

식품건조공정 최적화에의 적용을 위한 품질변화 Kinetics 결정

이동선·변유량*

경남대학교 식품공학과, 연세대학교 식품공학과*

Kinetics Determination of Quality Changes for the Optimization of Food Dehydration

Dong-Sun Lee, Yu-Ryang Pyun*

Department of Food Engineering, Kyungnam University, Masan

**Department of Food Engineering, Yonsei University, Seoul*

Abstract

Kinetics of ascorbic acid destruction and browning were evaluated by the dynamic test using actual drying data in order to apply in the optimization of food dehydration. Radish was chosen as a test material because it has many typical quality characteristics during drying. Radish was dried in the cabinet dryer with being measured in moisture, food temperature, ascorbic acid and browning. Using moisture and temperature history, proposed kinetic model was integrated and parameters of the model were searched by the iteration scheme to show minimum discrepancy between predicted and experimental data. Ascorbic acid destruction and browning were represented by first and zero order reaction respectively. Arrhenius equation was used to describe temperature dependence. Several mathematical functions of moisture dependence were compared in the model simplicity and residual sum of square. Attained kinetic models were analyzed as functions of temperature and moisture. Rate of ascorbic acid destruction was low at high moisture content, increased with moisture decrease to show a maximum at the moisture of 9~12g/g dry solid, and then decreased up to full dryness. Browning rate increased with moisture decrease to show a sharp maximum at 4~6g/g dry solid and decreased with further moisture decrease.

Key words: kinetics, dynamic test, ascorbic acid, browning

서 론

식품가공 공정으로서 건조공정은 수분을 효과적으로 제거하면서 적정수준의 품질을 유지하여야 공정의 목적을 달성한다고 할수가 있다. 따라서 건조공정의 최적화에서 품질은 목적함수나 제한조건으로서 중요한 위치를 점하게 된다. 공정중의 품질요소의 simulation이나 최적화를 위해서는 먼저 행당되는 품질변화의 kinetics의 확립이 필요하다. 현재까지의 많은 품질변화 kinetics는 수분이나 온도등의 조건을 일정하게 유지하면서 실험하

여 얻은 결과이다. 그러나 온도 수분등은 가공과정에서 시간에따라 동적으로 변화하는 경우가 많다. Static test에서 구한 품질변화 kinetics를 이용하여 품질변화를 simulation하고자 했을때 수분들의 변화가 완만한 저장 과정에서는 만족스러웠으나⁽¹⁾, 수분의 변화가 급격한 건조공정에서는 예측치와 실험치간에 상당한 오차가 있었다^(2,3). 또한 static test에 의한 품질변화 kinetics 결정 실험은 넓은 범위의 독립함수의 영역에서 각 함수의 조합으로 이루어진 각 시료조건에서 시간에 따른 품질변화를 측정하게 되는 과정을 거치게 되므로 많은 노력과 시간이 소요되게 된다.

시간과 노력을 절감하면서 주어진 응용범위에서 실제 적용할 수 있는 kinetic model을 결정하는 하나의 방법으로서 dynamic test가 제안되고 있다. Dynamic test

Corresponding author : Dong-Sun Lee, Department of Food Engineering, Kyungnam University, 449, Weolyoung-dong, Masan, Kyungnam-do 630-701

에서는 한가지 이상의 독립변수를 시간에 대해 동적으로 변화시키면서 그때 변화하는 품질지표를 측정하게 되고 이 data를 이용하여 가해진 kinetic model에서의 여러 parameter들을 얻게 된다. Saguy 등⁽⁴⁾은 건조과정중 ascorbic acid 파괴의 kinetic model 결정을 위하여 이론적인 dynamic test 과정을 제안한 바 있다. 식품건조중 가장 중요한 품질요소의 변화는 수축, 영양성분의 손실, 비효소적 갈변이며 이중에서 일반적으로 건조조건에 의하여 많은 영향을 받는 것은 영양성분보존과 갈변으로 알려져 있다⁽⁶⁾. 본 연구에서는 건조중 일반적인 식품건조 특성을 가지며 식품의 대표적인 품질변화특성인 영양성분 파괴로서 ascorbic acid 파괴와 갈변을 갖는 재료로서 무우를 선정하여 실제 건조과정을 이용한 dynamic test에 의하여 이들 품질변화의 kinetics를 결정하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

시장에서 개당 중량 1.5kg 내외의 무우를 구입하여 사용하였다. 시료는 시판되는 것과 같은 크기로 단면이 6×6mm 크기인 직육면체가 되게 자른 다음 사용하였다.

건조

다양한 건조과정을 대표할 수 있도록 온도를 변화시키면서 4회 무우를 건조하였다. 건조과정중 수분함량, 식품의 온도와 함께 품질 변화로서 ascorbic acid, 갈변도를 측정하였다. 즉, 조제된 시료 150g 씩을 담은 15×15cm 크기의 여러 선반이 설치된 내부온도 분포가 균일한 캐비닛건조기에서 건조하였다. 열풍건조중 식품내부의 온도분포는 무시할 정도이므로^(6,7) 동-콘스탄탄 열전대에 의하여 식품온도로서 시료중심부의 온도를 측정하고 수분함량은 중량을 측정함으로써 평균수분함량을 결정하였다. 건조과정중 20~80분간격으로 1 선반씩 취하여 수분함량결정을 위해 무게를 측정하고 액체질소에 담구어 급속동결한 다음 48시간 동안 동결건조하여 분말화 하였다. 이렇게 제조된 건조무우분말은 흡습하지 않도록 밀봉하여 -20°C에서 저장하면서 수분함량, ascorbic acid, 갈변도등을 측정하였다.

Kinetic model의 결정

일반적으로 식품중 영양성분의 파괴나 갈변은 온도나

수분함량에 의해 결정되며 이러한 상호함수관계는 여러 연구자에 의하여 제안되었다^(2,8,9). 본 연구에서는 ascorbic acid 파괴는 1차반응으로 갈변은 0차반응으로 표현하고 이들 반응의 온도의존성은 Arrhenius 방정식으로 나타내었다.

Ascorbic acid 파괴와 갈변은 온도의 함수일 뿐만 아니라 수분함량에도 의존되므로 Arrhenius 식에서 빈도인자 k_0 나 기준온도에서의 반응속도상수 k_{bref} 와 활성화 에너지 E_{aa} 및 E_{ab} 가 수분함량의 함수인 것으로 가정하였다. 즉, ascorbic acid 파괴는 식 (1)~(4)로, 갈변은 식 (5)~(8)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dC_A}{dt} = -k C_A \quad (1)$$

$$k = k_0 \exp(-E_{aa}/RT_s) \quad (2)$$

$$\ln k_0 = f_1(M) \quad (3)$$

$$E_{aa} = f_2(M) \quad (4)$$

$$\frac{dB}{dt} = k_b \quad (5)$$

$$\ln k_b = \ln k_{bref} - (E_{ab}/R)(1/T_s - 1/T_{ref}) \quad (6)$$

$$\ln k_{bref} = f_3(M) \quad (7)$$

$$E_{ab} = f_4(M) \quad (8)$$

위의 식 (3) (4) 및 식 (7) (8)로 각각 표현되는 ascorbic acid 파괴 및 갈변의 수분함량과의 함수관계는 Table 2 및 Table 3과 같이 여러가지 model로 가정하였으며 각 model에서 실험 data를 가장 잘 만족하는 parameter들을 Fig. 1과 같은 algorithm에 의하여 찾았다. 우선 임의의 parameter 값과 실험값 부근의 초기시료조건을 가정하고 가정된 값으로부터 주어진 수분, 식품온도의 변화과정을 이용하여 제안된 kinetic model의 식 (1)이나 식 (5)를 적분하여 각 data 점에 해당되는 건조시간에서의 품질변화를 예측하고 계산치와 측정치간의 차이의 자승값이 최소화 되도록 최소화 algorithm을 이용하여 초기치와 ascorbic acid 파괴와 갈변의 수분의존관계의 parameter를 찾았다. 최소화 algorithm은 Box의⁽¹⁰⁾ complex method를 사용하였다. Computer program은 Mishkin⁽¹¹⁾의 dynamic test용 program인 KINFIT를 변형하여 사용하였다. 계산기로는 IBM-PC/AT를 사용하였다.

시료품질의 측정방법

수분함량: Vacuum oven method에 의하였다⁽¹²⁾. 즉 진공 oven에서 70°C에서 40시간동안 건조시켜 수분

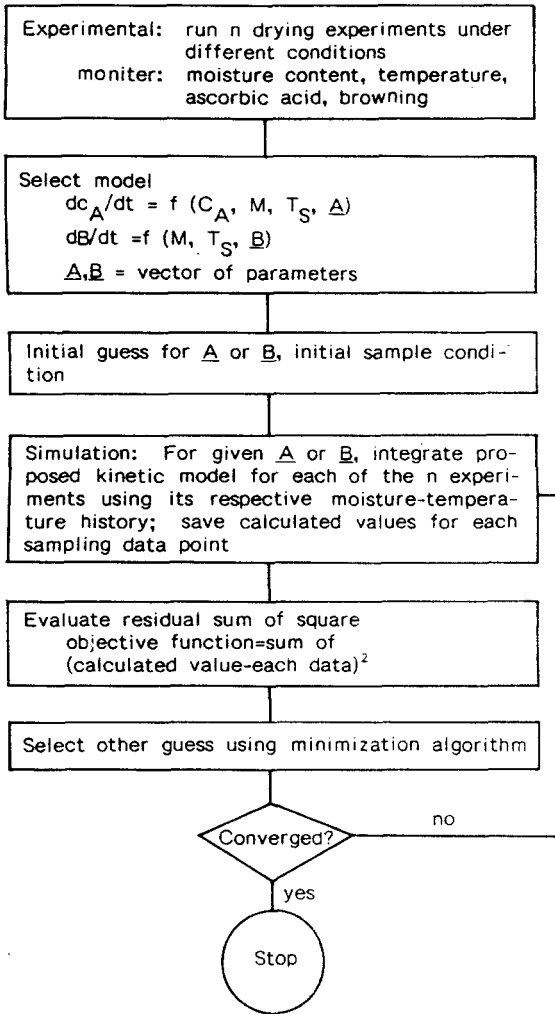


Fig. 1. Algorithm for the parameter estimation by the dynamic method of the kinetic modelling of quality change in radish drying.

량을 측정하였다.

Ascorbic acid 정량: HPLC를 사용한 Sood 등⁽¹³⁾의 방법에 준하여 분석하였다. 분말시료 1g을 100 ml의 6% metaphosphoric acid에 녹인 후 암소에서 1.5시간 흔들어 추출한다. 이를 Whatman No. 2 여과지로 여과한 후 0.45μ membrane filter를 이용하여 재여과하여 HPLC에 injection한다. Ascorbic acid 함량은 peak의 면적으로 계산하며 이때의 HPLC의 조작 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Operating condition of HPLC

Instrument : Waters association Model 440
Column : μ-Bondapak C ₁₈
Mobile phase - water:methanol:tetrabutyl ammonium phosphate = 96.5 : 2.5 : 1.0
Detector : UV 254nm
Flow rate : 2.0 ml/min

감변도: Hendel 등⁽²⁾의 방법을 약간 변형하여 측정하였다. 즉, 건조분말시료 1.3g을 취하여 40ml의 증류수를 가한 다음 10% trichloroacetic acid 용액 10ml를 가하여 30°C에서 2시간 방치한다. 방치하는중에 처음과 중간과 끝에 약간씩 흔들어 준다. Toyo No. 2 여과지로 여과한 후 420nm에서 흡광도를 측정하였다. 흡광도는 수분함량을 보정하여 건물 1.3g에 기준하여 나타내었다.

결과 및 고찰

Ascorbic acid 파괴

Ascorbic acid 파괴의 빈도인자 및 활성화에너지의 수분의존성을 나타내는 각 model의 parameter 값들을 Table 2에 나타내었다. 대체적으로 식 (9) (10) (12)는 최소화하려는 목적함수인 잔차제곱합(residual sum of square)이 작고 실험측정치와 잘 일치하는 경향을 보였다. 이 중에서도 parameter의 수가 증가 할 수록 조금씩 낮은 잔차제곱합의 값을 보였으나 큰 차이는 없었다. 수학적 kinetic model의 결정에는 model의 단순성, 작은 잔차제곱합, 연속성, 잔차분포의 균일성등이 중요한 지표로 제시되고 있다⁽¹⁴⁾. 식 (9) (10) (12)로 각각 나타난 온도 및 수분함량에 따른 반응속도상수를 살펴본 바 경향과 값에서 차이가 거의 없었으며 잔차도 실험영역에서 균일한 분포를 보여주고 있었다. 또 이러한 model들에 의하여 예측된 ascorbic acid 값은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 비교적 실험치에 가깝게 접근되고 있어서 실험조건 범위의 건조에 상당히 잘 적용될 수 있는 것으로 생각되었다. Fig. 2에서는 한 실험조건에서의 실험 data와 식 (9)에 의하여 예측된 ascorbic acid 값을 비교하여 보여주고 있다. 식 (9)의 유형이 Mizrahi 등에⁽¹⁵⁾에 의하여 건조 토마토분말에서 ascorbic acid 파괴의 수분의존성을 나타내는 데 사용된 바 있고 Mishkin은⁽¹¹⁾식 (9)에

Table 2. Kinetic parameters of ascorbic acid destruction obtained by dynamic test

Eq. no.	Mathematical function	Values of the parameters								Residual sum of square
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	
9	$\ln k_o = A_1 + A_2M + A_3M^2$	16.101	1.3927	0.1106	15138.6	740.57	45.494	2.5302	9552	
	$E_{aa} = A_4 + A_5M + A_6M^2 + A_7M^3$									
10	$\ln k_o = A_1 + A_2M + A_3M^2$	16.095	1.3922	0.1106	9.6139	0.0562	0.0012		9661	
	$\ln E_{aa} = A_4 + A_5M + A_6M^2$									
11	$\ln k_o = A_1 / [1 + \exp(A_2 - A_3M)]$	69.983	1.2675	0.1565	15245.2	738.81	45.491	2.5209	16514	
	$E_{aa} = A_4 + A_5M + A_6M^2 + A_7M^3$									
12	$\ln k_o = A_1 + A_2M + A_3M^2 + A_4M^3$	16.092	1.3915	0.1105	-8.4×10^{-6}	15137.2	740.45	45.485	2.5296	9466
	$E_{aa} = A_5 + A_6M + A_7M^2 + A_8M^3$									

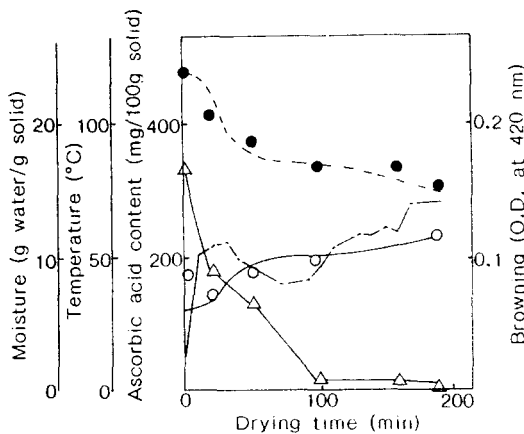


Fig. 2. Experimental and simulated quality changes during drying of radish

- △-: moisture content, ---: temperature
-: simulated ascorbic acid content(Eq. 9)
- : simulated browning(Eq. 17)
- : experimental date of ascorbic acid content
- : experimental data of browning

의하여 생체 감자중의 ascorbic acid 파괴를 나타내었다. Saguy 등⁽⁴⁾은 식 (10)과 비슷한 형태로 ascorbic acid 파괴 kinetics 이 잘 표현될 수 있음을 보고한 바 있다.

Fig. 3에서는 식 (9)에 의한 ascorbic acid 파괴에서

온도 및 수분함량에 따른 반응속도상수를 보여주고 있다. 반응의 온도의존성은 전체적으로 높은 온도에서 반응속도가 높게 나타나고, 온도의 영향은 고수분함량에서 더욱 컸다. 수분함량의 영향은 고수분에서 파괴속도가 느리나 수분이 감소하면서 증가하여 수분함량 9~12g/g dry solid 영역에서 최대가 되었다가 더욱 수분함량이 낮아지면서 파괴속도는 다시 감소되었다. 수분함량이 높은 건조초기에 파괴속도가 낮은 것은 건조초기 건전한 생체 세포 구성물들의 자연적인 저항력과 ascorbic acid 파괴 진행에 약간의 유도기가 필요하기 때문인 것으로 해석된다. Ascorbic acid 파괴에 주는 수분의 역할은 점도의 감소로 반응물 및 촉매등의 이동성을 향상시키고 반응물의 하나인 산소의 용해성을 높여서 파괴속도를 상승시키는 것으로 알려져 있다⁽¹⁶⁻¹⁸⁾. 그런데 무우와 같이 blanching 하지 않은 생체식품에서는 건조 초기 건전한 세포에서 수분과 촉매등의 여러 성분이 이동성의 제한을 받아 낮은 반응속도를 보이는 것으로 생각된다. 또한 무우와 같이 수분함량이 매우 높은 식품의 경우는 건조초기에 촉매등의 농도가 낮음으로 인한 반응속도상수의 감소도 생각할 수 있다. 그러다가 건조가 어느정도 진행되어 세포막들의 세포조직이 파괴되면 수분등의 이동성이 좋고 용존산소량이 높아 반응속도가 증가되고 수분함량이 더욱 낮아지면 점도증가에 따른 반응물 상호간의 운동성 감소와 용존산소의 감소로 인하여 반응속도가 낮아지는 것으로 생각된다.

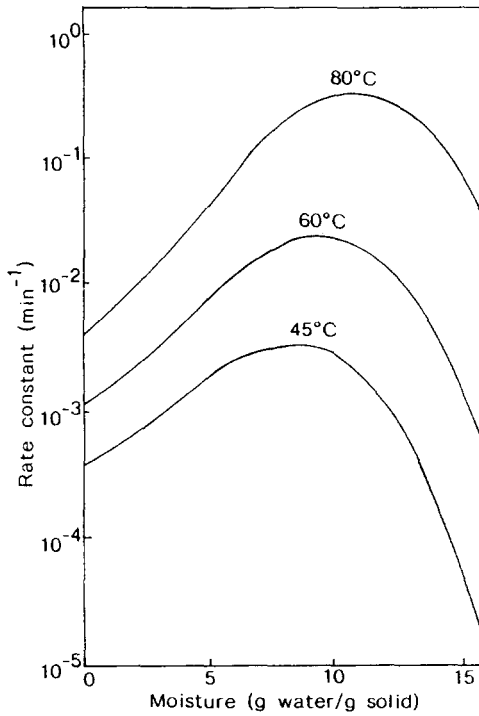


Fig. 3. Estimated first order rate constant for ascorbic acid destruction as a function of moisture content and temperature(Eq. 9).

이러한 결과는 생체식품이 갖는 ascorbic acid 파괴 모델의 독특한 특성으로서 model system에 대해서 실험한 Villota⁽⁸⁾의 결과와 비교할때 저수분함량에서는 본 연구의 결과와 비슷하나 고수분함량에서 많은 차이를 보였다. 생체식품으로서 생감자의 건조중 ascorbic acid 파괴의 kinetics를 얻은 Mishkin⁽¹¹⁾의 결과와 비교할 때는 수분함량에의 의존 경향은 비슷하였다.

Ascorbic acid 파괴의 온도의존성을 나타내는 활성화 에너지에 미치는 수분함량의 영향을 Fig. 4에 나타내었다. 수분함량이 높을수록 활성화에너지는 낮아서 온도의 영향이 큼을 보이고 있다. 이러한 결과는 수분활성도가 높으면 활성화에너지가 높다는 대부분의 연구결과와 일치하며^(17,18) 다만 Lee 등⁽¹⁶⁾의 결과에서는 수분활성도 0.3~0.8범위에서 큰 차이 없었다. 대체적으로 ascorbic acid 파괴는 고수분함량에서는 용존산소가 많으므로 활성화에너지가 높은 호기적 산화반응의 경로를 따르고 저수분함량에서는 용존산소가 적으므로 활성화에너지 값이 낮은 혐기적 분해반응을 겪는 것으로 알려져 있으며⁽¹⁸⁾, Fig. 4도 이러한 면에서 해석되어져야 할 것으로 생각된다.

Table 3. Kinetic parameters of browning obtained by dynamic test

Eq. no.	Mathematical function	Values of the parameters								Residual sum of square
		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	
13	$\ln K_{bref} = B_1 + B_2 M + B_3 M^2$ $E_{aa} = B_4 + B_5 M + B_6 M^2 + B_7 M^3$	-8.641	1.705	-0.1524	39968.4	5573.2	-1071.1	36.038		5.817x10 ⁻³
14	$\ln K_{bref} = B_1 + B_2 M + B_3 M^2 + B_4 M^3$ $E_{aa} = B_5 + B_6 M + B_7 M^2 + B_8 M^3$	-9.042	2.355	-0.3325	0.0122	40230.6	5654.5	-1017.5	37.556	4.528x10 ⁻³
15	$\ln K_{bref} = B_1 + B_2 \sin\left(\frac{-\pi}{2} + \frac{\sqrt{M}\pi}{B_3}\right)$ $E_{aa} = B_4 + B_5 M + B_6 M^2 + B_7 M^3$	-7.267	2.975	1.9835	39892.8	5562.4	-1071.2	35.928		1.239x10 ⁻³
16	$\ln K_{bref} = B_1 + \frac{M}{B_2 M + B_3} \exp(-B_4 M)$ $E_{ab} = B_5 + B_6 M + B_7 M^2 + B_8 M^3$	-9.427	0.0010	0.2997	0.2583	40075.1	5594.7	-1065.0	36.597	6.049x10 ⁻³
17	$\ln K_{bref} = B_1 + B_2 M + B_3 M^2$ $\ln E_{ab} = B_4 + B_5 M + B_6 M^2$	-8.619	1.712	-0.1500	10.550	0.1336	-0.0179			5.543x10 ⁻³

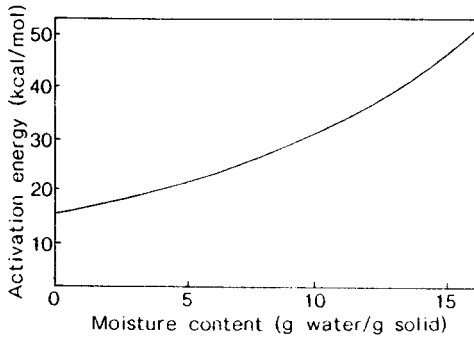


Fig. 4. Estimated moisture dependence of activation energy for ascorbic acid destruction in radish(Eq. 9).

갈변

Dynamic test에 의하여 얻어진 갈변의 여러 수학적 함수관계의 parameter를 Table 3에 나타내었다. 식 (13) (14) (16) (17)이 잔차제곱합이 낮아 비교적 실험치를 잘 예측하고 있었다. 이 네 함수관계가 나타내는 수분 함량에 따른 반응속도는 비슷하였고 잔차제곱합과 parameter의 수를 고려하면 식 (17)이 비교적 양호한 model로 생각된다. 잔차제곱합의 면만 보면 8개의 parameter로 구성된 식 (14)가 가장 우수하였다. 이러한 식에 의하여 예측된 갈변도는 잔차에서 시간에 따른 편중된 경향없이 실험치에 비교적 잘 일치하였다(Fig. 2).

Parameter 수가 적고 잔차제곱합에서도 양호한 식 (17)의 관계에 의한 반응속도의 온도 및 수분함량에 대한 영향을 Fig. 5에서 나타내었다. 온도가 높을수록 갈변속도는 높으며, 낮은 수분함량에서 온도의 영향이 더욱 현저하였다. Ascorbic acid 파괴속도에서와 같이 고수분함량에서 갈변속도가 느리나 건조가 진행되어 수분함량이 낮아지면서 갈변속도는 급격히 증가하여 수분함량 4~6g/g dry solid 부근에서 최대값을 보이고 수분함량이 감소함에 따라 다시 감소하고 있다. 이러한 경향은 Hendel 등⁽²⁾의 실험결과와 일치하며 다만 최대점을 나타내는 절대수분함량에는 차이가 있는데 이는 무우의 경우 초기수분함량이 감자에 비해 월등히 높으며 평균수분함량과 수분활성도의 관계가 감자와 다름에 기인하는 것으로 생각된다. 또한 Hendel 등⁽²⁾의 결과는 static test에 의한 결과로 실제 건조과정에서의 dynamic한 변화로부터 평균수분함량에 대해 얻은 본 연구의 결과와는 어느 정도 상이할 수 있을 것이다. Dynamic test와 static test에 의한 kinetic model의 결과와 공정에서의 응용에 대해서는 보다 깊은 비교연구가 필요한 것으로 생

각된다. 이러한 갈변의 수분의존성은 낮은 수분함량에서 갈변반응이 거의 일어나지 않으나 수분함량이 증가하면 기질의 용해로 인해 갈변속도가 증가되다가 어느 수준 이상으로 수분함량이 증가되면 수분에 용해된 기질농도의 감소와 함께 반응생성물인 수분의 반응억제작용으로 인해 다시 갈변속도가 감소하게 되는 것으로 생각된다⁽⁵⁾.

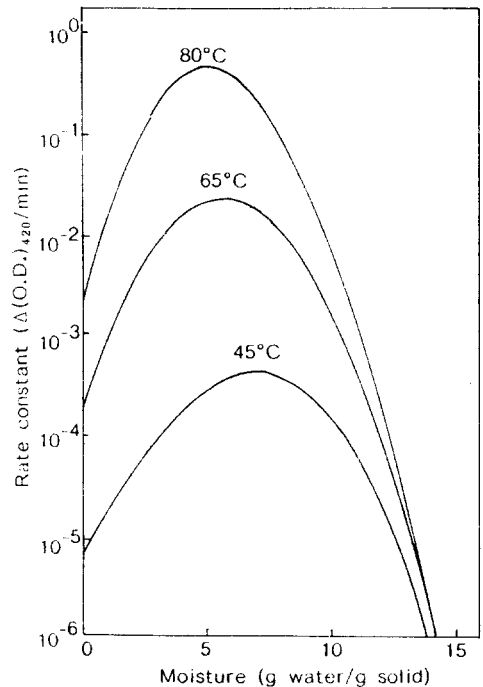


Fig. 5. Estimated zero order rate constant for browning as a function of moisture content and temperature(Eq. 17).

갈변반응의 활성화에너지를 수분함량의 함수로 보면 Fig. 6과 같다. 전반적으로 저수분함량에서 활성화에너지가 높은 경향이고 수분 3~4g/g dry solid 부근에서 최대치를 나타내다가 높은 수분함량에서 아주 낮아졌다. 이는 갈변 및 갈변관련반응의 활성화에너지를 보고한 여러 보고와^(2,3,9)비슷하였다.

본 연구에서 ascorbic acid 파괴와 갈변의 kinetic model의 parameter를 결정함에 있어서 건조중인 식품내의 수분분포를 무시하고 무우의 평균수분함량이 사용되었음에 유의할 필요가 있다. 이러한 model은 여러 조건이 정해진 특수한 경우에 유용하게 사용될 수 있으나 형태나 크기가 달라 식품내 수분분포와 평형수분함량간

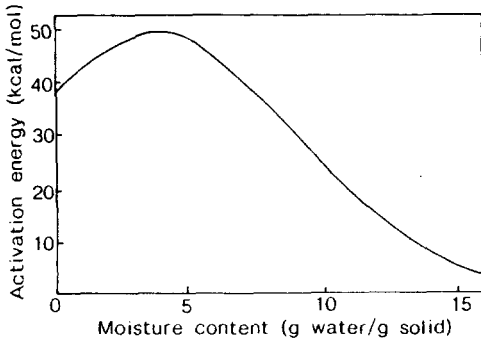


Fig. 6. Estimated moisture dependence of activation energy for browning of radish(Eq. 17).

의 관계가 현저히 달라지는 경우에는 적용되기 곤란한 경우도 있을 것이다. 실제 비교적 소형식품의 건조에서는 식품내의 온도구배는 무시할 만큼 작으나 수분분포는 차이가 있는 것으로 알려지고 있다⁽⁶⁾. 식품내 수분분포의 차이는 ascorbic acid 파괴속도나 갈변속도에도 구배를 주고 있을 것으로 추측된다. 그러나 소형식품 건조에 있어서 평균수분함량에 기준을 두고 품질특성을 예측한 경우와 부분수분함량을 고려한 경우에 두 결과 사이에 어느 정도 차이가 인정되지만⁽¹⁹⁾ 이러한 차이가 최적제어변수의 결정에는 거의 영향을 주지 않는 것으로 보고된 바 있다⁽²⁰⁾. 따라서 평균수분함량에 기준을 두고 dynamic test에 의해 결정된 품질변화 kinetics는 제어변수 search와 계산시간을 고려할때 최적화에 적용할 수 있는 것으로 판단된다. 또한 static tset에 의하여 구한 품질변화 kinetics이 건조과정과 같이 수축등이 일어나는 동적이면서 복잡한 공정에서의 품질변화 simulation에 한계가 있는 점을 생각할 때^(2,3) dynamic test는 주어진 조건에서의 공정의 simulation이나 최적화에 유용하게 사용될 수 있는 방법이다. 다만 시료크기나 건조방법등의 조건이 달라질 때는 그 조건을 대표할 수 있는 실험을 수행하여 다시 kinetics를 구하여야 할 것이다.

전체적으로 본 연구에서는 식품건조의 최적화에 적용될 수 있는 ascorbic acid 파괴와 갈변의 kinetics를 간단한 실험에 의하여 구하는 과정을 제시하고, 얻어진 kinetics를 검토하였다. 이러한 품질변화 kinetics를 식품건조의 최적화에 이용하고자 한다.

요 약

대표적인 재료로서 무우를 선정하여 실제 건조과정을

이용한 dynamic test에 의하여 최적화에 사용할 수 있는 ascorbic acid 파괴와 갈변의 kinetics를 구했다. 다양하게 변하는 건조조건에서 무우가 건조될 때의 수분함량과 온도의 변화과정을 이용하여 가정된 kinetic model을 적분하여 실제 측정된 ascorbic acid와 갈변의 data에 가장 접근하도록 parameter를 반복계산에 의하여 찾았다. Ascorbic acid 파괴와 갈변은 각각 1차와 0차반응으로, 두 반응의 온도의존성은 Arrhenius식으로 나타내었고 수분의존성의 가능한 여러 수학적 함수 관계가 model의 단순성과 측정치와의 만족도면에서 비교되었고 타당한 품질변화 model을 분석하였다. 얻어진 kinetic model들은 실험치를 잘 예측하였고 건조공정의 최적화에 이용될 수 있는 것으로 생각되었다. Ascorbic acid 파괴는 건조초기 고수분함량에서 낮고 건조가 진행되어 수분 9-12g/g dry solid 부근에서 최대속도를 보이다가 더 이상 수분이 낮아지면서 감소하였다. 갈변은 고수분함량에서 낮다가 수분감소와 함께 증가하여 수분함량 4~6g/g dry solid 부근에서 최대를 나타내고 수분함량이 더욱 감소하면 계속 감소하였다.

기호 설명

- $A_1 - A_8$: Ascorbic acid 파괴의 kinetic parameter, 상수
- B : 갈변도(O, D. at 420nm)
- $B_1 - B_8$: 갈변의 kinetic parameter, 상수
- C_A : Ascorbic acid 함량(mg/100g dry solid)
- E_{aa} : Ascorbic acid 파괴의 활성화에너지(cal/mol)
- E_{ab} : 갈변의 활성화에너지(cal/mol)
- $f_1 - f_4$: 함수관계
- k : Ascorbic acid 파괴의 반응속도상수(min^{-1})
- k_0 : Ascorbic acid 파괴의 빈도인자(min^{-1})
- k_b : 갈변의 반응속도상수($\Delta(\text{O, D.})_{420}/\text{min}^{-1}$)
- k_{bref} : T_{ref} 에서의 갈변 반응속도 상수($\Delta(\text{O, D.})_{420}/\text{min}$)
- M : 수분함량(kg water/kg dry solid)
- R : 기체상수, 1,987 cal/mol, K
- t : 건조시간(min)
- T_s : 식품의 온도(K)
- T_{ref} : 기준온도, 338 K

참 고 문 헌

1. Mizrahi, S. Labuza, T.P. and Karel, M. : Computer-aided prediction of extent of browning in dehydrated cabbage. *J. Food. Sci.*, **35**, 799(1970)
2. Hendel, C.E. Silveira, V.G. and Harrington, W.O. : Rates of nonenzymatic browning of white potato during dehydration. *Food Technol.*, **9**, 433(1955)
3. Eichner, K. Laible, R. and Wolf, W. : The influence of water content and temperature on the formation of Maillard reaction intermediates during the drying of plant products. in *Properties of Water in Food*. Simatos, D. and Multon, J.L. (ed), Martinus Nijhoff Publishers, p.191(1985)
4. Saguy, I. Mizrahi, S. Villota, R. and Karel, M. : Accelerated method for determining the kinetic model of ascorbic acid loss during dehydration. *J. Food. Sci.*, **43**, 1861(1978)
5. Karel, M. Fennema, O.R. and Lund, D.B. : *Physical Principles of Food Preservation*, Marcel Dekker, Boston, p.255, 328(1975)
6. Saravacos, G.D. and Charm, S.E. : A study of the mechanism of fruit and vegetable dehydration. *Food Technol.*, **16**(1), 78(1962)
7. Chirife, J. : Diffusional process in the drying of Tapioca root. *J. Food. Sci.* **36**, 327(1971)
8. Villota, R. : Ascorbic acid degradation upon air-drying in model system. *D.Sci. Thesis*, MIT, Cambridge, MA(1978)
9. Mizrahi, S. Labuza, T.P. and Karel, M. : Feasibility of accelerated tests for browning in dehydrated cabbage. *J. Food. Sci.*, **35**, 804(1970)
10. Box, M.J. : A new method of constrained optimization and comparison with other methods. *Computer J.*, **8**, 42(1965)
11. Mishkin, M.A. : Dynamic modelling, simulation and optimization of quality changes in air drying of foodstuffs. *Ph.D. Thesis*, MIT, Cambridge, MA(1983)
12. Van Arsdel, W.B. and Copley, M.J. : *Food Dehydration*, vol. 1, AVI, Westport, p.174(1963)
13. Sood, S.P., Sartori, L.E., Whittmer, D.P. and Haney, W.G. : High pressure liquid chromatographic determination of ascorbic acid in selected foods and multivitamin products. *Anal. Chem.*, **48** (6), 796(1976)
14. Saguy, I. and Karel, M. : Modelling of quality deterioration during food processing and storage. *Food Technol.*, **34**(2), 78(1980)
15. Mizrahi, S. and Karel, M. : Accelerated stability tests of moisture sensitive products in permeable packages at high rates of moisture gain and elevated temperatures. *J. Food. Sci.*, **42**(6), 1575(1977)
16. Lee, S.H. and Labuza, T.P. : Destruction of ascorbic acid as a function of water activity. *J. Food. Sci.* **40**, 370(1975)
17. Laing, B.M., Schlueter, D.L. and Labuza, T.P. : Degradation kinetics of ascorbic acid at high temperature and water activity. *J. Food. Sci.*, **42**(5), 1274(1977)
18. Kirk, J., Dennison, D., Kokoczka, P. and Heldman, D. : Degradation of ascorbic acid in a dehydrated food system. *J. Food. Sci.*, **42** (5), 1274(1977)
19. Aguilera, J.M., Chirife, J., Flink, J.M. and Karel, M. : Computer simulation of nonenzymatic browning during potato dehydration. *Lebensm. Wiss. u. Technol.*, **8**, 128(1975)
20. Mishkin, M., Saguy, I. and Karel, M. : Dynamic optimization of dehydration processes; minimizing browning in dehydration of potatoes. *J. Food Sci.*, **48**, 1617(1983)

(1988년 1월 22일 접수)