

김치생산용 알타리무 전처리가공시스템 개발(II) - 평면형 삭피칼날의 최적형상 -

민영봉 김성태 강동현

Development of the Altari Radish Pre-processing System for Kimchi Production(II) - Optimum Cutter Shape for Plane Peeling -

Y. B. Min S. T. Kim D. H. Kang

Abstract

In this study, peeling test of the Altari radish on kimchi pre-processing system for mechanization was performed with the longitudinal plane peeling type with wider cutting blade than that of the peeled chip's. To determine the optimum cutter shape to match this plane peeling type, the peeling tests depending on variable cutting speed, rake angle and blade angle using the blade with thickness as 2 mm and width as 50 mm were performed, and the patterns of the peeled chips and peeling resistances were investigated. As the result of the tests, the rake angle of the blade with clean peeled surface of the Altari radish was over 45°, and the blade angle and rake angle with the minimum peeling resistance was 20° and 60°, respectively. The optimum peeling conditions were; the peeling speed 0.2 m/s, blade angle 20° and the rake angle 60°, and the peeling resistance of each blade was 15 N.

Keywords : Peeling of Altari radish, Longitudinal plane type peeler, Cutting blades

1. 서론

알타리무의 김치담그기전 가공공정은 선별, 무청다듬기, 무청절단, 무뿌리(이하 뿌리)의 꼬리절단, 삭피 및 세척 등으로 구분된다. 이 중 선별과 무청다듬기는 인력에 의존하고 있으며, 무청절단과 뿌리꼬리절단 작업의 기계화를 위한 장치개발은 본 연구의 제1보(Min et al, 2004)에 보고한 바 있다. 뿌리부의 가공은 뿌리 표면에 붙은 이물질과 잔뿌리의 제거를 위한 것으로 세척, 굵기 및 깎기 작업에 의하여 수행되고 있다. 민 등(2004)에 의하면 고압수 분사에 의한 뿌리부 세척작업의 경우, 뿌리표면이 거칠고 잔뿌리나 잔털이 많은 것은 잔뿌리와 이물질이 제거되지 않아 전처리가공 방법으로 이용하

기에는 어려운 것으로 보고하였고, 뿌리부 표면을 세척한 것, 굵기를 한 것 및 삭피한 알타리무로 각각 김치로 담아 관능검사(官能檢査)한 결과, 삭피한 것이 외관이 깨끗하고, 양념이 잘 배어 김치의 색감이 좋고 연하며, 맛이 가장 좋은 것으로 조사되었다. 곧 본 연구에서의 삭피작업은 칼로 뿌리의 표피를 깎아내는 작업만으로 한정하였다.

뿌리표피의 삭피방식과 칼날에 대한 선행연구(Min et al., 2003)에서는 알타리무를 뿌리의 원주방향과 길이방향으로 홈형으로 삭피할 수 있는 칼날의 최적형상을 구명한 바 있으나, 실제 알타리무의 삭피작업은 평면형 삭피방식이며, 뿌리의 길이방향으로 삭피하는 것으로 선행연구의 결과를 그대로 실용화 삭피장치 개발에 응용하기에는 미흡하였다. 따라서 본

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center (ARPC) and Institute of Agriculture and Life Science (IALS) of the Gyeongsang National University. This article was submitted for publication in March 2005, reviewed and approved for publication by editorial board of KSAM in May 2005. The authors Young Bong Min, and Sung Tae Kim, Professor, D. H. Kang, Research assistant, Division of Agricultural System Engineering, Gyeongsang National University. The corresponding author is S. T. Km, Professor, Division of Agricultural System Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea; E-mail : <kimsung@nongae.gsnu.ac.kr>

연구는 알타리무의 길이방향 평면형 삭피장치를 제작, 시험하여 삭피기계의 실용화에 적합한 평면형 삭피용 칼날의 최적형상을 구명하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험 재료

본 연구에 사용된 알타리무의 시료는 7월 중순부터 8월 말 사이에 수확된 알타리무를 구입하여 사용하였다. 각 삭피시험시 마다 25개를 임의 추출하여 측정된 알타리무의 평균길이는 94.3 mm, 머리부분의 평균직경은 33.2 mm이었으며, 최단직경의 평균은 29.9 mm, 최장직경의 평균은 48.2 mm로 조사되었다.

나. 시험 장치

그림 1은 알타리무의 길이 방향 삭피시 삭피저항을 측정하기 위해 구성한 장치이며, 선행연구(Min et al, 2003)의 시험장치와 구조 및 원리가 같다. 장치는 칼날 부착장치와 알타리무의 고정 및 이송장치 그리고 측정장치로 구성하였다. 칼날이 알타리무 껍질을 삭피 할 때의 삭피저항이 로드셀에 손실 없이 전달되게 하고 삭피칼날부의 지지를 위하여 행정길이 300 mm의 LM guide(이하 직선운동장치)를 설치하였다. 삭피칼날부의 칼날이 전진하는 알타리무의 곡면 형태에 따라 상하로 자유로이 움직일 수 있도록 칼날부착부가 삭피장치의 수직골조와 연결되는 부분을 힌지 형식으로 만들고, 중간부분인 삭피장치 상단 수평골조에 선경 1.5 mm, 스프링상수 2.3 N/mm의 압축스프링을 설치하였다. 압축스프링의 축은 중간에 스프링 받침을 설치한 스틱사로서 상부프레임에 결합되어 이 축의 조임에 의해 삭피칼날에 압력을 가하여 알타리무의 이송시 무 껍질부에 칼날이 파고들게 하였다. 알타리무

고정대는 바이스형태의 고정부와 지지판으로 구성하여 알타리무를 고정하였다. 또한 알타리무의 직선운동을 원활히 하기 위해 직선운동장치 상단에 고정대를 설치하였다. 알타리무의 직선운동은 실린더 내경 25 mm, 행정길이 250 mm의 공압실린더를 이용하였으며, 삭피 속도는 공압실린더의 공압조정(0.5 - 5.0 kgf/cm²)에 의하였다. 알타리무를 삭피할 때의 삭피저항을 측정하기 위하여, 직선운동장치의 슬라이드 위에 설치한 삭피칼날부 프레임과 수직력 측정용 로드셀을 직경 1.5 mm의 부드러운 와이어로 연결하고 베어링롤러를 이용하여 수평적인 삭피저항을 수직력으로 전달되게 하였다. 무 삭피시 로드셀에 전달되는 삭피저항은 로드셀과 연결한 스트레인증폭기(DPM-700B, Kyowa co., Japan)에 의한 스트레인 값으로 측정되게 하였다. 삭피저항 대응값을 디지털화하기 위하여 스트레인증폭기의 아날로그출력을 데이터계측장치(System 10K7, Daytronic co., U.S.A)에 입력시켜 디지털값으로 변화시키고 RS232C 통신을 통해 컴퓨터로 데이터를 처리하였다. 데이터처리 프로그램은 Quick Basic을 이용하였다.

그림 2(A)는 폭 50 mm인 광폭칼날로 삭피하는 평면형 삭피방식을 표현한 것이며, 그림 2(B)는 삭피시험에 사용된 시편의 모양으로 폭 10 mm, 깊이 2 mm로 일정 단면적을 삭피할 수 있게 하였다. 그림 3은 삭피칼날의 형상을 정의한 것으로 칼날의 장착 및 각도조절은 선행연구(Min et al, 2003)에서 설명한 것과 같다. 삭피칼날의 형상을 나타내는 각도는 알타리무 삭피를 2차원 절삭으로 정의한 각도로서, 경사각(rake angle, α)과 칼날각(blade angle, δ)은 칼날의 형상을 나타내는 시험조건으로 사용하였으며, 여유각(clearance angle, γ)은 참고용이다. 칼날은 고탄소강(S45C) 재질로서 두께 2 mm, 폭 50 mm로 제작하여 사용하였는데, 예비시험 결과 칼날의 두께가 1 mm 이하로 얇은 경우 칼날이 휘는 경향을 보였고, 3 mm 이상으로 두꺼운 경우에는 불필요한 저항이 나타났다. 칼날의 가공은 숫돌을 이용하여 가공한 후, 300번 사포를 이

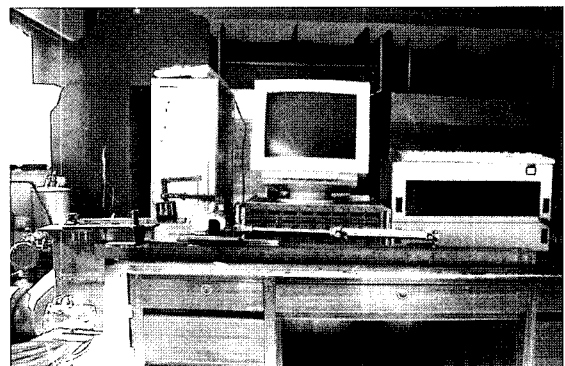
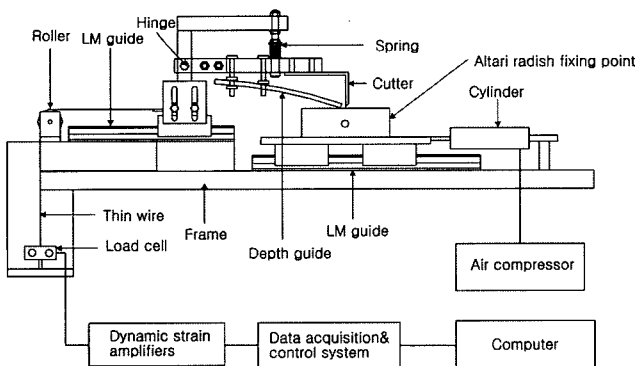


Fig. 1 Arrangement and photograph of the experimental apparatus for the longitudinal plane peeling of Altari radish.

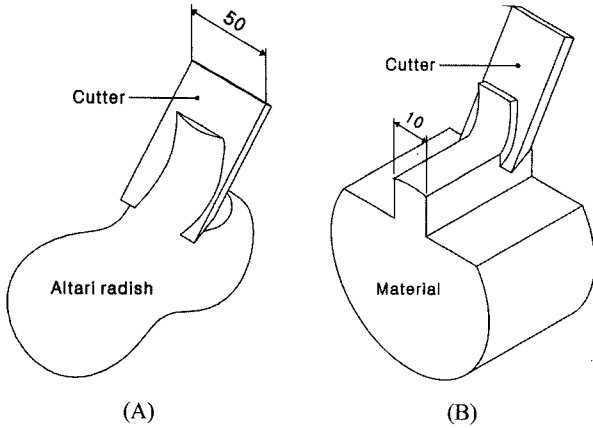


Fig. 2 Plane type peeling (A) and specimen (B).

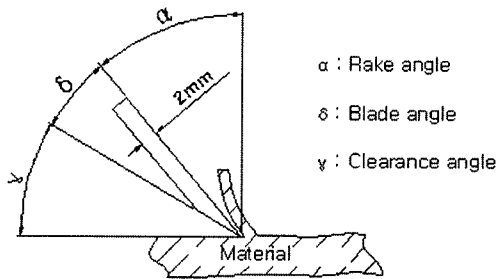


Fig. 3 Definition of the cutter angle.

용하여 삭피용 칼날의 날을 세웠다.

다. 시험 방법

본 시험에 앞서 실시한 시험에서, 칼날에 가해지는 힘이 15 N 이상에서는 칼날이 무 속으로 파고들어 무와 깊이가이드의 마찰력이 실 삭피저항보다 크게 되며, 10 N 이하에서는 칼날이 꺾질이 꺾이지 않고 미끄러지는 현상이 일어났다. 또 삭피속도가 0.6 m/s 이상으로 빠른 경우에는 칼날이 튀어 오르면서 진동충격운동을 하여 연속삭피작업이 이루어지지 않았다. 따라서 본 삭피시험에서는 스프링을 이용한 예비실험을 수행하여 얻어진 결과에서 칼날에 가해지는 수직력을 13 N으로 일정하게 조정하였으며, 삭피속도는 칼날이 튀지 않고 연속작업이 가능한 범위로 한정하였다.

1) 절삭 칩의 형태 조사

무의 삭피는 표면의 긁기(scraping)와 깎기(cutting)로 이루어지는데, 긁기작업은 칼날이 무 표면과 수직 또는 둔각으로 진행될 때의 작업으로 깎여진 칩은 파단된 모습을 보인다. 이 칩의 종류는 전단형과 열단형으로 구분되나 본 연구에서는 모두 전단형으로 정의하였다. 그리고 절삭된 칩이 파단되지 않고 연속으로 이어지며 절삭면이 매끈하게 되는 경우 생성

되는 칩을 유동형 칩이라 한다. 유동형 칩이 형성되는 것은 칼날의 경사각과 관련이 깊으며, 경사각이 클수록 유동형 칩이 구성되기 쉽다는 것이 일반론이다. 시중에서 판매되는 알타리무 김치의 뿌리표면은 매끈하게 가공되어 상품성을 올리고 있으므로 유동형 칩을 생성하는 칼날각과 경사각의 한계를 조사할 필요가 있다.

절삭칩의 형태는 그림 1의 시험장치에 통무를 시편으로 그림 2(A)와 같은 방식으로 절삭하면서 조사하였다. 시험조건은 경사각 α 는 $0^\circ \sim 60^\circ$ 사이에서 5° 간격, 칼날각 δ 는 $10^\circ \sim 40^\circ$ 에서 10° 간격으로, 또 삭피속도는 0.1 m/s ~ 0.4 m/s에서 0.1 m/s 간격으로 하였다. 각 시험은 3회씩 실시하였으며 칩과 삭피면을 육안으로 확인하여 유동형 칩의 형성상태를 확인하였다.

2) 삭피저항 측정

삭피저항 측정을 위한 시험구배치는 표 1과 같으며, 칼날이 튀지 않고 절입되는 삭피속도 3종류, 칼날각과 경사각 각각 14종류 등 총 42종류의 시험을 각각 5회 반복하여 시험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 절삭 칩의 형태

그림 4는 칼날의 경사각을 달리하여 삭피한 무의 절삭 칩과 무의 절삭면을 사진으로 나타낸 것이다. 극단적인 경우로서 칼날의 경사각이 0° 로써 절삭하는 경우는 칼날의 전면이 절삭면(무 표면)과 수직으로 절삭하는 것으로서 굽는 형태의 절삭이며, 칼날의 경사각이 60° 로써 절삭하는 경우는 칼날의 전면이 무 표면의 절삭면과 30° 로 절삭하는 것으로서 깎기형태의 절삭인 것으로 나타났다. 굽기형태의 절삭에서 깎기형태의 절삭으로 갈수록 즉, 경사각이 커질수록 전단형 칩에서 유동형 칩으로 변화되는 것으로 나타났다.

유동형 칩으로 결정하는 조건은 절삭 칩이 파단되지 않고 연결되며, 육안으로 관찰한 절삭면은 거친 부분이 없고 매끈

Table 1 Experimental conditions for measuring the peeling resistance of plane type peeling.

Peeling speed	Cutter shape	
	δ	α
0.1 m/s, 0.2m/s, 0.3m/s	10°	$45^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ, 70^\circ$
	20°	$45^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ$
	30°	$45^\circ, 50^\circ, 55^\circ$

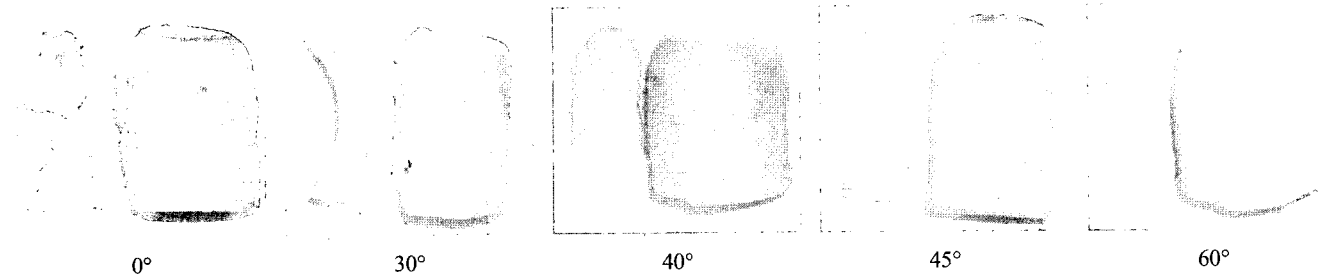
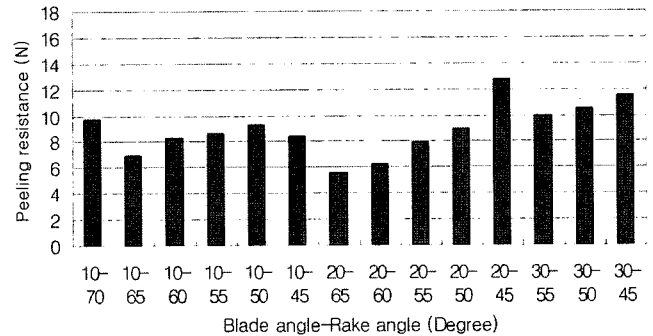


Fig. 4 Shapes of the peeled Altari-radishes with different rake angles on the plane type peeling.

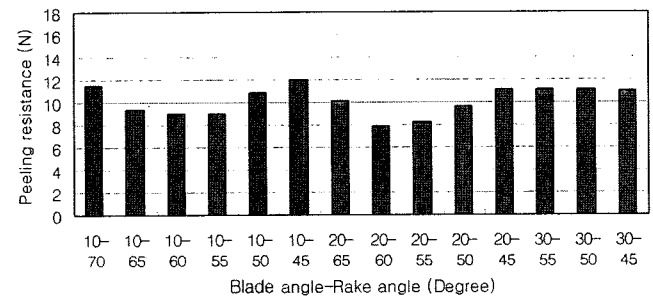
한 것일 때로 하였으므로, 이것을 알타리무의 삭피가 가능한 경사각으로 판단하였다. 시험방법에서 제시한 조건내의 삭피 속도와 칼날각 그리고 경사각을 변화시키면서 절삭 칩의 모양을 조사한 결과, 전단형 칩과 유동형 칩의 경계인 유동형 칩으로 형성되는 경사각은 45°이며, 삭피속도와 칼날각의 영향은 없는 것으로 나타났다. 따라서 알타리무의 삭피표면이 매끈하게 되는 칼날의 경사각은 45° 이상인 것으로 나타났다.

나. 삭피저항

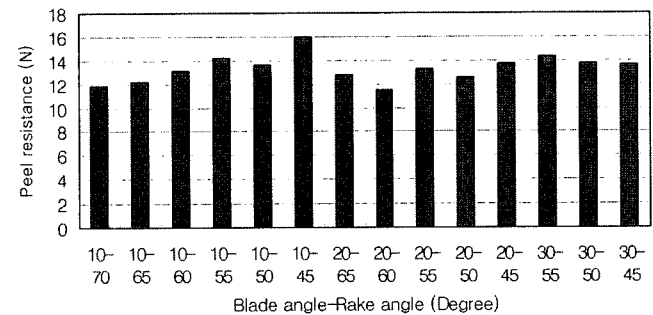
그림 5는 칼날각과 경사각의 변화에 따른 삭피저항의 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 삭피속도가 빠를수록 삭피저항이 증가하는 경향으로 나타났다. 금속의 절삭이론에서 단단하고 취성인 재료는 경사각이 작은 것이, 연하고 인성인 재료는 경사각이 큰 것이 절삭저항이 작게 되는 것이 일반적이며, 재료에 따라 절삭저항이 가장 작게 되는 칼날각과 경사각이 정해지는데, 다만 절삭속도가 빠를수록 경사각이 크게 되는 경향이 있다고 알려져 있다. 알타리무의 삭피는 금속의 절삭과 동일한 역학적 기구로 가정한다면, 알타리무의 껍질부는 매우 연하면서도 질긴(인성) 재질에 속하므로 금속의 최적 경사각인 5°~20°보다 훨씬 클 것으로 예상된다. 그림 5의 결과는 이상과 같은 이론이 잘 반영될 수 있는 결과로서 나타났으며, 알타리무 삭피용 칼날의 경사각은 55°~65° 사이로 나타남을 확인 할 수 있었다. 칼날각은 마찰이 최소화 되는 여유각을 5°~10°로 주면 좋지만 칼날각이 10° 정도로 너무 얇은 경우에는 칼날이 무에 파고드는 경향이 있어서 오히려 절삭저항이 증가하는 것으로 판단된다. 그림 5에서 알 수 있듯이 알타리무 껍질의 평면삭피 시 삭피저항이 최소로 되는 칼날각은 20°, 경사각은 60°인 것으로 판단된다. 삭피속도 변화에 따른 절삭저항 변화가 다소 크더라도 그 절삭동력은 최소형 모터의 동력정도로 미소하므로, 작업능률과 삭피비용을 고려하여 가능한 삭피속도는 빠른 것이 좋을 것으로 생각된다. 그러나 삭피속도가 빠르면 칼날이 처음 알타리무 뿌리 표면에 절입 시 칼날이 튀는 현상이 발생하였다. 선행연구에서



(A) 0.1 m/s



(B) 0.2 m/s



(C) 0.3 m/s

Fig. 5 Peeling resistances of the longitudinal plane type peeling.

삭피 시 칼날이 튀지 않고 안정적으로 연속삭피가 가능한 속도는 0.2 m/s로 나타났다(Min et al, 2003). 삭피속도 0.2 m/s에서 최소 삭피저항은 8 N 정도로 나타났는데, 이는 삭피폭이 10 mm인 경우이며, 실제 삭피 시 삭피폭이 15 mm 정도

로 넓으며, 질기고 단단한 껍질부가 얇게 절삭되는 조건 등을 감안하면 칼날 1개당 삭피저항은 15 N으로 추정된다.

4. 요약 및 결론

알타리무 김치의 소재 전처리가공작업 중 삭피작업의 기계화를 위한 삭피형태는 칼날의 폭이 삭피된 칩의 폭보다 큰 것을 사용하는 평면형 삭피방식이다. 이 평면형 삭피방식에 적용할 칼날의 최적형상을 구명하기 위하여 두께 2 mm, 폭 50 mm인 칼날로 절삭속도, 경사각 및 칼날각을 변화시켜 삭피시험을 실시하고, 절삭칩의 형태와 삭피저항을 조사하였다. 그 결과 알타리무의 삭피표면이 매끈하게 절삭되는 칼날의 경사각은 45° 이상인 것으로 나타났고, 삭피저항이 최소로 되는 칼날각은 20°, 경사각은 60°인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Kim S. T., Y. B. Min and H. S. Jung, 2004. Development of a peeling machine for altary radish (1) -Physical properties of the altari radish-, Journal of Biosystems Engineering, Korean Society for Agricultural Machinery 29(1):29-36. (In Korean)
2. Min, Y. B., S. T. Kim, D. H. Kang and T. S. Chung, 2003. Determination of optimum cutter shape for peeling altari radish, Journal of Korean society for agricultural machinery 28(5): 421-428. (In Korean)
3. Min Y. B., S. T. Kim, D. H. Kang, T. S. Chung and W. J. La, 2004. Development of the altari radish pre-processing system for Kimchi production (1) -Leaf and root tail cutting equipment-, Journal of Biosystems Engineering, Korean Society for Agricultural Machinery 29(5):451-456. (In Korean)
4. Sverker persson, 1987. Mechanics of cutting plant material. ASAE Monograph number 7. 244-247.
5. 민영봉, 김성태, 윤진하, 강창호, 우경택, 강동현, 정효석, 문성원, 박중웅. 2004. 알타리무 전처리 가공시스템 개발. 농림부 농림기술관리센터 지원, 현장애로기술개발 최종연구보고서.