

技術資料

주철 금형주조의 동향

이 길 흥

Trend of Permanent Mold Casting of Cast Iron

K. H. Lee

1. 서언

주철의 금형주조는 모래를 사용하지 않기 때문에 원가절감, 공해방지등의 특징을 가지고 있다. 주철의 금형주조는 서서히 성장하여 현재는 약 250톤을 생산하고 있다.

금형주철의 재질 특성에서 보면 회주철은 1980년대까지 크게 발전 되어 왔고 현재는 구상흑연주철에 관심을 갖게되어 금형, 도형및 장치등에 계속 연구 실험한 결과 실용단계에 도달하게 되었다. 이렇게 발전하게 된것은 현재사용되는 사형주조 혹은 단조등이 가공이나 경제성에 문제가 되므로 금형주조에 관심을 갖게 되었다. 이와같은 배경에서 금형주조의 현황과 생산실태를 기술하고 장래성과 원가절감의 기본이 되는 금형재료에 대해서 살펴 보고저 한다.

2. 금형주조의 생산실태

금형주조 제품을 보면 회주철(공정상 흑연주철)에 있어서 맨홀(Man hole), 하수도 뚜껑등 일용품 주물과 Rotary Air-conditioner용 Compressor cylinder등이며 구상흑연 주철에 있어서는 송전용 애자의 캡(cap), joint Bolt및 Man hole cap등이다. 특수주철에서는 분쇄용 타격판, 자동차용 부품등이 생산되고 있다.

세계 총생산량을 연간 250만톤이 생산되고 있으며 주철은 약 4% 점유하고 있다.

서독에서는 연간 약 15만톤을 생산하고 있는데 생산기업체는 9개 회사에서 생산하고 있으며 그중에서 A.Teves회사, G.L. Rexroth회사, R.Bosch

회사에서 10만톤을 생산하고 있다. 주조품으로는 자동차 부품을 생산하고 있으며 구상흑연주철과 회주철이 50:50 비율로 생산되고 있다.

일본에서는 약 2300톤/月이 생산되고 있는데 재질적으로 보면 구상흑연주철이 50%, 회주철이 41.3%, 특수주철이 8.7%을 차지하고 있다.

3. 금형주조 기술

주철을 금형주조 할때 필요한 기술은 칠(chill) 방지와 주조방안이다. 금형온도, 형분리온도, 도형 등이다.

금형은 모래주형에 비해서 약 50배의 열전도율을 가지고 있으며 용융금속의 냉각 속도는 5~25배(두께에 따라 변동)이기 때문에 chill이 생기기 쉽다. 그 대책으로 첫째 chill이 생기지 않는 용탕을 만들기 위해서는 탄소및 규소량을 많게한다. 표1은 공정상 흑연주조품의 화학조성의 하나의 예이다. Manhole 부품중량이 2~40kg인 얇은 주물이기 때문에 탄소와 규소의 량이 높고 Compressor 부품은 0.4~3.5의 kg의 경량이지만 Manhole보다 두껍기 때문에 탄소및 규소량이 낮다. 또 Compressor 부품에서는 흑연이 공정상이므로 Ti을 첨가하여 그것을 가능케 했다.

표 1. 금형 공정상 흑연주철 주조품의 화학조성(%)

	C	Si	Mn	P	S	Ti
Compressor 부품	3.40~ 3.80	2.40~ 2.90	0.50~ 0.80	0.045~ 0.40	0.03~ 0.16	0.004~ 0.08
Manhole 부품	3.60~ 3.80	2.60~ 2.90	0.10~ 0.70	<0.10	<0.10	.

접종에서 중요한 효과는 chill방지이다. 공정상 흑연주철의 경우 접종량을 증가하면 chill을 방지할 수 있지만 반면에 흑연의 조대화(E型 또는 A型의 흑연)가 생기므로 적당한 접종량을 선택해야 한다. 접종량은 Ladle에서 접종할 경우 0.3~0.6%의 범위이며 용탕을 주입또는 주형내에서 접종할 경우 Ladle접종법의 약 1/3정도이다. 또 사용되는 접종제는 흑연 핵생성능력이 크고 더구나 흑연성장을 억제하는 것이 좋으므로 현재는 Ba이 함유된 Fe-Si를 사용한다.

그림 1은 접종제의 chill방지 효과를 조사한 예이다.

실험에서 3.4%C, 2.5%Si의 주철용탕에 조정에 접종제를 0.3% 혹은 0.6% 접종하고 $\phi 20\text{mm}$ 의 환본시편을 주철재 금형에 주입하고 냉각후 환본시편의 중앙부의 파면을 畫像解析裝置에 의해 chill깊이를 측정했다. 그림과 같이 어느 접종제도 0.6%접종에서는 chill이 감소한다는 것이 나타나 있다. 또 그림에서 No1~No6은 Ba를 함유하지 않는 것이고 No11~No19는 Ba를 함유한것이다. 이처럼 함유하는 경우에는 chill의 깊이는 적고 또 Fe-Si계가 유리하다는 것을 나타내고 있다.

No	Si %	Al %	Ca %	Ba %	기타 %	chill 깊이 mm				
						1	2	3	4	5
1	55.5	0.37	27.8	0		[Bar chart showing chill depth for No. 1]				
2	47.3	0.54	0.45	0		[Bar chart showing chill depth for No. 2]				
3	38.0	-	-	-	REM13.5	[Bar chart showing chill depth for No. 3]				
4	51.1	-	6.90		Ti 9.1	[Bar chart showing chill depth for No. 4]				
5	52.9	1.61	2.25	0	Zr 6.7 Mn 6.1	[Bar chart showing chill depth for No. 5]				
6	48.7	1.2	0.7	0	Mg 1.6 REM 0.4	[Bar chart showing chill depth for No. 6]				
11	73.5	3.0	1.6	0.22		[Bar chart showing chill depth for No. 11]				
14	73.5	0.55	1.9	0.28		[Bar chart showing chill depth for No. 14]				
15	49.3	0.62	0.52	1)		[Bar chart showing chill depth for No. 15]				
16	61.5	1.16	1.71	5.62	Mn 9.4	[Bar chart showing chill depth for No. 16]				
17	63.0	1.50	1.00	10.0		[Bar chart showing chill depth for No. 17]				
18	49.6	-	16.5	18.1		[Bar chart showing chill depth for No. 18]				
19	48.4	1.84	11.0	19.5	Mg 0.3	[Bar chart showing chill depth for No. 19]				

■ 0.3% 접종 □ 0.6% 접종

그림 1. 접종제가 chill 깊이에 미치는 영향

그림 2는 동시에 채취한 시험편을 Ferrite化 Annealing하여 JIS 8號B 시험편에 가공한 인장강도를 측정된 결과이다. 인장강도는 접종량에 따라 영향을 미치는지를 인식하기는 어렵지만 chill방지 효과가 크다는 것은 0.6%접종한 No15및 No17에서 상당히 저하함을 알 수 있다. 이것은 과잉 접종이 되었다고 생각된다.

현재의 금형주조품은 거의가 FC25 상당한 강도는 목표로 하고 있기 때문에 chill방지 효과가 우선이다. 그러나 그림 2 처럼 금형주조품은 FC35이상의 강도를 가지고 있어서 적용분야 확대를 위해서는 강도 개선도 생각해야 할 필요가 있다.

주입온도는 금형수명을 연장 시키기 위해서는 저온주입을 하여야하며 주입온도는 1280℃를 하한선으로 설정하고 있지만 효율적인 작업을 위해서 1350~1400℃의 범위에서 주입한다. 이처럼 고온주입을 하기 때문에 금형수명을 연장하기 위해서는 많은 노력을 해야한다.

금형온도는 수냉 혹은 공냉에 의해서 제어 하지만 금형수명을 연장하기 위해서는 저온유지가 요망되고 수냉에 의한 제어를 지향하고 있다. 그러나 수냉제어는 금형재료의 열전도율을 적게하고 금형

No	인장강도 kg/mm ²		
	30	40	50
1	[Bar chart showing tensile strength for No. 1]		
2	[Bar chart showing tensile strength for No. 2]		
3	[Bar chart showing tensile strength for No. 3]		
4	[Bar chart showing tensile strength for No. 4]		
5	[Bar chart showing tensile strength for No. 5]		
6	[Bar chart showing tensile strength for No. 6]		
11	[Bar chart showing tensile strength for No. 11]		
12	[Bar chart showing tensile strength for No. 12]		
13	[Bar chart showing tensile strength for No. 13]		
14	[Bar chart showing tensile strength for No. 14]		
15	[Bar chart showing tensile strength for No. 15]		
16	[Bar chart showing tensile strength for No. 16]		
17	[Bar chart showing tensile strength for No. 17]		
18	[Bar chart showing tensile strength for No. 18]		
19	[Bar chart showing tensile strength for No. 19]		

그림 2. 접종제가 인장강도에 미치는 영향

의 온도분포를 불균일하게 하므로 열응력이 발생하기 때문에 높은 열전도 금형이 요구되고 있다. 그래서 동합금계 금형이 많이 사용되었다. 그러나 금형을 단시간에 강제냉각하는 방법을 사용하지 않고 주조 Cycle을 길게하며 자연방냉에 의해서 저온까지 냉각하는 System도 개발되고있다.

도형은 필수적인 것이지만 도형체가 잘 떨어지므로 내구성을 기대하기가 어렵다. 그러나 주입마다 행하는 도형작업에는 Acetylene을 사용한다.

금형주조방안은 Vertical주형에 두개로 분할되고 위에서 주입하는 방안이 널리 이용되고 있다. 그러나 일반적으로 Misrun등의 위험이 있으므로 탕구계의 단면적은 필요 이상으로 넓게 하여야 한다. 그러므로 제품비율은 양호한 경우에 70%정도이다.

4. 구상흑연주철의 금형주조

구상흑연주철의 용탕은 과냉이 쉽고 chill화가 쉬운 반면에 금형의 급냉응고 조건하에서 흑연이 구상화가 쉬우므로 금형에 의한 구상흑연주철 제조는 모래형주조와 다른점이 있다. B.C.Godsell에 의하면 금형주조에서의 구상흑연주철 용탕의 탄소당량 및 Si는 그림 3에 나타난 것과 같이 주물의 두께에 따라서 변화한다.

다만 주물두께에 관계없이 최저 탄소량은 3.6%이고 일반적으로는 3.7%이상 이어야한다. 예를들면 1 inch두께의 주물의 탄소당량이 약 4.81이라면 이때 Si량은 그림에서 3.6%이고 탄소량은 3.7%가 된다. 이 화학조성에 의하면 주방상태에서 Ferrite가 많은 구상흑연주철을 얻는다.

Chill이 없고 혹은 최종 응고부에서의 편석, Pin-hole결합등을 방지하기 위해서는 Mn량의 제어가 중요하다. 적당한 Mn량은 주물 두께에 의해 변하지만 Mn량은 0.3%이하의 범위가 적당하다. 또 취성화 경향, Pearlite촉진 및 편석등을 억제하기 위해서는 P량을 0.04%이하로 하는것이 요망된다. 잔유 Mg량은 전술한 바와같이 급냉응고 하에서 흑연구상화가 용이하고 chill화 경향이 크므로 소량인 0.03%이하로 하여야한다.

그림 4는 0.014%Mg의 주철을 금형 및 모래주형에서 주조한 경우의 흑연조직 및 기계적성질이다. 그림에서 보면 금형에서는 구상흑연이 되어있지만 모래형에서는 CV흑연으로 되어있고 모래형에서 CV주철 용탕이 구상흑연주철의 금형 주조가 가능

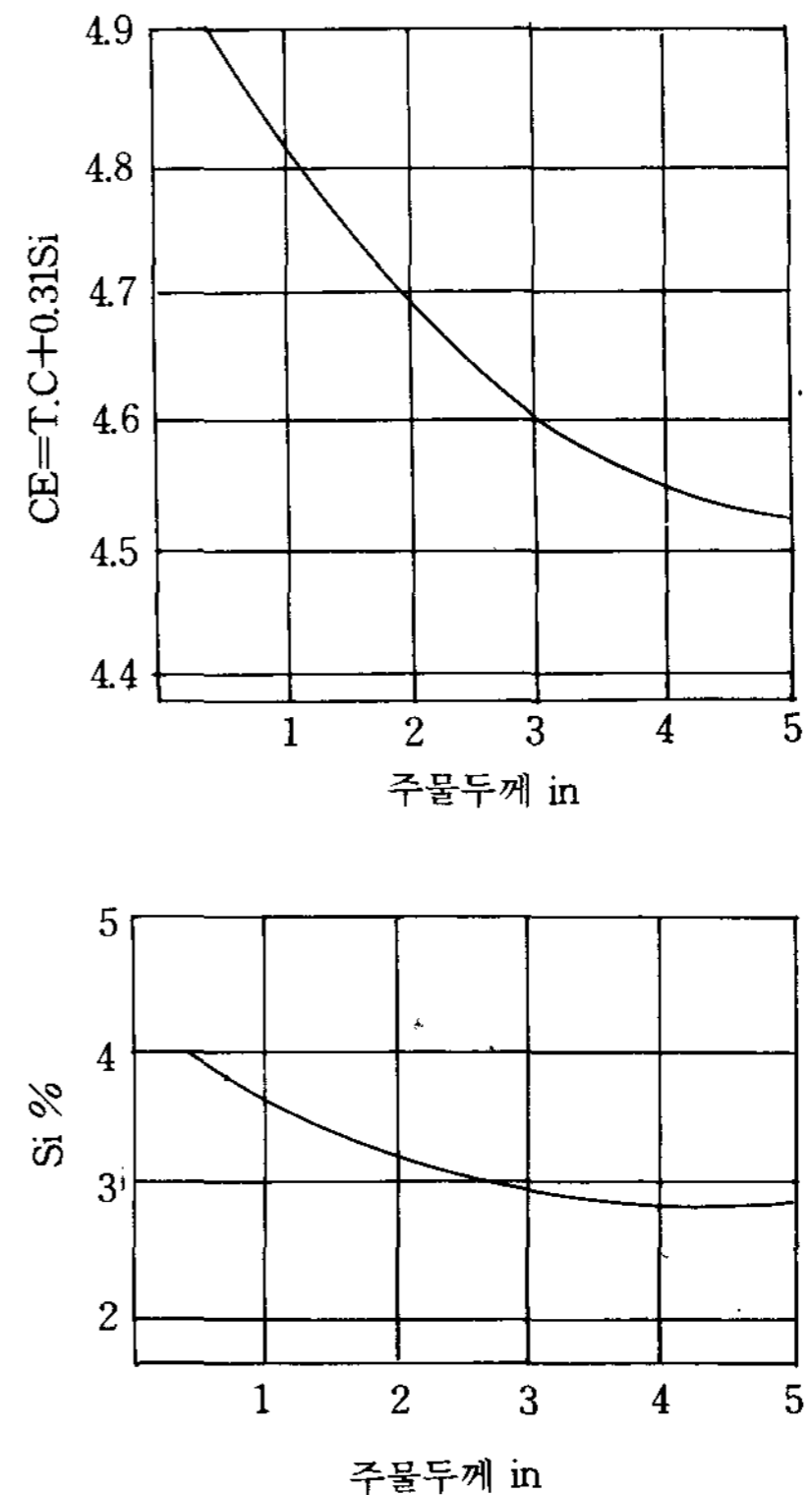


그림 3. 금형주조용 구상흑연주철 용탕의 당량(CE) 및 Si량

	동금형	철금형	사형
흑연조직 ×200			
인장강도 kg/mm ²	46.9	45.3	39.5
내력 kg/mm ²	33.0	33.0	26.5

그림 4. 금형 및 사형에 있어서 저잔유 magnesium (0.014% Mg) 주철의 흑연조직 과 기계적성질

하게 되었다. 이상은 금형주조에서 Ferrite가 많은 구상흑연주철에 관한 화학조성이었지만 주방상태에서 Pearlite가 많은 조직에서는 Cu를 0.2~0.4% 첨가하는 것이 요망된다. Pearlite화에 대해서 Sn을 이용하는 것은 좋지 않으며 공정cell경계에 편상흑연을 발생시키는 경향은 크다.

그런데 금형구상흑연 주철에서는 급속응고에 의해서 흑연을 미세화 시키지만 구상의 크기 및 흑연간의 거리는 모래형주조품의 반정도이고 입자의 수는 3배가 된다. 또 Ferrit粒徑도 미세화된다. 이와같이 조직적 특징에 의해 금형구상흑연 주철에서는 다음과 같은 재질적 특성이 있다. ① 고강도 특성(그림5) ② 저온에서의 충격강도가 높고 ③ 피로강도의 향상

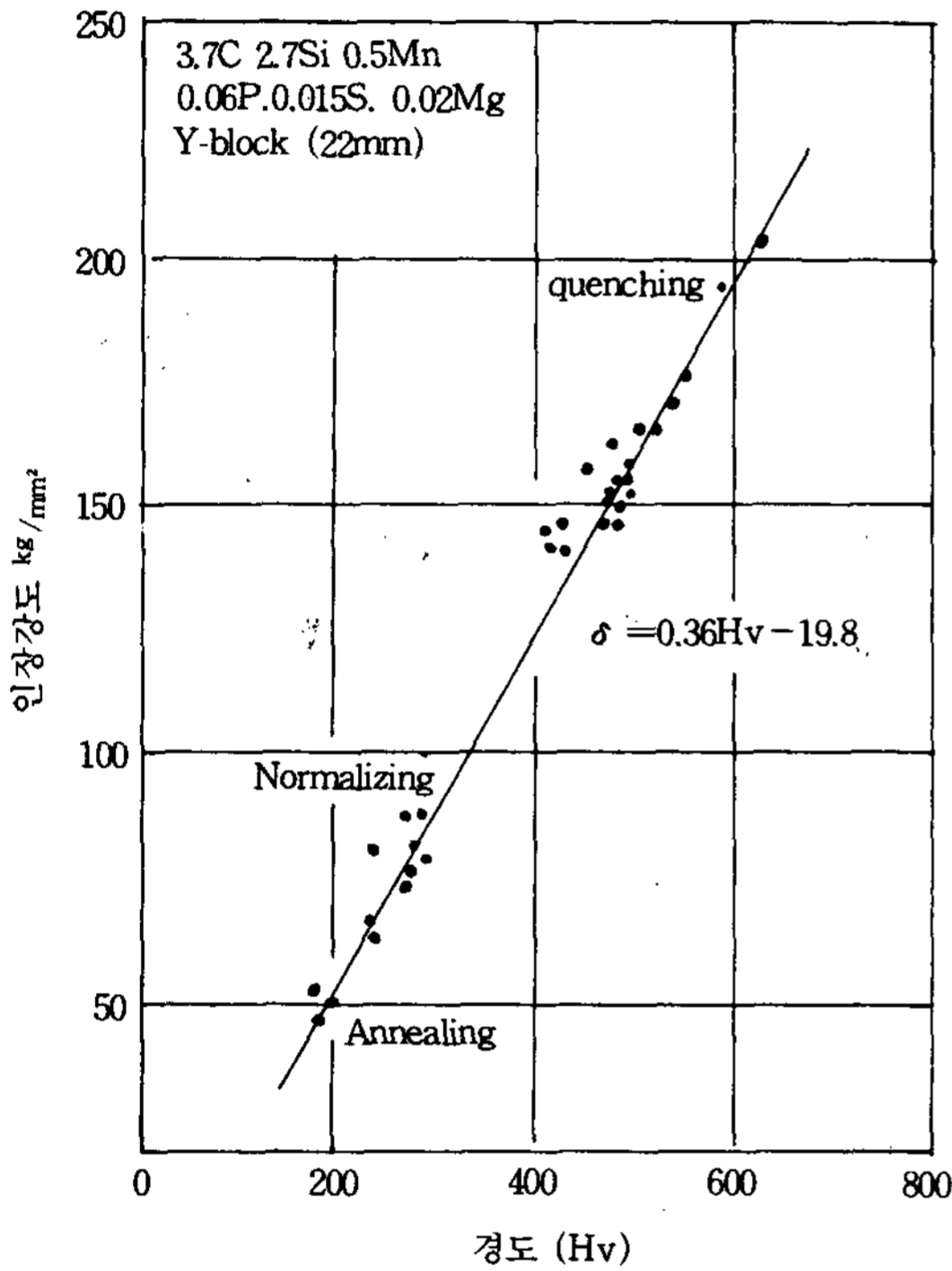


그림 5. 금형구상흑연주철의 열처리후 강도 및 경도

5. 금형재료

주철조조용 금형재료로서는 보통주철이 많이 사용되고 있다. 이것은 주조품의 기계가공이 용이하고 가격이 싸지만 그 수명을 일반적으로 수천회 정도 사용한다. 그외에 공구강(0.24%C, 2.5%Ni, 3.0%Cr, 8.5%W)은 Pipe hook, T Bolt의 금형주조에 이용하여 주철금형의 5배의 수명을 가진다. 고텅스텐강(0.75%C, 4.25%Cr, 1%V, 18%W), 모리브덴소결금형(주철금형의 6.6-18배수명), TZH 합금(0.5%Ti, 0.1%Zr) 등은 고용점 금속재료에 이용된다. 그러나 이러한 재료는 가격이 비싸고 가공이 어려워서 그 이용범위가 좁다.

금형의 수명이 짧아지는것은 주로 열피로에 기인한다. 그러므로 금형이 수명을 연장 시키기 위해서는 금형의 온도상승을 억제하는것이 중요하다. 그림 6은 금형으로 이용되고있는 급속흑은 합금의 열확산율과 금형 표면온도와와의 관계이며 0℃의 금형에 1350℃ 또는 700℃의 용탕을 주입한 경우를 나타낼 것이다. 금형에 용탕을 주입하면 금형 표면온도는 열확산율에 의해서 변하고 열확산

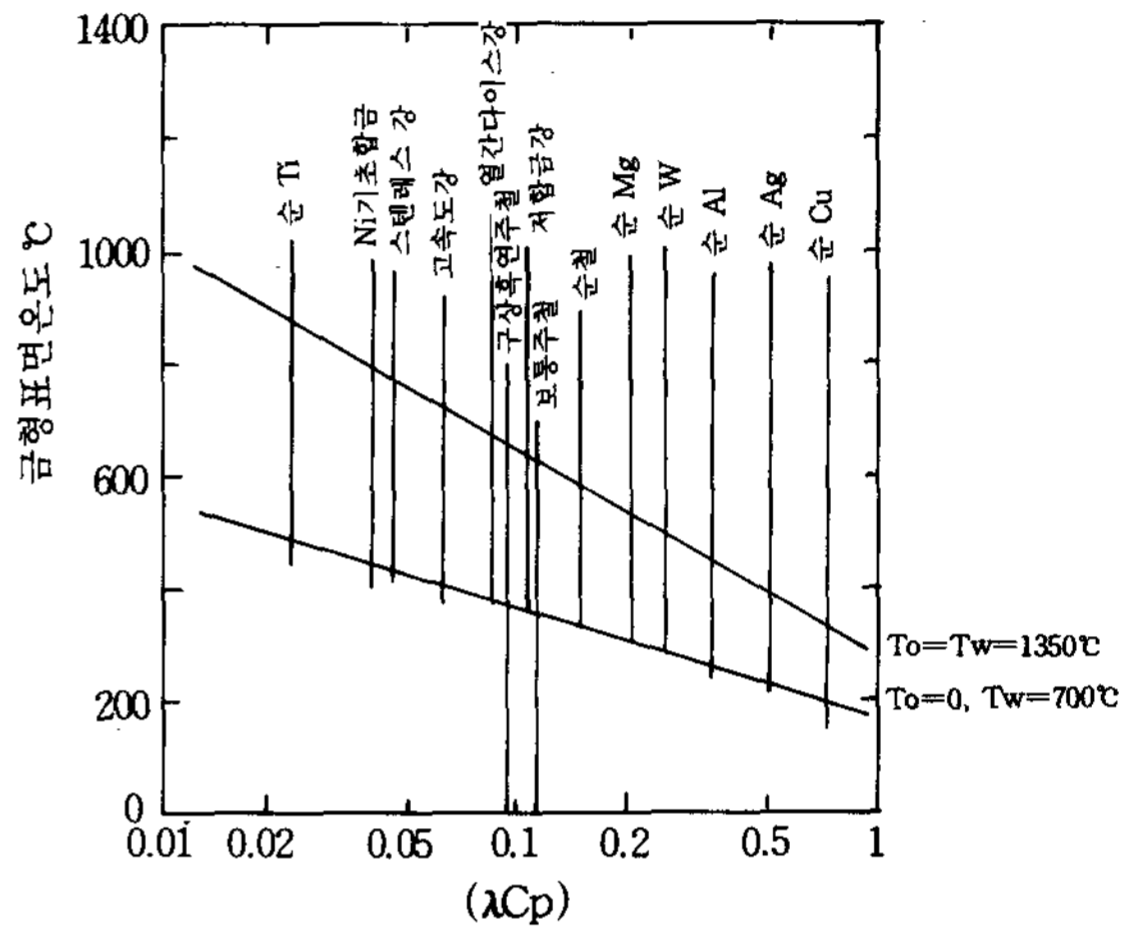


그림 6. 각종재료에 1350℃ 또는 700℃의 용체를 주조할때의 표면온도
(To: 금형예열온도, Tw: 주입온도)
(λCp)T T: 금형의 열확산율

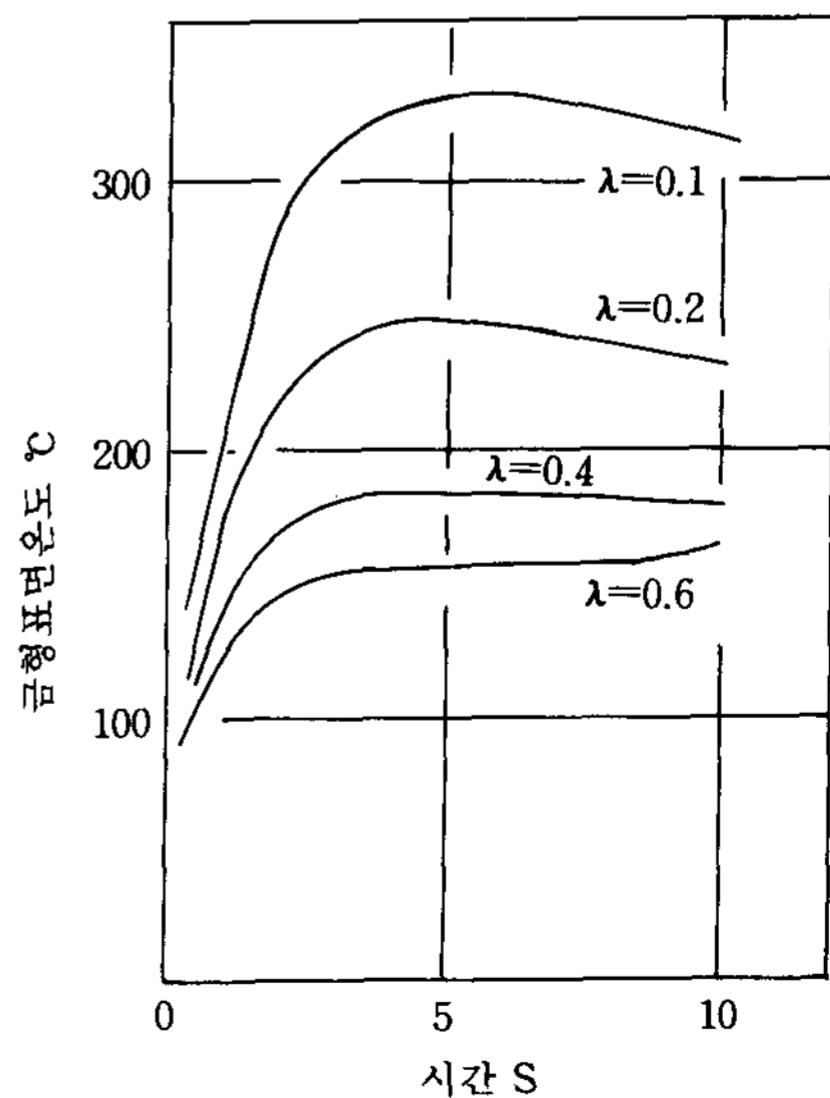


그림 7. 금형표면온도에 미치는 금형의 열전도율의 영향 (금형온도 50℃, 주입온도 1350℃)

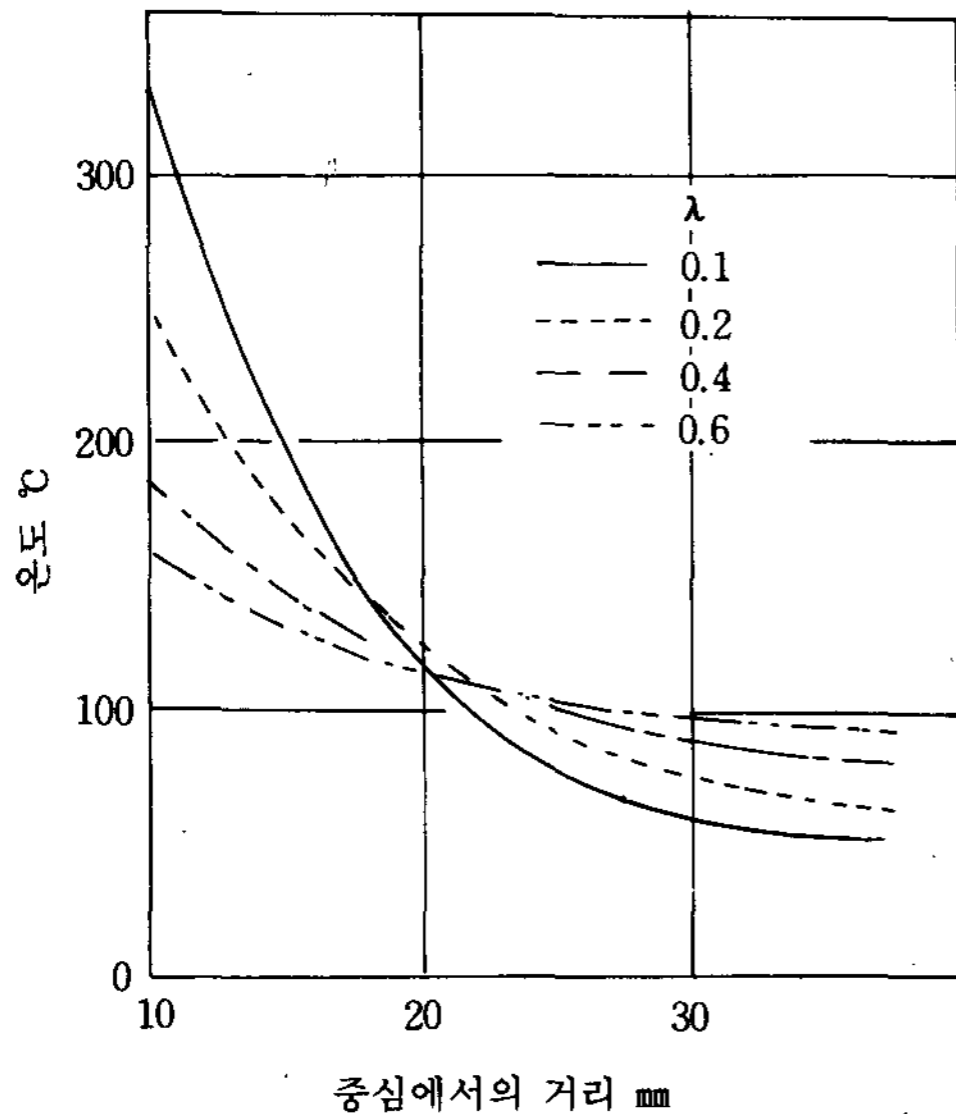


그림8 금형온도분포 (주입후 6S)

율이 큰 쪽이 금형온도의 상승이 낮아서 열피로를 일으키기가 어렵다. 또 냉각 매체에 의한 금형냉각에 있어서도 열확산율이 큰 재료는 전달이 빠르고 온도관리가 쉽다.

그림 6에서 Cu의 이용이 요망되고 있지만 純銅의 경도는 낮기 때문에 실용화 하는데에는 문제가 있다. 그러므로 저합금화한 Cu합금이 개발하는 중이다. 현재 개발된 합금은 Cu-(Zr, Ti, Cr)계, Cu-(Cr, Zr, Cd)계, Cu-(Ba, Ag)계등이 있으며 일부 실용화 되고 있다.

純銅의 열전도율(λ_{Cu} /cm.s.°C)은 약 0.8이고 합금화 함에 따라 적어진다. 개발된 합금의 λ (Lambda)는 0.2~0.7의 범위이다. 그림7은 ϕ 20mm의 시험편을 채취한 금형(두께27.5mm)에 1350°C의 주철용탕을 주조할때의 금형표면온도의 변화를 나타낸 것이다.

λ 가 0.1(주철재로 가정)인 경우 금형 표면온도는 최고 약 330°C까지 상승하지만 λ 의 증가에 따라 상승하는 온도는 낮아진다.

그림 8은 주입후 6초에서의 금형온도 분포이다. 열전도율이 낮은 경우는 온도구배가 크고 금형내의 온도가 불균일하게 되어 발생 응력도 크게된다. 열전도율이 높으면 비교적 균일한 온도분포를 나타내므로 열피로가 생기지 않는다. 그래서 고열전도재는 금형으로 이용하면 수명이 길게된다. I.Henych에 의하면 주철금형은 42~60톤/set(6kg/set을 7000~10000shot사용)의 수명을 갖는데 비하여 Cu합금 금형은 1200~1800톤/set(200,000~300,000shot를 사용)으로 수명이 약 30배 연장할 수 있다.

Cu합금 금형을 이용할때는 냉각System을 도입할 필요가 있다. 즉 주물의 형상, 크기에 미치는 주조Cycle에 적합한 냉각장치를 금형에 물 유출시간, 물량등을 온도 감지기및 제어System에 의해서 조절되는것이 중요하다.

한편 열전도율이 낮은 주철금형을 이용할때는 수냉등의 강제냉각방식은 좋지않고 공냉방식이 적합하다. 주철금형과 공냉방식을 결합시킨 Rotary 방식 주조장치도 사용되고 있지만 최근 보고에 의하면 주철금형의 수명을 길게하기 위해서는 금형을 자연방냉 하는것이 적합하다고 보고 되고있다.

6. 결론

주철의 금형주조에 있어서 그 기술은 광범위하므로 전부 설명하기는 어렵지만 최신 정보와 이후의 방향에 대해서조사해 보았다.

금형주조의 특징은 이미 잘 알고있는 것이지만 이 분야에 기술이 축적되어 구상후연주철을 금형주조화하면 원가절감은 물론이고 주조산업에 크게 기여할 것으로 생각된다.