바이오시스템공학 (*J. of Biosystems Eng.*)
Vol. 34, No. 4, pp. 228~233 (2009. 8)

원형베일 조사료용 트랙터 견인형 세절·급여기 개발(II)
-이용실태 및 경제성 분석-

하유신 홍동혁 박경규

Development of a Tractor Attached Roughage Cut-feeder for Round Bale(II)
-Recent Trend of Traditional Cutting System and Feasibility Study-

Y. S. Ha D. H. Hong K. K. Park

Abstract

In order to cut the round bale easily, a roughage cut-feeder for the round bale was developed in this study. This study consists of two parts. One is development of a cutting mechanism and a performance test reported in the previous paper. This is the second part of the study. For the study, recent trend of traditional cutting system was analyzed. Also, cost of the prototype cut-feeder was analyzed and determine the break-even point of farm size was determined by comparing with traditional method using a traditional cutter.

A prototype cut-feeder was investigated with the fact that working performance, fiber length and shape of roughage and feeding quality was good. Operating cost of the prototype cut-feeder decreased rapidly with an increase of farm size. Break-even point in terms of farm size was 36 heads for beef and 28 heads for dairy. Also, costs estimated were 118,000 won/head·year and 148,000 won/head·year, respectively.

Keywords : Break-even point, Cost analysis, Round bale, Cut-feeder, Recent progress and trend

1. 서 론

본 연구는 300~500 kg 정도의 무거운 원형베일을 한 번의 작업으로 세절·급여 기능을 할 수 있는 원형베일 조사료용 트랙터 견인형 세절·급여기의 개발에 관한 것이다. 본 연구의 제1보(Hong et al., 2007)에서는 원활한 세절작용을 위한 세절메카니즘 및 세절부 부품 등을 개발하였으며, 시작기의 세절성능 및 소요동력과 작업성능의 시험에 관하여 보고한 바 있다.

그런데, 개발된 시작기가 실제로 국내의 낙농 및 한우 농가에 보급되었을 때 국내의 사료현실에 부합하며 경제성이 있는가 하는 문제는 매우 중요한 요소이다. 또한, 시작기 뿐만 아니라 국내에 보급된 타 기종의 세절·급여기의 이용실태를 조사하여 세절·급여시에 발생되는 여러 문제점을 분석하는 것도 중요하다.

현재 국내에 보급된 원형베일 세절급여기(Trioliet, 1984; Gemelli, 1985; Lucas and Retaillaud, 2001; Park, 2003a)는 부드러운 목초 등을 세절하는 외국기계를 개량한 것으로, Yu 등(2002)은 볏짚을 사용하여야 할 국내의 조사료 여건에는 맞지 않는 것으로 보고하였다. 또한, Yu 등(2002)은 볏짚원형베일쵸퍼를 개발하였으며 비육우 50두 규모에서 관행 볏짚절단기에 비하여 노력과 작업비용이 절감되는 것으로 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 개발된 세절·급여기의 효율적인 이용을 위한 기초자료를 수집하고, 개발된 시작기를 개별농가에 공급했을 경우와 관행의 사료절단기에 의해 원형베일을 세절할 경우의 이용비용을 비교 분석하여 개발된 시작기가

This study was supported financially by the Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication on 2009-01-29, reviewed on 2009-06-03, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-07-16. The authors are Yu Shin Ha, KSAM member, Graduate Student, Dong Hyuck Hong, KSAM member, Graduate Student, and Kyung Kyoo Park, KSAM member, Professor, Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University. Corresponding author: K. K. Park, Professor, Dept. of Bio-industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea; E-mail: <kkpark@knu.ac.kr>.

우리나라 축산농가에 적용할 수 있는지에 대한 가능성 여부를 제시하고자 하였다.

2. 연구의 방법

가. 이용실태조사

원형베일 조사료용 세절기의 사용실태를 조사하기 위하여 정읍(3개소), 김제, 익산, 보성, 공주, 경주(2개소), 평택에 소재한 한우 및 젖소 사육농가와 상업용 TMR 플랜트를 대상으로 하였다.

조사내용으로는 보유한 원형베일 조사료용 세절기의 세절방식, 구동방식, 세절특성, 작업성능, 작업특성, 급여특성 등의 항목을 조사하였다. 이 중 결함이 있어 사용되지 않는 기종은 제외하였다.

나. 이용비용 분석

본 연구의 경제성 분석에서는 그림 1의 관행 사료절단기인 농용잔가지파쇄기(DDK-700, Daedongtech, Korea)를 사용하는 시스템과 그림 2의 개발된 시작기를 사용하여 세절하는 형태의 2가지 시스템에 대하여 비교 분석하였다. 개발된 시작기의 이용에 소요되는 비용은 고정비와 변동비로 구분하였으며, 이때 40 kW급 트랙터(LX-60, Daedong Co., Ltd, Korea)는 이미 보유하고 있는 것을 이용하는 것으로 가정하였다.

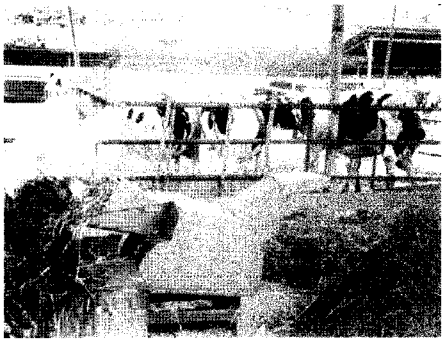

Fig. 1 Traditional cutter.

Fig. 2 Prototype cut-feeder.

1) 고정비

기계 이용시의 고정비용은 감가상각비, 수리비, 이자, 차고비, 전력비(기본요금) 등의 합으로 계산되며, 작업에 이용된 기계의 가격은 농업기계가격집과 기계제작회사에 의뢰하여 조사하였으며, 사료절단기는 2.2 kW급으로 하였다(KAMICO, 2008).

시작기의 내구연수는 현재 분류된 자료가 없어 문헌을 참고하여 조사료 수확용 작업기 수준인 10년으로(Kim et al., 2003), 사료절단기도 10년으로 적용하였다(RDA, 2008). 또한 기계의 폐기가격은 각각 구입 가격의 5%로 결정하였다(MAF, 2008).

시작기와 사료절단기의 경우 수리비 계수는 문헌을 참조하였는데(Park, 2008), 소요되는 부속품과 작동시 부하변동이 큰 경우이므로 기계구입가의 연간 6.3%를 적용하였다.

이자는 농림부의 농기계구입지원사업지침에서 기계 구입가의 융자분에 대해서는 연리 4%를 적용하고(MAF, 2008), 자부담에 대해서는 농업인 대출금리 3%를 적용한 다음, 변동금리를 감안하여 일괄적으로 기계 구입가의 4%를 적용하였다.

차고비는 기계 구입가의 1%로 하였으며(Park, 2008), 이상에서 언급한 내용을 기준으로 고정비 계수를 산출하고 해당 기계의 구입가를 조사하여 표 1에 나타내었다.

Table 1 Purchasing price of machine and coefficients fixed costs

Item		Cut-feeder (prototype)	Cutter (traditional)
Purchasing price (1,000 won)		15,000	1,320
Coefficients fixed costs	Depreciation	0.095	0.095
	Repair	0.063	0.063
	Interest	0.040	0.040
	Warehouse	0.010	0.010
	Total	0.208	0.208

2) 변동비

시작기 및 사료절단기 이용시의 변동비용은 다음의 식 (1)으로 산출하였다.

$$VC = H \times (F + O + L + E + T) \quad (1)$$

Traditional cutter	Fixed costs		299	299	299
	Variable cost	Labor	1,091	5,454	10,909
		Electric (used)	11	57	114
		Sub total	1,102	5,511	11,022
	Total		1,401	5,810	11,321
	Total (won/head·year)		140	116	113

Where; VC : Variable cost (won/year)
H : Machinery utilization time per year (h/year)
F : Fuel used cost per hour (won/h)
O : Lubrications used cost per hour (won/h)
L : Wages per hour (won/h)
E : Electricity used cost per hour (won/h)
T : Cost of using tractor per hour (won/h)

시작기 및 사료절단기의 년간이용시간의 산출은 젖소의 경우 착유우, 한우의 경우 비육우의 사료급여량을 기준으로 하였으며, 조사료는 청예류, 볏짚, 건초의 급여량만을 계산하였다(NAQS, 2008).

또한, 원형베일의 중량은 청예류의 경우 500kg으로, 볏짚과 건초는 300kg으로 적용하였으며, 1개의 원형베일을 세절하는 소요되는 작업시간은 시작기의 경우 10분, 관행의 사료절단기는 2시간으로 조사되었다(Park, 2003b; Park, 2006).

실제로 시작기는 투입→세절→배출→급여의 순서로 이루어지는데 반하여, 관행의 사료절단기의 경우는 급여과정이 제외되어 있어 급여시 소요되는 시간을 계산해주어야 하나 배출과정까지만 국한시켰다. 이를 기준으로 축종별, 사육두수별 시작기 및 사료절단기의 예상사용시간을 계산하여 표 2에 나타내었다.

Table 2 Working hours in a day for forage cutting

Farm size(Feeding heads)		10	50	100
Beef cattle	Feeding forage (kg/day)	49.44	247.22	494.45
	Ptototype cut-feeder (h/day)	0.032	0.162	0.325
	Traditional cutter (h/day)	0.389	1.947	3.895
Dairy cattle	Feeding forage (kg/day)	62.28	311.40	622.80
	Ptototype cut-feeder (h/day)	0.041	0.204	0.408
	Traditional cutter (h/day)	0.489	2.445	4.890

연료비는 사용된 트랙터의 시험성적서를 기준으로 PTO 표준회전속도 540 rpm일 때 출력 38.7 kW, 연료소모량 284 g/kWh, 면세유 가격 668 원/L (MIFAFF, 2008)을 적용하였다. 작업시 소요되는 윤활유 비용은 연료비의 15%를 적용하였다(Park, 2008).

사료절단기의 운전에 소요되는 전력비는 농업용 병을 기준으로 기본료 1,070원/kW·월 과 사용료 36.4원/kWh의 합으로 계산되는데 편의상 기본료는 고정비로, 사용료는 변동비로 분류하여 산출을 하였다(MAF, 2008).

시간당 노임은 농촌 노동임금 전국평균치인 성인 남자 1인의 경우 7,674 원/h로 하였다(MIFAFF, 2008).

트랙터 사용 시의 시간당 이용비용은 기계의 구입가×고정비 계수에 연간 트랙터 총 사용시간을 나눈 값으로 정의하였으며, 트랙터 총 사용시간은 세절기의 세절시간과 세절 이외의 작업시간을 합한 것으로서 원형베일 세절 이외의 작업시간은 수도작 평균사용시간 500 시간으로 하였다(Park, 2008). 따라서 트랙터의 고정비 계수는 앞에서 기술한 바와 같이 계산하여 트랙터의 구입가와 함께 표 3에 나타내었다.

Table 3 Purchasing price of tractor and coefficients fixed costs

Price (1,000won)	Coefficients fixed costs				
	Depreciation	Repair	Interest	Warehouse	Total
28,790	0.119	0.063	0.040	0.010	0.232

3. 결과 및 고찰

가. 이용실태분석

1) 세절방식

세절형태는 대부분이 작두의 원리를 이용한 방식으로 조사되었다. 작두식은 유압으로 작두형 날을 구동시켜 원형베일을 세절하는데 원형베일을 원주방향 세절하는 것과 길이방향으로 세절하는 것, 원형베일을 풀어서 세절하는 방식으로 나눌 수 있으며, 시작기와 같이 원형베일을 고정날과 회전날 사이에서 잘게 세절하는 회전식과 세절기를 이용하지 않고 TMR 배합기 축에 원형칼날을 부착하여 TMR 배합기에서 원형베일을 통째로 세절하는 방식도 조사되었다. 표 4에 세절방식에 따른 특성들을 요약하였다.

Table 4 Properties of various type cutter

Items	Chopper type	Rotary blade type	TMR mixer type
Power (kW)	19~26	37	37
Roughage length (cm)	10~40	5~20	10~30
Performance (min/bale)	5~8	10	15~25

2) 구동방식

세절기의 주동력원은 대부분이 트랙터견인형으로 나타났으며, 트랙터 착탈의 불편함을 해소하기 위하여 중고콤바인을 개조하여 세절기를 부착한 콤바인부착형과 주로 상업용 TMR 배합소에서 이용되고 있는 전기구동형으로 분류되었다. 세절기의 소요동력은 작두식은 19~26 kW, 회전식과 TMR 배합기 이용방식은 37 kW로 나타났다.

3) 세절특성

원형베일 작업시 조사료를 픽업드럼으로 걷어올려 쵐버로 투입할 때 항상 같은 방향으로 베일링이 되지 않기 때문에 작두식의 경우는 세절방향과 베일의 감김방향이 일치하면 세절이 되지 않는다. 또한, 잘려진 부분은 날카롭게 되었고, 조사료의 길이는 10~40 cm로 나타났다. 회전식은 특히 볏짚을 세절하였을 경우 흙먼지 발생이 많고, 세절 후 조사료의 부피가 매우 커졌다. 또한, 세절된 조사료는 부드럽게 연화되었으며, 길이는 5~20 cm로 나타났다. TMR 배합기 이용방식은 조사료의 세절형태는 작두식과 회전식의 중간이며, 길이는 10~30 cm로 나타났다.

4) 작업성능

세절기의 작업성능은 원형베일의 원료 종류와 수분함량에 따라 많은 차이를 나타내는데, 특히 수분함량이 높을수록 작업성능이 떨어지고, 청예류와 같은 조사료는 세절이 용이하나, 볏짚은 작업성능이 매우 떨어지는 것으로 나타났다. 평균적으로 작두식의 경우 5~8 min으로 가장 양호하였으며, 회전식은 10 min, TMR 배합기 이용방식은 15~25 min 정도면 1개의 베일을 세절할 수 있는 것으로 나타났다.

5) 작업특성

원형베일 생산작업시 레이크 봉 또는 돌 등이 혼입될 수 있고 이는 세절기에 투입시 기계에 큰 손상을 줄 우려가 많은 것으로 나타났다. TMR 배합기 이용방식은 세절날의 잦은 마모와 교체로 불편하고 세절날의 파손으로 쇳조각을 선별해야하므로 전용 세절기의 이용이 바람직한 것으로 나타났다.

6) 급여특성

논바닥에 깔려있는 볏짚 등을 원형베일러로 수거하기 때문에 상당량의 흙과 이물질이 혼입되는데, 이는 급여시 소의 위점막 융털 사이에 흙먼지의 침적으로 반추위의 역할을 저하시켜 대사성 질병 발생 및 생산성 저하 등을 일으킬 수 있다. 따라서, 작두식은 베일속에 혼입된 흙덩어리 등 이물질이 그대로 급여될 문제가 있으나, 회전식은 배출되는 흙먼지를 잘 분리하면 품질이 좋을 것으로 나타났다.

회전식의 경우 보리는 알곡의 탈립이 문제로 나타났으며, 줄기가 굵고 단단한 수단그라스는 연화작용이 있는 회전식이 급여에 유리한 것으로 나타났다.

따라서, 개발된 시작기는 타 세절기와 이용실태를 비교한 결과 작업성능 10 min/bale, 세절길이는 5~20 cm로 나타났으며, 원형베일 세절특성은 흙먼지를 분리할 수 있고 부드럽게 연화되는 것으로 조사되었다.

또한, 세절·급여기의 이용효율을 높이기 위해서는 사용 조사료의 특성, 급여방법 등을 감안하여 적절한 세절방식과 구동방식을 선택하고, 원형베일의 적절한 수분함량과 이물질 혼입의 최소화에 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

나. 이용비용 분석

이상에서 언급한 내용을 토대로 시작기와 사료절단기를 이용하였을 경우에 축종별 사육두수에 따른 이용비용을 계산하여 그 결과를 표에 나타내었다. 표 5는 한우의 경우이며 표 6은 젖소의 경우를 나타내었다.

표 5에서 시작기의 연간 고정비는 3,075 천원/년으로 나타났으며, 고정비와 변동비를 합한 연간 이용비용은 10두 사육규모시 342 천원/두·년, 50두 사육규모는 95 천원/두·년, 100두 사육규모는 63 천원/두·년으로 나타났다. 관행의 사료절단기의 연간 고정비는 299 천원/년으로 나타났으며, 고정비와 변동비를 합한 연간 이용비용은 10두 사육규모시 140 천원/두·년, 50두 사육규모는 116 천원/두·년, 100두 사육규모는 113 천원/두·년으로 나타났다.

Table 5 Operating costs for beef cattle in the prototype cut-feeder and traditional cutter (Unit: 1,000won/year)

Farm size (Feeding heads)			10	50	100
Ptototype cut-feeder	Fixed costs		3,075	3,075	3,075
	Variable cost	Labor	91	455	909
		Fuel	116	580	1,160
		Lubrication	17	87	174
		Tractor use	118	540	977
		Sub total	342	1662	3,220
	Total		3,417	4,737	6,295
	Total (won/head·year)		342	95	63
Traditional cutter	Fixed costs		299	299	299
	Variable cost	Labor	1,091	5,454	10,909
		Electric (used)	11	57	114
		Sub total	1,102	5,511	11,022
	Total		1,401	5,810	11,321
	Total (won/head·year)		140	116	113

표 6에서 시작기의 연간 고정비는 3,075 천원/년으로 나타났으며, 고정비와 변동비를 합한 연간 이용비용은 10두 사육규모시 347 천원/두·년, 50두 사육규모는 100 천원/두·년, 100두 사육규모는 68 천원/두·년으로 나타났다. 관행의 사료절단기의 연간 고정비는 299 천원/년으로 나타났으며, 고정비와 변동비를 합한 연간 이용비용은 10두 사육규모시 168 천원/두·년, 50두 사육규모는 144 천원/두·년, 100두 사육규모는 141 천원/두·년으로 나타났다.

또한 사육규모에 따른 연간이용비용을 회귀분석을 통해 추정하여 그림 1과 2, 식 2와 3, 4, 5에 나타내었다.

Table 6 Operating costs for dairy cattle in the prototype cut-feeder and traditional cutter (Unit: 1,000won/year)

Farm size (Feeding heads)			10	50	100
Ptototype cut-feeder	Fixed costs		3,075	3,075	3,075
	Variable cost	Labor	114	571	1,141
		Fuel	146	728	1,456
		Lubrication	22	109	218
		Tractor use	117	526	932
		Sub total	399	1,934	3,748
	Total		3,474	5,009	6,823
	Total (won/head·year)		347	100	68
Traditional cutter	Fixed costs		299	299	299
	Variable cost	Labor	1,370	6,649	13,698
		Electric (used)	14	72	143
		Sub total	1,384	6,921	13,842
	Total		1,683	7,220	14,140
	Total (won/head·year)		168	144	141

$$y_1 = 32{,}100 + 3.08 \times 10^6 / x_1 \quad (2)$$

$$y_2 = 110{,}200 + 2.99 \times 10^5 / x_2 \quad (3)$$

$$y_3 = 37{,}420 + 3.08 \times 10^6 / x_1 \quad (4)$$

$$y_4 = 138{,}400 + 2.99 \times 10^5 / x_2 \quad (5)$$

Where; x_1 : Feeding heads for beef cattle (head)
x_2 : Feeding heads for dairy cattle (head)
y_1 : Operating costs for beef cattle in the prototype cut-feeder (won)
y_2 : Operating costs for beef cattle in the traditional cutter (won)
y_3 : Operating costs for dairy cattle in the prototype cut-feeder (won)
y_4 : Operating costs for dairy cattle in the traditional cutter (won)

그림 1과 2에서 관행의 사료절단기 이용비용은 사육두수가 증가함에 따라 조금씩 감소하는 추세이나 감소세는 10두 경영규모에서 거의 완만한 직선형태로 나타내고 있으며, 시작기의 경우에는 사육두수가 증가함에 따라 이용비용은 급격히 감소를 하고 있으며 약 40두 경영규모에 이르면 감소세가 완만하게 되는 경향이 있는 것으로 나타났다.

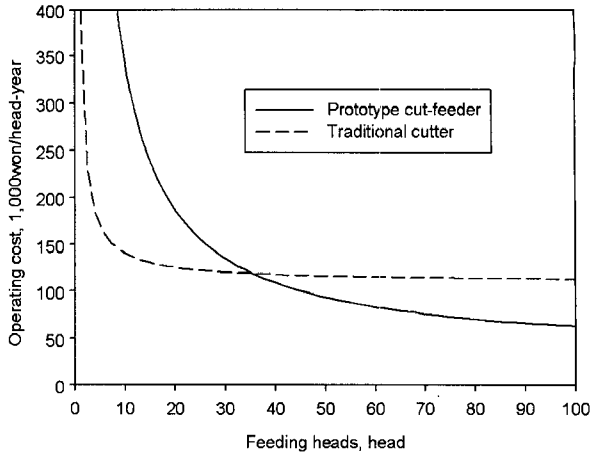

Fig. 3 Operating costs for beef cattle.

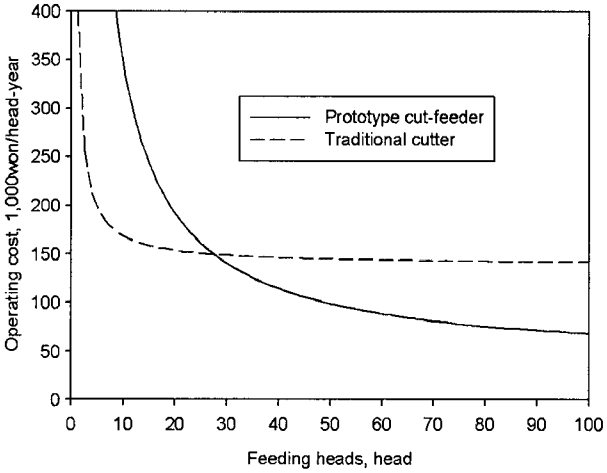

Fig. 4 Operating costs for dairy cattle.

그리고, 사육규모가 증가함에 따라 관행의 사료절단기에 비하여 시작기의 이용비용이 적게 드는 것으로 나타나고 있는데, 한우의 경우 사육규모 36두 전후로 118 천원/두·년으로 비슷하게 나타나고 있으며, 젖소의 경우는 28두 전후로 148 천원/두·년으로 나타났다. 따라서 한우는 36두 이상의 규모에서, 젖소는 28두 이상의 규모에서 관행의 사료절단기보다 시작기가 보다 유리한 것으로 판단된다. 또한, 대규모 농가가 아니더라도 중소 규모인 경우에는 여러 농가가 공동으로 사용하는 경우에 이용비용의 절감효과는 더욱 클 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 개발된 원형베일 세절·급여기의 효율적인 이용을 위한 이용실태와 경제성을 검증한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 세절방식은 원형베일을 원주방향으로 세절하는 것과 길이방향으로 세절하는 것, 원형베일을 풀어서 세절하

는 작두식과 시작기와 같이 고정날과 회전날 사이에서 잘게 세절하는 회전식, TMR 배합기 축에 원형칼날을 부착하여 TMR 배합기에서 세절하는 방식으로 조사되었다.

(2) 개발된 시작기는 타 세절기와 이용실태를 비교한 결과 작업성능 10 min/bale, 세절길이는 5~20 cm로 나타났으며, 원형베일 세절특성은 흙먼지를 분리할 수 있고 부드럽게 연화되는 것으로 조사되었다.

(3) 시작기를 관행 사료절단기와 비교 분석한 결과 한우의 경우 사육두수가 36두 이상 규모에서, 젖소는 28두 이상 규모에서 경제성이 있는 것으로 나타났다.

(4) 한우의 경우 사육두수 36두에서 이용비용은 118 천원/두·년, 젖소의 경우 사육두수 28두에서 148 천원/두·년으로 나타났다.

따라서 본 연구에서 개발된 원형베일 세절·급여기는 우리나라의 축산농가에 적용 가능한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Gemelli, B. 1985. An Agricultural Machine for Loading, Transporting, Chopping and Dispensing to the Fodder Box Fodder Picked up in Roll Bales. Europe Patent Publication number 0147670 A2.
2. Hong, D. H., K. K. Park, Y. S. Ha, H. J. Kim, J. K. Kwon and T. W. Kim. 2007. Development of a tractor attached roughage cut-feeder for round bale (I) - Development of a cutting mechanism and a performance test -. Journal of Biosystems Engineering 32(5):292-300. (In Korean)
3. KAMICO. 2008. Agricultural Machinery in Korea. Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative, Seoul, Republic of Korea.
4. Kim, H. J., K. K. Park, T. H. Kim and Y. M. Koo. 2003. Development of mechanized system model for the production of winter cereal wrap silage in the fallow paddy field(2) - Cost analysis of mechanized wrap silge production -. Journal of Biosystems Engineering 28(3):199-208. (In Korean)
5. Lucas, G. and J. Retaillaud. 2001. Device for Bale Grouping and Shredding of Fodder and Baled Products. Patent Cooperation Treaty 01/47345 A1.
6. MAF. 2008. A Guide Book for Agriculture and Forestry- Vol. 4:Livestock. Ministry for Agriculture and Forestry, Gwacheon, Republic of Korea.
7. MIFAFF. 2008. Food, Agriculture, Forestry and Fisheries Statistical Yearbook. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Republic of Korea.
8. NAQS. 2008. Livestock Production Cost 2008. National Agricultural Products Quality Management Service, Anyang, Republic of Korea.
9. Park, J. B. 2003a. The Rice-straw Cutter. Korean Patent Publication number 20-0318685.
10. Park, J. G. 2008. Bio-production Machinery Engineering. CIR, Seoul, Republic of Korea.
11. Park, K. K. 2003b. Development of Tractor Attached Round Baled Roughage Cutter-feeder. Final report of the research project, Ministry Agriculture & Foresty, Gwacheon, Republic of Korea. (In Korean)
12. Park, K. K. 2006. Modeling of Integrated Farm Size TMR Plant for Both Dairy and Beef Cattle. Final report of the research project, Ministry Agriculture & Foresty, Gwacheon, Republic of Korea. (In Korean)
13. RDA. 2008. Information Resources for Economic Analysis on Research. Rural Development Administration, Suwon, Republic of Korea.
14. Triolliet, M. 1984. Silage Cutter and Conventional Agricultural Implement with such Silage Cutter. Europe Patent Publication number 0102437 A1.
15. Yu, B. K., K. Y. Oh, G. J. Choi, S. H. Lee and K. H. Lee. 2002. Development of chopper for rice-straw round bale. Proceedings of the KSAM 2002 winter conference 7(1): 248-253. (In Korean)