

주위온도 변화에 따른 어분의 자연발화에 관한연구 A Study on Autoignition of Fish Meal with Change of Ambient Temperature

목 연 수*, 최 재 욱*
Yun-Soo Mok, Jae-wook Choi

ABSTRACT

Spontaneous ignition characteristics for fish meal were observed by performing experiments at constant ambient temperature and varying the ambient temperature sinusoidally.

As the results of the experiments at a constant ambient temperature, the critical spontaneous ignition temperature of the sample for large, intermediate and small vessels was 170.5°C, 177.5°C and 188.5°C, respectively. The critical spontaneous ignition temperature decreased as the sample vessel size increased. Apparent activation energy of used fish meal calculated from the Frank-Kamenetskii's thermal ignition theory was 37.60Kcal/mol.

In case of varying the ambient temperature sinusoidally, the amplitudes of temperature were 10°C, 20°C and 30°C respectively with the period in each amplitude 1hr, 2hrs and 3hrs.

The results showed that the critical spontaneous ignition temperatures at the varied amplitudes of temperature were lower than that at the constant ambient temperature and increased as the amplitude increased. At the same amplitude, the critical spontaneous ignition temperature increased with the period.

1. 서 론

자연발화(Spontaneous Ignition)는 외부에서 아무런 착화원이 없는 상태에서 물질이 공기중의 상온에서 자연히 발열하고, 그열이 장시간 축적되어 마침내 발화점에 도달되어 연소를 일으키는 현상이다.¹⁾ 단 외부

에서 가열을 행한경우에도 발화점에 도달하는 과정이 주로 반응열의 축적에 의하는 경우에는 자연발화에 포함시키는 것이 보통이다.

이와같은 정의에서 자연발화가 일어나기 위해서는

- ① 물질의 화학반응에 의해 열이 발생한다.
- ② 발생한 열이 물질의 내부에 축적된다.
- ③ 열의 축적에 의해 물질의 온도가 발화온도를 상

* 正會員 : 부산공업대학 산업안전공학과

회한다.

고 하는 과정을 거쳐야 한다.

① 과 ③ 의 조건은 물질 고유의 성질과 그것의 양에도 관계가 되는 조건이라고 할 수 있으나, 여기에서 주목되는 것은 ② 의 조건이다.²⁾

이들은 반응열의 대소라고 하는 물질고유의 성질보다도 물질이 놓여있는 환경조건에 지배받는 경우가 많다. 즉 방열되기 쉬운 상태에 있으면 열의 발생량이 많아도 열이 축적되기 어렵고, 반면에 방열되기 어려운 상태에 있으면 방열량이 적어도 충분히 열이 축적될 수 있기 때문이다. 따라서 자연발화의 특징은 열의 축적 과정에 있으며, 자연발화 현상은 환경조건에 깊은 관계를 가지는 현상이라고 할 수 있다.

어분은 동물의 사료중 단백질의 중요한 공급원으로 널리 사용되고 있다. 어분은 생선류를 증기로 가열하여 세포막을 파괴하고 유지의 점도를 감소시킴과 동시에 단백질을 응고시킨후 엑스펠라(expeller)로 압착하여 수분과 유분을 분리하고 건조기(Rotary kiln)을 통해 가열 건조한 후 분쇄공정을 거쳐 포장하여 제품으로 한다.

이렇게 생산된 어분중에는 생선속에 있던 불포화도가 높은 어유(fish oil)가 완전히 제거되지 못한채 잔존하게 되고, 이 잔존하는 어유가 제품의 저장, 수송중에 공기중의 산소에 의해 서서히 산화되면서 그 산화열이 축적되어 어분이 탄화된다든지, 자연발화를 일으키는 경우가 있다.³⁾ 특히 정어리 기름속에는 C_{18:1}에서 C_{22:6}에 걸쳐 이성체를 포함한 15종류의 불포화산을 함유하고 있으며, 그 중에서도 C_{20:5}, C_{22:5}, C_{22:6}산의 합계는 전체 불포화산의 32~42%를 점하고 있다는 보고도 있다.⁴⁾ 어분의 탄화 및 자연발화 현상은 평균 기온이 높고, 1일의 온도변화 폭이 큰 여름철과 제조직후의 자연적 방열등에 의해 자주 발생하고 있으며, 위험성이 잠재적이기 때문에 소홀하게 다루기 쉬운 큰 피해를 초래하는 경우가 있다. 그러므로 어분 생산업체에서는 어분의 탄화 및 자연발화를 방지하여 어분의 품질을 생산품질 수준으로 유지시킴과 동시에 자연발화에 의한 화재를 방지하는 것이 중요한 과제로 되어 있다. 外山健三등³⁾은 어분의 제조와 자연발화의 가능성에 대하여, 金坡武雄⁵⁾은 어분의 자연발화에 대한 개괄적인 해설을 행하였고, Waissbluth등⁶⁾ 어분에 있어서 지질(Lipids)의 산화속도에 영향을 미치는 인

자에 대하여 연구를 행하였다. 또한 高井陸雄등⁷⁾은 어분의 열분해시에 발생하는 분해가스의 성분을 조사하였다. 그러나 어분의 자연발화에 열발화기구를 적용한 자연발화의 연구와 저장, 보관중의 주위온도 변화에 따른 자연발화의 위험성 평가는 거의 이루어져 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 어분(정어리어분)을 시료로 사용하여 일정한 주위온도 조건하에서의 자연발화현상을 구명하고, 또한 주위온도를 정현곡선상으로 변화시켜서 어분의 발화한계온도 및 발화유도기간을 실험적으로 구하여, 이를 상호 비교하여, 어분의 자연발화 현상에 미치는 영향을 파악하므로써 어분의 자연발화의 방지 대책에 기여코져 한다.

2 이론(열발화 이론)^{9~11)}

어분의 자연 발화는 잔존하는 어유의 산화작용에 의한 것으로, 산소가 필요하므로 확산을 고려할 필요가 있으나, Takeda등⁸⁾의 분말활성탄의 자연발화에 관한 연구에 의하면 산소확산의 영향은 발화한계온도 부근까지는 그다지 크지 않다고 보고하고 있으므로, 본 연구에서는 산소의 확산과 그에 따른 기-고간의 열전달을 고려하지 않고, 계내의 온도분포를 고려한, 영차반응의 Frank-Kamenetskii의 열발화 이론을 적용하였다.

그러므로 Fourier의 열전도식에 Arrhenius형의 반응식을 조합시켜 축대칭 1차원의 형상을 고려하고, 반응물질의 농도가 일정하다고 가정하며, 열전도도가 온도와 장소에 의존하지 않는다고 하면 다음과 같이 된다.

$$C\rho\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)=K\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{j}{x}\frac{\partial T}{\partial x}\right)+QA_0\exp(-E/RT) \quad (1)$$

단, j는 형상을 나타내는 파라미터로서 j=0은 무한 평판, j=1은 무한원주, j=2는 구의 경우이다. 여기서 C는 물질의 비열, ρ는 밀도, T는 계내의 평균온도, T₀는 외부온도(가열온도), K는 열전도도, x는 용기두께의 1/2, E는 활성화에너지, A₀는 빈도인자, R는 기체상수를 나타낸다.

(1) 식을 해석하기 위해 무차원 변환을 행하여 무차원 온도 θ , 무차원 좌표 ξ , 무차원 시간 τ 를 도입한다.

$$\theta \equiv \frac{E}{RT_o^2}(T-T_o) \quad (2)$$

$$\xi \equiv \frac{a}{x} \quad (3)$$

$$\tau \equiv \frac{Kt}{C\rho a^2} \quad (4)$$

(2)~(4)식을 사용하여 (1)식을 풀면 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + \frac{j}{\xi} \frac{\partial \theta}{\partial \xi} + \delta \exp(\theta) \quad (5)$$

여기서 δ 는 (1)식을 푸는 과정에서 발열속도항에 도입 되어야 하는 무차원 반응속도로서 Frank-Kamenetskii parameter라고도 하며 (6)식과 같다.

$$\delta \equiv \frac{EQa^2 A_o \exp(-E/RT_o)}{KRT_o^2} \quad (6)$$

(5)식을 풀기 위한 경계조건은 다음과 같다.

$$\xi=0 \text{에서 } \frac{\partial \theta}{\partial \xi} = 0 \quad (7)$$

$$|\xi|=1 \text{에서 } \theta = 0 \quad (8)$$

(5)식에서 정상상태를 가정하여 $\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = 0$ 로 두고,

무한평판의 경우 $j=0$ 로 하면 (9)식과 같이 간단하게 할 수 있다.

$$\frac{d^2 \theta}{d\xi^2} + \delta \exp(\theta) = 0 \quad (9)$$

(9)식을 변수분리하고 적분하여 정리하면, (10)식과 같이 된다.

$$\frac{1}{\sqrt{\exp \theta_m}} \log \left| \frac{\sqrt{\exp \theta_m - 1} - \sqrt{\exp \theta_m}}{\sqrt{\exp \theta_m - 1} + \sqrt{\exp \theta_m}} \right| = -\sqrt{2\delta} \quad (10)$$

(10)식을 도시하여 θ_m 의 해를 구하면 정상상태가

존재하는 조건이 얻어지고, 그 결과 발화가 일어나는 한계조건은 (11)식과 같이 된다.

$$\delta_c = 0.88 \quad (11)$$

이상의 해석이 Frank-Kamenetskii가 풀이한 무한평판에서 자연발화가 일어날 수 있는 조건으로 본 연구에 적용하였다.

(6)식을 발화의 한계에 대하여 생각하고 δ 를 δ_c (한계 Frank-Kamenetskii Parameter)로, T_o 는 발화한계온도 T_c 로 두고 정리하면 (12)식으로 되고, 실험에 의해 발화한계온도를 구하면 (12)식으로 부터 시료의 활성화에너지를 구할 수 있게 된다.

$$\ln \frac{\delta_c T_c^2}{a_2} = \frac{E}{R} \frac{1}{T_c} + \ln \frac{QA_o E}{KR} \quad (12)$$

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

본 연구에 사용한 실험장치의 개요는 Fig. 1과 같으며, 항온조, 열전대, 온도제어장치, 기록계와 시료용기로 구성되어 있다.

항온조는 시판의 항온조를 개량한 내용적 90L (45cm×45cm×45cm)의 열풍순환식 항온조(신한공업제작소)로서 내부의 온도분포를 일정하게 유지하기 위하여 Sirocco fan ⑦을 부착하여 내부공기를 강제 순환 시켰으며, 이항온조의 가열에는 1000W의 히터 2개를 사용하였다. 항온조 상부의 배기구에는 팬 ⑨을 설치하여 설정온도보다 내부온도가 높을때는 릴레이 스위치 ⑥에 의해 팬이 작동하게 하였다. 열전대 ⑩은 2조의 Chromel-Alumel 열전대로서 분위기 온도의 제어겸 측정용과 시료의 중심온도 측정용으로 사용하였으며, 전자는 시료용기와 항온조의 벽면중심에 설치하고, 후자는 시료용기의 중심에 설치 하였으며 열전대의 직경은 0.35mm이다. 온도제어장치(Konics제 EC-5600) ④는 프로그램의 설정에 의해 주위온도를 제어하는 방식으로 냉점점 ③을 거친 보정된 온도를 제어할 수 있도록 하여 설정온도와 비교하고, 그 차이에 의해 1000W의 히터 2개의 전류치를 제어하고 릴레이

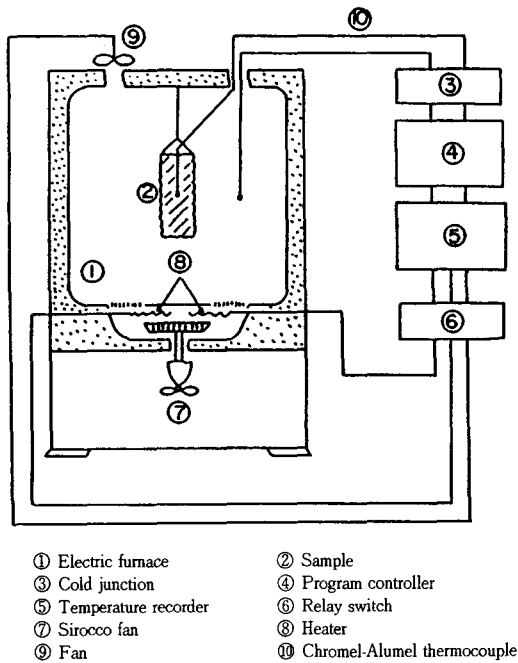


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

이 스위치로서 상부 팬의 작동을 on-off로 제어한다. 온도기록계 ⑤는 Yokogawa제 Pen type 기록계 (Model 4151)을 사용하였다. 시료 용기 ②는 형상을 입방체로 하여 무한평판에 접근하도록 하였으며, 이 용기는 300mesh의 Stainless계 금망으로 만들어, 일차 원 방향 이외의 면은 약 1cm의 석면판으로 단열시켰

Table 2. Composition of Fish meal used.

Sample No.	Protein (%)	Oil Content (%)	Ash (%)	Moisture (%)	Carbohydrate (%)
I	64.19	9.68	10.20	11.85	4.08
II	64.52	6.10	11.69	13.01	4.68
III	67.14	3.13	11.73	13.30	4.70

Table 3. Physical Properties of Fish meal used (Sample I).

Heat Conductivity	K*	$9.11 \times 10^{-5} \text{Kcal/m.s.}^\circ\text{C}$
Specific heat	C	$0.56 \text{Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$
Packing density	ρ	$3.89 \times 10^2 \text{Kg/m}^3$
Thermal diffusivity	κ	$4.18 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$

here, $\kappa = K/C \cdot \rho$

으며, 시료용기의 크기는 Table 1과 같다.

Table 1. Size of sample vessel.

Vessel	Size
Large	20cm×20cm×7cm
Intermediate	20cm×20cm×5cm
Small	20cm×20cm×3cm

3.2 시 료

어분의 시료는 동물사료용의 것으로 이화유지공업 주식회사에서 생산되는 정어리 어분을 사용하였으며, 현장에서 생산된 어분을 시료 I로 하고, 본 연구의 주된 시료로 사용하였고 이 시료 I을 실험실에서 n-Hexane으로 추출하여 시료 II와 시료 III을 만들어 유분함량변화에 따른 자연발화 실험에 사용하였으며, 시료의 성분표를 Table 2에 나타내었다. 시료 I을 사용하여 측정된 물리적 성질을 Table 3에 나타내었다.

3.3 실험방법

실험은 온도제어장치의 Program을 미리 설정하여 항온조를 소정의 온도로 예열하고, 어분을 시험하고자 하는 크기의 시료용기에 채운 후, 이시료 용기를 항온조의 중심에 걸고, 열전대를 시료용기의 중심부 및 시료 용기와 항온조 벽면과의 공간 중앙부에 같은 높이

가 되도록 설치하여, 온도제어 Program을 작동시켜 주위온도가 소정의 조건에 이르도록 제어한다. 시료의 중심온도를 관찰하여 중심온도가 200℃ 이상으로 되었을 때를 『발화』로 판정하고 중심온도의 최대치를 구한 후 실험을 중지한다. 실험을 12시간 계속하여도 중심온도가 200℃를 넘지 않으면 『비발화』로 판단하여 실험을 중지한다. 200℃를 발화기준으로 선정한 것은 어분에 대해 많은 실험을 실시해 본 결과, 어분의 온도가 200℃를 넘으면 온도가 급상승하여 발화에 이르게 되는것이 확인되었고, 200℃를 넘지않는 것은 모두 설정온도 부근으로 온도가 떨어지는 것에 근거하였다. 『발화』로 판정된 경우는 분위기 온도를 떨어뜨리고, 『비발화』의 경우는 온도를 올려 실험을 반복하여 『비발화』로 판단된 최고온도와 『발화』로 판단된 최저온도의 차가 1℃로 되었을때, 실험을 종료하고 양자의 평균온도를 취해 발화한계온도로 하였다.

주위온도를 정현곡선상으로 변화시키는 조건은 대용기만을 사용하여 진폭은 10℃, 20℃, 30℃로 변화시키고, 각 진폭마다 주기를 1시간, 2시간, 3시간으로 하였으며, 발화한계온도를 1주기의 평균온도로 구하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 주위온도를 일정하게 하였을 때

4.1.1 발화한계온도

시료 내부온도의 변화형태를 알기 위하여 시료 중심의 최고온도와 최고온도를 기록하는 시간등을 온도 기록계에 나타내어, 이로부터 앞에서 설명한 바와 같이 발화와 비발화로 구분하였으며, 시료용기를 항온조에 넣고 실험을 시작한 시간에서 부터 시료 중심온도가 200℃를 넘었을 때까지 걸린 시간을 「발화유도시간」으로 판정하였다.

Fig. 2와 3의 경우는 대용기에 있어서 발화와 비발화된 경우의 시료 중심온도와 가열시간과의 관계를 나타내었으며, Fig. 4와 5는 중용기의 경우를, Fig. 6과 7은 소용기의 경우를 나타내었다. Fig. 2, 4 및 6의 경우는 시료의 중심온도가 200℃를 넘으면서 온도가 지속적으로 상승하여 발화에 이르고 있으며, Fig. 3, 5 및 7의 경우는 시료 중심온도가 주위온도 부근까지 상승하지만 발화에 이르지 않고, 주위온도 부근에 접근하여가고 있다.

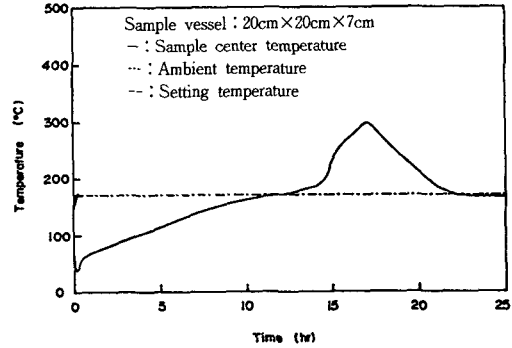


Fig. 2. Relation between time and constant ambient temperature(at 171℃).

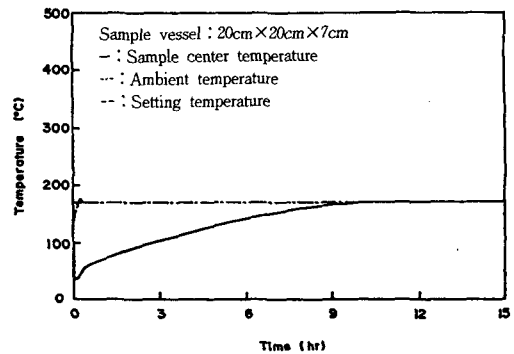


Fig. 3. Relation between time and constant ambient temperature(at 170℃).

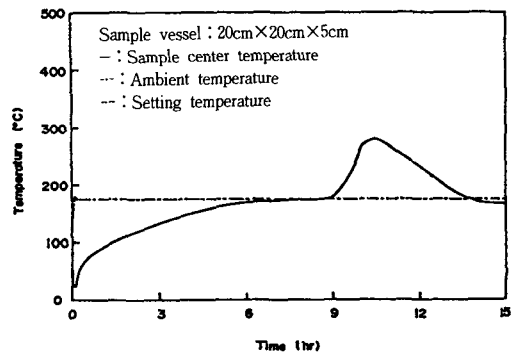


Fig. 4. Relation between time and constant ambient temperature(at 178℃).

Fig. 2, 4 및 6에서 알 수 있는 바와같이 대용기, 중용기, 소용기의 순으로 시료의 중심온도가 낮아지고 있는데, 이는 용기내에 충전된 시료량에 따라 발열량이 비례하고 있으며, 중심에서의 방열이 나쁘기 때문

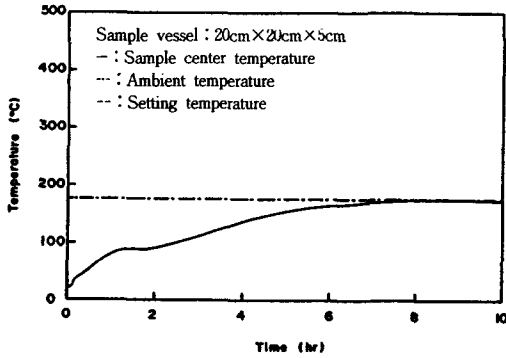


Fig. 5. Relation between time and constant ambient temperature(at 177°C).

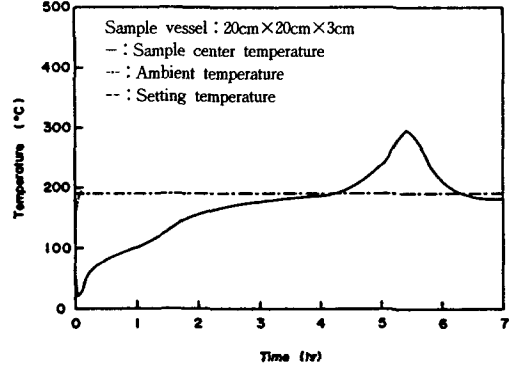


Fig. 6. Relation between time and constant ambient temperature(at 189°C).

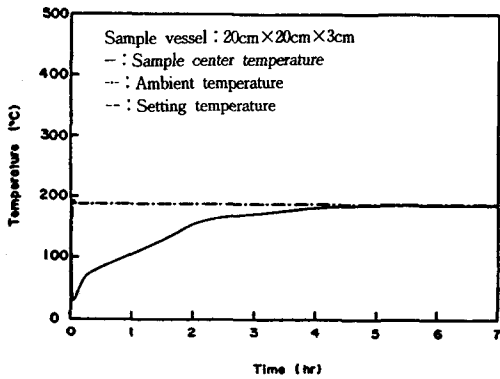


Fig. 7. Relation between time and constant ambient temperature(at 188°C).

으로 생각된다.

또한 시료용기가 작아짐에 따라 발화 유도시간과 시료중심의 최고온도에 도달하는 시간이 짧아지고 있으며, 이는 시료층의 두께가 얇을수록 시료표면에서 중심까지의 열전달이 빨라지기 때문으로 생각된다.

이들 결과로부터 발화한계온도를 구하면 Table 4와 같으며, 발화한계온도는 시료용기가 작아짐에 따라 크게 상승하고 있는데, 이는 시료의 두께가 두꺼울수록

방열이 나빠기 때문이다.

4.1.2 결보기 활성화 에너지

앞에서 구한 발화한계온도와 Frank-Kamenetskii Parameter의 식으로부터 얻어지는 (12)식에서 결보기 활성화에너지를 구하였다.

(12)식에서 $\ln \frac{QA_0E}{KR}$ 와 $\frac{E}{R}$ 는 언제나 상수가 되므로,

$\ln \frac{\delta_c T_c^2}{a^2}$ 을 $\frac{1}{T_c}$ 에 대하여 도식하면, Fig. 8에서

와 같이 직선이 얻어진다. 또한 Fig. 8에는 발화와 비발화를 나타내는 실험결과도 동시에 나타내었으며, 이 결과를 최소자승법으로 정리하면 다음의 식을 얻을 수 있고, 이때의 상관계수는 -0.9995가 되었다.

$$\ln \frac{\delta_c T_c^2}{a^2} = 61.44 - 18.9247 \times 10^3 \times \frac{1}{T_c} \quad (13)$$

(13)식으로부터

$$\frac{E}{R} = 18.9247 \times 10^3 [K] \quad (14)$$

가 얻어지고 결보기 활성화에너지

Table 4. Critical spontaneous ignition temperature(CSIT) of each sample vessel.

Vessel	Thickness(m)	Sample(Kg)	CSIT(°C)
Large	7.0×10^{-2}	1.09	170.5
Intermediate	5.0×10^{-2}	0.70	177.5
Small	3.0×10^{-2}	0.39	188.5

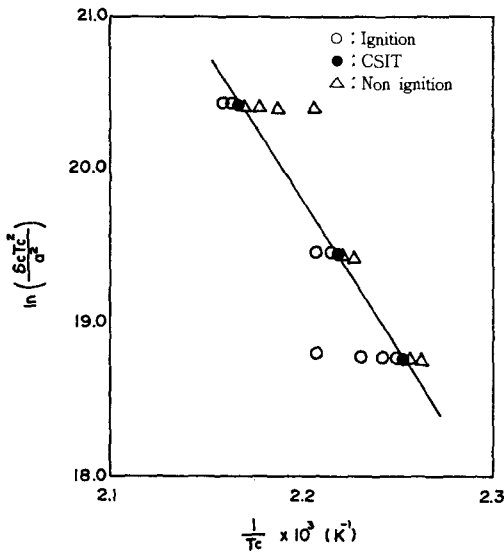


Fig. 8. Determination of activation energy.

$$E=37.60[\text{Kcal/mol}] \text{-----} (15)$$

로 된다.

4.1.3 유분의 함유율에 따른 발화한계온도

어분의 자연발화는 어분에 잔존하여 있는 유분에 의한 산화열의 축적에 기인하는 것으로, 이의 영향을 조사하기 위하여 유분함량을 달리한 Table 2의 시료를 사용하여 대용기에 충전하여 발화한계온도를 구한 결과 Fig. 9와 같이 나타났다. 여기에서 알 수 있는 바와같이 어분의 발화한계온도는 유분함량의 증가에 따라 감소함을 알 수 있으며, 이는 유분의 산화가 어분의 자연발화에 직접 관계하고 있음을 알 수 있다.

4.2 주위온도를 정현곡선상으로 변화시켰을 때

본 연구를 위한 실험에서는 대용기(20cm×20cm×7cm)만을 사용하여 진폭을 10℃, 20℃, 30℃로 변화시키고, 각 진폭에서 주기를 1시간, 2시간, 3시간으로 변화시켜 발화한계온도를 구하였다. 주위온도를 1주기의 평균온도로 하였으므로, 발화한계온도도 1주기의 평균온도로 나타내었다. 또한 발화한계온도는 주위온도를 일정하게 한 실험과 같이 「비발화」로 판단된 최고온도와 「발화」로 판단된 최저온도의 평균치로 구하였다.

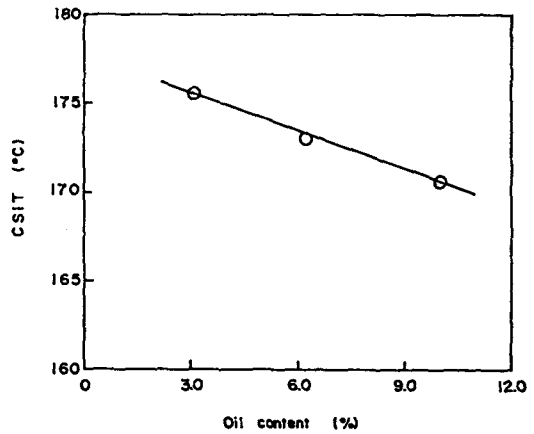


Fig. 9. Relation between oil content and CSUT.

4.2.1 진폭을 10℃로 했을 때

진폭을 10℃로 하고 주기를 1시간, 2시간, 3시간으로 변화시켰을 때의 실험결과와 이로부터 구한 발화한계온도를 Table 5에 나타내었으며, 이 중에서 주기 1시간의 경우의 발화·비발화에 관한 시간·온도곡선을 Fig. 10과 11에 나타내었다. 또한 Fig. 12에는 주기의 변화에 따른 발화 및 비발화의 관계를 나타내었으며, 주기 0의 경우는 온도 변동이 아주 빠르게 되기 때문에 온도 변동은 무시 할 수 있으므로 주위온도가 일정한 경우의 실험 결과를 그대로 사용하였다.

Table 5와 Fig. 12에서 발화한계 온도는 주위온도를 일정하게 한 경우보다 모두 낮게 되는 것을 알 수 있고, 발화유도시간도 길어짐을 알 수 있으며, 발화한계온도는 주기가 길어짐에 따라 상승하는 경향이 있다는 것을 알 수 있다. 이는 주위온도의 변동폭이 최고 173℃, 최저 153℃이므로 주위온도를 일정하게 한 최저 발화온도 171℃보다 높기 때문에 발화한계온도가 최고치의 영향으로 낮아진다고 생각된다. 또한 주기가 길어짐에 따라서 발화한계온도가 상승하는 것은 어분의 발화가 유분의 산화에 의존하는 것으로 유분산화속도의 완만함에 기인하는 것으로 생각된다.

4.2.2 진폭을 20℃로 했을 때

진폭을 20℃로 하고 주기를 1시간, 2시간, 3시간으로 변화시켰을 때의 실험결과로 구한 발화한계온도를 Table 6에 나타내었으며, 진폭 10℃와 비교했을 때 주기 1시간의 경우는 동일하고 그외의 경우는 진폭 10℃의 경우보다 높게 나타났으며, 주기가 길어짐에 따라

Table 5. Experimental results at amplitude 10°C.

Exp. No.	Period (hr)	Period average temp.(°C)	Ignition distinction	Sample center temp(°C)	Max. temperature recording time(min)	Ignition induction time(min)	CSIT(°C)
1	1.0	167	○	299	1,021	854	162.5
2		165	○	298.5	1,235	1,065	
3		164	○	312	1,243	1,043	
4		163	○	306	1,192	965	
5		162	×	164	1,230	—	
6		161	×	163	1,258	—	
7	2.0	164	○	299	1,256	1,075	163.5
8		163	×	165	1,248	—	
9		162	×	164	1,290	—	
10	3.0	168	○	204	812	798	166.5
11		167	○	298	950	793	
12		166	×	172	1,272	—	
13		165	×	166	1,380	—	

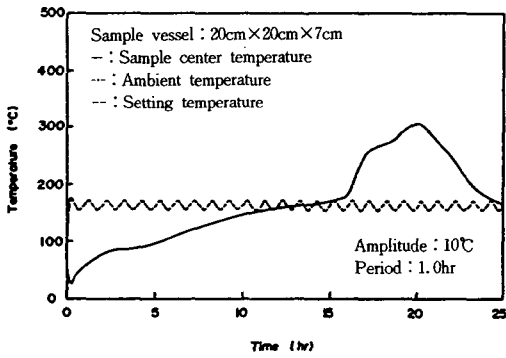


Fig. 10. Relating bewteen time and temperature (at 163°C).

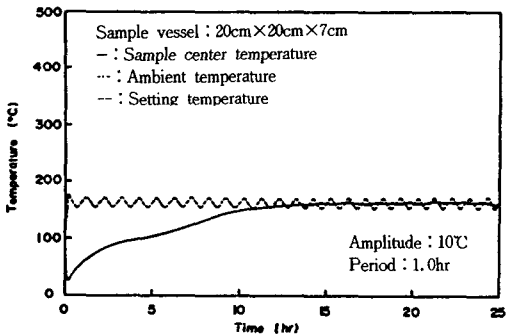


Fig. 11. Relating bewteen time and temperature (at 162°C).

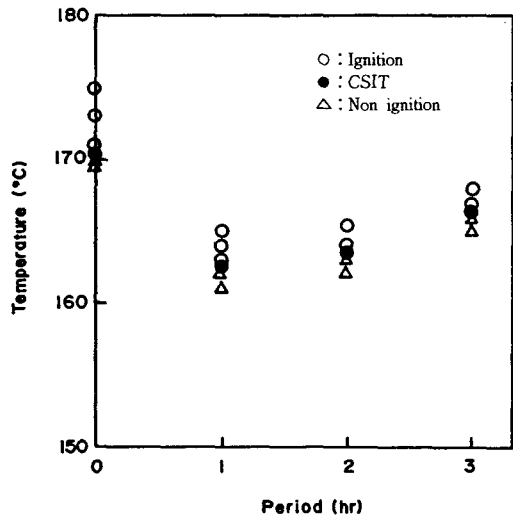


Fig. 12. Relation bewteen period and CSIT at amplitude 10°C.

Table 6. Relation bewteen period and CSIT at amplitude 20°C.

Amplitude	Period(hr)	CSIT(°C)
20°C	1	162.5
	2	164.5
	3	165.5

발화한계온도가 높게 됨을 알 수 있다. 이 중에서 대표적인 것으로 주기 2시간인 경우에 있어 발화, 비발화 관계를 Fig. 13, 14에 나타내었다. 비발화의 경우는 시료의 온도도 온도변화에 따라 변화하고 있음을 알 수 있다.

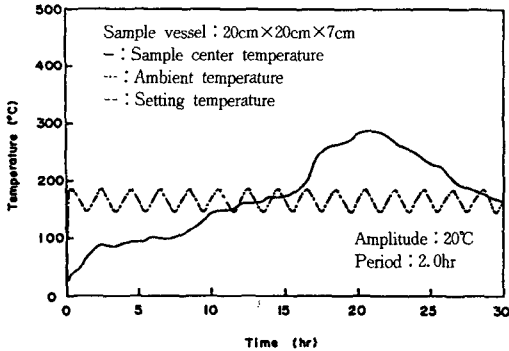


Fig. 13. Relating between time and temperature (at 165°C).

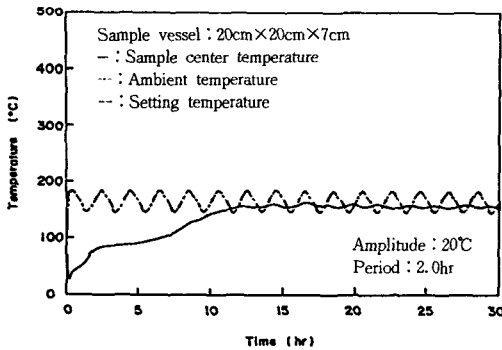


Fig. 14. Relating between time and temperature (at 164°C).

4.2.3 진폭을 30°C로 하였을 때

진폭을 30°C로 하였을 때의 실험결과로부터 구한 발화한계온도를 Table 7에 나타내었으며 주기 3시간

Table 7. Relation between period and CSIT at amplitude 30°C.

Amplitude	Period(hr)	CSIT(°C)
30°C	1	165.5
	2	166.5
	3	167.5

에 있어서의 발화·비발화관계를 Fig. 15와 16에 나타내었다.

Table 7에 의한 진폭이 20°C에서와 같이 주기가 길어짐에 따라 발화한계온도는 상승하고 있음을 알 수 있으나, 어느 경우이든 주위온도가 일정할 때보다 발화한계온도가 낮음을 나타내었다. 이는 주위온도가 정현곡선상으로 변화하면, 그 진폭의 최고치가 일정온도 때의 발화한계온도보다 상회하므로 그의 영향에 기인한 것으로 생각된다.

또한 진폭이 커짐에 따라 발화한계온도가 상승하고 있음을 보여 주고 있다.

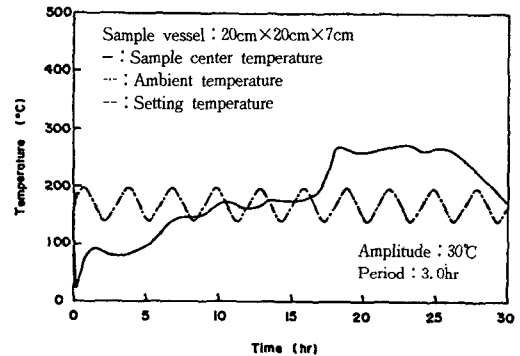


Fig. 15. Relating between time and temperature (at 168°C).

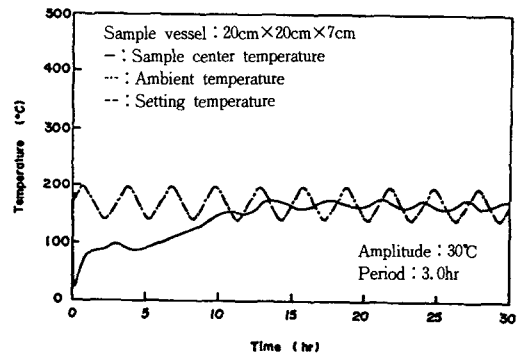


Fig. 16. Relating between time and temperature (at 167°C).

5. 결론

어분의 시료로 하여 자연발화에 관한 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 주위온도를 일정하게 하여 행한 실험에서는 시료 용기의 두께가 두꺼울수록 발화한계온도가 감소하였다. 이는 두께가 두꺼울수록 방열이 나빠 열의 축적이 가속되기 때문이다.

② 주위온도를 일정하게 하였을 때 Frank Kamenetskii의 열발화 방정식으로 부터 구한 어분의 활성화에너지 37.60Kcal/mol를 얻었다.

③ 어분중의 유분함량의 증가에 따라 발화한계온도는 감소하였으므로 어분중의 유분의 산화가 자연발화에 직접 관계됨을 알 수 있었다.

④ 주위온도를 정현곡선상으로 변화시켰을 때의 발화한계 온도는 주위온도를 일정하게 한 경우에 비해 저하하였으므로 저장, 수송중에 특별한 주의가 요망된다.

⑤ 동일한 진폭에서 주기가 길어짐에 따라 발화한계온도가 상승하는 경향을 나타내나, 어느 경우이든 주위온도를 일정하게 유지했을 때 보다는 발화한계온도가 낮게 나타났다.

후 기

본 연구는 1991년도 산학협동재단과 이화유지공업 주식회사의 연구비 지원(Matching fund system)으로 수행된 연구 결과로써, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 北川徹三, 化學安全工學, 日刊工業新聞社, (1971)
- 2) 梅田聰, 橫兵國立大學校 修士論文, (1989)
- 3) 外山健三, 高木徹, 渡邊武, 水産油糧學, pp. 110~118, 株式會社 恒星社 厚生閣(1988)
- 4) ガスクロデータ 小委員會編, いわし油の肢膀酸 組成, 油化學, pp.27. 406(1978)
- 5) 金坂武雄, 安全工學, pp.10, 2, 105(1971)
- 6) M.D. Waissbluth, L. Guzman and P.F. Plachco : Oxidation of lipids in fish meal, J. Am. Oil Chemists Soc., pp.48, 420~424(1971)
- 7) 高井陸雄・山口達雄・渡邊尙彦・長谷川浩 : フィッシュミールの熱分解, J. Tokyo Univ. Fish., pp.69, 33~39(1982)
- 8) 武田久弘, 秋田一雄, 安全工學, pp.14, 3, 131 (1975)
- 9) 安全工學協會編, 火災, 海文堂, (1982)
- 10) 武田久弘, 工業化學協會誌, pp.38, 5, 244 (1976)
- 11) 平野敏右, 燒學, 海文堂, pp.97(1986)