

現場技術

박용 大型 CYLINDER BLOCK의 생산

김정호\* 윤일현\*\* 김태홍\*\*\*
김인태 황인영\*\*\*\*

1. 서 론

대형선박 엔진부품 소재를 전문 생산하는 당사의 주조 공장에서는 종래 소재중량 30 ton의 제품을 생산한 경험은 있으나 소재 중량이 55 ton은 지금까지 경험한 바 없어 이와같이 대형 주물을 생산하기 위해 당 공장에서는 지난 6개월간 연구해 왔던 전반적인 생산과정 즉, 모형제작 방안, 주조방안, 용해방안, 작업공정, 품질관리를 포함한 최종결과를 기술하고자 한다.

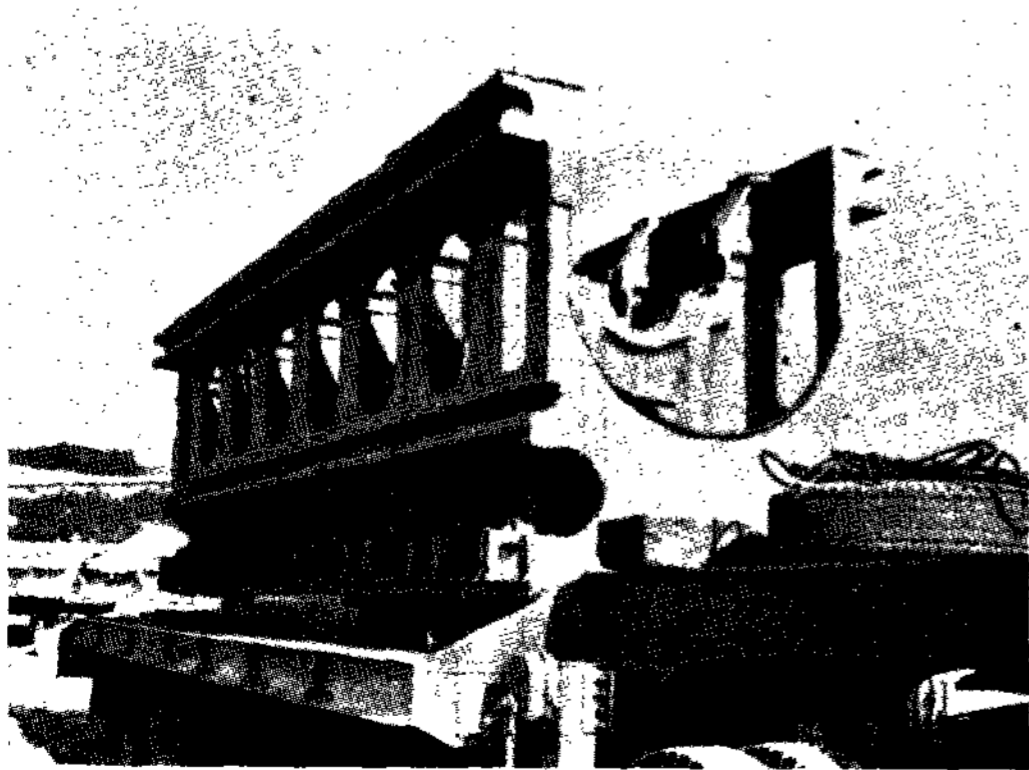
2. 제품의 특성 및 SPEC

2-1 제품의 특성

소재중량 55 ton 인 본 제품은 출력 rpm 428, 출력 8170 B.H.P 의 만기종 6 L 58/64 type (재질 DIN GG30) 박용 diesel engine block이다.

제품 제원은 폭 2,343 mm, 높이 2,608 mm, 전장 7,508 mm 소재중량 55톤. 주입중량 60톤으로 제품 두께 30%에서 가장 두꺼운 곳은 crank shaft B'RG 부위의 200%에 이른다.

제품의 외관을 사진 I에 나타낸다.



<사진 I>

\* 불현대엔진공업(주) 주조부장
\*\* " 주조부차장
\*\*\* " 주조부과장
\*\*\*\* " 주조부대리

2-2 재질의 규격

재질 규격은 'GG30-DIN.691' 로써 phi 30 별주 시편에서 인장강도 30 kg/mm2 이상이 요구되나, 제품에서 가장 중요 부위인 body, crank shaft bearing 내경면에 phi 45 시편을 부착하여 인장강도 24 kg/mm2 hardness 180 ~ 240HB가 되도록 규정하고 있다. Test bar 로써 기계적 성질을 시험하는 것 외에 몸체 현미경 사진을 촬영한 후 filing 하여 보관하고 stress relieving 처리를 하였다.

2-3 품질 요구조건

탈사 정정후 외관검사, junction 부위의 crack 발생여부, 필요시 penetration 검사를 행하며 C-cool'g water space 에는 7 bar 의 수압 시험을 실시하며 또한 각 block 의 crank shaft support bearing 부위에 부착된 7개의 시편으로부터 각종 기계적 성질 및 현미경 조직검사를 실시하였다.

3. 기본적인 생산 방안

제품의 특성등을 고려하여 crack, 도형제 혼입, 고립되어 chunky 를 이루고 있는 부분의 feeding 부족에 의한 porosity 발생, junction 부의 crack 등, 각종 주조결함을 방지하고 구매자의 요구에 부합되는 제품을 생산키 위해 다음과 같은 원칙하에 착수했다.

- 1) Cyl, head joint 부가 mould 의 하부로 가게 할것.
2) 주입은 3 단계로 한다. 즉 gating system 을 bottom gate, side gate, top 부 flange 부에 설치된 압탕을 통하여 주입하는 top gate 로 구분하여 단계적 주입을 행한다.
3) 압탕은 상부 flange 부에 gated in side riser 를 사용한다.
4) 제품 각 부분에 국부적으로 산재하는 chunky 부분에는 porosity 를 방지하고 조직의 균일

화를 도모하기 위해 각종 형태의 이형 metal chiller를 사용한다. 본 chiller위치 및 size는 그림 1에 그 일부를 보인다.

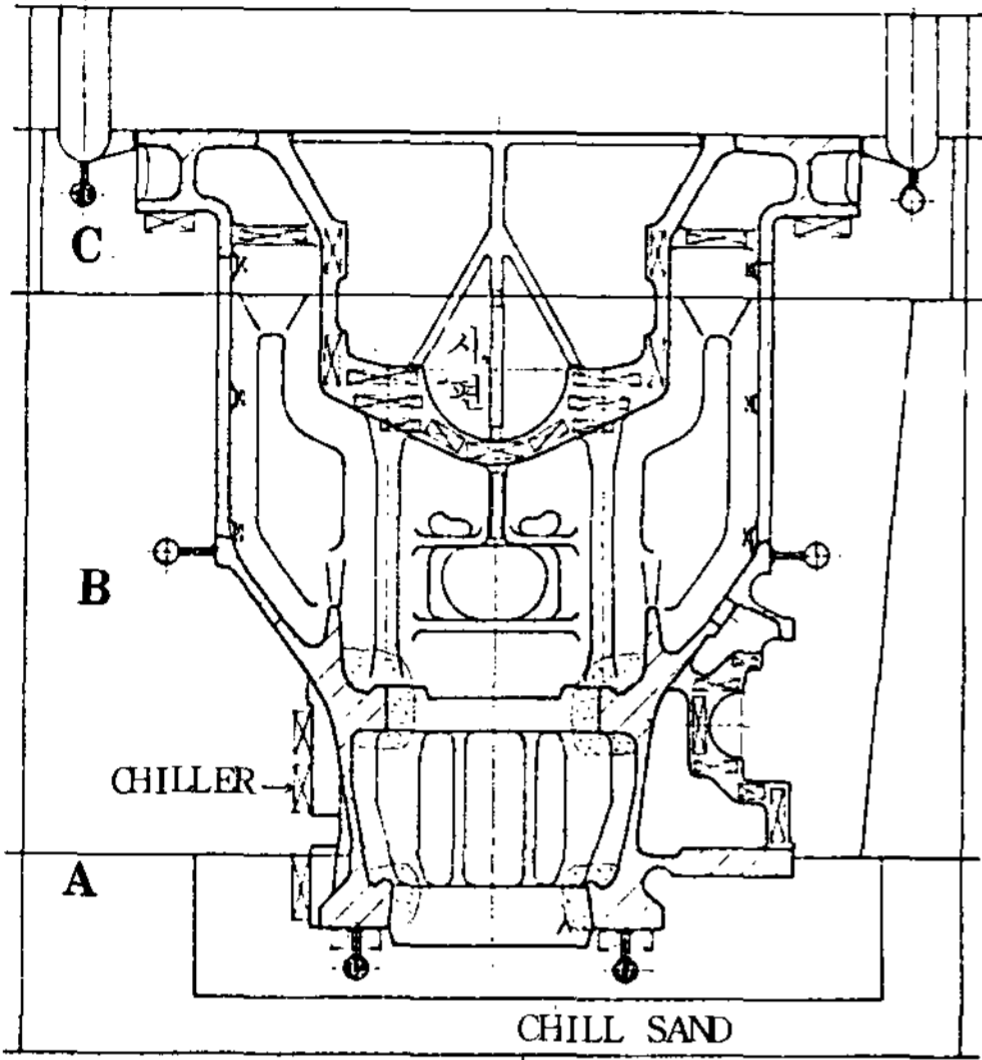


그림 1

5) Crank shaft support b'rg 부의 gas 배출 및 주입을 원활히 하기 위해 flow-off와 by pass gate를 설치한다.

#### 4. 모형

모형은 수치형, 금형등 여러가지를 생각할 수 있으나 제품의 size 제작 수량등 제품 특성을 고려하고 납기, 경제성등을 생각하여 목형으로 제작한다.

##### 4-1 목형 방안

목형은 그림 1에 나타낸 바와 같이 A level까지는 하형을 core 조립한 후 그 위에 B의 외형을 정치하여 조형하고 C부분은 외형도 중자 조립형으로 하였다.

##### 4-2 목형제작시의 고려사항

Core box 및 외형 목형 제작시의 고려사항은 다음과 같이 하였다.

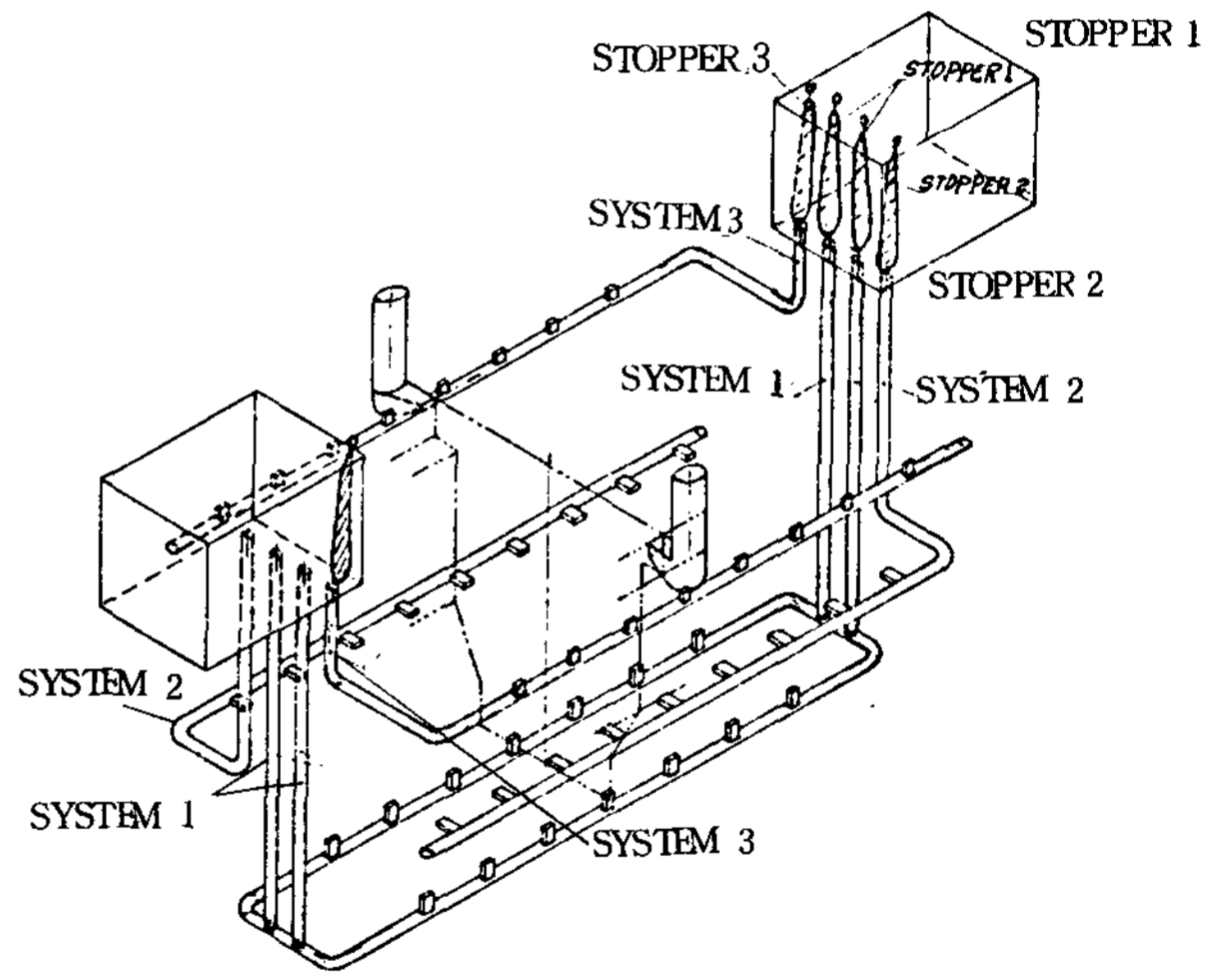
- 1) 중자 내부의 보강설치, 심금설치 관계, core의 다짐 용이성
- 2) 중자 조형중 설치해야될 chiller, 또는 chill sand vent 위치 표시
- 3) Box로부터의 core 발형 용이성을 고려 위와 같이 주안점을 두고 제작된 목형의 예를 사진 2에 나타낸다.



<사진 2>

#### 5. GATING SYSTEM의 설계

그림 2는 본 제품의 gating system을 모식적으로 표시한 것이다.



<그림 2>

Gating system은 system 1,2,3의 3단계의 탕도 및 각 탕도에 연결된 gate, 제품 양 끝에 위치한 8개의 sprue로 구성되었다. 탕도 및 gate, sprue는 용탕 주입시 탕도벽의 erosion 및 작업상의 면에서 모두 ceramic ture를 사용했다.

본 gating system은 구조상으로 다소 복잡한 점이 있으나 주형내에 용탕이 단계적으로 유입되며 비교적 정적인 상태로 주입되고, 각 단계에서의 주입되는 용탕의 온도가 비교적 균일한 잇점이 있다고 생각된다.

표 1 중자 no 및 조형방법

core	no	수량	주물사종류	냉금 chill sand	심금종류 크기	비 고
1-	A	2	cement	냉 금	철 근	중자 조형시 주입구 runner 설치
	B	1	"	"	"	
	C	1	"	"	"	
2-	A	6	fulan	chill sand	φ 500 pipe	
3-	A	5	fulan	냉 금	철 근	중자 조형시 주입구 runner 설치
	B	1	"	"	"	
	C	1	"	"	"	
	D	1	"	"	"	
	E	1	"	"	"	
4-	A	2	cement	"	철 근	"
	B	1	"	"	"	
	C	1	"	"	"	
5-	A	6	fulan	냉금 chill sand	심금사용치 말것	내부 hollow 상태 쿠속제 cokes 사용
	B	1	"	냉 금		
	C	1	"	"		
6-	A	3	fulan	냉 금	철 근	
	B	1	"	"	"	
	C	1	"	"	"	
7-	A	3	fulan	냉 금	철 근	
	B	1	"	"	"	
	C	1	"	"	"	
8-	A	6	cement	냉 금	철 근	
	B	1	"	"	"	
	C	1	"	"	"	
9-	A	1	cement		철 근	
	B	1	"		"	
10-	A	1	fulan		철 근	
	B	1	"		"	
11-	A	1	cement		철 근	
	B	1	"		"	



<사진 8>

즉 중자의 정 중앙부는 hollow 상태로 하고 그 주위에 쿠속제, 덩어리砂 등의 back sand 와 cokes 등을 넣고 fulan 砂로써 조형했다.

사용한 주물사의 배합조건 및 성질은 다음과 같다.

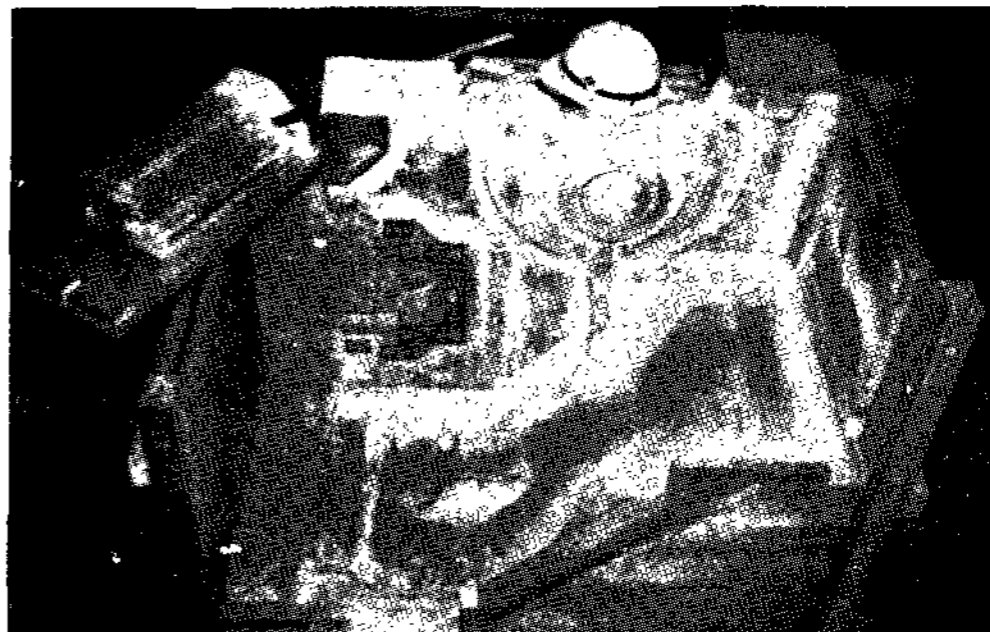
### 6. RISERING

압탕은 상부 flange 부위에  $\phi 210$ 의 side riser 를 총 16 개 설치하고 gate 를 riser 에 연결 함으로써 riser 의 급탕 효율의 상승을 도모했다.

### 7. DENSENING

Top 부위의 압탕에서 급탕할 수 없는 chunky 부분, bearing 부위 및 cyl head joint 부위는 metal chiller 를 사용 내부의 porosity 방지와 조직의 균일화를 꾀했다.

본 제품에는 형태, size 면에서 28 종 이상의 chiller metal 및 chill sand 를 사용하므로 사용중 혼선을 피하고 적소에 적정 size, 형태의 chiller 를 사용하기 용이하도록 목형제작시에 목형에 chiller 의 위치를 표시했으며 사용해야 될 size 는 chiller list 를 작성 no 로써 관리했다. 중자 box 의 예를 사진 3, 사진 4 및 사진 5에 나타낸다. 사진에서 보인 바와 같이 중자 no 및 chiller 위치 및 chiller no 를 나타내었다.



<사진 5>

### 8. 조 형

외형의 조형 및 합형의 모든 공정은 pit 에서 진행하였다. 당사에서 주로 사용하는 주물사는 외형측에 cement 砂, 중자측에 furan 砂를 사용한다.

본 제품에서는 외형측에도 중자형으로 조립되는 부분이 많으므로 사용상의 혼선을 피하기 위해 표1에 표시한 바와같이 list 로써 조형시 사용砂의 종류, 심금설치 방법등을 관리한다. <표1>

목형은 합형시 합형 순서대로 일련 no 를 box 의 외곽에 표시했다. #5 series 의 중자 box 는 그 형상으로 보아 제품 수축시의 crack 발생,

발생 gas 의 방출 문제등에 특히 유의하여 조형시 신중을 기했다. 사진 6, 사진 7 및 사진 8에 이를 나타낸다.



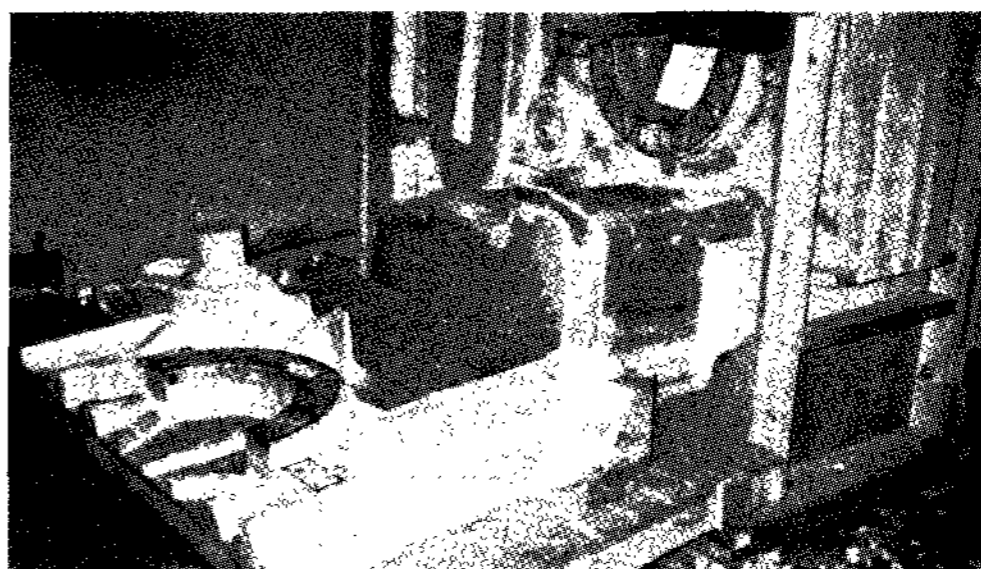
<사진 3>



<사진 6>



<사진 4>



<사진 7>

1. 중자砂

1-1) 규사 (新砂)

종 류	입 도 분 포							F.N
	30	40	50	70	100	140	PAN	
주문진 규 사	10.3	56.8	28.6	2.9	0.8	0.2	0.2	33.35

1-2) Binder 및 경화제

binder		경 화 제	
종 류	첨 가 량	종 류	첨 가 량
furan (FR-7502)	對砂 1.3%	(CA0904)	對 수지 35%

1-3) 강도

24시간후 압축강도 35 ~ 40 kg/cm<sup>2</sup>로 관리

2. 외형사

2-1) 규사 : 90% 재생사 + 10% 신사

F.N : 39.24 (~40)

2-2) Binder 및 첨가제

binder		첨 가 제	
종 류	첨 가 량	종 류	첨 가 량
portland cement	8%	당 면 물	4%

2-3) 강도

24시간후 20 ~ 25 kg/cm<sup>2</sup>로 관리

9. mold assembly

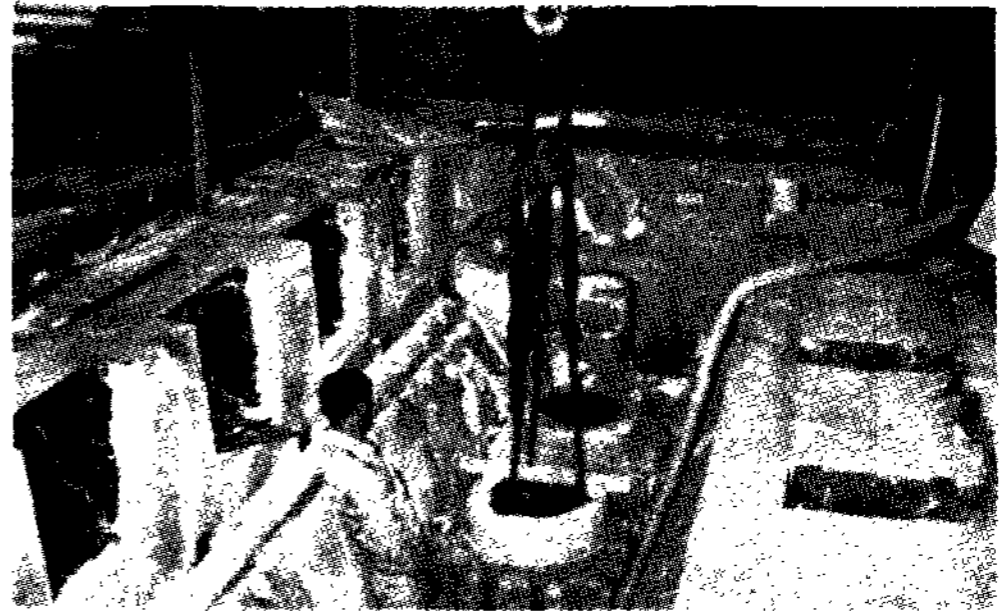
합형은 표1에 나타낸 바와 같이 일련 no 중자 순으로 합형했다. 중자의 운반 및 취급은 gentry crane 을 사용하였다. 사진 9에서 사진 15까지는 합형 과정의 예를 나타낸다.



사진 9



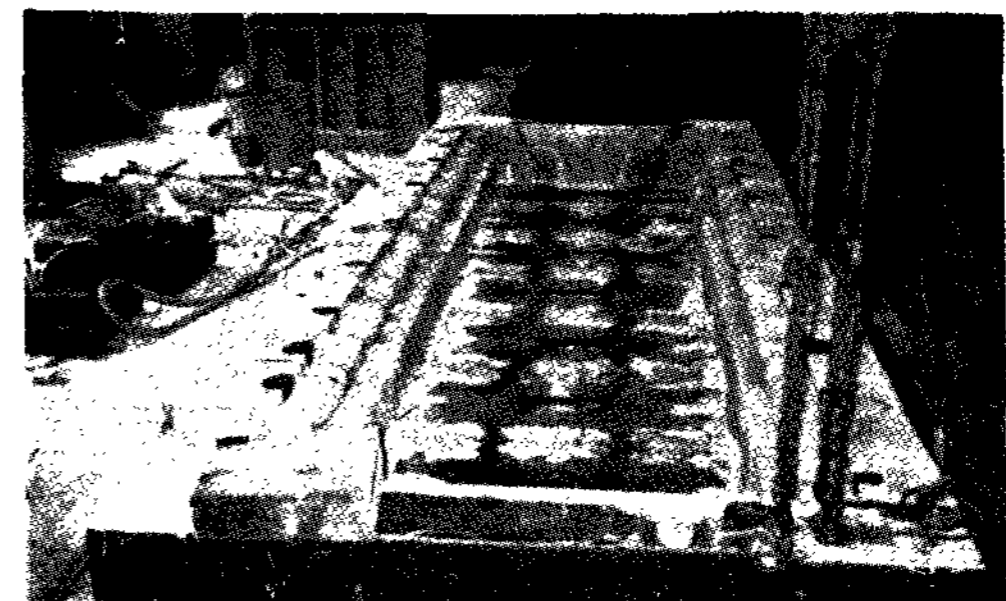
사진 10



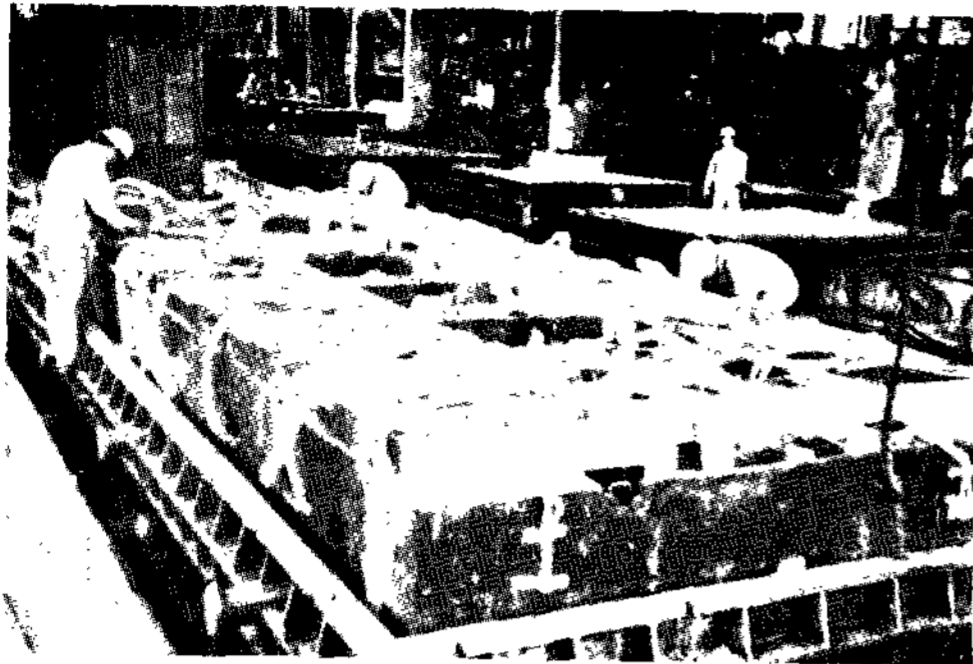
<사진 11>



<사진 12>



<사진 13>



<사진 14>

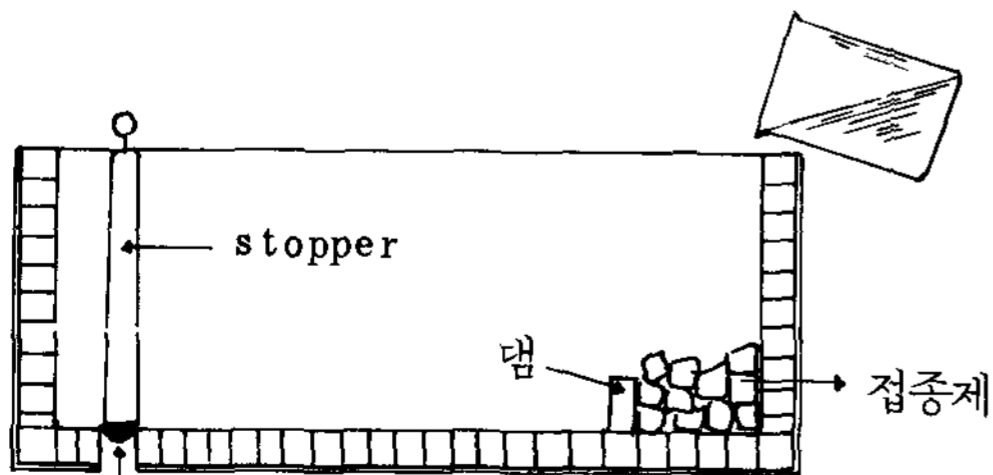


<사진 15>

중자 조립의 완료후에는 상형측의 flask를 설치하고, 주물사를 채움으로써 합형은 완료하였다.

다음 단계는 주입 준비단계로 pouring basin 설치한후 그림 2와 같은 상태로 각 pouring basin에 4개씩의 stopper를 설치했다. 여기서 사용된 pouring basin은 추가 접종을 위해 특수하게 설치한 것이었다, 즉 basin의 바닥에 dam을 설치하고 바닥에 접종제를 넣어 놓았다.

그림 3은 pouring basin형상의 모석을 보인다.



<그림 3>

주입전에 양끝 pouring basin의 1단계 sprue를 통해 potable dryer를 사용, 열풍온도 170℃를 유지하여 48시간 동안 건조를 실시했다. 그때의 주형온도는 60~70℃로 관리했다.

### 10. 용 해

#### 1. metal processing

##### 1) 용탕준비

예상 주입량이 60톤이므로 10톤 유도로 3주(주조), 30톤 유도로(프로펠라 공장) 1기를 사용하여 66톤의 용탕을 준비하였다.

##### 2) 장입재 및 사용비율

장입재	선 철 (POSCO 1종1호A)	construct- ional steel scrap	R.S (GG 25)	비 고
백분율 %	30	40	30	

##### 3) 목표화학 성분

	T.C	Si	Mn	P	S	Cu	비 고
백분율 %	3.15 ~3.20	1.50 ~1.60	0.80	<0.1	0.03 ~0.06	1.0	

가) Cu는 제품두께차로 인한 mass effect를 균질화 시키고 기계적 성질을 향상시키고저 1.0% 로중(爐中)에 첨가 시켰으며 용탕내 질소함유량은 100ppm으로 통제하였다.

나) 화학 성분은 엄격히 관리하여 목표 범위내에 들도록 하였다. 실제 분석된 화학성분은 표 2와 같다.

##### 4) 출탕온도

출탕온도는 1520℃로 정하였으나 첫 출탕후 주입 완료시까지 90분 이상이 소요되리라 예상하여 각 래들별 출탕온도를 달리 하였는데 그 내용은 표 2와 같았다.

표 2 래들별 출탕량 및 화학성분

용해도 구분	ladle 명칭	출탕량 (톤)	화 학 성 분 (%)							출탕온도 (°C)	출탕후 주입까지의 소요시간 (분)	비 고
			C	Si	Mn	P	S	Cu	N <sub>2</sub> (PPM)			
주조공장	20-1	18	3.20	1.49	0.81	0.04	0.026	1.05	115	1520	86	
프로펠라	20-2	18	3.20	1.51	0.81	0.04	0.018	1.18	95	1550	85	
주조공장	10-1	10	3.20	1.55	0.81	0.04	0.026	1.05	97	1510	46	
"	10-2	10	3.16	1.55	0.81	0.04	0.026	1.03	100	1500	44	
"	5-1	5	3.17	1.65	0.81	0.04	0.026	1.00	110	1480	37	
"	5-2	5	3.13	1.55	0.81	0.04	0.027	1.00	110	1480	33	

표 3 출탕별 chill value

ladle	Constitutional chill	Process chill	출탕후 chill 시편주입시간 (분)	출탕후주입까지 소요시간 (분)	비 고
20-2	-	4	8	85	상기 data 에서 20톤래들에 대한 fadding 현상은, 접종 후 시간 경과에 의하여 chillvalue 가 '10' 이상으로 측정되었다. 그러나 P/B내의 효과적인 접종 (칼바몰드 0.15%) 으로 인하여 주입직전 P/B내에서 측정된 chill value 가 '4~5'이므로 fadding 이 일어나지 않은 건전한 용탕을 주입하는 것과 같은 좋은 효과를 얻었다.
		7	30	85	
		10	-	85	
10-1	-	4	8	46	
10-2	-	5	8	44	
5-1	백 선	4	6	37	
5-2	"	5	6	33	
NO.1 P/B	-	4~5	86	-	
NO.2 P/B	-	4	85	-	

5) 접 종

출탕후 주입완료시까지 장시간이 소요되는데 이로 인한 inoculation fading 현상을 보상해 주기 위하여 출탕시 용탕의 흐름에 접종제 (칼바로이) 0.4%로써 1차접종, pouring basin 내에 Fe-Si 75% block( 칼바 몰드 ) 0.15%로써 2차 접종을 시킴으로써 double 접종을 행한다. chill value 는 표 3 과 같다.

6) Test bar

각 래들에서는  $\phi 30$  및  $\phi 50$  별주시편을 주입하

고 body, crank shaft bearing 내경면에  $\phi 45$ 시편을 부착하였다. 각 시편에 의한 기계적 성질 시험결과는 표 4 와 같다. 또한 몸체의 조직사진은 사진 16 및 사진 17 과 같다.

표 4 각 시편에 의한 기계적 성질

시 편	인장강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	경 도 (HB)	비 고
$\phi 30$ 별주시편	34.7	235	* 평균
$\phi 50$ "	30.6	229	수치입
$\phi 45$ 몸체시편	28.7	201	

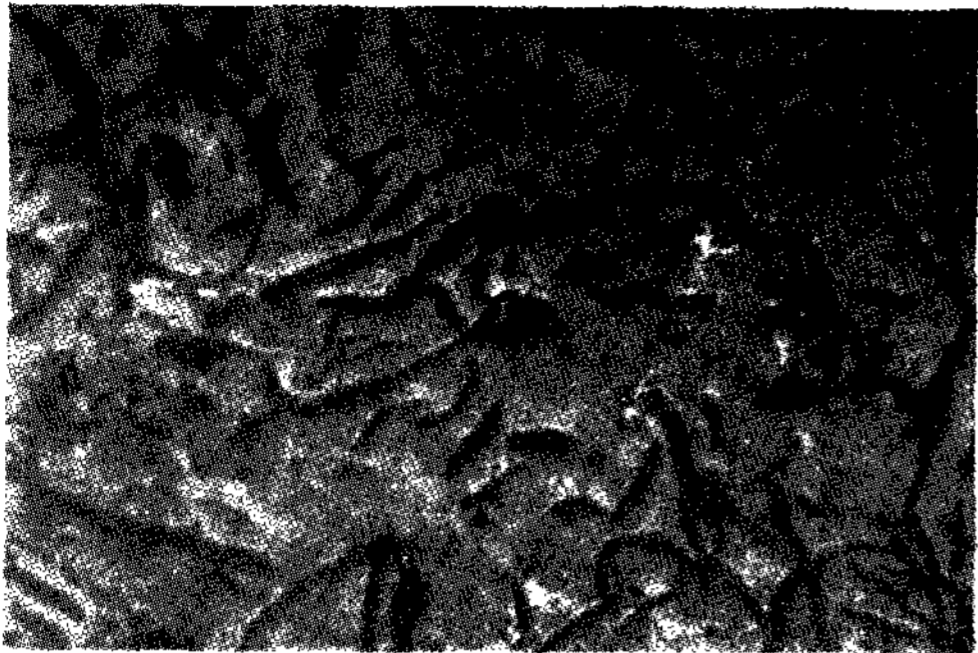


사진 16

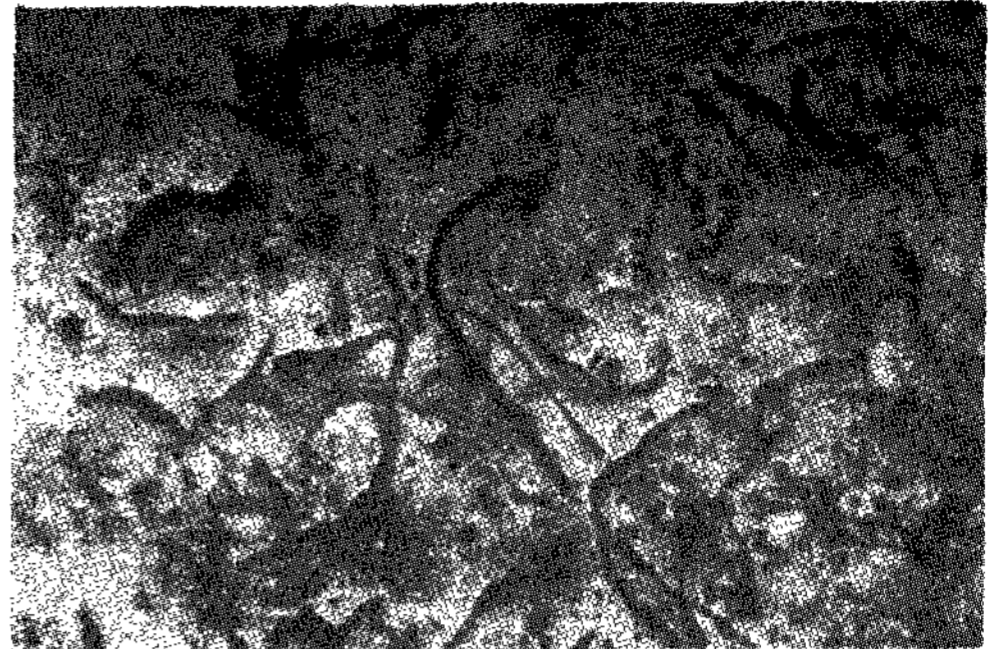


사진 17

표 5 MAN engine crank case 출탕계획

시 간	내 용	
11:15	F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , F <sub>3</sub> 각 11톤씩 용해 완료 F <sub>1</sub> , F <sub>3</sub> 에서 10-1, 10-2 래들에 각 9톤씩 출탕보 온	
14:18	F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , F <sub>3</sub> 각 11톤씩, PI 18톤 용해완료 F <sub>1</sub> , F <sub>3</sub> 에서 20-1 래들에 각 9톤씩 18톤 출탕 P <sub>1</sub> 에서 20-2 래들에 18톤 출탕 10-1 ← F <sub>1</sub> , 10-2 ← F <sub>2</sub> 에 올려서 승온	
14:58	승온 완료 F <sub>1</sub> , F <sub>3</sub> 에서 10-1, 10-2 래들에 각 5톤씩 출탕	
15:08	F <sub>2</sub> 에서 5-1, 5-2 래들에 각 5톤씩 출탕	
15:31	P/B에 각 18톤씩 (20-1, 20-2) 주입 " 각 5톤씩 (5-1, 5-2) 주입 stopper 센츨리에 연결 각 P/B에 10-1, 10-2 대기	
15:49	stopper off	
15:50 :30	주입 완료	

7) 사용 ladle

- 용량 20 ton ladle 2 대
- " 10 ton " 2 대
- " 5 ton " 2 대

8) 주입과정

Pouring basin은 25톤 용량 2개가 사용되었

는데 각각의 P/B에 먼저 25톤씩 주입후 (20톤래  
들: 18톤+5톤래들: 5톤), 20톤의 용탕 (10톤래  
들: 10톤2대) 이 각 P/B 옆에서 대기 하였다.스  
토펙 개방후 P/B내에 용탕이 끊임이 없이 계속 주  
입되도록 하였는데 세부사항은 표 5와 같다.



9) 주입온도

1340 C로 주입온도를 정하였으나 실제 pouring basin 내의 주입온도는 다음과 같았다.

NO. 1 P/B : 1331 C

NO. 2 P/B : 1321 C

over flow 된 용탕의 온도 : 1223 C

10) 주입 소요시간

o 제품내 주입 소요시간 : 90 초

o 첫 출탕후 주입 완료시까지 소요시간 - 92분 30초

11. pouring

본 제품의 수입 중량은 전술한 바와 같이 60,000 kg이다. 사진 18에 용탕의 대기상태를 나타낸다.



<사진 18>

그림 2의 양 pouring basin에 용탕을 가득히 주입한 후 system 1의 stopper (① stopper) 4개를 동시에 개방하여 주입을 시작하여 용탕이 system 2의 level에 이르면 system 2의 stopper (② stopper) 2개를 개방하고 다시 용탕이 system 3의 탕도 수준에 이르면 side riser 로의 3단계 stopper (#3) 2개를 개방하였다.

이때 각 level에 용탕이 도달하는 시점을 알기 위해 lamp 및 bell을 사용하였다.

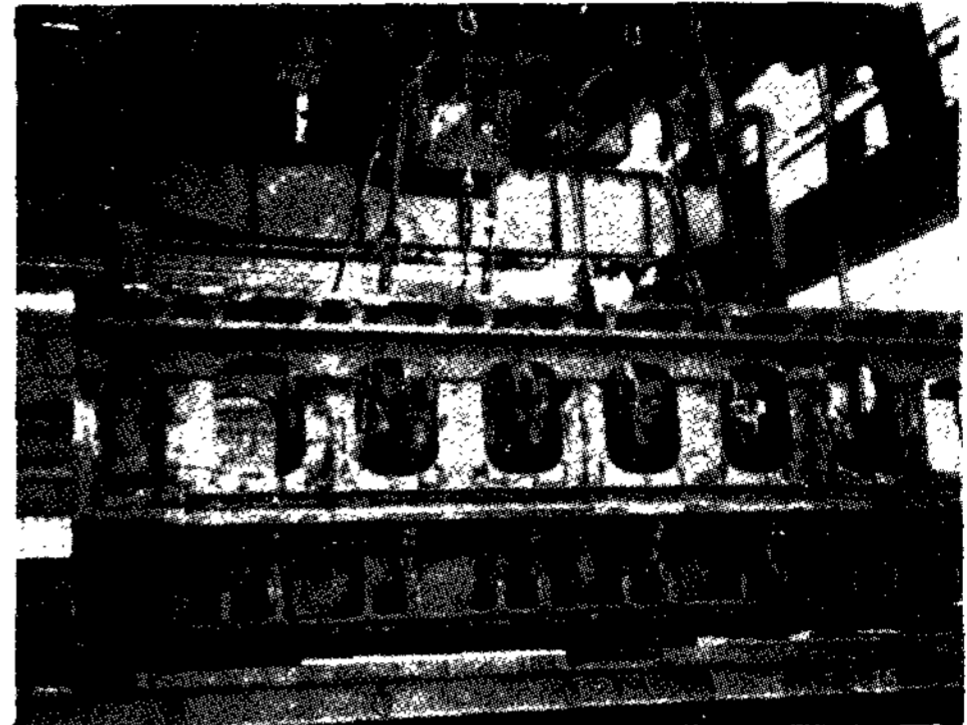
총 주입시간은 1단계 55초, 2단계 31초, 3단계 9초로써 총 95초였다.

12. fettling

사진 19은 탈사후의 제품상태를 보인다. 본 제품은 형상 및 재질 특성으로 보아 취급시 많은 주의가 필요하다.

특히 fettling 시의 caack 발생에 유의해야 되며 이의 방지를 위해 주입후 flask 내에서의 self

annealing 를 충분히 하기위해 약 20日동안 그대로 방치후 탈사온도를 100 C 이하로 관리했다.



<사진 19>

또한 가공시의 잔류응력에 의한 변형 및 crack 의 방지를 위해 sanding 후 550 C에서 6시간 h-dlding stress relieving 을 했다.

13. 치수검사 및 가공

제품의 치수면에서 도면과 비교, 길이 방향의 치수 관계를 제외하고는 양호했다.

길이 방향의 치수는 수축물의 적용문제로 약간의 문제가 있었으나 가공으로써 해결할 수 있었다.

14. 결 론

현재까지 본 제품은 당 주조공장에서 1개만 생산했으나 금번 생산과정을 통하여 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) GG 30의 spec 에 만족한 기계적 성질을 얻은바, 용탕의 관리면에선 만족한 결과를 얻었다.

2) 치수면에서 합형시 많은 게이지 등을 사용하여 정확한 합형을 기하여 비교적 정확한 치수를 얻을수 있었으나 전술한 바와 같이 길이 방향의 수축을 적용관계 면에서 다소 어려운 점이 발견 되었다.

3) 본 제품의 형상이 복잡한 관계로 (예 :제품두께의 변화 및 많은 rim ) 등 충분한 접종효과를 얻을수 있도록 용탕을 관리해야 되며 중자용 주물사의 선택면에서 제품의 수축시 발생될 수 있는 crack 을 방지키 위해 붕괴성을 고려하여 주물사의 선택이 요구되었다.

4) 중자의 크기가 크므로 중자 조형시 발생될 수 있는 중자 box 의 변형을 방지할 수 있도록 중자박

스를 튼튼하게 만들어야 하였다.

5) 본 제품과 같이 대형제품을 생산시 용탕압에 의한 주형벽의 이동을 방지할 수 있는 flask 및

pit 등의 사용을 고려해야 되었다.

6) 본 제품의 생산으로 대형주물 생산시의 많은 방법론의 개발 및 노-하우를 축적할 수 있게 되었다.

國內外 鑄物關係行事

◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆  
1986 年  
◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆

3 月 17 日 - 3 月 19 日  
2nd International Conference on Austempered Ductile Iron  
American Society of Mechanical Engineers  
Univ. of Michiga, Ann. Arbor, MI, U.S.A.

3 月 18 日 - 3 月 20 日  
International Conference 1986.  
BCIRA  
Univ. of Warwick, Coventry, England

4 月 26 日 - 4 月 27 日  
1986 年度春季 學術講演大會  
大韓金屬學會  
朝鮮大學校, 光州市, 韓國

5 月 9 日 - 5 月 12 日  
第 109 次 全國講演大會  
日本鑄物協會  
中小企業振興會館, 名古屋, 日本

5 月 11 日 - 5 月 15 日  
90th Casting Congress  
American Foundrymen's Society

Minneapolis, MN, U.S.A.

6 月 4 日 - 6 月 7 日  
20th European Conference  
European Investment Casters' Federation  
Hyatt Regency Hotel, Brussels, Belgium.

6 月 9 日 - 6 月 13 日  
International Conference on Simulation, Designing and Control of Foundry Processes.  
Krakow Foundry Research Institute  
Krakow, Poland

9 月 1 日 - 9 月 5 日  
Foundry '86 International Symposia and Exhibitions  
Metals Engineering '86 Event  
National Exhibition Center, Brimingham, England.

9 月 7 日 - 9 月 12 日  
53rd International Foundry Congress  
CIATF  
Prague, Czechoslovakia

10 月 20 日 - 10 月 23 日  
International Foundry Conference and Exhibition  
Chinese Mechanical Engineering Society  
Beijing. People's Republic of China