

|||||||  
 現場技術  
 |||||

## 소실모형주조법에 의한 중공크랭크축 개발

최현진 · 오영근 · 이경환\*

### Development of Hollow Crank Shaft by Expandable Pattern Casting

Hyun-Jin Choi, Young-Kun Oh and Gyung-Whan Lee\*

#### 1. 서 론

최근 국내외적으로 환경문제의 규제강화 및 근로자의 3D업종 기피현상으로 말미암아 주조산업은 사양길에 접어들고 있으며, 그나마 남아있는 산업체들도 그 영세함을 면하지 못하는 실정에 있다. 그러나 일반적인 산업체뿐 아니라 자동차 산업에서 주조산업은 없어서는 안될 필수적인 부분으로 이러한 여러 가지 문제들을 타개해 나갈 수 밖에 없는 입장이다.

한편, 일부 선진국에서는 기존의 생형 및 Shell 몰드 주조법의 한계성을 극복하고자 1980년도 초반부터 EPC(Expandable Pattern Casting; 이전 Lost Foam, Full Mold, Foam Cast, Policast, Evaporative Pattern Casting 등으로도 불리어 졌으나 1990년 AFS 분과위원회에서 여러 상업적 호칭을 배제하고 공식적인 학술명을 상기와 같이 정함)라는 소실모형주조법을 이용하여 환경문제, 원가절감 및 설비투자비 등을 해결하려 하고 있으며, 실제로 美 Ford 社 등 기타 산업체에서는 이미 일부 부품에 적용된 상태이다[1]. 그러나 국내에서는 아직 개발정도가 미미하며, 일부 적용하는 산업체 또한 기능부품이 아닌 단순한 형상부품에 그치는 수준이므로 조속한 기술개발 및 적용이 필요한 실정이다.

본 연구의 개발배경은 다음과 같다. 자동차용 크랭크축의 경량화를 목적으로 기존의 웨이트 발란스의 수를 줄이고, 저널부 및 핀부의 중공화를 시키는 연구과정중, 중실크랭크축의 생산시 중자가 필요없는 셀공법에 비해 중공화를 통한 중자사용이 야기되면서,

중자가 필요없고 생산단가가 저렴한 EPC법의 적용이 대두되었다. 따라서 본고에서는 EPC법에 의한 자동차용 중공크랭크축의 개발과정과 그 신뢰성 검토를 기술하였다.

#### 2. EPC의 원리 및 특징

소실모형주조법은 발포폴리스티렌인 EPS(Expandable Polystyrene)나 PMMA(Polymethyl methacrylate)라는 원료를 이용하여 얻고자 하는 주물형상으로 성형한 후, 이를 첨가제가 들어있지 않은 건조무점결사 속에 매설하여 모형을 형발하지 않은 상태로 용탕을 주입하면, 모형이 용탕의 열에 의해 치환되면서 소실되고, 그 소실된 공간에 용탕이 충전되어 응고됨으로써 주물제품을 얻는 주조공법이다.

소실모형주조법은 기존의 주조법에 비해 중자가 없어서 복잡한 주물형상을 일체형으로 제조할 수 있는 점과 중자의 미사용 및 주물사의 재활용으로 인한 환경오염의 방지 및 작업환경의 향상 등이 가장 큰 특징이다. 또한 표면이 미려하며 분할선 및 버(Burr) 등이 없어 후가공이 적어지며, 설비비, 후처리공정 및 숙련공과 생산인원의 감소 등으로 제조원가가 낮아진다. 그리고 한 번의 주입으로 종래의 방법보다 많은 제품을 얻을 수 있으며 공장 자동화가 용이하여 생산성이 증대되는 특징이 있다.

그러나 모형을 사용하기 때문에 모형의 금형설계 및 제작에 대한 노하우가 필요하며, 소실모형주조법에 대한 체계화된 지식 및 기술이 정립되지 않은 것들

(주)기아자동차 (KIA Motors Corp.)

\*생산기술연구원 (Korea Institute of Industrial Technology)

이 아직 해결되어야 할 문제점으로 남아있다.

### 3. EPC법에 의한 중공크랭크축 제작

#### 3.1 원료비드의 선정

크랭크축은 그 재질이 구상화흑연주철이고 후육부가 많다. 따라서 모형분해에 의한 주물상부의 탄소결함을 방지하기 위해, 원료비드는 벤젠고리가 없으며  $(C_5H_8O_2)_n$ 의 구조를 갖는 PMMA를 선정하였다. 본 개발에 사용된 PMMA비드는 美 Dow Chemical 社의 XUS-13208.00라는 제품으로 비드의 지름이 약 0.21 mm~1.43 mm정도였다.

#### 3.2 예비발포

원료비드의 예비발포는 발포효율을 높이기 위해 감압을 실시하는 진공형 예비발포기를 사용하여 실시하였다. 본 공정에 있어 예비발포비드의 밀도를 조절하는 중요한 변수들은 공급비드량, 가열온도와 시간, 감압 정도와 각 공정의 시간 등이 있다. 그러나 본 실험에서는 최소의 발포비드 밀도와 공정시간을 얻기 위해 가장 직접적이고 중요한 스팀압력과 시간만을 변수로 두고 1회 챔버내 투입비드량은 500 g, 감압도는 -250 mmHg 그리고 냉각수는 100cc로 고정하였다.

실험결과, 상기사양의 PMMA비드의 최소발포밀도를 가지는 조건은 그림 1과 2에 나타난 바와 같이, 스팀압력이 26psi이고 가열시간이 270sec정도일 때

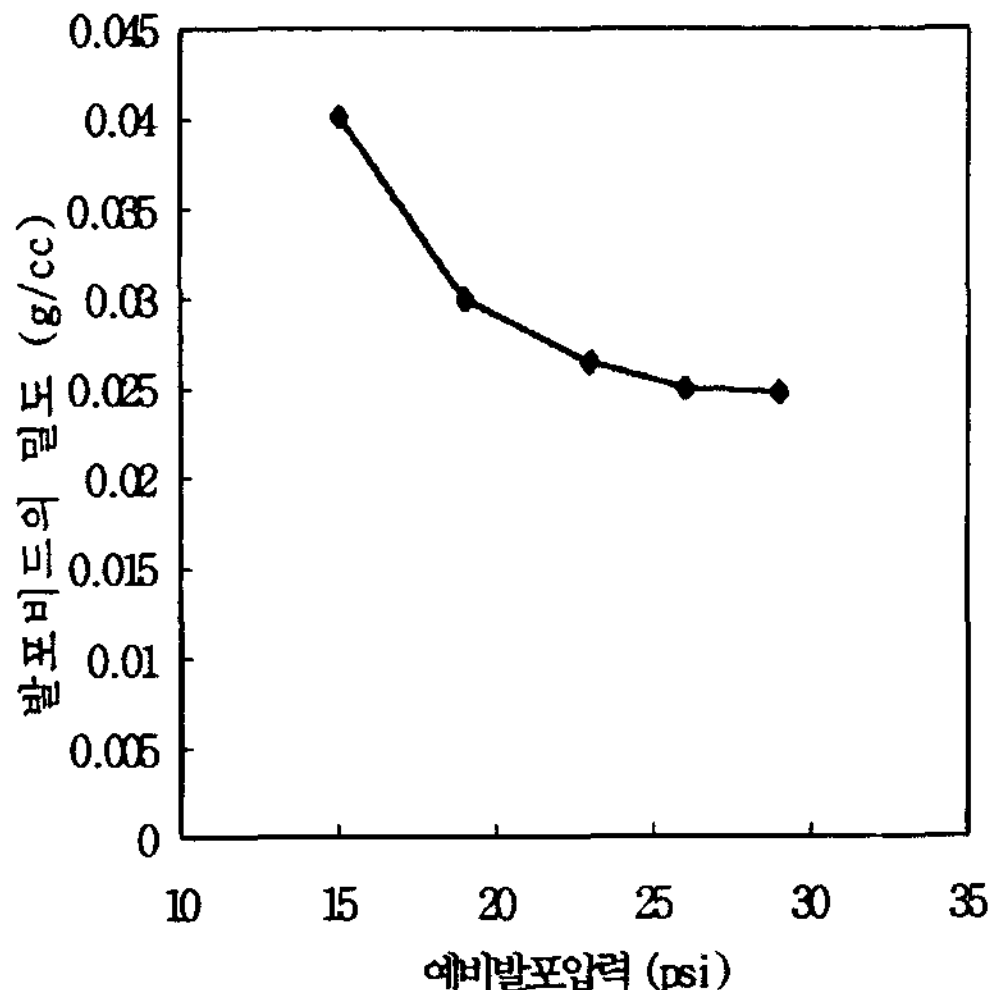


그림 1. PMMA에서 스팀압력과 발포밀도의 관계(발포시간 : 270sec).

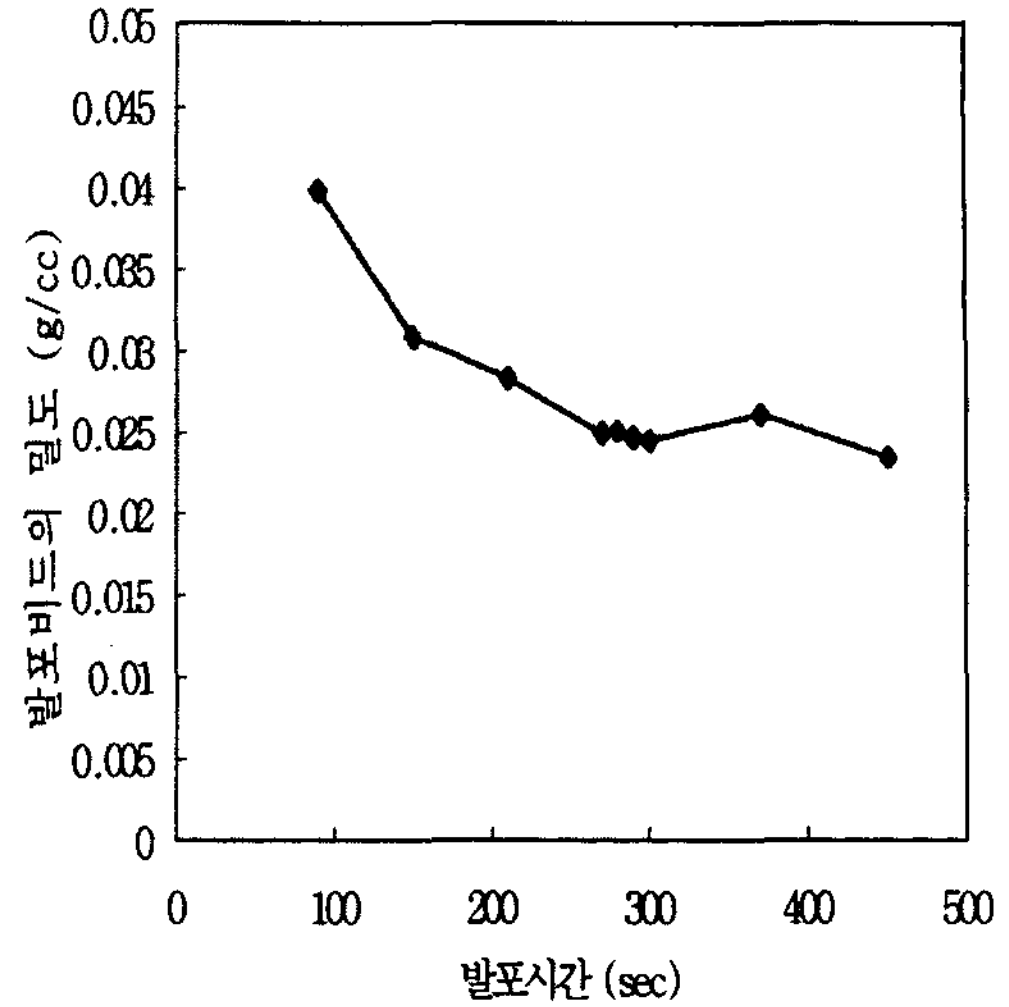


그림 2. PMMA에서 발포시간과 발포밀도와의 관계(발포압력 : 26psi).

0.23~0.24 g/cc의 밀도를 나타내었다. 한편 더이상 스팀압력을 높이거나 가열시간을 길게 하여도 더 이상의 밀도는 감소하지 않음을 알 수 있었다.

#### 3.3 금형설계 및 제작

모형성형을 위한 금형은 중공크랭크축의 형상을 좌우대칭적으로 분할하여 좌측형상과 우측형상을 각각 따로 성형하도록 설계하였으며, 각 모형의 금형은 수평 1축 성형기의 고정축과 이송축에 부착되어 합형될 때 하나의 형상을 이루도록 2개 1벌로 구성하였다. 그리고 성형된 좌측 및 우측모형의 접착시, 어긋남을 방지하기 위해 가이드 핀을 형성하도록 설계하였다. 금형의 재질은 가볍고 강도가 크며 또한 고온의 스팀에 의해 열변형이 적으면서도 열전달계수가 우수한 Al 6061-T651을 사용하였다.

형상치수는 모형의 수축율인 8/1000과 주물의 수축



그림 3. 중공크랭크축 모형성형용 금형(좌:고정축, 우:이송축).

을 7/1000을 합하여 전체 15/1000의 수축율을 소재도와 비교하여 적용시켰으며, 금형내로 스팀이 투입되는 스팀 벤트는 슬릿형으로 정한 뒤, 전체표면적의 2%를 넘지 않는 범위에서 균등하게 위치시켰다. 그림 3은 제작된 중공크랭크축의 좌측금형중 고정축과 이송축 금형을 나타내고 있다.

### 3.4 모형성형

EPC금형을 이용하여 성형된 중공크랭크축의 성형품을 그림 4에 나타내었다. 초기 성형시 비드투입구를 제품의 총 5개 저널부 중 중앙 저널(journal)부 1개소로 하였으나, 제품의 끝단부까지 원료비드가 미충진되는 결과를 보였다. 따라서 비드투입시 투입 공기압을 3 kg/cm<sup>2</sup>까지 높였으나, 최종 충전부인 비드투입구 부위에서 미충진이 발생하였다. 이는 충전말기 발생하는 공기의 백업(back-up)에 기인한다고 사료된다. 따라서 비드투입구를 2번째 및 4번째 저널의 두 부분으로 분산한 후, 투입 공기압을 1.8~2.2 kg/cm<sup>2</sup>로 조절하여 금형 케비티내 발포비드의 완전충진을 이루었다. 이후 금형내 투입된 원료비드의 용착을 위하여 스팀가압을 실시하는데, 만약 적정 스팀압보다 너무 높으면 비드의 용착시간이 짧아지는 대신 스팀 벤트부위에 워터 데미지(water damage) 및 과용착(over fusion)에 의한 형상변형이 발생한다. 실험결과 투입 스팀압을 약 2.4~2.6 kg/cm<sup>2</sup> 정도로 조정하고 총 27초동안 가열하였을 때, 금형내 스팀압은 약 1.8 kg/cm<sup>2</sup>을 유지하면서 가장 양호한 성형품을 얻었다.

### 3.5 성형품의 수축

중공크랭크축 모형을 성형한 후, 시간에 따른 모형의 수축거동을 치수변화를 통하여 관찰하였으며, 그

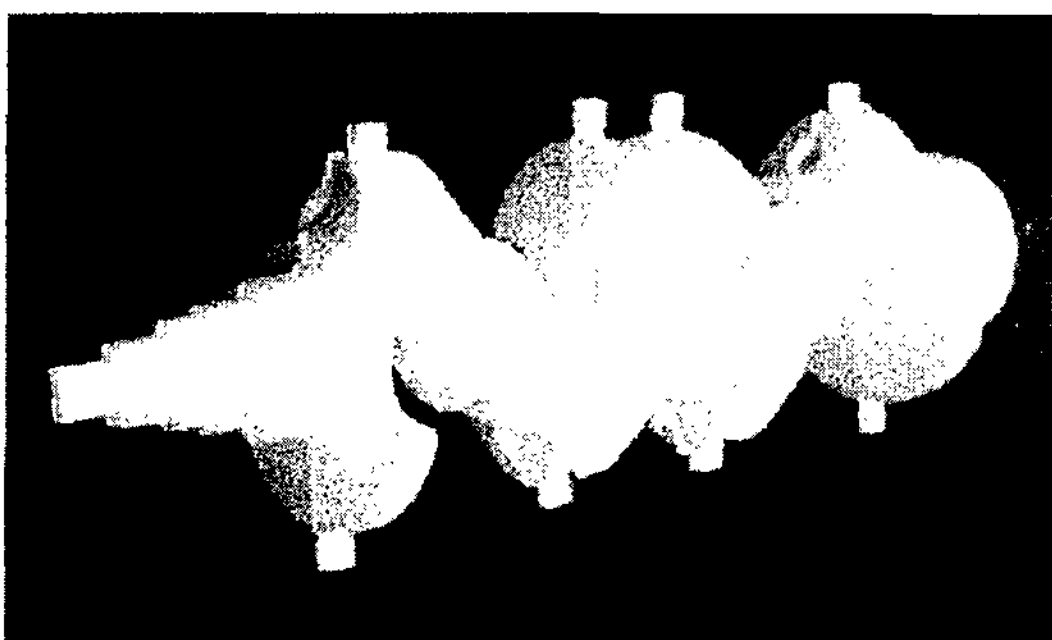


그림 4. 중공크랭크축 성형품.

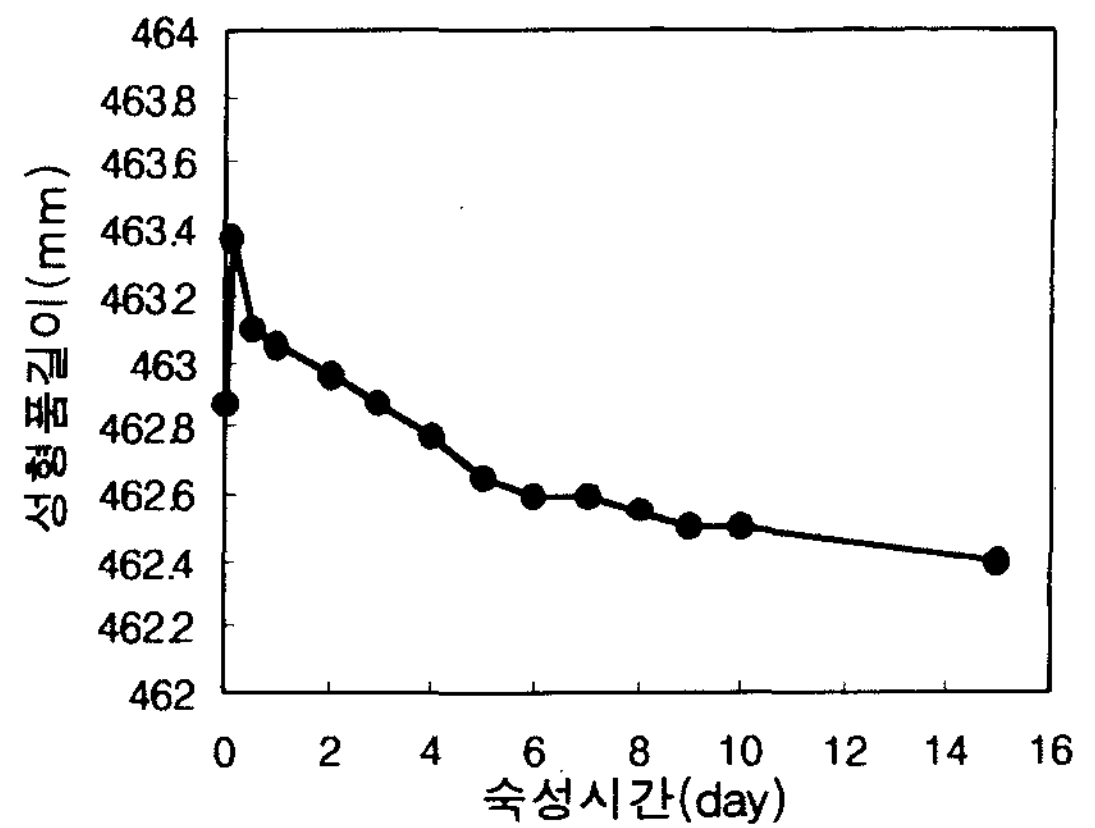


그림 5. 중공크랭크축 EPC 모형의 수축거동.

결과를 그림 5에서 나타내었다. 모형의 수축은 성형후 약 10일 이내에 거의 이루어졌음을 알 수 있었으며, 수축정도는 전체길이의 약 0.43%로 이론적인 수축률과 거의 차이가 없음을 보였다. 또한 밀도가 각기 다르게 예비발포된 PMMA비드를 이용하여 성형한 후 수축률을 측정하여 그림 6과 같이 발포비드의 밀도가 낮을수록 수축이 많이 발생함을 알 수 있었다.

### 3.6 성형품의 접착

성형된 좌, 우 모형을 접착하기 위하여 그림 7에서 보이는 바와 같이 자체 제작된 자동접착기를 이용하여 실시하였다. 접착제로는 미 Grow Group社의 GA-1610이라는 열가소성 핫 멜트 접착제를 사용하였는데, 이 물질은 레진, 왁스, 트랙키어(trackier) 그리고 내 산화성의 화합물들로 구성되어 있으며 상온에서는 고상이며 약 100°C이상에서 완전한 액상으로 존재하게 된

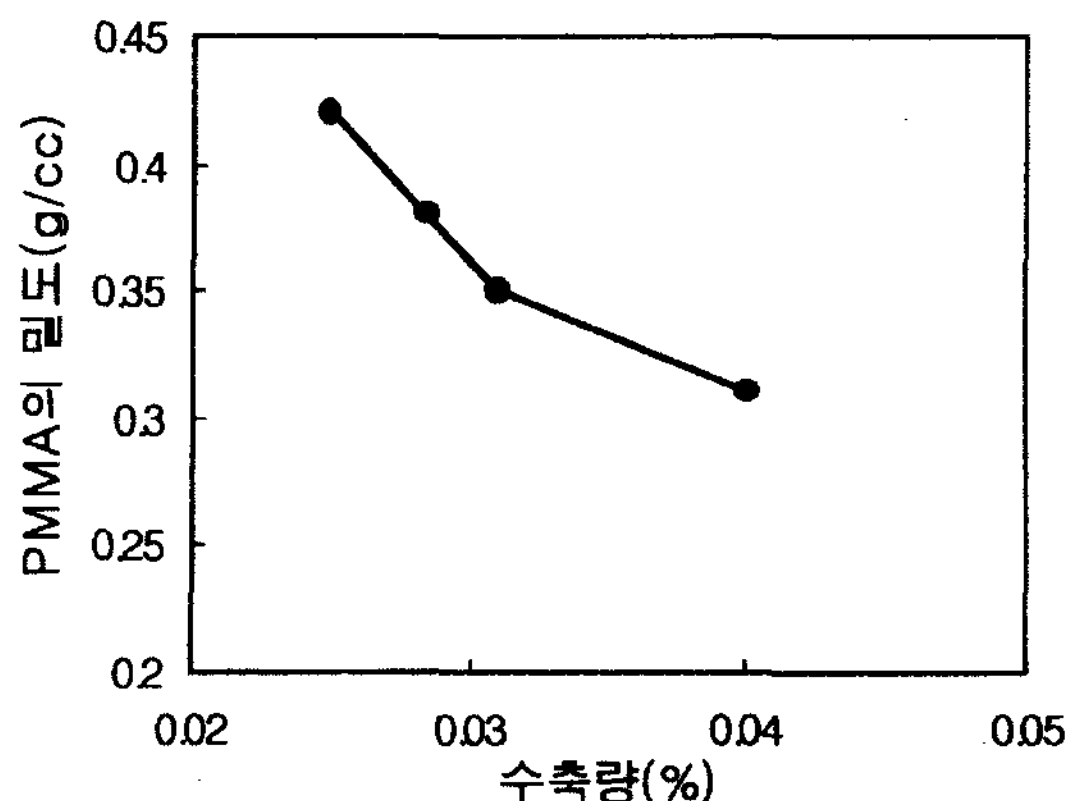


그림 6. PMMA로 성형된 크랭크축의 밀도별 수축거동.

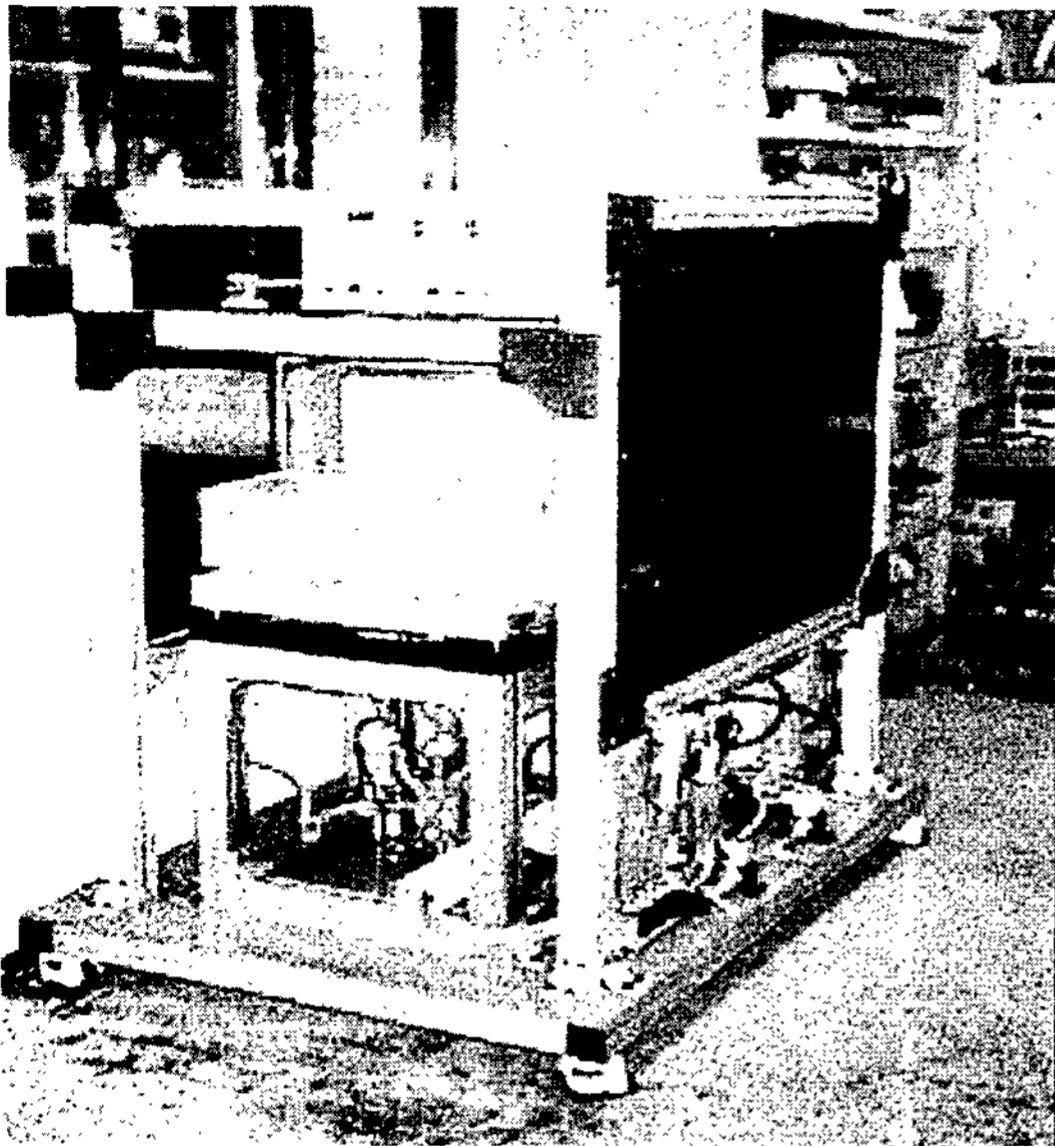


그림 7. 모형접착기 사진.

다. 작업조건은 접착제가 액상인 상태에서 접착하기에 적절한 점도를 가지는 온도구간에서 실시하는 것이 중요하며, 본 실험에서는 약 120~130°C가 가장 적절하였다. 만약 이보다 온도가 높을 경우에는 열에 의한 모형의 녹아내림이 발생하였으며, 이 보다 낮은 경우에는 접착전 접착제의 굳어버림으로 인해 접착강도의 약화 혹은 제품치수의 변형을 초래하였다.

### 3.7 모형의 도형

EPC에서 모형의 도형은 일반 케비티주조에서 도형재의 역할 이상의 매우 중요한 의미를 갖는다. 몰드내 모형에 용탕을 주입하면 용탕선단과 PMMA모형간에는 모형의 분해가스 및 액상층이 발생하게 되며, 이러한 층 주위를 통한 가스 및 액상분해물질의 배출이 적절하지 못할 경우, 몰드의 붕괴 및 주물내 분해물질의 잔류 등이 발생한다. 따라서 EPC에서 도형재는 주입시의 주형붕괴를 방지함과 동시에 발생하는 가스 및 액상분해물질을 원활히 배출해야 하며, 또한 사충전 공정시 모형의 변형도 방지할 수 있어야 한다[2]. 결국 EPC용 도형재는 기존의 도형재의 조건을 갖추면서도, 우수한 강도와 통기성을 겸비해야 한다. 본 연구에서는 상기 조건을 만족하는 도형재를 국산화시키고자 직접 개발을 시도하였으며, 도형재의 구성요소 중 충전재(내화재)는 약 2.3 g/cc의 밀도를 가지고 평균입도가 약 74 μm이하인 편상의 마이카계를 사용하였다.

이는 마이카 입자의 크기에 따라 통기성의 조절이 가능한 동시에 두꺼운 도막을 유지시켜 우수한 강도를 구비할 수 있었기 때문이었다[3].

도형재 개발과는 달리 중공크랭크축의 양산조건을 확립하기 위해서 사용된 도형재는 이미 널리 상용되고 있는 美 borden社의 주철용 EPC도형재인 Styro kote 400을 이용하였다.

140 μm입경의 마이카를 충전재로 갖고 있는 이 도형재를 교반조에서 baume농도가 약 40~45정도가 되도록 조정후, 침적형태로 모형에 도형하였으며, 그 후 약 50°C이상의 건조실에서 12시간 이상 건조시킨 뒤 사용하였다.

### 3.8 사충전

EPC공정에서 주철의 경우는 저융점계합금에 비해 발생가스량의 발생이 많기 때문에 일반적으로 AFS GFN이 약 30~35 사이인 실리카계통의 주물사를 선택한다. 본 개발에 있어서는 구상화흑연주철을 이용함과 더불어 발생가스압이 EPS보다 훨씬 많은 PMMA모형을 사용하기 때문에 비교적 통기성이 양호한 AFS GFN이 31.4인 호주사를 선택하였다. 진동 방식은 수직1축진동기를 사용하였으며, 사용한 플라스크는 6 mm두께의 강판을 이용하여 600×600×1200 mm의 크기의 직육면체 형상으로 제작하였으며, 플라스크내부에 감압을 실시하기 위해 하부에 감압 버를 설치하였다.

사충전 공정은 플라스크내 하단부에 무점결사를 약 30 cm정도 넣은 후 진동으로 다지고, 이어 모형일체를 수평으로 설치한 뒤 주물사를 주입하였다. 주물사의

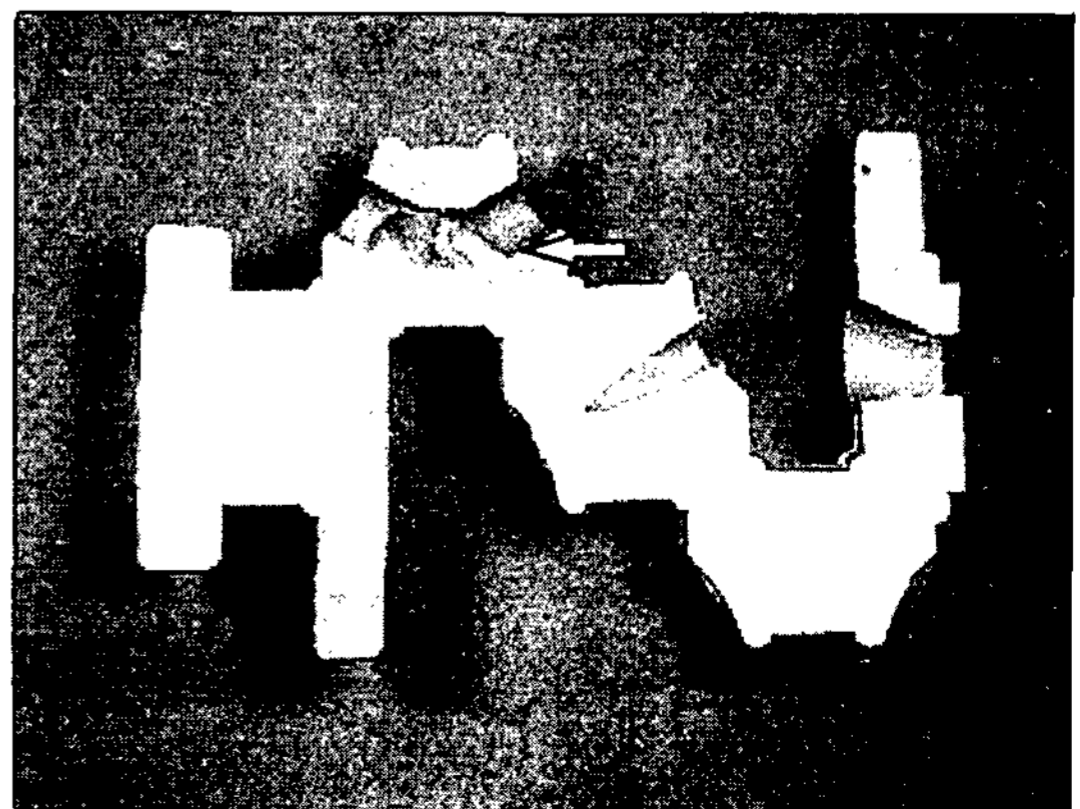


그림 8. 불충분한 사충전으로 인한 중공부위의 용탕누출현상.

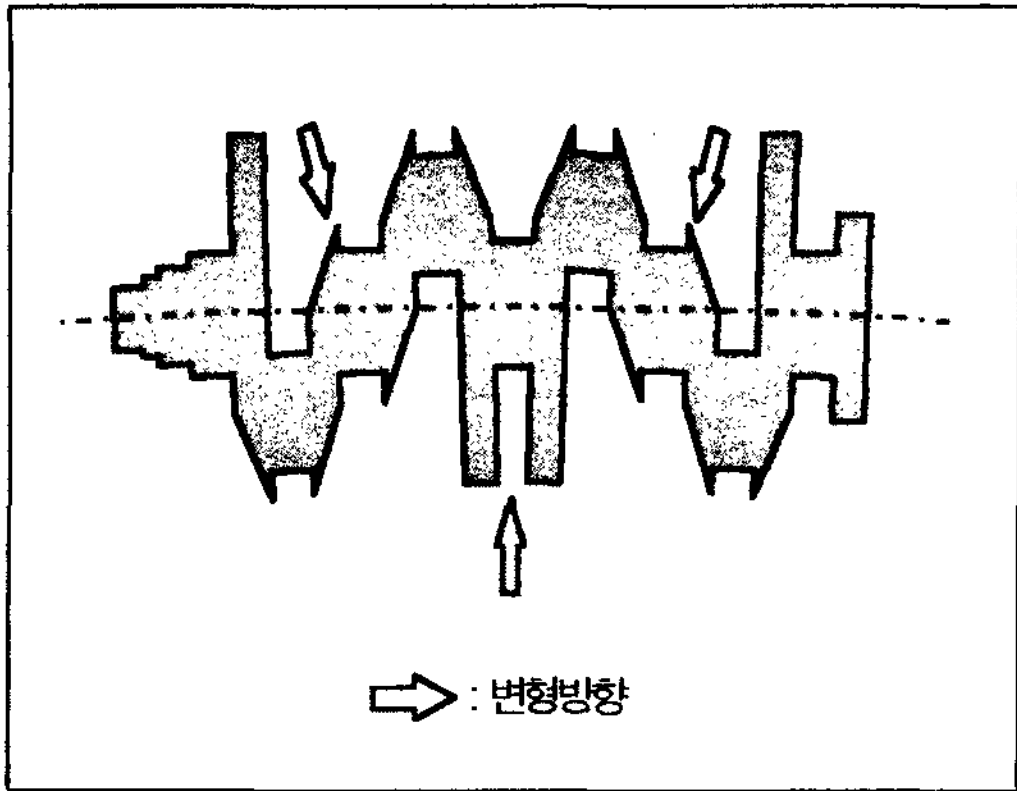


그림 9. 사충전시 크랭크축 모형의 변형 방향.

주입은 우선 중공크랭크축 모형만 덮은 후에 진동을 1회 실시하고, 그 다음 완전히 모래를 채운 후 진동을 1회 더 실시하였다. 진동시간은 1회 진동시 약 10sec 정도로 하고 진동시 중력가속도는 각 0.5, 1, 1.5, 2G 등으로 실시한 뒤 그 변형정도와 충전정도를 관찰하였다. 그 결과 중력가속도가 약 0.5G 정도로 약한 경우는 그림 8에서와 같이 모형의 중공부위에 불완전한 사충전 현상을 나타내었으며, 2G에 가까울수록 중공부위의 사충전은 완전하였지만, 그림 9와 같이 휨변형이 발생하였다. 휨 변형의 정도는 제품양끝을 기준으로 제품의 중심선이 약 2~3 mm으로 벗어난 정도로 육안구분이 되지는 않았지만, 저널부 가공공정에서 허용치수오차를 벗어나는 심각한 문제로 나타났다. 약 중력가속도가 약 1~1.5G정도일 때, 변형이 없고 중공부위의 충전상태가 양호함을 나타내었다.

### 3.9 주조방안 확립

EPC법에 의한 중공크랭크축 주조시 주물결함이 없는 최적의 주조조건을 위한 실험을 실시하였다. 여러 주조 방안 중 크랭크축 모형을 플라스틱 내 수직으로 세우는 상부 및 하부주입은 발란스의 넓은 형태와 모형의 강성부족으로 인하여 사충전시 모형의 필렛부위에서 심각한 변형 등이 발생하여 현실적으로 불가능하였다. 또한 용탕의 유동에너지가 높은 주철 용탕이 이용되고 모형의 형상이 두꺼운 상황에서 상부주입을 실시하면 주형붕괴의 가능성이 매우 높아진다. 따라서 본 실험에서는 수평주입을 기본으로 하여 게이트의 위치와 탕도의 유, 무 및 형상 등을 기준으로 그림 10에서 나타난 케이스별로 주조방안을 분류하였다. 그리고 주물내부의 수축결함 발생과 소착 및 탕주름 발생 그리고 주물내부의 개재물을 제어하기 위하여 용탕의 주입온도, 도형재의 baume농도 등을 변수로 하여 실험을 행하였다. 용탕은 레들내 Mg계 구상화제를 사용하여 샌드위치법으로 제조한 FCD-65 구상화흑연주철을 사용하였으며, 주입컵 및 주입구는 세라믹섬유를 이용하여 일체형으로 제조된 것을 사용하였다. 또한 주입시 플라스틱내 감압을 약 12 cm/Hg로 실시하여 주형의 견고성 및 발생가스의 배출능을 향상시켰다.

케이스별 최적의 주입조건을 표 1에 나타내었다.

#### 1) 수축결함의 제어

수축결함의 발생은 케이스1을 제외한 다른 주조방안에서는 모두 발생한 것으로 보아, 주입온도와 연관성 보다는 탕구방안에 많은 영향을 받는다고 생각된

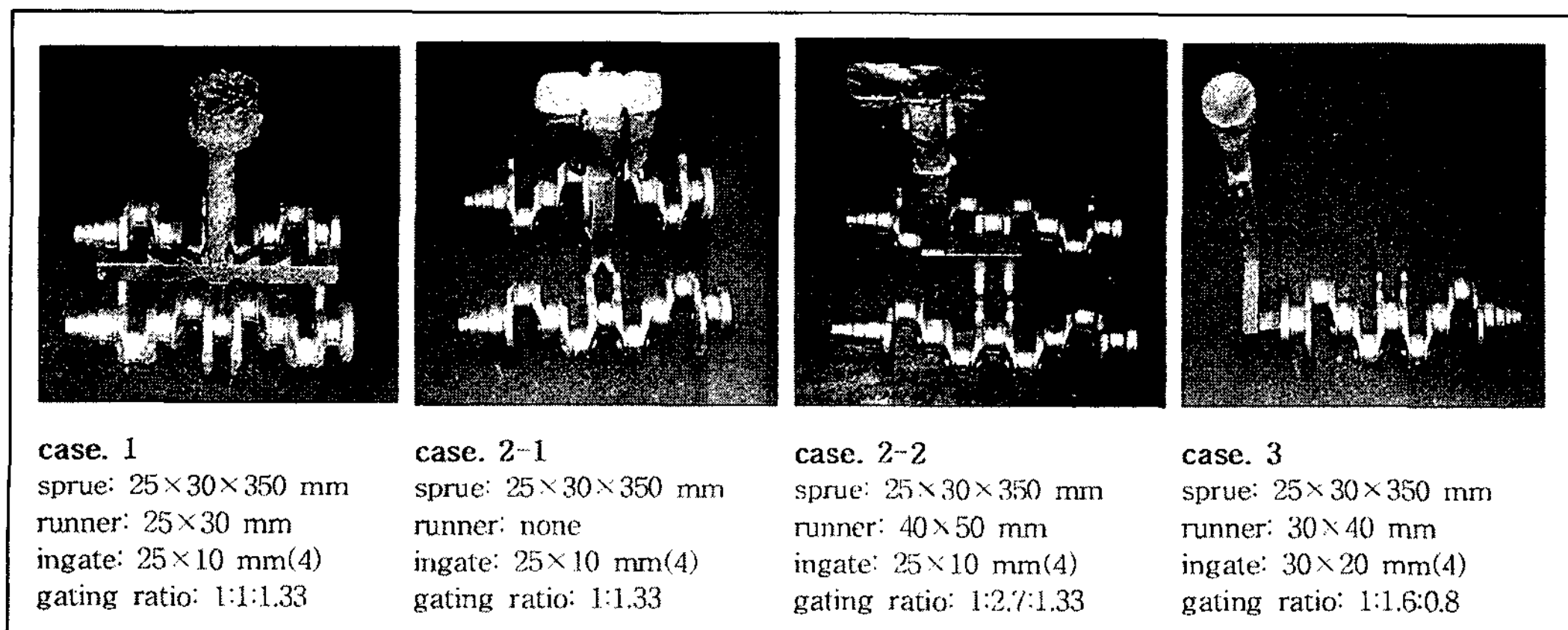


그림 10. 중공크랭크축의 EPC주조방안.

표 1. 주조방안별 최적의 주조조건

	CASE. 1	CASE. 2		CASE. 3
		CASE. 2-1	CASE. 2-2	
수축결함 (조건:1340~1380°C)	미발생	발생(大)	발생(少)	발생(少)
소착 및 탕주름	1340~1360°C, baume 43~46 : 양호	1340°C, baume 41-43 : 양호 1360°C, baume 43-44 : 양호		최적조건 없 습

다. 케이스 2-1같이 탕도가 없이 탕구에서 바로 게이트로 연결된 경우 그림 11과 같이 중앙 저널부 내 중공부위를 중심으로 게이트 설치 맞은 편 후육부에 조대한 수축결함이 발생하였다. 이는 구상화흑연의 응고특성상 극도의 머쉬(mushy)형태의 응고로 인해 최종 액상 수축시 최종응고부 전체가 몹시 페스티(pasty)한 상태로 되며, 이 때 응고팽창으로 주입구편으로 밀

려났던 용탕은 이러한 최종수축부에 재 보급되어야 하지만, 용탕의 페스티한 상황과 중공형상으로 인한 용탕보급로의 차단, 또한 EPC특성상 압탕의 부재로 인해 최종 수축부에는 조대한 수축결함이 생성된다고 판단되었다. 따라서 케이스 2-2와 같이 압탕효과를 부여하는 탕도를 설치하고 용탕보급경로를 원활히 하기 위해 게이트위치에 약간 상부에 설치해 보았으나, 그림 12와 같이 조대한 수축은 발생하지 않았지만, 여전히 스폰지 모양의 점수축이 존재하여 케이스 2 주조방안의 한계성을 느꼈다.

케이스 3의 경우도 그림 13과 같이 플라이 휠부근 방의 저널부에서 수축결함이 발생하였으며, 이는 상기의 원인과 같다고 생각된다.

한편 케이스 1에서는 비교적 길고 좁은 탕도를 지니고 있어 압탕의 효과가 거의 없기 때문에 수축결함이 더욱 클것이라고 생각되었으나, EPC특유의 지향성 응고와 함께 감압으로 인한 주형의 견고성, 그리고 긴 탕도내 용탕의 선응고로 인해 응고 팽창시 주입구 방향으로 미응고된 용탕의 밀려남이 방지됨으로 인해 수축

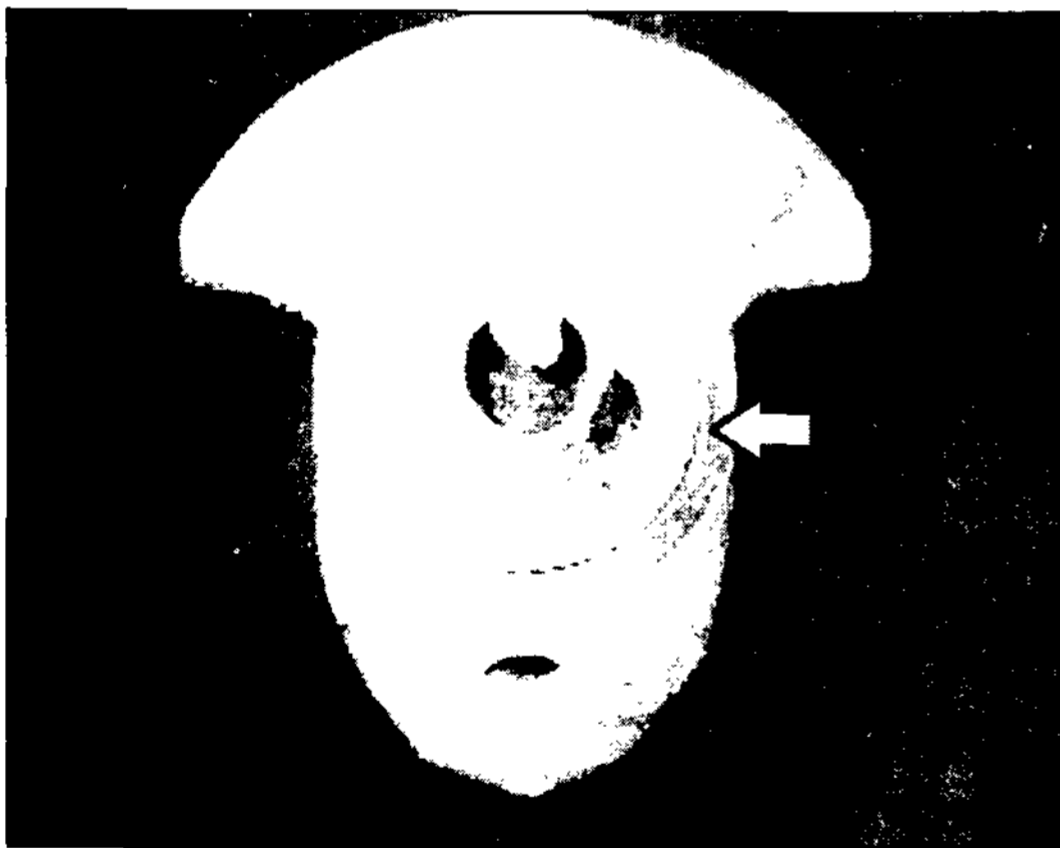


그림 11. CASE 2-1 주조방안에서 중앙저널부의 수축결함.

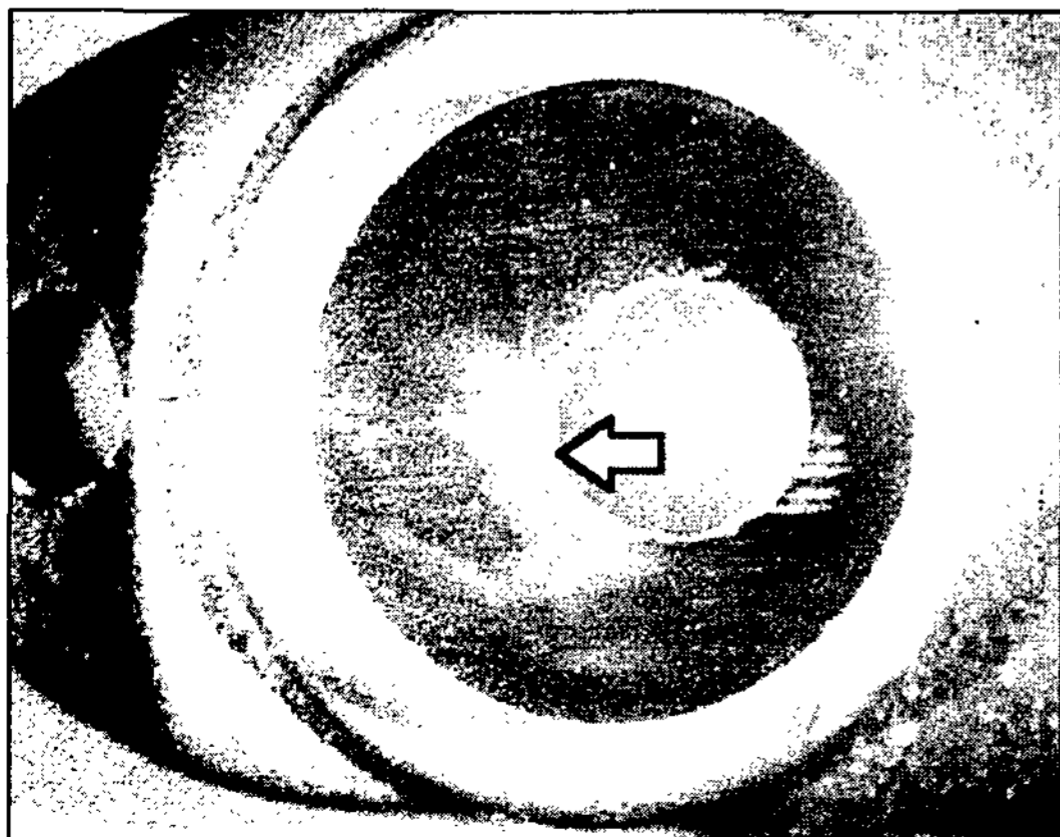


그림 12. CASE2-2 주조방안에서 중앙저널부의 수축결함.

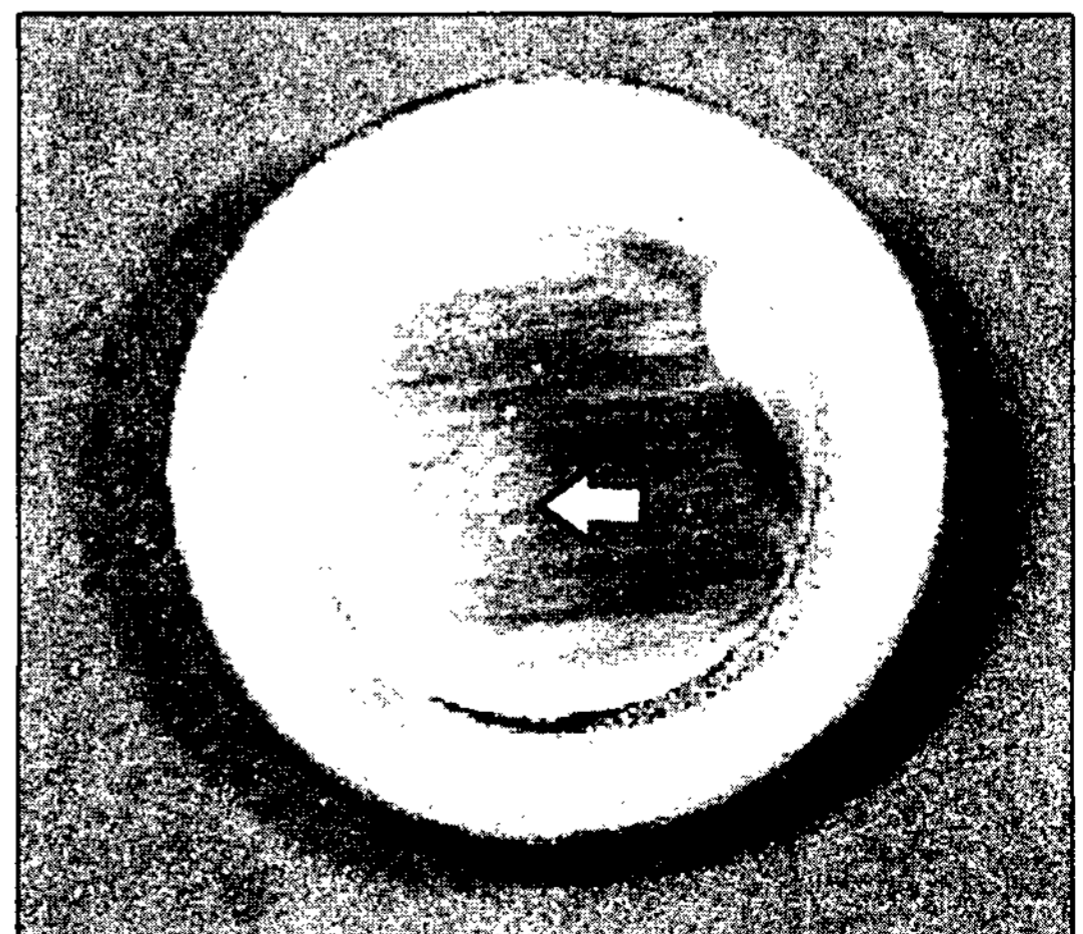
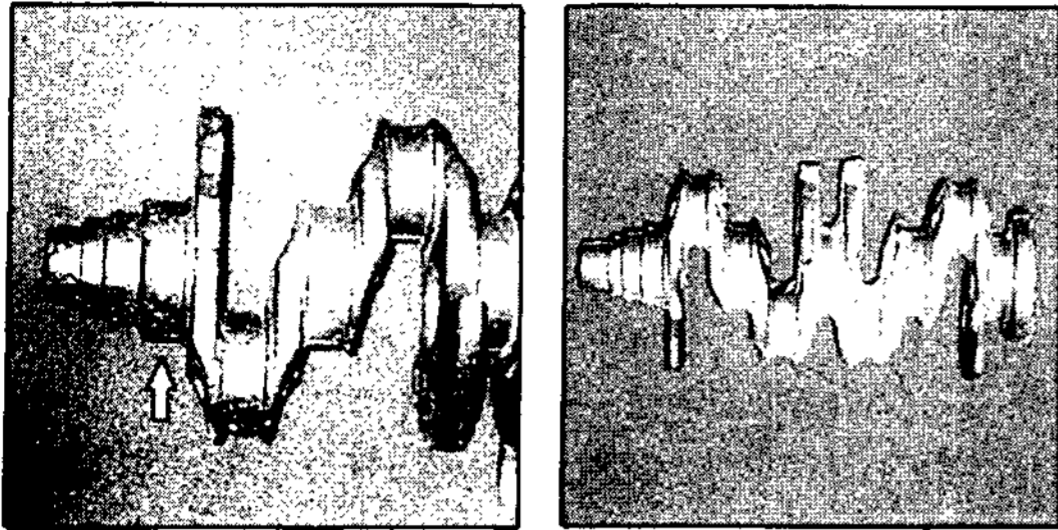


그림 13. CASE3 주조방안에서 플라이휠편 저널부위 수축결함.



(a) (b)

그림 14. CASE2 주조방안에서의 (a) 탕주름 불량과 (b) 소착불량.

시 용탕재보급의 필요가 없어지는 등 복합적인 원인에 의해 수축결함은 발생하지 않은 것으로 생각된다.

2) 탕주름 및 소착결함의 제어

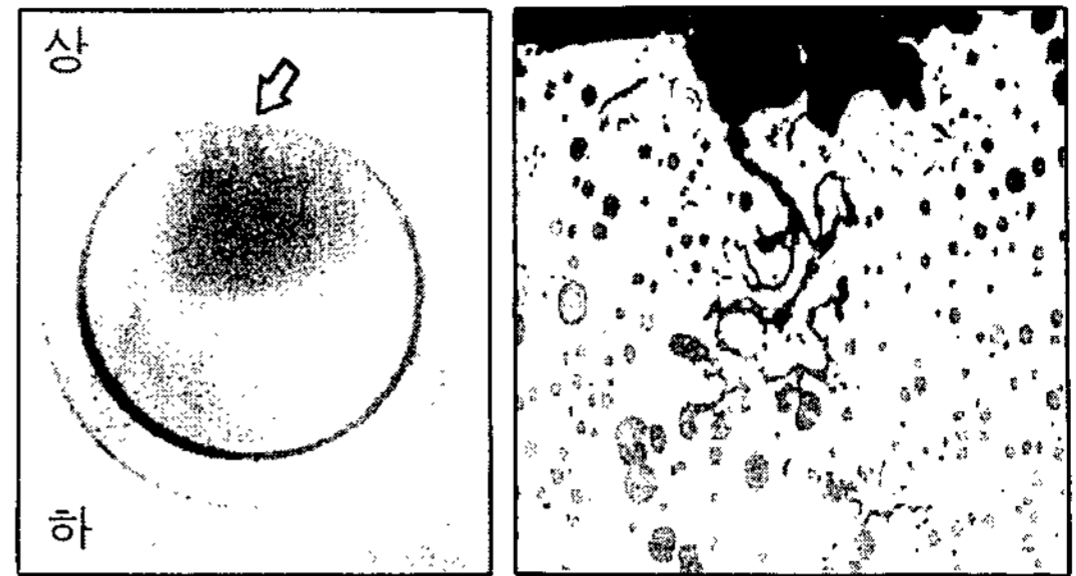
탕주름 및 소착결함은 각각 반대적인 경향을 띄어 주입온도가 높고 도형재의 baume농도가 낮을수록 탕주름은 감소하였지만, 소착은 증가하고 그반대의 경우는 탕주름이 감소하고 소착은 증가하였다. 중공크랭크축의 경우 일반적으로 소착과 탕주름은 한 주물내 동시에 발생하였으며, 그림 14에서와 같이 소착은 게이트부근에서, 탕주름은 모형내 용탕의 최종충진부에서 많이 발생하였다.

따라서 소착과 탕주름을 동시에 제어할 수 있는 주입조건을 구하는 것이 중요하며, 케이스 3인 경우는 용탕의 주물내 용탕의 유입경로가 너무 길어, 최적의 조건을 찾을 수가 없었다. 반면에 케이스 1과 2는 어느정도 제어할 수 있었으나, 케이스 2의 경우 탕주름 발생부가 풀리(Pully)부나 플라이휠(Fly Wheel)부같이 고도의 표면정도를 요하는 위치이기 때문에 적합하지 않았다. 반면에 케이스 1의 경우, 최종충진부가 표면정도를 요하지 않는 중앙부 웨이트밸런스 부근이었으며, 각 다른 게이트를 통해 유입된 용탕이 서로 만나는 곳이 중앙 저널부에서는 케이스 2와 3과는 달리 상충되는 두 용탕이 주형으로의 열손실을 상쇄시켜 줌으로써, 같은 조건임에도 불구하고 탕주름이 발생하지 않았다.

3) 개재물의 제어

케이스 1으로 주조된 중공크랭크축 소재내부를 관찰한 결과 그림 15에서와 같이 주물의 상부쪽으로 개재물이 편재되어 관찰되었다.

이는 게이트 근처 저널부 및 편부에 관찰되었으나, 게이트에서 멀어질수록 관찰은 되지 않았다. 관찰된



저널부 단면관찰부의 개재물  
개재물의 현미경 사진(×100)

그림 15. 중공크랭크축 소재내부 개재물 관찰사진.

개재물을 EPMA를 통하여 분석한 결과 그림 16처럼 Mg성분을 포함한 산화물로 되어 있어, 발생한 개재물은 내부 모형분해물질에 의해 야기된 것이 아니라, 래들에서 용탕의 구상화 처리시 발생한 드로스가 유입된 것으로 추정된다. 그러나, EPC특성상 탕구방안에



개재물의 SEM분석사진

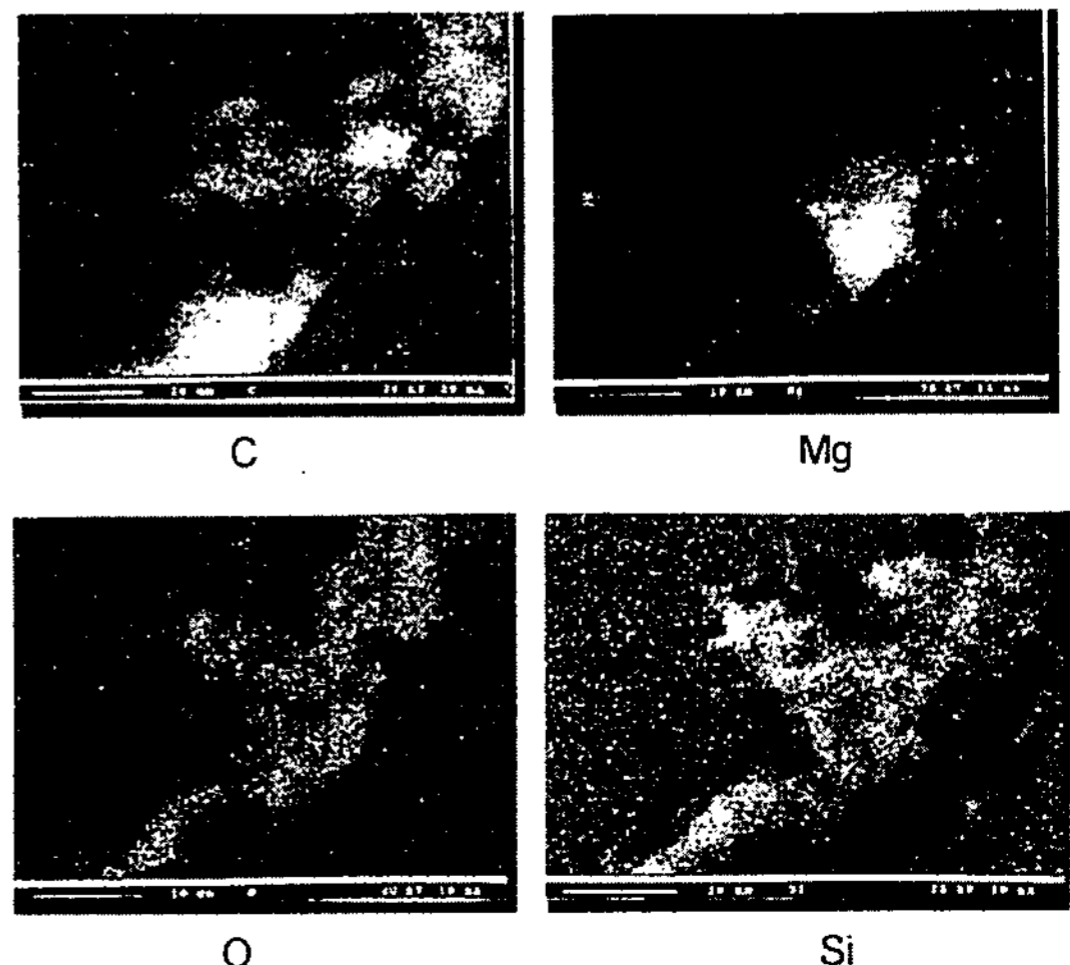


그림 16. 중공크랭크축 소재내부 개재물에 대한 PMMA 분석사진.

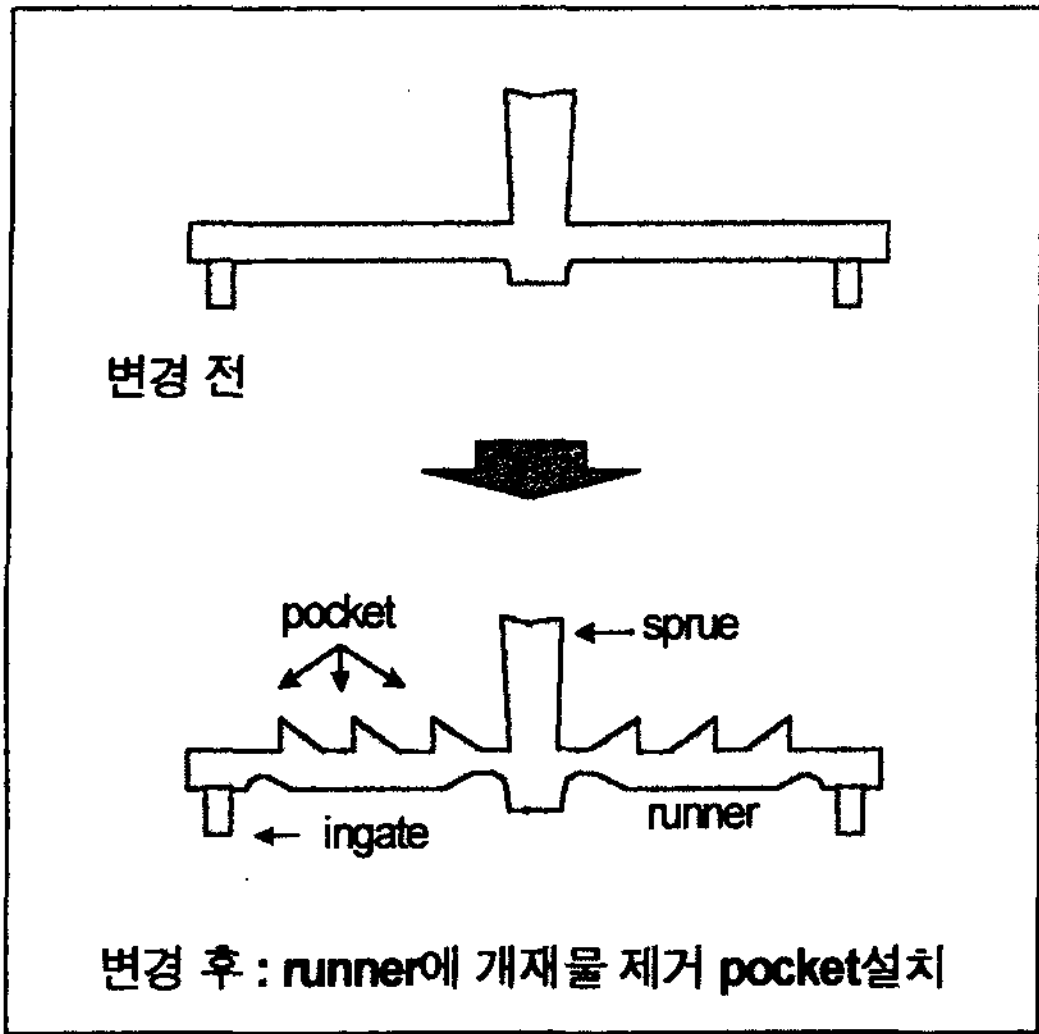


그림 17. 개재물 유입제어를 위한 탕도현상 변경 개략도.

필터를 설치하는 것은 불가능하므로 기본적으로 용탕 청정도를 유지하는 한편, 탕도의 형상변경을 통하여 제품내 개재물의 유입방지를 시도하였다. 그림 17은 개재물의 제어를 위한 탕구계의 형상변경을 나타내고 있으며, 그림 18은 형상변경 후 탕도상부의 포켓부에서 개재물여과효과를 나타내고 있다. 일반적으로 레들내 부유하고 있는 드로스는 초기 용탕유입시 많이 분포하고 있으며, 또한 EPC공법에서 초기 유입된 용탕은 모형분해로 인해 발생한 가스배압으로 인해 유입속도가 상당히 지체된다. 이러한 이유로 유입된 개재물은 탕도에서 충분히 부상할 시간을 가지면서 탕

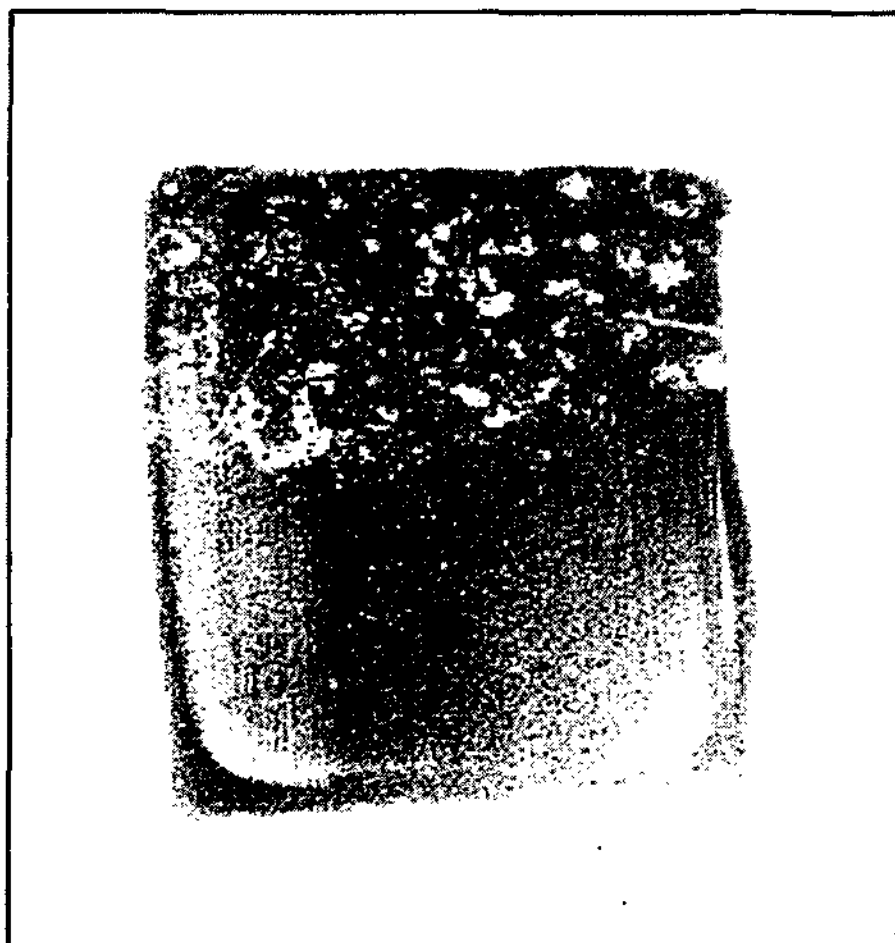
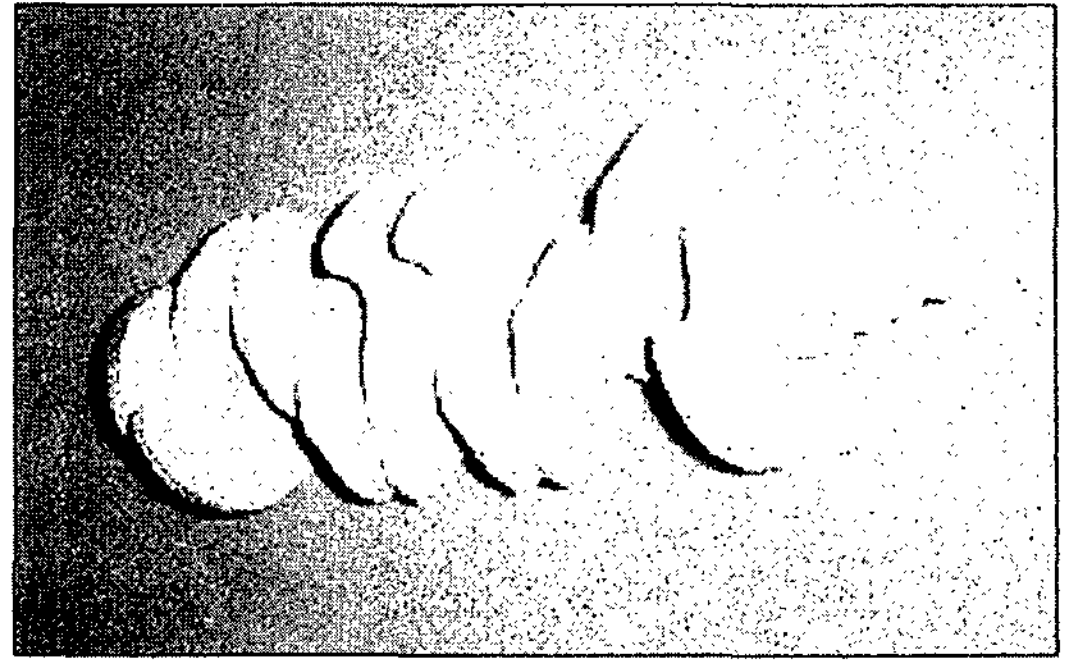
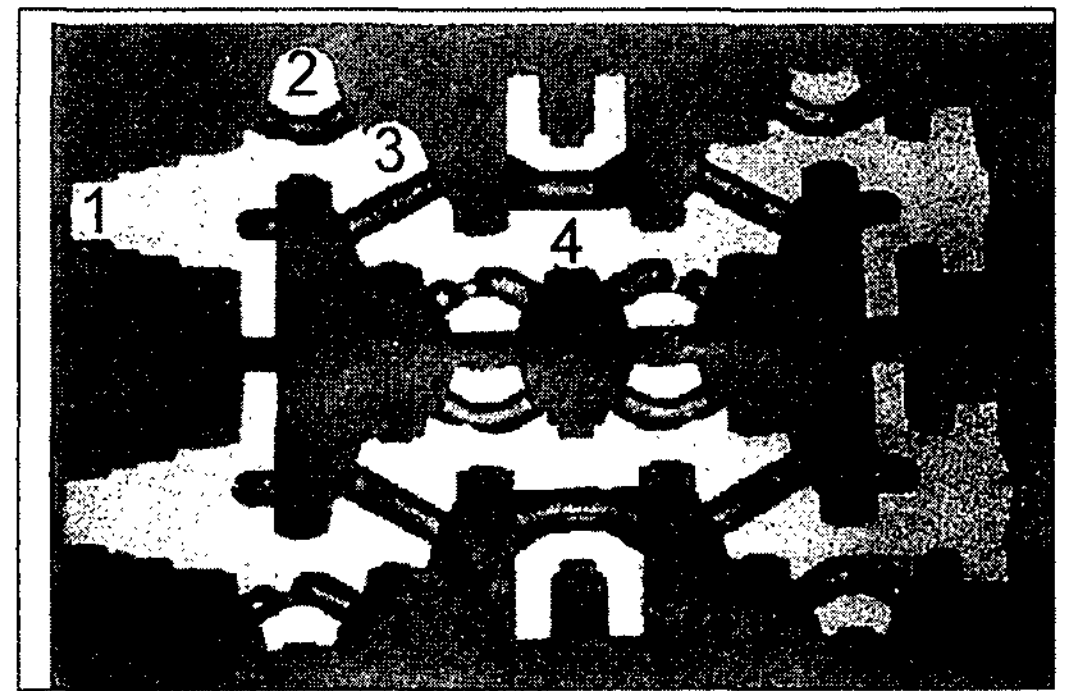


그림 18. 탕도 포켓부의 개재물사진.



EPC로 주조된 중공크랭크축 소재



중공크랭크축의 소재단면 사진

그림 19. EPC로 주조된 중공크랭크축 소재와 내부단면.

도상부의 포켓내에 포획되어 결과적으로 청정한 용탕이 제품내 유입된다고 판단된다.

상기의 결과를 종합하면, 개재물제어가 효과적인 탕도상부에 포켓형상을 가진 케이스 1의 주조방안이 수축결함이 발생하지 않으면서도 탕주름 및 소착을 방지할수 있는 비교적 넓은 작업구간을 가지고 있는



그림 20. EPC로 주조된 중공크랭크축의 γ선 투과검사 결과.



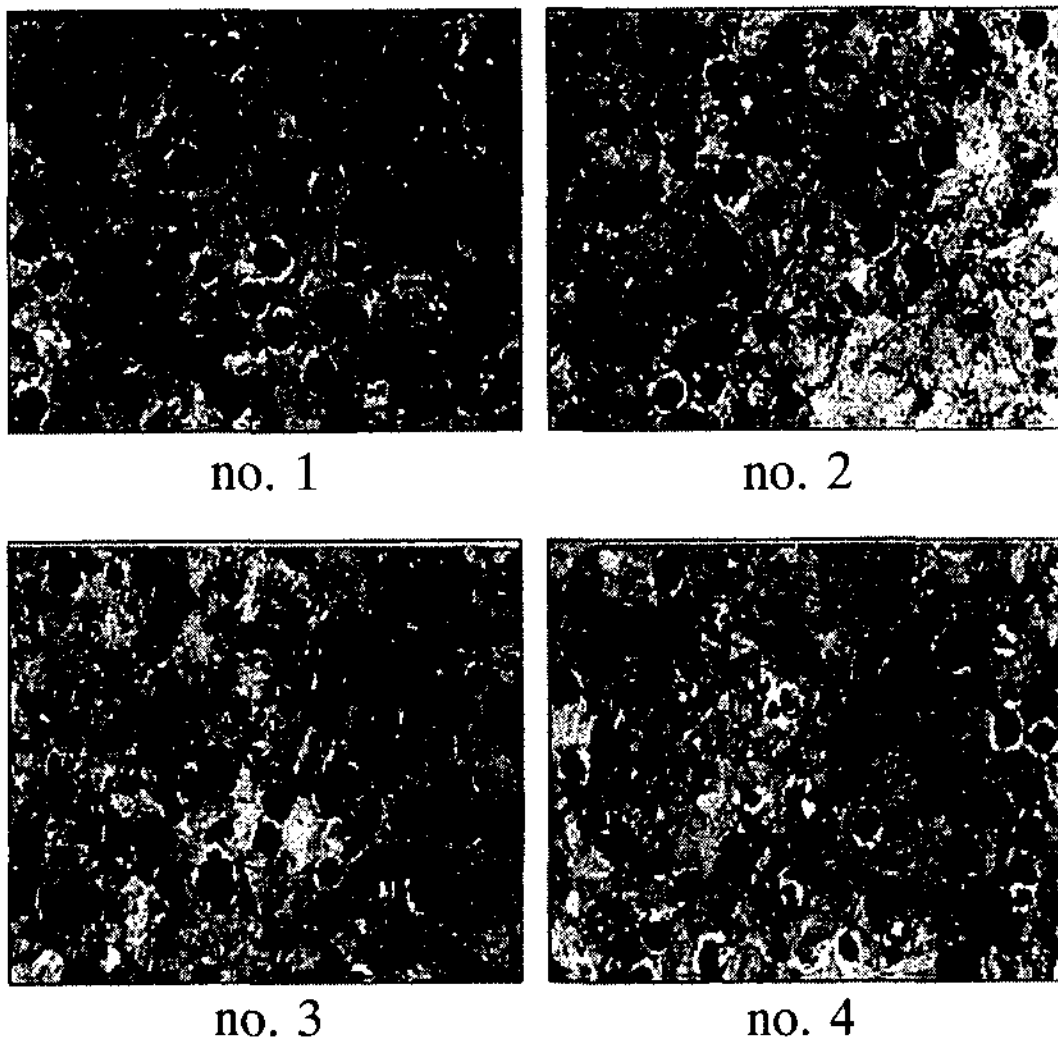


그림 21. 소재부위별 조직사진.

표 2. 소재위치별 경도값 및 조직상태

항목 위치	경도(kg/mm <sup>2</sup> )		구상화율 (%)	페라이트량 (%)
	HRB (100 kg)	Hv (30 kg)		
규격	99.5-105.2	241-291	≥80	≤20
no. 1	102.9	288.0	90	≤20
no. 2	103.1	279.0	90	≤5
no. 3	103.3	279.7	90	≤5
no. 4	102.6	277.7	85	≤5

최적의 주조방안임을 알 수 있었다.

### 3. 10 소재의 신뢰성 평가

EPC에 의해 최적조건으로 주조된 중공크랭크축 소재와 그 절단면을 그림 19에서 나타냈다. 그리고 이렇게 주조된 중공크랭크축 소재의 신뢰성을 확보하고자 다음과 같은 평가를 실시하였다. 우선 그림 20에서는 γ선투과 비파괴 검사결과를 나타내고 있는데, 소재내부는 수축 및 기타결함들이 관찰되지 않음을 확인할 수 있다. 또한 그림 19에서 표시된 위치별로 조직검사 및 경도검사를 실시하였으며, 소재의 조성원소를 분석하였다. 그 결과 표 2와 그림 21에서와 같이 제품의

위치에 관계없이 경도값 및 구상화율 등을 만족하고 있음을 알 수 있었으며, 그 조성도 규격치를 만족하고 있음을 알 수 있었다. 한편, EPC로 주조된 중공크랭크축의 인장강도측정에 있어서는 제품에서 시편 채취가 곤란하여, 달리 표준시편을 제작하여 실시하였으며, 그 결과 인장강도는 평균 66.04 kg/mm<sup>2</sup>을, 신율은 4.44%를 나타내어 규격치를 만족하였다.

## 4. 결 론

기존의 주조공법과 비교해서 생산성이 향상되고 환경 친화적인 EPC공법은 21C 주물 산업을 선도할 공법으로 대두되고 있다. 이미 선진국에서는 EPC 제조공법이 상당한 수준에 올라있으며 또한 설비업체도 지속적인 성장을 하고 있는 실정이다. 특히 자동차 산업에서는 고도의 주조기술을 요구하는 실린더블록, 실린더 헤드 및 서지탱크 일체형 인테이크 매니폴드 등에 적용 개발되었다. 국내에서도 근래에 접어들어 많은 주물제조업체가 EPC공법의 적용을 시도하고 있으며, 산업체 및 연구기관을 중심으로 활발한 연구가 진행중에 있다.

본 연구에서 개발한 중공 크랭크축은 GM에 이어서 독자적인 EPC 기술로 개발되었으며 중실 크랭크축에 비교해서 20%의 경량화를 이룩함과 동시에 기존의 쉘 공법에 의해 제조된 중실 크랭크축과 비교해서 그 품질이 떨어지지 않았다. 아울러 국내 주조산업에 있어 EPC공법의 확립을 위해서는, 지속적인 투자와 연구개발이 필수적이라고 요망된다.

## 참 고 문 헌

[1] J. Reichert : "Lost Form Application, the Profile of a Leader" Lost Foam Tecnology and Applications Conference Proceeding, Akron(Sep.11-13, 1995)  
 [2] C. Ravidran, B. Jue and J. Karpynczyk : "Pearmeability of Refractory Coatings in EPC Process", AFS Trans., (1993) 955-959.  
 [3] 최현진, 오영근, 이승춘, 이경환 : 주조, 17 (1997) 6, 569-576.