現場技術

430 Ton 강괴용 Mold제조

장 윤 석*

서 언

발전 설비가 점차 대형화 추세에 있어서 현재 건설중에 있는 원자력 발전소 9,10 호기에 장착될 generator shaft 제조를 위해서는 430 ton 강괴 (ingot)가 必要하게 되었다. 따라서 430 ton 강괴를 주입할 강괴주입용 mold (ingot mold)가 必要하여 제조하게 되었으며 이때 수행했던 여러가지 기술적인 검토 사항과 작업현황을 여기에 보고한다.

강괴 주입용 mold (ingot mold)는 최종 제품의 단중이 298 ton, 높이 4,570㎜, 최대내경 3,800㎜, 두께 640㎜인 상확형 mold 이며, 현재까지는 세계 2번째로 큰 ingot mold로 알려져 있다. 소요용강은 360 ton, 목표주입 시간은 4분 24초이었다. 1983년 3월 20일 주입했다.

제조에 있어서 다음과 같은 사항을 특별히 고려 하였다.

1) 높이가 높으므로 해서 용탕주입시 용탕의 동압, 정압에 의한 주형하단의 용탕의 유출사고의 가능성

2) mold 의 소규모 결함이라도 보수가 불가능하여 결함이 許容되지 않는다.

3) furan resin 조형법임으로 주입 시간이 2분 이내가 좋다.

4) 조형시 sand 충진작업 중단이 있어서는 안된다.

5) 주입용탕의 동하중과 정하중을 고려하여 flask 準備, molding pit의 지반을 검토하여 대처할 필요가 있다.

이하 경과 사항을 보고한다.

* 한국공업(주) 부장

제조경과 사항

1. Molding Pit Foundation 검토

예상하중 : 용강 360 ton, sand 200 Ton, flask 및 rail 240 ton 계 800 ton

1) 예상하중 800 ton에 대한 작용압력

Q max = 18.6 ton /㎡

Q mim = 7.7 ton /㎡

2) 許容壓力

Q_a = 20 ton /㎡

작용하중압력이 許容壓力보다 작으므로 문제점이 없다.

3) pit 주위 ladle 정치하중

작용압력이 24 ton /㎡ 이므로 보강이 필요하다.

2. Pit 準備

1) Pit 規格

10M × 8M × 7M (depth)

2) Pit내의 bottom 정리

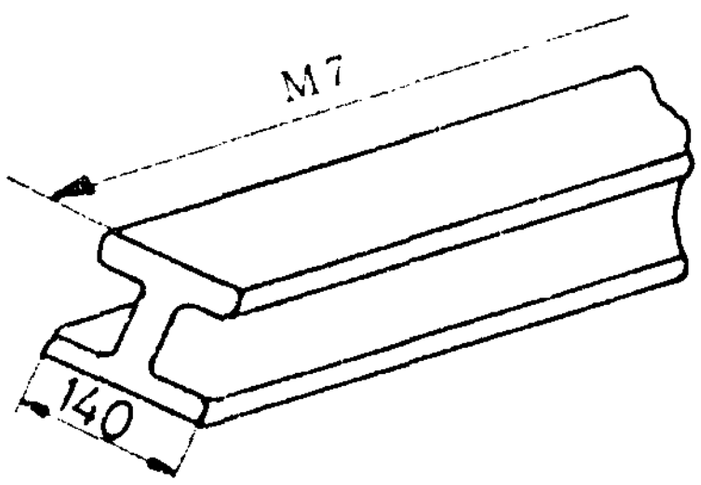
① Pit의 bottom이 수평이 되지 않아서 furan sand를 40 ~ 50㎜ 도포하여 尺으로 긁어서 flat 하게 하였다.

② 그위에 두께 10㎜ steel plat를 全面에 걸쳐 덮었다.

③ Steel plate 위에 rail (60KG /M × 7M) 17個를等 간격으로 Setting 하였다.

④ Rail 사이는 gas vent hose를 넣고 furan sand를 충진한 후 尺으로 rail 높이를 기준으로 하여 긁어 Flat하게 하였다.

⑤ rail 1個當 支持荷重



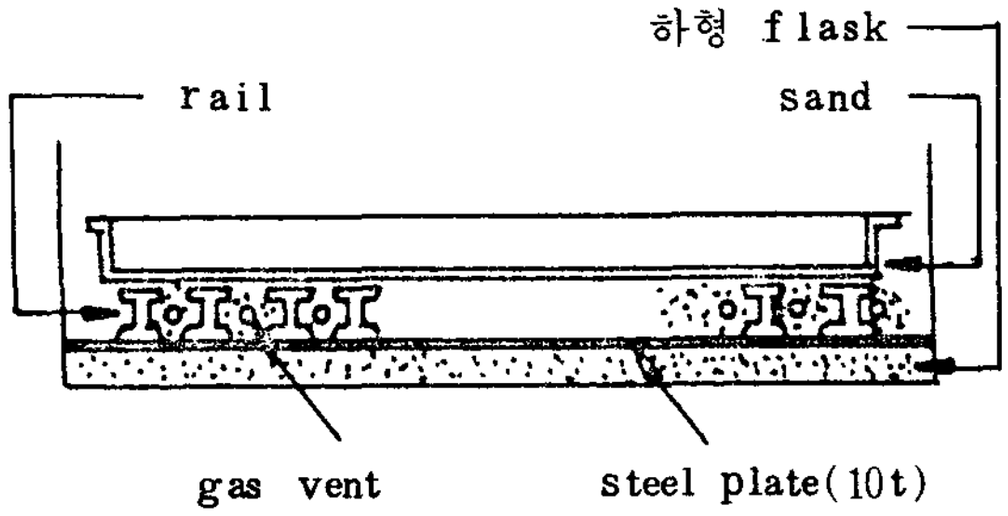
14㎝× 700㎝ 17

EA = 166,600㎠

total weight:

800 ton

rail 바닥의 작용 압력 : $\frac{800,000\ KG}{166,600\ cm^2} \fallingdotseq 4.8\ kg/cm^2$

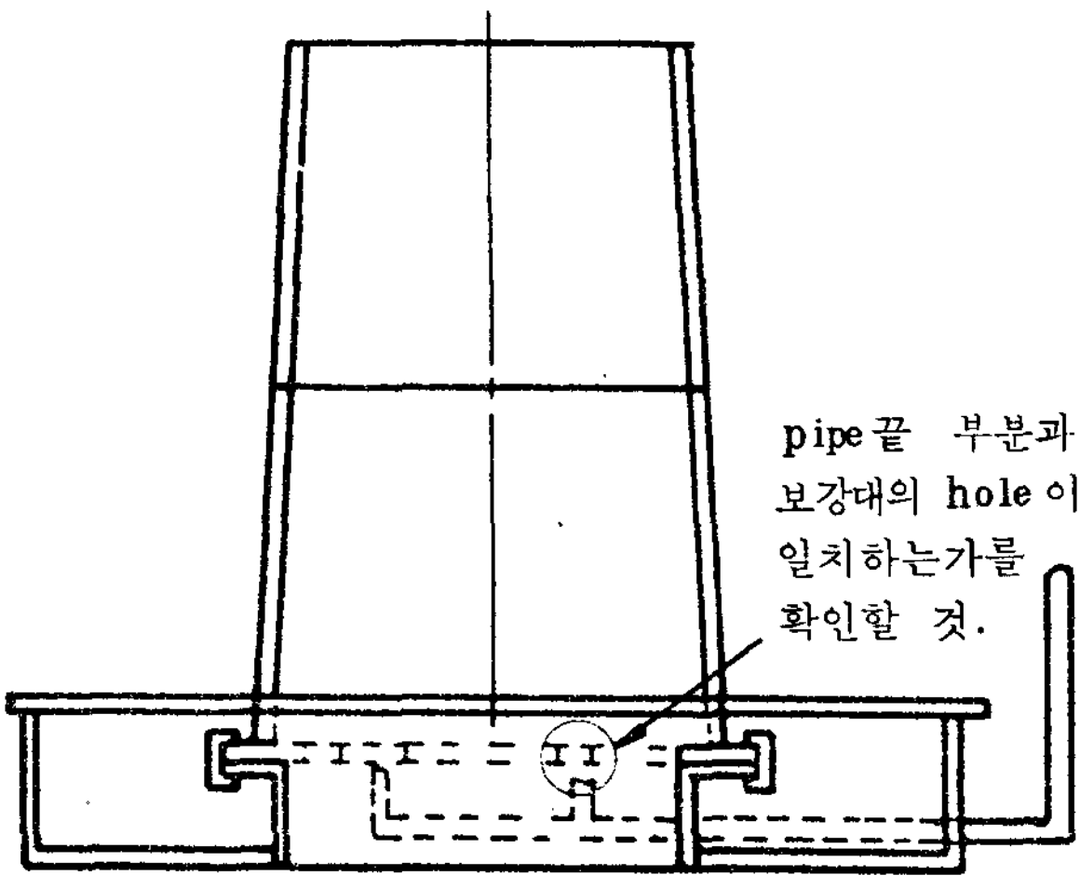


3. Molding

1) Molding Sequence

① pit 준비가 完了된후 下型 flask에 core pipe를 setting 하여 clamping 한다. (flask 中心과 core 中心線을 일치시킬것)

② core pipe setting시 air blowing 用 pipe 분출구가 core pipe 下段의 보강대에 닿아서 air 취입 불가능 여부를 確認한다. (air blowing은 주입후 cooling을 신속히 하여 shake-out 기간을 단축하기 위함)



③ 하형을 조형한다.

④ 하형 중심선과 목형 중심선을 일치하도록 목형을 setting 한다.

⑤ 하단 flask를 setting 한다.

⑥ ingate brick를 조립하여 setting 한다.

⑦ 하형 flask와 주형 하단 flask에 molding 후 assembling을 위하여 型合表示線을 steel plate로 용접한다. (8個所)

⑧ 主型 flask는 각 단을 미리 assembling하여 assembling marking line을 명확히 하여 둔다.

⑨ 조형전 sand의 초기강도, 5시간 이내 강도, 24시간 경과시 강도 및 bench life를 test 하여 bench life가 25～30분에 해당하는 resin 및 catalyst 첨가량을 결정한다.

⑩ 主型하단 조형시 次上段의 flask를 crane에 걸고 대기하여 assembling時 소요시간을 가능한 단축시킨다.

⑪ 조형 종료와 동시에 각 flask간의 clamp를 체결하고 pattern drawing을 위한 weight 準備를 한다.

⑫ Pattern drawing 후 core molding 준비를 한다.

⑬ 하형 중심선과 core box 중심선을 일치하게 core box를 하형상에 setting 시킨다. (하단 core pipe 내 폐연와 충진)

⑭ Core의 cracking 방지를 위하여 height의 1/3, 2/3 위치에 넣을 ring을 準備한다.

⑮ Core 조형이 완료되면 용탕유출대 coreBox 중심선을 하형 중심선과 일치시켜 용탕 유출대를 조형한다.

⑯ 主型 및 중자를 수정후 도형작업 착수한다.

⑰ Trunnion에 Steel bar core를 삽입한다.

⑱ 하단에 chill 用 steel core를 Setting 한다.

⑲ 下型과 主型을 assembling 한다.

⑳ Assembling 후 上型 flask를 setting 하여 Riser 및 down sprue의 설치 위치를 확인한다.

㉑ 상형은 별도로 조형한다.

㉒ 主型 및 中子의 cracking 유무를 확인하여 cracking width 가 1㎜이상 3㎜ 이하는 보수한다.

㉓ 상형 assembling 후 hot air generator 로 계속 drying 한다. (주입직전까지)

㉔ pouring basin 설치한다.

2) core molding

① core molding에 소요된 sand : 32 ton

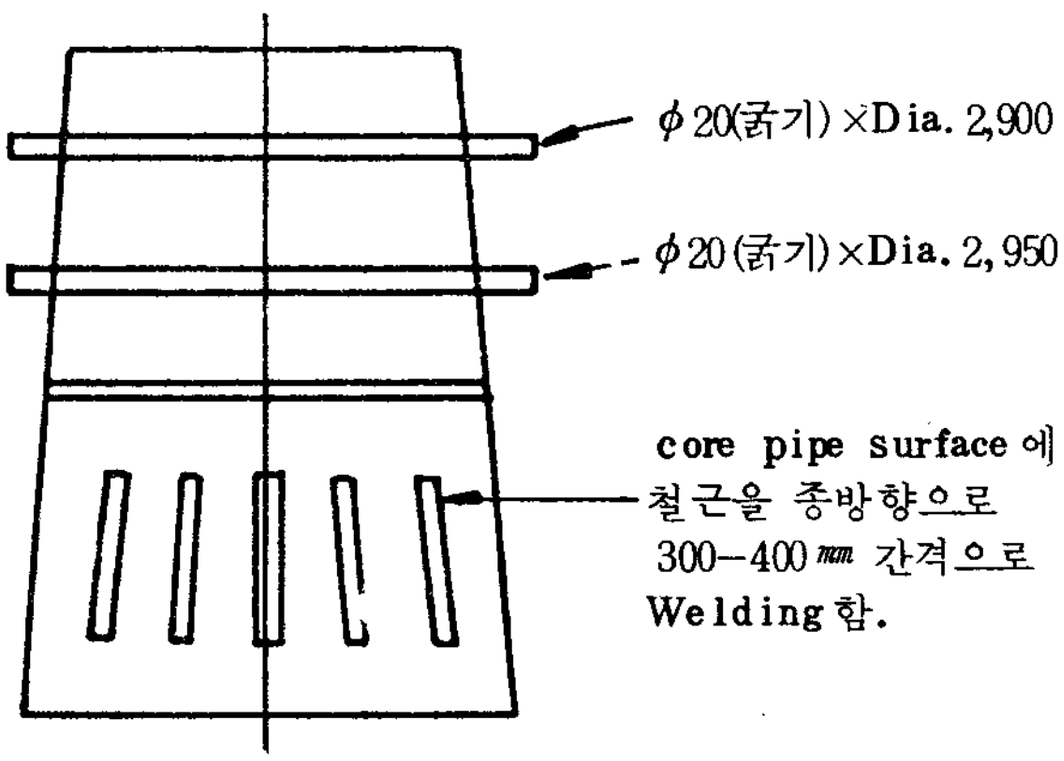
② 하단 core pipe setting 후 core pipe 내 폐연와를 충진시켰다. (→鑄込時 gas 분출을 원활히 하고 melt 의 leakage에 대해서도 protection 이 됨)

③ core molding 時 소요시간 : 80분

④ mixer : 25 ton/hr mobile mixer 1臺 사용

⑤ core pipe 상단 setting 시 소요시간 : 9분

⑥ ring setting 시 소요시간 : 4분/EA



⑦ core molding 시 상단 2個所에 ring 삽입 및 하단에 종방향으로 철근을 welding 하였다. (core making 후 core 에 crack 방지를 위함)

⑧ core box stripping : core making 5시간 후 (compression strength 10 *kg/㎠* 이상일때 해체)

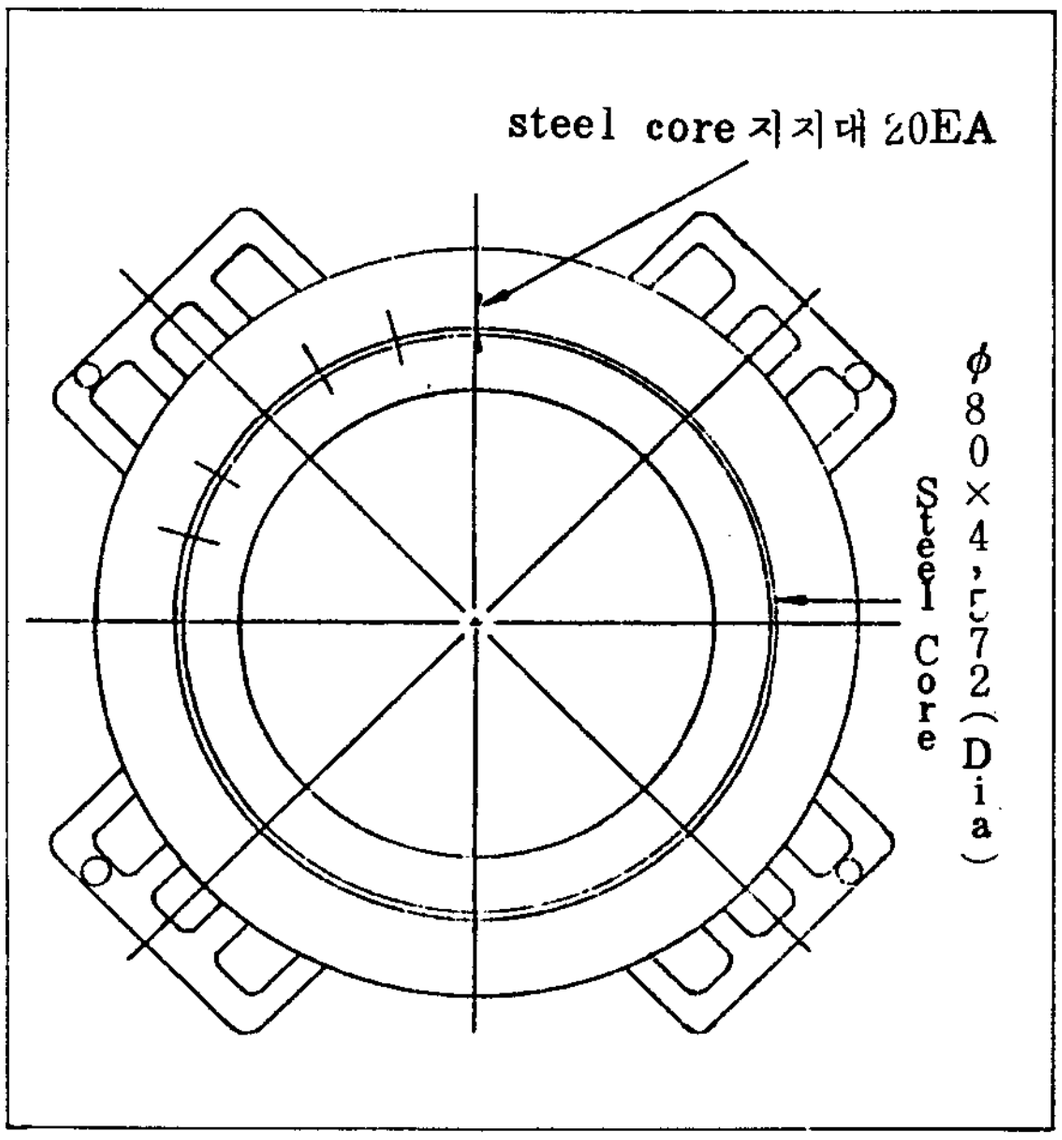
⑨ steel core setting

mold의 casting 시 하단에서 200㎜위치에 steel core 를 설치한다.

a) 목 적

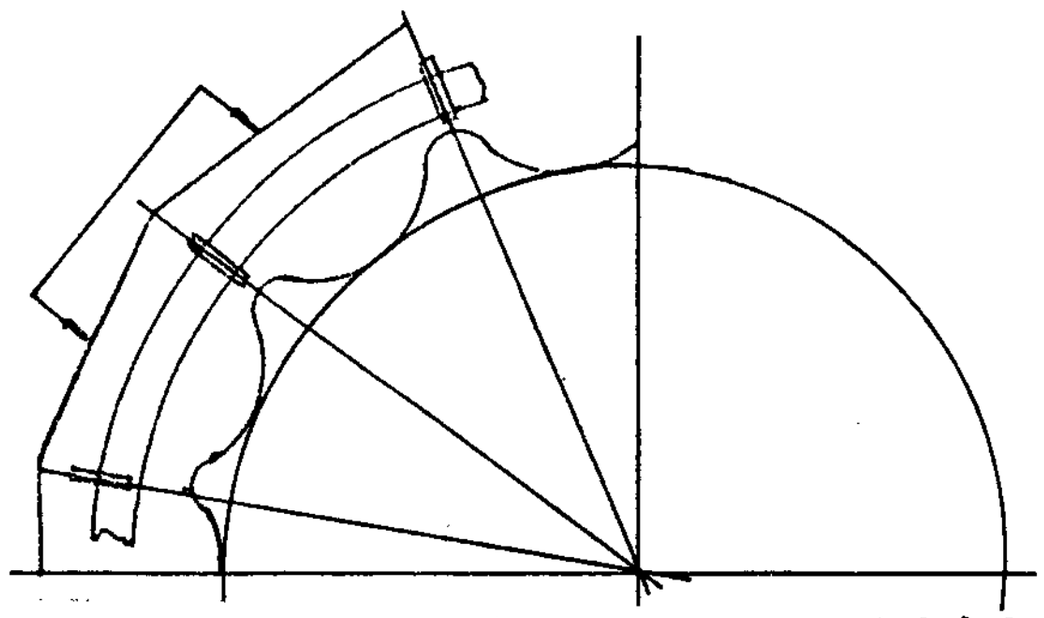
i) casting 시 ingate 주위 hot spot 를 방지할 목적으로 internal chill 역할을 한다.

ii) mold 사용시는 上部로써 hot top 으로부터 장시간 고온으로 유지되므로 crack 발생이 높기 때문에 이를 방지하기 위함이다.



i) steel core 지지대 설치시 위치가 ingate 정면에 설치되지 않도록 한다.

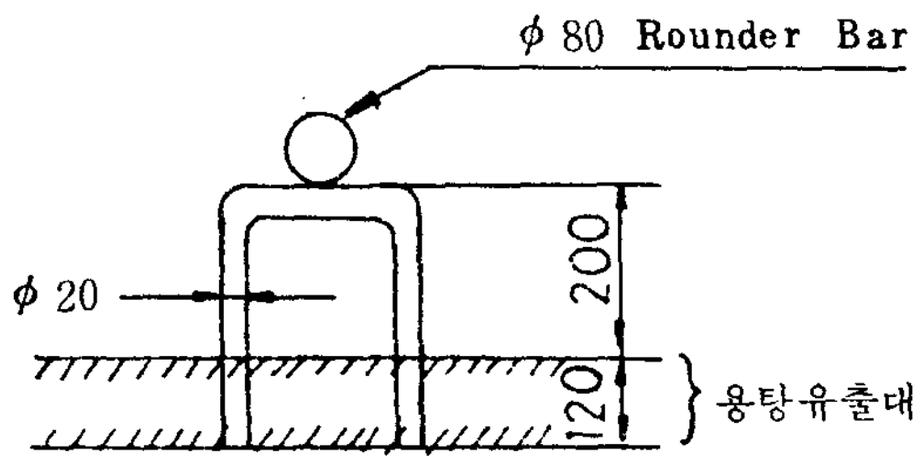
ii) ingate 정면을 피할 수 있는 방법



上圖에서 ingate 위치는 corrugate 간격사이에 위치하므로 steel core 지지대는 corrugate 정면에 설치하면 피할 수 있다.

iii) steel core 지지대 설치방법

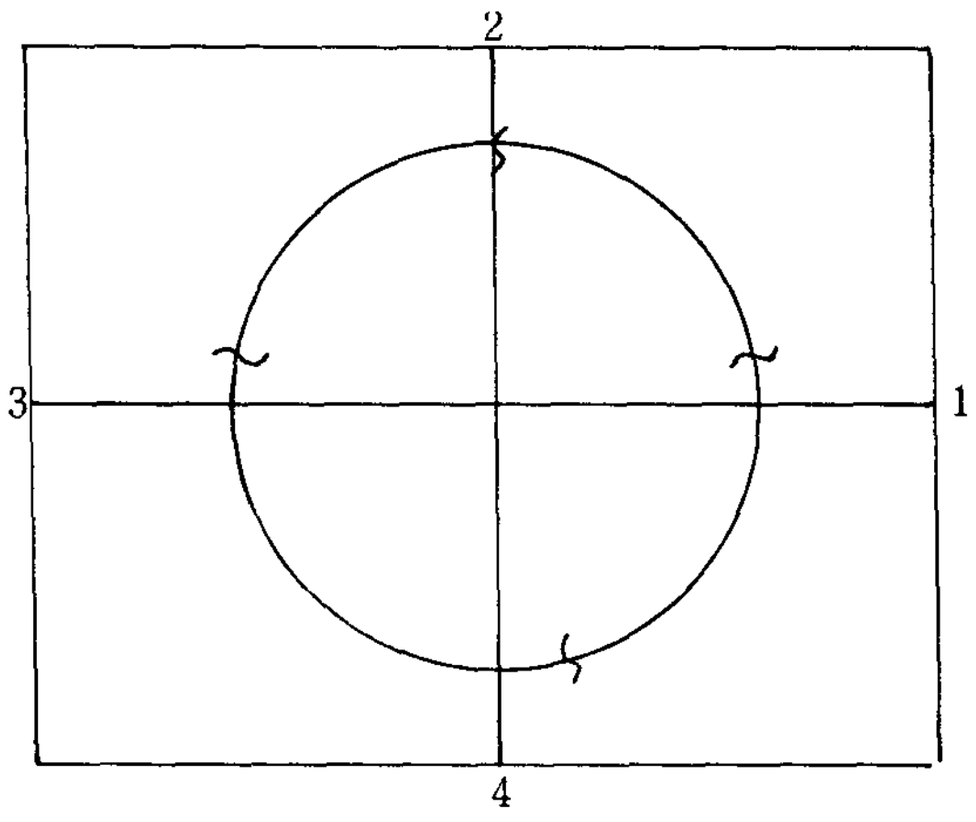
설치위치를 marking 한 후 용탕유출대 조형시 setting 한다.



iv) setting 한후 welding 한다.

3) CORE의 Crack 발생 및 보수

① crack 발생위치



② crack 발생원인 및 repair

a) 하부의 횡방향 crack

i) 조형시 局部的으로 ramming이 불충분한 위치에 sand 충진이 불충분하였다. (표면박리현상)

ii) 폭 25㎜ 깊이 25㎝ 이내 V자 형태로 파고 보수하였다.

iii) chromite sand 50%+reclaim sand 50%의 resin mixture로 보수하였다.

iv) V자골에 세못 (nail)을 20㎜ 간격으로 박는다.

v) 보수부위는 기준면보다 3～5㎜ 깊게 하였다.

→ 整正時 grinding에 의해 수정함.

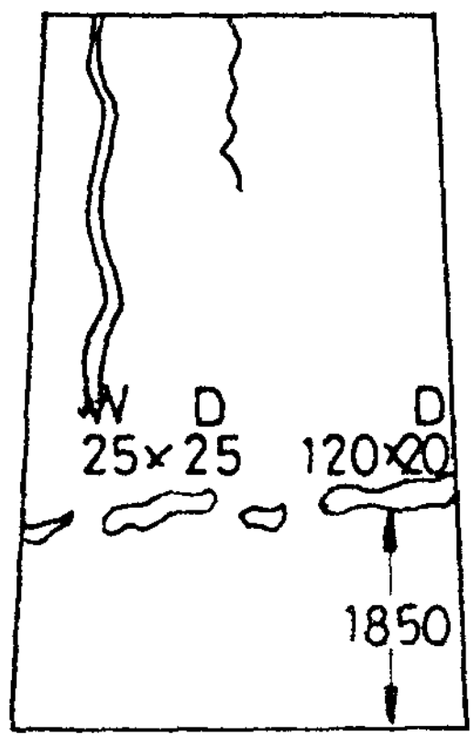
b) 종방향 crack

i) 도형후 mold assembling하여 hot air generator 2臺로 3日 drying후 확인한 결과 위의 그림과 같이 cracking 발생하였다.

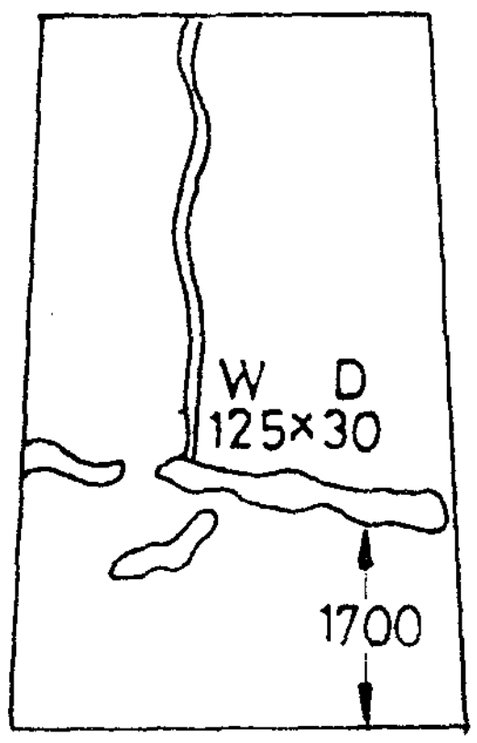
ii) 이 형태의 crack은 core sand가 경화되면서 수축이 발생할 때 cushion이 없어서 발생하였다.

iii) 폭 20㎜ 깊이 25㎜ 이내 V형으로 파고 chromite sand로 보수하였다.

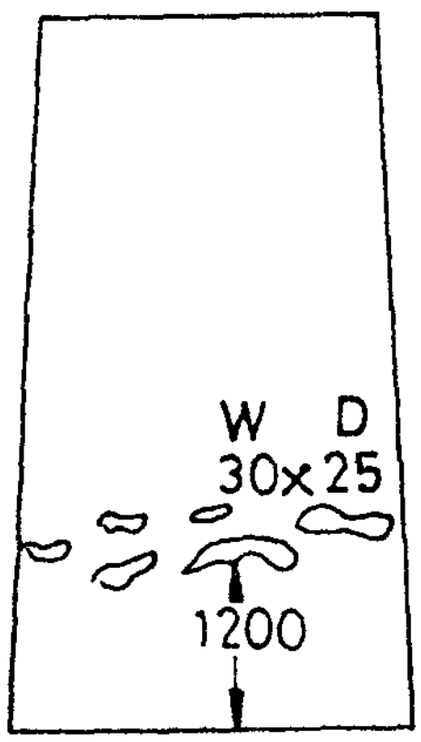
iv) repairing시 기준면보다 3～5㎜ 깊게 하였다.



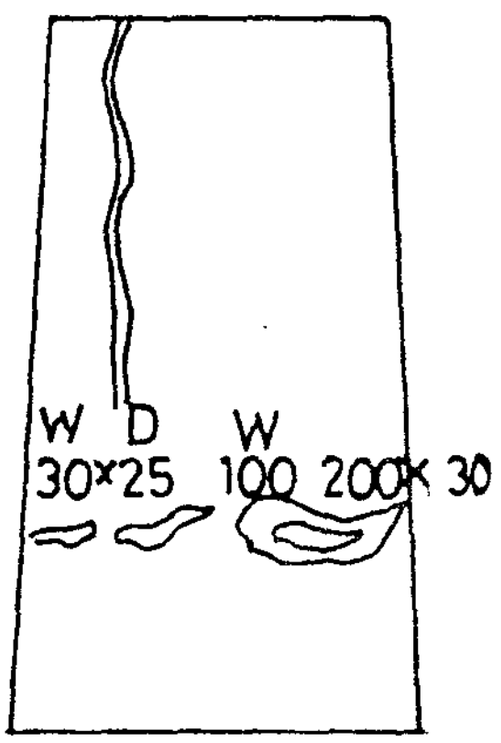
1-2-3



2-3-4



3-4-1



4-1-2

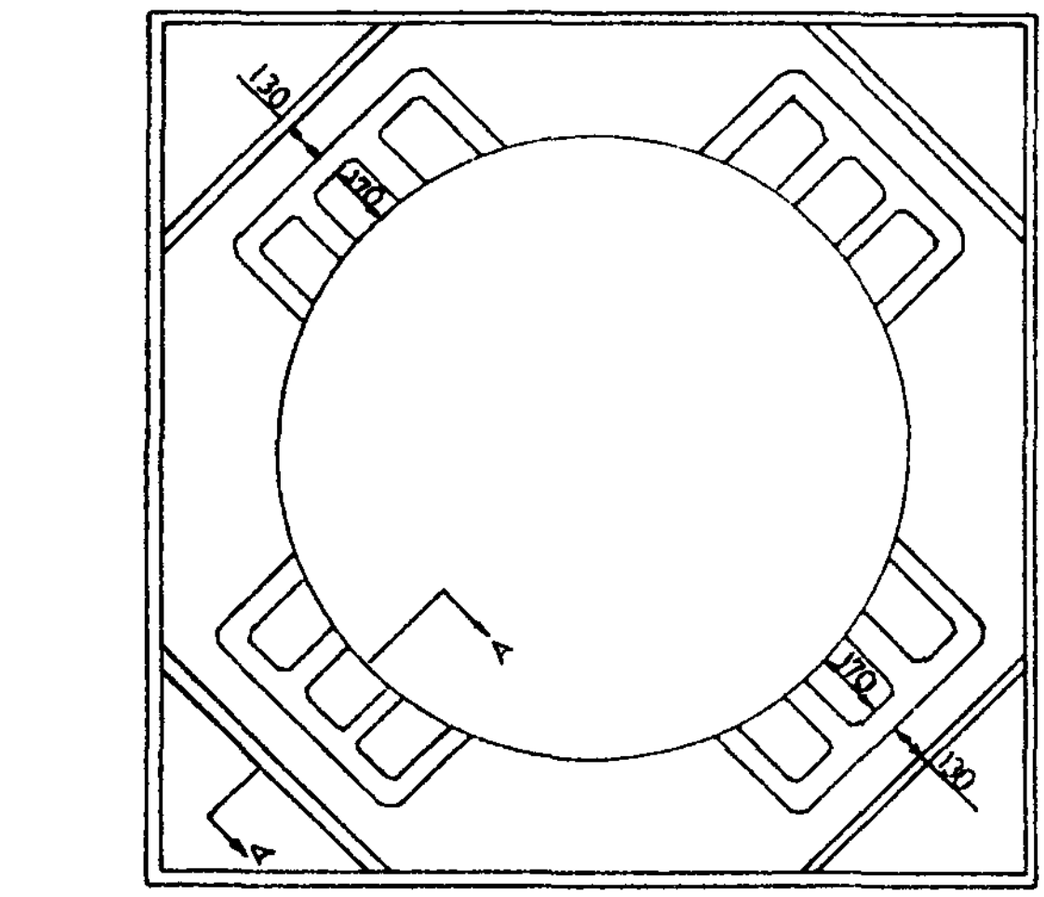
4) 外型 molding

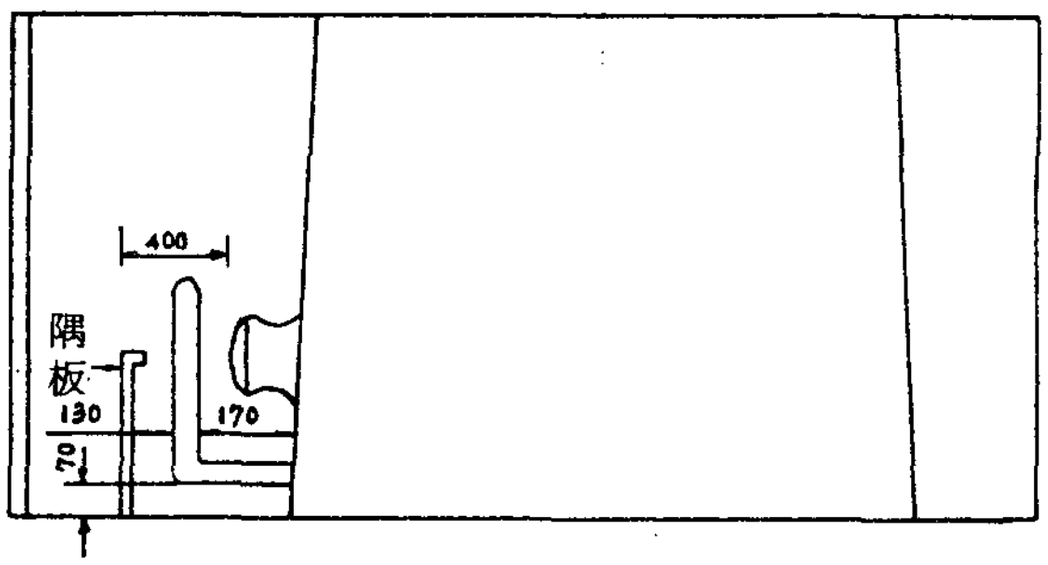
① molding時 소요 sand 량 : 125 ton (100% 재생사)

② molding時 소요시간 : 3 hours (mobile mixer 25 ton/hr 2臺사용)

③ flask Re-setting시 소요시간 : 8～12분

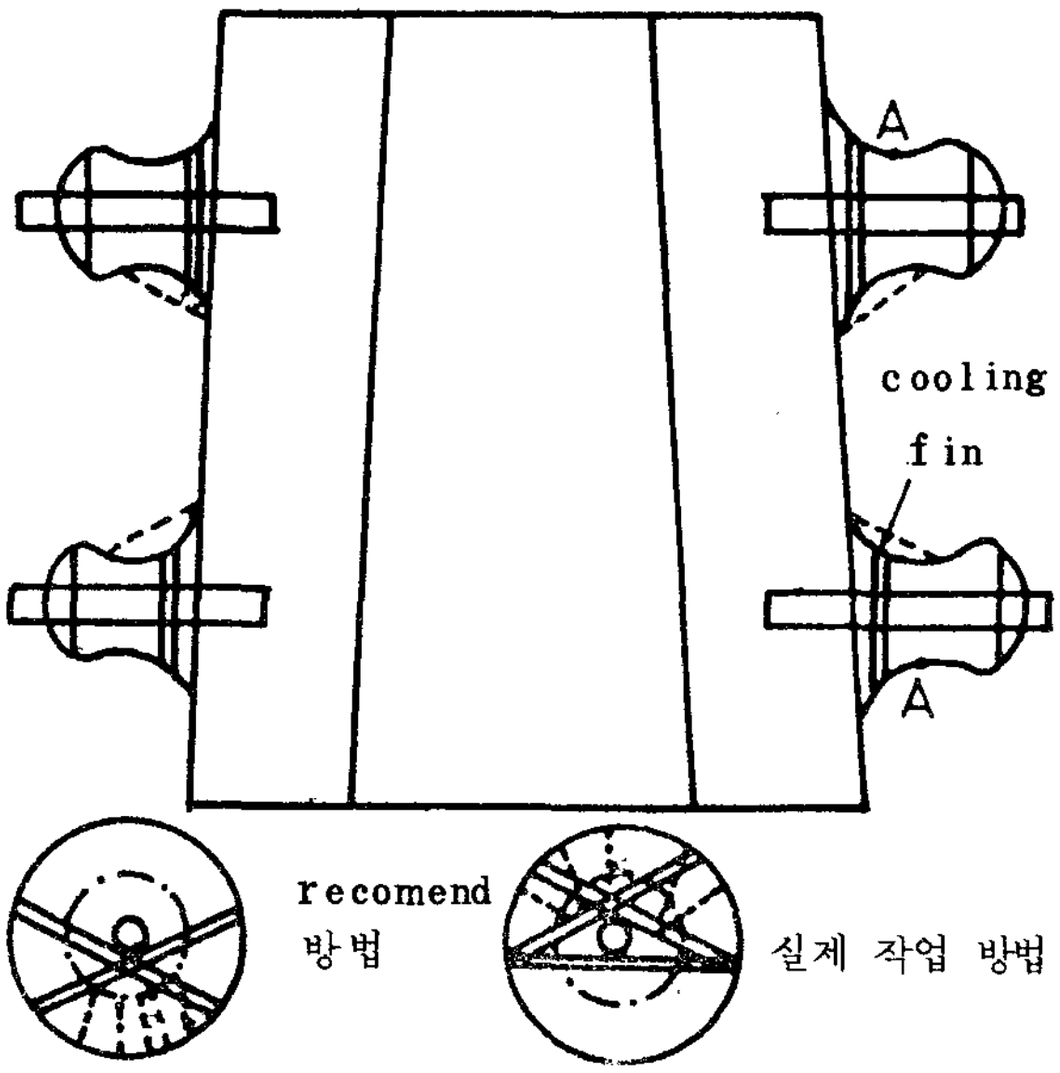
④ ingate brick setting 상태





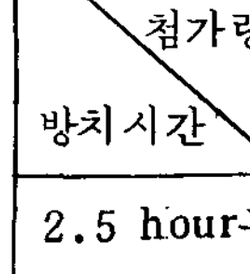
⑤ trunnion 內 steel bar 및 주위 cooling fin 설치

a) steel bar 설치방법



b) 上圖의 점선이 cooling fin 임. point "A"에는 cooling fin 설치할 필요가 없다.

※ cooling Fin 을 설치하는 목적 : 응고후 냉각시 sand의 cushion 이 적어 crack 발생 우려가 있으므로 補强을 히기 위함이다.



※ 左圖와 같이 welding에 의해 suspending 할경우 용탕이 주입될 시 용접부위가 녹으면서 자중에 의해 이탈될 우려가 있다.

4. Molding Sand 의 Properties

1) mold sand

ambient temp :12 ℃

humidity :85 %

compression strength

binder 첨가량 / 방치시간	No 1 mixer resin :1.1 % catalyst : 23 %	No 2 mixer resin 1.1 % catalyst :23%
2.5 hour후	36 P.S.I.	10.5 P.S.I.
3 hr	60	42
3.5	88	120
4	141	144
5	196	205
6	263	270
18	486	490
23	549	570

※ sand : all regenerated sand

방치시간에 따른 강도變化

방치시간	5min 후	10	15	20	25	30	35	40	45
No.1 Mixer	545	550	520	517	496	448	403	307	254
No.2 Mixer	575	570	570	540	500	440	380	300	210

2) core sand

ambient temp :14 ℃

humidity : 56 %

Compression Strength

All Reclaimed Sand	2시간후	4시간후	8시간후	24시간후
Resin 1.1 % Catalyst 23 %	60psi	128 psi	300psi	500psi Over

방치시간에 따른 강도變化 (각시간 방치후 시편을 제작하여 24 Hr후 測定結果)

방치시간	5min후	10	15	20	25	30
압축강도 (psi)	500 Over	500 Over	500 Over	500 Over	492	374

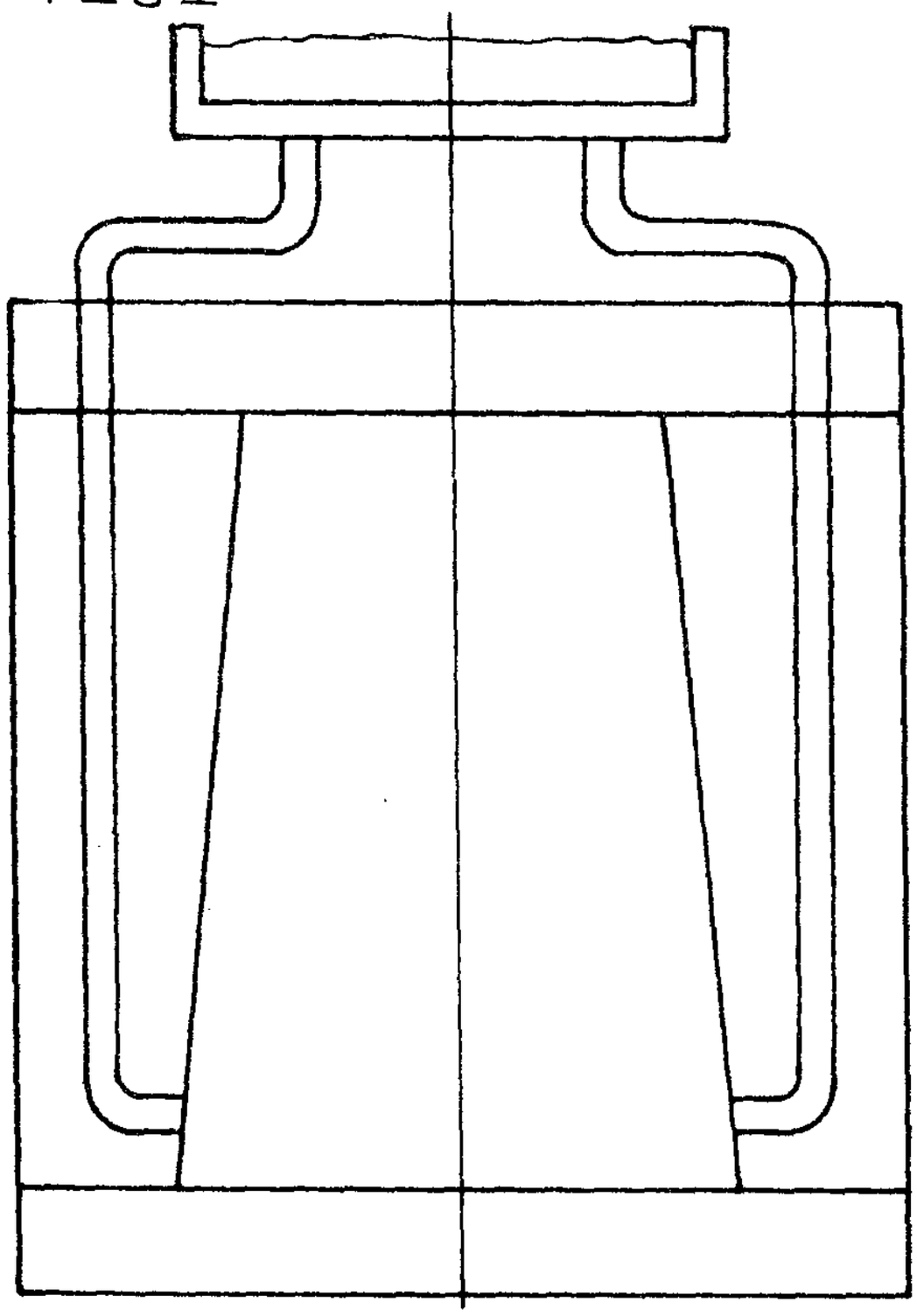
3) Molding에 요하는 Sand의 Properties

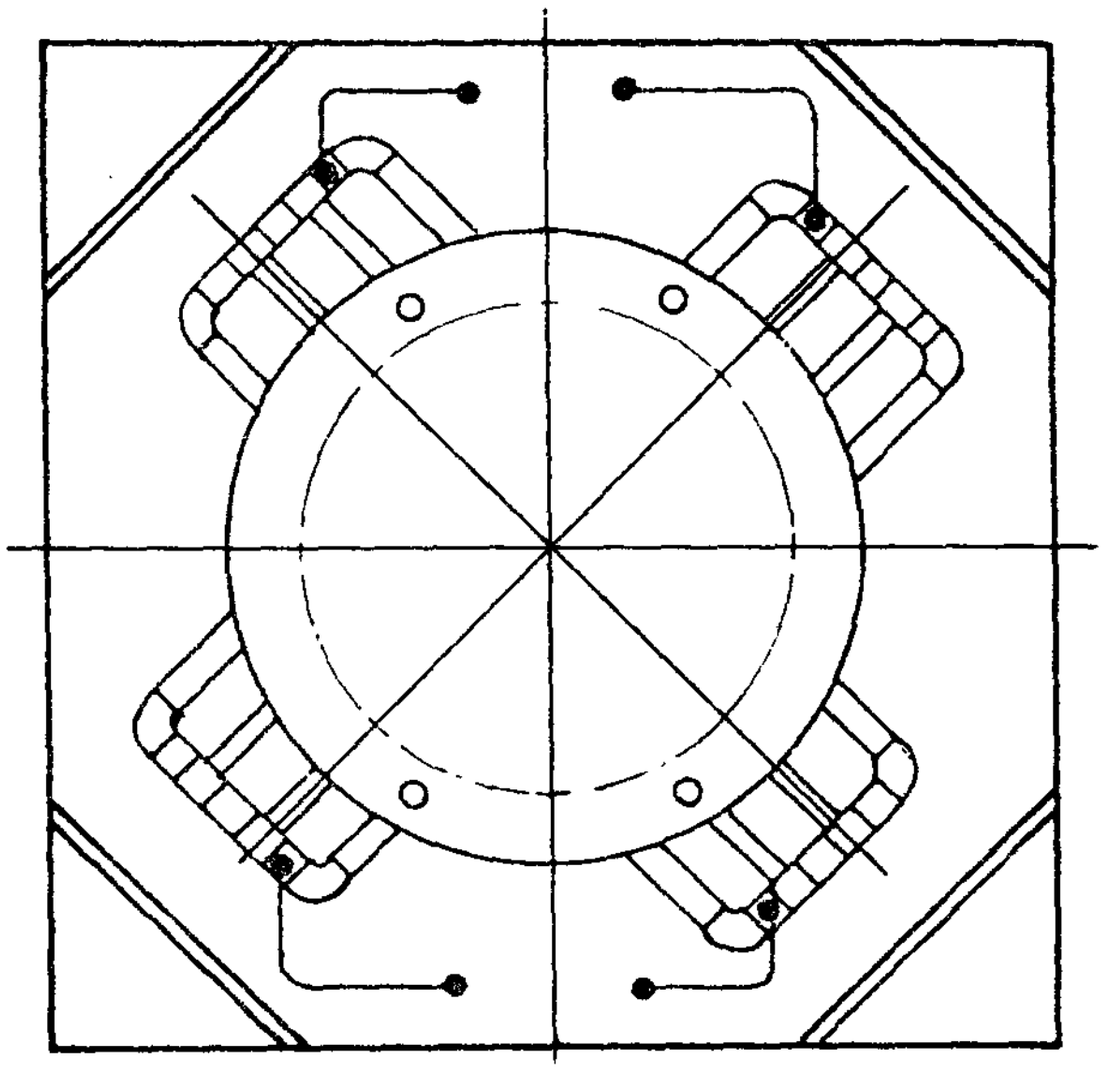
a) Stripping時 Compression Strength : 5kg /㎠

b) Working Time (Bench Life) : 30 분

c) 24 Hr 후 Compression Strength : 35 kg /㎠

5. 주조방도





6. Melting & Pouring

1) 目標 chemical composition

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Zi	V
mold	3.90 ±0.1	1.10 ±0.1	0.60	< 0.120	< 0.030	< 0.030	< 0.070	< 0.020
hot top	3.70 ±0.1	1.20 ±0.1	〃	〃	< 0.040	< 〃	〃	〃
stool	3.70 ±0.1	1.1 ±0.1	〃	〃	< 0.030	< 0.030	〃	〃

* stool은 si가 높으면 crack 發生이 쉽다. 따라서 Si가 좀 낮은편이 유리함.

2) 採湯量 :

製 品 : 298,100 KG ┐
加工여유 : 6,500 ┘ A

湯道 Ingate : 4,000
Pouring Basin : 700
Riser Basin: 10,000

Total : 319,300 KG ≒ 320 t'on → B

B ÷ A = 1.07

① 일반적으로 採湯量은 製品 鑄放 重量의 1.1배로 한다.

320 × 1.1 = 335 t on →주입중량

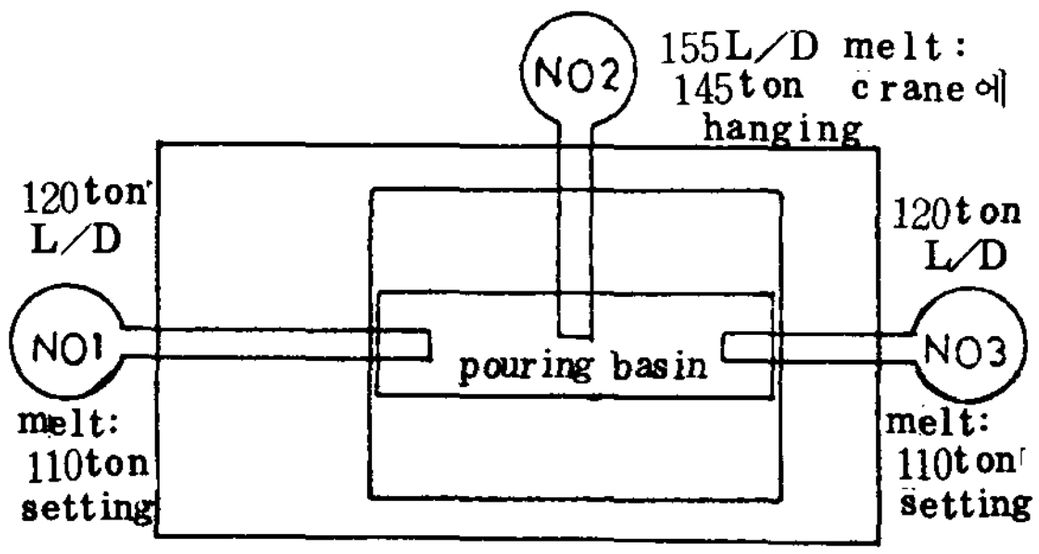
② sliding nozzle에 의한 주입에는 주입속도를 고려해야 한다.

③ sliding nozzle ladle은 주입 종료시 제품의 melt rising speed가 완만하여 목표 주입시간 (5분) 보다 훨씬 늦어진다. (약 7～8분예상) 따라서 제품 상단에 wave 형태의 결함이 발생할 우려가 있다.

④ 주입속도를 조정하기 위해서는 各 ladle 에 잔탕이 10 ton이상 남아야 한다.

⑤ 따라서 채탕량은 365 ton 으로 결정하였다.

⑥ 各 ladle setting 위치 및 채탕량



⑦ ladle의 주입속도 및 mold 內 rising speed 계산 (별지 1 參照)

3) pouring 방법 (計劃)

① ladle 3個를 사용, 2個는 setting, 1個는 hanging 한다.

② 各 ladle에 basin을 各 1個씩 setting 상부에 main pouring basin을 설치한다.

③ main basin에 용탕 높이가 300㎜ 상승하면 basin stopper를 open 한다. (H=300㎜ 일 때 melt 량 : 17.1 Ton)

④ main basin의 용탕 높이가 600㎜ 이상이 되면 No.2 L/D를 control 하여 湯高가 600㎜를 유지하게 한다.

⑤ nozzle은 3個 ladle을 同時에 開放한다.

⑥ 湯量 control은 155 ton ladle을 control 한다.

⑦ 만약 일부의 sliding nozzle이 개방되지 않을 時 main basin에 용탕 높이를 300㎜ 정도로 control 하면서 6個 nozzle이 개방되었을 시 main basin stopper을 open 한다.

⑧ 주입 종료시는 rising level을 감지 하도록 riser에 浮木에 의한 signal을 설치한다.

main basin의 용탕높이	浮木길이	上型에서의 간격
600㎜	650㎜	100㎜
200㎜	323㎜	100㎜

※ basin의 용탕 level이 600㎜이고 650㎜의 浮木 signal이 움직이면 상형에 100㎜ 미 주입 상태이다.

※ 용탕 level이 200㎜이고 323㎜의 浮木 signal이 움직이면 역시 상단 100㎜가 미주입 상태이다.

⑨ 주입종료시 rising speed를 control 못할 경우 상형과 主型사이에 leakage가 발생한다.

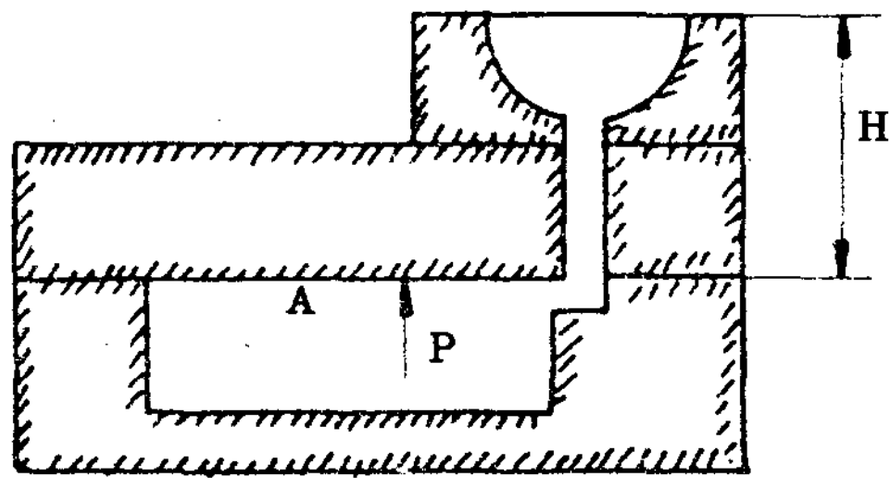
$P = \rho \cdot H \cdot A$ (100 ton 작용)

P : 상형에 작용하는 힘

ρ : 밀도

H : pouring basin의 탕면에서 상형면까지 높이

A : 용탕이 작용하는 면적



⑩ riser basin에 over flow되지 않을때 까지 주입한다. (basin 2個에 저장될 수 있는 melt 량 : 9.5 Ton)

⑪ pouring basin 배치도 : 별지 도면 參照

⑫ 주입온도 : ladle 온도 : 1285 ℃

최종 ingate 의 주입온도 : 1265 ～ 1270 ℃ 목표

4) 용해 및 주입 (실조업)

① 용해순서

a) 100 t EAF — 130 ton — ASEA 155t
30 t EAF —
L/D F'ce holding(06:17~21:05)

b) 100 EAF — 115 ton — ASEA 100 ton
L/D F'ce holdin
111.3 ton re-ladling(11:29~19:50)

c) 100 ton EAF — 107 ton — molding pit 로 운반

② 각 ladle의 최종 화학성분

Melt 量	C	Si	Mn	P	S	Cr
129 ton (155t L/D)	390	1.07	0.64	0.069	0.005	0.01
110 ton (Re-L/D)	3.94	1.03	0.58	0.069	0.005	0.01
107 ton (전기로L/D)	3.89	1.09	0.67	0.071	0.010	0.008

tapping 후 ladle 內 성분變化

	C	Si	Mn	P	S
155 ton L/D	3.94	1.08	0.64	0.068	0.005
melt :130 ton	3.90	1.07	0.64	0.069	0.005
120 ton L/D	3.92	0.98	0.58	0.067	0.005
	3.93	1.00	0.58	0.068	0.005
melt : 110 ton	3.94	1.03	0.58	0.069	0.005

③ 각 ladle의 온도 control

a) 120 ton EAF L/D (melt :107 ton)

bubbing time	초 기	5 分 15 抄	9′ 34″	4′ 23″	10′	15′
temp	1325°C	1320	1320	1315	1315	1290

total : 44 分 12 秒

temp : 30 ℃ drop 平均 temp. drop rate 0.7 ℃/min

b) 전기로 re-ladling L/D (melt량 115 ton → 111.3 ton)

ladle 중에서 holding시 temp. drop rate : 15 ℃/hour

re-ladling 시 온도 drop : 35℃ (1320 ℃ →1285 °C)

re-ladling 시 소요시간 : 15分 30秒 (ϕ 75 Nozzle)

c) 155 ton ladle (melt : 129 ton)의 최종온도 : 1285 ℃

④ 주입직전 total melt : 350 ton

⑤ 각 구간 handling시 소요시간

a) re-ladling : 16分

b) re-ladling 후 ladle setting 및 다음대기 ladle hanging 완료 : 8分소요 (20:56 ~ 21:04)

c) No.2 ladle (Re-L/D) 이동 setting : 15分소요

d) No.3 ladle이동 및 setting : 8分소요

⑥ sliding nozzle 개방

a) 155 ton (suspending) ladle : 약5分 후 개방 (2個 nozzle 개방)

b) 약 8分 No.3 ladle의 nozzle 1個 개방

c) 약 15分후 No.3 ladle과 No.1 ladle (bubbling한 L/D)의 각 1個 nozzle이 개방되었다.

d) No.1 L/D의 Nozzle 1個는 개방되지 않았다.

⑦ 주입 소요시간 : 9分 56秒

⑧ 주조방안상 주입소요시간 : 4分 24秒

⑨ 주입 1분 경과후 main pouring basin 에서 Over 발생, 각 L/D의 nozzle 을 control 하였다.

7. 주입시 TROUBLE 검토

1) 주입 약도의 지연이유

① sliding nozzle 이 동시에 개방되지 않아서 먼저 open 된 nozzle 은 미개방된 nozzle이 완전히 개방될 때까지 대기하기 위해 용탕을 소량 유출시

켰다.

② 시간이 경과됨에 따라 main pouring basin에 저장된 melt는 온도 drop이 심하여 basin의 stopper 주위가 약간 응고하였다.

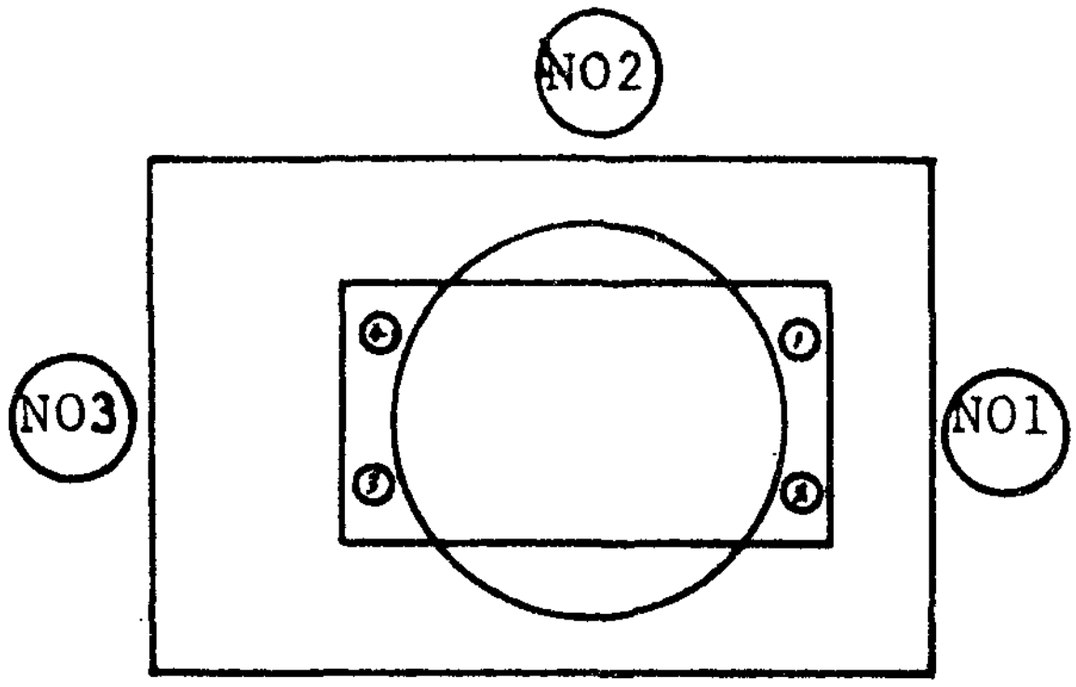
③ 따라서 basin의 stopper를 개방할 때No.1 ladle 측 stopper는 즉시 개방되었으나 No.3 ladle 측 stopper는 약 20秒후 개방되었다.

④ 먼저 open된 탕구에서 melt가 mold 內로 流入되어 개방되지 않은 ingate 로 들어가서 응고되었다.

⑤ 그후 미 개방되었던 stopper가 개방 되었으므로 주입이 불가능하였다.

⑥ 결국 탕구 4個중 2個 탕구로 주입되었다.

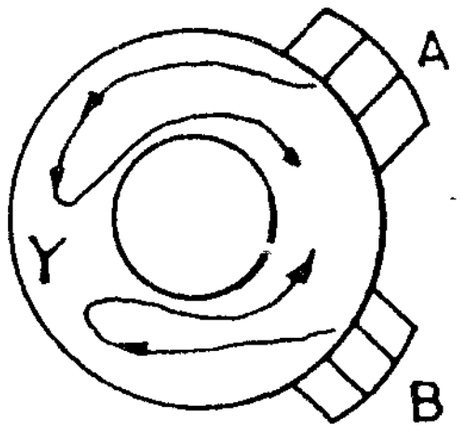
⑦ 처음 주입된 melt는 鋼芯(steel core)에 의해 냉각되었고 그 위에 다음 유입된 melt가 덮어서 wave(湯境) 형태가 발생할 가능성이 있다.



#1.2 stopper는 즉시 개방
#3 stopper:#1,2 stopper개방 20sec후 개방
#4 stopper:#1개방 1분후 개방 되었음.

2) 주입후 over flow이유

右圖에서 ingate A.B로 들어간 melt가 Y지점에서 충돌하면서 rebounding되어 down sprue 로 솟아올라 순간적으로 주입되지 않고 over flow 되었다.



3) sliding nozzle 개방시 문제점

① 출탕온도가 너무 높아서 온도 drop을 위해 bubbing 시간이 장시간 경과되었다.

② ladle support와 ladle nozzle 간격을통하여 nozzle을 개방하는데는 Lancing하기가 무척 난점이 있었다.(ladle support 부적합)

③ nozzle을 개방하는 작업자가 당황하여 신속히 개방하지 않았다.

④ ladle nozzle이 3分 이내 同時에 개방되어야 했으나 불가능했다.

8. 해 체

1) main pouring basin 해체 : 주입후 48시간후

2) beam해체 : 주입후 24시간후

3) 上型 clamp제거 : 주입후 48시간후

4) supporting pipe 및 cement block 제거 : 주입 10일후

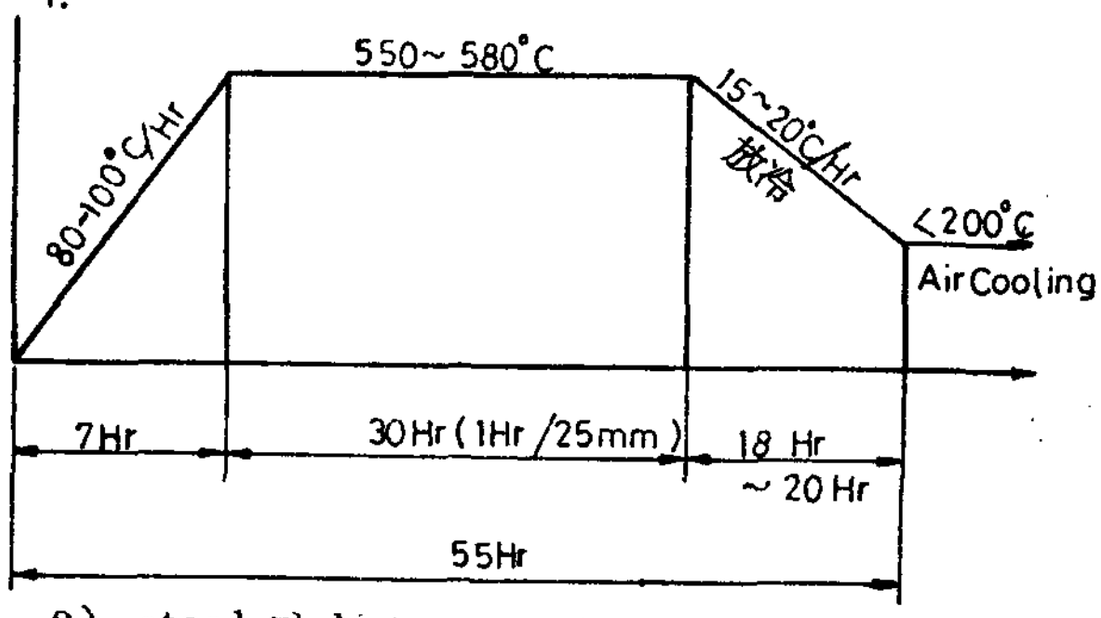
5) flask 해체작업 : 25일후

6) air blowing : 주입직후부터 해체시까지

9. 열처리

1) mold 열처리

mold의 열처리는 stress relieving이다. 100 ton이하는 열처리를 하지 않고 사용하지만 100 ton이상은 안전을 위하여 stress relieving을 한다.



2) stool 및 hot case 열처리

① stool은 400 °C 이상에서 shake-out 되면 stress relieving을 요하나 250 °C이하에서 shake-out되면 할 필요가 없다.(放冷시간이 충분히 길면 열처리를 행할 필요가 없다)

② hot-top은 열처리 할 必要가 없다.

③ carbon content가 낮을 경우 열처리를 요한다.

④ 430 ton stool 및 hot-top case의 경우

a) 화학성분

제품 \ 성분	C	Si	Mn	P	S
外 定 盤	3.81	1.02	0.61	0.070	0.007
Hot-Top Case 및 內定盤	3.86	1.01	0.63	0.070	0.007

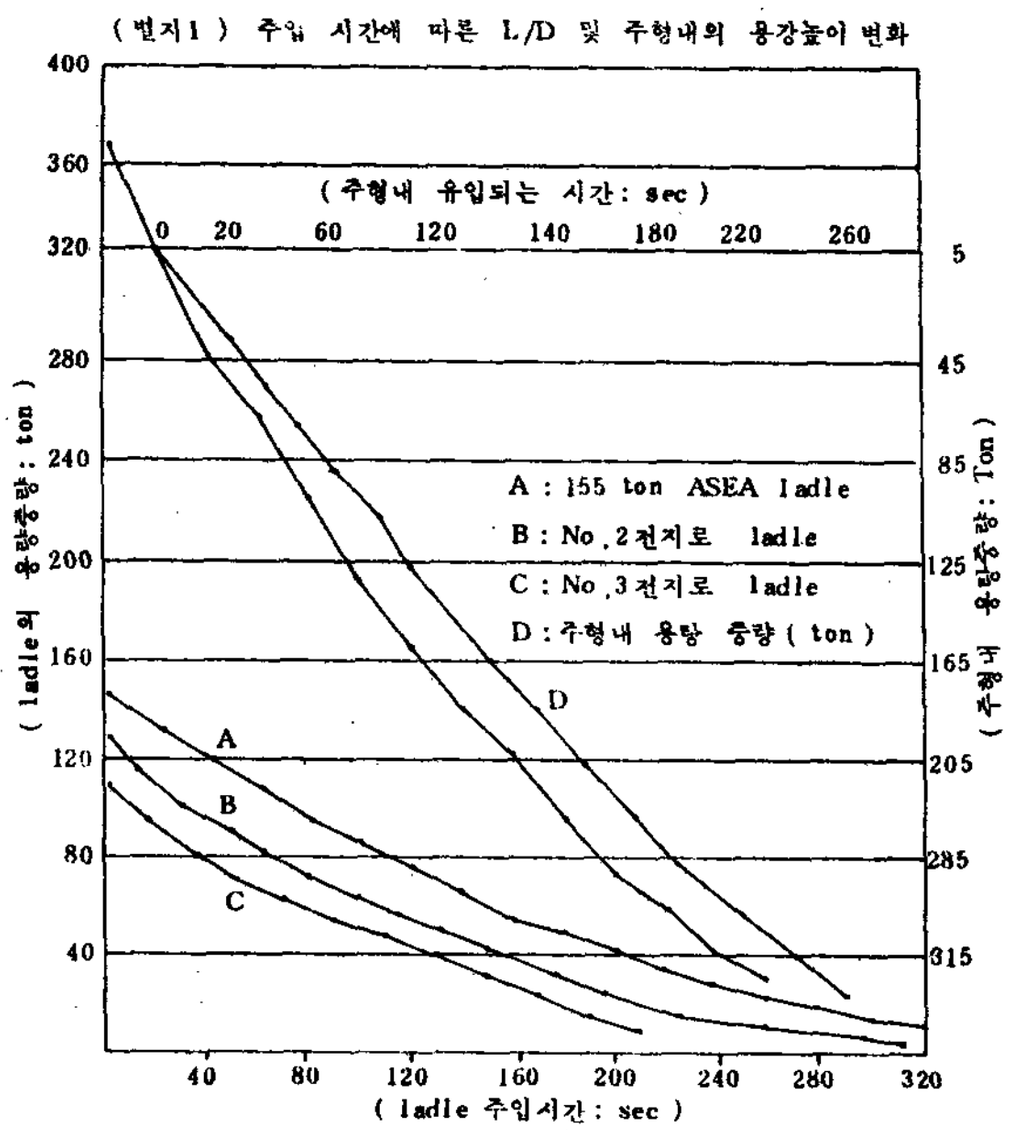
b) shake-out

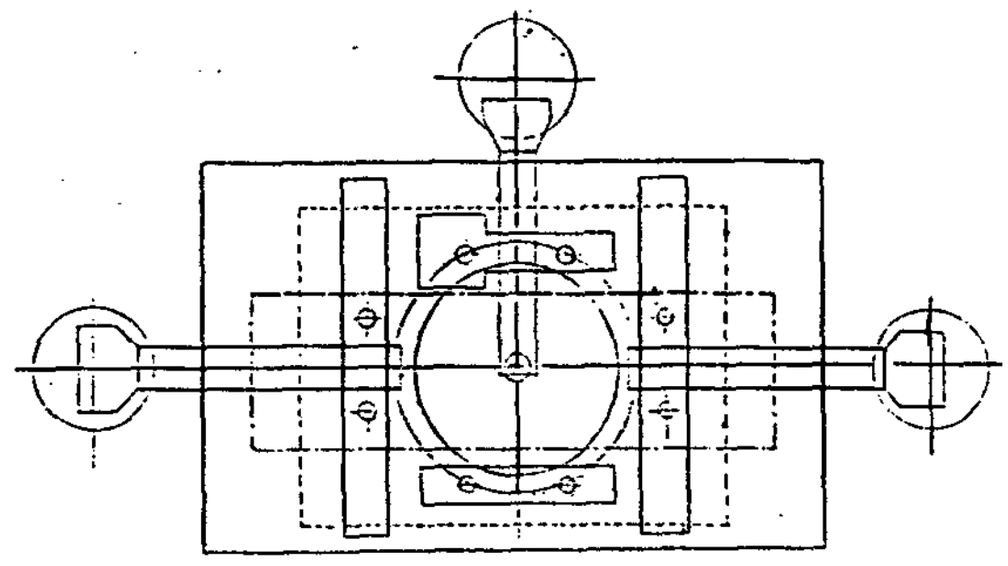
제품 \ 공정	放冷기간	해체시온도	열처리유무
外 定 盤	21 일	236 °C	열처리 무
內 定 盤	20 일	270 °C	〃
Hot-Top Case	14 일	300 °C	〃

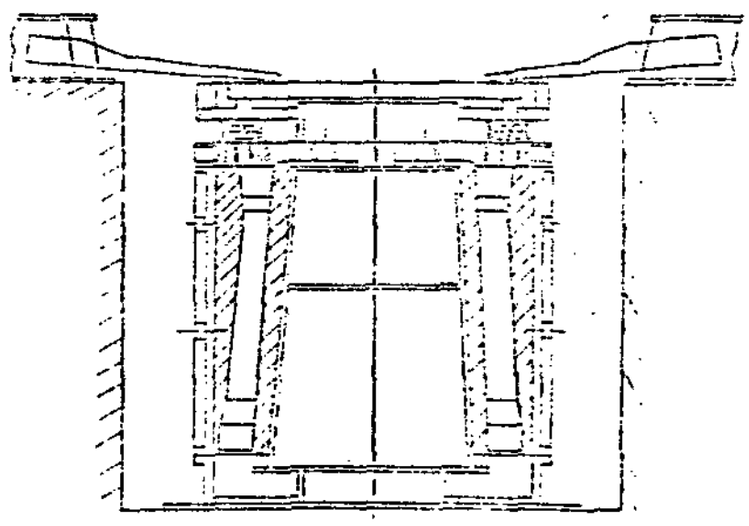
⑤ 열천리시 특기사항

a) mold는 세워서 열처리 한다. (뉘워서 고온에서 장시간 holding하면 변형 발생)

b) 화염이 직접 제품에 닿지 않게 한다. (직사화염방지를 위한 cover 설치 요)







맺 음 말

대형 제품일수록 각종 작업조건이 더욱 더 확대되어 제품의 질에 영향을 주는 것이 다시 실증되었다.

따라서 대형 제품을 처음 제조할 때는 미리 각종 조건을 심각하게 고려하여 대처해야 할 것으로 생각된다.

본 보고서에서도 언급되었듯이 main basin에 설치되었던 2개의 stopper 중에서 1개가 20초 후에 개방됨으로 해서 주입시간이 계획 4분24초에서 9분50초로 2배 지연되어 品質에 심각한 영향을 미칠뻔 했다.

모든 작업조건 하나하나에 2중, 3중으로 보완조치를 강구한 후 자신있고 담담한 마음으로 작업에 임할려고 노력했다. (끝).