

기술자료

고진공 다이캐스트법에 의한 자동차용 서스펜션 부품의 개발¹⁾

坂元哲夫 · 吉良慶二* · 神戸洋史**

日産自動車(株) 成形技術部

*日産自動車(株) 栃木工場

**日産自動車(株) パワートレイン技術開発試作部

Development of Automotive Suspension Part by High Vacuum Die Casting

Tetsuo Gakamoto, Keiji Kira* and Hiroshi Kambe**

Materials Process Engineering Department, Nissan Motor Co., Ltd.

*Tochigi Plant, Nissan Motor Co., Ltd.

**Powertrain Technology and Prototype Development Department, Nissan Motor Co., Ltd.

번역 : 최정철²⁾

1. 서 론

알루미늄합금 다이캐스트는 높은 생산성과 얇고 정밀한 치수 정밀도가 얻어지는 것 등을 특징으로 하고, 경량화, 일체화, 박육화가 동시에 달성될 수 있는 공법으로서 많은 자동차부품에 적용되어 왔다. 그러나 다이캐스트주물에는 만성적 결함이 있는 기포, 응고수축공, 파단칠층등이 많이 존재하기 때문에 높은 기계적 특성, 특히 높은 연성을 필요로 하는 부품에 적용되는 경우는 별로 없었다. 이들의 과제를 극복할 수 있는 특수다이캐스트주조법으로서 산소치환법, 층류층진법, 감압법, 반응용, 반응고법등의 공법이 시험되어 왔지만, 다이캐스트주물에 있어서 모든 만성적 결함을 해결하는 것은 곤란해서, 적용범위도 작은 부품에 한하는 일이 많았다.

한편 유럽에서는 고진공다이캐스트법의 개발이 되어져, 필러나 도어등의 차체구조부품이나 서스펜션멤버등의 바퀴부근 부품에 적용한 결과, 높은 기계적 성질을 만족하고, 또한 부품수 삭감이나, 중량저감에 기여한 예가 많이 보고되어 있다.

당사에서는 일찍부터 고진공 알루미늄합금다이캐스트법의 연구에 착수해서, 주조재료, 주조조건, 열처리조건, 금형구조의 개발 등에 취중한 결과, 본 공법을 일으켜서 고강도 고연성 박육차륜부근 부품인 로어링크에의 적용을 실현할 수 있었다. 본 기고에서는 개발한 기술의 개요 및 차륜부근 부품의 개발에 대해서 소개한다.

2. 개발의 배경과 경위

2.1 로어링크의 개요

그림 1에 본 공법을 적용한 서스펜션의 구조를 나타낸다.

로어링크는 리어서스펜션 유닛의 멤버와 액슬의 사이에 붙여져서, 스프링을 지탱하고 항시 차축하중을 받는 부품이다. 따라서, 높고 안전한 내력이 요구되고, 또한 한편으로는 충돌등의 비정상적 고부하 입력시에는 액슬이나 서스펜션멤버의 파괴를 방지하기 위해 균열 없이 소성변형하는 것도 요구되고 있다.

2.2 공법의 선정

로어링크의 종래공법은 강판 프레스폼의 스폿트용접이고, 동일 공법 및 사양에 의한 적용실적에 기초하는 부품설계가 되어져있었다. 이것을 알루미늄합금으로 재료치환하기 위해서는 전술의 부품특성을 만족하고, 또한 효율적으로 생산할 수 있는 공법인 것이 요구된다. 이상을 고려해서 표 1에 나타내는 각종의 양산공법을 검토한 결과, 고진공 다이캐스트법에 의한 부품 개발을 결정했다.

2.3 고진공다이캐스트법의 개요

당사 개발의 고강도 고연성 알루미늄과 그림 2에 나타내는



로어링크
요구특성: 고내력, 고연성

그림 1. 서스펜션구조와 로어링크

1) 日本鑄造工學會誌 Vol. 76 No. 4 pp. 283~288에 게재된 자료임.

2) 아주대학교 신소재공학과(Dept. of Materials Science and Eng., Ajou University)

표 1. 각종다이캐스트법의 특징

공법	가스 기포	용탕 보급성	파단질층	발육 성형성
고진공다이캐스트	○	△	○	○
산소치환법	○	△	×	△
충류충진법	○	○	×	×
감압법	×	△	×	○
반용융·반응고법	○	○	△	×
일반법	×	△	×	△

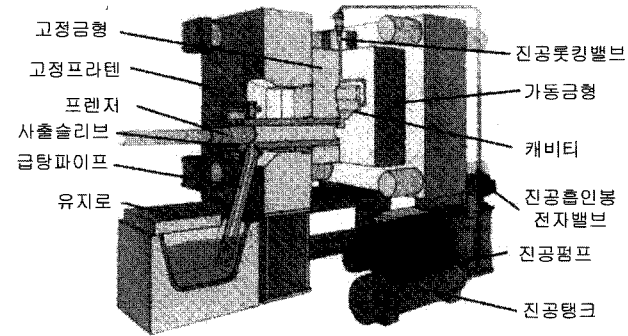


그림 2. 주조기개략도

Mueller Weingarten사의 Vacural 다이캐스트주조기를 시스템의 중심으로 하고, 열처리나 용접이 가능한 고강도 고연성의 박후 다이캐스트주물이 얻어지는 것을 특징으로하고 있다.

2. 개발의 경위

본 공법의 기초기술개발로부터 양산화에 이르기까지의 단계를 이하에 서술한다.

(1) 고진공다이캐스트법의 기초기술개발

고진공 다이캐스트법에 의해 얻어지는 주물품질을 평가하는 것에 의해, 알루미늄합금 로어링크의 요구품질을 보증할 수 있는 주조방안, 조건의 방향성을 알아냈다.

(2) 고강도 고연성 알루미늄합금 및 열처리조건 개발 로어링크의 요구품질을 만족할 수 있는 다이캐스트용 알루미늄합금의 조사와 성분계의 개량을 행하고, 또한 그 합금에 적당한 열처리조건을 개발했다.

(3) 로어링크부품의 형상설계

다이캐스트법을 적용하기 위해 주조가능한 형상을 전제로 하고, 경량화와 로어링크의 요구특성 및 내구성을 양립할 수 있는 형상을 결정했다.

3. 고진공다이캐스트주조법의 기초기술개발

3.1 실험방법

요구특성을 만족하는 다이캐스트주물을 얻기 위한 각종 주조조건을 명백하게 하는 것을 목적으로, 형체력 3.2MN의 Vacural주조기를 이용해서 실험을 행했다. 상자형 주물금형을 이용하고, 공시합금은 Al-10mass%Si-0.35mass%(이하%라고 한다)Mg합금으로 했다.

(1) 충전시간

다이캐스트주물을 안정해서 성형하기 위해 요구되는 충전시간은 주물판 두께의 2층에 비례하고, 특히 박후주물을 성형하는 경우에는 극히 단시간중에 용탕충전을 완료시키는 것이 요구된다. 실험에 이용한 주형주물(200×140×40 mm)의 일반판 두께는 3.0 mm이고, 60 ms 이하에서의 충전완료가 필요하게 된다.

(2) 주조압력

다이캐스트주조법에서의 주조압력은 통상 40-80 MPa의 범위에서 적용된다. 거기서 실험수준은 30-75 MPa의 범위로 한다.

(3) 진공도

Vacural법은 형체 동작 완료와 동시에 금형 및 사출 슬리브 내를 고진공상태까지 배기하고, 이 부압에 의해 유지로중의 용탕을 세라믹파이프를 통해서 단시간에 공급하는 용탕방식을 갖는다. 따라서 진공도 관리는 품질보증뿐 아니라, 금탕량 관리 면에서도 필요한 기초기술이 된다. 실험수준은 실현가능한 범위의 20-150 hPa로 한다.

(4) 이형제 종류

용탕 단열효과에 의한 주물품질에의 기여를 확인하기 위해 분말분산형 수용성 이형제와 일반적인 수용성 유지이형제로 실험했다.

(5) 슬리브유회제 종류

슬리브내 용탕단열효과에 의한 주물품질에의 기여를 확인하기 위해 단열분말유회제와 일반적인 유성유회제에서 실험했다.

3.2 평가 특성치

실험에 의해 얻어진 다이캐스트주물을 T6처리하고, 이하의 평가를 행했다.

(1) 기계적 특성

상자형 주물의 탕구근접부와 최종 충전부로부터 각각 시험편을 채취하고, 인장시험을 행했다. 또한, 이 때의 파단 신장율은 접촉식 신장계의 변위량으로부터 구했다.

(2) 내부 품질

T6처리에 있어서 용체화 공정중에 주물내 함유가스의 팽창에 의해 발생하는 브리스터를 정량적으로 평가하는 목적으로 T6처리후의 주물체적을 측정하고, 그 변화량을 체적팽창율으로서 구했다. 체적팽창율과 주물내 가스함유량과의 사이에는 그림 3에 나타난 바와 같이 강한 상관이 있고, 주물내부 가스량의

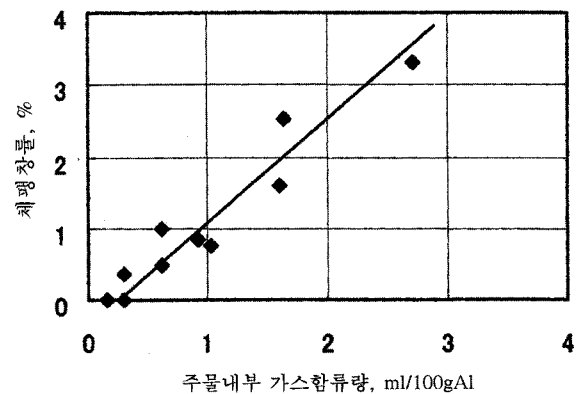


그림 3. 주물내 가스함유량과 체적팽창율의 관계

대용 특성이 되는 것을 알았다. 체적팽창율의 구성목표는 1.0%(=가스함유량1.0 ml/100gAl)이하로 했다.

3.3 실험결과

얻어진 결과를 이하에 나타낸다.

(1) 기계적 성질

충진시간이 0.2%내력 및 파단팽창에 미치는 영향을 그림 4에 나타낸다. 충진 시간 단축에 동반해서 기계적 성질이 개선되는 효과와, 최종 충진부에 있어서는 기계적 성질이 저하하는 경향이 확인되었다. 상자형 주물의 판 두께는 3 mm이고, 이론 충진시간은 60 ms이지만, 그림 4보다 30 ms 이하로 특성이 향상하고 있는 것에서 충진시간은 이론치의 1/2 이하로 설정하는 것이 높은 기계적 성질의 다이캐스트주물을 얻기 위해 필요하다고 생각된다.

기계적 성질에 미치는 주조압력의 영향을 그림 5에 나타낸다. 주조압력 60 MPa까지의 범위에서는 주조압력의 상승에 동반해서 파단팽창이 명백하게 개선되는 효과가 있지만, 60 MPa을 넘는 범위에서는 효과가 작은 것을 알 수 있었다. 또 충진시간의 영향과 마찬가지로 탕구근방부에서는 주조압력 60 MPa 이상에서 기계적 성질이 높지만, 최종충진부에 있어서는 파단팽창이 저하하는 경향이 확인되었다. 또한, 다른 실험요인에 의한 기계적 성질에의 기여는 유의성이 검출되지 않았다.

(2) 내부 품질

금형진공도가 체적 팽창율에 미치는 영향을 그림 6에 나타낸다. 고진공화에 동반해서 체적 팽창율이 저감되는 경향이 확인되고, 체적 팽창율을 1.0% 이하로 하기 위해서는 금형진공도를 50 hPa 이하로 관리하는 것이 필요하다.

이형제 종류에 의한 영향을 그림 7에 나타낸다. 최종 충진부에 있어서 체적 팽창율이 증대하는 경향과 분말분산이형제의

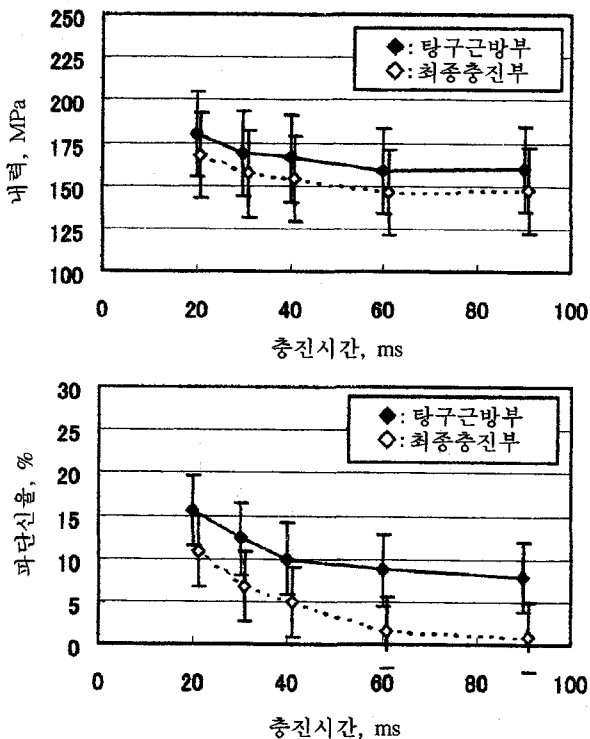


그림 4. 기계적성질에 미치는 충진시간의 영향

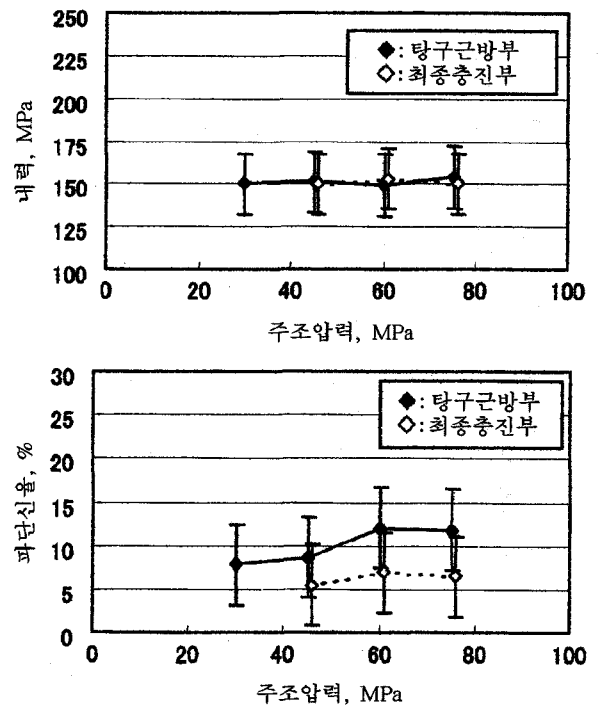


그림 5. 기계적성질에 미치는 주조압력의 영향

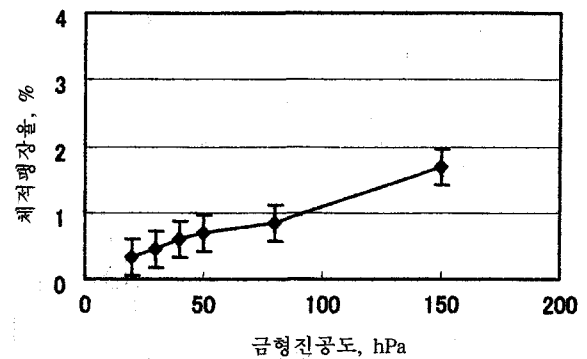


그림 6. 체적팽창율에 미치는 금형진공도의 영향

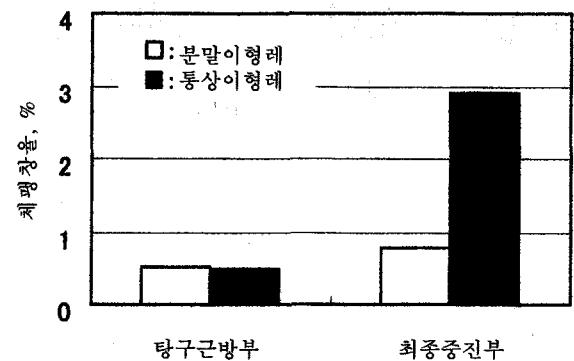


그림 7. 체적팽창율에 미치는 이형제의 영향

적용에 의해 체적 팽창율이 저감하는 효과가 확인되었다. 슬리브윤활제 종류에 의한 영향을 그림 8에 나타낸다. 이형제 종류에 의한 영향과 같이 최종 충전부에 있어서 체적 팽창율이 증대하는 경향과 분말윤활제의 적용에 의해 체적 팽창율이 저감하는 효과가 확인되었다.

4. 고강도 고연성 합금 및 열처리조건의 개발

4.1 실험방법

알루미늄합금 로아링크의 개발목표치를 달성할 수 있는 고강도 고연성 주조합금 및 열처리조건을 개발하는 것을 목적으로서 실험을 행했다. 형체력 3.2MN의 Vacural주조기를 이용해서 130×50×2 mm의 평판주물을 주조하고, 기계적 성질을 조사했다.

(1) 합금조성의 검토

Si 및 Mg첨가량을 변화시켜, 기계적 성질에 미치는 영향을 검사했다. Si첨가량은 AC4CH계의 7%로부터 Al-Si합금계의 공정영역인 12%까지의 범위에서 설정했다. 또, Mg첨가량은 내력향상에 유익하다는 0.3-0.5%의 범위에서 설정했다.

(2) 열처리조건의 검토

시효온도와 시효시간을 실험 요인으로 하고, 기계적 성질에의 기여를 조사했다.

4.2 실험결과

얻어진 결과를 이하에 나타낸다.

(1) 합금조성의 영향

Si첨가량이 기계적 성질에 미치는 영향을 그림 9에 나타낸다. Si량의 공정영역에 있어서 합금의 기계적 성질, 특히 0.2%내력은 높은 것이 확인되었다. 합금조성의 관리조건을 구하기 위해서 Al-Si계합금의 아공정으로부터 과공정에 걸쳐서의 영역에서의 기계적 성질의 변동을 조사할 필요가 있고, 이것을 확인하는 추적 실험을 행했던 바, Si첨가량이 Al-Si계합금의 공정점(12%)을 넘으면 내력이 향상하고, 반대로 파단팽창은 저하하는 경향이 확인되었다. 공정점을 넘는 영역에서는 금속조직중의 초정Si이 증가해서 연성을 저해하기 때문이라고 생각된다. 따라서 Si첨가량의 관리범위는 9.5-12.0%으로 설정했다.

Mg첨가량이 기계적 성질에 미치는 영향을 그림 10에 나타낸다. 기계적 성질에 대한 Mg첨가량의 요인 효과는 크고 Mg

첨가량 0.5%에서의 내력의 우위성이 보여진다. 한편, 파단팽창은 Mg첨가량의 증가에 동반해서 저하하는 경향이 있지만, Si

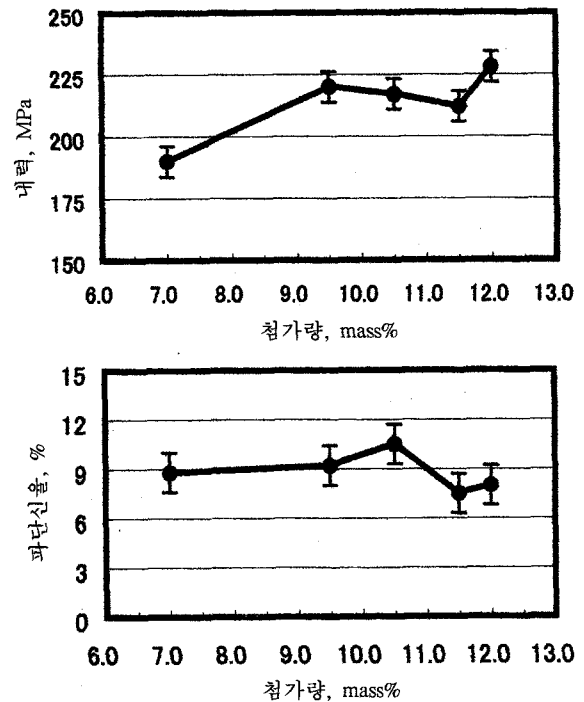


그림 9. 기계적성질에 미치는 Si 첨가량의 영향

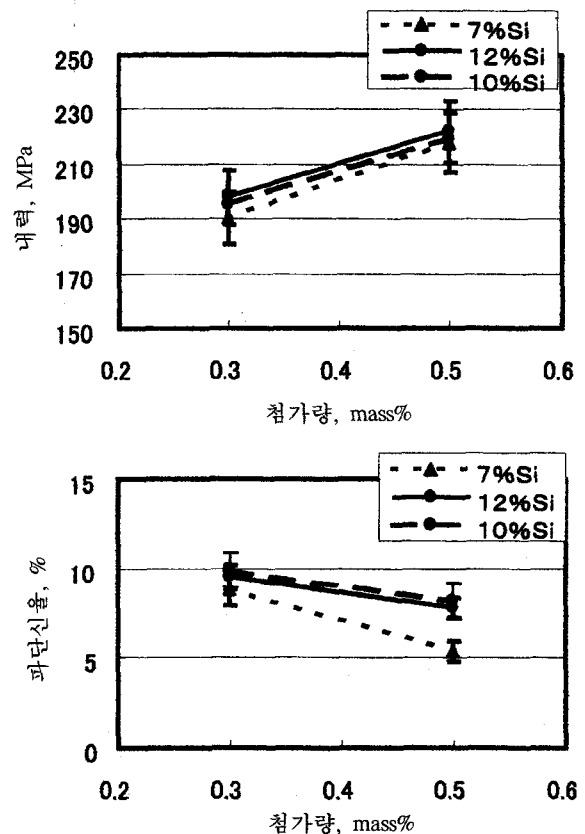


그림 10. 기계적성질에 미치는 Mg 첨가량의 영향

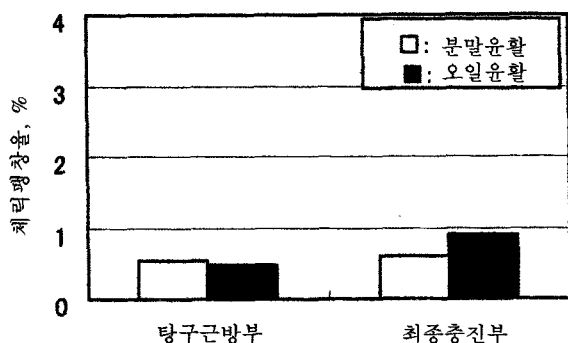


그림 8. 체적팽창율에 미치는 슬리브윤활제의 영향

표 2. 개발한 다이캐스트용 Al 합금의 조성

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Al
0.06	10.0	0.35	-	0.15	0.05	-	0.07	잔부

표 3. 시효조건의 기계적 성질에 미치는 영향 (용체화: 773K × 1h)

시효온도 (K)	시효시간 (h)	인장강도 (MPa)	파단신율 (%)	0.2%내력 (MPa)
423	2	255	20	148
433	4	280	13	199
443	6	310	11	259
453	8	315	6	279

첨가량 12%에 있어서는 특성의 저하구배가 적게 되므로 Mg 첨가량에 의한 파단신율 변동에의 영향은 적고, Mg첨가량은 0.3-0.5%의 범위에서 충분 관리할 수 있는 것이 알게 되었다.

Si첨가량, Mg첨가량과 함께 기계적 성질에 대한 기여가 있고 Si 9.5-10.5%, Mg 0.3-0.5%의 범위에서 기계적 성질의 우수성이 확인되어, 표 2에 나타내는 다이캐스트용 알루미늄합금을 개발했다.

(2) 열처리조건의 영향

T6처리에 대해서는 처리시간이 기계적 성질에 미치는 영향에 대해서 조사했다. 열처리조건과 기계적 성질의 예를 표 3에 나타낸다.

5. 로어링크부품 설계

5.1 설계목표

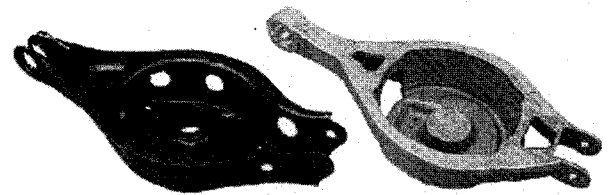
로어링크에 다이캐스트주조법을 적용하기 위해서는 복수부품의 용접구조로부터 일체성형구조로 변경한 후에 형 빼기 방향으로 내부절삭되는 부위를 제거하고, 부품전반의 판 두께를 3-5 mm정도로 균일화할 필요가 있다. 또, 생산성향상을 위해 형분할 위치의 간소화나 압출핀의 배치, 금형냉각용 공간의 확보 등도 요구된다. 다이캐스트주물용 부품설계에 대해서는 이들의 생산요건을 만족하고, 또한 로어링크에 요구되는 실제 강도특성을 유지할 수 있는 형상으로 했다.

5.2 부품형상의 결정

구조해석을 행하고, 고진공다이캐스트법에 최적의 부품형상설계를 행했다. 종래 공법과 비교해서 단순 무게로 23%의 경량화에 성공했다. 기계가공은 체결 구멍 가공만 행하고, 브라켓트 체결면은 비가공으로 했다.

5.3 성능의 확인

얻어진 알루미늄합금제 로어링크에 대해서 각종의 정적특성 및 동적특성에 대해서 성능평가를 행하고, 요구특성을 실제로



종래품 : 2100g

개발품 : 1600g

그림 11. 로어링크의 종래품과 본 개발품 외관

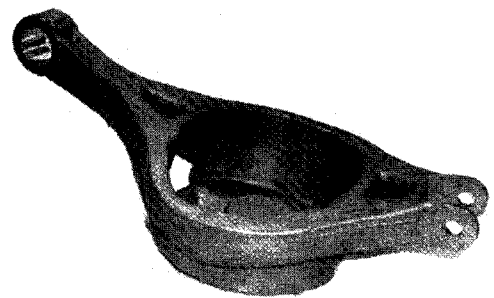


그림 11. 압괴시험후의 로어링크

만족할 수 있는가 확인했다. 한 예로서 압괴시험의 예를 그림 12에 나타낸다. 압괴시험은 로어링크의 목적의 하나인 이상고부하입력시의 소성변형을 확인하는 것으로서 알루미늄합금 다이캐스트제 로어링크에 압괴시험기로 부착방향에 평행하게 하중을 걸 때의 균열발생변위를 측정하는 실험이다. 수치해석결과와 실험결과는 변형량이나 변형부위의 특징이 매우 잘 합치하고, 그 균열발생까지의 변위량은 30 mm 이상을 나타냈다.

또 내구성 확인을 위해 피로강도시험, 내식성시험등도 여러 가지 행해, 어느것이나 규격을 만족했다.

6. 결 론

고진공다이캐스트법은 종래의 알루미늄합금 다이캐스트법과 비교해서, 재료강도, 파단신율을 동시에 높은 품질로 안정시키는 것이 가능한 공법으로서 그 특성을 살리는 일과 정밀도가 높은 구조해석을 이용한 형상설계에 의해 서스펜션부품에 적용하여 경량화를 꾀할수 있었다. 본 공법은 열처리나 용접등의 후처리가 가능해서 박육부품의 성형성이 우수한 것에서 이후 경량화요구가 높은 대형차체부품이나 대형사시부품에의 적용이 기대된다.