

## 증발냉각방식 소형 응축기 실용화 연구

전창덕  
한국교통대학교 기계공학과

### Feasibility Study on Evaporatively Cooled Small Condenser

Chang-Duk Jeon

Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation

**요약** 에너지에 대한 수요가 증가함에 따라 에너지 절약 및 효율적 사용에 대한 연구가 중요한 주제 중 하나가 되고 있다. 공랭식 응축기 대신 증발냉각식 응축기를 사용하면 상당한 냉방 능력 향상, 소비 전력 절감 등 성능 개선을 이룰 수 있다는 것은 널리 알려진 사실이다. 그럼에도 불구하고 여러가지 이유로 인해 증발냉각식 응축기를 적용한 가정용 에어컨은 아직 제품 판매가 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 증발냉각식 응축기를 소형 가정용 에어컨에 탑재하기 위한 타당성 조사를 수행하였다. 유지 관리의 용이성, 설치 공간 및 구입 비용의 최소화를 최우선 설계조건으로 고려하여 물 순환라인을 사용하지 않고, 고압 분사펌프 없이 수도관 압력(4 bar 이하)만으로 물을 분사하며, 응축기 전체 면적을 분사 대상으로 하지 않고 일정 부분(냉매입구부/ 중간부/냉매출구부)에만 20.4 ℓ/h 이하로 분사하도록 장치를 구성하여 KS C 9306 에어컨디셔너에 규정된 표준냉방 조건에서 실험을 수행한 결과 기본 에어컨 모델 대비 냉방 능력 최대 3.3%, 소비 전력 최대 3.7 %, COP 최대 7.12 %의 성능 개선 효과를 얻을 수 있었다.

**Abstract** As the demand for energy increases, research on energy-saving and efficient energy use has become one of the important topics. In particular, these studies have established that using an evaporative cooling condenser instead of an air-cooled condenser significantly improves the air conditioner's performance, such as cooling capacity and power consumption. Nevertheless, residential air conditioners with evaporative cooling condensers are not yet available on the market for various reasons. This research conducted a feasibility study on mounting an evaporative cooling condenser in a small air conditioner. The study considered the ease of maintenance and minimization of installation space and purchase cost as the top priority design conditions. The evaporative cooling condenser is configured to spray at a rate of 20.4 ℓ/h or less in a specific area rather than the whole condenser surface based on the results of the study. Water is sprayed by utilizing only the water pipe pressure and not a high-pressure injection pump. The experiment was performed under the standard cooling conditions specified in KS C 9306 air conditioner. The evaporative cooling condenser mounted air conditioner achieved improved performance metrics than the original air conditioner under the specified experimental conditions. In particular it recorded a cooling capacity improvement of up to 3.3%, power consumption reduction of up to 3.7%, and COP improvement of up to 7.12%.

**Keywords** : Air Conditioner, Air-Cooled Condenser, Evaporative Cooling, Power Consumption, Water Injection

---

\*Corresponding Author : Chang-Duk Jeon(Korea National University Of Transportation)  
email: cdjeon@ut.ac.kr

Received November 29, 2021

Revised December 27, 2021

Accepted January 7, 2022

Published January 31, 2022

## 1. 서론

에너지는 국가의 경제 발전과 성장을 주도하는 매우 중요한 요소이다. 에너지에 대한 수요가 증가함에 따라 에너지 절약 및 효율적 사용에 대한 연구가 중요한 주제 중 하나가 되고 있다. 효율적인 에너지 사용 또는 에너지 소비를 줄이는 것은 모든 공학 분야의 목표이다. 화석연료의 가격이 고가이기 때문에 에너지를 절약하면 화석연료에 대한 의존도를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 국가 경제와 경제 정책에 필수적인 기여를 할 수 있다. 또한 이러한 에너지 소비를 줄이고 절약하는 것은 지구 온난화를 감소시키는 데 도움이 된다[1-3].

오늘날 가장 큰 관심사 중의 하나인 지구온난화 현상은 여름철 평균 기온 상승의 원인으로 지목받고 있다. 또한 국지적, 다발적으로 이상 고온 현상이 빈번하게 발생하여 하절기 냉방기의 열적 부하를 빠르게 증가시키고 있다. 에어컨 성능 저하가 아닌 환경 변화로 인해 감당해야 할 열적 부하가 늘어나는 시대에 대응하기 위해서는 효과가 지대하지 않더라도 적극적으로 에너지를 절약할 수 있는 방안 모색에 관심을 가져야 할 때이다.

가정용 에어컨의 경우 용량이 비교적 크지 않아 일반적으로 공랭식 응축기를 사용하여 응축열을 제거한다. 수랭식 응축기가 공랭식 응축기에 비해 응축 능력이 우수하다는 것은 자명한 사실이지만 냉각수 라인 설치 등으로 인해 시스템이 복잡해지고 비용 또한 증가하기 때문에 일부 산업용 대형 공기조화장치에만 제한적으로 사용되고 있다. 그럼에도 불구하고 하절기 온도가 40 °C를 상회하는 지역의 경우 중소형 에어컨에도 증발 냉각 방식을 적용하여 에어컨 성능을 향상시키려는 연구가 간헐적으로 수행되어 왔다.

Hajidavalloo[4]는 창문형 에어컨의 응축기에 새로운 디자인의 증발 냉각 방식을 도입하여 실험적으로 연구하였다. 그는 실제 에어컨을 사용하여 에어컨 양쪽 공기 흡입구에 냉각 패드를 대고 그 위에 물을 분사하여 응축기를 통과하기 전에 공기를 냉각시키는 방법으로 시험을 하였다. 실험 결과 소비 전력은 약 16 % 감소한 반면 성능 계수는 약 55 % 증가한다고 밝혔다.

Hajidavalloo 등[5]은 다양한 대기 온도 조건에서 증발 냉각 방식이 사이클 성능에 미치는 영향을 측정하기 위해 증발 냉각기를 제작, 기성 분리형 에어컨의 공랭식 응축기 전방에 설치하여 실험을 수행하였다. 그들은 실험 결과를 통해 증발 냉각식 응축기를 적용하면 사이클의 성능을 향상시킬 수 있으며 주변 공기 온도가 올라갈

수록 개선 속도가 증가한다고 주장하였으며 증발 냉각 응축기를 사용하면 소비 전력을 20 %까지 줄일 수 있고 성능 계수는 약 50 % 정도 향상시킬 수 있다고 밝혔다.

Yang 등[6]은 냉각기 효율을 개선하기 위한 실험을 수행하여 분무(water mist) 증발식 냉각 효과가 공랭식 냉각기에 미치는 영향을 분석했다. 실험 결과에 따르면 분무 냉각을 통해 응축기로 들어가는 공기의 건구 온도를 주변 공기 대비 최대 9.4 °C까지 낮추어서 냉각기 성능 계수를 최대 18.6 %까지 향상시켰다고 주장하였다. 이러한 연구 결과가 정확하다면 분무 냉각 기술은 에너지 효율적이고 환경친화적인 기술이다. 분무 냉각이 아직 보편화된 기술은 아니지만 뛰어난 장점을 가지고 있어 널리 사용될 것이라고 그들은 예상했다.

Tissot 등[7]은 응축기 상류에 냉각수를 분무하여 냉동기의 에너지 성능 개선에 대한 실험 및 수치적 연구를 수행하여 시스템에 대한 열역학 모델과 공기 및 냉매 측에 대한 열전달 모델을 결합한 모델을 개발하였다. 실험 결과, 응축기 상류에서 물을 분무하면 시스템의 전체 COP를 상대 습도 19.7 %, 온도 308 K 조건에서 최대 28.9 %까지 증가시킬 수 있었다고 밝혔다.

응축기 상부에 직접 물을 흘려 냉각하는 방법은 고압의 분사 장치가 필요 없지만 물을 반복적으로 재순환하여 사용하기 때문에 오염이 발생할 소지가 있고 물과 응축기 코일이 직접 접촉함으로써 열교환기 표면에 스케일이나 녹이 발생할 가능성이 높다. 반면에 응축기 전방 공간에 분무하여 냉각하는 방법은 물의 사용량을 최소화할 수 있고 물이 응축기 코일과 직접 접촉하지 않기 때문에 녹이나 스케일을 줄일 수 있는 장점이 있지만 45~80 bar 압력으로 분사하기 위해 고압 펌프가 필요하다[7].

본 연구에서는 최우선적으로 증발 냉각식 응축기를 가정용 에어컨에 적용할 수 있는 실용화 방법을 모색하여 그 타당성 여부를 검토하고자 한다. 첫 번째 고려 사항은 물 사용량이다. 2019년 환경부 상수도 통계 자료에 따르면 우리나라 성인 1인의 물 사용량인 295 ℓ이다. 증발 냉각식 응축기에 사용되는 하루 물 사용량을 1인 물 소비량의 70% 수준으로 정하였다. 두 번째는 물의 오염으로 인해 발생할 수 있는 문제를 없애기 위해 분사된 물을 재사용하지 않는 것이다. 반복 재사용하면 물 소비량을 줄일 수 있으나 먼지, 곰팡이 등 이물질로 인해 물이 오염되고 혼탁해져 응축기 표면 파울링(fouling)에 따른 응축 성능 저하를 가져올 수 있다. 또한 물을 재사용하지 않으면 물 순환 장치가 필요하지 않기 때문에 실외기 유닛의 구성이 간단해지고 유지 관리가 편해진다. 세 번째

고려 사항은 비용적인 문제이다. 증발 냉각식 응축기를 에어컨 구입 시 옵션 사항으로 선택할 수 있으면 가장 바람직하지만 설치 장소가 설치 가정마다 달라 현장 맞춤형에 따른 불편이 수반되고 국내 에어컨 완성품 업체의 기술력이 공랭식 응축기만으로도 상당한 성능 계수를 달성할 수 있는 수준이기 때문에 아직 증발 냉각식 응축기는 업체의 관심을 끌지 못하고 있다. 따라서 에어컨 사용자가 스스로 설치하는 것이 요구되기 때문에 가장 단순한 구성으로 가장 편리하게 설치할 수 있어야 하며 설치에 따른 추가적인 비용이 많이 든다면 소비자가 외면할 가능성이 높다. 그러므로 기존의 공랭식 응축기를 증발 냉각식 응축기로 개조하는데 소요되는 비용이 에어컨 제품가의 10% 수준을 넘지 않는 제한 조건하에서 시스템을 구축하였다.

본 연구에서는 이러한 세 가지 고려 사항을 설계 제한 조건으로 증발 냉각식 응축기 시스템을 구상하여 액체의 분사 위치에 따른 에어컨 성능 변화를 연구하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험 장치

Fig. 1은 실험 장치에 대한 사진이며 Fig. 2는 실험 장치 구성에 대한 개략도이다. 실험 장치는 항온조, 전자 밸브, 물 압력 펌프, 유량계, 미세 제어 밸브, 분사 노즐과 현재 시중에서 구입이 가능한 정격 냉방 능력 2.3 kW 벽걸이형 에어컨으로 구성된다. 응축기에 분사되는 냉각수를 일정 온도로 제어하기 위해 항온조가 사용되며 솔레노이드 밸브는 물 분사를 멈추거나 일정 주기로 단속 분사할 목적으로 사용한다. 실험에 사용한 압력 펌프는 분사에 필요한 압력으로 물을 가압하기 위해 사용하는데 4.86 bar(70 psi)의 압력에서 0.6 l/min의 토출량을 갖는다. 물 분사량을 원하는 양으로 미세하게 조절하기 위해 미세 제어 밸브를 사용하며 유량계는 유량 범위 0.1~2 LPM에서  $\pm 1\%$ 의 정밀도를 갖는 OMEGA사 초미량 유량 센서 FTB601B를 사용하였다. 온도 측정은 참조용 온도의 경우에는 정밀도  $\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 인 K형 열전대를 사용하였고 열역학적 상태량 계산에 필요한 온도의 경우에는 정밀도  $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 인 Pt100 센서를 사용하였다. 또한 고압부와 저압부의 압력 측정은 정밀도  $\pm 0.13\%$ 의 Setra 206 압력 변환계를 사용하여 측정하였다. 실험에 사용한 노즐은 시중에서 개당 1,000 원 정도에 구입할 수 있는 노즐 구멍 크기가 0.6 mm인 스테인리스 재질의

노즐로써  $45^{\circ}$ 의 분사각을 갖는다. 이러한 노즐은 온습도 조절을 목적으로 하는 일상 및 산업 분야 일부 시스템에 폭넓게 사용되고 있다. Fig. 3은 노즐 사진이다.



Fig. 1. Photograph of the experimental setup

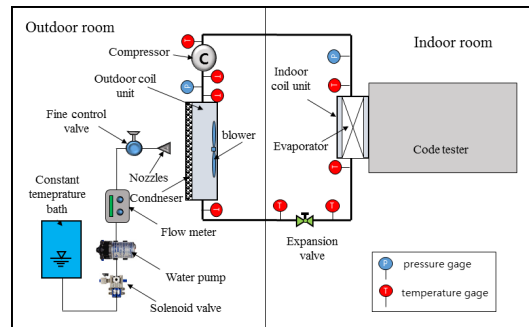


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental setup



Fig. 3. Photo of the experimental nozzle

실험에 사용한 에어컨은 R-410A 냉매를 사용하는 미디어 캐리어사의 벽걸이형 에어컨으로 Table 1에 개략적인 사양을 표시하였다. 냉각수가 분사되는 응축기는 알루미늄 재질의 마이크로 채널 편평관 열교환기로서 가로 690 mm, 세로 408 mm, 두께 20 mm 크기이며 총

41개(1차 pass 16개 관/ 2차 pass 13개 관, 3차 pass 6개 관/ 4차 pass 6개 관)의 편평관이 수평적으로 배열되어 있다. R410-A 냉매를 사용하는 에어컨의 경우 대체적으로 인버터 압축기를 사용하나 이 제품은 정속형 압축기를 채택하고 있다.

Table 1. Specification of test air-conditioner

Mfg. Co.	Media Carrier
Model	HCA-C06JW(R410a)
Type	Wall mounted
Rated Cooling Capacity	2,300W
Rated Power consumption	670W
Compressor	Fixed speed velocity
Power	220V/60Hz
Condenser type	Al. micro channel tube

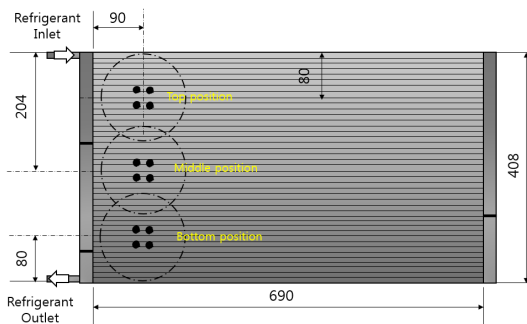


Fig. 4. Nozzle spraying positions

## 2.2 실험 방법

모든 실험은 공기 엔탈피식 칼로리미터실에서 KS C 9306(에어컨디셔너)[8]에 규정된 표준 냉방 시험(실외기 건구 온도 35 °C, 습구 온도 24 °C, 실내기 건구 온도 27 °C, 습구 온도 19 °C) 조건에 따라 수행된다.

노즐의 물 분사량은 0.34 l/min으로 정하였다. 앞서 설명했듯이 우리나라 1인 물 사용량 295 l의 70%는 206.5 l이다. 여름철 에어컨 가동 시간을 1일 10시간으로 가정한다면 시간당 약 20.6 l, 즉 0.34 l/min가 된다. 다음으로 결정할 사항은 노즐 개수이다. 분사 라인의 압력을 2.9~3.0 bar에 맞추었을 때 0.34 l/min의 분사량을 얻기 위해서는 4개의 노즐이 요구되었다. 노즐 1개당 분사량은 0.085 l/min으로 노즐 업체가 제공한 자료에 명시된 노즐 유량 범위(0.07~0.2 l/min)에 속

한다. 분사 압력을 3 bar에 정하여 실험을 수행한 것은 우리나라 수도관의 수압이 2~4 bar 정도이기 때문에 노즐이 수도관에 직결된 상황을 가정한 것이다. 가압 펌프 없이 노즐을 수도관에 직결하여 어느 정도의 성과를 얻을 수 있는지를 알아보는 것이 본 연구 목적 중의 하나이기 때문이다. 또한 일반적인 분사 냉각의 경우 분사 거리에 따라 냉각수가 응축기 코일과 접촉하는 면적이 달라지기 때문에 최적의 분사 거리를 찾는 것도 중요하다. 노즐 자료에 따르면 20 bar의 압력에서 20 μm 크기의 액적은 50 cm의 분사 거리를 갖는다고 소개되어 있다. 아파트가 주거 형태의 주류가 된 요즘, 대부분의 아파트에는 보일러와 에어컨 실외기를 설치할 수 있는 전용 공간이 존재하여 전용 공간 내에 설치된 수도관으로부터 증발 냉각식 응축기에 필요한 냉각수를 공급받을 수 있다. 그러나 일반적으로 전용 공간이 여유롭지 않기 때문에 응축기 전면에 분사노즐을 설치할 공간이 협소하다. 따라서 본 연구에서는 실제 상황을 고려하여 응축기 코일 전면으로부터 90 mm 떨어진 곳에 노즐을 설치하였다. 비록 코일과 노즐 거리가 가까울수록 냉각수가 코일과 접촉하는 면적이 줄어들어 증발 냉각 효과가 감소할 수 있지만 공간적 제약 때문에 노즐을 최적의 분사 위치에 설치하는 것이 사실상 불가능하다.

노즐 분사 위치는 다음과 같은 사항을 고려하여 결정하였다. 도식적으로 90 mm 거리에서 분사했을 경우 45° 분사각을 갖는 노즐은 직경이 75 mm인 원 모양의 점수 면적을 형성한다. 4개의 노즐을 응축기 전면에서 균등하게 배치를 하여도 응축기 앞 90 mm 노즐 위치에서 응축기 전체 표면을 냉각수로 적시는 것은 불가능하다. 또한 노즐을 균등하게 배치하기 위해서는 격자 구조의 배관망이 필요하며 각 노즐에서 물 분사량을 균등하게 하기 위해서는 배관 길이가 동일해야 하므로 이러한 점들을 모두 시스템에 반영한다면 실용화 가능성을 감소시키는 주요 원인이 된다. 그리고 또 하나 고려해야 할 사항은 실험에 사용된 응축기가 핀-원형관 구조가 아닌 수평 마이크로 채널관 구조라는 것이다. 이 경우 냉각수 흐름이 원활하게 일어나지 않으면 냉각수가 루버핀과 관 사이에서 배출되지 않고 정체되어 있을 수 있다. 그러한 냉각수는 공기 흐름을 방해하여 증발 냉각이 효과적으로 일어나지 않는다. 그러므로 이러한 사항을 종합적으로 반영하여 노즐 4개를 하나로 묶어 Fig. 4에 나타난 바와 같이 액적 분사 위치를 응축기의 냉매 입구부, 중간부 그리고 냉매 출구부로 변화시켜 가며 노즐 분사 위치가 에어컨 성능에 미치는 영향을 살펴보았다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 성능 매개변수 계산

냉방 능력은 KS C 9306에 규정된 공기 엔탈피식 칼로리미터 냉방 능력 산출법에 따라 측정한다[8]. 실험에 사용된 공기 엔탈피식 칼로리미터는 ±2% 재현성과 ±3%의 열평형(heat balance)을 만족한다. 또한 총 소비 전력과 성능 계수(COP)는 Eq. (1)-(2)를 사용하여 계산한다. 압축기와 송풍기의 소비 전력은 칼로리미터실 전력계를 사용해서 측정하며 물 펌프의 소비 전력은 별도의 전력계를 사용해서 측정하여 Eq. (1)과 같이 총 소비 전력을 구한다.

$$W_T = W_C + W_F + W_P \quad (1)$$

여기서  $W_T$ 는 총 소비 전력(W),  $W_C$ 는 압축기 소비 전력(W),  $W_F$ 는 송풍기 소비 전력(W),  $W_P$ 는 펌프 소비 전력(W)이다.

$$COP = \frac{Q_C}{W_T} \quad (2)$$

여기서  $Q_C$ 는 냉방 능력(W)이다.

#### 3.2 결과 및 분석

Table 2는 표준 냉방 시험 조건에서 냉각수를 분사하지 않은 경우(No Injection)와 응축기 상단부(냉매 입구), 중단부, 그리고 하단부(냉매 출구)에 분사한 경우 에어컨의 중요 위치에서 냉매의 온도 변화를 비교한 표이다. 분사를 하지 않은 경우 대비 분사하는 경우 증발 냉각 효과에 의해 응축 온도가 상단부 분사(Top) 1.6 °C, 중단부 분사(Middle) 2.8 °C, 하단부 분사(Bottom) 3.9 °C 낮아지는 것으로 나타났으며 물 분사 위치가 응축기 냉매 출구 쪽으로 갈수록 응축 온도 감소 폭이 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 액적을 분사하지 않은 경우(No injection)와 90 mm 분사 거리에서 분사 위치를 바꾸어가며 코일 냉매 입구부(Inlet), 코일 중간부(Middle), 코일 냉매 출구부(Outlet)에 분사했을 경우 냉방 능력 결과를 비교한 그림이다. RUN1은 분사 순서를 상단->중단->하단의 순서로 실험을 한 결과이며, RUN2는 하단->중단->상단의 순서로 실험을 한 결과이다. 분사 위치를 변경할 때는 분사를 멈추고 20분 동안 송풍기 팬을 돌려 응축기 표면을 건조한 후 위치를 변경하여 분사 시험을 진행하였다. 냉방 효과는 분사 순서에 상관없이 하단부>중단부>상단부

순으로 나타났다.

Table 2. Comparison of refrigerant temperature variation at key locations for RUN1 case

Location	No injection	Top	Middle	Bottom
Compressor outlet	68.7°C	70.1°C	70.1°C	67.8°C
Condenser inlet	64.2°C	65.2°C	65.1°C	63.1°C
Condenser outlet	38.2°C	36.6°C	35.4°C	34.3°C
Exp. valve inlet	37.9°C	36.6°C	35.7°C	34.4°C
Exp. valve outlet	16.9°C	16.5°C	16.2°C	16.3°C
Evaporator inlet	12.7°C	11.9°C	11.7°C	11.9°C
Evaporator outlet	12.8°C	14.9°C	15.3°C	13.5°C
Compressor suction	19.3°C	20.8°C	21.2°C	19.8°C

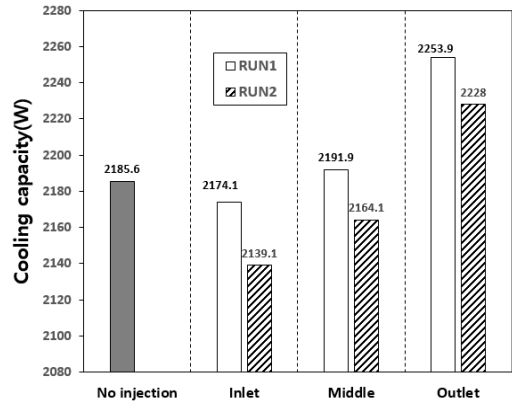


Fig. 5. Comparisons of cooling capacity

또한 코일 하단부에 분사한 경우에는 분사 모델이 기본 모델보다 명확하게 큰 냉방 능력을 보였으나 냉매 입구부에 분사하는 경우에는 냉방 능력이 감소하는 다소 의외의 결과가 나타났다. 코일 입구부에 분사할 때 냉방 능력이 기본 모델보다 감소하는 원인으로는 분사 액적과 접촉한 코일 표면에서의 열전달 효과가 줄어들었기 때문으로 추정해 볼 수 있다. 코일 가장 자리는 코일 전체에서 공기 유속이 낮게 형성되는 곳이어서 루버핀과 관 사이에 부착되어 있는 액적을 응축기 바깥으로 원활히 배출시키는 것이 어려운 경우 핀 사이에 존재하는 액적은 오히려 열저항 요소로 작용하여 열전달 효과를 감소시킬 수 있다. 예상할 수 있는 또 다른 원인으로는 응축기로 들어온 입구부 냉매는 기체 상태이고 응축기 출구부 냉매는 응축이 진행되어 과냉 액체 상태이다. 일반적으로 공랭식 열교환기의 경우 공기 측 열저항이 냉매 측 열저항보다 상당히 크기 때문에 냉매 측 상(phase)이 열전달 성능에 미치는 영향력이 크

지 않지만 공기 측 전열 구조가 증발 냉각이 일어나는 열 전달 환경으로 바뀌면 냉매 상에 따라 열전달 성능에 변화가 발생할 수 있다. 즉 액체 냉매가 대부분을 차지하는 응축기 출구부 분사가 기체 냉매가 대부분을 차지하는 응축기 입구부에 분사하는 것보다 응축기 전열 성능을 개선하는 효과가 있을 것이라 판단된다. 코일 하단부에 냉각수를 분사했을 경우 냉방 능력은 기본 모델 대비 최대 3.3% 개선 효과가 나타났다.

Fig. 6은 액적 분사가 있는 경우와 분사가 없는 경우 시스템 소비 전력을 비교한 그림이다. 응축 온도, 즉 응축 압력이 소비 전력에 미치는 영향을 보여주기 위해 응축 온도도 함께 표시하였다. RUN2 실험의 응축기 상단부 분사의 경우를 제외하고 소비 전력은 액적을 분사하지 않았을 경우보다 1.4~3.7 % 작게 나타났다. 일관되게 시스템 소비 전력은 응축 온도에 비례함을 보여주고 있다. 냉방 능력과 더불어 응축기 하단부에 냉각수를 분사하는 것이 소비 전력을 줄일 수 있는 가장 좋은 방법임을 알 수 있다.

Fig. 7은 액적 분사가 없는 기본 모델과 응축기 상단부, 중단부 그리고 하단부에 액적 분사를 했을 경우 COP 결과를 비교한 그림이다. 상단->중단->하단의 순서로 분사한 RUN1 실험의 COP는 기본 모델 대비 1.78~7.12 % 향상된 결과를 보였다. 응축 온도가 1 °C 낮아질 때마다 2~4 % 정도 COP가 향상된다는 경험에 근거한 법칙이외로는 개선 효과가 작게 나타났다. Table 2의 하단부 분사시 응축 온도는 기본 모델 대비 3.9 °C 저하되었으므로 경험에 근거한 법칙을 적용하면 최소 7.8 %에서 최대 15.6 %가 향상된다. COP 또한 냉방 능력의 결과처럼 상단부(냉매 입구부)보다는 하단부(냉매 출구부)에 냉각수를 분사하는 경우 더 좋은 결과를 얻는다.

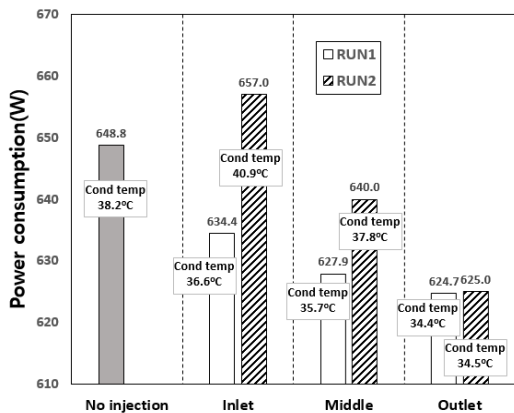


Fig. 6. Comparisons of power consumption

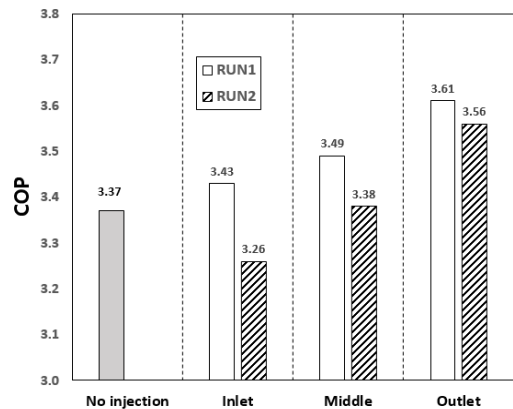


Fig. 7. Comparisons of COP

본 실험과 같이 증발 냉각 시스템을 구성하면 기존의 공랭식 응축기를 증발 냉각식 응축기로 개조하는 것이 매우 용이하며 비용 또한 저렴하게 구축할 수 있다. 냉각수 공급관을 수도관에 직결하면 가압 펌프 사용 없이 수도관 압력(2~4 bar)만으로도 냉각수 분사가 가능하다. Table 3은 일반적인 가정용 에어컨 시스템의 공랭식 응축기를 증발 냉각식 응축기로 개조하는데 사용되는 부품과 비용을 개략적으로 산출한 표이다. 온라인상에서 쉽게 구입할 수 있는 부품들로 에어컨 제품가의 10% 이내 비용으로 제작이 가능함을 알 수 있다. 와이파이(Wi-Fi) 스마트 플러그 없이도 구성이 가능하지만 사용의 편의성이 좋으면 실용화 가능성을 높일 수 있다.

Table 3. Estimated cost of evaporative cooling kit

No.	Component	Q'ty	Cost(₩)
1	Nozzle	2~4	4,000
2	Electrical valve	1	3,500
3	Plastic tubing for water line	set	10,000
4	Wifi smart plug	1	8,000
Total			25,500

본 실험을 통해 얻은 최대 3.3 %의 냉방 능력, 최대 3.7 % 소비 전력, 최대 7.12 % COP 개선 효과는 일반 제조사와 소비자에게 매력적인 결과가 아닐 수 있으나 에어컨 판매량이 매년 300만 대를 넘어서는 요즘 개별 제품의 성능 향상 효과는 작더라도 총량 효과는 대단할 수 있다.



## 4. 결론

KS C 9306 에어컨디셔너에 규정된 표준 냉방 조건 (실외기 건구 온도 35 °C, 습구 온도 24 °C, 실내기 건구 온도 27 °C, 습구 온도 19 °C)에서 냉각수를 응축기의 일정 부분에만 분사하는 증발 냉각식 시스템을 사용하여 액적 분사 위치를 냉매 입구부, 중간부, 냉매 출구부로 변화시켜가며 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기본 모델 에어컨(No injection) 대비 증발 냉각식 응축기를 사용하는 경우 냉방 능력은 최대 3.3 %, 소비 전력은 최대 3.7 %, COP는 최대 7.12 %의 개선 효과는 보였다.
2. 냉각수를 응축기 하단 냉매 출구부에 분사하는 경우 성능 개선 효과가 가장 크게 나타났다.
3. 응축기 전방 90 mm에 앞에 분사 노즐을 설치할 수 있는 공간 확보가 가능하면 큰 비용 없이 시중에서 구입 가능한 가정용 에어컨 응축기를 증발 냉각식 응축기로 개조하는 것이 가능하다

## References

- [1] C.F. Gao, W.L. Lee, H. Chen, "Locating room air-conditioners at floor level for energy saving in residential building", *Energy Conversion and Management*, Vol.50, 2009, pp.2009-2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.04.009>
- [2] H. Liu, Q. Zhou, Y. Liu, P. Wang, D. Wang. "Experimental study on cooling performance of air conditioning system with dual independent evaporative condenser" *International Journal of Refrigeration*, Vol. 55, 2015, pp.85-92. DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/COMWOR.1988.4800>
- [3] K. Harby, Doaa R. Gebaly, Nader S. Koura, Mohamed S. Hassan, "Performance improvement of vapor compression cooling systems using evaporative condenser: An overview", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 58, 2016, pp.347-360. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.313>
- [4] E. Hajidavalloo, "Application of evaporative cooling on the condenser of window-air-conditioner", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, 2007, pp.1937-1943. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.12.014>
- [5] E. Hajidavalloo, H. Eghtedari, "Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 33, 2010, pp.982-988. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iirefrig.2010.02.001>
- [6] J. Yang, K.T. Chan, X. Wu, X. Yang, H. Zhang, "Performance enhancement of air-cooled chillers with water mist: experimental and analytical investigation", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 205, 2012, pp.114-121. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2009.04.009>
- [7] J. Tissot, P. Boulet, F. Trinquet, L. Fournaison, M. Lejeune, F. Liaudet, "Improved energy performance of a refrigerating machine using water spray upstream of the condenser", *International Journal of Refrigeration*, Vol.38, pp.93-105, 2014 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iirefrig.2013.08.025>
- [8] KS C 9306, Air conditioner, 2017.
- [9] Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Thermodynamics An Engineering Approach*, 8th ed., p.996, McGraw-Hill, 2014. p.610.

전 창 덕(Chang-Duk Jeon)

[정회원]



- 1985년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1985년 3월 ~ 1992년 4월 : 현대 모비스 마북리연구소 연구원
- 1995년 9월 ~ 현재 : 한국교통대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

냉동 및 공기조화, 열교환기 설계, 히트펌프