

## 고정탄소-회분함량관계모형에 기초한 석탄의 공업분석자료해석

박준철, 최명룡

우리는 이미 흑연이나 석탄과 같은 함탄소광물에서 성립하는 고정탄소-회분함량관계에 대한 비경험적인 모형을 제기하였다.

석탄에는 흑연보다 휘발분함량이 많으며 휘발분함량은 맥석의 함량뿐만아니라 석탄의 종류 즉 탄화정도에도 크게 관계되므로 측정에서 재현성을 보장하기 힘들다. 그러므로 통계적인 분석자료와 모형을 결합시켜 반경험적방법으로 회귀결수들을 결정하고 회분함량(또는 작열감량)으로부터 고정탄소함량과 휘발분을 계산하는것이 더 편리하다.

석탄은 흑연과는 달리 연료이므로 발열량이 가장 중요한 공업분석지표로 된다. 그러므로 회분함량-발열량, 작열감량-발열량사이의 경험적인 모형들을 리용하고있다.[3-5]

본문에서는 이미 발표된 석탄의 공업분석자료[1, 2]들을 우리의 비경험적인 모형으로 해석한 결과들을 서술하였다.

### 1. 회분-발열량관계모형

문제를 간단하게 하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

첫째로 순수한 석탄에는 회분이 없다. 즉 석탄에 들어있는 금속유기화합물이나 유기착체에서 금속에 의하여 생기는 회분은 무시한다.

둘째로 맥석이 함유하고있는 휘발분은 불타지 않는다.

함탄소광물에서 고정탄소와 회분사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$C = \frac{-(1-V_c)}{1-V_0} \cdot A + (1-V_c) \quad (1)$$

여기서  $C$ 는 고정탄소함량(질량%),  $A$ 는 회분함량(질량%),  $V_0$ 은 순수한 맥석의 휘발분함량(질량%),  $V_c$ 는 순수한 고정탄소의 휘발분함량(질량%)이다.

고정탄소함량이  $C$ 인 석탄의 총휘발분함량은 다음과 같다.

$$V = V_1 + V_2 \quad (2)$$

여기서  $V_1$ 은 고정탄소의 휘발분함량,  $V_2$ 는 맥석의 휘발분함량이다.

$$V_1 = \frac{V_c}{1-V_c} \cdot C, \quad V_2 = \frac{V_0}{1-V_0} \cdot A \quad (3)$$

한편 고정탄소함량이  $C$ 인 석탄의 발열량은 고정탄소몫과 석탄의 휘발분  $V_1$ 의 몫으로 이루어지므로

$$Q = q_c \cdot C + q_v \cdot V_1 \quad (4)$$

여기서  $q_c$ 는 고정탄소(흑연)의 발열량,  $q_v$ 는 고정탄소안에 있는 휘발분의 발열량이다.

고정탄소와 휘발분의 혼합발열량을  $q$ 라고 하면

$$Q = q(1 - A - V_2) \quad (5)$$

$$q = q_{\text{흑연}}(1 - V_c) + q_v \cdot V_c \quad (6)$$

이며 식 (1), (3)을 고려하면 다음과 같다.

$$Q = -\left(1 + \frac{V_0}{1 - V_0}\right) \cdot A \cdot q - q \quad (7)$$

식 (7)에서  $V_0$ 과  $q$ 는 탄발의 맥석이 주어지면 상수로 결정되므로

$$Q = -a \cdot A + b \quad (8)$$

인 직선의 방정식으로 된다.

안주지구 탄광의 발열량-작열감량자료[3]를 리용하여 발열량결수를 결정한 결과는 표 1과 같다. 이때 발열량과 작열감량( $V+C$ )사이에는 다음의 경험식을 리용하였다.

$$Q = K(V + C) \quad (9)$$

표 1. 안주지구 탄광들에서 쓰는 발열량결수

$(V+C)/\%$	$K/(kJ \cdot kg^{-1})$	$(V+C)/\%$	$K/(kJ \cdot kg^{-1})$	$(V+C)/\%$	$K/(kJ \cdot kg^{-1})$	$(V+C)/\%$	$K/(kJ \cdot kg^{-1})$
88.0	297.6	73.1	290.1	55.0	275.9	39.0	263.3
87.0	296.8	71.0	289.3	53.0	271.7	37.0	261.7
85.0	296.0	68.0	288.0	51.0	270.4	35.0	260.0
83.0	295.1	66.0	287.2	49.0	269.6	30.0	256.2
81.0	294.3	64.0	286.3	47.0	268.8	25.0	243.7
79.0	292.6	62.0	285.5	45.0	268.0	20.0	204.0
77.0	291.8	60.0	284.7	43.0	266.7	15.0	171.4
75.0	288.4	58.0	280.1	41.0	265.0	10.0	129.6

표 1의 자료를 회분-발열량자료로 전환하고 최소두제곱법으로 회귀방정식을 결정하면 다음과 같다.

$$Q = -76.67A + 29\ 824.3 \quad (10)$$

식 (10)은 표 1의 자료를 비교적 정확히 반영한다. 즉 안주지구 석탄의 순수한 석탄발열량은 29 824.3kJ/kg이라는것과 석탄에서도 흑연에서도 마찬가지로 고정탄소-회분, 회분-발열량사이에 선형관계가 성립된다는것을 보여준다.

식 (6), (7)로부터  $Q/b = 1/(1 - V_0)$  이므로 안주지구 석탄의  $V_0$ 값(6.94%)을 알수 있다. 또한 탄소의 발열량(32 792.1kJ/kg)과  $b$ (29 824.3kJ/kg)값으로부터 안주지구 석탄의 고정탄소함량은 90%이하이고 순수한 석탄의 휘발분은 10%이상이라는것을 알수 있다.

만일 순수한 석탄의 휘발분의 발열량이 탄수화물과 류사하다면 식 (6)으로부터

$$V_c = \frac{q_{\text{흑연}} - q}{q_{\text{흑연}} - q_v} \quad (11)$$

이므로  $V_c \approx 20\%$ , 순수한 석탄의 고정탄소함량은 80%이다.

## 2. 탄전들에서의 회분-발열량사이관계

우리 나라 평안남도의 주요탄전들에서의 공업분석자료들의 변동폭들을 탄상별로 구분하고 그 중심값들을 마른 시료의것으로 변환한 자료들은 표 2, 3과 같다.[2] 일부 자료들에서 작열감량( $V+C$ )의 값을 보존하면서  $V$ 와  $C$ 의 값을 순서대로 수정하였다.

표 2. 평남북부탄전에서 탄상별평균공업분석자료

탄상	V/%	A/%	C/%	$Q/(kJ \cdot kg^{-1})$
1	6.63	13.78	79.59	27 390
2	6.70	14.43	78.87	26 163
3	7.39	14.78	77.83	26 999
4	7.65	19.39	72.96	25 116
5	7.88	12.81	79.31	28 046
6	6.53	10.55	82.91	28 674

표 3. 평남남부탄전에서 탄상별평균공업분석자료

탄상	V/%	A/%	C/%	$Q/(kJ \cdot kg^{-1})$
1	5.18	10.36	84.46	30 708
2	7.07	13.13	79.8	28 987
3	5.53	17.09	77.39	27 249
4	6.53	14.07	79.4	27 834
5	5.67	13.92	80.41	28 202

표 2, 3의 회분-발열량자료를 최소두제곱법으로 처리하여 회귀방정식을 결정하였다.

$$Q = -415.24A + 32\,998.39 \quad (12)$$

$$Q = -527.35A + 35\,828.14 \quad (13)$$

식 (12), (13)으로부터 평남북부탄전과 평남남부탄전의 순수한 석탄의 발열량은 각각 32 998.39, 35 828.14kJ/kg이며 회분과 발열량사이에 선형관계가 성립한다는것을 알수 있다. 탄광들에 이 모형을 적용하면 순수한 석탄의 발열량을 쉽게 계산할수 있다.

## 맺 는 말

석탄에서 회분과 발열량사이에 선형관계가 성립되며 결수  $a$ ,  $b$ 는 단순한 회귀결수가 아니라 물리적인 의미를 가진다.

이 모형은 한 광산에서뿐만아니라 탄맥이 서로 비슷한 탄전들에서도 성립한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 배영수 등; 흑연자원, 김일성종합대학출판사, 45~48, 주체93(2004).
- [2] 김철근; 석탄원유지질학, 공업출판사, 35~42, 주체96(2007).
- [3] 신태록; 역류선탄, 공업출판사, 45, 주체87(1998).
- [4] A. D. Ellerman et al.; The Future of Coal, Massachusetts Institute of Technology, 1~10, 2007.
- [5] J. G. Speight; Handbook of Coal Analysis, Wiley Interscience, 1~12, 2005.

주체105(2016)년 3월 5일 원고접수

**Interpretation of the Industry Analytical Data of Coal based  
on the Fixed Carbon-Ash Content Relative Model**

*Pak Jun Chol, Choe Myong Ryong*

The liner relation between the ash and the carorific value in coal is established and the coefficient  $a$  and  $b$  are not only regression coefficient but also have the physical meaning. This model is satisfied not only a coal mine but also the other one with similar vein of coal.

Key words: fixed carbon, ash, relation model, carorific value