

技術資料

자동차용 경량 주조부품의 개발 동향

박진영 · 박익민*

Development of Light-Weight Castings for Automotive Parts

Jin-Young Park and Ik-Min Park*

1. 서 론

1970년대의 1, 2차 유류파동을 거치면서 시작된 자동차 연비향상에 대한 연구는 90년대에 들어서면서 전세계적으로 환경문제에 대한 인식이 증폭됨에 따라 더욱 다양하고 구체화되었다. 특히, 자동차 왕국인 미국을 중심으로 법제화된 CAFE(Corporative Average Fuel Economy, 기업평균 연비, 1975년 12월 발표)법안, Bryan 법안, 기후변화협약 등은 자동차 연비향상에 대한 연구를 더욱 가속화시키고 있으며[1-2], 이에 따라 현재 국내외에서는 전기 자동차, 태양열 자동차 등의 새로운 개념의 무공해 자동차개발과 기존 자동차의 연비향상과 배기가스의 정화, 소음 저감 등에 대한 연구가 더욱 활발히 진행중이다.

자동차 연비향상은 엔진 출력 향상, 차체의 형상 설계 변경을 통한 공기저항 감소, 차체의 소형화 및 자동차 경량화 등에 의해 달성할 수 있으나, 엔진 출력 향상이나 공기저항저감 등의 설계상의 기술개발은 이미 한계에 도달한 것으로 판단되어 더 이상의 급격한 개선은 기대하기 어려운 실정이다. 또한 차체의 소형화는 고기능성, 고출력, 안전성에 문제가 있어 그림 1에 나타낸 것처럼 자동차 소재의 경량화가 자동차 연비향상에 가장 유력한 방법으로 제기되고 있다[3].

자동차 소재의 경량화는 우수한 물성을 갖는 새로운 경량 신소재 개발과 기존 소재의 기계적 성질을 향상시키는 두 가지 방향으로 연구가 진행되고 있으며, 현재 연구되고 있는 경량 소재로는 알루미늄 합금, 마그네슘합금, 그리고 이들을 기지로하는 금속복합재료

(MMC)와 플라스틱, 세라믹 등이 있다. 이중 플라스틱 재료나 세라믹 재료는 높은 강도와 경량성, 내식성의 장점이 있어 많은 연구가 진행되고 있으나, 이들 재료가 안고 있는 기계적 특성의 결정적인 한계와 재활용 등의 어려움으로 인해 자동차 구조용 부품으로 적용되기에는 더 많은 연구와 시일이 필요할 것이며, 따라서 금속소재가 여전히 자동차 소재를 주도할 것으로 판단된다.

현재 자동차 부품 제조기술중 주조법에 의한 자동차부품은 자동차 중량의 약 15% 이상을 차지하고 있으며 이중 자동차의 핵심 부품이라 할 수 있는 엔진, 미션, 샤프트 등은 약 80% 이상이 주물로 제조되고 있다. 또한 자동차 부품이 갈수록 고기능화, 경량화를 요구하고 있어 새로운 경량소재가 대두됨에 따라 주조기술도 기존의 기술을 보완하고 또 신기술의 개발이 요

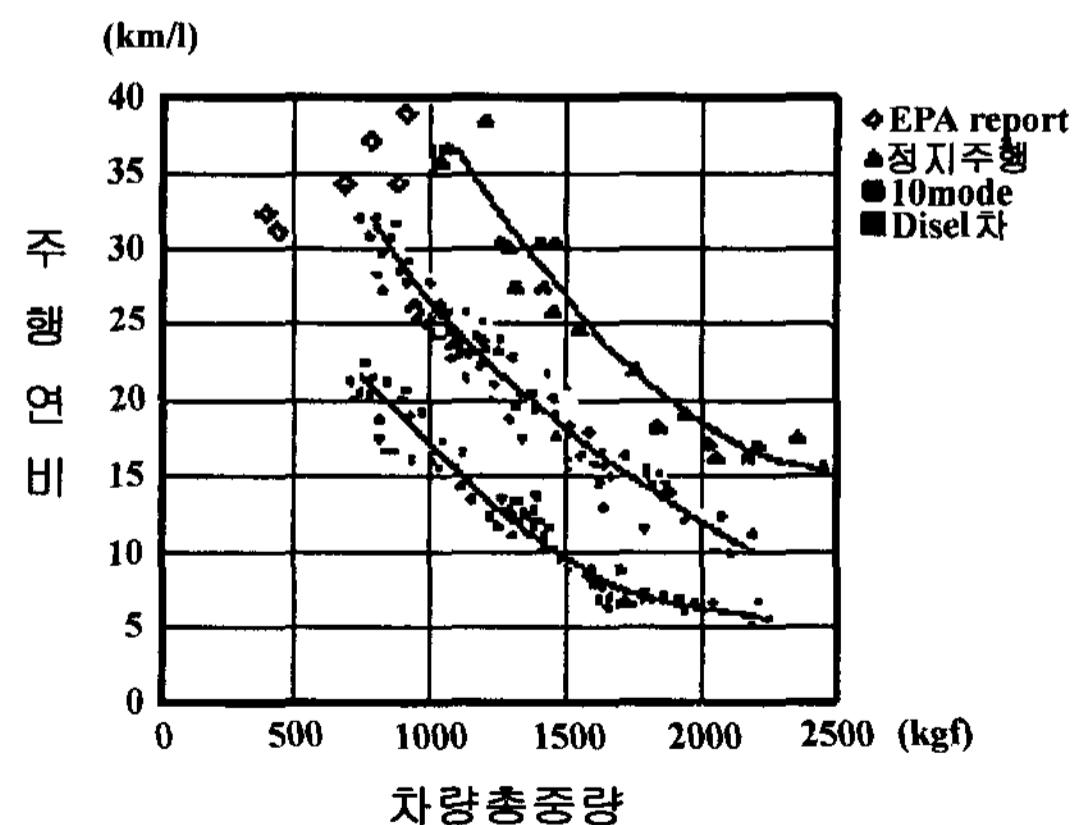


그림 1. 자동차 주행연비와 차량중량과의 관계

부산대학교 부산·경남 자동차 테크노센터(Pusan·Kyungnam Automotive Technocenter, Pusan University)

*부산대학교 금속공학과(Dept. of Metall. Eng., Pusan University)

구되어지고 있다. 본 자료에서는 자동차 경량 부품소재로서 알루미늄, 마그네슘합금, 그리고 금속복합재료에 대한 구조부품 적용 현황을 현재 양산되고 있는 자동차 부품실례를 통해 살펴보고 앞으로의 전망을 소개한다.

2. 알루미늄 구조부품

알루미늄은 자동차의 재료중에서 철강 다음으로 많이 사용되는 자동차용 경량재료의 대표적인 재료로서 최근 그 사용량이 크게 증가되고 있다. 알루미늄은 철

표 1. 자동차 부품의 알루미늄 대체 현황

부 품 명	변경전재료	중량(Kg)	경량화(Kg) (%)	원가증감(W) (%)	비고
CONNECTING ROD	Steel	0.3	0.14(31.8)		승용차
CYLINDER BLOCK	FC25	16.5	13.1(43.3)	+16,000(40)	
ENGINE MTG BRACKET	SPHC	2.5	1.5(37.5)	+1,500(30)	
SUPPORTREACTION SHAFT	주철	1.0	2(66.7)	(+100)	
PEDAL ASM	steel	1.0	0.52(34.2)		
WATER PUMP IMPELLER	steel	0.12	0.04(25)	+300(20)	
GEAR SHIFT FORK FCMP55	0.4	0.12(22.8)			
STRG KNUCKLE	주철	2.1	0.95	(+100)	
SUSPENSION ARM	steel	1.9	0.91(31.6)	(+100)	
PROPELLAR SHAFT	steel	2	4(66.7)		
STRG GEAR HOUSING	FCD45	3	3(50)	-500(5)	
HUB	S45C	1.2	0.74(38.1)		
BRAKE CALIPER	FCD45	2.4	1.42(36.5)		
BRAKE DRUM	FC25	2.6	2.8(52.3)		
BRAKE MASTER CYLINDER	FC25	0.62	0.31(33.3)	(+50)	
BRAKE PEDAL	SS41	0.4	0.4(50)	+500(100)	
BRAKE WHEEL CYLINDER	주철	0.4	0.3(42.9)		
STRG WHEEL	steel	1.5	0.7(31.8)	(+50)	
HOOD	steel	8.85	6.93(44.9)	+15,000(150)	
TRUNK LID	SPCEN	4.25	4.62(52.4)	+20,000(50)	
DOOR SPCEN	4.2	4.1(50)			
FENDER	steel	1.85	2.0(51.2)	+10,000(50)	승용차
A/C COMPRESSOR BRKT	FCD45	2.0	0.8(28.6)	+14,000(200)	
A/C COMPRESSOR ROTOR	SMF4040	2.0	1.0(33.3)	+20,000(200)	
CHANNEL ASSY	SPC	2.0	1.0(33.3)	+10,000(200)	
KEY SET LOCK BODY	ZDC2	0.2	0.2(50)	-150(20)	
BUMPER IMPACT BEAM	steel	7.0	3.08(30.6)		
SEAT RAIL	S45C	3.0	1.4(31.8)	-2,000(10)	상용차
CONNECTING ROD	steel	0.35	0.35(50)	+9,000(150)	
CYLINDER BLOCK	주철	33	13.9(29.6)	+50,000(40)	
FLY WHEEL HOUSING	주철	28	52(65)	-18,000	
GUSSET PLATE	steel	0.5	0.21(30)	+500(15)	
SHIFT FORK	FCD45	0.15	0.08(35)	-500(15)	
PROPELLAR SHAFT	STKM13	2.6	4.4(62.9)	+400(200)	
DIFFERENTIAL CASE	주철	5.5	9.5(63.3)	-6,000(20)	
DIFFERENTIAL CARRIER	주철	2	4(66.7)	-3,000(15)	
T/M CASE	FC25	20	20(50)		
CLUTCH HOUSING	FC25	10.4	23.6(69.4)	+35,400(360)	
STEERING GEAR HOUSING	FCD45	5	4(44.4)	+2,000	

강소재에 비해 대략 60%의 경량화를 달성할 수 있으며, 충돌시 약 50% 이상의 에너지를 흡수하며, 아울러 우수한 내식성으로 인해 방식처리가 필요하지 않다는 장점이 있다. 최초로 알루미늄합금이 승용차에 적용된 것은 1923년 Ford사가 Pomeroy의 body panel을 제작하면서 부터였으며, 1973년 유류파동 이후에는 자동차부품에 알루미늄 합금이 본격적으로 개발 적용되고 있고 앞으로 알루미늄합금의 응용분야는 더욱더 확대될 것으로 기대된다.

표 1은 알루미늄화에 의한 자동차부품의 경량화현황을 나타낸 것으로 표에서와 같이 현재 알루미늄합금의 자동차 주물부품에 적용은 엔진부품중 실린더블록, 실린더헤드, 피스톤등과 샤프트분야로 크게 나눌 수 있다.

실린더 블록은 엔진 전체 중량의 약 50%정도를 점유하고 있어 알루미늄대체시 경량화효과가 매우 크다고 할 수 있다. 실린더 블록은 기계적 성질면에서 무엇보다도 우수한 고온강도, 내마모성, 피로강도 등이 요구되고 또한 제조면에서 볼 때 형상이 매우 복잡하기 때문에 우수한 주조성을 갖는 재료가 요구된다. 이러한 이유로 최근까지는 주철재가 주로 이용되었으나, 1960년대부터 주철재 라이너를 삽입한 알루미늄 실린더블록이 일부 사용되기 시작하였다. 알루미늄합금은 주철재에 비해 열방출속도가 빨라서 엔진을 콤팩트하게 제작할 수 있다는 장점을 지니고 있으며 더욱이 최근에는 과공정 Al-Si합금으로 만든 실린더 블록은 기존의 알루미늄에 비해 내마모성이 월등히 향상되어 주철재라이너의 사용이 불필요하게 되었으며, 실린더 헤드 제조에 응용된 과공정 Al-Si합금은 실린더헤드의 삽입부분을 없앨 수 있도록 하였다. 그림 2에 HONDA사에서 제조한 주철재라이너를 삽입한 알루미늄 실린더블록과 RYOBI사에서 다이캐스팅법으로 제조한 알루미늄 자동차 실린더블록을 나타내었다.

주조법의 경우 기존의 주철재는 일반적으로 사형중력주조에 의해 제조되고 있으나 알루미늄합금을 사용할 시는 엔진의 특성 및 제원에 따라 각각 다른 주조법, 즉 중력주조, 저압주조 뿐 아니라 대량생산에 적합한 다이캐스팅법을 이용할 수 있는 잇점이 있으며 특히, 최근에는 알루미늄 실린더 블록을 LPS(저압사형주조)로 제조하면서 경제성과 품질이 LPD법과 동등한 수준을 달성하고 있다[4].

이와 같은 알루미늄합금 실린더블록은 자동차 경량



그림 2. Open-deck aluminum block with cast-in iron liners (left: HONDA) and All aluminum cylinder block (right: RYOBI).

화 및 성능 향상을 위한 방법으로 현재 국내외 많은 자동차에 적용되고 있다. 표 2은 해외의 알루미늄 실린더 블록 채용현황을 나타낸 것이다. 일본의 경우 HONDA는 거의 모든 엔진에 알루미늄 실린더 블록을 채용하고 있으며, TOYOTA, AUDI, BENZ등도 고급차종에 알루미늄 블록의 채용이 필수적으로 적용되고 있다. 국내에서는 그림 3의 삼성 SM5 series와 현대 EF SONATA 등에 적용하여, 기존의 주철 엔진 블록에 비해 약 20% 정도의 경량화를 꾀할 수 있었으며, 1997년 Chrysler에서는 700,000대 이상의 알루미늄 엔진 탑재 미니밴을 생산하였으며, Ford사에서는 1997년 전체가 알루미늄 합금인 V8엔진을 개발하여, 97 Ford F-series Pick-Ups, Taurus, Sable등에 탑재하였다. 한편, Saturn에 의해 제조된 알루미늄 엔진 블록은 21.3 kg으로 동일한 주철 소재의 39.5 kg에 비해 46% 정도의 경량화를 꾀할 수 있었고, 또한 알루미늄은 tool의 수명을 늘릴 수 있으며, Saturn의 경우 주철 사용시 보다 약 5배 정도 수명이 증가함을 보였다[5]. 이와 같이 자동차 경량화를 위해 국내외 각 자동차 제조업체에서는 알루미늄 엔진을 적용하고 있으며, 일본의 알루미늄

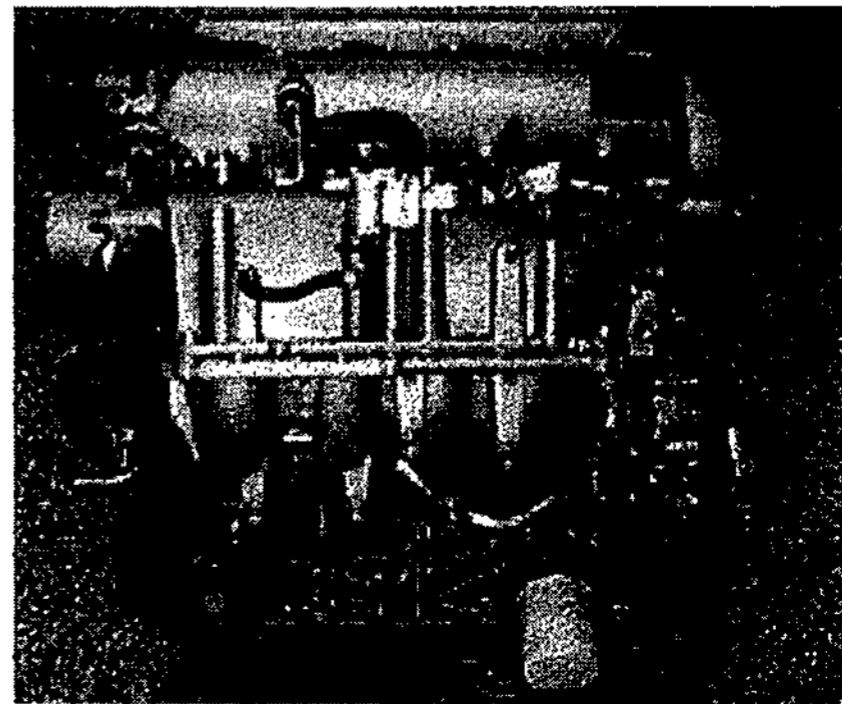


그림 3. SAMSUNG SM520's engine with aluminum cylinder block.

표 2. 해외의 연도별 알루미늄 실린더 블록 채용현황

구분	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92
NISSAN		→ MA10/12 HPDCL 4								→ VH45DC LPDC V8 → SR18/20 LPDC 14			
TOYOTA	→ Century용 V8 사형									→ IUZFE TDP V8 → Liner 압입			
HONDA	Honda는 80년경 Al화 50% 달성				→ B18/20 NDC L4 → C20/25/27 HPDC V6					→ F20A HPDC 14 → G20A HPDC L5 → B21A NDC+FRM 한정판매 → N22A NDC+FRM			
MAZDA	→ Familia용 L4 FPDC '67									→ K8ZE		HPDC V6 Ladder Frame	
기타				SUZUKI → G10 HPDC L3/L4		→ G13 Module			→	SUBARU EJ 18/20 MP법 F4			
유럽 및 북미	→ Porsche V8 Linerless → Benz V8		→	Porsche L4 Linerless (Balancer장)			→	BMW12 Linerless			→ GM Saturn Lost Form → Volvo L4/5/6 → Benz V12		

업체에 따르면, 2000년 까지 전세계의 25% 정도의 자동차가 알루미늄 엔진 블록을 채용할 것이라고 예상하고 있다.

한편, 엔진에서 실린더 블록 다음으로 중량이 큰 부품인 실린더 헤드의 경우 가솔린 엔진의 경우에는 거의 모두가 알루미늄 합금재질을 이용하여 주조하고 있으며 저압 금형주조, 저압사형주조 및 일반금형 중력주조가 대부분이다. 이에 적용되는 알루미늄 합금재질은 AC4D, AC4B, AC2B 및 AC4C등 다양하지만

엔진의 특성, 배기량, 생산성 등을 고려하여 적합한 주조공법을 선정해야 한다. 특히 최근에는 Diesel엔진에도 고출력, 고성능, 경량화를 위해 알루미늄 실린더 헤드적용이 증가되고 있고, 이에 따른 헤드 저면의 특수한 조직 미세화기술(TIG Remelting기술)등도 신뢰성 확보를 위해 사용되고 있다. 실린더 헤드는 형상 및 특성상 중자가 반드시 필요한 부품으로 사형중자의 제조공법 및 주조시 품질을 확보하는 것이 무엇보다도 중요한 과제라 할 수 있다. 그림 4에는 알루미늄

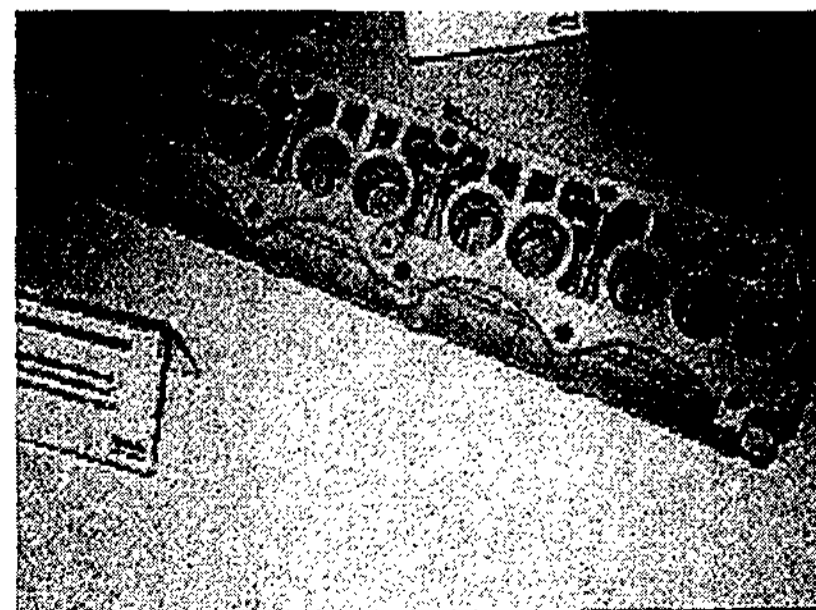
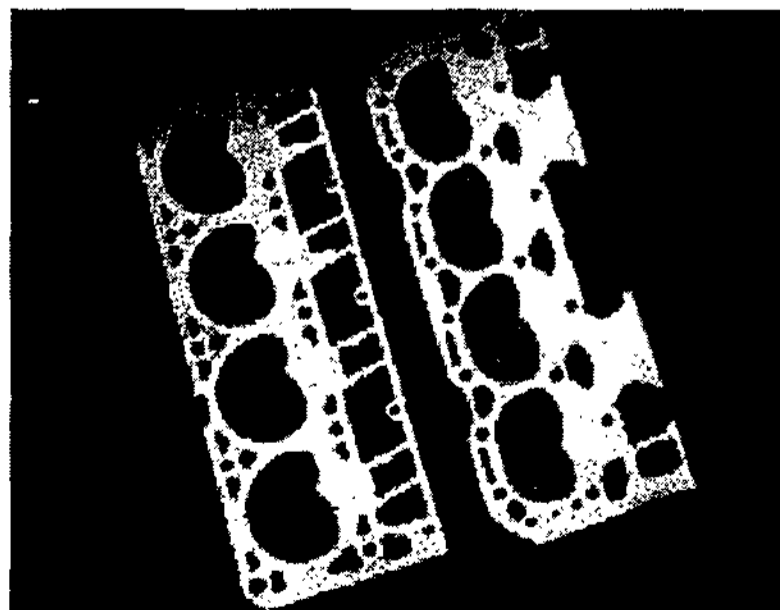


그림 4. Aluminum cylinder head(left: GM and right : ALUTEK).

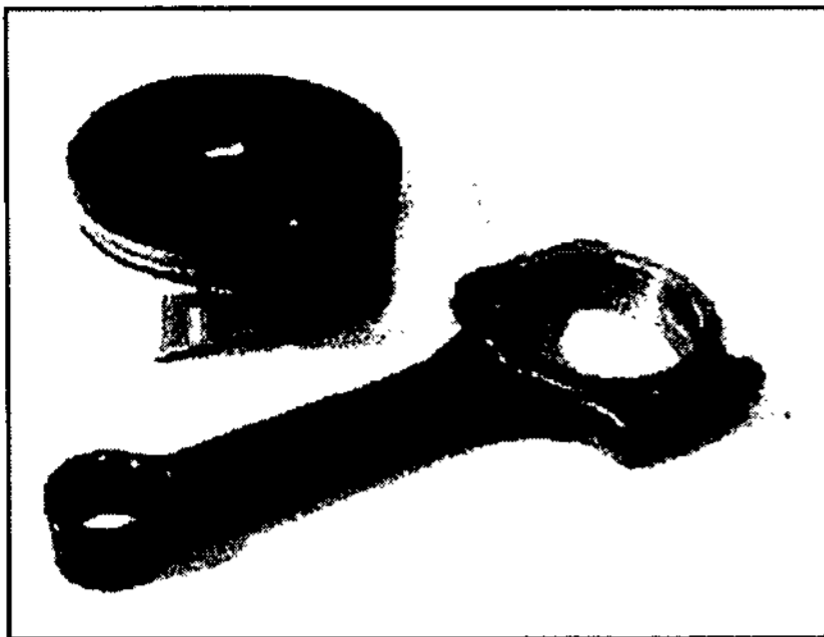


그림 5. Aluminum Piston and rod are lightweight, which make higher engine speeds possible.

합금을 사용하여 제조한 실린더헤드를 나타내었다.

엔진부품중 피스톤은 현재 주철재(대형 디젤 엔진) 및 알루미늄 합금재료를 이용하여 중력사형 및 금형주조, 또는 복합재를 이용한 Squeeze Casting 공법으로 제조되고 있다. 알루미늄 피스톤의 소재는 내열성, 내마모성, 저열팽창성, 내크리프성을 보유하고 있는 AC8A 합금이 가장 많이 사용되고 있으며 일부 과공정 합금도 이용되고 있다. 또 알루미늄합금에 DLC (diamond-like carbon) 코팅처리를 하여 고온에서의 피스톤과 실린더간의 내마모성을 증가시키는 연구도 행해지고 있다[6]. 이러한 알루미늄합금을 적용한 피스톤과 피스톤 로드는 자동차 경량화효과와 그로 인한 엔진 스피드 향상을 가져올 수 있다(그림 5)[7].

최근에 들어서는 보다 많은 엔진부품을 알루미늄합금으로 대체하고자 하는 연구의 일환으로 과공정 Al-Si 합금의 내열성향상에 대한 관심이 고조되고 있다. 이러한 연구는 과공정 Al-Si 합금에 Fe, V을 첨가한 합금을 중심으로 진행되고 있다. 이 합금의 특징은 기존의 Si 첨가로 인해 열팽창계수의 감소, 내마모성과 주조성의 향상이며, 그리고 이 합금에 Fe, V을 첨가하면 미세조직 내에 열적 안정성이 뛰어난 분산상이 형성되

어 고온강도, 피로성질이 향상되어 우수한 내열성이 요구되는 자동차용 엔진재료에의 응용이 기대된다.

이밖에도 실린더 헤드커버 및 오일팬, 타이밍 기어 케이스 등 각종 커버류 및 케이스는 대부분 고압다이캐스팅 공법으로 제조되고 있으며, 재질은 알루미늄 합금(ADC10, 12종) 및 마그네슘 합금이 사용되고 있다.

샤시계 주요 주조부품으로는 스티어링계 부품, 서스펜션계 부품, 브레이크계 부품 및 Disc Wheel 등을 들 수 있다. 이중 서스펜션계 부품의 경량화는 차량 중량저감이외에 승차감 개선, 주행성능을 향상 등의 효과를 볼수 있기 때문에 점차적으로 증가되는 경향이 있다. 샤시부품의 일반적인 주조공법으로는 중력사형 및 금형주조, 저압주조, 용탕단조등이 이용되고 있으며 용탕단조로 제조시 기존의 저압 또는 금형주조시 보다 20%정도의 경량화 효과를 얻을 수 있다. 이는 용탕단조시 급속한 냉각효과 및 치밀한 내부조직, 기공의 제거 등으로 우수한 주조 품질을 확보할 수 있기 때문이다. 휠의 경우 기존의 강판을 성형하여 만드는 press 부품에서 요즘은 알루미늄합금(AC4CH)을 중력금형 또는 저압주조를 이용 주조하고 있다. 알루미늄 휠의 소재인 AC4CH는 주조성 및 인성 강도 등이 우수하며 가장 많이 쓰이고, 저압주조이외 특수 다이캐스팅인 PF다이캐스팅 및 용탕단조, SSF공법등으로도 제조되고 있다. 다음으로 너클 및 아암류에 있어서는 기존의 GCD계 구상 흑연주철을 사형주조로 제조하고 있지만, AC4CH 합금을 용탕단조법을 이용 주조함으로써 약 50%정도의 경량화를 달성하고 있다. 한편, 최근에는 박육주물에 해당하는 Suspension cross member를 알루미늄합금으로 금형주조하여 V8엔진 고급차종에 적용하고 있다[8]. 그러나 이러한 부품적요시 설계 기술, 제조기술이 필수적이며 따라서 재료선정, 적합한 형상설계 및 고강도를 위한 열처리 기술등이 필요하다. 그림 6에는 중력주조법으로 제

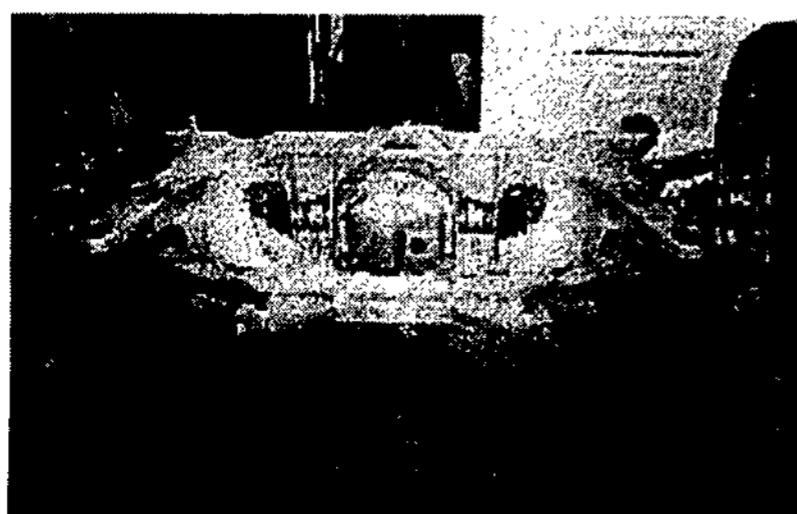


그림 6. Aluminum rear axle frame(left) and semi-solid casting automotive parts(right: SAG).

조하여 BMW new 5시리즈에 적용된 알루미늄 rear frame과 SAG사에서 반응고주조법으로 제조한 각종 샤시부품들을 나타내었다.

3. 마그네슘 주조부품

마그네슘은 비중이 1.74 g/cm³로 비교경량재인 Al의 약 2/3 수준이며 우수한 비강도, 비강성 그리고 진동흡수능이 우수하고 또 알루미늄합금에 비해 칩수안정성이 우수할 뿐만 아니라 100% 재활용이 가능하여 차세

대 경량자동차재료로서 잠재력이 매우 크다할 수 있다 [9-11]. 또한 마그네슘합금 주물은 제조공정 수를 줄이면서 복잡한 형상의 부품을 만들 수 있고 주조 후 표면상태가 매우 깨끗한 장점이 있다. 이와 같은 Mg의 잠재력으로 인해서 현재 Mg합금에 대한 수요는 북미, 유럽을 중심으로 급증하고 있으며 2000년 초에는 현재 사용량의 약 4배 정도로 크게 증가할 것으로 예상된다[12]. 그러나 이런 Mg합금의 장점에도 불구하고 사용량의 증가는 아직도 비교 경량재료인 Al에 비하면 그 사용량이 극히 제한적이라 할 수 있는데 이는

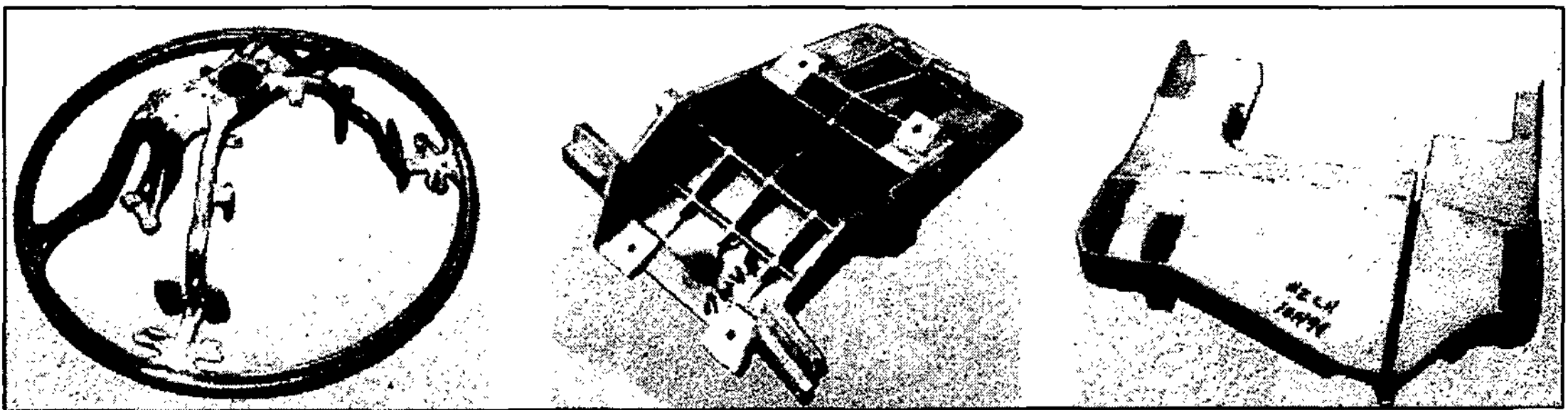


그림 7. Steering wheel frame (left), Steering column support bracket (center), Seat base (right) fabricated with recycled magnesium alloys.

표 3. 일본 및 구미에서의 마그네슘 적용부품표

MAKER	차 종	부 품 명
TOYOTA	CROWN	steering column lock housing steering wheel
HONDA	NSX	cylinder head cover, intake manifold, cover/chamber
	CITY	cylinder head cover
	ACCORD	steering column lock housing, steering wheel
	PRELUDE	wheel
MAZDA	COUPE	clutch housing, transmission case
GM	CADILLAC	cylinder head cover, oil filter case, cylinder head cover, air
	COLBERT	cleaner housing, distributor, diaphragm housing, oil pipe retainer,
	PONTIAC	steering column, head light briket, engine cover grill, cylinder
	CHEVROLETTE	head cover, air cleaner cover head light frame
FORD	THUNDER BIRD	inside trim cover plate, steering lock housing, distributor,
	LINCORN	diaphragm housing, clutch housing, pedal bracket, steering lock
	TRUCK	housing, transfer case housing
CHRYSLER	DODGE	gear shift cover
VW	GOLF	crank case, transmission housing, axle drive cover,blower housing, timing gear clutch housing, gear box
PORSCHE	911,944	fan, fan housing, wheel
VOLVO	LC2000	hand brake linkage, steering lock housing, door handle
BENZ	500SL	seat frame
AUDI		instrument panel

Mg이 갖는 낮은 절대강도와 열악한 내식성, 그리고 알루미늄에 비해 고가인 점을 들 수 있다[13]. 또한 현재 마그네슘 합금은 60% 이상이 die casting에 의해 제조되고 있으며, 이 경우 후속의 가공처리가 필요함으로써 가격 상승의 원인이 되고 있다. 그러나 최근 near-net-shape제조기술인 Thixo-Molding법이 개발되고[14], 마그네슘합금의 내식성을 향상시키는 연구 결과 내식성이 우수한 AZ91계 합금이 개발되고, 연성이 우수한 AM계 합금이 개발되면서, 마그네슘 합금의 자동차 부품 적용에 대한 제고가 이루어지고 있다[12]. 현재 대형차량에서 34 km/l을 달성하려는 PNGV(Partnership for a New Generation of a Vehicles)계획에서는 자동차 총중량의 30%감소를 위해서 seat frame 및 steering column등에서 현재 보다 Mg사용량을 100 Kg 증가시켜 사용할 것을 계획하고 있으며 Volkswagen사에서는 Audi등에서 엔진 기어박스하우징에서 AZ91D를 사용하여 알루미늄 보다 25% 중량감소를 실현하고 있고, 스티어링 휠 코어에서 AM50A를 적용하여 알루미늄 보다 30% 경량화를 꾀하는 노력을 계속하고 있다[15]. 또 일부 브레이크류, 케이스류 및 비교적 강도등 특성을 요구하지 않는 부품에 현재 마그네슘 주물이 적용되고 있지만 앞으로 Thixo-Molding법 등의 개발로 brake master cylinder등 내압성 부품의 적용도 가능할 것으로 기대된다.

마그네슘 합금은 1996년도 Ford사에서 14,500톤, Chrysler 6,100톤, GM 5,600톤, Toyota 3,000톤, Mercedes 2,000톤, VW/Audi group 900톤을 사용하였다고 보고하고 있으며, 앞으로 사용량은 더욱 증가할 것으로 기대된다. 그림 7에 대표적인 마그네슘 적용 자동차주물품을 나타내었으며 표 3에는 현재 일본 및 구미에서 적용되는 마그네슘부품현황을 나타내었다.

4. 금속 복합재료

1960년대 초기의 금속 복합재료는 B/Al와 같이 화학증착법으로 제조된 고가의 B장섬유 강화재에다 단층 Al박판과의 튜브압연과 HIP으로 이루어지는 값비싼 제조방법으로 만들어졌기 때문에 타재료와 가격경쟁을 이루지 못하였다. 그러나 1980년대부터는 보다 값싼 세라믹 강화재의 개발과 near-net-shape 제품의 생산기술, 그리고 신속하고 대량생산에 응할 수 있는 제조공정개발에 역점이 두어, 최근에는 용탕단조법과

같은 주조기술에 의한 복합재료 생산기술이 본격적으로 개발 적용되고 있다[16-17]. 1983년 자동차용 디젤 엔진의 피스톤 top groove부분에 알루미늄-실리케이트 단섬유 Kaowool 혹은 Saffil강화 AC8A Al복합재료를 실용화한 이래, 1987년에는 Kaowool섬유의 결정화 열처리(1200~1300°C)를 통한 Mullite의 고경도 결정을 형성시켜 저가격 복합재료의 제조에 성공하였고, 1988년에는 Ni입자를 첨가하면서 반응용탕단조를 행하여 in-situ 금속간 화합물 NiAl₃의 형성시킴으로써 복합재료의 강도를 향상시켜, 저가격이고 고온 내마모성이 우수한 피스톤 생산을 계속하고 있다[18]. 또한 용탕단조법을 이용하여 crankshaft damper pulley hub를 주철에서 Al₂O₃/sf/AC8A Al복합재료로 대체하는 연구를 통해 hub의 무게를 40%, pulley 전체의 20% 경량화를 달성하는 데 성공하였다. 이 결과 엔진허용회전수를 더 증가시킬 수 있어서 엔진 성능향상을 가져오고, 소음과 진동을 크게 감소시킬 수 있다. 이 제품은 1991년 8월부터 양산하고 있다.

Honda자동차에서는 MMC/Al 엔진 모노블럭을 새로운 가압주조 방법으로 연구하였는데, 하이브리드 예비성형체의 제조기술 및 경제적 생산방안에 대한 기술이 개발되었고, 금속 복합재료부분인 실린더 라이너 내부의 기계가공 특히 honing가공에 있어서 공구의 선정과 가공조건 및 가공기기의 설계제작과 생산성에 대한 연구가 이루어져서 가능하게 되었다고 보고된다.

Bohn Engine & Foundry사에서는 고성능 디젤엔진 피스톤 head bowl을 부분 복합화 하였는데 고온고압에 견디며 경량화와 기존의 가격을 동시에 만족시킬 수 있는 방법을 사용하였다. 이 회사는 가격 대비 고온강도와 물성을 위해서 10-20 vol% (80%Al₂O₃+20%SiO₂) 단섬유를 SAE339합금에 용탕단조하였고, 이로 인하여 피스톤의 강성과 내열성이 향상되었고 연비개선에 효과적으로 대응할 수 있었다고 보고된다. Wellworthy에서는 피스톤 crown bowl을 10~20 vol% saffil 단섬유로 용탕단조하여 부분 복합화 하였다. 또 top ring부위도 함께 복합화 하는 피스톤의 제조가능성을 검토하였고, 이 부분을 기존의 Niresist 주철과 함께 동시 사용도 보고하고 있다. Mahle사도 용탕단조법으로 saffil 단섬유와 SiC 휘스카를 사용하여 피스톤의 crown과 연소실 bowl edge를 복합 강화시키고, ring groove는 기존의 Niresist 또는 steel foam 복합재

를 사용하여 고성능 디젤엔진용 피스톤을 개발하였다고 보고하고 있다.

국내에서는 기아자동차가 금강사와 공동으로 AC8A 기지에 저가격 $Al_2O_3 \cdot SiO_2-ZrO_2$ 단섬유를 강화시킨 damper pulley와 피스톤개발을 보고하고 있고, 현대자동차에서는 섬유강화 가솔린엔진피스톤의 개발을 1992년 9월부터 시작하였으며, 용탕단조법으로 시제품 제조를 하고 엔진시험평가를 해본바, 엔진배기 가스 특히 HC가스의 10~20% 감소를 보고하고 있다. 또한 damper pulley hub와 FRM cylinder liner의 개발도 보고하고 있다[19].

자동차 주조부품으로서 복합재의 경우 Top Ring Groove부의 내열, 내마모성 증대 및 Top Land부의 폭을 줄임으로서 엔진의 성능을 향상시킬 수가 있고, 기존 주철재 Ring Groove보다 가볍기 때문에 경량화 효과도 얻을 수 있으나 복합재의 기본이 되는 Preform의 제조 및 평가기술이 중요한 과제로 되고 있고, Squeeze Casting시 적절한 주조조건, 상대재와이 마모 관계 역시 필요한 기술도 이에 대한 개발노력이 필요하다.

이밖에도 Caliper의 경우 알루미늄 복합재를 이용한 알루미늄 주조부품이 개발되어 있는데 이는 Lanxide사에서 개발한 무가압 침투성형법으로 제조하고 있으나, 가공성의 문제는 아직 해결해야 할 과제이기도 하다. 알루미늄 브레이크 디스크 Rotor의 경량화는 주철재(FCH)를 사형주조로 제조하고 있으나 Duralcan, Lanxide복합소재를 이용해서 만든 경량 Rotor도 일부 적용 및 적용예정에 있다. 이 브레이크 디스크 Rotor는 주철재에 비하여 우수한 내마모성, 경량화(약50%) 등으로 주목을 받고 있지만, 알루미늄 기지 조직의 열용량 한계 및 내피로, 내크리이프성 보강 등의 과제를

안고 있고, 특히 보안부품인 관계로 엄격한 신뢰성 확보 및 신중한 사용여부가 필요하다고 판단된다[20]. 한편 알루미늄 브레이크 디스크 Rotor의 경량화 및 고품질화를 위하여 주조, 단조, 분말야금, 접합공법을 하나의 공법으로 한 Cast con공법을 제안되고 있다. 이는 알루미늄과 SiC 및 graphite의 균일 혼합을 위해 분말야금법을 적용하고, Rotor body에는 고강도 알루미늄합금으로 하여 접합 주조하는 공법이다[21]. 그림 8에는 알루미늄 기지 복합재료를 적용한 브레이크 디스크를 나타낸다.

5. 맺음말

전술한 바와 같이 자동차 경량화에 대한 요구는 필연적이며, 전 세계적으로 자동차 경량화에 대한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 본 자료에서는 현재 까지 자동차 경량주조부품의 연구개발 현황을 알루미늄 합금, 마그네슘 합금, 금속복합재료를 중심으로 나열하였다. 앞에서 살펴본 바와 같이 각종 자동차 경량 재료와 주조기술에 대한 연구개발에 의해 우수한 물성을 지닌 많은 경량주조부품들이 이미 개발되어 자동차에 일부 적용되고 있으나 아직은 만족할 만한 수준이라고 말할 수 없는 실정이다. 따라서 이러한 경량 주물재료가 본격적으로 적용되기 위해서는 각 재료의 특성과 주조품에 맞는 주조설계, 형상검토 및 FEM해석을 통해 최적의 주조조건을 확보하여, 탕주름, 산화물혼입, 편석등의 주조결함 등을 사전에 예측하고 또한 적절한 주조해석(응고 및 유동해석)을 실시하여 경량주조부품에 대한 신뢰성을 높이는 것이 중요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. G. Lucas : Advanced Materials and Processes, 149(5), (1996) 29.
2. S. A. Aronld; J. of Metal, 45 (1993) 12.
3. 박옥진, 박익민, 김낙준 : 자동차공학회지, 16 (1994) 23.
4. 김종명, 조원석, 이호도, 오승찬 : 한국주조공학회 추계대회 개요집, (1998) 61-71.
5. B. J. Hogan : Manufacturing Engineering, 120(6), (1998) 42.
6. X. Qiu, A. Elmoursi, G. Malaczynski, and A. Hamdi, P. Wilbur, B. Buchholtz : SAE Technical Paper #960014 (1996).
7. K. Jost : J. of Automotive Engineering, 105(1), (1997) 33-35.

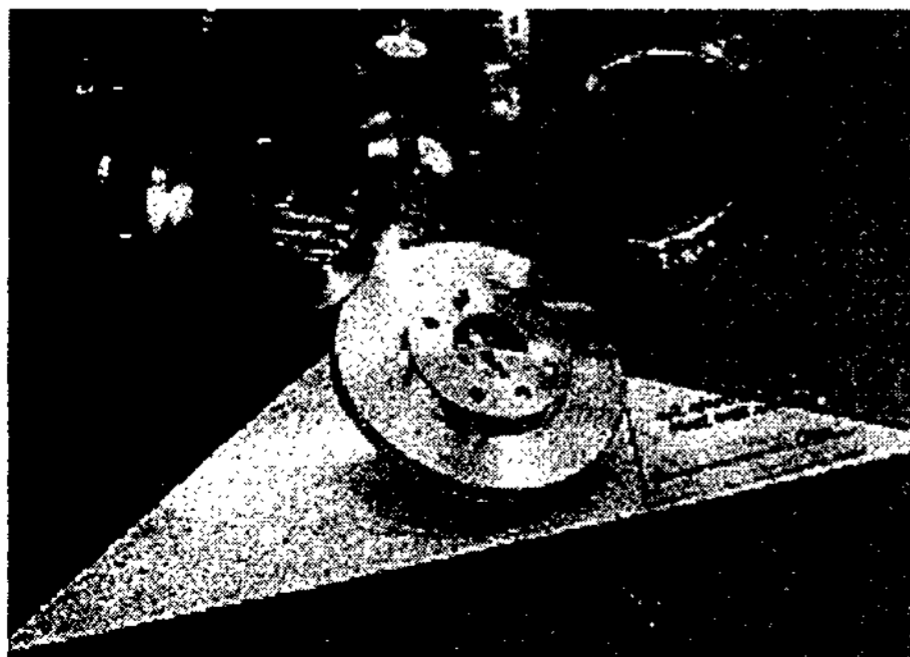


그림 8. Al matrix composite for brake disk.

8. Y. Hayashi *et al* : J. of Japan FES, 70 (1998) 740.
9. T. K. Aune and H. Westengen : SAE Technical Paper #950424 (1995).
10. J. C. Grebetz and D. L. Albright : SAE Technical Paper # 960413 (1996).
11. T. J. Ruden and D. L. Albright : Advanced Materials & Process, 6 (1994) 28.
12. A. Luo, J. Renaud, I. Nakatsugawa and J. Plorde : J. of Metal, (1994) 28.
13. Y. Kojima : 輕金屬, 44(11), (1993) 866-873.
14. S. E. Beau, Y. Yamamoto, K. Sakamoto : SAE Technical Paper #980087 (1998).
15. F. H. Froes, D. Eliezer, and E. Aghion ; J. of Metal, 50(9), (1998) 30-34.
16. 박익민, 최정철 : 복합재료, 반도출판사, 개정1판(1994).
17. 박익민, 신광선, 윤의박 : J. of the Korean Foundrymen's Society, 8 (1988) 412.
18. T. Sukanuma and A. Tanaka : Tetsu-to-Hagane, 75 (1989) 1790.
19. 이호인 : Proc. of 98 Korean-German Technomart for Automotive Technologies, PKATEC, (1998) 85-100
20. B. V. Chambers, M. L. Seleznev, J. A. Cornie, S. Zhang and M. A. Ryals : SAE Paper #960162 (1996).
21. S. X. Hung and K. Paxton : J. of Metal, 50(8), (1998) 26-28.

國內外 鑄物關聯行事

1999

3월 13일 ~ 3월 16일

103rd Casting Congress and CastExpo

St. Louis, MO, 미국

4월중

14 th Hungarian Foundry Congress

5월 27일 ~ 5월 28일

40. GIESSEREITAGUNG mit Mitwirkung

der MEGI-Lander

Portoroz, SLOVENIA

6월 9일 ~ 6월 15일

GIFA99

Dusseldorf, 독일

6월 10일 ~ 6월 11일

CIATF Technical Forum

Dusseldorf, 독일

9월 5일 ~ 9월 8일

제4차 주조 · 응고 프로세스 모델링 국제회의

연세대, 서울