

휴대용 부탄 가스 레인지의 안전성에 관한 실험적 연구

금국빈* · 김도현** · 금성민*** · 이창언* · 김영구****

*인하대학교 기계공학과 · **인하대학교 자동차동력계부품 지역혁신센터

한라대학교 기계자동차공학부 · *한국가스안전공사

Experimental Study on the Safety of Portable Butane Gas Range

Kuk Bin Keum*, Do-Hyun Kim**, Sungmin Kum***, Chang-Eon Lee* and Young-gu Kim****

*Department of Mechanical Engineering, Inha University

**Regional Innovation Center for Automobile Powertrains, Inha University

***School of Mechanical and Automotive Engineering, Halla University

****Korea Gas Safety Corporation

(Received 6 October 2016, Received in revised form 4 January 2017, Accepted 27 May 2017)

ABSTRACT

This study was conducted an experiment for the thermal flow mechanism of the surrounding butane gas can and pressure change in butane can with oversized cookware. And numerical analysis was performed to analyze the process of heat transfer around butane can. Effect of radiant heat from small size cookware is very small. Thus small size cookware does not have a significant impact on the butane gas range safety. But radiant heat of oversized cookware is larger than small size cookware. Therefore it gives an adverse effect on the butane can. And when internal pressure of butane can is greater than about 406.8~447.2 kPa, a safety device of portable butane gas range were working. The causes of safety device working is because of trivet height. Trivet height is lowered, the radiant heat is increased. This radiant heat is to raise pressure of inside butane can. Experimental and numerical analysis results, the lower thermal conductivity of the cookware is greater the effects of radiant heat.

Key Words : Portable butane gas range, Oversized cookware, Safety device

1. 서론

휴대용 부탄 가스 레인지는 1회용 부탄가스 접합 용기 또는 재사용이 가능한 부탄캔을 연결하여 사용하는 연소기를 말한다. 휴대용 부탄 가스 레인지에 사용하는 부탄캔은 1회용을 사용하고 있으며 연소를 위하여 기화할 때 캔 주위의 온도를 빼앗아 기화한다. 휴대용 부탄 가스 레인지는 가스산업의 발전과 야외활동 문화가 확산되면서 가정 또는 음식점에서 필수 조리기구로 자리를 잡고 있다[1,2]. 특히 휴대용 부탄 가스 레인지는 휴대가 간편하고 사

용이 용이하여 찌개나 불판구이 등의 음식문화가 보편화된 국내에서 많이 사용되고 있는 실정이다. 연간 국내에서 소비되는 휴대용 부탄 가스 레인지는 약 270만대에 이르며 국내에서 연간 소비되는 1회용 부탄캔의 수량은 약 2억~2억5천개 정도이다. 부탄캔의 사용량이 증가하면서 휴대용 부탄 가스 레인지 및 부탄캔에 대한 사고 또한 매년 끊임없이 발생하고 있다. 한국가스안전공사 사고통계 데이터에 의하면 단일 제품분야에서 가장 많은 사고 건수를 나타내고 있다. 2015년 국내에서 발생한 부탄캔

Table 1. Butane gas range and butane can accidents during the last three years

	2013	2014	2015	Total
Total gas accidents	121	120	118	610
LP gas accidents	86	76	84	426
Butane can accidents	19	16	29	112

† Corresponding Author, navkyg@kgs.or.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

에 의한 가스사고 건수는 총 118건으로 전년대비 2건(1.7%) 감소하였으나 부탄연소기 사고는 29건으로 전년대비 81.3% 증가하였다[1].

부탄캔 사고원인을 분석한 결과 전체 사고의 약 80%는 연소기 사용중이거나 사용직후 발생하였고 휴대용 부탄 가스 레인지 및 캔과 관련된 사고는 매우 다양한 원인으로 발생하고 있는데 과대불판과 호일사용으로 인한 사고는 전체 88건중 16건으로 원인불명확 다음으로 높다[1]. 국내에서는 과대불판 사용에 따른 휴대용 부탄 연소기의 안전기준이 아직 마련되어 않아 과대불판에 대한 체계적인 연구가 필요한 실정인데 김 등[3]은 과대불판 사용에 따른 이동식 부탄 연소기의 안전기준 개정에 필요한 기초자료를 제공하기 위해 부탄캔 온도와 압력사이의 상관관계를 분석하였으며, 강 등[4]은 압력방출 밸브를 장착한 휴대용 부탄 가스 레인지용 부탄캔의 분출가스 확산 실험 및 해석에서 부탄캔의 기술기준제정에 필요한 자료를 제시하였다. 김[2]은 이동식부탄연소기의 화재 및 폭발사례연구를 통해 사고 원인은 대부분 가스누설착화와 용기폭발이라고 보고하였고, 안 등[5]은 과대조리기구 사용에 따른 이동식부탄연소기 안전기준 개선방안 연구에서 부탄캔의 온도-압력 상관관계의 분석을 바탕으로 온도 측정지점의 데이터를 통해 부탄캔 내부압력 및

위험성을 예측할 수 있다고 발표하였다.

본 연구는 휴대용 부탄 가스 레인지에서 과대불판을 사용할 경우 과대불판에 의한 부탄캔 주위의 열거동 및 부탄캔의 압력변화를 실험적으로 규명하였다. 또한 기존 연구들에서 수행하지 않았던 수치 해석을 통하여 부탄캔 주위의 열이동과정을 제시하므로써 과대불판이 휴대용 부탄 가스 레인지의 안전에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

2. 실험 및 수치해석 방법

2.1. 휴대용 부탄 가스 레인지

Table 2는 본 실험에서 사용한 3가지의 휴대용 부탄 가스 레인지로 일반 마트 등에서 쉽게 구매할 수 있는데 일반적으로 휴대용 부탄 가스 레인지는 안전장치의 작동방식에 따라 부탄캔 이탈식과 유로차단식으로 구분된다.

2.2 불판의 종류

Table 3은 본 실험에서 사용한 4가지 불판을 나타낸다. 소형불판은 불판이 부탄용기부를 덮지 않는 크기이며, 과대불판은 부탄용기부를 완전히 덮는 크기로 정의하였다(Fig. 1 참조). 불판은 시중에서 쉽게 구매할 수 있는 알루미늄 합금 재질과 자연석불

Table 2. Type of portable butane gas range

Separation of butane can (A type)	Separation of butane can (B type)	Gas supply block (C type)
Trivet height 25 mm	Trivet height 6.7 mm	Trivet height 15.7 mm
Maximum gas consumption 150 g/h	Maximum gas consumption 160 g/h	Maximum gas consumption 210 g/h

Table 3. Type of cookware

	Aluminum alloy (small)	Aluminum alloy (oversized)	Carbon steel	Natural stone
Type				
Material	Aluminum alloy	Aluminum alloy	SS400	Amphibole
Size (mm)	260×260	305×385	310×375	300×400
Thickness (mm)	3	3	6	20
Thermal conductivity (W/m·K)	168	168	60.5	2.59~3.80
Specific heat (J/kg·K)	875	875	447	800~1000
Weight (kg)	1.1	1.55	5.2	6.4

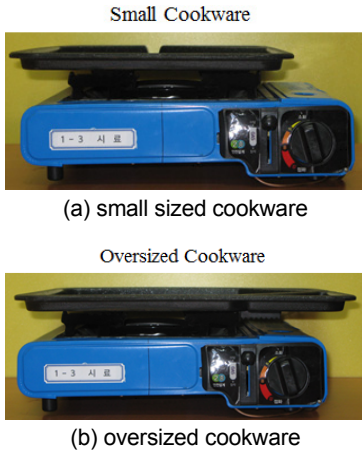


Fig. 1. Cookware size.

판을 선정하였으며, 알루미늄 합금불판과 자연석불판 열전도계수의 중간값을 갖는 탄소강(SS400)재질 불판을 추가로 선정하였다.

2.3 부탄캔

휴대용 부탄 가스 레인지에 장착하여 실험하기 위한 부탄캔은 제조사가 다른 3종의 부탄가스를 일반 마트에서 구입하였다. 3종 부탄캔의 순수 가스(주 성분 : C_4H_{10}) 무게는 평균 220 ± 2 g(부탄캔 순수무게 : 95 ± 2 g, 부탄가스가 충전된 전체무게 : 313 ± 3 g)으로 큰 차이가 없어 S사의 부탄캔을 사용하였다.

2.4 온도 및 압력측정 방법

불판의 온도는 K타입 열전대를 사용하였고 불판의 중심을 기준으로 좌측부터 30 mm 간격으로 온도를 측정한 후 온도가 가장 높은 지점의 온도를 불판의 온도로 정했다. 부탄캔은 불판의 크기에 따라 온도변화가 클 것으로 판단되어 Fig. 2와 같이 상부에 3지점, 하부에 1지점의 온도를 측정하였다. 부탄캔 내부압력은 직접 측정이 가능하도록 개조를 하였다.

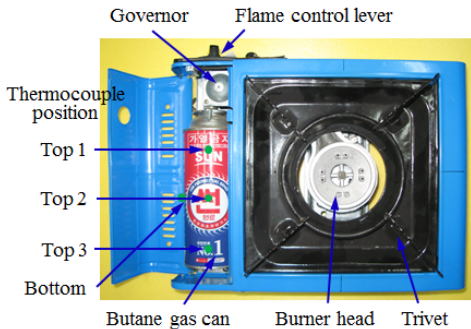


Fig. 2. Portable butane gas range.

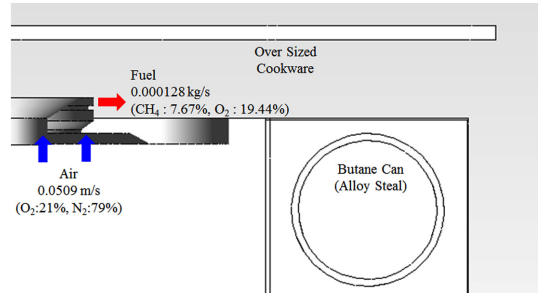


Fig. 3. Boundary condition of numerical analysis.

압력센서는 부탄 가스 레인지의 안전장치가 작동되는 압력을 고려하여, 최대압력 측정 범위가 1,000 kPa 인 모델(PSHH1000RCAG)을 이용하였으며 모든 데이터는 1초 단위로 측정하였다.

본 실험에서 휴대용 부탄 가스 레인지는 점화 후 화력조절레버(기구밸브손잡이)를 최대(전부하) 위치로 고정하고 실험을 하였으며 일부 안전장치가 작동하는 경우에는 부분부하(화력조절레버를 1/3지점에 고정) 상태를 유지하며 실험을 하였다.

2.5 수치해석 방법

휴대용 부탄 가스 레인지의 주위 열유동 검토를 위해 FLUENT 16.0을 사용하여 3차원 수치해석을 수행하였다. 부탄/공기의 부분예혼합 화염을 대상으로 적용된 반응기구는 4개의 화학종과 1개의 반응으로 구성된 n-butane-air(One step)반응과 Eddy dissipation을 적용하였다. 정상상태를 가정하여 운동량과 화학종 및 에너지 방정식은 2차 정확도의 upwind 기법, 유동과 관련된 방정식은 1차 정확도의 upwind 기법으로 차분하였으며 Realizable k-ε 유동모델을 사용하였다.

Fig. 3은 수치해석의 경계조건을 나타낸다. 연료 공기 혼합물의 배출속도는 실제 부탄 가스 레인지의 연료 소모율(150 g/h)을 기준으로 하여 0.000128 kg/s로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 소형불판

Fig. 4는 A type 레인지에서 알루미늄 합금 소형 불판을 사용할 경우 불판과 부탄캔 온도 및 부탄캔 내부압력을 나타낸 것이다. 불판의 온도(cookware)는 부탄연소기 점화후 약 723초부터 최고온도 278.5°C를 유지하며 부탄캔의 연료가 모두 소진되는 약 4,255초를 기점으로 급격히 강하한다. 부탄캔의 상부온도(Top 2, Top 3)는 연소초기 주위에서 복사되는 열에 의해 약간 상승한다. Top 1(부탄캔 앞부분

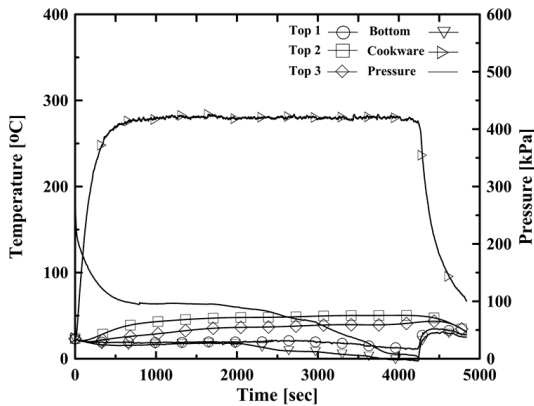


Fig. 4. Measured temperature and pressure of the small aluminum alloy cookware using A type range.

온도)은 부탄캔 가스 잔량이 줄어들면서 약간씩 감소하는데 이것은 기화열이 부탄캔 앞부분에 영향을 미치기 때문으로 생각된다. 부탄캔 하부는 복사열의 영향이 매우 작을 것으로 판단되며 따라서 하부온도(Bottom)는 주로 기화열에 의해 낮아지고 소화될 때는 약 -2.7°C로 나타났다.

부탄캔 내부압력은 연소초기 부탄가스의 분출과 기화잠열로 인해 순간적으로 강하하며 소화시점까지 지속적으로 낮아진다. 특히 연소중 압력의 재상승은 없는데 이것은 불판 주위의 복사열이 부탄캔 기화열에 비해 작다는 것을 의미한다. 그리고 실험이 종료될 때까지 안전장치는 작동하지 않았다.

3.2. 과대불판

Fig. 5는 A type 레인지에서 알루미늄 합금 과대 불판을 사용할 경우 불판과 부탄캔 온도 및 부탄캔

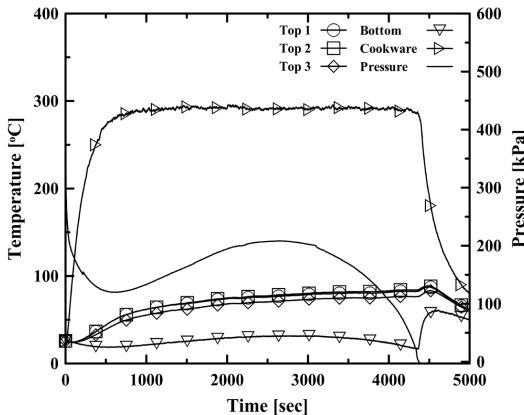


Fig. 5. Measured temperature and pressure of the oversized aluminum alloy cookware using A type range.

내부압력을 나타낸 것이다. 불판의 온도는 부탄연소기 점화후 약 773초부터 최고온도 290.2°C를 유지하며 부탄캔의 연료가 모두 소진되어 소화되는 약 4,371초를 기점으로 급격히 강하한다. 부탄캔의 상부온도는 연소초기 불판의 하부에서 복사되는 열에 의해 높아지기 시작하며(이때 기화열은 복사열에 비해 작을 것으로 판단됨) 소화될 때까지 계속 증가한다. 부탄캔 하부온도는 연소초기 기화열의 영향으로 약간 낮아지고 이후 불판에 의한 복사열이 기화열보다 커지면서 조금씩 상승한다. 그리고 점화후 약 2,929초가 경과되는 시점에서 부탄캔 하부온도는 서서히 낮아진다. 소화 이후에는 기화열의 영향은 없어지고 불판의 복사열은 일정시간 지속되므로 온도는 다시 상승한 후 강하한다. 부탄캔 내부압력변화를 살펴보면 연소초기 부탄가스의 분출과 기화열로 인해 내부압력이 순간적으로 낮아지지만 시간이 경과하면서 불판에 의한 복사열(가스량은 줄어들지만 복사열의 영향은 지속됨)로 인해 부탄캔 내부압력은 최대 약 205.1 kPa까지 상승한다. 이때 부탄캔 하부온도는 약 30.7°C이다. A type 레인지의 안전장치는 소화될때까지 작동하지 않았다.

Fig. 6은 A type 레인지에서 SS400 탄소강 과대불판을 사용한 경우 불판과 부탄캔 온도 및 부탄캔 내부압력을 나타낸 것이다. 전체적인 경향은 Fig. 5와 유사하지만 불판 최고온도는 알루미늄 합금 재질보다 높게 나타나는데 이것은 SS400 탄소강이 알루미늄 합금 재질보다 비열이 작기 때문이다. 그리고 부탄캔 상부온도는 Fig. 5의 알루미늄 합금보다는 높게 나타나는데 이것은 SS400 탄소강이 알루미늄 합금보다 열전도계수가 작아 복사열이 커지기 때문으로 판단된다. 부탄캔 내부압력은 최고 약 252.3 kPa로 나타났고 이때 부탄캔 하부 최고온도는 약 33.1°C

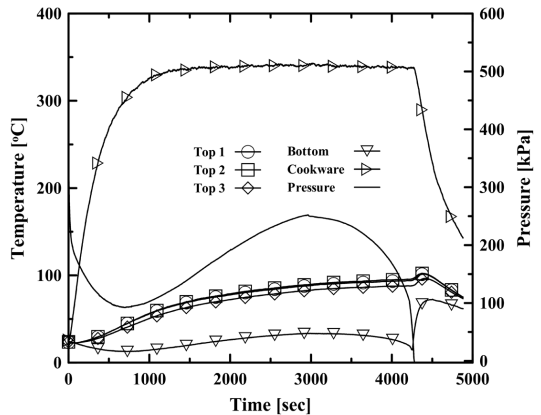


Fig. 6. Measured temperature and pressure of the oversized carbon steel cookware using A type range.

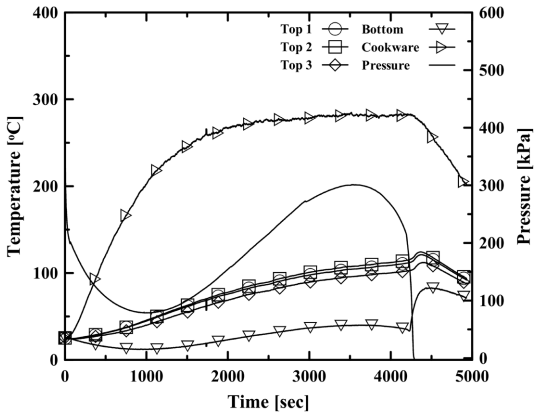


Fig. 7. Measured temperature and pressure of the oversized amphibole cookware using A type range.

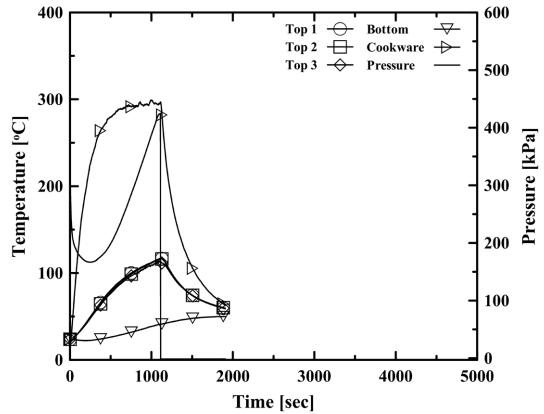


Fig. 8. Measured temperature and pressure of the oversized aluminum alloy cookware using B type range.

Table 4. Temperature and pressure of the oversized amphibole cookware

	Aluminum alloy	Carbon steel	Amphibole
Bottom maximum temperature of butane can (°C)	30.7	33.1	40.6
Maximum pressure of butane can (kPa)	205.1	252.3	303.8

이며 알루미늄 합금 과대불판과 마찬가지로 안전장치는 작동하지 않았다.

Fig. 7은 감섬석 과대불판에서 불판과 부탄캔 온도 및 부탄캔 내부압력을 나타낸 것이다. 전체적인 경향은 Fig. 5, 6과 유사하지만 감섬석의 비열이 가장 크고 열전도계수는 가장 작아 불판 최고온도에 도달하는 시간도 가장 길고 최고온도도 가장 낮다. 부탄캔 내부압력은 최고 약 303.8 kPa이고 이때 부탄캔 하부 최고온도는 약 40.6°C이며 안전장치는 작동하지 않았다.

지금까지 3종류 과대불판에서의 불판과 부탄캔 온도 및 부탄캔 내부압력을 비교한 결과 부탄캔 최고압력은 부탄캔의 하부온도가 가장 높을 때 나타났으며, 부탄캔 하부온도는 불판의 열전도계수가 작을수록 높게 나타났다.

Fig. 8은 B type 레인지에서 알루미늄 합금 과대불판의 불판과 부탄캔 온도 및 부탄캔 내부압력을 나타낸 것이다. 불판의 온도는 부탄연소기 점화후 약 1,001초부터 최고온도 299.2°C를 유지하며 약 1,112초에 안전장치가 작동되면서 소화되었다. 이때 부탄캔 상부온도는 약 117.1°C, 하부온도는 41.3°C, 부탄캔 내부압력은 약 425.2 kPa이다. Fig. 5와 비교할 때 불판의 최고온도에는 큰 차이가 없지만 부탄캔 상

부온도와 하부온도가 급격하게 상승하는 현상이 나타났다. 특히 부탄캔 내부압력이 425.2 kPa까지 높아졌다. 이와 같은 원인은 버너헤드부터 불판 밑부분까지 높이(삼발이 높이) 차이라고 판단되는데 A type은 25 mm, B type은 6.7 mm이다. 즉 삼발이 높이가 낮을수록 복사열이 급격하게 부탄캔에 전달되어 부탄캔 하부온도가 높아진다. 또한 부탄캔 내 가스잔량이 약 3/4 정도 남아 있는 상태에서 복사열이 지속적으로 부탄캔에 전달되어 부탄캔 내부압력이 안전장치 작동 제한압력까지 상승되는 것으로 생각된다.

Fig. 9는 B type 레인지에서 탄소강 과대불판의 불판과 부탄캔 온도 및 부탄캔 내부압력을 나타낸 것이다. Fig. 8과 마찬가지로 부탄캔 내부압력이 약 406.8 kPa에 도달하면서 안전장치가 작동되어 소화되었다.

위 실험결과 부탄캔의 내부압력이 406.8~425.2 kPa 일 때 두 경우 모두 안전장치가 작동되었으며 이때 부탄캔 하부온도는 각각 39.3°C와 41.3°C이었다. 이 결

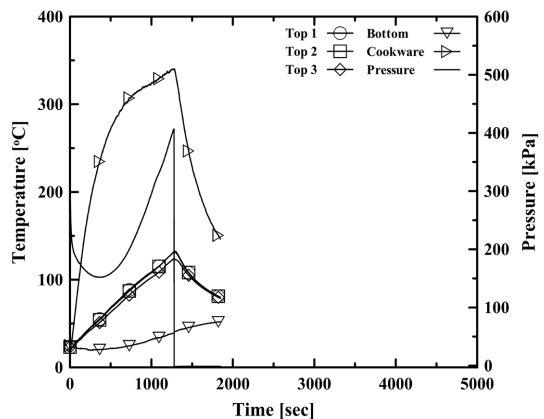


Fig. 9. Measured temperature and pressure of the oversized carbon steel cookware using B type range.

과를 안전장치가 작동하지 않은 Fig. 5~7과 비교하면 안전장치 작동에 직접적인 영향을 주는 인자는 불판에 의한 복사열이며 복사열에 의해 부탄캔의 내부압력 증가가 안전장치를 작동하게 한다고 판단된다.

B type 레인지의 경우 KS B 8106의 압력 감지 안전장치 기준(490~686 kPa)보다 낮은 압력에서 안전장치가 작동한 것은 제작사가 제한압력을 기준보다 약 13~17%(최저 490 kPa 기준) 정도 더 낮게 설정하여 제작 출고했기 때문으로 생각된다.

Fig. 10은 C type 레인지(유로차단식)에서 알루미늄 합금 과대불판을 사용할 경우 불판과 부탄캔 온도 및 부탄캔 내부압력을 나타낸 것으로 전체적인 경향은 Fig. 5와 유사하며 안전장치는 작동하지 않았는데 C type 레인지에서 삼발이 높이는 15.7 mm이다.

Fig. 11은 B type 레인지에서 탄소강 과대불판을 사용할 경우 부분부하(화력조절레버를 1/3지점에 고정)에서의 부탄캔 상부온도 및 내부압력을 나타낸

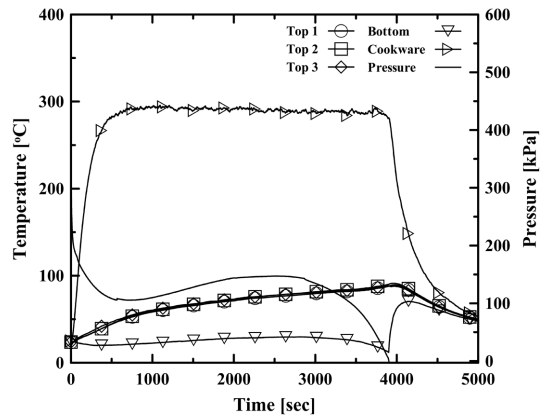


Fig. 10. Measured temperature and pressure of the oversized aluminum alloy cookware using C type range.

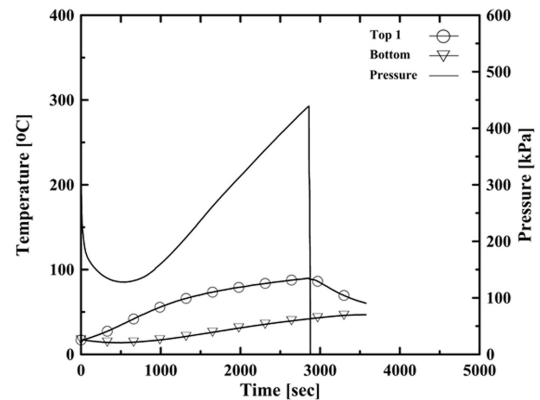
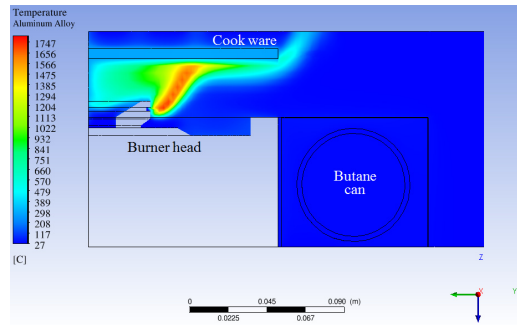


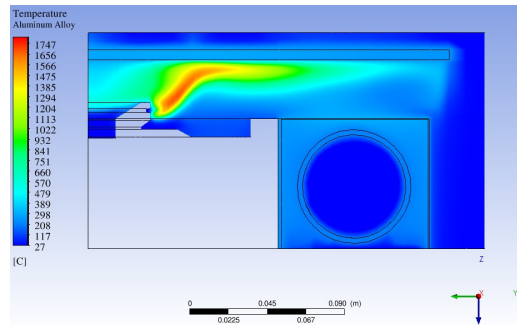
Fig. 11. Measured temperature and pressure of the oversized aluminum alloy cookware using B type range(partial-load).

것이다. 실험결과 전부하(full-load)가 아닌 부분부하(partial-load)를 유지하더라도 부탄캔 내부압력이 약 447.2 kPa이 되면서 안전장치가 작동되고 소화되었다. 지금까지의 실험결과를 종합하면 휴대용 부탄 가스 레인지에서 과대불판을 사용할 경우 불판 밑 부분의 복사열로 인해 부탄캔 상부와 하부온도가 높아지면서 부탄캔 내부압력이 상승하며[7,8] 부탄캔의 가스잔량에 따라 약간의 차이는 있지만 약 406.8~425.2 kPa(부탄캔 하부온도는 약 39.3°C와 41.3°C)이 되면 안전장치가 작동된다. 그리고 과대불판의 열전도계수가 작을수록 복사열은 커지며 이로 인해 부탄캔의 내부압력도 높아진다.

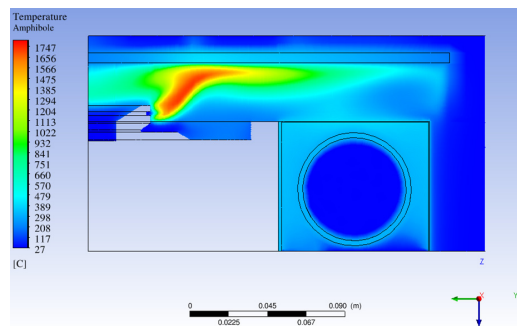
Fig. 12는 알루미늄 합금 소형불판, 알루미늄 합금



(a) Small size aluminum alloy cookware



(b) Oversized aluminum alloy cookware



(c) Oversized amphibole cookware

Fig. 12. Numerical analysis.

과대불판 및 감석식 과대불판에 대한 수치해석 결과를 나타낸다. 소형불판(a)의 경우 고온 연소가스는 불판 끝부분을 지나면서 우측 상층부로 확산되어 부탄용기부에는 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 알루미늄 합금 과대불판(b)의 경우 (a)에 비해 상대적으로 불판 밑부분의 화염길이도 길어지며 고온의 연소가스가 불판 끝부분으로 이동하면서 상당한 열이 부탄용기부에 영향을 주고 있어 부탄용기부 주위온도가 높게 나타난다. 감석식 과대불판(c)는 (b)와 유사한 경향을 나타내지만 열전도계수가 상대적으로 작아 복사열의 영향은 (b)보다 크며 따라서 부탄용기부 상부와 좌우측의 온도는 더 높게 나타난다.

4. 결론

본 연구는 휴대용 부탄 가스 레인지에서 과대불판을 사용할 경우 부탄캔 주위의 열거동 메커니즘 및 부탄캔의 압력변화에 대한 실험을 수행하고, 수치해석을 통해 부탄캔 주위의 열이동과정을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 소형불판의 경우 고온 연소가스나 불판에 의한 복사열이 부탄용기부에 주는 영향은 부탄 가스 레인지의 안전에 영향을 줄만큼 크지 않은 것으로 나타났다.

2) 과대불판의 경우 고온 연소가스나 불판에 의한 복사열이 부탄캔 상부에 상당한 영향을 주며 부탄캔 내부압력이 약 406.8~447.2 kPa 범위안에서 안전장치가 작동하였다.

3) 휴대용 부탄 가스 레인지의 전부하 및 부분부하 모두 부탄캔 내부압력이 약 406.8~447.2 kPa 범위안에서 안전장치가 작동하였다.

4) 실험결과 안전장치가 작동하는 원인은 삼발이 높이가 낮아지면서 과대불판의 복사열이 커지고 또한 연소가스로부터 부탄캔으로의 대류열전달에 의해 부탄캔 내부압력이 상승하기 때문이다.

5) 실험 및 수치해석 결과 열전도계수가 낮은 불판일수록 복사열이 커져 휴대용 부탄 가스 레인지의 안전에 영향을 줄 수 있다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(에너지기술개발사업, 2013년~2016년)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- [1] Seonghee Kil, The development trend for international standards of portable butane burner and butane cans, *The Gas Safety Journal*, Vol. 298, 2016, pp. 4-9.
- [2] Youn-Hoi Kim, Study of case the fire and explosion of potable butane burner, *Proceedings of the KIFI 2015 annual meeting*, J. Korean Inst. Fire Investigation, 2015 pp. 156-165.
- [3] Sooik Kim, Kuk Bin Keum, Byeonghun Yu, Chang-Eon Lee, Young-gu Kim, Fundamental Study for Reformation of Safety Standard about Portable Butane Gas Range, *J. Korean Soc. Combust.* Vol. 19, 2014, pp. 35-41.
- [4] Seung-Kyu Kang, Kyung-Suhk Choi, Joon-Yong Yoon, Experiment and Simulation of Diffusion of Gas Released from the Relief Valve of a Gas Cylinder for a Portable gas Range, *J. Fluid Machinery*, Vol. 12, 2009, pp. 16-21.
- [5] Hyun-Soo Ahn, Suel-Ki Choi, Seung-Kyu Kang, Hyo-Jung Bang, A Study on Improvement of Safety Standards for Portable Butane Gas Stove with Over sized Cookware, *Proceedings of the 2014 Korean Institute of Gas*, 2014, pp. 75.
- [6] Korean Agency for Technology and Standard, KSB 8106-Portable hat plates used with butane gas, 2011.
- [7] Suel-Ki Choi, Seung-Kyu Kang, Hyo-Jung Bang, A Study on Safety Improvement of Potable Butane Gas Range with Oversized Cookware, *Journal of The 48th KOSCO Symposium*, 2014, pp. 199-200.
- [8] Kuk Bin Keum, Sooik Kim, Byeonghun Yu, Chang Eon Lee, Fundamental Study for Setting of Inspection Standard about Portable Butane Gas Range, *Journal of The 48th KOSCO Symposium*, 2015, pp. 267-269.