

現場技術

FMC法 적용사례

김정호\*

1. 개요

FMC(FULL MOLD CASTING)法이란 발포 polystyrene 모형을 사용하여 조형후, 주형으로부터 모형을 발형치 않은채, 용탕을 주입하여 주물을 제조하는 방법을 말한다.

합성수지 발포체를 주조용 모형의 재료로써 사용하는 방법은 1956년 미국의 슈로이어(H.F. Shroyer)에 의하여 발명되었으나 이것은 실제 주조에 응용하기에는 여러 곤란한 문제가 있어, 단순히 착상에 그치고 공업적으로 적용할 수 있는 기술을 확립하는 못하였다. 그후 서독 아헨대학교수로서 당시 발포폴리스티렌을 포함하는 각종단열재 제조회사 G+H社의 A.Wittmoser에 의하여 1962년에 처음으로 공업적으로 이용되어, 현재 서독, 미국, 일본등 유럽지역에서 응용되고 있다.

當社は 1977년 6월 5일 첫가동된 이후, 同그룹社인 현대자동차로부터 자동차금형(Press Die)주조를 FMC法으로 생산하여 달라는 요구를 받고, 그해 12월부터 개발시험에 착수하여 이듬해 6월부터 본 FM주조를 적용하여왔다.

- 그러나 1) 폴리스티렌 모형의 주입時 공기화 잔유물에 의한 주물표면결함  
 2) 도형제 박리 현상에 의한 표면결함  
 3) 주입時 다량의 매연발생 및  
 4) 조형時 모형의 변형에 의한 치수결함 등의 문제가 대두되어 품질면에서는 1982년 6월에 와서야 어느정도 정상제도에 도달하여 본격적인 FM생산을 해오고 있는 중이다.

여기서 그동안 당사가 경험한 대형주물(자동차금

형: 1~10톤/개)에 있어서의 FM주조법의 적용사례를 본誌를 통하여 간단히 소개하고자 한다.

표 1. 당사의 FM주물생산실적현황(수주처:현대자동차)

구분 \ 년도	'78	79	80	81	82
FM주조생산량 (톤/년)	150	360	500	600	920

구분 \ 년도	83	84	計
FM주조생산량 (톤/년)	1,670	2,600	6,800 (톤)

2. FMC法의 장점 및 적용가능성

2-1. 장 점

발포폴리스티렌(스치로폴)의 모형제작은 스키로폴 자체의 가공이 목재보다 쉽기 때문에, 목재모형을 만들 경우와 비교하면 상당한 공수절감을 할 수 있다. 공수절감율은 물론 주물형상에 따라 좌우되나 간단한 형상일 경우 모형공수는 낮 정도되며, 복잡한 주물에 있어 중자를 많이 사용하는 경우는 상당히 유리하여 모형제작공수의 1/2~1/3이 된다.

일반적으로 주물을 1개만 만들 경우에는 목형비는 아주 높은율을 차지하나, FMC法에 의하여 cost를 대폭 절감시킬수 있다.

※ 이 점

- 1) 복잡한 형상의 주물제작용이.
- 2) 모형재료비절감, 작업시간단축 및 작업성용이
- 3) 중자 및 합형이 不要하므로 조형공수 절감.
- 4) FIN無, 가공여유감소등에 의한 후처리 시간

절약 및 표면미려, 등으로 전작업공정이 단순화됨.

\* 현대엔진공업(주) 주조부장

2 - 2, FMC法의 적용가능성

- 1) 주물제작 수량이 적은 경우 (특히 주물수량이 1개일경우 가장유리)
- 2) 量産的인 주물 (小型物)에 있어서도 조형법에 따라 적용가능.
- 3) 短納期의 주물일 경우, 목형제작일수의 단축가능.
- 4) 종래목형의 일부분으로 스티로폴을 사용함으로써 중자사용을 생략할 수 있다.
- 5) 주철, 주강, 동합금, Al 합금의 주물에 적용가능.

3. 주조방안 참고사항

3 - 1. 모형재료

에폭시수지, 폴리우레탄, 페놀·레졸수지, 폴리스티렌등의 재료를 Base로한 泡플라스틱中 폴리스티렌이 최저의 Gas 발생能과 최소의 대기화잔유물 (분해후의) 및 높은 기화속도를 갖기 때문에 현재로서는 FULL MOLD에 가장 적합한 모형재료로 사용되고 있다.

시판되는 발포폴리스티렌은 Block형 또는 Plate상의 것이 있고, 量産되는 발포폴리스티렌의 체적질표 2. 폴리스티렌 발포배율과 비중의 관계

발포배율	5	10	20	30	40	50	60
비 중	0.2	0.1	0.05	0.03	0.025	0.02	0.018

표3. 폴리스티렌의 물리적성질 (소련, 서독, 동독)

체적질량	0.015 ~ 0.03 g/cm <sup>3</sup>	
강도	압축강도	0.9 ~ 2.5 kg/cm <sup>2</sup>
	인장강도	1.8 ~ 3.3 "
도	굴곡강도	1.2 ~ 3.5 "
충격치	0.1 ~ 1.0 kg.cm/cm <sup>2</sup>	
열전도율	0.025 ~ 0.027 (20°C) Kcal/m <sup>2</sup> .h.deg	
	0.038	(50°C)
	0.027	(0°C)
열안정성	70 ~ 80 °C	
수분함량	1%이하.	

량은 보통 0.025 ~ 0.040 g/cm<sup>3</sup>이며 주조용으로는 0.015 ~ 0.025 g/cm<sup>3</sup>의 체적질량을 갖는 것이 적합하다.

3 - 2. 주물사와 조형법의 선택

주물사와 조형법의 선택에 있어서는 모형재료의 낮은 강도와 외부하중에 의한 변형성을 유의하여야 하므로 Jolt, Squeeze, Sand-slinger 등에 의한 조형법은 Full Mold주조에 채용할 수 없다.

일반적으로 주물사는 200 ~ 500 범위의 높은 통기성, 양호한 可縮性과 珪礬과성과 함께 높은 강도를 가지며, 多回사용하여도 그 성질을 유지하여야 하는 것으로 주물사중에서는 自硬砂가 가장 많이 사용되고 있다.

- 1) 시멘트砂
- 2) 자경성물유리砂
- 3) 자경성 Furan 수지砂
- 4) 유동성 자경砂

3 - 3. 도형제 (소착방지피복제)

Full Mold法에서는 모형을 발형치 않고, 주입하는 관계로 大型에서는 모형표면에 소착방지피복제를 도포하여야 한다. 도형제는 주물의 소착방지 및 砂의 불균일한 충전에 의한 표면결함발생을 방지하는 것을 목적으로 사용하며, 다음의 제반사항을 만족시키는 것이어야 한다.

- 1) 통기율이 높은것
- 2) 모형面에 부착이 양호한것
- 3) 공기중에서 급속히 건조하여 自硬할 수 있는것.
- 4) 높은 강도를 갖는것.

3 - 4. 型内 모형위치의 선택

型内の 모형위치의 결정에 대한 기본조건은 가스조건세기에 관계하며 모형은 型内에서 용탕의 상승방향에 對한 횡단면의 주변과 同단면적의 비가 최소한으로 되도록 위치를 결정할때 가장 양호한 주물을 얻을 수 있다.

(가스조건세기=용탕침투초기의 단위면적당 발생가스량의 관계)

따라서, 주물의 작용면 (사용면)은 型의 下部 도

는 수직部에 배치할 필요가 있으며, 또한 모형의 배치에 있어 탕도계와 압탕의 설치를 당연히 고려하여야 한다.

3 - 5. 기 타

1) 탕도계의 설계時는 일반주조법과 동일하나 특히 각 요소에서의 Cavitation 발생방지를 충분히 고려하여야 한다.(주형 공극부內에서 발포폴리스티렌의 연소는 GAS 생성물의 발산을 증가시켜 카본블랙(불기화잔유물)의 발생을 조장시키기 때문에 바람직하지 못함)

2) 주입시간 결정 : 용탕의 상승속도는 주형의 GAS 조건, 용탕의 온도조건에 의하여 좌우되나 주철 주물의 경우, 1,320℃~1,380℃의 주입온도에서 발포폴리스티렌의 비중이 0.018~0.024 g/cm³ 일때 최적용탕상승속도는 3~5 cm/sec 이다.

$$t = \frac{H}{V} \begin{cases} t : \text{주입시간} \\ H : \text{주물환산높이} \\ V : \text{주형공극부에서의 용탕의 최적상승속도} \end{cases}$$

3) Ingate 면적 : 주입시간이 동일한 경우 FMC 法에서는 ingate의 면적이 보통 주조법에 비하여 2.1배정도 크게 한다.

(모형의 기화時 발생하는 GAS 압의 영향)

4) 주입은 하주방식을 채용하는 것이 좋으며, 발포폴리스티렌 모형은 제품부에만 사용하는 것이 좋다.(탕구부까지 제작하면 주탕時 용탕이 飛散, 비등하는 일이 있으므로 바람직하지 않음)

5) 주입온도도 제품의 良否에 영향을 크게 미치는 것으로, 회주철의 경우는 실험에 의하면, 1420~1430℃가 양호한 결과를 나타내는 것으로 발표된 적이 있으나, 현장조건(주물사, 조형법 및 제품크기 등 고려)에 맞추어 1350~1380℃범위內에서 결정하는 것이 좋다.

4. 當社 作業방법

4 - 1. 作業공정

ㄱ) pattern 입고

- 외관상태확인(표면상태, 접착상태)

- pattern 중량계근

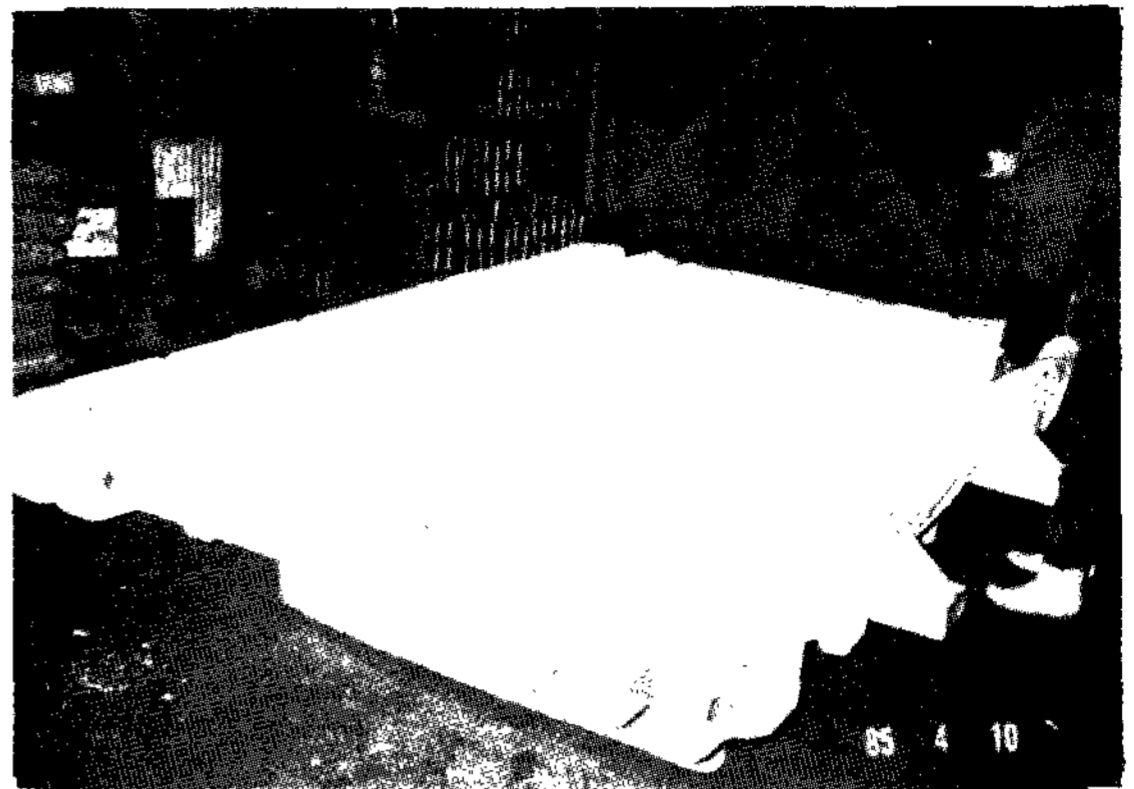


사진 1) 모형상태

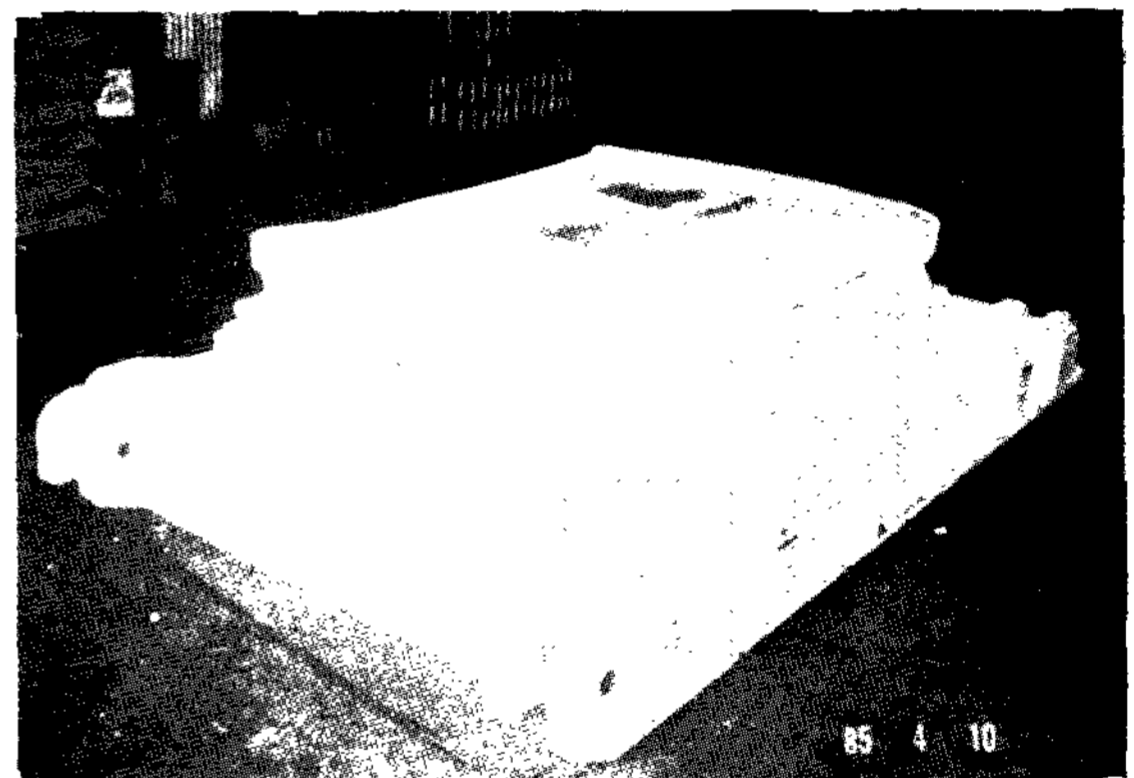
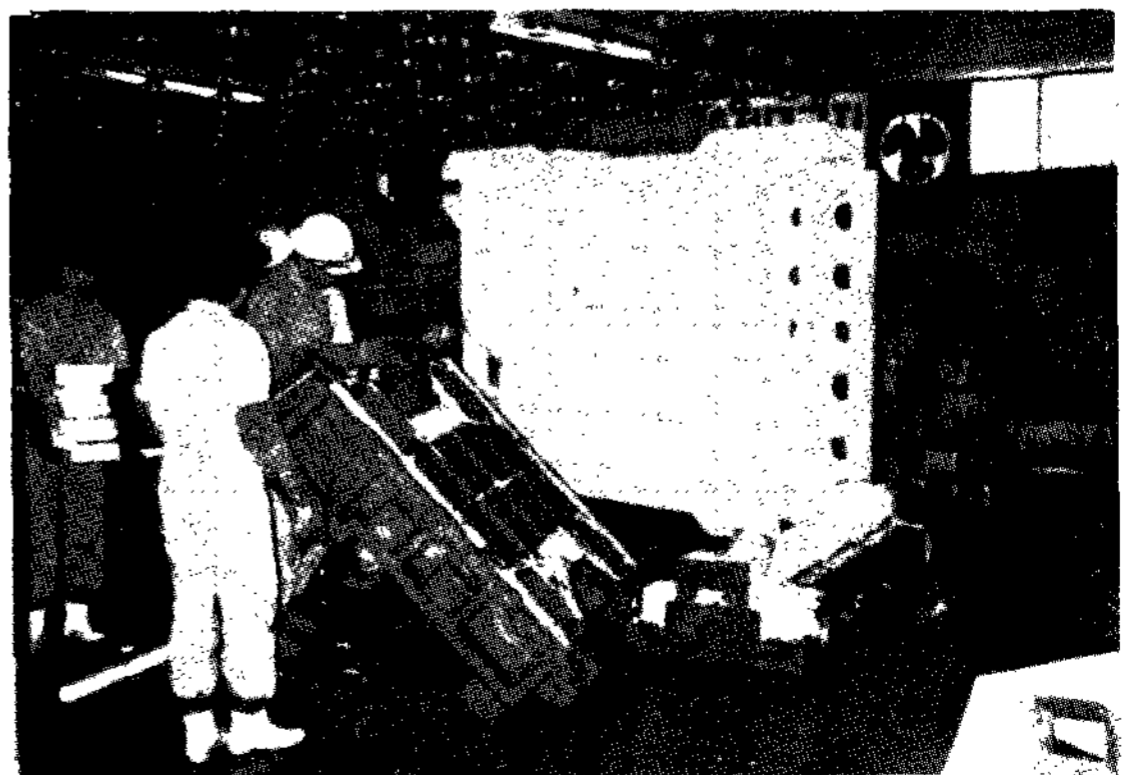


사진 2) ※ pattern은 현대자동차로부터 공급받음 (사용모형재료의 비중: 0.02 g/cm³ = 발포배율 50배)

2) 도 형

- 도형제 : 흑연 Base 알콜용성 도형제 사용 (日本수입품 : Kneadmix No.300F + Zirucomeit 2



호F) 사진 3) 도형작업광경



사진 4 ) 도형작업 광경

- 도형방법 : 붓으로 1~2회도포 (도형층두께 : 1.0~2.0 mm)

3) 건조

- 건조방법 : 인공건조 (적열구 사용) 또는 자연건조



사진 5 ) 건조실 광경 (적열구)

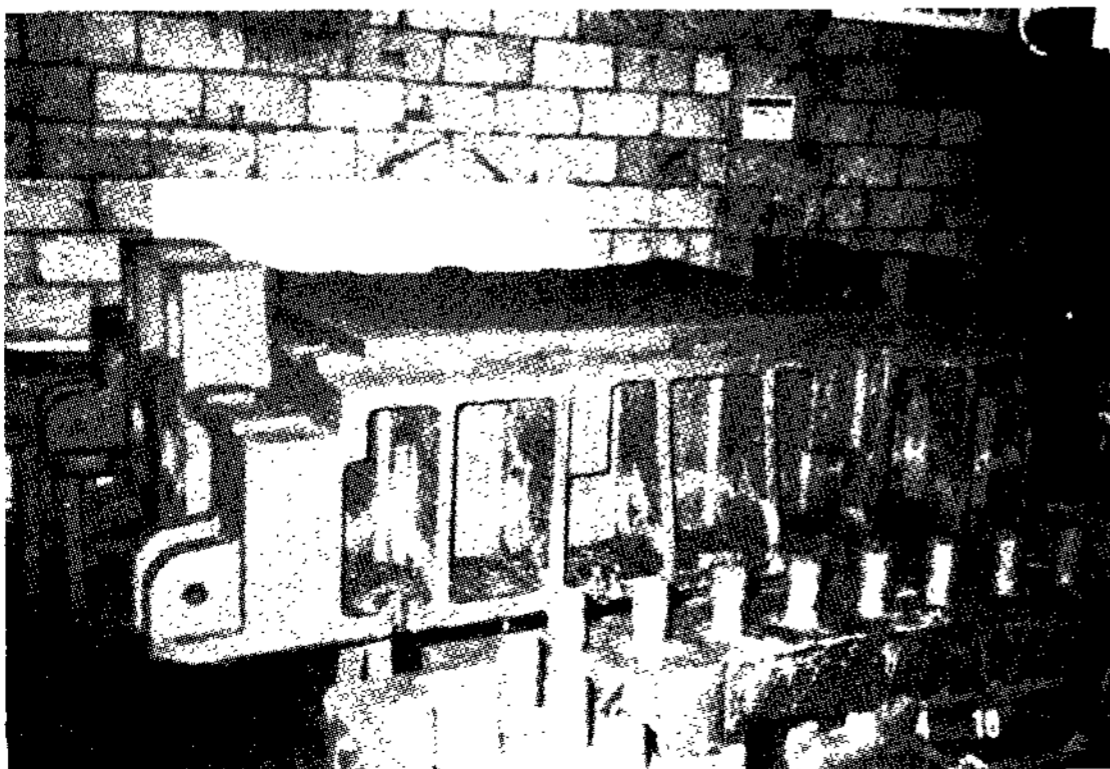


사진 6 ) 인공건조상태

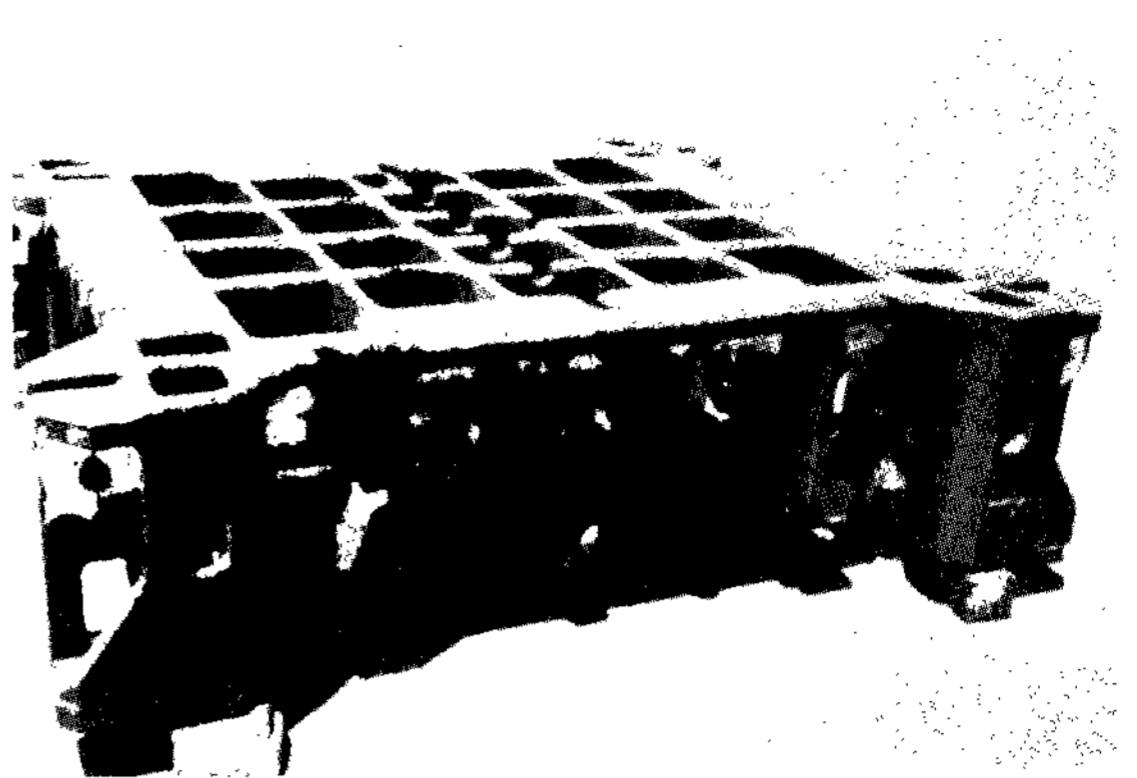


사진 7 ) 자연건조상태

4) 조형준비

- 모형변형 방지용 보강작업 : 스티로폼 사용하여 RIB間 보강.
- FLASK결정 및 모형배치 (S/M比 최소화)
- Ingate 설치

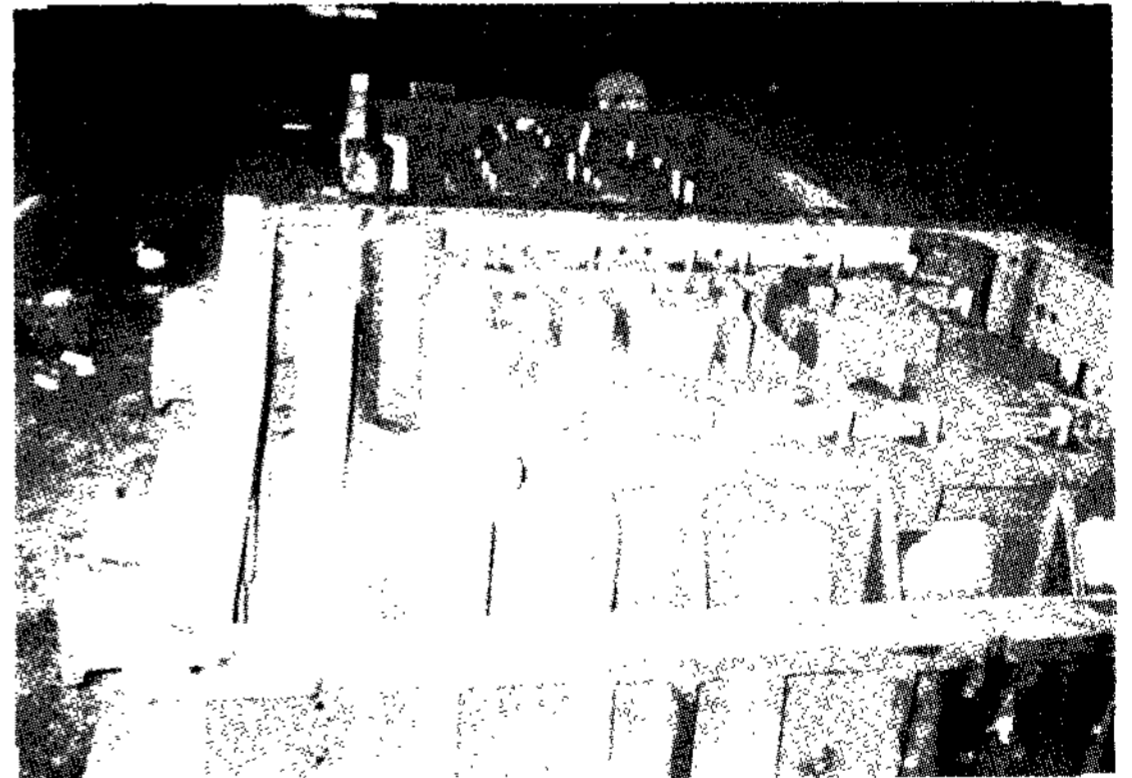


사진 8 ) 조형준비완료상태

5) 조 형

- 주물사 : 주문진규사 (AFS F.N: 35~45) ⇨ 新砂 10% + 재생사 90%
- 조형법 : 시멘트 process
- 조형방법 :
  - ① 모형표면에서 100 mm 정도는 손으로 잘다 진후, 단계적으로 주물사를 채워가며 Air rammer로 Ramming 한다.
  - ② core 部깊이가 150 mm 이상일 경우 심금 설치 (철근사용)



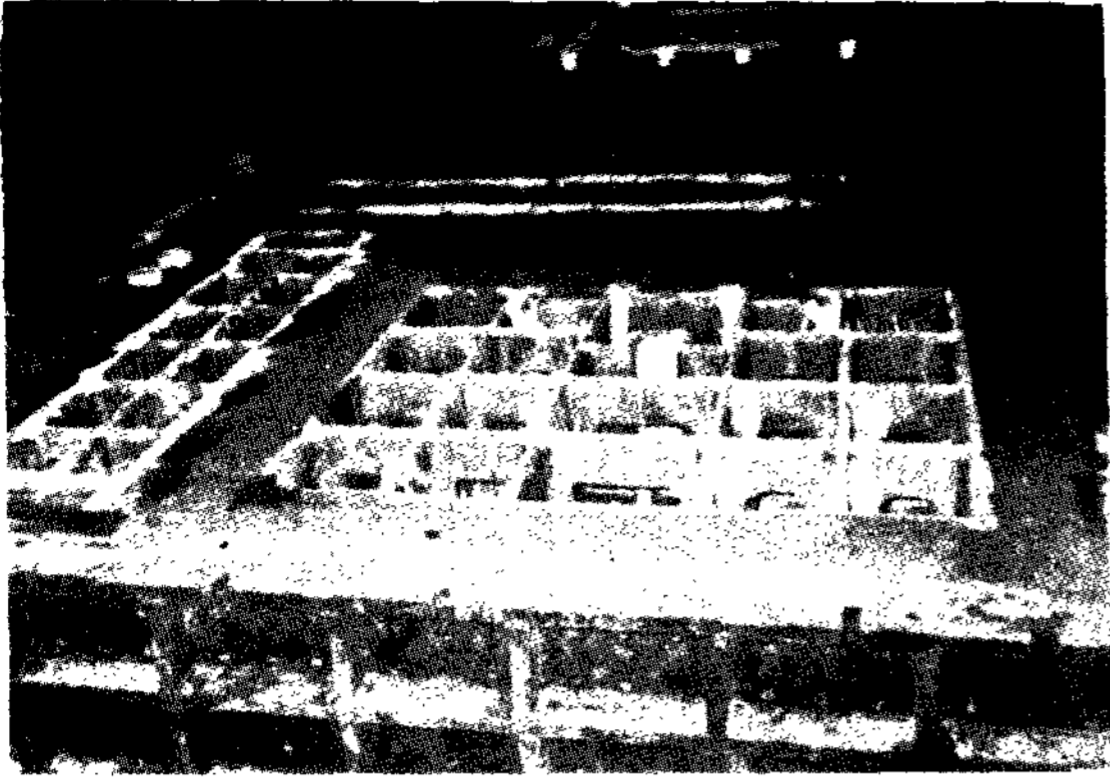


사진 9) 下型조형완료 (上型조형대기) 상태.

6) 주입준비

- Flask (上·下型) 볼트체결 및 weight 설치.

7) 주 입

- 주입온도 : 1350 ~ 1360 ℃ (大型일 경우 1,340 ℃), 일반회주철

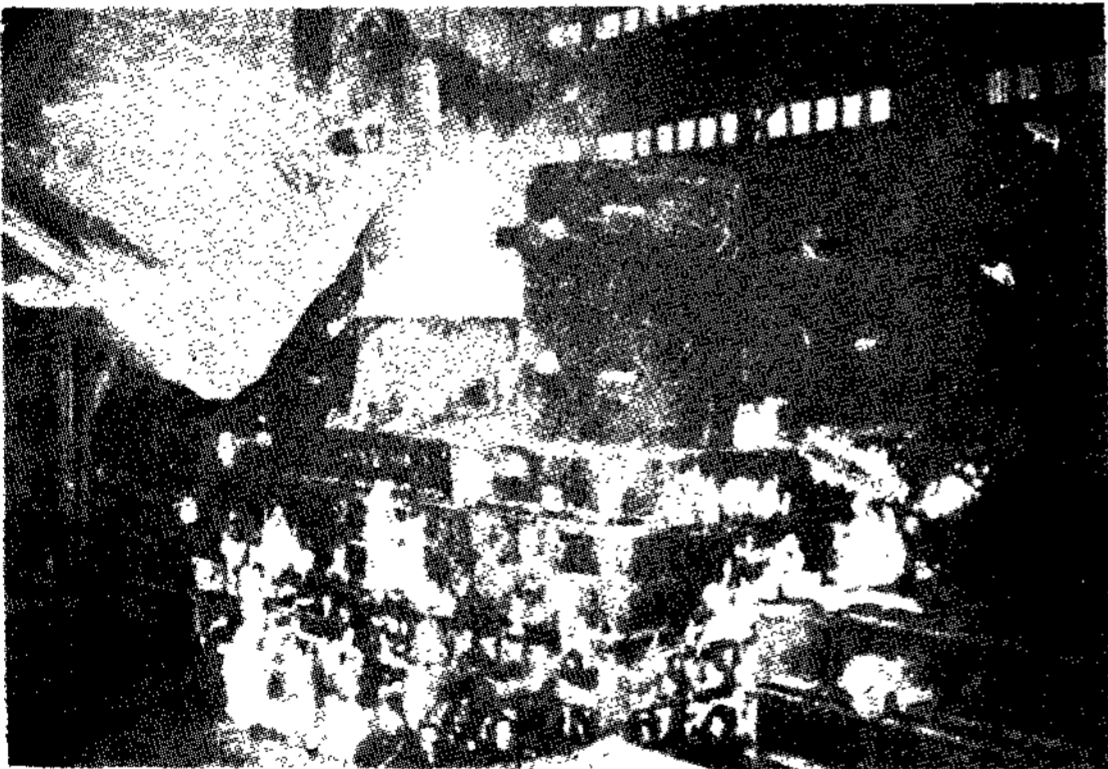


사진 10) 주입광경 (초기)



사진 11) 주입광경 (완료전)

8) 방치 : 2 ~ 3日間 자연방치.

9) 탈사 : 型해체후 쇼트작업

10) 정정 : 탕구, 탕도, 인게이트제거 및 그라인딩.

11) 검사 : 외관검사 (표면상태 및 형상)

12) 출하 : 중량계근.



사진 12) 型해체후 상태

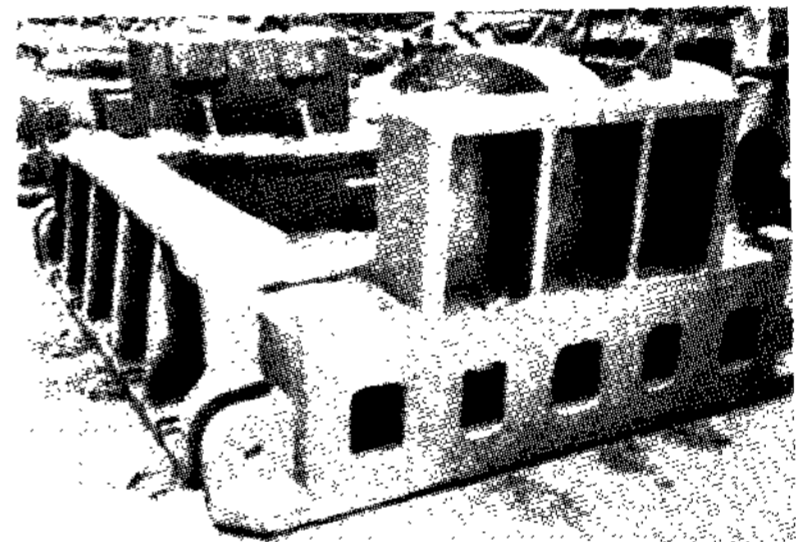


사진 13) 정정상태

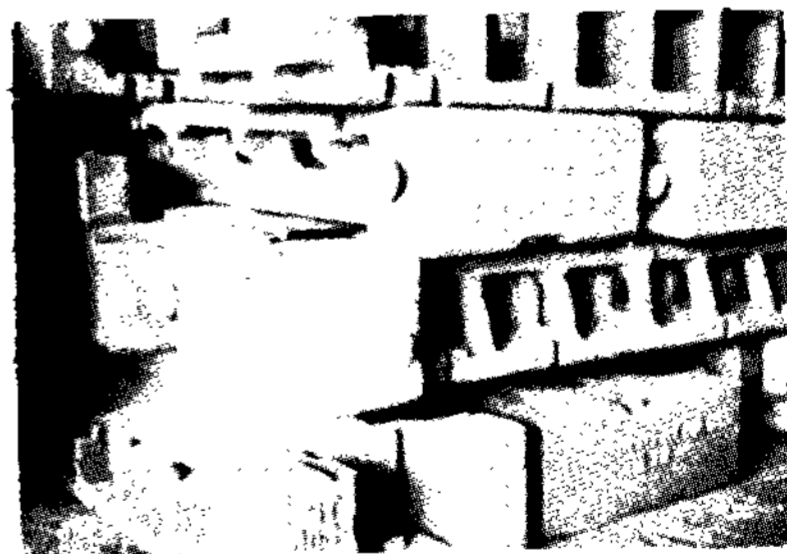


사진 14) 출하전 상태

5. 결 론

끝으로 FM 주조작업時 重要사항을 요약해보면,

- 1) 모형재료선정 : 비중 0.02
- 2) 모형의 도형계선정 및 도형층두께 결정 ( 1 ~ 2.0 mm )
- 3) 주물사와 조형법의 선택
- 4) 주입온도의 결정, 등을 들수 있으며, 당사에서는 아직도 해결해야 할 과제 ( 국부소착 및 불가화 전 유물에 의한 표면결함등 ) 가 남아있는 실정이다.