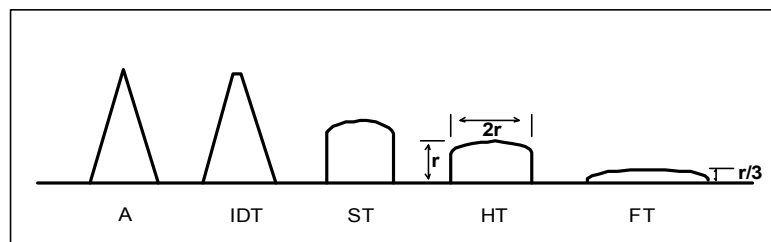
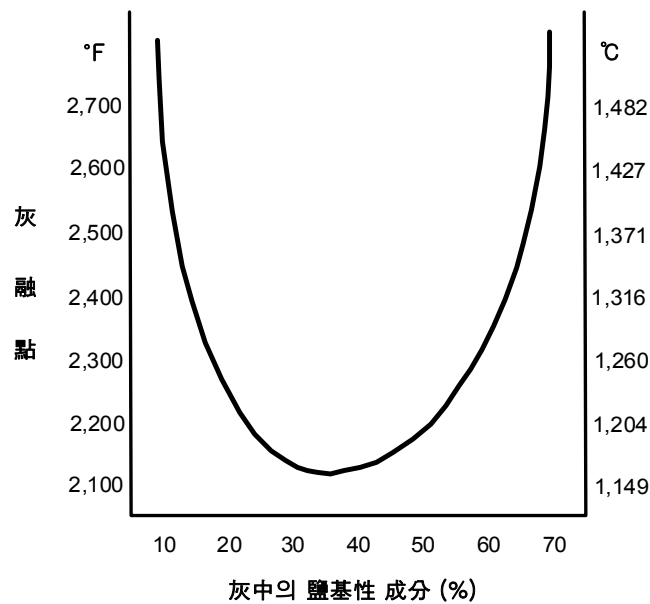


석탄을 알자

이번 호에서는 지난 호에 이어 석탄의 분석법 중 회분석과, 물리분석, 발열량 등에 대해서 살펴보기로 한다.

1. 회분석 (Ash Analysis and Tests) 계속



Pyramid specimens의 단면도

1.4. 석탄회의 융착현상과 응착현상

1.4.1 회(灰, Ash)의 분류

석탄회(石炭灰) 중의 철분과 백운석(Dolomite) 성분의 구성에 따라 회(灰)의 특성이 다르고 융착성(融着性)이나 응착성(凝着性)이 달라진다. 그래서 역청탄형 회((Bituminous Type Ash)와 갈탄형 회(Lignite Type Ash)로 구분하며 융착성이나 응착성을 평가하는 방법도 다르다.

1.4.2 용착현상(融着現象, Slagging)

석탄회(石炭灰)의 용착현상이란 연소실의 온도가 회(灰)의 융점보다 높은 영역에서 석탄회의 입자가 용해된 상태로 가스 흐름을 따라 배출되다가 보일러의 수관(水管) 표면에 부딪칠 때 용융회가 급냉하면서 응집되어 수관벽에 부착되는 현상을 말한다. 이때 용착회(融着灰)의 부착력은 온도, 부착면의 위치, 방향, 충돌력 및 용융특성에 의해 영향받는다. 회용점이 낮은 석탄은 용착성이 심하며, 보일러의 설계와 운전형태는 용착현상에 영향을 미친다.

1.4.3 응착현상(凝着現象, Fouling)

석탄회 중의 휘발성분(Na_2O)이 비회(飛灰)와의 충돌이나, 과열기(過熱器) 튜브를 지날 때 이들 튜브에 부딪치거나, 액체상태인 보일러 온도범위의 보일러 위치에 부착된 침전물(Deposit)에 부딪혀 응축하여 부착하는 현상으로 Na_2O 는 다른 부착물과 화학적으로 반응하여 응축퇴적물을 형성한다.

灰 구분방법	역청탄형 회		갈탄형 회	
	$\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{MgO}$		$\text{Fe}_2\text{O}_3 < \text{CaO} + \text{MgO}$	
용착성 지수 Slagging Index	$\frac{B}{A} \times (\% S) \text{ (Dry Base)}$		$\frac{\text{Max HT} + 4 (\text{Min IDT})}{5}$	
	용착성 지수	용착성	용착성 지수	용착성
	0.6 이하.	낮음(Low)	1,340~1,230℃	중간(Medium)
	0.6~2.0	중간(Medium)	1,230~1,150℃	높음(High)
	2.0~2.6	높음(High)	1,150 이하	심함(Severe)
	2.6 이상	심함(Severe)		
응착성 지수 Fouling Index	$\frac{B}{A} \times \text{Na}_2\text{O}$		% Na_2O	
	응착성 지수	응착성	응착성 지수	응착성
	0.2 이하	낮음(Low)	3.0 이하	중간(Medium)
	0.2~0.5	중간(Medium)	3.0~6.0	높음(High)
	0.5~1.0	높음(High)	6.0 이상	심함(Severe)
	1.0 이상	심함(Severe)		

※

A : 회(灰) 중의 산성 성분 %(SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2)

B : 회(灰) 중의 염기성 성분 % (Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O)

Max HT : 어떤 분위기에서든지 가장 높은 반구점(半球點)

Min IDT : 어떤 분위기에서든지 가장 낮은 최초변형점(最初變形點)

○ 회(灰) 중 Cl 및 Na 함량 정도에 따른 응착현상 잠재성

회(灰) 중 % Cl	Equiv. Na %	Fouling Potential
0.1 이하	0.07 이하	낮음(Low)
0.3	0.2	중간(Medium)
0.5 이상	0.33 이상	높음(High)

1.5 석탄회 처리기술 및 이용기술

1.5.1 석탄회 이용기술

석탄회 이용기술은 이미 상품화된 것과 현재 개발 중인 것을 합하면 수십 종류에 달한다. 특히 Fly Ash는 입자가 고운 경량분말(輕量粉末)로서 모양은 구상(球狀)이고 자유석회(自由石灰)와 결합하는 포졸란 성질을 가지고 있고 물을 흡수하기 때문에 시멘트 및 콘크리트, 그라우트, 경량 골재 및 건축재, 구조적 충전재로서 사용되고 있다. 또한 내화물, 페인트, 플라스틱, 화학약품, 여과 및 절연재 등 각종 산업분야에 이용되고 있거나 개발 중에 있다.

구 분	이용 분야	구 분	이용 분야
시멘트	제조용 원료, 시멘트혼화재 生콘크리트용 혼화재 시멘트밀크, 신경화재	토 목	아스팔트 충전재 포장재, 매립재, 노반 노상재 지반안정재, 충전재
골재	골재, 인공골재 인공경량골재	농수산	비료, 인공어초 토양개량제
건축재료	벽돌 및 세라믹제품 단열재, Ash Wool 콘크리트제품	기타	유가물회수, 수처리제 배연탈황제 소화제, 고화제 산화방지제 주물사, 전주

1.5.2 석탄회 처리와 환경대책

석탄발전소로부터 배출되는 석탄회는 해면매립 또는 산간, 염전지 등의 육상매립에 의하여 처분되어 농경지 또는 조성지化되어 공장용지나 택지로 이용되고 있으나, 최근 도시의 쓰레기 처리문제가 대두되면서 발전소 석탄회의 매립처분 문제도 같은 대상이 되고 있다. 그러나 석탄회의 활용기술이 개발되면서 일부는 이용하고 나머지는 육상매립 또는 해면매립에 의존하고 있는

실정인데, 우리나라에서는 석탄회를 일반산업폐기물로 분류하고 있다.

1.5.3 환경오염

석탄 화력발전소로부터 연료잔사로서 발생하는 Bottom Ash와 Fly Ash는 Boiler Hopper와 전기집진기에서 포집되는데 극히 일부는 배기가스와 같이 대기 중으로 방출된다. 석탄 중에는 원소의 주기율표상에 나타나 있는 거의 모든 원소들이 함유되어 있으나 지각의 평균조성과 비교할 때 Se, As, Cd, Sb, Mg, Pb 등의 농축계수가 약간 높은 편이다.

석탄회가 환경을 오염시키는 원인을 요약하면

- ① 굴뚝으로부터의 비산
- ② 석탄회의 수송 처리, 처분시에 발생하는 분진의 비산
- ③ 매립처분지나 재이용후 유출하는 표면수나 침출수 또는 지하수에 의한 수질오염
- ④ 비산되는 회나 용출수에 의한 토양오염 등을 들 수 있다

2. 물리분석(Physical Analysis)

2.1 분쇄도

ASTM D409에 의하여 Air Dried Sample 50g을 Hard Grove Index Machine에서 60 회전시킨 후 200mesh 체로 통과된 미분회량(微粉灰量)을 측정하는 것으로서 약 13g이 통과되었을 때를 100으로 한다. 석탄의 분쇄도는 탄화도가 클수록 용이하게 분쇄되며 회화도(灰化度)가 낮을수록 분쇄가 잘되지 않는다. 이는 Mill 용량 결정에 중요한 척도가 된다.

석탄 분쇄시의 난이도를 나타내는 것으로 석탄미분기의 용량을 결정하는데 사용된다.

분쇄도 측정방법에는

- ① 미 광산국(U.S. Bureau of Mines)에서 제안한 Ball-mill method
- ② R.M. Hardgrove가 창안한 Hardgrove Machine Method가 있다.

Hardgrove-Machine Method에 의해 측정된 분쇄도 지수를 HGI(Hard-grove Grindability Index)라 하고, 측정방법은 ASTM D409-71을 따르며, 숫자가 높을수록 분쇄가 용이함을 나타낸다. HGI가 낮을수록(0에 가까울수록) 분쇄가 어려워서 분쇄동력비(粉碎動力費)는 증가한다.

2.2 입도(Size)

석탄의 입도(Size)는 석탄 지름의 크기로 나타낸다. 주로 0~50mm Size로 선탄(選炭)한 석탄이 거래된다. 특히 미분회(微粉灰) 함유량이 많을 경우 운송, 저장 사용시 여러 가지 문제를 야기한다.

다.

2.3 점결성과 비점결성

2.3.1 점결(粘結, Caking)

300~400℃ 부근에서 열연화성(熱軟化性)을 보이고, 유동현상을 나타내는 한편, 열분해 가스 발생에 의해 팽창하고 450~500℃ 부근에서 고화(固化)에 의해 수축하는 현상을 의미한다.

2.3.2 비점결(非粘結, Non-Caking)

석탄을 가열시 가스와 타르를 생성하고 석탄입자는 용융하지 않고 탄소만의 고체 잔사로 남는 현상을 나타낸다.

2.3.3 점결성의 측정

○ 자유팽창지수(F.S.I= Free Swelling Index)

석탄의 자유팽창성(自由膨脹性, Free Swelling Properties of Coal)을 측정하며, 석탄의 점결성 유무를 판단하는 1차적 기준으로서 점결성의 등급을 정한다.

British Standards에서는 C.S.N.(Crucible Swelling Number)이라고 하며, 측정방법은 ASTM D720이다.

○ 유동성(Fluidity)

연화용융(軟化熔融) 과정의 석탄 유동성을 측정하는 것으로 Gieseler식과 Davistlr이 있으며 일반적으로 전자가 많이 사용된다. Gieseler Plastometer(ASTM D2639)는 Report에 분탄(粉炭)을 장입하고 교반봉(Stirrer)을 중앙에 세운 후, 이에 일정한 회전력을 가한 후, 온도상승에 따른 교반봉의 회전속도를 측정한다.

① I.S.T.(Initial Softening Temperature) :

The temperature at which the dial movement reaches 1.0 d.d.p.m.

② M.F.T.(Maximum Fluid Temperature) :

The temperature at which the dial movement reaches the maximum rate.

③ S.F. (Solidification Temperature) :

The temperature at which the dial movement stops

④ (Maximum Fluidity) :

The maximum rate of dial movement in d.d.p.m.

○ 팽창성(Dilatation)

연화용융 과정에서 팽창과 수축을 Dilatometer를 사용하여 측정하고 측정방법은 분탄으로 연필 모양의 시료를 만들어 가열할 때 길이의 변화를 측정하는 것이다.

2.4 광물질(Mineral Matter)

석탄은 유기물질과 무기물 광물로 구성되는데, 석탄을 연소할 경우 분해되거나 대부분 산화하여 금속산화물 형태의 Ash가 남는다. 이러한 연소후의 화분중량(灰分重量)은 원래의 광물질보다 약간 적으나 칼슘분이 많은 석탄의 경우는 황산화물을 포함하고 있어 광물질 중량보다 회분 중량이 커질 수도 있다. 광물질은 불연성(不燃性)의 회분(灰分)을 발생시키므로 발열량을 감소시킨다.

2.5 밀도(Density)

단위 체적당 물질의 중량을 나타낸다. 이는 중량기준 구성비를 체적기준 구성비로 전환하는데 필요하다.

중량기준 Ash(A) 및 황(S)을 체적기준 광물질(MM)로 전환시키는 데는 다음 식을 사용한다.

$$MM = \frac{100[(1.08A + 0.55S)/2.8]}{[100-(1.08A + 0.55S)] / 1.35 + (1.08A + 0.55S / 2.8)}$$

3. 발열량(Heat Value)

석탄의 발열량(Calorific value)은 한 단위의 연료를 완전히 연소할 때 발생하는 열의 양(amount of heat)으로, 석탄이 함유하고 있는 화학적 에너지로 석탄의 연료 가치를 결정하는 인자(因子)라 하겠다. 석탄의 발열량 Q는 시료 1~2g을 가압 9~25MPa 하에서 밀폐된 열량계를 사용하여 이때 발생한 열량으로 결정한다. 통상적으로 Btu/lb(British thermal units per pound)로 나타내며 Calories나 Joules 단위로 환산할 수 있다. 또한 CV는 열량계(Calorimeter)에 의해 측정되며, 가장 많이 쓰이는 열량계는 Adiabatic Bomb Calorimeter 및 PARR Calorimeter 이고 측정방법은 ASTM D2015에 규정되어 있다.

○ Conversion Factors for Calorific Value

Given	Wanted	Multiplied by
Btu/lb	kcal/kg	0.5558
	MJ/kg	0.002327
Kcal/kg	Btu/lb	1.7992
	MJ/kg	0.001486
MJ/kg	kcal/kg	238.89
	Btu/lb	429.8

석탄의 발열량은 총발열량(高發熱量, **gross** calorific value/high heat value)으로써 측정되는데 발열량 측정장치에서는 연료 속의 수분 및 수소분의 연소에 의해 생기는 수증기는 측정장치(bomb)내에 응축하여 이 응축열이 측정열량 중에 포함되어 있기 때문이다. 그러나 실제의 보일러에서의 연소에서는 이 수증기가 응축되지 않고 배출되므로 로내(爐內)에서 작용할 수 있는 열량은 측정 칼로리보다 낮은 것이 된다. 이것을 저발열량(低發熱量, **net** calorific value/low heat value)이라고 한다. 저발열량은 측정에 의하지 않고 고발열량과 수분 및 수소 성분 함유량에 따라 계산에 의한다.

3.1 고위 발열량(High Heat Value or Gross Calorific Value)

연료의 완전연소에 의하여 발생하는 수증기의 잠열(潛熱, the latent heat of the water vapor in the products of combustion)을 포함한 열량계에서 나타나는 모든 열량을 말한다. 즉, 연료의 완전 연소시 발생한 열량과 이때 생긴 가스가 원래의 온도로 냉각되는 열량 및 가스내에 함유된 수증기(연료중의 수분과 수소반응에 의한 수분)가 액화함으로서 얻어지는 열량의 합을 말한다. (연소시 연소 가스 중의 수분이 완전 응축된 상태를 기준으로 하여 연소 가스의 현열(顯熱)을 포함한 것)

그러나 보일러를 실제 운전할 때 폐기(廢氣) 중의 수증기(water vapor in the combustion gas leaving)는 노점(露點, dew point)이하로 냉각되지 않기 때문에 수증기의 잠열은 증기발생에 이용할 수 없다.

$$\text{HHV} = 8100c + 34200\left(h - \frac{o}{8}\right) + 2500s(\text{kcal/kg})$$

[c, s, w, h, o : 탄소, 유황, 수분함량(%) 및 항습기준 수소, 산소함량(%)]

3.2 저위 발열량(Low Heat Value or Net Calorific Value)

고위 발열량에서 수분의 증발잠열을 뺀 발열량으로 연소 가스중의 수분이 증기로 존재하는 상태를 기준으로 한 것이다.

무연탄 및 유연탄의 발열량은 다음 식에 의해 대략적인 수치를 계산할 수 있는데, 원소분석 결과에 의한 Dulong식에 의하면,

$$\text{LHV} = 8100c + 28600\left(h - \frac{o}{8}\right) + 2500s - 600w (\text{kcal/kg})$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 600 \times (w + 9h) (\text{kcal/kg})$$

[c, s, w, h, o : 탄소, 유황, 수분함량(%) 및 항습기준 수소, 산소함량(%)]

$$\text{혹은, LHV} = \text{HHV} \times 0.976 - 128 (\text{kcal/kg})$$

직접 측정한 발열량 치가 없을 때는 석탄의 원소 분석 치로부터 Dulong이 제시한 상관식으로 부터 발열량을 추정할 수 있다.

$$Q = 145.4(\%C) + 620.28(\%H) - 77.5(\%O) + 40.5(\%S)$$

여기서 Q는 건조된 회분이 없는 발열량으로 Btu/lb 또는 cal/g으로 표시된다.

미국 및 유럽 석탄연구결과에서 얻은 Mott와 Spooner의 식은

[산소 함량 11%이하 시 적용]

$$Q = 144.5(\%C) + 610(\%H) - 62.5(\%CO) + 40.5(\%S)$$

[산소 함량 11% 이상시 적용]

$$Q = 144.5(\%C) + 610(\%H) - 65.9 - 0.31(\%O) + 40.5(\%S)$$

[수분을 함유한 석탄을 건조한 기준으로 치환하려면]

$$\%C(\text{건조}) = 100 \times [\%C / (100 - \%H_2O)]$$

[건조되고 회분이 없는(dry and free basis : DAF) 기준으로 치환하려면]

$$\%C(\text{건조, 무회분}) = 100 \times \%C[100 - (\%H_2O + \%회분)]$$

그러나 원소분석치에 의한 정확한 열량계산은 대단히 어렵고 KS에 의한 칼로리미터의 측정값

에는 다음과 같은 오차가 기본적으로 내포된다.

연소성 황에 의한 황생산성 회석열 : 100kcal/kg(연소성 황 0.3~3% 범위)

질소성분에 의한 질산생성 회석열 : 10kcal/kg

유효수소분에 의한 압력 강하열량 : 7~8kcal/kg

4. 기타

4.1 유황형태 및 미량원소 분석(Forms of Sulfur & Trace Element)

4.1.1 Form of Sulfur(ASTM D2492)

석탄에 함유된 유황성분을 일반적으로 알려진 세 가지 형태로 측정하며 측정결과는 석탄의 유황함량을 감소시키기 위한 Coal Preparation Processing Operations를 위해 석탄의 품질을 평가하는 등 여러 가지 목적에 사용된다.

- ① Sulfate Sulfur : 황산염 이온 형태, 묽은 염산(dilute hydrochloric acid)에 용해되는 성질을 이용해 측정한다.
- ② Pyritic Sulfur : 황철광(FeS_2 , pyrites) 형태로 존재. 묽은 질산(dilute nitric acid)에 용해되는 성질을 이용해 측정한다.
- ③ Organic Sulfur : 석탄성분과 유기화합형태로 존재한다. 총유황량에서 sulfate 및 pyritic sulfur를 감하여 측정한다.

4.1.2 Trace Elements

석탄에 포함된 미량의 금속함량을 분석하며, 석탄의 연소나, 잔존물의 폐기는 환경에 대한 문제를 일으키므로 이 미량원소의 분석은 환경에 대한 영향 평가를 위해 행하여진다.

4.2 암석학적 분석(Petrographic Analysis)

석탄은 식물체로부터 유래된 유기질인 Maceral과 Mineral 및 외부로부터 침적된 Mineral의 이질성 혼합물이며, 석탄의 물리적 구성은 Rank(탄화정도)에 관계없이 유기역암(有機礫岩, Organic Conglomerate)와 유사하여 여러 가지 암석 형태로 이루어져 있는데, 석탄의 암석학적 특성(Litho-type)을 분석하는 방법에는 육안에 의한 방법(Macrolitho Type)과 현미경에 의한 방법(Microlitho Type)이 있다.

4.2.1 Maceral Component

석탄의 유기질은 현미경하에서 반사성, 광학적 성질 및 형태에 따라 다음과 같이 분류된다.

① Vitrinite Group (Symbol : V) : 식물의 목질로부터 생성되었고, 세포조직은 잔존하는 Tellinite와 세포조직이 보이지 않는 Collinite로 구성되어 있으며, 석탄화도에 따라 점점 증가한다. Exinite에 비해 O와 C의 함량이 많고 석탄의 열분해 반응에 의해 초기단계(380~450℃)에서 분해가 시작되며, 타르와 Coke의 생성을 촉진한다.

② Exinite (Symbol : E) : 근원물질에 따라 Alginite(청녹색의 조류(藻類, Algae), Resinite(수지, Resin), Sporitinite(포자, Spore)와 Pollen(화분), Cutinite(식물의 잎, 나뭇가지 등의 껍질)등으로 나뉘며, 휘발분과 타르 함유량이 높고 가열시 급격한 휘발분 이탈로 다공성의 연약한 Coke가 생성되어 점결성 조정용으로 사용된다.

③ Inertinite(Symbol : I) : 불활성이며 점결성이 거의 없고 휘발분이 적다. (열분해 반응에 의해 생성되는 가스와 타르의 수율이 적다)

4.2.2 Reflectance

현미경하에서 석탄의 물리적 구성성분 표면의 Oil의 반사정도를 나타낸다. 과학적 연구나 산업 연구 목적으로 사용되며, 선적된 석탄의 품질 판정에는 사용되지 않는다.

4.2.3 Petrographic Indices

- $TR = V + E + (1/3) SF$ (Total Reactive)
- $TI = F + MM + (2/3) SF$ (Total Inert)
- CBI (Composition Balance Index)
- SI (Strength Index)

※ 분석 항목

1. PROXIMATE ANALYSIS

Moisture	%
VM (Volatile Matter)	%
FC (Fixed Carbon)	%
ASH	%
Fuel Ratio	%

2. ULTIMATE ANALYSIS

C (Carbon)	%
H (Hydrogen)	%
N (Nitrogen)	%
O (Oxygen)	%
S (Sulphur)	%

3. ASH ANALYSIS AND TESTS

Chemical analysis of Ash	%
Silicon as SiO_2	%
Aluminium as Al_2O_3	%
Iron as Fe_2O_3	%
Calcium as CaO	%
Magnesium as MgO	%
Sodium as Na_2O	%
Potassium as K_2O	%
Titanium as TiO_2	%
Manganese as Mn_3O_4	%
Sulphur as SO_3	%
Phosphorus P_2O_5	%

Total	%
-------	---

Ash Fusion Temperature

I.D.T. (Initial Deformation Temperature) °C

S. T. (Spherical Temperature) °C

H.T. (Hemispherical Temperature) °C

F.T. (Fluid Temperature) °C

4. PHYSICAL ANALYSIS

Mineral Matter

Size

H.G.I (Hardgrove Grindability Index)

Relative Density

Abrasion Index (mg steel/kg)

Magnetics

5. FORMS OF SULFUR & TRACE ELEMENT

Forms of Sulfur

Total Sulfur	%
--------------	---

Pyritic Sulfur %

Sulphate Sulfur	%
-----------------	---

Organic Sulfur	%
1	100
2	100
3	100
4	100
5	100
6	100
7	100
8	100
9	100
10	100
11	100
12	100
13	100
14	100
15	100
16	100
17	100
18	100
19	100
20	100
21	100
22	100
23	100
24	100
25	100
26	100
27	100
28	100
29	100
30	100
31	100
32	100
33	100
34	100
35	100
36	100
37	100
38	100
39	100
40	100
41	100
42	100
43	100
44	100
45	100
46	100
47	100
48	100
49	100
50	100
51	100
52	100
53	100
54	100
55	100
56	100
57	100
58	100
59	100
60	100
61	100
62	100
63	100
64	100
65	100
66	100
67	100
68	100
69	100
70	100
71	100
72	100
73	100
74	100
75	100
76	100
77	100
78	100
79	100
80	100
81	100
82	100
83	100
84	100
85	100
86	100
87	100
88	100
89	100
90	100
91	100
92	100
93	100
94	100
95	100
96	100
97	100
98	100
99	100
100	100

Trace Elements

Arsenic ppm (Mg/g)

Antimony ppm (Mg/g)

Selenium ppm (Mg/g)

Mercury ppm (Mg/g)

Cadmium ppm (Mg/g)

Cobalt ppm (Mg/g)

Lead ppm (Mg/g)

Molybdenum ppm (Mg/g)

Barium ppm (Mg/g)

Lithium ppm (Mg/g)

Strontium	ppm (Mg/g)
Beryllium	ppm (Mg/g)
Chromium	ppm (Mg/g)
Copper	ppm (Mg/g)
Manganese	ppm (Mg/g)
Nickel	ppm (Mg/g)
Vanadium	ppm (Mg/g)
Zinc	ppm (Mg/g)
Fluorine	ppm (Mg/g)

6. CALORIFIC VALUE

C.V. (Calorific Value)	Kcal/kg
------------------------	---------

7. PERTROGRAPHIC ANALYSIS

Maceral Component

V (Vitrinite)	%
	Collinite
	Tellinite
E (Exinite)	%
	Sporitinite
	Cutinite
	Resinite
	Alginite
I (Inertinite)	%
	Micrinite
	Macrinite
	Fusinite
	Inertodetrinite
	Semi-fusinite
	Sclerotinite

Reflectance

Mean Maximum Reflectance

Mean Random Reflectance

Petrographic Indices

TR (Total Reactive)

TI (Total Inert)

CBI (Composition Balance Index)

SI (Strength Index)

8. CAKING PROPERTIES

Free Swelling Properties

F.S.I. (Free Swelling Index)

Plastic Properties (Fluidity)

I.S.T. (Initial Softening Temperature)

M.F.T (Maximum Fluidity Temperature)

S.T. (Solidification Temperature)

M.F. (Maximum Fluidity)

Dilatation

CT (Contraction)

DT (Dilatation)

TD (Total Dilatation)

※ 자료원 : (주)삼탄 석탄이론 및 응용