



## 배기통과 가스보일러 접속부의 내열실리콘 성능에 관한 실험적 연구

\*임사환 · 이종락 · 김철진 · 한귀호 · 김용주 · 김희수 · 장원석 · 임청환\*

한국가스안전공사 가스안전교육원, \*현대자동차 아산공장  
(2007년 10월 5일 접수, 2007년 12월 18일 채택)

## An Experimental Study on Performance of Heatproof Silicon at the Connector of Boiler Exhaust Tube

†Sa Hwan Leem · Jong Rark Lee · Cheol Jin Kim · Gwi Ho Han · Yong Joo Kim ·  
Hee Soo Kim · Won Suk Jang · Cheong Hwan Lim\*

*Institute of Gas Technology Training, Korea Gas Safety Corporation*  
*\*Asan Vehicle Production Engineering Team, Hyundai-Motor Company*  
(Received October 5, 2007, Accepted December 18, 2007)

### 요 약

최근 5년간 가스보일러 사고를 살펴보면 도시가스가 LP가스보다 7.4배 많이 발생하고 있다. 이는 도시가스보일러사용이 늘어나게 되어 사고율이 증가하는 것으로 보인다. 이러한 보일러 사고는 CO 중독에 의한 사고가 87%로 가장 많이 발생하였으며, 타형태의 사고보다 인명피해가 4.3배가 높게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 CO 중독의 원인인 배기통 분리에 의한 원인을 규명하고, 현재 사용하고 있는 내열실리콘의 성능에 대하여 실험을 통하여 안전성을 입증하고자 한다. 실험결과 일반실리콘은 56°C에 경화가 시작되었으나, 내열실리콘은 606°C가 되어도 탄화되지 않았다. 또한 배기통의 일반적인 온도인 150°C에서 일반실리콘은 열화 후 기밀시험에서 누출이 발생하였으나, 내열실리콘은 본래의 성질을 유지하고 있었다. 따라서 배기통 연결부에 내열실리콘을 사용하면 CO 중독으로 인한 인명피해 사고를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract** – Recently, during the past five years, accidents of gas boiler using city gas have occurred 7.4 times more than those which use LP gas. The number of accidents has increased since the use of city gas boilers has increased. These boiler accidents resulted in 87% death from poisoning of CO, and casualty of the accidents was 4.3 times more than that of other types of accident. Hence this study makes the cause of accidents clear by separation the exhaust tube which is the cause of CO poisoning. Also, this study will establish the safety of heat-resistant silicon through testing the performance of heat-resistant silicon. The experiment showed that common silicon started hardening at 56°C while the heat-resistant silicon did not begin carbonization until 606°C. Besides at the temperature of 150°C which is the normal temperature of exhaust tube, common silicon leaked on the pneumatic test after deterioration, but the heat-resistant silicon maintained its original property. With these results, we judge that we can reduce the casualty by CO poisoning if we use the heat-resistant silicon to the connector of the exhaust tube.

**Key words** : Heatproof Silicon, boiler, exhaust tube

### 1. 서 론

산업사회가 발전하면서 난방기술도 빠르게 변천하였다. 인간의 삶의 편리성을 위하여 에너지원도 가스로 변화하였으며, 그 수요현황은 Table 1과 같다[1]. 또한

가스보일러의 설치현황도 가스의 소모량과 비례하여 수요가 날로 급증하고 있다. 이와 더불어 가스보일러에 의한 CO 중독사고로 인한 인명피해도 매우 심각한 수준이다.

최근 5년간 가스보일러에 의한 시설미비사고는 급·배기통 설치기준 미준수가 15건(55.6%)로 가장 많고, 다음으로 배기통 연결부 이탈 12건(44.4%)에 의한 사

\*주저자:gentle@kgs.or.kr

**Table 1.** Energy consumption.

(units: Megaton)

구분	2005	2004	2003	2002	2001
에너지 소비	229.3	220.2	215.0	208.6	198.4
LNG	29.9	28.3	24.2	23.1	20.7
Oil (LPG)	101.5 (12.2)	100.6 (11.9)	102.4 (11.9)	102.4 (12.3)	100.4 (11.4)
수력	1.33	1.46	1.72	1.33	1.04
원자력	36.69	32.67	32.41	29.77	28.03
석탄	54.79	53.12	51.11	49.09	45.71
기타	5.01	3.98	3.24	2.92	2.46

**Table 2.** Boiler accidents.

구분	CO 중독	파열, 폭발 등	대비 (CO 중독/파열 등)
사망	43	-	-
부상	64	4	16배
인명피해계	107	4	26.8배
사고건수	36	6	6배
사고건당 피해율	3.0	0.7	4.3배

**Table 3.** Properties comparison.

구분	일반실리콘	내열실리콘
사용범위	-70~200°C	-50~310°C
경화성	축합형(실온경화형)	
건조속도	빠르다	빠르다
내열성	보통	우수

**Table 4.** Toxic gas in burning.

재료의 종류	최대농도(ppm)				
	CO	HCl	HCN	HF	SO <sub>2</sub>
실리콘고무	60				
불소수지	480		2	80	
폴리염화비닐	500	450	1		
클로로술폰화 폴리에틸렌	750	400			50
클로로프렌고무	550	200	5		
허용농도	50	5	10	3	5

주)미국 National Bureau of Standard의 방법에 의한.

고로 나타났다.

이러한 CO 중독사고의 인명피해는 Table 2에 나타난

**Table 5.** Mechanical Properties of silicone.

경도(JIS A)	25~90
인장강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	40~100
신율(%)	100~700
인열강도(kgf/cm)	6~40

것처럼 타형태의 사고보다 4.3배가 높게 나타났다[2]. 따라서 기존의 연구는 배기통의 CO 발생 양상 및 예방책에 대하여 연구가 진행되었다[3,4].

Table 3은 일반실리콘과 내열실리콘의 일반적인 물리적 성질이며, Table 4는 연소시 발생하는 유독가스에 대한 자료이다[5,6].

실리콘 고무의 열팽창은 유기 고무에 비하면 약간 크고 그 선팽창 계수는  $2\sim3 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  범위이다. 열전도율은 대개  $7 \times 10^{-4} \text{ cal}/\text{Cm} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 이고 무기물 충전제의 배합에 의해  $1\sim4 \times 10^{-3}$  정도의 것을 얻을 수 있게 되어 방열용으로 사용되고 있다. 비열은  $0.28\sim0.35 \text{ cal}/\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 일반적으로 비중이 높은 것일수록 낮게 된다[7,8].

또한, Table 5는 실리콘의 기계적 성질로서 공기중의 가열에서는 일반적으로 경도가 높게 되고 신장율이 저하하는 방법으로 열화하지만 밀봉조건의 가열하에서는 역으로 연화하는 방향으로 열화가 일어나며 내열수명으로서의 공기중의 것보다도 짧게 되는 경우가 많으므로 주의가 필요하다. 이 연화현상은 과산화물의 분해물이 축대로 되어 물로 가수분해되어 실록산 폴리머가 절단하기 때문에 일어나는 것으로 생각되어 진다. 연화현상은 실리콘 고무의 처방, 사용하는 가류제의 종류, 후가류 조건 등에서 상당히 개선된다[9].

따라서 배기통의 분리 등에 의한 CO 중독사고가 발생하지 않도록 시공 및 내열실리콘 사용을 철저하게 하여야 한다[10,11].

본 논문에서는 내열실리콘의 성능에 대하여 실험을 통하여 성능을 평가하여, 고온에 견디는 내열실리콘의 물성 변화에 필요한 기본 자료 및 교육용 자료로 활용하고자 한다.

## II. 실험장치 및 방법

### 2.1. 배기통 내부 온도 측정방법

본 연구를 위하여 먼저 Fig. 1과 Fig. 2의 실험용 장비를 구성하였다. 이를 통하여 배기가스의 영향에 대한 내열실리콘과 일반실리콘의 상태에 대하여 실험을 통하여 물리적 성질을 파악할 수 있었다.

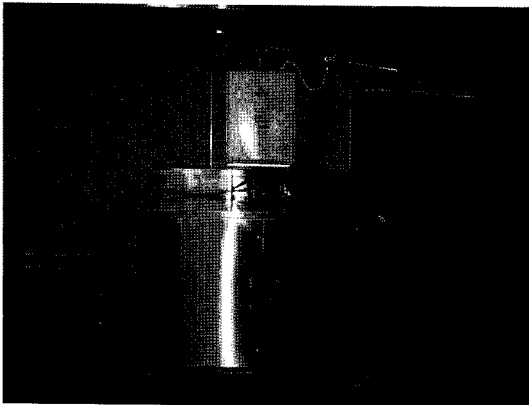


Fig. 1. Measurement equipment of boiler pure-gas.

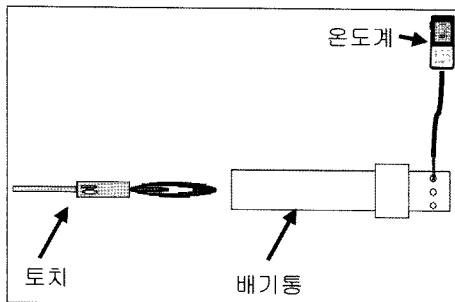


Fig. 2. Temperature measurement inner exhaust tube.

Fig. 1은 일반적인 보일러 설치 모습을 나타내고 있으며, 가정 등에서 많이 활용되고 있는 보일러를 실제 구동할 수 있는 장비로서 구성 요소로는 일반보일러와 열교환기, 용기 등으로 구성되어 있다.

Fig. 2에 나타낸 것처럼 배기통 내부에 열을 가하여 배기가스의 온도를 상승시키면서 배기통 내부의 온도 변화를 측정하였다.

연구 결과의 오류를 줄이기 위해 보일러 가동은 온수계속 방식을 채택하여 배기가스의 배출을 지속하도록 구성하였다. 이를 통하여 배기통의 열화에 의한 실리콘의 영향을 살펴 보았으며, 보일러 가동으로 인한 진동발생에 따른 실리콘의 영향을 파악하였다.

또한 실리콘의 온도변이에 따른 파손상태를 파악하기 위하여 보일러 배기통에 작용하는 일반적인 압력으로 기밀시험장비를 구축하여 일반실리콘과 내열실리콘에 열을 가한 상태에서의 가압시험에 의한 변화를 고찰하였다.

## 2.2. 측정장비

본 연구를 위하여 선두전자의 Sprint 2000을 활용하였으며, 측정범위는 Table 6과 같으며, 측정기기의 제원

Table 6. The range of measurement.

Gases	Range	Resolution	Accuracy
Oxygen	0-25%	0.1%	±0.3%
Carbon monoxide	0-10,000 ppm	±1 ppm	<100 ppm: ±5 ppm >100 ppm: ±5%
Carbon dioxide	0-25%		
CO/CO <sub>2</sub> ratio	0-0.9999		
Combustion efficiency	0-100%		

Table 7. The schematics of equipment.

Operating temperature range	-10°C to 50°C
Battery	Rechargeable Ni-MH. Life>6 hours
Charger input voltage	115 V or 230 V, 50/60 Hz AC
Fuels	Natural gas, LPG, Light oil, heavy oil
Data logging	50 sets of readings for flue gas analysis 25 sets of reading for CO room test
Time and date	24 hour real time clock
Certification	Designed to meet BS7927 British standard for portable flue gas analysers

은 Table 7과 같다.

## III. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 온도상승에 따른 실리콘 변화

본 연구는 가정에서 운용되는 가스보일러 가동으로 인하여 발생하는 폐가스의 누출로 인한 인체피해를 최소화하기 위한 것으로 배기통의 온도 상승으로 인한 실리콘에 발생하는 상태변화를 통하여 일반실리콘과 내열실리콘의 안전성을 검증하기 위한 것이다.

Fig. 3은 일반실리콘의 온도상승으로 인한 실리콘의 경화상태를 고찰한 것으로 56°C에서 경화가 시작하여 일반적인 배기통의 내부온도인 150°C 정도에서 급격한 경화와 232°C에서 열화를 시작으로 250°C 이상에서는 쉽게 손상되는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 내열실리콘의 온도에 따른 실리콘의 경화 및 열화에 따른 형태변화를 고찰한 것으로 일반실리콘이 250°C 이상에서는 경화가 시작되어 쉽게 부서지는 반면 배기통과 가스보일러 접속부에 사용도록 규정한 내열실리콘은 익히 알고 있듯이 300°C 정도에서도 탄

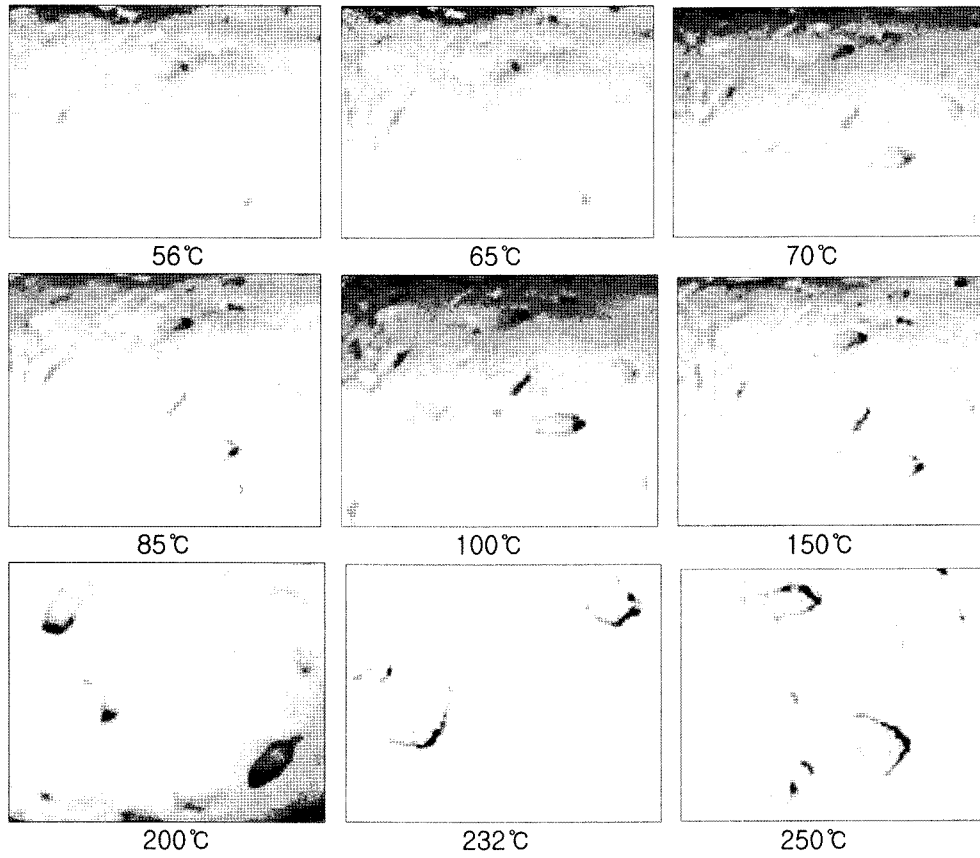


Fig. 3. The change state of general silicon.

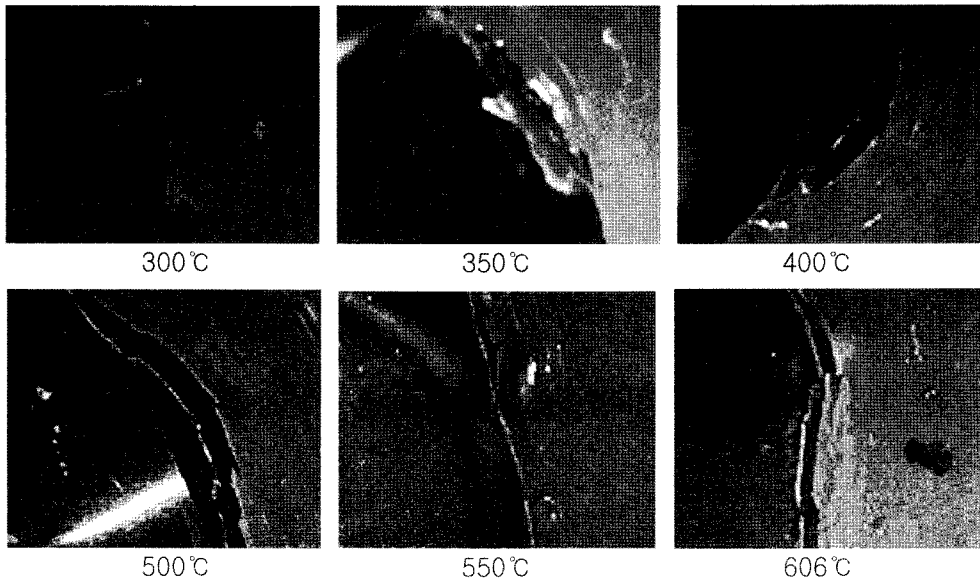


Fig. 4. The present state of heat-resistant silicon.

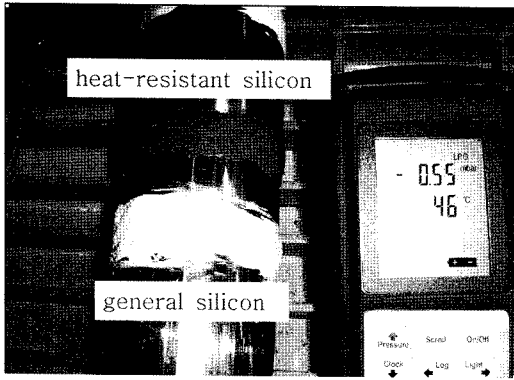


Fig. 5. The first state of silicon.

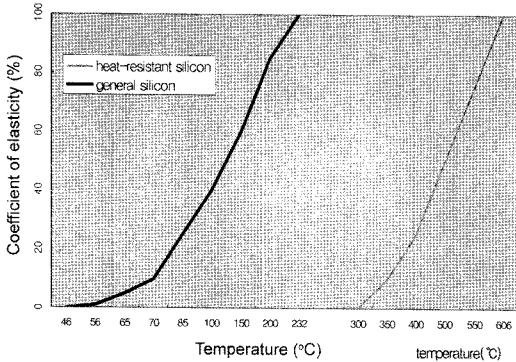


Fig. 6. The present state of silicon.

력을 유지하고 있었으며 기밀성이 요구되는 배기통의 연결부에는 매우 적합하다고 판단된다. 따라서 보일러의 이상 현상으로 인하여 발생하는 과열에 대하여도 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단한다.

Fig. 5는 보일러를 가동하기 전의 상온상태에서 일반실리콘과 내열실리콘에 아무런 영향이 없는 것을 보여주고 있으며, 측정에 사용되는 Sprint 2000의 모습이다.

Fig. 6은 온도변화에 따른 실리콘의 열화 상태를 나타내는 것으로 일반실리콘은 보일러 배기통의 일반적인 150~250°C에서 경화 및 열화가 발생함을 알 수 있으며, 내열실리콘과의 현격한 차이가 발생함을 그림을 통하여 쉽게 파악할 수 있다. 이를 통하여 내열실리콘의 경화 및 열화의 정도를 파악하는데 매우 유용할 것이다.

온도가 150°C 정도 상승되었을 경우 일반실리콘으로 실링한 부위에서는 열화가 시작되어 연기가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 내열실리콘으로 실링한 부위에서는 아무런 영향이 일어나지 않았다.

Fig. 7를 살펴보면 232°C에서 일반실리콘이 열화가 급격하게 발생함을 확인할 수 있다. 이는 실리콘의 성

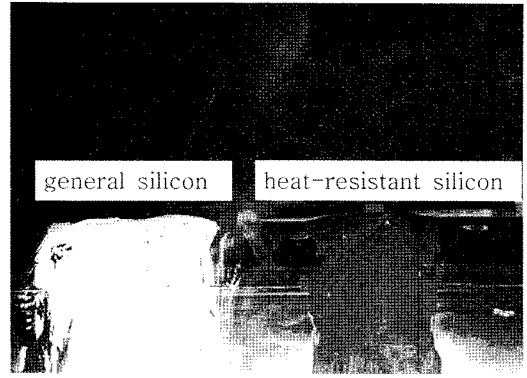


Fig. 7. The blazing state of silicon (232°C).

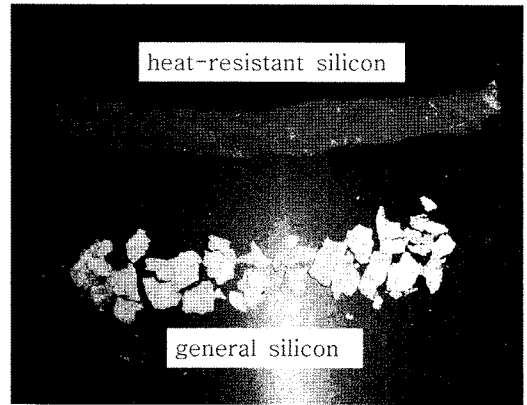


Fig. 8. The hardening state of silicon (250°C).

능이 퇴화되어 기밀성을 상실하였음을 간접적으로 파악할 수 있겠다. 하지만 내열실리콘의 경우는 경화 및 열화의 흔적을 찾아볼 수 없으므로, 보일러 배기통의 기밀유지를 위하여 매우 유용한 재질임을 확인할 수 있겠다. 따라서 고온이 발생하는 가정용 가스보일러 배기통의 연결부에는 폐가스 누출을 차단하기 위하여 내열실리콘을 사용하는 것이 매우 중요하다는 것을 재차 확인하는 계기가 되었다.

Fig. 8은 250°C까지 온도를 상승시킨 이후 실리콘에 일정한 충격 0.16~0.18 MPa(보일러 가동 등에 의한 진동량 정도)를 가하였을 경우 충격후의 표면양상을 서로 비교하였다.

이를 통하여 일반실리콘은 보일러 배기통의 일반적인 온도에도 실리콘 성능을 유지하지 못하고 쉽게 부서졌으나 내열실리콘은 1년 3개월(2006.09.04~2007.12.10)후에도 탄력을 잃지 않고 배기통의 연결에 따른 누출을 차단하는 성능을 유지함을 알 수 있었다.

일반적으로 보일러 가동중에 진동이 발생하고 있으며, 이러한 진동에 의하여 일반실리콘으로 실링한 경우

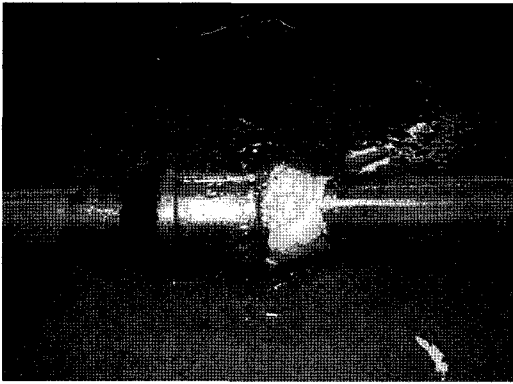


Fig. 9. The pressure test when the after heating (0.1 MPa).

에는 쉽게 실링부위가 떨어져 나가므로 배기통 연결부위에서 폐가스가 누출될 수 있음을 본 실험을 통하여 고찰할 수 있었다.

### 3.2. 실리콘 열 영향 후 누출시험

본 실험에서 실리콘의 열적영향에 의한 누출현상을 평가하기 위하여 일정한 압력을 가하면서 누수현상(비누거품 등)을 시켜보았다.

이는 일반적으로 운용되는 보일러의 배기통에 작용하는 압력상태에서 온도변화에 따른 실리콘의 경화로 인한 누출이 얼마나 쉽게 일어나는지를 평가하기 위함이다.

Fig. 9는 온도가 150°C 정도에서 0.1 MPa로 압력을 가압하여 실링부위에 대하여 비누거품을 이용하여 누출시험을 실시한 것으로 일반실리콘으로 실링한 부위에서는 비누거품이 발생함을 육안으로 관찰할 수 있으며, 내열실리콘으로 실링한 부위에서는 별다른 영향이 없는 것으로 나타났다.

## IV. 결론 및 토의

본 연구를 통하여 가정 등에서 사용되는 배기통의 연결부위에 실링을 위해서는 법에서 규정한 내열실리콘을 사용하여야 함을 입증할 수 있었다. 이를 통하여 일반실리콘의 문제점과 내열실리콘의 성능에 대하여 시공현장 및 안전교육에 활용하여 보일러 폐가스 누출로 인한 안전사고를 줄이는데 일조할 것으로 판단한다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 내열실리콘은 보일러배기통의 통상적인 온도(150~250°C)에서 실링부위에 아무런 영향을 일으키지 않는 것으로 확인되었다.

2) 일반실리콘은 56°C에서 경화가 시작되었으나, 내

열실리콘은 550°C에서 경화가 시작됨을 확인할 수 있었다.

3) 일반실리콘은 232°C에서 열화가 시작되었으나, 내열실리콘은 606°C까지 열화 및 탄화가 일어나지 않았다.

4) 일반실리콘은 150°C 정도에서 누출이 발생하기 시작하였으나, 내열실리콘은 누출이 발생하지 않았다.

5) 일반실리콘은 250°C에서 보일러 가동에 의한 진동으로도 실리콘이 쉽게 부서지는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 내열실리콘으로 실링한 부분에서는 열적영향이 일어나지 않으며 누출(비누거품)이 발생하지 않았다.

추후 연구를 진전시켜 온도변화에 의한 응축수(凝縮水)의 영향변화를 연구하여 안전관리에 만전을 기하고자 한다. 또한 응축수에 의한 O-링의 경화 등에 대하여도 연구를 수행코자 한다.

## 참고문헌

- [1] Korea Statistical Information System Consumption data of Energy Source. <http://kosis.nso.go.kr>
- [2] 한국가스안전공사, 2005 가스 사고 연감, (주)오성프린팅, (2006)
- [3] 임사환, 허용정, 마성준, 가정용 가스보일러 곡관 배기통의 길이변화에 따른 CO농도 고찰, *한국산학기술학회논문지*, 8(5), 1220-1226, (2007)
- [4] 임사환, 허용정, TRIZ를 활용한 가정용 가스보일러 배기통의 연결부 이탈문제해결, *한국CAD/CAM학회 논문집*, 12(6), 461-465, (2007)
- [5] Carl L. Yaws, "Matheson Gas Data Book I: Seventh Edition", Matheson Tri-Gas, (2001)
- [6] Carl L. Yaws, "Matheson Gas Data Book II: Seventh Edition", Matheson Tri-Gas, (2001)
- [7] <http://www.dysil.co.kr/>
- [8] <http://www.boilersilicon.com/>
- [9] <http://www.shinetsu.net>
- [10] 한국가스안전공사, 액화석유가스안전관리기준 통합고시, 대화특수인쇄공사, pp. 103-114, (2006)
- [11] 한국가스안전공사, 도시가스안전관리기준 통합고시, 남진사, pp. 106-116, (2006)
- [12] Tatyana A. Davletshina Nicholas P. Cheremisinoff, Ph.D, Fire and Explosion Hazards Handbook of Industrial Chemicals, Noyes Publications, (1998)
- [13] 한국가스석유기기협회, 가스연소기기 편람, 서라벌인쇄(주), (1994)
- [14] 류석기, LPG 및 도시가스 실무핸드북, 구인사, (1992)
- [15] 임사환 등, 가스보일러 직관 배기통의 길이에 따른

배기통과 가스보일러 접속부의 내열실리콘 성능에 관한 실험적 연구

- 폐가스(CO)농도 고찰, *한국가스안전지*, **11**(2), 5-9, (2007)
- [16] 조진성, 직업성두통, *한국산업간호학회지*, **4**(3), 69-71, (1997)
- [17] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), "Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices", Cincinnati, OH, (1996)