

技術資料

초대형 MILL HOUSING 주조제작에 관하여

최정천, 오중희, 손대락

Manufacturing of Ultra Large Sized Cast Mill Housing

J. C. Choi, J. H. Oh and D. R. Son*

1. 개 요

한국중공업은 1962년 세계중공업계에 첫발을 내디딘 이래 33년이라는 짧은 기간동안 세계적인 규모의 최신설비를 바탕으로하여 각종 발전 및 산업PLANT의 기초소재부터 완제품까지 일관생산하는 종합PLANT MAKER로서 위치를 확고히 구축하였다.

특히, 한중주조공장은 30TON 및 100TON전기로와 155TON진공정련로를 갖추고 최대 450TON의 동시주입 CAPA로 TBN CASING, FRANCIS RUNNER 등의 발전설비 및 산업설비용 대형주강품을 생산해 오던중, 금번 일본 미쯔비중공업으로부터 열연후판용 압연설비 부품인 초대형 MILL HOUSING을 수주받아 주조제작에 성공하였다. 본 제품은 총주입중량 586TON으로서 주입시 4개의 LADLE이 동시에 사용되어야 하는데, 이는 단순히 중량에 있어 세계최대의 주조품생산에 성공하였다는 외형상

* 제품제원

수주처	품 명	소재중량	주입중량	수 량	Size(L×W)
M. H. I.	Mill Housing	350ton	586ton	2EA	14,705×5,910mm

나. 압탕 및 FEEDING방안

① CASTING MODULE결정

제품의 MASSIVE한 몇개 단면을 취하여

$Mc = S/P$ 로 계산하였다. (그림 2 참조)

$$Mc1 = 31.0cm$$

$$Mc2 = 25.5cm$$

$$Mc3 = 25.5cm$$

의 의미보다는 초대형이기에 반드시 고려되어야 할 각공정별 위험 및 장애요소를 극복하므로써 초대형주강품 주조분야의 새장르를 개척하였는데 큰의미를 두고자 한국주조공학회 '95추계기술강연대회를 통하여 보고하는 바이다.

2. 주조방안

가. 수축률(SHRINKAGE RULE)

본 제품은 한중의 최대 동시주입 CAPACITY를 상당량 초과하는 초대형 제품인 관계로 주입중량을 최소화하기위해 가공여유 및 AS-CAST여유를 최소한으로 설계하였으며, 수축을 적용에 있어서도 그간의 많은 MILL HOUSING제작경험을 통해 구축한 수축율 적용 표준을 토대로 각 부위별로 상이한 수축율을 적용하므로써 주입중량의 증가를 최대한 억제하고 궁극적으로는 치수불량의 방지를 기하였다. 각 부위별 적용된 수축율은 그림 1과 같다.

② RISER의 MODULE결정

최소 1.2배 이상 확보하여야 하므로 $Mr = Mc \times 1.2$ 로 계산하여 적절한 RISER의 크기를 결정하였다.

③ FEEDING DISTANCE

급탕거리는 압탕효과역, 단부효과역 및 CHILL효과역을 고려하였으며 압탕효과역은 $3.4 \times Mc$ 를 설정하였다.

④ FEEDING방안

한국중공업 주조공장

본 자료는 1995년도 추계학술발표 및 기술강연대회 발표내용임.

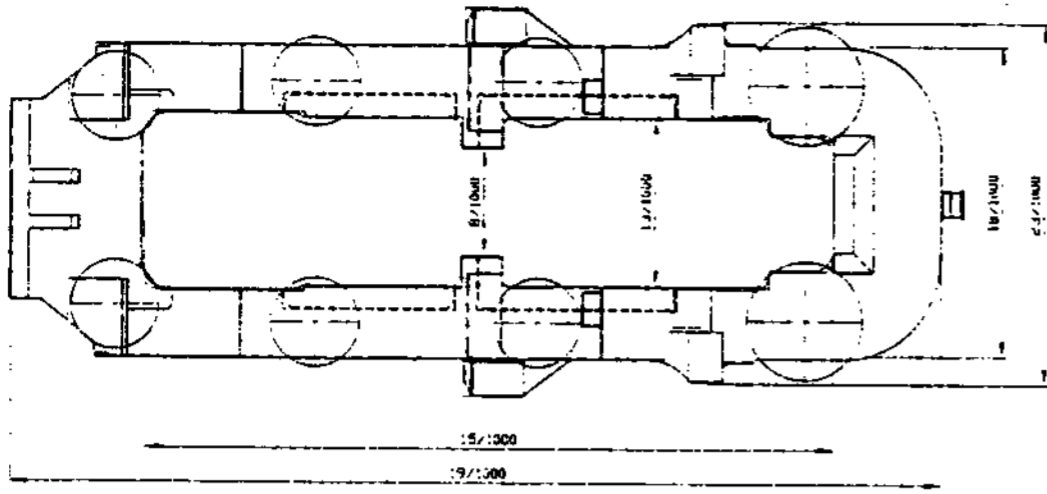


그림 1. 수축을 적용.

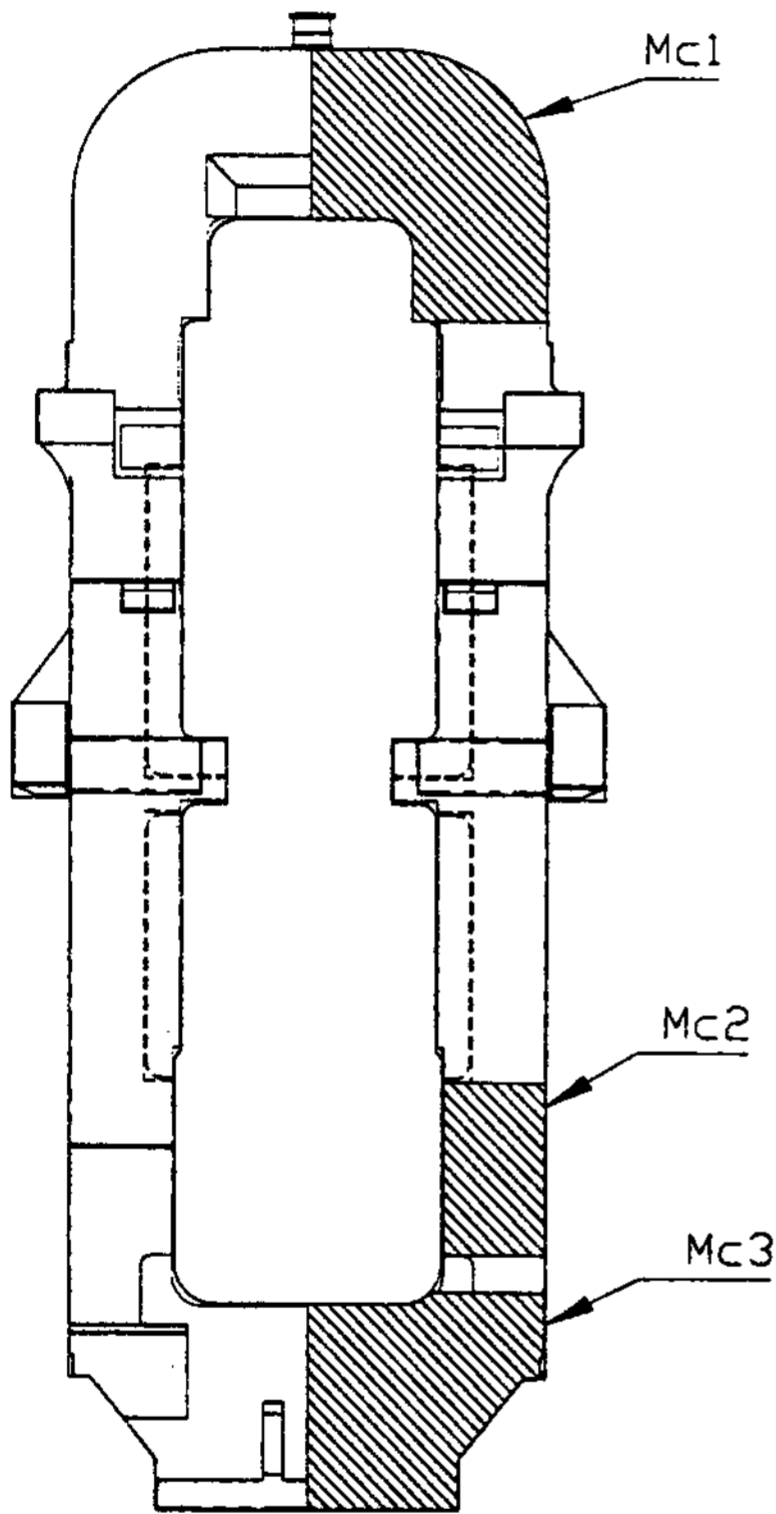


그림 2. Module 계산.

- 전술한 압탕 SIZE 및 FEEDING DISTANCE 를 고려하여 압탕수를 8개로 결정.
- 최대 MASSIVE지역을 기준으로 압탕을 등간 격으로 배치하여 각구간 급탕.
- 제품 下面 및 압탕사이에 대형 CHILL을 설치하여 단부효과역 및 CHILL효과역을 형성 하므로서 FEEDING거리를 극대화.

다. 주입방안

동시주입 기준 최대 제강CAPACITY상의 제약과 대형압탕 하부의 CARBON PICK-UP현상

을 방지할 목적으로 2차에 걸쳐 실시한다. 1차는 가능한한 최대용량강량을 주입하고 2차는 미주입잔량과 1차주입후 2차주입시까지의 응고수축분을 감안하여 주입량을 결정한다.

- ① 동시에 주입할 수 있는 용강량 : 470TON
- ② 제품중량=350TON, 압탕중량=192TON
- ③ 1차주입시 압탕부 주입량
 $470 - 350 - 10.2(\text{INGATE}) - 4.1(\text{LUG 등 기타}) = 105.7\text{TON}$ (압탕부의 60%)
- ④ 2차주입량
 $105.7 \times 0.25(\text{자체수축량}) + (192 - 105.7) + 3.275 \approx 116\text{TON}$
- ⑤ TOTAL 주입량 = $470 + 116 = 586\text{TON}$

라. 주입온도 결정

$$\begin{aligned}
 T_L(\text{LIQUIDUS TEMP.}) &= 1538 - \{f(\%C) + 13\text{Si} + 4.8\text{Mn} + 1.5\text{Cr} \\
 &\quad + 4.3\text{Ni} + 30\text{S} + 30\text{P}\} \\
 &= 1510^\circ\text{C} \\
 T_r(\text{POURING TEMP.}) &= T_L + 50^\circ\text{C} = 1,560^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

3. PATTERN제작, 조형 및 합형

가. PATTERN제작

FLASK없는 MOLDING PROCESS, FURAN SYSTEM의 가사시간에 의한 조형시간의 제한, 대형 MOLD의 HANDLING 및 반전조작등의 작업이 필수적으로 행해져야 하는 조형작업상의 특성으로 44EA의 목형 그림 3과 같이 분할하여 제작하였다.

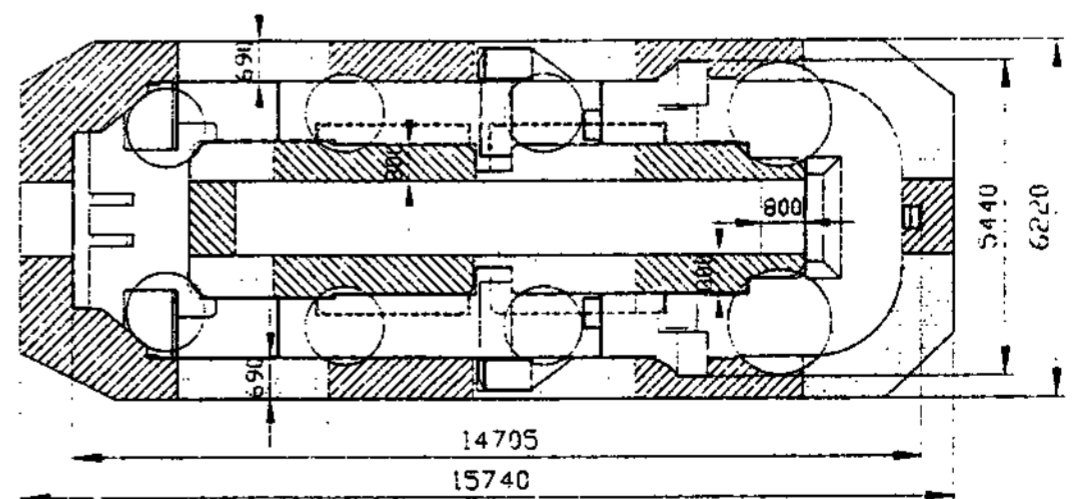


그림 3. Mold 분할도.

나. 조 형(MOLDING)

제품 최대MODULE 31.0cm 최소 MODULE 25.5cm의 대단히 MASSIVE한 제품이므로 장시

표 1. 각 Mold별 사용 Sand.

(단위 : mm)

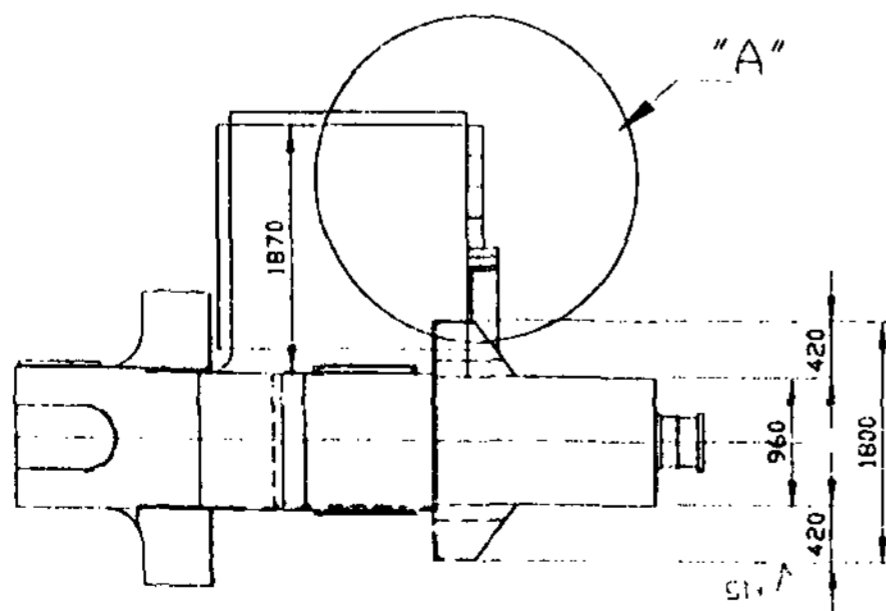
구분	표면사 (Chromite)	이면사 (Silica)	총두께	비고
하형	30	970	1000	
외형	제품내부	30	770	Handling 및 압탕 Mold 뒤채움 Sand 등에 의한 하중을 지지위한 두께
	제품외부	30	660	
원형중자	100	직경 大	840	전체적으로 Chromite의 두께를 100mm 적용
		직경 小	630	
들출부	상·하부	50	490	
	침단	80	350	
상형	20	-	-	상형의 경우 압력에 의한 영향이 작으므로 Chromite를 전부위 20mm 적용
압탕 NECK	80	-	-	압탕부 탈사위함

간에 걸친 고온상태(MOLD 및 제품)유지와 하형 및 중자부의 압력의 영향에 의한 소착방지를 위해 주형내부에 공극을 만들어 제품냉각에 따른 수축에 대해 완충작용을 하게 하였으며 표면사의 경우 내화도가 높은 CHROMITE SAND를 두껍게 사용하였다. 각 부위별 CHROMITE SAND사용두께는 표 1과 같다.

2차에 걸친 주입에 의해 1차주입후 시간경과에 따라 1차 미주입압탕부 주형의 복사열에 의한 결합력 손실로 인한 붕괴의 위험을 방지하고자 압탕부 조형시 표면층에 단열BRICK을 사용하여 축조하였으며 단열 BRICK축조부는 전체압탕의 상부 60%(1050mm)에 대해 실시하였다. 1차주입 목표가 압탕부 55%(990mm, 상부로부터 810mm위치)이므로 60% 단열 BRICK 축조시 200mm의 BRICK이 1차 주입부와 중복됨(그림 4 참조)

다. 합형(MOLD ASSEMBLING)

FLASK없는 조형, 합형작업이므로 주입후



586TON용강의 측면압력 및 용강부력에 의한 PARTING LINE부의 MOLD浮上에 의한 용강유출을 방지하기 위하여 PARTING LINE 및 측면 압력지지를 위한 CONCRETE BLOCK을 설치하였다.(그림 5 참조)

1) CONCRETE BLOCK 설치도

2) FURAN SAND사용 부위

- 제품과 BLOCK사이 : 전부위(두께 : 200mm) FURAN RESIN배합 SAND사용.
- BLOCK과 BLOCK사이 : 상하부 BLOCK사이와 압력이 집중되는 하부에 사용 (그림 6 참조)

라. 부력계산 및 지지방안

1) 부력계산

- ① 상형표면적 : 4059.58dm²
- ② 압탕표면적 : 1367.77dm² × 0.7(압탕표면적의 70%가 제품상부에 위치함) = 957.44dm²
- ③ ① - ② = 3102.14dm²

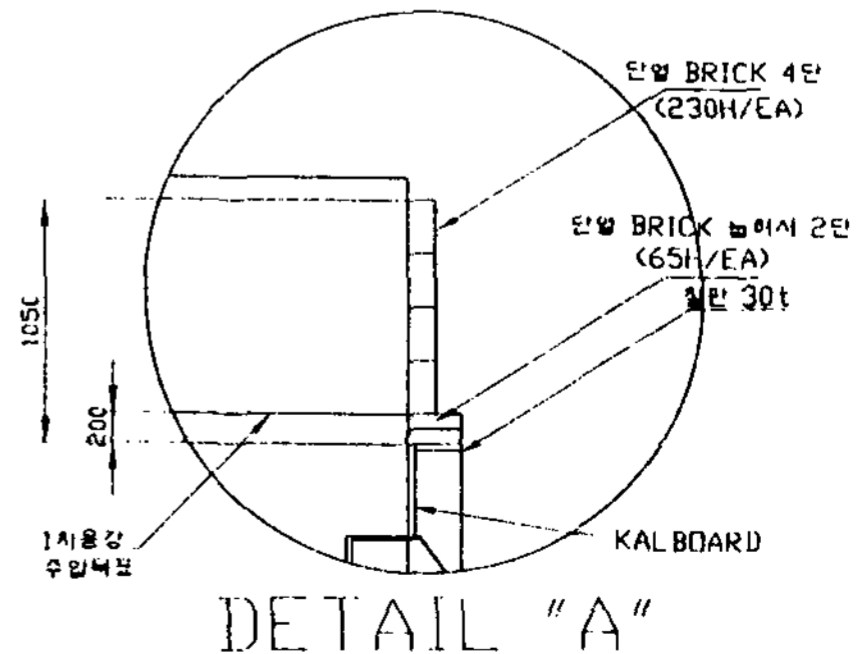


그림 4. Riser부 단열 Brick 축조.

④ $3102.14\text{dm}^2 \times 20\text{dm} \times 5.2\text{kg}/\text{dm}^2$
 $= 322,623\text{kg} \rightarrow 323\text{TON}$

2) 지지방안

- ① 전체부력 323TON에 대해 안전을 200% 적용
 $: 323 \times 2.0 = 646\text{TON}$ 에 대해 지지방안 수립.
 (표 2 참조)
- ② H-BEAM설치 : $25\text{TON}/\text{EA} \times 16\text{EA}$
 $= 400\text{TON}$

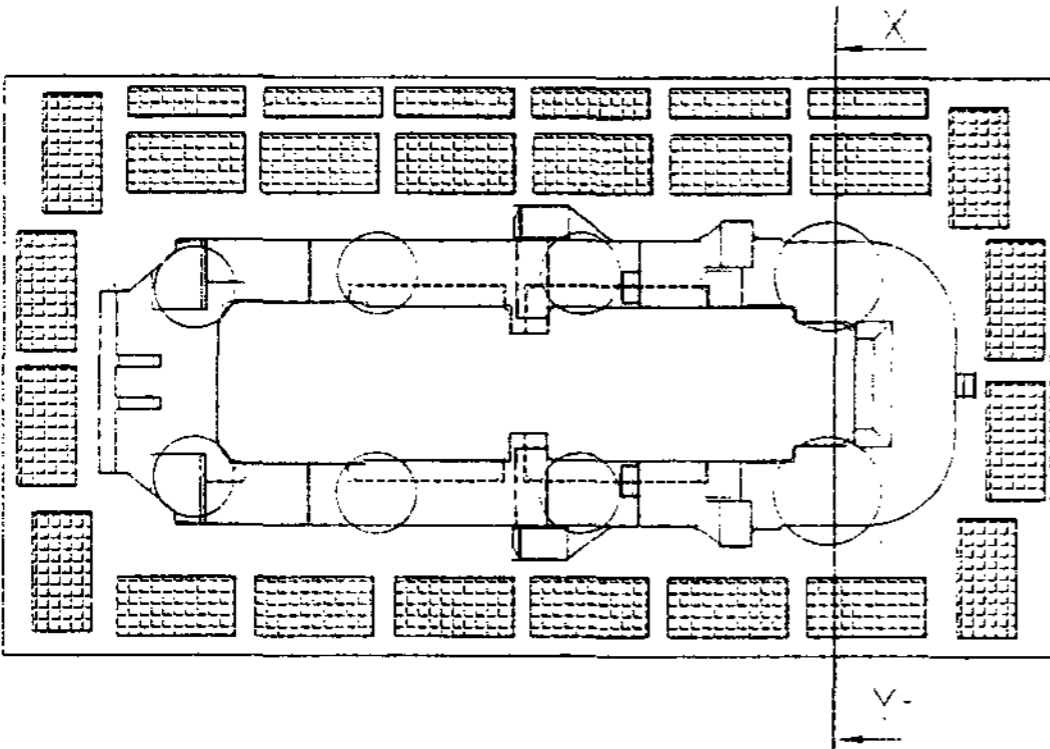


그림 5.

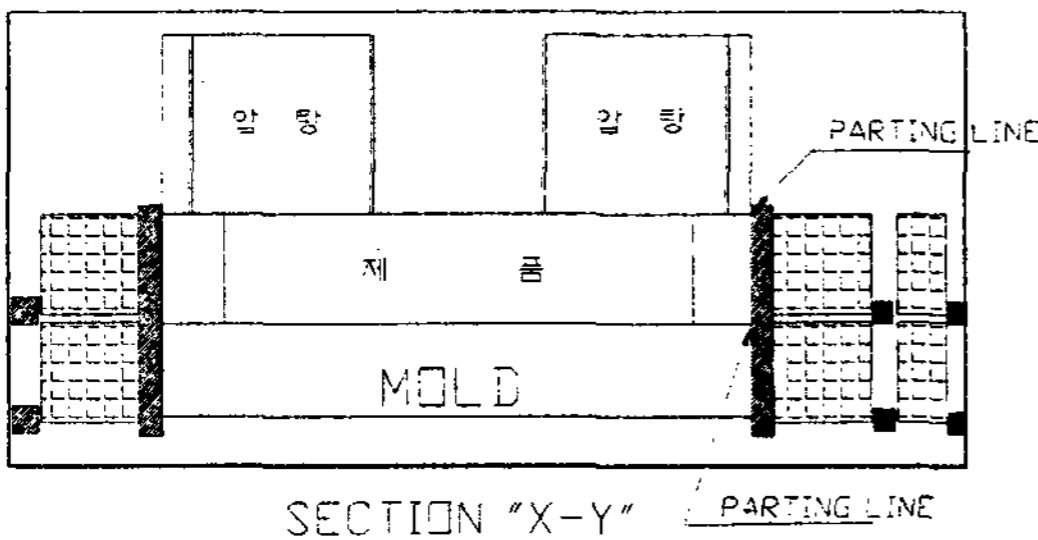


그림 6.

표 2.

부 력		지 지 력	
계 산	안전을 포함	H-Beam	C/Weight
323	646	400	350
		750	

③ 추가 COUNTER WEIGHT설치

① - ② = $646\text{TON} - 400\text{TON} = 246\text{TON}$

④ 안전성을 고려하여 C/WEIGHT 설치가능 범
 위인 350TON의 C/WEIGHT 추가설치

4. 제강, 주입 및 해체

가. 1차주입 STEEL MAKING PROCESS
 (표 3 참조)

나. INGATE설치도, LADLE별 용강량 배분
 및 LADLE설치위치 (표 4 참조)

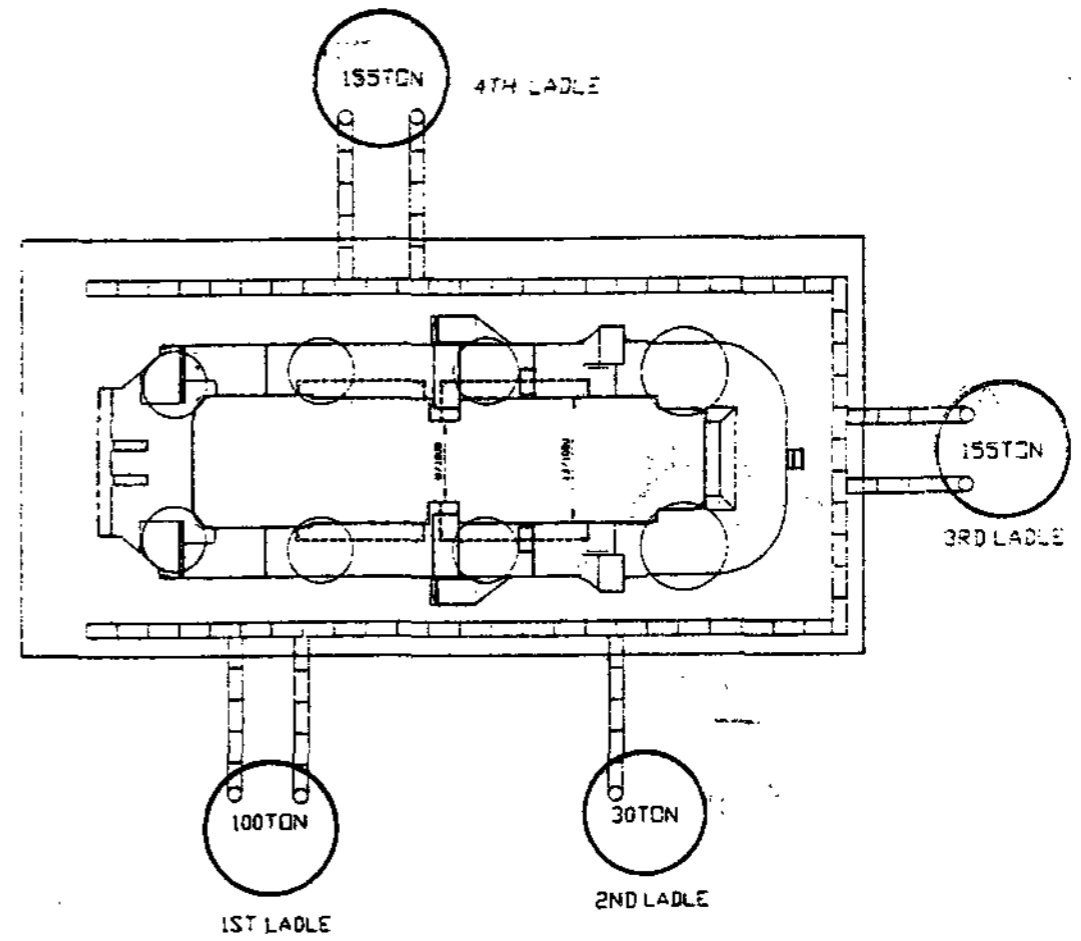


그림 7. Ladle 설치도

다. 2차주입

- 1) 시기 : 1차주입후 3시간 경과시점
- 2) CARBON CONTENT산정

경험적으로 기알려져 있는 대형압탕에서의 "C"확산에 따른 압탕하부 "C" PICK-UP에 의한 제품결함을 방지하기 위하여 2차주입시 용강 중 CARBON의 농도를 하향조정 하였으며 그 내용은 다음과 같다.

- 물성치를 확보할 수 있는 "C"량 산정(1차주입 "C"CONTENT : 0.19%)
- 2차주입 가능시간 산정 : 1차주입후 3시간 경과
- 2차주입 시점의 미응고 용강량 산정(X) : 주입후 3시간 경과시 제품 약 30% 응고.
- 2차주입 시점의 미응고 용강의 "C"량 산정 (A)
- 추가주입할 용강량 산정(r)
- 추가주입할 용강의 "C"함량 산정(B)
- 추가주입후 응고 완료시까지의 시간산정(T) : 약 25시간 소요(Mc=25cm부)
- 응고완료후의 목표 "C"함량(0.35% 이내)

$$"C" = \frac{XA + YB}{X + Y} + \frac{T}{150}$$

기 알고있는 각 수치 및 간단한 계산에 의해 구한 수치를 대입하면,

$\therefore B = 0.06\%$ (목표 "C" = 0.34%의 경우)

표 3.

HEAT	1ST(AL-2)	2ND(AL-1)	3RD		
			AM-1	AS-1	
용강량(ton)	160	160	115	35	
TIME SCHEDULE (HOUR)	1	EAF 산화정련			
	2				
	3				
	4	LF(DEGASING20') HOLDING	EAF 산화정련		
	5				
	6				
	7	L/D CAR	LF(DEGASING20') HOLDING	EAF 산화정련	EAF 산화정련
	8				
	9				
	10	온도조정 40'	RAIL상 (2° 30')	LF DEGASING	TO조형 SETTING
	11	L/D CAR			
	12	온도조정 20'			
	13	TO조형 SETTING	온도조정 40'	TO조형 SETTING	
주입START		TO조형 HANGING			
LADLE상태	SETTING	HANGING	SETTING	SETTING	
이송순서	③	④	①	②	
출강온도(°C)	1580	1570	1600	1610	

* TOTAL 제강조업시간 : 12시간 * 용강량 : 470TON

표 4. 용강량 배분

구 분	1st Ladle	2nd Ladle	3rd Ladle	4th Ladle	총용강량
용 강 량(ton)	115	35	160	160	1차주입 : 470ton 2차주입 : 116ton 계 : 586ton
주 입 형 태	Setting	Setting	Setting	Hanging	
소요시간(출강→주입)	80분	60분	40분	20분	
출 강 온 도(°C)	1600	1610	1580	1570	

라. 해 체

각 단계별 해체일정은 CHVORINOV의 경험식 $[X(m)=0.053\sqrt{T(HOURS)}]$ 과 LIFTING과 해체곡선을 참조하였으며 그 내용은 표 5와 같다.

5. 압탕절단, HANDLING 및 열처리

초대형인 관계로 LIFTING 및 HANDLING시 OVER HEAD CRANE CAPA를 초과하므로 PIT내에서 우선압탕절단을 실시한후, 열처리로 운반 및 장입한다.

가. 압탕절단

제품온도가 250~300°C에 도달시 제품 양끝단을 조금씩 LIFTING하는 방식으로 압탕NECK부를 PIT 높이까지 LIFTING하여 절단작업을 실시하며, 고압산소에 의한 절단시 절단부의 과열에 의한 제품의 DISTORTION이 예상되므로 2EA압탕씩 동시 절단하는 방식을 채택하였으며, 상세절단순서는 아래 그림 8과 같다.

압탕하부는 CARBON PICK-UP(절단작업후 분석결과 최고치 0.37%까지 상승)으로 인한 CRACK 발생가능성이 있으므로 제품면보다

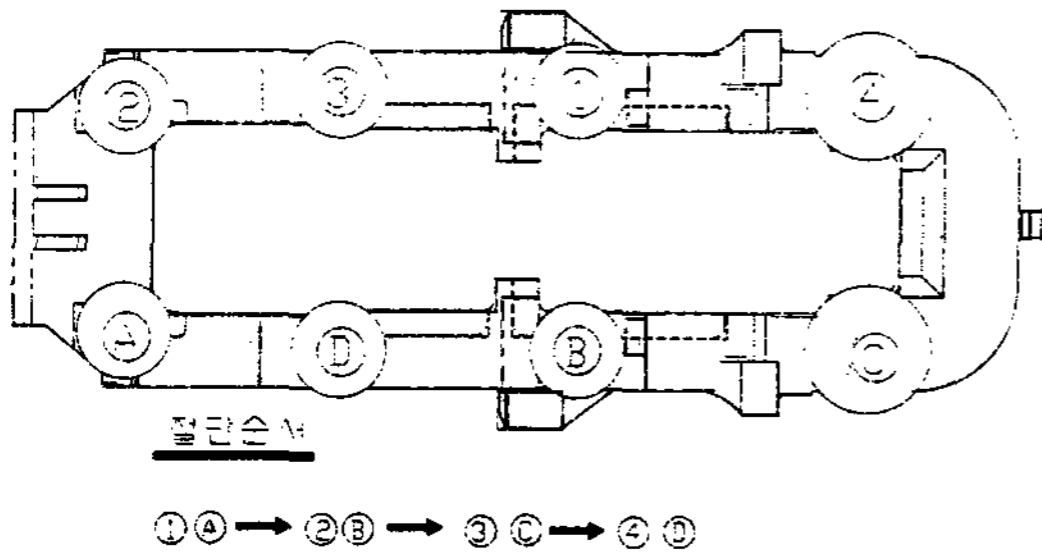


그림 8. 압탕절단.

표 5. 단계별 해체일정

해 체 단 계		일 정	비 고
Counter Weight의 제거		주입후 24시간 경과	
Weight Beam의 제거		주입후 48시간 경과	
Concrete Block의 철거		주입후 6일 경과	
Sand 정리작업		7일~19일	단계별 정리 19일 경과시 압탕 Neck부까지 드러나도록 정리
LIFTING	1 차	주입후 20일 경과	
	2 차	주입후 21일 경과	상동, 압탕 Neck부가 지면과 일치하도록 인발
SHAKE OUT		주입후 22일 경과	제품온도 200°C 내외, 압탕절단

100mm 높게 절단한후 황삭가공시 제거토록 방안하였다.

나. HANDLING

공장내 이동시 COMBINATION BEAM에 의해 연결된 2기의 E.O.T.C를 이용하고 공장외부 이동시 450TON TRANSPORT를 이용하며, 공장내 CRANE사용시 용량이 다른 CRANE을 사용하므로 적절한 하중의 분산을 위하여 계산에 의해 WIRE ROPE($\phi 100 \times 2EA$)의 위치를 결정하였다. (그림 9 참조)

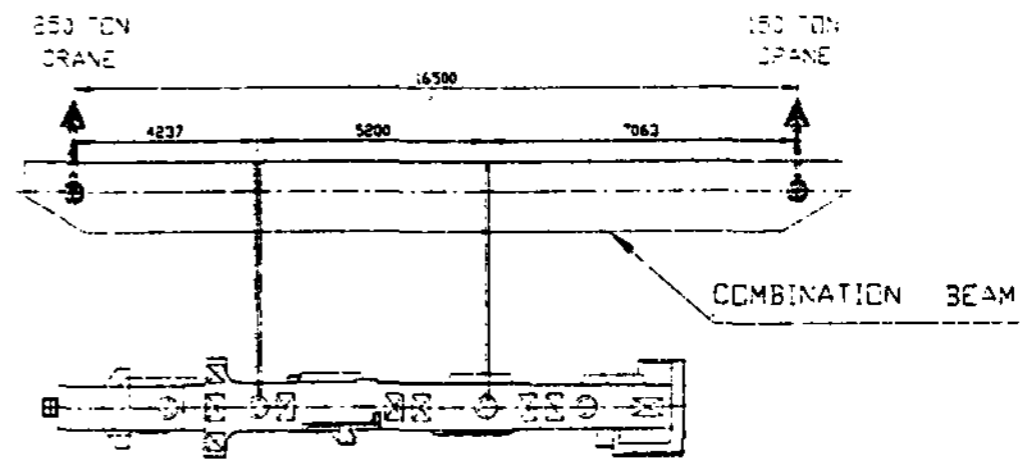
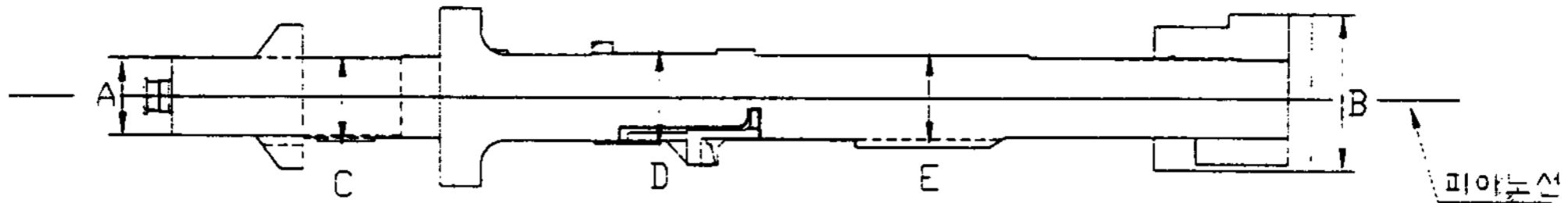


그림 9. 제품운반

다. 열처리

최소의 가공여유 및 AS-CAST여유를 적용하였으므로 열처리 변형을 최대한 억제하기 위한 방안으로 제품형상치수를 고려하여 SUPPORTING작업을 실시하며, 열처리 장입전 치수 CHECK를 실시한다. (그림 10 참조)

상술한 방법에 의해 치수CHECK를 실시한 결과 변형량 발생시 변형부의 SUPPORTER는 변형량 만큼 GAP을 주어야 한다. 또한 열처리로 상이 내화물과 철구조물로 구성되어 있어 고온상태에서의 로차체하중 및 제품중량의 제품부위에 따른 차이의 영향으로 끝단이 내려가게 되어 제품중심부의 변형을 초래하게 되므로 이점 또한



CASTING 양끝단부(A, B)의 CENTER를 MARKING한후 피아노선을 이용하여 제품중심부(C, D, E 등)의 변형량을 CHECKING한다.

그림 10. 치수검사.

고려되어져야 한다. 열처리장입을 위한 SUPPORTING작업방안은 그림 11과 같다.

6. 결 언

총주입중량이 약 600TON에 근접하는 관계로 사전 많은 검토와 준비를 하였으나, 각 LADLE 별 온도조정, 총 7개의 NOZZLE의 동시개구 및 열처리시 약간의 치수변형등의 경미한 문제가 노출되기도 하였으나 전체적인 모든작업은 성공적 이였다.

아울러 첨언하면, 본 제품이 당사의 여러가지 설비 CAPACITY를 평가할때 최대중량이라 할 수 있으나, 현재 370TON(주입중량 약 660TON) MILL HOUSING의 제작요청이 있어 고객요구에 부응하는 차원에서 제작가능성을 검토중에 있다.

대형제품의 사례이므로 실제제품제작에 적용할 수 있는 국내 주조업체가 그리 많지 않겠으나 본 제품의 제작사례가 타사에서 주조품 제작에 있어 일조가 되었으면 하는 마음으로 보고하는 바이다.

POSCO 3PL W.S. SUPPORT 배치도

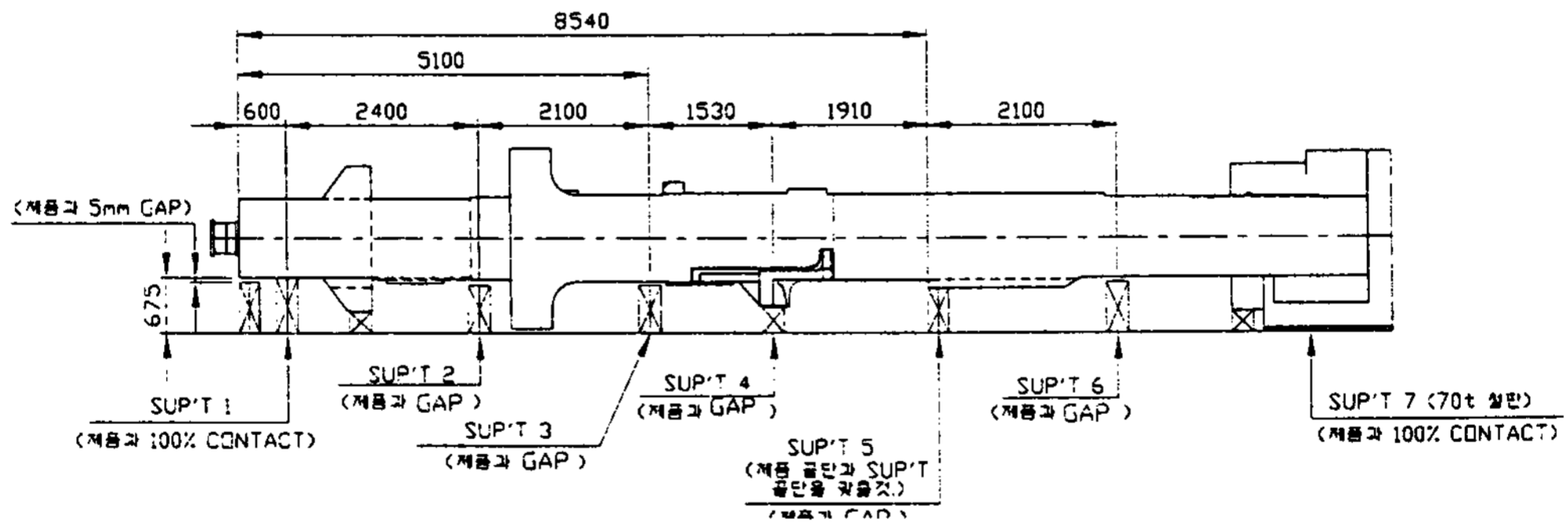


그림 11. Support 설치.