

에너지 절감형 전기 유류 겸용 온풍기 개발

정성원[#], 김동건^{*}, 공상호^{**}

Development of Electrical and Oil Heater for Energy Saving

Sung-Won Chung[#], Dong-Keon Kim^{*}, Sang-Ho Gong^{**}

(Received 5 January 2011; received in revised form 5 August 2011; accepted 6 October 2011)

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the structural stability of hybrid type fan heater. The evaluation of structural safety of hybrid fan heater was conducted by using Ansys Workbench and CFX-11 under the design condition. The hybrid fan heater was operated by heat transfer for heat source supplied from electric heater and combustion gas. According to result of structural analysis, the maximum equivalent stress of hybrid fan heater was 150MPa when the temperature of heat transfer fluids was 150°C. It was found that the hybrid fan was structurally safe because the value of maximum equivalent stress was smaller than that of yield stress of the material.

Key Words : Energy Saving(에너지 절감), Hybrid Fan Heater(하이브리드 온풍기), Structural Analysis(구조해석), Computational Fluid Dynamics(전산유체역학), Heat Transfer Fluids(열매체유)

1. 서 론

2008년 국제원유가격이 100 \$를 넘어서면서 에너지에 대한 모든 분야에서 새로운 시각으로 석유에너지를 사용하지 않거나 절감하는 기계장치의 개발이 확대되었으며, 생산비의 30%를 차지하는 시설농업 분야에서는 영농자체가 불가능할 정도로 귀로에 처하게 되었다. 이에 정부에서는 전기 온풍기의 보급을 시도하였으며, 다양한 업체에서 농업용 전기 온풍기를 개발하게 되었다^[1]. 기존의 전기 온풍기는 열량 부족으로 인해 온실에서 생육적온을 유지시킬 수 있는

능력이 부족하여 실용화되지 못하고 있다. 또한 시설 농업은 일정지역에 집중화되어 있어서 전기 온풍기가 많이 설치되어 가동될 경우 전력 수급에도 문제가 불가피하다. 본 연구에서는 고유가시대에 시설난방 유류비를 절감하고, 전기 온풍기의 열량을 적절히 사용할 수 있는 겸용형 온풍기를 개발하고자 한다. 겸용형 온풍기의 작동 원리는 일반 유류 온풍기의 열교환기를 그대로 적용하고 열교환기의 주변의 공간을 적절하게 활용하여 전기 히터로 가열하는 열매체유를 저장하는 공간을 추가하여 설치한다. 외형 구조는 기존 유류형 온풍기를 그대로 적용하여 호환성이 있게 하고, 난방부하가 크지 않은 평상시에는 전기 히터로만 작동하여 시설 내를 난방하고, 혹한기에는 유류 버너가 작동하여 필요한 열량을 충분히 공급할 수 있도록 설계하였다.

교신저자 : 부산대학교 바이오산업기계공학과

E-mail : chung@pusan.ac.kr

* 부산대학교 기계기술연구원

** (주)프로다이나믹스산업

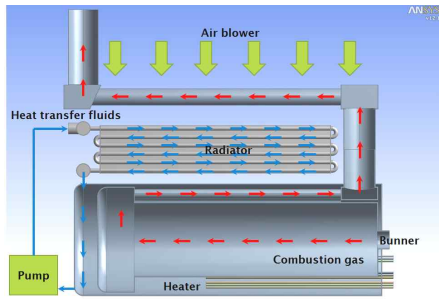


Fig. 1 Schematic diagram of electrical and oil heater

농업용 온풍 난방기^[2,3]는 석유연료(경유, 중유)를 사용하고 있으며, 유류 버너로부터 연소시킨 연소가스가 3-pass 형태의 열교환기를 통과하면서 발열하고, 외부 연통으로 배출된다. 이때 발열된 열량을 상부에 장착된 송풍기가 온실 내부로 강제 송풍하는 방식이다. 새로 개발한 겸용 온풍기는 Fig. 1에서 나타낸 것과 같이 유류 온풍기의 2단 3단 pass의 공간과 외부에 1단 pass의 열매체유를 충전할 수 있는 열교환기를 추가적으로 설계하였다. 열매체유가 충전된 열교환기에는 전기 히터가 설치되어 자동 컨트롤러에 의해 평상시에는 전기 히터만으로 온풍난방하고, 혹한기에는 추가적으로 유류 버너를 작동시켜 난방을 한다. 전기 유류 겸용 온풍기는 다양한 기능을 가지고 있기 때문에 설계시 주의해야 할 점이 있다. 전기로부터 얻은 에너지를 저장하는 열매체가 전기 히터와 연소가스에 의한 열전달로 인해 팽창하였을 경우 구조적으로 문제가 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 에너지 절감형 전기 유류 겸용 온풍기 설계 시 고려되어야 할 높은 열원에 대해 Ansys Workbench^[4]와 CFX^[5]를 이용하여 열응력을 조사하여 구조적 안정성을 검토하여 설계에 반영하고자 한다.

2. 전기유류 겸용 온풍기의 유동해석

2.1 해석 모델

에너지 절약형 온풍기 내부 유동에 대한 연구는 비정상, 비압축성 난류유동의 해석에 3차원 레이놀즈 평균 Navier-Stokes 방정식을 적용하며, 지배 방정식은 유한 체적법에 의해 이산화된다. 온풍기 내부

유동은 버너에서 연소하여 보일러 내부로 들어오는 연소 가스 유동과 전기 히터에 의해 가열되어 원심 펌프를 통해 방열기(Radiator)에 공급되어 흐르는 열매체유 유동으로 구분된다. 전기 히터와 보일러를 동시에 사용할 경우 열매체유는 연소가스와 전기 히터에서 공급되는 열원에 의해 온도가 상승하게 된다. 상승된 열매체유 온도는 방열기에서 외부 공기에 의해 강제대류로 냉각되고, 반대로 가열된 공기는 송풍기를 통해 외부로 방사함으로써 실내가 난방된다.

본 연구에서는 겸용 온풍기 내부에 있는 열매체유와 연소가스에 대한 유동 및 열전달 특성을 파악하기 위해 연소가스 유동과 열매체유 유동을 동시에 해석하였다.

2.2 격자 생성 및 경계조건

Fig. 2는 본 해석에 사용된 격자를 나타낸 것으로, Ansys Mesh을 이용하여 생성하였다. 연소가스 유동, 온풍기 몸체, 열매체유 유동에 생성된 격자의 노드 수는 각각 780,539, 490,220, 377,940이다.

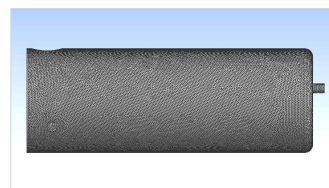
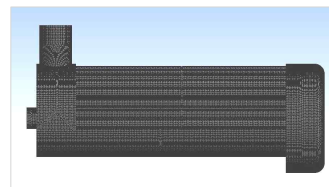
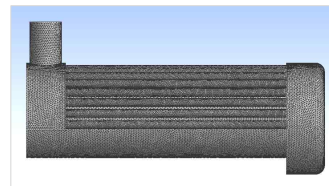


Fig. 2 Grid generation

Fig. 3은 유동해석의 경계조건을 나타낸 것이다. 연소가스의 입구 조건은 온도와 압력을 각각 1600℃, 10bar로, 출구 조건은 대기압 상태로 연소가스가 배출되기 때문에 대기압 조건으로 설정하였다. 열매체유의 입구 조건은 방열기에서 강제 대류에 의해 냉각된 온도를 50℃로 가정하였고, 열매체유 출구 조건은 펌프에 의해 작동되는 압력조건인 0.1bar 진공 압력으로 하였다. 몸체와 열매체유, 몸체와 연소가스가 접하는 부분에 대해서는 인터페이스를 설정하여 열전달 효과가 나타나게 하였다. 온풍기 하부에는 전기 히터를 설치하였고, 전기 히터의 온도 조건은 온풍기 작동시 열매체유의 온도를 통해 제어하는 조건에 맞게 150℃, 300℃로 하였다. 본 해석에 사용된 열매체유는 이수화학에서 만든 세리오라 K-2120으로, 작동유체에 대한 물리적, 열적 성질은 Table 1에 나타내었다.

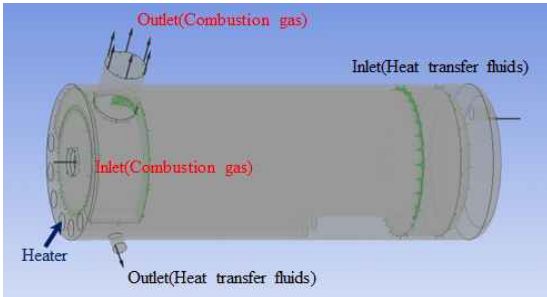
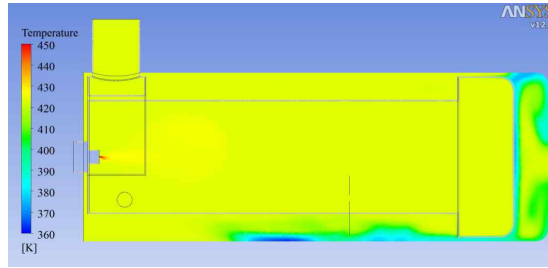


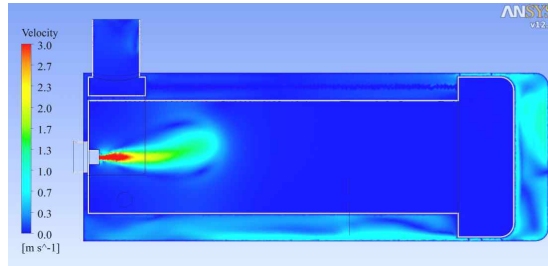
Fig. 3 Boundary condition

Table 1 Property of heat transfer fluids

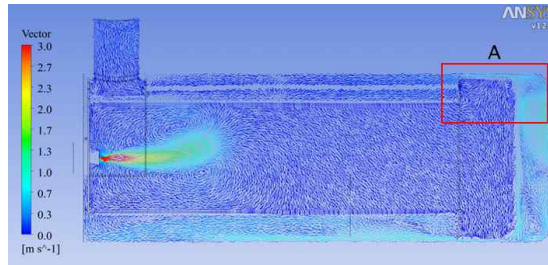
Seriola K-2120			
Properties	Unit	Value	
Specific gravity 15/4℃	-	0.8561	
Viscosity	at 40℃	20.2	
	at 100℃	4.03	
	at 200℃	1.17	
	at 300℃	0.65	
Thermal expansion coefficient	/℃	7.7×10^{-4}	
Maximum operating temperature	℃	320	
Limited temperature	℃	360	



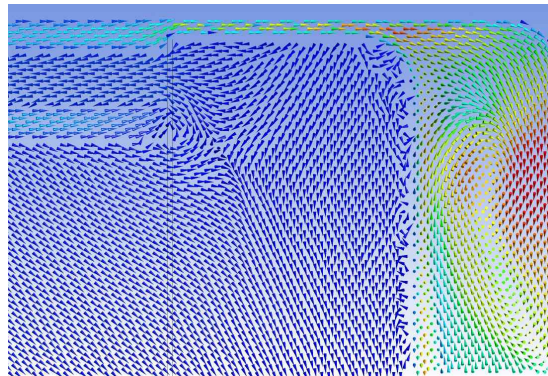
(a) Temperature



(b) Velocity



(c) Velocity vector



(d) Velocity vector in region A

Fig. 4 Distributions of temperature and velocity for heater temperature 150℃

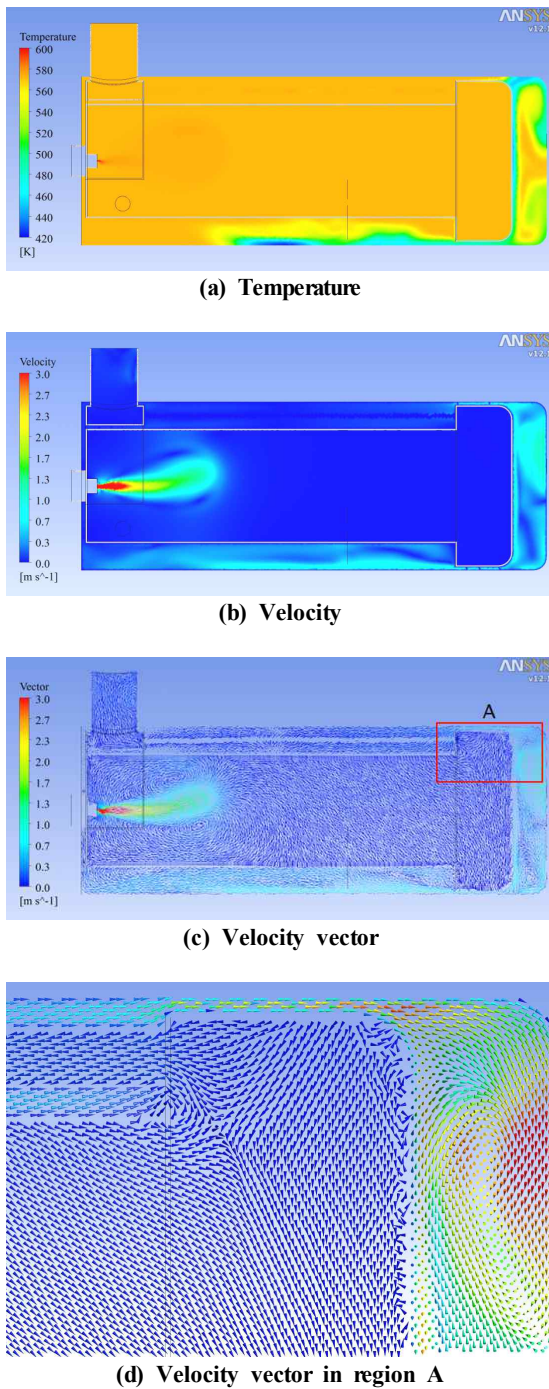


Fig. 5 Distributions of temperature and velocity for heater temperature 300°C

2.3 해석 결과

Fig. 4와 Fig. 5는 전기 히터의 온도를 각각 150°C와 300°C로 하여 온풍기 내부에 발생하는 연소가스 유동과 열매체유 유동특성을 조사하기 위해 내부의 온도 및 속도 분포를 나타낸 것이다.

Fig. 4(a)는 전기 히터의 온도가 150°C인 경우에 온풍기 내부의 온도 분포를 나타낸 것이다. 온풍기 내부의 온도 분포를 살펴보면, 연소가스 온도는 버너에서 분사된 연소가스의 초기온도가 1600°C이지만, 주위에 있는 유체와 온풍기의 몸체로 열원이 전달되면서 온도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 보일러 내부의 벽면 온도를 계산한 결과 149.758°C이다. 방열기 출구와 연결된 입구 열매체유 온도는 50°C이지만, 상부의 연소가스에 의해 가열되면서 보일러 외부 벽면의 평균온도는 145.821°C이고, 열매체유 내부 벽면의 평균온도는 139.312°C로 계산되었다. 여기서 계산된 온도의 결과는 온풍기의 구조해석에서 벽면의 온도 조건으로 사용할 것이다.

Fig. 4(b), (c), (d)에 나타낸 연소가스와 열매체유의 속도 분포를 보면, 연소가스는 분사된 직후에 대류에 의해 유동이 상향되고, 상향된 유동은 주위 정지된 외기에서 와류를 형성하여 출구 방향으로 나아가는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 와류는 열매체유와 열전달을 촉진시킬 것으로 사료된다. 열매체유는 펌프로 인해 흡입되어 나가는 출구부분과 방열기로부터 들어오는 입구부분에서 유동이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 열매체유는 전기 히터와 연소가스의 열원에 의한 열전달로 인해 온도가 149°C로 상승하여 방열기에 공급된다. 입구온도를 50°C로 가정하였기 때문에 입구온도와 출구온도 차만큼 난방효과가 나타나는 것을 예측할 수 있다. Fig. 4(d)는 Fig. 4(c)에 나타낸 A영역에 대해 자세히 나타낸 것이다. A영역은 연소가스와 열매체유의 열전달이 활발하게 일어나는 부분으로 유동 형태를 보면 대향류로, 연소가스와 열매체유는 효율적으로 열전달하고 있는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 전기 히터의 온도를 300°C로 설정하여 해석한 것으로 유동 형태는 Fig. 4의 결과와 거의 유사하게 나타나는 것으로 파악되었다. 단, 전기 히터의 온도가 300°C이기 때문에 열매체유의 온도는 전체적으로 상승하였다. 구조해석을 수행하기 위해 벽면온

도를 계산한 결과는 연소가스 유동 내부의 벽면 평균 온도는 299.094℃이고, 열매체유 유동 중 연소가스쪽 벽면 온도는 289.551℃이고, 외기쪽 벽면 온도는 273.278℃이다.

3. 전기 유류 겸용 온풍기의 구조해석

3.1 유한요소 모델

온풍기는 보일러, 연소가스 배관, 열매체유 탱크, 히터, 열교환기 등으로 구성되어 있다. 여기서 고온의 온풍을 유지하기 위해서는 연소가스와 열매체유에 대한 온도 분포를 조사하여 온풍기 내부에 미치는 열응력을 파악하고, 구해진 열응력을 토대로 시제품의 재질에 따른 제품의 구조적 안정성을 검토하여야 한다. 그래서 온풍기에서 온도에 영향을 가장 많이 받는 부분인 보일러 내부와 열매체유 탱크에 대해서만 부분적으로 구조해석을 수행하였다. 온풍기의 구조는 좌우 대칭적으로 되어 있기 때문에 대칭조건(Symmetry condition)을 적용하여 해석하였고, 유한요소 모델은 Fig. 6에 나타내었고, 격자 정보는 Node 수가 749,244이고, Elements 수가 233,129이다. 온풍기 내부에 있는 보일러와 열매체유 탱크는 구조강으로 제작되었고, 구조강(Structural steel)에 대한 물성치는 Table 2에 나타내었다.

3.2 경계조건 및 접촉조건

Fig. 7은 경계조건을 나타낸 것으로, 보일러 내·외부 벽면 온도와 열매체유 탱크의 내부 벽면 온도는 유동해석을 통해 얻어진 결과를 적용하였다. 그리고 열매체유의 가열 보조 장치인 전기 히터의 온도는 유동해석의 경우와 마찬가지로 150℃와 300℃로 해석을 수행하였다. 열매체유 탱크의 외부 벽면 조건은 강제대류 조건을 설정하여 송풍기에 공급되는 외부 공기에 의해 열이 방출될 수 있도록 하였다. 구속 조건은 보일러가 거치대에 놓여 있기 때문에 따로 고정 조건을 설정하지 않았고, 각 부품에 대한 접촉 조건은 서로 접합되어 있기 때문에 bonded 조건을 적용하였다.

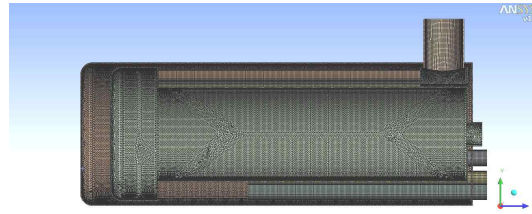


Fig. 6 Finite element model

Table 2 Property of structural steel

Property	Value
Modulus of elasticity	200[GPa]
Poisson's ratio	0.3
Tensile strength_yield	250[MPa]
Tensile strength_ultimate	450[MPa]

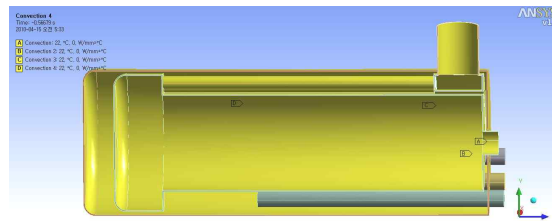


Fig. 7 Boundary condition

3.3 해석 결과

Fig. 8과 Fig. 9는 전기 히터 온도를 150℃와 300℃로 구조해석을 수행하여 온도, 등가응력 및 변형 분포로 나타낸 것이다. Fig. 8을 살펴보면, 전기 히터 150℃일 때 최대응력이 268.18MPa이고, 최대변형은 1.9498mm로 예측되었다. 이 결과는 부분적인 응력집중에 의해 높게 나타난 것으로 전체적인 응력분포를 보면 150MPa 이하로 존재하는 것을 알 수 있다. 이를 항복응력과 비교해 볼 때 안전율은 1.7이며, 이를 근거로 구조적으로 안정하다고 판단된다. 하지만, Fig. 9에 나타난 응력 분포를 보면 250MPa를 상회하는 것으로 예측되었다. 이는 최대 허용응력인 항복응력보다 크기 때문에 구조적 안정성을 확보하지 못했다. 구조해석 결과로 판단해 볼 때 열매체유 온도를 150℃ 이하인 조건에서 온풍기의 구조적 안정성을 확보할 수 있다.

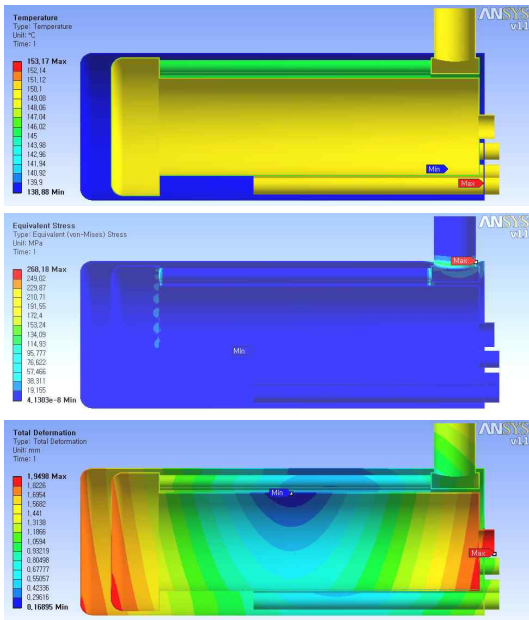


Fig. 8 Distributions of temperature, equivalent stress and total deformation for heater temperature 150°C

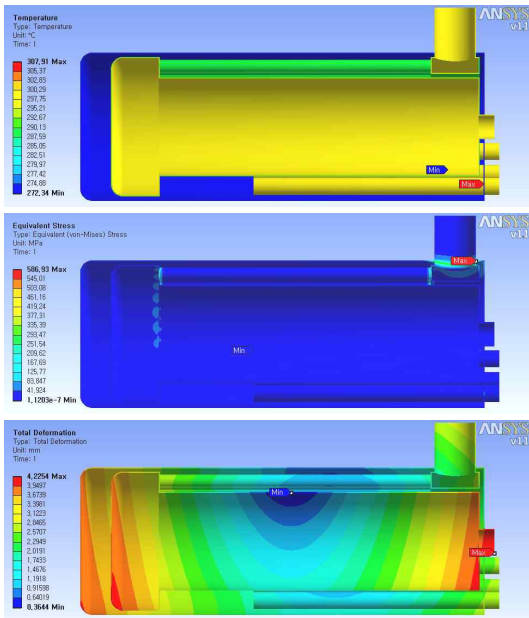


Fig. 9 Distributions of temperature, equivalent stress and total deformation for heater temperature 300°C

4. 결론

본 연구에서는 겸용 온풍기 내부의 연소가스와 열매체유의 유동을 해석하고, 이 결과를 토대로 열응력을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연소가스와 열매체유의 유동을 볼 때 서로 대향류 형태로 열을 전달하고 있기 때문에 온풍기의 형상설계가 잘 되었음을 확인하였다.
2. 겸용 온풍기의 구조해석을 수행한 결과, 구조물의 접합부분에서 응력집중이 나타났다. 하지만, 전체응력분포로 판단해 볼 때 열매체유가 온도가 150°C 이하에서는 150MPa로 구조적 안정성을 확보할 수 있다.
3. 열매체유의 인화점 온도와 자연 발화점 온도가 각각 204°C, 384°C이며, 이상의 온도 조건에서 화재에 대한 가능성이 높기 때문에 온풍기의 열매체유 온도는 최대 150°C를 넘지 않도록 설계하여야 한다.

후 기

이 논문은 산학연협력 기업부설연구소 사업에 의해 지원되었음.

참고문헌

1. 김진봉, 구대현, "에너지 절약형 전기 온풍기 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 21-23, 1994.
2. 송교섭, "난방기 열이용 효율 향상 방안", 한국생물환경조절학회 시설원예연구, Vol. 10, No. 1, pp. 19-37, 1997.
3. 조성환, 태춘섭, 최진호, 김경호, 권오갑, 유흥근, "그린하우스용 온수온풍겸용 난방기의 성능특성", 공기조화냉동공학회, 하계학술발표회 논문집, pp. 1320-1324, 2000.
4. "ANSYS WORKBENCH USER'S MANUAL", ANSYS Inc., 2007.
5. "ANSYS CFX Ver. 11 USER'S MANUAL", ANSYS Inc., 2007.