

|||||||
論 文
 |||||

중력 금형 주조한 Al-5wt%Mg 합금의 주조 조직과 기계적 성질에 미치는 응고 조건의 영향에 관한 연구

박준영 · 김종철* · 김홍범 · 최창옥

Effect of Solidification Conditions on the Structure and Mechanical Properties of Al-5wt%Mg Alloy by Metallic Mold Casting

Jun-Young Park, Jong-Chul Kim*, Hong-Beom Kim, Chang-Ock Choi

Abstract

This study has been carried out to investigate into the influence of solidification conditions mold on the structure and mechanical properties of Al-5wt%Mg alloy by metallic mold casting. The percentage of equiaxed grain of Al-5wt%Mg alloy castings increased both when pouring temperature decreased and when the low part or bottom of metallic mold was cooled. The hardness was checked and showed that hardness of outside in the castings was higher than that inside, and that it is the highest at the pouring temperature of 680°C. The castings had the highest U.T.S. and elongation when the bottom of metallic mold was cooled. At the same pouring temperature, the structure of castings was changed as the position of cooling parts of metallic mold was varied. When the castings were solidified through cooling of the bottom of the metallic mold, the morphology of Fe intermetallic compound has tendency to change to a Chinese script and the U.T.S. and elongation of Al-5wt.%Mg alloy castings was increased. (Received October 25, 1996)

1. 서 론

알루미늄 합금 주물은 사형주조법이나 금형주조법, 다이캐스팅법, 저압주조법, 용탕단조법 등 여러가지 방법에 의하여 주조 가능한 것으로 알려져있다[1]. 이중 금형 주조법에 의한 자동차용 알루미늄 합금주물의 생산량은 전체 자동차용 주물의 80% 이상을 점유하고 있어 금형주조법에 의한 알루미늄 합금주물 생산[2]이 중요한 비중을 점유하고 있다. 이들 알루미늄 합금 중 Al-Mg계 합금[3]은 내식성이 우수하고 성형 가공성, 용접성, 양극 산화성, 내해수성 등이 뛰어난 것으로 보고되고 있으며, Mg의 고용 강화로 강도와 인성이 우수하여 건축용 내외장재, 선박의 내장재, 자동차용 휠, 압력 용기 등 그 용도가 다양하고 광범위하여 자동차용으로 새로운 용도 개발이 기대되는 소재 중의 하나인 것으로 알려져 있다.

그러나 이 합금은 주조성이 나쁘고 특히 편석, 미세 기공 등의 주조 결함이 발생하기 쉬운 단점이 있다.

또한 Mg은 산소와의 반응성이 크고 용해, 주조 시 산화 소모가 크며, 산화물(MgO)을 생성하기 쉽다[4]. 이러한 Al-Mg계 합금의 응고에 있어서 등축정의 생성은 결정이 안정 응고각을 형성하기 이전의 단계에서 주형 벽면에 용질 원소의 작용과 용융 금속의 유동으로 주형 벽면에서 생성, 유리되어 주괴 내부로 이동, 축적하여 등축정대를 형성하는 것으로 이는 과냉도가 클수록 핵생성이 보다 많이 일어나서 등축정 면적율의 증가와 결정이 미세화 하는 것으로 보고되고 있다 [5-6].

본 연구에서는 Al-Mg계 합금의 중력금형주조법에 있어서 주입온도, 금형의 냉각 위치 등 주조 조건이 주괴의 주조조직과 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용한 시료는 전기 저항로에서 순Al금

동아대학교 금속공학과 (Dept. of Metallurgical Eng., Dong-A University)

*동명전문대학 금속과 (Detp. of Metallurgy, Dong-Myung Junior College)

Table 1. Chemical composition of Al-5wt%Mg alloy castings (wt.%)

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
94.31	0.072	0.403	0.012	0.011	5.131	0.025	0.026	0.005

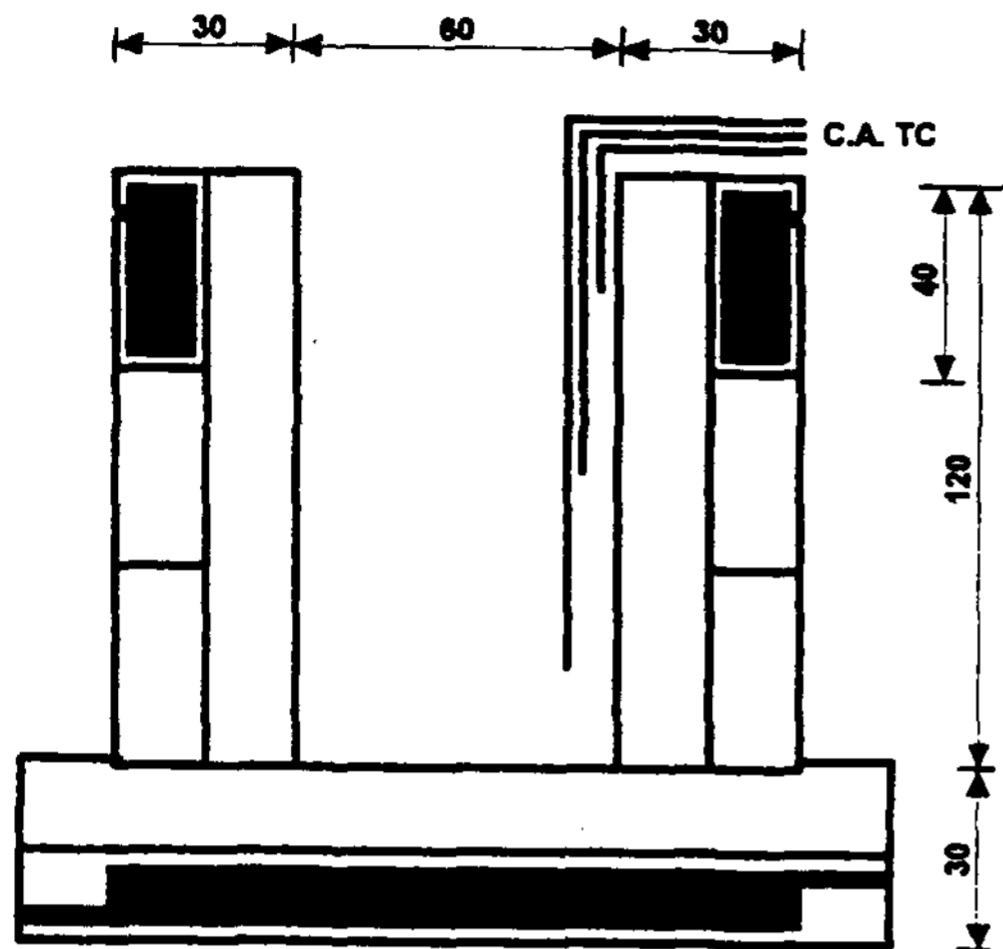


Fig. 1. Dimension and thermocouple position of the metallic mold.

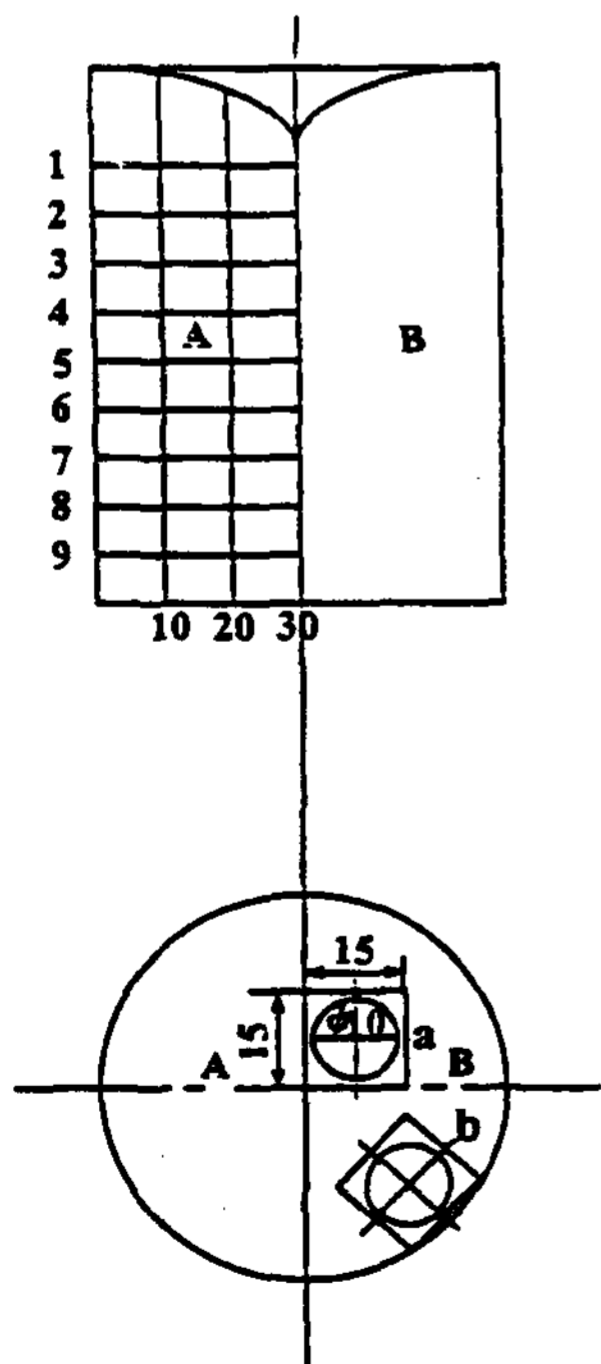


Fig. 2. Specimen for tensile strength and hardness (mm).

속 (Al99.67%)을 용해하여 산화물을 4~5회 제거한 후, 순Mg(Mg99.3%)을 장입하여 Table 1과 같은 조성으로

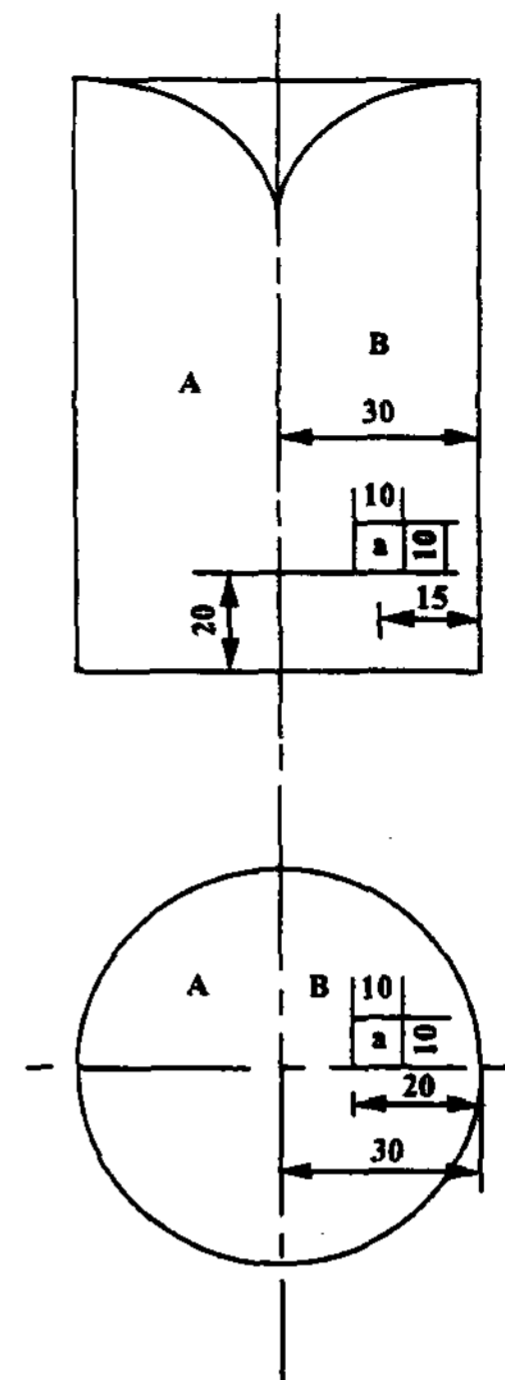


Fig. 3. Specimens for the micro and macro structures (mm).

용해하였으며 용해 시에 탈가스제나 미세화제 또는 개량 처리제 등은 사용하지 않았다. 용융 금속은 일정한 높이에서 금형에 주입하기 위하여 자연낙하 방식의 주입 장치인 turndish장치[7]를 사용하여 680°C, 720°C 및 760°C의 주입 온도로 금형에 주입하였다. 주입 후 온도 변화는 금형 벽면에서 내부로 3 mm지점에서 상부로 부터 20 mm, 60 mm 및 100 mm의 위치에서 측정하였다. 주입시 금형의 온도는 250°C로 가열하였으며, 금형의 일부분을 냉각하기 위해 Fig. 1에 표시한 바와 같이 금형을 3등분하여 외부자켓을 만들어서 수냉으로 금형[8]을 냉각하였다.

주조한 주괴의 중앙에서 수직으로 절단하여 Fig. 2에 표시한 주괴의 A 단면에서 로크웰 경도값을 측정하고 주괴의 B 부분은 가공하여 인장강도 및 연신율을 각각 측정하였다. 또한 Fig. 3에 표시한 A 단면은 육안 조직과 B 부분은 현미경 조직을 관찰하였으며 또한 등축정 면적을 측정은 육안조직 사진에 의하여 구적계로 5회 이상 측정하여 그 평균값으로 하였다. 한편 광학 현미경 및 주사 전자 현미경을 사용하여 임계 생성물의 크기 및 형상을 관찰하고 임계 생성물의 정성적 관찰을 위해 EDX 분석을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 주조 조건에 의한 응고 조직의 변화

금형에 주입한 용융 금속의 응고 과정에 있어서 형성되는 등축정은 금형 벽면에 의한 불균질 핵생성이 우선적으로 일어나 유리되어 내부로 이동하여 성장하며 또한 응고가 진행됨에 따라 금형 벽면에서 안정 응고각의 형성으로 수지상 성장에 의하여 주상정으로

성장[9]하는 것으로 추정되었다.

Photo 1은 금형의 온도를 250°C로 가열하여 용융 금속의 주입 온도 및 금형의 냉각 부위에 따른 주괴 단면의 육안 조직을 나타내었다. 또한 등축정 면적율의 측정 결과는 Fig. 4에 표시하였다. 주입 온도에 의한 응고 조직상에 큰 차이는 없지만 금형의 냉각 부위가 일정하면 주입 온도가 낮을수록 등축정의 면적율이 다소 증가하는 것으로 나타내었다. 이는 주입 온도가

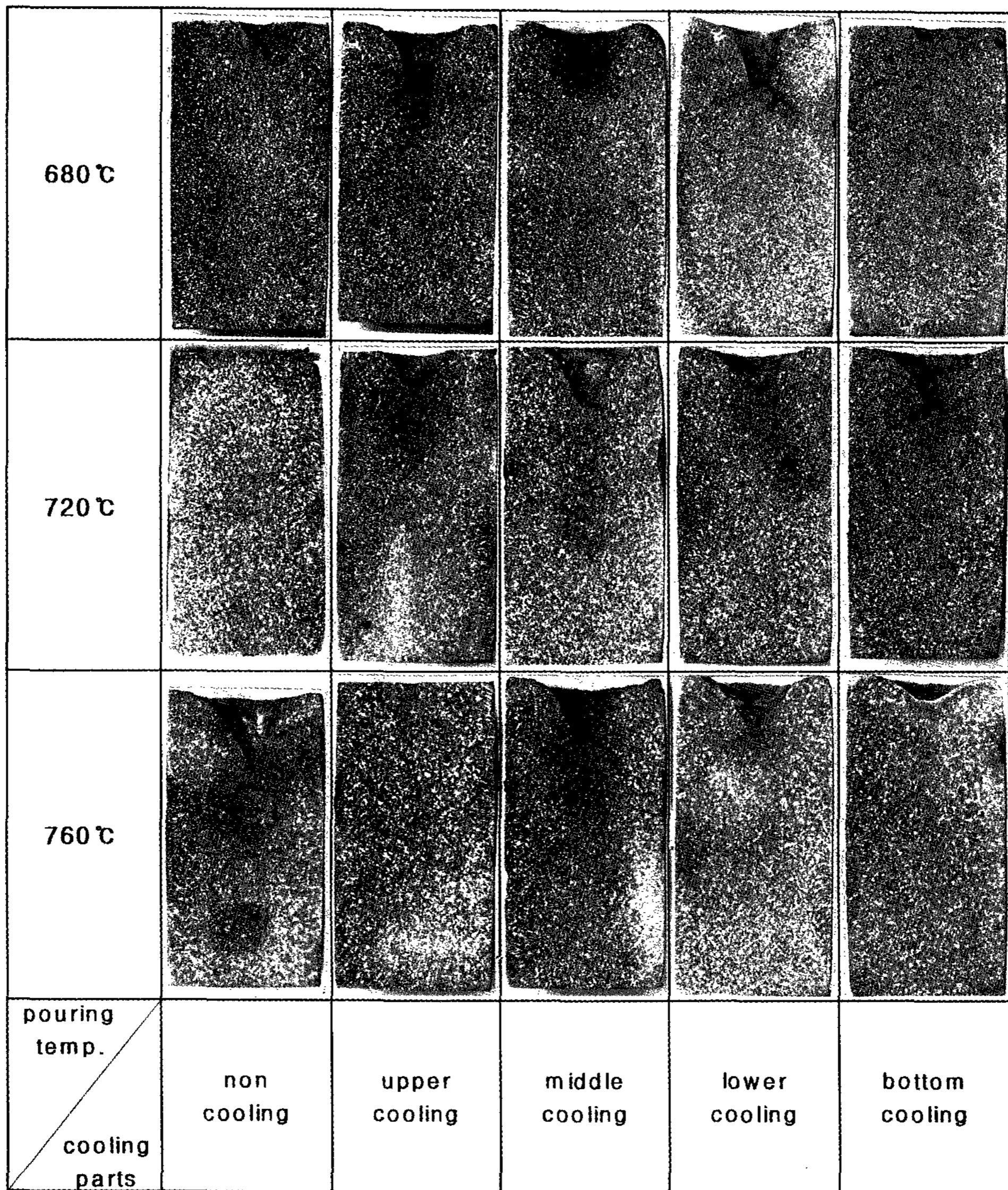


Photo 1. Macrostructures of Al-5wt%Mg alloy castings with cooling parts of metallic mold and pouring temperatures (at metallic mold temp. 250°C).

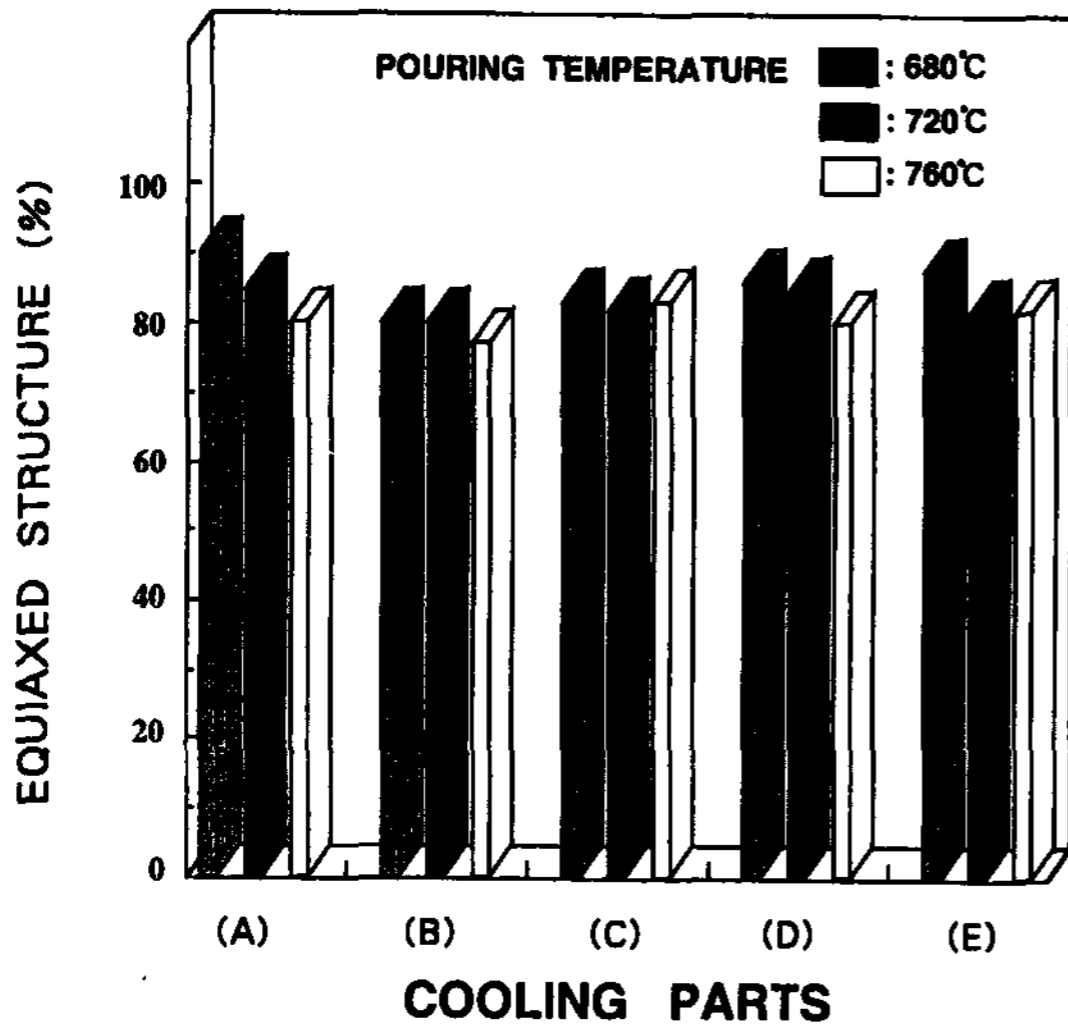


Fig. 4. Variation of equiaxed structure for Al-5wt%Mg alloy castings (at metallic mold temp. 250°C).
 (a) noncooling (b) upper cooling (c) middle cooling
 (d) lower cooling (e) bottom cooling

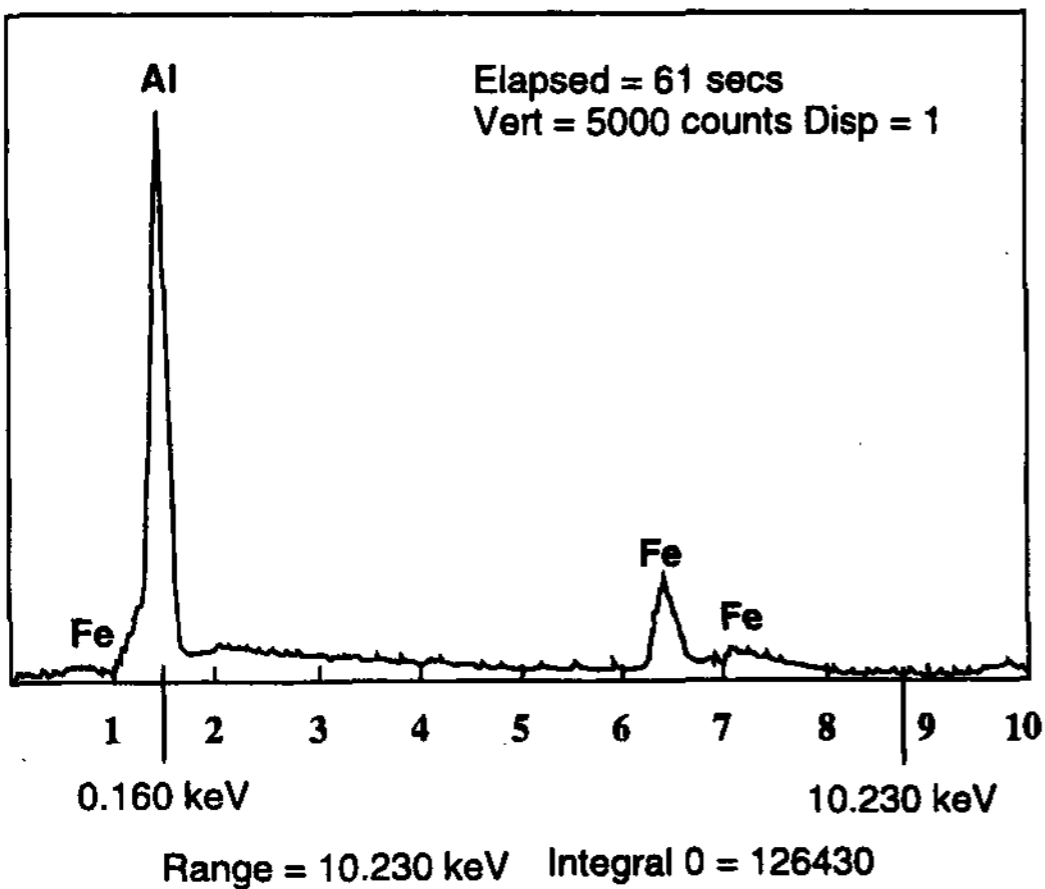
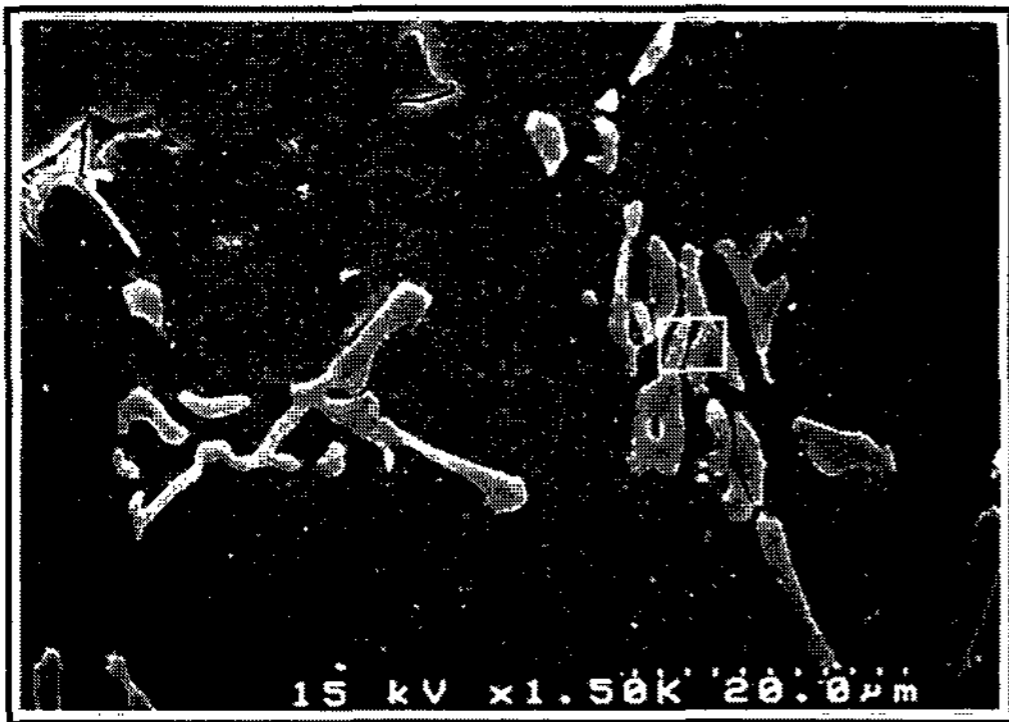


Fig. 5. EDX analysis of the precipitate in Al-5wt%Mg alloy castings.

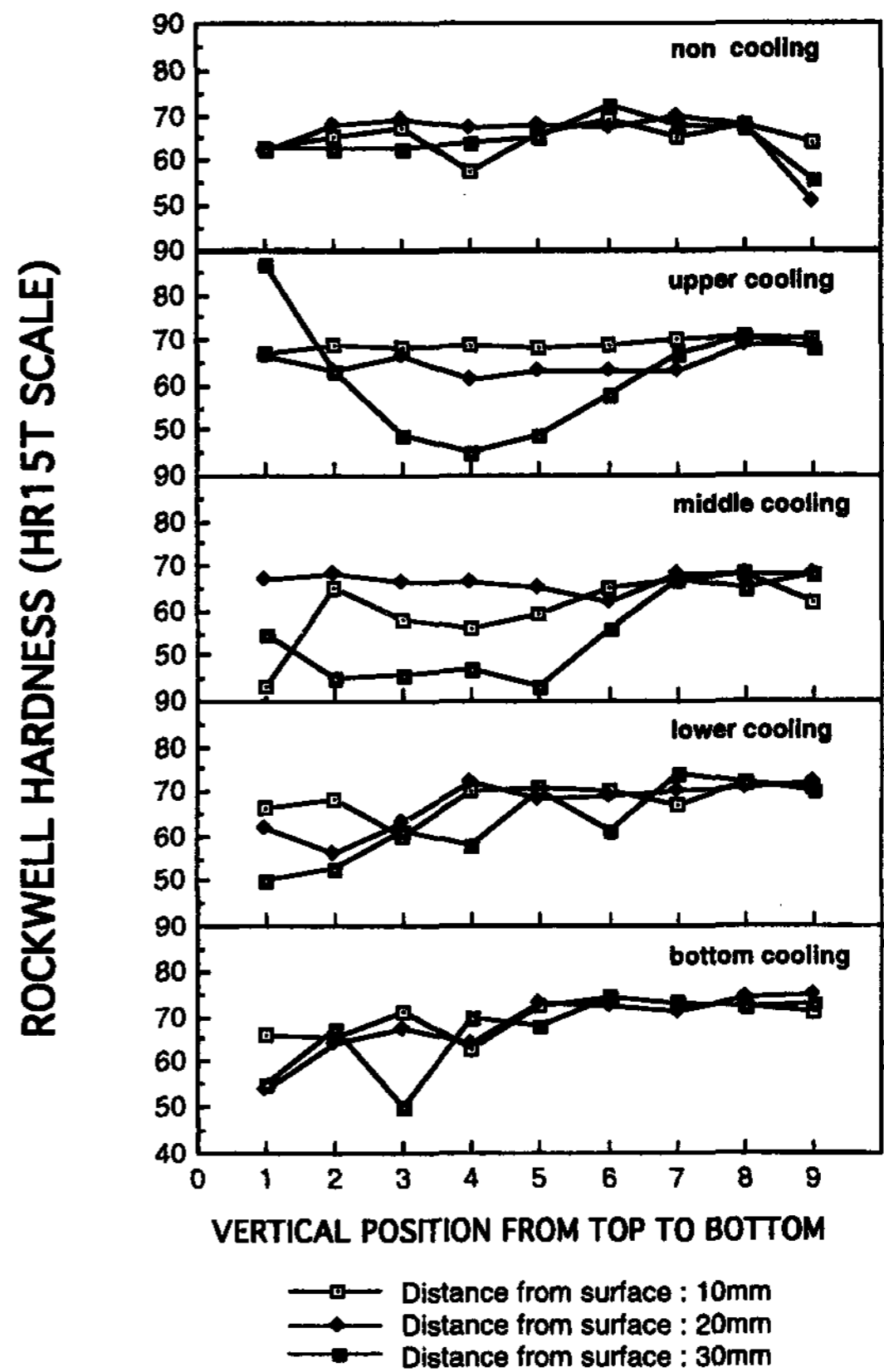


Fig. 6. Variation of hardness with cooling parts of metallic mold for Al-5wt%Mg alloy castings (at pouring temp. 720°C, metallic mold temp. 250°C).

높을수록 금형 벽면에서 유리된 결정이 주피 내부로 이동하여 내부의 용융 금속 온도가 높아 유리된 결정이 일부 재용해 되어 소멸되므로 감소[10]하였으나 주입온도가 낮으면 유리된 결정이 주피 내부로 이동되어 성장하므로 등축정의 면적율이 증가하는 것으로 사료되었다.

또한 금형의 상부를 냉각하면 등축정의 면적율은 감소하고 주상정이 많이 발달하였으나 금형의 하부나 저면을 냉각하면 다소 많은 등축정이 생성하였다. 이는 금형의 상부를 냉각하면 상부에서 생성 유리된 결정이 주피 내부로 이동되어 재용해 소멸되거나 안정 응고각이 보다 먼저 형성되어 결정의 유리가 일어나기 어렵기 때문에 등축정의 면적율이 적고 주상정으로 발달되었으나 금형의 하부나 저면을 냉각하면 상부에서 생성 유리된 결정이 주피의 내부로 이동되어 재용해 되지 않고 응고가 진행되어 미세한 등축정으

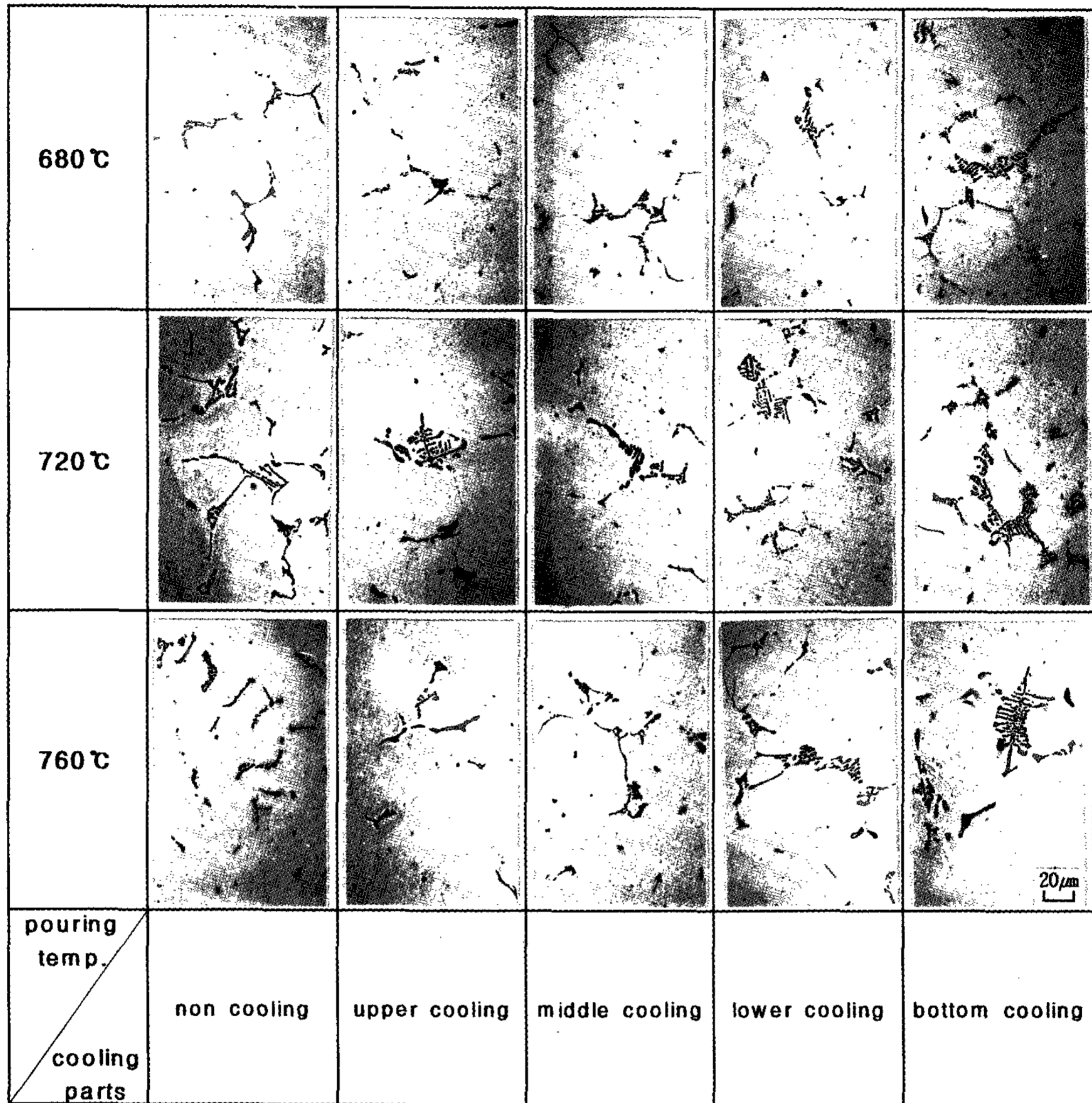


Photo 2. Microstructures of Al-5wt%Mg alloy castings with cooling parts of metallic mold and pouring temperatures (at metallic mold temp. 250°C).

로 성장한 것으로 사료되었다. 따라서 금형의 저면을 냉각하는 경우 가장 많은 등축정을 얻을 수 있었다. 한편, 금형의 상부와 중부를 냉각하면 금형을 냉각하지 않은 경우보다 등축정 면적율이 감소하였다.

Photo 2는 주괴의 현미경 조직으로서 금형의 상부나 중부를 냉각하면 다소 긴 석출상을 입계에 가지고 있으나 금형의 하부나 저면을 냉각하면 작고 미세한 석출상이 분산되어 있음을 알 수 있었다. 또한 석출상을 EDX 분석 결과를 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 Al-Mg계 합금에 있어서는 Al-Fe 금속간 화합물로서 FeAl₃의 형태로 조사되었다.

3.2 주조 조건에 의한 기계적 성질의 변화

용융금속을 주입온도 720°C와 250°C의 금형에 주조한 주괴의 경도 측정 결과를 금형의 냉각부위 별로 Fig. 6에 나타내었다. 금형의 저면을 냉각하면 다소 높은 경도값을 나타내었다. 주괴의 상면에서 저면으로 갈수록 경도값은 상승하였으며 또한 주괴의 외주부가 중심부 보다도 높은 경도값을 나타내었다.

Fig. 7은 주괴의 주방상태의 최대 인장강도(kg f/mm²)값을 표시하였다. 주입 온도가 상승하면 인장 강도는 감소하며 금형의 저면을 냉각하면 다소 높은 인장 강도값을 나타내었으며 또한 주괴의 중심부보다

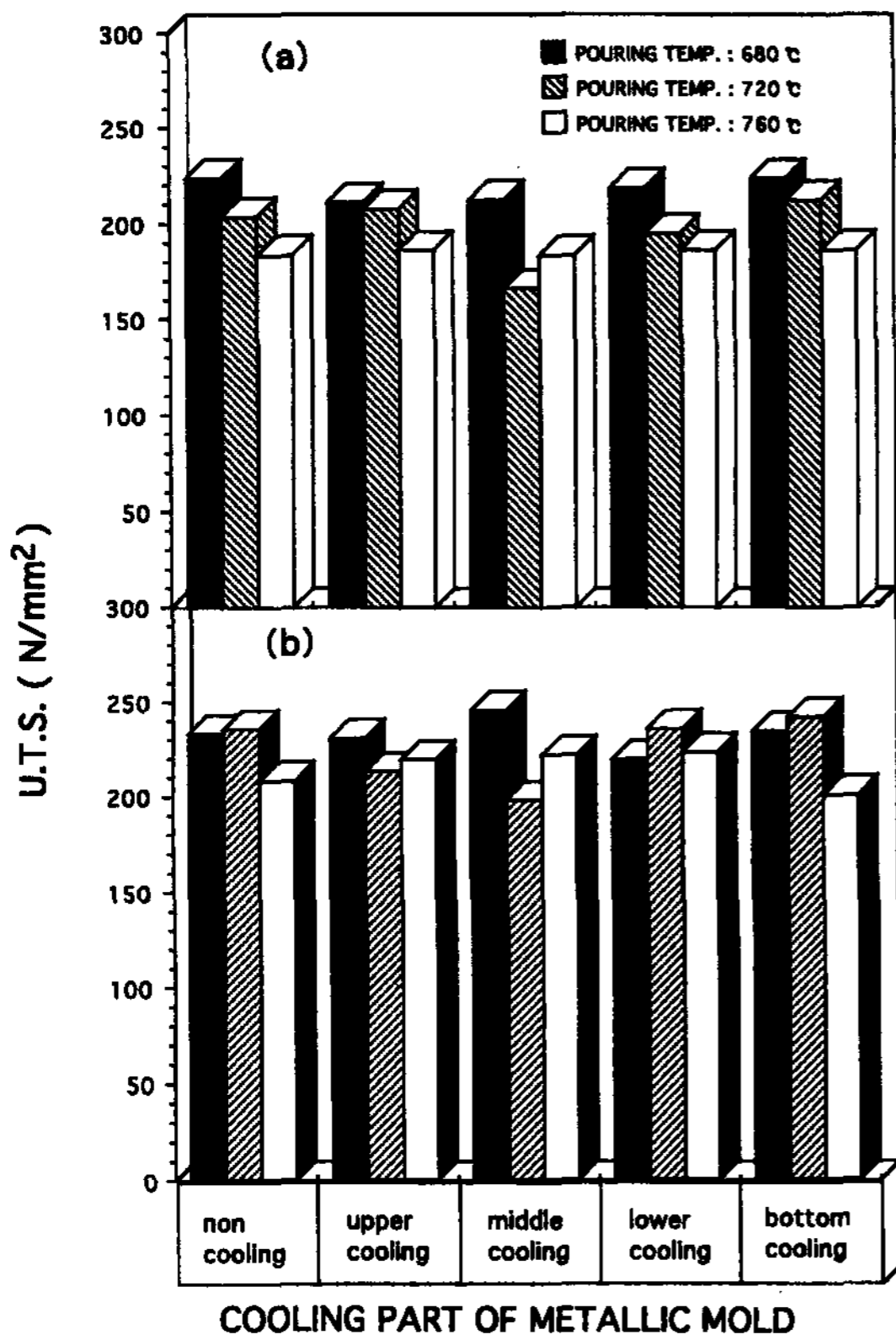


Fig. 7. Variation of tensile strength with cooling parts of metallic mold for Al-5wt%Mg alloy castings.
(a) inside part of the castings
(b) outside part of the castings

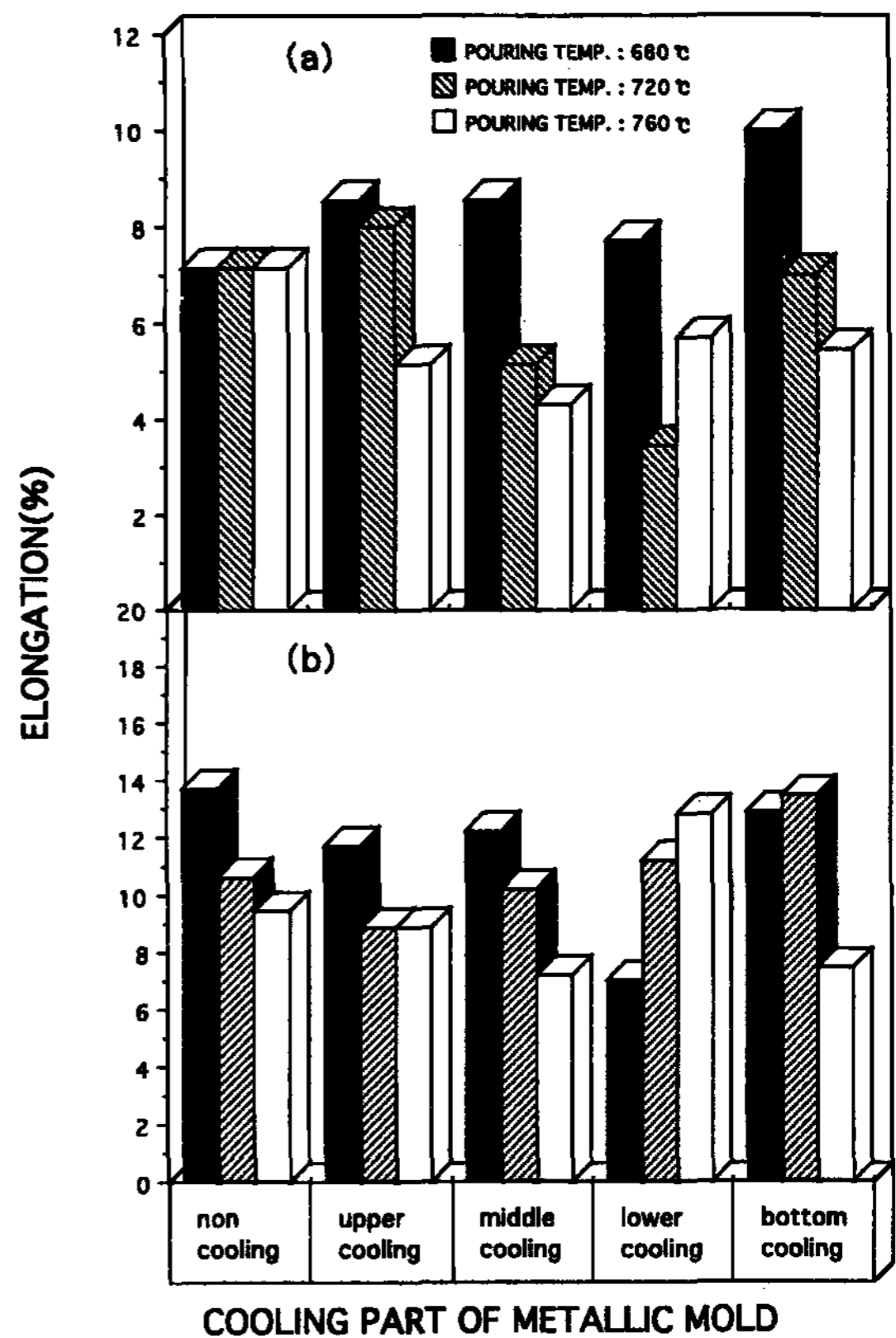


Fig. 8. Variation of elongation with cooling parts of metallic mold for Al-5wt%Mg alloy castings.
(a) inside part of the castings
(b) outside part of the castings

외주부가 다소 높은 값을 나타내었다.

용융 금속의 주입 온도와 금형의 냉각 부위에 의한 연신율 측정 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 주입 온도가 상승할수록 연신율은 감소하며 금형의 저면을 냉각 하면 연신율은 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 주피 외주부가 중심부보다 다소 높은 연신율을 나타내었다.

3.3 냉각 속도와 등축정과의 관계

Sully[11]는 주물의 조직과 기계적인 성질은 용융금속의 응고속도에 관계하며 이러한 응고속도는 금형과 용융금속 간의 열전달속도에 의존한다고 발표하였다. 금형에 주입한 용융 금속의 주입 온도와 금형의 냉각 부위에 의한 주피의 온도 변화를 Fig. 9에 주입 후 20분까지 나타내었다.

주입 온도가 높을수록 냉각 곡선의 기울기는 다소 완만하게 나타내었으며 금형의 냉각 부위에 따라 큰

차이는 없었지만 금형의 저면을 냉각하는 경우 하부의 온도변화가 다른 부위보다 크게 나타내어 상부에서 핵 생성, 유리된 결정이 재용해없이 성장하므로 미세한 등축정으로 면적율이 증가한 것으로 사료되었다.

용융 금속 주입 후 300°C까지 도달하는 냉각 구간에서 냉각속도(°C/min)를 Fig. 10에 표시하였다. 냉각 속도는 금형을 냉각하면 대체적으로 크게 나타내었으며, 금형을 냉각하지 않을 때는 주입 온도가 높으면 냉각 속도는 크게 나타내었으나 금형을 냉각하면 주입 온도가 높을수록 냉각 속도는 낮게 나타내었다.

3.4 Al-Fe 금속간 화합물의 형상 변화

Kato[12] 등에 의하면 Al-5wt%Mg과 Al-10wt%Mg 합금에서 Fe는 기계적 성질과 내부식성을 저해하는 것으로 보고하였다. 그러나 Mondolfo[13]에 의하면 Al-Mg 계 합금에 있어서 저Mg합금 (<2wt%Mg)의 Fe는 어느

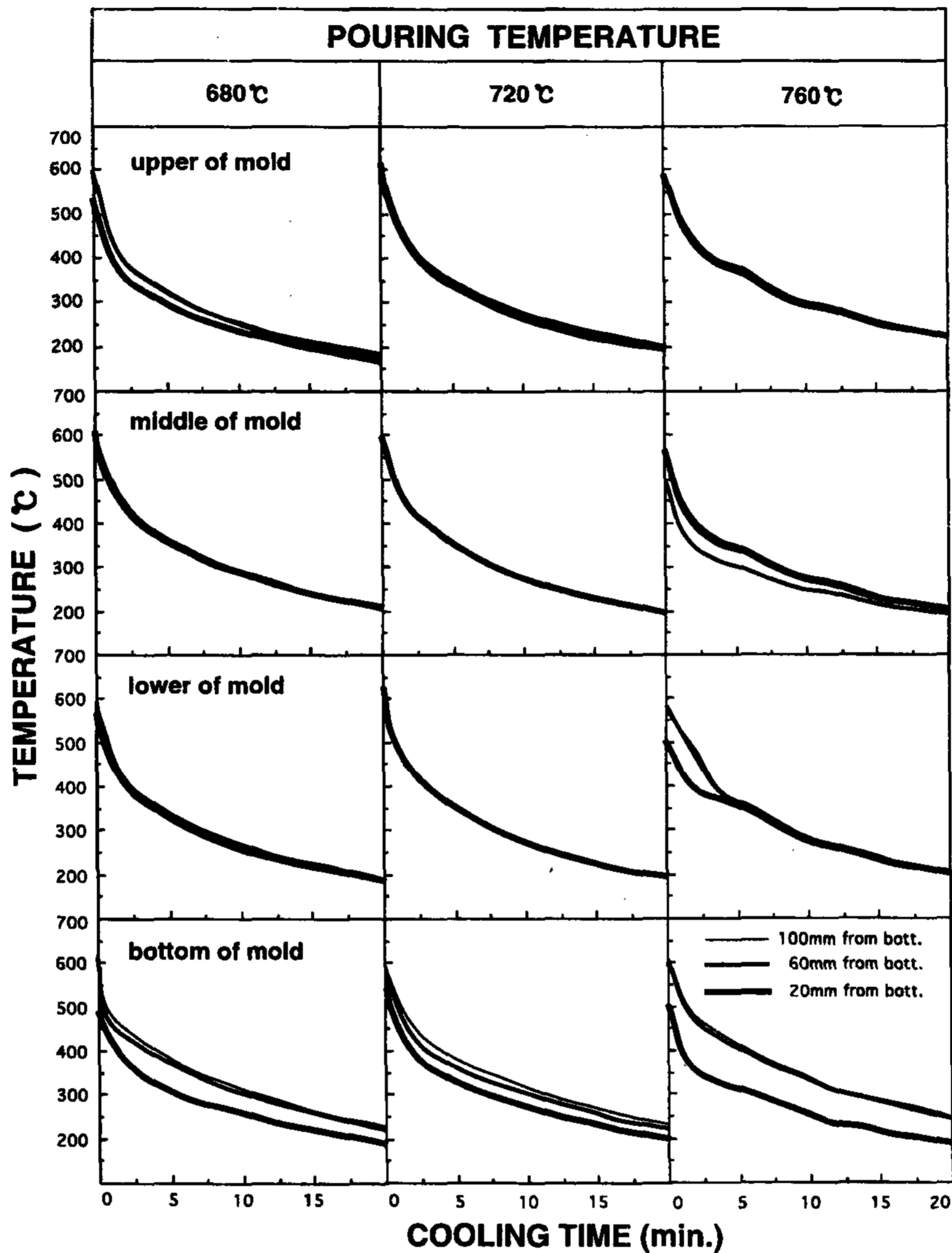


Fig. 9. typical cooling curve for Al-5wt%Mg alloy castings (at metallic mold temp. 250°C).

정도 강화효과를 갖게되나 고Mg 합금에서 Fe는 일반적으로 조대하게 존재하여 연성과 내피로성을 저하시키는 것으로 알려져 있다. 이러한 Fe는 주로 사용 공구나 스크랩 등으로부터 쉽게 알루미늄 합금 중에 pick up되어 알루미늄 합금의 재성을 어렵게 만든다. 인장강도와 연신율의 저하에 미치는 Fe의 영향은 냉각 속도가 느릴수록 더 두드러진다. 이는 냉각 속도가 클수록 Al-Fe 금속간 화합물인 FeAl₃의 형태로 더 작아지고 그 분포도 아주 균일해지지만 냉각 속도가 낮으면 침상의 형태를 가지면서 결정입계에 많이 집중되어 기계적 성질의 저하에 영향을 미치는 것으로 추정되었다.

A. Couture[14]는 Al-13Si(Mn free) 합금에서 취성의 FeSiAl₅(m) 금속간 화합물이 처음 나타나는 Fe의 량을 냉각 속도에 의하여 변화하는 것으로 1°C/s의 냉각 속도에서는 0.75 wt%Fe 이상일 때 금속간 화합물이 발생하고 5°C/s의 경우는 0.9 wt%Fe이며, 10°C/s일 경우 1.0 wt%Fe 이상일 때 FeSiAl₅(m)이 발생하는 것으로 냉각 속도가 빠를수록 Fe의 함량은 줄일 수 있는 것으로 발표하였다. 이는 Photo 3에서 나타낸 바와 같이 냉각 속도가 빠른 금형의 저면을 냉각하면 미세하게 분산된 Chinese script의 형태로 변형되어 주괴의 인장 강도와 연신율의 향상에 영향을 미치는 것으로 사료되었다.

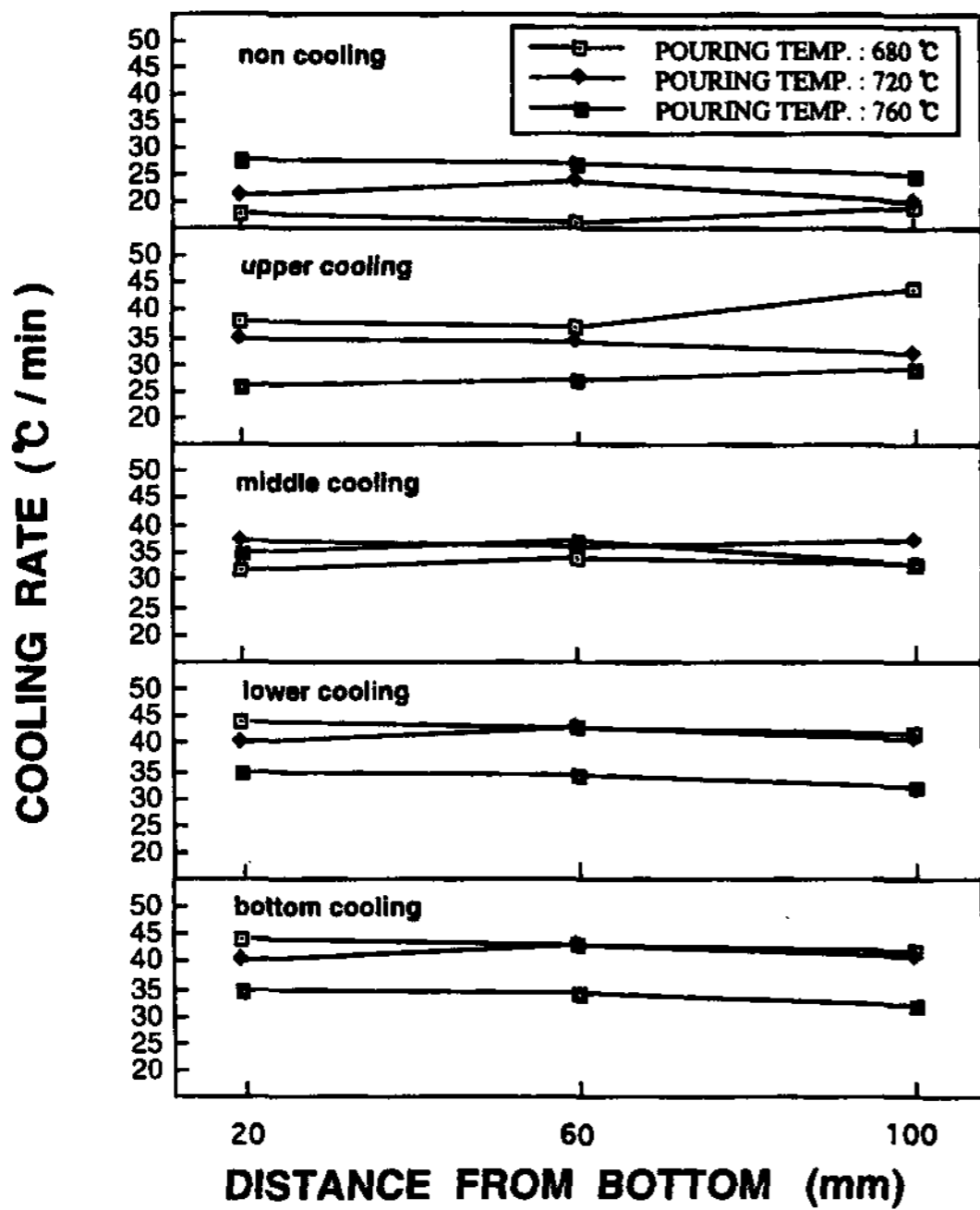


Fig. 10. Cooling rate for Al-5wt%Mg alloy castings.

4. 결 론

Al-5wt%Mg 합금의 금형 주조에 있어서 주입 온도와 금형의 냉각 부위에 의한 주괴의 응고 조직과 기계적 성질에 미치는 영향을 조사 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 주입 온도가 낮으면 주괴의 등축정 면적율이 증가하며 또한 금형의 저면이나 하부를 냉각하면 등축정의 면적율이 증가하는 경향을 나타내었다.

2. 주괴의 외주부가 중심부 보다 높은 경도값을 나타내었으며 또한 주괴의 상면에서 저면으로 갈수록 경도는 상승하였으며, 주입 온도가 상승하면 인장강도와 연신율은 감소하고 금형의 저면을 냉각하였을 때 인장강도와 연신율은 증가되었다.

3. 주조한 주괴의 응고조직은 금형의 냉각 부위에 의하여 변화하였으며 금형의 저면을 냉각하는 경우 Al-Fe 금속간 화합물인 $AlFe_3$ 은 미세하게 분산된 chinese script의 형태로 형성되어 인장강도와 연신율이 향상되었다.

후 기

본 연구는 1996년도 동아대학교 학술연구 조성비(공모과제)에 의하여 연구 되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 村上: 알루미늄 재료의 기초와 산업 기술, (社) 輕金屬協會(1985), 64
- [2] J.E. Gruzleski and B.M. Closset: The Treatment of Liquid Aluminum-Silicon Alloys, AFS(1990), 8
- [3] 알루미늄의 조직과 성질: 輕金屬學會 (1991), 273
- [4] 非鐵合金鑄物: 日刊工業新聞社 (1965), 184
- [5] 中谷: 鑄物, 48 (1976), 40
- [6] 大野: 金屬의 凝固. 地人書館 (1984), 52
- [7] 최창욱, 이계완: 대한금속학회지, 8 (1990), 727
- [8] 이동운, 천병욱, 최창욱: 주조, 13 (1993), 156
- [9] 大野: 金屬의 凝固. 地人書館 (1984), 25
- [10] A. Ohno, T. Motegi: AFS International Cast Metals Journal, 2 (1977), 34
- [11] L.J.D.Sully: AFS Transaction, 89 (1981), 76
- [12] M. Kato and Y. Nakamura: Metallurgical Abstracts, Vol. 25, 47
- [13] L.F. Mondolfo: Aluminum Alloys Structure and Properties, Butter Worths, (1976) 1957
- [14] A. Couture: AFS International Cast Metals Journal, 12 (1981), 10

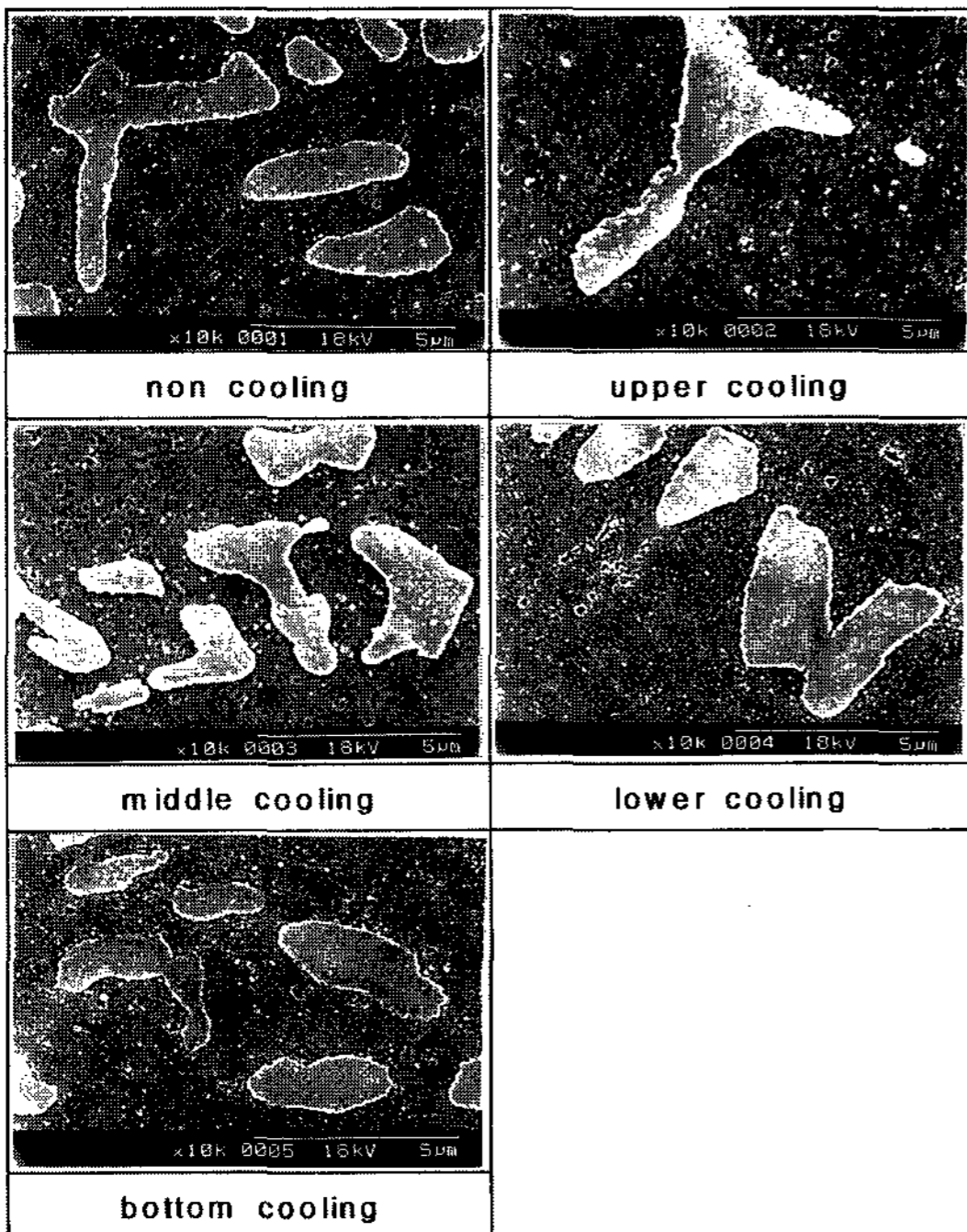


Photo 3. SEM of Al-5wt%Mg alloy castings with cooling parts of metallic mold (at pouring temp. 680°C, metallic mold temp. 250°C).