

技術資料

# 금형주조법에 의한 주철의 제조

윤상원, 장인화

## Product of Cast Iron by Permanent Process

S. W. Yun and I. W. Jang

### 1. 서 언

(주)금성사 사상공장은 1990년도부터 룸 에어컨 용 로터리 컴프레서 부품중 cylinder와 C/shaft 등의 국산화를 위해 금형주조법에 의한 공정흑연 주철의 생산을 하고 있다. 공정흑연주철은 습식 마찰에 우수하고 절삭가공시 가공성이 좋고 가공 후 치수정밀도도 우수하기 때문에 룸 에어컨용 로터리 컴프레서에 채용되고 있다. 금형주조는 생산성에 있어 사형보다 금형 size 및 주입중량의 제약, 높은 제조원가로 인해 현재 국내에서는 널리 보급되어 있지는 않지만 국내 금형주조의 발전에 참고가 되고자 (주)금성사 사상공장에서 사용하고 있는 금형주조법을 소개하고자 한다.

### 2. 공정흑연주철의 특성 및 제조법

#### 2.1 공정흑연주철의 특성

공정흑연주철의 특성은 표 1과 같다.

표 1. 공정흑연주철의 특성.

항 목	내 용	비 고
부품으로서의 장점	free machinability : 피삭성이 우수하기 때문에 가공생산성은 향상	피삭성이 요구되는 부품에 적용
	dense porous-free structure : 조직이 균일하고 작은 결정립으로 구성되어 있어 사형주조조직보다 치밀	액체나 가스를 hold 시키는 부품으로 적용
	close limites-no growth or distribution : 경도의 변화가 거의 없고 주물 자체의 변형이 적으므로 치수정밀도를 높일 수 있다.	moving part에 적용
	ability to take high finish : 미세한 grain으로 되어 있어 가공 후 표면조도 양호	
총 합	사형주조에 비해 인장강도가 높고 윤회상태에서 내마모성이 우수하고 특히 절삭가공성이 우수하며 고정밀가공이 가능하다 <sup>6)</sup> .	

### 2.2 제조공정

#### 2.2.1 공정소개

공정흑연주철의 제조공정은 그림 1과 같다.

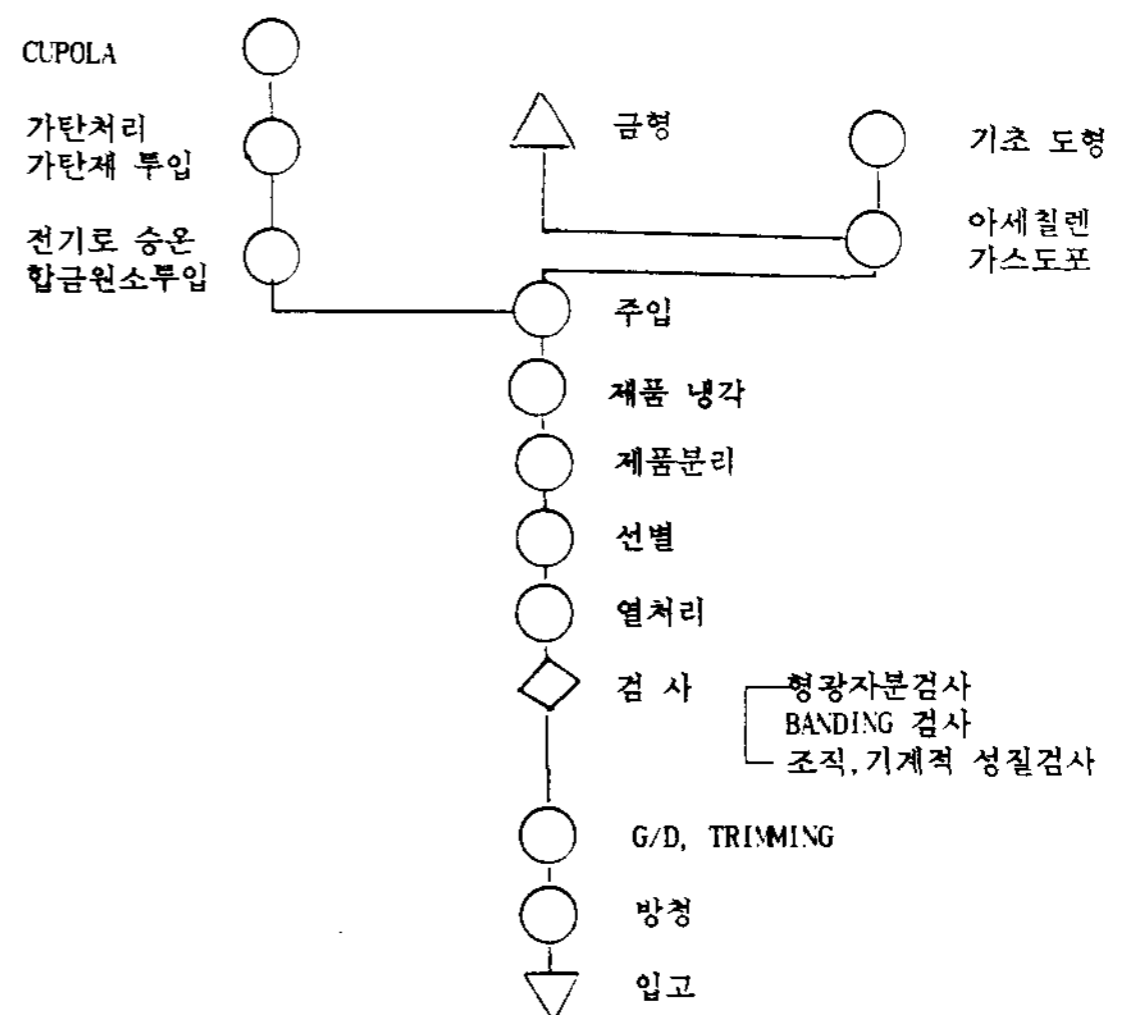


그림 1. 제조공정도

(주)금성사 사상공장

1350~1420°C에서 주입된 제품은 약 60초 후에 취출한다. 이 process는 사형에 비해 비교적 제품의 냉각속도가 빠른 것이 이 작업의 특징이다. 주조된 제품은 약 900°C에서 annealing 처리하고 있으며 0.5~25% 정도의 pearlite가 요구되는 제품은 열처리후 강제공랭에 의해 normalizing하기도 한다.

2.2.2 설비사양

설비사양은 표 2와 같다.

표 2. 설비사양.

설비	항 목	SPEC
금 형 주조기	cycle time	약 200sec
	냉각수 line 온도	In:20~25°C, Out:40°C
	금형치수	500W×400H
	금형 station	8EA
자 분 탐상기	1) 탐상조건	
	통전전류	DC 1.5~1.7kA
	통전시간	2.05sec
	2) 장 치	
	코 일	DC 1.5~2kA:수직검사
	헤 드	DC 1.5~2kA:수평검사

2.2.3 제품의 종류 및 규격

사진 1의 예처럼 comp용 cylinder 및 C/shaft와 자동차용 wheel cylinder를 주조하고 있다.

종 류	13점
단 중	0.35~1.5kg
생 산 량	약 9~10만개/월

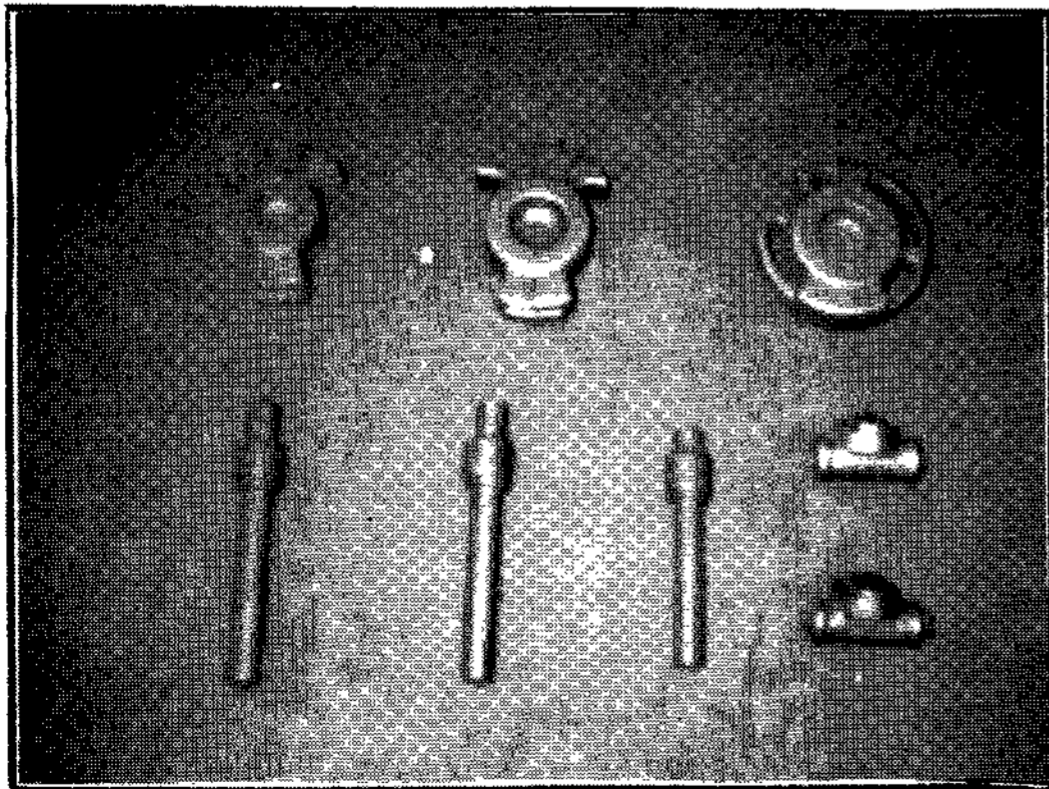


사진 1. 생산제품.

흑 연 Type	D+E type
열 처 리 후 기 지 조 직	cylinder : 5~20% pearlite C/shaft : all ferrite
경 도	167~207HB
인 장 강 도	21~30kg/mm <sup>2</sup>

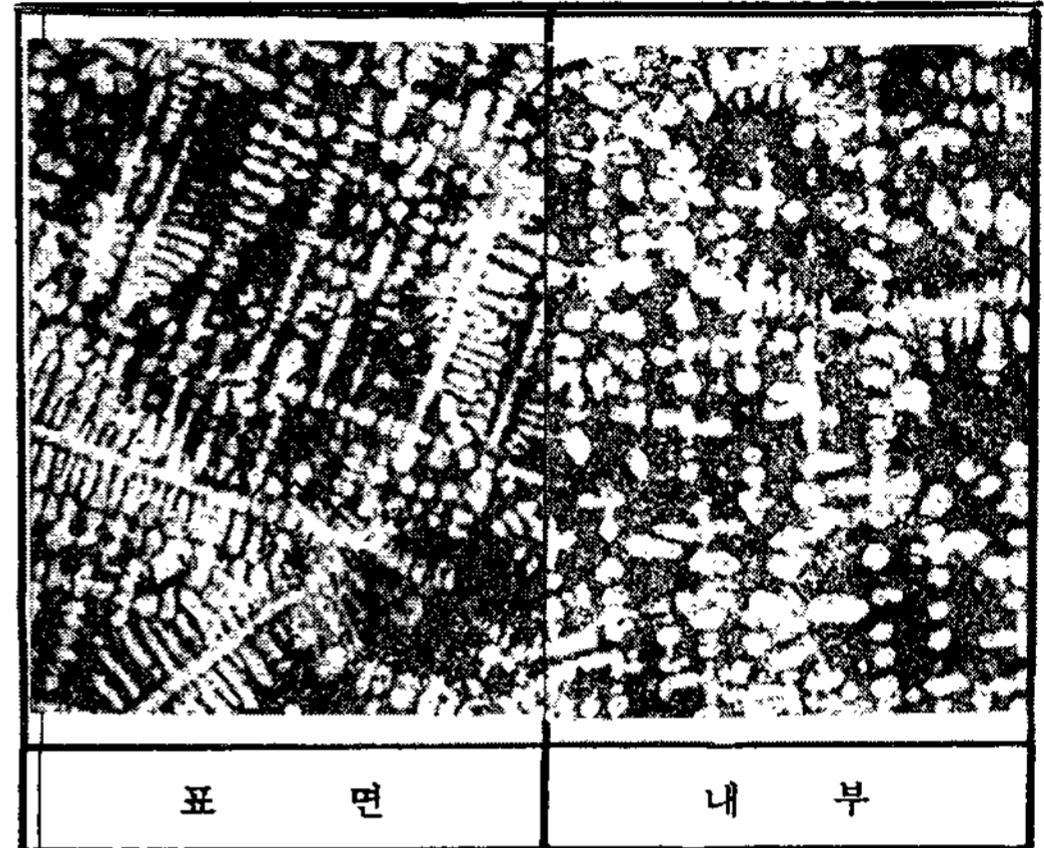


사진 2. 공정흑연주철의 조직.

2.3 금형 및 주조방안

2.3.1 금 형

(주)금성사 사상공장에서 채용하고 있는 금형은 주철재 금형으로서 비교적 다른 재질(동, 강)에 비해 열전달계수<sup>1)</sup> 자체가 낮은 재질을 적용하고 있다(표 1). 주철재 금형은 열전달계수가 낮음으로써 열전도도가 낮아 주탕작업시 금형에서 제품부와 냉각부의 열구배가 커짐으로써 생기는 열응력이 금형의 균열을 일으키는 주요 원인이 된다.

표 3. 열전달계수.

단위 : cal/°C·sec·cm

	주 철 재	특수강재	동합금재
열전달계수	0.1	0.70	0.74

2.3.2 주조방안

실질적으로 금형주조의 주조방안에 있어 특별하게 축적된 경험은 없이 사형주조방안을 토대로 다음과 같은 이론<sup>8)</sup>을 참고하여 금형작업을 하고 있다.

1) 금형설계기초

금형주조법에서 얻어지는 주물의 일반적인 설계는 첫째, 수축률에 있어 5~8/1000을 적용하고, 둘째, 굴곡부, 높은 lib, 돌기 및 깊은 구멍이

없는 최고 단순한 외형, 셋째, 형으로부터 주물의 취출이 용이한 구배(내측 7°, 외측 3°, 탕도계 15~30°), 넷째, 주입용탕조건을 만족시키는 금형의 두께 등에 있어 사형과 약간의 차이를 둔다.

2) 금형의 두께

금형설계의 주요문제는 금형의 두께와 재료의 선택이다. 이러한 요소들이 금형수명(균열에 대한 내성)을 결정한다. 금형의 최적 두께(이론치)는 식 (1)과 같다.

$$X_2 = \frac{k}{2} A \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{8 \lambda_2}{A \alpha_1}} \right) \quad (1)$$

k = 계수

$$A = \frac{3Q}{C_2 \rho_2 (T_{정출} - T_{2n})}$$

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_{박도}}{X_{박도}}$$

$$Q = X_1 \rho_1 (C'_1 [T_{주입} - T_{정출}] + r_1)$$

X<sub>1</sub> : 주물두께의 1/2

X<sub>2</sub> : 금형의 두께

C : 비열 (C<sub>1</sub>: 주물, C<sub>2</sub>: 금형, 대쉬(')는 액체 상태)

ρ : 밀도 (ρ<sub>1</sub>: 주물, ρ<sub>2</sub>: 금형)

r : 응고열

T<sub>주입</sub> : 주입온도

T<sub>정출</sub> : 정출온도

X<sub>박도</sub> : 얇은 도형층의 두께

λ : 열전도율 (λ<sub>1</sub>: 주물, λ<sub>2</sub>: 금형, λ<sub>박도</sub>: 도형층)

T<sub>2n</sub> : 주입 직전의 금형온도

r : 응고열 (r<sub>1</sub>: 주물, r<sub>2</sub>: 금형)

금형두께 X<sub>2</sub>가 주물의 응고종료시점에서의 형의 가열깊이에 대등하게 된다고 가정하면 X<sub>2</sub>의

값이 클 경우 주물성형의 열조건도 변화하지 않는다. 보정계수는 K는 근사적으로 K=1이 된다.

실험실 조건과 공장조건의 검토하면 식 (2)와 같다.

$$X_2 = \frac{3B}{2Kr} X_1 \left( K_b \frac{1 + K_b}{T_{주입} - T_{2n}} \frac{r_1}{C_1} \right) \quad (2)$$

B : 금형의 휘어짐 경향과 그 재료의 산화경향을 고려한 계수 (B=1.25~2.0)

X<sub>1</sub> : 주물두께의 1/2

$$K_r = \frac{2X_1}{R_{환산}}$$

$$K_b = \frac{b_2}{b_1}$$

R<sub>환산</sub> : 주물의 환산 벽두께

b<sub>1</sub> : 주물의 축열계수

b<sub>2</sub> : 형재료의 축열계수

T<sub>주입</sub> : 주입시 용탕온도

T<sub>2n</sub> : 주입 직전의 금형온도

r<sub>1</sub> : 주물재료의 비응고열

C<sub>1</sub> : 주물재료의 비열

따라서 X<sub>2</sub> = 11√2X<sub>1</sub> 으로 결정된다.

3) 탕구계

주철주물에서의 금형주조 탕구계는 대부분이 수직주입방식(그림 2)이다. 이것은 수평주입보다 금형의 내구성이 높기 때문이다. 금형 내에서는 탕구계를 형성하는 부분(zone)과 용탕이 최초로 닿는 부분에서 최대의 마모가 보여진다. 따라서 용탕이 원활히 주입될 수 있고 분산되어 주입될 수 있는 구조방안이 요구된다.

탕구계 요소의 단면적을 계산하기 위한 식의 기초로서는 침식공으로부터의 유출에 따른 액체

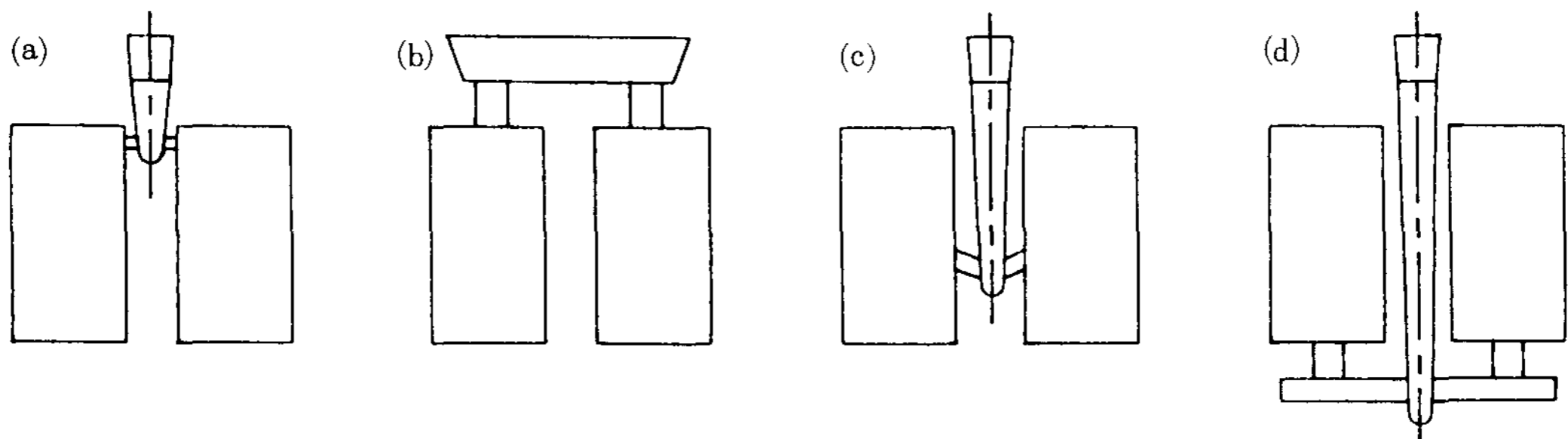


그림 2. 금형주조용 탕구계의 형태.

의 유량을 결정하는 식을 채용한다.

$$q = uF\sqrt{2gH} \quad (3)$$

- u : 유량계수
- F : 孔의 면적
- g : 자유낙하의 가속도
- H : 孔의 중심상의 액체 레벨의 높이
- q : 액체의 유량

이에 따른 주입과정에서 용탕레벨의 높이(H)가 변하지 않는 것이 보이면 다음 관계가 성립한다.

$$M_1 = \rho_1' F n t_1 u \sqrt{2gH} \quad (4)$$

- M<sub>1</sub> : 주물의 중량
- ρ<sub>1</sub>' : 용융금속의 밀도
- Fn : 인게이트의 단면적
- t<sub>1</sub> : 주입시간(주입된 용탕이 cavity내를 이동하며 응고하는데 걸리는 시간)

$$t = \frac{R_s \rho_1' C_1'}{\alpha_1 f} \ln \frac{T_{\text{주입}} - T_{sf}}{T_{\text{응고}} - T_{sf}} \quad (5)$$

R<sub>s</sub> : 금형 cavity의 환산치수

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_{\text{박도}}}{X_{\text{박도}}}$$

$$T_{sf} = T_{2n}$$

따라서

$$F_p = \frac{M_1 \alpha_1}{C_1' (\rho_1')^2 R_s u \ln \frac{T_{\text{주입}} - T_{2n}}{T_{\text{응고}} - T_{2n}} \sqrt{2gH}} \quad (6)$$

u : 용탕의 이송속도

여기서, F<sub>p</sub>값은 최소치이다. 따라서 인게이트의 필요단면은 다음 식으로 결정된다.

$$F_p' = k F_p (K[\text{안전율}] > 1) \quad (7)$$

탕구계 요소의 단면적의 결정은 다음의 관계를 나타낸다.

$$F_p : F_{\text{탕도}} : F_{\text{탕구}} = 1 : 1.15 : 1.25 \quad (8)$$

이론적으로 추천되는 단면적의 비는 1 : 1.15 : 1.25로 되어 있지만 실제 item 형상에 따라 차

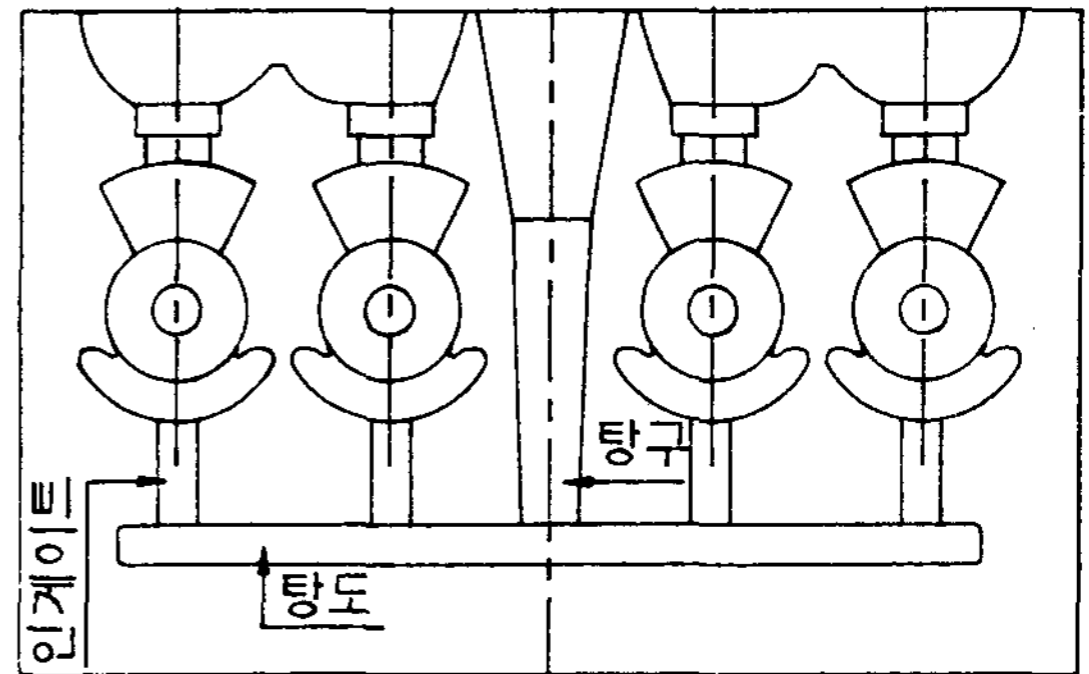


그림 3. 주조방안.

이가 있다. 그림 3과 같은 item의 주조방안에서는 1 : 2.5 : 3.3의 비율로 적용시키고 있다.

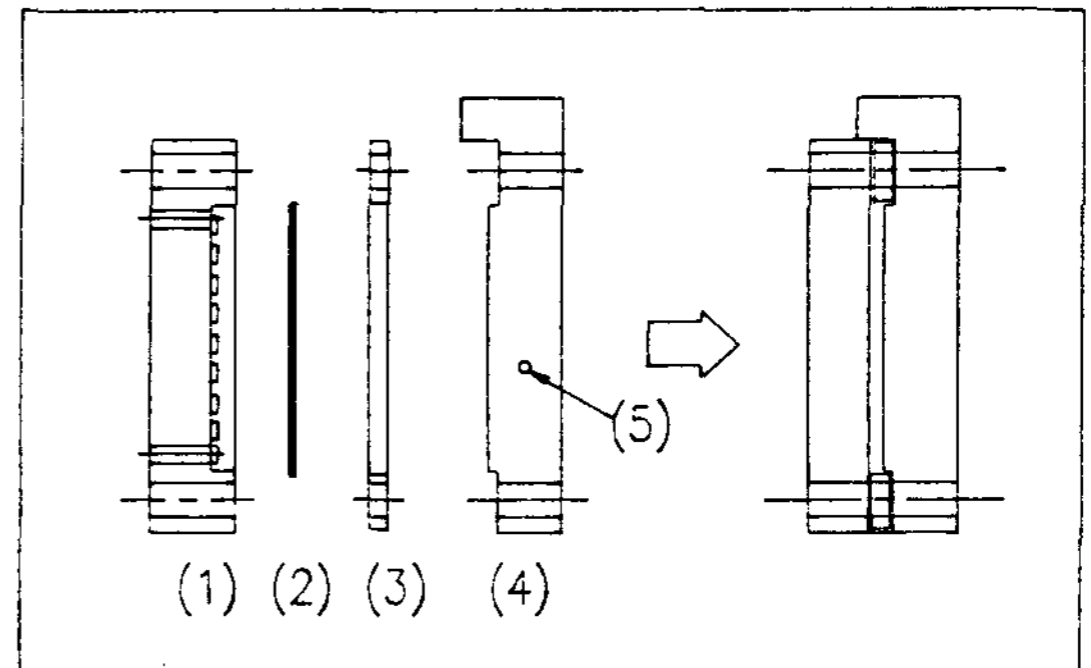


그림 4. 수냉식(간접식).

이러한 주조방안의 치수외의, 생각해야 하는 것은 금형의 냉각방식에 따라 cavity 배치, 금형 온도 감지홀의 위치 등을 주조방안 및 제품의 형상에 따라 세심하게 배치시켜야 한다. 금형의 냉각방식은 공랭과 수냉식(직접식, 간접식)이 있다.

### 3. 실험 및 불량감소활동

#### 3.1 용탕특성에 따른 기계적 성질의 변화

##### 3.1.1 D형 흑연 점유율에 따른 인장강도의 변화

그림 5에서 보는 바와같이 일정 Mn함량에서의 S량의 증가에 따른 D형 흑연의 점유율과 인장강도의 변화를 고찰하였다.

Hi-Si, L-Si량 모두 Mn이 높을수록 인장강도가 높게 나타나고 S의 증가에 따른 경향은 H

-Mn에서 인장강도가 증가함을 알 수 있다.  
 이것은 S와 Mn 사이의 다음과 같은 상관관계<sup>5)</sup>를 추정하게 한다.  

$$S\% = 0.1(Mn\%) + 0.06\% \quad (9)$$
  
 따라서 공정흑연주철의 기계적 성질을 좌우하는 변수는 D형 흑연의 점유율을 알 수 있다.  
 Ferrite화 소둔시킨 주철의 인장강도는 표 4와 같다. H-Si, H-Mn의 경우 S의 첨가량에 따라 기계적 성질을 개선시킬 수 있다.

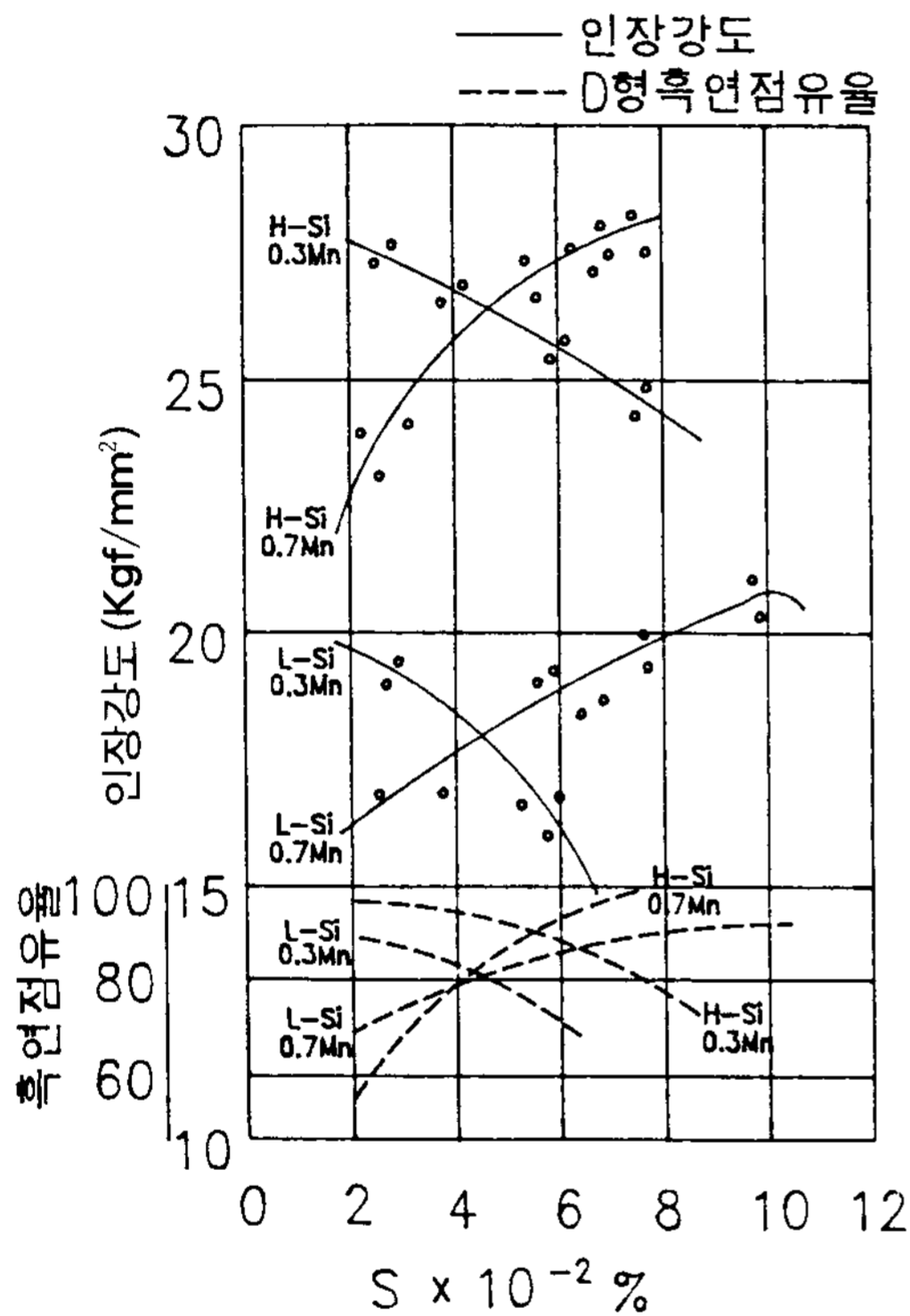


그림 5. 인장강도에 미치는 D형 흑연점유율의 영향.

표 4. Ferrite화 소둔시킨 주철의 인장강도

	고-Mn	저-Mn
고-Si	27kgf/mm <sup>2</sup>	23kgf/mm <sup>2</sup>
저-Si	20kgf/mm <sup>2</sup>	18kgf/mm <sup>2</sup>

그림 6에서는 4.3 이상의 CE값을 가질 때 chill 깊이는 최소화됨을 알 수 있고, 그림 7에서는 동일 Si/C값에서 인장강도의 뚜렷한 경향이 없어 변동이 크므로 Si/C가 인장강도에 미치는 영향은 그다지 없다. 이 결과로서 공정흑연주철

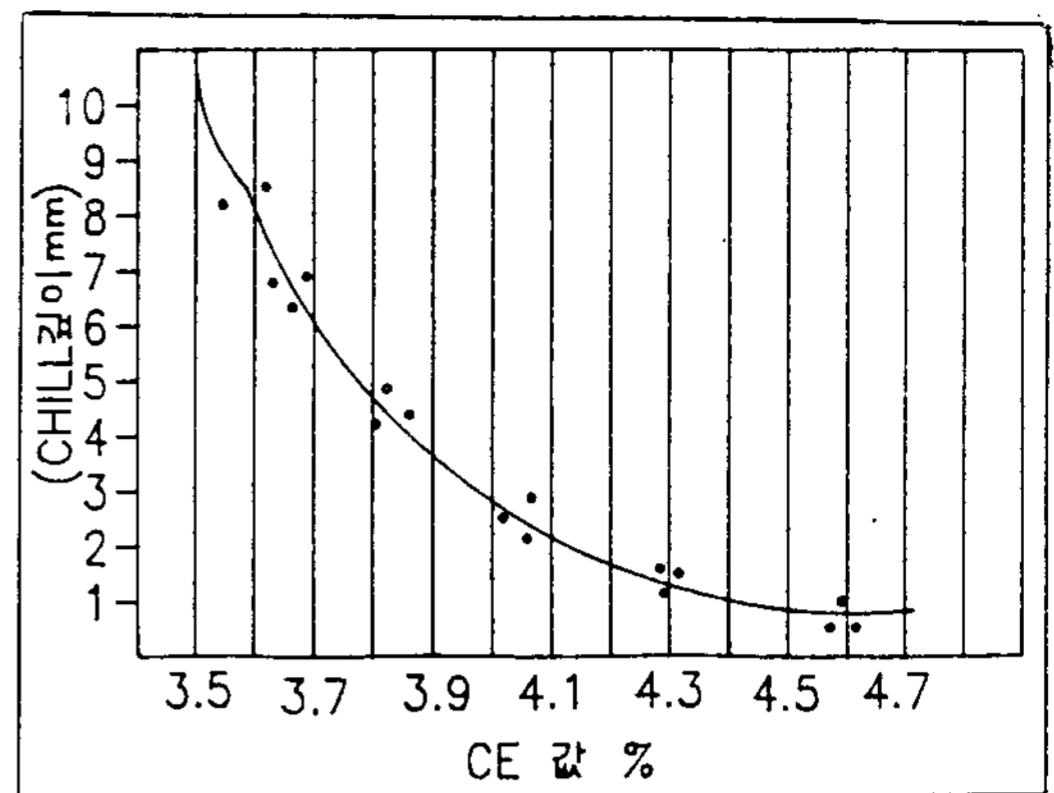


그림 6. CE치와 chill 깊이의 관계 (chill 깊이 mm)

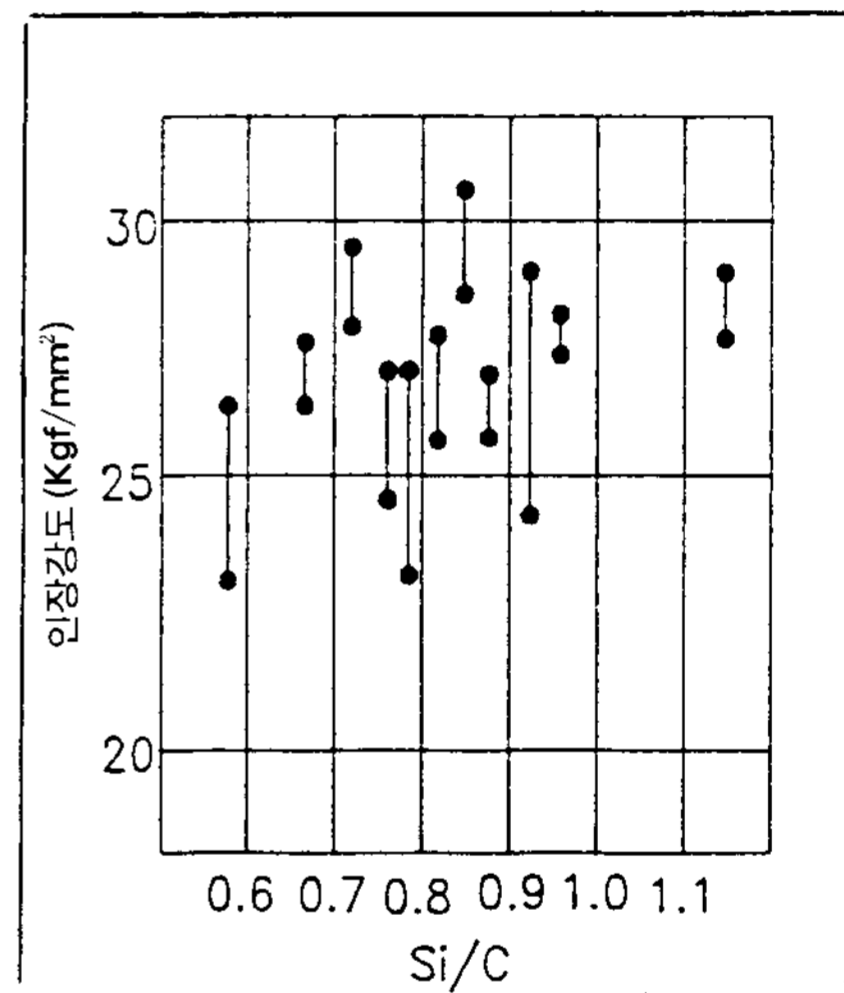


그림 7. Si/C와 인장강도의 관계(동일 CE치).

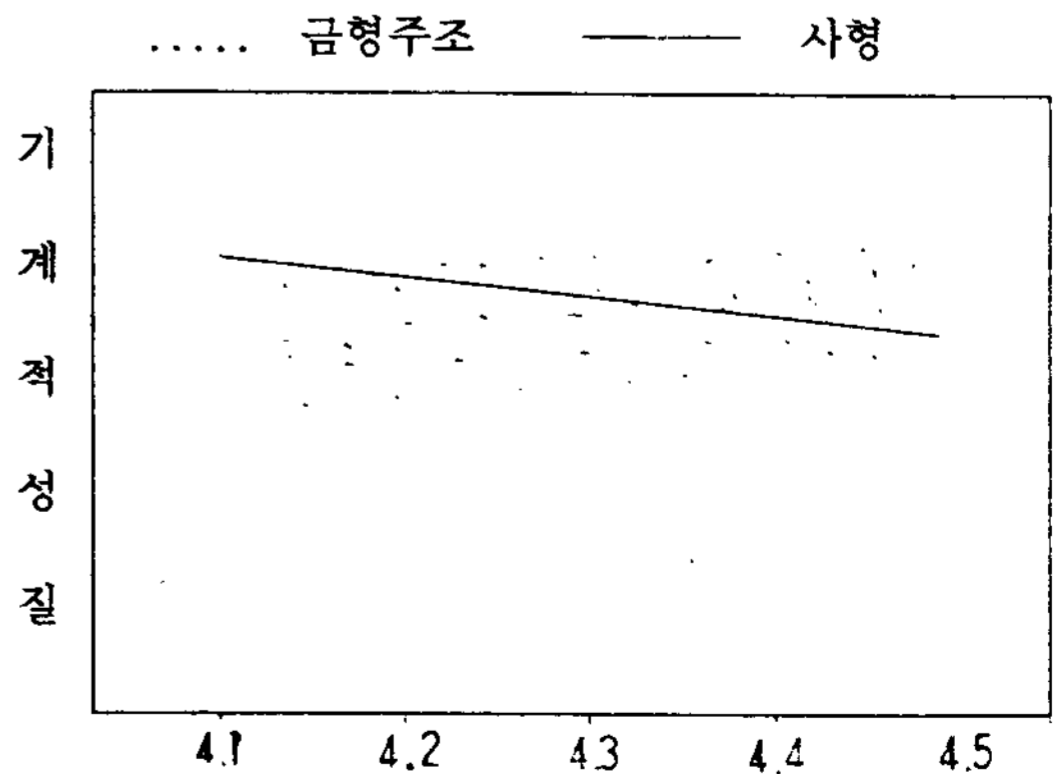


그림 8. CE값에 따른 기계적 성질(인장강도, 경도)

에는 주방상태에서의 경도는 Mn 및 S의 영향은 받지만 ferrite화 소둔시키고 나면 이의 영향은 감소함을 볼 수 있다.

앞의 요소들의 상관관계를 통하여 다음 내용을 예측할 수 있다.

사형의 경우는 CE값이 올라갈 경우 기계적 성질과 상관관계가 있지만 금형주조의 경우는 그림 8과 같이 성분에 영향이 적다는 것을 알 수 있다. 또한 MnS의 비로서 chill화를 억제하고 용존 S함량이 높으면 흑연화 억제원소로 작용한다. 이러한 MnS 함량은 full annealing 처리후의 기계적 성질과 상관관계가 적음을 추측할 수 있다.

### 3.2 금형의 수명

#### 3.2.1 현상분석

금형균열의 종류로서는 개방균열, 방향성균열이 있으며, 금형균열의 원인은 금형표면과 뒷면의 과도한 온도구배(열응력 발생), hot spot부의 열피로, 탕구 밑면, gate부의 국부적 열충격 등에 의한 금형의 손상을 초래하며 표 5의 4단계(발생, 발달, 불가역 소성변형과 성장)를 거쳐 진행된다.

#### 3.2.2 중량과 형상에 따른 금형수명시험

중량과 형상에 따른 금형수명을 그림 9에 나

표 5. 금형파손의 진행단계.

단계	금형 상태
1step	금형의 초기 손상시기 주입초기(40~50회) 소성변형(max 0.28~0.3m)
2step	주형부에서의 균열생성 및 진행시기
3step	주형부 길이변화가 0.3mm를 한도로 한 시기
4step	갈라짐, 용손된 금형의 용접보수시기 (용접사용불가)

표 6. 중량과 형상에 관계한 금형손상단계(shot).

품명	단중	진행 단계				비고
		1step	2step	3step	4step	
A type	0.35kg	4000	8000	13000	18000	
	0.42kg	3500	7000	12000	17000	
B type	0.89kg	3000	4000	9000	13000	
	1.20kg	2000	3000	8000	12000	
C type	0.39kg	2500	3300	5000	7000	lib가 많다
	0.58kg	2000	3000	4500	6000	

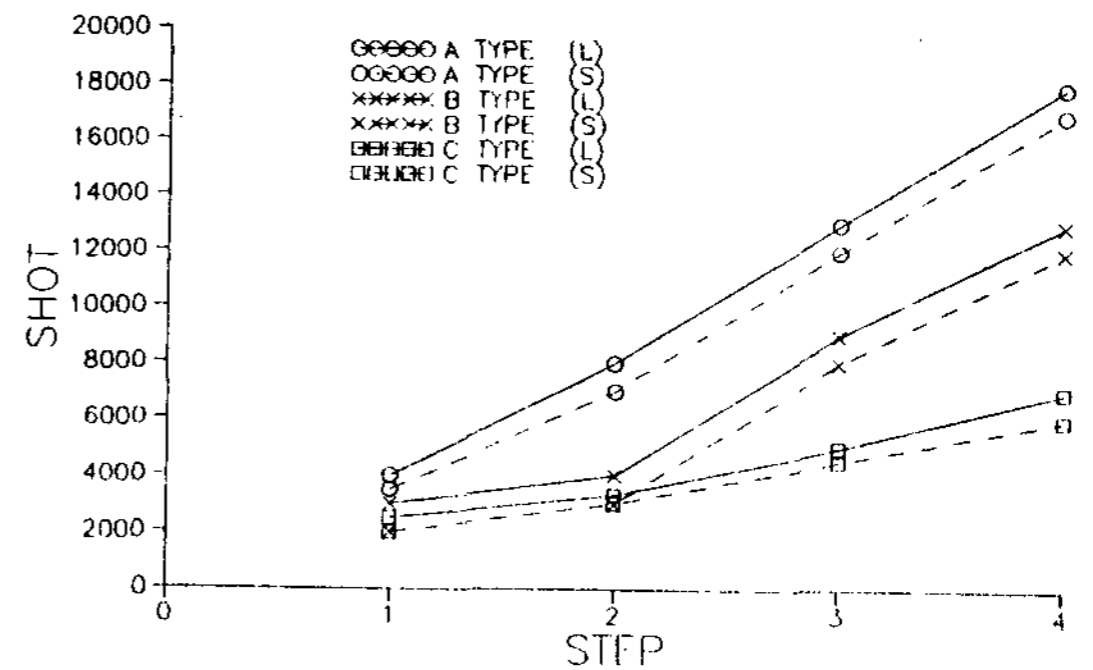


그림 9. 중량과 형상에 따른 금형수명.

타내었다.

중량과 형상에 관계한 금형손상단계를 앞의 단계로 나누어 보면 표 6과 같다.

(주)금성사 사상공장에서의 작업결과 제품부의 과도한 hot spot부, lib부가 많을 경우 금형의 수명을 단축(실제 1/2 수준)시킬 수 있는 요인이 됨을 알 수 있다. 제품의 중량 역시 금형의 수명을 좌우하는 요인으로 작용함으로 알 수 있다.

이에 따른 대책으로서 초기금형의 다듬질의 정밀도 향상, 주조제품의 형상 단순화 및 각진부위 제거, 신작금형의 주탕작업전 기초도형 및 예열작업 철저, 1단계 균열시 초기 금형손질 등을 통한 작업을 행함으로써 금형수명을 연장할 수 있다.

또한 금형재질을 통한 수명연장 측면으로서는 1990년 초기생산 당시 금형재질에 대한 경험축적이 없었던 바 일반적인 금형주조 금형재질(GC 15~20)을 기본으로 하여 자체적인 재질변경시험을 통하여 계속적으로 시험해 가고 있는 중이다.

### 3.3 불량감소활동

#### 3.3.1 불량률의 유형

금형주조 공정흑연주철에서 문제시되는 주요 불량률은 다음과 같다.

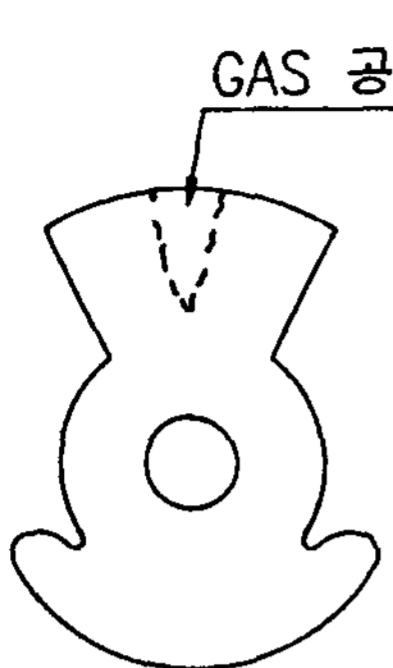
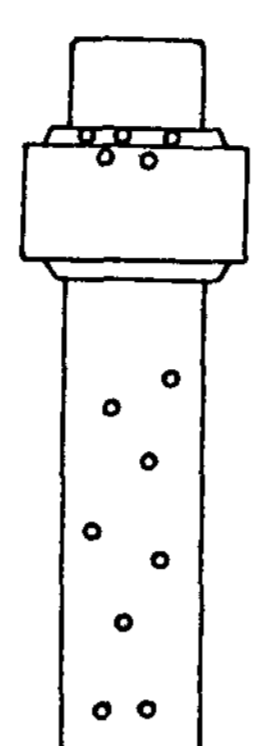
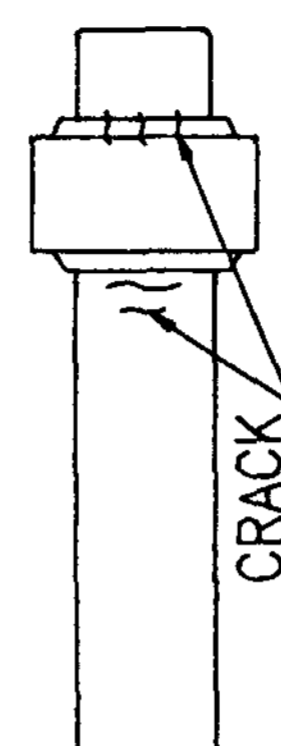
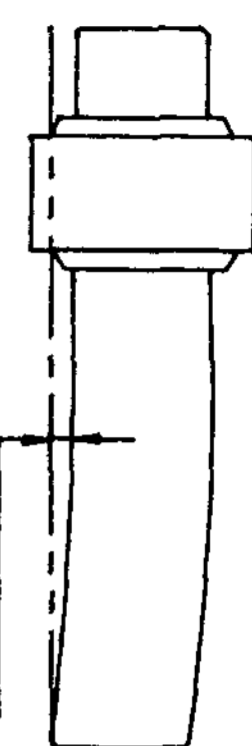
항목	gas공	계재물 혼입	crack	휨
예				
현상	gate 분리시 나타남	열처리후 탈사때 나타남	자분탐상검사후 나타남	주방상태 양호, 열처리후 나타남

그림 10. 금형주조 공정후연주철의 주물불량의 현상.

표 7. 불량 유형별 원인 및 대책.

불량내용	불량의 원인	방 지 법
금속조직의 불량 (경도미달 초래)	<ul style="list-style-type: none"> <li>조직의 불균형</li> <li>용해 및 집중, 주입온도 문제</li> <li>금형 초기온도가 높다</li> <li>금형의 도막이 두껍다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>금속조성, 용해조건</li> <li>집중제의 조성량 및 첨가조건 개선</li> <li>주입조건, 금형의 초기온도 낮춘다</li> <li>단열도형의 조성과 두께</li> </ul>
blowhole	<ul style="list-style-type: none"> <li>주입시의 공기흡입</li> <li>주입된 용탕의 높은 가스함유량</li> <li>금형 cavity의 불충분한 통기</li> <li>주입된 용탕의 낮은 온도</li> <li>냉각되기 쉬운 금형과 무건조의 단열도형</li> <li>금형의 과열</li> <li>강한 열손상에 따른 금형의 강한 산화 표면</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>금형 cavity내에 들어간후 다음 cavity를 채울 때의 비산정도를 낮춘다</li> <li>장입물의 구조변경과 과열온도의 상승</li> <li>통기공의 단면적 증대와 보충공 설치</li> <li>주입온도의 상승</li> <li>금형의 가열도형의 완벽한 건조</li> <li>금형의 냉각과 최적주입빈도 및 금형의 최적냉각조건 유지</li> <li>금형의 청소, 균열망의 제거(기계적 가공 : G/R)</li> <li>보관에 따르는 금형면의 녹방지 피막의 도포</li> </ul>
cold shut과 misrun	<ul style="list-style-type: none"> <li>용탕의 불충분한 유동성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>용탕의 주입온도의 관리, 유황함유량의 감소</li> <li>금형초기온도의 관리 : 금형의 탕구계 zone에서의 단열도형의 완벽한 도포</li> </ul>
crack	<ul style="list-style-type: none"> <li>주물의 부적당한 구조</li> <li>주물 각진부를 포함한 금형의 parting line</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>주물구조의 단순화 : 스무드한 천이부를 만들고 구석부분의 빠짐구배를 적당히 준다</li> <li>형의 P/line을 주물의 각진부를 포함하도록 2~3mm이상의 거리를 이전하여 용탕의 분산주입 유도</li> </ul>

즉 외관불량(개재물 혼입, blowhole), crack 발생, 휨 등의 현상을 동반한 주조결함을 나타내고 있다. 주물불량의 현상은 그림 10과 같다.

3.3.2 불량원인 및 그 대책

불량에 관련한 원인과 그 대책에 있어서는 금형주조의 기술적인 경험이 빈약하고 금형주조의 현장기술의 보급이 일반화되어 있지 않아 양산체제와 병용한 자체시험 및 그 결과를 바탕으로 불량감소를 계속적으로 추진하고 있으나 여러가지 복합적인 원인으로 인한 내용은 아직 과제로 남아있다. 표 7에 불량의 유형에 따른 원인 및 대책을 기술하면서 그것에 대응하기 위한 접근방법을 나열해 보았다.

3.2.3 불량감소활동

1) 탄소성분의 관리

용탕의 안정성을 도모하기 위해 시간에 따른 C(탄소)감모량을 감안하여 1550°C 기준에서의 실제 작업기준을 설정하여 시간에 따른 C의 첨가량을 결정, 투여하여 줌으로써 용탕중 탄소성분의 변동을 억제시킬 수 있다.

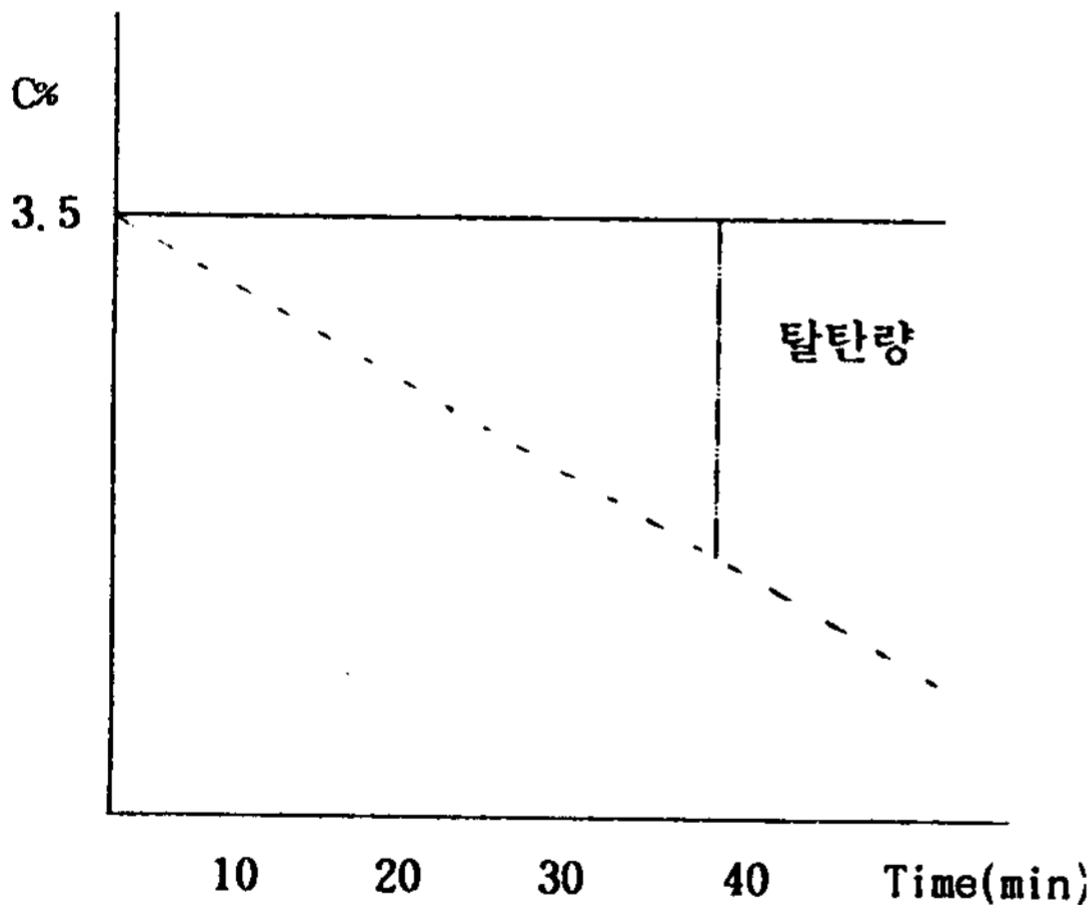


그림 11. 시간에 따른 탄소감소.

표 8. 작업조건.

전 기 로	1ton(고주파)
holding temp	1550°C
용 해 조 건	cupola 이중용해

2) 제품의 냉각조건 관리

도막>용탕성분>금형의 요인으로 인한 crack

불량을 감소하기 위한 활동으로서 간이적으로 제품냉각조건을 파악하기 위해서 M/T(자분탐상시험) 실시 및 제품의 파단면을 절단하여 제품의 응고조건으로 형성되는 그림 12와 같은 제품의 파단면의 chill 등 응고조건을 해석하여 응고곡선을 일정하게 유지할 수 있도록 도막 또는 금형의 냉각수량의 조절과 주방상태의 파단면검사를 통하여 crack 불량에 접근하고 있다.

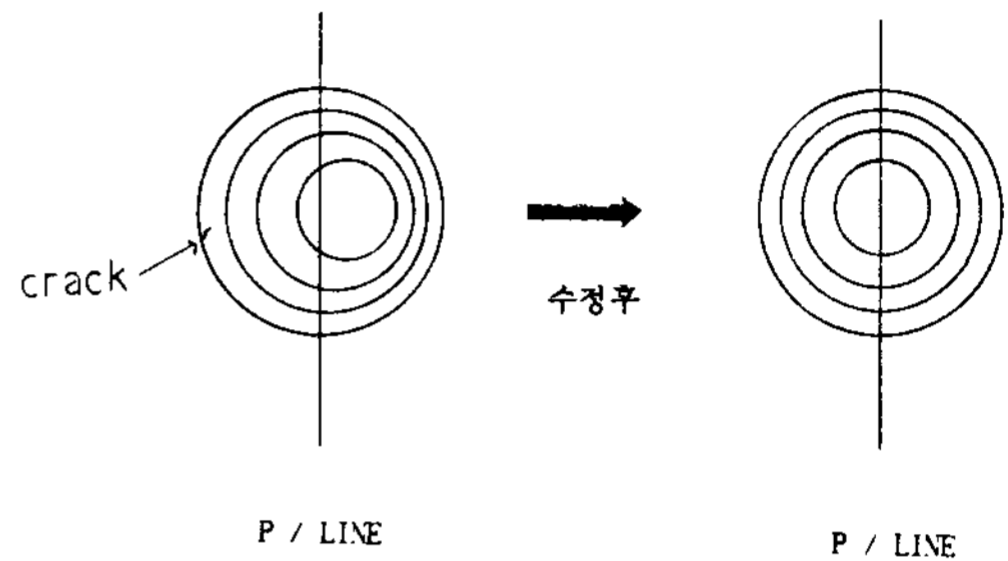


그림 12. 제품의 파단면.

Cycle의 증가에 따른 도막의 두께를 조사(그을음량, 이형시 제품색)하여 10cycle 이상시 수동으로 금형청소를 실시하였다.

4. 결 언

이상 공정흑연주철의 생산에 있어 연관되는 문제인

- 1) 금형수명에 있어 제품의 현상>제품의 중량의 순으로 금형수명에 영향을 주고 있으며 이러한 내용들을 감안하여 (주)금성사 사상공장에서는 GC15를 기본으로 한 주철재질에 미소합금(Cr, Mo, Cu, Ni)을 첨가하여 금형을 제작, 금형이력카드를 이용하여 재질에 따른 금형의 손상상태를 조사하는 한편, 주조방안에 따른 금형파손현상을 조사하여 차기 금형제작시 활용하여 금형수명의 연장을 모색하고 있다.
- 2) 공정흑연주철의 기계적 성질(경도, 인장강도)을 좌우하는 요인은

첫째, 용탕특성에 있어 Mn과 S 사이의 상관관계에 따른 흑연형상의 미세화, 둘째, 응고조건에 따른 D형상 흑연의 점유율과 흑연 size의 결정이며, 이것은 열처리후에 기계적 성질이 GCE 25에 준하는 인장강도와 경도를 만족하고 윤택상태



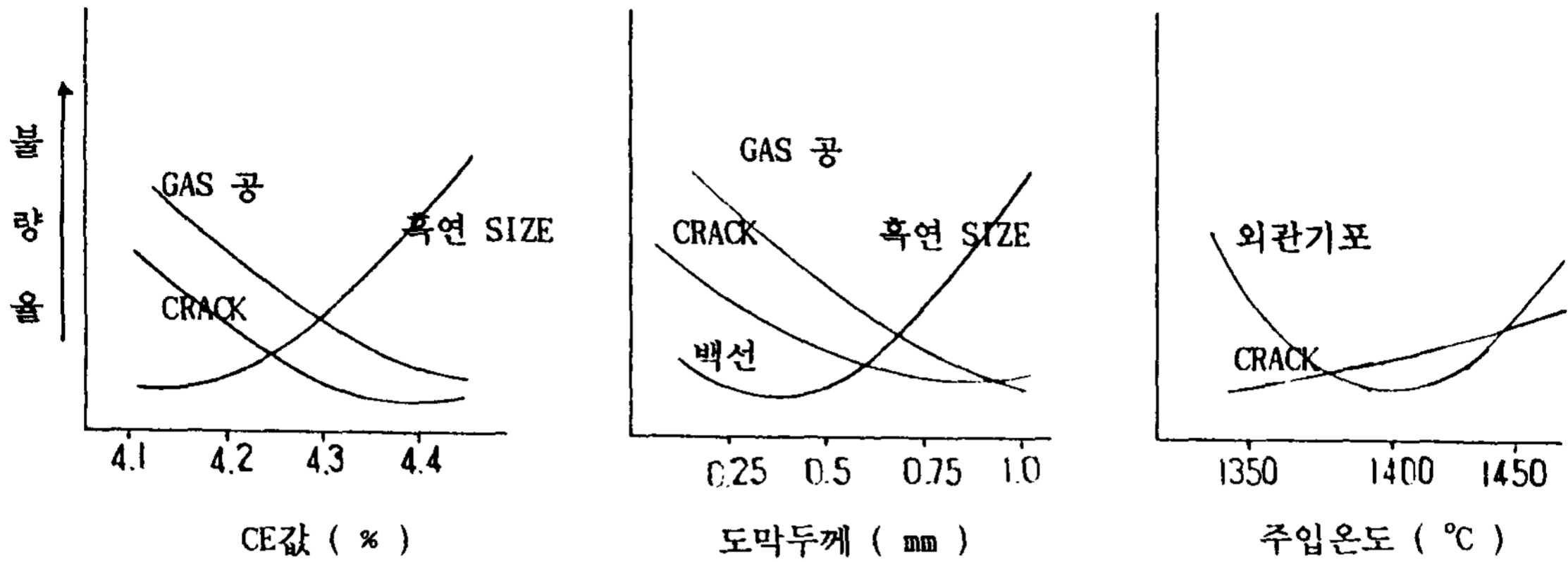


그림 13. 각 조건에 따른 금형주조품의 불량추이.

에서의 내마모성 및 절삭가공성이 우수하고 고정밀 가공성을 나타낸다.

3) 금형주조의 불량에 있어

첫째, 제품의 중량과 형상에 따른 적절한 주조방안, 둘째, 금형의 도막 및 냉각수량 조절에 따른 응고속도 제어, 셋째, 금형의 청소(gas vent hole) 등의 관리로써 양질의 금형주조품을 생산할 수 있으며 그림 13과 같은 각 조건에 따른 불량추이를 얻을 수 있었다.

결론적으로 (주)금성사 사상공장은 1990년 금형주조의 기술을 도입하여 현재까지 공정흑연주철을 생산하면서 국내 금형주조의 현장적 기술의 보급이 미약한 관계로 여러번의 시행착오를 거치면서 금형주조의 현장적 기술을 축적해오고 있으며 향후 해결해야 할 과제인 금형의 수명연장, 불량률의 개선을 통한 제품의 원가절감을 위하여 응고해석 시뮬레이션 기술확보 및 주조방안설계

로서 건전한 공정흑연주철 생산을 도모할 계획이다.

참고 문헌

1. 鑄造短信 8912/149, 8511/100
2. 鑄造短信 8706/119, 8707/120, 8711/148
3. 大内康弘 河部昭廣集：鑄物 52 (1980) 426
4. T. Ko, S. A. Cottell : JISI 172 (1952) 307
5. 中村辛吉：綜合鑄物 83. 9 ‘簿肉強韌鑄鐵의 開發研究’
6. 橋田榮夫, 渡邊厚：日立制作所 ‘鑄鐵金型鑄造法の 開發 및 實用化’
7. 강춘식：주조공학, 개문사, 서울 (1990)
8. 모스크바機械製作出版所 1980年 金型鑄造法 259, 265
9. 名古屋工業技術試驗所 鑄物 46, 2號