

석탄화도의 지표와 석탄조직성분과의 관계

박 홍 수*

Relationship Between Maceral Composition and Some Parameters Indicating the Degree of Coalification

Hong-Soo Park*

ABSTRACT : Coal properties are controlled by the following two factors; One is the maceral components and the other is the degree of coalification. In other words, even if coals in question indicate the same degree of coalification, their chemical and physical properties considerably vary one another when their maceral components are different. It is well known that vitrinite reflectance is the best single criterion for the degree of coalification covering the whole range of coal rank. Some authors have recently insisted that sporinite fluorescence is more reliable coal rank parameter than vitrinite reflectance in case of low rank coals. In this paper, to examine the reliance of sporinite fluorescence as coal rank parameter, fluidity analysis of coals is newly performed and the data are analyzed in comparison with those of vitrinite reflectance, sporinite fluorescence and maceral components. The results of this study are as follows; (1) Vitrinite reflectance becomes low when degradinite content is high within one columnar samples, and vice versa. (2) Variation of vitrinite reflectance depend on degradinite content and on difference of original plant. (3) In dealing with the Japanese Paleogene coals, sporinite fluorescence is more reliable parameter indicating the degree of coalification than vitrinite reflectance. (4) Maximum fluidity increases exponentially in proportion to the increases of degradinite content.

서 론

석탄의 근원물질은 지질시대에 따라 각기 다른 고식물에서 유래한다. 식물의 유체는 퇴적분지에 매몰되어, 열과 압력에 의한 변성작용, 즉 석탄화작용을 받는데, 그것이 도달한 정도를 석탄화도 (degree of coalification)라고 한다 (Hoffmann *et al.*, 1933). 석탄은 석탄화도에 따라 갈탄, 아역청탄, 역청탄 및 무연탄으로 구분된다.

석탄은 석탄화도가 다르면 고유의 발열량, 휘발분, 반사율, 형광성 또는 코오크스화성 (점결성, 유동성 등) 등 물리적, 화학적 성질의 차이가 난다. 더구나 동일 석탄화도의 석탄이라도 그 석탄을 구성하고 있는 미세한 조직성분 (maceral)의 함유 정도에 따라서 석탄의 모든 성질은 달라지게 된다. 그러므로 석탄을 유효하게 이용하기 위해서

는 석탄의 미세조직성분의 특성을 밝힐 필요성이 있다. 다시 말하면 공업분석, 원소분석 또는 열적 성질 등 석탄의 모든 성질의 분석, 측정과 함께 석탄의 조직분석도 실시해 미세조직성분의 특성이 파악되어야 한다 (박홍수 등, 1989).

1953년에 석탄암석학 (석탄조직학이라고도 함: coal petrology) 분야의 국제회의 (International Committee for Coal Petrology: ICCP)가 개최된 후, 각국의 석탄 조직성분에 관한 연구는 크게 발전해 왔고 (ICCP, 1971), 이제는 석탄의 미세조직성분의 분석법 및 반사율의 측정법을 규격화함으로써 (ASTM-D2798-72, 1972; JIS-M8816, 1986), 석탄암석학의 연구는 석탄의 효과적인 이용에 공헌하고 있다.

이 논문은 이러한 석탄조직성분 연구의 중요성을 인식하기 위해, 특히 석탄화도를 나타내는 지표인 비트리나이트 (vitrinite) 반사율, 스포리나이트 (sporinite) 형광성과 석탄조직성분의 관계에 대하여, 또한 일본의 고제3기 석탄에 포함되어 있는 조직성분인 데그라디나이트 (degradinite)

* 한국자원연구소 지질연구부 (Geology Division, Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Taejon 305-350, Korea), E-mail: pbs@rock25t.kigam.re.kr

의 특성과 유동성에 관한 내용을 담고 있다.

석탄의 미세조직성분과 석탄화도의 지표

석탄의 미세조직성분

현미경하에서 식별되는 미세조직성분은 식물 각부위가 석탄화한 아주 작은 파편으로, 그것들이 집합해서 유기체를 형성하고 있다. 이것은 암석이 광물들로 구성되어 있는 것과 같다. 석탄을 구성하고 있는 최소 단위성분인 마세랄 (maceral: 석탄미세조직성분)은 Table 1과 같이 분류되어 있다.

마세랄은 오랜 지질시대를 거쳐 식물의 각 부분이 석탄화되어 그 형태를 남기고 있는 것이다. 비트리나이트군 (Vitrinite Group)은 일반적으로 식물조직 중에서 부패 및 분해작용에 대하여 저항이 약한 부분인 셀룰로오스, 리그닌 등이 분해, 형성되어 산소함유량이 많으나, 그 중 테그라디나이트는 지방족 탄화수소가 풍부해 수소함유량이 많다. 엑시나이트군 (Exinite Group)은 저항이 강한 표피, 화분, 포자 및 수지질 등이 원형 또는 그 변형으로서 잔존하는 것으로, 전체적으로 지방족 탄화수소가 풍부해 수소함유량이 높다. 이너티나이트군 (Inertinite Group)은 균류 및 특수한 분해과정의 내적 요인과 산불 등에 의한 외적 요인에 의해서 형성되며, 전체적으로 불

활성이며 방향족 탄화수소가 풍부하고, 축합도가 매우 높으며 탄소함유량이 많다. 광물질 (minerals)은 마세랄군 (Maceral Group)에 속하지는 않으며 양적으로는 틀리지만 모든 석탄에 혼합되어 있어 석탄의 특성을 좌우하기도 한다. 이 연구의 주대상 석탄조직인 테그라디나이트는 일본의 고제3기 석탄의 기질을 형성하고 있는데, 하나 하나의 형상이 일정치 않은 미세한 파쇄물의 집합체로서 타원형 또는 방추형의 비트리나이트의 작은 입자 이외에 엑시나이트군이 다량으로 혼재하고 있다. 이 마세랄은 일본 석탄에만 존재하는 특이한 조직이라고 알려져 있었지만 최근 다른 외국 석탄에도 포함되어 있다고 보고되고 있다 (Stach *et al.*, 1982). 또한 국내 제3기층의 일부 아역청탄에도 그와 비슷한 조직이 포함되어 있는 것이 밝혀졌다 (朴鎡洙, 1987). 외국 석탄의 경우 대부분이 석탄기, 페름기의 것임에 비해 일본 석탄은 고제3기의 것으로, 양자는 거의 비슷한 석탄화도를 보이지만 석탄의 근원 식물이 다름으로 인해 테그라디나이트와 같은 특이한 조직성분이 일본탄에만 존재한다고 알려졌다. 그러나 최근 외국에서도 석탄화도가 낮은 제3기의 석탄을 사용하게 됨에 따라 테그라디나이트의 존재가 보고되고 있어, 테그라디나이트는 제3기에만 존재한 어떤 특정 식물과 관계가 있으리라고 생각된다. 다만 이 테그라디나이트는 현재 국제석탄조직학회의 마세랄 용어로서는 인정되어 있으나 국제적인 마세랄 분류표에는 들어 있지 않다. 또한 이 테그라디나

Table 1. Classification and characteristics of macerals (Kimura, 1979; Stach *et al.*, 1982).

Maceral Group	Maceral	Origin of macerals	Characteristics in microscope
Vitrinite	telinite	mainly wood of plant	white grey under reflected light, yellowish brown-reddish brown under transmitted light, light white higher coalification
	collinite	mainly wood of plant	cell structure
	degradinite	grass, leaf	no cell structure and homogeneity heterogeneity
Exinite or Liptinite	sporinite	spores, pollens	dark grey-dark black under reflected light, light yellow-dark red under transmitted light
	cutinite	cuticles	transformation or original form of spores and pollens
	alginate	algae	transformation of leaves and cuticles, line shape
	resinite	resins	transformation of algae appears mostly as telinite cell filling
Inertinite	micrinite	unknown	grey-white under reflected light, dark color under transmitted light, higher reflectance than vitrinite
	sclerotinite	fungi	rounded shape, grain is very small size (about one micron)
	fusinite	wood of plant	elliptical shape, beehive shape of one room-many room
	semifusinite	wood of plant	cellular structure, cell normally empty, sometimes filled with minerals intermediate stages vitrinite and fusinite, broken piece shape, lens shape
Minerals	inorganic matter from the original plants, inorganic-organic complex, deposited during the second phase of the coalification process		clay minerals, carbonates, sulphides, oxides, iron disulphides

이트는 일본식 분류표에서 비트리나이트군에 속해 있지만 藤井 등 (1980, 1982a)은 데그라디나이트의 물리, 화학적 성질이 엑시나이트군에 가까운 성질을 갖고 있다고 보고하였다.

석탄화도의 지표

석탄화도의 대표적인 분류와 지표는 Fig. 1과 같다. 종래 석탄화도의 주요 지표로써 원소분석 성분 중의 탄소, 수소, 산소함유량, 공업분석치로는 발열량, 그리고 무연탄과 같은 고석탄화도탄에서는 휘발분이 많이 사용되어 왔었다.

그러나 이러한 분석은 각 석탄 조직성분의 혼합비율이 다른 석탄을 대상으로 해왔기 때문에 그 수치에는 신뢰성이 결여되었으나 근년 석탄화도의 지표로서 비트리나이트 반사율이 탄소함유량보다도 정확하다고 알려져 있고 (Teichmüller *et al.*, 1967; McCartney *et al.*, 1972; 平井, 1979), 또한 최근 선진국과 일본에서는 비트리나이트 반사율보다 정확도가 높은 스포리나이트의 형광성을 이용하므로써 그 신뢰성을 높여 가고 있다 (Gijzel, 1973; 東出 등, 1979; Robert, 1981). 다만 무연탄과 같은 고석탄화도의 석탄에 대해서는 스포리나이트가 변질되어 형광성을 상실해 측정이 불가능한 경우가 있으나, 두 방법은 극히 미량

RANK A.S.T.M.	LOM #1	Reflectance in oil % Vitrinite #2	Vol. M. daf% #3	Cal. Value kcal/kg #3	Spore Colour #4	Sporinite Fluorescence Characteristics #5	Hydrocarbon Generation #6	Stage of Evolution #7
Peat	0	mean max				λ_{max} nm		
Lignite	2			4000				Diagenesis
Sub-bituminous B	6	0.4		5500			immature	
High-volatile Bituminous A	10	0.8	45	7000	yellow	490 500 510 520 530 540 550	0.4 0.6 0.8 1.0 1.4	Catagenesis (oil generation)
Medium-vol. Bituminous	12	1.0	30	8650	yellow to dark brown		zone of initial maturity	
Low-vol. Bituminous	14	1.5	25				mature and post-mature	
Semi-Anthracite	16	2.0	20					Metagenesis
Anthracite	18	2.5	16		black			
Meta-Anthracite	20	3.0	12					Metamorphism

Fig. 1. Relationship between coal rank, different rank parameters and stage of organic metamorphism. *1 and 6: Hood *et al.* (1975), *2 and 3: Stach *et al.* (1982) and Hood and Castano (1974), *4: Gutjahr (1966), *5: Higashide *et al.* (1979), *7: Tissot and Welte (1978).

(약 2g)의 시료만으로도 측정이 가능한 이점이 있다. 비트리나이트 반사율과 스포리나이트 형광성은 석탄화도가 상승함에 따라 거의 연속적으로 높아지며, 특히 비트리나이트 반사율은 매몰심도와 직선적인 정비례관계를 나타낸다. 다시말하면 매몰심도가 깊으면 비트리나이트 반사율은 증가한다.

시료 및 측정방법

이 연구에 사용된 시료는 일본 규슈(九州) 사키도(崎戸)-마츠시마탄전(松島炭田)의 이계시마탄광(池島炭鑛) 석탄이다. 이계시마는 전체가 제4기의 현무암으로 덮혀 있으나 해수면 이하는 거의 고제3기층으로 구성되었는 바, 고제3계는 하부로부터 아까사기층군(赤崎層群), 테라시마층군(寺島層群), 마츠시마층군(松島層群), 니시소노기층군(西彼所層群)으로 구분된다(井上, 1964). 고제3기층의 주 구성암석은 사암과 이암이며, 국부적으로 얇은 역암을 협재하고 있다. 또한 고제3기층은 부정합으로 화강암 또는 결정편암을 피복하고 있다. 협탄층은 마츠시마층군의 사키도층(崎戸層)이며, 탄층은 상부로부터 슈핫샤꾸층(十八尺層)上層, 슈핫샤꾸층(十八尺層)下層, 산샤꾸층(三尺層), 윤샤꾸층(四尺層)에 협재되어 있다. 시료채취 대상 탄층은 슈핫샤꾸층下層으로 탄층의 두께는 약 1.7 m이다. 시료는 탄층 상부에서 하부로 가면서 5 cm의 등간격으로 34시료를 채취하였다. 지층누중의 법칙상 각 시료간에는 엄밀한 의미에서 퇴적시차가 있으나 크게는 단일 탄층으로 볼 수 있으므로, 각 시료는 동일한 온도, 압력, 시간의 조건하에서 석탄화된 것이므로 석탄화도는 거의 같다고 할 수 있다(高橋, 1979). 따라서 측정된 시료의 특성들이 단일 탄층의 상, 중, 하부에서 상이한 결과가 나온다면 이는 탄층의 층수에 따른 조직성분 함량의 차이에 의한 결과라고 보아야 할 것이다.

각 시료는 과분쇄가 안되도록 7 mesh (2.818 mm) 이하로 분쇄, 축분하고 다시 20 mesh 이하로 분쇄, 축분한 뒤 축분된 시료 약 2 g을 투명수지와 혼합 가열, 가압해 직경 2.5 cm, 높이 1.3~1.5 cm의 원주형 성형시료로 만들었다. 성형된 시료는 다시 연마지, 연마포, 연마제를 사용해 표면에 흠이 없도록 연마하고, 최종적으로 400배의 현미경으로 검사해 흠이 없음을 확인하였다.

이 성형시료로 반사율, 형광성을 측정하고 조직분석을 했다. 반사율 측정에 사용된 현미경은 Leitz사의 현미분광광도계 MPV-2이었으며, 형광성은 MPV-2 ORTHO-PLAN에 낙사형광장치를 부착한 것으로 측정하였다.

반사율 측정 대상조직은 비트리나이트군 중 세포조직

이 보이지 않는 균질한 콜리나이트(collinite)만을 현미경 밑에서 신중히 골라 한개의 입자에 대해 1점씩 측정하는데, 가능한 한 100점 이상 측정한 후 그 평균치를 가지고 반사율을 계산하였다. 형광성은 현미경 밑에서 스포리나이트를 찾아내 스포리나이트 1개에 한번씩, 20개 이상 측정하여 그 평균치를 그 시료의 최대 형광파장으로 하였다. 조직분석은 점계산(point count) 방식에 의해 1시료에 대해 광물질을 빼고 300점 이상을 분석하였다.

결과 및 고찰

조직분석 결과 모든 시료에서 비트리나이트군은 95%

Table 2. Maceral analysis of Ikeshirna coals in Japan (volume, %).

Depth (cm)	Vitrinite		Exinite			Inertinite
	Tel+Col	Deg	Sp	Re	Cu	Sc
0-5	85.7	13.7	-	0.3	-	0.3
5-10	75.7	22.0	-	0.7	-	1.6
10-15	77.9	21.5	-	0.6	-	-
15-20	78.8	19.6	0.3	1.0	-	0.3
20-25	84.1	14.9	-	-	0.3	0.7
25-30	94.4	4.9	0.7	-	-	-
30-35	86.6	11.3	0.9	0.9	-	0.3
35-40	91.5	7.6	0.6	-	-	0.3
40-45	87.2	11.8	0.3	-	-	0.7
45-50	89.0	11.0	-	-	-	-
50-55	89.8	9.2	0.7	-	-	0.3
55-60	91.7	7.6	0.4	0.3	-	-
60-65	79.4	19.9	-	-	-	0.7
65-70	93.1	6.6	0.3	-	-	-
70-75	Coaly shale					
75-80	78.5	21.2	-	-	-	0.3
80-85	82.0	17.0	-	1.0	-	-
85-90	85.8	13.6	0.3	-	0.3	-
90-95	87.0	11.4	1.0	-	-	0.6
95-100	79.7	18.6	0.7	0.3	0.3	0.3
100-105	93.3	5.4	0.3	0.3	0.3	0.3
105-110	89.5	8.6	1.0	0.5	-	0.3
110-115	87.7	11.1	1.2	-	-	-
115-120	80.8	16.9	0.3	0.3	-	1.6
120-125	80.1	17.9	1.0	-	-	1.0
125-130	87.0	10.1	2.3	-	-	0.6
130-135	91.4	8.3	0.3	-	-	-
135-140	84.6	14.2	0.9	-	0.2	-
140-145	91.5	6.9	0.3	0.5	-	0.3
145-150	91.6	8.1	-	-	-	0.3
150-155	93.9	6.1	-	-	-	-
155-160	90.4	8.6	0.3	0.7	-	-
160-165	99.0	1.0	-	-	-	-
165-170	87.9	6.8	0.3	-	-	0.3

Tel; Telinite, Col; Collinite, Deg; Degradinite, Sp; Sporinite, Re; Resinite, Cu; Cutinite, Sc; Sclerotinite.

이상, 엑시나이트군은 3% 이하, 이너티나이트군은 2% 이하였다 (Table 2). 그러므로 비트리나이트군을 각 시료의 주성분이라 할 수 있다. 또한 비트리나이트군 중 콜리나이트, 텔리나이트 (telinite)는 물리, 화학적 성질이 유사하지만, 테그라디나이트만은 다른 성질을 갖고 있으므로 (Stach *et al.*, 1982; 藤井 등, 1982b) 테그라디나이트의 함유량으로 각 시료의 조직성분을 대표했다.

Table 3와 Fig. 2에 탄층의 상부에서 하부로 가면서 연속적으로 5 cm 간격씩의 시료에 대해 측정한 반사율, 형광성, 테그라디나이트 함유량을 나타냈다. 형광성 λ_{max} 의 scale은 석탄화작용의 진행에 따른 반사율 0.1%의 변화가 λ_{max} 12.3 nm에 상당하므로 이것에 의해 scale폭을 결정했다 (Ting *et al.*, 1975). 우선 테그라디

Table 3. Reflectance, fluorescence and degradinite contents of Ikeshima coals.

Depth (cm)	Reflectance (%)	Fluorescence (nm)	Degradinite contents (%)
0-5	0.820	527.53	13.7
5-10	0.786	527.98	22.0
10-15	0.764	527.11	21.5
15-20	0.809	526.56	19.6
20-25	0.829	524.75	14.9
25-30	0.856	526.70	4.9
30-35	0.870	526.69	11.3
35-40	0.878	527.73	7.6
40-45	0.866	526.42	11.8
45-50	0.890	527.18	11.0
50-55	0.861	526.99	9.2
55-60	0.857	526.92	7.6
60-65	0.839	526.74	19.9
65-70	0.859	527.95	6.6
70-75	Coaly shale		
75-80	0.818	526.36	21.2
80-85	0.844	524.44	17.0
85-90	0.820	523.46	13.6
90-95	0.842	528.60	11.4
95-100	0.876	527.07	18.6
100-105	0.890	525.65	5.4
105-110	0.867	528.20	8.6
110-115	0.895	526.01	11.1
115-120	0.828	527.66	16.9
120-125	0.893	528.28	17.9
125-130	0.864	527.17	10.1
130-135	0.893	526.15	8.3
135-140	0.876	526.89	14.2
140-145	0.873	526.30	6.9
145-150	0.875	525.61	8.1
150-155	0.890	525.99	6.1
155-160	0.894	526.43	8.6
160-165	0.949	525.56	1.0
165-170	0.929	527.40	6.8

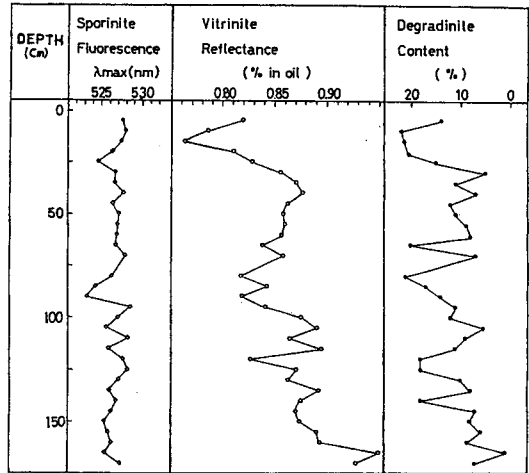


Fig. 2. The perpendicular change of sporinite fluorescence, vitrinite reflectance and degradinite content at Ikeshima coal mine.

나이트 함유량의 수직적 변화를 보면 함유량은 1%에서 22%까지 변화하고 있는데 (Fig. 2), 이것은 고환경의 변화를 나타낸다고 할 수 있다. 테그라디나이트는 대부분이 습지의 초본류에서 유래하는 조직으로, 테그라디나이트가 많은 곳은 습지의 확대, 반대로 함유량이 적은 곳은 습지가 축소했다고 추정할 수 있다. 또한 비트리나이트 반사율의 변화는 테그라디나이트의 변화와 서로 대응하여 증감하는 것을 알 수 있다. 다시 말하면 테그라디나이트가 많은 시료는 비트리나이트 반사율이 낮고, 반대

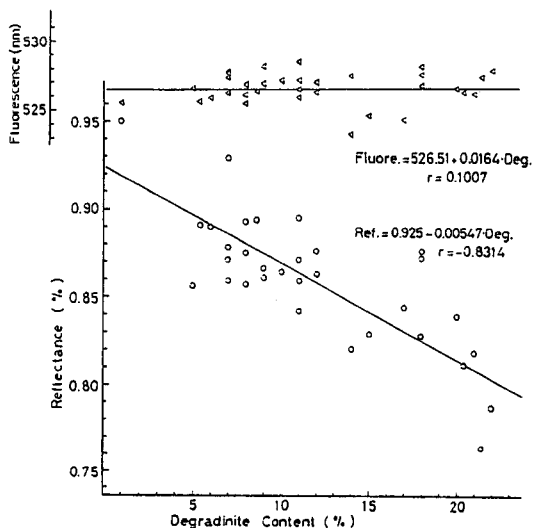


Fig. 3. Relationship between sporinite fluorescence, vitrinite reflectance and degradinite content.

로 데그라디나이트가 적은 시료에서는 비트리나이트 반사율이 높게 나타난다. 한편 스포리나이트 형광성의 변화는 데그라디나이트 함유량과 뚜렷한 대응은 보이지 않고 비트리나이트 반사율에 비해 그 분산이 작은 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 데그라디나이트 함유량에 대한 비트리나이트 반사율과 스포리나이트 형광성의 상관관계를 나타낸 것이다. 반사율은 상관계수 -0.8314 , 형광성은 상관계수 0.1007 로 형광성에 비해 반사율이 높은 상관성을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 두께 약 2 m 정도의 동일 탄층내에서의 반사율의 변화는 석탄화도의 차이에 의한 것이라고 볼 수 없다. 이는 데그라디나이트가 비트리나이트에 비해 지방족 탄화수소가 많기 때문에 (藤井 등, 1982b), 데그라디나이트층의 지방족 탄화수소가 비트리나이트내로 확산해 반사율이 저하한다고 추정할 수 있다. 그러나 Fig. 3에서 알 수 있듯이, 데그라디나이트 함유량이 같은 시료에서도 반사율의 차이가 있음을 알 수 있다. 이것은 비트리나이트의 물리, 화학적 성질이 똑 같지 않음을 나타내는 바, 비트리나이트의 기원이 되는 근원식물의 차이에 의해서도 반사율에 차이가 생긴다고 해석할 수 있다. 한편 스포리나이트 형광성이 데그라디나이트 함유량과 상관성이 낮은 것은 스포리나이트가 화학적 저항력이 강하기 때문에 데그라디나이트의 영향을 거의 받지 않기 때문이라고 할 수 있다. 여기서 각 지점의 비트리나이트 반사율의 측정치는 $0.764-0.949\%$ 까지 변화하며, 평균치는 0.859% 로 표준편차는 0.039% 이었다. 스포리나이트 형광성은 $523.46-528.60$ nm까지 변화하며, 그 평균치는 526.67 nm, 반사율로 환산한 표준편차는 0.0087% 이었다. 이와 같이 비트리나이트 반사율 및 스포리나이트 형광성의 수직적 변화의 표준편차를 비교하면 형광성의 표준편차는 반사율의 표준편차의 약 $1/4$ 정도로, 이것은 스포리나이트의 화학적 저항력 또는 스포리나이트를 구성한 물질인 화분, 포자 등이 공기중에 분산되어 어디든지 끌고루 퍼지기 때문에 식물 종류의 차이가 별로 없기 때문이라고 추정할 수 있다.

이와 같이 신생대 점신세 (Oligocene)의 이께시마탄광 마츠시마층군의 사기도층과 같이 좁은 지역, 짧은 지질시대의 석탄층에 한정한다면 스포리나이트 형광성은 비트리나이트 반사율보다 석탄화도의 지표로서의 신뢰성을 더 갖고 있다고 할 수 있다.

또한 비트리나이트 반사율이 일반적인 경향보다 낮은 곳은 데그라디나이트 또는 데그라디나이트와 성질이 비슷한 석유근원암의 한 종류인 kerogen type II가 존재한다는 것을 암시한다 (朴鎡洙, 1987).

석탄암석학의 응용

석탄암석학의 응용은 탄진조사, 지층과 탄층의 매물심도, 지질구조 등과 같은 지질학적 문제뿐만 아니라, 광업 분야 또는 식물학적 방법에 의해 퇴적 당시의 식물상을 알아 고환경을 추측할 수 있는 등 여러 가지가 있지만, 여기서는 코오크스공업에 불가결한 석탄의 유동성 측정의 중요성과 그 실험결과를 소개하고자 한다.

석탄이 코오크스화하기 위해서는 적어도 가열과정에 있어서 연화용융하는 것이 필요하다. 그러나 연화용융의 변화가 너무 높아도 또는 낮아도 코오크스강도가 높아지지 않는데에 문제가 있다. 이러한 석탄의 점결성, 코오크스화성에 관한 연구는 보다 좋은 코오크스를 제조하기 위한 원료탄의 입도 조정, 배합 및 첨가물 조정, 사전 처리 등 기초적, 실용적인 관점에서 이루어지고 있다. 석탄의 점결성이라는 것은 석탄구성분 가운데서 용제에 의해 추출되는 저분자 부분과 추출되지 않는 고분자부분이 연화용융의 온도 영역에서 서로 용해작용을 하여 서로 점결하는 성질이다. 이러한 점결성의 측정법중 실험실적인 방법으로 유동성 측정이 있는데 그 종류에는 Gieseler plastometer method, Davis method, Russia method 등이 있다 (木村 등, 1976).

코오크스 제조 기술상 가장 커다란 문제는 석탄배합이다. 석탄배합에 있어서는 회분, 유황분의 함량이 기준치내에 있어야 하는 것도 필요하지만 가장 중요한 것은 코오크스 강도에 관한 조건을 만족시키는 일이다. 그러므로 배합 지표는 코오크스 강도를 전제로 검토되고 있다. 유동성에 의한 배합기준 설정방식에는 유동성과 휘발분과의 관계, 유동성과 비트리나이트 반사율과의 관계가 이용되고 있다. 온도가 상승하면 유동도는 증가하여 최고 유동온도 이후 서서히 감소한다. 최고 유동도 및 최고 유동온도는 탄종에 따라 틀려진다. 보통 석탄화도가 높아지면 최고 유동도도 함께 높아지며, 탄소 함유량 86.2% 에서 최고를 나타내고 그 이후는 석탄화도의 진행과 함께 유동도는 저하한다.

Fig. 4는 좀 더 강도가 높은 코오크스를 얻기 위한 MOF diagram이다 (奥山 등, 1970). 이에는 각 탄종별로 좌표축상의 위치가 정해져 있으며, 또 高爐用 코오크스를 얻기 위한 적정 배합탄의 범위를 사선으로 나타내고 있다. 이 diagram은 석탄암석학적 지표와 점결성 지표를 함께 사용하고 있어 석탄의 특성을 좀 더 다차원적으로 표현하고 있다. 다만 유동성은 풍화, 석탄조직성분 등에 의해 그 변화가 있으므로, 필자는 Auto Gieseler Plastometer (日本小川精機社製)를 사용해 九州池島炭鑛의 석탄을 가지고 유동성 측정을 해 데그라디나이트와의 관계를 조사했다.

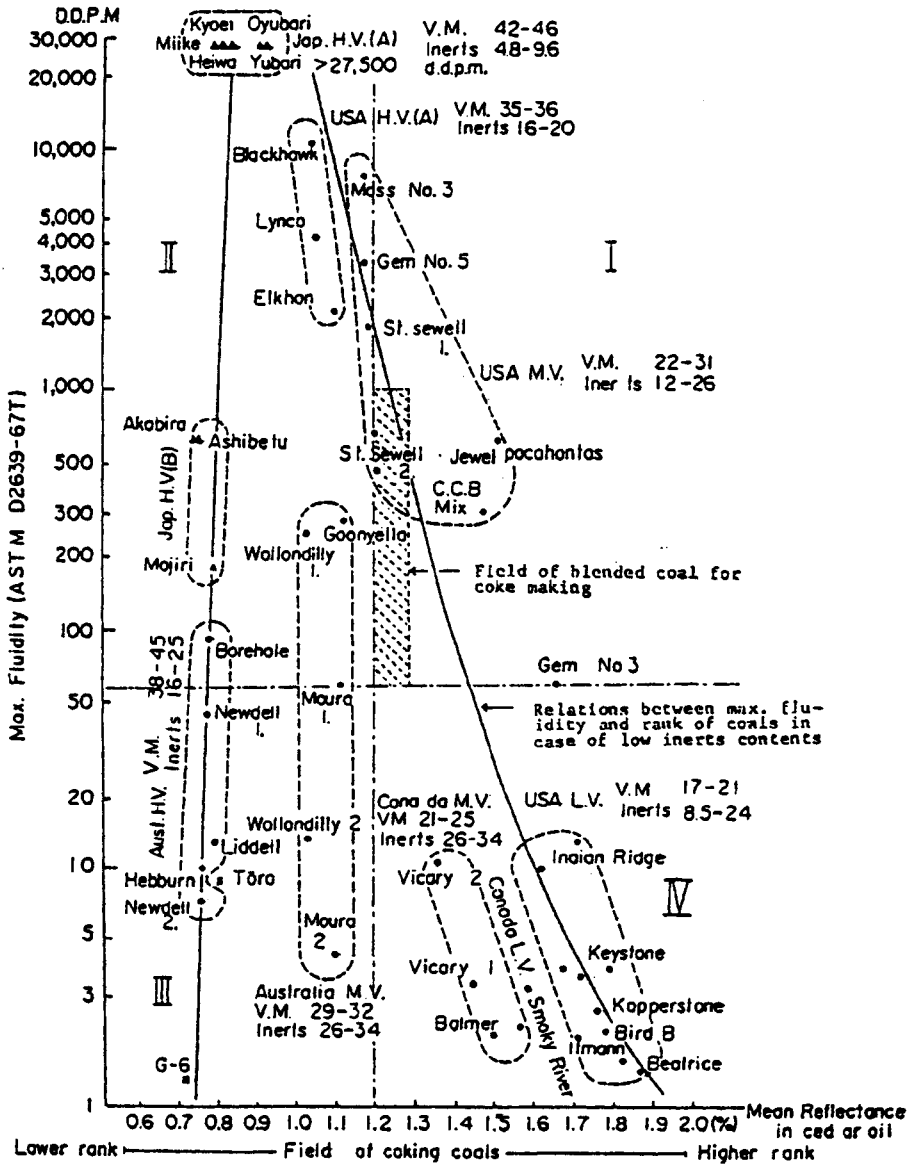


Fig. 4. Relationship between maximum fluidity and rank of coals (Okuyama et al., 1970).

Table 4와 Fig. 5는 그 결과로, 상관계수는 0.735로 상당히 높은 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있다. 다시 말하면 데그라디나이트함유량이 증가하면 최고 유동도도 높아짐을 알 수 있다.

일반적으로 일본 석탄은 동일 석탄화도의 외국 석탄과 비교해서 유동도가 높다고 알려져 있는데, 이것은 데그라디나이트의 존재에 의한 것으로 사료된다. 한편 풍화에

의해서도 유동성이 변화하는데 (小島 등, 1973), 풍화 속도는 시료의 입자의 크기에 따라 좌우된다 (朴鉉洙, 1987). 이것은 저탄을 할 때 고려되어야 할 문제이다.

결론

이상의 연구내용을 종합, 고찰하면 다음과 같은 결론을

Table 4. Gieseler fluidity at the Ikeshima coals.

Depth (cm)	Ts (°C)	Tm (°C)	Tf (°C)	ΔT (°C)	MF (ddpm)	logMF
0-5	385	416	438	53	70	1.85
5-10	378	388	395	17	SO	SO
10-15	392	426	460	68	15000	4.18
15-20	383	431	463	80	9000	3.95
20-25	378	422	455	77	850	2.93
25-30	387	429	453	66	190	2.28
30-35	387	422	455	68	70	1.85
35-40	410	432	452	42	14	1.15
40-45	392	426	448	56	120	2.08
45-50	389	432	449	60	290	2.46
50-55	388	431	458	70	180	2.26
55-60	388	431	455	67	550	2.74
60-65	382	425	455	73	2000	3.30
65-70	413	431	455	42	39	1.59
70-75	Coaly shale					
75-80	393	435	460	67	125	2.10
80-85	388	432	458	70	600	2.78
85-90	384	430	457	73	850	2.93
90-95	396	405	412	16	11	1.04
95-100	403	425	440	37	5	0.70
100-105	395	430	450	55	22	1.34
105-110	409	426	437	28	70	1.85
110-115	396	433	454	58	38	1.58
115-120	385	435	462	77	3400	3.53
120-125	394	422	460	66	1000	3.00
125-130	392	432	454	62	150	2.18
130-135	378	428	450	72	160	2.20
135-140	387	429	453	66	300	2.48
140-145	385	430	455	70	230	2.36
145-150	377	420	443	66	180	2.26
150-155	388	425	453	65	120	2.08
155-160	SO	SO	SO	SO	SO	SO
160-165	422	437	449	27	1	0.11
165-170	389	433	453	64	7	0.84

Ts; starting temperature, Tm; maximum fluidity temperature, Tf; final temperature, ΔT; Tf-Ts, MF; Maximum Fluidity, ddpm; dial division per minute, SO; Scale Over.

내릴 수 있다.

1. 비트리나이트 반사율은 데그라디나이트 함유량에 따라 변화한다. 즉 데그라디나이트 함유량이 증가하면 반사율은 저하하며, 반대로 데그라디나이트 함유량이 감소하면 반사율은 높아진다.

2. 같은 수치의 반사율을 보여야 할 동일 탄층의 석탄에서도 조직성분과 근원식물의 다양성에 따라 반사율에 차이가 생기므로, 석탄화도의 차이가 적은 석탄을 비교할 때는 조직분석도 동시에 해야 한다.

3. 좁은 지역, 짧은 지질시대의 석탄에 한정한다면, 스포리나이트 형광성은 석탄화도의 지표로써 비트리나이트 반사율보다 신뢰성이 높다.

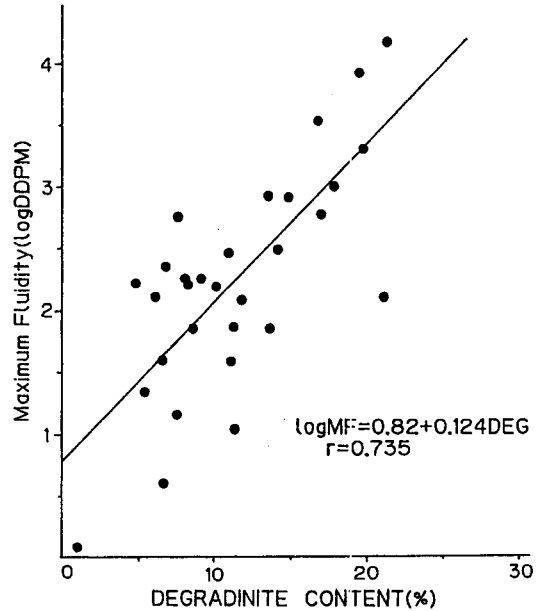


Fig. 5. Relationship between maximum fluidity and degradinite content.

4. 석탄의 최고 유동도는 데그라디나이트 함유량에 의해 변화한다. 즉 데그라디나이트 함유량이 증가하면 최고 유동도는 높아진다.

끝으로 석탄암석학은 탄전조사, 고지온, 매물심도, 지질 구조 등과 같은 지질학적 문제 뿐만 아니라 고생물학적 수법에 의해 화분, 포자, 나무조직 등을 해명해 퇴적 당시의 식물상을 알아 고환경을 추측할 수도 있으며, 수입탄의 검토, 혼합탄의 판별, 배합탄의 관리 등에 이용하면 석탄산업에 커다란 공헌을 하리라 생각된다.

참고문헌

박홍수, 박석환 (1989) 국내탄의 석탄암석학적 특성. 광산지질학회지, v. 22, No. 2, p. 141-150.
 ASTM-D 2798-72 (1972) Standard method for microscopical determination of the reflectance of the organic components in a polished specimen of coal.
 Gijzel, P.V. (1973) Polychromatic UV-fluorescence microphotometry of fresh and fossil plant substances, with special reference to the location and identification of dispersed organic material in rocks. In Alpern, B (ed.) Petrographic organique et potential petrolier, CNRS, Paris, p. 69-71.
 Gutjahr, C.C.M. (1966) Carbonization measurment of pollen grains and spores and their application. Leidse geol. meded. 38, 29p.
 Hoffmann, E. and Jenkner, A. (1933) Coalification and di-tection under the microscope. Fuel, v. 12, p. 98-106.
 Hood, A. and Castano, J.R. (1974) Organic metamorphism,

- its relationship to petroleum generation and application to studies of authigenic minerals. United Nation ESCAP, Coord. Comm. Offshore Prospect. Tech. Bull., v. 859, p. 85-118.
- Hood, A., Gutjahr, C.C.M. and Heacock, R.I. (1975) Organic metamorphism and the generation of petroleum. A.A.P.G Bull., v. 59, p. 986-996.
- ICCP (1971) International handbook of coal petrography. Centre National Res. Sci., Paris.
- JIS-M8816 (1986) 石炭の微細組織成分及び反射率測定方法. 17p.
- McCartney, J.T. and Teichmüller, M. (1972) Classification of coals according to degree of coalification by reflectance of the vitrinite component. Fuel, v. 51 p. 64-68.
- Robert, P. (1981) Classification of organic matter by means of fluorescence; Application to hydrocarbon source rocks. Inter. Jour. Coal Geol., p. 101-137.
- Stach, E., Mackowsky, M.-Th., Teichmüller, M., Taylor, G. H., Chandra, D., Teichmüller, R. (1982) Stach's textbook of coal petrology. Gbruder Borntraeger, 535p.
- Teichmüller, M. and Teichmüller, R. (1967) Diagenesis of coal (coalification), Diagenesis in sediments (Larsen and Chilingar). Elsevier, p. 391-415.
- Ting, T.C. and Lo, H.B. (1975) Fluorescence characteristic of thermo-altered exinite (sporinites). Fuel, v. 54, p. 201-204.
- Tissot, B.P. and Welte, D.H. (1978) Petroleum formation and occurrence. 538p.
- 藤井敬三, 東出則昭 (1980) 石炭化度のパラメータに関するいくつかの問題点. 石油技術協会誌, v. 45, 6, p. 31-38.
- 藤井敬三, 山崎純夫, 朴鉉洙, 正田浩司, 佐佐木實 (1982a) 石炭岩石學的にみた炭田堆積盆の古環境に関する考察. 日本地質學會 個人講演要旨.
- 藤井敬三, 山崎純夫, 正田浩司, 佐佐木實 (1982b) 太平洋炭嶺におけるビトリナイト反射率と石炭組織成分との関係について. 石油技術協会誌, v. 47, 2, p. 1-8.
- 東出則昭 (Higashide), 藤井敬三, 佐佐木實 (1979) 釧路炭田地域と石狩炭田空知地區におけるビトリナイト反射率とエクシナイト螢光性との關係. 石油技術協会誌, 44, 4, p. 11-17.
- 平井明夫 (1979) ビトリナイトの反射率. 石油技術協会誌, v. 44, 4, p. 18-23.
- 井上英二 (1964) 西彼半島西部の古第三系ならびに西彼半島層群下部の堆積環境. 地調月報, 15, p. 166-168.
- 木村英雄, 藤井修治 (1976) 石炭化學と工業. 三共出版, 546p.
- 木村 (Kimura) 英雄 (1979) 石炭の組織分析と性状. 燃料協会誌, v. 58, 622, p. 75-89.
- 小島鴻次郎, 大越 博 (1973) 風化炭の石炭組織學的考察. 燃料協会誌, v. 52, 560, p. 885-895.
- 奥山泰男 (Okuyama), 宮津 隆, 杉村秀彦, 熊谷光照 (1970) 顯微鏡による原料炭のコース化性の検討. 燃料協会誌, v. 49, 522, p. 736-743.
- 朴鉉洙, 山崎純夫, 正田浩司, 藤井敬三, 佐佐木實 (1982) 石炭化度のパラメータとしてのビトリナイト反射率とスポリナイト螢光特性との比較. 石油技術協会誌, v. 47, 4, p. 42.
- 朴鉉洙 (1983) 石炭化度のパラメータと石炭組織成分の關係について. 早稻田大學碩士論文.
- 朴鉉洙 (1987) 日本列島ならびに韓半島に産する石炭の岩石學的・古植物學的研究. 早稻田大學博士論文, 221p.
- 高橋良平 (1979) 石炭層の生成と變遷. 燃料協会誌, v. 58, 622, p. 102-111.