

김치생산용 알타리무 전처리 가공시스템 개발 (I)

- 무청 · 뿌리끝부 절단장치 -

민영봉 김성태 강동현 정태상 나우정

Development of the Altari Radish Pre-Processing System for Kimch Production (I)

- Leaf and root tail cutting equipment -

Y. B. Min S. T. Kim D. H. Kang T. S. Chung W. J. La

ABSTRACT

To establish a Altari radish pre-processing system for kimchi, the leaves and root tail of the Altari radish cutting devices were developed. The cutting resistances depend on the edge angles, oblique angles and cutting speeds were measured and analyzed. The experiments were performed to reveal the optimal conditions that showed the minimum cutting resistances acting on the materials. As the results, the optimum conditions that acting on the leaves were at edge angle 25°, oblique angle 40° and cutting speed 0.5 m/s, and those acting on the root tails were at edge angle 20°, oblique angle 30° and cutting speed 0.5 m/s, respectively. Considered a safety conception, the oblique angle of the leaves cutting device was adjusted as 20°, and then the cutting efficiencies of the both devices at these conditions were showed perfect performances.

Keywords : Altari radish processing system, Cutting resistance, Leaves and root tail cutting device.

1. 서 론

김치용 알타리무 가공기계의 전처리 공정은 알타리무 정렬, 무청과 뿌리끝부 제거, 삭피, 세척의 순으로 이루어진다. 본 연구는 김치용 알타리무의 자동화 삭피장치 개발을 목적으로 수행된 연구의 일환으로, 기 발표한 연구에서는 알타리무 삭피용 날의 칼날각과 경사각을 결정하고 적정 삭피의 속도, 깊이, 폭 등을 구명하였으며(민영봉 등, 2003), 알타리무의 기하학적 형상, 뿌리부의 부위별 압축강도, 압축변형량, 표면경도 및 무청과 뿌리부의 전단강도 등, 장치에 필요한 재료의 물성을 분석하였다(김성태 등, 2004). 이상에서의 시험을 바탕으로, 알타리무 전처리 가공시스템의 주요 부분인 무청절단장치와 무의 뿌리끝

부 절단장치를 개발하였다(민영봉 등, 2004). 본 연구에서는 무청과 뿌리끝부 절단 시 절단칼날의 절단속도와 칼날각 및 칼날경사각의 변화에 따른 최적 작동조건 등, 개발된 장치의 특성을 구명하여 김치용 알타리무의 자동 삭피장치의 개발에 활용하고자 하였다.

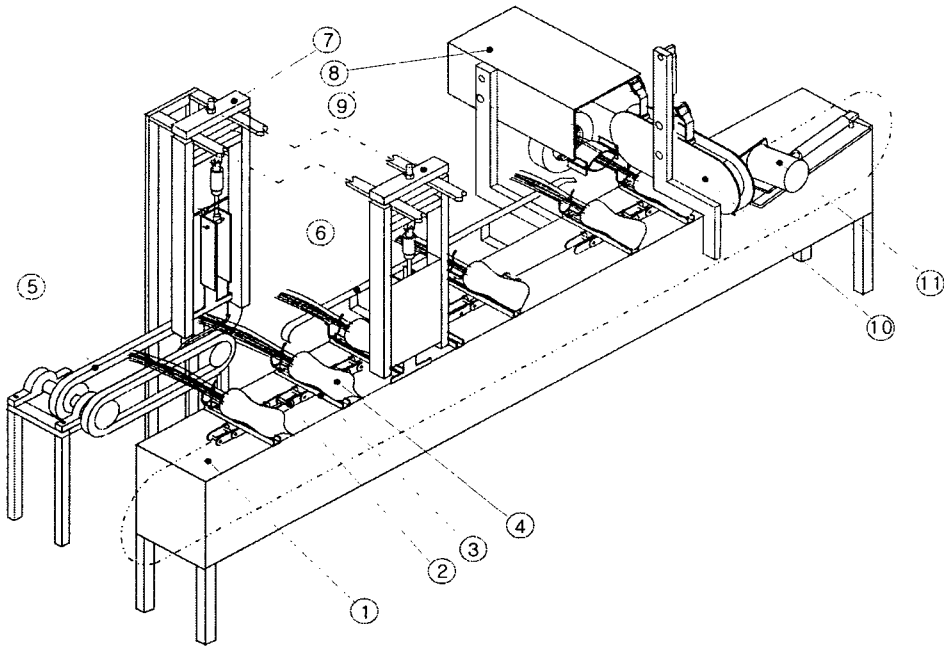
2. 재료 및 방법

가. 시험장치

1) 알타리무 전처리 가공기계

Fig. 1은 알타리무 전처리 가공기계 시작기의 전체 구성도를 나타낸 것이다.

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 July 2004, reviewed in September 2004, and approved for publication by editorial board of KSAM in October 2004. The authors are Y. B. Min, Professor, S. T. Kim, Professor, W. J. La, Professor, D. H. Kang, research assistant, Division of Agricultural System Engineering, Gyeongsang National University, and T. S. Chung, Associate Professor, Jinju National University. The corresponding author is S. T. Kim, Professor, Division of Agricultural System Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea. E-mail : <sungtkim@nongae.gsnu.ac.kr>.



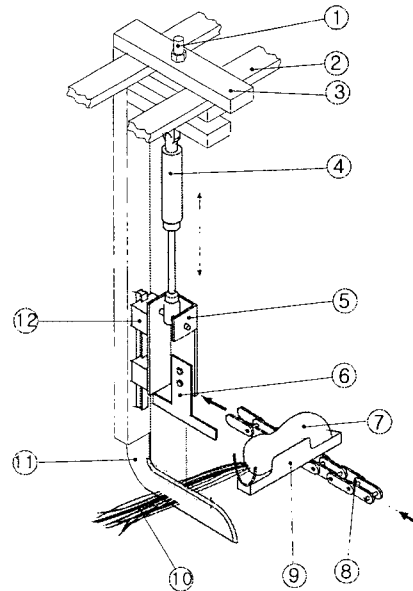
① Main frame, ② Carrying chain, ③ Radish pad, ④ Altari radish, ⑤ Carrying belt, ⑥ Guide, ⑦ Leaf cutting device, ⑧ Leaf holding device, ⑨ Root tail cutting device, ⑩ Peeling device, ⑪ Auxiliary rolling device

Fig. 1 Altari radish peeling apparatus.

전처리 가공기계는 프레임①, 이송장치(②, ③, ⑤), 무청 절단장치⑦, 무회전장치⑧, 뿌리끝부 절단장치⑨, 삭피장치⑩ 및 보조회전장치⑪로 구성되었다. 시작기의 작동과정은 다음과 같다. 알타리무④는 프레임①의 맨 왼쪽 앞에서 인력에 의해 겹잎을 처리한 후, 무받이③와 무청지지이송벨트⑤에 맞도록 올려놓으면 이송체인②과 무청지지이송벨트⑤가 구동되어 알타리무④를 무청 절단장치⑦까지 이송한 후 정지하여 무청이 절단된다. 무청 절단이 완료된 알타리무는 계속 이송되어 뿌리끝부 절단장치⑨에 정지하여 뿌리 끝부분이 절단된다. 그 다음 계속 이송된 알타리무④는 삭피장치⑩에서 정지되며, 여기에서 무회전장치⑧는 이 무청을 잡고 돌리면서 삭피장치⑩가 가동되어 무 겹질을 얇게 깎아 내게 되는데, 이때 무의 회전을 돕기 위해 보조회전장치⑪가 동시에 작동된다. 삭피가 끝난 알타리무는 세척공정으로 옮겨가게 된다. 이와 같이 본 장치는 알타리무가 라인을 따라 이송과 정지를 반복하면서 무청 절단, 뿌리끝부 절단 및 삭피가 이루어지도록 제작되었으며, 센서를 통해 무의 유무 및 위치를 검출하는데, 기계를 작동시키면 일련의 작업이 연속으로 이루어지도록 구성되었다.

2) 무청 절단장치

Fig. 2는 Fig. 1의 무청절단장치⑦의 상세도이다. 무받이③에 탑재된 알타리무④가 이송체인⑧에 의해



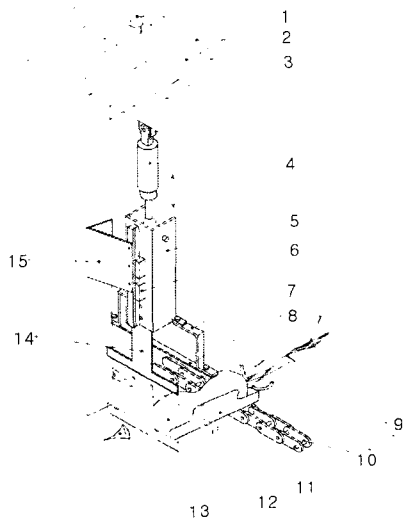
① Setting bolt, ② Main frame, ③ Leaf cutter frame, ④ Air cylinder, ⑤ Support frame, ⑥ Cutter, ⑦ Altari radish, ⑧ Carrying chain, ⑨ Radish pad, ⑩ Cut-out leaf, ⑪ Auxiliary cutter, ⑫ LM guide.

Fig. 2 Details of the leaf cutting device.

이송되어 무청절단하부칼날⑩의 중앙에 오면 이송이 일시 정지되고, 공압실린더④에 의해 무청절단상부칼날⑥이 수직으로 내려와 무청절단하부칼날⑩ 위의 무청이 절단된다. 이때 알타리무의 크기에 따라 변하는 무청의 절단위치에 칼날부를 맞추어 무청절단하부칼날⑩이 정확한 상하운동을 하도록 직선운동가이드⑫를 설치하였다.

3) 뿌리끝부절단장치

Fig. 3은 Fig. 1의 뿌리끝부절단장치⑨의 상세도이다. 무반이⑪에 놓인 무가 이송체인⑩에 의해 이송되어 뿌리끝부절단칼날의 중앙에 오면 이송이 일시 정지되고, 뿌리끝부절단칼날⑭이 수직으로 내려와 무의 뿌리끝부⑬가 절단된다. 이때 고무벨트고정암⑦에 수평으로 고정된 고무벨트⑧도 같이 내려와 무의 뿌리부를 눌러서 무반이에 압착함으로써 무의 튀어나감을 방지하고 본래 위치를 유지하게 하였다. 뿌리끝부절단칼날은 뿌리끝부절단칼날고정대에 볼트로 결합하였고, 뿌리끝부절단칼날고정대의 상부에 공압실린더④를 핀으로 결합하여 공압에 의해 뿌리끝부절단칼날이 상하로 작동하게 하였다. 공압실린더는 상부의 지지프레임③에 고정되어 칼날부를 지지하며, 뿌리끝부절단칼날고정대⑤의 뒷면과 지지프레임의 수



① Setting bolt, ② Supporting frame, ③ Root Cutter frame, ④ Air cylinder, ⑤ Cutter attachment, ⑥ LM guide, ⑦ Fixing guide, ⑧ Fixing rubber, ⑨ Leaf, ⑩ Carrying chain, ⑪ Radish pad, ⑫ Altari radish, ⑬ Cut-out radish root, ⑭ Cutter, ⑮ Guide frame.

Fig. 3 Details of the root tail cutting device.

직지주에 부착한 지지판⑮ 사이에 직선운동가이드⑥를 설치하여 마찰저항을 줄이고 칼날부의 정확한 상하운동을 하게 하였다. 이때에도 알타리무의 크기에 따라 변하는 무청의 절단위치에 칼날부를 맞추어 뿌리끝부절단칼날이 정확한 상하운동을 하도록 직선운동가이드⑥를 설치하였다.

Fig. 4는 알타리무가 장치에서 가공되는 과정을 나타낸 것으로, (a)는 가공되지 않은 알타리무이며, (b)는 무청 절단장치에 의해 무청이 2단으로 절단된 것으로, 1단계에서 절단된 무청은 폐기되지만 2단계에서 절단된 무청은 김치용 재료로 사용된다. 또 (c)는 뿌리끝부 절단장치에 의해 뿌리끝부가 절단된 것이며, (d)는 삭피장치에 의해 뿌리부의 삭피가 완료된 것을 나타낸 것이다.

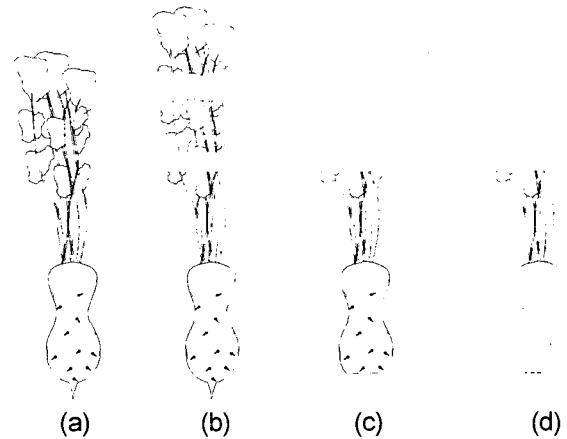


Fig. 4 Processing steps of the Altari radish.

4) 절단저항 측정장치와 칼날의 형상

무청과 뿌리끝부의 절단 시 최적조건을 구명하기 위하여 Fig. 5와 같이 절단저항 측정장치를 구성하였다. 칼날이 무청이나 뿌리끝부를 절단할 때 상하 직선운동을 용이하도록 하기 위해 LM guide(직선운동장치)를 설치하였다. 칼날이 절단작용을 할 때 절단저항이 로드셀로 전달되도록 로드셀의 상단에 사각철제 프레임을 설치하여 재료를 놓았다. 그리고 프레임의 상단에는 재료를 고정용 고정대를 설치하여 재료 절단 시 칼날의 진행이 일정하게 유지되도록 하였다. 재료의 절단 시 로드셀에 전달되는 스트레인 값은 로드셀과 연결된 스트레인증폭기(DPM-700B, Kyowa Co., Japan)에 의해 검출, 증폭, 출력되며, 이때 출력된 아날로그신호는 데이터계측장치(System 10K7, Daytronic co., U.S.A)에 입력되어 디지털값으로 변화

시킨 후 Quick Basic을 이용하여 자료를 처리하였다. 절단속도는 공압실린더 공기압의 조정으로 조절하였다. 시험에 사용된 로드셀의 부하-전압의 환산 결과를 이용하여 선형회귀식을 구하였고, 식을 이용하여 재료 절단 시 칼날에 걸리는 절단저항의 측정에 사용하였다. 회귀식의 신뢰도는 $R^2 = 0.99996$ 이었다.

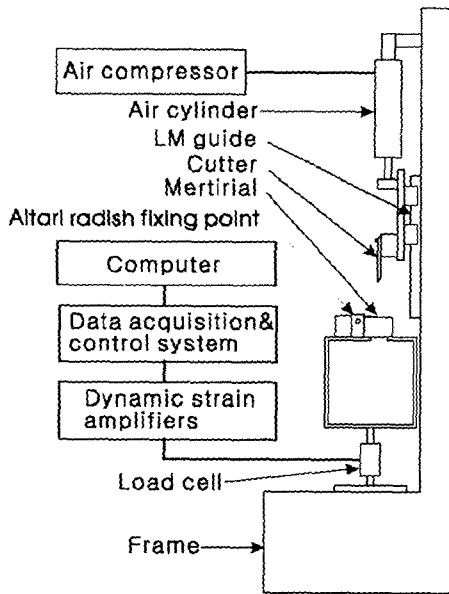


Fig. 5 Cutting resistance measuring device.

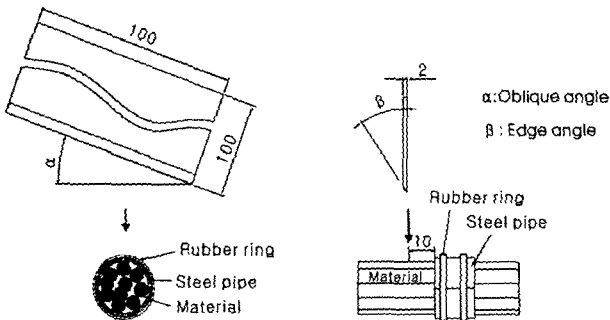


Fig. 6 Definitions of the leaf cutting angle.

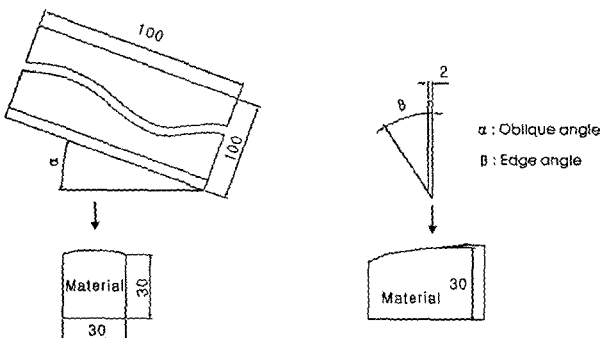
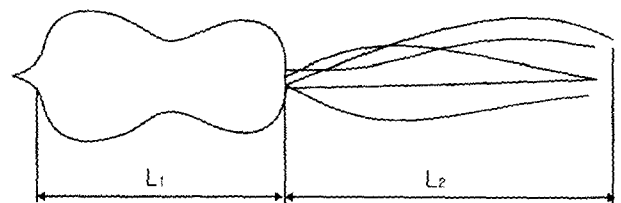


Fig. 7 Definitions of the root tail cutting angles.

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 무청절단장치와 무뿌리끝부 절단장치에 사용된 칼날의 형태와 각도 및 절단방법을 정의한 것이다. 두 시험에 사용된 칼날은 시편을 충분히 절단할 수 있도록 100×100 mm의 크기로 제작하여, 칼날경사각(α)과 칼날각(β)의 변화에 따른 영향을 분석하였다. 칼날각의 명칭의 경우, 기계가공에서는 전단각(α)과 칼날각(β)으로 정의하고 있으나(염영하, 1998), 농산물의 경우는 칼날경사각(α)과 칼날각(β)으로 정의하고 있다(Sverker persson, 1987). 무청절단시험은 일정한 체적의 무청을 사용하기 위해 길이 20 mm, 지름 25 mm의 강관을 반으로 자른 후 무청을 채우고, 탄성을 0.4 N/cm의 고무링 두 개를 이용하여 무청에 가해지는 압력을 일정하여 고정하였다. 절단시험은 강관의 끝부에서 10 mm 위치에서 실시하였다. 무뿌리끝부절단시험은 절단면의 면적을 일정하게 하기 위해 무가 절단되는 위치에서의 면적이 30×30 mm가 되도록 시험을 실시하였다.

나. 시험재료

시험에 사용된 알타리무는 진주시 인근의 동일한 장소에서 재배되고 2003년 5월에서 2004년 4월 사이 경남 진주시 인근에서 재배, 수확된 평강, 남강의 알타리무를 구입하여 사용하였다. 알타리무의 부위별 정의는 Fig. 8과 같이 L_1 은 알타리무부, L_2 는 무청부이며, L_1 의 왼쪽 부분이 잘라내어야 하는 뿌리끝부에 해당한다. 시험에 사용된 알타리무의 청의 길이는 95%가 430 ~ 740 mm이었으며, 무청의 개수는 96%가 7 ~ 12개이었으며, 무의 길이(L_1)는 96%가 80 ~ 145 mm의 범위에 있었다. 또 무청과 뿌리부의 평균 함수율은 각각 79%(w.b.)와 81%(w.b.)이었다.



L_1 : Length of radish root

L_2 : Length of radish leaves

Fig. 8 Geometry of Altari radish.

다. 시험 방법

Table 1은 알타리무의 부위별 절단시험에서의 절단속도와 칼날각(β), 칼날경사각(α) 등 시험조건을 정리한 것이다. 칼날경사각이 0° 일 때 절단속도 0.2 ~ 0.5 m/s의 4단계, 칼날각을 $20^\circ \sim 45^\circ$ 의 6단계로 나누어 시험을 실시하였다. 또한 칼날경사각의 변화에 따른 절단저항을 측정하기 위하여, 앞의 시험에서 구명된 최적 칼날각으로 고정 후, 절단속도 0.2 ~ 0.5 m/s의 4단계와 칼날경사각 $10^\circ \sim 40^\circ$ 의 4단계로 각각 변화시켜 시험을 실시하였다. 칼날경사각이 40° 를 초과하는 경우에는 분력으로 인해 재료의 밀립현상이 일어나므로 칼날경사각은 40° 까지로 한정하였다. 각 시험은 각 5회씩 실시하였다.

Table 1 Experimental conditions of leaf and root tail cutting of Altari radish

Cutting speed (m/s)	Oblique angle ($\alpha,^\circ$)	Edge angle ($\beta,^\circ$)
0.2, 0.3, 0.4, 0.5	0, 10, 20, 30, 40	20, 25, 30, 35, 40, 45

3. 결과 및 고찰

가. 무청 절단저항

Fig. 9는 무청을 절단할 때 칼날각과 절단속도의 변화에 따른 절단저항의 크기를 나타낸 것이다. 칼날각 20° 일 때, 절단속도가 0.2 m/s에서 0.5 m/s로 증가하면 절단저항은 11 N/cm^2 에서 7 N/cm^2 로 점차 낮아지는 경향을 나타내었다. 그러나 칼날각이 25° 일 때의 절단저항은, 절단속도 0.2 m/s에서 6.4 N/cm^2 , 0.3 m/s에서 5.1 N/cm^2 , 0.4 m/s에서 6.8 N/cm^2 , 그리고 0.5 m/s에서는 4.5 N/cm^2 로 증감을 반복하면서 변화하였으나, 다른 칼날각의 경우에 비해 가장 낮은 절단저항을 나타내었다. 이와 같은 현상은 칼날각 30° 의 경우에서도 나타났으나, 절단저항의 크기는 칼날각 25° 의 경우보다 컸다. 그러나 칼날각이 35° 이상으로 큰 경우에는 절단속도가 증가함에 따라 절단저항도 증가하는 경향을 나타내었다. 이상의 결과에서 절단저항이 최소인 경우는 칼날각 25° , 절단속도 0.5 m/s일 때인 것으로 판단된다.

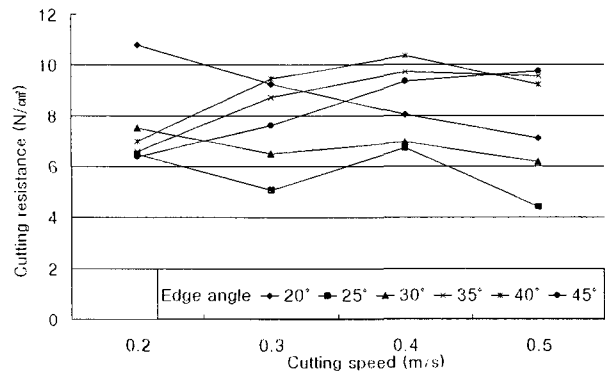


Fig. 9 Maximum cutting resistances of the leaves of Altari radish, under different cutting speeds and edge angles.

Fig. 10은 무청 절단시험에서 가장 적당한 칼날각인 칼날각 25° 의 경우 칼날의 칼날경사각(α)과 절단속도의 변화에 따른 절단저항의 크기를 나타낸 것이다. 절단속도의 증가에 따른 칼날경사각별 절단저항의 변화는 어느 일정한 경향을 나타내지 않았다. 절단저항이 최소인 경우는 칼날각 25° , 절단속도 0.5 m/s, 칼날경사각 40° 일 때이었다. 그러나 칼날경사각이 클 경우 안전사고의 발생이 우려되는 상황이 발생하였으므로, 40° 의 경우와 절단력 차가 크지 않은 각인 칼날경사각 20° 를 장치에서는 설정하였다.

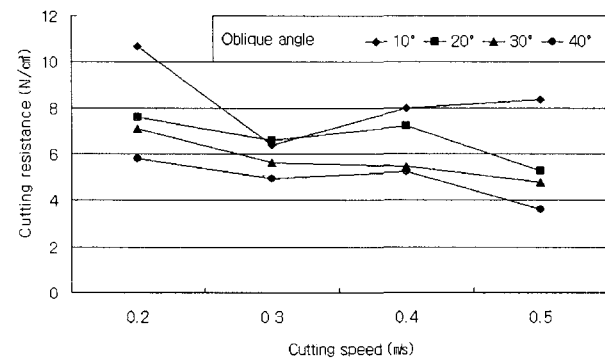


Fig. 10 Maximum cutting resistances of the leaves of Altari radish, under different cutting speeds and oblique angles.

나. 무 뿌리끝부 절단저항

Fig. 11은 무 뿌리끝부의 절단 시 칼날각과 절단속도의 변화에 따른 절단저항의 변화를 나타낸 것으로, 칼날각이 커질수록 절단저항은 조금씩 증가하는 것으로 나타났으나, 절단속도의 증가에 따른 어느 일정한 경향은 나타나지 않았다. 칼날각이 20° 일 경우, 절

단속도가 증가하면 절단저항이 3.3 N/cm²까지 증가하다가 점차 감소하였다. 칼날각 25°, 30° 및 35°의 경우, 절단속도 0.4 m/s 이하에서의 절단저항은 약 3 N/cm²으로 나타났다. 또 칼날각이 40°와 45°의 경우 절단저항은 약 5.5 N/cm²으로, 절단속도에 따른 차이는 미소하게 나타났다. 즉, 무 뿌리끝부 절단 시 절단저항에는 절단속도보다 칼날각의 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 이상에서 절단저항을 최소로 하는 조건은 칼날각 20°, 절단속도 0.5 m/s일 때인 것으로 판단된다.

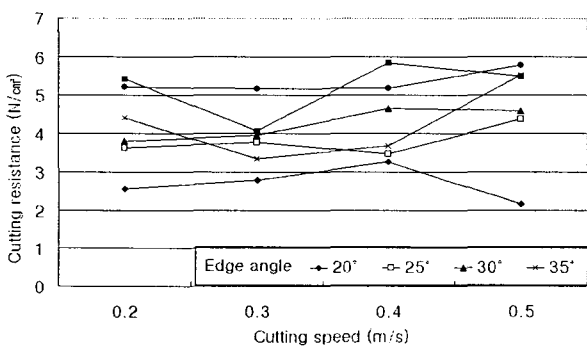


Fig. 11 Maximum cutting resistances of the root tails of Altari radish, under different cutting speeds and edge angles.

Fig. 12는 칼날각 20°인 날을 사용한 무 뿌리끝부 절단에서, 칼날의 칼날경사각과 절단속도의 변화에 따른 절단저항의 변화를 나타낸 것으로, 절단속도 0.3 m/s까지는 절단저항이 점차 증가한 후 다시 낮아지는 경향을 보였다. 또 칼날경사각의 변화에 따른 절단저항의 크기는 칼날경사각 20°일 때 2.7 N/cm²으로 가장 높았다가 다시 낮아지는 경향으로 나타났다.

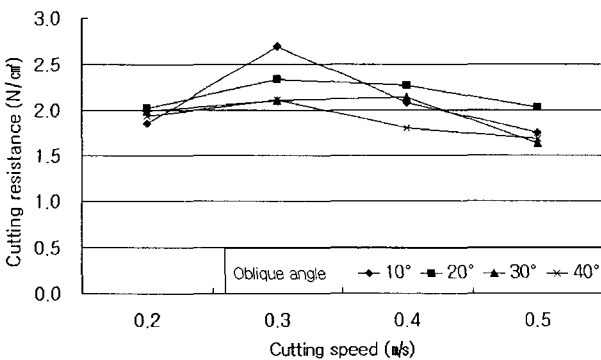


Fig. 12 Maximum cutting resistances of the root tails of the Altari radish, under different cutting speeds and oblique angles.

그러나 칼날경사각의 변화에 따른 절단저항의 변화는 절단속도나 칼날경사각에 따라 다소간 영향을 받지만 그다지 큰 요인은 아닌 것으로 사료된다. 이상의 결과에서 무 뿌리끝부 절단 시 절단저항을 최소로 하는 경우는 칼날경사각 30°, 절단속도 0.5m/s일 때인 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

김치용 알타리무의 자동화 전처리 가공기계의 개발을 목적으로, 무청과 뿌리끝부 절단장치를 제작하고, 장치의 칼날각, 칼날경사각 및 절단속도의 변화에 따른 무청과 뿌리끝부의 절단저항을 분석하여, 절단저항을 최소로 하는 칼날과 작동조건을 구명하고자 수행한 시험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 무청 절단장치의 절단저항을 최소로 하는 칼날 조건은 칼날각 25°, 칼날경사각 40° 및 절단속도 0.5 m/s이었으며, 뿌리끝부 절단장치의 최적의 칼날 조건은 칼날각 20°, 칼날경사각 30° 및 절단속도 0.5 m/s이었다.

(2) 무청 절단 시 칼날각 25°, 칼날경사각 20° 및 절단속도 0.5 m/s의 조건에서와, 뿌리끝부 절단 시 칼날각 20°, 칼날경사각 30° 및 절단속도 0.5 m/s의 조건에서의 각 장치들의 절단성공율은 100%이었다.

참고 문헌

1. 김성태, 민영봉, 정효석. 2004. 알타리무 삭피장치 개발에 관한 연구(I). 바이오시스템공학. 29(1):29-36.
2. 민영봉, 김성태, 강동현. 2004. 알타리무 전처리 가공시스템 개발(I, II). 한국농업기계학회 2004년 동계학술대회 논문집. 9(1):314-317, 318-321.
3. 민영봉, 김성태, 강동현, 정태상. 2003. 알타리무 삭피용 최적 칼날형상의 구명. 한국농업기계학회지. 28(5):421-428.
4. 염영하. 1998. 신편 기계공작법. 동명사. pp. 366-369.
5. Sverker persson. 1987. Mechanics of cutting plant material. ASAE Monograph number 7. pp. 244-247.