

중형 트랙터용 원형베일러 성능평가

장동일¹·정선옥^{1*}·조병관¹·조남홍²

Performance Evaluation of a Round Baler Attachable to Medium Agricultural Tractors

Dong-Il Chang¹·Sun-Ok Chung^{1*}·Byoung-Kwan Cho¹·Nam-Hong Cho²

ABSTRACT

Bale is an operation of collecting livestock feed materials from field crop residue, and mechanization demand on the operation has been increased. Balers imported from foreign countries such as Japan and European countries have been used, but those models showed improper performance in Korean situations. In recent years, a steel-roller type round baler attachable to medium size tractors(40 to 60 HP) for effective bale operation in Korea was developed. This study was conducted to evaluate field performance of the baler. For proper baling operation, engine speed was greater than 1,800rpm, average traction force and PTO torque were about 4kN and in a range of 380~671Nm, and maximum values were about 7kN and 3,000Nm, respectively. Performance evaluation tests for sudan grass, rice straw, and blue barley showed that field capacity was 0.59ha/h for blue barley and 0.99ha/h for sudan grass and rice straw. Bale weight, diameter, width, and bulk density were in ranges of 176.1~418.4kg, 1.07~1.12m, 1.02~1.04m, and 175.3~454.1kg/m³. Noise sound level during the baling operation was 4dB greater than idle operation condition, which was considered to be ignorant.

Key words: Agricultural machinery, Bale, Round baler, Livestock production

1. 서론

FTA 등 국제 자유무역 시장의 확대에 따라 우리나라 축산업은 향후 큰 피해를 볼 수 있다. 축산업의 국내외 경쟁력 강화를 위해서는 축산물 품질향상과 더불어 생산에 소요되는 비용을 절감하는 것이 필수적이며, 축산업에 소요되는 인력, 시간, 에너지 등을 절감할 수 있는 방안은 축산관련 작업의 생력기계화이다.

우리나라에서 보급되는 축산 관련 작업기계는 주로 수입에 의존하고 있으며, 특히 조사료 생산을 위한 주요 기계인 베일러 또한 수입에 의존하고 있다. 우리나라에 주로 수입되고 있는 건조된 목초위주로 개발된 유럽기종의 경우 수분이 다량 함유되어 있는 벼짚, 옥수수, 수단그라스 등 다양한 수분함량과 물성을 가진 우리나라 목초를 대상으로 작업할 경우, 구성요소의 마모 및 변형 등으로 내구성이 저하되고, 과도한 동력소모로 원활한 작업이 되지 못하는 사례가 발생하여 국내 실정에 맞도록 기계강도 및 안정성이 향상되어야 한다. 또한, 수입기종은 대부분 60마력

이상의 대형트랙터용('06년 보유대수 38,759대)이지만 우리나라 농가가 주로 보유하고 있는 기종은 40~60마력의 중형트랙터('06년 보유대수 124,391대)로 축산농가에서 활용하기가 원활하지 않아, 중형 트랙터로 구동 및 작업을 할 수 있는 원형베일러 개발이 필요하다.

베일러 개발은 주로 일본, 유럽, 미국 등 외국에서 수행되었고 절단, 세절, 베일 복합작업기가 개발되었다(Lanning 등, 2007; Lavoie 등, 2008). 우리나라에서도 베일러 각 부 및 통합 시스템에 관한 연구가 진행되었다. 우리나라에서는 무한케도식 자주식형 원형베일러를 개발하였는데(유병기 등, 2007), 엔진 속도 2,200rpm에서 0.74m/s의 속도로 작업이 가능하였으며 작업능률은 5.2ton/h이었다. 김종언과 김경욱(2000)은 가변 원형 베일러의 결속 기구 제어장치를 개발하였으며 베일의 지름이 60-140cm의 범위에서 베일의 끝단 결속을 위하여 2-14초, 중간부분 결속을 위하여 7-25초의 정지시간이 요구되는 결과를 얻었다. 김혁주 등(2002)은 원형 베일 작업 후 랩핑작업을 수행하는 트랙터 견인형 원형 베일 랩퍼를 개발하고 그 성능을 평가하여 작업 능률은 약 0.5ha/h이었고 500kg 원형 베일 1개를 랩핑하는데 평균 3분이 소요되는 것으로 보고하였다.

위에서 언급한 바와 같이, 우리나라에서의 베일작업은 외국제품을 수입하여 수행되고 있는데 주로 80마력급 이상의 대형 트랙터 견인형이고 베일크기가 직경 120cm 정도이다. 그러나 우리나라 농가에서 사용하는 트랙터는 40-60마력급 중형 트랙터이며 120cm 직경의 베일은 축산농가

¹ 충남대학교 농업생명과학대학 바이오시스템기계공학과(Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

² 주식회사 명성(Myungsung Corporation, Pyeongtaek, Korea)

* Corresponding author: 정선옥

Tel.: +82-42-821-6712 Fax: +82-42-823-6246

E-mail: sochung@cnu.ac.kr

2010년 9월 1일 투고

2010년 9월 12일 심사완료

2010년 9월 17일 게재확정

에서 사용하기에 너무 크고 손실이 많이 발생하므로 100cm 정도 직경의 베일에 대한 수요가 증가하는 실정이다. 김중언 등(1999)은 볏짚 베일의 함수비와 밀도가 저장 중 부패정도에 미치는 영향을 고찰하고, 베일이 저장 기간 동안 지속적으로 건조가 진행되어 함수율 45%에서 작업한 베일의 경우 약 100kg/m³의 밀도 감소가 나타났으며, 저장 기간이 길어질수록 곰팡이가 많이 발생한 것을 확인하였다. 따라서 베일을 빨리 소비할 수 있도록 작은 크기를 선호하고 있다. 최근에 이러한 소비자 요구에 맞게 중형 트랙터용 원형 베일러가 국내 기업에 의하여 개발되었다(이인현 등, 2010).

본 논문에서는 개발된 중형 트랙터용 원형 베일러의 성능을 평가하기 위하여 수행되었으며, 베일 작업을 위한 견인 및 PTO 동력, 베일 작업 시 소음 수준, 작업능률을 평가하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 중형 트랙터용 원형 베일러

본 연구에서는 중형 트랙터용으로 개발된 스틸 롤러식 원형 베일러(이인현 등, 2010)를 사용하여 성능을 평가하였다. 원형베일러는 견인부, 픽업부, 커터부, 가압 및 베일 성형부, 결속 및 배출부를 주요 구성요소로 하며 PTO 동

력으로 픽업부, 커터부, 베일성형부를 회전시키며, 유압 동력으로 픽업 및 커터부 상하 위치제어, 배출구 개폐 등을 작동시키는 구조로 개발하였다. 기존에 수입/보급되어 있는 대형 트랙터용 베일러와 국내에서 개발된 중형 트랙터용 베일러의 주요 특징을 비교하면 Table 1과 같다.

개발된 원형베일러의 동력전달 요소로 체인, 벨트, 기어를 사용하였으며 체인은 메인 롤러, 오거부, 픽업구동을 위해 사용하였고, 벨트는 네트부에 사용하였으며, 기어는 프레임, 메인롤러, 오거체인, 픽업체인 등에 사용하였다. PTO 회전으로부터 감속비를 결정하여 픽업부, 커터부, 베일성형부에 요구되는 회전수를 조정하였다. 사용자가 회전부 등에 의해 부상을 입을 수 있는 가능성을 완전히 배제하기 위하여 모든 회전부에 안전 프레임 및 커버를 제작하고, 경고 라벨을 부착하였다. 각부의 위치제어와 네트부, 프레임 부 등의 작동상태 모니터링을 위하여 센서를 장착하고 유압 제어 시스템을 설계하였다. 적용센서 위치는 네트부에 rpm 인식 센서를 장착하여 네트가 베일에 감길 때 회전수를 조절하였고, 네트칼날 작동센서를 사용하였으며, 후방 프레임 개방 인식으로 베일 압력을 유지하도록 하였다. 픽업부, 커터부 등의 상하 위치제어를 위한 유압라인은 시장조사와 부품선정을 통하여 가격과 라인길이를 최소화 하였다. 작동 및 조정 편의성 확보를 위하여 아래와 같이 좌우측 본체 커버 개폐를 레버를 원터치로 당기는 구조로 설

Table 1. Comparison of an imported baler attachable to large-sized tractors with the developed baler attachable to medium-sized tractors.

	Item	Imported large-sized baler	Developed medium-sized baler
Baler	Tractor power (hp)	> 80	40~60
	Operation width (cm)	230	190
	Weight (ton)	about 3	about 2
Bale	Diameter × width (cm)	120×120	100×100
	Weight (kg)	600~700	around 400
	Loss (% , 50 herd of livestock)	35~50	0
	Daily operation area (m ²)	40,000	28,000

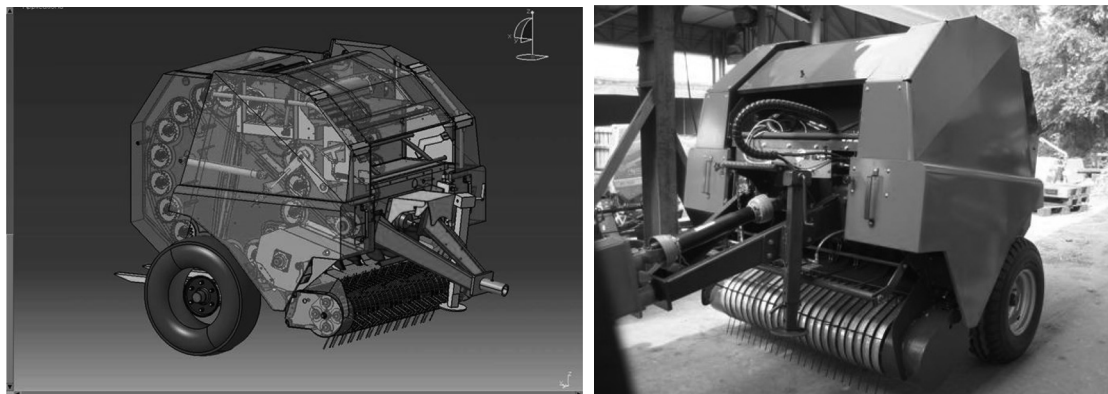


Fig. 1. A 3-D modeling and a fabricated prototype.

계, 제작하였고, 체인 급유, 약품공급, 리모트 콘트롤 장치 등을 설치하고, 베일압력 확인장, 막힘시 조치장치를 설치하였다. Fig. 1에 3차원 모델링 및 제작된 시작품 베일러를 나타내었다.

2. 성능 평가 시험 방법

개발된 원형베일러를 이용한 성능평가는 2가지로 수행되었다. 첫째 시험은 베일작업 시 견인력과 PTO 토크를 평가하였으며, 두 번째 시험은 베일작업 포장능률과 베일작업에 의한 운전자 소음 정도를 평가하였다.

견인력과 PTO 토크 평가 시험은 농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부에서 보유하고 있는 농작업 견인력 및 PTO토크 측정장비를 이용하여 개발한 원형베일러에 대한 작업 시 부하를 측정하였다(박석호 등, 2010). 본 시험에 사용한 트랙터는 정격 엔진회전속도 2,600rpm에서 37.3 kW(LX470C, Daedong, Korea)의 출력을 내며, 연료분사펌프(fuel injection pump)는 보쉬(Bosch)형 플러저방식이고 조속기(governor)는 원심식을 채택하고 있다. 전진 주행속도는 1.47km/h에서 25.28km/h로 12단의 기어단수로 조절하도록 되어있다.

견인력 및 PTO 토크 측정에 사용된 계측장비는 Fig. 2와 같이 주행속도(APS-GMD, Koyo, Korea), 견인력(Strain gages SR-4, Vishay, Korea), PTO 토크(ATI 2040BCF-NC1, Advanced Telemetry System, Ohio, USA)를 측정할 수 있도록 각각의 센서를 트랙터에 설치하였다. 데이터는 데이터 수집장치(e.pac-DL & e.bloxx, Gantner, Germany)를 통해 노트북에 저장되도록 하였으며, 포장 밖에서 전체 실험을 조정하고 데이터를 확인하기 위해 무선전송방식으로 데이터를 노트북에 저장되도록 하였다. 트랙터 연료는 연료공급펌프(fuel pump), 연료필터(fuel filter), 연료분사펌프(fuel injection pump), 분사노즐(fuel injection nozzle)을 통해 공급되며, 분사노즐에서 남은 연료는 연료탱크로 다

시 돌아가도록 되어있다. 본 시험에서는 개발된 원형 베일러 작업 시 견인력과 PTO 토크 데이터를 이용하였다. 시험은 엔진속도 1,500(1회), 1,600(2회), 1,800(2회), 2,000(2회) rpm에서 실시하였으며, 측정 부하는 견인력과 PTO 토크에 대하여 평균, 최대값, 최소값을 구하였다.

포장 능률 평가를 위하여 공시 트랙터로 D사의 50마력급 D500을 사용하였고 베일작업 시 엔진속도는 2,200~2,300rpm범위로 하였다. 우리나라 베일용 작목을 고려하고 다양한 조건에서 시험하고자 2009년 8월 25일, 2009년 11월 12일, 2010년 5월 20일에 수단그라스, 벧짚, 청보리에 대하여 평택 및 익산 일원 농가 포장에서 시험을 실시하였다. 베일 작업은 작물 수확작업 후 베일재료에 대하여 레이크 작업을 실시하여 베일작업폭을 190cm 이내로 하였다. 포장능률 평가를 위하여 농용베일러 시험방법(국립농업과학원, 2008)에 준하여 베일 1개를 만드는데 이동한 거리, 시간, 베일의 무게, 폭, 지름을 측정하였다. 또한, 베일 작업 시 소음수준을 평가하기 위하여 상용 음향측정기(Model: NL-20, RION Corporation LTD, Japan)를 사용하여 10초간 측정한 평균값을 얻었다. 음향측정 위치는 트랙터 운전자 귀에 가까운 곳으로 하였으며(김중선 등, 2006), 청보리 베일 작업 시에는 트랙터 캡을 개방하고 거리별로 측정하여 소음수준을 비교하였다. Fig. 3은 베일작업 및 완성된 베일의 무게 측정모습을 보여주고 있다.

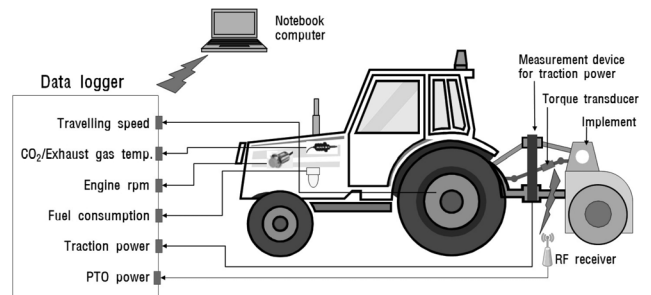


Fig. 2. Schematic diagram of the traction force and PTO torque during the baling operation (박석호 등, 2010).



Fig. 3. Photos of baling operation (left) and weighing (right).

III. 결과 및 고찰

1. 견인력 및 토크 측정 결과

견인력과 토크를 측정한 데이터의 사례를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 견인력과 토크는 지속적으로 변화하고 있으며 이는 트랙터와 베일러가 항상 인장력을 받는 것이 아니고 인장과 압축을 번갈아가며 받고 있으며, PTO 토크 또한 항상 한쪽 방향으로만 작용하지 않음을 알 수 있다.

Table 2는 엔진 회전수별 견인력과 PTO 토크의 평균, 최대값, 최소값을 정리한 것이다. 엔진 회전수 1,500rpm에서는 1회 측정하였고, 나머지는 2회씩 측정한 결과이다. 엔진 회전수가 1,600rpm 수준 이하로 낮을 경우에는 견인력과 PTO 토크는 매우 낮은 것으로 나타났으나 원활한 작업이 이루어지지 않았다. 정상적인 베일 작업을 수행하기 위한 엔진 회전수는 1,800rpm 이상이었으며, 견인력은 평균 4kN 수준이었고 PTO 토크는 380~671Nm 범위로 나타났다. 견인력은 최대 7kN까지 나타났으며 PTO 토크는 약 3,000Nm 수준이었다.

2. 포장 작업성능

포장 베일 작업 성능 결과를 Table 3에 요약하였다. 베일 1개를 성형하기 위한 작업 거리는 48.6~73.6m 범위에 있었으며 청보리가 가장 짧은 거리이었고 벧짚이 가장 큰 거리가 요구되었다. 베일 작업시간은 60.6~80.8초가 소요되었으며 청보리 베일 작업이 가장 시간이 오래 소요되었

다. 베일 작업 후 정지하여 베일을 방출하는 시간은 3가지 작물에서 모두 16초 내외이었다. 포장 능력은 청보리가 0.59ha/h이었으며, 수단그라스와 벧짚은 0.99ha/h로 나타났다.

베일의 평균 무게는 수단 그라스 418.4kg, 청보리 357.4kg, 벧짚 176.1kg이었으며 청보리 베일은 무게 표준편차가 4.6kg 수준이었으나 수단그라스는 34.4kg로 비교적 크게 나타났다. 베일 샘플의 수분함량을 24시간 오븐건조법으로 구한 결과 수단그라스 79.6%, 청보리 66.0%, 벧짚 59.0%이었다. 베일 직경과 폭은 1.02~1.12m 범위에 있었으며 베일 밀도는 175.3~454.1kg/m³이었다. 베일은 랩핑 작업을 통해 폭과 직경이 약간 감소할 것으로 기대되었다. 이는 개발된 원형 베일러의 설계 목표값인 베일 무게 400kg 정도, 베일 폭과 직경 1m를 크게 벗어나지 않는 수준으로 평가되었다.

베일작업 시 소음 수준을 평가한 결과, 공회전 시와 비교하여 베일 성형 작업 및 배출작업 시 소음이 4dB 이상 증가하지 않는 것으로 나타났다. 수단그라스와 벧짚 베일 작업 시에는 트랙터 캡을 개방하지 않고 측정하였는데 소음수준이 87dB 이하이었고, 트랙터 캡을 개방한 청보리 베일 작업 시 소음은 102dB 이하이었다. 베일 작업 수행 중인 트랙터에서 5m 떨어진 위치에서의 소음은 82dB을 넘지 않는 것으로 평가되었다. 이는 베일작업이 운전자가 느끼는 소음수준을 크게 증가시키지 않았음을 알 수 있다. 이러한 결과는 캡이 있는 트랙터 평균 소음이 85dB, 캡이 없는 트랙터 평균 소음이 91dB이라는 김종선 등(2006)의 연구결과와 유사하였다.

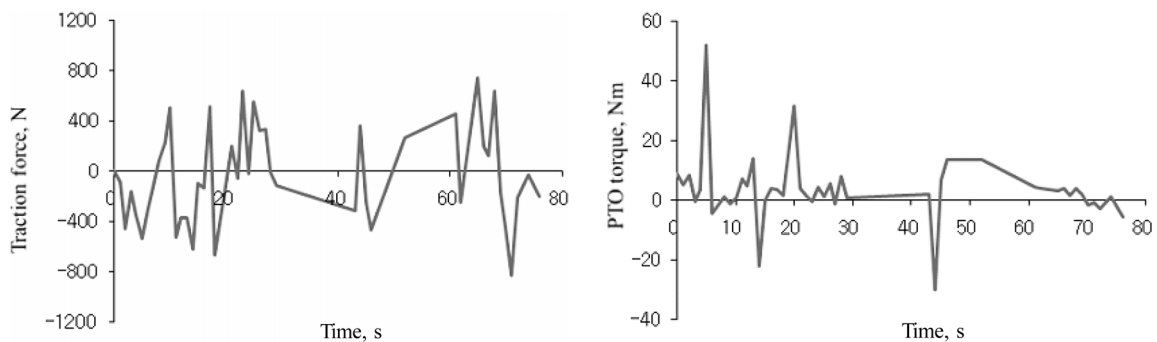


Fig. 4. Examples of traction force (top) and PTO torque (bottom) measurements (engine speed: 1,500 rpm).

Table 2. Average, minimum, and maximum values of the measured traction force and PTO torque at different engine speeds.

	Engine speed setting, rpm			
	1500	1600	1800	2000
Averaged traction force, N	-44 (743, -829)	-136 (2335, -2855)	-4294 (-6961, 1594)	-3964 (-6687, -72)
(Maximum, minimum)		-4163 (-719, -5454)	-4061 (-5195, 1202)	2582 (-5611, 9348)
Averaged PTO torque, Nm	3.6 (52, -30)	0.3 (113, -129)	569 (-1493, 2945)	380 (-1291, 2051)
(Maximum, minimum)		-6.5 (-494, 279)	671 (-828, 4170)	21 (-171, 257)

Table 3. Summary of field performance evaluation (n = 7~13).

	Sudan grass		Rice straw		Blue barley	
	Mean	STD	Mean	STD	Mean	STD
Distance/bale, m	65.3	19.2	73.6	9.8	48.6	11.9
Baling time/bale, s	60.6	34.5	69.1	16.8	80.8	20.5
Discharging time/bale, s	15	0	16.3	2.9	16.0	6.5
Field capacity, ha/h	0.99	0.21	0.99	0.15	0.59	0.13
Bale weight, kg	418.4	34.4	176.1	22.6	357.4	4.6
Bale water content, %	79.6		59.0		66.0	
Bale width, m	1.03	0.02	1.02	0.02	1.04	0.01
Bale diameter, m	1.07	0.03	1.12	0.05	1.08	0.03
Bale density, kg/m ³	454.1	53.3	175.3	20.2	381.2	17.6
Sound level when idling, dB	83		83		97, 77, 77*	
Sound level when PTO engaged, dB	84		85		102, 88, 81	
Sound level during baling, dB	85		86		98, 90, 82	
Sound level during discharging, dB	87		86		100, 91, 81	

* Indicates the measurements were obtained at 0, 1, 5 m away from the tractor, respectively. Note that sound levels were measured with the tractor cap open for blue barley.

IV. 결론

우리나라에서의 베일작업은 외국에서 수입되고 있는 대형트랙터 부착형(80마력급 이상) 베일러로 수행하고 있다. 최근 우리나라 농가에서 주로 보유하고 있는 40-60마력급 중형 트랙터로 작업할 수 있고 베일 크기를 직경과 폭이 1 m 정도로 생산하여 베일 손실 감소를 목적으로 중형트랙터용 원형베일러가 개발되었다(이인현 등, 2010). 본 연구는 개발된 중형트랙터용 원형베일러의 작업성능을 평가하고자 수행되었으며 주요 결과는 아래와 같다.

1. 견인력 및 토크 측정 결과, 정상적인 베일 작업을 수행하기 위한 엔진 회전수는 1,800rpm 이상이었으며, 견인력은 평균 4kN 수준이었고 PTO 토크는 380~671Nm 범위로 나타났다. 견인력은 최대 7kN까지 나타났으며 PTO 토크는 약 3,000Nm 수준이었다.

2. 수단그라스, 벧짚, 청보리에 대하여 포장 작업 성능을 평가한 결과, 베일 1개를 성형하기 위한 작업 거리는 48.6~73.6m 범위에 있었고, 베일 작업시간은 60.6~80.8초, 베일 작업 후 정지하여 베일을 방출하는 시간은 3가지 작물에서 모두 16초 내외이었으며, 포장 능률은 청보리가 0.59 ha/h이었으며, 수단그라스와 벧짚은 0.99ha/h로 나타났다.

3. 베일의 평균 무게는 수단 그라스 418.4kg, 청보리 357.4 kg, 벧짚 176.1kg이었으며, 베일직경과 폭은 1.02~1.12m 범위에 있었으며, 베일 밀도는 175.3~454.1kg/m³로 나타나, 설계 목표값인 베일 무게 400kg 정도, 베일 폭과 직경 1m를 크게 벗어나지 않는 수준으로 평가되었다.

4. 베일작업 시 소음 수준을 평가한 결과, 공회전 시와 비교하여 베일 성형 작업 및 배출작업 시 소음이 4dB 이

상 증가하지 않는 것으로 나타났다. 수단그라스와 벧짚 베일 작업 시에는 트랙터 캡을 개방하지 않고 측정하였는데 소음수준이 87dB 이하이었고, 트랙터 캡을 개방한 청보리 베일 작업 시 소음은 102dB 이하이었다.

이 논문은 2008년도 충남대학교 학술연구비의 지원에 의하여 연구되었음

참고문헌

1. 국립농업과학원. 2008. 농용베일러 시험방법(NAMRI T 8010). 국립농업과학원, 수원.
2. 김종선, 김기택, 박준걸. 2006. 농용트랙터 운전자소음에 관한 연구. 2005 농업공학 시험연구 보고서. 농촌진흥청 농업공학연구소, 수원.
3. 김종언, 김경욱. 2000. 가변 원형 베일러의 결속 기구 제어 장치 개발. 한국농업기계학회지 25(5): 341-350.
4. 김종언, 박홍제, 김경욱. 1999. 벧짚 베일의 함수비와 밀도가 저장 중 부패정도에 미치는 영향. 한국농업기계학회 1999년 하계 학술대회 논문집 4(2): 221-227.
5. 김혁주, 박경규, 명병수, 최중섭, 김태욱, 장철, 홍동혁. 2002. 트랙터 견인형 원형 베일 램퍼의 개발(II) - 시작기의 제작 및 성능 평가 -. 한국농업기계학회지 27(3): 195-202.
6. 박석호, 김영중, 임동혁, 김충길, 정상철, 김혁주, 이종순, 김성수. 2010. 트랙터 PTO 출력과 농작업 부하 특성. 바이오시스템공학 35(1): 15-20.
7. 유명기, 최광재, 오권영, 노진상. 2007. 자주식 원형베일

- 러 개발. 한국농업기계 2007 동계 학술대회 논문집 12(1): 19-23.
8. 이인현, 조남홍, 김대연, 최효상, 장동일, 정선옥, 조병관, 조기현. 2010. 중형 트랙터용 원형베일러 설계 및 제작. 한국농업기계학회 2010년 동계 학술대회 논문집 15(1): 144-147.
9. Lanning, D., J. Dooley, M. DeTray, C. Lanning, 2007. Engineering factors for biomass baler design. ASABE Paper No. 078047. ASABE, St. Joseph, MI, USA.
10. Lavoie, F., P. Savoie, L. D'Amours, H. Joannis. 2008. Development and field performance of a willow cutter-shredder-baler. Applied Engineerign in Agriculture 24(2): 165-172.