

RSM 기법을 이용한 태양열 집열판 재생기의 운전 조건 최적화

정재호*

*부경대학교 냉동공조공학과
e-mail:jaho3111@hanmail.net

Optimum Operating Condition of Air Heating Solar Collector Regenerator Using RSM Technique

Jae-ho Jung*

*Dept. of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering,
Pukyong National University

요 약

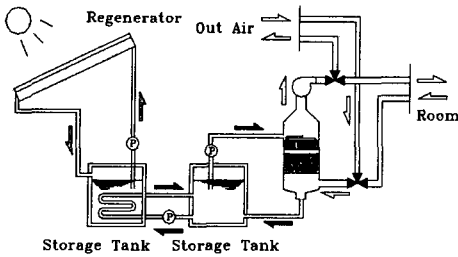
This study examines a regeneration process using hot air heated by solar radiation to recover absorption potential by evaporating moisture in liquid desiccant. More specifically, this study is aimed at finding the optimum operating condition of the regenerator by utilizing a well-established statistical tool, so-called design of experiment, and optimization techniques. It is demonstrated that an optimization model to find the optimum operating condition can be obtained using the functional relationship between regeneration rate and affecting factors which is approximated on the basis experimental results.

1. 서론

공조기술의 발전과 더불어 쾌적한 실내환경을 유지하기 위하여 다양한 형태의 공조장치가 개발되어 널리 사용되고 있다. 하지만, 대부분의 공조장치가 기계적 공조방식을 채택함으로써 공조장치의 사용이 빈번한 하절기의 동력소비가 다른 계절에 비하여 현저히 많음으로 인하여 하절기 전력수급에 차질을 빚는 등 많은 문제를 유발하고 있다. 일반적으로 하절기의 다습한 공기를 건조한 공기로 바꾸기만 하여도 온도가 그다지 낮지 않더라도 쾌적한 실내환경을 유지할 수 있다는 것에 착안하여, 최근 들어서는 건조제(dessicant)를 사용하여 공기 중의 수분을 흡수 내지 흡착시켜서 습도를 낮추어 쾌적한 환경을 얻고자하는 시스템 개발에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

공기 가열식 태양열 집열기를 가동하여 얻은 온풍을 '태양열 이용 냉난방 공조시스템'에서 가장 중요

한 액체흡수제 재생의 에너지원으로 이용하는 시스템(참고문헌 [1])을 연구대상으로 하며, 연구대상 시스템의 개략도는 그림 1에 나타난 바와 같다. 본 연구의 주목적은 주어진 조건하에서 재생성능을 최대화할 수 있는 최적 운전 조건을 결정하는 것이다. 이를 위하여, 먼저 재생과정에서 재생성능에 영향을 미치는 인자들을 파악하기 위하여 실험계획법을 이용한다. 나아가 실험결과를 바탕으로 재생성능과 유의한 인자들 사이의 함수관계를 도출하여, 이를 바탕으로 재생성능을 최대화하는 인자들의 최적 수준을 구할 수 있는 최적화 모형을 제안하고자 한다.

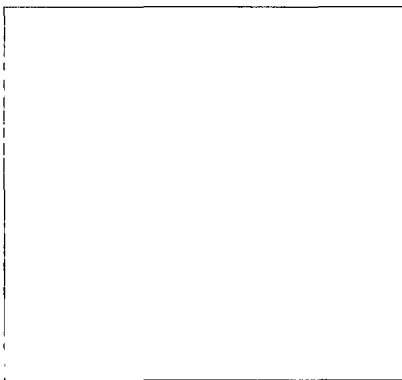


[Fig 1] 제안시스템의 개략도

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험장치는 전열교환이 일어나는 충전층, 용액과 공기의 흐름을 분리시켜 액적발생을 억제시키는 기액분리판, 용액을 충전층에 균일하게 분사시키는 분배기, 용액의 비말현상을 방지하기 위한 엘리미네이터, 순환용 용액탱크, 배기용 블로어, 공기용액공급용 마그네틱 펌프, 유량 및 풍량의 제어를 위한 펌프의 회전수를 조절하는 인버터와 유량계, 염화리튬 용액의 농도 변화를 측정하는 초음파 농도측정기, 그리고 데이터를 처리하기 위한 집록 장치와 컴퓨터로 구성되어 있다.



[Fig 2] 실험장치

2.2 실험방법

본 연구에서는 재생과정에서 재생성능에 유의한 영향을 미치는 인자들을 파악하기 위하여 실험계획법 (design of experiment)을 이용한다. 실험계획법을 이용하여 최적 운전 조건을 결정하고자 하는 것은 새로운 시도는 아니나 기존의 연구에서는 실험계획법을 통하여 얻은 실험결과를 바탕으로 인자들이 재생성능에 미치는 영향이 유의한지 여부만을 판단하

고 주어진 처리수준(treatment level)의 조합 중에서 가장 나은 성능을 나타내는 것을 최적 조건으로 선택하여 왔다. 하지만, 주어진 처리수준의 조합 중에서 최적 존재하지 않을 수도 있으며, 이러한 경우 재생성능과 인자들 사이의 함수관계를 구할 수 있다면 실험이 행해진 처리수준의 조합 이외에서 존재하는 최적 조건을 구할 수 있다. 이에 본 연구에서는 실험계획법을 통하여 얻은 실험결과를 바탕으로 하여 재생성능과 인자들 사이의 함수관계를 도출할 수 있는 통계적 기법을 적용하고자 하는 바, 세부 사항은 실험결과 분석 및 고찰에서 자세하게 논의하기로 한다.

실험은 다음과 같은 조건하에서 행하여졌다. 먼저 작동유체로 사용되는 염화리튬용액 농도와 온도는 각각 25wt.%와 30℃로 주어진다. 이전의 실험결과를 바탕으로 하여 유입공기온도와 유입공기량, 그리고 용액순환량을 재생성능에 영향을 미치는 인자로 규정하고, 이러한 인자들에 대해 3³인자배치법(3인자 3수준)을 적용하였다. 각 인자들의 처리수준은 표 1에 정리된 바와 같다.

[Table 1] 인자와 처리수준

인자 (단위)	처리수준		
유입공기온도 (℃)	50	60	70
유입공기량 (m ³ /h)	100	145	190
용액순환량 (ℓ/min)	6	10	14

3. 실험결과 분석 및 고찰

3.1 실험결과

실험방법에서 논의한 실험조건과 인자들의 처리수준에 따라 실험을 행하여 표 2에 정리된 바와 같은 결과를 얻었다. 재생성능을 대표하는 척도로 재생량을 기록하였으며, 소음요인의 영향을 최소화하기 위하여 처리수준의 조합 별로 랜덤한 순서로 실험을 행하였다.

3.2 재생성능과 인자들의 함수관계

표 2에 정리된 실험결과를 관찰하여 보면, 가장 많은 재생량을 나타내는 처리수준의 조합은 유입공기의 온도가 70℃, 유입공기량이 190m³/h, 용액순환량이 10ℓ/min일 때로 결론 내릴 수 있다. 하지만 이러한 결론은 27개 처리수준의 조합 중 하나가 최적의 운전 조건이라는 가정을 내포하고 있다. 다시 말

하면, 용액순환량이 10 l/min일 때 보다, 9 l/min 나 11 l/min일 때 더욱 좋은 재생성능을 얻을 수도 있으므로, 엄밀하게 이야기하자면 10 l/min의 용액 순환량이 최적 조건이라고 할 수 없다. 이러한 경우, 각 인자들과 재생성능 사이의 함수관계를 알 수 있다면 주어진 처리수준보다 더 나은 재생성능을 보이는 최적의 인자수준을 알 수 있다. 실험결과로부터 용액순환량이 6, 10, 14 l/min일 때 재생량은 각각 1.42, 1.53, 1.37이라는 것을 알 수 있다. 하지만, 용액순환량과 재생량의 함수관계가 그림 3과 같다면 재생량을 최대화하는 용액순환량은 10 l/min가 아닌 A라고 할 수 있다. 따라서, 최적 운전 조건을 찾기 위하여 인자들과 재생성능 사이의 함수관계를 도출하는 것이 필요하다.

실험에서 사용된 인자들과 재생성능 사이의 함수관계를 추정하기 위하여 통계학 분야에서 함수추정에 널리 사용되는 비선형 회귀분석(Nonlinear Regression, NLR)을 적용하였다. 비선형 회귀분석에서 일반적으로 2차 다항방정식(second order polynomial)이 널리 사용되며, 본 연구에서와 같이 인자가 3개인 경우에 대해 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$f(x_1, x_2, x_3) = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i}^3 \beta_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

식 (1) 에서 β_0 는 상수항, β_i 는 인자 x_i 의 주효과(main effect)에 관한 계수를 나타낸다. 한편, β_{ij} 는 $i=j$ 이면 주효과의 이차항에 관한 계수이며, $i \neq j$ 이면 인자 x_i 와 x_j 사이의 교호작용효과(interaction effect)에 관한 계수를 나타낸다. 유입공기온도, 유입공기량, 용액순환량을 각각 x_1, x_2, x_3 라 표기할 때, 실험결과를 토대로 비선형 회귀분석을 적용하면 재생량은 다음과 같이 세 인자의 함수로 표현될 수 있다.

$$f(x_1, x_2, x_3) = -2.550 + 0.069x_1 - 0.002x_2 + 0.120x_3 - 0.003x_3^2 - 0.001x_1x_3$$

위 식에서 각 계수들은 인자들의 주효과 및 교호작용효과의 크기를 나타내는 것으로 분산분석(Analysis of Variance, ANOVA)을 통하여 그 유의성을 판정할 수 있으며, 그 결과는 표 3에 정리된

바와 같다. 분산분석 결과 R-square 값이 96.2%로 나타나 추정된 모형은 신뢰할 만한 것으로 평가할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 공기 가열식 태양열 집열기로부터 얻은 가열공기를 액체흡수제를 재생과정의 에너지원으로 사용하였을 경우, 재생성능에 영향을 미치는 인자들에 대해 실험계획법을 적용하여 얻은 실험결과를 토대로 하여 비선형 회귀분석 기법을 적용함으로써 재생성능과 인자들 사이의 함수관계를 도출하였다. 이러한 함수관계를 바탕으로 하여 재생성능을 최대화하는 각 인자의 수준을 찾는 최적화 모형을 통해 최적 운전 조건을 찾을 수 있음을 보였다. 나아가, 본 연구에서 제안된 함수관계추정 기법을 다른 형태의 시스템에 적용함으로써 다양한 시스템의 최적 운전 조건을 찾을 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 김종률, 최광환, 윤정인, 김재돌, 우종수, 2001, "공기 가열식 태양열 집열기의 온풍을 이용한 재생탑의 재생효율에 관한 연구: 제1보 온풍 온도가 재생량에 미치는 영향에 관한 실험", 한국태양에너지학회 학술발표대회 논문집, pp. 18-26.

[2] 김보철, 최광환, 금중수, 윤정인, 정용현, 2001, "공기 가열식 태양열 집열기의 온풍을 이용한 재생탑의 재생효율에 관한 연구: 제2보 실험계획법에 의한 요인효과 분석", 한국태양에너지학회 학술발표대회 논문집, pp. 27-32.

[3] Kwang-Hwan Choi, 1993, "Research on Open Cycle Solar Absorption System for Low Temperature Dehumidifying and Drying" Ph.D. Thesis, University of Waseda, Tokyo, Japan.

[4] Young Jin Kim, Byung-Rae Cho, 2000, "Economic Integration of Design Optimization", Quality Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 561-567.

[5] 박성현, 1998, "현대 실험계획법", 민영사, pp. 177-209.