

핀 튜브 열교환기와 알루미늄 열교환기의 성능 비교

장 근 선*, 이 현 수†, 김 재 덕, 홍 석 룰

선문대학교 기계공학과*, 선문대학교 대학원

Performance Comparison of Fin-Tube Heat Exchanger and Aluminum Heat Exchanger

K. S. Chang*, H. S. Lee†, J. D. Kim, S. R. Hong

*School of Mechanical Engineering, Sunmoon University, Chungnam, 336-708, Korea
 Graduate School, Sunmoon University, Chungnam, 336-708. Korea

ABSTRACT : This study presents comparison of the air side heat transfer and friction characteristics in a heating condition between Louver fin-tube heat exchangers and aluminum heat exchangers. Experiments are performed for the Louver fin-tube heat exchangers and aluminum heat exchangers using a calorimeter, which is designed based on air-enthalpy method described in ASHRAE standards. The air velocities its are varied from 0.7 to 1.6 m/s with 0.3 m/s interval. A study result shows that the heat transfer performances of aluminum heat exchangers are 40~80% higher than those of Louver fin-tube heat exchangers per unit volume, mass and heat transfer area.

Key words : Fin-tube heat exchange(핀-관 열교환기), Aluminum heat exchanger(알루미늄 열교환기), Performance Comparison(성능 비교)

기 호 설 명

- C_p : 정압비열 [J/kg°C]
- \dot{m} : 질량유량 [kg/s]
- T : 온도 [°C]

하첨자

- a : 공기
- i : 입구
- o : 출구
- w : 물

1. 서 론

현재 산업의 고도화와 쾌적한 삶의 추구에 대한 인간의 욕구가 증가되면서 에너지의 사용이 크게 증가하고 있으며, 이에 따른 에너지자원의 고갈 및 지구의 환경파괴에 대한 문제가 심각한 상황으로 대두되고 있어 이를 해결하기 위한 노력이 다각적으로 검토되고 있다. 가정 및 산업 전반에 걸쳐 사용이 증가하고 있는 냉동 공조시스템의 경우도 제품의 재활용성의 증대 및 에너지 소비효율을 향상시켜 제품이 지구환경에 미치는 영향을 최소화하는 것이 요구되고 있다. 냉동 공조시스템의 효율을 향상시키기 위해서는 시스템을 구성하는 요소부품의 고성능화가 선행되어야 하는데 열교환기는 시스템의 크기 및 성능에 크게 영향을 미치는 핵심 구성 요소이다. 공조용 열교환기에는 증발기와 응축기의 두 종류가 있으며

† Corresponding author

Tel :+82-41-541-2336 ; Fax :+82-41-541-2986

E-mail address : genie099@hanmail.net

핀-튜브 열교환기가 주로 사용되고 있는데 핀-튜브 열교환기는 냉매가 흐르는 원형의 구리 관과 공기 측의 알루미늄 핀이 기계적인 확관에 의해 접합되어 제작되고 있다. 이 경우 열 저항은 구리관의 전도저항을 무시하면 공기 측, 냉매 측, 그리고 접촉 열 저항으로 크게 구분할 수 있는데 공기 측의 열 저항이 상대적으로 매우 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 그 동안 공기 측의 전열성능을 향상시키기 위해 파형 핀, 루버 핀, 슬릿 핀, 등 다양한 핀 형상이 개발되어 왔으며 냉매측도 여러 형태의 형상이 개발되는 등 열교환기의 전체 성능을 향상시키기 위한 연구가 지속적으로 수행되고 있다.

그러나 이러한 발전은 그 한계가 있다. 그에 반해 알루미늄 열교환기는 냉매 측의 수력직경이 작고 공기 측의 열 유동 특성이 기존의 핀-튜브 열교환기보다 우수할 뿐 아니라 핀과 평판 관을 일체로 융착하여 제작하기 때문에 고성능의 소형 열교환기의 개발이 가능할 것으로 판단된다. 또한 열교환기 전체가 알루미늄으로만 구성되기 때문에 열교환기의 중량도 크게 줄일 수 있고 재 활용성이 기존의 핀-튜브 열교환기보다 우수하여 친환경 제품의 개발이 강조되고 있는 현재 상황에 잘 부합된다.

Webb and Jung⁽¹⁾은 평판관형 알루미늄 열교환기를 가정용 열교환기에 적용하기 위한 시험을 수행하였는데 핀-튜브 열교환기에 비해 50%정도 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다. 국내에서도 Bae and Han⁽²⁾은 자동차용 응축기로 사용되고 있는 열교환기를 가정용 룸 에어컨의 응축기로 적용하기 위한 가능성을 평가 하였다.

Kim et al⁽³⁾은 평판관형 알루미늄 열교환기의

단품 및 공조기의 응축기로 적용한 시스템의 성능시험을 수행하고 그 결과를 기존의 핀-튜브 열교환기와 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 알루미늄 열교환기의 단품의 전열능력은 동일체적의 핀-관 열교환기에 비해 48%~79%정도 높게 나타났으며 열교환기의 종류에 따른 전열능력의 차이는 열교환기의 유입공기의 속도가 작을수록 작게 나타났다고 보고하였다. 또한 공기 측 압력강하량은 동일한 전열능력을 갖는 알루미늄 열교환기는 핀-관 열교환기에 비해 약 26%정도 작은 압력강하를 보인다고 보고하였다.

Cho et al.⁽⁴⁾은 알루미늄 열교환기의 단품 시험 및 중대형 에어컨 적용 시험을 수행하여 열교환기 체적은 기존 핀-관 열교환기의 40.42% 수준일 때 동일한 냉방능력을 얻을 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 이러한 알루미늄의 열교환기의 데이터베이스 구축에 일환으로 기존 핀-튜브 열교환기와 알루미늄 열교환기와의 성능을 비교하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험 방법

2.1 실험장치

핀-튜브 열교환기와 알루미늄 열교환기의 난방온도 조건에서의 공기 측 열전달 및 압력강하 특성을 조사하기 위하여 공기엔탈피식 칼로리미터를 이용하였다. 칼로리미터는 히트펌프 및 열교환기의 성능평가에 사용되는 장치로써 실내측 시료의 냉·난방능력을 흡입·배출공기의 엔탈피차와 공기의 풍량을 측정하여 ASHRAE⁽⁵⁾에 규정된 공기 엔탈피법으로 측정한다.

Table 1 Specifications of HXs samples

Fin Tube		D_o [mm]	Fin shape	Fin pitch [mm]	Row pitch [mm]	Step pitch [mm]	Fin Thickness [mm]	Number of row [mm]
		7.0	Louver	1.2, 14, 1.6	12.7	21	0.092	2, 3
Aluminum	Type	Pass	Tube hole	Fin pitch [mm]	Number of Tube	Fin	Fin Thickness [mm]	Number of fin
	1	16-12-6-5	16	2.5, 2.35, 2.22	39	Louver	0.09	40
	2	21-16-8-6		2.5	51			52

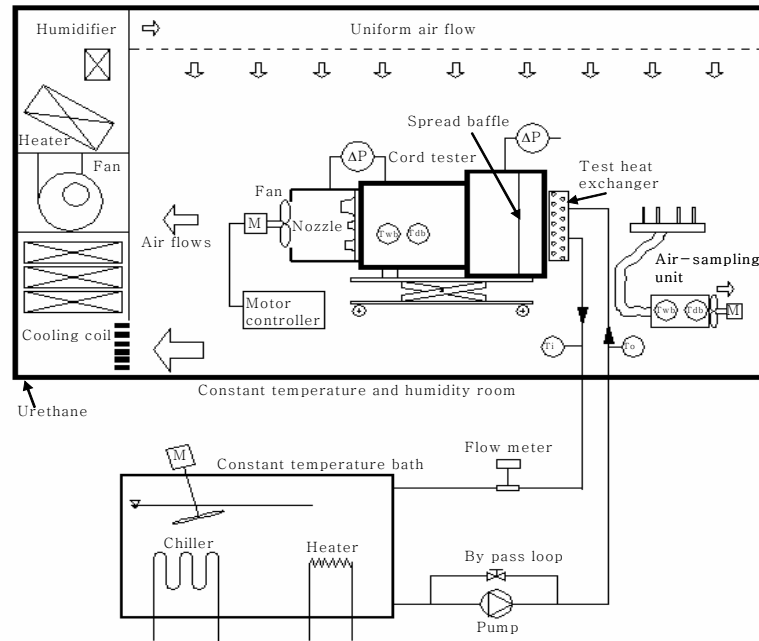


Fig. 1 Schematic of the experimental apparatus.

항온수조는 물을 작동유체로 사용하는 열교환기의 성능시험을 목적으로 설치하였고, PID Controller에 의해 자동으로 설정된 온도를 제어하게 된다. 시험 열교환기는 흡입식 풍동형의 코드테스트의 입구부에 설치되어 있으며, 열교환기와 입구부의 틈새로 공기의 누설이 없도록 열교환기 주위를 최대한 밀폐하였다.

능력 측정은 실험을 시작하여 공기의 온도 및 유속, 물의 입구온도, 유량 등이 정상상태에 도달한 후, 온도변동이 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 이내로 안정되면 공기의 풍량 및 입·출구 건습도온도, 압력차, 물의 유량 및 입·출구온도 등의 데이터를 10초 간격으로 추출하여 컴퓨터로 보내 적산하고 이를 10분 평균값과 70분 평균값으로 출력한다. 그림 1에 공기엔탈피식 칼로리미터와 항온수조 및 실험 장치 구성에 대한 개략도를 나타내었다.

실험에 사용된 핀-튜브 열교환기는 7mm 동관을 사용한 루버핀 열교환기로 핀 피치와 열수를 달리한 6개의 시료를 이용하였으며, 알루미늄 열교환기는 기존의 산형 루버핀을 사용한 Type 1과 산형 루버핀을 개선한 사다리꼴형의 루버핀을 사용한 Type 2의 2가지 형태의 열교환기를 사용하였다. Fig. 2, 3은 실험에 사용된 열교환기의 형상을 나타내었고, Table 1에 본 연구에 사용된 열교환기의 제원을 요약하였다.

2.2 실험방법

실험데이터는 유입공기의 온도와 속도 그리고 물의 입구온도와 유량 등이 정상상태에 도달한 후, 공기와 물의 온도변동이 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 이내로 안정되면 공기의 속도, 입구 및 출구의 건구와 습구온도, 압력차 그리고 물의 유량과 입구 및 출구온도 등이 획득되었다. 본 연구에 사용된 난방온도에서의 열교환기 실험조건은 다음과 같다.

공기측 :

유입 공기온도 : 20°C

유입공기 상대습도 : RH 60 %

유입공기 속도 : 0.7~1.6 m/s (4 단계)

물측 :

열교환기 유입 물온도 : 70°C

물유량 : 10 lpm

열교환기의 비교실험을 위해 핀-튜브와 알루미늄 열교환기 모두 물의 유량을 10 lpm으로 유지하여 실험하였으며. 측정된 공기측과 물측의 열평형(heat balance)은 최대 $\pm 5\%$ 이내에서 만족하는 실험값만을 선택하여 실험 결과에 대한 신뢰도를

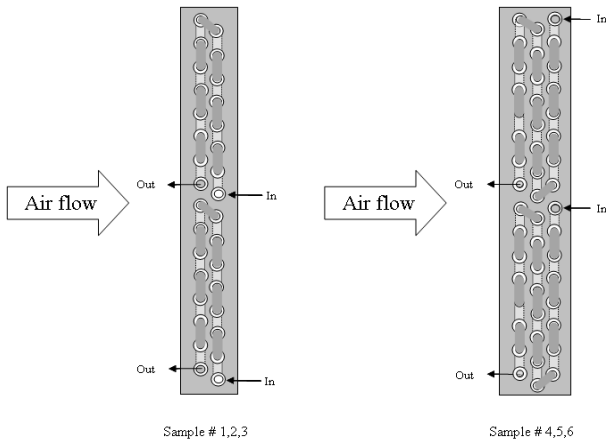


Fig. 2 Two types of fin - tube heat exchangers.

높였다.

2.3 실험결과 처리방법

열교환기의 공기측과 물측의 전열량은 다음 식으로 각각 표현된다. 본 연구에서는 실험에서 얻은 측정값과 알고있는 물질의 특성치를 사용하여 열교환기의 전열량을 계산하였다.

$$Q_a = \dot{m}_a C_{p,a} (T_{a,i} - T_{a,o}) \quad (1)$$

$$Q_w = \dot{m}_w C_{p,w} (T_{w,i} - T_{w,o}) \quad (2)$$

실험의 신뢰도를 높이기 위하여 측정된 공기와 물의 전열량은 다음과 같은 열평형식을 사용하였다.

$$Heat\ balance(\%) = \frac{Q_a - Q_w}{Q_a} \times 100 \quad (3)$$

3. 실험 결과 및 고찰

그림 4는 핀-튜브 열교환기와 알루미늄 열교환기의 열량을 각각 단위체적으로 나누어 단위체적당 전열량을 비교한 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 단위체적당 전열량은 핀-튜브 열교환기보다 알루미늄 열교환기가 큰 것을 볼 수 있다. 전면 공기속도가 1.0m/s일 경우 단위체적당 전열량은 1.4 피치의 핀-튜브 열교환기에 비해 알루미늄 열교환기 Type1(2.5 pitch)이 2열 보다는 46%, 3열

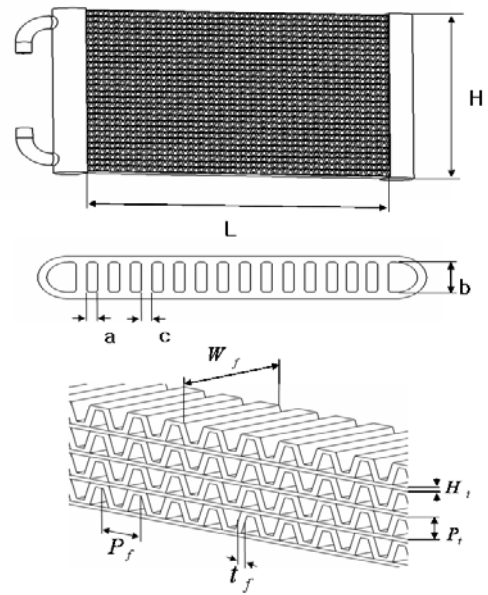


Fig. 3 Modelling of aluminum heat exchangers.

보다는 104% 크게 나타났다. 또한 알루미늄 열교환기 동일 피치(2.5 pitch) Type별로 보면 Type1보다 Type2의 전열량이 7% 크게 나타났다. 같은 크기의 알루미늄 열교환기와 핀-튜브 열교환기 일 경우 평균적으로 알루미늄 열교환기가 핀-튜브 열교환기에 비해 75%정도의 전열량이 향상 될 것으로 볼 수 있다. 그리고 개선된 알루미늄 열교환기인 Type2가 부피면에서 Type1보다 약간의 성능향상이 있어 열교환기 소형화에 유리할 것이라 볼 수 있다.

그림 5는 핀-튜브 열교환기와 알루미늄 열교환기의 단위질량당 전열량을 비교한 그래프이다. 전면 공기속도 1.0m/s일 경우를 비교해 보면 단위질량당 전열량은 Type1(2.5 pitch) 알루미늄 열교환기가 1.4 피치 핀-튜브 열교환기 2열 보다는 17%, 3열 보다는 58% 크게 나타났으며, 알루미늄 열교환기 Type(2.5 pitch)별로는 Type2가 Type1 보다 단위 질량당 전열량이 2.3%정도 높게 나타났다. 하지만 작은 pitch에서는 Type1이 Type2보다 크게 나타나 질량면에서는 좀 더 개선이 필요한 것으로 보인다. 전체적으로 동관과 핀으로 구성되어 있는 핀-튜브 열교환기보다 알루미늄으로 구성되어 있는 알루미늄 열교환기의 무게가 가볍고, 단위 질량당 전열량 또한 크게 나타났다. 이는 기존 연구자들의 결과와 마찬가지로 알루미늄 열교환기를 사용 하였을 때 핀-튜브 열교환기보다 무게를 줄일

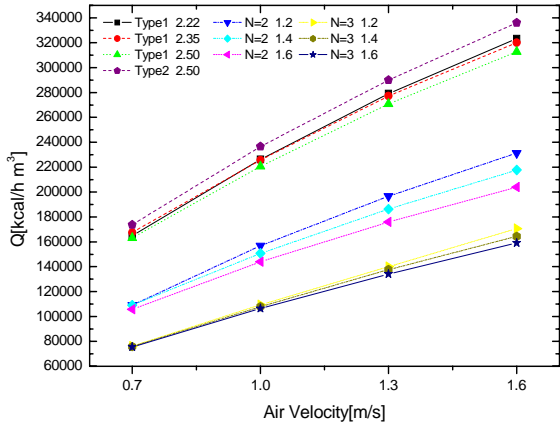


Fig 4 Heat transfer rate of per unit volume.

수 있다는 결론과 일치한다.

그림 6은 핀-튜브 열교환기와 알루미늄 열교환기의 단위열전달 면적당 전열량을 비교한 그래프이다. 핀-튜브 열교환기의 열전달 면적은 핀 피치와 열수의 영향을 가장 많이 받는 것으로 알려져 있다. 그에 반해 알루미늄 열교환기는 튜브의 홀수나 길이의 변화보다는 핀 피치가 감소함에 따라 핀의 개수가 늘어남에 따른 열전달 면적이 증가하였다. 핀-튜브 열교환기 핀 피치 1.4와 알루미늄 열교환기를 전면 공기속도가 1.0m/s일 경우 비교해 보면 열전달 면적당 전열량은 알루미늄 열교환기가 핀-튜브 열교환기 2열보다는 84%, 핀-튜브 열교환기 3열보다는 158% 크게 나타났다. 알루미늄 열교환기 Type별(2.5 pitch)로는 Type2가 Type1보다 12%정도 성능이 우수한 것으로 나타났다.

그림 7은 핀-튜브 열교환기와 알루미늄 열교환기의 단위 전면면적당 압력강하를 비교한 그래프이다. 알루미늄 열교환기가 핀-튜브 열교환기보다 전면면적이 크기 때문에 압력강하 특성을 비교하기 위해서 전면 면적으로 나누어 단위 전면 면적당 압력강하를 비교하였다. 결과 그래프에서 볼 수 있듯이, 알루미늄 열교환기와 핀-관 열교환기 모두 핀 피치가 작아질수록 높은 압력 강하를 보였으며, 전면 공기 속도가 증가 할수록 압력강하도 크게 나타났다. 핀-튜브 열교환기보다 알루미늄 열교환기의 증가폭이 작았다.

이는 핀-튜브 열교환기가 알루미늄 열교환기보다 공기의 접촉 구간이 길어 루버핀에 의한 난류형성 구간이 늘어난 것에 영향을 받은 것으로 보인다.

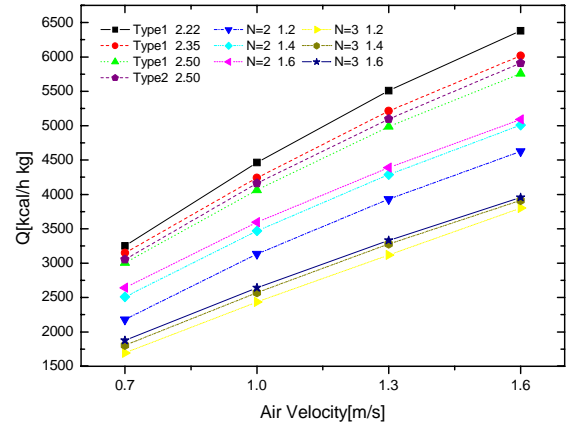


Fig 5 Heat transfer rate of per unit mass.

다. 난류 형성이 열교환기의 성능 향상에 도움을 주지만 후류의 진행을 방해하여 압력강하를 높이는 원인이 된 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 2열과 3열을 갖는 7mm 핀-튜브 열교환기와 알루미늄 열교환기에 대해 단위전면면적, 단위체적, 단위질량, 단위열전달 면적당 전열량 및 압력강하를 실험을 통해 성능 평가하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

(1) 단위체적당 전열량은 전체적으로 핀-튜브 열교환기에 비해 알루미늄 열교환기가 75% 정도 크게 나타났으며, 알루미늄 열교환기 Type1 보다 Type2의 전열량이 크게 나타났다.

(2) 단위질량당 전열량은 핀-튜브 열교환기에 비해 알루미늄 열교환기가 37%크게 나타났다. 알루미늄 열교환기는 같은 pitch에서는 Type2가 Type1보다 크게 나타났으나 작은 pitch의 Type1의 열교환기 보다는 작아 아직 개선의 부분이 남아있다. 핀-튜브 열교환기보다는 알루미늄으로 구성되어 있는 알루미늄 열교환기의 무게가 가벼워 경량화에 효율적일 것이다.

(3) 단위열전달 면적당 전열량을 비교한 결과 알루미늄 열교환기가 핀-관 열교환기보다 매우 높은 전열량이 나타났다. 알루미늄 열교환기 Type별로는 Type2가 Type1보다 12%가량 높아 접촉면적의 열전달 효율이 좋아진 것으로 보인다.

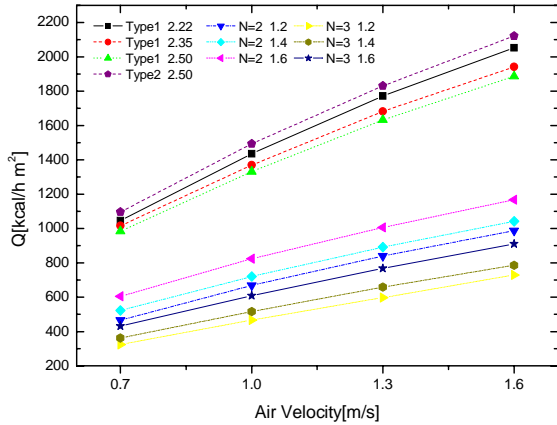


Fig 6 Heat transfer rate of per unit heat transmission areas.

(4) 압력강하 특성을 보면 핀-튜브 열교환기보다 알루미늄 열교환기의 압력 강하가 작게 나타났으며 속도가 증가 할수록 압력 강하 폭이 알루미늄 열교환기가 핀-튜브 열교환기보다 작았다.

(5) 알루미늄 열교환기는 동일한 크기의 핀-튜브 열교환기에 비해 체적, 질량, 열전달 면적 등의 효율이 40~80%이상 높아 에어컨의 소형화, 경량화가 가능하며, 공기 측의 압력손실도 감소하기 때문에 열교환기로 인한 시스템의 소음증가를 보다 쉽게 해결할 수가 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부와 한국 산업기술재단의 지역혁신 인력양성 사업의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사한다.

참고문헌

1. Webb, R.L. and Jung, S.-H., 1992, "Airside performance of enganced brazed aluminum

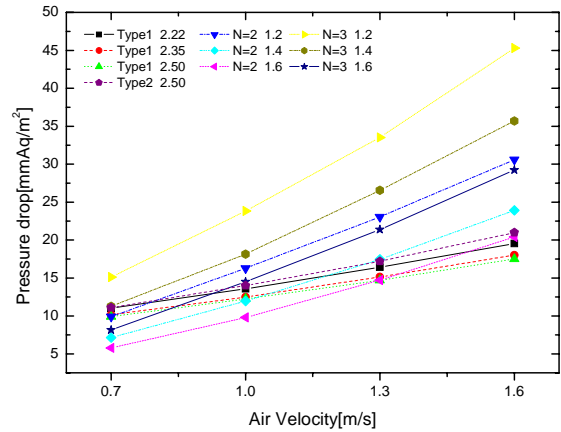


Fig 7 Pressure drop of heat exchangers

heat exchangers", ASHRAE Trans., Vol. 98, Part 2, pp. 391~401.

2. Bae, T. S., Han, C. S., 1996, "A feasibility study on room air conditioner with parallel flow condenser", Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Proceedings of the SAREK 1996 Summer Annual Conference, pp. 402~407.

3. Kim, M. H., Kim, K. J., Chu, E. S., Bae, Y. D., Park, Y. S., 1997, "Performance evaluation of brazed aluminum heat exchangers", Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Proceedings of the SAREK 1997 Summer Annual Conference, pp. 209-215.

4. Cho, J. P., Choi, Y. H., Kim, J. H., Kim, N. H., Kim, J. H., 2000, "Performance evaluation of PF-condenser adapted to Large Size air-conditioner", KSME, pp. 1-6.

5. ASHRAE Standard 33-78, 1978, Methods of testing forced circulation air cooling and air heating coils, pp. 33-78.