

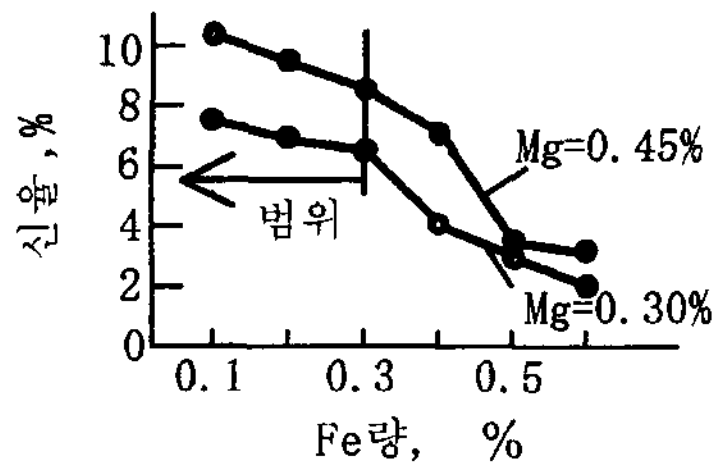
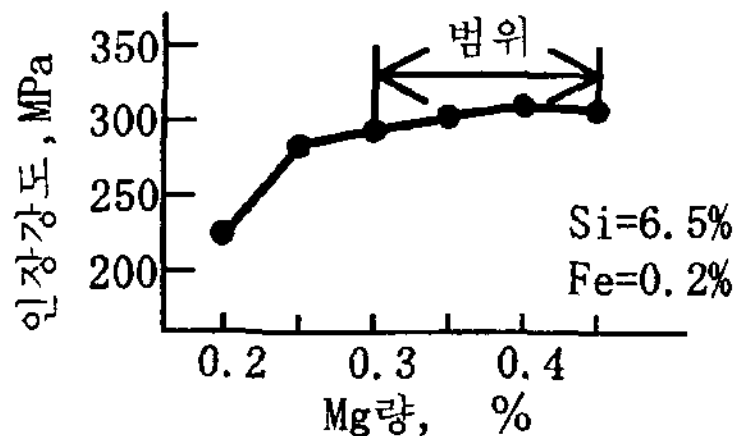
ECU로 부터의 제어신호에 의하여 각 휠의 브레이크압을 제어하는 부품

Fig. 1. 대상 제품인 ABS액츄에이터.

축, 파단 칩층, 개재물 방지

(3) 고생산성 실현을 위한 다수 캐비티

이것들의 대응 기술로서 (1)에 대해서는 알루미늄 합금의 기계적 성질의 향상, (2)에 대해서는 이전에 개발한 수축방지 기술인 저속형 고압다이캐스팅, 파단 칩층 방지 기술인 단열슬리브 윤활기술에 덧붙여서, 용탕 중 개재물(산화물) 혼입방지에 대하여 특히 탈가스장치, 세라믹필터(이중구조), 보온 유지로로부터 다이캐스팅기에의 공기에 접촉하지 않도록 알루미늄합금 용탕을 공급하는 직접 급탕장치를 부착한 로의 개발, (3)에 대해서는 다수 캐비티(3개)의 실현에 있어서 금형의 중앙 방향에 레이아웃된 캐비티 온도가 바깥쪽에 비해서 상승하기 쉬움으로 인하여 발생하는 응고불균형에 대해서, 캐비티 별로 냉각수량, 통수시간을 컨트롤



Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti
0.2 이하	6.5 ~ 7.5	0.30~0.45	0.3 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.2 이하	0.008~0.2

Fig. 3. 알루미늄 합금 성분과 Fe 및 Mg 량이 기계적 성질에 미치는 영향.

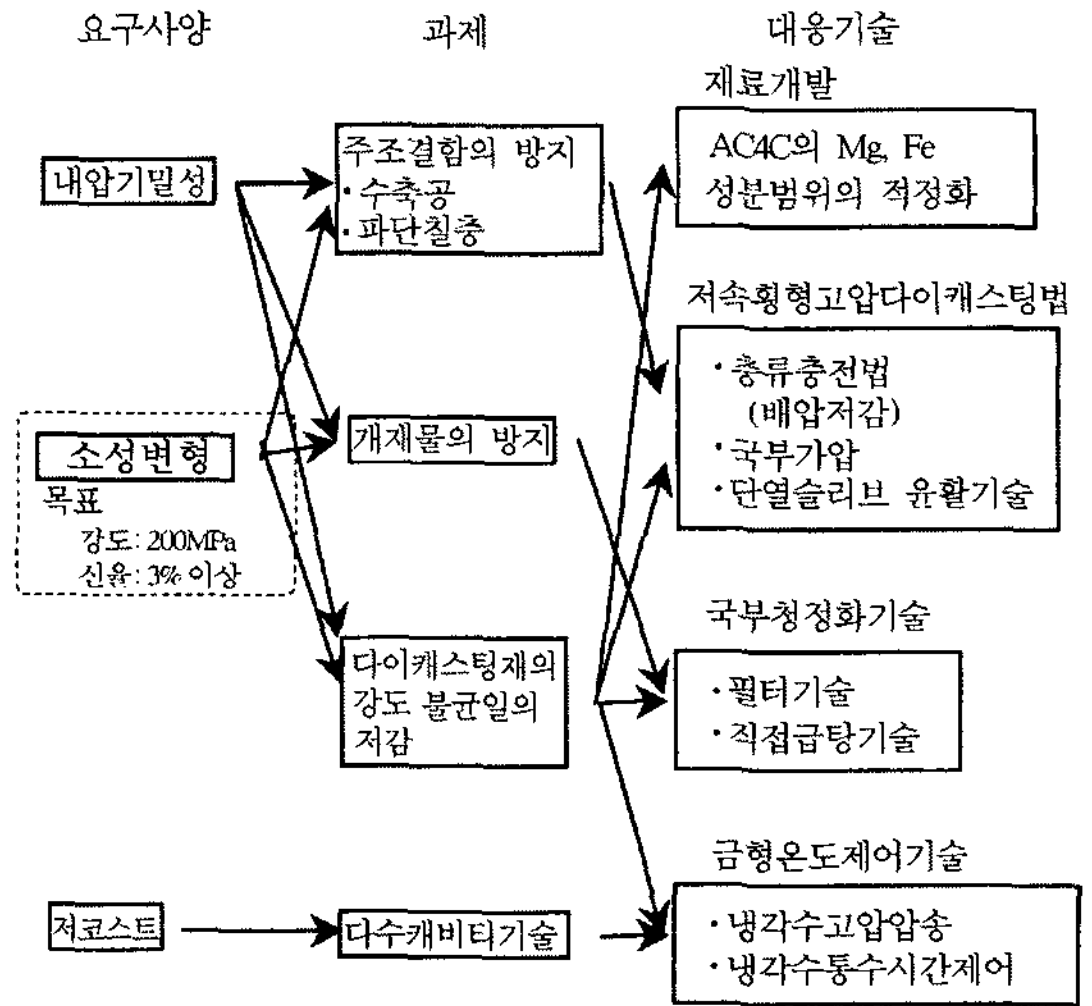


Fig. 2. 높은 내압강도와 다이캐스팅품 실현을 위한 과제.

할 수 있는 폐회로식 금형냉각 시스템을 개발하여, 캐비티 별로 응고컨트롤 할 수 있도록 하였다.

이들에 개발기술에 대해서 이하 상세하게 설명한다.

2.1. 소성변형 체결성을 고려한 알루미늄 합금의 검토

내압부품에 적합한 고강도를 가지며, 또한 소성변형 체결성이 양호한 신율이 있는 알루미늄 합금을 목표로 개발하였다. 재료의 베이스는 ABS 액츄에이터 재료로서 당사에서 실적이 있는 AC4C 알루미늄 합금을 이용하여, 열처리는 용체화 시효처리(T6)하여 강도를 확보하였다. AC4C 알루미늄 합금의 성분에 대한 최적화로서는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 (1) 고용, 석출강화에 유효한 Mg량을 0.3~0.45%로 통상의 AC4C 알루미늄 합금보다 약간 높임으로써 인장강도의 향상 및 (2) 침상조직형태를 가지므로 신율을 저해하는 Fe량을

0.3% 이하로 함으로써 신율을 확보하였다.

2.2. 내압강도 확보, 소성변형 체결의 실현을 위한 주조결함 방지의 고려사항

다이캐스팅품의 내압성 확보, 소성변형 체결 시의 신뢰성을 높이기 위한 주조결함 방지에 대해서는, Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내는 바와 같이 당사에서 이전에 개발한 수축공 방지 기술인 저속형 고압다이캐스팅 기술, 파단칠층 방지 기술인 단열슬리브 유회 기술에 덧붙여서 용탕 중 개재물(산화물) 혼입 방지에 대해서는 특히 탈가스 장치, 세라믹 필터(이중구조), 유지로부터 다이캐스팅기에 공기가 접촉하지 않도록 알루미늄 용탕을 공급하는 직접급탕장치를 부착한 로를 개발하였다. 저속형 고압다이캐스팅 기술은 알루미늄 합금 용탕을 캐비티 내에 충전할 때, 캐비티 내의 충전 거동이 층류 상태와 가까운 상태가 되도록 매우 느린 속

도로 사출플랜저를 전진시키고, 공기 및 이형제 유회제에서 발생하는 열분해가스의 혼입을 억제하는 동시에 스퀴즈 다이캐스팅(국부가압) 기술로 수축공 결함을 억제하는 기술이다. 또한 단열슬리브 유회 기술은 다이캐스팅기 사출슬리브 내에서의 알루미늄 합금 용탕의 응고를 억제하기 위하여 사출슬리브 내벽에 단열성이 높은 유회제를 균일 도포하여, 사출슬리브 내에서의 알루미늄 합금 용탕의 온도 저하를 억제하는 기술이다.

2.2.1. 개재물 혼입방지를 목적으로 한 로 구조

다이캐스팅품에의 개재물 혼입 방지를 하는 용탕 청정화 기술의 고려사항은 다음과 같다.

- (1) 알루미늄 합금을 용해 또는 보온하고 있을 때 발생한 개재물(산화물)을 로 내에서 분리, 제거한다.
 - (2) 로로부터 다이캐스팅기에 용탕을 공급할 때 알루미늄 합금 용탕 표층의 산화물이 혼입되지 않도록 한다.
- 전자의 개재물(산화물)의 분리, 제거에 대해서는 보온유지의 탈가스 장치와 세라믹 필터를 설치하여 해결하였다. 다이캐스팅에서는 리턴재를 재용해하기 위하여 전신재 주조에 비해서 산화물의 발생이 많다고 가정하여, 세라믹 필터는 Fig. 6과 같이 거친 메시의 세라

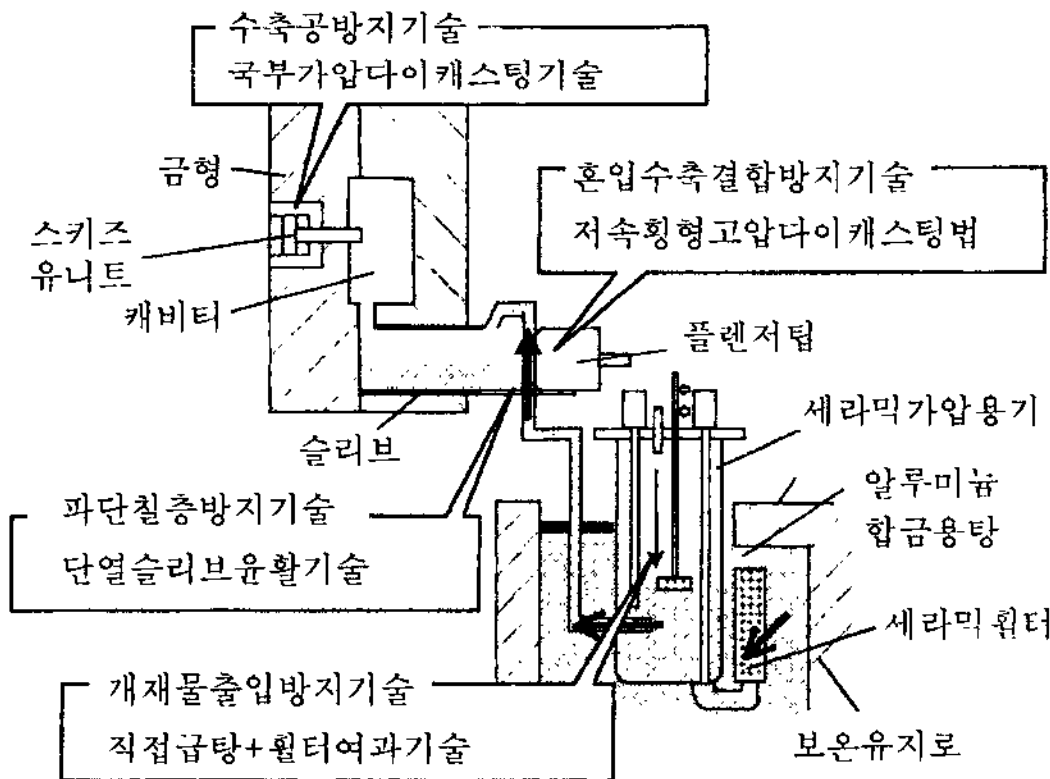


Fig. 4. 주조 결함 방지를 위한 대응 기술.

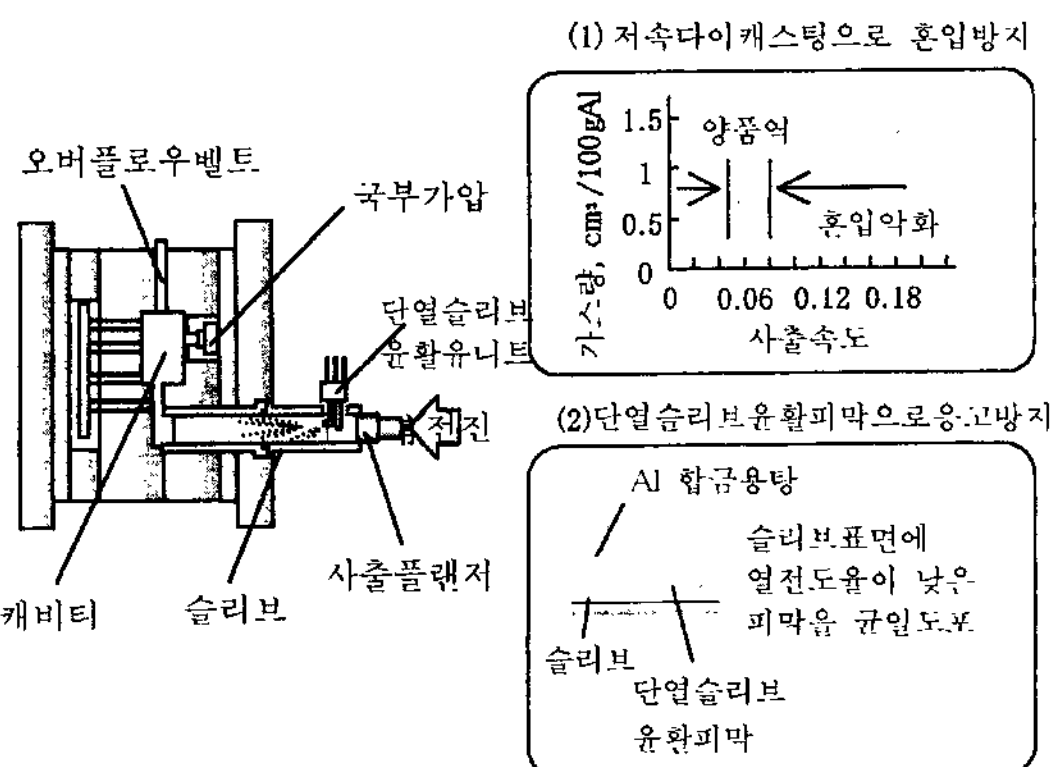


Fig. 5. 수축공, 파단칠층 방지 기술.

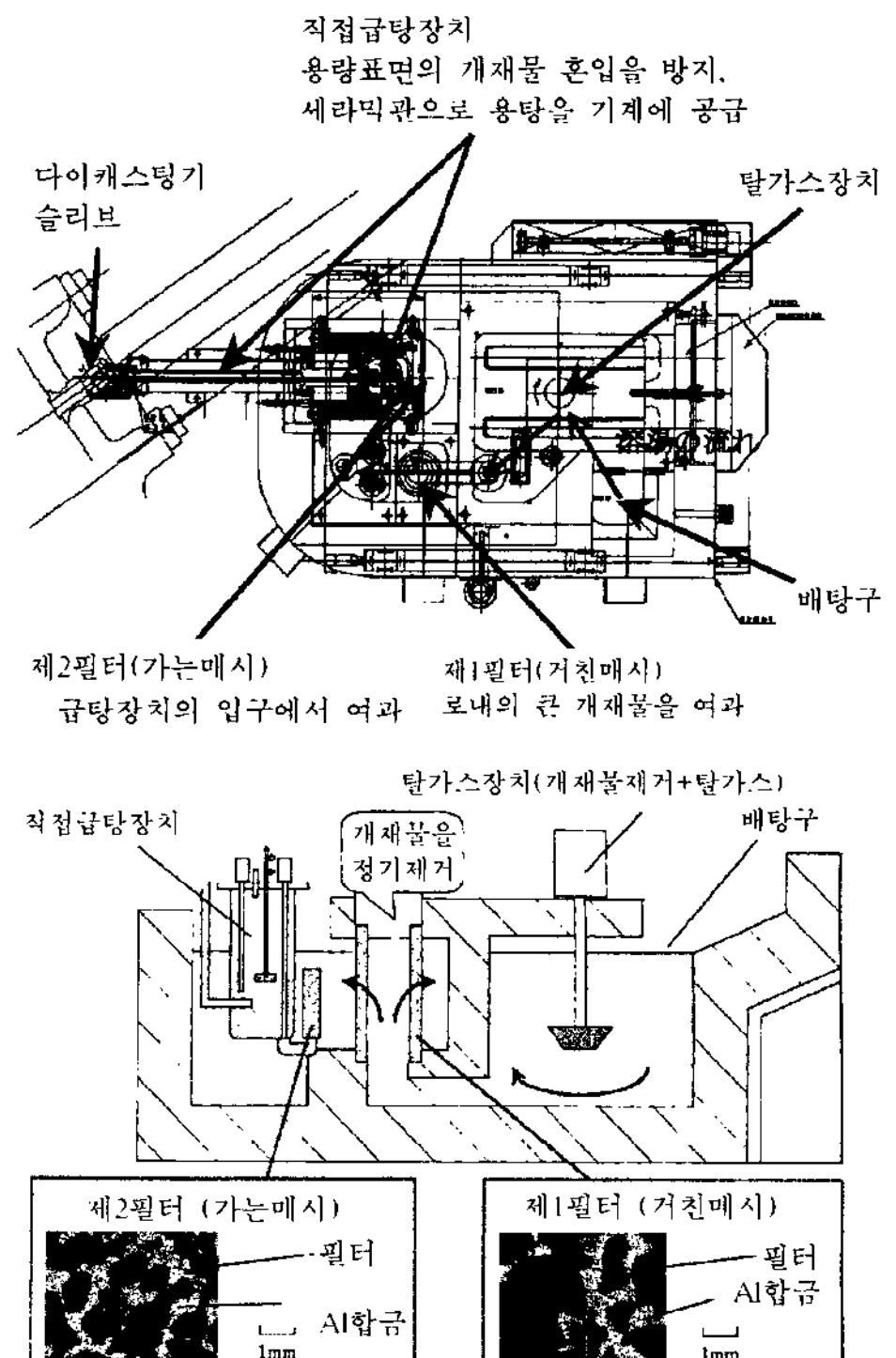


Fig. 6. 개재물 방지를 위한 로의 구조.

믹 필터를 로 내에, 가는 메시의 세라믹 필터를 직접 급탕장치 용탕 취입구에 설치하는 이중구조로 하는 것으로 세라믹 필터의 수명과 개재물 제거의 성능을 겸비하였다. 후자의 알루미늄 합금용탕 표층의 산화물 혼입 방지에 대해서는 보온유지로의 배출구에 Fig. 7에 나타내는 직접급탕장치(용탕공급장치)를 설치하여 방지함과 동시에 전술한 바와 같이 직접급탕장치의 알루미늄 합금 용탕 흡인구에 세라믹필터를 설치하여 알루미늄 합금 중의 개재물의 혼입을 방지하였다.

이 장치는 세라믹(질화규소)로 만들어진 가압포트, 급탕관, 급탕노즐로 구성된 장치이고, 가압하여 급탕하는 장치이다.

직접급탕장치의 동작순서는 다음과 같다.

- ① 세라믹 필터를 설치한 측의 흡인측 밸브를 열어서 가압포트 내를 진공장치로 감압하여, 알루미늄합금 용탕을 미리 정해진 포트 내의 높이까지 흡인한다.
- ② 흡인측 밸브를 닫고 급탕측 밸브를 열어서 가압포트 내를 불활성 가스로 가압하여 알루미늄 합금 용탕을 다이캐스팅 슬리브에 넣는다. 가압포트 내에 플로트식 센서가 설치되어 있어서 가압포트 내의 용탕 표면이 미리 정해진 급탕량에 상당하는 변위량을 움직였다는 것을 확인하여 급탕 완료로 한다.

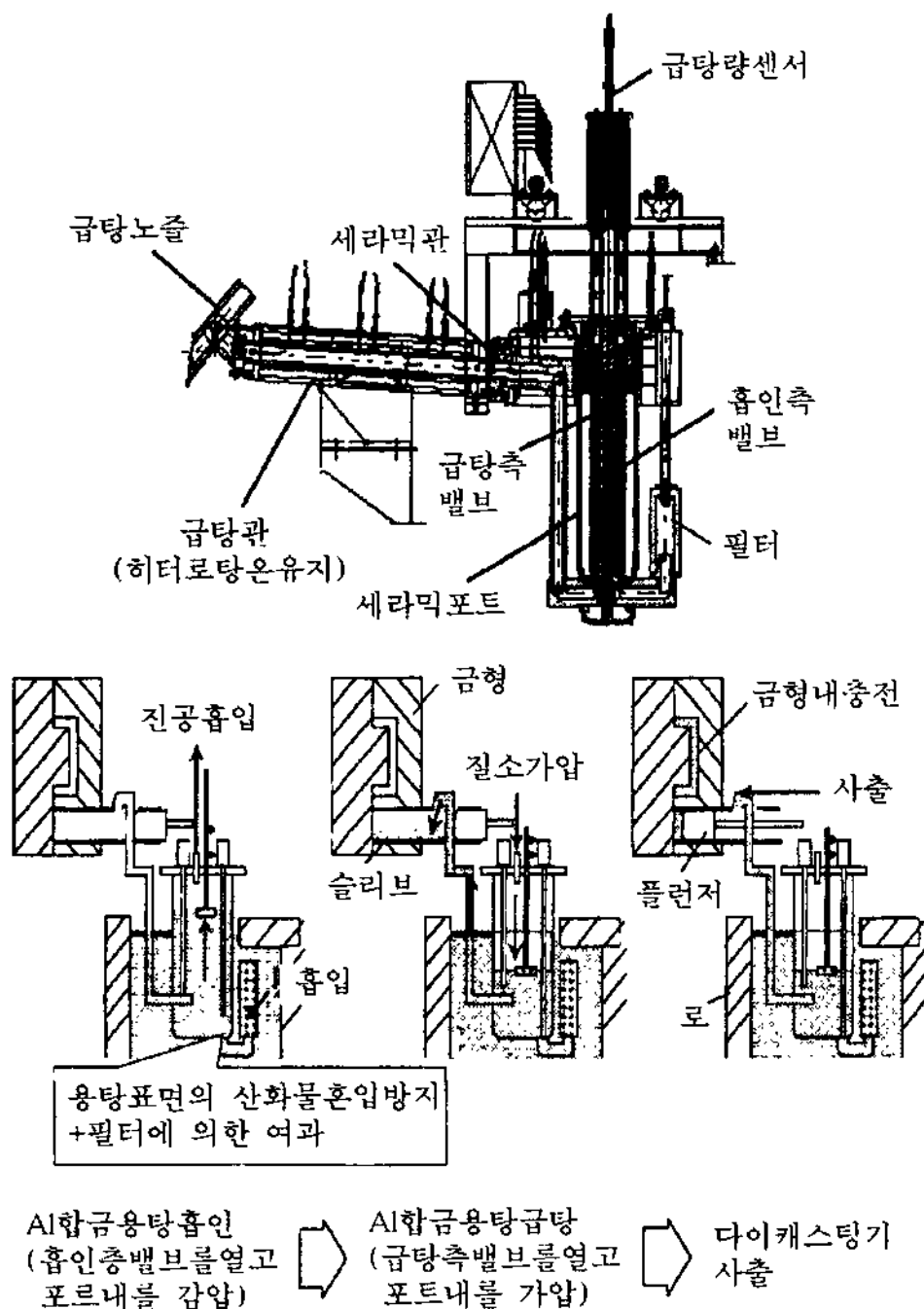


Fig. 7. 직접급탕장치의 개요와 동작.

③ 급탕 완료한 것을 다이캐스팅 쪽에 신호를 보내어 사출슬리브를 전진시킨다.

이 장치를 이용하여 알루미늄 합금용탕 표면의 산화물 혼입을 억제하였다.

2.2.2. 주조 결함 방지에 대한 효과

상기 기술에 의한 주조 결함에 대한 방지효과를 Fig. 8 및 9에 나타낸다. 혼입된 수축공에 대해서는 저속형 고압다이캐스팅 기술에 의하여 제품 내의 가스량을 0.5~0.7 cm³/100 g Al로, 부풀음을(알루미늄합금의 연화온도까지 가열한 경우의 다이캐스팅품의 비중차로 부풀음을 측정하는 것)도 0.5% 정도로 혼입수축공을 억제하는 것이 가능하였다. 파단칠층에 대해서는 비스킷부의 응고 조직을 관찰하였으나, 단열슬리브 유효기술에 의하여 제품내로의 혼입을 억제하고 있다. 또한 개재물에 대해서는 전기한 용탕청정화 기술을 이용하는 것으로, 개재물 양을 K10값(로 내의 알루미늄합금용탕을 정방형 주형에 주입하여, 파단된 파면에서 확인되는 개재물 양을 열배의 확대경으로 보고서 개수를

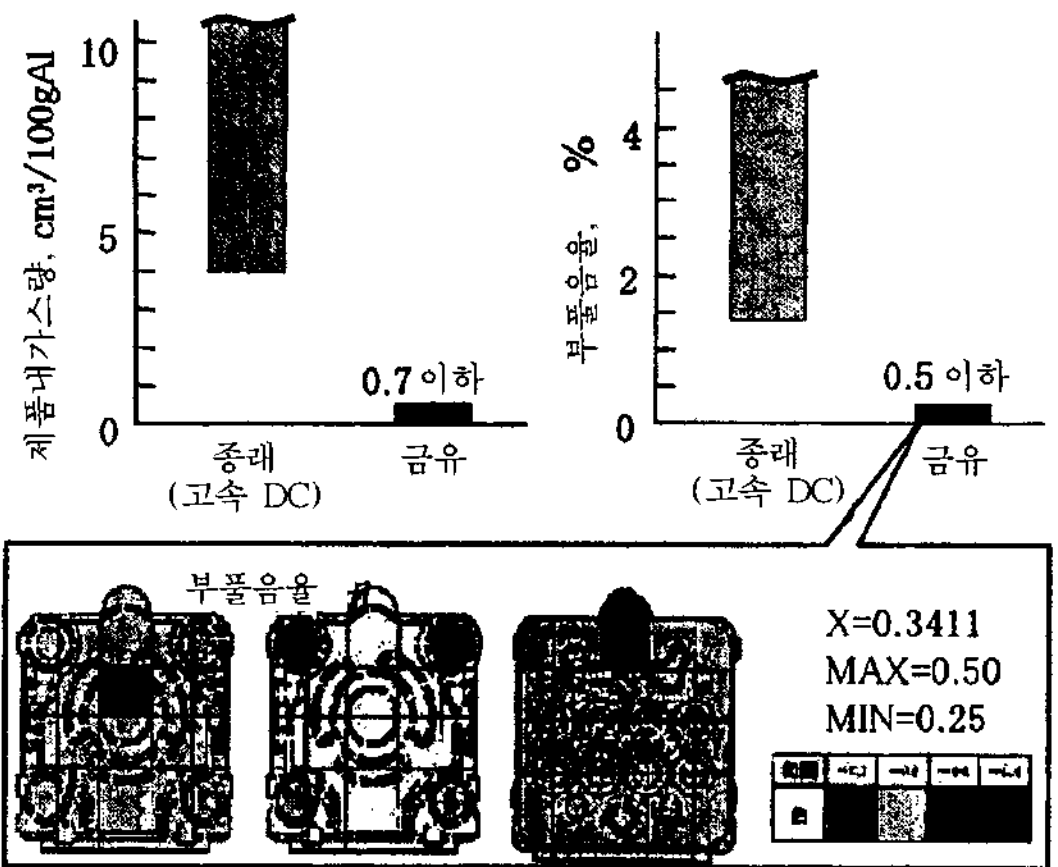


Fig. 8. 주조 결함에 대한 방지 효과 ① 혼입수축공에 대한 효과.

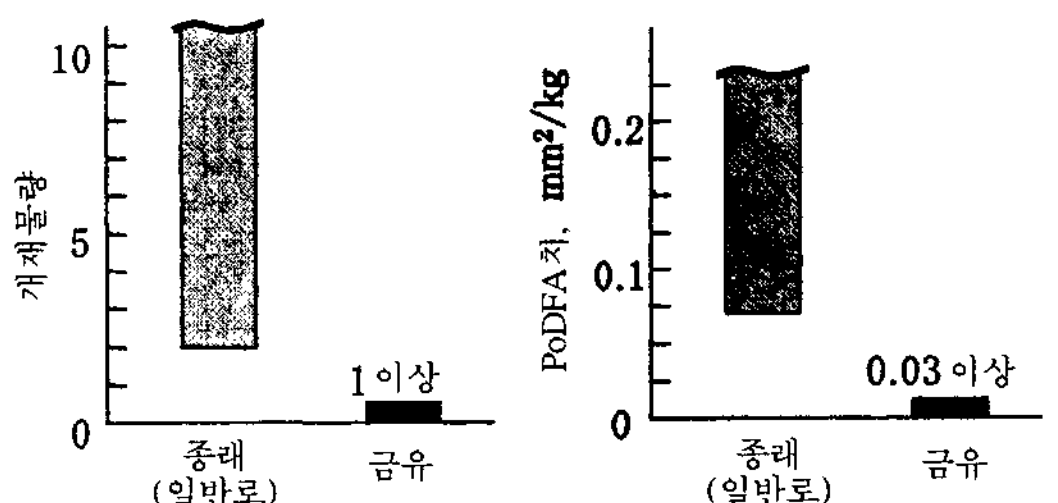


Fig. 9. 주조 결함에 대한 방지 효과 ② 개재물에 대한 효과.

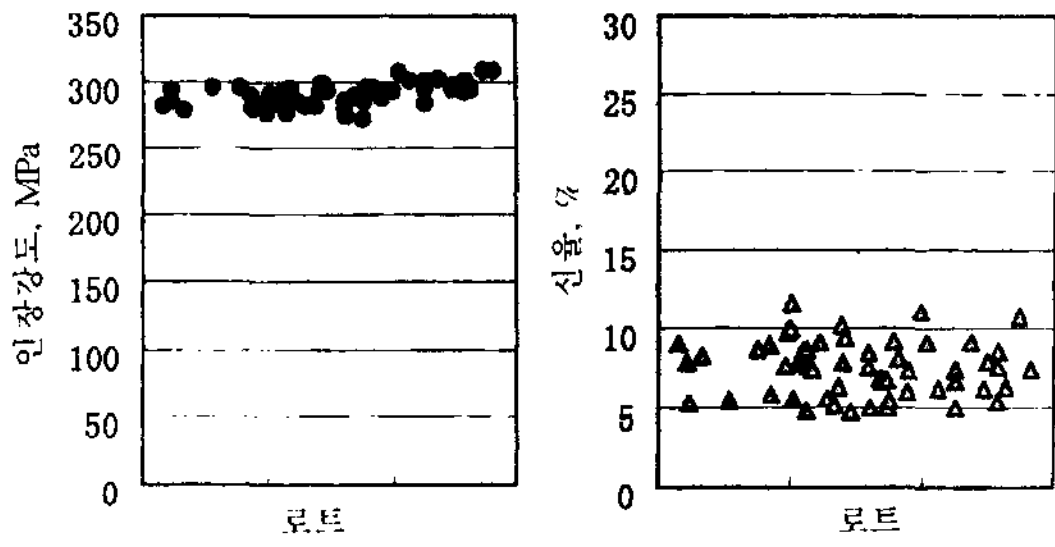


Fig. 10. 실체에서 잘라낸 다이캐스팅품의 기계적 성질.

세는 방법)으로 1 이하, PoDFA법에서의 평가치로 0.03 mm²/kg으로, 종래의 기술에 비해 약 1/20 정도로 저감할 수 있었다. 또한 절삭시의 개재물 불량 발생도 종래에 비하여 1/100 정도로 억제하는 것이 가능하였고, 절삭바이트에 치핑 등의 트러블도 없이 안정생산을 실현하였다.

전기한 알루미늄 합금의 검토 및 구조결함 방지 기술에 의하여 다이캐스팅품에 의하여 잘라낸 시험편의 기계적 성질을 평가한 결과를 Fig. 10에 나타낸다. 인장강도, 신율 모두 목표치를 만족시키고, 다이캐스팅 품질을 만족하였다.

2.3. 폐회로식 금형냉각시스템의 개발에 의한 다수 캐비티의 실현

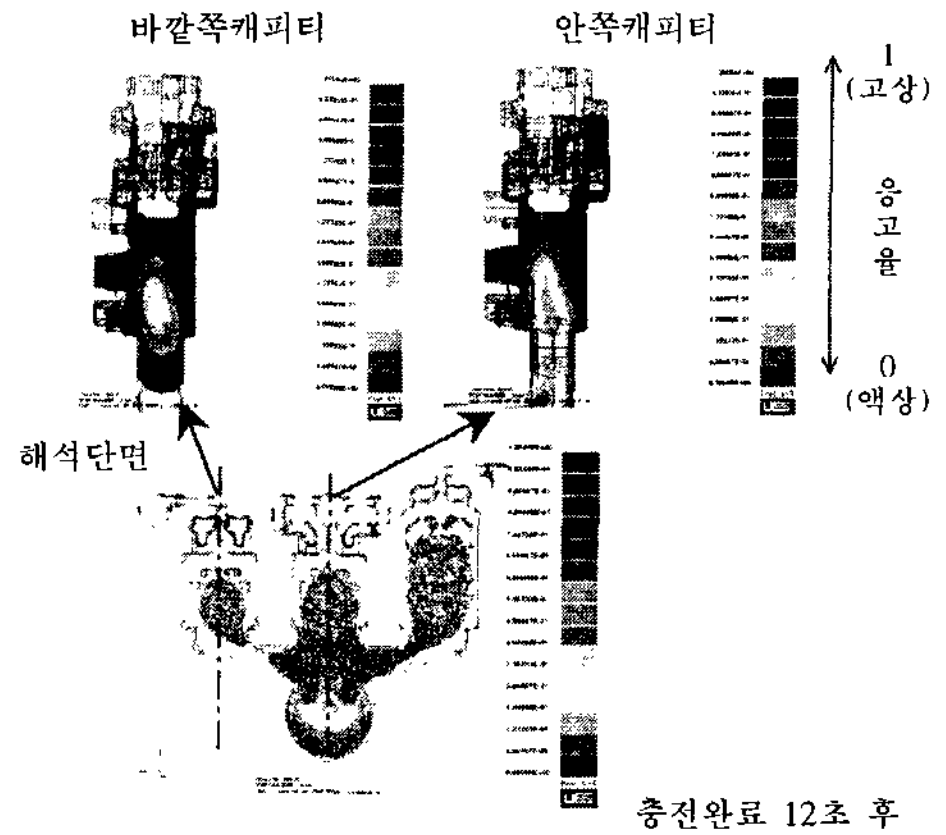
전술한 바와 같이 본 개발에 있어서는 다수 캐비티 (3캐비티)로 하였는데, 본제품의 특징으로부터 다음과 같은 문제를 생각할 수 있다.

(1) 비교적 후속품인 금형중양부가 축열되기 쉽다.

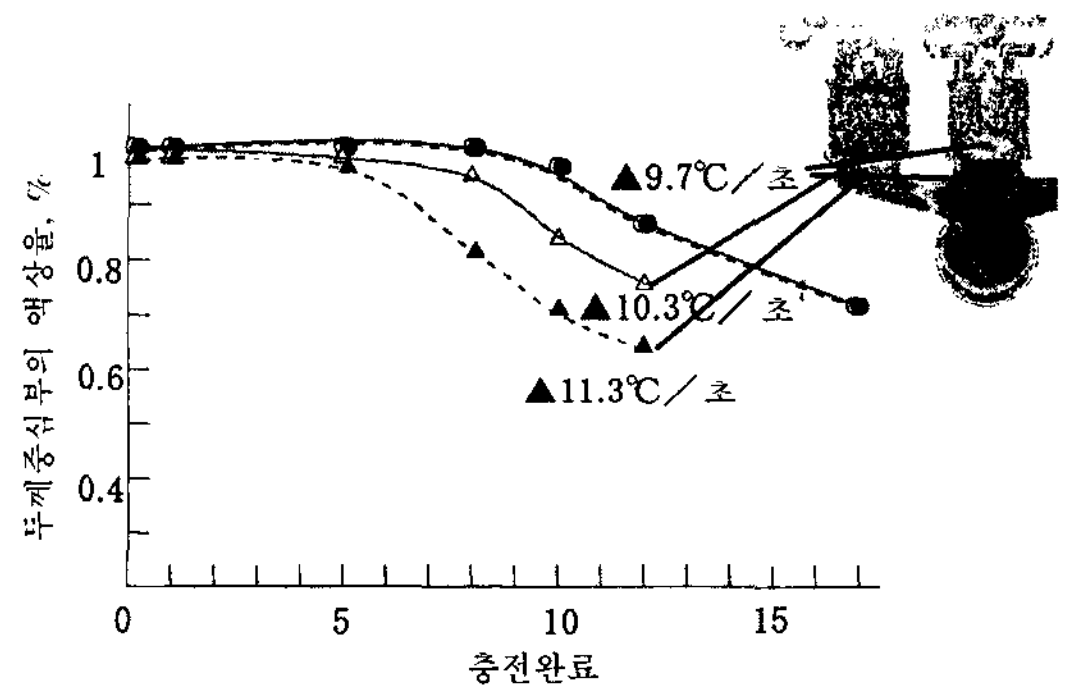
저속회형 고압다이캐스팅 기술을 이용하고 있으므로 게이트를 넓게 하여, 런너 및 비스켓 온도가 캐비티 부의 응고에 영향받기 쉽게 하고, 캐비티 레이아웃을 수평방향으로 같은 높이로 하기 때문에, 비스켓으로부터 캐비티까지의 거리가 바깥쪽에 대해서 안쪽은 가까워져서 안쪽 캐비티의 응고가 늦어진다.

이것은 Fig. 11(a)에 나타나 있는 CAE 응고해석 결과에서도 명백한 바와 같이, 금형의 안쪽 방향에 레이아웃된 캐비티의 온도는 올라가기 쉽고 응고속도에 차가 생긴다. Fig. 11(b)와 같이 충전완료로부터의 시간에 대해서 최종 응고부로서 되는 게이트 근방의 응고율을 나타내면, 안쪽 캐비티의 온도가 바깥쪽에 비해서 15% 늦어지는 것이 예측된다.

응고속도의 차이는 다이캐스팅품의 조직에 영향을 미



(a) 응고해석에 의한 단면의 온도 분포상태



(b) 충전완료 후로부터의 응고율의 변화

Fig. 11. 3 캐비티인 경우의 응고해석 결과.

치고, 응고가 느린 부분의 2차 DAS(2차 덴드라이트 암 스페이싱)가 크게 되어 강도에 악영향을 미친다. 바꾸어 말하면 안쪽 캐비티의 2차 DAS는 바깥쪽에 비하여 크게 될 우려가 있어서 인장강도가 낮아질 위험이 있다.

이 과제에 대해서 금형의 냉각경로 별로 냉각수량 및 통수 시간을 컨트롤 할 수 있는 폐회로식 금형냉각 시스템을 개발하여, 캐비티 간의 응고 속도를 제어할 수 있게 되었다. 그 시스템의 개요를 Fig. 12에 나타낸다. 폐회로식 금형냉각시스템은 냉각수 유지탱크, 칠러(냉동기), 냉각수 압송 펌프 및 냉각수 유량제어장치로 구성되고, ① 금형에 공급하는 냉각수를 칠러에서 일정 온도로 냉각하고, ② 냉각수는 냉각수 유지탱크와 금형 간을 폐회로된 상태에서 순환하고, ③ 가는 냉각 경로에서도 충분히 통수 가능하도록 냉각수를 고압 압송하는 장치이다. 냉각수의 통수량은 유량제어장치로

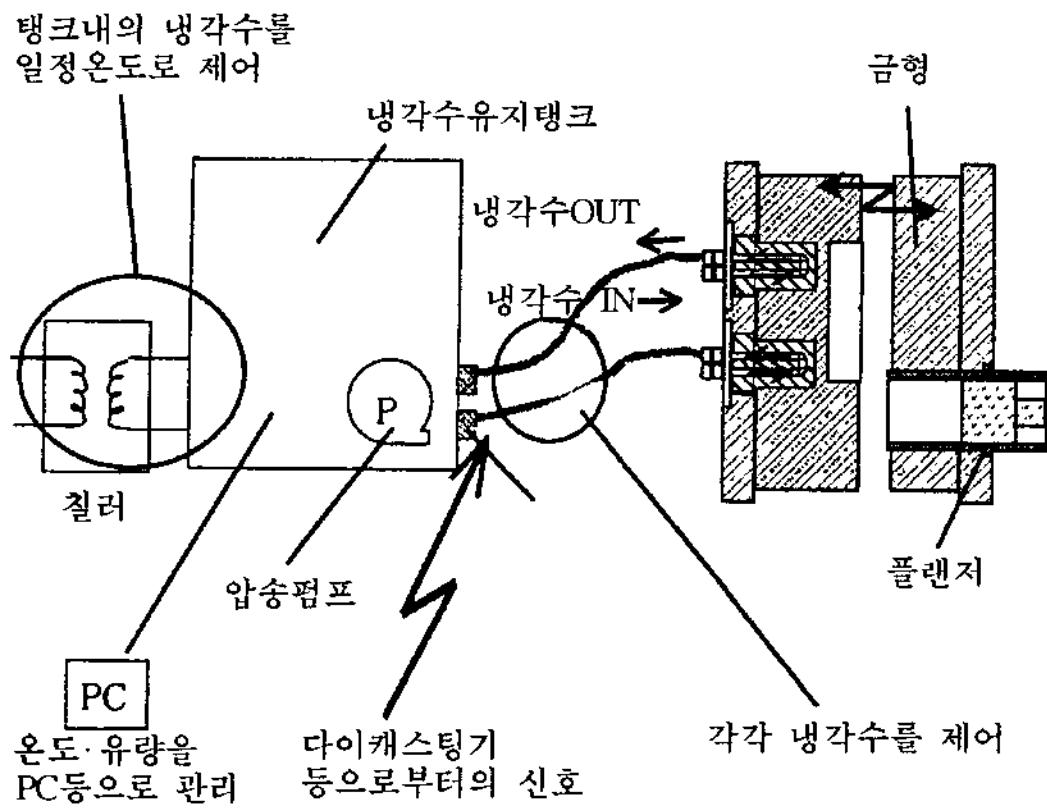


Fig. 12. 폐회로식 금형냉각시스템의 개요.

냉각회로별로 유량계가 부착되어있고, 약 20개의 냉각 경로를 각각 컨트롤 할 수 있다. 이 유량계에서는 실제로 수량이 미리 설정된 범위로부터 벗어난 경우, 이상 신호를 출력할 수 있다. 또한 냉각수의 통수 시간도 다이캐스팅기로부터의 신호에 기초하여 ON-OFF시간을 계통 별로 나누어서 제어할 수 있다. 예를 들면 안쪽 캐비티는 상시 통수하고, 바깥쪽 캐비티는 큐어링(curing) 시간 중에만 통수하는 제어를 행할 수 있다.

이 시스템을 이용함으로써 통수시간 및 통수량의 양면으로부터 안쪽 캐비티의 통수량을 증가시켜서, Fig. 13과 같이 바깥쪽의 캐비티와의 온도 차이를 억제할 수 있었다.

전술한 폐회로식 금형냉각시스템을 이용해서 주조한 다이캐스팅품의 미세조직 관찰결과를 Fig. 14에 나타낸다. 제품의 부위에 따른 차는 있으나, 금형온도의 균일화를 꾀함에 의해서 캐비티 간의 조직 차는 작게 할 수 있었다. 예를 들면 최종 응고부의 게이트 근방의 2차 DAS의 크기를 비교해보아도 안쪽 캐비티의 크기는 24 μm , 바깥쪽 캐비티의 크기는 23 μm 로, 거의 같음을 확인할 수 있었다.

그 결과 인장강도는 Fig. 15에 나타낸 바와 같이 캐비티 별로 큰 차이가 없고, 거의 동일한 품질을 얻는 것이 가능하였다.

3. 양산시에 있어서의 품질 관리

다이캐스팅 주조는 다이캐스팅 사출속도, 주조 압력, 이형제, 팁 윤활제 도포량, 또한 금형의 온도, 냉각수량 등 매우 많은 조건을 관리할 필요가 있다. 이번의

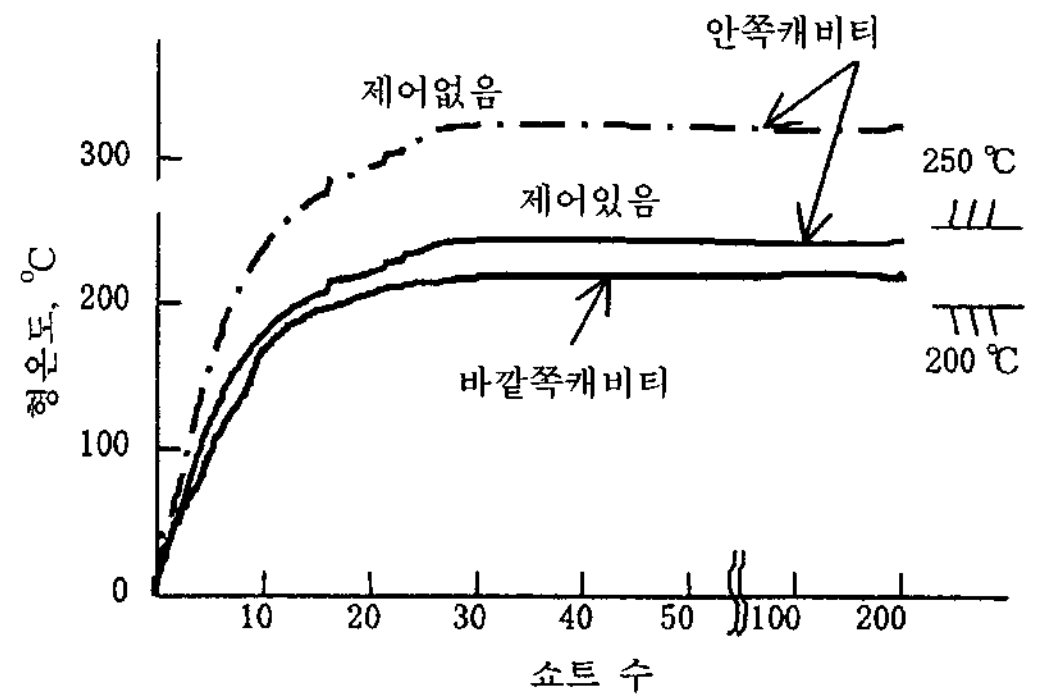


Fig. 13. 캐비티 간의 온도 제어 효과.

	바깥쪽캐비티	안쪽캐비티
① 부	 DAS II = 22.9 μm	 DAS II = 24.1 μm
② 부	 DAS II = 19.6 μm	 DAS II = 18.5 μm

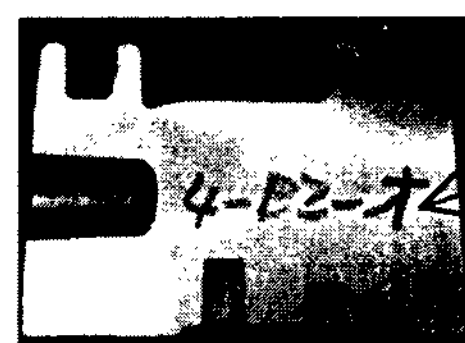


Fig. 14. 캐비티 별 미세 조직.

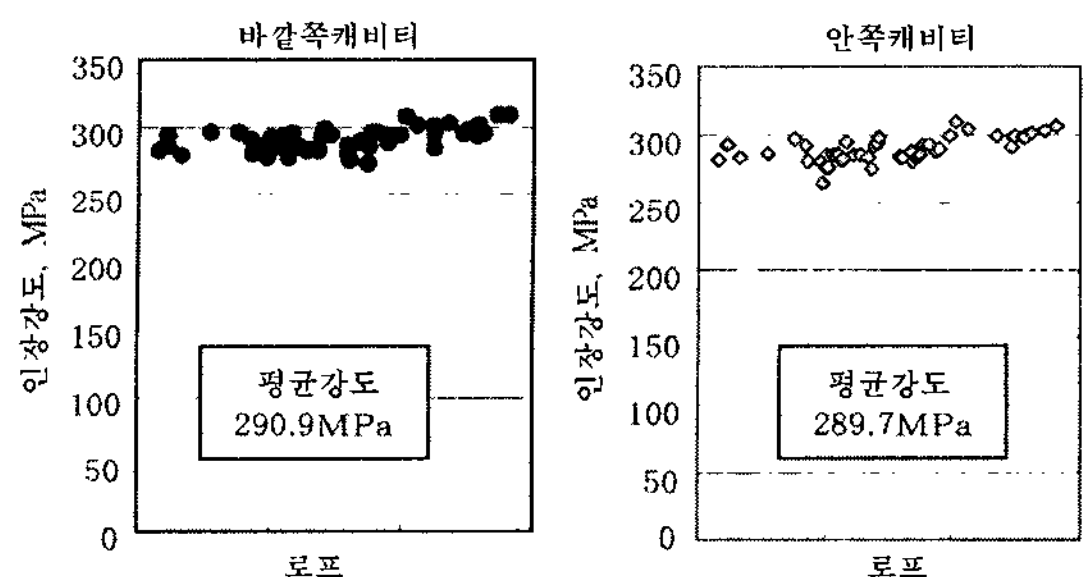


Fig. 15. 각 캐비티의 인장강도.

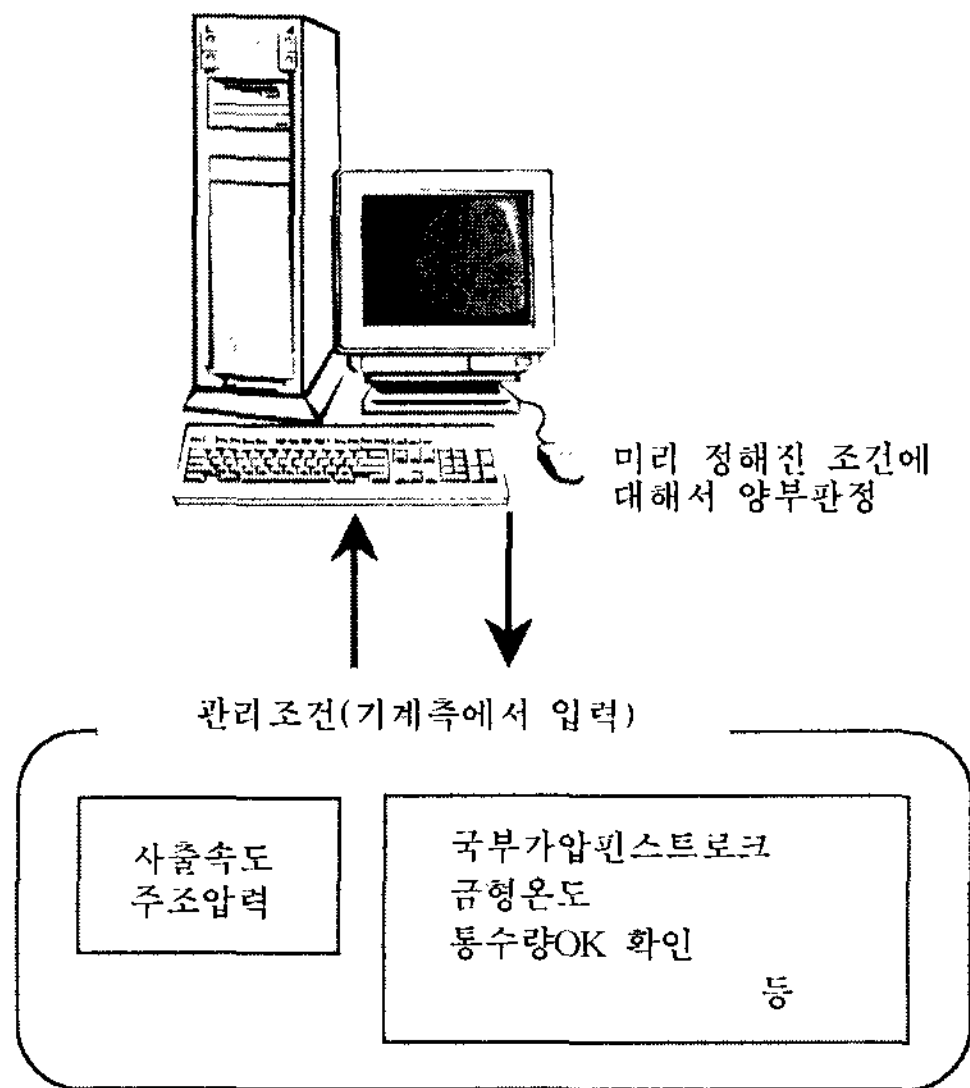


Fig. 16. 품질관리의 시스템 개요

조합에 있어서는 고품질의 다이캐스팅품을 만들기 위하여, 종래의 항목에 덧붙여서 금형 통수량 등의 관리 항목이 증가하여 조건관리가 복잡하게 되고 있다. 여기에 대해서 지금의 주조시스템에 있어서는 다이캐스팅 내부품질을 관리하는 품목에 대해서, 퍼스널 컴퓨터가 주조시의 상태를 감시하는 기능에 덧붙여서, 미리 정해진 조건으로부터 벗어난 경우에 양부 판정을 하는 품질을 관리 시스템을 덧붙였다. 품질관리시스템과 제품추출용 로봇은 연동하고 있고, 품질관리 시스템에서 NG판정된 제품은 자동으로 불량 배출되는 시스템으로 되어 있다. 입력하는 조건으로서 Fig. 16에 나타나 있는 바와 같이 이하의 항목을 관리항목으로 입력하고 있다.

(1) 다이캐스팅기 쪽의 조건으로서 사출속도, 주조압력

(2) 금형의 조건으로서 각각의 캐비티 별의 국부가압 핀 스트로크(pin storke), 금형온도, 전술한 폐회로의 금형냉각시스템의 통수량 확인 등

4. 결 언

2000년 3월부터 생산 개시한 ABS액츄에이터 부품의 다이캐스팅화에 대해서, 소성변형 체결성을 고려한 알루미늄합금을 검토, 내압강도 확보, 소성변형 체결의 실현을 위한 수축공, 파단철층, 고생산성 위한 다수 캐비티를 실현하기 위해 다음의 개발을 실시하였다.

(1) 재료에 대한 조합으로, 당사에서 실적이 있는 AC4C 알루미늄 합금에 대해서 성분을 ① 고용, 석출 강화에 유효한 Mg량을 0.3~0.45%로 통상의 AC4C 알루미늄 합금보다 약간 높게 함으로써 인장강도의 향상, ② 침상조직형태를 가지므로 신율을 저해하는 Fe량을 0.3% 이하로 함으로써 신율을 확보하였다.

(2) 다이캐스팅품의 내압성 확보, 소성변형 체결의 신뢰성을 향상시키기 위한 주조결함 방지에 대해서는 수축방지에 대해서는 저속형 다이캐스팅 방법, 파단철층에 대해서는 단열슬리브 유회기술로서 대응하였다.

(3) 새로운 조합으로서, 용탕 중 개재물(산화물) 혼입 방지에 대해서 탈가스 장치, 세라믹 필터(이중구조), 보온유지로부터 다이캐스팅기에 급탕 시 공기에 접촉하지 않도록 알루미늄합금용탕을 공급하는 직접급탕장치를 부착한 로를 개발함으로써 주조결함을 저감시켰다. 이 개발에 의하여 종래에 비하여 개재물을 약 1/20 정도로 저감시켰다.

(4) 생산성 향상에 대해서는 다수 캐비티(3캐비티)로 대응하고 있으나, 본제품은 ① 비교적 후육품이고 금형의 중앙측이 축열하기 쉽다. ② 저속형 고압다이캐스팅에서는 비스켓으로부터 캐비티까지의 거리가 바깥쪽 캐비티에 대해서 안쪽 캐비티가 가까우므로 안쪽 캐비티의 응고가 늦어질 염려가 있다. 이것에 대해서는 금형의 냉각경로별로 냉각수량 및 통수 시간을 컨트롤할 수 있는 폐회로식 금형냉각시스템을 개발하여, 캐비티 간의 응고속도를 제어할 수 있도록 하였다.

(5) 전술한 폐회로식 금형냉각시스템에 있어서, 다수 캐비티방식의 캐비티 간의 금형 온도차를 작게 함에 의해서 캐비티 간의 조직 차를 작게 할 수 있었고, 인장강도 등의 기계적 성질도 캐비티 별로 큰 차이가 없고 거의 동일한 품질을 얻을 수가 있었다.

참 고 문 헌

[1] K. Osawa, K. Nishikawa, T. Isero, S. Mugitani, and T. Inagaki : Report of JD, (2000) 113.
 [2] Y. Koie, T. Takamura, H. Osima, K. Yorioka, and Y. Awano : Report of JD, (2000) 119.
 [3] F. Takehisa, K. Fukaya, and M. Yokoi : IMONO, 66 (1994) 506.
 [4] H. Takagi, S. Yoshikawa, and Y. Watanabe : J. JFS, 70 (1998) 502.
 [5] A. Kamio : J. JFS, 68 (1996) 1075.
 [6] M. Okayasu, K. Kanazawa, and N. Nishi : J. JFS, 71 (1999) 301.