

채소 자동결속기의 개발(II) : 시제품제작 및 성능검증

김용석*, 박성호⁺, 양순용⁺⁺

(논문접수일 2009. 3. 4, 심사완료일 2009. 5. 29)

Development of Automatic Bundle Machine for Vegetables(II) : Prototype Manufacture and Performance Test

Yong-Seok Kim*, Sung-Ho Park⁺, Soon-Young Yang⁺⁺

Abstract

In this paper, it has been proposed an automatic vegetable bundling mechanism that makes use of heat melt sticking. The proposed mechanism is consisted of three modules for the rationality of manufacture. Design specification has been determined by the bundling mechanism that was optimized mechanically. And, it has been manufactured the prototype of the automatic bundling machine. It has been carried out directly the field test for verification of performance in farmhouse which produces vegetable. In field test, this bundling machine showed efficiency of about 3.6 times than the manual working by manpower, and other performance it got satisfied result. This automatic vegetable-bundling machine was already registered as the agricultural machine. and This machine will be commercialized soon.

Key Words : Packing(포장), Bundle Machine(묶음기계), Bundle Mechanism(묶음기구), Vegetable Bundle(채소묶음)

1. 서론

오늘날 농가에서는 계절에 관계없이 사시사철 다양한 종류의 채소류들을 재배하여 출하하고 있다. 또한 최근 식생활 수준 및 양상이 크게 변화함에 따라 부추, 미나리, 시금치 등 각종 건강채소에 대한 수요가 날로 증가하고 있다. 이

에 재배면적과 생산량이 매년 증가추세에 있다. 일반적으로 채소류는 소비지에서의 채소쓰레기 문제 및 상품성 향상 등을 위하여 타원형이나 사각형의 단면으로 결속하여 유통되고 있다. 따라서 생산농가에서는 많은 시간과 노력을 선별과 포장작업에 기울이고 있다. 따라서 채소재배에 투하되는 전체 노동투하시간에서도 채취와 선별포장에 대부분이 투하되

* 울산대학교 기계자동차공학부

+ 경일대학교 기계자동차학부

++ 교신저자, 울산대학교 기계자동차공학부(soonyy@ulsan.ac.kr)

주소: 680-749 울산광역시 남구 대학로 울산대학교 공학23호관 105호

는 것으로 나타나고 있다. 이와 같이 채소 수요 증가에 따른 포장작업의 증가에도 불구하고 포장작업은 거의 수작업에 의존하고 있어, 생산성향상과 품질향상을 위한 포장작업의 기계화가 절실히 요구된다.

더욱이 채소재배능가는 농촌 노동력의 노령화, 부녀화 등으로써 노동력의 질적인 감퇴로 생산성 약화와 노임의 상승을 초래하여 많은 어려움을 겪고 있다. 현재 몇몇 종류의 채소결속기가 개발되어 특정 채소의 결속용으로 사용되고 있을 뿐 그다지 사용이 활발하지 못하다. 채소를 묶는 결속수단으로 철심이 내장된 끈을 비틀어 꼬는 방법과 테이프를 접착하는 방법이 적용되고 있다. 결속 끈을 비틀어 꼬는 결속방식의 채소 결속기는 묶음단의 크기에 따라 결속에러가 많고 끈을 비틀게 되므로 채소를 상하게 하는 등의 문제가 제기되고 있다. 접착테이프를 이용한 접합결속방법은 수분과 밀접한 관계가 있는 채소류 결속에는 어려움이 있다. 따라서 열융착방식에 의한 결속방법을 제안하고 채소류의 종류와 단의 크기에 관계없이 결속이 가능한 채소 자동결속장치를 설계한 바 있다⁽¹⁾.

본 연구에서는 기 연구된 열융착방식에 의한 결속방법에서의 설계사양을 바탕으로 시제품을 제작하고 성능을 검증하고자 한다.

2. 시제품제작 및 성능검증

2.1 장치설계

채소류의 수확은 채취작업, 세척작업, 선별작업, 단 묶음 결속작업, 박스포장, 출하의 순서로 이루어진다. 채소류의 수확과정을 도시하면 Fig. 1과 같고 점선으로 나타낸 결속작업 과정을 자동화하고자 하였다.

본 결속 메커니즘의 구성은 전체 시스템을 지지하는 테이블장치, 채소를 운반하는 컨베이어장치, 채소의 묶음 단의

형상을 유지하고 파지하는 호퍼 장치, 채소에 결속장력(단단함)을 주기위한 채소누름 장치, 결속 끈을 채소의 묶음 단의 모양을 따라 감싸게 하는 압 장치, 결속 끈을 열융착에 의하여 접합하는 열접합 장치, 결속 후 결속 끈을 절단하는 절단 장치 그리고 결속 끈의 연속적인 공급을 위한 결속 끈 삽입 공급 장치로 구성하였다. 결속장치의 구성요소의 주요부와 명칭을 Fig. 2에 도시하였다. 본 결속장치는 제작의 용이성을 고려하여 테이블장치, 컨베이어장치, 호퍼장치: Module I, 압 구동장치, 채소누름 장치, 컨베이어구동장치: Module II 그리고 열접합장치, 끈 절단장치, 끈공급장치: Module III으로 모듈화하였다. 모듈화 한 개략도를 Fig. 3에 도시하였다. 각 구성품의 설계를 위한 모델링 툴로 CATIA V5를 활용하였다. 부품들 간의 가상 조립을 통해 간섭과 충돌을 회피하였고, MSC사의 SMO(SimDesigner Motion) 모듈을 이용하여 기구학적 작동상태를 시뮬레이션을 통해 검토하였다. 기구학적인 시뮬레이션은 메커니즘 설계과정에서 수행한바 있다⁽²⁾. 본 채소 자동결속기의 열융착방식에 의한 결속 메커니즘과 결속장치의 설계사양에 따른 3D-CAD 모델은

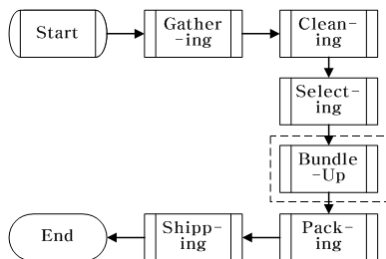


Fig. 1 A harvest process for vegetables

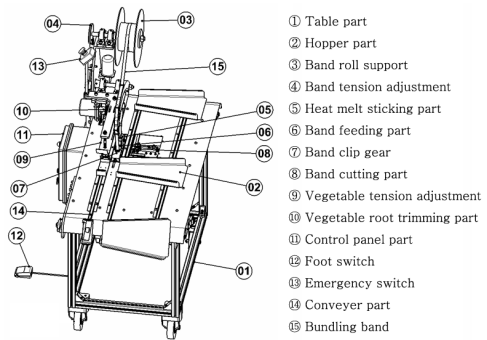


Fig. 2 Parts name of principal device

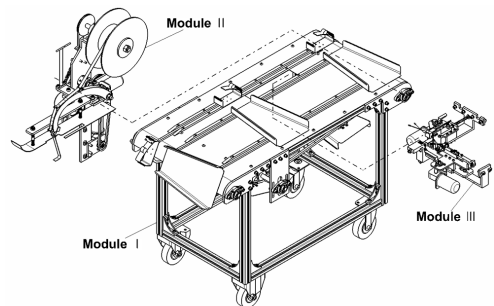


Fig. 3 Schematic of device modular

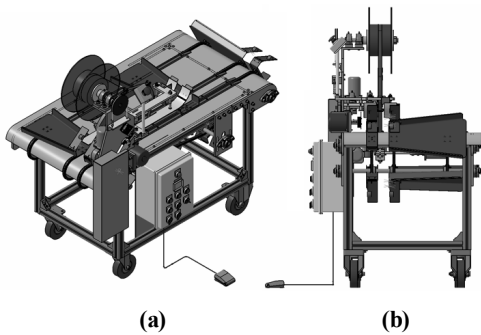


Fig. 4 3D-CAD model of the bundle mechanism

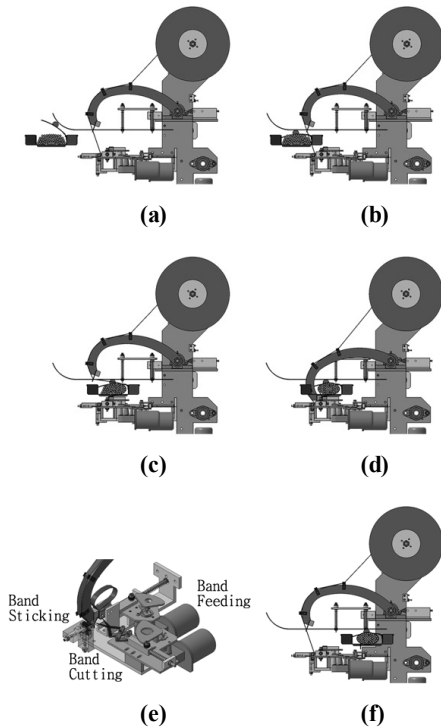


Fig. 5 The bundling process of mechanism

Fig. 4와 같다.

결속장치의 결속과정을 순차적으로 나타내면 Fig. 5와 같다. 채소의 결속은 Fig. 5(a)와 같이 호퍼(채소 공급컵)에 채소를 올리고 컨베이어에 의해 이송하게 되며, 호퍼가 이송되면서 Fig. 5(b)와 같이 채소누름장치(장력조절장치)에 의하여 채소는 묶음 단 모양으로 눌러지게 된다. Fig. 5(c)와 같이 계속적인 호퍼의 이송으로 결속 끈은 채소를 감싸며, 동

Table 1 Specification of a prototype manufacture

Items	Specification
bundle object	dropwort
binding method	heat melt joining method
bundle section shape	ellipse
joining position	short radius position
practicable bundle size	diameter: 100(mm)
band feeder method	continual feed by roll type
band cutting method	scissors mechanism
binding tension adjust	spring force and band friction
vegetable root cutting	rotational cutter

시에 Fig. 5(d)와 같이 암이 회전하면서 채소를 완전히 감싸게 된다. 암이 채소를 감싸는 것이 끝남과 동시에 결속 끈을 히트 베이스에 눌러 융착시키고 순차적으로 끈의 절단과 공급이 이루어지는 Fig. 5(e)의 과정을 거치게 된다. 마지막으로 Fig. 5(f)와 같이 암이 역구동하여 복귀함과 동시에 결속된 채소는 호퍼와 함께 컨베이어에 의해 이송되며 결속이 완료된다.

시제품 제작을 위한 채소 자동 묶음기의 제작사양을 정리하면 Table 1과 같다.

2.2 제어 시스템 설계

PLC(Programmable Logic Control)을 이용한 제어시스템으로 PICBASIC 모듈을 선정하였다. PICBASIC은 Basic Interpreter(해석기)를 마이크로 컨트롤러 내에 내장하여 쉽게 프로그래밍이 가능하며, 자동 제어분야에 쓰이는 주요 동작들을 단일명령어로 쉽게 구현할 수 있다. 고가의 MDS (Microprocessor Developer System)장비 없이 PC와 케이블만으로 다운로드 및 디버깅이 가능하여 저가로 제어장치를 구성할 수 있는 장점이 있어 이를 선정하였다⁽³⁾. 결속 시스템의 컨트롤 다이어그램은 Fig. 6에 도시하였다.

결속 끈의 접합을 위한 히터(heater)는 본 결속 시스템에 적용한 EVA밴드의 접합특성 실험을 통하여 선정하였다. 그러나 접합조건은 끈의 두께, 접합압력, 주의 환경(습도, 온도) 그리고 계절에 따라 달라져야 함으로 온도제어기와 함께 히터를 구성하였다. 구동장치에 적용한 동력원은 차량 윈도우용 DC모터를 적용하였다. 차량 윈도우용 리프트모터는 일반 모터에 비해 저가이고 수분에 대한 밀폐성이 좋아 수분과 밀접한 관계가 있는 본 결속 시스템에 적합하며 또한 전

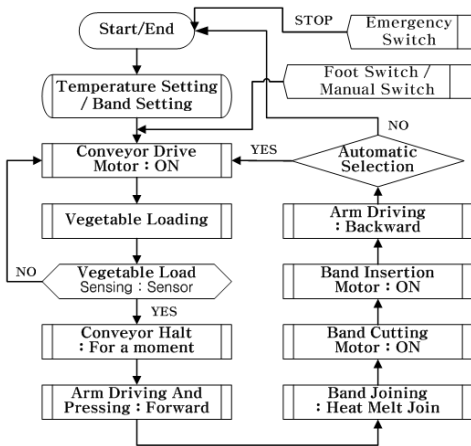


Fig. 6 Control diagram of Bundle system

Table 2 Specification of control part

Part	Model	Specification	Remark
PLC Controller	PICBASIC-2000 Model:PB-2H Main:PIC16F74B	27 I/O, 16K EEPROM, 96 RAM	Input: DC24V
Motor	FPC3	40rpm, 28N.m	Input: DC12V
Heater	Cartridge Heater	Size:8φ 5~15(W/cm ²)	Max: 500°C
Temp' Sensor	R.T.D	Size:8φ PT 100 Ω	Max: 1500°C
Temp' Controller	T3S SERIES	Method:digital Level:F.S±1%	Output: DC4V
Trimming motor	K6D(DC)	3000rpm, 20W, 6.5kg-cm	Input DC24V

류를 인가하면 최소 1회전하므로 제어가 용이하여 이를 선정하였다. 본 결속시스템을 위해 선정한 제어시스템의 하드웨어 사양은 Table 2와 같다.

2.3 성능검증방법

성능시험방법은 농업공학연구소(NIAE : National Institute of Agriculture Engineering)의 시험기준 NAMRI T 6050⁽⁴⁾과 검사기준 NAMRI S 6050⁽⁵⁾에 준하여 수행하였다. 검사방법은 다음과 같다.

- 결속능력(다발/시간)
결속능력은 100단의 결속시간을 측정하여 식 (1)에 의하여 산출한다.

$$Cb = \frac{Nb}{Tb} \times 60 \quad (1)$$

여기에서, Cb (다발/시간)결속능력, Nb (100다발)는 표준 묶음단의 수 그리고 Tb (분)는 100다발을 묶는데 걸리는 시간을 나타낸다.

- 불완전 결속율 (%)
결속성능시험 후 식 (2)에 의하여 불완전결속률을 조사한다.

$$Rb = \frac{n1+n2+n3}{Nt} \times 100 \quad (2)$$

여기서, Rb 는 불완전결속률(%), Nt 는 전체결속 다발수(불완전결속다발 포함), $n1, n2, n3$ 은 각각 결속끈이 끊어진 다발수, 결속되지 않은 다발수, 그리고 결속끈에 20N의 인장력을 주었을 때 끈이 풀어지는 다발수를 나타낸다.

- 결속강도(N)
결속강도는 결속된 다발의 끈을 절단하여 길이를 측정하고, 동 다발에 절단한 길이만큼 새로운 끈을 감아 당길 때의 인장력으로 10다발을 각각 측정하여 평균한다.

- 손상률(%)
결속된 50개의 다발 중 결속부위가 절단 또는 꺾여진 각 다발의 줄기(포기)수를 조사하여 식 (3)에 의하여 산출한다.

$$Rd = \frac{Nd}{Na} \times 100 \quad (3)$$

여기에서, Rd 는 손상률(%), Nd 는 손상줄기(포기)수 그리고 Na 는 조사표본 수(50다발의 줄기(포기) 수)을 나타낸다.

2.4 시제품제작과 성능시험 및 고찰

기 작성된 3D-CAD 모델로부터 제작도를 작성하고 설계 사양에 준하여 시제품을 제작하였다. 제작한 시제품을 나타내면 Fig. 7과 같다.

성능시험은 2번에 걸쳐 미나리 재배농가에서 직접 수행하였다. 미나리는 다른 채소에 비해 역학적 물성이 가장 약하다. 따라서 미나리를 재료로 한 시험조건을 통과한다면 다른 다양한 채소에서는 문제가 발생하지 않을 것으로 판단하여 시



Fig. 7 Picture of the prototype of the automatic bundling machine



Fig. 8 Picture of field test and bundle shape

험재료를 미나리를 선정하였다. 시험방법은 농업기계공학연구원(NIAE: National Institute of Agriculture Engineering)의 시험기준(NAMRI T 6050)에 준하여 수행하였다. 시험과정의 모습과 묶여진 미나리의 단 묶음 형태는 Fig. 8과 같고 성능시험결과를 정리하면 Table 3과 같다.

일반적으로 수작업에 의한 결속능력은 시간당 60~70단을 묶을 수 있다. 본 결속기의 결속성능시험에서는 시간당 235단을 묶을 수 있었으며 수작업에 비해 약 3.6배의 결속성능을 보였다.

미나리의 불완전결속과 손상은 수작업에 비해 조금 높게

Table 3 Results of performance test

Test items	Capacity of bundling (sheaf/h)	Rate of imperfection bundling (%)	Strength of bundling (N)	Rate of damage (%)
Standard	Design Max 270	Less than 5%	More than 20	Less than 5%
1st	215	2.5	20.6	2.4
2nd	254	1.5	23.0	3.6
Average	235	2.0	21.8	3.0

나타났다. 본 시험에서는 불완전 결속율이 2%, 손상율이 3%로 나타났으나 시험기준인 각각 5%에 비해 낮게 나타났다. 결속조건들을 조정함으로써 불완전결속율과 손상율을 좀 더 나눌 수 있을 것으로 판단된다.

결속강도시험에서는 수작업에 의한 결속강도와 유사하였다. 결속강도는 채소의 손상율과 관계가 되어 본 결속기에서 최적화된 범위를 찾는 것이 중요할 것으로 판단된다. 따라서 더 많은 시험을 통해 최적화가 요구된다.

수작업에 의한 비틀어 꼬는 결속방식의 결속 끈의 소모량은 300mm 정도 된다. 본 결속기에 있어서 결속 끈의 소모량은 180mm정도인 것으로 측정되었다. 따라서 일반적인 수작업에 의한 결속 끈의 소모량에 비해 약 40%의 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

또한 성능시험을 통해 다음과 같은 문제들을 해결하였다. 결속 끈과 히터 사이에 이물질이 들어가서 끈의 접합 에러가 발생하는 것을 방지하기 위하여 암 끝단에 부드러운 와이어 브러시를 사용하여 해결하였다.

히터의 열에 의해 접합된 결속 끈의 접합부가 잔류열과 채소묶음의 팽창력에 의해 벌어져서 단의 결속강도가 떨어지는 현상이 발생하였다. 이를 해결하기 위해 결속 끈의 접합부에 물을 분사하는 방법을 적용하였다. 물의 분사량은 분사 펌프의 분사시간을 조절하였다. 여기에서 물의 분사시간은 매우 중요하다. 그것은 많은 량의 물의 분사는 히터의 온도를 떨어뜨리는 역할을 하게 되기 때문이다. 본 성능시험에서는 펌프의 분사시간을 0.3sec로 하였다.

결속 끈의 접합을 위한 가압력과 온도는 작업조건에 따라 조금씩 달라질 수 있다. 이러한 문제는 상품화를 위해서 앞으로 많은 시험과 경험을 바탕으로 해결해야할 과제이다.

현재 농가에서 사용되고 있는 채소결속기의 경우 단 묶음의 크기가 크거나 작을 경우 결속이 어려워 발생하여 사용할

수 없는 단점을 가지고 있었다. 본 결속기는 묶음 단의 크기와는 관계없이 결속이 가능하였고, 묶음 단의 모양도 타원형으로 일정하게 묶을 수 있음을 확인하였다.

본 결속기는 성능시험을 바탕으로 시험성적서를 작성하여 한국농기계공업협동조합(KAMICO: the Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative)으로부터 농업기계로 인정을 받은 상태다. 그리고 이 기술은 국내특허등록⁽⁶⁾을 마쳤으며, 국제특허⁽⁷⁾(PCT: Patent Cooperation Treaty)는 출원상태에 있으며 아울러 상품화를 추진하고 있다.

3. 결론

본 연구에서는 열로써 결속 끈을 순간적으로 녹이고 가압하여 접합결속 하는 열융착방식을 적용한 채소결속 메커니즘의 설계와 시제품을 제작하고 성능시험을 수행하였다. 본 결속장치는 이미 농업기계로 인정을 받은 바 있으며, 이후 지속적인 시험을 통해 작업환경의 변화에 따른 열접합조건 및 결속밴드의 최적화 그리고 채소결속 팽창력에 의한 벌어짐 현상의 최소화를 실현하여 제품화할 계획에 있다. 본 채소 자동 결속장치에 적용한 열융착 방식은 채소포장 결속시스템에는 처음 시도한 방식으로 많은 장점을 가지며, 또한 다양한 결속포장 시스템에도 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 채소 자동결속장치는 결속 끈을 열로써 순간적으로 녹이고 가압하여 접합 결속하는 열융착 방식을 적용하여 묶음단의 크기에 관계없이 직경이 30~200mm 까지 결속이 가능도록 개발하였다.
- (2) 성능시험 재료를 미나리로 한정 한 경우 불완전결속과 손상은 수작업에 비해 높게 나타났으나, 수치적으로는 불완전 결속율 2%, 손상율 3%로 시험기준인 각각 5%에 비해서는 낮게 나타났다.
- (3) 본 채소 자동결속장치에서 결속 끈의 소모량은 180mm 정도인 것으로 측정되었고, 일반적인 수작업에 의한 결

속 끈의 소모량에 비해 약 40%의 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

- (4) 본 채소 자동결속기는 시간당 약288단의 작업이 가능하도록 설계하였으나 실제적인 결속성능시험에서는 시간당 235단을 묶을 수 있었으며, 일반적으로 수작업에 의한 결속능력에 비해 약 3.6배의 결속성능을 보였다.

참고 문헌

- (1) Kim, Y. S., Park, T. P., Kim, J. J., Park, S. H., and Yang, S. Y., 2008, "Development of Automatic Bundle Machine for Vegetables(I): Mechanism Design," *Trans. of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, accepted for publication.
- (2) Kim, Y. S., Kim, J. J., Lee, C. D., and Yang, S. Y., 2008, "A Study on Design of Bundling Mechanism for Vegetables," *Proceeding of the Ksmte Spring Conference 2008*, pp. 159~163.
- (3) COMFILE Technology, nd., viewed 10 December 2007, <http://www.comfile.co.kr/product/13_01_01.htm>.
- (4) NIAE, 2007.3, *Experiment method of binding Machine for agricultural products*, NAMRI T 6050, National Institute of Agriculture Engineering, Korea.
- (5) NIAE, 2004.12, *Checkup standards of binding Machine for agricultural products*, NAMRI S 6050, National Institute of Agriculture Engineering, Korea.
- (6) Park, T. P., Kim, Y. S., and Yang, S. Y., 2007, *Automatic Bundle Packing Apparatus using bonding Tape*, Korea Patent : Patent No.10-0726096.
- (7) Park, T. P., Kim, Y. S., and Yang, S. Y., 2007, *Automatic Bundle Packing Apparatus using bonding Tape*, Patent Cooperation Treaty : Application No. PCT/KR2007/003443.