

# Microwave를 이용한 주형건조장치 개발을 위한 기초연구

류영복\*, 강민수\*, 김영석\*, 이주동\*, 김양도\*\*, 이만식\*

\*한국생산기술연구원 동남권기술지원본부

\*\*부산대학교 재료공학부

e-mail:lms5440@kitech.re.kr

## A Study for the Development of mould dry-oven by Microwave

Young Bok Ryu\*, Min-Su Kang\*, Young Seok Kim\*,

Ju Dong Lee\*, Yang Do Kim\*\*, Man Sig Lee\*

\*Dongnam Technology Service Division, Korea Institute of Industrial Technology

\*\*School of Materials Science and Engineering, Pusan National University

### 요약

본 연구는 주형의 형상에 관계없이 균일한 건조성능을 가지는 장치의 도입을 목적으로 Microwave를 이용한 주형건조장치 개발을 위한 기초 연구에 관한 것이다. 건조 성능의 검토를 위해 진공건조기와 Lab-scale의 Microwave 출력장치를 가지는 Microwave oven을 이용하여 주물사의 무게별, 건조시간별 건조효율을 검토하였으며, CO<sub>2</sub>주형법에서 물유리의 양과 CO<sub>2</sub>통기시간에 따른 주형의 압축강도를 측정하였다.

### 1. 서론

일반적으로 주물 불량은 주물사에서 기인된 경우가 많다. 특히 주물사의 처리에 따라 주물사의 성분 및 기계적 성질은 다양하게 변화되므로 이러한 특성들을 수시로 점검하여 주물사 처리에 따르는 특성변동 폭을 좁혀, 항상 일정한 성질로서 주물사를 관리하는 것이 중요하다.

주형의 3요소는 주물사, 점결제, 화학처리제로 주형법에 따라 점결제 및 화학처리제는 다양하다. 생략을 제외한 주형법에서 수분을 최소화하기 위해 필요한 건조시간은 주형의 형태 및 각종 첨가제의 함량에 따라 유동적이며, 균일한 수분함량을 유지하기에는 많은 어려움이 따른다. 소량 다품종의 제품을 취급하는 국내 주물업체의 여건상 각 제품별 규격화된 주형조건을 잡는다는 것은 현실적으로 불가능하다. 이로 인해 대부분의 주물업체에서는 표면의 수분만 급속 제거하여 용융금속을 주형 속에 주입함으로써 제품을 생산하고 있는 실정이다. 이는 뜨거운

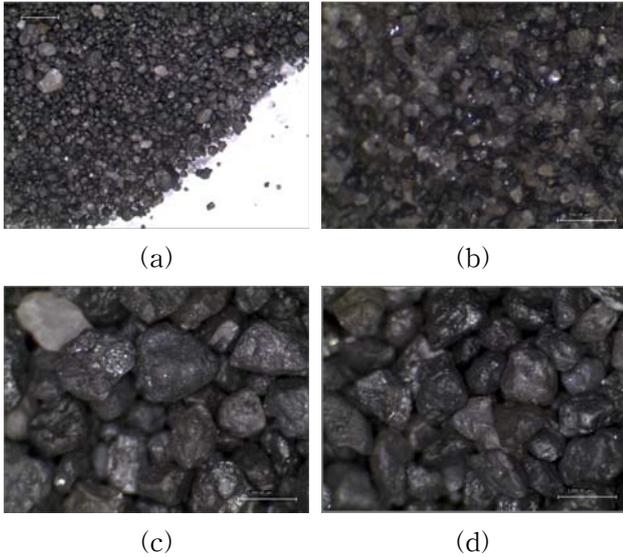
용융금속이 주입되면서 주형내부 유리수분의 증발로 인해 주형의 틀어짐이나 제품표면에서 유리수분과의 산화반응으로 인해 산화막 형성을 야기하는 등 제품의 불량률을 가중시키게 된다.

따라서 주형의 형상에 관계없이 균일한 건조성능을 가지는 장치의 도입은 생산제품 품질의 균일성 및 생산효율의 향상, 건조에 소모되는 에너지의 절약을 통한 생산단가의 저감을 기대할 수 있다.

### 2. 실험

#### 2.1. 건조효율 실험

건조효율 검토를 위해 사용된 주물사는 주물업체에서 사용하는 모래를 채취하였으며, 주물사의 입경 및 형상은 광학현미경(Leica, Leica S6D)을 이용하여 관찰하였다. 채취한 주물사는 외부영향을 최소화하기 위하여 105℃에서 하루동안 건조된 주물사를 데시케이터 속에서 실온이 될 때까지 냉각된 샘플을



[그림 1] 주물사 입형 관찰 : (a) 6.3배율, (b) 40배율(미립자부분), (c) 20배율(입자크기:0.847mm), (d) 20배율(입자크기:0.832mm)

사용하였다. 건조장치는 마이크로웨이브 오븐(자체 제작, 최고출력 1kW)과 진공건조기(DS science, AS-VO-130)를 사용하였다. 전처리된 주물사에 일정한 비율의 물(주물사 : 물 = 21 : 4)을 섞어 동일한 비이커에 담은 후 각 건조기에 투입하였다. 진공건조기를 이용한 경우, 건조시간은 초기 5분간격으로 4회, 20분부터 20분간격으로 3회, 60분부터 1시간간격으로 최대 3시간까지 건조실험을 실시하였다. Microwave오븐을 이용한 건조실험은 1kW출력을 기준으로 하여 1분간격으로 실시하여 10분이후까지 완전건조가 되지 않을 경우 15분, 20분까지 추가 건조를 진행하였다. 건조 후, 건조물의 무게는 1g단위의 수치를 나타내는 저울을 이용하여 칭량하였다. (오차범위 ± 2.5%)

## 2.2. 압축강도 시험

압축강도 측정은 디지털 만능 주물사 강도 시험기로 최대용량 100kg/cm<sup>2</sup>(최소눈금 0.02kg/cm<sup>2</sup>), 하중제어는 스크류 구동방식을 채택한 장치를 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 입경 및 입형관찰

채취한 주물사의 입경 및 입형은 그림 1과 같으며, 배율은 6.3배, 20배, 40배로 관찰하였다. 관찰된 사립의 형태는 복합입도를 가지며 환미형에 가까운

다각형의 모양을 하고 있었다. 촬영된 사진을 이용하여 입자의 사이즈를 측정해 본결과 약 0.84mm로 일반적으로 사용하는 주물사(0.5mm이하)보다는 큰 것으로 나왔으나, 전체 주물사 중 표면에 드러난 입자의 측정치로 내부 미립자의 크기까지 고려하면 약 0.5mm 정도로 조립된 것으로 판명된다. 이는 최근 주물사 가격의 상승으로 인한 배트남사를 혼합하여 사용함에 따른 결과인 것으로 판단된다.

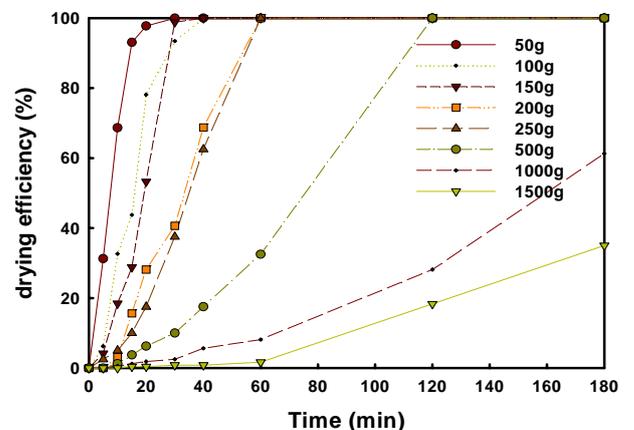
### 3.2. 건조효율

진공건조기를 이용하여 건조효율을 시험한 경우, 시료의 무게를 50g, 100g, 150g, 200g, 250g, 500g, 1,000g, 1,500g을 기준으로 건조시간의 변화에 따라 건조된 시료의 무게를 측정하여 건조효율을 계산하였다. 건조효율을 계산한 식은 아래와 같다.

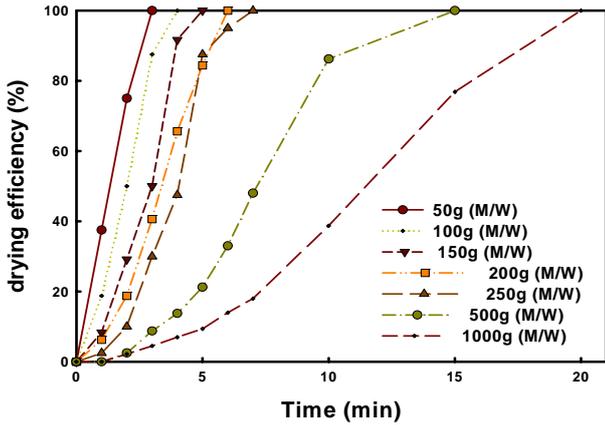
$$\text{건조효율}(\%) = \frac{\text{건조후 시료의 무게} - \text{주물사의 무게}}{\text{건조전 시료의 무게} - \text{주물사의 무게}} \times 100 \quad (1)$$

각 샘플 무게별, 건조시간별 건조효율을 그래프로 나타내었다.(그림 2) 시료의 무게가 늘어날수록 건조성능은 감소하였으며, 건조속도의 감소는 시료의 증가량보다 더 많이 나타났다. 이는 시료 외부로부터 열전달이 일어나는 영향인 것으로 간주되며, 대상 건조물의 부피 및 열전도도가 건조효율에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

Microwave oven을 이용하여 건조된 그래프는 그림 3에 나타내었다. 시료무게 500g 미만에서는 7분이내에서 완전히 건조되는 것을 알 수 있다. 500g부터는 건조속도가 다소 떨어졌으나, 건조량은 시간에

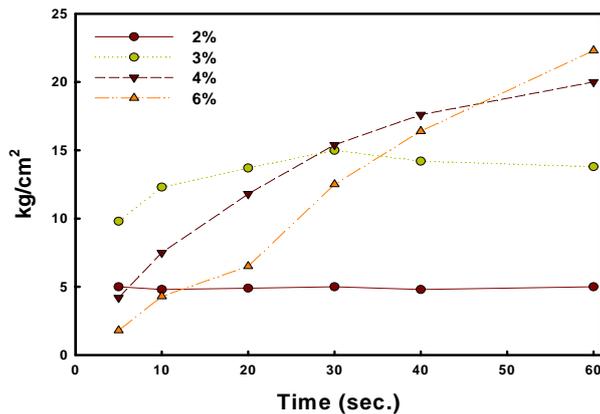


[그림 2] 진공건조기를 이용한 시료의 무게별, 건조시간별 건조효율 (건조온도 : 105°C)

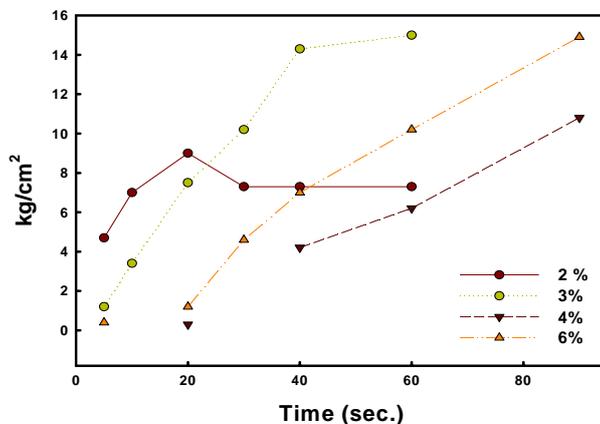


[그림 3] Microwave를 이용한 시료의 무게별, 건조시간별 건조효율 (M/W 출력 : 1kW)

따라 일정한 속도로 건조됨을 보인다. 이는 측정대상 물의 부피증가로 인한 수분배출 속도의 지연과 한정된 용기에서의 수분의 재응집에 따른 영향으로 사료된다.



[그림 4] 물유리, CO<sub>2</sub> 통기시간변화에 따른 압축강도(AFS 입도 지수 97)



[그림 5] 물유리, CO<sub>2</sub> 통기시간변화에 따른 압축강도(AFS 입도 지수 48)

### 3.3. 압축강도

물유리의 첨가량에 따른 주형의 강도를 측정하여 물유리의 최적 첨가량에 대해서 살펴보았다. 입도가 다른 두 가지의 모래에 대해서 각각 물유리의 첨가량을 달리해서 얻은 압축강도를 아래 그림으로 나타내었다.(그림 4, 5) 초기강도는 물유리의 첨가량이 적을 때 더 빨리 오르나 최종 강도는 물론 물유리가 많을 때 더 크게 나타났다. 그러나 주형의 강도가 필요이상으로 크면 주형의 붕괴성이 나빠질 뿐만 아니라 물유리의 소비는 물론 CO<sub>2</sub>의 소비량도 늘고 작업속도도 느려져서 생산성이 떨어진다. 적절한 물유리의 첨가량은 물유리의 종류와 모래의 종류에 따라 달라지나 보통 30초 CO<sub>2</sub>를 통기하여 강도가 7kg/cm<sup>2</sup>이상되고 또한 120초 통기하여도 강도가 아직 떨어지지 않는 최소한의 양이라고 할 수 있다.

### 4. 결론

동일한 조건에서 건조기의 변화에 따른 건조효율 검토 결과 진공건조기를 이용하여 건조하였을 경우에 비해 Microwave oven을 이용하여 건조한 경우 건조시간을 최대 1/10정도 단축할 수 있는 것으로 나타났으며, 이에 따른 제품생산속도의 향상 및 에너지 절감효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

CO<sub>2</sub> 주형법에서 물유리의 양, CO<sub>2</sub> 통기시간에 따른 주형의 압축강도 측정 시 물유리의 양과 통기시간이 늘어날수록 압축강도는 늘어나나 탈사의 용이함을 고려한 적절한 양의 첨가가 이루어져야 한다.

### 참고문헌

- [1] KS A 5301, 주물사의 시험방법
- [2] Lothar michels, "적절한 주물사 관리" *jujo* Vol. 13, No. 6, 517-523, 1993.
- [3] 김봉완, "주물사에서 첨가수분의 영향", *jujo* Vol 12, No. 6주조 제 12권 6호, 435-441,1992.
- [4] R. Meredith, "*Handbook of Industrial Microwave Heating*", IEE, 1998.
- [5] A. C. Metaxas and R. J. Meredith, "*Industrial Microwave Heating*", IEE, 1983.