

가정용 가스보일러 열교환기 유형에 따른 압력분포특성에 관한 연구

최경석[†] · 오윤권* · 차경옥

명지대학교 기계공학과 · *조선대학교 기계공학과

(2001. 6. 23. 접수 / 2001. 11. 16. 채택)

A Study on the Characteristics of Pressure Distribution for Heat Exchanger Types of Domestic Gas Boiler

Kyung-Suhk Choi[†] · Yool-kwon Oh* · Kyung-Ok Cha

Department of Mechanical Engineering, Myong-gi University

*Department of Mechanical Engineering, Chosun University

(Received June 23, 2001 / Accepted November 16, 2001)

Abstract : Heat transfer and pressure distribution for heat exchanger type of domestic gas boiler are different from shape, pitch, thickness of fin and array of pipe respectively. In order to measure the pressure distribution across the heat exchanger, a suction type wind tunnel was constructed and velocity distribution was measured for pitot tube(4 point) of rack type. The experiments were performed for 5 different air flow mass, rpm=3,6,9,12,15 and transverse axis of heat exchanger(x-length) is 5cm respectively. Results showed that above 9.5m/s, pressure distribution dispersion for wet type of heat exchanger is on the increase and above 5.5m/s, pressure distribution dispersion for dry type of heat exchanger is on the increase. Also, pressure distribution dispersion by comparing two different types heat exchanger, dry type of heat exchanger showed a higher augmentation than wet type of heat exchanger.

Key Words : fin-tube heats exchanger, suction type wind tunnel, pressure distribution dispersion

1. 서 론

최근 들어 급증하는 에너지 수요에 대처할 수 있는 안정된 에너지 공급방법과 점차 고갈되어 가는 석유에 대한 대체에너지 개발에 관한 많은 연구들이 이루어지고 있다. 또한 요즘 가장 심각하게 대두되고 있는 환경오염에 대한 방지책으로 깨끗한 에너지에 대한 필요성이 요구되면서 가스에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 측면에서 사용의 편리성과 경제성, 그리고 저공해 연료라는 가스의 특성에 따른 가스 소비량의 급속한 증가와 더불어 여러 가지 다양한 가스용품이 보급된바 있으며, 특히 난방과 온수사용을 목적으로 한 가스보일러는 총 생산량은 약 770만대(2000년 9월 기준)이며, 현재 사용중인 가스보일러는 약 600만대로 추정되고 있

다.¹⁾

가스안전기기 보급으로 매년 가스사고는 감소 추세에 있으나, 가스보일러 CO중독사고는 지속적으로 발생하고 있으며, CO중독사고에 의한 인명피해는 87년부터 현재까지 총 사망 181명, 부상 234명으로 사고 1건당 1.2명 사망으로 조사되었으며, CO중독 사고 원인은 보일러 설치불량 49%, 보일러 자체결함 33%, 사용자 취급부주의 11%, 기타 7% 등으로 분석되었으며, 특히 2000년도 CO중독사고는 전년 동기 대비하여 약 37.5% 증가되었으며, 이에 대한 주요원인은 열교환기 환막힘 현상으로 발생하는 배기불량이 약 30%를 차지하고 있는 실정이다.²⁾

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 효

[†]To whom correspondence should be addressed.
kschoi@kgs.or.kr

울에 대한 관계를 나타낸 것이 보통이다. 가정용 가스보일러의 핵심부품인 열교환기는 표면적 밀도가 상당히 큰 고온 극소형 열교환기로서 성능을 향상시키기 위하여 흰을 사용하는데 흰 형상(shape), 흰과 흰 피치(pitch), 흰 두께(thickness), 흰 배관의 배열(array) 등에 따라서 열전달률과 유동저항이 각기 다르다.

본 연구에서는 열교환기의 입출구 압력변화를 여러 가지 조건으로 형성시키기 위하여 흡수식 풍동(suction type wind tunnel) 실험 장치를 제작하였으며, 가정용 가스보일러 열교환기 종류에 따른 압력분포 특성을 분석하여 가스보일러의 배기상태(열교환기 후단)를 예측하고, CO중독사고 원인을 규명하고자 한다.

2. 열교환기 제원 및 제품규격 검토

Table 1은 가정용 가스보일러에 사용되고 있는 열교환기의 사양 및 특성 현황을 나타내고 있으며, 각 가스보일러 공히 열교환기의 형상은 모두 흰튜브(fin-tube)형식을 채용하고 있으나, 흰 형상에 대한 증대(augmentation)현상은 별로 보이지 않고 있음을 잘 알 수 있다. 가스보일러에서 채용하고 있는 가스소비량 당 열교환기 전열면적의 크기는 평균값 [0.451 cm²/(kcal/h)]의 약 50% 수준이 되는 경우와 75% 수준에 이르기까지 설계현황에 대한 범위가 상당히 넓다. 급탕·난방 겸용인 보일러에 물-물 열교환방

식의 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 원인으로서는 국내에서 생산되고 있는 가스보일러의 기술도입국에 따라서 달리 설계되고 있는 것으로 해석되어지나, 기술적으로 보다 더 자세하게 열교환기 전열면적에 대한 특성을 분석하여 열교환기의 최적설계 기법이 확립되는 기초연구검토가 수행되어야 함을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

열교환기의 입출구 압력분포를 측정하기 위하여 사용된 흡수식 풍동(suction type wind tunnel) 실험 장치를 제작하여 실험을 수행하였고, 유속범위는 1~20m/s이며, 압력분포 위치는 열교환기 유형에 따라 수동 트레이스(traverse)를 이용하여 2~4cm 등간격으로 이동하여 열교환기 전후단을 측정하였다. 본 실험에 사용된 측정장비에는 4point 피토투브(rack type, dia 3mm×4point pitot tube), 스캐닝박스(scanning box), 마이크로마노미터(micro-manometer) 등으로 열교환기의 입출구 압력분포를 측정하였으며, 열교환기 흰 주위의 유동현상 및 압력분포, 압력손실 등의 데이터를 디지털로 처리될 수 있도록 구성하였다. 세부 사양은 Table 2와 같다.

Table 1. Heat exchanger specification of a gas boiler

구 분	제조사	국 내				국 외		
		A사	B사	C사	D사	E사	F사	G사
형 상		흰튜브 dual type	흰튜브 single type	흰튜브 single type	흰튜브 dual type	흰튜브 single type	흰튜브 dual type	흰튜브 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	72	68
①	fin 면적(cm ²)	5,130	8,600	5,929	13,036	3,073	14,321	5,036
②	튜브면적(cm ²)	400	880	875	907	591	866	543
①+②	전열면적(cm ²)	5,530	9,480	6,804	13,943	3,664	15,187	5,579
	전열면적/가스소비량 [cm ² /(kcal/h)]	0.331	0.474	0.34	0.697	0.183	0.759	0.372

Table 2. Specification of wind tunnel apparatus

NO	항 목	세부사항	
1	형 태	흡수식 풍동방식	
2	유속범위	1~20 m/s	
3	turbulence factor	10m/s→turbulence 0.8%	
4	시험부	크기(mm)	1)180(W)×350(D)×1000(L) 2)140(W)×200(D)×1000(L)
		재 료	perspex acryl, S41C
5	blower	형 태	터보팬
		유 량	100m ³ /min
		압 력	150mmH ₂ O
6	구동모터	형 태	AC induction motor
		출 력	2.1KW 이상
		회전수	50~1,750rpm
		전 력	AC 220V, 60Hz, 3-phase
7	덕트 스크린 (duct screen)	grid재료	stainless steel
		크 기	#16, #20, #24 각 1sheet
8	honey-comb shell	재 료	Al
		sheet 크기	3/8" dia × 75 mm
9	contraction부	ratio 7:11	
10	피토투브	형 태	rack type
		dia	3mm × 4point

가스보일러 연소실 버너는 임의 위치에 노출이 있는 것이 아니라 전 연소실에 수평으로 분포되어 있으므로 연소시 연소가스 압력은 단면을 기준으로 압력분포가 거의 균일하다고 가정한다. 따라서 풍동 실험에서 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. 압력분포 및 압력강하의 측정은 열교환기 전후단으로부터 55mm 떨어진 위치에서 동시측정을 위하여 동일선상의 4point 피토투브(rack type, dia 3mm×4point pitot tube, 미국 dwyer사)를 내경 4mm 실리콘 튜브관으로 스캐닝박스과 연결한후 마이크로마노미터(FCO 12)에 연결하여 압력분포 및 압력강하를 측정하였다.

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

Fig. 3-3과 3-4는 본 실험에 적용한 열교환기 그림이며, Fig. 3-3은 dry type 열교환기의 구조도 및 흰

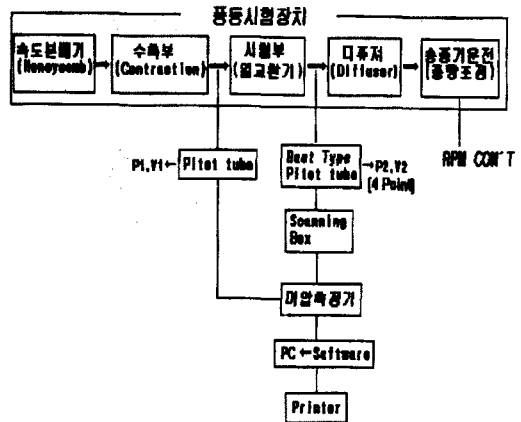


Fig. 3-1. Schematic diagram of wind tunnel apparatus

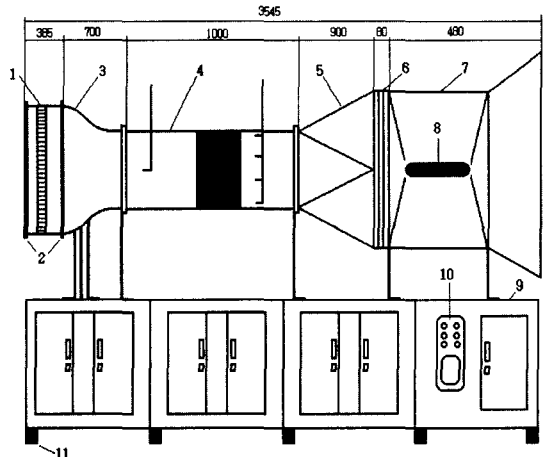


Fig. 3-2. Composition draft for wind tunnel apparatus

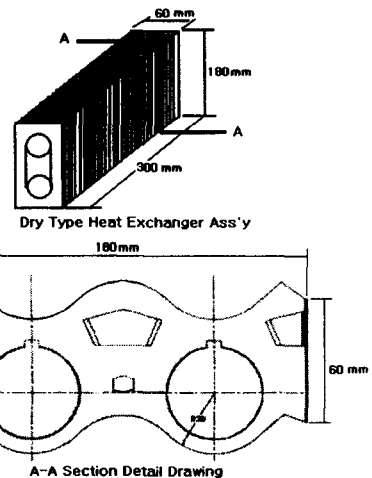


Fig. 3-3. Schematic diagram of dry type heat exchanger

형상으로서 환두께는 0.6mm, 환피치는 3.5mm, 환갯수는 72개이다.

Fig. 3-4은 wet type 열교환기의 구조도 및 환 형상으로서 환두께는 0.3mm, 환피치는 3.0mm, 환갯수는 54개이다.

Fig. 3-5와 3-6은 열교환기 종류에 따른 풍동시험기의 시험부이며, 시험부에서 열교환기 후단의 압력 측정을 위하여 피토투브의 측정위치를 나타낸 그림이다. Fig. 3-5는 건식형태(dry type) 열교환기 시험부로서 수평방향(x-length) 압력측정 위치는 최초 2cm부터 4cm간격으로 8point(2, 6, 10, 14, 18, 22, 26, 28)를 수동으로 ract type 피토투브를 이송하면서 압력측정을 하였으며, 수직방향(y-length)은 최초 3cm부터 4cm 간격으로 4point(3, 7, 11, 15)를 ract type 피토투브 간격을 조정하여 압력측정을 하였다.

Fig. 3-6은 습식형태(wet type) 열교환기 시험부로서 수평방향(x-length) 압력측정 위치는 최초 2cm부터 2cm 간격으로 9point(2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18)

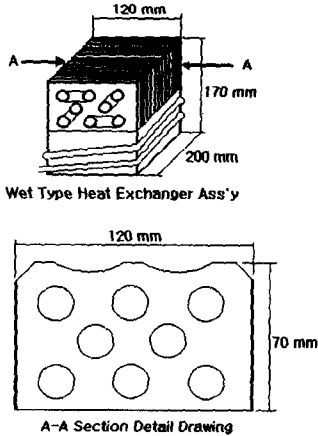


Fig. 3-4. Schematic diagram of wet type heat exchanger

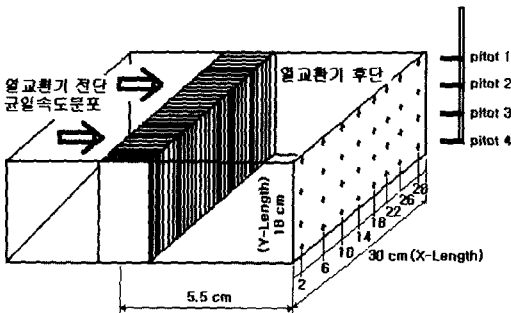


Fig. 3-5. Test section of wind tunnel apparatus(dry type)

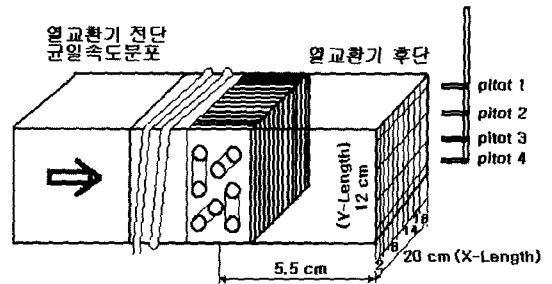


Fig. 3-6. Test section of wind tunnel apparatus(wet type)

를 ract type 피토투브를 수동으로 이송하면서 압력 측정을 하였으며, 수직방향(y-length)은 최초 1cm부터 4cm간격으로 4 point(1, 5, 7, 11)를 ract type 피토투브 간격을 조정하여 압력측정을 하였다.

한편, 열교환기 종류에 따른 풍동시험기의 시험부에서 열교환기 전단부(air input)의 압력분포는 균일한 압력으로 유지되므로 측정을 하지 않았다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 4-1은 풍동시험기의 송풍기 rpm 변화에 대한 열교환기의 공기유출입 속도 및 압력변화를 나타낸 그래프로서 가정용 가스보일러 연소실의 속도, 압력 범위(3~15m/s, 1~12mmH₂O)를 형성하기 위한 송풍기 rpm 조정범위를 나타내는 풍동시험기 시험부 calibration 선도이다. 송풍기 rpm 범위가 0~45일 경

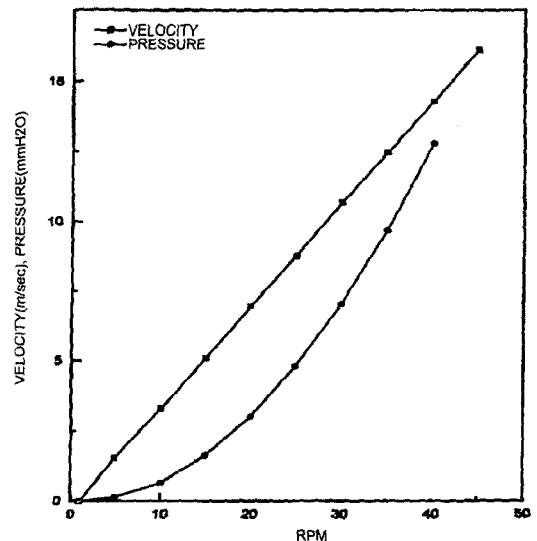


Fig. 4-1. Calibration curve of test section for the wind tunnel apparatus

우 속도범위는 0~17m/s, 압력범위는 0~13mmH₂O이므로 가스보일러 연소실의 속도, 압력범위에 포함됨을 알 수 있다.

Fig. 4-2는 공기유입속도(m/sec)가 0.7, 1.9, 2.8, 4.0, 5.0인 경우 습식형태(wet type) 열교환기 후단에서의 압력분포를 나타낸 그림으로 각각 공기유입속도에 따라 평균압력은 약 0.5, 2.4, 5.5, 9.5, 15mmH₂O이며, 유입속도가 증가할수록 열교환기 수직방향(y-length, pitot tube 1, 2, 3, 4)의 압력분포가 분산됨을 알 수 있으며, 유속이 2.8m/sec 이상부터, 압력분포 분산이 증대되고 있음을 알 수 있다. 이때 열교환기 후단 압력은 약 5.5mmH₂O 이상이며, 전체적인 열교환기의 압력분포는 중심부위 보다 양측면이 상대적으로 낮다. 이는 연소실 길이에 대한 유동마찰(μ) 때문이며, 이와 관련하여 각각 공기유입속도에 대한 압력분포는 Fig. 4.3부터 Fig. 4.7까지 나타나고 있다.

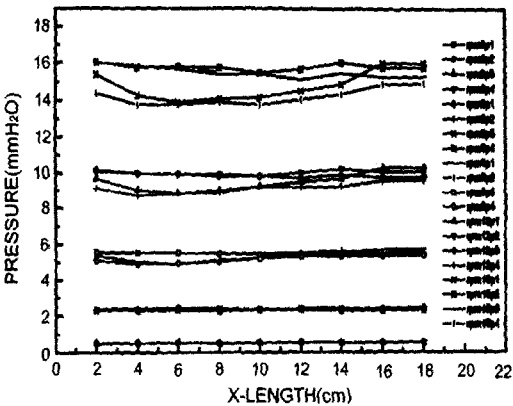


Fig. 4-2. Pressure distribution of wet type heat exchanger at various speed

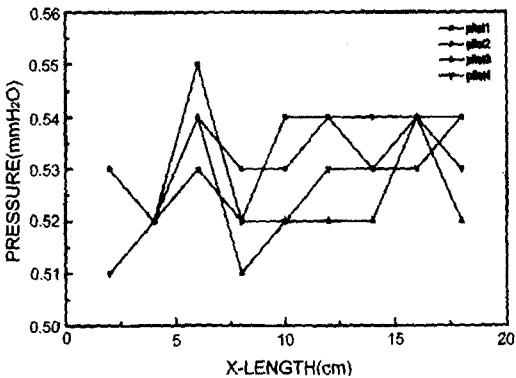


Fig. 4-3. Pressure distribution of wet type heat exchanger at input speed 0.7m/sec

Fig. 4-8은 공기유입속도(m/sec)가 0.7, 1.9, 2.8, 4.0, 5.0인 경우 건식형태(dry type) 열교환기 후단에서의 압력분포를 나타낸 그림으로 각각 공기유입속도에 따라 평균압력은 약 0.7, 2.6, 6.3, 11.3, 18mm H₂O이며, 유속이 증가할수록 열교환기 수직방향(y-length, pitot tube 1, 2, 3, 4)의 압력분포가 분산됨을 알 수 있으며, 유속이 2.8m/sec 이상부터, 압력분포 분산이 wet type 열교환기보다도 더 증대되고 있음을 알 수 있다. 이때 열교환기 후단 압력은 약 6.3mmH₂O 이상이며, 전체적인 열교환기의 압력분포는 중심부위, 양측면이 불규칙적으로 분산됨을 보여준다. 이는 연소실 길이에 대한 유동마찰(μ)보다는 열교환기 원피치(5~6mm)가 크기 때문이며, 이와 관련하여 각각 공기유입속도에 대한 압력분포는 Fig. 4.9부터 Fig 4.13까지 나타나고 있다.

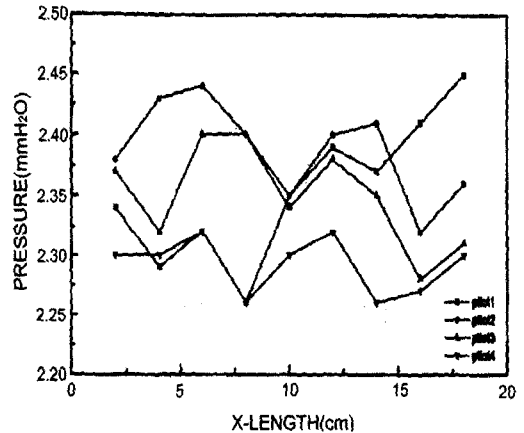


Fig. 4-4. Pressure distribution of wet type heat exchanger at input speed 1.9m/sec

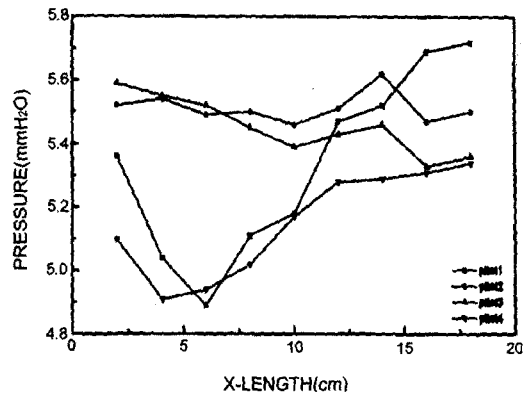


Fig. 4-5. Pressure distribution of wet type heat exchanger at input speed 2.8m/sec

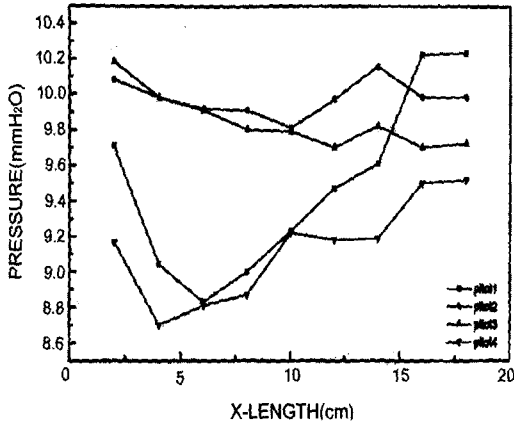


Fig. 4-6. Pressure distribution of wet type heat exchanger at input speed 4.0m/sec

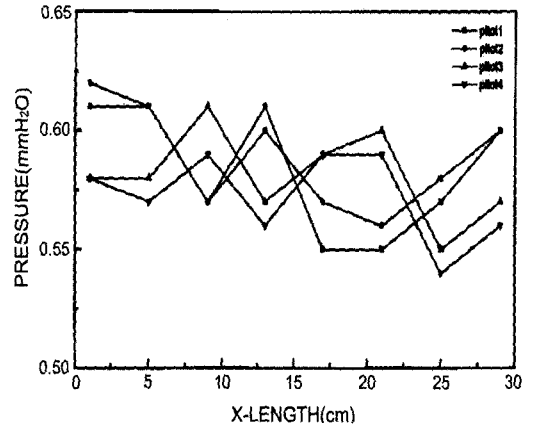


Fig. 4-9. Pressure distribution of dry type heat exchanger at input speed 0.7m/sec

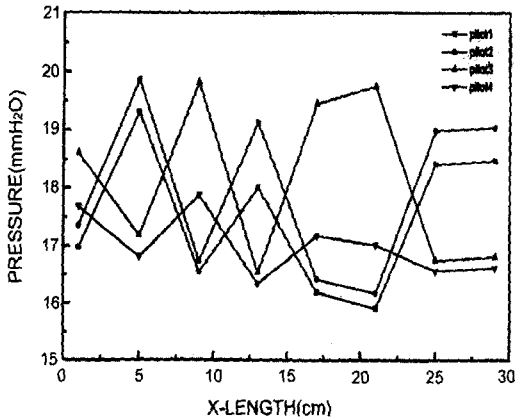


Fig. 4-7. Pressure distribution of wet type heat exchanger at input speed 5.0m/sec

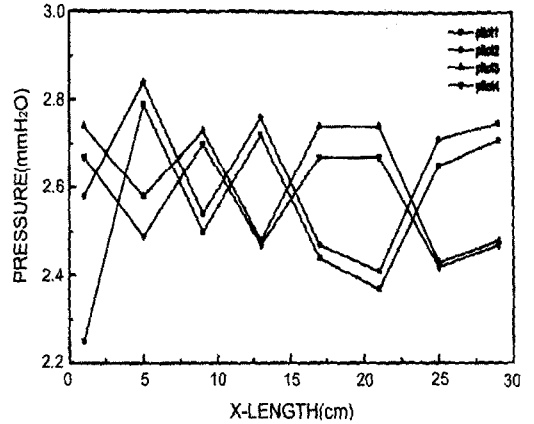


Fig. 4-10. Pressure distribution of dry type heat exchanger at input speed 1.9m/sec

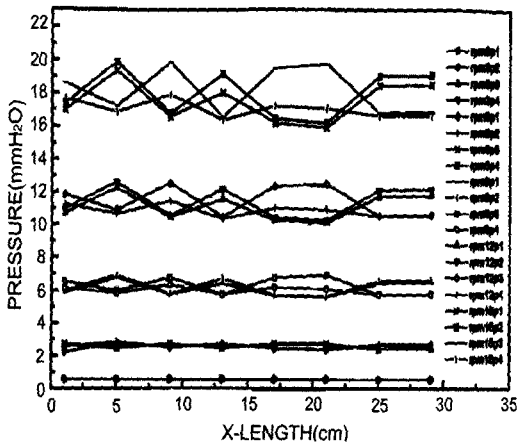


Fig. 4-8. Pressure distribution of dry type heat exchanger at various speed

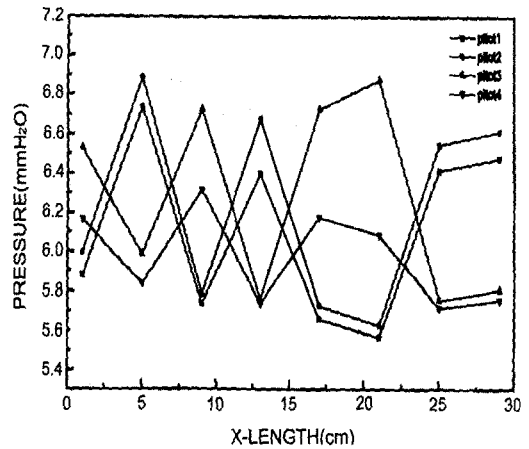


Fig. 4-11. Pressure distribution of dry type heat exchanger at input speed 2.8m/sec

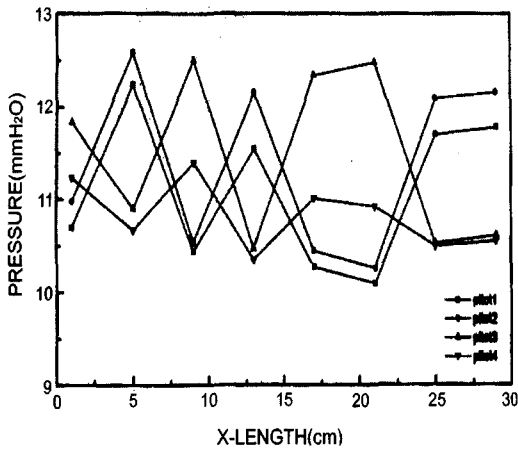


Fig. 4-12. Pressure distribution of dry type heat exchanger at input speed 4.0m/sec

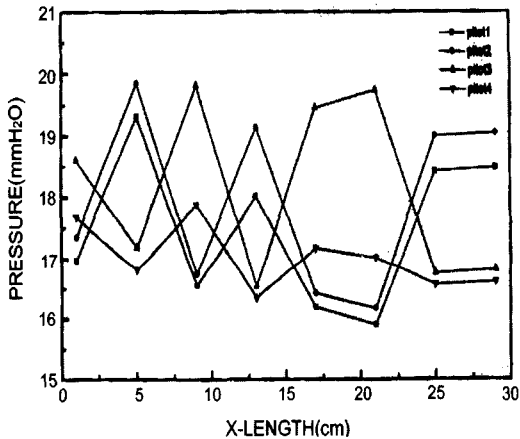


Fig. 4-13. Pressure distribution of dry type heat exchanger at input speed 5.0m/sec

5. 결론

본 연구에서는 열교환기 제원을 검토한 결과 가스소비량당 가스측의 전열면적 크기는 평균값이 0.451 cm²/(kcal/h)이며, 난방전용 열교환기(single type) 경우 평균값을 하회하는 작은 전열면적 [0.18~0.34cm²/

(kcal/h)]을 적용하고 있어 전열면적에 대한 특성을 분석하여 열교환기의 최적설계방법을 수행해야 될 것으로 사료되며, 풍동시험기의 유량변화에 대한 유형별 열교환기의 공기 유출입 압력분포를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 습식인 경우 열교환기 후단압력은 약 5.5mm H₂O 이상부터, 압력분포 분산이 증대되고, 전체적인 열교환기의 압력분포는 중심부위보다 양측면이 상대적으로 낮음을 알 수 있었고, 이는 연소실 길이에 대한 유동마찰(μ) 때문이며, 가스보일러 연소시 불균등한 압력분포 및 열전달로 인해 열교환기의 수명 단축 및 흰 막힘현상을 초래 할 수 있다고 사료된다.

2) 건식의 경우 열교환기 후단 압력은 약 6.3mm H₂O 이상부터 압력분포 분산이 wet type 열교환기 보다도 더 증대되었고 전체적인 열교환기의 압력분포는 열교환기 흰 피치(5~6mm)가 크기 때문에 중심부위, 양측면이 불규칙적으로 분산되고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) 검사지원처, "고압가스통계 2001," 한국가스안전공사, 2001.
- 2) 사고조사처, "2000 가스사고연감," 한국가스안전공사, 2001.
- 3) Kayansayan, N. : "Heat transfer characterization of flat plain fins and round tube heat exchanger," *Exper. Therm. Fluid Sci.*, Vol. 6, No. 3, pp. 263~272, 1993.
- 4) Kays, W. M. and A. L. London: "Compact heat exchangers," 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1984.
- 5) Holman, J. P. : "Heat Transfer," 7th ed., McGraw-Hill, Singapore, 1990.
- 6) W. M. Kays : "Numerical solution for laminar-flow heat transfer in circular tubes," ASME, Stanford, Calif, November, pp. 1265~1274, 1995.
- 7) 한국표준협회: 도시가스용 운수보일러 KS G 5148, 1993.