에너지공학, 제20권 제4호(2011)
Journal of Energy Engineering, Vol. 20, No. 4, pp. 330~337 (2011)
http://dx.doi.org/10.5855/ENERGY.2011.20.4.330

전열밀폐식 X-L 파이프 보일러 난방장치의 특성 및 경제성 평가

김수만 · 전태규* · 양영준†**

경남과학기술대학교 자동차공학과 대학원, *(주)GSE, **경남과학기술대학교 자동차공학과

(2011년 9월 8일 접수, 2011년 12월 19일 수정, 2011년 12월 20일 채택)

Evaluation on Characteristics and Economical Efficiency of X-L Pipe Boiler with Electric Heat Closed Type

Su-Man Kim, Tae-Kyu Chun* and Young-Joon Yang†**

*Graduate School, Dept. of Automotive Engineering, Gyeongnam Nat'l Univ. of Sci. and Tech., *GSE lnc., **Dept. of Automotive Engineering, Gyeongnam Nat'l Univ. of Sci. and Tech.*

(Received 8 September 2011, Revised 19 December 2011, Accepted 20 December 2011)

요 약

난방장치로서 통상 가스 및 기름보일러가 많이 사용되어진다. 본 연구는 기존의 가스 및 기름 보일러에 의한 난방방식과 달리 밀폐된 X-L 파이프 내에 특수 제작된 전열선을 삽입하여 그 전열선에 전압을 인가함으로써 X-L 파이프 내 열매체의 온도를 상승시켜 난방하는 방법에 관한 것이다. 특수 제작된 전열선의 가닥수와 인가전압을 변화시켜 X-L 파이프 보일러의 특성과 발열 메카니즘을 파악하였다. 또한 X-L 파이프 보일러와 가스 및 기름보일러와의 난방비용을 객관적인 자료에 근거하여 서로 비교를 함으로써 그 경제성을 평가하였다. 그 결과 X-L 파이프 보일러는 기름(보일러등유)보일러의 28%, 가스(천연가스)보일러의 58%의 비용으로 난방이 가능함을 확인하였다.

주요어 : X-L 파이프 보일러, 전열선, 가스/기름보일러, 난방비용, 경제성

Abstract — In these days, the gas or kerosene boiler was usually used as heating system. This study was carried out to investigate the merits of X-L pipe boiler with electric heat line that was specially manufactured. The electric heat line was inserted into inside of X-L pipe and voltage was impressed to electric heat line and, as a result, temperature of X-L pipe filled with heat medium was increased. As changing the number of electric heat line and voltage, the characteristics of X-L pipe boiler and its mechanism on heat generation were studied. Furthermore, the economical efficiency was evaluated by comparing heating cost of X-L pipe boiler with those of kerosene boiler and natural gas boiler, respectively. As the results, it was confirmed that heating cost of X-L pipe boiler was showed as 28% of kerosene boiler and 58% of natural gas boiler.

Key words : X-L Pipe Boiler, Electric Heat Line, Gas/Kerosene Boiler, Heating Cost, Economical Efficiency

1. 서 론

현재 가정용 또는 산업용 난방장치의 연료로서 대부분 석유나 가스를 이용하고 있다. 이러한 연료를 사용하는 석유/가스보일러는 화석연료를 연소하여 그 에너지를 열원으로 하고 있으므로 연소 시의 배출가스로 인한 환경오염 및 오일쇼크와 같은 유가폭등으로 인한 경제적 손실 등의 많은 불안요인을 가지고 있다 [1]. 따라서 화석연료의 사용에 대한 보완 및 해결책의 하나로서 친환경 저탄소 배출에너지 또는 에너지 절약 가능 기술을 적극적으로 개발하고 있다 [2]. 친환경 저

†To whom corresponding should be addressed.
Dept. of Automotive Engineering, GyeongNam National University of Science and Technology, 150, Chilamdong, Jinju-si Gyeongnam-do, 660-758, Korea
Tel : 055-751-3646; E-mail : yangyj@gntech.ac.kr

탄소 배출에너지로서 지열, 풍력, 태양열에너지 등과 같은 신재생에너지 분야에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으나 아직까지 이 분야가 전체 에너지 사용량 중에 차지하는 부분은 미비한 실정이다 [3-5]. 에너지 절약가능 기술로서는 여러 가지 많은 신기술이 나오고 있으나 난방장치에 관한 신기술은 수요에 비해서 예상외로 그다지 많지 않은 편이다 [6-8]. 전열밀폐식 난방장치는 석유나 가스를 사용할 때 요구되는 보일러 시스템과 열의 이송설비 계통이 모두 생략된다. 따라서 보일러실과 설비라인의 설치가 필요 없으므로 건축 시공비를 절감할 수 있고 설치 장소의 제약이 없다. 또한 소량의 전기만을 사용하므로 전기에너지를 절감할 수 있는 이점이 있다. 이 기술이 석유나 가스보일러와 비교하여 동일한 난방효율을 가지면서 경제성이 뛰어나다면 매우 흥미로운 연구 분야가 될 것이다.

본 연구에서는 3가닥의 전열선이 난방관에 이중 회귀 방식으로 내삽되고 열매체가 충진된 난방관(가교화 고밀도 폴리에틸렌 파이프, 통칭 X-L 파이프)의 양 단부를 강제 밀폐한 구조로서, 내삽된 전열선에 전원이 인가되면서 발열 작동하는 난방장치에 대해 조사하였다. 이를 위해 인가전압에 따른 난방관의 각 위치별 온도와 압력, 소요전력량을 측정하여 전열 밀폐식 X-L 파이프 보일러의 특성과 그 발열 메카니즘을 파악하였다. 또한 전열 밀폐식 X-L 파이프 보일러와 기존의 석유 및 가스보일러와의 경제성을 비교·분석하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

X-L 파이프 난방장치의 바닥 매설 시의 설치 예를 Fig. 1에 나타내었다. 이 장치는 기존의 콘크리트 위에 시공할 수 있으며 마감재로서 온돌마루나 장판뿐만 아니라 콘크리트로도 마감하여 반영구적으로 사용할 수 있다.

본 연구에서 사용한 실험장치를 Fig. 2에 나타내었다. 또한 Fig. 2에서의 X-L 파이프의 세부적인 내부 구조를 Fig. 3에 나타내었다. 전열 밀폐식 X-L 파이프 내부에 3가닥의 전열선이 난방관에 이중(회귀)방식으로 내삽되고 열매체가 충진된 난방관(가교화 고밀도 폴리에틸렌 파이프, 통칭 X-L 파이프)의 양 끝단을 강제 밀폐하고 내삽된 전열선에 전원이 인가되면서 발열 작동하게 된다. X-L 파이프(내경 15 mm, 외경 20 mm) 길이는 1평(3.3 m^2) 규모에서 보통 사용하는 약 10 m로 하였으며 실험 작업공간을 줄이기 위해 원의 형태로 제작하였다.

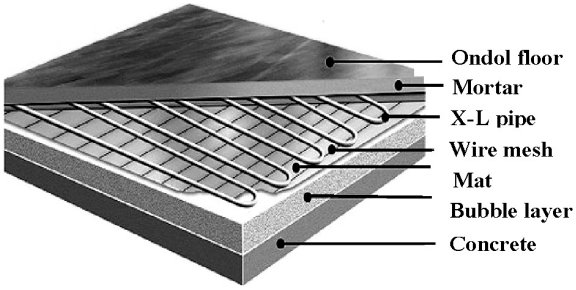


Fig. 1. Set-up of X-L pipe boiler.

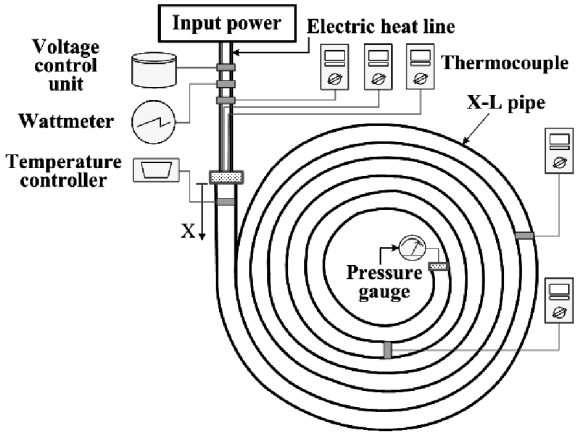


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

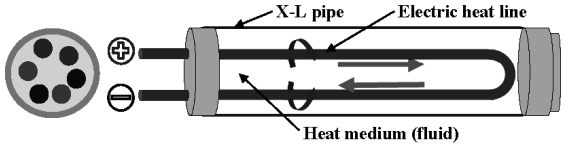


Fig. 3. Inside structure of X-L pipe.

본 실험에서 중요한 요소 중의 하나인 전열선의 특징은 다음과 같다. 여러 금속의 합금으로 구성된 1개의 금속전열선을 서로 꼬아 총 직경을 약 0.4 mm로 만든 후, 내열온도 330℃인 테프론으로 코팅하여 코팅을 포함한 전체 직경이 약 2 mm가 되도록 하였다. 측정 시에는 전열선의 표면온도를 상온인 약 25℃로 일정하게 유지한 상태에서 실험을 수행하였다. 파이프 내에 충진되는 열매체는 물과 포도당, 에틸알코올 외에 다수의 특이 성능물질을 일정비율로 혼합하여 발열속도와 전도성을 높여 난방효율을 높이게 된다. 그러나 본 실험에서는 취득이 용이하고 또한 혼합 열매

체와 그 특성을 비교하여 기초자료로도 활용할 수 있는 비등점이 100℃인 일반 물을 사용하였다. 인가전압을 조절하기 위한 전압조절기(Voltage control unit, 슬라이닥스), 전력사용량을 파악하기 위한 전력량계 [9](Wattmeter, (주)태스콘), 설정온도를 지정하기 위한 온도조절기(Temperature controller, UTH-200), 온도를 측정하기 위한 열전대(Thermocouple), X-L 파이프 내부압력을 측정하기 위한 압력계 등을 사용하였다.

전압은 110 V～220 V 사이를 4단계의 일정간격으로 나누어 측정하였으며, 경제성분석을 위해 전력량계를 사용하였다. 온도조절기는 센서를 통해 열선을 차등 미세조절하여 과잉난방을 방지하기 위하여 사용되어졌다. 본 실험에서는 X-L 파이프의 특성 및 발열메카니즘의 파악 시에는 온도조절기를 사용하지 않고 연속적으로 가열하였으나, 경제성 분석 시에는 가정 및 산업용으로 실제 사용하는 경우와 동일하게 하기 위해 온도조절기를 사용하여 최대온도를 제어하였다. K-type의 열전대를 사용하여 발열하는 전열선의 온도를 측정하였다. 전열선이 X-L 파이프로 내삽되기 직전의 노출된 전열선의 표면온도, 열전대를 내삽하여 X-L 파이프 내부의 열매체온도, 열매체온도와 동일지점의 X-L 파이프 외부의 표면온도를 측정하였다. X-L 파이프 내부의 열매체온도와 동일지점의 외부의 표면온도는 X-L 파이프의 전체적인 온도특성을 나타내는 지점으로 판단된 X=2 m와 X=8 m 위치에서 측정하였다. 즉 총 5개의 열전대를 동시 측정하여 전열선에서 실제 발열하는 온도, 열매체온도, 난방에 직접적으로 영향을 미치는 X-L 파이프 표면온도와의 관계를 조사하였다. X-L 파이프의 끝단에 압력계(측정범위: 0～2 kgf/cm^2)를 설치하여 온도의 변화에 따른 내부압력변화를 측정하였다. Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 전열선에 전압을 인가시키면 전열선은 발열하게 된다. 이것은 전열선에 전류가 흐를 때, 전열선이 저항없이 전류를 흐르게 할 수 있는 양보다 더 많은 전류를 흐르게 하면 전열선에 저항이 발생하며 이 저항이 전기에너지를 열에너지로 변환시킨다. 이 전기저항은 $R=\rho \cdot L/A$ (Ω)(여기서, ρ : 고유저항, L : 길이, A : 단면적)으로 나타낼 수 있기 때문에 전기저항 즉 발열을 증가시키기 위해서 전열선의 단면적을 줄이고 길이를 늘이게 된다. 전자파를 차단하는 방법으로 전기기구를 차폐하여 접지하는 방법과 전자파의 방향을 교체하거나 평행으로 역(逆)대치하여 상쇄하는 방법 등이 있다. 본 실험에서는 발열을 증가시키기 위해 전열선을 여러 가닥으로 나누고 전자파를 상호상쇄 시키기 위해 전열선을 이중회귀 방식으로 하였다.

여기서 전압변화에 따른 온도변화를 제외하고 모든 조건에서 전압은 220 V로 하고, 시간은 10분 단위로 200분간 연속 측정하였다. 온도측정 위치는 상술한 바와 같이 X-L 파이프로 내삽되기 직전의 노출된 전열선의 표면온도, X=2 m와 X=8 m 각각의 열매체 온도와 X-L 파이프 표면온도, 전열선의 개수(1선, 2선, 3선)에 따른 변화와 또한 110 V에서 220 V까지 균등한 4단계(110 V, 146 V, 183 V, 220 V)로 하여 X-L 파이프의 특성을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. X-L 파이프 보일러의 특성 및 발열 메카니즘

우리나라에서 일반적으로 사용되어지는 220 V로 인가전압을 고정하고, X=2 m 지점에서 전열선의 가닥수에 따른 열매체의 온도를 Fig. 4에 나타내었다. 전기설비 기준령 제255조 5항에 의하면 안전상의 문제로 전열선의 발열온도가 80℃를 초과하지 못하도록 규정되어 있으며 또한 난방관(X-L 파이프) 온도 및 각종 보일러에서 토출되는 난방수온도 역시 80℃를 초과하지 못하게 되어있다. 그러나 여기서는 X-L 파이프 보일러 난방장치의 최대성능을 파악하기 위해 최대온도 설정 타이머는 설치하지 않았다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 1가닥의 온도를 200분 측정하였을 때 파이프내 열매체의 최대온도는 53℃, 2가닥의 경우는 74℃, 3가닥의 경우는 94℃이었다. 1가닥의 경우는 열매체의 온도가 완만하게 증가하나 3가닥의 경우는 1가닥의 경우와 비교하여 급격하게 온도가 상승하는 것을 알 수 있다. 3가닥의 경우는 난방시작 30분 후에 열매체의 온도가 약 55℃에 이르며 1가닥의 경우의 200분 후의 최고온도 값과 거의 동일한 값을 보인다. 따라서 단시간에 난방을 하기 위해서는 1, 2 가닥에 비해 3가닥의 전열선을 사용하는 것이 효율적임을 알 수 있다. 이는 전열선의 증가는 곧 발열 표면적의 증가와 같기 때문인 것으로 예상된다.

가닥수의 증가(즉 발열 표면적의 증가)에 따른 열매체 및 X-L 파이프 표면온도의 증가 비율을 조사하였다. Fig. 5에 X=2 m 및 X=8 m 지점에서 열매체 및 X-L 파이프 표면의 최대온도를 나타내었다. 여기서 X=2 m 및 X=8 m 모든 경우, X-L 파이프의 최대표면온도는 열매체의 최대온도보다 낮은 온도로 관측된

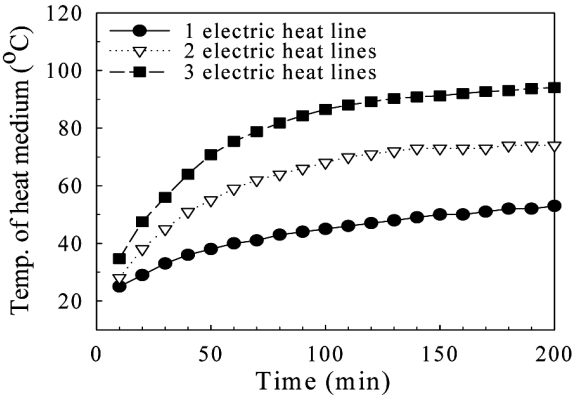


Fig. 4. Temperature of heat medium with respect to the number of electric heat line at X=2 m, 220 V.

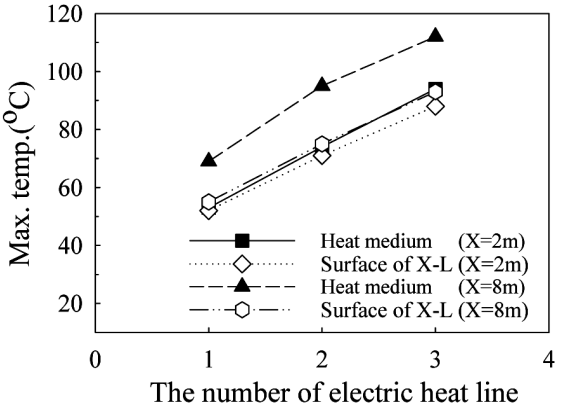


Fig. 5. Relations between the number of electric heat line and maximum temperature at X=2 m, 8 m and 220 V.

다. 이는 X-L 파이프 내의 열매체에 의한 대류손실과 X-L 파이프 자체에 의한 전도손실에 기인한 것으로 판단된다. 또한 X=2 m 지점의 온도보다 X=8 m 지점에서의 온도가 더 높게 나타난다. 이것은 X-L 파이프가 차지하는 공간을 줄이기 위해 밀집형의 원형으로 감아서 장치를 구성하였으므로 X=2 m의 온도측정 부위(원형의 가장 바깥쪽)가 X=8 m의 온도측정 부위(원형의 안쪽)보다 외부와 접촉하는 표면적이 높기 때문에 방열하는 양이 많아 온도가 낮게 나타나는 것으로 판단되어진다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 가닥수의 증가에 따라 모든 부분의 최대온도는 거의 선형적으로 증가한다. 그러나 실제로 X-L 파이프에 너무 많은 가닥수를 적용할 경우 과열되어 화재의 위험이 존재한다. 또한 가닥수를 줄이고자 가닥수를 적게 하고 1가닥의 직경을 크게 하면 국부적인 열집중 현상이 발생하여 이 역시 화재의 위험이 있다. 또한 전기설비 기준령인 80℃를 초과하지 않도록 하기 위해서도 적정한 가닥수를 정하는 것이 중요한 것으로 판단된다. Fig. 4에 나타낸 바와 같이 X=2 m 지점에서 3가닥인 경우에 80℃를 초과하는 시간은 약 70분이 경과 한 후였다. 지면상의 문제로 여기서는 나타내지 않았지만, X=8 m 지점에서 3가닥인 경우에 80℃를 초과하는 시간은 약 40분이 경과한 후였다. 따라서 본 실험장치는 초기 난방개시 때의 온도 상승시간 및 안정 등의 문제로 고려할 때, 가닥수를 3가닥으로 하고 최대온도 자동제어기를 설치하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

전열선의 가닥수를 가장 적절한 것으로 판단된 3가닥으로 고정하고, 해외에서의 사용을 고려하여 인가전

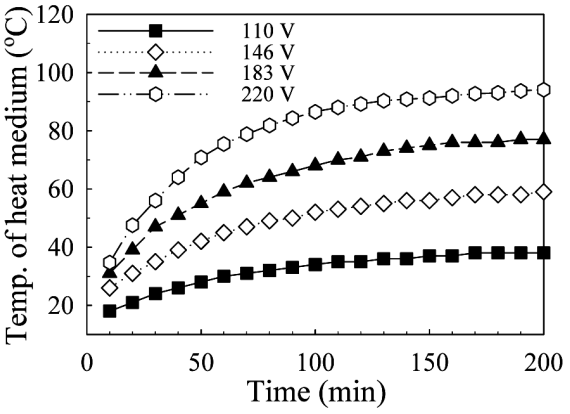


Fig. 6. Temperature of heat medium with respect to voltage change at X=2 m, 3 electric heat lines.

압을 110 V, 146 V, 183 V, 220 V(각각 약 37 V의 차)으로 변화시켜 전압변화에 따른 열매체온도를 조사하였다. Fig. 6에 X=2 m 지점에서의 결과를 나타내었다. 그림에서 인가전압이 증가할수록 열매체온도 역시 일정 비율로 증가하는 것이 관측되어진다. 시간이 200분 경과되었을 때 110 V에서의 최대온도는 38℃, 146 V에서는 59℃, 183 V에서는 77℃, 220 V에서는 94℃로 그 차이가 평균 약 18℃로 전압의 증가에 따라 최대온도도 선형적으로 증가한다. 이것은 앞에서의 전열선의 증가와 같이 전압의 증가로 발열되는 양이 상승하기 때문으로 예상된다.

Fig. 7에 X=2 m 및 X=8 m에서의 열매체의 최대온도와 열매체와 동일지점에서의 X-L 파이프의 최대표면온도를 나타내었다. 여기서 전압이 증가할수록 열매체 및 X-L 파이프의 표면온도가 증가하고 그 증가

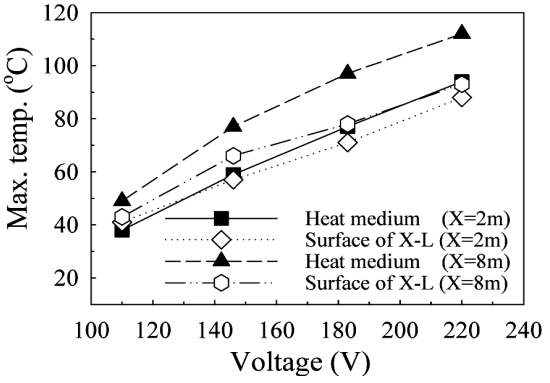
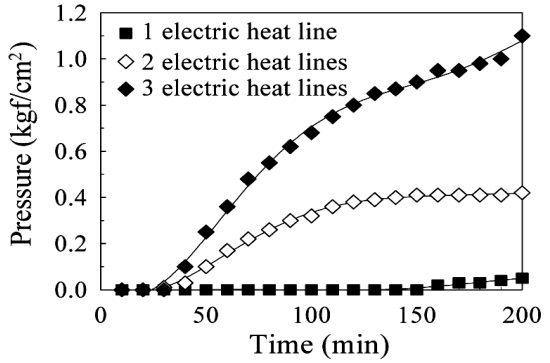
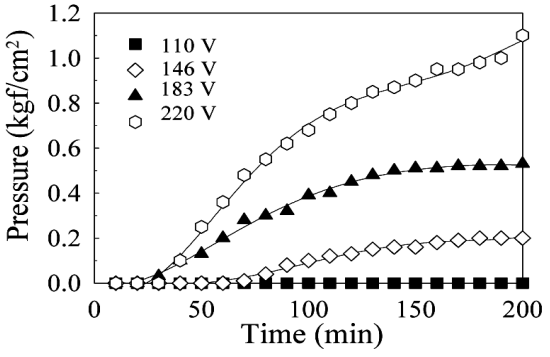


Fig. 7. Relations between voltage and maximum temperature at X=2 m, 8 m.



(a) Change of electric heat line in case of 220 V



(b) Change of voltage in case of 3 electric heat lines

Fig. 8. Pressure change with respect to elapsed time.

비율이 일정하다는 것을 알 수 있다. 따라서 인가전압과 난방온도는 거의 선형관계인 것을 알 수 있다.

Fig. 8에 (a) 가닥수에 따른 X-L 파이프 내의 압력변화 (b) 인가전압에 따른 X-L 파이프 내의 압력변화를 나타내었다. Fig. 8(a)에서, 전열선 1가닥인 경우의 압력은 200분 동안 거의 변화가 관측되지 않는다. 2가닥의 경우는 약 40분이 경과되면서 압력이 상승하기 시작하여 약 120분 이후는 거의 일정하게 유지 된다.

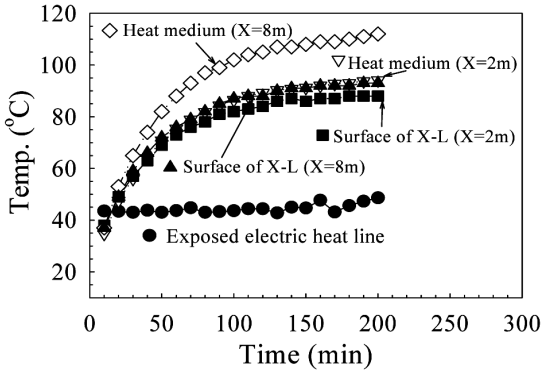


Fig. 9. Relations between exposed electric heat line and heat medium, surface temperature of X-L pipe at 3 electric heat line, 220 V.

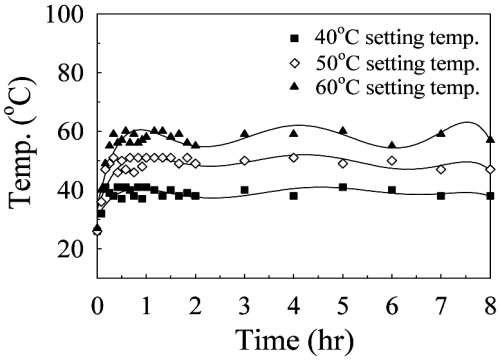
3가닥의 경우는 1, 2가닥의 전열선과 비교하여 상당히 높은 압력을 나타내고 있다. 초기에는 거의 압력변화가 없지만 약 30분이 경과한 시점부터 급격한 압력변화가 관측되어지며 이때 X-L 파이프의 내부온도는 평균 약 60℃에 도달하였다. 이것은 보일-샤를의 법칙 $Pv/T=C$(P : 압력, v : 비체적, T : 절대온도, C : 상수)에서 알 수 있는 바와 같이, 온도와 압력은 서로 비례관계에 있는 것과 일치한다. Fig. 8(b)에서, 110 V인 경우의 압력변화는 200분 동안 전혀 발생되지 않았다. 146 V의 경우는 약 60분 이후에 압력변화가 발생되기 시작하였으며, 183 V의 경우는 약 30분 이후에, 220 V의 경우도 약 30분 이후부터 압력이 급격히 상승되며 최고압력은 1.1 kgf/cm^{2}를 나타내었다. 여기서 밀폐된 X-L 파이프 내부에 충전된 열매체는 전열선의 발열에 의해 가열되면서 온도가 상승하게 되고 밀폐구조이므로 내부압력도 동시에 상승하게 된다. 이때 압력과 온도는 정비례하며 밀폐된 난방관 내부의 온도는 에너지축적 효과에 의해 대기 중인 경우보다 빠르게 상승되는 것으로 판단되어진다.

지금까지 전열선의 가닥수와 인가전압을 변화시켰을 때의 결과에 대해 조사하였다. 위의 결과들 중에서 난방에 가장 양호한 조건인 것만을 선택(3가닥의 전열선, 220 V의 인가전압)하여 그 특성을 조사하였다. Fig. 9에 노출 전열선(즉 전열선이 X-L 파이프 내부로 삽입되기 직전의 외부대기에 노출된 전열선 표면온도)의 온도, X=2 m와 X=8 m 지점의 각각의 열매체온도와 X-L 파이프 표면온도를 실험개시 10분 후부터 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 난방온도를 60℃로 설정하였을 때, 약 30분경과 후에 난방성능을 발휘하는 것을 알 수 있다. 노출 전열선

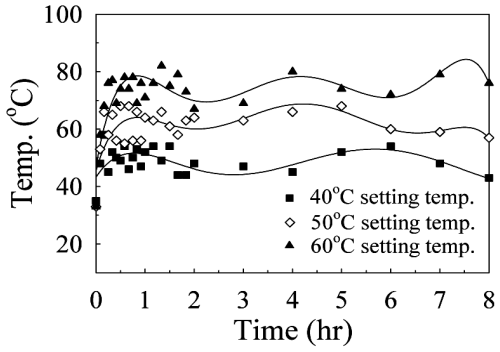
의 온도는 일정한 전압(220 V)이 계속적으로 투입되고 있음에도 200분의 비교적 긴 시간이 경과해도 온도가 평균 약 43℃로서 변화가 거의 없다. 이것은 전열선이 발열을 하여도 대기에 계속 열을 방출하기 때문에 온도변화가 거의 없는 것으로 예상된다. 그러나 같은 전압이 인가된 X-L 파이프 내에 있는 X=2 m와 X=8 m 지점의 열매체와 표면온도는 상당히 높은 온도까지 상승한다. 특히 X=8 m 지점의 열매체온도는 사용한 물의 비등점(100℃)을 넘는 최대 112℃까지 상승하는 것이 관측된다. 그러나 실험에서 물의 비등은 관측되지 않았다. 상술한 Fig. 8의 압력변화의 결과와 함께 이 현상을 고찰하면 다음과 같다. 220 V의 경우 압력은 약 30분부터 상승하기 시작하여 시간에 경과에 따라 계속 증가하며 온도 역시 급격히 상승한다. 즉 온도가 100℃를 넘어도 액체가 비등하지 않는 이유는, X-L 파이프가 밀폐되어 있기 때문에 온도가 상승함에 따라 압력이 상승하고, 압력이 상승함에 따라 물의 비등점도 상승하기 때문인 것으로 판단되어진다. 단위체적당 열전달 효율은 기체보다 액체가 우수하다. 본 연구에서 액체의 충진율이 70～80%이므로 20～30%의 공간에 고온의 기체가 형성되어 이 기체가 X-L 파이프 전체의 온도상승에 기여했을 가능성도 존재한다. 즉 밀폐된 공간 내에서 지속적인 열원의 공급에 의해 시간이 경과함에 따라 X-L 파이프 내부의 압력이 증가함과 동시에 또한 밀폐된 공간의 온실효과에 의해 X-L 파이프 내 열매체의 온도가 상승한 것으로 판단된다. 실제로 난방장치에 적용할 경우에는 안전상의 문제로 최대온도를 적절히 제어할 필요가 있으며, 액체로서 물이 아닌 특수열매체를 사용할 경우 X-L 파이프의 온도는 더 상승할 것으로 예상된다.

3-2. 소요 에너지 및 경제성 분석

여기서는 X-L 파이프 보일러의 소요에너지 및 경제성에 관한 분석을 수행하였다. Fig. 2에서 온도조절기의 센서는 X=10 cm의 X-L 파이프 표면에 부착되어 온도조절기의 설정온도(본 실험에서는 40, 50, 60℃)에 반응한다. X=10 cm 지점의 온도가 설정온도보다 상승하면 온도조절기는 오프(off) 상태가 되어 전압의 인가를 중지하여 온도를 낮추게 된다. 이때 다른 지점의 온도변화를 알아보기 위해 X=2 m 지점의 X-L 파이프 표면온도를 동시 측정하였다. 또한 처음 1시간은 5분 간격, 다음 1시간은 10 간격, 그 다음부터는



(a) Temperature of temperature controller at X=10 cm



(b) Surface temperature of X-L pipe at X=2 m

Fig. 10. Fluctuation of temperature in case of 40, 50, 60℃ setting temperature, respectively.

1시간 간격으로 총 8시간을 연속 측정하여 총 소요에너지를 1일의 에너지소요량으로 하였다. 에너지소요량을 측정하기 위해 전력량계(Wattmeter)를 사용하였다.

Fig. 10에 설정온도를 40, 50, 60℃로 하였을 때 (a) 온도조절기 온도(X=10 cm) (b) X-L 파이프 표면온도 (X=2 m)의 변동을 나타내었다. Fig. 10 (a)에서 온도조절기를 40℃ 설정 시는 10분, 50℃ 설정 시는 15분, 60℃ 설정 시는 20분 경과 후에 설정온도에 도달하며, 그 후에 설정온도를 중심으로 변동하고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 10(b)에서와 같이, X=2 m 지점에서 X-L 파이프 표면의 평균온도는, 온도조절기 40℃ 설정 시는 50℃, 온도조절기 50℃ 설정 시는 62℃, 온도조절기 60℃ 설정 시는 75℃로 관측되었다. 전 절의 X-L 파이프의 특성에서 관측되었듯이 X=8 m의 지점의 온도는 X=2 m 지점의 온도보다 10～15℃ 정도 높다. 따라서 80℃를 초과하지 못하도록 되어있는 전기설비 규정에 따른다면, X-L 파이프의 실제 사용 시는 설정온도를 50℃ 이내로 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

Fig. 11에 8시간 동안 전력량계를 이용하여 측정한

소요에너지를 나타내었다. 설정온도를 40℃로 한 경우 소요에너지는 0.7 kWh, 50℃의 경우는 1.4 kWh, 60℃의 경우는 2.1 kWh로 관측되었다. 시간이 경과할수록 소요에너지는 선형적으로 증가하며, 설정온도가 높을수록 비례하여 소요에너지도 증가하는 것을 알 수 있다.

이와 같은 측정 결과에 대한 경제성분석을 다음과 같이 수행하였다. 본 실험에서의 X-L 파이프 보일러의 난방비용과 통상 난방용으로 많이 사용되는 가스보일러와 기름보일러의 난방비용을 각각 산출하여 비교하였다. 가스보일러의 연료로서 천연가스(Natural gas), 기름보일러의 연료로서 보일러등유(Boiler kerosene)를 적용하였다. 본 실험에서 사용한 X-L 파이프 보일러에 대한 평당 난방가격의 산출이 가능하지만 동일한 사용조건에서의 가스 및 기름 보일러와 비교하는 것은 사실상 불가능하기 때문에 kcal 당 난방비용을 산출하여 비교하고자 한다. 이 방법은 도시가스 판매회사 등에서 다른 에너지와의 비용을 비교하기 위해 사용되는 방법이기도 하다. 본 실험에서 사용한 X-L 파이프 보일러의 경우, 설정온도를 40℃로 하였을 때 1개월(30일)의 전력 사용량은 0.7 kWh(8시간, 즉 1일 사용량) × 30일 로서 21 kWh가 된다. Table 1에 나타낸 것과 같이 적용가격을 60원/kWh로 하면 1개월 사용가격은 21 kWh × 60원/kWh이므로 1260원이 된다. 이때 1개월 동안 사용된 전력량 21 kWh을 kcal로 나타내면, 21 × 860 kcal로서 18,060 kcal가 된다. 따라서 1개월의 사용가격을 사용전력량으로 나누면, 0.06977원/kcal, 즉 1000 kcal 당 69.8원으로 약 70원의 비용이 들어가게 된다. 설정온도 50℃, 60℃의 경우도 동일한 결과를 얻는다. 연료로서 천연가스와 보일러등유를 사용한 경우, Table 1에 나타낸 것과 같이 연료의 발열량 [10,11]부터 고려해야 한다. X-L 파이프 보일러는 연료를 연소시키기 위한 보일러 장치와 난방열의 이동통로인 배관시스템이 생략된다. 따라서 연소기에서 연소효율을 고려한 연소손실과, 배관시스템에서의 열손실을 합한 총손실을 산출해야 하다. 고권현 등 [12]은 헵탄(C7H16), 톨루엔(C7H8), 이소-프로파놀(C3H7OH) 등의 연료를 사용한 실험에서 연소효율이 약 80%로서 약 20%의 열손실이 있으며, 정진도 [13]는 벙커C유의 연소효율이 85.4%로서 14.6%의 열손실이 있으며, 한돈희 등 [14]은 여러 형태의 소각로에서 평균 약 81%

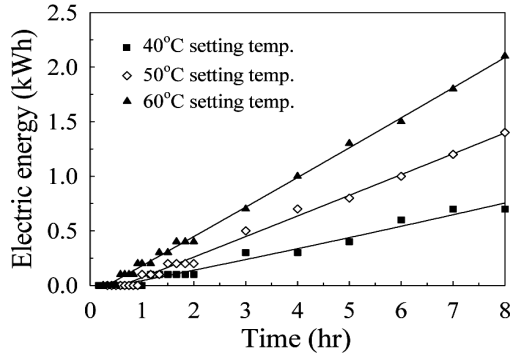


Fig. 11. Consumed electric energy with respect to elapsed time.

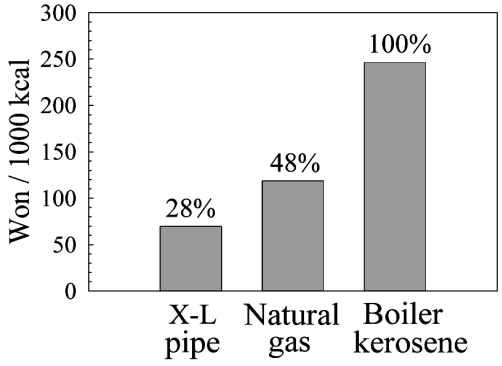


Fig. 12. Comparison of heating cost.

Table 1. Comparison of heating cost.

항 목	X-L pipe	천연가스[출처]	보일러등유[출처]
연료의 고발열량	-	38 MJ/m^3 [10,11] 또는 9047.6 kcal/m^3	42 MJ/kg [10,11] 또는 8183.3 kcal/liter
연소기의 연소손실	-	18% [12-14]	
배관시스템의 열손실	-	15% [15,16]	
총 손 실	-	33%	
적용 단가	60원/kWh (한국전력공사, 일반용 및 산업용 평균가격, 2011.8.1 기준)	720원/m^3 (한국가스공사, 일반용 및 산업용 평균가격, 2011.5.1 기준)	1350원/liter (한국석유공사, 보일러등유 가격, 2011.8.1 기준)

의 연소효율이 있으며 약 19%의 열손실이 있음을 보였다. 따라서 본 실험에서는 위의 평균값인 약 18%를 연소기의 연소손실로 정하였다. 박동식 등 [15]은 공동주택 단지 내의 난방배관의 열손실로서 평균 약 13% 임을 나타냈으며, 최창호 등 [16]은 급탕 배관시스템의 열손실이 약 16% 임을 보였다. 따라서 본 실험에서는 위의 평균값인 약 15%를 배관시스템의 열손실로 정하였다. 위의 2개의 손실을 합한 총손실을 33%로 정하였으며, 이는 난방시스템의 일반적인 총열손실이 약 30～40% 으로 알려진 값의 범위 내에 있음을 나타내고 있다.

Table 1의 적용단가를 고려하여 1,000 kcal 당 소요비용을 Fig. 12에 나타내었다. X-L 파이프 보일러의 경우는 1000 kcal 당 70원, 천연가스 보일러의 경우는 119원, 보일러 등유의 경우는 246원의 비용이 드는 것을 알 수 있다. 이것을 보일러등유를 100%로 하였을 때 X-L 파이프보일러는 28%, 천연가스 보일러는 48%의 비용이 든다. 특히 여기서 천연가스 보일러와 비교하면, 천연가스 보일러를 100%로 하였을 때 X-L 파이프 보일러는 58%의 비용이 든다. 따라서 X-L 파이프 보일러는 경제적인 면에서 천연가스나 보일러등유 보일러와 비교하여 유리하다는 것을 알 수 있으며, 환경적인 면에서도 주거지역에 연소가스를 배출하지 않는 장점이 있다.

4. 결 론

전열 밀폐식 X-L 파이프 보일러 난방장치의 특성과 발열 메카니즘을 조사하기 위하여 전열선의 가닥수와 인가전압을 변화시켰다. 또한 그 경제성을 분석하기 위해 소요에너지를 측정하여 천연가스 및 보일러등유와 비교하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전열선의 가닥수 및 인가전압의 증가는 X-L 파이프 보일러의 온도 증가와 거의 선형적인 비례관계를 갖는다.
2) 인가전압을 220 V, 전열선을 3가닥으로 고정하였을 경우, 노출된 외부전열선의 온도는 약 43℃의 일정한 온도를 유지하지만 X-L 파이프 내의 온도는 약 100℃ 이상 상승한다. 이러한 이유는 X-L 파이프 내의 압력상승, 밀폐구조 및 열매체 등의 요인에 기인한다.
3) X-L 파이프 보일러는 보일러등유 가격의 28%, 천연가스 가격의 58%의 비용으로 난방이 가능하다.

후 기

본 과제(결과물)는 교육과학기술부・지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

1. Whalley, P.B., “Boiling, Condensation and Gas-Liquid Flow”, Clarendon Press, 1987.
2. 최정우, 윤기봉, “에너지 안전 기술의 현황 및 개발 전략”, 한국에너지공학회, Vol. 17, No. 4, pp. 175-181, 2008.
3. Lund, J.W., “Direct-use of geothermal energy in the USA”, Applied Energy, Vol. 74, pp. 33-42, 2003.
4. 전수영, 박상원, 송호준, 박진원, “원자력과 신재생에너지 발전설비 확대에 따른 온실가스저감 잠재량에 관한 연구”, 한국에너지공학회, Vol. 18, No. 3, pp. 191-202, 2009.
5. 박용정, 김경훈, “수평형 지열원 히트펌프 시스템에 관한 연구”, 한국에너지공학회, Vol. 15, No. 3, pp. 160-165, 2006.
6. 최병권, 장시혁, 박강호, 정봉철, 남임우, “소형 가스흡수식 냉난방기의 난방특성”, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집, pp. 1018-1022, 2002.
7. 정광섭, 김영일, 사기용, “단열 규정의 강화가 지역난방 공동주택의 난방열사용량에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제26권, 제6호, pp. 357-364, 2010.
8. 이태원, 김용기, “중앙집중난방방식 공동주택의 난방열량 계량 및 요금부과방안 연구”, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집, pp. 27-32, 2009.
9. 김태유, 김석곤, 전찬석, “전력량계 소손원인 분석”, 한국에너지공학회 추계학술대회논문집, pp. 473-479, 2008.
10. 송규근, 최병철, “연소공학”, 청문각, 2000.
11. 최병륜, 이도형, “연소공학”, 동명사, 1998.
12. 고권현, 박충화, 황철홍, 박설현, “환기부족 구획화재에서 연소효율 개념에 대한 고찰”, 한국화재소방학회, 제24권, 제6호, pp. 145-152, 2010.
13. 정진도, “Emulsion(B-C유+폐수) 연료의 연소효율에 관한 실험적 연구”, 한국에너지공학회, 제12권, 제4호, pp. 267-273, 2003.
14. 한돈희, 하대성, “연소효율이 우수한 소형 소각로의 개발”, 한국환경위생학회, 제26권, 제3호, pp. 81-85, 2000.
15. 박동식, 정광섭, 김영일, 정환교, “공동주택 단지 내의 난방배관에서의 열손실 변화에 관한 연구”, 대한설비공학회, 동계학술대회발표논문집, pp. 97-102, 2010.
16. 최창호, 서승직, “급탕 배관 시스템의 열손실에 관한 수치계산적 연구”, 대한건축학회, 제16권, 제8호, pp. 151-158, 2008.