

채소 자동결속기의 개발(I) : 메커니즘 설계

김용석*, 박태표[†], 김재준⁺⁺, 박성호⁺⁺⁺, 양순용⁺⁺⁺⁺

(논문접수일 2008. 12. 28, 심사완료일 2009. 3. 4)

Development of Automatic Bundle Machine for Vegetables(I) : Mechanism Design

Yong-Seok Kim*, Te-Pyo Park[†], Jea-Jun Kim⁺⁺, Sung-Ho Park⁺⁺⁺, Soon-Young Yang⁺⁺⁺⁺

Abstract

The bundling process is the final step in vegetable manufacturing, however, the process is a little difficult to be automatized, because vegetable has the physical properties of roughness, softness, and fragility etc. In this paper, we proposed an automatic bundling mechanism for vegetable based on the heat melt sticking. The proposed mechanism consists of three modules, one module is the moving part for aligning of the vegetable shape and adjusting of the vegetable tension, second module is the arm driving part for the vegetable binding and the band roll releasing, and third module is band joining, band cutting, and band feeding part for the vegetable binding continuously. Through this research, Using the SMO(SimDesigner Motion) module, we optimize condition of mechanical movement of the bundling mechanism. This bundling system designed in order to binding 288 bundle/hour.

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

1. 서 론

오늘날의 농가에서는 계절에 관계없이 사시사철 다양한 종류의 채소류들을 재배하여 출하하고 있다. 특히 최근 식생

활 수준 및 양상이 크게 변화함에 따라 부추, 미나리, 시금치 등 각종 건강채소에 대한 수요가 날로 증가하고 있다. 따라서 재배면적과 생산량도 매년 증가 추세에 있다⁽¹⁾.

일반적으로 채소류는 소비지에서의 채소쓰레기 문제와

* 울산대학교 대학원 기계자동차공학과

+ 월드테크(주)

++ 울산대학교 기계자동차공학부

+++ 경일대학교 기계자동차학부

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

주소: 680-749 울산광역시 남구 무거2동 산29 남울산우체국 사서함18호 울산대학교 공학23호관 105호

상품성 향상을 위하여 타원형이나 사각형으로 결속포장하여 유통되고 있다. 따라서 생산농가에서는 많은 시간과 노력을 선별포장작업에 기울이고 있다. 더욱이 채소는 수분함량이 90%이상으로 높을 뿐 아니라 수확 후에도 대사작용이 왕성하게 일어나 수확 후 양적 및 질적 변화가 크므로 신속하게 포장작업과 출하가 이루어져야만 한다. 하지만 농촌의 노령화와 부녀화는 인력난과 생산성저하로 채소재배 농가에서는 많은 어려움을 겪고 있다. 채소재배에 투하되는 노동투하시간은 퇴비撒포 및 경운작업을 제외한 대부분의 작업이 인력에 의존하고 있으며, 특히 채취와 선별포장에 30~76%가 투하되는 것으로 나타나고 있다⁽²⁾. 이러한 선별과 포장작업은 대부분 수작업에 의존하고 있으며 포장작업의 기계화가 절실히 요구된다. 채소재배 농가에서는 작업의 효율성과 편의성을 위해 농가 스스로가 도구를 제작하여 사용하는 등의 노력을 기울이고 있지만 효과는 미미하다. 현재 몇몇 종류의 채소결속기가 개발되어 특정 채소의 결속용으로 사용되고 있다. 채소를 묶는 결속수단으로 철심이 내장된 끈을 비틀어 꼬는 방법과 테이프를 접착하는 방법(화훼결속용)이 적용되고 있다⁽³⁾. 결속 끈을 비틀어 꼬는 결속방식의 채소결속기는 묶음단의 크기에 따라 결속여력이 많고 끈을 비틀게 되므로 채소를 상하게 하는 등의 문제가 제기되고 있다. 접착테이프를 이용한 접합결속방법은 수분과 밀접한 관계가 있는 채소류 결속에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 열융착(밴드의 접촉면이 열에 의해서 녹아 접착되는 성질로 정의한다.)에 의한 결속방법을 제안하고 채소류의 종류와 단의 크기에 관계없이 결속이 가능한 자동채소 결속장치를 개발하고자 하였다^(4~6). 따라서 본 논문에서는 열융착방식을 적용한 채소 자동결속 메커니즘을 설계하고자 한다.

2. 메커니즘의 설계 및 모델링

2.1 선행기술 및 자료조사

채소류의 수확은 채취작업, 세척작업, 선별작업, 단 묶음 결속작업, 박스포장 그리고 출하 순서로 이루어진다. 본 연구에서는 채소류의 수확과정 중 결속작업 과정을 자동화하고자 하였다. 채소류 자동결속 장치의 기술동향을 파악하여 개발기술에 대한 특허침해여부와 특허출원을 위한 회피방안 도출의 목적으로 특허기술조사를 수행하였다. 또한 관련기술에 대한 출시제품을 조사하여 분석하였다. 현재 국내 출시된 제품과 개발기술을 비교 분석하여 Table 1에 기술하였다. 채소류의 출하포장은 농산물출하표준규격에 따르고 있다⁽⁷⁾.

일반적으로 일정한 무게를 기준으로 하여 골판지박스 또는 P.E 부대 포장을 하여 출하되고 있으며, 특히 길이가 긴 줄기채소 또는 옆채소류는 소량의 무게 단위로 단 묶음 후 골판지박스 또는 P.E 부대 포장하여 출하되고 있다. 채소종류에 따라 묶음단의 량은 큰 차이가 있으며, 같은 종류의 채소에서도 다양한 크기로 나누어 포장되고 있다. 묶음단은 철사

Table 1 Comparison of existing product and development product

Company	A product	B product	Development product
Binding method	<ul style="list-style-type: none"> • a twisting method by rotational force of motor • knot • department damage • a damage occurrence of vegetable 	<ul style="list-style-type: none"> • a twisting method by rotational force of motor • knot • department damage • a damage occurrence of vegetable 	<ul style="list-style-type: none"> • method of the heat melt sticking • low damage possibility of vegetable
Bundle knot position	<ul style="list-style-type: none"> • underneath of vegetables • contamination by the dregs of the vegetable, dirt etc. • error possibility high of defective bundling 	<ul style="list-style-type: none"> • the flank of vegetables bundle • high error possibility of defective bundling 	<ul style="list-style-type: none"> • the flank of vegetables bundle • low error possibility of defective bundling
Binding band	<ul style="list-style-type: none"> • the paper band which inserted the iron core • The paper band is weak in moisture • contamination possibility high of vegetables by the iron core 	<ul style="list-style-type: none"> • the paper band which inserted the iron core • The paper band is weak in moisture • contamination possibility high of vegetables by the iron core 	<ul style="list-style-type: none"> • using the EVA film band, does not receive the influence of moisture • this EVA band is strong at adhesion in moisture

가 삽입된 P.P 밴드를 비틀어 꼬는 방법으로 결속매듭을 지어 포장하고 있다.

채소류는 수분의 함량이 높고 부드러워 다루기 어려운 재료 중의 하나이다. 채소류의 역학적 물성은 온도와 수분함량에 따라 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Bong⁽⁸⁾과 Jun⁽⁹⁾의 연구에 따르면 채소류의 수확초기 역학적 물성은 Table 2와 같다.

결속용 끈은 생분해성(박테리아와 같은 미세유기체에 의해서 분해되는 성질) 및 광분해성(태양광선의 자외선 에너지에 의해서 분해되는 성질)을 갖는 EVA(Ethylene Vinyl Acetate) 재료에 친연섬유를 가한 것을 선정하였다. 인장강도가 기존의 채소용 결속 끈과 유사하면서도 유연성이 뛰어나 채소포장 결속용으로 적합하다. 위생적이고 유독성이 없는 친환경적인 끈으로 열접합성이 우수하며 특히 수분이 많은 조건에서도 접합성이 우수한 특징을 가지고 있다.

결속끈의 열적접합 특성규명을 위해 실험에 적용한 EVA 끈은 폭-16mm, 두께-1.2mm이며, 접합온도 200°C, 접합가압 힘은 70N으로 하였다. 실험을 통한 결속밴드의 열적 접합특성을 나타내면 Fig. 1과 같다.

채소 묶음단의 단면 모양은 타원형 또는 직사각형의 모양

을 선호하고 있다. 이것은 동일한 부피의 량을 가지더라도 묶음단의 모양에 따라 소비자의 선호도가 달라지기 때문이며, 생산자들의 오래된 경험에서 자연스럽게 얻어진 결과라 할 수 있다. 묶음단의 단단한 정도는 결속끈에 의해서 채소가 상하지 않아야 하며, 운반과정에서 묶음단의 형상을 일정하게 유지되도록 정하고 있다.

채소의 묶음 단은 끝부분이 깨끗하게 정리되어야 한다. 채소 끝부분을 자르기 위하여 회전 절단 날을 주로 사용하고 있다. Srivastava and Goering⁽¹⁰⁾은 회전하는 절단 날의 타격에 의하여 작물을 절단하는 경우 일반적으로 절단 날의 예리한 정도와 줄기의 강성 등 여러 조건에서 신뢰할 수 있는 날의 속도는 50~75m/s가 요구된다고 하였다. 칼날이 고정되고 작물이 이동하는 경우의 절단 날의 전체길이가 절단에 참여할 수 있는 조건은 식 (1)과 같고 회전날의 선속도는 30m/s가 요구된다고 하였다⁽¹¹⁾.

$$\frac{V_c}{V_m} \leq \frac{2\pi R_e}{Nl \cos \alpha} \quad (1)$$

여기서, V_c 은 칼날의 선속도(m/s), V_m 은 기계의 전진속도(m/s), l 은 날의 유효길이(m), R_e 는 원판날의 회전반경(m), α 는 날의 경사각($^\circ$) 그리고 N 은 원판날의 수를 나타낸다.

이와 같이 설계 파라메타에 따른 결속장치의 개념적 설계 사양을 정리하면 Table 3과 같다.

2.2 메커니즘의 설계 및 모델링

본 결속 메커니즘의 구성은 전체 시스템을 지지하는 테이블장치, 채소를 운반하는 컨베이어장치, 채소의 묶음 단의 형상을 유지하고 파지하는 호퍼 장치, 채소에 결속장력(단단

Table 2 Mechanical property of vegetables

Material	Rupture Load (N)	Rupture Stress (Kpa)	Cutting Force (N/10Stems)
Chinese leek	92.4	20.5	93.1
Crown daisy	91.2	19.8	145.2
Chamnamul	91.9	18.4	63.4
Leek	-	408.0	-
Spinach	-	310.0	-

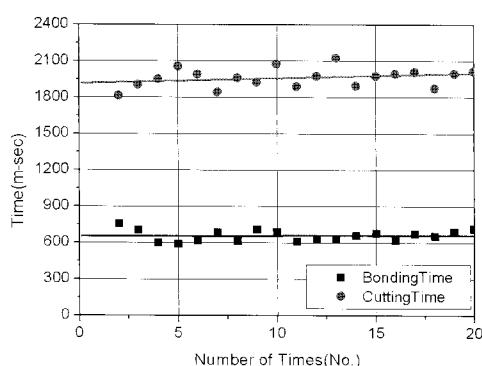


Fig. 1 Property of bundling band

Table 3 Specification of the notion for design

Items	Specification
Bundle object	long stem or leaf type vegetables
Binding method	heat melt sticking method
Bundle section shape	ellipse or rectangular
Joining position	short radius position
Practicable bundle size	free size(diameter: 30~200mm)
Band feeder method	continual feed by roll type band
Band cutting method	scissors mechanism
Binding tension adjust	spring force and band friction
Vegetable root trimming	rotational cutter

하게 함)을 주기위한 채소누름 장치, 결속 끈을 채소의 묶음 단의 모양을 따라 감싸게 하는 암 장치, 결속 끈을 열용차에 의하여 접합하는 열접합 장치, 결속 후 결속 끈을 절단하는 절단장치 그리고 결속 끈의 연속적인 공급을 위한 결속 끈 삽입공급 장치로 구성하였다. 제작의 용이성을 고려하여 테이블장치, 컨베이어장치, 호퍼장치: Module I, 암 구동장치, 채소누름 장치, 컨베이어구동장치: Module II 그리고 열 접합장치, 끈 절단장치, 끈 공급장치: Module III으로 모듈화 하였다. 설계변경에 대한 신속한 대처와 제작 시 발생할 문제점을 최소화하기 위하여 3D-CAD 툴로 CATIA V5를 활용하였다⁽¹²⁾. 부품들 간의 가상 조립을 통해 간섭과 충돌을 회피하였고, MSC사의 SMO(SimDesigner Motion) 모듈을 이용하여 기구학적 작동상태를 시뮬레이션을 통해 검토하였다⁽¹³⁾. 또한 부품의 가공과 제작의 편의성을 고려하여 레이저가공이 용이하도록 설계에 반영하였다. 각 모듈의 구성과 기능은 아래에 상세하게 나타내었다.

Module I의 구성과 모델링 결과를 나타내면 Fig. 2와 같다. 테이블장치는 알루미늄 프로파일로 된 지지대와 스테인리스로 된 상판으로 구성된다. 컨베이어장치는 구동체인과 스프라켓으로 구성되며, 구동동력은 차량 원도우용 리프트 모터를 적용하였다. 호퍼장치는 채소를 적재하는 컵과 안내 롤러로 구성되며 컨베이어 체인에 고정되어 이송한다. 호퍼장치는 묶음단의 크기와 모양에 따라 교체가 가능하도록 하였고 가이드 롤러는 레일을 따라 이동하면서 채소를 지지하도록 하였다.

Module II의 구성과 모델링 결과를 나타내면 Fig. 3과 같다. 암 장치는 암, 구동 모터기어, 캠, 캠, 푸쉬로드로 구성된다. 암은 호퍼장치에 적재된 채소의 모양을 따라 결속 끈을 감싸게 하는 기능과 결속 끈을 접합할 때 기압하는 기능을 한다. Fig. 4는 암 구동부의 기구학적 시뮬레이션 결과를

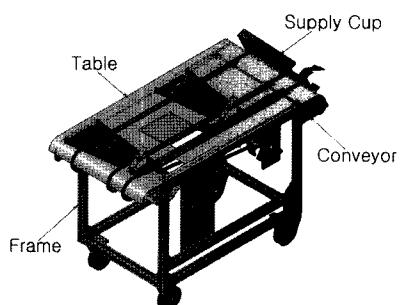


Fig. 2 Composition and 3D-CAD model of Module I

나타낸다. 암 끝단의 궤적 높이는 푸쉬로드의 각도조정을 통하여 변화시킬 수 있고, 암의 끝단이 최저점에 도달하는 시간은 캠기어의 각도조정에 의해 결정할 수 있다. 캠은 끈의 접착시간(가압시간)을 결정하며, 접착시간은 캠의 동심원의 폭에 따라 결정된다. 본 설계에서 접착시간은 Fig. 4의 그래프로부터 암 끝단 궤적(Arm end point trajectory)이 하단에서 수평을 이루는 영역이며 약3sec가 되도록 설계하였다.

끈 다발 장착장치는 마찰드럼과 마찰밴드, 장력조절스프링으로 구성된다. 결속 끈은 묶음단의 크기에 따라 조절되고, 마찰드럼과 마찰밴드 사이의 마찰력을 조절함으로써 결속 끈의 장력이 조절되어 채소묶음 단의 장력도 조절되게 된다.

채소 장력조절장치(누름장치)는 안내레일, 장력조절 바, 장력흡수 스프링으로 구성되며, 채소 묶음 단을 단단하게 하고 결속 후 채소 묶음단의 팽창력에 의해 벌어짐을 방지하기 위한 장치로 단 묶음의 크기에 따라 조절이 가능하게 구성된다.

채소뿌리 절단장치는 모터, 디스크 로터, 칼날로 구성되며, 결속 후 채소의 뿌리를 깨끗하게 잘라서 정리하는 부분이다.

Module III의 구성과 모델링 결과를 나타내면 Fig. 5와 같다.

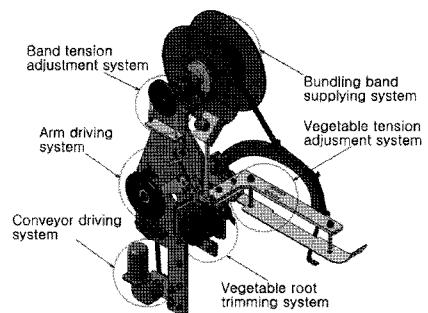


Fig. 3 Composition and 3D-CAD model of Module II

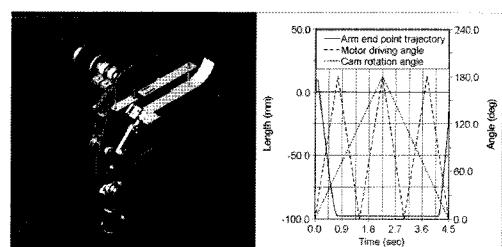


Fig. 4 Simulation result of Arm drive part

열 접합장치는 히터코어, 카트리지 히터, 온도센서, 히터 컨트롤러로 구성되며, 히터코어는 동(Copper)로 제작된다.

열접합장치의 열융착에 의한 결속 메커니즘의 개념도는 Fig. 6과 같다.

결속 끈의 접합은 암과 히터에 의해 히터코어 베이스와 실리콘베이스 사이에 위치한 끈을 순간적으로 녹이고 가압하여 이루어진다. 히터코어 베이스의 형상은 접촉성을 고려하여 요철형상의 그릴(Grill)형으로 설계하였다. 히터코어 베이스는 접합 후 결속 끈과 히터코어 베이스가 서로 붙는 것을 방지하기 위하여 텤프론을 씌우기로 하였다.

결속 끈의 절단장치는 가위, 링크, 슬라이딩 바, 압축스프링, 푸쉬레버 그리고 구동모터로 구성된다. 절단장치는 가위(Scissors) 메커니즘을 적용하였다. 끈의 절단은 구동 모터에 조립된 푸쉬 레버의 회전과 슬라이딩 바에 부착된 자바라 구조의 가위가 확장되면서 이루어진다.

결속 끈은 삽입공급 장치는 클립기어, 끈 푸셔, 슬라이딩 바, 압축 스프링, 푸쉬 캠, 클러치 핀, 구동 모터로 구성된다. 결속 끈의 연속적인 삽입공급 메커니즘의 개념도는 Fig. 7과 같다.

결속 끈은 구동 모터에 부착된 푸쉬레버의 회전과 슬라이딩 바에 부착된 푸셔에 의해서 공급된다. 여기에서 푸쉬레버는 클립기어 앞에 드리워진 결속 끈을 한 쌍의 클립기어 사

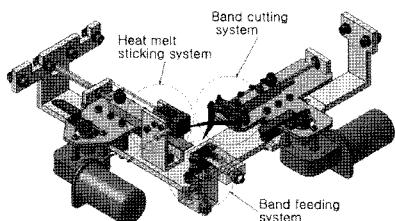


Fig. 5 Composition and 3D-CAD model of Module III

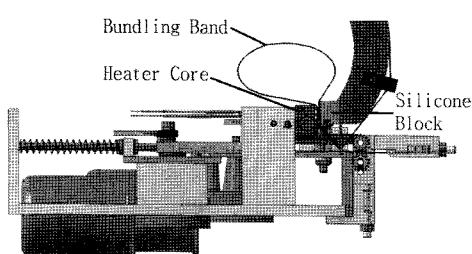


Fig. 6 Schematic of mechanism of the heat melt sticking

이에 밀어 넣게 된다. 이렇게 클립기어 사이에 끼워진 끈은 역회전방지 클러치 핀에 의해 클립기어의 역회전이 일어나지 않게 되어 빠지지 않게 된다.

결속 끈의 접합 후 끈의 절단과 공급 사이의 타이밍 관계에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내면 Fig. 8과 같다. 여기에서, 새로운 끈의 공급은 끈을 절단한 후 0.6sec가 지난 시점에서 이루어진다. 즉 이것은 시스템의 초기화에 있어서 끈 절단 레버의 초기각도를 0°로 할 때 끈 공급 레버의 초기각도는 114°로 설정하는 것을 의미한다.

결속작업 사이클 타임 시뮬레이션 결과를 나타내면 Fig. 9와 같다. 시뮬레이션 조건은 모터 회전수를 40rpm으로 하

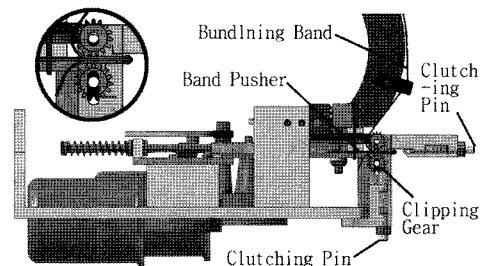


Fig. 7 Schematic of the feeding mechanism of band

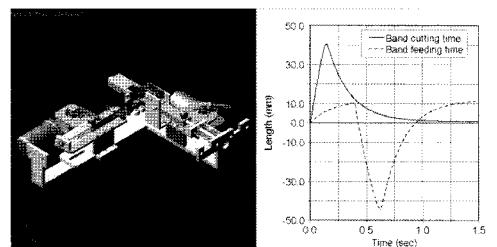


Fig. 8 Simulation result of the timing relation between Cutting and supplying of band

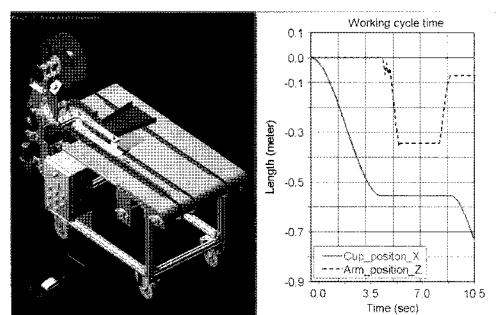


Fig. 9 Working cycle time

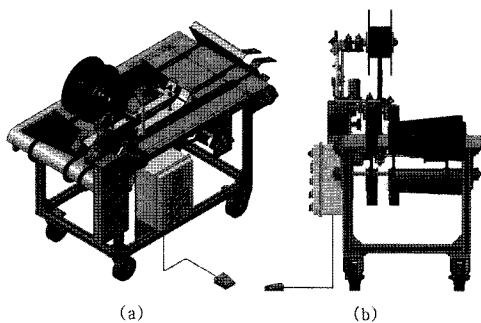


Fig. 10 Design result of bundle mechanism for vegetables

였다. 이때 결속작업에 걸리는 시간은 컨베이어 이동시간 4.5sec, 암 구동시간 4.5sec(접합시간 3.0sec 포함), 끈 공급과 절단시간 1.5sec 그리고 손실시간 2.0sec를 고려하면 전체 작업 사이클 타임은 12.5sec 걸린다. 작업시간에 있어서는 1단을 묶는데 걸리는 시간 즉 1사이클은 12.5sec로써 하루 작업시간 8시간을 기준으로 하면 최대 2,300단의 결속포장이 가능하다.

열융착에 의한 결속메커니즘의 설계사양에 따른 구성부품 3D 모델링과 가상조립을 통한 가상시제품 결과를 나타내면 Fig. 10과 같다. 설계사양과 모델링된 결과로부터 제작도를 작성하여 시제품을 개발할 예정이다.

3. 결 론

본 연구에서는 열로써 결속 끈을 순간적으로 녹이고 가압하여 접합하는 열융착방식을 적용한 채소 자동결속 메커니즘을 설계하였다. 향후 시제품을 개발하여 성능의 검증과 필드테스트를 통해 제품화할 계획에 있으며, 본 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 채소 포장 결속장치에 있어서 철심이 내장된 끈을 비틀어 꼬는 기존 결속방식의 대체 수단으로 열로써 순간적으로 녹이고 가압하여 접합 결속하는 열융착 방식을 제시하고, 열융착 결속방식에 따른 결속메커니즘을 설계하였다.
- (2) 채소 포장 결속장치에 있어서 묶음단의 직경이 30~200mm사이에서는 단의 크기와 무관하게 결속이 가능하도록 결속메커니즘을 설계하였다.
- (3) 연속적인 결속 끈의 공급과 절단을 위한 메커니즘으로

기어클립메커니즘과 가위 메커니즘을 각각 제안하였고, 유기적인 작동과 기능을 위해 끈의 절단이 시작된 0.6sec 후에 새로운 끈이 공급이 시작되도록 하였다.

- (4) 채소 결속용 끈은 EVA계열로 가장자리에 천연섬유를 삽입한 친환경적인 결속 끈을 적용할 수 있도록 하였고, 열과 가압에 의한 접합에 걸리는 시간을 3sec하여 암 구동 캡을 설계하였다.
- (5) 채소 결속포장 사이클 타임은 12.5sec로 설계하여 시간당 최대 288단의 결속이 가능하게 설계하였다.

후 기

본 논문은 울산대학교 교내연구비와 지식경제부 지정 경일대학교 자동차부품시험 지역혁신센터의 일부지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- (1) N.A.Q.M.S, 2006, *The cultivation trend of main crop classified by local area*, National Agricultural Products Quality Management Service, Registered number: 11-1380729-000017-10, pp. 14~15.
- (2) R.D.A. (The Room of management of agriculture), 1999.12, *The labor input times by classification of the work step and the main crop*, The Room of management of agriculture of The Rural Development Administration, Registered number : 31200-51710 -57-9962, Research report of management of agriculture: No. 84, pp. 31~35, pp. 59.
- (3) Han, K. S., Son, J. Y., Park, W. K., and Kang, C. H., 1999, "Development of automatic binding machine for vegetables," *Korean Society for Agricultural Machinery, Winter Conference*, pp. 668~674.
- (4) Yang, S. Y. and Kim, Y. S., 2006, *The development of garden stuff automatic bundle system*, Ministry of Commerce, Industry and Energy, Result report of the spread business for the research outcome, pp. 36~57.
- (5) Lee, W. G., Yang, S. Y., and Kim, Y. S., 2007.2, *The development of the industry binding system by the using heat*, Small and Medium Business Administration, Result report of Consortium of Small and Medium

- Business, pp. 29~39.
- (6) 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.
- (7) STANDARD of MFAFFK., 1999.1, *The standards book for shipments of farm produce*, the Ministry of Food- Agriculture -Forestry and Fisheries of Korea, pp. 117~123.
- (8) Bong, J. Y., 1986, "Relation the Role of Water in Withering and Mechanical Properties of Some Leafy Vegetables. 1. Effect of Withering on Viscoelastic Properties of Spinach and Leek," *KOREAN SOC. FOOD NUTR.*, Vol. 15, No. 3, pp. 286~293.
- (9) Jun, H. J., 2006, "Development of a stem-cutting type harvester for non-head leafy green vegetables," Doctorate Dissertation, Kangwon National University, Republic of Korea.
- (10) Srivastava, A. and Goering, C. E., 1991, "Engineering Principles of Agricultural Machines -Hay and forage harvesting-," *American Society of Agricultural Engineers*, USA, pp. 1~19.
- (11) Jung, C. J., 1988, *The mechanization for the crop cultivation*, Publication of Seoul University, Republic of Korea, pp. 225~228.
- (12) Lee, S. S., Hwang, Y. J., and Kim, H. J., 2002, *CATIA V5 to study by PC. ver 5.7*, Scientific Technique, Republic of Korea, pp. 319~370, pp. 631~633.
- (13) MSC, 2005, *SimDesigner Catia V5 R14 Manual, Chap: 'SMO' guide part*, MSC Software, Santa Ana, CA 92707 USA, pp. 90~96.