

전기적 편광 조절형 카메라를 위한 수직 배향형 액정 소자 연구

A study on vertical alignment liquid crystal devices for electrically polarization controlled camera

이 나 경^{1,*}, 안 현 식¹, 김 성 민¹, 김 민 상¹, 박 승 서², 최 윤 석^{1★}

Na-Kyung Lee^{1,*}, Hyeon-Sik Ahn¹, Sung-Min Kim¹, Min-Sang Kim¹,
Seungseo Park¹, Yoonseuk Choi^{1★}

Abstract

In this study, we propose a liquid crystal-based polarization control technology that can control polarization by adjusting the voltage applied to the liquid crystal, and apply it to a Closed-circuit Television (CCTV) to transmit only the desired angle of polarized light. CCTV with conventional polarizing films cannot control polarization because they focus on backlight compensation, so light reflected from the water surface or highlights reflected from vehicles interfere with subject identification. However, the Vertical Alignment mode allows the polarization to be adjusted electrically, so that only the polarized light at the user's desired angle is transmitted, eliminating reflected highlights. The images obtained using this technique are optimized by computer software. Liquid crystal polarization panels, which can electrically control the polarization angle, transmittance, and polarization rate, have been applied to polarized image monitoring device to improve subject identification in conventional CCTV.

요 약

본 연구에서는 액정에 인가되는 전압을 조절하여 편광을 조절할 수 있는 액정 기반 편광 조절 기술을 폐쇄회로 텔레비전(CCTV)에 적용하여 사용자가 원하는 각도의 편광만을 투과시킬 수 있는 시스템을 제안한다. 기존의 편광필름이 적용된 CCTV는 역광 보정 기능에 치중되어 있기 때문에 편광을 제어할 수 없어 수면에서 반사된 빛이나 차량에서 반사된 하이라이트가 피사체 식별을 방해한다. 그러나 Vertical Alignment 모드를 사용하면 전기적으로 편광을 조절할 수 있기 때문에 사용자가 원하는 각도의 편광만 투과시켜 반사되는 하이라이트를 제거할 수 있다. 이 기술을 사용하여 얻은 이미지들은 컴퓨터 소프트웨어에 의해 최적의 이미지로 도출하였다. 편광 각도와 투과율, 편광 속도를 전기적으로 제어할 수 있는 액정 편광 패널을 편광 폐쇄회로 텔레비전에 적용하여 기존 CCTV에서의 피사체 식별을 개선하였다.

Keywords : Vertical alignment, Polarizer, Liquid Crystal, Camera, CCTV

1 Department of Electronic Engineering, Hanbat National University, Republic of Korea

2 SA-i Technologies, Republic of Korea

★ Corresponding author; Correspondence should be addressed to Yoonseuk Choi

E-mail : ychoi@hanbat.ac.kr, Tel : 042-821-1134

※ Acknowledgment

This work was supported by the Basic Science Research Program through the NRF funded by the Ministry of Education (No.2018R1A6A1A03026005) and NRF grant funded by the Korea government (MSIT) (2021R1A2C2011560). Manuscript received Dec. 12. 2023; revised ; Dec. 17. 2023; accepted Dec. 20. 2023

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.

I. 서론

카메라 기술은 20세기 아날로그 시스템에서 21세기 디지털 혁명에 이르기까지 획기적인 변화를 겪었다. 현재도 고해상도 이미징, 야간 투시 기능, 반사 및 하이라이트 제거 등 다양한 분야에서 카메라 기술에 대한 연구가 진행되고 있다[1, 2]. 기술의 발전에 따라 카메라를 사용한 감시 시스템 중 하나인 영상감시 장치(CCTV)는 공공 및 민간시설의 안전한 운영, 재난·범죄 등 사회적 안전망에 대한 요구가 늘어나면서 수요가 증가하여 지속적으로 발전되고 있다[3, 4]. CCTV는 감시가 필요한 위치에 주로 설치된다. 기존의 CCTV 시스템은 역광 보정 기능인 Backlight Compensation(BLC) 및 Wide Dynamic Range(WDR)과 같은 기능에 주로 중점을 두고 있다. 이러한 기능들은 주로 후면의 강한 광원이나 환경의 밝기 차이를 조절하여 화면에 있는 피사체를 뚜렷하게 보이도록 하는데 사용된다. 그러나 이러한 기능들은 편광이나 난반사에는 취약하여 반짝이는 수면, 결빙 상태의 도로, 피사체에서 반사된 하이라이트 등이 피사체 식별을 방해해 카메라 성능을 저하시킨다[5, 6].

종래의 편광 카메라는 스마트폰이나 광학 카메라, CCTV 등에서 사진이나 영상을 찍을 때 편광필름이 장착되어 있는 상태로 촬영을 한다. 편광필름이 적용된 카메라로 이미지 처리를 하면 햇빛으로 인해 난반사된 빛을 제거하여 선명한 이미지를 얻을 수 있다[7]. 그러나 편광필름은 원하는 투과 편광 방향을 설정하려면 수동으로 조절해야 한다는 불편함이 있다. 그래서 이를 개선한 것이 편광필터가 결합된 카메라이다. 수동 편광필름에 회전 장치를 결합시키고 회전 장치를 모터로 구동하여 편광필름을 기계적으로 회전시켜 원하는 투과 방향으로 편광을 변화시키면서 이미지 처리한다. 하지만 편광필터를 사용하면 편광을 바꿀 때 동작되는 속도가 느리고 편광이 필요하지 않는 상황에서는 편광필름을 수동으로 탈/부착해야 한다는 단점이 있다. 그래서 편광 CCTV의 편광 선택성을 다양하게 하기 위해 기계적 동작이 아닌 전기적 동작을 사용하여 빛의 편광 방향을 조절할 수 있는 기술이 필요하다.

본 논문에서는 Vertical Alignment(VA) 액정을 활용하여 VA 모드로 구성된 cell을 적용하여 편광을 선택적으로 조절할 수 있는 영상감시 장치용 자동 편광 제어 장치를 제안한다. VA 모드 기반의 액정 분자는 전압이 충분히 인가되면 배열 방향이 기판과 수평하게 변화한다. 이때, 액정은 굴절률 이방성에 따라 위상을 지연시키

는 역할을 하며, 결과적으로는 Half-Wave Plate와 같은 동작을 하게 된다. 따라서 VA 모드 cell에 입사되는 편광 빛을 제어할 수 있는 특성을 갖고 있는 액정을 연구에 사용하였다. VA 모드 cell에 인가된 전압에 따른 빛의 투과율에 대해 분석하고, 분석된 데이터로 소프트웨어에 적용하여 최적화된 이미지를 얻는다. VA 모드 cell이 적용된 카메라를 이용해 실제로 촬영하였다. 본 기술이 영상감시 장치의 여러 응용분야에 적용이 되어 피사체 감시에 탁월한 성능을 보일 수 있을 것으로 기대된다.

II. 실험 및 측정방법

1. VA 모드 cell 제작 방법

본 절에서는 제안한 VA 모드 cell의 제작방법 및 측정 방법에 대해 설명한다. VA 모드는 Vertical Alignment의 약자로서 전기장이 걸리지 않은 off-stated 일 때, 액정분자들이 수직하게 배열되어 있다가 전기장을 걸어 주면 액정이 수평 하게 배열된다. 그래서 초기 수직으로 배열되어 있는 액정분자를 수직 방향으로 전압을 인가했을 때 액정의 장축 방향이 수평으로 되도록 액정분자가 눕게 하기 위해 유전율 이방성이 음인 Negative 네마틱 액정 SLC-2(Shi jiazhuang Chengzhi Yonghua Display Material Co. Ltd.,China)을 사용하였다. 기판은 전면 ITO(Indium Tin Oxide)가 증착된 25*25*0.7t 유리기판을 사용하였다. 먼저 기판을 아세톤으로 15분 동안 초음파 세척한 후 200 °C의 오븐에서 10분 동안 건조하였다. 액정에 전압을 걸지 않았을 때 액정의 장축 방향이 수직으로 서도록 수직 배향막을 사용하여 세척된 ITO 유리 기판 위에 3000rpm으로 30초 동안 스펀코팅 하였다. 코팅된 기판을 200 °C의 Hot-palte 위에서 10분 동안 건조시켰다. 배향막이 코팅된 ITO 기판을 러빙한 후 러빙방향이 Anti-parallel 하게 부착하였다.

VA 모드 cell은 설계 기준에 맞추어 제작하면 투과율이 최대가 되며 Half-wave plate처럼 동작한다. 그래서 투과도를 구하는 공식인 식(1)을 사용하여 투과도(T)가 최대일 때의 조건에 맞는 cell gap을 구하였다.

$$T = \sin^2(2\phi)\sin^2\left(\frac{\pi d\Delta n}{\lambda}\right) \quad (1)$$

여기서 ϕ 는 러빙 각도, d 는 cell gap, Δn 은 액정의 복굴절률, λ 는 빛의 파장을 의미한다. 최대 투과도를 나타내는 조건은 수식(2)와 같다.

$$\sin^2\left(\frac{\pi d \Delta n}{\lambda}\right) = 1 \quad (2)$$

$$\frac{d \Delta n}{\lambda} = \frac{2m-1}{2} \quad (m = 1, 2, \dots, m)$$

Δn 의 값이 0.12이고, λ 값은 632nm 일 때, 계산된 d 의 값은 2.3k μm (k 은 정수)이므로, cell gap을 6.9 μm 로 제작하였다. 설계한 간격으로 cell gap이 맞게 제작되었는지 확인하기 위해 Spectrometer(Ocean Insight, MAYA 2000PRO)을 이용하여 투과율을 측정하고 후 Peak 파장을 계산하여 확인하였다. 제작한 셀에 Negative 액정을 모세관 효과로 주입하였다. 액정이 셀에서 흘러나오지 않도록 NOA63(Norland)을 이용해 실링 하였다.

2. VA 모드 cell 측정 방법

제작된 VA모드 cell의 인가된 전압에 따른 투과율을 측정하기 위해 632nm 파장의 레이저를 광원으로 사용하였다. 빛이 입사하는 방향의 기판에 수직인 방향으로 VA 모드 cell을 위치시켜 측정하였다. CCTV에 VA 모드 cell을 적용할 때는 편광 필름을 하나만 사용하지만, 측정에서 편광판을 두 개 사용한 이유는 Polarizer가 편광된 빛을 나타내고, Analyzer는 cell에 부착된 필름을 나타내기 위해서다. 전기광학적 특성을 분석하기 위해 Arbitrary Function Generator(GW Instek, AFG-2105), Digital Multimeter(FLUKE Calibration, 8808A)을 사용하였다. Function Generator를 사용하여 VA모드 cell에 1KHz의 Square waveform을 0~5V까지 0.1V 단위로 인가하면서 전압에 따른 투과율을 측정하였다.

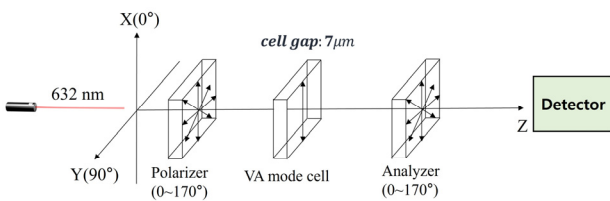


Fig. 1. Measurement method of VA mode cell.
그림 1. VA 모드 cell 측정 방법

III. 결과 및 토론

그림 2, 3, 4는 액정을 이용하여 VA 모드 cell을 만들어 0~10V의 1KHz Square wave를 0.1 V 단위로 인가하여 측정한 Polarizer와 Analyzer의 각도에 따른 V-T 특성을 그래프로 나타낸 것이다.

그림 2, 3, 4에서 Y축 값은 포토다이오드가 감지하는

빛의 세기이며 이는 투과율을 의미한다. 그림 2, 3, 4는 각기 다른 VA모드 cell 샘플을 측정한 것이다. VA 모드는 Half-wave plate의 성질을 갖기 때문에 이 특성을 고려하여 Polarizer와 Sample 사이의 각도에 대해 두 배가 되는 각도 $-20^\circ / 110^\circ$, $-45^\circ / 135^\circ$, $-60^\circ / 150^\circ$ 로 Polarizer와 Analyzer를 설정하고 측정하였다.

Half-wave plate란 선편광 된 빛이 Half-wave plate를 θ 의 각도로 통과하면, 2θ 만큼 편광축이 회전되어서 나오는 위상지연이다. VA 모드가 Half-wave plate의 성질을 갖는 이유는 Half-wave plate가 동작할 때 발생하는 위상지연과 액정의 굴절률로 인한 위상지연이 일치하여 VA 모드가 Half-wave plate로 동작된다. 실제 cell gap의 계산 값은 6.9 μm 이지만, 제작된 cell을 측정하고 결과 cell gap은 7 μm 로 측정되어 최대 투과도를 만족할 수 없다. 이때 최대 투과도를 보상할 수 있는 것이 액정의 굴절률이며, 액정의 굴절률은 액정의 방향자 각도에 따라 달라진다. 식(2)에서 Δn 이 맞춰져야 최대 투과도가 되기 때문에 전압이 완전히 수평으로 배열되는 전압보다 낮은 전압에서 Half-wave plate로 동작된다. VA 모드 cell은 액정분자가 수직으로 서있다가 수직으로 인가된 전압에 따라 액정분자가 수평으로 배열된다. 그에 따라 VA 모드 cell의 통과하는 빛의 투과율이 변화하게 된다.

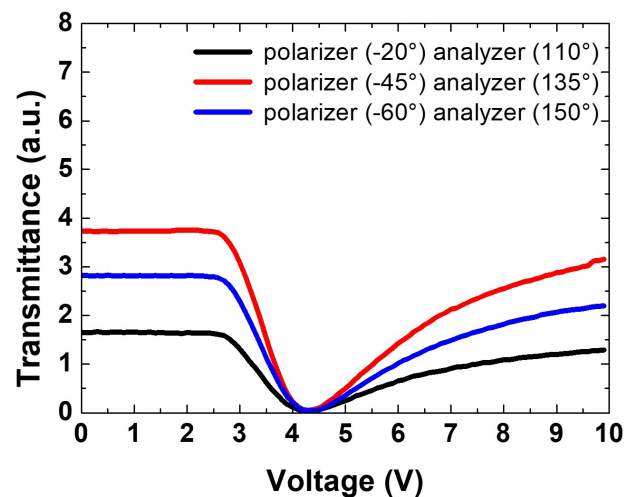


Fig. 2. Angular Dependent V-T Characteristics of VA mode sample 1 within Polarizer and Analyzer.
그림 2. Polarizer와 Analyzer 각도에 따른 VA 모드 sample 1의 V-T 특성

그림 2는 Polarizer의 각도를 -20° 로 위치시키고, VA 모드 cell에 인가한 전압이 4.4V일 때 cell이 Half-

wave plate로 동작한다. 그래서 빛이 VA 모드 cell 통과 시 20°로 위상이 변하고, 각도가 110°로 설정된 Analyzer에서 crossed polarizer가 되어 빛이 투과하지 못하는 것을 알 수 있다. 또한 그림 3과 그림 4에서 Polarizer의 각도를 -45°와 -60° 위치시키고, VA 모드 cell에 인가한 전압이 4.1V, 3.8V 일 때 cell이 Half-wave plate로 동작한다. VA 모드 cell 통과 시 45°, 60°로 위상이 변하여 각도가 135°, 150°로 설정된 Analyzer에서 빛이 투과되지 못하는 것을 알 수 있다.

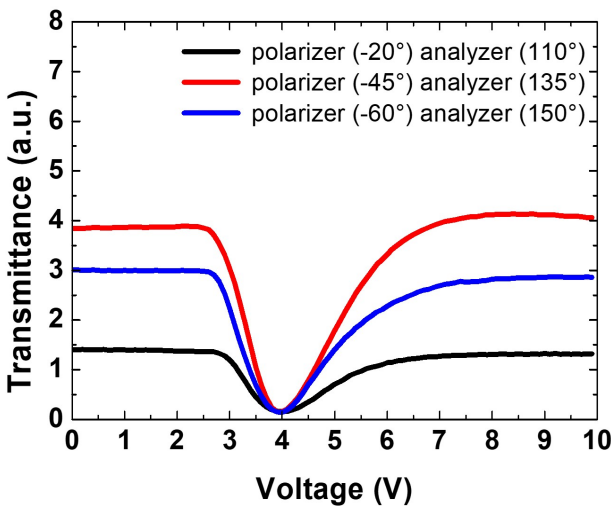


Fig. 3. Angular Dependent V-T Characteristics of VA mode sample 2 within Polarizer and Analyzer.
 그림 3. Polarizer와 Analyzer 각도에 따른 VA 모드 sample 2의 V-T 특성

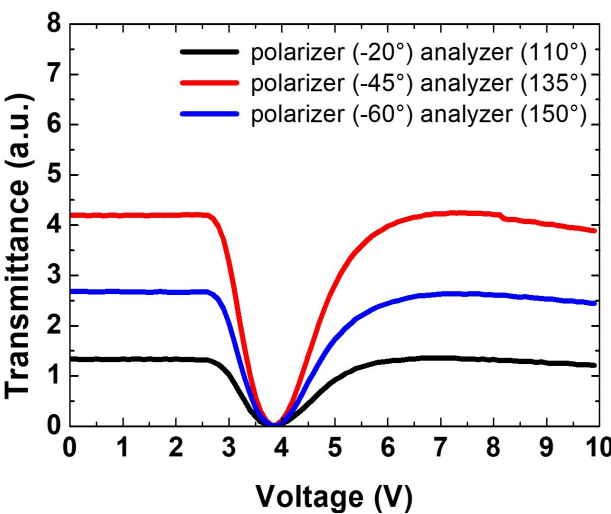


Fig. 4. Angular Dependent V-T Characteristics of VA mode sample 3 within Polarizer and Analyzer.
 그림 4. Polarizer와 Analyzer 각도에 따른 VA 모드 sample 3의 V-T 특성

이는 제작된 각각의 VA 모드 cell에서 Half-wave plate로 구동되는 전압이 4.4V, 4.1V, 3.8V 인 것을 의미한다. 각 cell마다 구동되는 전압이 다른 이유는 cell마다 cell gap이 조금씩 다르기 때문에 액정의 굴절률이 달라져서 구동되는 전압도 다르다.

VA 모드 cell에 인가된 전압에 따른 투과된 빛의 편광 비율을 분석하고, 소프트웨어 영상처리 프로그램에 적용하여 이미지를 최적화할 수 있는 데이터를 제공하였다.

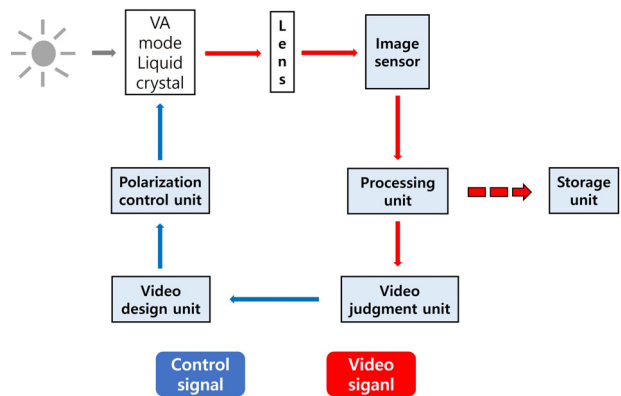


Fig. 5. Image optimization schematic diagram CCTV.
 그림 5. 영상감시 장치의 이미지 최적화 모식도

그림 5은 액정 편광 기능이 적용된 카메라에서 이미지 처리 되는 과정을 나타낸 모식도이다. VA 모드 액정 편광판이 적용된 영상감시 장치의 소프트웨어를 최적화하여 투과 편광방향을 전기로 조절하여 얻은 이미지의 편광 성분을 판단하고 이미지처리를 통해 사용자가 원하는 편광 이미지를 생성한다. 영상설계부에서는 이미지 처리하고자 하는 사용목적에 따라 최적 편광 이미지를 획득하도록 이미지처리 시퀀스를 설계하여 편광제어부 및 처리부를 제어한다. 영상판단부에서는 영상설계부의 설계에 따라, 여러 각도의 편광 이미지를 비교하여 이미지 처리하고자 하는 사용목적에 부합하는 편광 이미지를 선택한다. 최종적으로, 서로 다른 편광 각도의 영상 중 가장 선명한 영상을 판별하고, 해당 영상의 촬영 조건으로 촬영 후 소프트웨어를 통한 이미지 처리로 불필요한 편광 성분을 제거한다. 본 논문에서는 소프트웨어를 통한 최적화에 대한 기술을 다루지 않는다.

그림 6은 편광 카메라의 편광 선택 강화를 적용하기 전(좌측 사진)과 후(우측 사진)에 촬영한 사진이다. 그림 6(a), (b)는 편광카메라의 편광 선택 강화를 적용하여 수면에서 반사된 하이라이트를 최소화한 사진이다. 이를 적용하여 익수자 구조 시 발생하는 하이라이트를 제거하

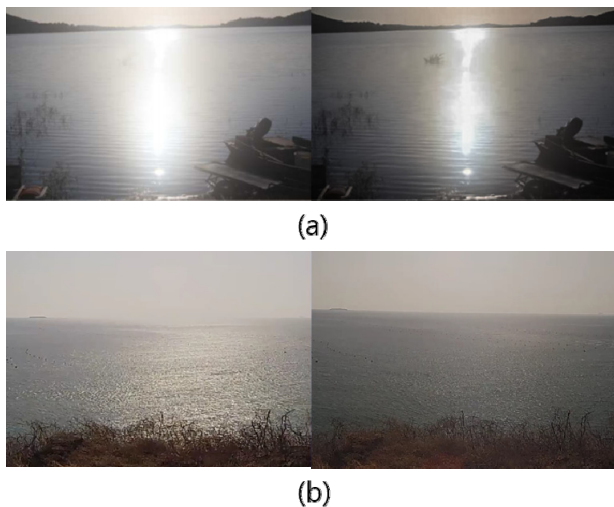


Fig. 6. Photos taken before (left) and after (right) applied polarization selection enhancement on a polarized camera.

그림 6. 편광 카메라의 편광 선택 강화를 적용하기 전(좌)과 후(우)에 촬영한 사진

여 익수자 구조의 어려움을 개선 할 수 있다. 편광은 전자기파가 진행될 때 빛을 구성하는 전기장과 자기장이 특정 방향으로 진동하는 현상을 나타낸다. 전기장 진동 방향이 입사평면과 수직할 경우 수직편광, 수평할 경우 수평편광이라고 한다. 수면에 무편광인 빛이 입사될 때, 특정 입사각에서 수직편광 성분의 반사만 일어나는데, 이때 이 입사각을 브루스터 각이라고 한다. 이는 무편광된 빛이 입사하는 물체 표면에서 일어나는 현상으로, 이 각도에서는 주로 특정 편광 성분만 반사되어 이 특정 편광 성분을 차단하면 수면에서 반사된 빛의 하이라이트를 효과적으로 제거할 수 있다. 편광 선택 강화를 적용한 그림 6(b)에서는 브루스터 각 근처에서의 편광이 강화되어 수면에서 반사된 빛 중 특정 편광 성분을 차단하여 하이라이트를 최소화했다. 이로 인해 겨울철 도로 위의 블랙 아이스와 같은 위험 상황을 감지하여 안전사고를 방지하고 발생 시 효과적으로 대응할 수 있다. 기존의 편광 CCTV와 달리 VA 모드 cell이 적용된 자동 편광 제어 CCTV를 활용하여 인가되는 전압을 조절하여 편광을 선택적으로 제어하여 사용자의 환경에 따라 적용할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 VA 모드 cell을 적용하여 편광을 선택적으로 제어할 수 있는 영상감시 장치용 자동 편광 제어 장치를 제안하였다. 기존의 편광필름이 적용된 CCTV와

달리 카메라에 입사되는 빛의 편광 각도를 전기적으로 조절하여 사용자가 원하는 각도의 편광만을 투과시킬 수 있다.

VA모드 cell에 인가된 전압의 변화에 따른 투과도를 측정하여 편광 성분을 분석하였다. 분석한 편광 데이터들은 컴퓨터 소프트웨어에 의해 최적화되어 이미지 처리되었다. VA 모드 cell이 적용된 편광 영상감시 장치는 이상기후로 인한 호우 및 침수 발생 시 수면 반사광을 제거해 피사체 식별에 용이하여 공공 및 민간의 안전에 큰 기여를 할 수 있을 것이라고 기대된다.

References

- [1] H. Tamayama, K. Ito and T. Nishimura, "Technology trends of high-definition digital still camera systems," *2002 Symposium on VLSI Circuits. Digest of Technical Papers* (Cat. No.02CH37302), pp.100-105, 2002.
DOI:10.1109/VLSIC.2002.1015056
- [2] S. Goma, M. Aleksic and T. Georgiev, "Camera Technology at the dawn of digital renaissance era," *2010 Conference Record of the Forty Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, pp.847-850, 2010.
DOI:10.1109/ACSSC.2010.5757686
- [3] Welsh, B., Farrington, D. Evidence-based Crime Prevention "The Effectiveness of CCTV. Crime Prev Community Safe" 6, 21-33 (2004).
- [4] Piza, EL, Welsh, BC, Farrington, DP, Thomas, AL. "CCTV Surveillance for crime prevention: A 40-year systematic review with meta-analysis. *Criminology & Public Policy.*" 18: 135-159, 2019.
- [5] S. Umeyama and G. Godin, "Separation of diffuse and specular components of surface reflection by use of polarization and statistical analysis of images," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, no. 5, pp. 639-647, May 2004.
DOI: 10.1109/TPAMI.2004.1273960
- [6] Z. Zhu, P. Xiang, F. Zhang, "Polarization-based method of highlight removal of high-reflectivity surface", *Optik*, 221, p.165345, 2020.
DOI: 10.1016/j.ijleo.2020.165345

[7] Pablo A. Valdes, Joseph P. Angelo, Hak Soo Choi, and Sylvain Gioux, "qF-SSOP: real-time optical property corrected fluorescence imaging," *Biomed. Opt. Express* 8, 3597-3605, 2017.
DOI: 10.1364/BOE.8.003597

BIOGRAPHY

Na-Kyung Lee (Member)



2023 : BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.
2023~present : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

Hyeon-Sik Ahn (Member)



2019 : BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.
2021 : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.
2021~present: PhD degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

Sung-Min Kim (Member)



2023: BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.
2023 ~ present : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

Min-Sang Kim (Member)



2018 ~ present: BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.

Seungseo Park (Member)



2011~present : CEO of SAI Technologies

Yoonseuk Choi (Member)



1999 : BS degree in Electrical Engineering, Seoul Nat'l Univ.
2006 : PhD degree in Electrical and Engineering, Seoul Nat'l Univ.
2006~2008 : Principal Researcher, Hanyang Univ.
2008~2010 : Post Doctoral Scholar, Case Western Reserve Univ.