

내부 공기 유동 변화를 통한 산업용 보일러의 성능 향상 방안에 관한 연구

A Study on the Enhancement of Industrial Boiler by Air Flow Control

오용희¹, 모용선², 정윤교¹, 조영태^{1,#}

Yong Hee Oh¹, Yong Seon Mo², Yoon Gyo Jung¹, and Young Tae Cho^{1,#}

¹ 창원대학교 기계공학부 (Department of Mechanical Engineering, Changwon National University)

² 엔디티 엔지니어링(주) (NDT Engineering & Aerospace, Co., Ltd.)

Corresponding Author / E-mail: ytcho@changwon.ac.kr, TEL: +82-55-275-6701, FAX: +82-55-275-0101

KEYWORDS: Double-pipe boiler (이중관보일러), Boiler (보일러), Simulation (해석), Baffle (차단막)

Industrial boilers are used in numerous fields, and heat efficiency enhancement is a major topic of study. A double-pipe boiler is a simply structured industrial boiler having a high thermal efficiency. Baffles are specially installed in the double-pipe boiler for increasing the heating time. The baffles determine the heat efficiency of the double-pipe boiler. However, it is theoretically difficult to design a baffle and locate its optimal position, solely by considering the fluid flow of heated air, and the heat exchange between water and heated air. To confirm the correct positioning of baffles, fluid flow and heat transfer simulations were conducted on the boiler. Our results showed that at some points, there was insufficient circulation of heated air. To overcome this problem, baffles were added at these points, by referring to the simulation results. The changing of baffles resulted in an increase in efficiency of heat transfer in the double-pipe boiler.

Manuscript received: August 25, 2016 / Revised: April 23, 2017 / Accepted: June 15, 2017

1. 서론

다양한 산업 분야에 보일러가 사용되고 있으며 산업에 사용되고 있는 보일러의 효율을 높이는 것은 경제적으로 매우 중요한 문제이다. 산업용 보일러에서의 고 효율화 기술이란 손실열의 발생을 억제하여 에너지를 절약하는 시스템을 구현하는 것이다. 산업용 보일러 장치의 효율은 외부온도와 내부온도의 차이, 물질에 따른 열전도 계수 등 변수가 많아 이를 실제 제작을 통하여 효율을 측정하였을 때 이론 값보다 낮아 문제가 되는 경우가 있다. 열 전달 및 유동 해석을 통하여 위와 같은 문제를 해결하고 결과물을 바탕으로 적절한 산업용 보일러를 설계 하고자 한다.^{1,2}

이중관식 열 교환기에서는 효율적인 폐공기의 순환을 위해 내부 공기 유동을 제어할 수 있는 차단막이 설치되어 있다. 차단막의 위치에 따라 폐공기의 내부 가열시간이 변화하게 되기 때문에 보일러의 성능향상을 위해서는 적절하게 차단막을 설치하여야 한다. 하지만, 차단막의 위치에 대한 판단기준이 정확하지 않고

검증이 힘든 상황이다. 따라서, 이중관 보일러 내부의 열-유동을 정확한 예측을 하기 위해서는 해석을 통한 설계검증이 필요하다.^{3,4} 따라서, 본 연구에서는 열-유동 해석을 실시하고 그 결과를 토대로 이중관 산업용 보일러의 효율을 향상시키는 차단막의 개수와 위치를 결정하였다.^{5,6}

2. 기존의 단순 차단막 구조 시뮬레이션

2.1 이중관 보일러의 정의 및 모델링

다양한 종류의 산업용 보일러 중 Fig. 1 과 같은 이중관 보일러에 대해 연구하였다. 이중관 보일러는 외관 속에 전열관을 동심원 상태로 삽입하여 전열관내 및 외관동체의 환상부에 각각 유체를 흘려서 열 교환시키는 구조이다.

Fig. 2는 이중관 보일러 해석의 기초모델이다.⁷ 이 기본모델은 실제 존재하는 제품을 바탕으로 모델링 하였으며, 하나의 파이프

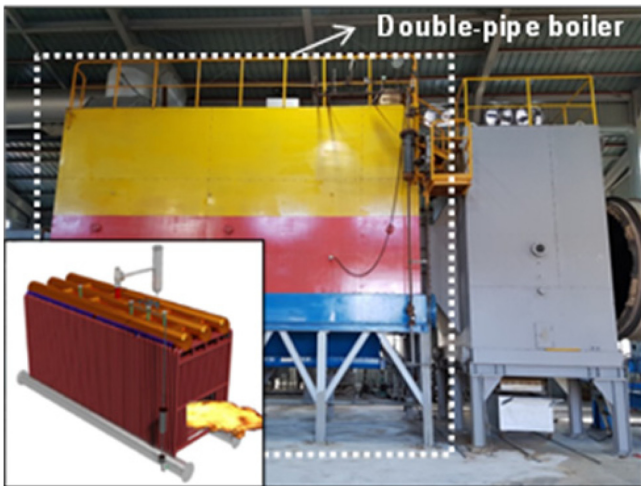


Fig. 1 Double-Pipe boiler for industrial application

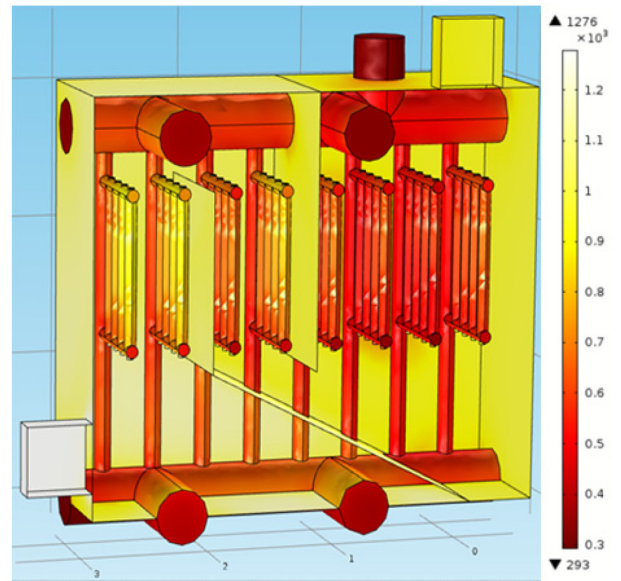


Fig. 3 Temperature distribution of double-pipe boiler having 2 baffles (Basic model)

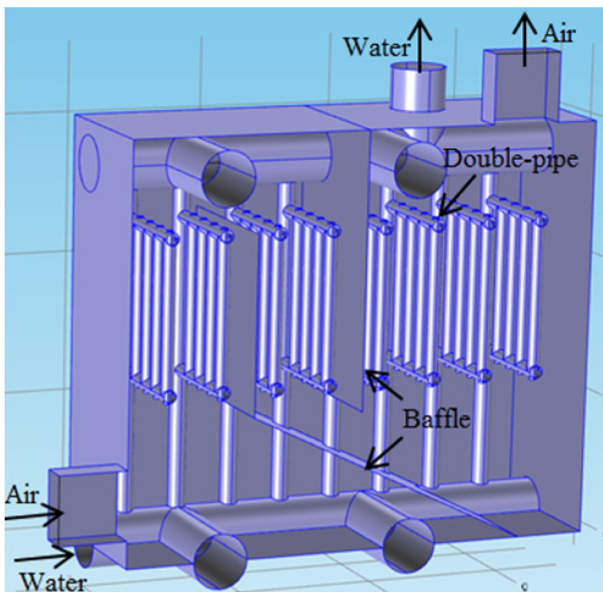


Fig. 2 Basic design of double-pipe boiler

라인에 8개의 이중관 파이프가 연결되어 있는 구조이다. 폐공기에 의한 가열시간을 증가시키기 위해 2개의 차단막이 설치되어 있다. 크기는 폭 5 m, 너비 3.5 m, 높이는 3 m이다. 또한, 파이프의 재질은 구조용강이며 두께는 5 mm 이다. 이는 프로그램에서 제공하는 기능을 사용하여 모델링을 하지 않았으며 계산상으로부터만 고려하였다.

2.2 지배방정식 및 경계조건

해석에는 열전달 및 유체 유동을 모두 고려하였으며, COMSOL Multiphysics 5.1 소프트웨어를 활용하였다.

유동 해석에 사용된 지배방정식은 식(1)과 같다. 초기조건으로 가열된 공기의 입열온도 1273 K 이며, 그 속도는 3 m/s 이다. 물은 상온이며 시간당 10 t의 물을 급수하도록 설정하였다.

$$\rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot [-pI + (\mu + \mu_T)(\nabla u + (\nabla u)^T - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot u)I - \frac{2}{3}\rho k l)] + F \tag{1}$$

p 는 압력, u 는 속도, μ 는 동점성계수, k 는 난류운동에너지, l 는 최대혼합길이다.

열 전달 해석에 사용된 지배방정식은 식(2)와 같다. 열 전달 해석은 파이프에서 발생하는 열전도와 유체에서 발생하는 대류 열전달을 모두 고려하였다. 이중관 보일러의 외곽은 모두 단열조건을 주었다.

$$\rho C_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \tag{2}$$

C_p 는 열용량, k 는 열전도도, Q 는 열원이다.

2.3 해석결과

Fig. 3은 온도 분포 결과이다. 1273 K의 가열된 공기가 유입되었고, 배출구면에서의 평균온도를 산출한 결과 1043 K의 공기가 배출되었다. 이 때, 가열된 공기의 열전달 효율은 식(3)으로 정의하였다.^{8,9}

$$\eta = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in}} \tag{3}$$

해석결과 이중관 보일러 단순 해석 모델의 열전달 효율은 0.23으로 계산되었다. 내부 온도 분포를 살펴보면 공기가 유입되는 앞쪽 부분의 파이프들이 뒤쪽의 파이프들보다 온도가 많이 상승되었는데, 이는 유입된 공기가 순환을 하면서 온도가 점점 내려가기 때문이다.

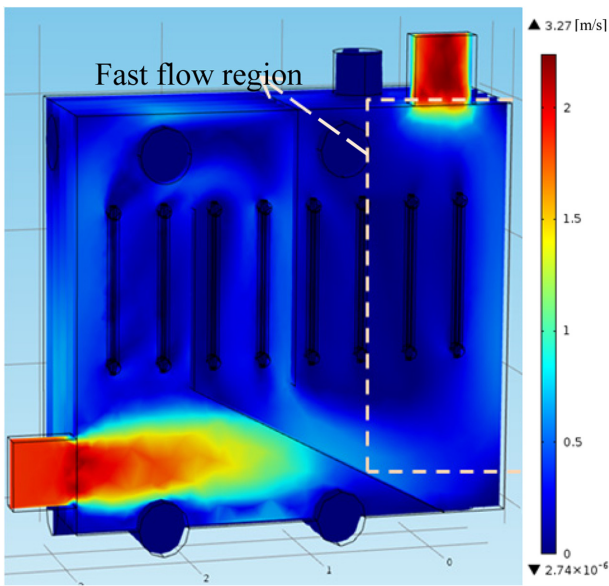


Fig. 4 Velocity distribution of double-pipe boiler of having 2 baffles (Basic model)

Fig. 4는 속도 분포 결과이다. 입구에서 빠른 속도로 가열된 공기가 유입되면 차단막에 의해 그림과 같이 내부순환이 이루어지게 된다. 특히, 그림에 표기된 영역을 보면 벽면을 타고 공기가 빠르게 밖으로 배출되는 것을 볼 수 있는데, 이 영역에서 충분한 열 교환을 하지 못하였다고 판단하였다. 그러하여 이 영역에 차단막을 추가한 해석을 수행하여 차단막의 설계를 진행하였다.

3. 차단막 배치 변화를 통한 효율 향상

3.1 차단막을 변화한 모델링

단순 차단막 모델에 대한 유동해석을 바탕으로 차단막을 추가적으로 설계하였다. Fig. 5(a)의 모델링 경우 앞서 해석한 단순 차단막 모델에 대한 유동해석을 바탕으로 수평한 차단막을 추가하여 설계하였다.

Fig. 5(b)의 모델링 역시 Fig. 5(a)의 해석 결과를 토대로 내부 공기의 흐름을 분석하여 유속이 빠르게 나타나는 곳에 차단막을 추가하였다. Fig. 5(c)도 마찬가지로 Fig. 5(b)의 결과를 참고하여 모델링을 하였다.

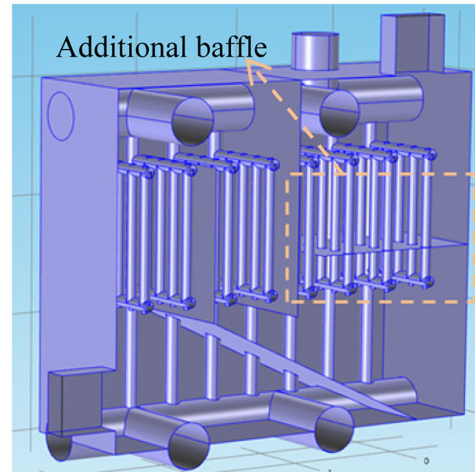
다른 변수조건에 의한 차이를 배제하기 위해 3가지 모델의 초기조건 및 경계조건은 단순 차단막 모델에서와 동일하게 하였다.

3.2 차단막을 변화한 모델의 유동 해석 결과

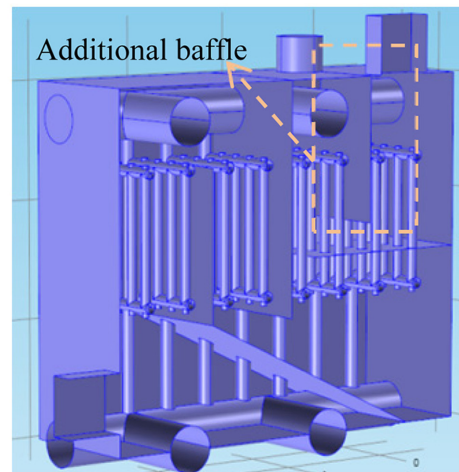
Fig. 6은 차단막을 추가한 모델에 대한 속도분포 결과이다. Figs. 6(a)와 6(b)에 표시된 영역은 빠른 유동속도로 인해 충분한 열 교환이 되지 않았다고 판단되는 영역이다. 차단막은 이러한 유동결과를 바탕으로 가열시간을 증가시킬 수 있는 위치에 추가하였다.

Table 1 Efficiency of heat transfer by number of baffles

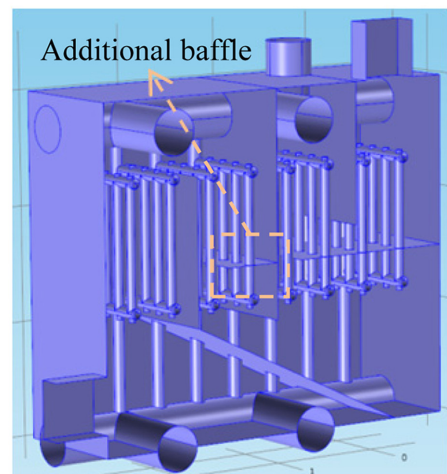
Number of baffles	2	3	4	5
Efficiency of heat transfer (η)	0.23	0.274	0.284	0.279



(a) 3 Baffles



(b) 4 Baffles



(c) 5 Baffles

Fig. 5 The modeling of modified double-pipe boiler

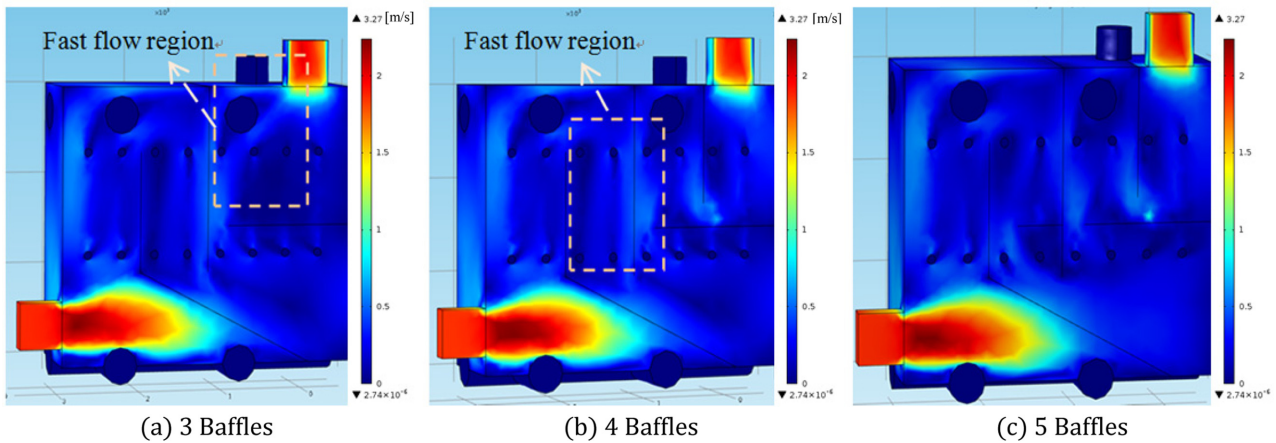


Fig. 6 Velocity distributions of modified double-pipe boiler

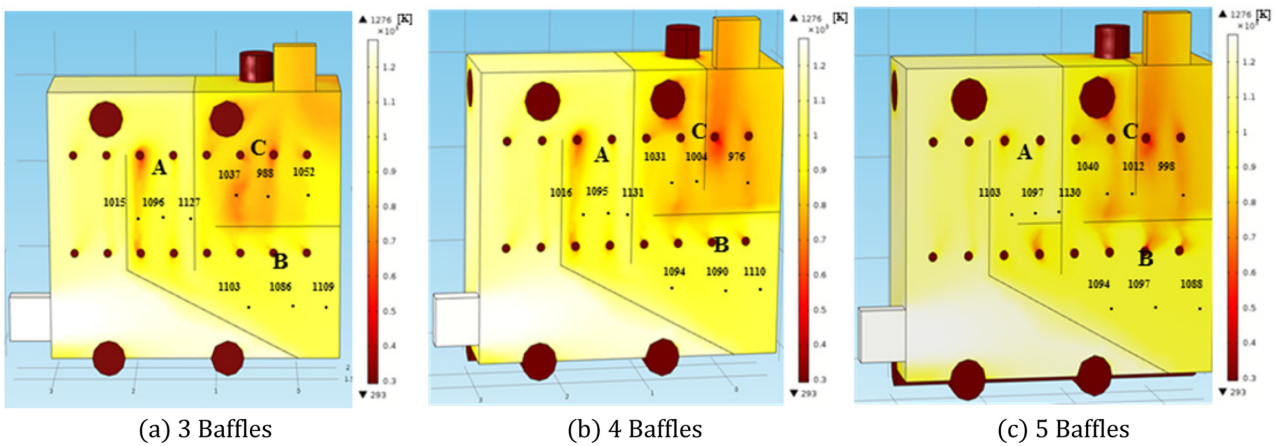


Fig. 7 Temperature distributions of modified double-pipe boiler

3.3 차단막을 변화한 모델의 온도 해석 결과

Fig. 7은 차단막을 추가한 모델에 대한 온도분포 결과이다. 공기유동에 따라 온도분포가 변화하는 것을 확인할 수 있다. 차단막이 추가된 모델에서 열전달 효율 값은 Table 1 과 같다.

4개의 차단막을 가지는 모델까지는 열전달 효율이 점차 증가하는 모습을 보였다. 이는 추가적으로 설치한 차단막들의 위치가 적절하여 내부 공기의 가열시간이 증가함을 보여주고 있다. 하지만, 5개의 차단막을 가지는 모델은 오히려 열전달 효율이 감소함을 보이고 있다. 그 원인은 Figs. 8(b)와 8(c)를 비교하였을 때, Fig. 8(c) 지역에서의 온도가 평균적으로 10 K이상 차이가 발생한다. A지역에서의 온도가 동일한 것을 보았을 때, 5번째의 차단막에 의해 변형된 유동에 의해 B지역에서 열 교환이 적게 이루어진 것을 확인할 수 있다. 즉 마지막으로 추가된 차단막에 의해 오히려 가열시간이 줄어들어 열 효율이 감소된 것이다.

4. 결론

본 연구에서 열 전달 해석과 유동 해석을 바탕으로 내부 공기

유동을 제어하기 위해 이중관 보일러 내부의 차단막을 설계하였다.

단순 차단막 모델의 차단막 개수인 2개부터 5개의 차단막까지 차단막 배치를 모델링하여 해석한 결과 4개의 차단막을 가지는 적절한 위치에 설치한 설계에서 가장 높은 열전달 효율 값을 보였다. 결론적으로 적절한 위치에 차단막을 설치함으로써 보일러의 성능향상이 가능하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2017년도 산학연협력 기술개발사업(산학연협력 기술개발사업(연구마을), 과제번호: C0483366)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

REFERENCES

1. Ahn, J. and Kim, J.-J., "Heat Transfer Characteristics of 0.5 t/h Class Non-Furnace Boiler with a Metal Fiber Burner,"

- Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B, Vol. 35, No. 2, pp. 215-220, 2011.
2. Lim, J. H. and Lee, J. W., "A Study on the Dynamics Characteristics for Control of Gas - Fueled Industrial Gas Boiler (I)," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 16, No. 2, pp. 965-973, 1992.
 3. Jung, G. H., Jung, S. I., Kim, G. S., and Ha, M. Y., "Numerical Analysis of Phase Change Inside Horizontal Pipe with Consideration of Density Inversion Effect of Water," Proc. of the Korean Society of Mechanical Engineers Autumn Conference, pp. 1201-1206, 2004.
 4. Jung, G. H., Jung, S. I., and Kim, G. S., "Numerical Analysis of Phase Change Inside Horizontal Pipe with Consideration of Density Inversion Effect of Water," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 14, No. 8, pp. 82-91, 1997.
 5. Huh, Y.-M., Lee, K.-O., and Kang, S.-S., "A Study on the Optimal Design for CLIP Rubber Product Made of EPDM Using Flow Analysis," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 23, No. 1, pp. 159-165, 2006.
 6. Yu, B. H., Kim, S. I., Park, T., and Lee, C.-E., "Comparison of Performance of New-Type and Old-Type Boilers by Thermodynamic Analysis," Proc. of the Korean Society of Mechanical Engineers Autumn Conference, pp. 1631-1636, 2014.
 7. Kang, S. K., Choi, K. S., and Yoon, J. Y., "Numerical Simulation on the Flow and Heat Transfer in the Combustion Chamber of Domestic Gas Boiler with 2-Stage Heat Exchanger," Journal of the Korean Society for Fluid Machinery, pp. 607-613, 2008.
 8. Yunus, A. C. and Cimbala, J. M., "Fluid Mechanics Fundamentals and Applications," McGraw-Hill, pp. 275-343, 2014.
 9. Yunus, A. C., "Heat Transfer: A Practical Approach," McGraw-Hill, pp. 113-280, 2009.