

# 정어리磨碎肉의 低水分에서의 誘電的 特性

## 2. 澱粉含量과 溫度에 따른 誘電特性

李 炳 昊 · 金 章 亮 · 李 康 鎬

東義工業專門大學  
食 品 工 業 科

釜山水產大學  
食 品 工 學 科

### Dielectric Properties of Sardine-Starch Paste at Low Moisture Content

#### 2. Effect of Starch Contents and Temperatures

Byeong-Ho LEE

Department of Food Technology, Dong Eui Technical Junior College of Pusan.  
Chingu, Pusan, 601 Korea

Chang-Yang KIM and Kang-Ho LEE

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

In previous paper (Lee and Kim, 1983) the effect of moisture level and frequency on dielectric properties of sardine starch paste was mentioned. The effect of temperature and starch content of the paste upon dielectric permittivity and activation energy was discussed in this report.

Addition of starch affected on dielectric property. Increases of starch in the mixtures resulted in higher complex permittivity and lower critical moisture content (hc) as shown in the mixtures with 20% and 50% starch which were  $\epsilon^* = 2.97 + j0.36$ ,  $hc = 8.0\%$ ;  $\epsilon^* = 3.54 + j0.44$ ,  $hc = 7.8\%$ , respectively while being  $\epsilon^* = 2.73 + j0.29$ ,  $hc = 8.4\%$  for the plain ground sardine meat.

When temperature was raised the complex permittivity tended to increase at above the critical moisture content in all cases.

The activation energies for plain ground meat and 30% starch added mixture at below the critical moisture of 8.4% were 15.44 kcal/mol and 13.86 kcal/mol while those at the moisture of 12.2% were 10.27 kcal/mol and 9.31 kcal/mol, respectively.

## 序 論

魚肉을 原料로 하여 煉製品이나 發泡乾燥製品(Lee et al., 1982)을 만들 때는 澱粉을 添加物으로써 많이 利用하고 있다. 이러한 澱粉을 配合한 魚肉을 高周波를 利用하여 加熱하거나 乾燥하고자 할 때는 配合魚肉의 誘電的 特性을 알아야 하나 이러한 報告는 없다. 그러나 魚肉이나 蛋白質, 또는 澱粉을 各各 따로따로 研究한 것은 많다.

Kent(1970, 1972, 1974, 1977)는 魚粉의 誘電率

을 測定하여 溫度와 周波數 依存性을 밝혔고 Mudgett 등(1974)은 쇠고기와 ham, 그리고 감자의 誘電率을 25°C~50°C 範圍에서 測定하여 溫度가 上昇함에 따라  $\epsilon'$  (Dielectric constant)는 약간씩 減少하고  $\epsilon''$  (Loss factor)는 上昇하였다고 報告하였다. Risman과 Bengtsson(1971)은 高水分의 쇠고기가 溫度上昇에 따라  $\epsilon'$ 와  $\epsilon''$ 가 0°C 以下에서는 增加하였고 0°C 以上에서는 溫度上昇과 함께 減少하는 傾向을 보였다고 하였다. 또 Bengtsson 등(1974)은 쇠고기와 磨碎한 감자 등, 많은 高水分 食品을 研究하여 周波數 2.8 GHz 일때 -20°C에서 0°C까지는  $\epsilon'$ ,

$\epsilon''$  값이 계속 증가한 후 0°C 이상에서는 온도上昇과 더불어 弛緩時間이 減少하고 誘電率의 變화가 따르므로  $\epsilon''$  값이 增加하는 것이라 하였다.

食品에 마이크로波를 照射하면 發熱됨과 함께 溫度가 上昇되고 따라서 誘電率의 變化가 따르므로 誘電率의 溫度依存性은 마이크로와 乾燥機의 設計에 必要한 因子이므로 이에 關한 研究도 많이 되어 있다. Buchanan 등(1952)과 Rossen (1962)은 몇 가지 蛋白質의 誘電特性을 究明하였고, Goldblith 등(1972)은 澱粉과 물의 混合物를 試料로 하여 1.0 GHz와 3 GHz에서  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ 를 測定하여 겔라틴화한 澱粉이 粒狀澱粉보다 약간 큰 값을 보여 주었고, 이 결과는 Strolle과 Cording (1965)이 감자 澱粉으로 한 實驗結果와 一致하였다고 報告하였다. 또 Stuchly와 Hamid(1972)는 粘土와 破碎된 감자가루와 polyamide 등을 試料로 하여  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ 의 周波數와 溫度依存性을 研究하여 報告하였으며, Mudgett 등 (1975)은 300 MHz와 1,000 MHz의 周波數에서는 溫度 25~55°C 範圍內에서  $\epsilon''$ 이 增加하였다 하였으며 McIntosh (1966)는 溫度가 上昇함에 따라 physical binding force가 감소되고, 따라서 配向하기 쉽게 되므로  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  값이 增加하는 것이라 하였다.

그리고 食品成分과 물分子의 結合에너지의 測定은 그 結合狀態를 더욱 明白히 할 수 있다. Stuchly와 Hamid (1972)는 粘土粒子의  $\epsilon'$  값은 5로부터 變하며 그때의 活性化에너지는 13.5 kcal/mol이라 했고, Grant (1965)도 달걀과 소 血清 albumin의 誘電特性 研究에서 測定된 結合水의 活性化에너지는 16 kcal/mol이며 이는 4 kcal/mol인 自由水보다 훨씬 큰 값이며 이 에너지는 세계의 水素結合을 깨는데 必要한 에너지라 하였다.

前報 Lee와 Kim (1983)에 이어 本報에서는 食品의 貯藏性과 關係가 깊은 結合水分子가 電場에서 어떤 誘電的 特性을 가지는가를 알아 보기 爲하여 감자 澱粉을 配合하여 磨碎한 정어리肉의 誘電率을 澱粉配合量에 따라, 또 溫度의 變化에 따라 測定하고 結合

水分의 活性化에너지를 計算하여 水分의 結合狀態를 通한 單分子層과 多分子層水分의 誘電的 學動을 알아 보고자 하였다.

## 材料 및 方法

### 1. 試料의 調製

前報(Lee와 Kim, 1983)에서 얻은 原料肉의 一部를 流水中에서 4時間 水洗하여 脫脂된 것을 水分 75% 程度가 되도록 遠心脫水한 것을 試料 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 및 2-5의 原料肉으로 하여 各 試料에 Table 1.과 같이 添加物을 加하고 前報(Lee와 Kim, 1983)와 같이 整形 調製하여 測定에 使用하였다.

### 2. 活性化에너지의 測定

活性化에너지는 Contour mapping으로 測定하였으며(Morley, 1969), 式(1)과 같이 表示된다.

$$\left| \frac{\partial(\ln\omega)}{\partial(1/T)} \right| \epsilon^* = -\frac{q_0}{k} \quad (1)$$

여기서  $\omega$  : angular frequency

$q_0$  : mean activation energy

$\epsilon^*$  : complex permittivity

$T$  : absolute temperature

$k$  : Boltzman's constant

( $1.38 \times 10^{-23} \text{J/}^\circ\text{K}$ )

한편 式(1)에서  $\epsilon^*$ 는  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  및  $\tan\delta$ 로 代置할 수 있다.

## 結果 및 考察

### 1. 감자澱粉 配合量에 따르는 誘電率의 變化

정어리肉에 감자澱粉의 配合量을 달리한 試料를 周波數 0.75 MHz에서 水分含量에 따라 變化하는 모양을 Fig. 1과 2에 나타내었고, 誘電率의 測定値는 Table 2. 3. 4. 5 및 6에 各各 表示하였다.

Table 1. Ingredients of the sample

Sample code	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Crude ash (%)	Starch (g/100 gmeat)	Salt (g/100 gmeat)
2-1	76	17.5	1.0	1.49	20	3
2-2	76	17.5	1.0	1.49	30	3
2-3	76	17.5	1.0	1.49	40	3
2-4	76	17.5	1.0	1.49	50	3
2-5	76	17.5	1.0	1.49	—	3

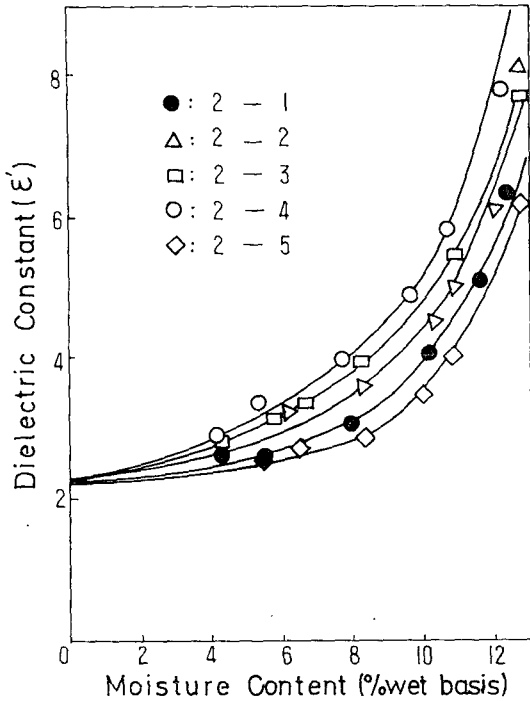


Fig. 1. Dielectric constant of several samples at various moisture contents and 0.75 MHz.

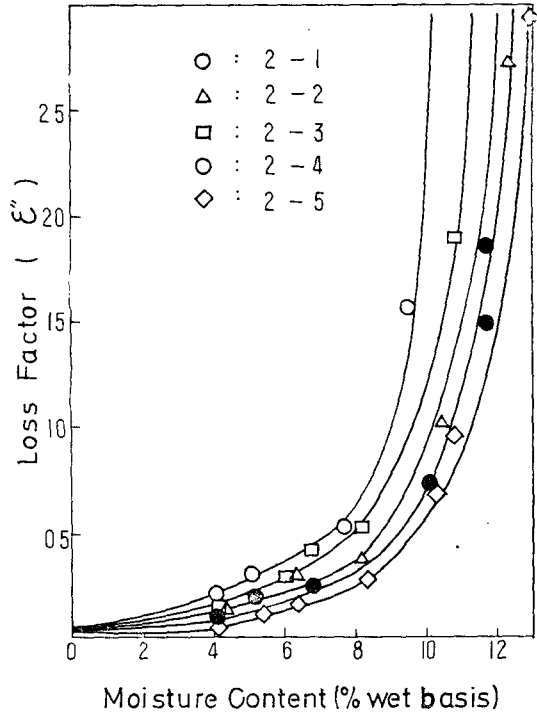


Fig. 2. Loss factor of several samples at various moisture contents and 0.75 MHz.

Table 2. Dielectric measurements of sample 2-1 at various frequencies, 25°C

Moisture (%)	Dielectric constant( $\epsilon'$ )				Loss factor ( $\epsilon''$ )			
	0.1MHz	0.75 MHz	7.5 MHz	15 MHz	0.1 MHz	0.7 MHz	7.5 MHz	15 MHz
4.13	2.38	2.65	2.35	2.28	0.13	0.13	0.11	0.09
5.18	2.72	2.51	2.38	2.35	0.24	0.22	0.17	0.19
8.00	3.55	3.08	2.69	2.56	0.57	0.40	0.24	0.23
10.22	5.72	4.26	3.09	2.98	1.54	0.56	0.52	0.52
11.50	8.62	5.10	3.69	3.47	3.88	1.84	0.85	0.76
12.33	12.68	6.30	4.35	3.74	10.27	3.21	1.15	1.12
13.15	24.23	10.12	5.68	4.66	37.31	8.40	2.61	1.96
13.96	31.97	10.59	6.03	5.32	81.84	13.45	3.62	2.60

Table 3. Dielectric measurements of sample 2-2 at various frequencies, 25°C

Moisture (%)	Dielectric constant ( $\epsilon'$ )				Loss factor ( $\epsilon''$ )			
	0.1 MHz	0.75 MHz	7.5 MHz	15 MHz	0.1 MHz	0.75 MHz	7.5 MHz	15 MHz
4.20	2.65	2.61	2.47	2.38	0.3	0.21	0.2	0.18
6.21	3.29	3.30	2.65	2.65	0.34	0.30	0.21	0.21
8.32	3.98	3.63	2.91	2.56	0.56	0.36	0.29	0.28
10.67	6.33	4.44	3.50	3.26	2.47	0.98	0.52	0.52
11.00	7.66	4.99	3.91	3.41	2.76	1.35	0.63	0.65
12.28	11.06	6.17	4.49	3.94	6.19	2.71	0.96	0.91
12.91	15.57	8.36	5.18	4.70	12.92	4.51	1.36	1.41

Table 4. Dielectric measurements sample 2-3 at various frequencies, 25°C

Moisture (%)	Dielectric constant ( $\epsilon'$ )				Loss factor ( $\epsilon''$ )			
	0.1 MHz	0.75 MHz	7.5 MHz	15 MHz	0.1 MHz	0.75 MHz	7.5 MHz	15 MHz
4.18	2.75	2.78	2.46	2.49	0.21	0.19	0.19	0.18
5.99	3.43	3.16	2.64	2.58	0.34	0.28	0.21	0.21
6.73	3.72	3.36	2.69	2.62	0.52	0.40	0.24	0.26
8.16	4.17	3.90	2.95	2.74	0.68	0.51	0.30	0.30
10.90	7.03	5.43	3.99	3.54	2.08	1.89	0.84	0.59
12.85	14.28	7.78	5.04	4.51	10.00	3.97	1.61	1.35

Table 5. Dielectric measurements of sample 2-4 at various frequencies, 25°C

Moisture (%)	Dielectric constant ( $\epsilon'$ )				Loss factor ( $\epsilon''$ )			
	0.1 MHz	0.75 MHz	7.5 MHz	15 MHz	0.1 MHz	0.75 MHz	7.5 MHz	15 MHz
4.21	2.88	2.91	2.58	2.48	0.19	0.19	0.16	0.17
5.16	3.42	3.37	2.79	2.70	0.41	0.30	0.20	0.24
7.76	4.33	3.96	2.97	2.90	0.61	0.51	0.30	0.32
9.54	5.54	4.90	3.73	3.46	1.61	1.57	0.56	0.59
10.90	8.28	5.72	4.33	3.99	3.15	1.72	0.91	0.80
12.24	13.61	7.76	6.05	4.27	23.75	12.57	6.29	1.11

Table 6. Dielectric measurements of sample 2-5 at various frequencies, 25°C

Moisture (%)	Dielectric constant ( $\epsilon'$ )				Loss factor ( $\epsilon''$ )			
	0.1 MHz	0.75 MHz	7.5 MHz	15 MHz	0.1 MHz	0.75 MHz	7.5 MHz	15 MHz
4.12	2.25	2.31	2.22	2.13	0.16	0.08	0.08	0.09
5.35	2.37	2.62	2.43	2.07	0.17	0.10	0.10	0.08
6.39	2.67	2.75	2.50	2.36	0.24	0.19	0.13	0.12
8.40	3.02	2.83	2.70	2.35	0.45	0.28	0.22	0.19
10.33	3.85	3.56	3.00	2.45	1.19	0.68	0.39	0.37
10.80	5.05	3.87	3.08	2.85	2.07	0.91	0.40	0.40
12.80	11.13	6.32	39.4	3.42	7.90	2.97	1.14	1.23
13.96	16.54	9.85	4.98	4.45	23.16	7.39	2.29	1.82

各 試料마다 臨界水分의 變曲點은 7~8% 사이였으며 澱粉配合量이 많은 것일수록 臨界水分이 약간 낮은 값을 나타내었고 誘電率은 反面에 큰 값을 나타내고 있다. 澱粉이 配合되지 아니한 試料 2-5의 臨界水分을 보면 8.4%에서  $\epsilon'=2.7$ ,  $\epsilon''=0.25$ 인데, 20%의 감자澱粉을 添加한 정어리 磨碎肉의 臨界水分은 平均 8.0%였으며  $\epsilon'=2.97$ ,  $\epsilon''=0.36$ 이고 澱粉이 50% 섞인 試料 2-4는 臨界水分이 7% 附近이었고  $\epsilon'=3.5$ ,  $\epsilon''=0.5$ 로 약간 큰 값을 나타내었다. 또 魚肉만일 때의 誘電率보다 澱粉이 混合됨으로써 더 增加하고 臨界水分含量은 減少되는 것으로 보아 活性化된 水分이 늘었다고 보아야 할 것이다. 이러한 結果는 魚肉蛋白質에 分子가 結合할 수 있는 部位가 澱粉分子에 依해서 減少되는 것이라 보며, 또 蛋白質中 peptide 鎖나 側鎖基와 水素結合을 하고

있던 水分이 添加된 澱粉分子의 水酸基 때문에 그 結合력이 弱해지고 따라서 誘電的으로는 더욱 活性化되기 때문이라 생각된다.

0.75 MHz 보다 높은 周波數인 7.5 MHz 에서는 臨界水分 以下에서의 誘電率의 變化幅이 더 적고 그 差도 0.75 MHz 에서 보다 더 적었다. 臨界含水率 近處인 7%에서 試料 2-4와 2-5의  $\epsilon'$ 의 差는 0.75 MHz 때 2.7~3.6인데 比較하여 7.5 MHz 때는 2.4~2.8에 不過하여 澱粉含量에 따른 誘電의 特性的 差도 높은 周波數일수록 적다는 事實을 알 수 있다.

## 2. 一定周波數에 따른 溫度依存性

정어리肉과 감자 澱粉 混合物과의 溫度依存性を 보기 爲하여 20°C~90°C 사이의 溫度範圍에서 周波數 7.5 MHz, 15 MHz 로 調整하여 測定한 結果 Fig 3,

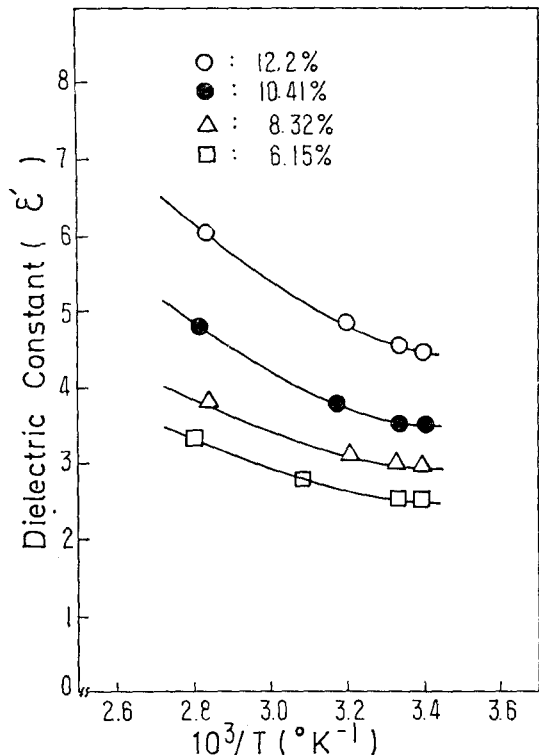


Fig. 3. Dielectric constant of sample 2-2 as a function of temperature at 7.5 MHz.

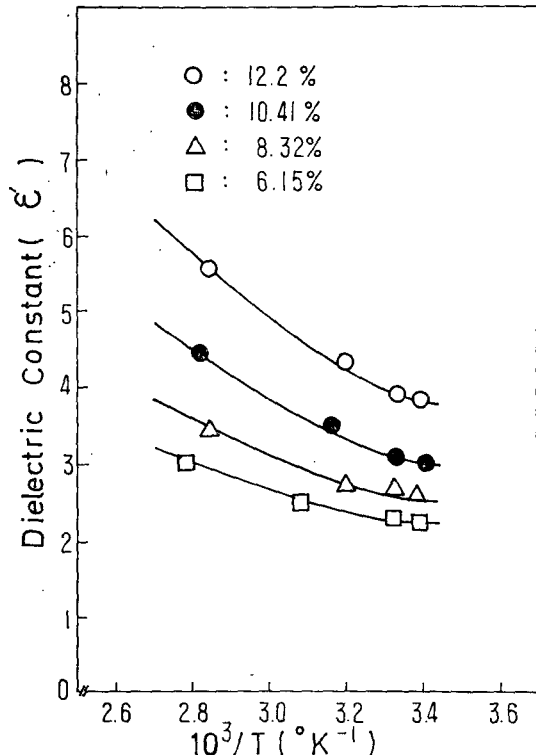


Fig. 4. Dielectric constant of sample 2-2 as a function of temperature at 15 MHz.

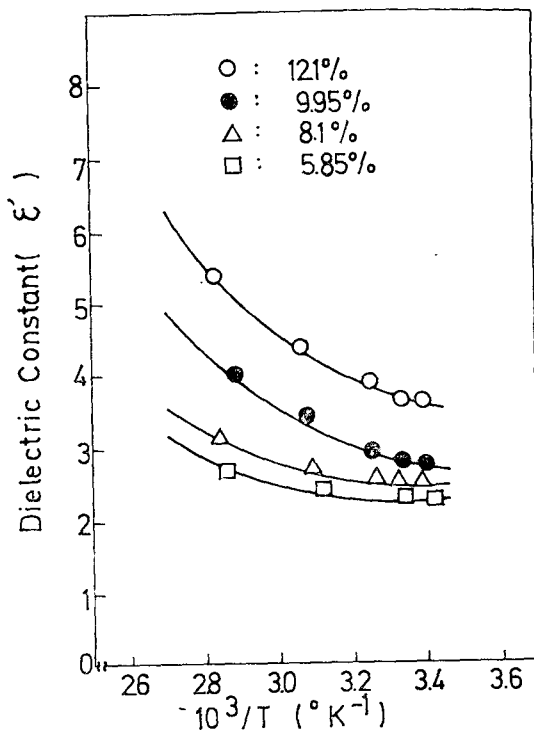


Fig. 5. Dielectric constant of sample 2-5 as a function of temperature at 7.5 MHz.

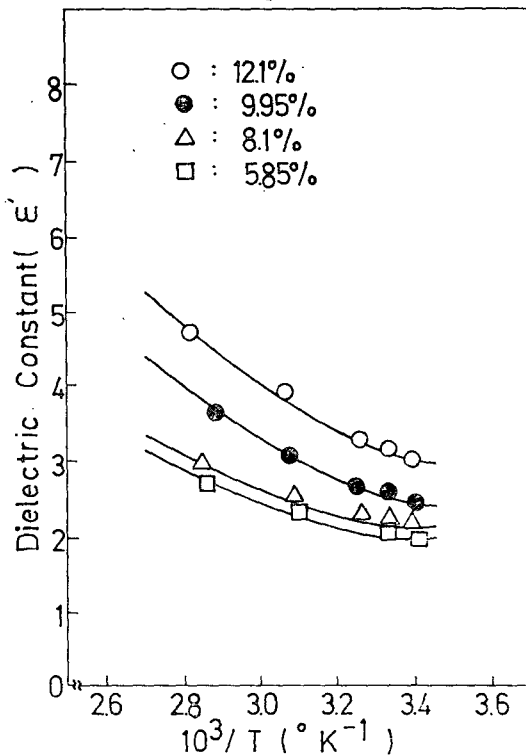


Fig. 6. Dielectric constant of sample 2-5 as a function of temperature at 15 MHz.

4, 5 및 6과 같은 결과를 얻었다.

먼저 一定한 周波數에서는 臨界水分 近處에서 溫度依存性은 極히 적고 그 以上에서는 溫度依存性이 보다 크다는 것을 알 수 있었으며 같은 溫度에서는 감자澱粉 混合物보다 정어리肉만인 試料 2-5가 더 낮다는 것을 알 수 있었다.

誘電體는 低水分에서 溫度가 上昇함에 따라 誘電率이 上昇하며 臨界水分 以下에서는 溫度依存性이 極히 낮고 水分含量이 0 이 되면 溫度依存性이 없는 것이다. 이 結果는 Bengtsson 과 Risman (1971)이 높은 水分含量에서 測定한 結果와 다르지마는 Windle 과 Shaw (1954)가 水分含量 0~30%의 전나무로 實驗한 結果와는 비슷한 傾向을 보여 준다. 그러나 이러한 溫度依存性은 極히 적다. Mudgett 등(1980)이 實驗한 감자와 Kent(1972)가 實驗한 魚粉의 溫度依存性 보다는 本 實驗에서 80°C, 水分含量 8.23 %에서 測定된  $\epsilon'$ 는 2.5~3.5로 약간 큰 값을 보이는데 이것은 周波數 差異에서 오는 것으로 생각된다.

吸着水の 誘電의 反應은 結合力の 強弱에 따라 다르다(McIntosh, 1966). 그러나 溫度가 上昇할 수록 이 物理的 結合력이 弱해지므로 쉽게 回轉할 수 있고 따라서 弛緩周波數가 커지고  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  값은 增加하는 것이다. 이것은 높은 弛緩周波數로 바뀌므로 吸着體와 吸着水間의 相互作用이 弱해지는 것이다.

本 實驗에서는 食品의 成分과 強하게 結合되어 있는 準結合水의 結合力を 活性化에너지를 測定하여 比較해 보았다.

### 3. 活性化 에너지값과 結合水分

試料 2-2 와 2-5의 溫度依存性을 나타낸 그림은 Fig 3. 4, 5 및 6이며 活性化에너지를 求하기 爲하여 이 그림들과 式(1)을 利用하여 얻은 것이 Fig. 7 인데 여기에서 溫度變化에 對한 周波數變化를 보면 試料 2-5가 試料 2-2 보다 기울기가 더 크고, 또 低水分일 때 高水分일 때보다 기울기가 더 크게 나타났다. 이것은 活性化에너지가 더 크다는 意味이다. 여기서 測定한 活性化에너지 값을 比較해 보면 臨界水分含量 近處인 6.15%에서(試料 2-2) 13.86 kcal/mol 인데 比하여 水分含量 12.20%일 때는 9.31 kcal/mol 로서 準結合分狀態일 때보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있고 試料 2-5(水分含量 8.1%)의 15.44 kcal/mol 보다는 적은 값을 나타내었다. 이 結果는 粘土粒子的  $\epsilon'=5$  일 때의 活性化에너지 13.5 kcal/mol (Stuchly 와 Hamid, 1972)보다 크며, Grant(1

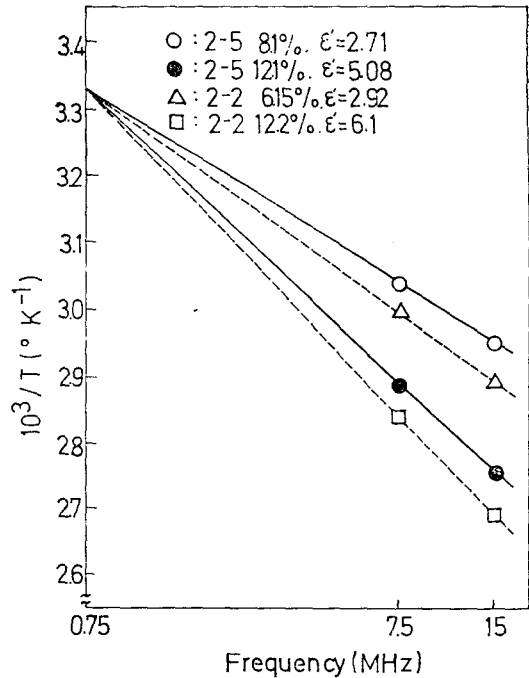


Fig. 7. Contour map of dielectric constant.

965)가 달걀과 소의 血清알부민으로 測定한 結合水의 活性化에너지 16 kcal/mol 과 비슷한 값이었다. 또 臨界水分 以上에서의 活性化에너지 9.31 kcal/mol 은 Grant (1965)가 蛋白質로써 測定한 自由水의 活性化에너지 4 kcal/mol 보다 월등히 큰 값으로 나타났다.

### 結論 및 要約

감자澱粉을 配合한 정어리 磨碎肉의 低水分에서의 誘電의 特性을 究明하기 爲하여 周波數 0.1~15 MHz 範圍에서 誘電率을 測定하여 澱粉配合量에 따른 誘電率의 變化와 溫度增加(20°C~90°C)에 따른 誘電率의 影響, 그리고 臨界水分 前後의 活性化에너지를 測定하여 結合水分의 誘電의 舉動을 알아 보기 爲한 實驗結果는 다음과 같다.

1. 周波數 0.1~15 MHz 에서 臨界含水率 및 平均複素誘電率은 澱粉을 添加하지 않은 정어리磨碎肉의 境遇는 各各 8.4%,  $\epsilon^*=2.73+j0.29$ 이었고 20% 澱粉을 添加한 試料는 8.0%,  $\epsilon^*=2.97+j0.36$ 이었고 澱粉 50% 添加한 試料는 7.8%,  $\epsilon^*=3.54+j0.44$ 여서 澱粉의 添加量이 많을수록  $\epsilon^*$  값은 增加하고 臨界水分含量은 減少되는 傾向이었다.

2. 모든 試料는 溫度가 增加함에 따라 臨界水分含量 以上에서는  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  다 함께 增加하였다.

3. 정어리 磨碎肉의 臨界水分含量 8.40% 以下에서의 活性化에너지는 15.44 kcal/mol 이었으며 澱粉을 30% (30 g/100gmeat) 添加한 磨碎肉은 13.86 kcal/mol 이었고 水分含量 12.20%에서는 各各 10.27 kcal/mol 과 9.31 kcal/mol 이었다.

### 參 考 文 獻

- Bengtsson, N. E. and P. O. Risman. 1971. Dielectric properties of foods at 3GHz as determined by a cavity perturbation technique J. Microwave Power. 6(2), 107~123.
- Bengtsson, N. E. and Ohlsson. 1974. Microwave heating in the food industry. Proc. IEEE., 62(1), 44~55.
- Buchanan, T. J., G. H. Haggis, J. B. Hasted and Robinson. 1952. The dielectric estimation of protein hydration. Proc. Royal Soc., A 213, 379~391.
- Goldblith, S. A., B. D. Roebuck and W. B. Westphal, 1972. Dielectric properties of carbohydrate-water mixtures at microwave frequencies. J. Food Sci., 37, 199~204.
- Grant, E. H. 1965. The structure of water neighboring proteins, peptides and amino acids as deduced from dielectric measurements. Annals N. Y. Aca. Sci., 418~427.
- Haggis, G. H., T. J. Buchanan and B. G. Robinson. 1952. The dielectric estimation of protein hydration. Proc. Royal Soc., A213, 379~391.
- Hasted, J. B., D. M. Ritson and C. H. Collie. 1948. Dielectric properties of aqueous ionic solutions. Pt. I and II. J. Chem. Phys., 16(1), 1~21.
- Hippel, A. V., 1967. The dielectric relaxation spectra of water ice, and aqueous solutions and their interpretation. Technical Report 1. Laboratory of Insulation Research Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- Kent, M. 1970. Complex permittivity of white fish meal in the microwave region as a function of temperature and moisture content. J. Phys. D: Appl. Phys., 3, 1275~1283.
- Kent, M., 1972. Microwave dielectric properties of fishmeal. J. Microwave Power, 7(2), 109~116.
- Kent, M. 1974. Fish muscle in the frozen state: Time dependence of its microwave dielectric properties. J. Food Tech., 10, 91~102.
- Kent, M. 1977. Complex permittivity of fish meal: A general discussion of temperature, density and moisture dependence. J. Microwave Power, 12(4), 341~345.
- Lee, K. H. and B. H. Lee. 1982. Dehydration of foamed fish-paste by microwave heating, Bull. Korean Fish. Soc., 15(4), 283~290.
- Lee, B. H. and C. Y. Kim, 1983. Dielectric properties of sardine-starch paste at low moisture contents. Bull. Korean Fish. Soc., 16(4), 283~290.
- McIntosh, R. L., 1966. Dielectric behavior of physically adsorbed gases. Marcel, Dekker, Inc. N. Y., III.
- Morley, A. R. 1969. Analysis of incomplete dielectric loss functions. Phys. C(Solid St. Phys.) Series 2., 2, 1361~1367.
- Mudgett, R. E., A. C. Smith, D. I. C. Wang and S. A. Goldblith. 1974. Prediction of dielectric properties in nonfat milk at frequencies and temperatures of interest microwave processing. J. Food Sci., 39, 52~54.
- Mudgett, R. E., D. I. C. Wang, S. A. Goldblith and R. V. Decareau. 1974. Dielectric properties of food materials. J. Microwave Power, 9(4), 303~315.
- Mudgett, R. E., D. I. C. Wang, and S. A. Goldblith. 1974. Prediction of dielectric properties in oil-water and alcohol-water mixtures at 3000 MHz, 25°C based on pure component properties. J. Food Sci., 39,

- 632~635.
- Mudgett, R. E., S. A. Goldblith, D. I. C. Wang and W.B. Westphal. 1975. Prediction of dielectric properties in solid foods at ultrahigh and microwave frequencies. Microwave Power Symp. 10th Annu. Proc. Univ. of waterloo, 272~274.
- Mudgett, R. E., S. A. Goldblith, D. I. C. Wang and W. B. Westphal. 1980. Dielectric behavior of a semi-solid food at low, intermediate and high moisture contents. J. Microwave Power, 15(1), 27~36.
- Risman, P. O. and N. E. Bengtsson. 1971. Dielectric properties of foods at 3GHz as determined by a cavity perturbation technique. J. Microwave Power, 9(2), 107~123.
- Rosen D., 1962. Dielectric properties of protein powders with adsorbed water. Trans. Faraday Soc., 59, 2178~2191.
- Strolle, E. O., and J. Cording. 1965. Moisture equilibria of dehydrated mashed potato flakes. Food Technol: 19. 171.
- Stuchly, S. S. and M. A. K. Hamid. 1972. Physical parameters in microwave heating processes. J. Microwave Power, 7(2), 117~137.
- Windle, J. J. and T. M. Shaw. 1954. Dielectric properties of wool-water systems at 3,000 and 9,300 Megacycles. J. Chem. Phys., 22(10), 1752~1757.