

技術資料

鑄鐵의 連續鑄造法

崔 昌 鉦 \*

Continuous Casting of Ductile and Grey Cast Iron

C. O. Choi \*

1. 서 언

주철주물은 일반적으로 사형주조에 의해 만들어지나, 여러가지 단면 형상을 갖는 흑연주형 (die)에 의하여 연속적으로 주조하는 연속주조법도 이용되고 있다.

최근 절삭가공의 자동화에 따라 이에 적합한 각종 형상의 주조재를 연속주조법에 의하여 제조되어 사용하고 있다. 주조재는 수평연속주조방식에 의하여 제조되므로 단면형상이 다른 여러가지 봉재로서 공급되고 있다. 이는 주조결합이적이고 기계가공성이 양호하므로 사형주물이나 보통강재로부터 연속주조재로 대체되는 경우가 많다.

주철의 수평연속주조기는 1955년 스위스 Wertil사에서 실용화된 이후 1959년에 독일이 이를 도입하여 수평연속주조법의 주도국이 되었으며 일본에서는 1962년에 도입하여 지금까지 이용되고 있다. 또한 영국의 Eurocast Bar사 및 덴마크의 Tasso Odense사 등은 유럽의 주철 연속주조재 전문생산업체로서 널리 알려져 있으며 이들 모두 Meehanite 주조기술을 도입하여 Meehanite 재질의 제품을 생산하고있다.

최근 자동차수요의 증가와 더불어 주철 연속주조재의 생산량은 매년증가되어 1985년 일본의 연속주조재의 생산량은 38,000ton 으로 선철 주물 생산량의 약 0.9%를 점유하며 매년 증가 경향을 나타내고 있으며 또한 유럽은 110,000ton과 미국은 50,000ton을 생산하는 것으로 알려지고 있다.

2. 제 조 법

주철의 수평연속주조법은 용탕을 수냉흑연주형

(die) 중에서 응고시키면서 연속적으로 인발하여 주철봉을 만드는 방법으로서 제조장치를 나타내면 그림 1과 같다. 또한 사진 1 및 사진 2에 나타낸다.

용해로에서 용해된 주철용탕은 보온로에 옮겨 가열, 보온된다. 보온로 중의 주철용탕은 보온로 저부로부터 출탕, 수냉된 흑연주형 중에서 응고되어 인발장치에 의하여 연속적으로 인발되어 절단기에서 일정한 길이로 절단된다.

따라서 연속주조 설비는 보온로, 냉각장치, 주형, 인발장치, 운송테이블, 절단장치 등으로 구성 되어 있다. 현재 사용되고 있는 연속주조설비의 주요제조업체는 서독의 Technica Guss사로 알려져 있다. 이 제조법에 있어서 용탕의 냉각속도, 인발속도, 일정길이의 절단등 관리는 모두 제어장치에 의하여 자동적으로 조작된다. 흑연주형 중에서 응고된 주철은 800~1,000℃의 온도에서 주형으로 부터 대기중으로 인발되어 냉각속도가 늦게 되므로 고온의 중심부로부터 재가열 되어 자기소둔 된다.

주철의 용탕은 공정점에서 공냉, 응고하여 공정점부근을 서냉하므로 흑연주형에 의한 냉각속도는 빠르나 시멘타이트가 존재하지 않는 미세한 공정흑연 조직으로 되어 내외 균일한 조직으로 된다. 또한 구상화처리를 실시한 용탕을 사용하여 페라이트계 구상흑연주철재 및 퍼얼라이트계 구상흑연주철재를 제조 할 수 있다. 자동화된 단일라인의 제조공정이므로 품질관리를 실시하기 쉽고 안정된 품질의 제품을 단시간에 제조할 수 있다.

수평연속주조법에 의하여 제조된 주철재의 특징은 다음과 같다.

- (1) 수축공, 핀홀, 사흔입등 주조결합이 극히 적고 품질의 신뢰성이 높다.
- (2) 내부결합이 적고 철화가 없으며 기계가공성

\* 동아대학교 금속공학과

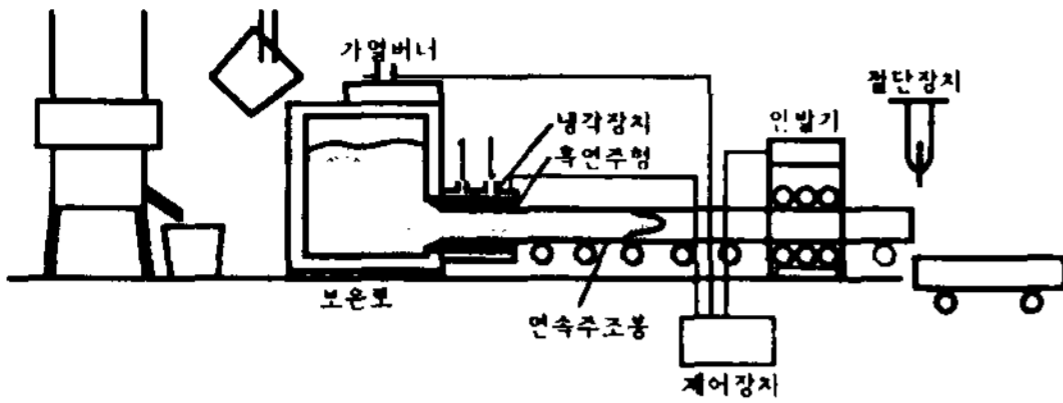


그림 1. 주철의 연속 주조장치

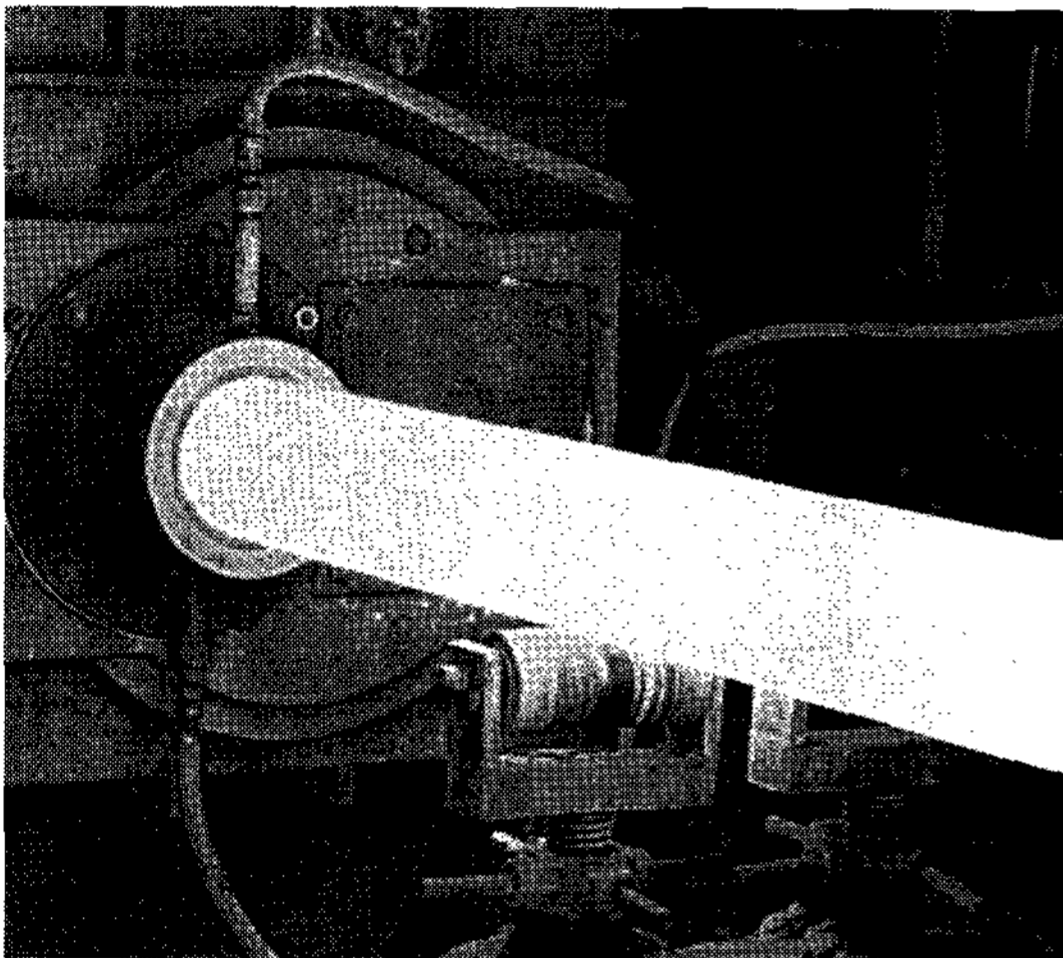


사진 1. 연속주조재와 보온로

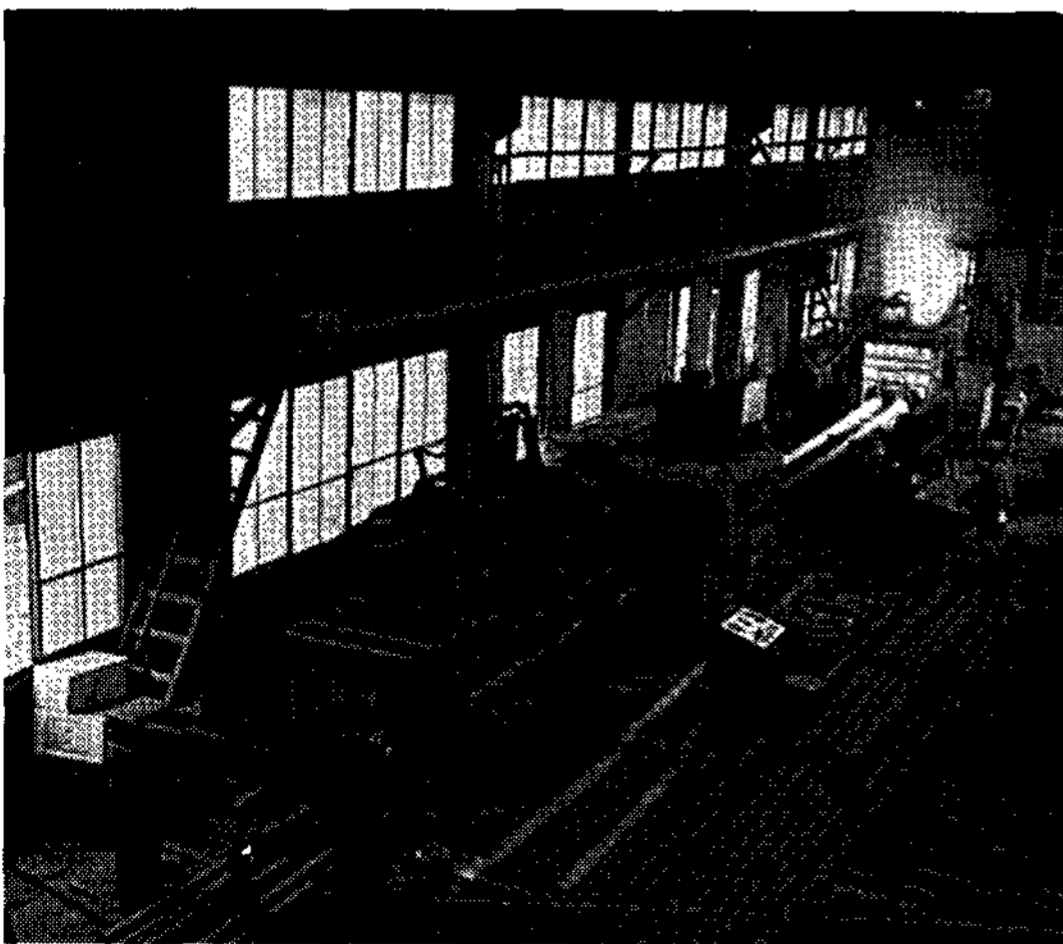


사진 2. 연속주조재의 제조장치

이 우수하다.

- (3) 찌투정도가 높고 표면이 미려하여 가공 회수율이 높다.
- (4) 환, 반환 각등 각종 단면형상의 봉재가 길이

에 제한없이 제조 가능하다.

- (5) 내외 모든 조직이 균일하고 기계가공성이 우수하다.

### 3. 연속주조재의 성질

연속주조법에 의한 주철재는 내외가 균일한 공정흑연조직이므로 사형주물과 비교하여 기계적성질이 우수하다.

#### 3.1 화학성분

주철의 연속주조재의 화학성분은 사용조건, 형상, 찌투등에 의하여 결정하나 통상 표 1의 범위 내에 있다. 이외에 회주철에 Ti를 소량 첨가하여 내부까지 균일한 공정흑연조직을 얻고 있다. 사용조건에 의하여 Ni, Cr Mo, Sn 등 합금원소를 첨가하는 경우가 있다.

표 1. 연속주조재의 화학성분 %

재 질	C	Si	Mn	P	S
회주철	2.8~3.6	2.2~2.9	0.4~0.6	<0.5	<0.1
구상흑연주철	3.4~3.9	2.6~3.2	<0.6	<0.15	<0.02

#### 3.2 현미경조직

주철의 연속주조재의 파면은 흑연주형내에서 응고하는 흑외각부와 흑연주형으로부터 인출된후 외각부를 통하여 방냉되어 응고하는 백중심부로 나눈다. 외각부는 수냉된 흑연주형에 의하여 냉각되므로 냉각속도는 사형주물과 비교하여 약 30배 빠르며 조직은 대단히 치밀하고 백선화 경향을 표시하나 흑연주형으로 부터 인출된 후에 용융상태에 있는 중심부의 열에 의하여 과열되어 자기 소둔이 일어나 시멘타이트의 잔유가 방지된다. 한편 방냉에 의하여 응고하는 중심부는 냉각속도가 늦어 사형주물에 가깝지만 커다란 압탕을 가지고 있기 때문에 수축소, 조대결정 등의 발생이 없다.

회주철의 연속주조재는 중심부의 흑연형상에 의하여 분류한다. 즉 외각부는 항상 공정상흑연조직이 되지만 중심부가 편상흑연조직의 중심부 편상흑연형상과 중심부가 공정상흑연조직의 중심부공정상흑연 형상으로 나눈다. 주철의 특성이 조직에 의하여 결정되는 것과 같이 회주철의 연속주조재도 그 특성은 어느 형상에 속하는가에 의하여 크게 좌우된다.

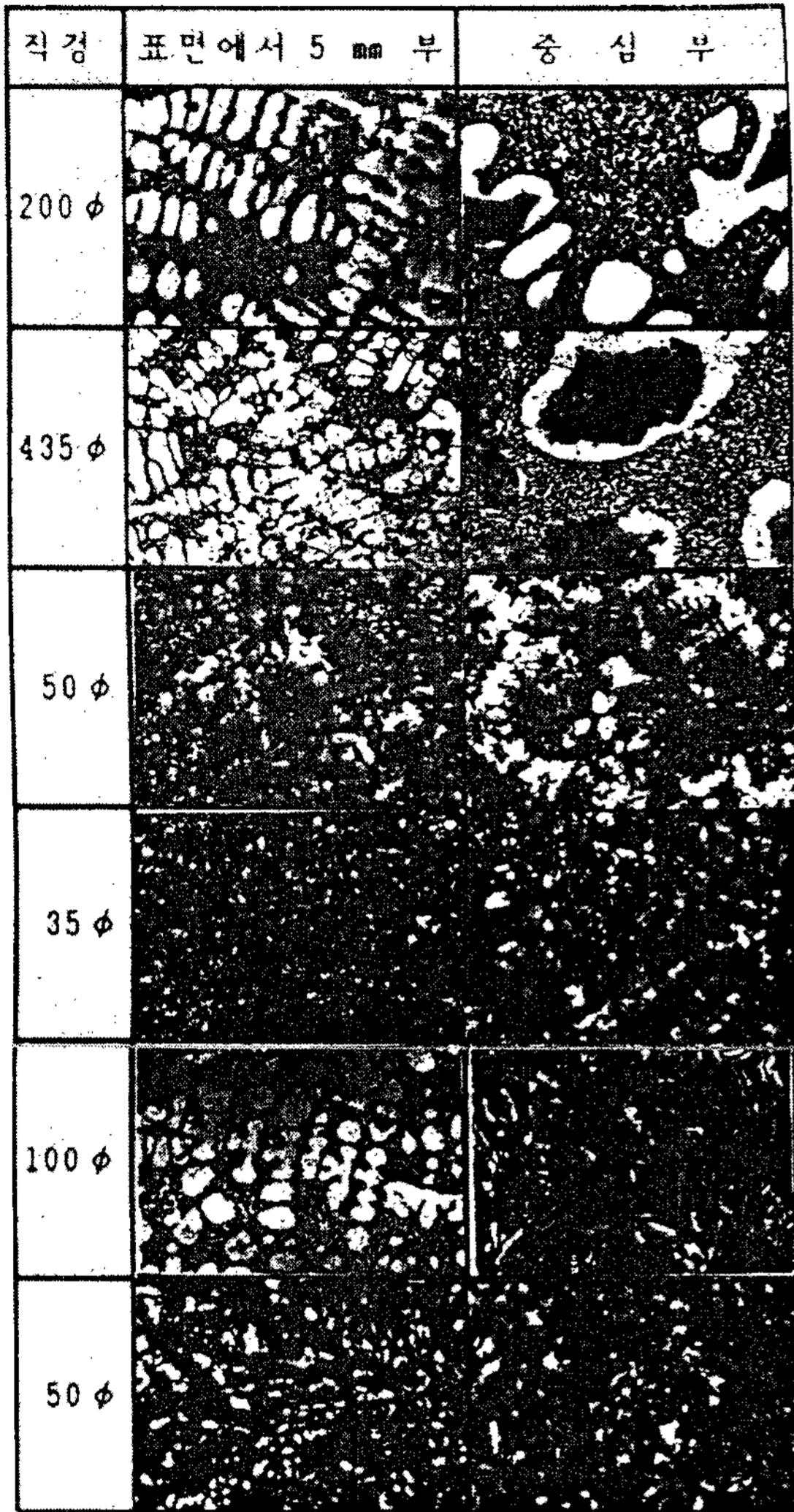


사진 3. 회주철의 연속주조재 현미경조직

중심부 편상흑연 형상의 경우는 흑연주형내에서 응고하는 외각부는 냉각속도가 빠르므로 과냉공정 응고를 하여 공정상흑연조직인 치밀한 조직으로 되지만 흑연 주형외에서 응고하는 중심부는 냉각속도가 늦어 보통의 사형주물과 동일하게 편상흑연조직이 된다. 또한 두께감도가 작용하여 조대한 조직으로 된다. 초기 회주철의 연속주조재는 대부분 이에 속하며 외각부와 중심부의 조직이 크게 다르므로 성질도 차이가 있어 용도에 제한을 받았다.

중심부 공정상흑연형상의 경우는 외각부는 중심부 편상흑연형상과 같이 공정상흑연조직이며 중심부도 같은 공정상흑연조직으로서 내외 동일

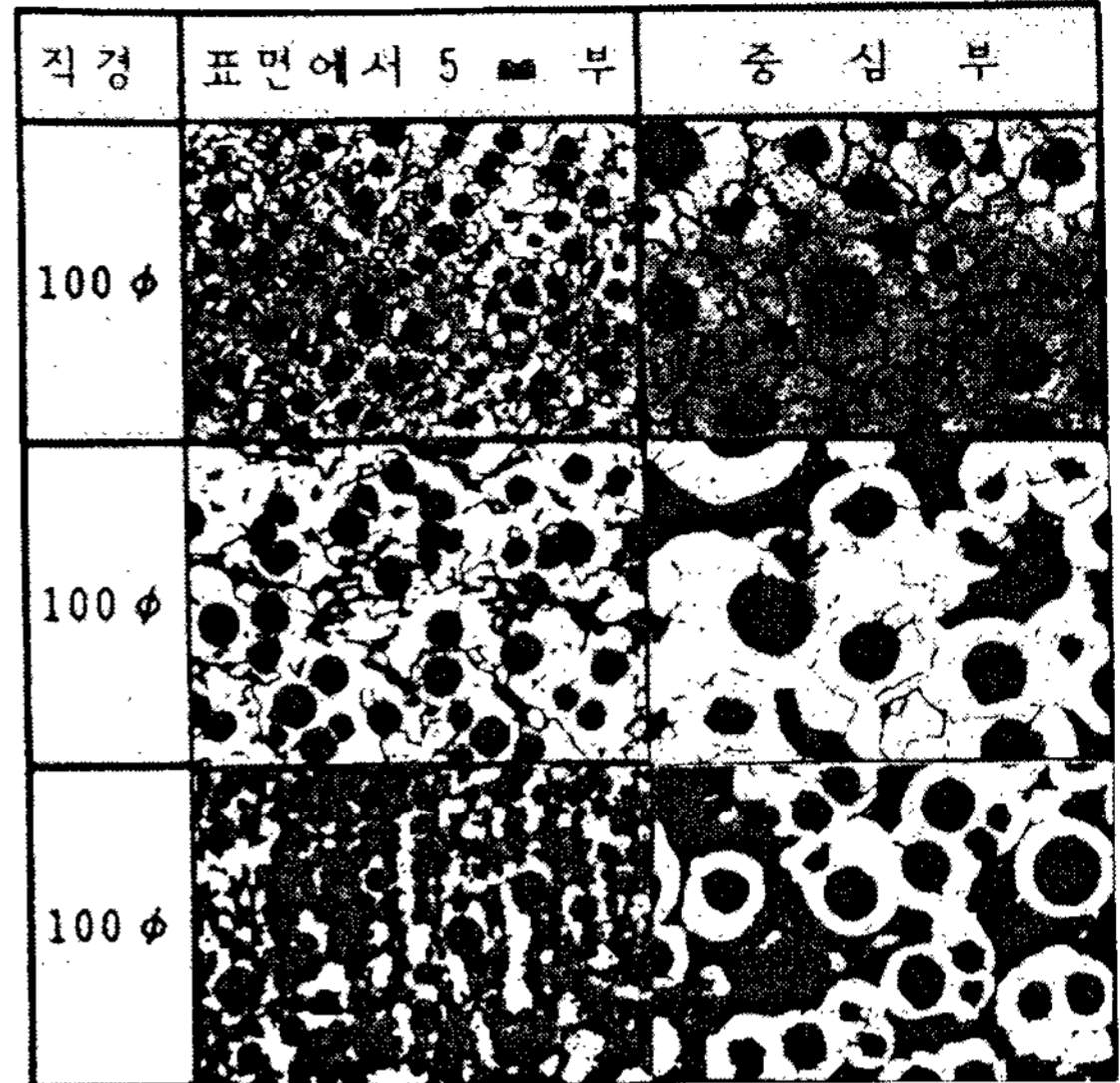


사진 4. 구상흑연주철의 연속주조재 현미경조직

조직으로 균일하게 된다. 한편 Ti 첨가등에 의하여 중심부도 과냉, 공정응고를 하여 공정상흑연조직으로 되고 동시에 두께감도도 없는 치밀한 조직으로 된다.

또한 회주철의 연속주조재의 기지조직은 중심부 편상흑연 형상에 있어서는 외각부는 페라이트 기지조직이며 중심부는 퍼얼라이트기지조직이며 중심부 공정상흑연형상은 외각부 중심부 모두 페라이트조직이된다. 기지조직은 합금원소의 첨가에 의하여 변화된다. 기지조직의 퍼얼라이트화에는 Cu, Sn, Sb등을 사용한다. 사진 3은 회주철의 연속주조재 현미경조직을 나타낸다.

구상흑연주철의 연속 주조재의 흑연형상은 내외 모두 균일한 구상흑연이며 기지조직은 퍼얼라이트 및 페라이트의 2종류가 있으며 퍼얼라이트 조직은 내마모성이 우수하다.

사진 4은 구상흑연주철의 연속주조재 현미경조직을 나타낸다.

### 3.3 기계적 성질

#### 3.3.1 인장강도

주철의 연속주조재의 인장강도는 그림 2에 표시한 바와 같이 사형주물과 비교하여 강도가 크고 내외 경도차가 적다.

그림 3은 연속주조재의 직경치수와 중심부의 인장강도 (범위로서)와의 관계를 표시한다. 직경이 적은 연속주조재는 외주로 부터 냉각효과가 적기 때문에 C, Si, Ti 등의 화학성분의 조정에 의

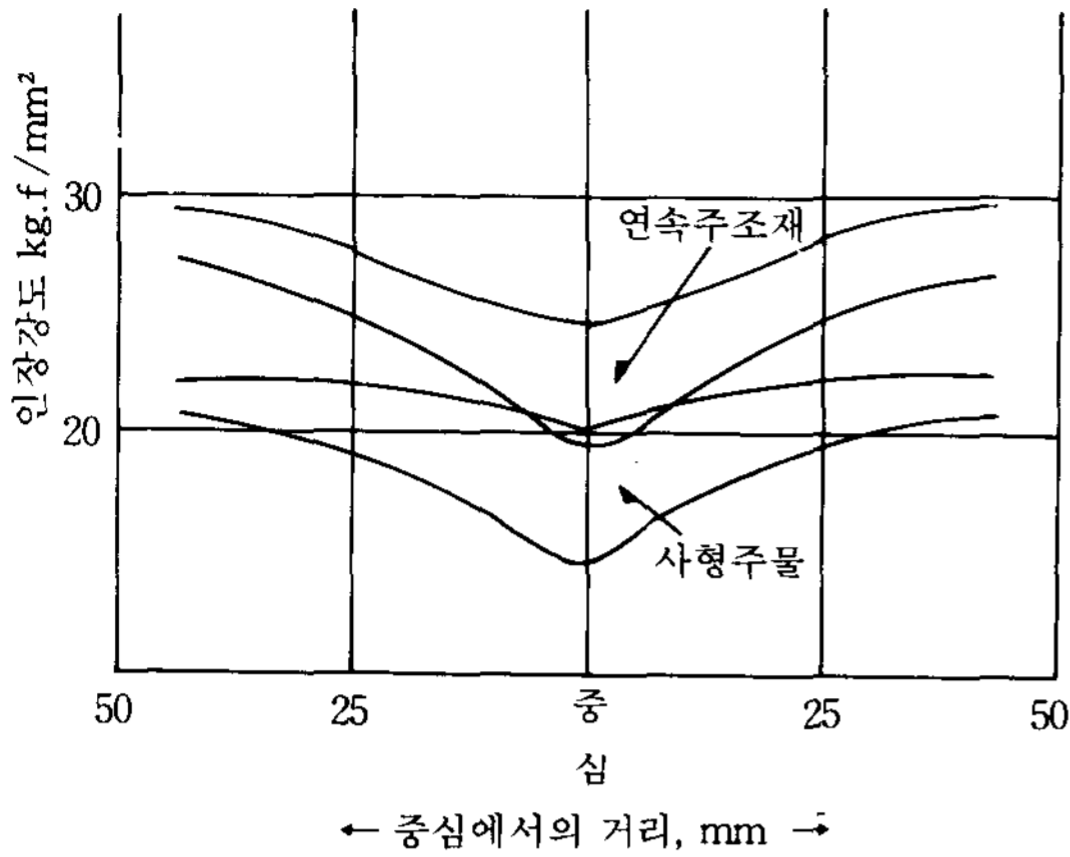


그림 2 주철의 연속주조재와 사형주물의 인장강도의 비교

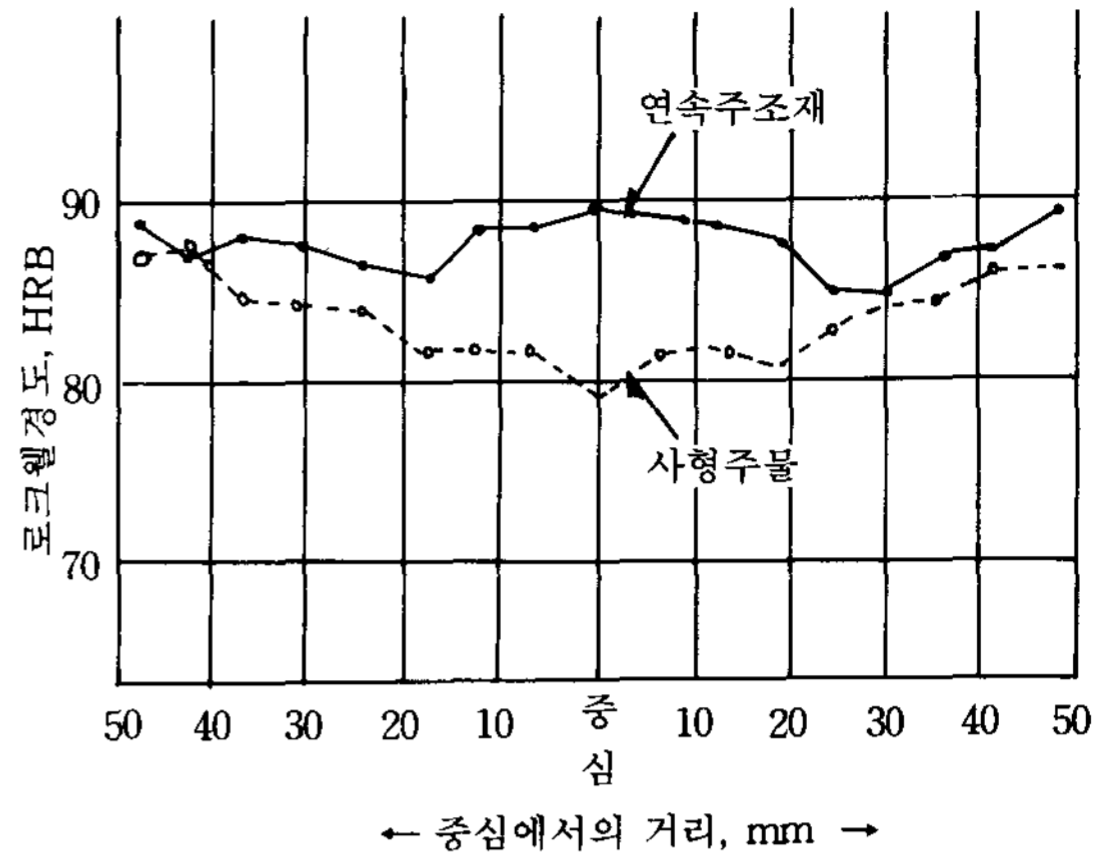


그림 4 주철의 연속주조재와 사형주물의 경도분포

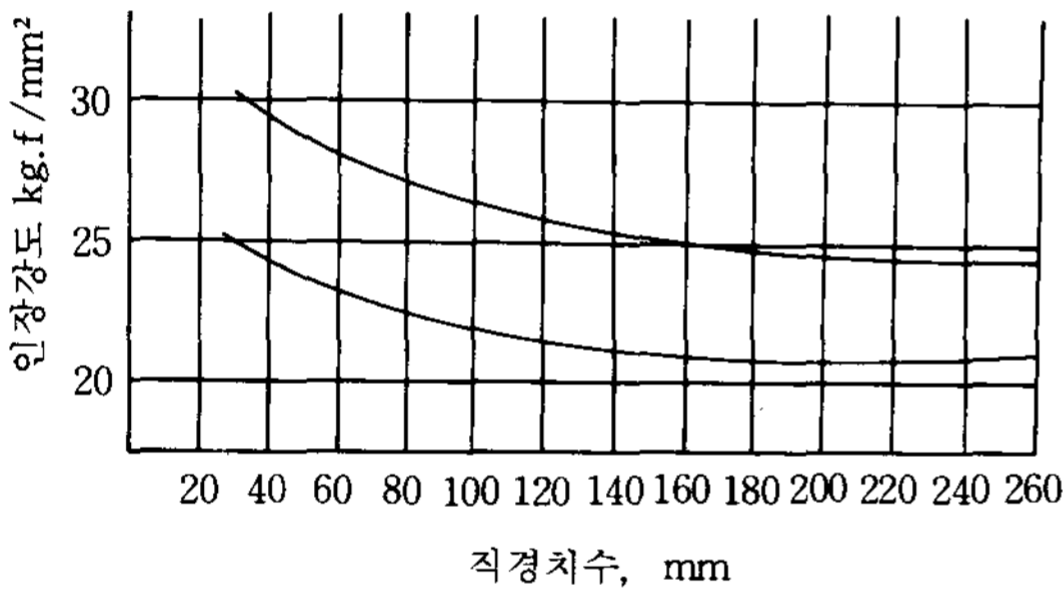


그림 3 주철의 연속주조재의 중심부의 인장강도

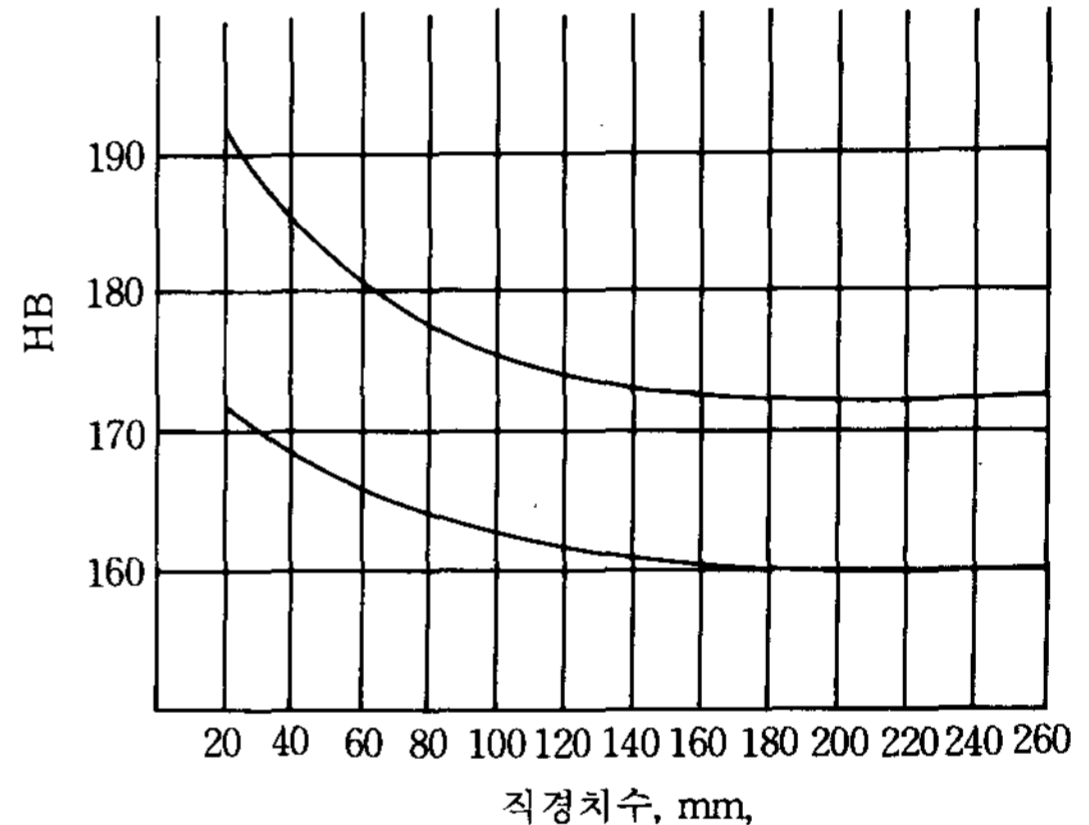


그림 5 주철의 연속주조재의 중심부의 경도

표 2. 구상흑연주철의 연속주조재의 기계적 성질

기 지 조 직	직 경 mm	인장강도 kg.f/mm <sup>2</sup>	연 신 율 %	경 도 HB
페라이트형	40 ~ 95	>42	>8	>150
	100 ~ 200	>40	>10	>140
퍼 알 라 이 트 형	40 ~ 95	>54	>3	>180
	100 ~ 200	>50	>5	>170

하여 중심부의 인장강도 저하를 방지할 수 있다. 구상흑연주철의 연속주조재의 기계적 성질은 표 2에 표시한 바와 같이 직경의 대소에 의한 강도의 차이는 적다. 구상흑연주철의 페라이트조직은 연속주조재를 열처리하여 페라이트화 하므로 균일한 조직으로 얻을 수 있다.

3. 3. 2 경도

주철의 연속주조재는 내외 모두 균일한 조직이므로 단면의 경도 분포는 그림 4에 표시한 바와 같이 사형주물과 비교하여 균일한 경도 분포를 갖고 있다. 내외의 경도분포가 균일하므로 가공품도

안심하고 사용할 수 있다. 그림 5는 연속주조재의 직경치수와 중심부의 경도 (범위로 표시) 의 관계를 나타낸다. 직경이 적은 연속주조재는 외주로부터 냉각효과가 크기 때문에 중심부의 경도가 높게 된다. 직경이 큰 연속주조재는 외주로부터 냉각 효과가 적기 때문에 C, Si, Ti 등의 화학성분 조정에 의하여 중심부의 경도 저하를 방지할 수 있다.

3. 3. 3 피로강도

회주철 및 구상흑연주철의 연속주조재의 회전 반복 피로강도를 표 3에 표시한다. 연속주조재는 조직이 치밀하므로 피로강도는 일반적으로 사형주물과 비교하여 높다.

그림 6은 S-N곡선을 표시한다. 사형주물의 피로강도는 단사이클에서 저하하지만 연속주조재의 피로강도는 고사이클에서 저하를 시작한다.

표 3. 연속주조재와 사형주물의 피로강도

재 질	직경치수 mm	피로강도 kgf/mm <sup>2</sup>		인장강도 kgf/mm <sup>2</sup>	
		표면에서 25mm	중심부	표면에서 25mm	중심부
회 주 철	100	20.0	15.0	25.0	23.0
구 상 흑 연 주 철	100	32.0	21.0	51.0	49.0
사 형 주 물	100	5.0	5.0	18.0	16.0

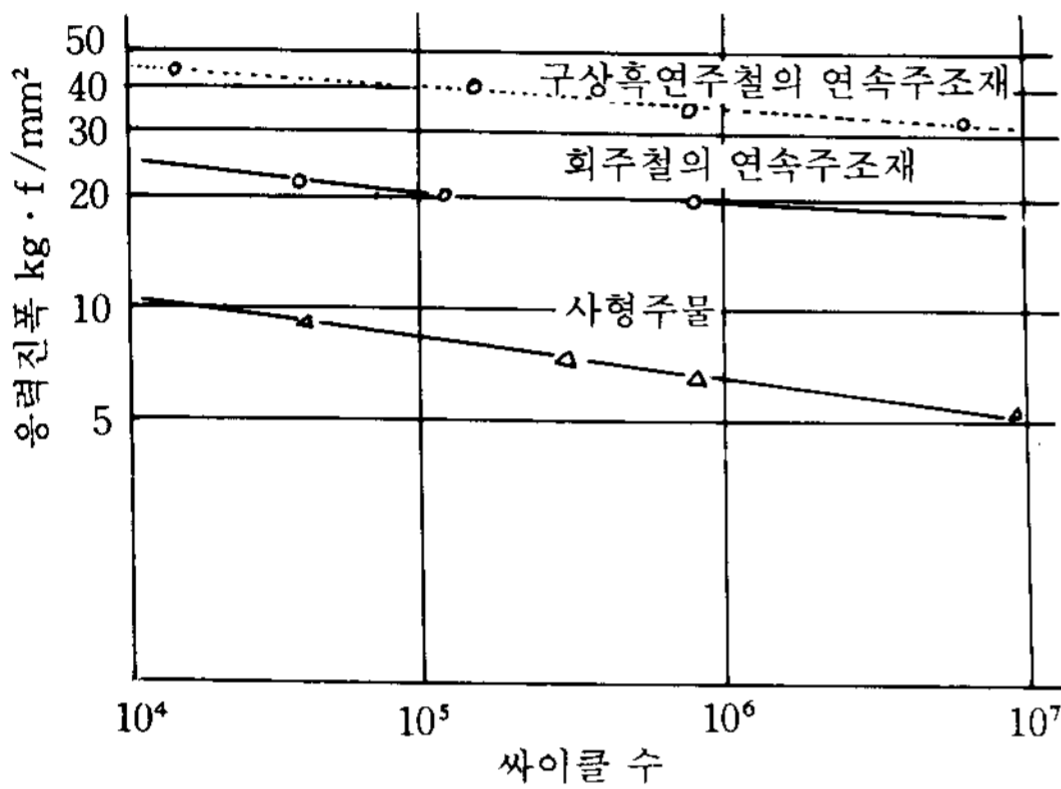


그림 6. 주철의 연속주조재 및 사형주물의 S-N 곡선

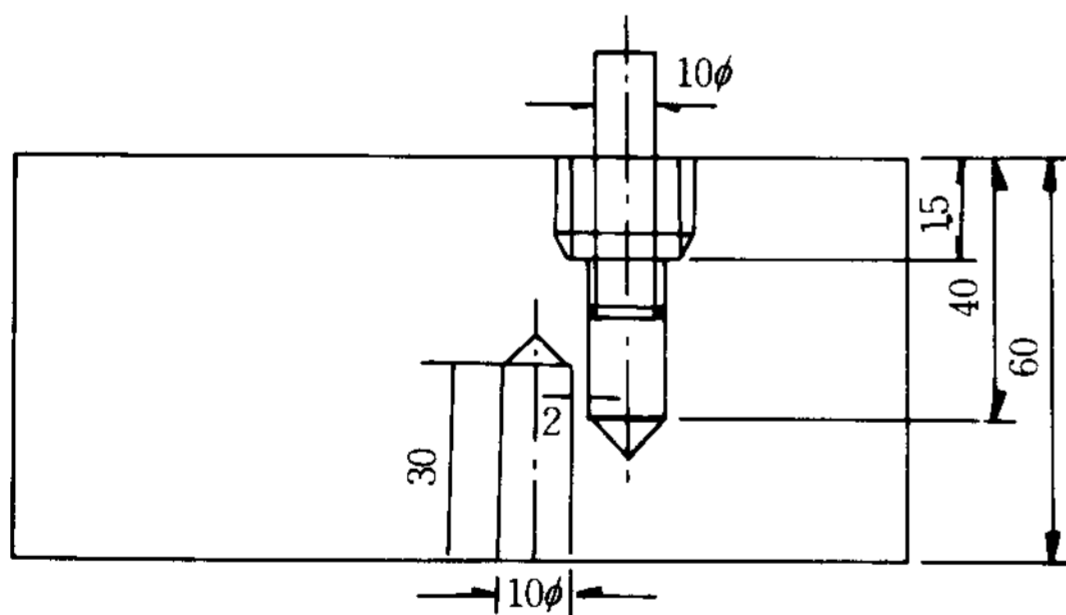


그림 7. 유압시험

3.4 내압성

주철의 연속주조재의 흑연조직이 치밀하므로 내압성이 우수하여 유압, 공압이 작용하는 부품에 사용한다. 그림 7에 표시한 바와같이 직경 10mm의 홀 2개를 2mm간격으로 만들어서 한편에서 2,000kg·f/cm<sup>2</sup>의 유압을 5분간 가하여도 간격을 통하여 기름이 새지 않는다.

그림 8은 연속주조재의 유압피로시험의 시험편 치수를 표시한다. 1mm의 간격에서 간격길이는 10mm으로 다음과 같은 시험조건에서도 기름이 새지 않는다.

압 력	0~200 kgf/cm <sup>2</sup> .
반 복 회 수	10 <sup>7</sup> 회
반 복 시 간	1초 (1회)
간 격 의 두 겹	1mm

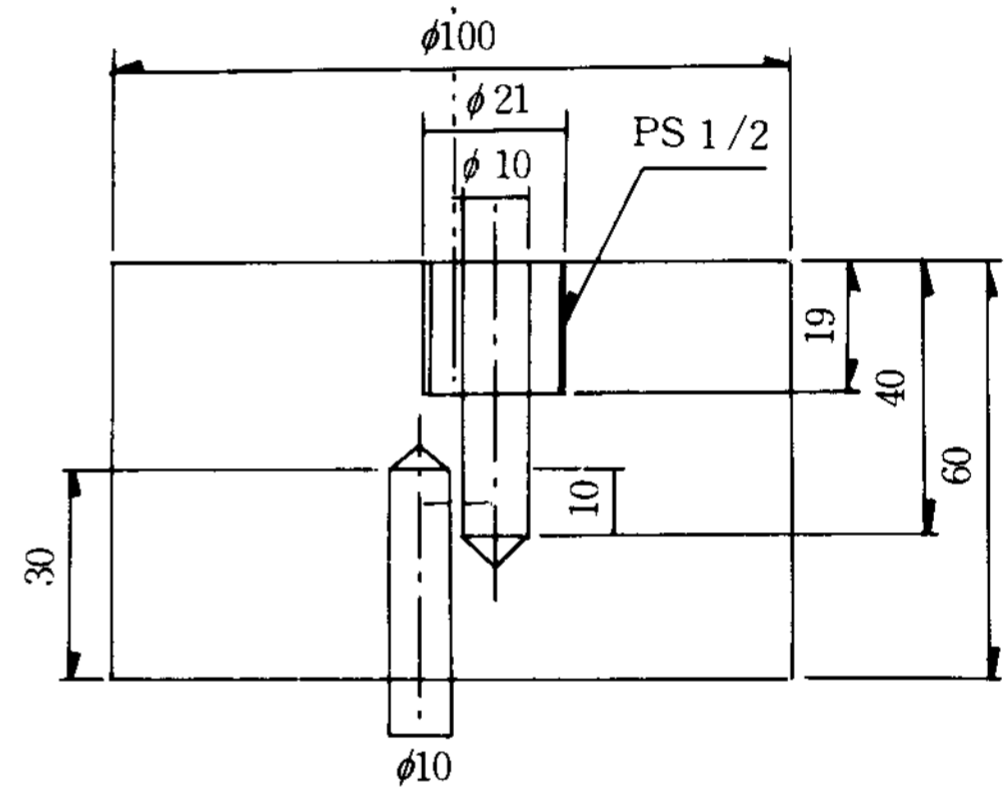


그림 8. 유압피로시험

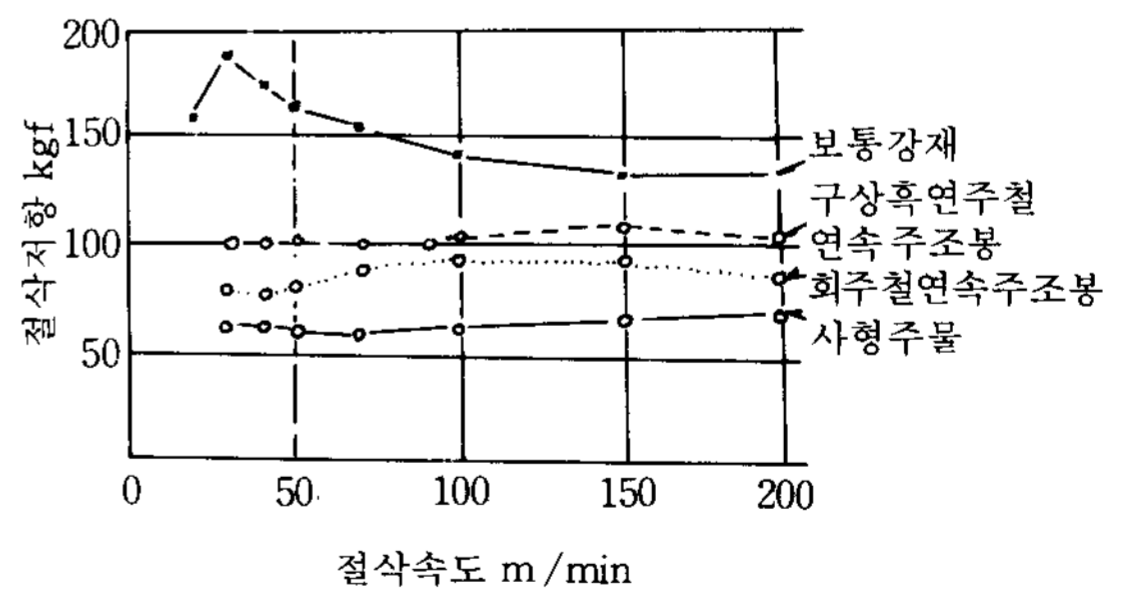


그림 9. 각종 재료의 절삭속도와 절삭저항의 관계

3.5 절삭성

주철의 연속주조재는 미세한 흑연이 석출되어 있기 때문에 기계가공성이 양호하다. 그림 9는 회주철 및 구상흑연주철의 연속주조재, 사형주물, 보통강재의 절삭속도와 절삭저항의 관계를 표시한다.



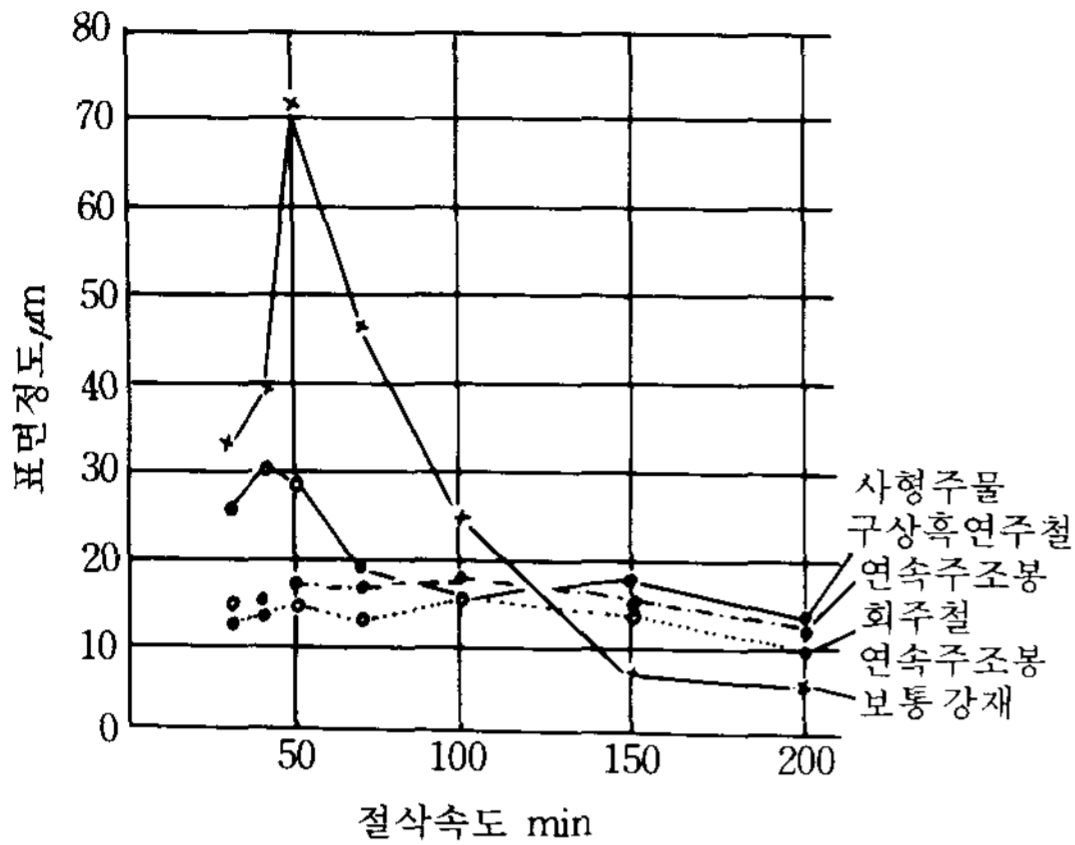


그림 10. 각종 재료의 가공면 정도

그림 10은 가공면의 정도를 표시한다. 절삭속도가 늦어지면 연속주조재는 보통강재, 사형주물과 비교하여 가공면이 미려하게 된다.

#### 4. 연속주조재의 특징

주철의 연속주조법은 여러가지 종류의 단면형상의 주조재가 제조가능한 것으로 단면치수범위도 20mm로부터 700mm 정도까지 가능하다. 표 4는 대표적인 연속주조재의 형상과 치수를 나타낸다. 또한 사진 5 및 사진 6에 여러가지 형상을 나타낸다. 주철의 연속주조재는 내외 균일하며 치밀한 조직을 갖고 기계가공성이 용이하므로 내유압, 내

표 4. 연속주조재의 치수공차

형상	치수 mm	표준치수공차 mm	
		회주철	구상흑연주철
환	< 50 φ	0~+1.0	0~+2.0
	50 φ ~ 100 φ	0~+1.5	0~+2.5
	100 φ ~ 150 φ	0~+2.0	-0.5~+3.0
	150 φ ~ 200 φ	-0.5~+3.0	-0.5~+4.0
	200 φ ~ 250 φ	-1.0~+4.0	-1.0~+5.0
	250 φ ~ 350 φ	-1.5~+7.0	
각 평각	< 40	0~+1.5	
	40~90	0~+2.0	0~+3.5
	90~140	0~+3.0	-1.0~+4.0
	140~190	0~+4.0	
	190~300	-1.0~+7.0	
	300~400	-1.0~+7.0	

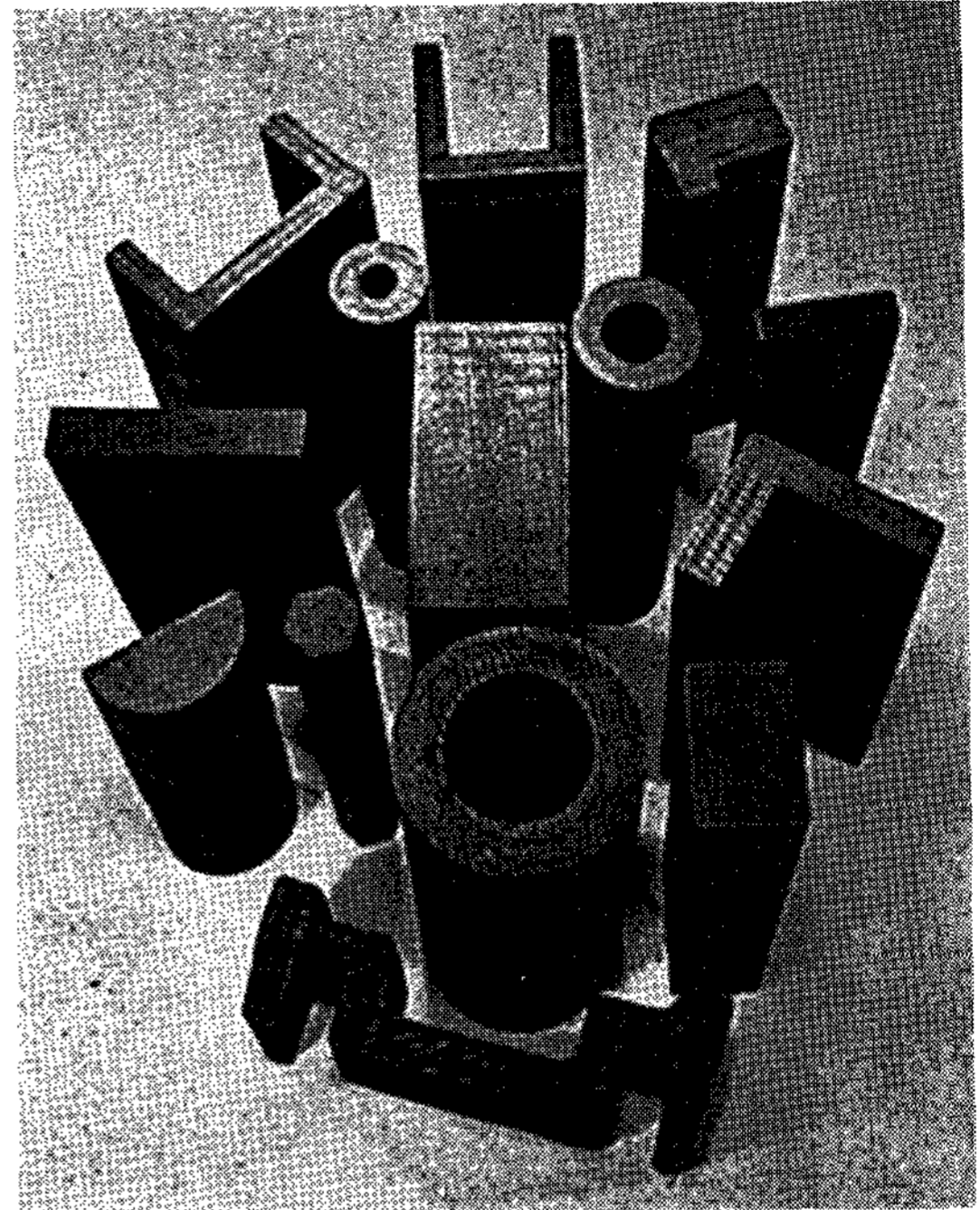


사진 5. 연속주조재 형상

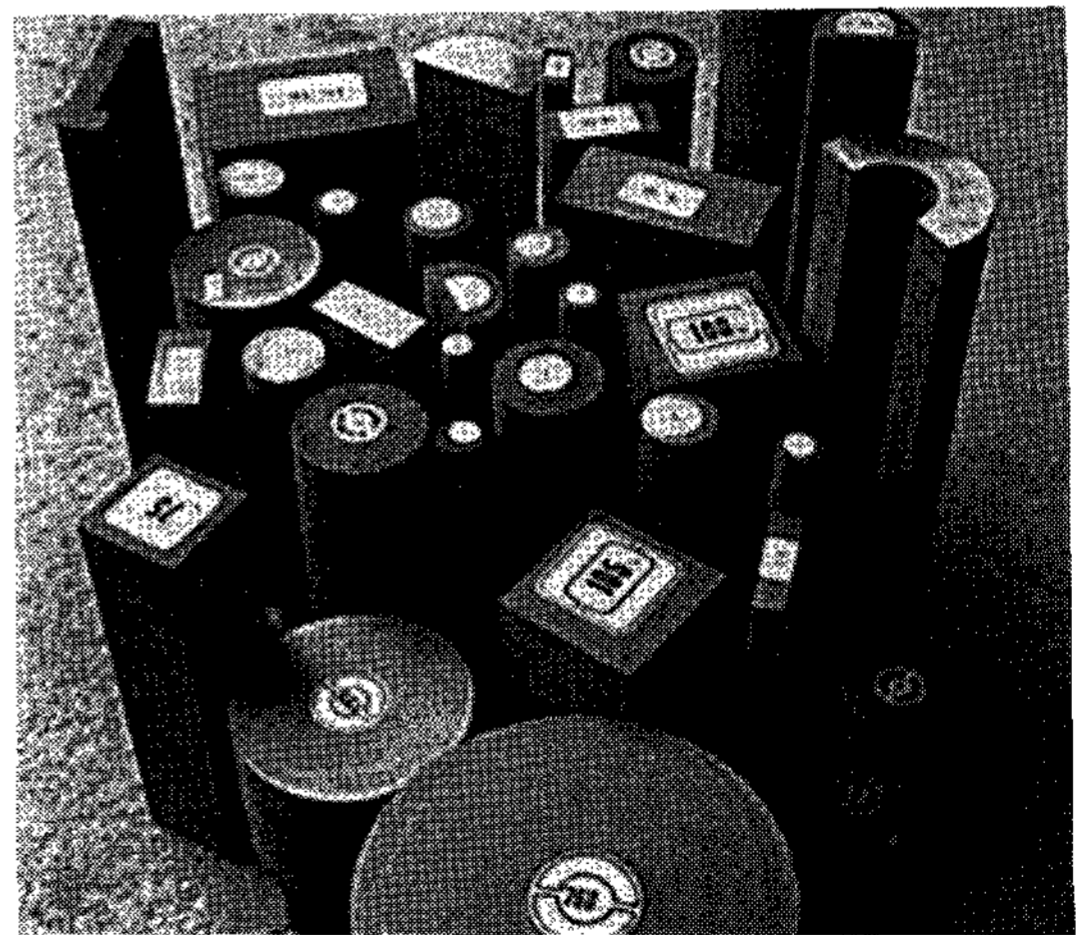


사진 6. 연속주조재 형상

마모, 내열부품으로 용도가 넓다. 연속주조재는 사형주물과 비교하여 형상의 제안은 있으나 품질의 신뢰성이 높고 가격이 저렴하므로 수요가 증가가 될 것으로 기대된다.

연속주조재는 표준적인 재질 이외에 다음과 같은 재질이 개발되고 있다.

(1) 회주철에서는 Ni, Cr, Cu 등을 소량 첨가하여

인장강도와 소입성을 향상시킨 형, 열처리에 의하여 경도를 저하하여 절삭성을 향상 시킨 형, GC 30 형 등이 있다.

- (2) C.V. 흑연주철은 일반형과 Ni, Cr, Cu 등을 소량 첨가하여 인장강도와 소입성을 향상시킨 형이 있다.
- (3) 표면층과 공정흑연조직으로 하고 중심부를 편상흑연조직으로 하여 내마모성을 개선한 형이 있다.
- (4) 구상흑연주철은 GCD 50, GCD 60형이 있다.
- (5) 구상흑연과 오스테나이트 기지를 가진 비자성, 내마모, 내식성을 개선한 Niresist 주철형이 있다.

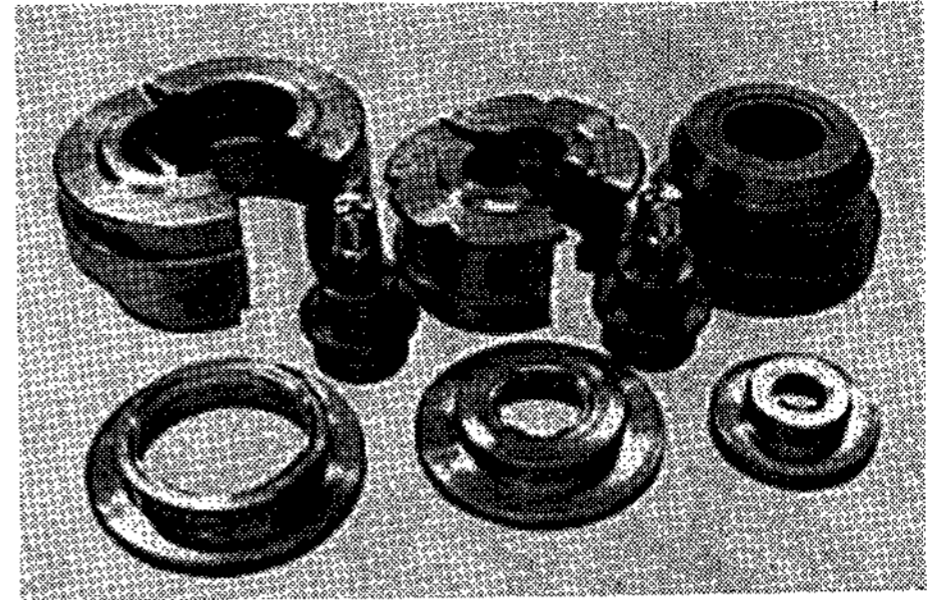


사진 7. 연속주조재에 의한 제품

5. 연속주조재의 용도

주철의 연속주조는 내외가 균일하며 주조결함이 없으므로 많은 분야에서 이용되고 있다. 이를 표 5에 열거한다. 또한 연속주조재로 만든 대표적인 제품을 사진 7 및 사진 8에 표시한다.

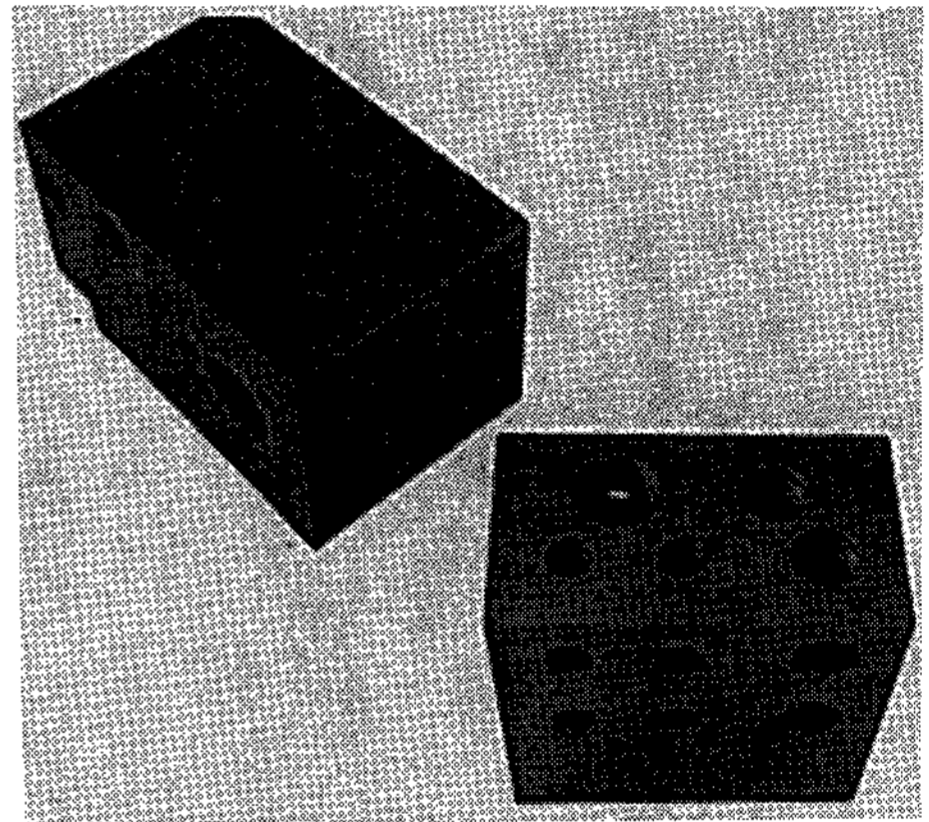


사진 8. 연속주조재에 의한 제품

6. 결 언

연속주조법에 의한 주조재는 사형주물과 비교하여 주조결함이 적고 품질의 신뢰성이 높고 생산성

표 5. 연속주조재의 용도

분 야	부 품	명
일 반 산 업 기 계	폴리, 후랜지, 샤프트, 카플링, 플레이트, 기어루, 칼라, 드럼, 롤, 플러그, 슬라이드베이스, 베어링케이스, 웨이트, 케이싱, 축받침 커버후랜지, 튜브롤, 챔프 웨이트, 핀레일 스코야	
공 작 기 계	면도칼재, 스킨대, 롤, 각종 플레이트, 폴리, 푸쉬, 기어류, 후랜지, 축받침메탈, 락크재, 사이드플레이트, 피스톤헤드, 안전판, 매니홀더, 클러치, 센터링 콘	
유 압, 공 압 기 구	배유선, 각종 파이프류, 실린더, 실린더헤드, 실린더커버, 피스톤헤드, 피스톤너트, 너트커버, 로다후랜지, 매니홀더, 케이싱류, 라이너, 임펠라, 폴리	
금 형 소 재	초자금형, 석고금형, 알루미늄다이캐스팅, 금형, 숫돌용, 펜션용, 압력주조용, 렌즈미, 가키용, 분석피스용금형	
전 기 기 구	콤프레샤롤러, 스파이트, 슬라이더, 스펀카, 코아, 냉장고의 발브시트, 글라스슬라이더핀, 팩시미리의 진공펌프, 모타의 기어, 클러용, 로다, 발전기의 테스크브레이크	
운 송 용 기 기	슬리프, 발브가이드, 매니홀더, 폴리, 실린더, 시프, 칼라, 엘리베이터의 드럼, 엘리베이터상자, 미케니칼실, 웨이트	
방 적 기 부 품	가이드튜브, 기어류, 베어링, 케이스, 축받침, 톱롤러, 크로스 슬라이더, 슬라이더베이스, 미싱의 캠	
기 타	가이드롤, 안전변, 인크레일가이드, 샤프트, 캠축, 경운기의폴리, 피스톤베드, 밸런스 웨이트, 램재, 오일실, 써머커플보호관, 휘트롤, 드럼, 버너인너기어, 엔트플레이트, 랫프재, 롤캡, 샘플케이스, 연주기롤러, 브레이크매니홀더, 아이플레이트기어	

도 높다. 또한 기계적 성질이 우수하고 칫수정도가 양호하므로 가공여유를 적게 할 수 있어 회수율이 높다. 더욱이 형상이 단순하며 절삭성이 양호하고 자동 가공에 적합하므로 최근 사용량이 증가되고 있다. 열처리에 의하여 기계적성질을 개선할 수 있으며 또한 내열, 내마모등 여러가지 특성을 가진 합금주철의 개발도 이루어 지고 있다.

따라서 국내에서도 이제 주철의 연속주조법에 의한 제품생산도 검토할 가치가 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. Heribert A. Krall and Hans A. Koch : Casting Plant Technology, 2(1987), 8-19
2. 澤田清明, 甲田敬一郎, 井上眞喜雄 : 鑄物 52 (1980), 4, 236-241
3. 花土昌三, 森岡隆辛 : 素形材, 27(1986), 12, 14-20
4. B. C. Goldsel : AFS Transactions, 95 (1987), 613-615
5. E. G. Donaldson : Meehanite Report Mo, E1408, 1-11
6. 荻輪 晋, 出田 守 : 鑄鍛造 23(1972), 7, 5-11
7. H. A. Krall, H. A. Koch : 鑄鍛造 23 (1970), 11, 31-37
8. 横井時秀 : 鑄物 42(1970), 9, 758-759
9. 難波平 : 鑄物 43(1971), 9, 738-739
10. The International Meehanite Metal Co. Ltd : 37th Annual Conference. (1969)
11. The International Meehanite Metal Co, Lte : Report No. E1210, (1972)
12. (株)神戶鑄鐵所 : Dense Bar 카다록
13. 日本鑄造(株) 카다록
14. Eurocast Bar Limited. 카다록
15. Tasso Odens 카다록
16. Yctahobka 카다록

### ◇表 紙 說 明◇

= 鐵 鑄 =

충청북도 유형문화재 제143호

소재지 : 충청북도 보은군 내속리면 범주사내

이것은 신라성덕왕 때(720) 조성되었다고 하는 철솥으로 옛날 범주사가 한창번창하여 삼천승도가 운집하여 있을 당시 장솥·혹은 밥솥으로 사용하였다고 전한다.

크기는 높이 1.2m 직경 2.7m, 둘레 10.8m나 되는 거대한 솥이다.