

〈논 문〉 SAE NO. 98370011

# 단면 형상의 변화에 따른 LOWER ARM의 응력 해석( I )

## Stress Analysis of LOWER ARM for Change of Section Shape( I )

박 영 철\*, 윤 두 표\*\*, 한 근 조\*, 배 명 호\*\*\*, 진 두 병\*\*\*, 이 범 재\*\*\*  
Y. C.Park, D. P. Yun, G. J. Han, M. H. Bae, D. B. Jin, B. J. Lee

### ABSTRACT

Stress distribution analysis was implemented by using finite element method for the lower arm connecting Independent front suspension. Results were obtained for the 8 load conditions and for the 3 types of section (I, H and H+I). On the basis of it, the shape and dimensions of lower arm were optimized. Finally it was pointed out that the H type has an most satisfied strength, among 3 section types and highest safety factor and yield strength in each case of load condition.

주요기술용어 : Lower Arm(로우어암), Independent Front Suspension(독립현가장치), Finite Element Method(유한요소법), Safety Factor(안전율), Yield Strength(항복강도)

### 1. 서 론

자동차산업의 급속한 발전을 토대로 자동차의 차체 및 샤키의 개발은 고품격화된 기술의 모태로 꾸준히 연구되어져 왔다. 이러한 자동차를 구성하고 있는 다양한 형태의 부품들은 각각의 안전성과 우수성을 유지한채 생산되어져 왔으나, 일부 부품들은 아직까지 기술적인 발전을 이루지 못한채 사용되어지고 있는 것도 현재의 실정이다. 특히 독립현가식 차축에서 프론트 액슬(Front

Axle)과 크로스 멤버(Cross Member)를 연결하는 구조인 로우어암(Lower Arm)은 현재의 생산방식과 재질에 문제가 발생하여 여러 자동차 회사에서 이를 해결하기 위한 연구가 진행되고 있다. 이와 같은 연구는 최근까지의 생산방식이 자동차 구조용 압연강판(SAPH)를 소재로 하여 프레스 가공한 제품이 널리 사용됨으로써 다른 자동차 차종에 적용시 강도에 따른 안전성 여부가 문제점<sup>1)</sup>으로 제기되었다. 따라서 로우어암의 소재를 프레스 가공에서 구상흑연주철(GCD45)의 주조품으로의 개발을 시도하였다.

그러나, 로우어암을 프레스 제품에서 주조품으로 변경하여 개발함에 있어서 적지 않은 어려움이 발생되고 있다. 특히, 개발 중에 있는 주조품

\* 정회원, 동아대학교 기계공학과  
\*\* 동아대학교 기계공학과 대학원  
\*\*\* 기아중공업 기술연구소

은 판연형상이 I형으로 주물작업시 다수의 증가가 필요하게 되며, 또한 한 개의 금형당 한 개의 제품밖에 작업할 수 없기때문에 생산성과 제조원가에서 경쟁력이 크게 저하되고 있으므로, 이에 대한 근본적인 대책이 절실히 요구되고 있다. 따라서, 이의 해결을 위한 최선의 개선방법은 로우어암의 형상을 변경, 설계하는 것이다. 즉 주물작업시의 문제점을 크게 보완하여 생산성을 향상시킬수 있는 H형과 이를 보다 보완한 H+I형으로 설계 변경함으로써 원가절감에 크게 기여할 수 있다. 그러나, 로우어암의 형상변경시 구조에 따른 원가절감 만을 고려한 형상 및 치수로 설계한다면 형상변화에 따른 강도저하가 원인이 되어 실차 주행시 로우어암의 파괴가 일어날 위험이 발생할 수도 있으므로 형상변경시 반드시 우선적으로 고려되어야 할 사항으로는 형상변화에 따른 로우어암의 각 부위에 대한 정확한 강도해석과 내구성 시험을 통한 수명에 대한 신뢰성확보<sup>2)</sup>이다. 따라서 본 연구의 목적은 전면현가장치(Front Suspension)의 로우어암 단면 형상 변화에 대하여 유한요소법을 이용하여 차량주행 특성에 따른 각 부위의 정확한 응력분포 해석을 수행하고자 한다.

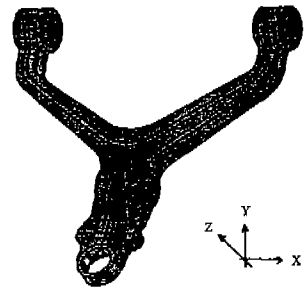
## 2. 유한요소해석법(FEM)에 의한 로우어암의 응력해석

### 2.1 응력해석 방법

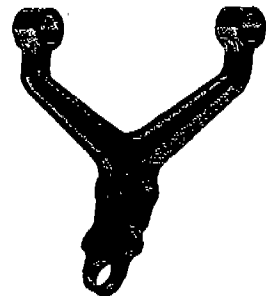
로우어암의 응력해석에 이용한 해석 프로그램은 상용구조 해석용 범용 프로그램인 ANSYS 5.2를 사용하였다. 응력해석 대상 제품은 K사의 로우어암으로 기존 양산품인 암(Arm)에서 볼조인트(Ball Joint)까지 I형 단면구조를 가진 단면 I형과 암에서 볼조인트까지 H형 단면구조를 가진 구조 개선품인 H형, 암부는 H형 단면, 포크부시(Folk Bush)에서 볼조인트까지 I형 단면구조를 가진 구조개선품으로 달리 변형한 H+I형의 세종류에 대하여 해석을 수행하였다. 이때의 요소는 로우어암이 예리하게 각을 이루는 부분이 너무 많아서 오토메시(Auto Mesh)상의 문제가 제기됨으로 4절점 4면체 요소를 이용하였으며,

또한 요소의 수는 I형은 5,710개, H형 4,945개 H+I형은 4,631개 이며, 요소의 길이에 있어서 가장 긴 한변의 길이는 15mm이고 가장 작은 변의 길이는 5mm로 하여 최대와 최소의 비율 3:1로 하였다.

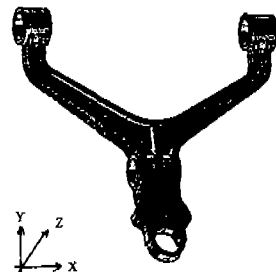
사용되어진 재료는 GCD 45이며, 이 재료의 재료상수로는  $E=1.69 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ,  $\nu=0.29$ 를 적용하였다. 하중조건으로서는 로우어암에 볼조인트를 부착시켜 볼조인트 중심(Ball Joint Center)에 집중하중을 가하는 형식으로 3종류의 모



(a) I type



(b) H type



(c) H+I type

Fig.1 Modeling of LOWER ARM

델을 세개의 각(6.43°, 20.8°, -14.7°)에 대하여 8가지 하중조건에 따라 하중을 가하였다. Fig.1에 본 해석에 사용한 로우어암의 형상을 모델화(Modeling)하여 나타내었다.

2.1.1 하중조건

차량 주행시 휠(Wheel)측에 발생하는 4방향의 하중들은 비독립적이며 복합적으로 작용함으로써 도로 노면의 기복에 의하여 발생하는 상하 진동, 운전자의 가속속에 의한 관성하중, 운전자의 제동에 의한 제동하중 및 선회시 타이어의 측면이 벽면 접촉 또는 자갈길 등을 주행시에 발생하는 횡력 등으로 분류가 된다. 본 해석에 사용한 하중조건은 이런 하중들을 각 주행 조건별로 세분화 시킨 것이다. Fig.2는 차량 주행시 휠측에 발생하는 4방향의 하중<sup>3),4)</sup>을 나타내었으며, Table 1은 하중의 종류와 볼조인트부에 작용하는 하중의 크기<sup>3)</sup>를 나타내었고, Table 2는 로우어암의 장착각도 및 주행 조건을 나타내었다.

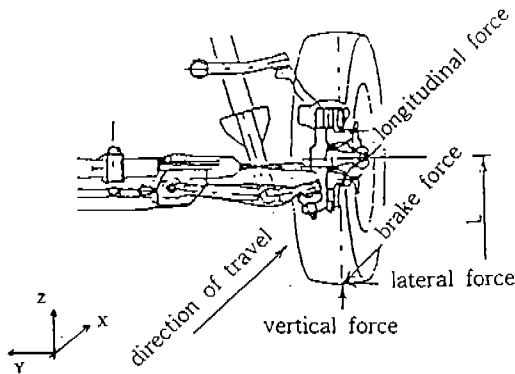


Fig.2 Load Type Which Acted on Wheel

2.1.2 구속조건

응력해석시의 구속조건은 Fig.3과 같이 로우어암의 부시(Bush)부에 있어 회전이 가능하나 가능한 가혹한 환경을 부가하기 위하여 안쪽면 3방향 모두를 구속하고 포크부시부는 안쪽면 z 축 방향 변위만을 구속하였다. 이때의 구속조건은 세 형상 모두 동일하다.

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	

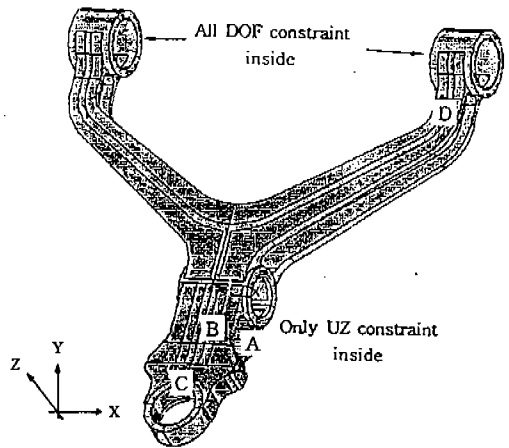


Fig.3 Boundary Condition of LOWER ARM Analysis

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

3. 해석결과 및 고찰

3.1 로우어암의 단면 형상에 따른 응력해석

3.1.1 I형 단면

Fig.4는 I형 단면에 있어서 장착각도 6.43°의 경우 8가지 하중 조건에 따른 로우어암의 세부 부분의 등가응력값들을 나타낸 결과이다. A부는 포크부시부와 볼조인트부를 연결하는 부위의 측면부이며, B부는 윗면, C부는 볼조인트 주위에서 포크부시 가장 가까운 거리, D부는 부시와 암이 만나는 경계지점이다. 전체적으로 A부에 있어서의 응력값이 가장 높게 나타나고 있으며 나머지 부분과의 응력값 차이도 크게 나타남을 보이고 있다.

또한, B부의 값과 C부의 값을 비교하여 보면 C부의 값들이 일정한 크기로 아주 낮게 나타남을 보이고 있다. 이와 같은 결과는 I형 단면에 있어서 볼조인트부는 하중의 영향이 매우 적음을 알 수 있다. 이것은 로우어암 장착각도가 정상상태인 경우 포크부시부의 z방향이 구속되어 있으므로 x, y축에 작용하는 하중보다 z축 방향으로 큰 하중이 작용하는 경우인 PB, PC일 때, I형 단면의 구속지점에서의 굽힘 응력 발생이 상대적으로 증가함에 따라 A, B부의 응력은 증가하나 하중 작용점 부근인 C부에서의 응력 발생은 작

아질 것이라 생각된다.

그러나 OK와 PaB와 같이 x, y축의 하중이 z축 방향의 하중보다 큰 경우는 x, y축의 조합하중으로 인하여 A부의 응력이 증가된 것이라 생각된다.

3.1.2 H형 단면

Fig.5는 H형 단면에 있어서의 경우이다. I형 단면과는 달리 전체적으로 높게 나타나는 응력부위가 한 부위에 국한되어진 것이 아니라 각 하중조건에 따라 다양한 형태를 보이고 있음을 알 수 있다. 특히, x축 방향의 하중이 상대적으로 높은 PB, OK, PaB의 하중조건인 경우에 있어서 로우어암 C부위에서의 응력이 높은 값을 가짐을 알 수 있다.

또한, y축 방향의 하중이 비교적 높은 PC, OK, LK의 경우 특정 부분이 일률적으로 높은 응력값을 나타내지 않고 있으며 그 응력값의 크기도 그다지 높은 값을 나타내지 않음을 확인할 수 있다. 그러나, z축 방향의 하중이 큰 경우인 PB, PC의 경우 로우어암의 A부와 C부에서 응력값이 높게 나타남을 알 수 있다.

이상의 결과에서 H형 단면의 경우 C부에서 가장 취약함을 알 수 있고 이때에 영향을 미치는 축 방향 하중은 x축과 z축 방향임을 알 수 있다.

그러나, A, B부에서의 응력값은 I형 단면의

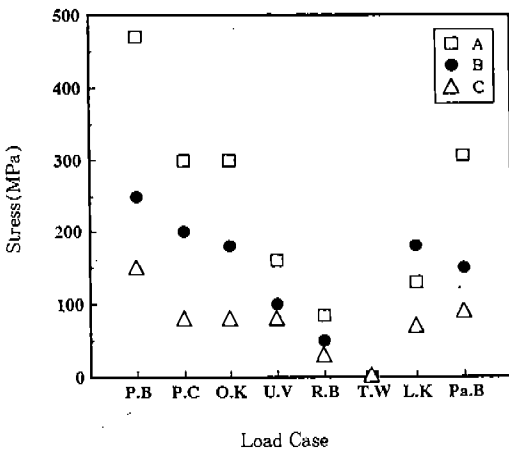


Fig.4 Stress Analysis of LOWER ARM for Load Case at 6.43° of I type

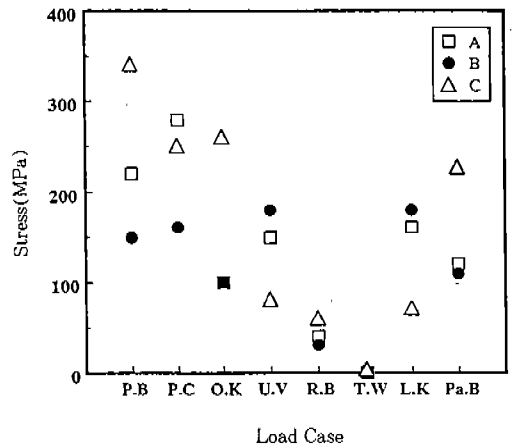


Fig.5 Stress Analysis of LOWER ARM for Load Case at 6.43° of H type

경우와 비교하여보면 아주 낮은 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

3.1.3 H+I형 단면

Fig.6은 H+I형 단면인 경우의 각 하중조건에 따른 정상상태의 장착각도를 가질때의 결과이다. 전체적으로 A부에 있어서 가장 높은 값을 나타내고 있음을 알 수가 있으며 또한, 그 범위도 큰 차이를 보이고 있음을 나타낸다. 특히, PB와 PC, PaB와 같은 z축 방향의 하중이 아주 클 경우 A부의 응력값이 300MPa에서 600MPa까지 아주 높게 나타남을 보인다. 그러나, 이와는 달리 C부의 경우 전체적으로 낮게 나타남을 알 수가 있다. 이상의 결과에서 H+I형 단면인 경우 포크부시부와 볼조인트부까지는 I형 단면, 그리고 포크부시부와 부시까지는 H형 단면을 이루고 있어 포크부시부에서의 단면 형상 변화에 따른 단면계수의 차이로 I형 단면 보다 전체적으로 강도면에서 취약한 형태를 나타냄을 알 수 있다.

그러나, C부의 경우 H형 보다 I형 단면의 영향이 지배적으로 작용함에 따라 그의 응력값들이 낮게 보임을 확인할 수 있다. 따라서 이전의 두 단면 형상보다 조금은 안전하리라 생각했던 복합 단면의 경우가 의외로 더욱 취약한 구조를 나타냄을 알 수 있다.

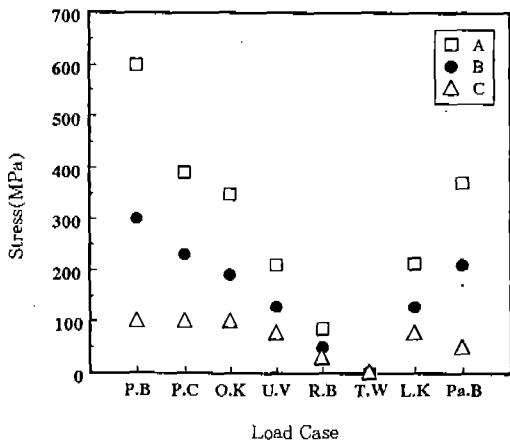


Fig.6 Stress Analysis of LOWER ARM for Load Case at 6.43° of H+I type

3.2 로우어암의 단면 형상과 장착각도에 따른 응력해석

3.2.1 장착각도 6.43°의 경우 하중조건에 따른 로우어암 응력 분포

Fig.7에는 단면이 I형, H형, H+I형에 있어서 PB 하중 조건일때의 응력분포 상태를 각각 나타내고 있다. 응력분포는 각각의 단면형상에 있어서 A, B, C부에 응력이 집중되어 있고, 또한 응력집중 정도는 A부에서는 단면이 H+I형인 경우가 가장 높게 나타나고, 다음으로 I형과 H형의 순서임을 알 수 있다. C부에 있어서는 H형의 경우가 가장 높은 값을 보이고 있으며, 이는 하중조건에 대한 각각의 단면에 있어서의 굽힘모멘트의 발생이 I형 보다는 H형의 경우가 훨씬 적음을 나타내고 있다.

Fig.8은 Fig.7의 조건에서 각 단면 형상에 따른 해석 결과를 나타낸 그림으로 각 형상의 양면에 대하여 나타내었다. 전체적으로 굽힘시 인장이 발생하는 아랫면의 응력이 높음을 알 수 있다. 그러나 본 연구에 있어서는 실제적인 파괴와 관련이 있는 윗면을 고려하였다.

Fig.9는 PC하중조건인 경우의 응력분포 상태를 나타내었다. A부에 있어서 응력집중 현상이 두드러짐을 알 수 있으며, H형 단면의 경우는 C

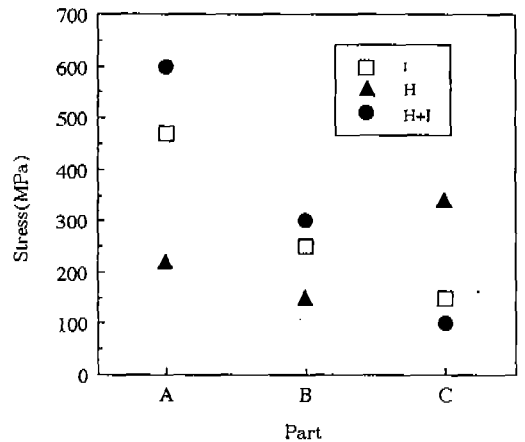
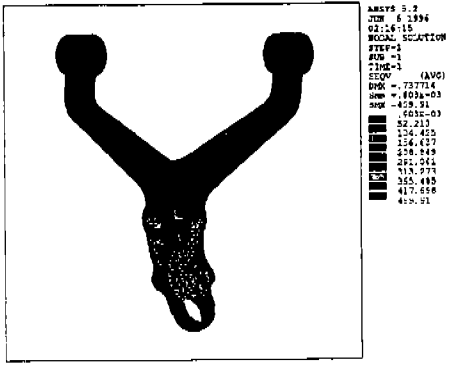
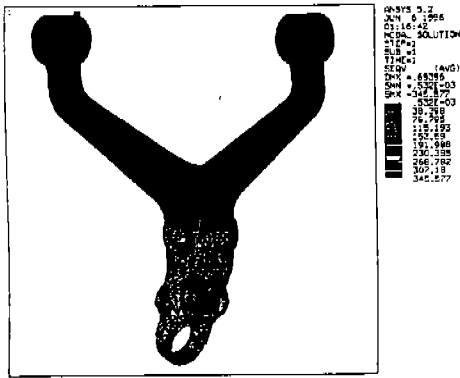


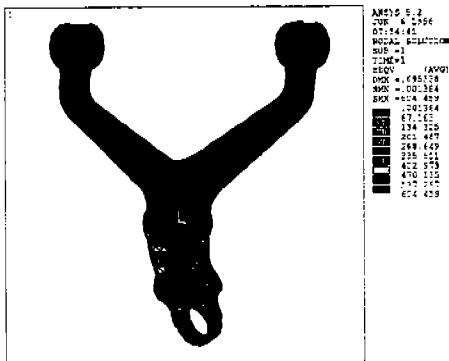
Fig.7 Stress Analysis for 3 Parts of Each Type in the Condition PB and 6.43°



(a) I type



(b) H type



(c) H+I type

Fig.8 The Results of Each Type in the Condition PB and 6.43°

부위에서 응력집중 현상이 나타남을 알 수 있다.

H+I형 단면에 있어서는 I형과 마찬가지로 A 부위에 응력집중이 되어있음을 보이고 있으나, B, C 부위에도 그 영향이 미치고 있음을 알 수 있다.

이상의 결과에서 로우어암의 장착각도가 6.43° 일 때 z축 방향으로 하중이 크게 작용하는 경우 H형 단면이 다른 두 단면의 형상에 비해 상대적으로 응력집중과 그 크기는 낮음을 알 수 있다.

3.2.2 최대각도 20.8°인 경우 하중조건에 따른 로우어암 응력 분포

Fig.10은 PB의 하중조건인 경우로 A부에 있어서 I형과 H+I형의 경우가 가장 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 B부의 경우에서도 전반적으로 H+I형>I형>H형의 순으로 집중되고 있으며 C부의 경우에서만 H형의 경우가 가장 높게 나타남을 알 수 있다. 여기서 장착각도가 6.43°인 경우와 비교하여 보면 20.8°일 때의 응력이 훨씬 높게 나타나고, 이는 로우어암의 장착 각도가 상승함에 따라 파손의 위험도 증가됨을 보이는 것이라 할 수 있다.

Fig.11은 PC 하중조건인 경우의 응력분포상태로서 하중조건 PB와 마찬가지로 A부에 있어서의 응력집중은 H+I형이 가장 높게 나타남을 알 수 있고, B부에 있어서는 H형이 가장 높음을

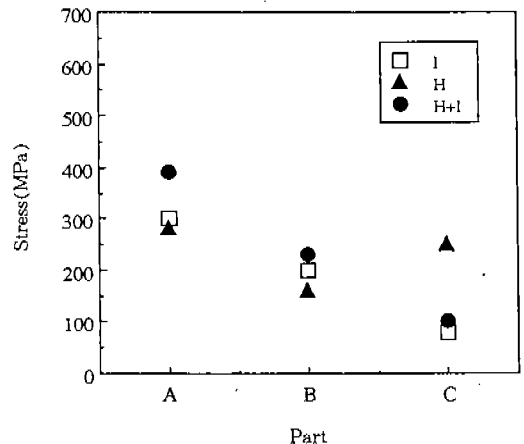


Fig.9 Stress Analysis for 3 Parts of Each Type in the Condition PC and 6.43°

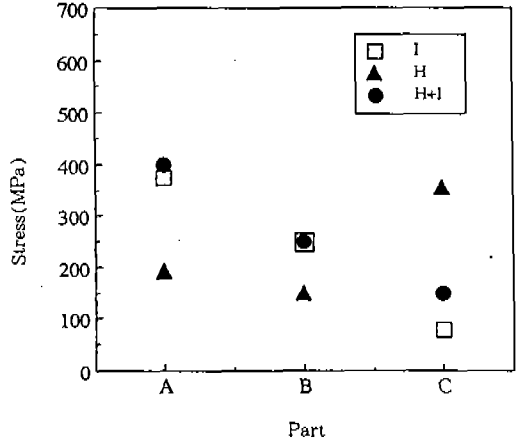
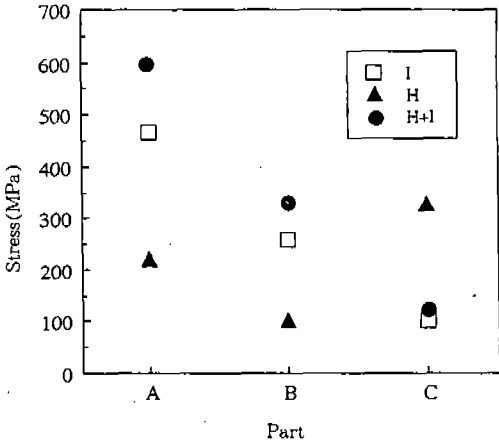


Fig.10 Stress Analysis for 3 Parts of Each Type in the Condition PC and 20.8°

Fig.12 Stress Analysis for 3 Parts of Each Type in the Condition PC and -14.7°

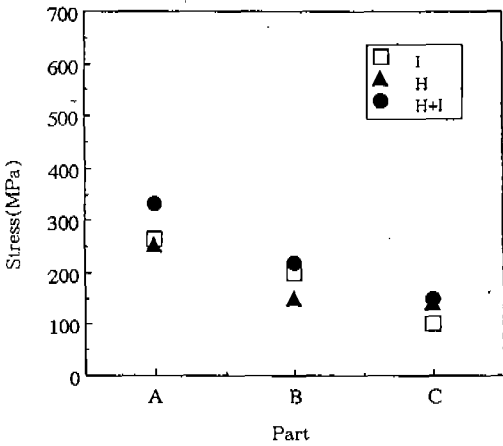


Fig.11 Stress Analysis for 3 Parts of Each Type in the Condition PC and 6.43°

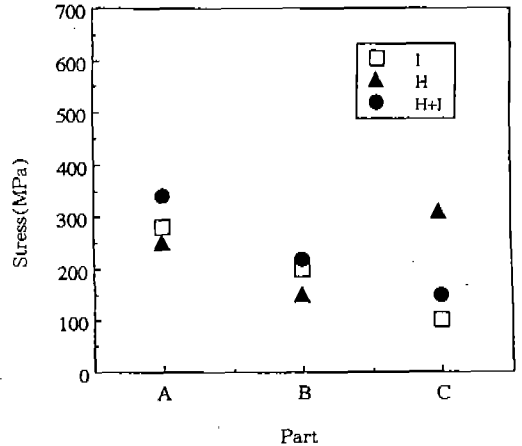


Fig.13 Stress Analysis for 3 Parts of Each Type in the Condition PC and -14.7°

알 수 있다. 또한 A부에 있어서 장착각도 6.43°인 경우와 비교하여 보면 전반적으로 응력집중의 크기는 낮아져 있음을 보인다. 이는 PC의 경우 PB와는 달리 로우어암의 장착각도가 상승하더라도 응력이 증가하지 않고 오히려 낮게 나타남을 보이고 있으며 결과적으로 PC의 경우 로우어암의 장착각도는 z축 방향의 하중 보다는 x축과 y축 방향의 하중조건에 더많은 영향을 받음을 알 수 있다. 이와같은 결과는 최소 각도인 -14.7°의 경우에 있어서도 확인할 수 있었다.

3.2.3 최소각도 -14.7°인 경우 하중조건에 따른 로우어암의 응력 분포

Fig.12는 PB의 경우를 나타내었다. 두 각도의 경우와 마찬가지로의 결과로 A부의 응력집중 현상이 H+I형, I형의 경우에 높게 나타나고 있으며 C부의 경우에 있어서는 H형의 경우가 가장 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 그 정도는 앞의 두 장착각도의 경우보다 높게 나타남을 알 수 있다.

Fig.13은 PC의 경우로서 A부의 경우에 있어

Table 3 The Result for Load Condition of Each Type(unit : MPa)

Load Condition \ Type		6.43°			20.8°			-14.7°		
		I	H	H+I	I	H	H+I	I	H	H+I
PB	A	469.91	220	600	467	220	596	375	190	400
	B	250	150	300	260	100	330	250	150	250
	C	150	340	100	100	327	120	80	353	150
PC	A	300	280	390	263	252	331	280	250	340
	B	200	160	230	200	150	220	200	150	220
	C	80	250	100	100	140	150	100	309	150
OK	A	300	100	350	301	90	292	299	130	285
	B	180	100	190	200	90	160	180	130	220
	C	80	260	100	100	284	50	90	25	100
UV	A	160	150	210	166	150	214	120	100	152
	B	100	180	130	110	90	120	70	80	80
	C	80	80	80	80	162	90	130	180	60
RB	A	85	40	87	86	50	88	67	30	68
	B	50	30	50	60	30	60	50	20	50
	C	30	60	30	30	60	30	20	62	20
TW	A	0.5	0	0.2	1	0.9	1	0	0.5	1
	B	0.5	0	0.5	0	0	0	1.5	1.6	1.4
	C	1.8	3	1.5	2.8	4.2	2.3	0	0	0.5
LK	A	130	160	215	70	80	80	200	200	349
	B	180	180	130	128	70	129	242	267	230
	C	70	70	80	50	150	60	50	100	100
PaB	A	305	120	371	304	120	365	243	50	283
	B	150	110	210	250	80	200	130	100	150
	C	90	227	50	100	224	50	80	229	100

서 H+I형과 I형의 응력집중이 크음을 알 수가 있으며 B, C부의 경우에 있어서는 H형이 가장 큰 응력집중을 나타내고 있음을 보인다. Table 3에 이상의 결과를 종합적으로 나타내었다.

#### 4. 결 론

1) 로우어암의 단면 형상이 I, H, H+I형에 대하여 응력해석한 결과 모두 A, B, C부분에서 응력이 높게 나타났다.

2) 8가지 하중 조건중 POTHOLE BRAKING에서 가장 큰 응력값을 보이고 있으며, 수직 방향 하중인 z축 방향 하중에 거의 영향을 받는다.

3) 같은 하중 조건에서 H+I>I>H의 순으로 응력집중이 나타났다. 따라서, 강도면에서 H형을 개발하는 것이 가장 적합하다.

#### 후 기

본 논문은 97년도 동아대학교 부설 연구소 공



모과제에 의하여 지원되어진 연구임으로 이에 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 박영철, 윤두표, 강재욱 “Front Suspension Lower Arm에 대한 응력해석” 기아중공업기술연구보고서 1~3권 1996.
2. 김홍섭, 신천우, 유광중 “차량주행상태의 LAB 재현실험 방법 I, II” 기아기보, 1994.
3. Simon Mola “Fundamentals of Vehicle Dynamics” G.M.I, 330~104.
4. 小栗富士雄, 小栗達男 “標準機械設計圖表 便覽” 대광서림, 1987.