

# 자동차용 피스톤의 제조기술에 관한 실험적 연구

김영호\*, 배원병\*, 김형식\*\*, 변홍석\*\*

## An Experimental Study on the Manufacturing Technology of an Engine Piston

Young-Ho Kim\*, Won-Byong Bae\*, Hyeong-Sik Kim\*\*, Hong-Seok Byun\*\*

### ABSTRACT

In this paper, an experimental study has been carried out to develop an aluminum forged piston which has good mechanical properties. Through the experiment, the cavity filling, microstructure and mechanical properties of the final product are investigated with respect to chosen process parameters, which are die shape, heat-treatment condition and preform shape. The mechanical properties of the forged piston are compared with these of the cast piston. As the results, an appropriate die-shape is obtained to produce a perfect piston. The suitable heat-treatment condition and preform-shape are found to good hardness and minute microstructure in the forged piston. And we could obtain the mechanical properties(tensile strength, elongation and hardness) of the forged piston are superior to these of the cast piston.

**Key Words** : Aluminum Forged Piston(알루미늄 단조 피스톤), Die Shape(금형형상), Heat-treatment(열처리), Preform(예비성형체), Microstructure(현미경 조직), Mechanical Properties(기계적 성질)

### 1. 서 론

자동차 산업의 발전과 경량화에 따른 엔진의 성능을 향상시키려는 연구가 시작되면서 알루미늄 피스톤이 개발되었고, 제품의 필요한 성질을 얻기 위해 설계와 형상, 재료, 제작방법은 다양해져 왔다. 피스톤은 연소실의 폭발 압력을 크랭크축에 전달하는 역할을 하며 엔진의 성능에 큰 영향을 미친다. 피스톤은 실린더내의 연소가스의 고

압, 고온에 견디어야 하므로 필요한 강도와 열전도성 및 내마모성이 좋아야 한다.

현재 피스톤은 금형에 의한 중력주조<sup>(1)</sup>, 스퀴즈 캐스팅(squeeze casting)<sup>(2)</sup>, 단조<sup>(3)</sup>를 통한 기계가공으로 생산되고, 최근 분말야금<sup>(4)</sup>에 의한 생산 가능성도 대두되고 있다. 국내에 사용되는 자동차용 피스톤은 금형에 의한 중력주조로 생산되고 있다. 중력주조는 비교적 형상이 복잡한 것의 생산에 적합한 방식이지만, 제품의 내부에 기공

\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터  
\*\* 부산대학교 대학원

을 포함하고 있어서 절삭가공 후 표면에 노출로 불량품이 되거나, 대량 생산의 필요에 따라 여러 벌의 금형을 동시에 사용하여 같은 제품을 주조하기 때문에 금형 비용의 증가 및 제품간의 치수차이가 생기며, 응고수축에 의해 제품치수가 불규칙적이다. 그리고 제품의 강도가 낮고 연신율이 적은 등 기계적 성질이 떨어진다. 그러나 단조공정은 기본적인 금속성형법의 하나로 외력을 가하여 금속을 성형시킴으로써 그 조직이 미세화되고 균질화되어 주조 및 기계가공에 비해 강도, 연신율, 충격치 등의 기계적 성질을 크게 개선할 수 있다.

내연기관의 피스톤과 실린더체에 대한 많은 연구가 되어져 왔는데, 우선 피스톤 설계의 기본이 되는 응력과 열적거동의 해석<sup>(6-7)</sup>과 피스톤-실린더 접촉면에서의 마모<sup>(8)</sup>, 피스톤의 피로수명<sup>(9)</sup> 등에 관한 연구가 보고되었다. 또한 알루미늄 합금으로 제작되던 피스톤을 세라믹으로 제작하려는 연구<sup>(4)</sup>, 자동차용 단조피스톤의 개발에 관한 연구<sup>(10)</sup>가 보고되고 있다. 그러나 자동차용 피스톤의 단조에 관한 연구가 미흡할 뿐 아니라 그 기계적 성질의 향상에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 승용차에 사용되는 피스톤을 단조에 의해 생산하고 그 기계적 성질을 향상시키는 것을 목표로 하여, 주조 피스톤에서 나타나는 가공과 치수불일치 및 낮은 강도·연신율 등의 결함을 개선하고, 제품의 기계적 성질을 향상시킬 수 있는 적절한 예비성형체를 제안하며, 여러 가지 열처리 조건에 따른 경도를 비교·검토하여 적합한 열처리 조건을 제시하여 기존 주조 제품보다 우수한 단조 피스톤을 제작함으로써 수입에만 의존하는 경주용 자동차의 엔진 피스톤의 제작을 위한 기반을 구축하려고 한다.

연구 대상은 2000cc급 승용차용 엔진에 사용되는 피스톤이며, 현재 금형주조에 의해 만들어지고 있다. 이 제품을 단조에 의해 생산한 후 후처리 과정을 거쳐 단조피스톤을 얻고자 한다.

## 2. 실험

Fig.1은 본 연구에서 목표로 하는 단조 피스톤의 형상을 나타낸다. 이 제품을 알루미늄 열간 단조에 의해 제작하려고 한다.

### 2.1 단조 소재

피스톤은 고압·고온의 상태에서 고속으로 작동할 뿐

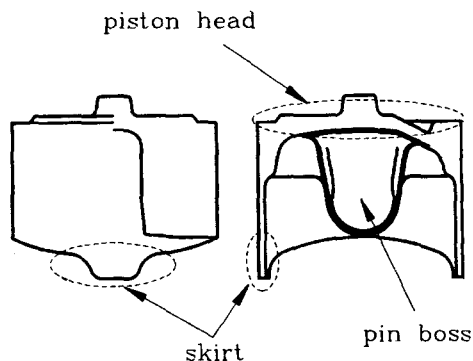


Fig. 1 Configuration of a Forged Piston

아니라, 실린더 벽과의 마찰을 일으키므로 높은 강도, 경도, 연신율, 내마모성, 내충격성, 내열성이 요구된다. 따라서 본 연구에서 사용된 소재는 현재 자동차용 피스톤에 쓰이는 알루미늄합금인 Al 4032로 하였다. Al 4032의 적절한 단조온도는 415℃~460℃<sup>(11)</sup>이다.

### 2.2 소재 예열

단조 소재용 가열로에는 직접가열로, 머플로, 강제순환형 가열로 및 유도가열로 등이 있고, 전기, 증유 또는 천연가스를 열원으로 한다. 본 연구에 사용된 로는 전기로(연속가열로, 길이6m)이다. 본 연구에서는 절단한 소재를 로에서 약 460℃로 30분 동안 가열하였다.

### 2.3 단조

본 연구에 사용된 프레스는 기계식 프레스인 너클 조인트 프레스(JKP, 630T)를 사용하였다. 이 프레스는 두 개의 링크가 직선으로 근접할 때, 행정 하사점 근처에서 큰 성형을 할 수 있는 장점을 가진다. 단조에 사용된 금형의 재질은 SKD61로 하였다. 펀치, 다이, 다이 인서트트의 경도는 H<sub>R</sub>C 52~53으로 하였고, 보강링은 H<sub>R</sub>C 50~51로 하였다. 그리고 금형의 온도는 210℃로 예열하였다. 성형중 금형의 온도는 예열된 소재온도에 의해 열이 전달되므로 거의 일정하게 유지되며, 더 이상의 금형 가열은 필요 없게 된다. 다이 인서트를 뿔기구배가 없는 것과 뿔기구배(2°)가 있는 것의 두 금형에 대해 실험을 하였고, 뿔기구배가 성형에 미치는 영향과 성형하중을 알아보고자 하였다. Fig.3은 뿔기구배가 없는 경우와 있는 경우(2°)의 인서트 형상을 보여주고 있다.

윤활은 재료의 형내로의 충전성 및 표면 조도를 좌우하는 중요한 인자이다. 본 실험에서 사용된 윤활제는 수용

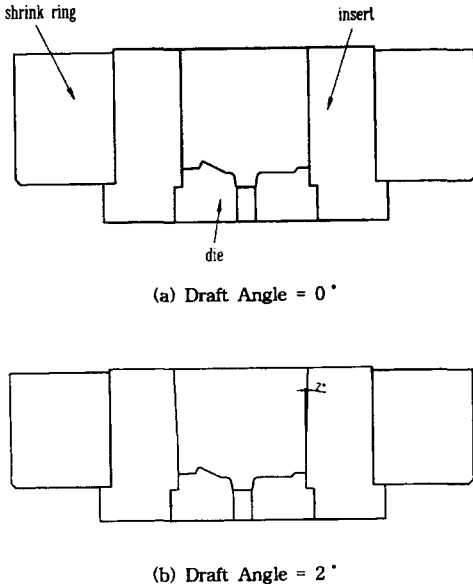


Fig. 2 Shapes of Dies used in the Experiment

성 흑연으로 흑연을 물에 희석시켜 사용하였다. 흑연의 마찰상수는  $m=0.3\sim 0.4$ 이다<sup>(12)</sup>. 윤활방법은 금형내에 윤활제를 충분히 고루 미칠 수 있는 스프레이 형태를 취하였다.

## 2.4 열처리

알루미늄 합금의 열처리는 기계적 성질을 변화시키기 위하여 담금질 온도와 시효처리시간을 변화시킨다. 여기서는 고용체에서 석출강화 용질원자의 용체화처리, 시효에 필요한 과포화 고용체를 얻기 위한 담금질(quenching), 강화상(強化狀)을 석출하기 위한 시효처리(aging)를 하는 T6처리를 한다.

### 2.4.1 용체화처리 (solution treatment)

용체화 처리에서는 시효처리에 관계하는 원소들의 용해도를 최대가 되도록 하며, 최대의 용해도가 존재하고 확산속도가 빠른 고상선 또는 공정온도 가까이에서 가장 효과적이며, 고상선 온도 아래에서 충분한 시간을 유지하고 주용질 원소를 완전히 고용화한다. 최적의 열처리 영역은 매우 작으며 안전을 고려하면  $\pm 5^\circ\text{C}$  정도이다.

본 연구에서는 용체화 처리를 위해 전기로(box로)를 사용하였고, 조건은 상온에서 520℃까지 1시간 동안 가열한 후, 520℃에서 4, 5, 6시간 유지하도록 하여 실험을 하였고, 용체화처리 시간이 제품에 미치는 영향을 조

사하여 적절한 열처리 조건을 찾고자 하였다.

### 2.4.2 담금질(quenching)

열처리성 알루미늄 합금은 다음 단계인 시효처리를 위하여 용질원자와 공공(vacancy)의 과포화도를 최대로 유지하기 위하여 용체화 처리 후 담금질한다. 최고 강도와 대부분의 최대의 내식성은 가장 빠른 담금질 속도에서 얻어진다. 물이 가장 광범위하게 사용되고 효과적인 담금질액이다. 급속한 담금질로 얇은 제품은 비틀어지기 쉬우며 두꺼운 제품에는 해로운 잔류응력이 생기므로 주의가 필요하다. 담금질에 의한 잔류응력의 크기는 냉각속도를 감소시킴으로써 감소되나 이렇게 하면 냉각과정에서 용질원자의 석출이 일어나 강도와 내식성이 떨어질 수도 있다. 또한 담금질 지연이 생기지 않도록 주의가 필요하며, 특히 작은 것이라든가 얇은 제품은 담금질 지연에 민감하므로 담금질 지연이 생기지 않도록 해야 한다.

본 연구에서는 담금질을 위해 물을 사용하였고, 담금질 조건은 수온 23℃, 43℃ 그리고 60℃로 실험을 하였고, 각각의 담금질 수온이 제품의 기계적 성질에 미치는 영향을 알아보려고 하였다.

### 2.4.3 시효처리(aging)

시효처리는 열처리성 알루미늄 합금에서 요구되는 성질을 얻기 위한 최종 열처리이다. 시효처리에서는 석출개시, 용질원자가 영역에 모여서 격자 뒤틀림이 생기며 이로 인하여 경도가 증가되나 항복강도, 인장강도, 연신율은 변하지 않거나 또는 약간 감소된다.

본 연구에서는 시효처리를 위해 전기로(box로)를 사용하였고, 조건은

Table 1 Heat-Treatment Conditions I and II for the Experiment

product	condition I			condition II		
	T4 (520℃)	quenching (5min)	T5 (190℃)	T4 (520℃)	quenching (5min)	T5 (210℃)
1	4hr	23℃	5hr	6hr	23℃	6hr
2	4hr	43℃	5hr	6hr	43℃	6hr
3	4hr	60℃	5hr	6hr	60℃	6hr
4	4hr	23℃	6hr	5hr	23℃	6hr
5	4hr	43℃	6hr	5hr	43℃	6hr
6	4hr	60℃	6hr	5hr	60℃	6hr
7	4hr	23℃	7hr	4hr	23℃	6hr
8	4hr	43℃	7hr	4hr	43℃	6hr
9	4hr	60℃	7hr	4hr	60℃	6hr

- ① 상온에서 190℃까지 30분 동안 가열한 뒤, 190℃에서 5, 6, 7시간 유지
- ② 상온에서 210℃까지 30분 동안 가열한 뒤, 210℃에서 6시간 유지하여 실험하였고, 시효처리 온도와 유지시간이 제품에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 이상으로부터 본 연구의 열처리 조건을 Table 1에 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 성형

##### 3.1.1 금형의 형상이 성형에 미치는 영향

금형의 형상이 성형에 미치는 영향을 살펴보면, 인서트된  $\blacktriangleright$ 기구배를 0°로 하였을 경우, Fig.3에서 성형되는 과정을 보여 주고 있는데 성형이 진행되면서 스킨트 중심부로 소재가 차지않아 오목하게 패인 현상이 생겨서 성형결함으로 남게되며, 제품과 인서트 사이의 높은 마찰력 때문에 소재가 잘 빠지지 않는다. 성형하중은 약 400톤이었다.

따라서 이러한 난점을 해결하기 위해  $\blacktriangleright$ 기구배(2°)를 주었다.  $\blacktriangleright$ 기구배를 주었을 경우(Fig.4), Fig.3과 같이 성형이 진행되면서 스킨트 중심으로 소재의 유동이 좋아져 오목 패인 성형 결함이 제거되었으며 양호한 제품을 얻을 수 있었고, 성형하중은 약 255톤으로 36% 감소하였다. 본 연구에서  $\blacktriangleright$ 기구배가 있으므로 단지 제품을 쉽게 빼는데 도움을 줄뿐만 아니라 스킨트 부분의 성형결함을 없애는 중요한 역할을 한다는 사실을 알았다.

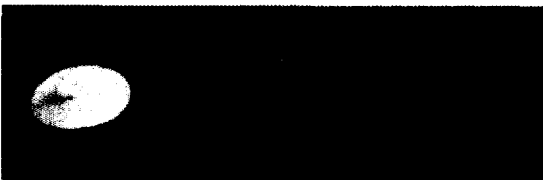


Fig. 3 Initial Billet and Sequential Forged Products without Draft Angle



Fig. 4 Initial Billet and Sequential Forged Products with Draft Angle (2°)

Table 2 Comparison of Mechanical Properties between Cast and Forged Pistons

	tensile strength (MPa)	elongation %
cast piston	232	2.4
forging piston	299	13.4

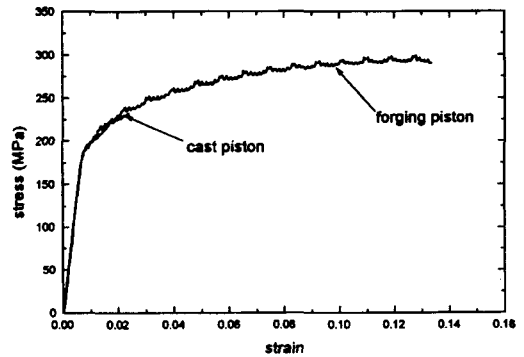


Fig. 5 Comparison of Stress-Strain Curve between Cast and Forged Pistons

##### 3.1.2 주조 피스톤과 단조 피스톤의 비교

주조 피스톤과 단조 피스톤으로부터 인장시편을 채취한 후, 기계식 MTS (Material Test System)를 이용하여 인장시험하였다. Table 2은 인장시험으로부터 얻은 제품의 기계적 성질을 보여주고 있고, Fig.5은 주조 피스톤과 단조 피스톤의 용력-변형률 곡선을 나타내고 있다. 단조에 의해 연신율과 인장강도가 크게 증가되었음을 알 수 있다.

##### 3.2 열처리 의한 기계적 성질의 향상

적절한 열처리 조건을 찾기 위해 예비성형체 No.2(Fig.12)를 단조한 제품에 대해 Table 1에 있는 조건과 같이 용체화처리 시간과 담금질 온도 및 인공시효처리 시간에 따라 피스톤의 경도검사가 수행되었다. 피스톤의 행정시 큰 압력과 높은 온도가 가해지는 가장 중요한 부분인 헤드부분(Fig.6)의 경도를 검사하였다. 그러나, 핀보스쪽은 두께가 두꺼울 뿐만 아니라 온도, 압력에 크게 영향을 받지 않아 기계적 성질이 헤드쪽보다 높게 좌우되지 않으므로 핀보스의 경도검사는 하지 않았다. Table 1의 열처리 조건에 따른 열처리 후 각각의 경도값을 Fig.8~Fig.11에 나타내었다.

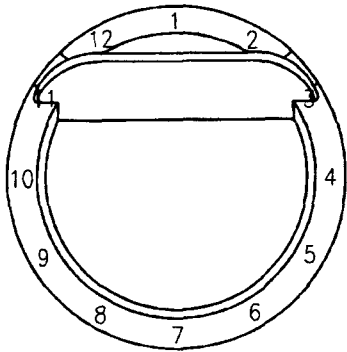


Fig. 6 Selected Points in a Cast Piston Head for Hardness Test

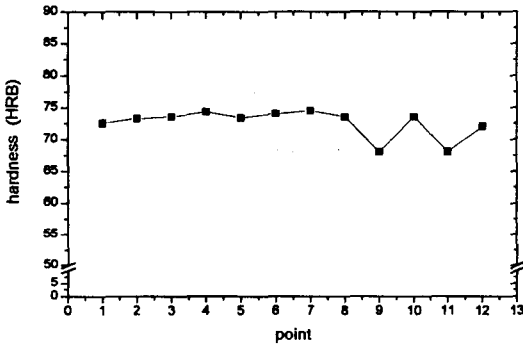


Fig. 7 Hardness on the Surface of Piston Head in a Cast Piston

### 3.2.1 주조 피스톤의 경도

주조 피스톤의 헤드부분의 경도를 검사하여 Fig.7에 나타내었다. 경도의 평균값이  $H_{rB}=72.5$ 이었다. 일반적으로 주조피스톤의 경도는  $H_{rB} = 69\sim73$ 정도이다.

### 3.2.2 담금질 속도와 시효처리 시간·온도의 영향

Fig.8~Fig.9는 Table 1의 열처리조건 I 과 같이 520℃에서 용체화처리시간을 4시간, 인공시효처리 온도를 190℃로 일정하게 하고 담금질 속도와 시효처리시간이 제품에 미치는 영향을 조사하였다.

Fig.8은 5시간동안 시효처리를 한 것이다. 물 23℃에서 담금질을 한 경우는 경도의 분포가 균일하며 평균 경도가  $H_{rB}=77.6$ 으로 상당히 높음을 알 수 있다. 담금질 속도가 느려질수록 경도가 낮아져서 물 43℃에서는  $H_{rB}=73.3$ , 물 60℃에서는  $H_{rB}=67.3$ 이다. 담금질 온도가 올라가면서 경도의 분포가 균일하지 않음을 알 수 있다.

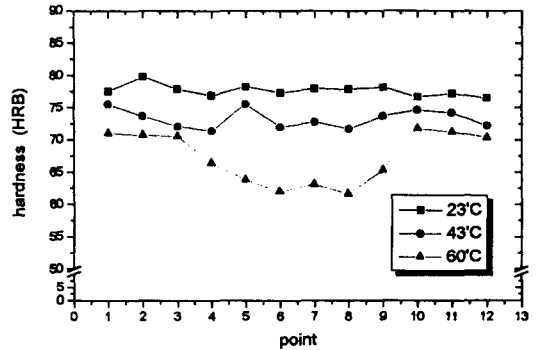


Fig. 8 Hardness on the Surface of Piston Head in Forged Pistons [Solution Treatment (520℃, 4hr), Aging (190℃, 5hr)]

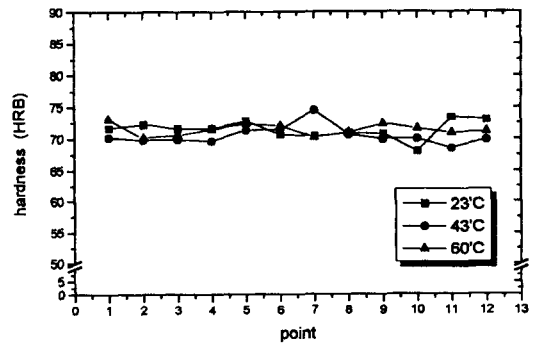


Fig. 9 Hardness on the Surface of Piston Head in Forged Pistons [Solution Treatment (520℃, 4hr), Aging (190℃, 7hr)]

Fig.9는 7시간동안 시효처리를 한 것이다. Fig.8와는 달리 담금질 수온에 관계없이 경도가 거의 비슷함을 볼 수 있는데, 시효처리 시간이 길어지면서 담금질 속도에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 즉 수온이 23℃일 때는  $H_{rB}=71.4$ , 43℃일 때는  $H_{rB}=70.6$ , 60℃일 때는  $H_{rB}=71.4$ 로 비슷하다. 또한 측정 부위에 관계없이 균일하다는 사실을 알 수 있다.

Fig.8~Fig.9에서 경도는 시효처리 시간이 길어짐에 따라 담금질온도에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

### 3.2.3 용체화처리 시간과 담금질 속도 및 시효처리 온도의 영향

Fig.10~Fig.11은 Table 2의 열처리조건 II와 같이 520℃에서 용체화처리를, 210℃에서 6시간동안 인공시효처리를 하였을 때, 용체화처리 시간과 담금질 속도가 경도에 미치는 영향을 조사하였다.

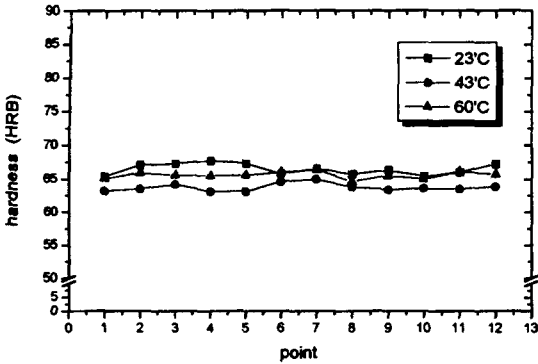


Fig. 10 Hardness on the Surface of Piston Head in Forged Pistons [Solution Treatment (520℃, 4hr), Aging (210℃, 6hr)]

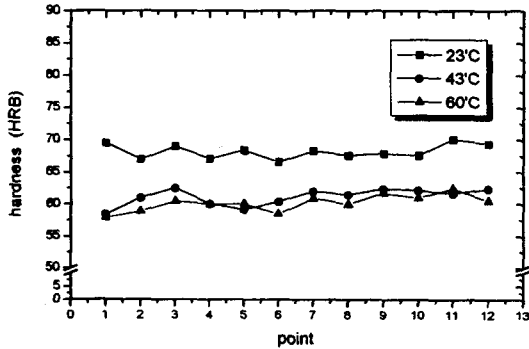


Fig. 11 Hardness on the Surface of Piston Head in Forged Pistons [Solution Treatment (520℃, 6hr), Aging (210℃, 6hr)]

Fig. 10은 4시간동안 용체화처리를 한 것이다. 전체적인 경도는  $H_{RB} = 66.5(23^\circ\text{C})$ ,  $H_{RB} = 63.7(43^\circ\text{C})$ ,  $H_{RB} = 65.6(60^\circ\text{C})$ 로 낮은 편이지만 담금질 속도에 영향을 크게 받지 않음을 알 수 있다.

Fig. 11은 6시간동안 용체화처리를 한 것이다. 담금질 속도가 빠른 물 23°C에서의 경도 값이 담금질 속도가 느린 43°C, 60°C에서의 경도에 비해 우수함을 알 수 있다.

Fig. 10~Fig. 11에서 인공시효처리 온도 높을 경우(여기서, 210°C), 용체화처리 시간이 짧을수록 담금질 속도에는 크게 영향을 받지 않는다. 190°C에서 인공시효처리를 한 경우보다 전체적으로 경도가 낮다는 사실로부터 인공처리 온도 높을 것은 경도에 좋지 않은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

따라서, 위의 그림들로부터 열처리 조건, 즉 용체화처리와 인공시효처리의 시간과 온도에 따라서 표면경도의 평균값이 큰 차이를 볼 수 있었고, 열처리 조건이 경도에

영향을 미친다는 사실을 알 수 있었다.

### 3.3 예비성형체에 의한 기계적 성질의 향상

앞에서 한 열처리 조건 중에서 520°C에서 용체화처리를 4시간 한 후 수온 23°C에서 담금질을 하였고, 그리고 190°C에서 5시간 동안 시효경화 처리를 한 각각의 예비성형체에 대해 경도검사와 조직관찰을 하였다.

#### 3.3.1 예비성형체

본 연구에서는 예비성형체가 성형에 미치는 영향과 제품의 조직 및 기계적 성질에 미치는 영향을 알아보기 위해서 Fig. 12과 같이 예비성형체를 제안하였고 이에 따라 절단·가공한 후 단조하였다.

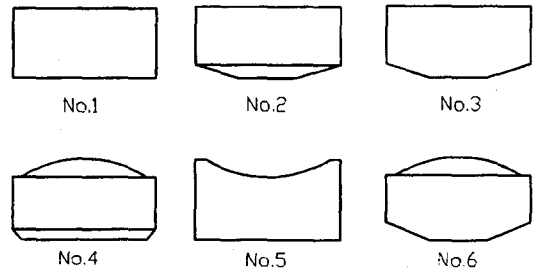


Fig. 12 Configurations of Preforms for Piston Forging

#### 3.3.2 경도

피스톤은 높은 압력과 온도에 견디어야 하므로 헤드 부분의 기계적 성질이 특히 중요하다. 실제 주조피스톤에 나타나는 결함은 헤드부분의 높은 압력과 온도에 의해 균열이 발생되는 것을 볼 수 있다. 앞에서 열처리 조건에 따라 평균경도값이 큰 차이를 보여주는 것을 알았다. Fig. 14, Fig. 15는 열처리를 한 예비성형체에 따른 헤드 부분(Fig. 13)의 표면 경도를 보여주고 있다. Fig. 14, Fig. 15에서 알 수 있듯이 각각의 예비성형체에 따라서 각점의 경도의 차이를 보이고 있으나, 각 예비성형체의 평균경도값은 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다. 그리고, 그 경도값이  $H_{RB} = 75 \sim 80$ 이므로 주조피스톤의 경도(Fig. 7)보다  $H_{RB} = 3 \sim 5$  더 크다는 사실을 알 수 있다. 그러므로 어떤 예비성형체도 주조피스톤의 경도보다 좋다는 사실을 알 수 있다. 위로부터, 평균경도값은 예비성형체의 형상에도 영향을 받지만, 열처리 조건에 의해 더 많은 영향을 받는다는 사실을 알 수 있었다.

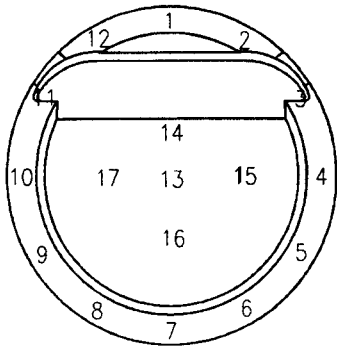


Fig. 13 Selected Points on the Surface of Forged Piston Head with Preforms for Hardness Test

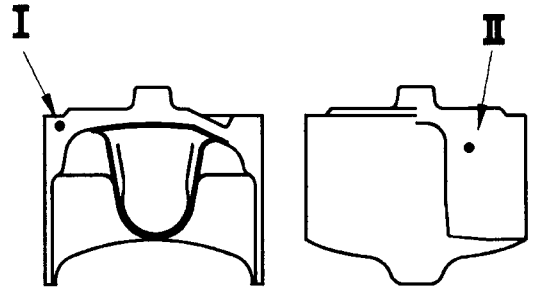


Fig. 16 Position for Microstructure Investigation

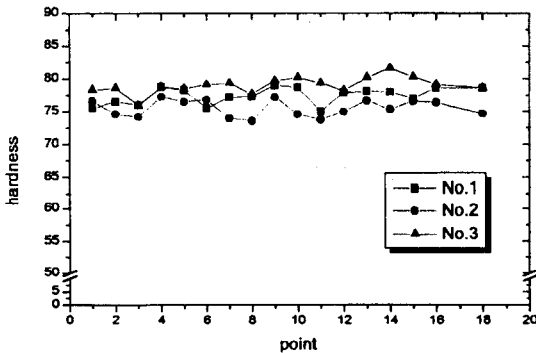


Fig. 14 Hardness on the Surface of Piston Head with Preform No.1, No.2 and No.3

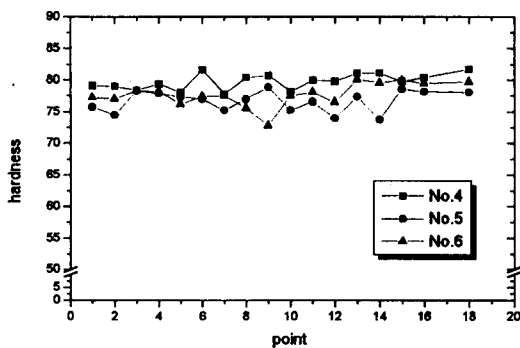


Fig. 15 Hardness on the Surface of Piston Head with Preform No.4, No.5 and No.6

### 3.3.3 조직

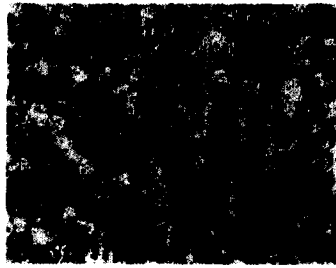
단조는 주조조직을 파괴하고 주조의 유해한 결함을 제거하여 미세하고 치밀한 단조조직을 얻어 기계적 성질을 향상시키는 것이 목적이다. 그러나 예비성형체의 형상에



Fig. 17 Microstructure at the Position I of a Cast Piston (×100)

따라 소성변형의 차이를 가져오게 되는데, 소성변형의 차이는 현미경조직의 차이를 일으키게 된다. 따라서 소성변형을 충분히 일으킬 수 있는 예비성형체를 선정함으로써 보다 미세하고 치밀한 단조품을 얻고자 하였다. Fig.16와 같이 헤드의 가장자리(I)와 핀보스부(II)에서 주조피스톤 및 성형된 제품의 조직을 관찰하였다. 피스톤 헤드는 연소시 높은 압력과 온도의 영향을 가장 많이 받기 때문에 이 부분의 성질이 무엇보다 중요하다. 그래서 위치 I에서 현미경 조직을 관찰·비교한 뒤 위치 II에서의 조직을 관찰·비교하였다.

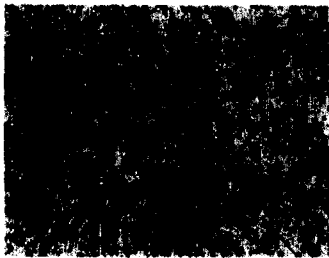
Fig.17은 위치 I에서 주조 피스톤의 조직을 보여주고 있다. Fig.18은 위치 I에서 Fig.12에 해당하는 각 예비성형체의 성형 후 조직을 보여주고 있다. 단조 후 제품의 조직은 주조품에 비해 미세해지고 치밀해지기는 하지만, 제품 전체적으로 미세하고 치밀한 것은 아니라는 것을 알 수 있다. 특히 Fig.18에서 예비성형체 No.1은 주조조직이 완전히 파괴되지 않았으며 조직이 치밀하지 못함을 알 수 있고, 예비성형체 No.2와 No.5는 어느 정도 주조조직이 파괴되었지만 여전히 주조조직이 남아 있음을 볼 수 있다.



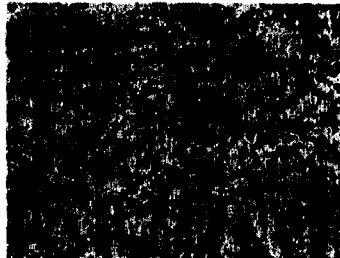
PREFORM No.1



PREFORM No.2



PREFORM No.3



PREFORM No.4



PREFORM No.5



PREFORM No.6

Fig. 18 Microstructures at the Position I of Forged Pistons ( $\times 100$ )

예비성형체 No.3과 No.6의 조직은 매우 미세하고 치밀하며, 주조조직이 많이 파괴되었음을 알 수 있다. 이는 주조에 의해 만들어진 Al 4032 소재가 열간 단조시 헤드 부분에 많은 소성변형을 받아 주조조직이 파괴되고 주조 결합이 제거되었음을 알 수 있다.

Fig.19는 위치 I에서 Fig.13에 해당하는 각 예비성형체의 성형 후 현미경 조직을 보여주고 있다. 이로부터 예비성형체 No.4와 No.6으로 성형한 제품의 조직은 매우 치밀함을 알 수 있다. 그러나 예비성형체 No.4의 경우는 위치 I에서 조직이 미세하지 못하고 치밀하지 않았다.

따라서 이상의 조직을 검토하여 볼때 예비성형체 No.6이 피스톤 단조용 초기소재로 가장 적절함을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

자동차용 엔진 피스톤을 알루미늄 합금 Al 4032를 사용하여 열간단조에 의해 제작하였다.

인서트의 배기구배에 따른 제품의 성형양상 및 특성을 관찰하였고, 예비성형체의 형상에 따른 피스톤 헤드 부위의 경도 및 현미경 조직을 관찰하였으며, 열처리 조건이



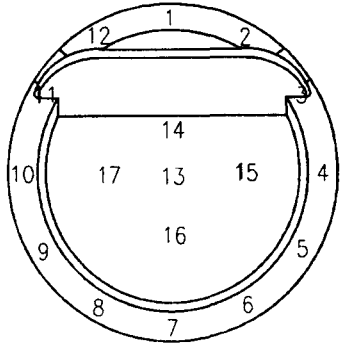


Fig. 13 Selected Points on the Surface of Forged Piston Head with Preforms for Hardness Test

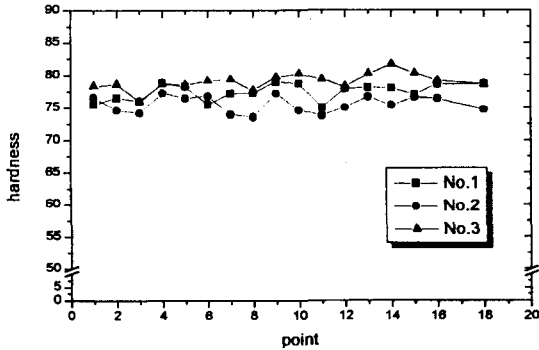


Fig. 14 Hardness on the Surface of Piston Head with Preform No.1, No.2 and No.3

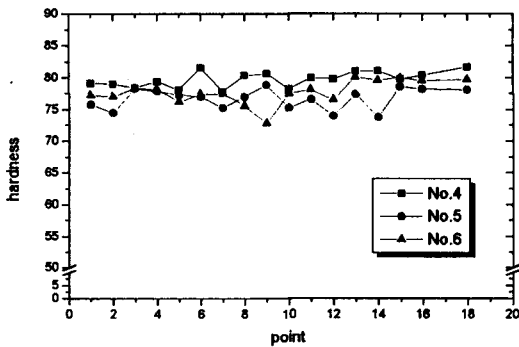


Fig. 15 Hardness on the Surface of Piston Head with Preform No.4, No.5 and No.6

### 3.3.3 조직

단조는 주조조직을 파괴하고 주조의 유해한 결함을 제거하여 미세하고 치밀한 단조조직을 얻어 기계적 성질을 향상시키는 것이 목적이다. 그러나 예비성형체의 형상에

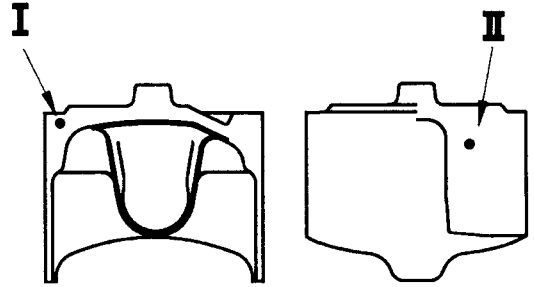


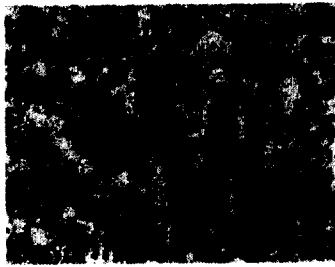
Fig. 16 Position for Microstructure Investigation



Fig. 17 Microstructure at the Position I of a Cast Piston (× 100)

따라 소성변형의 차이를 가져오게 되는데, 소성변형의 차이는 현미경조직의 차이를 일으키게 된다. 따라서 소성변형을 충분히 일으킬 수 있는 예비성형체를 선정함으로써 보다 미세하고 치밀한 단조품을 얻고자 하였다. Fig.16와 같이 헤드의 가장자리(I)와 핀보스부(II)에서 주조피스톤 및 성형된 제품의 조직을 관찰하였다. 피스톤 헤드는 연소시 높은 압력과 온도의 영향을 가장 많이 받기 때문에 이 부분의 성질이 무엇보다 중요하다. 그래서 위치 I에서 현미경 조직을 관찰·비교한 뒤 위치 II에서의 조직을 관찰·비교하였다.

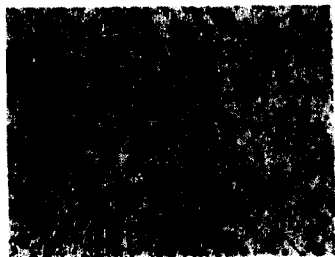
Fig.17은 위치 I에서 주조 피스톤의 조직을 보여주고 있다. Fig.18은 위치 I에서 Fig.12에 해당하는 각 예비성형체의 성형 후 조직을 보여주고 있다. 단조 후 제품의 조직은 주조품에 비해 미세해지고 치밀해지기는 하지만, 제품 전체적으로 미세하고 치밀한 것은 아니라는 것을 알 수 있다. 특히 Fig.18에서 예비성형체 No.1은 주조조직이 완전히 파괴되지 않았으며 조직이 치밀하지 못함을 알 수 있고, 예비성형체 No.2와 No.5는 어느 정도 주조조직이 파괴되었지만 여전히 주조조직이 남아 있음을 볼 수 있다.



PREFORM No.1



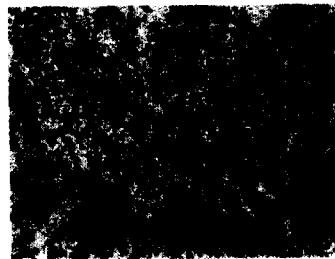
PREFORM No.2



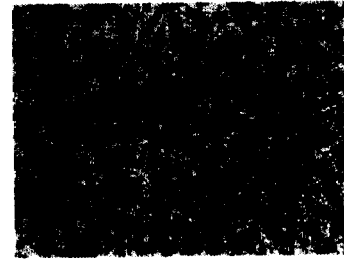
PREFORM No.3



PREFORM No.4



PREFORM No.5



PREFORM No.6

Fig. 18 Microstructures at the Position I of Forged Pistons (× 100)

예비성형체 No.3과 No.6의 조직은 매우 미세하고 치밀하며, 주조조직이 많이 파괴되었음을 알 수 있다. 이는 주조에 의해 만들어진 Al 4032 소재가 열간 단조시 헤드 부분에 많은 소성변형을 받아 주조조직이 파괴되고 주조 결합이 제거되었음을 알 수 있다.

Fig.19는 위치 I에서 Fig.13에 해당하는 각 예비성형체의 성형 후 현미경 조직을 보여주고 있다. 이로부터 예비성형체 No.4와 No.6으로 성형한 제품의 조직은 매우 치밀함을 알 수 있다. 그러나 예비성형체 No.4의 경우는 위치 I에서 조직이 미세하지 못하고 치밀하지 않았다.

따라서 이상의 조직을 검토하여 볼때 예비성형체 No.6이 피스톤 단조용 초기소재로 가장 적절함을 알 수 있었다.

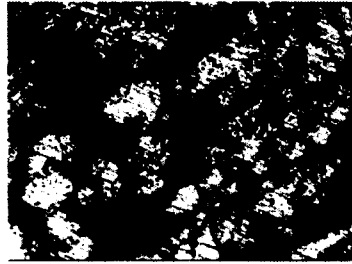
#### 4. 결 론

자동차용 엔진 피스톤을 알루미늄 합금 Al 4032를 사용하여 열간단조에 의해 제작하였다.

인서트와 배기구배에 따른 제품의 성형양상 및 특성을 관찰하였고, 예비성형체의 형상에 따른 피스톤 헤드 부위의 경도 및 현미경 조직을 관찰하였으며, 열처리 조건이



PREFORM No.1



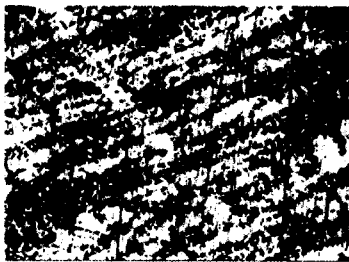
PREFORM No.2



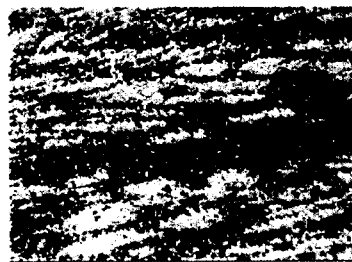
PREFORM No.3



PREFORM No.4



PREFORM No.5



PREFORM No.6

Fig. 19 Microstructures at the Position I of Forged Pistons ( $\times 100$ )

제품에 미치는 영향을 관찰하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

i) 자동차용 엔진 피스톤을 단조에 의해 제작함으로써 주조품에 비해 우수한 피스톤을 얻을 수 있었다.

ii) 폐기구배를 줌으로써 성형하중(약 36% 감소)을 상당히 줄일 수 있었을 뿐만 아니라 성형결함을 없앨 수 있었다.

iii) 단조피스톤에 적합한 열처리 조건을 찾았다.

iv) 피스톤 헤드부분과 핀보스부의 조직을 종합, 검토하

여 적절한 예비성형체(preform)를 선택하였으며, 이로 인해 주조조직을 완전히 파괴하여 미세하고 치밀한 단조 조직을 얻을 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 정밀산업(주)의 지원과 정밀정형 및 금형가공 연구센터의 협력하에 연구되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 小松二郎, "アルミニウム合金の金型鑄造," 輕金屬, 第35卷, 第7號, pp. 428-435, 1985.
2. T.M.Yue, G.A.Chadwick, "Squeeze casting of light alloys and their composites," J. of Materials Processing Technology, Vol. 58, pp. 302- 307, 1996.
3. 山下 幸一, 横川 和明, "アルミニウムの鍛造," 輕金屬, 第39卷, 第12號, pp. 930 -944, 1989.
4. 김태우, "구조 세라믹의 개발과 응용," 대한기계학회지, 제34권, 제5호, pp. 327-333, 1994.
5. C.H.Li, "Thermoelastic behaviour of aluminum diesel engine piston," SAE Paper 860163, pp. 1883-1893, 1982.
6. 李成振, 有限要素法에 의한 피스톤의 彈塑性 應力 解析에 관한 研究, 석사학위논문, 인하대학교, 1990.
7. 洪大熹, 機關 실린더 블록 및 피스톤의 熱的 舉動에 關한 解析, 석사학위논문, 고려대학교, 1987.
8. 김청균, "트라이볼로지 관점에서 본 피스톤-실린더 계의 연구 개발," 대한기계학회지, 제32권 11호, pp. 910-916, 1992.
9. W. Sander and S. Schoeckle, "Design and fatigue life evaluation of piston for high BMEP diesel engines," SAE Paper 790857 pp. 115- 129, 1979.
10. 김영호, 배원병, 김재철, 김형식, "알루미늄 단조 피스톤의 개발에 관한 연구," 한국 정밀공학회지, 제14권, 제9호, pp. 30-36, 1997.
11. 關口 常久, "アルミニウムの鍛造," 輕金屬, 第44卷, 第12號, pp. 741- 758, 1994.
12. 김영호, 배원병, 이종현, "MMT를 이용한 Al-7075 열간 압삭 단조의 가공하중 예측," 한국소성가공학회지, 제2권, 제3호, pp. 37-50, 1993.