

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 3, 2007

평판형 집열기의 지관수에 따른 유동특성에 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 the Flow Characteristics of Flat-Plate Solar Collector with Riser Number

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 flow characteristics at the risers of Flat-plate solar collector for optimum design. For flat-plate solar collector, it is difficult to experimentally study the effect for the number of riser in the collector for the economic problem. So, this study was performed to show the flow characteristics of flat-plate solar collector with the number of riser using commercial code FLUENT 6.0. The base collector size is chosen with 2 m^2 as 1m by 2m in this study, the mass flow rate was estimated 0.04 kg/s using the mass flow rate of 0.02 kg/s per collector area for the certificate test. The number of riser is selected 4, 6, 8, 10, 12, and 14. Through the simulation, the conditions with the risers of 10 or 12 is shown as the optimum design conditions for conventional flat-plate solar collector considering lower pressure drop and more uniformly distributed mass flow rate for higher heat transfer rate without considering heat transfer.

Keywords : 평판형 집열기(Flat-plate solar collector), 지관(Riser), 지관수(Number of riser)
상용코드(FLUENT), 유동특성(Flow characteristics)

접수일자 : 2007년 8월 7일, 심사완료일자 : 2007년 9월 19일

교신저자 : 김정배(doctorkjb@kier.re.kr)

기 호 설 명

ΔP : 압력차 (Pa)

1. 서 론

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

지명국 등¹⁾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. 다만 단순히 열전달량만을 측정하여 좀 더 집열기의 최적 설계를 위한 결과를 제시하지 못하고 있다. 고동국 등²⁾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 한다. 주관과 지관의 크기를 결정하기 위해 주관과 지관의 크기, 지관의 수, 그리고 유량에 따라 일일이 계산을 수행하여 크기를 결정하는 것은 상당한 노력을 필요로 한다. 따라서, 주관과 지관의 크기는 상용품으로 생산되고 판매되고 있는 동관의 크기와 제조원가를 고려하여 선정하는 것이 바람직하다. 이렇게 크기가 결정되고 나면 지관의 숫자를 결정하여야 한다. 이를 위해 실험적으로 일일이 집열기를 제작하여 성

능평가 실험을 통하여 최적 조건을 도출하는 것은 시간적인 면이나 경제적인 면에서 불합리하다. 또한 집열기의 생산공정에 대한 체계화 및 자동화가 이루어져 있지 않아 다양한 변수들에 대한 세밀한 실험을 수행하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다.

또한, 집열기 면적을 일정하게 유지하면서(주관 입구의 유량이 고정) 지관의 수에 따라서, 각 지관에서의 유량의 분배와 압력손실 등에 대한 해석을 통해서 집열기의 유로 구조에 대한 연구가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서와 같이 FLUENT와 같은 상용코드를 이용하여 해석하여 최적의 유로조건을 도출할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 이를 위하여 집열기의 크기는 약 2 m²로 현재 국내에서 생산 중인 집열기에 널리 적용되고 있는 집열기 크기를 선정하였고, 주관은 25A로, 그리고 지관은 8A 크기의 동관으로 선택하였다. 고려한 지관의 수는 4, 6, 8, 10, 12 및 14개 이었고, 모든 계산 조건에서 입구 주관에서의 유량은 동일하게 집열기 성능 실험시 적용되는 집열기 단위면적 당 0.02 kg/s 로부터 얻어진 0.04 kg/s(유량 : 1G)로 고정하였다. 또한 유량의 효과(Re수)를 분석하기 위하여 기준 유량을 1.0G(0.04 kg/s)로 하여, 0.5G와 1.5G에 대해서도 계산을 수행하여 이의 결과를 정리하였다.

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. 현재 국내에서 생산되는 평판형 태양열 집열기의 크기는 약 2 m²(1.0 m × 2.0 m)로, 주관은 25A로, 그리고 지관은 8A 크기의 동관을 적용하고 있다.

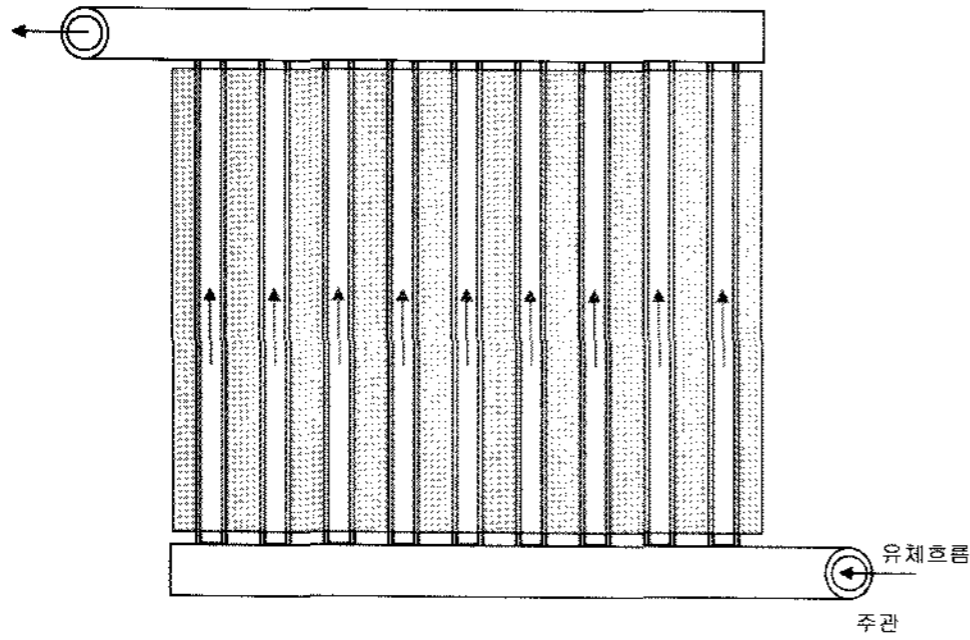


그림 1. 평판형 집열기 집열구조

3. 유동 해석

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

3.1 유동 해석 방법

집열기의 유로 구조를 해석하기 위하여 집열기에서의 열전달은 고려하지 않고 연속방정식과 운동량 방정식만을 풀게 되는데, 2차원으로 그림 2와 같은 해석 영역을 설정하였다. 해석 영역의 Grid는 1 mm 간격의 노드를 가지는 사각형 격자를 이용하여 설정하였고, 노드의 수는 245880개이었다.

해석은 2차원 정상상태 유동으로 가정하고 운동량 방정식을 풀기 위해 Re수를 고려하면 층류유동 모델을 적용하여야 하지만, 다지관을 가진 유로에서의 유동의 해석을 위해서는 경우에는 난류 모델도 적용가능하므로 본 계산에서는 k-ε의 RNG 모델을 이용하였다. 입구 속도조건은 유량에 해당하는 속도로 균일속도장으로 고려하였다. 난류 모델을 위한 입구 경계조건은 난류강도와 수력직경의 조건으로, 난류강도는 정확한 입구조건에서의 난류강도를 정확히 평가할 수 없는 경우에 FLUENT에서 추천하는 10%로 하고, 수력직경은 관 크기로 지정하였다.

해의 수렴을 위한 에러 수렴 조건은 모두 10^{-3} 승

의 값으로 지정하여 계산을 수행하였다.

입구 경계조건은 각 유량에 해당하는 속도로 균일하게, 출구 경계조건은 outflow 조건으로 지정하였다.

그림 2에서 보듯이 왼편 아래쪽이 유로의 입구이고, 오른편 위쪽이 출구이다. 적용된 유체는 집열기 열매체로 널리 이용되고 있는 물이다.

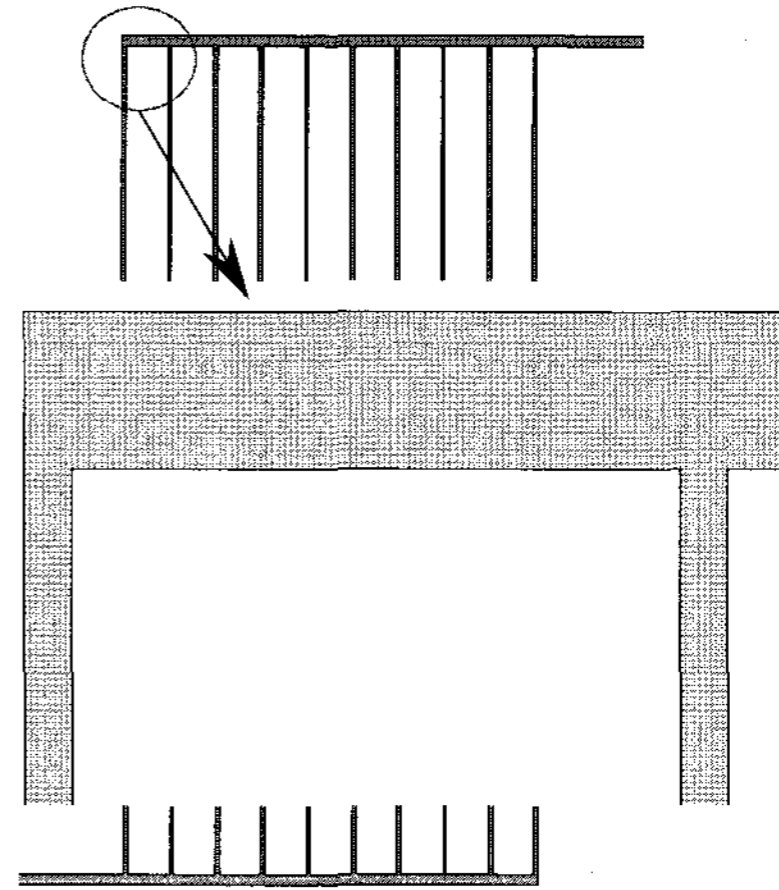


그림 2. 해석을 위한 2m² 크기의 집열기 형상 및 Mesh

3.2 유동 해석 결과

(1) 지관수에 따른 유동특성

본 연구에서 적용한 지관의 수에 따른 입구와 출구사이에서의 압력손실 특성은 그림 3과 같다. 0.5G, 1.0G, 및 1.5G 모두에서 지관수가 12개인 경우에 가장 낮은 압력손실을 나타낸다. 계산에 적용된 모든 지관수에 대하여 동일한 입구 유량을 고려하게 되므로, 지관수가 증가하여도 입구 주관에서의 Re수는 변화가 없지만 지관수가 증가함에 따라 각 지관으로의 유량은 감소하게 되고, 이에 따라 Re수도 감소하게 된다. 이렇게 각 지관에서의 Re수가 감소하게 되면 압력손실이 감소하지만, 지관수의 증가로 인하여 유동길이가 증가되는 것 때문이다. 따라서 지관수가 12개까지는 압력손실이 감소하다, 14개 정도가 되면 12개에 비하여 Re수는 조금 감소하지만 유동길이의 증가로

인하여 압력손실이 증가하게 된다. (그림 4의 지관수에 따른 지관 최대 Re수 그래프 참조)

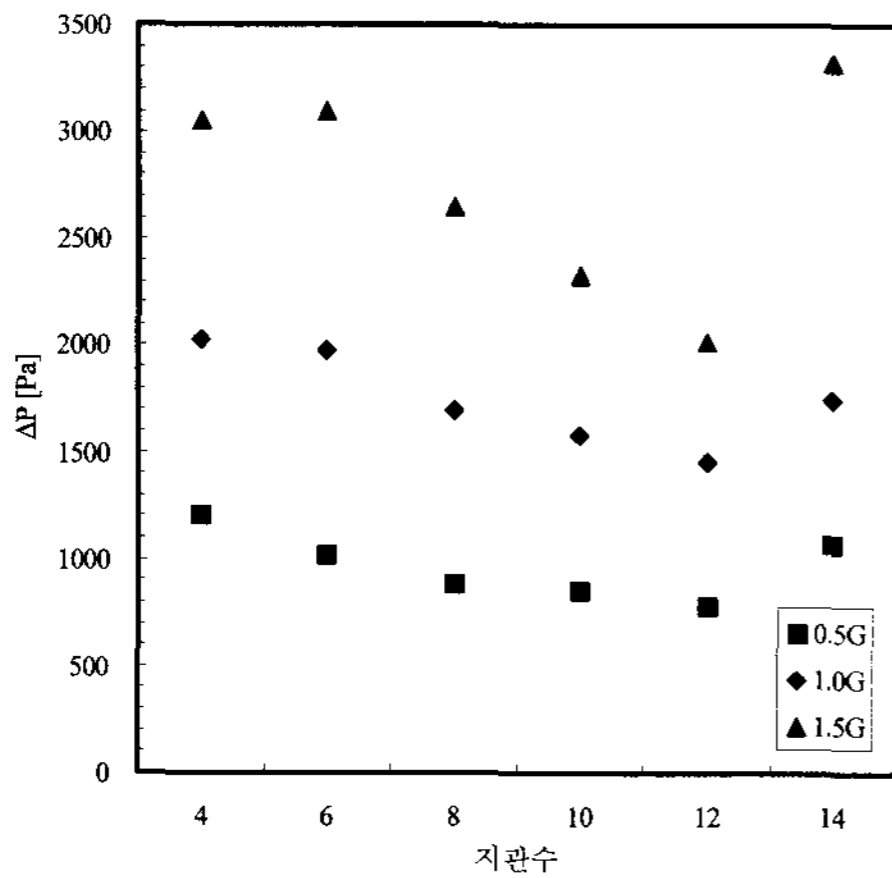


그림 3. 지관수에 따른 집열기 입출구 압력손실

지관수에 따른 지관별 유량 분포는 그림 5와 같이 지관수가 증가함에 따라 평균적인 값은 감소한다. 그리고 지관수가 증가함에 따라 평균 유량에 대한 산포는 증가함을 알 수 있다. 4개인 경우는 25.0%±2.0%, 6개인 경우는 16.7%±2.3%, 8개인 경우는 12.5%±2.5%, 10개인 경우는 10.0%±2.7%, 12개인 경우는 8.3%±2.7%, 14개인 경우는 7.1%±2.9%이었다.

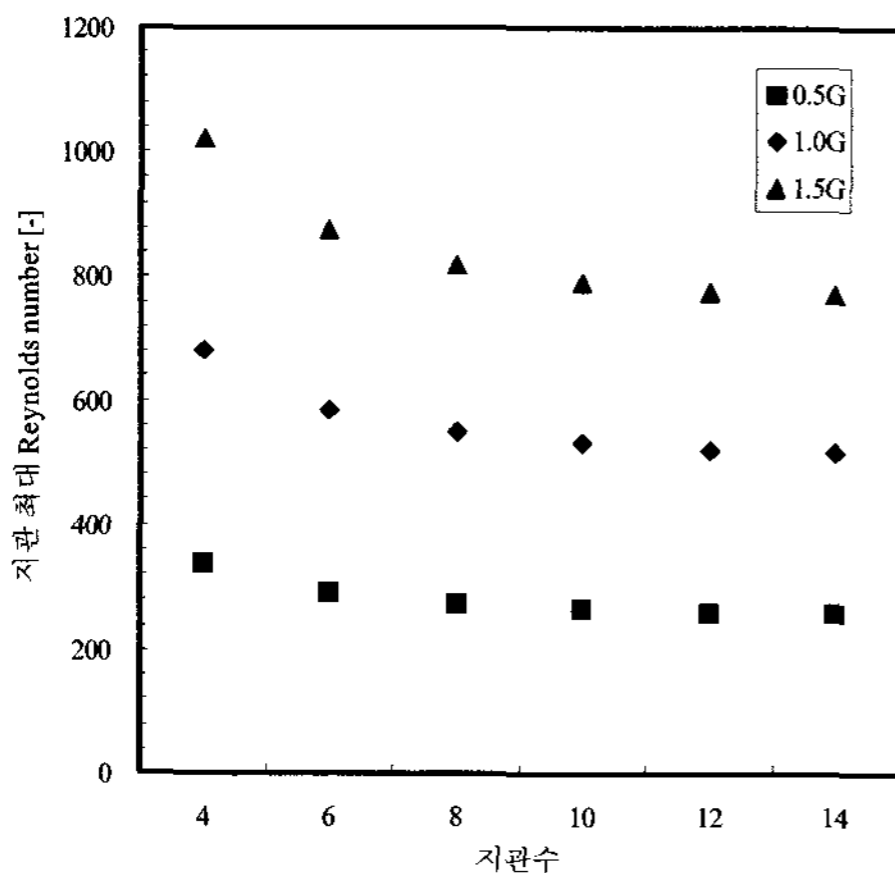


그림 4. 지관수에 따른 지관 최대 Re수

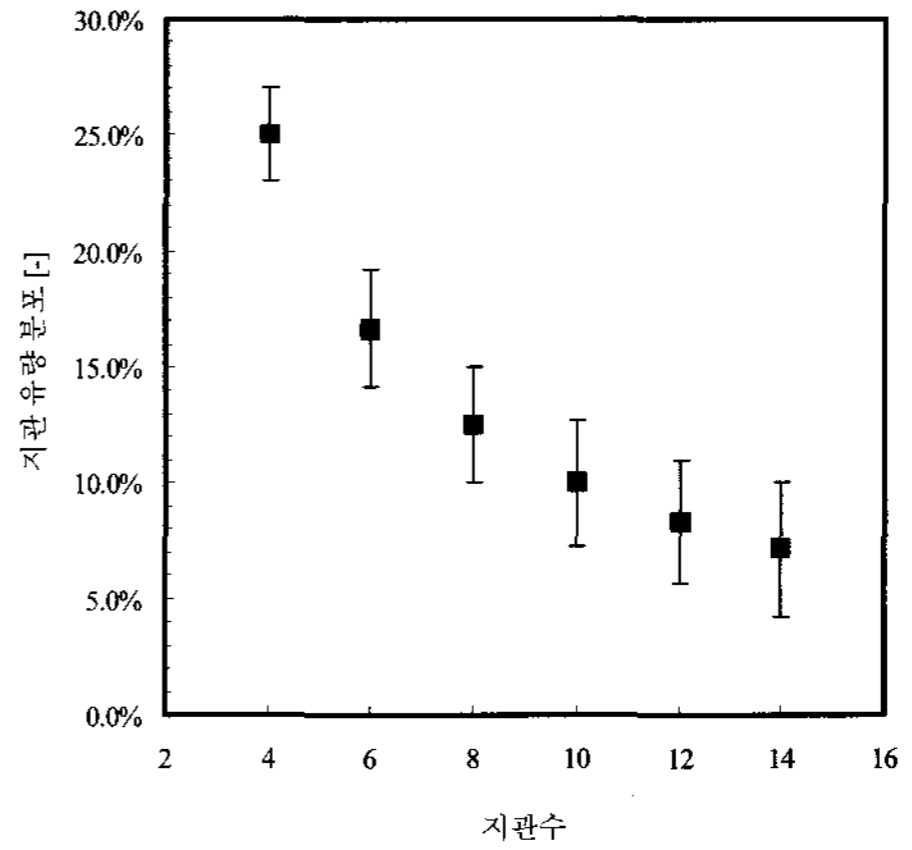


그림 5. 지관수에 따른 지관 유량 분포

따라서, 상용 평판형 집열기 크기에서의 최적 지관수는 펌프의 용량 선정을 고려할 때 10에서 12개 정도인 것으로 나타났다. 이러한 지관수는 현재 상용품에서 가장 널리 적용하고 있는 개수이기도 하다.

(2) 각 지관수별 유동특성

각 지관수별로 유동특성을 나타내기 위하여 원편 입구에서부터 번호를 Rn과 같이 하여, 지관이 4개인 경우에는 R1, R2, R3, 및 R4로 지정하였다.

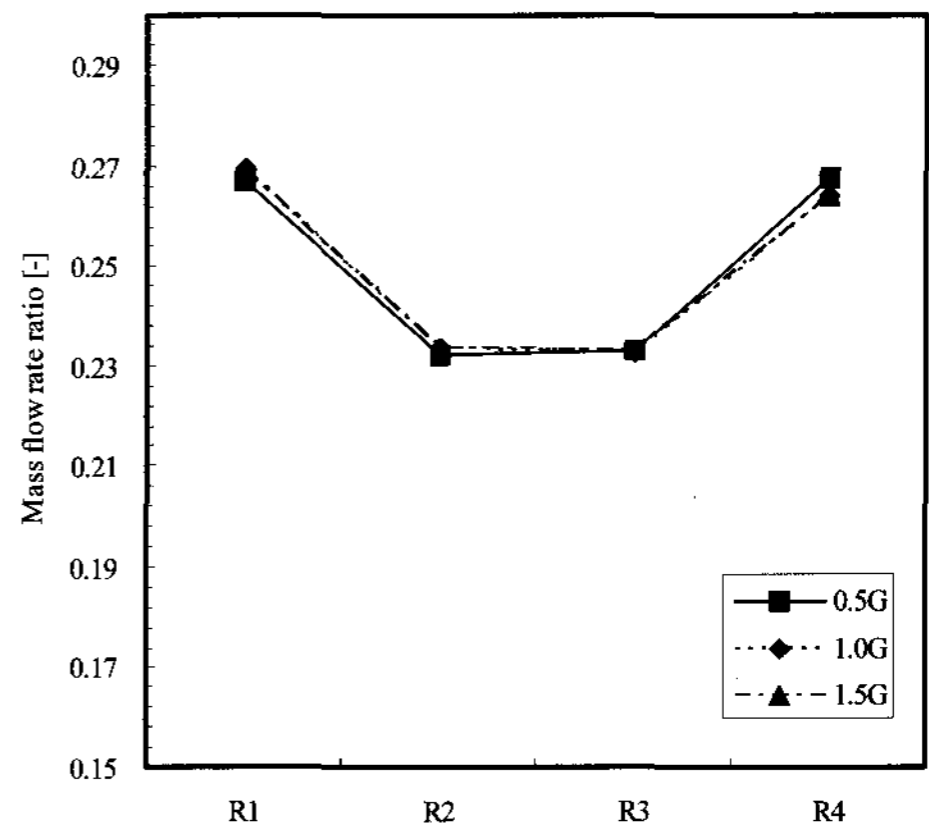


그림 6. 4개 지관수에서의 지관별 유량 분포

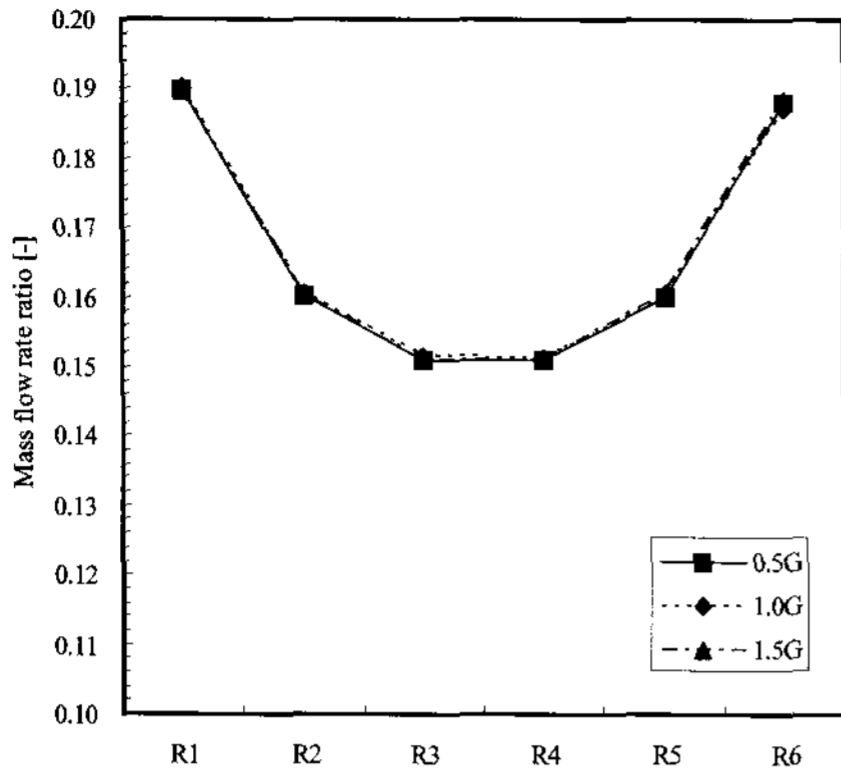


그림 7. 6개 지관수에서의 지관별 유량 분포

지관수가 4, 6, 8, 10, 12, 및 14개인 경우에 각 지관별 유량 분포는 그림 6, 7, 8, 9, 10, 및 그림 11과 같이 나타났다.

각 지관별 유량 분포는 지관 중에서 가운데 지관에서 유량이 최소이고, 좌우 대칭의 형태를 가지고 있음을 알 수 있다. 이러한 특성은 각 지관에서 입출구에서의 압력 분포에 의해 결정되어 지는 것이다.

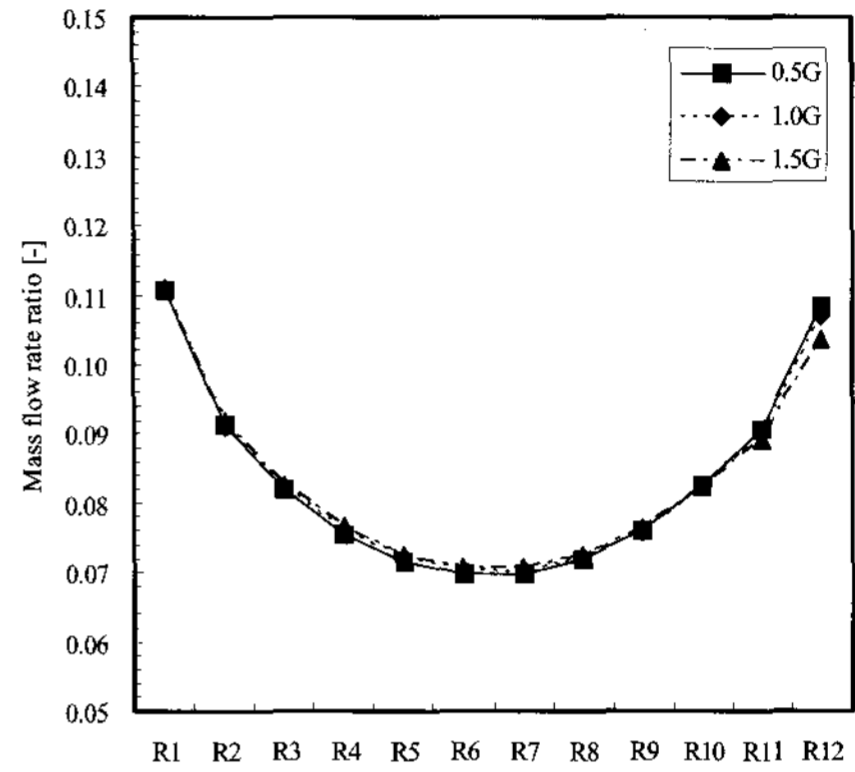


그림 10. 12개 지관수에서의 지관별 유량 분포

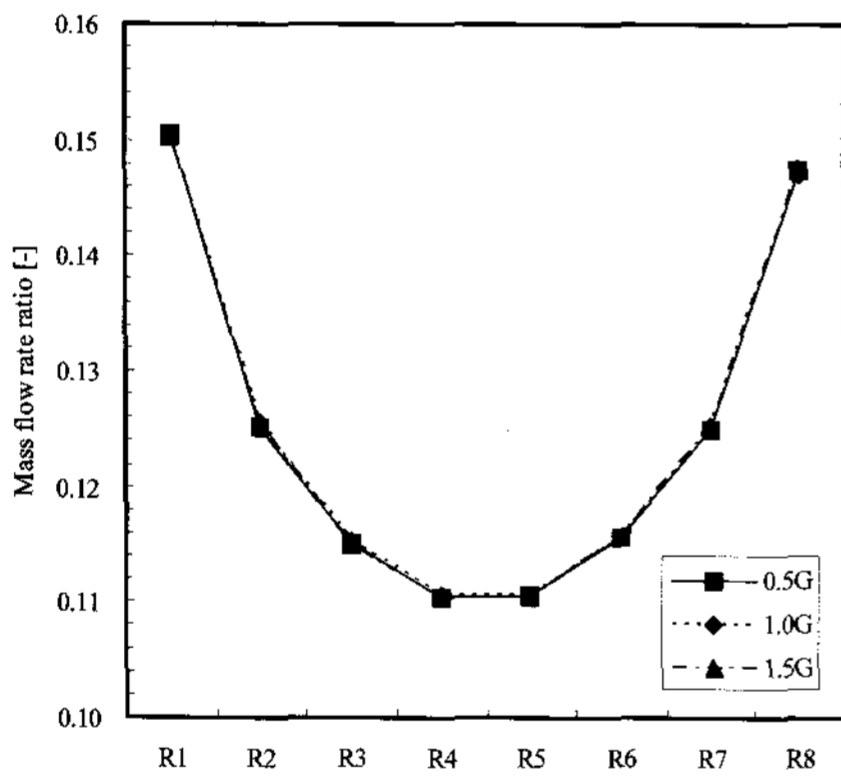


그림 8. 8개 지관수에서의 지관별 유량 분포

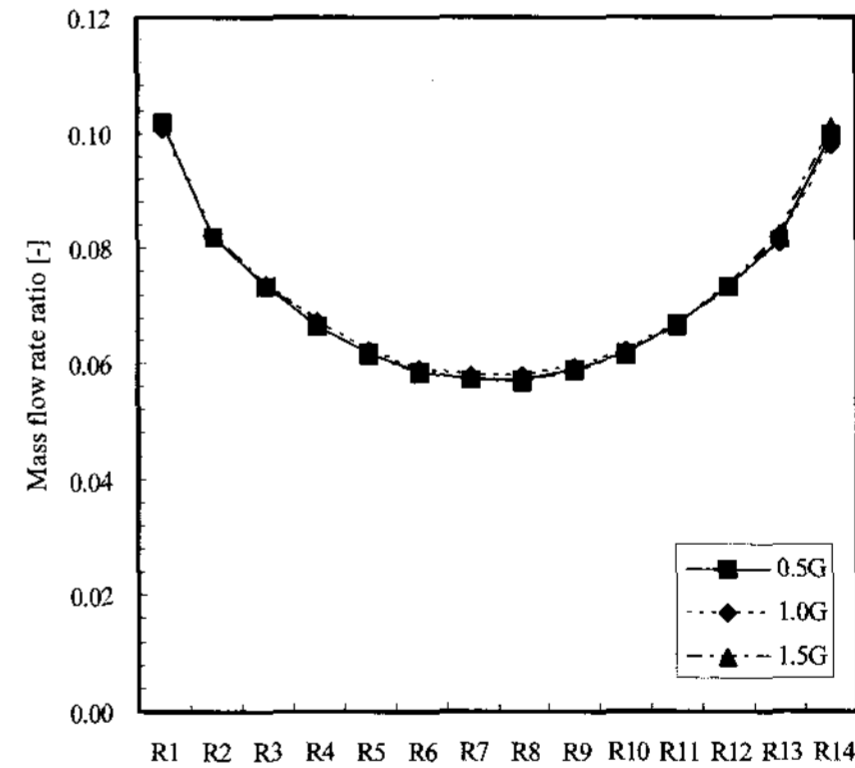


그림 11. 14개 지관수에서의 지관별 유량 분포

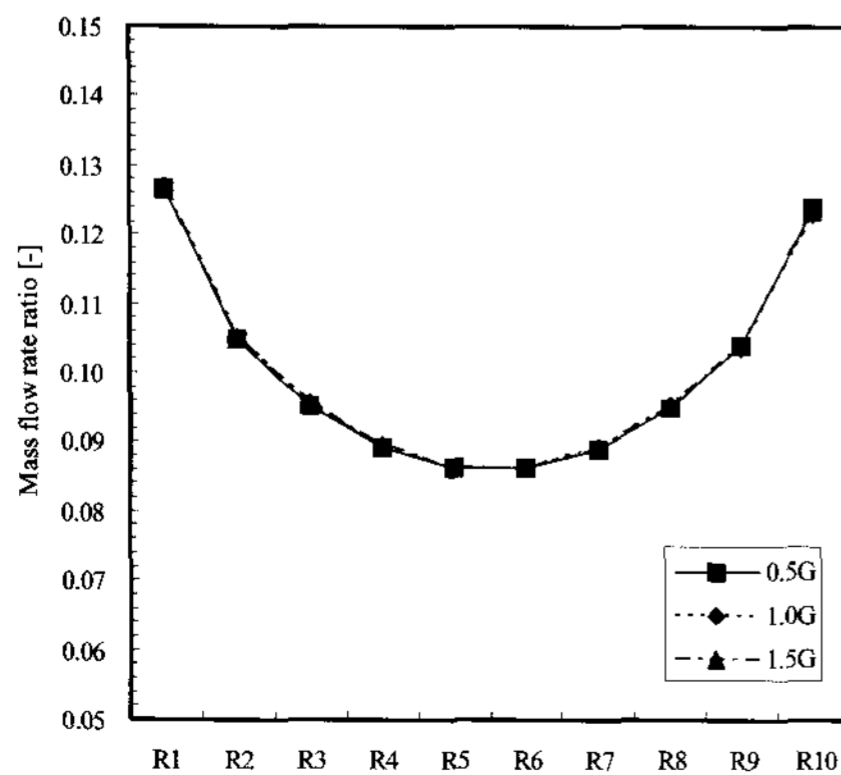


그림 9. 10개 지관수에서의 지관별 유량 분포

그림 12에서와 같이 지관수가 10개인 경우에, 각 유량별로 지관에서 압력분포는 입구에서 가장 가까운 지관에서 입출구 압력차가 제일 크게 나타나고, 입구에서 멀어질수록 압력강하에 의하여 입구압력과 출구압력이 감소하면서 입출구 압력차는 점점 줄어들다 다시 증가하게 된다. 마지막 출구에 가장 가까운 지관에서 다시 지관 입출

구 압력차가 제일 크게 나타난다.

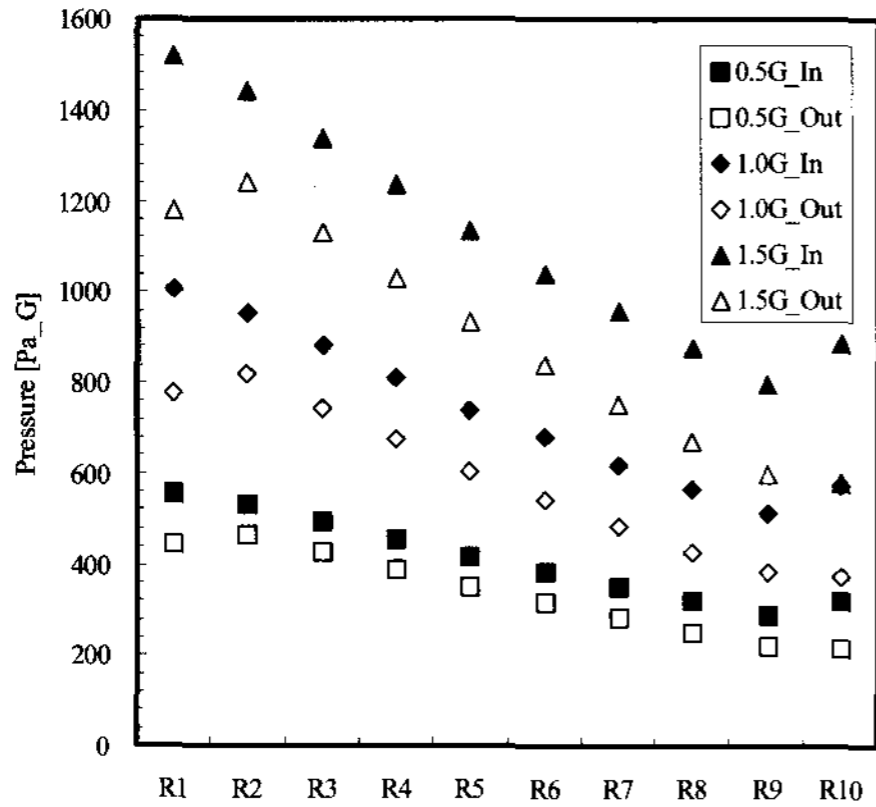


그림 12. 10개 지관수에서의 지관별 입출구 압력분포

이러한 압력 분포특성은 참고문헌 4의 결과와 아주 유사함을 알 수 있다. 다만 본 연구의 결과가 그림 6~11까지와 같이 대칭적인 유동특성으로 나타나는 것은 열전달을 고려하지 않은 것에 기인한다. 열전달을 고려하게 되면 각 지관별로 유량에 따라 온도분포가 변화하게 되고 이에 유체의 밀도가 변화하여 각 지관별 유량분포가 계산에서와 같이 대칭적인 구조를 나타내기 어려울 것이다.

4. 결론

상용품으로 생산중인 일반적인 크기를 가지는 평판형 집열기에서의 유동특성을 상용 코드인 FLUENT를 이용하여 계산하고 그 결과를 다음과 같이 정리하였다.

- (1) 동일한 태양열 집열기 크기에 의해 결정되는 동일한 유량에서 가장 적은 압력손실을 가지는 지관수가 열전달을 고려하지 않는 경우에

는 약 10에서 12개 정도인 것으로 제시되었다. 이러한 지관수는 기존 상용으로 제작되어 시판중인 집열기에서의 지관수와 매우 유사함을 알 수 있다.

- (2) 지관수와 유량에 따른 각 지관수별 지관 입출구에서의 압력분포를 이론적으로 계산하여 제시하였다. 이러한 이론적인 압력분포는 기존 연구의 결과와 잘 일치함을 알 수 있었다.
- (3) 평판형 태양열 집열기에서는 지관수별로 관계없이 열전달을 고려하지 않은 경우에는, 지관 중에서 가장 가운데에서 가장 적은 유량이 흐르며 이를 중심으로 하여 좌우로 증가하는 포물선 형태의 유량 분포를 나타내었다.

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. 조강래, 유정열, 강신영, 유체역학, 1994.
4. John A. Duffie and William A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, pp. 275, 1980.