

산업용 냉각탑의 진동소음이 정밀장비에 미치는 영향에 대한 연구

이진갑

경기과학기술대학교 기계자동화과

An Investigation on Influence of Vibration Noise in Cooling Tower on Precision Equipments

Jin-Kab Lee

Department of Mechanical Automation, Gyeonggi College of Science and Technology

요약 냉각탑은 옥탑이나 건물 외부에 설치하여, 실내의 온도제어를 위해 사용된다. 냉각탑의 운전시 모터, 팬 및 낙하되는 냉각수에서 발생하는 소음 진동은 주변으로 전파가 용이하여, 인접한 건물 내부의 소음 진동 문제를 야기할 수 있다. 본 논문은 공장에 인접해 위치한 산업용 냉각탑의 진동 소음을 측정하여, 공장 내부의 정밀장비에 미치는 영향을 평가하였다. 정상 운전 조건에서의 냉각탑의 소음을 측정하고, 냉각탑에서 일정거리 떨어진 공장의 바닥과 공장 내부에 위치한 정밀장비를 대상으로 진동을 측정하여, 냉각탑과 정밀기계의 진동 소음 평가기준에 의해 냉각탑의 진동 소음이 정밀장비의 정밀도에 미치는 영향을 분석하였다. 측정결과 냉각탑의 소음은 동일 용량 냉각탑의 기준 소음치인 68dB(A)보다 4~9dB(A) 높다. 냉각탑의 진동이 정밀장비에 미치는 영향은 냉각탑이 위치하는 건물 지지 프레임의 진동이 정밀장비가 위치한 바닥의 진동보다 낮아 영향은 미미하다. 정밀장비가 위치한 실내 바닥은 허용기준치 안에 들어가나 진동 가속도 레벨 기준으로는 높게 나타났다.

Abstract Cooling towers have been installed on rooftops or outside of buildings and widely applied to control the indoor temperature in residential areas and buildings. However, the noise and vibration resulting from their operation may cause problems in adjacent buildings. The purpose of this study is to measure the noise and vibration of an industrial cooling tower located adjacent to industrial plants and to investigate its influence on the surroundings according to an authorized evaluation standard. Further, in order to measure the effect of the vibration of the tower on the precision equipment inside the plant, an experiment is conducted to measure the vibration of the ground in the plant and the targeted precision equipment. The measurement results indicate that the noise in the cooling tower is 4 to 9 dB(A) higher than the maximum level defined in the standard of 68dB(A). The effect of the vibration of the tower on the precision equipment is comparatively minimal, because that in the supporting frame of the building is weaker than that on the floor where the precision equipment is located. The vibration of the floor on.

Keywords : Cooling Tower, Influence, Precision Equipments, Noise, Vibration

1. 서 론

공장의 실내 온도제어를 위해 냉각탑이 주로사용된다. 냉각탑은 대형 중량물이면서 냉각수 순환을 위한 배관이 연결되어 있고 냉각성능 향상을 위해 공기의 순환이 용이한 외부 개방 지역에 설치하여 대형 팬으로 많은

양의 공기를 강제 순환시키는 구조이다[1]. 냉각탑의 핵심 부품인 대형 팬과 팬 구동 모터는 소음 진동 발생이 심하고, 옥탑이나 건물과 인접된 외부에 설치됨으로써 주변으로 전파가 용이하여 소음 진동 문제를 야기할 수 있다. 냉각탑은 한번 설치되고 나면 소음 대책이 어렵고 막대한 비용이 소요된다. 따라서 냉각탑은 사전에 적절

*Corresponding Author : Jin-Kab Lee(Gyeonggi College of Science and Technology)

Tel: +82-31-496-4729 email: ljk@gtec.ac.kr

Received July 26, 2016

Accepted September 9, 2016

Revised (1st August 16, 2016, 2nd August 26, 2016)

Published September 30, 2016

한 소음 및 진동 대책이 계획되어, 설계나 설치시에 반영되어야 한다. 냉각탑의 소음과 진동에 대해서는 발생원의 특성 및 저감에 대한 다수의 연구[1~4]가 수행되어 왔으며, 냉각탑의 소음과 진동에 대한 평가 규격[6, 7]도 소개되고 있다.

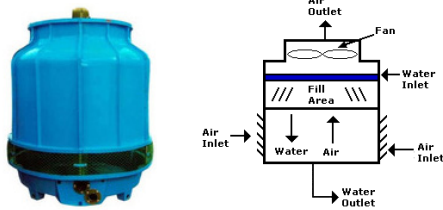


Fig. 1. Counter flow cooling tower

냉각탑의 진동 소음이 인근 대상물에 미치는 영향에 대한 연구[2~5]가 다수 수행되어 왔으나 대부분 건축 구조물에 대한 것이다. 최근 반도체, 디스플레이 업종을 중심으로 생산 공장내에 정밀장비의 사용이 확산되고 있다. 정밀장비는 외부의 충격이나 진동에 민감하므로, 품질 불량에 생기지 않게 정밀장비에 대한 진동 평가규격 등이 제시되어 있다[6~8]. 정밀장비는 정밀도를 유지하기 위해 실내 항온항습의 관리가 중요하여, 중대규모 공장의 경우 실외에 냉각탑을 설치하는 경우가 많다. 냉각탑이 정밀장비가 위치한 공장 인근에 위치함으로 인하여 진동 소음으로 인한 품질불량의 우려가 있으나, 이로 인한 영향에 대해서는 정량적인 평가가 되지 않아 어려움을 겪고 있다.

본 연구는 냉각탑의 진동 소음이 공장내 정밀장비에 미치는 영향을 진동 소음 측정을 통해 정량적으로 평가하였다. 냉각탑에서 일정거리 떨어진 지점에 위치한 공장 내부의 정밀장비를 대상으로 진동 소음을 측정하여 냉각탑과 정밀기계의 진동 소음 평가기준에 의해 정밀장비에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 냉각탑의 진동 소음 특성 및 평가

2.1 냉각탑의 진동 소음 특성

냉각탑의 진동 소음의 원인과 대책은 문헌[4, 5]에 소개되어 있다. 냉각탑의 진동은 팬, 감속기, 벨트, 축, 모터 등의 회전체의 진동이 대부분이다. 팬 블레이드 불균

형에 의한 진동, 감속기 또는 모터 내부 구성품의 결함으로 인한 진동, 축의 정렬 불량에 의한 진동, 그리고 팬에서 배출되는 공기의 충격 하중에 의한 진동 등의 여러 형태의 원인에 의해 진동이 복합적으로 발생한다. 냉각탑의 진동을 줄이기 위한 장치로 스프링 마운트를 사용할 경우 기계의 회전수와 일치하는 기본 진동은 효과적으로 방진이 되나 스프링 자체의 고유진동수와 일치하는 고주파 진동성분은 방진이 되지 않거나 오히려 증폭되어 문제를 야기하는 서징현상이 발생된다. 따라서 구조 전달음의 대책으로는 서징의 염려가 없는 천연고무, 합성고무 등의 점탄성 재료를 이용하여 진동의 전달 경로를 차단하는 방법이 적용된다.

냉각탑의 소음은 구조물 진동에 의한 소음, 상부 팬에서 발생하는 소음, 낙수에 의해 발생하는 소음, 공기 유입시 난류에 의해 발생하는 소음, 모터 소음 등으로 구분된다. 냉각탑의 소음은 저주파 소음으로 멀리까지 퍼져나가는 성질이 있기 때문에 토출부와 낙수물 부위에 적절한 소음 저감 대책이 필요하다.

2.2 냉각탑의 진동 측정 및 평가

냉각탑의 구조는 일반적으로 모터로 구동되는 축이 감속기에 연결되고 감속기가 대형 벨류리 탑의 상부에 위치한 송풍기를 구동한다. 심각한 냉각탑의 손상은 대부분 손상된 기어박스, 송풍기 팬 및 모터에 의해 발생된다. 진동 모니터링을 위한 주기적인 측정은 진동 가속도 센서를 이용하여 모터를 중심으로 축, 베어링, 커플링 및 기어박스 부위를 측정한다. Fig. 2는 냉각탑의 진동 발생 주요부위 및 진동 가속도 센서를 설치하는 위치를 보인 것이다.

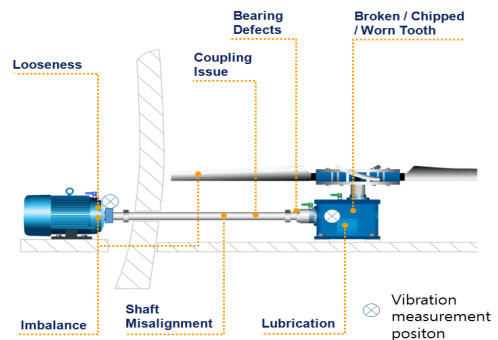


Fig. 2. Vibration sources and measurement position

일반적인 진동의 평가 기준은 환경 진동의 경우 ISO 10137, 반복적 피로 현상에 의한 구조물의 국부 손상 방지기준은 DIN 4105 등을 기준으로 한다. 펌프, 환풍기가 포함된 설비에 방진 장치를 설치했을 경우 진동 허용치는 ASHRAE에 제시되어 있으며, Table 1과 같다. 냉각탑에 사용되는 주요 부품의 진동 심각도는 IRD Mechanalysis Chart[6]를 기준으로 평가할 수 있으며 Table 2에 나타내었다. Table 2는 완성 제품의 품질에 영향을 미칠 수 있는 기계의 진동 허용치를 구하는 지침으로, 이것은 경험에 의한 값이며 제품의 크기와 요구되는 허용 공차에 따라 다를 수 있다. 측정치의 평균값은 편진동의 속도(peak, in/sec)를 기준으로 한다.

Table 1. Max. vibration limit

RPM		Amplitude limit(P-P)	
		mil	mm
Pump	1800 RPM	2	0.05
	3600 RPM	1	0.025
Ventilator	~600 RPM	4	0.1
	601~1000 RPM	3	0.075
	1001~2000 RPM	2	0.05
	2000 RPM~	1	0.025

Table 2. IRD Mechanalysis Chart

Machine type	Good	Fair	Alarm 1	Alarm 2
Long hollow drive shaft	0~.375	.375~.600	.600	.900
Close coupled belt drive	0~.275	.275~.425	.425	.650
Close coupled direct drive	0~.200	.200~.300	.300	.450

진동에 민감한 정밀장비의 경우에 대한 평가 기준은 BBN-Criterion[8]이나 메이커의 기준치에 따른다.

2.3 냉각탑의 소음 측정 및 평가

냉각탑의 소음 측정은 KS B 6364(냉각탑 성능 시험 방법)에 준하여 KS A 0701(소음도 측정방법)로 측정한다. 소음 측정은 Fig. 3의 측정점을 기준으로 측정 대상의 음과 암소음의 차이가 10dB(A)이상인 장소를 택하여 측정하며, 냉각탑 중심선 상을 케이싱으로부터 냉각탑의 길이와 폭과 같은 거리만큼 떨어지고 기초 바닥에

서 1.5m 높이의 위치로 한다. Table 3에 냉각탑의 용량별 소음 기준치를 나타내었다.

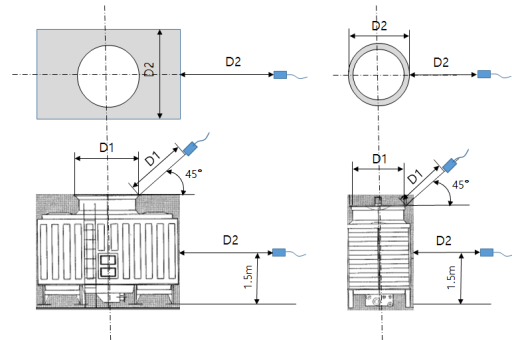


Fig. 3. Noise measurement position

Table 3. Noise criteria of cooling tower capacities

Model (Capacity)	Noise criteria[dB]	Model (Capacity)	Noise criteria[dB]
80R/T	64	400R/T	71
100R/T	65	450R/T	72
1250R/T	66	500R/T	72
1500R/T	67	600R/T	73
175R/T	68	700R/T	74
200R/T	68	800R/T	74
250R/T	69	900R/T	75
300R/T	70	1000R/T	75
350R/T	71		

3. 측정대상 및 방법

본 연구의 측정 목적은 냉각탑의 진동 소음이 정밀장비에 미치는 영향을 평가하는 것이므로 냉각탑의 진동 소음, 정밀장비 및 정밀장비가 위치한 공장바닥의 진동을 측정을 하였다. 측정대상 및 조건은 Fig. 4에 주어져 있다. 냉각탑은 밀폐형, 반 밀폐형이며, 용량은 200RT이다. 정밀장비가 위치한 공장의 실내 크기는 약 40m x 80m이다. 냉각탑은 공장의 외부벽으로부터 약 2~3m 떨어진 거리에 위치하고 있다. 공장내 설치된 장비는 디스플레이 제조용으로 사용되는 정밀도를 요하는 장비이다. 이 장비들은 차단벽으로부터 4m 떨어져 있고, 장비간의 거리는 2m이다. 냉각탑은 정상 운전 상태에서 측정하였다.

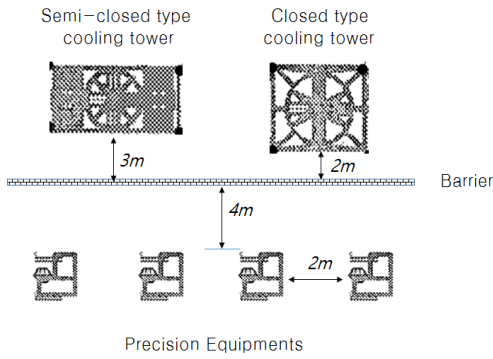


Fig. 4. Measurement position

냉각탑 및 정밀장비의 진동측정에는 주파수분석기(B&K Pulse Lite), 가속도센서(B&K 3560)를 사용하였으며, 공장내 바닥의 진동측정은 BlastMate II를 사용하였다. 소음 측정은 소음센서(B&K3410)와 주파수 분석기(B&K Pulse Lite)를 사용하였다. 진동 소음 측정 및 평가는 2장에 서술된 방법으로 하였다.

4. 측정 결과 및 고찰

4.1 냉각탑의 진동

밀폐형, 반 밀폐형 냉각탑의 지지 부위의 한 곳을 기준으로 냉각탑과 지지대 사이에 위치한 방진 스프링 상하 부위를 측정하였다(Fig. 5).

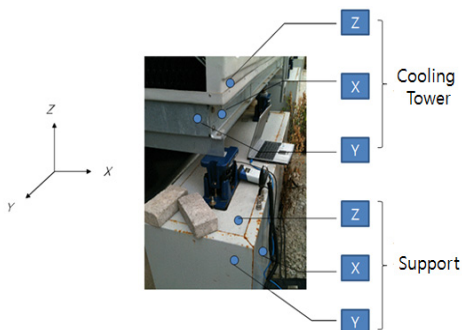
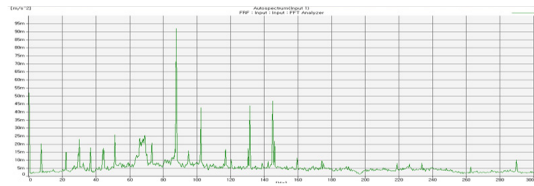


Fig. 5. Vibration measurement position

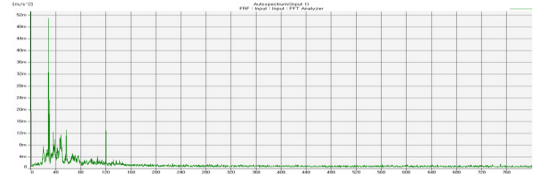
Table 4에 10Hz~800Hz 구간의 속도 및 가속도의 RMS 값을 정리하였다. Fig. 6은 반 밀폐형 냉각탑의 진동 주파수 양상이다.

Table 4. Vibration result

Position	Vibration	Cooling tower		
		semi close type	close type	
Cooling tower	X	mm/s ²	91	150
		μm/s	480	387
	Y	mm/s ²	56	341
		μm/s	471	592
	Z	mm/s ²	64	82
		μm/s	177	180
Support	X	mm/s ²	42	48
		μm/s	127	159
	Y	mm/s ²	40	62
		μm/s	123	186
	Z	mm/s ²	38	62
		μm/s	107	182



(a) x direction



(b) z direction

Fig. 6. Vibration spectrum at cooling tower

냉각탑의 진동은 밀폐형이 반 밀폐형에 비해 지지대 기준으로 약 10~15% 크다. 지지대에 위치한 방진스프링을 기준하여 z 방향의 진동은 약 30%로 감소되나, x, y 방향의 감소효과는 미미하다. 반밀폐형 냉각탑 내부의 모터, 감속기가 위치한 구동원의 베어링 부위에서 측정된 진동속도의 평균은 8.1mm/s로 IRD Mechanalysis Chart[6]를 기준으로 할 경우 'Fair(6~10 mm/s)'에 해당된다.

4.2 냉각탑의 소음

밀폐형 냉각탑의 2개 냉각탑 사이의 소음 및 냉각탑과 차단벽과의 소음 측정위치를 Fig. 7에 나타내었다. 측정값은 냉각탑 사이(N1)의 소음은 84dB(A), 냉각탑과

차단벽간(N2)의 소음은 89dB(A)이다.

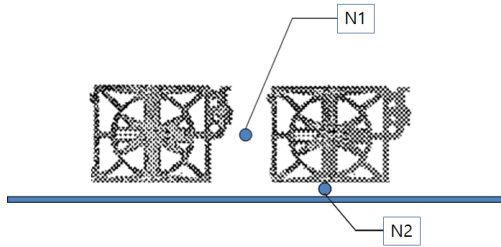


Fig. 7. Noise measurement position

이 측정치는 지상 1.5m 높이, 냉각탑으로부터 1m 거리에서 측정하였을 경우의 소음치이다. 측정 대상물의 소음 기준값은 Table 3에서 200R/T 기준으로 1.5m 높이, 3m 떨어진 거리에서 측정할 경우 68dB(A)이다. 측정치를 3m 거리로 소음치를 환산할 경우 음원으로부터 거리가 2배가 되면 $20\log 2$, 즉 6dB이 감소되므로 72~77dB(A)로 되어 냉각탑의 소음 기준값 68dB(A) 보다 4~9dB(A) 높다.

4.3 냉각탑과 정밀장비 바닥의 진동

냉각탑과 정밀장비 바닥의 진동 측정위치는 Fig. 8과 같이 밀폐형 냉각탑이 설치된 지지대(P1), 공장내 차단벽면 프레임(P2) 및 정밀장비가 설치된 바닥(P3) 부위의 상하 방향(z)이다. 진동 측정값은 Table 5에 표시되어 있다.

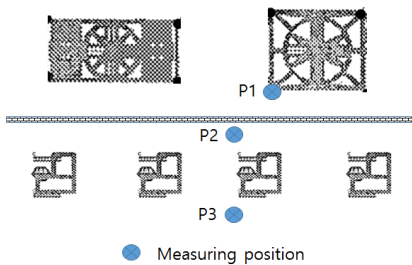


Fig. 8. Vibration measurement position

Table 5. Vibration result

Point	Measurement position	mm/s ²	μm/s
P1	Cooling tower base	107	166
P2	Barrier frame	64	101
P3	Precision equipment floor	96	114

냉각탑이 위치한 베이스의 진동은 공장 내부의 바닥의 진동보다 크며, 차단벽 바닥의 진동은 정밀장비 바닥의 진동보다 낮아 냉각탑의 진동이 정밀장비에 미치는 영향은 미미하다. 정밀장비가 설치된 실내 바닥의 상하 방향 진동의 평균치(10~100Hz, RMS)는 64mm/s^2 , $0.9\mu\text{m}$ 이다. 정밀장비 제조사에서 제시한 바닥의 허용진동치는 진폭 $1\mu\text{m}$, 진동 가속도 10mm/s^2 이하로 일반적인 반도체 정밀장비의 허용진동치와 유사하다. 이 기준을 감안할 때 정밀장비가 위치한 바닥의 진폭은 허용기준치 안에 들어가나 진동가속도 기준으로는 높게 나타났다.

4.4 정밀장비의 진동

정밀장비의 측정위치는 Fig. 9와 같으며, x, z방향으로 측정하여 최대 진동치는 Table 6에 10Hz~5kHz 구간의 RMS값으로 표시하였다.

정밀장비의 진동을 장비 기능에 중요한 위치인 로드(측정점 1)의 x축을 기준으로 할 경우(z축은 정밀도에 영향이 미미) 속도 $147\mu\text{m/s}$, 변위 $1.2\mu\text{m}$ 이다. 이 측정치는 BBN-Criterion의 정밀진동 class A의 $50\mu\text{m/s}$ 에 벗어나나, 진동에 민감한 장비의 허용 기준치[8]인 $1\mu\text{m}$ 와 근사하다.

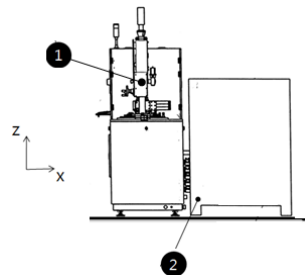


Fig. 9. Vibration measurement position

Table 6. Max. vibration result

Measurement position		X	Z
①	Equipment (load)	$113(\text{mm/s}^2)$	$413(\text{mm/s}^2)$
		$147(\mu\text{m/s})$	$530(\mu\text{m/s})$
		$1.2(\mu\text{m})$	$2(\mu\text{m})$
②	Equipment (Frame)	$131(\text{mm/s}^2)$	$245(\text{mm/s}^2)$
		$150(\mu\text{m/s})$	$240(\mu\text{m/s})$
		$1.0(\mu\text{m})$	$1.5(\mu\text{m})$

5. 결론

공장에 인접해 위치한 산업용 냉각탑의 진동소음이 공장내부의 정밀장비에 미치는 영향을 평가하기 위해 냉각탑과 공장의 바닥, 정밀장비를 대상으로 진동 소음을 측정하였다. 냉각탑과 정밀기계의 진동 소음 평가기준에 의해 정밀장비의 정밀도에 미치는 영향을 분석한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 냉각탑의 소음은 72~77dB(A)로 동일 용량 냉각탑의 기준 소음치인 68dB(A)보다 4~9dB(A) 높다. 냉각탑이 설치된 위치가 공장 벽면에서의 설치 기준 거리인 3m 이상이 되어야 하나 실제로는 약 2m~3m의 거리에 위치하므로, 이로 인한 대책이 필요하다.
2. 냉각탑의 진동은 밀폐형이 반 밀폐형에 비해 약 10~15% 진동이 크다. 반 밀폐형 냉각탑 내부의 모터, 감속기가 위치한 구동원의 베어링 부위에서 측정된 진동의 평균은 8.1mm/s로 IRD Mechanalysis Chart를 기준으로 할 경우 'Fair(6~10 mm/s)'에 해당된다.
3. 냉각탑의 진동이 정밀장비에 미치는 영향은 냉각탑이 위치하는 건물 지지 프레임의 진동이 정밀장비가 위치한 바닥의 진동보다 낮아 영향은 미미하다.
4. 정밀장비가 위치한 실내 바닥은 진폭은 허용기준치 안에 들어가나 진동 가속도 레벨 기준으로는 높게 나타났다. 정밀장비의 진동은 x축을 기준으로 할 경우 속도는 147 μ m/s, 변위는 1.2 μ m로 정밀장비의 진동 허용 기준치를 기준으로 할 경우 속도는 BBN-Criterion의 정밀 진동 class A의 50 μ m/s에 벗어난다.

References

- [1] G. B. Hill, "Cooling Towers Principles and Practice", Butterworth-Heinemann, 1990.
- [2] kyu-Bae Lee, "Noise Evaluation and Measurement of Cooling Tower at Apartment," Conference of KSNVE, p.1020-1023, 2004.
- [3] Murphy, Dan, "Cooling Tower Vibration Analysis", p.29-33, The Marley Cooling Tower Company,

Maintenance Technology, 1991.

- [4] Man Xu, "Control Measurements And Evaluation Of Cooling Tower Noise", Applied mechanics and Materials, pp.322-327, 2014.
- [5] Min Ho Lee, "Diagnosis of cooling tower", 7th system diagnosis course, KSNVE, 2008.03.
- [6] IRD Mechanalysis, INC, "General Machinery Vibration Severity Chart", 2001.
- [7] Jin-Kab Lee, "An Investigation on Noise Vibration Characteristic and Measurement Evaluation for Cooling Tower", J. of Korean Soc. of Mechanical technology, Vol.14, No. 6, 2015.
- [8] Kelly A. Salyards, "Review of Generic and Manufacturer Design Criteria for Vibration -Sensitive Equipment", Proceedings of the IMAC-XXVII, 2009.

이진갑(Jin-Kab Lee)

[정회원]



- 1994년 4월 : Ph.D. degree in mechanical engineering from Bochum University, Germany in 1993 (기계공학 박사)
- 2001년 2월 ~ 현재 : 경기과학기술대학교 기계자동화과 교수

<관심분야>

진동 소음, 동역학, 기계 설비 진단