

농산물의 유동층 건조특성 연구 - 파 및 양파의 유동층 건조특성 -

이귀현

Study on the Drying Characteristics of Agricultural Products During Fluidized Bed Drying - Drying Characteristics of Green Onion and Onion During Fluidized Bed Drying -

G. H. Lee

Abstract

Drying characteristics of green onion and onion during fluidized and fixed bed drying were investigated and compared. Sliced green onion and onion were dried at drying air temperature of 45, 55, and 65°C. Drying air velocity during fluidized bed drying was adjusted with drying time at each drying temperature. Drying time to reach a given final moisture content was shorten in fluidized bed drying than in fixed bed drying - for drying temperature of 45, 55, and 65°C, the differences were 60, 60, and 50 min for green onion and 360, 180, and 60 min for onion. Drying constant (K) was greatly affected by drying method and drying temperature. Terminal velocity under fluidized bed drying was decreased exponentially for green onion and linearly for onion with increase of drying temperature. Also, terminal velocity had linear relationship with moisture content for both green onion and onion.

Keywords : Fluidized bed drying, Fixed bed drying, Drying characteristics, Green onion, Onion

1. 서 론

경제발전과 함께 국민 소득이 향상되고 식생활 패턴이 급속하게 변화함에 따라 농산물에 대한 기호도 양보다 질을 추구하게 되는 경향이 짙어지고 있다. 1970년대까지만 해도 식량증산에만 집중되었던 농업정책이 이제는 고소득, 고품질 농산물 생산정책으로 탈바꿈하였으며, UR타결 및 세계무역기구의 설립 등의 급박한 세계정세 속에서 살아남기 위해 경쟁력 있는 우수한 작목 육성 및 고품질 농산물 생산에 온 힘을 기울이고 있으며, 농산물의 품질을 중시하는 성향 또한 강해지고 있다. 특히 농산물의 이용은 1차적인 생산물을 그대로 이용하던 방식에서 한 걸음 더 나아가 가공하여 부가가치를 향

상시키는 방향으로 나아가고 있다.

현대인들은 바쁜 일상으로 인해 간편한 인스턴트식품을 즐겨먹게 된다. 단시간에 손쉽게 조리할 수 있고, 저장이나 보존도 간단하며, 수송 및 휴대에 편리한 식품으로 인스턴트 수프가 포함된 즉석 면(라면 등)이 좋은 예이다. 전통적으로 파 및 양파는 생채로 양념으로 이용되어 왔으며, 저장기간의 연장 및 연중 사용을 위해 건조하거나, 작게 잘라 건조한 후 라면 같은 인스턴트식품의 양념으로 사용하기도 한다. 마늘(Madamba et al., 1996), 양파(Sarsavadia et al., 1999), 파(Krokida et al., 2003), 흥고추(Akpınar et al., 2003) 등 양념류 대부분은 고정층의 열풍건조에 의해 이루어지지만, 영양분의 손실을 줄이고 건조속도를 증진시키기 위해 낮은 온도에서 고체

This article was conducted by the research fund supported by Kangwon National University. This article was submitted for publication in July 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in September 2006. The corresponding author is G. H. Lee, KSAM member, Associate Professor, Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea; Fax: +82-33-6495; E-mail: <ghlee@kangwon.ac.kr>.

식품을 유동화 시켜 건조하는 유동층 건조가 매우 효과적이다.

유동화는 유동층 장치에 공기를 송풍하여 항력에 의해 분립체를 부유시켜 열 및 물질을 전달하는 공정이다. 유동화기술은 물질전달 및 열전달을 급속히 증가시킨다는 이점 때문에 건조, 제련 및 석유화학공업 등에서 널리 이용되고 있으며, 특히 식품공업분야의 건조공정과 동결공정에서 그 응용의 필요성이 크게 증대되고 있다(Davidson and Harrison, 1971). 이러한 유동화 건조장치는 공기와 피건조물이 완전 혼합으로 흐르기 때문에 피건조물 주위의 경계층이 매우 작거나 최소화되어 열 및 물질전달이 빠르고, 층 내 전체의 온도분포가 균일한 큰 이점을 갖고 있다(Izadifar and Mowla, 2003; Senadeera et al., 2003). 특히 유동층건조는 분립체 재료를 건조하는데 매우 효과적이며, 제분 및 제약공업에서 유동층건조가 이용되고 있다. 또한 불루베리(Kim and Toledo, 1987), 흥차(Temple and van Boxtel, 1999), 감자(Ravindra and Chattopadhyay, 2000), 당근(Hatamipour and Mowla, 2002), 옥수수 및 완두콩(Hatamipour and Mowla, 2003) 등 일부 농산물의 유동층건조 특성이 연구된 바 있으나, 본 연구에서 수행하고자 하는 과 및 양파에 대한 유동층건조 특성분석은 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 인스턴트식품의 수프로 많이 이용되고 있는 과 및 양파의 건조조건에 따른 유동층 건조특성을 분석하였고, 이를 고정층 건조특성과 비교하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료 및 방법

실험에서 사용된 과 및 양파시료는 대형 마켓에서 구입하여 사용하였다. 실험에 사용된 시료는 표피를 벗기고 일정부위(과: 줄기부분, 양파: 중간부분)를 작게 잘라 실험에 사용하였다. 과는 1 cm 높이의 원통형 형태로 썰어 실험에 사용하였으며, 양파는 가로, 세로 각각 1.5 cm의 정사각형 형태로 썰어 실험에 사용하였다. 건조에 사용된 시료는 약 50 g이었으며, 건조 전 건조실 내의 시료 퇴적고는 약 1 cm였으나, 건조 후의 퇴적고는 약 0.7 cm로 낮아졌다. 건조실험은 각 건조 조건마다 3회 반복 수행하였다.

시료의 초기함수율은 30 g의 과 및 양파 시료를 105°C의 오븐에 24시간 건조한 후 데시케이터에 둔 다음 건조 중량을 측정하여 계산하였으며, 과 및 양파의 초기함수율은 각각 91.3%(wb), 91.2%(wb)로 거의 같게 나타났다.

건조실험은 시료를 유동층 상태와 시료 개개가 한 층으로 시료대 표면에 놓이도록 하여 박층의 고정층 상태로 유지하면서 두 가지 방법으로 수행하였다. 건조실의 공기온도는 45°C,

55°C, 65°C에서 실험을 수행하였다. 유동층건조에 있어서 건조 중 변화되는 시료의 무게에 따라 시료가 건조실내에서 지속적으로 유동상태를 유지할 수 있도록 송풍기의 풍량 조절기를 이용해 공기의 유속을 감소시키면서 종말속도로 조절해주었으며, 이때 건조실내의 종말속도는 열선풍속계(Model 24-6111, Kanomax, Japan)를 사용하여 측정하였다. 예비실험에 의해 시료의 부유 없이 고정층으로 건조할 수 있는 공기의 최대 유속이 1.65 m/s로 나타났으며, 따라서 고정층 건조의 경우 건조실의 공기유속을 1.65 m/s로 일정하게 유지하여 건조 중 시료의 유동이 발생하지 않게 하였다. 각각의 과 및 양파 시료에 대해 건조온도별(45°C, 55°C, 65°C)로 유동층과 고정층 상태로 건조실험을 수행하였다.

각 건조 실험동안 일정한 시간 간격으로 시료의 무게변화를 측정하기위해 송풍기를 일시 정지시키고 건조실내의 시료를 포함한 시료대를 꺼내어 0.001 g의 정확도를 갖는 전자저울(FA-300KV, A & D Co., Japan)을 사용하여 건조시간에 따른 시료의 무게변화를 측정하였다. 각 시료의 무게 측정 및 건조실 내로 시료대의 재설치 시간은 10초 이내로 이루어져 실험오차를 최소화하였다. 여기서 측정된 시료의 무게는 건조시간에 대한 시료의 MR(Moisture Ratio)을 계산하는데 사용하였고, 회귀분석을 통해 건조방정식의 형상계수(A)와 건조상수(K)값을 구하였다.

나. 건조모델

감율건조기간의 건조속도는 피건조물의 함수율과 건조공기에 대한 평형함수율의 차에 비례한다고 가정한 Newton의 냉각법칙을 상사시킨 다음과 같은 박층건조방정식이 사용될 수 있다.

$$\frac{dM}{dt} = -K(M - M_e)$$

여기서, K = 건조상수(hr^{-1})이며, 과일과 채소의 건조에 있어 Saravacos와 Charm(1962)에 의해 사용된 위 식의 해는 다음과 같다.

$$MR = [(M - M_e) / (M_0 - M_e)] = \exp(-Kt) \quad (1)$$

여기서, MR = 함수율비이며, 식 (1)의 수정된 형태인 반실험적 관계식은 다음과 같다(Henderson and Perry, 1976).

$$MR = [(M - M_e) / (M_0 - M_e)] = A \exp(-Kt) \quad (2)$$

여기서, A = 상수

특별한 건조조건하에서 건조상수 K와 상수 A가 회귀분석에 의해 얻어질 수 있으며, 얻어진 상수 값은 연구된 시료의

수분함량 범위에서 평균건조 특성을 설명하는데 사용될 수 있을 것이다.

다. 종말속도

종말속도(terminal velocity)는 부유속도(suspension velocity)라고도 하며, 어떤 물체가 자유낙하 할 때 물체의 항력과 물체의 순수한 중력이 같게 되는 순간의 물체의 낙하속도로 정의된다. 유동층건조에서 건조시간이 경과함과 함께 피건조물의 무게가 감소함에 따라 종말속도(부유속도)도 감소하게 된다. 본 연구에서는 전체 시료층이 적어도 20 cm 이상 건조실내에 떠 있는 상태의 공기속도를 종말속도로 정의하였으며, 파 및 양파의 유동층건조시 각 건조온도에서 건조시간에 따른 종말속도의 변화를 분석하였다.

라. 실험장치

파 및 양파의 건조실험에 사용된 건조장치는 풍량 및 건조온도를 제어할 수 있도록 제작된 유동층 건조장치를 사용하였다(그림 1). 건조장치의 건조실내 공기 유속은 송풍기의 풍량조기에 의해 0~30 m/s의 범위에서 풍속조절이 가능하도록 하였고, 공기 가열기(heater)는 건조실의 온도를 최고 80°C까지 유지 할 수 있게 제작하였다. 유동층 건조장치에서 송풍기(fan)에 의해 적정 유량의 공기는 가열기(heater)로 공급되고, 가열기에 의해 적정온도로 가열된 공기는 수직 유동층 건조실을 통과한 후 외부로 배출되도록 하였다. 유동층 건조실은 시료의 유동상태를 확인하기 위하여 길이 1 m, 안지름 8 cm, 두께 1 cm의 투명 아크릴 수지 파이프로 제작하였다. 건조실의 공기온도를 확인하기 위해 열전대를 유동층 건조실의 입구 및 내부 두 곳에 설치하여 자료수집장치(TempScan/1100, IOtech Inc., USA)에

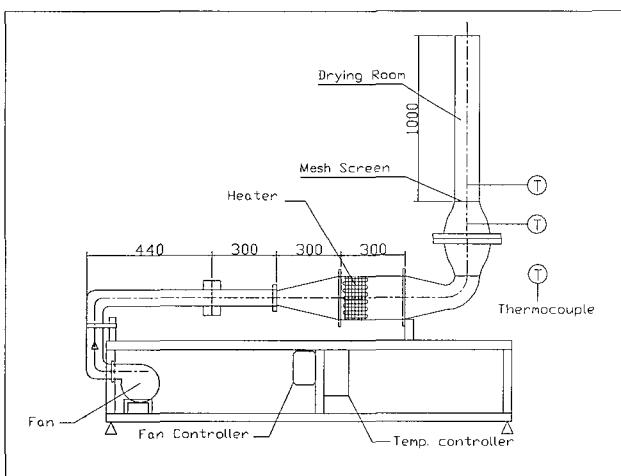


Fig. 1 An experimental apparatus for fluidized bed drying.

의해 유동층 건조실의 온도를 실시간 측정하였다. 예비실험 결과 건조실 내부에서의 위치에 따른 공기온도 및 공기유속의 변화는 크지 않았으며, 건조실의 공기온도 및 유량은 가열기와 송풍기의 컨트롤러를 이용하여 실험조건에 맞게 조절하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 건조곡선

건조온도 45, 55, 65°C에서 파 및 양파의 유동층과 고정층 건조곡선을 각각 그림 2, 3, 4와 그림 5, 6, 7에 나타내었다. 예비

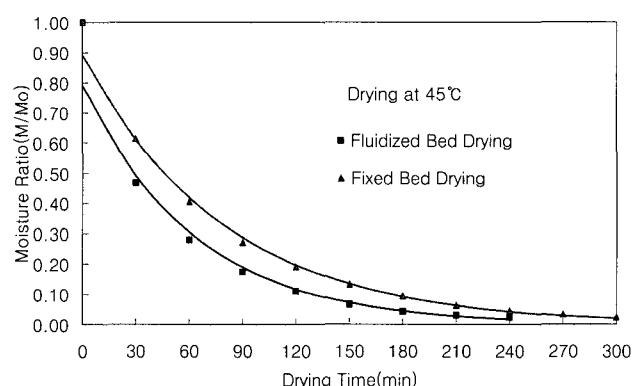


Fig. 2 Drying curve for green onion at drying temperature of 45°C.

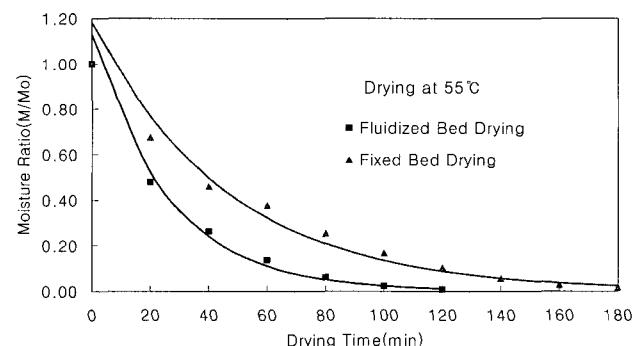


Fig. 3 Drying curve for green onion at drying temperature of 55°C.

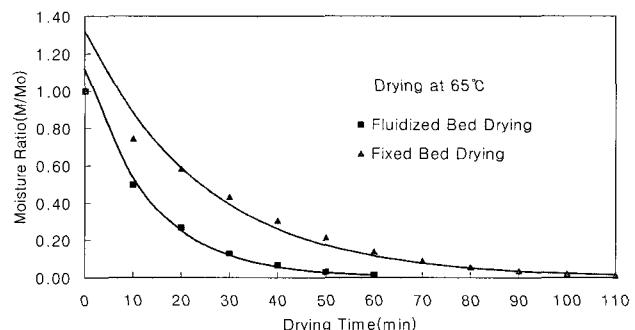


Fig. 4 Drying curve for green onion at drying temperature of 65°C.

실험결과 상대습도 약 25~35%에서 각 건조온도 45°C, 55°C, 65°C에 대해 파 및 양파의 평형함수율은 대략 9~11%(db), 7~9%(db), 6~8%(db) 및 10~12%(db), 8~10%(db), 7~9%(db)로 나타났다. 따라서 유동층 및 고정층 건조의 모든 건조온도에서 M_e (평형함수율, % db)는 매우 작기 때문에 함수율비(MR)의 계산에 있어 $M_e = 0$ 으로 고려하였다. 그러므로 건조곡선은 $MR = M/M_0$ (M = 함수율, % db, M_0 = 초기함수율, % db)과 건조시간, t (min) 사이의 관계로 나타내었다. 그림의 모든 건조곡선은 대부분의 농산물 건조에서 나타나는 것과 같이 지수함수 형태를 보이고 있으며(Doymaz, 2004; Lee et al., 2004; Senadeera et al., 2003), 파 및 양파의 건조에 있어 어떤

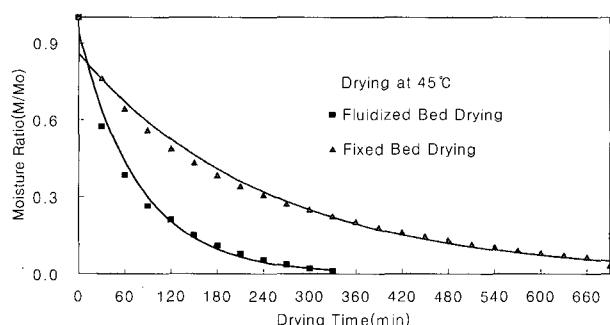


Fig. 5 Drying curve for onion at drying temperature of 45°C.

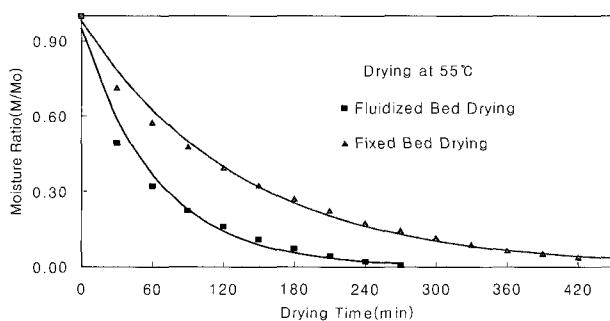


Fig. 6 Drying curve for onion at drying temperature of 55°C.

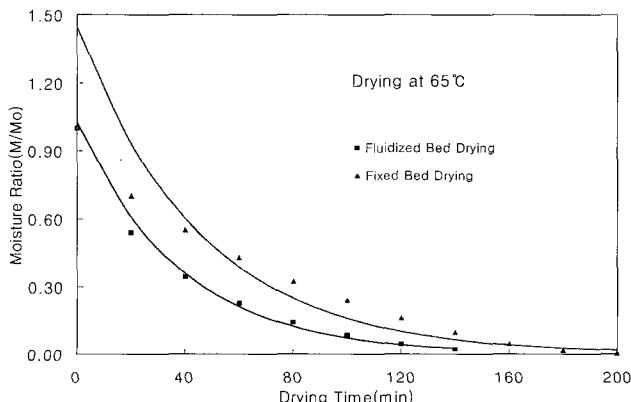


Fig. 7 Drying curve for onion at drying temperature of 65°C.

수분함량에 도달되기까지 요구되는 건조시간은 건조온도가 높을수록 상당히 짧아짐을 알 수 있다.

파 및 양파의 건조에 있어 모든 건조온도에서 대체적으로 유동층 건조가 고정층 건조에 비해 건조시간이 크게 단축되었다. 시료가 최종 함수율(18%, db)에 도달되기까지 요구되는 건조시간은 파의 경우 각각 건조온도 45°C, 55°C, 65°C 일 때, 유동층 건조가 고정 층 건조보다 60분, 60분, 50분 단축되었으며, 양파의 경우는 각각 360분, 180분, 60분이 단축되었다.

파의 경우 유동층 건조가 고정층 건조에 비해 건조온도에 따른 건조시간의 단축효과가 크게 나타나지 않았으나, 양파의 유동층과 고정층 건조시간을 비교해 보면 높은 건조온도에서 보다 낮은 건조온도에서 건조시간의 차이가 매우 크게 나타났다. 즉 유동층건조에서 건조온도 65°C의 경우 고정층 건조에 비해 건조시간이 60분 짧아졌지만, 건조온도 45°C의 경우 건조시간이 360분이나 단축되는 것으로 나타났다. 유동층 건조에 있어 파는 양파와 비교해 볼 때 낮은 건조온도(45, 55°C)에서 보다 높은 건조온도(65°C)에서 건조시간이 단지 10분 단축된 것으로 나타났다.

나. 건조 모델

각 건조조건에 따른 파 및 양파에 대해 얻어진 결과 결정계수 r^2 값은 0.934-0.997의 범위에 있었다(표 1).

감을건조기간 동안 각 시료에 대한 건조상수 K 는 건조방법 및 건조온도 T 에 의해 큰 영향을 받는다. 유동층 및 고정층 건조에 대한 건조상수는 그림 8에 나타낸 것과 같이 온도가 증가함에 따라 지수함수적으로 증가했다. 각 건조온도에서 파 및 양파 시료에 대한 건조상수 K 는 고정층 건조보다 유동층

Table 1 Evaluation of thin-layer drying constants at various drying conditions for green onion and onion

Experimental Material	Drying Temperature	Drying Type	A	K (hr⁻¹)	r²
Green Onion	45°C	Fluidized Bed	0.792	0.01593	0.974
		Fixed Bed	0.892	0.00261	0.997
	55°C	Fluidized Bed	1.129	0.03863	0.934
		Fixed Bed	1.182	0.02167	0.984
	65°C	Fluidized Bed	1.118	0.07426	0.991
		Fixed Bed	1.320	0.04047	0.980
Onion	45°C	Fluidized Bed	0.935	0.01261	0.984
		Fixed Bed	0.858	0.00411	0.978
	55°C	Fluidized Bed	0.950	0.01577	0.985
		Fixed Bed	0.980	0.00749	0.994
	65°C	Fluidized Bed	1.025	0.02610	0.987
		Fixed Bed	1.446	0.02185	0.942

건조에서 더 높게 나타났다. 건조상수 K 와 건조온도 T 의 관계는 보통 다음과 같이 표현될 수 있다(Lee et al., 2004; Nellist and O'Callaghan, 1971; Sankat and Balkissoon, 1994).

$$K = ae^{bt} \quad (3)$$

유동층 및 고정층 건조에 있어 파 및 양파에 대한 건조상수 K 와 건조온도 T 에 대한 자료를 회귀분석하여 얻어진 상수값 a , b 및 결정계수 r^2 값을 표 2에 나타내었다. 여기서 건조상수 K 와 건조온도 T 의 관계는 지수함수로 잘 표현됨을 알 수 있다.

다. 종말속도

그림 9, 10은 각각 파 및 양파의 유동층건조시 각 건조온도에서 건조시간에 따른 종말속도의 변화를 나타내고 있다. 파 및 양파 모두 건조온도가 증가함에 따라 건조시간에 따른 종말속도는 급격히 감소함을 알 수 있으며, 이는 건조온도가 높을수록 건조시간에 따른 무게 감소율이 크기 때문인 것으로 생각된다. 특히 파의 경우 건조온도 45°C에서 건조시간에 따른 종말속도는 완만하게 감소하였으나, 건조온도 55°C, 65°C에서는 건조시간에 따라 지수함수적으로 급격한 종말속도의 감소를 나타냈다. 양파의 경우는 건조온도 45°C, 55°C에 비해 건조온도 65°C에서 건조시간에 따라 종말속도는 선형적으

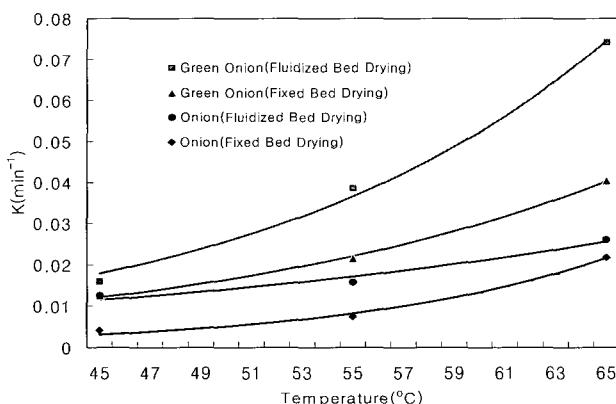


Fig. 8 The relationships between the drying constant K and drying temperature T for green onion and onion under fluidized and fixed bed drying.

Table 2 The relationship between drying constant K (hr^{-1}) and drying temperature T ($^\circ\text{C}$) for green onion and onion under fluidized and fixed bed drying ($K = ae^{bt}$)

Material	Drying Method	a	b	r^2
Green Onion	Fluidized Bed	0.00073	0.0713	0.995
	Fixed Bed	0.00082	0.0599	0.999
Onion	Fluidized Bed	0.00191	0.0399	0.966
	Fixed Bed	0.00004	0.0969	0.991

로 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 표 3은 파 및 양파의 유동층건조시 건조온도에 따른 종말속도의 변화관계에 대한 회귀분석 결과이며, 파는 종말속도가 시간에 따라 식 (4)와 같이 지수함수적으로 감소함을 나타내고 있으며, 양파는 식 (5)과 같이 선형적으로 감소함을 나타내고 있다.

$$V_t = ae^{-bt} \quad (4)$$

$$V_t = -at + b \quad (5)$$

여기서, V_t = 종말속도(m/s), t = 건조시간(min), a , b = 상수 그림 11과 12는 파 및 양파의 건조기간 동안 함수를 변화에 따른 종말속도를 회귀분석한 결과를 나타낸다. 그림

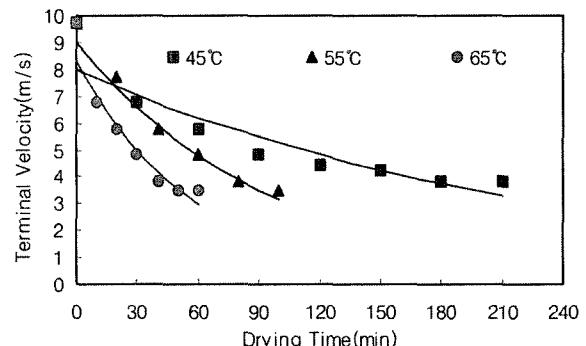


Fig. 9 Change of the terminal velocity according to drying time of green onion during fluidized bed drying.

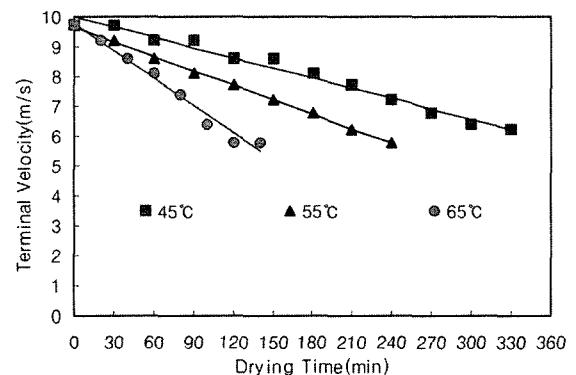
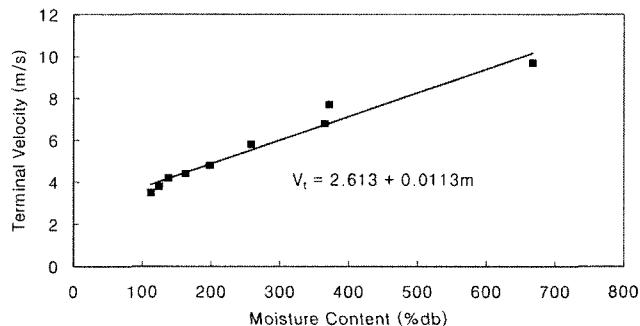
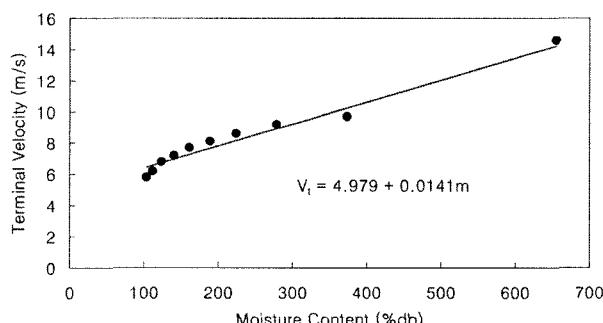


Fig. 10 Change of the terminal velocity according to drying time of onion during fluidized bed drying.

Table 3 The relationships between terminal velocity V_t (m/s) and drying time t (min) for green onion and onion under fluidized bed drying

Material	Drying Temperature (°C)	a	b	r^2
Green Onion	45	7.975	0.00418	0.88
	55	9.333	0.01058	0.98
	65	8.4794	0.01718	0.93
Onion	45	0.01145	10.001	0.98
	55	0.01617	9.64	0.99
	65	0.03071	9.775	0.98

**Fig. 11** Change of the terminal velocity according to moisture content of onion during fluidized bed drying.**Fig. 12** Change of the terminal velocity according to moisture content of green onion during fluidized bed drying.

의 선형방정식에서 m 은 건량기준 함수율(% db)을 나타내며, 파 및 양파에 대한 회귀방정식의 결정계수(r^2)는 각각 0.96과 0.92로, 파 및 양파의 종말속도는 함수율의 감소에 따라 선형적으로 감소함을 알 수 있다.

4. 요약 및 결론

전통적으로 파 및 양파는 생체로 양념으로 이용되어 왔으며, 저장기간의 연장 및 연중 사용을 위해 건조하거나, 작게 잘라 건조한 후 라면과 같은 인스턴트식품의 양념으로 사용하기도 한다. 이러한 양념류 대부분은 고정 층의 열풍건조에 의해 이루어지나, 영양분의 손실을 줄이고 건조속도를 증진하기 위해서는 낮은 온도에서 유동층 건조가 매우 효과적이

다. 따라서 본 연구에서는 파 및 양파의 유동층 건조특성을 분석하였고, 이를 고정층 건조특성과 비교하였으며, 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 대체적으로 고정층 건조보다는 유동층 건조의 건조속도가 빨랐다.
- (2) 시료가 최종 함수율에 도달되기까지 요구되는 건조시간은 파의 경우 각각 건조온도 45°C, 55°C, 65°C 일 때, 유동층 건조가 고정층 건조보다 60분, 60분, 50분 단축되었으며, 양파의 경우는 각각 360분, 180분, 60분 단축되었다.
- (3) 감율건조기간 동안 파 및 양파에 대한 건조상수 K 는 건조방법 및 건조온도에 의해 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.
- (4) 유동층건조에서 파 및 양파 모두 건조온도가 증가함에 따라 건조시간에 따른 종말속도는 급격히 감소하였으며, 파는 지수함수적으로 양파는 선형적으로 감소하였다.
- (5) 건조기간 동안 파 및 양파의 종말속도는 함수율의 감소에 따라 선형적으로 감소하였다.

참고 문헌

1. Akpinar, E. K., Y. Bicer and C. Yildiz. 2003. Thin layer drying of red pepper. J. of Food Engineering 59:99-104.
2. Davidson, J. F. and D. Harrison. 1971. Fluidization. Academic Press, London & New York.
3. Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. J. of Food Engineering 61:359-364.
4. Hatamipour, M. S. and D. Mowla. 2002. Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. J. of Food Engineering 55:247-252.
5. Hatamipour, M. S. and D. Mowla. 2003. Correlations for shrinkage, density and diffusivity for drying of maize and green peas in a fluidized bed with energy carrier. J. of Food Engineering 59:221-227.

6. Henderson, S. M. and R. L. Perry. 1976. Agricultural Process Engineering. AVI Publishing Co., Inc., Westport, CT.
7. Izadifar, M. and D. Mowla. 2003. Simulation of a cross-flow continuous fluidized bed dryer for paddy rice. *J. of Food Engineering* 58:325-329.
8. Kim, M. H. and R. T. Toledo. 1987. Effects of osmotic dehydration and high temperature fluidized bed drying on properties of dehydrated rabbiteye blueberries. *J. of Food Science* 52(4):980-989.
9. Krokida, M. K., V. T. Karathanos, Z. B. Maroulis and D. Marinou-Kouris. 2003. Drying kinetics of some vegetables. *J. of Food Engineering* 59:391-403.
10. Lee, G., W. S. Kang and F. Hsieh. 2004. Thin-layer drying characteristics of chicory root slices. *Transactions of the ASAE* 47(6):1619-1624.
11. Madamba, P. S., R. H. Driscoll and K. A. Buckle. 1996. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *J. of Food Engineering* 29:75-97.
12. Nellist, M. E. and J. R. O'Callaghan. 1971. The measurement of drying rates in thin layers of ryegrass seed. *J. of Agricultural Engineering Research* 16(3):192-212.
13. Ravindra, M. R. and P. K. Chattopadhyay. 2000. Optimization of osmotic preconcentration and fluidized bed drying to produce dehydrated quick-cooking potato cubes. *J. of Food Engineering* 44:5-11.
14. Sankat, C. K. and F. Balkissoon. 1994. The drying behaviour of fresh and candied carambola under natural convection. *Canadian Agric. Eng.* 36(3):165-174.
15. Saravacos, C. D. and S. E. Charm. 1962. A study of the mechanism of fruit and vegetable dehydration. *Food Technology* 16:78-81.
16. Sarsavadia, P. N., R. L. Sawhney, D. R. Pangavhane and S. P. Singh. 1999. Drying behaviour of brined onion slices. *J. of Food Engineering* 40:219-226.
17. Senadeera, W., B. R. Bhandari, G. Young and B. Wijesinghe. 2003. Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. *J. of Food Engineering* 58:277-283.
18. Temple, S. J. and A. J. B. van Boxtel. 1999. Modelling of fluidized-bed drying of black tea. *J. of Agricultural Engineering Research* 74:203-212.