

## 가스화기에서 석탄회분의 Slagging 성향 및 용융거동 예측에 관한 연구

배한진·김형택·손용권\*·최상일\*·이시훈\*  
박주식\*·윤용승\*\*·정석우\*\*

아주대학교 에너지학과, \* 한국에너지기술연구소, \*\* 고등기술연구원

### A Predictional Study on the Slagging and Fluid Behavior of Coal Ash under the Gasifier Condition.

Han Jin Bae, Hyung Taek Kim, Eung Kwon Shon\*, Sang Ill Choi\*  
Si Hyun Lee\*, Chu Sik Park\*, Yong Seung Yun\*\* and Seok Woo Chung\*\*

Department of Energy, Ajou University

\* Korea Institute of Energy Reserch, \*\* Institute for Advanced Engeering

#### 요 약

본 연구는 석탄가스화복합발전(IGCC)의 핵심부분이라 할 수 있는 슬래깅 형태의 분류층 가스화기에 원활한 Slagging을 유지하기위해 Flux addition method와 Coal blending method를 적용하였다. 대상탄으로는 가스화에 적합하다고 알려진 알라스카탄, 대동탄과 비교탄으로 가스화에 부적합하다고 알려진 1종류의 유연탄을 대상으로 기본분석 및 화학적 조성분석, 용융온도를 측정하여 봄으로써 대상탄들의 슬래깅성향을 평가하였다. 대동탄과 알라스카탄에 대해서는 Flux addition method를 적용하고, 비교탄에 대해서는 Coal blending Method를 적용한 후, 1400℃로 운전되는 가스화기의 효율을 최대화할 수 있는 Flux 첨가비와 blending ratio를 산정하였다.

#### 1. 서 론

현재 전세계적으로 석탄의 가스화에 대한 많은 연구가 이루어지고 있고, 또한 실제로 시험 규모의 가스화기가 운전되고 있다. 특히, 슬래깅 형태의 가스화기에 있어 용융된 슬래깅이 원활히 배출되지 못하고 도중에 고형화됨으로써 가스화기가 정상 가동되지 못하는 결과가 여러곳에서 발생해 이에 대한 집중적인 연구가 이루어지고 있는 실정이다.

가스화기는 Slag의 원활한 배출을 위해 가스화기 내부의 온도가 ash의 용융온도 내지 그 이상으로 유지되어야 한다. 따라서 ash의 용융온도는 가스화기의 안정적 운전을 보장할 수 있는 중요한 Operation Index중의 하나이다. 또한, 원활한 Slag 배출을 위해서는 가스화기내부의 온도를 상승시키거나 Flux의 투입에 의해 100Poise이하의 점도를 유지시켜주어야 한다. 이중 가스화기의 온도상승을 위해 보다 많은 산화제가 투입될 경우 생성가스의 발열량의 저하를 가져오므로 Flux addition method가 사용되고 있다. 하지만, 일정수준 이상의 Flux가

첨가될 경우 생성가스의 발열량과 가스화기의 refractory 등에 부정적 효과를 나타내므로 적절 첨가량의 산정이 요구되어진다. 현재 일반적으로 사용되어지는 Flux의 첨가방법은 발열량에는 변화없이 용융온도만을 낮추는 역할만을 하지만, blending method를 적용시 발열량과 용융온도 모두에서 장점을 갖는 것으로 알려져 있다. 따라서, 본 연구에서는 가스화에 적합하다고 알려진 알라스카탄, 대동탄에 대상으로 Flux의 첨가로 인해 발생하는 부정적 효과를 고려한 적정 Flux첨가비 산정하였고, 이들탄에 가스화에 부적합하다고 알려진 1종류 유연탄을 혼합하면서 원활한 Slagging과 발열량의 상승이 기대되는 혼합비를 찾아보고자 하였다.

## 2. 이론

### 2-1. 석탄회분의 조성과 Slag의 점도와의 상관관계

Silicate Slag의 점도와 조성사이의 관계를 설명하기 위해 다음과 같은 이론이 제시되어 있다. Silicate 용융체는  $\text{SiO}_4^-$  anion으로 이루어져 있는 basic buliding block에  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  등과 같은 음이온들이 분포되어 있는 Polymer를 형성하고 있다. Silicate 용융체는 Silicate 용융체는 Silica와 Oxygen간의 강한 공유결합에 의해 Network structure를 이루고 있는데, alkali 성분의 양이온의 첨가는 Si-O-Si bond를 끊어 보다 작은 Silicate구조를 생성하면서 점도를 감소시키는 역할을 한다. Slag의 구조는 결정이 없이 딱딱한 상태로 냉각된 무기물의 용해생산물(매우 큰 점도를 갖는 액체)로 정의되는 glass로 정의되고 있다. glass의 구조에 있어서는 결정자 모델과 불규칙망목구조 모델중 현재 Warren에 의해 주장된 불규칙망목(Random-Network)이 일반적으로 우세하다고 알려져 있다. 이 모델에 의하면 glass는 대칭성이나 주기성이 없는 3차원의 망목구조배열을 하고 있고, 규칙적인 간격이나 반복되는 구조단위가 없다고 판단된다. Zachariasen은 glass가 같은 에너지가 같은 조성을 갖는 결정의 에너지와 같다는 가정하에 Fig. 1과 같은 불규칙망목을 구성하는 조건을 생각하고 Oxide glass를 형성하기 위한 4개의 법칙을 제시하였다.

- 1) 각 산소이온은 두개 이상의 양이온과 결합하지 않는다.
- 2) 양이온을 둘러싼 산소이온의 배위수는 4또는 2이하가 되어야 한다.
- 3) 산소다면체(Oxygen polyhedra)는 꼭지점을 공유하지만 모서리나 면은 공유하지 않는다.
- 4) 다면체 꼭지점중 적어도 세 개는 공유되어야 한다.

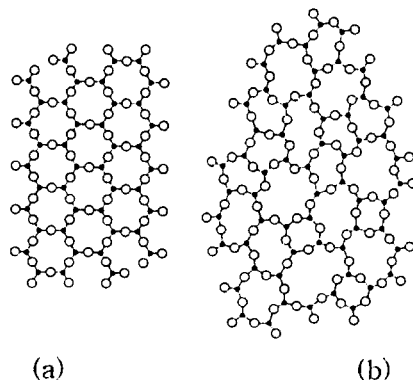


Fig. 1. Schematic representation of (a) ordered crystalline and (a) randomnetwork glassy from of the same composition

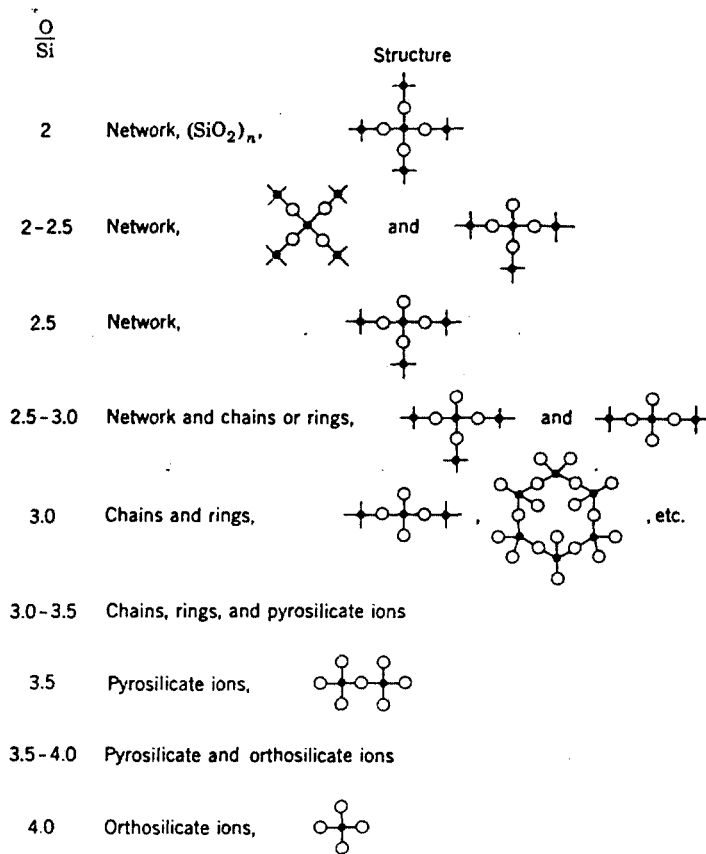


Fig. 2. Effect of oxygen-silicon ratio on silicate network structures.

또한, 위의 Fig. 2에 나타나있듯이 알카리나 알카리토류 산화물을  $SiO_2$ 에 첨가하면 Si에 대한 O의 비율이 2보다 커지며 망목구조에 관여하지 못하는 단결합산소(Single bonded oxygen)가 생기면서 3차원의 망목구조가 파괴되는 것을 볼 수 있다. glassy silicate network이 수용하는 여러종류의 양이온을 Network과의 interaction에 의존해 3가지 group으로 나누어 보면 다음과 같다.

- 1) glass formers :  $Si^{4+}$ ,  $Ti^{4+}$ ,  $P^{5+}$ 은 Basic anion polymer unit을 형성한다.
- 2) Modifier :  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ 등은 산소와 결합하여 polymer chain을 끊는다.
- 3) amphoteric :  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $B^{3+}$ 등은 glass former 또는 modifier로서 작용한다.

위의 분류에 기초해 양이온들의 역할을 살펴보면 glass former이온은 polymer unit을 형성하기에 점도를 증가시키는 반면, modifier 이온들은 polymer chain을 끊어 점도를 감소시키는 것을 알 수 있다. 이는 원활한 slagging을 유지하기 위해 가스화기에 flux로서 첨가되는 CaO, MgO, FeO 등의 산화물이 용점강하 뿐만 아니라 점도를 감소시키는 역할도 수행한다는 것을 의미한다. 특히 철은 Network former또는 modifier로서 작용할 수 있는데 철이온의 배위수 변화가 slag의 점도에 미치는 영향은 "Pauling의 제 2법칙"을 통해 간단히 알아볼 수 있다. "Pauling의 제 2법칙"에 의하면 양이온에서 음이온에 향하는 이온결합의 결합강도는 양이온의 표준전하 (formal charge)수를 배위수로 나눈 값이라고 정의하고 있다. 위의 정의를 사용하여 철이온의 산화수와 점도와의 상관관계를 살펴보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Tetrahedral (Fe}^{3+}) &= 3/4 = 0.75 \\ \text{Octahedral (Fe}^{2+}) &= 2/6 = 0.33 \\ \text{Octahedral (Fe}^{2+}) &= 3/6 = 0.5 \end{aligned}$$

이와같이 Octahedral(Fe<sup>2+</sup>)의 결합강도가 Tetrahedral(Fe<sup>3+</sup>)에 비해 적어 유동성이 증가하고 이는 점도를 낮추는 역할을 한다. 이는 Fig. 3에 나타나있는 Nowork와 Benson이 surface tension/ Viscosity( $\gamma/\eta$ )에 대한 base/acid (chemical composition)의 상관관계를 알아보기 위해 homogeneous한 slag을 대상으로 수행한 실험을 통해 확인할 수 있다.

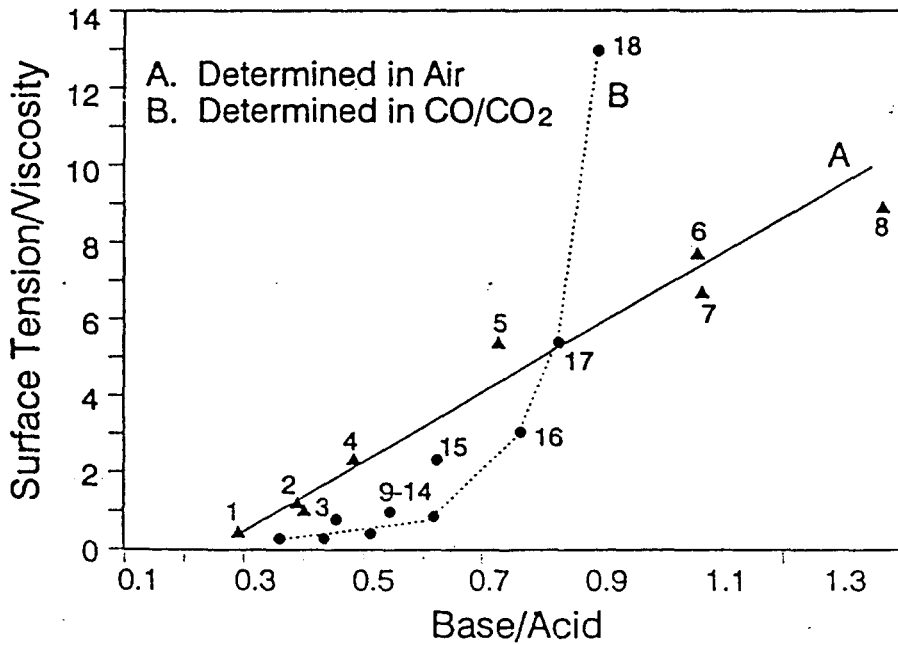


Fig. 3 Measured surface tension/viscosity ratio versus base-to-acid ratio for homogeneous slags determined in air and a CO/CO<sub>2</sub> atmosphere above the temperature of activated viscosity

위의 그림을 보면 CO/CO<sub>2</sub> 분위기하에서 ( $\gamma/\eta$ )의 수치가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 철의 산화상태가 변하면서 Liquid의 점도를 감소시켰기 때문이다.

## 2-2. Flux의 선정

전통적으로 용점강하제로서 사용되고 있는 것은 CaO, MgO, FeO 등의 flux이다. 이들의 용융 온도 저감효과는 상평형도를 이용해 쉽게 평가할 수 있다. 이에 가스화기 운전시 가장 적합한 flux를 선정하고자 각각의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

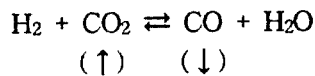
- (i) CaO : 여러종류의 탄에 10~50 Wt%정도의 CaO의 첨가는 ash의 용융온도를 1400℃내지 그 이하로 낮출 수 있으며, 석회석(CaCO<sub>3</sub>)으로서 첨가되기에 경제성이 있어 ash의 용점강하제로서 적합하다.

- (ii) FeO : ash의 용점을 강하하는데 있어서는 효과적이나 많은 양을 투여해야하는 단점이 있고 가스화기내 Ceramic slag tap의 부식등과 같은 부작용을 나타낼 수 있다.
- (iii) MgO : ash의 용점을 1400℃이하로 낮출 수 있는 MgO의 함량은 제한되어 있기에, 특정한 탄에 대해서는 적용에 있어 문제점이 있다.

### 2-3. CaO의 첨가가 gasification performance에 미치는 영향

CaO를 첨가하지 않은 경우, ash내에 존재하는 sulfur는 생성가스에 sulfide compound로서 배출되는 반면, CaO가 첨가되었을 경우 ash내의 sulfur가 CaO와 반응하여 Slag내에 존재하게 되어 약간의 탈황효과를 나타낸다. 이와같이 CaO의 첨가가 ash의 용점강하와 탈황효과라는 긍정적인 면을 갖고 있는 반면, 다음과 같은 부정적인 면도 유발한다.

- (i) CaO는 CaCO<sub>3</sub> 형태로 첨가되어 CaCO<sub>3</sub> → CaO + CO<sub>2</sub>로 분해되어 진다. 하지만 이 반응은 흡열반응이므로 heat loss이다.
- (ii) CaO가 첨가되어 ash의 용점을 낮추는 반면, CaO역시 녹아 slag이 되고 이때 CaO가 용융되는데 필요한 잠열과 현열은 heat loss로 간주된다.
- (iii) 생성가스에 있어 H<sub>2</sub>/CO의 비는 Shift reaction의 결과로 인해 감소한다.



- (iv) 가스화기내 Refractory에 심각한 erosion현상을 유발할 수 있다.
- (v) CaO의 첨가에 의해 낮아진 산화제 투입비는 가스화기 출구의 온도를 낮추어 NH<sub>3</sub>의 배출량 및 Gas turbine combustor에서 NH<sub>3</sub>가 NO<sub>x</sub>로 전환되는데 있어 두드러진 영향을 미친다고 알려진 CH<sub>4</sub>의 배출량을 증가시킨다.

따라서 용점강하제로 사용되는 CaO의 첨가량은 가스화기에서 원활한 slagging을 유지하기 위해 요구되어지는 100Poise이하의 점도를 만족시키는 최소한의 양이 되어야 한다.

## 3. 실험

### 3-1. 대상탄의 선정

대상탄으로는 가스화에 적합하다고 알려진 알라스카탄과 대동탄과 비교탄으로 가스화에 부적합하다고 알려진 1종류의 유연탄을 대상으로한 공업분석, 원소분석 및 화학적 조성분석 결과를 Table 1-2에 나타내었다. (비교탄으로 현재 포항제철에서 사용되는 탄을 사용하였기에 본 연구에서는 비교탄 대신 Posco탄이라 표현하겠음)

Table 1. Proximate, Ultimate analysis of sample coals

Coal	Proximate Analysis (Wt%)				Ultimate Analysis (Wt%)				
	M	V.M	F.C	Ash	C	H	O	N	S
Alaska	5.09	44.85	35.64	14.42	54.40	4.55	40.24	0.64	0.17
Datong	6.87	29.30	54.65	9.18	4.31	4.31	27.35	0.66	0.60
Posco	1.58	30.11	58.32	9.99	3.71	3.71	11.08	3.61	0.56

M : Moisture, V.M : Volatile Matter, F.C : Fixed Carbon

Table 2. Chemical composition of sample coal ashes.

Coal	Chemical composition (Wt%)								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
Alaska	79.56	5.93	2.08	1.56	0.03	1.18	1.60	6.85	0.79
Alaska(10%)	72.33	5.39	1.89	1.39	0.02	1.07	10.54	6.23	0.72
Alaska(20%)	66.31	4.94	1.73	1.28	0.02	0.98	17.99	5.71	0.66
Alaska(30%)	61.20	4.56	1.60	1.18	0.02	0.90	24.30	5.27	0.61
Datong	72.97	13.24	2.11	1.03	0.0037	1.03	1.22	7.62	0.61
Datong(10%)	66.34	12.03	1.92	0.93	0.0034	0.94	10.20	6.93	0.55
Datong(20%)	60.81	11.02	1.76	0.86	0.0031	0.86	17.69	6.35	0.51
Datong(30%)	56.13	10.18	1.62	0.79	0.0028	0.79	24.01	5.86	0.47
Posco	71.15	19.30	2.09	0.84	0.055	1.48	0.71	3.84	0.54
Posco(10%)	64.68	17.55	1.90	0.76	0.049	1.34	9.74	3.49	0.49
Posco(20%)	59.29	16.69	1.74	0.70	0.046	1.23	17.26	3.20	0.45
Posco(30%)	54.73	14.85	1.61	0.65	0.042	1.14	23.62	2.95	0.41
Posco(40%)	50.82	13.79	1.49	0.60	0.039	1.06	29.08	2.74	0.38
A:P (90:10)	78.23	7.26	2.082	1.47	0.030	1.21	1.51	6.55	0.77
A:P (80:20)	77.88	8.60	2.083	1.40	0.033	1.24	1.42	6.25	0.74
A:P (70:30)	77.04	9.94	2.084	1.33	0.035	1.27	1.33	5.95	0.71
A:P (60:40)	76.19	11.28	2.085	1.26	0.038	1.30	1.24	5.64	0.69
A:P (50:50)	75.36	12.61	2.086	1.19	0.041	1.33	1.15	5.34	0.67
D:P (90:10)	72.79	13.84	2.1094	1.008	0.009	1.07	1.17	7.24	0.6022
D:P (80:20)	72.61	14.45	2.1075	0.989	0.014	1.12	1.12	6.86	0.5951
D:P (70:30)	72.43	15.06	2.1056	0.970	0.019	1.16	1.07	6.49	0.5879
D:P (60:40)	72.26	15.66	2.1037	0.953	0.024	1.21	1.02	6.12	0.5809
D:P (50:50)	72.06	16.27	2.1018	0.933	0.029	1.25	0.97	5.73	0.5737

\* Alaska (10%) : 10% flux added, D:P(90:10) : Blended coal (Datong/Posco)

### 3-2. 회분의 용융온도 측정

회분의 용융온도 측정은 ASTM 방법에 따라 이루어지는데 우선 미리 준비된 회분에 소량의 덱스트린(Dextrine)용액을 섞음으로서 회분 입자들이 서로 어느정도의 응집성을 갖도록 한다. 이렇게 준비된 회분을 다시 주형의 틀속에 넣어 높이 19mm, 밀변길이 6.5mm인 삼각추 형태의 시료를 제조하게 되고 이것을 용융온도 측정장치에 넣어 시작온도 538℃, 최종온도 1600℃ 온도상승속도 8℃/min로 가열하면서 실험한다. 이 실험은 크게 산화성분위기와 환원성 분위기의 2가지 조건에서 이루어지는데 산화성분위기에서는 공기를 사용하고, 환원성 분위기에서는 H<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>를 50:50으로 혼합한 가스 또는 CO와 CO<sub>2</sub>를 60:40으로 혼합한 가스를 사용한다. 측정은 LECO model AF 600 Ash Fusion Determinator를 이용하였으며 온도에 따른 시료의 형태변화에 따라 IDT(Initial Deformation Temperature), ST(Softening Temperature), HT(Hemispherical Temperature), FT(Fluid Temperature)등 4가지 온도를 측정하게 된다.

## 4. 실험 결과

### 4-1. 용융온도

ASTM 용융성 시험은 가스화반응과 연소반응 동안에 직면하게 되는 슬래깅과 회분의 융착 문제가 어떨지를 예측할 수 있게 해준다. 이것은 고온에서의 대략적인 슬래깅점도와 회분 입자

들이 끈적이는 온도범위를 나타내므로 이 시험에 의하면 가스화기와 보일러에서 대상탄의 적합성 여부 뿐만 아니라 석탄이 건식 또는 습식의 회처리 방식 중 어느 것에 적합할 지를 결정 할 수 있다. 또한, 용융온도중에서 유동온도와 초기변형온도와의 차이  $\Delta T$ 는 슬래깅성을 평가하는 지표로서  $\Delta T$ 가 작은 경우에는 용융이 급격히 이루어져 용융 슬래그가 얇게 형성된다. CaO첨가와 혼합비에 따른 회분의 용융온도변화를 Table 3-4에 나타내었다.

Table 3. Influence of CaO content on Ash melting Temperature

Coal	AFT(°C)	% CaO (Reducing atmosphere)					
		Raw	10%	20%	30%	40%	50%
Alaska	IDT	1165	1143	1187	1256	1406	1413
	ST	1176	1163	1200	1275	1471	1525
	HT	1212	1183	1211	1289	1527	1535
	FT	1287	1208	1218	1344	1529	1537
$\Delta T(FT-IDT)$		123	65	31	88	123	124
Datong	IDT	1178	1139	1166	1256	1406	1413
	ST	1230	1182	1181	1275	1471	1525
	HT	1268	1222	1188	1289	1520	1535
	FT	1362	1282	1201	1344	1527	1537
$\Delta T(FT-IDT)$		184	143	35	88	121	124
Posco	IDT	1369	1245	1193	1219	1257	1380
	ST	1420	1278	1215	1234	1268	1440
	HT	1460	1308	1243	1245	1275	1467
	FT	1519	1379	1317	1260	1286	1486
$\Delta T(FT-IDT)$		150	134	124	41	29	106

Table 4. Influence of blending ratio on the Ash melting Temperature

Coal	AFT(°C)	Reducing atmosphere				
		90:10	80:20	70:30	60:40	50:50
A : P	IDT	1167	1189	1193	1212	1224
	ST	1208	1215	1216	1249	1256
	HT	1234	1240	1253	1278	1287
	FT	1304	1327	1334	1343	1355
D : P	IDT	1197	1210	1220	1239	1285
	ST	1220	1250	1267	1279	1310
	HT	1290	1313	1320	1328	1388
	FT	1355	1379	1397	1414	1429

용융온도 측정결과를 보면 알라스카탄과 대동탄, Posco탄은 각각 10%, 20%, 30%의 CaO가 첨가 되었을 때 용융온도가 최소가 되었다. 유동온도와 초기변형온도의 차이  $\Delta T$ 값은 알라스카탄, 대동탄은 20%에서 Posco탄은 40%의 첨가비에서 최소가 되었다. 이는 슬래깅성을 나타내는 지표중의 하나인  $\Delta T$ 와 CaO의 첨가량은 어느정도의 상관관계가 있음을 보여주는 것이다. 또한 알라스카탄과 대동탄에 비교하면 Posco탄을 10~50%를 혼합하면서 용융온도를 측정할 결과 용융온도가 점차 증가하는 것을 볼 수 있었다. 하지만 가스화기에서 용융회분의 제거를 위한 온도를 이러한 용융온도 만으로 결정할 수는 없다. 그것은 용융된 회분의

흐름성이 용융온도와 일정한 경향성을 갖는 것이 아니며 예측이 어려운 회분 고유의 특성이기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 온도에 따른 회분의 점성에 대해서 연구결과중 비교적 정확한 것으로 인정되고 있는 Watt 와 Feraday(1969)의 점도식을 이용해 각 시료들에 대한 점도를 구하였고, Table 5~9 에 얻어진 결과를 나타내었다.

$$\text{Log } \eta = \frac{10^7 m}{(T-150)^2} + C_2$$

$$m = 0.00835\text{SiO}_2 + 0.00601\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.109$$

$$\text{SiO}_2 + \text{equi. Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 = 100$$

$$C_2 = 0.0415\text{SiO}_2 + 0.0192\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0276\text{equi. Fe}_2\text{O}_3 + 0.0160\text{CaO} - 3.92$$

위의 식에서  $\eta$ 는 poise의 단위를 갖는 점도이고, T는 절대온도로 표시된다.

**Table 5. Calculated Viscosity of Alaska coal ashes**

Temperature(K)	Viscosity (poise)			
	Alaska	Alaska(10%)	Alaska(20%)	Alaska(30%)
1000	4.27E+08	27608938	2875925	430534
1100	7795387	788762	118982.9	24307
1200	422371	59240	11701	2997
1300	47342	8484	2051	623
1400	8783	1900	537	185
1500	2326	586	187	71
1600	809	228	80	33
1673	423	129	48	21

**Table 6. Calculated Viscosity of Datong coal ashes**

Temperature(K)	Viscosity (poise)			
	Datong	Datong(10%)	Datong(20%)	Datong(30%)
1000	1.62+08	11771100	1344175	216809
1100	3335752	373207	60981	13294
1200	197157	30238	6413	1741
1300	23589	4084	1182	378
1400	4601	1073	321	116
1500	1273	342	115	46
1600	455	137	51	22
1673	243	79	31	14



**Table 7. Calculated Viscosity of Posco coal ashes**

Temperature(K)	Viscosity (poise)					
	Posco	Posco(10%)	Posco(20%)	Posco(30%)	Posco(40%)	Posco(50%)
1000	2.89+E	19760279	2152618	333834	68160	17312
1100	5119879	548642	86541	18320	4876	1557
1200	271858	40358	8335	2213	714	269
1300	30013	5690	1438	452	169	72
1400	5503	1259	372	133	55	26
1500	1450	385	128	51	23	11
1600	498	149	55	23	11	6
1673	260	84	33	15	8	4

**Table 8. Calculated Viscosity of blended coal ashes(Datong:Posco)**

Temperature(K)	Viscosity (poise)				
	D:P(90:10)	D:P(80:20)	D:P(70:30)	D:P(60:40)	D:P(50:50)
1000	1.72+08	1.82+08	1.93+08	2.04+08	2.16+08
1100	3481601	3633867	3792834	3958797	4132068
1200	203586	210227	217087	224172	231490
1300	24163	24752	25355	25972	26606
1400	4684	4769	4855	4943	5032
1500	1290	1306	1324	1341	1359
1600	459	463	468	472	476

**Table 9. Calculated Viscosity of blended coal ashes(Alaska:Posco)**

Temperature(K)	Viscosity (poise)				
	A:P(90:10)	A:P(80:20)	A:P(70:30)	A:P(60:40)	A:P(50:50)
1000	4.11E+08	3.95E+08	3.8E+08	3.65E+08	3.51E+08
1100	7472050	7162641	6866539	6583150	6311909
1200	404029	386512	369783	353804	338541
1300	45217	43190	41258	39415	37658
1400	8379	7994	7627	7278	6945
1500	2226	2122	2023	1928	1839
1600	770	734	699	666	634

## 5. 결론

위의 계산된 점도결과를 보면 대동탄에 비해 흐름성이 나으리라 판단되던 알라스카탄의 점성이 대동탄에 비해 높은 것으로 파악되었다. 또한 혼합된 시료들은 가스화기의 1400℃의 운전 온도 내에서 100poise이하의 점도를 만족시킬 수 없었다. 가스화에 적합하다고 알려진 알라스카탄과 대동탄에 있어 CaO의 부정적 효과를 고려한 적정첨가량은 알라스카탄의 경우는 10~20% 사이, 대동탄의 경우 10% 이하, 가스화에 부적합하다고 알려진 Posco탄 역시 10% 이하의 첨가량에서도 원활한 Slagging을 이룰 수 있으리라 판단된다.

하지만, 이상의 결과는 예측식으로부터 구해졌고, 분위기 가스가 철의 산화상태에 미치는 영향을 무시하였기에 실제의 점도와의 차이가 있으리라 판단되어진다.

## 참고문헌

1. 정석우 : DTF를 이용한 가스화기에서 석탄회분의 Slagging 성향에 관한 연구
2. 통산산업부, 2단 연소기술에 의한 저공해 미분탄 연소기 개발에 관한 중간보고서(2차년도)
3. 통산산업부, 선화연소시스템을 이용한 석탄재의 미연탄소분 저감기술 개발
4. 인도네시아 Pasirtan의 미분탄 연소특성 연구
5. W.D.Kingery, H. K.Bowen and D. R. Uhlmann : 세라믹스총론
6. L. Douglas smoot : Fundamentals of coal combustion
7. C. L. Senior and S. Srinivasachar : Viscosity of Ash Particles in Combustion Systems for Prediction of Particle Sticking( Energy & Fuels 1995, 9, 277-283)
8. Jan W. Nowok : Viscosity and Phase Transformation in Coal Ash Slags near and below the Temperature of Critical Viscosity (Energy & Fuels 1994, 8, 1324-1336)
9. Jan W. Nowok : Viscosity and Structural State of Iron in Coal Ash Slags under Gasification Conditions (Energy&Fuels 1995, 9, 534-539)
10. M. Ashizawa, J. Inumaru, S. Hara, T. Hamamatsu, T. Takegawa and Y. Koyama :Development of High-Performance Coal Gasification Technology for High Fusion Temperature Coals by Flux Addition Method( CRIEPI REPORT)