

## 3D 스캔 시 품질향상을 위한 스프레이 도포 자동화 장비 개발

김원섭<sup>1</sup>, 조재흥<sup>1</sup>, 김동수<sup>2</sup>, 김동규<sup>3</sup>, 홍석무<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>한남대학교 광·센서공학과, <sup>2</sup>디엔에스 개발팀, <sup>3</sup>OMAGOM 메트로로지연구팀

<sup>4</sup>국립공주대학교 금형설계공학과

## Development of Auto-spray system to improve the quality of 3D Scanning Quality

Wonseop Kim<sup>1</sup>, Jae Heung Jo<sup>1</sup>, Dongsu Kim<sup>2</sup>, Donggyoo Kim<sup>3</sup>, Seokmoo Hong<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Photonics and Sensor, Hannam University

<sup>2</sup>Development Team, DNS, <sup>3</sup>Metrology Research team, OMAGOM

<sup>4</sup>Department of Metal-Mold Design Engineering, Kongju National University

**요약** 3D 프린터의 증가에 따라 대량 생산이 아닌 소량 제품의 빠른 개발 시간을 고려하여 3D 스캐너의 활용도 점차 증가하고 있다. 소량 생산 개발 트렌드뿐만 아니라 최근 자동차 및 전자부품의 제조업에 있어서도 정밀 부품의 개발 및 검사, 측정 등의 품질 문제가 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 최근 3D 스캐너 장비 효율성 및 인식기술은 지속적으로 향상되었지만, 이에 반해, 이를 준비하는 스프레이 작업은 시간이 많이 걸리고 환경문제가 유발되기 때문에 제조업 제품 개발자들은 자동스프레이 도포 시스템 개발에 대해 지속적으로 요구해 왔다. 본 연구를 통해서 3D 스캔 준비 작업으로 필요한 스프레이 자동 도포 장비를 개발하였으며, 스프레이 도포 시 균일하게 미세 분말이 도포 될 수 있도록 파라미터 세팅에 대해 실험적으로 연구하였다. 결과적으로 빠르고 쉬운 자동 스프레이 도포 장비가 개발 되었고, 이를 활용해서 3D 측정을 위한 준비 시간이 기존 대비 1/10수준으로 단축되었다. 또한 다양한 조건에 대한 비교를 통해 최적의 도포 조건을 실험적으로 제시하였다.

**Abstract** The use of 3D scanners has increased gradually according to increasing 3D printer applications. The precision inspection of car parts or electronic components is an important issue not only in the field of mass production, but also in small-scale production. Recently, 3D scanner equipment efficiency and recognition technology has been improved continuously. On the other hand, the spraying time to prepare 3D scanning is time-consuming and has environmental problems. Therefore, an automatic spray system has been in demand by the manufacturing industry. Automatic spray equipment was newly developed for the preparation of a 3D scanner. In this research, the automatic spray system guarantees uniform spray operation. To determine the optimal spray parameters, various spraying methods, solutions and conditions were tested and compared with the experiments. The preparation time for 3D scanning was reduced to 1/10 compared to the manual spraying time, and indicates the optimal spraying conditions through a comparison of various spray coating conditions.

**Keywords :** 3D scanner, Air brush spray, Can spray, Optical measurement, Reverse engineering

### 1. 서론

3D 프린터의 증가에 따라 대량 생산이 아닌 소량 제

품의 빠른 개발 시간을 고려하여 3D 스캐너의 활용도 점차 증가하고 있다. 소량 생산 개발 트렌드뿐만 아니라 최근 자동차 및 전자부품의 제조업에 있어서도 정밀 부

본 논문은 한남대학교 대학원 김원섭의 석사학위 논문을 요약하여 작성되었음.

\*Corresponding Author : Seokmoo Hong(Kongju National Univ.)

Tel: +82-41-521-9268 email: smhong@kongju.ac.kr

Received November 16, 2015

Revised (1st March 24, 2016, 2nd April 6, 2016)

Accepted April 7, 2016

Published April 30, 2016

품의 개발 및 검사, 측정 등의 품질 문제가 중요한 이슈로 떠오르고 있다.

3D 스캔을 위한 장비로는 접촉식, 비접촉 방식으로 구분되며, 비접촉 방법 광학스캔 방법으로는 레이저방식과 스테레오 카메라 인식 방법이 대표적으로 사용되고 있다. 사용광원으로는 할로겐 광원이 대표적이며, 최근 LED의 발전으로 Blue계열의 LED를 많이 사용하고 있다. 광학 스캐너는 물체의 면으로부터의 반사되는 빛을 기반으로 분석하기 때문에, 반사광의 품질, 투과도 등에 스캔되어진 데이터의 인식률의 차이가 생기게 된다. 어두운 색 또는 플라스틱 제품의 경우에는 매우 좋은 스캔 인식률을 갖는데 비해, 반짝이는 금속 제품이나 빛이 투과되는 플라스틱 제품은 스캔 인식에 제한이 있을 수밖에 없다. 따라서 반짝이거나 금속 제품의 경우에는 이를 극복하기 위해 3D 스캔 준비 작업으로 무반사 스프레이를 도포하게 된다. 이러한 스프레이 도포의 방식에는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫째로 산업에서 금형의 균열이나 결함을 검출하기 위해 사용되는 침투탐상검사 현상액을 사용하여 물체의 반사를 제거하는 방법이 있으며, 두 번째로  $TiO_2$  분말을 알코올에 희석하여 분사 총(spray-gun)과 압축 공기를 연결하여 제품에 도포하는 방법이 있다(Fig. 1). 이와 같은 일반적인 스프레이 도포는 작업자에 의해 수동으로 진행하게 되며, 수동방식의 스프레이 도포의 경우, 작업자의 역량에 따라 샘플의 퀄리티가 달라질 뿐 아니라, 샘플수가 증가하게 되었을 경우, 실제 3D 스캔 작업보다 준비 작업에 대부분의 시간을 소비하는 단점이 존재한다. 매뉴얼로 스프레이 용액( $TiO_2$  + 다른 용매)를 제조하여 사용할 경우 또한 밀착성이 보장되지 않는 문제점이 있다[1-6].

최근 3D 스캐너 장비 효율성 및 인식기술은 지속적으로 향상되었지만, 이에 반해, 이를 준비하는 스프레이 작업은 시간이 많이 걸리고 환경문제가 유발되기 때문에 제조업 제품 개발자들은 자동스프레이 도포 시스템 개발에 대해 지속적으로 요구되어 왔다 [7,8]. 따라서 본 연구서는 3D 스캔 준비 작업으로 필요한 스프레이 자동도포 장비를 개발하였으며, 스프레이 도포 시 균일하게 미세 분말이 도포 될 수 있도록 지그 설계법 및 파라미터 세팅에 대해 실험적으로 연구하였다.

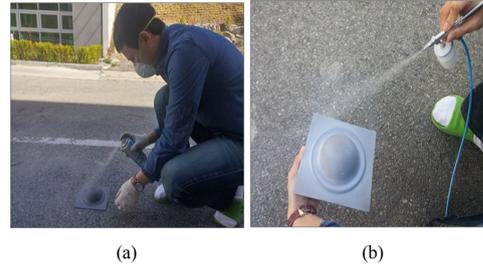


Fig. 1. Process of manual spray  
(a) can spray (b) fine spray using air brush

## 2. 자동 스프레이 장비 개발

3차원 형상의 측정 대상물에 균일한 도포를 위해서 자동 3차원 표면 스프레이 도포 장비가 개발되었다. 장비의 콘셉트 및 외관은 Fig. 2에 나타내었으며 측정 가능한 최대 가능 사이즈는 420mm X 420mm X 300mm이며 최소 5mm<sup>3</sup> 제품 사이즈까지 가능하다.



Fig. 2. 3D auto surface preparation system

3차원 형상에 대해 균일한 도포를 보장하기 위해 스프레이 측은 4축의 자동 콘트롤러, 1축의 수동 축 그리고 회전 테이블로 구성되어 있다. 제품의 품질 향상을 위해서 진공(air vacuuming) 장비로 구성되었다. 진공 수준은 최소 30mmAq/Max. Flow 7.5m<sup>3</sup>/min 이다. 3D 시편 위에 균일하게 도포되는 자동화 시스템 구성은 Fig. 3과 같은 프로세스로 진행된다. 우선 분사 노즐의 자동 클리닝을 통해 노즐의 막힘과 불균일 분사를 미연에 방지한다. 다음으로 사용자가 지정한 분말의 비로 자동 혼합 과정을 거쳐 고르게 분말들이 분산될 수 있도록 준비한다. 그리고 지정된 3차원 도포 경로에 따라 자동 스프레이 도포 시스템이 동작한다. 이 때 자주 사용되는

제품의 경우, 템플리트(template) 기능을 제공하여 시행착오 없이 최적의 스프레이 도포가 가능하도록 개발되었다. 본 장비를 통해 빠르고 쉬운 자동 스프레이 도포가 가능해졌다. 3D 측정을 위한 준비 시간이 기존 수동 스프레이 도포 시간이 대략 1시간 소요된 반면 본 장비 적용 후 대략 5-6분이 소요되어 기존 대비 1/10수준으로 준비 시간이 단축되었다.

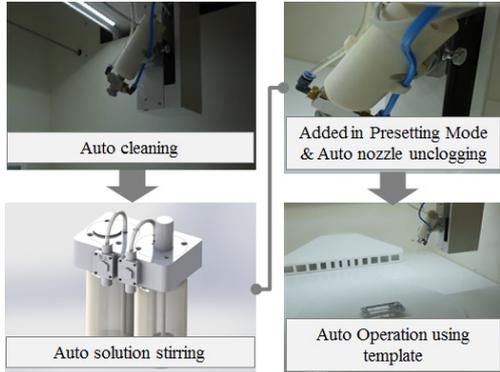


Fig. 3. Process of auto operation

### 3. 균일 도포 비교 실험

기본적으로 3차원 스캐너는 구조화된 빛과 삼각측량법을 이용하여 계측되어진다. 본 실험에 사용된 ATOS III TS 스캐너는 2개의 카메라를 이용한 삼각측량법과 중앙에 하나의 프로젝션을 사용한 위상을 투영하는 방식이다. 3 차원 스캐닝 장비로는 독일 GOM 사의 ATOS III TS가 사용되었다. ATOS III TS 스캐너는 5 $\mu$ m(마이크로미터) 정확도를 가지며 최대 8백만 포인트의 해상도를 가진다[9].

위와 같은 위상천이 방법을 사용함에 있어 중요한 사항은 물체 표면에 투영된 패턴의 선명도이다. 일반적인 종이와 같이 투과나 반사가 없는 제품은 투영된 패턴의 모듈레이션 값이 좋지만, 검거나 반사가 있는 제품은 모듈레이션 값이 작아 스캐닝시 정밀도에 많은 영향을 주게 된다. 이러한 표면 조도효과를 최소화 하여야 한다.

빛이 투과하는 제품과 표면에서 빛의 반사가 심한 제품일 경우 스프레이 도포는 절대적으로 필요하기 때문에, 본 연구에서는 스프레이 도포를 위한 측정 대상물로 빛이 투과하는 유리와 스테인리스 금속 두 가지를 측정

대상으로 삼았다. 개발된 3차원 스프레이 도포 시스템은 다수의 제품을 동시에 균일 스프레이 도포를 할 수 있기 때문에, 5인치 휴대폰 사이즈의 유리와 금속판재를 선택하였으며, 최대 12개의 샘플에 동시 스프레이 도포하여 동일한 조건에서 스프레이 분포도의 비교가 가능하였다.

### 3.1 서로 다른 스프레이 방법에 따른 도포량 비교 실험

스프레이가 도포된 제품은 위에서 소개된 3차원 스캐너 장비인 ATOS III TS에 의해서 측정되고, 자체 내장된 소프트웨어를 통해 3차원 클라우드 포인트로 인식된다. 인식된 3차원 클라우드 포인트로부터 사각 블록의 평탄도, 구의 반경 등을 Fig. 1과 Fig. 2에서 보여지는 바와 같이 스프레이 캔, 에어 브러시 미세 도포법 그리고 자동 스프레이 장비 도포법에 대해 각각 비교 분석하였다. 스프레이 캔을 사용하여 매뉴얼 스프레이 도포 시에는 최대 40 $\mu$ m 두께 편차를 보였다(Table 2). 따라서 캔 사용 도포 시 매우 주의 하여 도포하는 것이 필요하고, 복잡한 3차원 형상의 경우 측정 결과에 스프레이로 인한 오차가 생길 수 있음을 감안해야 한다. 에어 브러시를 이용한 미세 도포법 및 자동 스프레이 장비 사용 시 거의 두께 편차를 볼 수 없는데, 스프레이로 인한 두께변화는 약 2 $\mu$ m로 확인되었다.

### 3.2 서로 다른 시편과 서로 다른 조건에 따른 스프레이 도포량 비교 실험

Fig. 4 에서는 시편의 스프레이 도포 과정을 보여 주고 있는데, 스프레이 도포 시 실제 제품에 도포되는 도포량을 확인하는 방법으로 전체 제품 위를 스프레이 도포하지 않고, 제품의 절반만 스프레이 도포하여 도포 전과 도포 후의 도포량을 비교 하였다. 우선 Fig. 4의 첫 번째 그림처럼 정밀도가 우수한(1 $\mu$ m 가공 공차) 사각 판형의 시편을 준비하였다. 사각 시편은 금속과 플라스틱으로 구분되며, 제조 산업에서 많이 사용되는 SUS 304, Al 5052, PC 그리고 ABS 시편으로 준비하였다. 그리고 준비한 여러 스프레이 방법들에 따라 균일하게 도포되는지 여부를 확인하였다. 스프레이 도포 테스트 시편은 기름 등의 불순물 제거를 위해 알코올로 표면을 깨끗하게 세척하였다. 그리고 측정을 위한 reference points를 부착하였다. 도포 방법으로는 미세 스프레이 도포법을 이용하여 도포하였다. 시험에 사용된 용액은 TiO<sub>2</sub>에 알코올

을 혼합한 용액과 TiO<sub>2</sub>에 일반 H<sub>2</sub>O를 혼합한 용액 사용하였으며, 도포된 시편은 3차원 스캐너에 의해 반복 측정하였다.

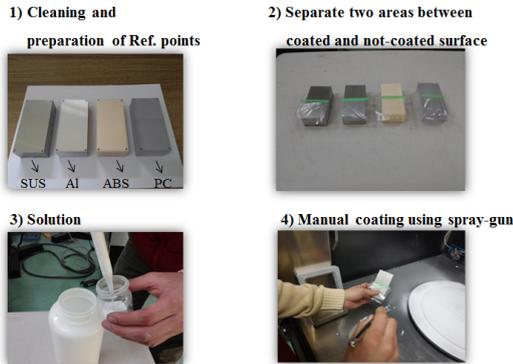


Fig. 4. Specimen preparation and the process of spray on specimen

다양한 소재 및 다양한 용액 조건에 따른 스프레이 편차를 측정하여 Table 1 에 결과를 정리하였다. 실험 결과로 미세 SPRAY-GUN으로 4번 도포하여 측정면적 100mm x 80mm 면적으로 측정하였을 때, TiO<sub>2</sub> + 알코올 / H<sub>2</sub>O Base는 다양한 금속과 플라스틱에 대해 거의 스프레이 도포 두께에 대한 차이가 없음을 확인하였다.

### 3.3 서로 다른 촉매에 따른 도포량 비교 실험

TiO<sub>2</sub>의 혼합물을 제조할 때 사용되는 촉매에 따라 도포량이 달라지는 것을 확인하기 위해, 서로 다른 두 가지의 촉매를 사용하여 도포량을 비교하였으며, 도포된 시편의 평탄도를 확인하여 균일한 도포가 이루어졌는지 확인하였다.

TiO<sub>2</sub> 혼합물이 실제 제품의 스캐닝에 사용가능한지를 확인하기 위해, 표면 처리 없이도 스캔이 가능한 측정 기준 구(sphere) 샘플을 Fig. 5(a)와 같이 준비하여 Fig. 5(b)와 같이 표면에 스프레이 도포를 하였을 때와 하지 않았을 때의 구의 크기를 확인하였다. Fig. 5에서 Fig. 5(c)는 스프레이 도포 후 3D 스캐너를 이용한 측정을 보여주고 있으며, Fig. 5(d)는 3D 스캐닝 후에 얻은 3차원 점군 데이터를 보여주고 있다.

실제 제품에 도포되는 스프레이의 도포량을 확인하기 위해 일반적으로 스캔이 가능한 구를 사용하여 아래와 같이 실험을 수행하였다. 사용한 SPRAY는 Fig. 6와 같

이 3종류를 사용하였으며, TiO<sub>2</sub>의 경우, TiO<sub>2</sub>와 알코올과 1:1의 비율로 혼합한 용액을 노즐직경 0.3 mm 미세 스프레이를 이용하여 도포하였다(Fig. 6). 스프레이 도포 후 3D 스캐너 (ATOS III TS, GOM, Germany)를 이용 면적 100mm x 80mm 내의 8컷 이미지를 추출하여 데이터를 Merging(병합)하였다. 스프레이 도포 후 측정 환경은 동일하게 20℃를 유지한 상태에서 3D 스캐닝을 진행하였다. 치수를 알고 있는 구와 스프레이 도포 후 구의 직경 차이를 비교해 보았다.

Table 2에서 보이는 바와 같이 스프레이 종류에 따라 실제 구의 크기와 편차가 최대 39µm 까지 발생하였다. 따라서 스프레이 종류의 선택이 정밀 3D 측정을 위한 중요한 요소임을 본 실험을 통해 확인할 수 있었다.

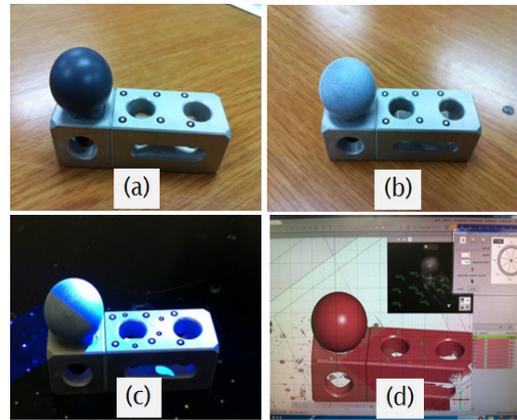


Fig. 5. Process of 3D measurement of the sphere (a) Original standard sphere as a reference (b) after spray (c) 3D scanning using GOM ATOS scanner (d) 3D point cloud after 3D scanning



(a) TiO<sub>2</sub>: Germany (b) UD-ST: Japan (c) SUPER-CHECK: Korea

Fig. 6. Different solutions for spray on sphere specimens

Table 3에서 보이는 바와 같이 최종적으로 개발된 자동 스프레이 도포장비로 8번 도포하여 100X100mm<sup>2</sup> 면적으로 측정하였을 때 no treatment surface와 H<sub>2</sub>O Base

는 거의 차이가 생기지 않았다. SUS304의 경우 최대 0.4  $\mu\text{m}$  그리고 Al5052의 경우 1 $\mu\text{m}$ 의 편차를 보여 다른 도포 방법에 비해 가장 균일하고 정밀하게 도포됨을 알 수 있었다.

**Table 1.** Result of spray deviation according to different material and solution

Test specimens	Different Solutions		Deviation [mm]
SUS304	no treatment	TiO <sub>2</sub> + Alcohol Base	0.0020
	no treatment	TiO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O Base	0.0013
	TiO <sub>2</sub> + Alcohol Base	TiO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O Base	0.0002
Al5052	no treatment	TiO <sub>2</sub> + Alcohol Base	0.0015
	no treatment	TiO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O Base	0.0004
	TiO <sub>2</sub> + Alcohol Base	TiO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O Base	0.0002
Plastic PC	TiO <sub>2</sub> + Alcohol Base	TiO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O Base	0.0030
Plastic ABS	TiO <sub>2</sub> + Alcohol Base	TiO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O Base	0.0028

**Table 2.** Result of spray deviation comparing to the reference sphere

Conditions	measurement [mm]	Deviation [mm]
Reference sphere	25.359	Original
TiO <sub>2</sub> (Micro SPRAY)	25.361	0.002
UD-ST SPRAY(CAN)	25.372	0.013
SUPER-CHECK(CAN)	25.398	0.039

**Table 3.** Result of spray deviation using the developed auto spray machine

Test specimen	solution		Deviation [mm]
SUS304	no treatment	TiO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O Base	0.0004
Al5052	no treatment	TiO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O Base	0.001

#### 4. 결론

본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 빠르고 쉬운 자동 스프레이 도포 장비의 개발 되었다. 3D 측정을 위한 준비 시간의 경우 기존 약 1시간 정도에서 5~6분 정도로 1/10수준으로 단축되었다.
2. 다양한 소재 및 용액들에 대한 두께 편차 실험 결과, 수동 방식의 캔 스프레이 도포 시 최대 40 $\mu\text{m}$ 의 두께 편차를 보인 반면, 자동 스프레이 도포법을

사용하였을 시 최대 두께 편차 0.4 $\mu\text{m}$ 의 편차를 보여 최대 100배 정밀하게 측정이 가능함을 확인하였다.

3. 향후 제품의 형상을 자동으로 트래킹 하여 스프레이를 도포하는 소프트웨어의 개발이 필요하며, 또한 가상 스프레이 도포 시뮬레이션의 개발을 통해 복잡한 제품의 완벽한 자동 스프레이 기능을 실현할 수 있을 것으로 판단된다.

#### References

- [1] H. Maeng, M. S. Lee, "A study on Electrostatic Powder Coating for 3D Scanning of Diffused Surface", J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., Vol 24, No. 1, pp. 56-62, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2015.24.1.056>
- [2] D. Um, J. Kim, "The Reflected Property Analysis of 3D Laser Scanning System as Object Surface Materials", Korean Journal of Geomatics, Vol. 27, No. 3, pp. 347-356, 2007.
- [3] S. Som, H. Park, K. Lee, "Automated Laser Scanning System for Reverse Engineering and Inspection", International Journal of Machine Tools & Manufacturing, Vol. 42, pp. 889-897, 2002.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955\(02\)00030-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955(02)00030-5)
- [4] H. Kwon, S. Baik, J. Kim, "Synthesis of Yttria Doped Ceria Powders by a Citrate Method and Their Thin Film Preparation by Electro-spray Method", Appl. Chem. Eng., Vol. 21, No. 1, pp. 76-80, 2010.
- [5] B. Valinasab, M. Rukosuyev, J. Lee, J. Ko, M. Jun, "Improvement of Optical 3D Scanner Performance Using Atomization-Based Spray Coating", J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., Vol. 24, No. 1, pp. 23-30, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2015.24.1.023>
- [6] S. Lee, Y. Kim, "Sizing of Spray Particles Using Image Processing Technique", Korean Society of Mechanical Engineering International Journal, Vol. 18, No. 6, pp. 879-897, 2004.
- [7] J. Kim, S. Hong, "Process and Die Design of Square Cup Drawing for Wall Thickening", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 9, pp. 5789-5794, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.9.5789>
- [8] C. Reich, R. Ritter, J. Thesing, "3-D shape measurement of complex objects by combining photogrammetry and fringe projection", Optical Engineering, Vol. 39, No. 1, pp. 224-231, 2000.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1117/1.602356>
- [9] GOM ATOS User Manual, 2014.

**김 원 섭(Wonseop Kim)**

[정회원]



- 2002년 2월 : 한남대학교 물리학과 (학사)
- 2004년 2월 : 한남대학교 대학원 물리학과/광·센서공학과 (수료)
- 2001년 12월 ~ 현재 : OMAGOM, 메트론폴로지연구팀, 기술이사

<관심분야>

응용광학 및 3차원 스캐너, DIC, 유한요소해석

**조 재 흥(Jae Heung Jo)**

[정회원]



- 1982년 2월 : 고려대학교 물리학과 (이학사)
- 1984년 2월 : KAIST 물리학과 응용광학전공 (이학석사)
- 1987년 2월 : KAIST 물리학과 응용광학전공 (이학박사)
- 1987년 3월 ~ 1992년 2월 : 한국표준과학연구원 선임연구원

- 1989년 12월 ~ 1991년 4월 : 독일 PTB 방문연구원
- 1992년 3월 ~ 현재 : 한남대학교 공과대학 컴퓨터통신부 인기술학과/광·센서공학과 정교수
- 2007년 12월 ~ 2008년 12월 : 미국 KENT대학교 LCI 방문교수
- 2011년 6월 ~ 현재 : 한남대학교 대전금형RIS사업단 단장(산업자원통신부)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한남대학교 기획조정처 처장

<관심분야>

광계측, 광센싱, 렌즈설계 및 평가, 레이저 응용

**김 동 수(Dongsu Kim)**

[정회원]



- 2002년 00월 : 광학기사
- 2003년 2월 : 한남대학교 물리학과 (학사)
- 2004년 8월 : (주)이오테크닉스 Machine Vision 기구팀 연구원
- 2004년 8월 : (주)이오테크닉스 Automation Group Machine Vision팀 연구원
- 2009년 9월 ~ 현재 : 디엔에스 회사 설립, 대표, 3차원 측정, 자동화 시스템 설계

<관심분야>

광학식 3차원 측정, 자동화 시스템 설계 및 제작

**김 동 규(Dong Gyoop Kim)**

[정회원]



- 2004년 2월 : 서울산업대학교 금형설계학과 (학사)
- 2003년 10월 ~ 2005 6월 : (주)솔링크 CAD/CAM 사업부 근무
- 2005년 8월 ~ 현재 : (주)오엠에이콤, GOM 메트론폴로지 팀, 부장

<관심분야>

응용광학 및 3차원 스캐너, DIC, 금형설계

**홍 석 무(Seokmoo Hong)**

[정회원]



- 1999년 2월 : 서강대학교 기계공학과 (기계공학학사)
- 2001년 2월 : 서강대학교 기계공학과 (기계공학석사)
- 2007년 3월 : Technische Universität München (Germany) Department of Mechanical Engineering (기계공학 박사)

- 2007년 4월 ~ 2015년 2월 : 삼성전자 글로벌기술 센터, 수석연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 공주대 금형설계공학과 교수

<관심분야>

금속 판재 성형 및 단조, 하이드로포밍, 유한요소해석