

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 20, No. 2, 2000

태양열을 이용한 개방형 제습·건조시스템의 저장탱크 유동특성에 관한 연구

(제1보 재생기용 저장탱크의 유동특성에 관한 실험)

김종률*, 최광환**, 금종수**, 김종렬***

* 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

** 부경대학교 냉동공조공학과

*** 동명대학 가스냉동과

PStudy on Characteristics of Dryness Storage Tank, Component of Open-type Dehumidifying and Drying System using Solar Energy

(I Experiment on Flowing Characteristics of Storage Tank for Regenerator)

J.R.Kim*, K.H.Choi**, J.S.Kum**, J.R.Kim***

* Graduate School, Pukyong National University

** Pukyong National University

*** TongMyong College

Abstract

The present study has been conducted to offer geometrically optimal structure of a storage tank for a regenerator, one of the components of an open-type dehumidifying and drying system using solar energy to develop an alternatives for time-limited energy such as a fossil fuel, and to decrease an environmental pollutant. Two kinds of model classified by the mixing process were suggested to estimate the amount of regeneration rate. One was the stratified-type, "case 1", a method to place an

entrance in the upper part of the tank and an outlet in the lower part. The other was the mixed-type, "case 2", a method to place vice versa. Solution temperature and concentration were used to evaluate the regeneration rate. As a result, the regeneration rate was better in "case 2".

Nomenclature

θ^* : 무차원 온도	[-]
θ_0 : 탱크내 초기 온도	[°C]
θ_{in} : 입력 온도	[°C]
θ : 실제 온도	[°C]
t^* : 무차원 시간	[-]
t_0 : 탱크 환수시간	[secs]
t : 실제 시간	[secs]
x^* : 무차원 거리	[-]
x : 거리	[m]
L : 대표길이	[m]
y^* : 무차원 높이	[-]
y : 높이	[m]
H : 대표높이	[m]

1. 서론

현대인의 실내거주 시간이 늘어남과 동시에 실내환경에 대한 쾌적 요구가 증가함에 따라 공조기의 개발 및 발전으로 주거 환경이 질적으로 향상되었지만, 이에 따른 에너지 소비량 또한 증가하게 되어 전력 사용이 집중되는 peak time 현상이 나타나게 되었다.

현재 사용되고 있는 에너지원의 대부분은 매장량이 한정된 화석연료이며, 소비에 따른 오염을 감수해야 한다. 그리고, 공조기기 또한 환경오염 물질을 냉매로 사용하는 것이 대부분이다.

따라서, 천연자원의 사용 기간을 연장하고 지구

온난화 및 오존층 파괴 현상과 같은 환경문제에 대처하기 위하여 영구성을 가진 청정에너지에 대한 요구와 필요성이 제기되고 있으며, 특히 태양열 에너지와 같은 대체에너지에 대한 관심이 날로 증가하고 있다.

이에 본 연구자들은 태양열을 구동열원으로, 액체흡수제(염화리튬, 이하 LiCl)를 작동유체로 사용하는 냉난방 공조 시스템 개발을 위해 연구하였다. 시스템은 Fig. 1과 같이 구성하였으며, 계절에 따라 냉방 및 난방을 선택적으로 행할 수 있는 전천후 운전이 목적이며 재생기 및 제습기에 대한 논문을 이미 발표한 바 있다.^{1,2)}

그림 1을 간단히 설명하면, 대상실의 부하에 따라 높은 농도의 LiCl이 전열교환기(제습기)에서 실내공기를 냉각 및 제습 시킨다. 이 과정이 제습이며, 실내공기를 처리한 LiCl은 흡수한 수분 때문에 농도가 낮은 상태로 바뀐다. 그리고, 농도가 낮아진 LiCl은 태양열을 재생열원으로 사용하는 재생기에서 높은 농도의 LiCl로 재생된다. 여기서, 저장탱크는 LiCl의 이용 목적에 따라 제습기용과 재생기용으로 각각 분류된다.

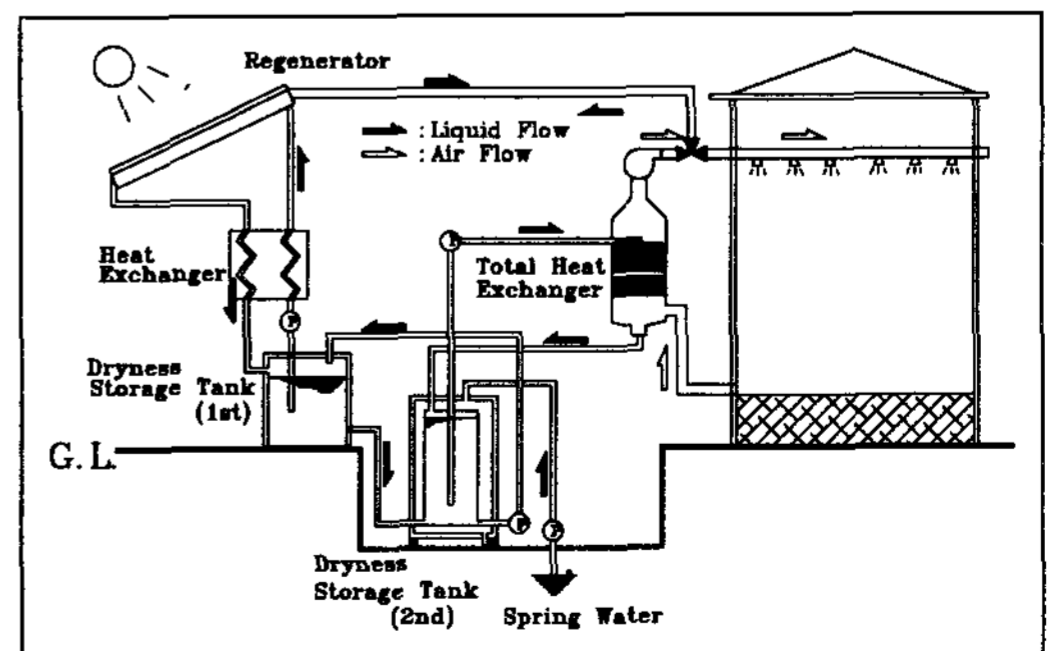


Fig. 1. Schematic of a solar air-conditioning system proposed.

농도를 높일 때 필요한 재생열의 양은 LiCl의 온도와 농도 및 주위 압력에 따라 달라지지만 동일한 압력에서는 온도가 높아질수록, 농도가 낮아질수록 적어진다. 그러므로 재생기용 저장탱크에서는 온도는 높고 농도는 낮은 LiCl이 재생기로 공급되고, 반대로 제습기용 저장탱크에서는 온도는 낮고 농도는 높은 LiCl이 제습기로 공급되는 것이 이상적이다.³⁾

본 연구는 재생기용 저장탱크를 설계함에 있어서 재생기에서 최대의 재생량을 얻을 수 있는 저장탱크의 기하학적 구조를 제안하는 것이 목적이다. 따라서 본 논문은 저장탱크에서 최적의 입·출구 조건을 결정하기 위하여 저장탱크내의 온도분포, 유동특성, 출구에서의 응답성과 농도 분포 등을 파악하고 그 결과를 분석하여 발표하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

재생기의 재생량에 영향을 미치는 요소로는 재생기 주위의 공기의 온·습도, 일사량, 풍속 등이 있으며, 옥외실험에서는 이러한 요인들에 의해 정확한 재생기의 성능과 저장탱크의 성능을 파악하기 어렵다.⁴⁾ 따라서 이러한 요인들을 인공적으로 조절할 수 있도록 부경대학교 건축환경설비연구실에 설치되어 있는 항온항습실에서 실험하였다. 실험장치는 사진 1과 같이 재생기용 저장탱크, 재생기의 역할을 담당하는 개방형 가열조, 용액 공급용 마그네틱 펌프, 유량제어를 위해 펌프의 회전수를 조절하는 인버터와 유량계, LiCl의 농도 변화를 측정하는 초음파 농도측정기(FUD-1 Model-1001, Fuji Ultrasonic Eng. Co. Ltd.), 그리고 데이터를 처리하기 위한 집록 장치와 컴퓨터로 구성되어 있다.

재생기용 저장탱크의 크기는 0.3(W)×0.3(L)×

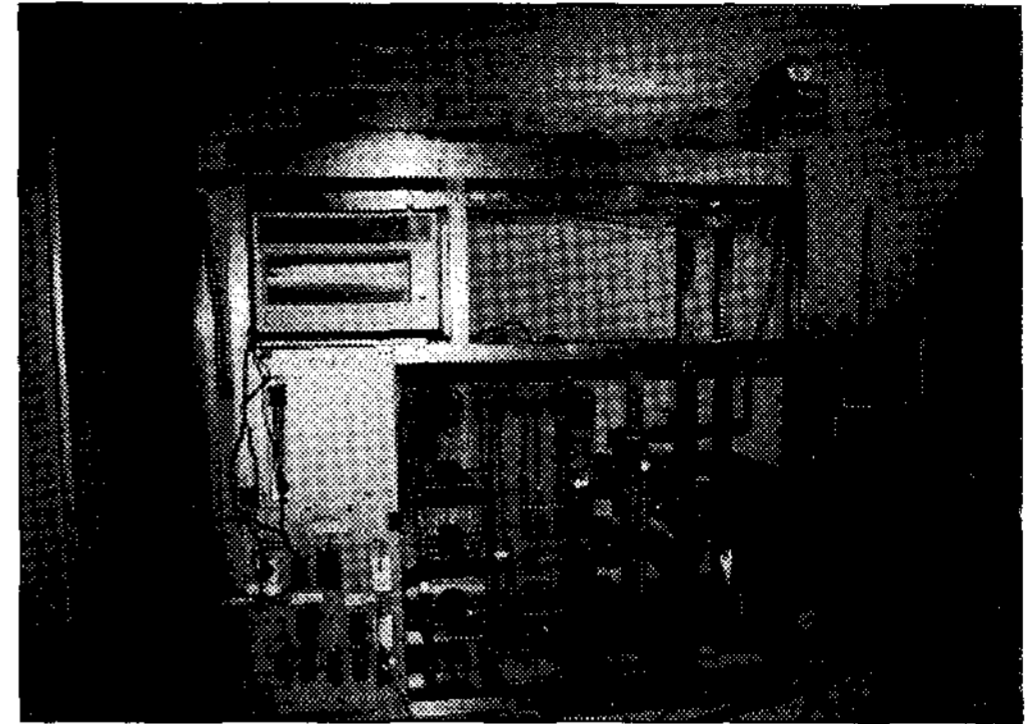


Photo. 1. Experimental apparatus

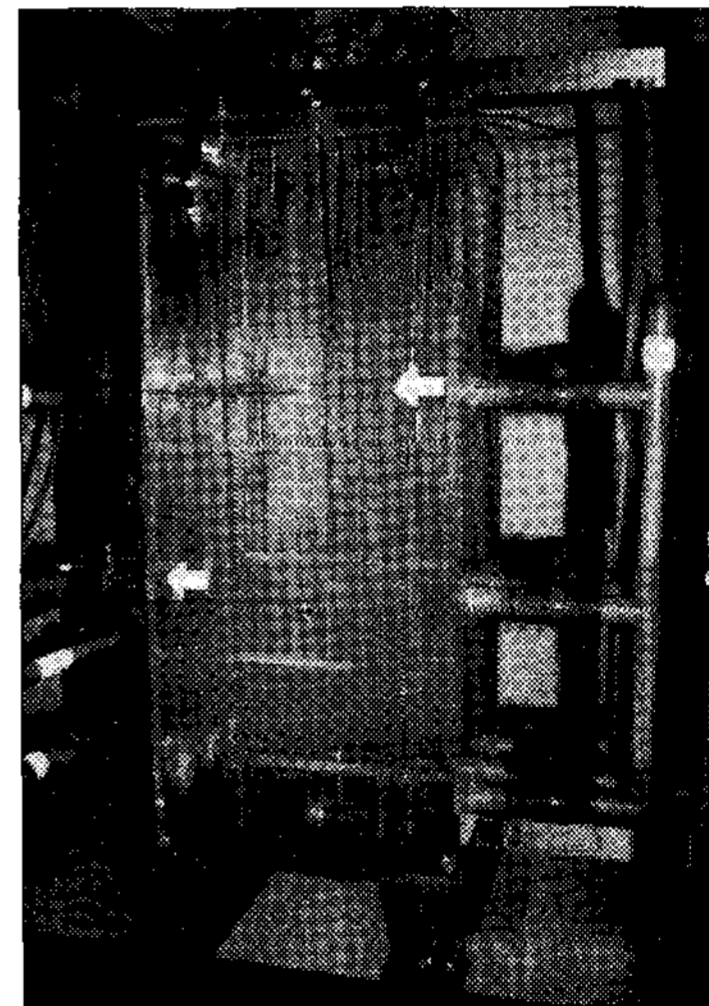


Photo. 2. Storage tank for regenerator

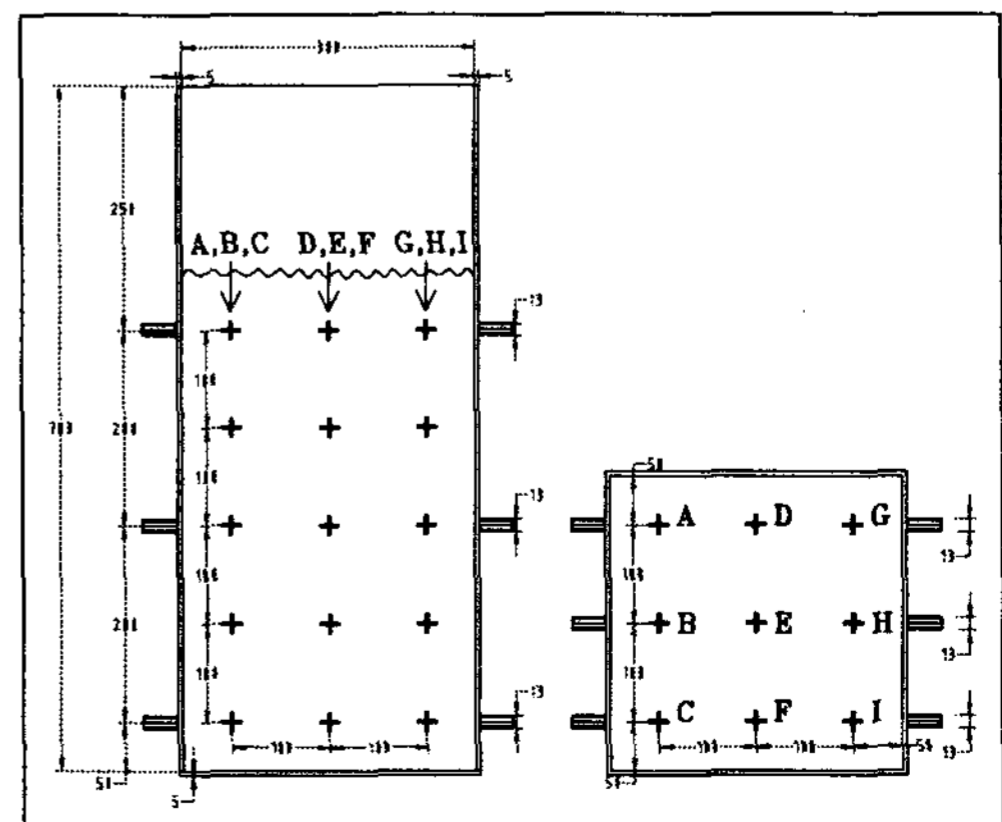


Fig. 2. Schematic of measuring points

0.7(H) [m]로 제작하였으며, 용액의 출입위치를 변경할 수 있도록 사진 2와 같이 15 mm 파이프와 개폐밸브를 입·출구 각각 9개 설치하였다. 또한 저장탱크와 배관계통을 10 mm 두께의 발포 폴리에틸렌으로 단열하여 주위와의 흡·방열에 의한 영향을 배제하였으며 저장탱크 내에서의 온도분포를 측정하기 위해 그림 2와 같이 C-C 열전대를 45개 지점에 설치하였다.

2.2 실험방법

작동유체로 사용되는 LiCl은 초기농도 25%, 초기온도 28°C로 예비탱크에 저장되어 있다. 실험 개시와 동시에 작동유체는 건조저장탱크에서 3 l/min의 유량으로 개방형 가열기에 공급되고, 시스템의 실제 재생면적²⁾ 1.44 m²(1.2 m×1.2 m)이 받는 최대 일사량 1,400 W와 같은 인공일사량이 개방형 가열기에서 용액으로 공급되어 재생되며 저장탱크로 순환한다.

그리고, 축열조와 같이 액체를 작동유체로 사용하는 시스템에서는 탱크에 저장되어 있는 유체와 입구로 들어오는 유체 사이의 성질은 동일하지 않다. 즉 온도차에 의해 발생하는 부력은 입·출구의 위치에 따라서도 달라지며 탱크 내부에서 유체 유동 양상을 변화시킨다. 이와 같이 온도차와 입·출구의 위치관계에 따라 탱크내부의 유동 양상은 크게 성층형과 혼합형으로 구분된다.⁵⁾ 그리고, 농도측정용 센서는 기기 특성상 탱크 내부에 설치할 수 없으므로 탱크의 입·출구에 설치하여 LiCl의 농도변화를 측정하였다. 이상과 같은 실험조건을 표 1에 정리하였다.

3. 실험결과 및 고찰

실험에서 얻어진 결과값은 입·출구 조건이 시간에 따라 변화하므로 무차원으로 나타내었으며, 표 2에 정리하였다.^{5,6)}

Table 1. Experimental conditions

실험구분 실험조건	case 1	case 2
용액 초기 온도	28.0±0.5°C	
용액 초기 농도	25.0±0.05%	
용액 순환량	3.0±0.3 l/min	
가열기가열량	1400 W	
입·출구 위치	입구(위쪽) 출구(아래쪽)	입구(아래쪽) 출구(위쪽)

Table 2. Dimensionless expressions

	기본식	기호 설명
온도	$\theta^* = \frac{(\theta - \theta_0)}{(\theta_{in} - \theta_0)}$	θ^* : 무차원 온도 θ_0 : 탱크내 초기수온 θ_{in} : 입력수온 θ : 실수온
시간	$t^* = \frac{t}{t_0}$	t^* : 무차원 시간 t_0 : 탱크 환수시간 t : 실제 시간
거리	$x^* = \frac{x}{L}$	x^* : 무차원 거리 x : 거리 L : 대표길이
높이	$y^* = \frac{y}{H}$	y^* : 무차원 높이 y : 높이 H : 대표높이

3.1 출구 응답속도

출구의 응답속도는 운전과 동시에 저장탱크의 입구로 들어온 용액이 탱크 내부에서 얼마나 지체되는가를 나타내므로 탱크내에서 용액이 혼합되는 정도를 추정할 수 있다.

그림 3은 각 case에 대한 탱크 출구의 응답속도를 나타낸 것으로 case 1의 최초응답은 $t^* = 0.55$

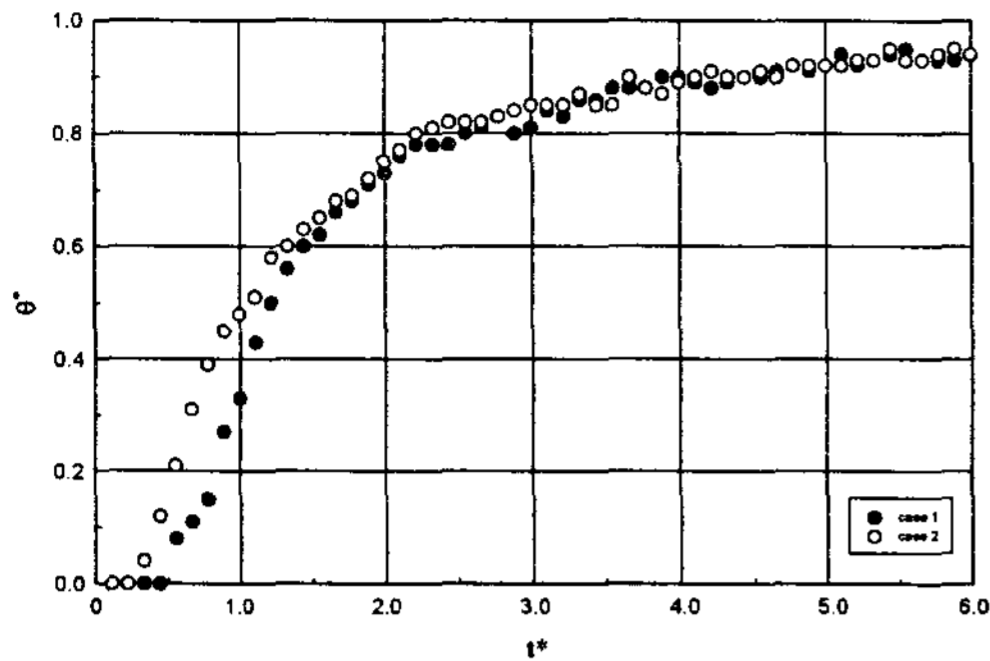


Fig. 3. Outlet temperature distribution

이었고, case 2의 최초응답은 $t^*=0.33$ 이었다. 또한, 1회 환수시간일 때 case 1의 경우 $\theta^* \approx 0.35$, case 2의 경우 $\theta^* \approx 0.50$ 으로 case 2의 실험조건에서 더 높은 온도의 용액이 빠져 나왔다. 이같은 응답속도는 재생기에서 가열되어 탱크로 들어오는 용액과 저장되어 있는 용액의 온도차에서 발생하는 부력의 영향에 의한 결과로 생각된다.

그리고, 1회 환수시간에서 case 1과 case 2의 온도차는 응답속도가 느린 경우는 입구로 들어온 용액의 온도가 출구 온도에 미치는 영향이 적은 경우이므로 출구 용액의 온도가 상대적으로 낮아 탱크로 돌아오는 용액의 온도도 낮기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

3.2 탱크내의 온도분포

3.2.1 수직온도분포

탱크내부에서의 용액의 거동을 시간적으로 파악하기 위해 case 1과 case 2의 실험결과를 각각 그림 4와 그림 5와 같이 수직온도분포로 나타내었으며, 무차원 시간 $t^*=2.0$ 이상의 값은 상하 온도차의 변화폭이 $\theta \leq 0.2$ 의 작은 범위에 있고, 시간에 따른 그래프간의 차가 크지 않기 때문에 생략하였다.

그림 4는 case 1의 실험결과로 $y^* \geq 0.7$ 범위에서 상하온도차 폭이 크게 발생하였다. 이것은 $y^* \geq 0.7$ 이 입구부분에 해당하므로 유입압력으로

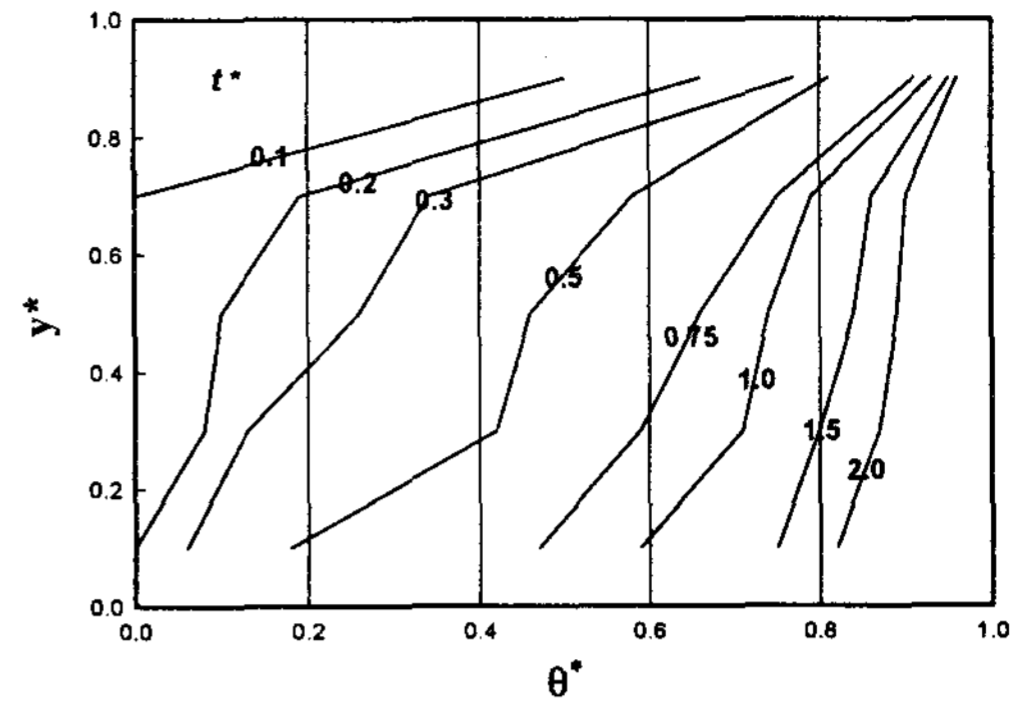


Fig. 4. Vertical temperature distribution(case 1)

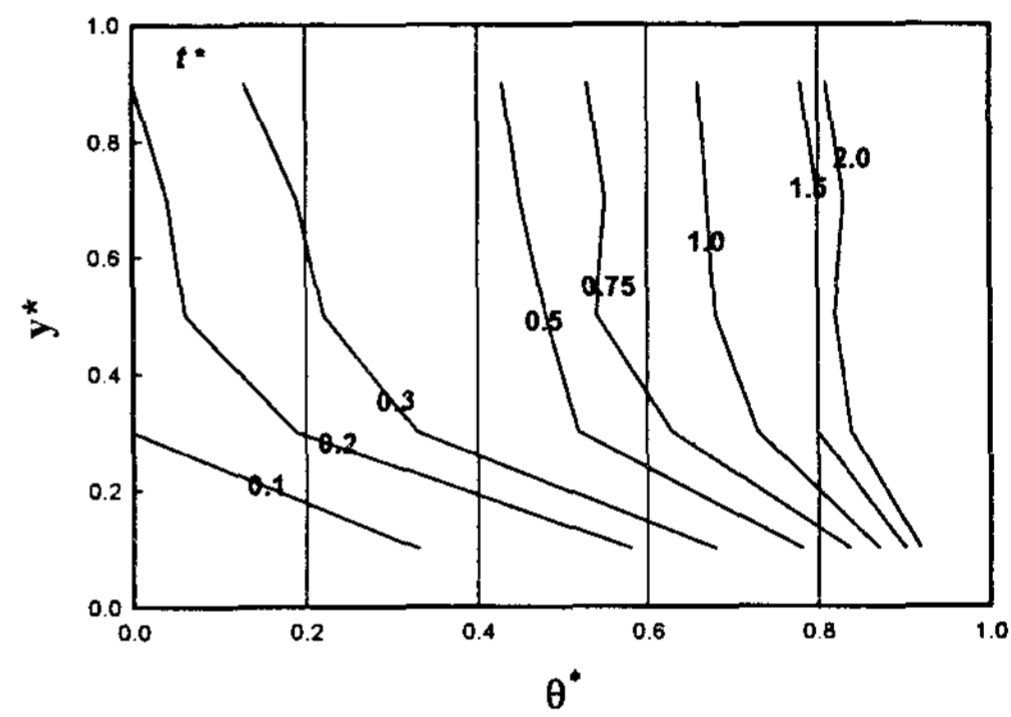


Fig. 5. Vertical temperature distribution(case 2)

인한 용액의 혼합 때문에 나타난 결과라고 생각된다.

case 2의 실험결과를 나타내는 그림 5는 그림 4와 달리 $y^* \leq 0.3$ 범위에서 상하온도차가 많이 발생하는데, 이것은 입·출구의 위치가 case 1과는 서로 대칭적인 위치에 있기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

각 실험조건에 의한 결과를 정리하면 1회 환수 시간 $t^*=1.0$ 에서 최상부와 최하부의 온도차는 case 1이 $\theta \approx 0.40$ 로 case 2의 $\theta \approx 0.3$ 보다 더 높았다. 이것은 입구로 들어온 용액과 탱크내의 용액이 서로 혼합이 잘 이루어지지 않기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

그리고, 시간이 경과함에 따라 상하온도차가 줄어드는 것은 재생이 점차적으로 일어나므로 온도

증가가 줄어들기 때문에 나타난 결과로 생각된다. 또한 출구 응답속도에서 나타난 수직온도분포는 탱크내부에서 용액의 거동을 시간별로 파악할 수 있으며, 출구응답속도에서 나타난 부력에 의한 영향이라는 것을 확인할 수 있었다.

3.2.2 등온선분포

2차원 등온선에 의한 분석은 탱크내부에서 발생하는 국소적인 유동을 밝혀낼 수 있다.

그림 6과 그림 7은 탱크내의 온도분포를 초기 상태인 $t^*=0.2$, 중간상태인 $t^*=0.5$, 1회 환수 시간인 $t^*=1.0$ 일 때의 상태를 2차원 등온선으로 나타낸 것이다. 여기서, 탱크내부의 LiCl이 1회 순환을 초과한 $t^*=1.0$ 이상인 값은 생략하였다.

그림 6은 case 1의 실험결과로 온도층이 수평으로 형성되어 입구 반대편 벽 쪽으로 등온선이 경사져 있다. 이것은 탱크로 들어오는 용액의 온도가 높으므로 탱크내 용액과의 온도차에 의해 발생하는 밀도차의 영향으로 수평 온도층이, 유속의 영향으로 입구반대편 벽에서의 온도 경사층이 형성된 것으로 생각된다.

case 2의 결과인 Fig. 7은 수평 온도층은 형성되지 않고, 출구방향으로 유로가 형성되어 있다. 이것은 case 1의 경우와 마찬가지로 밀도차와 유속의 영향을 받고 있지만, 입구가 하부에 있으므로 밀도차에 의한 부력이 상승류를 발생시키기 때문에 나타난 결과라고 사료된다.

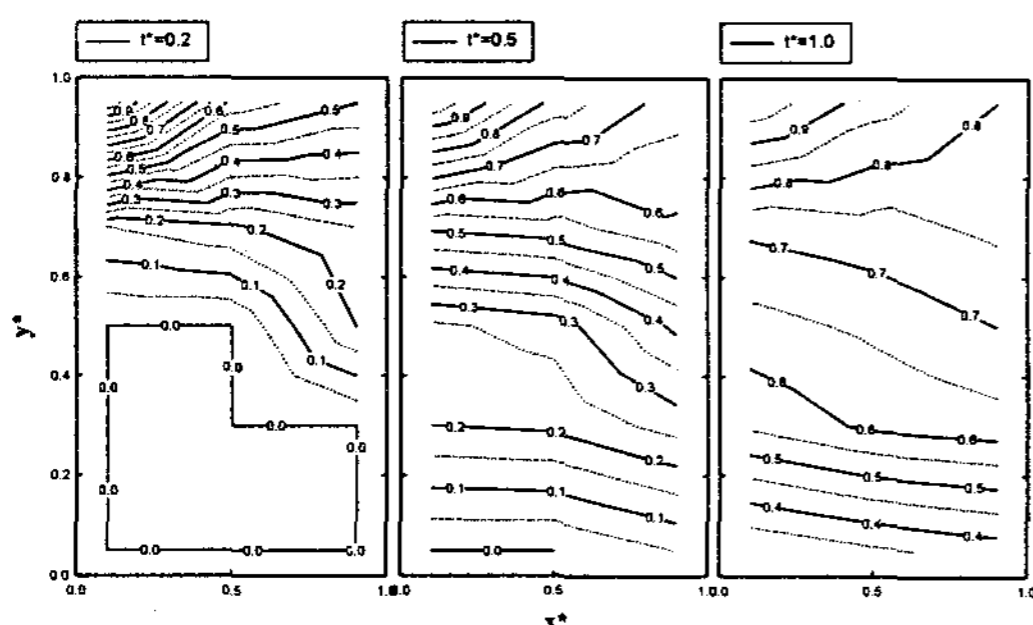


Fig. 6. Contour temperature distribution(case 1)

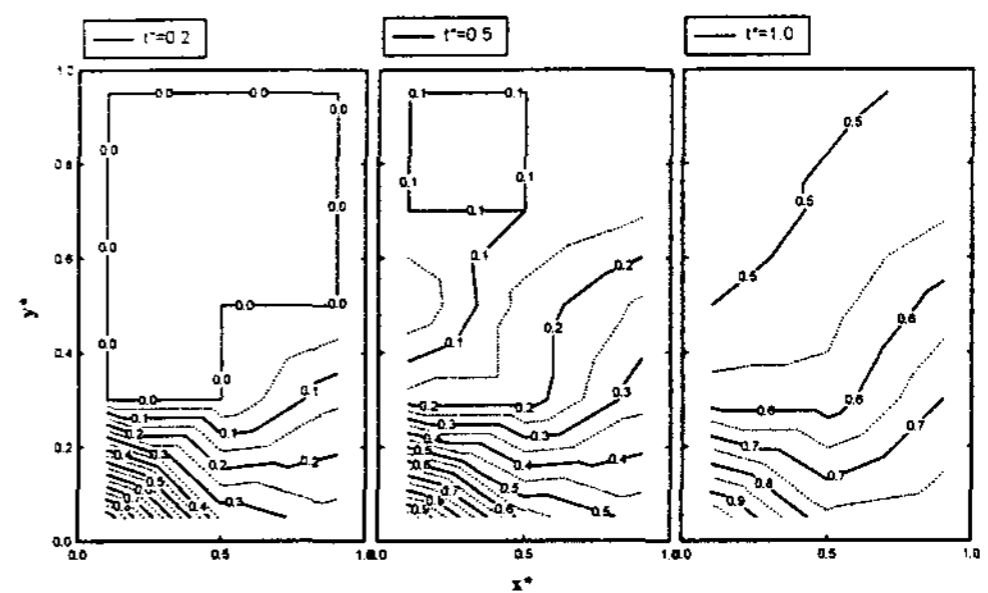


Fig. 7. Contour temperature distribution (case 2)

3.3 농도 변화

3.3.1 입·출구 농도 변화

앞에서 언급한 것과 같이 재생과정에서 필요한 재생열량은 용액의 온도뿐만 아니라 농도에 의해서도 달라지므로 입·출구간의 농도변화를 파악하였다.

그림 8과 그림 9는 case별 탱크 입·출구 용액의 농도 변화를 나타낸 것이다.

그림 8은 case 1의 결과로 입·출구 농도는 최대 0.1400%, 평균 0.0814%의 차이를 나타냈다.

case 2의 결과를 나타내는 그림 9에서는 입·출구의 농도가 최대 0.1800%, 평균 0.1086%의 차를 나타냈다. 두 case를 비교하면 case 1의 용액이 농도가 최대 0.03%, 평균 0.0186% 높은 상태로 재생기에 공급된다. 이 결과는 높아진 용액의 농도만큼 재생에 필요한 열량 또한 증가하므로 농도가 상대적으로 낮은 상태로 재생기에 공급되는 case 2가 더 우수하다고 판단된다.

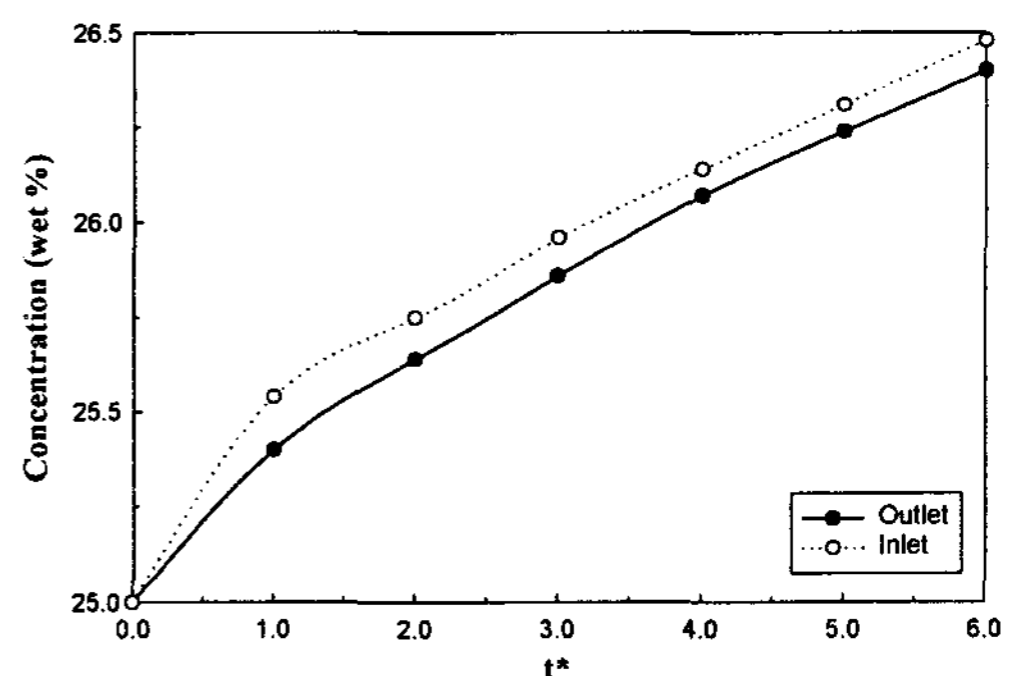


Fig. 8. Concentration distribution (case 1)

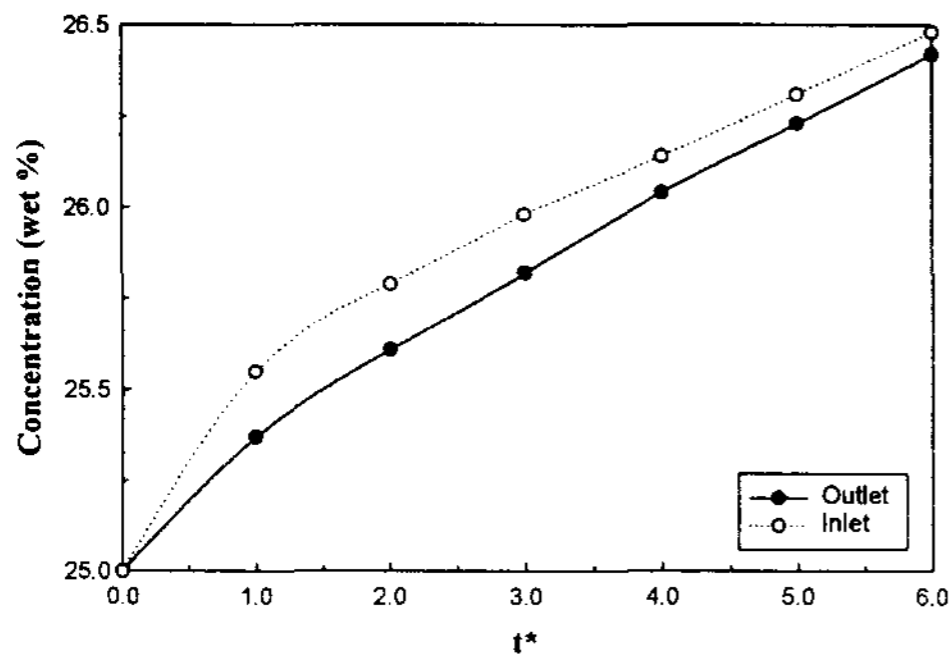


Fig. 9. Concentration distribution (case 2)

3.3.2 전체용액 농도 변화량 및 증발량

전체용액의 최종 농도 변화량과 증발량은 재생기 능력을 나타내는 수치이며, 운전 중 탱크의 입·출구와 내부에서의 온도 및 농도의 시간적 변화에 의한 영향이 총괄적으로 누적된 값이다. 그리고, 재생에서의 최종목적은 용액의 농도변화이다.

표 2는 재생기용 저장탱크의 운전이 종료된 후 저장탱크내 용액의 최종농도 및 수분증발량을 각 case별로 나타낸 것으로, 결과에서는 case 2가 더 높은 농도로 재생되었다. 이것은 case 2가 입·출구의 온도차는 적게, 반면 입·출구의 농도차는 크게 나타난 결과로 생각된다.

Table 2. Bulk density variation and regeneration rate

항 목 \ 실험구분	case 1	case 2
전체 농도 변화 [%]	1.18	1.26
재생량 [kg]	3.869	4.119

4. 결 론

재생기를 모델로 하는 저장탱크의 유동특성에

관한 실험을 통하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 출구의 최초 온도 응답속도는 case 1이 $t^* = 0.55$, case 2가 $t^* = 0.33$ 로 case 2가 더 빠르므로, 입구로 들어온 용액의 탱크내 체류시간이 짧았다.
2. 1회 환수 시간일 때 출구의 온도는 case 1이 $\theta^* = 0.35$, case 2가 $\theta^* = 0.50$ 으로 case 2가 입·출구의 온도차가 적게 발생하였다.
3. 탱크내부에서 case 1은 온도층이 수평으로 형성되는 성층형 구조를, case 2에서는 온도층이 형성되지 않는 혼합형 구조를 나타냈다.
4. 시간에 따른 입·출구간의 농도차는 case 2의 경우가 case 1 보다 더 크게 나타났으며, 고온 저농도의 용액이 재생기로 공급되는 것이 더 우수하였다.
5. 재생기용 저장탱크의 입구는 하부에 출구는 상부에 위치하는 방식에서 더 많은 재생량을 얻을 수 있었다.
6. 앞으로 탱크내 용액의 혼합상태를 제어하기 위하여 배플을 사용한 내부 구조 변화를 통하여 재생기의 효율을 증가시키는 방법도 제시될 수 있다고 생각되므로 이에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. Kwang-hwan Choi, "Research on Open Cycle solar Absorption System for Low Temperature Dehumidifying and Drying", Ph.D. thesis, University of Waseda, Tokyo, Japan, 1993.
2. 최광환, "태양열 이용 냉난방 공조 시스템 개발에 관한 최종보고서", 산업자원부, 1999.
3. 織間正行, 太陽熱利用開放式除濕乾燥システムの數値實驗, 碩士學位論文, 早稻田大學校, 1993.
4. 김종률, "태양열 이용 개방형 재생기의 재생성

- 능 특성 파악”, 석사학위논문, 부경대학교, 1997.
5. 辻本誠, 相良和伸, 中原信生, “蓄熱槽にご關する研究(第1報成層型蓄熱槽の槽内混合構造に關する實驗的研究)”, 空氣調和・衛生工學會論文集, No. 16, 1981, pp.23~35.
6. A.F.Mills, Heat and Mass Transfer, IRWIN, 1995.