KIPS Trans. Softw. and Data Eng.
Vol.7, No.10 pp.377~382 pISSN: 2287-5905

https://doi.org/10.3745/KTSDE.2018.7.10.377

A Red Ginseng Internal Measurement System Using Back-Projection

Jaeyoung Park† · Sangjoon Lee††

ABSTRACT

This study deals with internal state and tissue density analysis methods for red ginseng grade determination. For internal measurement of red ginseng, there have been various studies on nondestructive testing methods since the 1990s, It was difficult to grasp the most important inner hole and inside whites in the grading. So in this study, we developed a closed capturing device for infra-red illumination environment, and developed an internal measurement system that can detect the presence and diameter of inner hole and inside whites. Made devices consisted of infrared lights with a high transmission rate of red ginseng in 920 nanometer wave band, a infra-red camera and a Y axis actuator with a red ginseng automatically controlled focus on the camera. The proposed algorithm performs an auto-focus system on the Y-axis actuator to automatically adjust the sharp focus of the object according to the size and thickness. Then red ginseng is rotated 360° at 1° intervals and 360 total images are acquired, and reconstructed as a sinogram through Radon transform and Back-projection algorithm was performed to acquire internal images of red ginseng. As a result of the algorithm, it was possible to acquire internal cross-sectional image regardless of the thickness and shape of red ginseng. In the future, if more than 10,000 different shapes and sizes of red ginseng internal cross-sectional image are acquired and the classification criterion is applied, it can be used as a reliable automated ginseng grade automatic measurement method.

Keywords : A Internal Analysis System of Red Ginseng, Tomographic Image Restoration Algorithm, Red Ginseng Grade Determination, Sinogram, Auto Focus Algorithm

Back-Projection을 활용한 홍삼 내부 측정 시스템

박 재 영† · 이 상 준††

요 약

본 연구는 홍삼 등급 판정을 위한 내부 상태 및 조직의 치밀도 분석 방법에 관한 것이다. 홍삼 내부 측정을 위해 1990년대 이후부터는 자기공명영상법(MRI), X-ray 판별 등의 비파괴 검사 방법에 대한 연구가 다양하게 이루어졌지만, 등급 판정에 가장 중요한 내공(內空), 내백(內白)을 파악하는데 어려움이 있어 정확한 내부 판정이 불가능하였다. 그리하여 본 연구에서는 적외선 조명 환경의 폐쇄형 영상 취득 장치를 제작하고 내공, 내백의 유무와 직경을 파악할 수 있는 내부 측정 시스템을 개발하였다. 제작한 장치는 홍삼 내부 투과율이 높은 950nm 파장대역의 적외선 조명, 적외선 대역 촬영이 가능한 카메라, 카메라에 홍삼의 초점을 자동제어 할 수 있는 Y축 제어 액추에이터 그리고 홍삼을 1°의 간격으로 360° 회전하며 영상을 취득할 수 있는 회전 액추에이터로 구성이 되어있다. 제안하는 알고리즘은 Y축 액추에이터에서 Auto-Focus 알고리즘을 수행하여 홍삼의 크기와 두께 변화에 따라 객체의 선명한 초점을 자동으로 맞춰준다. 그다음 홍삼을 1° 간격으로 360° 회전하며 총 360장의 홍삼 영상을 취득하면 라돈 변환(Radon transform)을 통해 사이노그램(Sinogram)으로 재구성하고, 역 라돈 변환(Inverse Radon transform)을 통해 단층영상복원(Back-projection) 알고리즘이 수행되어 홍삼 내부 영상을 획득하였다. 알고리즘 수행 결과 홍삼 두께나 모양에 관계없이 내부 단면영상 획득이 가능하였고 영상을 통해 내공, 내백의 유무와 직경을 파악할 수 있었다. 추후 10,000개 이상의 다양한 모양과 크기를 가지는 홍삼에 대하여 내부 영상을 취득하여 등급 판별 기준을 적용한다면 신뢰성 있는 홍삼 등급 자동화 측정 방법으로 사용가능 할 것이다.

키워드 : 홍삼 내부 분석 시스템, 단층 영상 복원 알고리즘, 홍삼 등급 판정, 사이노그램, 자동 초점 알고리즘

1. 서 론

홍삼은 수삼을 증기나 그 밖의 방법으로 쪄서 익혀 말린 것으로 농림수산식품 부령으로 정하는 색상을 띠는 것을 일컫는다[1]. 홍삼은 크기, 다리길이 등 외부 형태와 내부 상태 및 내부조직의 치밀도에 따라 천, 지, 양 3등급으로 분류한다. 분류된 홍삼은 등급에 따라 가격차이가 크기 때문에 저급홍삼에 고급홍삼이 혼입되면 경제적 손실이 발생하고, 고급 홍삼에 하위 등급이나 등급 외의 홍삼이 혼입되면 소비자 클레임이 증가한다. 이에 따라 홍삼은 판매되기 전에 정확한 등급

† 비 회 원 : 선문대학교 정보통신공학부 석사과정
†† 정 회 원 : 선문대학교 스마트자동차공학부 조교수
Manuscript Received : May 28, 2018
Accepted : July 23, 2018
* Corresponding Author : Sangjoon Lee(mcp94lee@sunmoon..ac.kr)

※ 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.

분류가 이루어져야한다. 최고등급인 1등급 천삼은 전체 1~2%로 생산량이 매우 적고 값어치가 비싸게 평가받는다. 그에 따라 홍삼 등급을 판별하는 기준 또한 매우 까다로워 외부 형태와 흠집 유무, 다리 개수와 길이, 내부 조직의 치밀도, 내공과 내백의 유무와 직경까지 파악하여야 한다[2]. 그리하여 지금까지 홍삼 등급 판정은 외부 조명이 차단된 암실에서 절단한 홍삼에 강한 불빛이 투과되면 사람 눈으로 내부 상태와 종래 내부조직의 치밀도를 판별하였다. 하지만 육안검사는 여러 검사관들이 동시에 진행하기 때문에 검사관들의 판별 기준이 통일되기 어려워 오차 가능성이 있으며 생산량의 한계, 열악한 작업환경, 검사관의 건강 악화, 분류 작업의 비용 상승 등 생산 효율의 저하 요인으로 판단하고 있다[3].

홍삼 등급 분류 시, 생산 효율성 증가와 정확한 홍삼 등급 판정 기준을 세우기 위해 1990년대 이후부터는 NMR(nuclear magnetic resonance: 핵자기공명) 검사와 MRI(magnetic resonance imaging: 자기공명영상법) 검사, X-ray 검사 등 비파괴 검사를 통한 홍삼 등급 판별 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 비파괴 검사 방법은 홍삼 등급 판별 시 작업자의 건강 저하와 홍삼 객체의 품질 저하 우려가 없다는 장점을 보인다. 그간의 연구 결과를 살펴보면 용적밀도를 이용한 NMR 검사는 내부 조직 치밀성 유추가 가능하여 홍삼의 정상·불량 판별이 가능하였다. 하지만, 내공·내백 등 홍삼 내부 조직 구조를 파악할 수 없고, 실험 과정에서 홍삼 절단이 필요하므로 등급 판정을 위한 검사 방법으로 사용하기에는 한계가 있는 것으로 판단되었다[4]. MRI 검사 방법의 연구 결과를 보면 홍삼의 MR 영상에서는 내부 상태 손실이 발생된다고 보고되었다. 또한, 홍삼은 수삼에 비해 수분 함량이 낮아 MR 신호가 미약하게 측정되어 정확한 내부 판정은 불가능하다[5]. X-ray 검사 방법은 촬영한 홍삼의 밝기 값 차이로 내공 부분을 추정 가능하였다. 하지만, 홍삼의 내공 검출 과정은 영상 내에서 정상부분과 내공 부분의 밝기 값 차이를 크게 하는 전처리 과정과 값 보정 알고리즘으로 인해 분석 소요 시간이 많이 필요하고, 지근의 영상이 희미하게 나타나는 단점이 있다. 그리고 X-ray 조사량이 많아 동체에 비해 굵기가 상대적으로 얇은 홍삼 지근 부분의 영상이 일부 손실되는 경우가 발생하였다. 또한, 홍삼이 다량의 방사선에 직접 노출되어 손상되면 제품의 등급이 하락하는 문제가 발생한다. 이러한 연구 결과를 보면 어느 정도 내공 파악은 가능하였지만 정확도가 떨어지고, 내백의 유무는 알 수 없다. 그리고 기존의 NMR, MRI, X-ray 분석 방법은 비용이 매우 비싸다는 큰 단점을 안고 있다. 이에 따라 홍삼 내부 분석 및 등급 판정을 위해서는 좀 더 정확한 비파괴 분석 방법이 필요한 현실이다[6].

이에 따라 본 연구에서는 의료 영상 기술 중 X-ray촬영 기법을 응용하여 내공과 내백을 파악할 수 있는 내부 분석 방법을 제시한다. 제시하는 방법은 암실 속 적외선 조명 환경에서 홍삼영상을 취득하고 라돈 변환(Radon Transform)하여 사이노그램(Sinogram)으로 재구성한다. 그 다음 역 라돈 변환(Inverse Radon Transform)하여 단층 영상 복원(Back-Projection) 알고리즘이 수행되면 홍삼 내부 영상을 획득할 수 있다. 이 방법을 이용하면 내부 형태와 조직의 치밀도를 관찰하고 내공, 내백의 유무와 직경 파악이 가능하다. 그리고 객체를 절단하지 않아 상해를 입히지 않기 때문에 홍삼 손실을 줄이고 등급 판별 정확도 향상에 기여할 수 있다.

본 연구의 목적은 홍삼 등급 분류 시 작업 환경개선 및 분석 정확도 향상을 위해 홍삼 투과율은 높지만 무해하고 사람 눈에 보이지 않는 조명 파장대역을 조사한 후, 이에 따른 영상 분석 알고리즘과 비파괴 객체 내부 분석 시스템을 연구하는 것이다.

2. 재료 및 실험

2.1 영상 취득 장치

제안하는 비파괴 홍삼 내부 분석 시스템 구현을 위해 외부 조명 및 자외선 차단이 가능한 폐쇄형 영상 취득 장치를 제작하였다. 영상 취득 장치 구성은 객체의 초점 자동 제어(Auto-Focus System)를 구동하는 Y-Axis Actuator와 1° 간격으로 회전하며 홍삼 이미지 획득이 가능한 Rotary Actuator로 구성되어 있다. 그리고 홍삼 영상 취득 과정에서 홍삼의 크기와 두께에 따라 빛의 객체 내부 투과율이 달라지므로 균일한 품질의 영상인식결과를 얻기 위해 조명 제어 시스템이 제작되었다. 영상 취득 과정은 자외선을 차단한 암실 환경 속에 Rotary Actuator에 홍삼을 부착하고 양쪽 IR (Infra-Red) LED에서 빛을 조사한다. 객체의 크기나 두께에 맞춰 가장 잘 투영되는 LED 밝기를 조절한 후 카메라에 객체 초점이 잘 맞도록 Y-Axis Actuator를 이동하며 Auto-Focus System을 수행한다. 그리고 Rotary Actuator가 1° 간격으로 360° 회전하는 동안 카메라에서 각도 별 360개의 홍삼 이미지를 촬영한다. 아래 Fig. 1에는 영상 취득 장치 하드웨어 3D 디자인 구상도를 나타내었고, Fig. 2는 영상 취득 장치 부품 구성을 블록다이어그램으로 나타내었다.

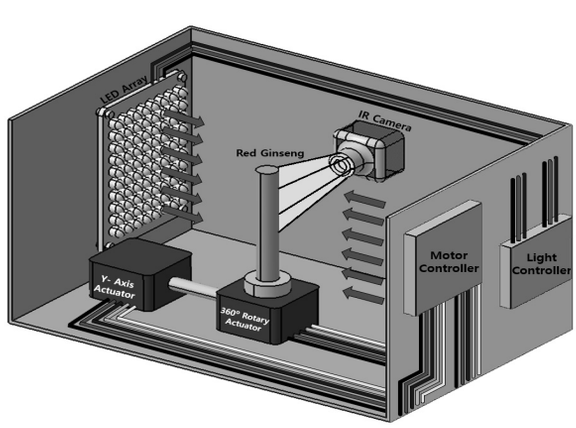


Fig. 1. Image Acquisition Device Hardware 3D Design Diagram

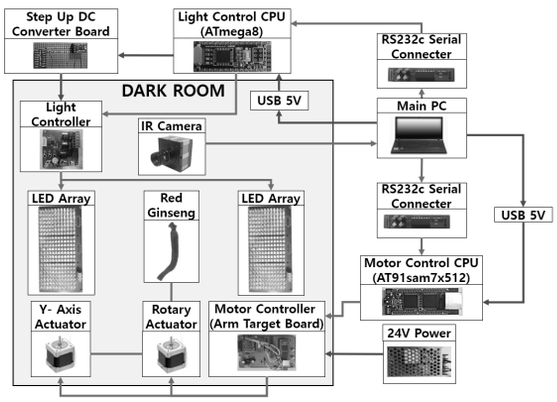
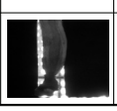
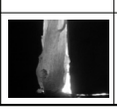
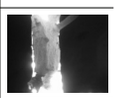


Fig. 2. Image Acquisition Device Hardware Concept Figure

2.2 적외선 파장 대역 내부 투과율 실험

홍삼의 내공, 내백 관찰 시 객체의 내부가 잘 투과되는 조명의 파장대역을 파악해야 한다. 이를 위해, 빛의 파장대역 변화에 따른 홍삼 내부 투과율 실험을 진행하였다. Fig. 2의 외부 조명이 차단된 암실 환경 측정 장치 내부에서 LED 조명은 일정한 빛의 세기로 고정한 후 4가지의 빛의 파장대역(630nm, 720nm, 830nm, 950nm)을 가지는 LED Light source에서 빛을 조사하고 Shenzhen Optical Glass 제조사의 4가지 파장대역의 적외선 투과 필터(680nm, 760nm, 850nm, 950nm)가 부착된 Camera에서 객체를 촬영하였다. Table 1은 4가지 파장대역에서 촬영한 홍삼 이미지를 보여준다. 이미지를 보면 파장대역 차이가 가장 큰 630 nm의 LED와 680nm의 적외선 투과 필터를 사용하였을 때 홍삼이 가장 어둡게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 LED와 적외선 투과 필터의 파장대역 차이가 클수록 투과된 빛이 영상에 잘 표현되지 않고 파장대역이 동일한 950nm에서 가장 잘 투과되어 내부가 밝게 보이는 것을 확인하였다.

Table 1. Experimental Results of Red Ginseng According to the Wavelength Band of LED Light and Infra-Red Filter

Wavelength of LED light	630nm	720nm	830nm	950nm
Wavelength of Infra-Red Filter	680nm	760nm	850nm	950nm
Images of red ginseng taken				

2.3 홍삼의 내공, 내백 유무 1차 판별

950nm 파장 대역에서 내공, 내백, 정상 여부 판단을 위해 투과된 홍삼 이미지를 촬영하여 실험하였다. 실험에 사용된 시료는 내공이 있는 홍삼 18정과 내백이 있는 홍삼 18정, 그리고 내공과 내백이 없는 1등급 정상 홍삼 12정을 사용하였다. 아래 Table 2는 실험 결과를 보여주고, Table 3은 촬영한 내백, 내공, 정상 홍삼의 이미지를 나타낸다. Table 2를 보면 실험한 홍삼 시료 중 95.84%가 내공, 내백, 정상 유무를 정확히 판별하였음을 확인할 수 있다. 그리고 Table 3에서 보는 것처럼 내공의 판단은 홍삼 전체 영상에서 빛 샘 효과가 나타남을 알 수 있으며, 내백은 전체적으로 빛의 투과율이 낮으므로 내백이 있는 영역에서 전반적으로 빛의 투과율이 낮음을 확인할 수 있다. 또한 정상 홍삼의 경우에는 빛의 투과가 고르게 분포 되므로 쉽게 판단할 수 있는 근거가 된다. 실험 결과 홍삼 촬영 시 투과하는 빛의 세기가 강할수록 내부 투과율이 높으며 홍삼의 두께가 얇고 치밀한 정도와 표면 오염도가 낮을수록 내부 투과가 잘 되는 것을 확인하였다. 또한, 정상 홍삼보다는 내부가 비어있거나 흰색으로 변질된 내백, 내공삼이 더 빛의 투과가 많이 이루어지므로 매질의 계수가 많을수록 내부 투과율이 높다고 판단할 수 있다. 이와 같은 결과를 토대로 빛의 홍삼 투과율에 따른 공식을 유도해보면 Equation (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$r = k \times \frac{\lambda}{lAS} \tag{1}$$

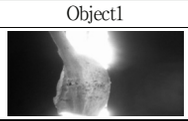
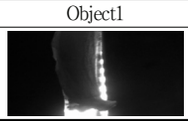
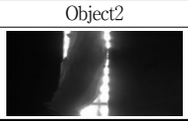
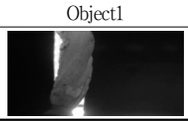
(r = 내부 투과율, k = 홍삼 매질의 계수, λ = 빛의 세기, l = 홍삼 두께, A = 홍삼 치밀도, S = 표면 오염도)

Equation (1)에서 A(홍삼 치밀도)를 객체 이미지 분석 과정에서 자동으로 계산하면 홍삼의 내부 분석 자동화시스템 구현이 가능할 것으로 판단된다.

Table 2. Experimental results

Inner hole Red ginseng identification status	Object1	Object2	Object3	Object4	Object4	Object6
	O	O	O	O	X	O
	Object7	Object8	Object9	Object10	Object11	Object12
	O	O	O	O	O	O
	Object13	Object14	Object15	Object16	Object17	Object18
	O	O	O	O	O	O
Inside whites Red ginseng identification status	Object1	Object2	Object3	Object4	Object5	Object6
	O	O	O	O	O	O
	Object7	Object8	Object9	Object10	Object11	Object12
	O	O	O	O	O	O
	Object13	Object14	Object15	Object16	Object17	Object18
	O	O	O	O	O	O
Normal Red ginseng identification status	Object1	Object2	Object3	Object4	Object5	Object6
	O	O	O	O	O	O
	Object7	Object8	Object9	Object10	Object11	Object12
	O	X	O	O	O	O

Table 3. Experimental results image

	Object1	Object2
Inner hole Red ginseng		
	Object1	Object2
Inside whites Red ginseng		
	Object1	Object2
Normal Red ginseng		

2.4 홍삼 내부 분석 시스템

홍삼의 내공, 내백 유무를 판별한 후 객체의 내부 조직 치밀도와 내공, 내백의 직경을 파악하기 위해 홍삼 내부 분석 시스템을 수행하였다. 수행 과정은 폐쇄형 영상 취득 장치 내에 홍삼을 부착하고, 객체의 내부가 잘 투과되는 적외선 조명 밝기를 설정하여 투과시킨다. 다음으로 Auto Focus Algorithm을 수행하여 홍삼이 가장 선명하게 촬영되는 초점으로 Y-Axis Actuator가 이동한다. 초점 제어 후 Rotary Actuator가 1° 간격으로 360°회전하며 총 360장의 홍삼 이미지를 획득한다. 획득한 이미지들은 Radon 변환을 통해 Sinogram으로 재구성하고, 역 Radon 변환을 통해 영상 단층 복원(Back Projection) 알고리즘을 수행하면 홍삼 내부 이미지가 생성된다. Fig. 3에는 홍삼 내부 분석 시스템 수행 과정을 Flowchart로 나타내었다.

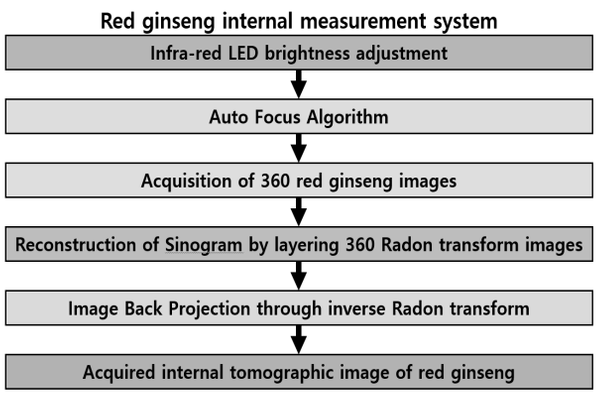


Fig. 3. Internal Analysis System of Red Ginseng Flowchart

1) Auto Focus Algorithm

홍삼 영상 촬영 시 객체의 두께나 길이, 모양, 크기 변화에 따라 선명한 초점을 가지는 위상은 달라진다. 이에 따라 Y-Axis Actuator가 이동하며 객체의 선명한 초점이 자동으로 선별되는 Auto Focus Algorithm을 수행하였다. 알고리즘 수행 과정은 Y축을 0.5cm 간격으로 20cm 이동하며 홍삼을 스캔한다. 스캔한 이미지들은 2진화 후 Gaussian Filter와 Laplacian Filter를 거쳐 전체 pixel에서 RGB 값을 선명도 값으로 변환하여 추출한다. 40장의 이미지의 선명도 값들을 대상으로 Peak Detection을 수행하여 가장 높은 값을 가지는 이미지가 선별된다. 아래 Fig. 4는 Auto Focus Algorithm 수행과정을 Flowchart로 나타내었다.

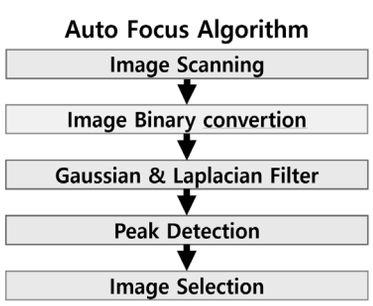
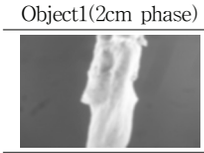
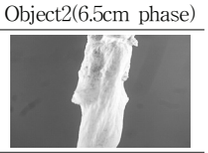
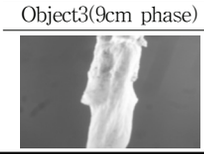
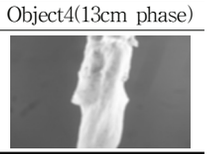


Fig. 4. Auto Focus Algorithm Flowchart

Auto Focus Algorithm을 수행한 결과 Y-Axis Actuator가 총 20cm 이동하며 스캔한 이미지들의 선명도를 비교하여 가장 선명한 초점이 자동으로 선별되었다. Table 4는 Auto Focus Algorithm 수행 결과 4개의 위상에서 촬영한 홍삼 이미지들을 나타내었다. Table 4를 보면 6.5cm 위상 이동했을 때 카메라가 촬영한 Object2가 가장 선명하게 촬영된 것을 알 수 있다. 알고리즘 수행 결과 가장 선명한 초점이 자동으로 선별되므로 홍삼 내부 분석 시스템 수행 과정에서 이미지 획득 속도와 정확도가 향상되었다.

Table 4. Experimental results image from 4 phases.

	Object1(2cm phase)	Object2(6.5cm phase)
Images of red ginseng taken in four phases (Sharpness according to focus change Confirm)		
	Object3(9cm phase)	Object4(13cm phase)
		

2) Sinogram

Auto Focus Algorithm 수행 후 Rotary Actuator가 1°간격으로 360°회전하며 획득한 360장의 이미지는 Radon 변환을 통해 Sinogram으로 적층하여 재구성한다. Sinogram은 (x, y)의 2차원 좌표계의 영상을 적분하여 2차원 라돈 공간에 누적시킨 다음, 라돈 공간에서 X-선이 객체 통과 후 흡수하여 생성된 각각의 영상을 XY평면에 나열하여 재구성한 결과이다. X-선이 객체 통과 후 투영된 각각의 영상은 View라고 지칭하며 여러 개의 View를 나열하여 재구성한 이미지를 sinogram이라고 한다[7]. 다시 말하면 360장의 객체 이미지에서 분석하고자 하는 단면의 X선 촬영 후 가로로 자른 횡단면상을 획득하고, 360장의 횡단면상을 차례대로 적층하여 재구성하면 내부 단층 영상이 생성된다. Sinogram 수행 과정을 공식으로 표현하면 Equation (2)와 같다.

$$Sinogram[x,y] = Org_n[p,k] \times \delta \tag{2}$$

$$(\ x = [0 - \delta],\ y = [0 - 400],\ p = [0 - 400],\ k = 120,$$

$$n = \sum_{1}^{\delta} k+1,\ \delta = 360(\text{적층하는 이미지의 개수}))$$

Equation (2)의 원본 이미지 $Org[p,k]$에서 x축 p는 0-400 pixel을 의미하며 Sinogram 결과 이미지의 y축이 되고, y축 k는 단층을 획득하고자하는 X선 높이를 의미하며 본 실험에서는 120pixel을 선택하였다. 이렇게 촬영한 $Org[p,k]$ 영상은 앞서 설명한 View를 의미하고, View를 δ만큼 적층하여 나열하면 Sinogram이 생성된다. Sinogram 수행 결과 홍삼 절단 과정 없이 내부 영상을 획득하여 관찰할 수 있었다. Fig. 5는 Sinogram 수행 과정 및 결과 이미지를 알아보기 쉽게 Block-diagram으로 표현하였다.

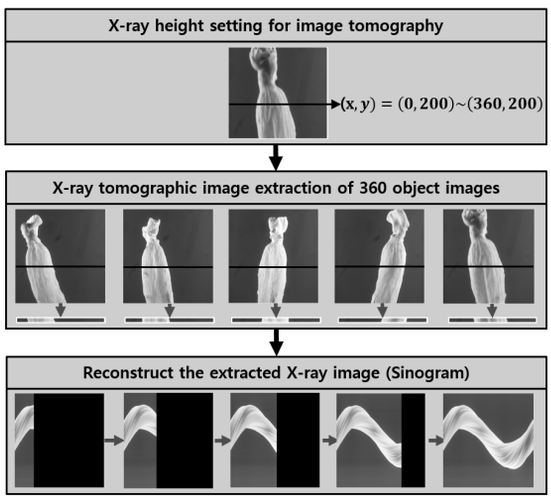


Fig. 5. Sinogram Process Block-diagram

Fig. 5의 Sinogram 결과 이미지를 보면 흰색에 가까울수록 객체가 X-선 투과를 막아서 흡수가 많이 된 것으로 볼 수 있으며 검은색 부분은 X-선 투과가 잘 되어 흡수가 되지 않은 것으로 판단할 수 있다. 그 결과 흰색 부분은 내백이나 정상 부분으로 판단할 수 있고, 검은색 부분은 내공으로 판단할 수 있다.

3) Back-Projection

Back-Projection은 Sinogram 결과 이미지를 다시 역 라돈 변환(Inverse Radon transform)하여 객체의 원본 이미지를 복원하는 것이다. Sinogram 수행 과정 중 각 이미지에 X-선을 투과하여 얻은 View의 밝기 값이 거꾸로 Pixel면에 0°부터 360°까지 1° 간격으로 회전하며 360개 View의 밝기 값을 직선으로 역투영하여 합산한다. 전체 Pixel 중에서 가장 수치가 작은 값(Background)을 각각의 pixel들의 최대공약수의 값으로 나누어 연산하고, 그 값을 토대로 이미지를 재구성하면 객체의 내부 이미지를 복원하여 획득할 수 있다[8]. Back-Projection 수행 결과 홍삼 내부 단면 영상을 획득할 수 있었다. 복원된 단면 영상을 통해 홍삼의 내공, 내백 파악이 가능하였고, 영상의 RGB값을 출력하여 내공, 내백의 직경을 측정하였다. Fig. 6에 Back-Projection 수행 과정을 나타내었고, Table 5에 결과 이미지를 나타내었다.

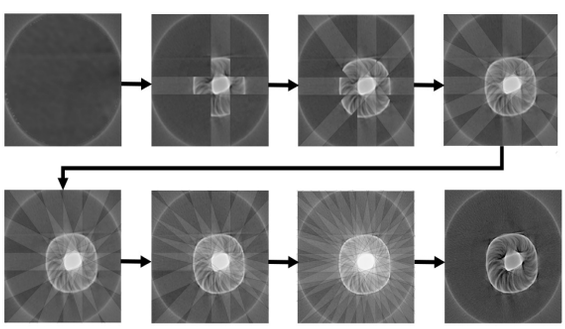


Fig. 6. Back-Projection Process Block-diagram

Table 5. Back-Projection Result Image.

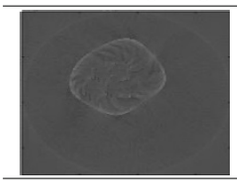
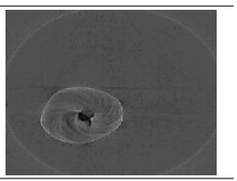
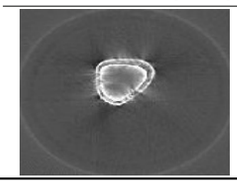
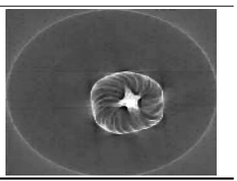
	Normal Red ginseng	Inner hole Red ginseng
Back Projection Result Images		
	Inside whites Red ginseng	Inner hole & Inside whites
		

Table 5는 Sinogram 수행 결과 얻은 360개 View의 Pixel을 Back-Projection하여 복원한 결과 이미지를 볼 수 있다. 이미지를 통해 정상 부분은 회색, 내공 부분은 검정색, 내백 홍삼은 흰색이 출력되어 내공, 내백, 정상 유무를 판별할 수 있었다. Fig. 6의 Back-Projection 수행 과정은 Equation (3)에 수식으로 표현하였고, 수행 결과 이미지의 RGB Pixel값을 그래프로 출력하면 아래 Fig. 7과 같다.

$$BP[x,y] = \sum_{1}^{k} Sinogram_n[r \times \cos(\theta - \delta), \theta] \times d\theta \qquad (3)$$

(x,y = [0 - δ], n,δ,k = 360(적층하는 이미지의 개수),
r = 180($\frac{2}{d}$), θ = [0 - 360], d = 360(x축 길이))

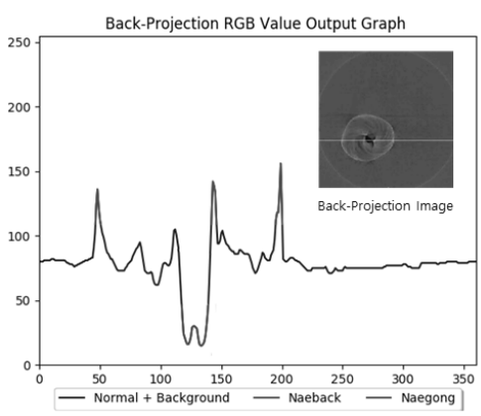


Fig. 7. Back-Projection RGB Value Output Graph

Fig. 7은 내공 홍삼 Back-Projection 결과 이미지의 ([0-360], 150)에 해당하는 Pixel의 RGB값을 출력한 그래프이다. 그래프를 보면 RGB Pixel값이 120이상이 되는 빨간색 Line 구간은 내백, 50이하인 초록색 Line 구간이 내공임을 알 수 있다. 또한, RGB Pixel 값이 60-110 사이인 파란색 Line 구간은 내공과 내백이 아닌 정상 부분으로 판단할 수 있다. 그래프 분석 결과 홍삼 내부의 내공, 내백, 정상 부분 직경이 측정 가능한 것을 확인하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

절단하지 않은 홍삼의 내부 조직 치밀도와 내공, 내백의 직경을 비파괴 영상 분석 방법으로 측정하기 위해 홍삼 내부 투과율이 높은 적외선 빛의 파장대역을 찾고, Auto Focus Algorithm을 설계하여 선명한 홍삼 이미지를 취득하였으며 Sinogram과 Back-Projection 알고리즘을 수행하여 홍삼 내부 이미지로 재구성하였다. 그 후, 이미지내의 각 RGB Pixel 값을 그래프로 산출하여 내공, 내백의 직경을 측정할 수 있었다. 실험 결과 전처리과정 없이 선명한 지근의 선명한 영상 획득이 가능하였고 내공은 검정색, 내백은 흰색, 정상은 회색으로 정확히 판별되는 것을 확인하였다. 그 결과 Reference [6]에 서술된 기존의 X-ray 촬영 기법에 비해 알고리즘 소요 시간과 영상의 선명도가 개선되었고 내부 판별의 정확도를 향상되었다. 또한, 홍삼의 모양, 크기, 두께에 관계없이 내부 영상 획득이 가능하여 1등급에서 등급 외 홍삼까지 전부 내공, 내백, 정상 유무와 직경을 파악할 수 있었다. Fig. 8은 C언어 개발환경에서 제작한 Program GUI(Graphical User Interface)를 나타낸다. Program에서 360장의 홍삼촬영 후 X-선 투과할 Y축 높이를 설정한 후 Sinogram과 Back-Projection 이미지를 취득하였다.

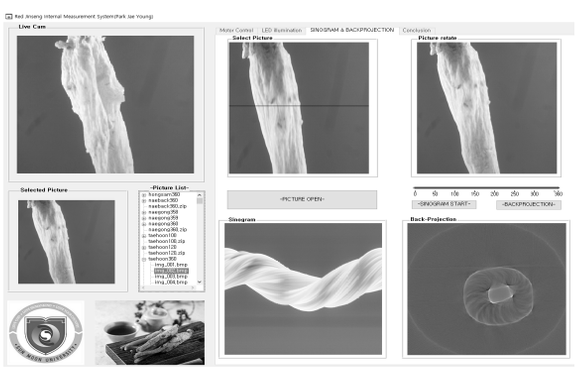


Fig. 8. Program GUI

4. 결 론

본 연구에서는 홍삼 내부(내공, 내백) 측정 방법에 대해 연구를 진행하였다. CT 촬영 기술 원리인 Sinogram과 Back-Projection 알고리즘을 수행하였고, 그 결과 내부 단층 이미지를 획득하고 획득한 내부 단층 이미지에서 내공, 내백, 정상 유무를 판별하고 직경을 파악할 수 있었다. 향후 더 다양한 모양의 홍삼에 대해 내부 측정 실험을 진행하고 실험 결과에서 얻은 내공, 내백의 직경을 기준으로 Equation (1)의 A인 홍삼 치밀도가 자동으로 계산되도록 기준을 확립한다면 홍삼 자동 등급 판정 시스템을 구축할 수 있을 것이다. 또한, 몸체와 세근이 좀 더 세밀하게 분류될 수 있도록 기준을 확립하고 내부 이물질이나 흠집을 자세하게 파악할 수 있도록 한다면 신뢰성 있는 자동 판별 시스템으로 사용이 가능할 것이며 편의성 및 생산성 증대효과를 가져올 수 있을 것이라 판단된다.

References

[1] Gi-Hyung Ryu, “Present Status of Red Ginseng Products and Its Manufacturing Process,” *The Korean Society of Food Scienceand Nurition*, Vol.8, No.2, pp.38-42, 2003.

[2] Chul-Soo Kim, “Quantification of Sensory Color Quality of Red Ginseng,” *Chonbuk National University*, Vol.42, pp.173-178, 1996.

[3] J. G. Lim and S. M. Kim, “Analysis of Magnetic Resonance Characteristics and Images of Korean Red Ginseng,” *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery*, Vol.28, No.3, pp.253-260, 2003.

[4] Gi Chul Jang and R. Ruan, “Determination of Bulk Density and Internal Structure of Red Ginseng Root Using NMR,” *Journal of Ginseng Research*, Vol.22, No.2, pp.96-101, 1998.

[5] Chun-Suk Kim, In Chan Jung and Se Bong Kim, “Distinction of Internal Tissue of Red Ginseng Using Magnetic Resonance Image,” *Journal of Ginseng Research*, Vol.32, No.4, pp.332-336, 2008.

[6] J. R. Son, K. H. Choi, K. J. Lee, D. S. Choi, and G. Y. Kim, “X-ray Image Processing for the Korea Red Ginseng Inner Hole Detection (I) - Preprocessing technique for inner hole detection,” *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery*, Vol.27, No.4, pp.341-348, 2002.

[7] Jae-Min Kim and Ki-Seung Lee, “A Method for Sinogram Interpolation for Reducing X-ray Dose,” *The Journal of Korea Information and Communications Society*, Vol.37C, No.7, pp.601-609, 2012.

[8] Kwonsu, Chon, “Noise Properties for Filtered Back Projection in CT Reconstruction,” *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol.8, No.6, pp.357-364, 2014.

박 재 영

https://orcid.org/0000-0002-3932-9538

e-mail : vwestlifev@naver.com

2010년 선문대학교 정보통신공학부(학사)

2017년~현 재 선문대학교 정보통신공학부 석사과정

관심분야 : 임베디드 시스템, 의료신호처리, 패턴인식, 영상처리

이 상 준

https://orcid.org/0000-0002-9829-4822

e-mail : mcp94lee@sunmoon.ac.kr

2001년 명지대학교 제어계측공학과(학사)

2005년 명지대학교 전자공학과(석사)

2011년 연세대학교 전기전자공학부(박사)

2014년~현 재 선문대학교 스마트자동차공학부 조교수

관심분야 : 임베디드 시스템, 의료신호처리, 패턴인식, 영상처리