

論 文

알루미늄청동의 합금성분 및 냉각속도에 따른  
특성변화에 관한 연구

鄭雲載\*, 金憲珠\*, 金東玉\*, 尹義博\*\*

A Study on the Change of Properties of Al-bronze Due to Alloy Elements and Cooling Rate.

Woon-Jae Jung\*, Heon-Joo Kim, Dong-Ok Kim\*, Eui-Pak Yoon\*\*

ABSTRACT

Al-bronze has a good mechanical property, corrosion resistance and castability, so being highlighted for the new copper alloy.

So, effects of alloy composition and cooling rate in the mechanical properties and solidification behavior have been investigated.

The results obtained are as follows:

- 1) Change in volume on solidification is larger in metal mold casting than in sand mold casting. And it decreases by the addition of Al.
- 2) The mechanical property in metal mold casting is superior to the one in sand mold casting, and the inclination is obvious up to 9% Al, after heat-treatment (885°C, 1.5hrs → W · Q → 540°C, 3hrs)
- 3) By adding Al, the mechanical property is slightly increased up to 9% Al. Above 9% Al, it is increased rapidly, and is accelerated by adding Fe.
- 4) Cooling rate and hardness, and grain size and cooling rate are related as follows in the range of 1100°C to 1200°C pouring temperature.

$$\text{Grain size}(\mu\text{m}) = 929.6422 \times \text{cooling rate}(\text{°C} / \text{sec})^{-0.51537}$$

$$\text{Hardness(BHN)} = 765.45713 \times \text{grain size}(\mu\text{m})^{-0.31058}$$

1. 서 론

알루미늄청동은 2차대전중 개발되어 1950년경에 실용화된 동합금으로서 Al을 4~12% 함유하는 Cu-Al의 2원계 합금에 Fe, Ni, Mn등이 소량 함유되어,

동합금중 기계적 성질이 가장 우수하며 알루미늄에 의한 산화피막이 형성되어 내식성이 뛰어난 합금이다. 또한 비중이 약 7.5 g/cm<sup>3</sup>으로서 비슷한 강도를 갖는 고강도 황동의 8.3 g/cm<sup>3</sup>에 비해 작으므로 중량을 10~20% 감소시킬 수 있으며, 동합금중 원재료비가 저렴하고 금형주조성(균열, 내부조직, 결함의 발생정도, 주물표면)이 가장 우수하다. 그러나 이 합금은 Al의 함량에 따라 고온안정상인 β상의 공석변태, 제3상의 석출등에 의한 금속조직과 기계적 성질의 변화가 심하다. 또한 주조공정상의 문제로는 용탕내부의 산소 농도는 낮으나 상대적으로

\* 한국기계연구소 주물 연구부 (Korea Institute of Machinery & Metals, Foundry Technology Center)

\*\* 한양대학교 재료공학과 (Dept. of Materials Eng., Hanyang Univ.)

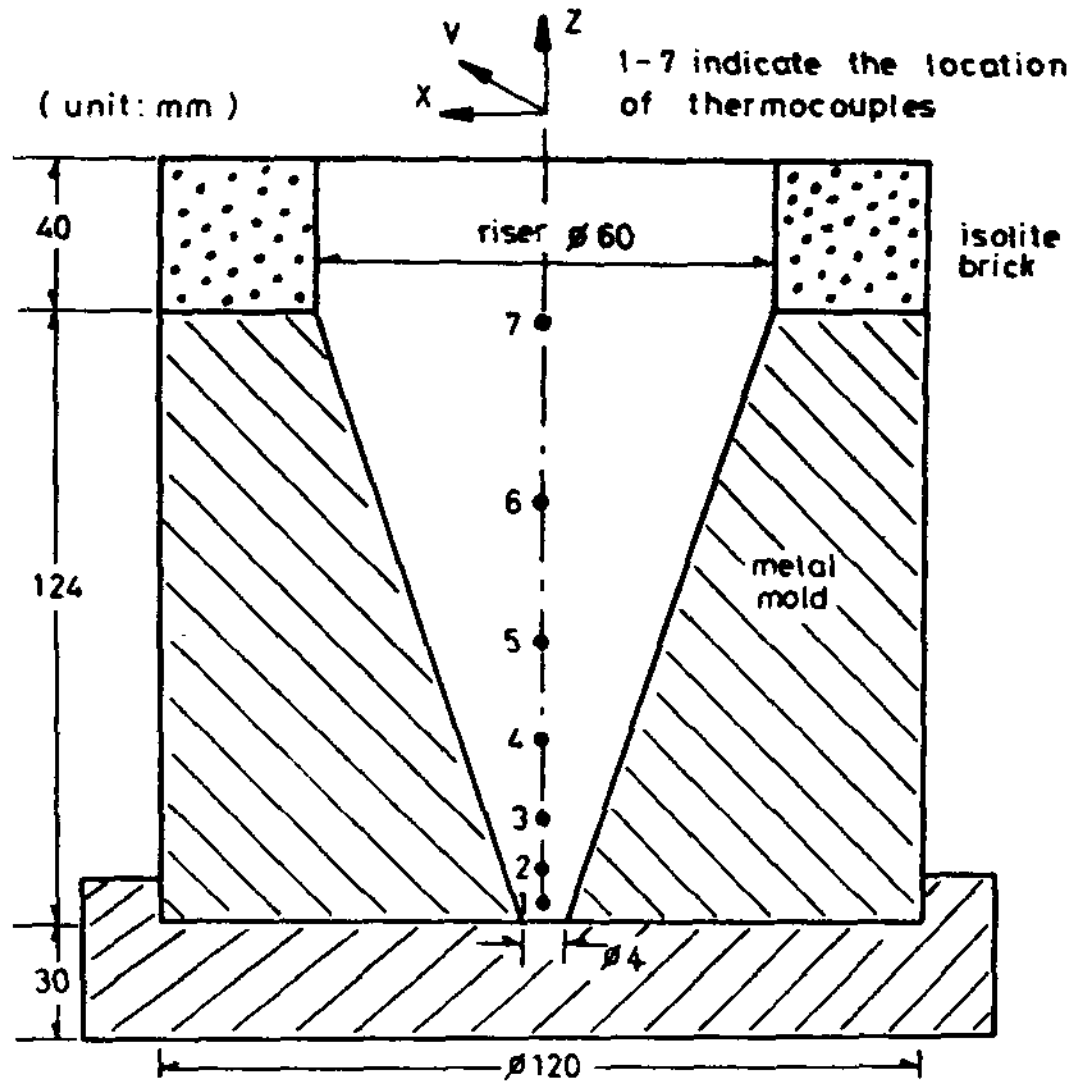


Fig. 2. Test mold for measuring cooling rate.

2.4. 기계적성질 측정

각 합금성분 및 주형종류별로 인장강도와 경도시험을 행하였다. 시편의 채취는 응고 수축거동을 측정된 Fig.1의 시료중 미세수축공이 없는 부분을 확인후 Fig.3과 같이 절단하여 사용하였다.

인장강도는 Fig.4와 같은 크기로 가공하여 열처리 전 주방상태에서 1회 시험하였으며, 경도시험은 열처리 전 상태와, β상 영역인 885℃에서 1.5시간 유지 후 수냉한 뒤 공석변태온도(565℃) 이하인 540℃에서 3시간 열처리한 것을 각각 시료로 택하였다. 시험은 직경 10mm의 구를 사용한 Brinell시험기로 500

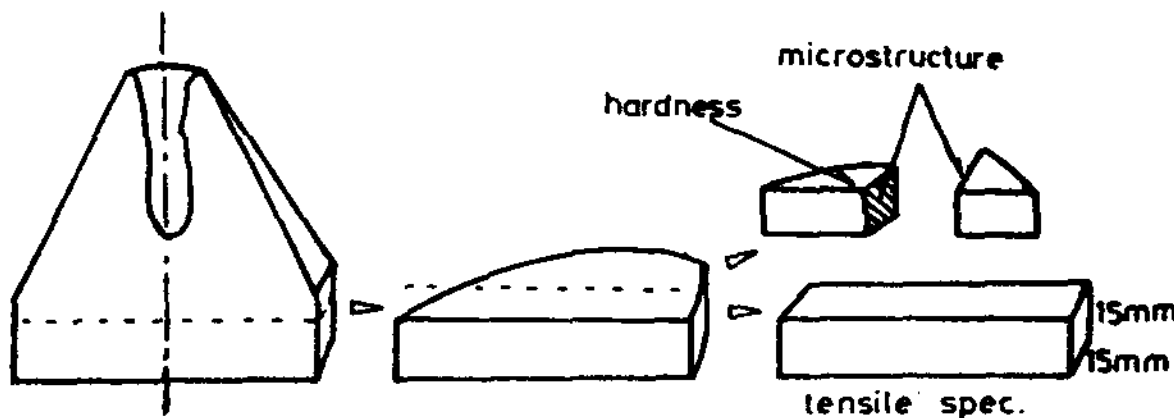


Fig. 3. Test specimen of mechanical property and microstructure.

kg의 하중을 30초간 가하였다. 또한 냉각속도를 측정된 시료로부터 15×15×15mm 크기로 절단하여 동일한 조건으로 경도시험을 행하였다.

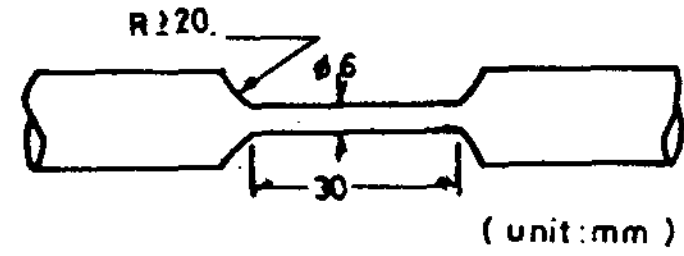


Fig. 4. Test specimen for tensile strength.

2.5. 조직관찰

응고수축거동을 조사한 시료로부터 경도시편을 채취한 것과 동일한 방법과 열처리 과정을 거친 시료를 택하여 조직관찰을 행하였다. Alexander reagent (30ml의 75% 초산+20ml 질산+30ml 아세톤)로 부식한 후 200 배율의 현미경으로 미세조직을 관찰하였다.

또한 냉각속도 측정을 행한 시료로부터 각 열전대 위치에서 15×15×15mm 크기로 절단하여 조직관찰, 결정립 크기 및 경도를 측정하여 각 부위별로 측정된 냉각속도와 비교 검토하였다. 부식액은 증류수 100ml+(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 10g+질산 10ml를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 주형 · 합금성분에 따른 응고수축 거동

용탕별 성분분석 결과 및 주형과 합금성분에 따른 응고수축량은 각각 Table1, Table2와 같다. 또한 시료를 반분할하여 분할면을 macro etching한 결과는 Photo.1과 같다. 사진에서 보듯이 수축결함의 종류는 5.38% Al을 사형주조했을 때(시료<sup>1)</sup>) 약간의 Shrinkage porosity가 보였으나 나머지 경우에는 모두 뚜렷한 Shrinkage Cavity만이 나타나고 있었다.

따라서 본 실험의 합금조성과 같은 넓은 Al함량 범위(5.38~11.62wt%Al) 내에서 상당히 표피생성형 응고(skin-formation type solidification)의 경향이 뚜렷함을 알 수 있었다. 이때 결정립의 방향 및 크기는 1.92% Fe의 금형주조(시료3)시에 주형벽면의 주

수소가스에 의한 주조결함이 많으며, 용해시 용탕 표면에서 알루미늄 산화물의 발생이 많다. 따라서 용해시에는 산화물의 발생을 저지하고 주입시 산화물의 혼입방지에 유의해야 한다. 또한 β상의 공식 변태시 자기소둔(Self-annealing)에 의한 서냉취성을 일으키는 경향이 있다.

본 연구에서는 사형주조법에 비하여 우수한 기계적 성질과 미려한 표면을 얻을 수 있으며, 불량율의 감소와 생산원가의 절감이란 측면에서 금형주조법<sup>2)</sup>을 이용하여 강도, 내식성, 주조성이 우수한 알루미늄청동에 대하여 주형, 합금성분 변화에 따른 응고수축거동 및 기계적 성질의 변화와 금형내에서 냉각속도에 따른 기계적 성질의 변화에 대하여 검토하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시료제조

실험에 사용된 시료는 고주파 유도용해로(75kw, 3000Hz)를 사용하여 순도 99.96% 이상의 전기동을 적열상태로 10분 정도 유지한 후 전기동이 용락되면 즉시 99.7% 이상의 순알루미늄과 성분조정의 필요에 따라 50Al-50Fe 모합금을 투입하였다. 용해가 완료되면 용탕을 교반시키면서 C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>정제를 용탕중량의 0.05% 정도 투입하여 탈가스처리를 하고<sup>3)</sup> 1200℃의 일정 온도에서 주입하였다.

냉각속도 측정을 위하여 사용된 시료는 10%Al, 2%Fe의 모합금<sup>4)</sup>을 고주파 유도로에서 제조한 후, Ar분위기의 고주파 유도로에서 재용해하여 금형에 주입하였다.

### 2.2. 응고수축량 측정

주형의 종류와 합금성분에 따른 응고수축량을 조사하였다. 사용된 금형은 저합금 주철제<sup>5)</sup>(3.3%C, 2.4%Si, 0.8%Mn, 3%Ni, 0.5%Cr)로, 금형 예열온도는 150℃로 하였으며, 도형제는 알루미늄아계로 0.1~0.2mm 도포하였다. 또한 사형은 인조규사 6호사에 몰유리 7%를 혼합한 CO<sub>2</sub>주형으로 하였으며 도형은 하지 않았다.

합금성분의 변화는 알루미늄을 6, 8, 10 및 12%로, 결정립미세화와 석출을 위한 첨가원소로 Fe을 0%, 2%, 4%로 변화시켰다.

응고수축량의 측정방법은 Fig.1의 형상<sup>6)</sup>에 주조한 시료들을 길이방향으로 2등분하고 #1000 연마지에 연마후 수축된 면적을 Computer graphic tablet으로 6회 측정한 후 평균값을 취하여 부피로 환산하였다.

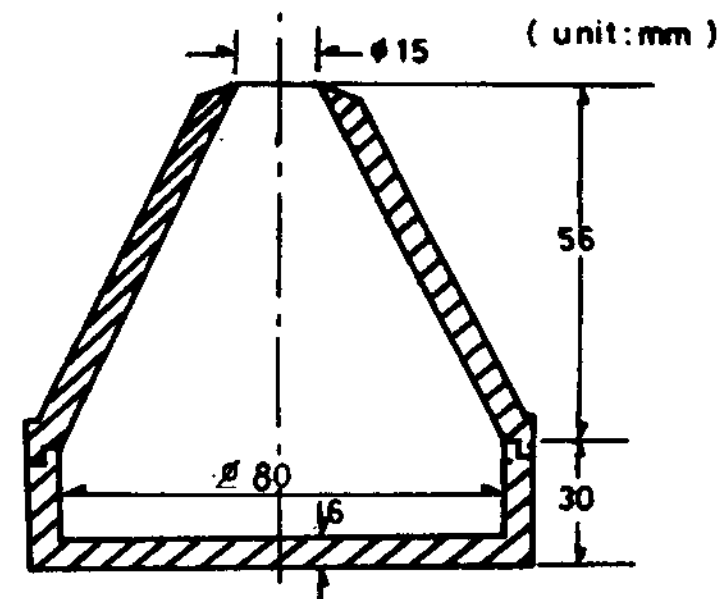


Fig. 1. Test mold for solidification behavior.

### 2.3. 냉각속도 측정

표준열분석 실험은 냉각속도 측정용 시료를 사용하여, 주입온도에서 변태가 완료되는 500℃ 부근까지 미리 예열된 로내에서 1시간 정도 유지하면서 행하였다.

냉각속도 측정을 위한 금형은 Fig.2와 같으며, 온도측정을 위한 열전대의 위치는 일곱군데였으며 주입 직후부터 시간에 따른 온도의 변화를 Oscillograph와 X-Y 기록계로 측정하였다. 점 1,2에는 직경 75μm의 PR선을, 점 3~7에는 직경 0.7mm의 CA선을 사용하였다. 금형의 예열을 로내에서 250℃로 3시간 유지시킨 후, 주입직전에 꺼내어 사용하였고 주입온도는 1100, 1150 및 1200℃로 하였으며 도형제는 알루미늄아계를 0.1~0.2mm 두께로 분사 도포하였다.

Table 1.. Chemical composition of the specimens.

		unit ; wt %					
Sample No.	Comp.	1	2	3	4	5	6
Al		5.38	7.41	9.38	9.24	9.81	11.62
Fe		1.84	1.77	1.92	4.47	-	1.85
Cu		Bal.	Bal.	Bal.	Bal.	Bal.	Bal.

Table 2. Test results of solidification shrinkage.

		unit ; vol %					
Sample No.	Mold	1	2	3	4	5	6
Metal		7.2	5.46	4.52	-	3.71	4.292
Sand		4.7	3.78	3.3	3.3	3.30	2.8

상정과 더불어 중앙의 넓은 부위에 걸쳐 미세한 등축정이 나타난 것을 볼 수 있었으나, 사형 주조시에는 전체적으로 조대한 주상정이 분포하였고 미세한 등축정은 거의 관찰되지 않았다.

측정한 응고수축량은 금형에서 3.7~7% 정도로서 사형의 3~5%에 비하여 훨씬 높게 나타나고 있었다.

합금성분에 따른 수축량의 변화는 Al함량의 증가에 의해 점차 수축량이 감소하여, 10%Al이하에서는 그 영향이 뚜렷하고 10%Al이상의 금형에서는 4%정도, 사형에서는 3%정도로서 크게 변화가 없었다. Al함량의 증가에 따른 수축량감소는 용질원자량의 증가에 의해 응고온도범위가 확대되고 점차 고액공존형응고(pasty solidification) 양상에 접근하기 때문이고, 금형이 사형보다 수축량이 큰 것은 냉각속도의 증가에 따르는 주물내 급격한 온도구배의 형성 및 보급량의 증가 때문인 것으로 생각된다.<sup>6)</sup>

3.2. 주형 · 합금성분에 따른 기계적 성질의 변화

각 조건에서의 현미경조직은 Photo 2와 같고, 경도값의 변화는 Fig.5 및 Fig.6, 인장강도 및 연신율의 변화는 Fig.7 및 Fig.8과 같다.

3.2.1. 주형에 따른 기계적 성질의 변화

5~12%Al 범위내에서 금형 주조시편과 사형 주

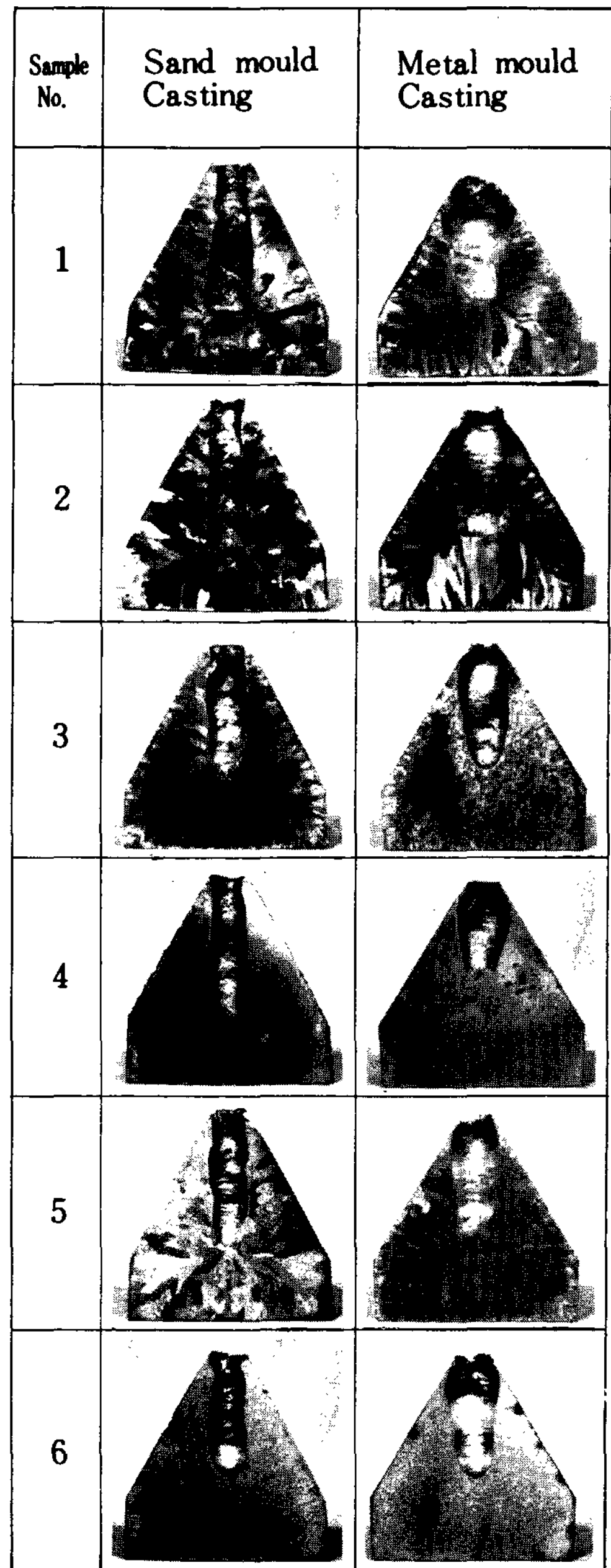


Photo. 1. Test specimens of solidification behavior

조시편의 경도값은 열처리전의 주방상태에서는 거의 차이가 없으나 금형주조의 경우가 전반적으로 약간 높은 값을 보이고 있었다.

이러한 경향은 9%Al 이하의 열처리후에도 거의 변화가 없었으나 9%Al 이상, 열처리후에는 금형주조와 사형주조시에 그 차이가 심하고, 금형주조의

Pour. temp. Loc.	A 1100°C	B 1150°C	C 1200°C
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

40μm

Photo. 4. Microstructures of Cu-Al 9.3 wt %-Fe 1.81 wt % alloy at various pouring temperatures.



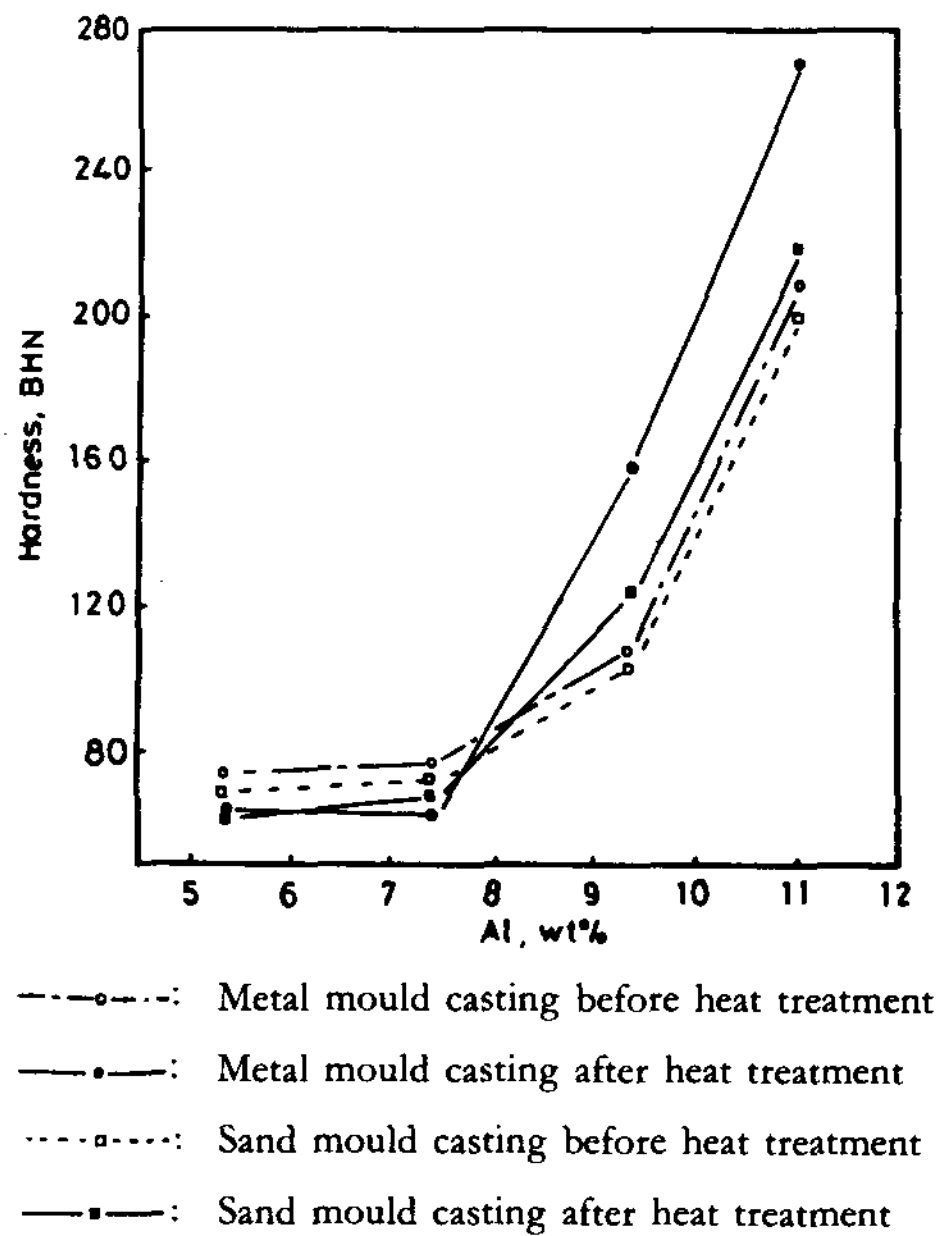


Fig. 5. Effects of mold material and Al content on the hardness of Al-Bronze.

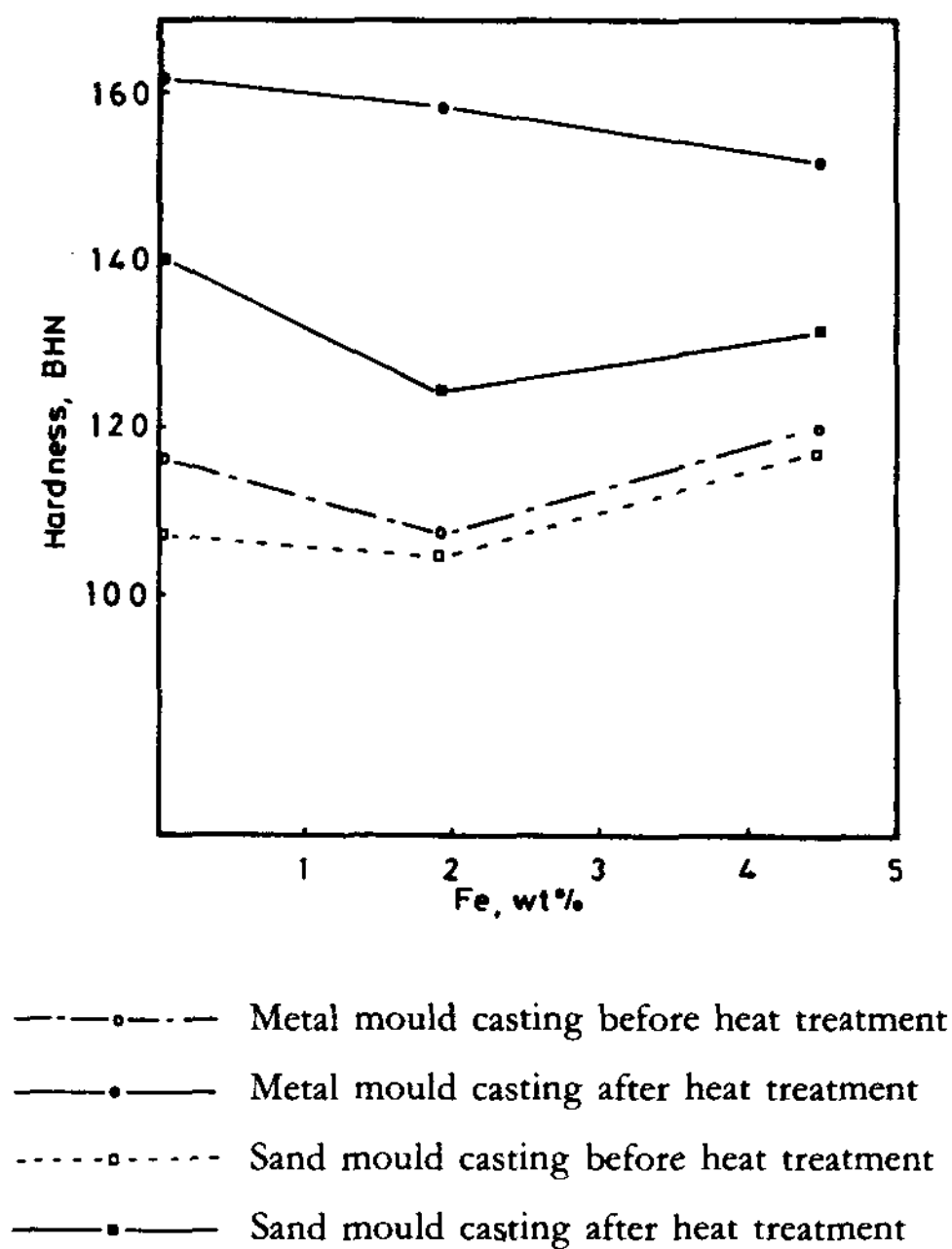


Fig. 6. Effects of mold material and Fe content on the hardness of Al-Bronze.

경우가 사형주조에 비해 20% 정도 높은 경도를 나타내고 있었다.

이것은 Cu-Al 평형상태도에서 알 수 있는 바와 같이 9.4%Al 이상의 합금조성은 상온에서  $\alpha+\gamma_2$ 의 총상 석출상을 가지나, 급냉에 의한 비평형응고시에는 상온에서 martensite 형상의  $\beta$ 상으로 석출하게 되고 경도 및 강도가 급격히 증가하게 된다. 또한 9%Al 이상의 조성에서 열처리후 금형 주조시편이 높은 경도값을 보이는 것은 냉각속도가 사형에 비해 빨라 미세한 결정립을 형성하고 열처리조건에서 수냉시 사형에서보다 미세한 martensite 형상의  $\beta$ 상을 형성하였기 때문이다.

인장강도 및 연신율은 Fig.7, Fig.8에서와 같이 열처리전의 주방상태에서도 금형주조의 경우가 훨씬 높은 값을 나타내어 인장강도는 10%, 연신율은 30%정도 증가하고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 금형주조한 경우가 사형주조에서보다 경도, 인장강도, 연신율등의 기계적 성질이 우수한 것은 Photo.2에서와 같이 미세한 cell size, 미세하게 분산된 Fe 금속간 화합물( $\delta$ -Fe 또는 Fe-Al)과 열처리후의 미세한 martensite형상의  $\beta$ 상에 기인된 것으로 생각된다.

### 3.2.2. 합금성분에 따른 기계적 성질의 변화

9%Al이상에서는  $\beta$ 상이 나타나 이로 인해 경도 및 강도는 급격히 증가하였고 연신율은 저하하였다.

0~5%Fe의 범위에서 경도의 변화는 Fig.6과 같이 Fe 첨가에 의해 오히려 경도가 저하하는 듯하나 이것은 Al 함량의 차이에 의한 것으로 생각되며, Al이 0.43% 감소되면 Fe를 1.92% 첨가하더라도 오히려 경도값이 저하함을 알 수 있다. 또한 Fe를 1.92%에서 4.47%로 증가하여도 경도의 차이는 거의 없었다. 그러나 인장강도 및 연신율은 Fig.8과 같이 현저히 증가하고 있음을 볼 수 있다.

따라서 Fe의 첨가에 의한 기계적 성질의 변화로 경도값의 차이는 적으나, 인장강도 및 연신율은 현저하게 증가시킨다.

### 3.2.3. 열처리에 의한 경도의 변화

열처리조건(885°C×1.5hr → W.Q. → 540°C×3hr)에서 경도값의 변화는 Fig.5에서와 같이 9%Al 이하의  $\alpha$ 상 영역에서는 저하하고 있으며 9%Al 이상의  $\beta$ 상이 석출한 영역에서는 현저히 증가하고 있음을 알 수 있다.

No.	Cond. Comp.	Al-Bronze in Metal Mold		Al-Bronze in Sand Mold	
		Before heat treatment	After heat treatment	Before heat treatment	After heat treatment
1	5.38% Al 1.84% Fe				
2	7.41% Al 1.77% Fe				
3	9.38% Al 1.92% Fe				
4	9.24% Al 4.47% Fe				
5	9.81% Al - Fe				
6	11.62% Al 1.85% Fe				

200μm

Photo. 2. Microstructures of Al-Bronze.

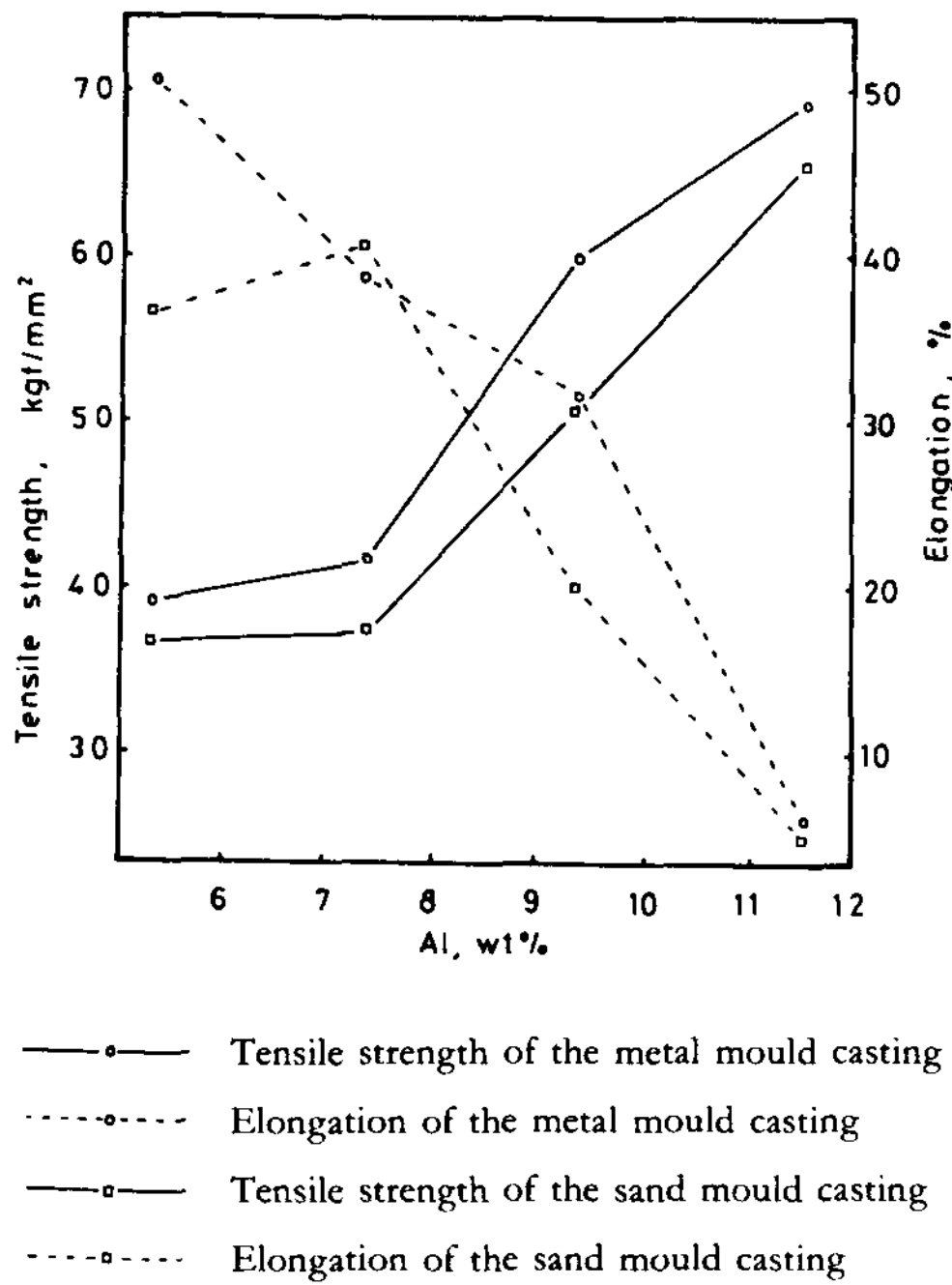


Fig. 7. Effects of mold material and Al content on the tensile strength and elongation of Al-Bronze.

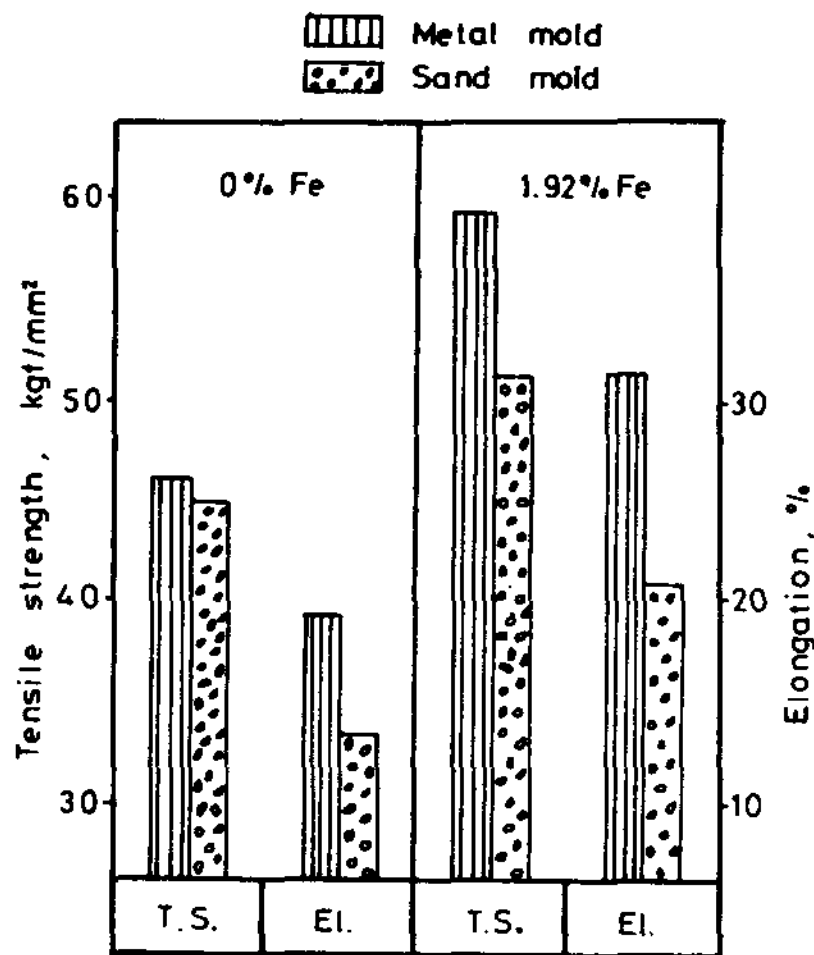


Fig. 8. Effects of mold material and Fe content on the tensile strength and elongation of Al-Bronze.

9%Al 이하에서 경도의 저하는 주조응력의 이완, 미세편석의 제거등에 기인하는 듯하고 9%Al 이상에서는 고온안정상인  $\beta$ 상이 급냉에 의하여 martensite 형상의 미세한  $\beta$ 상으로 변화하였기 때문이다.

### 3.3. 금형에서 냉각속도에 따른 기계적 성질의 변화

표준열분석을 행한 합금의 조성은 9.3%Al, 1.81%Fe 로 열분석곡선과 미세조직은 Fig.9 및 Photo.3과 같다. 본 합금의 경우 액상온도는 1046°C, 고상온도는 1030°C로써 응고구간은 16°C였다.

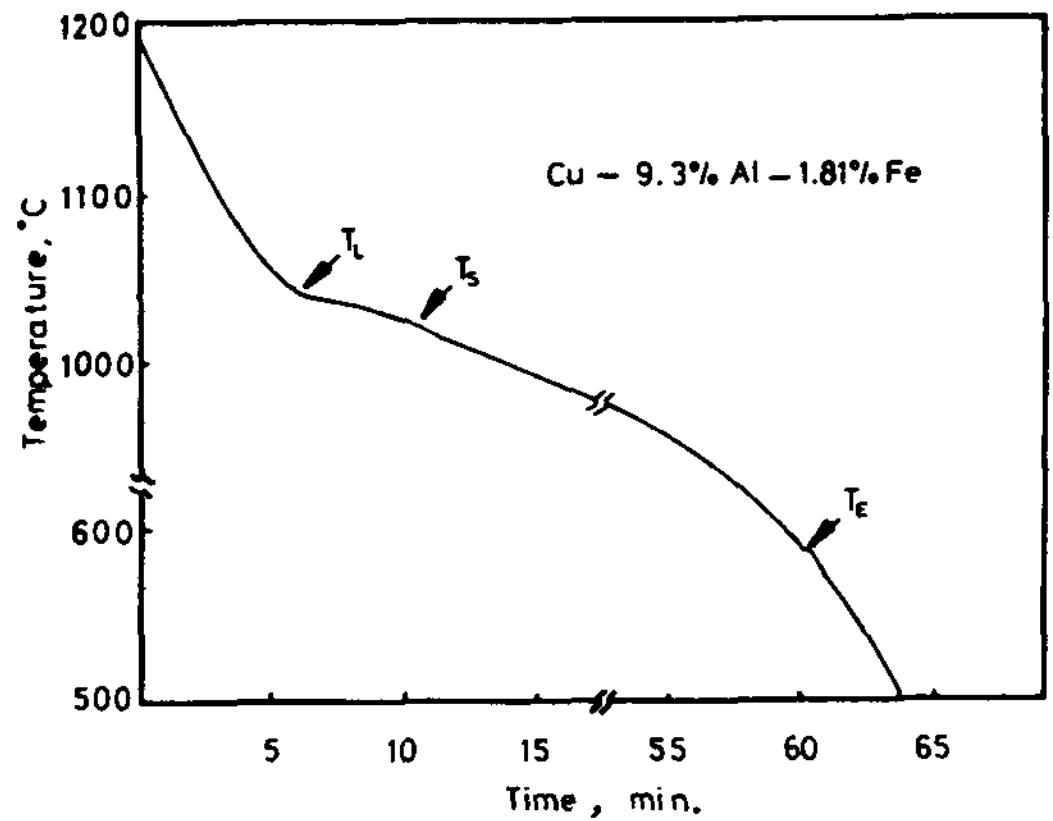


Fig. 9. Cooling curve of standard sample cooled in furnace.

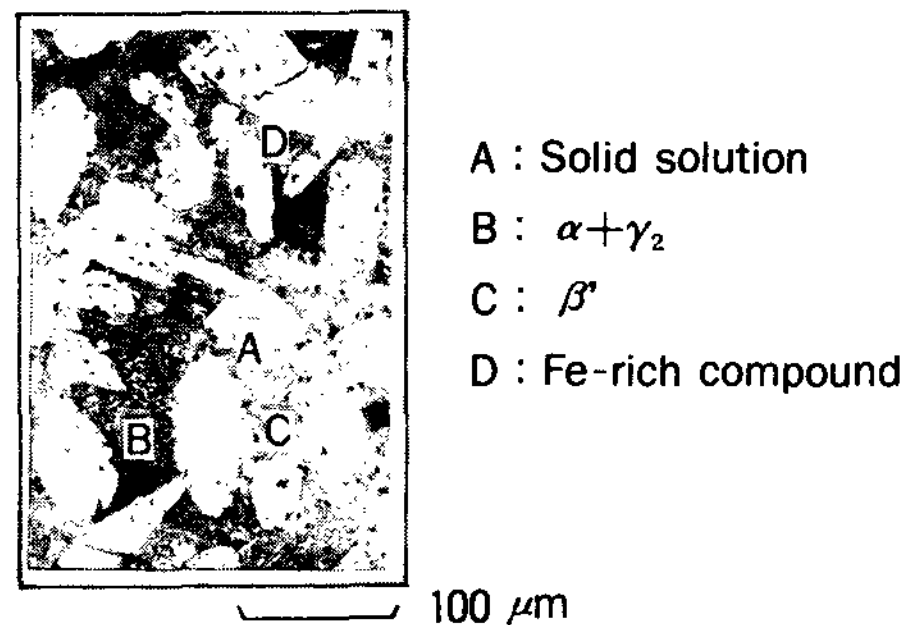


Photo. 3. Microstructure of standard sample cooled in furnace.



응고완료된 상태의 조직은 Photo.3에서와 같이  $\alpha$  와  $\gamma_2$ 의 공정( $\alpha+\gamma_2$ ), 침상의  $\beta$ 상과 Fe의 금속간 화합물이 관찰되었다. 이때 Fe는  $\alpha$ 상의 중심부에 위치하여 초정  $\alpha$ 가 정출시 결정핵으로 작용한 것을 알 수 있다.<sup>7)</sup>

주입온도별 각 부위에서 측정된 열분석결과를 도표화한 것이 Table.3이다. 또한 부위별 현미경조직

은 Photo.4, 결정립의 크기 및 경도는 Table.4와 같다.

이상의 결과에서 볼 수 있는 것은 냉각속도가 빨라짐에 따라 과냉도가 증가하며, cell size는 감소하고 경도는 증가되는 것이다.

본 실험중의 가장 느린 냉각속도(1.06°C/sec)에서도  $\alpha+\gamma_2$ 의 층상조직은 관찰되지 않았다.

Table. 3. Solidification parameters at each pouring temperature.

Pouring temperature : 1100°C

	(X, Y, Z)	ts(sec)	tf(sec)	$\Delta t$ (sec)	V(°C/sec)	$\Delta T$ (°C)
A-1	(2.6,2.4,4)	0.4	0.87	0.47	71.0	12.9
A-2	(4.6,4.6,13.5)	1.5	2.21	0.62	40.5	11.6
A-3	(8.35,8.9,30.7)	5.6	8.1	2.5	9.67	10.5
A-4	(13,13.2,48.65)	7.05	17.1	10.05	7.05	9.8
A-5	(18.2,19.5,74.9)	11.1	22.3	11.2	5.36	4.8
A-6	(24,25,99.7)	14.4	34.5	20.1	2.97	2.9
A-7	(28,28.1,116.8)	19.2	51.6	32.4	1.14	1

Pouring temperature : 1150°C

	(X, Y, Z)	ts(sec)	tf(sec)	$\Delta t$ (sec)	V(°C/sec)	$\Delta T$ (°C)
B-1	(2.75,2.6,4.0)	0.73	1.23	0.5	54.76	17.2
B-2	(5.5,5.1,15.5)	2.9	3.9	1	38.46	16.4
B-3	(8.65,8.2,30.6)	6.35	9.0	2.65	9.6	15.3
B-4	(12.3,12.1,44.6)	7.2	18	10.8	6.08	10.6
B-5	(20.8,7.5,69.6)	12.1	24.1	12	4.85	5
B-6	(23.71,25.2,98.95)	15.9	42.3	26.4	2.77	4
B-7	(28.8,28.5,110.2)	20.4	53.7	33.3	1.06	2.3

Pouring temperature : 1200°C

	(X, Y, Z)	ts(sec)	tf(sec)	$\Delta t$ (sec)	V(°C/sec)	$\Delta T$ (°C)
C-1	(2.35,2.35,2.9)	0.8	1.35	0.55	46.86	22
C-2	(5.5,5.4,14.35)	3.1	4.5	1.4	30.3	18.2
C-3	(8.2,8.5,31.25)	6.45	9.2	2.73	7.02	17.2
C-4	(12,12.4,46.4)	8.1	10.92	11.1	5.93	15
C-5	(18.1,17.3,71.2)	13.2	45.9	28.5	2.56	4.3
C-6	(23.1,23,90.5)	17.4	45.9	28.5	2.56	4.3
C-7	(27,9,27.5,119.3)	22.5	59.4	36.9	1.04	2.5

Table 4. Relation between grain size and BHN of Al-Bronze at various pouring temperatures.

Location	Pour,Temp. Test	1100°C		1150°C		1200°C	
		Grain Size	Hardness	Grain Size	Hardness	Grain Size	Hardness
1		90	-	99	-	154	
2		143	171	172	158	191	147.5
3		209	148.2	231	142.1	243	132.8
4		333	127.2	336	119.7	346	116.4
5		453	115.7	527	111.2	558	107.7
6		576	110.4	580	105.1	696	100.3
7		795	104.9	800	95.8	907	86.8

- Grain size :  $\mu\text{m}$   
 - Hardness : BHN

3.3.1. 응고계수와 응고시간과의 관계

열분석측정 위치의 응고계수 M은  $M(\text{mm}) = \frac{7}{62} \times Z + 1$ ; (Z는 Z축 좌표, mm)로 나타낼 수 있으며 각 위치별 응고계수 및 응고 시간은 Table.5와 같다. 이들의 상관관계식을 컴퓨터에 의해 최소자승법으로 구하면 다음과 같았다.

$$\text{응고시간(초)} = 0.67951 \times \text{응고계수}(\text{mm})^{1.66457}$$

이러한 관계식은 Chivorinov의 “응고시간은 응고계수의 제곱에 비례한다”는 제안과 유사한 형태를 가지고 있다. 그러나 0.34 order의 차이가 있는 것은 본 시편의 형태와 같은 원추형에서 Z축방향의 용탕의 내류에 의한 것으로 생각되며<sup>9)</sup> 이를 고려하여

원추형, 또는 기둥형의 주물에서 응고시간은  $t = \alpha M^2 + \beta M$ ; (t는 응고시간,  $\alpha, \beta$ : 상수, M: 응고계수)로 나타내는 것이 타당하리라 생각된다. 이때의 상관식은

$$\text{응고시간(초)} = 0.2237 \times \{\text{응고계수}(\text{mm})\}^2 + 0.805 - 96 \times \text{응고계수}(\text{mm})$$

와 같이 나타낼 수 있었다.

3.3.2. 냉각속도와 결정립크기와의 관계

Table.3과 Table.4의 결과를 graph로 도시하면 Fig. 10과 같고 이들 사이의 상관식을 구하면 다음과 같다.

$$\text{결정립크기}(\mu\text{m}) = 929,24622 \times \text{냉각속도}(\text{°C/sec})^{-0.51537}$$

Table 5. Relation between solidification modulus and solidification time of Al-Bronze at various pouring temperatures.

Location	Pour,Temp. Test	1100°C		1150°C		1200°C	
		So. modulus	Sol. time	Sol. modulus	Sol. time	Sol. modulus	Sol. time
1		1.45	0.87	1.45	1.23	1.33	1.35
2		2.52	2.21	2.75	3.9	2.62	4.5
3		4.47	8.1	4.45	9.0	4.53	9.2
4		6.49	17.1	6.04	18	5.24	10.92
5		9.46	22.3	8.86	24.1	9.04	27
6		12.26	34.5	12.17	42.3	11.22	45.9
7		14.19	51.6	13.44	53.7	14.47	59.4

- Sol. modulus : mm  
 - Sol. time : sec

여기서 결정립의 크기는 냉각속도의 제곱에 반비례함을 알 수 있고, 주입온도의 증가에 의해 약간씩 증가한 것을 볼 수 있다.

Tabel.4에서같이 결정립이 커질수록 경도는 저하하고 있으며 이것을 graph로 표시하면 Fig.11과 같다. Hall-Petch가 탄소강에서 실험을 통하여 제시한 식  $\sigma = \sigma_0 + kd$  의 형태를 만족하였으며,

$$\text{경도(BHN)} = 765.45713 \times \text{결정립크기}(\mu\text{m})^{-0.31058}$$

; 주입온도 1100~1200°C

또한 주입온도의 증가에 의해 응고시간 및 냉각속도가 증가하였으며 결정립도 커지고 있는 것을 알 수 있다.

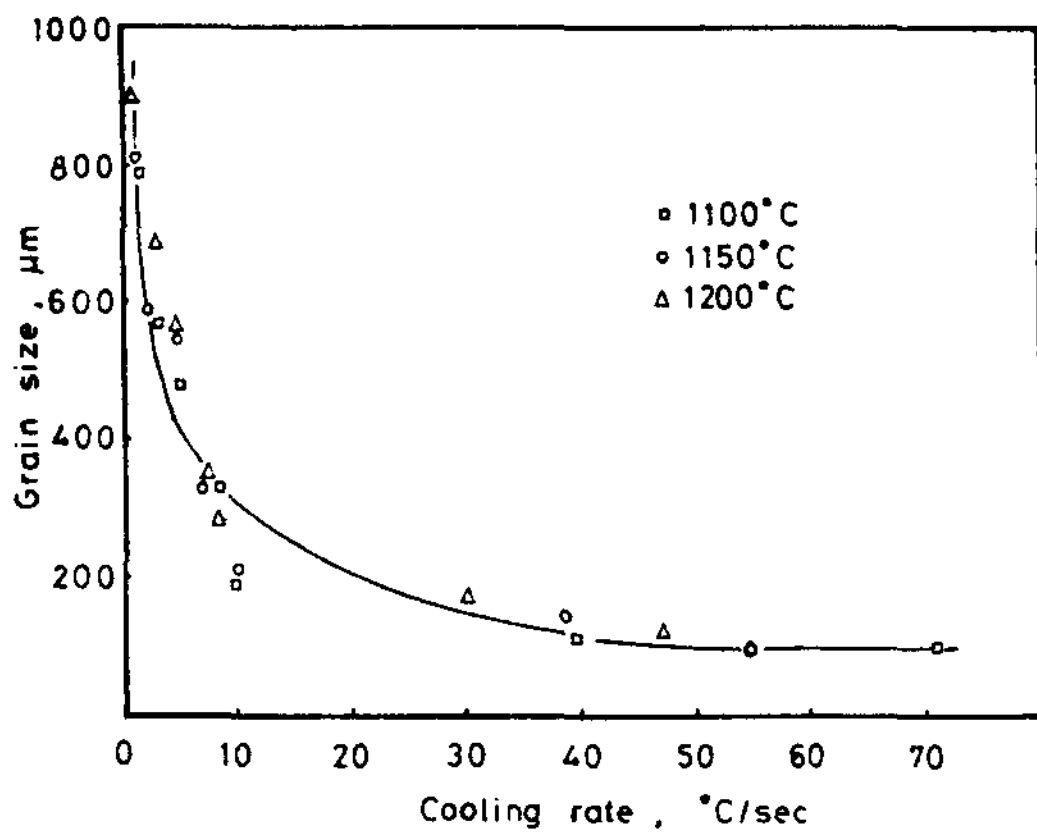


Fig. 10 Relation between grain size and cooling rate of Al-Bronze.

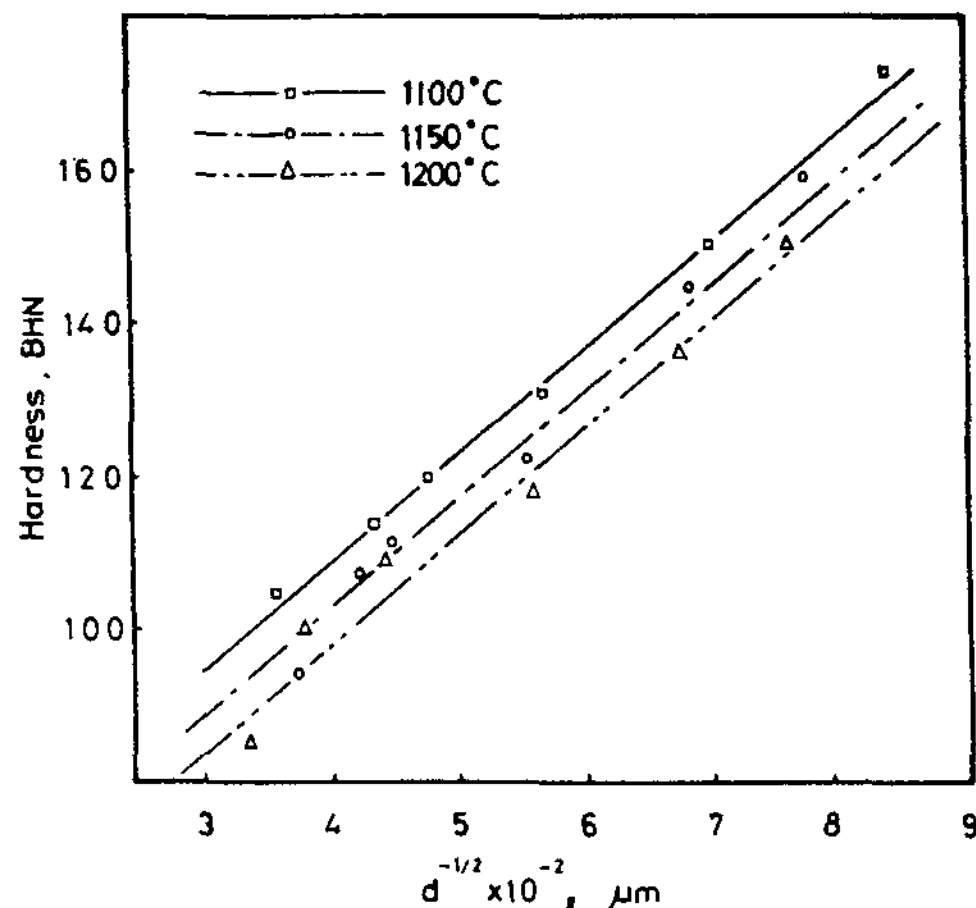


Fig. 11. Relation between grain size and hardness(BHN).

### 4. 결 론

5~12% Al, 0~5% Fe 범위에서 알루미늄청동의 응고수축, 금형과 사형주조시의 기계적 성질비교, 금형내에서 냉각속도에 따른 기계적 성질의 변화등이 검토된 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 알루미늄이 5~12% 함유된 경우, 모두 벽응고 경향이 뚜렷하였으며 응고수축량은 금형에서 3.7~7%, 사형에서는 3~5%로 금형이 사형에서보다 심하게 나타났다.

2) 주형 및 합금성분에 따른 기계적 성질의 비교는 금형에서의 기계적 성질이 사형에서보다 우수하며 주방상태에서는 그 차이가 적으나, 9% Al이상 열처리후에는 뚜렷하여 인장강도 10%, 연신을 30%, 경도가 20% 정도 증가한다.

Fe의 첨가량은 금형주조시 2% 정도로 충분하였으며 경도증가에는 크게 효과가 없으나 인장강도와 특히 연신율의 증가에 크게 기여하였다.

3) 알루미늄청동의 금형주조시 주입온도 1100~1200°C 범위에서 냉각속도, 결정립 크기, 경도, 응고계수, 응고시간들은 다음과 같은 상관식을 갖는다.

$$\text{○ 응고시간(초)} = 0.2237 \times \{\text{응고계수(mm)}\}^2 + 0.80596 \times \text{응고계수(mm)}$$

$$\text{○ 결정립크기}(\mu\text{m}) = 929.6422 \times \text{냉각속도}(\text{°C/sec})^{-0.51537}$$

$$\text{○ 경도(BHN)} = 765.45713 \times \text{결정립크기}(\mu\text{m})^{-0.31058}$$

### 참 고 문 헌

1. 日本學術振興會 アルミニウム青銅委員會; アルミニウム青銅(1967), 23-48
2. 小林一典; “金型鑄造法”, 日刊工業新聞(1968), 245-250.
3. 雄谷重夫; “非鐵合金鑄物”, 日刊工業新聞(1981), 104
4. E. Brunhuber; “Leichtmetall-und Schwermetall Kokillenguss.” Fachverlag Schiele & Schon Gmbtt.
5. R. Schlatter; Giesserei 14(1964), 282
6. R.W. Ruddle; AFS trans 68(1960), 685
7. 中谷義三, 清水恭治; 輕金屬 13(1963), 418
8. The metals society; “Solidification technology in the foundry and cast house”, (1980), 45