

## 산물퇴적 청과물의 송풍저항 특성

### Resistance to Air Flow through Fruits and Vegetables in Bulk

윤홍선*	조영길*	박판규*	박경규**
정희원	정희원	정희원	정희원
H. S. Yun	Y. K. Cho	P. K. Park	K. K. Park

#### ABSTRACT

The resistance to air flow through fruits and vegetables in bulk was an important consideration in the design of the pressure cooling system.

The amount of resistance to air flow through produce in bulk normally depended upon air flow rate, stacking depth, porosity, stacking patterns and shape and size of product. But, there was not enough information relating the effects of those factors on air flow resistance. The objectives of this study were to investigate the effect of stacking depth, stacking patterns, porosity and airflow rate on airflow resistance and to develop a statistical model to predict static pressure drop across the produce bed as a function of air flow rate, stacking depth, bed porosity, and product size.

Mandarins and tomatoes were used in the experiment. The airflow rate were in the range of 0.1~1.0 m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>, the porosity were in the range of 0.25~0.45, the depth were in the range of 0.3~0.9m and the equivalent diameters were 5.3cm and 6.3cm for mandarins, and 6.5cm and 8.5cm for tomatoes. Three methods of stacking arrangement were used i.e. cubic, square staggered, and staggered stacking arrangement. The results were summarized as follows.

1. The pressure drops across produce bed increased in proportion to stacking depth and superficial air velocity and decreased in proportion to porosity.

2. The increasing rates of pressure drop according to stacking patterns with the increase of superficial air velocity were different one another. The staggered stacking arrangement produced the highest increasing rate and the cubic stacking arrangement produced the lowest increasing rate. But it could be assumed that the stacking patterns had not influenced greatly on pressure drops if it was of equal porosity.

3. The statistical models to predict the pressure drop across produce bed as a function of superficial air velocity, stacking depth, porosity, and product diameter were developed from these experiments.

주요용어(Key Words) : 송풍저항(Air Flow Resistance), 차압통풍 예냉(Pressure Pre-cooling)

---

\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

\*\* 경북대학교 농업기계공학과

## 1. 서론

청과물은 가공식품과는 달리 수확 후에도 계속하여 생리작용을 영위하며, 시시각각으로 복잡한 생리화학적 변화를 일으켜 그 결과로 신선도는 급격히 저하되고 품질은 열화된다. 따라서 수확 후에도 청과물의 품질을 잘 보존하기 위하여는 수확 즉시 신속하게 포장열을 제거하여 품온을 낮추므로써 호흡작용을 억제시킬 필요가 있으며, 이러한 목적을 위하여 행하는 냉각조작을 예냉이라 한다. 예냉의 방법으로는 실내냉각, 강제통풍냉각, 차압통풍냉각, 냉수냉각, 진공냉각 등이 있다.

차압통풍 예냉장치는 냉기를 청과물 퇴적층의 내부로 직접 통과시켜 실내냉각이나 강제통풍냉각에 비해 냉각 유효공기량을 증가시키므로써 냉각속도가 빨라지도록 고안된 장치인데, 여기서 냉기는 그 통로 상에서 발생하는 송풍저항에 상응하는 적당한 정압을 유지하여야 한다. 왜냐하면 송풍공기의 정압이 불충분하면 냉기가 청과물 퇴적층 내부를 원활히 통과하지 못하게 되어 냉각성능이 저하되고, 정압이 필요 이상으로 과다하면 송풍에너지의 손실이 초래되기 때문이다. 따라서 청과물의 차압통풍 예냉을 위한 적정 용량의 송풍기의 선정을 위해서는 청과물 퇴적층에서의 송풍저항에 관한 자료가 필수적으로 요구되며, 또 송풍저항은 풍속, 퇴적높이, 퇴적방법, 공극율, 산물의 크기, 형상 등에 따라 달라지므로 차압통풍 예냉장치의 설계를 위해서는 이에 대한 많은 기초자료가 요구된다.

청과물 퇴적층에서의 송풍저항에 관한 연구로서, Neale과 Messer(1976)는 감자, 양파, 당근 등의 구근채류 퇴적층에서의 송풍저항을 측정하였으며, 송풍저항은 풍속의 1.8승에 비례하여 증가하였고, 퇴적높이에 대해서는 선형비례한다고 하였다. 또 흙과 이물 등이 송풍저항에 미치는 영향은 퇴적물의 물성의 영향에 비해 매우 크다고 하였으며, 공극율과 송풍저항 사이에는 상관관계가 없다고 보고하였다. Gaffney와 Baird(1977)는 피망 퇴적층에서의 송풍저항은 풍속의 1.8승에 비례하여 증가한다고 보고하였다. Neale과

Messer(1978)는 상추, 양배추 등과 같은 엽채류를 산물퇴적하여 송풍저항을 측정하였는데, 송풍저항은 구근채류에서와는 달리 퇴적높이에 지수 비례하며, 겉잎의 유무와 구조, 산물밀도의 영향을 받는다고 보고하였다. 石橋真人(1982)은 귤, 레몬, 양파, 감자, 차잎 등의 청과물의 산물퇴적층에 대한 송풍저항을 측정하였는데, 송풍저항은 풍속의 1.31~1.95승, 퇴적높이의 0.7~1.46승에 비례하여 증가하는 것으로 보고하였으며, 귤 퇴적층의 송풍저항은 퇴적방법에 크게 영향을 받으며, 차입 퇴적층의 송풍저항은 공극율에 크게 영향을 받는다고 하였다. Chau(1985)는 산물퇴적 오렌지에 대하여 과일의 크기와 퇴적방법에 따른 송풍저항을 측정하였는데, 퇴적방법과 공극율이 송풍저항에 미치는 영향은 과일의 크기의 영향에 비해 매우 크고, 과일의 크기에 관계없이 공극율이 작을수록 송풍저항은 크다고 하였다. 또 송풍저항의 예측에 있어서 Ramsin 및 Ergun방정식의 적합성을 고찰하고, 풍속, 과일의 직경 및 공극율을 변수로 하는 새로운 실험식을 제시하였다.

송풍저항에 대한 모형방정식으로는 대부분의 연구에서 다음의 Ramsin방정식을 사용하고 있다.

$$\Delta P/L = aV^b$$

여기서,  $\Delta P$  : 정압강하(Pa),

$L$  : 퇴적높이(m),

$V$  : 퇴적층 통과 공기의 겉보기 풍속(m/s),

$a, b$  : 상수

그러나, 청과물은 일반적으로 개체의 크기가 크고, 같은 작목에 있어서도 형상과 크기의 차이가 심하여 개체의 조건과 퇴적방법 등에 따라 공기통로의 형상에 변화가 클 것으로 예상되나 Ramsin의 방정식에는 개체의 크기나 퇴적층의 공극율 등을 나타내는 항이 없어 이를 청과물 퇴적층에 대해 적용하는 데는 한계가 있을 것으로 판단된다.

또 일부 연구에서는 다음의 Ergun(1952)방정식에 의해 농산물 퇴적층의 송풍저항을 나타내기도 한다.

$$\Delta P/L = K_1 \frac{(1-\epsilon)^2 \times \mu \times V}{\epsilon^3 \times D_p^2} + K_2 \frac{(1-\epsilon) \times \rho \times V^2}{\epsilon^3 \times D_p}$$

여기서,  $\epsilon$ : 공극율(소수),  $D_p$ : 산물의 직경(m),  $\mu$ : 공기의 점성(kg/m.s),  $\rho$ : 공기의 밀도(kg/m<sup>3</sup>),  $K_1, K_2$ : 상수

Ergun은 많은 실험을 통하여 근사적으로  $K_1 = 150, K_2 = 1.75$ 를 얻었다. 그러나 Anderson(1963)은  $K_1$ 과  $K_2$ 는 상수가 아니라  $K_1$ 은 공극율의 영향을 받는 변수이고,  $K_2$ 는 공기통로의 뒤틀림과 Reynolds수의 영향을 받는 변수라고 하였으며, 따라서 Ergun의 방정식도 청과물에 대해 적용하는 데는 한계가 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 차압통풍 예냉장치의 설계와 이용의 효율성 증대에 필요한 적절한 송풍기의 용량을 결정하기 위한 기초자료를 얻기위하여, 골과 토마토의 산물 퇴적층에 대하여 산물의 크기, 퇴적높이, 퇴적방법, 공극율, 송풍량 등이 송풍저항에 미치는 영향을 분석하고, 또 송풍저항을 예측하기 위한 Ramsin 및 Ergun 방정식의 적합성을 비교 분석하며, 산물의 크기, 퇴적높이, 공극율, 송풍량을 인자로하는 송풍저항 회귀모형을 개발하는데 그 목적이 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시재료

수원시 권선동에 위치한 농산물 도매시장에 당일 출하된 골과 토마토를 구입하여 재선별한

후 공시재료로 사용하였으며, 그 물성값은 표1과 같다.

### 나. 실험장치 및 방법

#### (1) 실험장치

실험장치는 산물 퇴적탑, 송풍기, 퇴적탑과 송풍기를 연결하기 위한 배관, 송풍량 측정부 및 정압 측정부로 구성되어 있으며, 실험장치의 개략도를 그림1에 나타내었다.

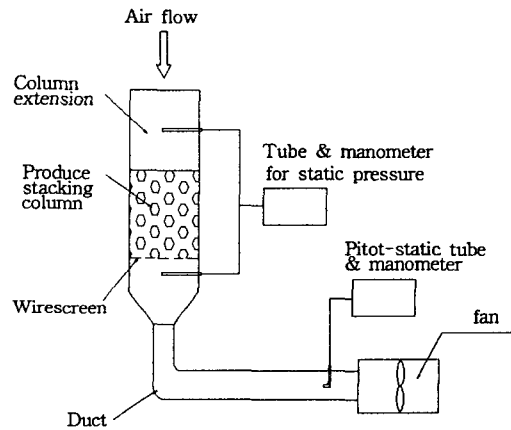


Fig. 1. Diagram of experimental setup for measuring airflow resistance.

#### (가) 산물 퇴적탑

가로, 세로 각 400mm, 높이 300mm 크기의 단위 퇴적상자를 두께 1mm의 철판을 사용하여 여러 단으로 쌓을 수 있게 제작하였다. 퇴적상자의 하부에는 송풍저항을 무시할 수 있는 금망을 설치하여 산물을 퇴적할 수 있도록 하였으며, 연결

Table 1. Physical properties of samples used in the study

Produce	Sample number	Ave. dia. of largest axis(cm)	Ave. dia. of smallest axis(cm)	Ave. height (cm)	Ave. volume (cm <sup>3</sup> )	Ave. equivalent diameter (cm)
Mandarin	1	5.3	5.0	3.6	61.3	4.89
	2	6.3	6.0	4.8	105.1	5.86
Tomato	1	6.5	6.2	5.5	133.9	6.35
	2	8.5	7.6	6.7	264.8	7.97

부위는 공기가 새지 않도록 완전히 밀폐하였다.

(나) 송풍기 및 배관

송풍기는 풍량 80m<sup>3</sup>/min., 정압 580Pa인 축류 송풍기를 사용하였으며, 공기 흡입구 쪽을 배관(135mm×L2,000mm, P.V.C.관)과 연결하여 산물 퇴적탑의 상부로부터 송풍기 쪽으로 공기가 흡입되도록 하였다. 송풍량은 변압기에 의해 송풍기의 회전수를 변화시켜 조절하였다.

(다) 송풍량 측정부

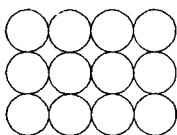
송풍량의 측정은 20Pa까지는 0.01Pa 단위로, 20Pa~200Pa 범위에서는 0.1Pa 단위로 풍압을 측정할 수 있고, 동시에 0~18m/s까지 0.01m/s 단위로 풍속을 측정할 수 있는 디지털 마이크로 마노메타(영국, Furness Controls LTD, Model FCO12)와 Pitot-static tube를 사용하여 환상법으로 측정하였다.

(라) 정압측정부

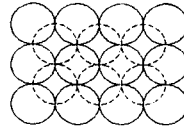
정압 측정용 구멍을 퇴적탑 상단부와 금망 하단부에 각각 3개씩 설치하여 산물 퇴적층 상, 하부에서 좌우 대칭으로 각각 9점씩의 정압을 측정하였으며, 퇴적탑의 상, 하부에서 대칭되는 위치의 2점씩을 연결하여 그 차압을 정압 5000Pa의 범위까지 2.5Pa 단위로 측정할 수 있는 디지털 마노메타(미국, Dwyer Co., Model 475-1)를 사용하여 측정하였다.

(2) 실험방법

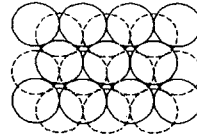
산물의 퇴적에는 입방배열, 정방계 능면체배열, 육방계 능면체배열의 3가지 퇴적 방법을 사용하였으며, 각 방법별 퇴적형상은 그림2와 같다. 퇴적산물의 공극율은 산물 사이의 배치간격을 조절하여 0.25~0.45 범위에서 변화시켰고, 퇴적높이는 30~90cm의 범위에서 변화시켰으며, 걸보기 풍속은 실제의 차압통풍 예냉에 이용될 수 있는 0.1~1m/s의 범위로 하였다.



a) Cubic arrangement



b) Square staggered arrangement



c) Staggered arrangement

Fig. 2. Stacking patterns of produce studied.

(3) 실험결과와 정리

(가) 공극율과 산물의 체적

산물 퇴적층의 공극율은 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{공극율} = \frac{\text{퇴적상자 체적} - \text{퇴적산물 체적}}{\text{퇴적상자 체적}}$$

여기서, 퇴적산물의 체적은 개개의 산물의 체적을 Platform Scale법에 의해 측정하여 구하였다.

(나) 등체적구 상당직경

개개의 산물의 체적을 구하여 다음의 식을 이용하여 계산하였으며, 이것을 시료의 직경값으로 사용하였다.

$$\text{등체적구상당직경} = \sqrt[3]{\frac{6 \times \text{체적}}{\pi}}$$

(다) 걸보기 풍속

산물 퇴적층을 통과하는 공기의 걸보기 풍속은 산물퇴적층을 통과하는 실제 풍량을 측정하여 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{걸보기 풍속} = \frac{\text{산물 퇴적층 통과풍량}}{\text{산물 퇴적층의 단면적}}$$

3. 결과 및 고찰

가. 퇴적높이와 송풍저항과의 관계

귤과 토마토의 산물퇴적층에서의 퇴적높이별 송풍저항의 변화를 그림3과 그림4에 나타내었다. 송풍저항은 퇴적높이와 풍속이 증가함에 따라 증가하였고, 풍속과 송풍저항의 관계를 양대수용지 위에 나타낼 때 직선으로 표시되었으며,

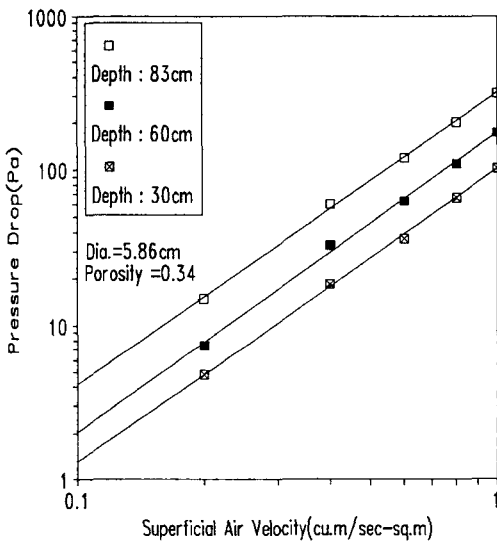


Fig. 3. Airflow resistance of mandarins in bulk at various bed depth(square staggered arrangement).

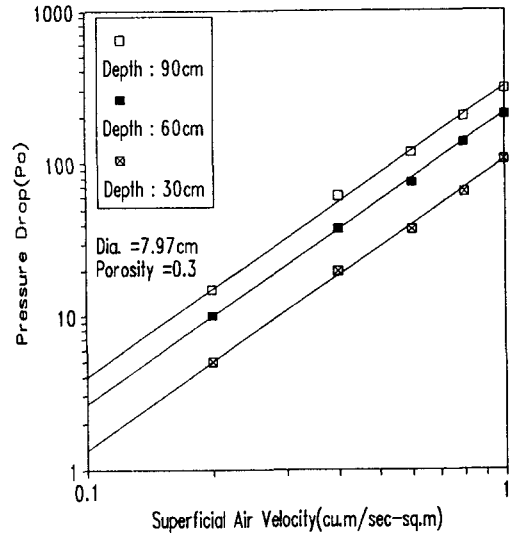


Fig. 4. Airflow resistance of tomatoes in bulk at various bed depth(square staggered arrangement).

풍속과 송풍저항 사이에는 지수비례 관계가 있는 것으로 나타났다. 퇴적높이별 송풍저항의 실험값을 Ramsin방정식에 조합했을 때의 a, b의 값과 결정계수를 표2에 나타내었다. 귤의 퇴적높이를 30cm, 60cm, 83cm로 변화시킬 때 Ramsin방정식의 a와 b의 값은 퇴적높이의 변화에 관계없이 비슷한 값을 나타내었으며, 전체 실험값을 Ramsin방정식에 조합했을 때 a, b의 값은 각각 335.5와 1.9이었고, 결정계수는  $R^2=0.984$ 로

Table 2. Data of curve fitting for mandarins and tomatoes in bulk with different bed depth(square staggered arrangement)

Produce	Average Dia.(cm)	Porosity	Bed Depth(cm)	$\Delta P/L = aV^b$		$R^2$
				a	b	
Mandarin	5.86	0.34	30	339.2	1.89	0.999
			60	290.2	1.93	0.997
			83	380.2	1.88	0.999
			Average	335.5	1.90	0.984
Tomato	7.97	0.30	30	335.7	1.85	0.998
			60	337.5	1.87	0.999
			90	338.7	1.85	0.998
			Average	337.3	1.86	0.998

실험값과 잘 일치하였다. 토마토의 경우에 있어서도 퇴적높이를 30cm, 60cm, 90cm로 변화시킬 때 Ramsin방정식의 a와 b의 값은 퇴적높이의 변화에 관계없이 비슷한 값을 나타내었고, 전체 실험값을 Ramsin방정식에 조합했을 때 a, b의 값은 각각 337.3과 1.86이었고, 결정계수는  $R_2=0.998$ 로 실험값과 잘 일치하였다. 따라서 귤과 토마토의 산물퇴적층에서의 퇴적높이와 송풍저항 사이에는 서로 선형 비례관계에 있었으며, 이는 Neale과 Messer(1976)의 연구 결과와도 잘 일치하였다.

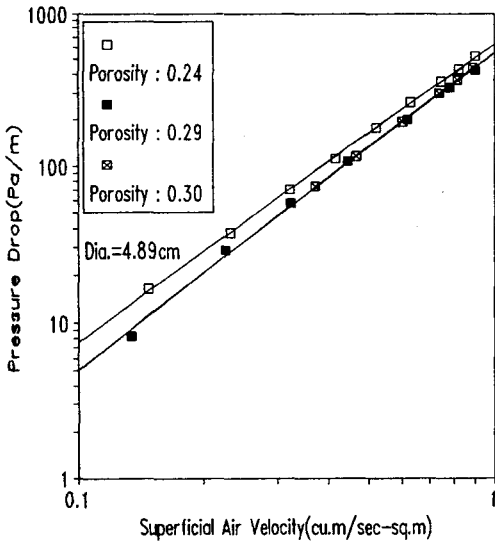


Fig. 5. Airflow resistance of mandarins in bulk at various porosities(staggered arrangement).

나. 공극율과 송풍저항과의 관계

귤과 토마토의 산물퇴적층에 있어서의 공극율별 송풍저항의 변화를 그림5와 그림6에 나타내었다. 공극율이 작을수록 또 풍속이 증가할수록 송풍저항은 증가하였고, 각각의 공극율별 풍속에 따른 송풍저항의 변화를 양대수 용지 위에 나타낼 때 직선으로 표시되었으며, 공극율과 송풍저항 사이에는 지수 반비례 관계가 있는 것으로 나타났다.

공극율별 송풍저항의 실험값을 Ramsin방정

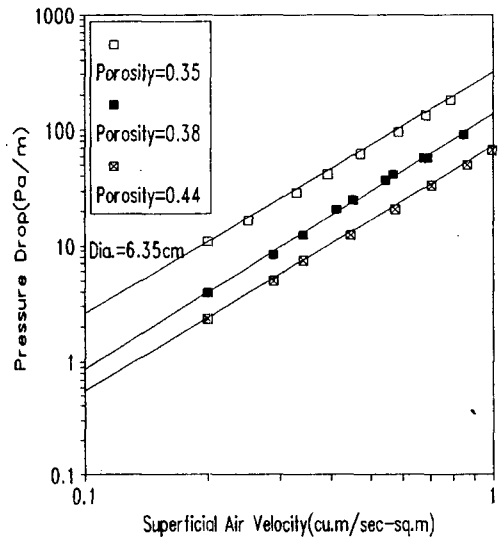


Fig. 6. Airflow resistance of tomatoes in bulk at various porosities(staggered arrangement).

Table 3. Data of curve fitting for mandarins and tomatoes in bulk with different porosities

Produce	Average Dia. (cm)	Stacking Pattern	Porosity	$\Delta P_t/L = aV^b$			Ergun's equation		
				a	b	$R^2$	$K_1$	$K_2$	$R^2$
Mandarin	4.89	Staggered	0.24	628.6	1.92	0.999	52.1	0.48	0.999
			0.29	550.8	2.04	0.998	76.2	0.76	0.999
			0.30	558.4	2.05	0.999	-172.3	0.98	0.999
			Ave.	578.5	1.98	0.989	-296.6	0.69	0.800
Tomato	6.35	Staggered	0.35	313.1	2.08	0.999	-346.3	1.22	0.999
			0.38	136.6	2.20	0.997	-245.7	0.68	0.999
			0.44	72.5	2.11	0.999	-272.6	0.61	0.999
			Ave.	110.8	1.60	0.562	1423.2	0.5	0.785

식과 Ergun방정식에 조합했을 때의 a, b값과  $K_1$ ,  $K_2$ 값, 그리고 결정계수를 표3에 나타내었다. 각각의 공극율에 대해서는 송풍저항의 실험값과 Ramsin 및 Ergun방정식에 의한 계산값 사이에 높은 상관관계를 나타내었다. 그러나 공극율을 달리하면 a와 b 및  $K_1$ 과  $K_2$  값이 크게 변화되었으며 결정계수도 낮아지는 경향을 나타내었다. 이것은 Enderson(1963)이 Ergun방정식에 있어서  $K_1$ 과  $K_2$ 값은 공극율, 공기통로의 뒤틀림 정도 및 Reynolds수 등의 영향을 받는 변수라고한 연구 결과와 일치하는 경향을 보였으며, Chau(1985)의 연구 결과와도 일치하였다. 따라서 Ramsin 및 Ergun방정식에 의해 꺾과 토마토 퇴적층에서의 공극율과 송풍저항의 관계를 나타내는 것은 모델의 적합성에서 신뢰도가 떨어지는 것으로 판단되었다

다. 퇴적방법과 송풍저항과의 관계

꺾과 토마토의 산물퇴적층에서의 퇴적방법별 송풍저항의 변화를 그림7과 그림8에 나타내었다. 퇴적방법에 관계없이 풍속이 증가할수록 송풍저항도 증가하였고, 각각의 퇴적방법별 풍속

에 따른 송풍저항의 변화를 양대수 용지 위에 나타낼 때 직선으로 표시되었다. 그러나 퇴적방법에 따라 직선의 기울기가 달라져 각기 다른 송풍저항 특성을 나타내었으며, 육방계 능면체 배열의 경우가 풍속의 증가에 대한 송풍저항의 증가율이 가장 크게 나타났고, 그 다음이 정방계 능면체 배열과 입방체 배열의 순으로 나타났다. 이것은 퇴적방법에 따라 퇴적층 내의 공기통로의 모양과 길이가 달라지는데 원인이 있는 것으로 판단되었다.

그러나 그림7과 그림8에서 각각의 퇴적방법 사이에 직선의 기울기에 큰 차이가 없고 또 대체로 공극율이 작을수록 큰 송풍저항을 나타내는 것으로 미루어 볼 때, 공극율이 같을 경우에 퇴적방법이 송풍저항에 미치는 영향은 그다지 크지않은 것으로 판단되었다.

퇴적방법별 송풍저항의 실험값을 Ramsin방정식과 Ergun방정식에 조합했을 때의 a, b값과  $K_1$ ,  $K_2$ 값, 그리고 결정계수를 표4에 나타내었다. 각각의 퇴적방법에 대해서는 송풍저항의 실험값과 Ramsin 및 Ergun방정식에 의한 계산값 사이에 높은 상관관계를 나타내었다. 그러나 퇴적방법을 달리하면 a와 b 및  $K_1$ 과  $K_2$  값이 크게 변화

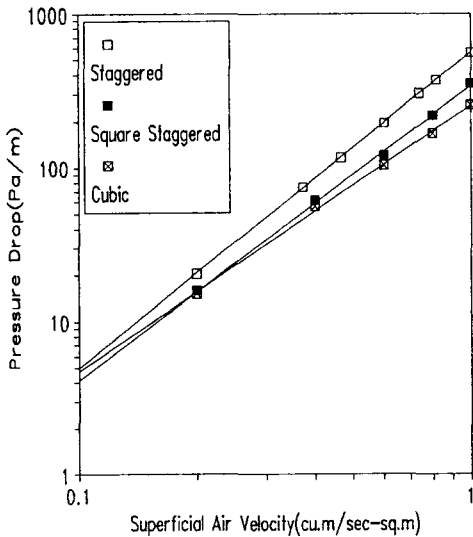


Fig. 7. Airflow resistance of mandarins in bulk at various stacking patterns.

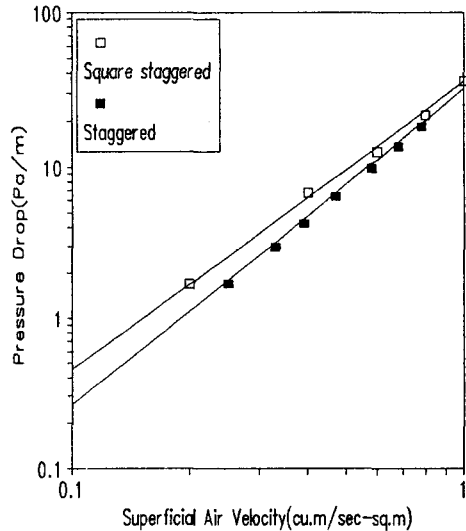


Fig. 8. Airflow resistance of tomatoes in bulk at various stacking patterns.

Table 4. Data of curve fitting for mandarins and tomatoes in bulk with different stacking patterns

Produce	Average Dia. (cm)	Porosity	Stacking Pattern	$\Delta P/L = aV^b$			Ergun's equation		
				a	b	R <sup>2</sup>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>
Mandarin	5.86	0.33	Cubic	254.3	1.73	0.998	856.7	0.52	0.998
	5.86	0.34	Square Staggered	335.5	1.90	0.965	152.4	0.99	0.975
	4.89	0.30	Staggered	558.4	2.05	0.999	-172.3	0.98	0.999
	Average			414.1	2.01	0.938	1112.6	0.62	0.932
Tomato	7.97	0.30	Square Staggered	337.3	1.86	0.998	394.8	0.81	0.994
	6.35	0.35	Staggered	313.1	2.08	0.999	-346.3	1.22	0.999
	Average			316.3	1.97	0.981	-2128.5	1.15	0.966

되는 경향을 보였다. 이것은 Enderson(1963)이 Ergun방정식에 있어서 K<sub>1</sub>과 K<sub>2</sub>값은 공극율, 공기통로의 뒤틀림 정도 및 Reynolds수 등의 영향을 받는 변수라고한 연구 결과와 일치하는 경향을 보였으며, Chau(1985)의 연구 결과와도 일치하였다. 따라서 Ramsin 및 Ergun의 방정식에 의해 퇴적방법에 따른 송풍저항의 변화를 나타내는 것은 모형의 적합성에서 신뢰도가 떨어지는 것으로 판단되었다.

라. 송풍저항의 모형

본 연구에서는 청과물 퇴적층의 송풍저항에 큰 영향을 미치는 청과물의 퇴적높이, 공극율, 산물직경 및 풍속 등을 인자로 하는 송풍저항의 모형을 얻기 위하여 실험결과의 통계분석을 수행하였다. 분석방법은 Digital computer에 의해 모든 가능한 회귀변수에 대하여 Sreewise method에 의하여 회귀분석을 수행하여 수정결정계수(R<sub>adj</sub><sup>2</sup>)가 크고, 잔차평균제곱(MSep)과 총제곱오차(Cp)가 적은 변수를 선택하고, 이들 변수를 포함하는 회귀식을 작성한 다음, 각 회귀식에 대한 분산분석과 개별 회귀계수에 대한 유의성 검정(t-검정)의 결과 및 결정계수를 고려하여 적정 모형을 선택하였다. 여기서 사용된 통계모형은 청과물의 퇴적높이, 공극율, 산물직경, 풍속

및 이들의 교호인자가 포함된 2차모형과 각 인자의 누승의 곱으로 표시되는 지수모형의 2가지 모형이었으며, 앞에서의 연구 결과에 따라 이들 모형에 있어서 송풍저항은 퇴적높이에 선형비례하고, 풍속에 지수비례하며, 공극율에 지수반비례 하는 관계가 성립되도록 회귀변수를 조합하였다. 선택된 회귀모형식은 다음과 같다.

$$\text{귤} : \Delta P/L = 3.392 \frac{1}{e^{1.075} \cdot D_p^{1.38}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}, R^2 = 0.98^{**}$$

$$\text{토마토} : \Delta P/L = 8.01 \times 10^{-6} \frac{1}{e^{6.94} \cdot D_p^{3.8}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}, R^2 = 0.99^{**}$$

위에 나타낸 두개의 회귀모형식은 모두가 1%의 수준에서도 유의성이 인정되었으며, 개별 회귀변수들도 모두 고도의 유의성이 인정되었고, 각 회귀변수의 분산확대인자 (Variance inflation factor)도 끝은 3.0이하 토마토는 7.0이하로 나타나 회귀모형식은 매우 안정된 것으로 인정되었다. 귤과 토마토 퇴적층에 대한 송풍저항의 실측값과 Ramsin, Ergun 및 본 연구에서의 회귀 모형방정식에 의한 예측값을 비교한 일례를 각각 그림9와 그림10에 나타내었다.



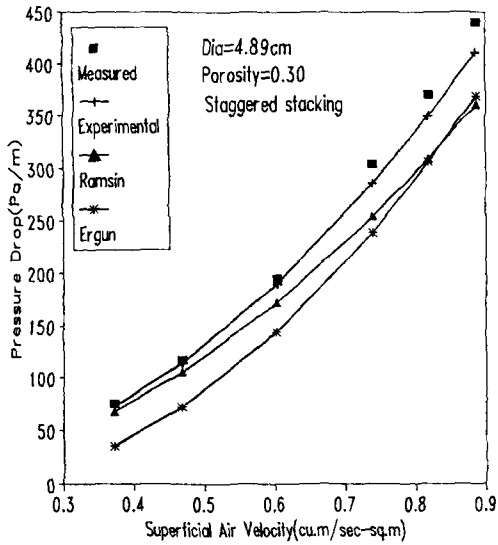


Fig. 9. Measured and fitted airflow resistance with the Ramsin's, Ergun's and experimental model for mandarins.

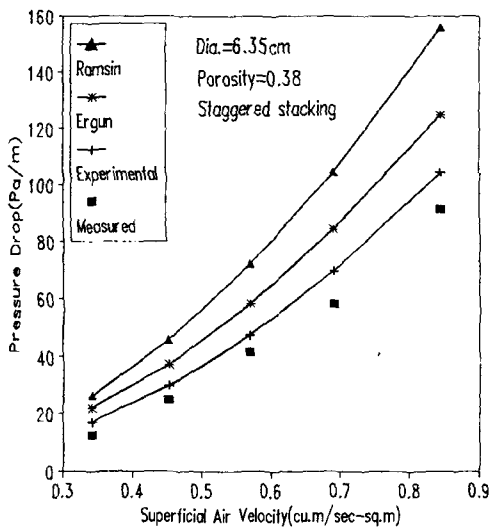


Fig. 10. Measured and fitted airflow resistance with the Ramsin's, Ergun's and experimental model for tomatoes.

#### 4. 결론

차압송풍 예냉장치의 설계와 이용의 효율성 증대에 필요한 적정한 송풍기의 용량을 결정하

기 위한 기초자료를 얻기 위하여, 귤과 토마토의 산물 퇴적층에 대해 산물의 크기, 퇴적높이, 퇴적방법, 공극율, 송풍량 등을 변화시키면서 송풍저항을 측정하여 이들 요인이 송풍저항에 미치는 영향을 분석하였고, 또 송풍저항을 예측하기 위한 Ramsin 및 Ergun 모형방정식의 적합성을 비교분석하고, 산물의 크기, 퇴적높이, 공극율, 송풍량을 인자로 하는 송풍저항 회귀모형식을 개발하였던 바 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 귤과 토마토 산물 퇴적층에서의 퇴적높이별 풍속에 따른 송풍저항의 변화를 양대수 용지 위에 나타낼 때 직선으로 표시되었고, 퇴적높이와 풍속이 증가할 수록 송풍저항도 증가하였으며, 풍속과 송풍저항은 지수비례 관계에 있었고, 퇴적높이와 송풍저항 사이에는 선형의 비례관계가 성립하였다.

2) 귤과 토마토의 산물 퇴적층에 있어서의 공극율별 풍속에 따른 송풍저항의 변화를 양대수 용지 위에 나타낼 때 직선으로 표시되었고, 공극율이 작을수록 또 풍속이 증가할 수록 송풍저항은 증가하였으며, 공극율과 송풍저항 사이에는 지수 반비례 관계가 성립하였다.

3) 귤과 토마토 산물 퇴적층에서의 퇴적방법별 풍속에 따른 송풍저항의 변화를 양대수 용지 위에 나타낼 때 직선으로 표시되었으며, 풍속이 증가할 수록 송풍저항도 증가하였다. 그러나 퇴적방법에 따라 풍속의 증가에 대한 송풍저항의 증가율이 달라져 각기 다른 송풍저항 특성을 나타내었으며, 육방계 능면체 배열에서 증가율이 가장 크게 나타났고, 그 다음이 정방계 능면체 배열과 입방체 배열의 순으로 나타났다. 그러나 공극율이 같을 경우 퇴적방법에 따른 송풍저항의 차이는 그다지 크지않은 것으로 판단되었다.

4) Ramsin 및 Ergun의 모형방정식은 산물의 조건변화에 따라 식의 계수들이 매우 불안정하였으며, 따라서 이들 식을 이용한 귤과 토마토의 산물 퇴적층에 대한 송풍저항의 예측은 적합치 않은 것으로 나타났다.

5) 퇴적높이, 산물의 직경, 공극율 및 결보기 풍속을 인자로 하여 귤과 토마토의 산물 퇴적층의 송풍저항을 예측할 수 있는 회귀모형식을 각

각 개발하였다.

### 참 고 문 헌

1. 김만수, 김성래. 1986. 곡물의 함수율 변화에 따른 송풍저항에 관한 연구. 한국농업기계학회지. 11(2) : 55-65.
2. 윤홍선. 1994. 차압송풍식 예냉 청과물의 송풍저항 및 냉각특성. 경북대 박사학위 논문
3. 石橋真人, 田中俊一郎, 中野和弘. 1982. 差壓通風冷却方式の開發(第1報). 冷凍. 57(662) : 1191-1197.
4. Anderson, K.E.B. 1963. Pressure Drop through Packed Beds. Trans.Royal Institute Technology. Stockholm. No. 201.
5. ASAE Yearbook. 1982. 29th edition. ASAE. St. Joseph, M149085.
6. Bakker-Arkema, F.W, W.G. Patterson, and W.G. Bickert, 1969. Static Pressure-Airflow Relationships in Packed Beds of Granular Biological Materials Such as Cherry Pits. Trans. ASAE. 12(1) : 134-136.
7. Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema, and C.W. Hall, 1981. Drying Cereal Grains. AVI Publishing Company, Inc.
8. Chau, K.V., J.J., Gaffney, C.D., Baird, Church. II, G. A. 1985. Resistance to Air Flow of Oranges in Bulk and in Cartons. Trans. ASAE. 28(6) : 2083-2088.
9. Ergun, S. 1952, Fluid Flow through Packed Columns. Chem. Engg. Progr. 48(2) : 89-94.
10. Matthies, H.J. and H. Petersen. 1974. New Data for Calculating the Resistance to Air flow of Stored Granular Materials. Trans. ASAE. 17(6) : 1144-1149.
11. Neale, M.A. and H.J.M. Messer, 1976. Resistance of Root and Bulb Vegetables to Airflow. J. Agric. Eng. Res.. 21 : 221-231.
12. Patterson, F.W., Bakker-Arkema, and W.G. Bickert. 1971. Static Pressure-Air Flow Relationships in Packed Beds of Granular Biological Materials such as Grain. Trans. ASAE. 14(1) : 172-174, 178.