

論 文

純亞鉛鑄物凝固에 있어서 Fin 효과에 관한 研究

한윤희*, 김명한**, 김동욱***

The Study on the fin effect in PUre Zinc Casting

Yoon-Hee Han, Myung-Han Kim and Dong-Ok Kim

ABSTRACT

Thin sections in castings solidify faster than thick sections. Solidification rates increase because of an increase in heat transfer from molten meltals to molds through these solidified thin sections. The cooling fin effect in pure zinc casting was studied about the solidification time, superheat, and fin size by adopting the pour-out test. The following results could be obtained from the study: (1) The fin effect could be represented by the effective cooling surface area (A_f/S) increased. (2) The fin effect could be obtained as functions of solidification time, superheat, and fin size.

1. 서 론

기체분야에서의 fin은 주로 대류 열전달에 의한 열 방출 표면적을 넓히기 위해, 열교환기, 내연기관등에 사용되어 왔었고 이러한 mechanical fin에 대해서는 이미 많은 연구와 문제점에 대한 해결방안이 제시되어 있다.¹⁾ 한편, 주물분야에 있어서의 fin은 일반적으로 주형의 결함이나 mismatching에 의해 일어나는 결함의 일종으로 finishing 작업에서 제거되어야 하는 불량으로서 알려져 왔었다. 그러나, 주물응고에 있어서도 상기와 같은 결함의 일종으로서의 fin이 아니라 mechanical fin과 유사한 역할을 하는

냉각 fin이 존재한다. 즉 한 주물의 얇은 부분은 두꺼운 부분보다 일찍 응고되는데 이 응고된 부분에 의한 열방출 표면적이 증가되고 이로 인해 주물전체의 응고속도가 증가된다. 이때 이 주물의 얇은 부위가 냉각 fin에 해당된다.

이러한 냉각 fin의 효과를 이용하면 주물의 방향성 응고 디자인을 통한 수축공률량제거, 압탕크기감소 등의 유익한 효과를 얻을 수 있다고 기대되나 아직 이에 대한 연구^{2,3,4,5)}가 극히 드문 형편이다. 본 연구에서는 순 아연 금속을 사용한 pour-out test에 의해 fin의 냉각효과를 좌우하는 제요인에 대한 실험 및 분석이 이루어졌다.

2. 실험방법 및 과정

주형으로는 한영규사(5호사)와 pep-set점결제를

* 홍익전문대 금속과 교수
** 충북대 공과대학 금속과 조교수
*** 한국기계연구소 주물연구부 부장

주형재로 한 자경성주형이 사용되었고, 모형의 치수는 Fig 1과 같다. 모형에서 폭(W_2)과 높이(H)는 주어진 응고시간에서, 주형의 중간 높이에서 수평방향으로의 응고가 이차원적 응고진행을 하도록 충분한 크기로 잡았고, 주물의 두께(W_1)와 fin과 fin 사이의 간격은 fin에 의한 응고 두께의 증가를 고려하여 (사전에 시행착오적인 실험데이터를 얻었음). 충분히 큰 두께와 간격으로 잡았다. 주형의 두께는 주어진 응고시간에서 주형의 외피가 상온을 유지할 수 있도록 충분한 두께 (약 6cm)로 잡았다.

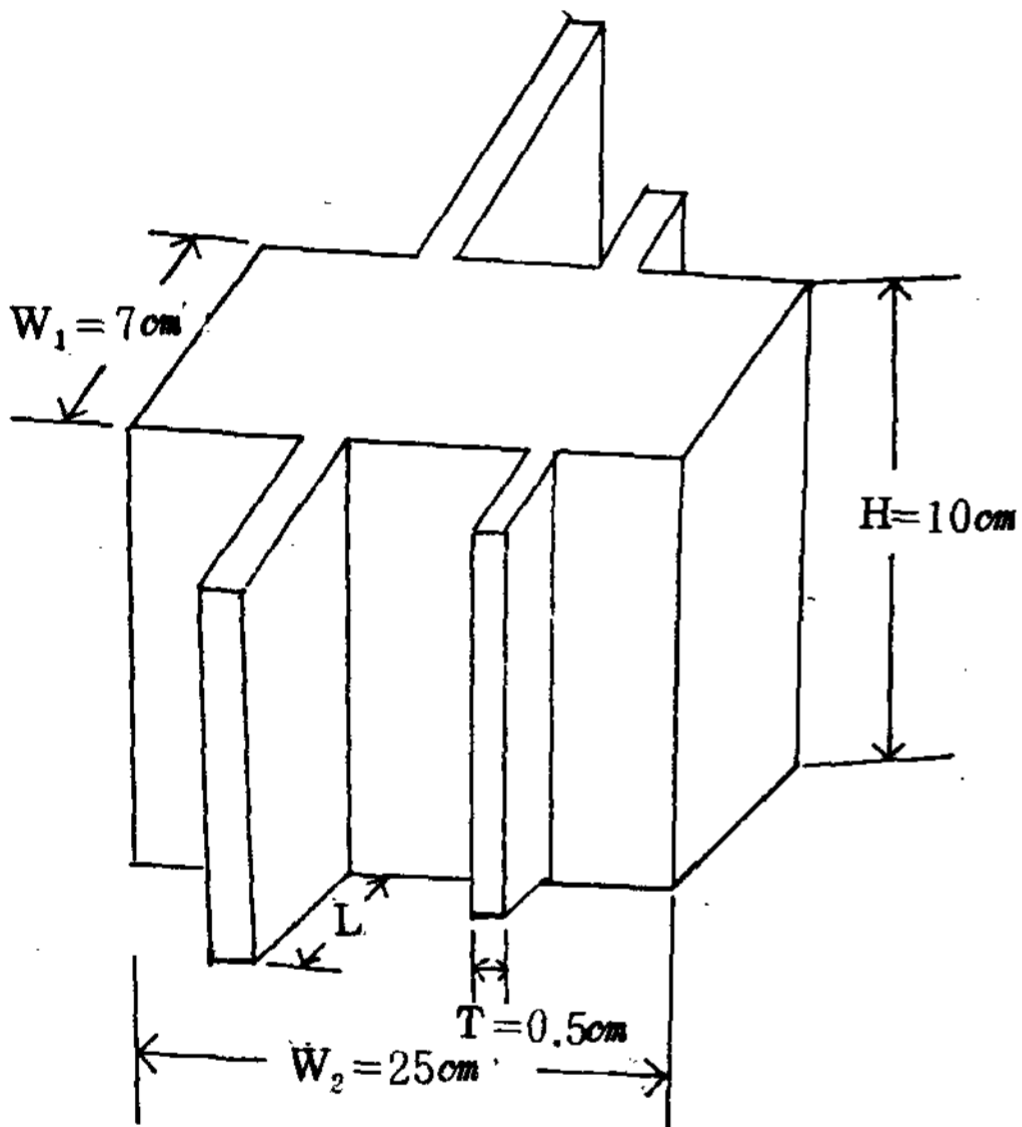


Fig.1. Dimensions of the patterns used in studying the fin effect on the progress of solidification wave front by means of pour-out tests. Lengths (L) of the fins were 1.5, 3.5, 5.5 and 7.5cm at the constant thickness (T), 0.5cm.

용해 금속으로는 순아연 (99.9%순도)이 사용되었고, 용해로는 siliconit 용해로가 사용되었다. 이 용

해로에서 용해된 용융금속은 주입래들에 옮겨진 후 계획된 주입온도에서 미리 준비된 주형에 주입되었고, 일정한 시간(응고시간)에 도달되면, 주형을 반전하여, 응고되지 않은 용융상태의 금속을 밖으로 쏟아내어 속이 빈 주물(hollow casting 또는 pour-out casting)을 얻었다. 주입온도는 digital thermometer를 이용하여 정확히 측정되었으며, fin 효과에 대하여 영향을 미치는 주입온도(또는 과열도), 응고시간(또는 주물의 두께), 그리고 fin크기의 영향을 조사하기 위해 pour-out test에서 사용된 실험조건은 다음과 같았다.:

- a) 주입온도 470°C에서 응고시간은 각각 4, 6, 8, 10, 12분.
- b) 주입온도 545°C에서 응고시간은 각각 14, 17, 20, 23분.
- c) 주입온도 570°C에서 응고시간은 각각 14, 17, 20, 23분.

이상과 같은 조건에서 얻어진 pour-out casting은 주물의 중간높이에서 수평방향으로 절단하여 이차원적인 응고단면을 얻었다.

3. 실험결과 및 분석

Fig.2-Fig.4에는 각 주어진 조건에서의 pour-out test 결과 얻어진 pour-out castings의 단면들이 나타나 있다. 이 그림들에서 응고계면은 사용금속이 순금속이기 때문에 일정한 온도에서 응고하는 등온곡선에 해당되고 주어진 응고시간에서 fin과 접촉되어 있는 부위의 응고내면은 주위의 평탄한 면보다 돌출되어, 이 부위에 fin에 의한 응고두께의 증가가 있음을 알 수 있다. 이 돌출부의 크기는 일정한 두께(0.5cm)의 fin에서, 주입온도, 응고시간, fin의 길이에 따라 변하며, 이들이 바로 일정한 주형 및 주물재료에서 fin에 의한 냉각효과를 좌우하는 요인들을 확인할 수 있다.

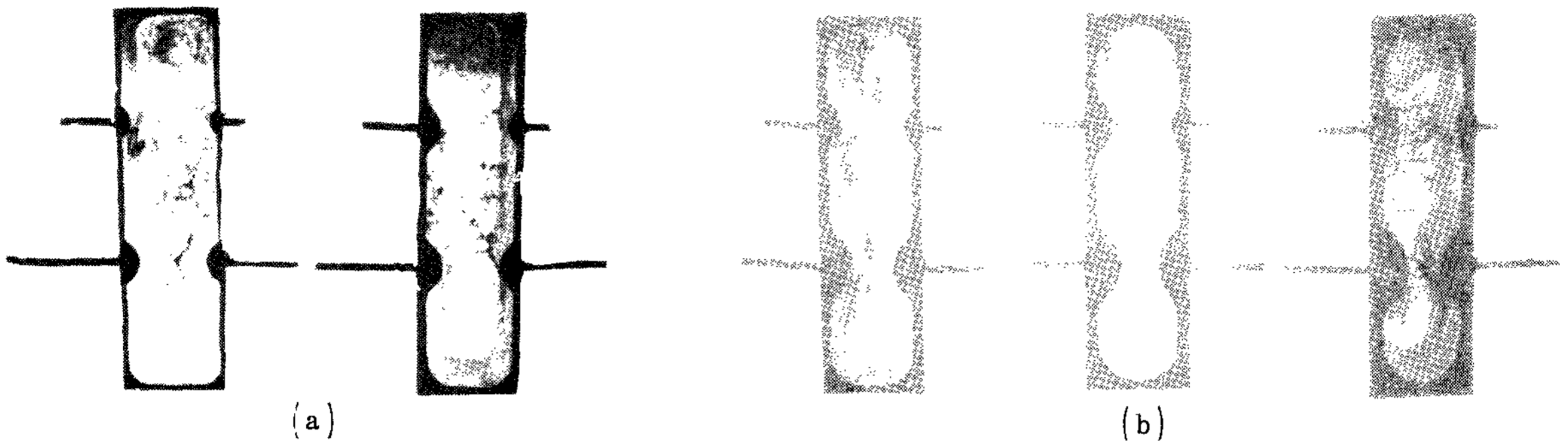


Fig.2. Cross sections of the pour-out castings with fin sizes of 1.5, 3.5, 5.5, 7.5 *cm* at each pure zinc casting. The solidification times were 4 and 6 min. from the top of figure(a) and were 8, 10, and 12 min. from the top of figure (b) at 470°C pouring temperature.

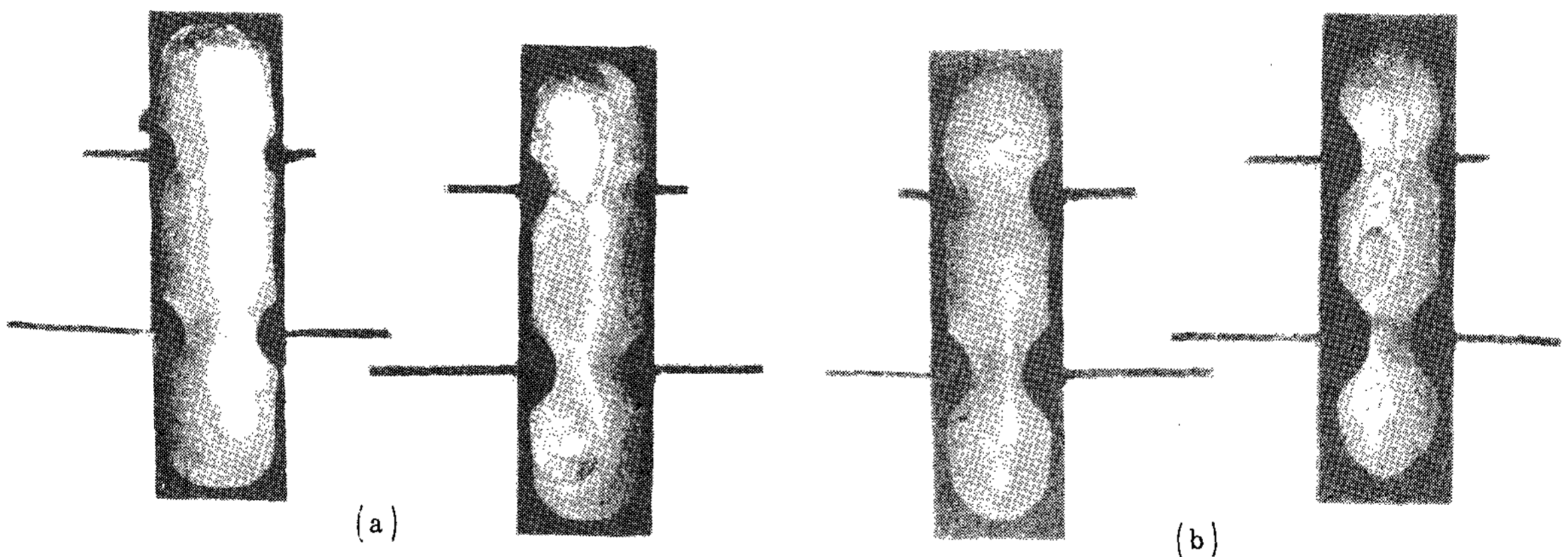


Fig.3. Cross sections of the pour-out castings with fin sizes of 1.5, 3.5, 5.5, and 7.5 *cm* at each pure zinc casting. The solidification times were 14 and 17 min. from the top of figure(a) and were 20 and 23 min. from the top of figure (b) at the 545°C pouring temperature.

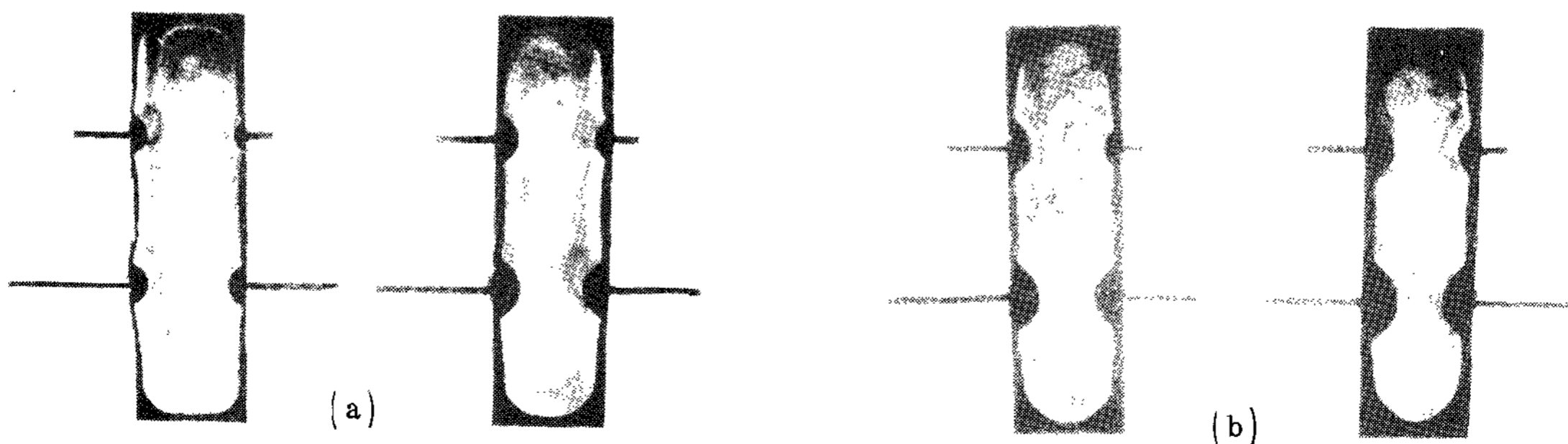


Fig.4. Cross-sections of the pour-out castings with fin sizes of 1.5, 3.5, 5.5 and 7.5 *cm* at each pure zinc casting. The solidification times were 14 and 17 min. from the top of figure(a) and were 20 and 23 min. from the top of figure(b) at 570°C pouring temperature.

3-1. fin에 의한 냉각효과의 크기에 대한 정의
 Fin에 의한 냉각효과의 크기, 즉 fin 효과의 크기는 thermocouple을 이용한 응고시간을 측정함으로써 알 수도 있으나 본 연구에서는 순금속을 이용한 pour-out test 결과 응고면이 매끄러운 pour-out castings을 얻을 수 있었으므로 fin 효과의 크기를 응고두께의 변화 또는 응고면적의 측정에 의해 알 수 있었다. 즉 fig.5는 L×T 크기의 fin을 가진 평편한 주형 벽에서 응고된 어느 한 pour-out casting 단면의 일부를 개략적으로 그린 그림으로 주어진 크기의 fin의 존재로 인해 어느 응고시간에서의 응고면은 주형벽 ab와 평행하고 일정한 응고두께 S를 가진 응고면 ec가 되지 못하고, fin과 접촉한 주형벽의 응고면이 주위 응고면보다 돌출된 응고면 edc를 갖게 된다. (e,c점은 각각 응고두께가 S가 되기 시작하는 점) 여기서 2L+T의 fin 둘레의 길이 (fin의 높이를 고려한 삼차원의 분석의 경우 fin의 표면적)와 ab'와 e'b의 전주형벽으로 인해 응고된 응고면적은 abcde + L×T(fin 자체의 면적)이 된다. 이중 fin의 둘레를 제외한 주형벽 ab'와 e'b에 의해 응고된 응고면적은 fin의 접촉부 주위의 내부 corner 주형에 과열구역이 발생하지 않는다면, 각각 ab'h'e와 e'bcg'가 될 것이고, 2L+T의 fin 둘레에 의해서만 응고된 응고면적은 전체 응고면적에서 이 ab'h'e와 be'g'c의 응고면적을 제한 그림의 빗금칠친 부분에 해당될 것이다. 그러나 실제로는 fin과 평편한 주형벽의 접촉은 일종의 T-section으로서 주형내부 corner는 그림에서와 같이 과열구역을 형성하며 이 곳에서 주형의 열전달 속도는 매우 느리게 된다. 이리하여 주형벽 a'b'와 e'f'에서의 응고두께는 다른 평편한 주형벽으로부터의 일정한 응고두께 S보다 작게 되고, 이 감소된 응고면적만큼 실제 fin에 의해 응고된 응고면적은 더 큰 것이다. 이와같이 fin의 존재에 의한 과열구역의 발생은 Fig.2-Fig.4의 응고단면의 일부에서 살펴 볼 수 있는데, Fig.2-(a)에서 fin의 길이가 1.5cm와 3.5cm의 경우 잘 관찰할 수 있다. fin의 길이가 5.5cm와 7.5cm일 경우는, fin의 효과에 의한 응고면적이 크

게 증가되어 이러한 과열구역에서의 응고두께 감소와 상쇄되어 외관상으로는 거의 나타나지 않게 된다.

이상과 같은 분석에 의거한 fin 효과의 크기에 대한 정의는 fin의 존재에 응고된 총 응고면적을 고려하고 있으나 주형내에 과열구역의 발생에 따른 응고면적의 감소를 정확히 측정하기 어렵다는 문제점이 있다. 그러므로 본 연구에서는 다음과 같은 정의에 입각해 fin 효과에 의해 증가된 응고면적이 측정되었다.

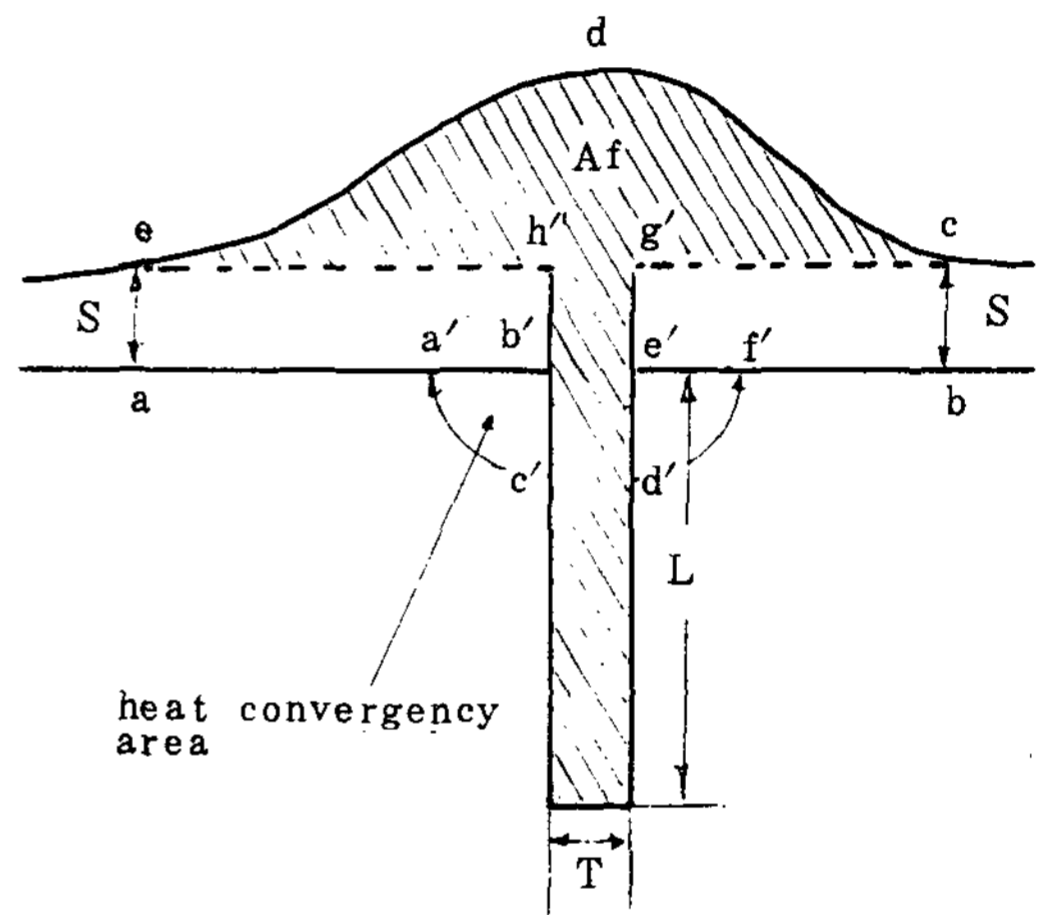


Fig.5. The schematic figure showing the increased solidification area by a fin with a size of L×T, when the solidification area at the planar surface was S.

우리가 인위적으로 fin을 사용한다면 이는 fin에 의한 응고속도 증가효과를 이용하기 위한 것이므로, Fig.5의 예에서, 어느 응고시간에서 fin을 포함한 ab' + e'b + (2L+T)의 주형벽으로 인해 응고된 총 응고면적 abcde에서 평편한 주형벽 ab로 인해 응고된 응고면적을 빼 나머지의 크기 즉, Af의 크기만이 우리의 관심사이다. 이 Af의 크기를 fin 효과의 크기로 정의하는 것이다. 이와 같은 정의에 입각해 fig.2-fig.4의 pour-out castings 단면으로부터 주입 온도, 응고시간, fin의 길이에 따른 Af가 측정되었고 이는 Table.1에 나타내었다: 응고면적의 정확한

측정을 위해 graphics tablet과 digital pen 을 갖춘 Apple II personal computer system과 면적 계산을 위한 software(미국 AFS 에서 개발)가 사용되었다. 이 Table 에서 주입온도가 545°C와 570°C 에서 응고초기의 데이터의 일부가 음 (-)의 값을 갖고 있는 이유는 주어진 조건 및 정의에서 fin의 효과보다는 주형내부의 과열구역으로 인한 응고속도의 감소 효과가 큰 데서 기인된다.

Table.1의 각 주어진 주입온도, 응고시간, fin길이의 조건에서의 fin 효과의 크기 A_f 를 응고두께 S 로 나누면, 이 A_f/S 는 fin에 의해 증가된 유효열 방출길이 (삼차원 분석에서는 표면적) 를 나타내고, 이를 이용하여 fin 효과에 의한 주물의 실제 modulus나 응고시간의 감소도 계산할 수 있어 fin 효과의 크기를 나타내는 또 하나의 좋은 척도로서 이용될 수 있다.

Table.1. Increased solidification areas(A_f) by the fin effect in pure zinc castings

a) at 470 °C unit: mm^2

Solid Time (min)	Fin Length (cm) S (mm)	Fin Length (cm)			
		1.5	3.5	5.5	7.5
4	4.3	20.3	64.1	146.6	168.1
6	6.3	32.8	222.6	207.7	294.5
8	7.1	74.5	264.4	429.2	552.6
10	8.7	63.5	287.6	499.6	628.0
12	9.8	54.2	301.6	500.2	716.9

b) at 545 °C unit: mm^2

Solid Time (min)	Fin Length (cm) S (mm)	Fin Length (cm)			
		1.5	3.5	5.5	7.5
14	6.1	9.9	98.3	174.5	223.5
17	7.1	25.2	148	269.4	319.4
20	8.3	91.2	215.7	393.4	449.4
23	9.4	68.1	329.2	490.4	673.1

c) at 570 °C

unit: mm^2

Solid Time (min)	Fin Length (cm) S (mm)	Fin Length (cm)			
		1.5	3.5	5.5	7.5
14	5.3	-41.6	23.8	42.7	54.7
17	6.7	-9.52	63.1	162.3	210.3
20	7.6	9.09	150.3	238.0	318.2
23	8.7	48.7	192.7	358.9	456.4

3-2. 일정한 주입온도에서 응고시간에 따른 fin 효과의 변화

일정한 주입온도에서 평편한 주형벽으로부터 일차원의 응고두께 S는 응고시간에 따라 증가된다. 즉 응고두께 $S=f(\text{응고시간})$ 이고, 이 응고두께는 응고시간의 대응으로 사용할 수 있다. 일정한 주입온도에서 응고시간에 따른 fin 효과의 변화를 살펴보기 위해 Table.1의 470°C에서의 A_f 값을 각 응고시간에서의 S로 나누고 이 A_f/S 값을 S에 대해 plot 하여, 그 결과를 Fig. 6에 나타냈다. 이 그림에서 일정한 길이

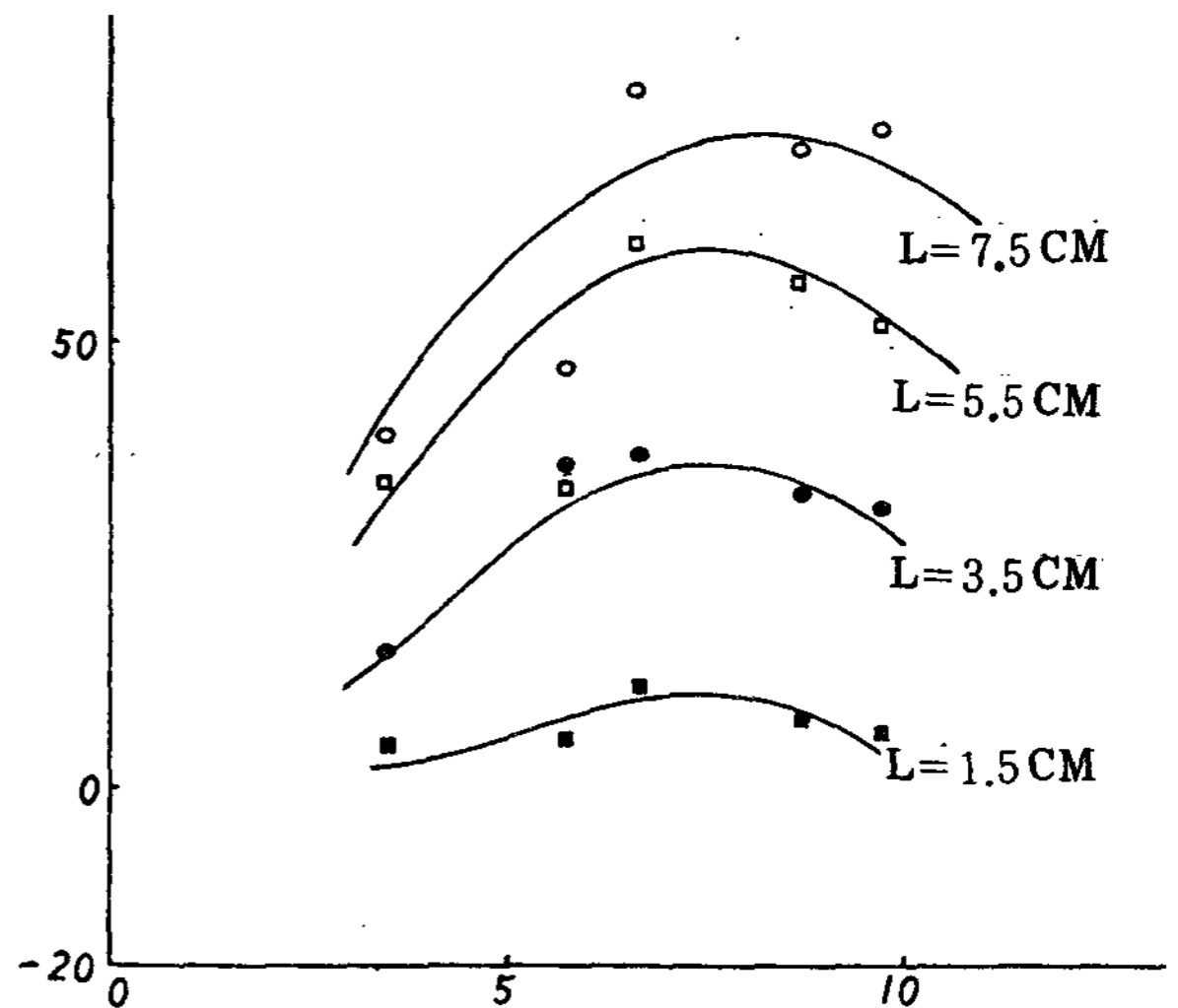


Fig.6. Increased effective length by fin effect as functions of casting thickness(or solidification time) and fin length at 470 °C pouring temperature.

의 fin에서 A_f/s 값은 S가 증가함에 따라 증가하다 최대값에 이른 후 다시 감소하는 현상을 보인다. 이러한 현상은 측정된 A_f 값의 특성을 살펴봄으로써 설명될 수 있다. 즉, A_f 값은 응고초기에는 주형내부 corner에 과열구역의 발생으로 인한 응고속도의 감소로 인해 음(-)의 값을 갖게 되나, fin의 효과가 발생하기 시작하여 어느 이상으로 크게 되면 이러한 내부 corner에서의 영향은 상쇄되며 A_f 는 비로서 양의 값을 갖게 된다. 응고속도의 증가를 얻기위한 인위적인 fin의 사용에 있어서는 A_f 값이 음의 값을 갖게 되는 것은 관심의 대상이 되지 않아 제외된다. 이와 같은 A_f 값은 응고시간이 증가함에 따라 어느 정도까지는 증가하게 되나, 주어진 fin에 비해 응고시간이 매우 크게 될 때, 즉, 주물의 두께가 fin에 비해 상대적으로 몹시 클때는 fin의 효과는 사라지고 평편한 주형벽에서의 응고계면은 이러한 fin의 존재에도 불구하고 fin이 존재하지 않을때와 같이 일정한 두께 S를 갖게 된다. Fig.6에서 볼 수 있는 A_f/S 대 S의 관계 곡선은 fin의 설계의 관점에서 다음과 같은 중요한 사실을 알 수 있다. 즉, 주입온도가 일정할 때 어느 주어진 크기의 fin이 최대의 fin효과를 나타낼 수 있는 최적의 주물두께가 존재한다는 것이다. 예를 들어, fin의 길이가 7.5 cm일때, 이 fin에 의해 A_f/S 가 최대가 되려면 S가 약 0.8 cm 이어야 하고, 이 S의 두배가 주어진 fin에 의해 최대의 냉각속도의 증가(또는 modulus의 감소)를 얻을 수 있는 주물의 두께가 된다: 이 때 주물과 fin의 두께비는 $1.6\text{ cm} / 0.5\text{ cm} = 3.2$ 이고 최대의 fin효과를 얻을 수 있는 fin과 주물의 상대적인 크기는 Fig.7과 같다. 이는 주물의 두께가 fin의 두께보다 크면 클수록 fin효과가 크게 되리라는 일반적인 생각과 차이가 있고, 이러한 결과는 주물의 두께가 두꺼울수록 주형 내부 corner의 과열에 의한 응고속도의 감소가 fin효과에 의한 응고속도의 증가보다 크게 되는 데서 기인된다고 사려된다. 한편, Fig.6으로부터, 주물의 두께가 주어지면, fin의 길이에 대한

A_f/S 를 읽어 유효 modulus의 감소정도도 손쉽게 계산할 수 있다. 예를들어 가로와 세로의 길이가 5 cm이고 세로의 길이가 (주물두께) 1.6 cm인 Fig.7에 보이는 것과 같은 형상의 2차원의 주물단면에 길이 5.5 cm 두께 0.5 cm의 rectangular fin을 Fig.7에서와 같이 부착시키면, 이 주물의 유효 modulus는 다음과 같이 계산된다.

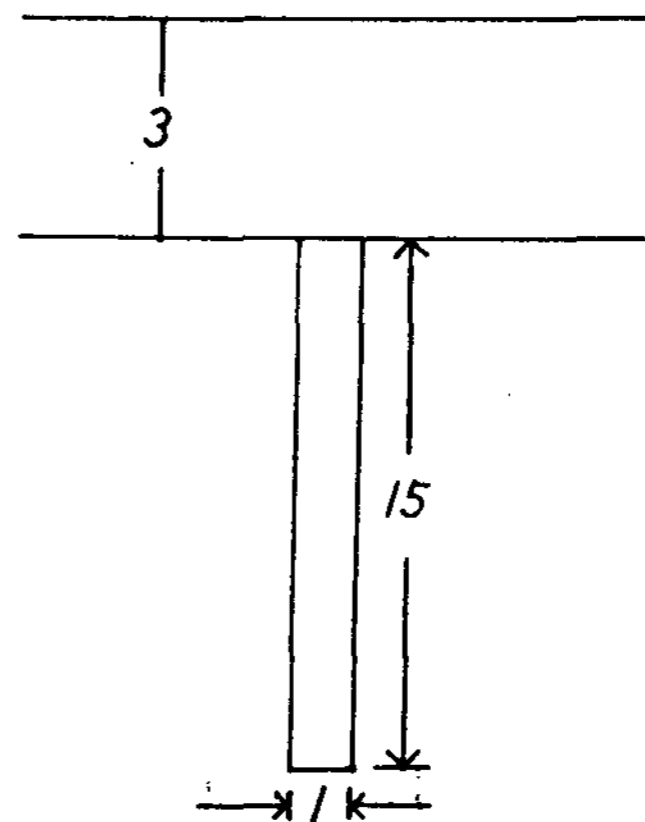


Fig.7. The dimensionless casting thickness which can show the max. fin effect when the fin length to thickness ratio (L/T) is 15.

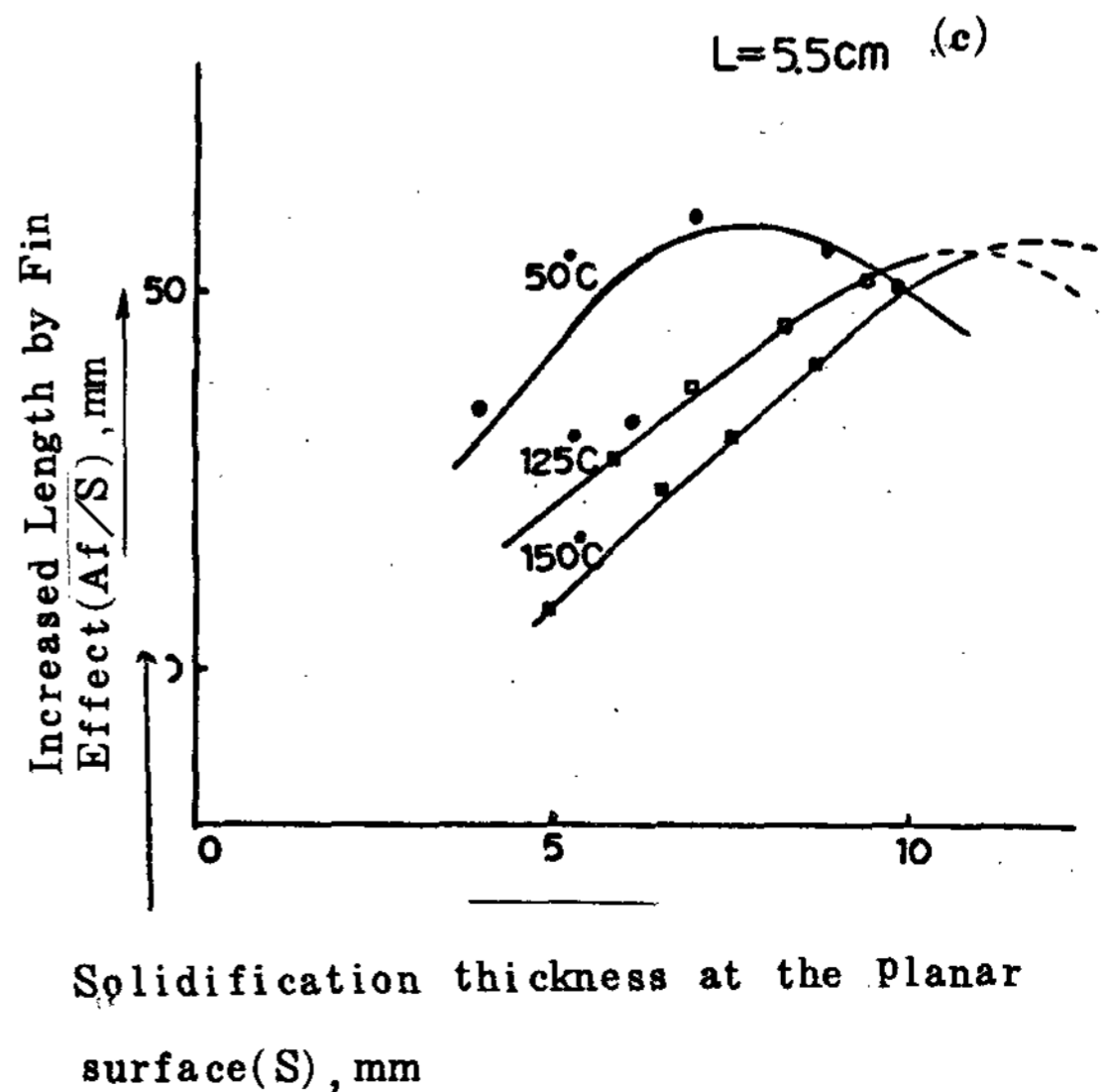
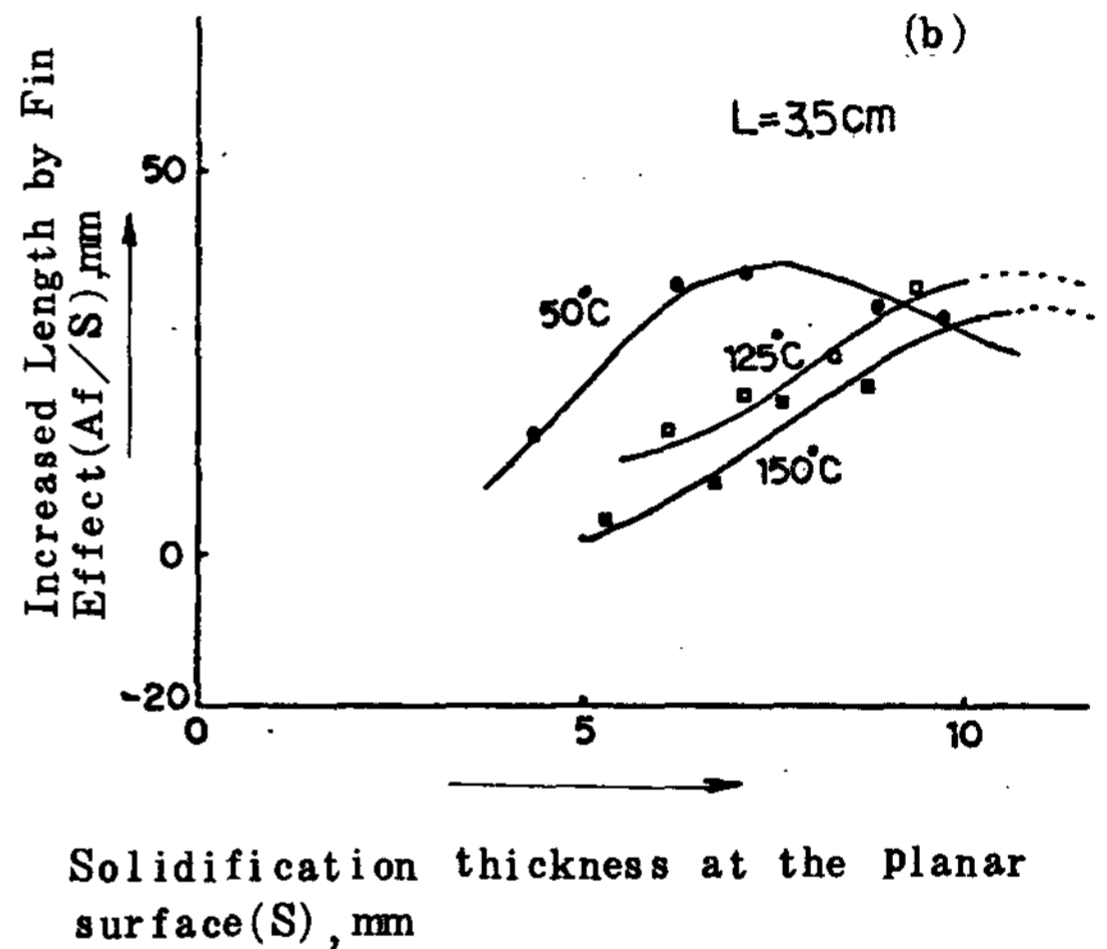
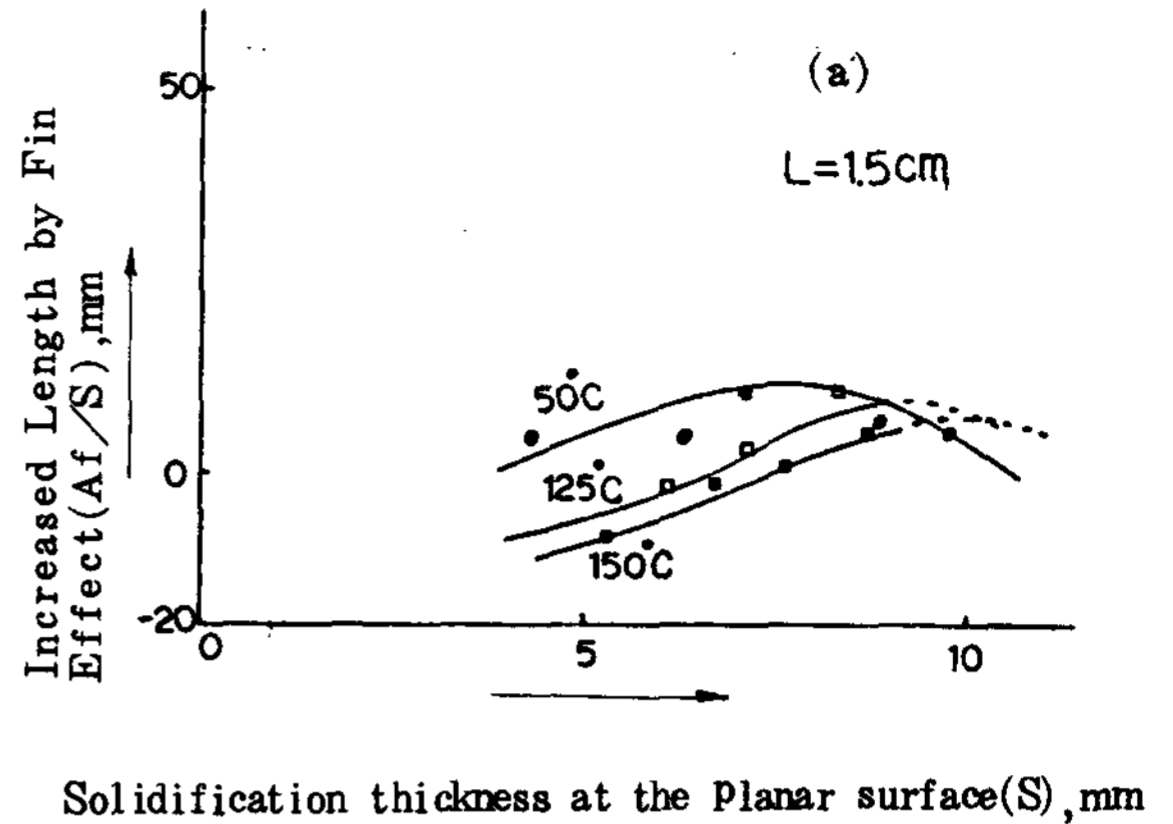
Fin을 부착하기 전 주물의 modulus는 주물의 면적 / 주물의 둘레 = $5 \times 1.6\text{ cm} / (5 \times 2 + 1.6 \times 2)\text{ cm} = 0.61\text{ cm}$ 이고 fin을 부착한 후, fin에 의해 약 5.5 cm의 유효표면(길이)의 증가가 있었으므로, 이 주물의 유효 modulus는, $5 \times 1.6\text{ cm} / (5 \times 2 + 1.6 \times 2 - 0.5 + 5.5)\text{ cm} = 0.44\text{ cm}$ 로 감소된다.

만일, 주물의 두께가 Fig.6에 나타난 범위를 넘는 경우 주물과 fin의 상대적인 크기비를 이용하여, 유효표면의 증가를 얻고, 이어, 유효 modulus를 계산할 수 있다. 즉, 가로와 세로의 길이가 20 cm, 세로의 길이(주물의 두께)가 10 cm인, 역시 Fig.7과 같은 형상의 2차원의 주물단면의 경우, 최대의 fin효과를

얻기 위해 이 주물에 부착시킬 rectangular fin의 크기는 다음과 같은 과정을 걸쳐 계산된다. 먼저, Fig. 6 으로부터 최대 fin 효과를 얻을 수 있는 주물의 두께 대 두께비는 약 2.8~3.6임을 알 수 있고, 주어진 주물에 적합한 fin의 두께는 약 $10/3.6 \sim 10/2.8$ cm 즉, 2.8~3.6 cm 범위내에 있다. 우리가 fin의 두께로서 3.0 cm를 잡고 fin의 길이를 L/T 이 11되는 (0.5 cm 두께의 fin에서 길이가 5.5 cm되는 경우) $3 \text{ cm} \times 11 = 33 \text{ cm}$ 로 잡는다면, 이러한 fin에 의한 유효표면의 증가는 다음과 같다. Fig. 6 으로부터 S가 0.75 cm ($2S/0.5 = 3.0 \text{ cm}$ 로부터, $S = \frac{1.5}{2} = 0.75 \text{ cm}$ 가 된다.)이고, L가 5.5 cm가 되는 좌표점을 읽을때 fin 효과에 의해 증가된 유효표면은 약 5.9 cm가 되고, 이 값을 두께가 10 cm인 원래 주물에 대해 환산하면 $10 / 1.5 \times 5.9 \text{ cm} = 39 \text{ cm}$ 가 된다. 즉 주어진 크기의 주물은 두께가 3 cm, 길이가 39 cm의 rectangular fin을 적용했을 때 유효표면이 약 39 cm 증가된다. 위에서와 같이 fin은 항상 최대의 fin 효과를 얻도록 설계되는 것은 아니고, 목적에 따라 적절한 fin 효과가 나타나도록 하는 것이 중요하다. 왜냐하면 과도한 fin 효과는 오히려 over cooling에 의한 불량발생을 유발하기 때문이다. 또한 최대의 fin 효과를 얻기 위한 fin이 디자인될 때에도, fin의 크기는 주물응고후 fin 제거의 용이도 여부, fin의 부착에 의한 조형의 가능 또는 난이도 여부등에 의하여 자연적으로 제한을 받게 되기도 한다.

3-3. 과열도에 따른 fin 효과의 변화

과열도에 따른 fin 효과의 변화를 연구하기 위해, 주입온도를 470 °C, 545 °C, 570 °C로 변화시켜 (순아연 금속의 용융온도로부터 각각 약 50 °C, 125 °C, 150 °C의 과열도) 얻은 pour-out test 결과가 Table.1에 나타나 있다. 이들 데이터를 각 주어진 fin 길이에서 주입온도와 S에 대한 A_f / S 의 변화를 plot 하면 Fig. 8과 같다. 이 그림에서 과열도가 125 °C, 150 °C일때는 과열도가 50 °C일 때와 같이 최대값에 이르



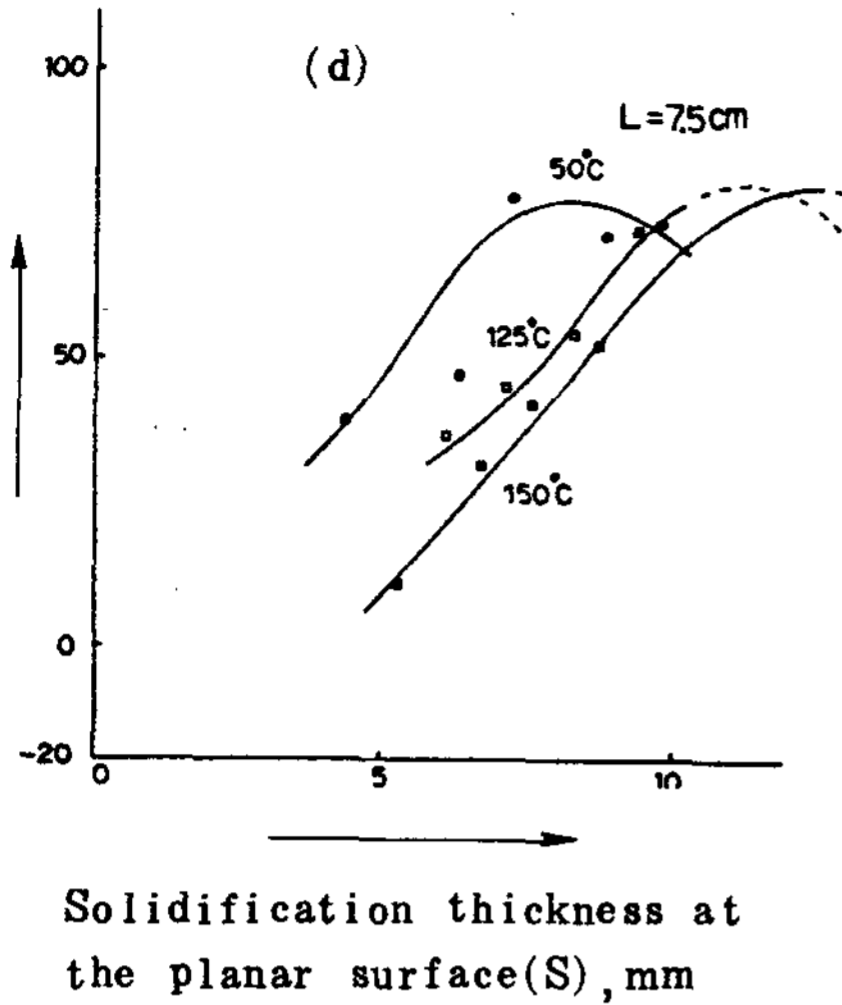


Fig.8. Increased effective length by fin effect as functions of casting thickness (or solidification time) and superheat at given fin lengths. (a) at 1.5cm fin length: (b) at 3.5 cm fin length : (c) at 5.5 cm fin length : (d) at 7.5 cm fin length.

러 다시 감소되는 현상을 보이기에 는 더 큰 응고시간 (또는 S값)에서의 데이터가 필요하나, 50°C 과열도에서 예로보아 125°C와 150°C과열도의 경우도 점선으로 표시한 바와 같이 최대값에 이르러 다시 감소되는 곡선을 이루리라 예상된다. 냉각속도가 큰 주물을 사용했을때는 이 현상을 확인할 수 있었다. 각 주어진 fin의 길이에서 과열도에 따른 fin 효과를 나타내는 4개의 곡선군을 살펴 보면, 과열도가 50°C에서 우측으로 이동되고 있고, 이는 마치 평면에서의 응고두께 S대 응고시간에 대한 직선식이 Fig.9에서와 같이 과열도에 따라 우측으로 평행이동한 현상과 유사점을 보이고 있으나 과열도에 따른 주형내부 corner에서의 과열구역의 확장으로 인해 과열도가 크게 될수록 최대값에 도달되기전 응고초기에서의 곡선의 경사가 다소 완만해지는 현상을 보여준다. 그러므로 과열도에 따른 Fig.8의 곡선들의 이동은 단순한

평행이동이 아니고, 곡선형상의 변화(곡선의 기울기 및 최대의 높이)를 수반하는 평행이동이라 할 수 있다. fin의 실 구조설계에의 응용면에서 Fig.8은 다음과 같은 자료를 제공해 주고 있다. 즉, (b)그림에서 fin의 길이가 3.5cm인 경우 과열도가 50°C 일때는 주물의 두께가 약 $2S = 2 \times 0.75 \text{ cm}$ 일 때 Af/S 값이 약 4.6cm로 최대의 fin 효과를 보여주고 있으나 과열도가 125°C나 150°C로 되면 Af/S 값은 각각 약 2.2cm와 1.3cm로 이보다 훨씬 떨어진다. 즉, 동일한 크기의 fin에서 과열도가 크면 클수록 최대의 fin 효과를 얻을 수 있는 주물의 두께는 두꺼워야 한다는 것을 이 그림은 나타내 주고 있다.

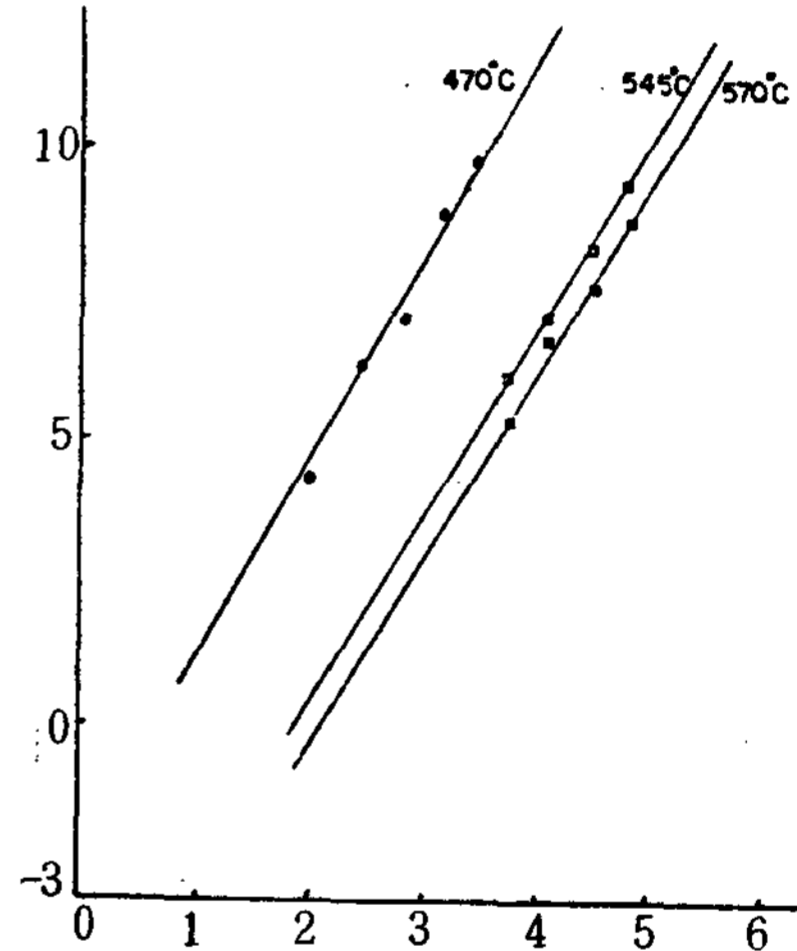


Fig.9. Thickness solidified versus square root of time at different pouring temperatures in pure zinc casting.

3-4. Semi-infinite fin 길이

Fig.6에서 주어진 주입온도에서의 Af/S 값은 모두 Fin의 길이가 증가함에 따라 증가됨을 볼 수 있다. 그러나 이와같은 fin 길이에 따른 fin 효과의 증가는, 사용금속의 열전도도 크기의 유한성으로 인해, fin의 길이가 길어질수록 점차로 감소하여, fin 길이가 어느 이상으로 크게 되면, fin 효과는 더 이상 변함이 없게 되는데, 이것이 주어진 조건에서의 semi-infinite fin 길이이다.

예를들어, table 1에서 주입온도가 470°C이고 응고시간이 4분일때 fin의 길이에 따른 Af/S 값은

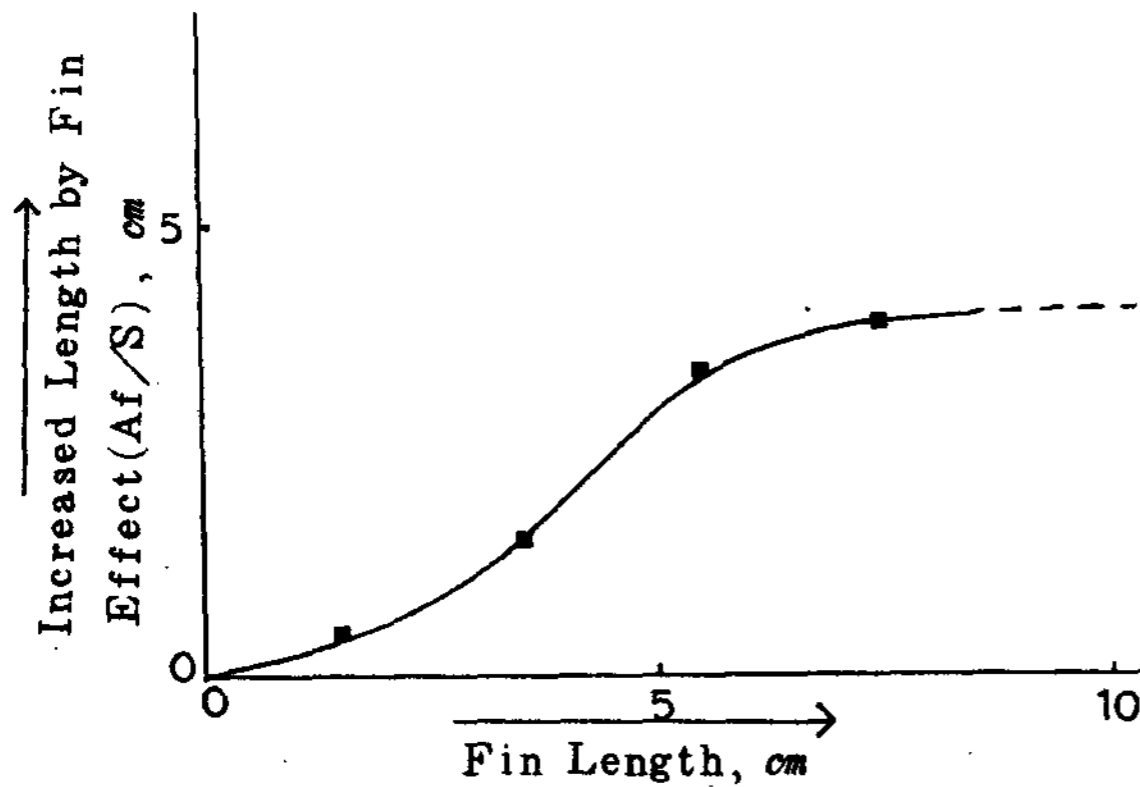


Fig.10. A_f/S VS. fin length at 4 min solidification time and 470°C pouring temperature.

Fig.10과 같이 되며 여기서 semi-infinite fin의 길이는 약 10cm가 된다. 이러한 semi-infinite fin의 길이는 응고시간, 주입온도 및 사용금속의 고유한 물리적 성질인 열전도도 크기에 따라 변한다.

Fin 효과를 좌우하는 요인들로서는 이외에 주형재료 사용금속의 종류, fin의 형상등을 들 수 있고, 주조설계에 있어서의 fin 효과의 활용을 위해서는 앞으로 이들 요인들에 관한 fin 효과에의 영향이 체계적으로 연구되어야 한다.

4. 결 론

1. fin 효과의 크기에 대한 정의는 분석의 편의상 다소 다르게 될 수 있고, 응고속도의 증가를 얻기 위한 인위적인 fin의 사용시는 fin이 부착되었을 때

와 그렇지 않을 때와의 응고면적의 차이로 나타낼 수 있다.

2. 주입온도와 fin의 크기가 일정할 때 유효표면적이 (A_f/S)의 증가로 나타내는 fin 효과는 주물의 두께에 따라 증가하여 최대값에 이른 후 다시 감소하는 곡선을 따르므로 일정한 길이의 fin에는 반드시 최대의 fin효과를 얻을 수 있는 최적의 주물두께가 존재한다.

3. 과열도는 fin 효과를 지연시키며 동일한 크기의 fin에서 최대의 fin효과를 얻으려면 과열도가 큰 경우는 작은 경우보다 주물의 두께가 커야 한다.

4. 주어진 주입온도, 주물두께에서의 fin 효과는 fin의 길이 (또는 fin의 길이 / fin의 두께)에 따라 증가되나 이 fin의 길이가 어느 이상으로 되면 fin 효과의 크기의 변화가 없는 semi-infinite fin의 길이가 된다.

참 고 문 헌

1. Eckert, Drake: Heat & Mass Transfer, 2nd ed., McGraw-Hill Co.(1959).
2. R. Wlodawer : Directional Solidification of steel Castings, London, 1966.
3. G. Sciama : AFC Cast Metals R.J., March 1972, p.p.20-24.
4. G. Sciama : AFS Cast Metals R.J., Dec. 1972, p.p.145-149.
5. M.H.Kim : ph.D. thesis(1984), Univ.of Wisconsin-Madison, U.S.A.