

Table 1. 가단주철의 화학성분 (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr
MIN	2.00	1.20	0.40	-	-	-
MAX	3.00	2.50	0.70	0.30	0.10	0.50

정도로 확보할 필요가 있고, 조재의 두께를 피스톤링 완성 두께의 2~4배로 하지 않으면 안 된다. 또 탄소량이 적기 때문에 응고시의 흑연의 정출이 적게 되어 수축 경향이 강하며, 수축공이 없는 제품을 얻기 위해서는 압탕을 동일한 간격으로 다수 설계해 주어야 한다. 더욱이 1개의 압탕 중량도 1개의 조재 중량의 수배를 가지기 때문에 본 제품의 중량 회수율은 대단히 나쁜 6~8% 정도의 낮은 것으로 되어 있다.

2.2 가공 방법

종래부터 엔진의 경량화를 목적으로 피스톤링을 박육화 할 경우 고강도를 가진 가단주철을 이용하여 완성 두께가 얼마 되지 않은 1~2 mm 사양의 피스톤링을 설계가 가능 하였다. 그 결과, 현재 폐사에서 실제로 생산되고 있는 가단주철제 피스톤 링의 두께는 1.0~1.5 mm의 치수 사양의 것이 주류이다. 그러나 전술한 바와 같이 조재의 두께는 탕 흐름을 확보하기 위해 최저 두께 4 mm로 설계되어 있고 이것을 완성두께 1.0~1.5 mm로 가공하는 것은 약 3 mm 정도의 다량의 가공여유를 절삭하지 않으면 안되게 되어 있어 장시간의 연마가공에 의해 지석(숫돌)의 소모량이 증대되고 있다.

이 같은 주조성이나 가공성의 관점에서 가단주철제 피스톤링의 제조원가는 타 재질의 피스톤링에 비하여 고가로 되어 있어 생산량 증가와 같은 광범위의 보급은 이루어지지 않고 있다.

3. 통(筒) 주조공법의 검토

가단주철제 피스톤링 재의 생산성과 중량 회수율 향상을 꾀하는 것을 목적으로 종래의 1개 부어 만들기(주조) 공법에서 통(筒) 부어 만들기(주조) 공법으로의 변경에 관하여 검토 했다.

Fig. 2는 통 주조공법의 개략을 나타내었다. 통 주조공법은 용탕을 flange가 부착된 대나무 통상(筒狀)에 주입하여 내 외주의 황삭 가공후 slice절단 가공을 행하고, 최종 사상 연마(가공여유 0.15 mm)을 행한다. 이

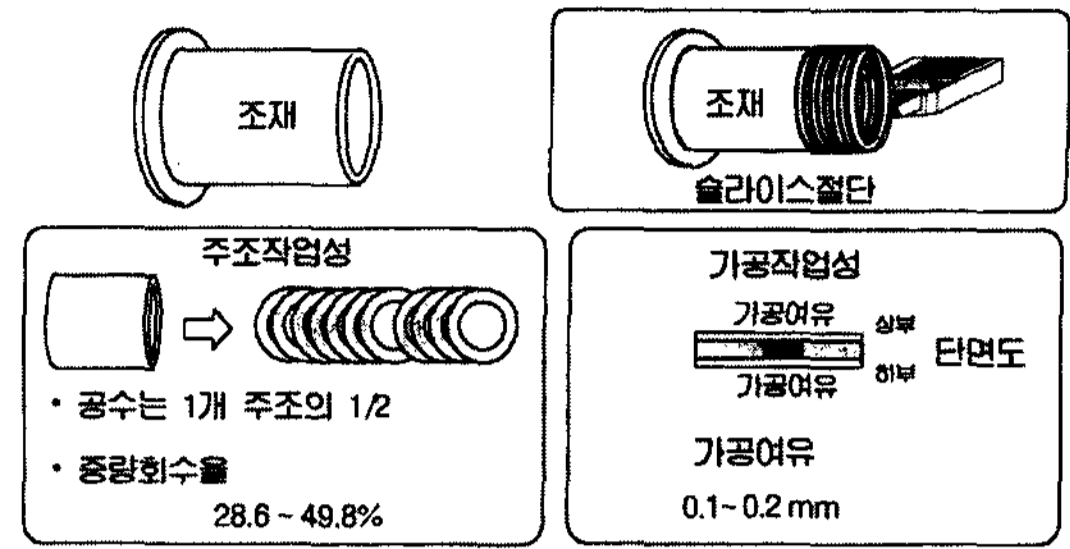


Fig. 2. 통(筒) 주조공법

Table 2. 1개 주조와 통주조의 다른점

	1개 주조	통 주조
중량 회수율	6~8	28~49
폭 가공여유	2~4	0.1~0.2

통 주조공법과 종래의 1개 주조공법의 중량 회수율, 가공여유를 정리하여 Table 2에 나타내었다. 1개 주조공법에 대하여 중량 회수율은 약 5배, 가공여유는 20분의 1로 개선 되었다. 피스톤 링으로 완성까지의 가공은 다른 공장에서 별도로 행하고 있어 여기에서는 그것들의 공법에 관해서는 설명을 생략한다.

1개 주조공법에서 통 주조공법으로 이행할 때의 문제점은 주방상태에서 전면 chill화 하지 않으면 안 된다 라고 하는 것이다. 1개 주조의 경우 링의 단면적이 작고 냉각속도가 빠르기 때문에 전면 chill조직을 얻는 것은 비교적 용이하지만 1개 주조와 같은 화학성분으로 용적이 큰 통 형상품을 주입할 경우 냉각이 늦어져 Fig. 3에 보인 바와 특히 flange부 근처에서 이상흑연이 정출되기 쉽다. 이 이상 흑연에 의해 가단주철의 강도는 현저히 저하하고 피스톤링 재로서 이용할 수 없게 된다.

이러한 이유 때문에 통 형상품을 전 chill화 시키기 위해 다음의 4가지 방법에 대하여 검토를 했다.

(1) C, Si 함유량을 더욱 저하시켜 chill화 촉진을 꾀한다: 현재의 화학성분의 CE치는 3.2이고, 이 이하로 CE치를 낮추는 것은 용해온도가 높게 되어 로체의 내열능력을 가지게 하는 설비상의 조업이 곤란하게 된다. 이것들 때문에 이 이하로 CE치를 낮추는 것은 곤란하다고 판단 했다.

(2) Cr, Mo등의 chill화 촉진 합금원소를 첨가한다: Cr이나 Mo과 같은 chill화 촉진원소를 첨가하는 것에 의해 전면 chill조직을 얻을 수 있지만 탄화물이 후의

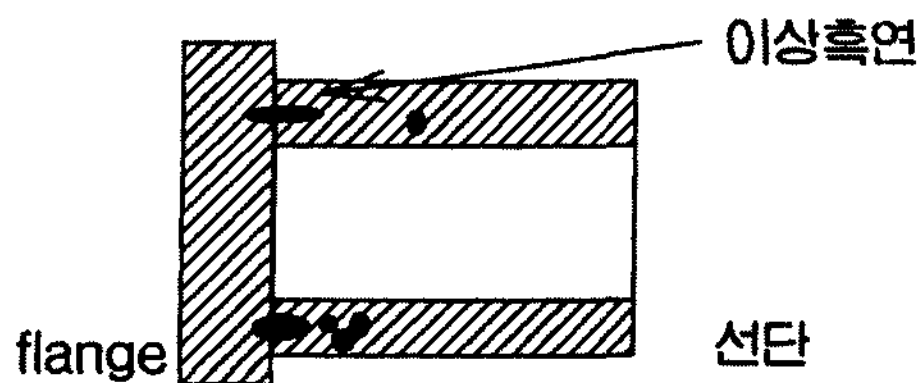


Fig. 3. Flange 근처의 이상흑연 영역

연화 소둔처리지 분해하기 어려워 제품에 잔존해 버려 가공성을 악화시킨다. 또 탄성률이나 경도 등의 재질 특성이 악화되기 때문에 피스톤링 재질로서는 좋지 않다. 이 때문에 Cr이나 Mo의 첨가는 전면 chill화를 실현하지만 재질을 변화시키기 때문에 부적절하다고 판단했다.

(3) 희토류 원소(RE)를 과잉 첨가하여 전면 chill화를 실현한다: RE는 유허량과 화학 양론적인 량을 첨가하는 것에 의해 흑연화를 촉진하는 효과가 있는 것으로 알려져 있지만 과잉 첨가하면 역으로 chill화를 촉진시켜 버린다. 금회에 그 작용을 이용하여 RE 첨가시험을 행한 결과 RE를 0.25mass%(이하 %로 약함) 이상 첨가하는 것으로 소정의 통 형상품을 전 chill화시키는 것이 가능하다는 것이 확인되었다. 그러나 이 같이 다량 첨가를 행하면 RE의 금속간 화합물이 발생하여 이들이 hard spot으로 되어 더욱 연화소둔, 소입, 소려 처리에 의해 분해되지 않고 조재에 잔류하여 피스톤링 재질로서는 좋지 않음을 알 수 있었다.

(4) chill화 촉진 원소인 Bi를 첨가 한다: Bi도 과잉 첨가하면 chill화를 촉진한다.

금회 이 Bi의 첨가량을 0.010~0.075%까지 변화시켜 4가지의 실험을 행 하였다.

4. 실험 방법

용해는 주철, 강 스크랩, 반재를 고주파 유도로에서 500 kg을 용해하고, Fe-Si, Fe-Mn을 첨가하여 소정의 성분으로 조정했다. 그 후 1973K까지 승온시켜 500 kg 도가니에 출탕 했다. 주탕은 500 kg 도가니로부터 주탕 도가니에 분배할 즈음에 Table 3에 보인 목표 성분이 되도록 금속 Bi를 첨가 했다. 온도는 분배시가 1873~1923K, 주탕시가 1823~1853K로 조정 했다.

주형은 종래의 무화사형에 통상(筒狀)의 주형을 9개

Table 3. Bi 첨가시료의 화학성분 (mass%)

No	Bi첨가량	C	Si	Mn	Bi
1	0.010	2.62	2.21	0.64	0.004
2	0.030	2.57	2.21	0.66	0.011
3	0.050	2.56	2.20	0.66	0.016
4	0.075	2.56	2.17	0.67	0.019

취부한 방안으로 했다.

5. 실험결과 및 고찰

Bi량을 변화시켜 4종류의 통(筒)을 주방상태에서 과 단한 상태의 모식도를 Fig. 4에 보였다. Chill면은 백색이지만 이상흑연이 발생되어 있는 개소가 검은 입상으로 보이기 때문에 이 입상의 것이 관찰된 위치를 통 선단에서 측정하고, 여기에서는 그 길이를 전면 chill 길이라고 정의 했다. 이 결과를 Fig. 4에 나타 내었다.

Bi첨가량이 증가할수록 이상흑연이 발생하는 위치는 선단에서 flange측으로 이동하고 있고 chill 조직부가 넓어져 가는 것을 확인할 수 있었다. 폐사에서 규정하고 있는 이상흑연 조직은 주입시에 정출하는 것으로 ASTM분류에 의하면 E형 또는 D형 흑연조직에 상당 하는 것이다.

더욱이 같은 조건에서 구조한 통(筒)을 소둔한 후 절 단하여 석출된 흑연조직을 관찰한 결과를 Fig. 5에 보

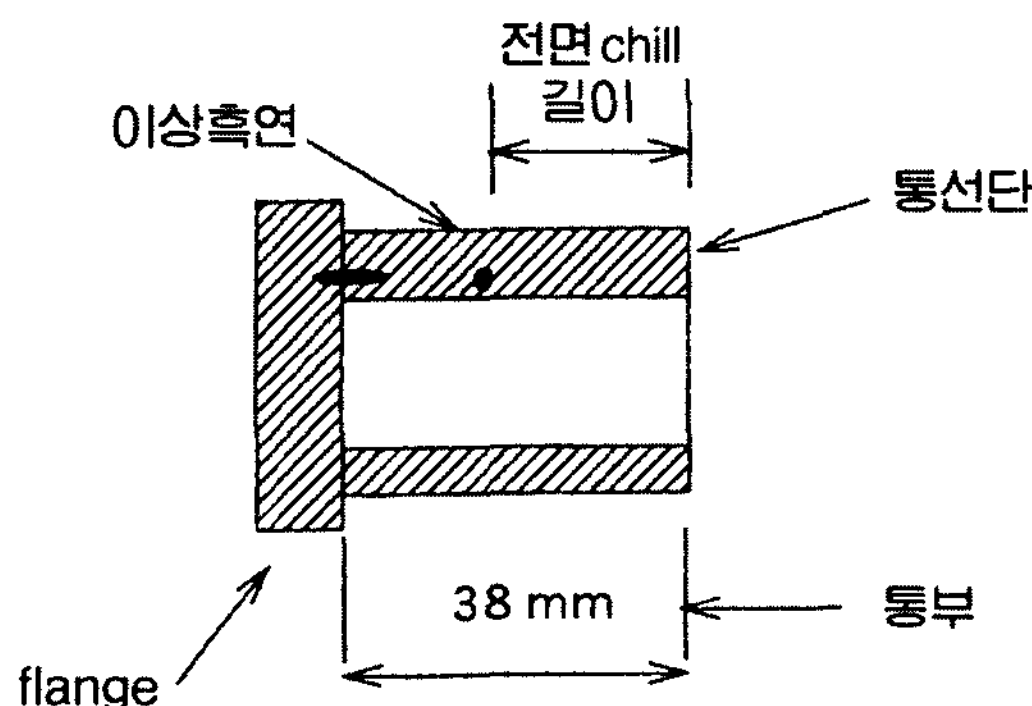


Fig. 4. Chill길이의 측정위치

Table 4. 전면 chill 길이와 평가

	Bi첨가량	전면 chill길이	평가
1	0.010	22	×
2	0.030	30	×
3	0.050	36	△

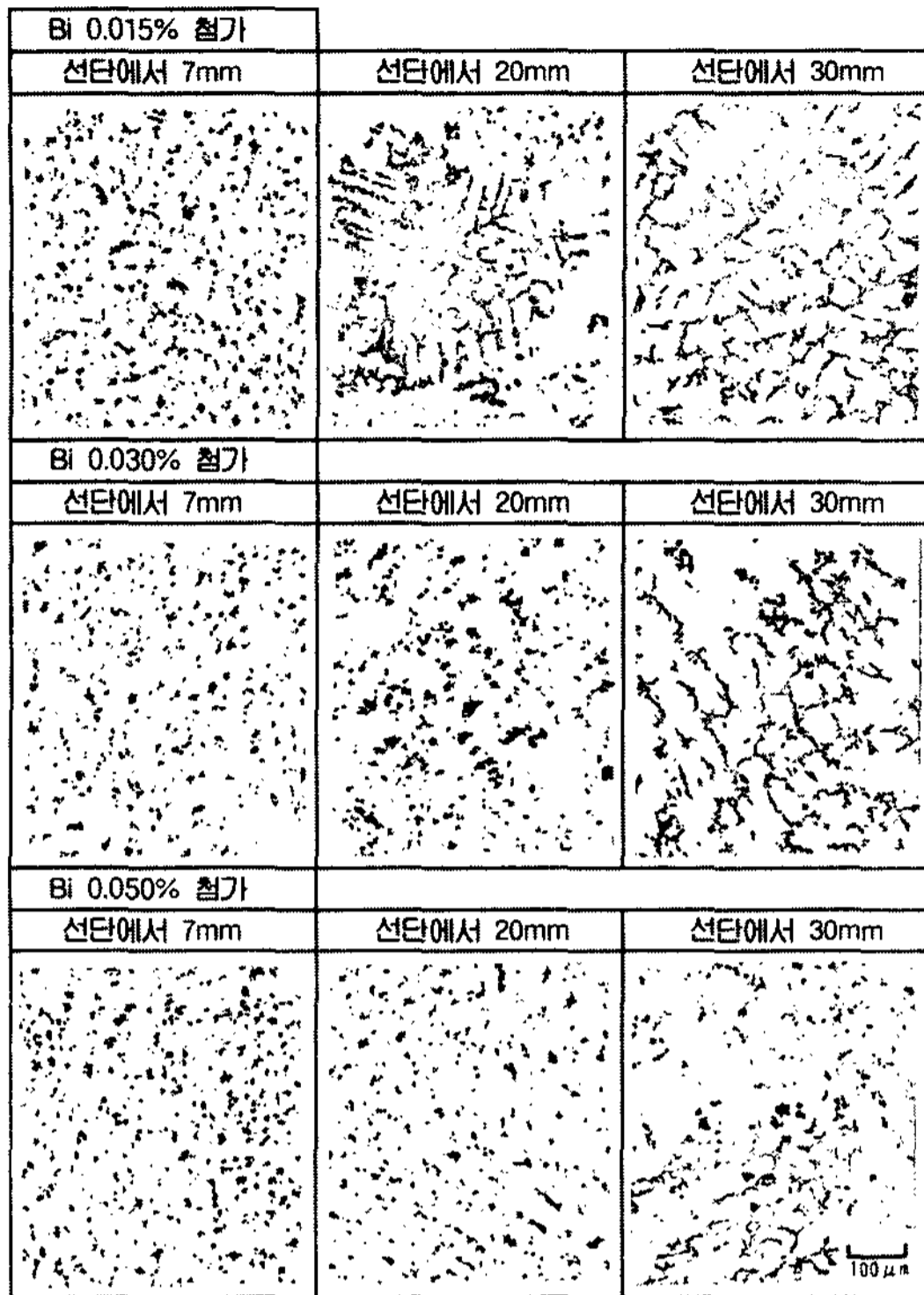


Fig. 5. Bi 첨가시료의 조직

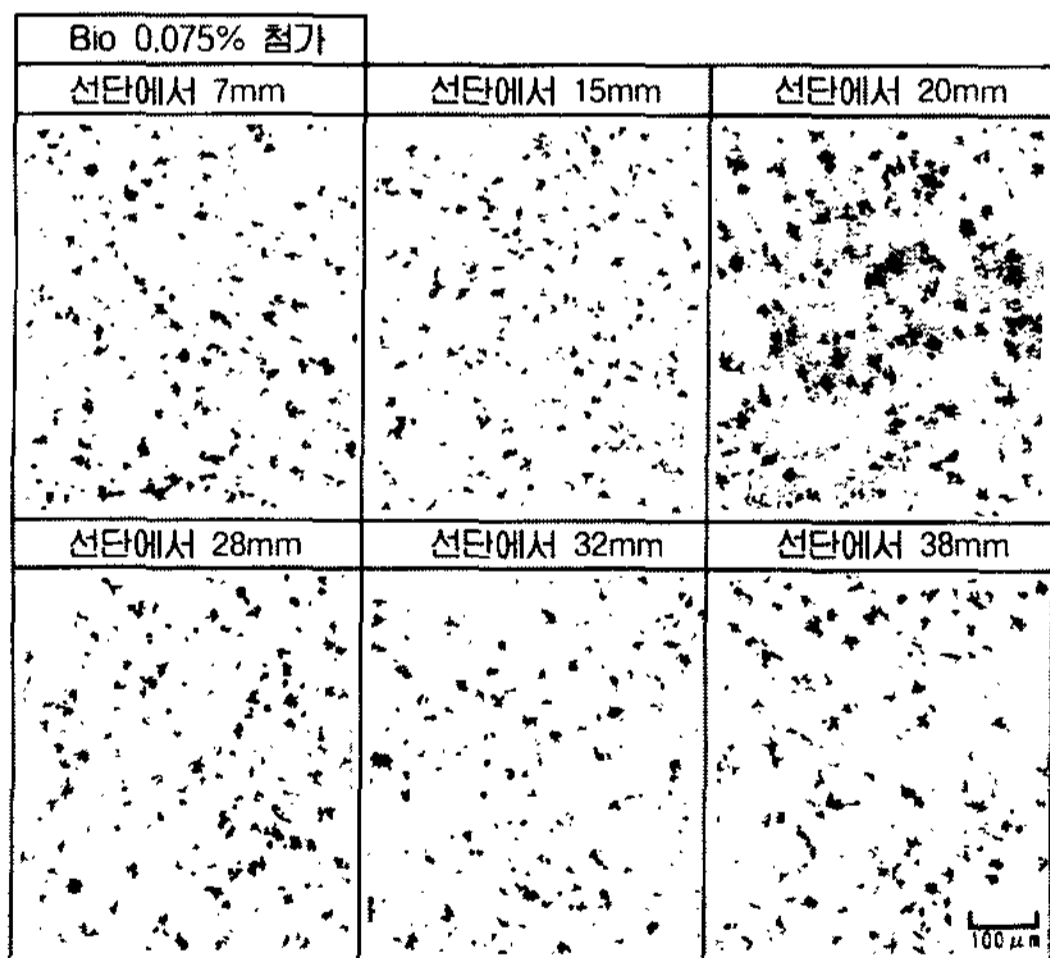


Fig. 6. 0.075%의 Bi 첨가시료의 조직

였다. Bi의 첨가량이 0.010, 0.030, 0.050%로 증가함에 따라 파단면의 목시 관찰 결과와 같이 이상흑연이 선단에서 flange측으로 이동되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

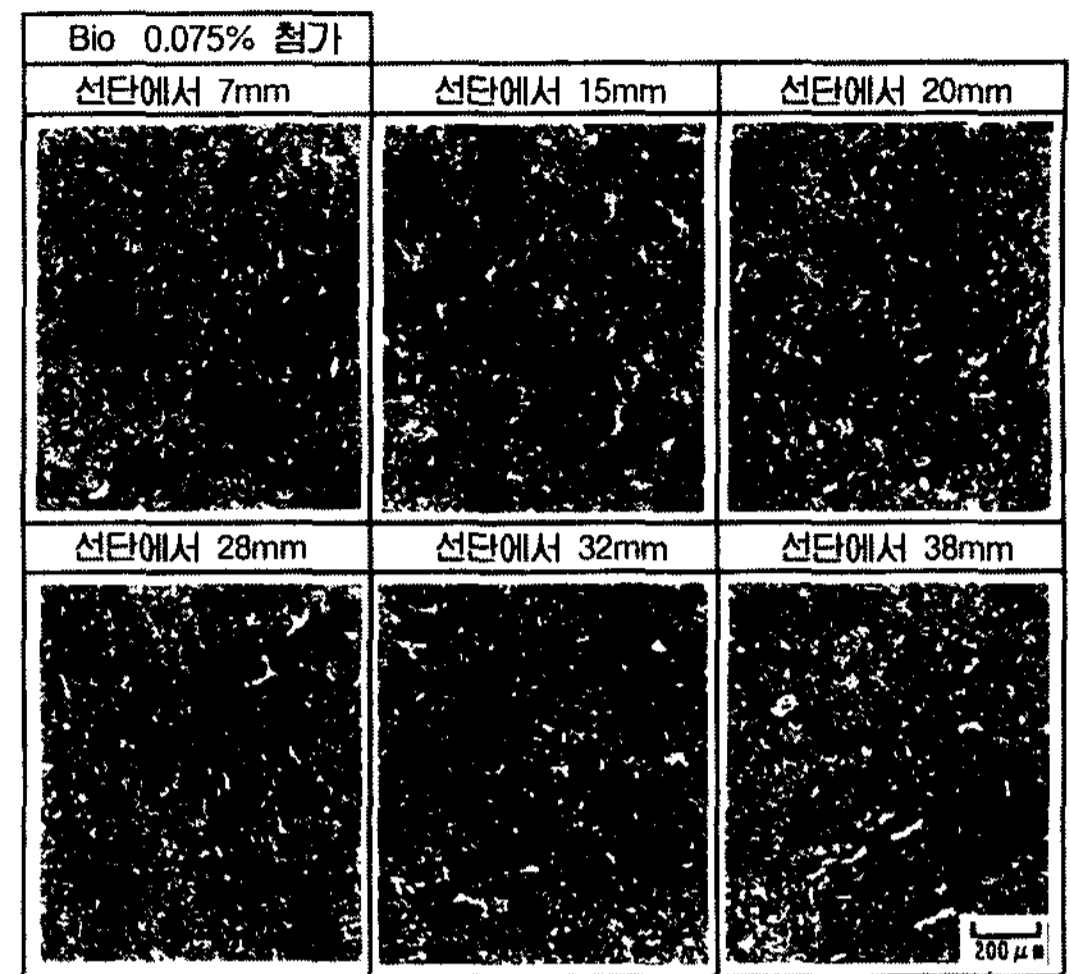


Fig. 7. 0.075% Bi 첨가시료의 기지조직

더욱이 Bi를 0.075%첨가한 시료에서는 Fig. 6과 Fig. 7에 보인 바와 같이 현미경으로 관찰할 수 있는 이상흑연은 관찰되지 않았고, 기지조직도 소려 martensite로 되어 Bi첨가에 기인하는 탄화물이나 금속간 화합물은 관찰되지 않았다.

그러나, 지금까지 기술 한 바와 같이 파단면의 관찰에서 통 전체의 이상흑연의 발생 유무를 판단하는 것은 곤란하며 파단면 관찰로 이상흑연을 관찰할 수 없어도 다른 위치에서 파단면에 닿지 않는 개소에서 발생할 가능성은 있다.

이 때문에 이 이상흑연을 검출하는 방법으로서 통의 국부적인 위치의 기계적성질을 구하여 강도의 차이를 비교하여 평가하는 방법을 검토 했다.

현미경으로 조직 관찰한 것과 같은 조건으로 주조된 통을 돌절(突切)가공, 윤절(輪切)가공을 실시하여 피스톤링 형상으로 시편을 제작 했다. 이 피스톤링 형상의 시험편을 이용하여 탄성률, 항절력을 측정하여 이상흑연 정출에 의한 강도의 저하가 실제 그 부위에 발생하고 있지 않은지를 확인 했다.

이것에 의해 파단면의 관찰로 발견할 수 없었던 이상흑연 존재의 유무가 기계적 강도 저하에 따라 확인할 수 있게 되어 보다 정확한 이상흑연 발생과 그 범위를 특정할 수 있게 된 것으로 추측 되었다. 이 같이 하여 얻어진 기계적성질을 통 위치에 따라 정리하여 Fig. 8, Fig. 9에 보였다.

Fig. 8은 통 선단에서 거리와 그 위치에 따라 잘라

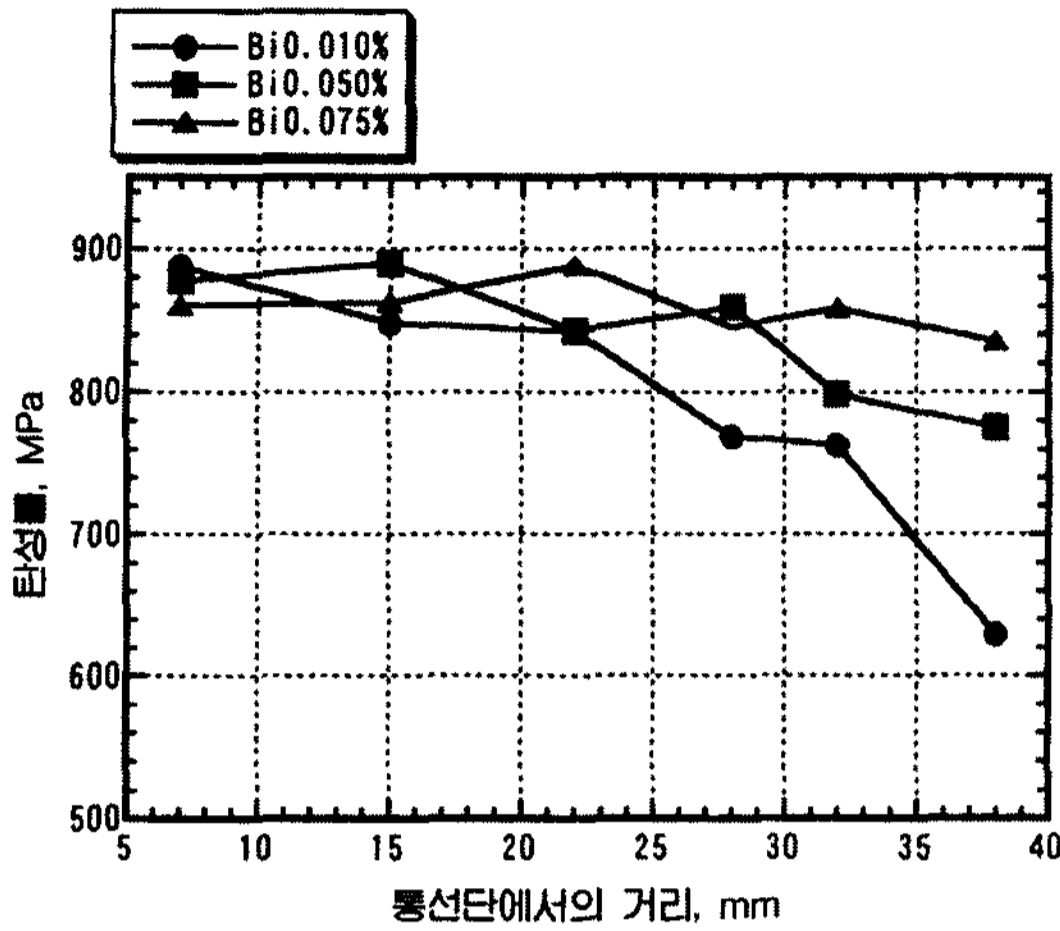


Fig. 8. 통 선단에서의 거리와 항절력의 관계

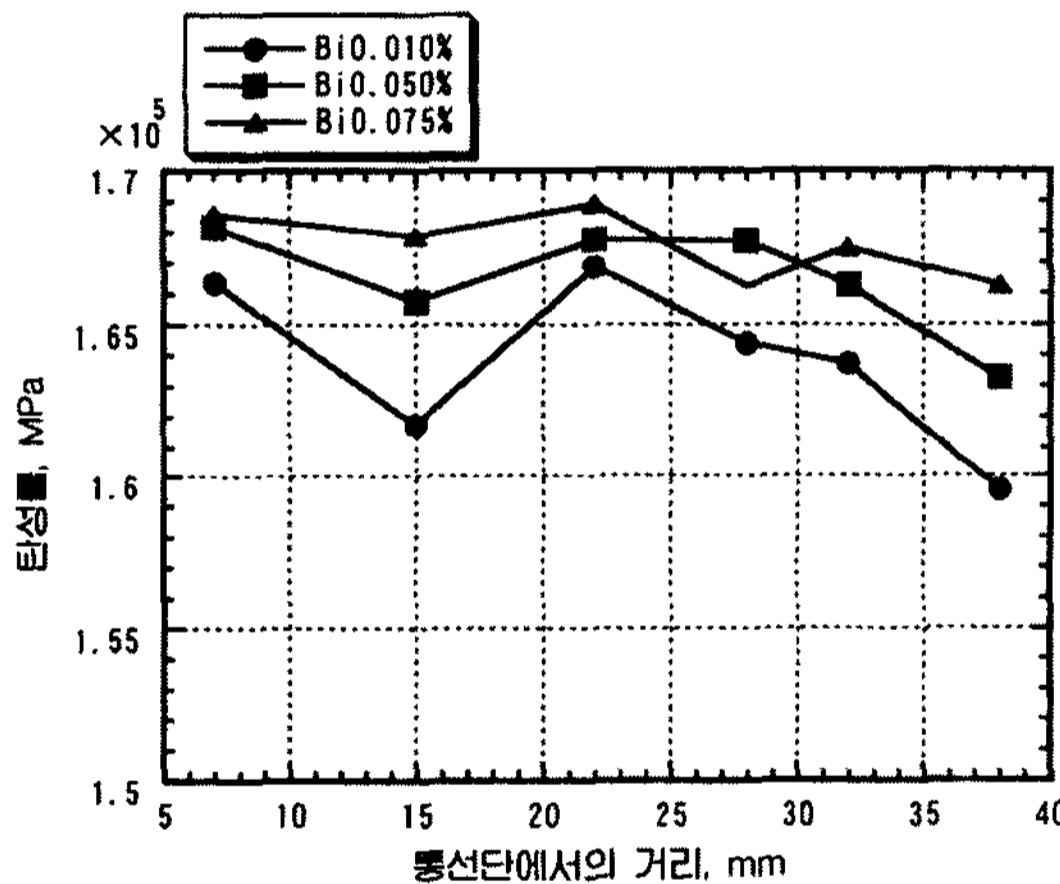


Fig. 9. 통 선단에서의 거리와 탄성률의 관계

나타난 피스톤링 형상 시료의 90~270°의 부위를 인장 시험기에서 파단 하기까지 확장하고 그 때의 하중에서 구한 항절력의 관계를 나타내었다. Bi를 0.010% 첨가한 시험편에 관해서는 선단에서 28 mm 부근에서 항절력의 저하를 보였고, 38 mm 부근에서는 629.3 Mpa이 되었다. Bi를 0.050% 첨가한 시료는 32 mm에서 항절력의 저하가 시작되고 있다. 이에 반해 0.075% 첨가한 시료에서는 38 mm의 개소에 있어서도 항절력의 저하는 보이지 않았으며 이상흑연의 발생은 없는 것으로 추측되었다.

같은 통 선단에서 거리와 그 위치에 따라 잘라 낸 피스톤링 형상 시료의 탄성률의 관계를 Fig. 9에 보였

Table 5. Bi 축적량 변화 (mass%)

반복회수	첨가량	RS잔존량	축적량
1	0.075	0.019	0.002
2	0.075	0.018	0.002
3	0.075	0.017	0.002
4	0.075	0.018	0.002

다. Bi를 0.075% 첨가한 시료에서의 결과가 가장 우수 하였다.

이상과 같이 Bi를 0.075% 첨가한 시료의 경우 이상흑연은 38 mm의 통부에 있어서도 보이지 않았으며, 전면chill의 형상으로 되어 있는 것으로 기계적성질의 조사 결과에서 추측할 수 있었다.

다음에 실제의 조업에 있어 문제점으로 반재(return scrap)를 되풀이 사용하여 용해할 경우 Bi의 축적을 생각하여야 한다. 이것을 확인하기 위해 반복 용해시험을 4회 실시하여 Bi 축적량의 변화를 조사한 결과를 Table 5에 나타내었다.

첨가량은 주탕 도가니에 분배 시 첨가한 Bi량이며, 리턴스크랩(RS) 잔존량은 반재로 사용하는 절분 등에 포함되어 있는 Bi의 량, 축적량은 용해 1973K로 될 때에 채취한 용탕에 포함되어 있는 Bi의 량이다. 이 결과 축적량은 4회의 시험으로도 0.002%로 나타나 Bi의 축적은 거의 보이지 않았으며, 1973K의 용해에 의해 반재에 포함되어 있는 Bi은 그 정도가 보이지 않을 정도로 미미함을 알 수 있었다. 이것은 Bi의 용점이 1843K이기 때문에 1973K까지의 용해 승온 중에 증발하는 것으로 생각되어진다.

6. 결 언

본 연구에 있어서 가단주철제 피스톤링의 재질개선과 중량 회수율의 향상을 꾀하는 방법으로서 Bi의 첨가에 의해 전면 chill화한 통(筒) 주조공법의 검토를 행한 결과 이하의 결론을 얻었다.

(1) 가단주철제 피스톤링 재에 있어 Bi를 0.075% 첨가한 결과 종래의 1개 부어 만들기(주조) 공법과 유사한 재질 특성을 가지며, 이상흑연의 발생도 보이지 않는 전면chill화 한 통 형상품을 얻을 수 있었다. 이에 따른 중량 회수율은 22~41% 개선이 가능하게 되었다.

(2) 1973K의 재용해 과정에 있어서 Bi는 용탕에 축

적이 없었고 반복 조업에서도 재질적인 문제가 발생하지 않는 것으로 확인 되었다.

이상에 의해 가단주철제 피스톤링 재의 재질개선과 중량 회수율 향상에 있어서 Bi를 첨가한 통 주조방법이 유효하다는 것을 확인 할 수 있었다. 향후 2륜차 및 범용 소형 엔진에 이용되고 있는 직경 25~60 mm 정도의 비교적 직경이 작은 박육 피스톤링에 있어서 보급을 꾀 할 수 있으리라 기대할 수 있다.

끝으로, 본 연구를 위해 지도, 협력해 주신 岩手大學 工學部 堀江皓 교수를 비롯한 본 연구에 관계한 분들에게 감사표 표합니다.

참 고 문 헌

- [1] 李尙學, 平貞人塚, 堀江皓, 小綿利憲, 崔昌 : 鑄造工學 74, (2002) 285.
- [2] 堀江皓, 小綿利憲 : 鑄物 60, (1988) 173.