

## 유로형상변경에 따른 폼 모니터 분사거리 변화의 수치적 해석

이영훈<sup>1</sup>, 류영춘<sup>2</sup>, 성정현<sup>2</sup>, 박영철<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>(주)엔케이 기술연구소, <sup>2</sup>동아대학교 대학원 기계공학과, <sup>3</sup>동아대학교 기계공학과

### Numerical Investigation of the Effect of flow Passage Variation on the Projection Distance of the Foam Monitor

Young-Hoon Lee<sup>1</sup>, Young-Chun RYU<sup>2</sup>, Jeong-Hyun Seong<sup>2</sup>, Young-Chul Park<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>NK Corporation Technology Research Center

<sup>2</sup>Graduate school, Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

<sup>3</sup>Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

**요약** 본 연구에서는 폼 모니터의 유로 형상에 따라 유동 특성 및 분사거리에 미치는 영향을 수치적 해석기법인 유동해석을 통해 예측, 비교하고 실제 분사 성능 시험을 통해 검증하였다. 폼 모니터의 유로 형상에 따라 유체의 유동 양상이 달라지며, 유동손실이 발생함에 따라 분사거리에 영향을 미치는 것을 수치해석을 통해 계산하였다. 폼 모니터의 기본 형상은 N사에서 설계한 형상을 사용 하였고, 변경모델은 유로의 길이를 증가시킨 모델과 직선형태의 모델을 사용하였다. 입구압력은 6.5bar를 주었고, 계산 결과 유로의 길이를 증가시킨 모델과 직선형상 모델 모두 노즐에서의 분사거리가 향상되었다. 분사 성능시험결과와 비교한 결과 오차율은 7.43%로 비교적 잘 일치 하여 해석 기법의 타당성을 검증하였다.

**Abstract** In this study, the relationship between flow characteristics and projection distance, depending on the shape was examined. A numerical investigation technique for fluid analysis of a foam monitor was developed for the prediction, comparison and validation of the actual injection performance. The foam monitor changes the flow pattern of fluid flow according to the shape, The fluid losses were calculated from the numerical investigation affecting the projection distance. The basic form of foam monitor was used as a designed shape in N. The modified model used the length increase model of the flow path, and straight line of the model. The inlet pressure was 6.5bar. The results showed that the length increase model of the flow path and straight line of the model in the nozzle projection distance had improved. The results comparing the error rates projection performance were well matched to the 7.43% obtained from the validity test of the analysis method.

**Keywords** : CFD, FEM, Foam monitor, Projection distance, Shape change

### 1. 서론

폼 모니터는 유조선 또는 위험 화학품 선적운반선의 화물구역 화재를 진압하기 위해 화물탱크 갑판 상에 설치되는 장치이다. 폼 모니터는 선박 갑판 상에 화재 발생 시 화재를 진압하기 위해 물, 폼(foam)이 혼합된 소화제를 분사하는 소화 장치로 소화 장치 설치 규정(IMO:

International Maritime Organization)에 따라 필수적으로 설치되며 1척당 약 15~25개의 폼 모니터가 설치된다. 폼 모니터(foam monitor)는 갑판 상에 설치되어 상하 및 좌우로 소화제의 분출방향을 조정할 수 있도록 설계되어 있다. 폼 모니터는 포말용액과 공기를 혼합하여 포말을 만들 수 있도록 내부에 노즐이 설치되어 있으며, 소화 장치의 전방에 설치된 관장치가 손상되는 경우 손상부위로

본 논문은 산업통상자원부 지정 지역혁신센터사업(RIC) 고기능성밸브기술지원센터 지원으로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Young-Chul Park (Dong-A Univ.)

Tel: +82-51-200-6596 email: parkyc67@dau.ac.kr

Received October 15, 2015

Revised December 10, 2015

Accepted January 5, 2016

Published January 31, 2016

포말용액이 공급되어 누설되는 것을 방지 할 수 있도록 차단하기 위한 차단밸브가 설치되어 있다.

폼 모니터는 바디 입구에서 부터 포말용액과 공기를 혼합해 포말이 만들어 지도록 설계되어 있고, 혼합액이 바디를 지나 노즐을 거쳐 분사된다. 포말용액이 바디를 지나면서 구부러진 유로에 의해 충격파가 발생 유동손실이 일어나는데, 이러한 이유로 유로 형상의 변화는 폼 모니터의 분사거리 및 유동특성에 많은 영향을 준다. 따라서 폼 모니터의 다양한 유로 형상에 따른 분사 거리 및 유동특성의 관계에 대한 접근이 필요하다. 하지만 지금까지 폼 모니터의 분사거리 및 유동특성에 대한 수치 해석적 예측을 위한 방법은 현재 거의 전무한 상태이다.

이에 본 논문에서는 폼 모니터의 형상에 따른 분사거리 및 유동특성 변화를 수치 해석적 기법을 통해 제시하였으며, 실제 분사 성능시험을 수행하여 폼 모니터의 수치 해석적 기법을 검증하였다.

## 2. 유동 해석

폼 모니터의 내부유동특성 및 분사거리를 예측하고자 수치 해석적 기법을 사용한 CFD 유동해석을 수행하였다.

### 2.1 폼 모니터 구조 및 구동원리

Fig. 1 에 나타난 폼 모니터의 입구에 일정 압력의 소화제를 투입하면 유로를 따라 소화제가 이동해 노즐을 지나 분사된다. 이때 분사각도는 외부에 장착된 핸들을 통해 조절할 수 있다. 이를 위한 적절한 분사거리 확보가 폼 모니터의 중요한 설계목표가 된다.

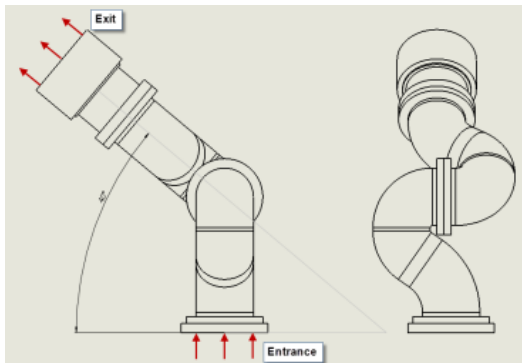


Fig. 1. Schematic of fire extinguish system for a partition of a deck

### 2.2 폼 모니터 기본 모델 형상

폼 모니터는 커넥션 바디, 스티어링 바디, 커넥션 플랜지, 노즐 어셈블리, 스톱퍼 어셈블리, 핸들 등으로 조립되어 있다. 폼 모니터의 분사거리 및 유동특성 파악 위해 경계조건을 부여하기 위한 3차원 모델이 필요하다.

Fig. 2에 나타난 것과 같이 전체파트 중 유동해석을 위해 주요 부품으로 여겨지는 바디, 컨트롤 플레이트, 기어 커버, 기어 휠 파이프, 노즐 바디, 노즐 부쉬, 노즐 포밍 링을 상용 모델링 소프트웨어인 “Solid Works”를 이용하여 3차원 모델링으로 나타내었다.

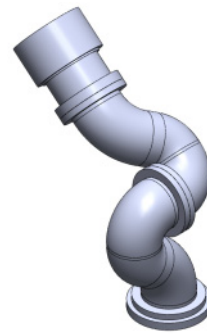


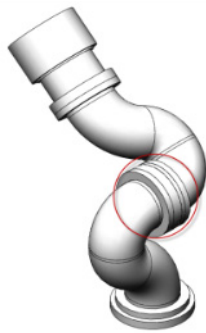
Fig. 2. Initial model of foam monitor (3D modeling)

### 2.3 폼 모니터 변경 모델 형상

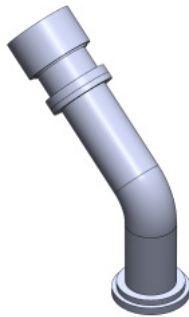
폼 모니터의 유로에 따른 유동특성 및 분사거리의 비교를 위해 유동에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 형상을 변경 두 가지 모델을 제안하였다.

먼저 Fig. 3 (a) 에 나타난 모델은 바디와 바디가 결합되는 부분의 유로의 길이를 증가시켜 모델링 했다. 초기 모델에 비해 바디와 바디가 결합되는 부분의 길이가 39mm 늘어났다. 길이가 늘어남에 따라 유동손실이 줄어들고 또한 입구와 출구에 차압이 줄어들게 된다.

두 번째 Fig. 3 (b) 의 모델은 유체가 유동하면서 굴곡진 형상 때문에 발생하는 유동손실을 최소화 할 수 있는 형태로 만들기 위해 곡선형태의 유로를 직선형태의 유로로 변경하였다.



(a)



(b)

Fig. 3. Shape change of Foam monitor  
(a) modified model 1 (b) modified model 2

### 2.4 격자생성

폼 모니터의 내부유동특성에 대한 분석, 분사거리 예측을 위한 외부공간까지 유동해석 대상으로 정한다. 이에 따라 폼 모니터 내부, 외부공간에 대한 유동영역은 유동해석 상용 소프트웨어인 “Ansys CFD”을 사용하였다.

먼저 폼 모니터 내부 유동장을 생성하였고, 외부유동영역은 ANSYS-Workbench가 지원하는 ‘Enclosure’ 기능을 사용해 폼 모니터 외부 유동장을 생성하였다. 유체가 폼 모니터를 지나 유동하는 외부 공간의 크기는 70000×20000×10000(mm)로 생성하였다. Fig. 4은 폼 모니터(회전각 40°)의 출구면 과 외부공간에 대한 유동장의 한 면과 결합시킨 모습이다.

외부 유동장의 크기가 폼 모니터의 유동장의 크기에 비해 상대적으로 매우 크기 때문에 해석결과의 주요 관점에 따라 격자크기를 다르게 설정 하였다. 우선 기본 값으로 해석을 진행하였고, 그 결과 유체가 이동하는 경로를 파악하였다. 유체의 유동특성을 확인하고, 외부 유동장을 유동에 따라 12분할하였다. 유체의 흐름이 확인된

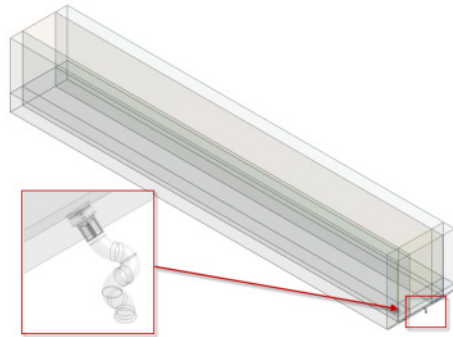


Fig. 4. Flow region of foam monitor for flow analysis (3D modeling)

부분에는 그렇지 않은 부분보다 상대적으로 작은 격자를 주었다. 또한 폼 모니터 내부의 격자는 표면곡률이 있는 영역에 더 조밀한 격자를 집중시켰다. 또한 폼 모니터의 벽면에서 유체의 점성으로 인해 생기는 벽면효과를 고려하기 위해 경계층 격자를 주었고, 해석시간 및 수렴성을 고려하여 총 2,454,464 Nodes 와 2,839,023 Elements로 구성하였고, Fig. 5에 세 가지 모델에 대한 유한요소모델을 나타내었다.



(a)



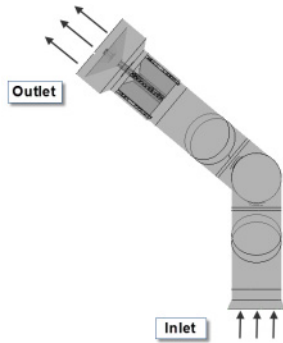
(b)



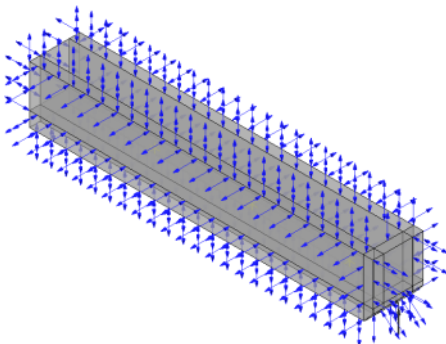
(c)

Fig. 4. Finite element model of form monitor  
(a) Initial model (b) modified model 1 (c) modified model 2

2.5 해석조건



(a)



(b)

Fig. 5. Boundary condition of form monitor  
(a) form monitor (b) full model

폼 모니터의 분사거리 및 유동특성 예측을 위하여 폼 모니터와 외부 유동장에 경계조건을 적용하였다. 입구압력은 분사 성능 시험 조건과 동일한 6.5bar, 외부 유동장은 대기압과 동일한 0bar(opening)를 적용하였다. 작동 유체는 상온의 물, 외부는 공기로 설정하였다.

Table 1은 유동해석에 적용된 경계조건과 수치모델을 나타내고 있으며, 난류 모델은 SST(Shear Stress Transport)을 적용하였다.

Table 1. Boundary conditions of Simulation model

Boundary condition	
Inlet Pressure	6.5 [bar]
Outlet Pressure	0 [bar], opening
Working Fluid	Water
Fluid Temperature	25 [°C]
Outside Fluid	Air
Outside Temperature	25 [°C]
Turbulence model	SST(Shear Stress Transport)

2.6 유동해석 결과

폼 모니터에 대하여 CFD를 이용하여 유동해석을 실시하였다. 유동해석 결과는 유체에 대한 최대 분사거리, 노즐출구에서의 유체의 속도, 분사 후 유체의 최고속도를 [Table 2]에 나타내었고 [Table 3]에는 폼모니터의 입구 및 출구의 압력과 그 차이를 나타내었다. case 1은 기본 형상, case 2은 유로를 늘린 형상, case 3은 직선관 형상을 나타내었다.

Table 2. Result of flow analysis

	case 1	case 2	case 3
Maximum Projection distance	60.5m	65m	72m
Velocity at the nozzle	15.96m/s	18.23m/s	18.09m/s
Maximum velocity	53.04m/s	60.65m/s	38.00m/s

Table 3. Result of flow analysis

	case 1(Pa)	case 2(Pa)	case 3(Pa)
Pressure at Inlet	608680	601904	594793
Pressure at Outlet	-101780	-120711	-131118
Pressure Gap	506900	481193	463675

유동 해석을 통해 폼 모니터의 형상에 대하여 Fig. 6과 Fig. 7에 (a)는 case 1, (b)는 case 2, (c)는 case 3의 유동 특성과 분사거리를 각각 나타내었다.

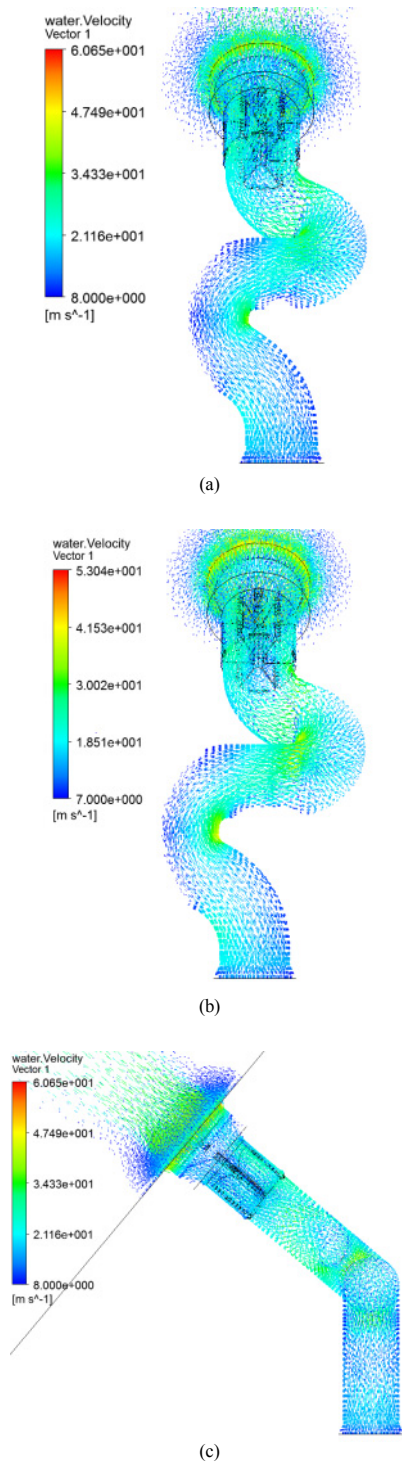


Fig. 6. Result of flow analysis about a velocity vector (a)Initial model (b) case 1 (c) case 2

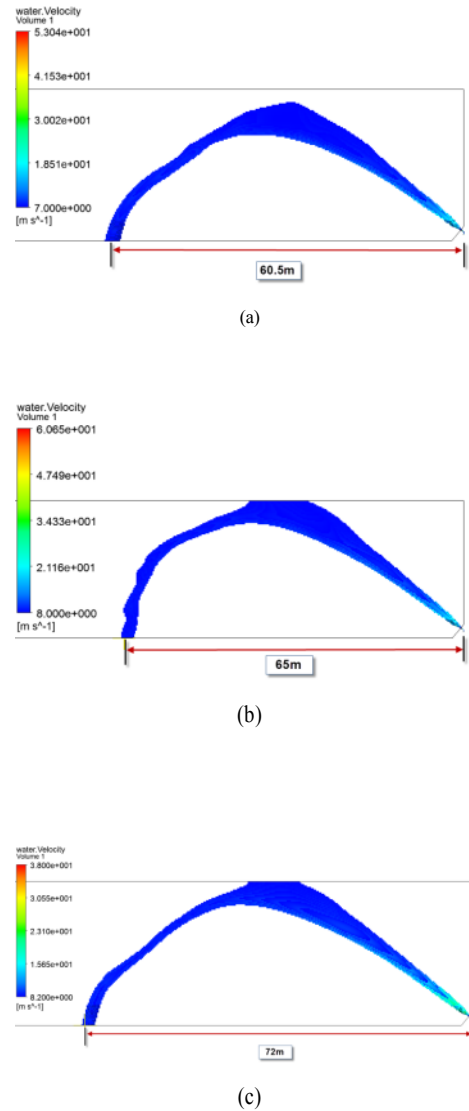


Fig. 7. Result of flow analysis about a velocity plan (a) Initial model (b) case 1 (c) case 2

세 가지 형상의 폼 모니터에 대하여 수치해석 결과를 비교하였다. 실험값은 유체의 최대 분사거리, 노즐출구에서의 유체의 속도, 분사 후 유체의 최고속도를 각각 비교하였다. 그 결과 case 1의 분사거리는 60.5m, case 2 65m, case 3 72m로 각각 4.5m, 11.5m가 증가하여 기존 유로 대비 107%, 119%의 분사 성능이 향상된 것으로 나타났다.

유로 내부에서의 속도는 case 2, case 3이 case 1에 비해 각각 2.27m/s, 2.13m/s가 향상되었다. 폼 모니터 내부의 유동에서는 case 1보다 case 2에서 유체가 자연스럽게 유동하였고, case 3에서는 직선형상을 따라 유체가 유동하여 두 모델모두 유동 손실이 case 1에 비하여 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

### 3. 분사 성능시험

분사 성능시험으로 폼 모니터의 분사거리를 측정하여 실험 결과와 유동해석으로 계산한 결과 값을 비교하여 유동해석의 기법을 검증하였다.

#### 3.1 실험 방법 및 결과

분사 성능시험 시 시험온도, 습도, 설계압력, 시험압력을 Table 5에 나타내었다. Fig. 12에는 폼 모니터를 분사 성능시험 장치에 설치해놓은 모습이다. 입구에 물을 이용해 시험 압력을 주어 물이 분사되는 거리를 측정하였다.

Table 5. Test Condition

Test Condition	
Test Temperature	21.2 ± 5.0℃
Test Humidity	62 ± 5% R.H.
Design Pressure	15bar
Test Pressure	6.5bar



Fig. 12. Test product

분사 성능시험 결과 분사거리는 65m로 측정되었으며 Fig. 13은 시험 중인 폼 모니터를 나타내었다.



Fig. 13. Projection Test

### 4. 검증

실제 분사 성능시험의 측정결과는 초기 모델에 대해서만 진행하여 분사거리(m)로 나타내었다. 유동해석 기법의 타당성을 검증하기 위하여 시험결과의 분사거리와 유동해석기법으로 계산한 분사거리를 비교하였다. 그 결과 Table 6과 같이 실험값을 기준으로 오차율 7.43%를 나타내었다.

Table 6. Comparison Test and FEM Analysis

	Projection distance (m)	Error rate (%)
Test	65	7.43%
FEM Analysis	60.5	

### 5. 결론

본 논문에서는 선박 갑판용 소화설비 장치인 폼 모니터에 대하여 3차원 유동해석을 수행하고 유로의 길이를 증가시킨 형상과 직선형태의 두 가지 다른 형상에 대하여 유로변화가 폼 모니터의 성능(분사거리)에 미치는 영향을 고찰하였다.

- 1) 유로의 길이가 39mm증가한 형상에서의 폼 모니터 분사거리는 4.5m 증가하여 초기 모델 대비 107%의 성능이 향상 되었다. 초기모델과 비교하여 입구와 출구의 차압의 차이가 25707Pa 감소하였다. 그



리고 곡선관의 형태에 따라 유체가 유동손실이 적게 자연스럽게 유동하여 분사거리가 증가하였다.

- 2) 직선형태의 형상 에서는 폼 모니터 분사거리가 11.5m 증가하여 이전 모델 대비 119%의 성능이 향상 되었다. 초기모델과 비교하여 입구와 출구의 차압의 차이가 43225Pa 감소하였다. 그리고 유체의 유동이 직선형상을 따라 방해받지 않고 유동하여 분사거리가 가장 증가하였다.
- 3) 분사거리에 대한 유동해석기법의 타당성 검증을 위하여 초기 모델의 분사 성능시험을 수행하였다. 그 결과 분사 성능시험과 유동해석기법으로 도출한 분사거리를 비교한 결과, 최대 오차율은 7.43%로 비교적 잘 일치 하였다.

## References

- [1] C.W. Park., C.H. Hong., "User Guide of ANSYS Workbench", Intervision, 2008.
- [2] P.G. Park, E.H. Jeong, J.H. Kim., "Numerical investigation of the Effect of Turbine flow Passage Variation on the Turbine Performance", J Power control and optimization; Journal of the Korea Society for Fluid Machinery, pp.481-487, 2005.
- [3] M.C. Lai, P. H. Lu and J. H. Yoo, "Implications of 3-D Internal Flow Simulation on the Design of Inward-opening Pressure-swirl Injectors," SAE 2002-01-2698, 2002.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2002-01-2698>
- [4] J.S. Lee., "Computational Fluid Dynamics Hydraulic valve Meter", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.13, No.5, pp.1963-1968, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.5.1963>
- [5] M. S. Chon., "Effect of Nozzle Hole Number on Fuel Spray and Emission Characteristics of High Pressure Diesel Injector," Journal of IlassKorea, Vol.17, No.4, pp.210-215, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.15435/jilasskr.2012.17.4.210>
- [6] S.J. Moon., S.J. Jeong., S.G. Lee., T.H. Kim., " A Numerical Study on the Geometry Optimization of Internal Flow Passage in the Common-rail Diesel Injector for Improving Injection Performance", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. d2, No. 2, 2014.

[7] Ansys Inc, Ansys CFX Release 11.0, ANSYS CFX-Solver Theory Guide, ANSYS; 2006.

### 이 영 훈(Young-Hoon Lee)

[정회원]



- 2005년 2월 : 동아대학교 기계산업시스템 공학부 (학사)
- 2007년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (석사)
- 2013년 8월 : 동아대학교 기계공학과 (박사수료)

<관심분야>  
유동해석

### 류 영 춘(Young-Chun Ryu)

[정회원]



- 2011년 2월 : 동아대학교 기계공학과 대학원 (석사)
- 2007년 8월 ~ 현재 : 주)선일계전 기술연구소 이사

<관심분야>  
유동해석, 구조설계

### 성 정 현(Jung-Hyun Seung)

[정회원]



- 2014년 2월 : 동아대학교 기계공학과(학사)
- 2014년 2월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 대학원(석사과정)

<관심분야>  
유동해석, 최적설계

박 영 철(Young-Chul Park)

[정회원]



- 1982년 2월 :부산대학교 금속공학과 대학원(석사)
- 2002년 2월 : 일본 동북대학교 기계공학과 대학원(박사)
- 2009년 3월 ~ 2013년 7월 : 동아대학교 산학협력단 단장
- 1998년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

금속재료, 구조설계