

## 정어리 지질의 추출속도에 관한 연구

양 현 석 · 이 근 태 · 변 대 석  
 부산수산대학식품공학과      부산수산대학 식품영양학과

Studies on the Extraction Rate of Oil from Sardine, *Sardinops melanosticta*

Hyun-Seok YANG, Keun-Tai LEE

Department of Food Science and Technology, National Fisheries University of Pusan, 608 Korea  
 and

Dae-Seok BYUN

Department of Nutrition and Food Science, National Fisheries University of Pusan,  
 Pusan, 608 Korea

The extraction ratio of oil using solvent from the muscle of sardine, *Sardinops melanosticta*, was studied.

The results were critically evaluated in the light of the theory of oil diffusion in a porous solid model. In addition the effect of temperature and moisture on the extraction rate was examined.

Sardine muscle was prepared in a manner to meet the conditions required by the diffusion theory from Fick's law.

The results of the model were well coincided to the theory derived from Fick's law.

Diffusion constants at the direction to muscle fiber( $D_1$ ) and at direction perpendicular to fiber( $D_2=D_1$ ) when extracted at 45°C were  $8.16 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$  and  $4.12 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ , respectively.

The extraction rate was linearly propotional to absolute temperature(T) by eleventh power under the constant condition of moisture contents and muscle size.

A comparison of the experiments with the highest(74.22%) and the lowest (32.42%) moisture indicated that difference of 1% in moisture contents caused to change the slope(K) of the extraction curve  $0.53 \times 10^{-6} \text{sec}^{-1}$  approximately.

### 서      론

용매추출법에 의한 지질의 추출은 가장 효과적인 방법으로서 널리 이용되고 있으며 지질함량이 적은 물질에 대하여서는 더욱 더 그 효과를 인정받고 있다. 그런데 이러한 추출공정을 합리적으로 설계하기 위하여서는 추출속도 및 추출속도에 영향을 미치는 인자에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

용매에 의한 지질의 추출속도에 미치는 영향 중에서 중요한 것으로는 대상 물질의 물리적 구조, 지질의 성분, 수분 및 지질의 존재 형태, 전처리, 온도, 용매의 종류 및 입자의 크기 등을 들 수 있으며 이들이 복합적인 상호작용에 의한 영향을 미치므로 그

지배적인 인자를 검토하는 것이 중요하다.

근년 정어리의 어획량은 매년 증가 추세에 있으나, 적색육 어류인 정어리는 다른 어종에 비하여 선도가 빨리 떨어지고 지질의 함량이 많은 특성을 가지기 때문에 선어로서의 대량처리에는 많은 문제점이 있어 어분 등 비식용 사료로 많이 이용되고 있다. 한편, 어육으로부터 용매에 의한 지질의 추출은 추출 효과가 크고 추출잔사는 양질의 어분으로 사용될 수 있는 등의 잇점으로 인하여 용매에 의한 추출공정이 논의되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 용매추출법에 의하여 정어리 대량처리에 필요한 기초 자료를 얻을 목적으로 추출속도에 관한 실험을 하였다. 즉 어육을 일정한

크기로 절단하여 섬유방향 및 직각방향으로 확산계수를 산출하였고, 그 결과를 Fick의 비정상 상태 확산이론으로부터 유도된 이론식과 비교, 검토하였으며 추출속도에 미치는 지배적인 인자로서 수분함량 및 온도의 영향에 대하여서도 함께 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재 료

#### 1) 시료어 및 시료육의 조제

선도가 좋은 정어리(*Sardinops melanosticta*)를 1982년 3월 14일 부산 공동어시장에서 구입하여  $-35^{\circ}\text{C}$  ~  $-40^{\circ}\text{C}$ 의 동결고에 저장하여 두고 실험에 사용하였다. 동결고에서 꺼집어 낸 정어리의 두부, 내장, 지느러미를 제거하고 Fig. 1에 표시한 것과 같이 백색육을 취하여 절단한 것을 지질 추출용 사료로 사용하였다.

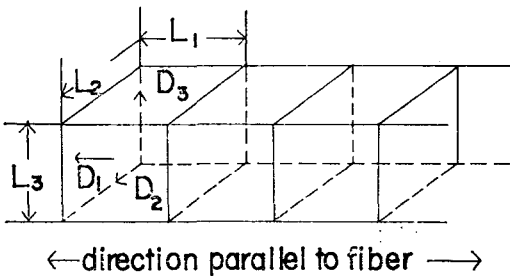


Fig. 1. Cutting method of fish muscle.

#### 2) 추출장치

교반이 가능한 삼구항온교반조에 condenser와 온도제를 부착하여 사용하였고, 항온수조는 thermostat(B. Braun, Germany)를 이용하였으며, 교반 속도는 60~100rpm으로 조절하였다. 추출장치의 개요를 Fig. 2에 나타내었다.

#### 3) 용매

실험에 사용한 용매는 소수성으로 n-hexane(Wako pure chemicals, Japan)을 사용하였고 소수성과 친수성의 비교용으로 acetone(Wako pure chemicals, Japan)을 사용하였다.

### 2. 실험방법

#### 1) 추출 방법 및 지질의 정량

일정한 크기로 절단된 시료육 30~50g을 취하여

용매 1l가 들어 있는 Fig. 2에 표시한 장치에 넣고 추출 용기내에서 어육 절편 상호간의 부착 및 용기 벽에의 부착을 방지하고 액체 측으로의 확산 저항을 줄이기 위하여 상기의 회전 속도로 교반하였다. 용매 추출물의 정량은 일정 시간마다 일정량을 취하여 dry hood에서 용매를 증발시킨 뒤 증량법으로 결정하였으며 절단된 시료육 속에 포함된 총 지질량은 각각의 경우에 따라서 hexane과 acetone으로써 Soxhlet 추출장치를 사용하여 정량하였다.

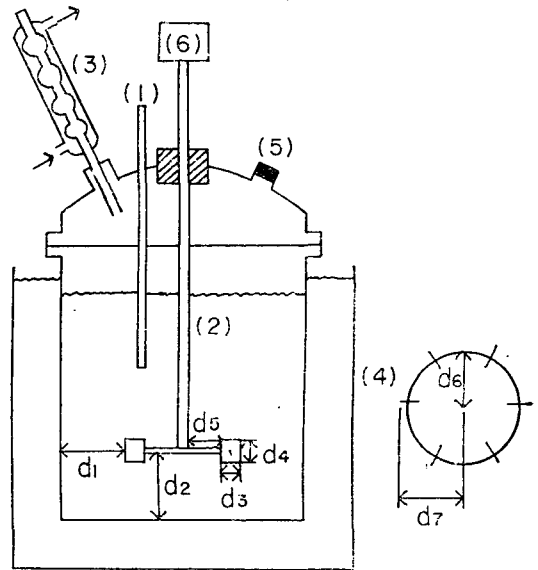


Fig. 2. Apparatus of solvent extraction.

- (1) thermometer    (2) agitator
- (3) condenser    (4) water bath
- (5) sampling
- $d_1, d_2, d_7=2\text{cm}$      $d_3, d_5=1.2\text{cm}$
- $d_4=0.8\text{cm}$      $d_6=1.5\text{cm}$

#### 2) 수분함량의 조절

일정한 크기로 절단된 어육을 동결건조기(Ulac VFD-100, Sinku kiko, Japan)로써 진공동결건조시켜 각각 74.22%, 71.18%, 60.43%, 32.42%로 수분함량을 조절하였다.

#### 3) 확산계수의 이론

지질을 포함한 물질이 용매와 접촉할 때 이들 두 액체 사이의 분자내 확산은 Fick의 비정상 상태 확산이론에 따른다(Crank, 1975).

즉

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_1 \frac{\partial^2 C}{\partial L_1^2} + D_2 \frac{\partial^2 C}{\partial L_2^2} + D_3 \frac{\partial^2 C}{\partial L_3^2} \quad (1)$$

이다.

상기한 Fick 이론의 해를 구하기 위하여,

- (1) 확산계수(D)는 두께에 무관하다.
- (2) 대상물체의 물리적 구조는 균일하고 등방향성이다.
- (3) 지질의 분포는 일정하다.
- (4) 대상물질의 두께는 일정하다.

라고 가정하면 Boucher등(1942)에 의하여 식(1)의 1차원 해는

$$\frac{q}{q_0} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} e^{-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{Dt}{L^2}} \quad (2)$$

와 같다.

식(2)는 최초 온도  $\theta_0$ 인 평판이  $\theta_1$ 의 표면 온도에 접촉할 때의 Fourier 열 방정식으로 부터 유도되었다.

즉

$$\frac{\theta - \theta_1}{\theta_0 - \theta_1} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{(2n-1)\pi x}{L}}{(2n-1)(-1)^{n+1}} e^{-(2n-1)^2 \pi^2 \frac{Dt}{L^2}} \quad (3)$$

으로 부터 식(3)의 좌변을 농도구배로 치환하면

$$\frac{C - C_1}{C_0 - C_1} = \frac{\theta - \theta_1}{\theta_0 - \theta_1} \quad (4)$$

로 표시할 수 있다.

여기서, 중심(0)에서 표면( $l = \frac{1}{2}$ )까지 적분하면 평균농도구배를 구할 수 있으므로

$$\left( \frac{C - C_1}{C_0 - C_1} \right)_{av.} = \frac{1}{l} \int_0^l \frac{C - C_1}{C_0 - C_1} dx \quad (5)$$

$$= \frac{4}{\pi l} \int_0^l \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{(2n-1)\pi x}{2l}}{(2n-1)(-1)^{n+1}} l^{-(2n-1)^2 \pi^2 \frac{Dt}{(2l)^2}} dx \quad (6)$$

$$= \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{(2n-1)\pi}{2}}{(2n-1)^2 (-1)^{n+1}} e^{-(2n-1)^2 \pi^2 \frac{Dt}{(2l)^2}} \quad (7)$$

$$= \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} e^{-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{Dt}{(2l)^2}} \quad (8)$$

로 된다.

그리고 표면의 농도  $C_1=0$ 이라면 농도 구배는  $C/C_0$ 가 되므로 이것은 쉽게 식(2)의  $q/q_0$ 로 전환될 수 있다. 그러므로 실험에서  $C_1=0$ 인 상태를 유지하여 준다면 식(2)는 사용 가능하게 된다.

식(2)와 같은 급수는 매우 수렴이 빠르므로 실제 계산에서는 몇 개의 항만 취하여도 충분하며 초기시간을 제외하고는 1항 이하는 무시할 수 있다.

그러므로 식(2)는

$$C/C_0 = q/q_0 = \frac{8}{\pi^2} e^{-\pi^2 \frac{Dt}{(2l)^2}} \quad (9)$$

로 된다.

여기서, Fig.1과 같은 육면체의 경우를 가정하여  $L_1, L_2, L_3$  3방향의 해를 각각  $R_1, R_2, R_3$ 라고 두면 식(1)의 해는

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \quad (10)$$

으로 표시된다.

그러므로 식(9)는

$$R = \left( \frac{8}{\pi^2} \right)^3 e^{-\pi^2 \left( \frac{D_1}{L_1^2} + \frac{D_2}{L_2^2} + \frac{D_3}{L_3^2} \right) t} \quad (11)$$

로 표시된다.

식(11)을 도시하기 위하여 새로운 parameter로서  $K$ 를 다음과 같이 정의하면

$$K = \pi^2 \left( \frac{D_1}{L_1^2} + \frac{D_2}{L_2^2} + \frac{D_3}{L_3^2} \right) t \quad (12)$$

가 된다.

그러므로 식(11)은

$$R = \left( \frac{8}{\pi^2} \right)^3 e^{-Kt} \quad (13)$$

이다.

그러데 3차원 공간에서의 어느 한 점에서의 값을 동시에 구명할 수 없으므로 식(12)의  $K$ 를 이용하여  $L_2=L_3, D_2=D_3$ 인 경우 식(1)의 이론 해를 Fig.3에 나타내었다(Sakai등, 1972).

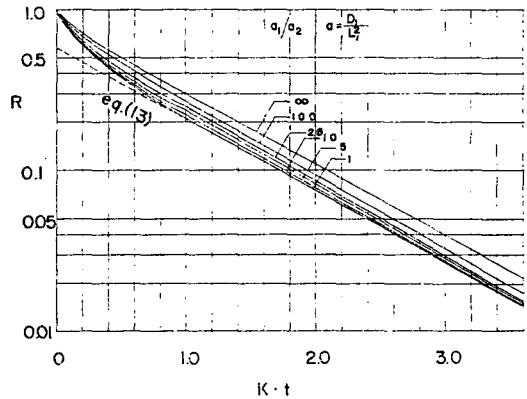


Fig. 3. Theoretical curves of equation(11).

Fig.3에 나타낸 실선은  $a_1 = \frac{D_1}{L_1^2}, a_2 = \frac{D_2}{L_2^2}$ 로 두었을 때  $a_1/a_2$ 를 parameter로 하여 1부터  $\infty$ 까지를 plot한 것이다. Fig.3에서 볼 수 있는 것과 같이  $R=0.15$ 이하에서 모든 실선이 직선구간을 갖는다. Fan 등(1948)은 이 직선구간에서 비로소 지질의 확산이 세포벽을 통하여 진행되는 정상적인 구간이라 하였으며 실제로 추출속도의 율속단계에 해당되는

구간이다. 그러므로 오차의 발생 가능성을 감안하여 본 실험에서는  $R=0.1$ 에서의 기울기를 사용하여 확산계수를 구하였다.

결과 및 고찰

1. 확산계수의 산출 및 이론식과의 비교

확산계수를 산출하기 위하여 전술한 방법과 같이  $L_1$ 을 0.5cm로 고정하고  $L_2(=L_3)$ 를 0.3cm에서 부터 1.0cm까지 변화시켜 hexane으로써 추출한 결과는 Fig. 4와 같다. 여기서  $R=0.1$ 이 되는 접선의 기울

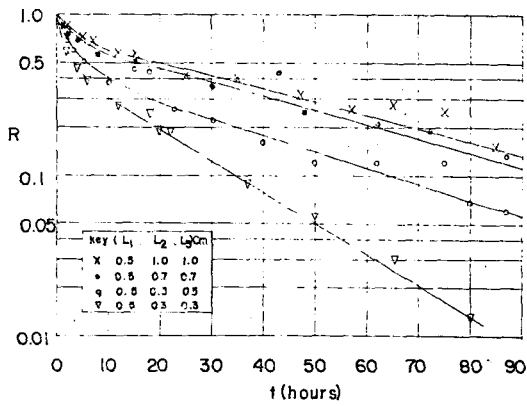


Fig. 4. Extraction curves with varied size for calculating diffusion coefficients.

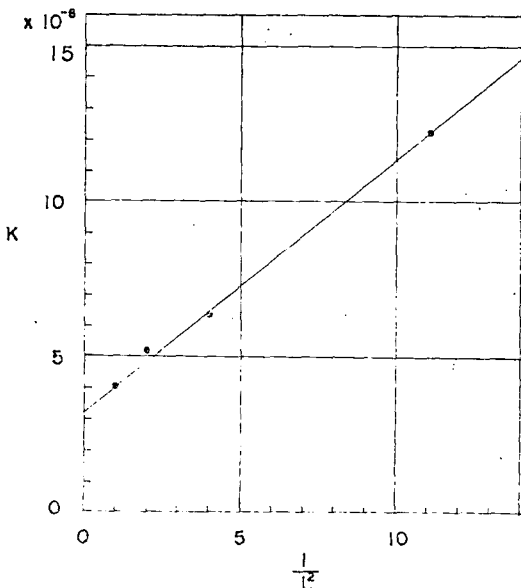


Fig. 5. Relation between  $K$  and  $1/L^2$  (45°C).

기로부터 식(13)에 의하여  $-K$ 를 구하고 식(12)를 이용하여  $K$ 값과  $1/L_2^2$ 을 plot한 결과는 Fig. 5와 같다. 따라서 Fig. 5의 직선 기울기는  $2\pi^2 D^2$ 를 나타내므로  $D_2(=D_3)$ 를 구할 수 있고 접선은  $\pi^2 D_1/0.25$ 를 나타내므로  $D_1$ 을 구할 수 있다. 이러한 방법으로 구한 확산계수는  $D_1=8.16 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ ,  $D_2(=D_3)=4.12 \times 10^{-8}$ 이었다. 또한 위와 같은 방법으로 구한  $D_1, D_2(=D_3)$ 의 값 및 실험에서 사용한  $L_1, L_2(=L_3)$ 의 값을 식(12)에 대입하여  $K$ 값을 구하였고, 이때의  $K$ 값을 이용하여 이론식과의 연관성을 Fig. 6에 나타내었다. 그림 중의 실선은  $c_1/a_2=1$ 인 경우의 이론선이며 이론선과 실험결과는 좋은 연관성을 보이고 있다. 그러므로 이론식의 Fick의 확산방정식이 본 실험의 추출계에 적용될 수 있으며 또한 가정에서 예상하였던 바와 같이  $D_1, D_2(=D_3)$ 간에 큰 차이가 없는 것으로 미루어 보아 확산계수는 절단된 시료의 두께에 무관하다는 것을 확인하였다. 그러므로 부정형의 시료를 사용하는 경우 또는 추출에 미치는 다른 인자의 영향을 검토하는 경우에도 동일한 확산계수를 사용할 수 있다.

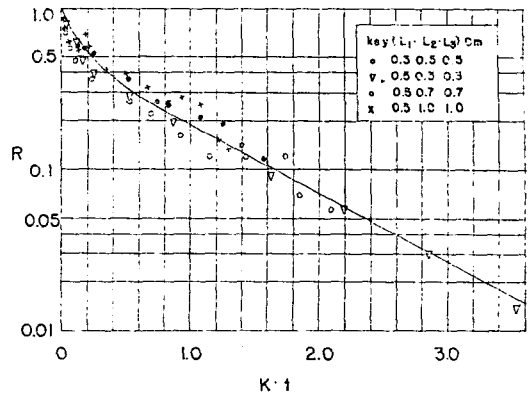


Fig. 6. Correlation of several size data.

절단된 시료 이육의 두께가 추출속도에 미치는 영향은 Fig. 4와 같으며 추출곡선상에서 절단된 두께가 두꺼울수록 초기추출이 급격하게 일어나는 현상이 적고, 두께가 얇을수록 급격한 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 주로 절단된 표면부위의 세포의 파괴에 기인(Fan등, 1948)하는 것이며, 두께가 두꺼울수록 상대적으로 파괴된 세포가 적어서 이론식과 더욱 잘 일치하게 된다. 그러므로 분자간의 확산에 의한 추출에 있어서 가장 큰 장애는 세포벽이라고 할 수 있다.

또한 확산계수는 적은 차이이지만 섬유방향의  $D_1$

보다 직각방향인  $D_2(=D_3)$ 가 적은 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 세포내외에 존재하고 있던 지질이 용매의 침투로 인해 용매와 지질의 혼합물이 연속상을 이루어 추출이 진행될 때 섬유방향으로의 이동이 직각 방향으로 보다는 저항을 적게 받기 때문이라고 생각된다.

2. 온도 및 용매의 영향

추출온도를 30°C, 45°C, 60°C로 변화시켜서  $L_1, L_2, L_3$ 가 각각 0.5cm인 어육으로부터 추출한 결과는 Fig. 7과 같다. 또한, 같은 수분함량, 같은 크기로 절단하였을 경우 소수성 용매인 hexane과 비교하기 위하여 친수성 용매인 acetone을 사용하여 추출한 결과를 동시에 표시하였다.

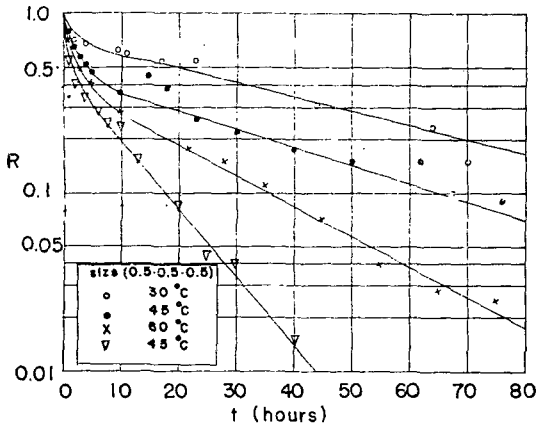


Fig. 7. Effect of temperature on extraction rate.

45°C인 경우 acetone과 hexane에 의한 추출속도의 차이는 각각의 추출곡선의 기울기로 비교하여서 acetone 경우가 10배이상 큰 기울기 값을 갖는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 용매의 종류에 따른 점도, 화학적 친화력 용매의 용해력 등의 차이에 기인된다는 것보다 주로 수화력의 차이에 기인된 것으로 보인다. hexane과 acetone의 점도는 각각 0.299 c. p, 0.304c. p(Riddick등, 1970)로서 오히려 acetone의 점도가 더 높은 것으로 보아 점도 등의 이유 때문이 아니란 것을 알 수 있으며, 물에 대한 용해도가 hexane이 0.0(weight %), acetone이 ∞(Eaves 등, 1952)인 것으로부터 알 수 있는 바와 같이 친수성 용매인 acetone이 어육내부에 수분과 유화된 상태로 존재하는 지질입자에 대하여 더 높은 친화력을 가지고 작용하여 확산이 일어날 수 있는 연속상을 빠르게 형성시키는 때문이라고 보아진다. 또한

친화, 혼합되는 과정에서 어육내부로 침투한 acetone에 의하여 지질이 압출되어 추출을 돕는 현상(Sakai 등, 1979)에도 원인이 있다고 생각되며, acetone에 의하여 시간이 진행됨에 따라 일어나는 탈수효과에 의한 영향도 생각할 수 있다.

추출속도에 미치는 온도의 영향은 대체적으로 일정한 차이를 보이고 있으며 Fig. 7의 온도에 따른 추출곡선에서 식(13)을 이용하여 기울기(K)를 구하여 Fig. 6과 같은 방법으로 이론선과의 연관성을 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 것 같이  $a_1/a_2 = 1$ 인 이론선보다 전반적으로 빠른 현상을 보이고 있지만 오차의 범위내에 있고 45°C에서와 같이 30°C, 60°C에서도 이론과의 연관성이 매우 좋으므로 본 실험에서 사용한 온도 범위내에서는 본 방법에

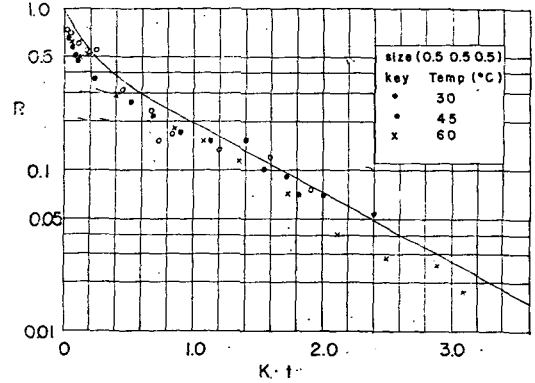


Fig. 8. Correlation of extraction curves of different temperatures.

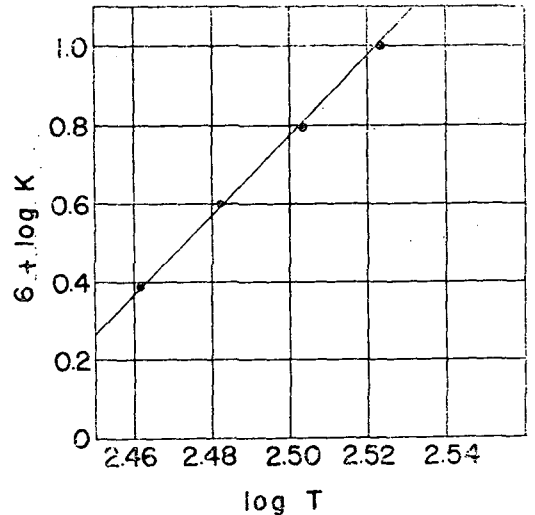


Fig. 9. Comparison of temperature effects on K.

의한 확산계수의 산출은 타당하다고 할 수 있다. 또한  $K$ 와 절대온도( $T$ )와의 관계를 양대수좌표에 plot 한 결과는 Fig. 9와 같다.

그림 중의 직선은 기울기가 11로서  $K$ 값이 절대온도( $T$ )의 11승에 비례하여 증가함을 뜻한다.

### 3. 수분함량의 영향

추출온도를 45°C로 고정하고  $L_1, L_2, L_3=0.5cm$ 인 시료육은 수분함량이 32.42%에서 74.22%까지 조절한 시료에 대한 추출결과는 Fig. 10과 같다.

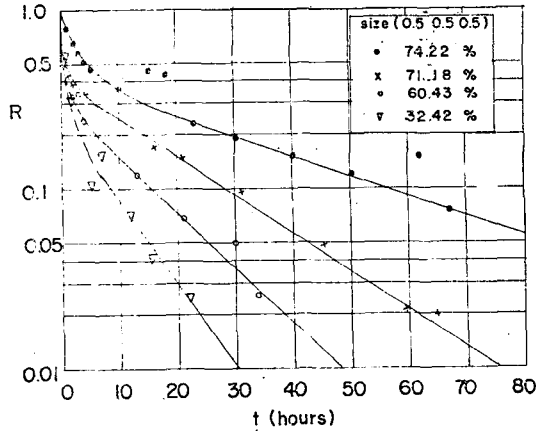


Fig. 10. Effect of moisture content on extraction rates.

일반적으로 시료내의 수분함량이 많을수록 확산계수는 적어지고 지질의 분자간 확산이 늦어진다. 이러한 현상은 수분의 제거에 따라서 시료내의 phosphatide가 감소됨에 따라 상대적으로 증가되는 난용성 지질에 의한 영향(Karnofsky, 1949), 수분자체가 확산저항체로서 작용하게 되는 경우 및 수분이 어육내부의 공간을 점유하고 있으므로 용매의 침투 및 용매와 지질의 혼합물의 연속화를 감소시키는 경우에 의한 영향으로 볼 수 있다.

상기와 같이 조절된 수분함량에서 추출곡선의 기울기( $K$ )의 변화는 74.22%에서  $6.8 \times 10^{-6} \text{sec}^{-1}$ , 71.18%에서  $1.34 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$ , 60.43%에서  $1.9 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$ , 32.42%에서  $2.9 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$ 로 나타났다. 그러므로 수분함량 1% 감소에 따라 기울기  $K$ 는  $0.53 \times 10^{-6} \text{sec}^{-1}$  정도의 감소를 나타내는 것이다. 이러한 현상은 어육내부에 수분이 포화되어 있는 초기 상태에서 건조가 진행됨에 따라 다공성 구조가 더욱 증가되므로 용매에 침지시켰을 경우에 용매 또는 지질이 일부 용해되어 있는 혼합용액이 채워지게 되므로 접촉면적이 넓어지는 등 확산이 일어날 수 있는

조건을 더욱 좋게 하여 추기 때문에 생각된다.

## 요 약

용매추출법에 의한 정어리 백색육중의 지질을 hexane으로 추출하여 추출속도 이론과의 연관성을 구명하고 또한 추출속도에 미치는 인자중 온도 및 수분함량의 영향을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 정어리 지질의 추출은 초기와 후기로 나누어지며 율속단계인 후기에서의 확산계수를 구하기 위하여 Fick의 비정상 상태 확산이론을 적용시키는 것은 가능하다.

2. 30°C, 45°C, 60°C의 추출온도에서 이론과의 연관성이 가장 좋았던 것은 30°C의 경우였으며 45°C, 60°C의 경우에는 이론보다 빠르게 진행되었으나 오차의 범위내에 있었다.

3. 추출속도의 온도의존성은 추출곡선의 기울기( $K$ )에 대하여 절대온도( $T$ )의 11승에 비례하여 증가하였다.

4. 수분함량이 추출속도에 미치는 영향은 32.42%에서 적을수록 추출속도는 빨랐으며, 추출곡선의 기울기( $K$ )는 수분함량 1%의 감소에 대략  $0.53 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{sec}$  씩 증가하였다.

## Symbols used in this article

- $C$ : concentration of oil at point  $x$  distance from the origin( $g/l$ )
- $C_0$ : original uniform concentration in the slab ( $g/l$ )
- $C_1$ : concentration of liquid solution into which slab is immersed( $g/l$ )
- $D_1, D_2, D_3$ : diffusion constant( $cm^2/\text{sec}$ )
- $K$ : derived in Eq. (12) ( $\text{sec}^{-1}$ )
- $L_1, L_2, L_3$ : length of muscle( $cm$ )
- $l$ : one-half the length of slab( $cm$ )
- $q$ : quantity of oil in a unit weight of solid at  $t$  seconds after diffusion has started( $g/l$ )
- $q_0$ : initial quantity of oil in the slab( $g/l$ )
- $R$ : fraction of the total oil unextracted at the end of time  $t$ (-)
- $t$ : time(sec, hours)
- $T$ : absolute temperature( $^{\circ}C$ )
- $\theta$ : temperature at any point  $x$  in the slab( $^{\circ}C$ )
- $\theta_0$ : original uniform temperature in the slab( $^{\circ}C$ )

$\theta_1$ : surface temperature to which slab is changed( $^{\circ}\text{C}$ )

문 헌

- Boucher, D.F., J.C. Brier and O. Osburn. 1942. Extraction of soybean oil from porous clay plates. *J.O., Trans Am.Inst. Chem. Engrs.*, 38, 933-967.
- Coats, H.B. and G. Karnofsky. 1949a. Soybean extraction-2. The soaking theory of extraction. Fall Meet. of Am. Oil Chemists' Soc., Oct. 31-Nov. 2, Chicago, 51-53.
- Coats, H.B. and M.R. Wingard. 1949b. Solvent extraction-3. The effect of particle size on extraction rate. *ibid.*, 93-96.
- Crank, J. 1975. *The mathematics of diffusion*, 2nd Edi., Clarendon Press, Oxford, p. 47.
- Eaves, P.H., L.J. Molaison, C.L. Black, A.J. Crovetto and E.L. D'aquin. 1951. A comparison of five commercial solvents for extraction of cottonseed. 42nd Annu. Meet. Am. Oil Chemists' Soc., New Orleans, La., May 1-3, 88-94.
- Fan, H.P. and J.C. Morris. 1948. Diffusion phenomena in solvent extraction of peanuts oil-Effect of cellular structure. *Ind. Eng. Chem.*, 40(2), 195-199.
- Grosberg, J.A. 1950. Solid-liquid extraction calculations. *Ind. Eng. Chem.*, 40(1), 154-161.
- Karnofsky, G. 1949. The theory of solvent extraction. *J. Am. Oil Chemists' Soc.*, 26, 554-569.
- Othmer, D.F. and W.A. Jaatinen. 1959. Extraction of soybean-Mechanism with various solvents. *Ind. Eng. Chem.*, 51(4), 543-546.
- Ravenscroft, E.A. 1935. Extraction of solid with liquids. *Ind. Eng. Chem.*, 28(7), 851-855.
- Riddik, J.A. and W.B. Bunger. 1970. *Organic solvents*, Vol. 2, 3rd Edi., Wiley-Interscience, pp. 78-79, 242-243.
- Sakai, M., M. Miki, H. Kodowaki, O. Nagae and S. Fukuda. 1972. Studies on the extraction rate of fish from fish muscle-1. Estimation of diffusion coefficients and a general theory of extraction rate constants. *J. Japan. Soc. Food Sci. Tech.*, 19(9), 401-405.
- Sakai, M. and M. Miki. 1974. Studies on the extraction rate of oil from fish muscle-2. Mass transfer rate in the early stage of extraction. *J. Japan. Soc. Food Sci. Tech.*, 21(10), 490-494.
- Sakai, M. and M. Miki. 1975. Studies on the extraction rate of oil from fish muscle-3. Extraction rate of mixture and diffusion constant of fish oil. *J. Japan. Soc. Food Sci. Tech.*, 22(5), 205-210.
- Sakai, M. and M. Miki. 1978. The extraction rate of oil from fish muscle in early stage. *J. Japan. Soc. Food Sci. Tech.*, 25(4), 235-239.
- Sakai, M. and M. Miki. 1979. The extraction rate of oil from fish muscle with acetone. *J. Japan. Soc. Food Sci. Tech.*, 26(3), 122-126.
- Swern, D. 1981. *Bailey's industrial oil and fat products*, 3rd Edi., John Wiley & Sons Inc., p. 680.
- Wingard, H.B. and W.C. Shand. 1948. The determination of the rate of extraction of crude lipids from oil seeds with solvents. 22nd annu. Meet. Am. Oil Chemists' Soc., Nov. 15-17, New York, 422-46.