

300MW IGCC 가스화플랜트의 가스화 성능 및 Slag System 용량 예측

*구 자형¹⁾, 백 민수, 유 정석, 김 봉근, 김 유석, 이 황직

Estimation of Gasification Performance and Slag System Capacity for 300MW IGCC Plant

*Jahyung Koo, Minsu Paek, Jeongseok Yoo, bongkeun Kim, Youseok Kim, Hwangjik Lee

Key words : IGCC(가스화 복합발전), Gasification(가스화), Tcv[Temperature of critical viscosity] (임계점도 온도)

Abstract : 분류층 가스화기에서 가스화기 운전 온도는 슬래그의 원활한 배출과 가스화기 성능 등에 영향을 미친다. 가스화기 운전 온도는 또한, 석탄 및 산소 소비량에도 영향을 미쳐 궁극적으로는 가스화 플랜트의 주요 설비 용량을 결정하는 주요 요인 중의 하나이다. 가스화기 운전 온도가 일정수준 이상으로 증가할 경우 냉가스 효율이 저하되고 가스화 성능에 악 영향을 미친다. 본 논문에서는 Coal 및 Flux 공급장치, 슬래그 배출장치 등의 구성을 설명하고 Flux 투입량에 따른 슬래그 Tcv, 가스화기 성능 등을 예측하였다. 또한, 300MW IGCC 실증 가스화플랜트 엔지니어링을 위한 예비단계로 석회석 투입에 따른 Flux 공급장치를 포함한 Feeding 설비 용량, 슬래그 처리설비 용량, 가스화기 내부 및 출구 적정 온도를 예측하였다.

1. 서론

석탄가스화 복합발전(IGCC)은 석탄을 가스화하고 생성된 합성가스를 정제한 후, 가스터빈과 증기터빈을 구동시켜 전력을 생산하는 차세대 청정 화력발전 시스템이다.

기존 화력발전소의 보일러와는 달리, IGCC 플랜트의 분류층 가스화기에서는 Ash가 가스화기 내에서 용융되어 슬래그 형태로 배출된다. 이때 슬래그 배출구 막힘 등 운전 정지를 피하기 위해서는 가스화기 내부 온도를 슬래그 Tcv (Temperature of Critical Viscosity) 이상으로 운전함으로써 슬래그의 점도를 일정수준 이하로 유지시켜야 한다.⁽¹⁾

본 논문에서는 300MW 가스화플랜트에 적용될 것으로 예상되는 설계탄을 대상으로, Flux(석회석) 투입에 따른 Tcv 변화 및 최적 석회석 투입량을 예측 하였다. 또한, 석회석 투입이 연료공급 및 슬래그 배출 시스템 설계 용량에 미치는 영향에 대해 살펴보았다.

2. 슬래그 관련 시스템 구성

2.1 Feeding 및 슬래그 제거 시스템

그림1은 석탄 IGCC 플랜트의 일반적인 석탄 및 석회석 공급 시스템을 나타낸 것이다. 석회석은 석탄과 혼합된 상태로 분쇄기(Crusher)를 통과한 후 미분기(Pulverizer)로 투입되며, 미분기에 의해 석탄은 200mesh이하로 분쇄되어 가스화기 내로 이송된다.

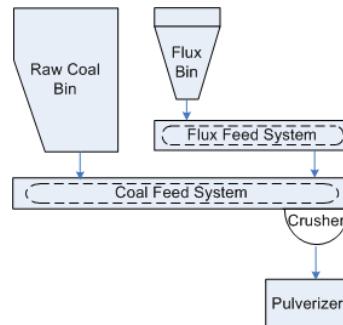


Fig. 1 Feeding System of Dry Feed Entrained Gasifier

1) 두산중공업

E-mail : JAHYUNG.KOO @ DOOSAN.COM

Tel : (042)712-2218 Fax : (042)712-2299

그림 2는 분류층 가스화기 하부에 설치되어 있는 슬래그 제거 시스템에 대한 개략적인 공정도이다. 가스화기 내에서 용융된 슬래그는 가스화기 벽면을 따라 흘러 내려 냉각 수조에서 급랭된다. 급랭된 슬래그는 크리셔를 통해 균일 분쇄되며, 락호퍼를 통해 주기적으로 배출된다.

슬래그 배출 과정을 살펴보면 다음과 같다. 냉각수조에 설치된 수위 감지기에 의해 수위가 일정 높이 이상으로 올라가면, 냉각수조 하부의 밸브가 닫히고, 락호퍼의 압력을 대기압으로 감압하여 슬래그와 물을 배출한다. 락호퍼는 슬래그 등을 완전 배출 후 다시 물을 충전하고 가압하여 락호퍼 입구 밸브를 Open하는 Process를 반복한다.

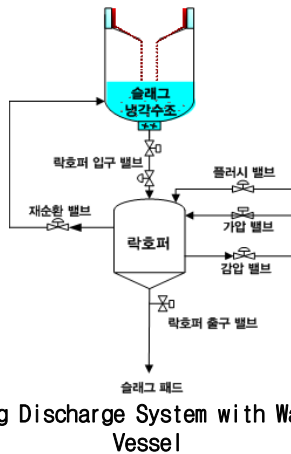


Fig. 2 Slag Discharge System with Water Quench Vessel

2.2 Ash 및 합성가스 재순환 시스템

가스화기 내로 투입된 석탄과 석회석 등은 용융되어 슬래그로 전환된다. 이때, 바닥 슬래그로 전환되는 Slag Efficiency는 약 75%로 알려져 있으며,⁽²⁾ 나머지 25%는 고온에서 비산 슬래그의 형태로 합성가스과 함께 고온가스 냉각기로 이송된다. 고온가스 냉각기를 통과한 비산 슬래그는 사이클론과 집진 장치를 통해 포집된 후, 미분기로 이송되어 가스화기로 재투입된다.

300MW IGCC 가스화기의 경우, 가스화 과정에서 용융된 비산 슬래그가 가스화기 Down stream의 transfer duct 등에 부착되는 것을 방지하기 위해 합성가스를 냉각 시키는 것이 필요하다. 이를 위해 집진 설비를 통과한 냉각된 약 200℃ 전후의 합성가스를 재순환 시킨다. 이러한 합성가스 재순환을 통해 Transfer duct 입구의 합성가스 온도를 800~900℃ 이하로 유지한다. 그림 3은 Ash 및 합성가스 재순환 시스템의 개략적인 공정도를 나타낸 것이다.

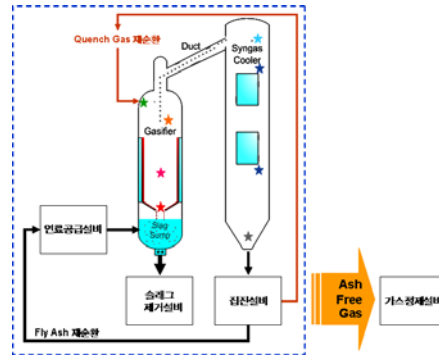


Fig. 3 Recycle System of Dry Feed Entrained Gasifier

3. 설계탄의 슬래그 특성 파악

3.1 Ash 및 석회석 성분 분석

Table 1은 검토 대상탄(이하 설계탄)의 Ash 조성표로, Acidic component 88%, Basic component 9%로 나타났다. 일반적으로 Acidic 성분이 높을 경우, Ash 용융점이 높은 것으로 보고되고 있으며, 최저 용융점을 얻기 위해서는 Basis component를 30~40%로 높여야 한다.⁽³⁾ 따라서 Table 2와 같은 Basic 성분으로 구성된 석회석을 주입하여 설계탄 Ash의 용융점을 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1 Design Coal Ash Analysis

Oxide	Unit	Value	Property
SiO ₂	% wt	57.4	Acidic
Al ₂ O ₃	% wt	29.2	Acidic
Fe ₂ O ₃	% wt	4.4	Basic
Na ₂ O	% wt	0.3	Basic
K ₂ O	% wt	0.7	Basic
TiO ₂	% wt	1.3	Acidic
CaO	% wt	2.7	Basic
MgO	% wt	0.9	Basic
Others	% wt	3.1	

Table 2 Flux Analysis

Oxide	Unit	Value	Property
CaCO ₃	% wt	90.0	Basic
MgCO ₃	% wt	3.0	Basic
SiO ₂	% wt	4.0	Acidic
Al ₂ O ₃	% wt	1.0	Acidic
Fe ₂ O ₃	% wt	0.3	Basic
H ₂ O	% wt	0.2	
Others	% wt	1.5	

일반적으로 석회석은 주로 CaO, MgO, Fe₂O₃ 등 Basic Oxide가 주 성분이나 석회석은 CaCO₃,

MgCO₃ 형태로 투입되기 때문에, 석회석 총 투입량 기준으로 실제 투입되는 CaO, MgO의 양은 각각 50.4%, 1.4% 이다.

3.2 슬래그 Tcv 변화 예측

온도변화에 따라 슬래그 점도가 급격하게 증가하여 유동이 불가능해지는 온도를 Tcv라고 한다. 일반적으로 Tcv는 환원분위기에서 고온점도 측정기를 이용하여 측정하거나 열역학 프로그램인 FactSage를 이용하여 예측할 수 있다. FactSage를 이용한 Tcv 예측은 이미 여러 논문을 통하여 정확도가 어느 정도 입증되었으며, 슬래그의 주요 3성분 혹은 4성분만을 이용한 예측 보다, 주요 4성분 및 미량 성분까지 모두 고려한 예측값이 상대적으로 실험값과 유사한 결과를 나타낸다.⁽¹⁾ 그림4는 설계탄의 Ash 8성분에 대해 석회석 주입에 따른 Tcv 변화를 FactSage를 이용하여 예측한 결과이다. Ash는 석회석 미투입시 1,650℃에서 Mullite 결정 생성이 예측되었다. CaO 투입에 따라 결정상은 Mullite, Anorthite 및 Mellite 순으로 변화한다. 최저 Tcv 온도는 Anorthite/Mellite 영역의 경계인 8% 부근에서 발생된다. 따라서 석회석 투입 전 1,650℃의 Tcv는, 석회석을 0~2% 투입할 경우 급속히 낮아진다. 그러나 석회석을 2% 이상 증가 시 Tcv가 증가한 후 다시 감소하여 석회석을 8~9% 투입 시 Tcv가 1,300℃ 정도로 가장 낮아졌다.

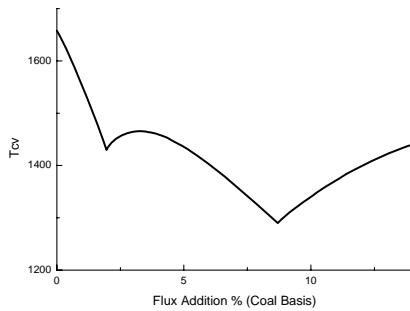


Fig. 4 Effect of Flux Addition to Slag Tcv Predicted by FactSage

4. 석회석 투입에 따른 가스화기 성능, Feeding 및 슬래그 설비 용량 예측

4.1 가스화기 냉가스 효율

냉가스 효율이란 투입된 연료의 에너지가 합성가스 에너지로 전환되는 효율로 정의된다. 그림 5는 자체개발한 열물질정산 프로그램을 이용해

산소농도 및 증기 주입량 변화에 따른 설계탄의 냉가스 효율변화를 나타낸 그래프이다. 여기서 가스화기 압력은 42bar, 가스터빈 필요 합성가스 열량은 530Gcal/hr, 질소/석탄 비 0.125, 가스화기 자체의 열회수 및 열손실 합계는 5%로 가정하였다. 그림에서와 같이 가스화기 온도 증가에 따라 냉가스 효율이 증가 후 감소함을 알 수 있다. ←는 증기/석탄 비를 0.095로 고정시키고, 산소소모량을 변화시켜 가면서 원활한 슬래그 배출을 위한 가스화기 운전온도(Tcv + 50℃) 및 냉가스효율 변화를 나타낸 것이다. 여기서 ◆는 Flux 미투입시의 운전조건이며, ★는 Flux를 8.7% 투입시 운전조건을 나타낸 것이다. 석회석 미투입시 1,700℃에서 냉가스 효율 75%, 산소/석탄비 약 0.86이나, 석회석 8.7% 투입 시 1,340℃에서 냉가스 효율은 80%로 증가하며, 산소/석탄 비는 0.77로 감소하는 것을 알 수 있다.

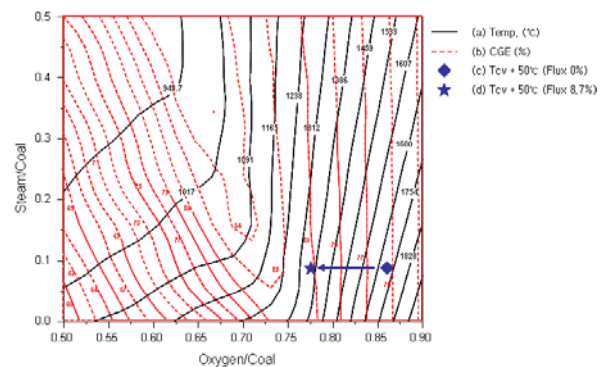


Fig. 5 Effect of Flux addition to the Gasifier Performance

4.2 Feeding 및 슬래그 설비 용량 예측

그림 6은 Flux 투입율에 따른 석탄 투입량을 나타낸 것이다. 그림 5의 결과와 가스터빈 입구 합성가스 요구 발열량을 기준으로 할 경우 석회석 미투입 시 석탄 투입량은 110 ton/hr 정도이다. 만일 석회석 8.7% 투입 시 석회석이 약 9ton/hr 투입되어야 하나, 석탄 소모량은 103 ton/hr로 약 7 ton/hr 감소함을 알 수 있다. 즉, 석회석이 투입되는 만큼 유사한 석탄 소모량을 감소시킬 수 있다.

가스화 플랜트의 미분기 이후 Feeding 설비는 석탄 주입량, 석회석 주입량 및 Ash 재순환 양을 고려하여 설계 하는 것이 필요하다. Flux 투입량이 없을 경우 약 25%의 Fly ash 순환을 고려한 Feeding 설비 용량은 약 132 ton/hr 이며, Flux를 석탄의 8.7% 투입 고려할 경우 Fly ash를 포함한

Feeding 설비 용량은 135 ton/hr이다. 따라서 Flux 투입에 관계없이 총 Feeding system 설비 용량은 132~135ton/hr로 유사하다.

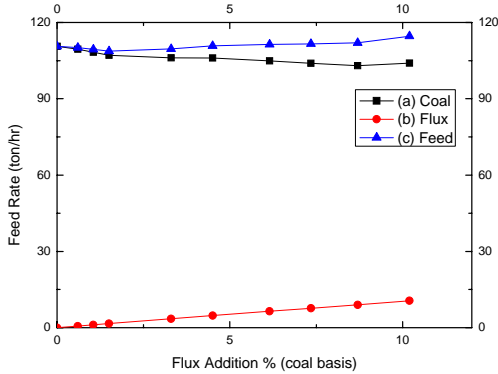


Fig. 6 Effect of Flux addition to the Feed Rate

Fly ash의 경우 재순환되어 슬래그로 모두 전환되는 것으로 가정하고, 슬래그 제거 시스템 설비 용량은 Flux를 고려하지 않았을 경우 15 ton/hr이며, 8.7%의 Flux를 고려할 경우 24 ton/hr이다.

300MW에 채택 예정인 가스화 공정의 경우 비산 슬래그가 transfer duct를 지나는 동안 부착되지 않도록 가스화기 출구에서 가스재순환을 통해 약 900℃ 이하로 운전되는 것을 제한하고, 이온도는 비산슬래그의 액체분율을 0으로 유지하게 하는 온도와 연관성이 있다고 판단된다.

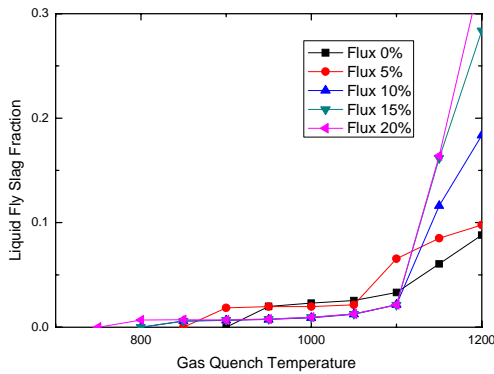


Fig. 7 Liquid fly ash slag fraction according to gas temperature

그림 7은 합성가스 온도에 따른 슬래그 액체분율을 나타낸 그림이다. 석회석 미투입시 슬래그 액체분율이 0이 되는 가스화기 내 온도는 930℃이다. 또한 Flux를 석탄 투입 기준 8.7% 투입시 슬래그 액체분율이 0이 되는 온도는 약 830℃이다.

이것은 300MW 실증 플랜트에 도입될 예정인 가스화 공정에서 합성가스 Quenching 온도 결정에 중요한 정보를 제공한다. 즉, 석회석을 석탄기준 8.7% 투입시 Transfer duct에 액체상태의 슬래그 부착을 최소화하기 위해서는 합성가스 Recycle에 의한 Transfer duct의 입구온도를 슬래그 액체분율이 0이 되도록 합성가스 온도를 제어하는 것을 검토해야 할 것으로 생각된다.

5. 결론

이 논문은 분류층 가스화기에서 슬래그 용융 온도를 낮추기 위해 투입되는 석회석 투입량 변화에 따른 Tcv 변화를 예측하고, 자체개발 열정산 프로그램을 통해 석회석 투입에 따른 냉가스효율, 산소소모량을 예측하였다. 이를 통하여 300MW IGCC 슬래그 시스템 엔지니어링 시 고려해야 할 사항을 파악해 보았다. 첫째, 석회석 투입을 통하여 가스화기 운전온도를 낮춤으로써 동일한 합성가스를 생성하는 데 필요한 석탄, 산소소모량이 석회석을 주입하지 않을 경우와 비교하여 감소한다. 둘째, Feeding 설비는 석회석 투입 시 냉가스 효율 증가에 따른 석탄 소모량이 감소하나 석회석 양이 증가하기 때문에 전체 공급 질량 유량은 비슷하다. 셋째, 슬래그 제거설비 용량은 석회석이 증가하는 만큼 슬래그 생성량 증가를 고려해야 한다. 마지막으로 비산슬래그의 특성 분석 결과 석회석 투입에 따라 액체슬래그가 고체화되는 온도가 낮아지기 때문에, 비산슬래그가 달라붙는 것을 방지하기 위해서는 가스화기 출구 합성가스 온도제어가 필요하다.

후기

본 연구는 지식경제부 신재생에너지기술개발사업의 일환(2006-N-C012-P-01-0-000)으로 수행되었습니다.

References

- [1] 박윤경, 오명숙, 2002, "Factsage 프로그램을 이용한 석탄 슬래그 점도 모델개발" 홍익대학교 이학기술논문집 제14권 pp. 833~844.
- [2] J.Th.G.M. Eurlings, J.E.G.Ploeg, 1999, "Process Performance of the SCGP at Buggenum", Gasification Technologies Conference.
- [3] Joseph G. Singer, P.E, 1991, "Combustion Fossil Power", Fourth edition, Combustion Engineering, INC.