기술자료

자동차 부품용 알루미늄 주조합금의 통합화 방안에 대한 고찰

조규섭 · 최경환[†]

한국생산기술연구원

Study on the Rationalization of Aluminium Casting Alloys for Automobiles Components

Gue-Serb Cho and Kyeong-Hwan Choe[†]

Korea Institute of Industrial Technology

1. 서 론

최근, 지속가능한 발전의 달성을 위한 환경친화적 산업구조로의 전환의 필요성이 제기되고 있는데, 환경친화적 산업구조란 지속가능한 발전의 3대 핵심 요소 중 경제, 환경적 측면을 고려한 산업구조로서 환경친화적인 동시에 자원사용의 최소화 및 자원의 순환을 극대화하는 Cradle-to-cradle을 달성할 수 있는 산업 및 생산체제를 의미한다. 즉, 원료조달에서부터 제품의 개발, 생산, 유통, 소비 및 폐기에 이르는 제품 전주기(Life-cycle)에 걸쳐 자원사용의 최소화와 자원의 순환을 최대화하고 환경부하를 최소화하는 지속가능한 생산을 촉진하여 지속가능한 발전을 달성하기 위한 산업구조[1]이며, 이러한 산업구조 구축을 위한 노력이 산업 전분야에서 추진되고 있다.

세계적으로 자동차의 생산대수는 점차 증가하고 있으며, 이에 따라서 폐기되는 자동차 대수도 증가하고 있다. 이에 따라 유용한 자원의 재활용성을 높이기 위하여 유럽 등지에서는 폐자동차의 재활용율을 높이는 환경규제가 시행되고 있으며, 국내에서도 2015년경에는 폐자동차의 재활용율이 95% 이상으로 높아질 것으로 예상되고 있다. 그러나 현실적으로 자동차 부품의 종류는 약 2만 5천개에 이르고, 이에 사용되는 재료의 종류는 각 나라의 규격별, 자동차 메이커별로 서로 다른, 많은 종류의 합금이 사용되고 있다. 이에 따라 폐기된 자동차를 재활용율을 높이기 위해서는 다양한 재질로 구성된 부품을 개개별로 분리 및 선별하는 작업이 필요하고, 선별된 부품의 조성도 다양하기 때문에 성분별로 더 세세하게 분리하는 작업을 수행해야 한다. 그러나 작업성이 떨어지는 수작업 등에 의존하는 분리작업의 어려움때문에 폐자동차의 재활용율은 높아지지 못하고 있다.

최근 경량화 추세에 따라 자동차에 많이 적용되고 있는 소재는 경량의 알루미늄으로 마그네슘, 플라스틱과 함께 그 활용빈도가 높아져가고 있는데, 다양한 금속부품에 알루미늄이 적용되고 있으며, 부품 종류에 따라서 특정한 요구특성을 만족시키기 위하여 다양한 합금이 개발되고 있다. 기존의 알루미늄 재료의

개발방법은 부품의 요구특성에 맞도록 합금원소(Si, Cu, Mg 등)를 단독 또는 복합첨가하는 방식으로 진행되어 왔다. 즉, 알루미늄광(보옥사이트)을 전기분해하여 순수한 1차 알루미늄을 생산하고, 이 1차 알루미늄에 필요로 하는 특성을 부여하는 합금원소를 첨가하는 방식이었다. 이러한 첨가식 재료개발 방법은 합금종류가 증가함에 따라 리사이클링을 점점 어렵게 하여 폐기되는 자원량도 증가시킨다. 즉, 합금의 종류가 다양하면 합금 원소양이 다르기 때문에 한 번에 재용해하는 경우에 특정한 합금원소의 양이 많아지는 문제점이 발생하기 때문에 한 번에 같이 용해할 수 없게 되고, 용해하는 경우에도 합금원소의 양을 희석할 수 있도록 합금양이 적은 알루미늄 지금을 첨가해야 하는 문제점이 있다. 그러나 지속가능한 미래 사회를 구현하기 위해서는 환경부담이 적고 에너지 소모가 작은 방법으로 알루미늄 합금개발의 방향을 변경할 필요가 있다. 즉, 합금원소를 적게 사용하거나, 합금의 종류를 단순화하는 등의 저자원을 사용한 합금개발이 필요하다. 또한 유한한 자원의 재활용을 높이기 위하여 폐기된 알루미늄 소재도 쉽게 재사용이 가능한 방향으로 알루미늄 산업의 사슬체계를 변환할 필요가 있다.

자동차 부품의 경우에 동일한 부품에 대해서 미국 알루미늄 협회(Aluminium Association of America, AA) 규격이나 각 국가별 규격(KS, JIS 등)외에 완성차 메이커별로 수많은 주조용 알루미늄 합금 사양이 별도로 지정되고 있으며, 또, 각 메이커에서는 동일한 종류의 부품에서도 자동차의 종류에 따라 합금 종류가 다른, 수많은 부품이 사용되기 때문에 재고 및 추적 관리에 많은 간접적 비용을 지불하고 있다. 이러한 이유로 부품 주조업체에서도 지정된 합금 사양에 대응하기 위하여 수많은 종류의 알루미늄 지금이 필요하게 된다. 이러한 다양한 종류의 주조합금을 통합(consolidation) 및 합리화(rationalization)하는 것이 환경적 측면에서 알루미늄 재활용도를 높이는 것뿐만 아니라, 자동차 메이커 및 주조업체의 가격 경쟁력도 높일 수 있다. 주조용 알루미늄 합금은 자동차용 부품에 가장 많이 적용되고 있으며, 향후 자동차 경량화에 따라서 사용량도 점점 증

[†]E-mail : tankchoe@kitech.re.kr

가할 것으로 예상되며, 다양한 종류의 합금에 대하여 합금종류를 단순화할 필요성이 제기되고 있다[2].

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 고찰에서는 현재 폐기되고 있는 자동차에서 발생하는 알루미늄 주조 부품 스크랩의 종류에 관계없이, 그리고 별도의 선별 작업없이 한 번에 재용해하고, 용탕에 추가적인 합금원소의 첨가 없이 바로 재사용이 가능한, 재활용성이 우수한 알루미늄 주조합금 통합화에 대하여 고찰해보고자 한다.

2. 본 론

2.1 주조합금의 종류 및 특성

알루미늄은 경량재료이면서 기계적 특성이 우수할 뿐 아니라 전기화학적 특성도 우수하여 건축재료, 자동차부품, 우주·항공재료, 식음료 포장재료, 전기전자재료 등 다양한 분야에 사용되고 있다[3]. 알루미늄은 크게 분류하면 주조재(casting alloy)와 전신재(wrought alloy)로 구별할 수 있다. 주조용 알루미늄 합금은 그 사용 용도에 따라 다양하게 개발되어 왔는데, 합금의 종류는 합금성분에 따라 일반적으로 7개의 그룹으로 크게 구분되고, 동일한 그룹 내에서도 합금성분이 다양하게 조정 및 첨

가되어 수십 종류의 알루미늄 주조 합금이 존재한다.

주조용 알루미늄 합금은 Al-Si계를 기본으로 하는 주조합금이 가장 많이 적용되고 있으며, Al-Cu계와 Al-Mg계를 기본으로 하는 합금도 강도향상과 용접성 향상 등의 특수한 목적으로 사용되고 있다. 이들 합금의 기본 조성은 Al-Cu, Al-Si, Al-Mg 2원계에 제3원소들을 추가하여 다성분계 합금으로 규격화되었으며, 각각 적절한 조성으로 배합하여 주조성이 우수하면서도 강도와 내식성을 양호하게 하고 있다. 현재 국내에서 사용되고 있는 알루미늄 주조합금의 명칭은 KS규격(KS D6008)과 미국 AA규격이 혼재되어 사용되고 있다. 합금군은 기본적으로 2원계 합금성분에 의해 구별되고 있으며, 자동차용 주조합금은 주로 3xx나 4xx합금이 가장 많이 적용되고 있다. AA규격에 정의된 알루미늄 주조합금의 대표적인 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

주조용 합금의 선택은 합금의 조성 즉 합금의 응고범위, 유동도, 내균열성 등을 고려하여 결정된다. 사형주조 합금은 허용되는 특성의 범위가 가장 크며, AA규격으로 208, 213, 319, 332, 356, 413 등의 합금이 주로 많이 사용되고 있다. 특히, 413합금은 용점이 낮기 때문에 생산성이 높고, 금형의 마모를 감소시키는 장점이 있다. 합금의 주조성은 3xx, 4xx, 5xx,

Table 1. 알루미늄 주조합금의 화학 조성 (wt%, AA 규격).

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
201.0	0.10	0.15	4.0-5.2	0.2-0.5	0.15-0.55			
208.0	2.5-3.5	1.20	3.5-4.5	0.50	0.10		0.35	1.00
213.0	1.0-3.0	1.20	6.0-8.0	0.60	0.10		0.35	2.50
238.0	3.5-4.5	1.50	9.0-11.0	0.60	0.15-3.5		1.00	1.50
242.0	0.70	1.00	3.5-4.5	0.35	0.15-0.35	0.25	1.7-2.3	0.35
295.0	0.7-1.5	1.00	4.0-5.0	0.35	0.03			0.35
308.0	5.0-6.0	1.00	4.0-5.0	0.50	0.10			1.00
319.0	5.5-6.5	1.00	3.0-4.0	0.50	0.10		0.35	1.00
328.0	7.5-8.5	1.00	1.0-2.0	0.20-0.6	0.20-0.6	0.35	0.25	1.50
A332.0	11.0-13.0	1.20	0.50-1.5	0.35	0.7-1.3		2.0-3.0	0.35
355.0	4.5-5.5	0.60	1.0-1.5	0.50	0.40-0.6	0.25		0.35
356.0	6.5-7.5	0.60	0.25	0.35	0.20-0.40			0.35
A356.0	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.20-0.40			0.10
360.0	9.0-10.0	2.00	0.60	0.35	0.40-0.6		0.50	0.50
380.0	7.5-9.5	2.00	3.0-4.0	0.50	0.10		0.50	3.00
A380.0	7.5-9.5	1.30	3.0-4.0	0.50	0.10		0.50	3.00
390.0	16.0-18.0	1.30	4.0-5.0	0.10	0.45-0.65			0.10
413.0	11.0-13.0	2.00	1.00	0.35	0.10		0.50	0.50
443.0	4.5-6.5	0.80	0.60	0.50	0.05	0.25		0.50
514.0	0.35	0.50	0.15	0.35	3.5-4.5			0.15
518.0	0.35	1.80	0.25	0.35	7.5-8.5		0.15	0.15
520.0	0.25	0.30	0.25	0.15	9.5-10.6			0.15
535.0	0.15	0.15	0.05	0.1-0.25	6.2-7.5			
705.0	0.20	0.80	0.20	0.40-0.6	1.4-1.8	0.20-0.40		2.7-3.3
707.0	0.20	0.60	0.20	0.40-0.6	1.4-1.8	0.20-0.41		4.0-4.5
712.0	0.15	0.50	0.25	0.10	0.50-0.65	0.40-0.6		5.0-6.5
713.0	0.25	1.18	0.40-1.0	0.60	0.20-0.50	0.35	0.15	7.0-8.0

Fig. 1. 알루미늄 주조합금의 인장특성 (AA 규격).

Fig. 2. 알루미늄 주조합금의 요구특성별 비교.

2xx, 7xx계의 순서로 감소하며, 내부식성은 일반적으로 Cu를 포함하지 않은 합금이 포함된 경우보다 우수한 것으로 알려져 있다. Fig. 1은 AA 규격의 주조합금의 인장특성을 각 합금 그룹별로 구분하여 분포 특성을 나타낸 그림이다. 대략적으로 인장강도는 100~350MPa, 연신율은 2~7% 범위에 많이 분포하고 있다. 특히, 대표적인 주조용 합금인 Al-Si의 3xx계 합금이 주로 상기 범위에 가장 많이 포함되어 있으며, 이 범위에서 크게 벗어나는 합금군은 Cu가 포함된 Al-Cu 2xx계의 합금이다. Al-Cu 2xx 합금의 경우에는 시효에 의한 석출경화로 인장강도가 크게 향상되고 연신율도 매우 높게 나타나고 있다. 그러나 대부분의 주조합금의 인장특성은 상기 범위에 존재하고 있음을 알 수 있다. Fig. 2는 알루미늄 주조합금의 다양한 요구특성값을 상대적으로 비교하여 방사형으로 나타낸 그림이다[4]. 그림에서 보는 바와 같이 각각의 합금은 요구특성에 맞도록 합금 설계에 의해 합금성분이 조정되었기 때문에 특정한 특성에서 높은 값을 나타내고 있으며, 그 방향으로 치우쳐 나타나고 있다. Fig. 2에 나타난 주조합금 중에서 가장 보편적으로 다방면에서 우수한 특성을 나타내는 합금은 A356합금인 Al-Si계 합금이며, 주조용 부품에 가장 널리 사용되고 있는 것과 일치하

는 결과를 나타낸다. 즉, 인장특성 뿐만 아니라, 기타의 요구특성값 비교에 있어서도 가장 많이 사용되는 합금은 Al-Si계 합금이다. 따라서 알루미늄 스크랩으로 유입되는 합금원소 중에 가장 많이 포함되어 있는 원소는 Si이며, 대부분의 주조합금에 포함되어 있기 때문에 Al-Si계 합금만을 사용한다면 재용해에 의하여 바로 재사용이 가능할 것으로 판단된다.

2.2 리사이클링이 가능한 알루미늄 합금

자동차의 알루미늄 리사이클링은 사용이 끝난 폐자동차로부터 각 부품 및 재질별로 해체, 분해 및 분류 과정을 거치고, 이후에 금속자원 만을 선별 및 분리하는 과정에서 철계와 비철계로 구분이 된 후 비철류에서 알루미늄만을 선별하여 재자원화한다. 알루미늄은 자동차 구성품 중에서 주조부품에 가장 많이 적용되고 있기 때문에, 부품별로 분류되어 재용해과정에서 필요한 성분이 조정되어 알루미늄 합금으로 리사이클링 된다. 자동차산업이나 알루미늄 산업이 지속적으로 발전하기 위해서는 에너지 비중이 매우 높은 1차 알루미늄의 사용 비중을 줄이고 리사이클링되어 합금화된 2차 알루미늄의 사용을 높여야 한다. 실제 알루미늄 제조에 필요한 단위 에너지를 비교해보면, 사용된 알루미늄으로부터 2차 알루미늄 생산에 필요한 에너지는 2.8 kWh/kg인데 반하여, 1차 알루미늄의 생산에는 약 45 kWh/kg의 막대한 에너지가 소요된다. 또한 지구온난화 가스인 CO₂ 방출량도 1차 알루미늄 생산시의 약 4%에 지나지 않는다. 따라서 친환경적 사회구조를 유지하고 전환하기 위해서는 알루미늄의 재사용율을 높여야 한다.

완전하고 이상적인 리사이클링 사회에서는 사용되는 알루미늄 부품은 모두 재사용 알루미늄이 표준이고, 또한 알루미늄 재사용량이 전체 사용량에 근접하게 된다. 이러한 이상적인 리사이클링 사회로 전환하기 위해서는 사용된 알루미늄 부품의 회수율 향상, 분해 및 선별기술 개발 및 리사이클링된 알루미늄으로부터 직접 부품에 적용될 수 있는 리사이클 친화적인 합금을 개발 및 선정하는 것이 필요하다.

Das는 리사이클링된 알루미늄을 직접적으로 바로 사용할 수 있는 리사이클 친화적인 알루미늄 합금에 대한 연구를 발표하였으며[5], 아래에 핵심적인 내용에 대하여 소개하고자 한다. 이를 바탕으로 국내 자동차에 사용되는 주조용 알루미늄 합금의 통합화 방안의 일례에 대하여 고찰하고자 한다. 해외의 리사이클 전문업체에서 발표한 리사이클링된 알루미늄 합금의 대표적인 몇 개의 조성을 Table 2에 나타내었다.

몇 종류의 알루미늄 스크랩으로부터 리사이클링된 합금을 전신재(Wrought)와 주조재(Cast)로 구분하여 조성을 나타내었으며, 합금조성의 특징은 다음과 같다. 전신재 3과 4는 Cu와 Zn 함량이 전신재 1과 2에 비교하여 상대적으로 높는데, 이는 2xxx계합금과 7xxx계 합금이 주로 혼합되어 있음을 알 수 있으며, 차체 판재로 사용되는 2036합금이나 범용용인 7029합금이 유입된 것으로 추정할 수 있다. 전신재와 비교하여 주조재는 합금원소의 함량이 많으며, 특히 Si 함량이 높다. 주조용 합금에서도 Cu와 Zn함량이 높은 것은 2xx계나 7xx합금이 혼합된 것으로 판단된다. Cu와 Zn함량이 높기 때문에 재용융하여 바로 사용하기는 어려운 점이 있다. 그러나 주조재 합금은 전반

Table 2. 리사이클링된 알루미늄 합금의 대표적인 조성 (wt%) [5].

LOT	Al	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn	Others
Wrought 1	97.1	0.11	0.59	0.82	0.21	0.51	0.45	0.19
Wrought 2	96.7	0.30	0.60	0.60	0.20	0.90	0.50	0.10
Wrought 3	93.1	0.95	1.01	0.89	0.12	2.41	1.25	0.27
Wrought 4	93.1	1.20	0.70	0.70	0.30	2.60	1.20	0.20
Cast 1	83.5	4.40	1.10	0.40	0.30	8.0	1.90	0.40
Cast 2	86.0	3.90	1.00	0.10	0.20	6.30	2.30	0.30
Cast 3	88.4	2.50	0.75	0.58	0.26	5.18	1.27	1.09
Mixed W&C	90.1	2.30	0.80	0.50	0.20	4.50	1.20	0.30

Table 3. 리사이클링 친화적인 알루미늄 합금의 화학조성 (wt%) [6].

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Others
A (2xxx)	0.7	0.6	5.5~7.0	0.2~0.4	0.7	0.5	0.3
B (3xxx)	0.7	0.6	0.4	1.0~1.5	0.8~1.5	0.5	0.3
C (4xxx)	10.0~14.0	1.0	0.5~1.5	0.3	0.8~1.5	0.5	0.3
D (5xxx)	0.7	0.6	0.3	0.05~0.35	2.0~3.0	0.5	0.3
E (6xxx)	0.3~1.0	0.6	0.3	0.3	0.4~1.0	0.5	0.3
F (7xxx)	0.5	0.6	0.5~1.2	0.3	2.0~2.8	4.0~6.0	0.3

Table 4. 새로운 리사이클링 친화적인 자동차용 알루미늄 합금의 화학조성 (wt%) [8].

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Others
RCBS mix	0.70	0.40	0.50	0.25	1.20	0.20	0.20
RCBS2xxx	0.25	0.25	1.00	0.25	0.80	0.12	0.20
RCBS5xxx	0.20	0.20	0.08	0.20	2.80	0.15	0.20
RCBS6xxx	1.00	0.15	0.30	0.15	0.70	0.08	0.20
RCBE6xxx	0.60	0.20	0.08	0.60	0.08	0.08	0.15
RCB7xxx	0.10	0.15	0.75	0.08	1.35	4.70	0.20
RCCP3xx.x	8.50	1.20	1.00	0.25	0.30	1.00	0.40

적으로 전신재 합금보다 불순물 허용한도가 높기 때문에 리사이클링에 의해 바로 사용될 가능성이 높다.

Das가 제안하는 리사이클링이 가능한 합금조성을 Table 3에 나타내었다. 리사이클링 친화적인 알루미늄 합금이란 것은 리사이클링 과정에서 1차 알루미늄의 추가 없이 최소한의 합금원소 조정만으로 바로 재사용 가능한 합금을 말한다.

상기의 제안된 각 조성은 알루미늄 합금계에서 가장 많이, 그리고 공통적으로 사용되는 합금을 선정한 것이다. 이러한 조성은 하나의 제안된 예이며, 실제 리사이클링에 의해 유입되는 알루미늄 합금 중에서 가장 많은 양을 차지하는 합금조성이다. 보다 정확하게 리사이클링 친화적인 알루미늄 조성을 확정하기 위해서는, 현재와 미래에 유입되는 스크랩의 조성을 정확히 예측할 필요가 있으며, 이에 따라 후보합금의 조성도 몇 가지 다른 조성이 제안될 수도 있다. 이러한 리사이클링 친화적인 합금의 적용분야는 좁은 조성범위를 가지고 있는 현존 합금계의 적용분야와 동일하지만, 일부 용력파괴가 발생하는 구조용 부품에 적용하지는 못할 것이다. 그러나 화학 플랜트의 파이프, 열교환기 튜브, 단조 및 주조부품 등에는 동일하게 적용 가능하다.

1980년대 알루미늄 캔이나 자동차 부품 등 많은 알루미늄

적용분야에서 한두 가지의 합금만을 사용하고자 하는 Unialloy 개념이 제안된 적이 있으며[7], 실제로 Al-2%Mg-0.7%Mn 조성의 AA5017합금은 알루미늄 캔 바디합금인 AA3004와 캔 엔드 합금인 AA5182합금의 조성을 무게 평균한 합금으로 두 종류의 합금을 한 종류로 통합한 Unialloy로 제안되었다. 이러한 개념은 1차 알루미늄의 가격이 높아지고 합금원소의 가격도 상승하면서, 또한 사회적으로 재활용율을 높이기 위한 필요성에 의해 제기된 것으로 이러한 개념을 실용화하기 위해서는 합금의 적용성과 사업성을 다시 한번 제고하여야 한다.

자동차 알루미늄 합금에서 리사이클링 특성이 우수한 합금 조성을 아래 Table 4에 나타내었다[8]. RCBS는 리사이클링된 차체판재(recycled body sheet)의 영어약자이며, RCBE는 차체 압출재(body extrusion)를 의미한다. 이 약자 뒤에 표기된 것은 전신재에 많이 사용되는 2xxx, 5xxx, 6xxx계 알루미늄 조성을 나타낸다. 알루미늄 주조부품만으로 리사이클링된 알루미늄 합금의 조성은 RCCP(recycled casting parts)이다. 이 조성은 놀랍게도 상용 AA규격의 328합금과 매우 유사한 조성을 가지고 있으며, 이 합금은 열처리가 가능하고 강도와 주조성도 우수하다. 따라서 이 조성 범위의 리사이클 알루미늄 합금은 사용후

합금조정이나 첨가 없이 재용해하면 자동차 알루미늄 주조품으로 다시 사용할 수 있는 가능성이 매우 높은 합금이다.

2.3 자동차용 주조합금의 통합화 방안

자동차에 사용되는 알루미늄 부품의 제조공정에 따른 비율과 주조부품에 적용되는 합금의 종류를 Fig. 3에 나타내었다. 자동차에 사용되는 주조품의 비율은 약 79%이며, 기타의 전신재에 비하여 월등히 많이 적용되고 있음을 알 수 있다[9]. 주조용 합금의 종류는 사형/금형주조용 합금과 다이캐스팅용 합금으로 크게 구분되며, 주조공정에 의하여 제조되는 알루미늄 자동차 부품의 예를 Fig. 4에 나타내었다. 또, 이들 주조용 합금의 조성을 Table 5에 나타내었다. 자동차 부품에 사용되는 알루미늄 주조합금은 Al-Si-Mg합금과 Al-Si-Cu합금, 두 종류가 가장 많이 사용되고 있으며, 이러한 합금들은 부품의 형상 특성이나 기계적 요구특성에 따라 각기 다른 주조공정이 적용되고 있다. Table 5는 자동차 부품에 사용되는 주조용 알루미늄 합금의

Table 5. 자동차용 알루미늄 주조합금의 대표적인 조성.

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
AC4CH	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.25-0.45
AC2B	5.0-7.0	1.00	2.0-4.0	0.50	0.50
AC4C	6.5-7.5	0.55	0.25	0.35	0.2-0.45
ADC10	7.5-9.5	1.30	2.0-4.0	0.50	0.30
ADC12	9.6-12.0	1.30	1.5-3.5	0.50	0.30
Average	7.7	0.7	1.5	0.3	0.3

종류(KS 규격)를 정리한 것인데, 일부 부품에 따라서는 불순물의 함량을 낮은 한도로 엄격하게 제한하는 합금들이 사용되고 있다. 하지만, 대부분의 합금들은 Al-Si계 이원계 합금에 Cu와 Mg이 주요 합금원소로 첨가되는 형태이다. 이런 종류의 부품이 단순히 혼합, 폐기되어 재용해 된다면 최종적인 리사이클링 합금의 조성은 Table 5의 마지막 줄에 나타난 바와 같은 조성이 될 것이다. 이 조성은 단순히 합금들의 조성을 산술평균한 것이지만, 최종적인 합금의 조성이 앞 절에서 논의된 바와 같이 AA규격의 328합금의 범위에 포함됨을 알 수 있다. 그러나 이 계산법으로는 리사이클링된 합금의 조성을 정확히 추정할 수 없는데, 각 부품의 중량과 용해시 장입되는 양을 정확하게 알아야 최종적인 합금의 조성을 추정할 수 있기 때문이다.

리사이클링 특성이 우수한 합금을 선정하기 위하여 본 고찰에서는 자동차 한 대에서 폐기되는 알루미늄 주조부품을 전부 회수하여 한 번에 용해하여 재사용하는 경우의 합금 조성을 추정해 보았다. 현재 시판되고 있는 국산 자동차의 알루미늄 주조부품의 무게와 합금의 종류를 정리하면 Table 6과 같다. (승용차 기준) 현재, 자동차 한 대에 사용되는 알루미늄 주조부품

Fig. 3. 자동차부품 구성부품비 및 합금조성.

Fig. 4. 자동차용 알루미늄 부품의 주조공정 예.

Table 6. 자동차용 주조부품의 합금의 종류와 무게.

Components	Alloy	Weight
Engine block	ADC10	30 kg
Cylinder head and etc.	AC2B	15 kg
Wheel	AC4CH	20 kg
Transmission case	ADC10	10 kg
Housings	ADC10	10 kg
Safety components	AC4CH	15 kg
Net weight	100 kg	

의 무게는 약 100 kg 정도이고, 주조부품별 사용되는 합금의 종류는 Table 2와 같다. 합금의 종류는 크게 사형/금형주조용 합금과 다이캐스팅용 합금으로 구분되며, AC4CH(Al-Si-Mg)와 AC2B(Al-Si-Cu)는 사형/금형주조용 합금의 대표적인 합금 종류이고, 다이캐스팅용 합금으로는 ADC10(Al-Si-Cu)이 가장 많이 사용되고 있다. Table 6의 합금과 무게를 고려하여 상기 Table 5와 같은 주조부품들을 폐자동차로부터 선별하여 모두 한번에 재용해하면, Table 7에서와 같은 무게비로 계산된, 새로운 합금조성이 얻어진다. 즉, Al-7.6%Si-2.1Cu-0.3%Mg-0.9%Fe-0.4%Mn의 조성을 가지는 리사이클링된 합금이다. 앞에서 알루미늄 주조합금을 단순히 합산하여 산술평균한 합금조성보다 Cu의 함량이 증가한 부분을 제외하면 거의 유사한 조성이며, 이 합금 또한 AA규격의 328합금의 범위에 포함됨을 알 수 있다. 이 조성으로 용해된 새로운 리사이클 합금 용탕을 후공정에 바로 적용하여 직접 부품으로 제조하고 자동차 부품으로 사용되어 수명이 끝난 후, 다시 폐기된 이후부터는 모든 주조부품이 동일한 조성으로 만들어졌기 때문에 그 이후부터는 해체작업에서 주조알루미늄의 부품은 선별 작업없이 바로 용해하여 재사용할 수 있는 장점이 있다.

상기의 고찰은 리사이클성이 우수한 합금을 가정하여 조성을 예측한 것이지만, 향후 알루미늄 합금이 자동차에 적용되는 양이 증가하면 사용후 폐기된 자동차량도 증가할 것이다. 이러한 유용한 자원을 폐기 없이 모두 회수하여 자원화하기 위해서는 선별과정 등의 비용을 줄여야 한다. 만약, 상기의 합금이 산업계에서 상호협의를 의해 재용해된 합금을 사용할 수 있게 된다면, 국가적으로나 기업체에서 모두 높은 비용절감을 할 수 있을 것이다. 그러나 리사이클링 특성이 우수한 합금을 최종적으로 선정하고 사용하기 위해서는 몇 개의 후보합금을 선정하여 실제 자동차 부품에까지 적용하여 품질을 평가받아야 할

것이다. 미래에 국가적으로 전량 수입해야 하는 1차 알루미늄이나 2차 알루미늄 소요비용을 고려하면, 현재 국내에서 순환되고 향후 지속적으로 스크랩화되는 알루미늄 자원을 전량 회수하여 재자원화하기 위해서는 본 고찰에서 같은 리사이클링 친화적인 합금을 사용하는 것에 대하여 재고하여야 할 것이다.

3. 맺음말

알루미늄의 리사이클링 과정에서 후처리 정련 공정없이 재용해후 바로 활용가능한 알루미늄 합금은 전신재 합금 보다는 불순물 허용한도가 높은 주조합금이 더 가능성이 높으며, 그 조성은 Al-Si 합금이 기본 조성이 될 것이다. 스크랩으로 유입되는 주조부품의 무게를 고려하여 리사이클링 친화적인 알루미늄 합금의 조성을 가정하여 추정한 결과 Si와 Cu, Mg이 포함된 AA규격의 328합금과 매우 유사한 조성의 합금이 선정되었다. 이러한 후보합금들의 합금조성이 구체화되기 위해서는 유입되는 스크랩의 종류와 양을 정확히 산출할 필요가 있으며, 후처리 공정에서의 정련과정 없이 직접적으로 사용되기 위해서는 합금의 기본적인 물성 뿐만 아니라, 실제 자동차에 적용하여 내구성 시험에서 충분히 성능 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 알루미늄의 합금조성은 1차 알루미늄의 순수합금에서 합금원소를 첨가하는 방식으로 재료개발이 진행되었기 때문에 알루미늄 스크랩의 재활용성을 높이기 위해서는 현재의 합금원소 및 불순물원소의 범위를 확대하고, 이에 따른 물성 등의 성능에 따라서 조성을 결정하는 것이 옳을 것으로 판단된다. 이 리사이클링 특성이 우수한 합금의 재활용을 높이기 위해서는 향후 상기 후보합금을 부품으로 제조하는 공정과정에서 기계적 물성이나 특성을 향상시키는 것도 합금의 적용성을 높일 수 있는 방법이 될 것이다.

참고문헌

- [1] “환경친화적 산업구조 구축을 위한 비전과 발전전략”, 산업자원부, 2003.1.
- [2] “Aluminum Industry Roadmap for the Automotive Market”, Aluminum Association, May 1999
- [3] 이호인, 한요섭, 김도향, 김원태: “알루미늄 응용기술의 이해와 활용”, 한국철강신문, 2005
- [4] J. G. Kaufman and E. L. Rooy: “Aluminum Alloy Castings”, American Foundry Society, ASM International, (2004) 70
- [5] Subodh K. Das: Light Metal 2006, “Emerging Trends in Aluminum Recycling: Reasons and Responses”, TMS, (2006)

Table 7. 중량비를 고려한 알루미늄 주조합금의 대표조성.

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	중량
AC2B	5.5-6.5	1.00	3.0-4.0	0.50	0.10	15 kg
환산중량(kg)	0.90	0.15	0.52	0.07	0.01	
AC4CH	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.25-0.45	35 kg
환산중량(kg)	2.45	0.07	0.07	0.04	0.12	
ADC10	7.5-9.5	1.30	2.0-4.0	0.50	0.30	50 kg
환산중량(kg)	4.25	0.65	1.50	0.25	0.15	
환산조성(wt%)	7.6	0.9	2.1	0.4	0.3	100 kg

- 911-916
- [6] S.K. Das: "Designing Aluminum Alloys for a Recycle-Friendly World" *Light Metals Age* (2006) 26-33
- [7] D. McAuliffe and I. M. Marsh: *Light Metals*, (1989) 739-741.
- [8] S. K. Das, J. A. S. Green and J. Gilbert Kaufman: "The Development of Recycle-Friendly Automotive Aluminum Alloys", *JOM*(2007) 47-51
- [9] DUCKER WORLDWIDE. 2009 Update on North American: light vehicle aluminum content compared to the other countries and regions of the world (phase II) [R]. 2008