

## 근채류의 건조 및 수축특성에 영향을 미치는 인자

조덕제 · 허종화\* · 김희연\*\*

경남전문대학 식품영양과  
\*경상대학교 식품공학과, \*\*국립보건원

### Influencing Factors in Drying and Shrinking Characteristics of Root Vegetables

Duck-Jae Cho, Jong-Wha Hur\* and Hee-Yun Kim\*\*

Department of Food and Nutrition, Kyung Nam Junior College, Pusan,  
\*Department of Food Science and Technology, Gyeong Sang National  
University, Jinju, \*\*National Institute Health, Seoul

#### Abstract

During hot air drying of root vegetables such as radish and sweet potatoes, shrinkage and casehardening occurred, and thereby the quality change appeared. Therefore the hot air drying apparatus in which air temperature, relative humidity and air velocity could be controlled was designed, and the drying and shrinking characteristics of radish and sweet potatoes were studied. Also the external factors that affected these characteristics were investigated. The whole drying process of radish and sweet potatoes could be divided into four different drying rate periods, namely constant rate period, first falling rate period, second falling rate period (a) and (b). The shrinking rate curve consisted of four periods nearly corresponding to drying rate periods. The shrinking rate slowly increased in the constant rate period, rapidly increased in the first falling rate period, and reached the highest value in the early period of the second falling rate period. The surface shrinkage was greatly affected by the thickness of sample, relative humidity and initial moisture content. The shrinking ratio was increased with decreasing thickness and increasing relative humidity and initial moisture content.

Key words: radish, sweet potatoes, drying characteristics, shrinking characteristics

#### 서 론

식품은 여러 종류의 고분자 성분에 의해서 구성되어 있기 때문에 화학적 및 물리학적 성질이 단순하지 않으므로 수분 이동기구 등이 복잡하나 건조 특성을 묘사할 경우 임계습수율에 의해 항률건조기와 감률건조기로 구분된다<sup>(1)</sup>. 그러나 식품은 건조과정중 수축으로 인해 표면적이 변화하기 때문에 임계습수율을 정확히 측정한다는 것은 매우 어려운 일이며 또한 표면적 변화로 인해 재료면의 압력구배를 생기게 하기 때문에 건조속도에도 상당한 영향을 미친다<sup>(2)</sup>. 실제의 건조과정에서는 건조조건이 부적당 하기 때문에 급격한 또는 불균일한 수축을 일으켜서 균열 및 변곡 등을 수반하여 제품의 품질을 손상시키는

일이 있다<sup>(3,4)</sup>. 이와 같은 수축의 상태는 재료의 종류, 채취부위 및 건조조건 등에 따라서도 차이가 많다<sup>(2)</sup>. 따라서 건조 수축의 상태를 명확히 하는 것은 건조기구 해명의 뒷받침이 되는 것은 물론 건조과정 중에 수축이 일어날 경우 건조조건을 조절하다던가 혹은 균일한 수축이 일어날 수 있게 하기 위해서 두께를 일정하게 하여 건조하는 것 등의 구체적인 처리의 기초가 될 수 있다.

한편, 근채류는 우리나라의 주요한 농산물의 하나로 식용으로서 물론 전분, 당류 및 alcohol 등의 공업용 원료로서도 중요하다. 많이 생산되고 있는 근채류는 무우 및 고구마 등이고 이들을 건조한 건제품은 독특한 풍미와 식감을 가진 건조식품이다. 그러나 이들은 수분이 많고 유연한 조직을 가지고 있기 때문에 열풍건조할 경우 표면적 수축이 가장 현저하고 이들 수축 현상도 건조조건, 건조속도 및 건조 단계에 따라서 서로 다른 양상을 나타낼 것으로 생각된다. 그래서 온도, 습도 및 풍속의 조절이 가

Corresponding author: Duck-Jae Cho, Department of Food and Nutrition, Kyung Nam Junior College, Pusan 616-012, Korea

능하고 건조중 표면적 변화를 사진촬영 할 수 있는 실험실 규모의 열풍건조기를 제작하여 무우 및 고구마를 건조하고 이들의 건조속도, 수축속도 및 수축율 등에 영향을 미치는 외부 요인들에 대해서 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료

무우 및 고구마를 잘 수세한 다음 중심부를 취하여 가로 및 세로를 각각 3cm 및 4cm 로 만들어 5°C의 냉수 중에서 24시간 침지하여 흡수율을 안정화 시켰다. 이와 같은 무우 및 고구마를 두께(2, 4, 6mm), 공기의 온도(35, 50, 60°C), 상대습도(10, 25, 40%) 및 풍속(0.4, 0.8, 1.2m/s)을 변화시키면서 건조하였다.

초기 중량은 표면에 부착해 있는 수분을 여과지로 가볍게 닦은 후 측정하였으며 완전 건조 중량은 평형 중량을 측정 한 시료를 135±1°C에서 24시간 drying oven에서 건조시켜 측정하였다.

실험장치

공기의 온도, 상대습도 및 풍속의 조절이 가능한 Fig. 1과 같은 실험실 규모의 열풍건조기를 만들어 실험에 사용하였다. 즉 공기 압축기에서 배출된 공기는 구리관을 통하여 자동조절이 가능한 냉각장치를 지나면서 냉각, 제습되고 다시 항온수조에서 가온, 가습되어 건조기 하부에 설치되어 있는 가열장치에 의하여 소정의 온도로 조절된 다음 건조기 안에서 시료에 대하여 수직으로 흐르게 하였

다. 유입 공기의 속도 분포를 일정하게 하기 위해서 건조기 하부에 분산판을 부착하였으며 건조실 내의 풍속은 열선풍속계(anemomaster, Model 24-6111)로써 건조기의 중점에서 4 방향으로 20점을 측정하여 평균값을 사용하였다.

건조부는 내경 140mm, 길이 90cm의 투명 아크릴수지 원통을 사용하였으며, 외부에 asbestos band와 스티로폼으로 단열을 시켰다. 건조중 시료의 표면적 변화를 관찰하기 위하여 원통의 하부에서 50cm 높이에 가로 및 세로가 각각 12cm 및 15cm인 투명 아크릴 창문을 만들었다.

표면적 측정

알루미늄판에 눈금이 새겨져 있는 시료 지지대를 Fig. 2와 같이 만들어 시료를 지지대의 가운데에 고정시키고 이것을 balance(ohaus Co, sensitivity=0.01g)에 연결하여 건조중 시료의 중량 변화를 측정하였다. 그리고, 건조중 직접 표면적을 측정한다는 것은 불가능 하기 때문에 건조기에 만들어 둔 창문을 통하여 건조중 일정한 시간마다 시료를 사진촬영 하였다.

시료의 크기와 사진에서의 시료의 크기를 같게 하기 위하여 사진기에 접안렌즈를 부착하고 사진기의 흔들림을 방지하기 위하여 완전 고정시켰다. 사진으로부터 시료의 가로 및 세로의 크기를 vernier calipers(Mitutoyo, sensitivity=0.05mm)로써 각각 5점을 측정하여 그 평균값으로 건조중 표면적의 변화를 계산하였다.

건조속도, 수축속도 및 수축율

건조속도는 시간에 따라 변화하는 표면적의 크기와 함

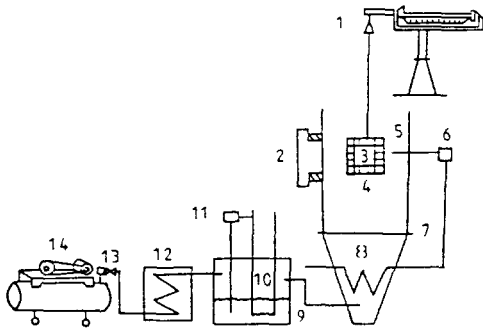


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus. 1: Balance, 2: Camera, 3: Sample, 4: Door, 5: Thermocouple, 6: Thermo-regulator, 7: Dispersing plate, 8: Heater, 9: Constant temperature water bath, 10: Heater, 11: Transistor relay, 12: Freezing chamber, 13: Valve, 14: Air compressor

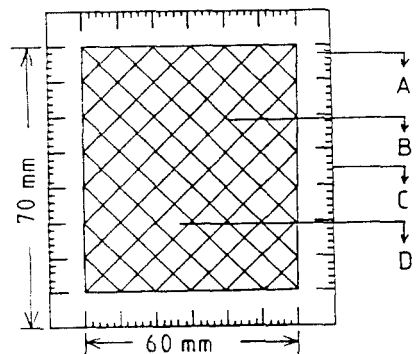


Fig. 2. Support plate of sample. A: Scale, B: Steel wire nite, C: Aluminium plate, D: Sample setting position

수율에서 직접 측정하였으며<sup>(6)</sup>, 수축속도는 시간당, 무수시의 면적 1cm<sup>2</sup>당 수축한 면적으로 나타내었다<sup>(6)</sup>. 또한 수축율은 아래 식에서부터 구하였다<sup>(7)</sup>.

$$\text{수축율} = (1 - A/A_0) \times 100$$

단, A=일정 건조후의 표면적(cm<sup>2</sup>)

A<sub>0</sub>=건조전의 표면적(cm<sup>2</sup>)

## 결과 및 고찰

### 건조특성

**온도의 영향:** 식품의 두께 4mm, 상대습도 10% 및 풍속 0.8m/s의 일정한 건조조건 하에서 공기의 온도를 35, 50 및 65°C로 변화시켜 무우 및 고구마를 건조하였을 경우 건조온도에 따른 건조속도를 함수율에 대하여 Fig. 3에 나타내었다. 무우 및 고구마의 건조속도는 항률건조기 및 감률건조기로 나누어지고 감률건조기는 다시 감률건조 1단계, 2단계로 구분되어 나타났다. 또한 감률건조 2단계는 다시 감률건조 2단계 a 및 b로 나눌 수가 있었다. 이와 같이 수분을 충분히 함유한 얇은 섬유질 재료의 건조에 있어서는 4단계의 건조속도 구간이 나타났으며 이것은 Shinohara 와 Wada<sup>(6)</sup>의 보고와 같은 현상이었다.

항률건조기와 감률건조기 사이의 제 1 임계함수율은 무우의 경우 35, 50 및 65°C에서 건조물 1g 당 각각 9.46, 8.45 및 8.24g 이었고, 고구마의 경우는 각각 2.31, 1.81 및 1.45g 으로서 열풍온도가 증가할 수록 임계함수율은 낮았다. 이와 같은 현상은 항률건조 기간의 수분 증발량은 공기의 온도, 상대습도 및 풍량에 따라서 결정되어지기 때문에 습도 및 풍량을 일정하게 하여 온도를 parameter 로 할 경우 공기온도가 높으면 당연히 재료의 온도가 높게 되고 식품 내부의 수분을 많이 제거할 수 있기 때문이다<sup>(8)</sup>. 또한, 온도가 높으면 제 1 임계함수율은 단시간 내에 나타났는데 이것은 온도가 높으면 수분 증발과 수축이 빨리 이루어져서 내부에서 외부로의 수분이동이 단시간 내에 평형상태로 도달되기 때문이라고 생각된다.

**상대습도의 영향:** Fig. 4는 상대습도(10, 25, 40%)를 달리하여 건조하였을 경우 무우 및 고구마의 건조속도를 나타낸 곡선이다. 건조속도는 4단계로 나타났으며 감률건조 2단계 후반에서는 상대습도에 관계없이 비슷한 건조속도를 나타내었으나 감률건조 1단계에서는 상대습도에 따라서 서로 다른 기울기를 보였다. 이것은 무우 및 고구마의 모세관 중에서 구멍이 큰 모세관에 있는 수분부터 먼저 증발 제거되고 그 자리에 공기가 대체되면서 증

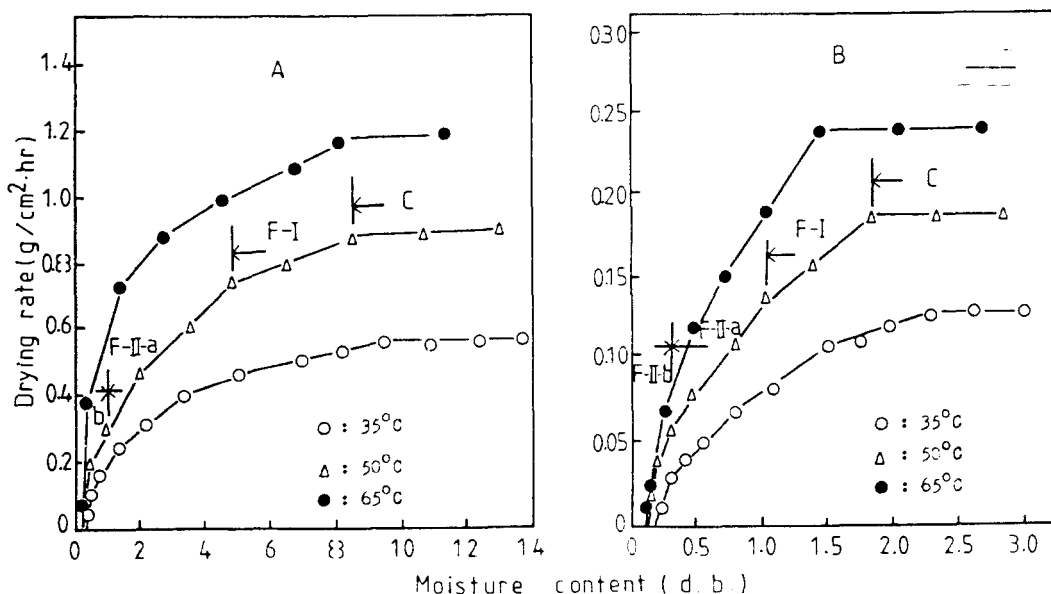


Fig. 3. Drying rates of radish(A) and sweet potatoes(B) as a function of moisture content at different drying air temperatures. C, Constant rate period, F-I, 1st falling rate period, F-II-a and b, 2nd falling rate period a and b (d=4mm, RH=10%, U=0.8m/s)

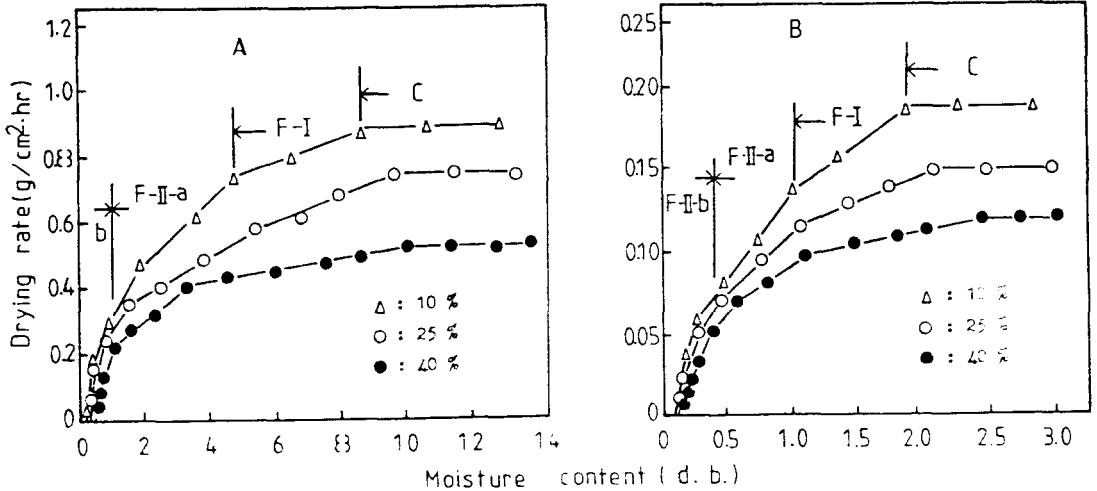


Fig. 4. Drying rates of radish(A) and sweet potatoes(B) as a function of moisture content at different relative humidities. C, F-I, F-II-a and b; Refer to the comment in Fig. 3. (d=4mm, Ta=50°C, U=0.8m/s)

발 면적이 감소하는 과정에서 외부 공기의 상대습도가 높을수록 증기압 차가 작아지므로 건조속도에 차이가 생기기 때문이라고 생각된다. 그리고 감률건조 1단계는 물체의 표면이 건조되어 건조속도가 감소함으로 해서 나타나는 구간이고, 감률건조 2단계는 표면에서 일어나던 증발면적이 고체 내부로 이동하게 되어 더욱 건조속도가 떨어지며 이 기간에서의 건조속도는 고체 내부에서의 확산속도에 지배되며 상대습도 및 풍속 등의 외부 요인에는 영향을 받지 않는 구간이다<sup>(9)</sup>.

**수축특성**

두께의 영향: 공기의 온도, 상대습도 및 풍속을 각각 50°C, 10% 및 0.8m/s로 고정하고 시료의 두께를 2, 4, 6mm로 달리하여 건조하였을 경우 초기 면적에 대한 일정한 시간에서의 면적비를 산출하여 얻어진 상대적인 수축곡선을 무우 및 고구마를 각각 Fig. 5에 나타내었다.

건조중 무우 및 고구마는 탈수와 더불어 수축 현상이 현저하였으며 두께가 얇을수록 수축이 많이 일어났다. Kilpatrick 등<sup>(10)</sup>은 수축의 양은 탈수되어지는 물의 양에 가깝다고 하였으며, Yokoya 등<sup>(6)</sup>도 유연한 조직을 가진 식품일 수록 수축의 정도가 크다고 하였다.

Table 1은 함수율 20%까지 감소시켰을 때 무우 및 고구마의 수축율과 건조 시간비를 나타낸 것이다. 무우의 경우 두께 2, 4 및 6mm에서 수축율은 각각 52.4, 48.0 및 45.2% 이었고, 고구마의 경우 각각 39.1, 35.6 및

30.8%로써 두께가 얇은 것이 수축율이 컸으며, 조직이 유연하고 초기 함수율이 높은 무우가 고구마 보다 더 많이 수축하였다.

Fig. 6은 건조과정 중에 일어나는 수축의 상태를 밝히기 위하여 수축속도 곡선을 함수율에 대해서 나타낸 것이다.

수축속도 곡선에도 기울기가 다른 4단계(a, b, c, d)의 곡선이 나타났고 각 단계는 대개 건조속도 곡선의 각 단계에 대응해서 나타났다. 수축속도는 항률건조 기간에서 서서히 증가하여 감률건조 1단계에서 급격히 증가하고 감률건조 2단계의 초기에 상당하는 점에서 최대의 수축에 달하였으며 그 후 점차 감소하여 정지되었다. 이와 같은 현상은 항률건조 기간에서는 수막이 재료의 표면을 둘러싸고 또 표면이 습윤상태로 유지되어 있기 때문에 이 기간에서는 수축속도가 느리며 그 후 건조가 진행되어 세포내의 유리수가 제거됨에 따라 건조 부분이 점차 중심부로 이동하기 때문에 수축속도는 빠르게 되어 감률건조기에서 최대치에 달한다고 생각된다<sup>(6)</sup>.

수축속도의 최대 값은 무우인 경우 2, 4 및 6mm에서 각각 1.20, 0.52 및 0.39/hr 이었으며, 고구마의 경우는 각각 0.71, 0.34 및 0.27/hr 로서 두께가 얇을수록 그리고 무우가 고구마 보다 수축속도가 빨랐다.

온도의 영향: 수축에 미치는 온도의 영향을 살펴보기 위해 공기의 온도(35, 50, 65°C)를 달리하여 건조를 행하고 함수율 20%까지 건조하였을 경우 수축율과 건조시간

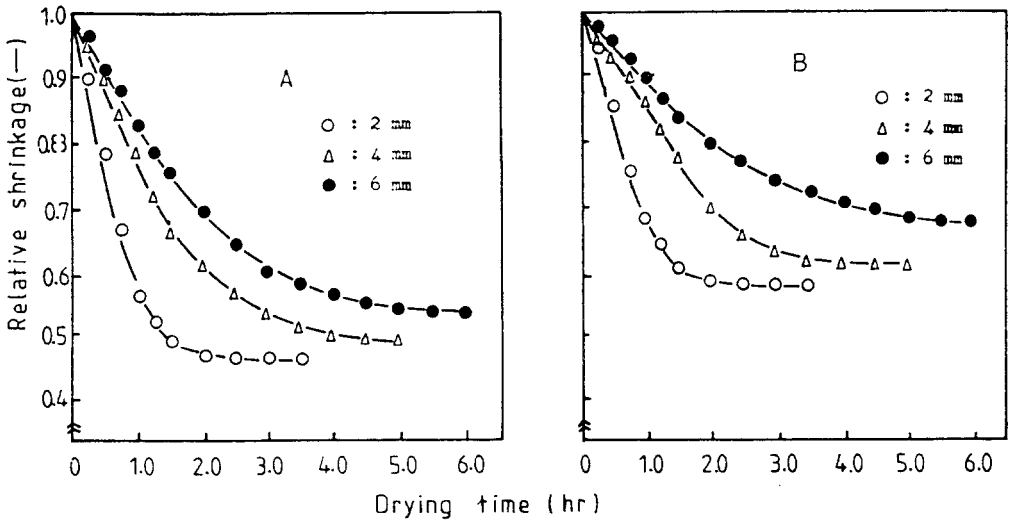


Fig. 5. Relative shrinkage of radish(A) and sweet potatoes(B) at different thicknesses. ( $T_a=50^\circ$ ,  $RH=10\%$ ,  $U=0.8m/s$ )

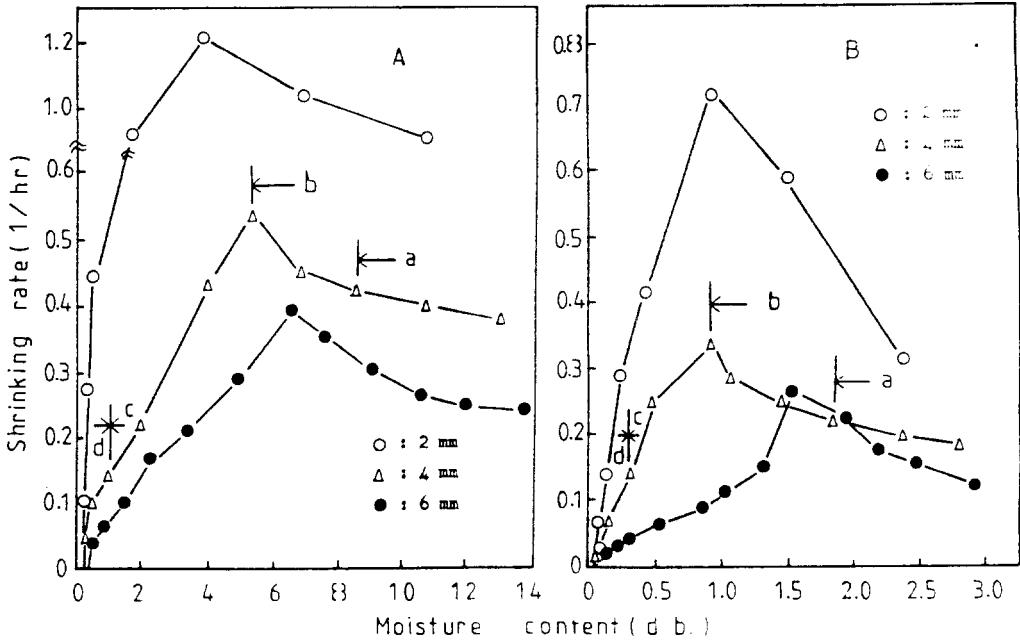


Fig. 6. Shrinkage rates of radish(A) and sweet potatoes(B) at different thicknesses. a; First stage of shrinkage, b; Second stage of shrinkage c; Third stage of shrinkage, d; Fourth stage of shrinkage ( $T_a=50^\circ C$ ,  $RH=10\%$ ,  $U=0.8m/s$ )

Table 1. Shrinking ratio and drying time ratio of radish and sweet potatoes at various thicknesses for reducing moisture content to 20%

Thickness (mm)	Shrinking ratio(%)		Time ratio	
	Radish	Sweet potatoes	Radish	Sweet potatose
2	52.4	39.1	1.0	1.0
4	48.0	35.6	2.0	2.0
6	45.2	30.8	2.8	3.3

Table 2. Shrinking ratio and drying time ratio of radish and sweet potatoes at various air temperatures for reducing moisture content to 20%

Air temperature (°C)	Shrinking ratio(%)		Time ratio	
	Radish	Sweet potatoes	Radish	Sweet potatoes
35	47.4	35.5	1.0	1.0
50	48.0	35.6	0.8	0.7
65	50.2	37.3	0.5	0.6

비를 Table 2에 나타내었다. Shinohara 와 Wada<sup>(5)</sup>는 건조수축은 70°C 이하의 온도에서 건조하면 거의 같은 정도라든가 동일한 경향을 나타내지만 80°C 이상의 온도에서는 수축이 훨씬 많이 이루어 진다고 하였다. 본 실험에서도 함수율 20%까지 건조하였을 경우 무우인 경우 수축율은 공기의 온도 35, 50 및 65°C에서 각각 47.4, 48.0 및 50.2% 이었고, 고구마의 경우는 각각 35.5, 35.6 및 37.3%로서 무우 및 고구마 모두 65°C는 35°C에 비해 약 2~3% 정도 더 많이 수축하였으나 온도에 따라서 큰 영향은 없었다. 그러나 평형수축에 도달하는 시간은 65°C는 35°C에 비해 약 2배 정도 빨랐다.

Fig. 7은 온도의 변화에 따른 수축속도 곡선을 함수율

에 대해서 나타낸 것으로 수축속도 곡선은 건조속도의 각 단계와 대응하는 4단계의 수축속도 구간으로 나타났다. 수축속도의 최대 값은 무우인 경우 35, 50 및 65°C에서 각각 0.41, 0.52 및 0.68/hr 이고, 고구마인 경우는 각각 0.28, 0.34 및 0.41/hr 로서 온도가 증가할 수록 수축속도는 빨랐다.

상대습도 및 풍속의 영향: 상대습도를 10, 25 및 40%로 변화하여 건조하였을 경우 건조중 상대적인 수축을 시간에 대해서 Fig. 8에 나타내었다.

무우 및 고구마 모두 건조시간 90분까지는 직선적인 수축 감소가 일어났으며 습도가 낮을 수록 수축은 많이 이루어 졌으나 그 후는 오히려 습도가 높을 수록 수축의 정

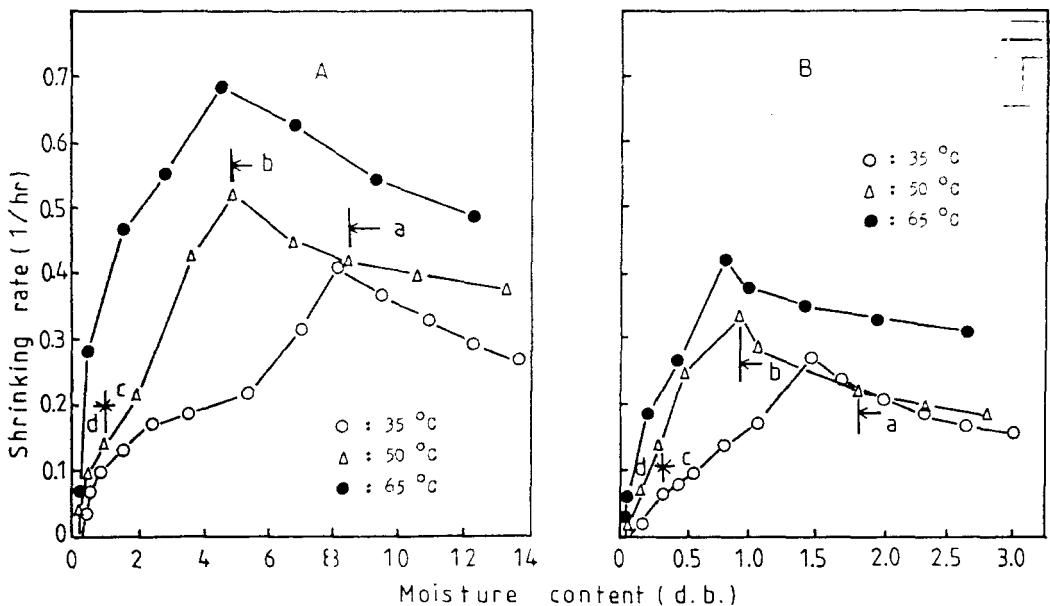


Fig. 7. Shrinkage rates of radish(A) and sweet potatoes(B) at different drying air temperatures. a, b, c and d; Refer to the comment in Fig. 6. (ld=4mm, RH=10%, U=0.8m/s)

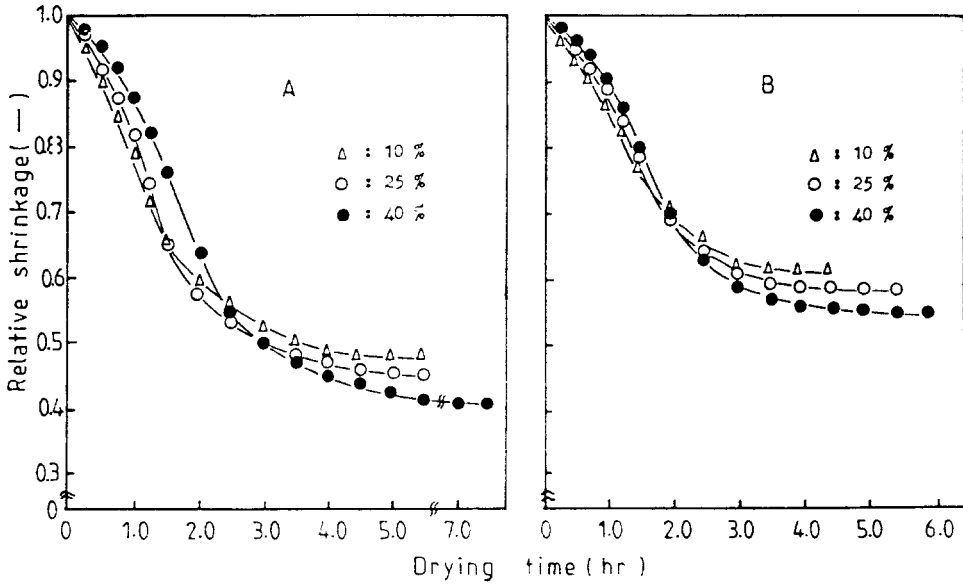


Fig. 8. Relative shrinkage of radish(A) and sweet potatoes(B) at different relative humidities. (d=4mm, TA=50°C, U=0.8m/s)

도가 컸다. 직선적인 수축이 일어나는 90분에 상당하는 점은 건조속도의 감률건조 1단계의 종말점이고 이 기간에 제 1단계의 수축이 완료되었다.

또한 Table 3에서 보는 바와 같이 무우인 경우 상대습도 10, 25 및 40%에서 수축율은 48.0, 53.8 및 61.3% 이었고, 고구마인 경우 각각 35.6, 41.3 및 45.0% 이었다. 따라서 상대습도 40%는 10%에 비해 무우는 13.3%, 고구마는 9.4% 더 많이 수축됨으로서 상대습도가 높을 수록 더 많이 수축되었다. 이와 같은 현상은 습도가 낮으면 표면만 약간 건조 경화해서 수분의 확산 저항이 증대하기 때문에 감률건조 후반에서는 건조속도가 다소 감소하며 수축속도도 적어져 그 결과 수축율이 적어진다고 생각된다<sup>(6)</sup>.

Table 3. Shrinking ratio and drying time ratio of radish and sweet potatoes at various relative humidities for reducing moisture content to 20%

Relative humidity (%)	Shrinking ratio(%)		Time ratio	
	Radish	Sweet potatoes	Radish	Sweet potatoes
10	48.0	35.6	1.0	1.0
25	53.6	41.3	1.2	1.3
40	61.3	45.0	1.9	1.8

Fig. 9는 상대습도의 변화에 따른 수축속도를 함수율에 대하여 나타낸 것이다. 항률건조 기간에서는 상대습도가 낮을 수록 수축속도가 빨랐으나 그 후의 상대습도가 높을 수록 수축속도가 빨랐다. 그리고 감률건조 2단계의 초기에 상당하는 점에서 수축속도는 최대였고 그 후는 점차 감소하여 평형수축에 도달되었다. 또한 무우의 경우 함수율 0.9g 이하에서, 고구마의 경우는 0.5g 이하에서 수축속도는 급격히 저하하였으며 이 단계는 감률건조 건조 2단계 b 영역에 해당되었고 이 기간에서의 상대습도는 수축속도에 큰 영향을 미치지 않았다.

Table 4는 풍속(0.4, 0.8, 1.2m/s)을 달리하여 건조하였을 경우 수축율과 건조시간비를 나타낸 것으로 무우 및 고구마 모두 풍속이 증가함에 따라 수축율은 다소 증가하였으나 풍속 1.2m/s는 0.4m/s에 비해 수축율의 증가량은 약 3~4% 정도로 큰 차이는 없었다. 이와 같은 현상은 본 실험에서 사용한 풍속의 변화폭이 적었기 때문인 것으로 생각된다.

한편, Fig. 10에 나타난 바와 같이 수축속도 구간은 4 단계로 구분되었으며 풍속이 증가할 수록 수축속도는 증가하였다. 건조속도에서 감률건조 2단계에서는 상대습도 및 풍속의 영향을 받지 않는다는 Brennan 등<sup>(9)</sup>의 보고와 같이 건조중 수축속도에 있어서도 감률건조 2단계 b

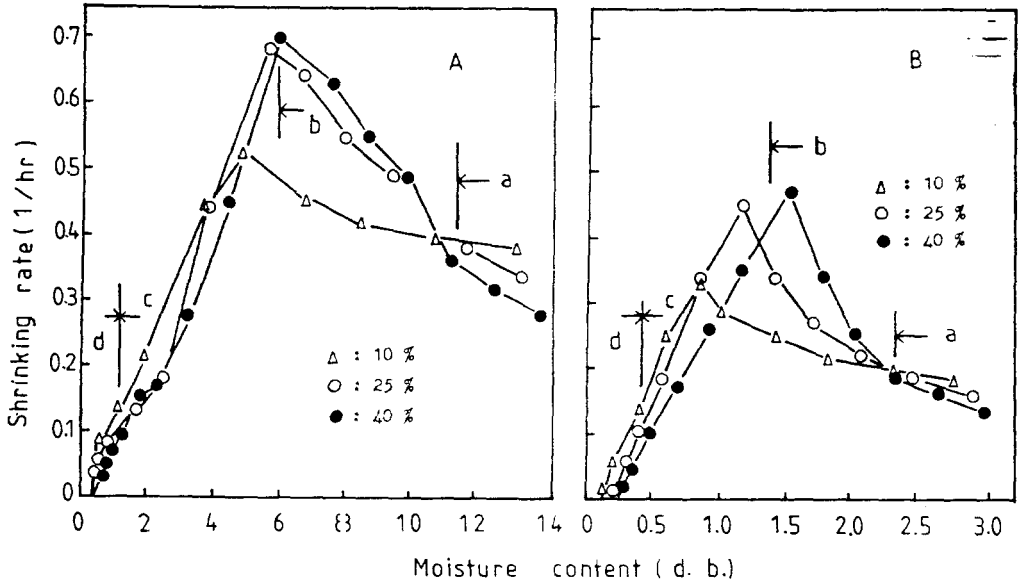


Fig. 9. Shrinkage rates of radish(A) and sweet potatoes(B) at different relative humidities. a, b, c and d; Refer to the comment in Fig. 6. (d=4mm, Ta=50°C, U=0.8m/s)

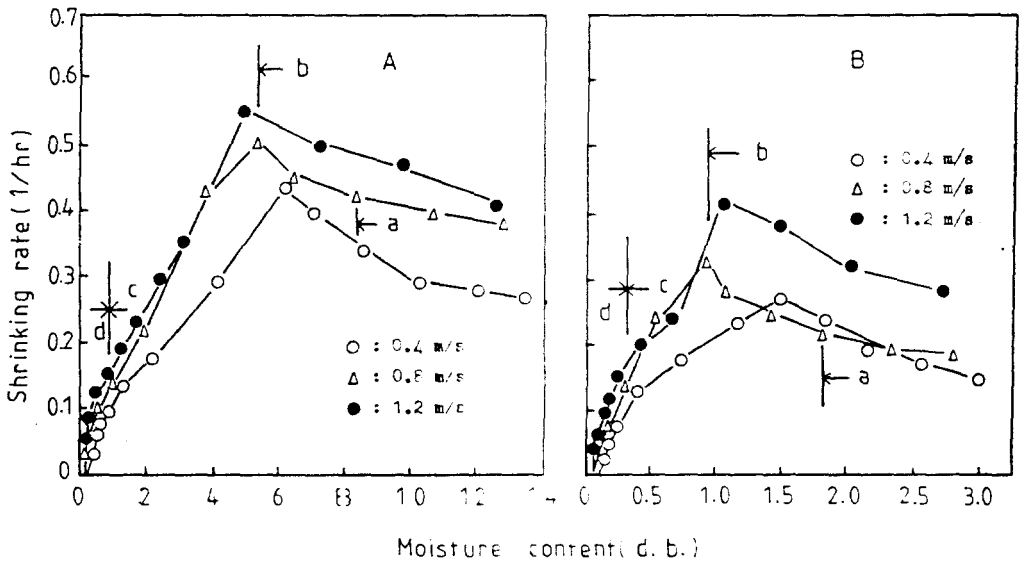


Fig. 10. Shrinkage rates of radish(A) and sweet potatoes(B) at different air velocities. a, b, c and d; Refer to the comment in Fig. 6. (d=4mm, Ta=50°C, RH=10%)

영역에서는 상대습도 및 풍속은 큰 영향을 미치지 못하였다.

이와 같이 수분함량이 많고 조직이 유연한 무우 및 고구마를 박편으로 만들어 열풍건조 했을 경우 시료의 두

께, 공기의 온도, 상대습도, 풍속 및 건조의 각 단계에 따라서 수축의 정도가 다르고 평형 함수율에 도달할 때까지 계속 수축이 일어남을 알 수 있었다.



Table 4. Shrinking ratio and drying time ratio of radish and sweet potatoes at various air velocities for reducing moisture content to 20%

Air velocity (m/s)	Shrinking ratio(%)		Time ratio	
	Radish	Sweet potatoes	Radish	Sweet potatoes
0.4	46.1	33.3	1.0	1.0
0.8	48.0	35.6	1.5	1.2
1.2	48.7	37.2	2.0	1.4

## 요 약

근채류를 열풍건조할 경우 수축변형 및 표면 경화현상을 일으켜 품질변화를 수반하게 되므로 본 연구에서는 온도, 상대습도 및 풍속을 조절할 수 있고 건조중의 시료크기 변화를 측정할 수 있는 실험실 규모의 건조장치를 제작하여 무우 및 고구마의 건조특성과 수축특성에 영향을 미치는 외부 요인들에 대해 조사하였다.

건조속도는 무우 및 고구마 모두 항률건조기, 감률건조기, 감률건조 2단계 a 및 b의 4단계로 구분되어 나타났다. 수축속도 곡선은 각각 건조속도에 대응하여 기울기가 다른 4단계로 나타났으며 항률건조 기간에서는 수축속도가 서서히 증가하다가 감률건조 1단계에서 급격히 증가하였고 감률건조 2단계의 초기에 상당하는 점에서 최대에 달하였다. 또한 시료의 두께, 상대습도 및 초기 함수율 등은 표면적 수축에 큰 영향을 미쳤고 시료의 두께가 얇을 수록, 그리고 상대습도 및 초기 함수율이 높을 수록 평형상태에서의 수축율은 증가하였다.

## 문 헌

1. Sherwood, T.K. : The drying of solids(I), (II). *Ind. Eng. Chem.*, 21(1), (10), 12, 976(1929)
2. 保坂秀明 : 食品工學入門, 化學工業社, 東京 144(1972)
3. Kamei, S. and Towei, R. : Studies on drying shrinkage. *J. Soc. Chem. Mach. Japan*, 16(11), 372(1952)
4. 木村進 : 體積收縮と表面硬化. 乾燥食品事典, 朝倉書店, 東京, 168(1984)
5. Shinohara, H. and Wada, M. : Air drying of sweet potatoes. *J. Soc. Chem. Eng. Japan*, 19(11), 568(1955)
6. Yokoya, K. : On the drying shrinkage of Miyabe. *J. Soc. Agr. Che. Japan*, 51(5), 281(1977)
7. 橋本健司, 大島浩 : 水産物の乾燥工程中の變化. 北水試月報, 28(5), 8(1971)
8. Yamazawa, S., Yoshizaki, S., Maekawa, T. and Sonobe K. : Studies on drying of agricultural products(II). *J. Soc. Agr. Mach. Japan*, 33(3), 279(1970)
9. Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D. and Lilly, A.E. : *Food engineering operations*. Applied science Pub. Ltd. London, 318(1976)
10. Kilpartrick, P.W., Lowe, E. and Van arsdel : Tunnel dehydrators for fruits and vegetables. *Advances in food research*, 6, 359(1955)

(1988년 11월 3일 접수)