

혹한기 결빙 방지를 위한 열회수형 환기장치 개발에 관한 연구

박우철^{*}, 김일겸¹, 태경웅²

¹강원대학교 기계설계공학과, ²은성화학(주) 부설연구소

A Study on the Development of Heat-Recovery Ventilator for Preventing Freezing in a Cold Weather

Woo-Cheul Park^{*}, Il-Gyoum Kim¹, Kyung-Eung Tae²

¹Dept. of Mechanical Design Eng., Kangwon National University

²Research Institute, Eunsung Chemical Co., LTD

요약 본 연구는 혹한기 결빙 방지를 위한 열회수형 환기장치의 개발에 관한 연구로써, 개발에 필요한 내부 리턴 댐퍼를 최적화하여 적용하기 위하여 전산유체해석(Computational Fluid Dynamics)을 수행하였고 이를 바탕으로 실험을 위한 시제품을 만들어 혹한기 결로 및 결빙실험을 수행하였다. 배기 재순환 비율이 최대가 되는 최적의 내부 리턴 댐퍼를 설계하기 위하여 총 16 model의 전산유체해석을 수행하였다. 전산유체해석 결과 외기에 대한 배기 재순환 비율은 59.9% ~ 62.3%로 나타났다. 외기온도(Outdoor Air Temperature)가 -15℃ 이상에서는 배기 재순환 운전과 통상 운전 모두 결로와 결빙이 발생하지 않았다. 그러나 외기온도가 -20℃에서는 내부 리턴 댐퍼를 45° 열어 배기 재순환 운전을 하여야 결로와 결빙이 발생하지 않았다. 혹한기 결빙 방지를 위한 열회수형 환기장치는 외기온도에 따라 통상 운전 모드와 배기 재순환 운전 모드의 두 가지 운전모드로 운전하여야 한다. 외기온도가 -15℃보다 높을 경우에는 통상 운전 모드로 작동하고 외기온도가 -15℃보다 낮을 경우에는 재순환 운전 모드로 작동하는 열회수형 환기장치의 운전 알고리즘을 개발하여 적용하였다.

Abstract Computational fluid dynamics was used to develop a heat-recovery ventilator for preventing freezing in cold weather. An optimal internal return damper was applied, and a prototype was made for frost and freezing experiments. A total of 16 models were used to design the optimal internal return damper with the maximum exhaust recirculation ratio. The exhaust recirculation ratio of the exhaust air to the outdoor air was 59.9-62.3%. The tests showed that frost and freezing did not occur at outdoor air temperatures of -15℃ or higher in both exhaust recirculation operation and normal operation. However, at an outdoor air temperature of -20℃, no freezing occurred in the outdoor air area when the internal return damper was opened by 45 degrees. Heat recovery ventilators for preventing cold weather frost and freezing should be operated in two operation modes: normal and exhaust recirculation mode. An operating algorithm was developed for the heat-recovery ventilator operating in normal mode when the outdoor temperature is higher than -15℃ and recirculation mode when the temperature is lower.

Keywords : Heat-recovery ventilators, Frost, Freezing, Recirculation, Return damper

1. 서론

환기란 오염된 실내공기와 청정한 실외공기를 치환하

는 것으로 크게 자연환기와 기계 환기가 있다. 환기의 주요 목적은 외부의 신선한 공기를 실내로 유입시켜 실내의 오염된 공기를 희석하거나 일부를 배출시킴으로서 실

본 연구는 중소기업청 구매조건부 신제품개발사업(S2340864)과 2016년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비(관리번호 -620160052)에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Woo-Cheul Park(Kangwon National Univ.)

Tel: +82-33-570-6392 email: wchpark@kangwon.ac.kr

Received February 26, 2018

Revised March 20, 2018

Accepted May 4, 2018

Published May 31, 2018

내 공기의 질을 유지하는 것이다. 먼지로 오염된 공기는 필터로 제거 할 수 있지만 주거 공간 내에서 사람의 활동으로 인하여 발생된 이산화탄소와 감소된 산소는 환기로서만 회복이 가능하다. 열회수형 환기장치는 이와 같이 실내공간의 오염물질을 포함한 공기를 외부로 배출시킴과 동시에 장치 내부에 구비된 열교환기에 의해 버려지는 열을 회수하여, 실내로 유입시키는 신선한 실외공기에 열을 전달하는 기능을 통해 실내 환경을 쾌적하게 유지하면서 에너지를 절약한다.

현재 에너지 절감과 실내 환경 개선을 위하여 대부분의 신축 공동주택에서 열회수형 환기설비가 가장 많이 보급되고 있으나, 홍보 미비나 사용방법의 미숙 및 에어 필터를 정기적으로 청소 또는 교체하지 않아 발생하는 사후관리 문제와 겨울철 환기장치 내부에 결로가 발생하는 문제가 제기되고 있다. 국내 외기조건에서 열회수형 환기장치의 성능에 관한 연구를 통해 동절기에 배기측에서 응축 및 응결에 대한 문제를 인식하고 이에 대한 방지대책의 필요성을 언급하였다[1].

Fig. 1은 열회수형 환기장치 내부에서 결로수에 의하여 발생한 내부 부식을 나타낸 것이며, Fig. 2는 결로수에 의해서 열교환기와 외기 필터에 발생된 곰팡이를 나타내는 것으로 이는 실내 거주자의 건강을 위협할 수 있다[2].



Fig. 1. Corrosion of a heat-recovery ventilator by dew condensation.



Fig. 2. A photo of a heat exchange core covered with mold.

일반적으로 열회수형 환기장치의 결빙은 동절기에 발생하며 방지대책으로는 급기 팬 가동 중지, 따뜻한 공기 재순환, 급기예열, 열효율 감소 및 급기 풍량 감소 등이 제시되고 있다[3-5].

이중 가장 손쉽게 적용이 가능한 방법으로는 급기 예열 방법이 있는데 이는 에너지 절감이라는 열회수형 환기장치의 본연의 목적이 사라지는 단점이 있다[6].

이에 본 연구에서는 배기(Exhaust Air)측과 외기측(Outdoor Air)에 내부 리턴 댐퍼를 설치하여 배기의 일부를 외기측으로 보내 열교환기로 공급되는 온도를 높여 외기온도 -20℃에서도 결로가 발생하지 않는 열회수형 환기장치를 개발하였다.

2. 본론

2.1 내부 리턴 댐퍼

2.1.1 수치해석

Fig. 3에서 보는 바와 같이 배기되는 공기를 외기측에 공급하기 위하여 배기측과 외기측 격벽 사이에 내부 리턴 댐퍼를 설치하여 댐퍼의 설치형상과 열리는 방향에 따라 공기의 재순환 유량이 많은 형상을 결정하기 위하여 상용 전산유체해석(CFD) 프로그램인 CFX를 이용하여 유동해석을 수행하였다.

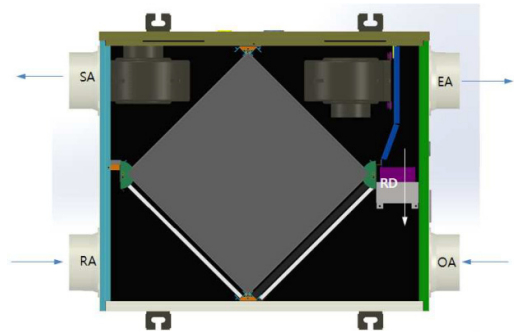


Fig. 3. Concept of return damper.

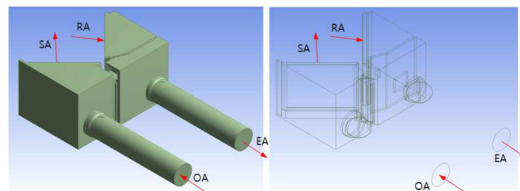


Fig. 4. Modeling of CFD.

Fig. 4는 유동해석(CFD)의 모델링이고, Fig 5는 유동 해석을 위하여 생성한 격자(mesh)이고, Fig. 6은 유동해석의 경계조건을 나타낸 것이다. 난류해석 모델은 standard k-ε를 사용하였다.

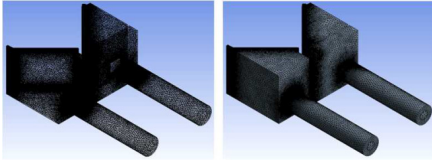


Fig. 5. Mesh of CFD.

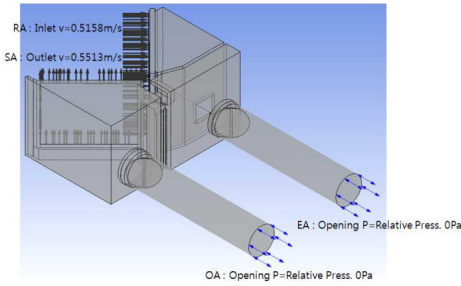


Fig. 6. Boundary condition of CFD.

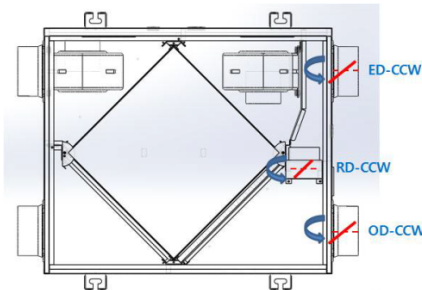


Fig. 7. Direction of damper rotation in vertical installation.

배기측과 외기측에 내부 리턴 댐퍼를 설치하여 배기의 일부를 외기측으로 보내 열교환기로 공급되는 온도를 높이기 위한 열회수형 환기장치는 리턴 댐퍼의 설치방법과 열리는 방향에 많은 영향을 받을 것으로 판단된다. Fig. 7은 댐퍼의 설치방법은 수직이고, 댐퍼의 열리는 회전방향이 반시계 방향인 경우를 나타낸 것이다.

유동해석은 Table 1과 같이 댐퍼의 설치 방법과 열리는 회전방향에 따라 총 16가지로 해석하였다.

급기(SA) 풍량 150CMH와 환기(RA) 풍량150CMH 일 경우에 대하여 배기(EA) 풍량, 외기(OA) 풍량 및 배기 재순환 풍량에 대한 유동 해석 결과는 Table 2.와 같

이 나타났으며, 내부 리턴 댐퍼로 인하여 환기(RA) 측의 공기가 배기(EA) 측으로 전부 배출되지 않고 일부는 배기(EA) 측으로 나머지는 외기(OA) 측으로 재순환된다. 외기(OA)측으로 재순환되는 공기의 양이 제일 많은 Model은 Model 16과 08 순으로 나타났다.

Table 1. Model of CFD.

Model	RD (Return damper)	OED (OA & EA damper)
01	Vertical - CCW 45°	Vertical - CCW 45°
02	Vertical - CCW 45°	Vertical - CW 45°
03	Vertical - CCW 45°	Horizontal - CCW 45°
04	Vertical - CCW 45°	Horizontal - CW 45°
05	Vertical - CW 45°	Vertical - CCW 45°
06	Vertical - CW 45°	Vertical - CW 45°
07	Vertical - CW 45°	Horizontal - CCW 45°
08	Vertical - CW 45°	Horizontal - CW 45°
09	Horizontal - CCW 45°	Vertical - CCW 45°
10	Horizontal - CCW 45°	Vertical - CW 45°
11	Horizontal - CCW 45°	Horizontal - CCW 45°
12	Horizontal - CCW 45°	Horizontal - CW 45°
13	Horizontal - CW 45°	Vertical - CCW 45°
14	Horizontal - CW 45°	Vertical - CW 45°
15	Horizontal - CW 45°	Horizontal - CCW 45°
16	Horizontal - CW 45°	Horizontal - CW 45°

Table 2. Results of CFD.

Model	EA flow rate [CMH]	OA flow rate [CMH]	Recirculation flow rate [CMH]
01	59.2(39.5%)	59.2(39.5%)	90.8(60.5%)
02	58.6(39.1%)	58.6(39.1%)	91.4(60.9%)
03	60.1(40.1%)	60.1(40.1%)	89.9(59.9%)
04	57.1(38.1%)	57.1(38.1%)	92.9(61.9%)
05	59.8(39.9%)	59.8(39.9%)	90.2(60.1%)
06	59.0(39.3%)	59.0(39.3%)	91.0(60.7%)
07	59.7(39.8%)	59.7(39.8%)	90.3(60.2%)
08	56.9(38.0%)	56.9(38.0%)	93.1(62.0%)
09	58.4(39.0%)	58.4(39.0%)	91.6(61.0%)
10	58.6(39.1%)	58.6(39.1%)	91.4(60.9%)
11	59.6(39.7%)	59.6(39.7%)	90.4(60.3%)
12	56.7(37.8%)	56.7(37.8%)	93.3(62.2%)
13	59.2(39.5%)	59.2(39.5%)	90.8(60.5%)
14	58.4(39.0%)	58.4(39.0%)	91.6(61.0%)
15	59.7(39.8%)	59.7(39.8%)	90.3(60.2%)
16	56.6(37.7%)	56.6(37.7%)	93.4(62.3%)

Fig. 8은 실제 제품 개발에 적용한 Model 08에 대한 유선과 속도분포를 나타낸 것이다.

2.1.2 실험

외기(OA)측으로 재순환되는 공기의 양이 제일 많은 Model은 Model 16과 08 순으로 나타났으나, 리턴댐퍼

가 수평일 경우에는 댐퍼의 설계가 복잡해진다. 따라서 설계가 간편한 Model 08을 적용하여 인천대학교 지역혁신센터(Regional Innovation Center)에서 실험을 수행하였으며 실험 결과는 Table 3과 같이 나타났다. 댐퍼의 개방 각도가 증가함에 따라 재순환 공기의 양이 증가하는 경향으로 나타났으며 개방각도가 45° 일 경우 외기(OA)와 배기(EA)에서 재순환되는 공기의 양이 1:1로 혼합되어 급기(SA)로 공급되는 것으로 나타났다.

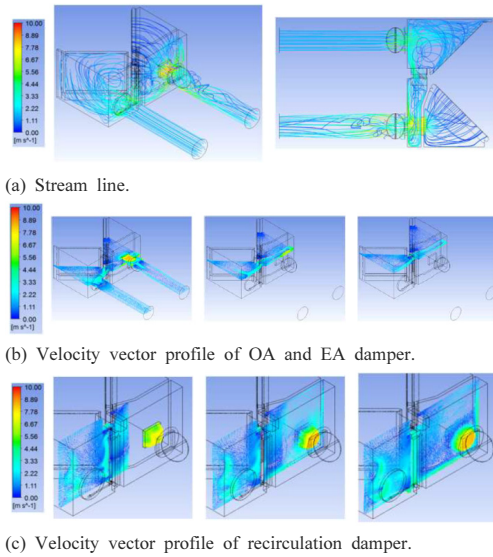


Fig. 8. CFD results of Model 08.

Table 3. Results of experiment.

Damper opening angle	OA [%]	EA [%]
11°	80	20
22°	70	30
35°	60	40
45°	50	50

2.2 결로 및 결빙

2.2.1 실험방법

결로 및 결빙실험은 KS B 6879 (열회수형 환기장치)의 규정과 그 부속서 C : 결로 시험 방법에 의거하여 인천대학교 지역혁신센터 (Regional Innovation Center)에서 실시하였다[7].

KS 규정에는 동계 실외 온도조건이 -5°C 이지만, 본 실험에서는 -20°C 까지 실험하면서 내부 리턴 댐퍼의 열림 각도를 0°, 11°, 22°, 33° 및 45° 개방하여 각각 4 시간씩 가동하면서 결빙을 관찰하였다. Fig. 9는 이중

항온·항습 챔버 내부에 열회수형 환기장치를 설치한 사진이다.

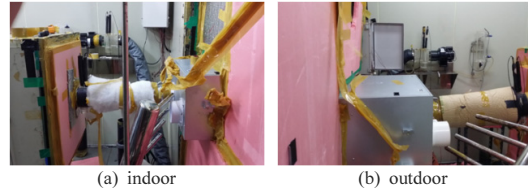


Fig. 9. Photos of experimental device.

2.2.2 실험결과

Table 4는 외기온도에 따른 내부 리턴 댐퍼의 각도에 따른 결로 및 결빙 발생 결과를 나타낸 것으로 외기온도가 -15°C 보다 높을 경우에는 모든 경우 결빙 현상이 발생하지 않았으나 외기온도가 -20°C 일 경우에는 내부 리턴 댐퍼 개방각도가 0°~33° 범위에서는 결빙현상이 관찰되었고 내부 리턴 댐퍼 개방각도가 45° 일 경우에는 결빙현상이 관찰되지 않았다.

Table 4. Results of freezing experiment.

no.	OA temperature	RD open angle	freezing zone
01	-20°C	0°	heat exchanger core & inner side of EA
02		22°	inner side of OA
03		33°	inner side of OA
04		45°	none
05	-15°C	0°	none
06		22°	none
07		33°	none
08	-10°C	45°	none
09		0°	none
10		22°	none
11		33°	none
12	-5°C	45°	none
13		0°	none
14		22°	none
15		33°	none
16		45°	none

Fig. 10과 Fig. 11은 외기온도가 -20°C이고 댐퍼 개방 각도가 각각 0°와 22° 일 경우 결빙이 발생한 사진이다.

따라서 실외온도가 -15°C 미만 일 경우에는 내부 리턴 댐퍼를 45° 열고 운전하는 배기(EA) 재순환 운전 모드 알고리즘은 Fig. 12와 같이 외기 온도를 측정하여 설정 온도 즉 -15°C 미만일 경우에는 내부 리턴 댐퍼를 45° 열어 운전하는 배기(EA) 재순환 모드로 운전을 수행하고 -15°C 이상일 경우에는 내부 리턴 댐퍼를 닫고

운전하는 정상 운전 모드로 운전하는 혹한기 결빙을 방지하는 열회수형 환기장치를 개발하였다.



Fig. 10. A photo of freezing in case of -20°C of OA temperature and 0° open of recirculation damper.



Fig. 11. A photo of freezing in case of -20°C of OA temperature and 22° open of recirculation damper.

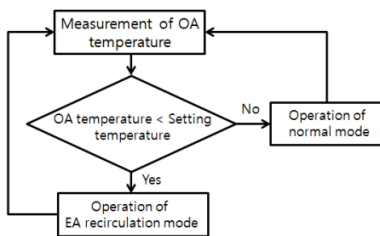


Fig. 12. Algorithm of EA recirculation mode operation.

2.3 개발제품

본 연구를 통하여 제작한 열회수형 환기장치는 Fig. 12와 같이 기존 제품의 환기(Return Air) 내부 공간에 바이패스 기구부를 구비한 것으로서, 프리 히팅 기능으로는 전기히터 대신 열회수 환기장치 내부의 배기(Exhaust Air) 공간에서 외기(Outside Air) 공간으로 내부 연통이 가능하도록 격판과 모터댐퍼로 구성되는 내부 리턴 기구부를 적용하였으며, 프리필터(중량법 90%)와 고효율 필터(비색법 90%)를 추가한 것으로서 국토교통부 건강친화형 주택건설기준에 적합하게 설계된 열회수형 환기장치이다.

기본 성능은 대표모델 100m³/h의 경우 소비전력은 39W이고, 소음은 36dB(A)이며, 전열교환 효율은 냉방 시 73%, 난방 시 82%이고, 에너지 계수는 냉방 시 12.7, 난방 시 18.9 이다.



Fig. 13. A photo of developed Heat-recovery ventilators.

3. 결론

본 연구에서는 혹한기 결빙 방지를 위한 열회수형 환기장치를 개발에 관한 연구로 최적의 내부 리턴 댐퍼를 적용하기 위하여 전산유체해석을 수행하고 이를 통하여 실험을 위한 시제품을 만들어 혹한기 결로 및 결빙실험을 진행하였다. 결과는 다음과 같다.

- (1) 최적의 내부 리턴 댐퍼를 설계하기 위하여 총 16가지의 전산유체해석(CFD)를 통하여 배기(EA)가 외기(OA)쪽으로 흐르는 배기 재순환 비율은 59.9%~62.3%로 나타났으며 가장 큰 Model은 08과 가장 많이 흐를 수 있는 Model 16(62.3%)이나 실제 제품화하기 어려워 거의 비슷한 배기 재순환 비율을 갖는 Model 08(62.0%)을 선정하여 내부 리턴 댐퍼를 설계·제작하였다.
- (2) 결로 및 결빙 실험을 통하여 외기(OA) 온도가 -15°C 이상에서는 배기 재순환 운전과 통상운전 모두 결로 및 결빙 현상이 발생하지 않았으나 외기(OA) 온도도가 -20°C 에서는 통상운전에서는 열교환 소자와 배기(EA) 내부에 심각한 결빙이 발생하고, 내부 리턴 댐퍼를 22° 열었을 경우는 외기(OA) 내부에 결빙이 발생하고, 내부 리턴 댐퍼를 33° 열었을 경우는 외기(OA) 내부에 약한 결빙이 발생하고, 내부 리턴 댐퍼를 45° 열었을 경우는 외기(OA) 내부에 결빙이 발생하지 않는다.

- (3) 따라서, 흑한기 결로 및 결빙을 방지하는 열회수형 환기장치는 외기(OA) 온도에 따라 두 가지 운전 모드(통상 운전 모드와 배기 재순환 운전모드)로 운전을 수행하여야 환기장치의 내부 결로 및 결빙을 방지할 수 있다.

References

[1] IL-Gyoom Kim, Woo-Cheul Park, "A Study on Performance of Energy Recovery Ventilator under Outdoor Conditions in Korea", *Journal of Academia Industrial Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 52-57, 2009. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.1.052>

[2] Byung-Heon Jeon, Jong-Won Kim, Seung-Kap Lee, Young-Ju Lee, Young-Chull Ahn, "A Study on the Dew Condensation According to the Operational Conditions of Heat-Recovery Ventilator", *Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol 25, no. 10, pp. 529-533, 2013. DOI: <https://doi.org/10.6110/KJACR.2013.25.10.529>

[3] E.G. Phillips, R.E. Chant, B.C. Bradley, D.R. Fisher, "A Model to Compare Freezing Control Strategies for Residential Air-to-Air Heat Recovery Ventilators", *ASHREA Transactions*, vol. 95, no. 2, pp. 475-483, 1989.

[4] E.G. Phillips, R.E. Chant, D.R. Fisher, B.C. Bradley, "Comparison of Freezing Control Strategies for Residential Air-to-Air Heat Recovery Ventilators", *ASHREA Transactions*, vol. 95, no. 2, pp. 484-490, 1989.

[5] C.G. Barringer, C.A. Mcgugan, "Effect of Residential Air-to-Air Heat and Moisture Exchangers on Indoor Humidity", *ASHREA Transactions*, vol. 95, no. 2, pp. 461-474, 1989.

[6] Won-Jun Kim, Hui-Jeong Kim, Dong-Seob Yoon, Jae-Weon Jeong, "Regional Preheat Coil Capacity Estimation for Preventing Condensation in Sensible Heat or Energy Recovery Ventilators", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design*, vol. 32, no. 10, pp. 105-112, 2016. DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_PD.2016.32.10.105

[7] KS B 6879, "Heat-recovery ventilators", Korean Standards, 2015.

박 우 철(Woo-Cheul Park)

[종신회원]



- 1987년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1997년 8월 ~ 현재 : 강원대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

지능형 구조물 및 시스템, 진동 및 소음, 친환경기계설비

김 일 검(Il-Gyoom Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 인하대학교 공과대학 기계공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 2010년 10월 : 강남필터(주) 연구소장
- 2012년 1월 ~ 2018년 2월 : 첨단기공(주) 연구소장
- 2016년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 기계설계공학과 시간강사

<관심분야>

열유체, 공기조화, 유체기계, 실내공기질, 산업기계설비

태 경 응(Kyung-Eung Tae)

[정회원]



- 1997년 2월 : 인하대학교 공과대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1988년 7월 ~ 현재 : 동서기술(주), 은성화학(주) 등, 중소기업 연구소 연구소장
- 1999년 3월 ~ 현재 : 수원과학대학교 기계과, 건축설비과 겸임교수

<관심분야>

열에너지, 공기조화