

무우의 염절임시 소금의 침투량과 확산도 예측모델

권태연 · 최용희[†]

경북대학교 식품공학과

Prediction Model of Absorbed Quantity and Diffusivity of Salt in Radish during Salting

Tae-Yeun Kwon and Yong-Hee Choi[†]

Dept. of Food Engineering, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Abstract

For the development of a model to predict absorbed salt quantity in radish during salting, absorbed salt quantity and water content change in radish by the hour were measured at 5%, 10%, 15% brine concentration and at 10°C, 20°C, 30°C respectively. Absorbed salt quantity in radish by the time showed logarithmic function, absorbed salt quantity by brine concentration and temperature showed linear relation. A model to predict absorbed salt quantity in radish at each time, brine concentration and temperature was calculated by the regression program of SPSS. Apparent diffusivity of salt in radish was calculated from appropriated diffusion equation solution of Fick's second law using computer simulation. Salt diffusivity in radish increased as brine concentration increased and the effect of temperature could be expressed by Arrhenius equation. A model equation which could predict salt diffusivity was developed by regression analysis. To specify relation between salt quantity which absorbed into radish and water content which removed out of it, Flux ratio ($\Delta W / \Delta S$) was calculated. The values showed that the removed water content was greater than the absorbed salt quantity.

Key words : prediction model, absorbed quantity, diffusivity of salt

서 론

무우는 배추와 함께 우리나라의 2대 채소중의 하나로 우리나라에서는 오래전부터 재배하여 배추와 같이 김치로 만들어 애용해 왔다¹⁾. 김치는 우리나라의 고유한 발효식품으로써 최근에 우리나라의 김치가 세계적인 식품으로 크게 부각되면서 김치에 대한 관심이 어느 때보다 높아 연구가 활발하게 이루어져 과학적으로 그 가치가 증명되고 있다²⁾.

김치 제조의 과정에서 무우의 염절임시 일어나는 소금과 수분의 이동현상은 김치의 가공, 보존, 품질에 있어서 중요한 역할을 한다^{3,4)}. 지금까지 무우의 염절임에 관한 연구로는 김 등⁵⁾의 무우의 소금절임 과정 중 소금의 침투와 칼슘의 용출과 김 등^{6,7)}의 간 절임 중 각두기용 무우 cube의 이화학적인 변화와 간 절임이 무우 cube의 ascorbic acid 함량, α -amylase 활성, 양념류 침투성, 생균수에 미치는 영향 등이 있으나 염장공정의 최적화를 이루기 위한 염절임시 무우의 소금농도를 예측할 수 있는 모델식을 세워서 보고

[†]To whom all correspondence should be addressed

한 예는 아직 없었다.

그리고 식품에서 염장 중 일어나는 소금의 확산과 같은 물질이동현상은 식품재료의 물리적 구조나 화학적 성분들의 다양성으로 인하여 아주 복잡하다¹⁰.

이에 대해 보고한 연구 사례는 국외로는 Drusas 등⁹에 의한 green olives을 염절임시 소금의 확산과 Geurts 등^{10, 11}에 의한 cheese를 salting하는 동안 물과 소금의 이동(전달)에 관한 것과 Favetto 등¹²에 의한 meat를 salting시 소금의 확산도를 계산한 것 등이 있다. 그러나 국내에서는 변 등¹³의 배추의 염절임시 소금의 확산에 관한 것 이외에는 연구사례가 미비한 실정이다.

본 연구에서는 무우를 염절임시 영향을 주는 인자, 즉 시간, 소금물 농도, 온도에 따른 무우의 소금농도를 측정하여 적절한 예측 모델식을 수립하여 공정의 최적화를 이루는데 도움이 되고자 하였고 염절임 동안 무우내의 수분함량을 측정하여 무우밖으로의 수분의 이동과 무우내로의 소금의 이동과의 상관관계를 규명하고자 하였다. 또한 무우내로의 소금의 확산도를 계산하고 소금의 확산도에 영향을 주는 소금물 농도, 온도와의 상관관계에 대하여 조사하여 무우의 염절임시 소금의 확산현상을 규명하는데 도움이 되고자 하였다.

재료 및 방법

재료

무우는 경북 칠곡산으로 길이가 25~30cm, 폭이 8~10cm, 무게가 1~1.5kg이고 소금은 (주)한주제 99% 정제염을 사용하였다. 담금용기는 1 l beaker를 사용하였다.

염절임 방법

소금용액은 5, 10, 15% 농도로 각각 달리 조제하고 무우는 겹질을 제거한 뒤 2×2×2cm 크기로 절단하였다. 무우와 소금용액과의 담금 ratio는 1:25 (cm³/ml)로 하였고 담금 온도는 항온조에 담금 용기를 넣어 10, 20, 30±1°C로 일정하게 유지하고 또한 소금용액의 농도가 일정하게 유지되도록 연속 교반시켜 주었다. 담금 시간은 8시간으로 매 시간마다 무우의 소금농도를 측정하였다.

염도 측정

무우의 소금양은 Mohr method에 의해 % (w/w)로 나타내었다¹⁴.

수분 측정

무우의 수분 변화량은 105°C 상압 건조법에 따라 % (w/w)로 나타내었다.

소금의 침투량 예측 모델

본 연구에서는 염절임하는 동안 무우의 소금농도를 종속변수로 두고 독립변수인 시간, 소금물 농도, 온도와의 상관관계를 computer software 중 'Grapher'를 이용하여 도시하여 함수관계를 추정하여 model식 Salt concentration=f(time, brine conc., temperature)을 예측하고 SPSS통계 package중 regression program을 이용하여 모델식을 수립하였다¹⁵.

확산계수

무우내로의 소금의 확산은 비정상 상태에서의 확산 방정식, 즉 Fick 제 2법칙의 확산 방정식을 이용하여 해석할 수 있다.

$$Da \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} = - \frac{\partial C}{\partial t} \quad (1)$$

무우의 염절임시 초기와 경계 조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

at $t = 0$ and $-l/2 < X < l/2$, $C_0 = 0$

at $t > 0$ and $X = -l/2, l/2$, $C_b = C_t$

위의 초기와 경계 조건으로식 (1)의 해를 구하면 다음과 같은식 (2)을 얻을 수 있다¹⁶.

$$\frac{C_b - C_t}{C_b - C_0} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \text{Exp} \left[-Da \frac{(2n-1)^2 (\pi/2)^2}{l^2} t \right] \quad (2)$$

Where,

C : 무우중의 소금의 농도(g salt/100g water in radish)

C_0 : 무우중의 초기 소금농도

C_b : Brine의 농도(g salt/100g water)

C_t : 시간 t 에서 무우내의 소금 농도(g salt/100g water in radish)

D_a : Apparent diffusion coefficient (mm² / h)

l : 무우의 두께 (mm)

t : Time (hr)

무우내로의 소금의 확산계수는 다음의 식 (3)과 같은 수치해석법 원리에 의해, 즉 실험에 의해서 측정한 소금의 농도와 계산에 의해 구한 농도값의 차이의

$$S = \sum_{i=1}^n (C_{exp} - C_{cal})^2 \quad (3)$$

제곱이 최소화되는 Da (apparent diffusivity) 값을 구하였다.¹³⁾

Where,

S : 실험치와 계산치의 편차의 제곱의 합

C_{exp} : 실험에서 측정한 소금의 농도 (experimental concentration)

C_{cal} : 식 (2)에서 구한 소금의 농도 (calculated concentration)

확산도 예측 모델

소금의 확산도 예측 모델은 확산계수 (Da)를 종속 변수로 두고 이에 영향을 미치는 인자, 즉 소금물 농도, 온도를 독립변수로 두어 이들의 상관관계를 도시하여 함수관계식 Diffusivity=f(brine conc., temperature)을 예측하였고 SPSS통계 package 중 regression program을 이용하여 회귀분석시켜 확산도 예측 모델식을 수립하였다.¹³⁾

결과 및 고찰

소금의 침투량

각각의 온도, 소금물 농도에서 시간에 따른 무우내

로의 소금침투량 측정결과는 Table 1과 같다. 시간이 지남에 따라 무우의 소금농도는 점차 높아지고 온도와 소금물 농도가 높아질수록 무우의 소금농도가 높게 나타났다.

시간에 따른 소금의 침투량 예측 모델

무우의 염질임시 소금의 침투량 예측 model을 수립하기 위해서 소금의 침투량에 영향을 주는 인자 즉, 시간, 소금물 농도, 온도 중 먼저 시간에 따른 소금의 침투량을 예측하고자 computer software 중 'Grapher'를 이용하여 Fig. 1과 같이 도시해 본 결과 염질임 시간이 증가함에 따라 소금의 침투량이 점차 증가하다가 거의 평행에 이르는 ln함수 형태에 따라 증가하였다. 따라서 식 (4)와 같이 시간에 따른 소금의 침투량 예측 모델을 수립하였다.

$$C = a_1 \ln(t) + b \quad (4)$$

Where,

C : 무우의 salt concentration (w/w, %)

t : Time (hr)

a, *b* : Coefficient values

Fig. 1은 20°C에서 소금물 농도 (5, 10, 15%) 별로 시간에 따른 실험한 무우의 소금농도와 예측한 소금농도의 경향을 나타내었다. Fig. 1에서 나타난 바와 같이 예측치와 실험치가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 시간에 따른 소금의 농도가 ln함수 형태로 증가하는 결과는 변 등¹³⁾의 배추의 염질임시 시간에 따른 배추내의 소금농도가 증가하는 결과와 유사하게 나타났다.

식 (4)에서 예측한 소금농도의 상관관계식의 적합성

Table 1. Changes in salt concentration of radish during salting

Temp.	Brine conc.	Salt concentration(%)							
		1hr	2hr	3h	4hr	5hr	6hr	7hr	8hr
10	5	1.559	1.985	2.333	2.455	2.686	2.750	2.901	3.094
	10	2.693	4.368	4.956	5.524	5.988	6.288	6.324	6.471
	15	4.360	6.648	7.123	8.099	8.275	9.306	10.056	10.130
20	5	1.714	2.161	2.520	2.653	2.282	2.926	3.077	3.282
	10	3.365	4.969	5.324	5.953	6.386	6.632	7.020	7.251
	15	5.115	7.371	8.427	8.860	9.473	10.548	10.740	10.798
30	5	1.860	2.318	2.660	2.812	3.081	3.098	3.437	3.623
	10	3.608	5.367	5.764	6.607	6.731	7.374	7.390	7.938
	15	6.176	8.339	10.430	10.566	10.602	11.605	11.963	11.991

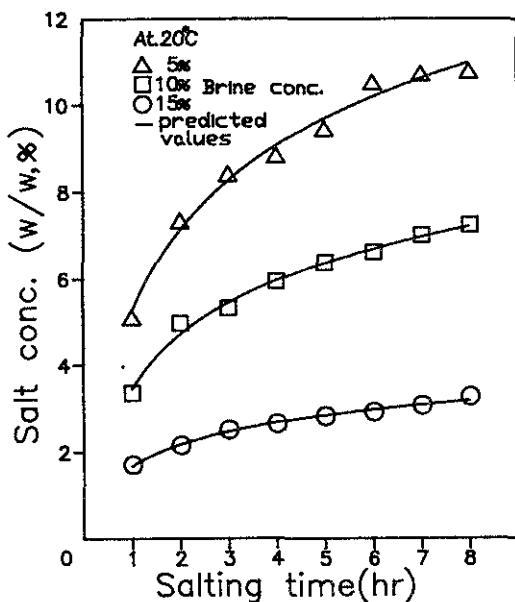


Fig. 1. Comparison between experimental and predicted values of salt concentration depending on time at 20°C.

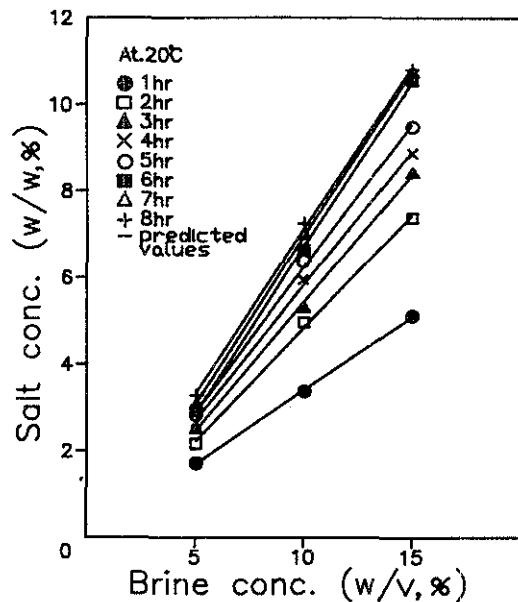


Fig. 2. Comparison between experimental and predicted values of salt concentration depending on brine concentration at 20°C.

Table 2. Coefficient values and R-squares in the predicted model of salt concentration of radish depending on time

Temp. (°C)	Brine conc. (%)	Coefficient values		R-square
		a ₁	b	
10	5	0.7144	1.5234	0.9905
	10	1.8222	2.9111	0.9831
	15	2.7261	4.3872	0.9773
20	5	0.7219	1.6882	0.9909
	10	1.8120	3.4606	0.9916
	15	2.7697	3.4606	0.9870
30	5	0.8136	1.7827	0.9727
	10	1.9741	3.7283	0.9842
	15	2.7990	6.4987	0.9590

을 알아보기 위해 SPSS 통계 package 중의 regression program을 이용하여 coefficient values와 R²를 구한 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2에 나타난 바와 같이 R²값이 0.95~0.99로 높게 나타나 본 연구에서 예측한 모델식이 적은 오차 한계내에서 시간의 변화에 따른 소금의 침투량을 예측하는데 활용할 수 있으리라 사료된다.

소금물 농도에 따른 소금의 침투량 예측 모델

소금의 침투량과 소금물 농도와의 상관관계를 추정하기 위해 앞에서와 같이 'Grapher'를 이용하

Table 3. Coefficient values and R-squares in the predicted model of salt concentration of radish depending on brine concentration

Temp. (°C)	Time (hr)	Coefficient values		R-square
		a ₂	b	
10	1	0.2810	0.0637	0.9878
	2	0.4663	-0.3293	0.9998
	3	0.4790	0.0140	0.9970
	4	0.5644	-0.2847	0.9975
	5	0.5589	0.0607	0.9891
	6	0.6556	-0.4413	0.9979
	7	0.7155	-0.7280	0.9994
	8	0.7036	-0.4710	0.9995
20	1	0.3401	-0.0030	0.9997
	2	0.5210	-0.3763	0.9980
	3	0.5907	-0.4833	0.9992
	4	0.6207	-0.3850	0.9987
	5	0.6645	-0.4160	0.9983
	6	0.7622	-0.9200	0.9998
	7	0.7663	-0.7173	0.9997
	8	0.7516	-0.4057	0.9980
30	1	0.4316	-0.4347	0.9881
	2	0.6021	-0.6797	0.9999
	3	0.7770	-1.4913	0.9861
	4	0.7754	-1.0923	0.9999
	5	0.7521	-0.7163	0.9997
	6	0.8507	-1.1480	0.9999
	7	0.8526	-0.9293	0.9982
	8	0.8368	-0.5173	0.9997

여 도시해서 다음과 같은 함수 관계식으로 나타내었다.

$$C = a_2(B) + b \quad (5)$$

Where,

B : Brine conc. (w/v, %)

a_2, b : Coefficient values

Fig. 2는 20°C에서 시간대 별로 소금물 농도에 따른 무우의 소금농도를 나타낸 것이다. 소금물 농도가 높아짐에 따라 무우의 소금농도가 linear하게 높아짐을 알 수 있었다.

식(5)의 소금물 농도에 따른 소금의 침투량 예측 모델식을 회귀분석시켜 coefficient values와 R^2 값을 Table 3에 나타내었다.

Table 3에 나타난 바와 같이 R^2 가 0.98이상으로 높게 나와 식(5)의 상관관계식이 적은 오차 한계내에서 소금물 농도의 변화에 따른 소금의 침투량을 예측하는데 활용할 수 있으리라 사료된다.

온도에 따른 소금의 침투량 예측 모델

염절임하는 동안 무우의 소금농도와 온도와의 상관관계는 앞에서와 같은 방법으로 해서 다음과 같은 함수 관계식으로 나타내었다.

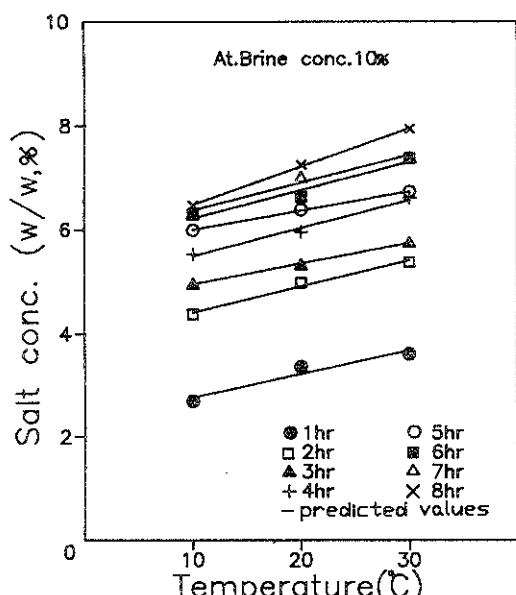


Fig. 3. Comparison between experimental and predicted values of salt concentration depending on temperature at 10% brine concentration.

Table 4. Coefficient values and R-squares in the predicted model of salt concentration of radish depending on temperature

Brine conc. (%)	Time (hr)	Coefficient values		R-square
		a_3	b	
5	1	0.0151	1.4100	0.9997
	2	0.0167	1.8217	0.9989
	3	0.0164	2.1773	0.9932
	4	0.0179	2.2830	0.9960
	5	0.0198	2.4700	0.9744
	6	0.0174	2.5767	0.9999
	7	0.0268	2.6023	0.9622
	8	0.0265	2.8040	0.9729
10	1	0.0458	2.3070	0.9317
	2	0.0499	3.9023	0.9864
	3	0.0395	4.5520	0.9984
	4	0.0542	4.9450	0.9858
	5	0.0372	5.6253	0.9983
	6	0.0543	5.6787	0.9572
	7	0.0533	5.8453	0.9698
	8	0.0734	5.7530	0.9987
15	1	0.0904	3.4130	0.9899
	2	0.0846	5.7617	0.9931
	3	0.1654	5.3530	0.9853
	4	0.1234	6.7080	0.9534
	5	0.1164	7.1230	0.9997
	6	0.1150	8.1873	0.9979
	7	0.0954	9.0127	0.9741
	8	0.0931	9.1120	0.9742

$$C = a_3(T) + b \quad (6)$$

Where,

T : Temperature (°C)

a_3, b : Coefficient values

Fig. 3은 20°C에서 소금물 농도별로 온도에 따른 무우의 소금농도를 나타낸 것이다. 온도가 높아짐에 따라 무우의 소금농도가 linear하게 높아짐을 알 수 있다.

식(6)의 온도에 따른 소금의 침투량 예측 모델식의 적합성을 알아보기 위해 회귀분석시켜 coefficient values와 R^2 값을 Table 4에 나타내었다.

Table 4에 나타난 바와 같이 R^2 가 0.93~0.99로 높게 나와 식(6)의 상관관계식이 적은 오차 한계내에서 온도의 변화에 따른 소금의 침투량을 예측하는데 활용할 수 있으리라 사료된다.

소금의 침투량 예측 모델

앞의 단순회귀를 바탕으로 무우의 소금농도를 종속

변수로 두고 시간, 소금물 농도, 온도를 독립변수로 하여 식(7)과 같이 두어서 다중회귀시킨 결과를 Table 5에 두었다¹⁷⁾.

$$C = a_1 \ln(t) + b + a_2 B + a_3 T + a_4 \ln(t) \times B + a_5 T \times B + a_6 \ln(t) \times T + a_7 \ln(t) \times B \times T + b \quad (7)$$

Where,

C : Salt concentration in radish (w/w, %)

t : Time (hr)

B : Brine concentration (w/v, %)

T : Temperature (°C)

$a_1 \sim a_7$, b : Coefficient values

식(7)의 최종 소금의 침투량 예측 모델식의 R^2 값이 0.99 이상으로 나와 이 모델식이 적은 오차 한계내에서 염절임시 무우내의 소금의 침투량을 예측하는데 활용할 수 있으리라 사료된다.

무우의 수분함량 변화

염절임하는 동안 무우의 수분함량 변화를 Table 6에 나타내었다. 무우의 초기 수분함량은 95% (w/w)이고 Table 6에 나타난 바와 같이 시간이 지남에 따라 점차 수분함량이 줄어들고 온도와 소금물 농도가

높아짐에 따라 탈수량이 높게 나타났다.

Fig. 4는 20°C에서의 시간에 따른 무우의 수분함량을 나타낸 것이다.

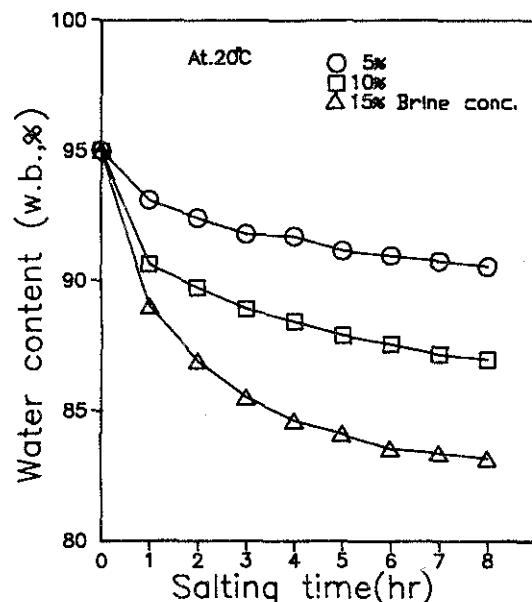


Fig. 4. Changes in water content of radish during salting at 20°C.

Table 5. Coefficient values and R-square in predicted model of salt concentration of radish depending on time, brine concentration and temperature

Coefficient values			a_4	R-square
a_1	a_2	a_3		
-0.3545	0.1860	-0.0895	0.2041	9.2613E-03
a_5	a_7	b		
6.7122E-03	-1.3110E-04	0.5468		

Table 6. Changes in water content of radish during salting

Temp.	Brine conc.	Water content (%)							
		1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	6hr	7hr	8hr
10	5	93.218	92.857	92.634	92.078	91.602	91.564	91.385	91.220
	10	91.945	90.179	89.253	88.440	87.987	87.296	87.245	87.108
	15	90.385	88.131	86.924	85.276	85.216	84.002	83.176	83.063
20	5	93.107	92.412	91.803	91.715	91.168	90.976	90.769	90.558
	10	90.645	89.737	88.926	88.435	87.905	87.566	87.175	86.979
	15	89.038	86.912	85.533	84.628	84.136	83.561	83.392	83.180
30	5	92.165	91.213	90.762	90.711	90.448	90.432	90.009	89.592
	10	90.612	88.717	88.617	87.366	87.257	87.050	86.882	86.603
	15	87.919	85.963	84.438	84.203	83.261	83.071	82.993	82.875

소금의 확산계수(Da)

무우내로의 소금의 확산계수를 computer simulation으로 계산한 결과를 Table 7에 나타내었다. Least squares method에 입각하여 computer program을 작성하여 Da을 구하였고 식(2)에 Da값을 넣어서 식(2)에서 무우내의 소금의 농도를 구하였다. 정확하게 식(2)에 적용시키기 위해 무우 중의 소금농도는 무우내의 수분을 기준으로 수분 100g 당 소금의 g 수로써 환산하여 확산계수를 계산하였다^{10,11}.

Table 7에 나타난 바와 같이 온도와 소금물 농도가 증가함에 따라 확산계수가 높아졌다. 이로써 온도와

소금물 농도가 높을수록 확산이 잘 일어남을 알 수 있었다. 또한 변 등¹²의 논문에서 염질임시 배추내로의 소금의 확산도가 0.053~0.063mm/hr로 나타난 것과 비교하면 100배 정도 확산 계수가 높게 나왔다. 이는 무우를 염질임 할때 무우시료는 2×2×2cm로 정육각형태로 소금의 확산이 더 잘 일어나는 형태이고 또한 조직감의 차이 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 5는 Table 7에서 나타난 확산계수를 이용하여 식(2)에서 구한 계산된 무우의 소금함량과 실험치와의 관계를 나타낸 그림이다. Fig. 5에서 나타난 바와 같이 실험치와 계산값이 거의 일치하는 경향을 나타내었다.

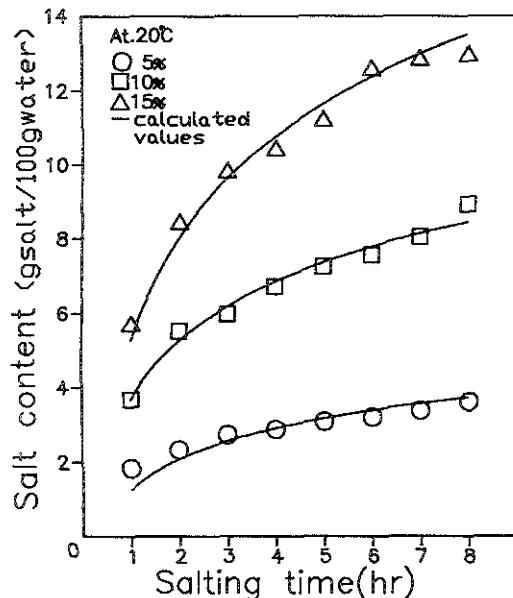


Fig. 5. Comparison between experimental and calculated values in salt content of radish 20°C by computer simulation.

Table 7. Calculated values of apparent diffusion coefficient using computer simulation

Temp. (°C)	Brine conc. (%)	Apparent diffusion coefficient (mm ² /hr)
10	5	5.38
	10	7.20
	15	8.09
20	5	6.35
	10	9.35
	15	10.63
30	5	7.88
	10	11.61
	15	15.46

소금물 농도에 따른 확산계수(Da)의 예측 모델

소금물 농도에 따른 무우내로의 소금의 확산계수를 예측하기 위한 모델을 수립하고자 앞에서의 방법과 같이 'Grapher'를 이용하여 도시하여 다음과 같은 model식을 수립하였다¹³.

$$\ln(Da) = a_1 \ln(B) + b \quad (8)$$

Where,

B : Brine concentration (w/v, %)

a₁, b : Coefficient values

Fig. 6은 소금물 농도에 따른 Da의 계산치와 예측

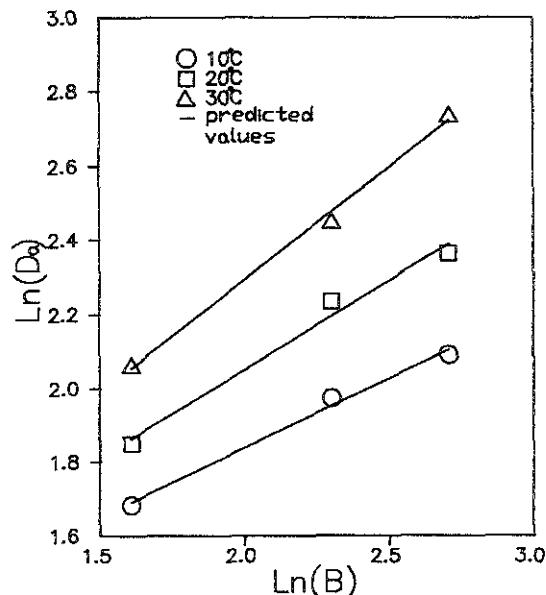


Fig. 6. Comparison between experimental and predicted values in Da depending on brine concentration.

Table 8. Coefficient values and R-squares in the predicted model of the apparent diffusion coefficient depending on brine concentration

Temp. (°C)	Coefficient values		R-square
	a ₁	b	
10	0.3766	1.0847	0.9915
20	0.4786	1.0931	0.9827
30	0.6076	1.0774	0.9960

한 값을 나타낸 것이다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이 계산치와 예측한 값이 거의 일치하고 있었음을 알 수 있었다.

Table 8은 식(8)의 상관관계식의 적합성을 알아보기 위해 회귀분석시켜 본 결과를 나타낸 것이다.

Table 8에 나타난 바와 같이 R²값이 0.98 이상으로 식(9)의 상관관계식이 적은 오차 한계내에서 소금물 농도의 변화에 따른 소금의 확산도를 예측하는데 활용할 수 있으리라 사료된다.

확산계수(Da)의 온도의 영향

염질임하는 동안 무우내로의 소금의 확산계수의 온도의 영향을 알아보기 위해 Arrhenius식에 적용시켜 보았다. 식(9)은 온도에 따른 Da의 예측 모델을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} Da &= D_{0\text{exp}}(-Ea/RT) \quad \text{Arrhenius eq.} \\ \ln(Da) &= -Ea/RT + \ln(D_0) \\ &= a_2T^y + b \end{aligned} \quad (9)$$

Where,

Da : Apparent diffusion coefficient (mm²/hr)

D₀ : Constant (mm²/hr)

Ea : Activation energy (J/mol)

R : Gas constant (J/mol K)

T : Absolute temperature (K)

T^y : 1/T × 10³

Fig. 7은 1/T과 ln(Da) 관계를 도시한 결과이다. 이 graph에서 알 수 있듯이 ln(Da)와 1/T의 관계가 선형적으로 나타나 확산계수의 온도 의존성이 Arrhenius식에 잘 적용됨을 알 수 있었다.

식(9)의 상관관계식의 적합성을 좀더 구체적으로 알아보기 위해 회귀분석시켜 본 결과를 Table 9에 나타내었다.

Table 9에 나타난 바와 같이 R²값이 0.99이상으로

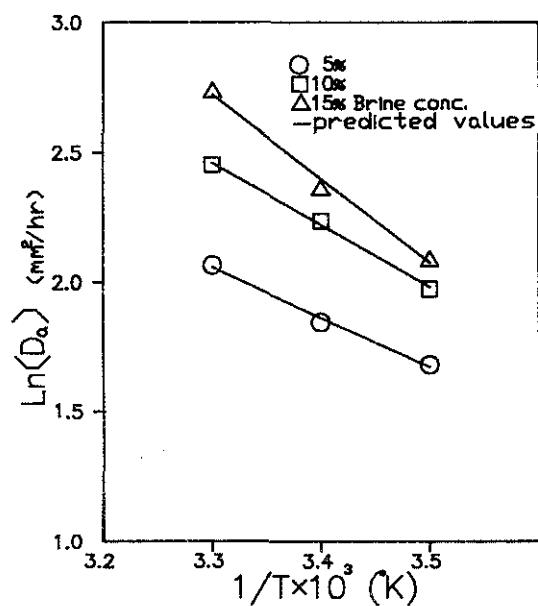


Fig. 7. Effects of temperature on apparent diffusion coefficient using Arrhenius equation in radi-sh.

Table 9. Coefficient values and R-squares in the predicted model of the apparent diffusion coefficient depending on brine concentration using Arrhenius equation

Brine conc. (%)	Coefficient values		R-square
	a ₁	b	
5	-1.9082	8.3530	0.9943
10	-2.3899	10.3428	0.9971
15	-3.2381	13.4072	0.9919

식(9)의 상관관계식이 적은 오차 한계내에서 온도의 변화에 따른 소금의 확산도를 예측하는데 활용할 수 있으리라 사료된다.

Da의 예측 모델

앞에서의 단순회귀를 바탕으로 최종 Da의 예측 model을 다음과 같이 수립하였다.¹⁷⁾

$$\ln(Da) = a_1 \ln(B) + a_2(T) + a_3 \ln(B) \times T + b \quad (10)$$

Where,

Da : Apparent diffusion coefficient (mm²/hr)

B : Brine concentration (w/v, %)

T : Temperature (1/°K × 10³, °K = Kelvin temp.)

a_1, a_2, a_3, b : Coefficient values

식(10)의 최종 확산계수 예측 model 식을 회귀분석시켜 본 결과를 Table 10에 나타내었다.

Table 10에 나타난 바와 같이 R^2 값이 0.99이상으로 식(10)의 상관관계식이 적은 오차 한계내에서 소금물 농도, 온도의 변화에 따른 소금의 확산도를 예측하는 데 활용할 수 있으리라 사료된다.

Table 10. Coefficient values and R-square in the predicted model of apparent diffusion coefficient of salt in radish

Coefficient values				R-square
a_1	a_2	a_3	b	
4.4142	0.0367	-1.1549	0.9602	0.9942

무우내로의 소금의 침투량과 무우밖으로의 탈수량과의 관계

무우의 염절임시 무우내로의 소금의 이동과 무우밖으로의 수분 이동과의 관계를 알아보기 위해 Guert 등^[10, 11]과 변 등^[12]이 사용한 다음과 같은 식(11)을 이용하였다.

$$-W = R \cdot S \quad (11)$$

$$R = \Delta W / \Delta S$$

Where,

W : 탈수량 (g water/100g water in radish)

S : 소금의 침투량(g salt/100g water in radish)

R : Flux ratio(비례상수)

Table 11은 온도에 따른 flux ratio를 나타내었다.

Table 11에 나타난 바와 같이 flux ratio가 1이상으로 탈수량이 소금의 침투량보다 조금 많음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 변 등의 배추의 염절임시 flux ratio가 1.02~1.3으로 나온 결과와 유사하게 나왔다.

Fig. 8은 20°C에서의 flux ratio를 나타낸 것이다.

Table 11. Flux ratio during salting at various temperature

Temp (°C)	Flux ratio
10	1.120
20	1.169
30	1.236

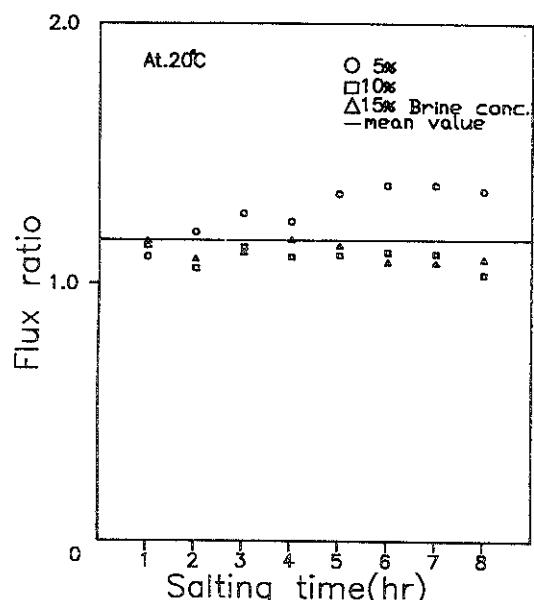


Fig. 8. Flux ratio radish during salting at various brine concentration.

요약

무우의 염절임시 무우내로의 소금의 침투량을 예측 할 수 있는 모델을 수립하고자 각각 5, 10, 15% 소금용액의 농도, 10, 20, 30°C 온도에서 시간당 무우내 소금의 침투량과 수분의 변화를 측정하였다. 시간에 따른 무우내 소금의 침투량은 \ln 함수를 따랐고 소금용액의 농도와 온도에 따른 무우내 소금의 침투량은 linear 한 관계를 나타내었다. 각각의 시간, 소금용액의 농도, 온도에 따른 무우내 소금의 침투량 예측 모델은 SPSS 통계 package중의 regression program을 이용하여 model식을 수립하였다. 무우내로의 소금의 확산도는 Fick 제2법칙의 적절한 확산식에서 computer simulation을 통해서 확산도를 계산하였다. 무우내로의 소금의 확산도는 소금용액의 농도가 증가함에 따라 커지고 예측할 수 있는 model식은 회귀분석을 통해 수립하였다. 무우내로의 소금의 침투량과 무우밖으로의 탈수량과의 관계를 규명하기 위해 Flux ratio($\Delta W / \Delta S$)을 구해 본 결과 1보다 조금 큰 값을 나타내어 탈수량이 소금의 침투량보다 다소 많음을 알 수 있었다.

문 헌

1. 조재선 : 식품 재료학. 문운당, p. 238 (1985)
2. 이성우 : 김치의 역사 및 식품 영양적 고찰. 식품과 영양, 8, 17 (1987)
3. 우경자, 고경희 : 절임 정도에 따른 배추김치의 절감과 맛에 관한 연구. 한국음식문화연구원논총 제1보, 163 (1988)
4. 이춘녕, 조재선 : 김치 제조 및 연구사. 한국음식문화연구원논총 제1보, 193 (1988)
5. 김순동, 김미정 : 무우의 소금절임 과정 중 소금의 침투와 칼슘의 용출. 한국영양식량학회, 17, 110 (1988)
6. 김중만, 신미경, 황호선 : 간절임이 각루기용 무우 cube의 이화학적인 변화. 한국식품과학회지, 21, 300 (1989)
7. 김중만, 신미경, 황호선, 김형태 : 간절임이 무우 cube의 ascorbic acid 함량, α -amylase 활성, 양념류 침투성, 생균수에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 22, 492 (1990)
8. Reinhold, S. and Marcel, L. : Prediction of diffusion in solid foodstuffs. *J. Food Process. Preserv.*, 3, 213 (1979)
9. Drusas, A., Vagenas, G. K. and Saravacos G. D. : Diffusion of sodium chloride in green olives. *J. Food Eng.*, 7, 211 (1988)
10. Geurts, T. J., Walstra, P. and Mulder, H. : Transport of salt and water during salting of cheese. 1. Analysis of the processes involved. *Neth. Milk Dairy J.*, 28, 102 (1974)
11. Geurts, T. J., Walstra, P. and Mulder, H. : Transport of salt and water during salting of cheese. 2. Quantities of salt taken up and of moisture lost. *Neth. Milk Dairy J.*, 34, 229 (1980)
12. Favetto, G., Chirife, J. and Bartholomai, G. B. : A study of water activity lowering in meat during immersion-cooking in sodium chloride solutions. I. Equilibrium considerations and diffusion analysis of uptake. *J. Food Tech.*, 16, 609 (1981)
13. 조형용, 김주봉, 변유량 : 배추의 염절임 중 소금의 화산에 관한 연구. 한국식품과학회지, 20, 711 (1988)
14. 주현규, 조규성, 조황연, 채수규, 박충균, 마상조 : 식품분석법. 유림문화사, p. 303 (1990)
15. 채서일, 김범종 : SPSS/ PC+를 이용한 통계분석. 법문사, p. 85 (1990)
16. Crank, J. : *The mathematics of diffusion*. Clarendon Press Oxford, p. 44 (1975)
17. Conway, J., Castaigne, F., Picard, G. and Vovan, X. : Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 16, 25 (1983)

(1991년 7월 22일 접수)