

개선설계된 LOWER ARM의 안전성평가에 관한 연구 (Ⅱ)

The Study of Safety Evaluation of Improvement on LOWER ARM(Ⅱ)

박영철*, 윤두표**, 허선철**, 진두병***, 이범재***
Y. C.Park, D. P.Yun, S. C. Hue, D. B. Jin, B. J. Lee

ABSTRACT

This paper performed stress analysis and bench test for the LOWER ARM of H' type which was improved on LOWER ARM with the section of H type. And we investigated the safety of the section of H' type. The results of this study are as follows ; The section of H' type satisfied the required safety factor and has the highest stress value on the B part of the LOWER ARM. And the magnitude is similar to the fatigue strength of the GCD45(300Mpa). Hence, the H' type has an advantage to reduce the cost of production.

주요기술용어 : Stress Analysis(응력해석), Bench Test(내구시험), LOWER ARM(로우어 암), Safety Factor(안전율), Fatigue Strength (피로강도)

1. 서 론

자동차를 구성하고 있는 많은 형태의 부품들 중, 독립 현가식 차축에서 프론트 액슬(Front Axle)과 크로스 멤버(Cross Member)를 연결하는 구조인 로우암(LOWER ARM)은 현재의 생산 방

식에 따른 문제의 발생으로 그의 개선책을 찾고자 많은 연구가 행하여지고 있다. 특히 이와같은 연구는 최근의 생산방식이 자동차 구조용 압연강판(SAPH)을 소재로 하여 프레스 가공한 프레스 제품으로써 동일 차종이 아닌 다른 차량에 장착시 강도의 안전성 여부가 제기됨¹⁾에 따라 프레스 가공에서 구상흑연주철(GCD45)의 주조품으로의 개발을 시도하였다. 그러나 프레스 제품에서 주조품으로 로우암(LOWER ARM)을 변경 개발함에 있어서 단면 형상에 따른 주물 작업 공정상

* 정회원, 동아대학교 기계공학과

** 동아대학교 대학원 기계공학과

*** 기아중공업 기술연구소

의 공정수 증가와 한개의 금형에 하나의 제품만을 작업할 수 있는 작업방식으로 생산성과 제조원가에서 경쟁력이 크게 저하되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구자들은 이에 대한 근본적인 대책을 강구하고자 현재 생산중인 I형의 단면을 가진 로우암(LOWER ARM)과 단면 형상을 변화시킨 H형의 로우암(LOWER ARM)에 대하여 응력 해석을 수행한 바²⁾ 있다. 그 결과 현재 양산중인 I형보다 H형 단면을 가진 로우암(LOWER ARM)의 강도가 더 우수함을 보고³⁾하였다. 그러나 H형 단면에서 로우암(LOWER ARM)의 중량이 증가함에 따라 제작상의 원가 상승을 유발시켰다. 따라서 이와같은 중량증가의 불필요한 요소를 제거하더라도 강도에 영향을 미치지 않는 새로운 형태의 로우암(LOWER ARM)의 개발이 필요하게 되었다. 이에 본 연구에서는 H형 단면을 가진 로우암(LOWER ARM)에 대하여 개선설계를 실시하여 개선설계된 H'형상의 로우암(LOWER ARM)에 대하여 응력 해석과 내구 시험을 실시하여 그의 안전성 여부를 판단하고자 한다.

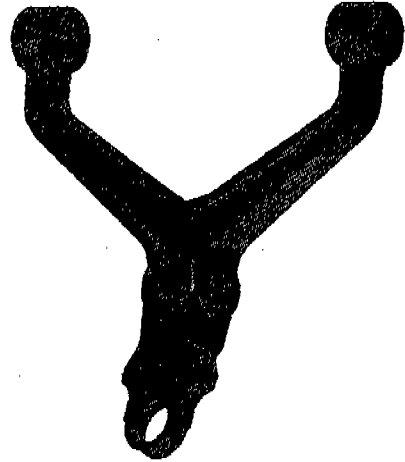
2. 응력 해석 방법 및 실험 방법

2.1 응력해석 방법

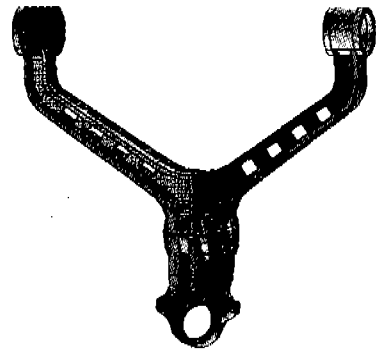
로우암(LOWER ARM)의 응력해석에 이용한 해석 프로그램은 상용구조 해석용 범용 프로그램인 ANSYS 5.2를 사용하였다. 응력해석 대상 제품은 K사의 로우암(LOWER ARM)으로 주조품인 H형을 개선설계한 H'형상에 대하여 해석을 수행하였다. 이때의 요소는 로우암(LOWER ARM)이 예리하게 각을 이루는 부분이 너무 많아서 오토메시(auto mesh)상의 문제가 제기됨으로 4절점 4면체 요소를 이용하였으며, 또한 요소의 수는 7610개 이며, 요소의 길이에 있어서 가장 긴 한변의 길이는 15mm이고 가장 작은 변의 길이는 5mm로 하여 최대와 최소의 비를 3:1로 하였다.

사용되어진 재료는 GCD 45이며, 이 재료의 재료상수로는 $E=1.69 \times 10^5 \text{N/mm}^2$, $\nu=0.29$ 를 적용하였다. 하중조건으로서 로우암(LOWER ARM)에 볼조인트(ball joint)를 부착시켜 볼조인트 중

심(ball joint center)에 하중을 가하는 형식으로 세개의 각(6.43° , 20.8° , -14.7°)에 대하여 4가지 하중조건에 따라 하중을 가하였다. Fig.1에 본 해석에 사용한 H와 H'형상의 로우암(LOWER ARM)을 모델화(modeling)하여 나타내었다.



(a) H type



(b) H' type

Fig.1 Modeling of LOWER ARM

2.1.1 하중조건

차량 주행시 휠(wheel)축에 발생하는 4방향의 하중들은 비독립적이며 복합적으로 작용함으로써 도로 노면의 기복에 의하여 발생하는 상하진동, 운전자의 가속속에 의한 관성하중, 운전자의 제동에 의한 제동하중 및 선회시 타이어의

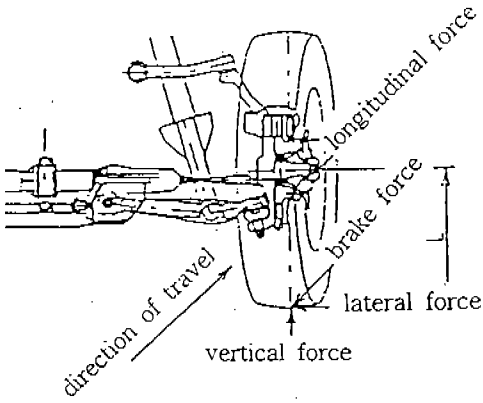


Fig.2 Load type which acted on wheel

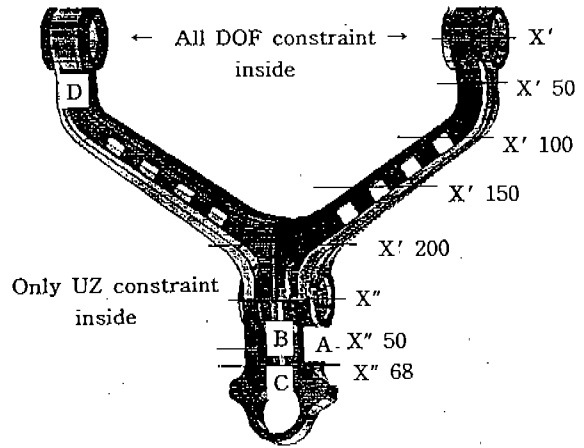


Fig.3 Boundary condition of LOWER ARM analysis

Table 1 Load case of LOWER ARM

No	Load Case	FX(N)	FY(N)	FZ(N)
1	Pothole Braking	18,384	-7,568	30,960
2	Pothole Cornering	640	11,352	38,681
3	Oblique Kerb Strike	20,816	24,990	6,828
4	Ultimate Vertical	344	-5,818	20,027
5	Reverse Braking	-3,717	-1,733	4,922
6	Turn Wheel Against Kerb	0	573	-19
7	Lateral Kerb Strike	404	37,858	25,204
8	Panic Brake	18,012	-1,283	9,329

Table 2 A condition of joint and driving condition

Angle	Joint Condition	Driving Condition
6.43°	Normal	8 Cases
20.8°	Rebounding	
-14.7°	Full Bumping	

측면이 벽면 접촉 또는 자갈길 등을 주행시에 발생하는 횡력 등으로 분류가 된다. 본 해석에 사용한 하중조건은 이런 하중들을 각 주행 조건 별로 세분화 시킨 것이다. Fig.2는 차량 주행시 휠(wheel)측에 발생하는 4방향의 하중^{4,5)}을 나타낸 것이며, Table 1은 하중의 종류와 볼조인트(ball joint)부에 작용하는 하중의 크기⁶⁾를 나타내었다. Table 2는 로우어암(LOWER ARM)

의 장착 각도 및 주행 조건을 나타내었다.

2.1.2 구속조건

응력해석시의 구속조건은 Fig.3과 같이 로우암(LOWER ARM)의 부시(bush)부 안쪽면을 모두 구속하고 포크부시(fork bush)부의 안쪽면 Z축 방향 변위만을 구속하였다.

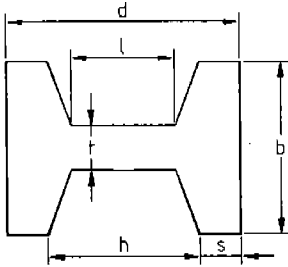
2.2 개선설계 및 허용강도 설정 계산

H형 단면의 로우암(LOWER ARM)에 있어서 차량 및 관련 부품과의 매칭(matching) 관계를 고려하여 크기와 형태를 변경함에 따라서 로우암의 중자(core)수와 중량을 줄여 생산성을 증가시킬수 있는 H'형상의 로우암(LOWER ARM)을 개선설계 하였다.

여기에서 차량 주행 조건들 중 Oblique Kerb Strike와 Lateral Kerb Strike를 제외한 모든 하중 상태에서는 어떠한 상황에서도 재료의 소성변형이 생겨서는 안된다는 의미로 해당 재질의 항복강도 보다 1.5배 정도의 안전율⁷⁾을 갖도록 설계하여야 한다. 이와같은 안전율은 로우암(LOWER ARM)에 작용하는 각 지점의 굽힘용력을 $\sigma = M\bar{y}/I$ 로 구한 후, 이 계산값으로 재료의 항복강도와 비교를 하여 안전율을 추정할 수가 있다. 이때 H형상에 대한 단면 2차 모멘트를 구하여야 하므로 단면 형상이 H인 경우와

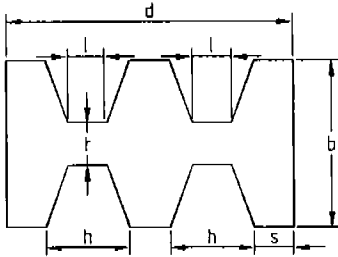
2H 형인 H'형상의 경우 단면 2차 모우멘트는 다음과 같다.

a) 단면형상이 H형인 경우(ARM 부)



$$I = \frac{\{b^3(d-h) + lt^3 + 1/4 * g(b^4 - t^4)\}}{12}$$

b) 단면형상이 2H형인 H'형상의 경우



$$I = \frac{db}{12} - A$$

$$A = 4 \left[\frac{h^2 + 4hl + l^2(b-t)^3}{288(h+l)} + \frac{(h+l)(b-t) \left\{ \frac{(2h+l)(b-t)}{6(h+l)} + \frac{t}{2} \right\}^2}{4} \right]$$

2.3 실험방법

개선설계된 H'형상인 로우암(LOWER ARM)의 응력해석에 대한 신뢰성 평가를 하기 위하여 로우암(LOWER ARM)의 단품 내구 시험(Bench test)을 실시하였다. 단품 내구 시험에 사용한 시험 장치는 K사에서 자체 제작한 내구 시험기를 사용하였으며 하중은 실차 장착 상태에서 정상상태인 장좌각도 6.43°일 때 로우암(LOWER ARM)

의 Z축 방향으로 1,500kgf의 하중을 가하였다. 이때 로우암(LOWER ARM)의 각 부위에서 발생하는 응력의 크기를 해석 결과와 비교하기 위하여 해석상의 주요부와 같은 위치에 Fig.3과 같은 4개의 부분에 스트레인 게이지(strain gauge)를 Bush축 선상에 수직 방향으로 부착하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 3은 H형과 개선설계된 H'형의 안전율을 나타낸 결과이다. 전반적으로 H형 보다 H'형의 안전율이 낮아져 있음을 보인다. 이것은 로우암(LOWER ARM)의 각 부위별 치수의 감소와 배출구의 성형으로 인한 중량감소가 그 원인으로 추정할 수 있으나 기본적인 안전율 1.5를 부시(bush)와 연결된 D부위에서만 넘기질 못하고 이외의 부분에서는 안전율을 만족하고 있으므로 중량감소로 인한 원가절감의 효과는 충분하리라 생각된다.

Table 3 The safety factor of H and H' type

		X'				X''	
		50	100	150	200	50	68
Sf	H	1.45	2.31	2.36	1.63	1.75	1.59
	H'	1.38	1.76	1.6	1.59	1.56	1.55

Fig.4는 H'형 로우암(LOWER ARM)의 4가지 하중조건에서의 장좌각도 6.43°일 때의 결과이다. 모든 하중조건에서 B부위의 등가응력이 가장 높게 나타남을 알 수 있다. 결과적으로 Z축 방향에 작용하는 하중이 클수록 응력의 집중도가 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 Z축 방향으로의 변위를 구속시킨 상태에서 볼조인트(ball joint)부에 가하여진 Z축 방향의 하중에 의해 굽힘응력이 발생한 것으로 PB와 PC의 경우, 하중크기가 PC의 경우가 높음에도 불구하고 PB의 응력이 높게 나타난 것은 회전시에 발생하는 X축 방향의 하중이 상승적으로 작용하여 PB의 응력이 B부에 있어 높게 나타난 것이라 생각된다. 이것은 B부의 측면인 A부의 경우에서 확인

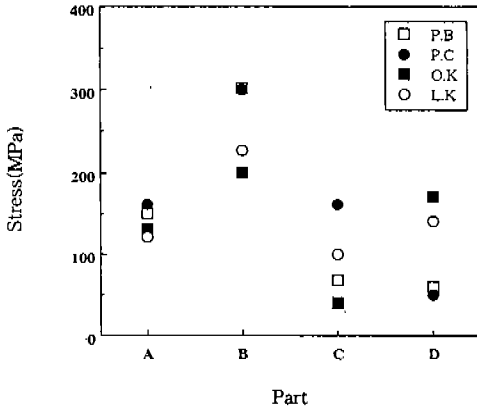


Fig.4 Stress analysis of LOWER ARM for load cases at 6.43° of H' type

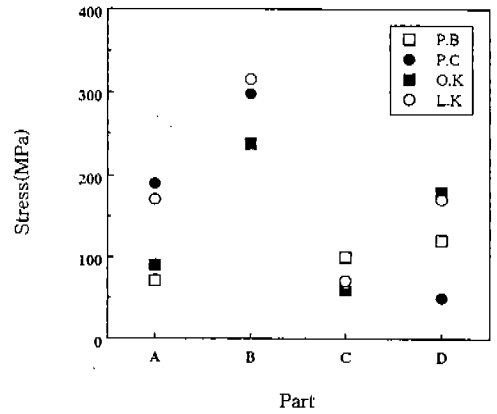


Fig.6 Stress analysis of LOWER ARM for load cases at -14.7° of H' type

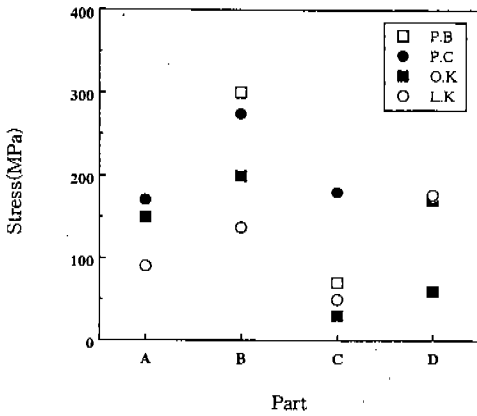


Fig.5 Stress analysis of LOWER ARM for load cases at 20.8° of H' type

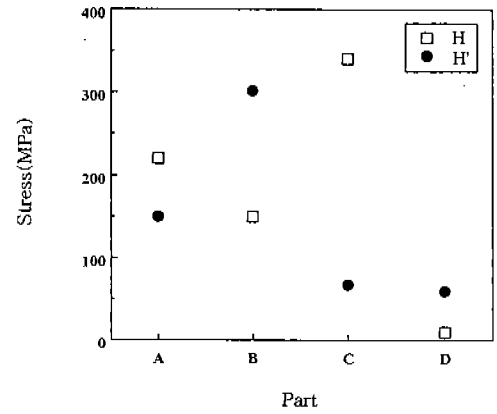


Fig.7 Stress analysis of LOWER ARM for PB load case at 6.43° of H and H' type

할 수가 있다. 또한 D부의 취약성이 우려되었으나 전체의 하중조건에 있어 우려와는 달리 낮게 나타나 있음을 알 수 있다.

Fig.5는 장착각도 20.8°일 때의 경우이다. Fig.4와 마찬가지로 B부에 있어서의 응력이 가장 높게 나타남을 알 수 있으며, 그 외의 부분에서는 낮게 나타남을 알 수 있다. 또한 그 응력값도 200MPa 이하로 거의 유사함을 알 수 있다. 그러나 전체적으로 A, B, C 세부분의 응력이 높게 나타나는 것은 정상상태일때보다 높은 각도로 장착된 경우 z축 방향의 굽힘응력에 영향을 받는 것으로 생각된다.

Fig.6은 장착각도 -14.7° 일때의 경우이다. 앞의 두 경우와는 달리 B부에 있어 LK의 경우가 가장 높은 응력값을 보이고 있으며 A부에 있어서도 응력증가의 폭이 큼을 알 수 있다. 이는 로우암(LOWER ARM)의 장착각도가 정상상태인 6.43°보다 낮게 이루어진 경우는 PC와는 달리 LK의 경우에 있어서는 X축 보다 Y축방향으로 작용하는 하중의 영향이 더 많음을 알 수 있다.

Fig.7은 장착각도 6.43°일 경우, 주조품 H형과 개선설계한 H'형태의 PB 하중조건에서의 결과이다. B부분을 제외한 기타의 부분에서 H'형상의 응력값이 H형에 비해 낮게 나타나 있음을

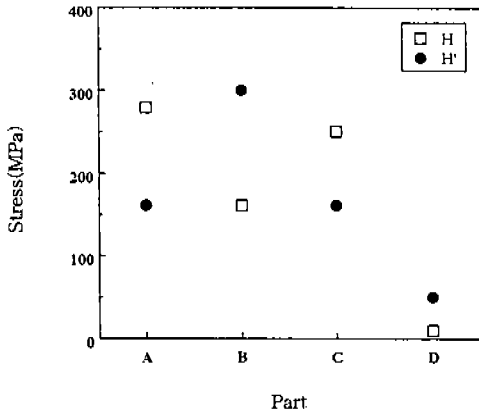


Fig.8 Stress analysis of LOWER ARM for PC load case at 6.43° of H and H' type

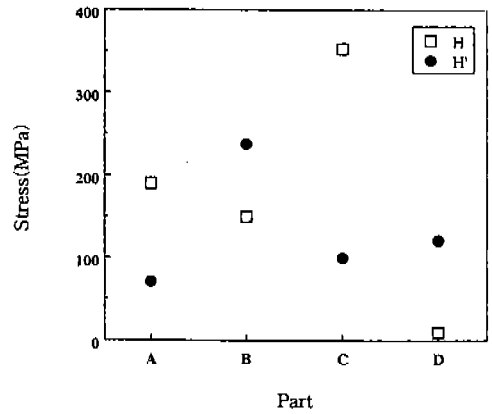


Fig.10 Stress analysis of LOWER ARM for PB load case at -14.7° of H and H' type

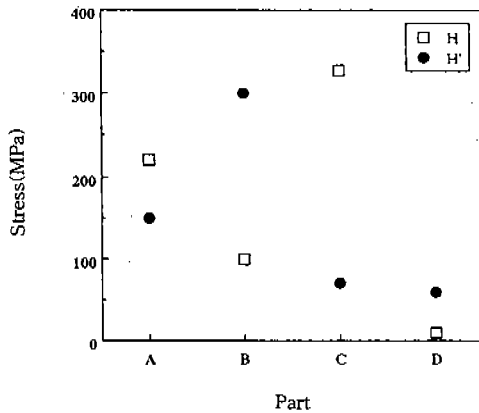


Fig.9 Stress analysis of LOWER ARM for PB load case at 20.8° of H and H' type

알 수가 있으며, 특히 C부분에서의 응력값이 훨씬 저하되어 있음을 알 수 있다. 그러나, B부분에서의 응력값이 H'형태의 경우 H형보다 2배 이상의 증가를 가져오는 것은 H'형상에 있어서 H형의 치수 감소로 인한 단면적의 감소효과라 생각되어 진다.

Fig.8은 장착각도 6.43°일 경우 PC 하중조건에서의 경우이다. Fig.7과 같이 B부위를 제외하고 기타의 부분에서 H'형상의 경우가 H형의 경우보다 응력값이 낮게 나타나 있음을 알 수 있다. 또한, B부위에서의 응력값도 2배의 증가를

가져옴을 보인다. 이상의 결과에서 전술한 바와 같이 장착각도가 정상상태인 6.43°인 경우 결정적으로 영향을 미치는 축방향 하중은 Z축입을 알 수 있다.

Fig.9는 장착각도 20.8°일 때 하중조건 PB의 경우이다. 장착각도 6.43°의 경우와 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있으며, H'형상의 경우 응력값의 변화가 거의 없음을 보이고 있다.

Fig.10은 장착각도 -14.7°일 때 하중조건 PB의 경우이다. 전체적으로 H'형태의 경우 300MPa 이하의 응력값을 보이고 있으며, 장착각도가 정상상태인 6.43°와 20.8°일 때의 B부의 응력값보다 낮은 값을 보이고 있다. 또한, D부위에서의 응력값이 높은 증가를 나타내고 있으나, 손상의 수준에는 훨씬 미치지 못함을 알 수 있다. 이상의 결과에서 로우암(LOWER ARM)의 응력은 장착각도가 6.43°와 20.8°인 경우처럼 윗 방향으로 장착된 경우에는 Z축과 X축 방향의 하중에 영향을 받고 장착각도가 -14.7° 경우처럼 밑으로 장착된 경우에는 Z축과 Y축 방향의 하중에 영향을 받는 것이라 생각된다. 또한, 위 해석의 결과에서 H형보다 H'형의 결과값이 B부위에서는 높은 값을 나타내고 있으나, 본 재료의 파단 강도인 455MPa과 비교하여 보면 안전하리라 생각된다. 이상과 같이 H형과 H'형상의 각 하중 조건하에서의 응력 해석 결과값을 종합적으

Table 4 The result for load cases of H and H' type

Type		6.43°		20.8°		-14.7°	
		H	H'	H	H'	H	H'
P.B	A	220	150	220	150	190	70
	B	150	302	100	300	150	237
	C	340	67	327	70	353	100
	D	10	60	10	60	10	120
P.C	A	280	160	252	170	250	190
	B	160	300	150	274	150	299
	C	250	160	140	180	309	60
	D	10	50	10	60	10	50
O.K	A	100	130	90	150	130	90
	B	100	200	90	200	130	240
	C	260	40	284	30	25	60
	D	10	170	10	170	10	180
L.K	A	160	120	80	90	200	170
	B	180	226	70	137	267	317
	C	70	100	150	50	100	70
	D	10	140	10	177	10	170

로 정리하여 보면 Table 4와 같다.

Fig.11은 개선설계한 H'형상의 해석결과와 내구시험(bench test)을 수행한 시험결과를 비교하여 나타낸 결과이다. 전체적으로 시험결과 값이 해석값보다 낮게 나타남을 보인다. 이는 스트레인(strain) 측정시의 오차와 해석상에 가하여진 3축 방향의 조합하중에서 우선적으로 작용하는 Z축 방향의 하중에 지배를 받는 PB의 경우와 비교하여 보더라도 본 결과치의 범위에서는 크게 벗어나지 않으리라 생각된다. 따라서, 해석결과와 시험결과를 종합하여 보면 H형을 설계변경한 H'형상의 모델(model)이 강도와 중량감소로 인한 원가절감면에 있어서 탁월하다고 생각된다.

Table 5는 H'형의 장착각도 6.43°일 때의 4가지 하중 조건에서의 해석 결과와 내구 시험값(Bench test)을 종합적으로 나타낸 것이다.

모든 하중 조건의 A, B 부분에서 내구시험값이 낮게 나타나고 있음을 알수가 있으며, D부위

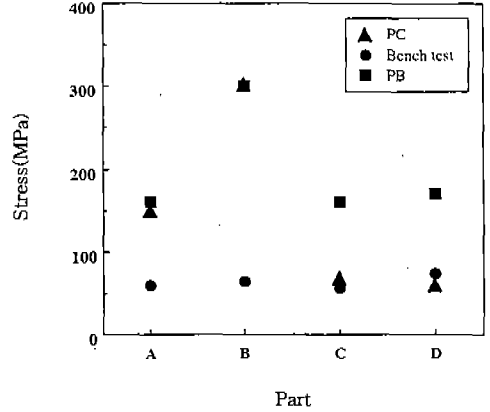


Fig.11 Stress analysis for PB load case and bench test of H' type

Table 5 The result of analysis and bench test to H' type

Part	Angle	6.43°				Bench test
		Stress analysis(MPa)				
		PB	PC	OK	LK	
A		150	160	130	120	59.95
B		302	300	200	226	65.06
C		67	160	40	100	56.2
D		60	50	170	140	73.94

의 경우 PB와 PC의 하중 조건에서 해석결과값이 낮게 나타남을 보인다.

이는 Fig.11의 결과에서 잘 알수 있으며, D부위의 경우에 있어서는 시험상태와 소재의 strain gauge 부착위치를 감안하면 10~20 MPa의 오차는 문제가 되지 않으리라 생각된다.

4. 결 론

- 1) H형의 안전율은 B부위에서 1.75이나 개선 설계된 H'형상의 경우는 1.56으로 기본적인 안전율인 1.5를 충분히 만족한다.
- 2) H'형상의 경우, 모든 하중조건과 세가지 각도 형상에 있어서 B부분의 용력이 가장 높은 값을 가지며 이는 z축 방향의 하중에 지배된다.

참 고 문 헌

- 3) H형과 개선 설계된 H'형상의 경우 B부위에 있어서는 H'형상이 H형보다 높은 응력값을 나타내고, 이외의 부위에서는 낮은 값을 나타낸다. 그러나, 최고로 높게 나타난 B부위의 H'형상의 응력값이 300MPa로 사용 소재인 GCD 45의 10^6 cycle에서의 피로 시간강도인 300MPa과 거의 일치하므로 안전하다.
 - 4) 단품 내구 시험결과와 응력해석 결과를 비교하여 보면 내구 시험결과값이 훨씬 낮게 나타난다. 이는 시험오차와 해석상의 조합하중값을 감안하더라도 본 시험 결과치의 범위에서 크게 벗어나지 않으리라 생각되며 H'형상의 모델이 강도와 원가절감면에서도 탁월하다고 생각된다.
1. D. N. Tankard, "FRONT SUSPENSION STRESS ANALYSIS LOWER CONTROL ARM", LOTUS, 1625, 91.
 2. 박영철, 윤두표, 강재욱, "Front Suspension Lower Arm에 대한 응력해석", 기아중공업 기술연구보고서 1~3권, 1996.
 3. 박영철, 윤두표, 진두병, "Front Suspension Lower Arm의 최적설계", 한국자동차공학회 추계학술강연대회, Vol. 1, pp 180~188, 1996.
 4. 기아자동차 연구소, "LOAD CALCULATIONS FOR NEW LOAD CASES", 기아자동차, 1989.
 5. 김홍섭, 신천우, 유광중, "차량주행상태의 LAB 재현실험 방법 I, II" 기아기보, 1994.
 6. Simon Mola, "Fundamentals of Vehicle Dynamics", G.M.I, 330~104.
 7. 小栗富士雄, 小栗達男 "표준 기계설계 도표 편람", 대광서림, 1987.