

도자기용 단가마에서 CO₂ 분석기를 사용한 효율적 소성방법 연구

I. 도자기 유약개발에 관한 연구

한 상 목*

Efficient Firing Using CO₂ Analyzer in Single Ceramic Kilns

Part I. Development of Ceramic Glazes

Sang-Mok, Han*

Abstract

There are chief concerns every ceramist must keep in mind when firing a single kiln : Being able to read and control the kilns temperature as the firing progresses and as the kiln cools after firing. Controlling the atmosphere of the kiln in order to create desired glaze and clay body effects. Getting the most efficient use from the fuel-the most heat possible from the least fuel possible.

The more exactly, author can control these factors with some result.

을 위한 적정비율을 규명하고자 하였다.

1. 서 론

도자기 소성공정에서 연료의 소비를 최소한으로 줄이고 소정온도까지 도달하는 방법에 대해 지금까지 많은 연구^{1~3)}가 있었으며 또 가마 내에서 분위기를 임의로 조절하여 필요한 제품의 품질이나 유약의 색상을 변화시키는 방법에 대해서도 많은 연구^{4~6)}가 진행되고 있는 실정이다. 이와 관련하여 본 연구에서는 단가마를 중심으로 가마내의 연료와 공기의 비율에 대해 새로운 탄산가스 분석기를 사용하여 재래식의 소성방법을 조사하고 보다 효율적인 연소공정

2. 실험방법

본 실험에 사용된 가마는 0.67m³의 용적을 가진 downdraft 식의 stoneware, raku 및 salt-glazing 가마와 woodburning 용 가마였다. 버너는 점화전이 부착되어 있는 강제송풍식 Johnson 버너였다. 가마내의 탄산가스량을 측정하기 위해서는 Fyrite 분석기**를 사용하였으며 가스 채취방법은 15mm 직경의 peep hole 에 70cm의 내열석영관을 삽입하고 squeeze bulb 를 눌러

** : Bacharach Instruments 사 제품

* 강원대학교 공과대학 재료공학과 부교수

* Associate Professor, Dept. of Materials Engineering, Kangweon National University

가스를 용액조에 흡입시키면 용액색상의 높이로 조사할 수 있었다. 가마에는 온도측정용 pyrometer가 부착되어 필요시에 가마내부의 온도를 계기로 측정할 수가 있었다.

3. 결과 및 고찰

자기소성가마에서 온도를 측정하려면 지금까지는 주로 cone, draw ring 또는 pyrometer를 사용하고 있으며 소지나 유약의 숙성을 위해서는 온도만을 측정하는 것은 무의미하며 시간이 주요한 인자가 되고 있다. 예를 들어 가열속도를 150°C/hr로 빠르게 하는 경우와 60°C/hr로 느리게 하는 경우 $\Delta 9$ 용융에 필요한 온도는 표 1과 같다. 결국 연료의 절약을 위해서는 가열속도를 빠르게 하는 것이 좋으며 이때는 연료와 공기의 혼합비율을 적당히 조절하지 않으면 안된다.

Table 1. Effect of heating rate for cone melting

	Heating rate	Temperature	Cone melted
Fast heating	150°C/hr	1280°C	$\Delta 9$
Slow heating	60°C/hr	1260°C	$\Delta 9$

모든 연료들은 대개 소성시 CO₂ 가스와 수증기 및 열을 방출한다. 완전연소시 천연가스나 프로판 및 기름에서 발생하는 탄산가스의 비율은 표 2와 같다.

Table 2. Carbon dioxide percent in various fuel at complete combustion

	Natural gas	Propane	Oil
CO ₂ Percent (Complete combustion)	11.5~12%	13.5~14%	15.5~16%

표 3-1에서보면 25%부족공기는 천연가스에서 약 25%의 열량을 감소시키는 효과가 있으며 불완전 연소에 의해 CO 가스와 H₂ 가스가 가마 안에 형성된다. 이들 두가지 가스는 고온에서

소지나 유약층의 금속산화물로 부터 산소를 빼앗아 버린다.

Table 3. Combustion-gas analysis of nature gas with 1) 25% deficiency of air 2) complete combustion and 3) 25% excess air.

	Natural gas composition(%)				
	CO ₂	N ₂	H ₂	CO	O ₂
25% deficiency of air	8	80	6	6	—
Complete combustion	11.9	88.1	—	—	—
25% excess air	9.2	86.3	—	—	4.5

이것이 이른바 환원분위기에 의한 발색 매카니즘의 요인이 되며 Fe₂O₃의 경우는 아래와 같이 진행된다.

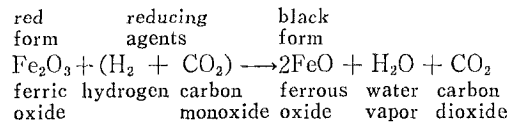


표 2에서 보면 완전연소시에는 CO나 H₂가스가 방출이 없으며 최고의 열량을 발생하게 되며 분위기는 산소가 없는 중성이다. 표 3에서 버너조절로 25%가량의 과잉공기를 공급하면 6~11%의 열량이 감소하게 된다. 버너만으로는 높은 효율을 기대할 수 없으므로 CO₂ 가스 검출기를 사용하면 매우 좋은 효과를 얻을 수 있다. 본실험에서 사용한 Fyrite 가스 분석기는 Orsat 분석기와 원리가 같으며 흡입된 탄산가스는 붉게 염색된 KOH 용액에 흡수되어 팽창하게 되는 원리이다.

본 실험결과 가마의 소성공정에서 대체로 소성시간이 길어지고 일정한 온도에 도달하지 못하는 큰 이유는 버너조작시 과잉공기가 공급되기 때문이다. 이 과잉공기는 온도상승시에 악영향을 미칠뿐 아니라 환원분위기의 효과도 감소시킨다. 즉, 힘들게 얻은 환원분위기효과를 과잉공기에 포함된 산소가 다시 산화를 시키는 결과가 된다.

도 1의 결과는 각종 연료를 연소할 때 과잉공기 및 부족공기의 비율이 CO₂ 가스 방출에

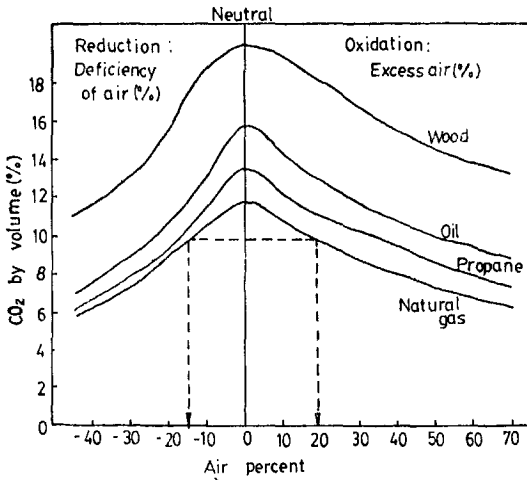


Fig. 1. Using carbon-dioxide reading to determine combustion efficiency.

미치는 영향을 그림으로 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 천연가스가 다른 연료에 비해 CO₂ 함량이 제일 적으며 프로판, 기름, 장작의 순으로 되어있다. 그림중 아래 점선은 천연가스를 9.7% 정도의 CO₂ 가스가 발생되는 조건으로 유지시킬때이며 이런 조건을 얻으려면 20%의 과잉공기나 14%의 부족공기가 필요함을 이 그림에서 쉽게 구할 수 있다.

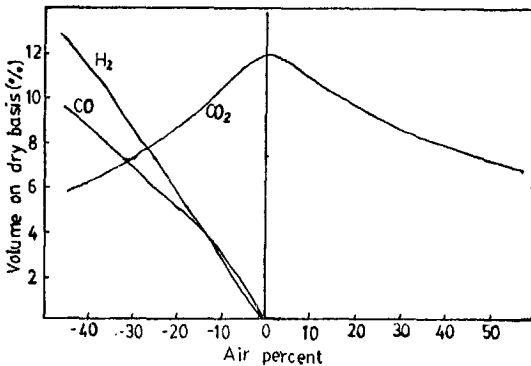


Fig. 2. Using the combustion of natural gas, the relationship between excess air and percent of O₂, CO₂, H₂ and CO.

도 2에서는 천연가스만을 사용할 때 산화 환원분위기에 따른 CO, H₂ 가스를 CO₂ 가스와 비교할 수 있게 만든 그림이다. 이 그림에서 알

수 있는 것은 CO₂ 가스가 감소될 수록 H₂ 나 CO 가스는 증가하며 그럴수록 가마안은 심한 환원분위기로 됨을 알 수 있다.

Table 4. Amount of carbon dioxide in kiln atmosphere for various conditions for four fuels

Fuel	Deficiency of Air			
	0% neutral	10% light reduction	22% med. reduction	33% heavy reduction
Natural gas	11.9	10.5	8.5	7.5
Propane	13.7	11.6	9.1	7.9
Oil	15.8	13.2	10.5	9.0
Wood	20.0	19.0	15.5	13.2

표 4는 환원의 정도와 CO₂ 가스 간의 관계를 표로 만든 것으로 예를 들어 가벼운 환원분위기 정도에서 천연가스는 10.5%의 탄산가스를 포함하나 프로판은 11.6%를 포함하므로 이 표를 이용하여 각종 연료에 의한 분위기 조절을 쉽게 할 수 있다.

4. 결 과

단가마 사용시에 연료에 따른 CO₂ 가스 함량을 조사하여 여러가지 자료를 얻을 수 있었다. 이 자료들을 소성공정에 응용하면 효율적인 소성을 할 수 있으며 또한 연료를 절약할 수 있고 분위기 조절을 임의고 하여 도자기 소성에 필요한 각종 조건을 용이하게 얻을 수 있다. 즉, 연소시 과잉공기나 부족공기가 가스 종류에 미치는 결과를 알 수 있었으며 연료에 의한 CO₂ 함량을 도표로 만들어 이 표를 소성시에 직접 이용할 수 있도록 하였다.

후 기

본 연구는 문교부 IBRD 차관 해외파견에 의해 미국 Wayne St. Univ.에서 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- 1) George Wettlaufer "CO₂ Gas Analyzer" Studio Potter, 7. No.2, pp.72~74 (1979)
- 2) George Wettlaufer "Copper Reds for Potters" Studio Potter, 8. No.1, pp.24~25 (1979)
- 3) C. J. Koenig "Effects of Atmosphere in Firing Ceramics" Columbus Ohio, Columbus Gas System Servics Corp, p.11, (1971).
- 4) Daniel Green "Pottery Glazes" N. Y. Watson-Guptill Pub, p.84, (1973).
- 5) Frank Hamer "The Pottery's Dictionary" N. Y. Watson-Guptill Pub, pp.121~125, (1975).
- 6) W. G. Lawrence "Ceramic Science for the Potter" Philadelphia, Chilton Book, p.121, (1972).