

## 청자의 소성조건 분석에 관한 연구

### - A Study on Fireing condition analysis of celadon porcelain -

이 철 중 \*

Lee Cheol Jung

이 병 기 \*\*

Lee Byung Ki

강 경 식 \*\*\*

Kang Kyong Sick

이 병 하 \*\*\*\*

Lee Byung Ha

#### 초 록

본 연구는 우리나라를 대표할 수 있는 전통도자기의 하나인 청자의 최적 소성방법을 규명함으로써 에너지 절약과 소성시간을 단축하여 제조공정 시간을 줄임은 물론 도예가의 건강을 보호하고자 하는데 그 목적이 있다.

국내에서 청자를 소성할 때 대부분이 950℃부터 환원분위기로 바꾸어 소성을 하는데 이것을 950℃ 부터 1200℃ 까지 50℃간격으로 환원소성 개시 온도를 바꾸어 소성한 다음 기존의 방법으로 소성된 청자와의 색상, 명도 및 채도 등과 비교분석 하였다.

그 결과 기존 청자와의 색상, 명도 및 채도 면에서 같아지는 최고의 환원개시 온도는 1100℃로 규명되었다. 이와 같이 1100℃에서 환원 소성하여 줌으로서 12%의 연료를 절감할 수 있으며 2시간의 소성시간을 단축할 수 있다.

---

\* 명지대학교 한국도자기 연구센터 실장

\*\* 명지대학교 산업공학과 박사과정

\*\*\* 명지대학교 산업공학과 교수

\*\*\*\* 명지대학교 도자기기술학과 주임교수

## 1. 서 론

본 연구는 청자의 생산원가 절감과 소성시간을 단축하기 위하여 최적의 소성 조건을 규명하고자 한다.

청자의 소성은 일반적으로 상온에서부터 950℃까지는 산화소성을 하다가 950℃ 이후부터는 일정한 환원분위기로 소성하여 최고온도 1230~1250℃에서 1시간을 유지하기 까지 전체 소성시간이 9~11시간 정도 소요되는 소성방법이 보편화되어 있다. 그러나 국내에 여러 청자요장에서 사용하고 있는 유약을 수거하여 소성하여 본 결과 유약이 액상으로 변하는 온도는 1200℃ 부근이었다. 따라서 950℃ 보다 높은 온도에서 환원소성을 하여도 청자의 색상이나 물성에 영향이 없는 것으로 판단되었다.

지금까지 도자기 소성공정에서 연료비를 최소한으로 줄이고 소정의 온도 까지 도달하는 방법에 대하여 많은 연구<sup>1~2)</sup>가 있었으며 또한 가마 내에서 분위기를 조절하여 제품의 품질을 변화시키는 방법에 대하여 많은 연구<sup>3~4)</sup>가 있었다. 본 연구에서는 환원소성 개시온도의 상향조정에 따른 소성실험과 환원분위기에 가장 큰 영향을 미치는 CO가스의 적절한 농도를 찾아내기 위하여 L.P.G 가스압력 조정실험으로 연료비를 절감하면서도 청자의 비취색과 물성의 변화가 없는 최적의 조건을 찾는 데 그 목적을 두고 연구 하였다.

## 2. 실험 조건 및 방법

현재 시판되고 있는 유명 도예가의 청자 시편을 입수하여 U/V Spectrometer를 사용하여 명도와 채도를 측정 및 분석하여 그 분석치를 기준 자료로 하였다.

### (1) 실험조건

- 1) 3개 업체를 선정하여 업체에서 사용하고 있는 유약을 입수하여 동

일한 소지로 제작한 시편과 컵에 시유하였다.

이때 시편의 시유는 유약의 보메를 이용하여 비중을 일정하게 유지하였고, 시유시간을 일정하게 하여 유약의 두께가 약 1mm정도 되도록 하였다.

2) 실험에 사용한 가스가마는 0.1m<sup>3</sup>의 용적을 가진 도염식(倒焰式) Shuttle Kiln을 사용하였다.

3) 환원소성시 CO가스의 농도는 자동 연소가스측정기를 이용하여 측정하였다.

4) 실험에 사용한 컵은 동일한 소지로 자동물레에서 성형한 컵을 사용하였으며, 적재 방법은 그림.1과 같이 내화판을 上, 中, 下로 각각 내화판에 3개 업체의 유약이 시유된 컵을 前, 中, 後 9개 씩, 총 27개를 적재하였다.

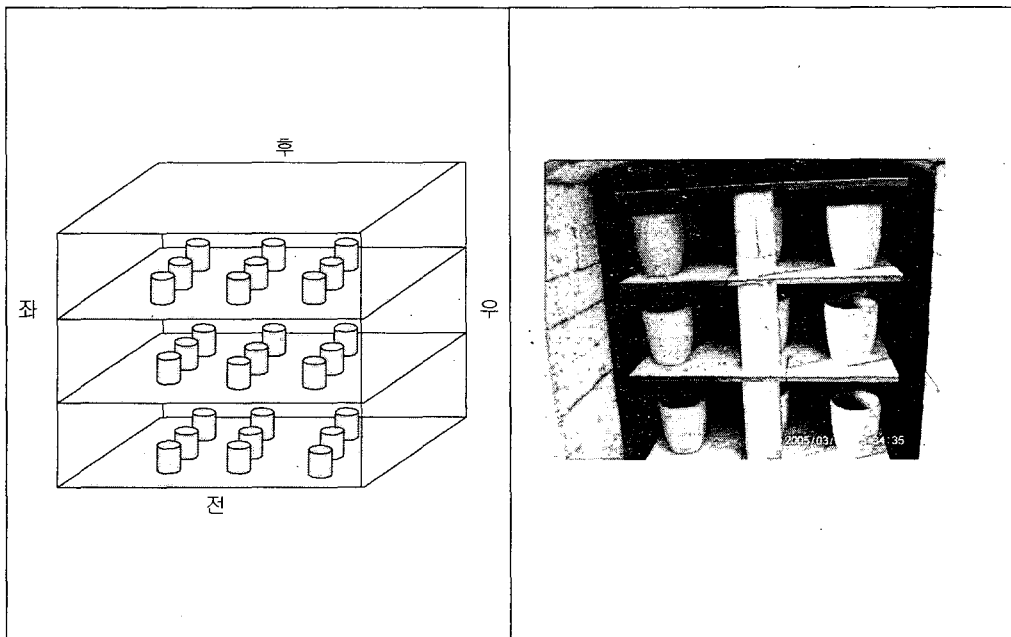


Fig. 1. Products loaded on a gas kiln

5) 소성된 시편은 U/V Spectrometer(일본 SIMAZU社 UV-2401PC)를

이용하여 명도와 채도를 측정하고 분석하였다. 분석 기자재는 시료가 가지고 있는 고유의 흡수파장을 이용하여 흡수하는 빛의 세기를 측정하여 색의 농도를 결정하는 분석 기법을 이용한 장비이다.

## (2) 실험방법

### 1) 1단계 실험

환원개시 온도를 950℃에서부터 1200℃까지 50℃ 간격으로 승온하여 최고 온도 1230℃에서 1시간을 유지시켜 소성하였다.

이때 CO가스농도는 한국도자기센터에서 평상시 청자의 환원소성에서 측정되었던 CO가스농도 40~45K ppm을 기준으로 하여 적용 하였다.

### 2) 2단계 실험

1단계 실험에서 선택한 최적의 환원개시 온도에서 환원 소성을 시작하여 CO가스의 농도를 청자발색에 영향을 주지 않는 범위까지 하향 조정하는 실험을 하였다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

(1) 현재 시판되고 있는 유명 도예가의 청자시편을 입수하여 명도와 채도 분석하였다. 분석결과 명도는 64~68, 채도는 a값이 -7 ~ -8, b값이 1 ~ 3.5로 매우 좁은 범위를 나타내고 있다.

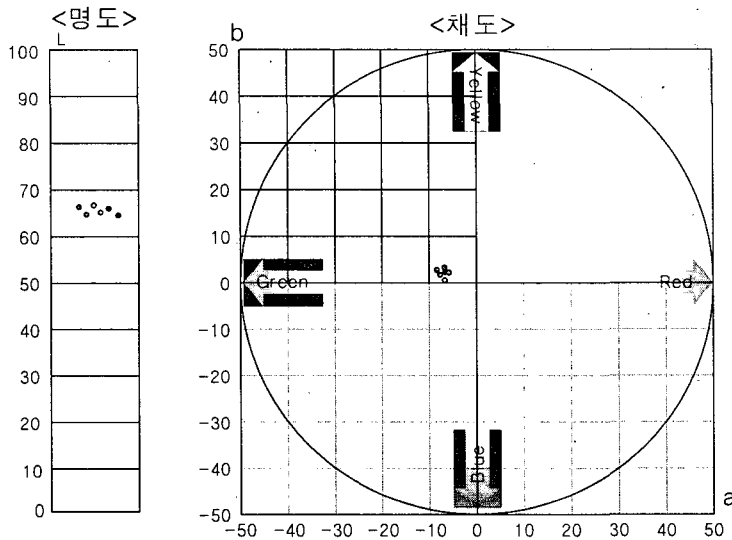


Fig. 2. Chroma and brightness values of Celadon in market

채도 값을 좀더 확대하여 보았을 때 점선으로 표시한 범위에 모든 값이 분포되어있는 것을 알 수 있으며, 차후 진행되는 실험에서 측정된 분석치가 점선으로 표시된 부분에 위치하는지의 여부를 판단자료로 적용하였다.

## (2) 1단계 실험

3개 업체(우리나라에서 생산되는 청자의 색상을 기준으로 삼고자 현재 이천지역의 유명한 3개 업체의 청자유약을 선정함. A사 : 세창도예, B사 : 송월도예, C사 : 원점도예)의 유약으로 시유한 시편과 컵을 가마에 적재하여 환원개시 온도를 950℃부터 50℃간격으로 1200℃까지 승온하여 최고온도 1230℃에서 1시간 유지하여 소성하였다.

소성 결과 950~1100℃에 환원소성을 개시한 실험에서는 채도 값이 점선부분 안쪽에 위치하였으나 1150℃, 1200℃에 환원소성을 개시한 실험에서는 채도 값이 점선부분 밖에 위치하여 노란색상이 증가하며 명도 값이 또한 어두운 방향으로 이동함을 볼 수 있었다 .

## (3) 2단계 실험

1100℃에서 환원소성을 개시하여 최고온도 1230℃에서 1시간을 유지 하였고 1단계 실험(CO가스농도 40~45K ppm)보다 CO가스농도를 5K ppm씩 하향 조정하여 소성한 결과 35~40K ppm으로 환원소성을 한 실험에서는 채도 값과 명도 값이 큰 변화가 없었으나 30~35K ppm, 25~30K ppm으로 소성한 실험에서는 채도 값이 점선 부분 밖에 위치하여 노란색 방향으로 이동하였으며, 명도 값도 낮아져 점차로 어두운 방향으로 진행되었음을 알 수 있었다.

## (4) 물리적 특성 및 소성시간

환원개시온도 950℃부터 1200℃ 까지 시편의 물리적 특성을 분석한 결과 비중에서는 큰 변화가 없었으며, 흡수율과 기공율은 1100℃부터 점진적으로 상승 하였으나 1200℃에서 흡수율이 0.14%, 기공율은 0.33%로 매우 안정적이었다. 곡강도는 950℃~1100℃에서는 600kg/cm<sup>2</sup> 이상의 값을 나타냈으며, 1150℃와 1200℃에서 598, 587 kg/cm<sup>2</sup>으로 청자의 강도 값으로는 손색이 없어 환원개시온도에 상관없이 소결은 된 것으로 보여 졌다. (그림.3 ~ 6.)

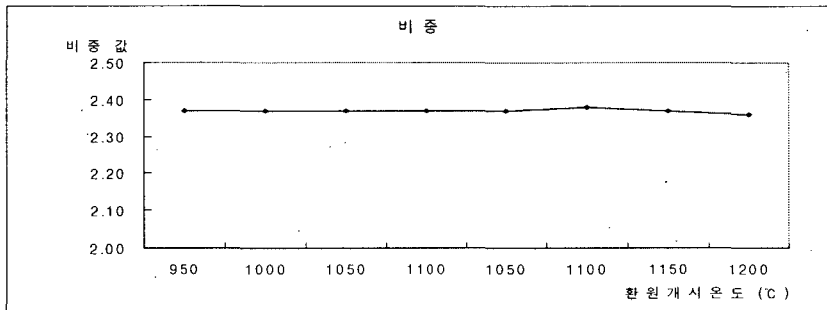


Fig.3 Specific gravity with various reduction starting temperatures

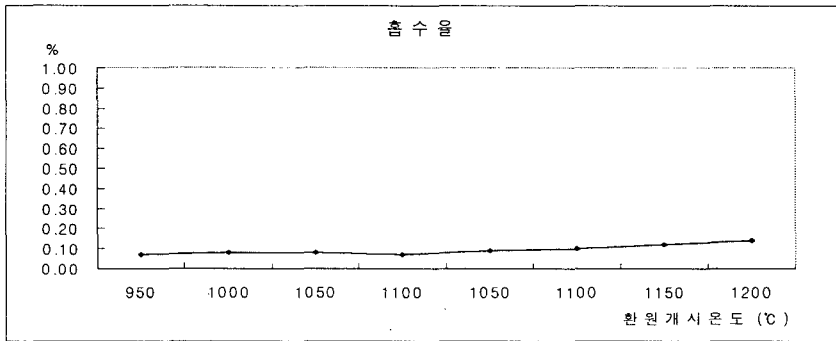


Fig.4 Absorptivity with various reduction starting temperatures

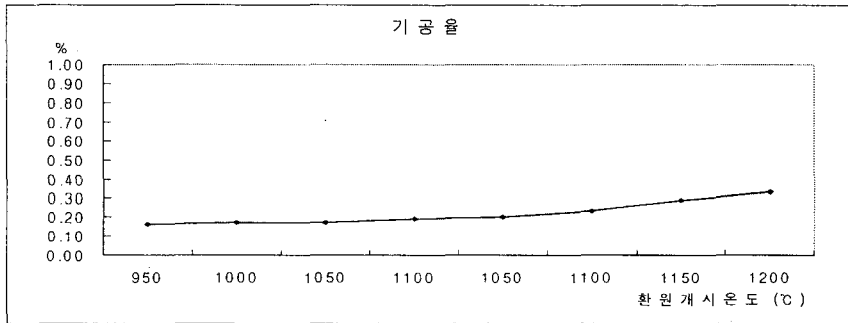


Fig.5 Porosity with various reduction starting temperatures

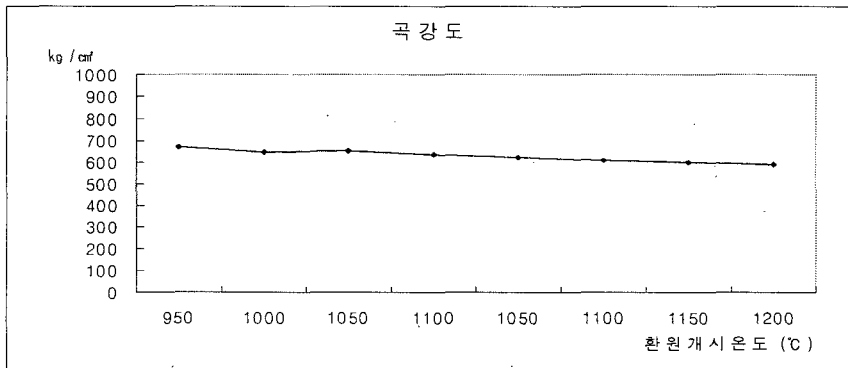


Fig.6 Flexural strength with various reduction starting temperatures

소성시간은 환원개시 950°C 때에는 총 9시간이 소요 되었으며 L.P.G 가스 소모량은 23.3kg 이었으나, 환원개시온도 1100°C 때에는 8

시간이 소요되었고 L.P.G 가스 소모량은 20.5kg 이었다.

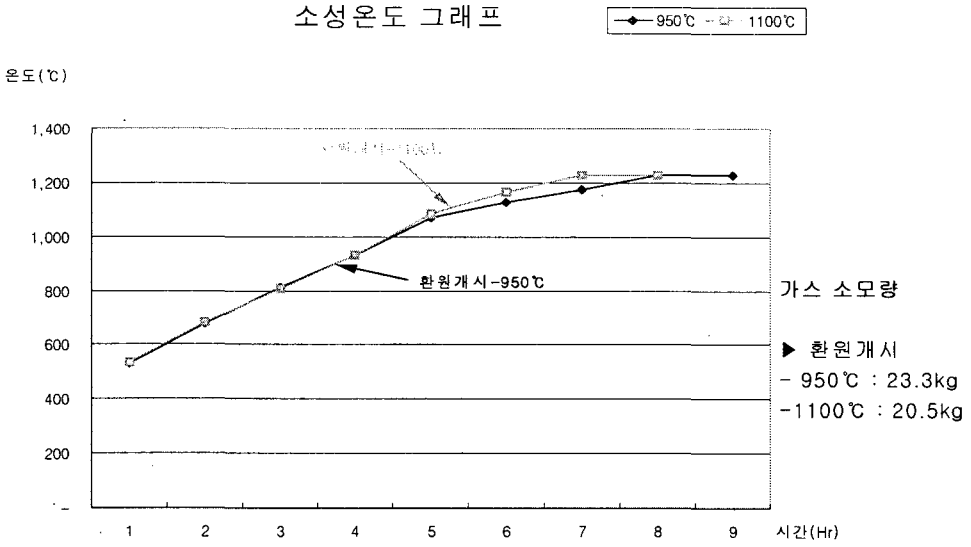


Fig.7 Comparison of firing curb of reduction starting temperature at 950°C and 1100°C

### 5. 결론

0.1m³ 가스가마에서 청자를 소성할 경우 통상적으로 950°C에서 환원소성을 하면 전체 소성시간이 9시간정도 소요되었는데 환원개시를 1,100°C에서 할 경우 소성시간이 8시간으로 1시간이 줄어 11%를 단축할 수 있었다.

또한 1100°C에서 환원소성을 시작하고, 이때의 CO가스농도를 40K~45K ppm에서 35K~40K ppm으로 하향조정하여 소성할 경우 L.P.G 가스가 23.3kg에서 20.5kg으로 12% 절감되면서도 청자 고유의 색인 비취색과 물성은 변함이 없다는 결과를 얻었다.

이와 같은 결과를 도자기 작업장에서 주로 사용하는 1~2m³ 가마에 적용을 할 경우 소성시간 단축과 L.P.G 가스의 절감은 도예가의 건강은



물론 창작활동에 크게 도움을 받을 수 있으며, 작업장 운영비 중 상당히 커다란 부분을 차지하고 있는 인건비와 연료비 절감으로 직결되어 경제적인 측면에서 볼 때에도 커다란 도움을 주리라 기대된다.

#### 참 고 문 헌

1. George Wettlaufer "CO<sub>2</sub> Gas Analyzer"  
Studio Potter, 7. No.2, pp72~74(1979)
2. C.J.Koenig "Effects Of Atmosphere in Firing Ceramics"  
Columbus Ohio, Colubus Gas System Servics Corp, p.11(1971)
3. Frank Hamer "The Pottery's Dictionary"  
N.Y. Watson-Guptill Pub, pp.121~125, (1975)
4. W.G.Lawrence "Ceramics Science fot the Pottery"  
Philadelphia, Chilton Book, p.121, (1972)
5. 도자기용 단가마에서 CO<sub>2</sub>분석기를 사용한 효율적 소성방법연구  
한상목, 강원대학교 산업기술연구소 논문집, 제3권 (1983)
6. 소결의 이론 및 실제  
RANDALL M.GERMAN 저/박상엽 외 공역 | 다성출판사 | (2000)
7. 세라믹스의 소결  
이준근, 반도출판사, (1994)