

|||||||
現場技術
|||||||

고압 다이캐스트의 새로운 기술

김준수 · 임태원

Novel Techniques of High Pressure Die Casting

Jun-Su Kim and Tae-Won Lim

1. 서 론

중력주조, 저압주조, 고압주조 등으로 대별되는 다양한 주조기술들은 시대의 요구에 대응해서 새로운 생산기술로 등장해왔으며, 생산성 향상을 위해 혁신적인 생산설비 도입이 적극적으로 전개되어 왔다. 이들 주조산업의 70% 정도가 자동차용 부품 생산과 직간접으로 관련되어 있으며 자동차부품의 84%가 주조품으로 되어있을 정도로 현대의 주조기술은 자동차 산업의 발전과 더불어 성장해 왔다고 말할 수 있다.

최근 자동차의 경량화와 고성능화의 요구가 높아짐에 따라 알루미늄, 마그네슘, 티탄늄 합금 등의 경량소재에 대한 기대는 더욱더 높아지고 있으며, 2000년대의 승용차 대당 알루미늄합금의 사용량은 270 kg가 될 것이며, 마그네슘은 50 kg 정도가 될 것으로 예측하고 있다. 따라서, 이들 경량재료의 적용범위 확대를 위한 주조기술이 급속히 도입되고 있으며, 환경오염 방지와 가격경쟁에서 우위확보를 위한 코스트 경쟁은 또 다른 주조방법의 개발을 촉진시키고 있다. 본고에서는 최근 자동차 산업에서 요구되고 있는 새로운 주조기술의 개발현황 일부를 소개하고자 하며, 향후 주조산업에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

2. 자동차용 알루미늄부품 주조기술

현재 국내에서 생산되고 있는 승용차 대당 알루미늄 합금의 사용량은 재료 구성비로 약 3.6~6%(40~50 kg) 정도가 되며, 선택사항인 Wheel등을 포함할 경우

최고 7%(97 kg) 정도가 된다. 불과 수년전의 차종과 비교하면 알루미늄 사용량은 상당히 증가되었으며, 환경오염과 연비 향상에 대한 요구가 더욱더 높아짐에 따라 이러한 경량합금 사용량은 계속 증가될 것으로 생각된다[1]. 표 1은 승용차에 사용되고 있는 대표적인 알루미늄합금 부품을 제조공법별로 분류한 것이다. 자동차 제조업체 혹은 차종별 제조공법에는 다소 차이가 있지만 주조(중력주조와 저압주조)와 고압 다이캐스트 제품이 대부분이며, 단조, 압연, 압출 제품은 극히 일부인 것을 알 수 있다. 대표적인 알루미늄 주조품으로는 Cylinder Block, Cylinder Head, Piston, Intake Manifold, Thermostat Housing, Turbo Case 등과 같은 엔진관련 부품, Power Steering Pump Housing과 같은 구동관련 부품, Master Cylinder와 같은 제동관련 부품 등이 있다. 다이캐스트 제품으로는 Cylinder Head Cover, Oil Pump Body, Alternator Housing, Transmission Case, Clutch Housing 등의 케이스 류가 주류를 이루고 있으며, 이와는 달리 차체 구조용 부품으로서 Chassis계통에 Steering Knuckle, Suspension Arm, Cross Member, Brake Caliper 등이 Squeeze Cast 등의 주조공법에 의해 사용되고 있다.

그림 1은 주조기술의 제조 코스트와 기계적인 특성 및 품질정도를 대략적으로 비교한 것이다. 중력주조와 저압주조는 열처리와 붕괴성 모래 중자 사용이 가능하므로 높은 기계적 강도가 요구되는 구조용 부품과 내부형상이 복잡한 부품 제조에 유용하다. 그러나, 언더커팅이 있어 내부형상이 복잡한 부품제조를 위해 붕괴성 모래 중자를 사용하는 주조공법에서는 점결제를 사용해 제조한 붕괴성 중자를 금형에 설치하고 주

현대자동차(주) 선행연구실 금속재료연구팀(Advanced Research Group, Metal Material Research TEAM, HYUNDAI MOTOR COMPAY)

표 1. 승용차용 알루미늄 부품 현황과 제조방법

분류	부품명	평균중량(kg)	제조방법
엔진 관련	Piston	1.2	중력/고압주조
	Intake Manifold	2.8	중력주조
	Cylinder Head	7.2	저압주조
	Engine Block	16.5	저압/고압주조
	Throttle Body	0.87	중력주조
	Intercooler	2.8	압출/단조
	Generator Housing	1.5	다이캐스트
	Front Case	1.4	다이캐스트
	Throttle Body	0.5	주조/다이캐스트
	Air Flow Meter	1.2	다이캐스트
	Turbo Case	0.8	주조
	Rocker Cover	1.5	다이캐스트
	Rocker Arm	0.3	주조, 다이캐스트
	Belt Cover	1.1	다이캐스트
	Oil Pump Cover	0.6	다이캐스트
	Full Pump Body	0.5	주조/다이캐스트
Thermostat Case	3.2	주조	
Water Pump Body	0.7	다이캐스트	
구동 관련	Transmission Housing	10.2	다이캐스트
	Clutch Housing	6.9	다이캐스트
	Power Steering Pump	1.3	주조
	Shift Fork	0.34	주조/다이캐스트
	T/M Rear Extension	5.6	다이캐스트
	Torque Converter cover	5.6	다이캐스트
	Torque Converter Stator	3.8	다이캐스트
Differential Gear Carrier	0.3	주조/다이캐스트	
제동 관련	Master cylinder	0.7	주조
기타	Engine Control Unit	0.45	다이캐스트
	Steering Gear Housing	1.6	다이캐스트
	Aircon Compressor Housing	1.9	단조/주조/다이캐스트
	Swash Plate	0.6	단조/주조
	Aircon Compressor Piston	0.3	단조/주조
	Radiator Part	0.2	단조
	Wheel	28.2	주조

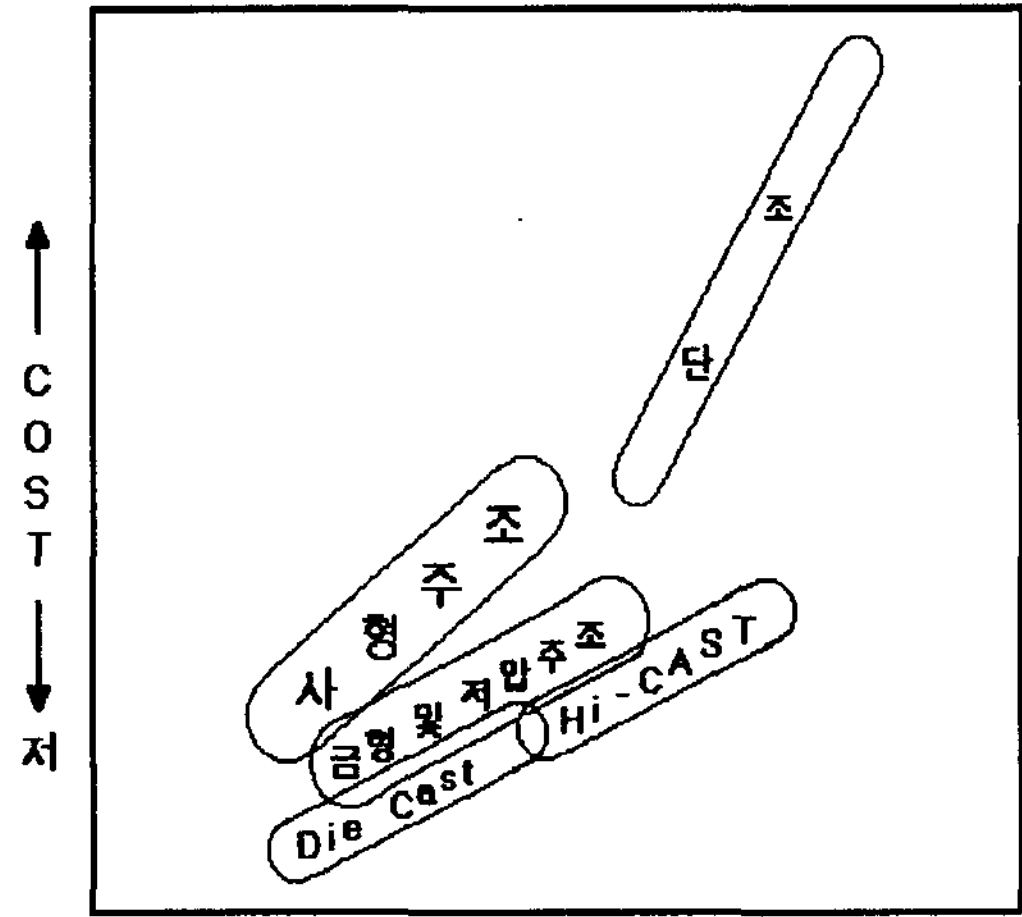


그림 1. 알루미늄 제조 코스트와 품질.

고 있다. 따라서 붕괴성 중자를 적용하는 주조공법은 자동차 생산이라고 하는 대량생산 시스템에 그 매력 이 점차 상실되어 가고 있다.

다이캐스트는 다른 주조방법에 비해 생산성이 높고 정밀도가 우수하며, 후 가공량이 적어 코스트와 생산 성 측면에서 가장 기대되는 생산방식이지만, 주조방 식이 고속, 고압으로 용탕을 금형 내에 주입하기 때 문에 공기와 가스의 혼입이 필연적이며, 제품의 내부형 상에 제약을 받고 있다. 때문에 12 kg/cm² 이상의 내압 을 필요로 하는 보안부품 제조에는 공법상 문제가 있 으며, 내열성 또한 180~200°C가 한계이므로 내열성 부품제조에도 사실상 적용하기가 어렵다. 또한, 기계 적 특성을 향상시키기 위한 용체화처리 등의 열처리 가 어렵기 때문에 다이캐스트 공법은 케이스 류의 부 품제조에 제한적으로 적용되고 있다.

한편 주조품의 경량화와 저 코스트에 대한 요구가 심화됨에 따라 고 강도가 요구되는 구조용 부품과 보 안부품에까지 다이캐스트를 확대 적용하고자 하는 개 발연구가 활발히 진행되고 있다. 이미 진공Die-cast ing, 반응고(Semi-solid)법, 저속충진법, PF(Pore Free) 다이캐스트 공법 등에 의해 제품의 신뢰도는 상당히 향상되었으며, 이호인 등[2]의 기술보고에서도 알 수 있듯이 다양한 종류의 Squeeze cast 장비가 개발되어 기계적 특성 또한 단조품에 필적할 만큼 향상시킬 수 있게 되었다. 그러나, Intake Manifold, Turbo Case과 같이 내부형상이 복잡한 부품은 여전히 붕괴성 모래

탕하는 일련의 작업공정이 대부분 수작업으로 이루어 지기 때문에 방대한 공장설비와 작업인력을 필요로 하고 있다. 또한, 페놀수지와 같은 레진을 점결제로 사 용해 모래 중자를 성형하기 때문에 인체에 유해한 암 모니아 혹은 페놀가스가 환경오염을 유발시키며, 레 진이 코팅된 모래의 재사용은 주조품의 품질을 저하 시키는 요인이 되므로 대부분 산업폐기물로서 폐기하

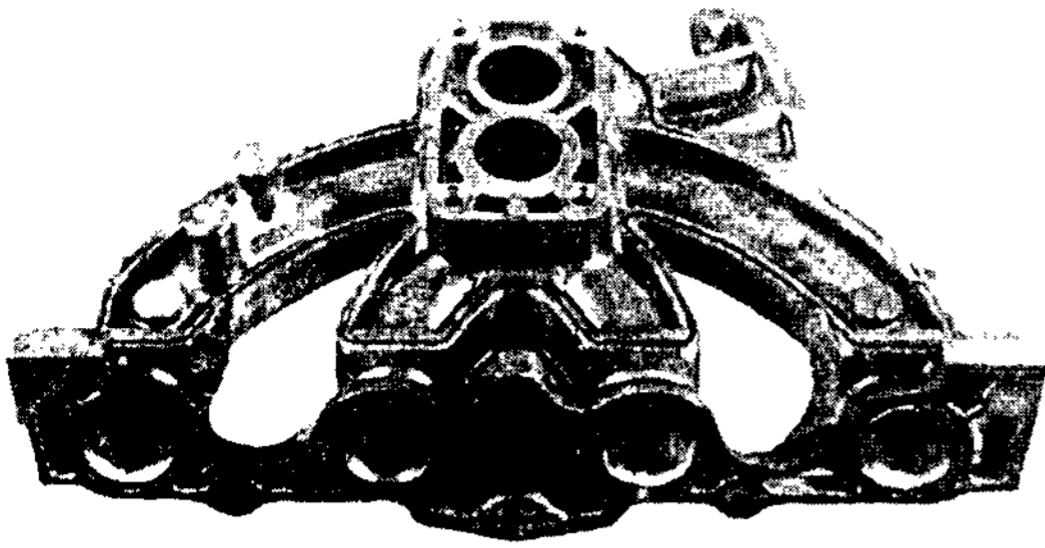


그림 2. 분할주조한 Intake manifold.

중자를 사용한 중력주조 혹은 저압주조에 의존하고 있는 상태이다. 이중 일부 제품은 다이캐스트로 분할 주조한 후 접합하는 방식의 분할주조법(Separated casting)에 의한 제조가 시도되고 있기도 하다[3].

그림 2는 Intake Manifold를 분할 주조한 예로서 분할주조의 경우 중자를 사용하지 않고도 내부형상의 자유도를 상당히 높일 수 있지만, 부수적으로 용접 혹은 접합이라는 후 공정을 수반하게 되므로 코스트 절감효과가 크게 상실되어 아직은 개발 단계에 있다.

그림 3은 내압성을 향상시킨 붕괴성 모래 중자를 사용해 중압주조(NDC:New Die Casting)공법으로 제조한 알루미늄합금 Cylinder Block 이다[4]. 중압주조 혹은 고압 다이캐스트용 붕괴성 모래 중자는 입도가 엄격히 규제된 지르콘사($ZrSiO_4$)를 사용하며, 용탕의 합침억제와 탈사특성을 향상시키기 위해 중자의 표면에 2~4층의 도형제와 내화제 등을 특수 코팅하므로 제조와 취급에 많은 어려움이 있어 아직 범용적으로 사용되고 있지는 못하다.

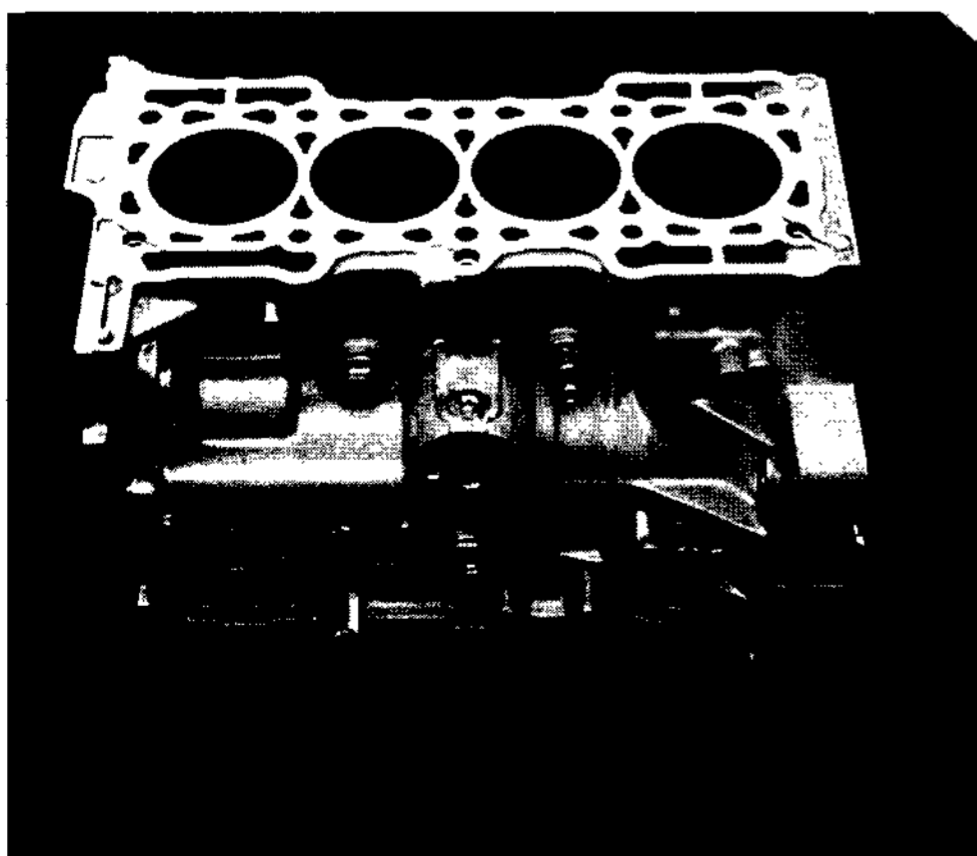


그림 3. 내압성 모래 중자를 사용한 중압주조 제품.

3. 합성수지 중자 적용 다이캐스트

열가소성수지와 내열성 수지를 혼합하여 만든 합성수지 중자를 다이캐스트 혹은 Squeeze casting과 같은 고압주조공법에 적용하여 내부형상이 복잡한 제품을 제조하는 새로운 주조기술은 1993년부터 부분적으로 시작되었다. 중자용 재료로는 Polycarbonate(PC)와 같은 내열성 합성수지를 기본 소재로 사용하고 있으며, 열변형 억제와 탈착성능 향상을 위한 첨가물을 일부 혼용하기도 한다. 일반적인 내열성 합성수지의 열변형 온도는 $130\sim 150^{\circ}C$ 정도이며, 열전도계수는 $4.6 \times 10^{-4} cal/s \cdot cm$ 정도로, 금형 재질인 철강의 열전도계수 ($1.8 \times 10^{-1} cal/s \cdot cm$)의 약 1/400이다. 즉, 합성수지 중자는 $150^{\circ}C$ 정도의 비교적 낮은 온도에서 변형이 발생되지만, 외부의 열이 중자 전체에 전달되어 중자의 형상이 변화되기까지는 상당한 시간을 필요로 한다. 때문에 용탕이 빠른 속도로 충전되어 단시간에 응고가 완료되는 다이캐스트 공정에서는 합성수지 중자가 열변형되기 전에 용탕이 보유하고 있는 열의 대부분이 금형으로 전달 방출되며, 용탕이 응고 완료되기까지 합성수지 중자의 표면에는 수 μm 정도의 열변형 층만이 형성된다. 따라서 알루미늄, 마그네슘, 아연 등과 같이 비교적 비열과 용융온도가 높지 않은 합금의 다이캐스트용 중자 재료로 합성수지를 사용할 수 있다.

그림 4는 합성수지 중자를 적용한 다이캐스팅에 의해 Turbo Case를 제조 한후, 중자를 탈거시키는 일련의 과정을 보여주고 있다. Turbo Case의 내부는 나선 형태로 되어 있어 지금까지 붕괴성 모래 중자를 사용해 중력주조로 제조하고 있는 대표적인 주조품이다. 그림 (a)는 강도가 $1300\sim 1800 kg/cm^2$ 정도인 PC를 사출 성형한 중자의 외관이다. 합성수지 중자는 일반적

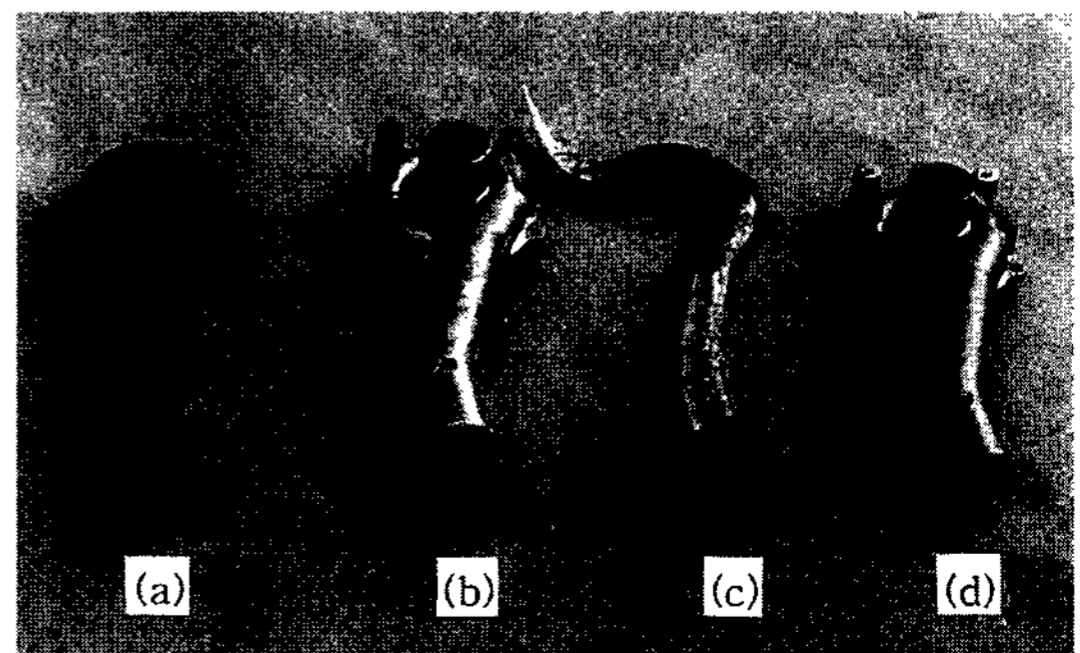


그림 4. 합성 수지중자를 적용한 다이캐스트 과정.

인 사출기를 사용하여 대량 성형이 가능하며, 종래의 모래 중자와 비교해 취급이 매우 용이하다. 이와 같은 합성수지 중자를 금형의 합형에 앞서 금형 내부에 고정시킨 후, 알루미늄합금 용탕을 다이캐스트 한다. 다이캐스팅 조건은 일반적인 알루미늄 합금과 유사하나, 금형의 한쪽 면이 단열재로 구성되어 있는 것과 유사하므로 용탕온도와 사출압력 등을 다소 낮게 설정할 수 있다. 그림(b)는 알루미늄 합금을 다이캐스팅 한 직후의 Turbo Case 외관이다. 사출시 알루미늄 용탕은 690°C 정도이지만 합성수지와 접하는 시간이 불과 수십 초에 지나지 않으며, 충전완료 후 용탕의 열량 대부분이 금형으로 전달되기 때문에 합성수지 중자의 형상변화는 발생되지 않는다. 또한, 단면의 미세조직 관찰로부터 알루미늄과 합성수지 중자의 접촉 계면에는 0.2~3μm 정도의 열 변형된 합성수지층만 확인되며, 이들 열변형 층이 알루미늄의 응고조직에 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. (c)의 그림은 다이캐스트 제품 (b)을 240~260°C에서 수분간 유지시켜 반응용 상태가 된 합성수지 중자를 탈거 시켰을 때의 합성수지 모습이다. 다이캐스팅 때와는 달리 가열 시간이 5~10분 정도로 길어지면서, 합성수지는 쉽게 반응용상태가 되며, 적은 외력으로도 합성수지 중자를 간단히 탈거할 수 있다. 이렇게 탈거된 합성수지는 다시 분쇄되어 중자로 재활용할 수 있기 때문에 종래의 붕괴성 중자와 달리 산업폐기물이 발생되지 않는다. (d)는 합성수지 중자가 완전히 탈거된 Turbo Case의 형태로서, 종래의 주조품보다 형상 정밀도가 우수하며, 제품의 두께를 2.3 mm 정도로 최소화시킬 수 있다. 또한, 기계가공 량을 대폭 삭감시킬 수 있으므로 종래의 주조품에 비해 생산성을 크게 향상시킬 수 있다.

그림 5와 그림 6은 Semi-Hot Chamber Die Casting 공정개략과 특성을 종래의 주조, 단조 및 일반 Die Casting 공법과 비교한 그림이다. Semi-Hot Chamber Die Casting은 자기펌프(Magnetic Pump)를 사용하여 용탕을 공급하여 다이캐스트 하는 방법으로서, TOSHIBA기계(일본)에서 LEOMACS(Low Energy Oriented Magnetic pump Aided Casting System) 라는 이름으로 설비를 공급하고 있기도 하다. Semi-Hot Chamber Die Casting은 자기펌프로 용탕을 급탕하기 때문에 용탕이 대기와 접촉되지 않아 산화물의 혼입이 적으며, 급탕에서 사출까지 소요시간이 불과 2 sec

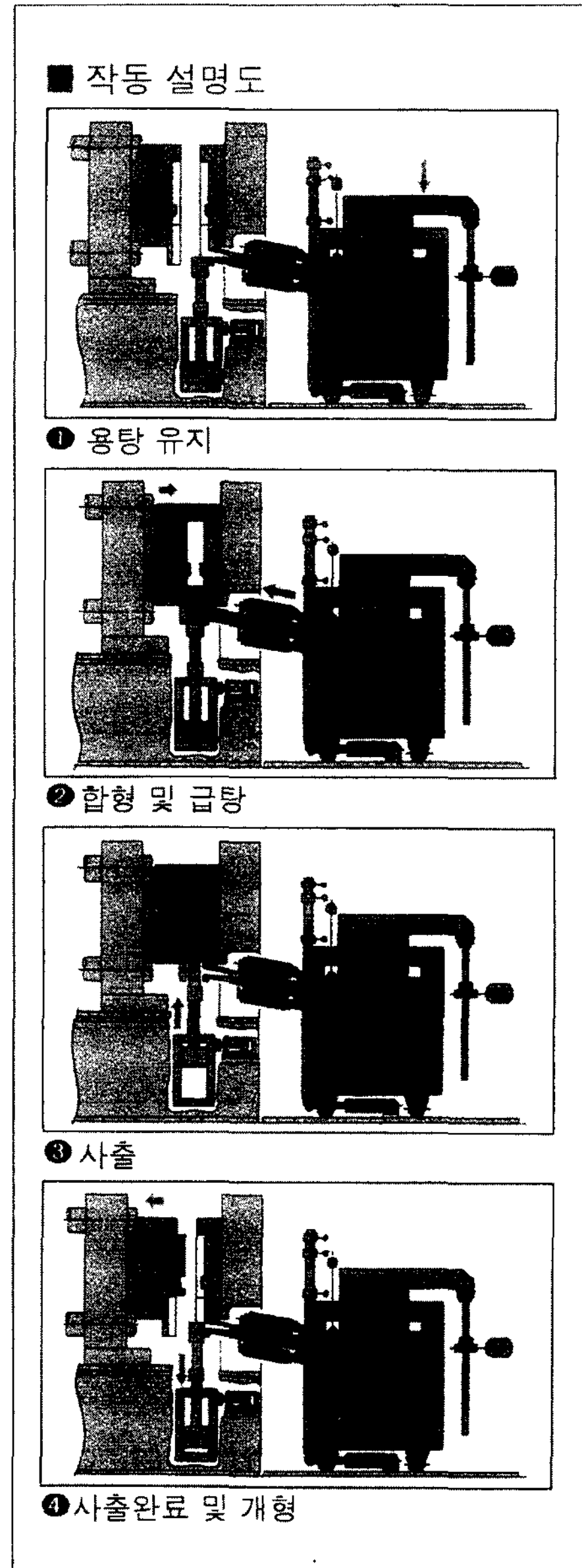


그림 5. Semi-hot chamber D/Casting 공정개략도.

(일반 die cast는 10 sec 정도) 정도로 짧아, 초기 응고 층이 생성되지 않으므로 사출에 필요한 압력을 최소화시킬 수 있다. 또한, 가스 함유량을 저압주조 수준으로 저감시킬 수 있어 열처리, 용접 등의 후가공이 가능해진다. 따라서 이러한 자기급탕 장치 등을 이용한 Semi-Hot Chamber Die Casting은 내압성 모래 중자 혹은 합성수지 중자를 적용하기에 유리하며, 종래의 중력주조 혹은 저압주조법에 의존했던 내부형상이 복잡

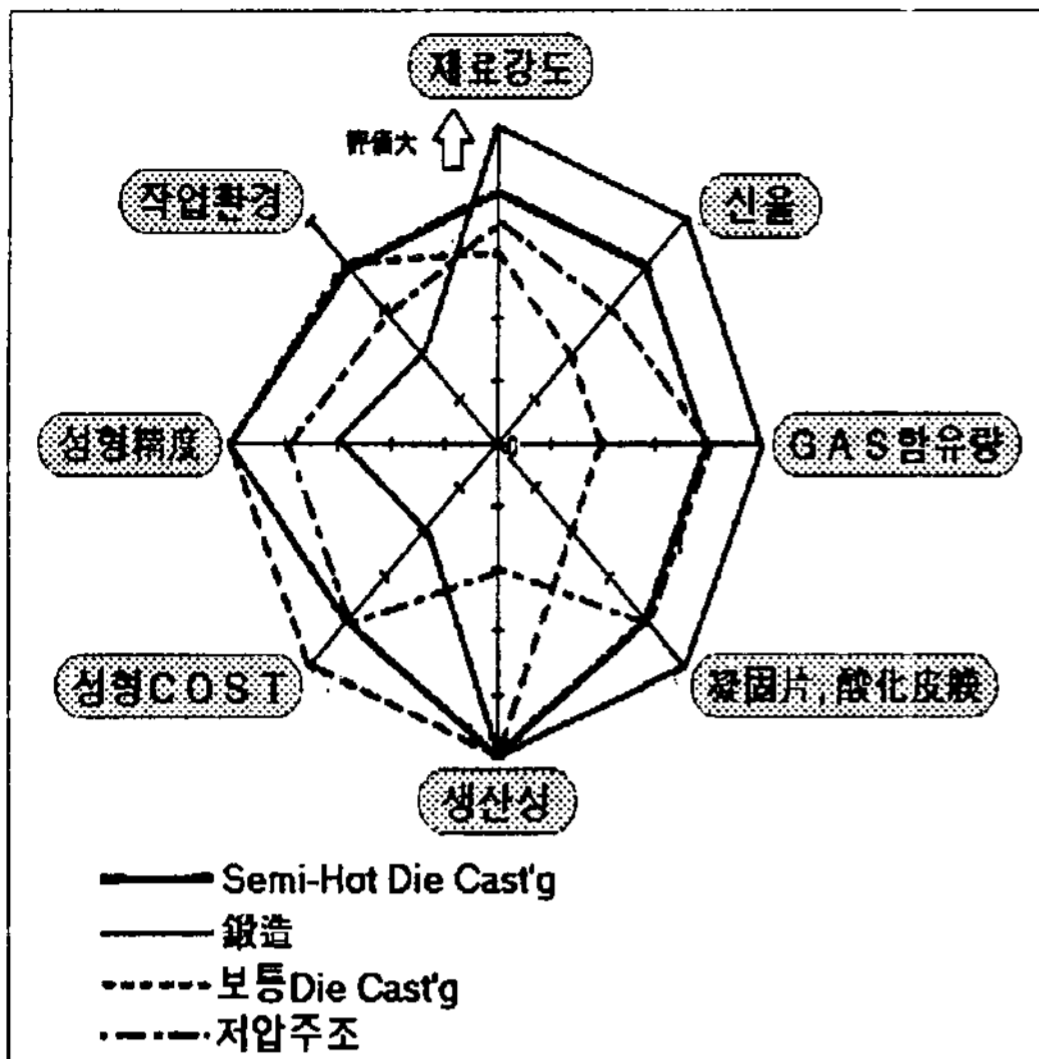


그림 6. 알루미늄 제조공법의 특성 비교.

한 보안부품 까지도 제조가 가능하다.

현재, 일부 연구기관에서는 이러한 생산 시스템을 이용해 항공기부품과 자동차용 브레이크 관련 보안부품을 개발하고자 하고 있으며, 마그네슘과 같이 산화되기 쉬운 합금의 다이캐스트 부품 개발이 활발히 진행되고 있다.

4. 합성수지 중자 적용 다이캐스트 제품개발 사례

4.1 Intake Manifold

그림 7은 합성수지 중자를 적용하여 다이캐스팅 알루미늄 Intake Manifold와 여기에 사용된 합성수지 중자의 형상이다. Intake Manifold는 엔진 연소실로 공기를 공급해주는 부품으로서 현재 모래 중자를 사용한 대표적인 중력주조 제품이다. 사진상의 Intake Manifold를 중력주조로 제조한 종래 제품의 중량은 3.1 kg 정도가 되나, 이를 합성수지 중자를 사용해 다이캐스트 했을 경우 중량은 1.9 kg 정도로 약 38%의 경량화 효과를 얻을 수 있다. 또한, 알루미늄합금도 ADC 12종 합금으로 재질을 바꿀 수도 있어 35% 정도의 코스트 절감이 가능하다. 그림 8은 합성수지 중자를 적용해 다이캐스트한 다른 형태의 Intake Manifold의 외관과 내부 모습이다. 제품의 두께는 최저 2.3 mm까지 저하시킬 수 있으며, 내부의 표면조도가 매우 균일해 엔진 연소실로 흐르는 공기 유동저항을 낮출 수 있어, 엔진 성능이 3~4% 정도 향상된다.

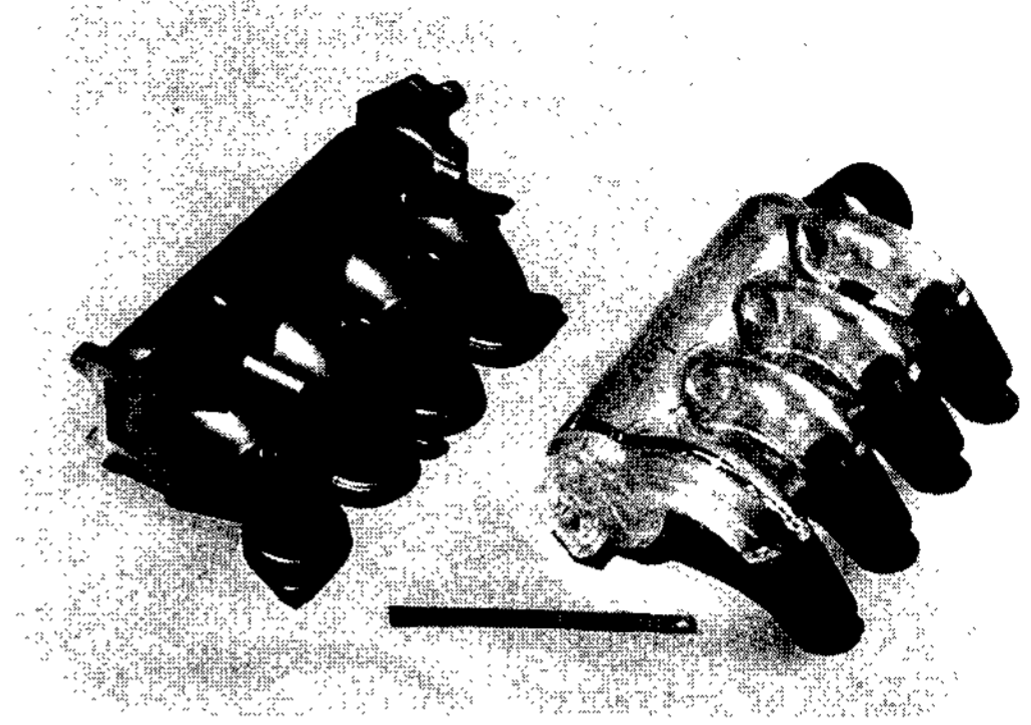


그림 7. 합성 수지중자를 적용한 다이캐스트 공법에 의한 Intake manifold 외관.

4.2 Water Pipe

그림 9는 엔진에 냉각수를 공급해주는 Water pipe의 형상을 비교한 것으로서 좌측의 제품은 종래의 강관 제품이며, 우측의 것은 합성수지를 사용해 다이캐스트한 알루미늄 합금 제품의 형상이다. 기존의 제품은 강제 파이프를 벤딩 가공한 다음 기타 부속품을 브레이징 혹은 용접하여 제조한 후 부식방지를 위해 도금하는 상당히 복잡한 공정으로 제조하고 있다. 이러한 강관 성형 가공품을 합성수지를 사용해 다이캐스트할 경우 1/3 정도로 경량화가 가능하며, 제조공정 간소화로 인해 생산성을 16배정도 향상시킬 수 있다. 따라서, 비록 알루미늄 가격이 강관보다 비싸지만, 제조공정의 단순화와 생산성 향상으로 제조 코스트를 50% 정도 절감시킬 수 있다.

이러한 종류의 다이캐스트 제품은 종래의 다이캐스트 적용범위를 획기적으로 확장시킬 수 있는 가능성을 보여주고 있으며, 가까운 미래에 3D 업종으로 대



그림 8. 합성 수지중자를 적용한 다이캐스트 공법에 의한 Intake manifold의 내부 및 외관.



그림 9. 합성 수지중자를 적용한 다이캐스트 공법에 의한 알루미늄 및 철제 Water Pipe의 비교.

표되고 있는 주조작업 라인이 분진이 없는 청결한 작업장으로 그 모습이 변화되리라고 생각한다.

5. 결 론

합성수지 중자를 사용하는 다이캐스트 기술은 Intake Manifold, Thermostat Case, Turbo Case, Power

pump case, Master cylinder 등과 같이 내부형상이 복잡한 주조부품의 제조 코스트를 획기적으로 절감시킬 수 있을 뿐만 아니라, 산업폐기물 등의 환경오염물질의 발생을 억제시킬 수 있으므로 향후 단위부품의 제조방법에 커다란 변화가 기대된다. 그러나, 본 기술은 아직 개발 초기단계로서 합성수지 중자를 적용한 금형 내에서 용탕의 유동 및 응고 거동을 정확히 해석할 필요가 있으며, 용탕의 충전과 응고과정에서 합성수지 중자의 열적 변화거동 등이 면밀히 파악되어야만 비로소 양산성을 확보한 기술로서 다이캐스트 적용범위가 혁신적으로 확대되리라고 생각한다.

참 고 문 헌

[1] 藤田雅人 : 輕金屬, 39(1989), 664.
 [2] 한요섭, 김기배, 이호인 : 주조 15(1995), 431.
 [3] G.r. Wlodyga and S.a Weiner : SAE paper 820380.
 [4] 松元永吉, 村上秀樹 : 自動車技術, 43(1989).

학술발표 및 기술강연대회 원고 모집

- ★ 대회명 : 1998년도 한국주조공학회 추계 학술발표 및 기술강연대회
- 개최일시 및 장소 : 1998년 11. 6일/서울
- 내용 및 분량
 - 학술발표 : 주조에 관련된 내용으로 발표되지 않은 논문(A4 용지 1쪽)
 - 기술강연 : 주조불량 대책 및 생산성 향상에 관련있는 기술(A4지 10쪽 이내)
- 발표시간
 - 학술발표 : 질문포함 15분
 - 기술강연 : 질문포함 20분(외국인 강사는 질문포함 40분)
- 신청자격 : 1998년 연회비를 납부한 정회원, 또는 정회원 추천에 의한 회원/외국인
- 제출기한
 - 신청서 제출 : 98. 8. 10(월)
 - 원고 제출 : 98. 10. 9(금)
- 연락처 : 한국주조공학회 사무국
(전화 02-796-1348, 팩스 : 02-796-1348, E-mail:jujo@kitel.co.kr)

※ 신청서 양식과 원고작성요령이 필요하신 회원은 학회사무국으로 문의 바랍니다.