

정 어 리 磨碎肉의 低水分에서의 誘電特性

1. 水分含量과 周波數에 따른 誘電特性

李 炳 昊 · 金 章 亮
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 Contents

1. Effect of Moisture Content and Frequency

Byeong-Ho LEE

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

and

Chang-Yang KIM

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

Dielectric properties of sardine-starch paste with moisture content of 4 to 13% were investigated as functions of moisture and frequency. And the effects of the levels of fat and starch of the mixtures upon dielectric permittivity, critical moisture, were also mentioned. In addition, a theoretical prediction of frequency dependence of dielectric constant which was computed by the lumped circuit of two layer condenser model was evaluated.

For the preparation of sardine-starch paste, comminuted sardine meat was washed thoroughly several times in chilled water by soaking and decanting, and finally centrifuged. This procedure was extended longer to provide a low fat sample. The centrifuged meat was mixed with adequate amounts of starch and salt, and ground for 25 minutes in a stone mortar, moulded in the form of disk with 7cm diameter and 1.2cm thickness and then freeze dried. Dried meat disks were cut off for the size of 5.5 cm diameter and 1.0 cm thickness and their moisture contents were controlled in humidified desiccators with saturated solutions.

Dielectric constants of sardine-starch paste tended to decrease frequency was increased showing a critical change at the moisture called critical moisture content. In case of the sample with 20% starch and 2% salt an average complex permittivity(ϵ^*) at 7 to 8% moisture as the critical moisture content was presented; $\epsilon^*=3.57+j 0.39$ at 0.1 MHz, $\epsilon^*=2.54+j 0.19$ at 15 MHz, and $\epsilon^*=2.15+j 0.08$ at 1.8 GHz, respectively.

The theoretically obtained complex permittivity values from the two layer condenser model were in close agreement with these actual measurements under the same conditions, that appeared as $\epsilon^*=2.53+j 0.09$ at 0.1 MHz and $\epsilon^*=2.28+j 0.06$ at 15 MHz, respectively.

The fast level of the mixture also revealed an influence on dielectric property that defatted meat with 1.0% fat showed a higher ϵ' and ϵ^* value than the meat with 4.8% fat. Complex permittivity being related to the moisture level remained nearly unchanged or slightly changed at the moisture range of 4 to 8% but was dispersed widely at higher moisture contents.

緒 論

1965年 美國에서 大電力 마그네트론이 開發된 以來 高周波加熱은 새로운 加熱方法으로써 産業界에 널리 實用化 되어가고 있다(Maurer, 1971). 마이크로波 誘電加熱은 誘電物質의 誘電損失을 利用한 加熱方法이므로 (Stuchly, 1972) 熱傳導等을 利用한 從來의 熱傳達方法과는 달리 많은 長點이 認定되어 食品工業에서는 乾燥와 膨化, 濃縮, 解凍 및 殺菌等 各種 加工處理에 利用되고 있다(露木, 1979; Lee and Lee, 1982; Lin, and Li, 1971; 武原, 1974; 北島 1978; Mudgett, 1982; Roebuck and Goldblith, 1972; Ohlsson and Bengtsson, 1975).

Bhartia 等 (1973)은 周波數 2,450 MHz, 1kw 電力의 마이크로波를 熱風과 併用하여 실리카겔을 乾燥한 結果, 熱風만으로 乾燥한 것보다 乾燥速度가 5倍以上 빨라 졌다고 하였다.

이 結果는 最終段階의 乾燥에 마이크로波加熱이 效果的이므로 이것을 産業的으로 利用하기 爲한 基礎資料를 얻기 위하여 對象食品의 誘電特性을 調査 하는것이 매우 重要한 일이라 하겠다.

食品의 誘電의 特性은 두개의 變數로 說明할 수 있다. 即 誘電定數 (Dielectric constant, ϵ')와 誘電損失(Dielectric lose, ϵ'')이다. 誘電定數는 電氣에너지를 蓄積하기爲한 能力을 말하며 誘電損失은 誘電體에 供給된 에너지로부터 吸收된 에너지의 損失量이고 誘電體中에서 電力이 消耗되어 發熱하는 것이다.

食品의 貯藏性과 關係가 깊은 食品中의 水分子는 食品成分과 結合하고 있어 電場에 配向하려는 自由度가 다르다. 이 自由度로써 水分의 束縛程度를 誘電率을 求함으로써 究明하고자 하는 것이다.

Buchanan(1952)은 非回轉性 結合水의 誘電特性은 蛋白質과 相關하는 結合水分의 上限線을 알려주며 이는 물의 雙極子들이 마이크로波 電場에서 回轉이 自由롭지못한 물이라고 定義하였다. 따라서 食品成分에 強하게 束縛된 結合水는 전혀 配向하지 않으며 ϵ' 값은 極히작고 食品成分과 거의 같은 값을 가

진다.

周波數가 높을수록 同一束縛度에서도 配向되기 어려워서 ϵ' 의 값이 작아지고 束縛度가 強한 結合水는 周波數에 拘碍됨이 없이 配向하지 않고 同一한 값을 나타내는 것이 一般的인 傾向이다. 따라서 두가지 以上の 周波數가 다른 電場에서 이들 값을 測定하면 食品속의 水分의 狀態를 밝힐 수도 있는것이다.

本研究에서는 정어리 磨碎肉의 低水分에서의 誘電特性을 周波數 0.1~15 MHz, 그리고 1.8 GHz에서 測定하여 周波數 變化에 따른 ϵ' 및 ϵ'' 의 變化를 모델로 利用하여 計算한 理論値와 實驗에 의한 測定値와 比較하였다.

材料 및 方法

1. 試料 및 調製

1982年, 6月 21日 釜山共同魚市場에서 購入한 鮮度가 좋은 정어리 (*Sardinops melanosticta*, 體長 20~25cm, 體重 230~250g)를 採肉하여 그 一部를 分離하고 一時間가량 流水中에서 水洗한 後 水分 75%가 되도록 遠心脫水하여 이것을 試料 1-1과 1-2의 原料肉으로 하였다. 나머지 一部를 流水中에서 4時間水洗하여 脫脂된것을 水分 75% 程度되도록 遠心脫水하여 試料 1-3, 1-4의 原料肉으로 하였다. 各試料에 Table 1과 같이 添加物을 加하고 試料別로 各 各 stone grinder에서 25分間 磨碎한 後, 直徑 7cm, 두께 1.2 cm로 成形하여 -50°C에서 3時間 豫備凍結하였다가 眞空凍結乾燥機 (FTS system, Varian industrial products center 製)에 넣고 壓力 15 mm Torr, 棚床溫度 40°C, 凝縮溫度 -90~-80°C에서 48時間 凍乾한 後 乾燥劑가 들어있는 chamber 속에서 直徑 5.5 cm, 두께 1 cm 以下로 整形하였다. 이렇게 만든 試料는 鹽類溶液이 들어있는 데시케이터 속에 넣어 10時間 吸濕시킨 後 polyethylene film에 싸서 2~3日間 平衡시켜 水分含量을 調整하여 測定에 使用 하였다.

Table 1. Ingredients of the samples

Sample code	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Crude ash (%)	Starch (g/100g meat)	Salt (g/100g meat)
1-1	75	17.3	4.8	1.51	20	2
1-2	75	17.3	4.8	1.51	—	2
1-3	75	17.3	0.9	1.47	20	2
1-4	75	17.3	0.9	1.47	—	2

2. 水分測定

試料의 最初水分은 整形過程에서 그 一部를 取하여 상압가열 감량법으로 測定한 後 乾物量을 計算해 놓고 데시케이터 속에서의 重量變化로써 그때의 水分含量을 計算하였다.

3. 정어리肉의 一般組成

常法으로 分析하였다.

4. 複素誘電率의 測定

複素誘電率은 周波數 0.1~15 MHz 와 1.6~2 GHz 帶에서 Resonant circuits 法과 Standing wave Ratio 方法으로 測定하였다.

(1) Resonant circuits 方法

周波數 0.1~15 MHz 帶는 Q 메타를 使用한 Reactance 變化法 (Yamamoto, 1978)으로 다음과 같이 計算하였다.

$$\epsilon' = \frac{t_x}{t_0}, \quad \epsilon'' = \epsilon' \tan \delta \dots \dots \dots (1)$$

$$\tan \delta = \frac{C'}{C_x} \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 \cdot Q_2} \dots \dots \dots (2)$$

即 $t_x, t_0, C', C_1, C_2, Q_1, Q_2$ 를 測定하여 ϵ' 및 ϵ'' 를 計算하였다.

(2) Standing wave ratio 方法

Roberts and Hippel(1946)의 方法에 의하여 다음과 같이 測定, 計算하였다.

$$\frac{\tan h \gamma_2 d}{\gamma_2 d} = \frac{-j \lambda_1}{2 \pi d} \frac{E_{min}}{E_{max}} - j \tan \frac{2 \pi x_0}{\lambda_1} = C e^{j \epsilon} \dots \dots \dots (3)$$

$$\epsilon^* = \epsilon_0 (\epsilon' - j \epsilon'') = \epsilon_0 \frac{\left(\frac{1}{\lambda_c}\right)^2 - \left(\frac{\gamma_2}{2 \pi}\right)^2}{\left(\frac{1}{\lambda_c}\right)^2 + \left(\frac{1}{\lambda_1}\right)^2} \dots \dots \dots (4)$$

即 電壓比 $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ 試料에서 定在波의 最少點까지의 距離 x_0 와 試料의 두께 d , 管内波長 λ_1 을 測定하여 式(3)에서 C, ϵ 및 γ_2 를 求할수 있는데 γ_2 를 式(4)에 代入 함으로써 複素誘電率을 求할수 있다. 위의 計算은 電算處理하였다. 本實驗에 使用한 發振管은 反射型 Klystron(6BM6, 0.55~3.8 GHz, 100 mw)과 鑛石檢波器 1N 21 B 이며 導波管은 WRJ-2(周波數 1.7~2.6 GHz, 크기 109.22×54.61)에 맞도록 두께 2mm 銅으로 製作하였고 發振管에서 導波管으로, 導波管에서 整流器로 連結하는 線은

RG 59(75Ω)을 使用하였다(Kellejian 등, 1965).

5. 等價電氣모델의 提案

誘電體의 ϵ' 와도 ϵ'' 에 對한 周波數特性을 알아 보기 위하여 誘電體를 하나의 集中定數(lumped-circuit)로 나타내어 解析할 수 있다. Hippel(1954)은 물을 集中定數로 나타내면 그 周波數特性이 거의 一致한다고 發表하였고, 막스웰도 集中定數로서의 解析을 위하여 複合層理論을 發表하였다. 本研究에서 試料의 周波數特性을 알아 보기 위한 모델은 그 成分이 물과 固形分으로 나누어져 있다고 假定하고 Fig. 1 과 같이 提案한다.

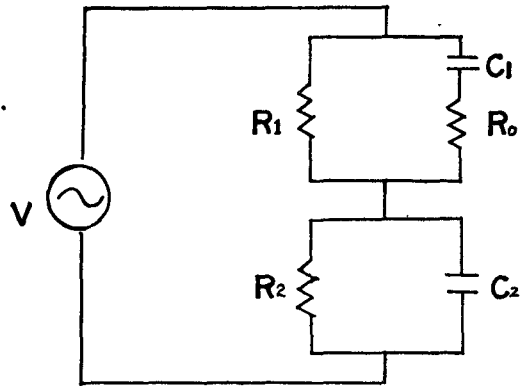


Fig.1. Equivalent model for the sardine-starch paste.

Fig.1에서 어드미턴스 Y 를 求해보면 다음과 같다. $Y = G + jB$

$$Y = \left(\frac{1}{R_2 + j\omega C_2} \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{j\omega C_1}{1 + j\omega C_1 R_0} \right) + \left(\frac{1}{R_2 + j\omega C_2} \right) + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{j\omega C_1}{1 + j\omega C_1 R_0} \right) \dots \dots \dots (5)$$

$$B = \frac{\omega(R_1C_1 + R_0C_0 + R_2C_2)(R_1 + R_2 - \omega^2R_1R_2R_0C_1C_2) - \omega(R_1R_2C_2 + R_1R_0C_1 + R_2R_0C_1 + R_1R_2C_1)}{(1 - \omega^2R_1R_2C_1C_2 - \omega^2R_2R_0C_1C_2)}$$

$$= \frac{\omega(R_1C_1 + R_0C_0 + R_2C_2)(R_1 + R_2 - \omega^2R_1R_2R_0C_1C_2) - \omega(R_1R_2C_2 + R_1R_0C_1 + R_2R_0C_1 + R_1R_2C_1)}{(R_1 + R_2 - \omega^2R_1R_2R_0C_1C_2)^2 + \omega^2(R_1R_2C_2 + R_1R_0C_1 + R_2R_0C_1 + R_1R_2C_1)^2}$$

$$= \frac{\omega^2C_1C_2R_2^2(R_1^2C_2 + 2R_1R_0C_1 + R_1^2C_1 + R_0^2C_1) + \omega(R_2^2C_2 + R_1^2C_1)}{(R_1 + R_2 - \omega^2R_1R_2R_0C_1C_2)^2 + \omega^2(R_1R_2C_2 + R_1R_0C_1 + R_2R_0C_1 + R_1R_2C_1)^2} \dots\dots\dots(6)$$

한편 $Y = \frac{1}{z} = (\epsilon'' + j\epsilon')\omega C_0 \dots\dots\dots(7)$

이므로 式(5), (6)과 式(7)을 比較하면 다음과 같다.

$$\epsilon' = \frac{1}{C_0} \frac{R_1^2C_1 + R_2^2C_2 + \omega^2C_1C_2R_2^2(R_1^2C_2 + 2R_1R_0C_1 + R_1^2C_1 + R_0^2C_1)}{(R_1 + R_2 - \omega^2R_1R_2R_0C_1C_2)^2 + \omega^2(R_1R_2C_2 + R_1R_0C_1 + R_2R_0C_1 + R_1R_2C_1)^2} \dots\dots\dots(8)$$

$$\epsilon'' = \frac{1}{C_0} \frac{R_1 + R_2 + \omega^2(C_1^2\{R_1^2(R_2 + R_0) + R_0^2(R_1 + R_2) + 2R_1R_2R_0\} + R_1R_2^2C_2^2) + \omega^4R_1R_2^2R_0C_1^2C_2^2}{\omega\{(R_1 + R_2 - \omega^2R_1R_2R_0C_1C_2)^2 + \omega^2(R_1R_2C_2 + R_1R_0C_1 + R_2R_0C_1 + R_1R_2C_1)^2\}} \dots\dots\dots(9)$$

위 式에서 R_1, R_2, R_0 와 C_1, C_2, C_0 의 適切한 값을 擇함으로써 周波數 變化에 대한 試料의 ϵ', ϵ'' 의 變化를 알 수 있다.

結果 및 考察

1. 臨界水分含量과 誘電特性

정어리肉(脂質 4.8%) 100에 대하여 감자澱粉 20을添加하여 磨碎한 試料 1-1의 誘電率은 水分의 增加와 함께 臨界水分(critical hydration, hc)까지는 거의 一定한 값을 維持하다가 hc를 境界로하여 ϵ', ϵ'' 다.

함께 急激한 增加를 나타내었다(Fig. 2, 3). 그때의 臨界水分含量은 6.5~7.0%로 보이며 낮은 周波數인 0.1 MHz 에 서는 $\epsilon' = 3.26, \epsilon'' = 0.49$ 로서 약간 높은 便이며 높은 周波數인 15 MHz 때는 $\epsilon' = 2.64, \epsilon'' = 0.18$ 로서 多少 낮은 값을 나타내었다. 이것은 周波數가 높을수록 誘電的 活性도가 떨어지는 傾向을 보여 Kent(1972)와 Rosen (1962), 그리고 Mudgett(1980)의 實驗結果와 一致됨을 알 수 있었다. 그리고 hc 값은 誘電定數보다 誘電損失값에서 더욱 뚜렷하게 나타났다. 그리고 誘電率의 變化幅은 水分含量 4.21%~12.41%사이에서 15 MHz로 測定한 結果를 보면 Table. 2에서와 같이 ϵ' 는 2.25~4.77, ϵ'' 는 0.08~1.57의 範圍內에 있었다. 이보다 낮은

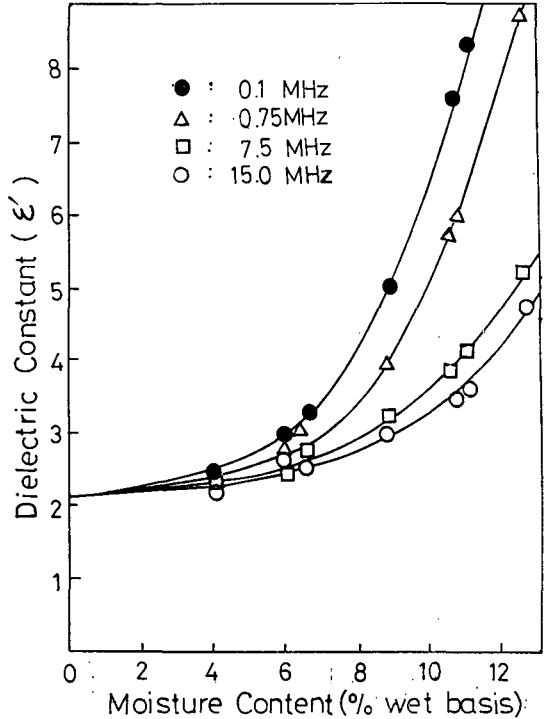


Fig. 2. Dielectric constant of sample 1-1 as a function of moisture content at various frequencies.

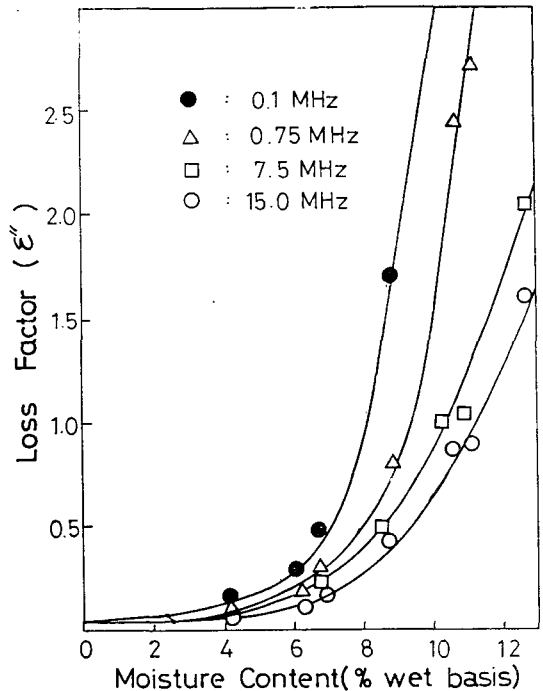


Fig. 3. Loss factor of sample 1-1 as a function of moisture content at various frequencies.

周波數에서는 약간씩 높은 값을 나타 내었다. Kent (1970)는 낮은 水和값일때 最初의 單分子層이 形成 될 때까지는 誘電率이 一定하고 그 後부터는 水和값이 增加함에 따라 增加한다고 하였다. Rosen(1962)도 이와 類似한 結果를 報告하였다. 또 0.1MHz 때의 臨界水分 6.47%는 BET式에 의하여 計算한 單分子層水分 6.10%와 큰 差가 없으므로 臨界水分含量이 곧 單分子層水分含量이라고 決定하여도 可能할 것이다.

2. 一定周波數에서의 成分에 따른 誘電特性

Fig. 4, 5는 周波數 0.75 MHz에서 測定한 試料 1-1, 1-2, 1-3 및 1-4의 水分含量變化에 따른 誘電特性을 보여주며 그 浸漬수분은 各試料마다 6.5~8% 범위였고 脂質含量이 약간 많은 試料 1-1과 1-2는 同一水分 含量에서 脫脂한 試料 1-3과 1-4보다 두드러진 差異는 없으나 脂質含量이 誘電率에 影響을 미치는 것으로 생각된다. 이와같은 結果는 Kent(1972)가 水分含量 12%以下에서 청어의 fishmeal과 white fishmeal을 21°C, 9.4 MHz에서 測定한 結果와 一致하나 Bengtsson and Risman (1971)의 水分

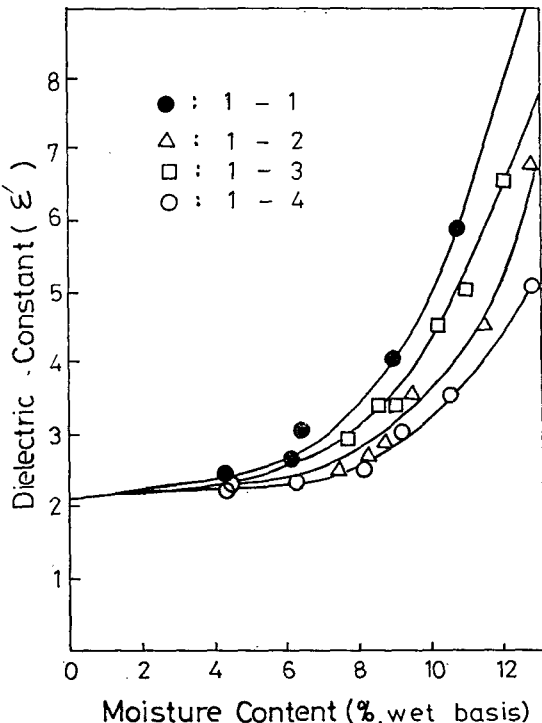


Fig. 4. Dielectric constant of several samples at various moisture contents and 0.75 MHz.

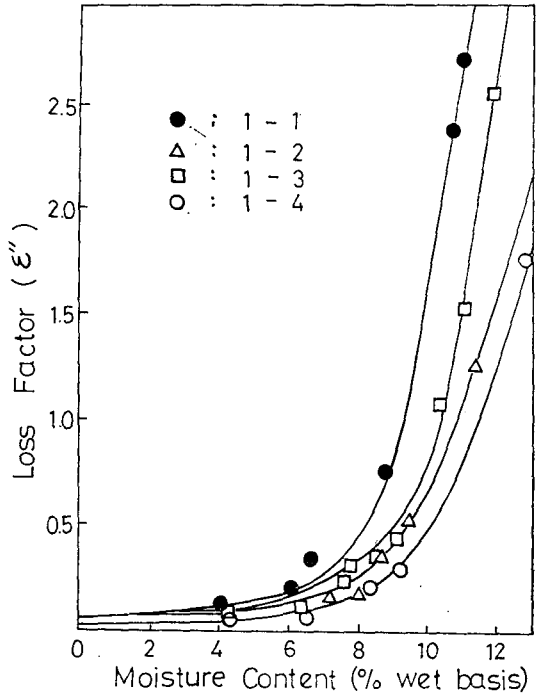


Fig. 5. Loss factor of several samples at various moisture contents and 0.75 MHz.

含量이 높은 試料에 대하여 測定한 結果와는 다르다.

7.5 MHz에서 各試料에 대한 誘電率의 變化는 Fig. 4, 5와 비슷한 傾向이었으며 그 實驗値는 Table 2, 3, 4 및 5와 같다.

7.5 MHz 때는 0.75 MHz에서 測定한 것보다 臨界水分含量은 약간 높고 誘電率은 조금 낮은 값을 보였으나 大體로 같은 傾向을 보여 주었다. 4.2~12.8%의 同一水分含量에서 0.75 MHz 때의 ε'는 2.22~12.80, ε''가 0.05~2.04에 있었고 그 變化의 幅은 7.5 MHz 때가 좁고 값은 적게 나타났다.

또 7.5 MHz에서의 ε'값은 各 sample 마다 含水量 4.11~4.23%에서 6.20~7.35% 增加 함에 따라 平均 2.21~2.4로 增加하였는데 比하여 ε''값은 0.06에서 0.12로 約 2배의 增加를 보여서 誘電損失값이 誘電定數보다 높은 周波數에서 더욱 敏感하게 나타나고 있다.

3. 水分含量에 따른 周波數 依存性

Fig. 6, 7은 試料 1-1의 水分含量 4%에서 12.41%까지의 周波數 依存性을 나타낸 것이며 配合를 달리 한 다른 試料와 測定值도 Table 3, 4 및 5에 밝혔다.

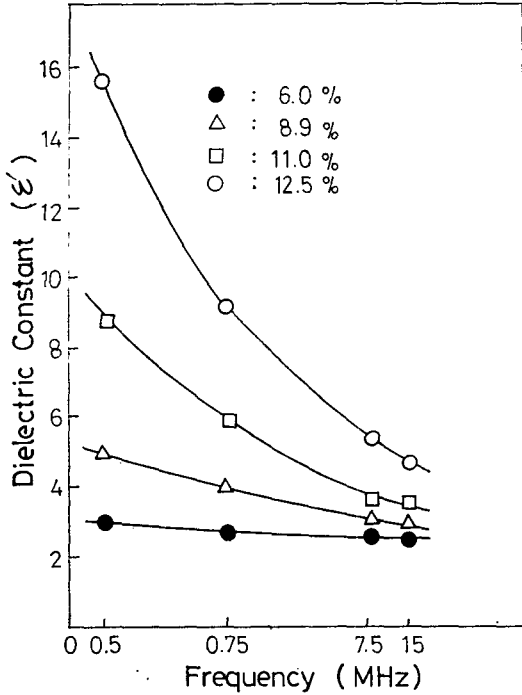


Fig. 6. Dielectric constant of sample 1-1 as a function of frequency at various moisture contents.

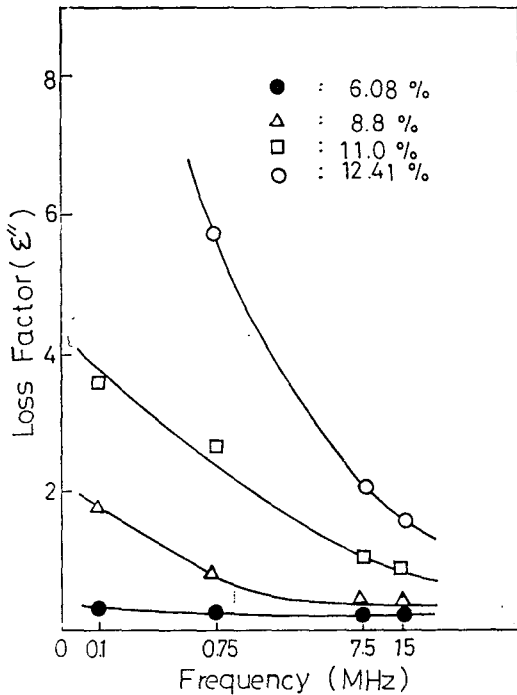


Fig. 7. Loss factor of sample 1-1 as a function of frequency at various moisture contents.

試料 1-1의 ϵ' 는 水分含量 6.08%, 0.1 MHz 때 3.03이며 15 MHz 때는 2.65로서 그 차는 0.38에 불과하였다. ϵ'' 는 0.27에서 0.11로 0.16의 차를 나타내고 있으나 水分含量 12.41%, 周波數 0.1 MHz 때 ϵ' 는 15.73, 15 MHz 때 4.77이었고 ϵ'' 는 各各 15.73에서 1.57로 ϵ' 는 10.96, ϵ'' 는 14.16으로서 그變化幅이 컸다. 이것으로 미루어 볼 때 周波數 依存度는 臨界水分 以下에서는 매우 적은 것으로 보이며 그 結合力은 microwave power 로서는 活性을 賦與하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 이와같은 結果는 Rosen(1962)이 蛋白質을 試料로 하여 實施한 結果와 비슷한 傾向을 보였다.

4. 等價電氣모델에 의한 理論値와 實測値의 比較

純粹한 물의 素子값을 같은 퍼센트로 變化시켜 보면 그 퍼센트값과 ϵ'' 의 極大點이 나타나는 周波數는 反比例한다.

試料 1-1의 ϵ' 및 ϵ'' 의 測定値는 周波數에 反比例하고 있다(Fig. 6, 7). 그러므로 本研究에서 提議한 모델의 R_1, R_0, C_1 의 값은 極大點이 나타나지 않도록 擇해 주어야 한다.

試料의 두께가 8.51 mm이며 電極板의 지름이 33 mm 이므로 $C_0 = 8.905 \times 10^{-13} F$ 로 계산된다

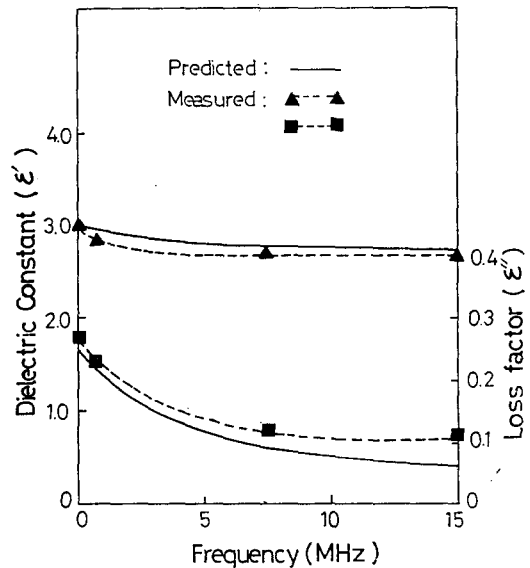


Fig. 8. Comparison of dielectric measurements with model predictions for sardine-starch paste.

Table 2. Predicted dielectric values of sample 1-1 at various frequencies

Frequency (MHz)	Dielectric constant(ϵ')					Loss factor(ϵ'')				
	Moisture(%)					Moisture(%)				
	4.21	6.08	8.8	10.64	12.41	4.21	6.08	8.8	10.64	12.41
0.1	2.46	2.97	5.08	7.74	15.48	0.213	0.268	1.760	3.018	15.584
5.1	2.32	2.77	4.52	6.42	10.88	0.053	0.082	0.227	0.611	2.090
10.1	2.30	2.75	4.47	6.25	10.38	0.029	0.045	0.123	0.343	1.153
15.1	2.30	2.75	4.47	6.25	10.38	0.029	0.045	0.123	0.343	1.153
20.1	2.30	2.74	4.46	6.21	10.24	0.015	0.023	0.063	0.177	0.594
25.1	2.30	2.74	4.45	6.20	10.22	0.012	0.019	0.050	0.143	0.477
30.1	2.30	2.74	4.45	6.20	10.21	0.009	0.016	0.042	0.119	0.398
35.1	2.30	2.74	4.45	6.19	10.21	0.009	0.013	0.036	0.102	0.342
40.1	2.30	2.74	4.45	6.19	10.20	0.007	0.012	0.032	0.090	0.299
45.1	2.30	2.74	4.45	6.19	10.20	0.007	0.010	0.028	0.080	0.266
50.1	2.30	2.74	4.45	6.19	10.20	0.006	0.009	0.025	0.072	0.240
55.1	2.30	2.74	4.45	6.19	10.20	0.005	0.009	0.023	0.065	0.218

한편 식(8), (9)를 考察해 보면 R_2 와 ϵ'' 는 서로 反比例하며 C_2 와 ϵ'' 는 서로 比例한다. 또한 C_2, R_2 가 ϵ', ϵ'' 에 가장 큰 影響을 미치므로 一定周波數에서 ϵ'' 의 값이 滿足하도록 R_2 의 값을 擇해 주고 ϵ' 의 값이 滿足하도록 C_2 의 값을 擇해 주면 된다.

Table 2에 水分 4.21%, 6.08%, 8.8%, 10.64%, 12.41%에서의 試料를 集中定數로 나타내었을 때의 周波數變化에 대한 ϵ', ϵ'' 의 變化를 나타내고 있다. 한편 이 값들은 電算處理하여 求하였다. 그 結果 8.8% 以下에서는 물을 나타내는 集中定數의 값이 큰 差異는 없으나 水分이 많아 지면 그 값이 작아지는 傾向이 있었다. Fig. 8은 水分 6.08% 일때 提案한 모델에서 周波數 變化에 대한 ϵ' 및 ϵ'' 와 실제로 測定한 값을 比較한것으로 大體로 같은 傾向임을 알 수 있다. 그리고 다른 試料에 대한 것은 素子값들을 달리 택함으로써 ϵ' 와 ϵ'' 의 周波數 特性을 얻을 수 있을 것이다.

結論 및 要約

정어리 磨碎肉의 低水分에서의 誘電的 特性을 究明하기 위하여 周波數 0.1~15 MHz 및 1.8 GHz 에서 誘電率을 測定하여 周波數變化에 따른 ϵ' 와 ϵ'' 의 變化를 모델을 利用하여 計算한 理論值와 比較한 結果는 다음과 같다.

1. 澱粉을 添加한 정어리 磨碎肉(試料 1-1)에 대한 ϵ' 와 ϵ'' 는 平均臨界水分 7.5%에서 周波數 0.1 MHz 때 $\epsilon^*=3.81+j 0.62$ 였으며 15 MHz 일때 $\epsilon^*=2.61+j 0.19$ 이었고 1.8 GHz 때는 $\epsilon^*=2.15+j 0.08$ 로서 周波數 增加와 함께 減少하였다.

2. 誘電率의 周波數依存性을 보기 위하여 二重層 理論을 導入한 集中定數모델에서 나타난 試料 1-1의 理論值와 本實驗에서 얻은 實驗值를 比較 檢討해 본 結果 거의 一致하였다.

3. 水分含量 變化에 따른 誘電的 特性은 水分含量 4~8% 範圍內에서는 ϵ'' 값의 變化가 적으며 그 以上에서의 ϵ'' 값은 水分增加와 함께 變化幅이 컸고 脫脂한 魚肉보다 4.8%含脂肉이 同一水分含量에서는 誘電率이 약간 높았다.

參 考 文 獻

- Bengtason, N.E. and P.O. Risman. 1971. Dielectric properties of foods at 3 GHz as determined by a cavity perturbation technique. *J. Microwave Power* 6(2), 107-123.
- Bhartia, P., S.S. Stuchly and M. A. K. Hamid. 1973. Experimental results for combinational microwave and hot air drying. *J. Microwave Power* 8(3), 245-252.
- Buchanan, T. J., and G.H. Haggis, J.B. Hasted and B.G. Robinson. 1952. The dielectric estimation of protein hydration. *Proc. Royal Soc. A* 213, 379-391.
- Hippel, A. V., 1954. Dielectrics and waves. The M.I.T. Press, 3-19, 86-89, 228-234.
- Kellejian, R. and C.L. Jones. 1965. Microwave measurements manual. McGraw-Hill Book Company. 13-19, 55-61, 93-105.
- 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.
- Lee, K.H. and B.H. Lee. 1982. Dehydration of foamed fish-paste by microwave heating. *Bull. Korean Fish. Soc.* 15(4), 283-290.
- Lin, C.C. and C.F. Li. 1971. Microwave sterilization of orange in glass-pack. *J. Microwave Power* 6(1), 45-46.
- New Food Industry*, 13(6), 62-66.
- 北島徹, 1978. マイクロ波加熱による冷凍肉の解凍. *New Food Industry* 20(3), 33-40.
- Maurer, R.L., M.R. Tremblay and E.A. Chadwick. 1971. Microwave processing of pasta. *F. Technology* 25, 1244-1246.
- Mudgett, R.E., 1982. Electrical properties of food in microwave processing. *F. Tech.* Feb, 109-115.
- Mudgett, R.E., S.A. Goldblith, D.I.C. Wang and W.B. Westphal. 1980. Dielectric behavior of a semisolid food at low, intermediate and high moisture contents. *J. Microwave Power* 15(1), 27-36.
- Ohlsson, T. and N.E. Bengtsson. 1975. Dielectric food data for microwave sterilization. *J. Microwave Power*, 10(1), 93-108.
- Roberts, S. and A.V. Hippel. 1946. A new method for measuring dielectric constant and loss in the range of centimeter waves. *J. App. Phys.*, 610-616.
- Roebuck, B.D. and S.A. Goldblith. 1972. Dielectric properties of carbohydrate-water mixtures microwave frequencies. *J. Food Sci.* 37, 199-203.
- Rosen, D., 1962. Dielectric properties of protein powders with adsorbed water. *Trans. Faraday Soc.* 59, 2178-2191.
- Stuchly, S.S. and M.A.K. Hamid. 1972. Physical parameters in microwave heating processes. *J. Microwave Power* 7(2) 117-137.
- 武原文三郎, 1974. 電子レンジにおける食品の殺菌効果. *New Food Industry* 12(6), 62-66.
- 露木英男, 1979. マイクロ波利用による食品加工. *New Food Industry*. 17(11), 1-4
- Yamamoto, 1978, 高周波測定 コロナ社, 109-111.