

論 文

三面L-型鑄物の鑄型內凝固特性에 關한 研究

韓允熙* 李啓完**

A Study on the Solidification Characteristics of 3-Plane L-Sections Castings in the Mold

Y. H. Han, G. W. Lee,

ABSTRACT

The melt of highly purified Zn was poured by top pouring process into the open green sand mold, that was made by using the 3-plane L-sections pattern. After skin was formed, the unsolidified melt was poured out by rolling-over. The thicknesses of skin for each different of castings were investigated with one dimension.

The results obtained and could be summerzed as follows:

- 1) While the 3-plant L-sections castings were solidifying in the mold, solidification blocks of different section modulus in the castings were formed, i.e. 1-dimension divergency block, 2-dimension heat divergency block, 3-dimension heat divergency block, 2-dimension heat convergency block, and 3-dimension heat convergency block.
- 2) When the chill plate was set up to the mold in order to change section modulus artificially, heat divergency blocks and heat convergency blocks according to the shape of chill plate were revealed.

1. 緒 論

L-型으로 三面이 交叉된 주물이 주형내에서 凝固될 때에는 여러가지 相異한 형상이 주형내에서 응고될 때와 같은 樣相을 나타낼 것이다. 따라서 이 L-型鑄物이 응고될 때는 平面接合部의 熱的 影響을 받지 않는 1-次元熱放散區域(1-dimension heat divergency block)과 面과 面이 서로 맞닿는 外側部

의 경우에는 2-次元 및 3-次元熱放散區域으로 이루어져 있고, 內側部의 경우에는 2-次元 및 3-次元熱凝集區域(heat convergency block)으로 이루어져 있다고 볼 수 있다.

內角과 外角으로 이루어진 L-형주물에서는, 서로 相異한 凝固區域이 형성되어, 주물이 주형내에서 냉각시에는 收縮應力에 의하여 龜裂이 발생될 수도 있으며, 熱의 凝集區域에서는 高溫部를 형성함으로 燒着과 표면불량의 원인이 될 수도 있다.

단순 L-형주물의 응고에 관하여는 오래전부터 實

* 弘益工業專門大學 金屬學科 教授

** 漢陽大學校 工科大學 金屬工學科 教授

驗的研究¹⁾⁻³⁾나 數值解析⁴⁾⁻⁷⁾이 行하여져 왔고 直角에서 오는 凝固特性을 緩和하기 위하여 外각과 內각에 둥글기(filled radius)를 만들어 주면 이 특성이 개선된다고 알려져 왔지만 定量的基準은 確立되어 있지 않다.

三面 L-型주물에서 面과 面이 맞닿는 面端區域(surface junction block)의 응고특성을 구체적으로 해석하여, 이 구역의 응고특성을 人爲的으로 制御할 수 있고, 또한 응고시간과 최종응고위치를 파악할 수 있다면 内部品質의 向上을 合理的으로 運명할 수 있을 것이다.

앞에서 언급된 실험 및 수치해석방법들은 보다 單純한 주물의 응고특성연구로서 精確성은 인정되나 보다 복잡한 형상의 주물에 대해서는 이를 算定하기 위하여 高度의 技術기술을 필요로 하는 동시에 대형컴퓨터의 이용이 不可缺하다.

따라서, 본 연구에서는 주물의 응고양상을 쉽게 이해하기 위하여, 上部가 開放된 삼면 L-형의 空腔部(cavity)를 갖는 주형에 熔湯을 上注的으로 주입하고, 주형내에서 주물의 응고層이 형성되는 過程別로, 주형을 反轉하여 未凝固한 殘留熔湯을 流出시키는 方法^{8) 9)}을 適用하여, 區域別 응고특성이 實驗的으로 研究檢討되었으며, 본 연구에서는 基本的現象의 傾向을 分析하였다. 未凝固殘留熔湯의 流出에 依한 주물의 응고해석방법이 보급되어 現場이나 研究실에서 많이 이용된다면 주물의 품질을 향상시키는데 도움이 되리라고 생각된다.

2. 實驗方法

2-1 주형 및 주입조건

본 실험에서 주형을 제작하는데 사용된 모형은 Fig. 1과 같으며, 三面이 L-형을 이루고 있다. 주형은 시중에서, 사용되고 있는 果川生型砂를 使用하여 L-형의 한 面이 밑으로 가게 하여 造型되었고, 주형의 두께는 응고완료시까지 外부가 상온을 유지할 수 있도록 충분한 두께를 주었다.

주입된 금속은 高純度 Zn(99.9%)를 使用하였으며, 용해로는 抵抗式 도가니爐가 사용되었다. 용해된 용탕은 浸漬型디지털 열전대를 사용하여 주입온도에

도달하면, 上部가 開放된 生型에 上注法으로 주입되었고, 계획된 응고시간에 도달되면 주형을 反轉하여 미응고한 잔유용탕을 流出시켜 表皮凝固層을 얻었다.

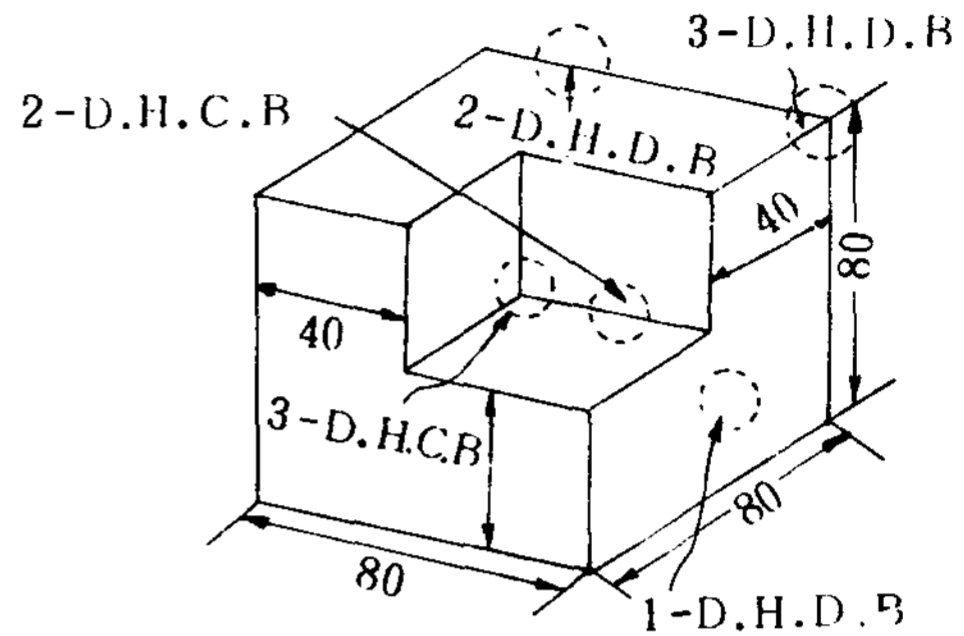


Fig.1. Dimensions of the pattern in 3-plane L-sections adopted in the pour-out tests.

주입온도는 470°C로 하고 응고시간은 각각 2, 3, 4 및 5분으로 하였다.

1-차원적인 응고두께의 측정은, 面端部의 응고영향을 받지 않는 표면에서, 垂直으로 응고된 길이로 하고, 面과 面이 서로 맞닿는 2-차원열방산 및 열응집구역에서는 面의 接合點에서 45°線上에 따라 응고된 길이를 응고두께로 하였다. 또한 三面이 서로 맞닿는 3-차원열방산 및 열응집구역은 三面接合部의 頂點에서 中心線上(54.7°) 방향으로 응고된 길이를 측정하여, 이를 3-차원적 응고두께로 하였다.

2-2. chill plate를 이용한 凝固區域

Fig.2와 같은 chill plate(1cm×5cm×8cm)가 있는 生型개방주형(8cm×8cm×15cm)에 高純度 Zn(99.9%) 熔湯을 470°C에서 上注法으로 注入하고, 2분후 주형을 反轉시켜 미응고한 잔유용탕을 유출시켜 各部位別로 응고층을 절단하여 열방산구역과 열응집구역의 영향을 받는 부분을 확인실험하였다.

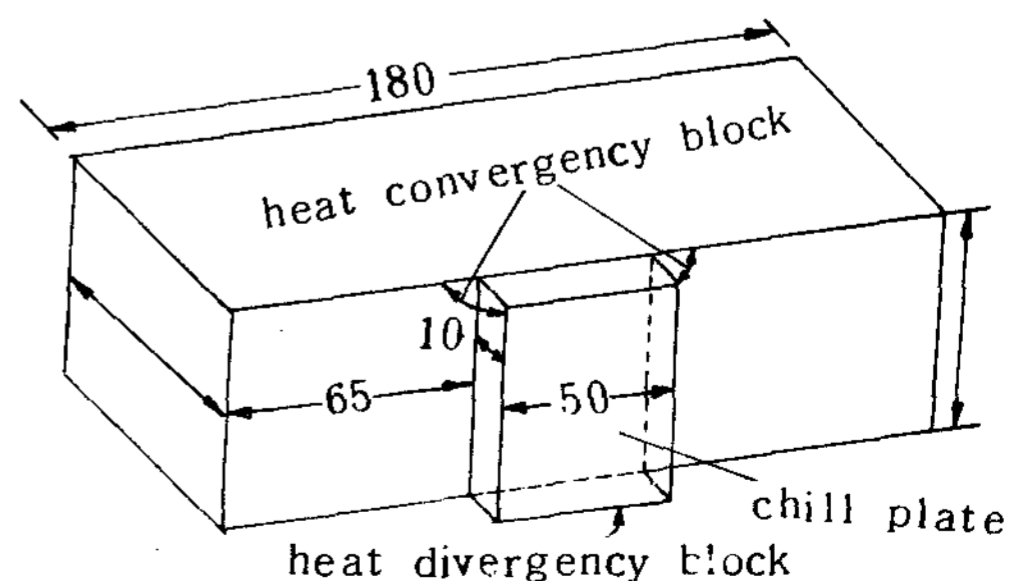


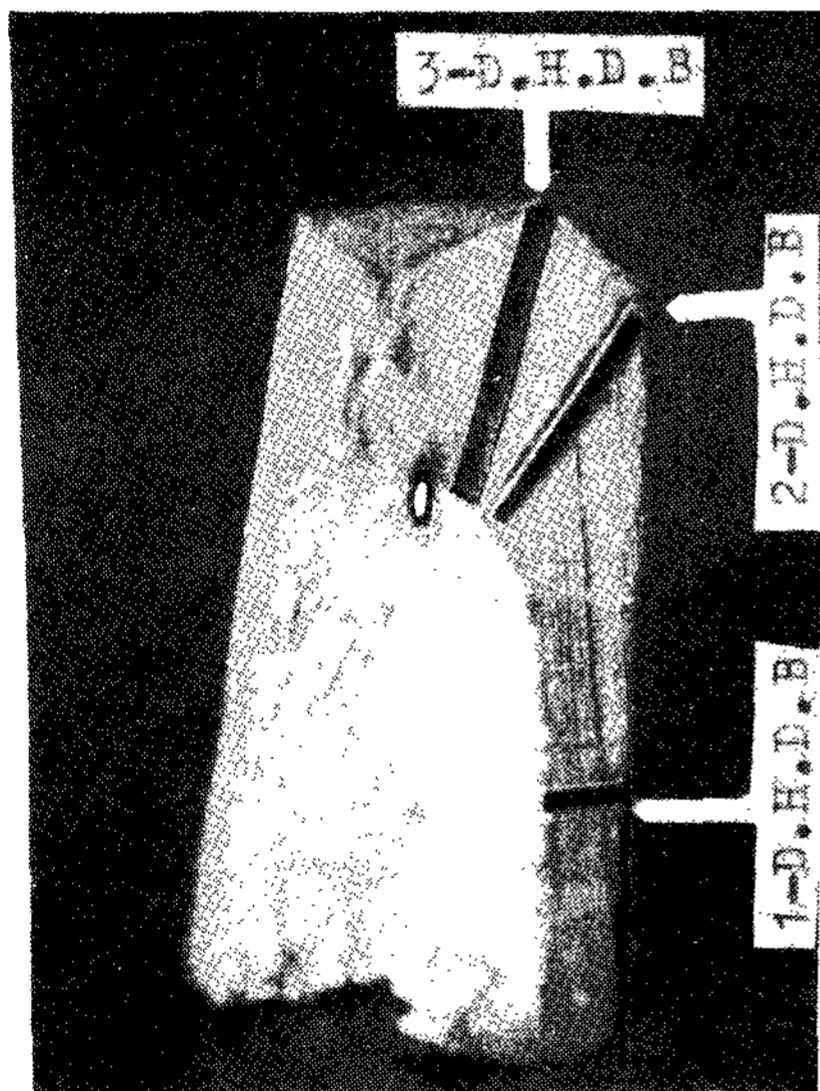
Fig.2. Dimensions of the cavity and position of chill plate in the mold.

3. 實驗結果 및 考察

3-1 凝固斷面分析

表皮주물은 용탕이 주형내로 주입되면, 주형재료에 따른 冷却條件에 依하여 複合的인 熱傳達過程을 거쳐 응고된 결과이다. 표피주물의 내부는 일정한 온도에서 액체와 고체와의 境界에 있는 金屬의 凝固點이며, 等溫線을 이루고 있고, 熔融熱은 이 境界에서 放出된다.

이 三面 L-형주물은 表面接合部의 응고영향을 받지 않고 熱이 放散되는 區域(1-차원열방산구역)과 面과 面이 서로 接合되는 區域(2-차원 열방산 및 열응집구역), 直角을 이룬 세개의 면이 한곳에 모여



(a)

角錐를 이루는 區域(3-차원 열방산 및 열응집구역)으로 구성된 模型이므로 응고구역별로 표피주물의 두께를 1-차원적인 길이로 비교된 것이 Table 1에 표시되어 있고, 측정위치는 Fig.3과 같은 위치이다.



(b)

Fig.3. The measuring positions of the solidification thicknesses in the pour-out castings.

앞의 Table 1에 나타난 결과와 같이 한개의 주물내에 區域別로 응고층의 길이의 差, 즉, 응고속도의 차가 있다는 것은 중요한 의미를 부여하고 있으며, 이와 같은 응고특성은 健全한 주물을 제조하기 위한 指向性凝固 및 結晶粒도와 같은 金屬學的인 要因과도 관계가 있다고 생각된다.

Table.1. Comparison of the thickness at solidification blocks.

Blocks of Sol. (time, min)	Thickness of sol. at 3-D.H.D.B. (mm)	Thickness of sol. at 2-D.H.D.B. (mm)	Thickness of sol. at 1-D.H.D.B. (mm)	Thickness of sol. at 2-D.H.C.B. (mm)	Thickness of sol. at 3-D.H.C.B. (mm)
2	13.8	10.6	4.9		
3	17.5	14.0	6.5	2.0	
4	22.2	17.2	8.2	2.5	
5	26.8	21.3	9.9	2.8	
Av. thick. ratio for 1-D.H.D.B.	2.75	2.1	1	0.29	

D.H.D.B.; Dimension Heat Divergency Block.

D.H.C.B.; Dimension Heat Convergency Block.

Av.; average.

열은 다음의 관계에서 系의 高温부에서 低温부로 흐른다.

$$q / A = -K(\partial T / \partial x)$$

단, q / A ; 단위면적 및 시간당 熱流比

K ; 열전달계수

$\partial T / \partial x$; 온도 (T), 거리 (x)

액체와 고체와의 응고경계가 이동하는 속도는, 熔融熱이 어떤 속도로 이동되었는가의 결과이며, 각 응고구역의 1-차원적인 응고층의 두께로 나타났다고 볼 수 있으며 chvorinou의 法則¹⁾으로 해석된다.

$$t = K(V / S)^2 \quad \text{단, } t ; \text{응고시간}$$

V ; 체적

S ; 표면적

이 관계는 정확한 것이라고 단정지을 수는 없지만 近似値에 접근되어 있다고 볼 수 있다. 실제로 주물의 구역별 응고속도는 그 구역을 구성하고 있는 체적에 대한 표면적의 비가 다른, 形狀에 의존된다 생각할 수 있다.

Fig.4와 같이 각 응고구역의 표면적을 S 그 체적을 V 로 하면 Section modulus는 $M = V / S$ 가 된다. 각 응고구역에 있어서의 기준표면적은 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 로 정하였고, 이에 해당하는 체적을 계산하는 표면에서 垂

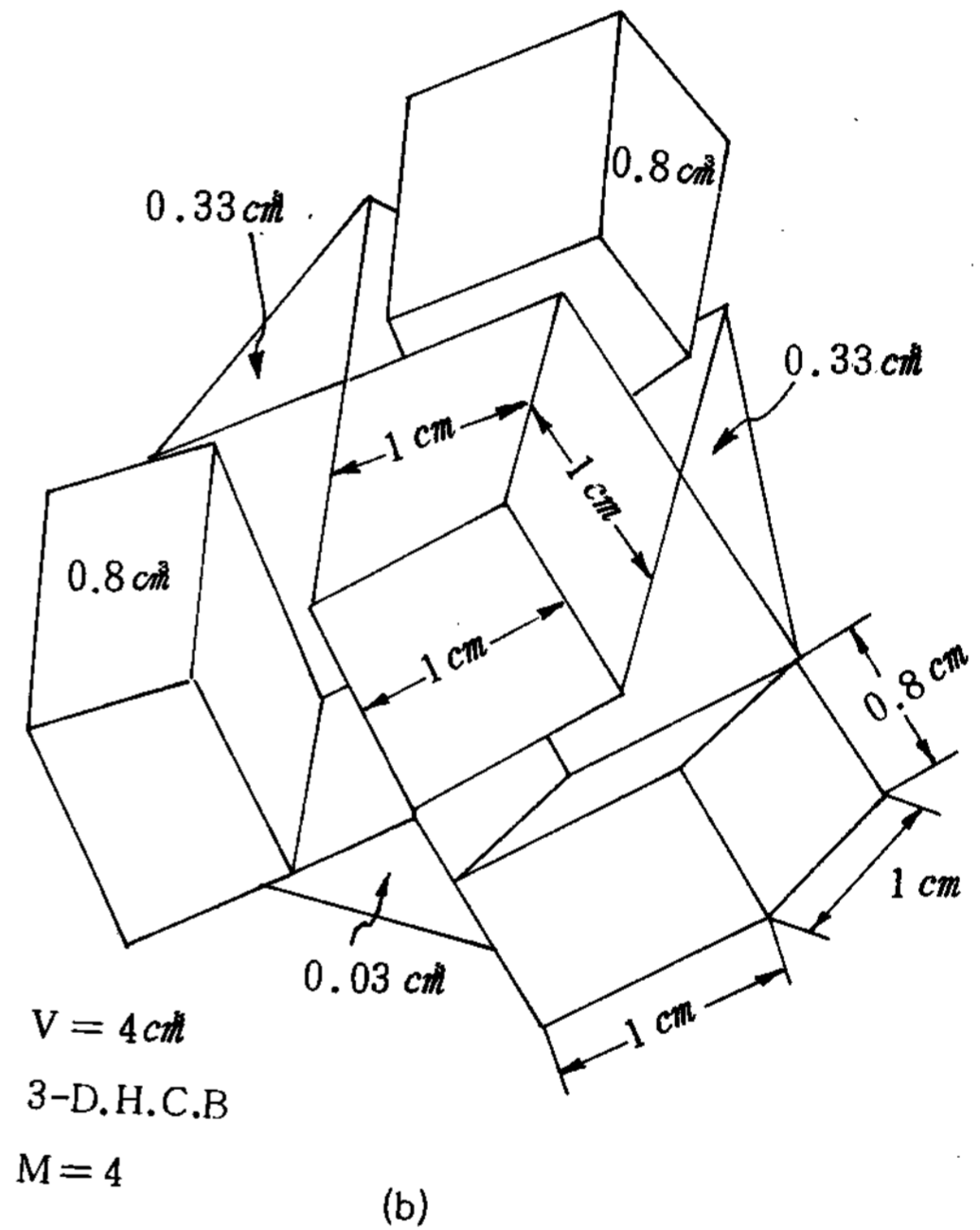
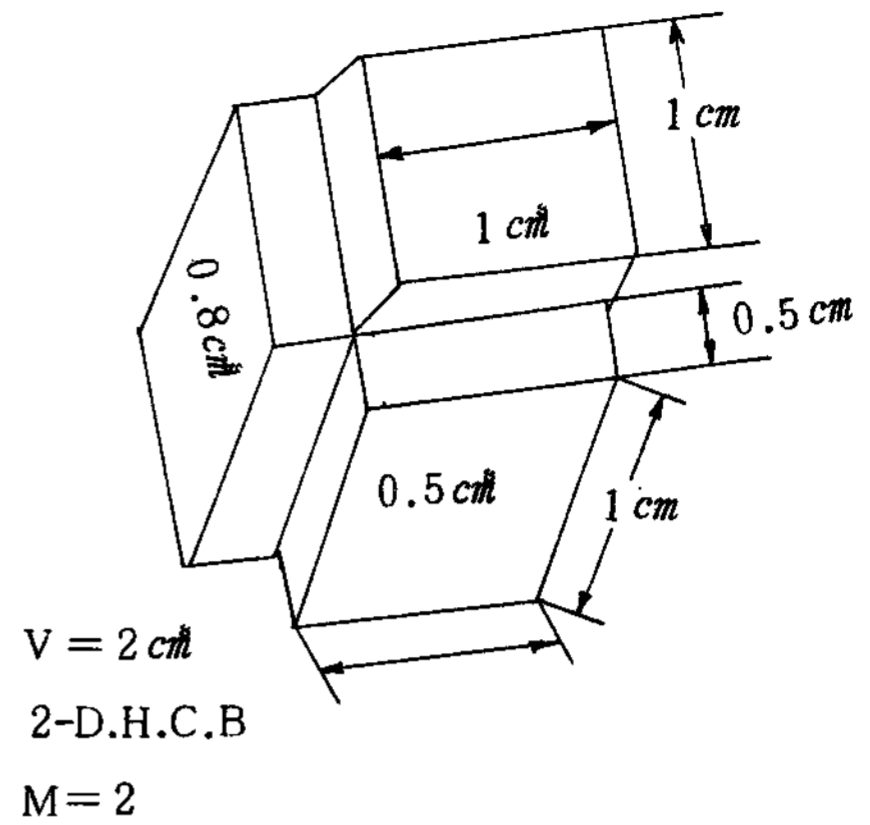
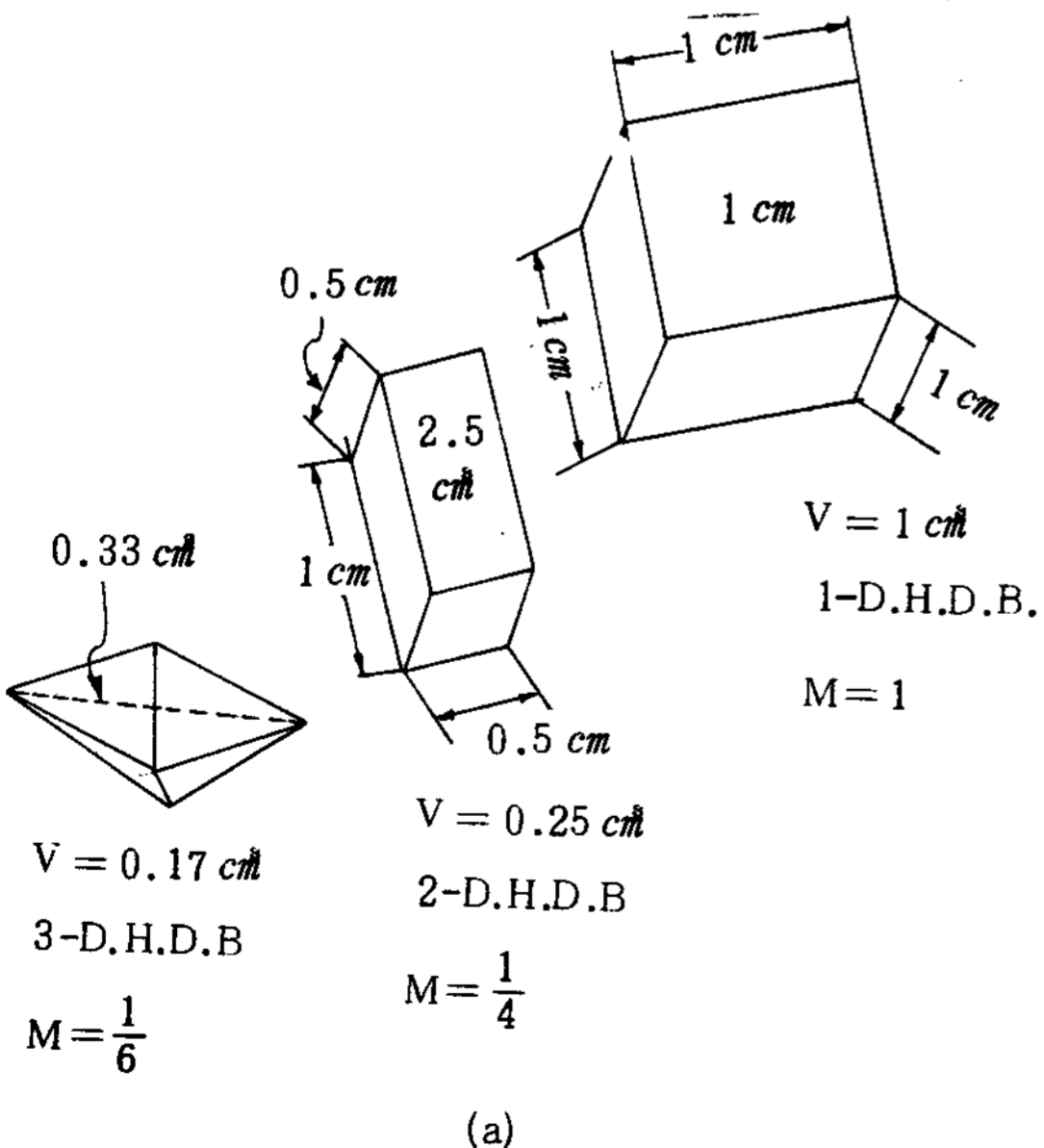


Fig.4. The method of calculating section modulus used in studying the solidification. There are heat divergency blocks in (a) and heat convergency blocks in (b). *M is section modulus, V is volume.

直으로 1 cm 內側까지를 취하였다. 기준표면적(1 cm)이 분할되어 外角과 外三角錐를 이루는 곳은 기준표면적의 面端線에서 重直線이 內側에서 맞닿는 곳까지를 부피로 算定하였다. 기준표면적이 분할되어 內角과 內三角錐를 이루고 있는 곳은, 표면에서 수직으로 內

側 1cm까지의 부피와 內側面의 연장선이 맞닿는 사이의 공간도 부피에 포함시켰다. 각 응고구역에서의 기준표면적에 대한 체적은, Fig.4와 같은 방법으로 계산되었다. 따라서 계산된 section modulus와 정확히 일치된다고는 볼 수 없어도 상당히 접근되어 있다는 사실은 명확한 결과로 나타났으며 열방산구역과 열응집구역 사이에는 section modulus의 차이가 심하여 열방산구역에는 이미 응고가 상당히 進行되었어도 열응집구역에는 응고층이 생성되지 않았음을 Fig.3.의 (b)에서 확인할 수 있다.

1 - 차원응고가 이루어지고 있는 주물의 일부에 se-

ction modulus가 적은 구역이 있으면 Fin효과에 의하여 이 구역의 응고가 促進된다는 사실을 알 수 있었으며, 이 부분에 관하여는 좀 더 상세한 실험을 필요로 하고 定量的 關係가 要求됨으로 별도의 연구에서 다루었다.

Table 1에 나타난 결과와 같이, 삼면 L-형주물이 주형내에서 응고될 때는, 응고층의 길이가 相異なる 응고구역이 형성됨을 알 수 있었고, 人爲的인 응고조절용 chill plate를 이용한 경우도 chill plate의 형상(放熱面의 形態)에 따라, 상이한 응고구역이 형성될 것이 豫測됨으로, 앞에서의 응고양상을 再現하기

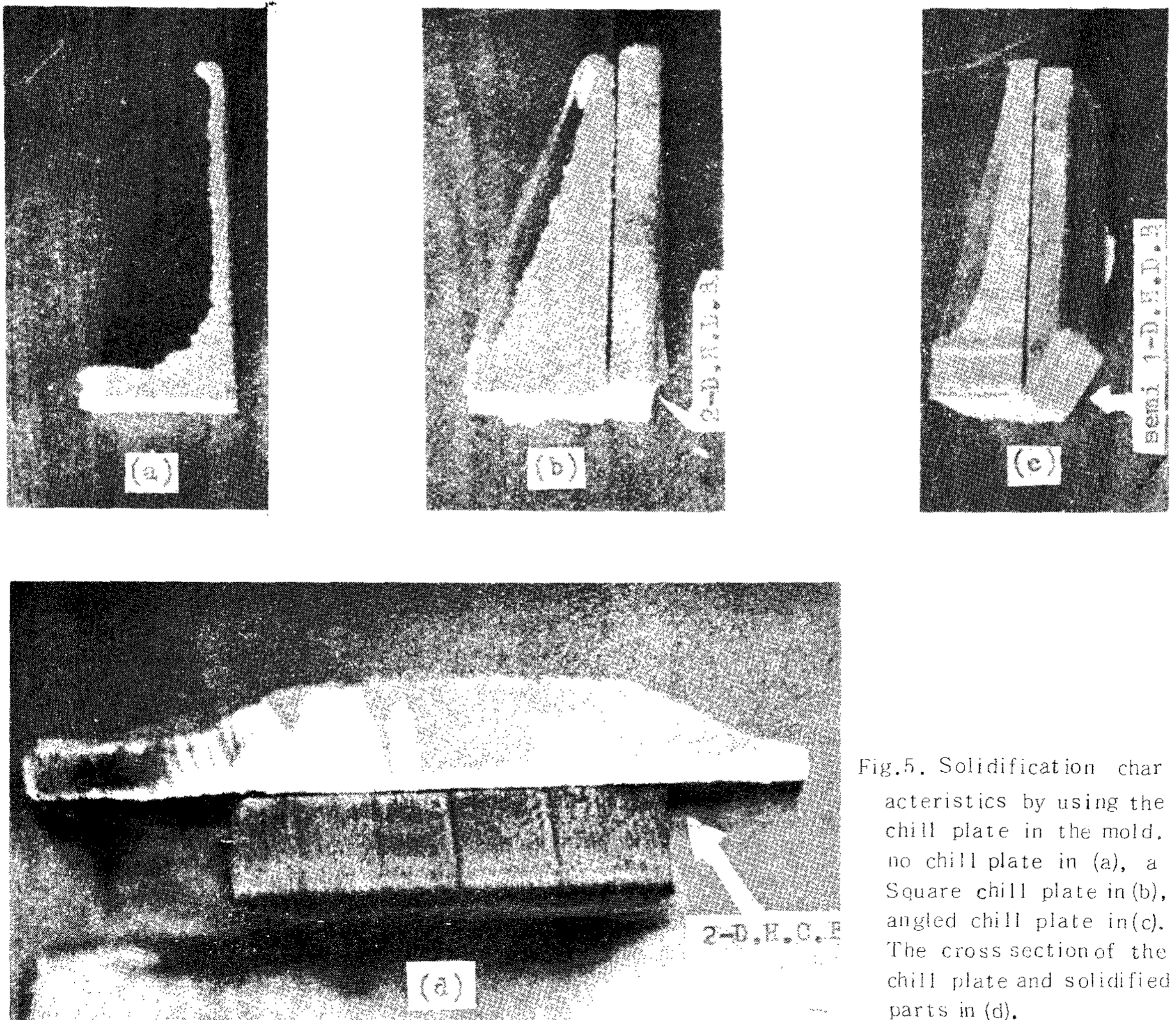


Fig.5. Solidification characteristics by using the chill plate in the mold. no chill plate in (a), a Square chill plate in (b), angled chill plate in (c). The cross section of the chill plate and solidified parts in (d).

爲하여, Fig.2 와 같은 方法으로 미응고잔류용탕을 유출시켜 실험하였다. Fig.5 의 (a) (b) (c) 및 (d)는 chill plate가 설치된 부분의 응고층을 검토 비교한 단면의 사진이다. (a)는 chill plate가 설치되지 않은 곳의 응고단면이므로 응고두께는 가장 얇다. (b)는 chill plate의 밑부분이 90°의 外角을 이루고 있는, 2-차원열방산형태로 되어 있으므로 이 영향을 받아 반대편의 응고층이 신속히 응고되어 두터워진 것으로 해석할 수 있다. 주물제조의 실제제조작업에서 이와같은 2-차원열방산구역의 특성을 고려한 응고층의 제어대책을 세우지 않는다면 국부적인 응고촉진현상으로 給湯效果가 없어서 收縮孔發生의 원인이 될 것이다. chill plate의 2-차원열방산기능을 감소시키기 위하여 (c)와 같이 chill plate의 外角을 절단하여 類似 1-차원응고형태로 轉換시키면 chill plate에 比例된 均一한 正常的 응고층을 얻을 수 있었다. (d)는 chill plate가 설치된 응고부위의 橫斷面이며, chill plate와 鑄物사이가 內角을 이루고 있으므로 2-차원열응집구역이 형성되어 이 부근의 주형벽에 수직으로 성장되는 응고층이 점차 감소되어 있는 것을 알 수 있다.

3-2 凝固區域間的 轉換

2-차원 및 3-차원 열방산구역은 1-차원열방산구역보다 응고가 신속히 진행됨으로, 압탕에서 멀리 떨어진 부분은, 지향성응고를 촉진시키지만 押湯가까이에 이와같은 구역이 형성되면, 給湯效果를 低下시켜 지향성응고를 방해한다. 한편 2-차원 및 3-차원열응집구역은 1차원열응집구역보다 응고가 지연됨으로 고온부가 형성되어 균열과 표면불량발생의 원인이 될 수도 있다. 따라서 위와 같은 응고특성을 개선하기 위하여 類似 1-차원 응고구역으로 전환시킬 경우가 있다. 이때는 直角을 이룬 코너에 둥글기(fill-et radius)의 半徑을, 주물기능상 지장이 없는 범위 내에서 크게 하면 유사 1-차원응고에 접근하게 된다.

4. 結論

三面 L-型 模型을 使用하여 造型된 開放生型에 高

純度の 亞鉛熔湯을 470℃에서 上注法으로 鑄込하였다. 鑄型內에서 凝固層이 形成되면, 鑄型을 反轉하여 未凝固殘留熔湯을 流出시켜, 표피주물을 얻었고, 응고층의 두께를 1-次元的으로 길이를 測定하여 各部位別로 比較檢討한 結果는 다음과 같다.

1) 三面 L-型 鑄物이 鑄型內에서 응고될 때는 section modulus가 다른 1-次元熱放散區域과 2-次元熱放散區域, 3-次元熱放散區域, 2-次元熱凝集區域, 3-次元熱凝集區域 등 相異한 응고구역이 形成되며 응고한다.

2) 人爲的으로 section modulus를 변경시키기 위한 chill plate를 設置할 때, chill plate의 面端部의 形狀에 따라, 주물의 凝固樣相이 서로 다른 熱放散型 凝固區域과 熱凝集型 凝固區域 및 1-次元熱放流區域으로 分離形成되어 凝固된다.

參 考 文 獻

- 1) F.A.Brandt, H.F.Bishop, and W.S.Pellini: Trans.A.F.S., 61(1953), 451
- 2) J.L.Lessman: Foundry, 85(1957), 6, 114
- 3) H.F.Bishop, W.S.Pellini: Foundry, (1952), 2, 86
- 4) R.E.Marrone, J.O.Wilkes and R.D.Pehlke: A.F.S., Cast Metals Research J., (1970), 12, 188
- 5) G.Sciama: A.F.S., Cast Metals Research J., (1972), 145
- 6) G.Sciama: Trans.A.F.S., 78(1970), 39
- 7) G.Sciama: Fonderie, (1971), Avril, 131
- 8) Metals Handbook, eighth edition, vol.5, 334.
- 9) Howard F. Taylor and Merton C. Flemings: Foundry Engineering, N.Y. John Wiley & Sons, INC., (1959), p.334.
- 10) Y.H.Han, M.H.Kim and D.O.Kim: The J.of the K.F.C., Vol.15. No.2, p.125.
- 11) N.Chvorinov: Gisserei, 1, 27, (1940), p.177, p.201, p.222