

원료 배합조건에 따른 발열보온재의 열적 특성

김도준¹· 신동엽¹· 변승용¹· 위창현¹· 유병돈[#]· 오상훈²

Effect of Mixing condition of raw materials on the Thermal Properties of the Exothermic & Insulating Materials

D. J. Kim, D. Y. Shin, S. Y. Byun, C. H. Wi, B. D. You, S. H. Oh

Abstract

The change of the thermal properties of exothermic & insulating materials with mixing condition of raw materials which is the most important factor for exothermic & insulating materials was investigated by using the evaluation system of the thermal properties of exothermic & insulating materials. In this study, the effect of the thermal properties of the exothermic & insulating materials such as exothermic properties, endothermic properties, insulating properties, maximum temperature of molten metal, ignition time of exothermic & insulating materials and temperature recovery time on the mixing ratio of reductant and oxidant, types of reductant, and particle sizes of reductants was examined. It could be expected to design the mixing condition of raw materials for various exothermic & insulating materials.

Key Words: Exothermic and Insulating Materials, Thermal Properties, Reductant, Mixing condition, particle size

1. 서론

금속 주조 시 주형내의 용탕은 대기와 가까이 있는 부분부터 열을 쉽게 빼앗기므로 응고가 먼저 발생하게 된다. 응고가 방향성을 가지고 주물의 하부에서부터 상부로 순차적으로 진행될 경우는 수축 시 용탕의 체적 감소가 있더라도 문제가 없으나, 주물 외부가 먼저 응고되고 내부가 가장 늦게 응고된다면 내부에 수축공(shrinkage porosity)이라는 주조결함이 발생하게 된다. 따라서 주조 시 수축공 결함을 제어하기 위해서는 방향성 응고(directional solidification)즉, 외부에서부터 응고가 이루어 질 수 있도록 하는 것이 필요하다. 이를 위하여 압탕에서의 온도관리는 무엇보다도 중요하다. 이러한 수축공이 주조제품 내부에 형성될 경우는 최종 제품의 품질이 악화되므로 주조부

상단에 압탕부를 설치하여 응고 시 수축으로 인한 부족한 용탕을 추가 주입하여 제품부로 공급하고 있으며, 압탕의 용탕이 용융 상태로 있을 수 있도록 온도를 관리하고 있다. 이와 같이 압탕의 온도를 일정온도 이상으로 관리하기 위해 적용되고 있는 방법으로는 주형에 용탕이 주입된 상태에서 압탕에 용탕을 추가 주입하거나, 추가 용탕 주입이 불가능할 경우에는 용탕 상부에 발열 보온재를 투입하여 압탕의 온도를 높이는 방법이 사용되고 있다[1]. 또한, 제강공정의 연속주조 과정에서 용강의 온도가 지나치게 낮으면 주조 작업이 불가능할 뿐만 아니라, 노즐 막힘 현상이 발생할 수도 있기 때문에 용강의 온도관리는 매우 중요한 인자이다[2]. 그러므로 제강공정에서 정련이 종료된 용강을 연속주조 공정으로 이송하는 과정에서 용강의 온도저하를 방지하기 위해 발열

1. 인하대학교 공과대학 신소재 공학부

2. ㈜포스코 특수강 기술연구소

교신저자: 인하대학교 공과대학 신소재 공학부,

E-mail : bdyou@inha.ac.kr

보온재를 다량 사용하고 있다.

이러한 발열 보온재의 특성은 발열 보온재 투입 직후부터 발열개시 시점까지의 소요 시간, 발열지속 시간(온도회복시간), 발열량, 보온효과 등에 따라 구분할 수 있으며 발열 보온재를 구성하는 성분 및 배합비에 의해 결정된다. 발열 보온재는 발열 과 보온효과를 동시에 얻기 위해 사용되는 재료로서, 주로 금속 Al 의 산화반응에 의한 열을 이용한다. 발열 보온재는 발열원으로 금속 Al 분말 그리고 금속 Al 의 산화반응에 산소를 공급하기 위한 산화철 분말이 주성분으로 이루어져 있다. 또한, 보온특성을 위해 Al_2O_3 와 SiO_2 를 함유하는 광물입자와 탄재 분말이 혼합되어 있다. 이러한 발열 보온재의 원료 배합조건은 발열 보온재 생산을 위한 핵심 기술이며 다변화하는 금속(철강 및 비철)제품의 주조조건에 따라 수요가의 다양한 요구조건을 만족시킬 수 있는 발열 보온재의 안정적 생산을 위해서는 목적에 따라 발열 및 보온 특성을 자유자재로 제어할 수 있도록 원료의 배합조건을 설계 할 수 있어야 한다[3~4]. 그 중 발열 보온재의 열적 특성에 가장 큰 영향을 미치는 것은 환원제와 산화제의 배합조건이라 할 수 있다. 하지만, 발열 보온재의 원료 배합조건은 중요한 기술임에도 불구하고 체계적인 연구와 실험이 진행되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 발열 보온재의 원료 배합 조건(환원제와 산화제의 배합비 및 환원제의 입도)에 따른 발열 보온재의 열적 특성 변화를 조사 하였다.

2. 실험방법

2.1 시료

통상적으로 현재 주조공정에서 사용되고 있는 산업적 기성품에는 발열원인 금속 Al 이 10~35wt%, 산소 공급원 즉, 산화제인 산화철 분말이 5~40wt%정도 함유 되어있고, 보온특성을 위한 Al_2O_3 (5~70wt%), SiO_2 (5~50wt%)의 광물입자와 탄재 및 초석 등이 혼재 되어 있다. 발열원인 금속 Al 은 일반적으로 금속 Al 을 일정수준 함유하고 있는 Al 제련 부산물인 Al dross 를 사용하고 있다. 따라서 본 실험에서는 산업적 기성품과 유사한 범위 에서의 조성을 기준으로 실험을 진행하였다. 본 실험에 사용한 원료의 배합

조건을 Table 1 에 나타내었다. 표에서 각 성분의 함량은 중량(g)을 나타내며, 이는 환원제(Al)와 산화제(Fe_2O_3)의 몰비 즉, $N_{Al}/N_{Fe_2O_3} = 2\sim 20$ 까지의 범위에서 환원제(Al)와 산화제(Fe_2O_3)를 배합하였을 때 10g 을 기준으로 하여 계산한 것이다. 이러한 몰비의 범위는 현재 주조공정에서 사용되고 있는 산업적 기성제품의 몰비 범위가 $N_{Al}/N_{Fe_2O_3} = 2\sim 18$ 인 것을 고려하여 결정하였다. 산화제(Fe_2O_3)는 시약급 분말을, 환원제(Al)는 금속 Al 과 금속 Al 이 약 60%함유되어있는 Al dross 를 사용하였다. 또한, 발열 반응에 미치는 환원제 입도의 영향을 검토 하기 위해 환원제(Al, Al dross)는 표준체(Standard sieve)를 이용하여 Table 2 와 같이 구분하였으며, 각 입도 분포 범위별 평균 입도를 나타내었다.

2.2 실험 장치 및 방법

Fig. 1 에는 발열 보온재의 열적 특성을 평가할 수 있는 실험장치의 개략도를 도시하였다. 발열 보온재의 열적 특성평가 실험장치는 발열 보온재의 발열량 및 보온열량을 정량적으로 측정할 수 있도록 설계하였다. 우선 발열 보온재의 열적 특성을 평가하기 위해 용강 표면에 직접 발열 보온재를 첨가할 수 있도록 고주파 유도 용해로를 사용하여 STS steel 을 용해하였고, 비 접촉식 온도계인 Optical pyrometer 를 사용하여 전 실험과정의

Table 1 Mixing ratio of raw materials

$N_{Al}/N_{Fe_2O_3}$	Al		Al dross	
	Al	Fe_2O_3	Al	Fe_2O_3
2	2.54	7.46	3.61	6.39
4	4.04	5.96	5.31	4.69
8	5.76	4.24	6.94	3.06
12	6.71	3.29	7.73	2.27
16	7.31	2.69	8.19	1.81
20	7.73	2.27	8.50	1.50

Table 2 Particle size range and average size of reductant

Particle size range(Average particle size)		
$\leq 45 \mu m$ (22.5 μm)	45~212 μm (128.5 μm)	212~300 μm (256 μm)

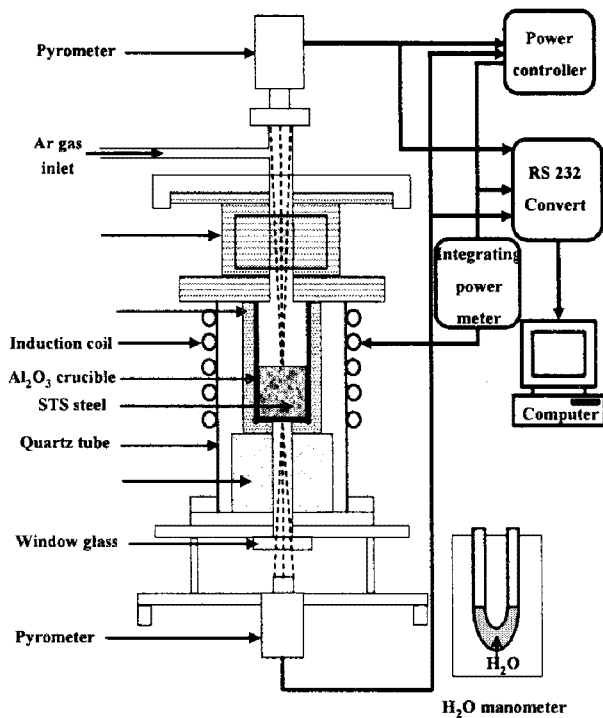


Fig. 1 Schematic drawing of experimental apparatus.

온도를 연속적으로 제어하였다. 전력공급은 PID 자동온도 제어장치에 의해 미리 설정한 온도를 유지하기 위해 전력공급이 자동으로 변화할 수 있도록 하였고, 전력공급장치에는 실시간으로 전력을 측정할 수 있는 적산 전력계를 설치하여 온도변화에 따른 전력공급량의 변화를 측정하였다. 측정된 전력공급량은 통신포트인 RS232 컨버터를 경유하여 컴퓨터에 실시간으로 저장될 수 있도록 하였고, 획득한 데이터는 발열 보온재의 열적특성을 정량적으로 평가하는데 사용하였다. 실험 진행 중 산화스케일의 생성을 최소화 하고자 STS steel 을 사용하였다. 실험은 내경 약 70mm 의 석영관 내부에 직경 약 38mm 높이 약 25mm 의 STS steel 180g 을 장입한 직경 40mm 높이 60mm 의 Al₂O₃ 도가니를 유도 coil 중앙부에 위치시키고, 두 개의 Optical pyrometer 를 상부와 하부에 설치하여 온도를 제어하였다. 승온 시에는 산화 스케일의 생성으로 인한 실험 결과의 오차를 줄이고자 대기와의 접촉을 최대한 억제할 수 있는 산화 스케일 방지장치를 설치하였다. 산화 스케일 방지장치는 도가니 상부와 노체의 하부 플랜지에 설치 하였으며, 별도의 투입구를 제작하여 발열 보온재의 투입이 가능하도록 하였다. 산화 스케일 방지장치의 발열 보온재 투입구를 닫은 상태에서 H₂O 압력계를

이용하여 측정되는 반응관 내부의 압력이 약 6mmH₂O 이상이 유지되도록 반응관 내부에 Ar 가스를 유입하며 상부에 장착된 Optical pyrometer 를 이용하여 시료의 온도를 측정, 제어하였고 목표 온도 치에 도달하면 도가니 하부에 위치한 Optical pyrometer 를 이용하여 용강의 온도를 일정 하게 유지하였다. 용강 표면에 발열 보온재를 투입하기 직전에 Ar 가스의 공급을 중단하고 산화 스케일 방지장치의 투입구를 개방하여 일정량의 발열 보온재를 첨가하였고, 약 30 분간 유지하였다. 단, 발열 보온재 첨가 시 열기류에 의해 발열 보온재가 비산할 것을 방지하기 위해 일정한 크기로 비닐 포장하여 사용하였다. 발열 보온재 첨가 후의 온도 및 전력 공급량 변화는 전술 한 바와 같이 발열 보온재의 흡열량, 발열량 및 보온열량 평가에 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 발열보온재의 발열원리

발열보온재는 금속 Al 과 산화철(Fe₂O₃)의 화학 반응시 수반되는 열을 이용한 것으로 발열 보온재 중의 산화철(Fe₂O₃)과 Al 의 반응식은 다음과 같다.



상기 반응식에서 Fe₂O₃ 와 Al 의 화학양론적 몰비는 1:2 이며, 중량비로 160:54 가 된다. 발열 보온재 중에 Al 이 Fe₂O₃ 화학양론적 몰비 보다 많이 함유되어 있으면, Fe₂O₃ 와 반응하고 남은 Al 은 대기 중의 산소와 반응하며 반응식은 다음과 같다.



한편, 상온의 반응물질(M)을 사용하여 온도 T 에서 반응을 일으킬 경우의 Enthalpy 변화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta H_{T(M)}^\circ &= \sum (v_i \cdot \Delta H_{T,p}^\circ) - \sum (v_j \cdot \Delta H_{T,r}^\circ) \\ &= \sum (v_i \cdot \Delta H_{298,p}^\circ) - \sum (v_j \cdot \Delta H_{298,r}^\circ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum \left(v_i \cdot \int_{298}^{T_{\text{Trans}}} C_p dT \right)_p \\
& + \sum \left(v_i \cdot \Delta H_{\text{Trans}}^\circ \right)_p \\
& + \sum \left(v_i \cdot \int_{T_{\text{Trans}}}^T C_p dT \right)_p \quad (3)
\end{aligned}$$

그리고, 발열 보온재를 구성하는 물질의 승온에 따른 Enthalpy 변화 값은 다음식으로 계산할 수 있다.

$$\Delta H_{h-T}^\circ = v_i \cdot \left(\int_{298}^{T_{\text{Trans}}} C_p dT + \Delta H_{\text{Trans}}^\circ + \int_{T_{\text{Trans}}}^T C_p dT \right) \quad (4)$$

여기에서 v 는 반응에 관여하는 물질들의 화학양론 계수, 아래 첨자 P 및 R 은 각각 반응 생성물과 반응물, 그리고 i 는 반응에 관여하는 물질을 의미한다. 또한, ΔH_{298}° 와 ΔH_T° 는 298K 와 TK 에서의 표준 생성 Enthalpy 변화, $\Delta H_{\text{Trans}}^\circ$ 는 상전이열을 의미한다. 또한 T 와 T_{Trans} 는 절대 온도와 상전이 온도이다. 일반적으로 온도가 상승하면 반응에 따른 Enthalpy 변화 값이 증가한다[3]. 그런데 상온의 물질을 사용하여 발열 반응을 하는 경우는 반응 온도가 일정하지 않을 뿐만 아니라 정량적으로 파악하기가 곤란하다. 따라서 반응계가 외부의 영향을 받지 않는 고립계 인 것으로 가정하고 반응에 따른 열적 상태를 추정함으로써 작업 조건에 따른 반응특성을 평가하는 수단으로 활용될 필요가 있다[4].

3.2 발열 및 보온특성 평가

발열 보온재 투입 후 용강의 온도 및 전력공급량의 변화를 Fig. 2 에 도시하였다. 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 시료를 투입하기 전에는 용강의 온도를 일정하게 유지하기 위해 필요한 전력이 일정하게 공급된다. 상온의 발열 보온재를 용강표면에 투입하면 일시적으로 용강의 온도가 저하하고 용강의 온도를 회복하기 위해 전력공급량이 증가한다. 그 후 발열반응이 시작되면 용강 온도가 상승하고, 용강의 온도가 초기 설정값을 초과하면 전력공급량이 감소한다. 그리고 발열반응이 종료됨에 따라 용강 온도는 원래의 설정값으로 회복되어 일정한 수준을 유지하게 되고, 전

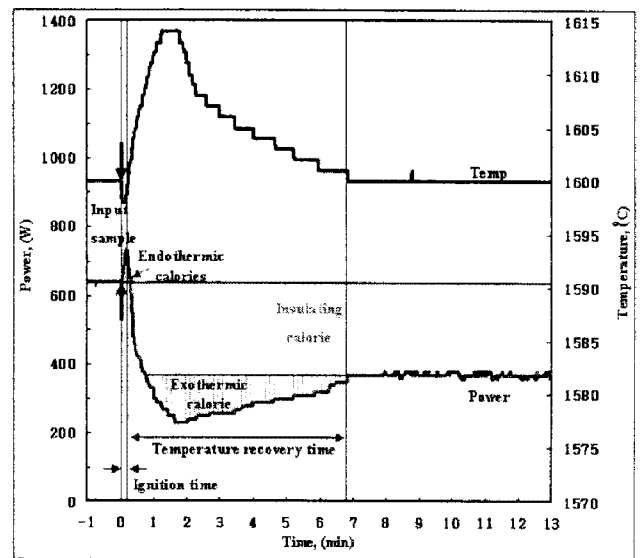


Fig. 2 Change of power and temperature depending on reaction time

력공급량도 일정한 수준을 유지하지만 초기의 값보다는 낮은 수준을 유지하게 된다. 이와 같은 전력 공급량의 변화는 Joule's law(전기저항 $R(\Omega)$ 에 전류 $I(A)$ 를 t (초)동안 흘릴 때 공급된 전기 에너지(전력량)는 모두 열로 변환다.)에 의해 식(5)를 통하여 열량으로 환산할 수 있다[5].

$$\begin{aligned}
P &= V \cdot I = I^2 \cdot R [W] \quad (V = I \cdot R) \\
H_t (\text{열량}) &= I^2 \cdot R \cdot t [J] = P \cdot t \quad (5)
\end{aligned}$$

즉, 일정한 시간(t , sec)동안 공급된 전력(P , Watt)은 열량($H_t = P \cdot t$)에 해당되므로, 각 구간별로 시간에 따른 전력공급량의 변화 값을 적분하면 발열 보온재 사용에 따른 열적 특성을 계산할 수 있다. 발열 보온재 투입 직후에 용강의 온도가 낮아진 후 초기 설정 값으로 회복될 때까지의 전력 상승치는 발열 보온재의 승온에 따른 흡열에 기인하며, 이 시기의 전력 증가량을 흡열량이라고 판단하였다. 그 후 발열이 개시되면서 온도가 목표온도 이상으로 증가하게 되고 발열반응이 종료됨과 동시에 다시 초기의 온도를 유지하게 된다. 그 사이 전력공급량은 감소한 후 일정수준을 유지하게 되는데, 이는 발열과 함께 반응생성물의 보온효과에 기인한 것이기 때문에 초기온도를 회복 하였을 때의 전력공급량보다 낮은 상태의 전력 공급량 변화량을 발열량으로 판단하였다. 그리고 발열 보온재의 발열 반응이 종료되고 용강 온도가 초기

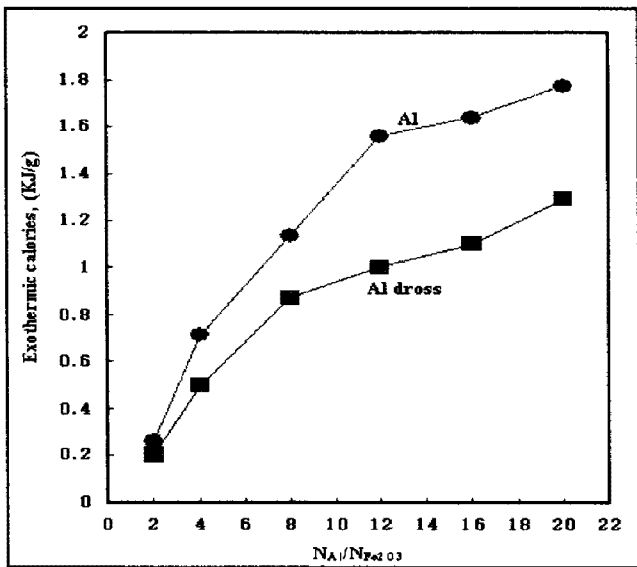


Fig. 3 Change of exothermic calories depending on the mixing ratio and reductants

값으로 다시 회복된 후의 전력 공급량 감소치는 발열 보온재의 반응 생성물에 의한 보온 효과 때문인 것으로써 보온열량으로 평가하였다.

본 실험에서 획득한 전력공급량 데이터는 전술한 바와 같이 식(5)을 이용하여 열량으로 환산하였고, 객관적인 평가가 가능하도록 흡열량, 발열량 및 보온열량은 발열 보온재 1g 을 기준으로 보온열량의 경우 유지되는 시간에 따라 절대적인 값의 차이를 보일 수 있으므로, 1 분을 기준으로 환산하여 평가하였다. 또한, 냉체인 발열 보온재 투입으로 인해 용강의 온도가 하강하고 발열 보온재의 발열 반응이 개시됨에 따른 용강 온도의 상승 직전까지의 시간을 착화시간으로 판단 하였으며, 발열 개시 후 다시 초기 온도를 회복하는 시간까지를 온도회복시간이라고 판단하였다.

3.3 환원제와 산화제 배합비 ($N_{Al}/N_{Fe_2O_3}$) 및 환원제 종류에 따른 열적 특성 변화

발열 보온재는 반응물질들의 화학반응 발생을 위해 외부로부터 활성화 에너지에 해당하는 열을 공급받아 발열 및 보온특성을 일으키게 되는데 이때 가장 중요한 요소가 원료의 배합조건 과 환원제의 종류이다. 그러므로 본 연구에서는 환원제(Al)와 산화제(Fe_2O_3)의 배합비 및 환원제의 종류에 따른 발열 보온재의 열적 특성 변화를 조사하였다. 산화제(Fe_2O_3)는 시약급 분말을, 환원제(Al)는 금속 Al 과 금속 Al 함량이 60%인 Al dross 를 사용하였고,

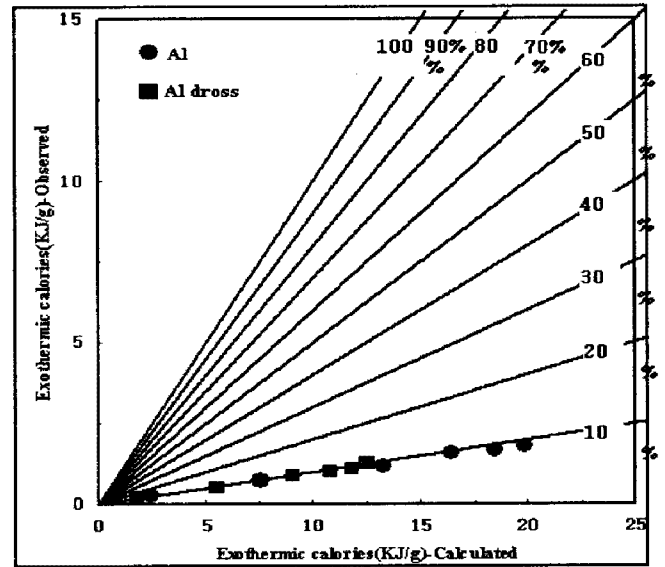


Fig. 4 Change of the exothermic calories observed and calculated depending on the mixing ratio and reductants

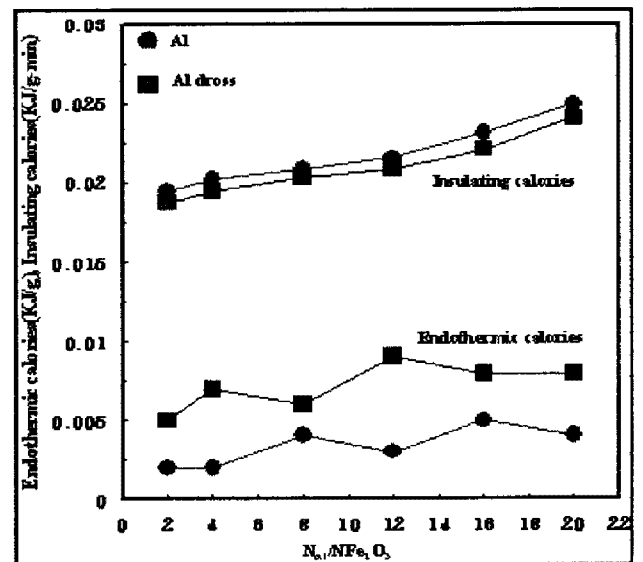


Fig. 5 Change of the endothermic calories and insulating calories depending on the mixing ratio and reductants

산화제와 환원제의 화학양론적 몰비를 다양하게 변화시켜 실제 제강 조업의 주조온도와 가장 유사한 1600℃에서 실험을 진행하였다. Fig. 3 에는 환원제(Al)와 산화제(Fe_2O_3)의 배합비 및 환원제 종류에 따른 발열량을 나타내었다. 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 환원제(Al)와 산화제(Fe_2O_3)의 배합비 ($N_{Al}/N_{Fe_2O_3}$) 즉, 환원제(Al)의 몰비가 증

가 할수록 발열량이 증가하는 것으로 조사되었는데, 이는 발열 보온재 중의 환원제(Al)는 산화제(Fe_2O_3) 및 대기 중에 존재하는 산소(O_2)와 결합하면서 발열을 하게 되므로 발열 보온재 내에 Al의 양이 많아질수록 발열량이 증가하는 것으로 사료된다. 한편, 금속 Al을 환원제로 사용한 경우가 Al dross를 사용한 경우에 비해 다량의 발열을 하는 것을 알 수 있었다. Al dross는 Al을 정련하는 과정에서 발생하는 부산물로서, Al dross 내에는 Al_2O_3 및 CaO와 같은 여타의 물질들이 많이 혼재되어있다. 이러한 기타 구성 물질들의 승온에 따른 흡열에 기인한 것으로 판단된다. 또한 Table 1에 나타난 원료 배합조건으로 식(3),(4)를 이용하여 $1600^{\circ}C$ 에서의 이론적 발열량을 계산하였고, 본 연구결과와의 상관관계를 Fig. 4에 도시하였다. Fig. 4의 그래프를 살펴보면, 이론적인 계산값과 실험 결과치가 일정 수준의 차이가 나타났는데, 이는 실험을 통하여 얻은 결과 값은 실험장치가 완벽한 단열계가 아니기 때문에 발생하는 열 손실(Heat loss)등의 요소에 의한 것으로 이론적 계산값의 약 10%정도 수준인 것을 알 수 있다. 또한, 화학양론적 몰비가 증가 할수록 즉, Al의 양이 증가할수록 이론적 계산 값과 실험 결과값 모두 발열량이 높게 나타났다. 이때, 절대값에 있어서 큰 차이는 있지만 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 환원제(Al)와 산화제(Fe_2O_3)의 배합비 및 환원제 종류에 따른 흡열량과 보온열량을 Fig. 5에 도시하였다. 흡열량과 보온열량은 발열량의 경우와 마찬가지로 환원제(Al)의 몰비가 증가 할수록 증가하였다. 흡열량의 경우, 환원제(Al)의 몰비 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내지만, 그 영향은 뚜렷하지 않다. 이는 앞 절에서 언급한 바와 같이 발열 보온재 내에 함유되어있는 기타물질들의 종류와 양에 따라 흡열량이 달라질 가능성이 있고, 흡열량 또한 매우 낮기 때문에 발열 보온재의 열적 특성변화에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 한편, 통상적으로 발열보온재의 보온특성은 발열반응에 의해 생성되는 산화물과 원료 배합 시 보온특성 개량을 위해 첨가하는 물질들에 의해 영향을 받는다. 본 실험에서는 보온특성 개량을 위한 기타물질들을 첨가하지 않았기 때문에 보온열량은 매우 낮게 측정되었으나 환원제(Al)의 몰비가 증가함에 따라 보온열량이 증가함을 확인 할 수 있었다. 이는 식(1),(2)에서 나타난 바와 같이 Al의 양이 증가할수록 생성되는

산화물이 증가하여 어느 정도 보온효과를 나타내는 것으로 생각된다. 한편, 환원제로서 금속 Al을 사용한 경우가 Al dross를 사용한 경우에 비해 흡열량은 낮게 측정되었다. 이는 전술한 바와 같이 Al dross 내에 함유되어있는 기타성분들에 의한 영향으로 판단된다. 보온열량의 경우에는 두 환원제 모두 유사한 경향을 나타내는 것으로 조사되었다. 또한, 발열에 의한 용강의 최고 온도를 Fig. 6에 도시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 환원제(Al)의 몰비

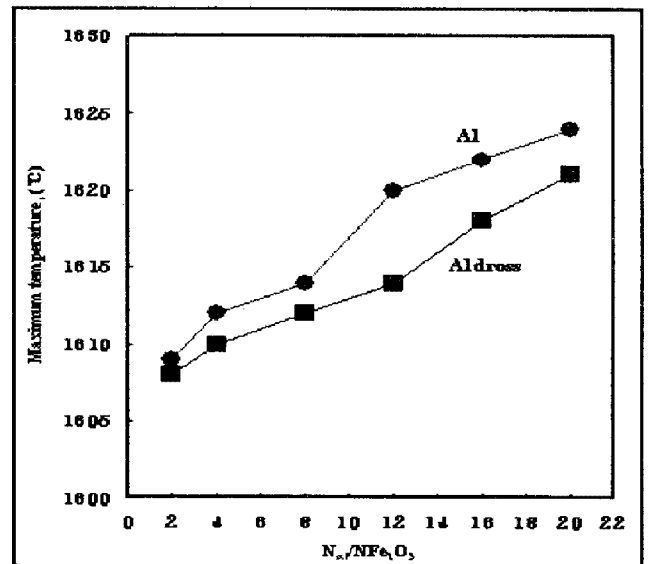


Fig. 6 Change of the maximum temperature of molten steel depending on the mixing ratio and reductants

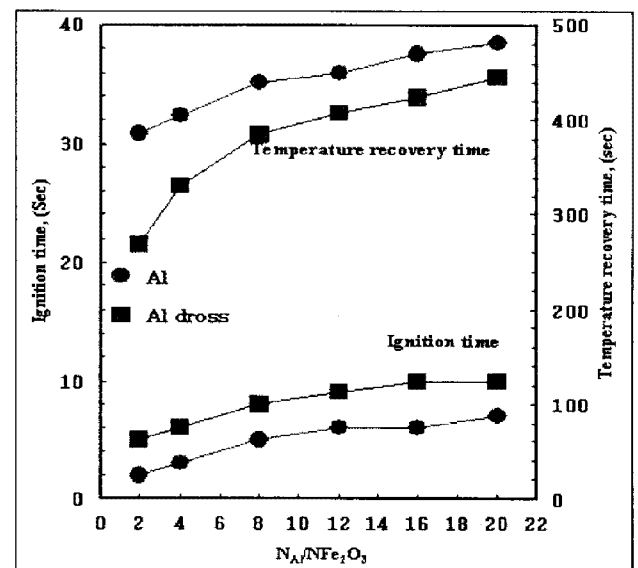


Fig. 7 Change of the ignition time and temperature recovery time depending on the mixing ratio and reductants

가 증가할수록, 금속 Al 을 사용했을 때 용강의 최고 온도는 증가하였다. 용강 온도 상승의 정도는 발열량에 기인하기 때문이라고 판단된다. Fig. 7 은 환원제(Al)의 몰비 및 환원제의 종류에 따른 착화 시간 과 온도회복시간을 도시한 것이다. Fig. 7 을 살펴보면, 환원제(Al)의 몰비 증가에 따라 착화시간 은 연장되고, 금속 Al 을 사용했을 경우에 Al dross 를 사용했을 경우보다 단축 되는 경향을 보인다. 하지만, 그 영향은 뚜렷하지 않고, 매우 낮은 차이를 보인다. 이는 앞절에 언급한 바와 같이 착화시간 은 흡열반응에 영향을 받기 때문인 것으로 판단되며, 발열 보온재의 열적 특성 변화에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 생각된다. 한편, 발열 보온재의 반응시간에 준하는 지표라고 할 수 있는 온도회복시간은 환원제(Al)의 몰비가 증가할수록, 금속 Al 을 사용한 경우에 온도회복시간은 연장된 것을 볼 수 있고, 이는 온도회복시간이 발열량 즉, 발열 반응 시간에 영향을 받기 때문이라고 사료된다.

3.4 환원제(Al)입도에 따른 열적 특성 변화

전술한 바와 같이 반응물질들이 화학반응을 일으키기 위해서는 초기의 에너지 장벽을 극복하기 위한 활성화 에너지가 필요하다. 즉, 반응을 일으키기 위해서는 외부로부터 활성화 에너지에 해당하는 열을 공급해야 한다. 이는 반응이 일어나기 위한 원료의 배합조건도 중요한 요소로 작용하지만, 외적인 요소도 고려 해야 하는 부분이다. 외적인 요소 중 반응물질들의 입도는 발열 보온재의 열적 특성에 중요한 영향을 미칠 것으로 보인다. 즉, 반응물질의 입도가 미세해질수록 화학반응을 일으키는 환원제와 산화물의 반응 접촉기회가 많아져 열 공급이 원활해 질 것으로 사료된다. 따라서, 환원제(Al)의 입도에 따른 발열 보온재의 열적 특성 변화를 조사하였다. 환원제(Al)의 입도 범위 및 평균 분포를 Table 2 에 정리하였다. 산화제(Fe_2O_3)는 시약급 분말을 사용하였으며, 환원제는 금속 Al 과 Al 의 함량이 60%인 Al dross 를 사용하여, 환원제의 몰비 $N_{Al}/N_{Fe_2O_3} = 2$ 가 되도록 배합하여 $1600^{\circ}C$ 에서 실험을 진행하였다. Fig. 8 은 환원제(Al)의 입도에 따른 발열량을 나타낸 그래프이다. 환원제의 입도가 미세 할수록 발열량이 높게 조사되었는데, 이는 시약급 분말을 사용한 산화제(Fe_2O_3)의 입도가 일정한 것으로 가정하면, 환원제의 입도가 미세할수록 반응 물질간의

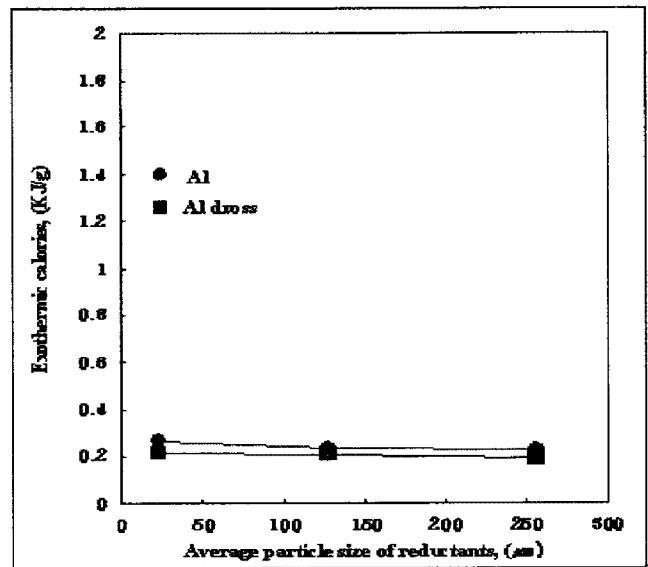


Fig. 8 Change of the exothermic calories depending on the particle size of reductants

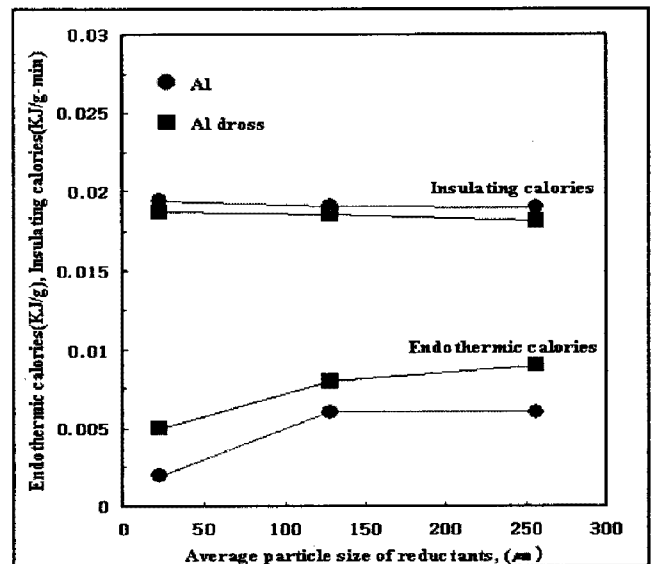


Fig. 9 Change of the endothermic calories and insulating calories depending on particle size of reductants

접촉 계면적이 넓어져서 반응이 활발해지고 반응 기회가 많아진 것 때문이라고 판단된다. Fig. 9 은 환원제의 입도에 따른 흡열량 및 보온열량을 도시한 것이다. 흡열량은 환원제의 입도가 조대할수록, 보온열량은 입도가 미세할수록 증가한다는 것을 실험 결과로 알 수 있었다. 환원제 입도에 따른 용강의 최고온도를 Fig. 10 에 도시 하였다.

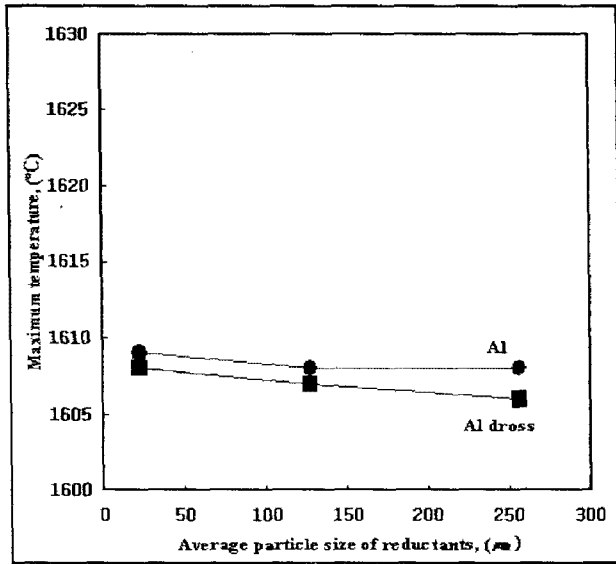


Fig. 10 Change of the maximum temperature of molten steel depending on the particle size of reductants

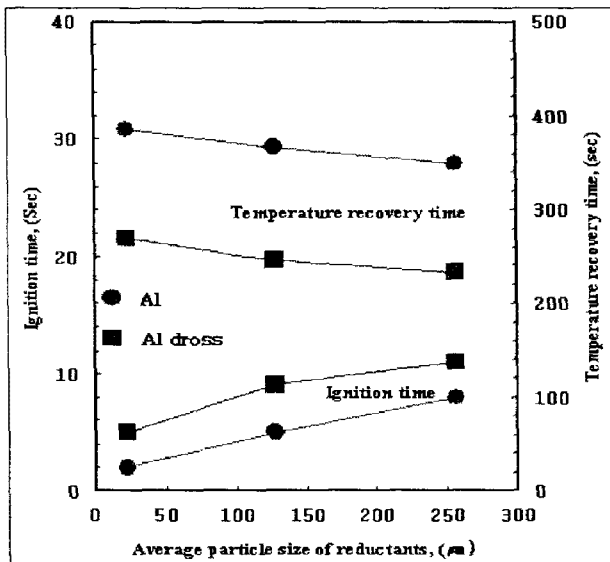


Fig. 11 Change of the ignition time and temperature recovery time depending on the particle size of reductants

환원제의 입도가 조대할수록 최고온도는 저하되었으며, 금속 Al 사용시 Al dross 에 비해 최고 온도는 상승한 것을 볼 수 있다. 앞 절에서 언급한 바와 같이 발열량에 의해 용강 온도의 상승 정도가 결정되기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 11 에 환원제의 입도에 따른 착화시간 및 온도회복시간을 도시하였다. 환원제의 입도가 조대할수록 착화시간이 지연되는 것을 알 수 있는데, 이는 입도가

조대할수록 접촉 계면적이 적어서 반응 기회가 줄어든 것에 기인한 것으로 판단된다. 반면에, 온도회복시간은 입도가 조대할수록 온도회복시간이 단축됨을 볼 수 있다. 이는 앞 절에서 언급한 바와 같이 온도회복시간은 발열량에 영향을 받기 때문이라고 판단된다.

4. 결론

원료 배합 조건에 따른 발열 보온재의 열적특성 변화를 조사하기 위해 다양한 방법을 검토하였으며, 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 환원제의 몰비 증가에 따라 발열량, 흡열량 보온열량, 용강 최고온도, 착화시간 및 온도회복시간이 증가함을 확인하였고, 발열량의 경우, 실험 조건에서는 열손실이 발생하였으나 이론적 계산값과 비교 시 유사한 경향성을 확인하였다.

(2) 금속 Al 을 환원제로 사용했을 경우, Al dross 에 비해 발열량, 보온열량, 용강 최고온도 및 온도회복시간은 증가하고 흡열량 및 착화시간은 감소하였다.

(3) 환원제의 입도를 고려한 실험에서는 환원의 입도가 조대할수록 발열량, 보온열량, 용강 최고온도 및 온도회복시간은 감소하고, 흡열량 및 착화시간은 증가함을 확인하였다.

(4) 획득된 데이터를 토대로 기타 첨가 물질들의 변화에 따른 다양한 조건의 발열 보온재 원료의 배합조건을 설계할 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 산업 자원부 지원하의 친환경 고정형 잉곳 제조 및 Near Net Shape 성형 기술 개발 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] H. J. Mun, C. S. Kim, T. D. Park, D. J. Lee, S. H. Yun, 2008, Application of the Riser Heating Equipment to Control Shrinkage defects for Casting of the Propeller, journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 28, No. 2, pp 74~78.
- [2] J. N Lee, 1982, Casting engineering, Bo Sung Inc. pp. 96~100.

- [3] D. Y. Shin, D. J. Kim, B. H. Jun, B. D. You, N. S. Kim, S. H. Oh, 2008, Evaluation System of the Thermal Properties of the Exothermic & Insulating Materials, Transactions of Materials Processing, Vol. 17, No. 5, pp. 356~363
- [4] B. D. You, D. J. Kim, D. Y. Shin, S. W. Choi, N. S.

- Kim, 2008, Equipment and Method for The Evaluation of Thermal properties of Materials, Kor Patent#10-2008-0110109, November 06.
- [5] Rober J. Silbey, Robert A. Alberty, Mounji G Bawendi, 2005, Physical Cemistry 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc, pp. 31~34