

# 저압 반중력주조(Counter gravity Low-pressure Casting)에 의한 박육정밀주조기술



**이 재 현**

(KIMM 재료기술연구부)

- '79-'86 한양대학교 금속공학(학사)
- '87-'90 Iowa State Univ. 재료공학(석사)
- '90-'93 Iowa State Univ. 재료공학(박사)
- '93-'94 미국 Ames연구소 연구원
- '94-현재 한국기계연구원 선임연구원

**이 용 태**  
(KIMM 재료기술연구부)



- '70-'74 서울대학교(금속공학)
- '74-'76 한국과학기술원(재료공학)
- '76-'80 국방과학연구소(선연 및 연구원)
- '80-'85 Case Western Reserve Univ.(재료공학)
- '85-'85 Case Western Reserve Univ.(연구원)
- '85-'90 독일 항공우주연구소(DLR)(연구원)
- '90-현재 한국기계연구원(책임연구원)



**김 학 현**

(유성기업 주식회사)

- '74 현재 한양대학교 금속공학과(학사)
- 유성기업 기술연구소 수석연구원

## 1. 머리말

주조는 기계, 자동차, 항공, 선박 등에 사용되는 금속부품을 생산하는데 가장 기본적인 제조방법중의 하나로 기계공업에 필수적인 기반 산업기술이라 할 수 있다. 현재 우리나라에서의 주조 산업은 공해배출과 노동집약형 특징으로 인하여 사양산업으로 인식되어 기술개발이나 설비투자를 외면하고 있는 실정이나 선진국에서는 정밀주조 및 신주조공정과 같은 현대 산업형으로 탈바꿈하여 지속적인 기술개발을 해오고 있기 때문에 시설과 기술에서 취약함을 면치 못하는 우리나라 실정으로는 그 기술의 격차가 점점 커지고 있다. 기계 및 자동차 산업에 있어서 낙후된 생산 기반기술이 경쟁력을 약화 시키며 위험한 업종으로 투자를 외면하는 현실에서 주조 분야의 기술 개발과 기술경쟁력 향상이 시급하며 이러한 기반 기술의 발전이 없이는 첨단기술이나 국제경쟁력 강화는 이루어질 수 없을 것이다. 특히 자동차 산업에서 국내외 환경 규제 강화를 극복화기위해 경량화를 통한 효율향상이 필수적이고, 이를 위해서는 신주조기술을 이용하여 기존 부품의 박육화, 고강도화, 중공화 등에 의한 부품 경량화가 추구되어야 하는 시대적 요구에 직면하고 있다.

주조품의 경량화를 이루기 위한 신공정 기술로서의 반중력 주조기술은[1] 주조품의 박육화, 정밀화를 통한 기존의 주조품의 경량화를 달성할

수 있고, 이에 따라 원가절감을 이룰 수 있기 때문에 국제경쟁력 확보에도 대응할 수 있을 것으로 기대 된다. 또한 이 주조 기술은 정밀 주조에도 응용될 수 있어 자동차산업은 물론 항공, 기계 등 산업 전반에 파급효과가 클 것으로 기대 된다. 기존의 중력주조 방법은 탕구와 탕도의 과다한 설정에 의한 수울저하와 주입시 와류형성에 의한 주물결함을 수반하게 되며, 또한 주조공정 특성상 주물의 두께를 박육화하는데 한계를 가지고 있다. 반면에 반중력 주조기술은 미국 일본 등 선진국에서만 사용하고 있는 최신 주조방법으로 일반 중력주조와는 달리 주형을 꺼꾸로하여 탕구를 용탕속에 담그고 진공을 이용하여 용탕을 주형내에 흡입시키는 반중력주조기술의 특징을 이용하여 주물의 무게와 두께를 보다 줄일 수 있다는 특성과 아울러 복잡한 형상의 주조품을 제조할 수 있다. 이에따라 주조품의 경량화 및 고기능화 뿐만아니라 원가절감, 생산성 및 품질 향상시켜 경쟁력강화에 이바지 할 수 있게 된다. 이러한 장점을 때문에 70년대 개발된 이 기술은 자동차 부품의 개발에 성공적으로 사용되고 있고, 최근에는 Ni 합금 및 Ti 합금을 이용하여 항공기 부품, 무기류, 골프채 등 다양한 주요 부품의 생산에도 응용되고 있다.

박육정밀주조 기술을 이용하여 자동차 부품을 제조하게 되면 경량화와 아울러 생산원가가 절감될 것으로 기대된다. 특히 Exhaust manifold와 같은 스텐레스 부품을 박육정밀주조를 이용하여 제조하게 되면 주조품 두께를 기존의 사형주철 주조품의 4-5 mm에서 2-3 mm 까지 줄일 수 있어 기존의 주철체에 비해 열용량의 감소로 배기가스 촉매가 반응할 시점이 빨라져 냉간 시동시 유해 배기가스의 저하를 기대할 수 있다. 따라서 자동차보급이 확대됨에 따라 배기가스와 연비 규제가 강화될 것이므로 이에 대비하여 이러한 신주조 공정을 이용하여 자동차부품을 제조하게 될 것이 확실시 되고 있다. 현재 수출차종을 위해 수입, 가공하여 사용하는 Exhaust manifold를

개발하는 경우 1997년도에는 약 150 만개가, 소요될 것으로 예상되어 약 300억원의 수입대체효과를 얻을 것으로 기대된다[2]. 또한 중공형 캠샤프트 및 브레이크 로터 등 여러 부품을 국산화하는 경우에는 국내의 시장 규모로 보아 경제적 효과가 대단히 클 것으로 예상된다.

이 반중력 박육주조 기술은 Ni 및 Ti 합금을 이용한 항공부품의 정밀 주조에도 응용될 수 있다. 현재 Ni 합금을이용한 제트엔진 버너 켄과 같은 부품을 제조하는 경우 압연과 용접에 의한 제조 방법 보다 박육정밀주조에 의한 생산은 이 부품의 열전도율을 향상시키고 용접부가 없는 단일 재질에 따른 열피로를 현저히 감소시킬 수 있다. 또한 Ti 합금을 이용한 터빈휠 (Turbine wheel) 의 경우 9-10개 정도의 꼬여진 브레이드를 가지고 있고, 브레이드의 가장자리는 약 1 mm 의 얇은 두께로된 복잡한 형상으로 되었으며, Ti 합금의 높은 반응성에 의한 주조상의 난점을 고려할때 CLV(Countergravity Low-pressure Vacuum) 방법으로 제조하는 것이 가장 적합한 기술이다. 이와 같이 반중력 주조기술의 개발은 자동차, 항공 등 기계산업 전반에 걸쳐 파급될 것으로 기대된다.

반중력주조 방법은 이미 미국 일본 등지에서 실용화되고 있으나 국내에 알려지지 않은 신 주조 기술이다. 이 공정의 일반원리와 작업 방법은 관련업계에 비교적 잘알려져 있으나 이에 대한 세부 기술은 대부분 특허로 등록되어 있어 기술 도입과 함께 자체 기술개발을 위한 연구가 시급한 실정이다. 이 글에서는 반중력 박육정밀주조의 원리와 특성을 소개하고, 외국에서 특허로 등록 되어진 여러가지 기술을 소개함으로써 국내에서의 주조 부품 생산에 기여 하고자 한다.

## 2. 반중력 주조의 특징

주조의 종류에는 재질, 주형, 주조방법, 용도 등에 따라 여러가지로 분류하기도 하나 주조방법에 따라 분류하면 크게 중력주조, 반중력주조, 원

심주조, 가압주조(다이캐스팅), 등 으로 나눌 수 있다. 중력주조는 가장 일반적으로 사용되는 전통적인 주조 방법으로 용탕을 압탕을 통해 주입하여 중력에 의해 탕도를 거쳐 주형속으로 주입되는 반면, 반중력 주조는 압력이나 흡입력을 이용하여 용탕을 상승시켜 용탕 위에 위치한 주형속으로 주입시키는 새로운 개념의 주조 방법이다. 원심주조는 주형을 회전시킴으로써 얻어지는 원심력을 이용하여 용탕을 주형속으로 보다 용이하게 주입하는 반면, 가압주조는 용융금속을 높은 압력에 의해 금형내로 주입시키는 방법이다. 이들 방법 이외에도 특수 경우에 사용되는 주조 방법으로는 주형내 용탕이 응고하는 단계에서 프레스에 의한 고압력을 가해 성형하는 고압주조(용탕단조, Squeeze Casting), 용탕을 주입하며 롤러에 의해 응고시키며 판재로 성형시키는 연속주조, 진공중에서 용해 및 주조하여 가스의 영향을 줄이는 진공주조 등도 있다.

반중력주조기술에는 그림 1에서 보는바와 같이 주형이 용탕보다 위에 위치하고 있어 용탕을 주입하는데 있어서 기존의 중력주조와 달리 주형

을 거꾸로하여 탕구를 용탕속에 넣은후, 진공에 의하여 주형벽을 통하여 용탕을 주형속으로 흡수하는 CL(Countergravity Lowpressure) 방법과 용탕에 압력을 가하여 용탕을 위로 올려 주형속으로 주입시키는 PC(Pressure Countergravity) 방법 두가지로 분류된다[4]. CL은 반중력 저압주조의 약자로서 주조방법에 따라 대기중에서 주조할 경우 A(Air melted alloys), 진공상태에서 주조할 경우 V(Vacuum melted alloys), 대기중에서 사형 주형을 사용할 경우 AS(Air melted Sand casting), 주조직후 압탕의 입구를 막아주는 방법으로 CV(Check Valve), 얇은 Invest 주형을 보강하기위한 방법으로 SS(Supported Shell), Argon 등 불활성 기체 분위기에서 주조할 경우 I(Inert gas melted alloys) 등의 약자와 함께 쓰인다[4]. PC(Pressure Countergravity)[5]의 경우 다이캐스팅 주조와 함께 이미 국내에서 실시되고 있으며 외국에서는 설비의 자동화를 통해 양산화되고 있다. CL(저압 반중력)주조 는 아직 국내에서 실시된 바 없는 새로운 주조기술로서 본글에서는 CL의 주조 기술을 주로 소개 하고자 한다.

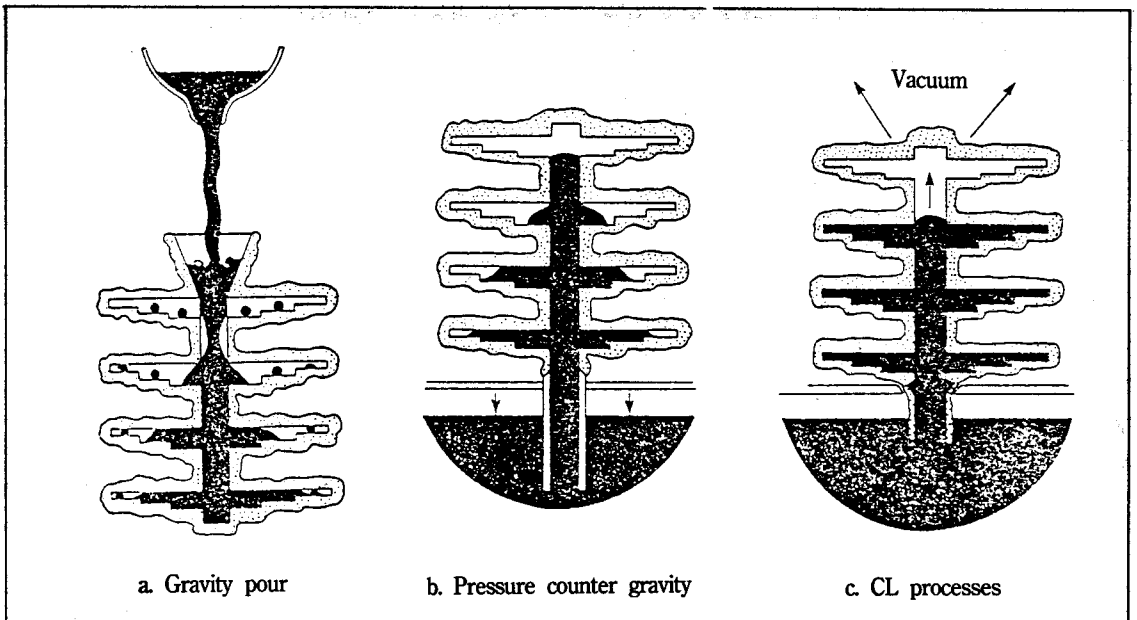


그림 1. 용탕을 주형속으로 충전시키는 3가지 방법[4].

### 3. 저압 반중력 정밀주조기술 (Counter-gravity Low pressure Casting)

#### 3.1. 공정

그림 3에 CLA(Countergravity Low pressure Air casting)와 CLV(Countergravity Low pressure Vacuum casting) 공정의 모식도를 나타내고 있다. 이들 공정은 다음과 같은 순서에 의하여 진행된다 [4,6,7]. 먼저 주형을 꺼꾸로 위치하게 하고 용탕을 준비한다. 그리고는 탕구를 용탕속에 잠그게 하고 주형을 통해 진공으로 액상을 빨아 들인다. 그런 다음, 주조하여 주물이 응고직후 진공을 풀고 탕도 부위의 액상을 노내의 용탕으로

회수한다. 마지막으로 주형을 분리 시킨후 주형으로부터 거의 완성품에 가까운 주조품(약간의 표면 후처리)을 얻는다.

여기서 CLV가 CLA와 다른 점은 용탕과 주형부분이 모두 진공 챔버(Chamber) 안에서 공정이 이루어진다는 점이다.

#### 3.2. 장점

반중력주조의 장점은 물론 경제성에 있다 그러나 일반중력주조에 비해 품질의 향상에도 큰 효과를 보여주고 있다. 이들 장점을 열거하면 다음과 같다.

결함감소: 그림 1(a)에서 보는바와 같이 중력주조시 용탕이 주입될때 작은 금속 방울들이 튀

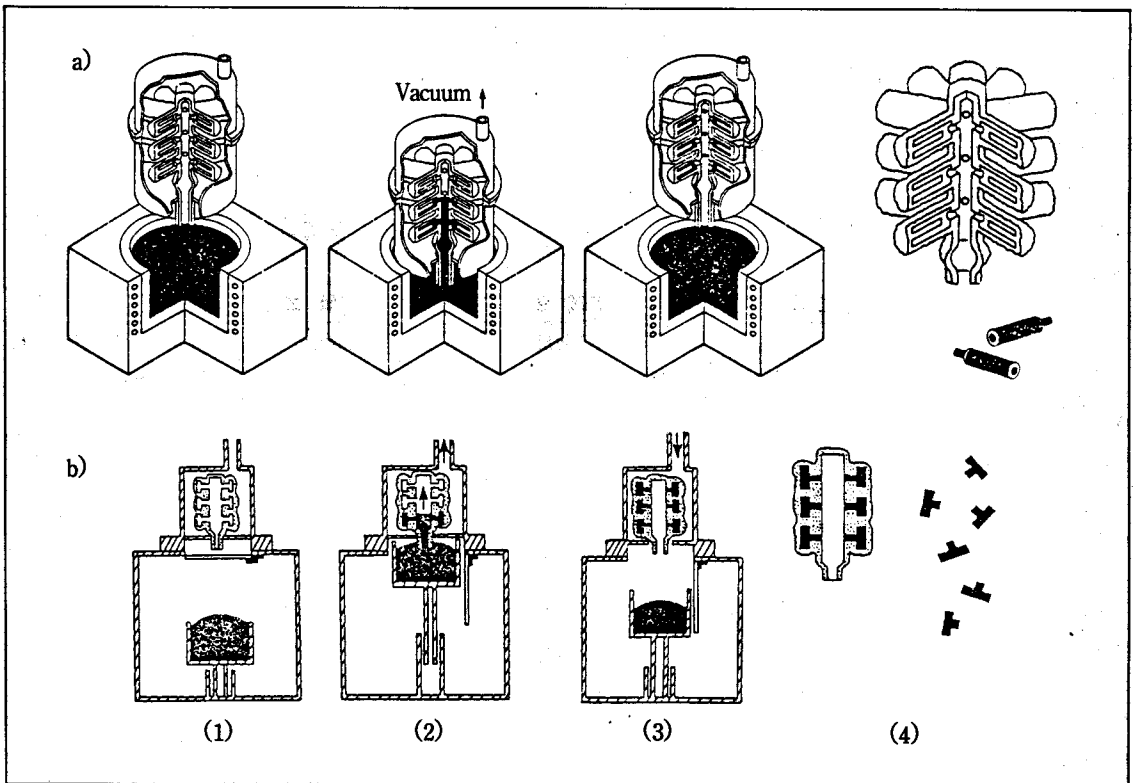


그림 2. 저압 반중력 주조 공정[4].

(1) 주형을 용탕위에 거꾸로 위치. (2) 탕구를 용탕에 담그고 진공으로 용탕흡입. (3) 주조 직후 진공을 풀고 탕도의 액상을 회수. (4) 주형으로 부터 주조품 얻음. a) CLA(Counter gravity Low-pressure Air melting) 공정. b) CLV(Counter gravity Low-pressure Vacuum melting) 공정.

어 응고되어 액상이 주형내 들어가 재용해되지 않아 결합으로 작용할 수 있고, 특히 금속방울들이 산화될 경우 거의 재용해되지 않고 큰 결합으로 남는 수가 있다. 그러나 반중력주조(그림 1(b,c))인 경우 그러한 위험이 수반되지 않는다.

빠른 주형내 용탕의 주입 : 중력주조의 경우, 그림 2(a,b), 액상전진부에서 정수압(Metallostatic pressure)을 받음으로 주형의 낮은 부분에는 역압력(Back pressure)을 받아 유체의 흐름이 저하된다. 그러나 그림 1(c)의 경우와 같이 반중력 주조의 경우에는 정수압 전진계면 쪽으로 진공에 의해 흡입되기 때문에 얇은 부위까지 빠른 속도로 주조된다. 이 결과 복잡하고 얇은 모양의 주조품 제조가 가능하다.

낮은 용탕온도 : 반중력 주조의 경우에는 진공 흡입에 의하여 순간적으로 빠른 시간내 주조되므로 용탕온도를 중력주조에 비해 약 100-150 °C 낮출수 있어 경제성과 함께 결정립을 미세화시킬 수 있기 때문에 기계적 성질이 향상된다.

적은 불순물 유입 : 용탕에 압탕 입구를 슬래그(Slag)아래의 액상까지 넣은후 액상을 주형 속

으로 흡입하므로 슬래그가 함께 용입되는 중력주조와 달리 슬래그 및 불순물의 유입을 줄일 수 있다.

경제성: 반중력 주조의 방법으로 주조하는 경우 압탕이 필요 없고 탕구를 줄일 수 있으며 한번에 많은 수의 주조품을 생산할 수 있고 또한 탕구내 액상은 회수할 수 있어 원소재가 현저히 절감되며 빠른 공정 속도와 낮은 공정온도에 따른 원가 절감에 큰 효과가 있다.

### 3.3. 금속학적 특성

#### (1) 기계적특성

여러가지 합금 부품을 CLA(Countergravity Low pressure Air melting)에 의하여 주조한 주조품과 중력 주조에 의하여 생산된 주조품의 기계적 성질을 표 1에 비교하였다. 이 비교에서 알 수 있는 것과 같이 CLA 주조가 전반적으로 중력주조(Ladle) 보다기계적 성질이 현저히 우수함을 보여 주고있다. 이는 이미 앞에서 언급한 바와 같이 CLC 방법으로 제조된 주조품의 경우

표 1. 중력주조와 저압 반중력 주조에 의한 주조품의 기계적 성질 비교[4]

Alloy	Casting method	Yield	Tensile	Reduction	
		strength	strength	Elongation	in area
		PSI(MPa)	PSI(MPa)	(%)	(%)
C356 A1	Ladle	33,300(229)	44,300(305)	8.0	-
	CLA	36,100(249)	49,000(338)	14.0	-
17-4PH Steel	Ladle	170,600(1176)	177,200(1222)	11.0	35.0
	CLA	179,600(1176)	181,400(1251)	13.5	47.0
Vitalium Cobalt <sup>1</sup> (minimum properties as cast)	Ladle(air)	60,000(414)	113,000(779)	4.0	5.2
	Ladle(vacuum)	59,000(407)	150,000(1034)	7.0	6.5
	CLA	92,000(634)	118,000(814)	7.5	9.3
Vitalium Cobalt <sup>1</sup> (min, properties solution and aged)	Ladle(air)	79,000(545)	120,000(827)	9.0	7.0
	Ladle(vacuum)	82,000(565)	112,000(772)	11.0	10.0
	CLA	86,000(593)	136,000(938)	14.0	15.0
165 BeCu <sup>2</sup> (solution and aged)	Required, minimum	80,000(512)	125,000(862)	-	0
	CLA	119-136,000(821-938)	161-165,000(1110-1138)	-	7-12

1 Data taken and reported by Prof. John Wulf, M.I.T.

2 Data machined from 6-25 mm thick castings; casting weight 20kg.

낮은 주조온도, 결함감소, 적은 불순물 등의 공정상의 장점에 기인된다.

### (2) 결정립 크기

일반적으로 주조품의 기계적 성질을 높이기 위해서는 결정립의 크기가 작은 미세조직을 필요로 한다. 결정립 크기를 작게하기 위한 실용적인 방법의 하나로 주형표면에 접촉제를 이용하기도 한다. 그러나 Turbo charger wheel과 같이 두께가 균일하지 않은 주물에 있어서는 Blade 부분과 같이 두께가 얇은 부위에는 냉각속도가 커서 아주 미세한 조직이, 반면에 두꺼운 Hub 부위에는 조대한 조직이 얻어지므로 한 부품내에서 불균일한 기계적 특성을 나타내게 된다. 그러나 CLC(Countergravity Low pressure Casting)에 의해 주조하는 경우 용탕 주입온도를 낮춤으로 냉각속도의 차이를 적게하여 어느정도 Blade 와 Hub 부위에서 균일한 미세조직을 얻을 수 있다. 또한 알루미늄 주조의 경우 DAS(Dendrite Arm Spacing)이 주조품의 기계적 성질을 결정하게 되는데, 기계적성질이 좋은 부품을 얻고자할 때에는 빠른 응고를 통해 DAS가 작은 부품을 얻는 노력이 필요하며 이를 위한 보편적인 방법으로 Chill을 사용하기도 한다. 그러나 Chill 설치에 따른 공정상의 추가 요구에 의하여 생산비가 높아지기 때문에 사용이 제한 되기도 한다. 이러한 경우 CLC에 의한 용탕주입 온도를 조절함으로써 작은 DAS를 얻게 되고, 따라서 충분한 기계적성질의 증가가 이루어질 수 있다.

### (3) 비금속 개재물

주조에서 비금속 개재물은 부품의 피로와 균열전파 등과 같은 동적 기계적 성질에 치명적인 영향을 끼친다. 일반적으로 중력주조에서는 용탕 주입시 와류형성으로 주형벽으로부터 유입되는 주형재와 용탕과 함께 유입된 금속 개재물로 인하여 동적 기계적 성질의 저하를 가져오게 된다. 그러나 CLC(Countergravity Low pressure Casting)에서는 작업 공정상 이러한 비금속 개재물

의 유입을 현저히 낮출 수 있기 때문에 표 1에서 볼 수 있는 바와 같은 물성의 향상이 가능하게 된다. 그러한 예로 CLC 에 의해 주조품의 수명을 100-150% 까지 연장된 경우도 보고 되고, Tool steel의 경우에서도 CLC에 의하여 제조된 경우 미세한 DAS (Dendrite Arm Spacing)과 함께 깨끗한 금속의 효과에 의한 기계적 성질의 향상이 보고되기도 하였다.

## 3.4 저압 반중력 주조의 주요기술

저압반중력 주조기술의 기본원리는 잘 알려져 있으나 이에 대한 상세기술은 대부분 외국의 기업에서 특허로 보유하고 있다. 따라서 실용화를 위해서 반드시 습득해야 할 중요 기술에 대하여 기술하면 다음과 같다.

### (1) 주형제작

주형은 좋은 통기도를 가져야 함은 물론 Auto claving 작업이나 주조시 생성되는 응력에도 충분히 견딜 수 있는 강도를 동시에 가져야 한다. 얇은 주형은 통기도를 좋게하나 충분한 강도를 가지지 못함으로 적절한 통기도와 강도를 가질 수 있는 적정 두께를 유지하여야 한다. 또한 통기도를 좋게 하기 위하여 조대한 주형재료를 사용할 경우 표면의 거칠기가 심해지기 때문에 부수적으로 표면 처리 공정이 필요하게 된다. 따라서 상반된 두가지 성질을 충족시킬 수 있는 모래나 성형제를 사용하여 주형을 제작 하여야 한다. 일반적으로 Invest mold인 경우 Dipping, Stuccoing, Drying 공정을 거치는 로스왁스 방법을 사용하며 사형 주형인 경우 Rasin bonded sand 공정을 사용한다.

### (2) 진공도

진공도는 주물의 표면 거칠기와 직결된다. 너무 높은 진공도는 표면의 거칠기가 나빠지기 때문에 표면 처리 공정을 필요로 하게 된다. 그러나 낮은 진공도는 용융금속이 주형내에 미충진되는 문제를 가져오므로 적절한 진공도로 용탕을 흡입

하여야 한다.

(3) 용탕온도

용탕온도가 낮아지면 주물 조직의 미세화와 가스 발생의 확률이 낮아지게 된다. 그러나 너무 낮은 용탕온도는 용탕공급에 차질을 가져오므로 적당한 공정온도가 필요하다. 일반적으로 저압 반중력 주조의 경우 주입할 금속의 용융온도 보다 약 100-150°C 정도의 과열이 필요하며, 그예로 300단위 스텐레스 주물의 경우 용탕온도는 1510-1538°C 정도가 적당한 것으로 보고되고 있다[8].

(4) 검사

일반적으로 주조품의 표면검사는 주형을 제거한 다음 육안 검사를 실시한다. 또한 내부결함 검사를 위해 X-ray 를 사용하고, 눈에 보이지 않는 표면 결함의 검사를 위해서는 형광침투시험 (Florescent penetration test)이나 자기 분말 검사 (Magnetic particle inspection)를 실시한다. 형광침투검사는 비자성 합금(Non-magnetic alloy)에만 적용되는데 형광액을 시편 표면에 도포한 후 형광전구상에서 육안 검사함으로써 미세한 Crack, Crevice, Nick 등의 결함을 발견할 수 있다. 자성합금인 경우 자기분말검사를 하게 되는데 이는 자장 (Magnetic field) 안에서 제품에 금속 분말, 형광물질을 함유한 기름을 표면에 도포하여 검은 불빛아래서 표면 결함을 찾을 수 있기 때문이다[9].

3.5. 특허기술

반중력주조에 관련된 특허 조사를 위하여 금속 데이터 베이스인 Metadex를 통해 문헌조사 (표 2)를 실시하였다. 대부분 CLC 기술은 미국의 GM과 Hitchner Co.에서 보유하고 있고 PC (Pressure Countergravity) 주조 방식은 컴퓨터에 의해 압력과 주조속도등 주조공정을 자동화 하는 방식으로 미국의 CMI를 비롯하여 영국, 프랑스, 일본 등지에서도 특허를 가지고 생산하고 있다. 여기에서는 CLC의 특허 및 세부기술에 대해

소개 하고자 한다.

(1) 주조후 액상의 흘러내림을 방지하는 기술

수축율이 크고 무거운 금속인 경우(Ni 합금, Stainless 합금, 등) 용탕 흡입 직후 탕도의 액상이 다시 노내의 용탕으로 회수되지 않게 하기 위해 여러 기술이 Hitchner Co. 의 Chandley 에 의해 고안 되었다. 이 기술의 주요 Know-How는 주조직후 주형을 다시 꺼꾸로 회전시켜 용탕의 흘러내림을 방지하는데 있는데, 주형을 회전시키는 동안 흘러내림을 방지하기 위해 탕구에 세라믹 판 (Disk)를 끼워 넣음으로써 용탕의 흘러내림을 방지하는 동시에 흡입시 불순물을 걸르게 하는데 있다. 이 제조공정을 위한 장치를 그림 3

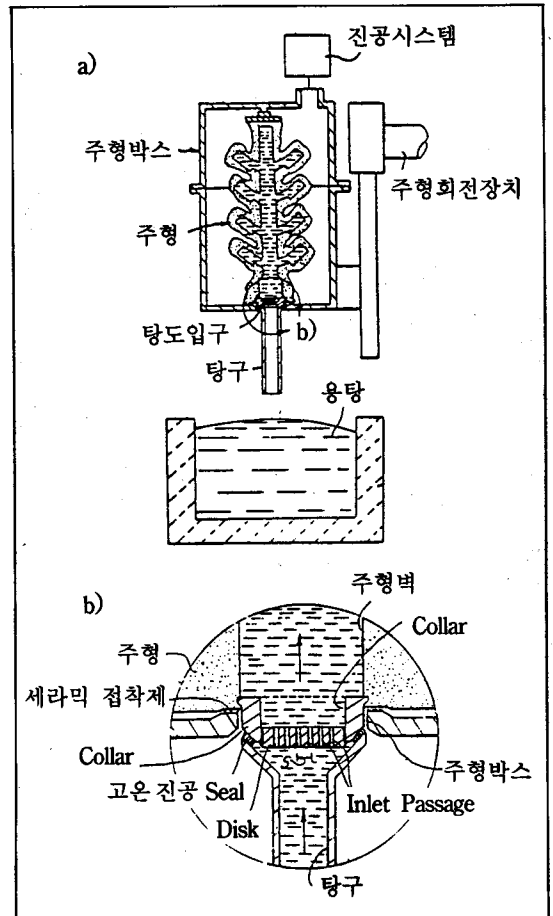


그림 3. a) 반중력 주조를 위한 장치 모형도[8].  
b) 탕구의 확대된 모양

표 2. Metadex를 통한 반중력 주조기술에 관한 특허 자료

Company	Inventor	Year	Patent #	Title
GM	Vander	1992	US5230379	Vacuum-Assisted CGC apparatus and method
	〃	1991	EP0471285	〃
	Kubish	1991	EP0473062	Differential pressure CGC with alloyant introduction
	Aubin, Kubish	1989	US4971131	CGC using particulate filled vacuum chamber
	Schaffer, Mercer	1989	US4932461	CGC apparatus
	Voss, Smith			
	Newcomb	1990	US4993473	Differential pressure CGC using mould ingate chill
	Sabraw	1990	US4989662	Differential pressure CGC of a melt with a fugative alloyant
	Voss	1988	EP0301693	CGC apparatus
	Voss	1986	EP0226321	〃
	Voss	1986	EP0226321	〃
	Voss	1986	EP0226315	〃
	Voss, Ruff	1986	EP0225040	CGC method and core assembly
	Dalte			
	Almond	1986	EP0225004	CGC mould
CMI Internat.	Khun, Wylie	1992	US5215141	Apparatus and method for controlling the CGC of molten metal into molds
	〃	1992	US5205346	Method and apparatus for CGC molten metal
	〃	1992	US5178203	Apparatus for the CGC of metals
Hitchner	Chandley	1990	US5146973	CGC method and apparatus
	〃	1991	EPO0474078	CGC method using particulate supported thin walled investment shell mold
	〃	1989	US5069271	〃
	〃	1989	US4977948	CGC apparatus and method using elastomeric sealing gasket and cooled vacuum chamber
	〃	1989	US4957153	CGC apparatus and method
	〃	1989	US5042561	Apparatus and process for CGC of metal with air exclusion
	(MCT)	〃	1989	US4982777
(GM)	〃	1988	US4874029	CGC process and apparatus using destructible patterns suspended in an inherently unstable mass of particulate mold material

CGC : Counter Gravity Casting

에 나타내었고, 아울러 용탕을 흡입한 후 액상이 주형으로부터 흘러내림을 방지하기 위한 여러 Disk의 모양을 그림 5에 나타내었다. 여기서 Disk의 크기 및 Disk 내 구멍의 수, 크기, 간격 등은 금속의 표면에너지를 고려하여 정하게 된

다. 그림 4(a)의 실제 Invest mold 에서 35 lb의 17-4 ph stainless의 경우 구멍의 수는 70개, 크기 0.075 inch, 간격은 0.13 inch, Disk 크기는 1.5 inch의 조건을 사용하고 있다. 또한 그림 4(b)에서 보는 바와 같이 Disk중 3/4 정도만 구



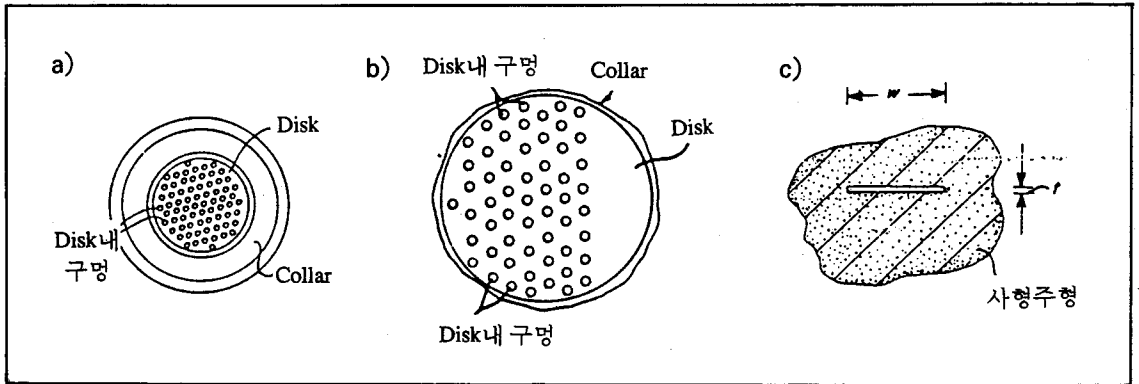


그림 4. 주조직후 용탕의 흘러내림을 방지하기 위한 탕구에서 여러가지 disk 모양[8].  
 a) disk내 전반적으로 구멍을 형성한 disk 모양. b) disk내 약 3/4정도 구멍을 형성시켜 주형 회전시 더욱 흘러내림을 방지한 disk 모양. c) 사형주형에서 흘러내림을 방지하기 위한 탕구 모양.

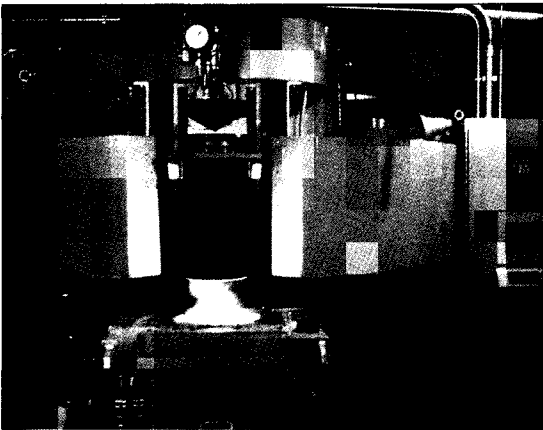


그림 5. CLA 주조의 실제 공정 모습

명을 만들어 용탕흡입 직후 주형 회전시킬동안 보다 완전하게 흘러내림을 방지하게 된다 [10]. 사형주형(Sand mold) 인 경우 그림 4(c) 와 같이 구멍을 한개의 Slit 모양으로 하였는데 실제 19 lb 의 주철인 경우 Slit의 두께는 1/32-1/16 inch, 높이 1.5 inch, 높이 1 inch 로 하여 주조시 용탕의 흘러 내림을 방지 하고 있다 [8]. 또한 주조직 후 입구의 Disk 부위에 찬바람을 불어주어 입구를 빨리 응고시켜 흘러 내림을 방지하기도 하고 주조직후 탕구를 찌그러 막아 주는 방법 (Check valve)도 고안 되었다.

(2) 얇은 주형 사용 기술

이 기술은 Invest mold에서 주형벽을 얇게하여 진공흡입시 통기도를 좋게하고 또한 생산성 향상을 위해 Hitchner Co.의 Chandley 에 의해 고안 되었다. 주형은 Dipping, Stuccoing, Drying 공정을 4-5 층으로 하여 주형벽의 두께를 약 0.12 inch로 준비한다[8]. 주형을 보통 8 층 정도 이상으로 준비하는데 8층일경우 통기도가 80-120 N<sub>2</sub> cc/min인 반면 4층으로 할 경우 통기도는 316-468 N<sub>2</sub>cc/min로 크게 향상 시킬 수 있다. 이 얇은 벽 주형은 Auto claving 작업시 충분한 강도를 가지고 있어야하며 주조시 벽으로 금속의 침투를 막을 수 있어야 한다. 그러나 주조 및 응고시 일어나는 응력에는 충분하지 않으므로 주조시 주형을 주형박스내의 주물용 모래안에 안치하여 주형을 모래에 의해 보강하도록 하였다. 모래에 여러 장치를하여 압력을 주어 주형을 더욱 보강하는 방식도 고안 되었다. 여기서 사용된 주형재료의 조성과 구성을 표 3에 나타내었고 초기 슬러리는 미세한 슬러리로 깨끗한 표면을 위해 처음 1-2 층에 사용되고 다음 2-4 층은 통기도를 위해 좀더 조대한 슬러리를 사용 하게 된다. 얇은벽 주형 사용으로 한 단위 주형에 더욱많은 주형을 넣을 수 있어 그 생산성 향상 효과를 표 4에 나타내었다.

표 3. 얇은 벽 주형제조를 위한 주형재료[8]

Initial Slurry		2nd slurry		Stuccoing
Material	Wt. %	Material	Wt. %	Material
200# Fused silica	15.2	Mulgrain M-47 mullite	15.1	#100 Zircon
325# Zircon	56.9	20# Fused silica	25.2	#60 Mulgrain M-47 mulite
Colloidal silica				
Sol binder	17.8	600# Zircon	35.3	#25 Mulgrain M-47 mulite
Water	10.1	Ethylsilicate binder	15.6	
		Isopropanol	8.8	

표 4. 얇은 벽 주형 사용시 얻어지는 생산성 증대 효과[8]

Part	Standard Shell Loading			Thin Shell Loading		
	# cavity×level	# cavity/shell	oz/cavity	# cavity×level	# cavity/shell	oz/cavity
Rocker arm	8 ar×13 hr	104	6.3	12 ar×16 hi	192	1.5
Window latch	12 ar×8 hi	96	6.7	14 ar×10 hi	140	1.5
Cleat	10 ar×24 hi	204	2.8	12 ar×26 hi	312	1.3

Note: "ar" is # pf mold cavities around riser and "hi" is # of levels of mold cavities along riser.

(3) 주조직전 및 직후 압력을 이용한 기술

이 기술은 GM의 Varderjagt 에 의해 고안 된 기술로서 주조 직전 탕구를 압탕속에 넣은후 진공으로 흡수하기 직전 압력을 불어 넣어 초기 탕구에 유입된 슬래그를 제거하고 또한 진공으로 용탕을 흡수한 직후 다시 압력을 가해주어 탕도에 남아 있는 액상을 회수 하는 기술이다[11]. 이 경우 Gate(탕도) 입구를 높게 설계하여 주조품 내의 액상이 압력을 가할때 흘러 나오지 않도록 하는 것이 가장 중요한 기술이다.

(4) 사형주형에서 Drag 와 Cope 접합 기술

이 기술은 GM의 Voss 가 고안한 것으로 사형 주형에서 아래와 윗 부분 (Drag and Cope) 주형을 결합 시키는 장치를 고안하고 두부분을 접합 분리 시키는장치를 자동화 함으로써 생산성을 향상 시키는 기술이다[12].

4. 저압 반중력 주조에 의해 개발된 주조품

이 주조 기술은 미국의 Hitchner Co.에서 주로 개발되어 철, 비철, 항공부품에 이르기 까지 다양한 주조품을 생산하고 있다. GM 자동차 회사에서는 자동차 주조품의 생산에 많이 이용되고 있다. 또한 Hitchner Co.와 GM 자동차와 합작으로 설립된 MCT(Metal Casting Technolory)라는 연구소를 중심으로 계속 반중력 주조품의 개발과 연구를 계속하고 있다. 그림 5에는 실제 Hitchner Co.에서 실시하고 있는 CLA 주조공정을 보여 주고 있다. 여기서 용탕위에 주형이 거꾸로 위치하고 있고 주형의 윗부분에 진공시스템이 보여진다. 이 공정은 용탕을 진공으로 탕구를 통하여 주형으로 흡수한 후 주형을 용탕으로 부터 올린 상태이다.

박육정밀 주조에 의해 개발되어 사용되고 있는 제품으로 철제로는 Rocker arm(그림 6(a)), Steering arm, Valve, Golf iron, Gun frame, 각종 Tool, 등이 있고 비철제로는 그림 6(d)에서 보는 바와 같이 얇고 복잡한 각종 부품을 제작하는데 적합하여 Satellite용 주조품, P.C. Board, Radio receiver 등. 다양한 Al 및 Cu 합금의 주조

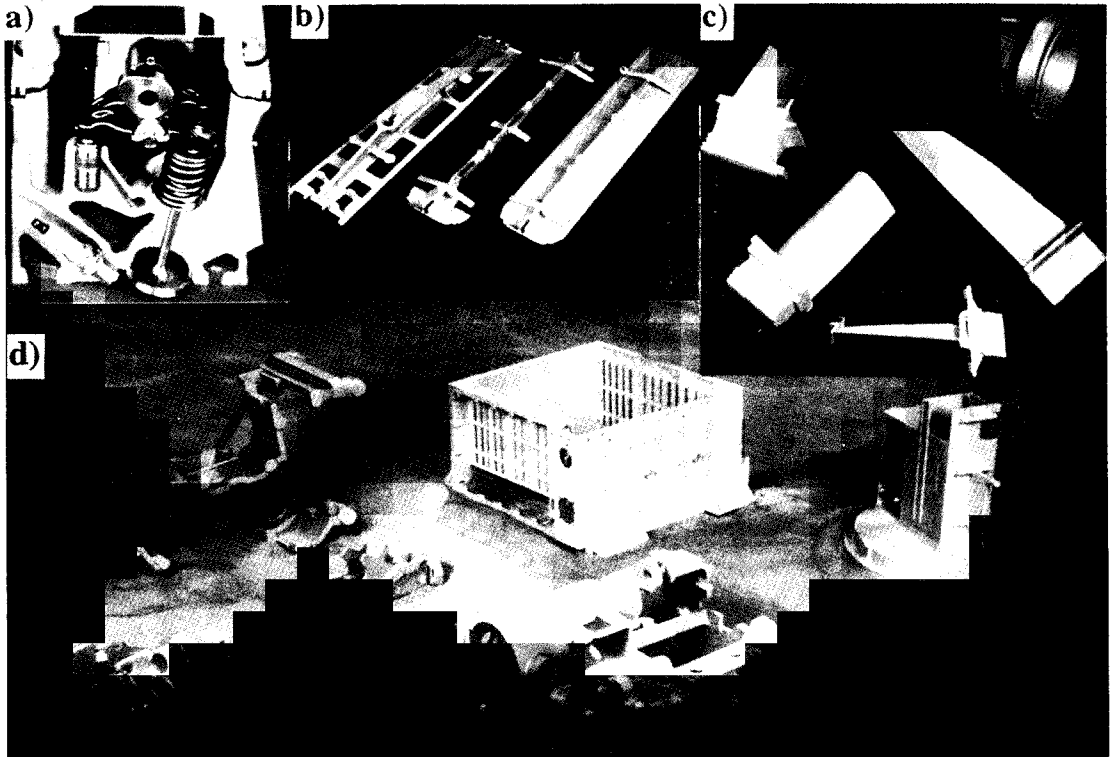


그림 6. 저압 반중력 주조에 의해 제작된 여러가지 부품[13].

a) Rocker arm. b) 제트엔진용 Secondary seal. c) CLI 주조에 의해 생산된 Air foil과 Super alloy 부품. d) 다양한 얇은 두께의 Al 및 Cu 합금 주조품.

품이 생산되고 있다. 또한 항공 부품으로는 CLV 나 CLI(Counter gravity Low pressure Inert gas)에 의해 제트엔진의 Secondary seal (그림 6(b)), Primary seal, 각종 터빈 블레이드(그림 6(c)), Diffusor segment, Nozzel, Combustor panel, 등에 이르기 까지 다양하게 사용된다.

### 5. 국내현황

반중력 박육정밀 주조기술은 기존의 중력주조 기술의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 주조기술로서 이미 미국, 일본등 선진국에서는 실용화 되고 있으나 국내에서는 이분야에 대한 경험 및 연구는 전무한 상태이다. 다행히 1994년도 부터 시작된 중핵기술개발사업에 의해 유성기업에서

"박육정밀 주조기술개발 연구"를 통하여 Exhaust manifold, 브레이크 로터, 중공형 캠샤프트의 연구 개발을 시작하여 한국기계연구원과 공동으로 수행중에 있다. 이 연구는 유성기업을 중심으로 핵심기술의 대부분을 가지고 있는 미국의 MCT (Metal Casting Technology Inc.)와 기술제휴로 공동연구하여 개발의 위험부담을 줄이고 개발 기간을 단축하는데 목적이 있다. 시제품의 제조는 유성기업에서 수행하고 본연구원에서는 박육정밀 주조품을 위한합금설계및 특성평가에 관한 연구를 분담하고 있다. 또한 반중력 박육정밀 주조시 3차원 응고해석은 대구 계명대에서 위탁과제로 수행하고 있는데, 이 기술에의한 주조시 주입속도 및 냉각 속도가 빠르기 때문에 응고해석과 유동해석을 결합하여 박육 정밀 주조시 응고 상

태를 이해하고 주조방안의 최적화를 위한 연구가 주요 목표이다. 본 과제를 통하여 저압 반중력 주조 기술에 의한 자동차 부품 개발을 위해 산학연 및 외국과 공동으로 연구 개발을 수행중에 있다.

## 6. 맺음말

반중력 주조는 기존의 중력주조와 달리 주형을 거꾸로하여 탕구를용탕에 담근후 진공을 이용하여 용탕을 흡입하여 주조하는 방식으로 기존의 중력주조상의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 주조기술이다. 이 주조기술의 개발은 자동차산업의 경량화와 국제경쟁력 확보라는 시대적 요구에 대응할 수 있고 정밀 주조에도 적용할 수 있어 항공 및 기계등 산업전반에 파급효과를 가져올수 있을 것으로 생각된다. 이 주조기술의 주요기술은 대부분 특허로 선진국에서 보유하고 있기 때문에, 본글에서는 새로운 주조방법인 반중력 주조기술에 관해 연구개발에 앞서 문헌조사를 통해 외국에서 가지고 있는 여러기술들을 살펴보고 앞으로 연구개발 되어야 할 주요 기술에 대해 알아 보았다.

반중력주조에 의한 박육정밀주조기술의 개발은 생산성 향상과 함께 품질의 향상에 도움을 주며 특히 자동차부품의 개발에 적용은 에너지 효율을 높이고 환경오염 큰 효과를 가져올 것으로 생각된다. 이 연구를통해 개발될 스텐레스 Exhaust manifold는 경량화와 함께 배기가스를 줄이는 효과를 가져올 것으로 기대되며 계속되는 개발 계획에 의하여 경량 브레이크 로터 와 중공형 캠 샤프트 개발을 통하여 일부 부품의 경량화, 고품질화, 원가절감에 의한 자동차산업의 국제경쟁력

강화에 큰 기여를 할 것으로 기대된다. 또한 이러한 새로운 주조기술의 개발은 현재 우리나라에서 기피하고 있는 기계공업의 기반 산업기술인 주조산업을 발전시켜 점점 커지는 외국과의 주조기술 격차를 줄여 나가는데 일익을 할 것으로 기대 된다.

## 참 고 문 헌

- 1) Chandley, G.D.: Metal Hand Book(9th edition), ASM International, Vol. 15, p.317-319, 1980.
- 2) 김학현 : 박육정밀 주조기술 개발(중핵과제 연구계획서), STEPI, 1994.
- 3) Nyshiyama, Y. ; Miyashita, T. ; Isobe, S. ; Noda, T. : High Temperature Aluminides and Intermetallics, TMS, p.557-584, 1990.
- 4) Chandley, G.D. : Cast Metals, Vol. 2 (1), p.2-10, 1989.
- 5) Saia, A.; Edelman, R.E. ; Gilmore, H.L. : Mod. Cast., Vol: 52(1), p.105-114, 1967.
- 6) Chandley, G.D. : Trans. AFS, Vol 94, p.209-214, 1986.
- 7) Chandley, G.D. : Casting Eng. and Foundary World, Vol. 15(2), p.51-56, 1983.
- 8) Chandley, G.D. : US Patent # 5069271, 1989.
- 9) Jenke, A.C. : Mach. Tool Blue Book, p. 43-46, May 1989.
- 10) Chandley, G.D. : US Patent # 5146973, 1990.
- 11) VanderJagt, A.D. : European Patent # 0 471 285 A2, 1991.
- 12) Schaffer, G.A. ; Mercer, J.B. ; Voss, K.D. ; Smith, J. : US Patent # 4932461, 1989.
- 13) Hitchner Annual Report 1993 Catalog, Hitchner Co., 1993.