

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 20, No. 1, 2000

태양열 이용 냉난방 공조시스템의 재생성능에 영향을 미치는 인자의 기여율에 관한 연구

김보철*, 최광환, 금종수**

* 부경대학교 냉동공조공학과 강사

** 부경대학교 냉동공조공학과

Study on the Contribution Ratio of Factors to Affect Regeneration Performance of a Solar Air Conditioning System

B. C. Kim*, K. H. Choi, J. S. Kum**

* *Lecturer, Dept. of Refrigeration & Air-conditioning Eng., Pukyong National University*

** *Dept. of Refrigeration & Air-conditioning Engineering, Pukyong National University*

ABSTRACT

This study was performed to find out how much experimental factors influence on regeneration performance in a solar air conditioning system. The experimental apparatus was set up in a climate-controlled chamber where temperature and humidity could be kept constant. In order to investigate factors' influence on the regeneration performance of the solar air conditioning system, the model experiment was done using the 600mm × 600mm black painted aluminum regenerator. The design and analysis of experiment were done by the design of experiments, especially the table of orthogonal arrays. In order to find out how much experimental factors influence on regeneration performance, the table of orthogonal arrays $L_8(2^7)$ was used. According to the results, it was found

that the most influential factor to affect regeneration performance was the concentration of LiCl solution. The next influential factors were a solar radiation, an air velocity, and the temperature of LiCl solution in order.

기호 설명

- V_e : Mean square of error
- S_T : Sum of squares
- Φ : Degree of freedom
- ρ : Contribution ratio [%]

1. 서론

우리 나라와 같이 여름에 고온 다습한 지역에서는 외기온도가 30°C 이하가 되더라도 습도가 높으면 인체의 불쾌지수가 높아지기 때문에 습도 조절의 필요성이 절실히 요구되고 있다. 따라서 최근에 습도 조절이 가능한 공조장치가 개발되고 있으나, 여전히 전력 소비량이 많다는 단점을 안고 있다. 특히 습도가 높은 여름철에 제습을 하고자 할 경우, 공조기의 냉각 온도를 크게 낮추어야 하기 때문에 에너지 사용 효율이 낮다. 게다가 과냉각으로 인하여 노약자나 어린이에게 생리적·쾌적적 측면에서도 여러 문제를 야기하고 있다.

따라서 거주자의 쾌감 및 건강을 고려하여 습도를 조절함과 동시에 실내가 과냉각이 되지 않는 쾌적한 환경을 제공하는 새로운 공조시스템 개발이 절실히 요구된다. 또한 에너지 절약 및 환경보존 차원에서 전기나 가스와 같은 기존의 화석연료를 사용하는 종래의 공조시스템 대신에, 태양열을 비롯한 자연에너지를 사용하는 대체에너지 이용 공조시스템 개발이 무엇보다도 필요하다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 본 연구자들은 액체흡수제(liquid desiccant)로써 염화리튬

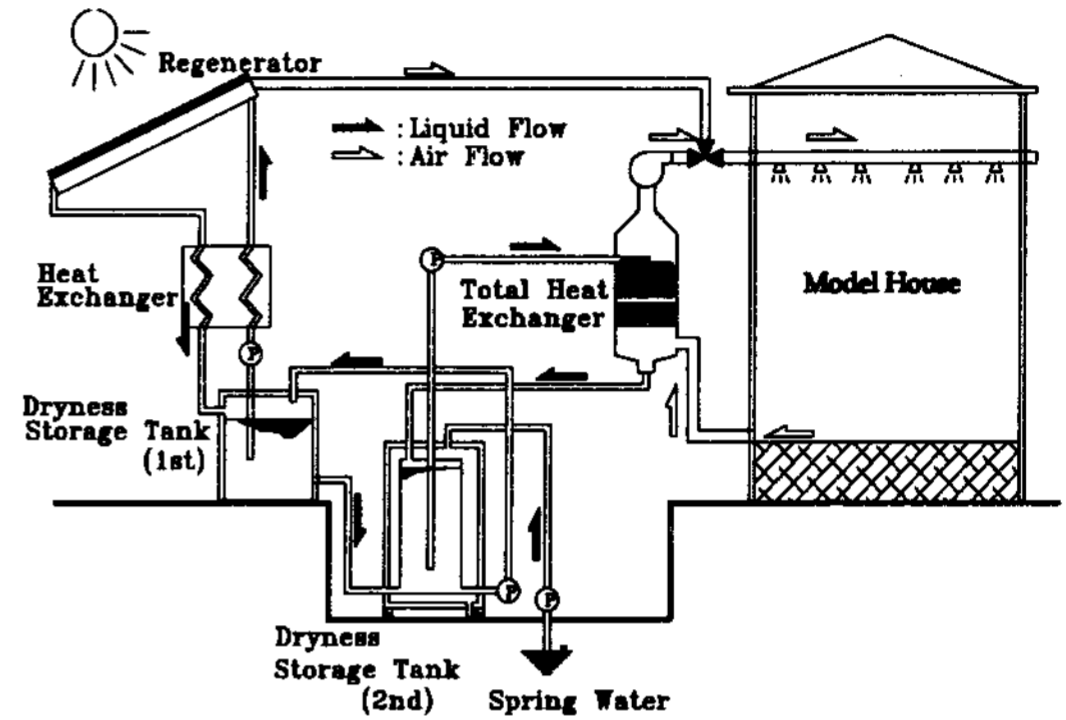


Fig. 1. The schematic of a solar air-conditioning system

(LiCl)용액을 사용하는 그림 1과 같은 태양열 이용 냉난방 공조시스템을 개발하였다.

본 시스템은 전천후 냉난방을 목적으로 개발되었으며, 특히 여름철 냉방 및 제습에 비중을 두고 있다. 제안 시스템은 재생기, 전열교환기, 건조저장탱크, 현열교환기로 구성되어 있으며 여름철 제습냉방시 시스템의 각 구성요소의 작동원리는 다음과 같다.¹⁾

먼저 재생기는 전열교환기에서 제습 및 냉각과정을 거쳐 흡수포텐셜(absorption potential)이 낮아진 LiCl용액을 태양열에 의해 가열된 재생면으로 유하시켜 저농도 LiCl용액속의 수분을 증발시켜 저하된 흡수포텐셜을 높인다.

전열교환기에서는 하계의 고온다습한 공기와 LiCl용액이 대향류로 직접 접촉됨으로써 고온다습한 공기가 저온건조한 공기로 바뀌어져 대상실로 취출된다. 한편, 전열교환기는 LiCl용액의 온도가 낮고, 재생시에는 반대로 온도가 높아야 각각의 효율상승에 유리하므로 현열교환기에서는 용액온도를 재생과 제습에 적합하게 열교환한다.

본 논문에서는 태양열을 이용하여 작동매체인 저농도 LiCl용액을 고농도 LiCl용액으로 변환시키는 재생기의 재생성능에 영향을 미치는 인자들의 영향을 조사하기 위하여 실험계획법(Design of Experiments) 중 최소의 실험회수로 최대의 정보를 얻어 낼 수 있는 직교배열표(Table of Orthogonal Arrays)에 의거하여 재생성능에 영향을 미치는 인자들을 기여율을 파악하여 최적 재생기 제작에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

먼저 재생기의 재생성능에 관련된 인자들의 영향을 파악하기 위하여 가로 600mm×세로 600mm인 모형재생기를 제작하였다.

재생성능은 LiCl용액이 재생면에서 얼마나 균일하게 흐르는가 하는 흐름면적에 크게 좌우된다. 따라서, 이러한 편류현상(channeling phenomena)을 방지하기 위하여 재생면에 높이 4.5mm, 폭 10mm의 계단형 막대를 설치하였다. 재생에 유리한 LiCl용액의 온도상승을 촉진하기 위해 재생면 위에 두께 16mm의 복층유리판을 거치하였다.

한편, 공기와 용액의 흐름은 대향류로 외기는 재생면 상부에 설치된 송풍기에 의해 유입되며, 용액은 화학펌프(magnetic pump)에 의해 재생면의 상부로 반송되어 재생면 하부로 유하한다.

또한, 재생성능과 직결되는 LiCl용액내의 수분증발량을 조사하기 위하여 초음파 농도계로써 용액의 농도를 연속적으로 측정하여 농도변화를 관찰하였다. 그림 2는 본 실험장치의 계통도를 나타내고 있다.

실험은 부경대학교 냉동공조공학과 건축환경설비연구실의 향온향습실에서 실시하였으며, 태양열 대신에 할로겐 램프로 구성된 인공광원을 열원으로 사용하였다. 재생량에 영향을 미치는 인자는

크게 재생기의 운전에 관련된 인자와 재생기의 형상에 관련된 인자로 나눌 수 있다.

재생기의 운전에 관련된 인자로서는 일사량, 도입공기의 온·습도 및 풍속, 재생면을 통과하는 LiCl용액의 유량, 온도 및 농도가 있고, 재생기 형상에 관련된 인자로는 재생기의 크기, 경사각, 공기층 두께 등이 있다. 그러나 이러한 인자들의 영향을 전부 조사한다는 것은 현실적으로 매우 어렵다.

그러므로, 먼저 재생기 운전에 관련된 인자들에 관해서 실험계획법 중 최소의 실험회수로 최대의 정보를 얻을 수 있는 직교배열표를 사용하여 실험을 계획, 실시하여 인자들의 영향을 분석할 필요가 있다.^{2),3)}

직교배열표를 이용한 실험에 앞서 표 1에 재생기 운전에 관련된 인자 중 재생기를 실제 현장에 설치하였을 경우 제어할 수 없는 인자, 즉 도입공기의 온·습도를 제외한 5인자에 대하여 각각의 기호를 정하고 각각의 인자 수준(level)을 랜덤(randomization)하게 지정하였다.

본 실험은 인자들간의 교호(交互)작용이 없다는 가정하에 $L_8(2^7)$ 직교배열표를 사용하였다. Table 2에 $L_8(2^7)$ 직교배열표와 인자의 배치를 나타내었다. 여기에서 1~5열에 주요인자 A, B, C, D, E를 배치하고 6열과 7열은 오차항으로 설정하였으며, 이에 입각하여 인자 수준을 조합한 실험 및

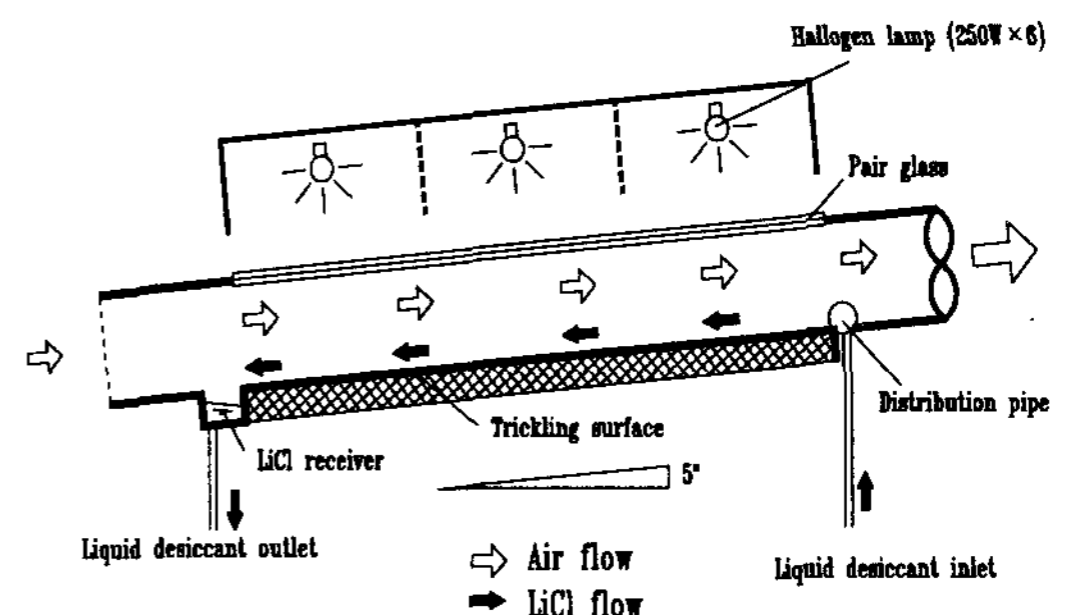


Fig. 2. Indoor experimental apparatus with the model regenerator

Table 1. Level of factors

Factor \ Level	Symbol	Level 0	Level 1
Solar radiation (W/m ²)	A	800	400
Air velocity (m/s)	B	1	0.5
Solution flow rate (l/min.)	C	0.5	1
Solution concentration(w.t.%)	D	23	25
Solution temperature(°C)	E	40	35

Table 2. Table of Orthogonal Arrays L₈(2⁷)

Factor	A	B	C	D	E	e	e	Experiment
Number	1	2	3	4	5	6	7	Combination
1	0	0	0	0	0	0	0	A ₀ B ₀ C ₀ D ₀ E ₀
2	0	0	0	1	1	1	1	A ₀ B ₀ C ₀ D ₁ E ₁
3	0	1	1	0	0	1	1	A ₀ B ₁ C ₁ D ₀ E ₀
4	0	1	1	1	1	0	0	A ₀ B ₁ C ₁ D ₁ E ₁
5	1	0	1	0	1	0	1	A ₁ B ₀ C ₁ D ₀ E ₁
6	1	0	1	1	0	1	0	A ₁ B ₀ C ₁ D ₁ E ₀
7	1	1	0	0	1	1	0	A ₁ B ₁ C ₀ D ₀ E ₁
8	1	1	0	1	0	0	1	A ₁ B ₁ C ₀ D ₁ E ₀

무작위 실험순서를 선정하였다.^{4),5)}

재생기 운전조건에 관련이 있는 5인자 외에도 재생기 형상에 관련된 인자들로서, 재생기의 경사각과 공기층 두께 등이 있다.

본 실험은 재생기 운전에 관련된 인자에 관한 것이므로 이전의 실험결과를 토대로 경사각은 5°, 공기층 두께는 50mm로 고정하였다. 또한 재생기로 유입되는 공기상태를 28°C, 60%RH로 일정하게 유지하여 정상상태에 도달한 후 실험을 실시하였다.

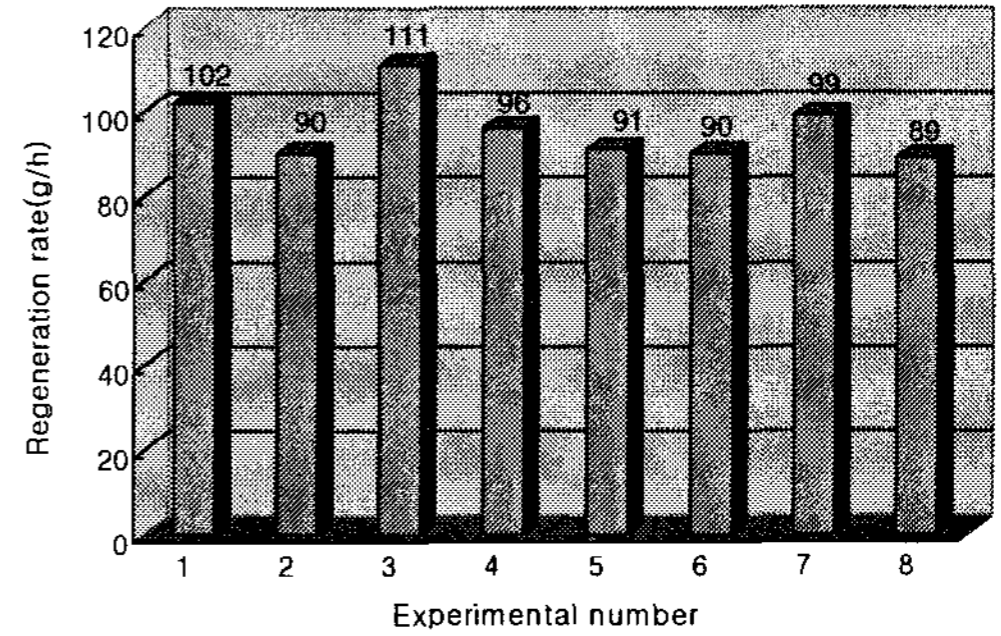


Fig. 3. Regeneration rate on each condition

Table 3. Analysis of variance table

Factor	S	Φ	V	F ₀	F(0.05)	ρ(%)
A	112.5	1	112.5	11.06	10.1	24.6
B	60.5	1	60.5	5.95	10.1	12.1
D	180.5	1	180.5	17.75	10.1	40.9
E	32	1	32	3.15	10.1	5.2
e	30.5	3	10.17	-	-	17.2
Sum	416	7	-	-	-	100

*significant at 5 percent

3. 실험결과 및 고찰

본 실험은 실험계획법에 따라 인자수준, 실험조건, 실험순서 등을 미리 선정하여 행하였다. 그리고, 실험결과의 해석은 분산분석법을 이용하여 유의(有意)하다고 판단되는 인자의 주효과와 재생량에 미치는 기여율을 실험결과로부터 얻었다.

각 조건별 재생량은 그림 3과 같다.

분산분석결과 LiCl유량은 유의하지 않았기 때문에 오차항으로 풀링(pooling)하여 표 3과 같은 분산분석표를 작성하였다.

각 인자가 재생량에 미치는 기여율은 식 (1)을 사용하여 구하였다.⁶⁾

$$\rho = \frac{S - \Phi \cdot V_e}{S_T} \times 100 \quad (1)$$

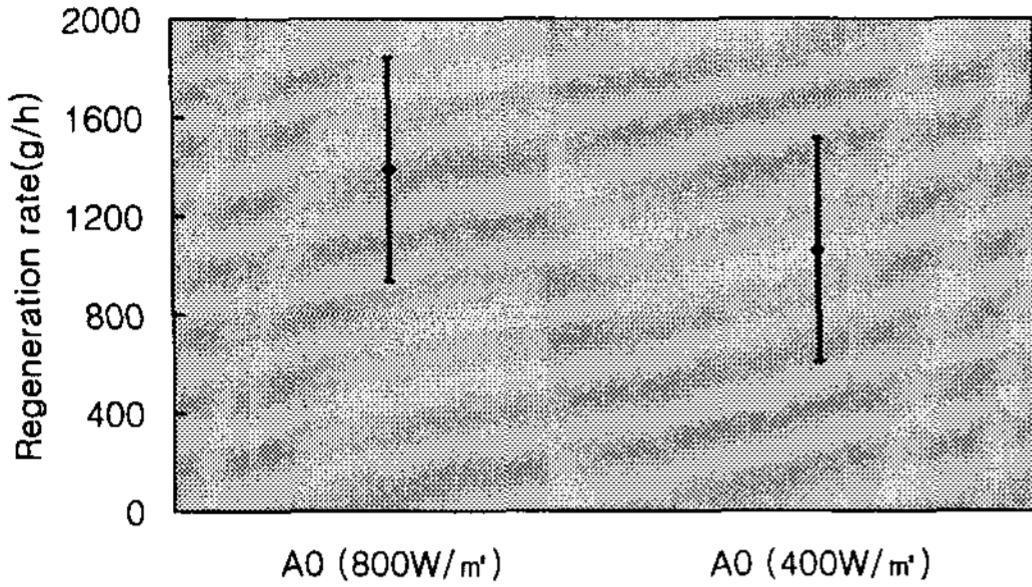


Fig. 4. Source effect of factor A

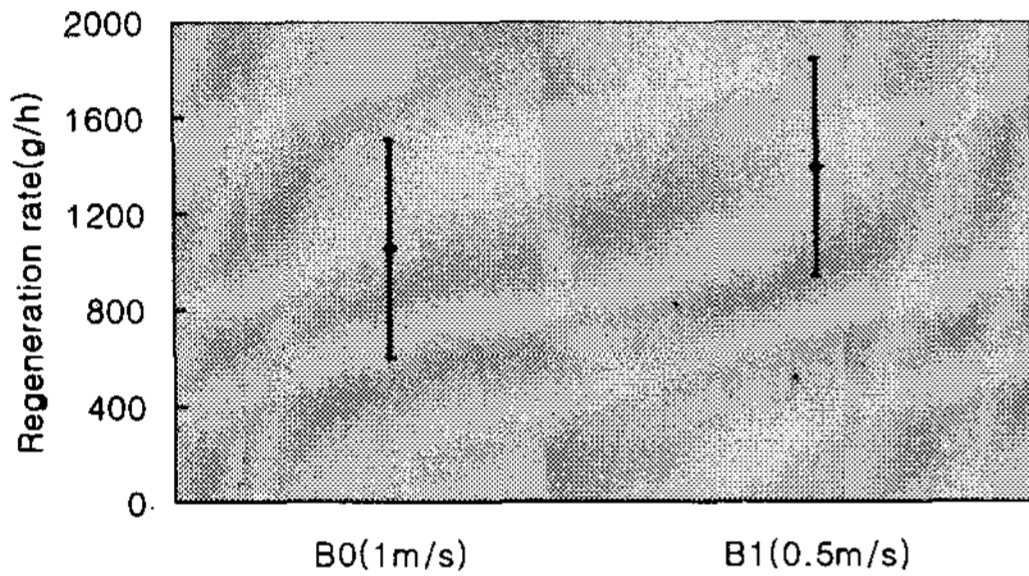


Fig. 5. Source effect of factor B

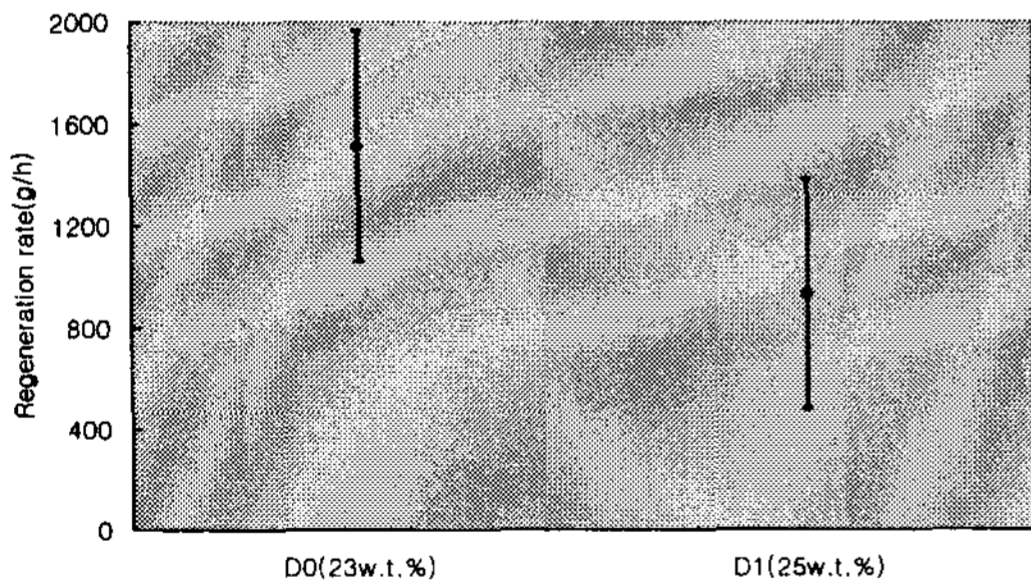


Fig. 6. Source effect of factor D

표 3에서 알 수 있듯이, 본 실험조건에 있어서 재생성능에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 용액 농도로 그 기여율은 37.92%였다. 그 다음으로는 일사량, 풍속, 용액온도의 순서였다.

그림 4, 5, 6, 7에 유의한 인자들의 요인효과 즉, 일사량, 풍속, 용액농도, 용액온도의 요인효과를 추정하였다. 각 인자들의 요인효과도를 보아서 알 수 있듯이 그림 4, 그림 5에서는 일사량(인자

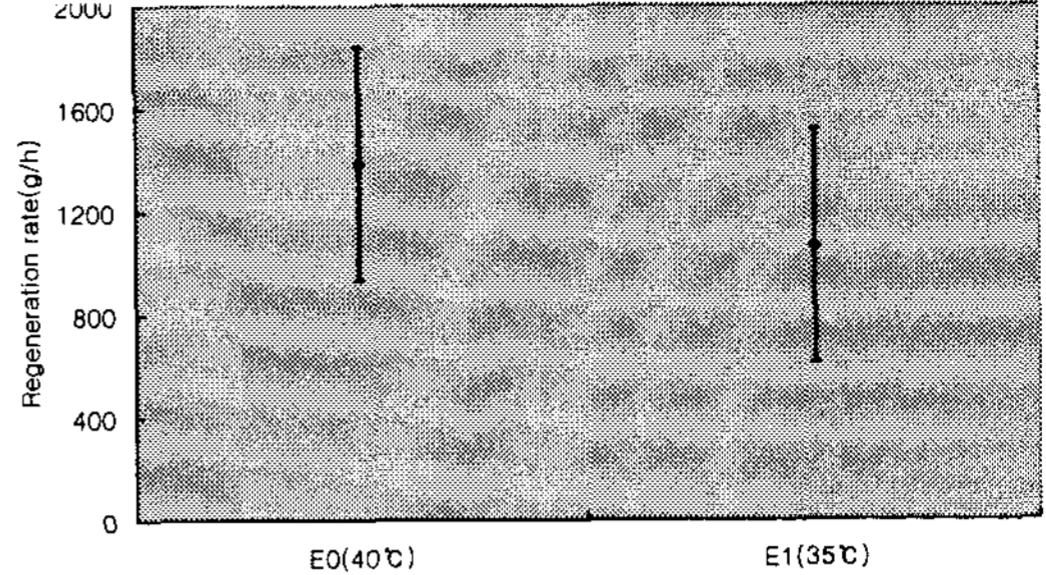


Fig. 7. Source effect of factor E

A)이 높고, 재생기내 풍속(인자B)이 낮을수록 재생량이 많음을 알 수 있었다. 또한 그림 6에서는 LiCl용액 농도(인자 D)가 낮을수록 재생량이 많았으며, 이와 반대로 그림 7에서는 LiCl용액 온도(인자 E)가 낮을수록 재생량이 적음을 알 수 있었다.

4. 결 론

제안된 태양열 이용 냉난방 공조시스템의 재생성능에 영향을 미치는 운전인자들의 기여율 파악을 위한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 교호작용이 없다고 가정한 2수준의 실험에서 재생성능에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 LiCl용액농도로 그 기여율은 약 37.92%였다.
2. LiCl용액농도 외에 재생성능에 영향을 미치는 인자는 일사량, 풍속, 용액온도의 순이었다.
3. 본 실험조건에 있어서 액체흡수제의 유량에 의한 재생성능의 영향은 거의 없음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 산하 에너지 자원 기술 지원 센터의 연구비 지원(연구과제 고유번호:

961A201316AG1)에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

또한 참여해 주신 (주)삼성물산과 (주)신성 이엔지의 협조에도 감사를 드리며 장치의 제작, 실험에 많은 힘이 되어 준 둔 정경환君에게도 깊은 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

1. K.H.Choi, J.S.Kum, B.C.Kim, et al, "Optimal trickling surface of the regenerator in an open cycle solar absorption system for dehumidifying", ISES solar world congress, Vol. 4, 1997, pp.425~433.
2. 驚尾泰候, "實驗計画法 入門", 日本規格協會, 1995.
3. 早川, "現代人の統計 實驗計画法の基礎", 朝倉書店, 1992.
4. 富士ゼロックス(株)QC研究會, "疑問に答える實驗計画法問答集", 日本規格協會, 1989.
5. 박성현, 현대실험계획법, 민영사, 1996.
6. 谷津 進, "實驗の計劃と解析 基礎編", 日本規格協會, 1997.