Check for updates

동력시스템공학회지 제28권 제2호 pp. 34-42 2024년 4월 ISSN 2713-8429(Print) ISSN 2713-8437(Online)
Journal of Power System Engineering https://doi.org/10.9726/kspse.2024.28.2.034
Vol. 28, No. 2, pp. 34-42, April 2024

Aluminium Fumarate MOF 적용 흡착식 냉동기의 기후 및 구동조건에 따른 성능분석

Performance Analysis on AHP Using Aluminium Fumarate MOF According to Climate and Operation Conditions

설성훈*†
Sung-Hoon Seol*†

(Received 02 February 2024, Revision received 15 April 2024, Accepted 15 April 2024)

초록 : 물을 냉매로 사용하는 흡착식 냉동기(AHP)는 냉매 자체도 완전히 친환경적이며 구동하는 에너지가 증기압축식 냉동기에 비해 약 25% 수준으로 알려져 있지만, 흡착제의 제한적인 수분 흡착량 등의 이유로 시스템의 체적이 크다는 단점이 존재한다. 본 연구에서는 흡착용량이 상대적으로 큰 MOF의 일종인 Aluminium fumarate 흡착제 적용 AHP를 두 가지 기후 조건, 즉 Hot and humid 지역과 Moderate and dry 지역에 대해 시뮬레이션 분석을 하여 흡탈착 전환시간 및 흡착제의 질량에 따라 해당 기후조건에서는 어떠한 성능특성이 나타나는지를 파악하였다. 흡착기 개수가 적은 경우, 흡탈착 전환시간이 8분에서 16분으로 늘어남에 따라 AHP 냉방 에너지는 RD Silica-gel의 경우 29.19%, Aluminium fumarate의 경우 5.44% 감소하였으며, 흡착기 개수를 4EA에서 16EA로 증가시킴에 따라 Aluminium fumarte와 RD Silica-gel에서 각각 1.31배, 2.11배 증가한 AHP 냉방 에너지를 나타냈다.

키워드 : 태양열 구동 흡착식 히트펌프, MOF 흡착제, 월간 냉방에너지 비교, AHP 시뮬레이션

Abstract : The adsorption heat pump (AHP) that utilizes water as a refrigerant is known for being environmentally friendly, and the energy required for operation is approximately 25% of that in vapor compression refrigeration systems. However, the system has a drawback of large volume due to limitations in the adsorption capacity of the adsorbent. In this study, performance analysis of aluminium fumarate, which is a type of MOF with relatively large adsorption capacity, was conducted under two climate conditions: hot and humid, and moderate and dry. This study aimed to understand the performance characteristics under these climate conditions with variations in cycle time and adsorbent mass. In cases with a low number of adsorbers, the AHP cooling energy decreased by 29.19% for RD silica-gel and 5.44% for aluminium fumarate, as the cycle time increased from eight minutes to sixteen minutes. Increasing the number of adsorption units from 4EA to 16EA resulted in a 1.31 times and 2.11 times increase in AHP cooling energy for aluminium fumarate and RD silica-gel, respectively.

Key Words : Solar Powered AHP, MOF Adsorbent, Montly Cooling Energy Comparison, AHP Simulation

*† 설성훈(https://orcid.org/0000-0001-9724-9707) : 조교수, 국립부경대학교 냉동공조공학과
E-mail : seolsh@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6184

*† Sung-Hoon Seol(https://orcid.org/0000-0001-9724-9707) : Assistant Professor, Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University.
E-mail : seolsh@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6184

— 기 호 설 명 —

R_p : 흡착제 반경 [m]
R : 기체상수 [J/mol·K]
E_a : Activation energy [J/mol]
T : 온도 [K]
D_{s0} : Pre-exponential factor [m^2/s]

하첨자

a : 흡착제
ad : 흡착
des : 탈착
ct : 냉각탑
w : 물측
o : 출구측
wb : 습구

1. 서 론

전 세계적으로 GWP가 낮은 냉매로의 전환이 활발한 현 시대적 상황에서 자연냉매에 대한 관심과 수요는 자연스레 증가하고 있다. 물을 냉매로 사용하는 흡착식 냉동기는 냉매 자체도 완전히 친환경적이며 구동하는 에너지가 증기압축식 냉동기에 비해 약 25% 수준으로 알려져 있다.[1] 흡착식 냉동기의 보급에 방해가 되는 결정적인 단점은 낮은 효율과 큰 체적 그리고 높은 초기 투자 비용을 꼽을 수 있다.[2] 효율이 낮다는 점은 태양열 구동 흡착식 냉동기의 경우, 열원 운용비용이 투입되지 않기 때문에 다소나마 해소할 수 있으며, 시스템의 체적을 줄이기 위한 흡착제의 개발, 흡착제의 코팅, 운전 조건의 최적화 등이 이루어지고 있다. 현재는 MOFs(Metal Organic Frameworks)가 구조 가변성 및 미세공 특성에 따라 활발하게 연구되고 있다. Basolite A100, Basolite F300, Aluminium Furmarate 등과 같은 MOFs 물질들이 상용화되어 있으나, 여전히 종래의 흡착제에 비해 높은 가격을 보이고 있다.

흡착식 냉동기에서 일반적으로 흡착탑의 체적이 가장 크다고 할 수 있는데, 이는 흡탈착 온도 및 압력 조건에서 흡착제가 흡착할 수 있는 수분의 양(△q)이 제한적이기 때문이다.[3] 다공성 물질의 수분흡착량은 흡착제와 흡착질의 종류와 다공성 구조의 특징에 따라 달라지게 되는데,[4] MOF의 일종으로 Aluminium fumarate(Al-Fum)는 상대적으로 높은 압력에서 높은 흡착량을 보이며 많은 관심을 받고 있다.[5] 해당 물질은 또한 상대적으로 낮은 온도의 열원에서도 사용이 용이하여, 상대압력(P/P_{sat}) 0.2 조건에서 대부분의 수분이 탈착되는 특성을 가지고 있다.[6] MOF 흡착제를 이용한 흡착식 냉동기에 대한 종래의 연구는 다음과 같다. Elsayed 등[7]은 Aluminium fumarate MOF의 흡착식 냉동기 사용의 타당성을 검증하는 연구를 수행하였고, 비교 대상이 되는 CPO-27(Ni) MOF에 비해 낮은 수준인 55~70℃에서 최적의 탈착조건이 형성됨을 확인하였다. 다만, 증발온도가 상대적으로 높은 경우(약 20℃)에 흡착 성능이 보다 우수하여 냉방의 목적에서는 단점으로 작용하는 면이 동시에 존재하였다. Teo 등[3]은 Aluminium fumarate MOF의 Adsorption isotherm과 함께 Adsorption kinetic 특성을 제공하고, 널리 사용되는 저온 흡착제 중 하나인 AQSOA-Z05와 상대압력 0.2 부근에서의 흡착할 수 있는 수분의 양을 비교하여 제공하였다. Youssef 등[8]은 시뮬레이션 분석을 통해 Aluminium fumarate와 Silica-gel 그리고 AQSOA -Z02의 담수화 및 냉방성능을 비교하였고, 특히 저온의 재생영역에서 Aluminium fumarate가 유의미한 성능을 보임을 확인하였다. 유사한 접근의 시뮬레이션 연구가 Lee 등[9]에 의해 수행된 바 있으며, 마찬가지로 저온 재생온도 영역에서 Silica-gel에 비해 Aluminium fumarate의 냉방성능이 우수함을 확인하였으나, 함께 비교군이 된 AQSOA-Z01에 비해서는 다소 낮은 냉방성능을 보인 바 있다. Elsayed 등[10]은 Aluminium fumarate MOF의 Packed type과 coated type의 Adsorption kinetic을 비교하였고, SCP(Specific Cooling Power)의 비교를 통해 고가의 MOF 흡착제의 효율적인 사용에 대해 연구한 바 있다. 재생온도가 낮다는 점은 태양열 등의 미활용 폐열을

열원으로 하는 흡착식 냉동기에게 대단히 매력적인 조건이기에 상기와 같이 낮은 재생온도에서의 성능 비교가 핵심이 된다.

한편, 재생온도 이외에도 흡착식 냉동기의 성능을 결정하는 주요한 요소가 흡탈착 모드를 전환하는 흡탈착 전환시간이다. Seol 등[11]은 포화흡착량이 서로 다른 두 흡착제(Silica-gel A type, WSS impregnated with 20 wt.% LiCl)를 비교한 시뮬레이션 연구에서 포화 흡착량이 큰 물질의 경우, 흡탈착 전환시간을 길게 형성하여도 냉각성능 저하가 상대적으로 적다는 점을 들며, 잦은 흡탈착 모드의 전환은 열교환기 및 흡착제의 현열 열손실을 야기하므로 COP에 부정적인 요소임을 주장한 바 있다. 이러한 현열 열손실은 열원으로 사용되는 고온수의 온도 저하를 야기하므로 결과적으로는 흡착제의 재생 온도의 저하로 이어져 냉방능력의 감소가 야기될 수 있다.[12] 이런 면을 고려하였을 때, Aluminium fumarate 흡착제는 큰 흡착용량과 낮은 재생온도라는 측면에서 상당히 가치가 있다. 앞서 언급한 다양한 연구들에서 수행한 Aluminium fumarate를 포함한 여러 흡착제에 대한 시뮬레이션에서는 특정 흡탈착 전환시간에서의 열원 온도를 변수로 분석하거나, 특정 열원 온도에서 흡탈착 전환시간을 변수로 분석하는 경우가 대부분이었다. 하지만 실제 태양열을 열원으로 하는 흡착식 냉동기에서의 냉방 능력은 전술한 바와 같이 흡탈착 전환시간에 의한 현열 손실 차이, 일사량과 온습도 조건, 냉방 부하 등의 영향을 받아 변화하게 되며 각각은 서로 영향을 미치는 요소들이기에 분석에 동시에 고려되어야 한다.

이에 본 연구에서는 Aluminium fumarate 흡착제의 성능특성 분석을 위해 두 가지 기후 조건, 즉 Hot and humid 지역과 Moderate and dry 지역에서의 성능분석을 하였고, 흡탈착 전환시간의 변화 및 흡착제의 질량(흡착기의 수)에 따라 해당 기후조건에서는 어떠한 성능특성이 나타나는지를 파악하였다.

2. AHP 시뮬레이션 조건

2.1 기후조건 설정

Fig. 1은 분석하고자 하는 두 기후 조건인 Hot and humid 지역과 Moderate and dry 지역의 건구온도, 상대습도를 나타내며 편의를 위해 8월 한 달간의 자료를 선별하였으며, 기상데이터는 'Climate One Building' 사이트를 활용하였다. 건구온도와 상대습도가 높은 Hot and humid 지역은 Moderate and dry 지역에 비해 냉각탑을 거친 냉

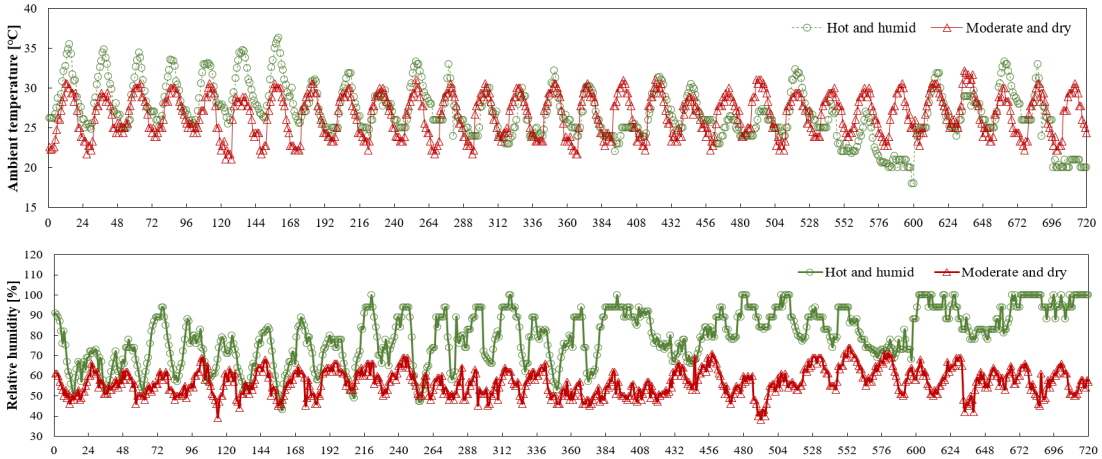

Fig. 1 Climate conditions of two regions: Hot and humid and Moderate and dry (top) Ambient temperture, (middle) Relative humidity

각수 온도가 상대적으로 높다는 점이 AHP 성능 면에서 대단히 중요하다. 냉각수의 온도는 AHP의 두 가지 요소에 영향을 준다. 하나는 흡착과정 동안의 흡착제의 온도이며, 이는 동일한 증발온도에서 흡착할 수 있는 수증기 양을 결정하는 주요한 요소이다. 다른 하나는 응축압력이며, 이는 탈착과정에서의 흡착기의 압력을 결정하는 요소로서, 동일한 열원 온도에서 압력이 낮으면 탈착성능이 개선되는 점을 고려할 때 주요한 요소가 된다. 이러한 이유로 탈착을 위한 열원온도 만큼이나 중요한 것이 냉각수의 온도이며, 경우에 따라 탈착을 위한 열원온도가 높지 않아도 냉각수의 온도에 따라 유효한 냉각 성능이 빌휘될 수도 있으므로 기상조건에서의 습구온도는 흡착제 선정에 있어 상당히 중요한 요소가 된다. 두 조건에서의 일사량은 대체로 유사한 수준이 되도록 지역을 선정하여 이어서 분석할 열원의 온도의 차이에서 일사량의 차이에 따른 영향을 최소화하였다.

2.2 흡착제 선정

Fig. 2는 Aluminium Fumarate와 Silica-gel(RD 2060)의 흡착등온선을 나타내며, 그래프상 수직한 점선으로 표시한 부분은 좌측부터 10℃, 15℃, 25℃ 그리고 30℃에서의 포화수증기 압력이다. 증발온도가 10℃ 내외인 경우, 흡착과정에서 Aluminium Fumarate MOF는 30℃ 수준은 되어야 유의미한 흡착이 발생할 수 있다.

탈착압력이 25℃에서의 포화수증기 압력 수준일 경우, 재생온도가 50℃ 수준이라도 △q가 약 0.17 g/g 수준으로 유의미한 흡탈착이 이루어질 수 있다. 한편, 비교군이 되는 Silica-gel의 경우 동일한 조건이라면 △q가 약 0.045 g/g 수준으로 현저히 낮다. 다만, 냉각 능력은 포화 흡착량(q*)뿐 아니라 총괄 물질전달계수(Km)의 영향을 크게 받음을 알 수 있으며, Km 값은 아래의 식 (1)에 의해 계산되며, 이때 필요한 정보는 Table 1에 나타난 바와 같다. 여기서의 Km은 단위시간당의 흡착량을 결정하는 LDF 모델에서의 계수로 사용되며, 흡착제의 온도에 따라 비례하여 변화하는 특성을 가지고 있다. 또한 흡착제의 직경에 반비례하는 성질을 가지고 있다.

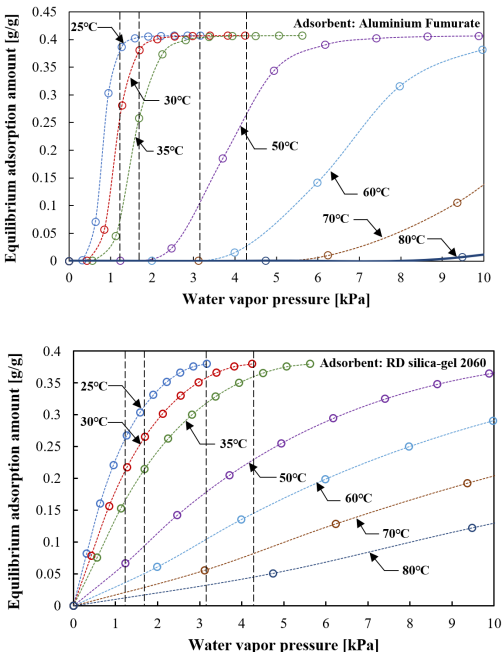

Fig. 2 Isotherms of (top) aluminium fumarate and (bottom) RD silica-gel 2060[8)]

Table 1 Detailed value of constants of Eq. (1)[8)]

Variable	R_p	$D_{s,0}$	E_a
Aluminium fumarate	0.65 E-6	3.63 E-14	18,026
RD Silica-gel	0.16 E-3	2.54 E-4	42,000

$$K_m = \frac{15}{R_p^2} D_{s0} \exp[-\frac{E_a}{RT_a}] \quad (1)$$

$$\frac{dq}{dt} = K_m(q^* - q) \quad (2)$$

3. AHP 시뮬레이션 결과

3.1 월간 냉방에너지 비교

3.1.1 Hot and humid condition

Fig. 3은 흡탈착 전환시간 및 흡착기 개수에 따른 월간 냉방에너지 데이터를 흡착제 종류에 따라 구분하여 나타낸다. 첫째로, 흡착기의 개수 증

가에 따라 Aluminium fumarate의 경우, 흡탈착 전환시간에 관계없이 냉방에너지가 증가하는 경향이 뚜렷하였고, 동일한 흡착기 개수에서 흡탈착 전환시간의 변화는 냉방에너지에 유의미한 영향을 미치지 않고 있다. 흡착기 개수의 증가는 수분 흡착량의 증가 및 증발기에서 단위시간당 증발하는 냉매 양의 증가를 의미하므로 AHP 냉각 능력에 긍정적인 동시에 탈착 에너지 증가와 현열 손실을 야기하는 열교환기 및 흡착제의 질량 증가로 인해 열원수 온도의 저하로 이어져 흡착제 특성에 따라 부정적인 영향이 발생할 수 있다.

Aluminium fumarate의 경우, 앞선 Fig. 2에서 확인할 수 있듯 응축온도 25℃ 기준 열원수의 온도가 50℃ 이상일 경우, 상대적으로 포화 흡착량의 변화가 미미한 'S자' 형태의 등온선을 가지고 있기 때문에 열원수 온도의 상대적 저하에 따른 냉방에너지의 부정적 영향이 미미한 것으로 사료된다. 또한 동일한 흡착기 개수에 대해 흡탈착 전환시간을 증대시킬 때 성능에 큰 영향을 받지 않음에 대해, 흡탈착 전환시간의 증대는 흡탈착 전환

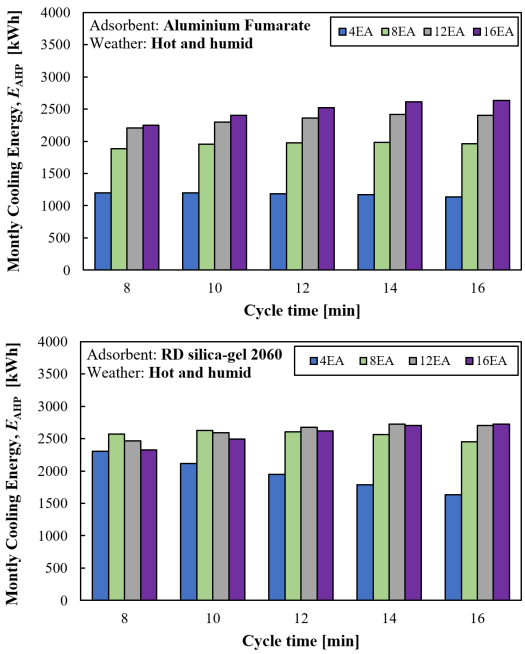

Fig. 3 Montly cooling energy comparisons at hot and humid climate condition

주기의 연장으로 인해 앞서 언급한 현열 열손실의 감소와 열원수 온도 저하의 상대적 완화 효과가 있어 긍정적인 반면, 동시에 흡착의 구동력(Driving force)의 저하로 인해 단위시간당의 흡착량 및 냉매의 증발량이 감소하는 부정적인 결과가 발생할 수 있다.

Aluminium fumarate의 경우, 포화 흡착량이 비교군인 RD Silica-gel 2060에 비해 상당히 크므로 수분 흡착의 진행에 따른 구동력의 감소가 상대적으로 적어 이와 같은 결과가 나타난 것으로 분석된다.

반면, RD Silica-gel 2060의 경우, 일정한 경향성을 보이지 않았다. 즉, 흡탈착 전환시간이 짧은 8분의 경우 흡착기 개수 8EA일 때에 비해 12EA와 16EA에서 상대적인 냉방에너지의 감소가 나타난 반면, 이러한 감소 폭은 흡탈착 전환시간이 길어짐에 따라 줄어들거나 역전되었다. 이는 앞서 언급한 현열 손실의 증가에 따른 열원수 온도의 감소로부터 원인을 찾을 수 있다. 즉, 현열 손실이 가장 큰 조건인 최단 흡탈착 전환시간과 최대 흡착기 개수 조건에서는 열원수 온도의 저하로 인해 탈착 과정에서의 포화 흡착량이 감소하고, 그에 따라 냉방에너지가 흡착기 개수를 늘림에 따라 저하되는 모습을 보이고 있으며, 흡탈착 전환시간을 늘리면서 현열 손실이 줄어들고, 이러한 저하가 완화되는 경향이 나타난 것으로 사료된다.

또한 흡착기 개수가 4EA인 경우에 흡탈착 전환시간 증대에 따라 냉방 에너지의 저하가 도드라졌는데, 이는 흡탈착 온도 및 압력 조건에서의 유효한 △q가 작은 재료의 특성상 흡탈착 전환시간의 증가에 따라 포화에 가까워지며 흡착 구동력의 저하에 따른 결과로 해석된다.

두 흡착제 간의 냉방에너지 비교에서는 상대적으로 작은 흡착용량에도 불구하고 RD Silica-gel 2060쪽이 높게 나타났는데, 이는 Table 1에 나타난 바와 같이 물질전달계수의 차이에서 비롯되는 것으로 분석된다. Aluminium fumarate는 RD Silica-gel에 비해 상당히 낮은 $D_{s,0}$ 값을 가지는데, 이로 인해 단위 시간당의 흡착량 변화가 적어 증발열량이 상대적으로 작음을 짐작할 수 있다.

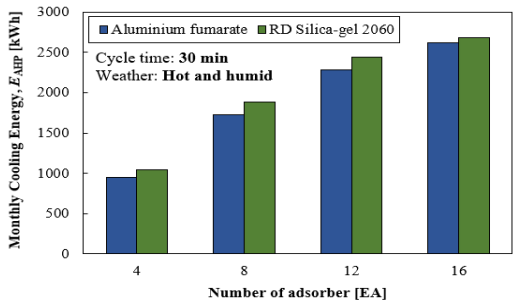

Fig. 4 Comparison of E_{AHP} at cycle time of 30 min

한편, 상대적으로 작은 흡착용량과 높은 단위 시간당의 흡착량 변화로 인해 흡탈착 전환시간이 길어짐에 따라 RD Silica-gel과 Aluminium fumarate의 냉방성능의 역전이 발생할 수 있으나, 흡탈착 전환시간 30분에서의 두 흡착제의 냉방성능을 나타낸 Fig. 4에 나타난 바와 같이 여전히 RD Silica-gel 측에서 높은 성능을 나타냈다. 흡탈착 전환시간이 30분으로 늘어나며 앞서 설명한 이유로 인해 열원수의 온도는 높아지게 된다. 따라서 RD Silica-gel의 재생온도가 높아지며 가용 흡착 구동력이 증가하게 되어 흡탈착 전환시간이 상당히 길어짐에도 흡착이 발생하고 있음으로 사료된다. 반면, 열원수 온도의 증가는 전술한 바와 같이 Aluminium fumarate에는 가용 흡착 구동력의 증가를 가져오지는 않는다. 이러한 이유로 흡탈착 전환시간을 상당히 증가시켰음에도 여전히 RD Silica-gel 측에서 대략 2.3~9.8% 높은 냉방성능을 보임을 확인할 수 있다.

4.1.2 Moderate and dry condition

Fig. 5는 Moderate and dry 기후 조건에서의 흡착식 냉동기의 월간 냉방 에너지를 나타낸다. 먼저 RD Silica-gel을 적용한 경우, 앞선 Dry and humid 기후 조건과 다르게 미미하지만 흡착기 개수가 늘어나도 성능 감소가 완화되거나 없어짐을 확인할 수 있다. 흡착기 개수가 늘어나며 현열 손실이 증가하므로 열원수 온도가 감소하였기 때문에 성능의 저하가 발생하는 것이나, Moderate and dry 기후 조건에서는 아래의 식 (3)에 따라 냉각탑 출구에서의 냉각수 온도가 감소하므로 응축기에서의 응축압력이 감소하는 효과를 발생시킨다.[13] 따라서, 탈착조건을 형성하는 온도와 압력 파라메터 중 압력이 저하되며 열원수 온도의 저하에서 오는 감소를 벌충할 수 있는 것으로 사료된다.

$$T_{ct,o} = T_{ct,i} - \mu\left(T_{cw,i} - T_{wb}\right) \tag{3}$$

$$T_{ct,i} = \frac{T_{cw,o} + T_{des,w,o}}{2} \tag{4}$$

종래의 흡탈착 전환시간을 변수로 한 연구들에서, 흡탈착 전환시간을 길게 할수록 AHP의 냉각능력 혹은 단위 질량당의 냉각 능력(SCP)이 감소하는 결과를 흔히 볼 수 있으나, 열원의 온도가 일정하게 유지되는 상황과 본 연구에서와 같이 열원의 온도가 흡탈착 전환시간, 흡착기 개수 등에 영향을 받아 변화하는 경우는 다소 다른 양상을 나타냄을 확인할 수 있다. Hot and humid 기후

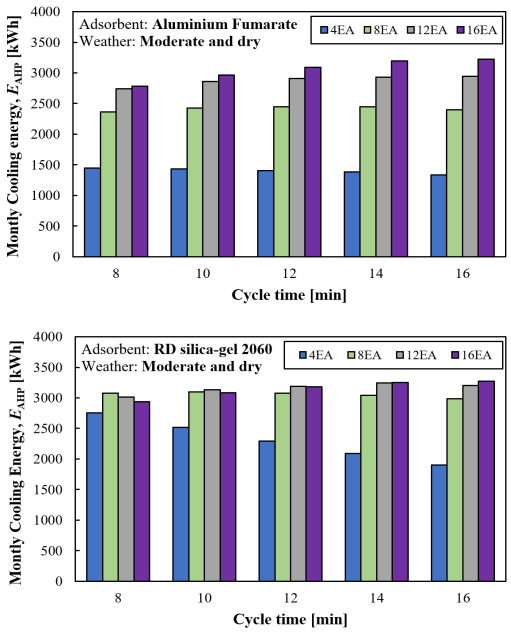

Fig. 5 Montly cooling energy comparisons at moderate and dry condition

에 비해 Moderate and dry 기후에서는 냉각수 온도의 저하로 인해 전술한 탈착기의 압력 저하뿐 아니라, 흡착 시 흡착제의 온도를 상대적으로 낮게 유지할 수 있어 유효한 흡착용량이 흡탈착 측면에서 모두 증대되어 냉방 에너지가 개선되는 결과를 보인다.

4.2 열원수 온도의 비교

Fig. 6은 두 가지 흡착제에 대해 흡착기 개수와 흡탈착 전환시간에 따른 열원수 온도 변화를 나타낸다. 열원수 온도의 상승은 소비되는 열량이 줄어듦을 의미하고, AHP의 열에너지의 소비는 크게 탈착에너지와 현열손실로 구분할 수 있다. 흡착기 개수의 증가는 현열 손실의 증가를 초래하기 때문에 흡탈착 전환시간의 증가는 흡착기 개수와 관계없이 열원수 온도의 상승을 가져왔다. 다만, 흡착기 개수가 4EA인 경우의 흡탈착 전환시간 8분과 16분의 비교 결과는 RD Silica-gel과 Aluminium fumarate가 서로 다르게 나타났는데, 이는 RD Silica-gel의 경우, 상대적으로 높은 단위 시간당 흡착량으로 인해 탈착 에너지가 크게

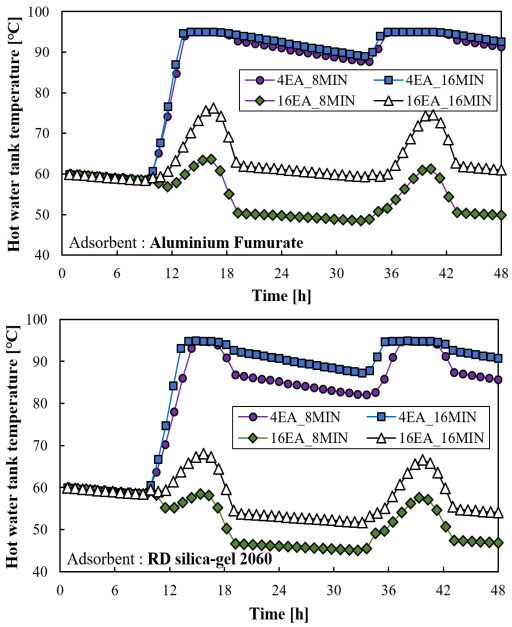

Fig. 6 Variation of heat source temperature (Top: Aluminium fumarate, bottom: RD Silica-gel)

소요되어 열원수 온도 강하가 나타난 반면, Aluminium fumarate의 경우, 상대적으로 흡탈착 전환시간 변화에 따른 냉방 에너지 변화가 크지 않았기 때문에 열원수 온도 강하가 미미하게 나타났다. 또한 열원수 온도가 일정 이상이 되면 안전상의 이유로 열량의 공급을 중단하는 것이 합리적이기 때문에 본 시뮬레이션에서는 열원수 온도의 상한을 95℃로 제한하고 있기에 Aluminium fumarate 흡착제의 경우, 흡착기 개수가 적을 때 흡탈착 전환시간을 연장하여도 열원수 온도 상승이 나타나지 않았다.

5. 결 론

본 연구에서는 MOF 흡착제의 일종인 Aluminium fumarate와 일반적인 RD Silica-gel의 비교를 기후 및 운전 조건에 따라 수행하였으며, 주요 결론은 아래와 같이 요약할 수 있다.

1) 흡착기 개수가 적은 경우(4EA), 흡탈착 전환시간이 8분에서 16분으로 늘어남에 따라 RD Silica-gel의 경우, 29.19% 냉방에너지가 감소한 반면, Aluminium fumarate의 감소량은 5.44%로 차이가 분명하게 나타났다.

2) 흡착기의 개수가 늘어날수록 포화에 도달하지 않아 이러한 감소 폭은 줄어들게 되며, 평균적으로 흡착기 개수 16EA의 경우는 4EA에 비해 Aluminium fumarate와 RD Silica-gel에서 각각 2.11배와 1.31배 높은 냉방에너지를 보였다.

3) 낮은 냉각수 온도는 동일한 온도의 열원수를 사용하여 더 나은 탈착 환경을 형성할 수 있기 때문에 Hot and humid 기후에 비해 Moderate and dry 기후에서 AHP는 약 13.4% 향상된 냉방 에너지를 보였다.

4) 흡탈착 전환시간에 의한 현열 손실 차이, 흡착제의 양, 일사량과 온습도 조건 등이 상호 영향을 미치기 때문에 설계 및 운전조건에 따른 AHP의 설계검토 및 최적화가 필요하다.

5) 현재의 분석 조건에서는 Aluminium fumarate와 RD Silica-gel이 큰 성능 차이를 나타내지 않았

으나, 태양열 집열기의 개수가 감소하였을 때는 다소 성능의 차이가 유발될 수 있을 것으로 짐작되며, 이를 변수로 한 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

후 기

"이 논문은 2021학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임(CD20211010)".

Author contributions

S. H. Seol; Conceptualization. Data curation. Formal analysis. Funding acquisition. Investigation. Methodology. Project adminstration. Resources. Software. Supervision. Visualization. Writing-original draft. Writing-review & editing.

References

1. M. Koushaeian, X. Q. Duong, M. Y. Park, W. S. Lee, O. K. Kwon, N. A. Shah and J. D. Chung, 2023 "Investigation of the cascade type of hybrid adsorption-vapor compression chiller", Case Studies in Thermal Engineering, 47, 103037. (https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103037)
2. S. Akhtar, T. S. Khan, S. Ilyas and M. S. Alshehhi, 2015, "Feasibility and Basic Design of Solar Integrated Absorption Refrigeration for an Industry", Energy Procedia, 75, 508-513. (https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.441)
3. H. W. B. Teo, A. Chakraborty, Y. Kitagawa and S. Kayal, 2017, "Experimental study of isotherms and kinetics for adsorption of water on Aluminium Fumarate", Internatioanal Journal of Heat Mass Transfer, 114, 621-627. (https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.06.086)
4. H. Furukawa, F. Gándara, Y. B. Zhang, J. Jiang, W. L. Queen, M. R. Hudson and O. M. Yaghi, 2014, "Water adsorption in porous metal-organic frameworks and related materials", Journal of American Chemical Society, 136(11), 4369-4381. (https://doi.org/10.1021/ja500330a)
5. S. Ashraf, M. Sultan, M. Bahrami, C. McCague, M. W. Shahzad, M. Amani, R. R. Shamshiri and H. M. Ali, 2021, "Recent progress on water vapor adsorption equilibrium by metal-organic frameworks for heat transformation applications", International Communications in Heat and Mass Transfer, 124, 105242. (https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105242)
6. Z. Liu, C. Cheng, J. Han, X. Qi, Z. Zhao and R. Teng, 2021, "Dehumidification performance of aluminum fumarate metal organic framework and its composite", Applied Thermal Engineering, 199, 117570. (https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117570)
7. E. Elsayed, R. Al-Dadah, S. Mahmoud, A. Elsayed and P. A. Anderson, 2016, "Aluminium fumarate and CPO-27(Ni) MOFs: Characterization and thermodynamic analysis for adsorption heat pump applications", Applied Thermal Engineering, 99, 802-812. (https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.129)
8. P. Youssef, S. Mahmoud, R. Al-Dadah, E. Elsayed and O. El-Samni, 2017, "Numerical Investigation of Aluminum Fumarate MOF adsorbent material for adsorption desalination /cooling application", Energy Procedia, 142, 1693-1698. (https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.551)
9. J. G. Lee, K. J. Bae and O. K. Kwon, 2020, "Performance investigation of a two-bed type

adsorption chiller with various adsorbents", Energies, 13(10), 1-16. (https://doi.org/10.3390/en13102553)

10. E. Elsayed, M. M. Saleh, R. AL-Dadah, S. Mahmoud and A. Elsayed, 2021, "Aluminium fumarate metal-organic framework coating for adsorption cooling application: Experimental study", International Journal of Refrigeration, 130, 288-304. (https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.05.015)
11. S. H. Seol, K. Nagano and J. Togawa, 2020, "Modeling of adsorption heat pump system based on experimental estimation of heat and mass transfer coefficients", Applied Thermal Engineering, 171. (https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115089)
12. S. H. Seol and O. K. Kwon, 2023, "Research on Performance Enhancement of Adsorption Heat Pump by Controlling Number of Adsorber", Journal of Power System Engineering, 27(1), 69-78. (https://doi.org/10.9726/kspse.2023.27.1.069)
13. R. Sattanathan, 2013, "Experimental Analysis on Performance of a Counter Flow Tray Type Cooling Tower", International Journal of Science and Research, 4, 1402-1408.