

# 가정용 가스보일러 열교환기 유형에 따른 속도분포특성에 관한 연구

최경석\*, 김영규\*, 권정락\*, 차경옥\*\*

\*한국가스안전공사, \*\*명지대학교 기계공학과

## A Study on the Characteristics of Velocity Distribution for Heat Exchange Types of Domestic Gas Boiler

Kyoung Suhk Choi\*, Young Gyu Kim\*, Jeong Rock Kwon\*, Kyoung Ok Cha\*\*

\*Korea Gas Safety Corporation, \*\*Myong Ji University

### 1. 서론

최근 들어 급증하는 에너지 수요에 대처할 수 있는 안정된 에너지 공급방법과 점차 고갈되어 가는 석유에 대한 대체 에너지 개발에 관한 많은 연구들이 이루어지고 있다. 또한 요즘 가장 심각하게 대두되고 있는 환경오염에 대한 방지책으로 깨끗한 에너지에 대한 필요성이 대두되면서 가스에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 측면에서 최근 국내의 도시가스 보급이 본격화되면서 가정용 보일러의 사용이 크게 증대하여 연간 약 65여 만대가 판매되고 있는 실정이다.

한편, 종래 열교환기에 대한 연구는 열전달 매트릭스가 비교적 저온 대형 열교환 시스템에 대한 것이 대부분 이었고 가정용 가스보일러에서와 같이 표면적 밀도가 상당히 큰 고온 극소형 열교환기에 대한 연구는 매우 소수이다. 또한 밀집 열교환기에 대한 연구도 주로 단일 설계 구조변수로 성능과 효율에 대한 관계를 나타낸 것이 보통이다. 가정용 가스보일러의 핵심부품인 열교환기는 고온의 유체에서 저온의 유체로 열을 전달하는 장치로서 표면적 밀도가 상당히 큰 고온 극소형 열교환기의 성능을 향상시키기 위하여 핀을 사용하는데 핀 형상(shape), 핀과핀 피치(pitch), 핀 두께(thickness), 핀 배관의 배열(array) 등에 따라서 열전달율과 유동저항이 각기 다르다.

본 연구에서는 열교환기의 입출구 속도를 여러 가지 조건을 형성시키기 위하여 흡수식 풍동(suction type wind tunnel)실험 장치를 제작하여 실험을 수행하였으며, 열교환기 핀(fin) 주위의 유동현상 및 속도분포 데이터를 디지털로 처리될 수 있도록 구성하였다.

## 2. 열교환기 제원 및 제품규격 검토

Table 1는 가정용 가스보일러에 사용되고 있는 열교환기에 대해 사양 및 특성 현황을 나타내고 있으며, 각 가스보일러 공히 열교환기의 형상은 모두 핀튜브(fin-tube)형식을 채용하고 있으나, 핀형상에 대한 증대(augmentation)현상은 별로 보이지 않고 있음을 잘 알 수 있다. 가스보일러에서 채용하고 있는 가스소비량당 열교환기 전열면적의 크기는 평균값  $[0.451\text{cm}^2/(\text{kcal/h})]$  의 약 50% 수준이 되는 경우와 75% 수준에 이르기까지 설계현황에 대한 범위가 상당히 넓다. 급탕·난방겸용인 보일러에 물-물 열교환방식의 열교환기를 내장시킨 보일러의 경우가 대체적으로 전열면적이 큰 것으로 나타났으나, 난방전용 가스보일러에서도 다소 큰 차이를 보이고 있다. 이와 같이 전열면적이 다소 크게 또는 작게 설계되고 있는 현상을 나타내고 있는 원인으로서, 국내에서 생산되고 있는 가스보일러의 기술도입국에 따라서 달리 설계되고 있는 것으로 해석되어지나, 기술적으로 보다 더 자세하게 열교환기 전열면적에 대한 특성을 분석하여 열교환기의 최적설계기법이 확립되는 기초연구검토가 수행되어야 함을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.

Table 1 국내의 가정용 가스보일러 열교환기 제원

구분	제조사	국 내				국 외		
		A 사	B 사	C 사	D 사	E 사	F 사	G 사
형 상		핀 튜브 dual type	핀 튜브 single type	핀 튜브 single type	핀 튜브 dual type	핀 튜브 single type	핀 튜브 dual type	핀 튜브 single type
용 량(kcal/h)		16,700	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	15,000
튜브경 (φ, mm)	난 방	45	12×24	19.05	45	14	44.5	24×14
	온 수	12	별도	별도	11	별도	11	별도
fin 두께(mm)		0.5	0.35	0.3	0.6	0.3	0.6	0.5
fin pitch(mm)		3.86	3.36	2.51	4.11	3.0	3.47	3.0
fin 갯수(EA)		62	87	96	71	54	78	68
①	fin 면적(cm <sup>2</sup> )	5130	8,600	5,929	13,036	3,073	14,321	5036
②	튜브면적(cm <sup>2</sup> )	400	880	875	907	591	866	543
①+②	전열면적(cm <sup>2</sup> )	5,530	9,480	6,804	13,943	3,664	15,187	5,579
전열면적/가스소비량 [cm <sup>2</sup> /(kcal/h)]		0.331	0.474	0.34	0.697	0.183	0.759	0.372

## 3. 실험장치 및 실험방법

열교환기의 입출구 속도분포를 측정하기 위하여 사용된 흡수식 풍동(suction type wind tunnel) 실험 장치를 제작하여 실험을 수행하였으며, 유속범위는 1~20 m/s 이며, 속도분포 위치는 열교환기 유형에 따라 수동 트레이버스(traverse)를 이용하여 2~4 cm 등간격으로 이동하여 열교환기 전후단 속도를 측정하였다. 본 실험에 사용된 측정장비에는 4 point 피토튜브(rack type, dia 3mm×point pitot tube), 스캐닝박스(scanning box), 마이크로마노미터(micro-manometer) 등으로 열교환기의 입출구 속도분포를 측정하였으며, 열교환기 핀주위의 유동현상 및 속도분포, 압력손실등의 데이터를 디지털로 처리될 수 있도록 구성 하였다. 세부 사양은 Table 2와 같다.

Table 2 풍동 실험 장치의 세부사양

NO	항 목	세 부 사 양	
1	형 태	흡입형 풍동방식	
2	유 속 범 위	1~20 m/s	
3	turbulence factor	10 m/s → turbulence 0.8%	
4	시 험 부	크 기(mm)	1) 180(W)×350(D)×1000(L) 2) 140(W)×200(D)×1000(L)
		재 료	perspex acrvl, S41C
5	blower	형 태	터보 팬
		유 량	100 m <sup>3</sup> /min 이하
6	구 동 모 터	압 력	150 mmH <sub>2</sub> O 이상
		형 태	AC induction motor
		출 력	2.1 KW 이상
		회전수	50 ~ 1750 rpm
		전 력	AC 220V, 60Hz, 3-phase
	RPM조절	PWM invert control	
7	더트 스크린 (duct screen)	grid재료	stainless steel
		크 기	#16, #20, #24 각 1 sheet
8	honey-comb shell	재 료	Al
		sheet 크기	3/8" dia × 75 mm
9	contraction부	ratio 7 : 1	
10	피 토 튜 브	형 태	rack type
		dia	3mm × 4 point

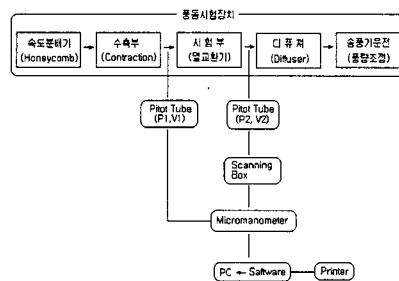


Figure. 3-1 풍동시험기 DIAGRAM

가스보일러 연소실 버너는 임의 위치에 노즐이 있는 것이 아니라 전 연소실에 수평으로 분포되어 있으므로 연소시 연소 가스 속도는 단면을 기준으로 속도 분포가 거의 균일하다고 가정한다. 따라서 풍동실험에서 열교환기 전단의 풍속이 단면 방향으로 일정하여야 한다. 공기는 흐름의 교란성분을 정제해 주기 위한 mesh 크기가 서로다른 3장의 sheet와 유동의 직진성을 주기 위한 honeycomb shell을 통과한 후 열교환기를 통과하여 외부로 배출된다. 속도분포 및 압력강하의 측정은 열교환기 전후단으로 부터 55mm 떨어진 위치에서 동시측정을 위하여 동일선상의 4 point 피토튜브(rack type, dia 3mm×4 point, 미국 DWYER사)를 내경 4mm 실리콘 튜브관으로 스캐닝박스과 연결한후 마이크로마노메타(FCO 12)에 연결하여 속도분포 및 압력강하를 측정하였다.

Figs. 3-1과 3-2는 풍동시험기 측정 방법을 도시한 diagram과 구성도이다.

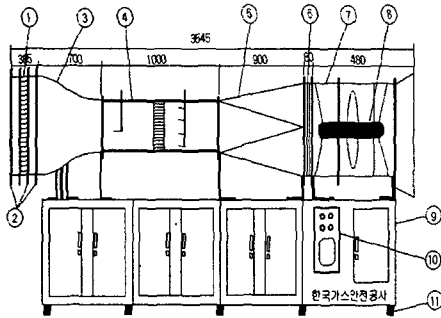


Figure. 3-2 풍동시험기 구성도

- 1. Honey Comb 2. Mesh 3. Contraction Body 4. Test Section 5. Diffuser
- 6. Flexible Duct 7. Blower 8. Motor 9. Blower Base 10. Control Port
- 11. Wheel & Adj.

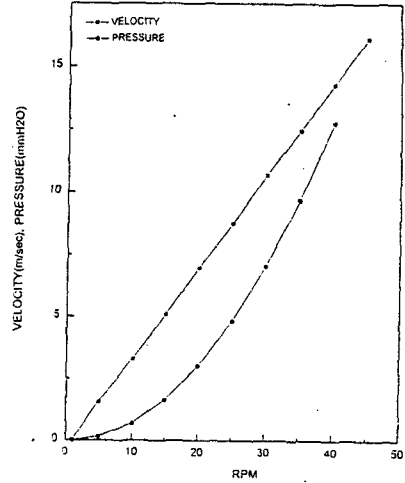


Figure. 4-1 풍동시험기의 시험부 CALIBRATION CURVE

#### 4. 연구결과 및 고찰

Fig. 4-1은 풍동시험기의 송풍기 rpm 변화에 대한 열교환기의 공기유출입 속도 및 압력변화를 나타낸 그래프로서 가정용 가스보일러 연소실의 속도, 압력범위(3~15 %, 1~12mmH<sub>2</sub>O)를 형성하기 위한 송풍기 rpm 조정범위를 나타내는 풍동시험기 시험부 calibration 선도이다. 송풍기 rpm 범위가 0~45일경우 속도범위는 0~17 %, 압력범위는 0~13mmH<sub>2</sub>O이므로 가스보일러 연소실의 속도, 압력범위에 포함됨을 알 수 있다.

Fig. 4-2는 rpm = 3, 6, 9, 12, 15 인 경우 습식 형태(wet type) 열교환기 후단에서의 속도분포를 나타낸 그림으로 각각 rpm에 따라 평균속도는 약 2.9, 6, 9.5, 12.3, 15.5 mmH<sub>2</sub>O 이며, rpm이 증가할 수록 열교환기 수직방향(y-length, pitot tube 1, 2, 3, 4)의 속도분포가 분산됨을 알 수 있으며, rpm 9 이상부터, 속도분포 분산이 증대되고 있음을 알 수 있다. 이때 열교환기 후단 속도는 약 9.5% 이상이며, 전체적인 열교환기의 속도분포는 중심부위 보다 양측면이 상대적으로 낮다. 이는 연소실 길이에 대한 유동마찰 때문이며, 이와 관련하여 각각 rpm에 대한 속도분포는 Fig. 4-3부터 Fig. 4-7까지 나타나고 있다.

Fig. 4-8은 rpm = 3, 6, 9, 12, 15 인 경우 건식 형태(dry type) 열교환기 후단에서의 속도분포를 나타낸 그림으로 각각 rpm에 따라 평균속도는 약 0.5, 2.4, 5.5, 9.5, 15 %이며, rpm이 증가할 수록 열교환기 수직방향(y-length, pitot tube 1, 2, 3, 4)의 속도분포가 분산됨을 알 수 있으며, rpm 9 이상부터 속도분포 분산이 wet type 열교환기 보다도 더 증대되고 있음을 알 수 있다. 이때 열교환기 후단 속도는 약 5.5 % 이상이며, 전체적인 열교환기의 속도분포는 중심부위, 양측

면이 불규칙적으로 분산됨을 보여준다. 이는 연소실 길이에 대한 유동마찰 보다는 열교환기 핀 피치(5~6 mm)가 크기 때문이며, 이와 관련하여 각각 rpm에 대한 속도분포는 Fig. 4-9부터 Fig. 4-13까지 나타나고 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 열교환기 제원을 검토한 결과 가스소비량당 가스측의 전열면적 크기는 평균값이  $0.451 \text{ cm}^2/(\text{kcal/h})$ 이며, 난방전용 열교환기(single type)경우 평균값을 하회하는 작은 전열면적 [ $0.18 \sim 0.34 \text{ cm}^2/(\text{kcal/h})$ ] 을 적용하고 있어 전열면적에 대한 특성을 분석하여 열교환기의 최적설계방법을 수행해야 될 것으로 사료되며, 풍동시험기의 유량 변화에 대한 유형별 열교환기의 공기 유출입 속도분포를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 습식인 경우 열교환기 후단 속도는 약 9.5% 이상부터, 속도분포 분산이 증대되고, 전체적인 열교환기의 속도분포는 중심부위보다 양측면이 상대적으로 낮음을 알 수 있었고, 이는 연소실 길이에 대한 유동마찰 때문이며, 가스보일러 연소시 불균등한 속도분포 및 열전달로 인해 열교환기의 수명 단축 및 핀 막힘 현상을 초래 할 수 있다고 사료된다.

(2) 건식인 경우 열교환기 후단 속도는 약 5.5% 이상부터 속도분포 분산이 wet type 열교환기 보다도 더 증대되었고 전체적인 열교환기의 속도분포는 열교환기 핀 피치(5~6mm)가 크기 때문에 중심부위, 양측면이 불규칙적으로 분산되고 있음을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. Kayansayan, N. : "Heat Transfer Characterization of Flat Plain Fins and Round Tube Heat Exchanger", Exper. Therm. Fluid Sci., 6, 3, 263-272(1993).
2. Kays, W.M. and A.L. London : "Compact Heat Exchangers", 3rd ed., McGraw-Hill, New York(1984).
3. Holman, J.P. : "Heat Transfer", 7th ed., McGraw-Hill, Singapore(1990).
4. W.M. Kays : "Numerical Solution for Laminar-Flow Heat Transfer in Circular Tubes", ASME, Stanford, Calif, November, 1265-1274(1995).
5. 한국표준협회 : 도시가스용 온수보일러 KS G 5148(1993).

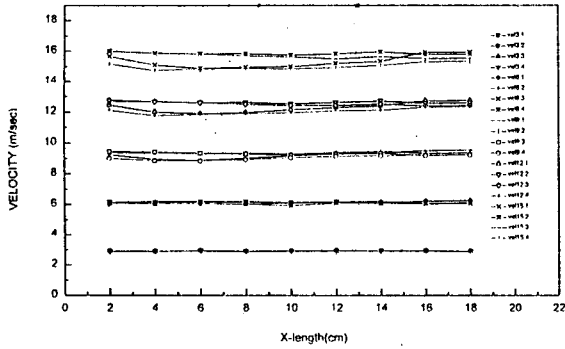


Figure 4-2 wet type 열교환기. rpm = 3, 6, 9, 12, 15 인 경우 속도분포

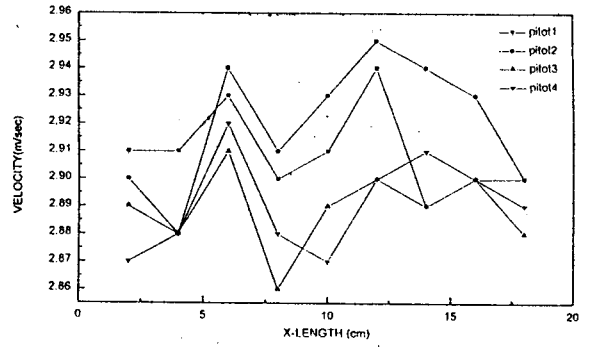


Figure 4-3 WET TYPE 열교환기. rpm = 3 일때 속도분포

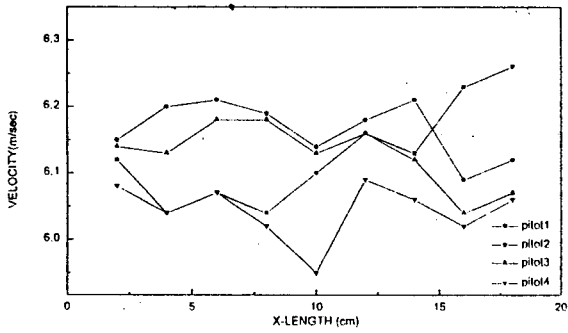


Figure 4-4 WET TYPE 열교환기. rpm = 6 일때 속도분포

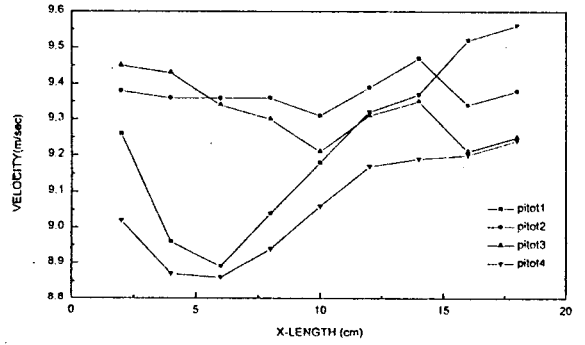


Figure 4-5 WET TYPE 열교환기. rpm = 9 일때 속도분포

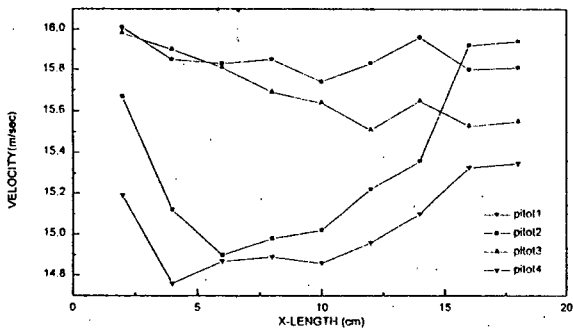


Figure 4-7 WET TYPE 열교환기. rpm = 15 일때 속도분포

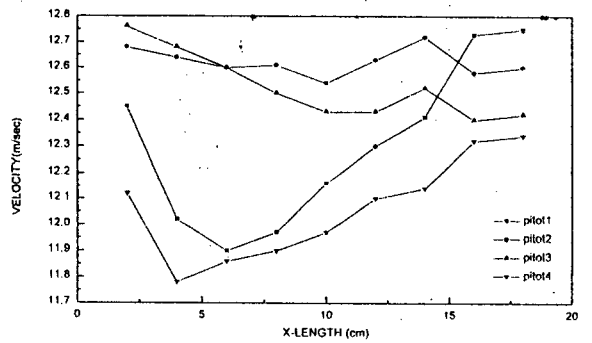


Figure 4-6 WET TYPE 열교환기. rpm = 12 일때 속도분포

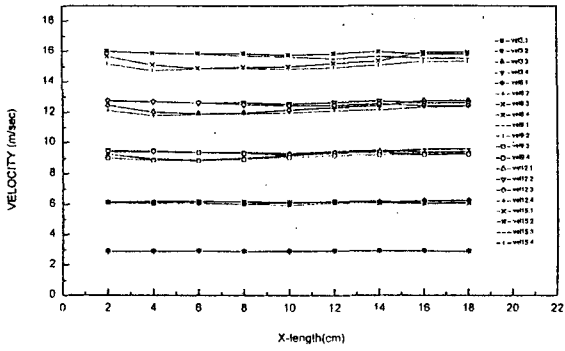


Figure 4-8 wet type 열교환기, rpm = 3, 8, 9, 12, 15 인 경우 속도분포

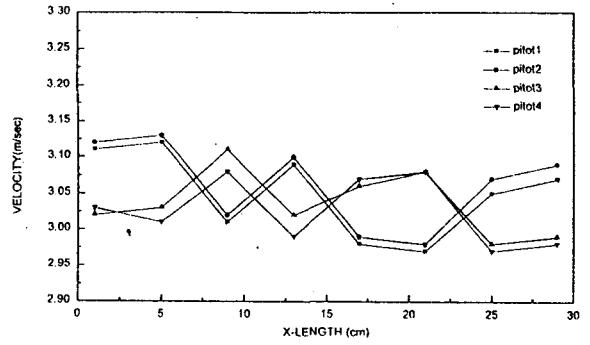


Figure 4-9 DRY TYPE 열교환기, rpm = 3 일때 속도분포

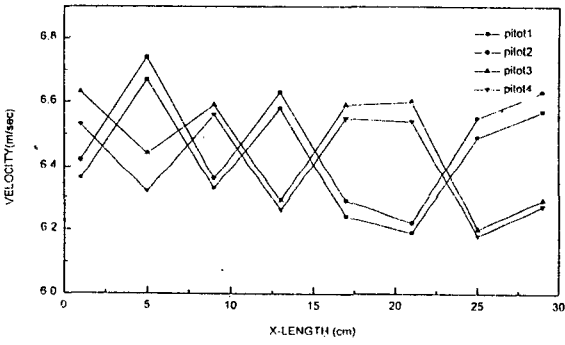


Figure 4-10 DRY TYPE 열교환기, rpm = 8 일때 속도분포

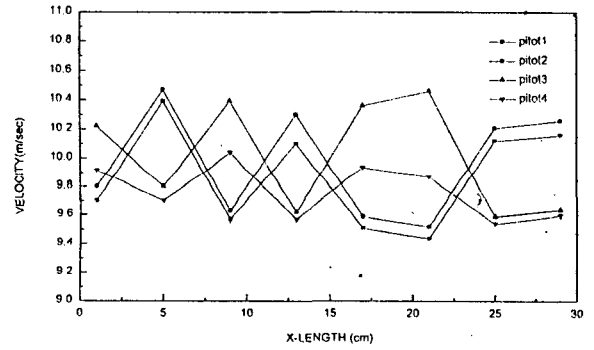


Figure 4-11 DRY TYPE 열교환기, rpm = 9 일때 속도분포

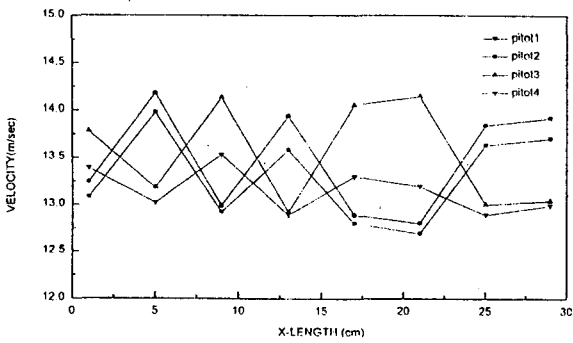


Figure 4-12 DRY TYPE 열교환기, rpm = 12 일때 속도분포

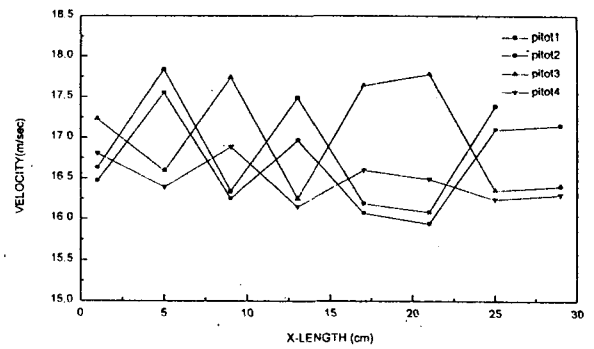


Figure 4-13 DRY TYPE 열교환기, rpm = 15 일때 속도분포