

技術資料

## 최근의 고압주조법의 개발 및 그 응용현황 —스퀴즈캐스팅법 중심으로—

한요섭, 김기배, 이호인

### Development of Recent High Pressure Casting Methods and its Application

Yo-Sub Han, Ki-Be Kim and Ho-In Lee

#### 1. 서 론

국내외적으로 차량업체에 불어닥치고 있는 경량화, 고품질화 및 경제적 양산화 요구추세는 비철분야에 현재 사용되고 있는 기존의 압력주조법의 개선 및 신 주조공정의 개발을 적극적으로 추진하게 하는 계기가 되고, 새로운 고압응고주조법들이 다수 보고[1-3]되고 있다. 국내에서도 종래의 다이캐스트의 일변도에서 벗어나 새로운 고압응고주조법의 도입 및 개발에 관심을 가지고 있으며 일부는 현장에 적용하여 양산을 하고 있다. 그러나 이들에 대한 국내 기술기반이 미약하여 신 주조공정의 현장활용도 제한적이며 나아가 국산화 기계개발은 미미한 상황이다.

본 보고는 고압력을 사용하는 고압주조법-다이캐스트분야에서 최근에 해외에서 추진되는 신 주조공정의 개발과 그 실용화현황을 조사한 것으로서 특히 고압하에서 응고를 효과적으로 진행시키는 고압응고주조법인 스퀴즈캐스팅에 대하여 살펴보았다. 또한 본 연구팀에서 수행한 스퀴즈캐스팅기기의 개발 사례를 소개하면서 국산장치의 제작가능성을 검토하여 보았다. 이를 통하여 국내의 비철주조분야에서도 신 주조공정의 개발이 활발히 추진되기를 바라는 바이다.

#### 2. 신 고압주조법의 개발방향

##### 2.1 고압주조법의 원리와 분류

일반적으로 주조공정에 이용되는 압력의 크기

에 따라 중력보다 낮은 압력의 진공주조법(Vacuum casting), 20~50KPa 압력의 공기나 불활성 가스를 이용하는 저압주조(Low Pressure Casting)과 기계적으로 50~150MPa의 고압력을 사용하는 고압주조법(High Pressure Casting)으로 크게 나눌수 있다. 그 사이에는 원심력을 이용하는 원심주조(Centrifugal Casting)나 압력차를 이용하는 차압주조법(Counter Pressure Casting)이 있다. 이 중에서 고압력을 사용하는 고압주조법은 용융금속을 금형에 사출 압입시키는 속도와 가압방식에 따라 가장 많이 사용되고 있는 고속사출 충전의 일반 다이캐스트(Die Casting)와 저속충진의 고품질 다이캐스트로 나눌수 있다. 또한 이들 고압주조법에서 저속충진 주조후 응고과정에서까지 지속적으로 고압력을 유지시켜 주조결함을 효과적으로 억제하고 품질을 향상시키는 고압응고법 또는 용탕단조법이라 불리는 스퀴즈캐스팅(Squeeze Casting)이 있다. 표 1은 일반 다이캐스트법을 비롯해서 최근에 개발 실용화되고 있는 각종 고압응고주조법들의 주조 및 제조특성들을 비교하여 본 것으로서 전통적인 중력금형주조나 저압주조의 경우도 참고로 나타내었다.

이러한 고압주조법에서 주조외관과 내부품질을 좌우하는 2가지 요소로서 i)용탕의 금형캐비티로 주입속도, ii)용탕에 가해지는 압력을 들수 있다.

용탕의 주입속도의 영향을 보면, 그 속도가 빠른 일반 다이캐스트법에서는 용탕의 유입경로나 캐비티내의 공기가 용탕중에 혼입되어 제품내부

표 1. 알루미늄합금의 고압주조법의 비교[4]

주 조 법	주입방식	탕구유입속도 m/s	탕구두께 mm	가압력 (가압방식) kgf/cm <sup>2</sup>	주입온도 ℃	특 징
1. 일반다이캐스트	고속충진	30~60	0.5~2.5	500~1000 (플런저 1단)	600~650	최고생산성
2. GF다이캐스트 (Gas Free); 진공	↑	↑	↑	500~700 (형내감압)	↑	기포없음
3. 스퀴즈병용 다이캐스트	↑	↑	↑	1250,2500 (플런저,케비티)	≒660	고생산성, 기포감소
4. PF다이캐스트 (Pore Free)	↑	↑	↑	↑ (활성가스치환)	600~650	기포없음
5. 층류다이캐스트	저속층류충진	0.5~0.7	5~15	1500 (플런저1단)	≒700	고생산성, 기포감소
6. 아큐라드법 (Accurad)	↑	0.3~2.5	↑	500~1000 (플런저2단)	700~720	수축공역제
7. Hi-CAST법 (Hi-pressure)	↑	0.15~0.4	제품부 최대두께이상	500~2000 (플런저2단)	700~800	두꺼운제품 적당
8. 스퀴즈캐스팅법 (Squeeze cast)	저속층류충진	≒0.2(케비티 내 상승)	-	1000~2000 (직접압입)	700~750 (추정)	균일고강도
9. NDC법 (New Die Cast)	저속층류충진	1~2	제품부 최대두께이상	200 (플런저)	700 (추정)	대형, 붕괴중자가능
10. [참고] 중력 금형주조법	↑	<2	입의	중력	700~800	성형자유大 붕괴중자가능
11. [참고] 저압 주조법	↑	0.6~0.7	25~40	0.2~0.5	690~740	대형, 붕괴중자가능

비고 : 번호 5~9는 고압용고법에 해당됨.

에 결함을 야기시키고 그 결함을 방지하기 위해서 다이캐스트에서 Pore Free 다이캐스트(산소 가스 취입으로 케비티내의 수분의 악영향 억제), 진공 다이캐스트(GF), plunger 속도를 제어하는 방법등이 제안되어 일부 실용화가 되고 있지만 결함을 획기적으로 감소시키거나 고신뢰성을 얻지 못하고 있다. 유입속도가 낮은 중력주조나 저압주조는 용탕의 亂流가 적어 공기혼입이 감소하여 열처리가 가능하지만 탕류결함이 많이 발생하는 단점이 있다. 따라서 다이캐스트에서 주입속도를 낮추어 저속 層流(lamellar flow)의 안정되고 제어를 가능한 흐름을 가지도록 하는 層流다이캐스트, Accurad법, 스퀴즈캐스팅법, 中壓주조법등이 새로 개발되고 있다.

한편 주조압력에 대해서, 주조압력이 높은 다이캐스트법은 금형내 용탕이 고속 고압으로 사출충진되므로 금형표면과 밀착도가 높아져서 외관이 양호하고, 응고속도가 빨라 높은 생산성을 확

보하는 장점이 있다. 반면 주조압력이 낮은 중력이나 저압주조의 경우 용탕과 금형간의 밀착도가 낮고 그 사이에 도형재가 있어서 외관 형상이 떨어지고, 응고속도도 느려서 생산성이 낮은 단점이 있다. 또한 응고속도가 느리므로 응고수축에 대한 용탕보충이 충분하지 못하여 미세 기포나 수축공이 생기기도 하고 미세조직이 조대화가 되어서 고품질의 주조품제조에는 미흡한 점이 있다.

그림 1은 현재 실용화되고 있는 각종 비철재료-특히 알루미늄소재의 양산주조법들의 주조가압력과 주조속도의 범위를 도식화하여 나타낸 것이다. 여기에 각 주조법에서 대표적인 제조품들을 제시하였으며 주조속도와 주조가압력과 관련하여 제품의 내부 품질들-조직과 주조결함, 가스혼입과 열처리 가능성을 나타내었다. 아울러 복잡한 제품제조시에 주요 요소인 core 사용여부를 살펴보았다. 일반 core 사용은 가압력이 저압

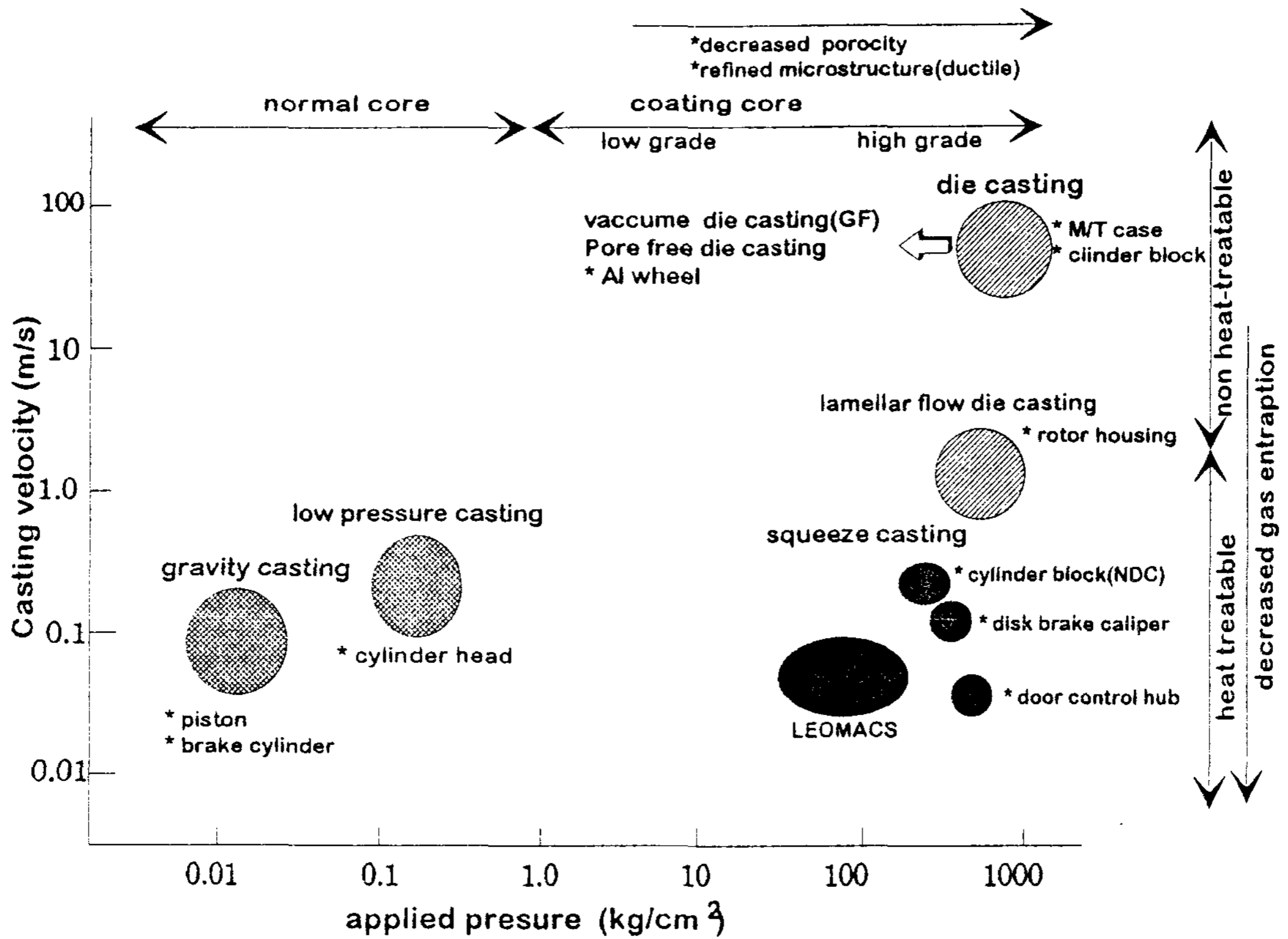


그림 1. 알루미늄합금의 신주조법의 구조특성과 응용

주조에 해당하는 50KPa이하에서 가능하고 그 이상의 고압력에서는 특수 coating core를 요구하고 있다. 또한 강화를 위한 열처리(T6) 여부는 주조속도가 층류를 유지하는 1m/sec.이하일 때 가능하다고 고려되고 있다. 그러나 이들 조건에서도 고압주조법에서 고품질의 주조품을 양산하기 위하여 여러가지 새로운 제조공정의 개발도 고려되고 있다.

2.2 신 고압주조법의 개발조건

1) 고품질의 주조품을 제조

그 조건으로서 주조품 내부에 기공이나 수축공 등의 주조결함이 없어야 한다. 따라서 금속용탕이 사출, 금형공간 속으로 충전될 때 사출슬리브나 금형공간속의 공기와 혼입되지 않아야 하고, 산화물 등의 불순물이 용탕속에 혼입되지 않도록 하여야 하며, 또한 용탕이 금형공간 속으로 충전되어 응고완료할 때까지 충분한 압력이 용탕으로 전달되도록 하여야 한다. 또한 용탕의 흐름이 안정되고 저속으로 연속성이 있어야 한다.

2) 다양한 공업적 특성을 지닌 주조품들도 제조가능

최근에는 산업의 고도화에 따라 다양한 품목과 재질-고Si, 마그네슘, 복합재 등의 주조품들이 요구되고 있어 이러한 주조품을 제조하기 위해서는 두께의 변화가 심하거나 형상이 매우 복잡한 주조품도 제조가능하여야 한다.

3) 높은 생산성을 유지

이를 위해서 기계의 자동화 및 무인화가 이루어져야 하며, 주조품을 1회 생산하는 시간인 주조 사이클을 향상시키거나 한번에 다수의 주조품을 생산할 수 있도록 하여야 한다. 따라서 주조 사이클을 향상시키기 위해서는 금형체결시간의 감소, 용탕의 사출속도 증가 및 용탕의 사출슬리브로의 급탕시간 감소 등이 요구된다. 또한 다수의 케비티 제조를 위한 균등사출방식이 가능하고, 사출 주조조건을 안정적으로 제어 및 관리하는 시스템의 확립도 중요하다.

4) 제조원가가 저렴하여 경제성확보

제조원가에는 기계설비비, 금형재료비, 주조소

재비, 제조작업비 및 인건비 등 여러가지가 있으며, 기계설비의 개선으로 제조원가를 감소시킬 수 있도록 하여야 한다.

### 3. 신 고압주조법의 개발과 실용화현황

일반 다이캐스트로 대변되는 고압주조법에서 앞에서 언급한 바와 같이 고품질, 다양한 특성의 주조품요구에 대응하기 위하여 저속충진, 고압응고를 지향하는 각종 신 고압주조법들이 개발되고 있다. 그 중에서 고압응고를 통한 고품질주조제조나 저압주조를 비롯하여 넓게는 단조품에 까지 적용범위를 확대할 수 있어서 주목을 받고 있고 다양한 공정개발이 추진되고 있다. 다음에서는 이러한 스퀴즈캐스팅법에서 보고되고 있는 신 고압주조법들의 원리와 특성 그리고 공업적 응용상황을 논하기로 하겠다.

#### 3.1 직접가압식 스퀴즈캐스팅법

그림 2는 엔진 피스톤을 전통적인 스퀴즈캐스팅의 용탕가압형태인 직접가압방식으로서 주조하는 것으로서 용탕을 금형캐비티에 중력하에서 직접 주입후 수직 가압프레스를 사용하여 상부 램을 하강시켜 용탕의 형충진 및 가압응고시키는

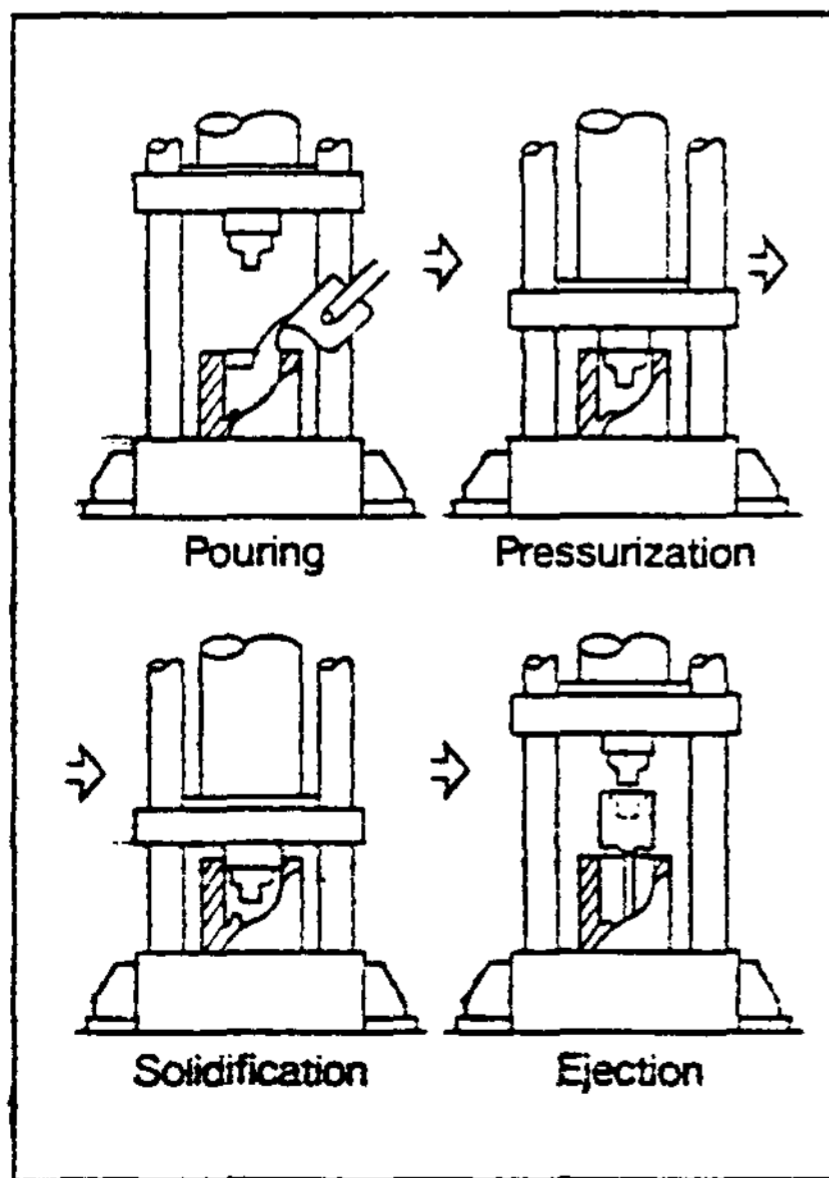


그림 2. 직접가압식 스퀴즈캐스팅법의 공정 (피스톤제조)

과정을 보여주고 있다. 이 스퀴즈캐스팅법은 주조가압장치가 간단하고 단순한 형상의 제품의 제조는 가능하나 단품형태의 제조로 생산성이 높지 않고 엄밀한 정량급탕의 유지, 금형과 직접 장시간 용탕접촉으로 열부하 증가, 응고층 및 산화물의 혼입등의 문제가 많고 자동화나 다양한 제품 제조에는 한계가 있다. 1980년대까지, 유럽, 미국, 일본 등 선진국에서도 주로 본 고압주조법을 사용하였고 그 뒤 일본 등에서는 보다 생산성 높은 신 고압주조법을 개발하고 있다.[5]

본 직접가압식 스퀴즈캐스팅법이 아직까지는 일반적으로 사용되고 있으며 대표적인 실용화의 추진사례를 보면 영국 GKN에서는 1970년대부터 시작하여 본 고압주조법이 각종 주조용 소재나 전신가공용 소재를 스퀴즈캐스팅할 수 있음과 양호한 기계적성질, 스퀴즈캐스팅용 합금개발등의 기술력을 확보하고 있다. 그 결과 1989년에는 "GKN Squeezeform" 회사를 설립하여 전문적으로 양산화체계를 갖추고 양산하고 있는 제품들은 방산부품, 차량부품 및 철도부품들로서 다음과 같다.[6]

- 방산부품-7000 Al재질의 전투용 장갑차량의 휠과 방탄커버, 드라이브, 댐퍼
- 차량부품-경주용엔진의 실린더 라이너, 디젤엔진 피스톤(미국에서 licence제조실시)
- 철도부품-철도용 doorway top stiffner, 복잡형상의 부품
- 신규개발품-일반차량용 휠(600계 Al), 부분 복합화 Hubs 및 Brake discs, 과공정 Al-Si 합금의 spline drive adapter 등

미국에서는 IITRI에서 주로 본 직접가압 스퀴즈캐스팅으로 기초 연구 및 각종 방산부품들을 중심한 시제품을 개발하였고 그뒤 N L Industries, Inc.,에서 상용화개발을 추진하였다. 그의 대표적인 본 스퀴즈캐스팅법의 양산품으로서 자동차용 디젤엔진피스톤 특히 부분복합화 제품의 개발에 Gould Inc., Clevite, Bohn, AE Group, Mahle, Well Worthy, Kolbenschmidt AG, ART Metal Manufacturing Co., Zollner Corp., J. P. Industries, 일본의 神戸製鋼, 光生알루미늄 등이 도입하고 있다. 물론 다른 스퀴즈캐스팅법으로도 이 부분복합피스톤의 개발 양산이 이루어지고 있다. 최근 GM에서도 복합피스톤을 채용하고 있고 자체적으로도 1994년 Chevrolet Corvette의

steering knuckle 등의 개발 양산을 추진하고 있다.

3.2 간접가압식 스퀴즈캐스팅법

그림 3은 사출가압장치를 금형하부에 설치하고 용탕을 이 사출슬리브에 먼저 주탕한 뒤 사출슬리브의 가압플런저를 상승시켜 용탕을 금형캐비티에 충전 성형시키고 계속 가압응고완료시키는 간접가압식 스퀴즈캐스팅장치를 개략적으로 도식한 것이다. 이 경우 3.1의 직접가압식에 비해서 금형내의 사출이 기계적으로 제어가 되므로 안정되고 공기유입이 적고 성형성이 우수하며 급탕량이 다소 차이가 있어도 제품제조에는 큰 영향이 없어서 생산성이 향상된 스퀴즈캐스팅이 얻어진다. 그러나 이 경우도 용탕을 금형캐비티가 열린 상태에서 사출까지 지체가 되며 슬리브 주탕거리가 멀고 산화물혼입의 문제가 있다. 또한 사출슬리브의 청소 및 윤활처리도 어려움이 있다. 본 가압방식의 양산화 적용예는 별로 되지 못하고 일부 시제품 제조나 초기 수직다이캐스트법 장치의 개조등의 형태로 이용되었다. 그러나 최근 본 고정슬리브식 간접가압 스퀴즈캐스팅법에서도 일본 桐生機械(주)는 고품질, 고생산성, 저코스트를 이룰수 있는 장치의 개발을 보고[7] 하였다. 그들은 신 스퀴즈캐스팅 장치의 개발특성으로

- 대상부품-0.5kg이하, 투영면적 100cm<sup>2</sup>이하 소형부품, 소량생산품도 적용가능
- 품질-응고질층을 최소화하여 강도에 미치는 영향을 없애고, 수직주조기에서 하형의 air blow 시간절감, 이형재 잔재에 의한 불량해소

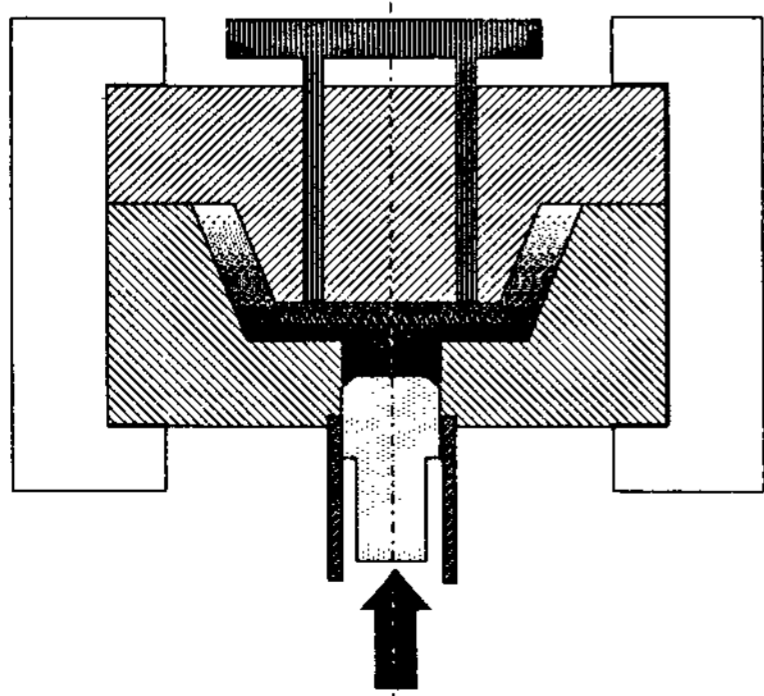


그림 3. 간접가압식 스퀴즈캐스팅법

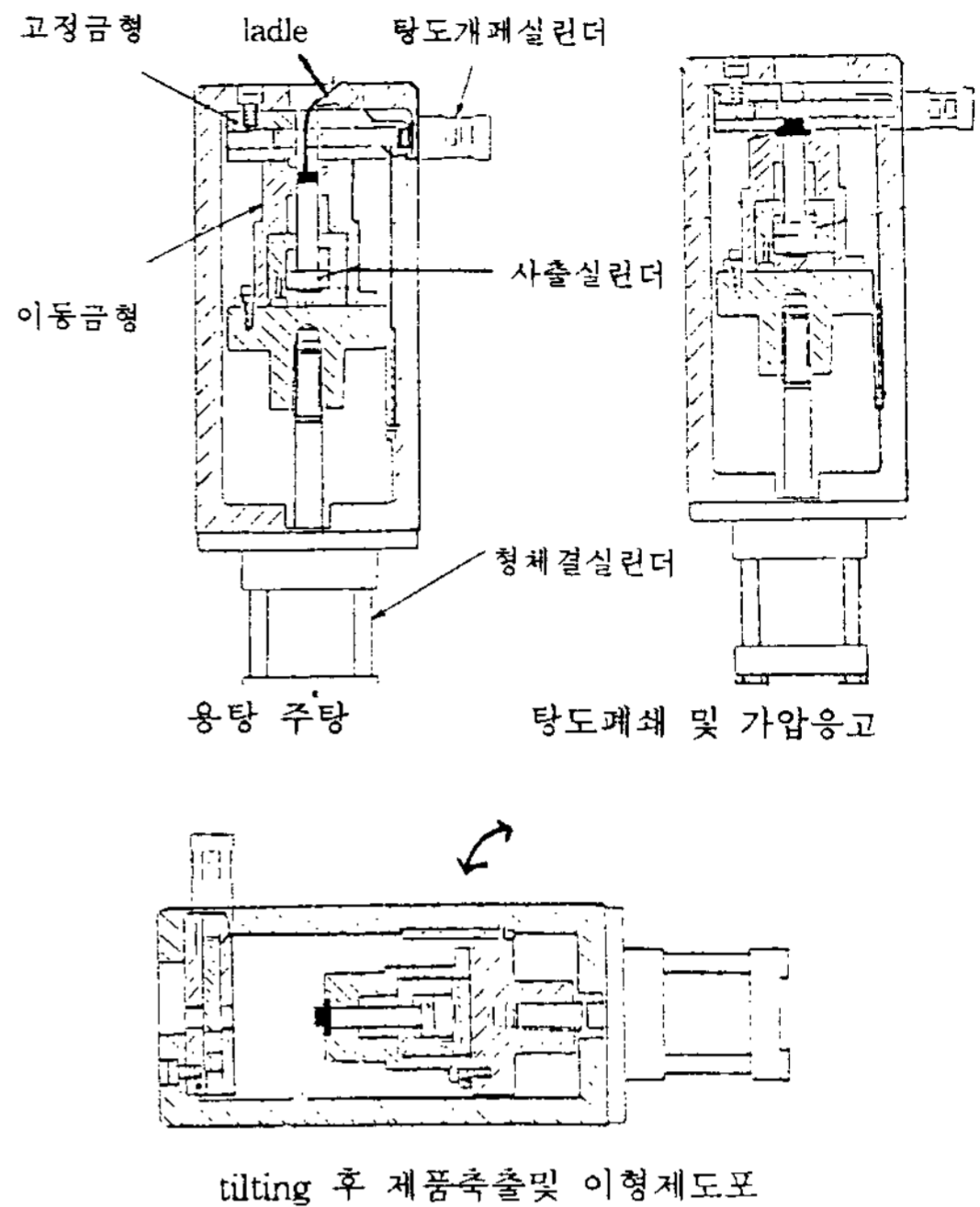


그림 4. Tilting식 간접가압식 스퀴즈캐스팅법의 공정

- 생산성-자동화, 무인화, 사이클타임 단축(다이캐스트 사이클+용탕가압시간 정도)
- 원가-1개취출을 기본으로 기계·금형의 소형화, 초기투자액의 감소, 감가상각비 절감, 소량생산시의 코스트절감, 후공정 자동화의 용이

그림 4는 이들이 보고한 스퀴즈캐스팅기계의 주조작업순서이다. (a)는 수직형상태에서 고정금형 및 platen사이로 용탕을 주탕하는 것이다. 급탕완료신호에 의해 (b)에 나타난 바와같이 고정형에 부착된 탕구폐쇄실린더를 이동시켜 탕구를 폐쇄시키고, 밑쪽에 가동금형에 조립된 사출실린더를 상승시켜 주입을 한다. 주입후 계속 가압응고를 시키고 그 시간을 이용하여 스퀴즈캐스팅기계의 본체를 회전하여 (c)같이 수평형 상태를 만들고, 제품을 금형에서 압출한다. 이 상태에서 이형재를 도포한다. 이들은 기계를 단순화하면서 기존의 다이캐스트의 자동주탕, 이형제분무 등을 쉽게 도입할 수 있어 무인화, 고생산성이 가능하며, 사출 시간이 거의 1초 정도로서 응고층의 악영향을 거의 없고, 하형의 이형재 잔재처리를 수평형으로 전환함으로 크게 해소할 수 있었다고 한다. 상기 스퀴즈장치는 소규모 양산프로세스로서 의미가 있으나 대형, 복잡형상의 제품제조에

는 어려움이 있다.

또 다른 수직형 간접가압식 고압주조법으로서 미국에서는 종래의 수직다이캐스트를 그림 5와 같이 사출장치를 하부 사출실린더 측면에 부착시키고 사출가압을 안정되고 지속적으로 하게 개량 [8]하였다. 그 결과 장치를 간단하게 하며 공간을 줄이면서 제조품질은 주조결함 억제, 열처리 가능한 고품질의 다이캐스트제품 제조가 가능하여서 새로 부각되고 있다.

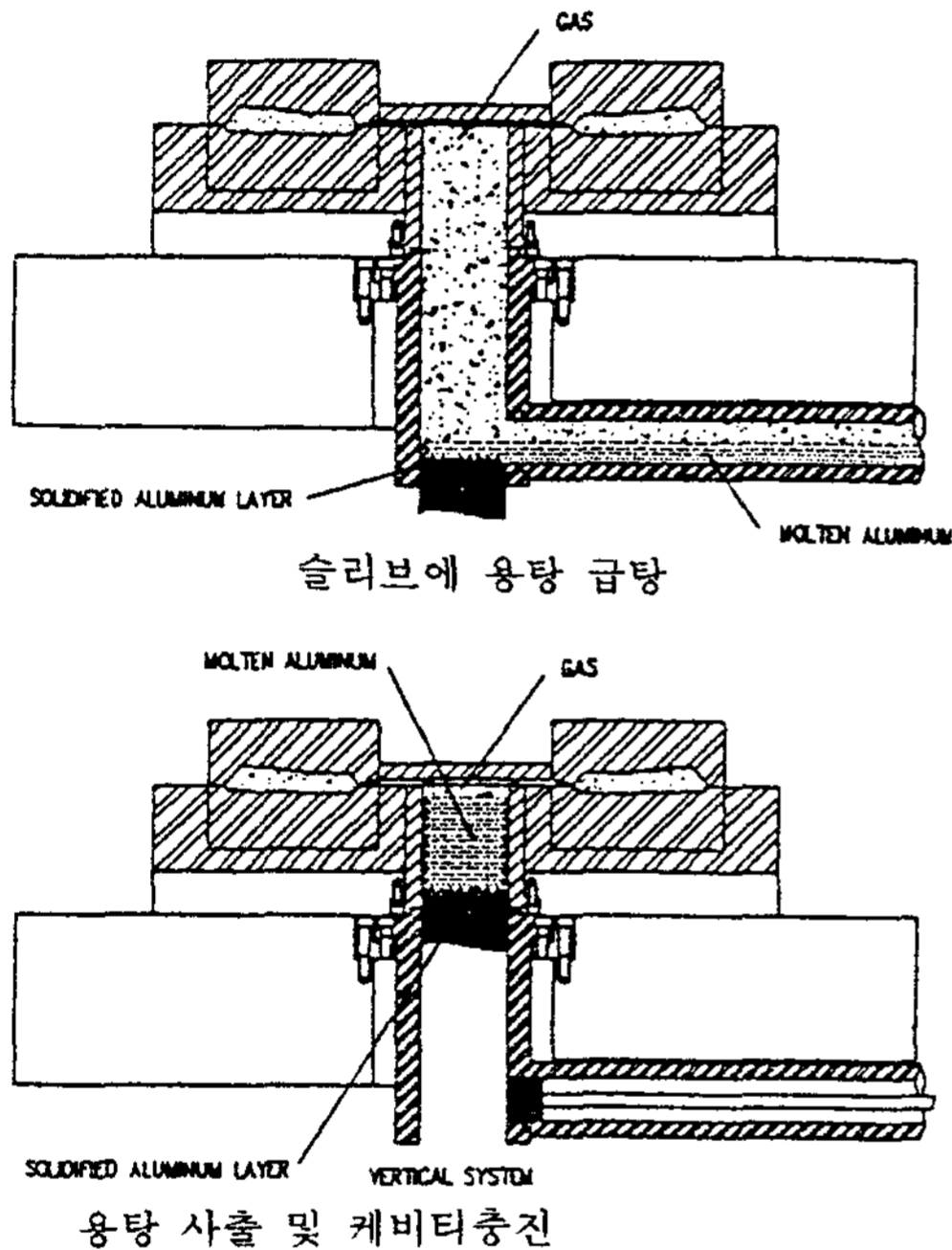


그림 5. 간접가압식 수직다이캐스트법의 주조공정

### 3.3 Counter식 스퀴즈캐스팅법

그림 6은 Toyota에서 개발[9]한 counter방식 수직형스퀴즈캐스팅법의 주조공정으로서 금형상부에 사출슬리브가 내재하고 용탕을 경사진 상부 주입구를 통하여 주입하면 이 슬리브에 흘러와서 상승된 카운터(counter)플랜저위에 정지하고 주탕후에 상부 가압플랜저를 하강시키면 카운터플랜저는 상호작용으로 하강하고 케비티에 용탕이 유입되고 성형과 가압응고를 하게 된다. 이때 주조품은 탱구를 중심으로 균일하게 방사상으로 배치되게 하여 다수의 주조품이 얻어진다. 이 방식의 특징은 저속충진과 안정된 용탕공급 및 사출시 공기제거가 효과적이며 용탕의 산화물이 상부

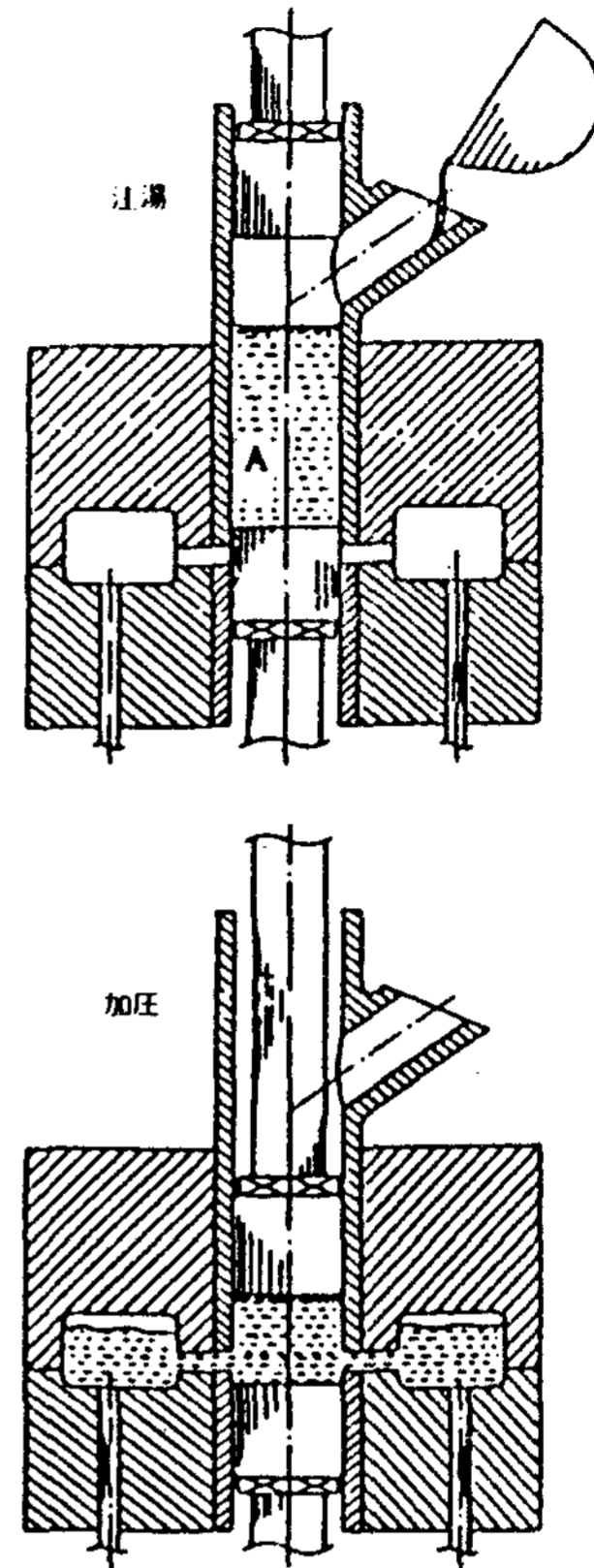


그림 6. Counter방식 수직가압 스퀴즈캐스팅법의 공정

에 포집되므로 보다 고품질의 주조품이 제조할 수 있다. 또한 주탕후 용탕을 충전, 가압이 완료될 때까지 3초 내외로 짧아 탕온관리가 용이하여 소형부품의 양산법으로서 주목된다. 그러나 상부주탕식이므로 사출장치가 상부금형 위쪽에 있어 주조장치의 소형화가 어렵고, 사출가압플랜저와 카운터플랜저의 상대운동이 매우 정밀하고 효과적으로 조절되어야 하며, 카운터플랜저 부위에서 미리 응고된 응고층이 용탕충진시에 먼저 금형공간속으로 충전되어 품질의 감소를 초래할 수도 있다. 공정의 변수로서 상부의 가압플랜저의 압력이 중요하나 금형케비티로 용탕이 유입충진되는 탕도와 탕구치수도 중요하다.

도요타에서 조사한 카운터방식 수직형 스퀴즈캐스팅법에서는 주 가압력은 최소 30MPa이상이면 주조결함이 크게 억제되고 진밀도의 제품이 얻어지며, 탕구단면적/제품체적의 비가  $3.5 \times 10^{-3} \text{mm}^{-1}$  이상이면 건전한 제품이 얻어진다고 보고

하였다. 일차가압으로는 복잡한 형상의 제품의 주조결함 제거가 한계가 있으므로 국부가압을 실시하는 장치의 도입도 가능하게 장치제작을 하였다고 한다. 도요타에서 이 고압주조법으로 개발 실용화한 제품들로는 control valve housing, delivery pipe, valve rocker arm, steering lug housing, FRM pistorn 등이 있다.

3.4 NDC 스퀴즈캐스팅법

Honda에서 개발[10]한 NDC(New Die Casting)법은 3.2의 간접가압방식을 채택하되 고강성의 알루미늄주물을 신뢰성 높고 염가로 제조하기 위하여 다음의 독자적인 기술들을 도입한 스퀴즈캐스팅장치를 개발하였다.

1) 알루미늄합금 등의 용탕을 안정되게 주조하는 수직형 사출구조

2) 주탕개시부터 주입완료까지 시간을 단축시키는 spiral 주탕방법

여기서 용탕의 열손실을 억제하여 주물의 품질을 안정시키는 것으로서 종래의 수직사출구조에서는 사출개시까지 11~14초가 소요되며 보온성이 우수한 슬리브를 사용해서 슬리브표면 응고의 여지가 있다. 따라서 Honda에서는 spiral 주탕과 측면주탕을 혼합시켰다. 측면주탕은 형체결과 동시에 시작하고 1초 정도에 주탕이 완료되고 공기나 용탕유동이 안정된 와류충진이 된다. 또 이러한 방식은 다른 급탕법보다 대량의 용탕을 안정되고 신속히 처리할 수 있는 장점이 있다고 하였다.

3) 용탕 열손실 억제시키는 전기예열식 사출슬리브구조

4) 충전속도 0.1~2.0(평균 0.3)m/s, 가압력 50~300kgf/cm<sup>3</sup>(core도입가능)의 사출시스템

5) 금형내 용탕보온 및 냉각성이 우수한 단열이형재

6) 금형내 배기처리 구조

7) 금형온도제어 시스템

그림 7은 이러한 요소를 가지는 NDC 주조법의 장치로서 엔진블록의 제조하는 공정을 대표로 하여 도시한 것이다. 이러한 저속 중압 충전의 주조법을 개발하여 1980년에 처음 자동변속기용 토르크 콤피더부품의 제조에 이용하였고, 카클러용 콤프레사부품, 오토바이용 단기통엔진 실린더

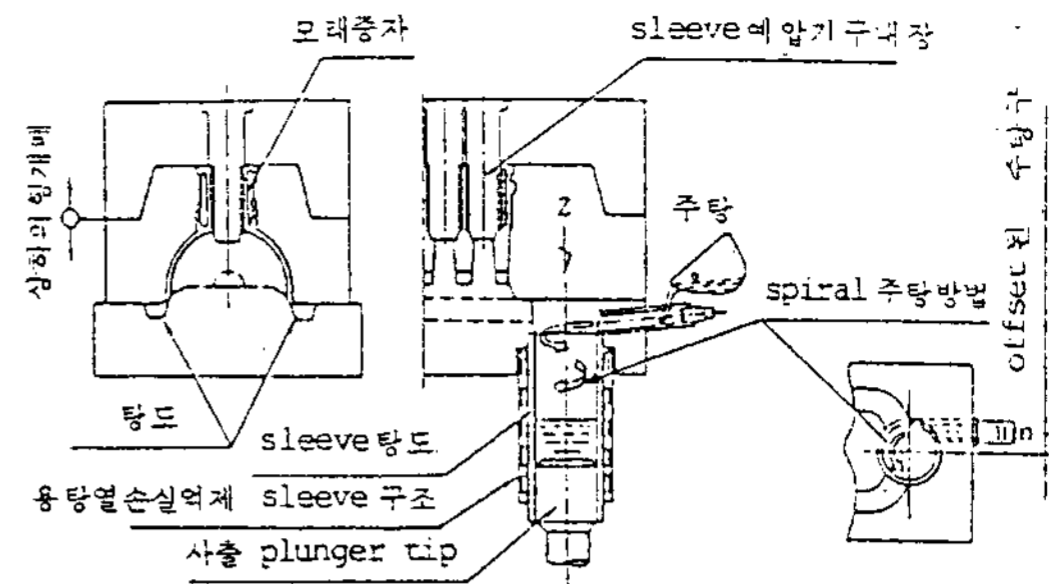


그림 7. Honda의 NDC스퀴즈캐스팅법 주조공정 (엔진블록 제조)

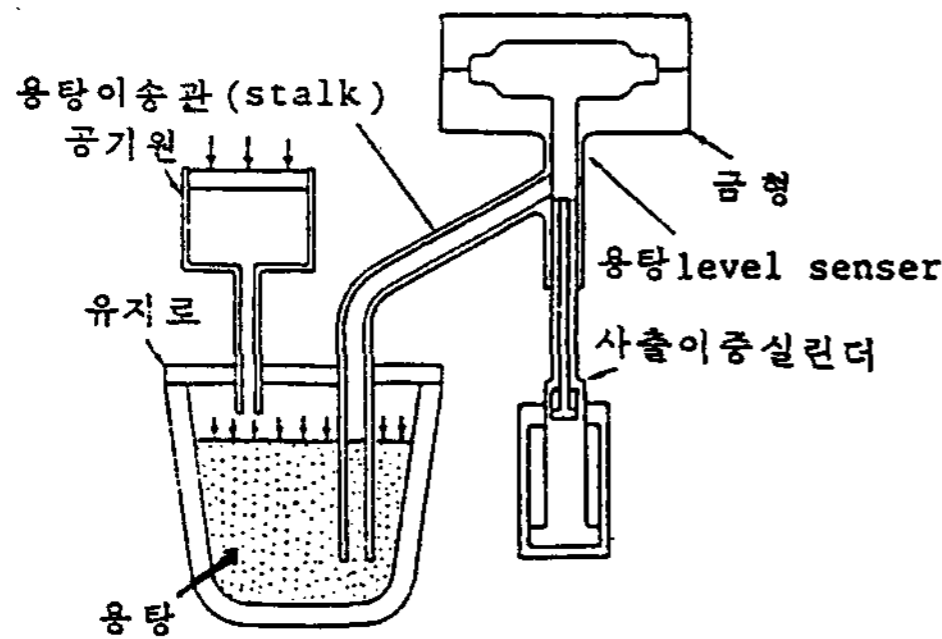
헤드와 부품들, 4륜차용 일체용 휠을 비롯해서 1985년부터 1800, 2000cc의 혼다 어코드/비가의 크로스데크 엔진블록의 제조에 사용하고 있고 최근에는 MMC 엔진블록제조에도 실용화[11]하고 있다.

3.5 용탕하부 도관식 스퀴즈캐스팅법

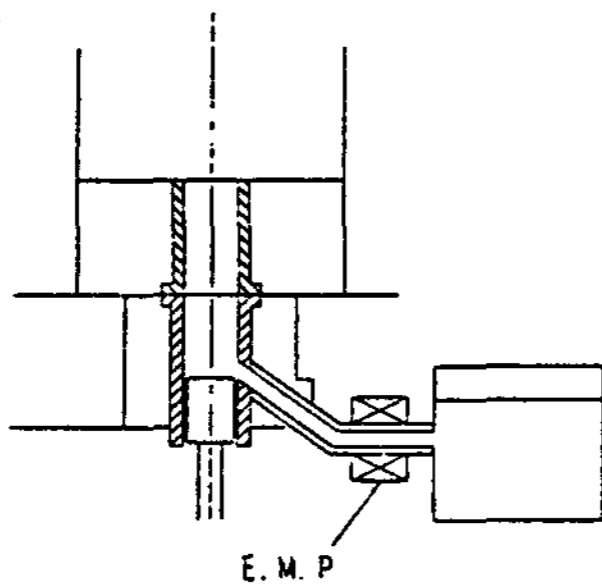
그림 8은 3.2의 간접가압방식에서 하부사출슬리브로 용탕을 직접 용탕도가니에서 장치를 사용하여 용탕도입관을 거쳐서 정량급탕을 하는 것이다. 정량급탕방식은 각 업체별로 고유기술로 개발하고 있는데 Hitachi[12]나 Pechiney는 그림 8(a)와 같이 저압주조와 같은 gas 또는 공기압을 이용하고 Toshiba[13]는 그림 8(b)의 전자펌프방식으로, Gibbs Diecasting[14]은 그림 8(c)의 금형내 진공흡입으로 하고 있다. 이 경우에 용탕의 온도 유지와 산화 억제, 주탕시간 감소 등의 효과가 있으나 용탕의 정량급탕의 제어, 용탕도입관의 부착 및 내구성, 사출실린더와 용탕간의 잔류물처리 등이 실용화의 과제가 된다. 그러나 다른 방식에 비해서 자동화와 품질면에서 우수한 점이 있다고 평가된다. 이러한 방식들은 다른 스퀴즈캐스팅방식들에 비해 자동화와 품질안정성 면에서 뛰어나므로 공정설비비 절감 및 공정안정화가 확보되면 고품질주물 제조의 가장 효과적인 신고압주조법으로 주목받고 있다.

3.6 경동슬리브식 스퀴즈캐스팅법

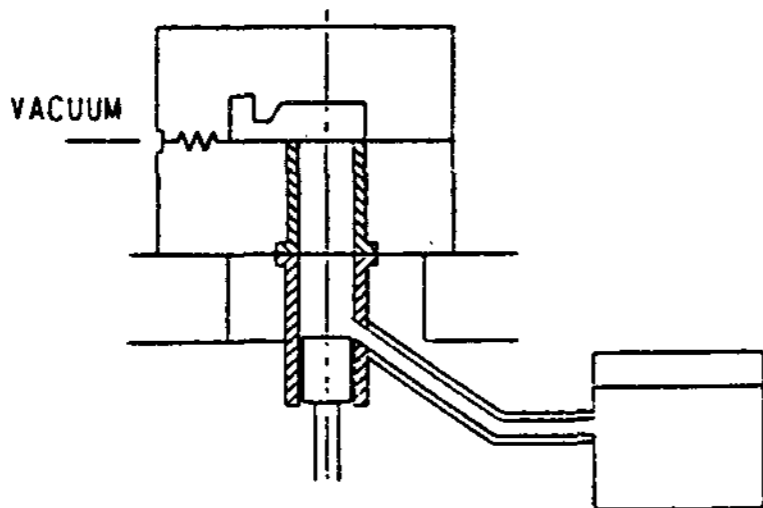
그림 9는 1970년대말에 UBE에서 개발[15]한 傾動式 射出슬리브(tilting type injection sleeve)를 이용한 下鑄式 간접가압방식의 스퀴즈캐스팅장치를 보여주고 있다. 역시 3.2방식에서 생기는



(a) 공압식/이중가압실린더(Hitachi)



(b) Electromagnetic Pump식(Toshiba)



(c) Vacuum식(Gibbs)

그림 8. 용탕도입관식 간접가압 스퀴즈캐스팅법

주탕슬리브의 불안정성과 용탕온도 감소와 응고층발생을 개선하기 위해 사출슬리브를 이동식으로 개량한 것으로 옆으로 기울여서 슬리브내에 주탕한 후 슬리브의 하단을 중심으로 하부금형에 수직으로 새우고, 이 슬리브를 상승시켜 하부금형과 결합한 후에 사출플랜저를 상승시켜 용탕의 사출, 충전 및 가압응고를 동시에 수행하게 한다. 그러므로 이 방식은 다른 방법보다도 생산성이 높아지고, 슬리브내에서의 용탕의 온도감소가 적고 금형분할면에서 사출시 용탕이 새어나오는 상황이 없어져 금형의 손상 및 작업의 안정성면에서 유리하다. 또한 금형체결방식을 초기

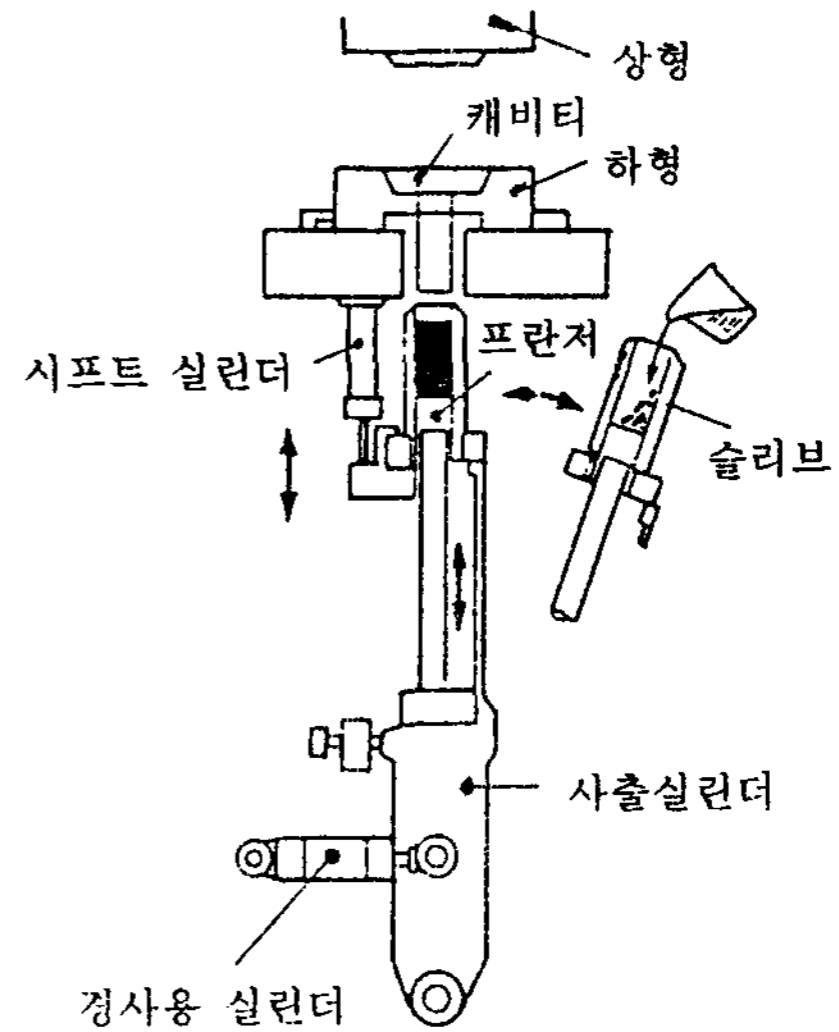


그림 9. Tilting식 스퀴즈캐스팅장치(UBE)

수직형에서 다이캐스트와 같은 토글식 수평형으로 개선하여, 금형체결의 안정, 공기방출 및 생산성 및 다양한 주조부품의 제조 등에서 기존의 스퀴즈캐스팅보다도 뛰어난 성능을 가지고 있어 현재 용탕단조전용주조기로서 대표적인 위치를 차지하고 있다.

이러한 스퀴즈캐스팅기계로서, 1977년부터 도요타에서 자동차용 휠을 양산하기 시작하였으며 주조사이클 120초로서 현재 10여대가 가동되고 있으며 월산 10만개의 스퀴즈캐스트 휠이 제조되고 있다. 특히 UBE에서는 1987년에 알루미늄 휠 전문제조회사인 U-MOLD를 설립하여 년산 60만개 양산체제를 갖추는 등 활발한 개발을 보이고 있다. 현재 이러한 경동식 스퀴즈캐스팅기로서 인정되고 있어서 미국, 유럽 등에서 신규로 스퀴즈캐스팅분야에 참여하는 많은 기업체에서 이 기계를 주로 구입하고 있는 실정이다. 특히 자동차분야에서 활발히 도입되고 있는데 앞에서 언급한 혼다, 히타치는 자체적으로 스퀴즈캐스팅기계를 개발하고 마스다, 닛산, GM, BMW, Ford, Clyser, Porsche, Benz 등에서 스퀴즈캐스트 휠이나 주조부품들을 경쟁적으로 채택하고 있다. 이는 품질과 고강성화 등으로 경량화효과가 크고 전체 제조공정의 효율적인 조절에 따라 경제성도가질수 있다.



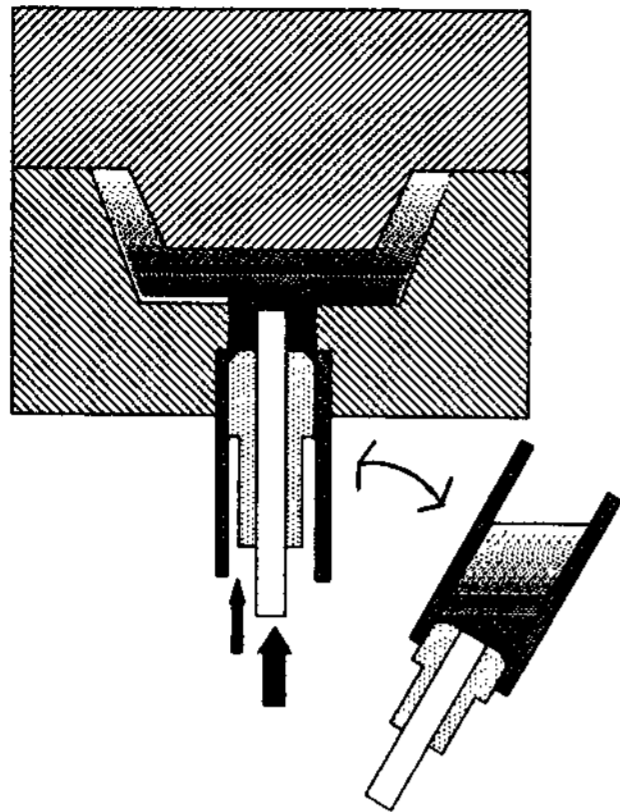


그림 10. Accurad식 가압/Tilting 스퀴즈캐스팅장치 (Izumi)

3.7 이중가압 경동슬리브식 스퀴즈캐스팅법

그림 10은 1988년에 Izumi Ind.에서 개발[16]한 스퀴즈캐스팅장치를 개략적으로 도시한 것이다. 이 방식은 앞의 3.6의 UBE 방식의 용탕사출장치를 가지면서 사출플랜저가 accurad같이 2중으로 외부플랜저에 의해 용탕을 사출슬리브에서 금형공간으로의 중간 압력(50~100MPa)으로 충진을 실시하고, 그후 내부플랜저는 높은 압력(150~300MPa)으로 가압을 실시하는 2단계 가압방식이다. 이 장치로 FRM엔진피스톤을 주로 제조하고 있는데 외부사출플랜저의 중압충진으로 복합재료의 프리폼(preform)의 변형을 방지하고, 중자(core)사용시 중자의 파괴방지와 용탕의 중자로의 침투를 방지할 수 있으며, 높은 알벽으로 2단계가압은 주조품의 두꺼운 부위의 수축공의 발생을 억제하고 복합재료의 복합화가 잘 이루어지는 효과가 있다고 보고하였다.

따라서 일본 Izumi Industries, Ltd.에서는 고압주조법을 탕도계를, 응고계는 중력금형주조법을 도입하고 2중으로 고압력을 가하는 방식으로서 또는 금형의 주요구조는 수직다이캐스트와 같은 방식으로 하되 2단계 가압 고압응고주조법, 이른바 Hi-CAST법을 완성하였다. 이 명칭은 High Productivity, High Pressure, High Quality, High Speed의 주조기술이 종합되어진 것을 의미한다. Hi-CAST법은 다른 주조법에 비해서 탕구유입속도는 매우 낮다. 이것은 금형캐비티 내의 가스(공기)의 역압에 의한 미성형부가 생기는 것을

방지하고 탕구단면적을 크게 함으로서 저속충류충진을 실시하게 된다. 이때문에 주입온도는 다른 주조법에 비해서 고온으로 금형에 대한 열부하가 커서 비교적 금형재의 선정, 금형의 냉각방법 등이 중요하다.

2단계 가압을 사용하면 두꺼운 알루미늄합금주물이나 응고범위가 넓은 알루미늄합금(AC4C등)주물의 제조에 효과가 크고 고품질 고기능 제품을 얻는데에 유리하다. 실제 응용예를 보면 자동차에어컨 콤프레사용 scroll, 진공펌프부품, cast-er rotor, FRM 피스톤 및 금속복합재 제품 등이다.

3.8 스퀴즈併用 다이캐스트법

그림 11은 도시바와 日本電裝주식회사에서 공동 개발한[17] 고압주조법으로서 앞의 방식과 달리 기본적으로 일반 다이캐스트장치에서 사출후 일정시간이후 주물의 두꺼운 부분을 국부가압(squeezing)하여 기포 및 수축공의 발생을 억제하게 하는 스퀴즈併用 다이캐스팅방법이라고 부른다. 이 방식은 다이캐스팅의 높은 생산성과 복잡한 형상이나 두꺼운 주조품을 제조할 수 있는 장점이 있다. 그러나 주탕방법이 종래의 다이캐스팅법과 동일하기 때문에 공기가 혼입될 가능성이 많아 국부가압부위가 열처리시 부풀음(blister)이 생기거나 치수변화가 발생할 가능성이 있어 가압부위의 후가공이 필요하다. 이 스퀴즈가압 조건으로는 가압력크기(약 1500~3000kgf/cm<sup>3</sup>), 가압시간, 가압지체시간(squeeze time lag), 가압이동거리 등이 있다. 대개 이들 조건을 조합하여 실험적으로 적정품질이 얻어지는 범위를 결정하는데 경험적으로 다음의 조건으로 스퀴

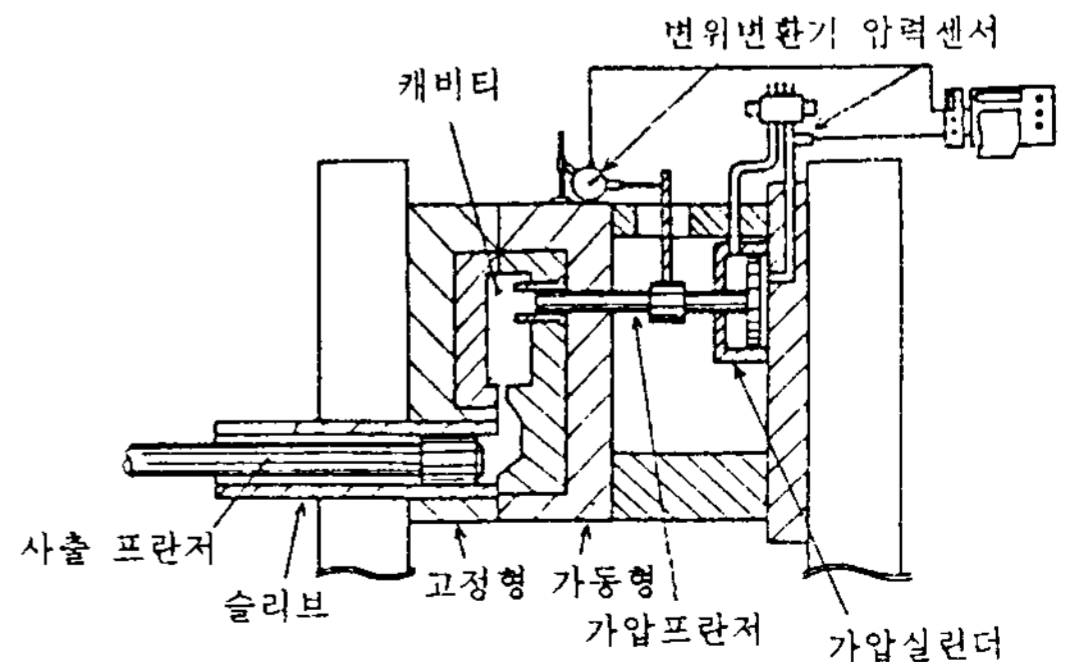


그림 11. 스퀴즈併用 다이캐스트장치(日本電裝)

즈가압을 실시하는 것이 양호한 주물제조가 얻어지는 것으로 보고[19]하였다.

- 스퀴즈가압 단면적보다 가압부 주물단면적이 클것
- 가압플런저가 가압거리는 플런저 스톱로그의 반 이상이되 끝보다는 적을 것
- 가압단면적은 가압플런저 스톱로그(L)의 2승의 0.35배 이상일 것

이론적으로 가압이동량(V)은 모든 금형케비티, 탕도나 사출슬리브내에 충전된 용탕의 응고 수축을 보충하는데 사용되는 것이다.

$$V = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} V_a + \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} V_b \dots\dots\dots(1)$$

여기서  $V_a$ 는 금형케비티와 가압부의 용탕량,  $V_b$ 는 사출통로와 사출슬리브의 용탕량,  $\rho_0, \rho$ 는 각각 주물의 진밀도와 주조시의 제품평균밀도이다.

그러나 실제로 사출통로나 사출슬리브의 직경에 비해서 탕구가 상당히 좁게되어 있으므로 사출통로쪽의 용탕이 응고전에 탕구가 먼저 응고하여서 그쪽으로는 용탕이 더이상 가압되지 않으므로 (1)식의 오른쪽 항은 실제로 감소하게 된다. 경험적으로 탕구응고시의 사출통로나 슬리브의 응고량은 30~50% 정도로 조사되고 있다. 따라서 (1)식은 다음과 같다.

$$V = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} V_a + \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} V_b \cdot k \dots\dots\dots(2)$$

여기서 k는 실용가압이동계수로서 0.3~1를 가진다.

또한 스퀴즈 가압력크기에 대해서는 최소가압

력  $P_{min}$ 와  $P_{max}$ 는 다음식으로 구해진다.

$$P_{min} = \frac{P_0(\gamma + 2L\mu) + 2\sqrt{2}\epsilon(t_1)}{\gamma} \dots\dots\dots(3)$$

$$P_{max} = \frac{(\gamma + 2L'\mu)(P_0R^2 + 2(R - \epsilon(t_2))\sqrt{2}\epsilon(t_2) \cdot \tau)}{(R - \epsilon(t_2))^2} + \frac{2\sqrt{2}\epsilon(t_2)\tau}{\gamma} \dots\dots\dots(4)$$

여기서  $P_0$  사출압력, r 가압플런저 반경, L 가압통로길이,  $\mu$  가압플런저와 슬리브사이의 마찰계수(약 0.2~0.4),  $\epsilon(t_1)$  충전후  $t_1$ 초 경과후 응고층의 두께,  $\tau$ 응고층을 전단하는데 필요한 응력으로 알루미늄합금의 경우 2~3kgf/mm<sup>2</sup>의 값이다. 여기서 경험적으로 알루미늄용탕의 전단면은 응고층의 두께방향에 대하여 45도로 생기므로 전단면의 두께는  $\sqrt{2}(t_1)$ 으로 하였다. R사출플런저 반경, L' 시간  $t_2$ 시의 접촉면길이, 용탕충진후 시간  $t_2$ 는 가압플런저가 통로 길이(L)의 반까지 이동하는데 걸리는 시간을 실용상 근사치로 적용 가능하다.

실례로 자동차에어컨 컴프레서실린더를 스퀴즈다이캐스트로 제조하는데 나타난 주조변수와 수축공역제효과를 살펴보자. 그림 12는 주조품의 모습이며 실험조건은 표 2와 같다. 사출 및 급탕 온도를 고정하고 squeezing 가압력, squeezing time lag를 변수로 하여 수축공역제효과를 주물의 평균 비중으로 측정하였다. 그림 13 (a), (b)는 squeezing 가압력, squeezing time lag에 의한 주물의 밀도변화와 가압플런저 이동거리의 함수로 본 밀도변화를 나타낸 것이다. 가압력의 영향을 보면 1500, 2150kgf/cm<sup>2</sup>에서 가압에 의해서는

표 2. 자동차에어컨 컴프레서 실린더의 스퀴즈병용다이캐스트 주조조건

Item		Condition
Casting alloy		ADC 12 Al alloy
Pouring temperature		650 ~ 680°C
Injection parameter	Injection plunger dia.	φ70mm
	Injection plunger velocity	0.15m/sec. at low V.
		1.50m/sec. at high V.
Injection pressure	1250kgf/cm <sup>2</sup>	
Squeezing parameter	pressure range	1500~2750kgf/cm <sup>2</sup>
	squeezing time lag	0.5~3.5sec.
	removal time of squeezing pressure	12sec after injection finished

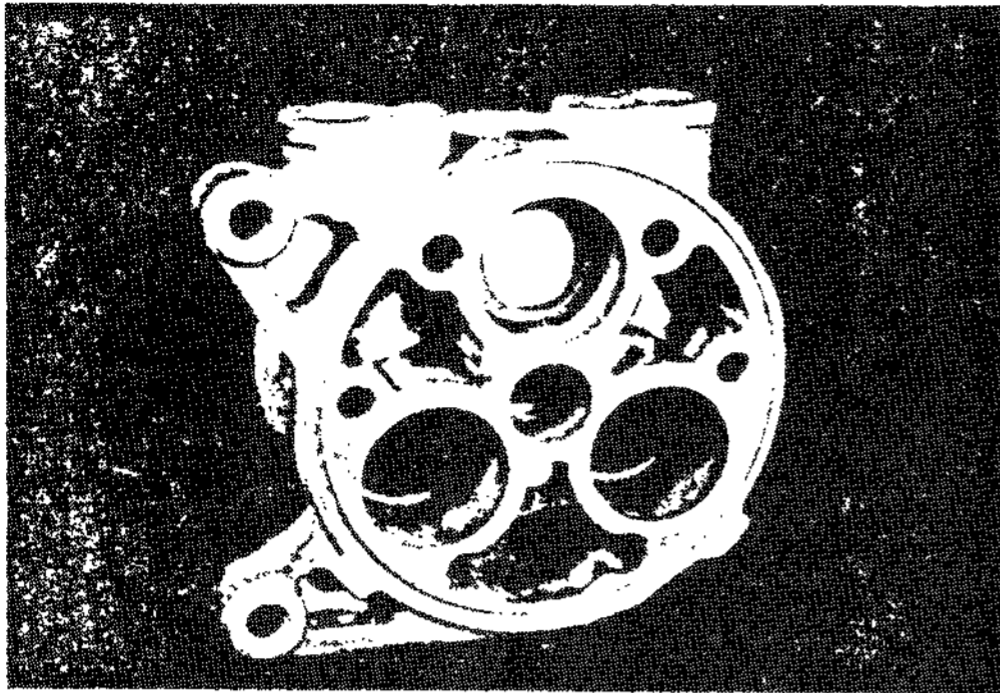


그림 12. 스퀴즈併用 다이캐스트로 제조된 에어컨 컴프레사 실린더

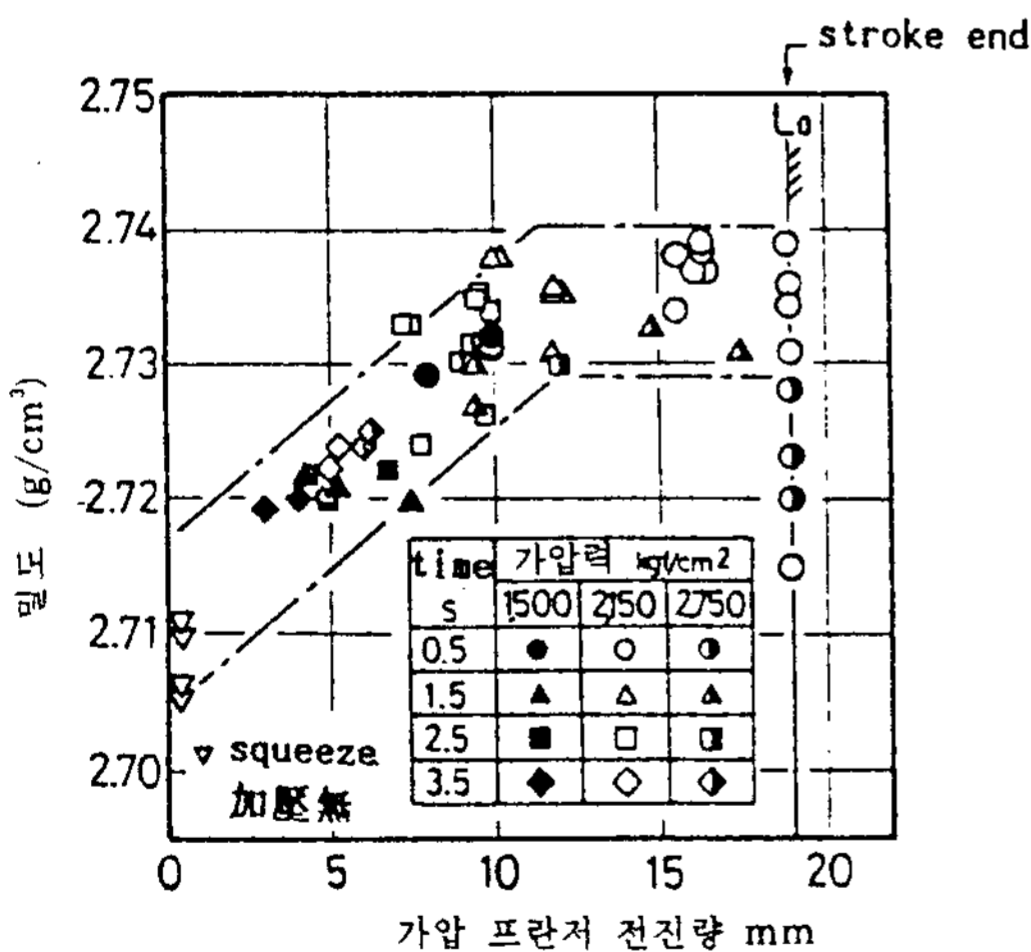
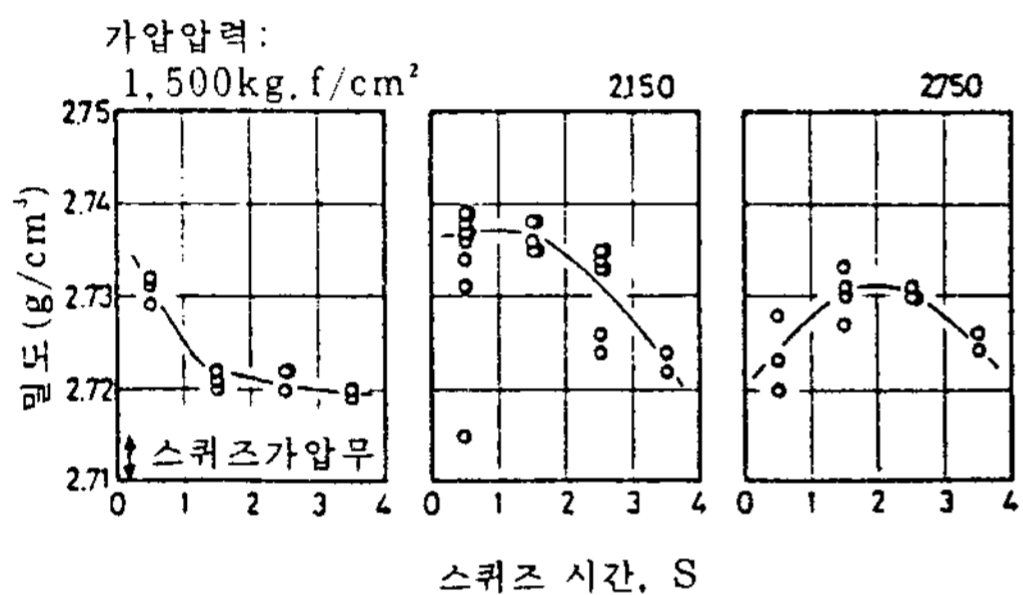


그림 13. 스퀴즈併用 다이캐스트제조조건에 따른 주물의 밀도변화

squeezing time lag이 짧을수록 가압효과가 크고 그뒤에는 감소하는 경향이고 2750kgf/cm<sup>2</sup> 가압 시에는 약 1.5초의 지체가 효과적으로 나타났다. 그림 13(b)에서 가압거리의 영향을 보면 이동거리에 비례해서 밀도가 증가하여 건전성이 향상되

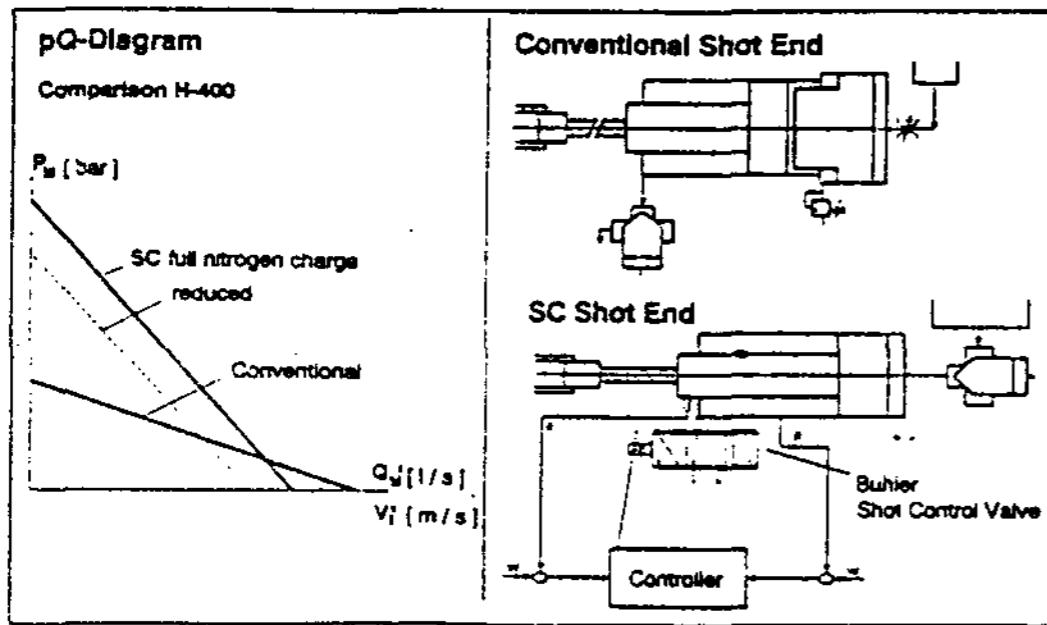
지만 플런저 stroke 끝에 가까워지면서 일정한 값을 보이고 오히려 감소하기도 하였다. 여기서 가압력이 상대적으로 낮은 1500kgf/cm<sup>2</sup>에서는 신속한 가압개시를 실시하고 그 이상의 고압에서는 약 1.5초의 지체가 양호한 결과를 가져오고 있었다.

이 스퀴즈병용 다이캐스트법의 목적은 기밀부품용 다이캐스트주물의 내압 기밀성의 향상으로서 그 결과 함침처리 생략, 불량률 감소 등으로 경제적으로도 효과를 가져왔다. 1978년에 카에어컨 컴프레사의 실린더블록에 적용한 이후 컴프레사 프론트하우징, 디젤분사펌프부품, 울터네이터부품 등 각종 기밀부품의 제조에 다 적용을 하였고 1984년까지 총 4200만개, 중량 26,000톤을 생산하고 있다고 하였다.

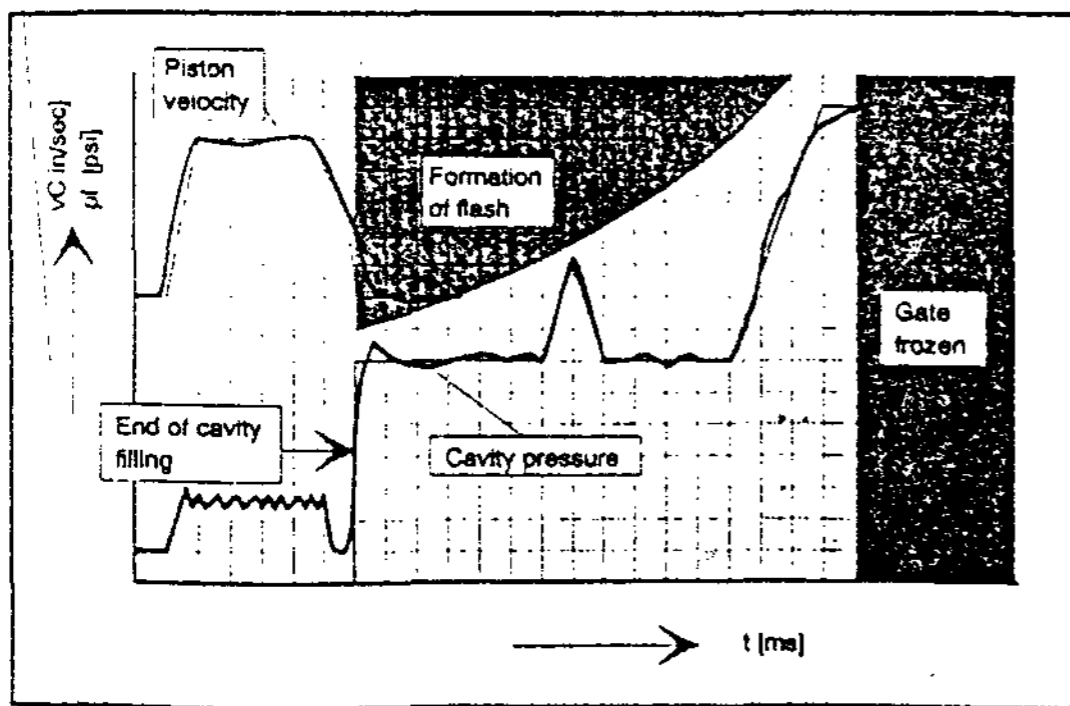
국내외적으로 많이 보급되어 있는 일반 다이캐스트에서도 최근 국부가압을 가능케하는 여러가지 유압시스템을 가지고 있고 중 대형, 복잡한 제품의 경우 스퀴즈가압을 사출후에 1군데 이상 실시하고 있다. 즉 다이캐스트에서도 스퀴즈기능을 이용하여 고품질주물 제조가 일반화되고 있는 추세이지만 과연 주물의 스퀴즈가압을 어떠한 원리와 조건으로 할 때 양품이 얻어지고 생산성과 가격, 신속한 금형제조 및 생산성 향상을 기할 수 있는 지는 거의 시행오차식의 경험에 의존하고 있고 기 경험이 많은 선진국 등에서는 특허나 대외 비공개로 하고 있어서 이 분야의 연구 개발이 다이캐스트 품질 향상과 경쟁력 제고의 주요 과제가 되고 있다.

### 3.9 Buhler스퀴즈캐스트 사출방식

다양한 두께와 향상, 내압성과 고강 및 용접과 열처리가능한 고품질의 다이캐스팅제품의 제조와 함께 마그네슘의 사용 증가, 팽창성중자주물 (expendable core casting), 스퀴즈캐스팅, 반응고주조법 등에는 각각 최적의 금형충진조건이 필요로 한다. 1989년 Buhler는 다양한 주조조건을 만족시킬수 있는 사출시스템을 가진 SC기계를 제작보급하고 있다.[8] 표 3은 이 장치의 특성을 주조법과 대응하여 본 것이다. 그 기본개념은 그림 14에 개략적으로 일반 다이캐스트기계와 비교하여 중앙유압회로와 관련된 PQ<sup>2</sup>(pressure/volume) 그림에 있다. 실린더 blind(meter-in)



(a) 사출유압회로와 기구



(b) 사출 압력특성

그림 14. Buhler식 SC 다이캐스트 사출시스템과 일반 다이캐스트의 사출특성비교

측에서 조정되는 accumulator/intensifier 대신 대형사출실린더와 rod측(meter-out)에서 실린더의 rod와 blind 쪽에 pressure transducer를 사용하여 사출사이클의 마지막에서 사출실린더에 직접 압력조절을 하여 얻어진다. 이러한 유압제

표 3. Buhler의 SC 기계의 각종 주조법의 요구조건의 대응상태

SC Characteristics	Casting Technology					
	Thixo Casting	Squeeze Casting	Thin, large area	Sand core Die Casting	Composites	Magnesium Die Casting
Flexibility Filling/Velocity Phase	V	V	V	V	V	V
Flexibility Freezing/Velocity Phase	V	V	V	V	V	
High shot capacity	V	V	V		V	V
Compensation for metering fluctuations		V	V	V	V	V
Minimum flash			V		V	V

어배치는 중앙제어valve 뿐아니라 사출회로에 큰 개선을 가능케 한다. 고속작업시에도 실시간 제어가 가능하다. 예를 들면 7m/sec의 고속사출에서도 시스템은 사출때마다 조건변화에 대응할 수 있다. 한편 프로그래밍은 밸브조절과 달리 절대 압력과 속도에서 이루어지므로 사출마다, 기계마다, 조건변화마다 재현성이 우수하다.

대형사출실린더는 일반 사출시스템보다 2배의 사출력을 제공할 수 있고 아울러 부하시에 빠른 속도 조절의 반응을 할 수 있다. 그 결과 주조조건이 보다 정밀하여지고, 실린더 관성에 의한 동적충격을 제거할 수 있으며 사출속도나 가압력의 변화를 절대적인 값으로 9개의 구간으로 설정할 수 있어 저속충진가압에서 고속 햄머단조같은 가압효과를 제공할 수 있다고 한다.

### 3.10 국산 모델 스퀴즈캐스팅기계

본 KIST에서는 생산성과 경제성, 효과적인 주물내 스퀴즈작용기능을 가지도록 검토하여 그림 15에는 국산모델의 스퀴즈캐스팅기계를 설계하고 250톤 체결력의 실제 제작한 기계모습이 나타나 있다. 이 스퀴즈캐스팅장치의 주요 특징은 다음과 같다.

#### 1) 수평형 Toggle link기구 금형체결방식

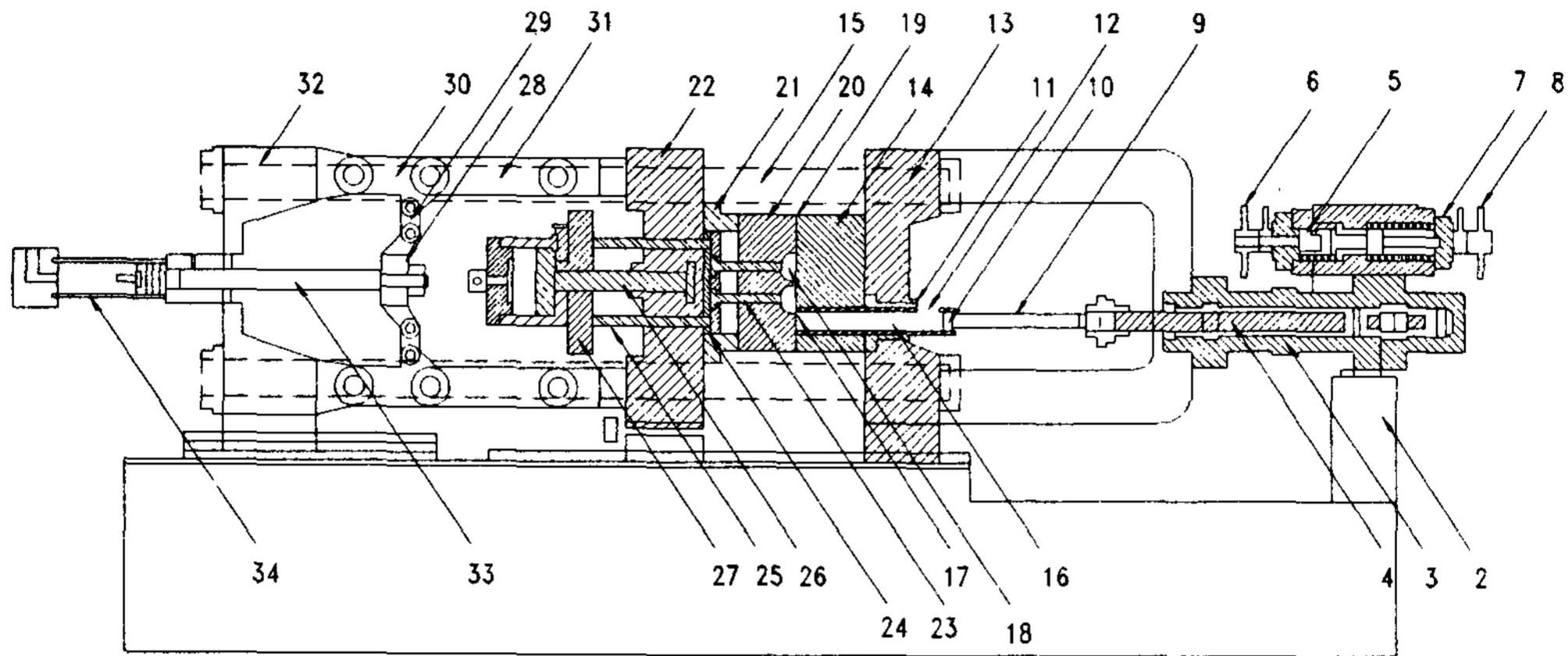
본 장치의 수평형체결은 다이캐스팅법과 유사한 높은 생산성, 다양한 제품의 제조를 가능하게 하였으며, 금형체결도 강력하고 신속하며 정확하게 되도록 하였으며, 공기배출도 수직형일 때에 비해서 보다 효과적으로 배출되는 이점이 있다.

2) 수평형 측면 사출방식

전통적으로 스퀴즈캐스팅에서는 용탕의 정적 유동과 보호면에서 수직형을 사용하고 있으며 신속한 주탕 및 생산성 위주에서는 수평형이 사용되고 있다. 본 기계에서는 장치의 소형화와 주탕 용 이성과 범용성을 고려하여 수평형으로 하였

다.

측면 사출시에 가스혼입이나 불순물 유입문제를 해결하면서 스퀴즈캐스팅에서 요구되는 저속 고압 정적충진을 위하여 그림 16에 도시한 바와 같이 작동하는 스퀴즈캐스팅용 수평사출장치를 고안하였다. 그 과정을 보면 금형이 체결된 다음



- |                    |               |                |             |
|--------------------|---------------|----------------|-------------|
| 1. 고정대             | 10. 사출 플랜저    | 19. 공기 배출구     | 28. 토글 브래킷  |
| 2. 사출 실린더 지지대      | 11. 사출 슬리브    | 20. 이동 금형      | 29. 제1 토글링크 |
| 3. 사출 실린더          | 12. 용탕 공급 탕구  | 21. 금형 지지대     | 30. 제2 토글링크 |
| 4. 사출 피스톤          | 13. 고정 금형 지지체 | 22. 이동 금형 지지체  | 31. 제3 토글링크 |
| 5. 저속 사출 속도 조절 밸브  | 14. 고정 금형     | 23. 압출/국부스퀴즈 핀 | 32. 토글 지지체  |
| 6. 저속 사출 속도 조절 손잡이 | 15. 타이바       | 24. 압출 판       | 33. 토글 피스톤  |
| 7. 고속 사출 속도 조절 밸브  | 16. 사출 통로     | 25. 압출 봉       | 34. 토글 실린더  |
| 8. 고속 사출 속도 조절 손잡이 | 17. 탕구        | 26. 압출 피스톤     | 35. 용탕 퇴적부  |
| 9. 사출 봉            | 18. 금형 공간     | 27. 압출 실린더     | 36. 주조 제품   |

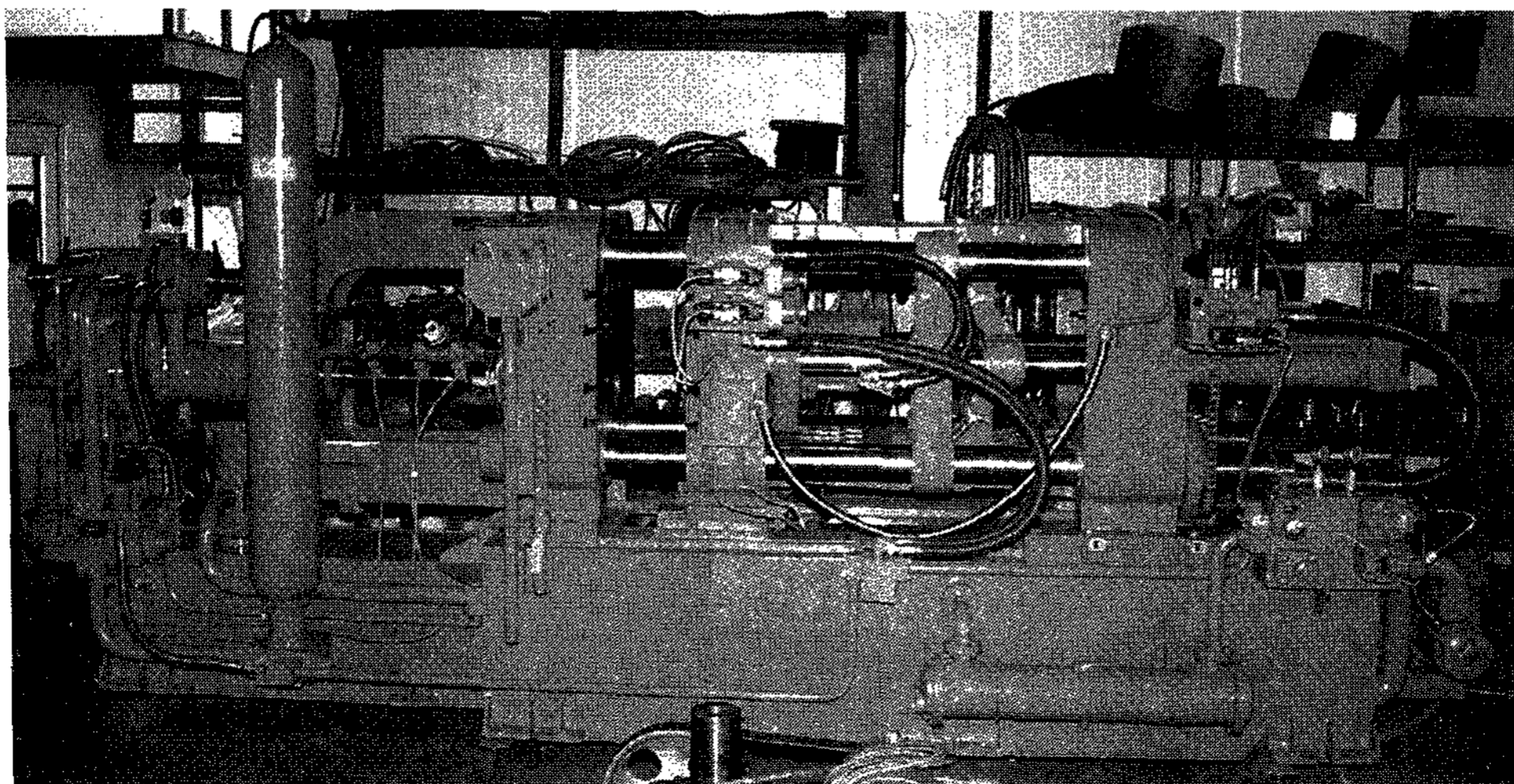
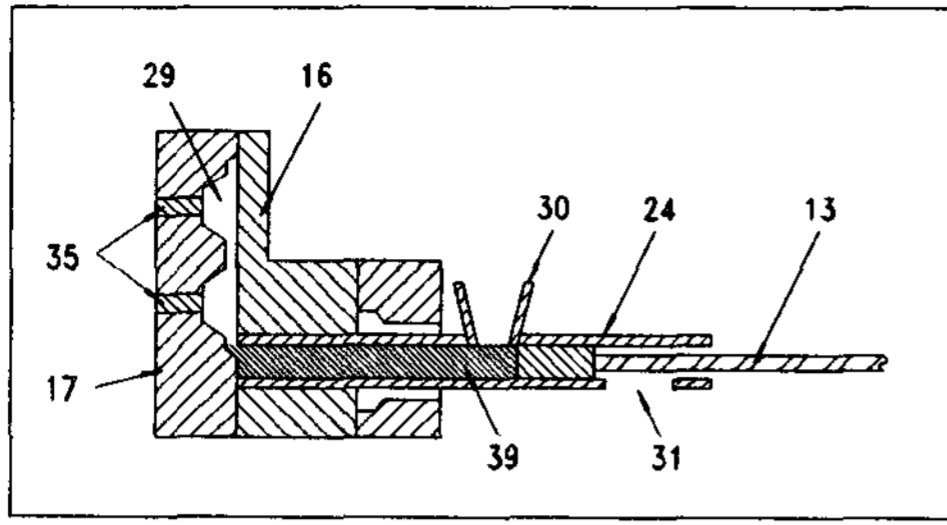
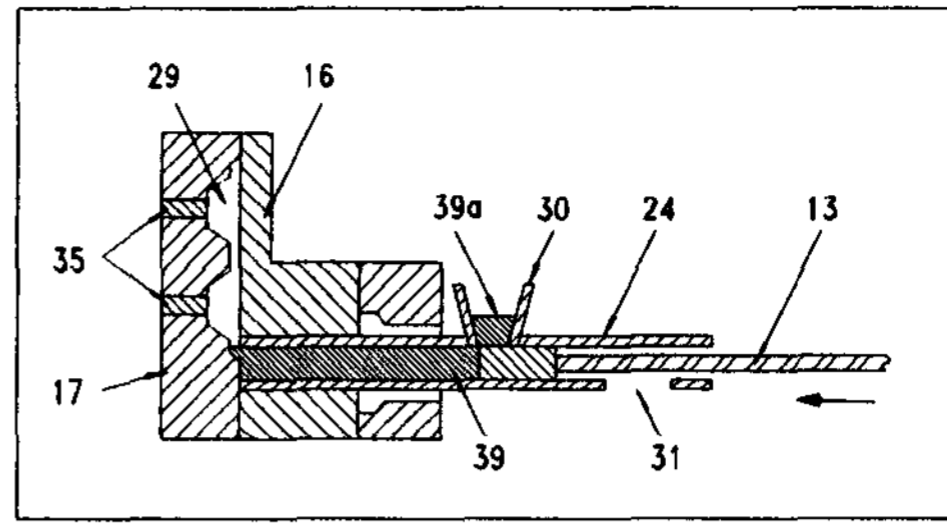


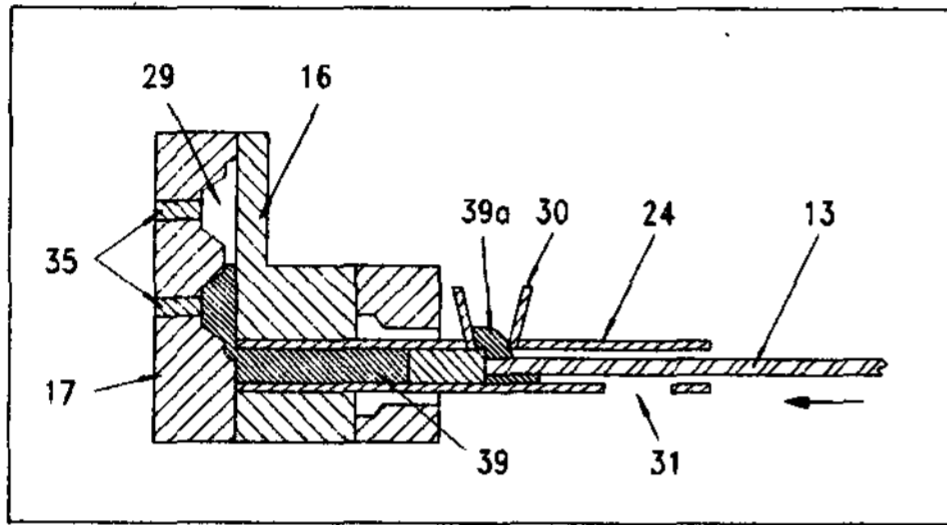
그림 15. 국산모델 스퀴즈캐스팅 기계의 구조와 실제모습



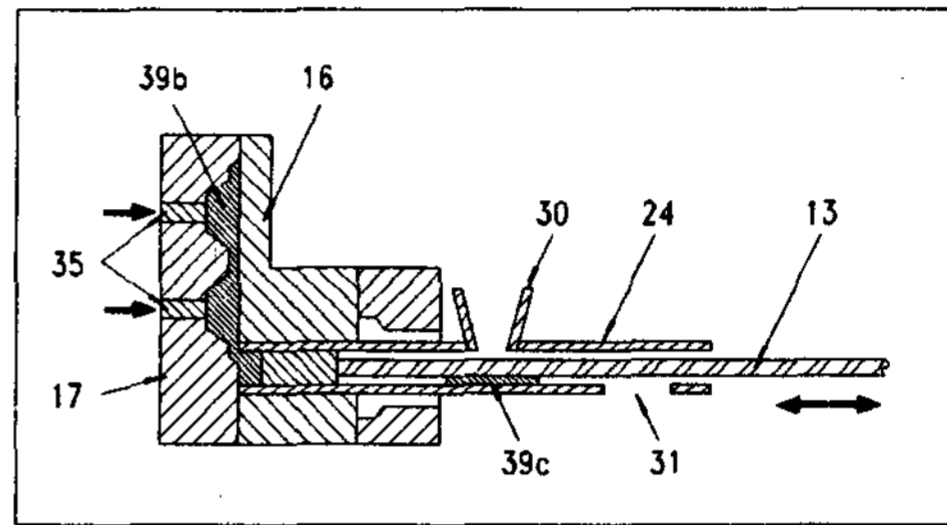
(가)



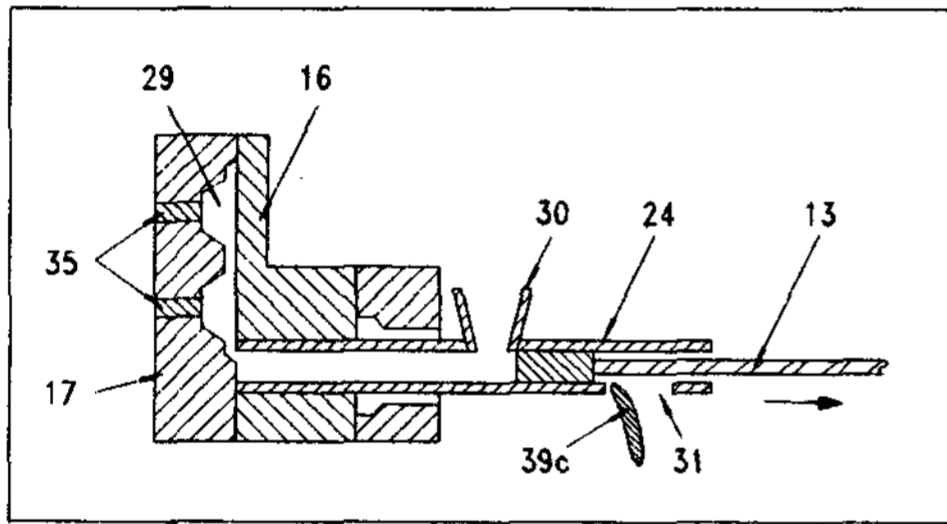
(나)



(다)



(라)



(마)

- |            |              |
|------------|--------------|
| 13. 사출 플랜저 | 31. 잔탕 배출구   |
| 16. 고정 금형  | 35. 압출/국부가압핀 |
| 17. 이동 금형  | 39. 용탕       |
| 24. 사출 슬리브 | 39a. 잔류 용탕   |
| 29. 금형 공간  | 39b. 용탕 퇴적부  |
| 30. 금탕관    | 39c. 잔탕 응고물  |

그림 16. 국산모델 스퀴즈다이케스트에서의 사출 방법과 국부가압/압출핀의 작동과정

사출 플랜저를 금탕관 근처에 위치시키고 보온성이 우수한 재질을 가지며 안정된 금탕이 되도록 원추형으로 제작된 금탕관을 통하여 용탕을 주입하여 사출슬리브를 가득 충전시키고 이어서 사출 플랜저를 저속으로 전진시켜 금탕관 부분을 통과하고 이때 슬리브에서 넘치는 용탕은 사출플랜저 뒤에 잔류하게 된다. 사출플랜저가 금탕관을 지나면서 슬리브 압쪽의 용탕을 탕구를 거쳐 금형캐비티를 충전하고 가압하에서 응고완료하게 된다. 사출플랜저 뒤에 잔류된 용탕퇴적부는 슬리브안에서 응고가 되며 플랜저 후진시에 사출슬리브 후미에 위치한 잔탕배출구를 통하여 슬리브 밖으로 제거하게 된다. 그후에 다시 사출개시 위치로 가압플랜저는 이동하여서 주조 1 사이클

이 된다. 이러한 방식에서 용탕의 보온, 가스혼입억제, 신속하면서 안정된 연속주조작업을 도모할 수 있으며 본 사출장치에 대해서 국내특허출원(제20440호)을 하였다.

사출시스템에는 상기 사출슬리브와 플랜저구조외에 실제 사출이 이루어지는 가압속도와 가압력의 작동상태의 제어와 거동도 중요하다. 보통수평식 사출방식에서 주로 사용되는 사출가압은 여러 단계의 사출기구로 구성되고 있다. 즉 슬리브내의 용탕을 금형캐비티 속으로 금형충진성과 가스혼입억제 안정된 유동성을 가지게 저속사출-고속사출-증압의 3단계로 사출 플랜저가 작동되도록 유압회로 및 장치를 도입하고 있다. 본 장치에서도 기본적인 사출가압의 거동을 3단계

로 설정하고 저속 및 고속사출은 주 유압펌프의 가지도록 하였다. 실제로 제작된 기계를 가지고 시제품의 제조를 실시하면서 사출실린더에 압력 센서를 부착하여서 실제 사출압력변화를 측정하였다. 그 결과를 토대로 마지막 증압시의 압력불안정을 해소하는 유압회로를 보완하였다.

3) 국부가압 압축 병행방식

본 수평식 사출장치에서는 1차 사출력으로는 충분한 가압응고효과가 부족하므로 별도의 2차 가압이 가능한 국부가압방식이 필요하다. 보통의 국부가압 다이캐스팅장치는 일반적인 다이캐스팅장치에 가압플랜저와 같은 별도의 가압장치를 설치하여야 하며, 또한 이 가압장치중의 가압실린더, 가압피스톤, 결합실린더 및 부재 등이 모두 가동금형과 이동금형지지체사이에 설치됨에 따라 스퀴즈캐스트장치의 생산비용이 증가됨은 물론 장치의 전체길이의 증가로 이 장치를 이용하기 위한 공장내의 면적도 많이 차지하게 되었다. 또한 실제로 가압을 행하는 가압플랜저, 가압슬라이브 및 가압통로는 금형에 직접 설치하여야 하기때문에 금형설계 및 금형제작이 상당히 복잡하게 되었고, 따라서 금형제작비도 증가하게 되었다.

따라서 일반 다이캐스트장치에서 커다란 구조 변화없이 기존에 설치되어 있는 압출장치를 이용하여 금형공간내에 충전된 용탕을 국부가압하게 하여 형상이 복잡하고 커다란 두께차이를 가진 주조품을 건전하게 주조하는 새로운 국부가압 스퀴즈다이캐스트장치를 고안하였다. 그 주요 기능을 보면

- ① 가압장치로서 일반 다이캐스트에 설치된 주조품의 압출장치를 사용하며,
- ② 이 국부가압병행 압출장치는 가압과 압출을 동시에 행할 수 있도록 2단전진이 가능한 유압회로에 의해 작동되는 유압실린더와 유압피스톤으로 제조되게 하고,
- ③ 이 압출실린더가 용탕을 가압하기 위하여 기존의 압출실린더의 압력보다도 고압력을 가지며,
- ④ 기존의 압출핀 보다도 더 큰 가압핀을 이용하여 주조결함이 예상되는 금형공간내의 두꺼운 부위의 용탕을 가압할 수 있게 하고,
- ⑤ 이 가압병행 압출장치를 고정금형지지체와

이동금형지지체 사이에 설치하지 않고 이동금형지지체 바깥쪽에 설치되게 함으로서 스퀴즈다이캐스트장치의 전체길이가 증가되지 않고 금형설계 및 제작의 복잡성을 대폭으로 감소시키면서 용탕에 국부가압을 행할 수 있게 하는 것이다.

이러한 스퀴즈가압 및 압출과정은 앞의 그림 16에 도시하였다. 본 국부가압 스퀴즈캐스팅장치에 대해서 특허출원(제18990호)을 하였다.

이러한 구조적 특성을 지니는 스퀴즈다이캐스팅기계를 가지고 VTR 헤드드럼을 시제하였다. 그림 17은 6개 케비티를 가지는 헤드드럼시제품의 구조외관이며 그림 18 (a)는 일본제 도시바 250톤 다이캐스트기계로 주조된 헤드드럼시제품의 구조외관이며 그림 18(b)는 본 국산모델 250톤 스퀴즈 다이캐스트기계에서 주조된 알루미늄 헤드드럼 시제품의 단면조직이다. 전반적으로 외관의 치밀성과 윤곽의 모습은 모두 건전한 편이었으나 내부 단면에서는 도시바기계 시제품은 탕구 근처인 하부와 상부에서 중간후육부에 기포결함이 관찰되었으며 국산모델 기계에서는 상부와 중간일부에 나타났다. 이러한 기포는 초기 시제에서 주조조건의 조정과 금형방안수정으로 개선의 여지가 있을 것으로 사료된다. 본 시제시에는

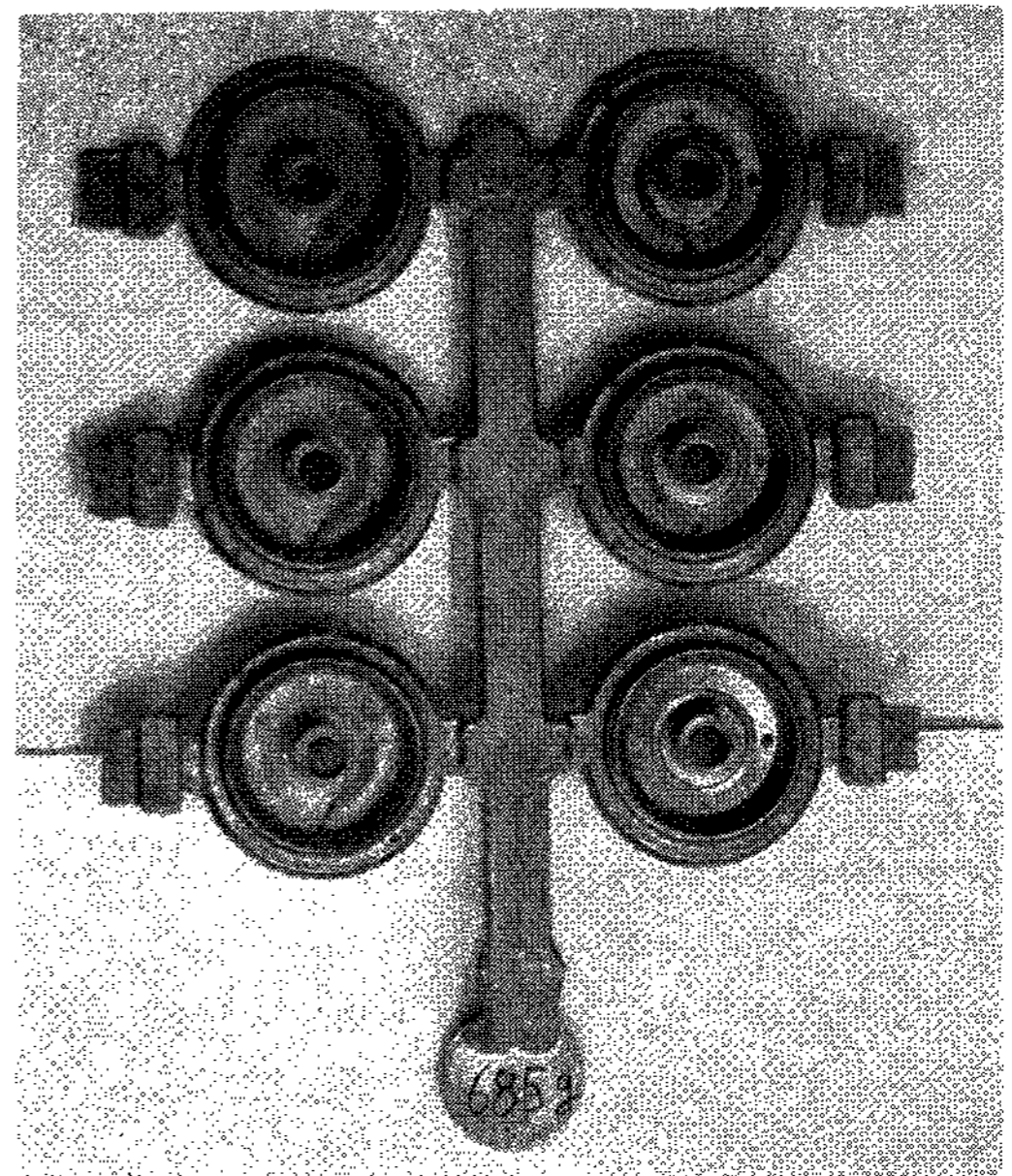


그림 17. 스퀴즈다이캐스트기계에서 시제한 알루미늄 합금 VTR 헤드드럼 주조품

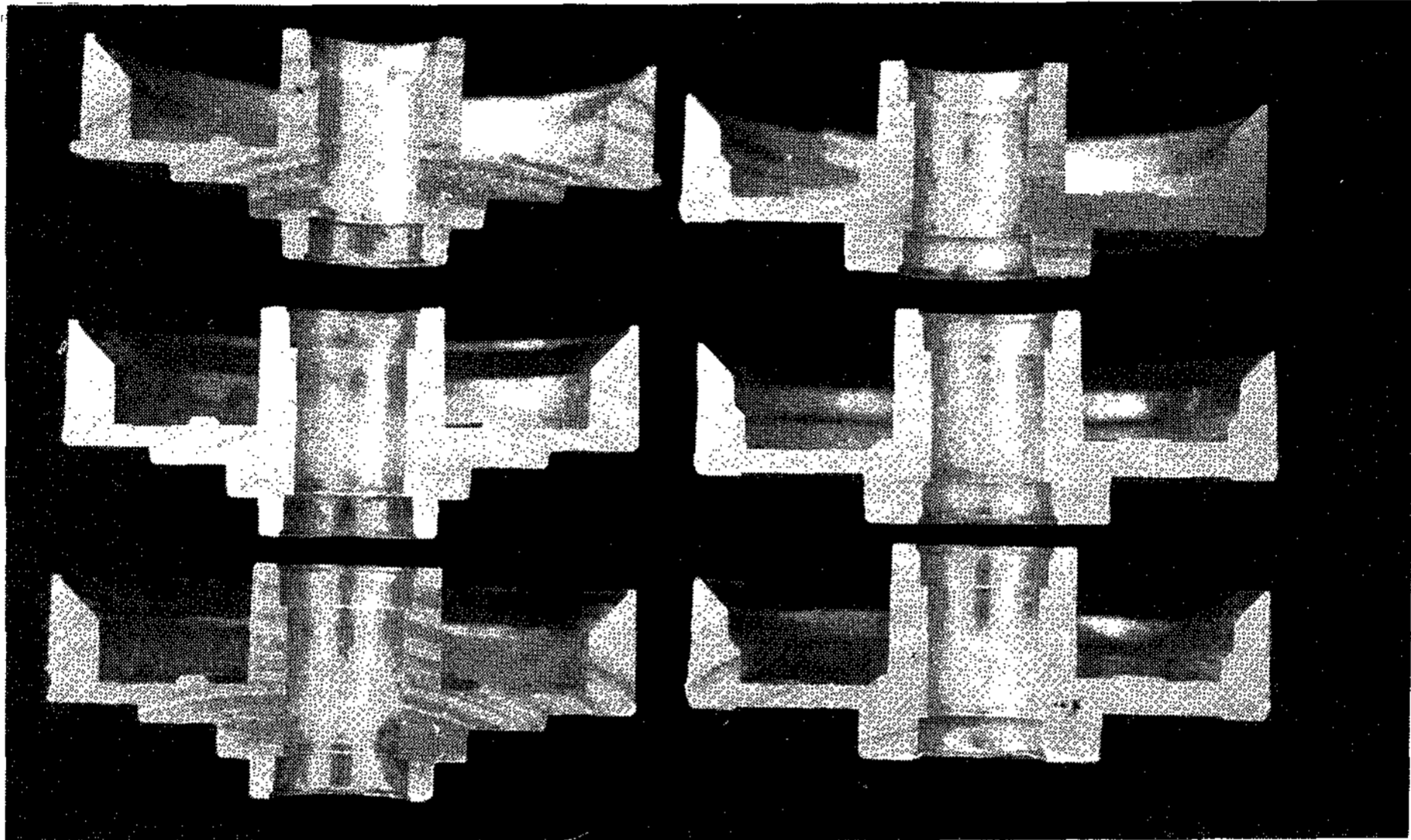
국부가압을 배제한 상태로서 스퀴즈효과를 탕도 중간의 압출편부에 작용시키면 주조결함의 효과적인 억제가 이루어질 것으로 기대한다. 그림 19는 시제품의 탕도 중심단면을 관찰한 것으로서 도시바제는 주조결함이 있는 반면 본 스퀴즈다이케스트제는 거의 없이 건전한 조직으로 고압용고

가 보다 효과적으로 나타나고 있음을 보여주고 있다.

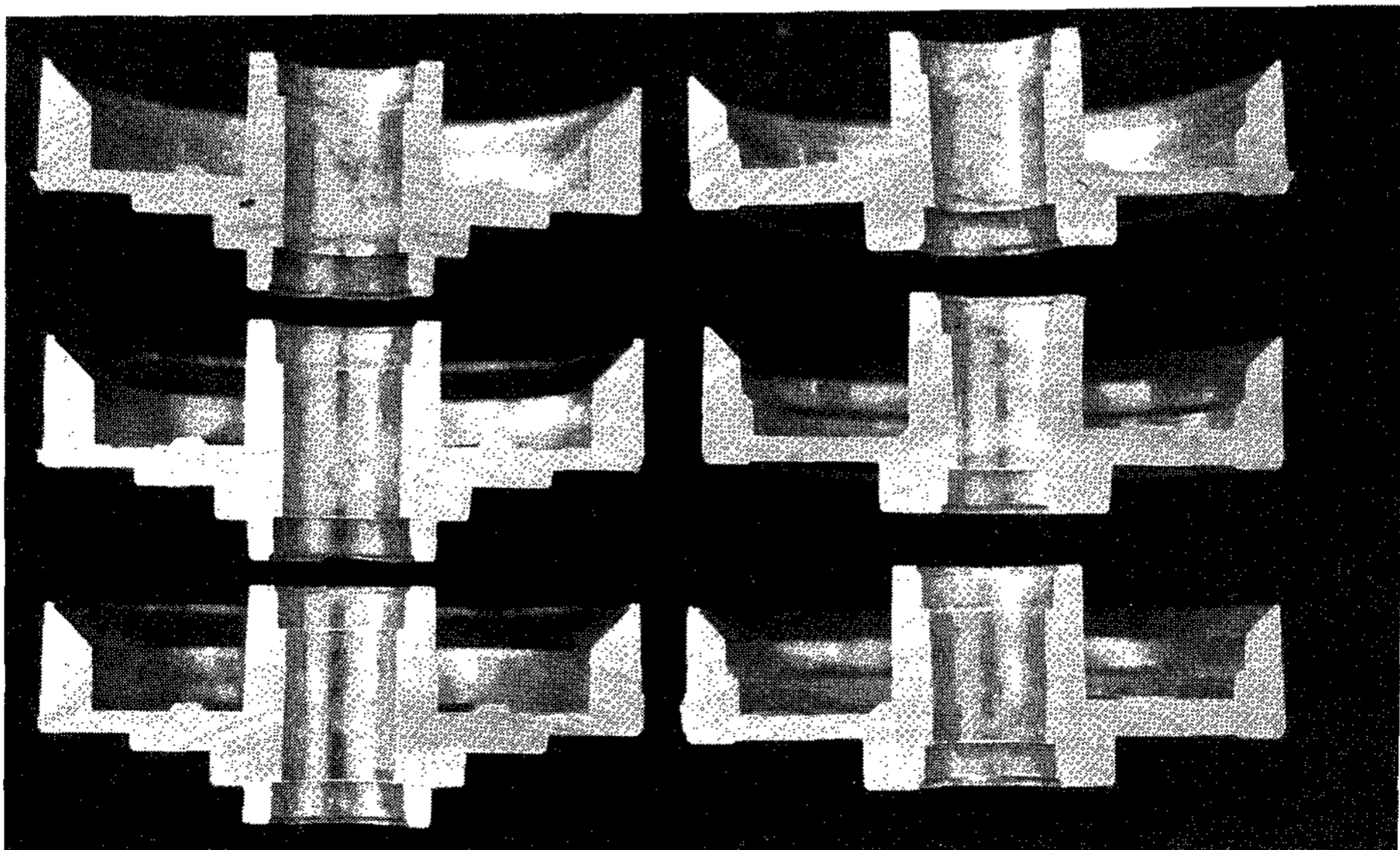
#### 4. 앞으로 과제

##### 1) 금형수명의 연장

고압주조법은 주조압력이 높고 빠른 주조사이



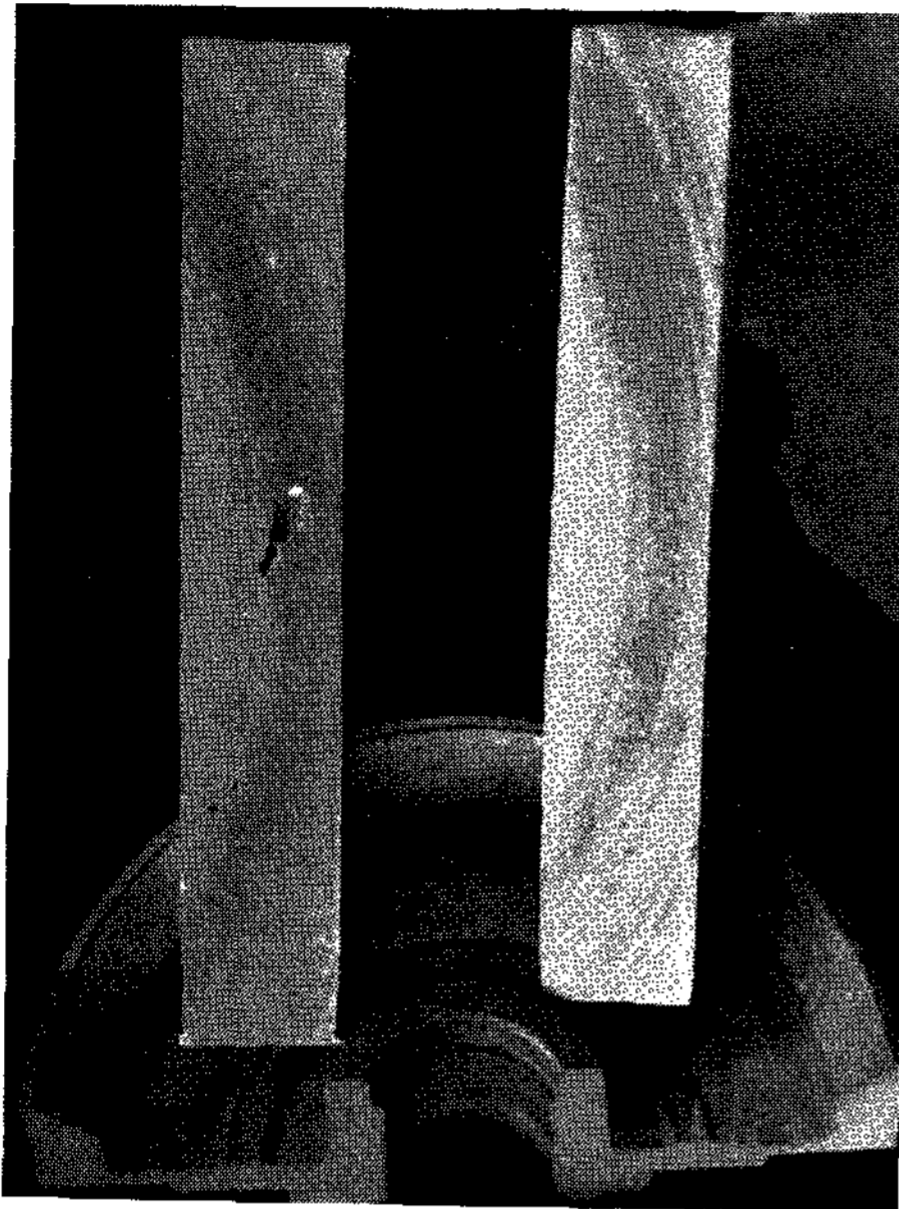
(a) 250톤 도시바 다이캐스팅기계에서의 시제품



(b) 국산모델 스퀴즈다이케스트기계에서의 시제품

그림 18. 알루미늄 합금제 VTR 헤드드럼 시제품의 중심단면 조직





(a) 도시바 다이캐스트제품  
 (b) 국산모델 스퀴즈 다이캐스트제품

그림 19. 알루미늄 다이캐스트 VTR 헤드드럼주조품의 탕도 중심단면 조직

클로 금형의 열부하나 피로가 커서 일반 중력주조나 저압주조금형에 비해서 수명이 크게 감소하고 특히 고압응고를 하는 스퀴즈캐스팅법들에는 더욱 현저하다. 이것이 가격에 미치는 영향도 크므로 최적의 금형재질의 개발과 함께 다음의 수명연장방안을 고려하여 보았다.

- 금형주조설계(균열발생, 확대 억제): 최적 형상, 응력집중부의 발생이 적은 금형구조, 금형냉각통로의 최적화
- 재질특성의 향상(인성, 연화저항성, 내 heat-check성): 열처리특성이 우수한 합금설계, 적절한 열처리제어, 표면처리

2) 환경대책

고압주조법은 사출계의 윤활, 금형의 보온과 이형성을 확보하기 위해 종래 수용성 흑연계 이형재를 많이 사용하였으나 분무시에 비산이 되어 환경악화를 초래하며 금형과 장치의 부식을 촉진시키기도 한다. 그 대책으로 백색계 이형재-알루미나재질의 채용이 증가하고 있으며 최근 분말 이형재와 도포방법이 개발되어 환경개선과 촉진

성 향상 등의 품질개선의 효과도 기대되고 있다.

3) 주조장치의 자동화 및 시스템화

제조조건과 공정의 안정화 정밀제어와 다양화, 신속한 적응성을 갖추고 생산성을 극대화하기 위해서는 컴퓨터 제어와 관리, 무인 자동화와 Robot화를 기하여야 하고 각 주조공정들의 조건들은 각각 중앙제어실에 전달되어 현재의 공정의 적정성을 신속히 판단하고 문제제기시에 신속한 대응과 조치를 취할수 있는 시스템화가 앞으로 과제이다. 더 나아가 전공정의 TQC 및 ZD를 위해서 주조응고해석과 computer처리체재를 갖추는 것도 고려가 되어야 할 것이다.

5. 결 론

스퀴즈캐스팅 또는 용탕단조법의 연구개발이 국내에서도 확산되고 있으며 여러가지 자동차부품들에 실용화가 되고 있는 이시점에서 본 제조법의 국산화 및 경쟁력강화를 위하여 스퀴즈캐스팅기기의 국산모델 개발과 제작의 중요성을 인식하고 기존의 해외장비와 비교하여 실용성과 경제성을 가지는 스퀴즈캐스팅 전용주조기를 설계 제작하였다. 본 결과가 관련주조업체에 기술개발의 도움이 되기를 바라며 또한 또 다른 국산모델의 스퀴즈캐스팅기기의 제기가 되기를 기대해 본다.

후 기

본 보고중에 국산모델 스퀴즈캐스팅기기의 개발은 국민은행 중소기업 기술개발 지원사업에 의한 연구비지원으로 수행되었으며 지원해 주신 국민은행과 본 개발에 참여한 만주기계(주), 대용산업(주) 등에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[ 1 ] V.M. Plyatskii : Extrusion Casting, Primary Sources, (1965)  
 [ 2 ] K. M. Kulkarni : Foundry M & T, (1969) 76  
 [ 3 ] 西田, 松原, 白柳, 鈴木 : 日本金屬學會報, 19 (1980) 895  
 [ 4 ] 貫明正彦, 狄原俊男, 素形材, '89.5 (1989) 8

[ 5 ] S. Rajagopal : J. Applied Metalworking, 1 (4) (1981) 3

[ 6 ] J. R. Morton, Metallurgia sept. (1994) 277

[ 7 ] 村上謙次 : アルトピア (1991.12) 18

[ 8 ] T. H. Thieman and M. Thieman, Die casting Engineer, (1994) 22

[ 9 ] 徳井, 森田, 正岡, 太田, 鈴木, 川野 : トヨタ技術, 33(1) (1983) 71

[10] 安藤芳夫 : 自動車技術 41 (1987) 642

[11] T. Hayashi and H. Ushio, M. Ebisawa : SAE paper 890557

[12] S. Okada, N. Fujii, A. Goto, T. Yasuda : AFS Transactions paper No. 82-16 (1982) 82

[13] 神谷泰州, 本村則行 : 日本ダイカスト會議 論文集 (1986) paper No. TD86-22

[14] Gibbs Diecasting 기술자료

[15] R. U. Zehe : Diecasting, 31(5) (1987) 42

[16] 狄原俊勇 : 內燃機關 第29卷 374號 (1990) 64

[17] 杉浦恒之, 線錦迪, 鈴木治男 : 輕金屬, 36 2 (1986) 105

[18] 伊藤 弘 외, 일본특허출원 昭58-51783

[19] B. Kurt and A. Thomas, Die Casting Engineer, Nov/Dec. (1993) 10

## 國內外鑄物關係行事

1995

11월 9일~11월 10일  
한국주조공학회  
1995년도 정기총회, 추계학술발표  
및 기술강연대회  
경주, 코오롱호텔

11월 8일~11월 10일  
한국주조공학회  
제3회 아시아주조대회  
경주, 코오롱호텔

1996

4월 20일~4월 23일  
The AFS 100th Casting Congress &  
Cast Expo  
Philadelphia, Pennsylvania

4월 23일~4월 26일  
62차 세계주조대회  
필라델피아, 미국

5월 21일~5월 22일  
15th International Pressure  
Diecasting Conference  
1996  
Montreux Switzerland