

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 3, 2007

# 평판형 집열기의 단일 지관에서의 입구 Re수에 따른 흡열판 온도분포에 대한 수치해석 연구

김정배\*, 이동원\*\*, 백남춘\*\*\*

\*한국에너지기술연구원 태양열연구센터(doctorkjb@kier.re.kr), \*\*한국에너지기술연구원 태양열연구센터(dwlee@kier.re.kr),  
\*\*\*한국에너지기술연구원 태양열연구센터(baek@kier.re.kr)

## Numerical Study on Thermal Characteristics at Absorber Plate of Flat-Plate Solar Collector with Single Riser

Kim, Jeongbae\*, Lee, Dong-Won\*\*, Baek, Nam-Choon\*\*\*

\*Solar Thermal Research Center, KIER(Korea Institute of Energy Research, doctorkjb@kier.re.kr),

\*\*Solar Thermal Research Center, KIER(Korea Institute of Energy Research, dwlee@kier.re.kr),

\*\*\*Solar Thermal Research Center, KIER(Korea Institute of Energy Research, baek@kier.re.kr)

### Abstract

It is essential to know the heat transfer characteristics at the absorber plate of Flat-plate solar collector for optimum design. For flat-plate solar collector, it is difficult to experimentally study the effect for the Reynolds number of riser considering low mass flow rate being applied into the collector with one riser tube. So, this study were performed to show the heat transfer characteristics of flat-plate solar collector with single absorber plate and riser for various Reynolds number at riser using commercial code FLUENT 6.0. The base collector size is chosen with  $0.4\text{m}^2$  as  $0.2\text{m}$  by  $2\text{m}$  with single riser in this study, Reynolds number at riser is from 200 to 1200 including about 530 at typical flat-plate collector with 10 risers considering the mass flow rate of  $0.02\text{ kg/s}$  per collector area for the certificate test. Through the simulation, the results were presented as the temperature distribution at the absorber plate for various flow rate and solar irradiance conditions, then showed the effective length scale of the absorber plate. The real solar irradiation condition is assumed as the constant heat flux condition of  $500\text{W/m}^2$  considering the annual average solar irradiance in Korea.

**Keywords** : 평판형 집열기(Flat-plate solar collector), 흡수판(Absorber plate), 지관(Riser), 상용코드(FLUENT), 열전달특성(Heat Transfer Characteristics)

접수일자 : 2007년 8월 7일, 심사완료일자:2007년 9월 1일

교신저자 : 김정배(doctorkjb@kier.re.kr)

## 기 호 설 명

Tavg	: 평균온도 (°C)
Tin	: 지관 입구 평균온도 (K)
Tout	: 지관 출구 평균온도 (K)
ΔT	: 지관 입출구 온도차 (K)

## 1. 서 론

액체식 평판형 태양열 집열기는 입구의 주관과 이에 연결된 여러 개의 지관 그리고 출구쪽의 주관으로 구성되어 있다. 여러 개의 지관을 적용하더라도, 흡수판은 하나의 판으로 하여 전체 지관을 다 용접하거나 접합할 수도 있으며 혹은 각각의 지관에 독립적으로 흡수판을 용접 혹은 접합할 수도 있을 것이다.

지명국 등<sup>1)</sup>은 평판형 집열기의 지관의 배열을 세 가지로 하여 0.56 m × 1.1 m의 집열기를 제작하여 직접 물을 작동시켜 열전달 실험을 수행하였다. 이를 통해 평판형 집열기의 지관의 배열이 집열기에서 획득하는 열전달량에 중요함을 보였다. 집열기에서 획득하는 총열전달량 만을 측정하여 좀더 집열기의 최적 설계를 위한 결과를 제시하지 못하고 있다. 고동국 등<sup>2)</sup>은 공기식 평판형 집열기에 대하여 이론적인 수치해석과 실험을 통해서 집열기 운전 조건에 따른 열전달 특성을 분석하였다. 그러나, 현재 국내에서 일반적으로 적용되는 액체식 집열기와는 기본적인 차이를 보이고 있다.

그러나, 평판형 태양열 집열기의 설계에 있어서 먼저 집열기의 크기를 결정하고 나면 주관과 지관의 크기를 결정하여야 하는데, 이러한 크기의 결정과 함께 흡수판에 부착된 지관의 간격 혹은 각 지관에 독립적으로 부착된 흡수판의 경우는 흡수판의 크기를 결정하여야 한다.

지관에 부착된 흡수판의 최적 크기를 결정하기 위해 지관의 간격, 일사량, 그리고 유량에 따라 일일이 계산을 수행하여 크기를 결정하는 것은 상당한 노력을 필요로 한다. 따라서, 지관 하나에 부착

된 흡수판을 고려하여, 일년 평균 일사량에 대하여 지관에서의 유량(Re수)을 변화시키면서 가장 효과적인 열전달 길이를 선정한다면 최적 흡수판의 크기를 결정할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 상용코드인 FLUENT를 이용하여 해석을 수행하고 이의 결과들로부터 단일 지관 조건에서 최적의 흡수판 크기(길이)를 도출하고자 하였다. 이를 위하여, 지관의 간격에 상관없이 하나의 지관에 유입되는 다양한 입구의 Re수에 따른 가장 효과적인 흡수판의 크기를 결정하는 것에 대한 해석을 통해 집열기의 전열 구조에 대한 연구를 수행하였다.

고려한 지관에서의 입구 Re수는 200에서 1200까지 100 간격이었고, (인증시험시 적용되는 유량에서 지관이 10개인 경우에 지관에서의 Re수는 약 530임) 일사량 조건과 흡수판에 의한 효과는 단일 동판에 일정 열유속 500 W/m<sup>2</sup>를 가열하는 조건으로 고려하였다. 500 W/m<sup>2</sup>는 국내 일사량을 고려할 때 연평균 일사량 조건에 유사한 값이다.

## 2. 평판형 집열기의 유로 구조

평판형 태양열 집열기는 그림 1에서와 같이 주관과 주관에 결합되어 있는 여러 개의 지관으로 구성되어 있다. 지관은 다시 출구쪽의 주관에 연결되어 있다. 집열기의 크기는 단일 지관(8A)에 흡수판을 0.2 m × 2.0 m의 크기로 선정하였다.

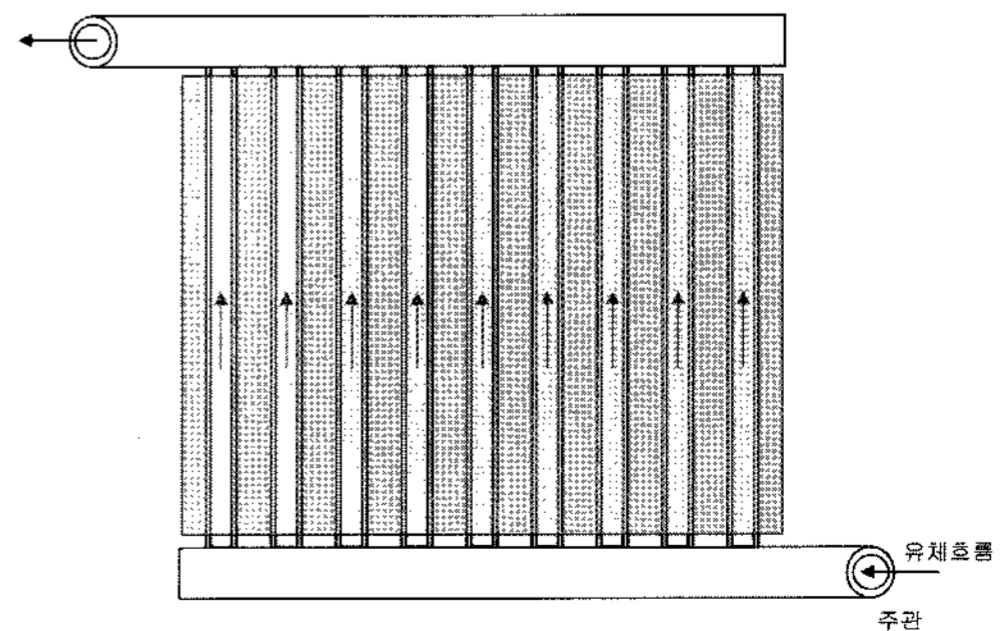


그림 1. 평판형 집열기 집열구조

### 3. 열적 해석

평판형 집열기의 유로에서 유동특성의 해석을 위하여 본 연구에서는 상용 프로그램인 FLUENT를 이용하였다.

#### 3.1 해석 방법

단일 지관과 흡수판의 열전달 및 유동특성을 해석하기 위하여 연속, 운동량 및 에너지방정식을 풀게 되는데, 3차원으로 그림 2와 같은 해석 영역을 설정하였다. 해석 영역의 Grid는 1mm 간격의 노드를 가지는 사각형 격자를 이용하여 설정하였고, 노드의 수는 약 61000개 이었다.

해석은 3차원 정상상태 유동으로 가정하고, 운동량 방정식을 풀기 위해서는 k-ε의 RNG 모델을 이용하였다. 그리고 실제 지관이 원형관이지만, 이론적인 계산에서는 동일한 수력직경을 가지는 사각관으로 하여 Re상사의 개념을 적용하여 계산을 수행하였다. 입구 속도조건은 유량에 해당하는 속도로 균일 속도장으로 고려하였고, 난류 모델을 위한 조건은 난류강도와 수력직경의 조건으로 난류강도는 10%로 하고 관 크기에 해당하는 수력직경으로 지정하였다.

해의 수렴을 위한 에러 수렴 조건은 유동의 조건들은  $10^{-3}$ 승으로, 에너지는  $10^{-6}$ 승으로 지정하여 계산을 수행하였다.

입구 경계조건은 각 Re수에 해당하는 속도와 298 K의 온도로 일정하게, 출구 경계조건은 outflow 조건으로 지정하였다.

그림 2에서 보듯이 아래쪽이 지관의 입구이고, 위쪽이 출구이다. 적용된 유체는 집열기 열매체로 널리 이용되고 있는 물이다. 흡수판의 재질은 동판으로서 두께는 실제 흡수판에 적용되는 동판과 동일한 0.2 mm로 하였다. 지관은 90도의 경사각을 가지는 수직 형태로 고려하여, 중력의 효과를 포함하여 계산하였다.

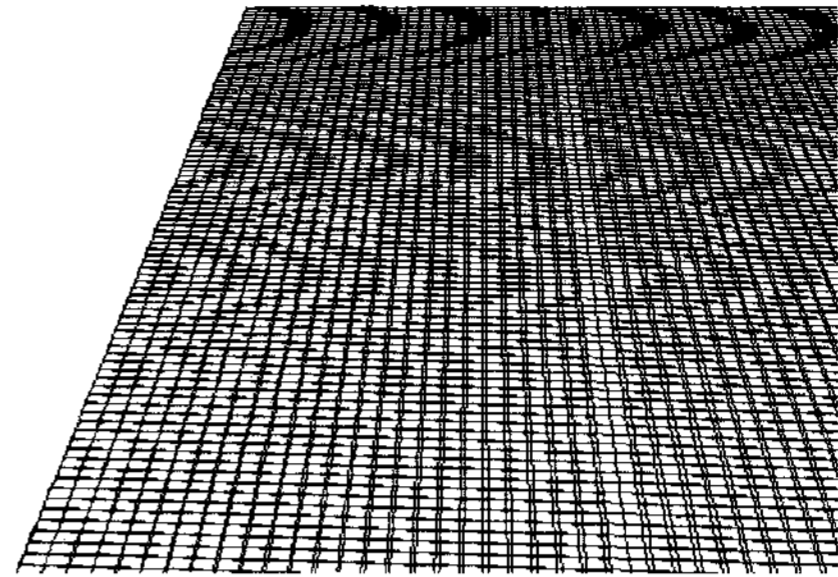


그림 2. 해석용 지관과 흡수판 형상 및 Mesh

#### 3.2 해석 결과

본 연구에서 적용한 흡수판 표면에서 지관으로 전달되는 열전달량은 지관 입출구에서의 온도차로 나타나게 되는데, 지관에서의 Re수가 최대 1200으로 층류이므로 열전달량은 일정하게 유지될 것이다. 다만, Re수가 증가함에 따라 출구에서의 온도가 그림 3과 같이 감소하는 특성을 나타내고 있다. 또한, 흡수판에서 지관으로의 열전달에 의해 흡수판 표면의 온도(Coating wall temperature)는 Re수가 증가함에 따라 감소하게 된다. (그림 3 참조)

그림 3에 나타낸 온도는 입출구 단면에서의 평균 유체온도이다. 흡수판 표면의 온도(그래프 상에는 Coating wall로 표시)는 전체 면적에 대하여 평균한 온도이다.

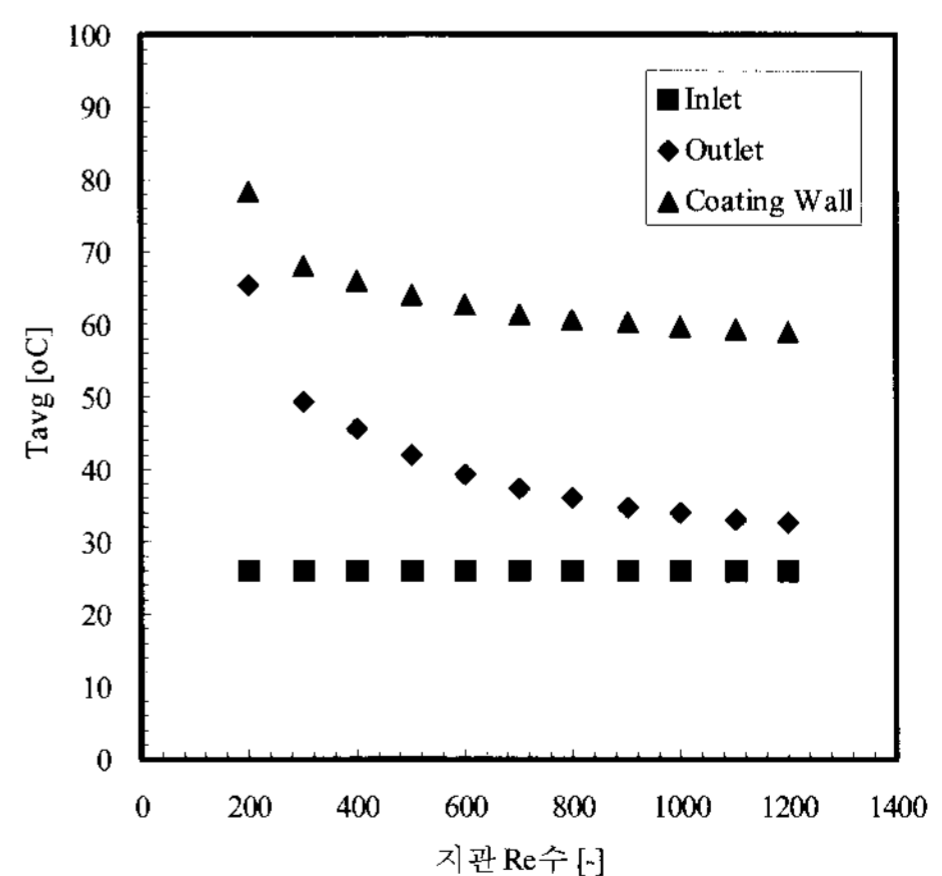


그림 3. 지관 Re수에 따른 온도분포

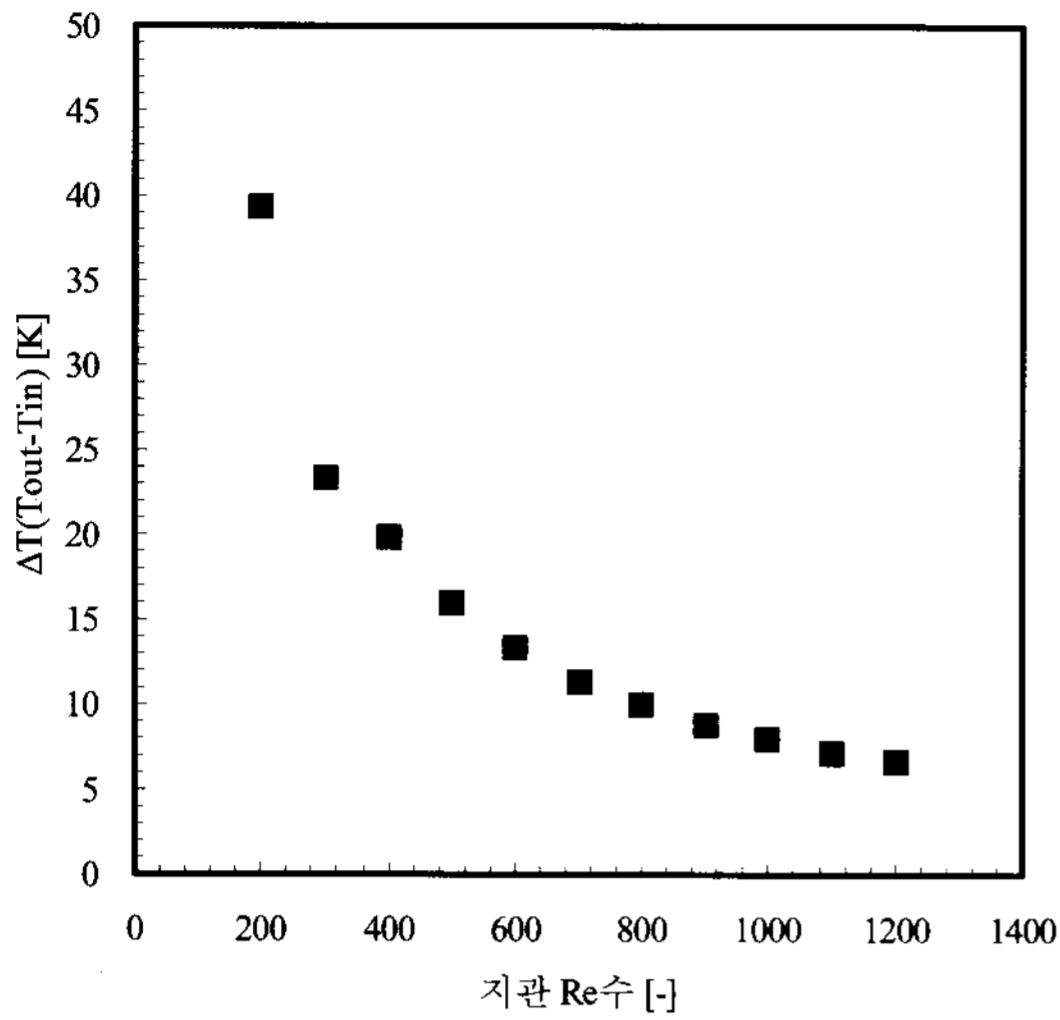


그림 4. 지관 Re수에 따른 지관 입출구 온도차

이렇게 구해진 지관의 입출구에서의 평균온도의 차이는 그림 4와 같이 나타난다.

각각의 Re수에서의 흡수판 표면의 온도 분포는 계산된 온도분포를 10개의 단계로 하여 Re수가 200, 500, 800, 그리고 1200에 대하여 표시하면 그림 5~8와 같이 나타난다.

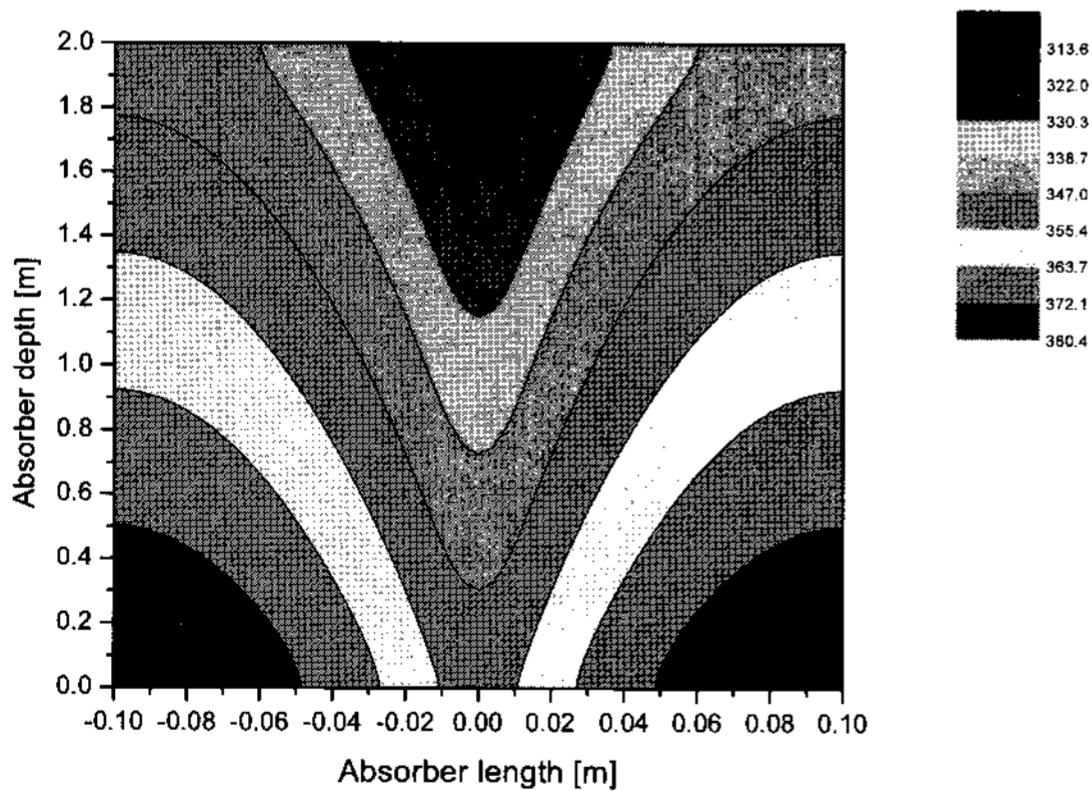


그림 5. 지관 Re수 200에서의 흡수판 온도 분포

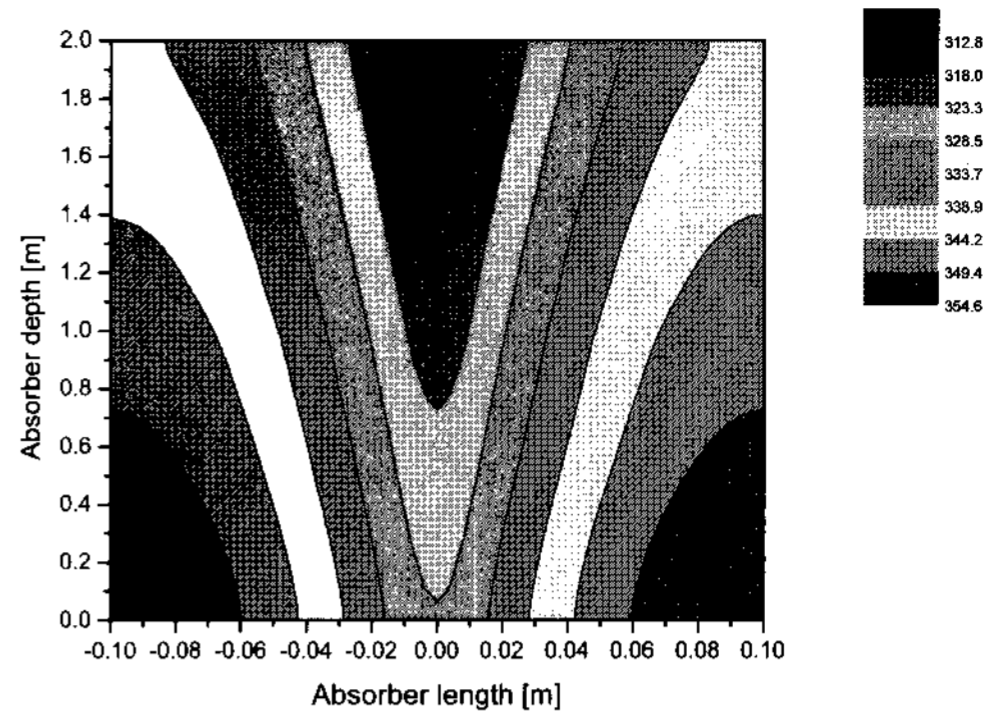


그림 6. 지관 Re수 500에서의 흡수판 온도 분포

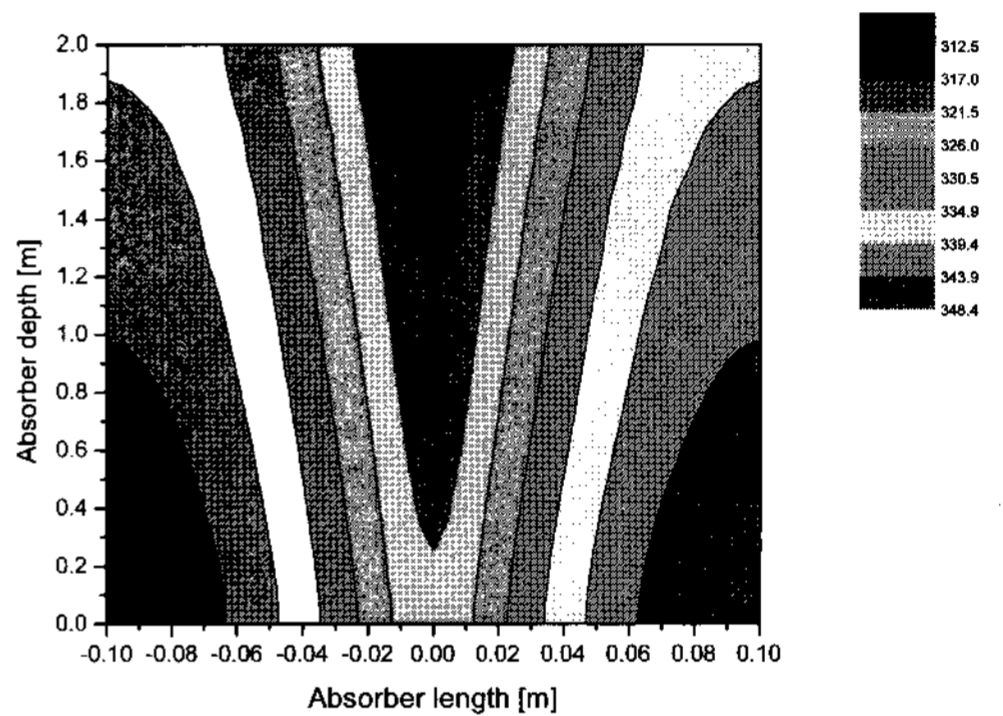


그림 7. 지관 Re수 800에서의 흡수판 온도 분포

그림들에서 0의 위치는 흡수판에 부착된 지관의 센터라인의 위치를 나타낸다. 따라서, 앞서 언급한 바와 같이 흡수판은 좌우로 동일하게 0.1 m의 길이를 가지고 있다.

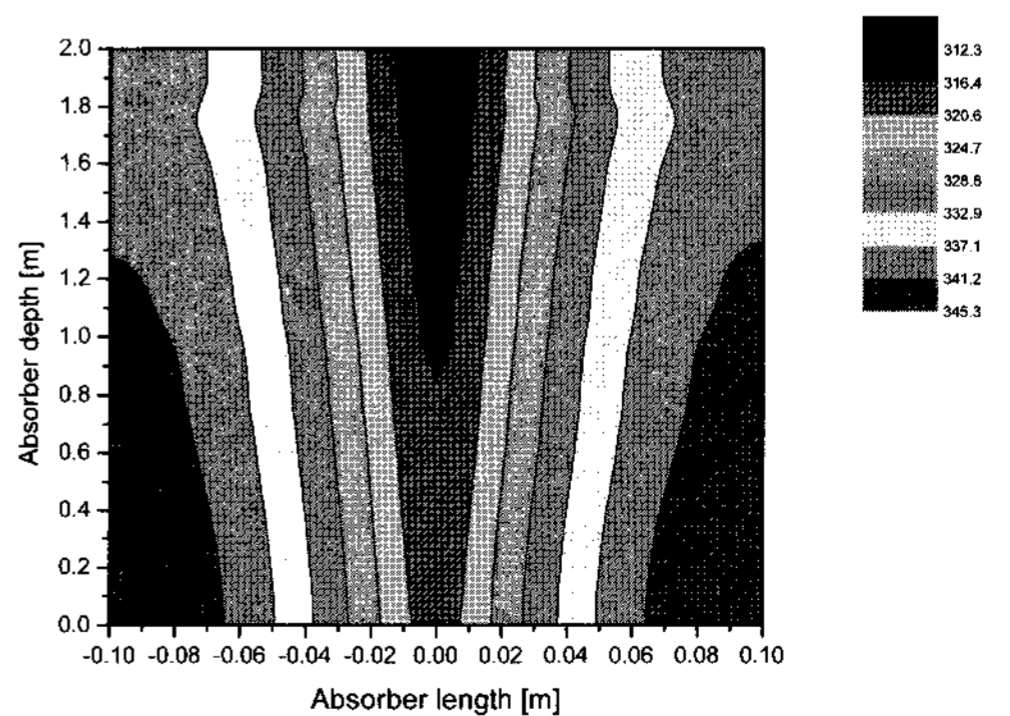


그림 8. 지관 Re수 1200에서의 흡수판 온도 분포

그림들에서와 같이 지관 입구( $y=0$  m)에서의 Re수가 증가함에 따라서 지관 출구( $y=2$  m) 위치에서의 흡수판의 온도는 감소함을 알 수 있다. 다만, 입구 위치에서의 흡수판의 온도도 아주 조금씩 감소함을 보여주고 있다.

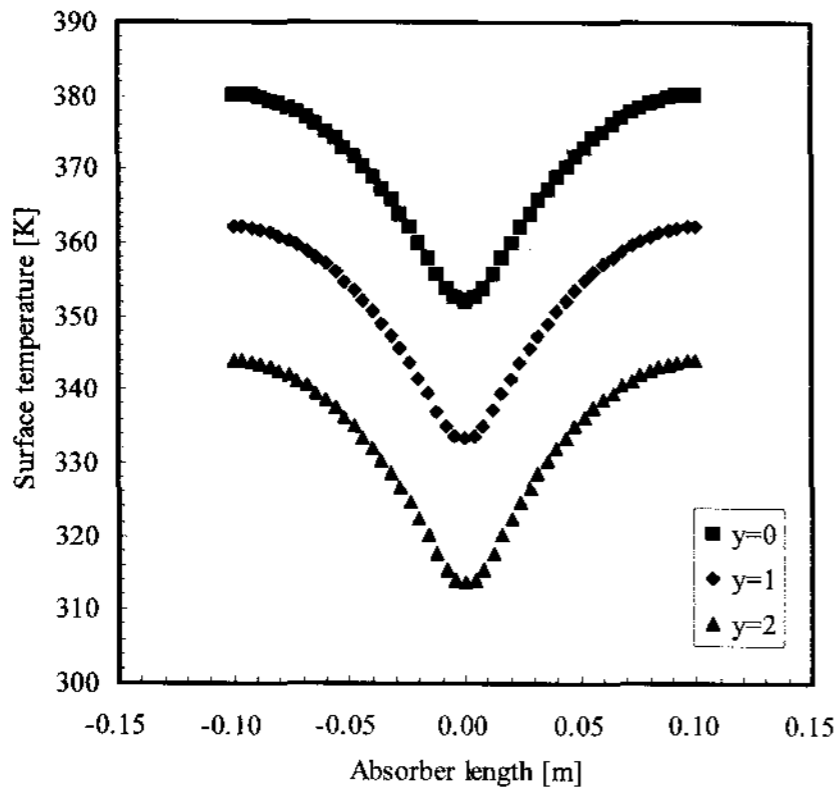


그림 9. 지관 Re수 200에서의 흡수판 표면 온도

이러한 계산 결과로부터 가장 열전달 효과가 크게 나타나는 부분의 길이는 흡수판의 온도구배가 가장 크게 나타나는 부분까지로서 나타낼 수 있을 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 Re수 200과 1200에 대하여 세 위치에서의 길이에 따른 온도구배를 계산하였고, 이를 그림 9에서 그림 14까지 나타내었다.

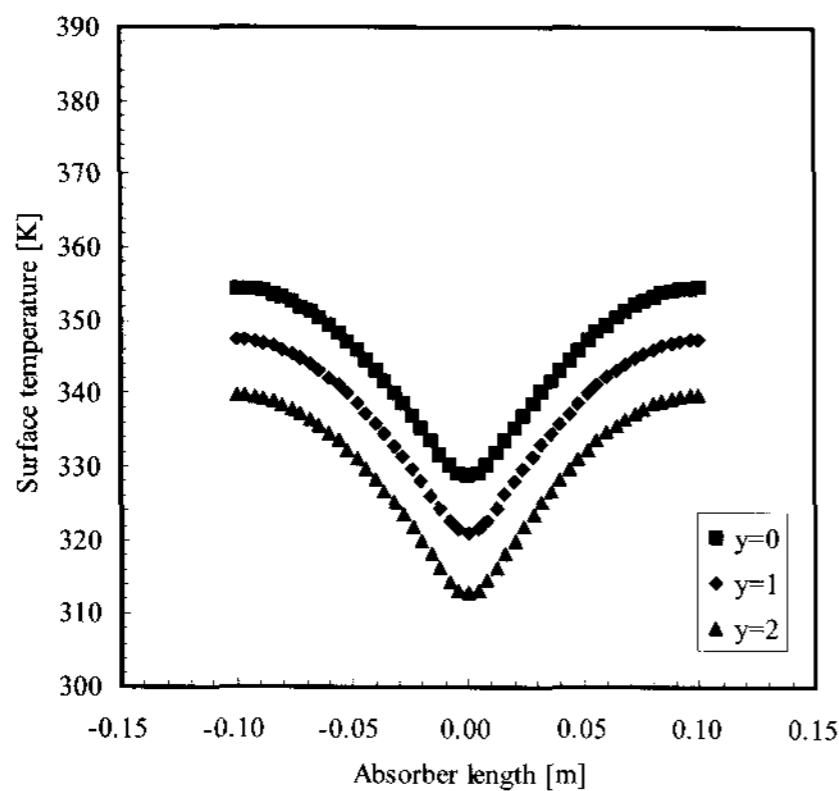


그림 10. 지관 Re수 500에서의 흡수판 표면 온도

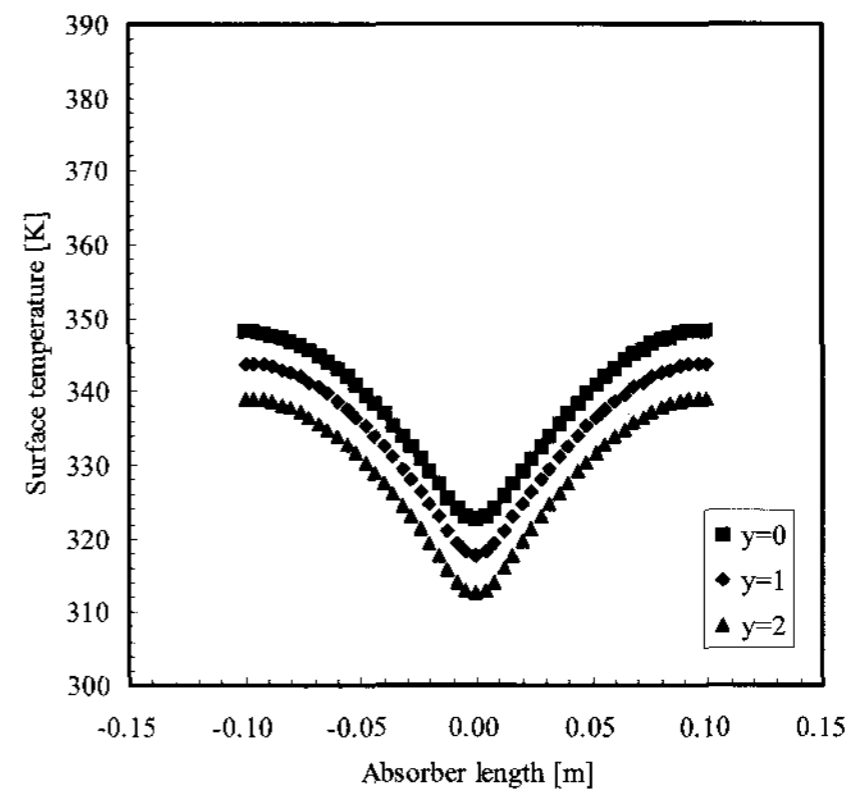


그림 11. 지관 Re수 800에서의 흡수판 표면 온도

그림 13과 그림 14에서와 같이 온도 구배가 제일 크게 나타나는 위치는 양쪽으로 약 0.012 m(12 cm) 까지 인 것으로 나타난다.

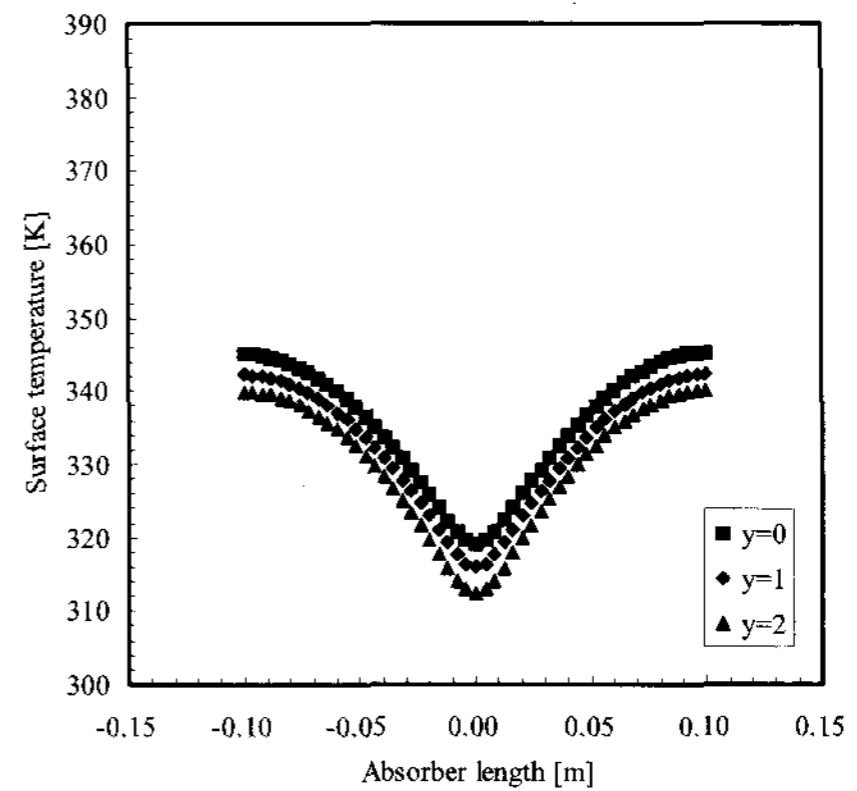


그림 12. 지관 Re수 1200에서의 흡수판 표면 온도

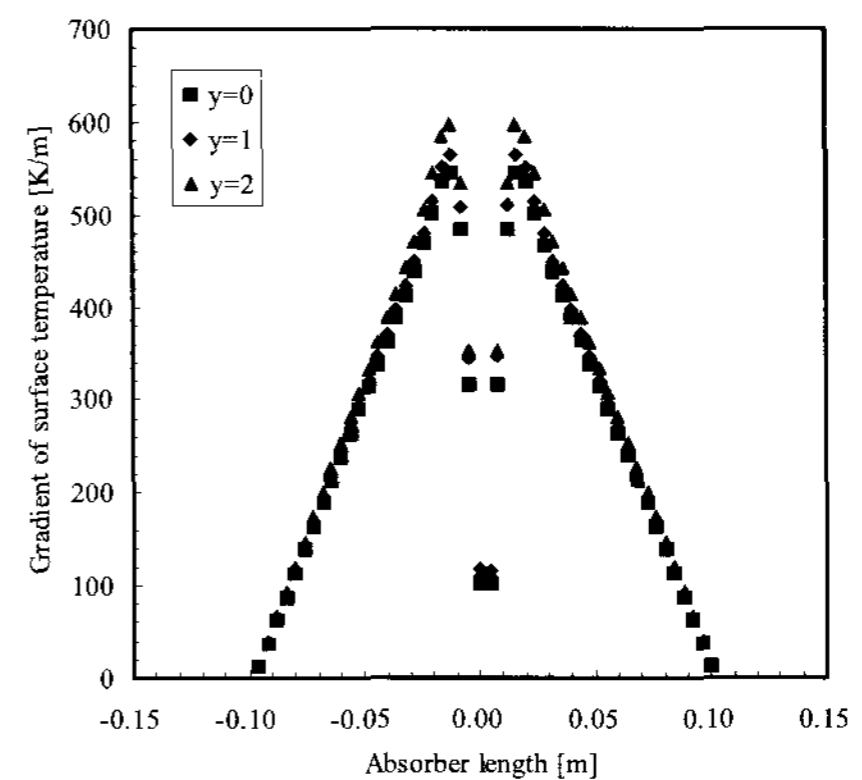


그림 13. 지관 Re수 200에서의 흡수판 표면 온도 구배

이러한 결과로부터 기존의 가로 1 m, 세로 2 m 로 2 m<sup>2</sup> 크기를 가지는 평판형 집열기의 지관수가 일반적으로 10개 정도이고, 이러한 배치에서 지관 사이의 거리가 약 10 cm 인 것을 고려하면 평판형 집열기의 설계는 아주 높은 열전달 특성을 고려하여 설계된 것임을 알 수 있다.

또한, 온도구배가 Re수가 낮을수록 커짐을 알 수 있는데, 이는 평판형 집열기의 열전달 특성상 낮은 Re수에서 높은 온도를 집열하고자 하는 것과 일치하는 것이다.

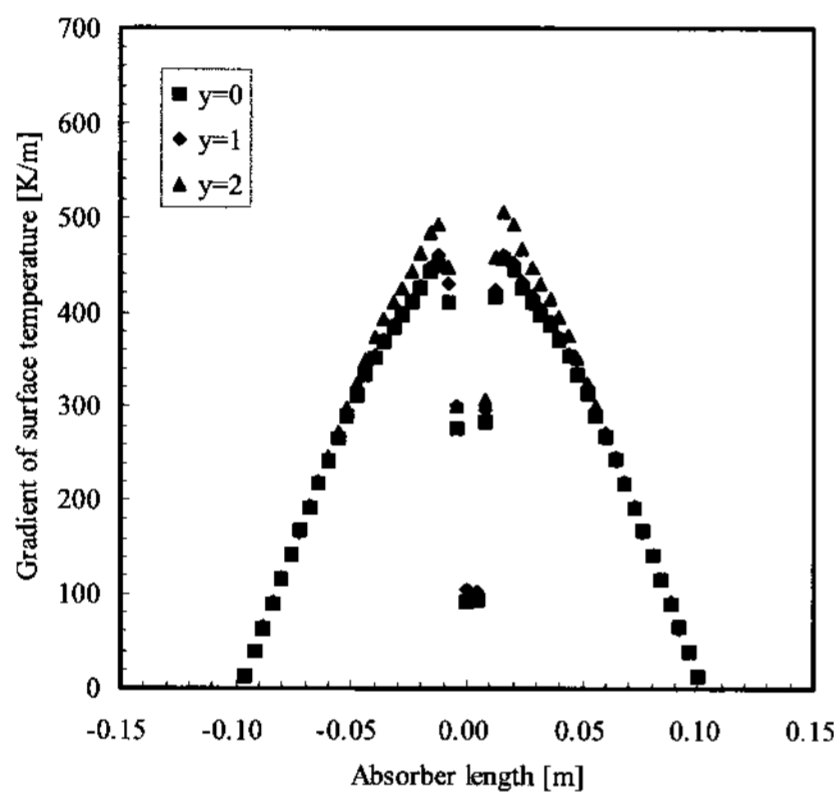


그림 14. 지관 Re수 1200에서의 흡수판 표면 온도 구배

#### 4. 결론

단일 지관에 부착된 0.2 m × 2 m의 흡수판을 고려하여 효과적인 열전달 특성을 가지는 길이를 제시하기 위하여 이론적인 해석을 수행하였다.

이를 위하여 유동 및 열전달 특성을 상용 코드인 FLUENT를 이용하여 계산하고 그 결과를 다음과 같이 정리하였다.

(1) 효과적인 열전달 특성을 가지는 흡수판의 길

이를 제시하기 위해 상용코드를 이용하여 단일 지관에 부착된 0.2 m × 2 m의 흡수판을 모델링하여 레이놀즈 수가 200~1200인 범위에서 이론적인 해석을 수행하였다.

(2) 단일 지관에서 Re수에 따른 열전달 효과가 높은 유효 길이는 양쪽으로 약 12 cm 정도인 것으로 나타났고, 이러한 길이로부터 기존의 평판형 집열기에 적용되고 있는 단일 흡수판인 경우에는 지관의 간격 (혹은 각 지관별 독립 흡수판인 경우에는 흡수판 길이)은 매우 우수하게 설계된 것임을 알 수 있었다. 다만, 다지관을 가지는 실제 시스템에 대하여 계산과 실험의 추가적인 연구가 필요하다.

#### 후 기

본 연구는 에너지관리공단의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호:2006-N-SO02-P-02-0000)

#### 참 고 문 헌

1. 지명국, 정효민, 정한식, 이철재, 지관 형상에 따른 평판형 태양열 집열기의 최적설계, 공기조화 냉동공학회 2000 동계 학술발표회 논문집, pp.675-681
2. 고동국, 윤석주, 평판형 집열기를 이용한 덕트 내부 유동 해석, 공기조화 냉동공학회 2000 동계 학술발표회 논문집, pp.280-284
3. 조덕기 외, 한반도 태양에너지 자원의 분석, 평가 및 데이터 신뢰성 향상 연구, 산업자원부 보고서, 2006