

# 고안전 차체 개발에 관하여

박 관 흠 부장 · 현대자동차(주) 차량개발팀

## 1. 서론

최근 안전 및 연비 향상을 위한 차체 부분의 급격한 변화가 나타나고 있다. 세계 철강 업체가 주축이 되어 개발한 ULSAB 차량, 아우디와 ALCOA가 개발한 알루미늄을 이용한 A8 차량, 그리고 알루미늄, 고장력 강판, TWB 및 레이저 용접이 사용된 폭스바겐 Lupo 차량 등이 현재 새로운 기술로 제작되는 차량이다.

본 고에서는 현재 차체에 적용

되고 있는 설계기술과 생산기술, 그리고 해석기술에 대한 검토 및 그 결과에 기초한 향후차체개발 방향[1]에 대하여 논하겠다.

## 2. 차체 개발 동향

승용차 차체는 일체 구조, 프레임 부착 구조, 스페이스 프레임 구조[2]의 세 가지로 크게 나누어 지는데, 현재는 대부분이 일체 구조로 개발되고 있다. 일체 구조로 된 차량들의 경우 각종 성능 향상과 중량 감소를 동

시에 만족시키기 위하여 고장력 강판, TWB 등을 적용하는 것이 현재의 추세이다.

스포츠 차량과 경주용 차량 등 특수 차량에서나 볼 수 있는 스페이스 프레임 차량의 경우, 폭스바겐에서 일반 승용차에 적용하여 개발하였고, 알루미늄 스페이스 프레임을 이용하면서 각 조인트 부분이나 도아 등이 장착되는 부분은 다이캐스팅 공법으로 개발된 A2가 아우디에서 개발되었다.

이 예에서 보듯이 현재의 차체

〈표 1〉 차체 부품별 재질 적용 예상

자동차	2002(년)				2007(년)			
	철	플라스틱	알루미늄	기타	철	플라스틱	알루미늄	기타
Door	85	5	3	7	80	10	8	2
Front Door	84	10	3	3	75	75	15	5
Hood	86	5	10	-	70	10	14	6
Rear Deck	90	3	6	1	75	10	10	5
Rear Qtr Pnl	90	2	2	6	75	5	5	5
Roof	95	1	1	2	90	4	5	1

〈표 2〉 TOYOTA 충돌 안전 대응

구분	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000	2001	2002	
법규	정면NCAP(78)						OFFCAP(95)		A/BAG(97)DEPOWERED			ADV.A/BAG(02)		
	FMVSS(70조)			측면법규(93-96)					FMH(98-02)			복미(OFFSET(?))		
법규							SINCAP(96)					D.ROLLOVER(?)		
법규											CMVSS강화(99/9)후방추돌강화(?)			
공통성	ADAC(OFFSET(86))						EURO-NCAP(95)		OFFSET(98)			보행자법규(?)		
	유럽		AMS OFFSET(90)				(보행자보호)					LUGGAGE(00.8)		
TOYOTA				CIAS-정면=>		GOA=====>		GOA LEVEL-UP=>				ECE/R21(?)		
				〈AVALON〉		〈STARET〉		〈PRIUS/ARISTO〉					차세대GOA(?)	
						#20-30kg증가		1.총돌안전지향					* COMPATIBILITY	
				VIPS 측면		#유럽측면법규		NEWPLATFORM						* TOTAL 충돌안전
				〈CROWN〉		〈CORONA〉		2.가공법(TWB.H/F,레이저용접)						
						#60kg증가		3.재료(초고장력)						
						#OFFCAP/SINCAP		(=>질량증가 "0")						

개발은 기존의 제작 방법의 틀을 벗어나 중량 및 각종 성능을 만족하게 하는 새로운 시도가 계속되고 있다. 차체의 각 부분마다 만족하여야 할 성능에 맞추어 제작 공법을 선택 적용하고 있으며 재질도 각 부위의 특성에 따라 알루미늄, 마그네슘, 플라스틱, 고장력강, 일반강 등이 적용되고 있다(표 1)(3).

여러 가지 재질을 혼용하여 사용하게 되거나 부품이 제작된 방법이 다를 경우에는 일반적으로 사용되고 있는 점 용접이나 볼트 체결 방법은 불가능하거나 비효과적이기 때문에, 레이저 용접, 아크 용접, 볼트, 점 용접, 리벳 등을 혼합하여 사용하는 방법이 시도되고 있다. 차체를 구성하는 부품을 성형하는 방법에서도 파

찬가지로 스템핑, TWB 스템핑, 하이드로 포밍, 벤딩, 주조, 인발, 사출 등 여러 가지가 사용되고 있다.

### 3. 주요 성능

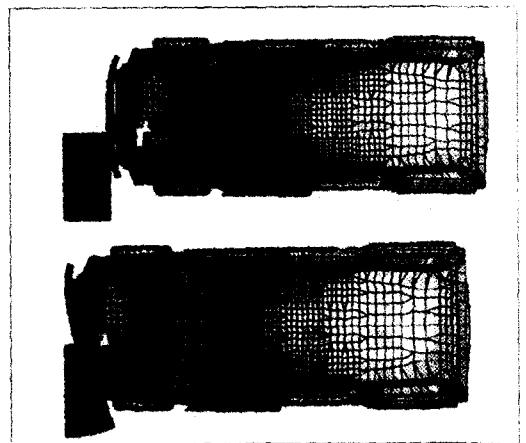
#### 3.1 충돌 성능

다른 차량 또는 물체에 부딪혔을 때 그때의 운동 에너지 변화에 따라 차량의 변형이 이루어지게 된다.

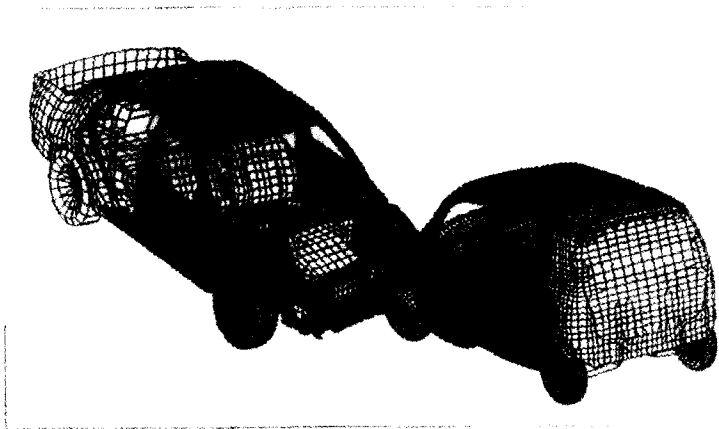
이 운동 에너지가 차체의 변형 에너지로 변환 시 차체의 어느 부분에서 어떻게 부담

하여야 하는 지가 차량의 충돌 대책이 된다.

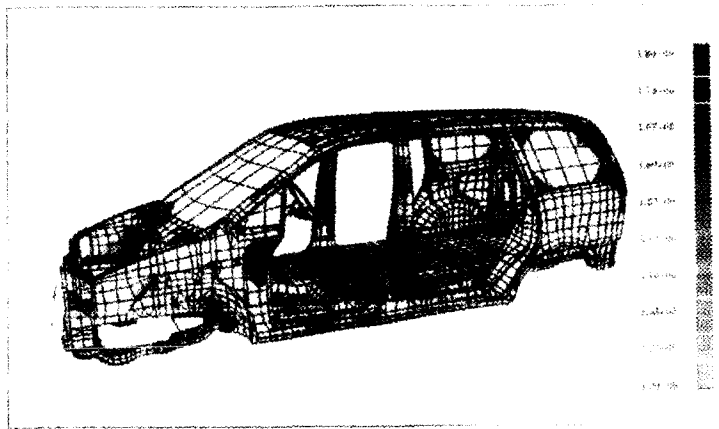
에어 백이 개발되기 전에는 승객 상해치에 치명적인 악영향을 주기 때문에 차체를 너무 강하게 하는 것은 제한되었다. 그러나



〈그림 1〉 OFFSET충돌



<그림 2> 양립성시험



<그림 3> 차체동강성해석

에어 백 시스템으로 충돌 시 일어나는 충격이 인체에 주는 영향을 경감시켜 줄 수 있기 때문에, 최근에 개발되는 차체들은 충돌 시 높은 감 가속도 유발에도 불구하고 종전보다 강하게 개발되고 있다.

또한 CAD/CAE의 발달로 설계자들이 차체의 진동, 충돌[4], 강도 및 내구 측면등을 동시에 분석하는 것이 가능하기 때문에, 종래의 수동적 그리고 보

수적 설계에서 적극적인 설계로의 변환이 이루어지고 있다. 예를 들면, 충격력의 전달 체계를 명확히 파악하게 되어 성능이 좋으면서도 간단한 설계, 즉 주요 부재의 직선화, 급격한 굴곡 회피, 분지화가 적극 사용되고 있다.

최근에 OFFSET NCAP<그림 1>이라는 상품성 평가가 실시된 이후에는 종래의 국부적인 보강으로는 대처가 불가능하게

양립성 시험을 실시하는 차량을 유도해가는 방향으로 접착이 되고 있으며, 더불어 스프링 기술의 발달 및 개진 부싱의 강도로 60, 80, 100Kgf/mm<sup>2</sup>의 고강력 강판이 사용되고 또한, 레이저 용접 기술의 발달로 TWB 적용도 증가되는 추세이다<표 2>.

그러나 향후 양립성 시험(Compatibility Test)<그림 2>이 대두될 것으로 예상되기 때문에 현재까지 적용되고 있는 충돌 대책으로는 부족하다.

사시, 엔진 등에서는 기체 및 재료의 기능보완을 통해 기체 이상에 한계를 보이자 전자제어용 부가하기 시작하였다. 그러나 차체에 대한 전자 장치의 부가는 국부적이 아닌 차체 전체에 걸쳐 최적 필요하단 때문에 적용이 인 측면에서 어렵다. 차체 충돌은 운동에너지가 변형에너지로 변환하는 것이 기본이다. 10여년 전 국내의 한 발명가가 국체에 공기 튜브를 삽입하여 어느 방향의 충돌에 대해서도 그 충격력을 공기 튜브를 통하여 차량의 모든 부분에 전달되게 함으로써 그 충격을 크게 완화 할 수 있는 장치를 개발하였다. 그러나 이 방법은 차량의 제작상, 그리고 공기 튜브의 압력을 계속 유지하기 위한 방법, 중량 증가 등의 문제로 양산 적용이 불가하였다.

중량이 큰 차량과 작은 차량, 차체가 강한 차량과 약한 차량 그리고 다양한 충돌 속도 등 여러 가지 조건 하에서의 성능을

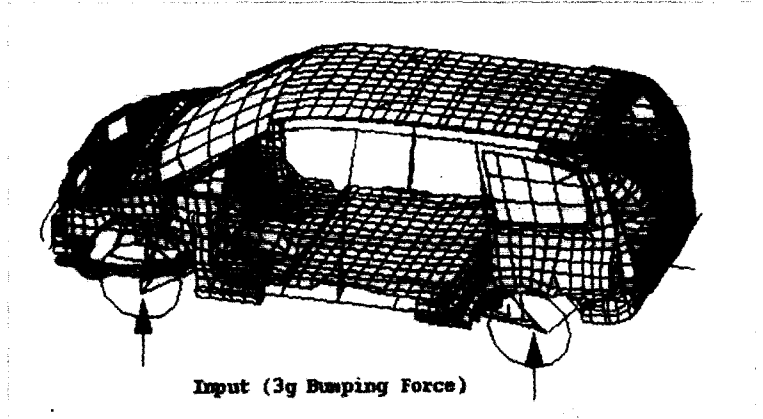
평가하는 양립성 시험인 경우에는 한정된 부분에서의 충격을 차량의 다른 부분으로 분산시키지 아니하고는 대처 방안이 없다. 그러므로 차량 입의의 부분에서 발생된 충격력을 전자, 기계, 유압, 공압적인 방법으로 차량의 다른 부분으로 짧은 시간내에 분산시키는 방안이 개발되어야 할 것이다.

SUV같은 무게 중심이 높은 차량의 경우 전복이 쉽게 일어난다. 이때의 승객 상해를 줄이기 위하여 A, B, C Pillar를 강하게 하는 방법이 사용되어 진다. 그러나, Window가 상대적으로 커지는 현재의 스타일 추세에서는 전복 성능이 가장 확보하기 힘든 충돌 성능이 된다.

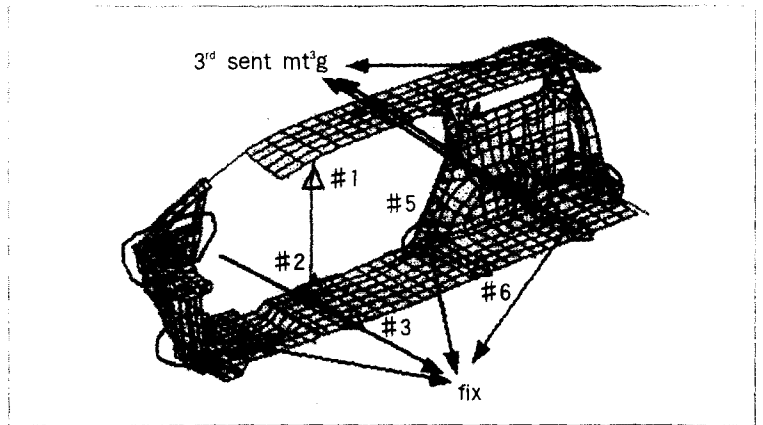
현재 설계하는 차량에서 꼭 고려하여야 하는 성능은 보행자 및 자전거 운전자 보호 성능이다. 이미 유럽의 EURO NCAP에서는 보행자 보호 성능을 측정하여 발표하고 있다. Bumper 및 Hood의 설계시 충돌 에너지 흡수를 위한 형상 및 재질 선정 최적화가 필요하다.

40 진동/소음 성능

전체 강성은 주요 부품의 배치와 주요 골격의 특성 그리고 결합부(JOINT)의 특성에 따라 결정된다. 굽힘모드, Lateral mode, 비틀림 모드 등과 이들의 혼합된 모드가 각각 어느 고유 진동수 대에서 일어나는지가 골격 진동의 특성이며, 승차감과 조종 안정성에 큰 영향을 미치



<그림 4> 내구강도해석



<그림 5> 시트벨트 ANCHORAGE강도해석

므로 개발되는 차량의 개념에 따라 최소한 어느 정도의 고유 진동수가 되어야 하는지 목표가 명확화하여야 한다(그림 3).

국부 강성은 Point Mobility라고도 하며 Acceleration/Force의 단위를 갖는다. 엔진, 동력 전달계, 서스펜션이 부착되는 곳은 진동 전달계로의 시작이 되며, 또한 차량 조종 안정성의 강성 감에 중요한 역할을 한다. 그러므로 입력되는 하중의 최대

값을 구하고 그 값에 맞는 동적 강성을 가져야 한다. 물론 동적 강성 값이 크면 클수록 좋으나, 중량을 고려하여 최적 목표를 가져야 한다. 스피커가 부착되는 차체 부분의 국부 강성도 스피커의 성능에 크게 영향을 미친다. 정적 강성 뿐만 아니라 진동원으로서의 음압을 고려하여 동적 강성도 최소한의 값 이상을 가져야 한다.

판넬 강성 또는 막 진동은 저

향후의 차체 개발에 있어서는 선진 메이커의 역사 만큼의 많은 실험 결과 등이 자료화 되어 있다.

#### 4. 차체 개발에서의 성능 확보를 위한 CAE

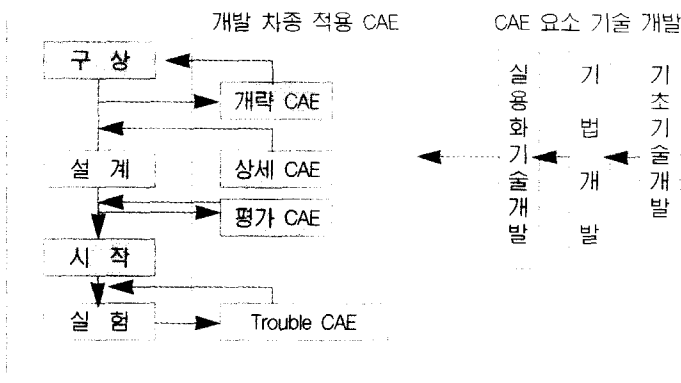
선진 메이커의 경우에는 그 회사의 역사 만큼의 많은 실험 결과 등이 자료화 되어 있다.

그러므로 이런 자료와 확보된 실험 기술로 CAE 도움없이도 성능이 뛰어난 제품 개발 능력이 보유하고 있으나 최근에 CAE에 투자하는 이유는 최적화, 성능 향상, 개발기간 단축 때문이다.

차체 개발에서의 CAE 적용 방법(그림 6)은 진동, 소음, 내구, 강성, 충돌 분야로 나눌 수 있다. 진동, 소음의 경우에는 Road Noise, 고속 주행 시의 고속 부밍 소음 등이 산과정을 거치고 적용되고 있다.

내구해석의 경우는 차체에 가해지는 변위 또는 하중으로 인한 용접점 파손이나 판넬 찢어짐 등이 발생하는 시점예측으로 사용되고 있다. 충돌해석의 경우는 충돌 에너지의 효율적 분산과 국부적 과도한 변형 방지를 위한 주요 부재를 배치하는데 이용하고 있다. 종래의 각 성능 해석별로 4만 내지 8만개의 요소들이 들어가는 모델에서, 현재는 10만 내지 50만개의 요소를 갖는 하나의 모델을 구성하여 전 성능 해석을 수행하고 있다.

이 경우 해석 정도의 향상뿐만 아니라 소위 튜닝하는 노력의 감소로 해석결과를 얻는 시간이 크게



〈그림 6〉 CAE 기술 개발과 적용 방법

속, 중속의 부밍 소음에 영향을 미치고, 국부적인 막 진동은 고속 부밍에 영향을 미치므로 차실의 공명 주파수와 막 진동의 공진을 피하여야 한다. 판넬 강성을 변경하기 위해서 두께, 보강재, 포밍, 용접점 수, 위치 등을 변경시킨다.

공진을 고려한 주파수 대역에서의 내구 해석이 이루어져야 한다. 〈그림 4〉이 해석이 가능한 경우에 차체의 각 부위의 형상, 두께, 재질, 용접 방법, 용접위치, 용접점 개수 등의 최적화가 가능하여진다.

#### 3.3 내구 성능

차체에서의 내구는 차량 주행 중 각 부위에서 발생하는 최대 응력과 최소 응력의 변화 폭의 크기와 발생하는 횟수에 의하여 성능이 결정된다. 즉, 하중이 크게 걸리는 부위보다 하중의 변화가 큰 곳에 먼저 피로 파괴가 발생된다. 충돌, 진동, 소음 성능을 향상시키기 위하여서는 중량 증가가 요구되며, 동시에 연비 성능 측면에서는 경량화가 요구된다. 차체를 경량화하기 위하여서는 내구 성능 확보여부가 관건이다. 각 부위에 작용하는 하중 이력을 이용하여, 차체와 하중의

#### 3.4 정적 강성/강도

차량의 굽힘 강성, 비틀림 강성은 진동이나 소음 측면에서도 중요하다. 진동 및 소음에 관련된 것은 진동 모드 해석으로 성능 판단이 가능하므로, 정적 강성은 개구리 주차 같은 서어비스 하중이 최대가 되는 상태에서의 차체 변형으로 인한 뒷 유리가 깨어지지 않도록 하는 관점에서 설계가 되도록 하는 기준이 된다. 루프나 도어의 판넬에 대한 텐트는 재질의 특성이나 부재의 형상에 기인한다. 시트 벨트의 앵커에 대한 강도는 차량이 충돌 하였을 때 시트 벨트가 차체의 변형으로 구속 기능을 상실하지

게 줄어들고 있다.

CAE를 통한 최적화를 하기 위하여서는 선결 조건들이 있다.

첫째로 해석 모델의 신뢰성, 둘째로 재료의 특성 확보, 셋째로 하중 조건과 경계 조건 확보, 넷째로 목표 값 확보이다.

해석 모델의 신뢰성 확보는 얻고자 하는 해에 적합한 모델링을 하느냐에 달려 있다. 재료의 특성 확보는, 충돌 해석의 경우에는 각 부재가 겪는 응력-변형률 특성, 용접점의 응력 변형률 특성, 볼트의 파단 응력과 항복 응력 등이 된다. 용접점 및 볼트 등의 파단 조건의 수치화는 현재 개발 중에 있으므로 용접 점 파단이나 볼트 파단이 일어 나는 충돌의 경우에는 해석과 실제 현상과 차이가 발생된다.

하중 조건과 경계 조건은 내구 해석의 경우가 정의되기가 힘들다. 차체에 작용되는 하중이 정의되어야 하는데, 기존 차량이 있는 경우에는 스트레인 게이지를 이용하여 측정할 수 있다. 신차 개발의 경우는 하중을 서스펜션이나 동력 장치의 거동을 모사하는 동력학 해석이 필요하다.

특히 주행 중 각 시스템이 장착되는 부분에서의 하중을 얻기 위하여 가상 주행 시험장(Virtual Proving Ground)하고 있지만 현재까지 신뢰성이 낮은 편이다. 그러므로 비슷한 서스펜션 타입과 차체 구조를 가지는 기존 차량의 자료를 이용하여 해석을 수행한다. 이 경우 정확한 하중을 모르기 때문에 최적화

는 어렵다.

진동 해석의 목표치는 경험과 많은 차량을 분석한 자료를 통하여 결정되어진다. 일반적으로 차체의 첫번째 고유 진동수가 높을수록 좋은 진동 특성을 갖는다는 것을 알고 있다. 그러나 이를 위해서는 차체가 강해져야 되는데 이때 중량 증가가 뒤따른다. 그러므로 모드 맵(Mode Map)을 이용한 가능한 고유 진동수 범위와 허용 가능한 중량 증가량으로 차체의 첫번째 고유 진동수의 목표치를 정할 수 있다. 이상과 같이 CAE 적용을 위해서는 각종 재료의 비선형 특성 확보, 용접, 리벳, 볼트 등의 결합 방법에 따른 응력 변형 관계 확보, 차량 진동 및 음향 모드 데이터 베이스, 하중 예측 방법 개발 등이 필요하다. 위에서 설명한 데이터 베이스나 기술을 일정 수준 이상으로 확보하기 위해서는 엄청난 시간과 비용이 들어간다. 이들의 확보 없이는 CAE 활성화는 모래 위의 궁전이 될 것이다.

## 5. 차체 생산의 새로운 기술

### 5.1 TWB

최근 들어 가장 활발히 차체에 적용되고 있는 기술이다[7]. 원하는 성능에 초점을 맞추어 여러 가지 두께의 Blank를 용접하고, 그 용접된 판넬을 이용하여 스템핑을 하여 원하는 형상을 만드는 방법이다(그림 7). 여러 가지 두께의 Blank를 용접하는 경우에

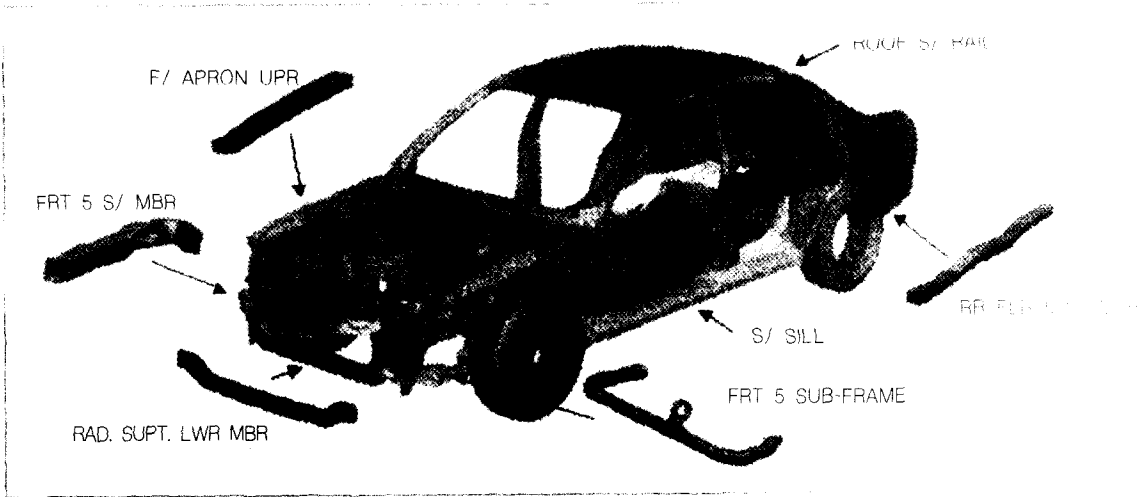


〈그림 7〉 TWB적용사례

매쉬 심(Mash Seam) 용접과, 레이저 용접 방법이 있는데, 용접 후 부재의 성능 및 외관상으로는 레이저 용접이 유리하나, 장비 구입 비용 측면에서 불리하다. 보강재를 없앨 수 있으므로 중량 감소, 강성 증가, 형상 단순화, 제작 비용 감소 등의 이점으로 사용량이 계속 증대될 것이다.

### 5.2 하이드로 포밍

1960년대 이미 군용 목적으로 고가 부품 개발에 사용되었다. 이후 간단한 형상의 배관용 자재 양산에 적용되어 왔고, 최근 세계 철강 업체들의 후원으로 개발된 ULSAB에서 차량 부품 개발에서의 하이드로 포밍 효능이 확인되었고, 양산 차량에서는 샤시 부품의 적용을 시작으로 차체까지 적용을 확대해 가고 있다(그림 8). 이 방법 적용의 전제 조건은 이 기술에 맞는 철강 개발 그리고 강판 개발이다. 그리고 당연히 자동차 회사에서는 하



〈그림 8〉 HYDROFORMING 적용사례

이드로 포밍 적용을 위한 설계 기술, 유체를 제어하면서 원하는 형상을 만드는 성형 기술, 하이드로 포밍용 금형 개발 기술 등이 필요하다[8][9]. 차체 부품에 이 기술을 적용하기 위해서는 하이드로 포밍된 부재와 다른 성형법으로 가공된 부재와의 체결 방법 및 하이드로 포밍된 부재와 트림류의 체결 방법에 대한 연구가 별도로 필요하다[10].

### 5.3 레이저 용접

레이저 용접은 정교한 생산 시설을 전제로 하지만 플랜지를 작게 함으로서 경량화, 점용접 대비 강성 측면에서 10% 증가, 그리고 음파 통과에 의한 소음 저감 효과, 용접 속도의 증가 등의 이점등이 있다. 적용 범위의 확대를 위해서는 3차원 비선형 용접 기술 개발이 선결되어야 하고, 또한 기존의 점 용접기를 교체하여야 하는 초기 비용

증가는 피할 수 없다. 성능적 측면이 향상을 임하여서는 레이저 용접 적용이 필수적이며 적극적으로 적용되어야 한다.

## 6. 고강력 강판 적용

재료적 측면에서 차체를 경량화 하기 위해서는 알루미늄, 마그네슘 또는 플라스틱 재질 같은 경량화 재질을 사용하거나, 고강도 철강을 사용하는 방법이 있다. 고강도 강으로는 초강도강, TRIP 강이 대표적인 것들인데 초 강도 강은 범퍼 및 Road Wheel에 사용되고 있고, TRIP 강은 성형 조건과 강성이 우수하여 차체 부분에 적극적으로 사용되고 있다.

차체 부품에 고강도강을 사용하면 고강성에 의하여 금형 수명의 저하, 성형성 저하 등이 불리하나, 충돌시의 에너지 흡수 측면에서 TRIP강의 사용은 최선

의 선택으로 생각되어진다.

## 7. 차체의 개발 방향

승객룸 차체 골조는 주로 강판의 금격천 성능 향상과 강판의 두께를 적당히 늘려 무게를 강하게 구성되어야 하기 때문에 결합 부위가 강하게 되는 스페이스 프레임 방식으로 발전된 것이다. 골조의 재질은 알루미늄이나 철강이 선택되지만 제작 비용, 재료비, 연비 향상 효과 등으로 서로 장단점이 비교 분석된 후에 순수 알루미늄 스페이스 프레임 또는 철강 스페이스 프레임으로 선택 될 것이다. 알루미늄이 선정된 경우에는 아우디의 A2 제작 방법이, 그리고 철강인 경우는 하이드로 포밍 제작 방법이 사용된다.

승객 룸을 구성하는 판넬은 그 부재의 요구 성능이 만족 할 수 있도록 철강, 알루미늄 중에서

개발이 실시되며, 제작 방법으로 스텝핑 그리고 판넬 하이드로 포밍이 사용 될 것이며 그리고 폴손와의 결합 방법은 내구성, 강성, 소음 측면에서 뛰어난 레이저 용접이 사용된다. 더불어서 절강이 폴조 및 판넬 재질로 사용되는 경우 충돌 성능에 중요한 부분은 고장력 강이 필히 사용되어진다.

엔진룸이나 리어 트렁크룸을 이루는 중요한 골격 부재인 사이드 멤버는 충돌, 강성, 내구, 진동 성능에 유리한 원형에 가까운 단면을 가지는 구조가 되어야 한다. 재질에는 단위 중량 당 에너지 흡수 효율이 높은 철강 재료가 사용되어야 하며, 최적 변형을 유도 할 수 있는 TWB 공법이 사용된다. 또한 차체 외판의 경우에는 내구성, 집중하중에 대한 억제력, 그리고 진동 특성이 확보된 범위에서 철강, 알루미늄, 복합 재료 중 원가와 연비 측면에서 선택되어진다.

일체형 차체에서 스페이스 프레임 차체로 변경되기 때문에 현재의 콘베어 벨트 시스템처럼 점용접으로 차체 부품들이 조립되어지기 보다는 부품별 모듈화 상태에서 다양한 결합 방법에 따라 차체를 조립하는 생산 방법으로 바뀌어 진다.

컴퓨터를 이용한 스타일링, 도면 제작, 성형 해석, 성능 해석, 가상 제작을 현재에는 각각 별개로 수행하고 있지만, 향후에는 가상 판넬에서부터 가상 성형, 가상 절단, 가상 단품생산, 가상

차체 조립 까지 일관되게 수행된다. 가상 차체는 다른 가상 시스템과 결합되어 가상 차량(Virtual Prototyping)이 되고, 이 가상 차량을 이용하여 7 내지 8년 이내에 현재 실차 시험으로 하고 있는 각종 성능 시험의 80%를 평가하게 된다.

### 8. 결론

구동계, 현가계, 배기계 등 모든 시스템이 차체에 부착되어 차체를 기반으로 제 각기의 기능과 성능을 발휘하며, 또한 차체 그 자체도 여러 가지 기능과 성능을 확보하여야 한다. 그러므로 좋은 차체는 차량의 모든 성능을 안정된 상태에서 향상시켜 준다. 그러나, 차체는 그 중요성에도 불구하고 연구와 기술 개발이 활발치 아니하다. 차체의 재료, 설계 기술, 부품 개발 기술, 각 부품 접합 기술, 차체 생산 기술 등 모든 차체에 관련된 기술 들을 새로운 개념에서 연구 개발되어야만 현재 차체에 요구되는 고성능화, 초 경량화 그리고 초 저 생산비등을 만족하게 할 수 있을 것이다.

최근의 자동차 업계의 대규모 통합 바람이 지나고 나면, 기술 전쟁이 시작될 것이다. 이 기술 전쟁에서 앞서기 위해서는 차량의 모든 성능의 기본이 되는 차체 부분에 적극적인 기술 개발이 이루어져야 한다.

<참고문헌>

1. 박관흠, "A Development Trend of a Car Body", 현대자동차, 1999.11
2. 정유동 외, 알루미늄 스페이스 프레임 차체개발, 현대자동차, 1999.11
3. 조원석, 경량화 기술동향, 현대자동차, 1999.112.
4. K.H.Park, et.al. "Application of the Finite Element Method for Improvement of Vehicle Crashworthiness", SAE912582, IPC-6 Conference, 1991
5. 박관흠 외, 경량/고강도 시트시스템 구축을 위한 전방충돌 해석기술 개발, 한국자동차공학회 추계학술대회, 1996.11
6. "Virtual Proving Ground : CAE Tools for Full-Vehicle Systems Simulations", Engineering Technology Associates, Inc., 19996.
7. 조홍수 외, 신 생산 공법을 적용한 고안전 경량 차체 개발, 현대자동차, 1999.11
8. Mustafa Ahmetoglu and Taylan altan, "Tube Hydroforming-State of the Art and the Future Trend", SAE1991-01-0675
9. Gary Morphy, "Hydroforming High Strength Steel Tube for Automotive Structural Applications Using Expansion"
10. "Advanced Joining Technology for Tailored Blanks & Hydroforming Parts in Safety & Light Weight Vehicles", SOULAS & SOUTUE, 1999

<박관흠부장: khpark@hmc.co.kr>