

기술자료

고품질 알루미늄주조용 신합금 개발

한요섭 · 이호인

Development of New Al Alloys for Premium Quality Casting

Yo-Sub Han and Ho-In Lee

1. 서론

오랜 전통을 가지고 이어온 주조법이 산업화가 진행되면서 더욱이 첨단 산업과 정보 전자 기계화가 새로운 산업으로 발전하면서 상대적으로 전통산업이지만 대표적인 3D 산업으로 인식되어 국내외적으로 그 연구 개발노력과 기업활동이 위축되고 있으며 선진국에서는 중후진국으로 이전되는 산업분야로 인식되어 왔다. 그 결과 일본이나 미국등의 선진국에서는 70년대 이후부터 많은 주조산업들이 해외로 진출하고 인력들의 노령화 신규설비 투자가 감소하였다. 특히 미국에서 현저하여서 일본의 자동차 기계산업에 많은 부분이 선두를 넘겨주고 경쟁력이 약화 되었다. 그러나 1990년대 들어와서 첨단 산업의 발전 못지 않게 전반적인 산업경쟁력을 확보하는데에 대한 국가적인 관심과 노력이 경주되었다. 그 일환중에 하나가 1993년 미국에너지성의 OIT에서 21세기 산업으로 육성할 분야로서 Chemicals, Steel, Glass, Paper and forest products, Aluminium, petroleum refining and Metal Casting 등 7가지를 선정하였다. 여기서 보면 알루미늄과 주조가 공히 중요한 부분으로서 알루미늄의 주조는 향후 계속 발전할 분야로 고려되고 있다. 또한 주조분야의 민관연이 합동으로 주조분야에서 세계 선두로서 지속 발전하기 위한 비전으로서 1995년에 제시된 내용들을 보면

1) 시장개척(Market Development)

- Semi-solid and squeeze casting technologies
- New casting alloys
- Casting metal matrix composites

- Improved control and interaction of process variables
2) 재료기술
- Improved dimensional control of casting
- Elimination of casting defects
- Clean cast metal technology to improve product integrity
- casting thinner walls to yield lighter components
- Standardization of cast metal properties
- New casting alloys
3) 제조기술
- Control of process variables
- Breakthroughs in affordable automated equipment
- Automated finishing equipment(robots) to speed the process and improve worker safty
- Extended die casting die life
- Compressed lead times
4) 에너지 효율화
- Waste water recovery and reuse
- Advanced sensors and process controls
5) 환경기술
- Full characterization of waste streams
- Advanced waste treatment technologies
- Beneficial reuse of solid waste products
- Alternative processes or materials for reduced waste generation

등의 5개 항목에서 적극적인 연구개발[1]을 추진하

고자 하였다. 이러한 미국의 노력은 재료기술을 통한 제품성능의 개선과 제조기술을 통한 생산납기의 50% 단축, 생산성 15%증가를 도모하는 것이다. 그 결과들은 1990년대 후반에서 미국 자동차 산업의 일본 추월 및 미국의 장기적인 호황과 성장에 크게 기여 하는 것으로 여겨진다. 그에 비해 일본은 1990년대 이후 거의 소재분야와 주단조에 연구개발이 감소하면서 일부 기업의 연구개발에 의존하고 있으나 실용화는 거의 미미하다. 이제 우리나라는 일본과 비슷하게 소재분야의 연구개발과 특히 주단조 등 전통산업과 소재분야의 연구가 크게 감소하고 있는데 실제 미국등이 이러한 분야에 새로 막대한 연구개발비를 국가 재정으로 지원하고 후원하는 데에 대한 검토와 고려가 필요한 때라 생각한다.

상기 미국의 주조분야의 연구개발분야중에 신합금의 개발과 용탕단조 및 반응고성형법의 기술개발은 중요한 소재 공정기술의 과제이다. 1990년대 들어오면서 알루미늄합금의 주조공정으로서 고품위 주물의 양산에 적용이 가능한 신 주조공정들이 대거 소개 되면서 종래에 주물의 물성과 조직의 한계를 능가하면서 아울러 생산성과 경제성을 가지는 고압주조법들 - 스퀴즈캐스팅, 반응고성형법을 포함 - 이 다수 보고[2-4]되고 있다. 이 경우 사용되는 합금들은 주로 기존의 주조용 합금들이지만 새로운 주조공정에 보다 효과적인 신알루미늄합금들이 연구개발되고 있다.

본 보고는 새로운 고품위 알루미늄합금주물의 제조 공정으로 알려진 각종 고압주조법 및 고품위금속제품을 제조하는데 적용되는 신합금들의 개발동향을 소개하고자 한다.

2. 고품위 주물(Premium Quality Casting)과 신합금개발 특징

현재 공업적으로 사용되는 알루미늄 주조 및 전신재용 합금들은 50-60년대에 규격화되어 졌고 그 이후 획기적인 변화는 별로 이루어지지 않았다. 이러한 상용합금들은 그 당시 산업 및 제조공정의 특성 즉 제조법에 최적화된 합금으로 설계 및 특성이 맞추어진 것이다. 그 대표적인 주조공정이 사형주조와 중력 금형주조이다. 또한 보다 압력을 이용한 고압주조 및 저압주조도 개발 이용이 되기 시작하여서 1970년대에는 다이캐스팅용 합금규격이 보다 확대 되어졌고 관심이 가져

졌다.

그러나 점차 산업이 고도화 되고, 고품질, 고성능의 기계구조용 부품들의 수요가 증가하고 나아가 항공 우주 및 방산분야와 수송차량분야에서 경량 고강도 및 고품질의 주물과 제품의 필요가 크게 증가하면서 그에 대응하는 신주조공정의 개발과 신 고품질의 합금개발이 함께 추진되기 시작하였다. 그 결과 일반 알루미늄의 주물에 비하여 실제 인장강도가 350MPa 이상, 연신율 10% 이상의 고장력 고인성의 알루미늄의 개발은 미국을 중심으로 활발하게 추진이 되었고 제32회 국제주물회의(1965년)에 처음 보고되면서 주목을 받았다. 미국에서는 이들을 Premium Quality Castings 라 부르며 실제 주물로서 고강도를 지니며 제조공정에서도 철저한 관리를 통하여 그 품질이 신뢰받을 수 있는 주물을 제조하는 것이다. 따라서 주물 자체의 결함이 현저히 감소되어 있으며 특정한 설계된 단면이나 어느 부위에서 주물의 성질을 보증하는 것으로 우수한 기계적성질을 비롯해서 조직의 건전성(무결함), 치수정밀성, 표면조도 등에서 고품질과 신뢰성을 만족시키는 것이라 할수 있다.[5-7]

표1은 MIL-A-21180 방산규격의 일부로서 고품위 알루미늄주물합금은 고력 Al-Si합금계와 주조성은 떨어지나 엄격한 불순물의 규제로 고력 고인성의 Al-Cu 합금계로 구성된다. 모든 고품위주물은 연성의 향상을

Table 1. Minimum tensile properties of premium quality Al alloy castings

Alloy(wt%)	Class	UTS (MPa)	YS (MPa)	EI (%)
A201-T7 (Al-4.5Cu-0.3Mn-0.25Mg-0.7Ag)	1	414	345	5
	2	414	345	3
	10	386	331	3
	11	379	331	1.5
	Typical	495	448	6
A356-T6 (Al-7Si-0.35Mg)	1	262	193	5
	2	276	207	3
	3	310	234	3
	10	262	193	5
	11	228	186	3
Typical	283	207	10	
A357-T6 (Al-7Si-0.6Mg-0.05Be)	1	310	241	3
	2	345	276	5
	10	262	193	5
	11	283	214	3
	Typical	360	290	8

위하여 불순물을 엄격히 규제하는데 Al-Si합금의 경우 Fe를 0.01wt%로 요구하지만 상용 반사로조업을 고려하면 0.03-0.05%가 한계가 된다. A357에서는 Be를 첨가하여 불용성 2차상들을 구상화시켜 연성을 향상시키는 원소로 첨가하며 부차적으로 산화억제도 얻고 있다. HIP은 고품위주물의 제조에 자주 이용되는 후공정으로서 특히 주조성이 부족한 Al-Cu합금계에 효과적이다.

한편 일본경금속협회에서 개발의 필요성을 가지는 신합금의 특성과 용도들 살펴 본 결과,

- 저열팽창 합금 ; 실린더 헤드, 피스톤
- 내열 피로강도가 높은 합금 ; 엔진 실린더헤드
- 고강도 고인성, 고탄성율 합금 ; suspension arm
- anti-cavitation 합금 ; oil pump housing
- 고강도 주조성이 우수한 합금 ; 자동차 구조부품
- 인성 내마모 합금
- 내식성 양극산화성 : 건축용 부품
- 고강도, 고인성 내식성 합금 ; wheel, brake caliper, suspension arm
- 고온피로강도(250°C) 가 높은 합금 ; 디젤엔진용 피스톤
- 응고수축이 적은 합금
- 용탕단조용 합금 ; 자동차 구조 보안 부품

등이 제시되고 있다. 이들은 새로운 물성과 기능에 대응하는 신합금의 개발방향을 제시하고 있으며 또한 새로운 제조공정에 최적화된 소재의 개발을 강조하고 있다.

3. 고품위 신 알루미늄합금 개발과 실용화

자동차산업의 발달과 경량화요구로 1970년대 이후 알루미늄주물의 이용이 크게 증가하고 있으며 각종 고품위 주물을 양산하는 신주조공정들이 개발되기 시작하였다. 그 결과 주조조건을 효과적으로 제어하면서 고품위 주물을 경제적으로 고 생산성으로 양산하는 주조공정과 자동화 주조기들이 그림 1에서 같이 현재 실용화되고 있다. 그 중에서도 고압주조법들이 주로 이용되고 있고 종래에 고압주조법으로서 알려진 다이캐스트(고속고압 충전식)에서 개량된 용탕단조법(SQUEEZE CASTING)이나 반응용금속을 소재로 사용하는 반응고다이캐스트(Semi-Solid Forming : SSM), 저속충진 다이캐스트, 진공다이캐스트, Vacural(진공흡입식 고속충진) 다이캐스트 등 열처리가 가능하면서 고품위주물을

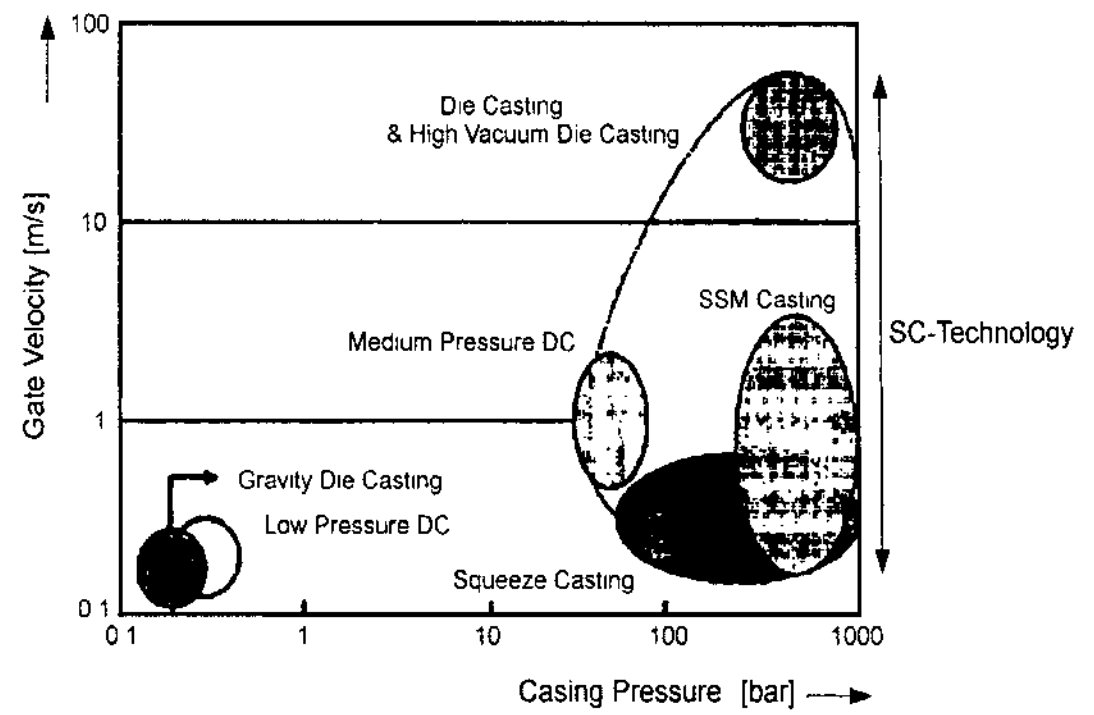


Fig. 1. Casting conditions of various premium quality Al casting processes

제조할수 있는 새로운 주조공정들이 춘추전국시대를 보이고 있다. 고품위제품의 양산공정으로서 주단조법(Cast-Forge Process)도 새롭게 인식되고 있다[8,9]. 이들 신주조법들과 기존의 알루미늄제조공정들의 개략적인 재질특성들을 비교한 것이 표2 이다. 이들 공정별 A356(Al-7%Si-0.4%Mg)-T6의 대표적 기계적성질들을 비교한 것이 표3 이다. 기존의 중력주조에 비하여 저압주조, 고압주조, 주단조로 감에 따라 기계적성질이 향상되고 있으며 조직의 치밀성과 건전성도 증가한다. 그러나 이 경우 제조경비가 증가하므로 제품의 요구 물성과 수량 및 품질 수준에 따라 적용할 주조공정이 결정된다.

3.1 고압주조용 신합금

표 2 에서 언급한 각종 주조법들 중에서 제품의 물성과 품질면에서 양산성을 가지는 신주조법으로서 용탕단조법과 반응고성형법(SSM)이 선두를 차지하며 고품위주조법으로 인정되고 있다. 미국에서는 이 두 공정을 같은 고품질 고압주조법(high Integrity high pressure casting process)로 부르며 정의하기를 “상대적으로 저속의 탕구충진으로 유동교란을 최소화 하면서 응고과정에 고압을 유지하여 용체화열처리가 가능한 고품질주물을 제조하는 주조법” 이라 하였다[10]. 용탕단조와 SSM에는 근본적인 차이가 있으나 위의 정의에 따르면 동일한 주조공정의 범주에 들수 있다. 이들은 다음의 공통적인 점을 보인다.

- 충전 - 금형캐비티로 실제 충전은 다양한 속도범위에서 교란을 피하도록 엄밀한 제어
- 교란 - 최소한의 기포와 산화물이 생성억제

Table 2a. Product characteristics - Strength and Integrity factors

Mass Production Process	Solidification			Solution			Alloy		Weldability	Available Strength	Available Ductility
	Rate-(SDAS) μm	Micro-porosity	Shrinkage Feeding	Pressure Tightness	Heat Treatable	Range Applicable	MMC Applicable	Surface Integrity			
SQUEEZE CAST											
Direct	25-75	1	1	1	yes	3	3	3	1	1	1
Indirect	5-25	1	1	1	yes	3	1	1	1	1	1
SSM	10-40	1	1	1	yes	4	2	1	1	1	1
SAND PROCESS											
Green	40-100	5	4	4	yes	1	3	5	2	3	3
Dry	30-80	4	4	4	yes	1	3	4	2	3	3
Cosworth	25-60	3	3	3	yes	1	5	4	2	3	3
Lost Foam	50-150	5	4	4	yes	4	5	5	2	5	5
PERMANENT MOLD											
Gravity, Static	20-60	3	3	3	yes	2	3	3	2	3	2
Gravity, Tilt	20-60	3	3	3	yes	2	4	3	2	3	2
Low Pressure	20-60	2	2	2	yes	3	5	3	2	2	2
Counterpressure	20-60	2	2	2	yes	3	5	2	2	2	2
Cast Forged	15-40	2	2	2	yes	4	3	2	2	2	2
DIE CAST											
Conventional	5-25	5	4	4	no	4	5	1	5	5	5
Controlled Shot	5-40	4	3	3	limited	4	3	1	4	4	4
Vacuum	5-25	2	3	3	limited	4	3	1	4	3	4
FORGING	N/A	1	N/A	1	yes	5	3	3	1	1	1

Table 2b. Product characteristics - Casting factors

Mass Production Process	Metal Flow	Directed Solidification	Degree F/Sec Solidification	Sec Cavity Fill Time	KSI Solidification	Degree F Die/Mold Temperature	Degree F Pouring Temperature
Direct	2	4	3	5-25	15-40	450-600	1300-1350
Indirect	1	1	1	0.5-2		450-600	1275-1400
SSM	1	1	1	0.1-0.5	10-20	400-500	1100-
SAND PROCESS							
Green	3	4	4	5-25	Atmos.	Ambient	1300-1400
Dry	3	3	4	5-25	Atmos.	Ambient	1300-1350
Cosworth	1	3	3	5-25	Atmos.	Ambient	1300-1350
Lost Foam	2	5	5	5-25	Atmos.		
PERMANENT MOLD							
Gravity, Static	3	3	3	5-25	Atmos.	600-800	1300-1500
Gravity, Tilt	2	2	3	10-30	Atmos.	600-800	1300-1450
Low Pressure	1	2	3	10-60	Atmos.	600-800	1275-1350
Counterpressure	1	2	3	10-60	0.2-1	600-800	1275-1350
Cast Forged	2	4	2	5-25	Atmos.	400-600	1250-1300
DIE CAST							
Conventional	5	4	1	0.04-0.1	10-15	300-450	1175-1250
Controlled Shot	4	4	2	0.05-0.2	6-12	400-600	1225-1300
Vacuum	4	4	1	0.04-0.1	4.8	300-450	1175-1250
FORGING	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	300-600	N/A

Table 3. Mechanical properties of A356-T6 alloy casted by various casting processes

Process	UTS(MPa)	YS(MPa)	EI(%)
Shell mold casting	260	185	5
Permanent mold casting	260	186	3-5
Low Pressure Diecasting	270	220	5-7
Squeeze Casting	320	235	7-12
SSM Casting	320	240	11-12
Vacural Diecasting	300	250	3-7
Cast-Forging	340	280	9-15

- 압력 - 유압기구를 사용하여 20MPa 이상 175MPa 까지 금형내 주물에 가압작용시킴
- 건전성 - 기포나 수축공은 주물의 건전성을 악화시키므로 다른 고품질성형법 단조 압출에 비견되는 최소한의 결함으로 유지시킴
- 지속성 - 조업이나 각 제품들간의 편차가 최소화되어 있음이 여러 개발에서 확인됨
- 용체화열처리 - 대부분의 제품들은 T6열처리로 기계적성질과 피로수명을 최대화시킬수 있음

용탕단조에서는 용융금속에서 시작되어 저속고압으로 충전 및 응고시키는 것이며 반응고성형법은 반고상소재에서 시작되는 것으로서 구상화된 고상입자들이 자유이동하면서 점성유체의 거동을 하는 것이 차이점이다. 이들에 사용하는 합금들을 보면 용탕단조에서는 금형주조의 모든 열처리합금들이 적용되고 비열처리합금도 필요하다면 사용이 가능하다. 그러나 2XX(Al-Cu), 5XX(Al-Mg-Si), 7XX(Al-Zn-Mg)는 열간균열(hot short)로 인하여 적당하지 못하다. 다이캐스트와 같이 고유동성의 고Si 합금의 한계는 없으며 용융알루미늄을 금형표면에 분사시에 소착(soldering)을 방지하기 위해 높은 Fe 불순물 수준을 요구하지 않는다. 그러나 후육부에 대한 용탕의 압축이동으로 정편석 현상이 다른 주조법에 비해 현저히 나타나며 응고구간이 큰 합금들에 용탕단조 가압효과가 크지만 조직의 불균일성이 문제가 된다.

한편 고압주조에 따른 급냉효과로 조직이 미세하고 치밀하여지며 주조기포들이 현저히 억제되어 주물의 건전성이 크게 향상된다. 그 결과 기계적성질과 연성이 크게 향상되는 것이 특성이다. 기계적 장치로 용탕

을 충전 성형함으로 다소 주조성이 부족하고 결함의 형성가능성이 높은 합금들에서도 고품위 주물의 제조가능성이 크다. 표 4 은 이러한 점을 고려하여 개발되고 있는 고압주조용 신 합금들로서 특히 특허를 중심으로 조사한 결과들이다. 이들은 앞에서 언급한 용탕단조와 반응고주조성형을 비롯해서 일반 다이캐스트를 개량한 신 고압주조법인 진공흡인 다이캐스트, 저속충진 다이캐스트, 중압다이캐스트, PF다이캐스트등에도 적용이 가능한 합금들이다.

이들 합금의 주요 특징을 보면

- 1) Al-Si 합금계가 주종을 이루며
- 2) 고인성과 연성을 위하여서는 낮은 Si합금계와 Al-Mg합금계가 새로 등장하며,
- 3) 고강도 비용체화 고품질용으로서 Al-Si공정조직에서 각종 미량원소들 Mn, Ti, B, Be, Sb을 첨가하여 조직 개량과 고강도 내마모 내열성을 추구하고 있다.
- 4) 고인성을 위하여 종래의 주요 강화용 합금원소인 Cu, Mg 량을 감소 시켰다.
- 5) Fe 함량이 고압주조용에서는 일반 주조재 기준 0.2%보다 많은 0.4-0.8% 수준이지만 이 경우 일반다이캐스트의 한계수준 1.2%에 비하여 낮고 동시에 Mn을 통한 침상의 β상의 생성을 억제하고 입자상 또는 중국 문자상의 α상을 형성시키게 한다. 이를 통하여 주조작업시의 금형 소착방지를 하면서도 연성과 미세입자 분산강화를 도모하고 있다.

이러한 특허나 보고들은 주로 기업현장에서 실험적으로 연구 개발되고 특정한 제품들에 적용하여 효과적인 물성과 품질을 가지게 설계 되어진 합금들이다. 이러한 신합금들은 상호 유사성과 차이점들이 있으나 대부분 체계적인 분석과 이론적 규명이 거의 이루어지지 않고 반(半) 경험적인 분석에 머무르고 있다. 이들은 종래 주조용으로 사용되지 않거나 부정적인 합금으로 여겨 지던 것들이 새로운 고압주조공정의 개발 실용화로 그 한계와 문제점들이 억제되고 보다 고품질 고기능과 물성을 부가시키고 있다. 따라서 새로운 응고거동과 현상이 일어나는 신고압주조공정에 대한 그 기초적인 현상의 이해를 철저히 규명함과 그것이 응고조직에 미치는 특성 특히 다양한 합금에서 영향을 조사 분석함이 중요하다. 예를 들면 용탕단조의 경우 1970년 대까지 이에 대한 이해는 용탕을 열린 금형에 주입후 상부에서 가압응고하며 정적인 고압주조응고를 주로 연

Table 4. New Al high pressure alloys for premium quality casting

Alloy(wt%)	Properties & Characteristics	Applications	Company	Reference
Si4-6 Mg0.3-0.6 Fe0.5 ↓ Ti0.05-0.2	UTS 300MPa El.5%, low segregation	Wheel	UBE	JP05171327 (93)
Si01.-20 Cu0.1-5 Mg 0.1-10 Be .0005-0.01	good fluidity, mechanical properties	thin casting	Nissan Motors	JP06212334 (94)
Si0.6-1.0 Cu0.5-1 Mg0.5-1.2 Ti.002-0.2 B.0004-.04	forging properties		Furukawa Electric	JP07173566 (95)
Si6-12 Cu0.3-0.7 Mg0.2-0.4 Ti.005-0.1	High ductilty toughness	light casting	Mitzbishi	JP07216486 (95)
Si9-12 Cu3-6 Mg0.7-2 Zn0.5-2.0 Fe0.5-1.2	As T5, shows T6 properties		Showa Denko	JP08035030 (96)
Si7.5-10 Cu1.5-2.5 Mg0.35-0.6 Ti0.05-0.2 Sb0.1-0.2 Zn.01-.05 V.01-0.1	high rigid, castability, T6 heat treatable		Toyota	JP08060282 (96)
Si12-14 Cu2.5-3.5	wear resistant, thermal stable	diesel FRM piston	St. John	US5505171(96)
Si14-16 Cu1.9-2.2 Ni1-1.4 Mg.4-0.6 Fe.6-1.0 Mn0.3-0.6	eutectic, 10% α -Al, intermetallics <10μm	cylinder liner	GKN	US5860469 (99)
Si10.5 Mg0.3 Fe0.12 Mn0.6	T6 UTS 340MPa El20% anti-corrosion	space frame cross member	Al- Rheinfelden	98Adv.Metal
Mg5 Si2.2 Mn0.6 Ti0.15 Fe0.1 ↓	As cast, UTS 280MPa El8% ↑, fatigue 100MPa	cross member	"	EP0853133 (98)
Si 9.5-11.5 Cu1.5-3.5 Fe0.3-0.6 Mg 0.4-0.8 Mn0.4-1.0 Ti0.01-0.15	T5- UTS 370MPa YS 230MPa El1.5%	high strength	Japan diecasting	
Si9 Fe0.8 Mg0.4 Mn0.4	T6 - UTS 280MPa YS 230MPa El 11%	"	"	
Si5-13 Cu1-5 Mg0.1-0.5 Ti 0.05-0.5 Sr.005-0.3 B0.5-0.2	T6 - UTS 400MPa El 5-12%	high toughness	UBE	DE3632609 (85)
Si5-7 Cu1-5 Mg<1.0 Zn<3 Fe<1.5	fs =0.45-0.55, SSM	Thixotopy	Al Pechiney	EP0886683(98)
Si10.5-13.5 Cu2-4 Ni0.5-2.0 Mg0.8-1.5 Ag0.2-0.6 Co0.2-0.6	high temp. strength	piston	Federal -Mogul	EP-924311 (99)
Cu7-13 Mg0.4-1.2 V0.2-0.4Zr0.3-0.;7 Si,Fe<0.6	T6 UTS , high temp. strength,	squeeze casting	Ford Motor	US5115770 (92)
Si7.5-12 Cu1-4 Mg0.1-0.7 Ti0.35-0.8 B0,07-0.16 Ba0.3-1 Sr 0.02-0.04	No chillzone, toughness	Die casting	Honda Motor	JP09041061 (97)
Si 4-13 Cu<5 Mg0.7 Fe0.3	toughness	diecasting	Hitachi Metal	JP10298689(98)
Si4-8 Cu0.4-1 Mg0.2-0.4 Fe0.03-0.3 Sr.002-.02 Zr.005-.1 Ti,B.001	ductile and toughness	diecasting	Nippon Light metal	JP11012673 (99)
Si7.5-12 Mg0.4-0.6 Cu1.5-4 Zr0.4-0.8 B	Refine and homogenous structure,	premium castings	Honda motor	JP08134576 (96)
Si12-21 Cu0.5-5 Mg0.2-2 Pb0.2-1.5(Bi) Ca&P 100ppm	wear resistant, machinability	piston	nippon Light metal	JP07224340 (95)
Si10-16 Cu1-7 Mg0.3-2 fe0.5-2 Mn0.1-4 Ti0.01-0.3 Ni0.2-6 P,Ca 0.01	high temp. strngth, toughness, refined	Diecasting	"	JP08134578 (96)

구 조사하고 그 조직과 물성으로 용탕단조공정을 이해 하였다. 그러나 실제 실용화는 금형으로 용탕충진을 기계적으로 수행하는 이른바 간접가압식 용탕단조가 중심이 되었다. 그 결과 용탕단조에서 유동 충전이 중요한 요소가 되었고 고압응고와 고압 및 속도제어사출이

동시에 진행되었다. 따라서 이전에 연구된 용탕단조현상과 또 다른 현상과 응고 거동을 보임으로 그 조직과 물성이 다른 양상을 보이고 있다. 이전에는 용탕단조용 합금으로서 전신재나 비주조용합금들도 적용이 가능하다고 직압식 용탕단조에서는 보고하였으나 간접가

압식에서는 유동 충전성이 중요한 요인이 되어서 전신재는 결함과 조직에서 문제점이 발생하였고 실제 적용이 되지 못하였다.

이제 고품위 고압주조법- 용탕단조나 반응고성형, 진공다이캐스트등 등이 개발 실용화 되기 시작하는 단계에 있으나 그에 적합한 신합금의 연구 개발들이 시작 단계에 있다. 여러 실험 연구가 추진중이며 일부 고품위의 조직과 물성이 얻어지고 있다는 보고가 되고 있으나 정성적인 단계이며 이에 대한 국내에서 지속적이고 산학연의 체계적인 연구 개발의 노력이 상호 절실한 시점에 있다. 이는 신합금이 신주조공정에서 조사되고 실용화 제품에서 함께 검정되어야 의미있는 소재개발로 이루어 질수 있다고 생각한다.

3.2 중력주조 및 저압주조용 신합금

앞의 고압주조용 신합금의 개발에 비하여 중력주조나 저압주조용 신합금 개발노력은 상대적으로 적은 편이다. 이는 이미 그 양산기술이 일반화되어 있고 많은 연구 개발이 진행되어서 거의 필요한 합금수준은 규격화 되고 그 물성과 재질의 분석과 설계데이터가 확립이 되어 있기 때문이다. 그러나 고압주조의 신합금 개발과 기존의 중력주조나 저압주조의 영역들을 위협하고 있어서 기존의 주조공정에서 품질과 생산성, 불량율을 줄이려는 노력과 함께 새로운 재질과 물성을 제공하는 신합금의 요구도 증가하고 있다 본 신합금계는 앞의 고압주조용 신합금에서도 일부 포함되어 있으며 고품위 주물용 합금으로서는 A367 (Al-7%Si-0.6%Mg)이 가장 애용되고 기존 알루미늄의 한계점으로 인식되는 고온강도와 내마모성을 개선한 합금으로 다음의 Al-Si 공정계에서 추진되고 있다.

1) 3HA (SAE 860558)

70년대에 Comalco. Co.에서 개발 실용화한 이 합금은 내마모, 내열성, 주조성, 기계절삭성을 동시에 만족시키게 금속조직학적으로 설계되고 주조관리를 요구하는 신합금으로서 그 대표적 조성은 Al-14Si-2Cu-2Ni-0.5Mg-0.5Mn-0.05Zr-0.05Sr 으로서 주조조건을 통하여 완전 공정조직(그림2)을 형성하고 미세한 금속간화합물들을 약 30% 체적을 가지도록 제조하는 것이다. 이러한 경우 그 기계적성질은 표5와 같다. 대표적인 내마모용 Al-Si 광공정 알루미늄합금인 390합금보다 내마모성이 우수하면서 절삭성이 효과적이다. 이 합금을 사용하는 대상으로 엔진실린더 헤드, 실린더 블록 및

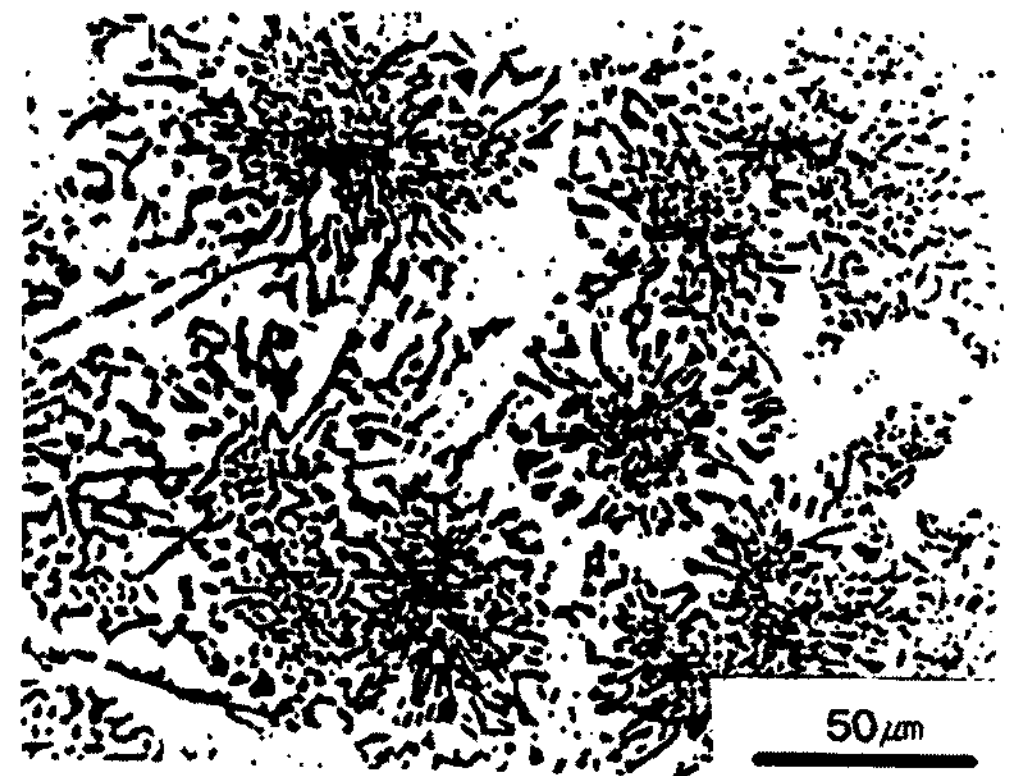


Fig. 2. Microstructure of eutectic gravity cast Al alloy (3HA)

라이너, 피스톤등이다.

2) GKN에서는 Al-15Si-2Cu-1.2Ni-0.5Mg-0.8Fe-0.45Mn-0.05Sr을 가지고 주조조건을 제어하여 공정조직을 형성하면서 초정 알루미늄상은 10%이하로, 2차상인 금속간화합물들은 10 μ m 이하로 관리하였다. 이들은 Fe 와 낮은 Ni 상으로서 차별화가 있으며 용탕단조까지 적용이 가능하다고 보고하였다(UK patent GB 2211207,'88) 이경우도 엔진피스톤과 실린더블록이 대상이다.

3) Thermotur (SAE 980687)

최근 독일 KS Kdbenschmidt 에서는 중력주조용 디젤엔진피스톤에 적합한 신합금으로 개발 실용화를 보고하였다. 이합금의 조성은 Al-13Si-3.5Cu-1.7Ni-0.8Mg-0.2Mn 로서 기존의 AC8C합금(Al-12Si-1Cu-1Mg-1.2Ni)에 비하여 합금량이 증가하였다. 그 결과 250-300 $^{\circ}$ C의 고온강도가 증가하고 CTE는 19.5*10 $^{-6}$ /K이다. 기존 재질에 비하여 디젤엔진 피스톤의 수명이 4배 증가하고 피로수명증가, 내마모성 향상등이 얻어진다고 하였다. 다소 주조성이 기존합금에 비해 감소하여서 이를 Al-Ti-B 미세화재로서 보완을 하였다고 한다. 이들은 Prosche Boxter engine 에 적용하여 99년도부터 양산 예정이라고 한다.

Table 5. Mechanical properties of gravity cast Al alloys (T6)

Al alloy	Hardness (HB)	Ultimate Tensile strength(MPa)		
		room temp.	150 $^{\circ}$ C (10,000hr)	200 $^{\circ}$ C (10,000hr)
A356	90	280	145	85
A390	145	310	295	230
3HA	155	375	295	210

Table 6. New casting Al alloys for Cast Forging

Alloy(wt%)	Properties(T6)	product	company
Si3.0 Mg0.45 Cu0.45 Fe0.1 ↓	UTS 300MPa YS 220MPa El 10%	wheel	Nissan
Si3.5 Mg0.5 Cu0.3	UTS 340MPa YS 285MPa El 15%	suspension	Honda
Si10 Cu3.0 Mg0.8 Mn0.5 Fe0.3	UTS 310MPa El 1.2%	valve rocker arm	Hiroshima
Si3-7 Cu0.3-0.8 Mg0.601.5 Mn0.1-0.5 Cr0.3-0.5 Sr0.01-0.05 Sb0.05-0.15	-	-	Nippon L.M

3.3 주단조용 신합금

주단조(Cast-Forging) 법은 1960년대 미국에서 복합가공법의 하나로써 개발 실용화가 이루어진 뒤에 최근 일본에서 이를 자동차부품의 양산기술로서 적용함으로써 새롭게 주목을 받고 있는 가공법이다. 이것을 순수한 주조용 신합금으로서 인정하기는 어려우나 주조성을 필요로 하며 고품위알루미늄소재로서 고려되므로 같이 검토하여 보았다. 주단조법은 주물을 단조공정의 소재로 사용하는 소성가공법으로 주조조직과 주조결합들을 거의 제거하여 주조품에 비하여 기계적성질의 향상과 품질 안정화를 기할수 있다 또한 다음의 점에서 단조품에 비해 원가절감의 이점이 있다.

- 1) 소재를 전신재가 아닌 주조재를 사용함으로써 재료비가 저렴하다
- 2) 복잡한 형상의 제품에는 주조로 near net shape으로 성형함으로써 재료의 수율을 증가시키며
- 3) 아래에 나타나 듯이 단조공정의 단축으로 가공비가 절감되어서 약 30%정도 원가절감이 된다. 이러한 이점을 이용한 제품화의 기술적 과제로서
 - 1) 주조성과 단조성을 겸비한 신 합금 개발
 - 2) 목표한 기계적성질을 얻을 수 있는 주조, 단조, 열처리 기술의 개발이다.

■ 기존 단조 공정

주조 → 압출 → 절단 → 1차 황단조 → 2차 황단조 → 사상단조 → 열처리 → 기계가공

■ 주단조 공정

주조 -----> 황단조 → 사상단조 → 열처리 → 기계가공

이러한 주단조용 신합금으로 개발된 소재들이 다음 표 6에 나타나 있다. 이들 합금들은 주조성을 위하여 Al-Si 합금을 기본으로 Cu, Mg을 강화원소로 미량 사용하고 있다. 또한 Fe가 0.1%이상인 경우 Mn을 첨

가하여 연성을 유지 하도록 하고 있다. 그외에 Al-Cu 주조용 소재(AC1B)를 소재로 사용하는 업체도 많다. 이들의 주단조 특성을 보면 약 30%이상의 가공율을 가하면 주조기공들이 약 1/5수준으로 현저히 감소하고 인장강도와 연신율이 약 25-40% 증가, 충격치는 2.5배, 피로강도는 약 1.5배 향상이 보고되고 있다[9]

4. 결 론

고품위주물의 제조공정으로서 고압주조 특히 용탕단조와 반응고주조법, 진공 및 저속충진다이캐스트 등은 가장 효과적인 공정으로 계속 그 응용이 증가할 것이며 그에 적합한 신합금들을 소개하였다. 이들은 아직 개발중이며 기존의 A356 이나 다이캐스팅재인 ADC12(B380), B319 등의 소재보다 고인성, 고강도 내열성과 고품질을 가지는 것을 주요 특성으로 점차 대체하여 나가며 신 규격을 형성할 것이다. 기존의 중력주조용 소재중에 고온 내마모합금에서 개량된 신 합금들이 보고되면서 내구성과 고품질의 엔진피스톤소재로서 적용이 증가할 것으로 보이며 신 복합가공법으로 주단조법이 경제성과 품질을 만족하는 고품질제조법으로 인식되면서 그에 적합한 주조성과 단조성을 겸비한 신소재의 적용이 활발히 이루어 지고 있다. 그러나 이들 신 합금들은 주로 특허화 되고 있어서 국내에서 적용하는데에는 이에 대응하는 신합금의 적극적인 연구 개발 노력이 경주되지 않으면 국내 주단조의 고품위 제조는 낙후될 수밖에 없다. 따라서 산학연의 공통적인 연구 역량을 집결하여 신주조공정의 현상규명과 그 실제 공정에 검증을 추진하고 외국의 동향을 주목하여 뒤쳐지지 않게 노력해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] North American Die Casting Association(NADCA) ; Die casting engineer July/August (1998) 66

[2] H. Ichimura ; 일본주조공학회지 제 68권 제1호 (1996) 25
 [3] M. Adachi ; 일본주조공학회지 제66권 제12호(1994) 904
 [4] F. H. Sam ; Light Metal Age Oct. 1998 56
 [5] 高橋恒夫 ; 일본 경금속학회지 제 18권 제4호(1968) 228
 [6] L. E. Marsh and G. Reinemann ; AFS Trans. 79-18(1979) 413
 [7] Y. S. Han ; 한국주조공학회지 제16권 제5호(1996) 363
 [8] H. Kame et al ; 일본 경금속학회지 제 48권 제2호(1998) 103
 [9] T. Nishimura ; 일본 경금속학회지 제 47권 제11호(1997) 587
 [10] NADCA Product Specification Standards for Die Castings(book), section 9 (1998)

한국주조공학회지 ‘주조’ CD-ROM Upgrade 판 판매

(사)한국주조공학회와 한국학술정보(주)에서는 한국주조공학회지 ‘주조’ CD-ROM을 아래와 같이 upgrade한 제품(Article Finder판)을 제작하여 판매합니다.

성능향상

기존의 제품(Boraline판)에 비하여

1. 설치방법이 아주 쉬워졌고 (CD-ROM만 삽입하면 자동설치됨.)
2. 사용방법도 인터넷 방식으로 쉽고 편리하게 개발되었습니다.
3. 특히 사진, 도표 등의 그림을 Color Scan 하여 선명하게 개선되었습니다.

데이터 검색

1. 제목 : 제목의 일부를 입력
 2. 저자 : 저자를 입력
 3. 년도 : 해당 논문이 ‘주조’지에 게재된 년도
- *수록된 데이터 : 창간호 ~ 제19권 제4호

가격

판매가격 : 개인용(CD-ROM) : 100,000원, 단체(도서관)용: 1,720,000원

연락처

한국주조공학회
 (우)140-030 서울 용산구 이촌동 300-15 명지상가 403호
 Tel : 02-796-1346/7 Fax : 02-796-1348
 http://www.kfs.or.kr E-mail : kfs@kfs.or.kr
 계좌번호 : 서울은행 25508-1001743 한국주조공학회

기존제품(Boraline판)의 Upgrade, 또는 Updata

- 시기 : 수시
 비용 : 개인용 25,000원(우송료 포함)
 방법 : 구입한 CD-ROM 원본을 우송하고, 위 계좌로 25,000 원을 송금