

동시 냉난방 히트펌프용 루버핀-관 열교환기 성능 및 전열특성 실험연구

권영철^{1*}

Performance and Heat transfer Characteristics of Louver Fin-tube Heat Exchanger for Simultaneous Cooling/Heating Heat Pump

Kwon Young-Chul^{1*}

요약 본 연구에서는 동시 냉난방 히트펌프용 열교환기의 성능평가 및 설계해석 기술의 확보를 위해 난방운전 온도조건에서 6종의 루버핀-관 열교환기의 공기측 열전달특성 및 마찰특성을 실험을 통하여 조사하였다. 실험을 위해 공기엔탈피방식의 칼로리미터와 항온수조를 이용하였다. 전열량의 증가는 핀피치보다 열수에 의해 더 크게 나타났고, 핀피치가 작을수록 열전달계수는 더 높았다. 또한 핀피치가 작을수록 열수증가에 의한 열전달계수의 증가폭이 커졌다. 핀피치와 열수변화에 대한 j -계수와 f -계수는 레이놀즈 수가 증가할수록 감소하였고, 레이놀즈 수 400부근의 영역에서 역전현상이 존재하였다.

Abstract An experimental study has been performed to investigate the performance and heat transfer characteristics of the heat exchanger for simultaneous cooling/heating heat pump. The heat transfer performance was measured using an air-enthalpy calorimeter and a constant temperature water bath, to obtain the performance evaluation and analysis of a finned tube heat exchanger. Six finned tube heat exchangers with louver fin were tested under a heating condition. Air-side heat transfer and friction were presented in terms of j -factor and f -factor. The heat transfer coefficient increased with decreasing the fin pitch. j -factor and f -factor on the fin pitch and the number of tube rows decreased with increasing Re_{air} .

Key words : Louver fin, Heat exchange, Simultaneous cooling/heating, Heat pump

1. 서론

히트펌프는 압축기, 응축기, 팽창장치, 증발기의 등으로 구성되며, 방향전환 밸브를 이용하여 냉방과 난방이 한 대의 기기로 가능하다. 동시 냉난방 히트펌프는 시스템 히트펌프의 응용 기술 제품으로 HR(Heat Recovery) 시스템으로도 불리며, 건축기술의 발전에 따라 호텔, 콘도미니엄, 주상복합 건물, 병원, 아파트 등에서 동일한 기간에 각 빌별로 냉방과 난방을 동시에 가능한 개별 공조기로서 기기의 이용효율이 매우 높고 작은 구동에너지를 이용하여 보다 많은 에너지를 열의 형태로 공급하는 에너지 절약형 냉난방기이다. 동시냉난방 시스템은 이미 일본에서 다양한 연구와 실험을 통해 Daikin을 비롯한 일부 업체에서 제품을 개발하여 자국뿐 아니라 유럽에 수출하

고 있으나, 국내에서는 일부 대기업에서 제품 중심으로 개발하고 있지만 정량화된 연구가 부족한 실정이다.

히트펌프의 효율을 향상시키기 위해서는 시스템을 구성하는 요소부품의 고성능화가 선행되어야 한다. 요소부품들 중에 열교환기는 시스템의 크기, 성능 그리고 효율에 크게 영향을 주므로 동시 냉난방 히트펌프 시스템의 고효율화를 위해 관련 열교환기의 성능실험이 체계적으로 수행되어야 한다. 열교환기는 핀형상, 핀피치, 관회로, 관피치, 열수 등의 기하학적 설계변수와 유동속도, 온습도 등 유동조건에 의해 크게 영향을 받으므로 공기측 전열특성은 복잡해진다. 따라서 정확하고 신뢰성 있는 자료 확보를 위한 열교환기 성능평가는 열교환기의 고효율화를 위해 필수적이다.

¹선문대학교 기계공학부

*교신저자: 권영철(yckweon1@sunmoon.ac.kr)

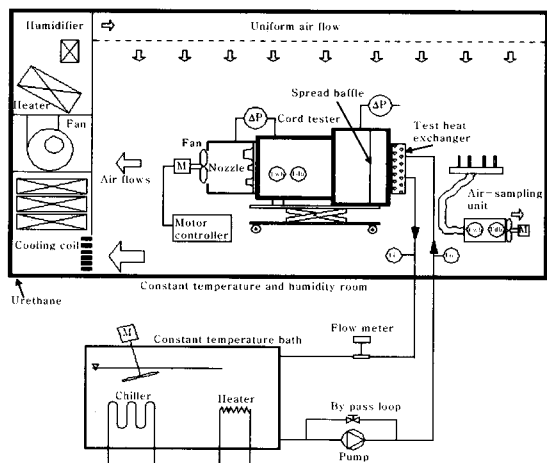


그림 1. 칼로리미터의 개념도

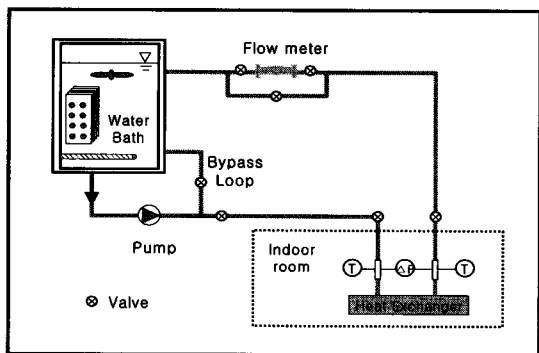


그림 2. 항온수조 개념도

Rich[1]는 핀-관 열교환기에서 열수가 열교환기의 열전달 성능에 미치는 영향에 대한 실험연구로부터, 1~6열의 레이놀즈 수에 따른 j -계수의 거동을 이해하였다. Halici 등[2]은 4종의 평판핀-관 열교환기를 가지고 열을 변화시켜가며 열전달계수를 측정하였다. Goldstein 등[3]은 1열 파형핀에 대한 나프탈렌 승화법으로 실험을 하여 국소 물질전달계수 및 평균 물질전달계수를 측정하였다. 국소 물질전달계수 분포에서 와류의 발생을 확인하였으며 레이놀즈 수가 증가할수록 와류의 영향이 증가한다고 하였다. Gray 등[4]은 엇갈린 관 배열을 갖는 평판핀-관 4열 열교환기의 실험으로 j -계수와 f -계수를 구하였다. Chang 등[5]은 파형핀-관 열교환기의 경사각 변화에 따른 열전달계수와 압력강하량의 특성을 규명하였다. 경사각이 증가할수록 j -계수는 감소하고, 압력강하량은 증가하는 사실을 밝혔다. Wang 등[6]은 18개의 서로 다른 형상을 가진 파형핀-관 열교환기를 이용하여 열전달과 마찰특성 실험을 수행하였다. 또한 계승조건에서의 핀-관 열교환기

에 대한 핀간격, 열수, 공기 입구조건에 따른 성능변화를 조사하였다. 강희찬 등[7]은 슬릿핀에 대한 확대 모형실험과 역적법에 의한 핀-관 열교환기의 실험적 방법을 제시하였다. 권영철 등[8]은 2열 핀-관 열교환기의 난방온도조건에서 열별 전열특성을 실험적으로 연구하였다. 김형일 등[9]은 슬릿핀-관 열교환기를 물로 실험하여 냉난방조건에서의 열전달 및 물질전달의 특성을, 윤백 등[10]은 직교류형 핀-관 열교환기에 있어 공기측 열전달계수의 측정방법, 실험 데이터의 분석방법을 제시하였다. 또한 작동유체를 물로 하여 서로 다른 핀 형상을 갖는 두 종류의 열교환기의 공기측 열전달계수와 압력강하 특성 실험을 수행하였다.

본 실험연구의 목적은 동시 냉난방 히트펌프용 루버핀-관 열교환기의 성능평가 및 설계해석 기술의 확보를 위해 난방운전 온도조건에서 6종의 열교환기의 공기측 열전달특성 및 마찰특성을 조사하는 데 있다.

2. 실험장치 및 실험 방법

2.1 실험장치

동시 냉난방 히트펌프용 루버핀-관 열교환기의 난방온도 조건에서의 공기측 열전달 및 압력강하 특성을 조사하기 위하여 공기엔탈피식 칼로리미터(그림 1)를 이용하였으며, 열량을 계산하기 위하여 ANSI/ASHRAE Standard 58-1986(RA 99)에서 규정한 시험방법을 따랐다 [11].

칼로리미터 외부에 설치된 항온수조(그림 2)는 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. 열교환기의 성능측정은 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 입출구 건습도 온도, 압력차, 물의 유량 및 입출구온도 등의 데이터를 10초 간격으로 추출하여 적산하고 이를 10분 평균값과 70분 평균값으로 출력한다. 표 1에 본 실험연구에 사용된 열교환기 6종의 제원을, 그림 3은 열교환기에 적용된 루버핀의 형상을 보여준다.

표 1. 동시 냉난방 히트펌프용 루버핀-관 열교환기의 사양

Sample No.	d [mm]	Fin type	Fin pitch [mm]	Row pitch [mm]	Step pitch [mm]	Fin thick. [mm]	Number of row
1	7.0	Louver	1.2	12.7	21	0.092	2
2			1.4				
3			1.6				
4			1.2				3
5			1.4				
6			1.6				

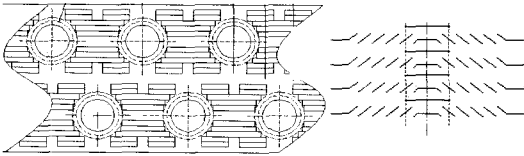


그림 3. 동시 냉난방 히트펌프용 루버핀-관 열교환기의 핀 형상

2.2 실험방법

실험데이터는 유입공기의 온도와 속도 그리고 물의 입구온도와 유량 등이 정상상태에 도달한 후, 공기와 물의 온도변동이 ±0.2℃ 이내로 안정되면 공기의 속도, 입구 및 출구의 건구와 습구온도, 압력차 그리고 물의 유량과 입구 및 출구온도 등이 획득되었다. 본 연구에 사용된 난방 온도에서의 열교환기 유입공기와 물의 실험조건은 표 2와 같다. 측정된 공기측과 물측의 열평형(heat balance)은 최대 ±5% 이내에서 만족하는 실험값만을 선택하였다.

표 2. 실험조건

Air-side		Water-side	
Temperature(℃)	20	Temperature(℃)	70
Relative humidity(%)	60	Flow rate (lpm)	10
Velocity(m/s)	0.7-2.5		

3. 실험데이터 처리

열교환기의 열량(Q)은 공기와 물의 입출구 온도차를 이용하여 다음 식으로 계산할 수 있으며, 공기측 열전달계수를 계산하기 위하여 식 (1)과 (2)의 평균열량을 사용하였다.

$$Q_a = \dot{m}_a C_{p,a} | T_{a,in} - T_{a,out} | \quad (1)$$

$$Q_w = \dot{m}_w C_{p,w} | T_{w,in} - T_{w,out} | \quad (2)$$

$$Q = \frac{1}{2} (Q_a + Q_w) \quad (3)$$

여기서 \dot{m} , C_p , T 는 각각 질량유량, 비열, 온도를 그리고 첨자 a , w , in , out 은 각각 공기, 물, 입구, 출구를 의미한다.

핀-관 열교환기 열저항은 대류열저항, 전도열저항, 접촉열저항으로 나눌 수 있다. 열교환기의 동관과 알루미늄핀의 경우 열전도율이 매우 높고 두께가 매우 얇으므로 전도열저항은 전체 열저항의 1% 미만이므로 무시할 수 있으므로 총괄열저항을 다음과 같이 나타내었다.

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_c A_t} + \frac{1}{h_w A_i} + \frac{1}{\eta h_a A_a} \quad (4)$$

여기서 U , A 는 각각 총괄열전달계수, 면적을 그리고 첨자 c , t , i 은 각각 접촉, 관, 관내측을 의미한다.

공기측 총괄 열전달계수(h_a)를 구하기 위해 LMTD법을 이용하였다. 접촉열전달계수(h_c)는 Sawai 등[12]이 제안한 식을 관내측의 대류열전달계수(h_i)는 Gnielinski 상관식[13]을 그리고 핀 효율은 열교환기 표면효율 관계식과 Schmidt의 상관식을 사용하였다[14].

$$\eta = 1 - \frac{A_f}{A_a} (1 - \eta_f) \quad (5)$$

여기서 f 는 핀을 의미한다. 공기측 열전달계수는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$h_a = \frac{1}{n A_a} \left[\frac{1}{UA} - \frac{1}{h_w A_w} - \frac{1}{h_c A_c} \right]^{-1} \quad (6)$$

핀-관 열교환기의 수력직경(d_h)은 공기가 통과하는 최소자유유동면적(A_{free})을 기준으로 다음과 같이 정의하였다.

$$d_h = \frac{4A_{free}L}{A_a} \quad (7)$$

여기서 L 은 열교환기 유동방향길이를 의미한다. 이때, 공기측 레이놀즈 수(Re_a)는 최소자유유동면적을 통과하는 공기의 최대질량유속(G_{max}) 및 수력직경을 기준으로 다음과 같이 정의하였다.

$$Re_a = \frac{G_{max} d_h}{\mu_a} \quad (8)$$

여기서 μ 는 점성계수를 의미한다. 열교환기의 공기측 열량과 압력강하를 실험으로부터 측정하여, 동시 냉난방 히트펌프용 루버핀-관 열교환기의 공기측 열전달계수의 특성을 무차원 수인 j -계수로, 유동저항을 나타내는 압력 강하는 무차원 수인 f -계수로 표현하였다.

$$j = \frac{h_a}{G_{max} C_{p,a}} Pr^{2/3} \quad (9)$$

$$f = \frac{\Delta P \rho_a d_h}{2G_{max}^2 \cdot L} \quad (10)$$

여기서 Pr , ρ 은 각각 프란틀 수, 밀도를 의미한다.

4. 실험결과 및 고찰

그림 4는 2열과 3열의 핀피치별 공기측 열량변화를 비교한 그래프이다. 핀피치별 공기유속에 대한 열량은 공기유속이 증가할수록 증가한다. 핀피치별로 보면 핀피치가 작을수록 전열량 증가폭이 큰데 이는 핀피치의 간격이 좁을수록 공기속도는 빨라지며, 열경계층 두께는 얇게 형성되어 전열면과의 접촉면적 증가로 열전달능력이 향상되기 때문이다. 또한 핀의 개수가 늘어남으로 인해 상대적인 핀표면적의 증가도 열량 증가에 영향을 주었을 것으로 판단된다. 낮은 공기유속에서는 핀피치와 열수에 대한 영향이 미비하나, 공기속도가 증가하면서 핀피치가 작을수록, 열수가 많을수록 전열량이 증가하였다. 2열에서는 핀피치가 증가할수록 약 10%, 3열에서는 약 6%의 증

가폭을 그리고 각 피치별로 2열과 3열의 열량을 비교해 보면 1.2피치에서는 약 20%, 1.4피치에서는 약 27%, 1.6 피치에서는 약 32% 증가하였다. 이로부터 핀피치보다 열수에 의한 전열량 증가가 더 크게 나타남을 알 수 있다.

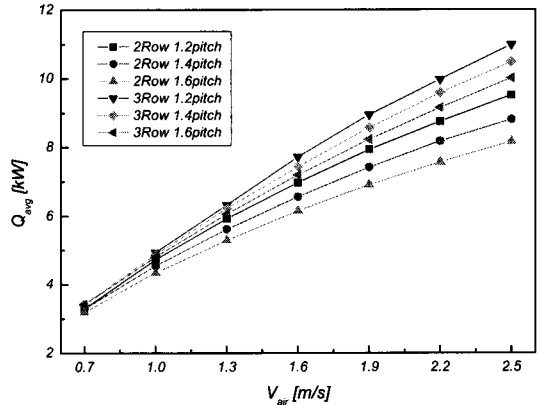


그림 4. 동시 냉난방 히트펌프용 열교환기의 전열량

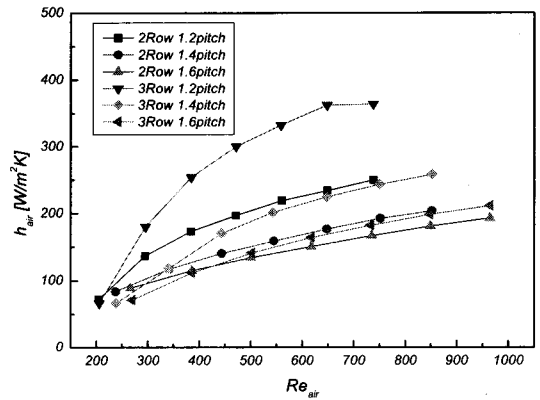


그림 5. 동시 냉난방 히트펌프용 열교환기의 열전달계수

그림 5는 동일 핀피치에 대한 열교환기의 열수별 레이놀즈 수에 대한 공기측 열전달계수의 관계를 보여준다. 레이놀즈 수가 증가할수록 열교환기의 열전달계수는 증가하는 경향을 보인다. 저 레이놀즈영역(200-400)에서는 2열의 열전달계수가 3열보다 크게 나타나는데, 이는 열을 지나면서 원형관 후단에서 발생한 와류에 의해 관 후단과 관 주위 공기유동의 혼합이 효과적으로 이루어지지 못하기 때문이다. 그러나 레이놀즈 수가 증가할수록 저 열전달영역이 감소하게 되어 레이놀즈 수 400영역 이후로는 역전되어 3열이 2열보다 큰 열전달계수를 가지는 것으로 보인다. 그림을 비교하여 핀피치에 의한 열전달계수의 영향정도를 보면 핀피치가 작을수록 전체적으로 높

은 열전달계수를 가진다. 그리고 핀피치가 작을수록 열수 증가에 의한 열전달계수의 증가폭이 커진다는 것을 볼 수 있다.

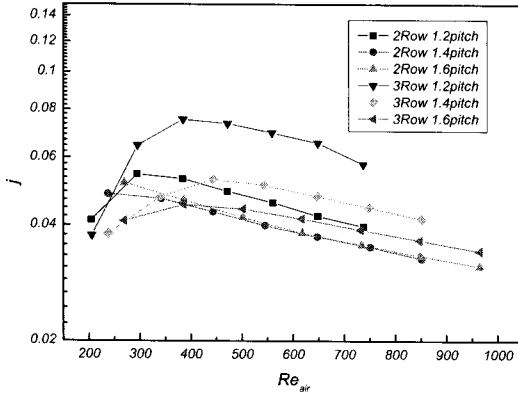


그림 6. 동시 냉난방 히트펌프용 열교환기의 j-계수

그림 6은 핀피치와 열수변화에 대한 j-계수를 보여준다. j-계수는 400 이하의 저 레이놀즈영역에서 3열이 2열보다 작다. 이것은 j-계수가 공기측 열전달계수를 포함하기 때문이다. 레이놀즈 수가 증가할수록 열전달계수(그림 5)는 증가하는데 비해 j-계수(그림 6)는 감소하는데, 이는 j-계수의 다른 인자인 공기유량의 증가가 공기측 열전달계수의 증가보다 크기 때문이다. 저 레이놀즈영역(400 이하)을 제외하면 핀피치 간격이 적을수록 더 우수한 성능을 가지며, 2열보다 3열이 핀피치에 더 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 공기유량을 고려한 열교환기의 성능을 보면 레이놀즈 수가 300-500정도에서 상대적으로 우수한 효과를 보인다.

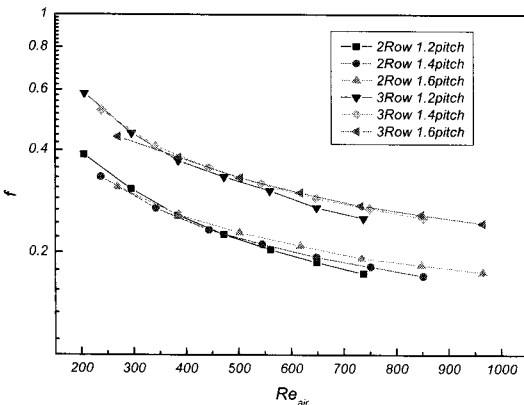


그림 7. 동시 냉난방 히트펌프용 열교환기의 f-계수

그림 7은 핀피치와 열수변화에 대한 f-계수를 보여준다. 레이놀즈 수가 증가할수록 f-계수는 감소하며, 2열보다 3열의 값이 크다. 또한 f-계수는 핀피치보다 열수에 더 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 동일 열수의 경우에 레이놀즈 수 400 부근을 전후로 f-계수는 서로 역전을 한다. 400 이하의 레이놀즈영역에서는 핀피치가 적을수록 그리고 400 이상 영역에서는 핀피치가 클수록 f-계수가 다소 큰 값을 가진다. 그러나 같은 열수의 열교환기에서 핀피치의 변화에 따른 f-계수의 값의 변화는 그리 크지 않다.

5. 결론

본 연구의 목적은 동시 냉난방 히트펌프용 루버핀-관 열교환기의 성능평가 및 설계해석 기술의 확보를 위해 난방운전 온도조건에서 6종의 열교환기의 공기측 열전달 특성 및 마찰특성을 실험을 통하여 조사하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 열교환기 전열량은 공기유속이 증가할수록 증가하며, 핀피치가 작을수록 증가폭은 크다. 공기속도가 증가하게 되면 핀피치 간격이 좁을수록, 열수가 많을수록 전열량이 증가하였으나, 핀피치보다 열수에 의한 전열량 증가가 더 크게 관찰되었다.
- (2) 레이놀즈 수 400부근에서 열수에 따른 열전달계수의 역전현상을 확인하였다. 핀피치가 작을수록 전체적으로 높은 열전달계수를 가지며, 핀피치가 작을수록 열수증가에 의한 열전달계수의 증가폭이 뚜렷하였다.
- (3) j-계수는 핀피치 간격이 좁을수록 우수한 성능을, 2열보다 3열의 경우에 핀피치에 더 큰 영향을 받았으며, 레이놀즈 수 300-500 부근에서 전반적으로 우수하였다. f-계수는 핀피치보다 열수에 더 크게 영향을 받으며, 레이놀즈 수가 증가할수록 감소하였다.
- (4) 열교환기 설계 시 공기유속이 증가하게 되면 전열량은 증가하고 f-계수는 줄어들지만 j-계수가 감소하기 때문에 열교환기의 전 성능평가를 위해서는 j-계수와 f-계수를 함께 고려해야 한다.

참고문헌

- [1] D. G. Rich, "The effect of fin spacing on the heat

- transfer and friction performance of multi-row, plate fin-and-tube heat exchanger", ASHRAE Transactions, 79, pp. 135-145, 1973.
- [2] F. Halici, et al., "The effect of the number of tube rows on heat, mass and momentum transfer in flat-plate finned tube heat exchangers", Energy, 26, pp. 963-972, 2001.
- [3] L. Goldstein et al., "Experiments on the transfer characteristics of a corrugated fin and tube heat exchanger configuration", Journal of Heat Transfer, Transactions of ASME, 98, pp. 26-34, 1976.
- [4] D. L. Gray, et al., "Heat transfer and friction correlation for plate finned-tube heat exchangers having plain fin", Proceedings 8th International Heat Transfer Conference, 6, pp. 2745-2750, 1986.
- [5] W. R. Chang, et al., "Effect of an inclined angle on the heat transfer and pressure drop characteristics of a wavy-finned-tube heat exchanger", ASHRAE Transactions, 100, pp. 826-832, 1994.
- [6] C. C Wang, et al., "A heat transfer and friction for wavy fin-and-tube heat exchanger", International Journal of Heat and Mass Transfer, 22, pp. 595-603, 1999.
- [7] H. C. Kang et al., "Thermohydraulic characteristics of multi-row, plane finned-tube heat exchanger for air-conditioner", Proceeding of the SAREK '96 Summer Annual Conference, pp. 315-321, 1996.
- [8] Y. C. Kwon, et al., "Heat transfer performance of individual rows in fin-tube heat exchangers", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 16, 3, pp. 280-286, 2004.
- [9] H. Y. Kim, et al., "Experimental study on heat and mass transfer of the slit fin", Proceeding of the SAREK '98 Summer Annual Conference, pp. 790-795, 1998.
- [10] B. Yun, et al., "Performance evaluation of cross-flow fin-tube heat exchanger", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 25, 2, pp. 151-160, 1996.
- [11] ASHRAE, "Method of Testing for Seasonal Efficiency of Unitary Air Conditioners and Heat Pumps", ASHRAE Standard ANSI/ASHRAE 116-1983, 1983.
- [12] S. Sawai, et al., "Effects of mechanical bond between fin and tube on heat transfer", Refrigeration, 44, 502, pp. 15-21, 1969.
- [13] V. Gnielinski, "New equation for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow, International Chemical Engineering, 16, 2, pp. 359-368, 1976.
- [14] T. E. Schmidt, "Heat transfer calculations for extended surfaces", J. of the ASRE, Refrigerating Engineering, 4, pp. 351-357, 1949.

권영철(Kwon-Young Chul)

[정회원]



- 1989년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 1991년 9월 : 포항공과대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 포항공과대학교 기계공학과(공학박사)
- 1996년 9월 ~ 1999년 2월 : 한전 전력연구원 (선임연구원)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학부 부교수

<관심분야>
냉동공조, 열전달