

산야초류의 세척 시스템 개발 (I) -공기방울에 의한 이송성능-

김상현 · 신범수 · 함승시* · 이상영* · 오덕환*
강원대학교 농업공학부, *식품생명공학부

Development of Washing System for Mountain Herb (I) -Transport capacity by air bubble-

S.H. Kim, B.S. Shin, S.S. Ham*, S.Y. Lee* and D.H. Oh*

Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University, *Division of Food and Biotechnology

Abstract

The system for washing mountain herb is needed to produce juice for drinking. The objective of this research was to develop the water tank stirred by air bubble and to analyze the system by theoretical and experimental methods. The system built can wash and convey the herb material by the air bubbles from the injection holes on the pipe and the liquid moved by the air bubbles. The relationship between air flow and liquid flow stirred by air bubbles was calculated and flow patterns for the air-liquid flow in a water tank were defined. The difference between calculated and measured flow rate of each air-liquid flow was within 5% with air pipe of 4 mm diameter hole and 13% with air pipe of 8 mm diameter hole. The air bubble injected through the hole was raised up and built cone shape and ended by spreading on the surface of the liquid. The optimal distance between two pipes of 8 mm and 4 mm system was average value of flow lengths of each air-liquid flow. The one pipe system shows constant transport capacity when the distance of pipe from the starting wall was the half of the flow length.

Key words: mountain herb, washing bath, air bubble washing

서 론

국민 생활 수준의 향상으로 건강에 대한 관심이 높아지면서 무공해 작물에 대한 소비가 늘어나고 산야초류에 대한 중요성이 평가되어 그 수요가 증대되고 있다. 최근에는 각종 산야초류의 영양적인 면뿐 아니라 약리적인 작용에 대한 연구도 발표되어 그 효능을 밝히려는 노력이 점차 고조되고 있으며 특히 이러한 산야초류가 암과 높은 상관관계가 있다는 연구 결과가 보고된 바 있다(Ham *et al.*, 1998).

산야초류는 우리나라 전역에 자생하고 있어 그 생산량이 막대한 양에 달하고 있으나 산야초류를 경제성 있도록 활용하기 위해서는 여러가지 방법의 가공식품 개발이 필요하다. 산야초 가공 기술중의 하나인 음료 개발 및 가공용 산야초 즙을 추출하기 위해

서는 대량의 착즙 시스템 개발이 필요하며 김상현 등(1996)에 의해 파쇄 착즙장치 등이 개발된 바 있다. 이러한 착즙 시스템의 작업 과정중 고품위의 산야초류 즙액을 취출 하기 위해서는 먼저 재료를 세척하는 장치가 필요하다.

일반적인 세척장치는 채소류의 가공처리를 위한 전처리 단계로 흙 등의 이물질 분리와 소금에 절여진 채소류의 염분제거의 목적으로 사용되고 있다. 국내 외에서 다수의 업체가 채소류 세척기를 생산하고 있으며 한국식품연구소에서는 김치 가공공장의 공정자동화를 위하여 배추 세척기를 개발한바 있다(박재복 등, 1992). 연구된 장치에서는 뿌리부 세척을 위한 1차 고압살수 세척 및 2차 압축공기 세척장치 등이 있으며 절여진 배추의 염분제거용 세척기로서 고압의 물로 이송하며 공기방울로 세척하는 구조로 되어 있다.

산야초류는 주로 잎 및 줄기 등을 채취하여 가공되므로 채소류 세척기와 같은 고압의 물분사를 이용

Corresponding author : S.H. Kim, Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Choonchun 200-701, Korea

한 이송 및 세척 방법보다는 공기방울에 의해 이송 및 세척이 동시에 수행되는 것이 재료의 손상을 최소화하는 방법이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 산야초 세척시스템을 개발하기 위해 공기방울을 사용하여 세척과 동시에 이송이 가능한 방법을 개발하는데 목적이 있으며 구체적으로는 공기방울에 의한 재료 이송의 이론적인 분석과 이송성능의 분석에 있다.

연구 재료 및 방법

본 연구에서는 공기유량과 유체 유동량의 관계를 이론적으로 구하고, 배출된 공기방울들이 세척조 내의 물을 유동시키는 물리적인 현상에 기초한 유동모델을 개발하는 동시에 실험결과와 비교하여 이송성능의 적정 작동조건을 찾는다. 실험을 위해 실험실용 수조를 제작하여 공기방울에 의한 물의 유동을 이론적인 및 실측에 의한 방법으로 구하고 수조 내에서 재료의 세척 및 이송에 미치는 요인들을 찾는다.

세척수조의 설계

본 연구의 세척장치는 세척조 하부에서 공기방울을 방출하여 물을 강제 순환시킴으로써 와류를 발생시켜 산채류의 세척효과를 높임과 동시에 재료를 일정한 방향으로 이송하는 구조이다. 수조는 두께 3 mm의 판유리를 폭 0.3 m 길이 0.4 m, 길이 0.5 m로 제작하였다. Fig. 1과 같이 수조내에서 공기방울을 형성할 수 있도록 한쪽 끝단이 막힌 직경 20 mm의 수도관 표면에 구멍을 뚫어 3종류의 공기토출 파이프를 제작하였다. 공기 토출구의 직경은 각각 2 mm,

4 mm, 8 mm로 하였으며, 한 개의 파이프에 공기 토출구를 40 mm 간격으로 6개 설치하였다. 공기는 최대 토출 압력이 2300 mmAq 이고 최대유량이 4.8 m³/min 인 터보팬을 사용하여 공기토출 파이프의 한쪽 단으로부터 주입하였다. 공기토출 파이프는 수조의 하부에 설치하되, 최초의 것은 수조 선단에 설치하고, 하나 이상의 공기토출 파이프를 사용하는 경우는 최초의 설치 지점으로부터 일정한 간격을 두고 설치하였다.

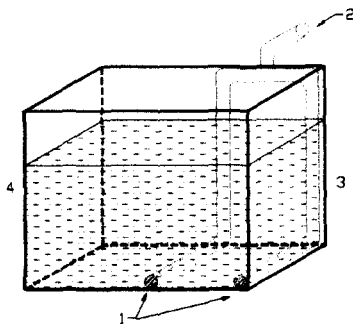
실험 방법

공기 방울에 의한 물의 이송 및 유동을 이론 및 실험적인 방법으로 규명하기 위하여, 공기 토출구의 크기, 공기 토출압력 등을 변화시키며 물의 유동과 물체의 이송성능에 관한 일련의 실험을 수행하였다.

물의 유동상태는 공기토출구의 구멍 크기 및 터보팬의 토출 압력을 조절한 후 물의 유동이 정상상태 일 때 수조의 측면을 비디오 카메라로 촬영하여 구하였다. 촬영된 정지화면은 image analyzer로 분석하였으며 공기 방울이 소멸되기 전까지의 측면적을 측정하고 수조의 폭을 고려하여 계산된 체적을 공기방울에 의한 물의 유동체적으로 나타내었다. 공기 방울에 의한 물의 유동으로 물체를 이송하는 성능을 측정하기 위하여 2, 4, 8 mm의 3종류의 토출구 직경을 갖는 공기 토출 파이프의 위치를 변경하여 직경 50 mm, 두께 3 mm의 원형 폴크 시편을 수조선단에서 출발시켜 수조 끝단까지 걸리는 시간을 측정하였다. 8 mm 와 4 mm의 두 종류의 공기 토출구를 갖는 공기토출 파이프를 1개의 조합으로 배치하여 산야초류인 참나물의 이송성능을 측정하였다.

공기방울에 의한 유체의 이론적 유동량

수조 하부에 공기 토출구를 설치하고 공기를 분출시키면 공기와 물의 밀도 차이가 크기 때문에 공기는 빠른 속도로 상승하고 동시에 유체의 유동이 발생된다. 공기와 유체의 흐름은 두 영역으로 Fig. 2와 같이 표현될 수 있으며 전체적으로 중심 축에서 대칭형상을 갖는다. 중앙의 공기 핵부는 체인형상으로 상승하는 큰 공기방울과, 공기방울 사이사이에서 함께 상승하는 유체로 구성되며, 중앙 공기 핵의 외부는 공기방울의 부력에 의해 발생된 견인력으로 유입 상승되는 유체 흐름 층이다. Baines (1961), Hussain과 Narang 등(1984)은 유체의 표면으로부터 공기 토출구까지의 수직거리가 커지고 토출되는 공기의 유량이 증대하면 유동하는 유체의 유량도 증대하는



- 1. Pipe for air injection
- 2. Inlet of high pressure air
- 3. Starting point for washing
- 4. End point for washing

Fig. 1. Overall view of washing bath.

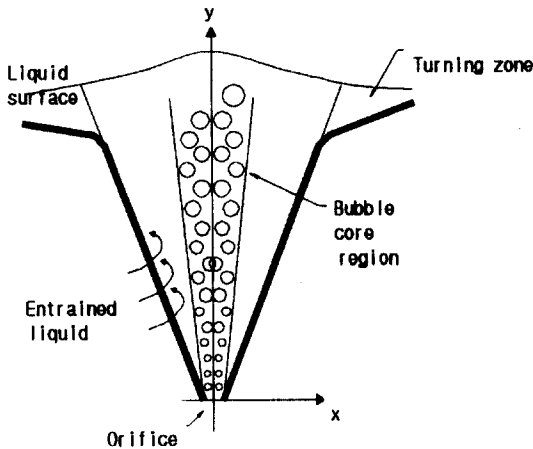


Fig. 2. Configuration of liquid jet induced by rising column of air bubble (Hussain and Narang, 1984).

것으로 보고한 바 있다. 본 연구에서 공기유량과 토출구까지의 수직거리에 따라 유동되는 유체의 유량 변화를 구하기 위해, 유체의 유량(M_l)이 공기의 유량(M_g)의 0.4 지수 배 ($M_l \propto M_g^{0.4}$), 깊이의 1.4 지수 배 ($M_l \propto L^{1.4}$)로 변화하는 Hussain과 Narang(1984)과 김상현 등(1996)이 제시한 식과 지수를 적용하였다.

$$M_l = C_1 (M_g / 9.81)^{0.4} L^{1.4} / 9.81 \quad (1)$$

여기서, M_l = 유체의 질량유량 (N/s),
 M_g = 공기의 질량유량 (N/s),
 L = 깊이 m,
 C_1 = 계수, 350 ($M_g < 0.098$ N/s)이며 공기 및 유체가 상온인 경우; Hussain과 Narang, 1984).

공기방울 세척조 내의 유체 유동특성

토출된 공기량에 따른 수조내의 유체 유동량은 유체의 흐름이 정상 상태일 때 비디오 카메라로 유리수조의 옆면을 촬영한 후 Fig. 3과 같은 정지 화면의 그림을 분석하여 구하였다. Fig. 3과 같이 공기 토출 파이프의 구멍으로부터 공기가 배출되어 상승하는 과정에서 배출된 공기는 실험조건의 최대압력인 15.7 kPa의 범위 내에서는 배출된 공기가 유체 내에서 공기 기둥을 형성하지 못하고 토출된 일정량의 공기가 방울을 형성하는 동시에 부력에 의해 상승되므로 다음순간에 배출되는 공기와는 분리되어 공기방울간에 간격을 갖고 연속적으로 상승한다. 이때 공기방울 사이사이에 위치한 유체는 공기방울의 상승과 함께 상부로 이송된다. 공기 토출구에 작용하는 수압 이상의

Fig. 3. Liquid jet stirred by air bubble in the water bath.

공기압력에 의해 토출구에서 배출된 공기방울은 유체 표면으로 상승하는 과정에서 서로 합쳐지며 또한 분리되어 작은 공기방울이 전체적으로 원추의 형상을 이루게 되므로 정상상태 일때의 정지 화면(Fig. 3)에서 원추각을 구할 수 있다. 배출된 공기의 유동력에 의해 공기방울이 혼입된 유체는 수면위로 솟아올랐다가 양쪽으로 퍼져나가며 소멸된다. 본 세척조는 재료를 공기방울로 세척함과 동시에 한쪽 방향으로 이송하기 위해 설계되어 첫 번째 공기배출 파이프를 세척조 하부의 출발점에 설치하였다. 여기서 분출된 공기방울의 부력에 의해 공기유체의 혼합체는 상부로 이송되어 유체의 표면에서 막히지 않은 출구방향으로 퍼져나가 유체에 투입된 재료를 출구로 이송시키는 역할을 하게 된다. 분출된 공기에 의해 유동되는 유체의 양은 공기분출 후 일정시간동안 공기가 이송될 때 함께 움직인 유체의 양으로 정의 될 수 있으며 유리수조의 옆면에서 공기의 분출에 의해 유체의 유동이 정상상태일 때 비디오 카메라로 촬영한 그림을 image analyser로 분석하여 그 유동체적과 유체의 퍼져나간 길이인 유동길이를 구하였다. 실험 수조내의 공기토출 파이프에서 공기가 토출되어 상승 후 유체 표면에서 옆으로 퍼져나가 소멸되는 시간은 평균 0.53초였으며 정상상태에서 유동된 공기 및 유체의 전 체적은 촬영된 그림의 공기유체 유동 단면적에 수조 폭을 고려하여 구할 수 있고, 따라서 단위 시간당의 공기 및 유체 의 유동량이 계산된다.

결과 및 고찰

산채류 세척을 위해 수조내에서 공기방울을 배출 하면 유체가 유동하여 산채를 세척 이송하게된다. 배출되는 공기의 유량에 따라 공기유체의 유동량은 변화하며 따라서 재료의 이송성능도 변화한다.

Table 1. Air flow rate (cm³/s)

Pressure(kPa)	Diameter (mm)			
	8	4	8-4	
15.7	4900	2300	4000	3700
14.7	3400	1800	3400	2780
13.7	3000	1650	2340	1830
12.7	2200	1400	1490	1140

공기유체의 유동량

공기방울 세척조 내의 유체 유동특성을 모델링 하기 위해, 구성된 장치에서 토출되는 공기유량을 측정하고 공기유량에 따른 유체 유동량을 측정하였다. Table 1은 공기배출 파이프의 토출구 직경과 토출압력에 따른 토출공기 유량을 3반복하여 측정된 결과로서 각각의 측정된 값을 기초로 이론적인 공기유체의 유동량이 계산된다. 실험실용 세척수조에 사용된 공기 토출 파이프의 구멍을 통과한 공기 유량은 공기 압력과 토출구의 직경이 커짐에 따라 증대되는 특성을 보였다. 공기 토출구의 직경이 8 mm인 경우가 4 mm인 경우에 비해 각 토출 압력에서 공기 토출량이 1.6에서 2.1배 증대되었으며 8 mm 및 4 mm의 토출구를 가진 두개의 공기배출 파이프를 하나의 팬에 동시에 연결한 8-4 조합에서 8 mm의 경우 4 mm인 경우에 비해 공기 배출량의 1.1에서 1.3배 정도로서 하나의 파이프를 팬에 연결하여 비교한 경우보다 차이가 적었다. 이러한 현상은 공기배분장치의 구조에 기인한 것으로 본 연구에서는 Table 1의 각 공기 토출구에서 배출된 공기 토출량을 기준으로 이론적인 계산 및 실험결과를 비교하였다.

공기유량에 따른 유체의 유동량을 식 (1)에 의해 구하기 위해 측정된 공기의 체적유량을 질량유량으로 환산하였으며, 이때 적용된 공기의 밀도는 0.3 m 깊이의 수압 하에서의 밀도였다. 식 (1)에서 계산된 유체의 질량유량을 부피로 환산한 후 공기의 체적유

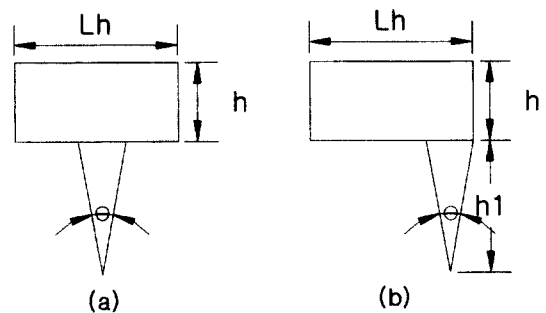
Table 2. Comparisons of calculated and measured air-liquid flow rates (cm³/s)

Pressure (kPa)	Diameter (mm)			
	8		4	
	Calculated	Measured	Calculated	Measured
15.7	13375	10331	8564	8443
14.7	10724	9476	7479	7909
13.7	9967	8764	7136	7196
12.7	8354	6413	6536	5094

량을 합하여 총 공기 및 유체의 유동량을 계산하였다. 계산 결과와 측정치를 비교한 결과는 Table 2와 같으며 토출압 13.7 kPa 이상일 때 토출구 4 mm 인 경우에는 5% 내의 오차이었고 토출구 8 mm인 경우에는 15.7 kPa의 높은 압력을 제외하고 오차가 13% 내의 범위를 보였다. 토출구의 직경이 큰 경우에 오차가 큰 이유는 상대적으로 토출구가 커져서 공기 유량이 많아 질 때 유동하는 공기유체중 공기의 일부 부분이 빨리 유체 밖으로 배출되는 특성에서 기인 된 것으로 판단되며 따라서, 식 (1)에 의해 주어진 수조의 물깊이와 토출 공기유량을 고려할 때 시험범위인 13.7 kPa과 14.7 kPa 의 사이에서 13%의 오차 범위로 공기 및 유체의 총 유동량을 예측 할 수 있다

공기유체의 유동 모형

공기방울을 이용하여 세척과 이송을 동시에 수행 하기 위해서는 공기토출 파이프를 수조하부에 적절히 배치하여 산채류를 유체의 와류에 의해 유동시키며 동시에 일정한 방향으로 이송하는 유체의 흐름이 필요하다. 따라서 공기 토출파이프를 두 개 설치하여 첫 번째 파이프에서 토출된 공기의 힘으로 재료가 이송되며 두 번째 파이프에서 토출된 공기의 힘으로는 이송되는 재료에 저항을 가하는 동시에 재료가 유체 내에서 유동하며 세척될 수 있는 방법이 적용된다. 따라서 각각의 파이프의 위치에서 공기유체의 유동량을 이론적으로 계산하여 이송성능을 분석하고자 다



- Lh : Length of flow
- h : Height of flow
- ⊙ : Cone angle
- h1 : Height of liquid surface

Fig. 4. Models of air-liquid flow patterns in washing bath according to the location of air pipes at bath bottom. (a) Location I: middle of the washing bath, (b) Location II: starting point near wall.

음과 같이 공기 및 유체의 유동을 모형화 하였다. 배출된 공기의 유량을 기초로 식 (1)에 의해 구한 유체의 유동량 및 총 공기유체 유동량이 커지면 수조 표면에서 단위시간당 공기유체의 유동거리가 길어져서 재료의 이송속도가 빨라진다. 공기유체의 유동형상은 Fig. 4(김상헌 등, 1996)와 같이 파이프 위치에 따라 두 종류의 단면을 형성하며 공기 토출구에서 수면까지는 역삼각형을 이루고 수면에서는 직사각형을 이루면서 소멸되는 것으로 가정할 수 있다. 총 공기 유체의 유동량에 따라 사진에서 판독한 공기유체의 수평길이(Lh)와 역삼각형의 꼭지각(θ)을 측정하면 다음 식 (2)의 관계식에서 유동높이도 계산되어 모형이 결정된다.

$$Q_{gl} = (A_1 + A_2)W \tag{2}$$

여기서,

- A₁ = Lh × h, 사각단면
- A₂ = (2 × h₁ × tan(θ/2)) × h₁ / 2, 삼각단면
- Q_{gl}: 공기유체 유동량, cm³/sec
- Lh: 유동길이 cm
- h : 유동높이, cm
- h₁ : 수면높이, cm
- θ : 공기토출각, deg

세척조내의 공기방울에 의한 이송성능

수조 내에 두개의 공기 토출 파이프를 설치할 때 첫 번째 파이프와 두 번째 파이프의 공기토출구 크기를 달리 할 경우 두 파이프에서 토출되는 공기유량이 차이가 나며 또한 유체의 유동량도 다르게 되어 재료의 이송 및 세척성능이 변화된다. 즉 첫 번째 파이프의 토출 공기유량이 두 번째 파이프의 토출 공기유량보다 상대적으로 크면 공급된 재료는 두 번째 파이프에 의한 유동저항을 적게 받으며 빠르게 배출되어 세척을 위한 유체 와류의 영향을 적게 받게 된다. 그러나 두 파이프의 공기 토출유량의 차이가 적은 경우에는 재료의 이송과정에서 저항을 받아 이송속도가 늦어지며 따라서 공기방울에 의한 유체의 와류에 의한 세척정도가 높아진다. 한편 첫 번째 파이프와 두 번째 파이프의 간격을 조정할 경우 공기 토출유량에 의한 효과가 달라진다. 비록 두 파이프의 공기유량의 차이가 크지 않아도 두 파이프의 위치가 근접할 경우 첫 번째 파이프에 의한 유체의 유동력에 의해 재료는 두 번째 파이프의 저항을 이기고 이송이 가능하다. 그러나 두 파이프의 공기유량 차이가

큰 경우에도 두 파이프의 간격이 일정한 길이 이상으로 떨어지면 두 번째 파이프의 공기유체의 유량에 의해 벽이 형성되어 재료의 이송이 어렵게 된다.

두 개의 토출구 파이프

재료의 이송성능을 측정하기 위해 사용된 토출구 직경 8 mm-4 mm 조합인 경우와 8 mm, 4 mm 각각인 경우에서 공기 유체의 유동형상을 구하기 위하여 공기압력 15.7 kPa를 유지하며 각 공기 토출 파이프에 공기를 공급한 후 토출된 공기유량을 대기압에서 측정하였다. 또한 수조 내에서 각 공기 토출 파이프가 공기방울을 배출할 때에 유동길이 및 꼭지각을 측정하고, 계산된 공기유체의 총 유동량을 기초로 유동높이의 값을 구한 결과는 Table 3과 같다. 측정된 유동길이와 꼭지각은 공기유체의 유동량에 비례하여 변화하였으며 따라서 유동높이도 변화하였다. 공기유체의 유동형상을 분석한 결과 공기토출 파이프 조합 8 mm-4 mm일 때 유동길이는 22.7 cm, 21.9 cm이고 유동 높이는 15.3 cm, 15.1 cm로 두 유동형상이 서로 맞닿는 경우 파이프의 간격은 22.3 cm 이내 이다. 따라서 파이프 간격이 22.3 cm 보다 작을 경우에는 첫 번째 파이프의 유동력이 두 번째 파이프의 유동력과 겹쳐져서 재료를 이송시키는데 저항을 주는 두 번째 파이프의 유동력을 감소시키며 재료를 빨리 이송하게 되나 파이프 간격이 22.3 cm 보다 큰 경우에는 재료가 두 번째 파이프의 저항으로 인해 유체 내에서 와류 등에 의해 체류하는 시간이 커질 수 있다. 이러한 분석 결과와 비교하기 위해 파이프 간격이 10 cm, 20 cm 및 25 cm인 경우의 이송성능을 실험실에서 실험한 결과 파이프 간격이 10 cm인 경우에는 산채류가 물속에 잠수되지 않고 그대로 표면에 떠서 배출

Table 3. Flow shape of air-liquid mixture and air flow rate from air-pipes

Set of air-pipes	8 mm-4 mm	8 mm	4 mm	2 mm	
Air flow rate (cm ³ /sec)	4000	3700	4900	2300	1900
Air-liquid flow rate (cm ³ /sec)	11816	11276	13375	8564	7624
Length of flow (Lh/cm)	22.7	21.9	24.6	18.3	16.9
Cone angle (deg)	6.0	5.8	6.6	4.6	4.1
Height of flow (cm)	15.3	15.1	16.0	13.6	13.1

Table 4. Transport performance according to the air-pipe size and location

Hole diameter on pipe (mm)	Pipe location from wall (mm)	Material transported (%) within the speed range			
		0.30 m/s and higher	0.29 m/s-0.16 m/s	0.15 m/s -0.10 m/s	0.09 m/s and lower
2	75	52	20	16	12
2	100	16	20	20	44
4	100	18	40	27	15
8	100	80	16	0	4
8	125	26	36	14	24

되었으나 25 cm 인 경우에는 산채가 토출구 직경 4 mm인 두 번째 공기배출 파이프에서 형성한 공기 유체의 벽을 넘어가지 못하였다. 그러나 파이프 간격이 20 cm인 경우에는 산채가 물속에 유입되며 동시에 전방으로 배출되는 현상을 보여 이론적인 모형에 의한 예측과 실험 결과가 잘 일치하였다.

실험 세척장치에서 토출구 직경 8-4 mm 조합으로 된 공기토출 파이프를 사용하여 산야초인 참나물의 이송 가능한 한계를 측정된 결과 두 토출파이프의 간격은 20 cm부터 26 cm의 범위에서 이송이 가능했으며 이 경우 투입된 산채류는 두 토출파이프 사이에서 와류에 의해 1-2회의 선회 후 이송되었다.

한 개의 토출구 파이프

본 실험 장치와 같이 길이가 1 m 이내인 소형 수조의 경우에는 공기유체의 유동을 발생시키는 공기 토출 파이프를 한 개 사용하여 벽면으로부터 일정한 거리에 위치할 경우 재료의 이송 및 세척이 가능하였으며 8 mm, 4 mm, 2 mm의 공기토출 파이프를 한 개 사용하여 이송성능을 측정하였다.

Table 4는 일정크기의 공기토출구를 가진 파이프의 위치에 따라 재료의 이송속도 분포를 표시한 것으로, 같은 크기의 토출구를 갖은 공기토출 파이프를 벽면에 가까이 위치할수록 재료가 빠르게 이송되었다. 세 종류의 토출구에서 배출된 공기에 의한 이송 성능을 벽면에서 10 cm떨어진 위치에서 비교한 결과 0.16 m/s 이상 범위의 이송속도로 배출된 재료는 토출구 직경이 2 mm인 경우 36%, 4 mm 인 경우 58%, 8 mm인 경우 96%로 토출구 직경이 큰 경우 공기 토출량이 많아 이송이 빨랐다. 그러나 이송과 동시에 세척이 이루어지기 위해서는 이송과정에서 공기방울에 의해 세척되는 시간이 필요하므로 토출구가 커서 공기 토출량이 큰 경우에는 적은 경우보다 벽면에서 더 멀리 떨어진 위치에 고정할 필요가 있다. 실험 결과 전체 재료의 50-70%가 0.16 m/s 이상

의 속도로 이송될 경우 본 실험장치의 산채류 이송 성능은 6 kg/min으로 이송과정에서 재료가 1-2회 선회 하며 이송되었다. 이 범위의 성능을 보이는 파이프 위치는 공기 토출구 크기 2 mm인 경우에 벽면과 파이프 간격이 7.5 cm, 토출구 크기 4 mm인 경우 10 cm, 토출구 크기 8 mm인 경우 12.5 cm 이었다. 이러한 간격과 각 공기 토출파이프의 공기유체 유동 길이들(Table 3) 비교한 결과 (2 mm 토출구 경우 16.9 cm, 4 mm 경우 18.3 mm, 8 mm 경우는 24.6 cm) 각 공기 토출파이프의 공기유체 유동길이의 절반에 해당하는 거리만큼 벽면에서 떨어진 곳에 파이프를 설치할 경우 재료의 이송속도가 비슷해짐을 알 수 있다.

결론 및 요약

산야초 가공 기술중의 하나인 음료 개발 및 가공용 산야초 즙을 추출하기 위해서는 재료를 세척하는 장치가 필요하다. 본 연구에서는 산야초 세척을 위해 고압의 물 분사를 사용하지 않고 공기방울에 의해 세척과 동시에 이송이 가능한 방법을 개발하는데 목적이 있었으며 구체적으로는 공기유량과 유체 유동량의 관계를 이론적으로 구하고, 배출된 공기방울들이 세척조 내의 물을 유동시키는 물리적인 현상에 기초한 유동모형을 개발하는 동시에 실험장치에 의한 실험결과와 비교하여 이송성능의 적정 작동조건을 찾는데 있었다. 결과는 다음과 같다.

1. 이론적으로 구한 공기유체의 유동량과 측정에 의한 공기유체의 유동량은 실험 범위내의 압력에서 토출구 4 mm인 경우에는 5%내의 오차를 보였으며 토출구 8 mm인 경우에는 13%의 오차를 보였다.
2. 세척조 내의 토출구에서 배출된 공기방울은 유체표면으로 상승하는 과정에서 원추형상을 이루고 공기와 함께 상승된 유체는 수면위로 솟았다가 양쪽으로 퍼져나가는 현상을 기초로 토출 파이프의 위치에 따라 공기유체 유동을 모형화(Fig. 4) 하였다.

3. 두 개 토출 파이프 8 mm와 4 mm의 조합으로 사용한 경우의 산채류 이송을 위한 토출파이프의 적정 간격은 두 개의 토출구에서 형성한 공기유체의 유동길이의 평균 값이다.

4. 한 개의 토출구 파이프를 사용한 산채류 세척 이송의 경우 벽면과 각 토출구 파이프의 간격이 공기유체의 유동길이의 절반을 유지할 경우 토출구 직경에 무관하게 일정한 이송성능을 보였다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 교육부 농업과학분야 학술연구조성비에 의하여 수행된 연구결과의 일부로 이에 감사드립니다.

문 헌

Baines, W. 1961. The principles of operation of bubbling

- system. *Proceedings of Symposium on Air Bubbling, Ottawa, Canada.* pp12-22
- Ham, S.S., S.Y. Lee, D.H. Oh, S.W. Jung, S.H. Kim, C.K. Jeong and I.J. Kang. 1998. Cytotoxicity of ligularia fischeri extracts. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutri.* 27(5): 987-992
- Hussain, N.A. and B.S. Narang. 1984. Simplified analysis of air-bubble plumes in moderately stratified environments. *ASME Journal of Heat Transfer* 106: 543-551
- Hussain, N.A. and R. Siegel. 1976. Liquid jet pumped by rising gas bubbles. *ASME Journal of Fluids Engineering* 98(1): 49
- Kobus, H.E. 1968. Analysis of the flow induced by air bubble systems. *Proceeding of Coastal Engineering Conference (Vol. 2), London.* pp1016-1031
- 김상현, 신범수, 성경일. 1996. 채소류 폐기물의 처리 시스템 개발. 농림부연구보고서
- 박재복. 1992. 주요농산물 가공기계 개발에 관한 연구. 한국식품개발연구원 보고서