

技術資料

최근 다이캐스트법의 발전 동향에 대하여

이 교 성*, 조 남 돈**

On the Development Trends of the Current Pressure Die Casting Process

K. S. Lee*, N. D. Cho**

1. 서 론

다이캐스트법은 Al, Zn, Mg, Cu 등의 용융금속을 금형에 고속고압으로 주입하여, 고속으로 응고시키는 주조법이다. 본 기술해설의 내용은 그동안 보고된 내용^{1~6)}을 간추려 기술하고자 한다.

지금부터 151년전 1838년 미국인 Bruce에 의하여 발명 되었다. 그 발명은 활자주조의 다이캐스트기로서 활자, 탄피 등의 주조가 시작되었다. 그 당시의 기계는 조잡하였고 현재의 다이캐스트기에 비하면 매우 유치한 것이었다. 주로 Sn, Pb 등의 합금 주조에 이용되었고 Zn은 1907년부터 사용되었다.

Mg 합금은 1915년 미국의 Doehler사가 처음으로 공업적으로 성공한 이래 약 74년 이상의 역사가 있다. 한편 분명하지 않지만 독일의 Mahle사에서 1925년 시험연구가 시작되어서 1929년 부터 생산되어 오고 있으며 지금으로 부터 불과 약 60년의 역사에 지나지 않는다.

이웃 일본에서는 1929년에 Echert식 및 Polak식 냉가압식(cold chamber) 다이캐스트기가 수입되어 Al합금 다이캐스트가 시작되었다. 국내에서는 60년대 뒤늦게 도입되어 활발한 발전을 이루어 오고 있다.

이와같이 다른 주조법에 비하여 오래지 않은 역사중에서 경합금 다이캐스트법은 활발이 개발되어 왔다.

이러한 다이캐스트법의 발전이 주조기술 전반에 걸쳐서 큰 영향을 미쳐 오고 있다.

또한 기계, 전기기술의 발전, 생산process의 자동화, 생산속도의 향상등과 특히 합금의 개발에 따라서 다이캐스트 주조기술의 변화와 진보가 촉진되고 있다.

이와같은 기술적 진보에 따라서 당초에는 성냥갑 정도의 제품으로부터, 현재는 자동차, 전기기기 부품에 사용되고 있다. 특수한것은 수10kg에 이르는 대형 Al합금 다이캐스트 주물이 생산되고 있다.

2. 발전과정

다이캐스트법에는 현재 열가압실 다이캐스트기(hot chamber die cast M/C)을 사용하여 주조하는 열가압실 다이캐스트법(hot chamber die cast)과 냉가압실 다이캐스트기(cold chamber die cast M/C)을 이용해서 주조하는 냉가압실 다이캐스트법이 있다.

현재의 열가압실법(hot chamber)는 다이캐스트법이 시작된 초기에 개발된 plunger 방식의 열가압실(hot chamber)법이 발달한 것이지만 이 방법으로 Al합금 다이캐스트가 시작된것은 아니다.

Al합금의 다이캐스트가 시작된것은 공압직접가압 방식의 열가압실(hot chamber)법이 있고, 또한 이것이 실용화된 주조기는 이동 Gooseneck 방식이 있으며 이것으로 부터 1915년에 Doehler사에 의하여 시작된 Al합금 다이캐스트기가 시판되었다고 전해지고 있다.

그후 1926년에 체코의 Polak사가 냉가압실기(cold chamber M/C)가 개발되어 그것에 의해 Al합금의 다이캐스트 기술이 크게 진보되었다.

*대유공업전문대학 금형설계과

**국민대학교 금속공학과

한때는 공압직접가압식 열가압실법과 냉가압실법이 병행적으로 사용되었지만, 현재는 냉가압실법만으로 Al합금 다이캐스트 주물이 생산되고 있는 실정이다.

Mg 합금 다이캐스트의 개발은 Al합금 다이캐스트와 같이 공압직접가압식의 열가압실기(hot chamber M/C)으로 행하여졌다. 그후 냉가압실기(cold chamber M/C)으로도 주조가 행하여 졌으며 특히 아연합금과 같은 plunger 가압식의 열가압실기(hot chamber M/C)에 의한 주조도 제 2 차 대전전에 개발되어졌다. 당시 이러한 열가압실(hot chamber)법은 Mg합금 다이캐스트에 적합한 것이라고 생각하였다. 오늘날 Mg합금 다이캐스트는 냉가압실(cold chamber)법과 현재의 열가압실(hot chamber)법이 행하여 지고있고 당시 적합하다고 불려온 열가압실(hot chamber)법이 또한 근년에 주류를 이루고 있는 실정이다.

일본에서는 1942년경부터 항공기부품의 Mg합금 다이캐스트의 생산이 냉가압실(cold chamber)법으로 행하여졌다. 전후에도 바로 합금의 생산이 행하여 졌으며 최근 Mg합금용의 열가압실기(hot chamber M/C)가 수입되어 사용하고 있다.

특히 Al합금용 열가압실기(hot chamber M/C)도 최근 연구되고 있다.

Zn합금의 다이캐스트로는 ZnDC1, 2의 2종류가 KS에 규격화되어 있지만 ZnDC2에 의한 생산이 대부분이다. Zn합금은 기계적성질, 전기도금성, 내

식성, 주조성이 뛰어나지만 Al에 비해 비중이 크므로 비교적 정밀한 소형부품, 장식부품으로 자동차, 전기기기 일용품등이 분야에 사용되고 있다. Zn합금은 특히 Pb, Sn, Cd 등의 저융점 불순물에 의한 입간부식을 일으키기 쉬우므로 불순물의 규제가 엄격해야 한다.

Zn합금 다이캐스트주물 도금성이 좋을뿐만 아니라 Al합금에 비하여 주조온도가 낮으므로 금형의 수명이 길고, 가격적인 면에서 유리하고, 도금, 도장 등을 한 장식부품이 많다. Zn 다이캐스트 주물의 표면처리를 바닷가 전원, 공장 지대, 옥외, 실내에서 폭로시험을 5년간 행한 결과 실내에서 사용한 구리공예품, 금도금, Cr 등의 도금을 한것은 실외에서는 1년 전후의 내구성을 나타냈지만 실내에서 사용하는 한 5년이 지나도 이상이 없었으며, 실외에서도 Cr도금을 실시한 것은 피막의 변화가 거의 없는 양호한 내식성을 나타내고 있다. 또한 도장품(epoxy계 수지도장-120°C 도장)는 2년 정도에서 도장의 박리가 일부 시료에 발생하였고 이후 서서히 확대되었다. 이 경향은 특히 해수에서 현저하고, 이슬로 생기는 결로 시간등의 기상인자가 도장의 박리와 상관 관계가 있을 가능성이 높은 것이다.

3. 다이캐스트기

다이캐스트법이 개발된 초기에는 별도로 Al합

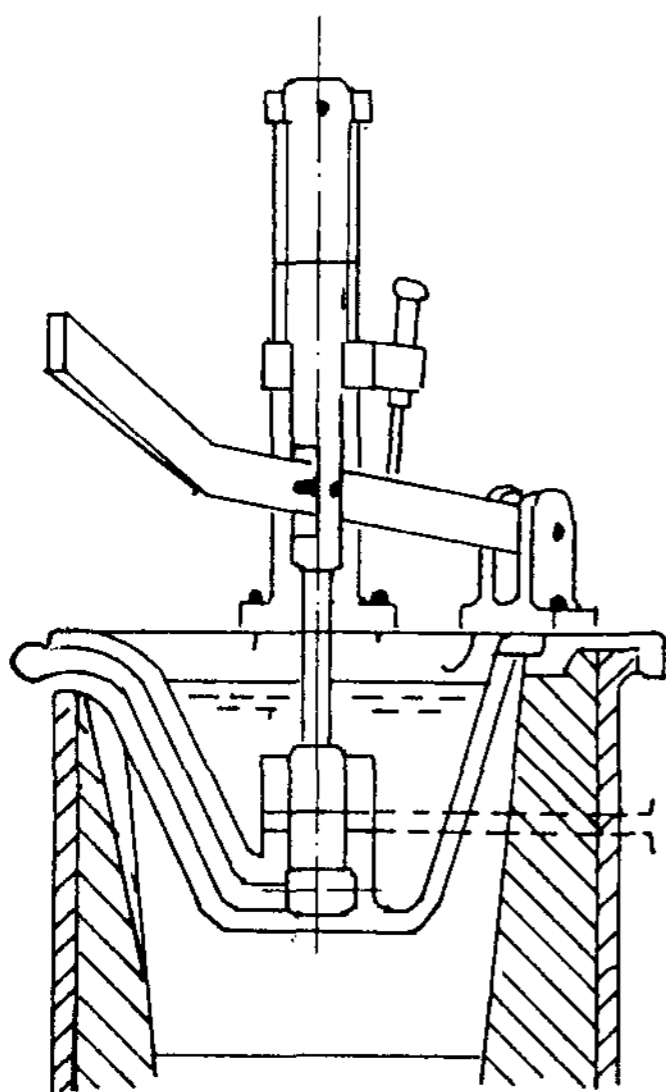


그림 1. 수동식 열가압실기의 사출 장치

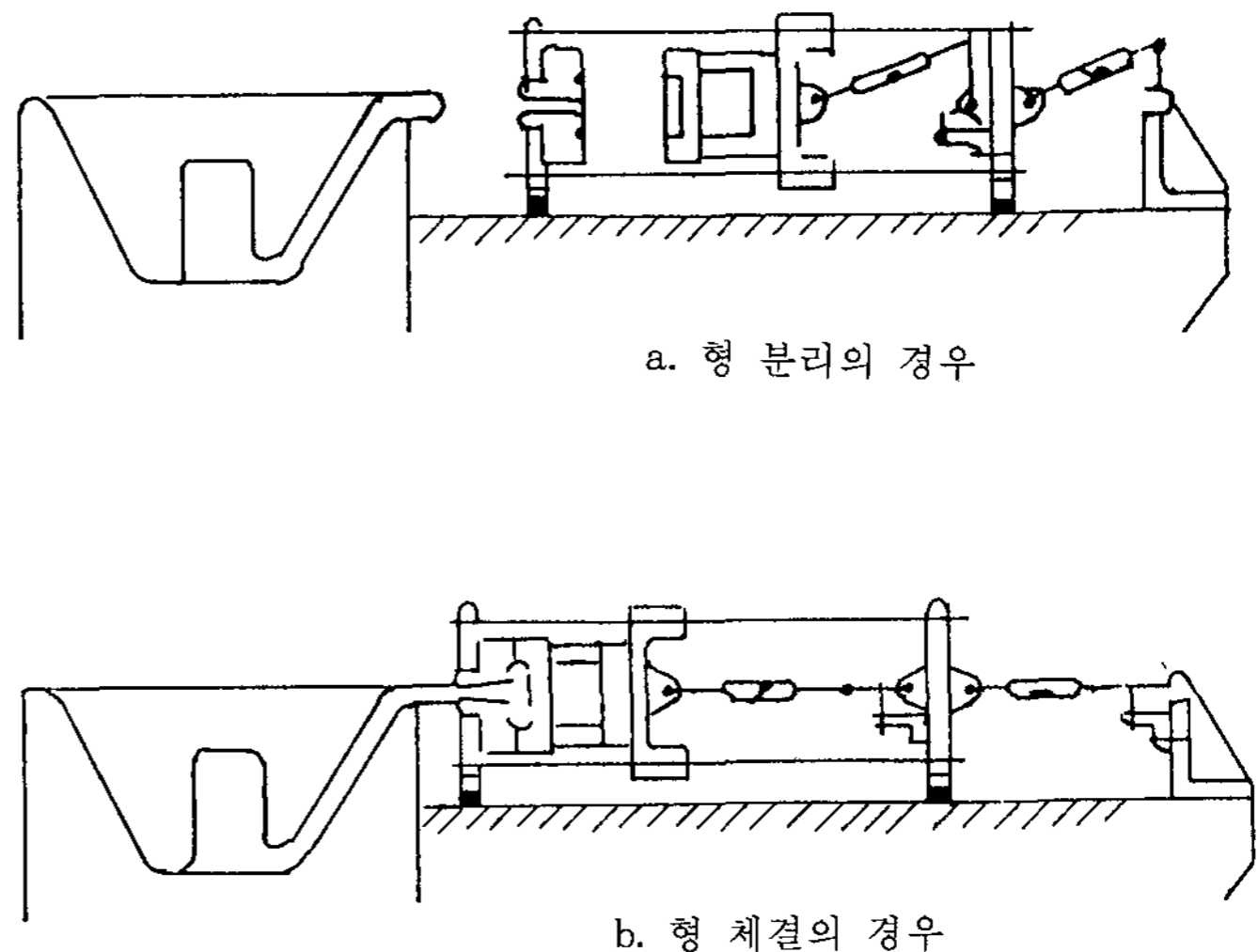


그림 2. 열가압실형 체결 장치

금 다이캐스트를 시작으로 생산된 1960년초에 일반적 hot chamber M/C 사출장치와 그의 형체결 장치의 한예를 그림 1와 그림 2에 표시하였다.

그림 1에 의하면 Gooseneck는 용탕을 담은 용기중에 sleeve와 plunger를 같이 침적시키고 있다.

그림 2는 당시에 주입구가 막히는 문제를 해결하기 위해 Gooseneck의 nozzle와 금형과는 한 shot마다 밀착하여 분리를 시켜놓은 것이 많았다. 따라서 형체결 장비와 nozzle touch을 2개의 lever로 이용한 link(single toggle)로서 개폐시키고 있으며 또한 사출도 형체결 장비도 모두 수동식이다.

이와같은 주조기로서는 Gooseneck가 용탕중에 침지하고 있기 때문에 plunger와 sleeve을 Al의 용탕에 두거나, 또는 합금시키므로서 plunger의 작동이 곤란하게 되어 Al합금의 다이캐스트 연속 주조가 불가능하게 되었다.

그러나 1907년 E. B. Van Wagner가 그림 3에 표시한 바와같은 공압으로서 Gooseneck 내의 용탕을 직접 가압해서 금형에 불어넣은 사출방식의 열가압실기를 개발하였다.

거기에는 plunger를 필요로 하지 않기 때문에, Al합금의 다이캐스트가 가능하게 되었다. 거기에 더욱 개량을 가하여 1915년경에는 그림 4에 표시된 공압직접가압 이동 Gooseneck 방식의 사출장치가 개발되어 Al합금 다이캐스트가 생산되게끔 되었다.

특히 다이캐스트 작업은 에너지 절약에 의한 생

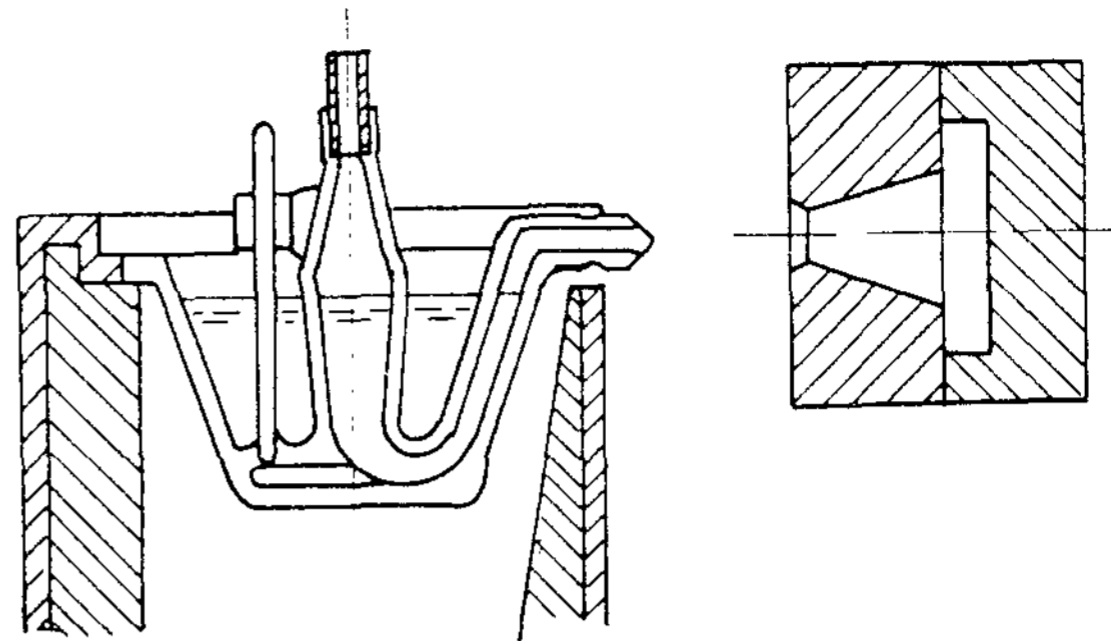


그림 3. 공압직접 가압식 열가압실기의 사출 장치

산성 향상과 품질향상을 위해 다이캐스트기와 주변장치의 자동화가 진행되고 있다.

최근에 생산성 향상을 위해 Just in time식 등의 다품종 소량생산방식의 요구가 높아지고, 공정의 회수가 증가하고 있다. 그러나 새로운 제품의 교환에 따라서 많은 공정시간이 필요하고 제품생산이 저하 한다고하는 문제가 발생하였다.

따라서, 미래지향적으로 다이캐스트 공장의 무인화, FMS화에 대응할수 있는 기능을 갖고 주조 및 주변장치의 조건을 자동적으로 설정하여 전체적으로 feed back 제어 장치를 목적으로한 DACS (die cast adaptive control system)을 개발하여 제품화를 위하여 노력하고 있다.

DACS는 micom(소형 computer)의 특징을 살리고, 금형 number를 호출하는 것 만으로 일련의

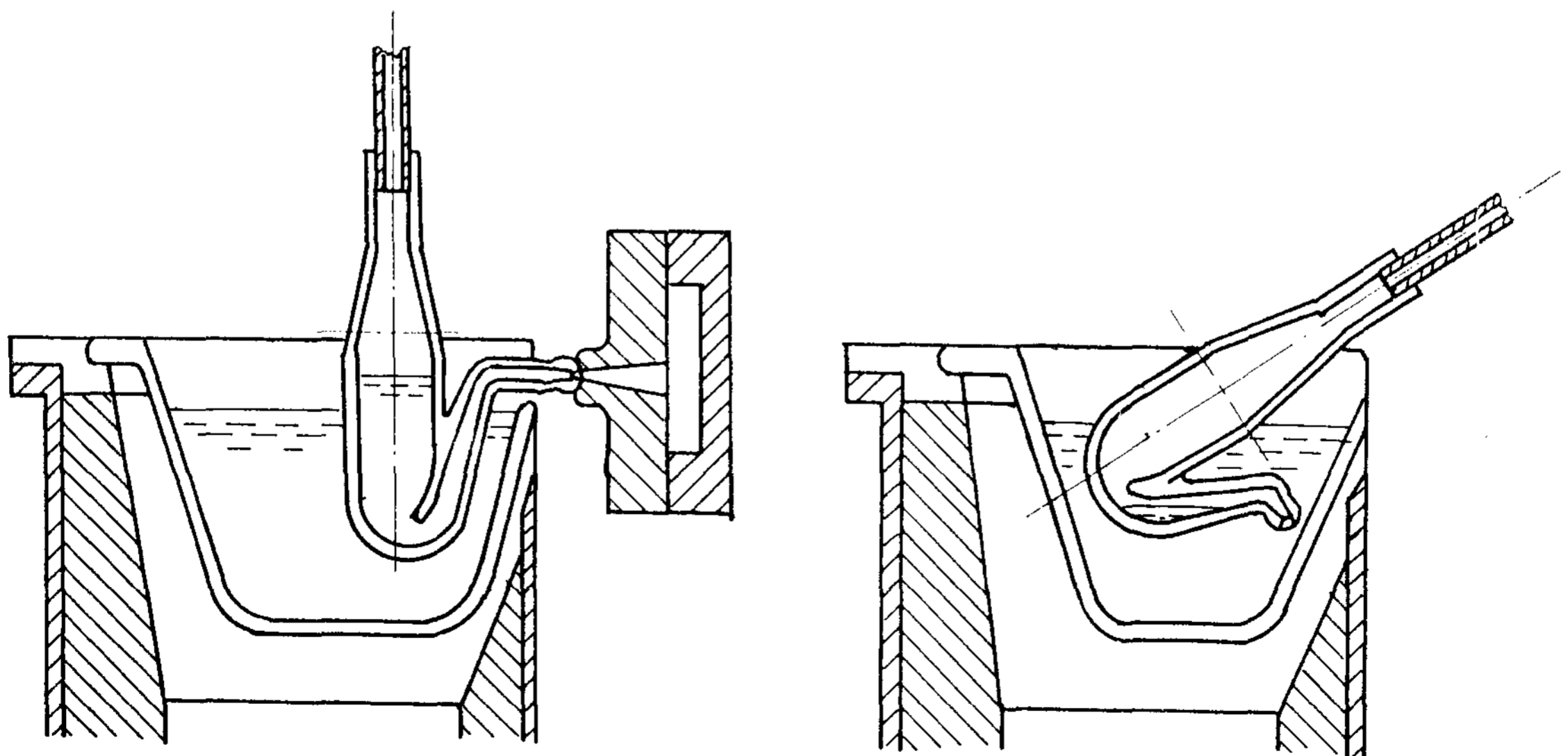


그림 4. 공압직접 가압의 이동 Gooseneck식 열가압 실기의 사출 장치

주조공정의 조건을 모두 장착 시키는 것 외에 온도, 압력, 속도등의 parameter에 의한 최적제어나 금형조건에 의한 이론사출 조건의 연산, 고장진단, 이동기록집계기능 등을 갖추고 있다.

4. 용해기술

다이캐스트가 시작될 무렵에 사용된 합금은 명확하지 않지만 1932년의 L. Frommer의 저서에 의하면 Al-Cu계(Cu4~8%), Al-Cu-Si계(Cu1~4%, Si3~5%), Al-Si계(Si10~12%)의 3종류의 합금이 있었다.

일반적으로 다이캐스트주물에는 T602와 같은 Cu 4% Si4.5%정도의 Al합금이 많이 사용되고 있다.

일본 공업규격이 Al합금 다이캐스트주물로서 제정된 것은 1958년이다. 이 규격은 미국의 ASTM-B25-57T를 참고하여 작성한 것으로서 규격내용이 변하여 개정되었으며 특히 1976년에 개정된 것이 현재의 JIS 규격이며 그의 주된점을 보면 (1) 사용량이 적지않은 합금은 제외시키고 이러한 Al합금을 열가압실기법으로 주조하면 철분이 증가하지만, 주조가 냉가압실기법으로 변화했기 때문에 그러한 염려가 없어졌고 불순물인 철분이 많은 합금은 규격에서 제외시켰다. (2) 화학성분이 부적당한 것은 변경했으며 또한 새로운 합금개발, 자원 및 에너지절약적인 문제가 있는 합금에 대해서는 Data 부족으로 보류시켰다. 그러나 이러한 사이에서도 다이캐스트용 Al합금은 큰 변화를 가져왔으며, 다이캐스트 주조에 있어서는 열전달이 좋은 금형표면에 용탕이 흐르기 때문에 탕주름, 탕경계가 발생하기 쉬워 주조상에 많은 문제가 생겼다. 한편 Al합금은 규소량을 증가시키면 용탕의 유동성이 좋게된다는 것이 이미 잘 알려져 있으므로 당연히 규소가 많은 Al-Cu-Si 합금을 고려하여 규격도 그와 같이 변화시켰다. 일반용합금의 Al-Cu-Si 합금은 규소량이 많은 ADC10, ADC12로 하고 있다는 것이 일본 다이캐스트 협회등의 조사에서 명백히 나타나고 있다. 이들의 합금은 자동차, 2륜차 등의 대형 다이캐스트 부품의 주조에서 빼 놓을수가 없다. 이와같은 습금의 진보는 다이캐스트 기술의 진보에 큰 도움을 주게 되었다.

Mg합금 다이캐스트에 있어서 L. Frommer의 저서에 의하면 Mg합금으로서 Elektron metal No 5로서 한 종류 기재되었을 뿐이며, 독일에서는 Mg

합금 다이캐스트 개발당시로 부터 이 합금이 사용되어 졌다고 생각되며 이 성분은 Al 10%, Mn0.3%, Mg89.7%로 하였다.

일본에서도 Mg 다이캐스트가 시작된것은 1942년경으로서 이 합금을 이용하였다고 생각된다. 일본에서의 Mg 다이캐스트의 규정은 최근에 제정되었다. 그러나 Mg 합금 다이캐스트는 개발이래 그다지 변천되지 않고있다. 그러나 최근 미국의 SDCE지에 기재된 논문에 의하면 많은 종류의 Mg 합금 다이캐스트에 대한 연구가 진행되어 주조성이 좋고 강도가 높은 합금이 발표되고 있다.

5. 주조기술

다이캐스트에서의 제품오차에 의한 신뢰성 저하의 원인은 가스함유량에 의한 영향이 크다. 고속고압으로 압입된 용탕에는 sleeve와 cavity내에서 난류하는 공기와 기화된 이형제, 윤활제가 혼입된다. 진공 용융추출법에 의하면 20~30cc/100g Al의 가스를 함유한다. 따라서 새로운 다이캐스트법의 생산성은 공기와 가스의 흡입량이 10cc/100g Al이하로 하기위해 개발된 주조법으로, 사출의 조건으로 분류하여 표 1에 나타냈다. 이중에서 이미 생산에 사용되고 있는 중요한 방법은 아래와 같다.

표 1. 새로운 다이캐스트법

분 류	명 칭
고속·고압	진공 다이캐스트법(감압 다이캐스트) 산소분위기 다이캐스트법(PF법) 분위기 유동 다이캐스트법 레오 캐스팅법
저속·고압	아큐라트법 저속충전법(충류 충전법) 고압주조법(스퀴즈 캐스팅법)
저속·저압	발란스형 유동 다이캐스트법 카-프로세스
가속·고압	파라솅트법

a) 진공 다이캐스트법(감압법)

금형 cavity내의 공기와 가스를 용탕압입직전에 진공 pump로 흡인시켜, 감압의 상태에서 다이캐스팅하는 방법이다. 감압방법은 Nelmor-Hauben 법, Ohse법, Morton법과 Optivac법으로 분류되지만¹⁰⁾, 어느것도 진공도의 유지와 사출 timing 제어가 곤란하다.

최근 보급되기 시작한 GF법(Gas Free법)은 cavity내의 공기를 단시간에 대량 배기시켜 용탕의 외부로 비산되지 않은 새로운 air vent pump를 사용하고 있다.¹¹⁾

그림 5은 이 valve의 구조와 금형에 배출 상태를 나타낸것이다. 감압된 cavity내에 고속으로 전진한 용탕을 valve의 바닥에 충돌하여 seat면을 밀착시켜 닫히게 된다. Air vent를 우회 시키면 용탕은 valve가 닫힌후에 seat면에 도달한다. 이와

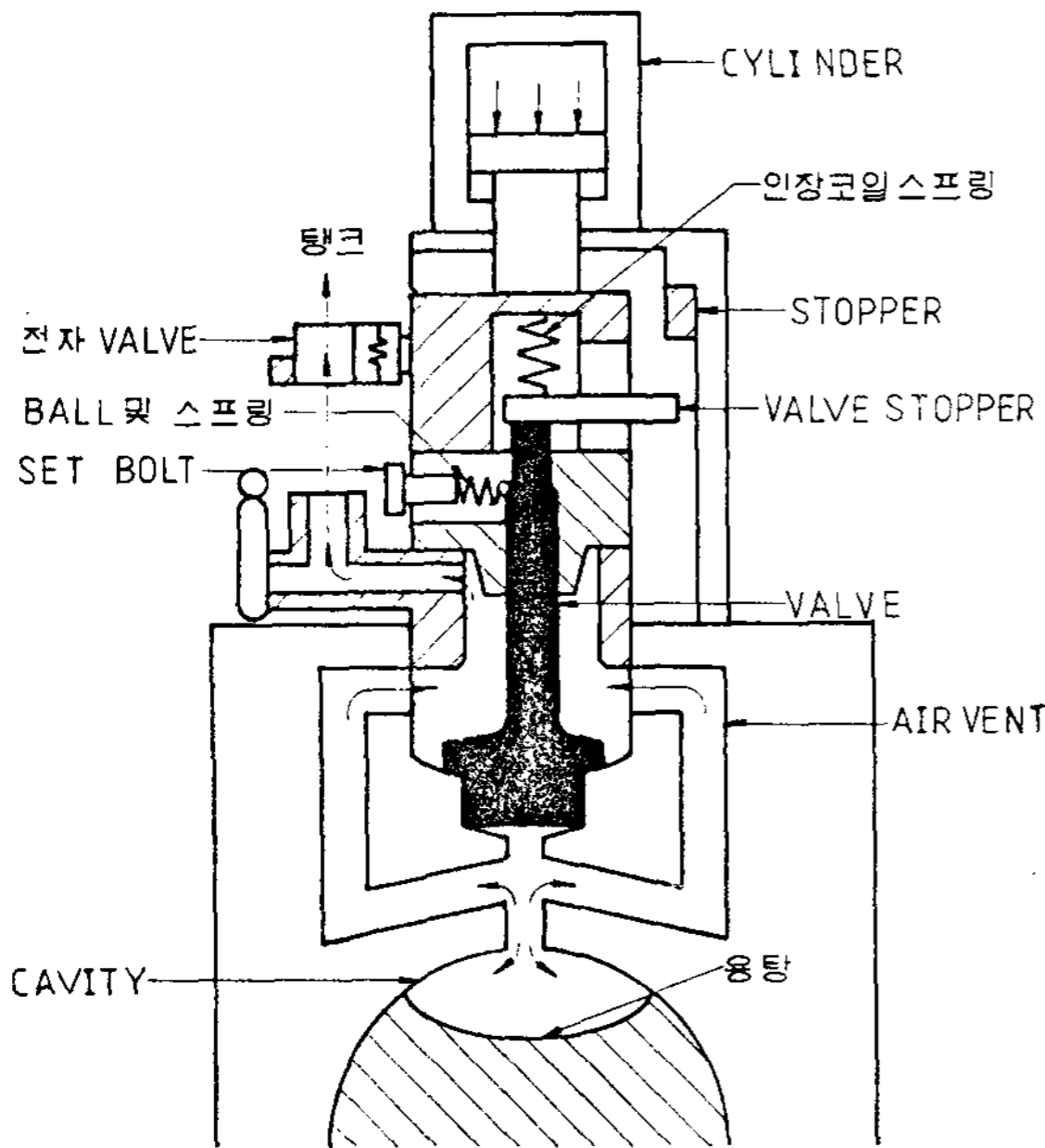


그림 5. AIR VENT VALVE의 구조

같은 GF법은 금형이 합쳐지는 면에 특별한 seal을 설치하지 않고 cavity내를 0.2~0.3S에서 200torr 이하의 감압 상태로 유지할수 있기 때문에 충전성은 향상되고, 가스량도 10cc/100Al 이하로 되어서 부로우홀도 감소하게 된다. 더우기 종래보다 낮은 압력에서 주조가 가능하게 된것이다.

b) 저충진 다이캐스트법(충류충진법)

중력주조법에서는 용탕을 충으로 금형에 흘려 주탕(注湯)하고, 용탕보다 공기를 연차적으로 압출한다. 동일한 기구로서 accurate법이 개발되었고 accurate법은 특히 지향성 응고가 일어나는 금형의 열분석을 하여 용탕이 응고할때 수축하는 부분을 inner plunger에 의해 고압으로 보충하는 방식이다. 그러나 일반 다이캐스트 주물의 형태에는 얇

은 두께부분이 있기때문에 용탕보급 통로를 확보하기 어렵고, inner-plunger의 효과가 작은것에는 double plunger 장치를 사용할 필요가 있다.

즉, 저속 충전 다이캐스트법은 accurate법의 inner-plunger의 조작성이 생략된 방법이다.

Al용탕의 충류한계는 1.5~1.6m/s로 알려져 있다. 저충진법으로 적당한 탕구속도는 종래법의 수10분의 1인 1m/s 전후이다. 양호한 탕류를 얻기위해서는 탕구단면적을 종래법보다 4~5배로 확대하여 충전시간이 응고시간보다 짧게되도록 해야한다.

탕구에서 속도가 늦으면 충전시간이 길게되어 용탕의 회전이 불량하게 되고, 빠르면 공기를 흡입하여 blister가 발생하게 된다.

c) 산소 분위기 다이캐스트법

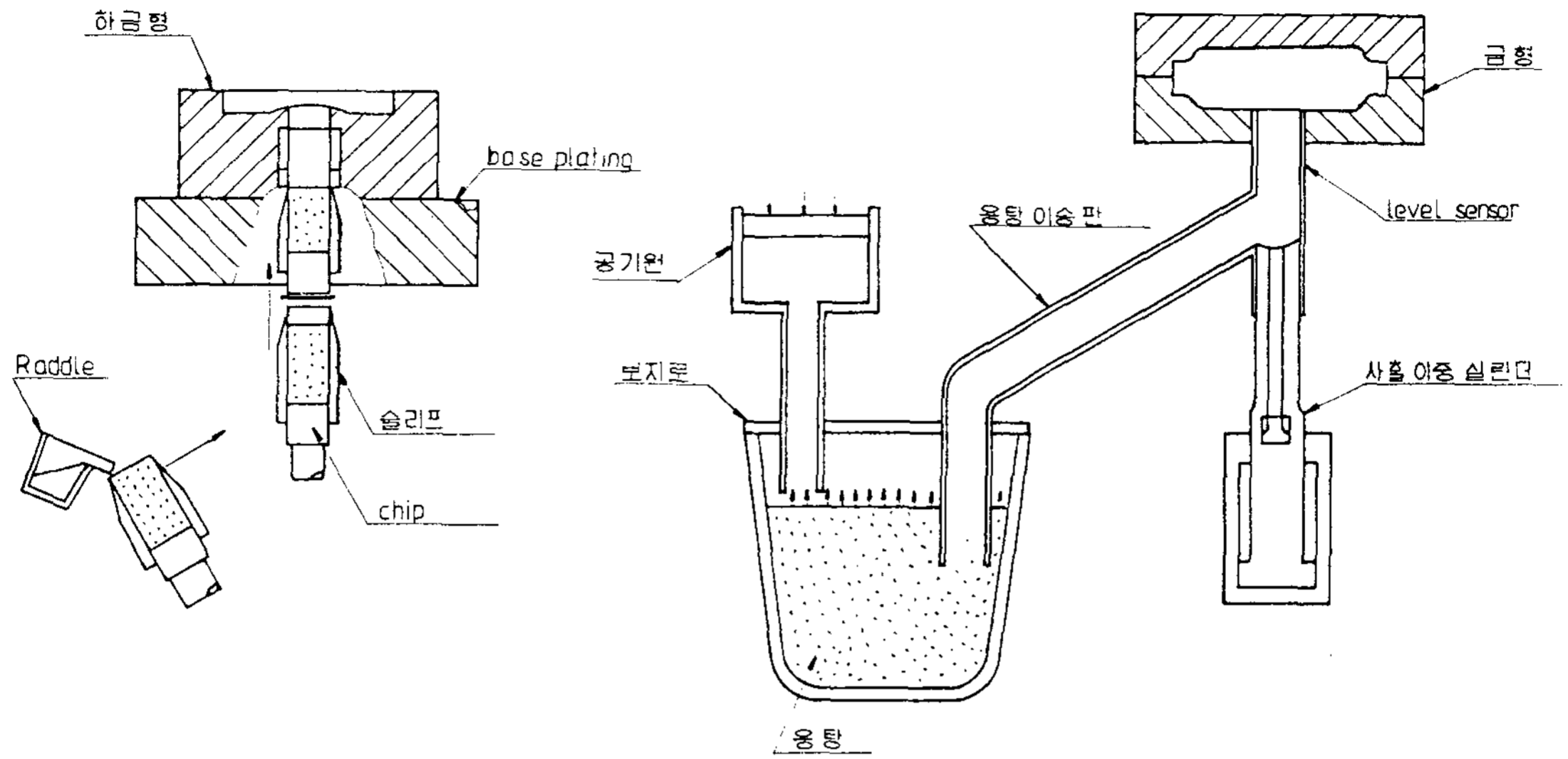
PF법(pore free법)라고도 하여 생산에 이용되고 있으며¹³⁾, Zn die casting에도 적용되고 있다. 이 방법은 sleeve와 cavity 공간을 산소가스로 치환하여 고속고압의 주조조건에서 압입한다.

탕구로부터 분출된 용탕은 산소가스와 순간적으로 반응하여 1μm 이하의 Al₂O₃ 초미립자로 만들며, Al₂O₃의 함유량은 보통 다이캐스트의 경우보다 2.5~3배 많게 되나, 금형내의 기체는 감소시킬 수 있다.¹⁴⁾

이와같은 PF법은 산소분위기에서 주조하기 때문에 공기의 흡입에 의한 기공은 없으며, 가스함유량은 5cc/100g Al 전후로 통상의 다이캐스트의 1/10이다. 이 값은 그림 6에 나타낸바와 같이 금형주조품과 동일한 정도이므로 T₆와 T₇의 용체화처리와 용접이 가능하므로, 또한 내압성이 우수하다. T₆ 처리에 의한 밀도변화는 2.6% 정도로 보통 다이캐스트의 경우 9.5%에 비해 현저하게 작다.¹⁴⁾

가스량 cc/100g Al	사형주조법		Die Cast법	
	전신제	금형주조법	10	100
0.1	T ₆ , T ₁ 처리가능		부품변형발생	
가능		Pinhole 발생		
내압성 (유압)	100 150kgf/cm ²		100kgf/cm ² 이하	

그림 6. 각종 주조법에 의한 gas 함유량



(a) SQUEEGE CASTING (b) 고압응고주조

그림 7. 고압주조법의 사출기구

d) 고압주조법(squeeze casting)

고압주조법은 저속고압에 속하는 주조법으로 동일한 분류의 저속충진법과 다른점은 응고가 완료될때까지 가압을 유지하는 것이다. 이는 용탕단조의 간접압입법에 가까운 주조법이다. 용탕은 0.3~2m/s의 저속으로 금형에 압입한다. 가하는 압력은 500~1200kgf/cm²(49~118MPa)으로 chip은 가압개시부터 응고수축에 해당한 정도만 범위하는 방식을 채용한다. 이때문에 응고시에 생기는 수축공에 용탕의 보급이 충분하며, 고압이기 때문에 용탕에 금형을 밀착시켜서 air gap이 작고, 열전달이 좋아지기 때문에 조직이 미세화되어 기계적 성질은 단조품에 필적하는 우수한 특징이 있다. 사용되는 주조기는 그림 7에 나타낸 두 종류의 사출방식이 채용되고 있다.

(a)는 sleeve를 이동한 위치에서 주탕하며 금형에 연속적으로 흘러주면서 사출하는 squeeze casting법이며

(b)는 공기압으로 이송관을 통하여 sleeve에 주탕하고 accurate법과 동일한 double cylinder에 의해 사출하는 고압응고 주조법이다.

6. 결 론

최근의 다이캐스트 기술의 진보는 주로 주조시의 사출에 대한 역학적 해석과 사출방안의 설정,

새로운 사출장치의 개발, 정밀한 size를 얻기 위한 수축율에 대한 연구, 열해석과 금형냉각, 금형온도 관리기술 등으로 많은 주조기술의 진보를 하여왔으나, 아직까지 품질에 대한 약간의 문제점을 가지고 있어, 중요한 기밀부품에는 아직 사용되지 않고 있다.

현재 새로운 주조기술, 주조방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 아직 완전히 실용화되고 있는것은 드물고, 또한 다이캐스트 생산방식도 장래 첨단기술적인 측면에서 어떤 방향으로 발전하게 될지 아직 분명치 않다.

그러나 새로운 주조방법과 금형제작이 개발된 새로운 CAD/CAM 방식에 의한 금형의 자동설계, 자동제작이 되어 이들에 관한 많은 문헌도 나오고 있기 때문에 참고하는것이 바람직하다.

참 고 문 헌

- 1) 岩本典裕 : 素形材, 7(1986), pp. 1-7
- 2) L. W. Garber : Die Casting Engineer, 26(1982) pp. 14-18
- 3) 菅野友信 : 綜合鑄物 5(1984) pp. 6-16
- 4) 日本鑄物協會編 : 鑄物便覽, 丸善(1985)
- 5) B. Upton : Pressure Die Casting, Pergamon (1982)
- 6) 鈴木宗男 : 綜合鑄物 8(1983) pp. 4-10