



과대불판 사용 시 이동식부탄연소기 구조에 따른 열영향 연구

†최슬기 · 김미성 · 조영도 · 김영구

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2016년 9월 21일 접수, 2017년 2월 23일 수정, 2017년 2월 24일 채택)

A Study on Thermal Effects for Structure of Portable Butane Gas Stoves using Oversized Grill

†Suel-Ki Choi · Mi-Sung Kim · Young-Do Jo · Young-Gu Kim

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, Chungcheongbuk-do 27738, Korea

(Received September 21, 2016; Revised February 23, 2017; Accepted February 24, 2017)

요약

본 연구는 과대불판 사용 사고 예방을 위한 안전기준 도입에 따라 이동식부탄연소기 구조에 따른 열영향을 분석하기 위해 수행하였다. 삼발이 높이가 다른 연소기와 용기 장착부 덮개 안쪽에 방열판을 설치한 연소기를 활용해 불판, 연소기의 용기 장착부 덮개 및 부탄용기의 온도를 측정하였다. 그리고 불판 및 화염의 열영향에 의한 온도 변화 경향을 분석하였다. 본 실험 범위에서 이동식부탄연소기 사용 중 안전장치가 작동하지 않는, 즉 안전하게 이동식부탄연소기를 사용할 수 있는 조건은 불판과 용기 장착부 덮개의 거리가 약 28 mm 이상이라고 파악되었다. 이에 비해 불판과 용기 장착부 덮개의 거리가 현저히 낮으면 불판의 열영향 뿐만 아니라 화염의 열영향이 직접적으로 부탄용기에 줄 수 있어 사고의 위험성이 크다고 판단된다. 또한 용기 장착부 덮개 안쪽에 방열판 설치 시 불판과 화염의 열영향 감소 효과가 있지만 부탄용기 과열에 따른 폭발 사고 위험성이 존재한다고 판단된다.

Abstract - This study was conducted to analyze thermal effects for the structure of portable butane gas stoves in accordance with the introduction of safety standard to protect gas accidents that were caused by using oversized grills. The temperatures of oversized grill, cartridge and cover of cartridge coupling part were measured with stoves that heat sink was installed the inside of cover of cartridge coupling part and had different height of tripods. The trend of measured temperatures affected by thermal effects of grill and flame was analyzed. The condition of using portable butane gas stove safely is that the distance between grill and cover of cartridge coupling part should be about 28 mm and over. In contrast, when the distance between grill and cover of cartridge coupling part would be shorter, thermal effects of not only grill but also flame could affect the cartridge directly. In this case, the danger that could cause gas accident would be higher. When heat sink was installed the inside of cover of cartridge coupling part, it was effective on reducing of thermal effects. However, it still had the danger of explosive gas accident of cartridge due to overheating.

Key words : Portable butane gas stove, Oversized grill, Heat radiation, Thermal effect

†Corresponding author:gdhong@gassafety.ac.kr

Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

이동식부탄연소기 사고는 한국가스안전공사에서 분류하는 6대 가스 사고 중 하나이다. Table 1을 살펴보면 최근 5년간 이동식부탄연소기 및 접합용기 관련 사고는 112건 발생하여 전체 가스 사고의 18.4%를 차지한다[1].

Table 1. Gas accident analysis(2011-2015)

	'11	'12	'13	'14	'15	계
전체 가스사고	126	125	121	120	118	610
이동식부탄연소기 및 접합용기 사고	30	18	19	16	29	112
점유율[%]	23.8	14.4	15.7	13.3	24.6	18.4

Table 2. Portable butane gas stoves accident analysis(2011-2015)

	'11	'12	'13	'14	'15	계	점유율 (%)
계	30	18	19	16	29	112	100
이동식부탄연소기 사용 중	19	9	13	9	18	68	60.7
- 과대불판 사용	5	2	1	4	4	16	14.3
- 접합용기 장착불량	2	1	1	3	2	9	8.0
- 음식물 조리 중 과열	1	1	3	-	-	5	4.5
- 제품노후(고장)	-	-	-	1	-	1	0.9
- 기타	11	5	8	1	12	37	33.0
접합용기 보관·가열·폐기 중	11	9	6	7	11	44	39.3
- 화기 근처 용기방치	5	5	3	2	4	19	17.0
- 접합용기 직접가열	2	2	2	2	1	9	8.0
- 구멍폐기 중	-	-	-	-	-	-	-
- 쓰레기 소각 폐기 중	-	-	-	-	-	-	-
- 기타	4	2	1	3	6	16	15.2

Table 2는 최근 5년간 발생한 이동식부탄연소기 및 접합용기 사고를 유형별로 분류한 것이다. 이동식부탄연소기 사용 중 사고 발생이 60.7%를 차지하며, 그 중 과대불판 사용에 따른 사고가 16건으로 가장 높은 비중을 차지하는 것을 알 수 있다.

과대불판이란 이동식부탄연소기의 연소부와 용기 장착부를 완전히 덮을 수 있는 크기의 불판을 의미한다. 과대불판은 시중에서 손쉽게 구입이 가능하며 한 번에 많은 조리를 위해 사용자들이 많이 사용하는 조리기구이다. 이러한 과대불판의 사용은 연소부의 화염을 용기 장착부로 반사 및 과대불판의 복사열로 인해 부탄용기에 열영향을 주어 부탄용기의 온도 상승과 내부 압력 상승을 일으키게 되고 폭발 사고로까지 이어질 수 있는 문제점을 갖는다. 이러한 과대불판 사용에 따른 사고를 예방하기 위해서 이동식부탄연소기 안전기준을 도입이 필요하였다.

이동식부탄연소기 유통품과 상용 과대불판을 사용하여 연소 시 부탄용기의 내부 압력과 연소기 및 부탄용기 각 부분의 온도 측정을 하였으며, 측정값 사이의 상관관계를 분석하여 기초자료를 제시하였다[2]. 이를 활용하여 과대불판 사용에 따른 사고 예방을 위한 안전기준 도입을 완료하였다[3].

본 연구는 과대불판 사용 사고 예방을 위한 안전기준 도입에 따라 이동식부탄연소기 구조에 따른 열영향을 분석하기 위해 수행되었다. 이를 위해 안전기준의 규격 과대불판을 사용하여 이동식부탄연소기를 작동시킬 경우, 연소 시간 경과에 따른 불판, 연소기의 용기 장착부 덮개 및 부탄용기의 상하부 온도 변화를 측정하였다. 이동식부탄연소기 구조에 따른 온도 측정값으로 부탄용기에 대한 열영향 경향을 제시하였다.







II. 실험장치 및 방법

2.1. 이동식부탄연소기 사양

Table 3는 이번 연구에서 사용된 이동식부탄연소기의 사양을 나타낸 것이다. 연구에서 사용한 이동식부탄연소기는 시중에서 구입이 용이한 제품 중 과대불판 사용 시 부탄용기가 열영향에 취약한 제품을 선정하였다. 연소기의 가스 소비량은 160 g/hr로 220 g의 가스가 충전된 부탄용기를 연소할 경우 약 1시간 20분 정도 연소가 가능하다. 연소기의 안전장치로 부탄용기의 내압이 0.5 MPa 이상 0.7 MPa 이하일 때 용기가 자동으로 이탈되는 용기이탈식이 적용되어 있다.

1번 연소기는 시중에서 유통되는 연소기로 연소부 삼발이 위에 과대불판을 올려놓았을 경우 과대불판과

Table 3. Specifications of portable butane gas stoves

Sample 1		Sample 4	
			
Fuel consumption	160 g/hr	Fuel consumption	160 g/hr
Safety device type	Dislocation of butane cylinder	Safety device type	Dislocation of butane cylinder
Distance between stove and cookware	12.34 mm	Distance between stove and cookware	33.59 mm
Sample 2		Sample 5	
			
Fuel consumption	160 g/hr		
Safety device type	Dislocation of butane cylinder		
Distance between stove and cookware	24.06 mm	Fuel consumption	160 g/hr
Sample 3		Safety device type	Dislocation of butane cylinder
		Distance between stove and cookware	12.34 mm
Fuel consumption	160 g/hr	Thickness of plate	0.50 mm
Safety device type	Dislocation of butane cylinder		
Distance between stove and cookware	28.49 mm		

용기 덮개부의 최단 거리는 12.34 mm이다. 2, 3, 4번 연소기는 삼발이의 높이를 다르게 제작하여 과대불

판과 용기 덮개부의 거리를 24.06 mm, 28.49 mm, 33.59 mm로 설정하였다. 과대 불판과 용기 덮개부

의 거리의 차이가 클수록 부탄용기가 열영향을 덜 받을 것으로 예측된다. 0.50 mm 두께의 냉간압연강판을 100mm × 200mm 크기의 방열판으로 제작하여 5번 연소기 용기 덮개부 안쪽에 설치하였다. 방열판 설치를 통해 과대불판에 의한 열영향이 감소할 것으로 예측된다.

2.2. 과대불판 사양

Table 4는 이번 연구에서 사용된 과대불판의 사양을 나타낸 것으로, 과대불판 사용에 따른 사고 예방을 위해 도입된 안전기준을 따랐다. 안전기준에 따른 성능시험을 위한 규격 과대불판은 연소기의 연소부와 용기 장착부를 덮을 수 있는, 즉 연소기 전체를 덮을 수 있는 크기를 가지고 있으며, SS400의 재질로 6 mm의 두께를 갖는다. 불판의 최대 가열온도에 영향을 주는 비열(Specific heat)은 약 434 J/kg·K를 가지고 있으며, 불판의 온도 상승속도에 영향을 주는 열전달 계수(Heat transfer coefficient)는 60.5 W/m·K를 가지고 있다[4].

2.3 실험 방법

이번 연구에서는 총 5개의 이동식부탄연소기를 대상으로 과대불판을 사용하여 각 조건별로 부탄용기의 열영향에 큰 영향을 미치는 과대불판, 이동식부탄연소기 및 부탄용기의 온도를 연소기의 작동부터 소화까지 시간에 따라 측정하였다. 온도 측정을 위해 최대 400 °C까지 측정이 가능한 T-type 열전대를 사용하였으며, 측정기기는 YOKOGAWA MV2000을 사용하였다. Fig. 1은 온도 측정 부위를 설명한 그림이다. 과대불판 사용 시 부탄용기의 열영향을 주는 영향인 불판 및 연소기의 온도를 측정하였다. 불판의 온도 측정 위치는 부탄용기의 수직 위치로 설정하여 부탄용기의 열영향과 상관관계를 파악하고자 하였다. 또한 삼발이 높이에 따라 불판과 용기 장착부 덮개와의 높이가 달라지기에 높이에 따른 열영향 차이를 파악하고자 용기 장착부 덮개의 온도를 측정하였다. 부탄용기의 온도 측정 위치는 용기의 상부와 하부로 구분하였는데, 이는 부탄용기가 연소기에 설치 시, 용기 상부는 기화된 기체 연료, 용기 하부는 액체 연료가 채워져 있는 것을 감안한 것이다. 부탄용기의 내부 압력은 부탄용기 하부의 온도와 상관관계를 갖기 때문에 온도를 통해 부탄용기의 내부 압력을 유추할 수 있다. 또한 부탄용기 상부 온도는 불판의 열영향에 직접적인 영향을 받기 때문에 이를 파악하고자 온도 측정 위치로 설정하였다.

Table 4. Specifications of oversized grill

	
Material	SS400
Size(W × L)	375 mm × 310 mm
Thickness	6 mm
Radius of curvature	20 mm
Specific heat	434 J/kg·K
Heat transfer coefficient	60.5 W/m·K

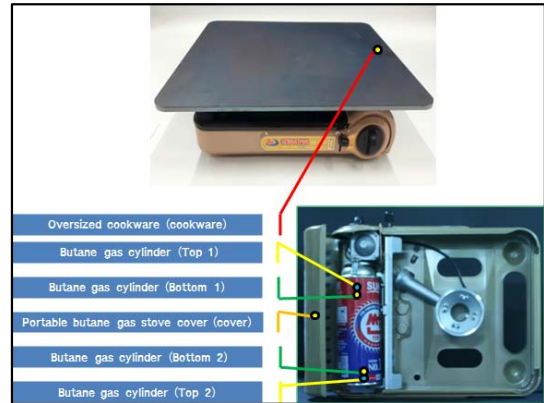


Fig. 1. Measuring points of temperature.

III. 결과 및 검토

3.1. 삼발이 높이에 따른 실험 결과

Fig. 2는 삼발이 높이가 다른 4가지의 이동식부탄연소기를 대상으로 규격 과대불판을 사용하는 경우, 이동식부탄연소기의 작동 시간에 따라 측정된 과대불판, 이동식부탄연소기 및 부탄용기의 온도 변화를 도시한 그래프이다. 그래프에서 x 축은 이동식부탄연소기의 작동시간 변화를 나타내며, y축은 각각 과대불판(Cookware), 이동식부탄연소기 용기 장착부

덮개(Cover) 및 부탄용기의 상하부(Top1, Top2, Bottom1 and Bottom2)의 온도 변화를 나타낸 것이다.

Fig. 2(a)는 1번 연소기를 대상으로 실험한 결과이다. 1번 연소기는 부탄용기의 가스가 모두 소모되지 않은 상태에서 안전장치의 작동에 의해 연소기가 강제 소화되어 약 1,400초까지만 실험을 진행할 수 있었다. 불판 온도 변화 경향을 살펴보면 불판 재질의 열전달 계수($60.5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)에 따라 불판의 온도가 상승하였으며, 강제 소화 될 때까지 약 $220 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 상승하였다.

용기 장착부 덮개의 온도 변화를 살펴보면 불판의 온도 변화 경향과 비슷한 경향을 보이고 있다. 불판을 올려놓았을 시 불판과 용기 장착부 덮개와의 거리가 12.34 mm 밖에 되지 않아 불판의 열영향과 화염의 영향을 직접 받게 되어 불판보다 높은 온도인 약 $240 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 측정되었다.

부탄용기의 상부 온도는 불판과 용기 장착부 덮개의 온도에 비해 크게 상승하지 않지만, 온도 상승 변화 경향은 일치하였다. 이와 같이 온도 차이를 보이는 이유는 화염의 영향을 직접 받는 불판과 불판의 열영향을 직접 받는 용기 장착부 덮개에 비해 부탄용기는 용기 장착부 덮개를 거쳐 열을 전달 받으며 용기 장착부 덮개와 부탄용기의 공간에 공기층의 순환으로 나타나는 결과이다. 또한 부탄용기 내에 있는 액체 연료가 기체 연료로 기화하기 위해 열을 소모하기 때문에 부탄용기 상부의 온도가 낮게 측정되었다. 부탄용기 하부 온도는 실험 초기에 액체 연료의 기화로 인해 온도가 감소하다가 불판 및 연소기의 온도가 고온이 되는 300초 근처부터 주변에서 전달되는 열이 액체 연료의 기화에 필요한 열보다 많아지게 되어 소폭 상승하는 결과를 보였다. 안전장치가 작동되어 강제 소화 될 때까지 온도는 상승하여 약 $41 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 측정되었다.

Fig. 2(b)는 1번 연소기와 동일한 조건에서 실험한 2번 연소기의 결과를 나타내고 있다. 2번 연소기 역시 안전장치가 작동되어 강제 소화되었으나 1번 연소기보다 긴 약 2,300초 동안 실험을 진행하였다. 불판 온도 변화 경향을 살펴보면 불판의 열전달 계수에 따라 불판의 온도가 상승하여 1번 연소기 결과와 동일하게 약 1,400초 동안 약 $220 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 상승하였다. 이후 연소열로 인해 온도가 상승하여 불판의 비열($434 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$)에 따라 약 $230 \text{ }^\circ\text{C}$ 를 유지하게 된다.

용기 장착부 덮개의 온도 변화를 살펴보면 불판의 온도 변화 경향과 비슷한 경향을 보이고 있으나 1번 연소기와는 달리 불판보다 낮은 온도가 측정됨을 볼 수 있다. 2번 연소기의 용기 장착부 덮개와 불판과의 거리는 1번 연소기에 비해 11.72 mm 가 높아

불판 및 화염의 열영향을 덜 받는 것으로 보인다. 또한 열이 방출될 수 있는 공기층이 생겨 용기 장착부 덮개의 온도가 1번 연소기보다 낮게 측정되었다.

부탄용기 상부와 용기 장착부 덮개와의 거리가 1번 연소기와 동일하기 때문에 용기 장착부 덮개의 온도가 부탄용기 상부의 온도 변화와 밀접하다. 용기 장착부 덮개의 온도가 1번 연소기에 비해 낮아 부탄용기 상부의 온도 또한 약 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 낮게 측정되었다. 부탄용기 하부 온도 변화 경향은 기화열과 주변 온도의 영향으로 1번 연소기 결과와 비슷하였으나 기화로 인해 온도가 감소하다가 약 780초 근처부터 상승하여 약 $46 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 측정되었다. 부탄용기 하부의 온도가 상승하는 시간이 1번 연소기보다 긴 원인은 주변에서 전달되는 열이 1번 연소기보다 적어 액체 연료의 기화열보다 큰 열영향을 주는데 시간이 걸리기 때문이다.

Fig. 2(c)와 (d)는 각각 3번 연소기와 4번 연소기를 대상으로 실험한 결과이다. 3번 연소기와 4번 연소기는 안전장치가 작동하지 않아 부탄용기의 가스가 모두 소모될 때까지 실험을 진행할 수 있었다. 과대불판 사용에 따른 사고 예방을 위해 도입된 안전기준에 따라 3,600초 동안 데이터를 수집하여 그래프로 도식화하였다. 불판 온도 변화 경향을 살펴보면 1번 연소기 및 2번 연소기의 실험과 동일한 불판을 사용하기 때문에 불판의 온도 상승과 약 $230 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 유지하는 동일한 경향을 볼 수 있다.

3번 연소기와 4번 연소기의 용기 장착부 덮개 온도 변화를 살펴보면 두 연소기 모두 2번 연소기와 같이 불판보다 낮은 온도인 약 $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 와 $140 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 측정되었다. 용기 장착부 덮개와 불판과의 거리 증가로 불판의 복사열 영향 감소 및 열의 방출로 인해 온도가 낮게 측정된 것으로 보인다.

부탄용기 상부의 온도를 살펴보면 2번 연소기와 같이 용기 장착부 덮개의 온도 감소에 따라 부탄용기 상부의 온도도 감소한 것을 볼 수 있다. 3번 연소기의 부탄용기 상부 온도는 약 $95 \text{ }^\circ\text{C}$, 4번 연소기의 부탄용기 상부 온도는 약 $85 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 상승하였다. 부탄용기 하부 온도 변화는 기화열과 주변 온도의 영향으로 인해 온도가 감소하다가 상승하고 이후 다시 감소하는 경향을 보인다. 부탄하부의 최고 온도는 3번 연소기의 경우 약 $42 \text{ }^\circ\text{C}$, 4번 연소기의 경우 약 $28 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 측정되었다. 부탄용기의 가스 성분이 동일하여 기화열 또한 동일하지만 불판과의 거리에 따른 부탄용기 주변 온도의 차이로 최고 온도가 차이가 있는 것으로 보인다.

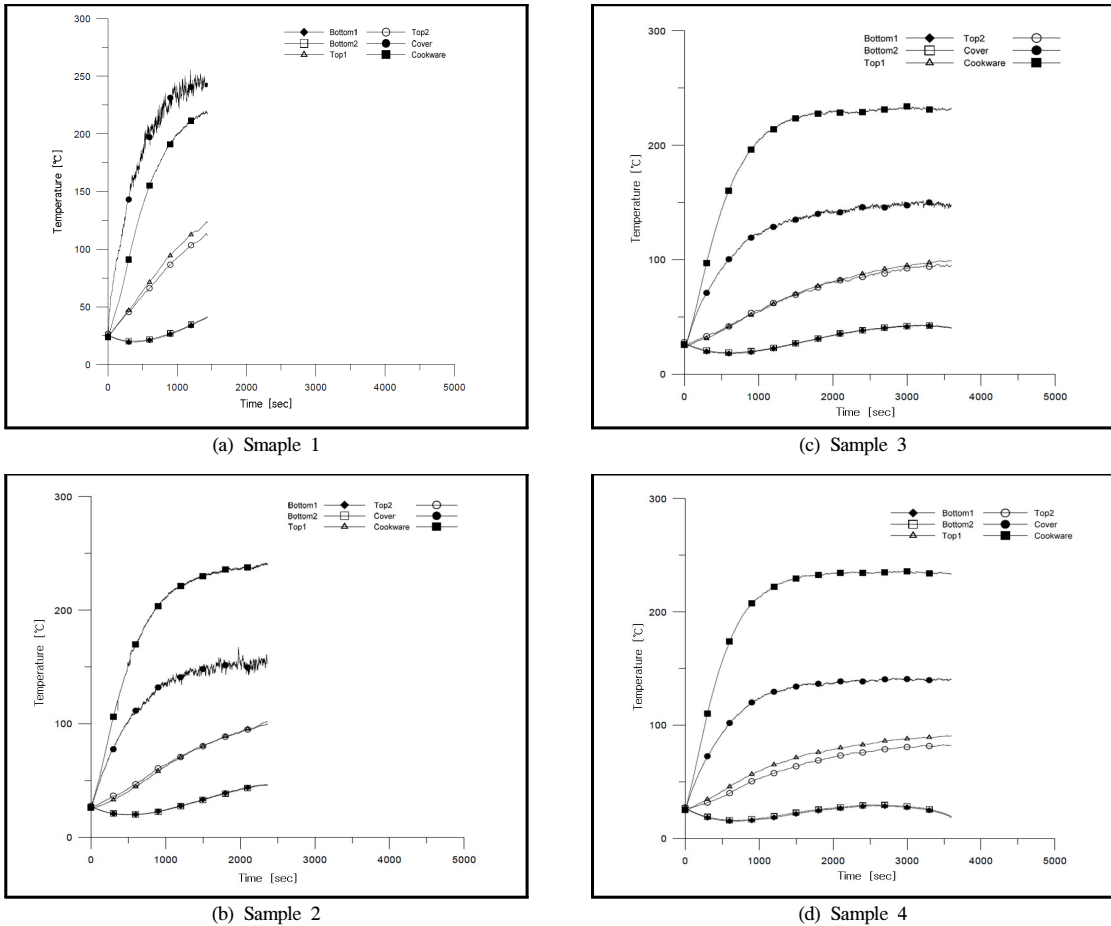


Fig. 2. Measured temperature with portable butane gas stoves using oversized grill(different height of tripods).

3.2 금속판 설치에 따른 실험 결과

Fig. 3은 용기 장착부 덮개 안쪽에 두께 0.50 mm의 냉간압연강판을 부착한 이동식부탄연소기인 5번 연소기를 대상으로 규격 과대불판을 사용하는 경우, 이동식부탄연소기의 작동 시간에 따라 측정된 과대 불판, 이동식부탄연소기 및 부탄용기의 온도 변화를 도시한 그래프이다. 그래프에서 x 축은 이동식부탄 연소기의 작동시간 변화를 나타내며, y축은 각각 과대불판(Cookware), 이동식부탄연소기 용기 장착부 덮개(Cover) 및 부탄용기의 상하부(Top1, Top2, Bottom1 and Bottom2)의 온도 변화를 나타낸 것이다.

5번 연소기는 부탄용기의 가스가 모두 소모되지 않은 상태에서 안전장치의 작동에 의해 연소기가 강제 소화되어 약 1,900초까지만 실험을 진행 할 수 있

었다. 불판 온도 변화 경향은 열전달 계수에 따라 다른 연소기들과 동일한 경향을 보였으며, 강제 소화 될 때까지 약 228 °C까지 상승하였다. 이는 불판의 비열에 따른 결과로 다른 연소기의 실험 결과와 동일하다.

용기 장착부 덮개의 온도는 1번 연소기와 동일한 경향으로 용기 장착부 덮개 온도가 불판보다 더 높게 측정이 되었다. 약 262 °C까지 측정되었으나 1번 연소기와 비교하면 온도 상승 속도가 비교적 느리다.

부탄용기의 상부 온도는 약 108 °C까지 상승하였다. 1번 연소기의 연소시간 기준인 약 1,400초에서 5번 연소기와 1번 연소기의 최고온도는 각각 약 89 °C와 약 124 °C로 측정되었다. 이는 5번 연소기와 1번 연소기가 같은 구조임을 고려하면 방열판 설치로

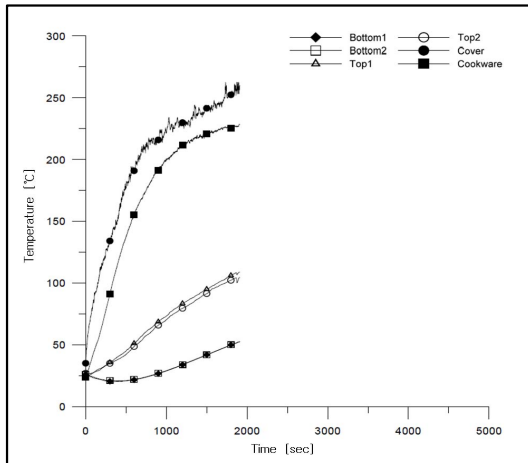


Fig. 3. Measured temperature with portable butane gas stoves using oversized grill(installed metal plate).

부탄용기에 불판과 화염의 열영향이 감소되었다고 볼 수 있다. 부탄용기 하부 온도 변화 경향은 기화열과 주변 온도의 영향으로 다른 연소기 결과와 비슷하게 기화로 인해 온도가 감소하다가 안전장치가 작동되어 강제 소화 될 때까지 온도가 상승하여 약 52°C까지 측정되었다.

VI. 결론

본 연구는 과대불판 사용 사고 예방을 위한 안전 기준 도입에 따라 이동식부탄연소기 구조에 따른 열영향을 분석하기 위해 수행하였다. 삼발이 높이가 다른 연소기와 용기 장착부 덮개 안쪽에 방열판을 설치한 연소기를 활용해 불판, 연소기의 용기 장착부 덮개 및 부탄용기의 온도를 측정하였다. 그리고 불판 및 화염의 열영향에 의한 온도 변화 경향을 분석하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 실험 범위에서 이동식부탄연소기 사용 중 안전장치가 작동하지 않는, 즉 안전하게 이동식부탄연소기를 사용할 수 있는 조건은 불판과 용기 장착부 덮개의 거리가 약 28 mm 이상이라고 파악되었다. 이에 비해 불판과 용기 장착부 덮개의 거리가 현저히 낮으면 불판의 열영향 뿐만 아니라 화염의 열영향이 직접적으로 부탄용기에 줄 수 있어 사고의 위험성이 크다고 판단된다.

(2) 용기 장착부 덮개 안쪽에 방열판 설치 시 불판과 화염의 열영향 감소 효과가 있지만 부탄용기 과열에 따른 폭발 사고 위험성이 존재한다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(에너지기술개발사업, 2013년~2016년)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

REFERENCES

- [1] Korea Gas Safety Corporation, "2015 Yearbook of Gas Accidents", KGS, (2016)
- [2] Kim, S. I., Keum, K. B., Lee, B. H., and Kim, Y. G., "Fundamental Study for Reformation of Safety Standard about Portable Butane Gas Range", Journal of KOSCO, 19(4), (2014), 35-41
- [3] Korea Gas Safety Corporation, "Code for Facilities, Technology and Inspection for Manufacturing of Portable Butane Gas Stoves", KGS, (2016)
- [4] F.P. Incropera, D.P. Dewitt, T.L. Bergmann, A.S. Lavine, "Fundamentals of heat and mass transfer", John Wiley&Sons, New Jersey, (2007)