ハードグローブ試験法における充填量の効果

—昭和45年11月4日第7回石炭科学会議講演—

工学院大学 吉村 慶英・藤原 幸男
高森 伸一・山本 広明

1. 緒 言

石炭の粉砕性（粉砕能）を数量的に表わす手段としてハードグローブ指数（H. I., H. G. I.）がある。ハードグローブ指数は、A. S. T. M. 16~30 mesh に整粒した一定量（50 g）の石炭をハードグローブ試験機で一定のエネルギーを加えて粉砕し、粉砕生成物の A. S. T. M. 200 mesh 以下の重量を測定して、算出することができる。

しかし、このような指数の算出法では多少の問題点も考えられる。その一つの問題点はハードグローブ試験機への試料の充填量に関するものである。すなわちハードグローブ試験法では試料の充填重量を 50 g で一定に規定しているが、試料の比重に差がある場合には充填容積に差がでて、したがって、試験機の粉砕機構にも影響してくる。

ここでは、主として、この問題点に関する実験を行なったが、また同時にこれと関係の深い灰分量の問題についても検討を行なった。

2. 実験方法

実験内容は灰分量と粉砕性の関係を求める実験と充填容積の影響を調べる実験とに大別される。

2-1 試 料

三池、太平洋、高松の3炭種（原炭）を一定方法で粉砕し、全部 A. S. T. M. の 16 mesh 以下とし、30 mesh 以下はすべて試料とした。したがって試料の粒度範囲は A. S. T. M. 16~30 mesh で、その工業分析値を Table 1 に示し、諸特性値を Table 2 に示す。また 30 mesh 以下の粒分をすてるまえに全粒分の粒度分布を測定した。その結果は Table 2 に、その結果の一部分は Fig. 1 に示されている。

Table 2 における文字は、 ρ : 16~30 mesh 試料の平均比重、 n : ロージン・ラムラー式の定数で直線の傾斜すなわち粒径のそろっている程度を示し、 b : ロ

ージン・ラムラー式の定数で縦軸の切片すなわち粒子の細かさの程度を表わす。ただし、ロージン・ラムラーの式は、残留累計重量 % を R 、粒径を d とすれば

$$R = 100 \exp(-b'd^n) = 100 \times 10^{-bd^n}$$

この式を変化して

$$\log(2 - \log R) = n \log d + \log b$$

で表わされる。

粒径 d_{st} でロージン・ラムラーのプロットにおける直線部分の領域を示した。 d の単位は mm である。

Fig. 1 R-R distribution (Taiheiyō)

Table 1 Specific gravity, hardgrove index and proximate analysis

Sample	Specific gravity	H. G. I.	Moisture %	Ash %	Volatile matter %	Fixed carbon %	Calorific value kcal/kg
Miike coal	Original	1.29	56.2	1.5	13.8	42.0	7230
	Separated	1.16		1.1	5.8	44.9	8110
		1.24	58.0	1.2	7.7	42.7	7800
		1.32	65.7	1.2	20.8	39.8	6620
		1.40	46.0	1.2	30.5	36.1	6010
		1.48	39.5		38.5		
		1.55	43.0				
		1.73	70.0		51.0		
Taiheiyo coal	Original	1.29	37.1	5.8	9.8	44.9	6590
	Separated	1.16			5.7		
		1.24	40.5	5.9	6.4	47.0	6950
		1.33	35.8	5.1	18.2	43.9	5960
		1.40	30.5	5.0	27.3	40.3	5370
		1.48	31.5		35.4		
		1.56	31.3		41.0		
Takamatsu coal	Original	1.33	38.4	4.4	12.4	40.7	6540
	Separated	1.24		4.6	3.7	43.8	7290
		1.31	41.2	4.8	8.3	41.1	6830
		1.39	47.5	3.7	22.5	39.9	5830
		1.47	33.7	3.5	30.7	36.2	5130
		1.55	32.3		38.5		
		1.62	32.3				
		1.67					
		1.73	44.0		57.0		

Table 2

		Miike	Taiheiyō	Takamatsu
Specific gravity	ρ	1.285	1.285	1.325
	n	1.000	1.200	1.100
	b	0.690	0.525	0.500
	d_{st}	0.125 ~ 0.920	0.062 ~ 0.90	0.058 ~ 0.65
	$2-\log R$	0.0685 ~ 0.645	0.0178 ~ 0.50	0.019 ~ 0.285
-16 ~ + 30 (A)	Weight percent	38.24	48.45	45.60
	Surface area (cm ²)	1536	1909	1804
-30 ~ +200 (B)	Weight percent	52.77	45.45	47.50
	Surface area (cm ²)	7514	7066	6925
-200 (C)	Weight percent	8.99	6.10	6.90
	Surface area (cm ²)	5408	3958	3488

2-2 灰分量と粉碎性 (H. G. I.) の実験

2-1 で説明した試料を比重約 1.2 から 1.8 の塩化亜鉛の比重液で浮沈法によつて分離し灰分含有量に差をもつ石炭試料を採取した。その比重分布の状態は

Fig. 2 に示されている。

各比重部分に分離された試料は、その粉碎性を求めるためにハードグロブ試験を行ない、試験後の粒子の粒度は篩とアンドレアセン沈降法によつてその分布

Fig. 2 Distribution of specific gravity in sample

を測定した。太平洋炭の場合についての結果を前述の Fig. 1 に示す。

2-3 充填容積変化の実験

石炭の灰分量は石炭の比重に、石炭の比重はハードグローブ試験機中の試料の充填容積に変化をあたえる。

そこで、石炭の粉碎性にあたえる灰分量の影響を検討するためには、同時に充填容積の影響も考慮する必要がある。前記 2-1 の試料を使って見掛充填容積と H. G. I. の関係を求める実験を行なった。また、見掛充填容積と充填重量との関係も後述するように別に求めている。

3. 実験結果と考察

3-1 灰分量と粉碎性 (H. G. I.) との関係

灰分量と粉碎性との関係を求めた報告は多数ある¹⁻⁹⁾。しかし、従来の報告からこれらの関係を推定することは困難であり、さらに、灰分量とハードグローブ指数との関係は求めているも比重のデータが記されていない場合もあるので灰分と H. G. I. の関係を求める実験を行なうことにした。

各炭種についての比重分離実験結果について比重分布をプロットすれば Fig. 2 のようになり、分布の最頻値は各炭種とも比重 1.3 近辺から 1.4 近辺のあいだにある。また三池炭は比重 1.6 近辺に第 2 の分布の山をもつ。

比重と石炭の灰分量とのあいだにはかなり判然とした関係がある (Fig. 3 参照)。この傾向は Ghosal²⁾ その他の報告⁶⁾ とも一致している。すなわち、灰分量が増加すれば石炭の比重も増加する。そして、比重が増

Fig. 3 Relation between specific gravity of coal and its ash content

加することは比容積が減少することであり、比容積が減少することはハードグローブ試験機の試料の充填容積が減少することになる。換言すれば、石炭中の灰分量の増加はハードグローブ試験機への試料の充填容積を減少させる結果となり、このことは粉碎機構に影響をあたえることになる。

この充填容積変化の影響を一応無視して灰分と H. G. I. との関係をプロットすれば Fig. 4 のようになる。すなわち、三池、太平洋、高松でその傾向はかなりちがっている。

この Fig. 4 のような傾向を、それぞれの石炭の灰分と H. G. I. の関係をみてよいだろうか。この問題を検討するために、つぎの充填容積変化の実験を行なった。

Fig. 4 Relation between ash content of coal and its H. G. I.

3-2 ハードグローブ試験機の試料の見掛充填容積と H. G. I. の関係^{9,10)}

Fig. 5 に示すように、試料のハードグローブ試験機への充填重量と充填見掛容積とのあいだには、単純な

Fig. 5 Apparent volume v.s. specific gravity

Fig. 6 H. G. I. v.s. apparent volume

関係がある。この関係はメスシリンダーを使って求めたものであるから、ハードグローブ試験機内の試料の見掛充填容積とは一致せぬことも考えられるが、相対的な値としては充分利用できるものと思われるので、このグラフを使用して、つぎに行なう充填容積変化の実験において、充填重量を見掛充填容積に換算した。

その実験の結果は、Fig. 6 に示されているとおりであるが、三池炭を除外すれば、他の炭種ではハードグローブ試験機にかけられる試料の見掛充填容積が変化しても H. G. I. はほとんど変化しないことがわかる。

したがって、Fig. 4 の石炭の灰分量と H. G. I. との関係は、太平洋、高松炭の場合には見掛充填容積の差にもとづく H. G. I. 値変化の補正をする必要は認められず、Fig. 4 の関係をそのまま灰分と H. G. I. の関係としてみればよいが、三池炭の場合には、補正をすれば、灰分と H. G. I. の関係は多少変ってくるであろう。Fig. 3, Fig. 5, Fig. 6 の三池炭の関係を使つて Fig. 4 の三池炭の灰分と H. G. I. の関係の補正を行なえば、同図の黒印のようになる。なお、ここで附記しておかねばならぬことは、見掛充填容積は、ハード

グローブ試験機への試料の充填重量が決められれば、石炭の比重のみに関係して炭種に無関係であるから、Fig. 5 はいかなる炭種についても適用できるということである。

Fig. 4 における補正した関係（黒印）からみて、灰分の差にもとづく充填容積の影響が現われてくる三池炭ですら、その影響はわずかである。まして、Fig. 6 から、他の 2 炭種については全く影響がないとみてよいであろう。しかし、見掛充填容積と H. G. I. との関係は Fig. 6 からわかるように、石炭の粉碎性 (H. G. I.) が増加するにしたがつて、右上りの直線となり、充填容積の影響が徐々に強く現われてくる可能性がある。今回は、実験炭種の点数不足（わずか 3 炭種）で確実なことはいえないが、もし三池炭より H. G. I. の高い石炭についてこの関係をプロットすれば、さらに右上りの傾向の強い関係を得ることになるかもしれない。

要約すれば、今回の実験の範囲内では灰分と H. G. I. との関係は、灰分量の差による試料石炭の比重変化すなわち見掛充填容積の変化に関する補正はほとんど必要がないということがいえるであろう。その理由としては、Fig. 6 の関係、すなわち充填容積が変化しても H. G. I. にはほとんど影響をおよぼさぬという実験結果がたしかめられたからである。

3-3 粉碎正味仕事量

最後に、ハードグローブ試験機内の試料石炭にあたえられる粉碎の正味エネルギーが見掛充填容積にいかん左右されるかを Fig. 6 から検討してみる。

Fig. 6 のハードグローブ指数は

$$H. G. I. = 13 + 6.93 W$$

の式をそのまま使つて求めたものであるが、試料の見掛充填容積を変化させても、ほとんど H. G. I. の値が変化しないということは、200 mesh 以下の重量 W にはほとんど変化がないということである。このことは換言すれば、正味の粉碎仕事量が試料石炭の見掛充填容積に影響されることなく一定、すなわち、試料石炭の比重を一定（試料石炭の炭種を一定）とすればその充填重量に影響されることなく一定であるということである。したがって、試料石炭の炭種が一定なら、試料石炭にあたえられる単位見掛充填容積当りの正味粉碎仕事量は充填容積が増加すれば減少するということを示している。

また、充填重量変化によつてほとんど H. G. I. 値が影響を受けないということ (Fig. 6) は、ハードグローブ試験機に装填する試料重量を 40 g あるいは 60 g

としても差支えないということであり、正確に 50g を装填するということの意味をうしなうことである。

4. 結 論

4-1 石炭の灰分量変化と H. G. I. との関係に、灰分量変化にもとづく比重変化の影響はほとんど考える必要がないように思われる。

4-2 したがって、従来から多数報告されている灰分対 H. G. I. の関係はそれ自身意味あるものと思われる。

4-3 ハードグローブ試験機の試料の充填量は、多少変化しても、ハードグローブ指数の測定値にほとんど影響をあたえないようである。したがって、試料を 50g 正確にとるという規定に多少の疑問を感じる。

4-4 前記の、試料の充填量いかにかわらず粉砕後の 200 mesh 以下の重量が一定ということは、充填重量のいかにかわらず試料に加えられる正味粉砕エネルギーが一定であるというようにも考えられるし、またそれは単位重量あたりの粉砕エネルギーは充填重量が増加すれば減少することを意味しているもの

ではないかと思われる。

文 献

- 1) A. Fitton, T. H. Hughes, T. F. Hurley, *J. Inst. Fuel*, **30**, 50 (1957)
- 2) A. Ghosal, L. C. Roy, R. V. Bose, A. Lahiri, *J. Inst. Fuel*, **30**, 50 (1957)
- 3) 土居滋章, 燃料及燃焼, **26**, 345 (昭34)
- 4) Parimal Sen, A. N. Roy, *J. of Scientific and Industrial Research*, A-General, **17**, 282 (1958)
- 5) 通地信義, 永山伝, 電研所報, **4**, (5・6), 115 (昭29)
- 6) 吉村慶英, 鉄道技術研究報告, 160号, 共通編18号 (1960)
- 7) 丸山敏彦, 燃協誌, **44**, 464 (1965)
- 8) 丸山敏彦, 燃協誌, **45**, 476 (1966)
- 9) 松居国夫, 関口丘男, 栗原利男, 化工協会, 第34年会 (1969)
- 10) 麻生欣次郎, 諫山幸男, 河本徳, 原剛, 九州鉱山学会誌, **33**, 5 (昭40)

討 論

座長 本 間 寅二郎 (公害資源研)

竹下(九州大学): ハードグローブ指数を測定する際、充填容積変化がどのように影響するかということをもた研究テーマに選んだのか。

吉村: 測定許容誤差が同一実験室で、2%, 異室の場合 3% であり、精度 0.1g の天秤が必要である。現場などで測定する場合、これらの条件をもう少しゆるめることができないだろうかと考え、実験した。

竹下: 灰分による比重変化影響を考えるよりも、灰分の化学組成に重点をおいた方がよいのではないか。

吉村: いままでに灰分の化学組成とハードグローブ指数の関係は、シリカまたはカルシウムなどの成分に対して関係を研究したものや、そのほか多少あるが、本実験はそれらを含めて、灰分との関係として研究した。

宮津(日本鋼管): 試料について、伺いたい。三炭種の前炭をどのような一定方法で粉砕したか。すてた 30 mesh 以下は何%位なのか。Table 1 の original のデータは 16~30 mesh に整粒する 前のものか 後のものか。

吉村: 乳鉢を用いて手で粉砕した。一度にでは時間がかかるので、数回に分けて行なつた。一定性を欠くが止むを得ないと思う。すてた 30 mesh 以下の数量は Table 2 の -16~+30 (A) に示されているとおりである。Table 1 の original とは 16~30 mesh に整粒した試料である。

宮津: ハードグローブ法に限らずこのような実験には、試料採取法が重要なポイントになる。試料の粉砕は、一定方法というよりはむしろ何回にもわけて、16~30 mesh 粒度分の歩留をできるだけ多くするような方法で行なつた方が望ましいと思う。

本間: -200 mesh の重量が一定だから、粉砕エネルギーが一定であるという結論は少し早計だと思う。粉砕エネルギーは比表面積の増加または粒度分布などで示して欲しいが、何か詳しいデータはないか。

吉村: W と比表面積との差があまりないような結果がでたので、 W で代表してもよいと考える。

村田(日本揮発油): 石炭は不均質なものだから試料採取のときにすててしまうと、不均質なものを選択的にその中に入ってしまう。また比重と一次的に相関しているのは、石炭組成であると考ええる。この組成の中には無機質もあるが、有機質の組成の変化も非常に影

響があると思う。本実験では石炭の組織成分をチェックした方が望ましかったと思う。

吉村：石炭組織も考えられるが、一番影響されるのは、やはり灰分ではないかという推定のもとに実験した。石炭組織と灰分がバラな関係を持つていない場合これら比重を補正するのがむずかしいと思う。

村田：三池炭の比重分布で 1.6 近辺に特殊なピークがあるが、このような石炭については、いままでにかなり石炭組織と比重の関係は研究されているので、今回の実験に利用されるか、試料の石炭組織成分を示せば大変参考になったと思う。

吉村：今後検討したい。ただ石炭組織成分と灰分がバラの関係にあると実験が進め易い。

村田：バラの関係にないものでも、粉碎性には大きな影響があると思う。

佐々木(地質調査所)：-200 mesh 以下の重量が一

定という結論だが、一つの炭種について比重別にわけ測定しても一定なのか。またもつと数多く統計的に測定してからでないと、このような結論を出すのは冒険だと思うが。

吉村：たしかに実験数が不足していると思う。

木村(公害資源所)：三池炭の場合、比重の低い部分で、灰分が逆転しなかつたか。

吉村：完全に逆転した部分はなかつたが、細かく比重分離すれば現われたかも知れない。よく調べてみないとわからない。

村田：これは先程述べられたとおり、30 mesh 以下を 50% 位すてているので、その灰分中に含まれているのではないかと考えられる。したがって本実験では石炭について全体を語っているものではないように感じられる。

Effect of Charge Volume in the Hardgrove Grindability Test

by Yoshihide Yoshimura, Yukio Fujiwara,
Shinichi Takamori, Hiroaki Yamamoto

(Department of Chemical Engineering, Kogakuin Univ.)

SYNOPSIS:— In the present report, the experimental results are summarized as follows.

1. It is reported by a number of workers that there are some different sort of relationships between the ash content of coal and of its grindability (Hardgrove Grindability Index). Seeing that this complexity of the relationships can be attributed to the specific gravity of coal changing together with its ash content, the authors have attempted to investigate the effect of specific gravity of coal upon the grindability. As the result, the effect of specific gravity of coal upon its grindability is neglected reasonably.

2. In the standard method of test for grindability of coal by the Hardgrove Method, 50 grams of sample of coal shall be charged accurately. In accordance of our experimental results, change of weight (or volume) of charged sample has no influence upon the value of Hardgrove Index. Then, we shall not find important meaning in charging of sample of just 50 grams.