creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

工學碩士 學位論文

화력발전소의 혼합물질로 사용되는 우드펠릿과 분말의 자연발화 특성에 관한 연구

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

2017年 2月

釜 慶 大 學 校 大 學 院

消 防 工 學 科

崔 維 庭

工學碩士 學位論文

화력발전소의 혼합물질로 사용되는 우드펠릿과 분말의 자연발화 특성에 관한 연구

指導敎授 : 崔 載 旭

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2017年 2月

釜 慶 大 學 校 大 學 院

消 防 工 學 科

崔 維 庭

崔維庭의 工學碩士 學位論文을 認准함

2017年 2月

主 審 工學博士 具 玟 成 (印)

委 員 工學博士 崔 俊 鎬 (印)

委 員 工學博士 崔 載 旭 (印)

목 차

1. 서 론 ····· 1

2. 이론적 배경 ····· 4

2-1. 열분석 이론 ····· 4

2-1-1. 열중량법 ····· 5

2-2. 자연발화 이론 ····· 6

2-2-1. 자연발화 정의 및 메커니즘 ····· 6

2-2-2. 자연발화에 영향을 주는 인자 ····· 8

2-3. 열발화 이론 ····· 9

2-3-1. Semenov 이론 ····· 9

2-3-2. Frank-Kamenetskii 이론 ····· 13

3. 실험장치 및 실험방법 ····· 15

3-1. 실험시료 ····· 15

3-2. 열분석 ····· 17

3-2-1. 실험장치 ····· 17

3-2-2. 실험방법 ····· 19

3-3. 자연발화 ····· 20

3-3-1. 실험장치 ····· 20

3-3-2. 실험방법 ····· 24

4. 실험결과 및 고찰 ····· 25

4-1. 우드펠릿 및 분말의 열분석 ····· 25

4-1-1. 우드펠릿의 열분석 ····· 25

4-1-2. 우드분말의 열분석 ····· 27

4-1-3. 우드펠릿과 우드분말의 열분석 ····· 29

4-2. 우드펠릿의 자연발화 온도 ····· 31

4-2-1. 시료의 용기가 3 cm일 경우 ····· 31

4-2-2. 시료의 용기가 5 cm일 경우 ····· 35

4-2-3. 시료의 용기가 7 cm일 경우 ····· 38

4-2-4. 시료의 용기가 14 cm일 경우 ····· 41

4-3. 우드분말의 자연발화 온도 ····· 44

4-3-1. 시료의 용기가 3 cm일 경우 ····· 44

4-3-2. 시료의 용기가 5 cm일 경우 ····· 47

4-3-3. 시료의 용기가 7 cm일 경우 ····· 50

4-3-4. 시료의 용기가 14 cm일 경우 ····· 53

4-4. 겉보기 활성화 에너지 ····· 56

4-4-1. 우드펠릿의 겉보기 활성화 에너지 ····· 57

4-4-2. 우드분말의 겉보기 활성화 에너지 ····· 60

5. 결 론 ····· 63

참 고 문 헌 ····· 65

Abstract ····· 68

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

1. 서 론

화학 공업의 발달과 새로운 화학물질의 기술개발로 인해 원료 및 제품을 분체로 취급하는 공정이 많아짐과 동시에 취급량의 증대, 공정의 연속화 및 제품의 정밀화로 분진폭발의 잠재 위험성이 존재할 뿐만 아니라 자연발화로 인한 화재의 위험성이 더욱 높아지게 되었다.

더욱이 새로운 형태의 고형 또는 분체를 저장 · 취급하고 있는 공정이 증가하고 있으므로 스파크와 같은 착화원이 존재하지 않는 상황에서 자연발화를 일으킬 잠재적 위험성이 있기 때문에 큰 피해를 초래 할 수 있다.[1)]

2015년 4월 H화력발전소의 우드펠릿 사일로에서 컨베이어로 연결되는 공정에서 우드펠릿이 훈소하여 화재가 발생하였다. 이것은 외부연소나 방화, 미소화원에 의한 발화원인이 없다고 사료되어 이 사고는 우드펠릿에 의한 자연발화로 추정되고 있다.

특히, 우드펠릿은 저장하는 공정 중에 파쇄 되어 분말형태로 저장 될 경우에는 자연발화가 발생되기가 쉬워진다.[2)]

고체 형태로써 바이오매스인 우드펠릿은 톱밥을 분쇄해 원기둥으로 압축 성형한 연료로서 장작이나 목재칩에 비해 밀도는 높고 크기는 작

아 수송과 보관에 유리 할뿐만 아니라 최소 발열량이 약 4,000~5,000 [kcal/kg]으로 연료의 열효율이 뛰어나 화력발전소에서 유연탄과 혼합하여 많이 사용된다.[3)]

자연발화는 시료의 퇴적 상태에 따라 장시간 방열이 나쁜 상태에 놓이면 내부의 축적열에 의해 발화되기 때문에 화재원인을 밝혀내지 못하는 경우가 있다. 이러한 고체의 자연발화에 대한 연구로 국외에서는 Beamish[4)]와 Krause[5)]가 퇴적 상태에 따른 자연발화온도에 관한 연구를 하였으며, Thomas[6)]는 나무, 코르크 등 셀룰로오스 물질의 반응열에 의한 자연발화 특성에 대한 연구를 하였다. 국내에서는 Choi 등[7)]은 도장 폐기물질에 의한 자연발화를 연구하였다.

고체 형태의 가연성 물질의 경우 입자형태, 크기, 구성성분 등에 따라 다양한 결과를 나타내기에 기존의 실험 자료로 예방을 하기에는 어려운 측면이 많다. 고체 물질에 관한 많은 연구들은 현재에도 계속되어지고 있으며, 앞으로도 계속되어질 것이다. 그 이유는 산업화가 급속히 진행되면서 물질의 풍요로움에 대한 인간의 욕구가 물질의 취급 공정을 다변화, 대량화시켜 여러 가지 새로운 물질들이 많이 생산되어지고 있기 때문이다.[8)]

따라서 본 연구에서는 목재 물질에 대한 열 특성을 구하였으며, 용기

의 크기에 따른 발화온도를 이용하여 겉보기 활성화 에너지를 구함으로써 물질의 위험성을 예측할 수 있다. 또한 시료용기의 두께를 다르게 하여 우드펠릿 상태와 분말상태를 비교하여 자연발화에 대한 발화특성을 구명하고 이를 사용하는 화력발전소 등에 있어서 화재 및 폭발예방에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

2. 이론적 배경

2-1. 열분석 이론[9,10)]

열중량법(Thermogravimetric Analysis)에 의한 열분석방법은 시료의 질량 변화를 온도의 함수로 기록한 것으로서 시료를 가열에 의해 중량 변화를 측정하여 물질의 특성을 알 수 있을 뿐만 아니라 속도상수들을 구할 수 있다는 간편함이 있다.

열중량법에는 등온 열중량법과 동적 열중량법이 있다.

등온 열중량법은 일정한 온도에서 시료의 무게를 시간의 함수로서 나타내며, 동적 열중량법은 일정한 가열속도로 시료를 가열할 때 시료의 무게를 시간의 함수로서 나타낸다.

2-1-1. 열중량법

열분해가 n차 반응이라 하면, 전환율의 시간적 변화는 다음과 같이 표시한다.

$$dc/dt = k(1-c)^n \quad (1)$$

분해속도정수의 온도 의존성은 Arrhenius형으로 식 (2)와 같다.

$$k = \exp(-E/RT) \quad (2)$$

식 (1)과 (2)로부터 식 (3)이 얻어지며, 식 (3)은 열중량 곡선으로부터 구한 전환율로 분해반응의 특성치를 구한다.

$$dc/dt = A(1-c)^n \exp(-E/RT) \quad (3)$$

2-2. 자연발화 이론

2-2-1. 자연발화 정의 및 메커니즘

자연발화는 외부로부터 화염 · 전기불꽃 등의 아무런 착화원이 없는 상태에서 물질의 자체가 대기 중의 상온에서 스스로 발열하여 그 열이 장기간 축적되어 발화점에 도달하여 연소를 일으키는 현상이다. 또한 외부에서 화염 · 전기불꽃 등의 착화원을 주지 않고 물질을 공기 중에서 가열을 한 경우에도 발화점에 도달하는 과정이 주로 반응열의 축적에 의한 경우에는 자연발화에 포함시키는 것이다.

이와 같이 자연발화가 일어나기 위해서는 다음과 같은 과정을 거쳐야 한다.

① 물질의 화학반응에 의해 열이 발생한다.

② 발생한 열이 물질의 내부에 축적된다.

③ 열의 축적에 의해 물질의 온도가 발화온도를 상회한다.

①과 ③의 조건은 물질 고유의 성질과 양에 관계가 되는 조건이라고 할 수 있으나, 여기에서 주목되는 것은 ②의 조건이다. 이들은 반응열의 대소라고 하는 물질 고유의 성질보다 물질이 놓여있는 환경 조건의 지배를 받는 경우가 대부분이다.

즉, 방열되기 쉬운 상태에 있으면 방열량이 많아 열이 축적되기 어렵

고, 반면에 방열되기 어려운 상태에 있으면 발열량이 적어도 충분히 열이 축적될 수 있기 때문이다. 따라서 자연발화의 특징은 열의 축적 과정에 있으며, 자연발화는 환경 조건에 깊은 관계를 가지는 현상이라 할 수 있다.[11)]

2-2-2. 자연발화에 영향을 주는 인자

자연발화(Spontaneous Ignition)는 반응으로 발생하는 열이 축열되면 온도가 상승하고, 반응을 가속화한다. 만약 축열 환경이 좋지 않아 발생하는 반응열보다 열의 손실이 많으면 자연발화가 일어날 수 없다.

따라서 주위온도가 높으면 반응속도가 빨라지고, 열의 발생이 증가하기 때문에 자연발화가 잘 일어난다. 또한 산소와 접할 수 있는 표면적이 크고, 분말이나 액체가 종이나 포 등 다공질 재질에 스며들면 반응이 쉽게 일어나기 때문에 자연발화하기 용이해지며 산화반응의 반응속도는 산소의 양에 비례하기 때문에 산소를 함유한 물질이 많을수록 자연발화의 위험성은 커진다.

또한 발화점에 도달할 때까지 반응을 지속할 수 있는 반응물질의 양이 필요하며 정촉매가 존재하거나 적당한 수분은 열의 발생과 축적을 용이하게 한다.[12)]

2-3. 열발화 이론

2-3-1. Semenov 이론[13-16)]

일반적으로 열발화 이론은 두 가지로 구분할 수 있으며, 액체의 자연발화는 Semenov 이론을 적용하고, 고체의 자연발화는 Frank-Kamenetskii의 열발화 이론을 적용하는 것이 바람직하다.

자연발화는 화학반응에 의한 발열속도와 계 외로의 방열속도에 의해서 발생하게 되므로 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

즉 가열온도가 T_a^{I}과 같이 낮을 때는 직선과 곡선은 A점에서 교차되어 점차적으로 일정한 값으로 수렴한다. 이에 대하여 가열온도가 T_a^{III}와 같이 높으면 발열속도는 온도에 관계없이 방열속도를 상회하여 반드시 발화가 일어난다. 따라서 발화가 일어나는 한계는 곡선과 직선이 접하는 가열온도 T_a^{II}의 경우이며, C점이 정상상태가 얻어지는 최대치이다.

열발화 이론은 발열반응에 의하여 생성된 열과 반응영역에서 전도, 대류 및 복사에 의해 방산되는 열과의 평형의 문제를 취급하는 이론으로, 발화현상은 계 내에서의 발열속도와 계 외로의 방열속도와의 평형의 문제로 생각하여 발화가 일어나는 한계조건을 수학적으로 도입한 것이 Semenov 이론이다. 발화가 일어나기까지의 유도기간 내에서는 연료의 소비는 그렇게 많지 않다고 생각하여 이것을 무시하고, 발열량이 큰 계

내는 0차 반응을 가정하고 있으므로 반응물이 모두 소비될 때 까지 계의 온도는 T로 유지되며, 반응속도의 온도의존성은 Arrhenius형을 따르고 계 외로의 방열속도는 온도 T와 주위온도 T_a와의 차이에 비례하는 Newton형의 냉각법칙을 따르는 것으로 가정하면 식 (4)와 같이 에너지 방정식이 성립한다.

$$C_P\rho V(dT/dt) = QVC_0^n A_0\exp(-E/RT) - hS(T-T_a) \qquad (4)$$

여기서 계의 온도가 균일하다는 가정은 현상학적으로는 반응 유체가 충분히 교반되어있고, 용기 벽으로의 방열이 대류에 의해 일어나는 경우에 해당한다.

Fig. 1에서 발화가 일어나는 한계는 곡선과 직선이 만나는 경우가 되며, 이때 내부 온도는 $(\Delta T)_c = T_c - T_a$[II]만큼 상승하여 멈춘다. 결국 정상상태가 얻어지는 최대치로서 식 (4)의 방정식에서 접선의 조건을 사용하면 식 (5), (6)과 같이 된다.

$$[QVC_0^n A_0\exp(-E/RT)]_c = [hS(T-T_a)]_c \qquad (5)$$

$$[d\{QVC_0^n A_0 \exp(-E/RT)\}/dT]_c = [d\{hS(T-T_a)\}/dT]_c \quad (6)$$

접선 조건의 결과는 식 (7)이 얻어지고, 그 근은 식 (8)과 같다.

$$T_c^2 - (E/R)T_c + (E/R)T_a = 0 \quad (7)$$

$$T_c = (E/2R)\{1 \pm (1-4RT_a/E)^{1/2}\} \simeq T_a + RT_a^2/E \quad (8)$$

그러므로 발화가 일어나지 않는 최대의 온도상승 $(\Delta T)_c$는 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$(\Delta T)_c \equiv T_c - T_a \simeq (RT_a^2/E) \quad (9)$$

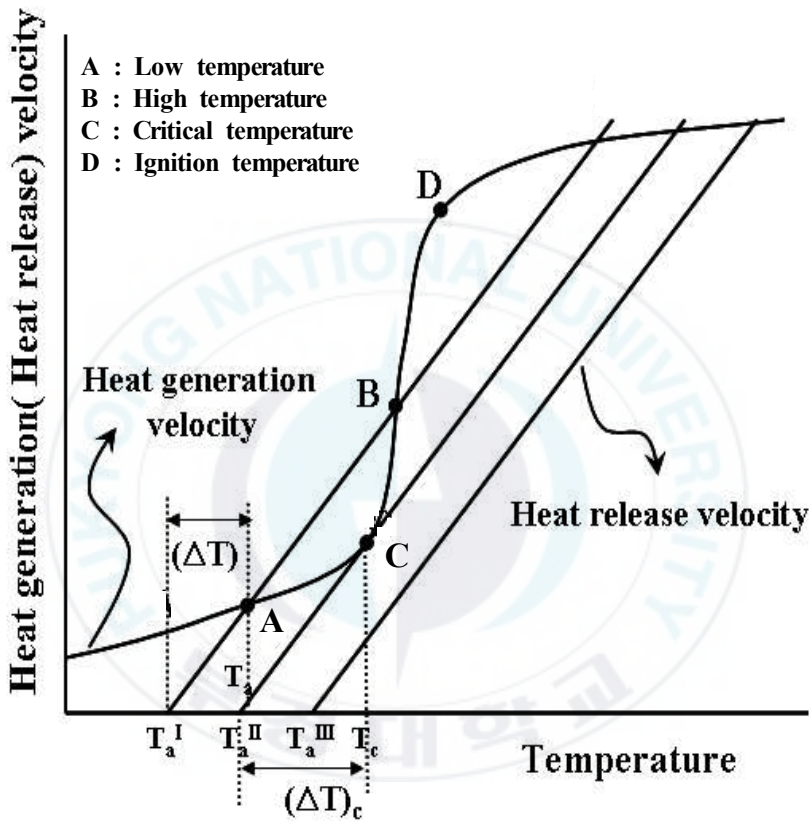


Fig. 1. Relation between heat generation and heat release in autoignition.

2-3-2. Frank-Kamenetskii 이론[17)]

가연성 고체물질의 자연발화는 산소가 필요하므로 확산을 고려할 필요가 있으나, 武田 등[18)]의 연구에 의하면 확산의 영향은 발화한계온도 부근까지는 그다지 크지 않으므로, 산소의 확산과 그에 따른 기체-고체간의 열전달을 고려하지 않고, 계 내의 온도분포를 고려한 Frank-Kamenetskii의 열발화 이론을 적용할 수 있다.

따라서 Fourier의 열전도식에 Arrhenius형의 반응식을 조합시켜 축대칭 1차원의 형상을 고려하여 열전도도가 온도와 장소에 의존하지 않는다고 하고, 0차 반응으로 보면 에너지 방정식은 식 (10)이 된다.

$$C_{\mathrm{p}}\rho\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right) = K\left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{J}{X}\frac{\partial T}{\partial X}\right) + QA_0\exp^{-E/RT} \qquad (10)$$

단, J는 형상을 나타내는 Parameter로서 J=0은 무한 평판, J=1은 무한 원통, J=2는 구의 경우이다.

식 (10)을 해석하기 위해 무차원 변환을 위하여 무차원 온도 θ, 무차원 좌표 ξ, 무차원 시간 τ_d를 도입한다.

$$\theta \equiv \frac{E}{RT_a^2}\ (T\ -\ T_a) \tag{11}$$

$$\xi \equiv \frac{X}{a} \qquad (0\ \leq \xi\ \leq 1) \tag{12}$$

$$\tau_d = \frac{Kt}{C_{\mathrm{p}}\rho a^2} \tag{13}$$

식 (11) ~ (13)을 사용하여 식 (10)을 풀면 식 (14)와 같이 된다.

$$\frac{\partial\theta}{\partial\tau_d} = \frac{\partial^2\theta}{\partial\xi^2} + \frac{J}{\xi}\frac{\partial\theta}{\partial\xi} + \delta\exp(\theta) \tag{14}$$

여기서 δ는 식 (10)을 푸는 과정에서 발열속도 항에 도입되어야 하는 무차원 반응속도로서 Frank-Kamenetskii의 Parameter라고도 하며 식 (15)와 같다.

$$\delta = \frac{E\ Q\ a^2\, C_0^n A_0 \exp^{-E/RT_a}}{KRT_a^2} \tag{15}$$

3. 실험장치 및 실험방법

3-1. 실험시료

본 연구에서 사용된 시료는 K회사에서 공급하며, H화력발전소의 열량 첨가제로 사용하는 우드펠릿과 분말을 사용하여 비교하였다.

Table 1은 KOTITI Testing & Research Institute에서 Test report를 참고하여 우드펠릿의 물적 특성 값을 나타내었으며, 우드펠릿은 직경이 8 mm이고 길이가 20 mm이다.

분말의 경우 KS A 5101-1의 분말 분류 방법에 따라 입도크기가 -40/+45 mesh인 분말을 사용하여 실험을 하였다.

Table 1. Characteristic of wood pellet[19,20)]

Test item(s)		Unit	Limit	Test result
Diameter		mm	6-8	8
Length		mm	L≤40	20
Unit volume mass*		kg/m^3	Min. 600	650
Total moisture*		%wt	Max. 10	8.1
Ash***		%wt	Max. 3.0	3.0
Fines		%wt	Max. 2.0	2.0
Gross calorific value	As air dried basis	kcal/kg	Min. 4,300	4,680
	As dried basis		Min. 4,200	4,530
	As received basis		Min. 4,100	4,300
Net calorific value*		kcal/kg	Min. 3,900	3,940
chlorine***		%wt	Max. 0.05	0.03
Sulphur***		%wt	Max. 0.05	0.03
Nitrogen***		%wt	Max. 0.5	0.5
Hydrogen**		%wt	Report	6.22
Ash fusion temperature		℃	Min. 1,150	1,211
Trace element	As	mg/kg	Max. 1.0	Less than 0.5
	Cd	mg/kg	Max. 0.5	Less than 0.1
	Cr	mg/kg	Max. 10	6
	Cu	mg/kg	Max. 10	5
	Pb	mg/kg	Max. 10	Less than 1
	Hg	mg/kg	Max. 0.05	Less than 0.01
	Ni	mg/kg	Max. 10	3
	Zn	mg/kg	Max. 100	12
Biomass**		%wt	Min. 90	95.7
DNA test		-	Negative	Negative

* As received basis

** As dried basis

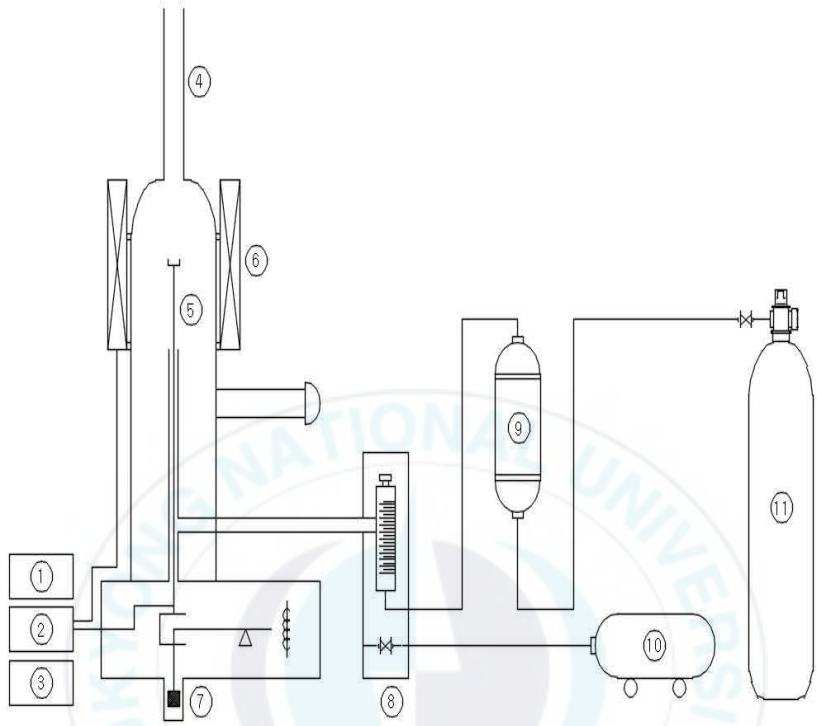
*** As air dried basis

3-2. 열분석

3-2-1. 실험장치

열분석 실험에 사용된 장치는 Perkin Elmer제 model TGA7을 이용하였다. 실험장치의 개략도는 Fig. 2에 나타내었으며, 주요장치의 전체구성은 TGA장치, 온도조절장치, 기록계, Sample 홀더, 전기로, 공기조절장치 등으로 구성되어있다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교



① TG-DTA unit
② Temperature controller
③ Pen recorder
④ Gas flow attachment
⑤ Sample holder
⑥ Electric furnace
⑦ Balance weight adjusting mechanism
⑧ Atmosphere control unit
⑨ Drying bottle
⑩ Vacuum pump
⑪ Nitrogen cylinder

Fig. 2. Schematic diagram of thermogravimetric analyzer.

3-2-2. 실험방법

실험은 직경 0.5 cm의 백금 시료접시에 시료를 약 0.2 g을 넣고 유량 20 ml/min의 질소 기류 하에서 온도변화에 대한 시료의 중량 변화를 측정하였다. 열전대는 Chromel-alumel 사용하여 열화되는 시료의 온도를 측정하고 비등온 실험에서는 승온속도를 10 ℃/min으로 변화시켰으며, 열화전에 진공펌프로서 기체흐름 부속장치와 열천평 내부를 진공도 10^{-3}~10^{-4} torr까지 진공시킨 후 다시 질소기체를 주입시켜서 잔존하는 불순기체를 제거한 후 실험 결과를 분석하였다.

3-3. 자연발화

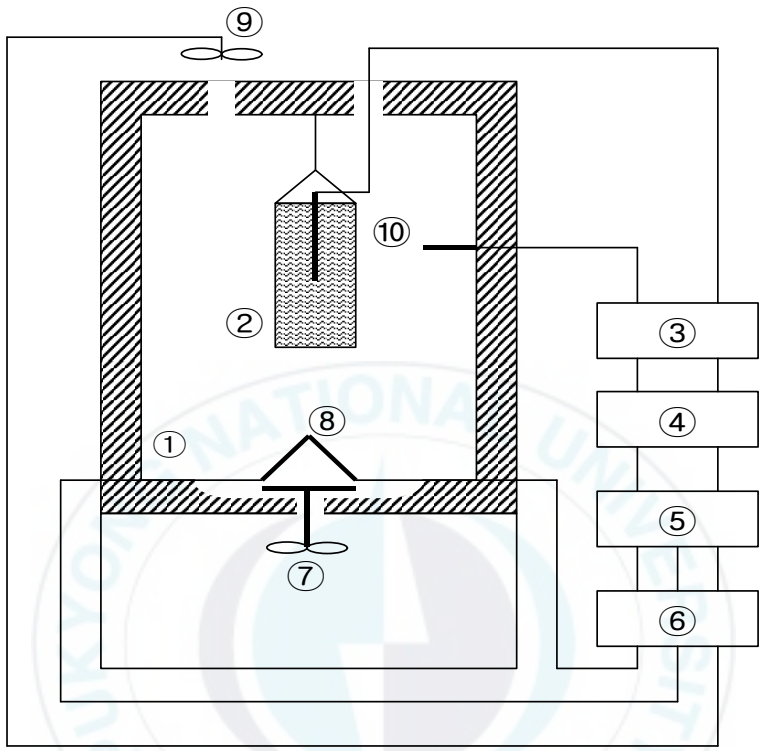
3-3-1. 실험장치

본 연구에서 사용한 실험장치는 Fig. 3에 나타내었으며, Photo 1에는 자연발화 측정 장치를 사진으로 나타내었다. 실험장치는 항온조, 열전대, 온도제어장치, 기록계와 시료용기로 구성되어 있다.

항온조는 내용적 27 ℓ(30 cm × 30 cm × 30 cm)의 열풍 순환식 항온조로 내부의 온도분포를 일정하게 유지하기 위하여 Sirocco fan (Ø10 cm)을 부착하여 내부공기를 강제 순환시켰으며, 항온조의 가열히터는 1200 ℃까지 온도를 상승시킬 수 있는 1.5 kW의 히터 5개를 설치하여 가열하였다. 항온조 상부의 배기구에는 팬을 설치하여 설정온도보다 내부온도가 높을 때는 릴레이 스위치에 의해 팬이 자동으로 작동되게 하였다. 온도측정용 열전대는 주위온도의 제어 및 측정용과 시료의 중심온도 측정용으로 사용하였으며, 전자는 시료용기와 항온조의 벽면중심에 설치하고, 후자는 직경은 0.35 mm로 2조인 Chromel-Alumel 열전대를 시료용기의 중심에 설치하였다. 온도제어장치(제조사: Konics, EC-5600)는 프로그램의 설정에 의해 주위온도를 제어하는 방식으로 냉접점을 거친 보정된 온도를 제어할 수 있도록 하였으며, 이를 설정온도와 비교하고 그 차이에 의해 1.5 kW의 히터 5개의 전류치를 제어하여 릴

레이 스위치로서 상부 팬의 작동을 on-off로 제어하도록 하였다. 온도 기록장치(제조사: Yoko gawa, model 4151)는 펜형 기록계로서 설정온도 및 시료중심온도를 연속적으로 기록하도록 되어 있다.

시료용기의 크기는 Small 용기(20 cm × 20 cm × 3 cm), Intermediate 용기(20 cm × 20 cm × 5 cm), Large 용기(20 cm × 20 cm × 7 cm), Extra large 용기(20 cm × 20 cm × 14 cm)로서 형상을 입방체로 하여 무한평판에 접근하도록 하였으며, 이 용기는 300 mesh의 스테인리스 망으로 앞면과 뒷면을 일차원 방향으로 열전달이 되게 하였으며, 다른 부분은 약 1 cm의 석면판으로 단열시켰다.[21,22)]



① Electric furnace
② Sample
③ Cold junction
④ Program controller
⑤Temperature recorder
⑥ Relay switch
⑦ Sirocco fan
⑧ Heater
⑨ Fan
⑩ Chromel-alumel thermocouple

Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus for spontaneous ignition temperature measurement.

Photo 1. Experimental apparatus for spontaneous ignition temperature measurement.

3-3-2. 실험방법

실험은 온도제어 장치의 프로그램을 미리 설정하여 소정의 온도로 가열된 항온조의 중심에 우드펠릿을 충전한 시료용기를 장치 내에 걸고, 열전대를 시료용기의 중심부, 시료용기와 벽면과의 공간 중앙부에 같은 높이가 되도록 설치하였다.

시료용기를 실험 장치에 넣은 후 시료의 중심온도 변화를 관찰하여 중심온도가 설정온도보다 급격하게 상승하였을 때를「발화」로 판정하고, 시료의 중심온도가 설정온도와 유사하게 유지되었을 경우「비발화」로 판정하고 1회의 실험을 중지하였다.

동일한 조건으로 실험을 반복하여 시료가 발화한 최저온도와 발화하지 않았던 최고온도와의 차이가 5 ℃일 때 실험을 종료하고, 양자의 평균온도를 발화한계온도로 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 우드펠릿 및 분말의 열분석

4-1-1. 우드펠릿의 열분석

우드펠릿의 분해개시온도를 알아보기 위해 질소분위기 중에서 20 ml/min의 열분석을 행하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 100 ℃부근에서 수분 증발이 일어나면서 미세한 중량감소가 나타났으며, 200 ℃부근에서는 발열현상이 시작되었다. 따라서 분해개시온도는 267.82 ℃이였으며, 분해속도는 300 ℃ 부근에서 가장 컸다. 이것은 가장 성분 함량이 많은 셀룰로오스가 분해되기 때문으로 생각되며, 600 ℃ 이후부터는 중량 변화가 거의 없었다.

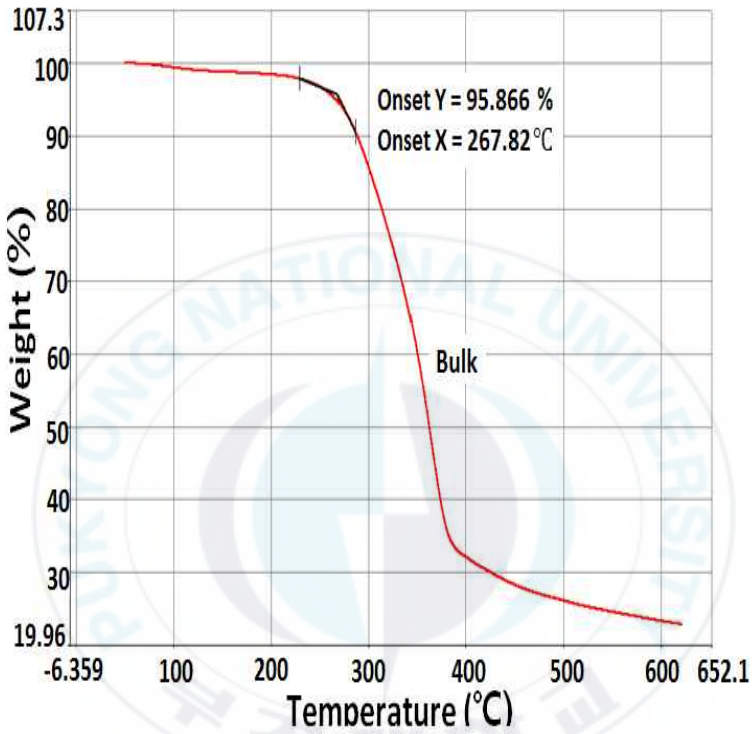


Fig. 4. Thermogravimetric analysis of wood pellet.

4-1-2. 우드분말의 열분석

우드분말의 분해개시온도를 알아보기 위해 질소분위기 중에서 20 ml/min의 열분석을 행하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 100 ℃부근에서 수분 증발이 일어나면서 미세한 중량감소가 나타났으며, 200 ℃부근에서는 발열현상이 시작되었다. 따라서 분해개시온도는 260.70 ℃이였으며, 300 ℃ 부근에서는 저온에서부터 열분해 되어 나오는 헤미 셀룰로오스, 셀룰로오스, 리그닌 등 물질들이 순차적으로 연소하는 현상을 나타내었으며, 600 ℃ 이후부터는 중량 변화가 거의 없었다.

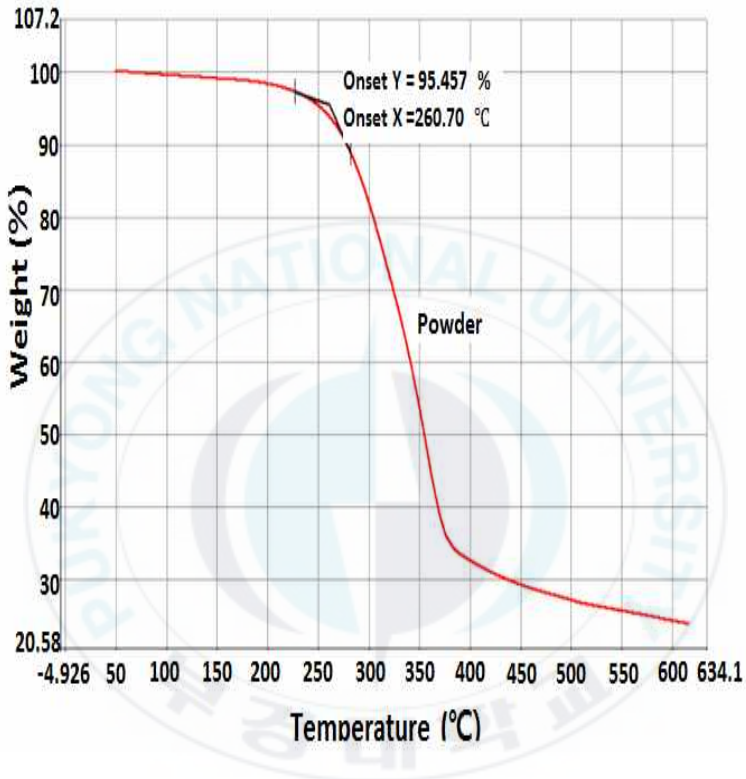


Fig. 5. Thermogravimetric analysis of wood powder.

4-1-3. 우드펠릿과 우드분말의 열분석

Fig. 6은 우드펠릿과 우드분말의 열분석 그래프를 각각 표시한 것으로서 우드펠릿의 열분해 개시 온도는 267.82 ℃이었으며, 우드분말의 경우 260.70 ℃이었다. 이것은 표면적이 작은 우드펠릿이 입자 중심까지의 열전도율이 분말보다 낮아 우드펠릿의 열분해 개시온도가 우드분말보다 약 7 ℃정도 높은 것으로 판단된다.

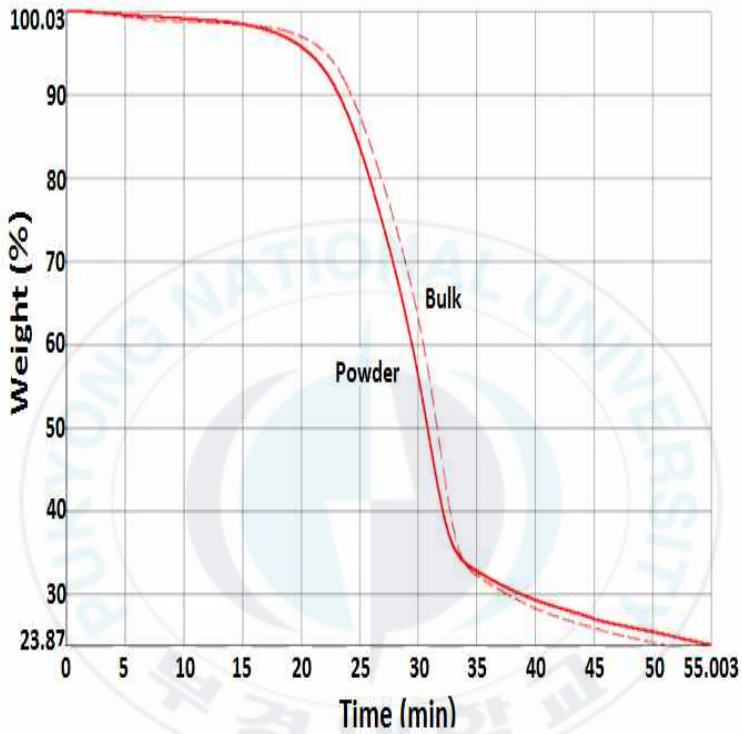


Fig. 6. Thermogravimetric analysis of wood pellet and wood powder.

4-2. 우드펠릿의 자연발화온도

4-2-1. 시료의 용기가 3 cm일 경우

시료의 용기가 Small(20 cm × 20 cm × 3 cm)일 경우 사용된 펠릿의 시료량은 0.45 kg로서 임의의 온도를 지정하여 발화가 일어났을 경우에는 온도를 낮추고 비발화 되었을 때는 온도를 올리는 방법으로 실험을 하여 최저발화온도 및 발화한계온도를 구하였다.

Fig. 7과 Fig. 8은 실험을 행한 시료의 두께가 3 cm일 때 우드펠릿의 비발화와 발화에 대한 결과를 나타내었다.

Fig. 7은 175 ℃에서 실험을 행한 것으로서 약 2시간이 경과됨에 따라 주위온도 부근에 이르렀으나 70시간이 경과하여도 발화가 되지 않았다.

즉, 용기 내부에 저장된 시료의 중심온도에서 열이 축적되지 않고 방열속도가 발열속도보다 크기 때문에 오랜 시간이 경과되어도 발화가 발생되지 않는다. 또한 시료용기의 내부온도가 주위의 온도보다 약 2시간이 경과한 이후부터 10 ℃ 높게 나타나고 있다. 이것은 시료용기 내부의 축적된 열이 용기 외부로 방열됨으로 인하여 온도가 높게 나타나는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 설정온도를 180 ℃로 일정하게 하고 시료용기를 실험 장치

에 넣은 후 실험을 시작한 시간부터 온도가 서서히 상승하다가 2시간 36분이 지남에 따라 발화가 일어나고 9시간 정도에서 최고발화 온도를 기록하였다. 주위온도는 6시간 36분이 지나면서 설정온도보다 높아졌으며, 이것은 발화의 영향으로 시료용기 내의 온도가 높아져 항온조의 주위온도가 상승하고 있음을 나타낸다. 또한 시료용기 내부의 최고온도가 약 9시간에서 249 ℃를 나타내었으며, 시간이 경과함에 따라 온도가 서서히 하강하여 약 26시간 24분이 지난 후에 설정온도와 동일하게 측정되었다. 이것은 시료용기의 내부에서 시료가 완전히 연소함으로 인하여 열의 축적이 되지 않기 때문에 설정온도와 시료용기의 내부온도가 동일하게 나타나는 것으로 판단된다.

따라서 Small 용기의 경우 우드펠릿의 발화온도 180 ℃와 비발화로 판정되는 175 ℃의 평균온도인 발화한계온도 177.5 ℃를 구하였다.

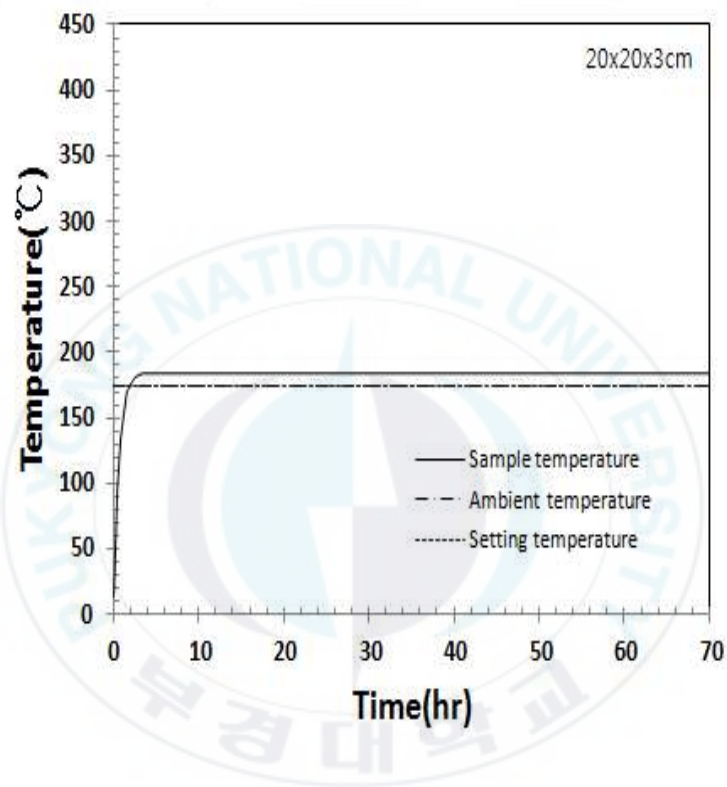


Fig. 7. Relation between time and temperature for wood pellet in 3 cm vessel(at 175 ℃).

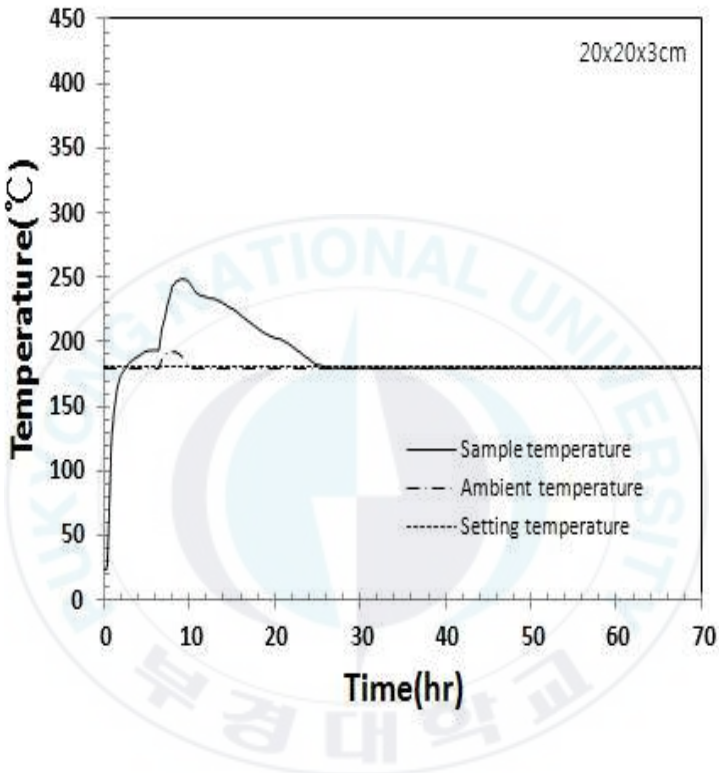


Fig. 8. Relation between time and temperature for wood pellet in 3 cm vessel(at 180 ℃).

4-2-2. 시료의 용기가 5 cm일 경우

시료 용기가 Intermediate(20 cm × 20 cm × 5 cm)일 경우 사용된 펠릿의 시료량은 0.9 kg로서 Fig. 9와 Fig. 10은 실험을 행한 시료의 두께가 5cm일 때의 우드펠릿의 비발화와 발화에 대한 결과를 나타내었다.

Fig. 9는 170 ℃에서 실험을 행한 것으로서 약 3시간 30분이 경과됨에 따라 주위온도 부근에 이르렀으나 70시간이 경과하여도 발화되지 않았다.

Fig. 10은 설정온도를 175 ℃로 일정하게 하고 시료용기를 실험 장치에 넣은 후 3시간 36분이 지남에 따라 주위온도보다 시료온도가 상승하게 되어 6시간 정도에서 205 ℃로 발화되었다.

따라서 우드펠릿의 발화된 온도 175 ℃와 비발화로 판정되는 170 ℃의 평균값인 172.5 ℃의 발화한계온도를 구하였다.

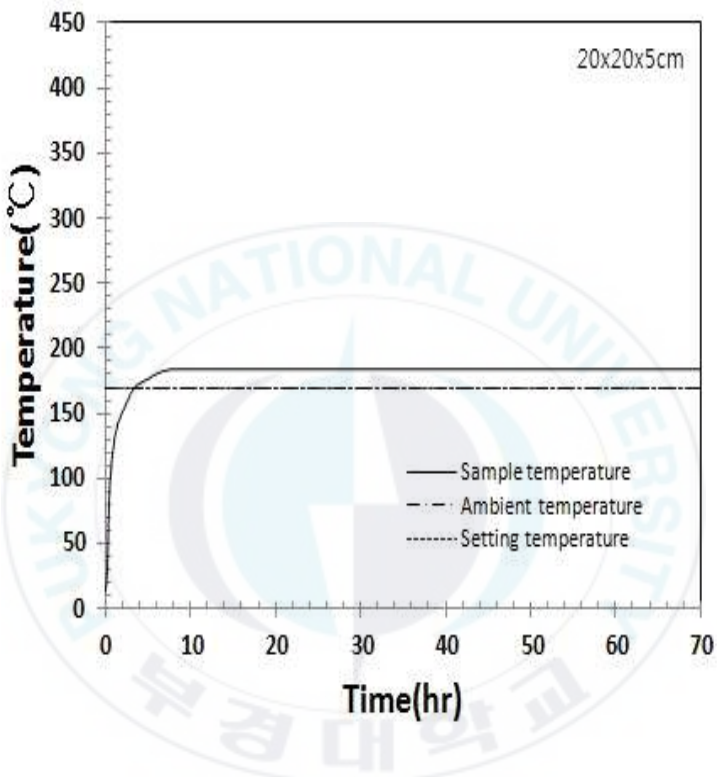


Fig. 9. Relation between time and temperature for wood pellet in 5 cm vessel(at 170 ℃).

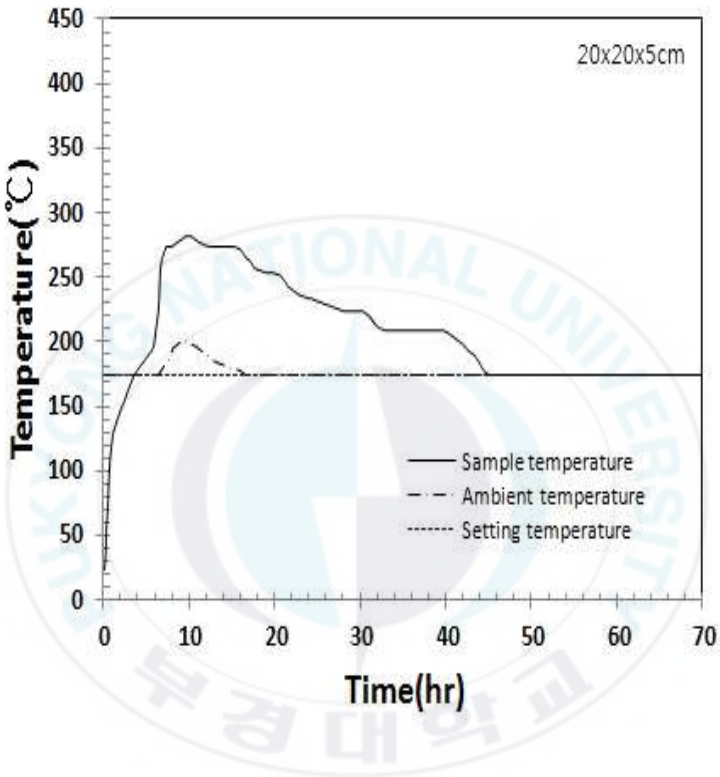


Fig. 10. Relation between time and temperature for wood pellet in 5 cm vessel(at 175 ℃).

4-2-3. 시료의 용기가 7 cm일 경우

시료 용기가 Large(20 cm × 20 cm × 7 cm)일 경우 사용된 펠릿의 시료량은 1.39 kg이며 Fig. 11과 Fig. 12는 실험을 행한 시료의 두께가 7 cm일 때의 펠릿의 비발화와 발화에 대한 결과를 나타내었다.

Fig. 11은 160 ℃에서 실험을 행한 것으로서 약 4시간 6분이 경과했을 때 주위온도 부근에 이르렀으나 70시간이 경과하여도 발화되지 않았다.

Fig. 12는 165 ℃에서 5시간 48분이 경과할 때 주위온도보다 시료용기 내의 온도가 서서히 상승한 후에 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 시료용기 중심에 삽입된 열전대 부근의 시료가 발화된 후 산소부족으로 연소가 소강상태에 놓여 온도가 하강하다 인접한 시료에서 재발화하여 다시 온도가 상승한 것으로 예측된다.

따라서 발화온도 165 ℃와 비발화 온도 160 ℃의 평균값인 발화한계온도 162.5 ℃임을 알 수 있었다.

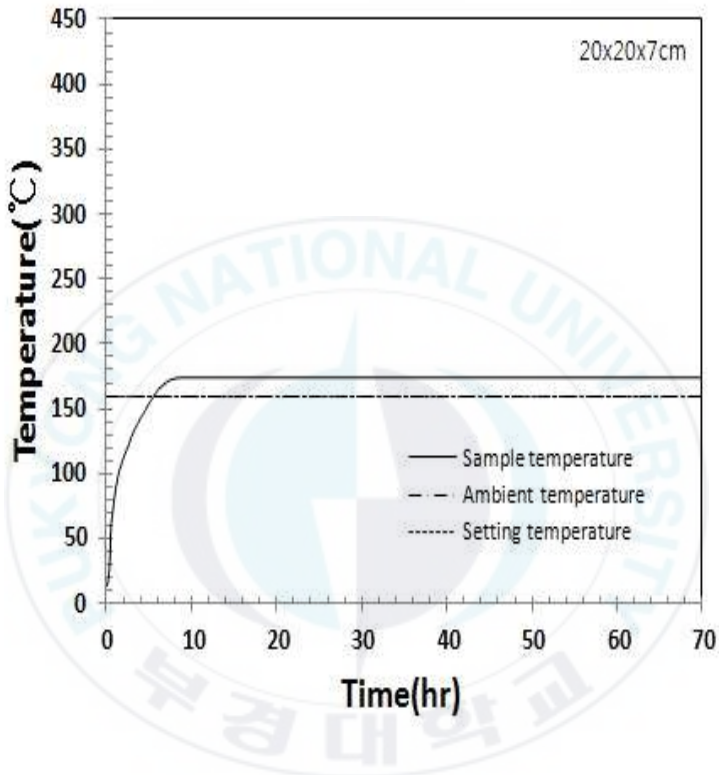


Fig. 11. Relation between time and temperature for wood pellet in 7 cm vessel(at 160 ℃).

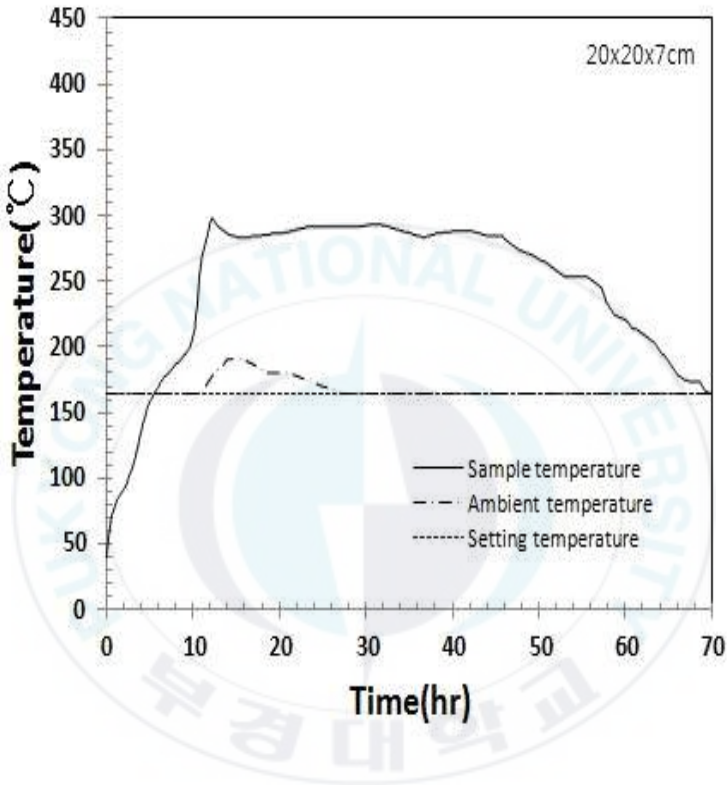


Fig. 12. Relation between time and temperature for wood pellet in 7 cm vessel(at 165 ℃).

4-2-4. 시료의 용기가 14 cm일 경우

시료 용기가 Extra large(20 cm × 20 cm × 14 cm)일 경우 사용된 펠릿의 경우 시료의 양은 2.73 kg이며 Fig. 13과 Fig. 14는 실험을 행한 시료의 두께가 14 cm일 때 펠릿의 비발화와 발화에 대한 결과를 나타내었다.

Fig. 13은 145 ℃에서 실험을 행하였으나 발화가 되지 않았다.

Fig. 14는 150 ℃에서 실험을 행한 결과 12시간 30분이 경과할 때 주위온도보다 시료용기 내의 온도가 상승하게 되었으며, 시료용기가 커질수록 발화유도시간이 길어지는데 이것은 시료용기가 커질수록 시료층의 두께가 두꺼워지므로 시료의 표면에서 중심까지 열전달이 어렵기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 우드펠릿의 Extra large 용기에서 발화한계온도는 147.5 ℃임을 알 수 있었다.

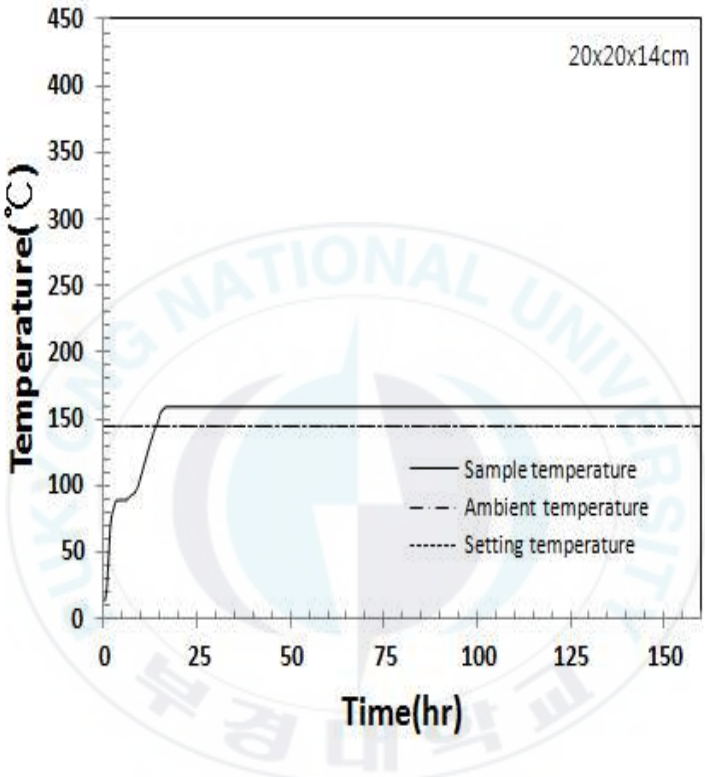


Fig. 13. Relation between time and temperature for wood pellet in 14 cm vessel(at 145 ℃).

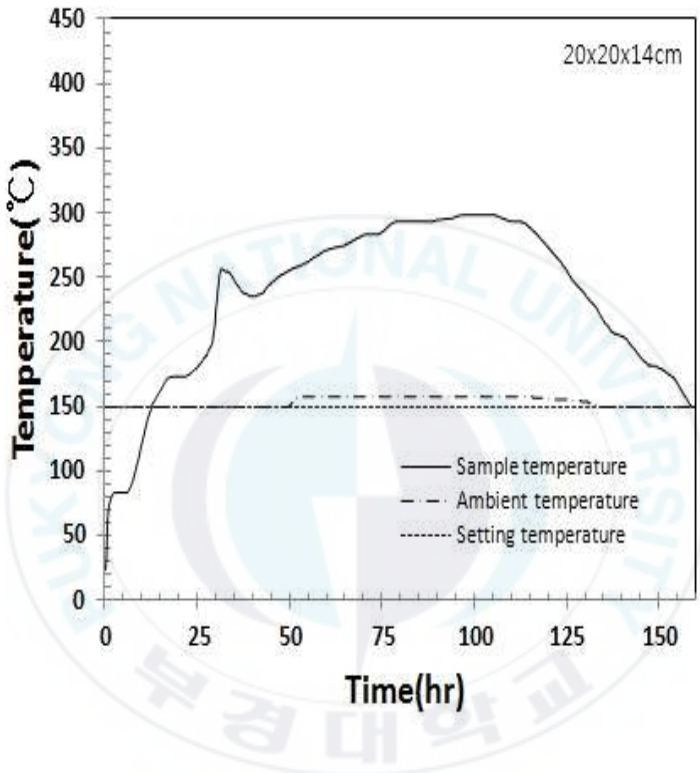


Fig. 14. Relation between time and temperature for wood pellet in 14 cm vessel(at 150 ℃).

4-3. 우드분말의 자연발화온도

4-3-1. 시료의 용기가 3 cm일 경우

시료의 용기가 Small(20 cm × 20 cm × 3 cm)일 경우 사용된 분말의 시료량은 0.3 kg로서 임의의 온도를 지정하여 발화가 일어났을 때는 온도를 낮추고 비발화 되었을 때는 온도를 올리는 방법으로 실험을 하여 최저발화온도 및 발화한계온도를 구하였다.

Fig. 15와 Fig. 16은 실험을 행한 시료의 두께가 3 cm일 때 우드분말의 비발화와 발화에 대한 결과를 나타내었다.

Fig. 15는 175 ℃에서 실험을 행한 것으로서 약 1시간이 경과됨에 따라 주위온도 부근에 이르렀으나 70시간이 경과하여도 발화가 되지 않았다.

Fig. 16은 180 ℃로 설정한 후 1시간이 지남에 따라 온도가 급격히 상승하여 발화가 일어나고 3시간 36분 정도에서 최고발화 온도를 기록하였다. 주위온도는 2시간 36분이 지나면서 설정온도보다 높아졌다.

따라서 시료의 두께가 (20 cm × 20 cm × 3 cm)인 우드분말의 발화온도 180 ℃와 비발화로 판정되는 175 ℃의 평균온도인 발화한계온도 177.5 ℃를 구하였다.

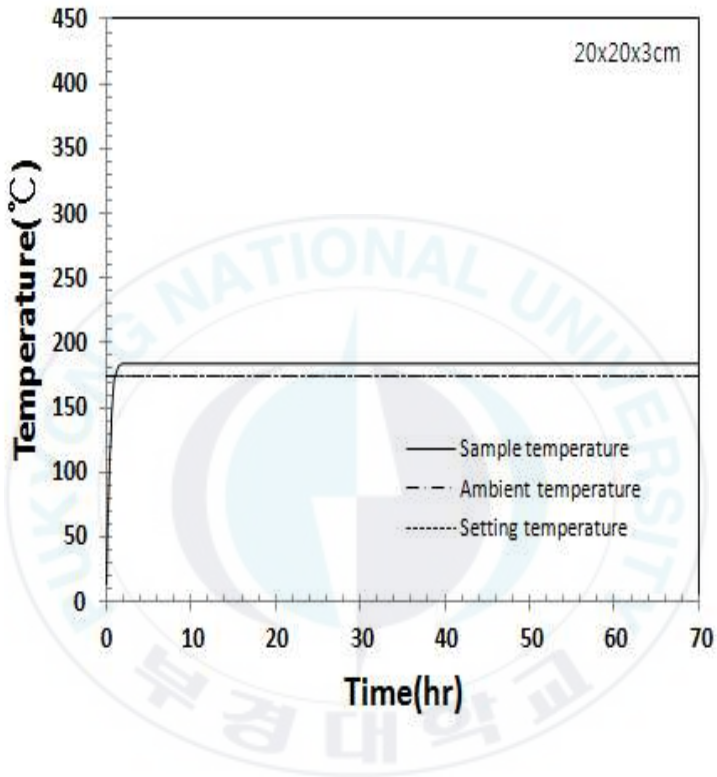


Fig. 15. Relation between time and temperature for wood powder in 3 cm vessel(at 175 ℃).

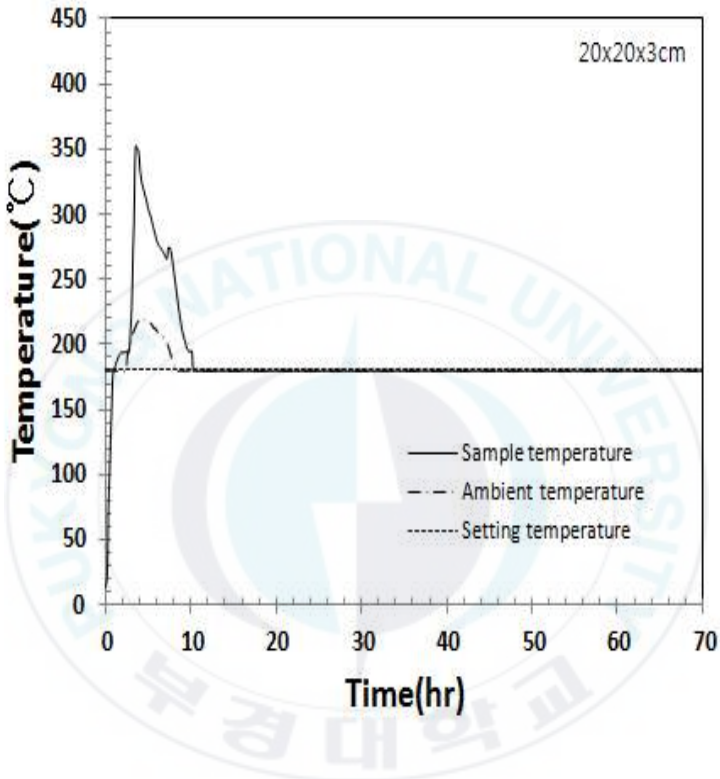


Fig. 16. Relation between time and temperature for wood powder in 3 cm vessel(at 180 ℃).

4-3-2. 시료의 용기가 5 cm일 경우

시료 용기가 Intermediate(20 cm × 20 cm × 5 cm)일 경우 사용된 분말의 시료량은 0.44 kg로서 Fig. 17과 Fig. 18은 실험을 행한 시료의 두께가 5 cm일 때의 비발화와 발화에 대한 결과를 나타내었다.

Fig. 17은 165 ℃에서 실험을 행하였으며 시간이 경과됨에 따라 온도가 상승하였으나 발화되지 않았다.

Fig. 18은 설정온도를 170 ℃로 일정하게 하고 실험한 결과 2시간 42분 정도에서 주위온도까지 온도가 상승하였고 4시간 48분 정도에서 온도가 급격히 상승하여 발화하였으며, 6시간에서 온도가 약간 낮아졌으나, 다시 상승한 후 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 시료용기 중심에 삽입된 열전대 부근의 시료가 발화된 후 산소부족으로 연소가 소강상태에 놓여 온도가 하강하였으나, 인접한 시료에서 재발화하여 다시 온도가 상승한 것으로 예측된다.

따라서 우드분말의 발화온도 170 ℃와 비발화 온도 165 ℃의 평균값인 발화한계온도 167.5 ℃를 구하였다.

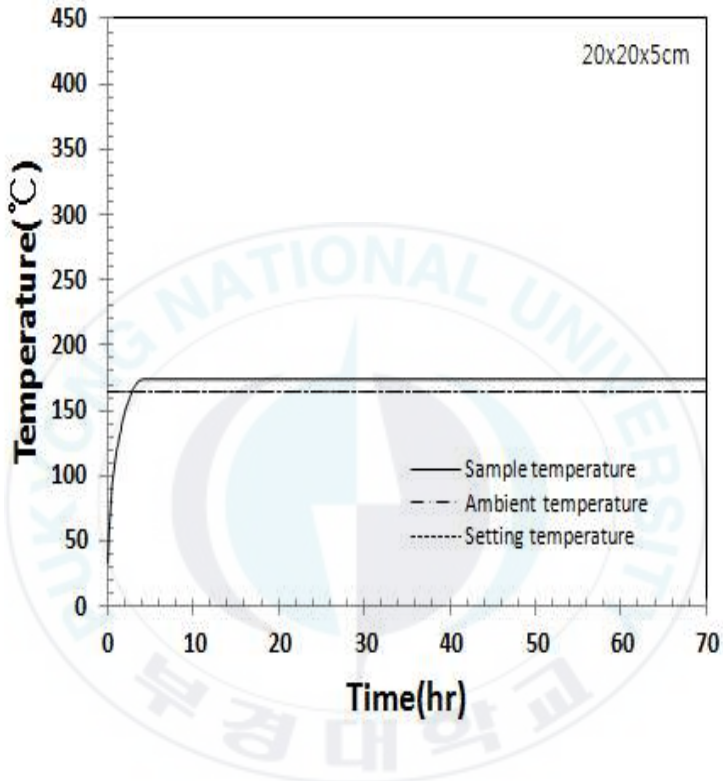


Fig. 17. Relation between time and temperature for wood powder in 5 cm vessel(at 165 ℃).

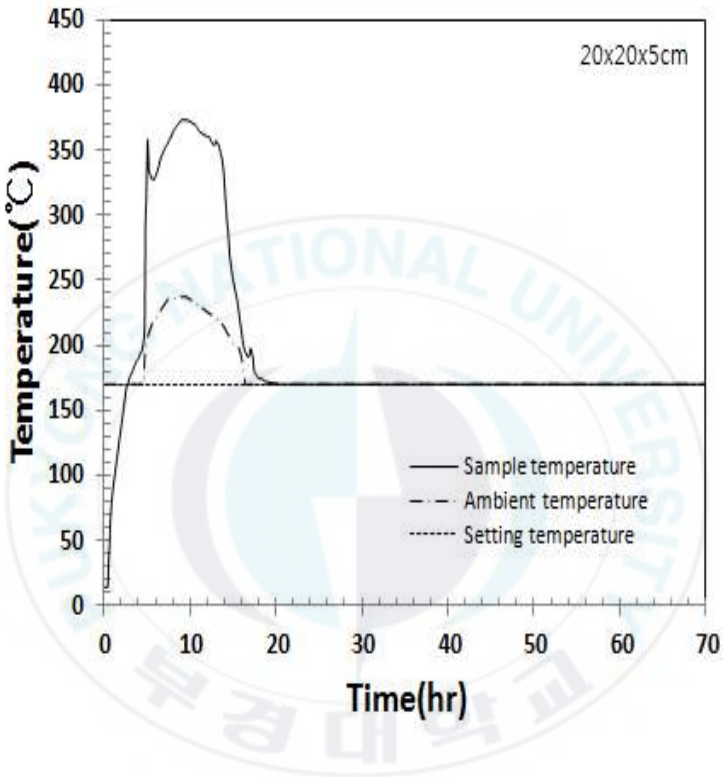


Fig. 18. Relation between time and temperature for wood powder in 5 cm vessel(at 170 ℃).

4-3-3. 시료의 용기가 7 cm일 경우

시료 용기가 Large(20 cm × 20 cm × 7 cm)일 경우 사용된 분말의 시료량은 0.66 kg이며 Fig. 19와 Fig. 20은 실험을 행한 시료의 두께가 7 cm일 때의 비발화와 발화에 대한 결과를 나타내었다.

Fig. 19는 155 ℃에서 실험을 행한 것으로서 시간이 경과하여도 발화가 되지 않았다.

Fig. 20은 160 ℃에서 실험을 행하였을 때 서서히 시료용기 내부에 열이 축적되어 온도가 상승하고 8시간 48분이 경과 시 시료내부의 온도가 급격히 상승하여 발화가 일어났다.

따라서 발화온도 160 ℃와 비발화 온도 155 ℃의 평균값인 발화한계 온도는 157.5 ℃임을 알 수 있었다.

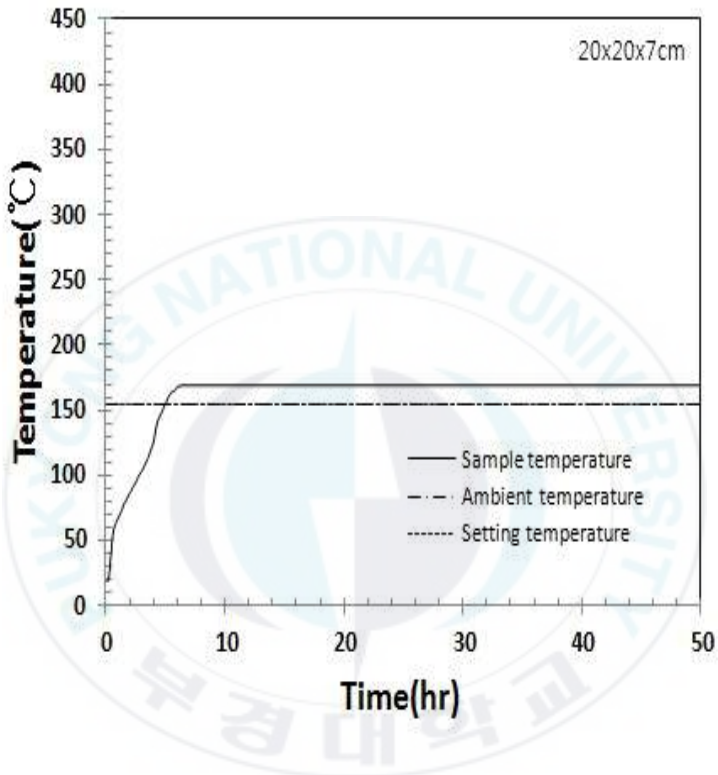


Fig. 19. Relation between time and temperature for wood powder in 7 cm vessel(at 155 ℃).

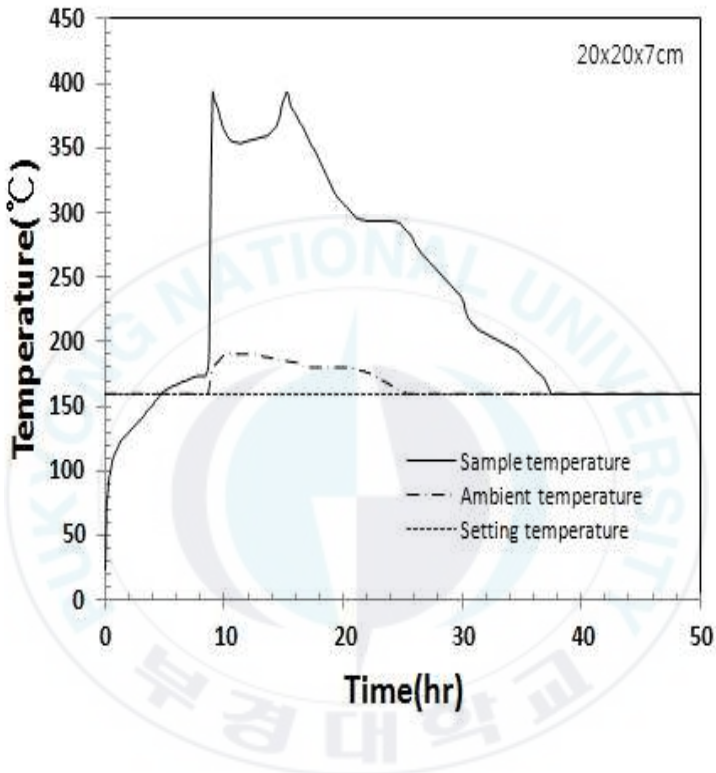


Fig. 20. Relation between time and temperature for wood powder in 7 cm vessel(at 160 ℃).

4-3-4. 시료의 용기가 14 cm일 경우

시료 용기가 Extra large(20 cm × 20 cm × 14 cm)일 경우 사용된 분말의 시료의 양은 1.23 kg이며 Fig. 21과 Fig. 22는 실험을 행한 시료의 두께가 14 cm일 때 비발화와 발화에 대한 결과를 나타내었다.

Fig. 21은 140 ℃에서 실험을 행하였으나 발화가 되지 않았다.

Fig. 22는 145 ℃에서 실험을 행한 것으로 11시간 48분이 경과할 때 주위온도보다 시료용기 내의 온도가 상승하게 되었다.

따라서 우드분말의 발화한계온도는 발화와 비발화의 평균값인 142.5 ℃를 구하였다.

실험 결과를 종합해볼 때 펠릿이 분말보다 발화유도시간 및 최고온도에 도달하는 시간이 긴 것으로 나타났다. 이것은 분말의 경우 표면적 크기가 넓으므로 외부열원에 의해 표면에서 쉽게 열분해가 일어나는 반면 표면적이 작은 펠릿은 외부에서 전달되는 에너지가 열분해 되는데 사용되지 않고 입자표면을 통해 외부로 방열되기 때문에 입자표면만 탄화되고 입자 중심까지 탄화되는데 시간이 오래 걸리기 때문으로 예측된다. 또한 각 우드펠릿 및 우드분말의 용기의 크기가 커짐에 따라 발화한계온도가 낮아지고 있으므로 많은 양을 저장 및 취급할 경우 자연발화가 일어날 확률이 높으므로 온도 상승을 방지 할 수 있는 대책이 필요하다.

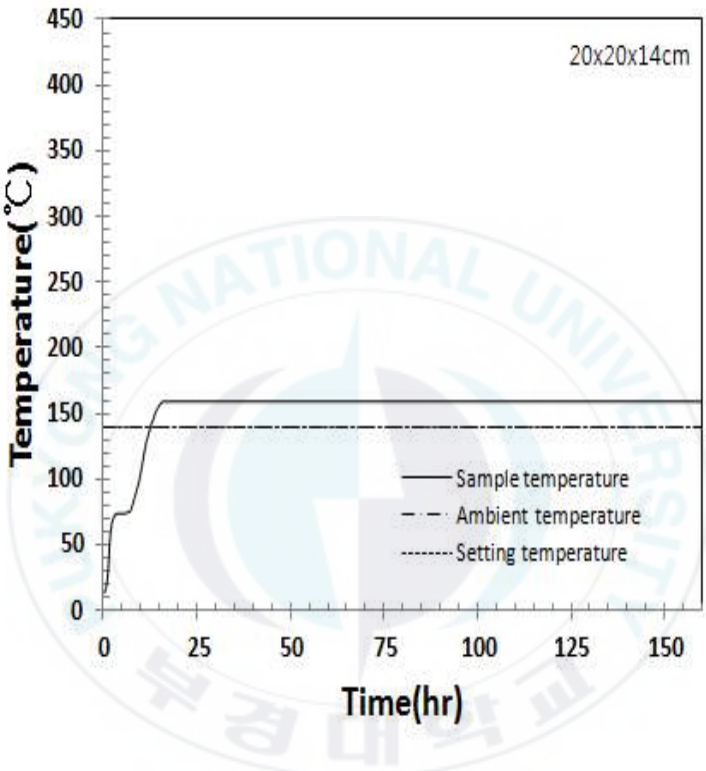


Fig. 21. Relation between time and temperature for wood powder in 14 cm vessel(at 140 ℃).

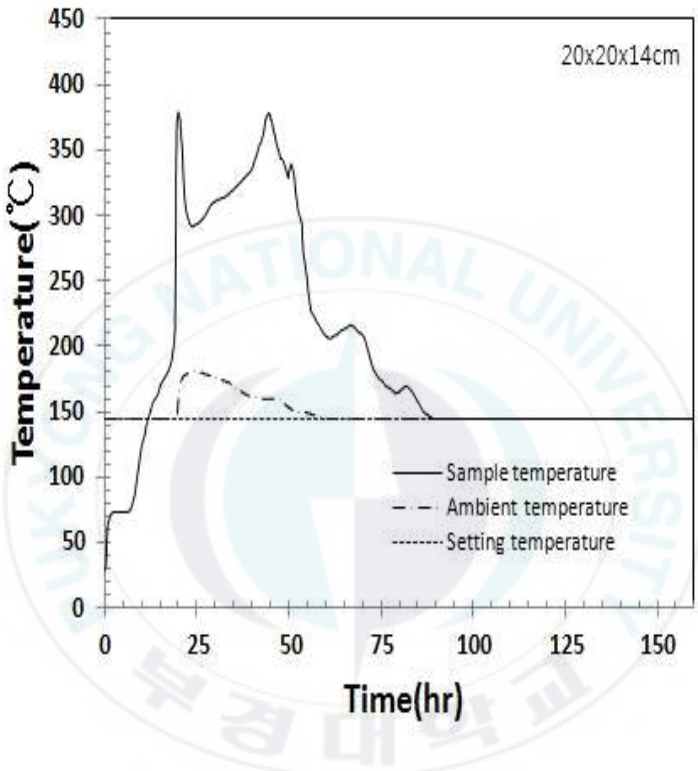


Fig. 22. Relation between time and temperature for wood powder in 14 cm vessel(at 145 ℃).

4-4. 겉보기 활성화 에너지

우드펠릿과 우드분말의 자연발화에 대하여 실험한 결과 용기의 크기가 커짐에 따라 발화한계온도가 낮아지는 경향을 나타내었으며, 이것은 시료의 두께가 두꺼울수록 열의 축적이 용이하여 방열이 나쁘기 때문으로 사료된다.

자연발화의 발생가능성을 검토하기 위해 발화한계온도를 구한 값으로서 겉보기 활성화 에너지를 구하였으며, 각 시료 용기에 있어 구한 발화한계온도와 Frank - Kamenetskii의 Parameter 식으로부터 얻어지는 식 (15)로부터 겉보기 활성화 에너지를 구하기 위해 식 (16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta = \frac{EQ_a^2 C_0^n A_0 \exp^{-E/RTa}}{KRT_a^2} \tag{16}$$

식 (16)을 정리하면 식 (17)로 된다.

$$\ln\frac{\delta_c T_c^2}{a^2} = -\frac{E}{R}\frac{1}{T_c} + \ln\frac{QA_0E}{KR} \tag{17}$$

4-4-1. 우드펠릿의 겉보기 활성화 에너지

각 크기가 다른 시료용기에서의 실험 결과로부터 구한 발화한계온도를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Relation between critical spontaneous ignition temperature and thickness in each sample vessel for wood pellet

a[m]	$T_c[K]$	δ_c	$\ln\frac{\delta_c T_c^2}{a^2}$	$\frac{1}{T_c}\times 10^3[K^{-1}]$
1.5×10^{-2}	450.66	0.878	20.4907	2.2190
2.5×10^{-2}	445.66		19.4468	2.2439
3.5×10^{-2}	435.66		18.7284	2.2954
7.0×10^{-2}	420.66		17.2721	2.3772

우드펠릿의 겉보기 활성화 에너지를 구하기 위해 식 (17)에서 $\ln\frac{QA_0E}{KR}$와 $\frac{E}{R}$는 언제나 상수가 되므로, $\ln\frac{\delta_c T_c^2}{a^2}$을 $\frac{1}{T_c}$에 대해 도시화하면 Fig. 23과 같이 직선이 얻어진다. 또한 발화와 비발화를 나타내는 실험결과를 동시에 나타내었으며, 이 결과를 최소자승법으로 정리하면 다음의 식 (18)을 얻을 수 있다.

$$\ln\frac{\delta_c T_c^2}{a^2} = 62.46 - 19.04 \times 10^3 \times \frac{1}{T_c} \quad (18)$$

식 (18)로부터 겉보기 활성화 에너지를 구하면

$$\frac{E}{R} = 19.04 \times 10^3 \text{ [K]} \quad (19)$$

식 (19)가 얻어지고 활성화 에너지를 식 (20)과 같이 구하였다.

$$E = 37.83 \text{ [kcal/mol]} \quad (20)$$

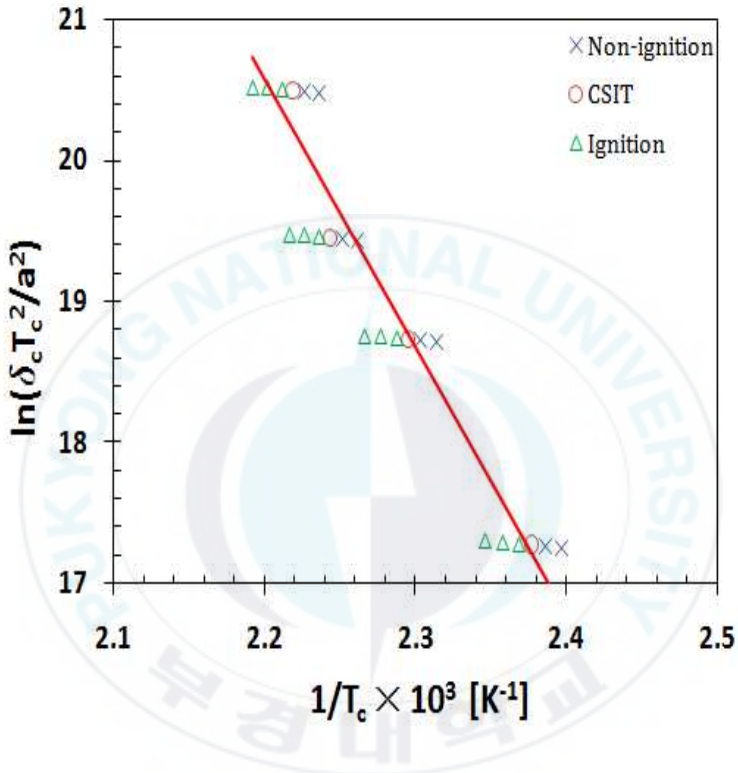


Fig. 23. Determination of activation energy for wood pellet.

4-4-2. 우드분말의 겉보기 활성화 에너지

각 크기가 다른 시료용기에서의 실험 결과로부터 구한 발화한계온도를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Relation between critical spontaneous ignition temperature and thickness in each sample vessel for wood pellet powder

a[m]	$T_c[K]$	δ_c	$\ln\frac{\delta_c T_c^2}{a^2}$	$\frac{1}{T_c}\times 10^3[K^{-1}]$
1.5×10^{-2}	450.66	0.878	20.4907	2.2190
2.5×10^{-2}	440.66		19.4242	2.2693
3.5×10^{-2}	430.66		18.7053	2.3220
7.0×10^{-2}	415.66		17.2504	2.4058

우드분말의 겉보기 활성화 에너지를 구하기 위해 식 (17)에서 $\ln\frac{QA_0E}{KR}$와 $\frac{E}{R}$는 언제나 상수가 되므로, $\ln\frac{\delta_c T_c^2}{a^2}$을 $\frac{1}{T_c}$ 에 대해 도시화하면 Fig. 24와 같이 직선이 얻어진다. 또한 발화와 비발화를 나타내는 실험결과를 동시에 나타내었으며, 이 결과를 최소자승법으로 정리하면 다음의 식 (21)을 얻을 수 있다.

$$\ln\frac{\delta_c T_c^2}{a^2} = 58.14 - 17 \times 10^3 \times \frac{1}{T_c} \quad (21)$$

식 (21)로부터 겉보기 활성화 에너지를 구하면

$$\frac{E}{R} = 17 \times 10^3 \text{ [K]} \quad (22)$$

식 (22)가 얻어지고 활성화 에너지는 식 (23)과 같이 구하였다.

$$E = 33.78 \text{ [kcal/mol]} \quad (23)$$

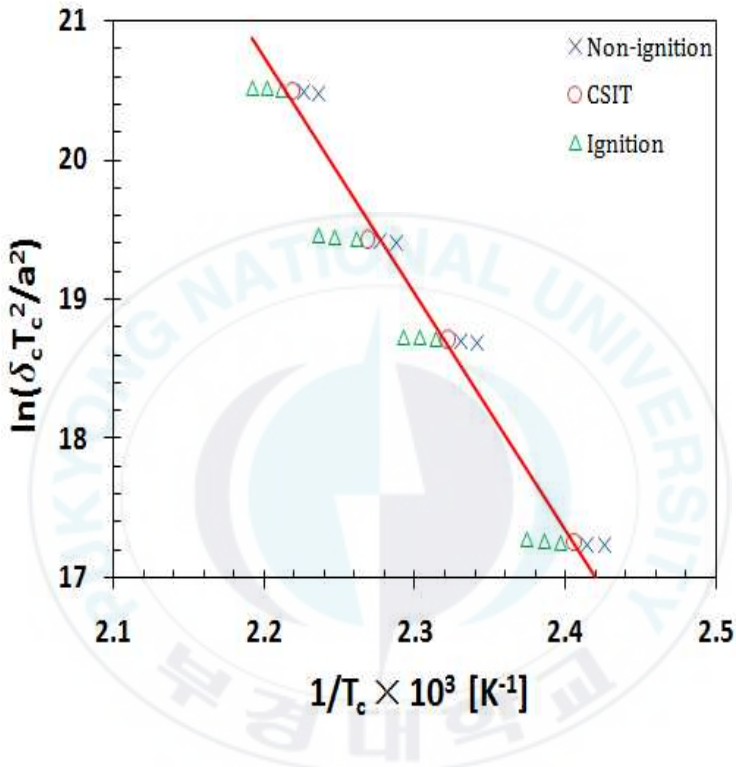


Fig. 24. Determination of activation energy for wood powder.

5. 결 론

본 연구는 화력발전소에서 연료의 혼합물질로 사용되는 우드펠릿과 우드분말을 사용하여 용기의 크기에 따른 자연발화온도 및 발화한계온도를 측정하였다. 또한 겉보기 활성화 에너지와 물질의 발화 특성을 파악하기 위하여 열분석을 함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 질소 분위기 중에서 유량 20 ml/min, 승온속도 10 ℃/min의 열분석 행하였을 때 우드펠릿의 경우 열분해 개시온도는 267.82 ℃, 우드분말의 경우 260.70 ℃를 나타내었다.

2) 시료용기 크기가 Small인 경우 우드펠릿과 우드분말의 자연발화온도는 동일하게 180 ℃를 구했으며 발화한계온도는 각각 177.5 ℃를 구하였다.

3) 시료용기 크기가 Intermediate인 경우 우드펠릿의 자연발화온도는 175 ℃를 구했으며, 우드분말의 경우 170 ℃를 측정하였다. 우드펠릿의 발화한계온도는 172.5 ℃를 구하였으며, 우드분말은 167.5 ℃를 구하였다.

4) 시료용기 크기가 Large인 경우 우드펠릿의 자연발화온도는 165 ℃를 구했으며 우드분말의 경우 160 ℃를 구하였다. 우드펠릿의 발화한계온도는 162.5 ℃를 구하였으며, 우드분말은 157.5 ℃를 측정하였다.

5) 시료용기 크기가 Extra large인 경우 우드펠릿의 자연발화온도는 150 ℃를 구했으며 우드분말의 경우 145 ℃를 구하였다. 우드펠릿의 발화한계온도는 147.5 ℃를 측정하였으며, 우드분말은 142.5 ℃를 구하였다.

6) 겉보기 활성화 에너지는 우드펠릿의 경우 37.83 [kcal/mol]을 구하였으며, 우드분말의 경우 33.78 [kcal/mol]을 구하였다.

7) 시료의 용기가 커질수록 우드펠릿이 우드분말보다 발화유도시간 및 최고온도에 도달하는 시간이 긴 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1) 최재욱, 목연수, 하동명, “Hydroxy Propyl Methyl Cellulose의 자연발화에 관한 연구”, 한국화재소방학회지, Vol. 15, No. 4, pp. 34-40, 2001.

2) 하동소방서, “H 화력발전 우드펠릿 이송설비 화재현장 조사서”, 2015.

3) 윤상욱, 강호덕, 강규영, “바이오 산업과 환경”, 문음사, pp. 292-300, 2010.

4) B. B. Beamish, A. G. Lau, A. L. Moodie and T. A. Vallance, “Assessing the Self-heating Behaviour of Callide Coal Using A 2-metre Column”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 15, pp. 385-390, 2002.

5) U. Krause, M. Schmidt, “The Influence of Initial Conditions on the Propagation of Smouldering Fires in Dust Accumulations”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 14, pp. 527-532, 2001.

6) P. H. Thomas, “Self-heating and Thermal Ignition - A Guide to its Theory and Application”, America Society for Testing and Materials, pp. 56-82, 1972.

7) 최재욱, 목연수, 옥곤, 사공성호, “도장 폐기물질의 자연발화에 관한 연구”, 한국안전학회지, Vol. 14, No. 2, pp. 90-96, 1999.

8) 崔載珍, “밀가루의 自然發火 및 熱分解 特性에 따른 危險性 評價”,

충남대학교 공학석사 학위논문, pp. 1-5, 2010.

9) M. V. Kok, M. R. Pamir, “Comparative Pyrolysis and Combustion Kinetics of Oil Shales", J. Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 55, No. 2, pp. 185-194, 2000.

10) 설수덕, "Poly Alkyl Methacrylate의 熱分解에 관한 硏究", 부산대학교 공학박사 학위논문, pp. 3-9, 1986.

11) 목연수, 최재욱, “주위온도 변화에 따른 입상 활성탄의 자연발화에 관한 연구”, 한국안전학회지, Vol. 7, No. 4, pp. 45-53, 1992.

12) 이승훈, “화재과학”, 동화기술, pp. 101-105, 2012.

13) 睦演洙, 趙泰濟, 全成均, 兪龍鎬, 化學安全工學, 東和技術, pp. 99-105, 1994.

14) 崔載旭, “有機溶劑와 粒狀活性炭의 自然發火特性에 관한 硏究”, 동아대학교 공학박사 학위논문, pp. 7-10, 1993.

15) 최재욱, 목연수, 김상렬, “1-Heptene, 2-Heptene 및 3-Heptene의 발화특성에 관한 연구”, 한국산업안전학회지, Vol. 5, No. 2, pp. 17-23, 1990.

16) 安全工學協會編, “火災”, 海文堂, pp. 23-26, 1983.

17) D. A. Frank-Kamenetskii, “Diffusion and Heat Transfer in Chemical Kinetises”, 2nd., Trans by Appleton, Pleum Press, pp. 5-36, 1969.

18) 武田久弘, “熱發火の理論”, 工業火藥協會, Vol. 38, No. 5, pp. 15-20, 1976.

19) Y. R. Kim, S. R. Lee, “Test Report for Wood Pellet”, KOTITI Testing & Research Institute.

20) 국립 산림 과학원, “목재제품의 규격과 품질기준”, 2015-2.

21) 임우섭, “Hydroxypropyl Methyl Cellulose 粉塵의 爆發 特性에 관한 硏究”, 부경대학교 공학박사 학위논문, pp. 26-31, 2005.

22) 강호정, “폐폴리우레탄폼의 자연발화 특성에 관한 연구”, 부경대학교 공학석사 학위논문, pp. 11-15, 2002.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

A Study on the Spontaneous Ignition Characteristic of Wood Pellet and Powder used in Mixtures of Thermal Power Plant

Yu-Jung Choi

Dept. of Fire Protection Engineering, Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

In this research study, the spontaneous ignition point and the critical ignition temperature according to the size of the holding container when wood pellets and wood powder, which are used as combined material for fuel in a thermoelectric power plants, were measured. Also in order to determine the apparent activation energy and the combustive characteristics of the materials, thermal analysis was conducted to derive the following conclusions.

1) When conducting thermal analysis in a nitrogen atmosphere with a flow rate of 20 ml/min, and a heating rate of 10 ℃/min, the onset temperature of the wood pellet material was confirmed to be 267.82 ℃ and the onset temperature of the wood powder material was confirmed to be 260.70 ℃.

2) When the size of the sample testing container was ‘small’, the spontaneous ignition points of both the wood pellet material and the wood powder material were confirmed to be 180 ℃, and the critical ignition temperatures were also both confirmed to be 177.5 ℃.

3) When the size of the sample testing container was ‘intermediate’, the spontaneous ignition points of the wood pellet material and the wood powder material were confirmed to be 175 ℃ and 170 ℃, respectively, and the critical ignition temperatures of the wood pellet material and the wood powder material were confirmed to be to be 172.5 ℃ and 167.5 ℃, respectively.

4) When the size of the sample testing container was ‘large’, the spontaneous ignition points of the wood pellet material and the wood powder material were confirmed to be 165 ℃ and 160 ℃, respectively,

and the critical ignition temperatures of the wood pellet material and the wood powder material were confirmed to be to be 162.5 ℃ and 157.5 ℃, respectively.

5) When the size of the sample testing container was 'extra large', the spontaneous ignition points of the wood pellet material and the wood powder material were confirmed to be 150 ℃ and 145 ℃, respectively, and the critical ignition temperatures of the wood pellet material and the wood powder material were confirmed to be to be 147.5 ℃ and 142.5 ℃, respectively.

6) The apparent activation energies of the wood pellet material and the wood powder material were confirmed to be 37.83 [kcal/mol] and 33.78 [kcal/mol], respectively.

7) This research study confirmed that the time for the wood pellet material to arrive at its respective spontaneous ignition induction time and maximum temperature were longer that those of the wood powder material, the larger the sample testing containers used in the experiments were.

감사의 글

석사과정을 시작할 수 있게 동기를 부여해주시고 부족한 저를 이끌어 주신 최재욱 지도교수님의 은혜에 진심으로 머리 숙여 감사드립니다.

논문의 마지막 수정까지 조언과 가르침을 베풀어 주신 최준호 교수님, 구민성 교수님, 이치영 교수님께도 감사의 말씀을 올립니다.

저에게 많은 격려와 용기를 주신 양종규 교수님, 강봉근 교수님, 유옥희 교수님께도 감사드립니다.

본 연구를 수행하는 동안 어려움에 부딪힐 때마다 같이 고민하고 조언을 해주신 김정훈 박사님께 감사의 말을 전하며 힘든 일이 있을 때마다 곁에서 용기를 주신 박진경 오빠, 문보희 오빠, 김현석 오빠를 비롯하여 연구실 학부 선·후배들에게도 감사의 뜻을 전합니다.

항상 나에게 힘이 되어준 소중한 나의 친구 윤준혁, 김혜원, 양희선, 염선혜, 류설화, 최다빈, 박성희 언니를 비롯하여 감사의 말을 전합니다.

마지막으로 어린 시절부터 늘 사랑과 관심으로 내 인생의 든든한 지원자가 되어준 아버지와 어머니, 항상 나를 생각해주고 믿어주는 동생 서연, 성환이에게도 진심으로 감사드립니다. 또한 저를 소방의 길로 안내해 주신 오재인 외삼촌에게도 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 격려와 조언을 늘 함께 해주신 많은 분들께 다시 한번 감사드리며, 더욱더 발전된 저의 모습을 기대하시는 모든 분들께 보답하는 마음으로 성실한 사람이 되도록 노력하겠습니다.