

IGCC 발전시스템 석탄주입계통의 설계 및 엔지니어링

이찬, 강승중, 이한구
고등기술연구원 전력에너지연구소

Design and Engineering of the Coal Feeding System for IGCC Powerplant

Chan Lee, Seung-Jong Kang and Han-Goo Lee
Electric Power System Laboratory, Institute for Advanced Engineering

요약

석탄가스화 복합발전설비에 사용되는 석탄주입계통 설계/엔지니어링을 위한 체계적 방법을 제시하였다. 석탄주입계통의 주요 구성요소로는 호퍼, 필터, 스크류공급기, 공압수송기 및 사출용기등을 고려하였고, 그에 대한 설계 사양 및 제한조건들을 제시하였다. 더 나아가 석탄주입계통의 공정제어를 위해 필요한 계측장비, 제어논리 및 제어시스템에 대한 설계기준을 서술하였다. 본 연구에서 제시된 방법들은 석탄주입계통의 기본설계 또는 선정을 위한 엔지니어링에 유용하게 사용될수 있을 것으로 판단된다.

1. 서론

석탄가스화 복합발전시스템(IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle)은 저렴하고 매장량이 풍부한 석탄연료를 사용하여, 50% 에 가까운 열효율과 기존 미분탄 화력발전소에 비해 약 1/5, 1/10 에 지나지 않는 SOx, NOx 을 배출하는 우수한 환경특성[1]으로 인해 차세대 발전시스템의 하나로 각광받고 있으며 전세계적으로 많은 연구/개발 노력이 이루어지고 있다.

IGCC 시스템이 기존의 일반 천연가스 또는 중유연료를 이용한 복합발전시스템과 다른 점은 원탄(raw coal)이 여러가지 기계적/화학적 공정을 거쳐 가연성 석탄가스로 전환되어, 가스터빈 연소기의 연료로 사용된다는 점이다. 그러므로 IGCC 시스템의 설계과정에 있어서는 가스터빈, 폐열회수 열교환장치, 증기터빈 등에 대한 일반적인 복합발전사이클 설계/엔지니어링 이외에도 석탄활용을 위해 수반되는 여러가지 공정에 대한 설계/엔지니어링이 요구되어진다.

IGCC용 석탄활용 관련 주요공정들은 석탄분쇄, 석탄주입, 석탄가스화 및 석탄가스정제 공정으로 크게 나누어 생각할수 있다. 이 중에서도 석탄주입공정은 석탄가스화로에 산화제와 혼합되는 적정량의 석탄을 공압수송하기 위한 장치로서, 석탄가스화 성능에 큰 영향을 미치는 주요 공정으로 간주된다. 그러므로, 이러한 석탄주입 계통에 대한 설계를 위해서는 고상 물질유동(solid flow), 고체/기체 의 2상유동, 분진제거기술 및 폭발방지를 위한 장치설계, 원활한 시스템 작동을 위해 진단/처방기능을 가지는 효율적인 계측/제어기술에 대한 이해 및 적용이 선결과제이다.

본 논문은 고등기술연구원에서 수행한 3톤/일 석탄가스화 실험장치의 설계과정중에 축적된 경험을 바탕으로, 석탄주입계통의 각 요소별 기능적 정의 및 그에 따른 설계/엔지니어링 방법을 기술하고자 한다. 또한 주입계통에 부착되는 주요 계측장비, 안전장치 및 제어논리에 대한 간략한 설명도 석탄주입계통 설계자들을 위해 본 논문에 포함시켰다.

2. 석탄주입계통의 정의

Fig.1 에서 볼수 있듯이, 석탄주입계통은 미분화된 석탄(200 mesh, 90%)을 분쇄장치로 부터 받아 저장하는 미분탄 저장호퍼, 저장호퍼 위에 설치되는 분진여과용 필터, 저장된 미분탄을 기

계적으로 공급하는 스크류 공급기, 미분탄을 과밀상태(dense phase)로 이송하는 공압수송기, 공압/수송된 미분탄을 저장/분배하는 기능을 가지고 상부에 필터가 장착된 분배호퍼, 분배된 미분탄을 임시적으로 저장하여 가압시키는 록호퍼, 스크류 공급기가 부착되어 가스화가 노즐로 미분탄을 공급하는 사출용기(injection vessel)로 구성된다. 앞서 기술한 석탄주입계통의 주요 요소 이외에 응제(flux)를 공급하기 위해서는, 저장을 위한 응제 저장호퍼 와 응제 스크류 공급기를 미분탄 저장호퍼와 병렬적으로 설치할수 있으며, 응제는 미분탄과 미분탄 스크류 공급기에서 혼합되어 공압수송기로 이송된다. 그러나, 응제공급장치는 가스화 시스템사양에 따라 설치여부가 결정되어질수 있다.

석탄주입계통의 구성요소와 더불어 공정흐름은 다음과 같다. 건조된 미분탄은 불활성기체(질소)로 채워진 미분탄 저장호퍼에 저장되며, 호퍼하단의 원추형부위 내부벽면에는 외부로 부터 질소기체가 유입되어 저장된 미분탄의 유동화를 돕는 기체슬라이드(gas slide)가 부착되어 호퍼로부터 스크류 공급기로 미분탄이 중력에 의해 공급될때에만 작동하게 된다. 또한 저장호퍼 상부에 설치되는 필터는 호퍼내에서 발생하는 분진을 포집하는 역할을 한다. 스크류 공급기는 하부에 위치한 공압수송기의 내부압력이 저압으로 떨어지면(수송기내의 미분탄이 공압수송되어 내부가 비어있음을 의미함) 작동하고, 수송기내 미분탄이 고 수준계(high level probe)이상으로 쌓이면 멈추게 된다. 공압수송기는 스크류 공급기에서 공급된 미분탄을 질소로 가압하여, 과밀상태로 분배호퍼에 배치방식(batch type)으로 이송시키며, 이때 분배호퍼의 석탄수준은 일정한 상태가 유지되도록 수송기의 사이클용량이 결정되어야 한다. 분배호퍼는 미분탄 이송중에 발생하는 호퍼내 분진을 필터로 포집하며, 호퍼하부의 원추형 출구를 통해 미분탄공급을 각 록호퍼로 분배시킨다. 미분탄 저장호퍼와 마찬가지로, 분배호퍼도 원추형부위에 고체물질의 유동화를 위한 기체슬라이드를 장착한다.

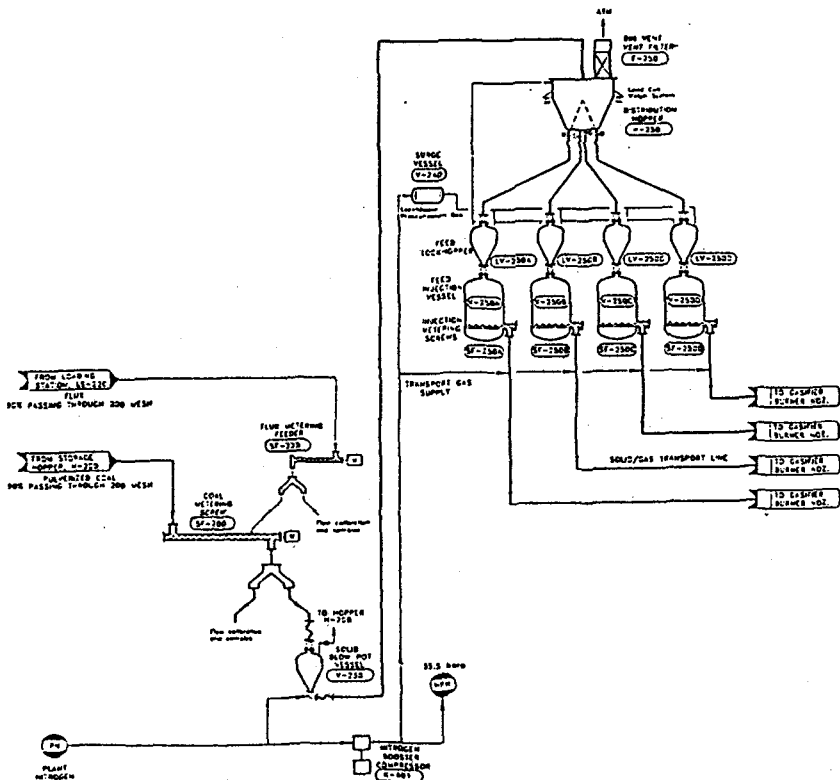


Fig.1 석탄주입계통의 공정흐름도

분배호퍼의 각 출구는 배관을 통해 특호퍼로 연결되며, 특호퍼로의 석탄이송은 중력에 의해 이루어진다. 분배호퍼로부터 특호퍼로의 미분탄 배출은 특호퍼내의 미분탄이 저 수준(low level)이하일때 이루어지며, 이때 특호퍼입구의 밸브는 열리고 출구밸브는 닫힌 상태로 유지된다. 특호퍼로의 미분탄공급이 진행되어, 저장수준이 어느 수준이상이 되면 특호퍼입구의 밸브를 닫고, 고압 질소가스를 특호퍼내에 충전시켜 사출용기 작동압력까지 가압시킨다. 이러한 가압과정은 고압가스를 저장하는 써지탱크(surge tank)에서 특호퍼로 연결되는 배관상의 밸브를 열어주고, 특호퍼와 분배호퍼사이의 압력균형밸브(pressure equalizing valve)를 열어줌으로써 이루어진다. 또한, 특호퍼로부터 사출용기로의 미분탄공급은 두 장비간의 압력차가 같다고 판단되고, 사출용기의 석탄수준이 저 수준일 경우에 두 장비간의 밸브를 열어줌으로써 이루어진다. 사출용기내에 공급된 미분탄은 스크류 공급기를 통해 일정량씩 공급되어, 산화제(산소또는 공기)와 섞여 가스화기로 공급된다.

3. 각 구성요소별 설계/엔지니어링

앞서 언급한 것처럼, 석탄주입계통의 주 요소들을 기능적 특성에 따라 구분하면, (1) 필터와 기체슬라이드를 구비한 호퍼시스템(미분탄 저장호퍼 및 분배호퍼 시스템), (2) 스크류 공급기, (3) 사출시스템(특호퍼/사출용기) 으로 설계범주를 나눌수 있으며, 이외 에도 (4) 공압수송기 및 배관설계 및 (5) 계측장비 및 제어시스템 설계로 구분될 수 있다.

3.1 호퍼시스템

호퍼용기의 설계를 위해서는 저장용량에 맞추어 호퍼체적 및 외형적인 제원을 결정하는 것이 선행되어야 하며, 호퍼형상 결정시 주의해야 할점은 고체의 유동성 문제이다. 호퍼출구를 통하는 석탄의 유동형태는, Fig.2 에서 볼수 있듯이, 질량유동(mass-flow)과 깔대기유동(funnel-flow)으로 나눌수 있으며[2], 그 유동특성들이 Table 1 에 나타나 있다.

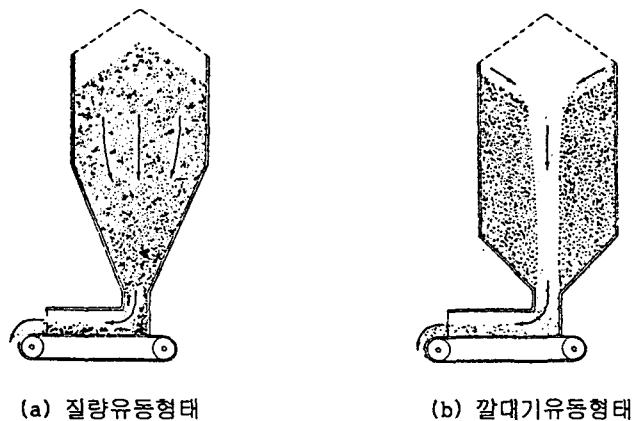


Fig.2 질량유동 및 깔대기유동형태의 호퍼[2]

Table 1 에서 알수 있듯이, 호퍼는 질량유동형태로 설계하는 것이 바람직 하며, 이를 위해서는 석탄과 호퍼재질간의 마찰계수(ϕ')와 호퍼원추각(θ)을 잘 결정하여야 한다(Fig.3참조).

호퍼의 원추형 벽면에 부착되는 기체슬라이드는, Fig.4 에서 보여지듯이, 노즐을 이용하여 호퍼내부로 질소또는 불활성 기체를 분사시킴으로써 석탄의 유동화를 촉진하여 출구로의 방출을 원활히 하는 기구이다. 기체슬라이드로 유입되는 기체의 양은 호퍼에 저장되는 고체물질과 호퍼

용량에 의해 결정되며, 분사방법도 압축기 및 헤더탱크를 이용하여 주기적으로 기체를 불어넣는 간헐식과 지속적인 분사가 이루어지는 연속식으로 구분된다.

Table 1. 질량유동과 깔대기유동 호퍼의 특성

질량유동(Mass-flow) 형태	깔대기유동(Funnel-flow) 형태
<ol style="list-style-type: none"> 1. 유동이 균일하고, 석탄밀도가 일정함. 2. 석탄 수준계(level indicator)의 작동이 신뢰성 있음. 3. 호퍼내에 사지역(dead-zone)이 존재하지 않음. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 유동이 불규칙하고, 석탄밀도가 변화함. 2. 석탄 수준계 설치위치의 선정에 따라 측정 오차가 발생함. 3. 호퍼내에 사지역이 존재하며, 출구에서 아아치(arch)현상이 일어나 석탄방출에 어려움이 생길수 있음.

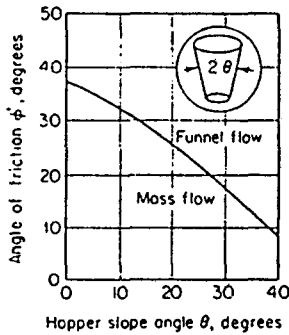


Fig.3 질량유동 및 깔대기유동형태의 호퍼구분[2]

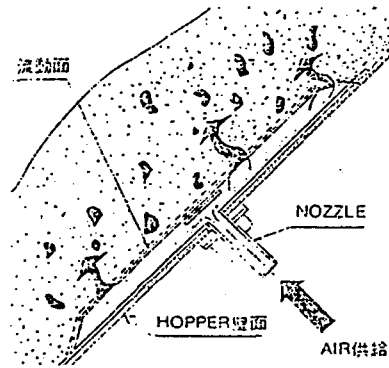


Fig.4 기체슬라이드의 개략도

호퍼상부에 설치되어 분진을 포집하는 기능을 가지는 직물 여과포 필터(fabric bag filter)의 설계는 필터를 통해 빠져나가는 유량이 정해지면, 여과속도를 산출하고 그에 따라 여과포의 여과면적 및 갯수를 구할수 있다. 이때 여과속도의 산출은 다음과 같은 공식[3]에 따른다.

$$V_j = V_a V_b V_c V_d V_e \text{ (m/min)}, \quad (1)$$

여기서 V_a , V_b , V_c , V_d , V_e 는 분진물질 계수(material factor), 집진기 설치용도 계수(application factor), 집진기 내부온도 계수(temperature factor), 분진크기 계수(finess factor), 분진농도 계수(dust load factor)를 의미하며, 아래와 같은 관계를 가지고,

$$\begin{aligned}
 V_a &= 0.471A, & V_b &= (38+B)/120, & V_c &= 293/(273+T) \\
 V_d &= D/3, & V_e &= (E/38)^{-0.9}
 \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)의 계수 A, B, D, E 는 Table 2, 3, 4, 5 에 나타나 있으며, T 는 집진기 내부 작동온도(°C)를 나타낸다.

Table 2 Coefficient A of Material Factor

Material Classification	A	Material Classification	A
Cake Mix, Card Boaed, Cocoa, Flour, Crain, Leather, Tobacco	9.56	Perchlorate, Minerals, Sorbic Acid	6.39
Asbestos, Fibrous, Cellulous, Poundry, Gypsum, Lime, Perlite, Rubber, Salt, Sand, Sand Blast, Soda Ash	7.66	Ammonia Phosphate Fertilizer, Coke, Diatomacrous, Dyes, Fly Ash, Metal Powder, Metal Oxide, Metallic Pigments, Resin, Plastic, Silicate, Starch, Stearates, Tanic Acid	5.75
Alumina, Aspirin, Carbon Black, Cement, Ceramic, Clay, Brick, Coal, Flour Spar, Gum, Kaolin, Sugar, Limestone, Silica,	6.39	Activated Carbon, Detergent, Fumes, Powdered Milk, Soap	3.85

Table 3. Coefficient B of Application Factor

Filtering Application	B
Vent Filter of Transporter, Conveyor and Packing Station	82
Production Collection of Air Conveying Venting Mill	70
Process Gas Filtration with Spray Driers, Klins Reactor etc.	58

Table 4. Coefficient D of Finess Factor

Dust Particle Size(micron)	D
less than 3	2.40
3-10	2.68
10-50	2.70
50-100	3.30
100-150	3.60
150-200	3.80

Table.5 Coefficient E of Dust Load Factor

Dust Loading Density(g/m ³)	E
less than 5	34
5-10	38
10-20	40
20-40	42
40-70	44
70-90	45
90-170	47
170-240	48

앞서 식 (1), (2) 를 통해 여과속도가 구해지면, 여과포의 면적과 갯수가 구해질수 있다. 이때 여과속도는 일반적으로 0.3-2.5 m/min 의 범위가 적정하며, 분진이 매우 작거나 농도가 매우 큰 경우에는 여과속도가 1m/min 이상을 초과해서는 않된다[4]. 이와 더불어, 설계시 고려해야 할 또 하나의 주요사항은 여과포를 거치는 기체의 압력강하이다.

여과포를 거치는 압력강하는 다음과 같은 경험식에 의해 평가가 가능하며,

$$\Delta P = \mu K_d C_d V_f^2 t_m \quad (3)$$

이때 μ , K_d , C_d 및 t_m 은 기체점성, 분진층 저항계수, 분진농도 및 여과시간을 의미하며, 분진층 저항계수는 실험적으로 얻어지는 값이다[4]. 일반적으로 필터 압력강하는 0.5-1.5 kPa 범위내에 있도록 설계되며, 필터가 부착되는 호퍼의 작동압력이 6.2-7.5 kPa(guage) 범위라는 것도 설계고려사항중의 하나이다. 또한 여과포에 끼어 필터의 기능을 저하하는 석탄분진을 제거하는 방법으로는 여과포내부에 고압기체를 드 나발 노즐(de Naval nozzle)을 통해 불어넣어 주는 역 간헐분

사(reverse pulse jet)방식과 여과포를 모터를 이용하여 주기적으로 털어주는 모터진동(motor shaking)방식이 사용될수 있다.

호퍼에는 내부에서 야기되는 폭발을 방지하기 위한 장치들이 설치되는 것이 일반적인 설계조건이며, 그러한 장치들로는 압력안전밸브(pressure safety valve)와 파열디스크(rupture disc)가 주, 2차 장치로 응용되고 있고, 각 장치의 압력설정치는 주, 2차장치에 대해 호퍼내부압력의 110, 116%이며, 파열디스크의 크기결정은 아음속 가스역학 관계식[5]을 이용하여 구할수 있다.

3.2 스크류 공급기

스크류공급기는 Fig.5 에서 보여지듯이, 나선형태의 날이 회전축에 부착되어 고체를 수송하는 장치로서, 석탄주입계통에 필요한 스크류공급기의 선택을 위해서는 이송용량에 대한 사전 검토가 선행되어야 한다. 스크류공급기의 이송용량은 아래와 같은 경험식에 의해 계산가능하며,

$$Q = 60\phi\gamma \frac{\pi D^2}{4} SN \quad (\text{ton/hr}), \quad (4)$$

여기서 D, S 는 스크류의 직경(m), 간격(m)을 나타내며 일반적으로 S/D 비는 0.6-0.8 범위에서 설계된다. γ 는 석탄의 겉보기밀도(ton/m^3)를 나타내며, N은 스크류의 회전수(rpm)로서 일반적으로 50-120 rpm 범위에서 작동한다. 또한 ϕ 는 석탄이 스크류공급기 전체단면적의 얼마만큼을 채워진 상태에서 이송되는 가를 나타내는 장전계수(loading factor)로서, 각 대상고체에 대한 장전계수는 Table 5 에 나타나 있다[6].

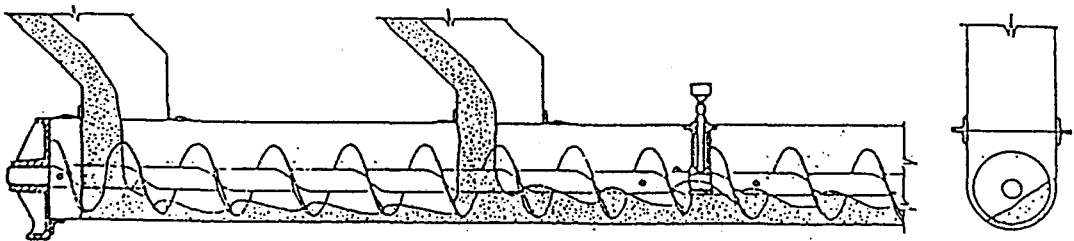


Fig.5 석탄 스크류 공급기의 개략도

Table 5. Loading Classification of Screw Feeder

Material Classification	Loading Factor
Baking Powder, Barley, Buckwheat, Pulverized Coal, Coal Fines, Flaxseed, Cottonseed Meal, Graphite Flour, Grass Seed, Rye, Sawdust, etc.	0.45
Crushed Asphalt, Bone Meal, Boron, Bran, Sized Coal, Powdered Cocoa, Copper Sulphate, Corn Meal, Epsom Salt, Flaxseed Cake, Ground Lime, Broken Almond, Dry Ash, Carbon Fine, Charcoal, Cocoa Beans, Coke, Ferrous Sulphate, Gypsum, Limestone, Coarse Salt, Soda Ash, etc.	0.30
Alumina, Cement Clinker, Broken Glass, Foundry Sand, Glass Batch, Limonite, Crushed Marble, Silica Gel, Soybean, Dry Sand, Flue Dust, etc.	0.15

3.3 사출시스템, 공압수송기 및 배관

앞서 언급한 것 처럼 사출시스템은 가압용 특호퍼와 가압된 석탄을 스크류공급기를 이용하여 가스화기에 공급하는 사출용기로 구성되며, 기계적인 장치설계보다는 원하는 고압상태를 정밀하게 유지할수 있는 계측 및 제어기술이 요구된다. 예를 들어, 가스화기로 유입되는 석탄의 이송량이 1-2x의 정확도를 유지할수 있어야 하며, 특히 특호퍼와 사출용기간의 연결부위에 부착되는 밸브는 고압에서도 견디면서 기체누설을 최소화할수 있는 제품이어야 하고, 이를 위해서는 볼밸브(ball valve) 나 돔밸브(dome valve)등이 사용되어야 한다.

공압수송기는 수송기내에 채워진 석탄에 가압 질소(또는 불활성기체)를 불어넣어 석탄을 이송하는 장치로서, Fig. 6 은 공압수송기의 전형적인 작동형태를 보여주고 있다. 공압수송기 선정에 있어서 주목되어야 할점은 석탄주입구에 부착되는 밸브의 고신뢰성 및 배관작업이다. 특히 배관설계시에는 석탄이송이 과밀상태로 이루어져 저속, 비유동화 특성을 가지므로 배관상의 속도 및 압력강하에 대한 정확한 이해가 요구되어지며, 이는 파이프내부의 마모를 최소화 하는데 필요한 설계자료로도 사용될수 있다. 파이프를 거치는 석탄 과밀분체의 압력강하는 다음과 같은 경험식[7]에 의해 구할수 있으며,

$$\Delta P = 2G_s U + 2f \frac{L}{D} \rho_g U^2 + K \left(\frac{\mu}{\rho_g} \right)^{0.4} \left(\frac{G_s}{D} \right)^m \frac{L}{U} + \frac{G_s H g}{V_s} + \frac{n G_s U}{2} \quad (5)$$

이때 $f = 0.079 Re^{-0.25}$, $V_s = U(1 - 0.0638 d_p^{0.3} \rho_p^{0.5})$ 이고, d_p 는 석탄입자 크기를 ρ_p 는 석탄의 밀도를 나타낸다. 또한 H 는 수송기출구부터 분배호퍼까지의 수직거리를, L 은 파이프 전체길이를, U 는 질소기체의 가상속도(=질소유량/파이프 단면적), G_s 는 단위면적당 석탄유량(= $\rho_p V_s$)을 n 은 배관상의 곡관의 수를 나타내고, G_s/D 가 47000 kg/(m³s) 보다 작은 경우는 K, m 이 106, 0.83 이고, 47000 보다 큰 경우에는 0.838, 1.28 이다. 식(5)로 부터 계산된 석탄/질소비가 15 이상이거나, 압력강하가 70 kPa 를 초과하면 파이프 크기를 증가시켜야 한다[8].

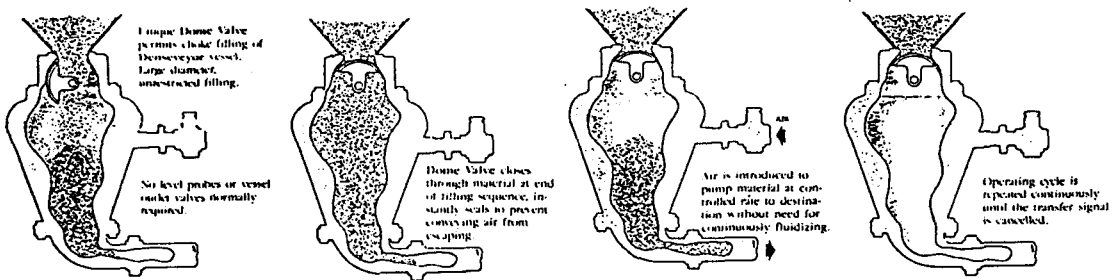


Fig. 6 공압수송기의 작동과정

앞서 언급한 공압수송인 경우와는 달리, 분배호퍼, 특호퍼 와 사출용기 간의 석탄흐름은 중력에 의해 이루어지고, 중력에 의해 석탄입자가 떨어질때의 중단속도(U_t)는 다음과 같이 구해질수 있으며[9],

$$U_t = \frac{g(\rho_s - \rho_g)d_p^2}{18\mu} \quad , \quad Re_p < 0.4$$

$$U_t = \left[\frac{4(\rho_s - \rho_g)^2 g^2}{225\rho_g\mu} \right]^{1/3} d_p \quad , \quad 0.4 < Re_p < 500$$

$$U_t = \left[\frac{3.1g(\rho_s - \rho_g)d_p}{\rho_g} \right]^{1/2} \quad , \quad 500 < Re_p < 200,000 \quad (6)$$

이때 레이놀즈수(Re_p)는 $d_p\rho_g U_t/\mu$ 로 정의된다. 식(6)으로 부터 석탄이 낙하하는 중단속도가 구해지면, 이를 근거로 호퍼나 웅기에 석탄이 채워지는 시간을 정확하게 계산할 수 있으며, 이는 특호퍼와 사출웅기의 작동 사이클의 결정 및 제어논리의 구성에 도움이 된다.

3.4 계측장비 및 제어시스템

석탄주입계통의 원활한 작동을 위해서는, 공압수송기와 사출시스템이 타당한 작동원리와 계측/제어시스템과 맞물려 구성되어야 한다. Fig.1을 기본으로 하여, 공압수송기의 주요 작동원리를 정의하면 다음과 같다.

- 1) 공압수송기의 사이클은 ① 공압수송용 질소라인이 차단되고, ② 분배호퍼의 고수준계(high level probe)를 통해 석탄이 완전히 차있지 않다고 판단되며, ③ 특호퍼가 충전과정(filling process)중이 아니라는 것이 확인된 후 시작된다.
- 2) 솔레노이드밸브에 의해 공압수송기의 돔밸브(또는 볼밸브)를 열고, 전기적 신호를 보내 스크류공급기의 모터를 가동시킨후 공압수송기내로 석탄을 채우는 과정을 시작한다.
- 3) 공압수송기내 고수준계를 통해 석탄이 찬것이 확인되면, 릴레이접점을 이용하여 스크류공급기의 작동을 멈춘후, 솔레노이드 밸브를 사용하여 돔밸브를 잠근다.
- 4) 공압수송기내로 고압질소를 유입하여 석탄을 과밀상태로 이송한후, 수송기에 부착된 압력계가 기준압력이하를 감지하면, 석탄이 모두 수송되었음을 의미하며, 릴레이 전기신호를 사출시스템에 보내 특호퍼의 충전과정을 가동시킨다.

또한 사출시스템의 순차적인 작동과정 및 계측/제어 원리는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 1) 특호퍼의 입구 돔밸브가 솔레노이드밸브를 통해 열리면, 분배호퍼 하단에 달린 게이트 밸브가 열려 특호퍼의 석탄충진 과정이 시작된다.
- 2) 특호퍼의 고수준계를 통해 충전과정이 완료되었음이 감지되면, 게이트밸브와 입구 돔밸브를 순차적으로 닫고, 특호퍼의 밴트밸브도 차단시킨후 써지탱크의 고압질소를 불러넣어 가압시킨다.
- 3) 특호퍼와 사출웅기 사이의 균형밸브(balance valve)를 열어, 차압측정계가 기준치 이하일때 사출웅기 입구의 돔밸브를 열어준다.
- 4) 충전에 필요한 시간이 경과되면, 사출웅기 돔밸브를 닫고 액류에이터를 이용하여 균형밸브를 닫으며, 사출웅기내의 석탄은 스크류공급기를 통해 가스화기에 공급된다.

이러한 작동원칙이외에도 석탄주입계통은 다음과 같은 경우에는 비상정지 되도록 제어시스템을 구성하여야 한다.

- 1) 가스화 반응기의 표면온도가 온도측정계(예: K 또는 R 형 열전대)에 의해 기준 온도이상으로 감지될때, 사출시스템 출구에 부착되는 반응기 차단밸브(reactor shut-off valve)를 닫음으로써 비상정지 모드로 들어가게 한다.
- 2) 석탄공급 라인상에 막힘현상이 감지되면 경고음이 울리면서, 전 시스템을 비상정지 시키도록 해야한다.

앞서 간략하게 언급한 작동원리 및 비상정지 체계는 시스템상에 부착된 각종 계측기기(예: 고체 수준계, 압력계, 온도계 등) 및 공정 통제장비(예: 돔밸브, 게이트밸브, 솔레노이드 밸브 등)를 조절할수 있는 제어논리회로에 온라인(on-line)으로 연계되어야 한다. 또한 앞서 언급한 석탄주입 계통의 작동원리는 순차제어(sequence control)방식에 의해 이루어지며, 만약 비상정지조건이 나타나면 시스템의 가동중단을 위한 비상정지제어(emergency shutdown)논리가 순차제어의 인터럽트(interrupt)로 작동해야 한다.

석탄주입계통의 제어시스템은 각종 하드웨어와 소프트웨어로 구성된다. 하드웨어는 운전자가 접하게 되는 컴퓨터화면(operation console), 운전제어용 판넬(hardwired console), 제어기(programmable logic controller), 폭발성기체와 분진이 있는 환경하에서 안전운전을 위한 본질 안전장벽(intrinsic safety barrier) 및 운전정보수집과 운전제어를 위한 각종 전기 및계측장비로 구성된다. 또한, 소프트웨어로는 운전자와 제어기간의 통신을 위한 운전제어화면(graphic user interface) 및 앞서 언급한 제어논리가 제어시스템내에 포함되어야 한다. 석탄주입계통 제어 시스템 구성에 대한 좀더 상세한 정보는 고등기술연구원/대우조선(주)에서 수행한 제어시스템 개발결과[10]에 잘 서술되어있다.

4. 결론

IGCC 발전 플랜트의 주요 시스템인 석탄주입계통의 기본 설계 및 엔지니어링을 위한 방법을 제시하였다. 본 방법은 기계적 기기, 공압수송, 진단/제어 체계 및 계통종합 설계/엔지니어링 방법에 그 주안점을 두었고, 본 연구에서 제시된 방법을 이용하여 석탄주입계통의 각 구성기기별 설계사양 및 제한조건의 제시가 가능하며, 이러한 설계자료를 바탕으로 구성요소의 제작 또는 선정과 계통종합에 용이하게 사용되리라 보여진다.

5. 후기

본 논문은 상공자원부 에너지자원기술개발지원센터에서 지원하는 "석탄가스화 복합사이클 발전시스템 실용화개발(과제번호:92E105-348DG1)" 의 일환으로 수행된 것이며, 이에 센터관계자들에게 심심한 사의를 표하는 바입니다.

참고문헌

1. Todd, D.M., "Clean Coal Technologies for Gas Turbines," GER-3650C, 37th GE Turbine State-of-the-Art Technology Seminar Proceedings, (1993)
2. Jenike, A.W., *Storage and Flow of Solids*, Bulletin of the Univ. of Utah, no.123, Salt Lake City, (1964)
3. 여과속도 계산식, 대열기계(주) 기술자료, (1994)
4. Porter, H.F., Schurr, G.A. and Semrau, K.T., "Solids Drying and Gas-Solid Systems," Section 20, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, McGraw Hill, New York, (1984)
5. FIKE Technical Bulletin 9027
6. *Screw Conveyors*, CSC-SC-7, Continental Screw Conveyor, (1983)
7. Geldart, D. and Ling, S.J., "Dense Phase Conveying of Fine Coal at High Total Pressures," *Powder Technology*, vol.62, pp.243-252, (1990)
8. Raymus, G.J., "Handling of Bulk Solids and Packaging of Solids and Liquids," Section 7, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, McGraw Hill, New York, (1984)
9. Kuni, D. and Levenspiel, O., "Gross Behavior of Fluidized Beds," Chapter 3, *Fluidization Engineering*, Wiley, New York, (1969)
10. 김대규, 윤용승, 장휴정, 유진열, 홍만화, "3톤/일 석탄가스화 반응장치의 운전제어 시스템 개발," 1994년 춘계 학술발표회 초록집, 한국에너지공학회, pp.64-77, (1994)