

X-선을 이용한 홍삼의 내부 물성 판별

강석원 · 손재룡

농업공학연구소 품질안전성판정연구실

Determination of Internal Property of Red Ginseng Root Using X-ray

Sukwon Kang and Jae-Ryong Son

Quality and Safety Evaluation Lab., National Institute of Agricultural Engineering

Abstract

A method and process were developed to nondestructively distinguish between red ginseng with internal cavity and normal red ginseng. The profile of x-ray density measured along the latitudinal axis of each of 60 red ginsengs was recorded and then analyzed. The second derivative of the x-ray density profile provided a basis for detecting internal cavity. All of the defective red ginsengs were separated without inclusion of any normal red ginsengs.

Key words: Red Ginseng, X-ray, internal cavity, detection algorithm

서 론

홍삼은 수삼을 장기간 저장하기 위한 목적으로 수분 함량을 13% 이하로 가공한다. 일반적으로 홍삼 제조용 인삼은 6년근 수삼을 증숙 또는 팽숙하거나 기타의 방법으로 전분을 호화시켜 건조한 후 제품화한다. 국내에서 2002년도 인삼의 총생산량은 17,000 톤으로 인삼 제품별 소비는 수삼 50%, 백삼 35%, 홍삼 15% 비율로 소비되고 있으며, 전반적으로 홍삼을 가공한 홍삼 제품에 대한 선호도가 높고 전매제 폐지이후 홍삼의 소비가 증가하고 있다. 인삼은 2002년 기준으로 전 세계 70여 개국으로 수출되고 있지만, 홍콩, 일본, 대만으로 80%정도 수출되고 있으며 총 인삼수출액은 약 육천만 불이며 홍삼류가 이천만 불을 차지하고 있다(농수산물유통공사, 2003).

홍삼은 머리, 몸통 및 다리의 체형을 보는 외관상의 분류와 조직의 치밀도, 색택, 표피, 수분 함량 등의 기준으로 천삼(天蔘), 지삼(地蔘), 그리고 양삼

(良蔘)의 3가지 등급으로 나뉘어 진다. 중국에서는 홍삼 중에서도 고급품인 천삼과 지삼만을 처방하고 있으며, 일본에서는 홍삼 분말을 의약용으로 공인하고 있다. 최근의 약리효능 시험이나 임상시험 결과로도 홍삼의 우수성이 밝혀지고 있어 그 인기는 외국에서도 상승일로에 있다. 이 때문에 2002년도 홍콩에서의 홍삼 수입단가는 kg 당 155.1 불(USD)이나 하였다. 홍삼의 가격은 작은 삼보다 큰 삼이 월등히 비싸고, 같은 크기의 삼이라도 내공 및 기타 저해요인이 하나도 없는 천삼은 양삼의 3배나 된다. 이에 보다 나은 양질의 홍삼 제품을 생산하기 위해서는 내부 품질을 저하시키는 내백, 생내백, 내공 등의 인자들의 정확한 선별과정이 선행되어야 한다. 지금까지 홍삼의 선별은 전문가에 의해서 외부 및 내부 품질을 평가하였는데, 내부 품질 평가에 있어서 관행의 방법은 빛이 차단된 암실에서 홍삼의 아랫면에 강한 빛을 비추어 투광되는 상태를 보고 판별하는 육안 검사에 의존하고 있다. 이러한 방법은 객관적 검사 기준이 있지만 검사원의 주관적인 성향에 따라 상이함이 존재할 수 있다. 또한 주근의 동체 부분은 빛의 투과가 어렵기 때문에 작업자가 표피를 일부 깎아서 검사해야 하는 번거로움이 있으며, 장시간 검사로 눈의 피로가 증가하게 된다.

Corresponding author: Sukwon Kang, Quality and Safety Evaluation Laboratory, National Institute of Agricultural Engineering, Suwon 440-100, Kyonggido, Republic of Korea.
Phone: +82-31-290-1908, Fax: +82-31-290-1930
E-mail: skang@rda.go.kr

이에 보다 객관적이고 신속하며 비파괴적으로 검사할 수 있는 방법의 필요성이 대두되고 있다. 특히, 홍삼의 내부 품질 평가 요소에서 주요한 판별인자인 내공은 내부 물성 중에 하나인 조직의 치밀도에 관련이 깊다고 할 수 있다. 장기철과 Ruan (1998)은 홍삼의 용적 밀도 및 내부 조직특성을 분별하기 위하여 핵자기공명(nuclear magnetic resonance, NMR)을 이용하였는데, NMR 신호세기에 따라 정상 홍삼과 불량 홍삼을 판별할 수 있었다. 임종국과 김성민(2003)은 홍삼의 내부 영상을 자기공명영상 기법으로 획득하여 실제 단면영상과 비교하여 자기공명영상으로 내공, 내벽 영상획득이 가능함을 보여 주었으며, NMR 특성 인자 값의 차이로 홍삼의 객관적인 등급판정이 가능함을 확인하였다. 그러나 자기공명 장비가 고가임으로 실용화는 좀더 가격이 저렴해진 후에 가능할 것으로 판단된다. 손재룡 등(2002, 2003)은 X-선을 이용하여 홍삼 내공 검출 가능성이 있음을 보여주었다. 이때 사용된 watershed 알고리즘은 일반적으로 매우 정확하지만, 노이즈 제거 단계인 영상 단순화 (simplification), 시드(seed) 추출, 경계선 결정의 3단계로 구성되어 있으며 단순화 과정이 가장 계산량이 많다. 또한 이 알고리즘은 불룩한 모양에 약간 겹쳐진 특성에 적합하다.

따라서 본 연구에서는 홍삼선별 자동화 시스템을 개발하기 위해 X-선을 이용하여 홍삼 내공을 정확히 검출하고, 또한 신속하게 검출할 수 있는 내공 검출알고리즘을 개발하여 그 가능성을 검토하고자 실시하였다.

재료 및 방법

실험재료

이 연구에 사용된 홍삼은 6년근을 충남 부여에 위치한 고려인삼장에서 가공하고 내부품질 검사 전문가에 의해 천삼, 지삼 그리고 양삼으로 등급 판별된 것을 구입한 것이다. 천삼은 내공 및 내벽이 포함되지 않은 것이고, 지삼은 내공 및 내벽이 포함된 것으로 30에서 40%정도씩 발생하기도 한다. 양삼은 내공 및 내벽이 다수 포함된 것이다. 먼저 X-선 영상을 획득하고 실제 홍삼 내부를 비교하기 위하여 절단한 후 내부 단면을 확인하였다.

X-선 영상 획득 시스템

홍삼의 X-선 영상을 획득하기 위해 사용된 X-선 투과영상처리시스템(TVX-1000, Techvally Co., Korea)은 X-선 발생장치, 상하좌우 그리고 위아래로 조절이 가능한 형광관, CCD 소자, 영상획득시스템, 제어판 등으로 구성되어 있다. X-선 발생 장치의 최대 출력은 150 kV/50 mA로써 사용자가 전압 및 전류를 조절할 수 있고, 시료를 원하는 위치에 놓이도록 조절할 수 있게 되어있다. Focal spot size는 0.3 mm이고 Image filed size는 300 mm, 그리고 limiting resolution은 4.0 Lp/mm 이다.

X-선 발생장치에서 X-선이 조사되면 형광관 위에 놓인 홍삼을 투과하게 되고, 이때 투과량이 많으면 형광물질이 많이 반응하여 밝은 색으로 나타나게 된다. 형광관을 투과한 X-선은 투과량의 크기에 따라 0~255의 gray값을 갖게 되고 렌즈를 통하여 CCD 소자에 촬상되어 영상이 생성된다.

이때 CCD 소자에 촬상 영상은 컴퓨터(Pentium II)에 있는 영상 보드(Matrox Meteor II, Matrox Graphics, Inc.)에 의해 디지털화되어 컴퓨터에 영상 정보를 저장하였다.

X-선의 특성

홍삼을 투과한 후 CCD 소자에 도달한 X-선의 세기는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$I = I_0 \exp(-\mu_{av}t) \quad (1)$$

여기서 I = 소자에서의 X-선 세기

I_0 = 홍삼이 놓여있지 않을 때 소자에서의 X-선 세기

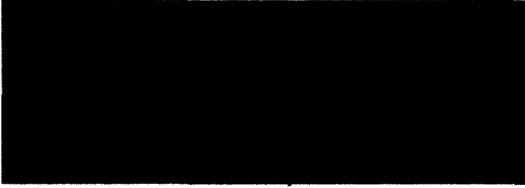
μ_{av} = 평균 흡수 선형 계수

t = 홍삼의 두께

평균 흡수 선형 계수는 특정 X-선 빔을 만들어내는 파장 범위내로 정의된다. 식 1에서 보는 바와 같이, 홍삼이 두꺼울수록 센서에서의 세기는 낮아져 획득한 영상은 더욱 어둡게 나타난다. 내공이 존재할 경우 X-선의 투과량이 내공 주위보다 적어서 내공부위는 주위보다 밝게 나타난다(Fig 1).

영상처리 알고리즘

영상에서 원하는 부분을 분리하는 일반적인 방법은 분리하고자 하는 경계에서의 gray 값 차이가 발생하는 것을 이용하여 문턱 값으로 분리하는 것이



Internal Cavity

Fig. 1. X-ray image of red ginseng with internal cavity.

다. 그러나 분리하고자 하는 두 경계가 불분명한 경우에는 분리하는 것이 용이하지 않다. 또한 농산물의 두께가 공산품처럼 일정한 것이 아니기 때문에 투과된 X-선의 세기는 일정하지 않아 경계를 분리하기 위해 지정해 줄 문턱 값이 일정하지 않기 때문에 각각의 시료에 대해 지정해야 하는 문제가 있다.

조직밀도가 단단한 홍삼을 X-선 투시하면 내공이 있는 주변은 정상조직 부위 보다 밝은 색으로 나타나지만 이 값은 정상부위의 값과 큰 차이를 나타내지 않기 때문에 단순한 문턱 값 처리로 내공을 검출하기는 쉽지 않다.

획득한 X-선 영상은 중심이 가장자리보다 화소 값이 높게 나타나는 경향이 있다. 이를 보정하기 위해 같은 전압과 전류 값에 대해 투과 세기(T)는 홍삼이 놓인 경우에 획득한 영상 대 홍삼이 없는 경우에 획득한 영상의 비로 나타내었다. 또한 무차원 X-선 밀도 파라미터로 $\log(1/T)$ 를 사용하였다.

개발하고자 하는 영상처리 알고리즘도 관행의 방법과 같은 지점에 대한 line profile을 이용하였다. line profile은 관행의 검사가 이뤄지는 홍삼 부위를 세로로 길게 놓고 세로축에 대해 횡으로 가로지른 선에서의 X-선 밀도의 분포다. 얻은 line profile은 너무 잡음이 심해 가우시안 필터 (Gaussian filter)로 잡음부분을 약화시켰다. 이렇게 얻은 line profile에 대해 1차 미분과 2차 미분을 적용하여 보았다. 1차 미분은 아주 미세한 거리에 놓은 두개의 신호의 차이 즉, 다음의 식 (2)와 같이 정의된다.

$$f(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} \quad (2)$$

이는 line profile에서 바로 이웃하는 화소들의 밝기 차를 계산하는 것이다. 이웃하는 화소들의 밝기 차이가 없으면 기울기는 모두 0이 되므로 경계가

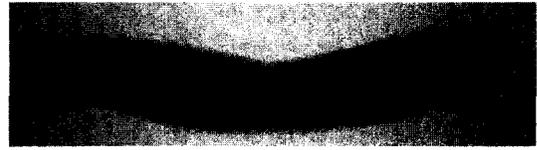


Fig. 2. X-ray image of intact red ginseng.

없다고 판단한다. 2차 미분은 1차 미분 결과에 대해 다시 미분을 하였다.

결과 및 고찰

내공이 있는 홍삼의 X-선 영상은 그림 1에서 보는 것과 같이 내부에 홍삼의 장축을 따라 주위의 홍삼보다 밝은 색을 띠는 부위를 발견할 수 있다. 그림 2는 천삼으로 분류된 홍삼으로 홍삼전체의 화소가 거의 같은 값을 갖고 있는 것으로 나타났다.

전형적인 X-선에 밀도 값의 곡선 분포는 그림 3에서 보는 바와 같이 파라볼라 형태로 홍삼의 가운데 부분이 볼록하게 위로 올라간 형태이다. 그러나 내공이 있는 홍삼의 경우에는 그림 4에 나타났듯이 X-선 밀도 값의 분포가 불규칙한 모양으로 정상삼의 밀도 값 곡선 분포와 확연히 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 X-선의 밀도 값 곡선으로부터 홍삼 내부에 내공이 있는지 없는지를 선별해 낼 수 있음을 알 수 있다.

육안으로 X-선 밀도 값 곡선(line profile)을 비교하여 선별이 가능하지만 자동화된 실시간 선별 시스템을 위해서는 내공 유무를 결정해 주는 선별 알고리즘이 필요하다. 정상삼의 X-선 밀도 값에 대한 일차미분 곡선은 그림 3과 같이 마이너스 값을 갖

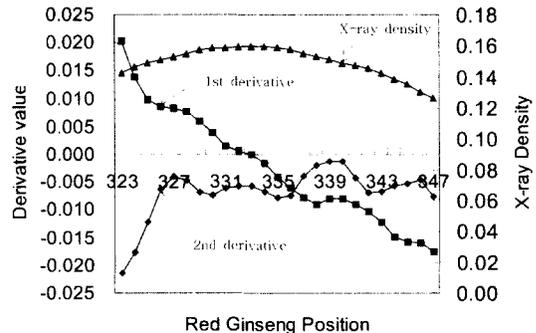


Fig. 3. First and second derivatives of x-ray density curves for intact red ginseng.

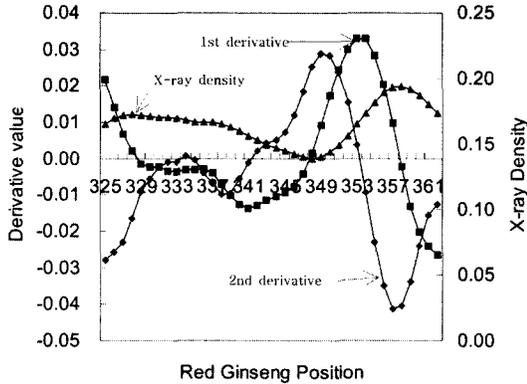


Fig. 4. First and second derivatives of x-ray density curves for red ginseng with internal cavity.

는다. 또한 이차미분의 경우에는 거의 0에 가까운 값을 갖는다.

그러나 내부에 내공이 있는 홍삼은 그림 4에서 보는 바와 같이 일차미분의 경우 기울기 값이 마이너스에서 다시 역전되어 플러스 값을 갖는다. 또한 이차미분의 경우 정상삼의 경우보다 값의 범위가 더 넓은 것을 알 수 있다. 그림 3과 그림4의 비교에서 나타났듯이 정상삼의 X선 밀도 값의 분포는 일정한 값의 분포이기 때문에 이차 미분 값의 분포는 0에 가까운 일정한 값을 갖는다. 하지만, 내공이 존재하는 홍삼은 X선 밀도 값이 불균일하기 때문에 이차 미분 값은 0에서 멀리 떨어진 값을 갖게 된다. 이러한 이차 미분 값의 분포도를 이용하여 정상삼과 내공이 있는 홍삼을 구별할 수 있을 것으로 판단되었다.

그림 5는 정상삼과 내공이 있는 홍삼의 최대 이

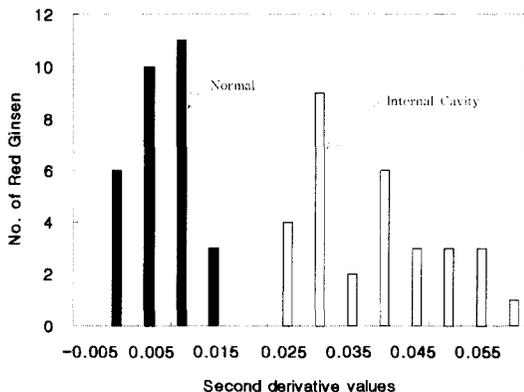


Fig. 5. Second derivative values for normal and defective red ginseng.

차 미분 값의 분포를 나타낸 것이다. 그림 5에서와 같이 정상삼의 최대 이차 미분 값의 분포는 -0.004에서 +0.012사이였다. 하지만 내공이 있는 홍삼의 경우 최대 이차 미분 값의 분포는 +0.02이상이었다. 이처럼 정상삼과 내공이 있는 홍삼 간의 이차 미분 값은 명확히 구분되는 것으로 나타났다. 따라서 실험에 사용된 30개의 정상삼과 30개의 내공이 있는 홍삼을 본 연구에서 개발한 알고리즘으로 100% 선별이 가능하였다.

이러한 X선 밀도 값의 이차 미분을 이용한 내공 검출알고리즘은 전체 영상을 계산할 필요가 없기 때문에 훨씬 계산속도가 빠르고, X선 조사 강도에 큰 영향을 받지 않으며, 정밀도도 높게 나타났다.

요 약

홍삼의 등급을 결정하는 요인으로는 크게 외관과 내부 품질이 있다. 이중 외관은 체형, 선택, 표피 등이 있고, 내부품질은 내공 및 내백 유무 등이 있다. 외관 판별의 경우는 영상처리 등을 이용하여 자동 선별이 가능하게 되었고, 내부품질은 비파괴적으로 해야 하므로 내부 상태를 투시할 수 있는 기술의 도입이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 고품질의 홍삼 선별 자동화 시스템에 적용할 수 있는 기술로써, X선 투과영상을 이용하여 홍삼의 내공을 검출할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

X선 밀도 값의 곡선 분포 (line profile)는 정상인 홍삼과 내공이 존재하는 홍삼 간에 차이가 존재함을 확인하였다. 이러한 곡선 분포를 검출 혹은 선별 시스템에서 자동으로 인식하기 위해 일차미분과 이차 미분을 처리한 결과 이차미분 값의 분포도를 이용해 정상삼과 내공이 있는 홍삼을 서로 선별할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 이번에 적용한 알고리즘은 이차원 영상에 비해 계산 속도가 훨씬 빨라 처리속도가 빠르고, X선 조사 강도에 큰 영향을 받지 않으며, 내공 검출 정밀도가 높게 나타나 효과적인 판별이 가능한 것으로 판단되었다.

문 헌

농수산물유통공사. 2003. 인삼류 해위시장동향
 손재룡, 최규홍, 이강진, 최동수, 김기영. 2002. 홍삼 내공검출을 위한 X-선 영상처리기술 (I). 한국농업기계학회지 27(4): 341-348
 손재룡, 최규홍, 이강진, 최동수, 김기영. 2003. 홍삼 내

- 공검출을 위한 X-선 영상처리기술 (II). 한국농업기계 학회지 **28**(1): 45-52
- 장기철, Ruan, R. 1998. NMR을 이용한 홍삼의 용적밀도 측정 및 내부 조직 판별. 고려인삼학회지 **22**(2): 96-101
- 임종국, 김성민. 2003. 홍삼의 자기공명 특성과 영상 분석. 한국농업기계학회지 **28**(3): 253-260