

업소용 가스레인지 버너의 일산화탄소 배출 특성을 고려한 최적 설계변수 도출

김일곤¹ · 김태훈^{2†}

Derivation of Optimal Design Variables Considering Carbon Monoxide Emission Characteristics of Commercial Gas Stove Burners

Il Kon Kim¹ · Taehoon Kim^{2†}

[†]Corresponding Author

Taehoon Kim

Tel : +82-2-970-6374

E-mail : tkim@seoultech.ac.kr

Received : November 28, 2023

Revised : January 19, 2024

Accepted : January 29, 2024

Abstract : Commercial gas stoves feed primary air to the burner and burn the fuel-air mixture in a partially premixed combustion. This mechanism produces carbon monoxide during combustion. In this study, design parameters of a commercial gas stove were optimized by considering the carbon monoxide emission. Gas consumption rate, carbon monoxide emission, and water boiling temperature as a heating performance were determined. Carbon monoxide emission was measured using a Korean Industrial Standards standard collector. Water boiling temperature was measured by first soaking the pot in water for approximately 10 min and then heating the pot filled with water. A thermocouple was installed inside the pot. Carbon monoxide increased as the nozzle diameter was increased and the burner-pot height was decreased. This result was due to the insufficient mixing between the fuel and air. Heating performance was enhanced when the nozzle diameter was increased and the burner-pot height was decreased. However, the heating performance deteriorated when the nozzle diameter was 1.8 mm and the burner-pot height was reduced to 50 mm. This phenomenon was due to the formation of a flame on the side of the pot. A merit factor was defined to find the optimal design parameters to satisfy gas consumption rate, carbon monoxide emission, and heating performance. Optimal design values were established to be a nozzle diameter of 1.5 mm and a burner-pot height of 60 mm.

Copyright©2024 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Key Words : carbon monoxide poisoning, commercial gas stove, burner, heating performance

1. 서론

현재 국내에서 생산되고 있는 업소용 가스레인지 버너는 노즐을 통해 가스 연료(LPG 또는 천연가스)가 공급되고, 공기조절기(댐퍼)를 통과하면서 1차 공기와 섞인 혼합기가 혼합관을 통해 버너로 공급된다. 버너로 공급된 혼합기는 버너 염공 외부에서 2차 공기와 섞여 연소 된다. 이와 같은 부분 예혼합 연소의 특성으로 인하여 업소용 가스레인지에서는 불완전 연소시 발생하는 일산화탄소가 배출될 수 있다. 그에 따라 한

국가안전공사에서는 일산화탄소 배출을 규제하고 있다¹⁾.

최근에는 가스 제품의 가스 소비량에 민감한 소비자들로 인하여 열효율이 높은 가스레인지 버너들이 출시되고 있으며, 이는 적은 양의 가스를 이용하여 높은 가열 성능을 갖도록 가스레인지 버너를 설계해야 함을 의미한다. 이러한 측면에서 일산화탄소는 안전상의 문제 뿐만 아니라, 버너의 효율에도 영향을 미치는 요소이다. 따라서, 일산화탄소를 줄이면서 조리시간도 단축시킬 수 있는 고효율의 가스 제품의 개발이 필요하다²⁾.

¹서울과학기술대학교 글로벌안전공학과 석사과정 (Department of Global Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology)

²서울과학기술대학교 안전공학과 조교수 (Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology)

가스버너의 단점 중 하나는 전기 제품보다 상대적으로 열효율 성능이 떨어지는 것이다. 그리고 전기 제품에 비해 구조가 복잡해 청소가 용이하지 않아 이물질로 인한 CO 발생 가능성이 있다^{3,4)}. 하지만, 가스버너는 저렴한 가격과 유지비, 사용의 편리성과 전기 제품에 비해 짧은 조리시간 등의 많은 장점으로 현재까지도 대부분의 주방에서 폭넓게 사용되고 있다^{3,4)}.

N.K. Mishra 등⁵⁾의 연구에 따르면 기존의 액화 석유가스(LPG) 요리 스토브(stoves)가 이 범주에 속하며, 이 버너에서 예혼합된 공기-연료 혼합물의 화염은 구멍이 뚫린 금속 버너 헤드 위에서 안정화된다. 이 버너의 연소는 분젠 버너의 연소와 유사하며, 이 경우 부분예혼합연소로 인하여 반응 영역이 얇으며, 결과적으로 화염 전체에 급격한 온도 구배가 나타난다. 전체적으로 연료가 풍부($\phi > 1$) 연료-공기 혼합기가 버너로 공급되기 때문에 불완전연소로 인하여 열효율이 낮고, CO 및 NO_x 배출량이 높다.

R. Junus 등^{6,7)}은 가정용 가스레인지 버너의 배기가스에 영향을 미치는 주요 설계 변수들에 대해 연구하였다. 실험에서 고려한 주요 변수들은 버너 캡(cap)의 재료, 캡의 모양, 캡의 크기, 캡의 무게, 캡의 수명(age), 쿡탑의 위치, 그레이팅(grading) 높이, 용기의 형상과 간격이다. 설계 변수를 선별하기 위한 통계적 분석을 위해 요인 실험 설계 방법(factorial experimental design method)을 이용했다. 공급 열량, 용기 둘레 대 면적 비율(port perimeter to area ratio), 용기 슬릿 slit 간격, 용기 크기 및 모양, 내부 화염과 중앙부 2차 공기가 배기가스 특성에 영향을 미친다고 보고하였고, 내부 화염과 중앙부 2차 공기가 없는 상태에서 슬릿 형태의 용기 조건이 좀 더 적은 양의 배기가스가 측정되었다고 보고하였다. 또한 용기 둘레 대 면적 비율이 작을수록 배기가스 배출도 감소한다고 보고하였다. H.R.N. Jones⁸⁾는 화염의 안정성이 버너의 모양뿐만 아니라 1차 공기(primary aeration)와 공급 열량에 의해 영향을 많이 받는다고 보고하였다.

Ko와 Lin⁹⁾은 가스레인지 버너에 공급되는 천연가스의 발열량에 따라 가열 성능과 일산화탄소 배출 특성의 변화를 측정하였다. 발열량이 큰 천연가스를 이용하는 경우, 열효율이 감소하면서 일산화탄소 배출량이 증가하였다. 이러한 문제는 가스 공급 압력을 줄여 1차 공기의 혼합량을 증가시켜 해결할 수 있다고 언급하였다. Liu 등¹⁰⁾은 천연가스의 주성분인 메탄과 수소 혼합 연료를 가스레인지에 적용하여 일산화탄소 배출 특성을 분석하였다. 수소를 15% 혼합한 경우, 일산화탄소 배출량은 25% 줄었으며 연소영역의 평균온도는 6.7%

감소하였다. 가스레인지에 공급되는 연료뿐만 아니라 가스레인지의 다양한 설계인자들이 가스레인지 버너의 가열 성능 및 일산화탄소 배출에 미치는 영향에 대하여 많은 연구들이 수행되었다. Stubington 등^{11,12)}은 가스버너의 배기가스 배출과 열효율에 대해 연구하였다. 연구를 통해 배기가스 배출과 열효율은 공급 열량, 염공과 용기 사이의 높이와 화염 길이의 비에 크게 영향을 받는다고 보고하였다. Ashman 등¹³⁾은 가스 쿡탑 버너에 대해 염공과 용기 사이 높이와 공급 열량에 따른 열효율 및 배기가스 배출에 대한 연구를 수행하였다. 버너의 열효율은 염공과 용기 사이 높이가 증가할수록 감소하였고, 염공과 용기 사이 높이가 낮은 경우에 공급 열량이 감소할수록 열효율이 증가하였다. 질소산화물(NO_x)은 염공과 용기 사이 높이가 증가할수록 증가하였고, 일산화탄소(CO)는 염공과 용기 사이 높이가 감소할수록 증가하였다.

Hou와 Ko^{14,15)}는 가정용 가스버너에서 사용하는 화염(층돌 층류 제트 화염)에 대해 경사도와 염공과 용기 사이 높이에 대한 영향을 연구하였다. 실험 결과 화염의 구조, 온도 분포와 열효율은 경사각도와 가열 높이에 따라 영향이 큰 것으로 나타났다. 노즐과 화염의 거리 즉 가열 높이가 증가할수록 열효율은 처음에 증가하다가 화염 최대 높이의 약간 아래 부분에서 최대 값이 되고, 그 이후로는 감소한다고 보고하였다. Jugjai 등^{16,17)}은 가스버너에서 선회(swirl) 화염이 열효율에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 선회 유동(swirl flow) 버너가 방사형 유동(radial flow) 버너에 비해 효율이 높았으며, 그 이유는 선회 효과로 인해 배기가스의 체류시간이 증가함에 따라 열효율이 증가한다고 보고하였다. Hou 등¹⁸⁾은 가정용 가스버너의 열효율과 일산화탄소 배출에 대해 5가지 주요 파라미터의 영향 특성을 연구하였다. 그 중 선회 방식(swirling) 화염의 영향에 집중해서 연구하였고, 선회 유동 버너가 보다 높은 열효율 특성을 나타내었고, 일산화탄소는 약간 증가했다고 보고하였다. 이러한 원인은 용기의 바닥면에 연소가스의 체류시간을 증가시켰기 때문이다. 그리고 공급 열량이 증가함에 따라 열효율은 감소하고 일산화탄소 배출은 증가한다고 보고하였다.

김양호²⁾는 쿡탑 가스버너에서 트레이드오프 관계를 가지는 열효율 및 일산화탄소 배출 특성을 분석하여 친환경, 고효율의 쿡탑 가스버너를 개발하는데 필요한 설계 가이드라인을 제시하고자 하였다. 염공 모양, 염공 각도, 버너와 용기 사이의 간격, 버너 크기, 공기과잉률, 그레이팅의 모양에 따른 열효율 및 일산화탄소 배출 특성에 대해 고찰한 결과, 버너 크기, 염공 각도,

버너와 그레이팅과의 간격이 가열성과 일산화탄소 배출량에 영향을 미치는 주요 인자로 분석되었다.

이러한 선행 연구에도 불구하고 업소용 가스레인지의 경우, 가정용에 비하여 가스 소비량이 많아 일산화탄소의 배출량도 증가한다. 본 연구에서는 기존 석사학위 논문¹⁹⁾을 수정·보완하여 현재 업소에서 사용하고 있는 가스레인지 버너(1열1구형 주물버너)의 두 가지 설계변수(노즐경, 염공과 용기 사이 높이)에 따라 가열 성능 및 일산화탄소 배출 특성에 대하여 분석하였다. 이를 바탕으로 일산화탄소 배출은 줄이면서 가열 성능을 확보할 수 있는 최적점을 도출하였다.

2. 연구 방법

2.1 가스레인지 버너 성능 시험 장치

본 연구에서는 업소에서 주로 사용되고 있는 1열1구 주물버너를 사용하였다. Fig. 1에 주물버너의 형상과 치수를 도시하였다. 버너의 재료는 회주철이고, 혼합관을 연결할 수 있도록 입구 부분에 안쪽으로 깊이 약 20 mm의 테이퍼 나사산이 있다. 이 부분을 통하여 연료-공기 혼합기가 버너로 공급된다.

버너의 가열 성능을 분석하기 위하여 업소에서 일반적으로 이용되는 용기에 물을 넣고 끓는 시간을 측정하였다. Fig. 2는 실험에 사용된 3가지 용기의 형상과 치수이다. 용기는 업소에서 주로 사용되고 있는 용기

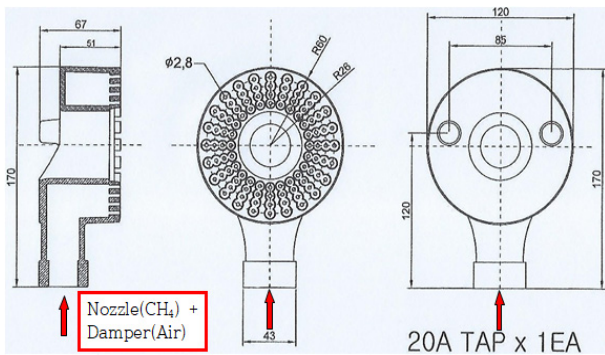


Fig. 1. Shape and dimensions of cast iron burner (unit: mm).

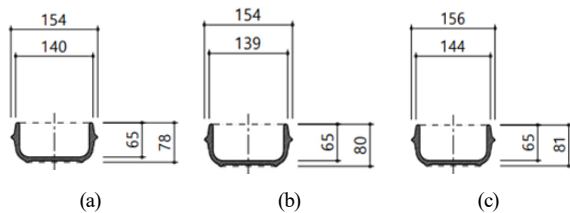


Fig. 2. Shape and dimensions of pots: (a) Pot A, (b) Pot B, (c) Pot C (unit: mm).

중 중간크기 3종을 사용하였고, 3가지 용기의 완전 건조시의 무게는 각각 914, 878, 888 g로 측정되었다. 용기의 실제 사용 조건을 감안하여 10분 이상 수조에 담근 후 용기에 수분이 함유된 상태로 실험을 수행하였다. 각 용기별 1회 측정된 값의 평균값으로 도출하였다. 시험용 가스는 도시가스의 주성분인 순도 약 95%의 메탄(CH₄)을 사용하였다.

가스유량을 측정하기 위하여 10-5,000 L/hr의 건식 가스미터(상대측정불확도: 0.28%(유동율 1000 L/h), 0.27%(유동율 2500 L/h, 4000 L/h))를 이용하였다. 대기압계(측정불확도: 1 hPa)의 측정범위는 715-805 mmHg이며, 압력계(측정불확도: 0.1 hPa)의 측정 범위는 0-100 kPa이다. 온도(측정불확도: 1°C)는 K-type 열전대를 이용하여 측정하였다. 시간 측정은 초시계(측정불확도: 0.02 s/d)를 사용하였다. 일산화탄소 측정을 위한 연소가스 분석기(상대측정불확도: 2.2×10^{-2} (산소), 3.5×10^{-2} (일산화탄소))의 측정범위는 0-4,000 ppm이다. 업무용 대형 연소기의 시료채취용 포집기에 대한 사양이 한국가스안전공사에서는 정확히 규정하고 있지 않아, KS(한국산업규격)에서 정한 ‘그릴부의 연소 가스 채취기’ 사양²⁰⁾을 참고하여 제작하였으며, 크기는 400 × 600 × 650 mm³이다.

Fig. 3에 포집기의 형상 및 치수에 대해 구체적으로 나타내었다. 직사각형 피라미드 모양으로 제작하였고, 중간에 약 100 mm의 타공을 하였으며, 약 100 mm의 원형 파이프를 용접한 구조로 되어있다. 원형 파이프 상부에서 약 100 mm 아래에 약 10 mm의 타공을 하여 연소가스 분석기의 프로브(Probe)를 끼울 수 있는 구조이다. 시험 용기에서 배출되는 배기가스가 포집기의 중앙부분을 통해 상부로 배출되는 구조이며, 레인지 상부에서 80 mm 이상의 높이가 되는 지점에서 용기 전체를 덮어 배기가스가 외부로 배출되지 않도록 측정하였다.

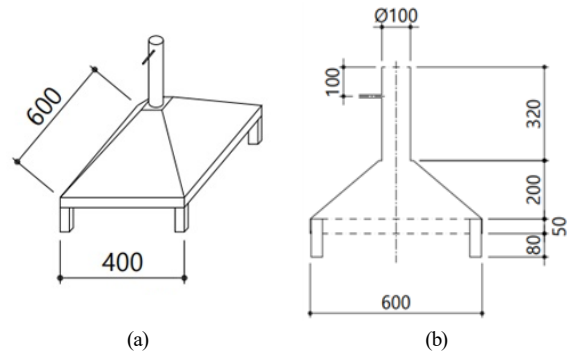


Fig. 3. Shape and dimensions of collector: (a) isometric view, (b) front view (unit: mm).

2.2 성능 평가 방법 및 실험 조건

가스 공급을 위한 노즐은 총 5가지의 노즐경 (1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 mm)을 고려하였다. 가스 유량 측정은 용기를 사용하지 않고, 각 노즐경마다 2회 측정하여 측정된 값의 차가 2% 이하일 경우의 평균값으로 도출하였다. 본 연구에 활용된 노즐을 Fig. 4에 도시하였다.

Fig. 5에 일산화탄소 농도 측정을 위한 실험장치구성을 간략히 도식화하였다. 점화 후 15분이 지난 이후에 포집기에서 포집된 연소 배기가스를 채취하였다. 노즐경 5가지에 대해 버너염공-용기 사이 높이를 50, 60, 70 mm로 변화시키며, 5분 간격을 두고 2회 측정하여 일산화탄소 농도의 최저값을 채택하였다¹⁾. (B용기 기준)

가스 소비량과 일산화탄소 농도는 「가스사용 업무용 대형연소기 제조의 시설·기술·검사 기준」¹⁾의 “가스사용 업무용 대형연소기 성능시험 방법”에서 제시한 방법을 이용하여 산출하였다. 한국가스안전공사에서 정한 가스용품 중 업무용대형연소기의 일산화탄소 발생 허용기준은 이론건조 연소가스 속의 CO농도 (부피%)를 1400 ppm (0.14%) 이하로 규정하고 있다.

가스레인지 버너의 가열 성능을 분석하기 위하여 용기 안에 반 이상 채워지도록 실온의 물을 500 g 채워 넣었다. 용기는 버너의 중앙에 위치시키고, 용기의 상단에 온도 측정을 위해 구멍이 뚫린 뚜껑을 덮었다. 상단의 구멍에는 온도센서를 삽입하여 온도센서의 끝단이

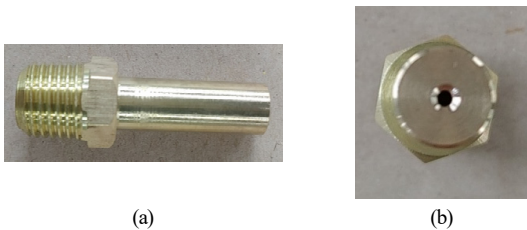


Fig. 4. Gas supplying nozzle: (a) side view, (b) front view.

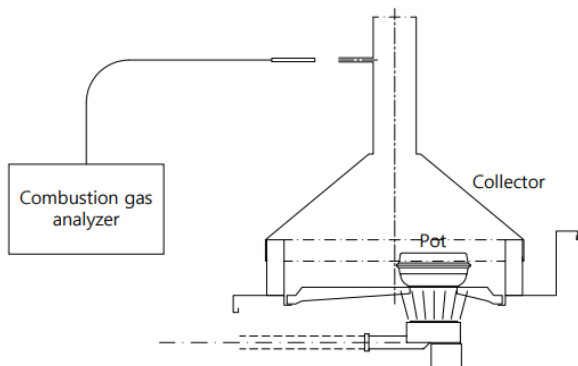


Fig. 5. Experimental apparatus for measuring carbon monoxide.

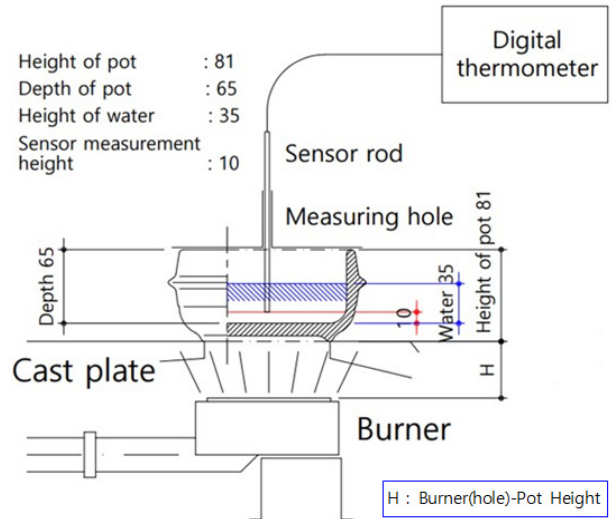


Fig. 6. Experimental apparatus for measuring heating performance.

물 높이의 1/3 지점에 위치하도록 조정하였다. 용기의 수분 함량에 따라 물 끓는 시간이 달라지므로 3가지 용기 모두 수조에 10분 이상 담갔다 꺼낸 상태로 측정하였다. 버너의 가열 성능 측정을 위한 실험장치도를 Fig. 6에 도시하였다.

상온의 물이 30°C에서 80°C까지 도달하는데 걸리는 시간을 버너의 가열 성능의 지표(물이 끓는 시간)로 활용하였다. 가열 성능은 동일 조건에서 3가지 용기(A, B, C)에 대해 측정하고 그 평균값을 활용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 일산화탄소 배출 특성

Fig. 7은 노즐경에 따른 일산화탄소 농도이다. 염공과 용기 사이 높이가 감소함에 따라 일산화탄소의 농도는 증가하였다. 이는 공급압력이 일정한 상태에서 노즐경이 커지면 연료 공급이 많아지고, 이로 인하여 산소와 혼합이 어려워져 불완전연소가 발생하기 때문이다.

노즐경이 일정할 때, 염공과 용기 사이 높이가 증가하면 일산화탄소의 배출량이 감소하는 경향을 보였다. 이는 Ashman 등¹³⁾의 선행 연구와도 일치하는 결과이다. 염공과 용기 사이 높이가 증가하면 산소와의 혼합이 활발해져 불완전연소가 줄어들기 때문이다. 노즐경이 1.5 mm 이하이고, 염공과 용기 사이 거리가 60 mm 이상인 경우에는 일산화탄소의 배출량이 거의 0 ppm에 가까운 값을 보이는 것으로 보아, 공급된 연료가 대부분은 완전연소되는 것으로 사료된다.

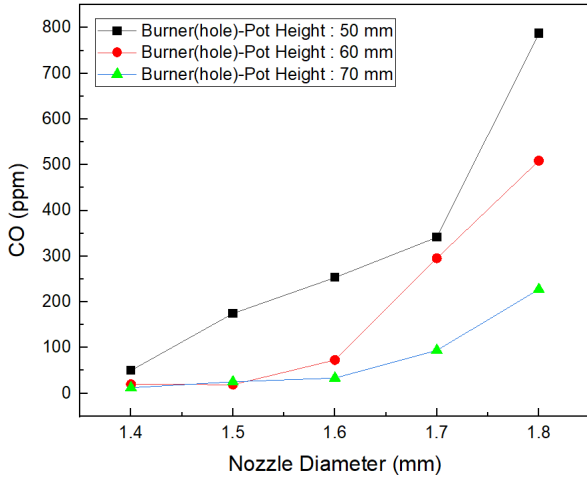


Fig. 7. Carbon monoxide concentration depending on the nozzle diameter.

3.2 가열 성능

Fig. 8은 노즐경 변경에 따른 물 끓는 시간을 측정된 결과이다. 전반적으로 노즐경이 증가할수록 공급되는 가스량이 증가하기 때문에 물이 끓는 시간은 감소하였다.焰공과 용기 사이 거리가 50 mm인 경우, 물이 끓는 시간이 노즐경 1.8 mm인 경우가 1.7 mm인 경우에 비하여 길었다. 이는 증가된 노즐경으로 인하여 화염 길이가 증가하고, 이로 인하여 화염이 용기 하부를 가열하지 못하고 용기 외부로 빠져나왔기 때문으로 사료된다. 전반적으로焰공과 용기 사이 거리에 따른 영향은 노즐경이 증가할수록 감소하였다. 노즐경이 증가할수록 화염의 크기가 커지며, 이로 인하여焰공과 용기 사이 거리가 먼 경우(70 mm)에도 화염이 용기 하부를 충분히 채우기 때문으로 판단된다.

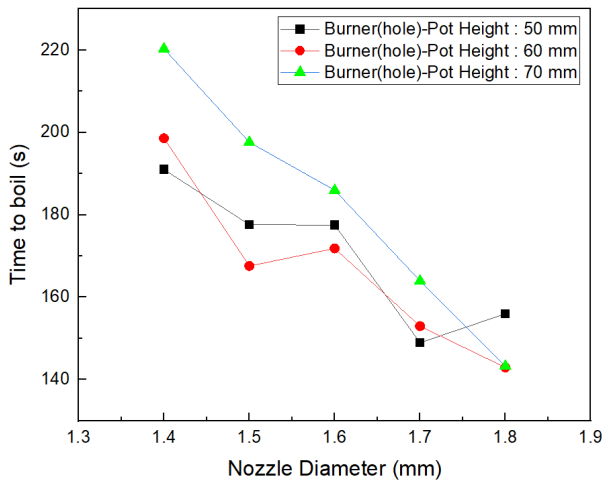


Fig. 8. Heating performance depending on the nozzle diameter.

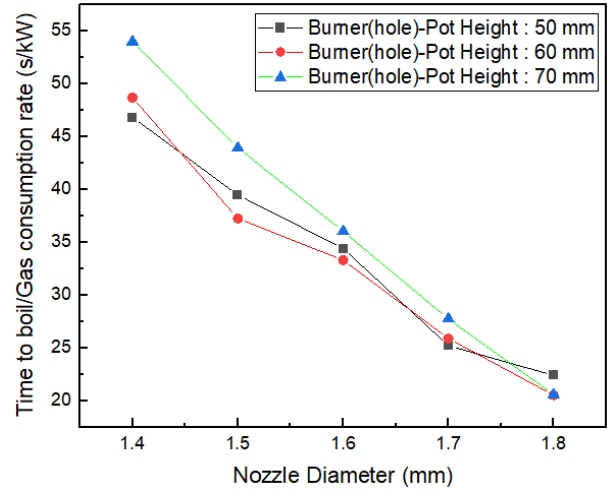


Fig. 9. Normalized heating performance depending on the nozzle diameter.

가스레인지의 가열 성능은 가스 소비량에 비례한다. 따라서, Fig. 8에서 분석한 물이 끓는 시간을 가스 소비량으로 나누어, 동일한 가스 소비량에 대하여 가스레인지의 가열 성능에 대해 분석하였다(Fig. 9). 가스 소비량당 물이 끓는 시간도 노즐의 반경이 커질수록 감소하는 경향을 보였다. 그러나, 상대적으로焰공과 용기 사이 거리에 대한 영향은 줄어들었다. 동일량의 가스를 소비하는 경우, 노즐경이 클수록 가열 성능이 증가하며(Fig. 9),焰공과 용기 사이 거리가 증가할수록 일산화탄소 배출량이 감소하여 우수한 성능의 가스레인지 버너 설계가 가능할 것으로 보인다.

3.3 최적 설계 변수 도출

본 실험에 고려된 모든 조건에 대한 일산화탄소 배출량 및 물 끓는 시간을 Fig. 10에 도시하였다. 일산화탄소 배출량과 물 끓는 시간 모두 작을수록 우수한 성능을 의미하기 때문에 그래프 상의 원점(좌측 하단)에 가까울수록 우수한 성능을 갖는 설계변수임을 의미한다. 이를 고려할 때, Fig. 10에 표시된 3개 지점이 우수한 성능을 갖는 지점으로 사료되며, 첫 번째 조건(파란색 점선)은 노즐경 1.5 mm에서焰공과 용기 사이의 높이가 60 mm일 경우, 두 번째 조건(빨간색 점선)은 노즐경 1.6 mm에서焰공과 용기 사이의 거리가 60 mm일 경우, 세 번째 조건(노란색 점선)은 노즐경 1.7 mm에서焰공과 용기 사이의 거리가 70 mm일 경우에 해당된다. 이 세 가지 조건 중 물 끓는 시간은 크게 차이가 없으므로 안전관리 측면에서는 CO량이 가장 적게 발생하는 첫 번째 조건(파란색 점선)이 가장 최적의 조건으로 판단된다.

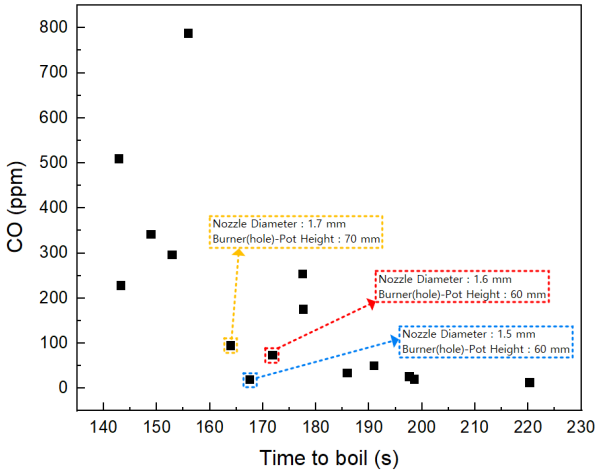


Fig. 10. CO emissions and heating performance for entire experimental conditions.

업소용 가스레인지 버너는 소비자의 요구에 따라 상세 사양이 결정된다. 따라서, 소비자가 가스 사용량에 관계없이 가열 성능을 중요시 하는 경우, 가스 사용량을 중요시 하는 경우, 밀폐공간 사용으로 인해 일산화탄소 배출량을 줄이고자 하는 경우 등 다양한 조건을 고려해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 가스 소비량, 일산화탄소 배출량, 가열 성능을 고려하여 이득계수 (merit factor)를 정의하고, 이득계수의 정의에 따른 최적 설계 변수를 도출하였다. 각 종속 변수들의 기준값에 대한 비율을 이용하여 이득계수를 다음 식과 같이 정의하였다 :

$$M.F. = n_Q(1 - Q_N) + n_{CO}(1 - X_N) + n_t(1 - t_N) \quad (1)$$

$$Q_N = (Q_a - Q_{min}) / (Q_{max} - Q_{min}) \quad (2)$$

$$X_{CO} = (X_{CO,a} - X_{CO,min}) / (X_{CO,max} - X_{CO,min}) \quad (3)$$

$$t_N = (t_{boil,a} - t_{boil,min}) / (t_{boil,max} - t_{boil,min}) \quad (4)$$

이 때, Q는 가스 소비량, X는 CO 농도, t는 물 끓는 시간 (가열 성능)을 의미하고, n은 각 요소들에 대한 가중치이다. 하첨자 N은 무차원화된 값을 의미하며, 각 무차원화된 값은 해당 조건에서 측정된 값과 측정된 전체 값 중 최소값의 차이를 측정된 전체 값의 최대값과 최소값의 차이로 나누어 나타내었다.

Fig. 11은 가중치를 모두 1로 설정한 이득계수이다. 각 설계인자들 (가스소비량, 일산화탄소 배출량, 물 끓는 시간)의 가중치에 따른 경향성 변화(Fig. 12 (a) (b) (c))를 보기 위한 기준이 Fig. 11이므로 가중치를 모두 1로 설정하여 비교하였다. 이득계수의 등고선 지도

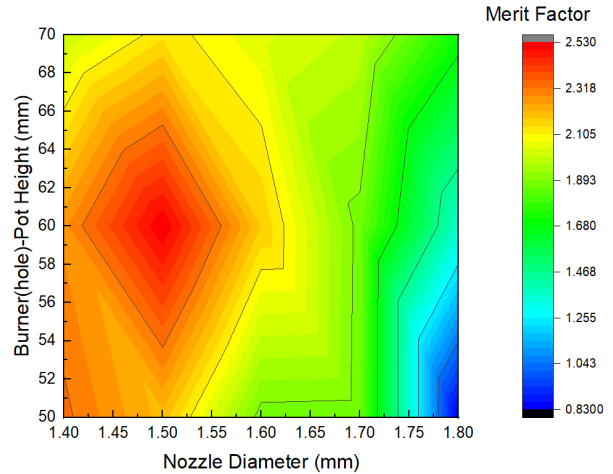


Fig. 11. Merit factor contour map ($n_Q=1, n_{CO}=1, n_t=1$).

(contour map)를 통하여 각 설계인자에 따른 이득계수의 경향성을 파악할 수 있다. 노즐경이 1.5 mm, 염공과 용기 사이 높이가 60 mm 일 때, 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 Fig. 10에서 파란색으로 표기된 조건이 최적 조건으로 도출된 것과 동일한 결과이다. 또한, 이득계수는 노즐경이 증가하고 염공과 용기 사이 거리가 감소함에 따라 낮은 값을 나타내었다. 이는 노즐경이 증가할수록 가스 소비량이 증가하고, 염공과 용기 사이 거리가 감소할수록 일산화탄소 배출량이 증가하기 때문이다.

이득계수의 가중치를 증가시켜, 각 설계변수들에 따른 이득계수의 경향성 변화를 Fig. 12에 도시하였다. 각 가중치 중 분석하고자 하는 변수에 해당하는 가중치만 50으로 증가시켜, 해당 변수를 중요 설계 인자로 고려할 때의 설계 방향에 대하여 분석하였다. 가스 소비량에 대한 가중치를 증가시켰을 경우(Fig. 12 (a)), 이득계수는 노즐경에 대한 함수로 표현되었다. 같은 가스 공급압력일 경우, 염공과 용기의 높이에 상관없이 노즐경이 작아질수록 가스 소비량은 감소하는 경향을 보이기 때문에, 가스 소비량에 대한 가중치를 높인 경우에 이득계수는 노즐경에 대해서만 변화하였다. 일산화탄소에 대한 가중치를 높인 경우, 노즐경은 작고, 염공과 용기 사이 거리가 멀수록 이득계수가 증가하였다. 이는 노즐경이 작고 버너와 용기 사이 공간이 넓을수록 주위 공기와의 혼합이 원활해져 일산화탄소 배출량이 감소하기 때문이다. 물이 끓는 시간에 대한 가중치를 증가시킨 경우, 노즐경이 큰 영역에서 주로 이득계수가 높은 값을 보였다. 그러나, 염공과 용기 사이 거리가 짧은 경우에는 용기의 바닥면 아래의 공간이 충분하지 않아 화염이 용기의 측면에 형성되어 낮은 가열 성능을 보였으며, 이는 Fig. 8과 일치하는 결과이다.

4. 결론

본 연구에서는 노즐경, 염공과 용기 사이의 높이를 변경하여 일산화탄소 변화량과 가열 성능을 분석하였다. 일산화탄소 배출량 측정을 위해 한국가스안전공사의 “가스사용 업무용대형연소기 제조의 시설·기술·검사 기준”(KGS AB338)을 참고하였고, 가열 성능은 물 끓는 시간을 기준으로 측정하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다 :

1. 노즐경을 증가시키면 공기와의 혼합이 어려워져 일산화탄소 배출량이 증가하였고, 염공과 용기 사이 거리를 증가시키면 불완전연소가 줄어들어 일산화탄소 배출량이 감소하였다.

2. 노즐경을 증가시키면 가스 소비량 증가로 인하여 물 끓는 시간이 감소하였다. 염공과 용기 사이 높이를 증가시키면 물 끓는 시간은 증가하였고, 증가폭은 노즐경을 증가시키기에 따라서 감소하였다.

3. 가스 소비량, 일산화탄소 배출량, 가열 성능을 무차원화하고 동등한 가중치를 주어 이득계수를 각 설계변수에 대해 계산한 결과, 노즐경이 1.5 mm, 염공과 용기 사이 높이가 60 mm 일 때, 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 노즐경이 증가할수록 가스 소비량이 증가하고, 염공과 용기 사이 거리가 감소할수록 일산화탄소 배출량이 증가하기 때문이다.

4. 가스 소비량에 대한 가중치를 높인 경우, 이득계수는 노즐경이 감소할수록 높은 값을 보였다. 일산화탄소 배출량에 대한 가중치를 높인 경우, 이득계수는 노즐경이 작고, 염공과 용기 사이 거리가 멀 때 높은 값을 보였다. 물이 끓는 시간에 대한 가중치는 높인 경우, 이득계수는 노즐경이 클수록 높은 값을 보였으나, 염공과 용기 사이 거리가 짧은 경우에는 화염이 용기의 측면에 형성되어 이득계수가 감소하였다.

References

- 1) Facility/Technical/Inspection Code for Manufacture of Commercial Gas Burning Appliances, KGS AB338 2023.
- 2) Y. Kim, “The Study on Combustion Characteristics and Thermal Efficiency Improvement of Cooktop Gas Burner”, PhD thesis, Pusan National University, Busan, 2019.
- 3) L. C. Kwok, C. W. Leung and C. S. Cheung, “Heat Transfer Characteristics of an Array of Impinging Pre-mixed Slot Flame Jets”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 48, pp. 1727-1738, 2005.
- 4) L. L. Dong, C. W. Leung and C. S. Cheung, “Heat

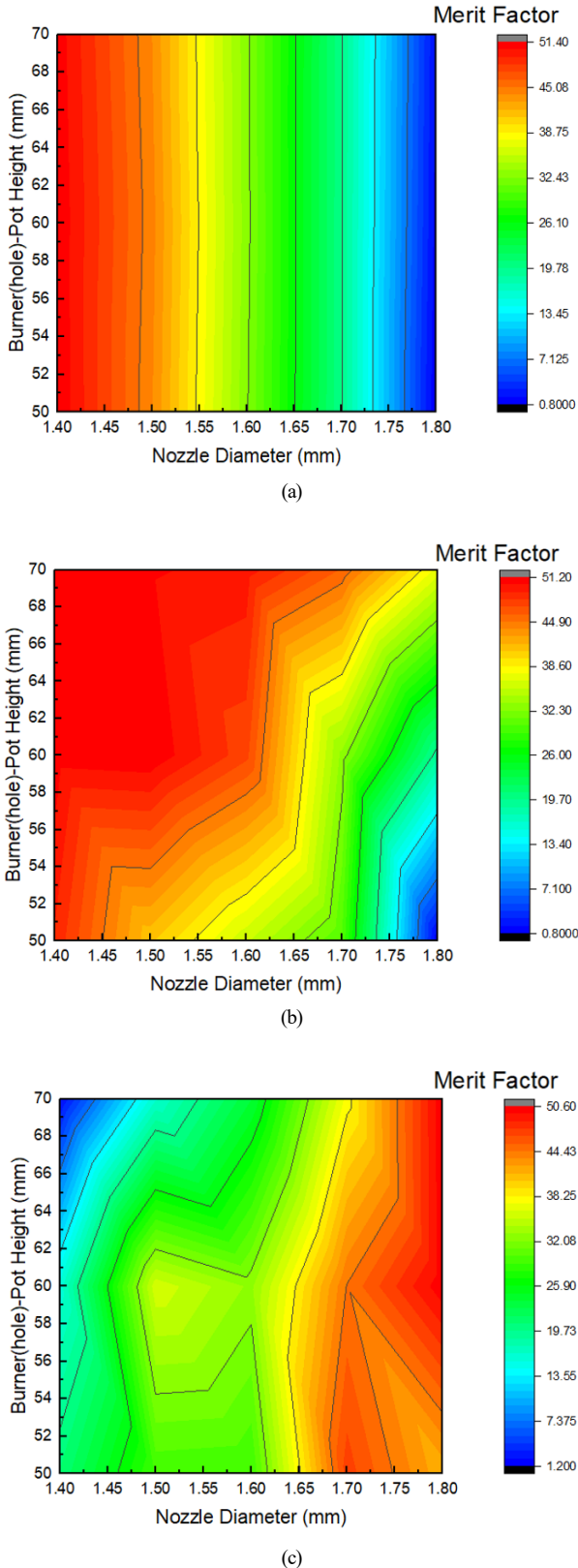


Fig. 12. Merit factor contour map for various weight coefficients: (a) $n_0=50$, $n_{CO}=1$, $n_1=1$, (b) $n_0=1$, $n_{CO}=50$, $n_1=1$, (c) $n_0=1$, $n_{CO}=1$, $n_1=50$.

- Transfer of a Row Three Butane/Air Flame Jets Impinging on a Flat Plate”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 46, pp. 113-125, 2003.
- 5) N. K. Mishra, S. C. Mishra and P. Muthukumar, “Performance Characterization of a Medium-scale Liquefied Petroleum Gas Cooking Stove with a Two-layer Porous Radiant Burner”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 89, pp. 44-50, 2015.
 - 6) R. Junus, J. E. Vierkant, J. F. Stubington, G. D. Sergeant and I. Tas, “The Effects of the Design of the Cap of a Natural Gas-fired Cooktop Burner on Flame Stability”, *Int. J. Energy Research*, Vol. 22, pp. 175-184, 1998.
 - 7) R. Junus, J. F. Stubington, G. D. Sergeant and I. Tas, “Emission and Efficiency of a Prototype Natural Gas-fired Cooktop Burner with Insert”, *International Journal of Environmental Studies*, Vol. 57, pp. 189-205, 2000.
 - 8) H. R. N. Jones, “The Application of Combustion Principles to Domestic Gas Burner Design”, *British Gas*, 1989.
 - 9) Y. Ko and T. Lin, “Emissions and Efficiency of a Domestic Gas Stove Burning Natural Gases with Various Compositions”, *Energy Convers. Manag.*, Vol. 44, No. 19, pp. 3001-3014, 2003.
 - 10) X. Liu, G. Zhu, T. Asim and R. Mishra, “Combustion Characterization of Hybrid Methane-hydrogen Gas in Domestic Swirl Stoves”, *Fuel*, Vol. 333, p.126413, 2023.
 - 11) J. F. Stubington, G. Beashel, T. Murphy, R. Junus, P. J. Ashman and G. D. Sergeant, “Emission and Efficiency from Production Cooktop Burners Firing Natural Gas”, *J. Inst. Energy*, Vol. 67, pp. 143-155, 1994.
 - 12) J. F. Stubington and W. Zou, “Efficient Low-emission Burners for Natural Gas Domestic Cooktops”, *J. Inst. Energy*, Vol. 73, pp. 35-42, 2000.
 - 13) P. J. Ashman, R. Junus, J. F. Stubington and G. D. Sergeant, “The Effects of Load Height on the Emissions from Natural Gas-fired Domestic Cooktop Burner”, *Combust. Sci. and Tech.*, Vol. 103, pp. 283-298, 1994.
 - 14) S. S. Hou and Y. C. Ko, “Effects of Heating Height on Flame Appearance, Temperature Field and Efficiency of an Impinging Laminar Jet Flame used in Domestic Gas Stoves”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, pp. 1583-1596, 2004.
 - 15) S. S. Hou and Y. C. Ko, “Influence of Oblique Angle and Heating Height on Flame Structure, Temperature Field and Efficiency of an Impinging Laminar Jet Flame”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 46, pp. 941-958, 2005.
 - 16) S. Jugjai, S. Tia and W. Trewetaskorn, “Thermal Efficiency Improvement of an LPG Gas Cooker by a Swirling Central Flame”, *Int. J. Energy Reserch*, Vol. 25, pp. 657-674, 2001.
 - 17) S. Jugjai and N. Rungsimuntuchart, “High Efficiency Heat-recirculating Domestic Gas Burners”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 26, pp. 581-592, 2002.
 - 18) S. S. Hou, C. Y. Lee and Ta-Hui Lin, “Efficiency and Emissions of a New Domestic Gas Burner with a Swirling Flame”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, pp. 1401-1410, 2007.
 - 19) I. Kim, “Heating Performance and Carbon Monoxide Emission Characteristics according to the Design Parameters of Commercial Gas Stove Burners” Master’s Thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2023.
 - 20) KS B 8114:2019 Gas Range 4 Performance Table 7 - Performance and Test Method Combustion Gas Sampler on Grill Part