

論 文

# T5 열처리한 Al합금 금형주조품에서 경도의 역분포현상

李 珍 衡

## “An Inverse Distribution of Hardness in T5-heat Treated Al-alloy Permanent Mold Castings”

Zin-Hyoung Lee

### Abstract

Aluminum alloy permanent mold castings often exhibit in as-cast or T5-heat treated state an inverse distribution of hardness, i.e. thinner sections have lower hardness than thicker sections. This phenomina is explained by measuring the cooling curves in a test casting in an Aluminum piston alloy (AC8A or A332). Thinner sections solidify faster but later cooles down more slowly than thicker sections in temperature range where coarse precipitation of super-saturated elements can take place. The precipitation rate of Mg<sub>2</sub>Si phase in A332 alloy seems to be maximum at around 490°C.

### 1. 서 론

알루미늄합금 주물은 금형주조에 의하여 다량 생산되고 있으며 기계적 성질과 절삭성을 향상시키기 위하여 T6 또는 T5 열처리를 한다. 효과적인 강도의 향상은 T6 열처리 (용체화처리+시효경화처리)에 의하여 얻어지지만 피스톤과 같이 작동온도가 시효경화처리 온도와 같거나 더 높은 경우는 작동시에 over aging이 되어 T6 열처리의 장점을 살리지 못하므로 경제적인 T5열처리를 주로 행한다.

주조품의 경도는 보통 두께에 반비례하여, 냉각속도가 빠른 얇은 부위의 경도가 높고 두꺼운 부위의 경도가 낮다. 그러나 T5 열처리를 한 금형주조 Al 합금에서는 얇은 부위의 경도가 낮고 두꺼운 부위의 경도가 오히려 더 높은 경도의 역분포 현상이 자주 나타난다. 이러한 현상의 원인은 현장에서조차 충분히 이해되어 있지 못하고 문헌에서도 찾아볼 수 없는 실정이다.<sup>1-6)</sup> 한개의 주조품에서 두께에 따라 경도의 차이가 커지면 전체 생산품에서는 경도의 허용한계를 벗어나는 경우가 자주 있고 절삭성을 저하시켜 절삭표면이 거칠어 진다.

따라서 본 연구에서는 AC8A 합금을 사용하여 두께에 따른 경도의 분포를 조사하고 경도의 역분포 현상의 이유를 체계적인 실험을 통하여 밝히고자 하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 시료 제작

시료를 주조하기 위한 금형을 Fig.1에 나타내었다. 금형은 SKD-11금형공구강으로 제작하였고 내부에는 흑연계 도형제를, 앞탕부분에는 단열계 도형제를 칠하였다. 금형은 주입전에 예열로에서 350°C로 예열하였다.

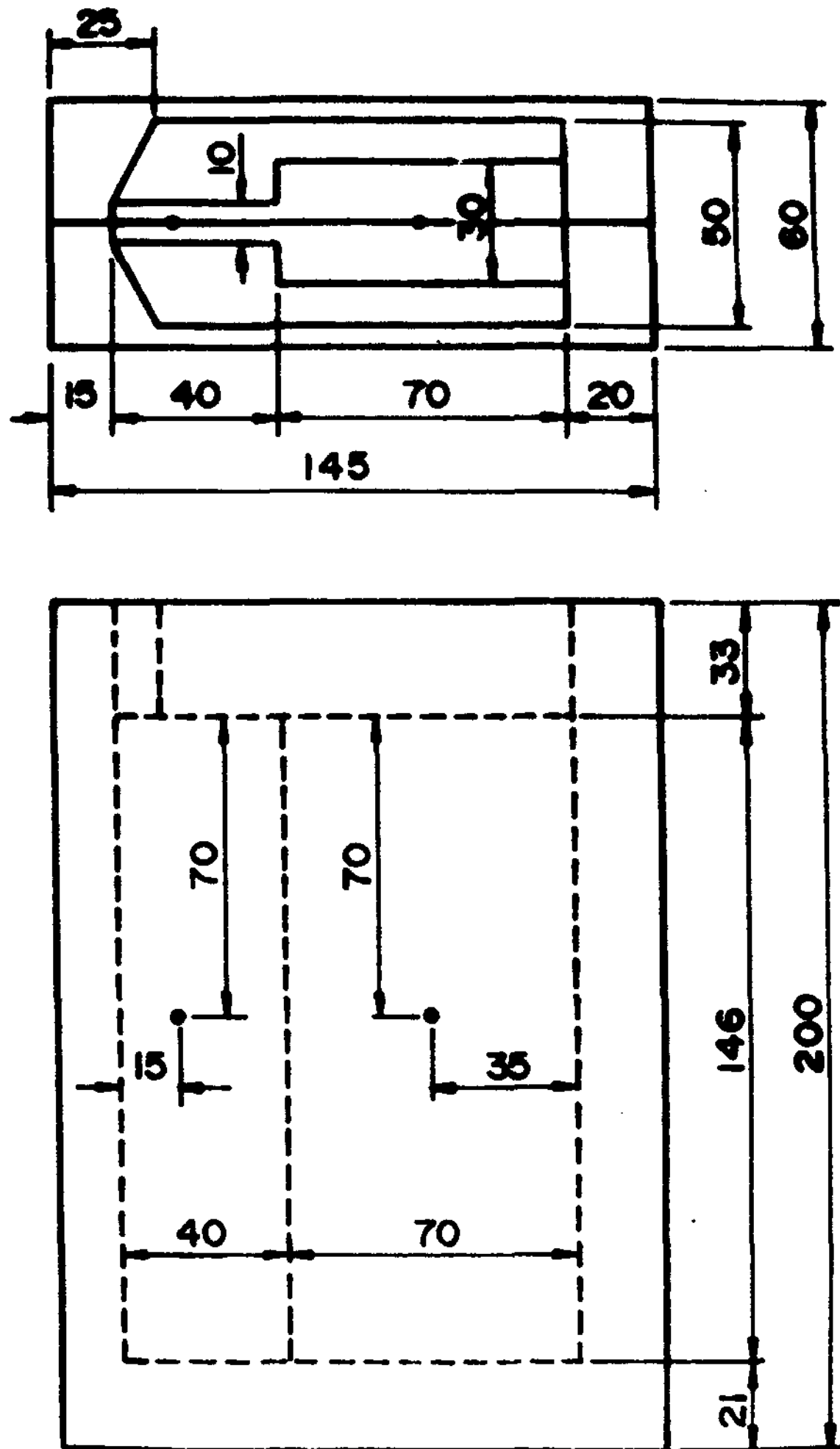
주입합금은 JIS AC8A에 해당되게끔 순금속들로 유도로에서 합금하였으며 조성은 Al-12.7%Si-1.2%Cu-0.9%Mg-1.1%Ni-0.3%Fe 로 하였다. 용해, 합금후에 약 750°C에서 P(red phosphor tablet)처리와 탈가스 처리를 하고 주입온도는 750~760°C로 유지하였다.

#### 2.2 냉각곡선 및 열처리

금형내 주물의 냉각곡선과 용체화 처리후의 시편의 냉각곡선을 측정하는데는 1.5mm 직경의 sheath CA-

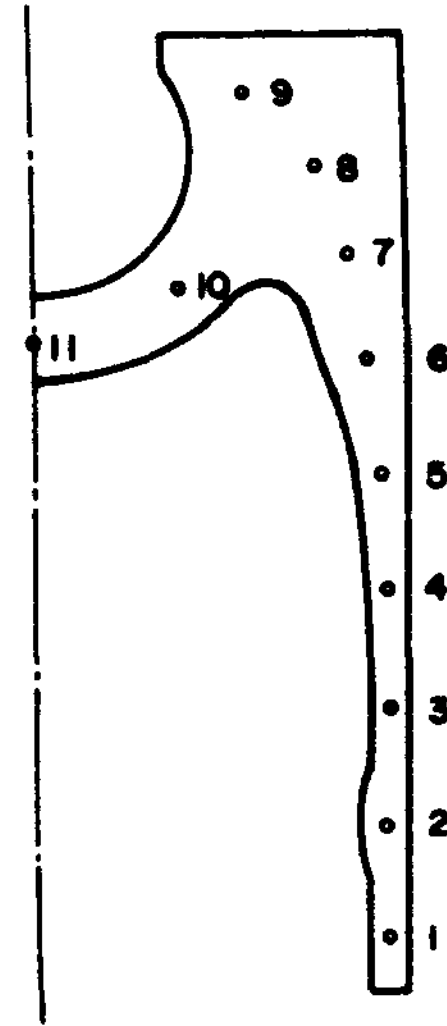
열전대를 사용하였다. 열처리로는 온도편차를 줄이기 위해 환풍열처리로를 사용하였고 설정온도에서  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  이내로 유지되었다. 용체화 처리후 상온에서 약 24시간 방치한 뒤 시효경화처리 하였다.

용체화 처리 온도로 부터의 냉각은  $530^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 유지하여 용체화처리후 로의 문을 조금씩 열어 냉각속도를 조절하였다. 이때 시편의 온도는 시편 ( $10 \times 23 \times 30\text{mm}$ )의 내부 중심에 열전대를 끼워서 측정하였다. 로내에서의 냉각속도는 약  $25^{\circ}\text{C} / \text{min}$  가 되게 조절하였고 로에서  $20^{\circ}\text{C}$  간격으로 꺼낸 시편은 곧 물에 급냉시켰다. 열전대가 꼽힌 시편은  $450^{\circ}\text{C}$ 에서 로에서 꺼내어 공기중에서 냉각되게 하였다. (Fig.6 참조)

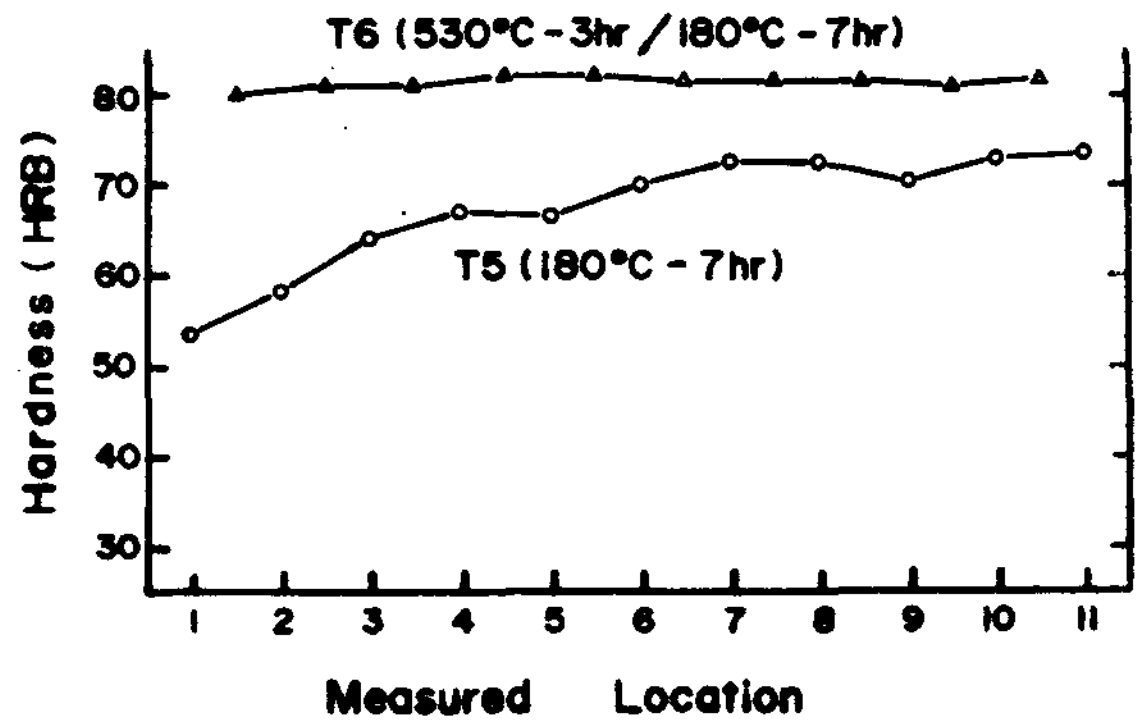


• : position of thermocouples

Fig.1 Test casting mold in steel(unit : mm)



a) Location of hardness measurement



b) Hardness distribution

Fig.2 Hardness (HRB) distribution on a piston cross section cast in a metal mold

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 두께에 따른 경도의 분포

실제 금형주조한 피스톤을 T5( $180^{\circ}\text{C} - 7\text{hr}$ ) 및 T6( $530^{\circ}\text{C} - 3\text{hr} / 180^{\circ}\text{C} - 7\text{hr}$ )처리 하였을 시 단면의 경도 (HRB)분포를 Fig.2에 나타내었다.

T5처리시 응고가 가장 빨리 이루어진 피스톤 스킨의 끝부위의 경도는 54인데 비해 냉각이 가장 늦게 진행되었을 head 부위의 경도는 74로 약 20의 차이가 있다. 같은 시편을 T6처리하게 되면 얇은 부

위와 두꺼운 부위의 경도 차이가 거의 없고 모두 80~82의 높은 경도를 나타내고 있다. 이것으로 보아 같은 금형 주조품내에서 응고속도의 차이는 경도에 별 영향을 미치지 않고 응고후의 냉각속도가 경도에 결정적 영향을 미치는 것을 알수 있다. 즉 이 정도의 응고속도의 차이에서는 dendrite arm spacing과 같은 응고조직보다는 용질원자의 과포화도와 석출상태가 경도에 더 큰 영향을 미친다. 그러나 사형주조품과 금형주조품을 비교한다면 금형주조품이 강도뿐만 아니라 경도도 약간 높은 것으로 문헌<sup>2,3)</sup>에 보고되었다.

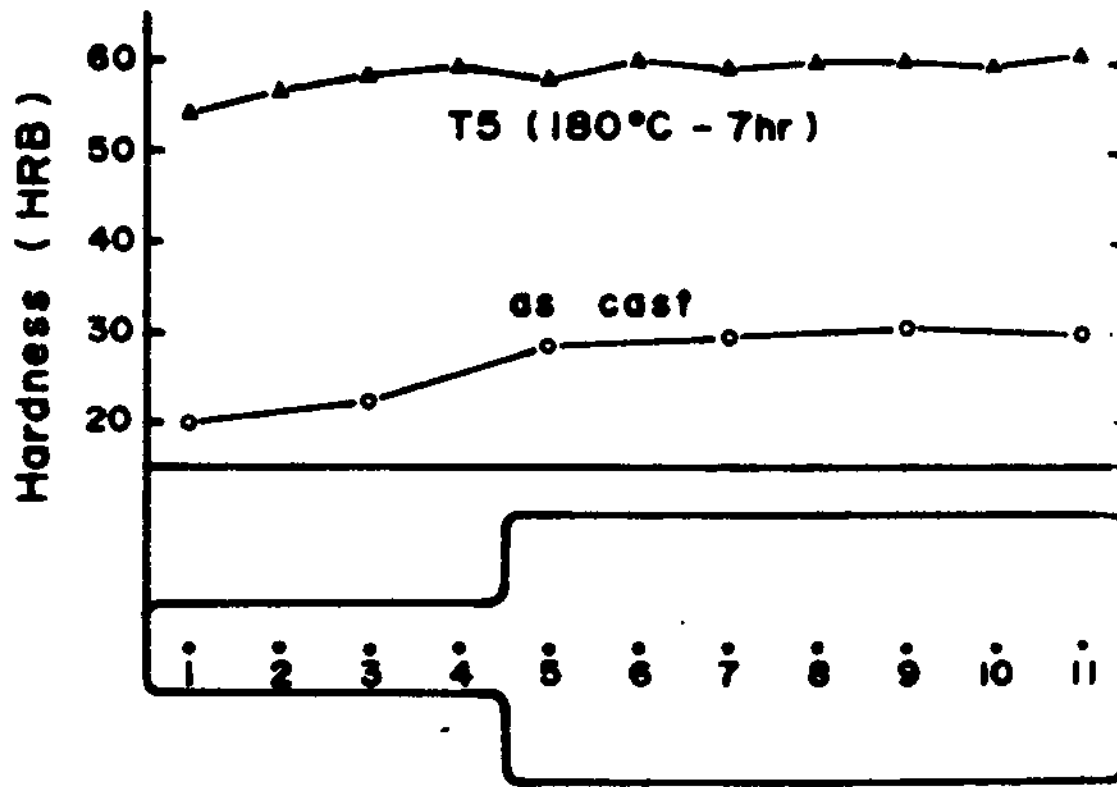


Fig.3 Hardness distribution on cross section of the test casting

Fig.3은 주조상태 및 T5(180°C-7hr) 열처리한 시편주물 단면의 각 부위에서의 경도를 나타내고 있다. 피스톤의 단면에서와 마찬가지로 시편주물에서도 10mm 두께 부위가 30mm 두께 부위보다 경도가 낮은 것이 확인되었다. 그러나 인장강도는 여러문헌에서<sup>1-3)</sup> 알수 있는 바와 같이 본 실험에서도 역시 응고가 빨리 진행된 10mm 부위가 30mm 부위보다 더 높다(Table 1).

Table 1 . Tensile strength of test castings of AC8A (N/mm<sup>2</sup>)

Heat treatment	Section thickness	
	10mm	30mm
as cast	238	216
T 5 (210°C - 5hr)	275	251
T 7 (530°C - 3hr/210°C - 5hr)	335	284

### 3.2 두께에 따른 냉각속도의 차이

시편주물의 10mm 부위와 30mm 부위의 중앙에 (Fig.1 참조) 열전대를 설치하고 냉각곡선을 기록한 것이 Fig.4 이다. 응고시간은 10mm 부위가 약 9초 30mm 부위가 약 58초로서 10mm 부위의 응고속도가 예상과 같이 훨씬 빠르다. 그러나 응고가 끝나고, α고용체가 Mg<sub>2</sub>Si의 고용한계 온도를 지나 Mg<sub>2</sub>Si가 석출할 수 있는 약 500°C 부근부터는 (Fig.5참조) 얇은 부위의 냉각속도가 매우 느려진다. 그 이유는 두꺼운 부위가 얇은 부위보다 아직 훨씬 높은 온도에 있고 금형으로의 열전달 속도도 느려지게 되기 때문에 많은 열량이 Al주물의 두꺼운 부위에서 얇은 부위로 전도되어 얇은 부위의 냉각을 지연시키기 때문이다 이 상태는 대개 주조품을 금형에서 꺼낼 때까지 계속된다.

본 실험의 시편주물은 주입후 215초 후에 금형에서 꺼내어 선풍기로 공냉하였고 금형에서 꺼낸뒤 공냉시에는 Fig.4에서 볼 수 있는 바와 같이 양부위의 냉각속도가 비교적 동일하다. 또한 특기할 사항은 금형에서 꺼낸후 선풍기로 공냉할 때의 냉각속도가 약 50°C/min로 금형내에서 보다 더 빠른 사실이다.

금형에서 꺼낼때 10mm 부위의 온도는 약 475°C이다. 500°C와 475°C 사이의 냉각시간은 10mm 부위가 154초 (냉각속도 10°C/min)인데 반해 30mm 부위는 68초(냉각속도 22°C/min)로 얇은 부위보다 냉각속도가 훨씬 빠르다.

실험에 쓰인 AC8A의 Mg함량은 0.9 %이므로 이것이 모두 Si와 결합하여 Mg<sub>2</sub>Si를 형성한다면 Mg<sub>2</sub>Si는 1.42%가 된다. 이 조성에서는 Fig.5에서 보는 바와 같이 약 500°C 부터는 상당한 Undercooling이 존재하므로 Mg<sub>2</sub>Si의 핵생성과 성장이 활발히 진행될 것으로 예상된다.<sup>5)</sup> 따라서 500°C 근처에서 더 오래 지체된 두께 10mm 부위에서 Mg<sub>2</sub>Si가 더 조대하게 석출했을 것으로 기대되고 또한 상온에서는 α고용체내 Mg<sub>2</sub>Si의 과포화도가 더 적을 것이다. 주조상태에서 얇은 부위의 경도가 더 낮은 이유는 바로 여기에 있다고 생각된다. 또한 이러한 시편을 시효경화처리하여도 과포화도가 더 큰 두꺼운 부위의 경도가 더 높게 나올것이므로 Fig.2와 3에 나타난 현상이 설명된다.

### 3.3 용체화 처리 온도로 부터의 냉각시간의 영향

530°C의 로내에서 2시간 유지하여 용체화를 한

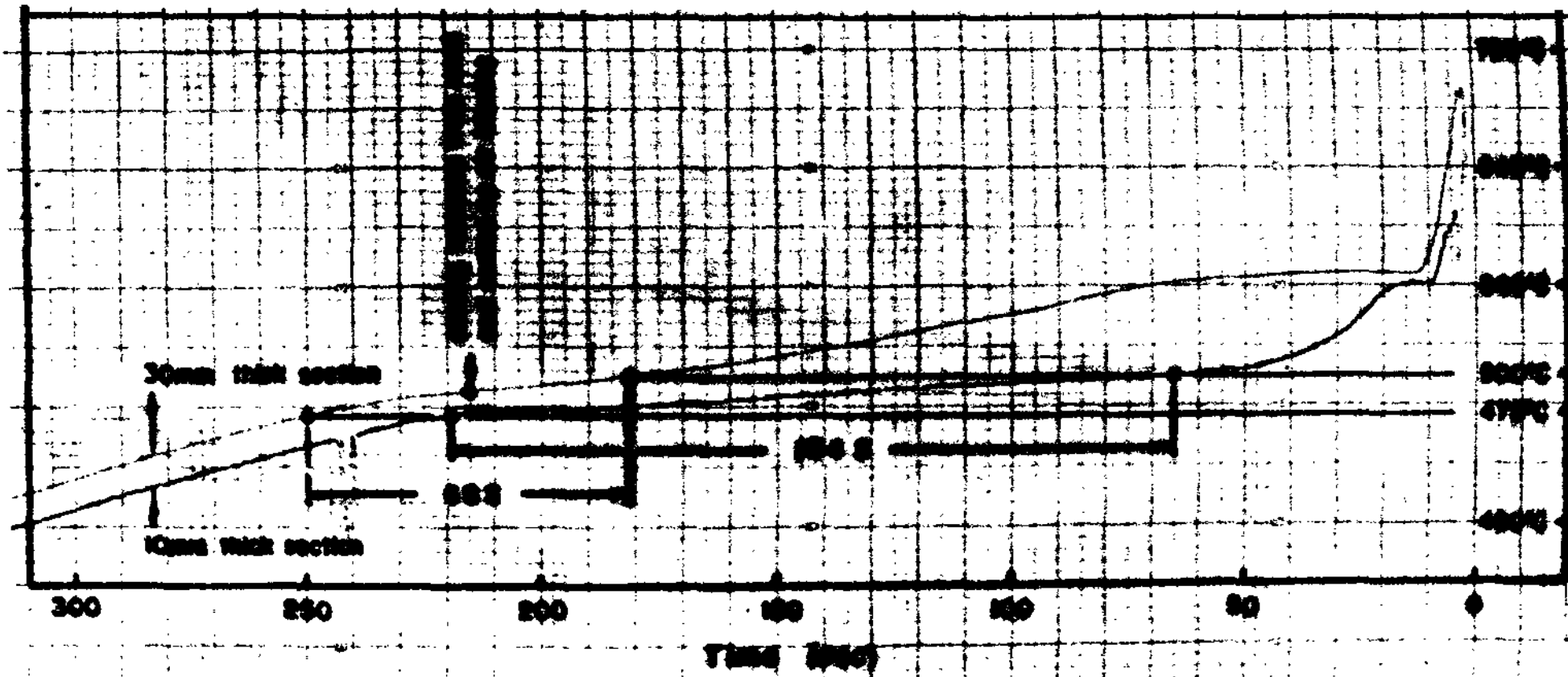


Fig.4 Cooling curves from the test casting

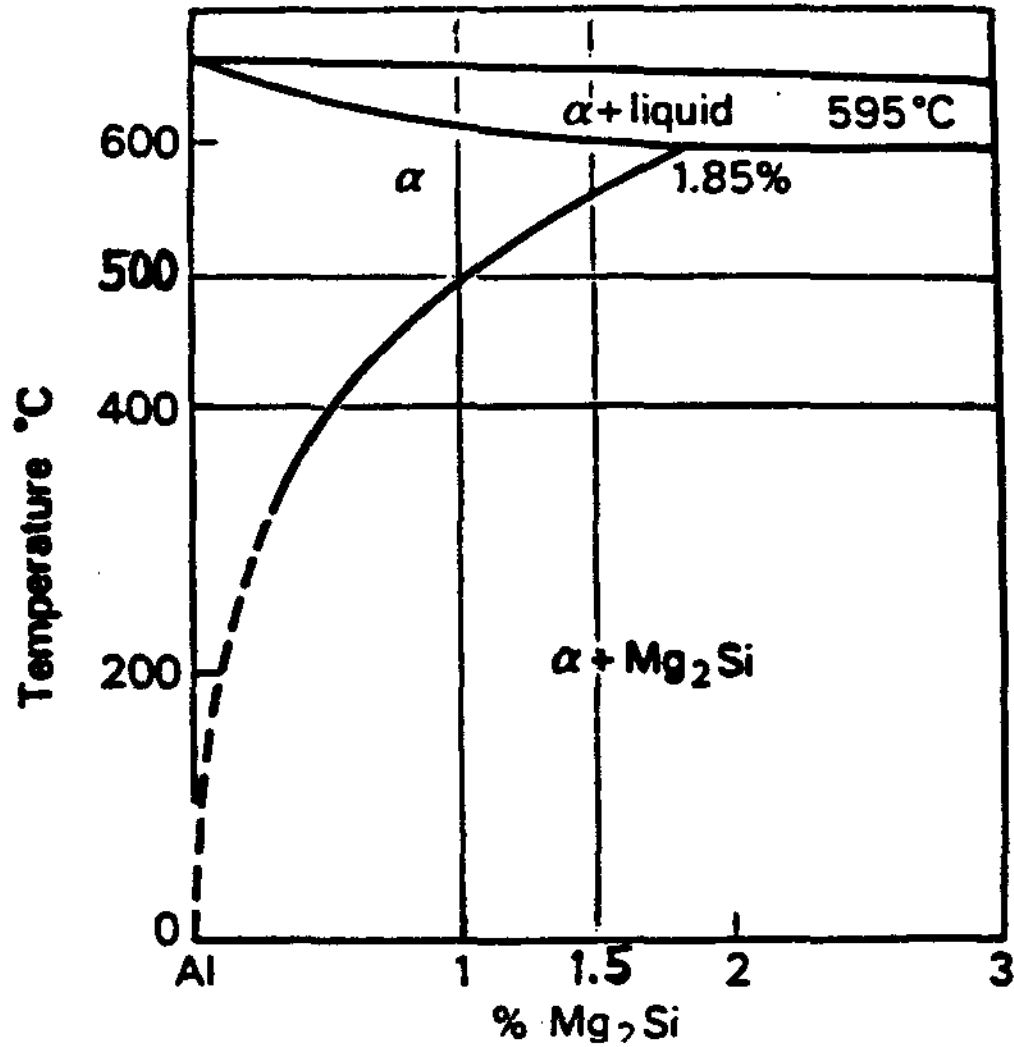


Fig.5 Pseudo-binary phase diagram for Al-Mg<sub>2</sub>Si<sup>(4)</sup>

뒤에 로내에서 서서히 약 25°C/min의 속도로 냉각시키는 도중 시편을 차례로 꺼내어 수냉하였다. 이 시편들의 수냉후의 경도와 시효(210°C-5hr) 처리후의 경도를 Table 2에 종합하였고 Fig.7에 도시하였다.

530°C에서 용체화 처리후 수냉까지 지체시간이 길어질수록 수냉후의 경도가 감소하고 그 감소율은 시편온도가 490°C부근에서 가장 크다. 그 이유는 용체화 처리후 530°C로 부터 금형내의 주물과 유사한 속도로 (25°C/min) 냉각되는 도중 Mg<sub>2</sub>Si가 석출하게 되고 이 지체시간이 길수록 석출물은 조대해질 것이며 수냉후 α 고용체내에 용질원자의 과포화도도 낮아지게 되는 것이다. 490°C 전후에서 경도의 감소율이 가장 큰 것으로 보아 이 온도부근에서 충분한 과냉과 확산속도에 의하여 석출물의 성장속도가 가장 클 것으로 추측된다 시효경화처리 후에는

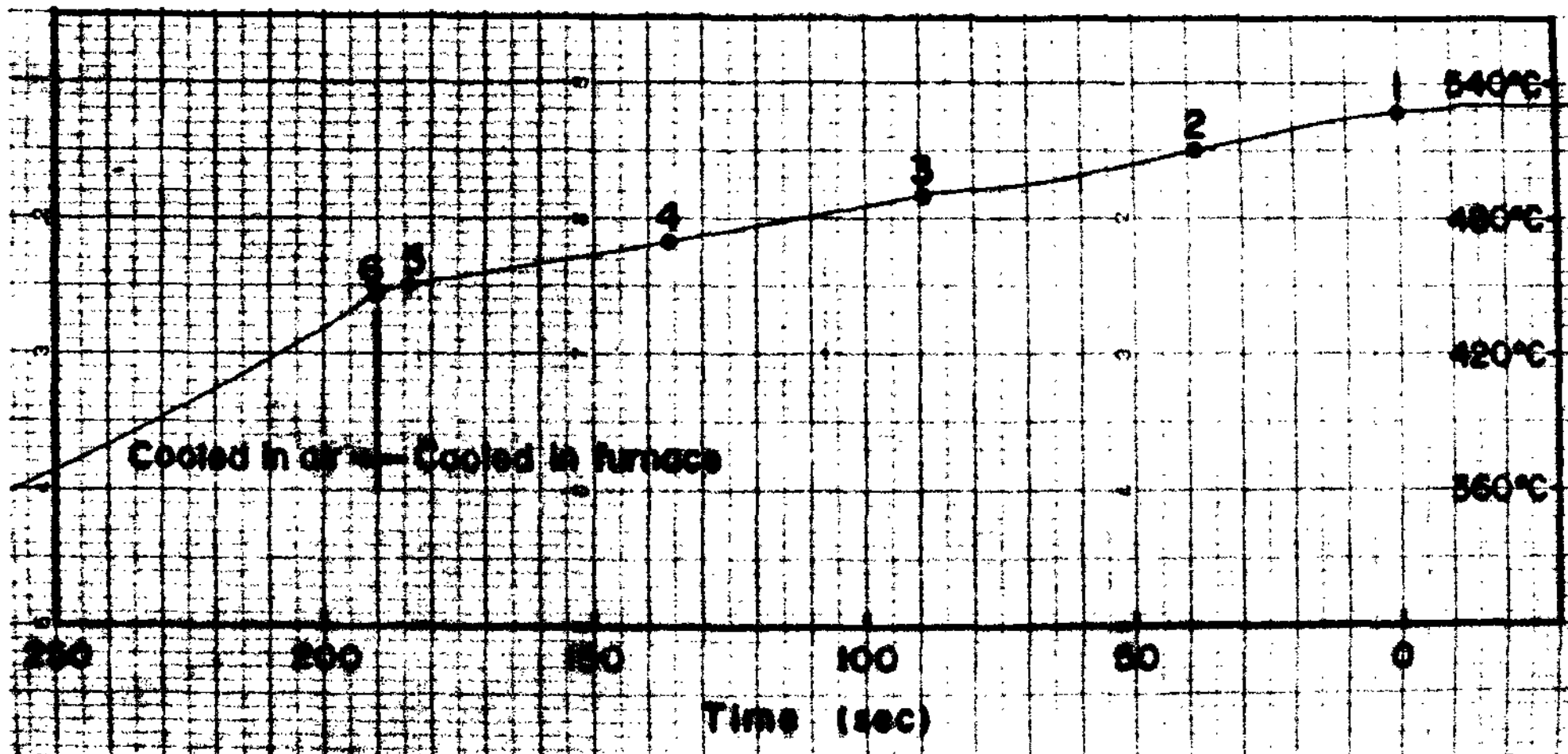
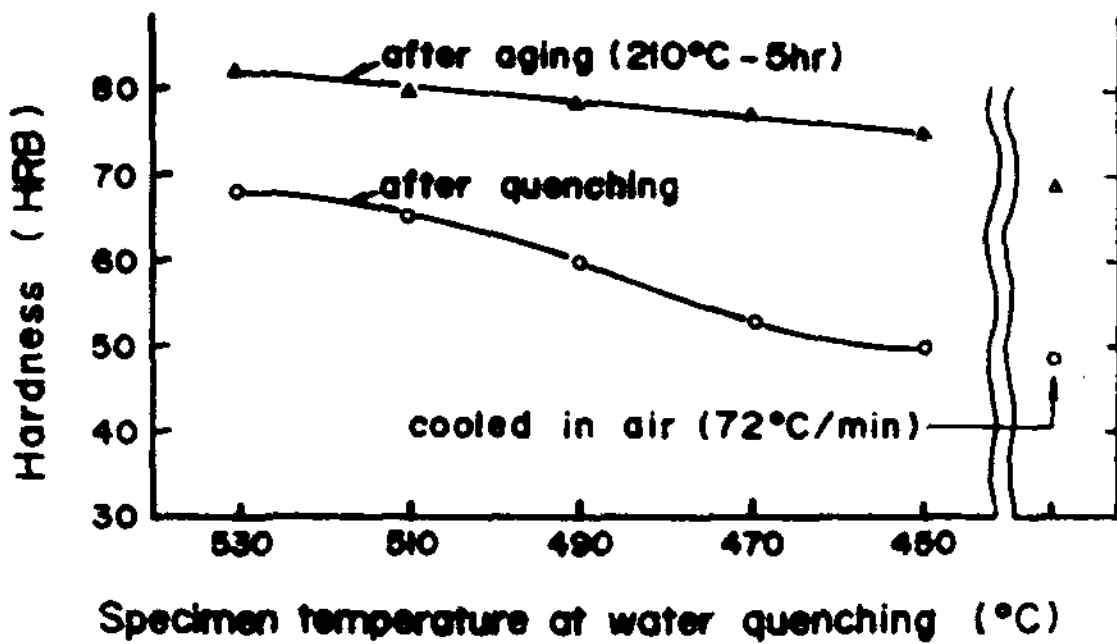


Fig.6 Cooling curve of the specimen after solution treating at 530°C

**Table 2** Effect of delaying time from solution treating temperature 530°C to water quenching on hardness

Specimen No.	Temp. at quenching(°C)	Delay time (sec)	Hardness after Quenching (HRB)	Hardness after Aging (HRB)
1	530	0	68	82
2	510	39	65	79
3	490	90	60	78
4	470	136	53	77
5	450	184	50	75
6	cooled in air (72°C / min) from 450°C		49	69



**Fig.7** Effect of delaying from solution treating at 530°C to water quenching

전반적으로 경도가 상승하지만 용체화 처리후 수냉까지의 지체시간이 길어질수록 시효처리후의 경도도 감소하며 이것은 용질 원자의 과포화도가 감소하기 때문일 것이다.

완전히 공기중에서 상온까지 냉각된 시편 (No.6)의 경도 (HRB)는 49로서 450°C에서 수냉된 시편보다 크게 작지는 않다. 그 이유는 시편의 크기가 작아 공기중에서 비교적 빨리(72°C / min) 냉각되었기 때문이다.

**4. 결론**

금형주조 Al합금(AC8A) 주물에서 나타나는 경도의 역분포 현상 (즉, 얇은 부위의 경도가 두꺼운 부위의 경도보다 낮은 현상)을 금형내에서 주물의 냉각속도를 측정하여 설명하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 금형내에서 얇은 부위의 응고속도는 두꺼운 부위보다 빠르지만 그 이후의 냉각 속도는 두꺼운 부위로 부터의 열전도로 인하여 오히려

더 느려진다.

- 2) Al 합금 주물은 응고후 금형에서 해체하여 공냉을 하면 금형내에서 보다 더 빨리 냉각될 수 있다.
- 3) AC8A 합금은 530°C이하에서 냉각되는 속도가 느릴수록 주조상태 및 시효처리 후의 경도가 낮아진다.
- 4) AC8A 합금인 경우 Mg<sub>2</sub>Si 석출상의 성장속도는 490°C 근처에서 가장 클것으로 추측된다.

**후기**

본 연구는 과학기술처와 동양피스톤(주)이 공동으로 지원한 연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 대해 깊은 감사를 드립니다.

**参 考 文 献**

- [ 1 ] R.E.Spear and G.R.Gardner : AFS Trans.71 (1963) 209
- [ 2 ] R.W.Heine, C.R.Loper, P.C. Rosenthal : "Principles of Metal Casting" McGraw-Hill (1967) 275,314
- [ 3 ] DIN 1725 Blatt 2, 1973 Aluminiumlegierungen
- [ 4 ] I.J.Polmear : "Light Alloys" Edward Arnold, ASM(1981)25
- [ 5 ] R.D.Doherty : "Diffusive phase transformation in the solid state" in "Physical Metallurgy" ed. R.W. Cahn and P.Haasen North-Holland Physics Publishing(1983) 936,944,965
- [ 6 ] D.S.Thompson : Met. Trans., 6A(1975) 671