

技術資料

금속주형에 의한 구상흑연주철주물의 주조기술에 대하여

조 성수*, 조 남돈**

An Overview—Foundry Technology of Ductile Iron Castings in Metallic Mold

S.S.Cho*, N.D.Cho**

1. 서 론

금형주조법은 금속주형에 용탕을 중력에 의하여 주입하여 주물을 만드는 방법이다. 현재 세계적으로 이 방법은 Al, Mg, Cu 등의 비철합금과 더 나아가 일반 주철, 가단 주철 및 주강에까지도 이용하는 추세에 있다. 특히 금형주조법에 의한 주철제품은 조직이 치밀하고 내압성(耐壓性), 내마모성(耐摩耗性)이 우수하며, 가단 주철이나 주강품은 소둔시간이 단축되고 기계적성질도 향상되는 등 여러가지 좋은점이 있으나 이에 적합한 합금이나 독자적인 주조방안에 대한 경험부족, 금형제작비의 고가 때문에 처음으로 이 방법을 채용하고자 할때는 주저하게 된다. 그러나 재질적인 특성이나 사회적 요청에 적합한 특성을 갖고 있기 때문에 이 주조법의 이용율이 점차적으로 증가하고 있는 실정이다.

최근에는 공정 흑연 주철의 제조에 많은 성과가 얻어지고 있으며 또 금형, 도형 및 관련기술도 실용화 수준에 도달하고 있다. 따라서 우리나라의 주조공업분야에서도 금형주조법에 의한 구상흑연주철의 활용을 검토해야할 시점으로서 이에 대하여 Yasue 등¹⁾이 보고한 기술자료를 중심으로 하고, 몇가지 문헌을 참고보완하여 일반주조기술, 금형재료, 구상흑연주철의 금형주조법 순으로 설명하고자 한다.

2. 금형주조의 현황

세계적으로 금형주조 주철품은 연간 약 250 만톤 생산되고 있어 주철품 총 생산량의 약 4%를 점유하고 있는 것으로 보고되고 있다. 일반적으로 유럽 여러나

라에서의 생산량이 많으며 대형 제품이 주종을 이루고 있으며 최근에는 캐나다에서 이용율이 증가하고 있다.

서독에서는 연간 약 15 만톤을 생산하고 있으며 제품으로서는 자동차 부품이 주종이며 구상흑연과 회주철이 50:50의 비율이고 주물중량은 전체의 80%가 10kg 이하이다.

일본에서는 회주철(공정 흑연주철)제인 맨홀의 뚜껑 및 받침틀, 하수구의 뚜껑 및 받침등의 일용품 주물, 로터리·에어콘용 콤프레서의 시린더 및 샤프트, 구상흑연주철제인 송전선용 초자캡, 수도관용 조인트 볼트, 맨홀 뚜껑, 특수주철제로 분쇄기용 타격판, 자동차부품 등을 생산하고 있다. 또 과거에는 브레이크용, 유압부품, 베어링 커버등의 자전거부품이 금형주조화 되기도 했다. 생산량으로는 약 2,300t/월이며 주물 총생산량의 약 1%미만이다. 재질적 내역은 구상흑연 주철품 50%, 회주철품 40%, 특수주철품 10%이다.

한편 우리나라에서는 아직 정확한 통계에 의한 자료가 없으나 그 이용도가 주철의 경우 극히 낮은 실정인 것으로 생각된다.

3. 주조 기술

금형은 사형 보다 큰 열전도도를 갖기 때문에 응고 금속의 냉각속도도 크게되어 칠(chill)화 되기 쉽다.

< 표 1 > 금형공정상 흑연주철제품의 화학조성(wt. %)

	C	Si	Mn	P	S	Ti
콤프레서 부품	3.40~ 3.80	2.40~ 2.90	0.50~ 0.80	0.045~ 0.40	0.03~ 0.16	0.004~ 0.06
맨홀부품	3.60~ 3.80	2.60~ 2.90	0.10~ 0.70	<0.10	<0.10	-

* 한국직업훈련관리공단 직업훈련연구소 실장
** 국민대학교 공과대학 교수

따라서 가장 중요한점은 철화를 방지하고 기계적 성질에 나쁜 영향을 미치지 않은 용탕을 선택하는 것이다. 공정 흑연주철에 대해서는 주물 두께에 따라서 다르나 <표 1>과 같은 조성이 일반적으로 추천되고 있다²⁾.

맨홀부품의 중량은 2~4kg이며 얇은 주물이기 때문에 탄소 및 규소의 하한이 높고 콤프레서부품은 0.4~3.3kg의 경량이지만 맨홀보다는 두꺼우므로 탄소 및 규소의 하한이 낮다. 또 콤프레서 부품에서는 공정상 흑연을 얻기 위하여 금형주조를 이용하고 있는데 이때 미량의 Ti를 첨가하고 있다. 또한 철을 방지하기 위하여 접종이 중요시 되고 있다. 공정흑연주철인 경우 접종량을 증가시키면 철은 소실되지만 반면에 흑연의 조대화를 초래하기 때문에 접종량을 적절히 선택조절하여야 한다. 접종량은 치주법인 경우 0.3~0.6%의 범위이고 후기 접종에서는 치주법의 1/3로 하는것이 좋다. 사용하는 접종제로는 흑연핵 생성능력이 크고 흑연성장을 억제할 수 있는 것이 좋으며 현재는 Ba가 함유된 Fe-Si가 가장 많이 이용되고 있다.

주탕온도는 금형의 수명을 연장시키기 위하여 저온 주탕하는것이 바람직하며 1,300°C이하로 선정하고 있는 곳도 있으나 일반적으로는 효율적인 작업을 중요시 하여 1,350~1,400°C의 범위로 하고 있다.

금형의 온도는 수냉 또는 공냉하여 억제하고 있는데, 금형의 수명을 연장하는데는 저온보호가 바람직함으로 수냉억제 방법이 발전되고 있다. 그러나 수냉억제는 금형재료의 열전도율이 적으면 금형의 온도분포를 불균일화시켜 열응력의 발생을 촉진시키기 때문에 고온에서 열전도도가 우수한 재료가 보다 유리하여 동합금계의 재료가 활용되고 있다. 또 금형을 단시간에 강제 냉각시키는 방법에 대해서는 수명을 연장시키기 위하여 주조 사이클을 길게하여 자연 방냉하여 금형을 저온까지 균일 냉각시키는 시스템도 개발되어 있다³⁾.

도형의 역할은 철화 방지와 금형보호가 주 목적이다. 도형층의 균일화의 신뢰성이 어렵기 때문에 내구성을 기대하기는 어려워 오히려 작업성을 중요시 한 도형이 널리 이용되고 있다. 즉 금형예열온도, 표면상태 등에 관계없이 균일도포가 가능하며 도형의 보수나 재도형 등의 경우에는 청소하기 쉬운것 등이 이용된다. 그러나 현재도 청소작업은 복잡한 작업이므로 금형의 내구성에 관한 도형재의 연구개발이 요구되고 있다.

주조방안은 그 역사도 짧고 know-how의 축적이 적어 금후의 과제로 되고 있다. 대부분 중형, 2단분할형으로 하여 상주식을 널리 채용하고 있다. 그러나 일반

적으로 탕회불량(湯廻不良)이 일어나기 쉬우므로 사형의 경우보다는 탕구계통의 단면적을 크게 하고 있다. 따라서 주물의 회수율이 낮아진다. 가장 좋은 경우가 70%이지만 금형주조를 발전시키기 위해서는 회수율을 향상시키기 위한 연구와 know-how의 축적이 계속 진행되어야 할 것이다.

4. 금형 재료

금형주조의 생산코스트에 영향을 미치는 커다란 인자로서 용탕회수율, 금형제작 보급 및 금형수명을 들 수 있다. 현재 금형재료로서 가장 많이 사용되고 있는 것은 보통 주철이다. 주철제 금형은 자체공장에서 제작이 가능하며 기계가공하기 쉽고 값이 저렴하지만 그 수명은 짧다. 이외에 공구강제금형(0.24% C, 2.5% Ni, 3.0% Cr, 8.5% W), 고텅스텐강제금형(0.75% C, 4.25% Cr, 1% V, 18% W), 몰리브덴제 소결금형, 기타 합금제 금형(0.5% Ti, 0.1% Zr) 등의 고용점 재료나 또 열부하가 큰 증자재료에는 특수 재료(90% W, 4% Ni, 4% Mo) 등이 이용되고 있다.⁴⁾ 그러나 이들 재료는 고가이고 절삭하기 어려운 점이 있어 그 이용율이 낮다.

금형의 파손은 탕구저나 예각부의 용손, 열피로등 열부하에 따라 일어난다. 금형수명을 연장하기 위해서는 금형의 최고도달 온도를 낮게 억제하는 것이 중요하다. 그런데 금형표면의 최고 도달온도는 금형초기 온도에 영향을 받게 된다. 금형초기온도는 금형에 주탕하기 전에 주조품의 응고 조직을 균질화시키고 도형재에 함유되어 있는 수분을 증발시켜 주탕작업의 안정성을 확보하기 위하여 일정온도까지 예열시키는 온도를 말한다. 따라서 2회째부터의 주탕에서는 금형을 이온도까지 냉각시켜서 주탕해야 한다. 금형초기온도와 1사이클의 소요시간 및 최고도달 온도와의 관계에 대한 계산에 의한 시뮬레이션의 결과는 그림 1과 같다. 금형의 최고 도달 온도는 금형의 초기온도에 비례되어 증가된다.⁵⁾ 열확산율이 큰 재료에서는 냉각 방법에 의한 금형의 온도제어에 대해서도 민감하여 온도관리가 쉽기 때문에 안정된 조업이 가능하다. 예를들면 순동은 0.8cm/sec로 비교적 고확산율을 갖어 그 열특성은 금형으로서 적합하다고 할 수 있으나 경도가 낮고 난절삭성이므로 실용화에는 문제가 있다. 현재 저합금으로한 동합주금형재료가 개발되고 있다. 이중 특히 Cu-(Zr, Ti, Cr)계 Cu-(Cr, Zr, Cd)계, Cu-(Be, Ag)계에 대해서는 일부 실용화 되고 있다.⁶⁾

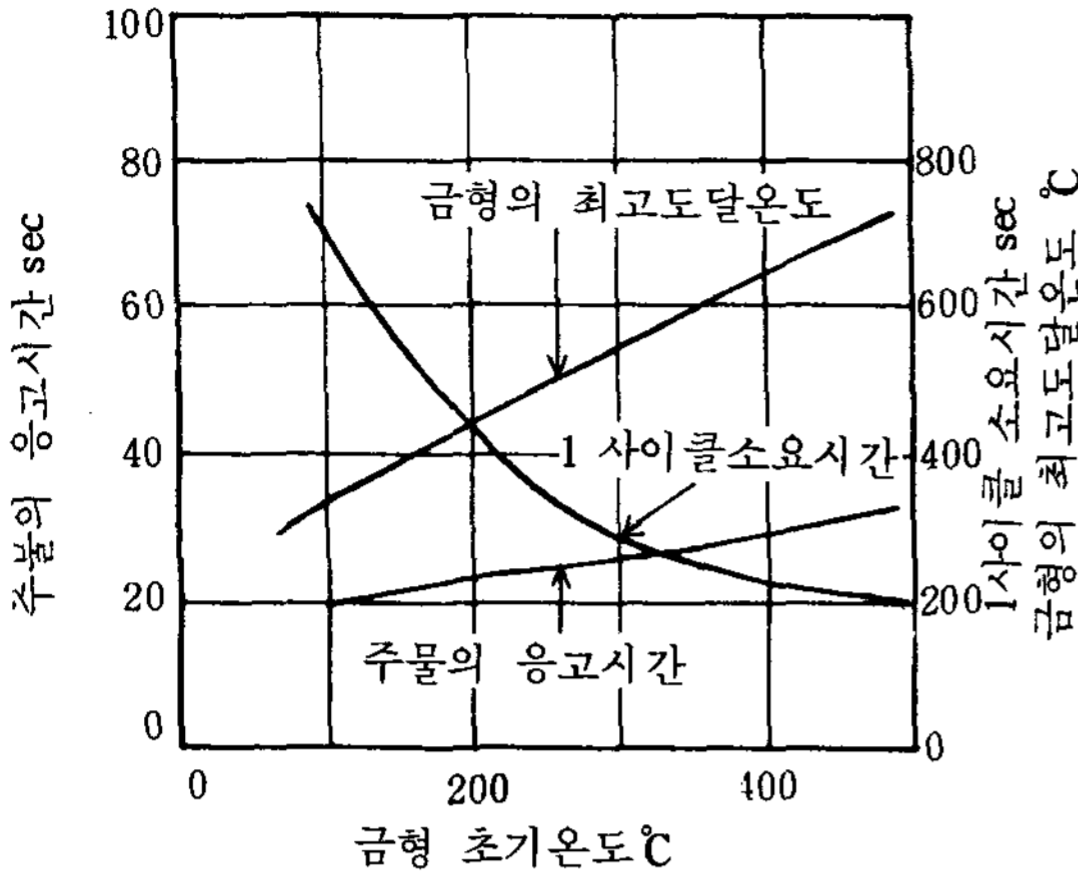


그림 1. 주물의 응고시간, 금형의 최고도달온도 및 1 사이클소요시간에 미치는 금형초기온도의 영향

열전도율이 낮을 때에는 금형재의 온도가 불균일하게 되고 발생하는 열응력도 커지나 열전도율이 높아지면 금형내의 온도차가 낮아져 그 결과 발생하는 열응력도 작아진다. 즉 금형으로서 높은 열전도도 재료는 금형의 수명을 연장시킬 수 있는 가능성이 커진다. 주

< 표 - 2 > 주철제금형 및 주강제금형의 특성

종류 항목	주 철 제	주 강 제
제 작 법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주조성이 좋다. ○ 절삭성이 좋다. ○ 정밀도가 요구되지 않는 것은 주방하여 사용할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주조성이 나쁘다. ○ 절삭성이 나쁘다.
수 명	<ul style="list-style-type: none"> ○ 짧다 (500~3,000회) ○ 균열 파손되기 쉽다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 길다 (5,000~20,000회) ○ 소성 변형되기 쉽다.
냉 각	<ul style="list-style-type: none"> ○ 강제공냉, 간접수냉 정도로는 냉각이 불충분하다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 직접 수냉이 가능하다. ○ 냉각이 쉽다.
생 산 성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 냉각이 불충분하므로 낮다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 냉각이 크므로 높다.
제 작 비	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소재 및 가공비가 싸다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특히 가공비가 높다.
적용범위	<ul style="list-style-type: none"> ○ 큰 금형에 사용된다. (600 mm 각 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 작은 금형에 사용된다. (600 mm 각 이하)

철제 금형인 경우 1형당(1型當) 가능 생산량은 40~60 t 인데 비하여 동합금제금형으로는 1,200~1,800 t 으로 수명이 약 30 배 길다. 물론 이러한 동합금 소재는 고가이며 또 고냉각능에 대응하는 특별한 주조기술도 필요하게 된다. 예를들면 품질의 안정화 또는 생산성이 향상을 위해서는 냉각 시스템을 도입할 필요가 있고 주물의 형태, 크기 및 주조 사이클에 적합한 냉각계를 금형에 설치하여 수냉시간, 냉각수량을 센서를 이용하여 제어 하여야 한다.

한편 열전도율이 낮은 주철제 금형에서는 수냉 등의 강제냉각 방식은 좋지 않고 공냉방식이 알맞다.

< 표 - 2 >에 주철제금형과 주강제금형의 특성을 나타낸다.”

5 . 구상흑연 주철 금형구조

구상 흑연 주철 용탕은 과냉되기 쉬워 칠화 되기 쉬운 반면에 금형주조와 같은 금냉 조건하에서는 흑연이 구상화되기 쉬운 경향이 있다. Godsell⁸⁾에 의하면 ferrite기지(基地)의 주물을 얻고자 할때의 용탕조성은 주물의 두께에 따라서 변화되나 주물의 두께에 관계없이 최저필요탄소량은 3.6%이상으로 하고 있다. 예를 들면 1 in 두께의 주물인 경우 Si 3.6%, C 3.7%이다. 이러한 화학조성이면 주방상태에서 ferrite기지가 얻어지게 되지만 규소 함량이 높으므로 기계적 성질이 나빠질 염려가 있다.

칠화가 일어나지 않게하고 최종 응고부에서의 편석, 핀홀 등의 결함을 방지하기 위해서는 Mn 량을 억제해야 한다. 적합한 Mn 량은 주물두께에 따라서 변화되지만 0.3%이하의 범위가 좋다고 한다. 또 P 량에 관해서는 재질의 취화 편석등을 억제하기 위해서 0.04%이하로 하는것이 좋다. 잔유 Mg 량은 금냉응고 하에서는 흑연 구상화가 쉬워지나 칠화 경향이 크기 때문에 가능한 한 0.03%이하로 하여야 한다. pearlite기지의 주물을 얻고자 할 때에는 Cu 0.2~0.4% 첨가하는것이 유효하다. 그리고 사형에서 유효한 pearlite 촉진 원소로되어 있는 Sn의 첨가는 금형주조에서는 공정셀의 경계에 편상흑연을 발생시킨다고 보고되어 있으므로 주의해야 한다.

금형구상흑연주철에서는 응고 속도가 빨라 흑연은 미세화되고 흑연입자의 직경 및 흑연간 거리는 사형주조 품의 1/4~1/2로 되고 입자의 수는 3배 이상으로 된다.⁹⁾또 ferrite의 입자의 크기도 미세화된다. 이와 같은 조직특성에 따라 금형 구상 흑연주철은 다음과 같

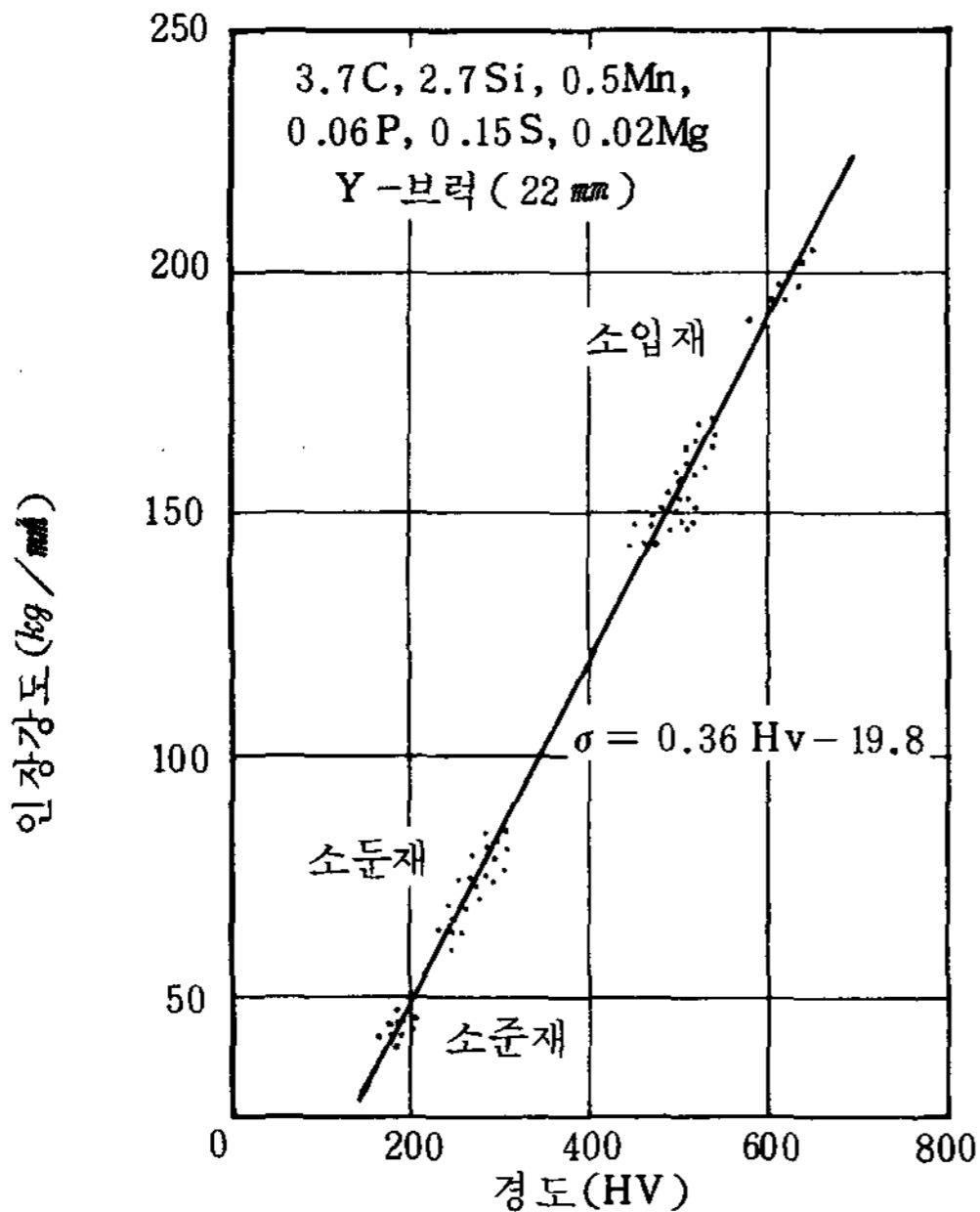


그림 2. 금형구상흑연주철의 열처리후의 인장강도와 경도와와의 관계

은 특성을 갖는다.

- ① 강도가 크다(그림 2, 참조)¹⁾
- ② 저온에서 충격강도가 높다.
- ③ 피로강도가 약간 향상된다.

주방상태에서 기계적 성질을 손상시키지 않고 ferrite 또는 pearlite 기지를 얻는다는 것은 고도의 기술이 요구된다. 따라서 금후 재질적으로는 열처리를 전제로 하여 보다 신뢰성이 높고 품질이 우수한 구조재료로 발전시켜 나가야 할 것이다.

구상 흑연 주철의 금형 구조에서 화학조성이나 제 3 원소의 첨가에 대해서는 연구가 아직도 미흡하다. 또 생산 기술적으로는 각종 결함 대책에 대한 계통적인 연구, 주조 방안에 대한 Know-how의 축적, 연속적인 용탕처리법 등도 금후의 구상 흑연 주철의 금형주조화에 대한 중요한 연구과제이다.

6. 결 론

대량 생산을 목적으로 한 금형 주조의 코스트는 사형 주조 생산 코스트에 비하여 1할 이상 높다고 하나 에어컨부품과 같이 기계가공비를 포함하면 사형부품보다 오히려 값이 저렴하게 된다. 아무튼 금형주조를 발전시켜 나가기 위해서는 첫째, 절삭성, 피로특성, 마포특성 등 재료기능을 갖는 소재생산기술로서 재질 특성의 개선, 품질의 안정화, 신뢰성있는 데이터 제공이 금후의 연구과제의 중심으로 되며 둘째, 생산 코스트에 중점을 둔 금형주조의 대량 생산기술이다. 다른 주조법과 경쟁해 가려면 주물회수율의 개선, 금형수명, 결함대책 기술이 연구과제로 된다.

금형주조기술은 시스템 공학의 일종이라 할 수 있으며, 특히 자동차 부품을 중심으로한 구상 흑연 주철의 금형주조를 발전시켜 나가는 것이 바람직하리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. Kazuo Yasue, Yashiko Kondo, Tochiyuki Nishto and Mitsuo Isotani : IMONO, Vol.58.(1986), 543-547.
2. 日本鑄物協會, 東海支部, 金型鑄造研究會編, 鑄鐵의金型鑄造法, (1983),75.
3. A.P.Clark : Morden Casting : 6,(1982),40.
4. R.O.Pinfield : British Cast Iron Res. Asso, Nov,(1971), 571.
5. 奥本, 岡田, 相澤, 谷川 : 鑄物, 46(1974),609.
6. I. Henych and W. Gysel : 49th IFS paper(Chicago) No.18,(1982),46.
7. 日本鑄物協會 : 鑄鐵의金型鑄造, (1973),146.
8. B. C. Godsell : Moden Casting, 7,(1982),35.
9. 近藤靖彦, 磯谷三男 : 鑄鍛造と熱處理, No.438, (1984),30.