

표 1. 품질을 key word 로 한 신규 프로세스의 분류

시스템 \ 프로세스	종래 프로세스	신 프로세스
중력주조계	사형중력주조, 금형중력주조, 금형경동주조	직냉주조
저압주조계	저압금형주조	불활성가스분위기저압주조, 분위기압력주조, 흡인금형주조
다이캐스팅계	보통다이캐스팅	중압사출다이캐스팅, 국부가압다이캐스팅, 스퀴즈캐스팅, 반응용응고, 고속사출다이캐스팅, 진공다이캐스팅, 산소분위기다이캐스팅

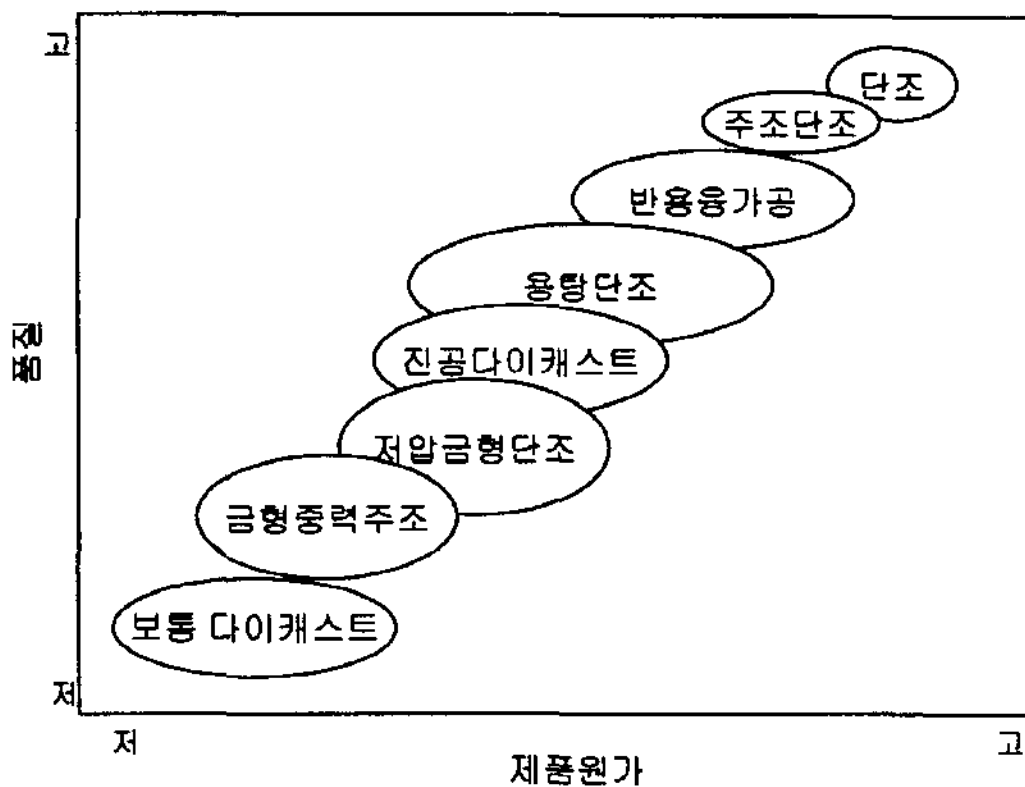


그림 1. 각 공정에 있어서 품질 및 제품원가의 위치

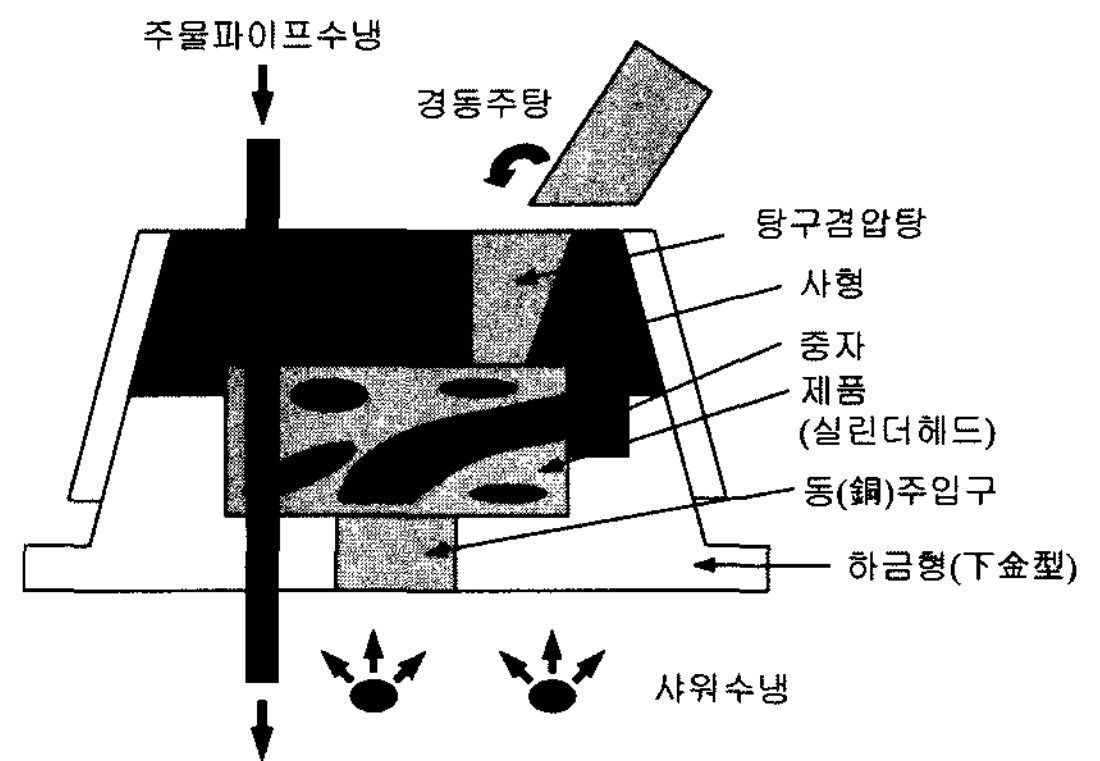


그림 2. 직냉주조금형개요

분위기 압력주조, 고압사출 다이캐스팅, 국부가압 다이캐스팅, 스퀴즈캐스팅, 반응용응고, 진공 다이캐스팅

(3) 발생한 결함의 악영향을 감소시키는 approach : 고속사출 다이캐스팅, 산소분위기 다이캐스팅

그림 1에 각종 프로세스에 있어서 품질(주로 인성)과 제품원가의 위치를 나타낸다. 그림 1은 거시적인 이미지를 나타내는 것이지만, 신 프로세스 개발에 의해 고 품질인 단조에 근접하고 있는 것을 알 수 있다.

앞에 기술한 바와 같이 주조품질은 매우 많은 환경 인자에 영향을 받기 때문에 대단히 복잡한 것이라고 생각하기 쉽지만, 원리원칙 자체는 매우 간단하다. 그러므로 원리원칙에 따라서 각종 환경인자를 제어할 수 있는 공리를 시험해 나가면 신 프로세스는 아직도 창조할 수 있는 것이 많다.

3. 직냉주조

자동차엔진은 성능을 높이기 위해서 우수한 내열강도를 가지는 실린더헤드가 필요한데, 이것은 급냉응고에 의한 미세조직과 지향성을 취한 기공율이 낮은 조

직에 의해서 얻을 수가 있다. 실린더헤드는 복잡한 중자를 필요로 하기 때문에 중력주조나 저압주조에 의해서 제조되고 있다. 저압주조는 산화물의 혼입이 없는 주조회수율이 좋은 프로세스이지만 형온도가 높으니까 제어가 어려워 충분한 지향성응고와 급냉응고를 얻기 어려운 결점이 있다. 중력주조는 비교적 지향성응고를 얻기 쉽지만, 충분히 만족할 만한 특성은 얻기 어려운 데다가 주조회수율이 나쁜 결점이 있다. 직냉주조는 이 결점들을 해결하기 위해 개발한 새로운 주조응고프로세스이다.

그림 2에 직냉주조에 있어서 금형의 개요를 나타낸다. 압탕에서 먼 부위를 금형으로 구성해 캐비티(cavity) 반대면으로부터 수냉을 행하여 가장 자리면의 응고를 촉진하는 한편 압탕은 사형으로 구성하고 보온함으로써 압탕효과를 높인다. 더욱이 살이 두꺼운 부위에도 필요에 따라 수냉파이프를 설치하여 주탕후 수냉해 이 부분의 응고도 촉진한다. 이렇게 하여 지향성응고를 최대한 높일 수 있다. 이때 급냉응고에 의한 미세조직이 필요한 부위를 강냉되는 부위까지 가지고 가면 급냉응고한 조직과 함께 대단히 기공율이 낮은

치밀한 조직이 얻어진다.

AC2B 알루미늄합금에서 인장강도는 약 400 MPa정도가 얻어져 저압주조의 약 1.5배이고, 약 20 μm 정도의 미세한 dendrite조직과 약 0.15%의 기공율이 얻어져 저압주조의 43 μm와 0.9%에 비해 매우 치밀한 조직을 가지는 것으로 보고되고 있는 데에서도 알 수 있듯이 그 특성이 저압주조에 비해 훨씬 우수함을 뒷받침하고 있다.

4. 흡인금형주조

저압주조는 내부결함이 적은 고품질인 주물을 제조할 수 있어서 실린더블록의 제조에 잘 이용되지만, 생산성과 기계적 강도가 낮은 결점이 있다. 흡인금형주조는 저압주조의 장점은 유지하면서 결점을 대폭 개선한 새로운 프로세스이다. 그러나 저압주조는 용탕흐름과 지향성응고를 확보하기 위해 금형온도를 높이는 관계로 기계적 성질이 저하하기 때문에, 낮은 금형온도에서도 용탕흐름과 지향성응고를 확보하는 것이 흡인금형주조의 목적이다.

그림 3에 흡인금형주조의 개념도를 나타낸다. 주조는 우선 금형전체를 밀폐챔버로 둘러싸 챔버내를 감압한다. 이 감압에 따라서 캐비티내도 감압되고, 홀딩로

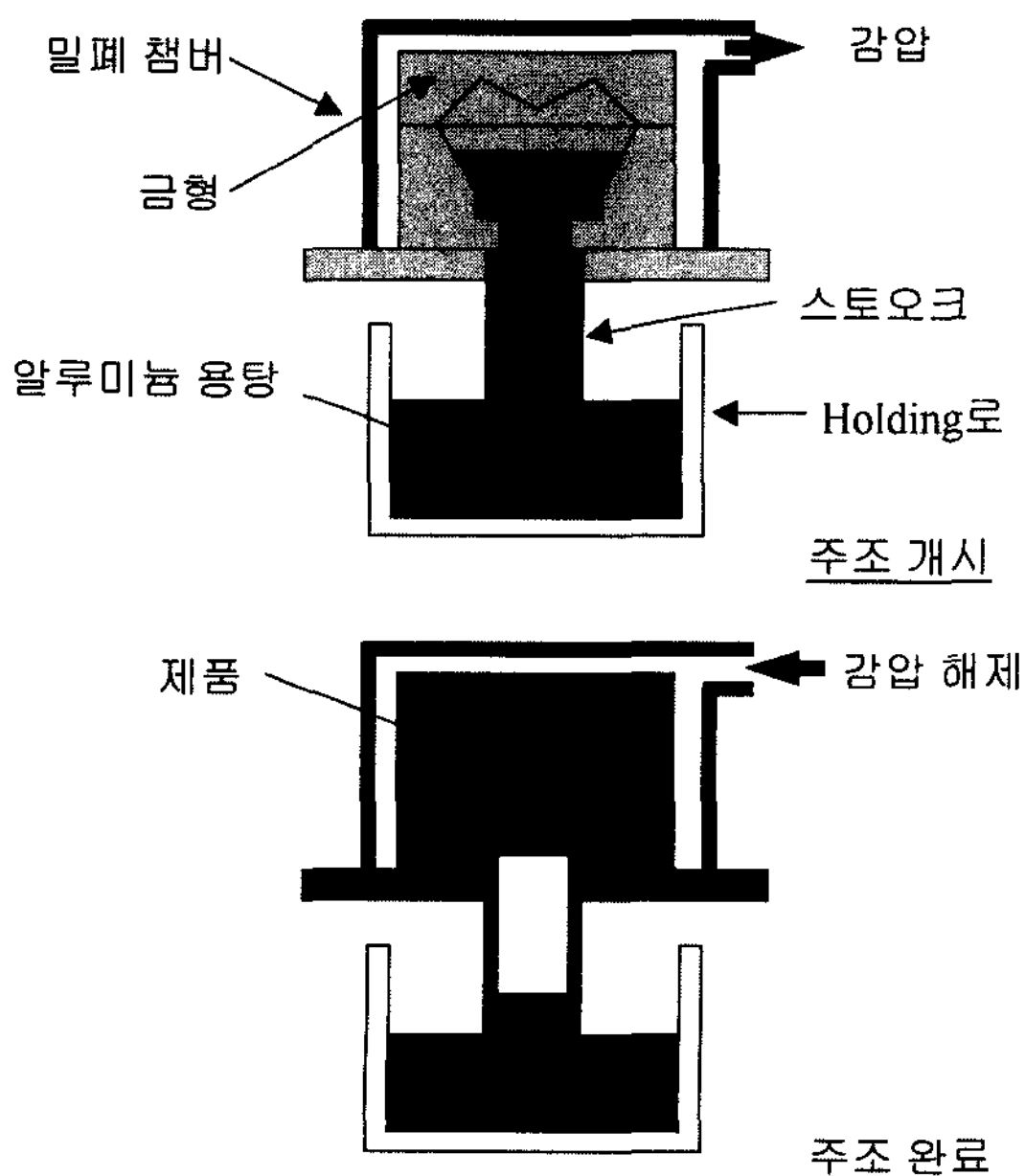


그림 3. 흡인 금형 주조개념도

내의 용탕은 스톡(stock)를 매개로하여 캐비티에 충전된다. 그후 제품부의 응고가 종료하는 것을 기다려 밀폐챔버내의 감압을 해제해 스톡내의 미용해 용탕이 홀딩로 내에 되돌아온다. 흡인금형주조에서는 이 감압도자체가 용탕충진의 속도가 되어 용탕충진에 있어서 캐비티내의 배압이 크게 되는 저압주조에 비해 용탕흐름에 대해 유리하다. 이상 기술한 바와 같이 흡인금형주조에서는 감압제어기술과 금형수냉기술이 기본 기술로써 주조기 설계제작시 무엇보다 중요하게 다루어져야 한다.

흡인금형주조에서 인장강도와 피로한도는 저압주조에 비해 20~30%가 향상된다고 알려져 있고, 제품의 생산성도 높다. 그림 4에 조재중량과 주조 사이클타임(cycle time)의 관계를 나타낸다. 통상 조재중량이 증가하면 응고에 시간이 필요하게 되기 때문에 주조 사이클타임도 증가한다. 또 그림으로부터 AC2B 알루미늄합금으로 제조된 약 4 kg 중량의 실린더블록에서는 주조 사이클타임이 저압주조의 12~15min에 대해 6 min 대로 되어 2배 이상의 생산성향상도 같이 얻어진다. 또 이 프로세스는 자동차용 알루미늄 휠에도 이용되어 똑같은 효과가 얻어지고 있다.

이상으로부터 흡인금형주조는 종래의 저압주조를 기초로 새로운 제어기술을 부여함으로써 결점인 생산성과 낮은 강도를 해결한 새로운 주조응고프로세스임을 알 수 있다.

5. 스퀴즈캐스팅(squeeze casting)

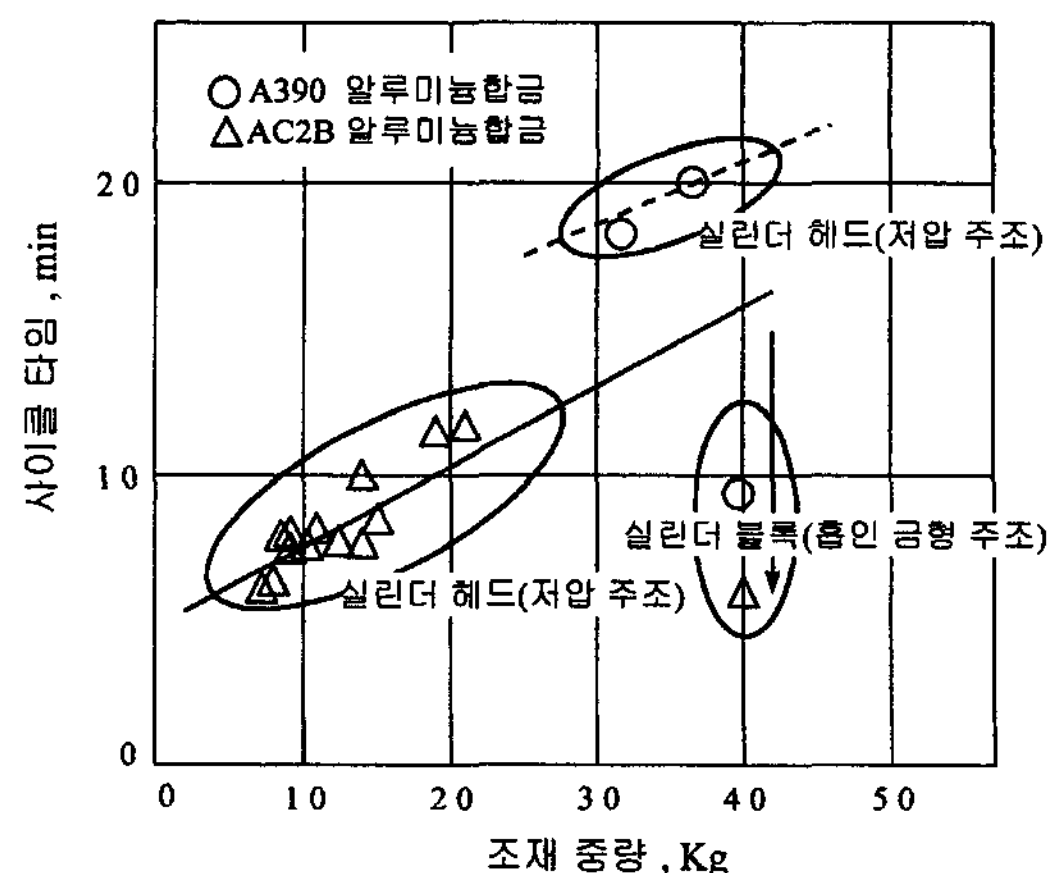


그림 4. 조재 중량과 주조 사이클타임의 관계 비교

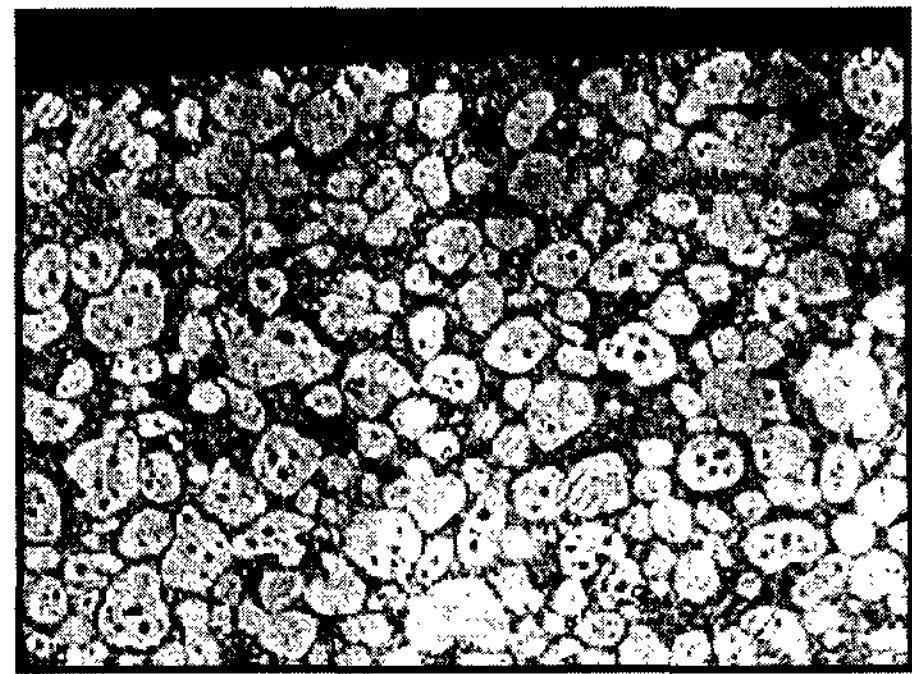
일반적으로 다이캐스팅은 우수한 생산성을 가지지만, 사출속도가 빠르기 때문에 가스를 혼입하기 쉽고, 압력효과의 지속시간도 짧아서 품질이 나쁜 결점이 있다.

스퀴즈캐스팅은 고압주조, 용탕단조라고도 불리는 프로세스로서 다이캐스팅의 품질상 결점을 증류충전 및 가압에 의한 용탕보급에 의해 해결하려고 한 것이다. 이것은 0.05~0.2m/s 정도의 gate속도로 주탕한 금형 cavity내의 용탕에 50 MPa 이상의 고압력을 가하여 응고시키는 방법이다. 사출된 용탕은 gate가 낮기 때문에 다이캐스팅과 같은 가스혼입이 적고, 파단chill층의 발생도 적다. 또 가압용탕 때문에 가스용해량이 많은데다가 응고속도도 빨라서 가스결함을 상당히 억제할 수 있다. 한편 gate단면을 넓게 따기 때문에 주탕 후 가압효과도 길고, 응고수축부위에 가압에 의해 용탕이 보급되기 때문에 공동발생도 적어진다. 또 가압에 의해 용탕을 금형에 강하게 밀어 붙일 수 있어서 급냉응고가 촉진되어 매우 미세한 응고조직이 얻어진다. 그 결과로 인장강도와 파단연신율은 주조압력의 증가에 의해 상승함과 함께, 중력주조에 비해서는 강도와 연신율이 모두 높고 인성이 우수하다고 알려져 있다.

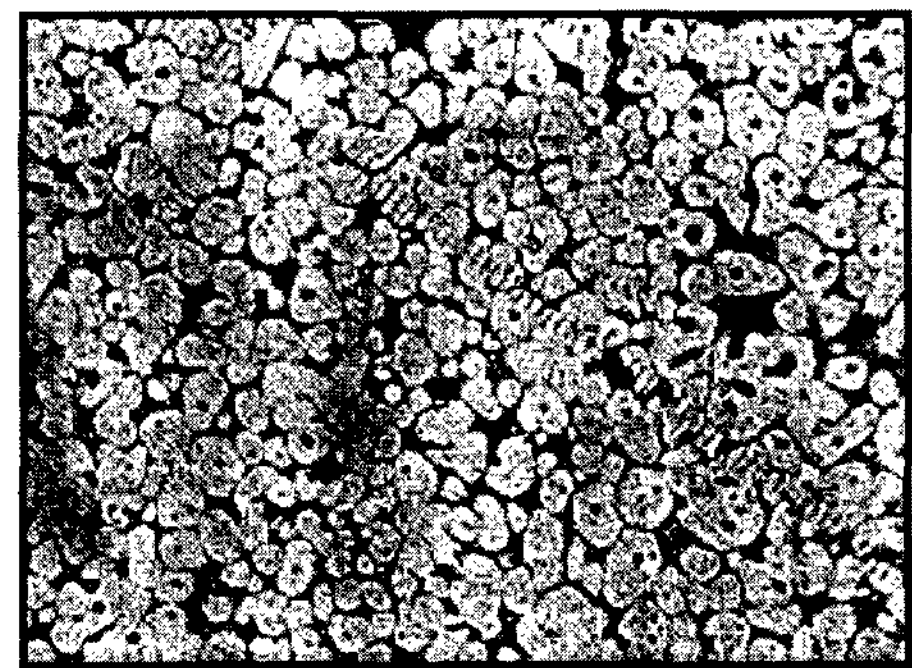
스퀴즈캐스팅은 단조에 가까운 고품질이 얻어지는 실적인 프로세스로서 자동차용 휠, steering knuckle등에 이용되고 있다.

6. 반응고 · 반응용가공법(Semi-Solid Forming)

액상금속 중에 고상입자가 균일하게 분산된 소재를 만들어 그것을 near-net shape로 성형하는 반응고가공법 및 반응용가공법이 최근 주목되고 있다. 반응고가공법은 액상금속을 냉각하여 그 일부를 응고시켜 정출한 결정립과 액상금속이 공존하는 상태에서 성형하는 방법이고, 반응용가공법은 고상금속을 가열하여 그 일부를 용융해 미용해 결정립과 액상금속이 공존하는 상태에서 성형하는 방법이다. 반응고·반응용가공법은 고상이 일부 정출한 상태이기 때문에 액상으로부터의 성형법에 비해 ①응고수축량이 적기 때문에 수축공이 감소하여 치수정밀도가 상승한다. ②응고시간이 짧고, macro편석이 적다. ③점성이 높아 가공시의 가스혼입이 적다. ④응고조직은 미세한 입상정이 되기 때문에 ⑤주편의 균열이 감소하고, ⑥기계적 특성이 향상한다. ⑦금형등의 가공공구에의 열부하가 감소하여 수명이 증가하는 등의 장점이 있다.



(a) 표층부



(b) 중심부 200μm

그림 5. 반응용 다이캐스팅 제품의 응고조직

반응고 · 반응용가공법으로 제조한 제품에서는 최표층부의 조직은 액상부분이 급냉한 조직이 된다. 그림 5에 표층부 및 중심부의 응고조직을 나타낸다.[5] 제품의 최표층부에 30~50 μm 두께의 Al-Si 공정상이 생성되나 표층부와 중심부 모두 균일한 조직이 되고 있음을 알 수 있다.

반응고·반응용 다이캐스팅은 용탕 다이캐스팅에 비해 가스혼입이 적어 제품의 기계적 특성, 특히 연신율 및 피로강도가 향상한다고 알려지고 있다. 예를 들면 Al-7%Si-0.3%Mg합금에 대하여 스퀴즈캐스팅과 반응고 다이캐스팅으로 판상 시편을 만들어 기계적 특성을 조사한 결과에 의하면, 항복강도와 인장강도는 거의 차이가 없지만 반응고 다이캐스팅제품이 연신율이 향상된다고 한다. 자동차 suspension부품의 피로강도 측정 결과를 그림 6에 나타낸다.[6] 반응용 다이캐스팅제품은 다이캐스팅, 중력주조, 사형주조에 비해 피로강도가 훨씬 우수함을 알 수 있다.

현재 반응고·반응용가공법은 종래의 주조합금을 대상으로 연구 및 생산이 행하여지고 있다. 이 가공법은

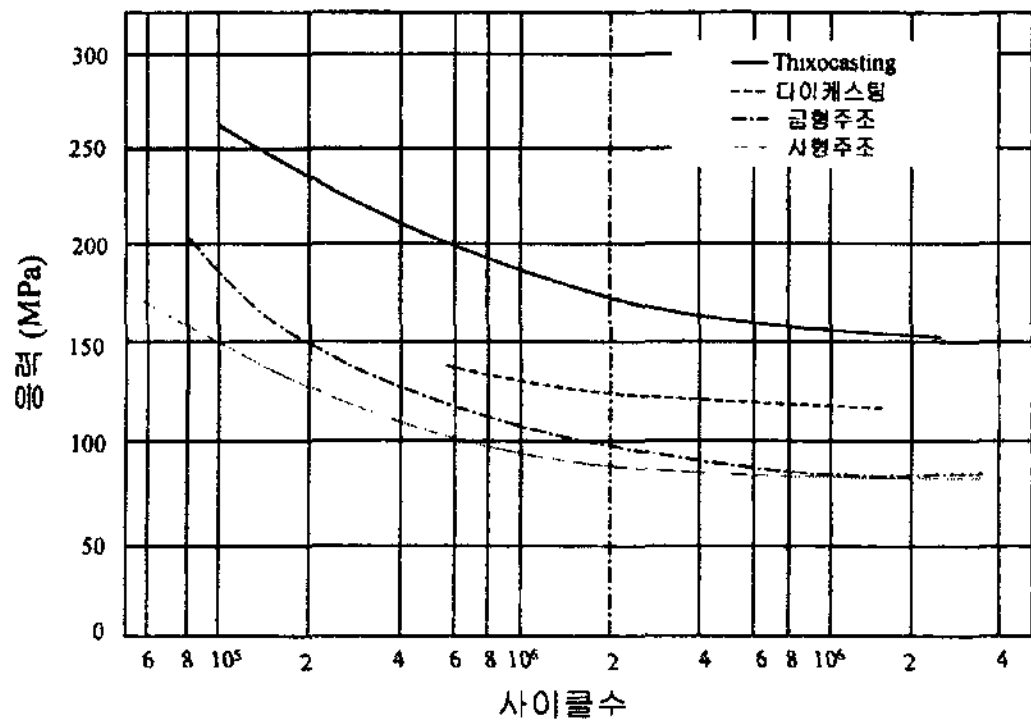


그림 6. Al-7%Si-0.3%Mg재의 피로강도 (T6처리후)

금속조직학적으로는 초정입자와 잔존상인 공정으로 이루어진 다상조직으로 macro적인 편석은 생기지 않지만 micro적인 편석을 피하는 것은 원리상 불가능하다. 이와같이 편석의 형태가 종래의 용탕과는 다르기 때문에 합금조성이 꼭 같아도 석출물의 형태는 바뀔 수 있다. 반응고·반응용가공법은 결정립이 미세하고 주조시의 균열이 생기기 어려운 등의 특징을 고려하면, 종래는 균열, 인성, 절삭성, 가공성 등의 문제로 실용화를 할 수 없었던 합금계라도 실용화의 가능성이 나올 수 있을 것이다. 반응고·반응용가공의 이와같은 특징을 살려서 이 새로운 프로세스에 가장 적합한 새로운 합금계의 개발이 진행되어야만 할 것이다.

7. 주조단조법(Cast and Forge법)

알루미늄합금의 제품에의 이용방법은 그 제조방법이 여러 갈래로 나뉘어져 있는 것도 커다란 특징으로 각각의 제조법이 가지고 있는 기계적 특성, 화학적 특성, 품질특성, 경제성을 고려하여 적당한 제조방법을 선택하고 있다.

현재 고강도 부품재라든가 내압성을 요구하는 부품재 등의 고 신뢰성이 요구되는 부품에는 압출재를 소재로 하여 제품형상에 열간단조로 마무리하는 방법이 널리 보급되고 있다. 하지만 이 제조법은 고 신뢰성이 얻어지지만 압출재를 만드는 공정의 비용과 단순형상의 압출소재로부터 복잡형상의 최종단조제품의 형상으로 마무리할 때까지의 열간단조의 비용이 들기 때문에, 다른 알루미늄제조법에 비해서 높은 가격이 되어버리고 마는 것은 어쩔 수 없다고 하고 있다.

이 고 신뢰성의 단조제품으로서의 특성을 살리면서 생

산원가를 낮추는 방법으로서 단조전의 소재(preform)를 금형주조법에 의해 제조하여 이 preform재를 열간단조하는 방법이 주조단조법(Cast and Forge 법)이다. 이 방법의 특징은 다음의 6개항으로 정리할 수 있다.

- (1) 소재에 주조용 합금을 사용하기 때문에 재료원가가 압출재의 사용에 비해 낮아진다.
- (2) 열간단조 후의 폐자재는 공장내에서 재 용해하여 preform재의 주조에 재 이용되기 때문에 scrap재가 공장 외에 발생하지 않음으로써 제품 원가가 억제된다.
- (3) 단조후의 최종제품형상에 알맞는 주조 preform재를 자유로이 설계할 수 있기 때문에 preform형상의 자유도가 높고, 단조재료의 회수율을 높일 수가 있다. 복잡한 형상의 제품일수록 회수율 개선효과가 크다.
- (4) 압출재로 부터의 열간단조의 경우는 여러 가지 공정을 거쳐 최종형상으로 성형할 필요가 있지만, 주조단조법은 복잡한 형상품의 경우라도 예비성형금형을 사용하지 않고 마무리단조형만으로 단조공정을 마칠 수가 있어서 단조비 및 금형제조비를 절감할 수 있다.
- (5) 주조 preform재를 적당한 소성가공도가 되도록 설계하는 것이 용이하기 때문에 단조성형의 변형제어를 무리하지 않는 상태로 할 수가 있어 단조금형의 수명을 늘릴 수가 있다.
- (6) 단조기의 가압능력과 비교하여 소형제품의 경우는 주조 preform 탱구부를 연계하여 두어, 여러 형태

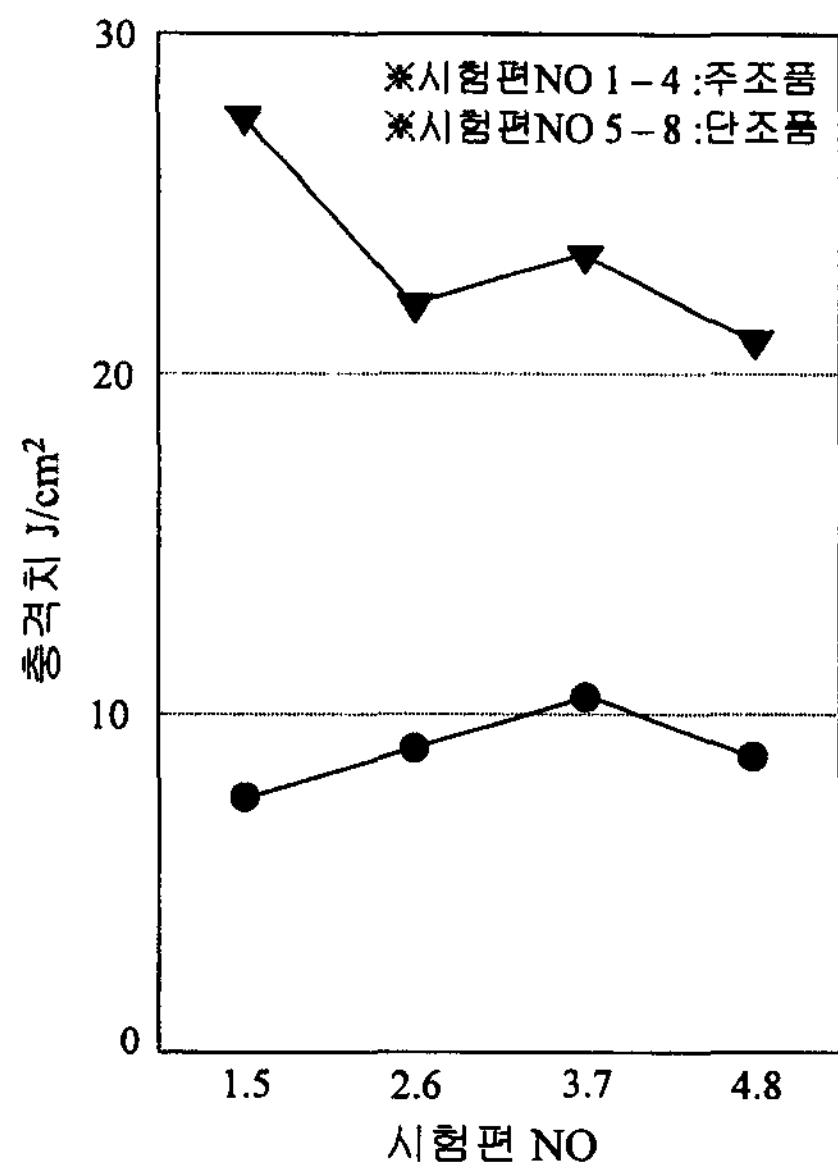


그림 7. C&F법에 의한 AC1B재의 샤르피 충격 시험치

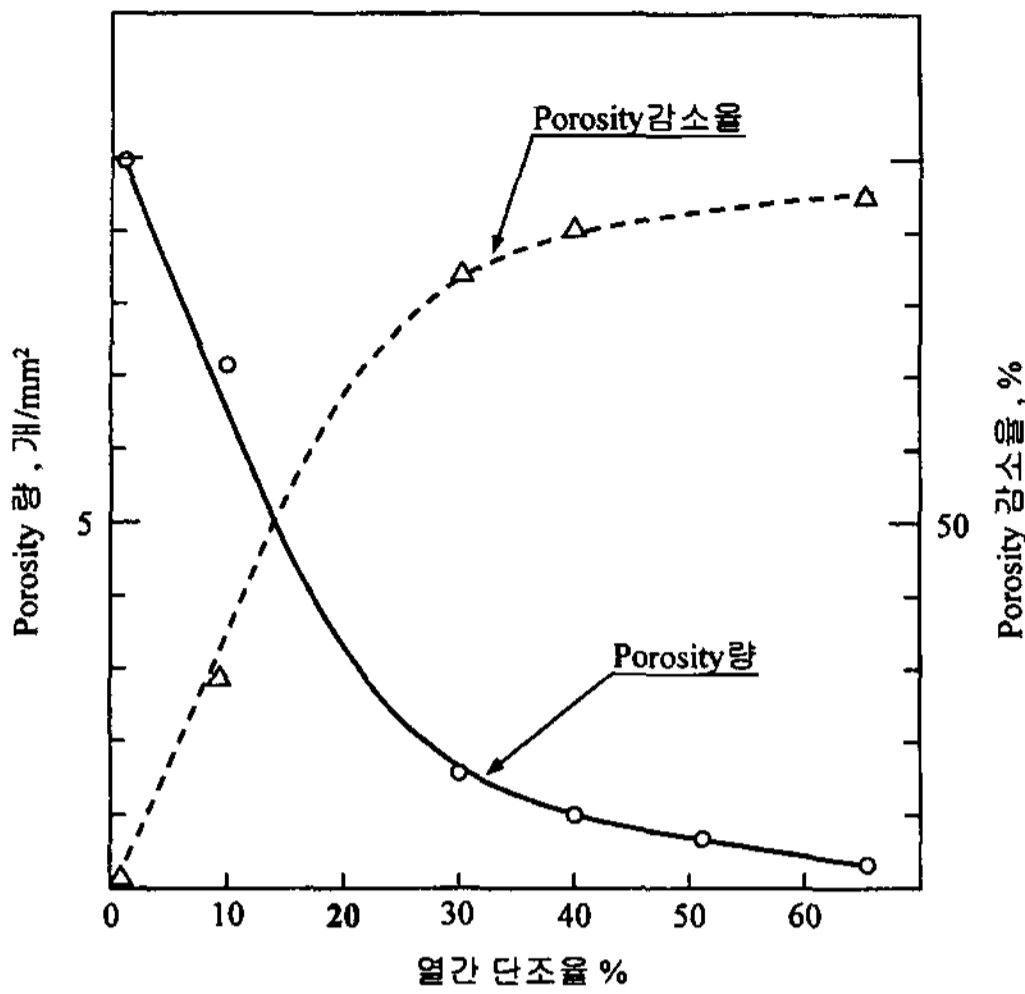


그림 8. 단조율과 Porosity의 감소율 관계

의 단조를 동시에 수행할 수 있기 때문에 단조비용을 절감할 수 있다. 좌우가 한 조가 되는 제품의 경우에도 유효하다.

주조단조법에 의한 AC1B 알루미늄합금 preform재에 있어서의 인장강도와 연신율은 가공도를 30%로 함에 의해 대폭 향상된다고 알려져 있다. 그림 7에 샤르피 충격시험치를 나타낸다. 단조를 함으로써 충격치를 약 2.5배까지 향상시킬 수 있다. 피로강도는 주조preform에 비해 약 1.5배 향상된다고 한다. 그림 8은 단조율과 소재중의 미세기공(micro-porosity) 감소율을 측정하는 것으로 단조율이 30%를 넘으면 미세기공은 급속하게 감소해 기계적 성질의 향상에 기여함을 알 수 있다.

주조단조법은 극히 최근에 개발된 방법으로 복잡한 형상의 제품에 적용할수록 유리하다. 현재는 주로 AC1B 알루미늄 합금에 적용 예가 보고되고 있는 정도이지만, 이외의 여러 합금에 대해서도 적용하여 이 기술의 기능을 살린 제품으로의 이용분야를 확대하여 나아가야 할 것이다.

8. 맺음말

새로운 주조응고 프로세스에 대해 소개하였는데, 모두 종래 프로세스에 있어서 문제점들을 파악하여 관련 요소기술을 가미함으로써 새로운 프로세스로써 적용시킨 결과들이다. 주조는 많은 환경인자에 좌우되어 품질이 불안정한 프로세스라고 할 수 있지만, 역으로 이렇게 많은 환경인자를 제어할 수 있게 되면 고품질인 주물을 만들 수 있어 많은 새로운 프로세스가 탄생될 수 있는 가능성이 있다.

새로운 프로세스개발에 있어서 중요한 것은 합금개발과의 융합에 의해서 궁극적으로는 획기적인 주물을 얻는 것으로서, 점점 고도화되어가고 있는 산업발달에 맞추어 주조의 원리원칙에 충실한 프로세스를 끊임없이 창출하고 적용해 나가는 과정을 통하여 자연스럽게 얻어지는 것이라 하겠다.

이상으로 저자 나름으로는 비교적 새로운 주조응고 프로세스라고 생각되는 몇 가지 방법들에 대해서 간략히 소개하였다. 하루빨리 우리 나라에서도 새로운 프로세스 개발에 중점적인 투자를 행하여야 하겠고, 이에 앞서 관련 연구기관에서는 선행연구로서 많은 관심과 연구가 수행되어야 할 것이다. 본 해설이 여기에 대한 더욱 상세한 많은 정보를 관련 문헌을 통해 분석·검토하여 우리 고유의 프로세스가 탄생되는데 조그마한 동기부여라도 되기를 기대해 본다.

후 기

본 해설은 일본 경금속 1997년 판47권 제11호 특집호의 일부를 편집한 것임을 부기한다.

참 고 문 헌

- [1] 特許公告 H1-38590
- [2] 林芳郎 : 鑄物, 66(1984), 955
- [3] 安達充 : 鑄物, 66(1994), 904
- [4] 難波明彦 : 輕金屬, 45(1995), 346
- [5] 松野慎也, 齋 正央, 菊池政男 : '96일본다이캐스트會議論文集(1996), 209
- [6] J. P. Gabathuler and C. Ditzler : 輕金屬, 47(1997), 331