

|||||||
 論 文
 |||||

소실모형주조용 도형재 특성에 미치는 충전재의 영향

최현진 · 오영근 · 전기찬* · 이승춘** · 이경환***

Effect of Refractories on Coating Material Properties in Evaporative Pattern Casting Process

Hyun-Jin Choi, Young-Kun Oh, Ghi-Chan Jun*,
 Sung-Chun Lee** and Gyung-Whan Lee***

Abstract

Coating materials for Evaporative Pattern Casting (EPC) process have been developed to investigate the effect of refractories on coating material properties. Three types of developed and one foreign coating materials were used. The former designated as A, B, C and the latter named S.K. The refractory of coating material A is spherical shape of zirconia, and the ones of B, C and S.K. is flake shape of mica. Strength, permeability at room and elevated temperature, anti-sand attachability and carbon residuary were evaluated at each coating materials. Permeability measurement device for elevated temperature was also designed. The zirconia type of coating material had excellent permeability, on the other hand the mica type had good strength and anti-sand attachability. It was found that the refractories were not broken during casting, so permeability indicated same trend at both room and elevated temperature. Based on results, coating material contained small size of mica which is designated as B has the best combination for cast iron. (Received September 29, 1997)

1. 서 론

소실모형주조법(EPC:Evaporative Pattern Casting)은 H.F. Shroyer [1]에 의해서 최초로 개발되었으며 1970년대 후반에 들어서 EPC 공법의 특허권 존속기간이 만료됨에 따라 미국의 자동차 회사를 중심으로 집중적으로 연구가 진행되어 1980년대에 들어와서 알루미늄 주조품의 자동화된 양산설비가 선보이게 되었다. EPC공법이란 EPS(Expandable Polystyrene)나 PMMA(Polymethylmethacrylate)원료를 이용하여 원하는 주물형상으로 성형된 모형을 건조 무점결사 속에 매설한 후 용탕을 주입하면, 모형이 열에 의해 치환되면서 소실되고 그 소실된 공간에 용탕이 채워짐으로써 주물제품을 얻는 주조법이다. EPC공법에서 도형재는 주형에 도포되지 않고 모형에 도형된 상태로 주물사 속에 매설되며, 그림 1은 용탕이 주입될 때 용탕과 모형의 경계면을 도식화한 것으로 주위의 도형막

의 역할을 나타내고 있다. 이 때 모형은 용탕의 잠열로 인해 다량의 가스와 약간의 액상으로 분해되어 도형막의 기공을 통하여 주위의 주물사로 배출된다. 만약 도형막의 통기도가 매우 나쁜 경우에는 발생된 분해물질이 충분히 배출되지 못하고 용탕속에 잔존하여 주조결함을 유발하거나, 발생가스에 의한 강한 배압으로 용탕이 역류하게 된다. 또한 통기도가 너무 좋을 경우에는 발생가스층이 주위의 주물사를 지지할 만한 배압을 갖지 못하게 되므로 주물사의 함몰을 유발하기도 한다. 따라서 EPC용 도형재는 주물사의 함몰을 방지할 수 있을 만큼의 강도 및 발생가스를 원활히 배출할 수 있는 통기도를 지녀야 한다[2,6]. 이 외에도 사충전 시 무점결사의 유동으로 발생하는 모형의 변형을 방지하기 위해 충분한 강도가 필요하며, 주입용탕과 무점결사의 접촉방지를 위한 내소착성 등도 우수하여야 한다[2-4]. 도형재의 구성은 일반 사형주조에 사용되는 것과 유사하나, 충전입자의 종류와 크기

* (주)기아자동차 (KIA Motors Corp.)

** (주)대호산업(Dae Ho Corp.)

*** 생산기술연구원(Korea Academy of Industrial Technology)

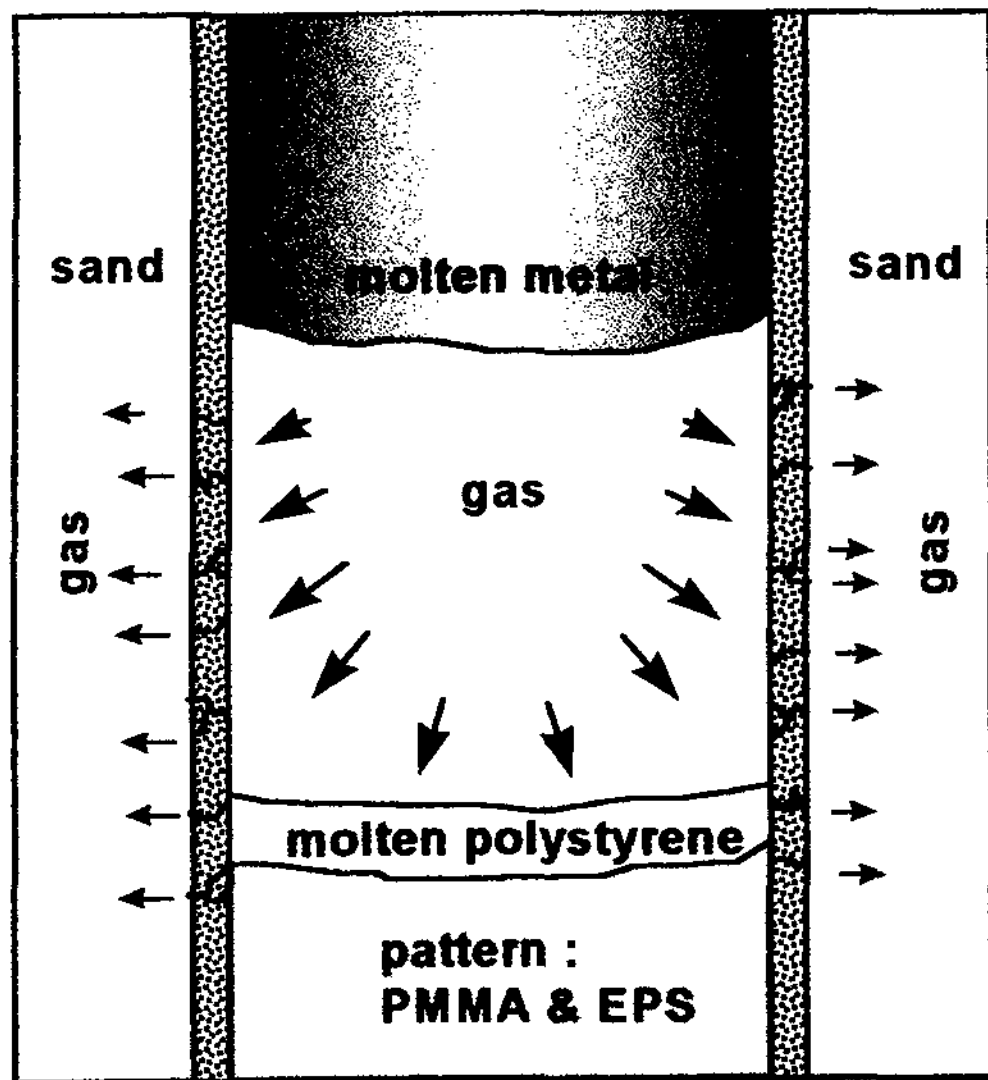


Fig. 1. Schematic drawing of EPC process showing coating material acting as barrier between gas layer and sand.

그리고 조성비율 등에서 많은 차이가 있다[5]. 금속과 무점결사의 이형 및 단열을 위한 충전재, 첨가제들의 침전을 방지하고 도형 시 적당한 도막의 두께를 유지하기 위한 부유제, 유기물 결합제와 같이 결합 강도를 위한 점결제, 물과 메틸 알콜 같은 용제 및 모형에 접촉성과 건조된후 점착력을 위한 화학 첨가제로 이루어진다[5, 6]. 충전재는 열팽창 특성과 내화도 및 소결 온도가 중요하며 용탕과의 계면 에너지가 커야하고 입자의 크기가 알맞아야 하며 금속과 반응하지 않아야 하는데 규석, 지르콘, 운모, 활석, 마그네사이트 및 알루미나 실리케이트등이 포함된다[5, 6]. 점결제는 수용성과 유용성으로 대별되는데 수용성의 점결제로는 스노우텍스, 텍스트린, 규산소다 및 인산염을 주로 사용하고 유용성의 점결제로는 페놀레진과 같은 인조레

진류와 송진 등과 같은 천연레진을 사용하는데 알콜에 용해되는 폴리머를 병용한다. 부유제는 벤토나이트, 점토, 셀룰로오스, P.V.A. 등을 사용하고 무기 부유제와 유기 부유제의 혼합 사용이 대부분이며 벤토나이트나 점토를 거대 분자 구조로 화학반응시켜 겔화시킨 특수한 부유제를 사용하기도 한다. 그외에도 디아졸계의 방부, 방미제와 도형재 제조 또는 사용할 때 거품발생을 억제하기 위한 소포제 및 도형막의 평활성, 퍼짐성, 두께등 작업성을 결정하는 계면 활성제 등이 필요하며 이들은 소량의 첨가에도 불구하고 도형재의 성질을 결정하는 중요한 역할을 하는 첨가제들이다[5]. 이렇게 구성되어진 소실모형주조용 도형재는 충전재 및 기타 조성물의 종류와 구성비의 차이에 따라 그 특성이 크게 변하며, 또한 같은 조건이라도 농도, 감압도, 주물사의 크기 및 형태 등 작업조건에 따라서도 많이 좌우된다[5].

따라서 본 연구에서는 이러한 도형재의 조건 중 충전재 종류에 따른 도형재 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 도형재를 개발한 후, 상용화된 도입 도형재와 비교 실험하였다.

2. 실험 방법

2.1 도형재의 조성

표 1은 본 실험에서 사용된 개발 도형재와 도입 도형재의 구성요소와 형태 및 baume농도를 나타내었다. 개발된 도형재는 각 A, B, C라고 명명하였으며, 도입된 도형재는 미국 Borden社의 Styro Kote 400으로 본 실험에서는 S.K.라고 명명하였다. 도형재 A는 도형기재인 충전재의 평균입도가 43 μm이하이고 성분이 ZrSiO₄인 지르코니아계 충전재를 사용하였으며, B와 C는 충전재를 KAl₂(OH₂F)₂Si₃AlO₁₀+SiO₂의 조성을 가

Table 1. Chemical Components and Experimental Conditions of Coating Materials

	Coating materials			
	A	B	C	S.K. (Borden Co. made)
Chemical components of refractory	ZrSiO ₄	KAl ₂ (OH ₂ F) ₂ Si ₃ AlO ₁₀ +SiO ₂	KAl ₂ (OH ₂ F) ₂ Si ₃ AlO ₁₀ +SiO ₂	Muscovite Kaolin Mica Quartz
refractory	<43 μm	<74 μm	< 140 μm	<140 μm
carrier	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O
baume density	55, 70	40, 55	40, 55	40, 55

진 마이카계로 제조하였다. 개발된 도형재의 점결제 및 부유제는 벤토나이트, 실리카 졸, 텍스트린 및 PVA 등을 사용하였다. 도형재 B와 C의 조성은 동일하지만 충전재인 마이카의 평균입도가 각각 <math><74 \mu\text{m}</math> 와 <math><140 \mu\text{m}</math>로 다르게 하였으며, 도입 도형재인 S.K.는 도형재C와 비교하여 충전재의 형상과 크기가 거의 동일하며 조성은 대부분이 마이카로 크게 다르지 않다. 물과 혼합된 도형재는 thixotropic성질을 가지므로 15분정도 교반자로 충분히 교반시킨 뒤 농도를 조정하여 사용하였다.

2.2 도형재 평가

EPC에서 요구되는 도형재의 조건을 비교평가하기 위해 준비된 도형재를 다음과 같은 항목에 의하여 실험을 실시하였다. 우선 사충전 시 주물사 유동에 의해 발생하는 모형변형의 영향을 알아보기 위해 도형막의 변형량 측정실험을 하였다. 시편은 PMMA를 원료로 하고 밀도가 약 0.026 g/cc이고 블록형태로 성형된 모형을 50×50×400 mm의 크기로 절단하여 제작한 뒤, baume 농도별로 준비된 도형재 슬러리에 시편을 1회 침지하여 도형한 후, 50°C이상인 건조실에서 10시간 정도 강제건조시켜 준비하였다. 준비된 모형은 그림 2에서 보이는 바와 같이 지그에 거치한 후 시편의 중앙부위에 하중을 일정하게 증가시키면서, 시편의 하중 부위 아래에 설치된 다이알 게이지를 이용하여 모형의 변형전·후의 차이값을 mm단위로 측정하였다.

주입시 모형분해가스의 배출능을 평가하기 위해서 도형막의 통기도를 상온 및 고온에서 측정하였다. 상

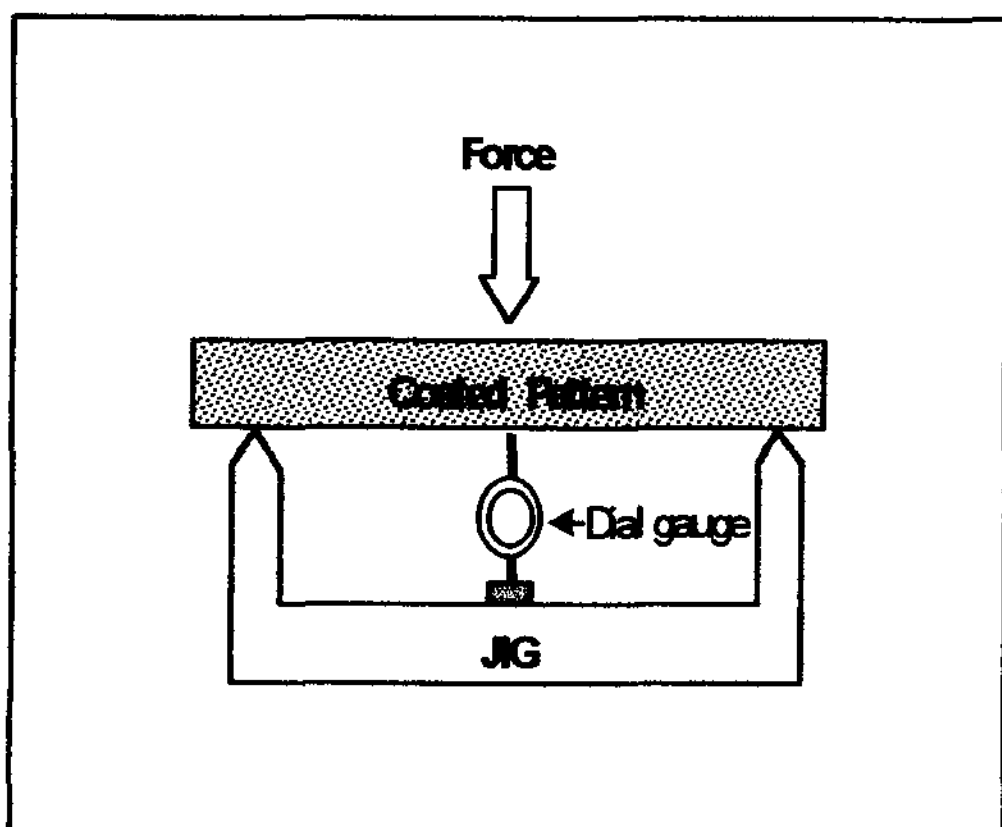


Fig. 2. Schematic drawing of bending deformation measurement for EPC coating materials.

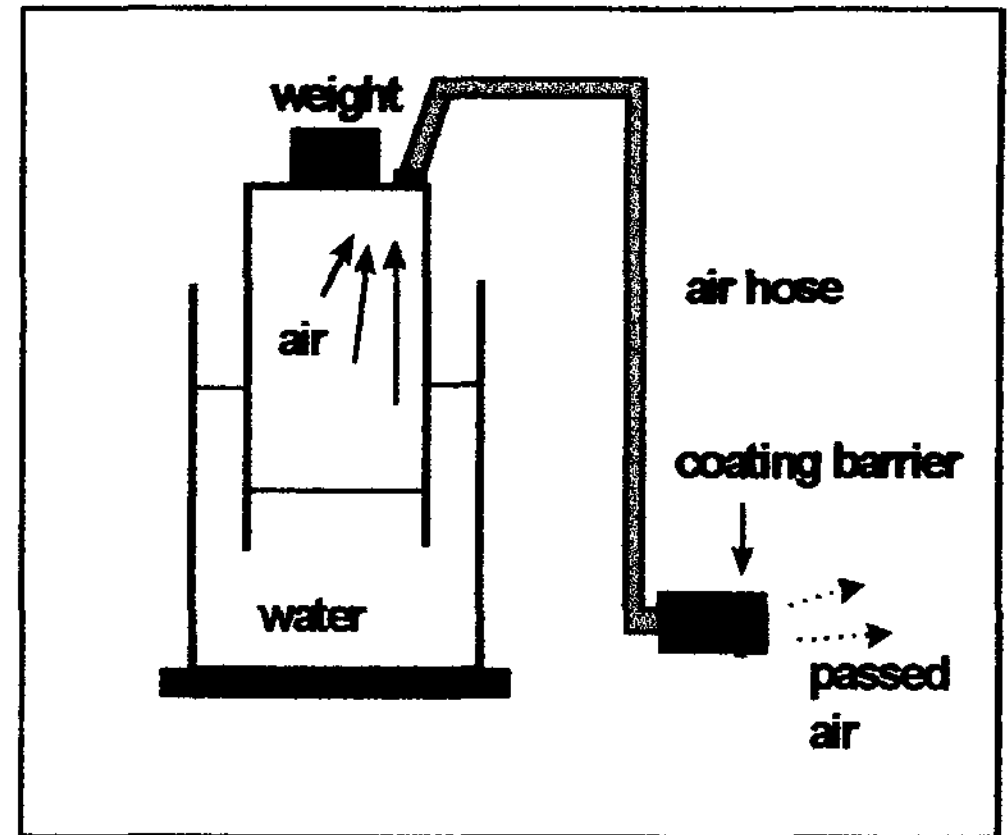


Fig. 3. Schematic drawing of permeability measurement apparatus for EPC coating materials at room temperature.

온 통기도는 주물사 통기도 측정원리를 이용하였으며, 그림 3에서 보여주는 바와 같이 도형막 거치대에 지름이 11 mm이고 두께가 0.5 및 1 mm를 가진 도형막을 도형재별로 준비한 뒤 일정한 압력으로 공기를 통과시켜 각 조건별 공기의 유동량을 측정하였다. 일반적으로 도형재 사용조건은 농도로 결정되며, 이는 용매인 물의 혼합비율에 좌우된다. 따라서 본 상온통기도 측정용 도형막 시편은 농도에 관계없이 슬러리 상태의 도형재를 시편거치대에 일정량 부은 후, 수분이 모두 제거된 뒤의 두께가 0.5 및 1 mm이 되도록 제작한 뒤 실험하였다.

도형재의 고온 통기도를 평가하기 위하여 탕류측정

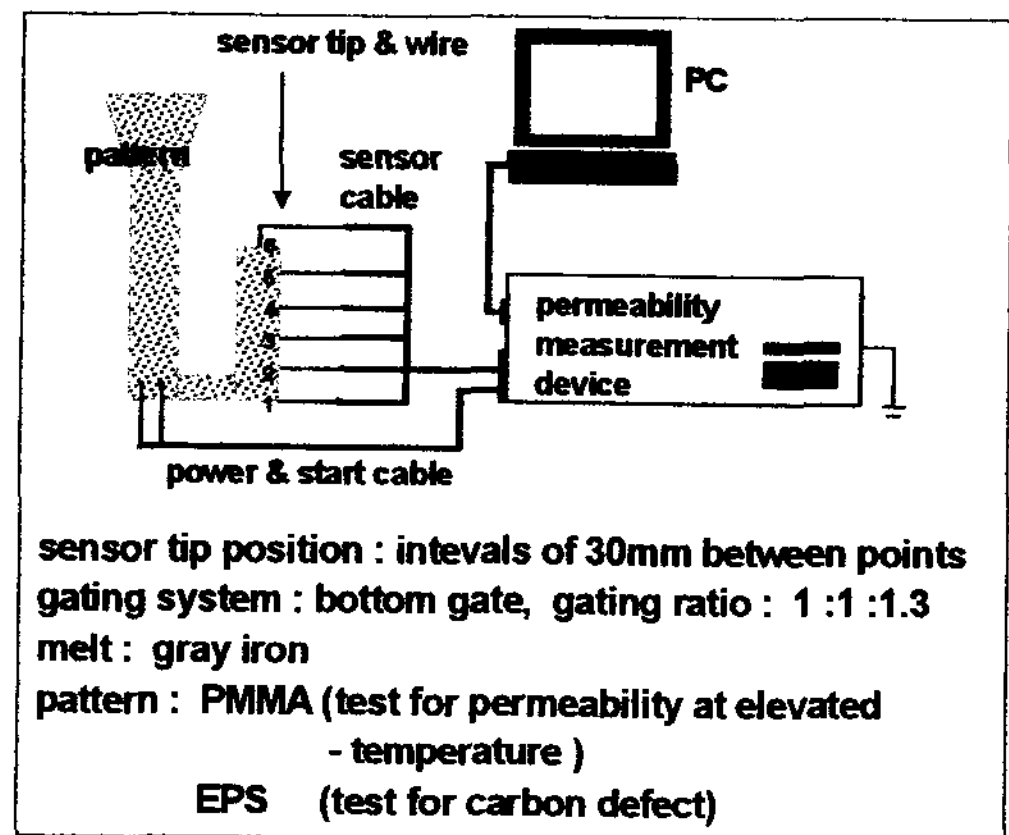


Fig. 4. Schematic drawing of permeability measurement apparatus for EPC coating material at high temperature.

장치를 제작하였으며 개략도를 그림 4에서 나타내었다. 원리는 마이크로 프로세서인 Z-80을 이용하여 멀티 채널 타이머를 제작한 뒤 EPC모형에 스텐레스 선을 약 5 mm가량 삽입하고 그 끝단을 멀티 채널 타이머의 끝단과 클램프로 접속시킨다. 또한 타이머의 시작핀과 12V DC의 전원핀과 평행하게 하여 측정핀과 같은 방식으로 게이트부에 설치한 뒤 용탕을 주입하면, 초탕이 전원핀과 시작핀을 지나면서 타이머가 작동되고 각 측정위치에 용탕이 접촉되는 시간이 각 채널별로 내장 PC에 저장된다. 따라서 통기도에 따라 각기 다른 용탕의 유입시간이 측정되며, 이를 토대로 상대적 고온통기도 평가를 실시할 수 있다. 본 실험에 사용된 용탕은 1350°C의 주철용탕을 사용하였으며, 실험을 위한 모형시편은 0.026 g/cc의 밀도를 가진 PMMA모형을 30×30×150 mm로 절단하여 제작한 뒤 각 도형재별로 55Bé 농도로 고정된 도형재에 침지시켜 준비하였다. 또한 도형재의 내소착성 및 EPS사용시 분해물질로 인해 발생하는 탄소결합을 평가하기 위해 약 0.016 g/cc밀도의 EPS모형을 이용하여 주조한 뒤 결과를 육안으로 평가하였다. 또한 각 도형재의 주입전, 후상태의 단면을 주사전자현미경으로 분석하여 충전재의 구조를 관찰하였다.

3. 실험결과

3.1 도형막의 변형저항

그림 5는 각 도형재별로 농도를 55 Bé로 조정하여 도형한 모형의 변형량 실험결과를 나타내었다. 그림 5와 같이, 굽힘하중증가에 따른 도형시편의 변형량은 충전재가 마이카계열인 S.K와 도형재 B와 C의 경우에 매우 작게 나타나 이들의 변형저항이 우수함을 나타낸다. 이에 비해 충전재가 지르코니아 계열인 도형재 A는 많은 변형량을 나타내고 있어 강도가 마이카계열의 도형재보다 상당히 떨어짐을 알 수 있다. 그림 6은 같은 조성이면서도 충전재의 입도가 다른 도형재 B와 C를 일정한 하중으로 가한 뒤 그 변형량을 도형재 농도에 따라 나타내고 있다. 각 도형재는 농도에 따라 뚜렷한 변형량의 차이를 나타내고 있으나, 같은 농도에서 충전재 입도에 따른 변형량의 차이는 나타나지 않고 있다. 따라서, 도형재의 변형저항 강도는 충전재 입도의 차이에 대한 영향은 그다지 크지 않고 충전재의 종류와 농도에 따른 영향이 크다는 것을 알

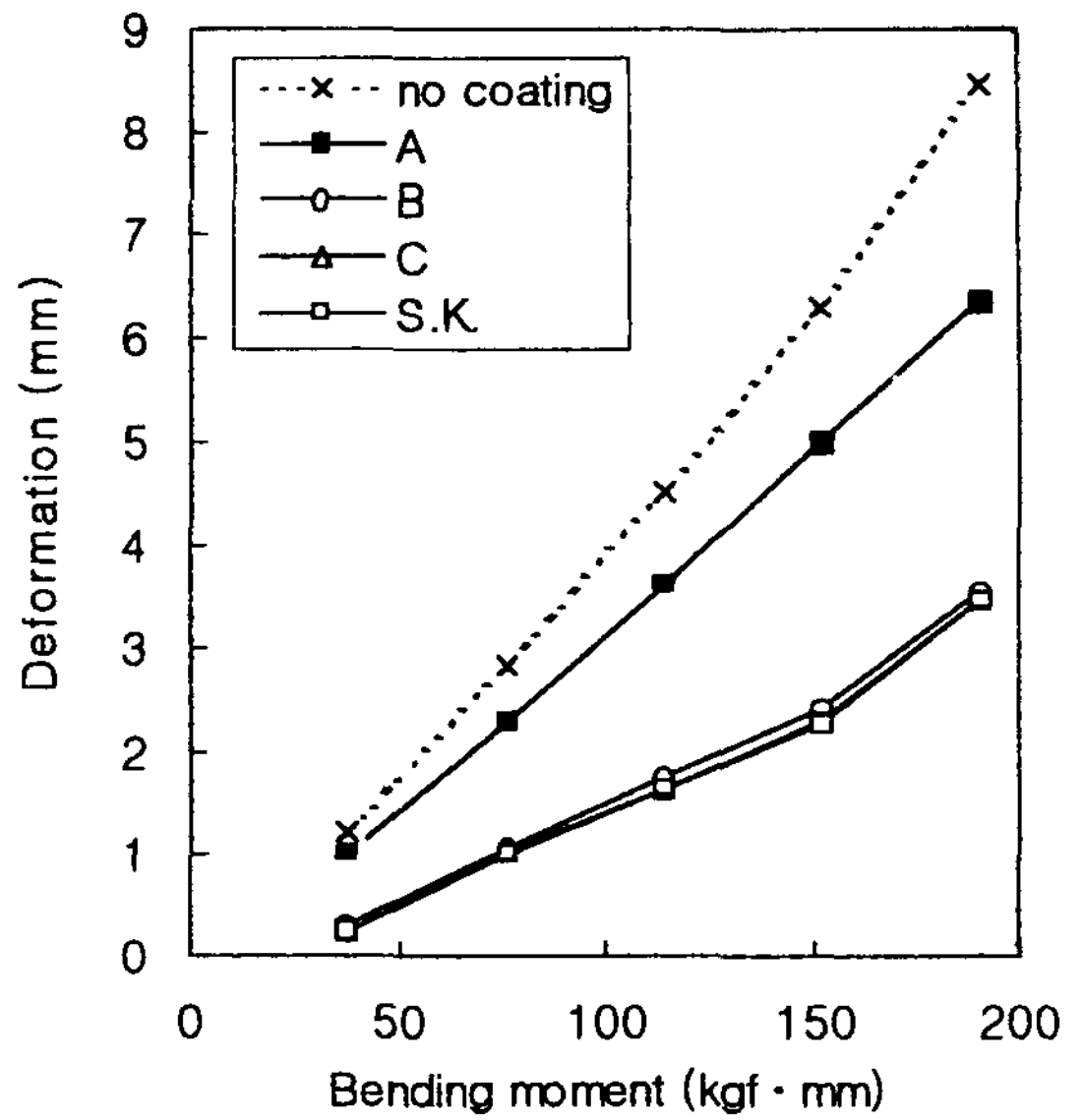


Fig. 5. Deformation as a function of bending moment with different coating materials (baume concentration:55).

수 있다.

3.2 통기도

그림 7은 도형막 두께에 따라 상온에서 도형재의 통기도 차이를 나타내었다. 이 결과로 보면 도형막의 두께가 두꺼워질수록 통기도가 감소함을 알 수 있다. 도형재에 따른 통기도는 충전재가 지르코니아인 도형재

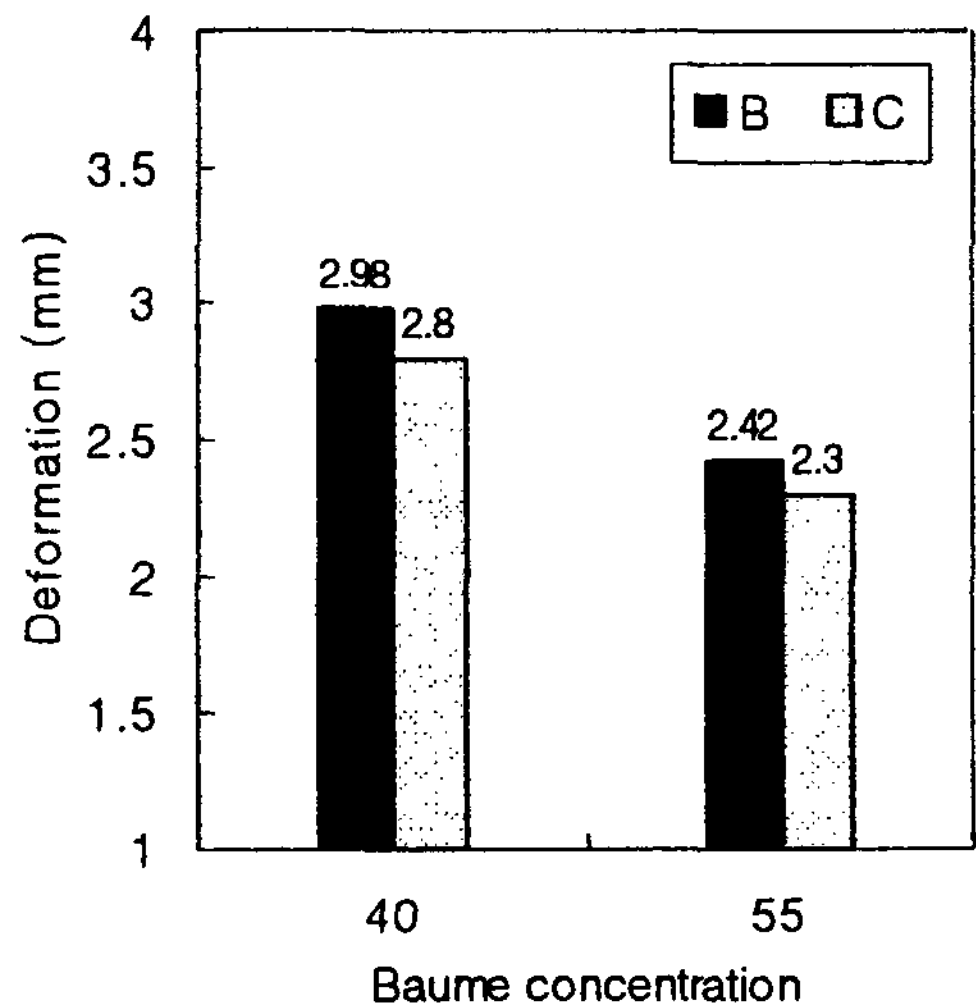


Fig. 6. Deformation as a function of refractory size with different baume concentration (at 152 kgf·mm bending moment).

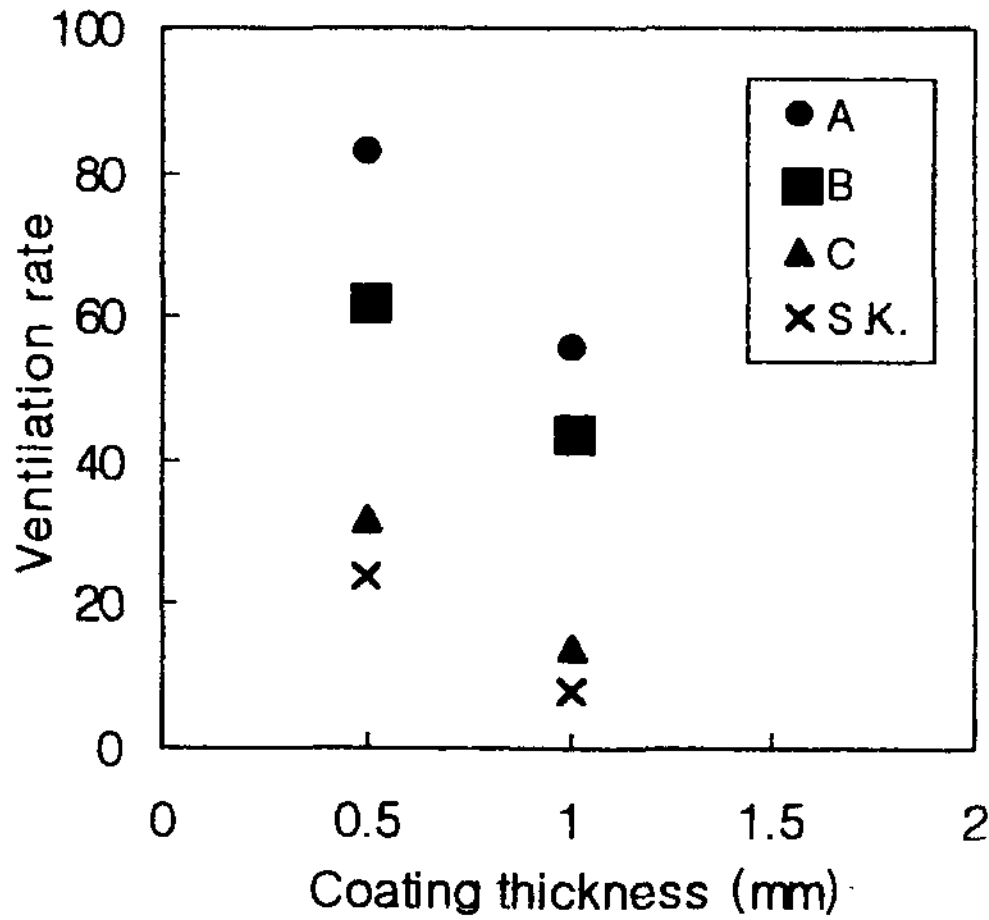


Fig. 7. Ventilation rate as a function of coating thickness with different coating materials at room temperature.

A가 가장 우수하였으며, 충전재가 마이카계이며 입도가 큰 C와 S.K.가 매우 낮은 상온 통기도를 나타내었다. 같은 충전재라도 도형재 C와 S.K.보다 입도가 작은 B가 통기도가 우수하였다.

그림 8에서는 용탕주입시 나타나는 도형재의 고온 통기도를 측정된 결과로써, 상온과 비슷한 경향을 나타내고 있다. 같은 농도에서 도형재 C와 S.K.로 도형된 모형에 용탕이 완전 충전되는데 소요되는 시간이 A와 B보다 약 3~4배 정도로 길어서, 실제로 EPC주입시 도형재에 따른 통기도의 차이가 용탕의 유입속도에 상당히 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

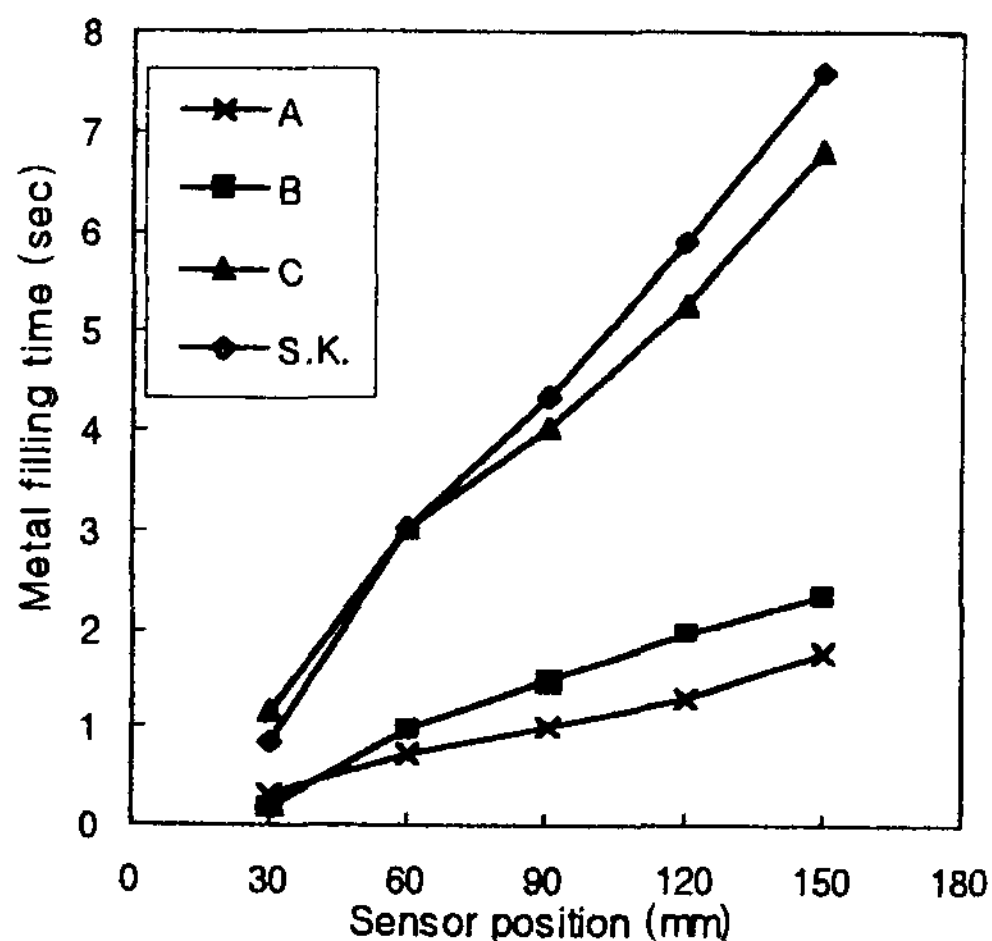


Fig. 8. Metal filling time at different sensor position measured using metal flow analysis system during casting (baume concentration: 55).

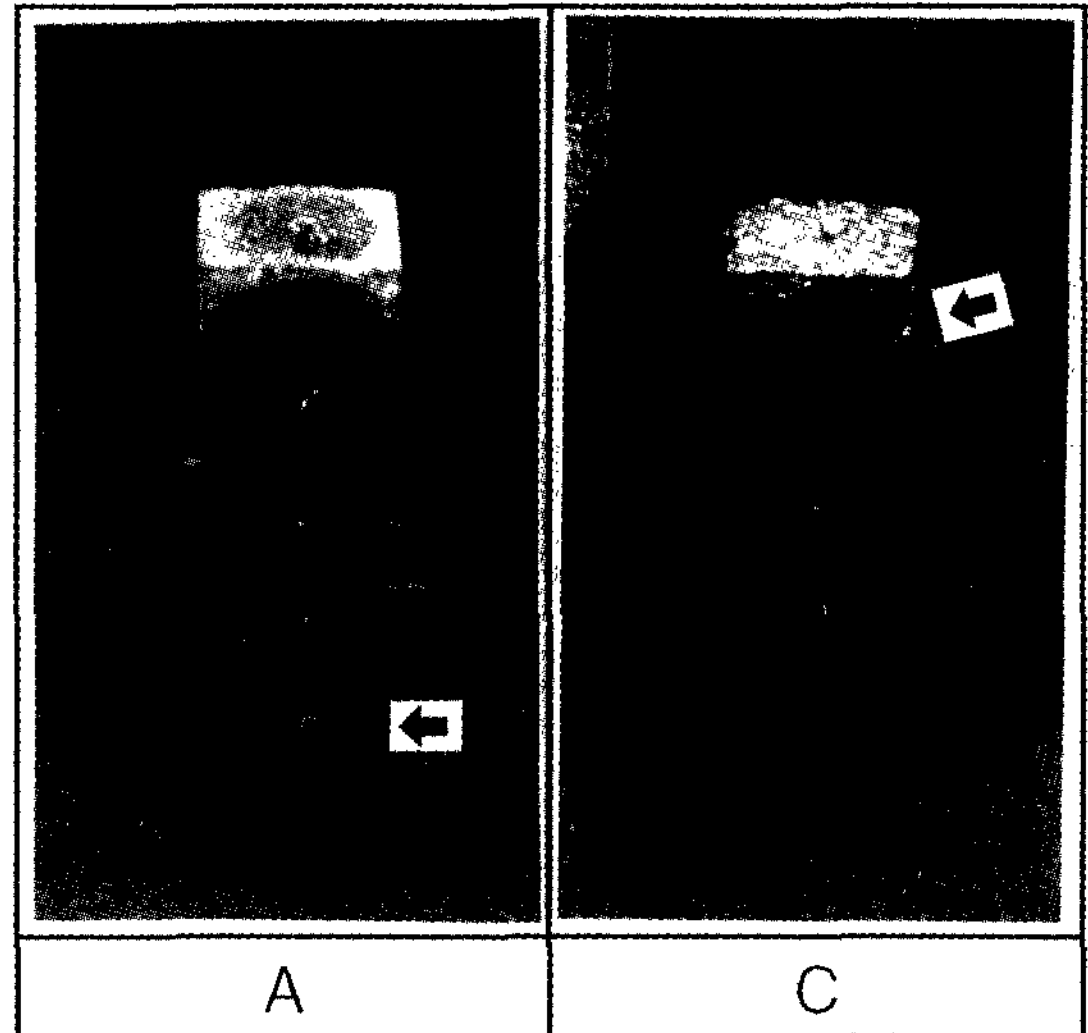


Fig. 9. Sand attachability and carbon defect using EPS pattern of coating material A and C.

3.3 내소착성, 탄소결함

내소착성 시험에서 도형재 A는 농도와 관계없이 주물에 주물사의 소착이 발생하였으며 B도형재는 농도가 40 Bë 일때는 게이트 근처에서만 약간의 소착이 발생하였고 농도가 이보다 높으면 발생하지 않았다. 한편 입도가 큰 마이카계의 충전재를 사용한 도형재 C와 S.K.는 농도에 관계없이 소착이 발생하지 않아 상당히 우수한 내소착성을 나타내었다. 그러나 우수한 내소착성에도 불구하고 도형재 C와 S.K.는 통기도가 떨어지기 때문에 농도가 55Bë 일때는 용탕주입시 발생가스배압에 의한 주입구 쪽으로의 용탕비산과 EPS모형의 분해특성 상 발생하는 탄소가 주물상부에 많이 관찰되었다. 그림 9는 도형재 A와 C의 소착상태와 탄소결함 정도를 보여주고 있다. A도형재는 소착상태가 불량하나 탄소결함이 거의 존재하지 않았으며, 도형재 C는 소착상태는 양호하나 탄소결함이 존재함을 알 수 있다.

4. 고 찰

4.1 통기도에 미치는 영향

도형재의 통기도는 도형막의 두께, 충전재의 종류, 입도 및 입형에 영향을 받는다. 도형막 두께의 영향은 그림 7에서 보여준바와 같이 두께가 두꺼워질수록 모형성형체의 소실로 인하여 발생된 가스의 도형막 통

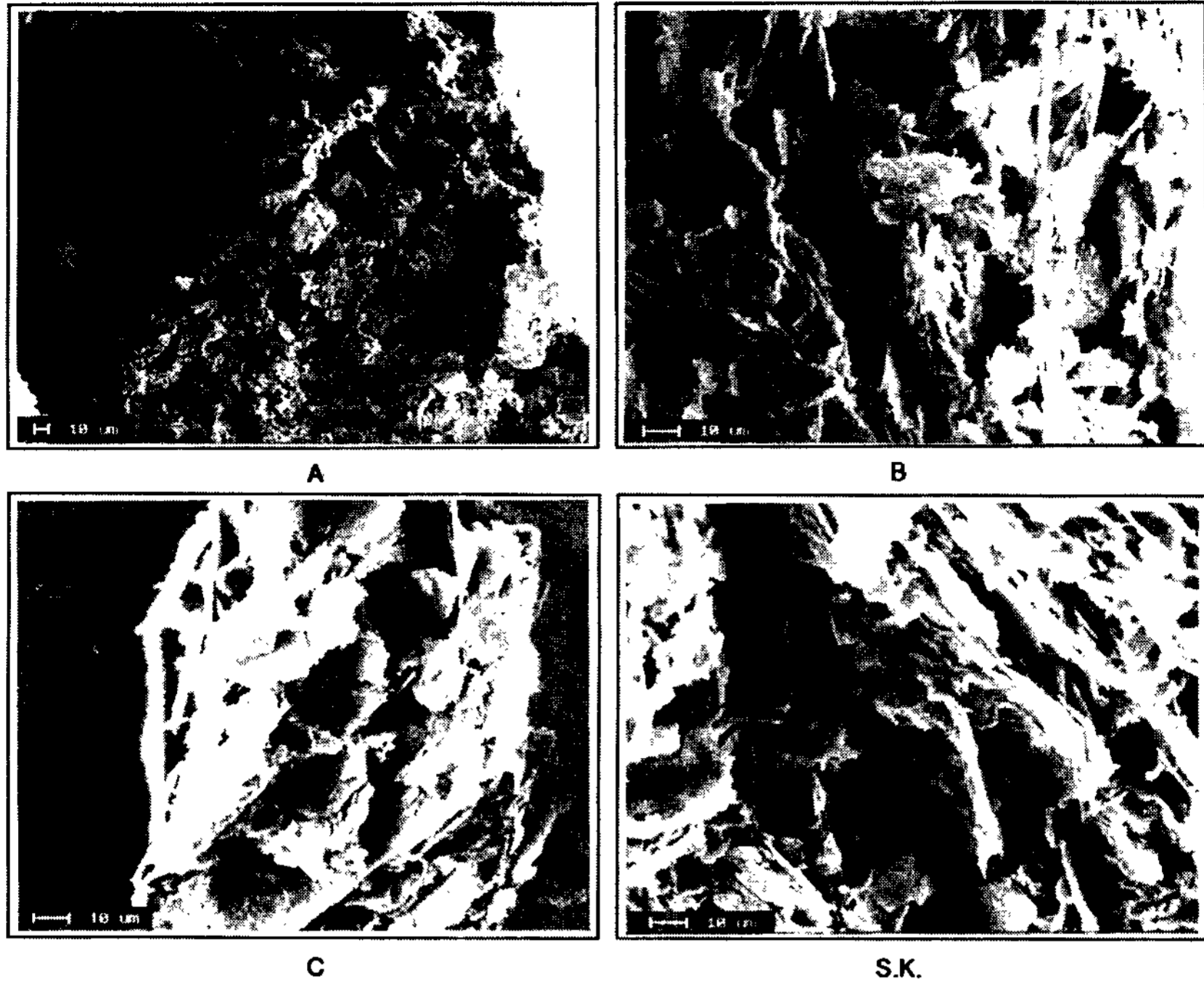


Fig. 10. SEM micrographs showing coating materials.

과에 대한 경로저항이 증가되어 통기도는 떨어짐을 알 수 있다. 동일한 농도에서 마이카계통의 도형재 B, C 및 S.K가 지르코니아계의 도형재 A보다 통기도가 떨어지는 것은 그림 10의 주사전자현미경으로 관찰한 결과 충전재의 형태가 지르코니아계는 괴상이고 운모계는 편상이기 때문이다. 이는 그림 11에서 개략적으로 나타내듯이 편상의 경우 괴상의 형태보다 가스가 통과시 굴곡이 많아서 경로가 길어지게 되므로 동일한 도형막두께에서 통기도가 떨어진다고 생각된다[2, 3]. 또한 도형재 B와 C같이 동일한 조성의 도형재이지만 충전재의 입도가 작은 것이 큰 것보다 통기도가 우수한 이유는 다음과 같다. 괴상형태의 충전재를 사용하는 일반 도형재에서는 입자가 조대할수록 통기도가 높아지는 것이 일반적으로 알려져 있다. 그러나 본 실험에 사용된 EPC용 도형재의 충전재의 형태는 편상이며, 이는 넓은 판이 가스의 유동방향에 수직으로 겹겹이 쌓여 있는 것과 같은 구조로 볼 수 있다. 이럴 경우 같은 형태이지만 입도가 클수록 가스가 통과해야 할 경로가 더욱 길어지게 되며, 따라서 통기도는 낮아진다고 생각된다.

그림 12는 지르코니아계인 도형재 A와 마이카계인 도형재 C의 주조전과 후의 충전재 형상을 주사전자현

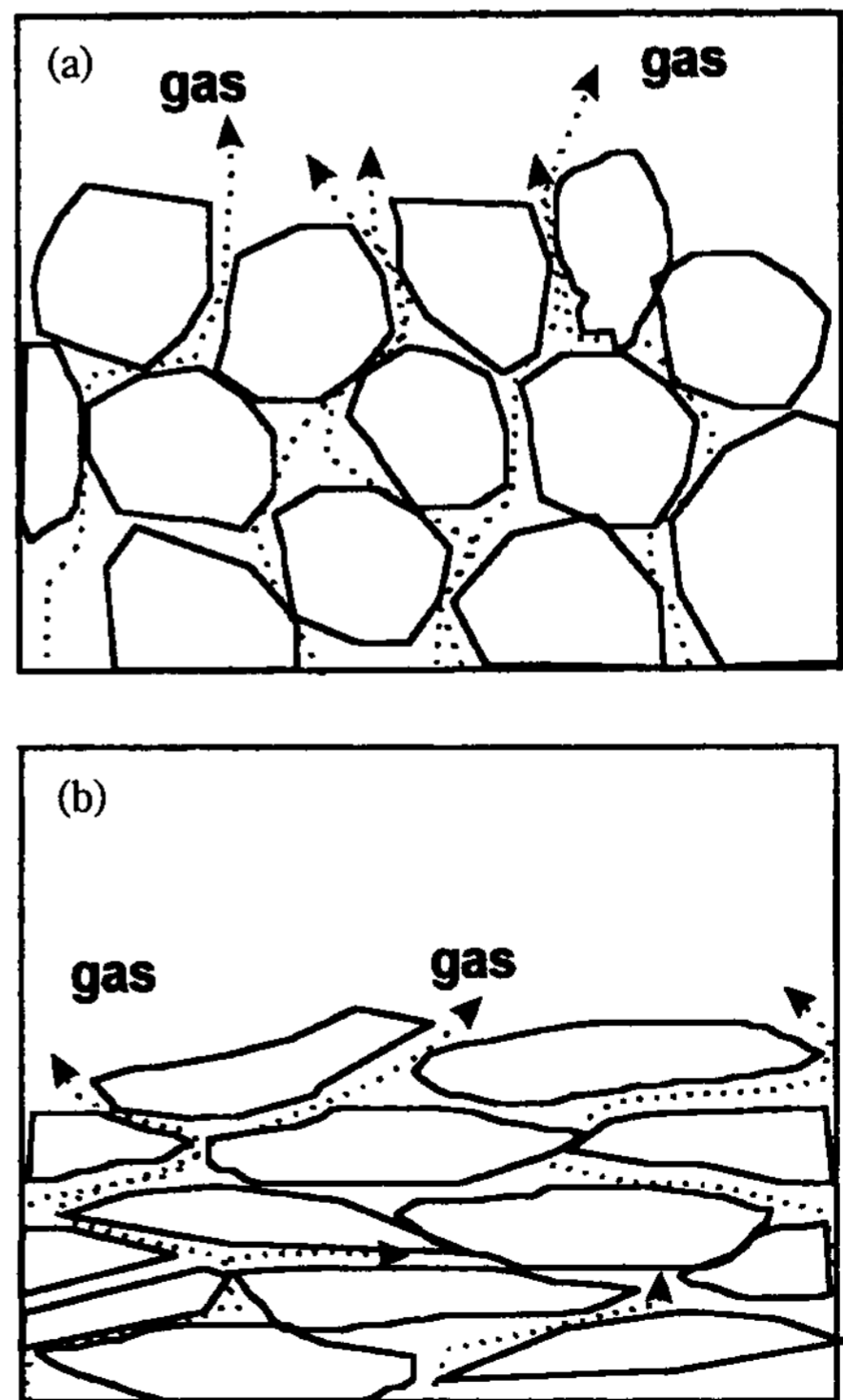


Fig. 11. Schematic drawing of gas path of (a) zirconia and (b) mica coating materials.

미경으로 관찰한 것으로 도형재A는 괴상을, 도형재C는 편상의 형태를 가지고 있음을 보여주는데 주조후의 충전재는 고온에 노출되어 충전재 형상의 파괴는 발생할 것으로 기대되었으나 주사전자현미경을 통하여 관찰한 결과 마이카계 도형재만 약간의 파괴가 발생할 뿐 그다지 충전재 형상의 파괴는 발생하지 않음을 관찰할 수 있었다. 따라서 도형재의 상온 및 고온의 통기도가 유사한 경향을 나타내는 것은 통기도가 도형재의 점결성분보다 고상인 충전재에 의해 결정되기 때문으로 보인다. 이것은 실제 통기도의 평가수단으로서 상온통기도의 활용이 가능함을 보여주는 것이라고 생각된다.

4.2 변형저항에 미치는 영향

변형에 저항하는 도형막의 강도는 도형두께에 의해 많은 영향을 받는 것으로 생각된다. 이러한 도형막의 두께는 동일한 농도에서 충전재의 종류에 따른 밀도 및 형상에 영향을 받게되는데 도형재A는 괴상형태를 지니고 밀도가 약 4.0~4.8 g/cc정도로 큰 지르코니아계를 사용하였기 때문에 충전재 입자간의 응액성이 떨어져 도형후 건조시 상당한 양의 도형재가 흘러내려 결과적으로 도형막이 얇아진 반면 도형재 B, C 및 S.K.는 충전재의 밀도가 2.3 g/cc으로 지르코니아의 밀

도보다 작고 형상이 편상인 마이카계를 사용하므로 편상의 운모가 서로 얽혀 지지되고있어 상대적으로 응액성이 지르코니아계의 도형재보다 우수하게 된다. 따라서 이러한 도형재는 도형한 상태로 도막이 유지되므로 강도가 우수하며 변형량이 적게된다.

4.3 내소착성에 미치는 영향

일반적으로 도형재의 내소착성은 주물사로의 용탕 침투 및 열적반응정도를 나타내는 것으로 충전재의 내화도 및 단열성에 따라 영향을 받는다. 그러나 본 실험에서는 충전재의 내화도 및 단열성 외에도 형성되는 도형막의 두께가 많은 영향을 미치며, 이는 같은 농도에서 내화도가 뛰어난 지르콘계의 충전재 보다는 내화도 및 단열성은 낮으나 편상의 형상을 가져 충분한 두께를 유지할 수 있는 마이카계 도형재가 뛰어난 내소착성을 가진다는 것으로 알 수 있다.

EPC법에서 도형재의 선정은 강도, 내소착성, 통기도를 고려하여야 한다. 최적의 조건을 만족하기 위해서는 이 모든 것이 구비되어야 하나, 각 항목의 특성상 반비례적인 요소도 지니고 있어 모든 조건을 만족하기는 현실적으로 힘들다는 것을 알 수 있다. 본 실험의 결과로 보면, 도형재의 통기도는 충전재의 형상에 의한 가스배출경로의 차이에 많은 영향을 받음을

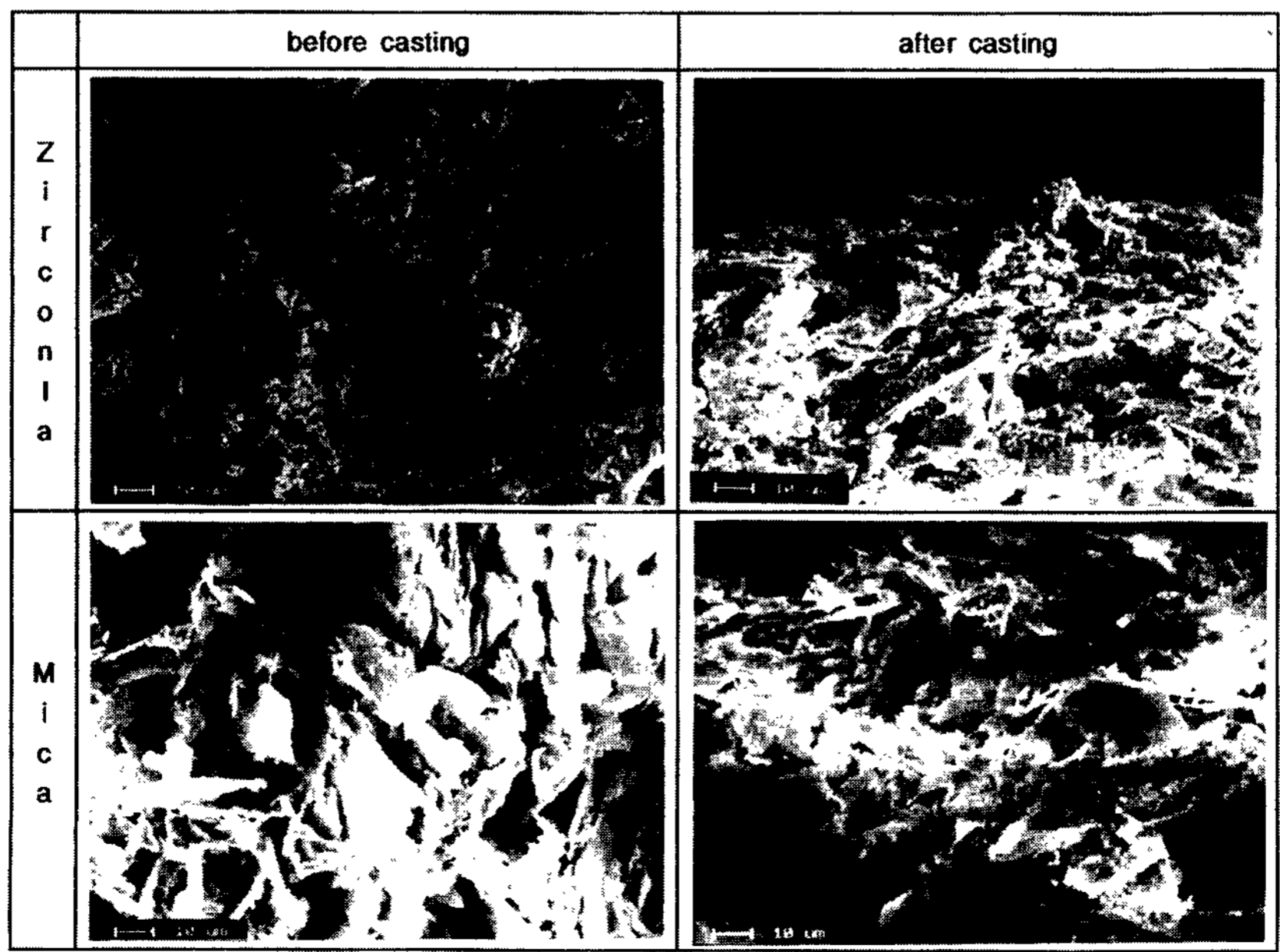


Fig. 12. SEM micrographs showing refractory before and after casting of both zirconia and mica type coating materials.

Table 2. Properties of Coating Materials according to Refractories

Coating Material	Type & shape of refractory	Properties
A	Zirconia; spherical shape	Permeability: superior Strength & anti-sand attachability: bad
B	Mica: flake (size: small)	Permeability: good Strength & anti-sand attachability: good
C	Mica: flake (size: large)	Permeability: bad Strength & anti-sand attachability: good
S.K.	Mica, kaolin etc.: falke (size: large)	Permeability bad Strength & anti-sand attachability: good

알 수 있고, 강도 및 내소착성은 충전재의 밀도 및 형상에 따른 두께의 영향을 많이 받는 것이 관찰되었다.

본 연구에서 개발된 도형재의 특성을 요약하면 다음과 같으며 이를 표 2에 나타내었다. 도형재A는 통기도는 우수하나 강도와 내소착성이 떨어지는 반면에 도형재C와 S.K.는 강도와 내소착성은 우수하나 통기도가 떨어진다. 이에 반해 도형재B는 모든면에서 만족할 만한 특성을 나타내었다.

5. 결 론

소실모형주조용 도형재 개발 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도형재 통기도의 영향은 충전재의 형상이 괴상인 지르코니아계보다 편상인 마이카계보다 우수함을 나타내었으며 이는 충전재의 형상이 괴상일수록 가스 유동이 원활하기 때문으로 생각되며, 같은 마이카계 도형재라도 입도가 작은 쪽이 상온 및 고온에서 우수한 통기도를 나타내었다.

2. 도형재의 강도 및 내소착성은 충전재가 마이카계인 도형재가 우수하였으며, 이는 충전재의 낮은 밀도와 편상형태의 특성으로 인하여 도형 및 건조시 도막의 두께를 충분히 유지할 수 있는 마이카의 도형특성 때문이라 생각된다.

3. 충전재의 입도가 작고, 마이카처럼 편상구조를

가지는 도형재가 괴상충전재 도형재보다 EPC용 도형재로서 적합하다.

후 기

본 연구는 1995년도 통산산업부 시행 공업기반기술개발과제의 연구비로서 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] H. F. Shroyer : "Cavityless Casting Mold and Method of Making Same", U.S. Patent No. 2830343, 1S Apr., (1958).
- [2] C. A. Gorla, G. Serramoglia, G. Caironi and G.Tosi : "Coating Permeability : A Critical Parameter of the Evaporative Pattern Process", AFS Trans., 101 (1986) 589-600.
- [3] C. Ravindran, B. Jue and J. Karpynczyk : "Permeability of Refractory Coatings in EPC Process", AFS Trans., (1993) 955-959.
- [4] 山本康雄, 本哲, 三宅秀和, 岡田明 : "減壓フルモールド法における EPS模型の變形と 塗型效果", 鑄物, 59 (1987) 720-733.
- [5] O. A. Martinez : "A Supplier's Overview of Lost Form Refractory Coatings", AFS Trans., (1990) 241-244.
- [6] R. B. Ballmann : "Assembly and Coating of Polystyrene Foam Patterns for Evaporative Pattern Casting Process", AFS Trans., (1988) 465-470.