

技術資料

자동차 주물과 경량화 추이

이진구

Automotive Castings and Trend to Light Weight

Jin-Koo Lee

1. 소재 경량화 및 부품 개발의 필요성

1.1 자동차 중량의 증가

강화되어 가는 배기가스 규제 및 연비 규제법에 대응하기위해 차량경량화를 도모하고 있지만 실제로는 전자제어 서스펜션, 파워 스티어링등의 전자제어 장비와 ABS, 에어백등의 안전장비 채용으로 실제로는 80년대 후반부터 차량중량이 증가하고 있는 추세이다. 아래 표 1은 일본에서의 년도별 차량중량 증가를 나타낸 것으로서 70년의 140-150kg/m²범위에서 90년에는 130-165kg/m²의 범위를 보이고 있다. 중량분포의 범위가 70년도에 비해 90년에 넓어진 것은 기본적으로는 70년 대비 10kg/m²이상 경량화를 달성하였으나 전자제어장비와 안전장비등의 선택품목의 장착에 의해 오히려 15kg/m²이

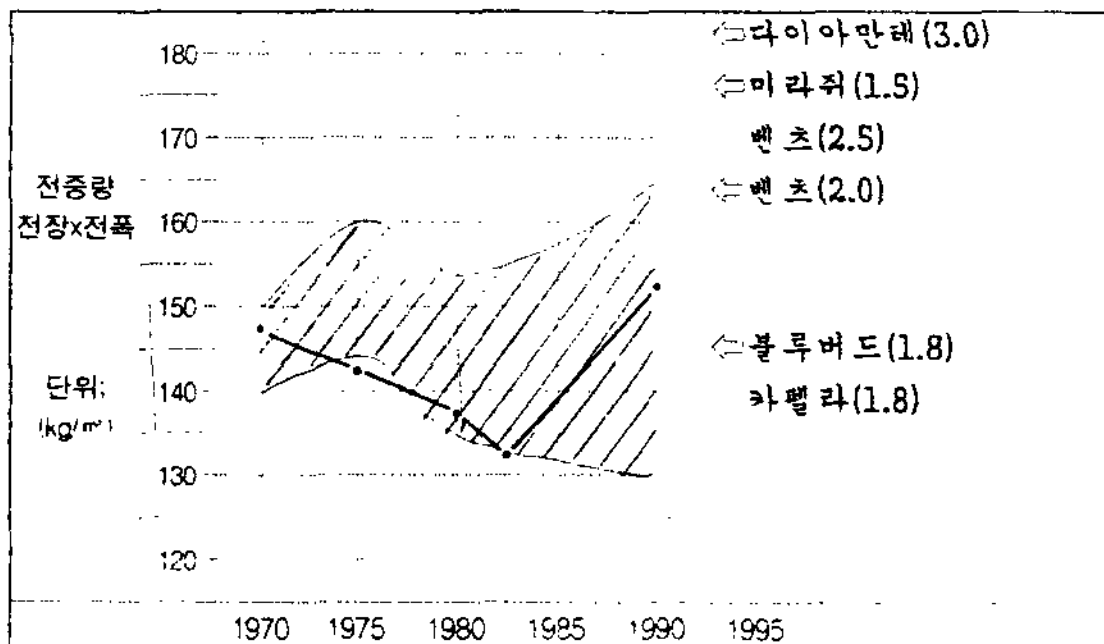
상 증가된 것으로 추정된다.

한 예로 도요다 크로나의 경우 70년도에 약 147kg/m²인 것을 80년대 초 단위면적당 중량이 130kg/m²으로 경량화 되었으나 그 이후로는 앞서 언급한 선택품목의 장착에 의해 90년에 약 154kg/m²로 70년 대비 약 5kg/m²정도 차량중량이 증가되었음을 보여주고 있다.

1.2 환경문제의 대두

또한 환경문제의 대두로 자동차 선진국인 미국에서는 표 2에서와 같이 CAFE, BRYAN법 안등의 각종 연비규제법을 제정하여 그 기준을 만족시키지 못하는 차량의 판매를 금지하려고 하고 있다. 이는 곧 유럽, 아시아등에서도 머지않은 장래에 채택될 것이 확실하며 수출 의존성이 높은 국내 자동차 업계는 연비향상을 위한 소재 경량화 및 부품 개발의 필요성을 인식하지 않으면 안되게 되었다.

표 1. 년도별 차량 중량 증가(일본)



범례: ▨ 1.8L 급의 중량분포
 - - - - - 코로나의 중량변화 추세
 출처: 자동차 경량화의 현상과 금후의 동향, PP12, 矢野經濟研究所, 1990

2. 연비향상기술

연비향상 기술은 위 표 3과 같이 3가지로 구분할 수 있으나 엔진·구동계 효율향상 및 주행저항 절감등은 기술적 한계에 도달하여 더 이상의 연비향상효과는 미미한 실정이다. 따라서 현재로서는 설계의 합리화 및 경량재료의 개발등이 가장 효과적인 방법이다.

한편, 일본에서는 경량화를 연비개선의 제일 수단으로하여 95년도에 10-15%의 경량화 목표를 설정해놓고 소재 및 부품업체와 연계하여

현대자동차(주) 소재공장장(1995년도 춘계학술발표 및 기술강연대회에서 강연한 내용임)

표 2. 환경오염에 대한 세계의 대응 동향

1	지 구 온 난 화	① 1986년 : 기후변화에 대한 정부간 협의체 창설(IPCC) →이산화탄소의 배출감소 및 예방			
		② 1991년 6월 : 모든국가가 규제목표 설정후 이행여부 평가			
2	배 기 가 스 규 제	①미연방정부는 1994년부터 강화된 배기가스 규제 적용 →HC 40%, NO _x 60% 삭감			
		② 캘리포니아주정부의 저배기차량 법안 통과 →94년부터 TLEV(임시 저배기차량)판매			
		97년부터 LEV(저배기차량), ULEV(극저배기차량) 동시 판매			
		98년부터 ZEV(무배기차량) 2%판매			
		※ 캘리포니아주정부 배기가스 기준.(g/km)			
			CO	NO _x	
		TLEV	2.11	0.25	
		LEV	2.11	0.12	
		ULEV	1.05	0.12	
		ZEV	0	0	
3	연 비 규 제	① 미국 : 석유자원 보존 및 대기오염 방지를 위한 기업평균 연비 (CAFE;Corporate Average of Fuel Economy)를 채택(1975년)			
		② BRYAN법안→CAFE규제를 강화하기 위함 →1988실적기준 96년 20% 2000년까지 40% 향상요구			
		※ BRYAN법안에 따른 회사별 연비 향상 내용(단위 : km/ℓ)			
			MY1988	MY1996	MY2001
		미 국 산 차 평 균	11.6	13.9	16.2
		HONDA	13.6	16.3	19.0
		TOYOTA	13.9	16.7	19.5
		NISSAN	12.9	15.5	18.1
		현 대 자 동 차	14.9	17.9	20.7

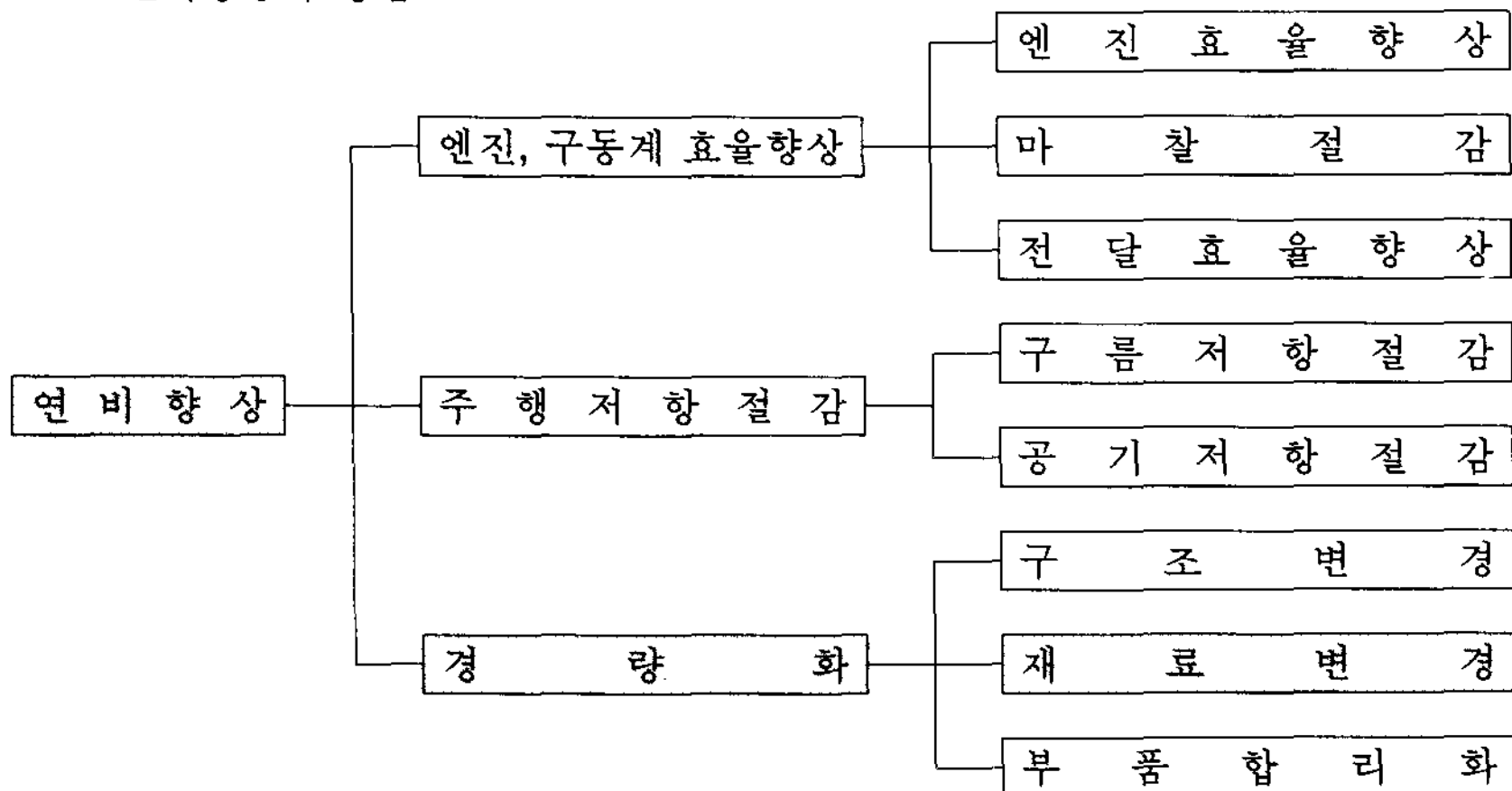
주 : TLEV; Transitional Low Emission Vehicle.

LEV; Low Emission Vehicle.

ULEV; Ultra Low Emission Vehicle.

ZEV; Zero Emission Vehicle

표 3. 연비향상의 방법



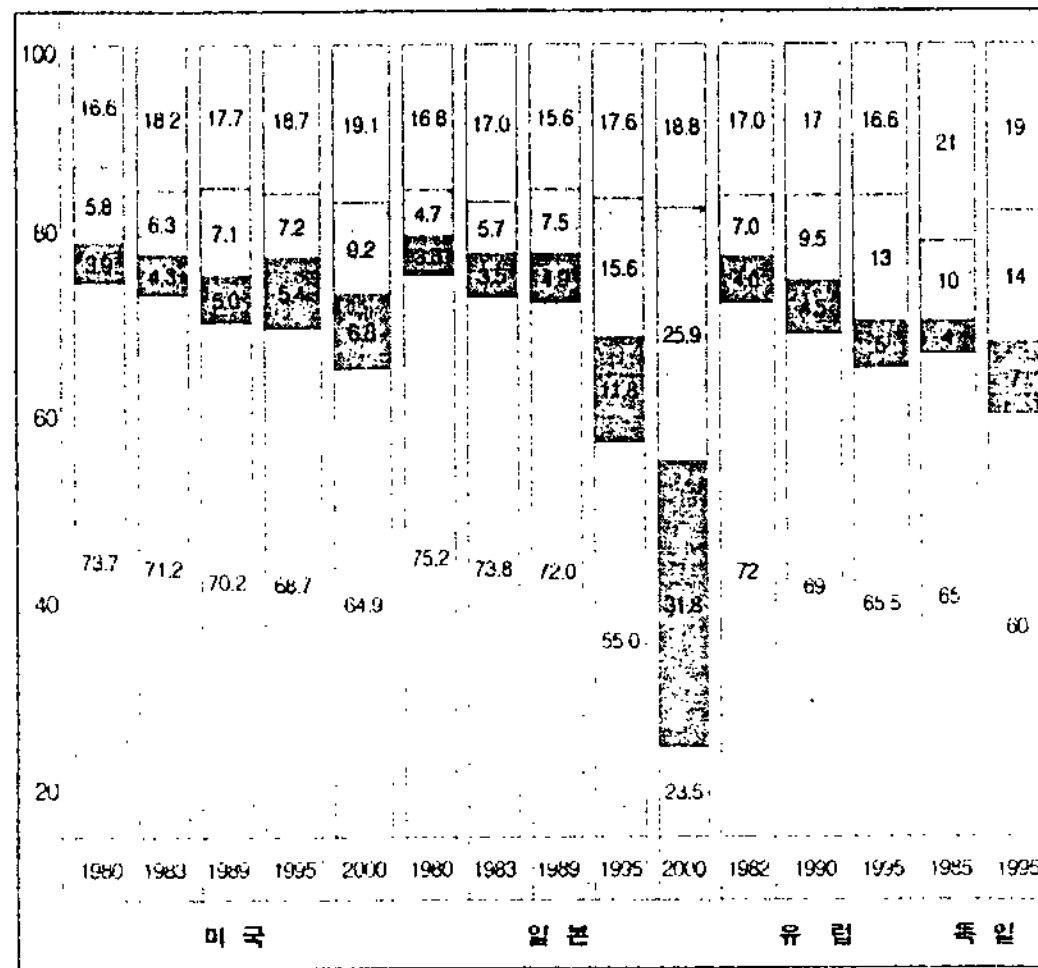
「출전 : 수송차량 경량화 개발계획 및 지원대책 수립, pp.25, 생산기술연구원, 1992.5」

적극적으로 경량화를 추진하고있다고 한다.

3. 자동차 재료 구성비 변화 추세

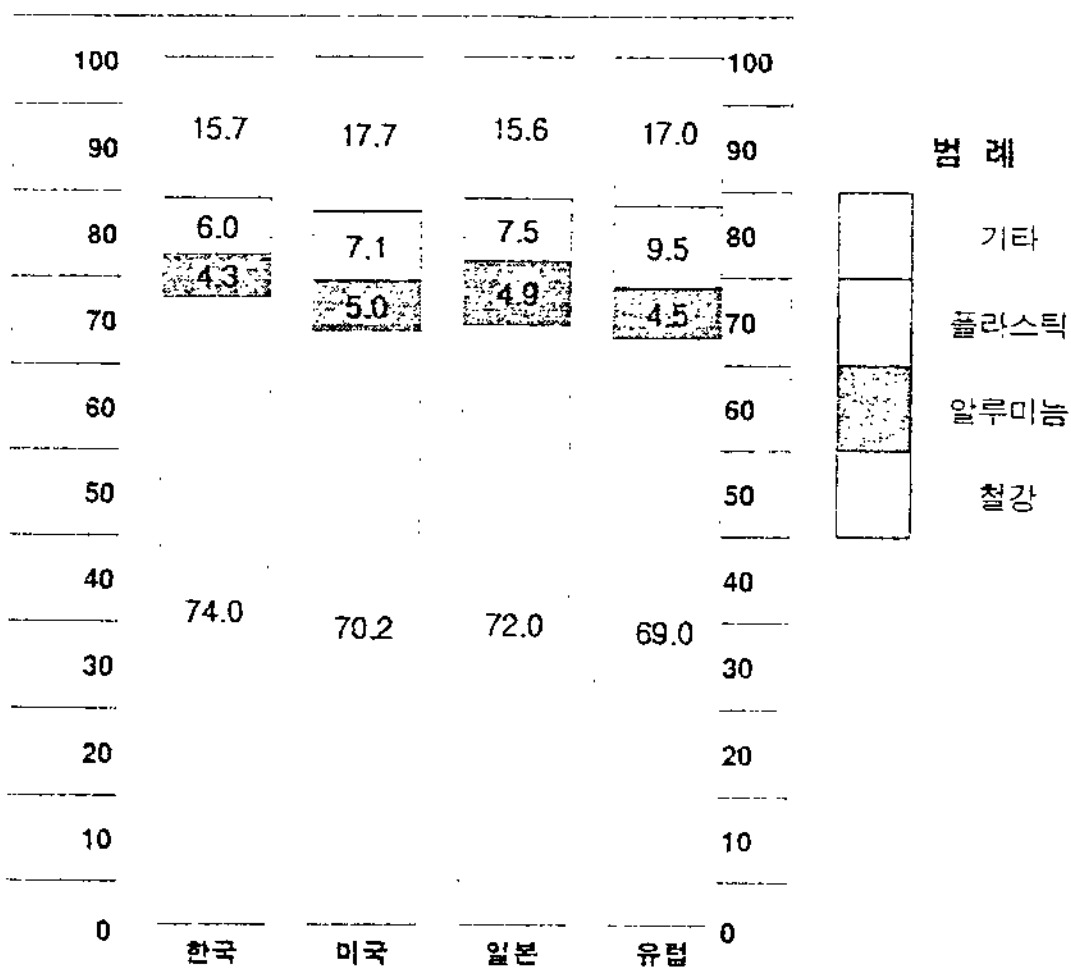
선진국 자동차 재료구성비의 추세를 아래 표 4에 나타내었다. 미국의 경우 80년도에 철강재료가 73.7%에서 2000년도에는 약 65%로 감소하고 플라스틱 및 비철재료의 적용이 증가되는

표 4. 선진국 자동차 재료 구성비의 변화추세



(범례) 기타, 플라스틱, 알루미늄, 철강
 「출전 : 수송차량 경량화 개발계획 및 지원대책 수립, P.35, 생산기술연구원, 1992.5」

표 5. 국내외 자동차 대당 재료 구성비 비교



「출전 : 수송차량 경량화 개발계획 및 지원대책 수립, PP.34 ~36, 생산기술연구원, 1992.5」

경향을 나타내고 있다.

또한 표 5는 1989-1990년도 각국의 자동차 재료 구성비율을 나타낸 것인데 국산차의 철강재 점유율이 상대적으로 높아 경량재료 개발의 필요성이 높음을 알 수 있다.

4. 차량화의 목표

경량화 목표에 관한 자료가 유감스럽게도 국내에는 없어 일본에서 조사한 보고서를 참조하였다. 이 보고서에 따르면 표 6과 같이 차종별로 차이는 있으나 완성차 메이커는 2000년대까지 10%미만, 부품업체는 최대 20%까지의 경량화를 목표로 하고 있음을 알 수 있다.

5. 원가

5.1 원가상승의 허용 한도

경량재료의 적용에는 원가상승 요인이 수반된다. 적절한 원가상승의 범위에 대해서는 여러가지 이견이 있을 수 있고 회사마다 허용범위가 다를 수 있다. 그러나 일본의 승용차 및 트럭 제조회사를 대상으로 설문조사를 해 본 결과에 의하면 1kg을 경량화하기위해 500-1000엔의 원가상승범위에서는 경량화를 추진할 의향이 있다고 나타났다. 실제로 HONDA사의 DOHC, 직렬 4기통인 승용차엔진의 실린더 블록을 MMC (metal matrix composite; 금속기 복합재료) 라이너를 사용한 알루미늄 블록으로 제조한 결과 약 45kg의 경량화 효과를 가져온 반면 월 10,000대 양산을 가정하여 1대당 30,000엔의 원가가 상승하였다고 한다. 이는 kg당 667엔에 해당한다.

5.2 부위별 허용한도

그러나 아래 표 7에서와 같이 대부분의 회사는 경량화의 필요성은 인정하면서도 원가 상승은 허용하지 않겠다고 대답하였다. 이는 생산성 향상을 통하여 원가 상승요인을 흡수하겠다는 의지도 내포되어 있으나 위 HONDA의 예와같이 실제적으로는 어느 정도 원가상승 요인을 감수하지 않으면 안되는 것이 현실이다.

표 6. 경량화의 목표

차종	목표년도	경량화 목표					
		10%미만	10-20%미만	20-30%미만	30-40%미만	40%이상	
승용차	고급승용차	1995년					
	고급승용차	2000년					
	중형승용차	1995년					
	중형승용차	2000년					
	소형승용차	1995년	○●				
	소형승용차	2000년	●	○			
트럭	경승용차	1995년	○				
	경승용차	2000년		○			
	스포츠카	1995년					
	스포츠카	2000년					
트럭	대형트럭(10톤전후)	1995년	○●●				
		2000년	○	●●●			
	중형트럭(3~4톤)	1995년	○●●				
		2000년	○	●●●			
	소형트럭(2.5톤이하)	1995년	○●				
		2000년	○	○●			
	경트럭	1995년					
		2000년					

※ ○ : 완성차 업체, ● : 부품업체
 「출전 : 소형재산업 수요동향 조사보고서, pp.17, 소형재센터, 1992」

표 7. 부위별 허용한도 조사

차체부위	허용가능한 원가상승 범위						
	a	b	c	d	e	f	g
1 차체부위 공통			●	○		○●	○●●●
2 엔진가동부	●					○●	○●
3 엔진부위 공통			○●			●	○●
4 차체			●			●	○●
5 내장품				●		●	○●

※ ○ : 승용차 제조회사 회답수(건)
 ● : 트럭(승용차 동시 생산) 제조회사 회답수(건)
 ※ 구분 : a : ₩1,000/kg이상 e : ₩100/kg이하
 b : ₩1,000/kg미만~₩500/kg이상 f : 원가상승 허용불가
 c : ₩500/kg미만~₩200/kg이상 g : 기타
 d : ₩200/kg미만~₩100/kg이상

「출전 : 소형재산업 수요동향 조사보고서, pp.19, 소형재센터, 1992」

6. 주요품의 경량화 방법

앞에서 차량 경량화의 방법, 재료구성비의 추이 및 경량화 목표에 대해서 알아보았다. 그러면 차량 부품중의 경량화방법에 대해 알아보고

자 한다. 주요품의 경량화 방법에는 여러가지가 있겠으나 크게 설계, 재료적 측면과 공정 프로세스적 측면으로 나누어 서술하겠다.

6.1 설계·재료적인 측면

경량화를 위해서는 무엇보다도 설계 및 재료

적인 측면을 고려하지 않으면 안된다. 제품의 박육화 및 중공화 그리고 재질변경에 따른 리브 구조의 향상등이 이에 속하며 경제성을 고려한 적절한 경량 재료를 선정해야 할 것이다. 표 8 에 그 내용 및 대응방안을 나타내었다.

6.2 공정 프로세스적 측면

구조 최적화 및 경량재료의 적용에 대해 이를 효과적으로 지원할 수 있는 공정기술의 개발 또

한 중요하다. 아래 표 9에 여러가지 주조재료에 대한 신공정을 나타내었다.

6.3 엔진블록의 경량화 추진 현황

일본에서의 주조품 실린더블록의 경량화대책 추진상황에 관한 조사보고서 내용을 표 10에 나타내었다. 전체적으로 경량화대책 후에도 주철블록을 계획하고 있지만, 중, 대형 승용차의 경우 알루미늄 블록을 적용코자하는 경향이 있

표 8. 설계, 재료적 측면

내 용	대 응 방 안	비 고
강도편차감소 및 설계기술 향상	품질관리 CAE응용으로 DATA정밀 추정	최적 주조방안 설정
구조 최적화	중공화, 리브구조 향상 세경화	축부, 저널부 축소, 캠샤프트, 크랭크 샤프트
박 육 화	작업표준 조정 분위기(감압, 불활성, 진공)조정 필터 사용 접종법 개발 CAE에 의한 방안설계 신점결재 개발	주물 전반에 걸쳐 효과
高比強度 재질사용	철재료의 고강도화(CV, DCL, ADI) 저밀도 재질(Mg, Al-Li, 390합금) 복합재료	엔진블록, 디젤용 헤드, 배기다기관, 브레이크 디스크
경량재질 적용	Al화, Mg화, Ti화	엔진 블록, T/N CASE, 하우징류 밸브류

「출전 : 鑄物 VOL 64 No. 12, pp.847-852, 일본주조공학회」

표 9. 공정 PROCESS적 측면

구 분	내 용	비 고
코스 워 스 법 (CORTHWORTH)	용탕펌프, 지르콘 샌드 용탕 청정화	알루미늄 블록 알루미늄 헤드
FM 법 (저 압 주 조)	저압+주형감압	박육주물(2.5mm) 주철, 주강
CLV 법 (진 공 주 주)	진공, 불활성 분위기	스텐레스, Co합금→정밀주조
차 압 주 조 법	저압+주형진공	도요타 Al C/BLK
가 압 소 실 모 형 법	LOST FOAM+가압	Al합금 재질개선
스 퀴 즈 캐 스팅		복잡한 형상의 지향성 응고유도
감 압 주 조 (V-PROCESS)	필름막+감압	박육주조, 유동성방지→EX/MAN (MIN, 3mm)
반 유 동 주 조 (THIXOCASTING)	고액상태의 잉고트를 사출 성형 함	Al, Mg, 주강, 주철
복 합 재 주 조	세라믹과 금속 복합화	BRAKE DISC 피스톤

「출전 : 鑄物 VOL 64. No 12, pp.847-852, 일본주조공학회」

표 10. 실린더블록의 경량화 추진상황

구분			주철(FC)	알루미늄주조(LPDC)	알루미늄주조(PDC)	LOST FOAM	비 고
승용차 메이커	대형승용차	경량화대책전	●●●○○○				1.장래에도 주철블록을 계획하고 있지만 10~30%의 경량화가 가능한 Al블록으로 전환경향 2.Al블록은 고급차는 LPDC로, 소형차는 PDC를 선택
		경량화대책후	◎	○○○○◎◎◎	◎		
	중형승용차	경량화대책전	●●○○○	○			
		경량화대책후	◎◎	◎	○○		
	소형승용차	경량화대책전	●●○○○○		○		
		경량화대책후	◎◎		○○○○◎◎◎		
	경승용차	경량화대책전	○				
		경량화대책후	◎				
	SPORTY 카	경량화대책전	○○○				
		경량화대책후	◎◎	○	◎		
경량화 목표율, %		강내 10%	40≤	10~30%			
예상 원가상승율, %		강내 ±0	~50≤	20			
양산화 시기		과거~	과거~	과거~			
트럭 메이커			주철(FC)	주철(FCV)	Al주조(LPDC)	×	1.주철로의 경량화 고려 2.FCv도 고려함 -구조변경,박육화기술 3.디젤엔진은 고강도, 방진성, 내구수명 확보와 경량화 동시진행
	대형트럭	경량화대책전	●●○○○				
		경량화대책후	○○○○◎◎				
	중형트럭	경량화대책전	●○○○				
		경량화대책후	○○○○◎◎				
	소형트럭	경량화대책전	○○○○○				
		경량화대책후	◎◎	◎	◎		
	경트럭	경량화대책전	○				
		경량화대책후	◎				
	경량화 목표율, %		0~10	10	-		
예상 원가상승율, %		-~+10	+10	-			
양산화 시기		과거~2000	~2000	~2000			
부품업체			주철(FC)	Al주조(LPDC)	Al주조(PDC)	AL L/FOAM	1.현재도 Al화가 진행되고 있지만 향후 계속적으로 증가될 예정 2.2000년대에는 LOST FOAM 법에 의한 양산 적용도 고려함.
	대형승용차	경량화대책전			○		
		경량화대책후	●	○○		◎	
	중형승용차	경량화대책전	●●●○○				
		경량화대책후	○	◎	○○		
	소형승용차	경량화대책전	○				
		경량화대책후		◎			
	경승용차	경량화대책전					
		경량화대책후					
	SPORTY 카	경량화대책전	●				
경량화대책후							
경량화 목표율, %		강내 10	주철 30% 주강 10%	30	20		
예상 원가상승율, %		강내 ±0	-~50≤	-	20		
양산화 시기		과거~	과거~	과거~	2000년~		

※ ● : 과거, ○ : 현재, ◎ : 장래

음을 알 수 있다.

6.4 해외에서의 경량화 부품 및 적용 차종

(1) 알루미늄

주철을 대신할 수 있는 경량재료로 비중이 주철의 1/3이며 90% 이상 재활용이 가능한 잇점이 있다. 일본업체의 경우 2000년까지 40% 경량화를 이룬다면 Al합금의 사용율은 89년 5%, 95년 12% 그리고 2000년에는 32%에 이를 것으로 추정한다. 아래 표 11은 알루미늄합금의 적용 예이다.

(2) 마그네슘

비중이 Al의 2/3으로 쾌삭성, 감쇄성, 우수한 구조성등으로 적용량 증가하고 있으며, 일본에서는 2000년대 약 5% 적용될 것으로 예측하며 미국은 최근 3년간 다이캐스팅 부품형태로 사

표 11. 적용부품

부 품 명	변경전재질	Al화 중량(kg)	경량화율(%)	주요 적용 차종
실린더블록	주철	18	40	혼다-전차종 도요타-LEXUS
SHIFT PORK	주철	0.15	68	마쯔다-RX7
스티어링너클	주철			닛산-300ZX
허브	주철			마쯔다-RX7
브레이크캘리퍼	주철	3.2	30	미쯔비시-GTO
휠실린더	주철	0.32	11	혼다-전차종

출전: 수송차량 경량화 개발계획 및 지원대책 수립, pp.49, 생산기술연구원, 1992.5

표 12. 마그네슘 부품의 적용 예

부 품	차 종
스티어링휠	LEXUS(도요타), ACCORD(혼다),
실린더 헤드 카바	NSX(혼다), 캐딜락(GM), 콜베트(GM), 시보레(GM)
엔진블록	GOLF(VW), 폰티악(GM)
T/M CASE	GOLF(VW), 트럭(FORD), COUPE(마쯔다)
클러치하우징	GOLF(VW), 트럭(FORD), COUPE(마쯔다)
스티어링키하우징	크라운(도요타), ACCORD(혼다), 링컨(FORD), LC2000(볼보)

출전: 수송차량 경량화 개발계획 및 지원대책 수립, pp.58, 생산기술연구원, 1992.5

표 13. 티타늄합금 적용부품의 예

부 품 명	변경전재질	Ti화 중량(kg)	경량화율(%)	적용차종
커넥팅로드	탄소강	0.6	40	NSX(혼다)
엔진밸브	내열강	0.03	40	NSX(혼다)
빌브스프링	스피링강		60	?(도요타)

출전: 수송차량 경량화 개발계획 및 지원대책 수립, pp.61, 생산기술연구원, 1992.5

용량이 35% 증가되었다. 표 12에 적용부품의 예를 나타내었다.

(3) 티타늄

항공기 소재재료로 널리 사용된 티타늄 합금은 우수한 내열성, 내식성으로 인하여 고가임에도 불구하고 일부 차종에 적용되고 있다. 아래 표 13에 티타늄 합금의 적용부품 예를 나타내었다.

(5) 국내 경량화 추진 사례(대체재료 개발)

국내에서의 구조품의 경량화에 대한 대응사례를 표 14에 나타내었다.

(6) 차량별 중량 및 출력 비교(1,800cc급)

배기량 1800cc급에 대해 선진 메이커제 차량과 국내 메이커가 가장 최근에 개발한 신형차의 중량 비교표를 표 15에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 국내 메이커의 승용차가 선진 메이커

표 14. 국내 H사의 경량화를 위한 대체재료의 개발 현황

	품 명	기존재료	대응재료	중량감소효과	비 고
1	실린더블록	회주철 (FC25)	알루미늄 (AC2B) CV주철	43.5→22.8kg 8-23%	경량화율 : 48% 1. 박육화, 단순화 2. 디젤블록, 헤드 *문헌값임
2	T/M CASE 및 CLUTCH HOUSING	알루미늄합금 (ADC 10)	마그네슘 (AZ91)	T/M : 5.03→3.4.kg C/HSG : 6.30→4.12kg	경량화율 1. T/M : 32% 2. C/HSG : 35%
3	중 공 CAM SHAFT	회주철+CHILL	ADI 또는 REMELTING	IN : 2.45→1.82 EX : 2.05→1.48	경량화율 : 26%
4	BRAKE DISC	FC25	복합재료 Al+20%SiC _p	4.8→2.5kg	경량화율 : 48%
5	OIL PUMP HOUSING	회주철 (FC25)	알루미늄합금 (B390)	7.0→3.0kg	경량화율 : 58%

표 15. 차종별 중량 및 출력비교(1,800cc급)

국 적	차명/GRADE	크 기 (mm)	공차중량 (kg)	총배기량 (cc)	최대토크 (ps/rpm)
한 국	현대 : 아반떼 GLSi	4420×1700×1395	1168	1798	138/6000
독 일	오펠 : 이스트라 GSi 1.8i	4051×1688×1410	1110	1798	125/5600
프 랑 스	르노 : 클리오 16V	3716×1641×1395	980	1764	137/6500
스 페 인	세아트 : 코르도바 1.8i 16V	4109×1640×1399	1080	1781	130/6000
미 국	세턴 : SL2 세단	4478×1717×1099	1099	1901	124/5600
	클라이슬러 : 네온 베이스	4364×1708×1391	1061	1996	132/6000
일 본	도요다 : 코로나 1800 TR-X	4500×1740×1325	1160	1838	125/6000
	닛산 : 서니 NX쿠페 1800(S)	4140×1680×1310	1090	1838	140/6400
	혼다 : 도마니 1800 Si-G	4415×1695×1390	1120	1834	140/6300
	마쓰다 : 아스티나 1800	4260×1675×1335	1100	1839	135/7000

「출전 : 자동차 연감, pp.18, 모터 매거진, 1994」

차량에 비해 약 40-170kg정도 중량이 무겁다는 것을 알 수 있다.

7. 결 론

앞에서 차량 경량화의 필요성 및 차량 재료비의 구성을 통하여 선진 메이커에서는 적극적으로 차량 경량화를 추진하고 있고 또 구조 최적화 그리고 경량 재료의 적용등을 통하여 어느 정도의 원가상승 요인에도 불구하고 구조품의 경량화를 지속적으로 추진하고 있다는 것을 알 수 있었다. 그러나

앞서 언급한 바와같이 국내 메이커에서 제작된 최신형 승용차와 동급 출력을 가진 선진 메이커의 승용차를 차량중량에 관해 살펴보면 아직 국산차의 중량이 무겁다는 것을 알 수 있다. 이것은 우리가 시급히 해결해야 할 문제가 경량화에 있음을 보여주는 예라고 하겠다.

대체재료의 적용에 관한 기술이 부족하고 수출 의존성이 강한 국내 자동차업체가 무한경쟁의 시대에서 살아남기 위해서는 완성차 업체뿐 아니라 부품 업체 모두 지속적인 기술개발을 통하여 경량화를 위한 대체재료의 개발, 부품의 최적화를 달성하기위해 상호 노력해야만 할 것이다.

8. 참고문헌

- [1] 수상차량 경량화 개발계획 및 지원대책 수립, 생산기술연구원, 1992. 5
- [2] 자동차 저연비, 경량화의 현황과 장래예측, (주)아이알시, 1993.2
- [3] 자동차 공학회지, 한국자동차공학회, 1994.8
- [4] 소형재산업 수요동향 조사보고서, 소형재센터, 1992.3
- [5] 자동차 경량화의 현상과 금후의 동향, 矢野經濟研究所, 1990.9
- [6] 자동차 산업 신기술, 한국자동차공업협회, 1994.4
- [7] 鑄物, VOL 64 NO 12., 日本鑄造工學會
- [8] 자동차 연감, 모터 매거진, 1994