

# 마늘수확기 개발을 위한 기초 연구(I)<sup>†</sup>

- 수확시기 마늘의 물성 -

## A Fundamental Study for Developing a Garlic Harvester(I)

- Physical Properties of Live Garlic at the Harvesting Season -

노 광 모\*

장 영 창\*\*

박 준 걸\*

정회원

정회원

정회원

K. M. Noh

Y. C. Chang

J. G. Park

### ABSTRACT

In this study, the physical properties of live garlic at the harvesting season were measured and analyzed as a fundamental study for developing a garlic harvester. A universal testing machine and a machine vision system were used to obtain mechanical and morphological properties of live garlic, respectively. The moisture content of live garlic at the harvesting season was 50% higher than that of dried garlic. The root of live garlic elongated greatly with respect to the applied tensile force. The relationship between the projected area and the weight of a bulb of live garlic was linear. Such a feature would be applied to develop an effective garlic harvester or garlic quality grader. Other useful physical properties of live garlic at the harvesting season were represented in the study.

**주요용어(Key Words):** 수확시기의 마늘(Live Garlic at the Harvesting Season), 마늘물성(Physical Property of Live Garlic), 마늘수확기(Garlic Harvester)

### 1. 서 론

우리나라는 마늘의 주요 생산지이자 소비지로서 마늘 생산의 생력기계화 작업체계 확립이 절실하다. 특히, 마늘의 총생산비용 중 수확비용이 차지하는 비중이 매우 높아 마늘수확기 개발이 시급히 요구되고 있다.

서구에서는 양파수확기 개발에 많은 관심을 기울이고 있어 LePori 등(1970)이 굴취형 양파수확기를

개발하였고 Maw 등(1998)은 인발형 양파수확기를 개발하였다. 일본에서는 古谷 正(1979)이 인발형 마늘수확기를 개발하고자 인발력 측정장치를 고안하고 토양의 인발저항력을 측정하였으며 岩崎正美 등(1979)은 경운기 부착형의 굴취식 마늘수확기를 개발하였다. 국내에서는 농업기계화연구소에서 진동 굴취형 마늘수확기를 개발하였으나 보급이 미미한 실정이다.

마늘수확기를 개발함에 앞서, 수확직전 마늘의 물

<sup>†</sup> 본 연구는 농림수산부 특정연구과제 연구비 지원으로 수행되었음.

\* 건국대학교 자연과학대학 농업기계공학과

\*\* 서울대학교 농업생명과학대학 농업개발연구소

성을 분석하는 것은 수확기의 주요부를 마늘수확에 적합하게 설계하는데 필수적이다.

마늘 특성에 관한 연구는 주로 건조 특성에 관한 것으로서 김정옥(1980)이 마늘 수확 후 열풍건조의 특성과 품질 및 저장성에 미치는 영향에 대하여 연구한 것을 비롯하여 이정호(1995)는 쪽마늘의 건조 특성에 대하여 연구하였다. 최상인(1987)은 건조중인 마늘의 향기성분 변화를 분석하였고 정신교 등(1990)은 건조방법이 분말마늘의 품질에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 그러나, 수확시기가 된 마늘의 물성에 관한 연구는 수행된 바 없다.

마늘의 물성은 수확기의 소요동력, 구조, 작업성은 물론 수확후 처리 기계기술과 직접 관련된다. 따라서, 이 연구에서는 마늘수확기 설계의 기준설정을 위한 기초연구로서 수확시기의 통마늘, 마늘줄기 및 마늘 뿌리의 함수율, 인장·압축강도, 절단속도·절단강도, 통마늘의 형상·색조특성 등 마늘의 물성을 구명하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

마늘은 크게 난지형과 한지형으로 분류되며, 각 지역에 걸쳐 다양한 품종이 재배되고 있다. 일반적으로 한지형은 난지형에 비해 기계수확 적응성과 저장성이 우수한 것으로 알려져 있다. 따라서, 이 연구에서는 한지형인 강화도 마늘을 실험재료로 하여 수확직전의 마늘을 표본으로 채취하였다.

마늘의 함수율은 공기오븐법에 의거하여 통마늘, 마늘줄기 및 마늘뿌리로 측정하였다. 수확기개발 측면에서 마늘줄기의 길이는 마늘줄기와 통마늘의 접촉경계로부터 20cm 까지로 정하였다. 마늘뿌리의 함수율 측정은 뿌리에 붙어있는 흙을 제거하여 재배토양의 수분 영향을 배제하였다.

공시 마늘의 인장 및 압축강도는 서울대 농생대 부속 NICEM의 Universal Testing Machine(UTM)을 이용하여 통마늘에 대한 수직·수평 방향의 압축강도,

마늘줄기 및 마늘뿌리에 대한 인장강도 등을 측정하여 구하였다.

공시 마늘의 절단강도 실험에서는 인장, 압축실험에서 이용된 UTM에 부착장치를 별도로 제작하여 마늘줄기 및 마늘뿌리의 절단특성 등을 측정하였다. 특히, 수확시기의 마늘줄기가 높은 함수량을 가지고 있어 미끄러지지 않도록 압착 고무줄을 양끝의 고정부에 감아 실험을 수행하였다.

절단날은 기본형을 경사각 90°로 하고 응용형으로 경사각 45°의 날을 사용하였다. 절단속도는 마늘의 순수 절단특성을 구하기 위해 0.0167cm/sec로 낮게 설정하였다. 또한 수확기 예취날의 절단속도, 소요동력 등을 추정하기 위해 콤바인 예취날을 이용한 절단실험을 수행하였다. 이 실험에서 절단속도는 1.6cm/sec와 2.5cm/sec 두 수준으로 설정하였다. 그림 1은 실험에 사용된 3가지 형상의 절단날을 보여주고 있다.

마늘의 형상 및 색조 특성에 대한 실험은 서울대 농생대 농공학과 농산가공 실험실의 기계시각시스템을 이용하였다. 사용된 기계시각시스템은 광도조절이 가능한 조명장치, 카메라(RGB Camera, TK-1070V, JVC) 및 렌즈(TV Zoom, f2.5, JVC), 화상처리기, 컴퓨터 등으로 구성되어 있으며 전문가용 Image-Pro Plus를 이용하여 화상을 분석하였다.

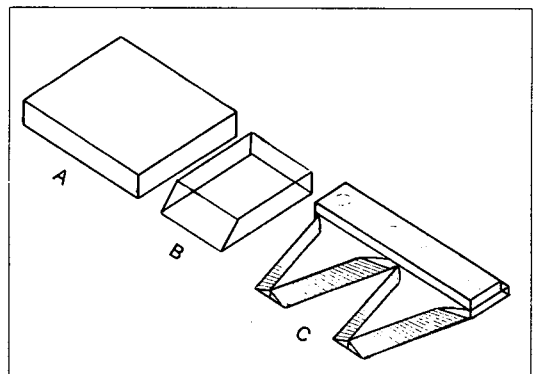


Fig. 1 Three types of knives used in cutting experiment. (Cutting angle : A. 90°, B. 45°, C. 15°).

통마늘 대형 20개, 중형 13개, 소형 20개를 실험시료로 사용하여 수확기의 개발과 수확 후 처리기술에 활용할 수 있도록 통마늘의 무게와 마늘의 수평 투사면적, 원주 및 면적상당직경 등 형상특성치의 상관관계와 통마늘의 색조를 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 수확시기 마늘의 함수율

표 1은 수확시기에 있는 마늘의 부위별 함수율과 표준편차를 보여 주고 있다. 마늘줄기의 함수율이 88%로 가장 높으나 부위별로 비교적 적은 표준편차를 보여 수확직전 마늘의 각 부위별 함수율 분포는 고른 것으로 판단된다. 이 결과를 건조하여 보관중인 마늘의 함수율과 비교해 보았을 때, 수확시기 통마늘이 대략 20% 정도 높은 것으로 관찰되었다. 그러나 마늘줄기와 마늘뿌리는 거의 50% 가까운 차이를 나타냈다.

#### 나. 수확시기 마늘의 물리적 특성

표 2에 통마늘의 평균 압축강도와 표준편차를 나

타냈다. 표에서 0°는 마늘을 축방향으로 압축한 경우이며, 90°는 수평방향으로 압축한 경우를 나타낸다. 각 측정치는 통마늘의 최대 투영직경을 기준으로 산출된 것이다. 통마늘 허용 압축강도는 통마늘의 형상이 파괴될 때를 기준으로 측정하였는데, 이때의 통마늘은 상품성이 없어진 것으로 간주할 수 있다.

축 방향의 압축력이 수평방향보다 큰 것으로 나타났다. 최대 압축력은 축방향에 대해 212N, 수평방향에 대해 195N으로 나타났다. 탄성계수는 축방향이 작게 나타났는데 이는 축방향의 압축거리가 수평방향보다 긴데 기인한 것으로서, 수평방향의 압축력은 통마늘 내부의 마늘쪽에 직접적인 영향을 주게 되고 마늘의 상품성에 매우 치명적인 효과를 미칠 것으로 판단된다. 그림 2는 통마늘의 압축력과 압축거리의 관계를 보여주고 있다.

표 3은 마늘줄기의 인장강도를 나타낸 것으로 마늘줄기의 허용 인장응력이 매우 높아 인발형 수확기의 개발이 통마늘의 품질보존에 유리할 것으로 판단된다. 또한 인장실험에 있어서 수확시기의 마늘줄기는 통마늘과 마늘줄기의 경계에서부터 대략 20~25cm의 부위에서 쉽게 끊어지는 것으로 나타나 인발식 수확기의 예취부 위치는 통마늘 경계부터

Table 1 The moisture content (% , w.b.) of live garlic at the harvesting season

Portion of live garlic	Stalk	Whole Bulb	Root
Average (std). (% , w.b.)	88.0 (2.53)	72.0 (2.31)	55.0 (7.67)

Table 2 The compressive strength of whole bulbs of live garlic

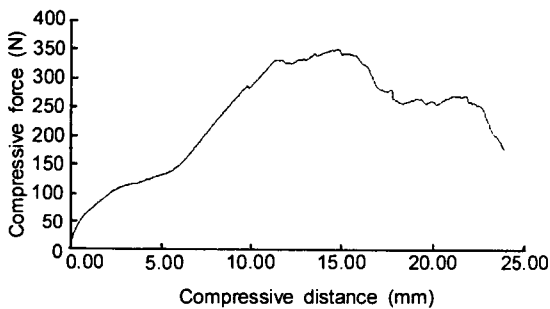
Compression direction		Area Equiv. Diameter (mm)	Max. compressive force (N)	Compressive distance (mm)	Allowable stress (N/cm <sup>2</sup> )	Bio. Elasticity (N/cm <sup>2</sup> )
Vertical ( 0° )	Ave	48.00	211.82	12.10	11.23	48.69
	Std	6.25	89.42	4.97	3.08	15.99
Horizontal (90°)	Ave	51.00	195.00	5.15	9.81	97.09
	Std	6.77	52.27	1.09	2.86	26.10

Table 3 The tensile strength of stalks of live garlic

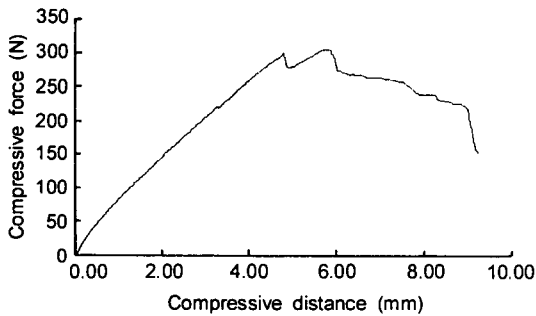
Tensile strength	Area Equiv. Diameter (mm)	Max. tensile force (N)	Elongation at max. tensile force (mm)	Allowable stress (N/cm <sup>2</sup> )	Bio. Elasticity (N/cm <sup>2</sup> )
Ave	5.65	26.00	7.19	109.33	1,515.34
Std	0.92	7.28	1.99	42.63	363.34

Table 4 The tensile strength of root of live garlic

Tensile strength	Area Equiv. Diameter (mm)	Max. tensile force (N)	Elongation at max. tensile force (mm)	Allowable stress (N/cm <sup>2</sup> )	Bio. Elasticity (N/cm <sup>2</sup> )
Ave	15.57	49.02	1.74	26.43	45.73
Std	3.17	16.77	5.99	9.34	17.26



[a] Horizontal compression



[b] Vertical compression

Fig. 2 The relationship between compressive force and distance for a whole bulb of live garlic.

20cm 미만이 적합한 것으로 판단된다.

표 4는 마늘뿌리의 인장강도를 나타낸 것으로 측정치는 마늘뿌리의 면적상당 직경을 기준으로 구하였다. 마늘뿌리는 인장력에 대해 변형량이 상당히 큰 것으로 나타나 마늘을 수확하기 위해서는 수확 전에 굴취날로 토양을 절단하거나 뿌리절단 장치로 마늘뿌리를 절단해 토양으로부터 마늘을 분리하는 메카니즘이 필요한 것으로 나타났다.

수확기에서 절단장치의 성능은 수확된 마늘의 품질유지와 소요동력에 영향을 미쳐 주요 설계기준으로 작용된다. 표 5는 절단각이 90°인 절단날로 한끝이 지지된 마늘줄기와 마늘뿌리를 절단하였을 때의 절단특성을 보여주고 있다. 최대 절단력은 마늘줄기 58.5N, 마늘뿌리 31.5N으로, 절단에너지는 각각 24.0 N·cm와 11.2N·cm로 나타났다.

표 6은 절단각이 45°인 절단날로 한끝이 고정된 마늘줄기를 절단하였을 경우의 절단 특성을 나타낸 것이다. 마늘줄기의 최대 절단력은 71.4N으로, 단위 직경당 절단에너지는 3.1N·cm/mm로 나타났다. 그림 3은 마늘줄기의 절단력과 절단거리의 관계를 나타낸 것이다. 특히, 절단각이 45°인 경우가 90°인 경우보다 최대 절단력이 크게 나타났는데 이는 절단각

Table 5 The cutting strength of the stalk and root of live garlic at cutting angle of 90° and one-side holding of cutting

Cutting strength : Portion of live garlic		Area Equiv. Diameter (mm)	Max. cutting force (N)	Knife travel at max. cutting force (mm)	Cutting Energy (N · cm)	Cutting energy at unit equiv. diameter (N · cm / mm)
Stalk	Ave	7.84	58.52	6.01	24.02	3.05
	Std	1.13	15.91	1.24	6.36	0.62
Root	Ave	8.58	31.47	6.89	11.21	1.29
	Std	1.02	3.54	0.60	2.93	0.20

Table 6 The cutting strength of the stalk and root of live garlic at cutting angle of 45° and one-side holding for cutting.

Cutting strength	Area Equiv. Diameter (mm)	Max. cutting force (N)	Knife travel at max. cutting force (mm)	Cutting Energy (N · cm)	Cutting energy at unit equiv. diameter (N · cm / cm)
Ave	8.10	71.44	7.03	25.81	3.13
Std	1.23	21.16	1.41	10.63	1.01

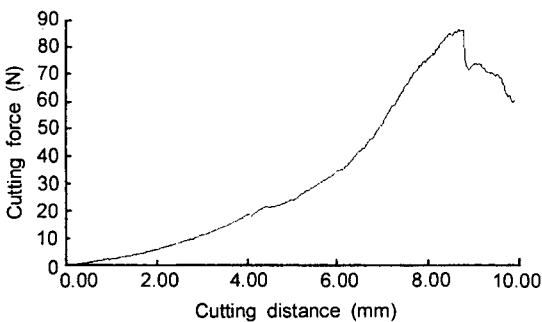


Fig. 3 The relationship between cutting force and distance for the stalk of live garlic at cutting angle of 45° and one-side holding for cutting.

90°일 때 마늘줄기는 완전히 절단되지 않고 한쪽으로 밀리는 현상이 발생되기 때문에 판단된다.

표 7은 마늘수확기 예취날 설계의 기초자료를 얻

기 위하여 기존의 콤바인 예취날을 이용하여 마늘줄기의 절단특성을 측정 한 결과로서 절단속도 2.5 cm/sec에서 마늘줄기의 최대 절단력이 작게 나타났다.

마늘줄기의 절단력은 조직이 연한 수확시기에 이루어지므로 절단날에 의한 줄기 압축력과 동시에 발생된다. 이와 같은 현상은 그림 4에 나타난 바와 같이 절단거리와 절단력의 관계곡선에서 절단력이 선형적으로 증가함으로 알 수 있다. 또한, 절단속도가 2.5cm/sec와 1.67cm/sec의 경우를 표에서 보면 절단에 소요되는 시간은 거의 같게 나타났다. 이는 절단속도가 빠를 경우, 절단이 일어나기 전에 마늘줄기가 많이 휘어진다는 것을 의미한다. 그림에도 불구하고 절단속도가 빠를 경우에 절단에너지가 적게 소비된다는 것은 절단초기에 날이 마늘줄기에 접촉될 때 충격에 의해 마늘줄기가 어느 정도 절단되는데 기인하여 절단에너지가 감소되는 것으로 판단된다.

Table 7 The cutting strength of stalks of live garlic when using a conventional combine knife for cutting at two different knife speeds

Cutting strength : Different knife speed		Area Equiv. Diameter (mm)	Max. cutting force (N)	Knife travel at max. cutting force (mm)	Cutting Energy (N/cm)	Cutting energy at unit equiv. diameter (Ncm/mm)
Knife speed : 1.67cm/s	Ave	6.18	22.64	3.71	8.18	1.33
	Std	0.66	5.12	1.18	1.96	0.29
Knife speed : 2.5cm/s	Ave	6.54	17.90	5.00	6.46	0.98
	Std	0.66	3.67	0.32	1.62	0.17

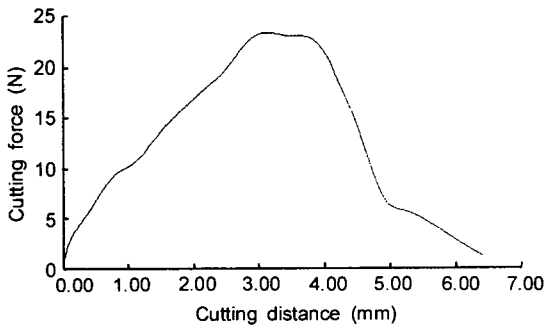


Fig. 4 The relationship between cutting force and distance for the stalk of live garlic when using a conventional combine knife for cutting at knife speed of 2.5 cm/s.

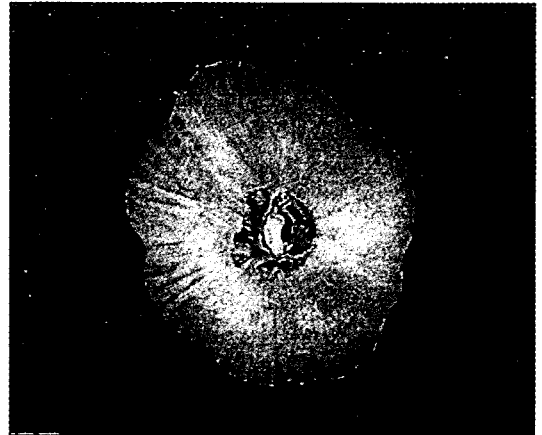


Fig. 5 A digital image of a whole bulb of live garlic.

다. 수확시기 마늘의 형상적 특성

수확시기 통마늘의 색조특성을 시료 30개씩 2그룹으로 구분하여 분석한 결과 각각의 평균 RGB 값은 176, 140, 95와 186, 156, 114로, 표준편차는 23, 24, 24와 20, 21, 24로 나타났다. 그러나 통마늘의 색조특성은 토양의 색조특성과 밀접하게 연관되어 독립적 특성을 보여주지 못하였으며, 수확시기의 토양수분, 마늘의 생육상태 등에 영향을 받아 일관성이 없게 나타났다. 따라서, 마늘수확기 개발에 반영할

색조특성은 없는 것으로 판단된다.

그림 5는 시각시스템으로부터 얻어진 통마늘의 디지털 영상을 보여주고 있다. 통마늘을 위에서 내려다 본 영상과 아래에서 올려다 본 영상에 대한 형상특성을 보기 위하여 20개 시료를 분석한 결과, 통마늘을 투영한 두 경우에서 형상의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 특히, 통마늘의 최대 투영면적과 원주길이에 있어서 내려다 본 영상과 올려다 본 영상의 차이는 각각 1.2%, 0.1%에 불과한 것으로 나타났다.

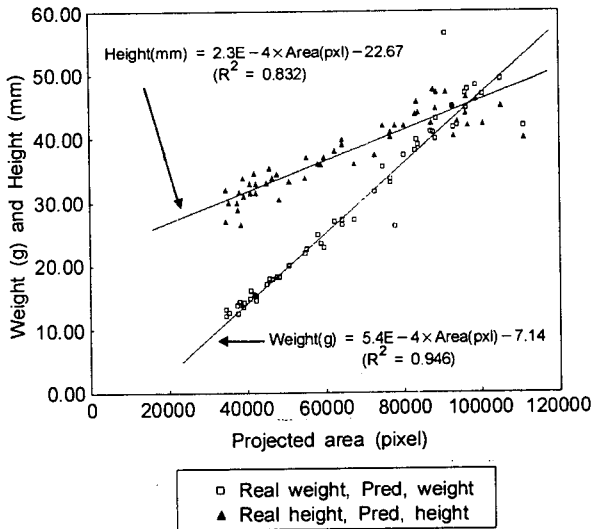


Fig. 6 The correlations between projected area of whole bulbs of live garlic and their weight and height.

그림 6은 통마늘의 투영 평면적과 실측 무게 및 높이와의 상관관계를 나타낸 것이다. 투영면적에 대한 무게의 변화는 거의 직선적이며 결정계수 R<sup>2</sup>는 0.946으로 나타났다. 통마늘의 높이와 무게의 관계에 있어서 결정계수는 0.832로 약간 떨어지는 것으로 나타났다. 그림 6에서와 같이 투영면적에 비하여 무게가 상당히 작게 나타나는 통마늘은 썩은 마늘쪽 등 결함이 있는 것으로 분석되어 이러한 형상특성의 분석결과는 향후 마늘품질 등급판정기 개발에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 마늘수확기 설계를 위한 기초연구로서 수확시기 마늘의 수확에 관련된 물성을 구명하고자 하였다. 시료는 한지형인 강화도 마늘을 사용하였으며 수확시기 마늘의 함수율, 인장 및 압축강도와 절단강도, 형상 및 색조특성을 측정·분석하였다. 이 연구에서 구명된 수확시기 통마늘의 물성은

마늘수확기 구조설계의 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수확시기 마늘줄기의 수분 함수율은 88% (w. b.)로 건조된 마늘줄기와 50%의 차이를 보였다.
2. 통마늘의 경우 축방향의 압축력이 수평방향보다 크며 최대 압축력은 축방향이 212N, 수평방향이 195N으로 나타났다.
3. 마늘뿌리는 인장력에 대한 변형량이 크게 나타나 수확기에 마늘뿌리를 토양으로부터 분리해 내는 절단장치가 부착되어야 할 것으로 판단된다.
4. 경사각이 45°인 절단날로 한쪽 끝을 고정한 일단지지 마늘줄기의 최대 절단력은 71.44N, 단위직경당 절단에너지는 3.13N · cm/mm로 나타났다.
5. 통마늘의 색조특성은 토양 고유의 색조특성과 밀접하게 연관되어 독립적인 특성이 없는 것으로 나타났다.
6. 통마늘의 상하 투영방향에 따른 투영면적과 원주 길이의 차이는 각각 1.2%, 0.1%로 나타났다.
7. 통마늘 투영면적에 대한 무게의 변화는 거의 직선적이며 투영면적에 비하여 무게가 가볍게 나타나는 통마늘에는 대개 불량 마늘쪽이 있는 것으로 분석되었다.

#### 참 고 문 헌

1. 김정옥. 1980. 마늘의 수확 후 열풍건조의 특성과 품질 및 저장성에 미치는 영향에 대하여. 고려대학교 석사학위 논문.
2. 이정호. 1995. 마늘의 건조특성에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
3. 정신교, 최정옥. 1990. 건조방법이 분말마늘의 품질에 미치는 영향. 한국식품과학회지 89:50-55.
4. 최상인. 1987. 마늘 건조중의 향기성분의 변화. 경

북대학교 석사학위논문.

5. 古谷 正. 1979. 根菜의 引拔力에 關한 研究(第 3 報). 日本農業機械學會誌 40(4):527-532.
6. 岩崎正美, 石原 昂. 1979. 引拔式掘取機에 關한 研究(第 2報). 日本農業機械學會誌 40(2):195-200.
7. LePori, Wayne and Price Hobgood. 1970.

Mechanical Harvester for Fresh Market Onions.

- Transactions of the ASAE 13(4):517-519, 522
8. Maw, B. W., D. A. Smittle, B. G. M-ullinix and J. S. Cundiff. 1998. Design and Evaluation of Principles for Mechanically Harvesting Sweet Onions. Transactions of the ASAE 41(3):517-524.