

技術資料

# 인몰드法에 의한 고품질 구상흑연주철의 제조기술

禹 昌 魯

## Development of Manufacturing Process for High Quality Ductile Iron from Inmold

C. N. Woo

### 1. 개 요

인몰드 구상흑연 주철 제조법은 영국의 C. M. Dunks에 의해서 개발된 기술이다.

이 방법은 주입 도중에 구상화 처리를 시킴으로써 고품질의 구상흑연 주철의 생산이 기대된다. 그 외에 Mg의 보유성이 좋아 cost면에서도 유리하다. 그렇지만 이 방법에 의한 제품 생산 적용예가 적은것은 그 제조기술이 어렵다고 말할 수 있다.

주지한 바와 같이 자동차 부품은 안전상의 이유로써 고품질과 더불어 안전성이 요구된다. 이와 같은 부품에 이 방법을 적용함에 있어서는 일정한 범위의 Mg을 항시 지속적으로 보유시켜서, 결합이 적은 주물의 제조를 위한 생산기술의 향상과 고유기술의 개발이 필요하다.

### 2. 인몰드 Process의 原理

인몰드 process는 많은 보고가 있으므로 자세한 것은 생략하겠지만 그 개념은 다음과 같다.

“그림 1”에 표시된 바와 같이 탕도 도중에 설치된 반응실을 용탕이 통과할시 구상화 처리가 이루어진다.

구상화 처리 후의 잔류 Mg은 “式 1” 및 “그림 2”에서 구할 수 있다.

주입속도를  $P_s$ (Kg/s), 반응실의 면적을  $s$ (cm<sup>2</sup>)라고 할때

$$F_s = \frac{P_s}{S} \quad (1) \text{式}$$

( $F_s$  : 반응계수)

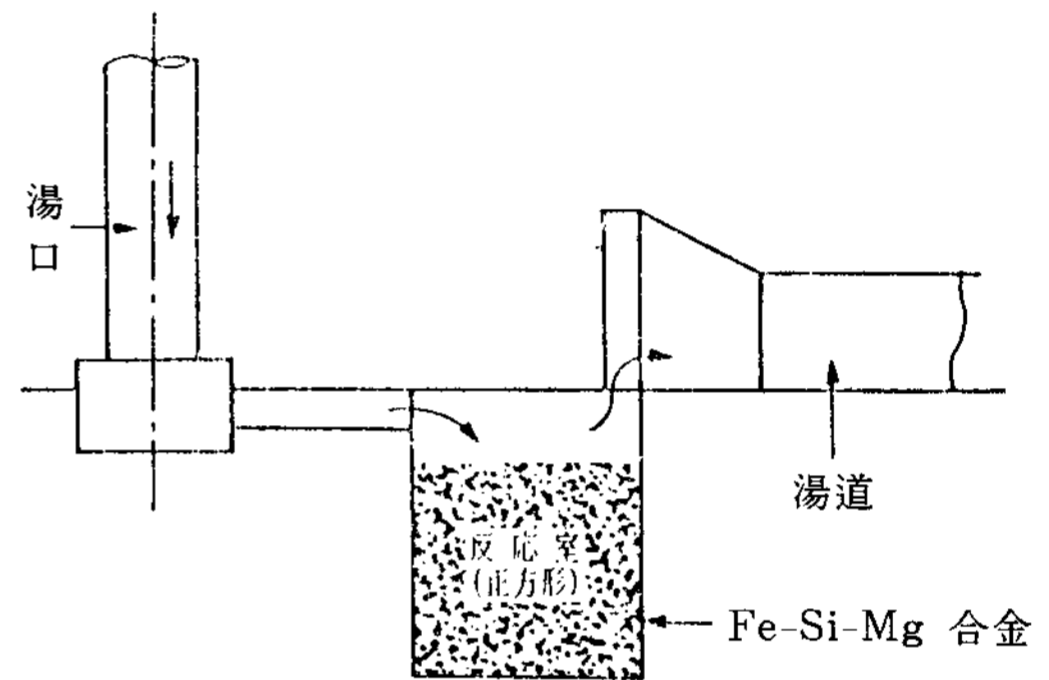


그림 1. 인몰드法의 개념도

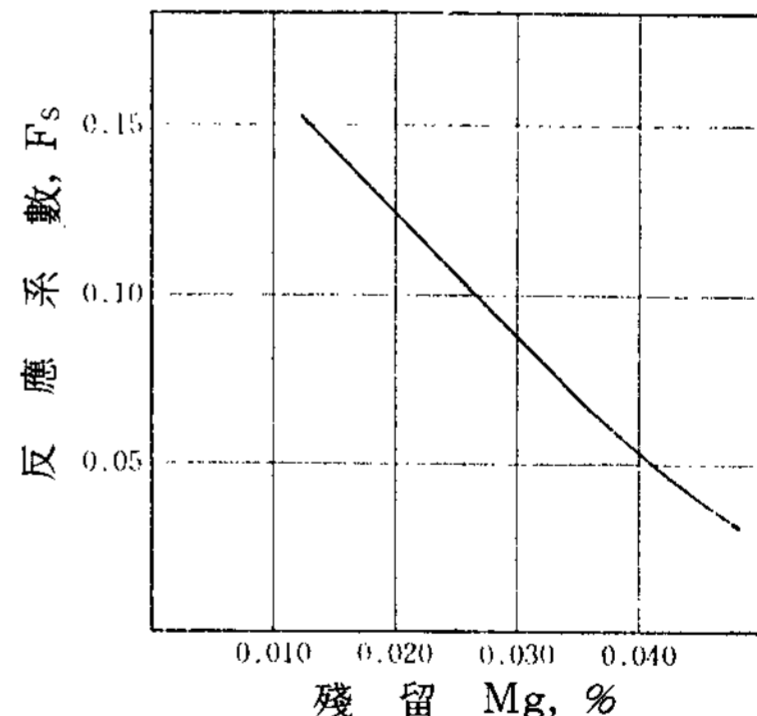


그림 2. 반응계수( $F_s$ )와 잔류 Mg와의 관계

가 된다.  $F_s$ 와 잔류 Mg은 대략 직선관계로 나타나며, 반응실중의 Fe-Si-Mg 합금은 시간이 흐름에 따라 점차 용해되지만, 마지막 통과 할때까지 합금이 남아 있을 필요가 있다. 반응실內에서의 합금이 용해된 깊이와 주입시간과의 관계를 “그림 3”에 표시한다.

여기서 합금의 반응실 내의 깊이가 결정된다.

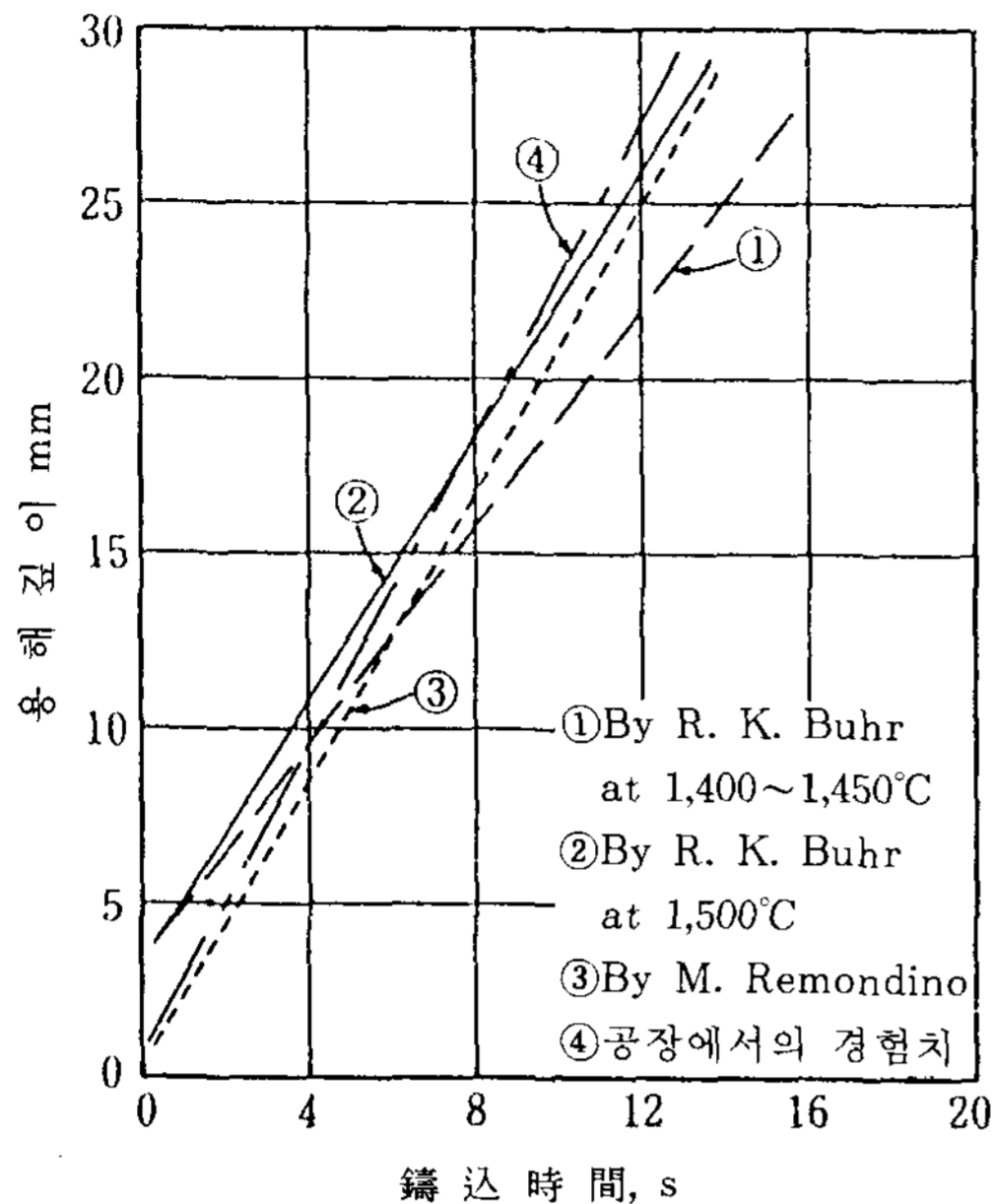


그림 3. 반응실내의 Fe-Si-Mg 합금의 용해깊이와 주입시간

### 3. 안정된 구상흑연주철을 얻기위한 기술

#### 3-1. 주조방안 설계

한 조형몰드 안에서 여러개의 주물을 생산할 경우 각 주물간에 구상화율이 달라진다면 품질 보증상 좋지는 않다. 이것을 보증하기 위해서는 반응실이나 주조방안의 설계 기술이 중요하다.

(1) 반응실을 일정한 속도의 유속으로 용탕이 통과할 수 있게 하기 위해서는 탕구계를 加壓系로 할 필요가 있다.

Ingate를 최대한로 줄이는것은 주조방안의 원칙에 어긋나기 때문에 반응실과 ingate 사이에서 교축시킨 후, 교축부 이후는 다소 개방계로 하는것이 좋다.

(2) 주입 초기의 용탕은 구상화제의 온도가 낮기 때문에 Mg이 용탕중에 흡수되는 것이 부족될 것으로 예측된다. 따라서 그림 1에서 보는 바와 같이 용탕이 반응실을 거쳐 나갈때까지 용탕이 반응실내에 일정시간 담겨 있도록 반응실의 크기를 고려할 필요가 있다.

(3) 주입 말기의 용탕처리는 첫째, 반응실의 면적이 반응실 밑바닥에서도 그다지 좁지 않도록 배

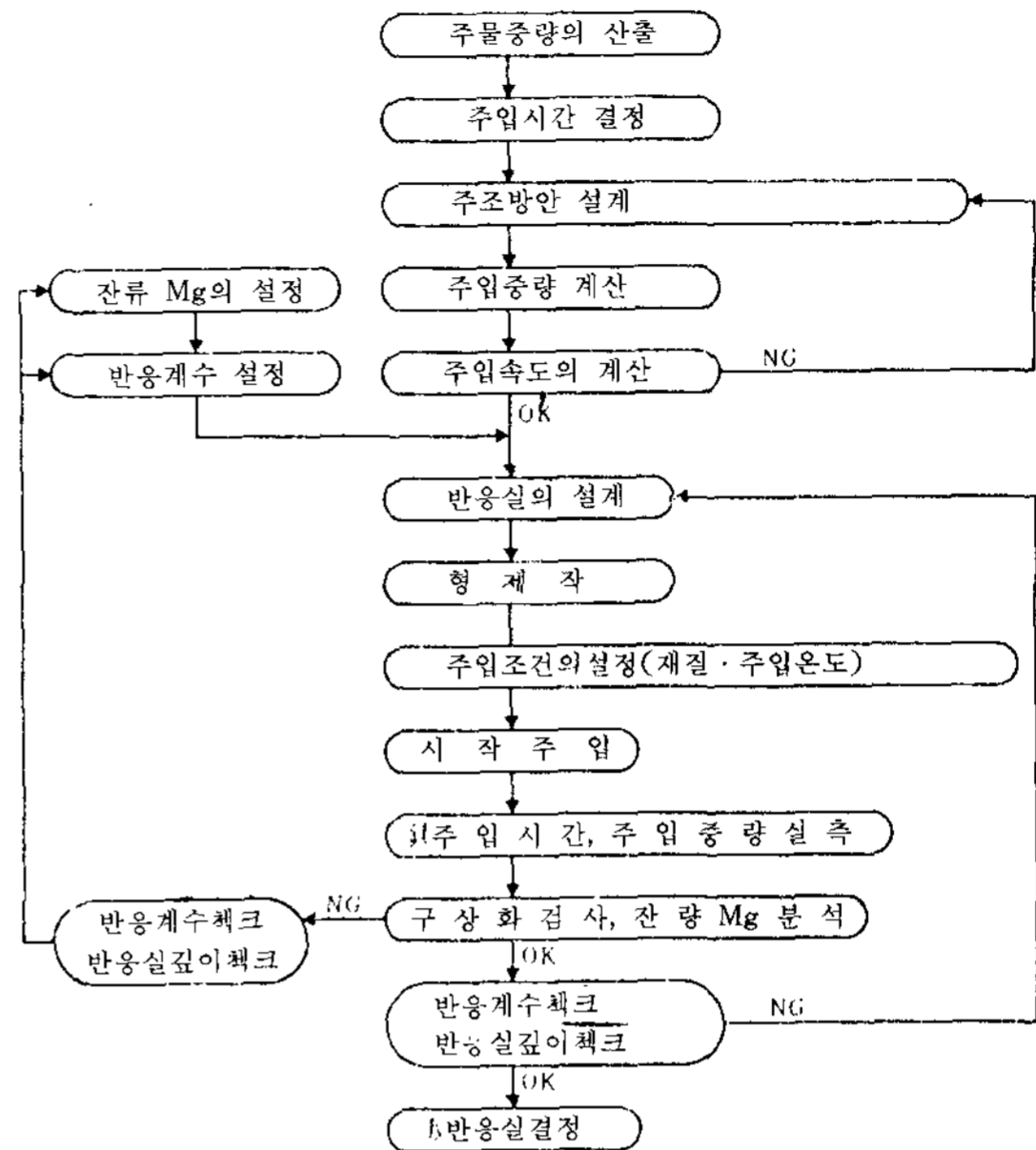


그림 4. 반응실의 설계 Flow Chart

기 구배를 정하여야 한다. 다음으로는 반응실의 깊이 결정은 공정능력에서 결정하고, 주입시간을 고려하여야 하며 최고의 주입시간에서도 반응실 출구까지 규정의 구상화율이 되도록 시험을 하여 그 깊이를 결정할 필요가 있다.

#### (4) 설계 순서

반응실의 설계는 그림 4에 표시된 순서로 한다. 여기에서 중요한 것은 잔류 Mg의 설정이고, 그것은 제품의 두께, 형상, 중량에 의해서 결정 되어져야 한다.

일반적인 박육 주물에서는

$$Mg = 0.030 - 0.035\%$$

두꺼운 주물에서는

$$Mg = 0.035 - 0.040\% \text{가 좋다.}$$

#### 3-2. 공장내 품질보증 시스템 개발

##### (1) 용해 주입 공정

용탕 성분중 Mg과 반응성이 높은 S치는 낮게 관리할 필요가 있다.

원탕의 S%는 0.010-0.015%의 범위가 되도록 용해 재료의 관리에 노력해야 한다.

잔류 Mg은 용탕의 주입시간에 따라서 결정되는 것은 앞서 말한 바와 같다. 그때문에 주입시간 관리장치를 설치하여 숲 조형몰드에 걸쳐 주입시간

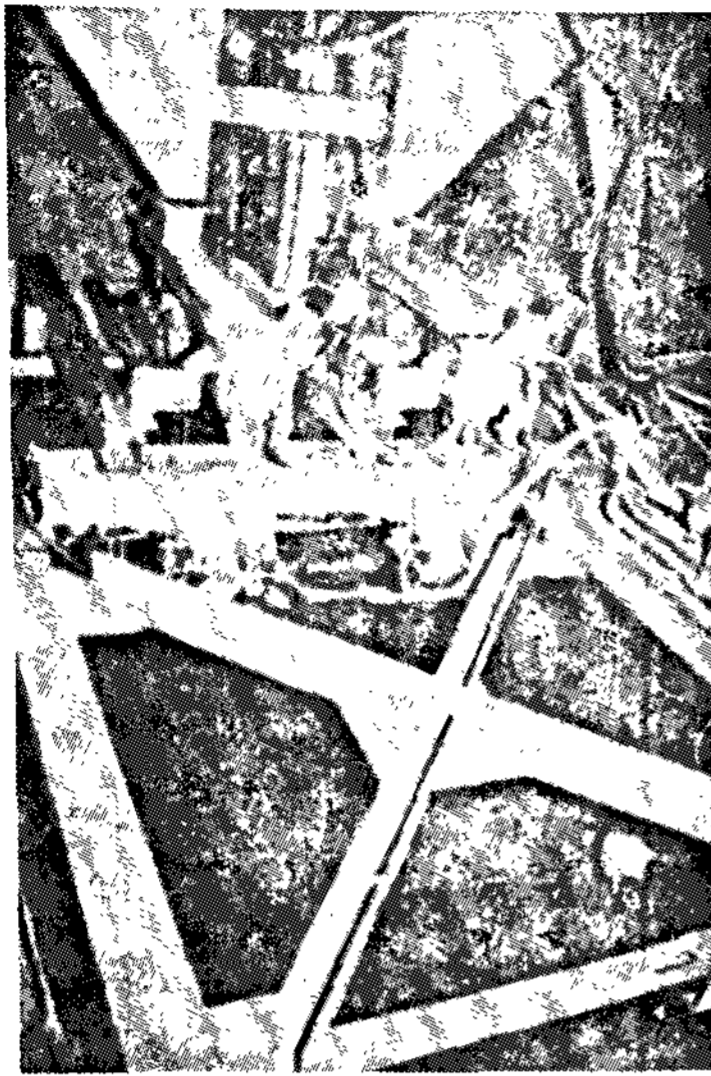


그림 5. 구상화제 첨가장치

의 관리를 행하여야 한다.

(2) 조형 공정

구상화제를 반응실내에 투입하는 작업이 필요하고, 그 작업에서 작업의 잘못은 중대한 결과를 초래한다.

09:37	165	0.840 kg	0.867 kg
09:36	164	0.848 kg	0.838 kg
09:36	163	0.834 kg	0.850 kg
09:36	162	0.851 kg	0.866 kg
09:35	161	0.856 kg	0.868 kg
09:35	160	0.849 kg	0.872 kg
09:34	159	0.845 kg	0.868 kg
09:34	158	0.849 kg	0.867 kg
09:33	157	0.856 kg	0.854 kg
09:33	156	0.859 kg	0.829 kg
09:33	155	0.849 kg	0.863 kg
09:32	154	0.850 kg	0.869 kg
09:31	153	0.848 kg	0.834 kg
09:31	152	0.855 kg	0.869 kg
09:30	151	0.859 kg	0.876 kg
09:30	150	0.860 kg	0.847 kg
09:29	149	0.856 kg	0.865 kg
09:29	148	0.847 kg	0.863 kg
09:28	147	0.867 kg	0.871 kg

시간 상자번호 No 1 구화제 No 2 구화제

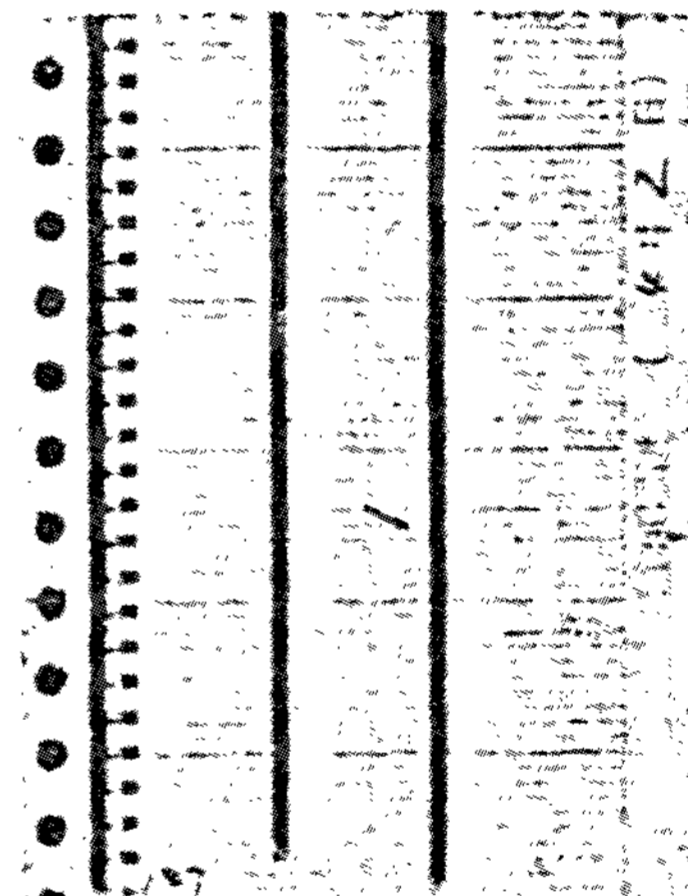
그림 6. 구상화제 첨가량 실적표

이러한 잘못된 투입을 방지하기 위해 수작업보다 자동첨가 장치를 개발하여 자동투입 하였다. 그림 5에 나타난 바와 같이 2개의 반응실까지 자동계량이 가능하다. 구상화제의 계량은 중량식으로 그량을 주입상자마다 기록되도록 하고 있다. 그 예는 그림 6에 표시한다.

자동첨가가 확실하게 행하여 지고 있는가를 확인하기 위해 광전관에 구상화제의 유무를 체크하여 만약 첨가 잘못이 발생 되었을 경우 Line Stop 하도록 한다.

그 상황을 기록하여 그림 6-1, 작업 종료후 그림 6과 대비하도록 한다.

여기에 공정내 품질보증 시스템을 그림 7에 표시한다.



No. 1 No. 2

그림 6-1. 광전관에 의한 검출표

4. 주조 결함방지 대책

4-1. Dross 결함

주형내에서 구상화 처리를 할때 발생된 dross는 탕도의 중간에서 차단되도록 한다. 인물드 process의 경우 dross결함은塊狀의 것이 많고, 단독으로, 흑피면이나 가공면에 나타나는데 그것의 크기는 2-4mmφ 정도이다.

이러한 것은 과대한 반응실을 사용할때에 분산이 많고 dross 결함으로 되는 수가 많다.

인물드 process의 경우 dross 결함에 대한 대책

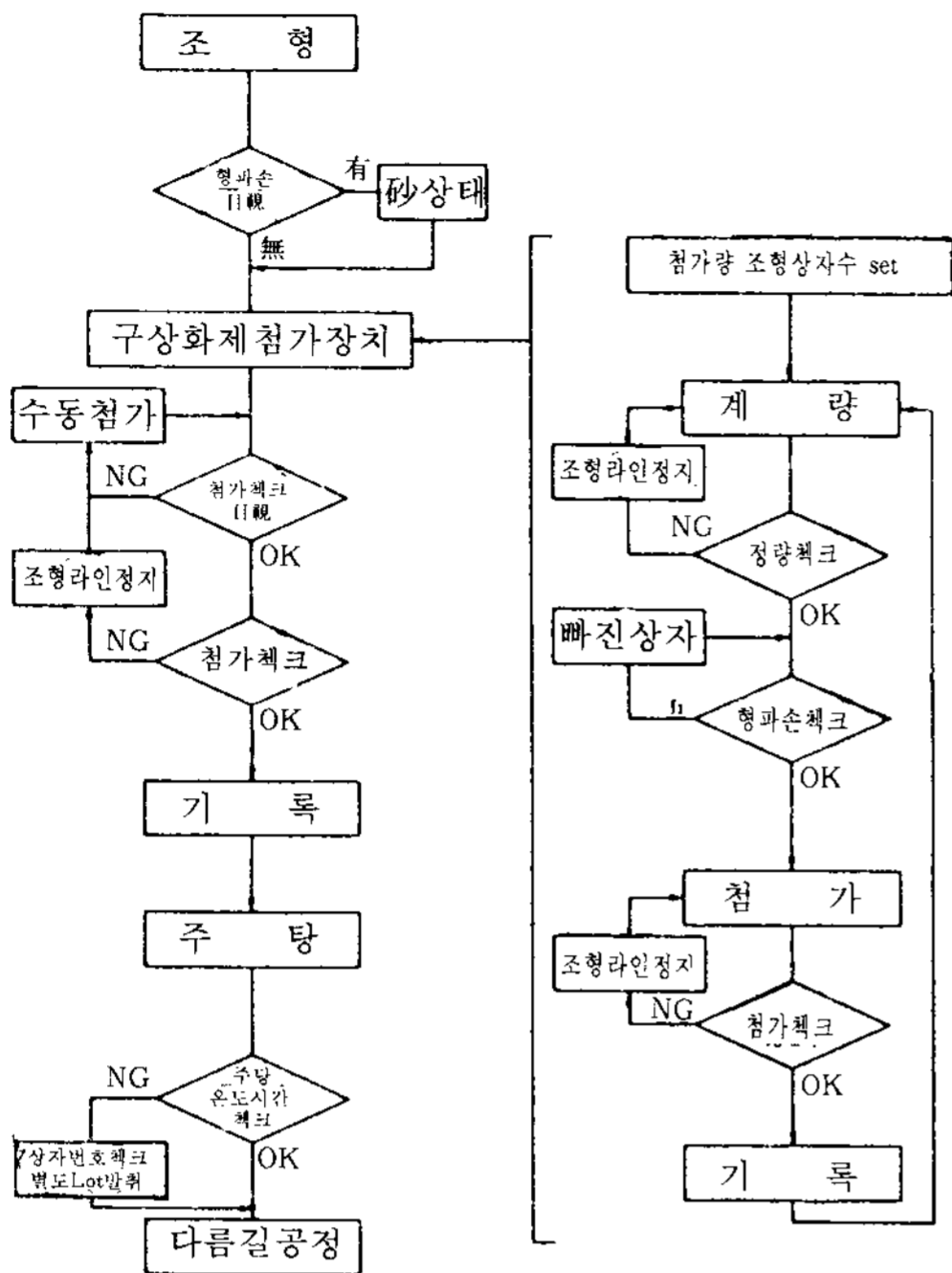


그림 7. 주조공정에서의 인몰드법 품질보증 system

의 성패가 실용화 여부를 좌우할 정도로 그 대책은 중요하다.

실질적인 효과가 있는 대책은 다음과 같다.

(1) Mg-FeSi 합금중에 함유된 slag를 최소로 하고 Ca의 함량을 되도록 낮춘다.(그림 7-1)

(2) 반응실을 적게한다.

(3) 탕도에서 dross제거 효율을 높인다.

(그림 7-2, 7-3)

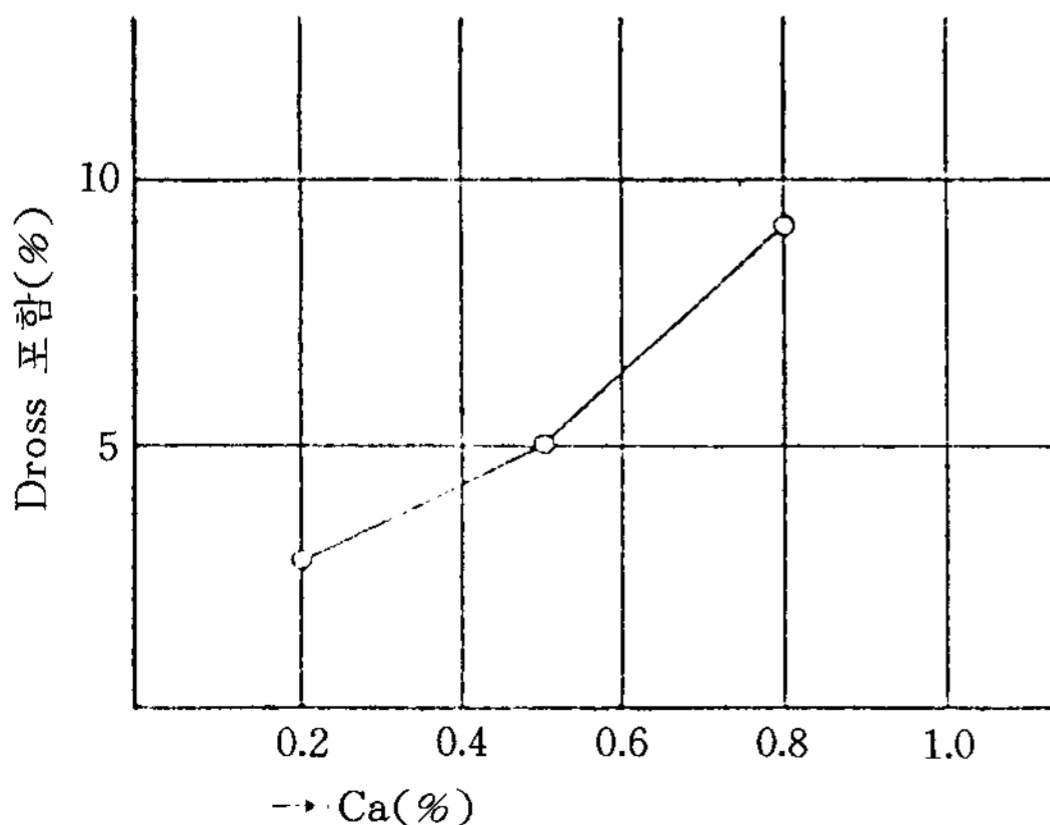


그림 7-1. Dross 결함에 미치는 Ca의 영향

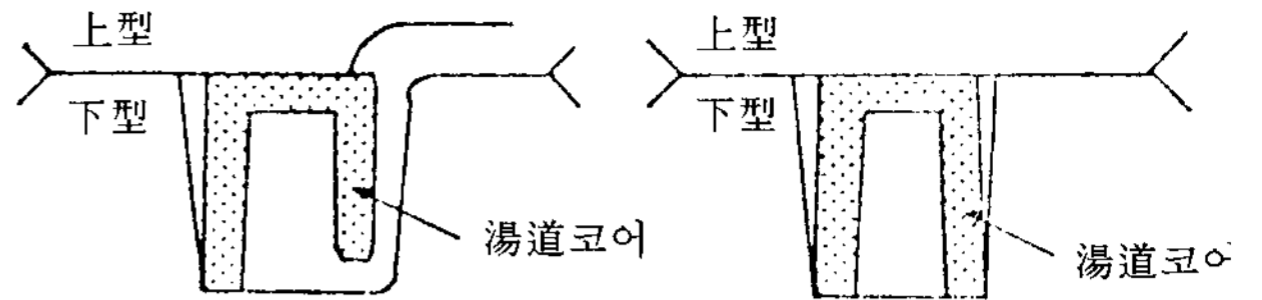


그림 7-2. 탕도에서의 반응 생성물의 제거 예

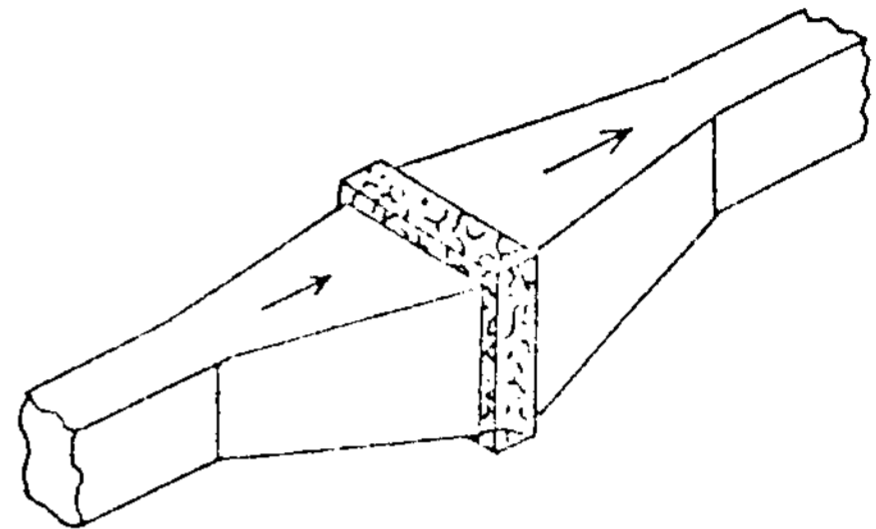


그림 7-3. 세라믹 필터의 Dross 제거

(4) 板 게이트의 활용

(5) 생형사의 개선

#### 4-2. 구상화 불량

초기 단계에서 발생되는 불량으로써 구상화 불량량이 생기는데, 그 원인은 주조방안 설계 조건이 부적당함에 따른 반응실의 설계가 잘못 되었을 경우와, 주입작업의 관리 소홀인데, 이것의 조기해결을 위해 다음 문제점을 검토하면 좋다.

(1) 잔류 Mg치 : 현미경 조직을 비교하여 반응실의 면적을 조사

(2) 탕도의 구상화율 : 탕도의 구상화율을 조사하여 반응실 깊이(구상화제 투입량)의 적정 여부를 조사한다. 구상화제량이 많을 경우는 반응실 출구에서 완전한 구상흑연이 얻어지게 되며, 적을 경우에는 제품의 ingate 근처에서 편상흑연주철이 발생된다.(그림 8)

(3) 실제반응계수 : 실제 시작 데이터에 의해 얻어진 반응계수와 설정 반응계수와의 관계를 체크한다.

인몰드 process를 시작할때 초기 단계에서 가장 중요한 항목이다.

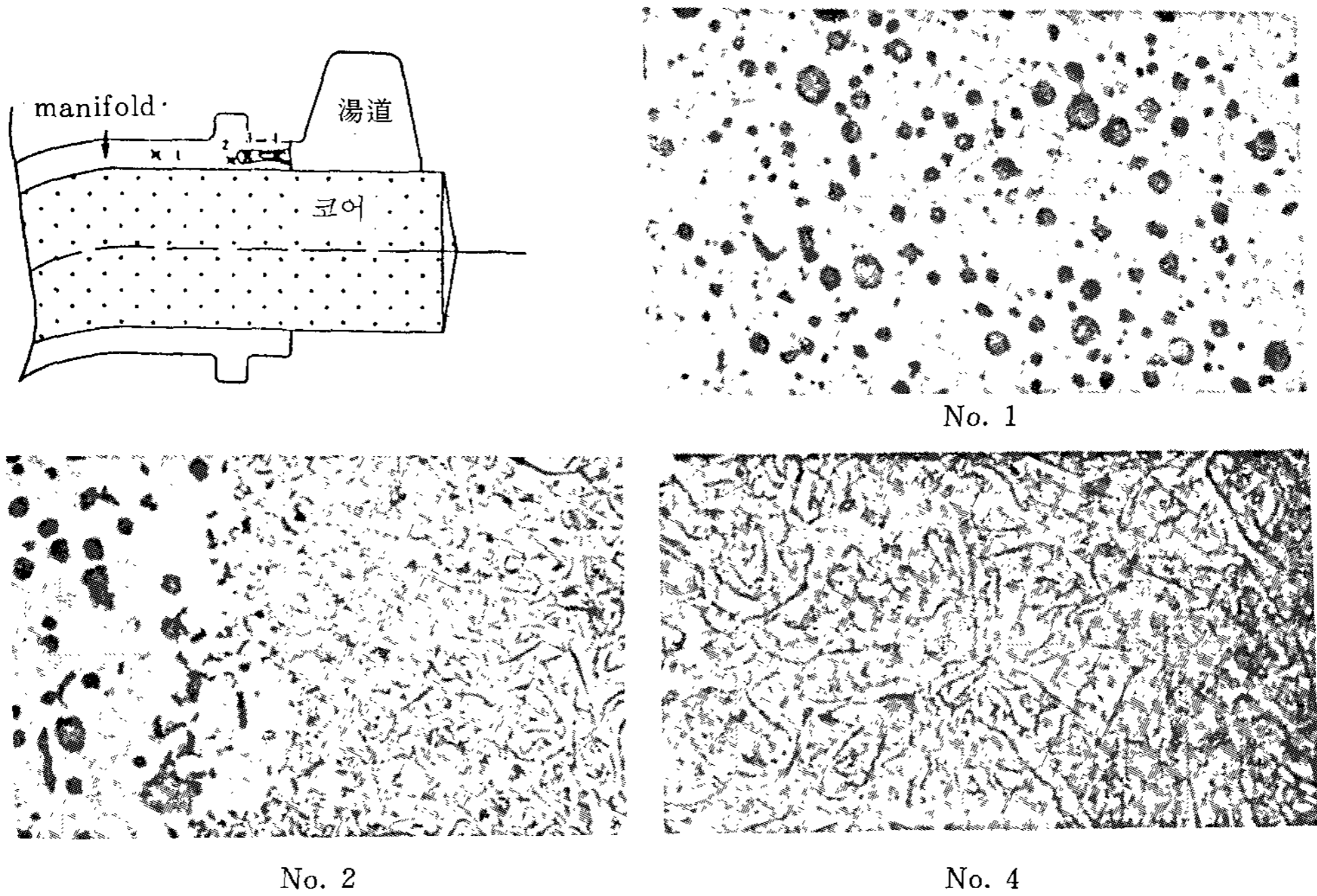


그림 8. 배기 manifold에 나타난 흑연이상조직

4-3. 핀홀 결함

표면 가까이 발생된 핀홀 결함은 가공후에 발견 됨으로써 완전한 대책이 요구된다.

효과가 큰 대책으로서는 다음과 같다.

- (1) 생형 첨가물로서 석탄분(Sea-Coal)을 되도록 많이 첨가한다.
- (2) 구상화제 중의 Al량이 되도록 적게 할 것 [그림 9]
- (3) 생형용 전분 첨가물중 corn flour의 사용을 줄인다[그림 10]

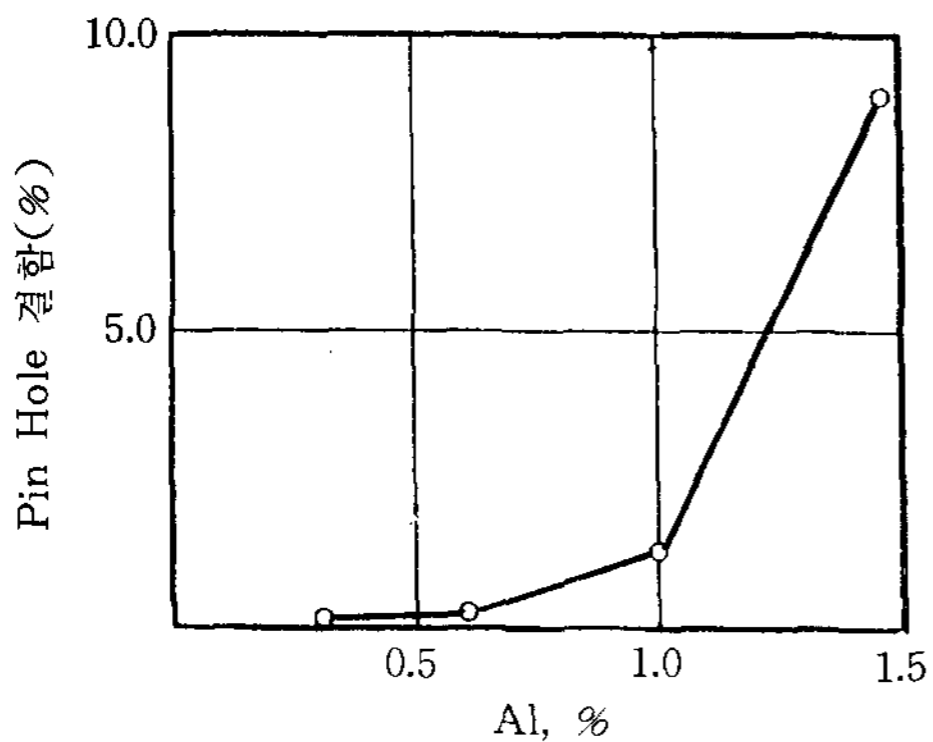


그림 9. 핀홀결함에 미치는 구상화제중의 Al의 영향

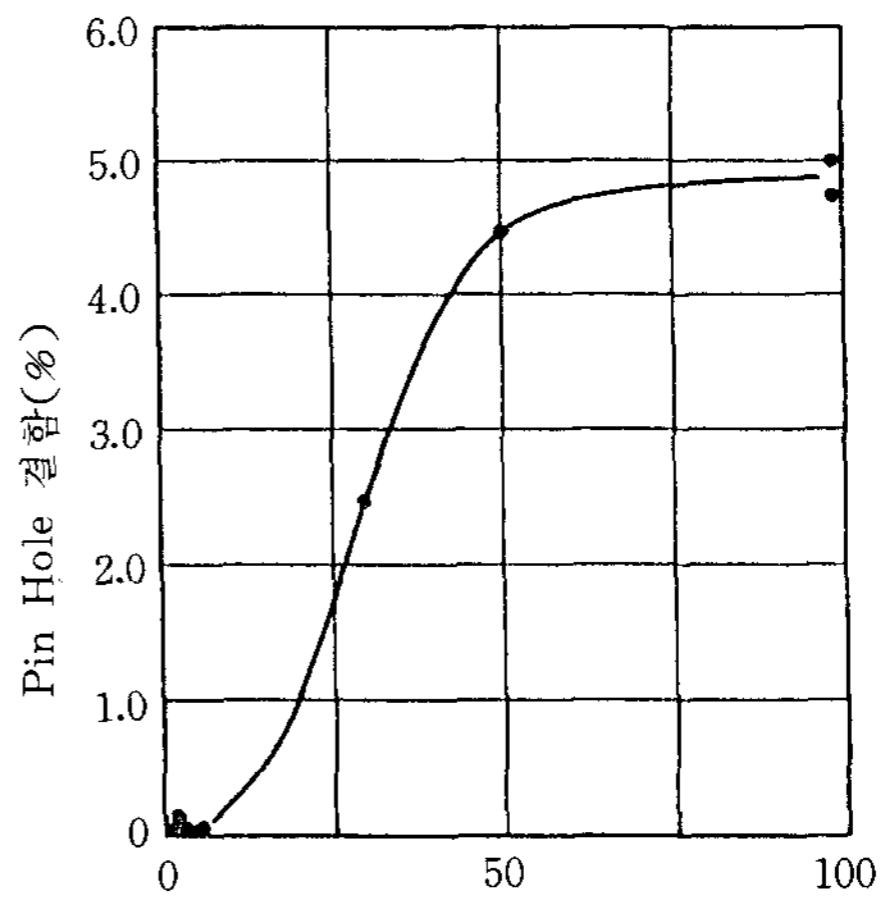


그림 10. 핀홀결함에 미치는 corn flour/cornstarch 혼합비의 영향

- (4) 주물의 ingate는 되도록 숫자가 많고, 또한 넓게 할 것

4-4. 수축 불량

인몰드법으로써 C, Si치를 낮추어도 chill 발생의 염려가 된다.

표 1. 크랭크축의 수축 불량

要 因	條 件	X 線 結 果				結 論
		A級	B級	C級	計	
C의 영향 Si는 200%에서 일정	C=3.41~3.45	26	66	9	101	C치는 3.51% 이상으로 한다.
	C=3.46~3.50	37	62	3	102	
	C=3.51~	41	18	0	59	
出湯時期 (維持時間約100分)	취과전반(1~30分)	43	24	1	68	저주과 Holding 시간을 단축, 탈탄방지
	취과중(31~60分)	47	47	4	88	
	취과후반(61~ )	24	75	7	106	
주입순서의 영향 (동일레들 12MOLD 주입)	몰드 전반	30	45	3	78	
	몰드 중	37	49	3	89	
	몰드 후반	37	52	6	95	

주 : A급 수축수 없음  
B급 위험단면 이외에 수축수 발생  
C급 위험단면에 수축수 발생

크랭크 샤프트의 생산개시시에 마이크로 시린 케이지를 경험하였다.

이때의 성분은 C 3.4%, Si 2.0%이었고 표 1에 표시한 바와같이 CE치를 과공정이 되도록 high carbon으로 하였다.

인몰드법에서 생기기 쉬운 실수로써는 구상화를 완전하게 하기 위해서 반응실을 너무 크게할 염려가 있다. 반응실이 너무 커서 잔류 Mg이 0.05%를 넘을 경우, 흑연 정출이 적게되어, 응고 팽창량이 적어짐으로써 수축 발생이 쉽게 된다. 따라서 적절한 반응실이 되도록 설계 보완해야 할 필요가 있다.

구상화제중 RE(희토류 원소)도 수축과 관계된다. 흑연 입자수가 가장 많게되는 RE량에서 수축이 가장 적게 된다. 그 이상의 RE량에서도 수축은 적게 되지만, 반대로 세멘타이트가 생기기 쉬우므

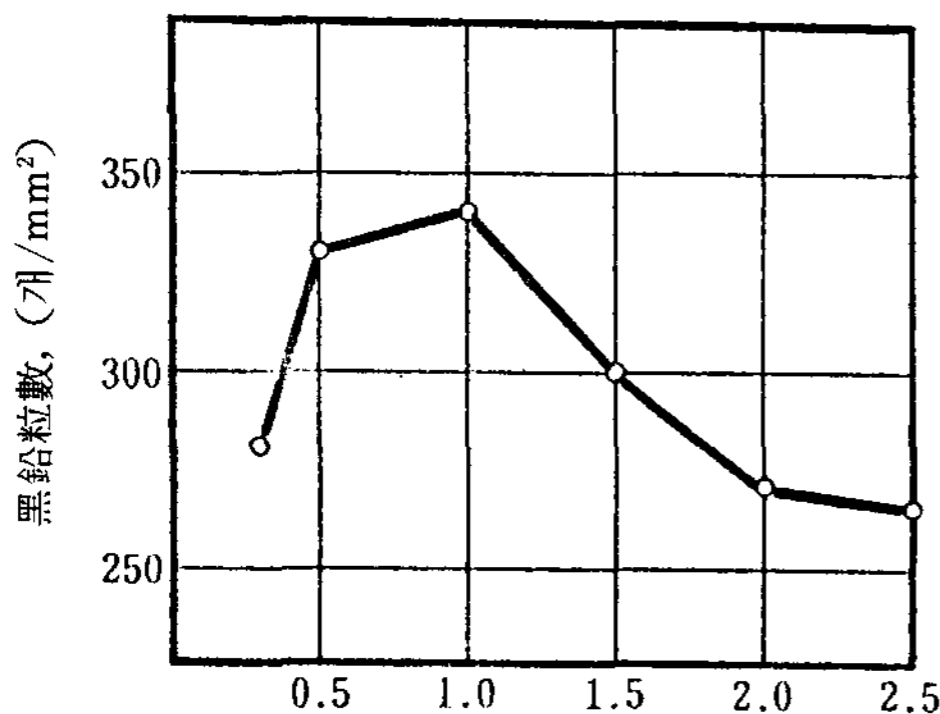


그림 11. 흑연입수에 미치는 구상화제중의 R. E의 영향

로, 흑연 입자가 가장 많게 되도록 RE량을 정하는 것이 좋다. 그림 11은 시험편의 결과이지만 실제에서도 거의 같은 경향을 표시한다.

기타 생형에서의 조형 압력도 주물사의 성질, 성분도 수축에 영향이 있다는 연구결과가 있기 때문에 대응할 필요가 있다.

### 5. 인몰드법의 특징

#### 5-1. 흑연 입자수와 입경

인몰드법의 경우 흑연 입자수는 대단히 많아진다. 공장에서 생산되고 있는 주물로는 표 2와 같은 값이 얻어진다.

구상화제 중의 RE값도 흑연 입수와 관련이 있다. 0.5%-1.0%의 RE이 양호한 결과를 얻을 수 있다. [그림 11] 참조

표 2. 球狀化處理法과 黑鉛粒數

肉厚(mm)	球狀化處理法	黑鉛粒數(개/mm <sup>2</sup> )
20	INMOLD法	480
	SANDWITCH法	300
7	INMOLD法	600
	SANDWITCH法	400

#### 5-2. 주방 페라이트와 유리 세멘타이트

흑연입수가 많기 때문에 주방 페라이트가 얻어지기 쉽고, 두께가 얇은 부위에서도 chill와 경향이



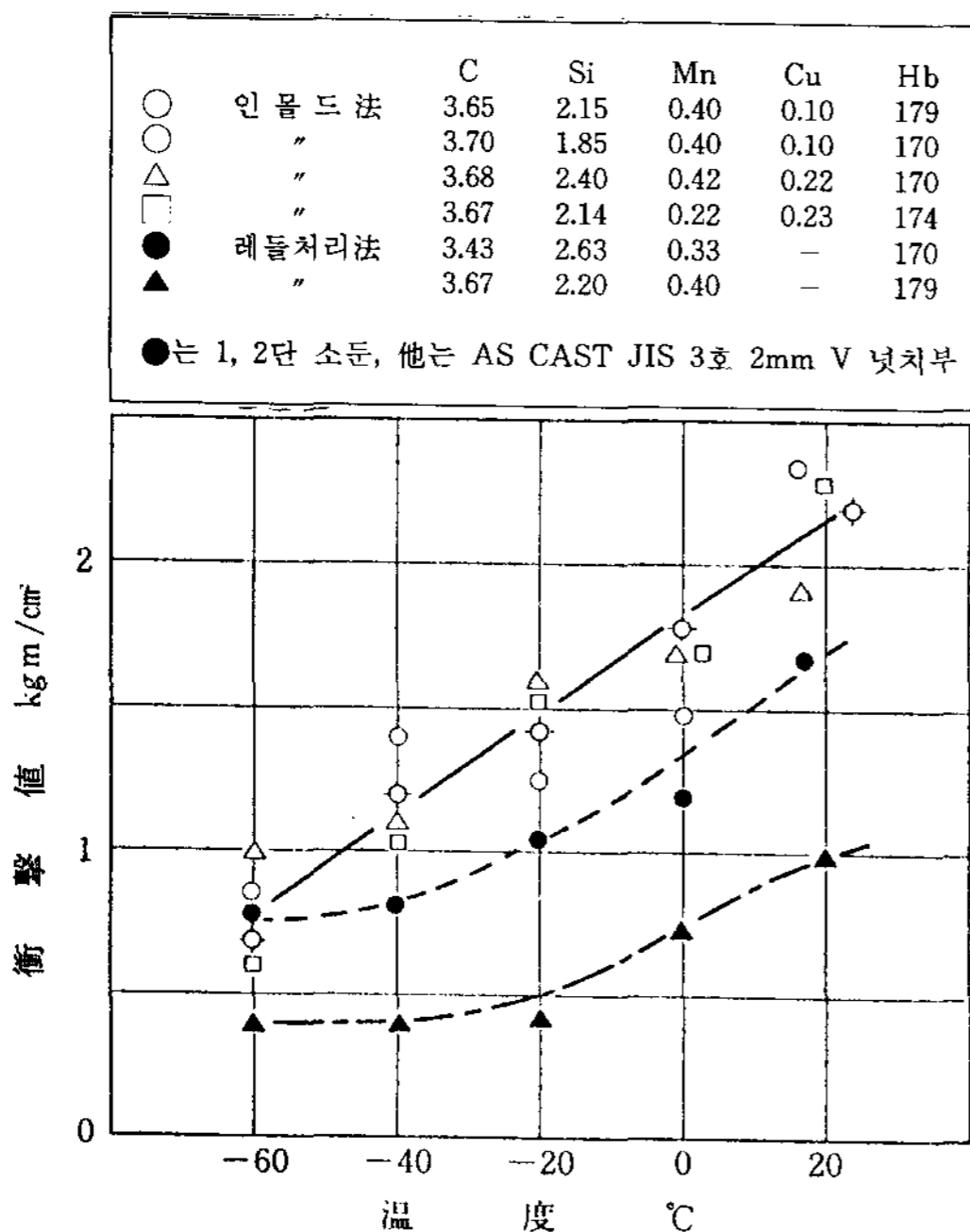


그림 12. 구상화처리법과 저온충격치

감소된다. 따라서 대부분의 자동차 부품에서는 Si 이 2.0% 정도에서 GCD 50-70 class의 재질을 AS cast 상태로 제조할 수 있으며, Si값을 조금 높이면 GCD 40-45 class의 재질도 같이 제조할 수 있다. 이러한 것은 공정감소와 에너지 절약 차원에서 대단히 유익한 방법이라고 생각된다.

### 5-3. 기계적 성질

대체로 동일 경도에서 로전 처리법과 비교해 보면 인장강도, 신율, 충격치 등 기계적 성질이 인몰드법이 우수하다.

예를 들면 그림 12에서 표시한 것과 같이 저온 충격치는 큰 차이로 우수하다. 그 예로써 GCD 50 class의 주물에서 레들처리법은 1, 2단계 소둔을 행함에 의해서 겨우 인몰드법의 AS cast 값에 가까워 지는것을 알 수 있다.

## 6. 인몰드법의 실제 적용 예

재질은 GCD40-GCD70 class이고 이들 중 대표적인 제품을 사진 1에 표시한다. 여기서 알 수 있는바와 같이 차륜허브 부품 등 안전성이 높은 부품에도 적용되고 있다. 소물 부품에도 인몰드법의

특징은 잘 나타나고 있으며, 종래에 단조 또는 주 강품들도 구상흑연주철로 재질 변경을 계획하여, 그 실용화 추세가 확대되고 있다.

## 7. 인몰드법과 로전 처리법의 비교

### 7-1. 제조 Cost

제조원가를 동일한 조건으로 비교하기는 어렵지만, 간단히 비교하면 표 2와 같다.

각 항목 중 재료비, 용탕보류, 조형능률은 단점이지만, 구상화 처리공수, 구상화제 비용, 레들 수리비 등은 인몰드법이 우수하다.

특히, 열처리를 하여야 하는 것은 압도적으로 유리하다.

### 7-2. 생산성

자동주탕 장치 등 자동화를 하였을 경우 용탕관

표 2. 주물 COST 비교

		인몰드法	레들처리법
인 건 비	용 해	-	-
	구상화처리	○	×(+1~2人)
	주 탕	-	-
	조 형	×(+0.5人)	○
	사 상	-	-
계	검 사	▲(+0.1人)	△
	계	△	▲
재 료 비	지 금	-	-
	구 상 화 제	○	×
	Fe-Si	○	×
	철 설	○	×
계	○	×	
에 너 지 비	용 해 량	-	-
	집 진 기	△	▲
	열 처 리	(○)	(×)
계	- or ○	- or ×	
레 들 수 리 (로수함)	재 료	○	×
	인 건 비	○	×
	계	○	×
레 들 효 율	입 수	▲	△
투 자	형 비	▲	△
	설 비	×	○
	계	×	○
합 계	○	×	

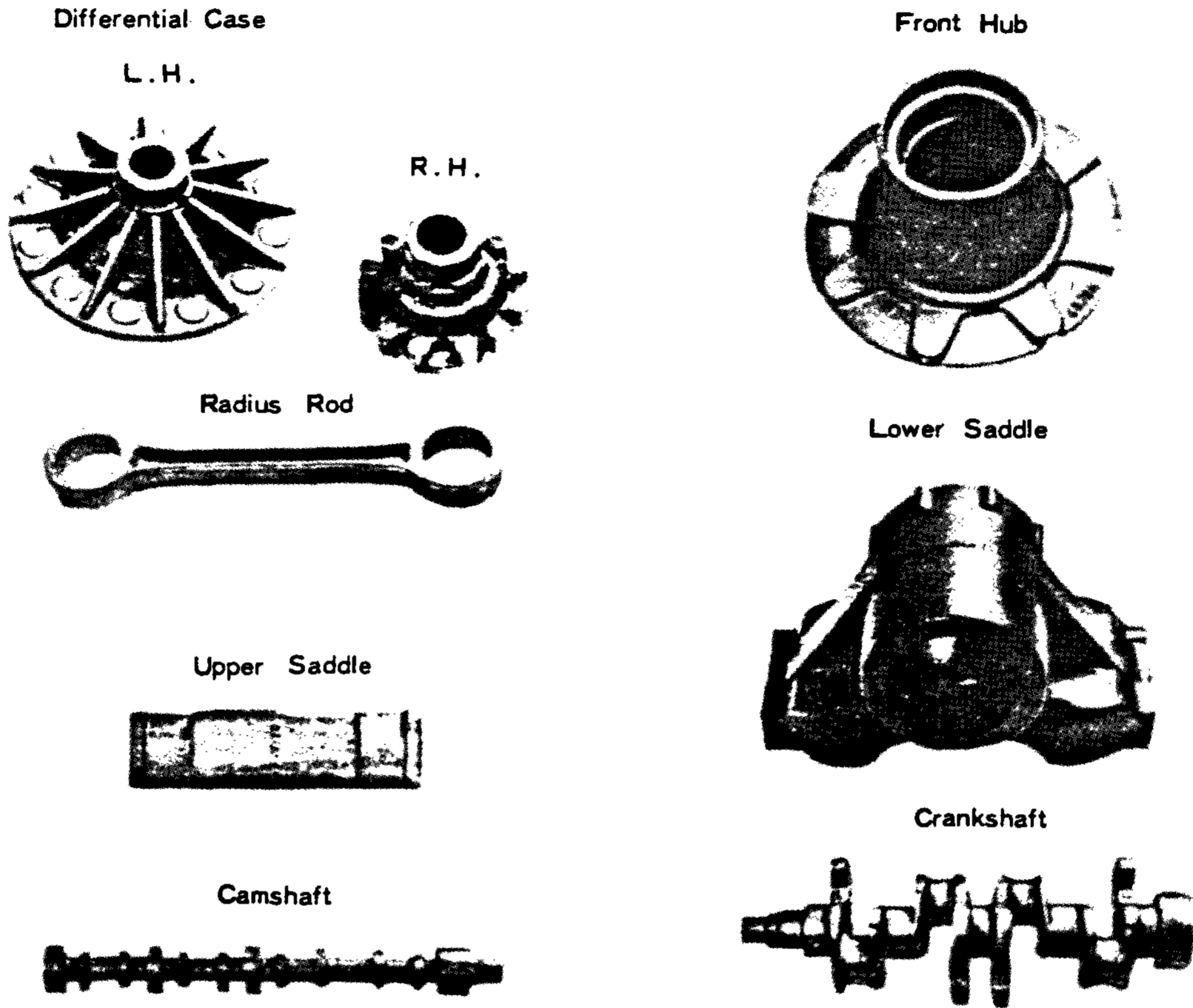


그림 14. 적용예

리가 용이하다. 또한, 부품이 다종 다양한 경우 인몰드법은 소량 lot에도 용이하며 더욱 회주철과 함께 생산할시에는 생산이 더욱 용이하다.

7-3. 품 질

로전 처리법과 비교해서 최대의 이점은 fading에 의한 재질의 편차가 적은 점이다. 생산 라인이 중단될 때에도 레들의 온도 체크만으로서도 대응될 수 있다.

각 주형마다 구상화 처리에 대한 구상화 검사가 필요하며, 확실히 각 주형마다 처리조건이 달라지는것은 사실이지만, 그 차이가 어느정도 인가 하는 것이 중요하다. 앞서 말한 [구상화 안정화를 위한 기술]에서 안정된 공정이 되어져 있는가에 달려

표 3. 잔류 Mg의 실적(크랭크축)

	n	$\bar{x}$	$\delta_n$
인 몰 드 法	194	0.035	0.0029
레 들 처 리 法	180	0.046	0.0049

있으며 표 3에 크랭크 축의 예를 표시하지만, 전로 처리법에 비해 잔류 Mg치의 차이는 인몰드법이 우수하다고 판단된다. 이런 사실에도 불구하고 현재는 전량 구상화 검사를 행하고 있고 초음파 검사에 1개당 5초의 시간이 필요하지만 [품질 보증한 상품을 업체에 납품] 한다는 경영 이념을 지키고 있다.

8. 결 론

각종 자동차 부품을 생산하는 생형 조형라인에 인몰드법을 적용하여, 회주철과 구상흑연 주철을 같은 흐름을 경유해서 생산되어지고 있으며, 초기 단계에 곤란한 점이 있었지만 연구와 개선으로 현재 안심하고 고품질의 구상흑연 주철이 생산되는 단계에 이르렀다. 따라서 보류율의 향상 등의 문제점이 남아 있으나 금후 개선이 될 전망이다 이 방법은 자동화를 전제로 한 것이고 재질의 특징을 고려할 경우 앞으로 발전이 기대 된다.