

## 요철형상의 CFD 해석을 통한 대용량 로타형 폐열회수열교환기 성능에 관한 연구

김 동 규, 하 병 용\*, 김 근 오\*\*, 김 종 수†, 정 석 권

부경대학교 냉동공조공학과, \*한국지역난방공사, \*\* (주)서번산업엔지니어링

### Research on Performance of Large Rotor-type Heat Recovery Exchanger using CFD Analysis on Surface Corrugation

Dong-Gyu Kim, Byeong-Yong Ha\*, Kun-Oh Kim\*\*, Jong-Soo Kum†, Seok-Kwon Jeong

Department of Refrigeration and Air conditioning Engineering, Pukyong National University,  
Busan 608-738, Korea

\*Korea District Heating Corp., Gyeonggi-do 463-908, Korea

\*\*Seobun Engineering Co., Ltd, Busan 618-817, Korea

(Received October 25, 2012; revision received November 19, 2012)

**ABSTRACT:** The field of the large volume heat exchanger for wasted heat recovery ventilation system is being expanded enormously seeing as the fact that the quantity of reducing energies are huge due to the large volume heat exchanger for wasted heat recovery system at large buildings and factories, which consume large amount of energies while it has been arising huge amount of losses in Korea because of the lack of technology. To develop large volume waste heat recovery heat exchanger, rotor type heat exchanger was simulated for the surface corrugation. Based on the simulation results produced 30,000 m<sup>3</sup>/h grade waste heat recovery, heat exchanger was performed for the actual experiment. In addition, performance tests exceed the capacity of a large waste heat recovery heat exchanger performance test methods proposed.

**Key words:** Waste heat recovery(폐열회수), Temperature efficiency(온도교환 효율), Heat exchange efficiency(열교환 효율), Computational fluid dynamics(전산유체역학)

### 1. 연구배경 및 목적

에너지를 대량으로 소비하는 공장 및 대규모 건물에 있어서 대용량 폐열회수 환기시스템은 소용량 환기유닛에 비해 큰 풍량으로 인하여 에너지 절감량이 크다. 이러한 이유로 대용량 폐열회수 환기시스템의 시장 규모가 급격하게 확장해 가는 추세이지만, 대용량 폐열회수 환기시스템과 관련된 연구와

기술개발이 미흡하여 국외기술에 의존하고 있는 실정이다. 대용량 폐열회수 환기시스템의 설계 및 적용에 있어 문제점은 외국 업체에 대한 설계의존과 수입 핵심부품인 로터 타입 열교환 소자 등의 유지보수를 위한 많은 비용 지출이다. 또한 시스템 운용 중 발생하는 기술적 문제점을 해결하기 위한 시간이 지체됨으로 인하여 건축주의 불신과 더불어 이로 인하여 설계시 대용량 폐열회수 환기시스템의 채용이 기피되고 있는 실정이다. 국내의 폐열회수 환기시스템은 일반 주택용으로 주로 소용량 환기유닛을 설계 및 생산하여 판매하고 있고, 성능평가와 관련된 규격도 소용량 중심으로 되어있다. 이에 따라

† Corresponding author

Tel.: +82-51-629-6178; fax: +82-51-629-6178

E-mail address: jskum@pknu.ac.kr

에너지 절약 및 실내공기환경 개선에 효과적인 대형 로터 및 판형 폐열회수 열교환기의 개발 및 성능평가와 관련된 연구가 요구되고 있다.<sup>(1-5)</sup>

이에 본 연구에서는 로터형 대용량 폐열회수 열교환기를 개발하기 위해 열교환 효율에 많은 영향을 미치는 열교환기 표면요철을 기존제품 및 개선제품에 대하여 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 또한 시뮬레이션 결과를 중심으로 제작된 30,000 m<sup>3</sup>/h급 로터형 폐열회수 열교환기를 실물실험을 통해 공인된 성능실험 결과를 제시하여, 현재 성능시험방법에서 시험 용량을 초과하는 대용량 폐열회수 열교환기의 성능시험 방법을 제안하고자 한다.<sup>(6)</sup>

## 2. 연구 방법

### 2.1 CFD 프로그램의 개요

전산유체해석은 폐열회수 시스템의 핵심 부품인 열교환기의 열교환 소자 요철 형상에 따른 성능을 검토하였다. 해석에는 열유체 해석 프로그램 중 STAR-CD를 이용하여 해석을 수행하였다. Star-CD는 각 단계별 작업에 활용되는 여러 가지 프로그램이 있으며 그 활용방법에 따라서 다양한 계산의 수행이 가능하다.

### 2.2 성능 시험

폐열회수 환기장치 성능 인증 기준인 KS B 6879 규격은 최대 적용 풍량이 3,000 m<sup>3</sup>/h이고, 규정된 성능평가 항목은 풍량, 정압손실, 유효 환기량 및 누설률, 열교환 효율, 결로 시험, 소비 전력, 절연 저항, 소음 등이다.<sup>(6-10)</sup> 본 연구에서는 KS B 6879 규정 등

을 참조하여 대용량 폐열회수 열교환기의 냉난방시 성능평가 실물실험을 수행하였다. 실험에 사용된 폐열회수 환기시스템, 시험장비, 시료의 사양은 Table 1과 같다. 실험기간은 2009년 2월 15일에서 9월 25일까지 진행하였고, 실험은 외기 기상조건을 고려하여 냉방실험은 오후 10시부터 익일 05시까지, 난방 실험은 오후 6시부터 오후 12시까지 실험을 진행하였다. 실험의 진행순서는 냉난방시의 실내 설정 온도 및 습도에 맞게 히터와 냉동기를 조절하여 설정 온도 및 습도가 안정되었을 때 폐열회수환기장치를 연속 운전하여 환기장치 내의 온습도 데이터를 획득하였다. 풍량은 난방시에는 30,000 m<sup>3</sup>/h로 하였고, 냉방시에는 20,000 m<sup>3</sup>/h로 하였다.

### 2.3 센서 및 측정장비

폐열회수 열교환기의 열교환 효율에 대한 측정을 위하여 열교환기의 SA, EA측 전면부에 온도센서를 설치하였고, Fig. 1은 온도센서가 부착된 열교환기 모습이다. Table 2는 실물실험 결과를 측정하기 위한 측정장비 목록이다. C-C 열전대 및 데이터로거를 사용하여 열교환기 주변에서 온도를 측정하였고, 습도측정은 Thermo Recorder 및 Testo 6651 장비

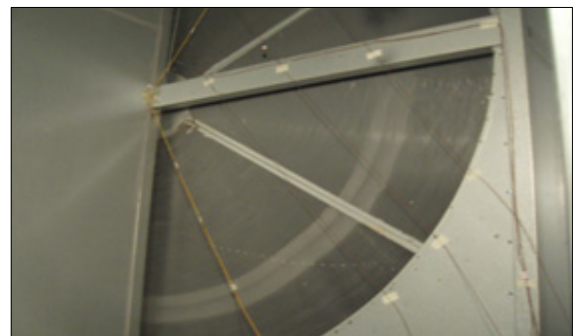


Fig. 1 Actual-size waste heat recovery ventilation system.

Table 1 Assessment facility equipment and specifications

Devices	Specification
Space volume	35 m×19 m×5.5 m
Ceiling AHU	5,000 m <sup>3</sup> /h×6 EA
Air-Conditioning Plant Room	20 RT×3 EA
Evaporative Humidifier	85 kg/h
Sub-electronic heater	40 kW
Supply Fan	Air Foil #5, 20 HP
Return Fan	Air Foil #4.5, 15 HP
Rotor Heat Exchanger	3,000×3,000×440

Table 2 Experiment data measuring devices

Devices	Items	Note
C-C thermocouple	Temperature	∅3 mm
Thermo Recorder	Temperature	TR-72U
Testo 6651	Humidity	
Fluke NetDAQ	Temperature	
TSI 8386	Difference pressure	
ASHIPT102	Air volume	

를 사용하여 계측하였다. 풍량에 따른 압력손실을 측정하여 누설율을 확인하기 위하여 TSI 8386 장비를 사용하여 차압을 측정하였다.

### 3. 시뮬레이션 및 실측결과

#### 3.1 폐열회수 열교환기 소자 표면 모델링

열교환기의 알루미늄 요철 형상 모델은 요철의 형상, 요철의 간격, 요철의 높이 등 다양한 형상을 선정할 수 있으나 현실적으로 형상을 가공할 수 있는지에 대한 고찰이 필수적으로 수행되어야 한다. 본 연구에서는 기존 로터 열교환기 요철 형상과 제안된 형상에 대한 시뮬레이션을 통하여 실제적으로 대용량급 적용에 있어 가공이 가능한 형상 중에 최적의 형상을 선택하여 비교 검토하였다. 시뮬레이션은 비압축성 유체계산으로 복사전열, 실내 열발생, 물질간 화학반응은 없는 것으로 하였고, 계산조건은 Table 3 과 같다. Fig. 2는 로터 열교환기의 물결무늬 형상 알루미늄 박판이 원형으로 적층되어 있는 형태를 나타낸 것이다. 물결무늬 형상이 없는 평평한 0.08 mm의 알루미늄 박판 위에 1.9 mm의 높이를 갖는 물결무늬 형상 알루미늄 박판을 적층하고 다시 평평한 알루미늄 박판을 적층하는 구조이다. Fig. 3은 대용량급 폐열회수 열교환기에 적용하기 위한 로터 열교환기의 물결무늬 형상 알루미늄 박판에 대한 전산유체해석 모델을 나타낸 것이다. (a)는 로터열교환기의 물결무늬 형상 알루미늄 박판 3차원 모델로서 길이 10 mm, 높이 1.9 mm, 폭 200 mm이다. 개선된 열교환기의 요철형상은 기존 로터 열교환기의 대칭 물결무늬 형상 알루미늄 박판을 기초로 제작공정을 고려하여 편향된 형태의 요철을 선정하였다. 해석 모델의 길이는 기존 로터 열교환기 해석 모델과 같은 길이로 설정하였다.

(b)는 로터 열교환기의 물결무늬 형상 알루미늄 박

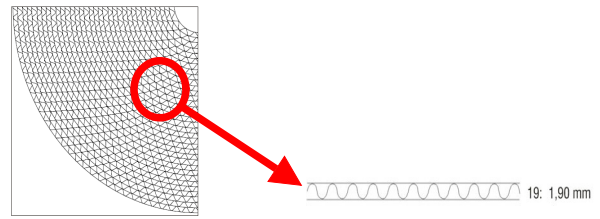


Fig. 2 Corrugation shape of rotor.

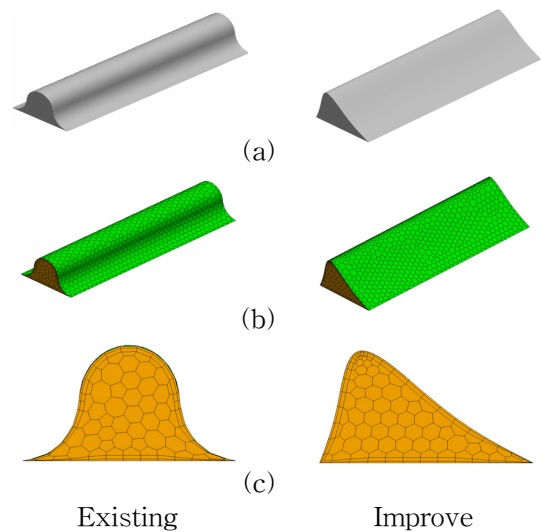


Fig. 3 CFD model of water shaped corrugation aluminum thin plate.

판 3차원 모델에 대한 격자를 나타낸 것이다. 격자는 Polyhedral 격자를 사용하였으며 공기유동의 중심에서 경계층으로 갈수록 격자가 조밀해 지는 격자계를 사용하였으며 경계층은 2개의 층으로 구성하여 경계층 해석을 수행하였다. (c)는 정면에서 본 물결무늬 형상 알루미늄 박판을 나타내고 있다.

물결무늬 알루미늄 박판의 형상은 대칭의 형태로 삼각함수의 사인과 형태를 나타내며, 물결무늬 형상 알루미늄 박판과 평판형 알루미늄 박판에 각각 2개의 경계층 격자가 있는 것을 확인할 수 있으며, 내부의 Polyhedral 격자계도 확인 할 수 있다.

#### 3.2 시뮬레이션 해석

Fig. 4는 입구 공기유속 2.5 m/s로 계산한 결과이다. (a)는 기존 로터 열교환기의 알루미늄 박판 형상에 대한 공기유로 중심에서의 속도분포를 나타낸 것으로, 공기유로의 중심에서 속도는 3.6~3.9 m/s로 나타났다. (b)는 개선된 형상으로 중심축이 편향된 유로의 결과로서 속도는 3.2~3.6 m/s로 나타났다. 최대

Table 3 Conditions of calculation

Items	Conditions
Fluid	Air
Heat exchanger material	Aluminum
Initial temperature	20°C
Air inlet velocity	2.5 m/s
Air inlet temperature	-10°C
Aluminum strip temperature	22°C

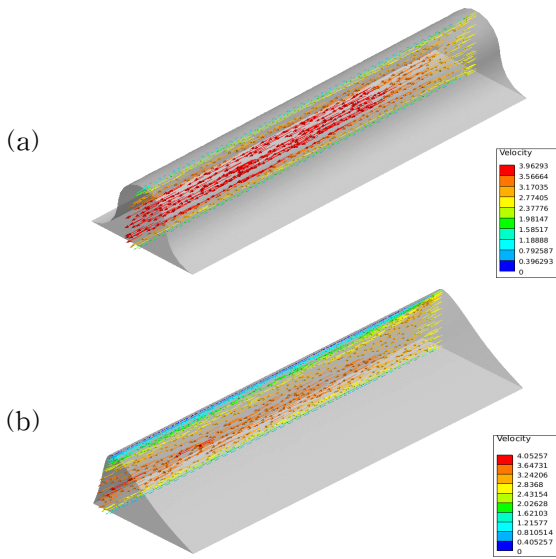


Fig. 4 Velocity distribution in the center of air flow(a : Existing, b : Improve).

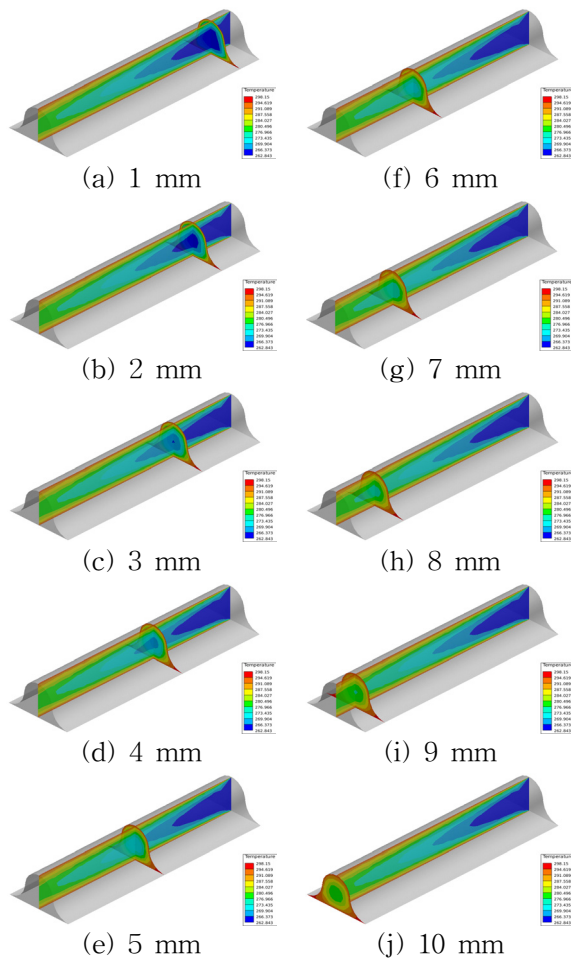


Fig. 5 Temperature distribution of existing rotor type heat exchanger's watered shape corrugation aluminum thin plate.

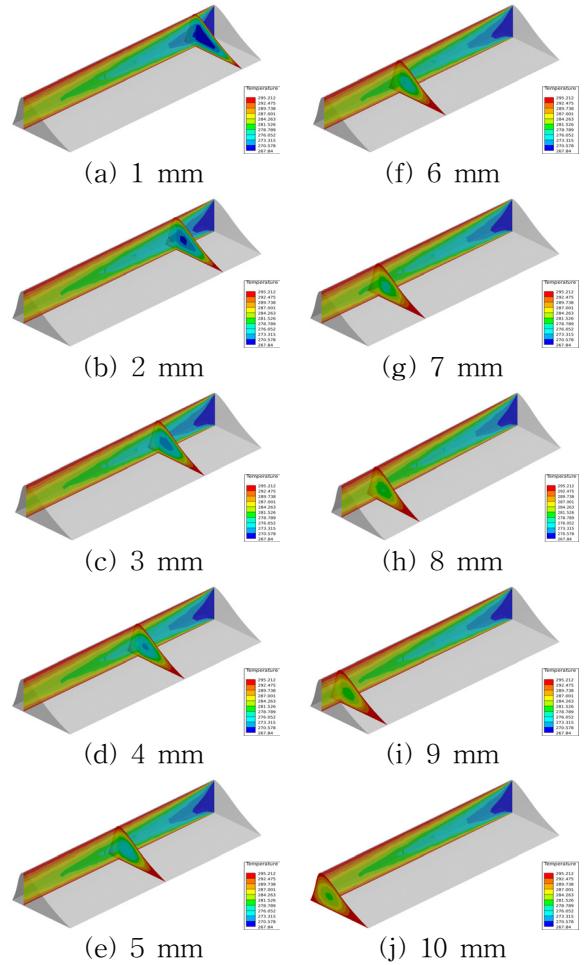


Fig. 6 Water shaped corrugation of aluminum thin plate temperature distribution in improved rotor type heat exchanger.

풍속을 비교하면 중심축이 편향된 개선형상이 최대 풍속이 낮은 것으로 나타났고, 그 이유는 편향된 부분의 공간이 비대칭으로 확대됨으로 인하여 마찰면적이 기존보다 확장되었기 때문인 것으로 판단된다.

실험에서는 다수의 홀로 구성된 로타형 열교환기 형상으로 인하여 두 요철형상에 대한 압력강하에 대한 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 각 홀의 마찰면적 확장을 고려할 때 유효한 홀의 수가 늘어난 것으로 판단된다. 개선된 알루미늄 박판 형상에서 유속이 기존보다 감소함으로 인하여 열전달 측면에서는 양호한 것으로 판단된다. Fig. 5, Fig. 6은 입구측에서부터 출구측까지 온도 경계층의 발달형상을 나타낸 것이다. Fig. 5는 기존 로터 열교환기의 물결무늬 형상으로 출구측 공기의 평균온도는 10.4°C이다.

Fig. 6은 개선된 로터 열교환기의 물결무늬 형상

으로 출구측의 공기의 평균 온도는 12.9℃로 기존형상보다 2.5℃ 높게 나타났다. 따라서 개선형상이 온도 경계층의 두께가 크므로 열전달이 촉진된 것으로 판단된다.

### 3.3 실측 결과

Fig. 7, Fig. 8은 로타형 폐열회수 열교환기의 실물실험 성능을 나타낸 것이다. 냉방 운전 중 외기조건은 약 32.7℃이고 열교환 후 공급되는 급기(SA) 온도는 약 27.8℃로 나타났다. 반면에 난방 운전 중 외기조건은 약 4.3℃, 열교환 후 공급되는 급기온도는 약 13.4℃로 나타났다. 이상의 실측결과와 공인인증기관인 P테크노 파크에서 실측한 결과는 Table 4에 나타내었다. 폐열회수 환기장치의 실측결과 냉방에 비해 난방의 효율이 높게 나타났다. 이는 냉방에 비해 난방 중 실내외 온도차가 상대적으로 크

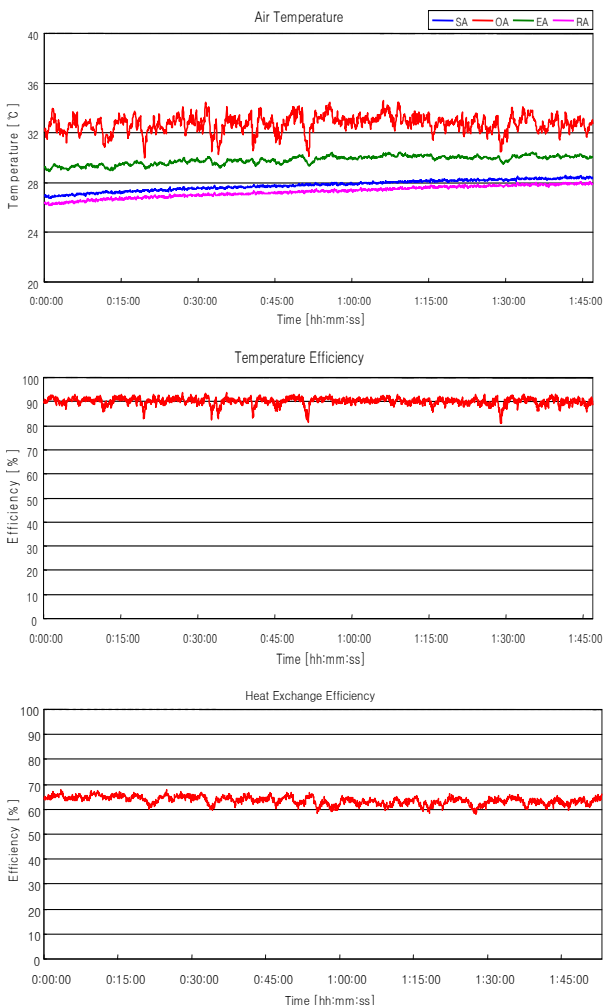


Fig. 7 Performance assessment in cooling.

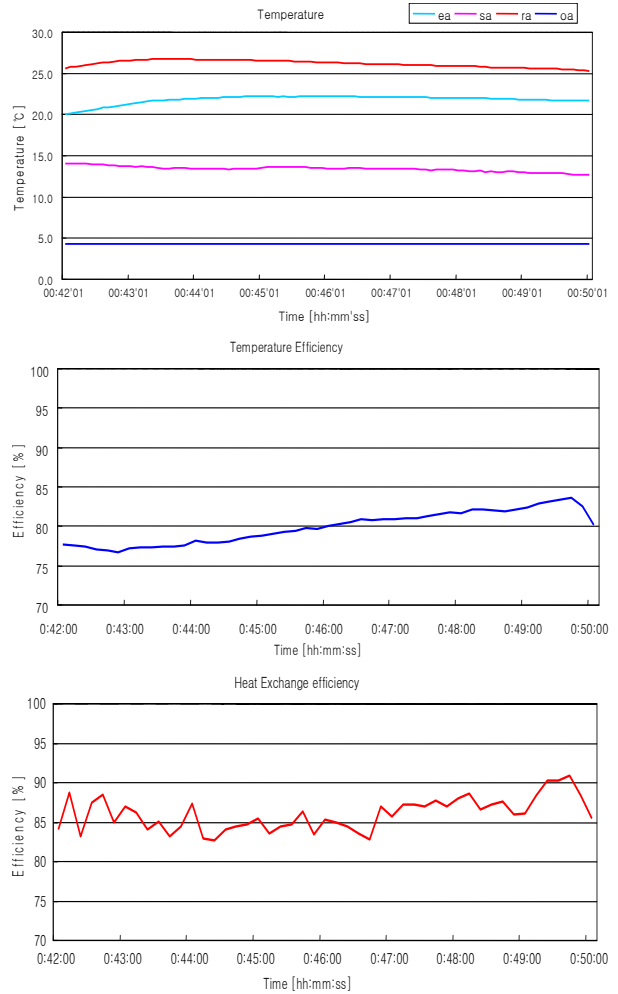


Fig. 8 Performance assessment in Heating.

Table 4 Experiment and official results

	Cooling		Heating	
	Measure-ment	Official	Measure-ment	Official
Temperature exchange efficiency	90.1 ±1.7%	66.0%	79.9 ±2.1%	79.6%
Heat exchange efficiency	62.6 ±2.1%	67.0%	86.0 ±2.1%	76.0%
Pressure differential	10 mmAq			

므로 인하여 효율의 차이가 나타난 것으로 판단된다. 또한 공인값에 비해 실측값이 높게 나타난 것은 실물 실험에서는 열교환기 자체만을 고려하여 성능을 평가하였지만, 실제 덕트 및 기타 부분에서의 손실을 고려한 공인값은 주변 부가설비의 영향이 반영되었기 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에서 제

시한 실험실 실험 결과와 공인결과를 고려할 때 비대칭형 요철형상이 공통적으로 열교환 효율이 우수한 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

대용량 로타형 폐열회수 열교환기 개발을 위한 알루미늄 박판 요철 CFD 해석 및 실험실 실험을 통한 결론은 다음과 같다.

1) 개선된 비대칭 물결무늬 형상의 출구측 공기 평균온도는 12.9℃로 기존형상보다 2.5℃ 높게 나타났다. 개선 형상이 온도 경계층의 두께가 크고 열전달이 촉진되는 것으로 판단된다.

2) 대용량 로타형 폐열회수 열교환기를 장착한 실험실 실험 결과 열교환 효율은 63%~86%, 온도교환 효율은 80%~90%로 나타났다. 또한 실험실 실험 결과와 공인 결과에서 공통적으로 비대칭 요철형상의 효율이 우수한 것으로 나타났다.

3) 본 연구에서 대용량 폐열회수 열교환기 성능평가를 위해 제안한 실험실 실험 결과와 공인기관에 의한 측정값을 비교할 때 현재 KS 규격의 풍량범위를 초과하는 폐열회수 열교환기에 대한 성능평가 지침이 요구되어 진다.

#### 후 기

본 논문은 지역산업기술개발사업의 기술개발결과이고, 관계자 분들께 감사드립니다(70000652).

#### 참고문헌

1. Yoo, S. Y., Kim, J. H., Chung, M. H., and Jie, M. S., 2008, A Study on the Performance Prediction of Paper Heat Exchanger for Exhaust Heat Recovery, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 6, pp. 372-380.
2. Ha, B. Y., Im, H. S., Kim, D. G., Kum, J. S., Jeong, S. K., Chung, Y. H., Kim, G. H., and Myeong, J. P., 2009, Experiment Results of 30,000 CMH class Heat Exchangers for Wasted Heat Recovery in Winter, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, pp. 83-86.
3. Ha, B. Y., Im, H. S., Kim, D. G., Kum, J. S., Jeong, S. K., Chung, Y. H., Kim, G. H., and Myeong, J. P., Experiment Results of 30,000 CMH class Heat Exchangers for Wasted Heat Recovery in Summer, Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, pp. 381-384.
4. Seo Bun Engineering, 2009, Development of high value-added heat recovery ventilation system, The Ministry of Knowledge Economy.
5. Jeong, M. H., 2009, Development of energy-saving ventilation system using a plastic heat exchanger, Technical Intelligence in DAERIM Vol. 89, pp. 39-50.
6. Choi, J. Y., International standardization of heat recovery ventilators, Korea Testing Laboratory.
7. ANSI/ASHRAE Standard 84-2008.
8. ARI, 2005, Standard.
9. JIS B 8620(2003 edition).
10. KS B 6879, Heat recovery ventilators, Korea Industrial Standards Commission.