

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 17, No. 1, 1997

Ca(OH)₂ / CaO계 화학 열펌프에 있어서 고체 반응층의 전열해석

김종식

계명대학교 화학공학과

Numerical Analysis of Heat Transfer in Packed Bed of Ca(OH)₂/CaO for Chemical Heat Pump

Jong-Shik Kim

Dept. of Chem. Eng., Keimyung Uni.,

요 약

본 연구는 에너지 밀도와 승온효과가 큰 화학 열펌프시스템 개발을 위해 무기 수화물계인 Ca(OH)₂/CaO 원주형 충전층내 핀을 주입 전열 촉진한 경우에 있어서 반응촉진 효과의 이론적 평가를 행하였다.

그 결과 충전층내 수화·탈수 반응시 반응층내 시간에 따른 온도 분포변화 및 반응을 분포에 대한 수치 해석 결과 전열핀 주입에 따른 반응완결 시간이 절반이하로 줄일 수 있다고 한 실험결과와 잘 일치됨을 알 수 있었다. 또한 해석결과 열화학 반응은 주로 온도 및 농도에 의존하였고 경계조건과 입자 충전층의 열전도에 의해 크게 좌우됨을 알 수 있었다.

Abstract

To develop chemical heat pump of higher energy density and efficiency heat-release characteristics accompanied by exothermic hydration reaction in packed bed, Ca(OH)₂/CaO reactor, are examined in a lab-scale unit. We have studied the enhancement effect of inserted fins in cylindrical packed bed reactor.

The results obtained by numerical analysis about profiles of temperature, completion time of reaction and exothermic heat amount released from the reactor read the insertion of fins in reactor can reduce the reaction completion time by half and the rate of thermochemical reaction depends on the temperature and concentration, and it is also governed by the boundary conditions and the rate of heat transfer in the particle packed bed.

1. 서론

최근 에너지 소비량이 해마다 급증가함에 따라 CO₂의 대량배출등으로 지구환경문제가 심각히 대두되고 있는 가운데 종래의 에너지원에서 태양에너지 혹은 원자력에너지 등에 높은 관심을 갖고 있는 실정이다. 이러한 관점에 새로운 열에너지 이용기술의 하나인 화학반응을 이용한 축열, 승온기술이 주목되어 현재 각국에서 화학방식 축열 및 히트펌프 개발이 활발히 진행되고 있다.¹⁾⁻⁵⁾ 이에 따라 새로운 열이용 기술의 하나인 고온영역에서 효율적인 축열기능을 나타내는 Ca(OH)₂/CaO계 가역반응을 이용한 열화학 반응의 고 효율화를 검토하였다. 일반적으로 화학축열 화학 열펌프에 있어서 고-기반응 및 고체 촉매반응 등을 이용하는 경우 충전층형 반응기의 전열 성능 향상이 중요하기 때문에 여기에 관한 전열촉진의 한 방법으로 반응기내 동판판을 주입해 반응층내 전열성능 향상을 검토하였다. 이 결과 전열 및 반응 촉진효과가 1/2정도까지 효율이 높게 나타남을 알 수 있었다.

이에 본 연구는 Ca(OH)₂/CaO반응계 화학

반응에 있어서 반응기내 동판판을 주입한 경우와 주입하지 않는 경우의 수화발열반응 및 탈수축열반응 과정에 있어서 반응평형압력, 온도 관계식, 반응속도식을 이용해 반응층내의 반응 및 전열거동의 수치해석을 행하였으며, 본 해석으로부터 반응층내의 온도분포, 반응율분포 등을 구해 이때 반응층내의 2차원 비정상 열흐름상태를 조사 편주입에 따른 반응층내의 전열촉진 효과의 영향에 대하여 비교검토를 행하였다.

2. 이 론

2-1 수학적 해석 모델

본 해석에 사용한 화학열펌프 실험장치는 화학반응이 일어나는 반응기 내부에 CaO가 충전되어 있으며 아래쪽으로부터 증발기에서 발생한 수증기가 일정한 유량으로 공급되어 CaO와 반응하여 Ca(OH)₂가 생성되면서 화학 반응열이 발생한다. 생성된 소속회는 반응기 외부를 둘러싼 전기히터에 의해 일정한 승온 속도로 가열하여 탈수시키고 다시 생석회로 재생하게 된다.

화학 축열 시스템에서 가장 큰 비중을 차지하는 충전층 반응기에서의 열화학 반응과 물질 및 열전달 특성을 조사하기 위해 반응기의 수치 해석 모델은 전보⁶⁾에 나타내었으며, Fig. 1은 반응기에 구리판 전열핀을 설치한 경우의 반응층의 약식 그림이다. (a)는 전열핀의 blade 수가 6매일 경우의 반응층을 보여주는 그림으로서 반응층은 내경 12cm, 높이 60cm, 두께 0.3cm의 스테인레스제 원통형 반응기 속에 CaO 입자를 밑에서부터 높이 30cm까지 채운 것이다. 그림 중 ●표시는 온도 측정점이며 각각 중심부 ($r/r_L=0$)와, 중심으로부터 반지름 방향으로 중간부 ($r/r_L=0.5$)인 위치에서 높이가 30, 110, 270mm인 곳이다. (b)는 반응기 속에 설치한 전열핀의 blade수가 6매일 경우로서 전열핀과 핀 사이의 한 블럭 평면도이다.

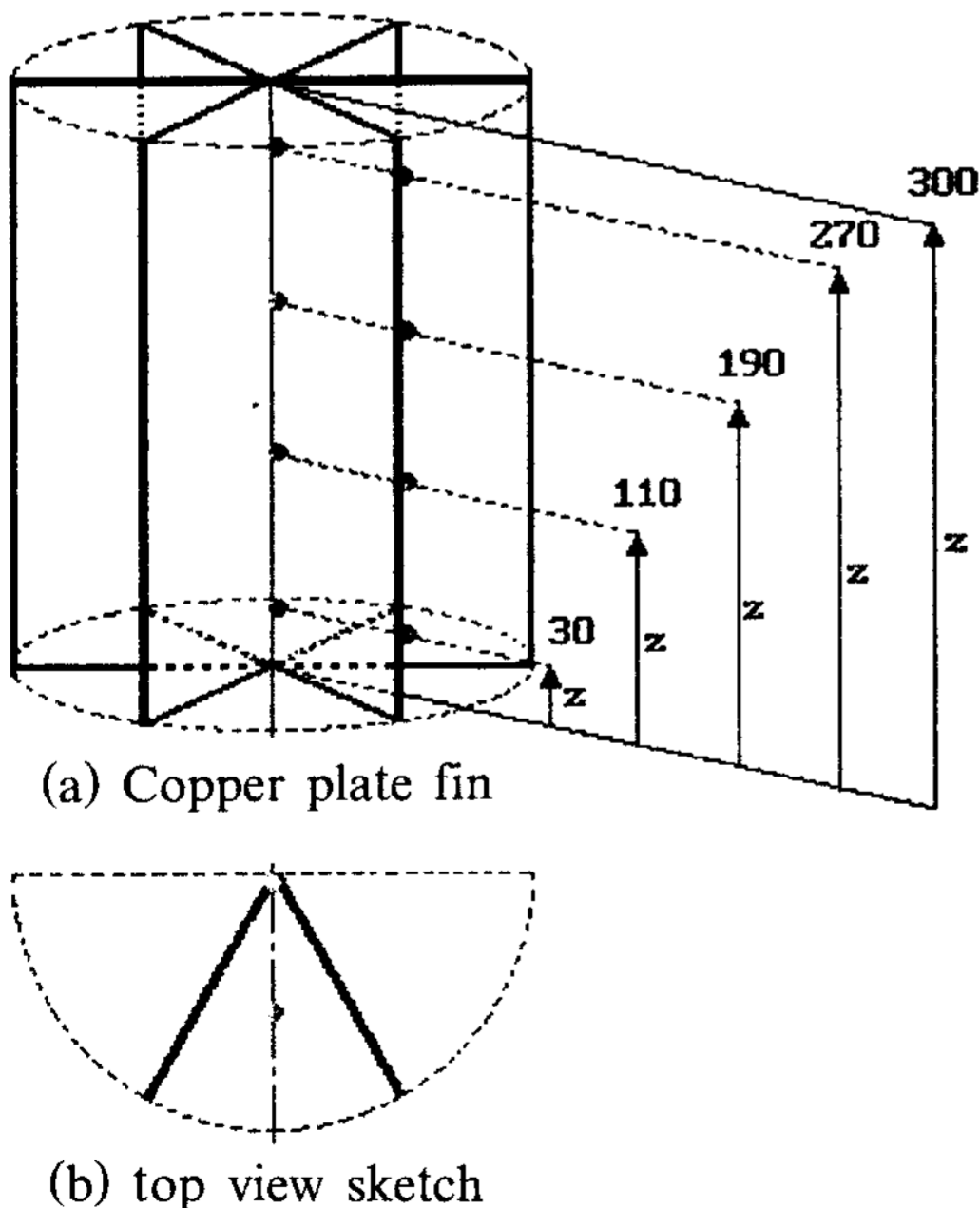


Fig. 1. Copper plate fin for the heat transfer enhancement.

한 블럭을 반지름(r) 방향, 원둘레(θ) 방향 및 길이(z)방향으로 차분하고 편미분 방정식을 미소 검사 체적에 대해 수치 적분해서 반응층 내의 반응기 길이 방향, 반지름 방향, 원둘레 방향에 대한 온도 분포를 계산하였다.

한편 반응기에서의 수화 발열반응과 탈수 흡열반응시의 열전달은 반응기의 내벽과 외벽 사이 환형 공간(annular gap)내에서 공기에 의한 대류 열전달과 고온에 따른 복사 열전달이 복합적으로 이루어진다.

2-2 수화·탈수반응 물질 수지 및 열수지

본 수치 해석 모델의 열화학 반응은 농도와 온도의 함수로서 이들 값에 매우 민감하게 변화하기 때문에 본 연구에서는 gas의 유량, 농도, 충전층의 유효 열전도도, 비열, 기공률 등을 각각 변수로 고려하였다. 그리고 CaO 탈수 반응에 대한 실험 결과검토에 있어서 본 모델에 대한 수치해석을 위한 가정 및 기본방정식과 경계조건은 전보에 나타내었다.

2-2-1 충전층 내의 수증기 농도 방정식

$$\begin{aligned} \epsilon_B \frac{\partial C_g}{\partial t} + \frac{\partial(u_g C_g)}{\partial z} = \\ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r D_c \frac{\partial C_g}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_c \frac{\partial C_g}{\partial z}) + \\ \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} (D_c \frac{\partial C_g}{\partial \theta}) - \dot{R} \end{aligned} \quad (1)$$

위의 식에서 왼쪽 두 항은 축적 항과 대류 항이며 오른쪽의 처음 세 항은 각각 r , z , θ 방향의 확산 항, 네 번째는 반응 항으로서 아래의 Matsuda 실험식을 인용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} \dot{R} = (1 - \epsilon_B) C_{s0} k_{d, exo} X_{CaO}^{2/3} (P_{H_2O} - P_{eq}) \\ (P_{H_2O} > P_{eq}) \end{aligned} \quad (2)$$

쪽 항은 모두 열전도 항이다.

여기서 $C_{p, Cu}$, ρ_{Cu} , λ_{Cu} 는 각각 구리의 비열, 밀도 열전도도를 나타낸다. 또한 앞의 (2)~(6)식에 사용된 λ_g , λ_e , λ_p , $C_{pg}\rho_g$, $C_{pp}\rho_p$ 등은 반응기 내에서 수증기와 공기, CaO와 Ca(OH)₂ 입자가 혼합된 형태로 존재하는 데 대해 각각 단일 성분의 물성치로부터 다음의 추정식을 사용하여 계산하였다.

$$\lambda_g = P_{H_2O}\lambda_{H_2O} + (1 - P_{H_2O})\lambda_{air} \quad (10)$$

$$\lambda_e = (1 - \epsilon_B)\lambda_p + \epsilon_B\lambda_g \quad (11)$$

$$\lambda_p =$$

$$\frac{X_{CaO}(m_{CaO}/\rho_{CaO})\lambda_{CaO} + (1 - X_{CaO})\lambda_{Ca(OH)_2}}{X_{CaO}(m_{CaO}/\rho_{CaO}) + (1 - X_{CaO})\lambda_{Ca(OH)_2}} \quad (12)$$

$$\frac{C_{pg}\rho_g = P_{H_2O} m_{H_2O} C_{p, H_2O} + (1 - P_{H_2O}) m_{air} C_{p, air}}{R_g T} \quad (13)$$

$$\frac{C_{pp}\rho_p = X_{CaO}(m_{CaO}/\rho_{CaO})\rho_{CaO} C_{p, CaO} + (1 - X_{CaO})\rho_{Ca(OH)_2} C_{p, Ca(OH)_2}}{X_{CaO}(m_{CaO}/\rho_{CaO}) + (1 - X_{CaO})\rho_{Ca(OH)_2}} \quad (14)$$

여기서 λ_p , λ_{H_2O} , λ_{air} , λ_{CaO} , $\lambda_{Ca(OH)_2}$ 는 각각 입자, 수증기, 공기 CaO, Ca(OH)₂의 열전도도, m_{CaO} , $m_{Ca(OH)_2}$, m_{H_2O} , m_{air} 는 각각 CaO, Ca(OH)₂, 수증기, 공기의 분자량 ρ_{CaO} , $\rho_{Ca(OH)_2}$, CaO와 Ca(OH)₂의 밀도, $C_{p, CaO}$, $C_{p, Ca(OH)_2}$, C_{p, H_2O} , $C_{p, air}$ 는 각각 CaO, Ca(OH)₂, 수증기, 공기의 비열이다.

그리고 초기 조건과 경계 조건은 다음과 같다.

$$\text{초기조건 : } (t=0) T=T_0$$

$$\text{경계조건 : } (z=0, r < r_L)$$

$$\lambda_e \frac{\partial T}{\partial z} = \epsilon_{bed} \sigma (T^4 - T_0^4) + W_{H_2O} C_{p, H_2O} m_{H_2O} (T - T_0) \quad (z=z_L, r < r_L)$$

$$-\lambda_e \frac{\partial T}{\partial z} = \epsilon_{bed} \sigma (T^4 - T_0^4) \quad (z=0, z=z_L, r > r_L)$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0$$

$$(r=r_1)$$

$$-\lambda_{sus} \frac{\partial T}{\partial r} = \epsilon_M \sigma (T^4 - T_{r_1}^4) + (h_c/2)(T - T_{r_2}) \quad (r=r_1)$$

$$(r=r_2)$$

$$-\lambda_{sus} \frac{\partial T}{\partial r} = \epsilon_M \sigma (T_{r_1}^4 - T^4) + (h_c/2)(T_{r_1} - T) \quad (r=r_2)$$

$$(r=r_3) T=T_0 \quad (\text{발열 반응})$$

$$T=T_{h(t)} \quad (\text{흡열 반응})$$

$$(r=0) \frac{\partial T}{\partial r} = 0$$

$$(b=0) \frac{\partial T}{\partial b} = 0 \quad (\text{Cu fin 존재})$$

$$(\theta=0) \frac{\partial T}{\partial \theta} = 0 \quad (\text{Cu fin 비존재})$$

$$(\theta=\theta_1) \frac{\partial T}{\partial \theta} = 0$$

여기서 ϵ_M , ϵ_{bed} 은 반응기벽 및 충전층의 복사능이고 σ 는 복사 상수 h_c 는 반응기 내외벽과 공기 사이의 열전달 계수, T_{r_1} 과 T_{r_2} 는 각각 반응기의 내관 외벽과 외관 내벽의 온도이며 T_h 는 히터의 온도이다. 그리고 T_0 는 초기 온도, r_1 은 반응기 내관 외벽의 반지름, r_2 는 반응기 외관 내벽의 반지름, r_3 는 반응기 외관 외벽의 반지름이다.

3. 결과 및 고찰

본 계산과정에 대한 흐름도는 Fig. 2와 같으며 먼저 수치 계산에서는 반응 물질의 입자 크기가 비교적 작기($d_p=1\text{mm}$) 때문에 고체 상과 유체 상 간에 거의 열적평형(thermal equilibrium)이 이루어질 것으로 생각하여 충전층 내의 기체와 입자의 온도는 같은 것으로 하였다.

반응 속도 상수는 앞에서 언급한 바와 같이 Matsuda 등의 경험식⁷⁾을 사용하였으며 수치 계산에 사용된 값은 전보⁶⁾에 나타난 바와 같다. 또 앞에서 적은 경계 조건에서 시간 변화

에 대한 반응기의 길이 방향에 대한 수화·탈수반응에서의 방열량 변화 및 반응을 분포를 Fig. 3에서부터 Fig. 10까지에 나타내었다.

3-1 CaO 수화반응층의 방열량 변화 및 반응을 분포

3-1-1 전열판을 설치하지 않는 경우

Fig. 3과 Fig. 4은 전열판을 설치하지 않은 반응기에서 CaO의 수화 반응이 진행될 때의 온도와 전화율 분포를 그린 것이다.

각 그림에서 충전층의 높이 $Z=110\text{mm}$ 위치에서의 시간에 대한 세로 단면에서의 온도와 전화율 분포를 비교해서 나타낸 그림이다.

Fig. 3은 반응개시 후 50분, 100분, 200분 경과 때의 그림인데, 반응기 벽쪽의 농도가 중심부보다 훨씬 크고 하단부와 벽쪽부터 반응이 완료되어 하단부에는 반응이 완료된 부분이 ($X=1.0$) 생기며 농도 구배가 큰 하단 중

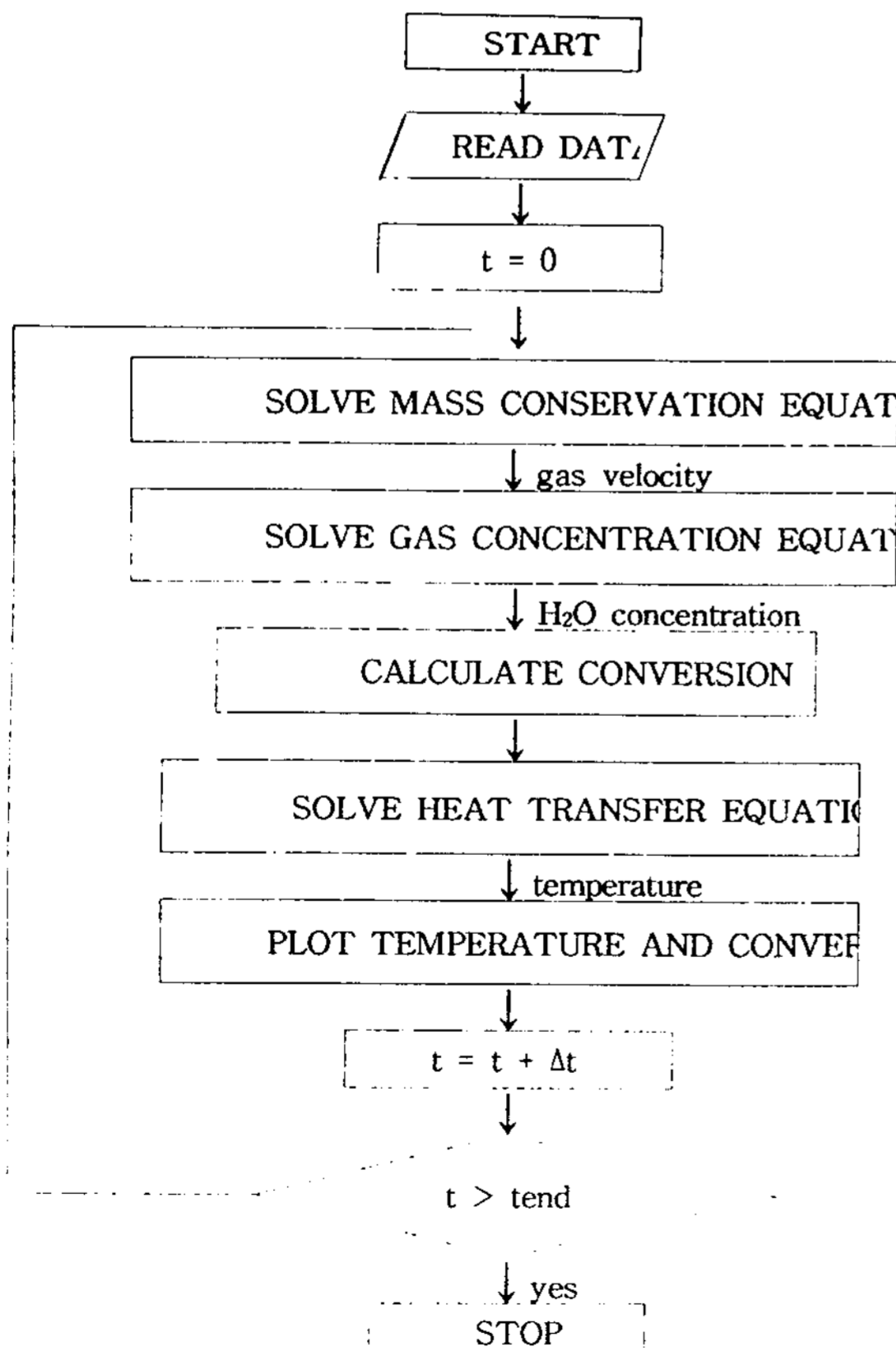


Fig. 2. Flowchart of numerical calculation.

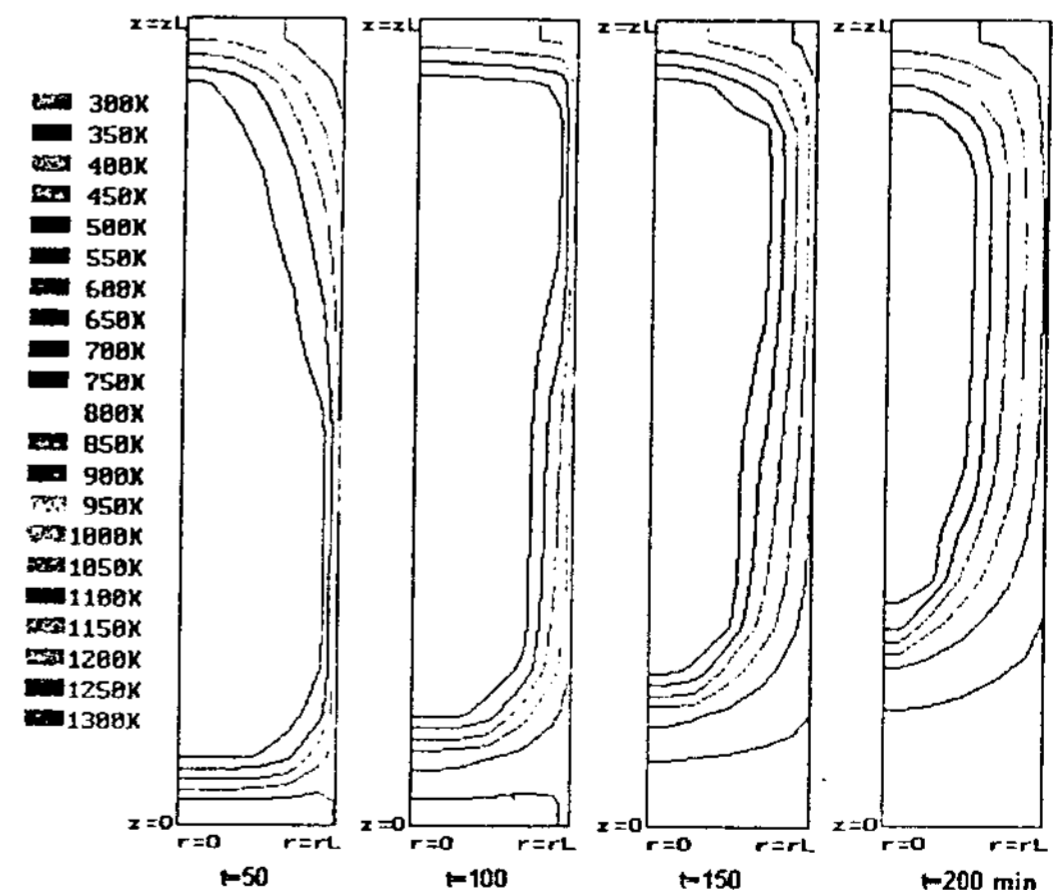


Fig. 3. Temperature distributions at various times (Hydration, without copper plate fin).

심부부터 벽쪽으로 대각선 영역 및 중간부의 벽쪽에 열화학 반응이 활발하게 일어남을 알 수 있었다. 또한 반응 시간이 100분, 200분 경과 한 때의 그림에서는 반응기 하단과 중간부 벽 쪽은 물론이고 반응기 상단부에서도 반응이 완료됨을 볼 수 있어 반응기의 벽쪽과 상, 하단으로부터 중심부쪽으로 반응이 진행되고 있음을 보여주었다.

Fig. 4에서의 농도 분포 그림에서도 반응의 진행 정도에 따라 반응이 활발한 반응기의 아래쪽과 관벽쪽으로부터, 위쪽과 중심쪽으로 등온선이 이동하는 것을 볼 수 있었다.

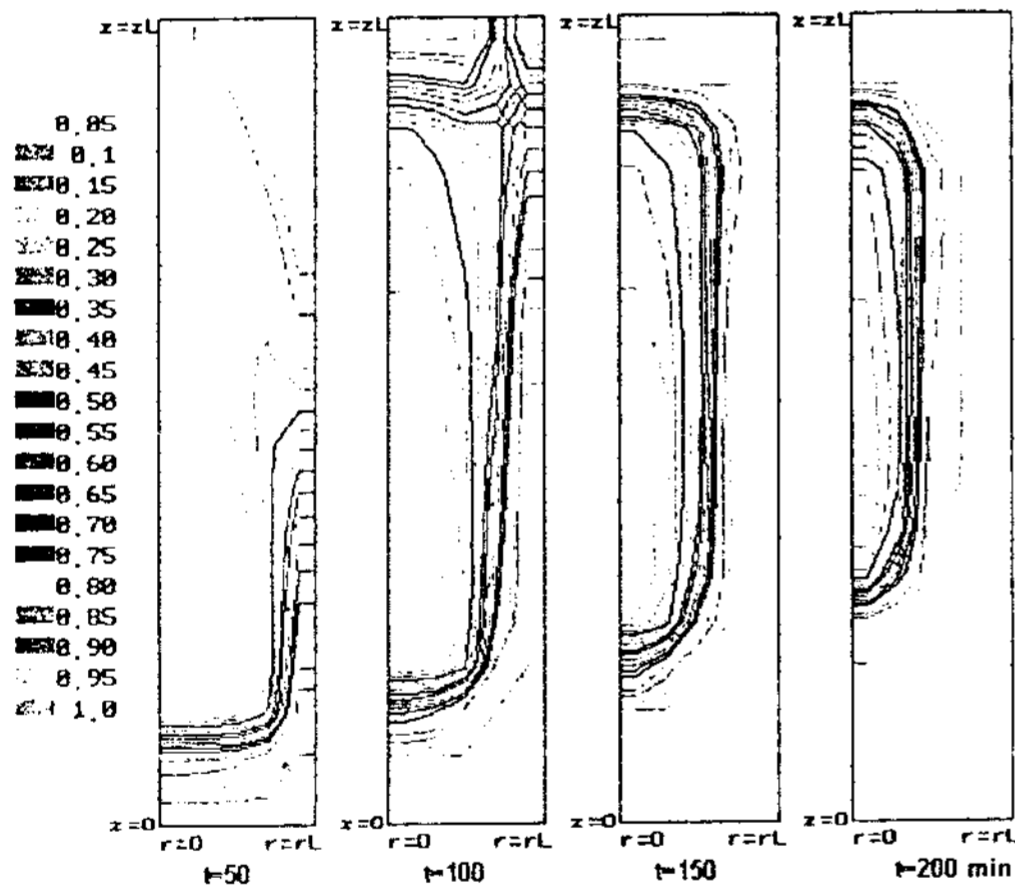


Fig. 4. Conversion distributions at various times
(Hydration, without copper plate fin).

3-1-2 전열핀이 있는 경우

Fig. 5와 Fig. 6은 전열핀을 설치한 반응기에서 CaO의 수화 발열 반응이 진행될 때의 반응기 내의 온도와 전화율 분포를 등온선과 등전화율선으로 그린 것이다. 각 그림은 반응

개시 후 일정 시간 경과 후의 반응층 높이 z=110mm 곳의 세로 단면에서의 온도와 전화율 분포를 비교해서 나타낸 그림이다.

시간에 따른 각 그림을 비교해 보면 전열핀의 영향으로 인해 수화 반응이 먼저 시작된

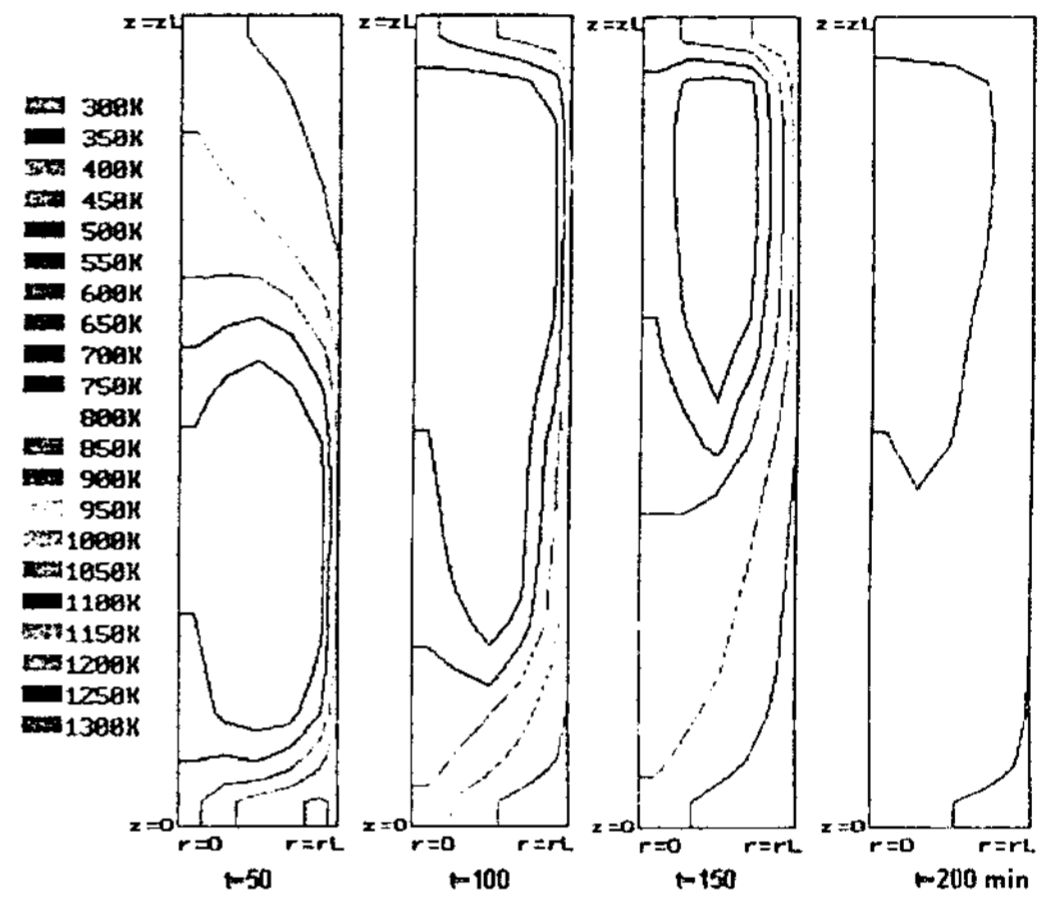


Fig. 5. Temperature distributions at various times
(Hydration, with copper plate fin).

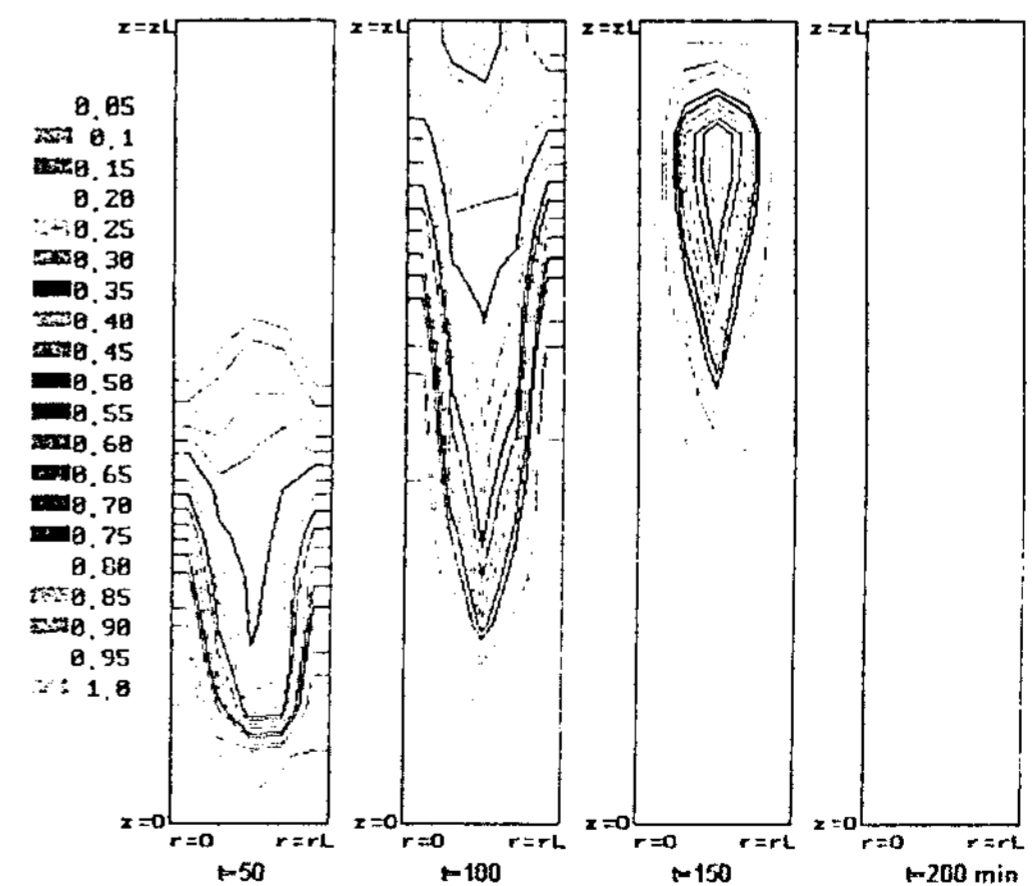


Fig. 6. Conversion distributions at various times
(Hydration, with copper plate fin).

반응기 아래쪽부터 반응이 완결되기 시작하여 관벽과 전열핀쪽으로부터 반응이 완결되어 가는 것을 볼 수 있었다.

이 때 Fig. 3과 Fig. 5의 그림에서 반응 완결 면적을 비교해 보면, 반응 경과시간이 150분인 Fig. 5의 경우가 반응 시간이 200분 경과한 Fig. 3의 경우보다 2배 정도 큰 것을 볼 수 있어 전열핀에 의한 전열 촉진 효과를 확인할 수 있었고 전열핀에 의해 방열 시간을 1/2로 줄일 수 있다고 한 실험결과와도 잘 일치하였다.

3-2 CaO 탈수 반응층의 방열량 변화 및 반응율 분포

3-2-1 전열핀을 설치하지 않는 경우

Fig. 7과 Fig. 8은 Ca(OH)₂의 탈수 반응시 반응 개시 50분, 100분, 150분과 200분 경과 때의 반응기 속의 온도와 농도 분포를 그린

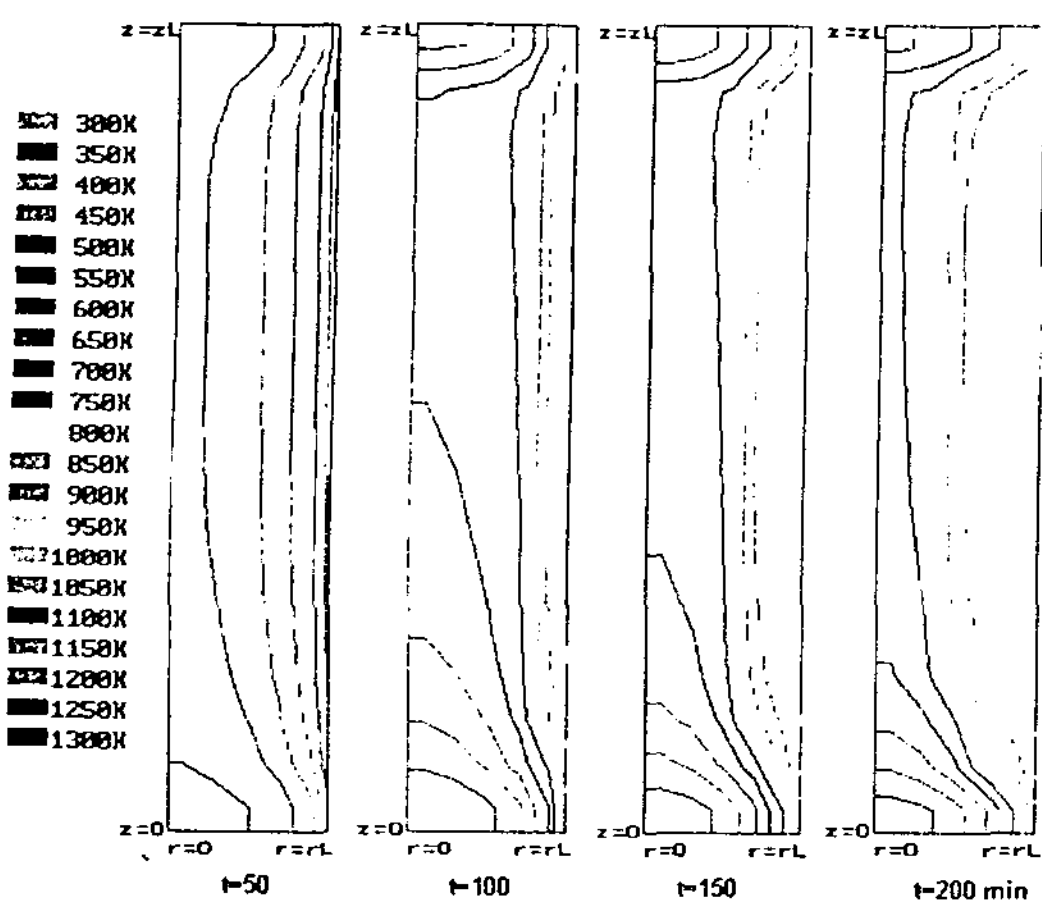


Fig. 7. Temperature distributions at various times
(Dehydration, without copper plate fin).

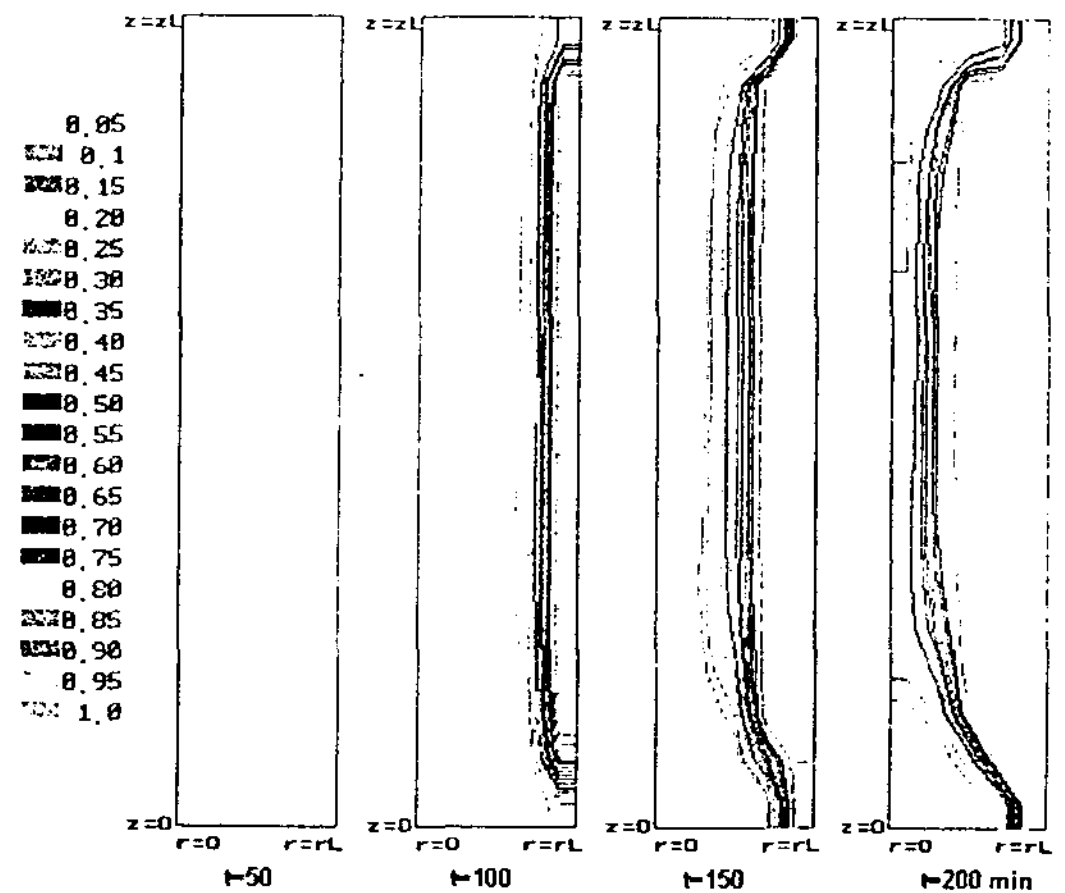


Fig. 8. Conversion distributions at various times
(Dehydration, without copper plate fin).

것인데 반응층 높이 z=110mm인 곳에서의 세로 단면의 등온, 등농도선을 시간에 따라 비교해서 나타낸 그림이다. 관벽쪽으로부터 반응이 완결되어 중심부쪽으로 탈수 반응이 진행됨을 볼 수 있는데 한 쪽 방향으로만의 전열 때문에 반응 경과 시간이 150분이 지난 Fig. 8에서도 반응층의 중심부쪽에 농도가 지극히 낮은 부분(X=0.1이하)이 많은 면적을 차지하는 것을 볼 수 있었다.

3-2-2 전열핀이 있는 경우

Fig. 9와 Fig. 10은 반응 시간이 각각 50분, 100분, 150분과 200분이 경과했을 때의 온도 및 전화율 분포를 등온선과 등전화율선으로 각각 비교하여 나타낸 그림이다. 전열핀으로 인한 열전달 때문에 관벽과 전열핀으로부터 탈수 반응이 진행되는 관계로 전열핀이 설치되지 않은 경우인 Fig. 7과 Fig. 8에 비해 농도 분포가 훨씬 높은 것을 볼 수 있으며 특히, 반응 경과 시간이 200분으로서 서로 같은

Fig. 8과 Fig. 10의 반응 진행도를 비교해 보면 전열핀을 설치한 Fig. 10에서는 반응층 상, 하단의 극히 적은 부분을 제외하고는 반응이

모두 완결된 데 비해 전열핀을 설치하지 않은 Fig. 8에서는 많은 부분에서 반응이 완료되지 않았음을 나타내었다. 이러한 현상으로 보아 탈수 반응 소요 시간이 많이 단축될 수 있음을 알 수 있으며, 대략 전열핀을 주입하지 않았을 때보다 탈수반응소요 시간이 1/2이하로 단축되었음을 알 수 있었다.

이상의 전열 해석 결과를 살펴볼 때 열화학 반응은 온도 및 농도 조건에 의존하며 이는 반응 속도 경험식에서 나타난 바와 같이 농도에 비례하고 온도에 반비례함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 화학반응기의 전열 성능향상의 이론적 평가를 목적으로 CaO/Ca(OH)₂ 입자 충전층 내 구리판으로 된 전열핀을 주입 전열 촉진한 경우에 있어서 물질전달 및 열전달 반응촉진 효과의 이론적 평가를 위해 수치 해석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CaO/Ca(OH)₂ 입자 충전층의 열화학 반응을 이용하는 원통형 반응기내 방사형 전열핀을 주입 전열촉진한 경우에 있어서의 수치해석 결과 반응완결 시간을 1/2로 줄일 수 있다고 한 실험치와 비교적 잘 일치하였다.
2. 입자 충전층내 온도 및 전화율 분포를 등온선과 등전화율선으로 수치해석한 결과 열화학 반응은 전화율이 1이 될 때까지 지속되었고 온도 및 농도에 주로 의존하였으며, 경계 조건과 입자 충전층의 열전도에 의해 크게 좌우되었다.

참 고 문 헌

1. Yanadori, M. et al : Kagaku Kogaku

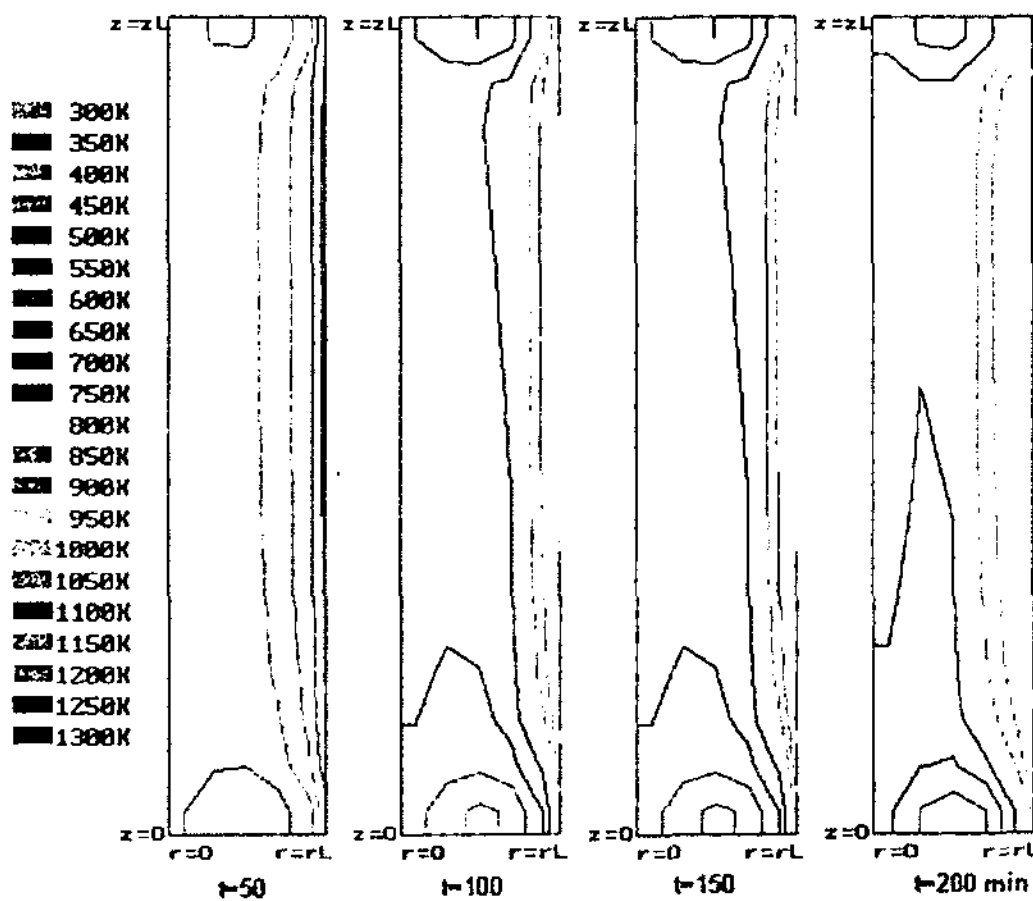


Fig. 9. Temperature distributions at various times (Dehydration, with copper plate fin).

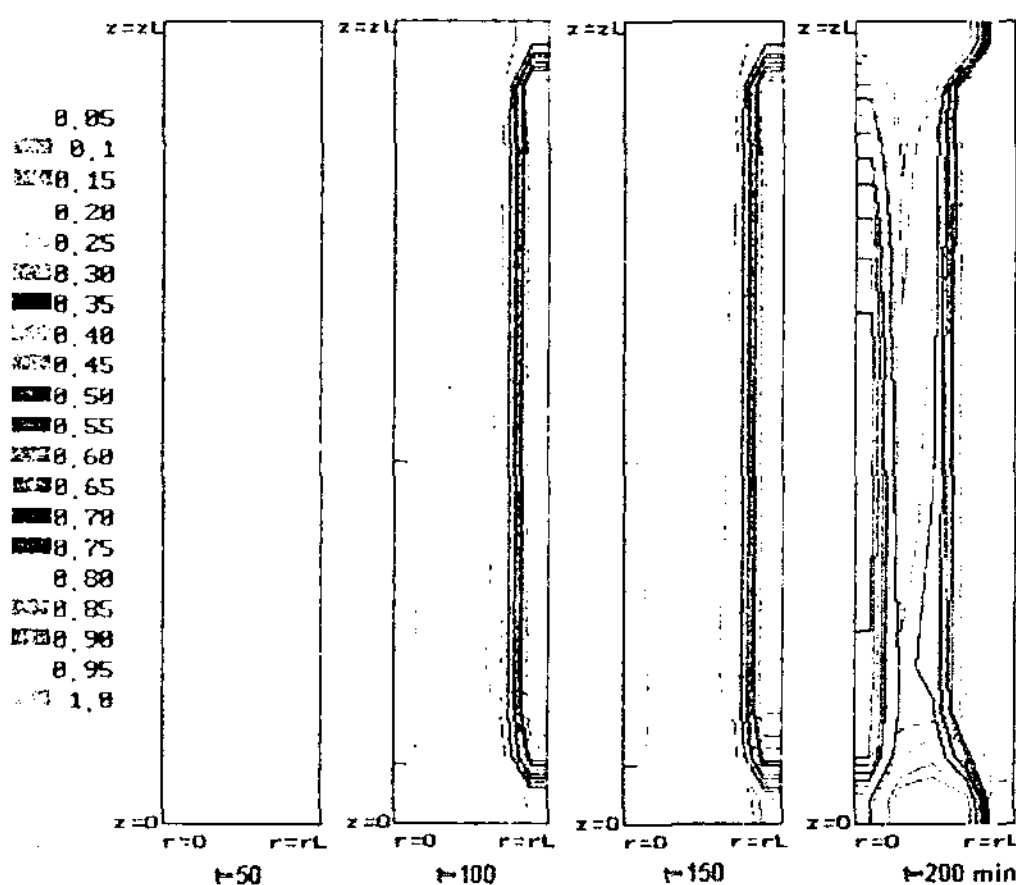


Fig. 10 Conversion distributions at various times (Dehydration, with copper plate fin).

- Ronbunshu, vol. 19, No.3, p.553, 1993.
2. Ito, M. et al : Kagaku Kogaku Ronbunshu., vol. 20, No 3, p. 339, 1994.
 3. Suzuki, M. et al : Kagaku Kogaku Ronbunshu, vol.20, No.4, p.513, 1994.
 4. Tomohide, W. et al : Kagaku Kogaku Ronbunshu, vol.19, No.1, p.91, 1993.
 5. Yanadori, M. et al : Kagaku Kogaku Ronbunshu, vol.17, No.5, p.916, 1991.
 6. Park, Y. H. et al : J. Korean Ind. & Eng. Chemistry, vol 7, p.518, 1996.
 7. Matsuda, H. et al : Kagaku Kogaku Ronbunshu, vol.13, No. 20, 1987.
 8. Gaskell, D. R., "An Introduction to Transport Phenomena in Materials Engineering", Macmillan, 1992.
 9. Kim, J. S., et al : Solar Energy, vol. 15, No. 3, p.29, 1995.
 10. Kim, J. S., et al : Solar Energy, vol.14, No.2, p.92, 1994.

사용약호

- b : Coordinate of Cu fin thickness direction [m]
 b_{Cu} : Thickness of Cu plate fin [m]
 b_{sus} : Thickness of reactor wall [m]
 C_g : Concentration of water vapor [mol/m³]
 C_{so} : CaO mole number per CaO unit volume [mol/m³]
 C_{pg} : Specific heat of gas [J/mol-K]
 C_{pp} : Specific heat of particle [J/kg-K]
 $C_{p, H_2O}, C_{p, air}, C_{p, CaO}, C_{p, Ca(OH)_2}, C_{p, Cu}, C_{p, sus}$: Specific heat of water vapor [J/kg-K]

- D_e : Effective diffusion coefficient of gas [m²/s]
 d_p : Diameter of particle [m]
 D_m : Diffusion coefficient of gas between water vapor and air [m²/s]
 ΔG^0 : Standard Gibbs energy change [KJ/mol]
 G_s : Mass flow rate of steam [g/hr]
 H_0 : Reaction heat of CaO+H₂O=Ca(OH)₂[J/mol]
 h_c : Heat transfer coefficient [W/m²-K]
 ΔH^0 : Standard enthalpy change [kJ/mol]
 K : Equilibrium constant [-]
 $k_{d, exo}, k_{d, endo}$: Reaction rate constant of exothermic and endothermic reaction [s⁻¹]
 $m_{H_2O}, m_{air}, m_{CaO}, m_{Ca(OH)_2}$: Molecular weight of steam [kg/mol]
 p : Partial pressure of water vapor or water vapor pressure [atm]
 P_{H_2O} : Partial pressure of steam [atm]
 P_{eq} : Water vapor pressure at equilibrium [atm or mmHg]
 P_s : Saturated water vapor pressure [atm or mmHg]
 r : Coordinate of radius direction [m]
 r_L : Radius of packed bed [m]
 r_1, r_2, r_3 : Outside radius of reactor inner tube, Inside radius of reactor outer tube, Outside radius of reactor outer tube [m]
 \dot{R} : Reaction rate of CaO + H₂O=Ca(OH)₂[mol/m³-s]
 R : Gas constant [J/mol-K]

- R_g : Gas constant [82.05 atm-cm³/mol-K]
 ΔS^0 : Standard entropy change [kJ/mol-K]
 t : Time [s, min or hr]
 t_{film} : Thickness of gas film between bed and Cu fin or reactor inner wall [m]
 T : Absolute temp. [K]
 T^* : Turning temp. [K]
 T_h : Temp. of heater [K]
 T_o : Starting temp. [K]
 T_{r1}, T_{r2} : Outside wall temp. of reactor inner tube, Inside wall temp. of reactor outer tube [K]
 T_s : Setting temp. of reactor wall [K]
 u : Absolute velocity of gas [m/s]
 U_g : Superficial velocity of gas [m/s]
 \dot{W}_{H_2O} : Steam flow rate per unit area at entrance part of packed bed [mol/m²-s]
 X : Conversion of CaO, Ca(OH)₂ [-]
 $X_{CaO}, X_{Ca(OH)_2}$: Mole fraction of CaO, Ca(OH)₂ [-]
 z_L : Total bed height [m]
 z : Coordinate of axial direction [m]
- ϵ_B : Porosity of bed [-]
 θ : Coordinate of circular direction [radian]
 θ_L : Half angle between a Cu fin and another Cu fin [radian]
 σ : Radiation constant [W/m²-K⁴]
 ρ_B : Molar concentration of gas [mol/m³]
 ρ_p : Density of particle [kg/m³]
 $\rho_{CaO}, \rho_{Ca(OH)_2}, \rho_{Cu}, \rho_{sus}$: Density of CaO, Ca(OH)₂, Cu, Sus respectively [kg/m³]
 π : Dimensionless total pressure of the reaction system [-]
 λ_c : Effective thermal conductivity of packed bed [W/m-K]
 λ_p, λ_g : Thermal conductivity of particle, gas [W/m-K]
 $\lambda_{CaO}, \lambda_{Ca(OH)_2}, \lambda_{Cu}, \lambda_{sus}, \lambda_{H_2O}, \lambda_{air}$: Thermal conductivity of CaO [W/m-K]

사 용 약 호

- B : Bed
 o : Initial
 P : Particle

그리스 문자

- $\epsilon_M, \epsilon_{bed}$: Emmissivity of reactor wall and bed [-]

Numerical Analysis of Heat Transfer in Packed Bed of $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CaO}$ for Chemical Heat Pump

Jong-Shik Kim

Dept. of Chem. Eng., Keimyung Uni.,

Abstract

To develop chemical heat pump of higher energy density and efficiency heat-release characteristics accompanied by exothermic hydration reaction in packed bed, $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CaO}$ reactor, are examined in a lab-scale unit. We have studied the enhancement effect of inserted fins in cylindrical packed bed reactor.

The results obtained by numerical analysis about profiles of temperature, completion time of reaction and exothermic heat amount released from the reactor read the insertion of fins in reactor can reduce the reaction completion time by half and the rate of thermochemical reaction depends on the temperature and concentration, and it is also governed by the boundary conditions and the rate of heat transfer in the particle packed bed.