$ 로 간격으로 조절될 수 있도록 설계하였다.

그림 2에서 전원 버튼을 누르면  $V_{in}$ 이 'high'가 되어 MOS(metal oxide semiconductor) Tr(transistor) M9와 M10은 턴온된다. 이때, 각 노드(node) Y00~Y07은 외부 인가전압( $V_{cc}$ )의 전압분배 법칙에 따라 형성되어진다[8]. 예를 들면, 노드 Y07 전압이 약  $3.5\text{V}$ 이고 각 노드 양단의 저항이 모두 같다면 식 (1)과 같이 각 노드 양단의 전위차는  $0.5\text{V}$ 가 된다.

$$V_{node} = V_{Y07} \frac{R}{7R} = \frac{3.5}{7} = 0.5\text{V} \quad (1)$$

따라서 각각의 노드 Y00 전압은  $0\text{V}$ , Y01 전압은  $0.5\text{V}$ , Y02 전압은  $1.0\text{V}$ , Y03 전압은  $1.5\text{V}$ , Y04 전압은  $2.0\text{V}$ , Y05 전압은  $2.5\text{V}$ , Y06 전압은  $3.0\text{V}$ , Y07 전압은  $3.5\text{V}$ 가 된다.

Up/Down 조절 버튼을 누르게 되면 MOS Tr M1~M8 중 해당 MOS Tr만 턴온되어 해당 출력 전압이 액정 셀에 공급하게 된다.

Up 버튼을 한 번씩 누를 때마다 순차적으로 In-0~In-7이 off/on 된다. 예를 들면, Up 버튼을 한번 누르면 In-0은 off( $0\text{V}$ )되고 In-1이 on( $5\text{V}$ )되어 MOS M1은 off되고 MOS M2는 on되어 출력 Y1 전압(약  $0.5\text{V}$ )이 액정 셀에 공급된다. 이때 In-2~

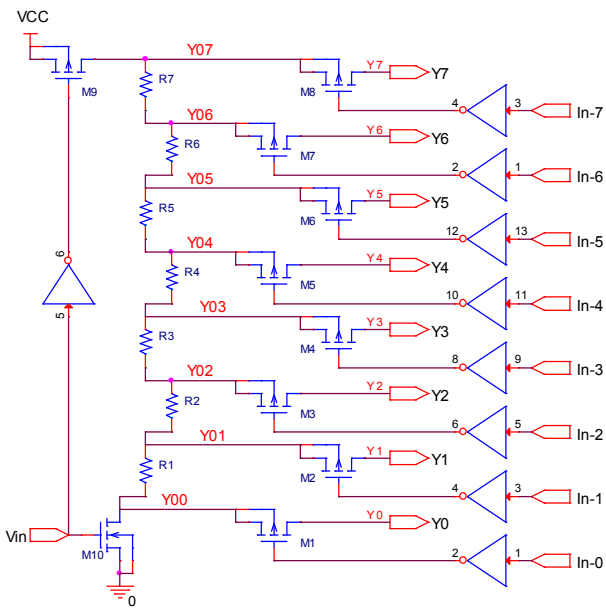


Fig. 2. Driving circuit for liquid crystal cells.  
그림 2. 액정 셀 구동회로

In-7은 off(0V) 상태이다.

반대로 Down 버튼을 한 번씩 누를 때마다 순차적으로 In-7~In-0이 off/on 된다. 예를 들면, In-5가 on(5V) 상태에서 Down 버튼을 한번 누르면 In-5는 off(0V)되고 In-4가 on(5V)되어 MOS M6은 off되고 MOS M5는 on되어 출력 Y4전압(약 2.0V)이 액정 셀에 공급된다.

### 3. 액정 셀의 전기적 특성

#### 가. 전압-투과도(V-T) 특성

액정 셀의 구동 원리를 살펴보면, 외부에서 액정에 전압을 인가하면 액정의 유전율 이방성에 따라 분자의 장축이 전압 방향으로 배열하였다가, 인가

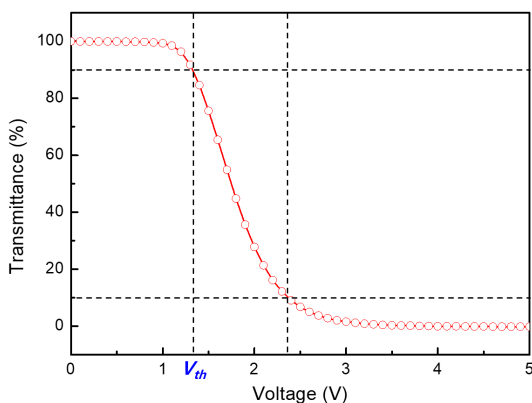


Fig. 3. Transmittance curve of the liquid crystal cell with varying voltages.

그림 3. 전압 변화에 따른 액정 셀의 투과도 곡선

전압이 제거되면 액정 배열이 원래의 위치로 돌아오는 현상이 일어난다. 전압에 의해 액정 분자의 배열 변화가 빛을 통과시키는 통로의 셔터 역할을 하면서 빛의 양이 달라진다.

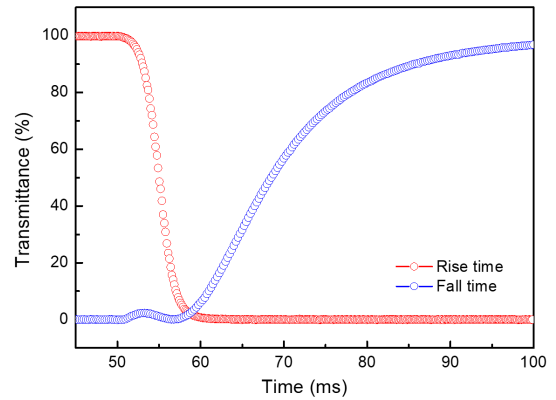


Fig. 4. Response rate of the liquid crystal cell.

그림 4. 액정 셀의 응답 속도

전압-투과도 측정결과는 그림 3에 나타내었다. 문턱전압( $V_{th}$ ) 대략 1.325V이며, 투과도가 10%일 때 2.370V였으며, 3.5V 이상에서 투과율이 0%에 가까워짐을 알 수 있다. 따라서 대략 1V에서 3.5V 사이의 전압을 조절할 수 있다면, 광 투과율 조절이 가능할 것으로 예상된다.

#### 나. 응답속도 특성

액정디스플레이 소자가 얼마나 빨리 전계의 인가에 응답하여 표시를 할 수 있는지를 나타내는 것이 응답 특성이다. 응답 특성은 액정디스플레이 소자에 인가되는 전압이 ON 상태일 때 빛의 투과율이 100%~10%까지 걸리는 rise time( $\tau_r$ )과 인가전압이 OFF 상태일 때 빛의 투과율이 0%~90%까지 변하는데 걸리는 decay time( $\tau_d$ )을 합한 값( $\tau$ )을 의미한다[9]. TN(twisted nematic) 타입의 액정디스플레이의 응답 특성은 보통 30ms 이하의 값을 나타낸다.

그림 4는 셀의 응답속도를 나타내고 있다. 측정을 통한 셀의 상승시간은 4.042ms였으며, 하강시간은 24.726ms로 응답속도는 28.768ms임을 확인할 수 있었다. 결과를 통해 빠른 응답속도를 보임을 알 수 있었다.

#### 다. 열적 안정성 특성

열적 안정성은 열을 가하기 전·후의 특성 변화

를 확인하는 것으로 제품의 신뢰성을 평가하는 것이다. 열 충격에 견디지 못한다면 제품의 변형으로 인해 구동 특성에 영향을 줄 수 있다. 액정 셀에 80°C/10분간 열을 가한 후 상온에서 전기적 특성을 측정된 결과를 그림 5에 나타내었다.

투과도가 90%일 때 문턱전압의 전압을 비교하면, 열 충격을 가하기 전은 1.229V였으며, 후는 1.202V였다. 열 충격 전·후의 측정된 전압-투과율 변화는 거의 없으므로 셀의 내구성은 우수한 것으로 판단할 수 있으며, 이 결과로부터 본 연구에서 제작된 액정 셀은 실내·외 스마트 유리에도 적용이 가능할 것을 예상된다.

4. 구동회로 동작 특성

가. 구동회로 실험 결과

액정의 투과도를 제어하기 위해 회로를 설계하고 제작하였다. 설계한 액정 셀 구동회로를 시뮬레이션 한 결과 Y0은 0.15V, Y1은 0.57V, Y2는 1.01V, Y3은 1.50V, Y4는 1.96V, Y5는 2.44V, Y6은 2.99V, Y7=3.53V로 각각 나타났다.

사용온도 환경에 따른 출력전압 변화 값을 알아보기 위해 저온 -20°C에서 고온 80°C까지 시뮬레이션 한 결과, 출력 값은 표 1과 같이 거의 변화가 없었다. 저온 -20°C에서 시뮬레이션 한 결과 Y0은 0.15V, Y1은 0.57V, Y2는 1.01V, Y3은 1.50V, Y4는 1.96V, Y5는 2.43V, Y6은 2.99V, Y7=3.52V로 각각 나타났다. 고온 80°C에서 시뮬레이션 한 결과 Y0은 0.15V, Y1은 0.57V, Y2는 1.01V, Y3은 1.49V,

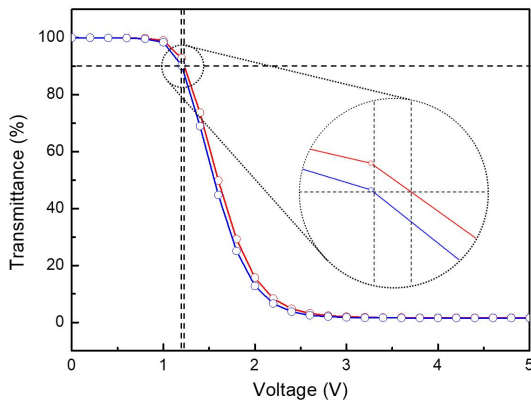


Fig. 5. Transmittance curve of liquid crystal cells before and after heating at 80°C/10 min.

그림 5. 80°C에서 10분간 열 인가 전과 후의 액정 셀의 투과도 곡선

Y4는 1.96V, Y5는 2.44V, Y6은 2.99V, Y7=3.53V로 각각 나타났다.

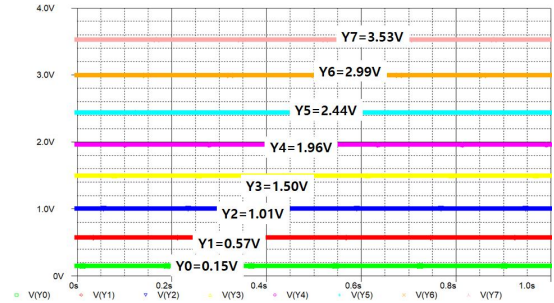


Fig. 6. Simulation results of driving circuit for liquid crystal cells.

그림 6. 액정 셀 구동회로의 시뮬레이션 결과

Table 1. Simulation results of driving circuit with temperature.

표 1. 온도에 따른 구동회로 시뮬레이션 결과

°C	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
-20	0.15V	0.57V	1.01V	1.50V	1.96V	2.43V	2.99V	3.52V
27	0.15V	0.57V	1.01V	1.50V	1.96V	2.44V	2.99V	3.53V
80	0.15V	0.57V	1.01V	1.49V	1.96V	2.44V	2.99V	3.53V

나. 시스템을 통한 액정 셀 투과율 변화 결과

구동 시스템을 통해 실제 액정 셀의 광 투과도 변화를 관찰하였다. 액정 셀 단자를 구동시스템에 연결한 후 인가되는 전압을 변화하였다.

인가전압에 따른 액정 셀의 투과도 변화를 그림 7에 나타내었다. 인가전압은 0V(off)에서 최대 전압인 3.53V까지 변화하였다. 그림 6에서 액정 셀 구동회로의 시뮬레이션 결과 중 Y0=0.15V, Y1=0.57V, Y2=1.01V는 액정 셀의 문턱전압( $V_{th}=1.325V$ )보다 낮은 전압이기 때문에 액정 구동 결과값이 비슷하므로, 그림 7에서는 Y0=0.15V와 Y1=0.57V를 나타내지 않았으며, Y2=1.01V만 나타내었다. 또한, Y6=2.99V는 액정 셀의 투과도가 10%일 때 2.370V보다 높기 때문에 Y7=3.53V와 비슷한 결과값을 나타내므로, 그림 7에서는 Y6=2.99V를 나타내지 않았으며, Y7=3.53V만 나타내었다. 그림 3의 전압-투과도 측정결과에서 볼 수 있듯이 투과도 90%일 때 1.325V였고, 투과도 10%일 때 2.370V였으나, 빛을 완전하게 투과 및 차단하기 위해서는 이 보다 넓은 범위에서 제어를 하는 것이 바람직하다. 전압 상승에 따라 액정 셀의 양단간의 인가되는 전압이 높아지고, 이에 따라 액정의 정렬상태가 달라져 빛의 투

과량이 달라짐을 확인할 수 있다. 이로써 설계된 구동회로가 액정 셀을 구동시키기에 적합함을 알 수 있다.

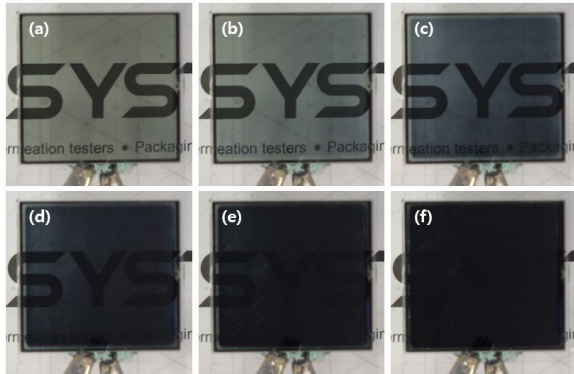


Fig. 7. Variation of light transmission by applied voltage with (a) 0V, (b) 1.01V, (c) 1.50V, (d) 1.96V, (e) 2.44V and (f) 3.53V using the driving system.

그림 7. 구동 시스템을 사용하여 인가전압에 따른 광 투과도 변화 [(a) 0V, (b) 1.01V, (c) 1.50V, (d) 1.96V, (e) 2.44V, (f) 3.53V]

### III. 결론

본 연구에서는 스마트 윈도우 응용을 위한 액정 셀을 제작하였고, 광 투과율 조절을 위한 구동 시스템 설계 및 제작을 통해 액정 셀의 투과도 특성을 연구하였다.

액정 셀은 1.01V~3.53V 사이에서 저전압 동작하는 것을 확인하였으며, 우수한 열 안정성을 보였다. 구동 회로 설계 및 시뮬레이션을 통해 제작된 시스템은 액정 셀에 인가되는 전압에 따라 광 투과도를 변화시킬 수 있음을 확인하였다.

결론적으로 주위 환경변화를 감지할 수 있는 센서 등을 통해 액정 셀에 인가되는 전압을 자유롭게 변화시킬 수 있다면 스마트 윈도우로 응용 가능성이 매우 높을 것으로 기대된다.

### References

[1] R. C. Evans, A. Ellingworth, C. J. Cashen, C. R. Weinberger and J. B. Sambur, "Influence of single-nanoparticle electrochromic dynamics on the durability and speed of smart windows," *Chem. Commun.*, vol.55, no.29, pp.4137-4149, 2019.

DOI: 10.1039/C9CC00273A

[2] N. L. Sbar, L. Podbelski, H. M. Yang and B. Pease, "Electrochromic dynamic windows for office buildings," *Int. J. Sustain. Built. Environ.*, vol.1, no.1, pp.125-139, 2012.

DOI: 10.1016/j.ijse.2012.09.001

[3] X. Li, K. Perera, J. He, A. Gumyusenge and J. Mei, "Solution-processable electrochromic materials and devices: roadblocks and strategies towards large-scale applications," *J. Mater. Chem. C*, vol.7, no.41, pp.12761-12789, 2019.

DOI: 10.1039/C9TC02861G

[4] K. H. Kim, "Smart Windows-High Performance, High Sensitivity Next-Generation Windows Growth," *KISTI MARKET REPORT*, vol.5, no.1, pp.3-6, 2015.

[5] A. Ghosh and B. Norton, "Durability of switching behaviour after outdoor exposure for a suspended particle device switchable glazing," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol.163, pp.178-184, 2017. DOI: 10.1016/j.solmat.2017.01.036

[6] S. Kumar, H. Hong, W. Choi, I. Akhtar, M. A. Rehmanb and Y. Seo, "Acrylate-assisted fractal nanostructured polymer dispersed liquid crystal droplet based vibrant colored smart-windows," *RSC Adv.*, vol.9, no.22, pp.12645-12655, 2019. DOI: 10.1039/c9ra00729f

[7] B.-Y. Oh, K.-M. Lee, B.-Y. Kim, Y.-H. Kim, J.-W. Han, J.-M. Han, S.-K. Lee and D.-S. Seo, "Surface reformation and electro-optical characteristics of liquid crystal alignment layers using ion beam irradiation," *J. Appl. Phys.*, vol.104, no.6, pp.064502-1-064502-5, 2008. DOI: 10.1063/1.2978364

[8] P. Jang, "A Study on the Droop Method with Improved Current Distribution Characteristics," *j.inst.Korean.electr.electron.eng.*, vol.23, no.3, pp. 785-792, 2019. DOI: 10.7471/ikeee.2019.23.3.904

[9] B.-Y. Oh, "Fast liquid crystal switching performance on indium zinc oxide films with low curing temperature via ion-beam irradiation," *j.inst.Korean.electr.electron.eng.*, vol.23, no.3, pp. 3904-3909, 2019. DOI: 10.7471/ikeee.2019.23.3.904



---

**BIOGRAPHY**


---

**Seong-Soo Yang** (Member)

2004 : B.S. degree in  
Information & Communication  
Engineering, DongShin University.  
2006 : M.S. degree in  
Information & Communication  
Engineering, DongShin University.

2015 : Ph.D. degree in Information & Communication  
Engineering, DongShin University.

2007~2018 : Adjunct Professor, Dept. Information &  
Communication Engineering, DongShin University.

2019~Present : Assistant Professor, Dept. of Electronics,  
Chosun College of Science&Technology.

**Phil-Jung Kim** (Member)

1994 : B.S. degree in Electronic  
Engineering, Chosun University.  
1996 : M.S. degree in Electronic  
Engineering, Chosun University.  
2000 : Ph.D. degree in Electronic  
Engineering, Chosun University.

1996~1999 : Researcher, Memory Research &  
Development Center, SK Hynix Inc.

2001~2012 : Assistant Professor, Dept. of IT, Sunghwa  
College.

2015~Present : Assistant Professor, Dept. of Electronics,  
Chosun College of Science&Technology.

**Byeong-Yun Oh** (Member)

2004 : B.S. degree in Physics, Hanseo  
University.  
2006 : M.S. degree in Metallurgical  
Engineering, Yonsei University.  
2011 : Ph.D. degree in Electrical and  
Electronic Engineering, Yonsei  
University.

2011~2013 : Director, Optical Device Research  
Institute, LINKLINE I&C Co., Ltd.

2013~2014 : Research Fellowship, Materials  
Science and Engineering, Gwangju Institute of  
Science and Technology (GIST).

2015~2018 : Chief Executive Officer (CEO),  
Administration Division, ZeSHTech Co., Ltd.

2018~Present : Director, Research and  
Development Division, BMC Co., Ltd.