

콘덴싱 가스보일러 잠열교환기의 이너 그루브 튜브 열유동 해석

용경중¹, 임병철¹, 박상흙^{2*}

¹공주대학교 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

Heat Flow Analysis of Inner Groove Tube for Latent Heat Exchanger in Condensing Gas Boiler

Kyeong-Jung Yong¹, Byung-Chul Lim¹, Sang-Heup Park^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Kongju National University

²Department of Mechanical & Automotive Engineering

요약 현재 가정용 콘덴싱 가스보일러의 사용을 의무화 하고 있는 추세이며, CO나 NOx와 같은 오염 물질의 배출이 적은 친환경 보일러 사용을 적극 추천하고 있다. 따라서 본 논문에서는 효율을 증가시키기 위하여 가정용 콘덴싱 가스보일러에 사용되는 2차열교환기인 잠열교환기의 튜브(관) 내부에 이너 그루브 형상을 추가 하여 열유동에 대한 해석을 실시하였다. 이너 그루브 형상이 추가됨에 따라서 전열면적은 약 20% 증가하였으며, 이에 따라 열전달량이 증가하는 것을 알 수 있었고, 이를 3차원 수치해석을 이용하여 확인하였다. 또한 이너 그루브 형상을 추가했을 경우 이너 그루브 형상이 없는 잠열교환기 보다 출구 온도가 약 1°C 증가하였고, 이는 가정용 콘덴싱 가스보일러의 효율증가에 상당한 도움이 될 것으로 판단된다.

Abstract These days, household condensing gas boilers are an obligatory trend. The use of environmentally-friendly boilers that emit less pollutant, such as CO and NOx, are strongly recommended. In this paper, heat flow analysis of the additional inner groove in the tube of the secondary latent heat exchanger was studied to increase the efficiency. A 20% difference in the heat transfer area was obtained with the addition of an inner groove, which showed an increase in the amount of heat transferred. This was confirmed using three-dimensional numerical analysis. With the addition of an inner groove, the exit temperature increased by 1°C. This increase in exit temperature was considered to be a substantial increase in the efficiency of the condensing gas boiler.

Key Words : Condensing Gas Boiler, Latent Heat Exchanger, Inner Groove, Gas Boiler Efficiency, Heat Flow

1. 서론

현재 국내의 가정용 가스보일러 시장은 유가 상승에 따라 심각한 영향을 받고 있다. 따라서 에너지의 효율적인 이용에 대한 요구는 증가하고 있고, 이에 따른 효율적인 에너지 소비라는 과제가 크게 부각되고 있다. 또한, 지구 온난화 등 환경오염 문제에 대처하기 위한 공해 물질 저감에 대한 관심이 고조되고 있다. 현재 우리나라 보일러의 평균대기전력은 4.9W로 1W 감소시 에너지비용 절감액은 189억5,000만원에 CO₂ 저감량은 7만3,247T-C다.

가정용 가스보일러의 효율을 1% 올리면 에너지비용 절감액은 1,367억원에 CO₂ 저감량은 58만4,665T-C라는 분석자료가 있다[1]. 최근 에너지 가격의 급격한 상승과 지구 온난화, 환경 보전과 관련하여 에너지의 고효율, 친환경 사용에 대한 관심이 높아지고 있다. 가정용 가스보일러에 있어서 유럽을 중심으로 한 선진국에서는 일반 가스보일러에 비해 고효율인 콘덴싱 가스보일러의 설치를 의무화 하고 있는 추세이며, CO나 NO_x와 같은 오염 물질의 배출이 적은 친환경 보일러 사용을 적극 추천하고 있다[2]. 콘덴싱 가스보일러의 설치 의무화에 의한 파

이 논문은 충남테크노파크의 2013년도 지역특화산업육성사업의 지원을 받아 수행하였으며 이에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Sang-Heup Park(Kongju National Univ.)

Tel: +82-10-8380-2400 email: weldpark@kongju.ac.kr

Received March 31, 2013

Revised (1st April 29, 2014, 2nd May 9, 2014, 3rd May 16, 2014, 4th May 26, 2014)

Accepted July 10, 2014

급효과를 국가적인 차원에서 볼 때 엄청난 에너지 비용 절감 효과를 기대할 수 있다. 이러한 경제적, 환경적 요인으로 인해 연소기/열교환기의 효율향상 및 배기가스 저감을 위한 연구가 지속적으로 수행되어 오고 있다[3-7].

따라서 본 연구에서 콘덴싱 가스보일러의 효율을 높이기 위하여 잠열교환기의 Al-Cu Fin Tube에 Inner Groove 형상을 추가하여 내부 표면적을 증가시켜 열전달을 극대화 시키고, 3차원 수치해석을 실행하기 위해 상용해석 소프트웨어인 ANSYS CFX v14.5를 사용하여 열유동 해석을 실시하였다.

2. 잠열교환기 유동해석 조건

2.1 잠열교환기 모델

Fig. 1은 D사에서 사용하고 있는 콘덴싱 가스보일러의 잠열교환기 모습이다. Fig. 1(a)는 잠열교환기의 모습이고, Fig. 1(b)는 잠열교환기 내부에 들어가는 Al-Cu Fin Tube의 모습이다. Fig. 1(b)에서 Al Fin은 2차 응축 잠열을 많이 회수하기 위해 전조가공을 통하여 High-Fin 형상으로 가공되었다. Table 1에 금속별 열전도도를 나타내었고, 이를 통하여 Al과 Cu가 다른 금속재질보다 열전도도가 높은 것을 확인할 수 있다. 잠열교환기의 열교환 능력 향상을 위해 Al-Cu Fin Tube 내부에 Inner Groove 형상을 추가하여 전열면적을 증가시켰고, 전열면적과 열전달량과의 관계는 식(1)과 같이 비례관계에 있다.

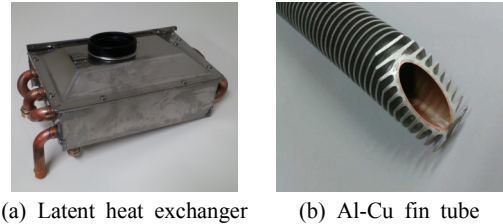
$$Q = \alpha \times S(t_s - t_f) \quad (1)$$

여기서 $Q(kcal/sec)$ 는 전달열량, $\alpha(kcal/m^2 \cdot sec \cdot ^\circ C)$ 는 열전달계수, $S(m^2)$ 는 전열면적, t_s 는 고체온도, t_f 은 유체온도이다.

본 연구에서는 Fig. 2(a)와 같은 산 모양으로 Inner Groove 형상을 추가하였고, 산수는 2산으로 하여 전열면적을 증가시켰다. 피치는 High-Fin의 피치 3.175mm와 두께 0.53mm를 고려하여 3.5mm로 선정하였다. 이때의 전열면적은 $12167.16mm^2$ 이고, Al-Cu Fin Tube보다 약 20% 증가하였다. Fig. 2(b)는 High-Fin의 세부 도면을 나타냈다.

유동해석을 실행하기 위하여 3D 모델링 작업은 Solid

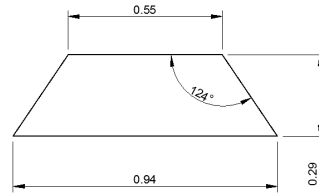
Works 프로그램을 사용하였고, Fig. 3과 같이 모델링을 하였다. Fig. 3(a)는 잠열교환기를 3D 모델링한 모습이고, Fig. 3(b)는 Inner Groove Tube의 3D 모델링 모습이다.



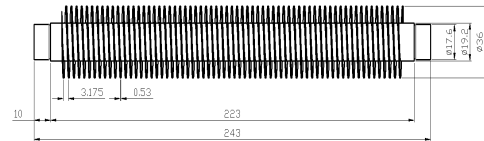
[Fig. 1] Latent heat exchanger in condensing gas boiler

[Table 1] Thermal conductivity of materials

	Steel	Stainless steel	Al	Cu
Thermal conductivity [W/m·K]	80	12-45	237	400

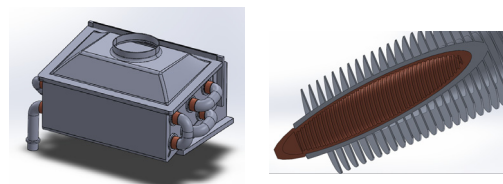


(a) Detail drawing of inner groove shape



(b) Detail drawing of High-Fin

[Fig. 2] Detail drawing of inner groove shape and High-Fin



(a) Appearance of latent heat exchanger (b) Inner groove tube 3D modeling

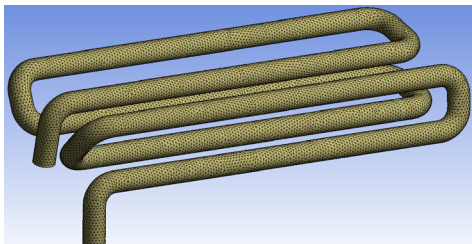
[Fig. 3] 3D modeling of latent heat exchanger

2.2 유동해석 격자

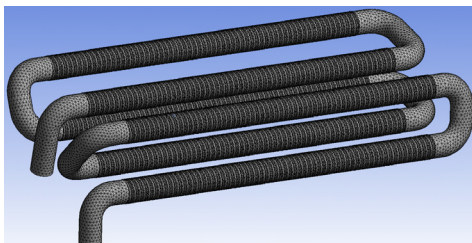
수치해석에서 격자는 매우 중요하며, 격자에 따라서 수치해석 결과의 오차가 발생한다. 본 연구에서는 격자의 생성을 위해 ANSYS Workbench Meshing을 사용하였으며, Inflation 옵션을 추가하여 Fig. 4와 같이 격자를 생성하였다. Fig. 4(a) Al-Cu Fin Tube의 격자수는 약 13만개이고, Fig. 4(b) Inner Groove Tube의 격자수는 약 16만개이다.

2.3 유동해석 조건

본 연구에서는 3차원 수치해석을 위해 상용해석 소프트웨어인 ANSYS CFX v14.5를 사용하였으며, Al-Cu Fin Tube 내부에 Inner Groove 형상을 추가 후 열유동 및 온도 변화에 대하여 해석을 실시하였다. 해석을 하기 위해서는 경계조건이 필요하며 이는 매우 중요하다. 해석시 경계조건을 보면, Tube 입구에 유입되는 물의 유량 및 온도는 Table 3의 유입조건으로 일정하게 주었고, 출구조건은 표준 대기압으로써 1 atm을 사용하였다[8]. 또한, Tube내의 Inner Groove 표면에 열전달계수 893.62 W/m^2K 을 주었고, 나머지 표면은 단열조건으로 하였다. 여기서 열전달계수는 High-Fin에 Table 3과 같은 LNG 가스의 경계조건을 주어, 유동해석을 통하여 구했다. High-Fin의 두께는 0.53mm이고, 피치는 3.5mm로 모든 형상을 모사하기에는 방대한 양의 격자가 필요하다.



(a) Mesh of Al-Cu fin tube



(b) Mesh of inner groove tube

[Fig. 4] Mesh for analysis model

[Table 3] Boundary condition

Hot water	Inlet Temperature(T_{Win})	60 (°C)
	Flow rate	13.3 (ℓ/min)
	Outlet Condition	1 atm
LNG gas	Inlet Temperature(T_{Gin})	200 (°C)
	Flow rate	0.011 (ℓ/min)
	Outlet Condition	1 atm
Heat transfer	Heat transfer coefficient	893.62 (W/m^2K)
	Outside Temperature	200 (°C)

또한, High-Fin 전체를 해석하기에는 막대한 계산비용과 시간이 소요되어 공학적으로 활용가치가 미미하다. 따라서 본 연구에서는 1개의 High-Fin만 사용했고, 반으로 절단 후 절단 부분에 Symmetric 조건을 적용하여 열전달 계수를 구했다.

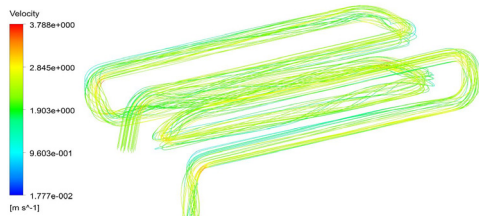
3. 잠열교환기 유동해석 결과

Fig. 5는 Tube의 유동해석 결과이다. Inner Groove 여부에 따라 난류는 발생하지 않았으며, 이는 Inner Groove 형상이 난류를 발생시키는데 큰 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다. 유속을 보았을 때, Fig. 5(a)는 평균유속이 1.51m/s, Fig. 5(b)의 평균유속은 1.39m/s로 나타났다. 이는 Inner Groove 형상이 온수의 유동을 방해하여 유속이 느려진 것으로 판단된다. 이 때문에 Inner Groove Tube가 외부로부터 더 많은 열을 흡수하여 출구부에서의 온도가 더 높을 것으로 판단된다.

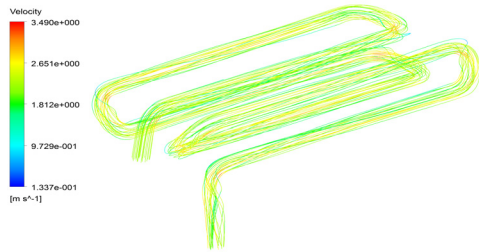
Fig. 6은 출구부 단면의 해석 결과이다. Fig. 6(a)는 Al-Cu Fin Tube로 열전달이 벽면에서 미세하게 나타났고, 이때의 최고온도는 79.33°C였다. 반면 Fig. 6(b)는 Fig. 6(a) 보다 벽면에서 열전달이 활발하게 일어났으며, 이때의 최고온도는 83.22°C였고, Fig. 6(a)와 약 4°C의 온도차이를 보였다. 이는 Inner Groove 형상이 추가되면서 전열면적이 증가하여 차이가 난 것으로 판단된다.

Fig. 7(a)는 Al-Cu Fin Tube의 출구부 해석 결과로 입구부에 비하여 많은 열을 흡수하였고, 이때의 최고온도는 65.19°C, 최저온도는 64.22°C, 평균온도는 64.86°C로 나타났다. 반면 Fig. 7(b)는 Fig. 7(a) 보다 더 많은 열을 흡수하였으며, 이때의 최고온도는 65.93°C, 최저온도는 65.57°C, 평균온도는 65.92°C로 나타났다. Fig. 7(b)는

Fig. 7(a) 보다 최고온도가 0.74℃, 최저온도가 1.35℃, 평균온도가 1.06℃ 높았다. 이는 서론부에서 거론했듯이 가정용 보일러의 효율향상에 있어서 상당히 중요한 부분이고, 실제로 효율향상에 상당한 도움이 될 것으로 판단된다.

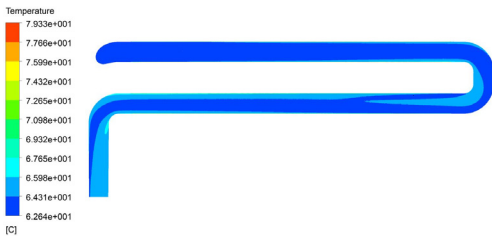


(a) Velocity of Al-Cu fin tube

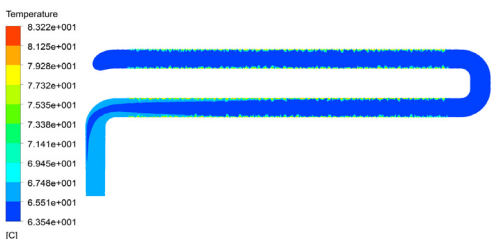


(b) Velocity of inner groove tube

[Fig. 5] Analysis results of flow

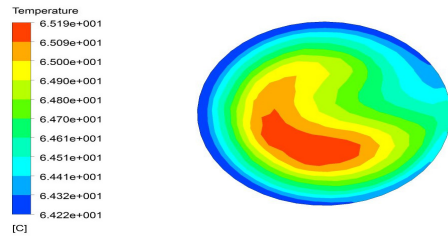


(a) Outlet section of Al-Cu fin tube

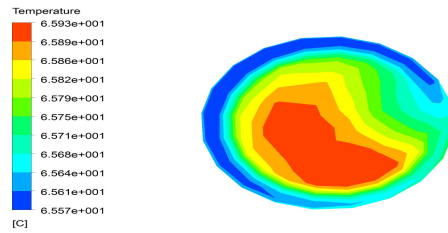


(b) Outlet section of inner groove tube

[Fig. 6] Analysis results of outlet section



(a) Outlet of Al-Cu fin tube



(b) Outlet of inner groove tube

[Fig. 7] Analysis results of outlet

4. 결론

본 연구에서는 3차원 수치해석을 실행하기 위해 상용 해석 소프트웨어인 ANSYS CFX v14.5를 사용하여, 가정용 콘덴싱 가스보일러에 쓰이는 잠열교환기의 Al-Cu Fin Tube에 Inner Groove 형상을 추가하여 열유동 및 온도 변화에 대하여 해석을 하였고, 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) Inner Groove 형상이 추가되면서 전열면적은 기존보다 약 20% 상승하였으며, 이는 열전달을 증가에 큰 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.
- (2) Inner Groove 형상이 추가되면서 난류현상은 발생하지 않았지만, 유속이 13.9m/s로 Al-Cu Fin Tube보다 느리게 나타났다. 이로 인해 Inner Groove Tube에서 열전달이 더 활발하게 이루어졌고, 최고온도는 약 4℃ 높았다. 따라서 Inner Groove Tube의 출구부 온도가 더 높을 것으로 판단된다.
- (3) 출구부 해석결과, Inner Groove 형상 여부에 따라 평균온도가 약 1℃ 차이 났고, 이는 가정용 보일러 효율을 상승시키는데 상당한 영향을 미칠 것으로 판단된다.

(4) Inner Groove 형상은 전열면적을 증가시키는 효과적인 방법으로 가정용 보일러 말고도 여러 산업분야에서도 사용 가능하며, 산의 모양 및 산수 등을 고려한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

References

- [1] "Standby Power 1W and Efficiency 1%", Todayenergy, May 12, (2006)
- [2] S. J. Kim et al., "Domestic Condensing Gas Boiler Technology with High Efficiency and Low Pollutant Exhaust Gas", Journal of KOSCO SYMPOSIUM, pp. 277~280, (2010)
- [3] W.Q. Tao, Y.P. Cheng, T.S. Lee, "3D numerical simulation on fluid flow and heat transfer characteristics in multistage heat exchanger with slit fins", Heat and Mass Transfer, Vol. 44, pp. 125~136, (2007)
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00231-006-0227-2>
- [4] Martin, F. J and Dederick, P. K., "NOx from Nitrogen in Two-Stage Combustion", 16th Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, pp. 191~198, (1976)
- [5] H. S. Yoo, J. H. Choi and S. G. Oh, "Reduction of NO Emission by Two-Stage Combustion", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. B, No. 19(2), pp. 591~596, (1995)
- [6] Wunning, J. A. and Wunning, J. G., "FlamelessOxidation to Reduce Thermal NO-Formation", Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 23, pp. 81~94, (1997)
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1285\(97\)00006-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1285(97)00006-3)
- [7] C. E. Lee, S. M. Geum, Y. S. Jeong and G. Y. Lee, "A Study on the Development of Low NOx Condensing Gas Boiler", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. B, No. 25(2), pp. 235~243, (2001)

용 경 중(Kyeong-Jung Yong)

[준회원]



- 2007년 3월 : 공주대학교 기계자동차공학부 입학
- 2013년 2월 : 공주대학교 기계시스템공학전공 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일 단대학원 기계공학과

<관심분야>

용접 자동화, 레이저 용접

임 병 철(Byeong-Chul Lim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 공주대학교 기계시스템공학전공 (공학사)
- 2012년 8월 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과

<관심분야>

레이저 용접, 금속재료, 용접 자동화

박 상 흡(Snag-Heup Park)

[정회원]



- 1984년 2월 : 단국대학교 기계공학과 (공학사)
- 1986년 8월 : 단국대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 홍익대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1989년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

용접 시공 및 용접 자동화, 비파괴 검사