

고급 홍삼 생산을 위한 증삼공정의 제어

김 신 · 나영훈 · 이지태[†] · 조원휘^{*}

경북대학교 화학공학과
702-701 대구광역시 북구 산격동 1370
^{*}엔깁스

445-160 경기도 화성시 반송동 93-10

(2014년 3월 16일 접수, 2014년 5월 2일 수정본 접수, 2014년 5월 9일 채택)

Control of Steaming Process for the Production of High Quality Red Ginseng

Sin Kim, Younghoon Na, Jietae Lee[†] and Wonhui Cho^{*}

Department of Chemical Engineering, Kyungpook National University, 1370 Sangyeok-dong, Buk-gu, Daegu 702-701, Korea

^{*}enGibbs, 40 Daehak-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi 443-270, Korea

(Received 16 March 2014; Received in revised form 2 May 2014; accepted 9 May 2014)

요 약

고급 홍삼의 생산 수율을 증가시키는 제어 방법에 관한 실험을 수행하였다. 수삼에서 홍삼을 만드는 과정 중 수증기로 수삼을 찌는 증삼 공정에서 동체균열, 내공, 내백 등이 발생하는데 이는 홍삼의 품질을 저하시키는 원인이 된다. 고급 홍삼의 수율을 증가시키기 위해서는 이런 불량 요인을 최소화하는 방법이 필요하다. 최근까지 대부분의 증삼 공정의 제어는 증삼 과정의 필수 인자인 온도만을 조절하거나 온도와 압력을 동시에 조절하여 제어하는 방법이 연구되었다. 그러나 이는 불량 요인을 최소화하는 목적에 적합하지 못한 것으로 보인다. 이와 달리, 본 연구에서는 기존의 홍삼 제조 방식을 토대로 96~99 °C의 온도를 유지하면서 수삼의 무게 제어를 통하여 불량 요인을 최소화하는 제어 방법을 제시한다. 무게 제어를 적용한 실험 결과 증삼 과정 후 수삼의 동체균열의 불량요인이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract – Experiments for a control method that enhances the yield to produce high quality red ginsengs have been performed. In the first steaming process of a series of processes to produce red ginsengs from raw ginsengs, there occur several undesirable defects on ginsengs such as cracks of ginseng body, inside cavity and inside white. These defects lead to deterioration in product qualities. Therefore an improved control method that minimizes these undesirable defects is needed in order to increase the yield of high quality red ginsengs. Until these days, the steaming process control methods such as controlling the steaming temperature and/or pressure have been studied. However, such control methods are not adequate enough to minimize the undesirable defects in steamed ginsengs. On the other hand, in this experiment, we suggest a control method that minimizes the undesirable defects through a weight control of steamed ginsengs, keeping the steaming temperature at 96~99 °C as usual. Experiments with the weight control show that amount of cracks on the steamed ginseng body can be reduced.

Key words: Red Ginseng, Steaming Process, Weight Control, On-Off Control, PI Control

1. 서 론

인삼은 보통 4~6년 재배 후 밭에서 캐내는데, 채굴한 상태의 인삼을 수삼이라 한다. 수삼은 보통 75중량% 내외의 수분을 함유하고 있어 채굴된 상태 그대로는 1주일 이상 저장하기 어렵고, 특히 유통과정 중에 부패하거나 손상되기 쉽다. 그래서 수삼을 장기간 저장하기

위하여 자연건조를 하게 되는데, 수삼의 껍질을 벗기고 건조시킨 것을 백삼이라고 하며, 껍질을 벗기지 않은 채 증기로 찌서 건조시킨 담황갈색 또는 담적갈색의 수삼을 홍삼이라고 한다. 덧붙이자면 일반적으로 홍삼은 수삼을 96~99 °C의 온도 하에서 3~4시간 동안 찌는 증삼과정 후 태양광에 자연 건조시킨 것으로[1] 갈색화 반응이 촉진되어 갈색의 색상을 띠며 단단하고 10년 이상 장기 보관이 가능하다.

그러나 홍삼은 단순히 수삼을 장기간 보관하기 위하여 제조되는 것만은 아닌데, 그 이유는 홍삼의 제조 공정 중에 사람의 몸에 유익한 여러 가지 새로운 생리 활성 성분들이 생성되고 또한 홍삼에는 수삼이나 백삼 등 다른 수삼에서는 들어있지 않은 홍삼만의 특수 성분

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: jtleee@knu.ac.kr

이 논문은 서울대학교 윤인섭 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

인 말톨(Maltol)과 진세노사이드(Ginsenoside)를 비롯한 특수성분이 들어 있으며 약효가 뛰어나기 때문이다[2-4,7-8,10-11].

한편, 홍삼의 품질은 천삼, 지삼, 양삼, 절삼, 미삼 등의 5개 등급으로 구분된다. 천삼, 지삼, 양삼은 홍삼의 원형을 유지한 상태로 가공한 제품이며, 절삼은 홍삼 원형을 절단한 제품이다. 마지막으로 미삼은 홍삼의 잔뿌리로 만든 제품이다. 이들의 분류 기준은 머리, 몸통, 다리 부분에서 완벽한 조화를 이루는지를 보는 형태적인 면과 홍삼 외부 색깔을 1차 선별 기준으로 한다. 홍삼 외부 형태를 기준으로 천삼, 지삼, 양삼의 3개 등급으로 분류한 다음에 홍삼 품질을 결정하는 가장 중요한 요소인 내부조직도의 치밀도를 적용해 선별한다. 이와 같이 홍삼은 외부 형태와 내부조직도의 치밀도에 따라 홍삼의 등급을 선별하는데 그 중 천삼은 전체 홍삼 중 1~2%로 생산량이 매우 적은 고급 홍삼이다. 천삼을 가장 귀하게 여기는 이유는 내부조직이 치밀해 유효성분이 다량 함유되어 있기 때문이다[7-8,10-11].

위에서 언급한 일반적인 방법을 통해 홍삼을 제조할 시 천삼의 수율은 1~2%로 생산량이 매우 적고 수증기에 의한 수삼의 증삼과정은 동체균열, 내공, 내백, 백피 등과 같은 불량요인들을 발생한다. 그러므로 고급의 수율을 증가시키면서 불량요인을 억제하는 증삼공정이 필요하다. 지금까지 대부분의 연구에서는 온도와 압력과 같은 변수를 이용하여 증삼공정을 제어하는 경향이다. 그 예로 증삼 조건 중 예열조건(시간 및 온도), 증삼온도, 증삼시간을 조절함으로써 동체의 균열을 억제하고 내부조직의 치밀도를 향상시켜 고급 홍삼의 수율을 증가시키는 방법[5]과 증삼 후 55~60 °C 범위 내에서 일정한 온도를 유지하면서 정온 건조를 시켜 내부조직의 치밀도를 향상시키는 방법[6,9] 등이 있다.

본 연구에서는 일반적인 홍삼 제조 방식을 토대로 하여 증삼과정 동안 변화되는 수삼의 무게를 제어하는 방법으로 실험을 진행하였다. 그 이유는 균열을 발생할 수 있는 요인은 실험조건이나 실험 대상의 조건에 따라 불특정하게 발생할 수 있지만 본 실험에서는 동체 균열의 발생은 증삼이 진행되는 동안 수삼 내부로 수분이 과잉 공급되어 표피가 과도하게 팽창하여 이를 견디지 못해 균열이 발생한다고 보기 때문이다. 그러므로 이 실험에서 제한한 방법은 열처리 조건을 달리하지 않고 기존의 방식을 유지하면서 수삼의 무게를 일정하게 유지하여 고급 홍삼의 수율을 증가시키는 제어 방법을 제시한다. 수삼의 무게 증가를 설명할 수 있는 간단한 모델식을 제시하였으며, 수삼 무게 제어를 위한 수삼 무게 측정을 포함하는 제어시스템을 제안하였으며, on/off 제어 및 PI 제어를 적용한 수삼 무게 제어 실험결과를 보였다.

2. 이 론

상온의 수삼에 증기를 공급하여 찌는 증삼과정에서 증기가 공급되면 인삼의 온도가 증가되면서 찌지게 되는데, 이때 인삼의 무게도 증가한다. 이 인삼 무게의 증가는 인삼으로의 증기의 유입으로 판단된다. 이 과정은 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있고, 수식으로 표현하면 다음과 같이 될 수 있을 것이다.

$$\frac{dT_{Ginseng}}{dt} = k_1 A (T - T_{Ginseng})$$

$$\frac{dm_{Ginseng}}{dt} = k_2 A (P_{H_2O} - P^{sat}(T_{Ginseng})) \quad (1)$$

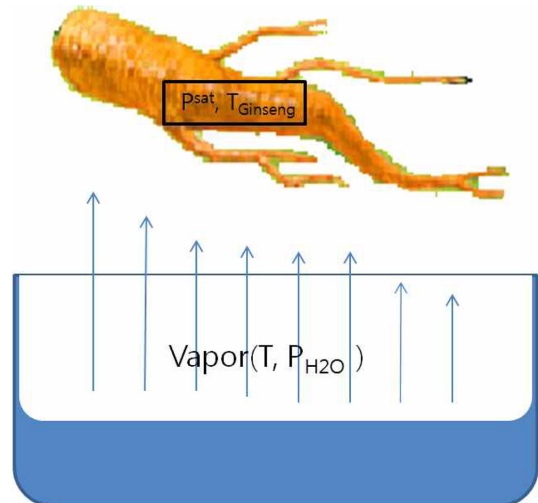


Fig. 1. Schematic diagram of steam absorption of ginseng during the steaming process.

T: 외부증기의 온도

P_{H_2O} : 외부 증기의 물 분압

$T_{Ginseng}$: 인삼의 평균 온도

$m_{Ginseng}$: 인삼의 총무게

P^{sat} : 물의 포화 증기압

k_1, k_2 : 비례상수

A: 인삼의 표면적

여기서 인삼 내부의 물은 인삼의 평균 온도에서 포화상태에 있으며, 인삼 내부로 증기의 이동을 위한 동력을 외부 물의 분압과 내부 물의 증기압 차이로 가정하였다.

정성적으로 단순한 증기로 증삼할 때를 살펴보면, 초기 인삼의 온도가 낮을 때는 압력차가 커서 인삼으로 물이 빠르게 들어가 무게 증가가 가파르고, 인삼 온도가 올라감에 따라 압력차는 줄어들어 무게 증가는 둔화될 것이다. 이는 실험결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 인삼이 찌지는 것은 인삼의 온도에 주로 좌우되므로, 운전 온도는 인삼을 찌는 recipe에 맞추고, 인삼의 무게는 식 (1)에 따른 외부 증기의 물 분압을 조절하여 무게가 과도하게 늘어나지 않도록 제어하는 방식을 제안한다.

인삼의 무게 제어는 식 (1)에 따르면 증기의 물 분압에 느리기는 하지만 시간지연이 없는 일차공정으로 볼 수 있어, on/off 제어로도 제어가 잘 될 것으로 보인다. PI 제어를 사용할 경우라도 제어기 튜닝에는 큰 어려움이 없을 것이다. 또한 현재로는 인삼의 무게를 정확히 맞추는 것이 목적이 아니라 인삼 무게의 증가로 인한 인삼 표피의 균열을 방지하는 것이 목적이기 때문에 인삼 무게에 다소 차이가 있게 제어되어도 문제가 없기 때문에 무게 제어의 응답 우수성은 중요하지 않다. 따라서 모델 식 (1)의 각 변수를 찾는 노력은 하지 않았다. 적용 편리성과 증삼 결과를 중심으로 인삼의 무게 측정, 증기 공급 방법 등을 연구하였다.

3. 실험 장치 및 방법

실험에 사용한 수삼은 금산지방에서 자란 등급기준 6년근 2등급

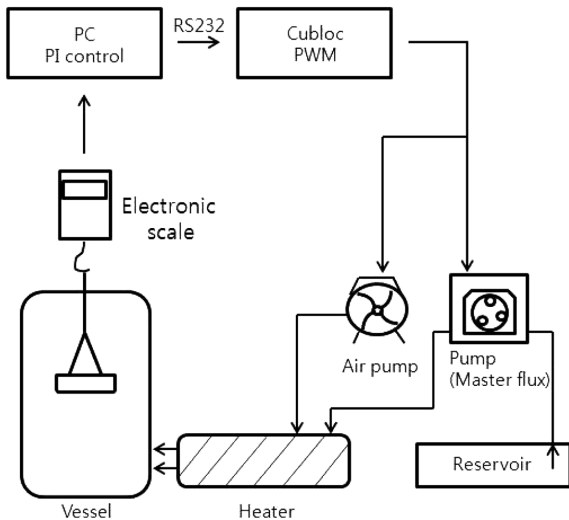


Fig. 2. Experimental weight control system for the ginseng steaming process.

증편삼을 사용하였고, 홍삼 진행 과정은 보통 세삼(세척 단계), 증삼, 치미(잔뿌리 제거), 자연건조, 정형(이상적인 형태로 외형을 다듬는 단계), 선별의 단계로 진행된다[12]. 본 실험에서는 고급 홍삼의 제조의 선별은 형태적인 측면만을 보고 판단하였으므로 치미, 정형 단계는 생략하였다. 증삼은 96~99 °C의 내부 온도를 유지하는 증삼기 내에서 3~4시간 진행하였다.

앞서 언급했듯이 균열이 생성되는 원인은 수삼 내부로 증기가 유입됨에 따라 내부 팽창력이 증가하여 표피에 균열이 생기는 것으로 판단된다. 그러므로 본 실험에서 제안된 방법은 96~99 °C의 온도에서 수삼 내부로 흡수되는 증기의 양을 조절하여 무게를 일정하게 유지되도록 제어하는 것이 본 실험의 핵심이다. Fig. 2에 실험 장치도를 보였다.

증삼기 내부로 증기와 고온 건조된 공기를 보내기 위해 Masterflex 펌프와 Welch사의 펌프를 이용하였고, RS232통신이 가능한 전자저울을 통하여 수삼의 무게를 실시간으로 측정하였다. 이 측정된 데이터는 증기의 유입속도와 건조된 공기의 유입을 제어하는 프로그램인 LabView 프로그램으로 전송된다. 그리고 LabView의 제어 출력 신호는 임베디드 CPU시스템 Cubloc (PICBASIC을 기본으로 한 Compile Technology사의 제품)으로 전송되고 Cubloc은 PWM 신호를 이용하여 증기와 공기 공급 펌프의 속도를 제어한다.

또한 증삼기 안으로 공급될 물은 Circulator (Mono-Tech Eng사 제품)를 통해 미리 예열된다. 그리고 가열기는 자체 제작한 것으로 직경 1/8-in. Stainless Steel Pipe이고 고온 건조된 공기를 만들기 위해 충전물로 충전해 공기를 가열시켰다.

무게를 제어하는 증삼 공정은 Fig. 3과 같이 진행된다. 먼저 인삼 시료의 초기 무게를 측정하고, 증삼이 진행되는 동안 흡수할 증기의 양을 인삼 시료의 초기 무게를 토대로 하여 일정한 비율로 설정한다. 따라서 인삼 무게제어를 위한 설정치는 다음과 같다.

$$m_{set} = (1 + k_3) m_{init} \quad (2)$$

m_{set} : 인삼 무게제어를 위한 설정치

m_{init} : 인삼의 초기 무게

k_3 : 비례상수

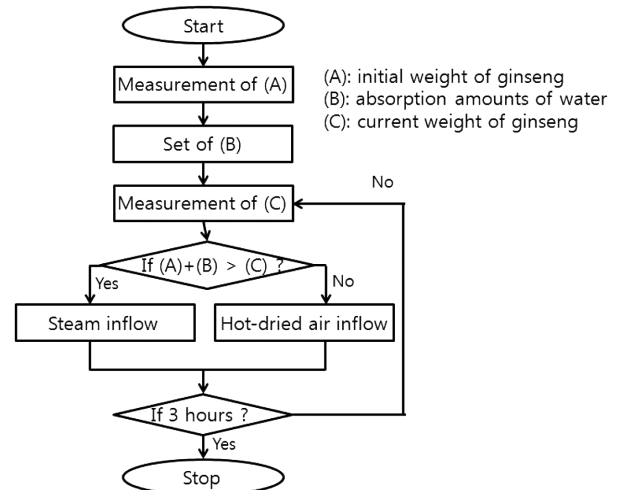


Fig. 3. Weight control algorithm for the ginseng steaming process.

여기서 k_3 는 0~0.1 범위 내의 값으로 설정한다. 본 실험에서는 초기 인삼 무게의 5%($k_3=0.05$)의 증기가 유입될 수 있도록 설정하였다. 초기 인삼무게 m_{init} (Fig. 3에서 (A))를 측정하고 식 (2)의 m_{set} (Fig. 3에서 (A)+(B))를 결정한 후 실험이 진행된다. 실시간으로 인삼의 무게 $m_{Ginseng}$ (Fig. 3에서 (C))를 측정하고 무게제어가 진행된다. 인삼 무게를 늘려야 할 때는 증기, 줄여야 할 때는 고온 건조 공기를 유입시킨다. 이 증삼공정은 3시간 동안 진행된다. 실험이 종료된 후 증삼된 인삼은 햇빛을 이용하여 자연 건조시킨다.

무게를 제어하는 증삼 실험은 1) Step 공급(제어를 하지 않음), 2) On/off 제어 그리고 3) PI 제어[13,14] 세 가지 방법을 통해 증기를 공급하는 실험이 진행되었고 증삼 후 태양을 통한 자연 건조가 끝나면 홍삼의 외형적인 측면을 기준으로 고급 삼을 선별하였다.

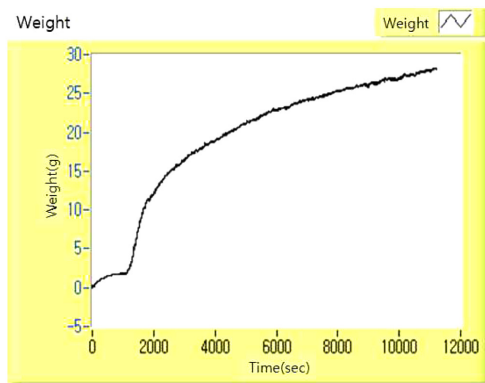
4. 결과 및 고찰

4-1. 증기의 Step 공급

무게를 제어하지 않고 지속적으로 증기를 유입하여 홍삼을 제조하였다. Fig. 4(a)에서 볼 수 있듯이 초기에는 수삼이 흡수하는 물의 양이 가파르게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 on/off 제어와 PI 제어를 통한 실험에서도 관찰된다. 이것은 식 (1)에서 제시되었듯이, 증삼기 내부의 포화 증기압과 수삼 내부의 증기압의 차가 크기 때문에 이와 같은 결과를 나타내는 것으로 보인다. 그리고 지속적으로 증기를 유입할 경우 실험이 종료되기 전까지 꾸준한 수삼의 무게가 증가하는 것을 볼 수 있다. 그 결과 Fig. 4(b)와 같이 홍삼의 몸통과 다리가 분리된 것을 볼 수 있다. 그러므로 제어시스템을 갖추지 않고 진행되는 증삼 공정은 고급 홍삼의 수율이 낮을 것이라고 예측할 수 있다.

4-2. On/off 제어

Fig. 3에서의 (A)+(B)의 설정 값과 (C)의 값을 비교하여 증기를 공급하였는데 이 때 무게 제어를 하기 위해 적용되는 제어기는 on/off 제어 규칙을 사용하였다. 증삼이 진행되는 초기에는 Fig. 5(a)에서 관찰되는 것처럼 감쇄 진동현상이 보였다. 증삼이 진행되고 약 40분 뒤에는 step 공급에서 보이는 꾸준한 무게 증가 대신 수삼의 무게가 안

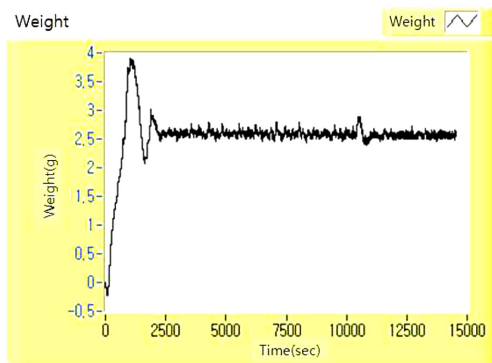


(a)



(b)

Fig. 4. Response of the ginseng weight for the step steam flow (a) and the steamed ginseng (b).

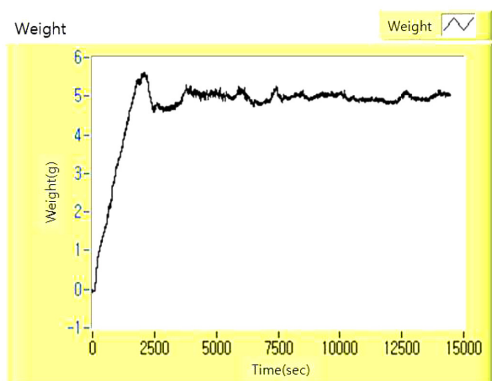


(a)



(b)

Fig. 5. Response of the ginseng weight under On/off weight control (a) and the steamed ginseng (b).



(a)



(b)

Fig. 6. Response of the ginseng weight under PI control (a) and the steamed ginseng (b).

정화 되는 것을 확인할 수 있었다. 한편, 증삼과 자연 건조를 끝낸 홍삼을 육안을 살펴본 결과 Fig. 5(b)와 같이 동체 균열이 없고 몸체와 다리가 완벽한 조화를 이루고 있었다.

4-3. PI 제어

PI 제어는 증삼기 내부로 증기 유입은 Cubloc의 PWM 신호를 통해 펌프의 유속을 제어한다. PI 제어를 통한 실험은 앞선 실험들과

같이 초기에는 증기압 차로 인해 수삼의 무게가 가파르게 증가하는 경향을 보이나 약 40분 안에 수삼의 무게가 안정화되는 것을 Fig. 6(a)를 통해 확인할 수 있다. 또한 자연 건조가 끝난 홍삼의 경우 Fig. 6(b)처럼 고급 홍삼에 부합되는 담황갈색을 전체적으로 띠고 동체 균열이 없는 상태의 원형을 유지하고 있었다.

PI 제어기의 변수는 증기를 지속적인 공급을 통해 얻어진 그래프 (Fig. 4(a))를 바탕으로 대략적인 공정이득, 시간상수 및 지연시간 값

들을 추정하고, 이 값들로부터 구하였다. 안티 와인드업 기법이 적용된 PI 무게제어 실험에 적용하여, 약간 보완한 결과 제어가 이득은 2, 적분시간은 7분으로 하였다.

위의 on/off 제어와 PI 제어 모두 만족할 만한 무게 제어 결과를 보였다. 더 나은 제어성능을 얻을 수도 있었지만 인삼 균열 방지라는 목적에는 이들 제어로 충분하였기 때문에 제어성능 향상에 관한 연구는 진행하지 않았다. 20여 개의 인삼을 위의 무게 제어를 통하여 증삼한 경우 동체의 균열과 몸체가 분리되는 현상이 관찰되지 않았다. 좀 더 많은 증삼 실험이 필요하지만 현재까지의 실험으로 인삼의 무게가 너무 커지게 하지 않는 증삼이 인삼의 동체 균열을 막는데 도움이 되는 것으로 판단된다. 실제 공정에서는, 모든 인삼의 무게를 측정하고 각각의 무게를 제어하는 것은 불가능할 것이므로, 대표 인삼을 정하고 이것의 무게 제어를 전 증삼에 적용하는 방식으로 위의 제어가 적용될 수 있다.

5. 결 론

증삼공정이 진행되는 동안 수삼의 동체에 균열이 발생하게 되면 균열을 통해 몸에 이로운 생리활성 물질들이 수삼 외부로 배출된다. 그러므로 균열의 생성을 최소한으로 억제시키고 원형을 유지하는 것이 고급 홍삼의 수율을 향상시키는 밑거름이 된다. 수삼을 찌는데 있어 중요 인자인 증삼 온도에는 변화를 주지 않는 기존의 홍삼 제조 방식을 유지하면서 증삼공정 동안 수삼의 무게 변화를 측정하고 수삼의 무게가 과도하게 증가하지 않도록 제어를 하여 불량요인들의 발생을 최소화시키는 방법을 연구하였다.

무게를 제어하지 않고 진행되는 홍삼의 제조 경우 과잉 공급된 증기로 인해 동체가 갈라지고 파열되는 현상을 관찰할 수 있었다. 그리고 on/off 제어와 PI 제어를 통해 증삼을 진행할 경우 수삼의 무게 변화가 일정하게 유지되면서 건조가 끝난 후 홍삼의 원형이 잘 보존되고 동체의 균열이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

실험의 결과는 실험실 규모의 소량 수삼의 증삼으로 얻은 것으로 더 완벽한 결론을 위해서는 pilot 실험이 필요하다. 또한 대량의 인삼을 증삼할 때 이 무게를 어떻게 측정할 것인지에 대해서도 고민해 봐야 할 문제이다.

References

- Kim, D. Y. J., "Studies on the Browning of Red Ginseng," *Korean Agri. Chem. Soc.*, **16**, 60-63(1973).
- Takaku, T., Kameda, K., Matsuura, Y., Sekiya, K. and Okuda, H., "Studies on Insulin-like Substances in Korean Red Ginseng," *Planta Med.*, **56**, 27-30(1990).
- Lee, S. D. and Okuda, H., "Effect of Acidic Polysaccharide of Korean Red Ginseng on Lipolytic Action of Toxohormone-L from Cancerous Sacites Fluid," *Korean J. Ginseng Sci.*, **14**, 67-73(1990).
- Do, J. H., Lee, H. O., Lee, S. K., Noh, K. B., Lee, S. D. and Lee, K. S., "Comparisons of Acidic Polysaccharide Content in Various Ginseng Species and Parts," *Korean J. Ginseng Sci.*, **17**, 145-147(1993).
- Kim, C. S., Kim, M. W., Choi, K. J. and Sung, H. S., "Method for Enhancing Yield of High Quality Red Ginseng by Optimization of Heat Treatment Conditions to Reduce Quality Degrading Factors," Patent Application 1998-019946, Korea Intellectual Property Office(1998).
- Kim, C. S., Choi, K. J. and Yang, J. W., "The Method of Manufacture for High Grade Red Ginseng Produce," Patent Application 10-2004-0028046, Korea Intellectual Property Office(2004).
- Kim, Y. H. and Shin, C. S., "Method of Manufacturing Red Ginseng," Patent Application 10-2006-0037651, Korea Intellectual Property Office(2006).
- Shin, C. S. and Lee, H. J., "Method of Manufacturing White Ginseng and Red Ginseng by Extra-high Pressure Treatment," Patent Application 10-2007-0005157, Korea Intellectual Property Office(2007).
- Yun, C. K., "Method for Preparing Red-Ginseng," Patent Application 10-2008-0057415, Korea Intellectual Property Office(2008).
- Kim, C. S., Chang, D. P. and Kang, Y. S., "Steaming and Drying Facilities for Red Ginseng," Patent Application 10-2010-0083866, Korea Intellectual Property Office(2010).
- Kim, C. B. and Park, S. T., "Heaven Grade Ginseng and Black Ginseng Complex with Heated Drying Device Manufacturing," Patent Application 10-2012-0065760, Korea Intellectual Property Office(2012).
- https://www.kgc.co.kr/Flash/microsite/ginseng/process_1.html (2014).
- Jujuly, M. M., Vu, T. N. L. and Lee, M., "Analytical Design of PID Controller for Improved Disturbance Rejection of Delay-Free Processes," *Korean Chem. Eng. Res.*, **49**, 565-570(2011).
- Vu, T. N. L. and Lee, M., "A Unified Approach to the Design of Advanced Proportional-Integral-Derivative Controllers for Time-Delay Processes," *Korean J. Chem. Eng.*, **30**, 546-558(2013).