

技術解説

Design Method for Tapered Riser Feeding of Ductile Iron Castings in Green Sand (2)

朴利潤*

3-3 凝固壁의 Thickness

pipe 狀 cavity 를 開放시키기 위해 凝固壁의 두께는 供給時間中의 時間이 길수록 두껍게 하지 않으면 안된다.(그림 3~5) 凝固壁의 두께는 다음과 같다.

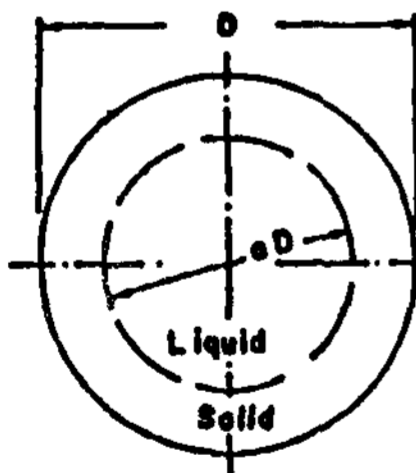
$$TF = c\sqrt{t} + b$$

TF : 凝固壁의 두께

t : 時間

c, b : 常數

凝固壁의 두께는 몇개의 方法 혹은 經驗的인 그림4와 같은 斷面으로 나타낸 taper 式의 押湯으로 決定할 수 있어 幾何學的 解析은 斷面 modulus V/A , 및 Chvorinov 法則 $\log' \sim \log (V/A)^2$ 에 의해 近似的으로 구할 수 있다.



Eqn. 1—Thickness Frozen, $TF = \frac{D-aD}{2}$

Section Modulus of TF = $\frac{V}{A} = \left(\frac{TD^2}{4} - \frac{TO^2D^2}{4}\right) \div nD$

Eqn. 2 — $\frac{V}{A} = \frac{D(1-a^2)}{4}$

그림 7 斷面 modulus와 凝固壁두께 關係의 計算

凝固壁의 V/A 는, $V/A = D(1 - a^2)/4$ 로부터 計算되어지며 (그림7), 그림7에서 凝固壁 TF는

$$TF = (D - aD) / 2$$

이式으로 부터, 그림8과 같이 凝固壁의 두께, 1~6

inch의 押湯徑을 변화시킨 斷面 modulus와의 關係를 보면, $V/A = 0.5$ 일 때, 2inch 押湯은 中心까지 凝固되며, 3" 徑 押湯은 約 0.32 inch (8mm) 凝固壁을 얻을 수 있고, 6 inch 押湯에서는 0.28 inch (7mm)의 凝固壁이 얻어질 수 있다고 되어 있다. taper 形 ri-

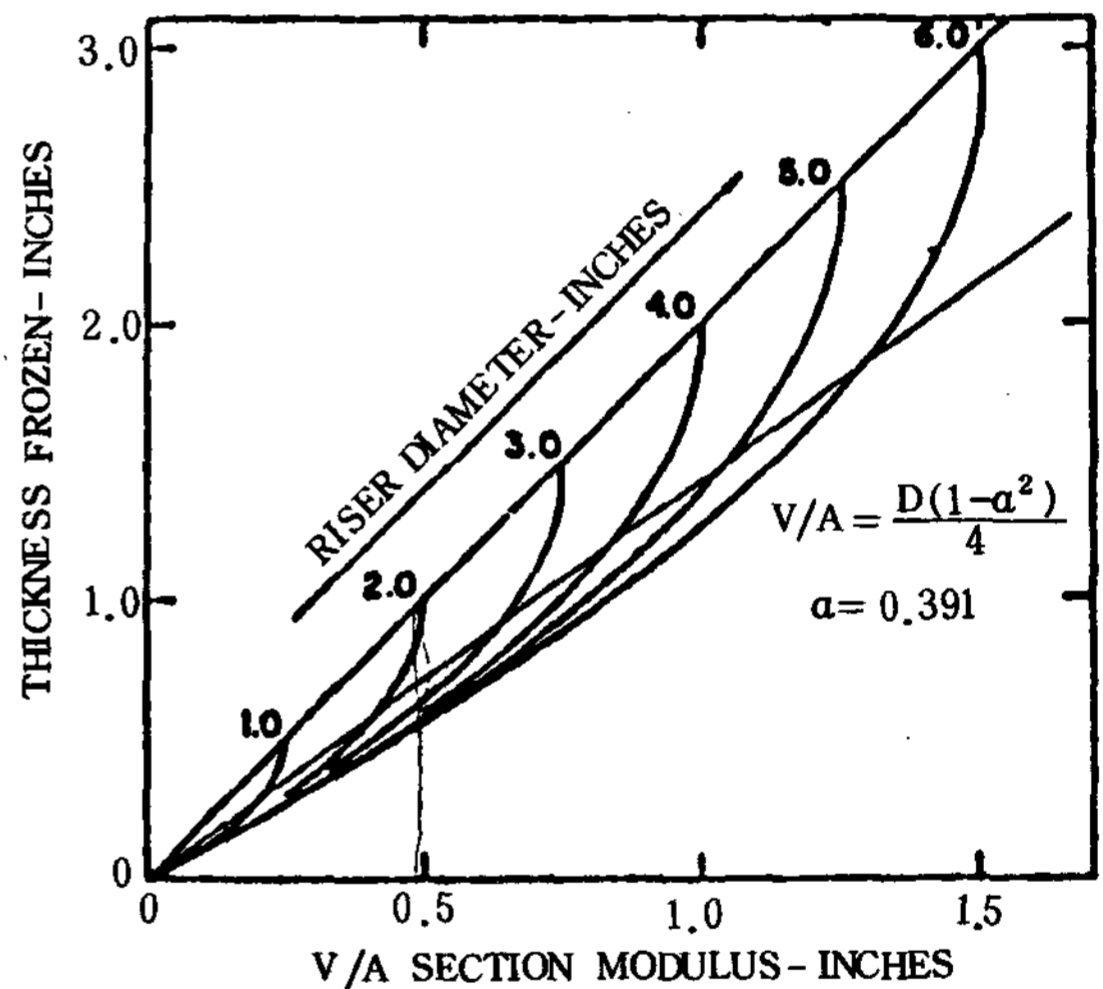


그림 8 凝固壁두께, 斷面 modulus와 押湯直徑과의 關係

ser가 그림8에서 表示한 바와 같은 거동을 나타내기까지는 그림4 例와 같은 다수의 押湯斷面으로 부터 測定하지 않으면 안된다.

그림9는 taper 形 押湯의 直徑 1~3 inch 範圍에서의 斷面을 나타낸 다수의 Data와 TF와 V/A 의 關係를 그림에 plot하면, 그림9와 같이 $V/A = D(1 - a^2)/4$ 로서 $a = 0.391$ 로 된다. 이의 近似法은 押湯直徑 6 inch까지 延長시킬 수 있다. 그림8,9는 pipe 形 cavity가 만들어 질 수 있는 것에 가장 가까운 可能性

* 부산주공(주) 이사

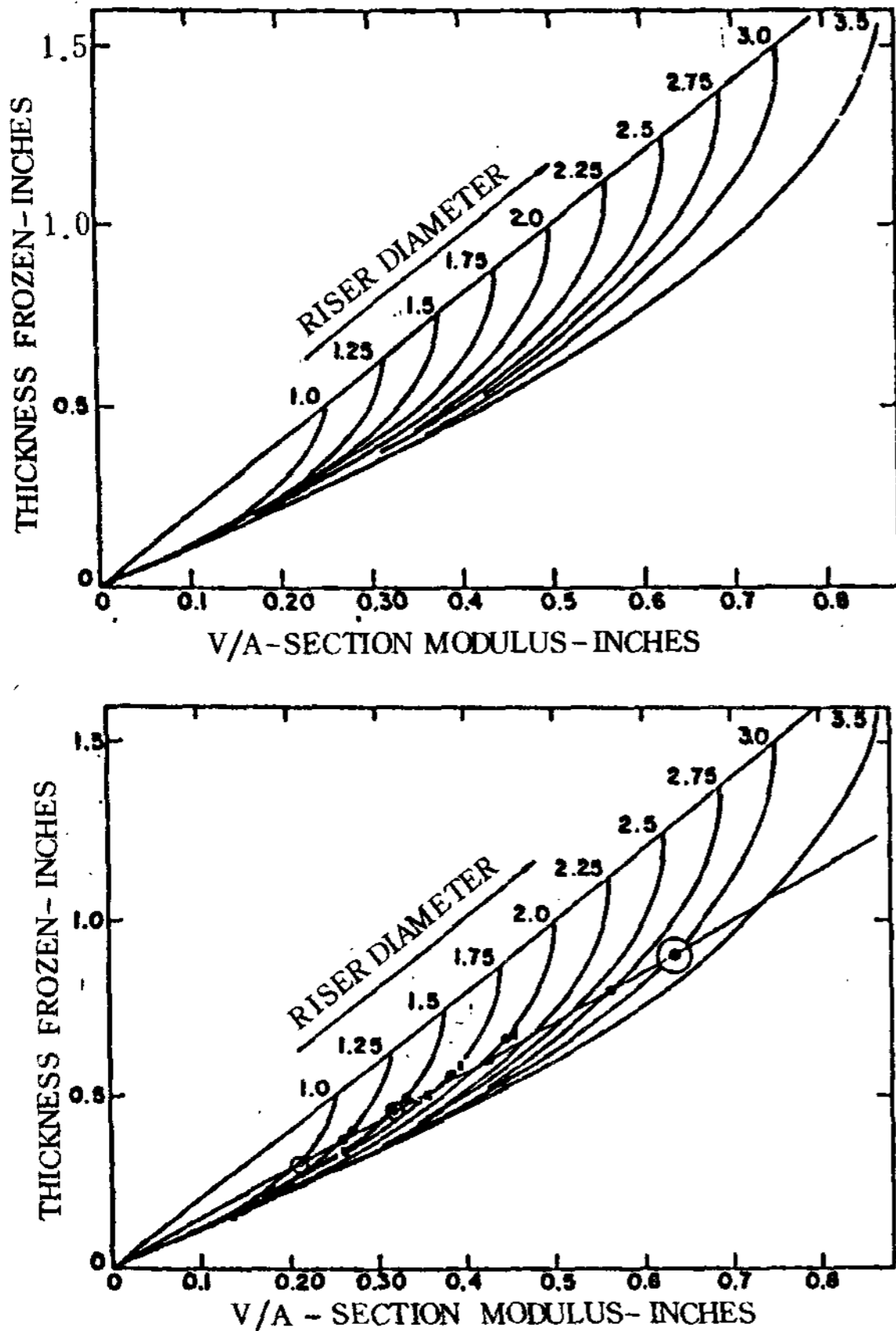


그림 9 凝固壁 두께, 斷面 modulus, 1~3 inch 직경 Riser의 關係를 이용해서 실제 鑄物工場에서 사용되는 taper riser의 직경과 凝固壁 두께와의 比較

을 推定하는데 사용되어 진다. 그렇지만, 그림6과 같이 頂上부터 底部까지 달하는 taper에 의해 凝固壁 두께가 현저하게 영향을 받는 것에 注意하지 않으면 안된다. taper 形態의 直徑을 급격히 증가시키면, 이 부근의 직경이 各 部位 위치에서의 斷面 modulus를 변화시키기 때문에, 이러한 式이 適用될 수가 없게 된다. 이 式들은 單一한 cylinder 徑을 根據했기 때문이며, 이의 效果는 그림6의 例로서 說明되어 진다. $D_R = 3.0$ inch일 때, 式 1, 2부터

$TF = 0.914$ inch $V/A = 0.635$ 로 되며, 그림9中에서 O形點으로 表示했다. 그렇지만, 그림6과 같은 3종

류의 押湯 경우, 凝固壁 두께 TF는 제일 높은 것이 1.13 inch, 中間 것이 1.03 inch, 제일 낮은 것이 0.85 inch다. 그림9에서는, $D_R = 3.0$ 일 때 1.13 inch의 凝固壁 두께에서는, 押湯은 中心部까지 凝固되어져 버린다. 따라서 經驗적 Data로부터 제일 높은 押湯이 pipe全體에 조건이 맞는 凝固가 進行될 수가 있다. 제일 낮은 押湯에서는 그림9의 $D_R = 3.0$ 일 때 0.85 inch의 위치에 나타내기 위해 押湯과 製品과의 接續部에 「cavity」를 發生시키지 않기 위해, 適當한 壓力 補給을 수반하는 pipe形 cavity를 유지시킬 수 없다. pipe狀 cavity를 수반하기 위한 凝固壁 두께를 維持할 수 있는 taper는 따라서 그림8, 9 및 式 1, 2부터 計算할 수 있다. 經驗으로부터 이의 taper는 Riser 頂部부터 底部까지의 높이當 1.1부터 1.3 D_R 정도 증가시키므로써 可能性을 알 수 있었다. 단, 여기까지의 研究에 의해, 여러 경우에는 經驗적인 關係도 存在하며, 鑄造工場의 特有한 操業條件에 對한 變化도 고려할 必要가 있다. 예를 들면, 용탕과 주형의 조건이 어떻게 영향을 미치는 가에는 아직 검토치 않았다. D_P 와 TF의 直徑 및 斷面形狀을 어떻게 선택하는 가의 Data는 여러 變化에 對應하면서 얻을 수 있을 것이다.

1) curve形 taper

curve形 taper는 직선 taper보다 yield-rate 改善에 效果가 있는 것은 그림5, 6에서 說明했다. 이것은 既述한 바와 같이, $TF = c\sqrt{t} + b$ 의 關係式에서 豫상되어진다. riser 頂部부터 밑으로 높이 inch는 一定%로 直徑을 增加시키면 당연히 curve形 taper가 된다. 이의 形은 $D = D_T X^n$ 로 표시되며, D_T 는 前述한 바와 같이 押湯頂部の 直徑으로서, X는 押湯頂部로부터 밑으로 높이 inch當의 增加率을 표시하는 乘數로서, n은 頂部로부터 밑으로의 높이의 inch 위치를 나타낸다. 예를 들면, $D_T = 1.0$ inch, $X = 1.2$ inch當 增加율을 20%, $n = 1, 2, 3, 4 \dots$ 경우, riser의 직경은 다음과 같이 變化한다.

$$D_T = 1$$

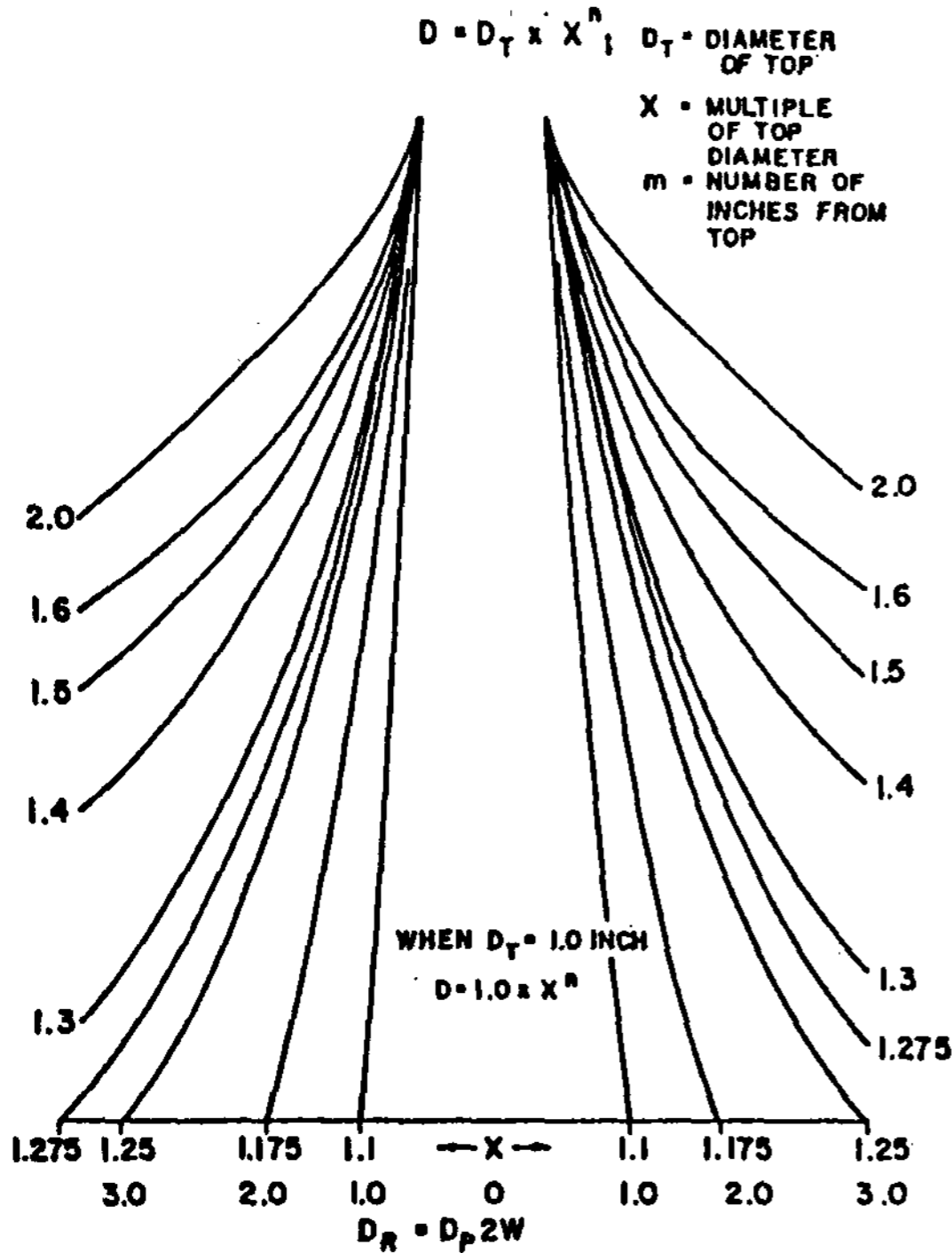


그림 10 $D = D_T \times X^m$ 에 의해 增加되는 Riser의 변형 곡선의 한 예

- $D = 1.2$ 頂部로 부터 1 inch 밑
- $D = 1.44$ " 2 "
- $D = 1.728$ " 3 "

押湯外形의 曲線狀態를, X 를 1.1부터 2.0까지 變化시킨 경우는 그림 10과 같다. 이의 taper는 計算된 D_R 와 頂部の 직경을 그림 10의 曲線과 맞추어서, 상당히 편리하게 적용할 수 있으며, 頂部の 直徑 D_R 를 선택하는데 편리하다.

2) 現在 押湯의 改良

現在의 押湯의 높이가 낮던지, 不適合한 경우, 押湯의 形態를 變更하기 위한 간단한 方法으로서 기존 riser 위에 taper形 riser를 부치는 方法이 있다. 이것은 기존 D_R 부터 시작해서 頂部까지 徑이 적어지게 된다. 頂部の 直徑과 全높이는 前述한 내용으로 선택할 수 있다. 그렇지만 押湯의 choke는 얇게 해서 빨리 凝固시켜야 되며, 일단 시작된 pipe狀 cavity는

繼續되지 않으면 안된다.

3) 熔湯供給系統

熔湯의 必要供給量은 鑄造工程의 여러 요인에 의해 生型에서는 2%부터 6%까지 變化한다. 鑄型의 膨脹이 이의 主要原因이 된다. 膨脹, 이외의 工程原因이 용탕공급량에 영향을 미치기 때문에, 内部의 shrinkage

표 2. Riser Pipe Dimension for Feeding Section (0.25 lb Per cu in density, $H_p + D_r = 2.5$)

Casting Weight lbs.	2% Feed Metal		4% Feed Metal		6% Feed Metal	
	D_r in.	H_p in.	D_r in.	H_p in.	D_r in.	H_p in.
1	0.344	1.366	0.369	0.922	0.546	1.37
2.5	0.467	1.17	0.50	1.25	0.74	1.85
5	0.588	1.47	0.63	1.58	0.93	2.34
10	0.74	1.85	0.79	1.99	1.18	2.94
15	0.849	2.12	0.91	2.27	1.35	3.37
20	0.93	2.34	1.0	2.5	1.48	3.71
25	1.01	2.52	1.08	2.7	1.60	4.0
30	1.07	2.67	1.15	2.86	1.70	4.24
35	1.13	2.81	1.21	3.02	1.79	4.47
40	1.18	2.94	1.26	3.15	1.87	4.67
50	1.27	3.17	1.36	3.4	2.01	5.03
60	1.35	3.37	1.44	3.61	2.14	5.35
70	1.42	3.55	1.52	3.8	2.25	5.63
80	1.48	3.71	1.59	3.97	2.35	5.88
90	1.54	3.86	1.65	4.13	2.45	6.12
100	1.60	4.0	1.71	4.28	2.54	6.34
125	1.72	4.3	1.84	4.61	2.73	6.83
150	1.83	4.57	1.96	4.9	2.90	7.26
175	1.92	4.81	2.06	5.16	3.06	7.63
200	2.01	5.03	2.16	5.39	3.18	7.99
250	2.16	5.42	2.32	5.81	3.44	8.60
300	2.30	5.76	2.47	6.17	3.66	9.14

표 2. (cont'd) Riser Pipe Dimensions For 6% Feed Metal, 0.25 lbs cu in

Casting Weight lb	$H_r/D_r = 5/1$		$H_r/D_r = 6/1$		$H_r/D_r = 7/1$		$H_r/D_r = 8/1$		$H_r/D_r = 9/1$		$H_r/D_r = 10/1$	
	D_r	H_r	D_r	H_r	D_r	H_r	D_r	H_r	D_r	H_r	D_r	H_r
1	0.304	1.57	0.371	2.23	0.358	2.46	0.337	2.68	0.324	2.91	0.313	3.13
2	0.406	2.41	0.467	3.80	0.444	3.11	0.424	3.39	0.408	3.67	0.393	3.93
4	0.625	3.126	0.688	4.53	0.659	4.91	0.634	5.29	0.614	5.63	0.596	5.98
6	0.716	3.579	0.774	4.94	0.738	5.48	0.712	5.90	0.692	6.29	0.674	6.68
8	0.788	3.939	0.841	5.45	0.794	5.93	0.764	6.39	0.744	6.83	0.725	7.25
10	0.849	4.263	0.899	5.79	0.859	6.31	0.826	6.70	0.804	7.09	0.784	7.47
15	0.971	4.957	0.994	6.61	0.968	7.18	0.930	7.64	0.909	8.09	0.887	8.51
20	1.089	5.346	1.09	7.04	0.956	7.69	0.914	8.13	0.879	8.59	0.848	9.03
25	1.152	5.759	1.08	7.50	1.03	8.21	0.985	8.68	0.947	9.12	0.914	9.54
30	1.224	6.12	1.15	7.91	1.09	8.66	1.05	9.11	1.01	9.55	0.971	9.97
40	1.347	6.736	1.27	8.61	1.20	9.43	1.15	9.91	1.11	10.37	1.069	10.69
50	1.464	7.256	1.37	9.19	1.30	9.98	1.24	10.32	1.19	10.74	1.15	11.50
60	1.543	7.71	1.45	9.71	1.39	10.45	1.32	10.75	1.27	11.11	1.22	12.2
70	1.623	8.117	1.53	10.16	1.45	10.91	1.39	11.10	1.33	11.41	1.28	12.90
80	1.697	8.497	1.60	10.59	1.52	11.32	1.45	11.61	1.40	11.85	1.35	13.59
90	1.765	8.856	1.66	10.97	1.58	11.64	1.51	12.07	1.45	12.26	1.40	14.0
100	1.828	9.14	1.72	11.32	1.63	11.94	1.56	12.51	1.50	12.67	1.45	14.5
120	1.943	9.714	1.83	12.07	1.74	12.76	1.66	13.3	1.60	13.37	1.54	15.4
140	2.045	10.227	1.93	12.55	1.83	13.19	1.75	13.99	1.68	14.03	1.62	16.2
160	2.139	10.682	2.01	12.98	1.91	13.58	1.83	14.63	1.76	14.62	1.70	17.0
180	2.224	11.12	2.09	13.36	1.99	13.92	1.90	15.21	1.83	15.15	1.77	17.7
200	2.304	11.548	2.17	13.69	2.06	14.22	1.97	15.76	1.89	15.64	1.83	18.3

cavity를 방지키 위해서는 taper形 riser를 잘 應用해서, 必要한 熔湯의 供給量을 확인하여 두는 것이 重要하다. 良好한 「piping」이 생긴 押湯에서 熔湯供給量을 測定하는 것이 좋다. 一般的으로, 高密度의 生型에 의한 ductile iron에서 2%부터 6% 정도의 範圍다. 표 2를 보면, thickness가 約 0.75 inch 以下の 鑄物에서는 보통 2% 供給으로서 充分하다. 1 inch 以上の 두께에서는 6% 供給이 必要하나, 特히 鑄型密度가 充分치 않을 경우에는 이 이상 필요할 경우가 있다.

4) riser 底部와 製品과의 연결부

押湯의 底部와 鑄物과의 接續部の 設計에 있어서는 기히 報告되어져 있다(1) 단 이의 接續部는 製品側에 cavity를 생기게 하는 原因이 될 경우가 있으며, 이는 接續部가 너무 적을 경우에 cavity가 생기며, 또한 접속부를 통과하는 용탕의 量이 많으면 많을수록 이의 cavity가 생길 수 있을 것이다. riser 內의 pipe狀 cavity가 잘 진행이 될 경우에도 接續部の 製品側에 cavity가 생길 경우에는 湯道 단면적을 줄이므로 防止가 可能하다. 용탕의 70% 정도가 탕도로부터 얇은 ingate를 통해서 直接 製品에 들어갈 경우는, 押湯과 製品과의 溶湯의 balence가 가장 適當하다. 이것에 의해 押湯보다 훨씬 늦게 凝固하는 接續部에 생기는 過熱部를 防止할 수 있다.

5) ingate

押湯에 들어가는 「ingate」를 빨리 凝固시키기 위해서는, 鑄込完了後 빨리 pipe狀 cavity를 開始시키는 수단으로서 強調할 수 있다. 이를 위해 押湯에 들어가는 「ingate」의 단면적을 좁게 하며, 이의 「ingate」의 全斷面積 計算은 一般的으로 다음과 같다.

$$A = \frac{w}{t} \times \frac{1}{k \times d \times \sqrt{2gH}}$$

A : choke-ingate 단면적

w : 注込量

t : 鑄込時間

d : 용탕의 密度

g : 重力常數

H : 湯口높이 혹은 ingate부터 上面까지의 유효높이

k : choke-ingate 部の 效率係數 (0.4 ~ 0.8)

押湯쪽으로의 流入速度를 制御하기 위한 設計

용탕의 密度 $d = 0.25 \text{ lb/in}^3$, $k = 0.46$ 일 때,

「ingate」의 斷面積 A는

$$A = \frac{w}{t} \times \frac{1}{0.46} \times \frac{1}{\sqrt{H}} \times \frac{1}{0.25 \sqrt{2 \times 64.4 \times 12}}$$

$$A = \frac{0.313}{\sqrt{H}} \times \frac{w}{t} \text{ (in}^2\text{)} \text{ 으로 된다.}$$

H가 6, 9, 12일 때, A에 對한 鑄込速度 w/t 의 關係를 그림 11에 표시했다.

여기에 注意를 要하는 것은, ingate의 choke 位置에 對해서는 이 式에서는 알 수 없으며, 또한 A의 길이에 對해서도 알 수 없다. ingate의 斷面形狀은 正方形, 長方形 및 円形 어느 形도 좋지만, 正方形과 동일한 斷面積을 가진 長方形의 변은 $A = n \cdot a^2$ 으로 표시되며, n는 長邊과 短邊과의 比, a는 長方形의 短邊이다. n는 대개 4보다 커 斷面 modulus V/A 는 同一斷面積의 正方形의 斷面 modulus보다 적어진다. 따라서, 신속히 凝固시키기 위해서는 「ingate」의

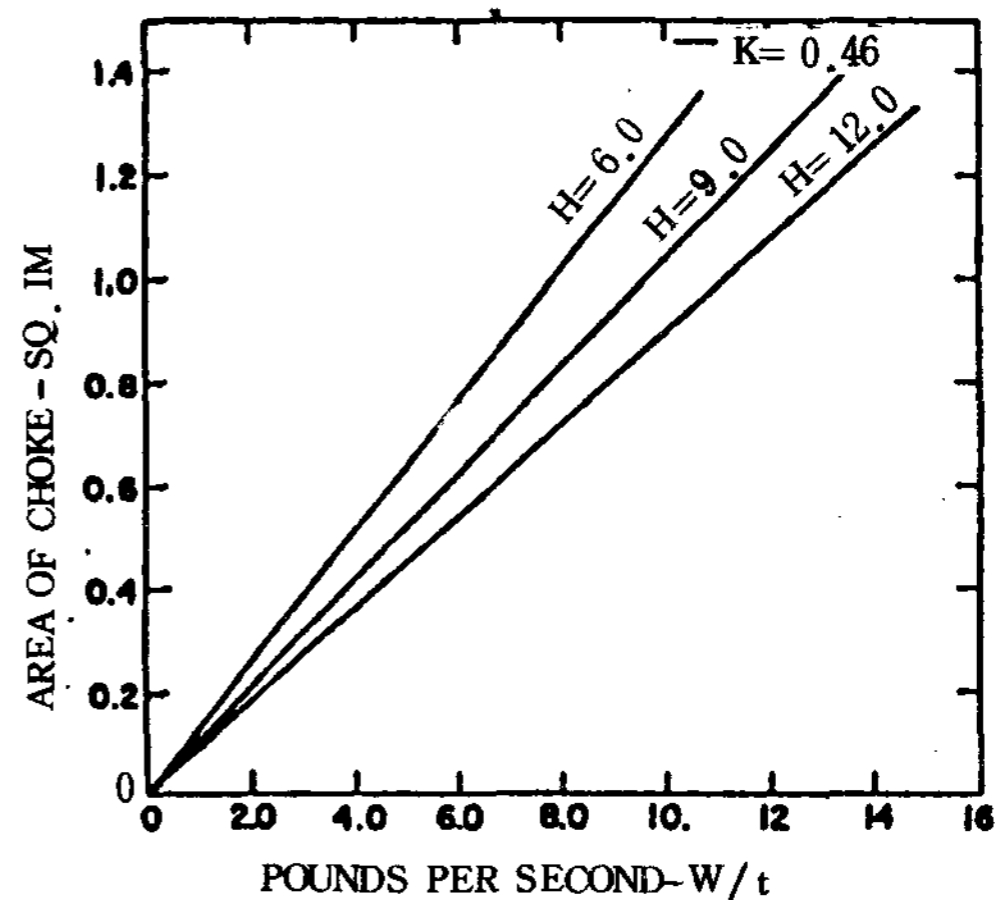


그림 11 K = 0.46일 때 1 초간에 鑄込되는 熔湯量에 對한 ingate의 斷面積과 湯口の 높이의 關係

斷面은 폭이 두께의 4 배以上 必要하다. chock 部分의 斷面을 여러개로 분할해서 凝固를 빨리 시키는 것이 必要하며, 「ingate」의 全面積이 크게 됨에 따라 k 値는 커진다. 鑄込時間이 길어질 경우에는, choke 部의 단면적을 크게 하지 않으면 안된다.

6) 湯口와 湯道

押湯이 2 個以上 있을 때, 「ingate」의 全面積은

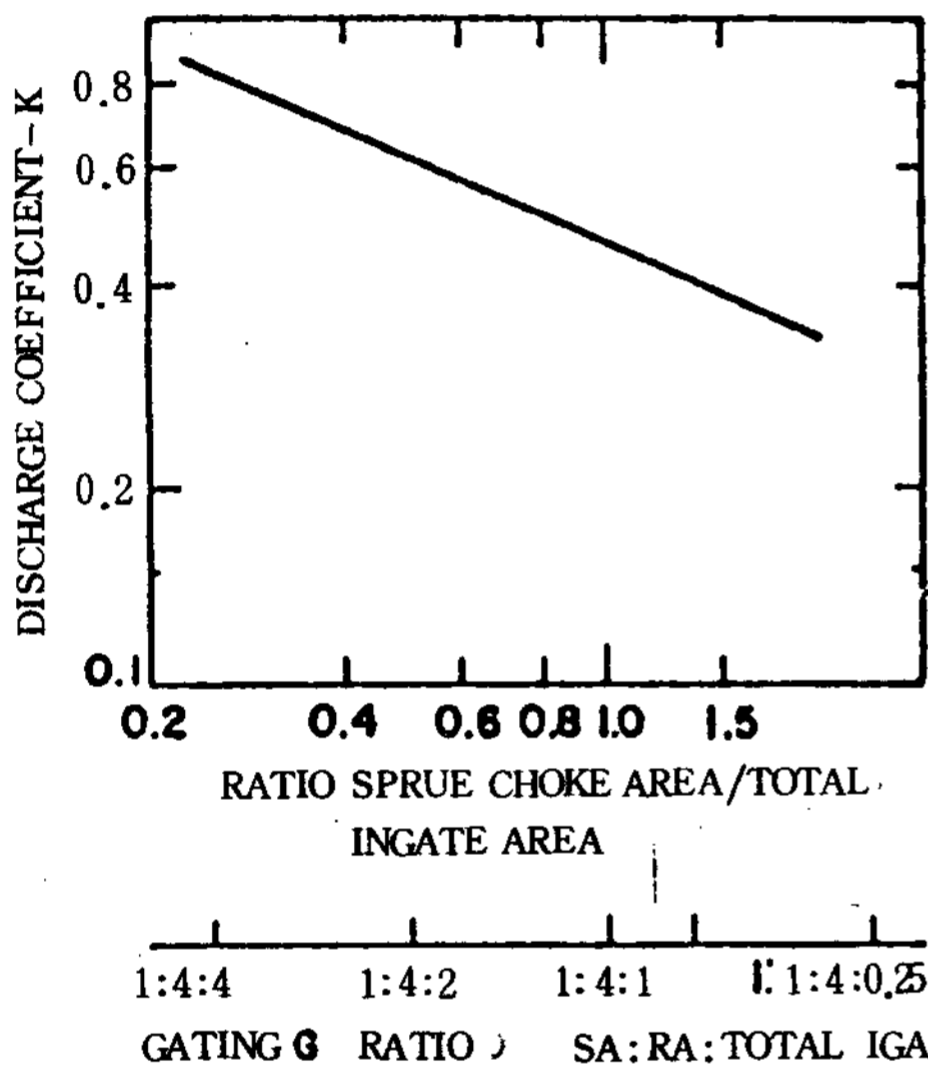


그림 12 ingate의 斷面積. K 値에 미치는 影響

押湯別로 分割한다. 湯口는 押湯에 들어가는 「ingate」의 全斷面積의 20~30% 정도 더 크며, 湯口, 湯道, ingate의 比率 4:8:3로 보면, 湯口는 ingate에 對해 4:3 즉 25% 정도 크다.

湯道의 必要面積은 간단히 말하면, 「ingate」 및 湯口 정도는 아니지만 좀 크게 함으로서 slag를 捕集할 수 있다. 따라서 「ingate」에 對해 1.5~4 배가 적당하다. slag를 잡기 위해, 湯道는 上型에 설치하고, 押湯에 연결되는 「ingate」는 下型에 붙인다(그림3) 그렇지만, AFS에서 추천하는 것은 1:4:4의 比率로서, 湯口에도 choke를 붙여 dross 및 slag捕集을 配慮하고 있다. 이의 경우에도, 湯道와 押湯과의 연결부를 빨리 凝固시키는 것이 매우 중요하다. 그림12에 表示한 바와 같이 이의 比率는 k 値에 影響을 받는

다. AFS發行(2)에서 추천하고 있는 k의 計算法도 便利하다.

ingate-choke 計算에서는 湯口有效높이가 必要하며, 이 計算은 AFS計算法(2)로 부터의 그림 13을 이용

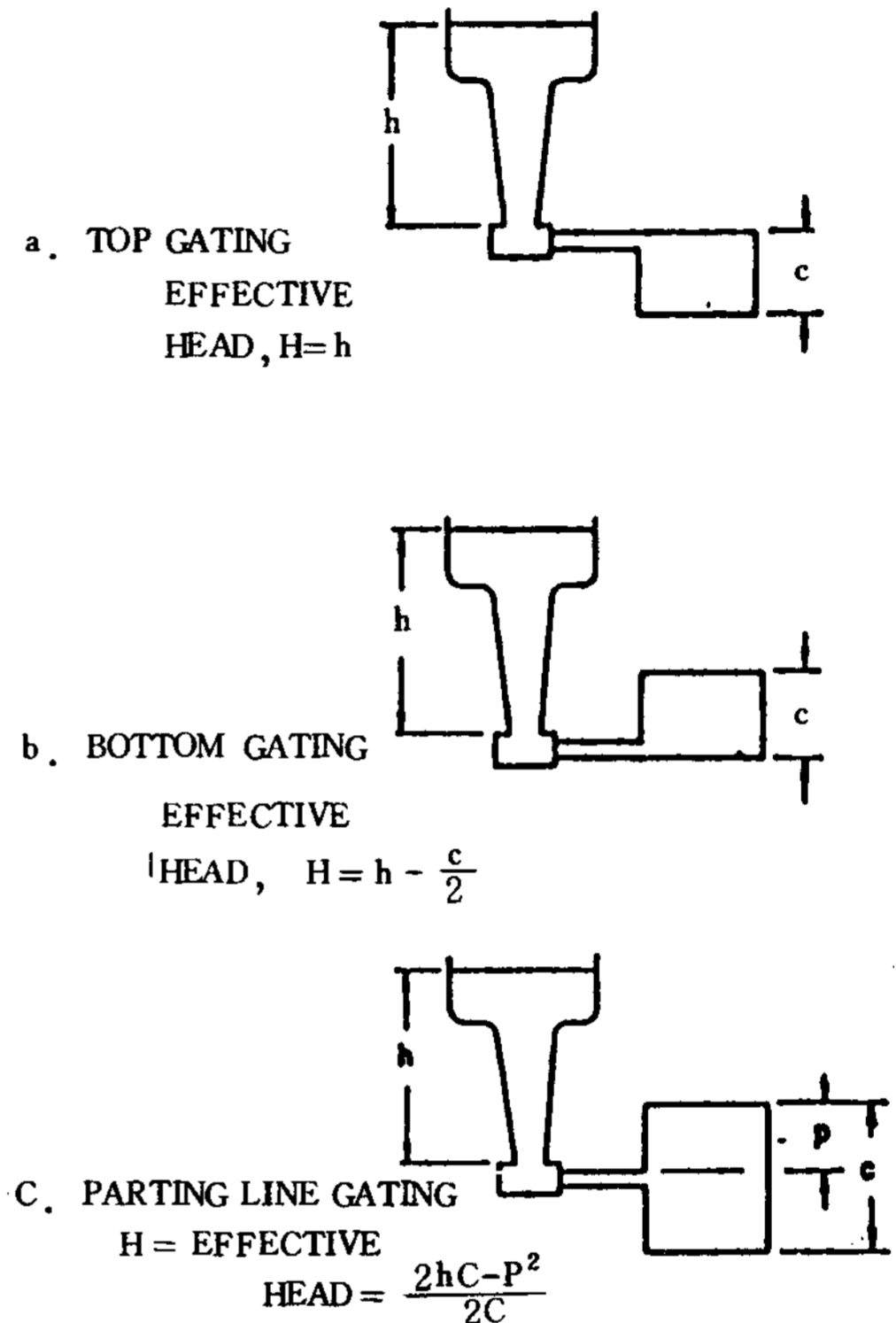


그림 13 文獻(2)에 의해 計算된 有效 湯口의 높이

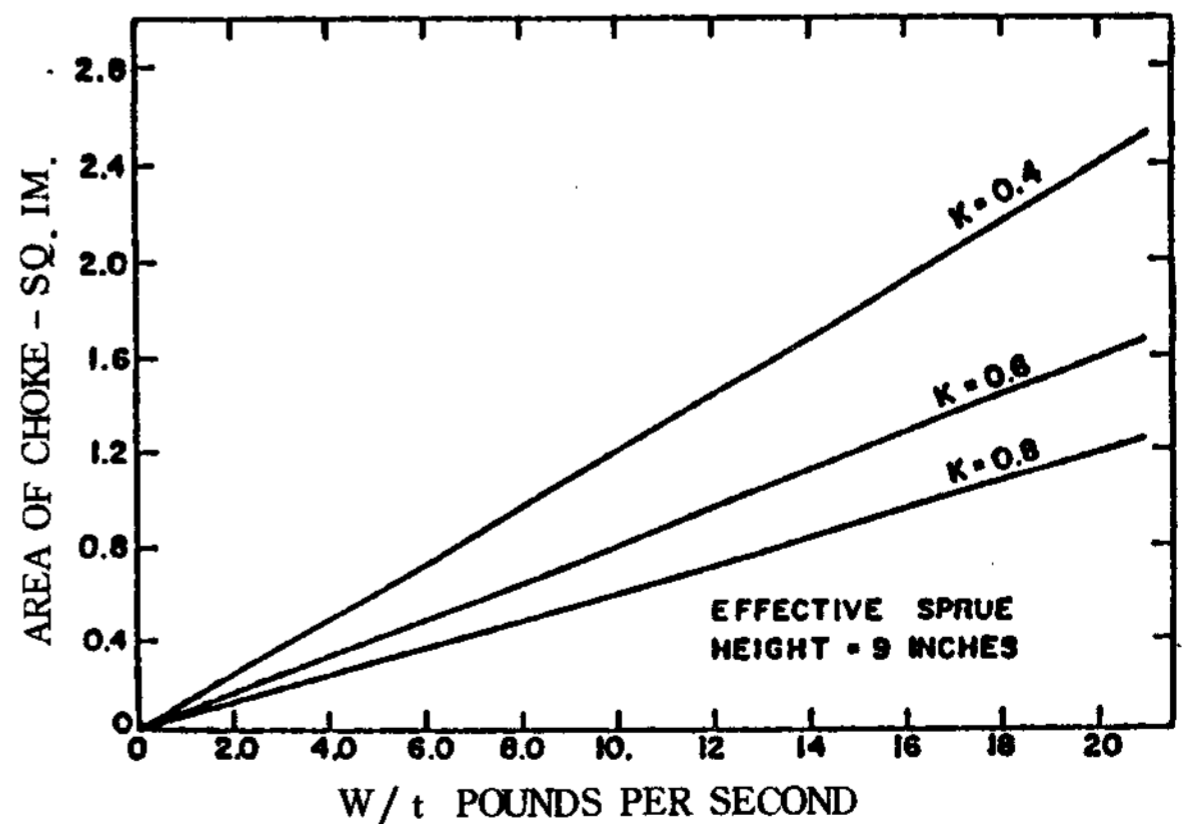


그림 14 有效湯口 높이를 9 inch로 일정하게 했을 때의 鑄込速渡와 Choked-ingate와의 斷面積의 關係에 미치는 K의 變化의 影響

할 수 있다. 湯口유효높이의 어떤 치수에 있어서의 鑄込速度에 미치는 k 의 영향을 그림14에 表示했다. 이의 設計法에 있어서 迅速히 凝固하는 ingate의 choke를 강조할 경우에는, 湯口유효높이와 鑄込速度가 同一할 경우에 k 를 크게 하던지, choke의 全面積을 크게할 必要가 있다. 湯口系 設計의 主要點은 鑄込後 빨리 「pipe狀 cavity」가 開始되어져야 되며, 「ingate」의 計算方法에는 關係없이 製品에의 溶湯 供給을 위한 'ingate, 와 'Riser,의 效果를 最大限 活用하여, yield rate를 될 수 있는 한 높이는데 目的이 있다.

7) yield rate

ductile iron의 riser yield rate는, 理論적으로 80%정도 가능하며, 또한 湯口 等에서 10~20%정도이므로, taper形 riser를 이용할 경우의 全 yield-rate는 55~65%정도 가능할 수 있다.

4. 맺 음

湯口系の 設計方法을 각 단계별로 결론을 내리면 다음과 같다.

1) 設計순서로서, 必要한 Data로서는,

上型의 높이

taper形 riser의 最大높이

riser의 數

Runner

必要한 ingate

押湯과 製品을 연결하는 熔湯補給路의 有效두께

各 押湯으로 부터의 補給거리

鑄込重量

鑄込時間, 等이 있다. 적은 鑄物에서는, 당연히 押湯을 높일 必要가 없다.

2) 表1에서 鑄物重量에 對한 D_p, H_p 를 선택키 위해서는, 鑄型높이의 制限内에서 높은 H_p 를 선택하는 것을 基本으로 한다.

3) 補給을 위한 押湯底部의 직경은 $D_R = 2w + D_p$ 에 의해 정한다.

4) D_p , 湯口の 직경 D 로 부터 riser頂部 직경을 결정한다.

5) 前述된 法則을 고려해서 riser의 taper를 결정한다.

6) 押湯底部의 치수를 정한다.

7) 押湯에 들어가는 ingate의 choke部가 빨리 凝固시키기 위한 湯口系 設計를 하며, 鑄込時間은 짧게 하면서, 必要하면 choke部를 分割한다. 이것은 特히 적은 鑄物일 때 必要하다.

8) 시험鑄込時, pipe狀 cavity를 조사, 必要하면 修正한다. 또한 choke가 너무 크지 않은 것이 바람직하다.

응고벽의 두께를 조사하기 위해서는, 그림8 및 그림9의 도표상에서, 압탕의 斷面으로 부터 얻은 結果를 plot해서 實際와 比較해서 본다. pipe狀 cavity의 용적은 푸레트로 물을 넣어 조사하면 좋을 것이다.

taper形 riser를 사용함에, 最初의 그림1에 表示한 이상한 「cavity」, 즉 riser接續部 製品側에 생기는 미세한 수축공 發生을 解決할 수 있다. 단 内部의 미세한 수축현상의 發生을 일으키는 다른 要因들이 있어, 이의 問題들이 提起되고 있다. 이것들에 대해서는 아직 未解決의 課題로 남아 있다.

문 헌

- (1) R.W.Heine Risering principles Applied to Ductile Iron castings made in Green Sand. AFS Trans. 1979, and references
- (2) American Foundrymen Society, Basic principles of Gating and Risering, Des plaines, IL, 1973.