

## 초미세 당귀분말 첨가 시럽의 제조 기술 개발

심재성 · 최경옥 · 김동은<sup>1</sup> · 선주호<sup>2</sup> · 강위수<sup>2</sup> · 임정대<sup>3</sup> · 고상훈\*

세종대학교 식품공학과, 강원대학교 생물산업공학전공<sup>1</sup>,  
강원대학교 BT특성화학부대학<sup>2</sup>, 강원대학교 생약자원개발학과<sup>3</sup>

### Development of Ultrafine Angelica Powder-Added Syrup

Jae-Sung Sim, Kyeong-Ok Choi, Dong-Eun Kim<sup>1</sup>, Ju-Ho Sun<sup>2</sup>, Wie-Soo Kang<sup>2</sup>,  
Jung-Dae Lim<sup>3</sup>, and Sanghoon Ko\*

<sup>1</sup>Division of Biological Systems Engineering, College of Agriculture, Kangwon National University

<sup>2</sup>Division of Biotechnology, School of Bioscience & Biotechnology, Kangwon National University

<sup>3</sup>Department of Herbal Medicine Resource, Kangwon National University

#### Abstract

Angelicae gigantis Radix (dried root of *Angelica gigas*) including major bioactives such as decursin and decursinol angelate provides rich flavors and several healthy benefits. Recent studies have shown that ultrafine powders of herbal medicines provide better physical properties and biological activities. Thus, ultrafine Angelica powder was added into the oligosaccharide syrup to provide flavors and healthy benefits in this study. Angelicae gigantis Radix was pulverized into  $d(0.1) = 3.220$ ,  $d(0.5) = 7.822$ , and  $d(0.9) = 7.817$   $\mu\text{m}$  respectively using an air-flow mill. The ultrafine Angelica powder was added into the oligosaccharide syrup process with different ratios of water to oligosaccharide syrup at 1:5, 1:8, 1:11, and 1:14. The physicochemical properties such as viscosity and bulk density were measured. The Stokes' law was applied to predict the sedimentation velocity of the added Angelica powder in the syrup. The Angelica syrup prepared in this experiment showed good stability since the Angelica particles precipitated down slowly. The ratio of water to oligosaccharide syrup at 1:11 showed the optimal preparation in terms of the stability and the viscosity. The ultrafine-sized herbal powders such as Angelicae gigantis Radix have potentials for various food and pharmaceutical applications.

**Key words:** Angelica syrup, *Angelica gigas* Nakai, ultrafine powder, Stokes' law, sedimentation

## 서 론

산형과(Umbeniferae)인 당귀(*Angelica gigas*)는 뿌리를 채취 후 잔뿌리를 잘라 버리고 햇볕에 말린 것으로 특이한 향기가 있다. 한방에서는 빈혈증, 부인병, 임산부의 산후 회복에 주로 쓰이는 당귀는 이외에도 심한 기침, 부스럼 등에 효과가 있다고 알려져 있다(Ko & Kim, 1991). 또한 당귀의 섭취는 자궁을 튼튼하게 할 뿐 아니라 생리를 조절하여 피 찌꺼기 등 노폐물을 빼내는 역할을 하며 냉증, 혈액 불량, 산전 산후의 회복과 피가 부족할 때 보혈작용을 하고 피의 순환을 원활하게 해주며 혈액정화작용과 장의

운동을 활발하게 해주므로 오랫동안 복용하면 손발이 찬 증상을 개선시킬 수 있다고 한다.

당귀뿌리에는 decursin, decursinol, nodakenin 등의 coumarin 유도체와  $\alpha$ -pinene, limonene,  $\beta$ -eudesmol, elemol 등 함유하고 있다(Park et al., 2007). 특히 주성분인 decursin은 뇌 세포의 보호 효과가 있어 치매 예방과 치료에 도움을 주는 것으로 알려져 있는데, 특히 혈액순환과 대사를 활성화시켜 항산화 작용은 물론 활성산소를 제거하는 데에도 기여하므로 뇌기능을 활발하게 유지시켜 주는 것으로 보고되고 있다(Kang et al., 2004). 또 백혈병 치료와 신장독성 경감, 당뇨병 고혈압 치료 등에 효과적이며, 이 외에도 미백기능 및 헬리코박터 파이로리균에 대한 항균기능 등을 가지고 있다.

몇 년 전부터 국내에서는 한약재를 이용한 기능성 식품 개발이 활발히 진행되고 있는데, 당귀, 오미자, 생강 등을 비롯하여 점차 다양한 종류의 한약재가 식품에 이용되고 있는 추세다. 당귀를 이용한 음료제품의 예로 당귀 추출액

\*Corresponding author: Sanghoon Ko, Department of Food Science and Technology, Sejong University 98 Gunja-dong, Gwangjin-gu Seoul 143-747, Korea  
Tel: +82-2-3408-3260; Fax: +82-2-3408-3319  
E-mail: sanghoonko@sejong.ac.kr  
Received November 4, 2008; revised December 30, 2008; accepted January 10, 2009

을 주원료 또는 영지, 옹지, 천궁, 상황, 백작약 추출액 등과의 혼합액을 원료로 하여 제품화를 시도하고 있다.

당귀를 전통적인 방식과 비슷하게 열수 추출할 경우 수용성 물질만이 추출되고 불용성 및 지용성 물질은 거의 그대로 남아있어 당귀의 효과를 제대로 얻을 수 없는 제한요인이 있다. 특히, 당귀의 주요 생리활성 성분인 decursin, decursinol 등은 지용성 물질이므로 열수 추출 시 수용액 속으로 용해되지 않고 추출 후 버려지는 폐기물에 남아있게 된다. 본 연구에서는 당귀를 초미세 분말화하여 식품에 적용하는 시도를 하고 있으며 이 경우 당귀의 모든 성분을 활용할 수 있게 된다. 또한 기존의 시럽들은 주원료가 되는 과당에 합성착향료, 색소 등의 첨가물을 사용하여 가공한 맛, 색, 향을 내는데 그친 반면 초미세 당귀분말 첨가 시럽은 맛, 향, 기능성을 당귀분말로부터 얻을 수 있게 하였다.

시럽류는 일반적으로 긴 시간 동안 한 자리에 두고 사용하거나 판매 시 상온 전시 기간이 길어 분말의 침강이 이루어지기 쉬운 환경에 있다. 침전물 형성 시 외관상으로 좋지 않을 뿐 아니라 시럽의 변질 및 미생물 오염의 우려가 있으므로 침전을 최소화하는 것이 시럽류의 저장성 및 소비자 선호도를 증진시키는 방법이라 할 수 있다.

Stokes' laws ( $V_s = \frac{d^2(\rho_p - \rho_f)g}{18\mu}$ )는 입자의 유체에 있는 입자의 침강 및 부유속도(particles' settling velocity,  $V_s$ )를 예측할 수 있는 식을 제공하는데, 입자의 지름(particle diameter,  $d$ ), 입자의 진밀도(true density,  $\rho_p$ ), 유체의 진밀도(true density,  $\rho_f$ ), 중력가속도(gravitational acceleration,  $g$ ), 유체의 점도(viscosity,  $\mu$ )에 영향을 받는다. Stokes' law에 따르면 침강속도는 입자와 유체 간의 진밀도 차이와 입자의 직경이 클수록, 유체의 점도가 작을수록 커지게 된다.

분말을 첨가한 시럽류에서 입자의 침강 및 부유를 방지하기 위한 전략은 3가지로 요약할 수 있다. 첫째, 입자의 크기를 최소화하는 것이다. 만약 입자의 크기가 무한히 작으면 입자는 유체 내에서 침강 또는 부유하지 않는다. 또한 입자의 크기가 어느 크기 이하로 작아지면 무질서한 방향으로 이동하려는 경향을 보이는 브라운 운동(Brownian motion)에 의한 이동이 Stokes' law에 의한 이동보다 커지므로 침강이나 부유를 방지하는 유체를 만들 수 있다. 본 연구에서는 당귀입자의 침강을 최소화하기 위한 전략으로 이 방법을 선택하였다. 둘째, 입자와 유체 간의 진밀도 차이를 최소화하는 것이다. 만약 입자와 유체 간의 진밀도 차이가 없으면, 입자는 침강이나 부유하지 않는다. 하지만 본 연구에서 이용된 당귀입자의 진밀도는 조절 불가능한 상수이며 유체(시럽)의 진밀도는 조절 가능하나 시럽의 적절한 질감 및 관능특성 구현을 위하여 제한적으로 조절될 수 밖에 없으므로 주요한 전략으로 이용하기는 어렵다. 셋째, 유체의 점도를 최대화하는 것이다. 만약 유체의 점도가 무한히 크면 입자는 침강 또는 부유하지 않을 수 있다. 하

지만 둘째 전략에서와 비슷하게 시럽의 점도는 조절 가능하나 적절한 질감 및 관능특성 구현을 위하여 제한적으로 조절될 수 밖에 없다. 결론적으로, 본 연구에서는 당귀입자의 크기를 최소화하여 시럽 내에서 침강속도를 최소화하기 위한 연구를 시도하였다.

본 연구의 목적은 초미세 당귀분말을 제조하고 이를 이용한 당귀시럽을 제조하는 것이었다. 또한, 제조된 당귀시럽의 이화학적 특성을 분석하고 초미세 당귀분말 함유 시럽의 제조 조건을 확립하였으며 이를 위하여 물과 올리고당의 배합 비율에 따라 시럽의 점성을 조절하고 시간의 경과에 따른 당귀입자의 침전을 예측하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 연구에서 실험한 당귀는 평창군 농업기술센터에서 2008년 생산한 GAP 당귀를 제공 받아 실험하였다. 이소말토올리고당(Chungjungwon, Daesang Co., Seoul, Korea)은 시중에서 판매하고 있는 제품을 사용하였으며 설탕 감미의 약 50% 이다. 또한 구연산(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, Mo, USA) 및 증류수가 첨가되었다.

### 당귀 초미세 분말 제조

당귀(함수율이 70% 이상)를 건조하여 수분함량을 10% 이하로 한 후 세절기를 이용하여 일정한 크기로 세절 후 3 mm 이하로 조파쇄하여 초미분쇄 실험 재료로 사용하였다. 본 연구에서 당귀의 초미세 분쇄를 위하여 이용된 장치로 분쇄 시 마찰열로 인한 영양분 파괴 방지를 위하여 트랙을 저온으로 유지할 수 있도록 설계된 저온 미분쇄기(HKP-05, Korea Energy Technology, Korea)를 사용하였다. 저온 미분쇄기는 투입부, 분쇄영역, 배출부 3부분으로 구성되어 있으며, 분쇄원료를 정량으로 공급하기 위하여 기어타입의 정량공급장치를 설치하였으며, 이동된 분쇄원료는 중력에 의해 자유 낙하되어 저온 미분쇄기의 공급 호퍼에 분쇄원료와 공기가 동시에 공급될 수 있도록 구성하였다. 분쇄실에 투입된 당귀 원료는 고속으로 회전하는 로터와 1차, 2차, 3차 스테이터를 통과하면서 분쇄되었다. 분쇄된 당귀입자는 분쇄기 본체에서 미분(fine powder)과 조분(coarse powder)으로 분리되며 조분으로 분리된 입자는 임펠러에 의하여 발생한 원심력으로 분급구역(classification zone)의 바깥쪽으로 공기와 함께 재순환되어 다시 분쇄실로 투입되었다. 반면에 미분으로 분리된 입자는 공기의 항력에 의하여 중심에 위치한 배출구를 통하여 분쇄실 밖으로 배출되었다. 당귀 분쇄 시 최적의 초미세 분말을 생산하기 위하여 분쇄기의 공급량과 선속도를 1 kg/h 와 100 m/s로 선정하여 실험하였다.

### 초미세 당귀분말의 입자 크기 측정

분쇄된 당귀분말의 입도분포는 입도분석기(Particle size analyzer, Mastersizer-2000, Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, UK)를 이용하여 측정하였다. 측정 시료를 준비하기 위하여 분쇄된 당귀분말을 3차 증류수에 첨가한 후 1분간 분산시킨 다음 5회 반복하여 입자를 측정하였다.

당귀입자의 크기는 체적(volume)의 크기에 따른 입도분포도  $d(0.1)$ ,  $d(0.5)$ ,  $d(0.9)$ 의 값으로 측정하였는데,  $d(0.1)$ 은 입자 분포 곡선에서 시료 부피 10%일 때의 입자 크기를 나타내며,  $d(0.5)$ 은 입자 분포 곡선에서 시료 부피 50%일 때의 입자 크기,  $d(0.9)$ 은 입자 분포 곡선에서 시료 부피 90%일 때의 입자 크기를 나타낸다.

### 초미세 당귀분말의 탭밀도(tap density) 측정

분쇄된 당귀분말의 탭밀도를 측정하기 위하여 25°C에서 시료를 메스실린더에 담고 부피와 질량을 측정하였으며 이 비율을 탭밀도로 정의하였다. 측정 시 공극부피(void volume)를 최소화하기 위하여 수 차례의 진동, 흔들, 충격 등의 외력을 가하였다. 초미세 당귀분말의 탭밀도 측정은 3회 반복하여 실행되었다.

### 당귀시럽 제조

당귀시럽의 제조를 위하여 당귀분말과 이소말토올리고당, 구연산, 물을 혼합기를 이용하여 혼합하였다(Hanover & White, 1993). 당귀분말의 시럽 내 침강 속도 및 적절한 시럽의 점도에 미치는 영향을 연구하기 위하여, 물과 올리고당의 배합 비율을 1:5, 1:8, 1:11, 1:14로 하여 실험하였다. 당귀시럽 제조 시 당귀분말을 시럽 내에 균일하게 분산시키기 위해 혼합기를 사용하는데, 이 때 생성되는 기포를 제거하기 위하여 혼합 후 초음파파쇄기(VCX 750, Youngjin Co., Gunpo, Korea)를 이용하여 기포를 제거하였다.

### 당귀시럽의 점도 측정

제조된 당귀시럽의 점도를 측정하기 위하여 시료 50 mL을 비이커에 넣고 25°C에서 점도계(Digital viscometer, DV-1+, Brookfield Engineering Laboratories Inc., Middleboro, MA, USA)를 이용하여 스피들 회전속도 60 rpm에서 측정하였다.

### 당귀시럽의 탭밀도 측정

제조된 당귀시럽의 탭밀도를 측정하기 위하여 25°C에서 시료를 메스실린더에 담고 부피와 질량을 측정하였으며 이 비율을 당귀시럽의 탭밀도로 정의하였다. 측정 시 기포에 의한 공극부피(void volume)를 제거하기 위하여 초음파파쇄기를 이용하여 초음파를 가하여 기포를 제거하였다. 당귀시럽의 탭밀도 측정은 3회 반복하여 실행되었다. 당귀시럽은 액체이기 때문에 측정된 당귀시럽의 탭밀도는 진밀도

와 동일하다고 가정되어 추후 자료분석 등의 연구에 이용되었다.

### 시럽에서 당귀분말의 침강속도 예측

Stokes' law에 따라 물과 올리고당의 4가지 배합 비율(1:5, 1:8, 1:11, 1:14) 조건에서 시럽 내에 분포되어 있는 당귀분말의 침강속도를 계산하였다. 침강속도는 본 연구에서 측정된 25°C에서 각각 유체의 점도, 당귀분말의 진밀도, 당귀시럽의 진밀도, 당귀입자의 지름의 실험값을 이용하여 계산될 수 있었다.

## 결과 및 토론

### 당귀분말의 초미세 분쇄

당귀를 저온 미분쇄기를 이용하여 초미세 분쇄한 분말의 사진이 Fig. 1에 나타나 있다. 초미세 당귀분말은 회갈색을 색상을 지니고 있으며 분쇄 후 넓어진 표면적 때문에 입자간의 엉김 현상이 관찰되었다. 저온 미분쇄기를 이용하여 공급량 1 kg/h, 분쇄기 선속도 100 m/s 조건에서 당귀를 분쇄 후 입도 분석기를 이용하여 입자 크기를 분석하였는데, Fig. 2에서 보는 것처럼 분쇄한 당귀의 입도분포 값  $d(0.1)$ ,  $d(0.5)$ ,  $d(0.9)$ 은 각각 3.220, 7.822, 17.817  $\mu\text{m}$ 였으며, 당귀입자의 크기 분포는 약 8  $\mu\text{m}$  범위에서 unimodal 경향을 보였다.

### 당귀분말의 진밀도(true density)

초미세로 분쇄된 당귀분말의 평균 탭밀도는 0.624  $\text{g}/\text{cm}^3$ 로 측정되었다. 계산된 평균 탭밀도는 이후 시럽 내에 분포한 당귀입자의 침강속도를 계산하는데 이용되었다. 입자의 침강속도를 계산하기 위해서는 Stokes' law가 적용되는데, 이때 입자의 진밀도가 계산 변수 중의 하나이다. 진밀



Fig. 1. Ultrafine *Angelica gigas* powder.

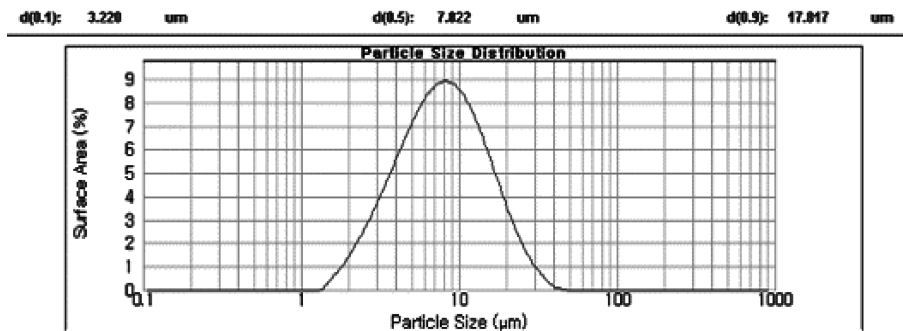


Fig. 2. Particle size analysis of ultrafine *Angelica gigas* Nakai powder.

도는 시료의 질량과 진부피(true volume) 비로 정의된다. 시료의 진부피는 입자들의 부피의 총합이며 이 때 입자와 입자 간 공극부피는 제외된다. 분말의 진밀도를 측정하기는 쉽지 않아 여러 가지 방법들이 시도되고 있는데, pycnometer를 이용하는 방식이 일반적이다. 이 외에도 진밀도는 부피밀도(bulk density) 또는 탭밀도를 측정하여 변환되어 사용될 수 있다. 부피밀도는 계산에 적용되는 부피는 입자부피와 공극부피의 합으로 정의되며, 탭밀도 계산에 이용되는 부피는 입자부피와 수 차례의 진동, 흔들, 충격 등의 외력으로 공극을 최소화한 공극부피의 합으로 부피밀도 보다 오차가 적은 측정을 할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 분쇄된 초미세 당귀분말의 진밀도를 계산하기 위하여 탭밀도의 측정값으로부터 진밀도를 환산하였다.

탭밀도 측정 결과로부터 진밀도를 추론하기 위해서는 변환계수(conversion factor)가 필요한데, 최근까지의 많은 연구는 다양한 분말들의 탭밀도, 진밀도 특성을 보고하고 있다. 예를 들면, 식물소재 및 셀룰로오스를 이용하여 제조한 분말들의 탭밀도와 진밀도를 측정하여 이들 간의 상관관계를 밝히고 있다(Kumar & Kothari, 1999; Patra et al., 2008). 본 연구에서는 문헌에 보고된 당귀분말과 유사한 물질이 주 구성 성분을 이루고 있는 분말의 탭밀도와 진밀도 간의 환산계수를 계산하여 변환에 이용하였다. Kumar & Kothari(1999)의 연구에 의하면 저결정 셀룰로오스(low crystallinity cellulose)의 탭밀도는  $0.627 \text{ g/cm}^3$ 이었는데, 이 값은 주 구성 성분이 셀룰로오스인 초미세 당귀분말의 평균 탭밀도  $0.624 \text{ g/cm}^3$ 와 유사하였다. 본 연구에서는 문헌 자료들의 결과 보고를 분석하여 초미세 당귀분말의 탭밀도에 변환계수 2.3을 곱하여 진밀도로 환산하였다.

#### 당귀시럽의 점도

당귀시럽의 점도는 물과 올리고당의 배합비율에 따라 각각 1:5에서 18.7 cp, 1:8에서 40.8 cp, 1:11에서 65.9 cp, 1:14에서 92.2 cp로 측정되었다(Fig. 3). 당귀시럽의 점도는 제품의 질감 및 관능특성에 중요한 영향을 주므로 적절한 크기를 가져야 한다. 또한 당귀시럽 내에 분포하는 당귀입

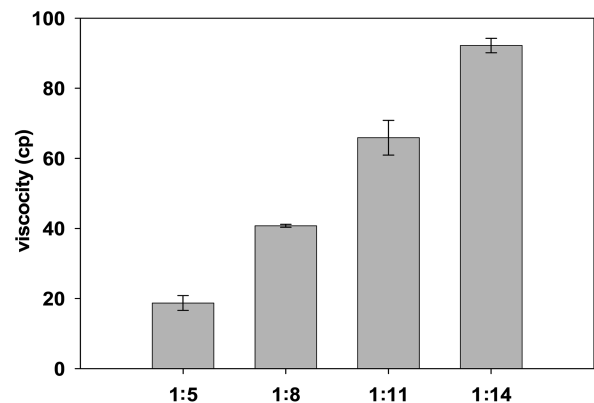


Fig. 3. Viscosity of *Angelica* syrups with different water to oligosaccharide ratios.

자의 저장안정성에도 큰 영향을 준다. 당귀입자의 안정적 분포를 위해서는 시럽의 점도를 최대화하는 것이 바람직하지만, 적절한 질감 및 관능특성 구현을 위하여 제한적으로 조절될 수 밖에 없었다.

이소말토올리고당은 점도의 경우 물엿보다 낮으며 설탕과 거의 동일한 열안정성을 갖는 동시에 설탕 감미의 1/2 정도인데, 물과의 적절한 비율로 혼합을 통하여 당귀의 향이 시럽에 잘 나타나게 할 뿐만 아니라 시럽 본연의 적절한 점도를 갖도록 할 수 있다. 즉, 시판되는 이소말토올리고당 원액은 점도가 일반적인 상업용 시럽보다 높고 단맛도 강하여 적절한 양의 물과 혼합을 통한 점도 및 단맛을 조절할 필요가 있었다.

#### 당귀시럽의 제조 조건 확립

당귀시럽은 초미세 당귀분말, 이소말토올리고당, 구연산, 물을 혼합하여 제조되었다. 당귀시럽 제조 시 물과 올리고당의 비율이 중요한 제조 공정 변수였는데, 물의 비율이 높아 점도가 낮을 경우에는 당귀분말의 침강속도가 빨라져 침전물을 형성하였다. 반면에 올리고당의 비율이 높을 경우에는 당귀분말의 저장 안정성이 증대되지만 단맛이 너무 강하고 시럽의 적절한 질감을 나타내지 못했다. 일반적으로 상업용 커피 감미료를 비롯한 액상감미료의 점도는



Fig. 4. Angelica syrup.

40°C에서 10-20 cp인데, 1:11의 조건에서 제조된 당귀시럽 (25°C에서 65.9 cp)은 이 범위에 포함되는 점도를 보유하고 당귀분말의 안정성도 적절하였기 때문에 본 연구에서 당귀시럽의 제조 조건으로 확정하였다. 즉, 물과 올리고당의 비율이 1:11인 조건에서 당귀분말의 침전을 방지하고 적절한 점성과 단맛을 얻을 수 있었다. 당귀시럽의 최적 제조 조건은 실험결과 물과 이소말토올리고당의 배합비율 1:11, 당귀분말 0.1%, 구연산 0.01%의 구성비로 혼합하는 것이 단맛, 향, 점도에서 목표로 하는 시럽의 형태에 가장 적합하다고 판단되었다. 이 제조 조건에서 당귀분말은 시럽에 균일하게 분산되어있는 상태였으며, 분말의 침강이 쉽게 이루어지지 않았다.

제조된 당귀시럽을 병에 포장한 사진이 Fig. 4에 나타나 있다. 제조된 당귀시럽은 반투명한 황색 또는 금색을 나타

냈으며, 이는 분산되어 있는 당귀입자가 투과되는 빛을 산란시키기 때문에 나타나는 현상이다.

#### 시럽에서 당귀분말의 침강속도

Table 1은 Stokes' law에 따라 계산된 당귀입자의 침강속도를 보여준다. 침강속도는 25°C에서 당귀시럽의 점도, 당귀입자의 진밀도, 당귀시럽의 진밀도, 당귀입자의 지름을 실험값을 이용하였다. 본 연구에서 이용된 물과 올리고당의 배합 비율(1:5, 1:8, 1:11, 1:14) 조건은 시럽의 진밀도와 시럽의 점도에 영향을 주어, 각각의 조건에서 제조된 당귀시럽은 다른 크기의 진밀도와 점도를 가졌다. 반면에, 당귀입자의 평균지름( $d = 24.115 \mu\text{m}$ ), 당귀입자의 진밀도( $\rho_p = 1.433 \text{ g/cm}^3$ ), 중력가속도 ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ )는 계산식에서 상수였다.

입자의 부유 또는 침강 속도는 입자 지름의 제곱에 비례한다. 본 연구에 사용된 당귀입자의 지름은  $24.115 \mu\text{m}$ 였으며 최소화된 크기의 당귀입자는 시럽 내에서 느리게 침강하였다. 본 연구에서처럼 당귀추출물 대신 당귀입자를 직접 시럽 제조에 이용 가능하게 할 수 있었던 주요 요인은 저온 미분쇄기와 같은 초미세 입자를 제조할 수 있는 장비의 개발이며, 초미세 당귀입자들은 시럽 내에서 안정되게 분포될 수 있었다. 입자 크기를 작게 하면 할수록 침강속도는 더 느려질 수 있으므로 차후 분쇄기의 개량화 및 새로운 미세입자 분류기의 개발을 통하여 더 작은 크기의 당귀입자를 만들 수 있다면 시럽 내에서 당귀입자의 침강속도를 더 늦추어 시럽의 저장안정성을 증진시킬 수 있을 것으로 사료된다.

입자는 유체 내에서 입자의 진밀도와 유체의 진밀도 간의 차이에 따라서 부유하거나 침강하며 그 속도는 차이의 크기에 비례한다. 예를 들면, 입자의 진밀도가 유체의 진밀도보다 크면 입자는 침강하게 되며, 반대로 입자의 진밀도가 유체의 진밀도보다 작으면 부유하게 된다. 이 결과로 침전물이나 부유물이 생성되게 된다. 본 연구에서 제조된 당귀시럽의 경우에는 당귀입자의 진밀도가 시럽보다 크므로 천천히 침강하게 된다. 본 연구에서 물과 올리고당의 비율 1:11을 최적 제조 조건으로 선정하였는데 이 때 당귀

Table 1. Settling velocity of ultrafine Angelica particles at different ratios of water to oligosaccharide syrup calculated by the Stokes' law

Settling velocity of ultrafine Angelica particles	Unit	Ratios of water to oligosaccharide syrup			
		1:5	1:8	1:11	1:14
True density of the oligosaccharide syrup ( $\rho_f$ )	$\text{g/cm}^3$	1.3	1.33	1.34	1.35
Viscosity of the oligosaccharide syrup ( $\mu$ )	$\text{cp} = \text{g/m} \cdot \text{s}$	18.7	40.8	65.9	92.2
Particles' settling velocity ( $V_s$ )	$\mu\text{m/s}$	2.25	0.80	0.45	0.29

Particles move up or down by the Stokes' law  $V_s = \frac{d^2(\rho_p - \rho_f)g}{18\mu}$  where  $V_s$  is the particles' settling velocity (m/s),  $d$  is the average diameter of the

Angelica particles ( $24.115 \mu\text{m}$ ),  $g$  is the gravitational acceleration ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ),  $\rho_p$  is the true density of the Angelica particles ( $1.433 \text{ g/cm}^3$ ), and  $\rho_f$  is the true density of the oligosaccharide syrup ( $\text{g/cm}^3$ ). Particles move vertically downwards if  $\rho_p > \rho_f$  or upwards if  $\rho_p < \rho_f$ .

입자의 침강속도는 0.45  $\mu\text{m/s}$ 였다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: 20070401080043)의 지원에 의해 이루어진 것이며, 지원에 감사 드립니다.

### 참고문헌

- Han EJ, Roh SB, Bae SJ. 2000. Effects of quinone reductase induction and cytotoxicity of the *Angelica radix* extracts. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 29: 147-152.
- Hanover LM, White JS. 1993. Manufacturing, composition, and applications of fructose. Am. J. Clin. Nutr. 58: S724-S732.
- Kang SA, Han JA, Jang KH, Choue RY. 2004. DPPH radical scavenger activity and antioxidant effects of Cham-Dang-Gui (*Angelica gigas*). J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 33: 1112-1118.
- Ko KS, Kim YS. 1991. An illustrated book of the Korean flora. Academy Publishing Co., Korea. pp. 433-434.
- Kumar V, Kothari SH. 1999. Effect of compressional force on the crystallinity of directly compressible cellulose excipients. Int. J. Pharm. 177: 173-182.
- Park KW, Choi SR, Yang HS, Cho HW, Kang KS, Seo KI. 2007. Antiproliferation effects of decursin from *Angelica gigas* Nakai in the MCF7 cells treated with environmental hormones. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 36: 825-831.
- Park KY, Choi SR, Shon MY, Jeong IY, Kang KS, Lee ST, Shim KH, Seo KI. 2007. Cytotoxic effects of decursin from *Angelica gigas* Nakai in human cancer cells. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 36: 1385-1390.
- Patra CN, Pandit HK, Singh SP, Devi MV. 2008. Applicability and comparative evaluation of wet granulation and direct compression technology to rauwolfia serpentina root powder: a technical note. AAPS Pharm. Sci. Tech. 9: 100-104.
- Yun SH, Cho SY, Lee YK, Ha DH. 1992. The Effects of *Angelica gigantis Radix* on the Benzo(a)pyrene-induced Hepatotoxicity in Rats. Korean J. Toxicol. 7: 45-51.
- Yun HY, Choi SG. 2004. Antimicrobial activity in 2 *Angelica* species extracts. Korean J. plant Res. 17: 278-282.