

# 기능성 나노코팅 박막의 열처리 분위기에 따른 특성분석 및 오염방지 태양광 모듈제작

## Characteristic Analysis of Functional Nano-coating Films Synthesized according to the Annealing Ambient and Fabrication of Anti-pollution PV Module

강 현 일\* · 신 승 권\*\* · 김 형 철\*\* · 임 윤 식\*\*\* · 유 영 식\*\*\* · 정 연 호\* · 김 정 현\* · 최 원 석<sup>†</sup>  
(Hyunil Kang · Seung Kwon Shin · Hyungchul Kim · Yonnsik Lim · Youngsik Yoo ·  
Yeun-Ho Joung · Junghyun Kim · Won Seok Choi)

**Abstract** - We investigated that effects of annealing ambient on the characteristics of functional nano thin film synthesized on glass substrate. The functional nano thin films were annealed by using rapid thermal annealing (RTA) equipment in vacuum, oxygen and nitrogen ambient, respectively. The hardness of the functional nano thin films were measured by a standard hardness testing method (ASTM D3363) such as a H-9H, F, HB and B-6B pencil (Mitsubishi, Japan). Also, the adhesion of the functional nano thin films were measured by a standard adhesion testing method (ASTM D3359) using scotch tape (3M, Korea). The contact angle of the functional nano thin films was measured by a contact angle analyzer (Phoenix 300 Touch, S.E.O.). The optical property of functional nano thin films was measured via UV-visible spectroscopy (S-3100, Scinco).

**Key Words** : Functional coating, Hydrophilic, Surface self-cleaning, Anti-pollution PV module

### 1. 서 론

태양광발전은 신재생에너지원 중 가장 친환경적인 발전방식이라 할 수 있으며, 최근 일본 후쿠시마 원전사고를 기점으로 세계 태양광발전 시장이 지속적으로 성장하여 2018년까지 500 GW의 누적설비용량에 이를 것으로 예상되고 있다[1-3]. 옥외에 설치된 태양광모듈은 먼지, 황사, 동물의 배설물, 강우퇴적물 등 다양한 표면 오염물질에 노출 되어 있다. 이는 태양광모듈로 입사하되 태양광의 감소를 초래하게 되어 발전효율을 저하시키는 주요한 요소이다. 따라서 최근 태양광모듈 표면의 오염을 효과적으로 차단하는 다양한 연구가 진행 중이다[4, 5].

최근 연구되고 있는 태양광모듈 표면 코팅소재는 오염방지 기능 이외에도 옥외의 가혹한 온도차 및 외부 충격과 같은 물리적 환경과 동물의 배설물 같은 화학적 환경을 견뎌야 하며 광학적으로도 95% 이상의 투광도가 요구되고 있다 [6, 7]. 현재 설치되고 있는 태양광 발전소는 많은 발전을 위하여 대면적으로 설치되고 있으며 표면세정을 포함한 유지보수에 시간과 비용이 많이 소요되고 있다. 때문에 자연광

우에 의해 쉽게 오염물질이 제거될 수 있다면, 태양광발전시스템의 경제성을 크게 제고할 수 있다. 이러한 광학적, 화학적, 기계적 특성을 갖는 코팅소재를 개발하기 위해서는 혁신적 원천소재 및 코팅공정개발이 필요하다. 광촉매를 사용한 표면 자기 세정 코팅기술이 개발되었으나 낮은 접착성 및 경도 등의 내구성 문제와 고비용, 시공의 높은 난이도, 촉매작용을 일으키는 필수적인 에너지원의 요구, 높은 시설 투자비 및 낮은 수율 등의 문제점이 있다[8]. 또한 광촉매 이외의 김서림 방지제, 결로 방지제, 오염방지 열차단 흡수제 등이 커버글라스 내오염 기술로 개발되어 모듈제작에 적용되었으나 효과가 미미한 실정이다[9].

따라서 본 논문에서는 태양광 모듈의 효과적인 자기 세정력을 향상시킬 수 있는 새로운 나노코팅 기술을 제안하고자 한다. 나노코팅 기술을 태양광 모듈에 적용하기에 앞서 유리기관위에 나노물질을 코팅하여 내오염 특성을 분석하였다. 내오염 특성분석에는 질소, 산소 및 진공 분위기에서 나노코팅물질을 열처리하여 접촉각, 자기 세정 특성, 강도 및 표면 접착력 등이 사용되었다. 이후 최적화된 나노코팅 조건을 태양광모듈에 적용하여 내오염 특성을 분석하였다.

### 2. 실험방법

태양광 모듈의 내오염성 특성을 향상시키기 위해 사용된 나노코팅물질은 실리콘(SiO<sub>2</sub>), 리튬(Lithium), 칼륨(Kalium) 등이 포함된 무기질이다. 나노코팅물질의 점성은 1~3 cP이고, 밀도는 1.1 g/cm<sup>3</sup>이며, 비중은 1.13 ± 0.05로 금속, 세라믹 및 유리 등 다양한 물질에 코팅이 가능하다.

유리(Corning glass)기관에 나노물질을 코팅하기에 앞서

<sup>†</sup> Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering,  
Hanbat National University, Korea

E-mail : wschoi@hanbat.ac.kr

\* Hanbat National University, Korea

\*\* Korea Railroad Research Institute, Korea

\*\*\* Yeosu Institute of Technology, Korea

접수일자 : 2015년 8월 3일

수정일자 : 2015년 8월 12일

최종완료 : 2015년 8월 18일

유리기판을 트리클로렌(trichloroethylene), 아세톤(acetone), 메탄올(methanol) 그리고 증류수(D.I. water)에서 각각 10분간 초음파 세척을 하였다. 나노코팅물질은 스프레이(spray) 방식에 의해 유리기판 위에 코팅 되었고, 전자 오븐(oven)에서 290°C로 20분간 건조되었다. 나노코팅물질의 열처리 분위기에 따른 특성을 분석하기 위하여 급속열처리 장치인 RTA (Rapid Thermal Annealing)를 사용하여 질소(N<sub>2</sub>), 산소(O<sub>2</sub>) 및 진공(vacuum) 분위기에서 각각 800°C에서 5분간 열처리 되었다. 본 논문에서는 먼저 유리기판위에 코팅을 수행하고 이를 바탕으로 얻은 최적화된 조건하에 40×20 cm<sup>2</sup> 크기의 태양광 모듈 용 저철분 커버글라스에 코팅을 수행하고 코팅된 모듈과 일반모듈을 제작하여 내오염 특성을 비교하였다.

나노코팅물질의 두께는 AEP사의 NANOMAP 500LS를 이용하여 측정하였고 두께는 1.7 μm로 유지하였다. 나노코팅물질의 접촉각 측정에는 S.E.O.사의 Phoenix 300 Touch가 사용되었다. 나노코팅물질의 강도 측정에는 미국재료시험학회 측정 방법인 ASTM D3363으로 CORE TECH, Korea사의 강도측정기를 사용하였고, 점착특성은 미국재료시험학회 표면 점착력 측정 방법인 ASTM D3359로 Mitsubishi사의 H-9H, F, HB 및 B-6B를 사용하였다. 광학 특성 분석에는 Scinco사의 S-3100 UV-visible spectroscopy가 사용되었다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 질소, 산소 및 진공 분위기에서 열처리된 나노코팅물질의 물방울 접촉각 특성을 보여주고 있다. 질소 분위기, 산소 분위기에서 열처리 된 나노코팅물질의 접촉각은

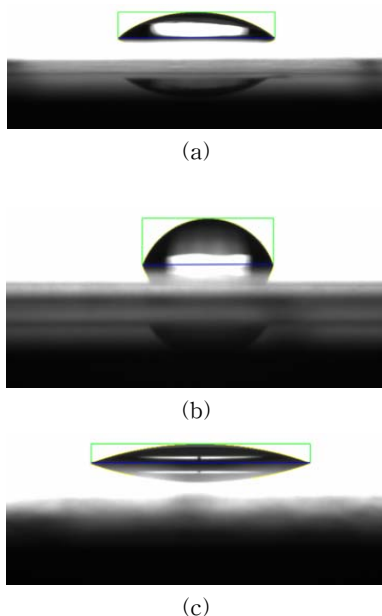


그림 1 기능성 나노코팅된 유리기판의 열처리 분위기에 따른 접촉각, (a) 질소, (b) 산소, (c) 진공

Fig. 1 Contact angles of functional nano coated glass substrate according to the annealing ambient, (a) N<sub>2</sub>, (b) O<sub>2</sub>, and (c) vacuum

각각 44.1°와 65.8°이었다. 그러나 진공 분위기에서 열처리된 나노코팅물질의 접촉각은 18.4°로 세 가지 샘플 중 가장 우수한 친수성 특성을 나타냈다.

그림 2는 질소, 산소 및 진공 분위기에서 열처리된 나노코팅물질의 자기 세정특성을 보여주고 있다. 스프레이 코팅 공정방식으로 유리기판위에 나노물질을 코팅하고 검정, 빨강 및 파랑의 삼색 유성펜을 사용하여 다음 그림과 같이 표시하였다. 유성펜의 자연 건조 후 물을 사용하여 세척한 결과 그림 2의 (c)와 같이 진공 분위기에서 열처리된 시편이 가장 우수한 세척 특성을 보였다. 이러한 결과는 그림 1의 결과와 일치하는 것으로 진공 분위기에서 나노코팅물질을 열처리 하였을 경우 물에 의한 세척 특성이 우수하다는 것을 보여준다.

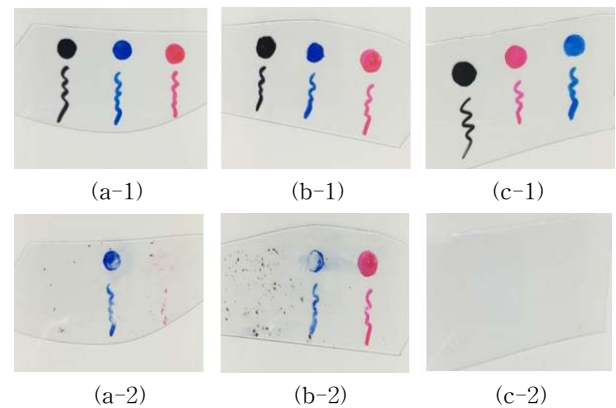


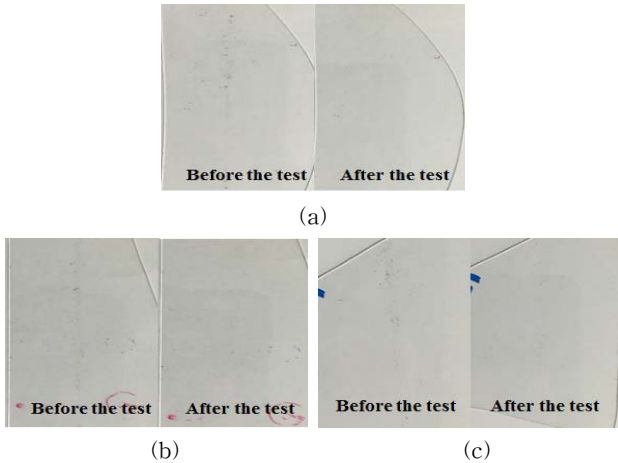
그림 2 기능성 나노코팅된 유리기판의 자기 세정 특성, 테스트 전 (a-1, a-2, a-3), 물 뿌림 후 (a-1, a-2, a-3), (a-1, a-2) 질소 분위기 열처리, (b-1, b-2) 산소 분위기 열처리, (c-1, c-2) 진공 분위기 열처리

Fig. 2 Self-cleaning test of functional nano coated glass substrate, before the test (a-1, a-2, a-3), after water drop (a-1, a-2, a-3), (a-1, a-2) annealed N<sub>2</sub> ambient, (b-1, b-2) annealed O<sub>2</sub> ambient, (c-1, c-2) annealed vacuum ambient

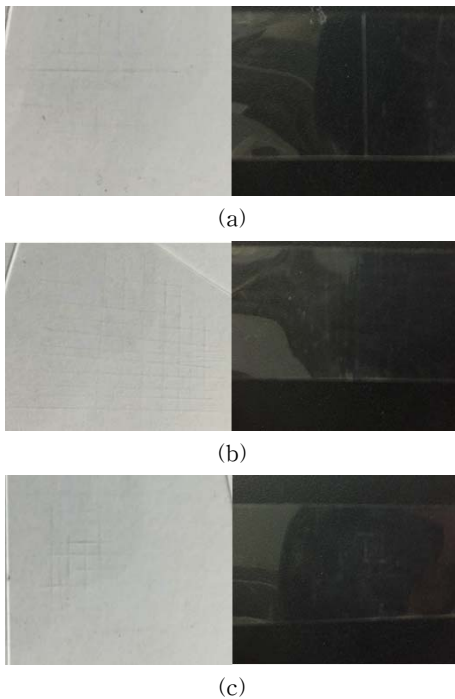
그림 3은 질소, 산소 및 진공 분위기에서 열처리된 나노코팅물질의 강도 특성을 보여준다. 강도는 미국재료시험학회 측정 방법인 ASTM D3363으로 측정되었으며 세 가지 샘플 모두 9 H등급의 우수한 강도 특성을 나타냈다.

그림 4는 질소, 산소 및 진공 분위기에서 열처리된 나노코팅물질의 표면 점착력 특성을 보여준다. 미국재료시험학회 표면 점착력 측정 방법인 ASTM D3359 방법이 사용되었다. ASTM D3359 방법은 테이프 시험에 의한 점착력 측정에 대한 표준 시험이다. 측정 결과 모두 5 B 등급의 우수한 표면 점착력 특성을 나타냈다.

그림 5는 질소, 산소 및 진공 분위기에서 열처리된 나노코팅 시편의 UV-visible 장비를 사용하여 광투과도를 측정 한 결과이다. 모든 경우 우수한 광투과도 특성을 나타냈다. 이러한 결과는 본 논문에서 사용한 기능성 나노코팅막은 광투과도에 영향은 미치지 않고 기계적 특성은 우수하며 또한 우수한 자기 세정 능력을 갖춘 것을 보여준다. 이러한 결과를 바탕으로 본 기능성 나노물질을 태양광 모듈 커버글라스



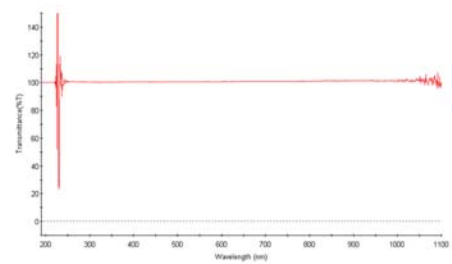
**그림 3** 기능성 나노코팅된 유리기판의 열처리 분위기에 따른 강도 테스트 전후 사진, (a) 질소, (b) 산소 (c) 진공  
**Fig. 3** Before and after picture of hardness test of functional nano coated glass substrate according to the annealing ambient, (a) N<sub>2</sub>, (b) O<sub>2</sub>, and (c) vacuum.



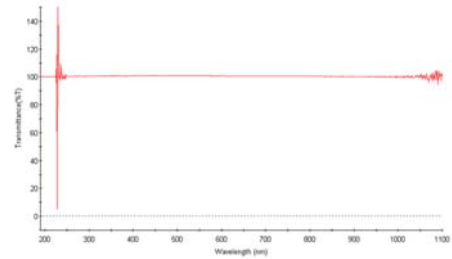
**그림 4** 기능성 나노코팅된 유리기판의 열처리 분위기에 따른 표면 접착력 테스트 사진, (a) 질소, (b) 산소, (c) 진공  
**Fig. 4** Surface adhesion test picture of functional nano coated glass substrate according to the annealing ambient, (a) N<sub>2</sub>, (b) O<sub>2</sub>, and (c) vacuum

에 활용하여 특성분석을 수행하였다.

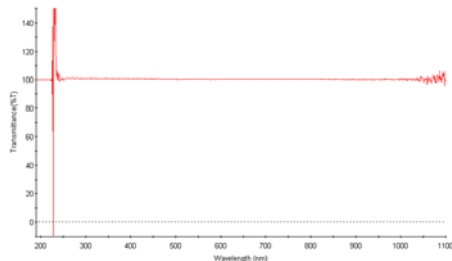
그림 6(a-1, a-2)은 일반적인 태양광 커버글라스를 사용하여 제작한 태양광 모듈의 내오염 특성분석 결과이며, 그림 6(b-1, b-2)는 태양광 커버글라스에 스프레이 방식으로 기능



(a)



(b)



(c)

**그림 5** 기능성 나노코팅된 유리기판의 열처리 분위기에 따른 광투과도, (a) 질소, (b) 산소, (c) 진공  
**Fig. 5** Optical properties of functional nano coated glass substrate according to the annealing ambient, (a) N<sub>2</sub>, (b) O<sub>2</sub>, and (c) vacuum

성 나노코팅을 수행하고 유리기판을 통해 확인한 최적의 열처리 분위기인 진공분위기에서 열처리하여 제작한 커버글라스를 사용하여 제작한 태양광모듈의 특성분석 결과이다. 기능성 나노코팅이 되지 않은 경우 유성매질이 물에 반응하지 않고 그대로 남아 있었다. 그러나 나노코팅을 수행한 태양광 모듈은 물에 반응하여 유성펜이 제거된 결과를 얻었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 유리기판 위에 코팅된 기능성 나노코팅의 열처리 분위기에 따른 특성 변화를 확인하였다. 열처리 분위기에 따른 특성변화를 확인하기 위해 유리기판 위에 나노물질을 코팅한 후 접촉각 측정결과 진공상태에서 열처리된 시편의 경우 가장 낮은 18.4°를 확인하였다. 또한 물 뿌림을 통한 자기 세정 특성분석 결과 모든 시편이 우수한 내오염 특성을 가졌고 진공분위기에서 열처리한 경우 가장 우수한 내오염 특성을 나타내었다. 강도 및 접착력 특성과 UV-visible을 사용한 광투과도 특성 분석 결과 모든 시편에

기 세정 능력을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 본 논문에서 제안한 나노코팅물질을 태양광 모듈에 적용하였을 경우 내오염 특성 향상을 기대해 볼 수 있다.

**감사의 글**

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(PK1503B)의 지원으로 수행되었음

**References**

[1] V.V. Tyagi, Nurul A.A. Rahim, N.A. Rahim, and Jeyraj A./L. Selvaraj, "Progress in solar PV technology: Research and achievement", *Renew. Sust. Energ. Rev.*, Vol.20, pp.443-461, 2013.

[2] F. Cao, K. Chen, J. Zhang, X. Ye, J. Li, S. Zou, and X. Su, "Next-generation multi-crystalline silicon solar cells: Diamond-wire sawing, nano-texture and high efficiency", *Sol. Energ. Mat. Sol. C.*, Vol.141, pp.132-138, 2015.

[3] P. G. Jordan, "The Solar Labor Market—Efficiencies and Productivity", *Solar Energy Markets*, pp.111-126, 2014.

[4] X. Li, Y. Zhou, L. Xue, and L. Huang, "Integrating bibliometrics and roadmapping methods: A case of dye-sensitized solar cell technology-based industry in China", *Technol. Forecast. Soc.*, Vol.97, pp.205-222, 2015.

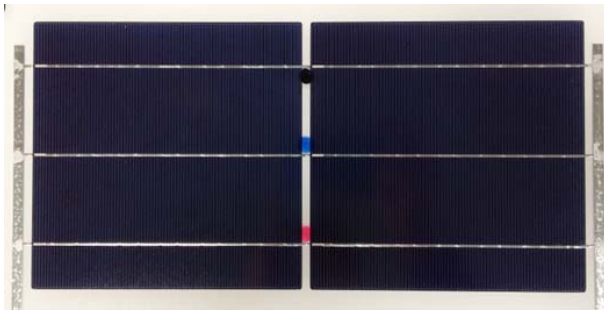
[5] C. Liu, X. Zhang, J. Li, Y. He, Z. Li, H. Li, W. Guo, and W. Xie, "The role of phosphor nanoparticles in high efficiency organic solar cells", *Synthetic Met.*, Vol.204, pp.65-69, 2015.

[6] M. Isshiki, P. Sichanugrist, Y. Abe, T. Oyama, H. Odaka, and M. Konagai, "New method to measure whole-wavelength transmittance of TCO substrates for thin-film silicon solar cells" *Curr. Appl. Phys.*, Vol.14, pp.1813-1818, 2014.

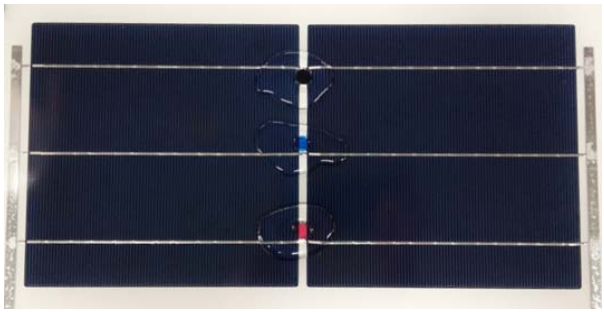
[7] W. Yu, L. Shen, P. Shen, F. Meng, Y. Long, Y. Wang, T. Lv, S. Ruan, and G. Chen, "Simultaneous improvement in efficiency and transmittance of low bandgap semitransparent polymer solar cells with one-dimensional photonic crystals" *Sol. Energ. Mat. Sol. C.*, Vol.117, pp.198-202, 2013.

[8] M. Wu, Y.N. Lin, H. Guo, T. Ma, and A. Hagfeldt, "Highly effective Pt/MoSi<sub>2</sub> composite counter electrode catalyst for dye-sensitized solar cell" *J. Power Sources*, Vol.263, pp.154-157, 2014.

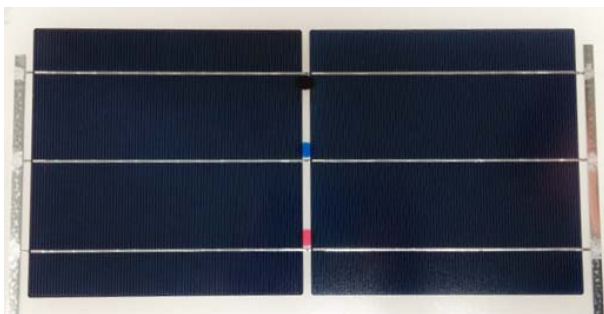
[9] J.T. Park, J.H. Kim, and D. Lee, "Excellent anti-fogging dye-sensitized solar cells based on superhydrophilic nanoparticle coatings", *Nanoscale*, Vol.6, pp.7362-7368, 2014.



(a-1)



(a-2)



(b-1)



(b-2)

**그림 6** 태양광 모듈의 내오염 특성 비교, 일반 태양광모듈 테스트 전 (a-1), 테스트 후 (a-2), 기능성 코팅된 태양광모듈 테스트 전 (b-1), 테스트 후 (b-2)

**Fig. 6** Comparison of anti-pollution properties, normal PV module before the test (a-1), after the test (a-2), functional coated PV module before the test (b-1), after the test (b-2)

서 우수한 기계적, 광학적 특성을 나타내었다. 특히 진공 분위기에서 열처리된 시편을 실제 태양광 모듈에 적용하여 물에 의한 내오염 특성을 분석을 수행한 결과 매우 우수한 자

저 자 소개



**강 현 일 (姜 賢 一)**

2007년 성균관대 전기전자공학과 졸업(공학박사), 2007~2008년 성균관대 정보통신공학부 연구교수, 2009~2011년 서울메트로 전문위원, 2011년~현재 한밭대학교 정보기술대학 전기공학과 부교수  
E-mail : hikang@hanbat.ac.kr



**신 승 권 (申 勝 權)**

2001년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학박사). 2003년~현재 한국철도기술연구원 선임연구원  
E-mail : skshin@krri.re.kr



**김 형 철 (金 炯 徹)**

2003년 Texas A&M Univ. 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 철도기술연구원 책임연구원.  
E-mail : hckim@krri.re.kr



**임 윤 식 (林 潤 植)**

1998년 성균관대 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사), 1993년 에너지관리공단 근무, 1998년~현재 여주대학교 전기과 부교수  
E-mail : elecys@yit.ac.kr



**유 영 식 (兪 榮 植)**

1999년 성균관대 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사), 1993년~현재 여주대학교 전기과 교수  
E-mail : steelman@yit.ac.kr



**정 연 호 (鄭 年 皓)**

2003년 Georgia Institute of Technology ECE 졸업(공학박사), 2005~2010년 CardioMEMS 책임연구원, 2010년~현재 한밭대학교 정보기술대학 전자제어공학과 부교수  
E-mail : yhjyoung@hanbat.ac.kr



**김 정 현 (金 正 顯)**

2009년 한국과학기술원 기계항공시스템학부 공학박사. 2009~2011년 University of St. Andrews, Research Fellow 2011년~현재 한밭대학교 공과대학 신소재공학과 부교수  
E-mail : jhkim2011@hanbat.ac.kr



**최 원 석 (崔 源 錫)**

2006년 성균관대 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사), 2006~2007년 플라즈마 응용 표면기술연구센터 박사후연구원, 2007년~현재 한밭대학교 정보기술대학 전기공학과 부교수