

## 쌀보리의 유동층 건조 특성에 관한 연구

김희연 · 조덕제\* · 정계환\*\* · 허종화\*\*

국립보건원, \*동서공과대학교 식품공학과, \*\*경상대학교 식품공학과

### Drying Characteristics of Fluidized Bed Drying of Naked Barley

Hee-Yun Kim, Duk-Jae Cho\*, Gea-Hwan Chung\*\* and Jong-Wha Hur\*\*

National Institute of Health

\*Department of Food Science and Technology, Dongseo Engineering University

\*\*Department of Food Science and Technology, Gyeongsang National University

#### Abstract

The drying characteristics of fluidized bed drying with different drying conditions using naked barley were carried out. This fluidized drying mechanism of naked barley was consisted of consecutive two falling rate parts, first falling rate period and second falling rate period without showing constant rate period. The drying rate constant was increased with decreasing charged amount and relative humidity and increasing air temperature and air velocity. Since the drying rate constant expressed by Arrhenius type equation in the falling rate period showed good linearity, the falling rate period was considered as the controlling step. The activation energy of first falling step was 1,900 cal/gmol, while for second falling step the values showed 2,500 cal/gmol.

Key words: naked barley, drying characteristics, two falling rate parts, Arrhenius type equation, activation energy

## 서 론

보리는 우리나라에서 쌀 다음 가는 주곡으로서 널리 이용되고 있는 식량자원의 하나이며 그 품종은 여러가지 있으나 경남 및 전남지역에서 많이 생산되고 있는 것은 주로 쌀보리이다<sup>(1)</sup>. 수확직후의 고수분함량을 저수분함량으로 건조하여 미생물에 대한 부패를 방지하고 저장성을 높이기 때문에 우리나라에서는 옛날부터 곡류건조에 자연건조법을 많이 이용하였다. 그러나 자연건조법은 비능률적이고 비위생적이므로 생산효율의 향상을 위해서는 기계적인 인공건조법의 도입이 절실하다. 기계적 건조방법에 대한 곡류의 건조특성에 대해서는 최근에 연구가 진행되고 있다<sup>(2)</sup>. 일본에서는 1960년대부터 곡류의 인공건조법에 관한 실험으로 벼, 현미, 소맥 및 대두 등에 기계적 기초실험을 행하였다<sup>(3)</sup>. 그러나 보리의 기계적 건조특성에 대해서는 보고되어 있지 않다. 전형적인 고체입자의 건조는 재료예열기간, 항률건조기간 및 감률건조기간으로 행해지고 있으나, 곡류의 건조에서는 수확시의 고습수율 것을 저장하는 데 필요한 저습수율

까지 건조하는 데 필요한 건조기간은 거의 대개 감률건조기간으로 알려지고 있다<sup>(4)</sup>. 그래서 곡류건조의 경우에 그의 감률건조를 지배하는 기구나 요소를 안다는 것은 매우 중요하다. 감률건조는 고체중의 수분확산에 의해서 행해진다고 하여 Henderson과 Pabist<sup>(5)</sup>는 곡류의 건조 방정식을 확산의 방정식으로 나타내었다. 본 연구에서는 전보<sup>(6)</sup>와 같은 유동층건조기를 제작하여 쌀보리를 건조할 경우 품질과 능률면에서 우수한 인공건조법을 도입하기 위한 기초실험으로서 유동층 건조특성에 영향을 미치는 외적요인에 대해서 실험을 행하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

실험에서 사용된 시료는 경상남도 농촌진흥원 시험장에서 1990년에 재배한 쌀보리(새쌀보리)를 대상으로 실험하였다. 함수율은 평행상태에 도달한 시료를 저울병에 넣고 135±1°C 에서 24시간 dry oven에 건조시킨 후 데시케이터에서 30분 동안 방냉한 후 건조 중량을 측정하였다.

### 실험장치

본 실험에 사용한 유동층 건조장치는 전보<sup>(6)</sup>에서와

Corresponding author: Hee-Yun Kim, Masan Branch, National Institute of Health, San 1, Kapodong, Habpo-gu, Masan, Kyungnam 630-320, Korea

같은 장치로 건조용 공기, 가열온도 및 습도 등을 조절할 수 있도록 제작하였으며, 유동층 원통은 투명 아크릴 수지 파이프를 사용하였고 원통의 높이에 따라 6개의 열전대를 설치하여 디지털 온도계로서 유동층 내부의 온도를 측정하였다. 열선 풍속계(Anemometer, Kano-max, 24-6111)로 원통 상부의 풍속과 풍운을 측정하였다. 건습구 온도계를 부착하여 입구와 출구의 상대습도를 측정하였다. 무게 측정을 위해 proving ring과 스트레인 게이지를 장치하였고, 백금선을 이용해서 온도를 측정하였는데 온도와 무게의 자동 기록을 위해서 자체 제작한 접속회로를 이용하였다<sup>7)</sup>.

**확산 및 건조속도식**

Sherwood<sup>(8,9)</sup>는 열확산계수가 일정한 이상적인 경우에 평판교체 중의 수분변화와 시간과의 관계를 다음 식으로 나타내었다.

$$\frac{W - W_e}{W_c - W_e} = \frac{8}{\pi^2} \left\{ \exp\left[-D_v \left(\frac{\pi}{2d}\right)^2\right] + \frac{1}{9} \exp\left[-9D_v \left(\frac{\pi}{2d}\right)^2\right] + \dots \right\} \quad (1)$$

t가 큰 경우에는 다음과 같다.

$$t = -\frac{4d^2}{\pi^2 D_v} \left[ \ln \frac{W - W_e}{W_c - W_e} - \ln \frac{8}{\pi^2} \right] \quad (2)$$

윗 식은  $\frac{W - W_e}{W_c - W_e} < 0.6$ 에서 적용된다.

또한 함수율이 포화점이하 또는 평형수분 범위 내에 있을 때 균일 물질의 수분이동은 확산에 의하여 이루어진다. 이와 같은 현상기구는 고체내의 열전도와 비슷하며 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D_v \left( \frac{\partial^2 W}{\partial X^2} \right) \quad (3)$$

$$-D_v \left( \frac{\partial W}{\partial X} \right) = SK_o(W_s - W_e) \quad (4)$$

식 (3)은 고체내부의 확산에 관한 식이며, 식 (4)는 고체표면에서의 경계조건이다. 유동층이 박층으로 구성된다고 가정하면<sup>(10)</sup> 박층은 입자 집합체의 최소 단위이며, 박층의 두께는 단일 입자의 두께로 정의된다. 또한 박층에서의 건조가 감률건조 2단계 상태라고 가정하면 2단계에서 얻어지는 박층의 건조 방정식과 유동층내의 입자와 유체간의 열전달식에서 기초방정식이 성립된다. 유동층 건조법의 건조속도를 정량적으로 표현하기 위해 Henderson과 Pabist<sup>(6)</sup>는 박층의 건조에 있어서 충분한 시간이 경과한 건조방정식은 다음 식으로 표시하였다.

$$\frac{W_i - W_e}{W_o - W_e} = A e^{-kt} \quad (5)$$

**Table 1. Physical properties of drying air at atmospheric pressure**

T <sub>a</sub> (°C)	ρ <sub>g</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )	μ <sub>g</sub> ×10 <sup>-5</sup> (Kg/m.s)	C <sub>p</sub> (KJ/Kg.°K)	κ(W/m.°K)
25	1.1085	1.8461	1.0125	0.02545
35	1.1095	1.9803	1.0135	0.02615
45	1.0745	1.9319	1.0150	0.02685
55	1.0410	1.9711	1.0165	0.02755
65	1.0105	2.0153	1.0175	0.02825

초기에서는 W<sub>o</sub> 및 W<sub>i</sub>에 비하여 W<sub>e</sub>는 적으므로 (W<sub>i</sub>-W<sub>e</sub>)/(W<sub>o</sub>-W<sub>e</sub>)는 W<sub>i</sub>/W<sub>o</sub>로 표시할 수 있으므로 식 (5)는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{W_i}{W_o} = A e^{-kt} \quad (6)$$

식 (6)의 양변을 대수로 취하면

$$\ln \frac{W_i}{W_o} = \ln A - kt \quad (7)$$

로 된다.

상수 K는 식 (7)에서 좌변을 대수 눈금으로 표시하고 우변의 시간(t)을 보통 눈금으로 도시한 직선의 기울기에서 구할 수 있다. 감률건조 단계는 수분의 확산율속이며, 수분확산은 활성화 과정으로 생각할 수 있으므로 건조속도는 Arrhenius형의 관계식으로 표시할 수 있다.

$$\ln K = -\frac{E_a}{RT} + \ln A \quad (8)$$

여기서 E<sub>a</sub>는 활성화에너지를 나타낸다.

식 (8)은 lnK와 1/T를 반대수 방안에 표시하면 직선으로 나타나고, 이 직선의 기울기로부터 활성화에너지를 구할 수 있다.

$$\text{Slope} = -\frac{E_a}{R} \quad (9)$$

**건조조건**

시료는 20°C의 수온에 10시간 침지한 후 꺼내어 표면수분을 제거한 후 읍지에서 30분간 방냉하여 초기수분을 일정하게 하였다. 이렇게 한 시료를 Table 1<sup>(11,12)</sup>의 물성치를 갖는 열풍을 거쳐 공기온도 35°C, 45°C 및 55°C로, 시료 충전량은 전보<sup>(6)</sup>와 동일하게 하고 공기의 유속은 1.5 m/s, 2.0 m/s 및 3.0 m/s, 상대습도는 20%, 30% 및 40%로 각각 변화시키면서 건조하였다.

**건조속도 상수**

시간에 따른 수분함량과의 관계를 건조곡선으로 나타내고, 이 건조곡선에서 Shirai식<sup>(13)</sup>을 이용하여 건조속도 상수를 구하였다. 즉  $\ln W_i/W_o = -kt$  관계에서 Y축에

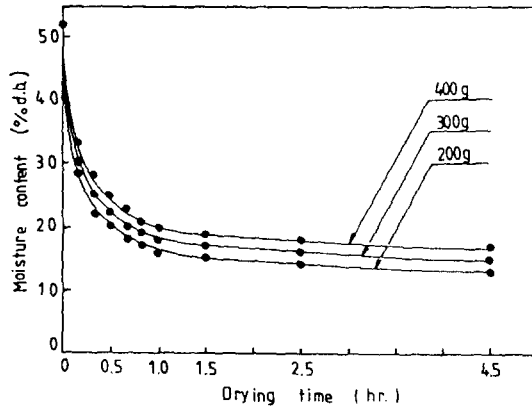


Fig. 1. Moisture content vs. drying time at various charged amount for fluidized bed of naked barley ( $U_0=3.0$  m/s, RH=30%,  $T_a=35^\circ\text{C}$ )

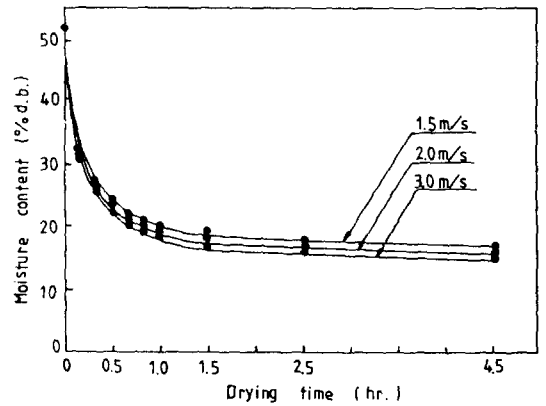


Fig. 3. Moisture content vs. drying time at various air velocity for fluidized bed of naked barley (RH=30%,  $T_a=35^\circ\text{C}$ ,  $\bar{W}_b=300\text{g}$ )

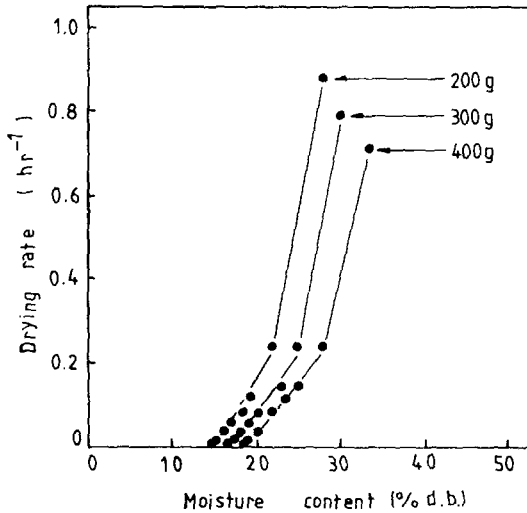


Fig. 2. Drying rate vs. moisture content at various charged amount for fluidized bed of naked barley. ( $U_0=3.0$  m/s, RH=30%,  $T_a=35^\circ\text{C}$ )

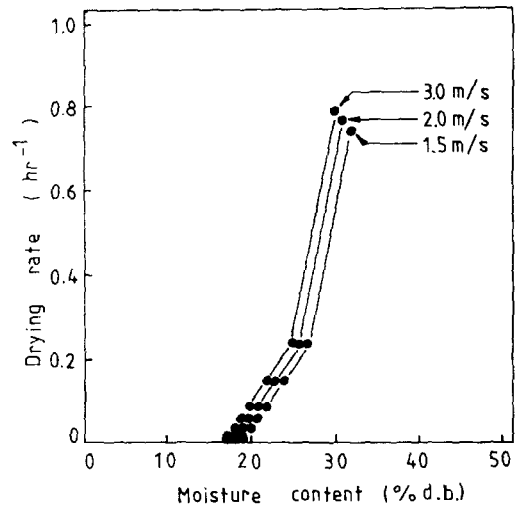


Fig. 4. Drying rate vs. moisture content at various air velocity for fluidized bed of naked barley (RH=30%,  $T_a=35^\circ\text{C}$ ,  $\bar{W}_b=300\text{g}$ )

$\ln W/W_0$ , X축에 t를 반대수 방안에 plot하여 그 기울기에서 건조속도상수를 구하였다. 또 건조속도 곡선은 건조곡선에서 도식 미분법<sup>(14,15)</sup>을 사용하여 함수율로서 나타내었다.

### 결과 및 고찰

#### 충전량의 영향

공기의 온도, 속도 및 상대습도를 각각  $35^\circ\text{C}$ , 3.0 m/s 및 30%로 고정하고 충전량을 200g, 300g 및 400g으로 변화시킨 경우의 건조시간에 따른 수분함량의 변화를 Fig. 1에 표시하였다. Fig. 1에서 보면 충전량이 많을수록

수분함량의 감소가 적게 나타났으나 큰 차이는 없었다. 이것은 일단 유동화된 입자가 부유되는 상태이므로 난류에 의한 열전달 계수 및 온도분포가 거의 같아지기 때문이다. 허와 서<sup>(2)</sup>, Park<sup>(16)</sup>도 벼와 팥에 대한 연구에서 비슷한 보고를 하였다. Fig. 2는 건조속도를 수분함량에 따라 plot한 결과이며, 항류건조기가 없이 감률건조 1단계 및 감률건조 2단계로 진행됨을 나타내고 있다. 이것은 Hosokawa와 Motohashi<sup>(17)</sup>의 소맥의 건조 특성에서 일반적으로 항류건조기가 존재하지 않는다는 보고와 일치하고 있다.

#### 공기속도의 영향

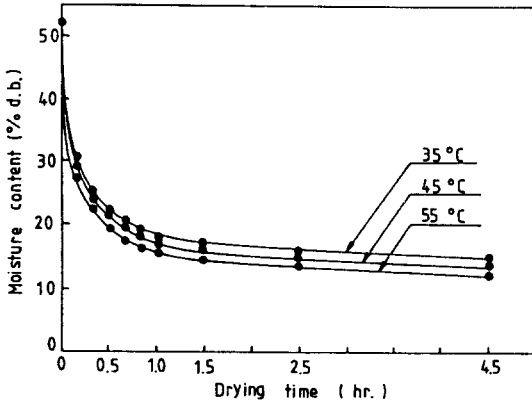


Fig. 5. Moisture content vs. drying time at various air temperature for fluidized bed of naked barley ( $\bar{W}_b=300g, U_o=3.0 \text{ m/s}, RH=30\%$ )

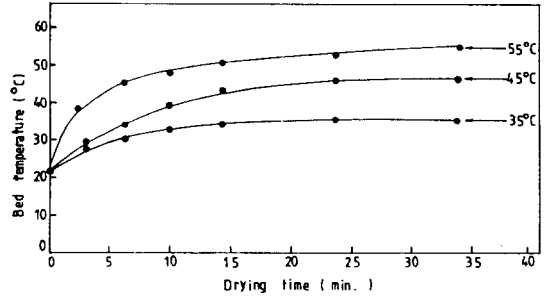


Fig. 7. Bed temperature vs. drying time at various inlet air temperature for fluidized bed of naked barley ( $\bar{W}_b=300g, U_o=3.0 \text{ m/s}, RH=30\%$ )

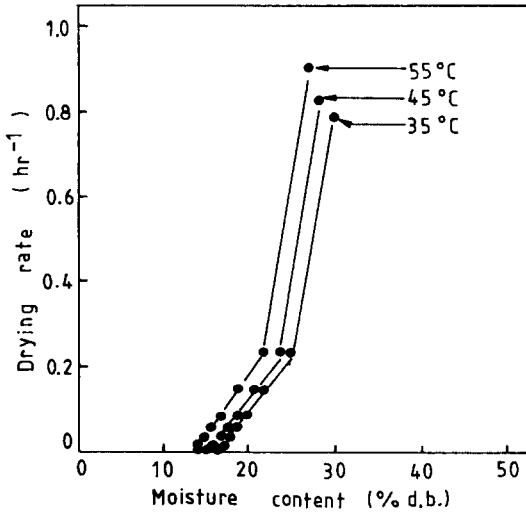


Fig. 6. Drying rate vs. moisture content at various air temperature for fluidized bed of naked barley ( $\bar{W}_b=300g, U_o=3.0 \text{ m/s}, RH=30\%$ )

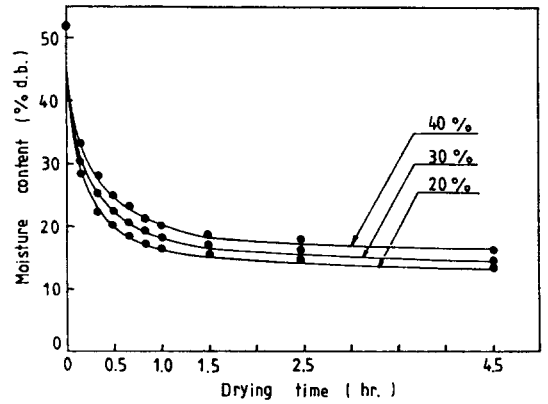


Fig. 8. Moisture content vs. drying time at various relative humidity for fluidized bed of naked barley ( $\bar{W}_b=300g, U_o=3.0 \text{ m/s}, RH=35\%$ )

충전량, 공기의 온도 및 상대습도를 각각 300g, 35°C 및 30%로 고정하고 공기속도를 1.5 m/s, 2.0 m/s 및 3.0 m/s로 변화시킨 경우의 건조시간에 따른 수분함량의 변화 및 수분함량에 따른 건조속도를 Fig. 3과 4에 각각 나타내었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 공기속도에 따른 수분함량의 감소에는 큰 차이가 없었다. Tojo와 Okamura<sup>(18)</sup>는 대두의 유동층 건조 특성에서 공기속도를 0.6~1.65 m/s로 변화시키면서 건조속도를 측정 한 결과 큰 차이가 없었다고 보고하였다.

Fig. 4를 보면 항률건조기가 없이 바로 감률건조 1단계 및 2단계로 진행되며, 감률건조 1단계에서는 건조속도가 빠르나 감률건조 2단계에서는 건조속도가 완만함을 나

타내었으며 또 수분함량에 따른 건조속도에 미치는 공기속도의 영향은 거의 없었다. 이와 같은 현상은 건조 후반기의 건조속도는 공기속도와 같은 외부조건보다는 고체내부의 수분이동조건에 지배<sup>(19)</sup>되기 때문이라고 생각된다.

#### 공기온도의 영향

충전량 300g, 공기속도 3.0 m/s 및 상대습도 30%로 고정하고 입구의 공기온도를 35°C, 45°C 및 55°C로 변화시킬 때 시간에 대한 수분함량, 수분함량에 대한 건조속도 및 층내 온도변화를 Fig. 5, 6 및 7에 각각 표시하였다.

Fig. 5는 건조곡선으로 수분함량 16%(건물기준)까지 감소시키는데 유입공기 35°C, 45°C 및 55°C에서 각각 150분, 90분 및 50분이 소요되었다. 그러나 온도가 높으면 건조는 빠르나 보리가 갈라지는 현상을 관찰할 수 있었고 또한 영양분의 파괴가 예상됨으로 공기의 온도는 35°C가 적합할 것으로 생각된다. Iwamoto와 Chuma<sup>(3)</sup>는 곡류의 유동층건조에서 40°C 이상의 온도에서는 평균건

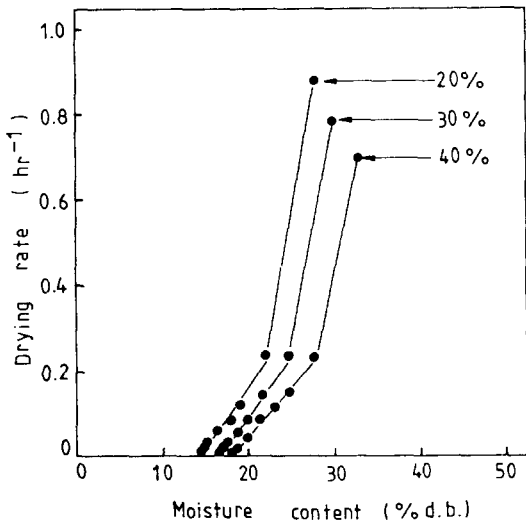


Fig. 9. Drying rate vs. moisture content at various relative humidity for fluidized bed of naked barley ( $\bar{W}_b=300g, U_o=3.0 \text{ m/s}, T_a=35^\circ\text{C}$ )

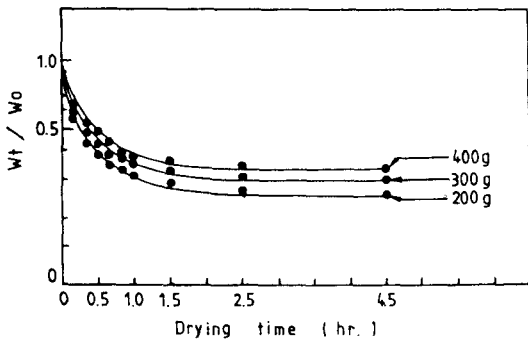


Fig. 10. In  $W_t/W_o$  vs. drying time at various charged amount for fluidized bed of naked barley ( $T_a=35^\circ\text{C}, U_o=3.0 \text{ m/s}, \text{RH}=30\%$ )

조속도가 3%/hr 정도로 크지만 동할미가 많이 생기기 때문에 온도가 가급적 낮은 30°C 정도에서 건조하면 건조속도는 2.57%/hr로 되고 동할률도 5% 이하로 억제시킬 수 있다고 보고하였다. Fig. 6은 유입공기온도에 따른 수분함량에 대한 건조속도를 표시한 것으로 항률 건조기가 없이 감율건조 1단계 및 2단계로 구분되었는데 이와 같은 현상은 밀의 유동층건조<sup>(17)</sup>에서도 비슷한 경향을 나타내었다.

Fig. 7은 유동층 내부공기의 시간에 따른 온도변화를 나타낸 것으로 건조초기부터 유동층 내부공기가 증가함을 볼 수 있는데 이것은 표면수분증발인 항률건조기가 매우 짧고 건조초기부터 입자내 수분확산인 감율건조기가 진행됨을 나타내고 있는데, 허와 서<sup>(2)</sup>의 벼의 유동층 건조에 관한 실험 결과에서도 같은 양상으로 나타난다고

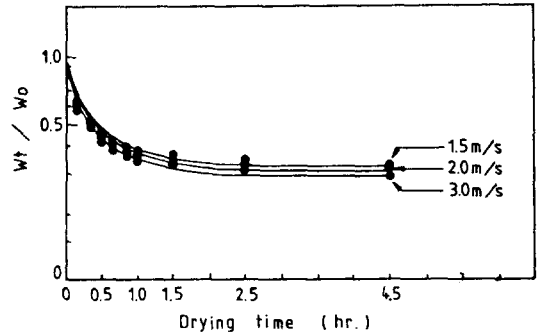


Fig. 11. In  $W_t/W_o$  vs. drying time at various air velocity for fluidized bed of naked barley ( $T_a=35^\circ\text{C}, \text{RH}=30\%, \bar{W}_b=300g$ )

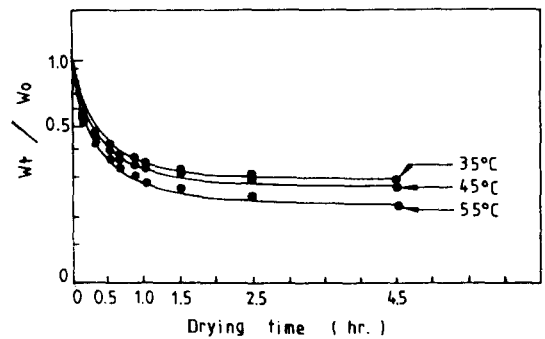


Fig. 12. In  $W_t/W_o$  vs. drying time at various air temperature for fluidized bed of naked barley ( $\text{RH}=30\%, \bar{W}_b=300g, U_o=3.0 \text{ m/s}$ )

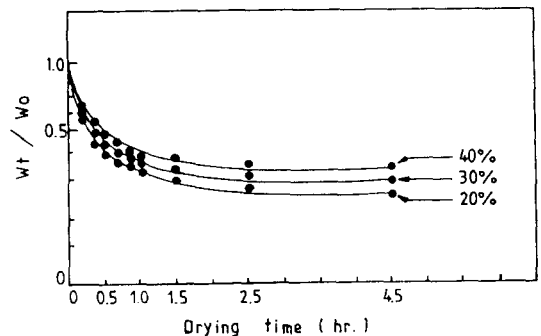


Fig. 13. In  $W_t/W_o$  vs. drying time at various relative humidity for fluidized bed of naked barley ( $T_a=35^\circ\text{C}, \bar{W}_b=300g, U_o=3.0 \text{ m/s}$ )

보고하였다.

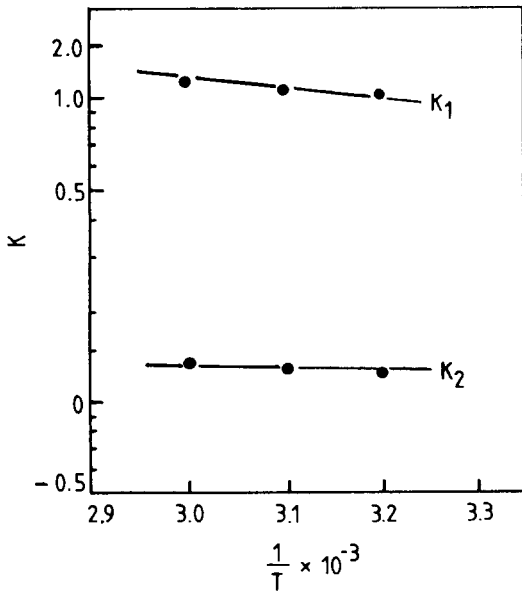
#### 상대습도의 영향

충전량 300g, 공기온도 35°C 및 공기속도 3.0 m/s로 고정하고 유입공기의 상대습도를 20%, 30% 및 40%로

**Table 2. Drying rate constant of naked barley (hr<sup>-1</sup>)**

Drying variables	Drying constants	Drying constants	
		k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
Charged amount (g) <sup>a)</sup>	200	1.171	0.061
	300	1.049	0.053
	400	0.967	0.040
Air velocity (m/s) <sup>b)</sup>	1.5	0.967	0.040
	2.0	0.994	0.050
	3.0	1.049	0.053
Air temperature (°C) <sup>c)</sup>	35	1.049	0.053
	45	1.108	0.057
	55	1.273	0.068
Relative humidity (%) <sup>d)</sup>	20	1.171	0.061
	30	1.049	0.053
	40	0.967	0.040

<sup>a)</sup>U<sub>o</sub>=3.0 m/s, T<sub>a</sub>=35°C, RH=30%, <sup>b)</sup>W<sub>b</sub>=300g, T<sub>a</sub>=35°C, RH=30%, <sup>c)</sup>W<sub>b</sub>=300g, U<sub>o</sub>=3.0 m/s, RH=30%, <sup>d)</sup>W<sub>b</sub>=300g, U<sub>o</sub>=3.0 m/s, T<sub>a</sub>=35°C



**Fig. 14. In K vs. inverse of temperature on drying rate constant (K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>) of naked barley (W<sub>b</sub>=300g, U<sub>o</sub>=3.0 m/s, RH=30%)**

변화시켰을 때 시간에 대한 수분함량 및 수분함량에 대한 건조속도를 Fig. 8과 9에 각각 표시하였다. Fig. 8 및 9에서 보는 바와 같이 상대습도를 변화시킨 결과 건조 속도에는 큰 변화가 없었으나 평형함수율은 상대습도가 낮을수록 낮은 경향을 나타내었다.

**건조속도상수**

건조속도 상수는 편의상 2구간, 즉 감률건조 1단계(k<sub>1</sub>),

감률건조 2단계(k<sub>2</sub>)로 나누어 측정하였다. 건조시간에 따른 건조속도상수를 구하기 위해서 Shirai식<sup>(13)</sup>을 사용하여 반대수 방안에 Plot한 결과를 Fig. 10~13에 나타내었고, 측정된 건조속도상수를 Table 2에 나타내었다. 여기서 보면 건조속도상수는 총전량이 적을수록, 공기 속도가 클수록, 공기온도가 높을수록, 상대습도가 낮을수록 증가하였으며 또한 감률건조 1단계가 감률건조 2단계보다 높은 값을 나타내었다.

**건조속도상수의 온도의존성**

앞에서 구한 건조속도상수를 Arrhenius형의 방정식을 이용하여 plot한 결과를 Fig. 14에 표시하였으며, 그림에서 보는 바와 같이 직선관계를 잘 만족한다. 따라서 감률건조는 활성화 과정임을 알 수 있으며 이것은 감률건조 제 1단계 및 제 2단계가 확산속단계임을 입증하고 있다. 이 직선의 기울기로부터 구한 활성화 에너지는 감률건조 제 1단계 및 제 2단계에서 각각 1900 cal/gmol, 2500 cal/gmol이었다.

**요 약**

쌀보리를 시료로 하여 건조조건을 다르게 하여 유동층 건조특성에 영향을 미치는 외부요인에 대해서 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다. 쌀보리의 유동층건조는 항률건조기가 없이 감률건조 1단계, 감률건조 2단계의 두 단계로 일어남을 알 수 있었다. 또한 건조속도상수는 총전량이 적을수록, 공기속도가 클수록, 공기온도가 높을수록, 상대습도가 낮을수록 컸으며, 감률건조단계에서의 건조속도상수는 Arrhenius형의 plot에서 좋은 직선관계를 나타내어 이 단계가 활성화 과정임을 알 수 있으며, 감률건조 제 1단계의 활성화 에너지는 1900 cal/gmol, 감률건조 제 2단계의 활성화 에너지는 2500 cal/gmol을 각각 나타내었다.

**Nomenclature**

- A : constant (-)
- C<sub>p</sub> : specific heat (kJ/kg°K)
- D<sub>v</sub> : diffusivity of water vapor (m<sup>2</sup>/min.)
- d : thickness of slab (m)
- d.b. : dry basis (-)
- E<sub>a</sub> : activation energy (cal/gmol)
- K, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> : drying rate constant (1/hr)
- K<sub>o</sub> : mass transfer coefficient (kg/m<sup>2</sup>hr)
- κ : thermal conductivity of air (W/m, hr)
- R : gas constant (cal/mol, °K)
- RH : relative humidity (%)
- S : surface area (m<sup>2</sup>)
- T : absolute temperature (°K)
- T<sub>a</sub> : air temperature (°C)

- t : time (hr)  
 $U_o$  : air velocity in fluidized bed (m/s)  
 $W$  : moisture content of dry basis of barley (-)  
 $W_c$  : critical moisture content (-)  
 $W_e$  : equilibrium moisture content (-)  
 $W_o$  : initial moisture content (-)  
 $W_s$  : moisture content at the surface (-)  
 $W_t$  : equilibrium moisture content at a drying time (-)  
 $\bar{W}_b$  : charged amount (kg)  
 $X$  : distance from centre of eligible dried substance (m)  
 $\mu_g$  : viscosity of gas (kg/m, s)  
 $\rho_g$  : fluid density (kg/m<sup>3</sup>)

### 감사의 글

본 보의 대요는 한국식품과학회 영남지부 학술발표대회(1991. 6)에서 발표하였다.

### 문헌

1. 농림수산통계연보 : 농수산부, p.77(1991)
2. 허종화, 서길덕 : 곡류의 유동층건조에 관한 연구. 공기조화 냉동공학, 13, 168(1984)
3. Iwamoto, M. and Chuma, Y.: Study on a fluidized bed drying of cereal grains. *J. Soc. Agr. Mach. Japan*, 32, 322(1971)
4. Chuma, Y., Murata, S. and Iwamoto, M.: Measuring the moisture diffusion coefficient of some grains of an anomalous shapes. *J. Agr. Engng. Res.* 31, 250 (1970)
5. Henderson, S.M. and Pabist, S.: Grain drying theory-1. *J. Agr. Engng. Res.* 6, 169(1961)
6. 김희연, 허종화, 조덕제 : 쌀보리와 겉보리의 유동층 건조에서의 유동화 연구. 한국식품과학회지, 24, 414(1992)
7. 김희연, 허종화, 서재신 : 보리의 유동층 건조 특성에 관한 연구, 1. 유동층 건조장치의 자동 제어시스템. 냉동공조공학회지, 8, 37(1989)
8. Sherwood, T.K.: The drying of solids-I, II. *Ind. Eng. Chem.* 21, 12, 976(1929)
9. Sherwood, T.K.: Application of theoretical diffusion equations to the drying of solids. *Trans. AIChE.* 27, 190(1931)
10. 村田敏 : Schumann의 式의 展開と その農産物冷却に關する 2, 3 の應用. 九大農學會誌, 27, 247, 257(1973)
11. Heldman, D.R. and Singh, R.P.: *Food process engineering*. 2nd. ed. AVI. 397(1981)
12. Robert, C.W.: *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC Press Inc. F-11, F-58(1979)
13. Shirai, T.: *Fluidized beds*. Kagaku-gijutsu-sha. 68(1958)
14. Saravacos, G.D. and Charm, S.E.: A study of the mechanism of fruit and vegetable dehydration. *Food Tech.* 16, 78(1962)
15. Yu, J.U., Yang, H.C., Jung, T.H. and Yang, R.: *Experiments in food science and engineering*, Vol. II. Tamgudang, 17(1977)
16. Park, K.S.: *Fluidized bed drying of adzuki bean*. Graduate school Gyeongsang National University, (1983)
17. Hosokawa, A. and Motohashi, K.: Drying characteristics of a single grain of rough rice. *J. Soc. Agr. Mach. Japan*, 33, 53(1971)
18. Tojo, M. and Okamura, T.: A study of drying of soybean-III. *J. Soc. Agr. Mach. Japan*, 29, 209(1967)
19. Brennan, J.G., Butters, T.R., Cowell, N.D. and Lilly, A.E.V.: *Food engineering operations*. 2nd. ed. Applied science pub., London, England, 313(1976)

(1993년 8월 17일 접수)