

코팅 룸 배기시스템 수치해석 및 성능개선에 대한 연구

이기연¹, 김국원^{1*}
¹순천향대학교 기계공학과

A Study on Numerical Analysis and Performance Improvement of Ventilation Systems in Coating Room

Ki Yeon Lee¹ and Kug Weon Kim^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering, SoonChunHyang University

요 약 산업환기의 근본 목적은 유해물질로부터 작업자의 건강을 지키는 것으로, 제품생산과정에서 발생하는 유해물질 등을 빠른 시간에 외부로 배출하여 공기의 질을 높이고자 한다. 최근 산업환기에 대한 인식이 생산중심에서 인간 중심으로 변하면서 이에 대한 중요성이 증가하고 있다. 본 연구에서는 아연말 코팅 룸에서 발생하는 악취제거를 목적으로 코팅 룸 내부의 공기유동에 대한 전산 시뮬레이션을 수행하였다. 3차원 CAD 프로그램인 SolidWorks를 이용하여 코팅 룸 전체와 배기시스템을 모델링하였으며 Flow Simulation 프로그램을 이용하여 오염물 발생 부위 중심으로 배기성능을 분석하였다. 또한 국소배기 장치를 이용하여 코팅 룸 내부 공기의 흐름 방향과 공기의 유속을 개선하였다.

Abstract One of the most important objects for the industrial ventilation is to protect worker's health from the harmful substances. Mainly in industrial ventilation, the harmful substances broken out through manufacturing process are to be quickly emitted outside. Recently the importance of the industrial ventilation increases with the recognition change of industrial ventilation from manufacturing focusing to human focusing. In this paper, the air flow simulation inside the coating room is performed. All the coating room and the ventilation system are modeled by SolidWorks program and air flow distribution and ventilation performance are analyzed by Flow simulation program. And the air flow directions and the air flow velocities inside the coating room are enhanced with the use of local ventilation.

Key Words : Air flow simulation, Industrial ventilation system, Local ventilation

1. 서론

산업환기시스템(industrial ventilation system)은 제품 생산 과정에서 발생하는 유해물질, 오염물질 등 작업환경을 해치는 물질을 빨리 배출하여 공기의 질을 높이는 목적으로 설치된다. 산업환기의 근본적 목적은 유해물질로부터 작업자의 건강을 지키는 것이므로 작업장 내 유기용제, 독성 화학물질, 중금속, 분진, fume, 화재물질 등에 노출 시키지 않기 위해 완전히 격리시키는 방법을 사용하고 있다.

도금공장의 경우 주로 유기용제 및 독성물질이 발생원

이 되기 때문에 별도의 여과장치를 통해서만 외부로 배기 할 수 있다. 자연환기는 제한적이기 때문에 공장 내부에 환기 시스템을 설비한다. 또한 유해 물질의 환경기준 농도를 제어하기 위해서 원재료 대체, 공정변경, 격리, 밀폐 등의 방법을 사용하지만 이 같은 방법이 가능한 경우는 극히 드물기 때문에 필요에 따라 국소배기(local ventilation)를 이용하여 오염원으로부터 직접 배기하는 방법을 사용한다[1-5]. 국소배기란 발생원으로부터 생성된 오염원이 실내로 확산되기 전에 포착하여 국소적으로 작업환경을 개선하도록 후드를 설치함으로써 경제적이고 합리적으로 배기를 하는 방법으로 현재 가장 많이 이용

*Corresponding Author : Kug Weon Kim(SoonChunHyang Univ.)

Tel: +82-10-2214-9459 email: kimkug1@sch.ac.kr

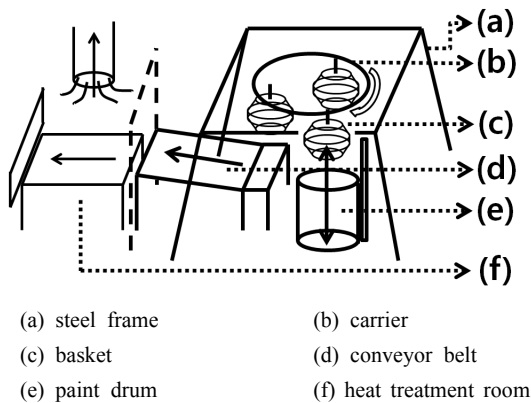
Received February 27, 2013 Revised March 25, 2013 Accepted May 9, 2013

되고 있다. 국소배기장치는 오염물을 포집하는 후드, 포집물질을 운송하는 송풍관, 공기정화장치와 배풍기로 구성되어 있고 이중 후드의 위치와 제어 풍속이 가장 중요한 부분이다.

본 연구는 아연말 코팅 업체의 의뢰를 받아 배기시스템 개선 연구를 수행하였다. 아연말 코팅 룸에서 발생하는 악취제거 및 작업환경 개선을 위해 코팅 룸 전체에 대한 포집방법과, 국소배기를 이용하여 악취 발생원으로부터 직접 포집하는 방법을 수치해석을 이용하여 비교하였다. 코팅 룸 내부의 공기유동에 대해 전산 시뮬레이션을 수행하였고, 국소배기를 이용하여 배기시스템의 성능개선을 도모하였다.

2. 해석 모델 개발

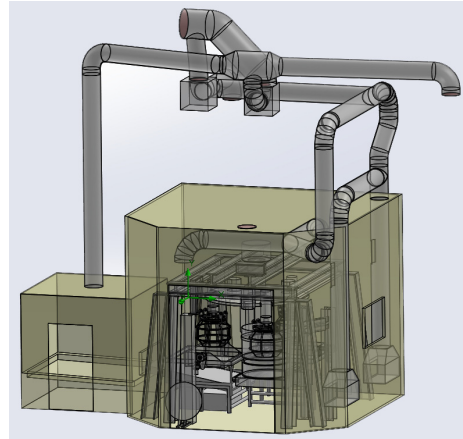
Fig. 1은 본 연구 대상인 코팅 룸 내부를 도식적으로 보여주고 있다. 사다리꼴 구조의 철골(a)이 코팅 룸 내부를 가득 채우며, 구조물 가운데 원형의 캐리어(b)가 위치해 있다. 캐리어는 저속회전운동을 하며 3개의 운반용 바스켓(c)을 운반한다. 구조물 하부는 컨베이어 벨트(d)와 페인트 드럼(e)이 위치하여 공간이 협소하다. 페인트 드럼은 코팅을 위해 저속으로 상하 운동하며, 이때 바스켓은 완전히 페인트에 잠긴다.



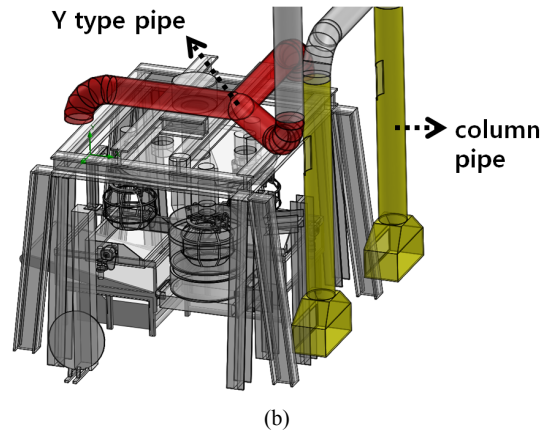
[Fig. 1] Schematic diagram of coating room

코팅 룸 왼편에 열처리 실(f)로 통하는 공간이 존재하며 이곳에 배기관이 설치되어 있어 배기성능에 영향을 미치기 때문에 Fig. 2 (a)과 같이 열처리 실을 해석 모델에 포함 시켰다. 코팅 룸 내부의 복잡한 구조물로 인해 3차원 모델링이 쉽고 유동해석이 가능한 3차원 CAD Program 인 SolidWorks 를 이용하였다. 코팅 룸 내부의

배기 시스템은 Fig. 2 (b)에서 보듯 상부에 Y형의 배기관과 우측 벽면에 두 개의 기둥 배기관이 설치되어 있다. 즉, 코팅 룸 내부에서 철골 구조물 상단의 공기는 Y형 배기관에 의해, 하단의 공기는 기둥 배기관에 의해 배출된다.



(a)



(b)

[Fig. 2] Analysis model of coating room: (a) entire model; (b) ventilation system

3. 해석 조건

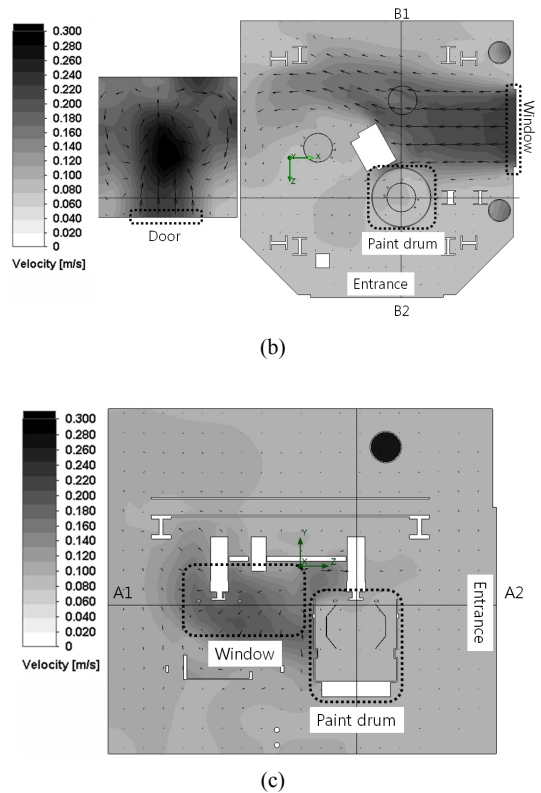
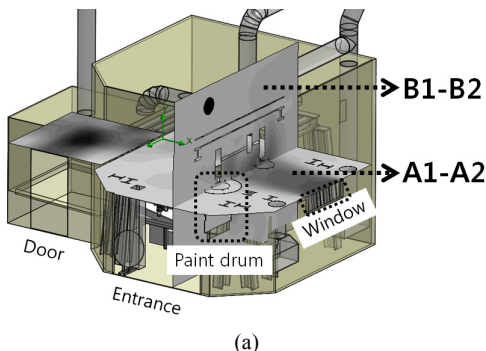
코팅 룸의 배기는 공장 전체 배기에 관여하는 50 HP의 집진기와 룸 상부에 설치되어있는 두 개의 시로코 팬에 의해 처리된다. 집진기는 여러 시설물에 관여하고 코팅 룸과 매우 멀리 위치하고 있다. 따라서 배기에 영향력이 작다고 판단하여 유동 해석에서 제외하고, 두 대의 시로코 팬만을 고려하여 유동 해석을 실시하였다.

시로코 팬의 제원은 1.420 W, 풍량 4.680 m³/h, 정압 53 mmAq 이다. 배기관의 내경은 300 mm 이다. 코팅 룸 입구는 블라인드에 의해 닫혀있으며, 코팅 룸 우측 창과 열처리 실은 개방되어 있다. 상부 배기관 중 다른 시설물에 연결 되어있는 배기관은 대기압 상태로 설정한다.

4. 해석 결과

기존 코팅 룸 내의 배기 성능을 알아보기 위해 SolidWorks의 유동해석 모듈인 Flow Simulation을 이용하여 유동해석을 수행하였다.

해석 결과 코팅 룸 내부의 공기 유동 분포를 얻었으며, 악취의 원인이 되는 페인트 드럼 주변의 공기 유동 분포는 Fig. 3과 같다. 룸 내부 유속은 약 0~0.3 m/s의 분포를 보이고 있다. Fig. 3 (a)는 페인트 드럼 중심의 공기 유동을 알아보기 위해 절단한 단면을 나타내고 있다. Fig. 3 (b)는 절단면 A1-A2에서의 공기 유동 분포이며 페인트 드럼 상부의 공기 유동을 보여준다. 코팅 룸 우측 창과 열처리 실 문으로 유입되는 공기의 유속이 가장 빠르게 계산되었다. 코팅 룸 우측 창으로 들어오는 공기의 유속이 약 0.2 m/s로 비교적 빠른 반면 페인트 드럼 주변의 유속은 0~0.05 m/s로 매우 느린 유속을 보이고 있다. 열처리 실로 통하는 통로의 공기 유동은 원활하지만 코팅 룸의 공기 유동은 내부의 복잡한 구조물에 의해 뒤쪽으로 많이 흘러 공기 흐름의 불균형을 보여준다. Fig. 3 (c)는 절단면 B1-B2에서의 공기 유동 분포이며 페인트 드럼 측면의 유속을 보여 주고 있다. 코팅 룸의 창을 통해 들어온 공기는 코팅 룸 뒤로 흐르며 하부로 내려간 후 상부로 흡입된다. 페인트 드럼 상부의 유속은 0~0.1 m/s 이다. 페인트 드럼 주위의 공기 유속이 이와 같이 매우 느린 이유는 코팅 룸 상단의 배기관과 발생원의 거리가 너무 멀기 때문이라 사료된다.



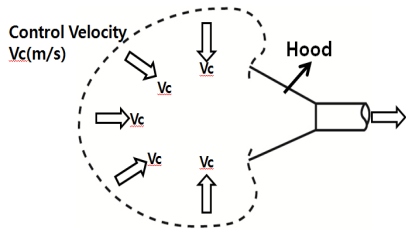
[Fig. 3] Analysis result of air flow in coating room: (a) cross section A1-A2 and B1-B2; (b) air flow in section A1-A2; (c) air flow in section B1-B2

오염물의 배출과 관련되는 배기관의 성능은 여러 가지 지표가 있으나 가장 대표적인 것은 제어풍속이다. 일반적으로 국소배기를 실시하는 경우 후드 혹은 배기관을 통해 오염물을 흡입하는 속도가 법령에 의해 규정되어 있는데 이를 제어풍속이라 한다. 구체적으로 제어풍속이란 발생원으로부터 비산하는 오염물을 그 비산 한계점 내에서 포착하고 후드 개구 내로 흡입하는 최소 흡입 속도이다. 따라서 제어 풍속은 비산속도 보다 빨라야 한다.

Table 1은 오염물 발생조건에 따라 규정된 제어풍속을 나타낸다[6]. 앞에서 해석한 코팅 룸 내부의 공기 유동 해석 결과를 살펴보면, 오염원인 페인트 드럼 주위의 공기 유속은 표에 나타낸 일반적 제어 속도에 못 미치고 있다. 따라서 코팅 룸 내부는 원활한 배기를 할 수 없으므로 오염물로부터 발생하는 분진 및 냄새를 충분히 제거 할 수 없다고 판단된다. Fig. 4는 제어풍속을 도식적으로 나타낸 그림이다.

[Table 1] General Velocity Control [6]

Contaminant generation conditions	Examples	Velocity control (m/s)
To radiate in nearly zero velocity among quiescent air	○ Gas, vapor, fume etc generated from liquid surface	0.2~0.25
To radiate in low velocity into quiescent air	○ Painting work in booth type hood ○ Intermittent container filling work ○ Low speed conveyor ○ Welding work ○ Plating work ○ Acid cleaning work	0.5~1.0



[Fig. 4] Schematic diagram of the velocity control

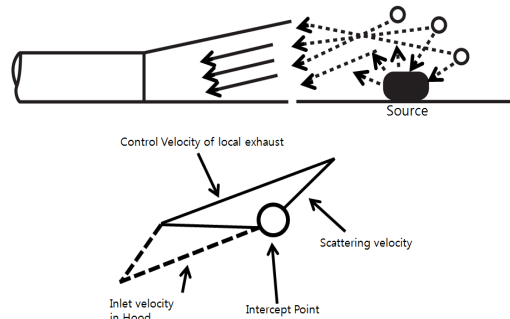
5. 시스템 개선

코팅 룸 내부는 복잡한 구조물이 위치하며, 발생원인 페인트 드럼은 리프트에 의해 저속 상하 운동을 하고 도료가 부족하면 작업자에 의해 교체된다. 따라서 발생원까지 배기관을 연장하기 어려우며, 복잡한 구조로 설비된 배기관을 단순하게 재설비하기가 곤란하다. 내부의 배기관을 변경하더라도 제어 풍속의 변화는 미미하기 때문에 기존 설비를 변경하지 않고 국소배기를 추가하는 방향으로 배기 시스템을 개선하였다. 국소배기의 설치방법은 매우 다양한데, 본 연구에서는 외부식 후드 중 측방 흡입형 후드를 선택하였다.

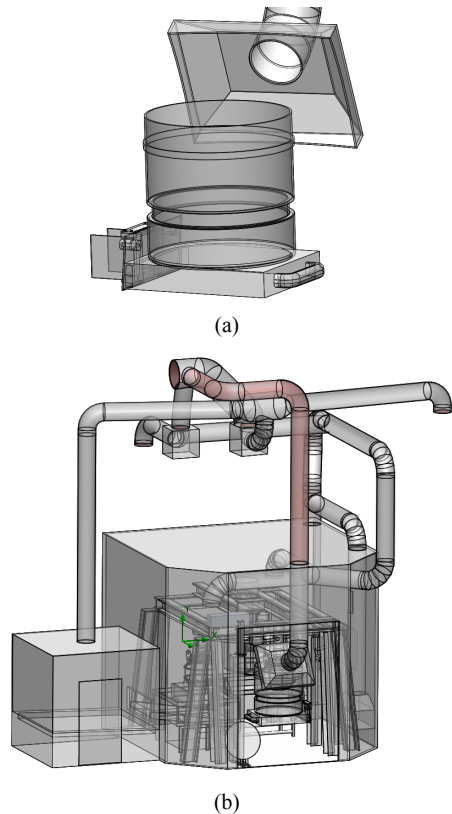
Fig. 5는 국소 배기 방법 중 측방 흡입형 후드의 제어 위치를 보여준다. 후드설치 시 제1종 유기용제는 0.5 m/s, 제2종 유기용제는 0.4 m/s, 제3종 유기용제는 0.25 m/s를 제어 풍속기준으로 한다. 중이 높을수록 독성 물질이다.

코팅 룸 내부의 복잡한 구조물과 작업자의 동선을 고려하여 Fig. 6과 같이 측방 흡입형 후드인 국소배기관을 모델링 하였다. Fig. 6 (a)는 페인트 드럼과 국소배기 후드의 그림만 확대해 나타낸 것이며, Fig. 6 (b)는 국소배기 후드를 설치한 전체 모델링 그림을 보이고 있다. 후드

의 크기는 W=780 mm, L=980 mm이며, 오염물 발생원과의 거리는 400 mm 이다.



[Fig. 5] Control position of exterior hood



[Fig. 6] Analysis model of local ventilation system: (a) paint drum and hood; (b) entire modeling

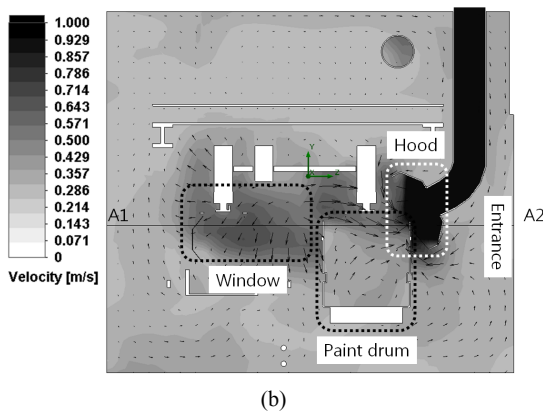
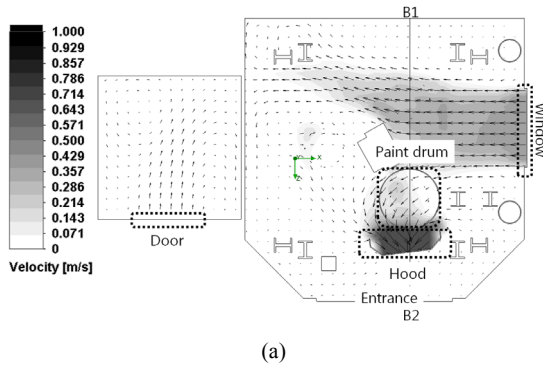
수치해석 결과 Fig. 7과 같은 결과를 얻었다. Fig. 7 (a), (b)는 Fig. 3 (a)와 같은 절단면에서의 공기 유동 분포를 보이고 있다. 즉 Fig. 7 (a)는 페인트 드럼 상부의 횡단면에서의 공기 유동 분포를 나타내고 있으며 Fig. 3 (b)와

비교할 수 있다. 코팅 룸 우측 창으로 유입되는 유속은 약 0.7 m/s로 기존 0.2 m/s보다 빠르게 나타났다. 또한 공기 흐름이 페인트 드럼 뒤쪽에서만 흐르던 기존의 배기 시스템과 달리 공기의 유동이 내부 전체로 흐른다. 특히 페인트 드럼 주변의 유속이 0.3 m/s 이상으로 나타났다. 이는 국소배기 장치로 인해 공기 흐름 방향과 함께 유속이 변한 것을 나타낸다. Fig. 7 (b)는 페인트 드럼 측면의 유속을 보여주고 있으며 Fig. 3 (c)와 비교할 수 있다. 후드 내부의 유속은 1 m/s 이상으로 나타났으며, 후드 주변의 유속은 약 0.2~0.5 m/s의 분포를 보인다. 공기 유속은 후드 개구면부터 페인트 드럼까지 점차적으로 줄어든다. 공기 유동 또한 코팅 룸 우측 창으로 유입되는 공기가 후드로 바로 흡입되기 때문에 페인트 드럼 내부와 주변의 유속이 증가하였다. 이는 일반적인 제어풍속 결정법에 부합하며, 제1종 유기용제까지 흡입할 수 있는 조건이다. 즉, 독성이 강한 유기용제까지 빠르게 유입 할 수 있는 풍속으로 측방 흡입형 후드 설치가 타당하다는 것을 보여준다.

6. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 코팅 룸 및 기존 배기시스템을 3차원 모델링하고 공기유동에 대한 수치해석 결과 내부 공기 흐름은 코팅 룸 우측 창과 열처리 실 문을 중심으로 원활하였지만 오염물 발생원 주변의 유속은 0~0.1 m/s로 매우 낮았다. 이는 일반적으로 제어풍속을 결정하는 기준치에 미달되기 때문에 원활한 배기를 할 수 없다고 판단된다.
2. 국소배기 장치를 이용한 배기구조 변경 후 수치해석 결과 코팅 룸 내부 공기의 흐름이 일부 공간에 편중되지 않고 고르게 분포하였으며, 공기의 유속도 이전보다 높아졌다. 즉, 국소배기 장치로 인해 공기 흐름 방향과 함께 유속이 변한 것을 알 수 있다. 특히 페인트 드럼 주변의 유속이 0.3 m/s 이상으로 나타났으며, 후드 내부의 유속은 1 m/s 이상, 후드 주변의 유속은 약 0.2~0.5 m/s의 분포를 보였다. 이는 독성이 강한 제1종 유기용제까지 배출할 수 있는 속도이며, 국소배기 장치의 설치가 타당하다고 판단된다.



[Fig. 7] Analysis result of air flow in coating room by local ventilation system: (a) air flow in section A1-A2; (b) air flow in section B1-B2

References

- [1] C. S. Yi., S. C. Jang., K. R. Yoon., "A Numerical Analysis on Improvement of Push-Pull Local Ventilation System", The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, PP594-599, 2007.
- [2] K. B. Lim., K. S. Lee., C. H. Lee., "A numerical study on the flow characteristics of kitchen hood system", SAREK Vol. 18, pp. 359-369, 2006.
- [3] K. B. Lim., K. S. Lee., C. H. Lee., "A numerical study on the characteristics of flow field, Temperature and concentration distribution according to changing the shape of separation plate of kitchen hood system", Journal of KSME B, Vol. 30, No. 2, pp. 177-185, 2006.
- [4] S.-C. Lee, S.-C. Kim, K.-C. Noh, M.-H. Park, "Control of suspended dust in various ventilation systems of cement packaging process", Journal of the KAIS, Vol. 10, No. 2, pp.463-469, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.3.463>
- [5] Y.-J. Jung, S.-G. Hong, J.-H. Jung, K.-H. Lim, J.-U. Kim, B.-H. Shon, "A study on the optimized hood design in melting process of casting facilities using

CFD", Proceedings of the KAIS Fall Conference, pp.269-272, 2011.

[6] Engineering Department., "Ventilation of The factory", SAMJUNG Machine, 1989.

이 기 연(Ki-Yeon Lee)

[정회원]



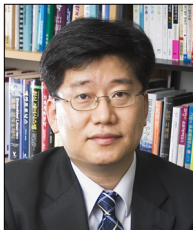
- 2005년 2월 : 온양고등학교
- 2012년 2월 : 순천향대학교 기계공학과 (학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 순천향 대학교 기계공학과 (석사)

<관심분야>

기계설계, 나노임프린트, 정밀가공

김 국 원(Kug Weon Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 1995년 2월 ~ 1999년 2월 : LG 전자 디지털미디어 연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

CAD/CAM, 초정밀가공