

아역청탄의 자연 발화 측정 방법

장준호¹, 이광희², 서원태¹, 장윤영¹, 장현태^{1*}
¹한서대학교 화학공학전공, ²(주)미산이엔씨

Measurement Method of Sub-Bituminous Coal Spontaneous Combustion

Jun-Ho Jang¹, Qhwang-Hee Rhee², Won-Tae Seo¹, Yoon-Young Jang¹, Hyun-Tae Jang^{1*}
¹Department of Chemical Engineering Hanseo University, ²Misan E&C, LTD

요약 유연탄 중 휘발분 함량이 높은 아역청탄의 운송 저장 중 발생하는 자연발화 현상을 규정할 수 있는 자연발화온도 측정 방법을 도출하고, 유연탄의 특성에 따른 자연발화 현상을 규명하기 위하여 연구를 수행하였다. 유연탄의 경우 장기간 지중에 저장된 상태에서 인간이 연료로 활용하고자 대기 중에 노출되는 순간부터 저온 산화반응이 발생되며, 저온에서 발생하는 산화반응에 의하여 열이 발생되고, 열 축적에 의하여 급격한 산화반응이 발생된다. 이러한 자연발화과정에 대한 연구는 매우 미진하며, 자연발화온도에 대한 학술적 명확한 규정이 아직 미비하다. 따라서 본 연구에서는 승온과정에서 반응 용기 외부 온도와 내부 온도의 변화 곡선 증가 기울기 전이점을 자연발화 온도로 규정 할 수 있는 방안을 도출하였다. 열 축적에 의한 자연발화는 아역청탄의 경우 100℃ 부근에서 발생한다. 또한 급격한 온도 상승이 일어나는 약 120~140℃에서 발생되며, 초기 저온 산화반응은 휘발분 함량에 영향을 받는 것으로 나타났다.

Abstract This research proposed a new measurement method of sub-bituminous coal's spontaneous combustion temperature that can accurately define this spontaneous combustion occurring in the transport and storage of high-volatile content sub-bituminous coal. First, a study was conducted to investigate the sub-bituminous coal's spontaneous combustion according to its characteristics. This study showed that the sub-bituminous coal oxidizes during low-temperature exposure to air which generates heat, and the accumulated heat leads to its rapid oxidation. Studies on sub-bituminous coal's spontaneous combustion are insignificant, and scientifically clear regulations on its spontaneous combustion temperature are still insufficient. Therefore, this research defined the spontaneous combustion temperature of sub-bituminous coal as the transition point of increasing slope between the combustion reactor's external and internal temperature change curves. Subsequently, this study found that the sub-bituminous coal's spontaneous combustion due to heat accumulation occurred at around 100 °C. However, this combustion was more rapid at about 120 ~ 140 °C, where the temperature rise rate increased. Moreover, the sub-bituminous coal's low-temperature oxidation was affected by its volatile content.

Keywords : Sub-Bituminous Coal, Spontaneous Combustion, Temperature, Measurement Method, Ignition

본 논문은 한국서부발전(주) 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Hyun-Tae Jang(Hanseu Univ.)

email: htjangr@hanseo.ac.kr

Received March 8, 2022

Revised March 29, 2022

Accepted April 1, 2022

Published April 30, 2022

1. 서론

현대 산업구조는 에너지원과 자원 확보가 중요하다. 자원의 경우 전 세계적으로 불균형된 분포를 나타내고 있으며, 에너지원으로 사용되는 화석연료와 원자력 발전에 사용되는 핵연료를 비롯하여 태양광과 풍력도 불균형적인 분포를 나타내고 있다. 에너지원으로 사용되는 화석연료의 전환과정에서 발생하는 이산화탄소에 의한 지구 온난화는 심각한 상태이다. 전 세계적으로 이산화탄소의 배출을 감소시키기 위한 연구개발과 신재생에너지 기술 적용을 시도하고 있으나, 현재 기술 수준으로는 신재생에너지만으로 에너지 수요를 충족시킬 수 없으므로 석탄 이용은 불가피하며, 이산화탄소의 포집 및 전환공정을 이용하여 온실가스 문제를 처리하는 방안으로 화석연료 활용이 연구되고 있다[1]. 본 연구에서는 석탄 이용 과정에서 발생하는 자연발화에 의하여 연료 가연성분 손실, 대기오염 발생과 화재에 의한 안전문제를 발생시킨다. 이러한 자연발화 사례를 Table 1에 나타내었다. 석탄의 자연발화는 지하에 산소 접촉 없이 저장되어 있던 석탄이 공기 중에 노출되면서 산소 및 물과 반응하여 열을 발생시키므로 일어나게 된다. 석탄의 자연발화 메카니즘은 다음과 같다. 석탄이 산소와 접촉하면서 황화철 등이 저온에서 산화반응을 발생시키며, 석탄 탄화과정에서 생성된 탄화수소계 휘발성 물질이 산화되는 것으로 해석하고 있다[2-4]. 석탄의 저장 및 운송과정에서 석탄 더미(pile)내에서 생성되는 열이 발산되지 못하고 축적이

발생하여 자연발화가 일어난다. 즉, 석탄 자연발화는 휘발분, 수분, 탄화도, 회분의 성분에 의한 산화와 산소 흡수 등 여러 요인이 복합적으로 작용하여 발생한다[5]. 석탄 입자 크기가 작을수록 표면적이 증가하고 산소와 접촉면이 확대되어 자연발화시 연소속도가 증가하여 자연발화 발생률이 증가한다.

또한 석탄의 저장 기간이 길어질수록 석탄의 산소 흡수율이 증가하게 되고, 저온 산화반응에 의하여 발생된 열에 의하여 인화점이 낮은 휘발분이 활성화되어 석탄 더미 내부온도가 상승하여 자연발화가 증가하게 된다[6,7]. 일반적으로 휘발분 함량과 자연발화 현상은 정비례하고 특히, FeS의 함유량이 자연발화 온도까지 승온 영향을 미친다[8-10]. 황화철을 포함하여 휘발분이 많은 유연탄 중 아역청탄은 자연발화 가능성이 높으며, 열량이 상대적으로 낮으므로 낮은 등급으로 분류되어 낮은 가격에 거래된다. 일반적인 역청탄보다 휘발분 함량이 높은 저급탄(아역청탄, 갈탄)은 가격, 열량이 낮으며, 상대적으로 휘발분이 10 ~ 40% 정도 높으므로 자연발화 가능성이 크고, 최근 발전단가의 저감을 위하여 사용이 증가되고 있다[11]. 따라서 본 연구에서는 석탄의 자연발화 현상을 규명하여 석탄 저장과정 중 급격한 산화반응에 의하여 발생하는 연소 발생을 가능성을 측정할 수 있는 방안을 도출하고자 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용한 실험장치는 Fig. 1과 같다. 단열 대류오븐 내에 석탄용기를 설치하는 방법으로 구성하였으며, 스테인리스 스틸로 제작된 자연발화 측정용기의 내부에는 석탄의 온도를 측정할 수 있는 열전대를 설치하고 공기의 주입구와 배출구를 각각 연결하였다.

시료용기의 공기 주입은 대류오븐내에 설치된 관을 통과하면서 대류오븐 온도와 동일한 온도로 상승시켜 용기로 주입된다. 시료 용기에서 배출되는 가스는 GC(gas chromatography, Agilent HP-6890N)의 시료 채취용 6-port valve로 유입되어 이산화탄소, 일산화탄소, 산소, 질소, 메탄 등의 농도를 일정 시간 간격으로 측정하였다. 따라서 대류오븐 온도, 석탄온도 및 배출되는 가스의 조성과 농도를 측정할 수 있게 구성하였다.

Table 1. The Cases of Spontaneous Combustion of Coal Stockpiles in Korea.

Date	Location	Explanation
2018	Taeon	Fire by spontaneous combustion in coal stockpiles since Dec. About 15 million ton of coal is ablaze. Still preventing more damage by taking out coal from spontaneous combustion.
	Dangjin	Fire in Dang-jin thermoelectric power plant. 6 million ton coals are loss.
	Yeosu	Spontaneous combustion inside the silo, contacting air that came through manhole on dust collector. 5 casualties.
	Mokpo	Fire might have occurred by spontaneous combustion.
2017	Samcheok	Spontaneous combustion assumed to have occurred by fractional heat, during moving coals through tower conveyer belt. Estimated property loss: 128 hundred million
2015	Samcheok	Fire in Southern power plant coal stockpile. Loss of storage, conveyer belt etc.

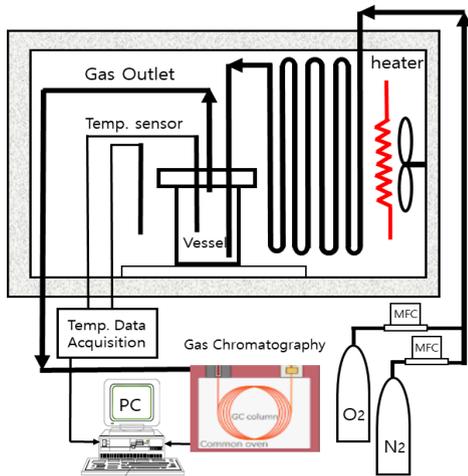


Fig. 1. Schematic diagram of spontaneous combustion temperature measurement for sub-bituminous coal.

2.2 실험방법

대류오븐 내에 석탄시료를 스테인레스 스틸로 제작된 용기에 석탄시료 40g을 충전한 후 질소와 산소를 이용하여 산소 농도를 조절한 공기를 공급하였다. 공급 유량 및 산소 농도는 각각 설치된 MFC를 이용하여 조절하였다. 공급되는 기체의 온도는 오븐 내에 설치된 1/4 인치 관을 통과하는 과정에서 오븐 온도와 동일한 온도에 도달하여 공급되며, 배출되는 기체는 GC의 6-port valve로 공급되어 일정 시간 간격으로 배출가스 조성을 측정하였다. 또한 오븐에 설치된 열전대와 시료 석탄 용기 내에 설치되어 시료 온도를 측정하는 열전대로부터 온도를 기록하였다. 오븐 온도를 40℃로 1시간 30분간 유지하여 시료와 오븐의 온도를 동일한 상태에서 오븐 온도를 25 5℃까지 1℃/min의 승온 속도로 상승시키며, 시료 용기 내부 및 외부 온도에 따른 배출가스 조성을 측정하였다.

2.3 시료

본 연구에서는 아역청탄 3종을 사용하였다. 각 석탄 시료의 입도분포는 Fig. 2에 나타내었다.

평균입경은 3번 시료가 가장 작고, 2번이 가장 크게 나타났다. 각 시료의 분석표는 Table 2, 3, 4에 나타내었다. 원산지는 러시아산 2종과 인도네시아산 1종으로 3번 석탄시료의 경우 회분 성분 중 Ca 함량이 매우 높게 나타나고 있으며, 휘발분이 약 40% 정도로 전형적인 아역청탄의 특성을 나타내고 있다. 실험에 사용한 석탄은 휘발분의 손실을 최소화하고, 수분 양을 동일하게 하기

위하여 25℃ 진공오븐에서 24시간 건조 사용하였다. 3번 시료의 경우 매우 낮은 회분 함량을 나타내고 있으며, 고정탄소 분율이 낮으므로 열량이 낮게 나타나고 있다.

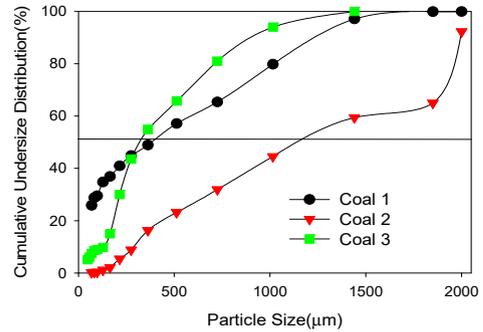


Fig. 2. Cumulative undersize distribution of coal sample.

Table 2. Proximate analysis of coal sample.

Comp. (Wt.%)	Moisture	Ash	Volatile	Fixed Carbon	Net Heating Value(kcal/kg)
Coal 1	10.90	12.90	37.9	38.30	4819
Coal 2	11.60	12.90	37.3	38.20	4736
Coal 3	17.49	3.10	40.6	30.08	3936

Table 3. Ultimate analysis of coal sample.

Comp. (Wt.%)	C	H	N	O	S
Coal 1	65.30	5.15	1.20	13.54	0.23
Coal 2	67.06	5.11	1.30	11.70	0.22
Coal 3	68.84	5.15	1.08	20.03	0.15

Table 4. Ash analysis of coal sample.

Comp. (Wt.%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O
Coal 1	54.48	20.10	4.93	5.59	1.83	2.00
Coal 2	53.44	24.98	5.56	5.43	1.60	2.00
Coal 3	27.19	12.46	12.02	30.89	5.73	
Comp. (Wt.%)	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	Mn ₃ O ₄	MnO ₂	SrO
Coal 1	1.02	1.05	1.18	0.03	0.03	0.18
Coal 2	0.97	0.43	0.98	0.03	0.03	0.17
Coal 3	0.81	0.43	0.89	0.14		

3. 결과 및 고찰

3.1 온도곡선을 이용한 자연발화 규명

Fig. 3은 본 연구에서 석탄시료를 자연발화온도까지 상승시키기 위한 대류오븐 온도에 따른 시료의 온도 변화곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 오븐 온도는 1°C/min으로 상승되고 있으므로 직선을 나타내고 있다. 용기와 시료의 비열을 무시하고 오븐 온도가 상승되는 상태에서 시료 용기 내 반응이 일어나 흡열 또는 발열이 발생하는 경우 열이 생성 또는 제거되어 오븐 온도 상승곡선과 일치하지 않게 된다. 그림에서 sinusoidal 형태의 S자 곡선은 열의 생성과 소비에 의한 온도 곡선을 나타낸다.

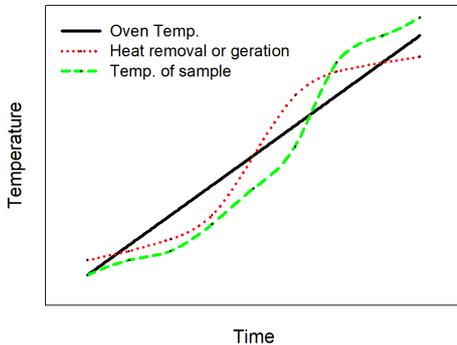


Fig. 3. Temperature profile of energy balance for heat generation and removal.

S 곡선이 직선과 교차하는 점 3개는 열평형을 이루는 상태를 나타내게 된다. 따라서 직선의 아래 곡선이 존재하는 경우 오븐에 의한 열이 전달되고 있는 것을 나타낸다. 직선 상부에 곡선이 존재하는 경우는 석탄의 발화에 의한 발열양에 의하여 온도가 상승된 것을 나타낸다. 또한 시료 온도로 표기된 곡선은 시료 용기 내부의 온도를 나타낸 것으로 본 연구에서 40°C에서 1°C/min의 승온하는 경우 오븐에서 대류에 의한 열전달과 시료용기로 공급되는 기체에 의하여 시료온도가 상승된다. 따라서 자

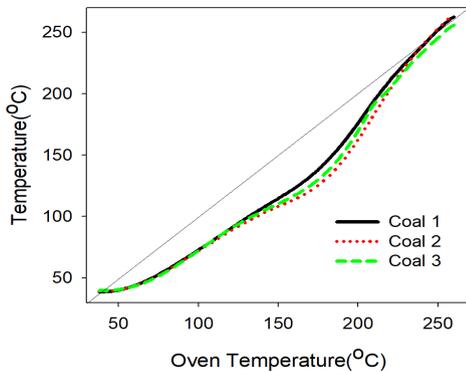


Fig. 4. Temperature profile according to coal sample spontaneous combustion.

연발화반응이 없는 구간에서는 오븐온도보다 낮은 온도를 나타내고 있으나, 자연발화가 발생한 경우 발열에 의하여 온도가 역전되어 오븐온도보다 높은 온도를 나타낸다. 시료온도 곡선이 오븐온도 직선과 교차되는 지점을 자연발화로 규정하기도 한다[2,11].

이러한 방법으로 시간에 따른 오븐 온도 상승과 각 시료 석탄의 온도 변화 곡선의 교차점을 이용한 자연발화 온도를 측정하고자 Fig. 4에 세 종류 석탄 시료에 대한 온도변화 경향을 나타내었다.

3.2 온도 변화율을 이용한 자연발화 규명

Fig. 4의 온도 변화 곡선으로는 확실한 차이를 얻을 수 없으므로 온도변화율을 Fig. 5에 나타내었다. 그림은 오븐 온도에 따른 석탄시료의 온도변화율을 나타낸 그림이다. 시간에 따른 시료 온도 증가율 dT/dt는 아래 식 1과 같이 간단하게 계산되었다.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T_{s,i} - T_{s,i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (1)$$

여기서, 일정시간 간격에 변화된 온도를 계산하여 증가율을 나타내었다. 시간 단위를 분으로 사용하였으며, 오븐의 승온속도가 1°C/min이므로 그림의 y축의 값이 1인 수평 직선 dT/dt=1을 나타내는 선은 오븐 온도 변화율이며, 일정 속도로 승온하므로 동일 값을 나타낸다. 반면 시료 온도 변화율은 온도에 따라 값이 변화되고 있다. 고정 값인 오븐 온도 변화율과 시료온도 변화율이 교차되는 온도를 자연발화온도로 규정할 수 있다. 실질적으로는 시료용기 및 시료의 비열로 인하여 교차점 이전에 상승율은 증가하였을 것으로 해석되나 측정 한계로 정확한 온도 규정은 어렵다. 따라서 dT/dt=1과의 교차점을 변화율에 의한 자연발화온도로 규정할 수 있다.

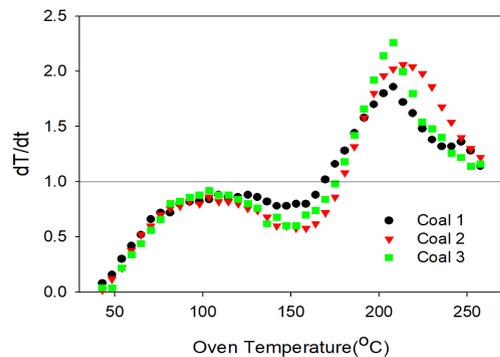


Fig. 5. Sample temperature rate of rise of coal versus oven temperature.

이러한 자연발화온도의 규정은 시료 2의 산소농도에 따른 경향을 나타낸 Fig. 6에서 타당성을 입증할 수 있다. 그림은 공급유량 100cc/min으로 고정하고 공기와 질소의 공급량을 조절하여 산소농도를 공기 중 산소농도인 20.95와 10.48, 5.24%의 산소농도로 공급한 경우를 나타내고 있다. 그림에서 산소 농도가 감소됨에 173.6, 177.3, 182.6°C로 교차점의 온도가 높아지는 것을 알 수 있으므로 산소농도 감소에 의한 발화온도 감소를 알 수 있었다. 또한 각각의 실험에서 나타나는 교차점을 자연 발화온도로 해석할 수 있다.

3.3 가스농도를 이용한 자연발화 규명

상기에서 온도의 상승과 온도 상승률로 자연발화에 대한 규명을 수행하였다. 이러한 자연발화현상에 의하여 변화되는 산화제인 산소의 농도와 연소로 발생하는 일산화탄소 및 이산화탄소의 농도로 연소 현상을 해석하여 자연발화 현상을 규명하고자 시료용기에서 배출되는 가스를 GC로 분석하였다.

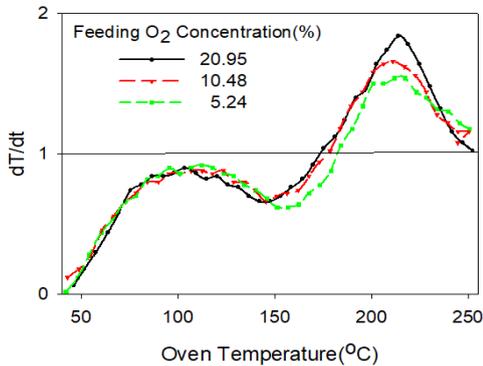


Fig. 6. Sample temperature rising rate according to oxygen concentration.

배출가스 분석 결과를 Fig. 7, 8, 9에 각각 나타내었다. Fig. 7은 각 시료에 대하여 시료의 온도상승에 따른 배출가스 중 산소 농도 변화를 나타내었다. 오븐 온도 상승에 의하여 시료용기 내 석탄 시료 온도가 상승되고 특정 온도에서 연소 현상이 발생되어 시료 온도가 상승되는 현상과 온도 변화율을 계산하여 자연발화를 예측하였으나 이러한 현상에 대하여 배출가스 중 산소농도 변화로 연소 현상을 해석하고자 하였다. Fig. 7에서 연소에 의한 산소농도의 감소 현상은 휘발분 함유량이 높은 3번 석탄에서 급격히 일어나고 있음을 알 수 있으며, 시료 1과 2는 비슷한 양상을 나타내고 있으나 시료 1의 연소가

더 빠르게 일어나는 것을 알 수 있다. 시료 1과 2는 동일한 국가에서 수입된 석탄으로 유사한 조성으로 Table 2, 3, 4에서 알 수 있다. 따라서 연소속도의 차이는 Fig. 2에 나타난 석탄입경 차이로 설명된다. 시료 1의 평균입경과 미세입자의 분율이 높으므로 일정 온도 이상의 온도 상승 이후 빠른 산화반응이 진행되어 산소 농도 감소가 시료 2에 비하여 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 온도 변화율의 역전 현상이 일어나는 온도에서 산소농도가 급격히 변화한다.

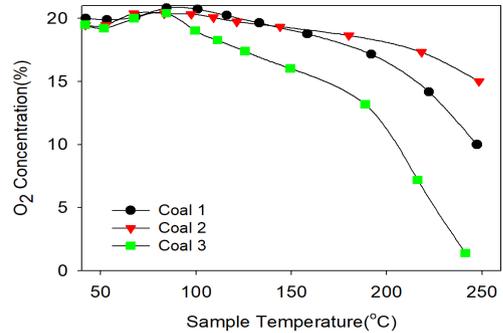


Fig. 7. Oxygen concentration of discharge gas according to sample temperature.

급격한 온도 변화에 의한 온도 상승률 변화가 나타나는 온도에서 일산화탄소와 이산화탄소 농도 변화도 급격히 일어나는 것을 Fig. 8, 9에서 알 수 있다. 그림에서 급격한 산화반응은 Fig. 6의 온도 변화율(dT/dt)의 온도에 따른 기울기 변화가 일어나는 온도와 동일하다. 따라서 자연발화에 의하여 연소 현상으로 급격히 전환될 수 있는 온도는 온도 변화율(dT/dt)이 1과 교차하는 지점으로 관측되므로, 최초 자연발화에 의한 연소 확산은 온도 변화율의 기울기 변화 온도로 정의할 수 있다.

3.4 측정법에 따른 자연발화온도 비교

온도 상승을 변화 온도, 시료온도 승온율이 오븐 온도 승온율과 교차되는 지점, 일산화탄소와 이산화탄소 발생 시작 온도로 4가지의 자연발화온도를 규정하여 Table 5에 석탄시료에 대하여 나타내었다. 측정된 온도는 가스 농도의 경우 최초 산화된 가스가 검지된 온도로 나타내었으며, Fig. 5의 오븐 온도에 대한 변화율을 나타낸 곡선에서는 약 170°C 부근에서 교차점이 발생되나 이때 각 시료의 온도를 이용하여 구한 값을 Table 5의 첫 번째 행에 나타내었다.

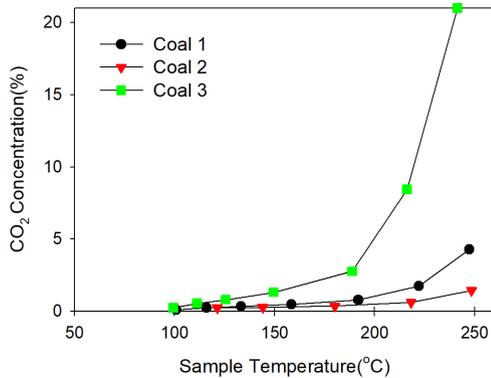


Fig. 8. Carbon dioxide concentration of discharge gas according to sample temperature.

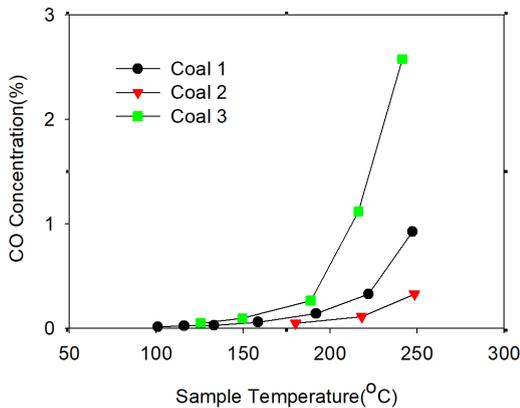


Fig. 9. Carbon monoxide concentration of discharge gas according to sample temperature.

Table 5. Coal spontaneous combustion temperature according to measuring method.

Measuring method	Sample		
	Coal 1	Coal 2	Coal 3
Intersection of sample Temp. rising rate with oven Temp. rising rate	130.5	129.7	138.5
Cross of temp. derivation rate	123.8	122.1	118.0
CO emission point temperature	138.5	144.0	125.6
CO ₂ emission point temperature	100.8	121.3	99.5

또한 승온율의 기울기가 변화하는 지점의 온도를 두 번째 행에 나타내었다. 시료 온도상승을 변화는 자연발화의 시작을 의미하고 시료의 산화에 의한 발열량이 증가하면서 Fig. 5와 같은 $dT/dt=1$ 인 오븐 승온율과 교차점이 나타난다. 또한 이산화탄소와 일산화탄소의 발생이 시작되는 온도는 가장 정확한 연소의 증거이므로 이를 명확한 자연발화 온도로 규정할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서 아역청탄의 자연발화현상을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 외부 가열에 의한 온도 상승 시 시료가 발화되어 발생하는 온도 증가 기울기가 변화하는 시점 온도를 자연발화 온도로 규정할 수 있다.
2. 본 연구에서 다양한 방법으로 측정된 자연발화 온도 중 가장 낮은 온도는 99.5°C로 석탄 파일의 내부온도는 100°C 미만으로 관리되어야 한다.
3. 외부 온도승온율과 동일한 승온율을 나타내는 지점을 자연발화에 의한 격렬한 연소가 시작되는 온도로 규정할 수 있으며, 이 온도 도달 시 관리 측면에서 빠른 온도 점검을 비롯하여 소화가 필요하다.
4. 자연발화 시작점은 산화반응 생성 가스인 일산화탄소 및 이산화탄소 검지 온도를 규정할 수 있으며, 석탄의 저장과정 중 본 연구에서 제안하는 4종류 자연발화온도 측정법 중 가장 낮은 온도를 석탄 관리에 적용하여야 한다.

References

- [1] [Carbon capture, utilisation and storage - Fuels & Technologies - IEA](#)
- [2] Cai-Ping Wang, Zu-Jin Bai, Yang Xiao, Jun Deng, Chi-Min Shu, "Effects of FeS₂ on the process of coal spontaneous combustion at low temperatures", *Process Safety and Environmental Protection*, **142**, 165 (2020)
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.06.001>
- [3] Jun Deng, Xiaofeng Ma, Yutao Zhang, Yaqing Li & Wenwen Zhu, "Effects of pyrite on the spontaneous combustion of coal", *International Journal of Coal Science & Technology*, **2**, 306 (2015)
DOI: <https://doi.org/10.1007/s40789-015-0085-y>
- [4] Haiyan Wang, Bo Tan, Zhuangzhuang Shao, Yan Guo, Zhaolun Zhang, Changfu Xu, "Influence of different content of FeS₂ on spontaneous combustion characteristics of coal", *Fuel*, **288(15)**, 119582 (2021)
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119582>
- [5] Wang De-ming, Qi Xu-yao, Zhong Xiao-xing, Gu Jun-jie, "Test method for the propensity of coal to spontaneous combustion", *Procedia Earth and Planetary Science*, **1(1)**, 20 (2009).
DOI : <https://doi.org/10.1016/i.proeps.2009.09.006>
- [6] Yong-liang Xu, Lan-yun Wang, Ning Tian, Jian-ping Zhang, Ming-gao Yu, Michael A. Delichatsios, "Spontaneous combustion coal parameters for the

Crossing-Point Temperature (CPT) method in a Temperature-Programmed System (TPS)", *Fire Safety Journal*, **91**, 147 (2017).

DOI : <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.084>

- [7] S.R. Hu and D.C. Jiang, "The disaster of spontaneous combustion of coalbeds and countermeasure of prevention", *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, **4**, 69 (2000)
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2228>
- [8] Xin-xiao Lu, Xue Xue, Cheng-yan Wang, Guo-yu Shi, Yun Xing, Yu Han, "Investigation on the suppression characteristic of deoxidization gel foam on coal spontaneous combustion", *Fam Fire and Materials*, **3**, 28 (2021)
DOI : <https://doi.org/10.1002/fam.3013>
- [9] I. S. Park. D. H. Jeon. W. T. Cho. J. H. Yu. S. H. Lee. Y. W. Lee, "Stabilization Characteristics of Upgraded Coal Using Palm Oil Residues", *Clean Technology*, **19(4)**, 469, (2013).
DOI : <https://doi.org/10.7464/ksct.2013.19.4.469>
- [10] J. Denis N. Pone, Kim A.A. Hein, Glenn B. Stracher, Harold J. Annegarn, Robert B. Finkleman, Donald R. Blake, John K. McCormack, Paul Schroeder, "The spontaneous combustion of coal and its by-products in the Witbank and Sasolburg coalfields of South Africa", *International J. of Coal Geology*, **72(2)**, 124 (2007)
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.coal.2007.01.001>
- [11] I. S. Park. D. H. Jeon. W. T. Cho. J. H. Yu. S. H. Lee. Y. W. Lee, "Stabilization Characteristics of Upgraded Coal Using Palm Oil Residues", *Clean Technology*, **19(4)**, 469, (2013).
DOI : <https://doi.org/10.7464/ksct.2013.19.4.469>

장 준 호(Jun-Ho Jang)

[준회원]



- 2019년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 화학공학 전공

<관심분야>
정보경영, 정보통신

이 광 희(Qhwang-Hee Rhee)

[정회원]



- 1987년 2월 : 성균관대학교 산업심리학과 (경영학사)
- 2004년 2월 : 성균관대학교 경영대학원 마케팅전공 (경영학석사)
- 1987년 4월 ~ 2002년 6월 : (주)현대오일뱅크 직매팀, 홍보팀
- 2002년 7월 ~ 현재 : (주)미산이앤씨 대표

<관심분야>
석탄관리, 화학안전, 소방

서 원 태(Won-Tae Seo)

[준회원]



- 2017년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 화학공학 전공

<관심분야>
환경촉매, 고분자합성, 분리공정

장 윤 영(Yoon-Young Jang)

[준회원]



- 2019년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 화학공학 전공

<관심분야>
생명공학, 촉매공학, 약물전달체

장 현 태(Hyun Tae Jang)

[종신회원]



- 1989년 8월 : 고려대학교 화학공학
학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 고려대학교 화학공학
학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교
화학공과 교수

〈관심분야〉

분리공정, 유동층반응