

|||||||
論 文
|||||||

아공정 Al-Si 합금의 개량처리와 주단조에 의한 조직변화에 관한 연구

윤지현 · 설은철 · 김억수 * · 이광학†

A study on the Microstructural Changes with Modification and Cast-forging in Hypoeutectic Al-Si Alloys

Ji-Hyun Yoon, Eun-Cheol Seol, Eok-Soo Kim* and Kwang-Hak Lee†

Abstract

For application of cast-forging process with Al-Si alloys, casting experiments are carried out by adding Sr and TiB to Al-Si alloys for grain refinement treatment. We experimented on the mechanical properties according to microstructural changes, forging ability test and also investigated the mechanical properties after forging. The finest microstructure could be observed respectively when 0.05 wt.%Sr and 0.1 wt.%TiB were added. In this case, tensile strength and elongation increased much more than as casting. After high temperature deformation simulation test with grain refinement specimens was carried out, about 60N per unit area(mm²) of specimen was confirmed. After hot forging, tensile strength and elongation were increased. It was considered that casting defect was removed by compressive working. (Received December 24, 2001)

Keywords : Cast-forging process, Grain refinement treatment, Deformation simulation test, Compressive working

1. 서 론

최근 들어 각종 수송기기의 부품 소재를 경량화 하려는 경향이 뚜렷해지고 있다. 이는 여러 가지 이유가 있겠지만, 무엇보다도 비강도가 높은 경량재료를 사용함으로써 엔진의 연비향상을 통한 연료절감의 효과가 기대되기 때문이다[1]. 이미 선진국을 중심으로 에너지 절약과 환경보호에 대한 논의가 활발한 가운데, 수송기기의 배기가스에 대한 규제가 점차 엄격해 지고 있는 점을 감안할 때, 수송기기의 경량화로 연비향상을 이루어 연료절감 효과를 이루려는 요구가 절실하기 때문에 각종 부품들에 대한 경량소재로의 대체 적용에 대한 다양한 시도가 이루어지고 있다[1].

실제로 대표적인 수송기기인 자동차에는 철강재료, 주철, 비철금속, 플라스틱 및 세라믹에 이르기까지 매우 다양한 재료가 사용되고 있으며, 현재 고 비강도의 경량재료를 사용함으로써, 자동차의 전체 중량을 감소

시켜 에너지 절약을 통한 환경공해 문제를 해결하려는 노력들이 진행되고 있다[1-2]. 이를 위하여 선진 각국을 비롯하여 우리나라에서도 자동차 회사와 대학 및 연구소 등에서 자동차 부품에 적용할 수 있는 철계 대체 경량재료로서 Al 합금, Mg 합금, Ti 합금, 복합재료 및 plastic 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-3].

이중 Al 합금은 가볍다는 특성 이외에도 비강도와 내식성 그리고 열전도성이 우수한 성질을 가지며, 다른 경량재료에 비하여 가격 경쟁력이 뛰어나다. 그 뿐만 아니라 Al 합금은 가공성도 비교적 양호하고, 특히 재활용면에서 철강 재료와 기타 재료에 비하여 매우 유리한 점을 갖고 있다. 이러한 이유로 철계 자동차 부품 대체 경량소재로 현재 Al 합금이 가장 각광을 받고 있다[4-6]. 현재 자동차에 적용되고 있는 Al 합금은 주로 엔진부분을 중심으로 비교적 강도가 덜 요구되는 하우징 또는 외장부품이나 우수한 열전도성을 이용할 수 있는 부품에 사용되고 있으며[7], 근래에는 합금기

울산대학교 첨단소재공학부(The School of Materials Science and Engineering, University of Ulsan)

*동남정밀(주)(Dong-Nam precision Co., Ltd.)

†E-mail : kwanghak@uou.ulsan.ac.kr

술의 개발로 가볍고 강도가 우수한 Al 합금을 차체 외판에 적용하기도 한다.

한편, 자동차 부품은 그 종류가 매우 많으며, 그에 따른 여러 금속가공기술이 적용된다. 자동차에 사용되는 Al 합금 역시 다양한 가공에 의해 제조되어지며, 그 중 주조법에 의해 대다수의 부품제조가 이루어지고 있다[8-9].

그러나, 아직까지 주조시 주조품 내부에 존재하는 기공을 완전히 제거하지 못하고 있기 때문에 내압성과 기밀성이 요구되는 부품의 경우 더욱 우수한 주조법의 개발이 지속적으로 요구되고 있다[10-11].

또한, 기존의 단조법은 복잡형상의 제조가 힘들고, 압출 또는 인발재를 사용함에 따른 재료비 부담과 다단단조에 따른 원가상승 등의 이유로 산업전반에 이용되기 보다는 필요에 의해 일부 제품으로 제조되고 있다[12-13].

따라서, 최근 주조법과 단조법의 장점만을 선택한 주단조법이 소개되고 있는데, 이 주단조법은 주조로써 최종제품의 형상에 근접한 예비성형체를 만들고 단 한번의 마무리 단조로써 제품을 생산하는 방법이기 때문에, 비교적 복잡한 형상의 제품을 제조하는 것이 가능하고 원재료를 압출재 대신에 주조용 합금을 사용함으로써 재료비 면에서도 유리하다[10]. 이러한 주단조법으로 제품을 성형할 경우 기존의 단조법으로 제조한 경우에 비해서 그 기계적 성질이 떨어지지만 특수주조법으로 제품을 제조하였을 때 보다는 전반적인 기계적 성질이 향상된다고 알려져 있다[11, 14, 15].

Al 합금을 단조할 때 재료의 변형능이나 변형저항에 영향을 주는 인자는 기지의 용질농도와 DAS(Dendrite Arm Spacing) 그리고 결정립의 크기이다[13]. 즉, 전반적인 미세조직이 미세해질수록 한계가공율, 신율 그리고 인장강도 등이 증가한다. 따라서, 본 연구에서 주조용 Al 합금을 이용하여 주단조법을 적용하기 위해서

는 소재의 응고조직이 단조성에 큰 영향을 미치게 되므로 합금 설계시 가장 미세한 조직을 얻어내는 것이 필요하며, 본 실험에서는 합금 조직을 미세화하기 위하여 Sr과 TiB를 첨가하여 공정 Si의 개량처리와 초정 Al 고용체를 미세화시키기 위한 실험을 행하였다. 그리고 미세화제 및 개량처리제를 첨가한 후 미세조직의 변화를 관찰하였으며, 인장강도 시험도 행하였다. 이후, 가장 양호한 미세조직을 가지는 합금을 대상으로 열간가공재현실험을 실시하여 실제 단조에 적용할 경우 필요한 하중을 예측하여 계산하고 미세조직을 관찰하였으며, 실제 단조시편을 제조하여 기계적 성질을 평가하고 아울러 단조 후 열처리에 대한 효과도 관찰하였다.

2. 실험방법

주조용 Al 합금을 이용하여 주단조법에 적용하기 위해서는 조직을 미세화 할 필요가 있으므로, TiB와 Sr 등의 미세화제와 개량처리제를 첨가하였다.

실험에 이용한 주조용 Al 합금은 AC4C 합금을 사용하였으며, 합금의 화학조성을 Table 1에 나타내었다. 또, 합금의 조직 미세화를 위해 TiB과 Sr을 이용하였으며, 실험에 이용된 첨가제의 화학적 조성은 Table 2에 나타내었다.

먼저, 합금의 조직을 미세화하기 위하여 TiB를 이용하여 초정 Al 고용체를 미세화 하고자 하였으며, 공정 Si을 미세한 함유상으로 개량처리하기 위하여 Sr을 첨가하였다. Sr은 Al-9.61wt.%Sr 모합금을 사용하였으며, 합금내에서 Sr의 양이 0.025, 0.05, 0.075 및 0.1 wt.%로 변화시켰으며 용탕온도 730°C에서 미세화 처리한 후 200°C로 예열된 금형에 주조하였다. 그리고 초정 알루미늄 미세화를 위하여 첨가되는 TiB의 적절한 첨가량을 결정하기 위하여 목표조성으로 용해된 Al 합금 용탕에 AlTi₅B 모합금을 0.05, 0.1, 0.2 및

Table 1. Chemical composition of hypoeutectic Al-Si alloy for experiment (wt.%)

| Parameter | Si | Cu | Mg | Zn | Fe | Mn | Ni | Al |
|--------------------------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------|
| Hypoeutectic Al-Si alloy | 6.5~7.5 | 0.2~0.3 | 0.2~0.4 | 0.3 ↓ | 0.5 ↓ | 0.4 ↓ | 0.1 ↓ | bal. |

Table 2. Chemical composition of refiner and modifier (wt.%)

| Parameter | Ti | B | Fe | V | Sr | Si | P | Al |
|--------------|---------|-----------|------|------|------|------|-------|------|
| Refiner(TiB) | 4.7~5.1 | 0.96~1.02 | 0.17 | 0.08 | - | - | - | bal. |
| Modifier(Sr) | - | 0.17 | - | - | 9.61 | 0.02 | 0.001 | bal. |

0.5 wt.%가 되도록 각각 용해한 후 200°C로 미리 예 열된 금형에 주탕하였다.

각각의 시편에 대하여 미세조직 검사와 인장시험을 통하여 합금의 개량화와 미세화 정도를 판단하여 Sr과 TiB의 적절한 첨가량을 결정하였으며 합금의 미세화제 또는 개량처리제 첨가에 따른 미세조직 변화를 관찰하여 가장 미세한 미세조직을 갖는 합금을 대상으로 실제 단조시 예상되는 필요하중과 열간단조에 따른 미세 조직의 변화를 알아보기 위하여, 열간가공재현실험을 행하였다.

즉, 합금의 단조성 평가는 열간가공재현시험기(High Temp. deformation simulation and mechanical testing machine, Thermecmaster-Z, FDC, Japan)를 이용하여, 응력변형을 0.01 mm/sec, 가열속도 5°C/sec로 가열 후 2분간 등은 유지한 후 압축가공을 하였다. 압축률은 30%와 40%로 하였으며, 압축 가공시 온도는 400, 450 그리고 500°C로 변화시켜 각각의 경우에 대한 단조온도와 압축가공시 하중의 관계를 알아내고, 변형 후 미세조직을 관찰하여 실제 단조작업시 예상되는 단조 하중을 계산하고 미세조직의 변화를 관찰하였다.

또한, 실제 단조 프레스를 이용하여 조직이 미세화 처리된 합금을 450°C에서 30% 단조한 후 기계적 성질을 조사하였다. 단조는 주괴를 절단하여 인장시험과 200 ton 프레스를 이용하여 단조하였으며, 열처리는 510°C에서 4시간 동안 가열하여 용체화 처리한 후 170°C에서 10시간 동안 인공시효를 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 합금의 개량처리

주조용 Al 합금을 이용하여 주단조법을 적용할 때 재료의 변형능이나 변형저항에 영향을 주는 인자는 기지의 용질농도와 DAS(Dendrite Arm Spacing) 및 결정립의 크기이다[13]. 즉, 합금의 주조조직이 미세해질 수록 가공율이 증가하고, 신율과 인장강도 등의 기계적 성질이 향상되므로 TiB와 Sr을 첨가하면서 각각의 원소 첨가량에 따른 미세조직 변화를 관찰하였다.

아공정 합금은 Si이 공정조성인 12.6 wt.% 이하로 포함되어 있으며, 액상선에서 초정인 α-Al 고용체 상이 정출되고, 이 상이 공정온도인 577°C에 이를 때까지 성장한 후 수지상간 영역에서의 Si 농도가 공정 조성에 이른 액상으로부터 등은 변태인 공정반응으로

Al과 Si의 공정조직이 생성됨으로써 응고가 종료된다. 이러한 공정 변태는 개량처리를 하지 않은 경우 용융 엔트로피가 커서 facet하게 성장하는 공정 Si이 고액 계면을 선도하는 것으로 알려져 있다[16-18].

특히, 아공정 Al-Si 합금에서 공정 Si의 형상은 기계적 특성을 좌우하는 가장 중요한 요소 중의 하나로서 공정 Si의 개량화가 이루어지지 않을 경우, 공정 Si 입자는 조대한 침상으로 존재하여, 임계응력 하에서 응력 집중효과를 발생시켜 파괴의 시작점이 된다[19].

아공정 Al-Si 합금을 주단조법에 적용하기 위해서는 미세조직을 미세화 처리하여야 단조 가공시 기계 가공성과 기계적 성질의 향상을 기대할 수 있다.

특히, 아공정 Al-Si 합금을 이용하여 preform을 주조한 후 단조를 실시하려면 조대한 침상 또는 판상으로 정출하는 공정 Si의 형태를 미세한 섬유상(fibrous) 또는 층상(lamellar)형태로 개량처리 해야 하며, 초정 Al 고용체상의 입자크기도 미세화 시킬 필요가 있다.

본 실험에서 사용한 아공정 Al-Si 합금(AC4C)의 주

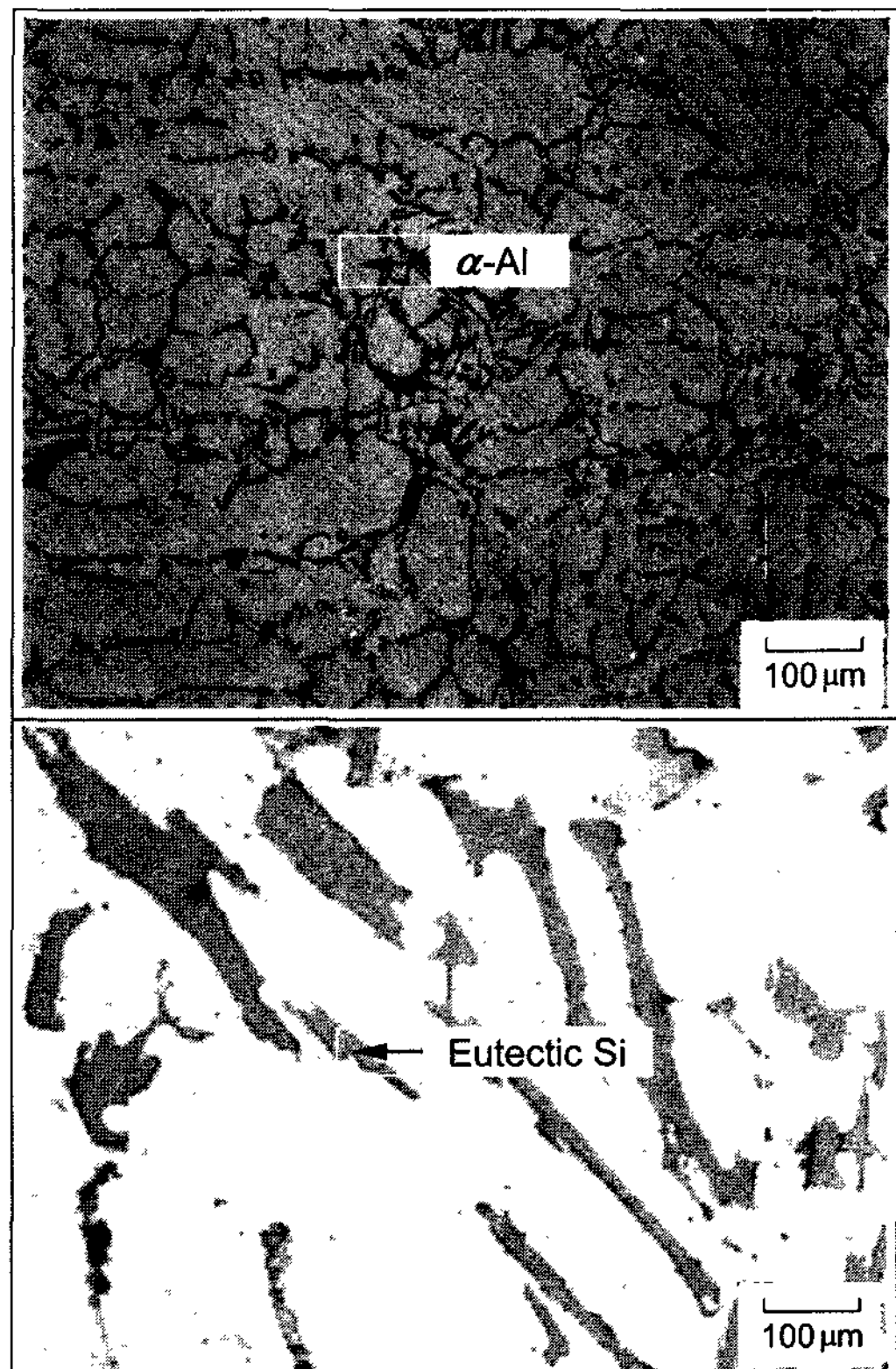


Fig. 1. Microstructures of as-casted hypoeutectic Al-Si alloy.

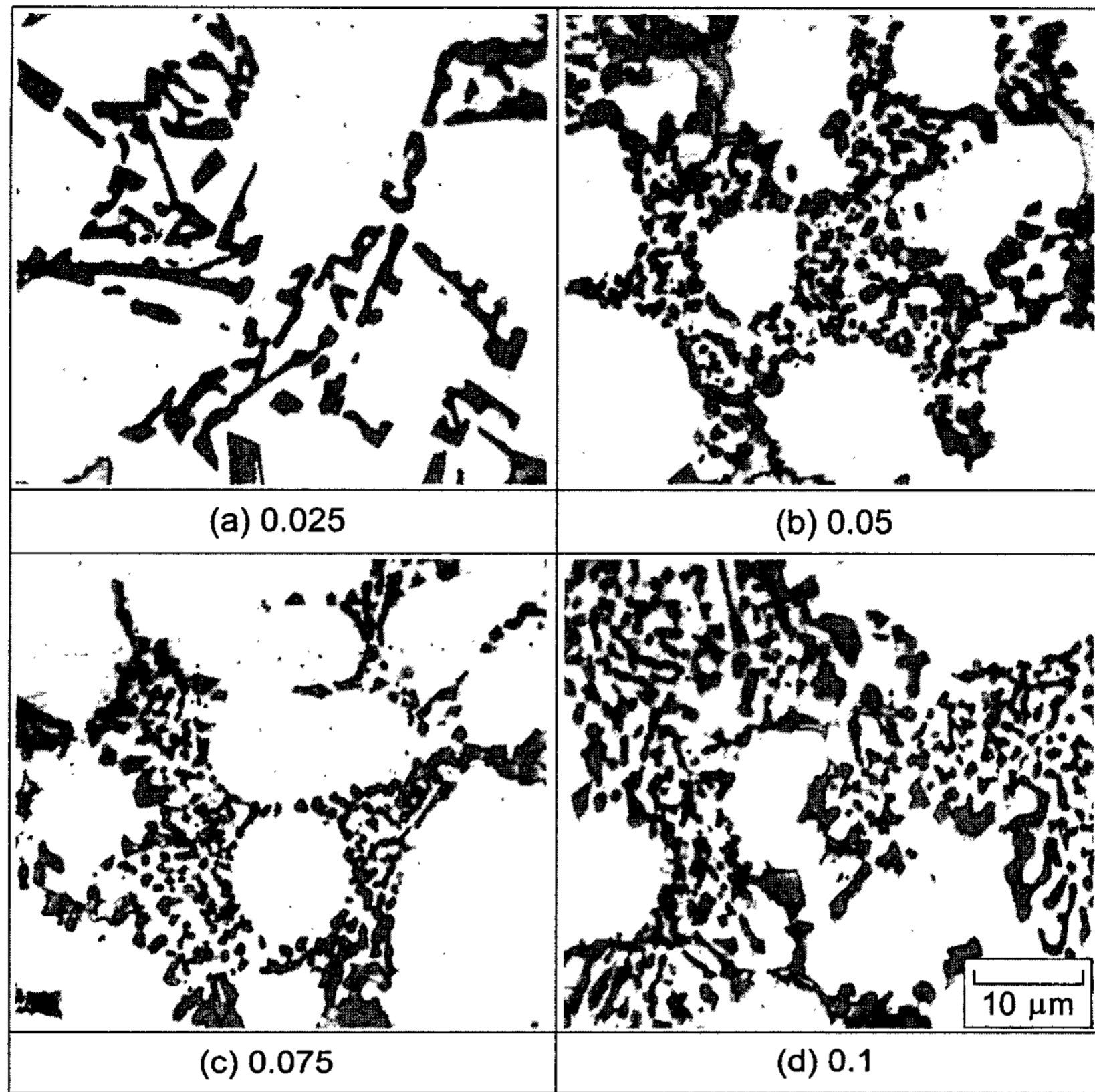


Fig. 2. Microstructures obtained with Sr addition(wt.%).

방상태에서의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하였으며 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 사진에서 보듯이, 초정으로 정출한 α -Al 고용체상이 조대한 수지상을 형성하고 있으며, 공정 Si의 형태가 facet한 계면으로 인하여 조대한 침상형으로 나타나 있음을 관찰할 수 있다.

먼저 조대한 침상형으로 응고하는 공정 Si의 개량처리를 위한 Sr 첨가는 Al-9.61 wt.%Sr 모합금을 이용하여, 합금내 Sr의 농도가 0.02, 0.05, 0.075 및 0.1 wt.%가 되도록 첨가한 후 Sr 첨가에 따른 미세조직의 변화를 관찰하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Sr의 첨가량이 0.025 wt.% 일 때 Fig. 2의 (a)에 나타난 바와 같이, Sr을 첨가하지 않은 경우와 비교하여 공정 Si의 크기가 약간 미세화되는 경향을 보이며, 개량화된 흔적은 보이지만 전체적으로 개량처리가 되지 않음을 알 수 있었다. 그러나, Sr이 0.05 wt.% 첨가된 경우 Fig. 2의 (b)에서 보듯이 조대한 침상으로 응고하던 공정 Si의 형상이 수 μ m 이하의 미세한 섬유상으로

로 개량처리됨을 관찰할 수 있었으며, Sr의 양을 0.05 wt.% 이상 첨가시 더 이상의 개량처리 효과는 나타나지 않음을 알 수 있었다. 따라서, 아공정 Al-Si계 합금의 공정 Si 개량처리를 위한 Sr 첨가량은 0.05 wt.% 일 때 가장 효과적인 미세조직 변화를 관찰할 수 있었다.

한편, 수지상으로 성장하는 초정 Al 고용체상의 입자 미세화를 위하여 TiB를 $AlTi_5B$ 합금을 이용하여 0.05, 0.1, 0.2 및 0.5 wt.%을 각각 첨가한 경우의 미세조직을 관찰하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서 관찰할 수 있듯이, 초정 Al 미세화를 위해 TiB를 첨가한 결과 0.05 wt.% 첨가시 Fig. 3의 (a)에서 보듯이, 초정 Al 고용체상의 미세화가 거의 이루어지지 않았으나, 0.1 wt.% 이상 첨가시 초정 Al 고용체상의 미세화가 현저하게 이루어짐을 Fig. 3의 (b)와 (c)에서 확인할 수 있었다. 그러나, 첨가량이 0.5 wt.% 이상으로 과다하게 되면 오히려 초정 Al 고용체

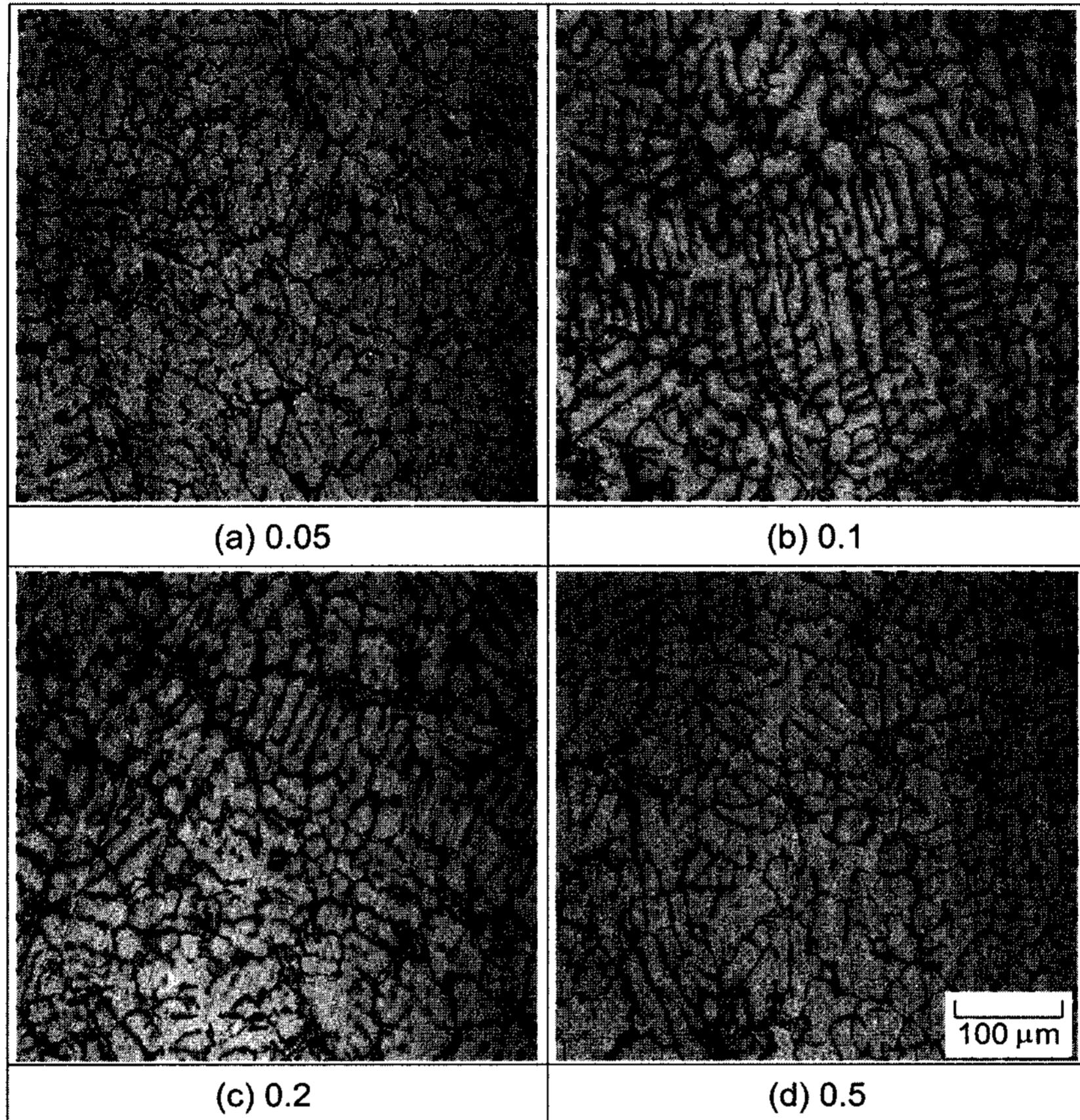


Fig. 3. Microstructures obtained with TiB addition(wt.%).

의 수지상 간격(DAS)이 오히려 넓어져 초정 Al 고용체의 미세화 효과가 적어짐을 확인할 수 있었으며, 이는 Ti의 첨가량이 많아지면 액상 Al 중에서 Ti의 확산이 매우 느린 까닭에 수지상 가지의 선형적 성장이 억제되어 초정 Al 고용체상의 형상이 꽃잎형상(petal-like)으로 되는 현상에 의해 결정립은 조대해지며, 이 현상은 냉각속도가 느릴수록 핵으로 작용하는 상이 조대해지고, 그 분포도 균일해지기 때문에 수지상 간격이 더욱 넓어진다는 Akihiko[20]의 보고와 일치하는 것으로 사료된다.

7~8wt.% Si인 아공정계 Al-Si 합금의 초정 Al 고용체상의 수지상 가지의 간격(DAS)을 좁혀 조직을 미세화하기 위해 TiB를 첨가한 결과 본 실험에서는 0.1 wt.%와 0.2wt.%를 첨가한 경우 그 미세화 정도가 가장 우수한 것으로 나타났으며, 이러한 결과로부터 TiB 첨가량이 0.1wt.%일 때 가장 효과적인 미세화 효과를

나타낸다고 판단하였다.

3.2 단조 특성

단조가공시 재료의 조직이 단조성에 큰 영향을 미치게 되므로 DAS와 결정립의 크기를 미세화하기 위한 실험을 진행하였으며, 조직 미세화에 따른 합금의 기계적 성질을 평가하기 위하여 먼저 인장시험을 행하였으며, Sr 첨가에 따른 인장강도와 신율의 변화를 Fig. 4와 Fig. 5에 각각 나타내었다.

그림에서 보듯이 인장강도 값과 신율의 변화 경향은 앞 절에서 관찰되었던 미세조직의 변화와 매우 잘 일치함을 알 수 있었다. 즉, 공정 Si의 개량화 정도에 따라 합금의 인장강도 값과 신율이 향상되고 있는 모습을 보여주고 있으며, Sr의 첨가량이 0.05 wt.%일 때 인장강도 값은 27 kgf/mm²로 신율은 6%로 개량처리가 가장 우수하였으며, 더 이상 첨가량에 따른 개량효과

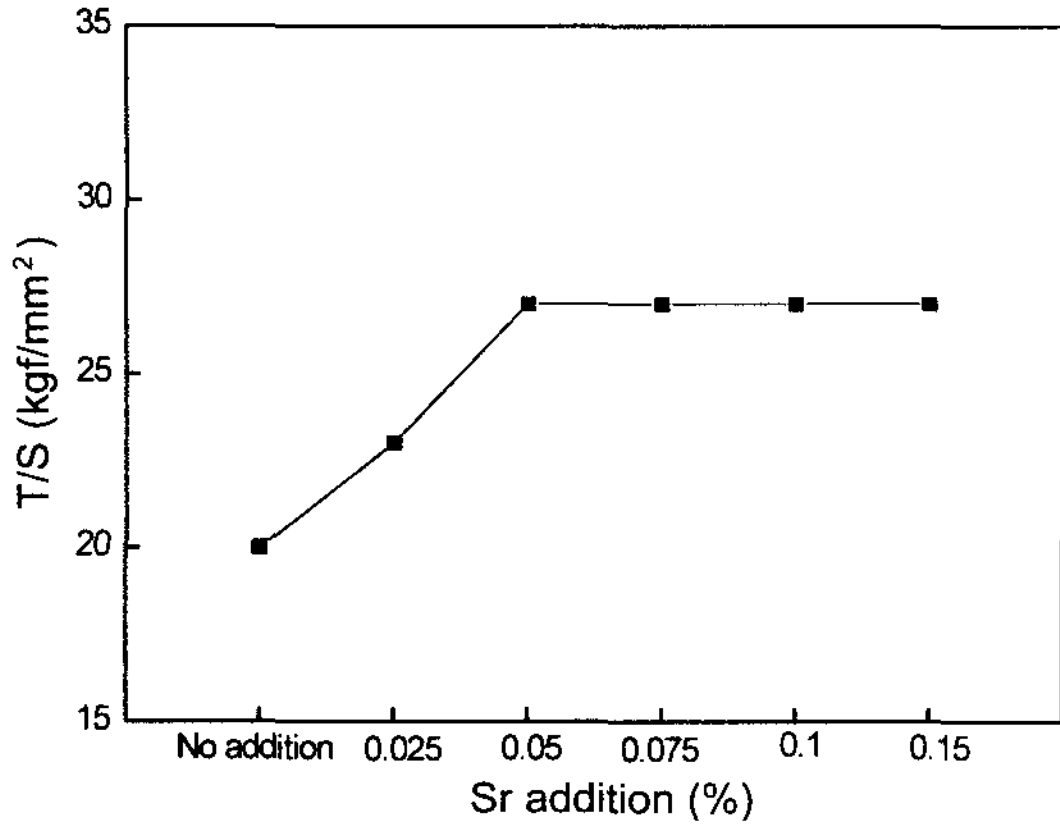


Fig. 4. Variation of tensile strength with Sr addition.

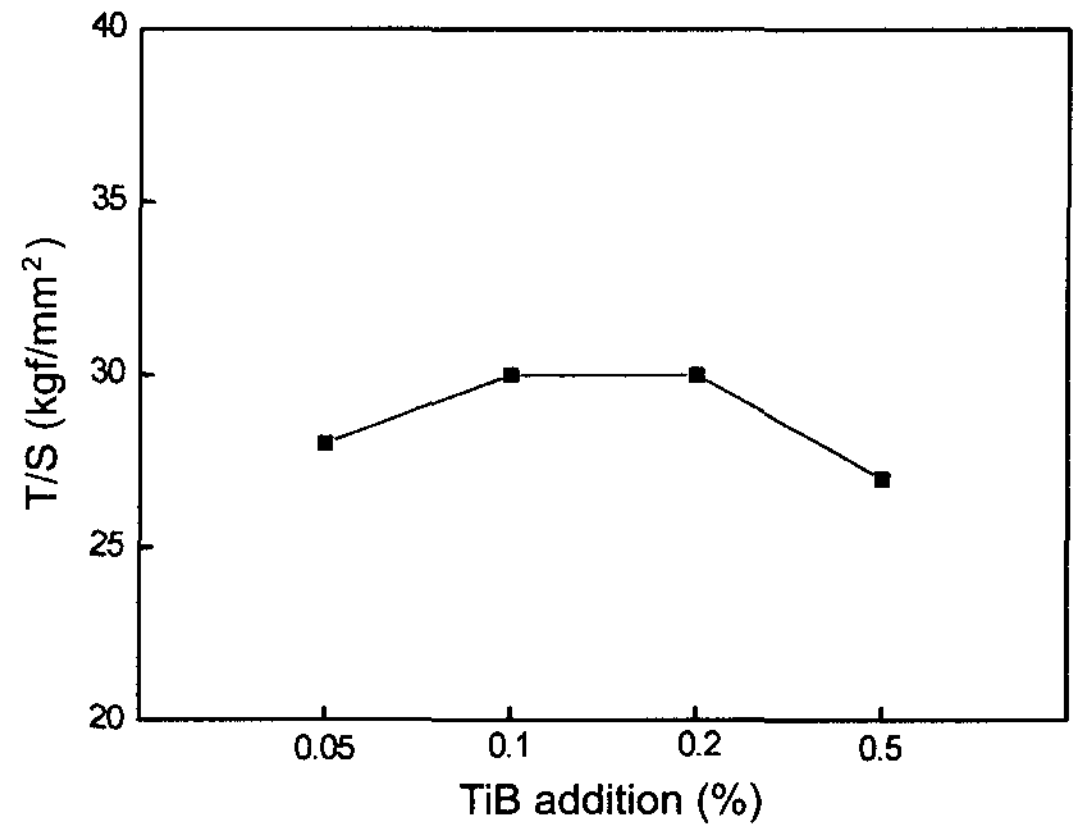


Fig. 6. Variation of tensile strength with TiB addition.

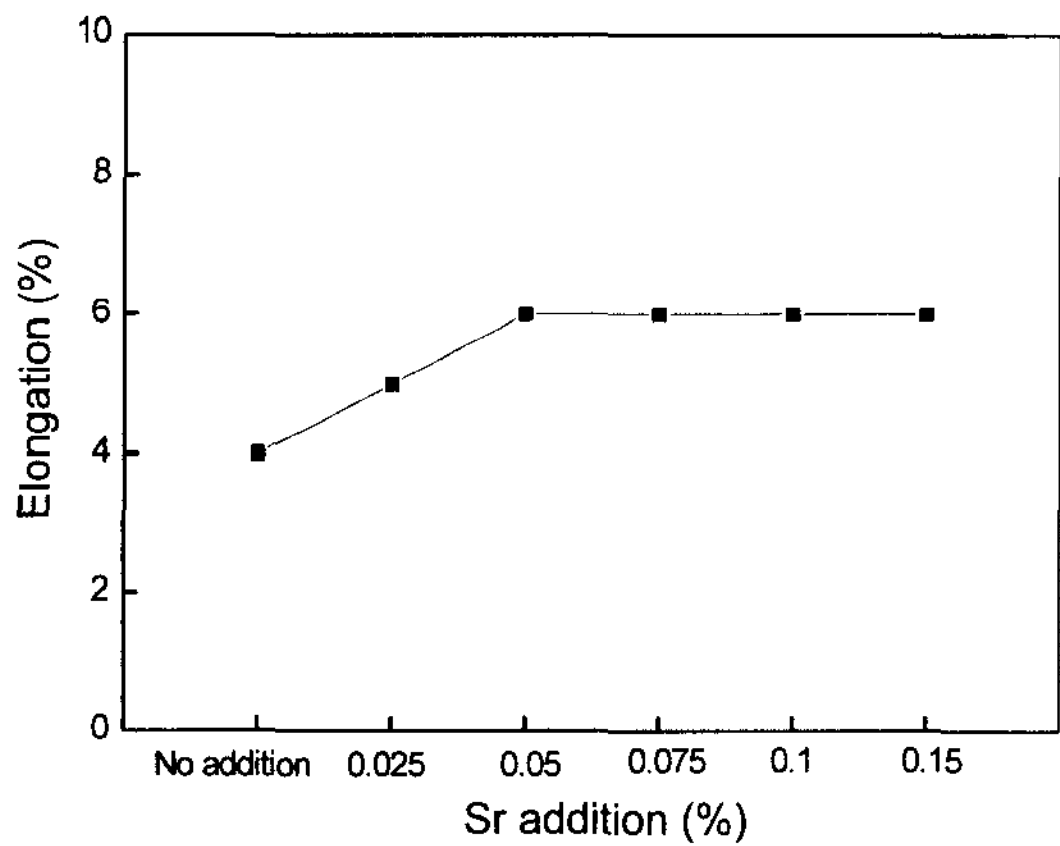


Fig. 5. Variation of elongation with Sr addition.

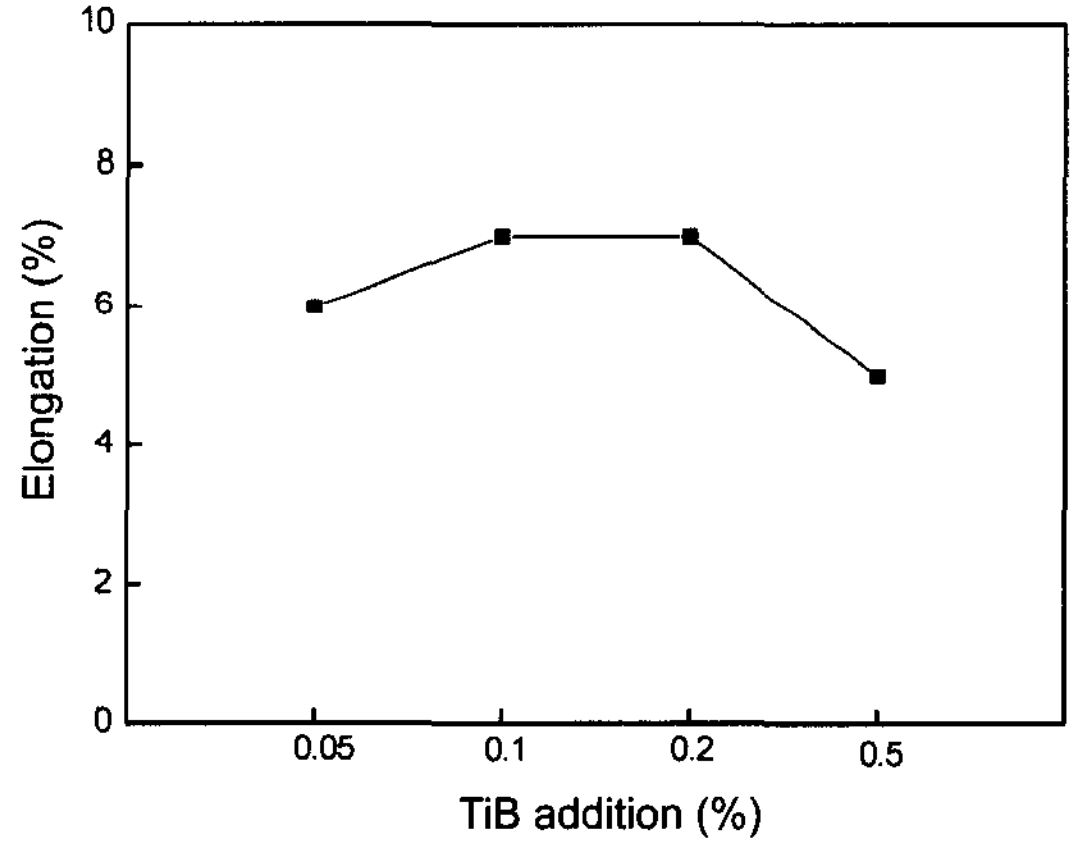


Fig. 7. Variation of elongation with TiB addition.

는 거의 나타나지 않았다.

또한, α-Al 고용체상의 결정립 미세화를 위해 최적 Sr 첨가량인 0.05 wt.%를 용탕에 첨가한 후 TiB 첨가량에 따른 인장강도와 신율의 변화를 조사하였으며 그 결과를 Fig. 6와 Fig. 7에 각각 나타내었다.

앞 절의 미세조직 관찰에서 나타났듯이, α-Al 고용체상의 결정립이 미세화됨에 따라 인장강도와 신율이 증가하는 경향을 보여주고 있으며, 0.1 wt.%와 0.2 wt.%의 TiB 첨가시 인장강도는 30 kgf/mm²로 신율은 7%로 최대치를 나타내었으며, 0.5 wt.% 첨가시 오히려 인장강도와 신율 값은 오히려 저하됨을 알 수 있다. 이 같은 결과는 합금 조직의 결정립이 미세해질수록 기계적 성질이 향상된다는 것을 의미하는 것이라 생각된다.

따라서, 다음 실험공정인 단조실험에서 사용된 아공

정 Al-Si 합금은 0.05 wt.%Sr 및 0.1 wt.%TiB를 첨가하여 개량화 및 미세화 처리를 한 합금소재를 이용하였다.

이러한 결과를 바탕으로 조직이 미세화 및 개량화 처리된 합금에 대해 실제 단조를 행하기 전에 열간가공재현실험을 하여 각 합금의 단조성을 평가하였다. 즉, 실제 단조를 행하기 전에 단조기계의 선정 및 금형의 강도 등을 결정하기 위해 단조 변형에 따른 하중의 계산이 이루어져야만 하기 때문에 열간가공재현실험을 통하여 합금의 변형저항을 측정하고 이를 바탕으로 단조 하중을 계산하게 되며 필요한 단조 하중의 계산은 아래 식으로 계산이 가능하다.

$$F=C_1 \cdot K_f \cdot S$$

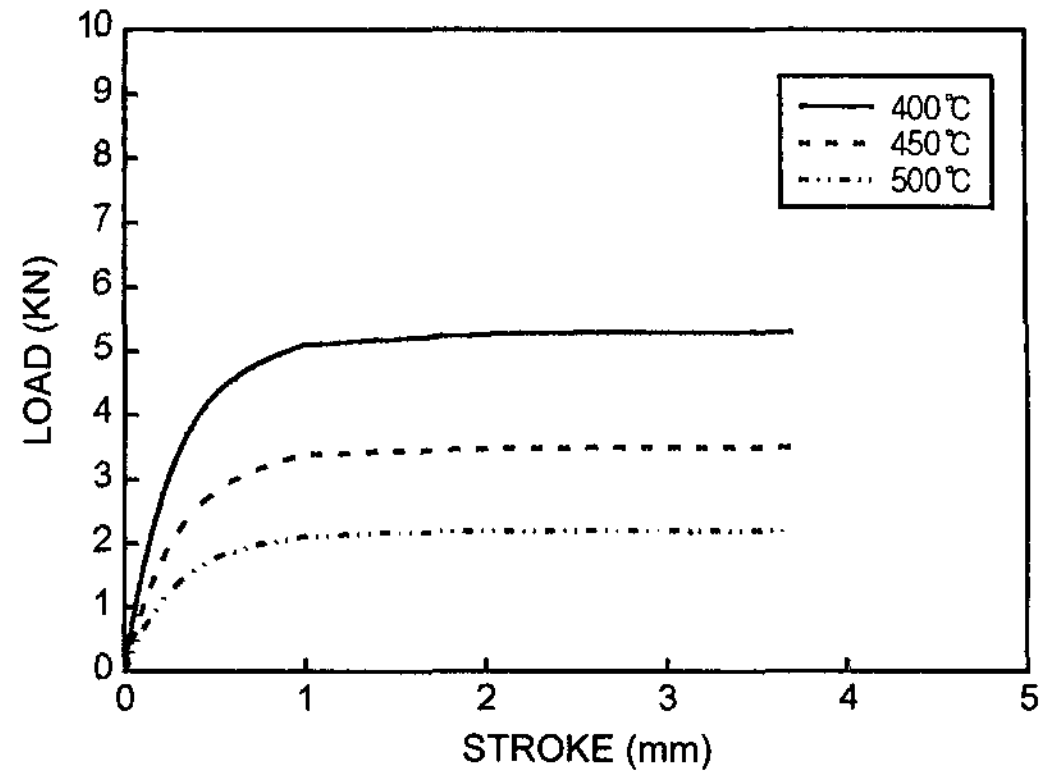
여기서, F : 필요하중
 K_f : 변형저항
 C^1 : 계수(1.2~2.5)
 S : 접촉부 투영면적이다[13].

최적으로 합금된 시편에 대한 압축율은 30%와 40%로 각각 변화시키고 가공온도를 400, 450 및 500°C로 변화시키면서 열간가공재현실험을 행하였으며, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 보듯이, 압축가공시 가공온도가 높아질수록 변형저항이 감소함을 알 수 있었으며, 450°C에서 가공할 경우 시편의 단면적에 약 3000 N 정도의 하중이 작용하며, 이는 시편의 단면적을 고려할 때 단위면적(mm²)당 약 60 N의 하중이 필요하다는 것을 의미하며, 압축율의 변화에 따른 변형저항의 변화는 거의 없는 것으로 관찰되었다.

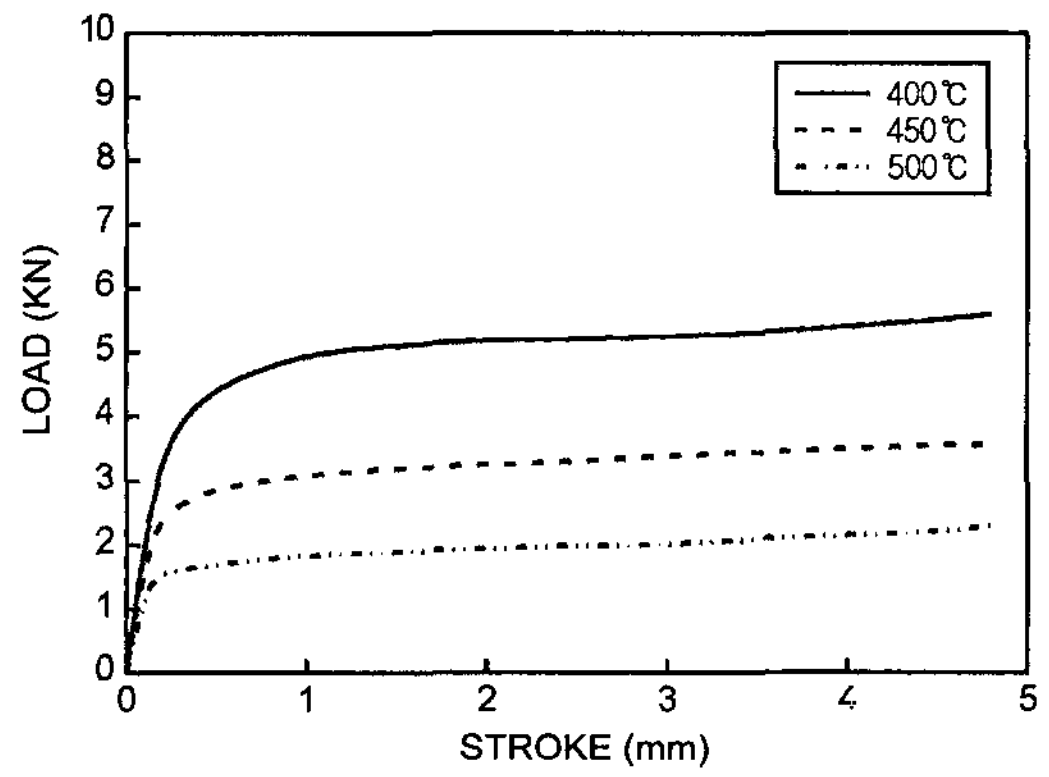
이는 초기 변형시 가해진 응력이 가공경화에 의해 더 증가되지 않고 열간가공에 따른 회복 및 재결정 현상으로 인하여 일정한 응력을 유지하기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 압축시험의 결과를 종합해 볼 때, 열간단조시 가공온도가 높으면 변형저항은 적지만 미세조직이 비교적 조대해지고, 가공온도가 낮으면 변형저항이 높아지므로 본 실험에서는 450°C에서 30% 압축하는 조건을 최적조건으로 설정하였으며, 미세화 처리하지 않은 경우와 미세화 처리 후 그리고 압축가공 후의 미세조직을 Fig. 9에 나타내었다.

본 실험에서는 주조용 Al 합금의 조직을 미세화시켜 주단조를 실시하고자 하였으므로 앞 절에서 조직이 미세한 합금을 주조하여 가장 기계적 성질이 우수한 합금을 대상으로 실제 단조를 실시한 후 인장시험을 통



(a) 30% compressive strain



(b) 40% compressive strain

Fig. 8. The stroke-load graph at 30% and 40% hot compressive strain.

하여 그 기계적 성질을 알아보려고 하였다.

가공온도 450°C에서 압축률 30%로 단조를 행한 후 인장시험을 실시하여 단조 이전(주방상태 및 미세화 처리) 시편과의 기계적 성질을 비교하였으며, 그 결과를

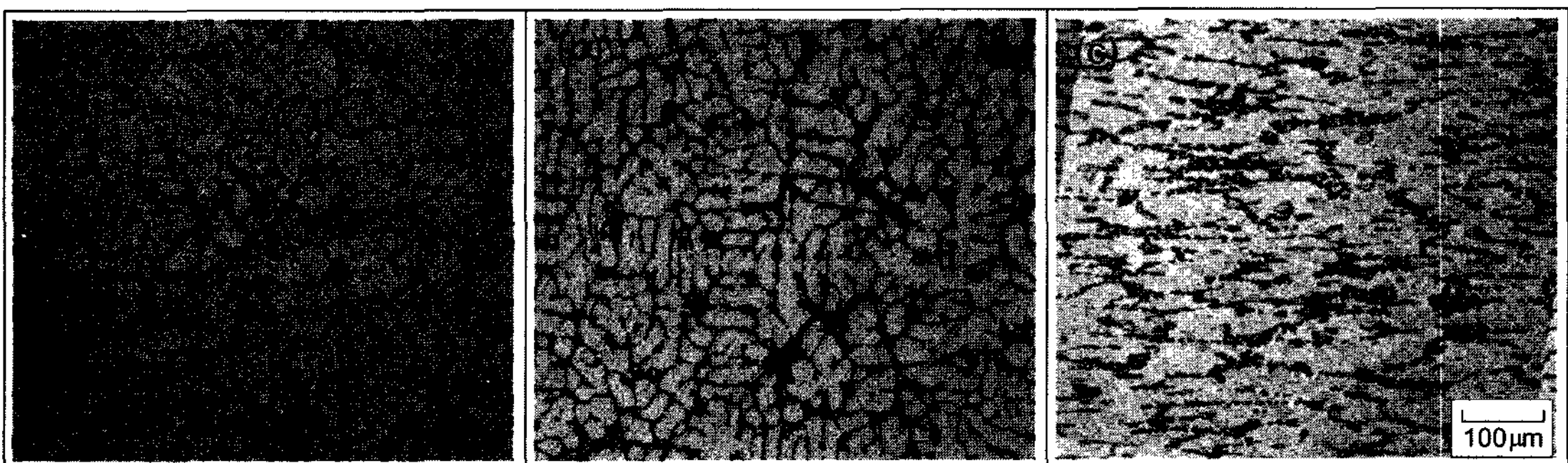


Fig. 9. Variation of microstructure with grain refinement treatment and compressive strain in hypoeutectic (a) as casting, (b) grain refinement(Sr 0.05, TiB 0.1 wt.%), (c) compressive strain(at 450 °C and 30% compression).

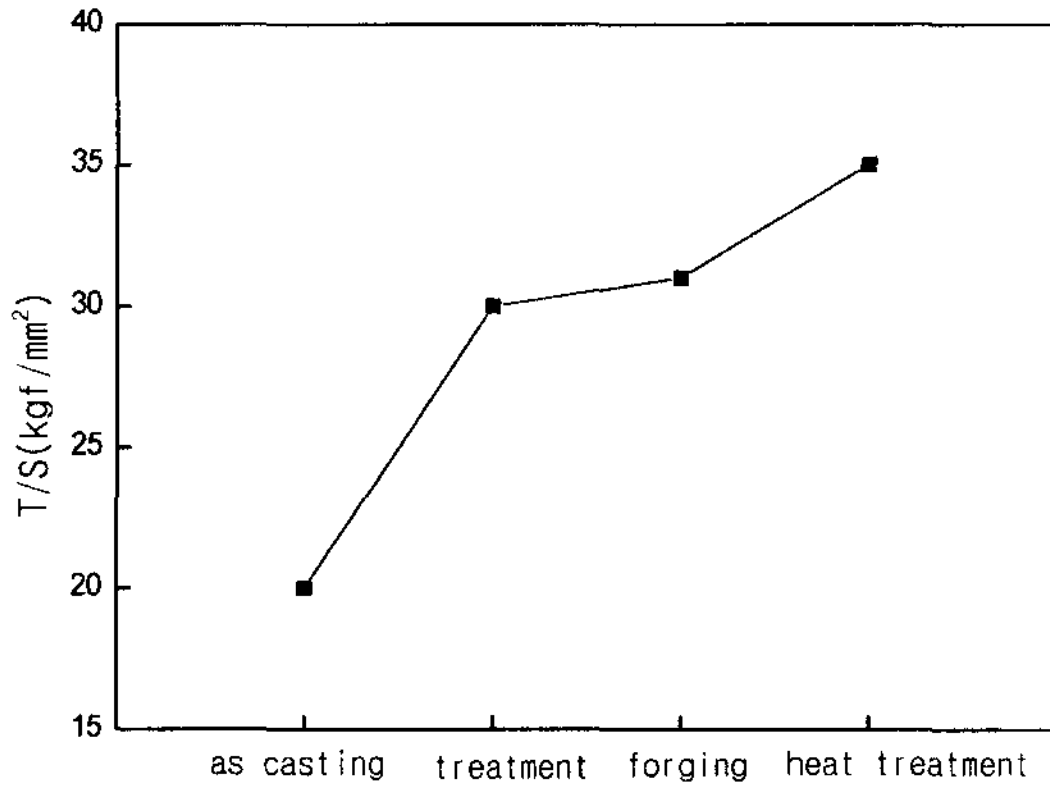


Fig. 10. Changes of tensile strength with various treatment in hypoeutectic Al-Si alloys (Sr modification and TiB grain refinement).

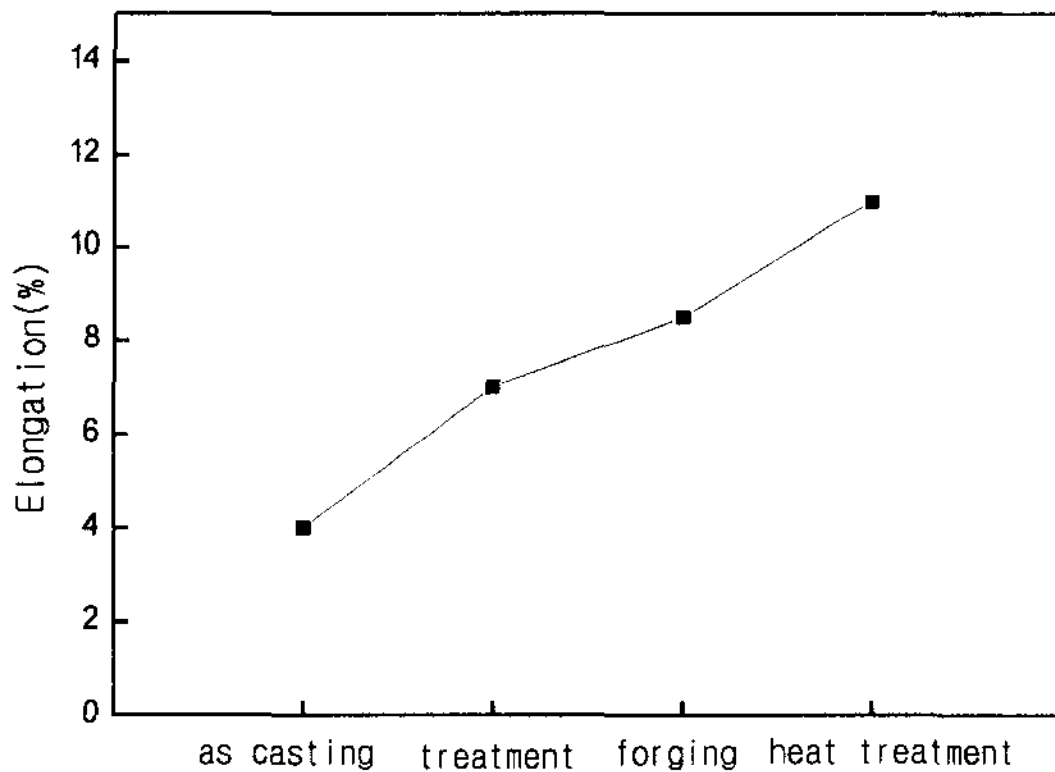


Fig. 11. Changes of elongation with various treatment in hypoeutectic Al-Si alloys (Sr modification and TiB grain refinement).

Fig. 10과 Fig. 11에 각각 나타내었다.

그림에서 보듯이, 열간단조를 실시하고 난 이후 인장강도 값은 주방상태에 비해 20 kgf/mm²에서 31 kgf/mm²로 또, 신율은 4%에서 8.5%로 크게 향상되었음을 알 수 있었으며, 열간단조 후 T6 열처리를 행한 경우는 열간단조시 보다 인장강도 및 신율이 35 kgf/mm²와 11%로 각각 향상되었음을 확인할 수 있었다.

이러한 현상은 단조를 실시함에 따라 공정 Si의 미세화 효과와 더불어 주조시 발생한 미세기공 등의 주조결함이 압착됨으로 인해 그 기계적 성질이 향상되었다고 판단되며, 열처리(T6) 후 시효효과에 의해 더욱 이들 값이 증가한 것으로 사료된다.

4. 결 론

주조용 아공정 Al-Si 합금을 주단조법에 적용하기 위하여 합금의 조직을 미세화하고 기계적 성질을 시험하였으며, 미세화 처리된 합금을 대상으로 단조성 평가와 실제 단조를 행한 후 기계적 성질을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 합금 조직의 미세화를 위해 TiB와 Sr을 첨가한 결과 TiB는 0.1 wt.%, Sr은 0.05 wt.%를 각각 첨가한 경우 가장 효과적인 미세한 조직을 얻을 수 있었다.

2) 미세화 처리하고 난 이후 인장강도 값은 주방상태에 비해 20 kgf/mm²에서 30 kgf/mm²로, 또 신율은 4%에서 7%로 크게 증가되어 조직의 미세화에 따라 기계적 성질이 향상됨을 알 수 있었다.

3) 합금의 미세화 처리 후 열간가공재현시험을 행한 결과 재료의 단위면적당(mm²) 약 60 N의 하중이 필요함을 알 수 있었다.

4) 열간단조 후와 열처리를 행한 경우의 인장강도 값은 31 kgf/mm²에서 35 kgf/mm²로 또, 신율은 8.5%에서 11%로 향상됨을 알 수 있었으며, 이는 열처리 후 시효 효과에 의한 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 “과학기술부-한국과학재단 지정 울산대학교 기계부품 및 소재 특성평가 연구 센터”의 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Toshihiro Chikada : J. of Japan institute of light metals, Vol. 40, No. 12 (1990) 944
- [2] Normang. Gjostein : Advanced Materials & Process, 137 (1990) 73
- [3] Claus Razim : Advanced Materials & Process, 137 (1990) 75
- [4] T. Uno and Yoshida : SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS, Vol. 27, No. 4 (1986) 22
- [5] H. Hosomi : SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS, Vol. 32, No. 1 (1991) 1
- [6] H. K. Choi : New technology, Vol. 4, No.6 (1990) 1
- [7] Masato FUJITA : J. of Japan institute of light metals, Vol. 39, No. 9 (1989) 664
- [8] H. Ichimura : 57th World Foundry Congress, Osaka, Sep. (1990), paper No.18

- [9] F. Fukizawa and H. Shiina : The technology of Automobile, Vol. 46, No. 5 (1992) 66
- [10] Tetsuzo NISHIMURA : J. of Japan institute of light metals, Vol. 47, No. 11
- [11] J. of the Aluminum, 7 (1995) 42
- [12] Kouichi YAMASHITA and Kazuaki YOKOKAWA : Quality Assurance Sector, Forging works, Casting & Forging Division, Furukawa Aluminum Co., Ltd, p. 72-86
- [13] Tsunehisa SEKIGUCHI : J. of Japan institute of light metals, Vol. 44, No. 12
- [14] Sanji Kitaoka and Hisashi Hori : J. of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 66, No. 12 (1994)
- [15] K. Y. Kim : J. of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 20, No. 4
- [16] R. W. Heine, C. R. Loper, Jr. and P. C. Rosenthal : Principles of Metal Casting, McGraw-Hill, New-York (1967)
- [17] J. E. Gruzleski : B. M. Closset, The Treatment of Liquid Aluminium-Silicon Alloys, AFS, Illinois (1990)
- [18] P. B. Crosley, L. F. Mondolfo : Mod., Casting, 49 (1966) 53
- [19] C. H. Caceres, J. R. Griffiths : Acta. Meter., Vol. 44, No. 1 (1960) 25
- [20] Akihiko, Hiroyasu : J. of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 51, No. 7 (1978) 34