

냉동창고 내 열부하 감소를 위한 유압 구동식 냉각기의 특성에 관한 실험적 연구 김 재 돌†

(원고접수일 : 2009년 8월 12일, 원고수정일 : 2009년 9월 29일, 심사완료일 : 2009년 11월 19일)

An Experimental Study on Characteristics of Cooler by Oil Pressure for Decreasing Heat Load in Cold Storage

Jae-Dol Kim†

요 약 : 냉동냉장창고 내 열부하 감소를 위한 유압 구동식 냉각기의 특성을 실험적으로 평가한 결과 고내 온도강하에 있어서 초기에는 급격하게 이루어지고, 설정온도가 낮아질수록 온도 강하율은 적게 나타났다. 기존 전기 구동식과 비교한 결과 유압식이 더 빠른 온도 강하율과 냉동기 운전시간이 짧게 나타나 실제 냉동창고의 경우, 입고 물품의 품질저하 방지 및 전력 절감에 기여할 수 있을 것으로 판단되었다. 그리고 고내 설정온도가 낮을수록 소비동력은 급격히 증가하였고, 유압식이 더 적은 동력을 소비하는 것으로 나타났다. 두 방식 모두 설정온도에 도달함에 따라 성능계수는 지속적으로 저하하였고, 유압식이 최대 25%정도 높게 나타났다. 고내 온도유지에 있어서는 설정온도가 낮을수록 냉동기의 운전 횟수가 적고, 운전시간이 길어 소비동력이 많아지는 것으로 나타났으며, 유압식이 약 21~25%정도 적게 나타났다.

주제어 : 냉동창고, 유닛 쿨러, 유압식, 열부하, 성능계수

Abstract: As a result of this study, we reached the following conclusions. With appropriate setting of oil pressure and flow rate, it operated same rotation speed with existing cooler by electrical transmission. In initial operation, a temperature of a cold storage is lower rapidly. As an internal temperature of a cold storage is lower, a decreasing rate of temperature is lower. As a result of comparing the both type, the cooler of oil pressure type showed the following results. The decreasing rate of temperature was more faster and shorter operating time was more shorter than existing cooler of electric type. The actual case of a cold storage, the cooler of oil pressure type can prevent quality deterioration and decrease power consumption. As an internal temperature of a cold storage is lower, power consumption increased rapidly, the oil pressure type showed lower power consumption. COP of two of these types decreased continuously as the internal temperature of a cold storage being reach setting temperature, and that of oil pressure type showed higher amount about 25%. As a setting temperature is lower, the number of refrigerator's operating times are less and operating time is longer, so power consumption is increased in the maintenance of a cold storage's internal temperature, power consumption of hydraulic type showed lower amount about 21~25% in two of these types.

Key words : Cold storage, Unit cooler, Oil pressure type, Electric type, Heat load, Coefficient of performance

† 교신저자(동명대학교, 냉동공조공학과, E-mail:kjd@tu.ac.kr, Tel: 051-629-1682)

1. 서 론

증기 압축식 냉동장치는 압축기, 응축기, 증발기, 팽창장치 및 각종 부속기기 등으로 구성되며, 이들은 배관으로 서로 연결되어 하나의 밀폐된 사이클을 이루게 된다[1,2].

사이클 내로는 작동매체로서 냉매가 상변화(phase change)를 통하여 응축기에서는 열방출을 증발기에서는 열흡수를 반복하여 냉각작용을 수행한다.

압축기는 사이클 내로 순환하는 냉매가 응축기에서 외부의 공기나 물로서 응축을 쉽게 하기 위하여 고온 고압으로 만들며, 또한, 증발기에서 증발한 냉매 증기를 흡입하여 반복적인 사이클을 수행하는 역할을 한다. 이때, 열교환기인 응축기와 증발기에서는 공랭식의 경우 전기 에너지로 팬을 구동하여 외부 공기와 강제 대류 열교환 방식을 취함으로써 응축과 증발이 잘 이루어지도록 하고 있다[3-5].

일반적으로 수산물이나 축산물 냉동냉장창고나 농산물 저온창고의 고내 냉각장치로 사용되는 유니트 쿨러에는 냉각기 앞면이나 뒷면에 여러 개의 팬을 설치하여 창고내의 공기와 증발기내에 유동하는 냉매와의 열전달을 촉진시키고 있다. 이때 팬을 구동하는 모터는 일반적으로 1~2.2kW 정도의 용량이며, 구동시 발생한 열은 고내의 냉동부하로 작용하게 된다. 또한 냉동기의 용량 설계 시에는 이들 열량이 그대로 냉동기의 열부하로 산정됨으로서 그 열량만큼 냉동기의 냉각부하가 증가되어 장치의 용량을 증가시키게 되고, 전체 시스템은 그 만큼 커지게 되어 초기 비용 및 유지비용이 증가하게 된다. 그리고 발생된 열은 고내 보관 물품의 온도저하를 방해하여 일정 온도에 이르기까지 더 많은 시간이 소요되고, 그 만큼 냉동기의 운전시간도 길어지게 되어 운전비용도 증가시키게 된다[6-8].

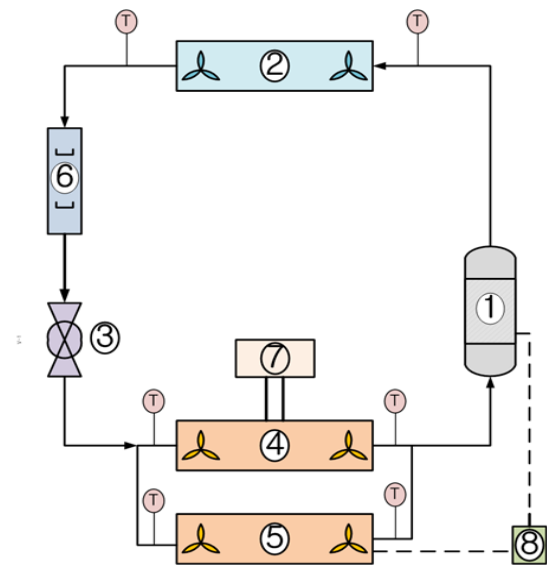
본 연구는 상기와 같은 기존 전기 구동식 냉각기의 문제점을 해결하기 위하여 냉각기 팬 구동시 열 발생의 염려가 없는 유압 구동식 냉각기를 채택하여 서로 동일한 조건에서 그 특성을 비교 평가함으로써 유압 구동식 냉각기 개발을 위한 기초 자료를 확보하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험장치는 3kW급 증기 압축식 냉동장치로 구성되어 있으며, Figure 1은 장치 개략도를 나타낸다. 장치는 크게 Figure 2와 같이 실내기인(a) 전기 구동식 냉각기와 유압 구동식 냉각기 및 실외기(b)로 구성되어 있으며, 실외기에는 압축기, 유분리기, 응축기, 수액기, 전자밸브, 고저압 차단장치 등의 기본적 부품으로 구성되어 있다.

실내기는 그림에서와 같이 하나의 실외기에 동일 사양의 실내기 두 개로 유압 구동식과 전기 구동식 팬이 설치되어 있으며, 열환경 실험실 내에 설치되어 동일한 조건에서 운전이 될 수 있도록 하였다. 그리고 냉각기에 설치된 팬의 용량은 두 방식 모두 동일용량으로 전기와 유압에 의해 구동될 수 있도록 하였으며, 유압 구동식의 경우에는 장치 외부에 유압 유닛을 설치하여 일정 유량과 압력으로 유가 공급될 수 있도록 하였다.



- ① Compressor
- ② Condenser
- ③ Expansion valve
- ④ Electric type cooler
- ⑤ Oil pressure type cooler
- ⑥ Refrigerant flow meter
- ⑦ Oil pressure unit
- ⑧ Power meter

Figure 1: Schematic diagram of experimental apparatus

실내기와 실외기를 비롯한 각 구성요소들은 배관으로 연결되어 있으며, 열손실을 막기 위해 단열재로 단열하였다. 또한, 시스템 사용 냉매는 저온용인 R404A를 사용하였다.



(a) Indoor unit



(b) Outdoor unit

Figure 2: Indoor and outdoor unit

2.2 실험방법

각 실험시 냉동기의 성능 측정을 위해 Figure 1의 장치에서와 같이 팽창밸브 직전에 냉매 유량계를 설치하여 냉매유량을 측정하였다. 그리고 기존 전기 구동식 냉각기 팬의 회전수를 모터 사양 및 회전계로 측정 확인 후, 동일한 회전수로 구동될 수 있도록 반복 실험에 의해 유압 구동식 냉각기 팬 구동용 유압 유닛의 적정 오일 유량 및 유압을 결정하였다.

시스템 각 부의 온도는 증발기 입·출구, 응축기 입·출구, 압축기 입구, 팽창밸브 직전에 열전대를 설치하여 10초 간격으로 데이터로그에 의해 측정하였으며, 측정된 데이터는 컴퓨터로 저장 처리하였다. 또한, 장치의 소비전력(AW)은 파워미터로 측정하였으며, 장치의 냉동능력(Q)은 식(1)과 같이 계산하였고, 장치의 성능계수(COP)는 식(2)와 같이 계산하였다.

$$Q = G \cdot c_p \cdot \int_{T_{e,fin}}^{T_{e,ini}} dt \quad (1)$$

$$COP = Q/AW \quad (2)$$

여기서, G 는 창고내 공기량을, $T_{e,ini}$ 과 $T_{e,fin}$ 은 고내 초기 및 최종 공기온도를 나타내고, c_p 는 공기의 비열을 나타낸다. 그리고 기존 전기모터 구동에 의한 냉각기 대신 유압모터 구동에 의한 냉각기에 있어서 유압모터는 유체의 압력 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 요소로서 일종의 회전운동 발생 장치이며, 유압모터에서의 토크(T), 회전수(N) 및 동력(L)은 다음과 같이 계산하였다.

$$T = Vp/2 \quad (3)$$

$$N = M/V \quad (4)$$

$$L = TN \quad (5)$$

여기서, T 는 발생토크, V 는 모터 1회전 당 배제용적, p 는 모터 입·출구의 압력차, M 은 모터에 공급되는 유량이며, L 은 모터에서 발생하는 동력을 각각 나타낸다.

Figure 3은 본 연구에 사용된 유압모터를 나타내며, 성능은 실험에서 구한 오일 유량, 모터 입·출구 압력차와 모터 제작사의 성능표를 기준으로 계산하였다.

두 가지 구동방식 냉각기 모두 16.2m²의 크기로 저온 냉동용 단열재로 단열된 열환경 실험실 내에 각각 설치하여 초기온도 15℃, 상대습도 60%의 동일조건에서 실험을 실시하였으며, 실험실 내 10곳에 일정간격으로 열전대를 설치하여 평균 온도를 고내 온도로 이용하였다.

Table 1은 본 연구에 사용된 주요 장치의 사양 및 실험조건을 나타낸다.



Figure 3: Photo of oil pressure operating motor

Table 1: Specifications of the apparatus and experimental conditions

Specifications of the apparatus		
Items	Parameters	Specifications
Compressor	Reciprocating type, [kW]	3
Condenser	Air volume, [CMM]	60
Unit cooler	Air volume, [CMM]	86
Chamber	Volume, [m ³]	8.1×8.1×2
Experimental conditions		
Items	Parameters	Conditions
Chamber	Initial temperature, [°C]	15
	Initial humidity, [%]	60
Oil	Pressure, [kg/cm ²]	30, 40, 50
	Flow rate, [ℓ/min]	6, 8, 10
Setting temperature	Indoor temperature, [°C]	-23, -26, -30

3. 실험결과

3.1 유압 모터의 회전수

Figure 4는 유압 구동모터의 오일 유량을 6, 8, 10[ℓ/min], 유압을 30, 40, 50[kg/cm²]로 변화시킴에 따른 냉각기 팬의 회전수 특성변화를 나타낸 결과이다. 그림 (a), (b)에서와 같이 오일 압력과 유량이 증가할수록 냉각기 팬의 회전수는 증가하였으며, 유량의 증가가 유압의 증가보다 회전수에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 바탕으로 실제 수산물이나 축산물 등을 보관하는 저온냉동냉장창고용 냉각기 팬 회전수 1,200~1,800rpm범위 내인 1,400rpm을 기준으로 유압 구동식 냉각기의 적정 오일유량 10ℓ/min, 유압 50kg/cm²를 기준으로 실험을 실시하였다.

3.2 고내 설정온도 강하 특성

Figure 5는 초기 동일한 조건의 상온에서 전기 구동식 냉각기와 유압 구동식 냉각기를 각각 운전한 경우 고내 온도변화를 나타낸 결과이다.

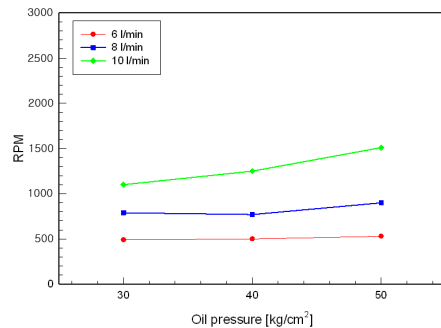
실험은 고내 온도를 -23°C, -26°C, -30°C까지 강하하는 실험결과이며, 그림에서와 같이 시간이

경과함에 따라 그의 동일한 온도강하 패턴을 나타내었다. 운전개시와 동시에 초기에는 온도강하가 급격하게 이루어지고 있지만, 각 설정온도에 도달할수록 온도 강하율은 적게 나타나고 있다.

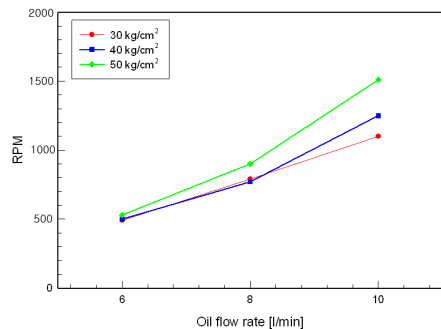
두 방식의 온도강하 특성을 비교하면, 각 고내 설정온도까지의 온도강하는 유압 구동식이 다소 빠르게 나타났다.

이와 같은 결과는 유압 구동식의 경우 팬에서의 열부하가 없으므로 그만큼 고내의 부하가 적게 되어 온도강하가 빠른 것으로 판단된다.

설정온도에 도달하기까지 냉동기의 운전시간도 유압 구동식이 약 30~50분 정도 빨리 도달하는 것으로 나타났다. 이는 실제 냉동창고의 경우 초기 입고 물품을 적정 온도까지 강하시키기까지의 시간 단축에 따른 보관물품의 품질저하 방지와 냉동기의 운전시간 단축에 따른 전력 절감을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) RPM of fan versus oil pressure



(b) RPM of fan versus oil flow rate

Figure 4: RPM of fan versus oil pressure and flow rate

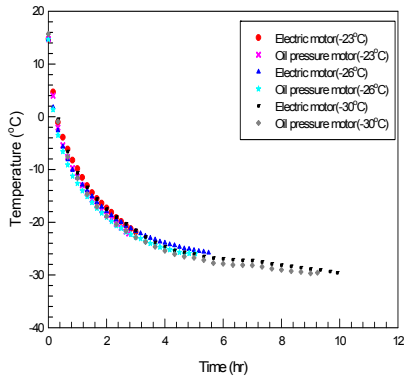


Figure 5: The compare with cold storage indoor temperature change versus time

Figure 6은 동일한 운전 조건에서 두 방식의 고내 설정온도에 도달하기까지 냉동장치의 소비동력을 적산하여 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 고내 온도가 높은 경우, 고내 설정온도에 따른 소비동력은 적지만, 고내 설정온도가 낮아질수록 소비동력은 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 고내 온도가 낮아질수록 냉각기 내 냉매의 증발온도가 낮아지고, 냉동기의 압축비 증대에 따라 시스템의 효율 저하로 판단된다.

두 방식을 비교하면, 그림에서와 같이 각 설정온도 모두에서 유압 구동식이 전기 구동식보다 더 적은 동력을 소비하는 것으로 나타났다.

Figure 7은 고내 각 설정온도별에 따른 두 방식의 운전시간에 따른 냉동시스템의 COP를 나타낸 결과이다.

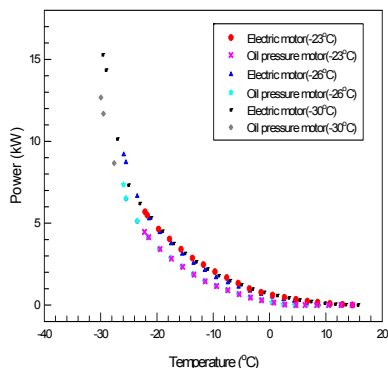


Figure 6: The compare with power consumption versus temperature change

두 방식 모두 운전 초기에는 COP가 4부근으로 높게 나타나고 있지만 시간이 경과하고, 설정온도에 도달함에 따라 COP는 지속적으로 저하하고 있다. 이와 같은 결과는 설정온도에 도달함에 따라 장치의 냉동능력 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

두 방식을 비교하면, 전기 구동식의 경우, 고내 설정온도 -23°C , -26°C , -30°C 에서 각각 2.1, 1.8, 1.6의 COP를 나타내었으며, 유압 구동식의 경우에는 각각 2.5, 2.3, 2.1로 나타나 전기 구동식에 비해 최대 25%정도 높게 나타났다.

이와 같은 결과는 상기 Figure 6의 결과에서와 같이 냉각기 팬 동력만큼 소비동력의 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

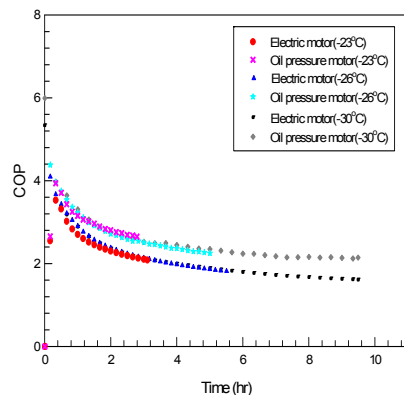


Figure 7: The compare with coefficient of performance versus time

3.3 고내 설정온도 유지에 따른 특성

Figure 8은 고내 온도를 -23°C , -26°C , -30°C 로 각각 설정하고, 두 방식으로 각각 운전한 경우 24시간 동안의 고내 온도변화를 측정된 결과이다. 이때, 냉동기는 설정온도 편차 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 에서 온-오프(on-off)운전이 이루어지도록 하였다. 그림에서와 같이 고내 설정온도가 낮을수록 냉동기의 운전 횟수가 작고, 높을수록 냉동기의 운전 횟수가 많은 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 설정온도가 낮은 경우에는 낮은 온도에서 운전이 정지한 후, 다시 설정온도 범위를 벗어나 온도가 상승되어 다시 냉동기가 운전되어 설정범위내로 복귀하기까지의 운전시간이 길어지기 때문으로 판단된다. 즉, 설정

온도가 저온일 경우에는 상대적으로 설정온도가 높은 경우에 비해 냉동기의 효율저하로 인한 장치의 운전시간이 길어지기 때문이다. 이와 같은 결과는 두 방식 모두 비슷한 경향을 나타내었다.

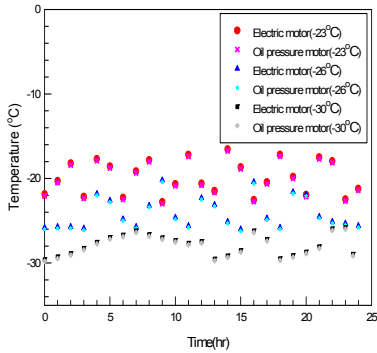


Figure 8: The compare with cold storage indoor temperature change versus time

Figure 9는 상기와 동일한 조건에서 두 방식의 시간에 따른 적산 소비동력을 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 온도가 낮을수록 냉동기의 운전시간이 길어지고, 운전효율이 낮아져 소비동력이 많아지는 것으로 나타났다.

두 방식을 비교하면, 고내 설정온도를 유지하기 위해 유압 구동식이 전기 구동식에 비해 상대적으로 약 21~25% 정도 적게 나타났다. 이와 같은 결과는 본 연구에서보다 훨씬 큰 용량과 많은 대수의 팬을 채용하고 있는 실제 냉동창고에서는 더 큰 차이가 발생될 것으로 판단된다.

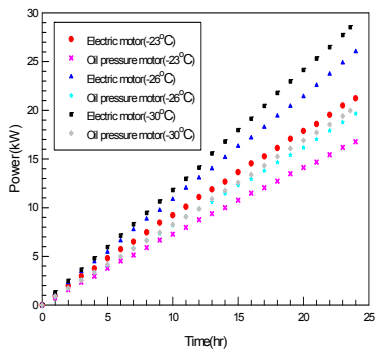


Figure 9: The compare with power consumption versus time

3.4 고내 온도 상승 특성

Figure 10은 고내 설정온도가 -23°C , -26°C , -30°C 에 각각 도달한 후, 냉동기의 운전을 정지한 상태에서 냉각기 팬만을 가동한 경우, 두 방식의 고내 온도상승 변화를 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 고내 온도 10°C 까지 상승하는 것을 기준으로, 유압 구동식이 전기 구동식에 비해 약 40분~75분정도 더 늦게 도달되었다. 이와 같은 결과는 유압 구동식의 경우 냉각기 팬에 의한 열부하가 없기 때문으로 판단되며, 전기 구동식의 경우 팬 모터 부하에 의한 열부하 증가에 기인하는 것으로 판단된다.

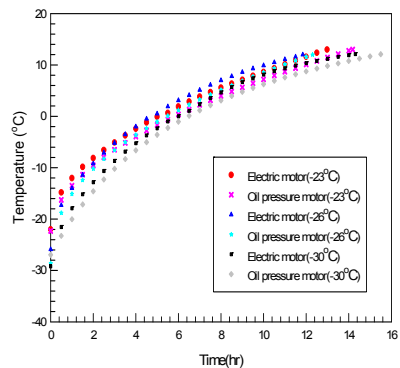


Figure 10: The compare with storage indoor temperature change versus time

4. 결 론

냉동창고 내 열부하 감소를 위한 유압 구동식 냉각기의 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고내 온도강하의 경우, 초기에는 급격하게 이루어지고, 설정온도에 도달할수록 온도 강하율은 적게 나타났으며, 유압식이 더 빠른 온도 강하율과 냉동기 운전시간도 약 30~50분 정도 짧게 나타나 실제 냉동창고의 경우, 입고 물품의 품질저하 방지 및 전력 절감에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.
2. 고내 설정온도가 낮을수록 소요동력은 급격히 증가하였으며, 유압식이 더 적은 동력을 소비하는 것으로 나타났다. 두 방식 모두 설정온도에 도달할수록 COP는 지속적으로 저하하였고, 유압식이 최대 25%정도 높게 나타났다.

3. 고내 온도유지에 있어서는 설정온도가 낮을수록 냉동기의 운전 횟수가 적고, 운전시간이 길어 소비동력이 많아지는 것으로 나타났으며, 두 방식에서는 유압식이 약 21~25%정도 적게 나타났다.

참고문헌

- [1] Molina, M.J. and Rowland, F.S., "Stratospheric sink for chlorofluoromethanes : chlorine atom catalyzed destruction of ozone", Nature, vol. 249, pp. 810~814, 1974.
- [2] 박대휘, "열펌프의 원리와 특징", 대한설비공학회, vol. 14, no. 3, pp. 242~252, 1985.
- [3] 산업자원부, "자연 냉매를 적용한 냉동·공조 시스템 기술 개발에 관한 산업 분석", pp. 58~69, 2000.
- [4] 장영수, 노승탁, "R134a, R152a, R22/142b를 이용한 냉동기의 성능시험", 대한설비공학회, vol. 6, no. 1, pp. 39~46, 1994.
- [5] Kruse, H., "European research and development concerning CFC and HFC substitution", ASHRAE/NIST Refrigerants Conference, pp. 41~54, 1993.
- [6] Shah, M.M., "A general correlation for heat transfer during film condensation inside pipes", Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 22, pp. 547~556, 1979.
- [7] Cavallini, A. and Zecchin R., "A dimensionless correlation for heat transfer in forced convection condensation", Proc. 6th Int. Heat Transfer Conf. Tokyo, vol. 3, pp. 309~313, 1974.
- [8] Webb, R.L., Zhang, M. and Narayanmurthy, R., "Condensation heat transfer in small diameter tubes", Proceedings of 11th IHTC, vol.6, pp.403~408, 1998.

저자 소개



김재돌(金在堃)

1964년생, 1991년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업, 1993년 부산수산대학교 대학원 냉동공조공학과 졸업(공학석사), 1996년 동대학원 졸업(공학박사), 현재 동명대학교 공과대학 냉동공조공학과 부교수.