

가변 원형 베일러의 결속 기구 제어 장치 개발

Development of A Tying-Unit Controller for A Variable Chamber Round Baler

김종언*

김경욱*

정희원

J.E.Kim

K.U.Kim

1. 서론

국내에 베일러가 본격적으로 보급되기 시작한 것은 90년대 초반 이후로 주로 가격이 저렴하며, 인력으로 다루기 쉽고, 국내 실정에 적합한 사각 베일러가 보급되어 왔다. 하지만 축산 농가의 경영 규모가 증가되고 농촌 노동력이 감소됨에 따라 기계에 의한 수집, 운반 등의 일관 기계화가 가능한 원형 베일러의 보급이 증가되고 있다. 원형 베일러는 최근 3~4년간 매년 약 100여대씩 보급되었으며, 점차 보급량이 증가되리라 전망된다.

가변 원형 베일러의 경우 베일 크기는 길이가 1.2 m로 고정되고, 지름은 0.6~1.4 m 범위에서 임의로 결정할 수 있으며 밀도는 100~250 kg/m³ 사이에서 조정할 수 있다. 또한 논 100여평(坪)에서 1개의 베일을 생성하여 같은 면적에서 사각 베일러를 사용하였을 경우 약 10개의 베일을 만드는 것에 비하여 소요되는 시간과 노동력을 크게 절감할 수 있다.

현재 사각 베일러는 국산화되어 국내에서 생산, 판매되고 있으나 원형 베일러의 경우는 전량 외국에서 수입하고 있는 실정이다. 원형 베일러는 서구의 넓고 광활한 목초지를 기반으로 개발된 것이어서 수확 후 습한 논토양에서 작업하여야 하고, 주로 벧짚을 수거하며, 작업장의 규모가 작고 농로가 협소한 국내 실정에는 적합하지 않아 작업에 어려움이 있다. 또한 고장시 부품을 구하기 힘들고 A/S가 제대로 이루어지지 않아 작업 적기를 놓치는 경우가 발생하기도 한다. 따라서 국내 실정에 적합한 베일러의 국산화가 요구되고 있다.

본 연구는 가변 원형 베일러를 국산화하기 위하여 수행된 것으로서 베일러의 주요부인 결속 기구의 작업을 제어하는 장치를 개발하는 데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험용 베일러

본 연구에 사용된 베일러는 이태리 FERABOLI사의 가변 원형 베일러로 4개의 평벨트에 의해 베일 챔버를 형성하고 스프링과 유압 실린더에 의해 베일 밀도를 조절하는 방식이다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

실험에 사용된 베일러의 제원은 표 1에서와 같다.

Table 1 Specifications of the round baler

Manufacturer	FERABOLI
Model	FF44
Weight	19.8 kN
Weight of the straw bale	2.25 - 3.0 kN
Length/Width/Height	3,600/2,280/2,250 mm
Chamber Max. dia/ Min. dia/ Width	600/1,350/1,200 mm
Chamber type	Variable
Belts Quantity / Width / Length	4EA / 245 mm / 8,900 mm
PTO	540 rpm
Tractor power	45 HP

2.2 결속 제어 장치의 개발

결속 기구는 DC 12V로 구동되는 전기 액츄에이터(linear actuator)와 끈안내 가이드(twine guide), 끝단 결속 시점을 알리는 리미트 스위치(tying limit switch), 절단칼 등으로 구성되어 있으며 베일러의 전면부에 설치되어 있다. 액츄에이터의 전·후진 운동에 의해 본체에 힌지되어 있는 끈안내 가이드가 회전 운동을 하며 결속 작업을 수행한다. 결속끈은 끈안내 가이드를 통하여 배출되며 베일의 회전에 의해 감긴다. 베일의 양끝단은 결속끈이 풀어지지 않도록 3~4회 이상 끈을 감아주며, 두 줄 결속 방식을 사용하여 작업 시간을 절약한다. 결속 작업을 마친 후 결속 끈은 끈안내 가이드가 초기 상태로 복귀할 때 절단칼을 사용하여 절단한다. 작업 대기 상태의 액츄에이터는 완전히 전진해 있는 상태이다.

이상에서와 같은 결속 작업의 순서를 정리하면 다음과 같다.

액츄에이터 후진 - 끈 배출 시작 - 베일 좌측 끝단 결속 - 액츄에이터 전진 운동 시작 - 베일 중심부 결속 - 결속 리미트 스위치 작동 - 액츄에이터 정지 - 베일 우측 끝단 결속 - 초기 상태 복귀 - 끈 절단

결속 제어 장치는 위와 같은 결속 작업 과정을 제어하는 장치로 제어 회로를 포함한 컨트롤 박스를 제작하였다. 컨트롤 박스는 탈착이 가능하고 운전석에 설치하여 작업자가 손쉽게 조작이 가능하도록 하였다.

컨트롤 박스 설계에 있어 요구 조건은 다음과 같다.

- 1) 전원은 트랙터의 DC 12V 전원을 사용
- 2) 자동 및 수동 결속법 선택 가능
- 3) 자동 선택시 원하는 크기에 도달하였을 때 일련의 결속 작업을 수행할 것.
- 4) 각 세부 작업 사항을 작업자가 쉽게 알 수 있도록 상태 표시 장치가 있을 것
- 5) 조작이 간편할 것
- 6) 진동, 먼지 등이 많은 포장 작업 조건에 견딜 수 있을 것

7) 가격이 저렴하고 상용화가 가능할 것

이상과 같은 요구 조건을 만족시키는 제어 장치를 제작하였다. 주연산 장치는 원칩 마이크로 프로세서를 이용하였으며 각종 스위치와 상태 표시 램프를 부착하였다.

제어 장치의 개략적인 구성도는 그림 1에서와 같다.

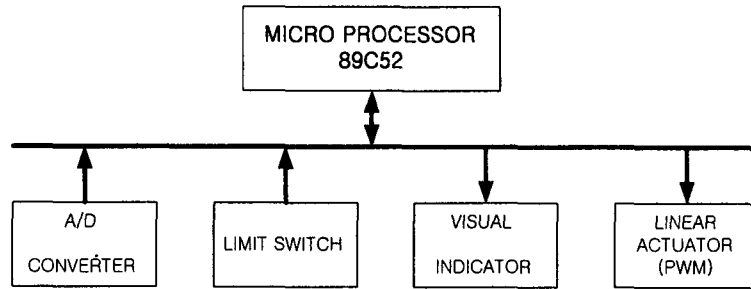


Fig. 1 Block diagram of the controller.

제어 장치의 주요부는 주연산장치부, 입력신호부와 출력신호부로 구성되며 표와 같다.

Table 2 Specifications of the control box

CPU	AT89C52
Input	Limit switch 2EA
	Start switch 1EA
	Variable resistor 2EA
Output	Statue lamp 3EA
	Buzzer 1EA
	Motor control signal

2.3 모터 제어 장치

모터 제어 회로는 파워 트랜지스터(TIP35C, TIP36C)를 사용하여 H형 브리지 회로를 구성하였다. 파워 트랜지스터는 모터를 ON, OFF 시키는 스위치로 사용되며 각각의 트랜지스터를 ON, OFF 시키는 방식과 시간에 따라 모터의 정전과 역전 및 회전 속도를 조정한다. 이러한 제어 방식을 펄스폭 변조 방식(pulse width modulation)이라고 하며 직류 모터의 회전 속도 제어에 널리 사용되고 있다.

2.4 제어 순서도

제어 장치는 자동과 수동을 선택하여 작업할 수 있으며 자동 작업의 경우 사이즈 리미트 스위치의 작동 또는 스타트 스위치의 입력을 받아 일련의 작업을 수행한다. 수동 작업의 경우 작업자가 임의로 베일을 묶기위한 방법으로 2극 복귀 토글 스위치를 사용하여 액츄에이터를 전, 후진시킨다.

자동 결속 작업의 경우 주요 작업 과정은 다음과 같다.

시작 신호를 기다림 → 작업 시작을 알림 → 7초간 액츄에이터 후진 → 끝단 결속 설정치 읽음 → 원하는 시간만큼 정지 → 결속 피치 설정치 읽음 → 액츄에이터 속도 조절 → 결속 리미트 스위치 작동 → 끝단 결속 → 1.5초간 액츄에이터 전진 → 결속 마침 신호 출력

3. 결과 및 고찰

액츄에이터의 속도는 베일의 중앙부 결속시 결속끈의 피치를 결정하는 요인이다. 액츄에이터의 전진 속도가 빠르면 결속끈의 피치가 커 듬성듬성 감기게 되고 전진 속도가 느리면 결속 피치가 작아져 촘촘히 감기게 된다.

액츄에이터의 작동 시간 범위는 베일러의 전동 라인을 분석하여 베일 크기에 따른 베일 회전 속도와 액츄에이터의 전진 속도와의 관계를 이용하여 구하였다. 계산 결과 액츄에이터가 한 행정을 완료하는데 필요한 시간의 범위는 7~25초이고, 끝단 결속을 위해 정지해야 하는 시간의 범위는 2~12초 사이였다.

3.1 액츄에이터의 전진 속도 제어

액츄에이터의 전진 속도를 변화하기 위하여 제어 신호의 주파수를 200 Hz로 하였다. 이때 신호의 한 주기는 5msec이고, 이를 8 비트로 분해하였을 때 최소 제어 시간은 약 17 μ sec 이었다. 200 Hz로 제어 신호를 발생했을 때 한 행정을 완료하는 데 소요되는 액츄에이터의 전·후진 시간은 그림 3에서와 같다. 그림 3에서 x축의 값은 A/D 변환기를 통하여 얻은 가변 저항의 값으로 5 V일 때 진행 속도가 가장 빠르고, 0 V일 때는 진행 속도가 가장 느리다. 각 상태에서의 값을 5회 반복 측정된 결과의 평균을 나타낸 것으로 액츄에이터가 한 행정을 진행하는 데 소요되는 시간은 전진할 때와 후진할 때가 거의 일치하였다.

액츄에이터가 한 행정을 마치는데 필요한 시간의 목표값은 7초와 25초 사이에서 입력값의 변화에 따라 선형적으로 변하는 것이다. 하지만 측정 결과 액츄에이터의 작동 시간 범위가 7~13.6초로 원하는 범위에 있지 않았고, 입력값이 2.5 V에서 5 V로 증가되어도 작동 시간에는 거의 변화가 없어 사용하는데 적합하지 않았다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같이 프로그램을 통하여 제어 신호를 생성하였다. 즉 A/D 변환의 분해능을 4 비트로 하였으며 듀티 사이클이 20~60% 사이의 범위에 있도록 프로그램하였다.

그 결과 액츄에이터의 작동 시간은 그림 4에서와 같다. 그림에서 입력값에 따라 액츄에이터의 전진 시간은 7~35.4초의 범위에서 변화하여 목표 범위인 7~25초를 포함하며 완전히 선형적으로 변하지는 않았으나 만족할 만한 결과를 얻었다.

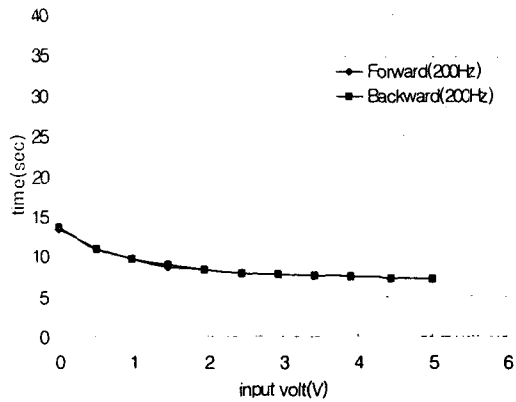


Fig. 3 Operating time at 200 Hz PWM input.

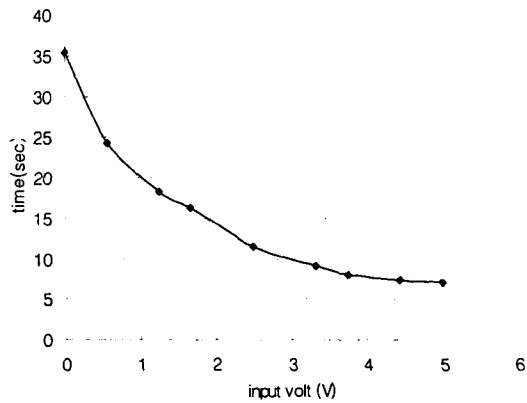


Fig. 4 Operating time at modified PWM input.

3.2 끝단 결속 시간 제어

베일의 양끝단은 중간 부분에 비하여 촘촘히 감아 베일의 풀림을 방지하여야 하며 양끝단에서 결속하는 회수가 같아야 한다. 끝단 결속을 위해 정지하는 시간은 2초에서 12초 사이로 하였다. 입력 변수는 베일 중간부의 결속 시간 제어에서와 같이 컨트롤 박스로부터 입력되는 가변 저항의 값을 A/D 변환하여 사용하였다. 정지 시간의 제어는 프로그래밍을 통하여 모터의 정지 시간을 조절하였다. 실험 결과 가변 저항을 통한 입력 전압값에 대한 액추에이터의 정지 시간은 그림 5에서와 같다.

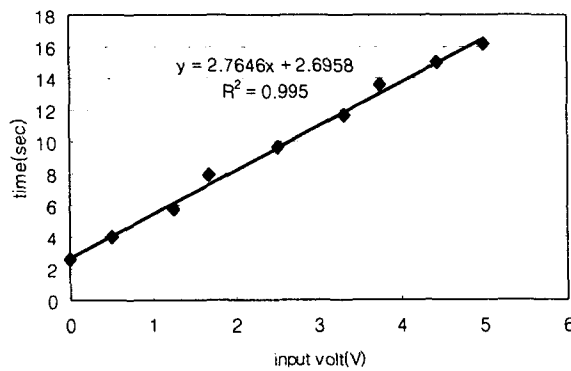


Fig. 5 Delay time for end tying.

그림 5에서와 같이 액추에이터의 정지 시간은 2.5초에서 16초 사이의 범위에서 선형적으로 변화하였다.

3.3 모의 작업 시험

개발된 컨트롤 박스를 실제 베일리에 장착하여 포장 작업을 실시하며 작업 성능을 평가하

여야 하나 여건상 실제 작업 실험을 하지 못하였다. 작업의 신뢰성을 확인하기 위해 결속 기구 조합을 사용하여 모의 작업 실험을 실시하였다. 제어 장치에 입력되는 신호와 출력되는 신호는 실제 작업에서와 같으며 결속 기구의 동작 또한 실제 작업과 같다.

끝단 결속 시간 조정 스위치와 결속 피치 조정 스위치의 값을 0 V와 5 V 사이에서 1.25 V 간격으로 변화시키며 각각의 작업에 소요되는 시간을 측정하였다. 측정값은 각 조건에서 5회 반복하여 측정한 것으로 결과는 그림 6과 그림 7에서와 같다.

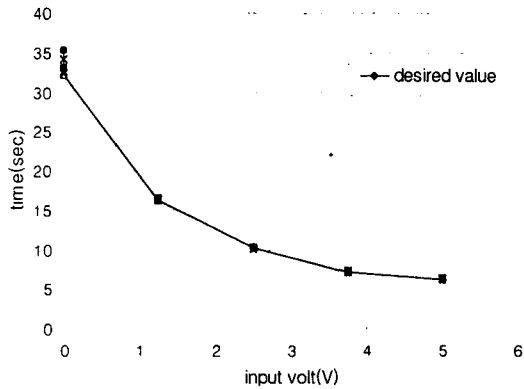


Fig. 5 Test for middle tying operation.

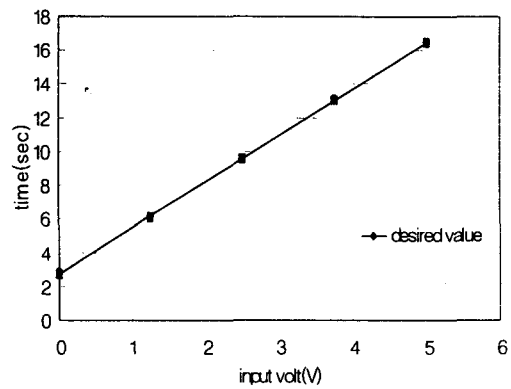


Fig. 7 Test for end tying operation.

측정 결과 전체적으로 오차의 범위는 ± 0.5 초 이내에 있었다. 이 오차값은 측정시에 발생한 오차라 판단되며 전체적인 작업에 있어 이상없이 작동함을 알 수 있었다. 따라서 실제 포장 작업에 적용하더라도 아무 문제없이 작동하리라 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 가변 원형 베일러를 국산화하기 위하여 수행되었으며, 베일러의 주요부인 결속 기구의 작업을 제어하는 장치를 개발하고 실제 베일러에 적용할 목적으로 수행되었다.

이와 같은 목적을 달성하기 위하여 개발 대상이 되는 베일러의 결속 작업 과정을 분석하고, 결속 작업을 제어하는 회로 및 컨트롤 박스를 제작하였다.

제어 회로의 주연산 장치는 프로그램을 통한 손쉬운 성능 변경과 차후 기능의 확장 등을 고려하여 8비트 마이크로 프로세서 AT89C52를 사용하였으며 작업 상태를 표시하는 장치인 컨트롤 박스의 전면부에 설치하였다. 결속 기구를 동작시키는 액츄에이터의 제어를 위하여 파워 트랜지스터를 사용하여 직류모터 구동 회로를 제작하였으며, 속도 제어는 원칩 마이크로 프로세서를 이용하여 펄스폭 변조 방식(PWM)으로 프로그램 하였다.

액츄에이터의 작동 시간 범위를 결정하기 위하여 베일의 지름 변화에 따른 회전 속도를 계산하였다. 계산 결과 베일의 지름이 0.6~1.4 m의 범위에서 1회전하는 데 소요되는 시간은 0.93~2.17초로 나타났다. 따라서 결속 작업을 원만히 수행하기 위해서는 액츄에이터가 베일 끝단을 결속할 때 2~14초간 정지하고, 중간부 결속을 위해서는 1 행정에 7~25초가

소요되어야 한다는 것을 확인하였다. 프로그램을 통하여 액추에이터를 제어한 결과 원하는 시간 범위에서 제어가 가능했다.

개발한 제어 장치의 성능을 평가하기 위해 실제 작업과 같은 조건에서 결속 기구 조합을 사용하여 모의 작업 시험을 실시한 결과 총 50회의 실험에서 오작동없이 작동되어 실제 베일러에도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

5. 참고 문헌

1. 김경욱 외. 1999. 가변 원형 베일러의 설계 기술 개발. 연차보고서
2. 박경규 외. 1996. 축산기계 및 시설. 문운당.
3. 전금경. 1999. 최신 전자 부품의 활용 기술. 도서출판 세화
4. 탑시스템. 1998. 8051 프로그래밍 자동화 시스템. 도서출판 두남
5. Bosoi E. S., O. V. Verniaev, I. I. Smirnov and E. G. Sultan-Shakh. 1991. Theory, construction and calculation of agricultural machines. Vol. 2. A. A. Balkema/Rotterdam.
6. Bowers, W. and A. R. Rider. 1974. Hay handling and harvesting. *Agricultural Engineering* 55(8): 12-18.
7. Freeland, R. B. and B. L. Bledsoe. 1988. Energy required to form large round hay bales - Effect of operational procedure and baler chamber type. *Transactions of the ASAE* 31(1): 63-67.
8. Kepner, R. A., R. Bainer and E. L. Barger. 1978. Principles of farm machinery. 3rd edition. AVI Publishing Co. Connecticut. USA.
9. Srivastava, A. K., C. E. Goering and R. P. Rohrbach. 1993. Engineering principles of agricultural machines. ASAE.