

전공 교과목을 접목시킨 실천공학교육적 문제해결 모델 Practical Engineering Problem Solving Model Combined Major Educational Courses

김진우^{1*}, 주강우², 조은정³

¹한국폴리텍대학 홍성캠퍼스 자동화시스템과, ²한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과, ³삼성전자(주)

Jin-Woo Kim^{1*}, Kangwo Joo², Eunjeong Jo³

¹Department of Automation System, Korea Polytechnics, Hongseong 350-803, Korea

²Department of Mechatronics Engineering, KOREATECH, Cheonan 330-708, Korea

³Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon 443-742, Korea.

[요약]

모든 학습자는 다년간의 전공 및 교양 수업을 통하여 많은 지식을 습득하게 된다. 그러나 다양한 과목을 접목시킨 융합적인 공학적 문제 해결은 어려운 경우가 많다. 따라서 본 논문에서는 다양한 교과목을 접목하여 온도 감소효과를 극대화 시키는 히트싱크의 최적화 문제를 예를 들어 실천공학교육적 문제해결 모델을 제시한다.

[Abstract]

Learners acquire knowledge through many years of majors and educated classes. They convergence of engineering problem solving that combine a variety of subjects are difficult. In this paper, we suggest practical engineering problem solving model combined major educational courses for example optimization problem of heat sink temperature reduction.

Key Words: CFD, Engineering education, Heat sink, Optimization

<http://dx.doi.org/10.14702/JPEE.2015.011>



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.

Received 12 May 2015; **Revised** 18 May 2015

Accepted 22 May 2015

***Corresponding Author**

E-mail: wlydm98@naver.com

I. 서론

히트싱크는 뜨거운 물체의 온도를 자신의 넓은 표면적을 이용하여 냉각하게 해주는 기계적 부품 요소 중 하나이다. 쉽게 생각하면 히트싱크의 표면적이 넓기만 하면 냉각효과가 클 것으로 추측할 수 있다. 그러나 핀 구조물의 길이나 틈이 일정 기준 이상 길어지거나 좁아지면 그 부분에 냉각 공기가 유입되지 못하여 오히려 열이 상승하는 현상을 가져올 수 있다. 이는 경계층 유동과 연결지어 고민할 수 있는 문제이며, 경계층의 영향을 받지 않은 최적의 형상 도출이 필요하다. 이와 같은 공학적 문제를 해결하기 위해서는 열역학, 유체역학, 수치해석, CFD(Computational fluid dynamics), 최적화, 실험계획법 등의 이론 지식이 요구되는데, 학습자들은 이러한 지식을 습득하였음에도 불구하고 쉽게 접근하거나 문제를 해결하는데 있어서 어려움을 표현하는 경우가 많다. 따라서 본 논문에서는 공학적 문제 해결의 한 사례[1]를 바탕으로 전체 과정을 과목과 연결 지어 해결하는 실천공학 교육 모델을 제시하고자 한다.

II. 본론

A. 이론적 접근

본 논문에서 해결하고자 하는 문제는 열역학, 유체역학, 수치해석을 기반으로 학습하는 전산유체역학이 기본이 되며, 식(1)-(6)에 의해 해를 구하게 된다. 여기서 얻고자 하는 해는 온도, 압력, 속도와 같은 성분이다[2-5].

1) 연속 방정식 (The continuity equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X_i}(\rho u_i) = S_m \quad (1)$$

2) 운동량 방정식 (The momentum equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

여기서,

$$\tau_{ij} = \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (3)$$

3) 에너지 방정식 (The energy equation)

$$\frac{\partial(\rho h_0)}{\partial t} + \text{div}(\rho h_0 U) = \frac{\partial P}{\partial X} + \text{div}(k \nabla T)$$

$$h_0 = i(\text{internal energy}) + \frac{P}{\rho} + (u^2 + v^2 + w^2) \quad (4)$$

4) 난류 모델 (Turbulent model - k-epsilon)

a) Transport Equation of ϵ

$$\frac{\partial}{\partial X_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial X_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon = 0 \quad (5)$$

b) Transport Equation of K

$$\frac{\partial}{\partial X_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial X_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} = 0 \quad (6)$$

여기서,

$$G_h = -\rho u'_2 u'_j \frac{\partial u_j}{\partial x_i} G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i}, \quad C_{1s} = 1.44, \quad C_{2s} = 1.92, \\ C_{\mu} = 0.09, \quad \sigma_k = 1.0 \quad \text{그리고} \quad \sigma_s = 1.3 \quad \text{이다.}$$

5) 최적화 기법

최적의 형상을 얻는 것은 최적화를 통해 이루어지는데, 수많은 최적화 기법 중 표면반응기법(RSM: Response Surface Method)을 사용했다. 그리고 최적화를 위해서 다양한 실험이 요구되는데, 모든 경우에 대해서 실험을 수행하는 것은 물리적으로 비효율적이므로, 실험계획법을 도입하여 최소한의 실험만 수행하게 된다. 표면반응기법을 사용하면 수행하지 않은 실험에 대한 결과까지 뒷받침해줄 수 있기 때문에 효율적인 최적화 기법으로 알려져 있다. 표면반응기법을 통한 최적화는 다음과 같은 식을 통해 이루어진다.

$$C = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} X_i X_j \quad (7)$$

Y 는 목적함수가 되며, β_i 는 따로 결정해야 하는 계수이다. k 는 설계 변수의 개수를 나타낸다. 본 논문에서 목적함수는 같은 시간을 실험했을 때 도달하는 열원의 평균온도이다. 반응 모델이 2차 다항식으로 결정 될 때, 계수 β_i 의 개수는 $(k+1)(k+2)/2$ 로 결정할 수 있다. 설계 변수는 2개 이므로, 계수의 개수는 총 6개가 된다. 이에 따라 최소 실험은 6회이다.

B. 해석 모델

1) 기본 모델

그림 1에 본 논문에서 다루는 히트싱크의 기본 형상을 도시하였다. 일반적으로 히트싱크와 열원의 위치는 변화가 없으며, 주위의 공기와 열교환을 하는 부분의 형상을 변화시켜서 성능을 조절한다. 기본형상의 경우 핀의 길이가 10 mm, 직경이 3 mm이다.

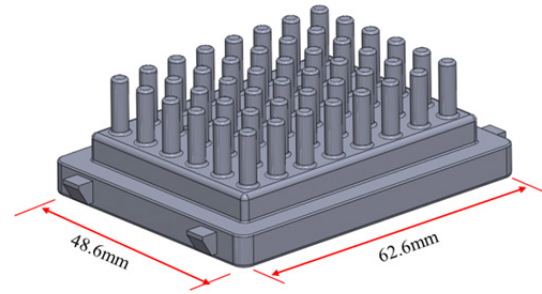


그림 1. 히트싱크의 기본 형상

Fig. 1. Basic geometry of heat sink.

2) 설계 변수 논의 및 최소 실험 검토

히트싱크에서 중요한 요소는 공기와 닿는 표면적이며, 이를 좌우하는 주요 설계 변수는 핀의 길이와 직경이다. 다른 요소는 고정변수로 설정하고, 이 두 가지를 설계 변수로 설정하고 최소의 실험점을 도출하였다. 실험점 도출은 실험계획법을 이용하였으며, 사용된 프로그램은 MiniTab이다. 핀의 길이와 직경은 최대 최소를 제한하였고, 이에 따른 최소 실험은 표 1에 나타나 있다.

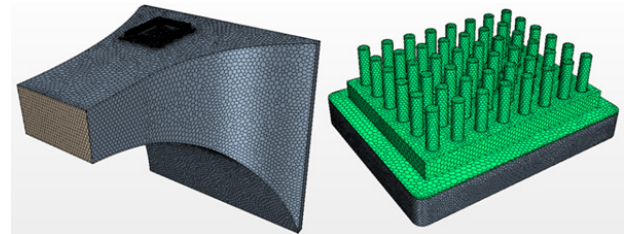


그림 2. 해석을 위한 히트싱크의 격자 생성

Fig. 2. Mesh generation for analysis of heat sink.

3) 격자 생성

위에서 정해진 최소 실험을 전산유체역학으로 계산하기 위해서는 3차원 형상을 격자로 나누어야 하며, 그림 2와 같이 표현된다. 물론 핀의 길이 및 직경에 따라서 모두 격자 생성을 해야 하며, 대표적인 형상만 다음 그림에 나타내었다.

표 1. 최소실험점 도출

Table 1. Minimum experiment points deduction

Experiment point	Length(mm)	Diameter(mm)
Case#1	10	3
Case#2	10	6
Case#3	30	3
Case#4	30	6
Case#5	20	4.5
Case#6	20	6

C. 실험 조건

실험은 비정상(시간)해석으로 수행하였으며, 초기에 23℃로 열적평형을 이루고 있는 상태에서 시작하며, 초기에 발열이 되면 히트싱크를 통해 방열이 진행되고 실험은 시작으로 부터 15분(900초) 까지 진행한다. 해석을 위한 경계는 다음 그림과 같고, 물성 및 경계조건은 사례에서 참조하였으며 표 2와 표 3에 나타내었다.

표 2. 해석에 적용된 히트싱크의 물성

Table 2. Material properties

Property	Value
Density	870 kg/m ³
Specific heat	880 J/kg·K
Thermal conductivity	100 W/m·K

D. 실험 결과

1) 해석 결과

a) 기본 모델(Case#1)의 해석결과

Case#1을 유동, 온도, 추이 측면에서 결과를 정리하였다. 그림 3은 유동장 내 속도를 도시한 것이다. 공기가 유입되는 측면의 반대편에 원활한 유동이 형성되지 않는 것으로 보아, 그 주변에는 온도 감소 효과가 적은 것으로 보인다. 또한 원활한 유동이 형성되지 않는 이유로써 방열핀의 길이가 증가할 때 유입되는 공기가 흐름에 방해 받는다는 것을 확인

표 3. 해석 모델의 경계조건

Table 3. Boundary conditions

Boundary	Condition	Value
Inlet	Fan wind	19.3 m/s, 23°C
Outlet	Atmosphere	-
Wall	Adiabatic	-
Initial Temperature		23°C

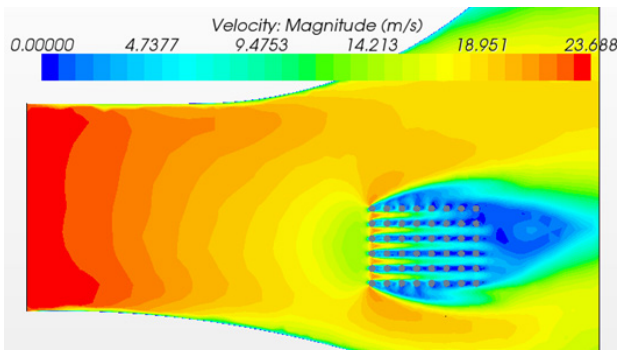


그림 3. 결과 - 유동장 내 속도
 Fig. 3. Results - velocity in fluid region.

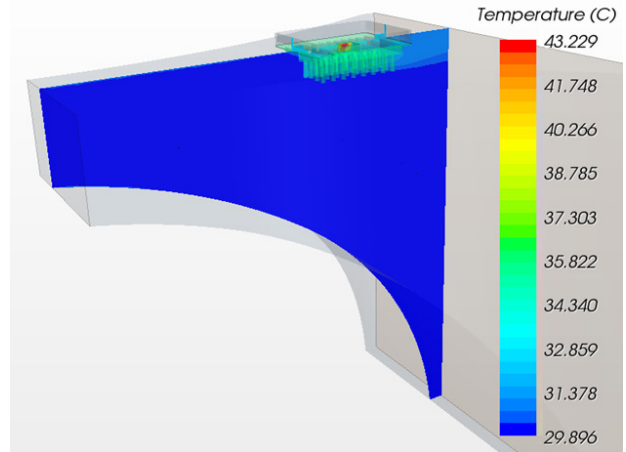


그림 4. 결과 - 유동장 내 온도
 Fig. 4. Results - temperature in fluid region.

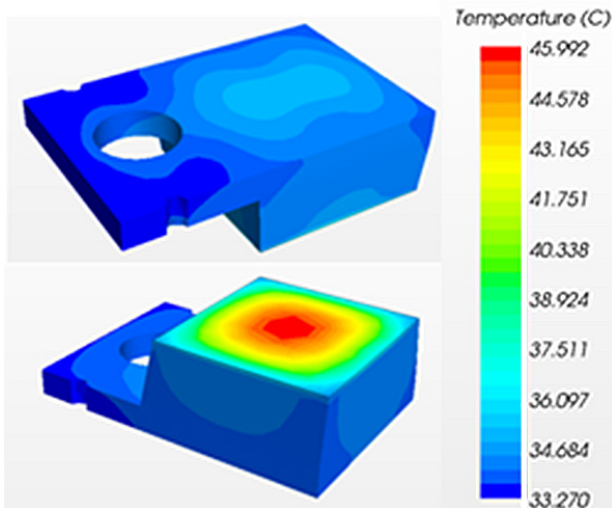


그림 5. 결과 - 열원의 온도
 Fig. 5. Results - temperature of heat source (FET).

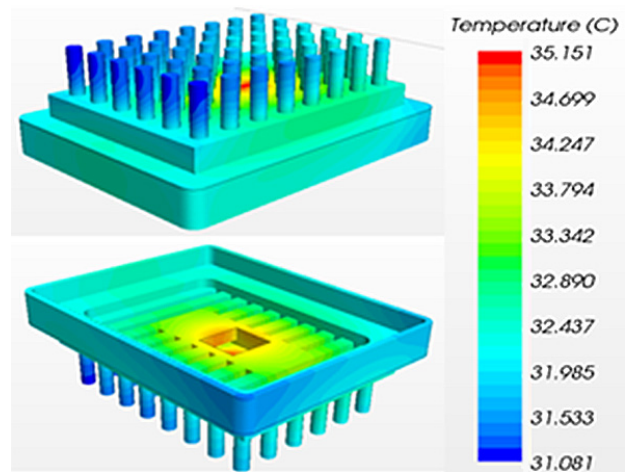


그림 6. 결과 - 히트싱크의 온도
 Fig. 6. Results - temperature of heat sink (FET).

하였다. 이에 대한 대안으로써 핀의 배열 간격을 증가시키는 방법, 현재 적용된 바둑판 배열이 아닌 지그재그로 배열하는 방법 등이 있다. 그러나 전자의 대안은 배열 간격을 증가시킴으로써, 히트싱크의 후면까지 공기의 유동이 형성되나 전체적인 표면적이 감소하여 열적인 측면에서는 비효율적인 것으로 확인되었다. 또한 후자의 대안은 지그재그 형태로 배열된 상황에서, 2차측 핀까지는 유동이 막힘이 없으나 3차, 4차로 유동이 진행될수록 와류가 많이 발생하여 결과적으로 히트싱크 후면까지 유동이 원활하게 전달될 수 없음을 알게 되었다. 결과적으로 위의 대안은 히트싱크의 제약된 공간, 유

동 불균형 등의 문제가 있어서 배제시키게 되었다. 그림 4는 유동장 내부의 온도결과를 스칼라로 표시한 것이다. 공기가 지나가는 대부분은 유입되는 공기의 온도를 따르고, 히트싱크 주변의 온도만 증가하는 것으로 확인된다. 이는 히트싱크가 열원의 열을 충분히 공기로 전달해 주고 있음을 시사하며, 기본적인 히트싱크의 역할을 충분히 하고 있는 것으로 보인다. 그림 5는 열원의 온도를, 그림 6은 히트싱크의 온도를 나타낸다. 열원의 가장자리부터 냉각 되는 것으로 보이고, 그에 따라 히트싱크도 열원이 장착된 부위의 중심이 높게 형성되

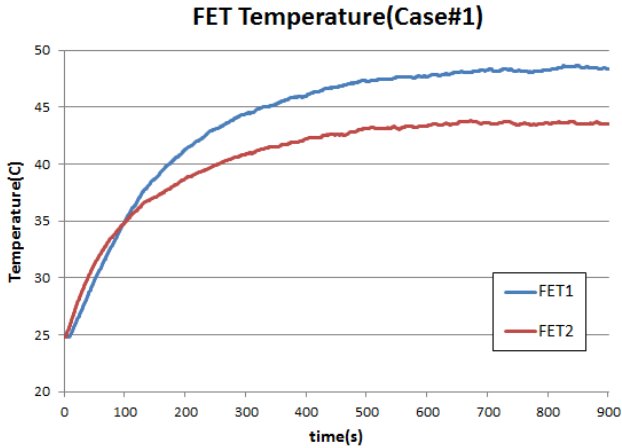


그림 7. 기본 형상(Case#1)의 열원 온도 증가 추이
Fig. 7. Temperature increasing of heat source at Case#1.

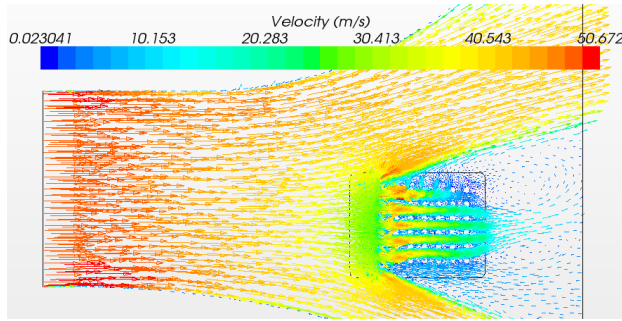


그림 8. 결과 - 유동장 내 벡터(Case#3)
Fig. 8. Result - Vector in fluid flow (Case#3).

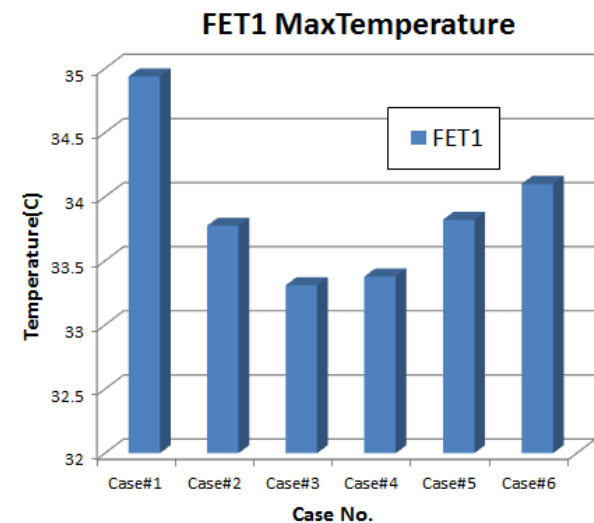


그림 9. 전체 모델의 열원 온도 비교
Fig. 9. Converged temperature values of whole cases.

었다. 열원의 온도 구배 측면에서 볼 때, 열원이 최대 약 45℃에서 최소 33℃로 약 25%이상의 차이가 나며 그만큼 열원의 열이 히트싱크로 전달되는 것을 알 수 있다.

그림 7에는 시간에 따른 열원의 온도 증가 추이를 나타내었다. 두 개의 열원 모두 약 700초(11분 40초)에서 온도가 수렴하는 것을 확인하였다. 이때 수렴한 온도를 히트싱크 형상의 최적화를 위한 목적함수의 값으로 활용할 것이다.

b) 추가 모델(Case#2-#6)의 해석결과

Case#2에서 Case#6은 온도 측면에서는 Case#1과 양상은 비슷하여 생략하였다. 대신 후반부에 모든 실험점에 대한 온도 결과값을 비교 분석할 것이다. 그림 8에 Case#3의 결과를 나타내었다. Case#1보다 뒷부분에 공기 유입이 원활하지 않은 것으로 확인되었는데, 이는 히트싱크의 길이가 긴 이유로 인해 나타날 수 있는 현상인 것으로 판단된다.

c) 전체 모델 결과 비교

최종적으로 수렴된 열원의 온도를 비교한 결과를 그림 9에 나타내었다.

2) 최적화를 위한 방정식 제안

열원의 최종 수렴 온도를 목적함수로 하는 최적화 식은 식 (7)로부터 식(8)과 같이 표현된다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (8)$$

여기서, 필요한 계수 β_i 는 총 6개이며, 앞서 6개의 수치해석을 진행하였다. X_1, X_2 는 각각 핀의 길이 및 직경이며, 6개의 식을 연립하여 β_i 를 구하면 표 4와 같다.

6개의 해석 결과로부터는 Case#3, 또는 Case#4가 최적 형상일 가능성이 있으나, 이는 위에서 구한 목적함수 식으로부터 최소값을 갖는 X_1, X_2 를 찾는 연구가 추가로 필요하다. 본 연구에서는 최적 형상을 찾을 수 있는 식을 제안하는 것으로 마무리 한다.

표 4. 최적화 식의 계수

Table 4. Coefficients of optimizing equation

Coefficients	Value
β_0	40.41
β_1	0.0665
β_2	-2.81667
β_{11}	-0.00525
β_{22}	0.246667
β_{12}	0.020667

III. 결론

본 논문에서는 실천공학교육적 문제해결 모델을 히트싱크의 최적설계 사례를 들어 제시하였다. 본 논문에 적용된 사례는 학습자가 습득한 지식을 기반으로 하여 현장에 적용하는 융합적 과정으로 해결된다고 볼 수 있다. 본 논문의 실험을 수행하기 위해 필요한 전공지식들은 각각 서로 연결되어 있음을 알 수 있고, 이를 학습자가 수행하였을 때 다른 문제에 접하였을 때 단순 문제 해결 능력 이외에 지식 융합이라는 능력을 발휘하여 보다 효과적이고 수준 높은 문제해결을 이끌어 낼 수 있을 것이다. 본 논문에서 다룬 범위에 추가적으로, 실제 제작과 실험 및 적용을 통해 근본적인 문제 해결에 도달할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] K. M. Jang, J. Y. Kim, C. Eum, and K. S. Kim, "Numerical analysis on cooling performance for FET heat sink," in *ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Montreal, pp. V08BT10A023, 2014.
- [2] B. R. Munson, D. F. Young, T. H. Okiishi, and W. W. Huebsch, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 6th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2009.
- [3] S. V. Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1980.
- [4] CD-adapco, *Star-CCM UserGuide ver. 9.02*. London: CD-adapco, 2014.
- [5] A. Ravindran, G. V. Reklaitis, and K. M. Ragsdell, *Engineering Optimization: Methods and Applications*. Hoboken, NJ: Wiley, 2007.



김진우 (Jin-Woo Kim) 정회원

1991년 1월 ~ 2006년 7월 : 삼성전자 생산기술연구소 책임연구원.
2004년 2월 : 한양대학교 전기공학과 석사.
2006년 8월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 첨단기술교육센터.
2012년 2월 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학 박사.
2014년 3월 ~ 한국폴리텍대학 홍성캠퍼스 자동화시스템과 교수
<관심분야> PLC, HMI, Motion, FieldBus, HRD



주강우 (Kangwo Joo)

2010년 8월 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 학사
2012년 8월 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과 석사
2012년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과 박사과정
2012년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 시간강사
<관심분야> CFD, 반도체 장비, 공학교육, 열전달



조은정 (Eunjeong Jo)

2013년 2월 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 학사
2013년 1월 ~ 현재 : 삼성전자(주) 의료기기사업부 개발팀
2015년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과 석사과정
<관심분야> X-Ray, 초경량화, 방수, 열전달, 공학교육