

콤바인 예취날의 형상이 벼짚절단저항에 미치는 영향

최우영 · 김태한

경북대학교 농업생명과학대학 생물산업기계공학과

An effect of the shape of cutting blade on cutting resistance of rice stalk

Woo-Young Choi, Tae-Han Kim

*Department of Bio-industrial Machinery Engineering
College of Agriculture and Life sciences, Kyungpook National University
Daegu, 702-701, Korea*

Abstract

This study is performed in order to provide the basic information needed for the development of cutting blade for combine. By comparing the developed cutting blade of which were made groove of the surface with the common cutting blade. Friction force and cutting resistance by the cutter bar speed ratio and moisture content of rice stalk were shown as follows:

1. The friction force of the developed cutting blade is shown at the average value $0.12\text{kg} \cdot \text{m}$ as 25% lower than one of the common blade at the average value $0.16\text{kg} \cdot \text{m}$.
2. The cutting resistance of the developed cutting blade is shown as respectively 12%, 15% and 20% lower than one of the common blade at the moisture content of rice stalk of 14.2%, 55.3% and 84.2%.
3. The cutting resistance of cutting blade by two different driving types is shown that the one by double driving type is $0.2\text{kg} \cdot \text{m}$, and the one by single driving type is $0.24\text{kg} \cdot \text{m}$.
4. Optimum cutter bar speed ratio of cutting blade is shown as different according to the moisture content of rice stalk.

Key words : combine, cutting blade, cutting resistance, cutter bar speed ratio

서 언

최근 국내 농업은 대규모 기계화 영농으로 변화되면서 농업기계의 사용이 증가하고 있는 실정이고 또한 농기계 사용의 증가에 따라 자연히 농업기계의 부품 공급도 함께 증가하고 있다. 1999년도 한 해 동안 공급한 농기계부품의 총수는 231,788종(1,281억 6,200만원)이고 기종별로 보면 콤파인 부품이 총 46,273종으로서 20%를 차지하고 있으므로 제품의 판매시장은 크다고 볼 수 있다.(류관희, 1994) 또한 국내의 주요 농기계의 부품 수입실적은 트랙터 부품이 1,900만\$(39.4%), 이앙기 부품이 580만\$(11.9%), 콤파인 부품이 2,380만\$(48.7%)으로, 콤파인의 부품 수입비용이 3개 기종 부품 수입비용의 거의 절반을 차지하고 있어 다른 기종에 비해 국산화 기술이 저조한 실정이다.(김경욱 외, 2000) 한편 우리나라 농기계 제조업의 기술수준은 선진국에 비해 뒤떨어져 있는 것이 현실이다.(강정일, 1991) 그러므로 콤파인 부품의 국산화와 제조 기술개발이 요구된다.

현재 사용되고 있는 국산 콤파인 예취날은 탄소공구강(SK5)을 가공한 후 고주파 표면 경화 열처리에 의해 제조하고 있으므로 사용 중 쉽게 변형이 발생하여 절단이 잘 되지 않는 문제점이 있어, 일본산 예취날을 고가에 수입하여 사용하는 량이 점차 증가하고 있는 실정이다.

본 연구의 목적은 콤파인 예취날의 모양, 경사각, 절단각 등 날의 구조와 절단속도비, 윗날과 아랫날의 작동형식, 벼 줄기의 함수율 등을 인자로 벼줄기의 절단저항을 측정하여 성능이 우수한 예취날을 개발하는데 필요한 기초자료를 제공하는데 있다.

재료 및 방법

1. 실험장치 및 공시재료

실험장치는 예취날, 모터, 토크변환기 등으로 구성되어진 예취부와 벼이송장치, 동력전달장치로 구성된다. 구동장치로서는 3상유도전동기와 인버터를 조합하여 회전수의 변화와 정회전, 역회전이 가능토록 하였으며, 동력은 전동기로부터 예취날의 구동을 위한 크랭크기구부로 전달되게 하였다. 그리고 예취날의 구동 마찰저항과, 벼의 예취시 발생하는 절단저항을 TP-20KMCB 토크변환기를 이용하여 측정하도록 구성하였다. 콤파인 예취날의 절단 저항에 영향을 미치는 인자는 예취날의 모양, 경사각, 절단각, 절단속도비, 윗날과 아랫날의 작동형식, 벼 줄기의 함수율 등을 들 수 있다. 따라서 본 실험 장치는 이들의 인자를 변화시킬 수 있는 구조로 제작하였다. 그림 1은 실험장치의 전체적인 개략도와 모습을 나타낸 것이다.

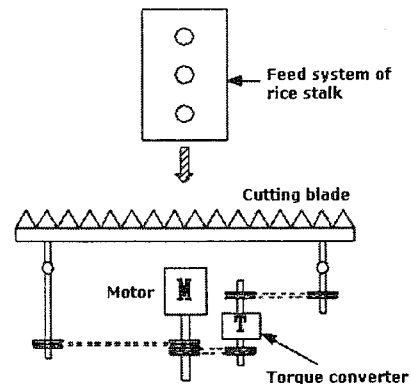


Fig. 1 Schematic diagram of experimental equipment

며 이송장치는 그림에서와 같이 직경 60mm 구멍을 가로(벧짚이송방향) 160mm 세로 180mm 간격으로 뚫은 프레임에 제작하고 이 구멍에 벧짚을 꽂은 다음 프레임에 소형 기어모터를 사용하여 스크류를 구동시켜 일정한 속도로 예취부로 접근되도록 제작하였다.

표 1은 실험장치의 제원을 나타낸 것이다. 예취날은 아랫날을 고정시키고 윗날이 좌우로 이동하는 단날구동방식과 윗날과 아랫날을 동시에 구동하는 양날구동방식으로 구성하였다.

Table 1. Dimension of experimental equipment

Classification	Dimension
Drive power	Motor(1PS)
Power transmission type	V-belt
Transporting type of rice straw	Screw type
Driving type of cutting knife	Single
	Double

그림 2는 예취날의 구동을 위해 회전운동을 직선왕복운동으로 전환시켜주기 위해 제작한 크랭크기구부의 모습을 나타낸 것이다. 이 크랭크 기구에 의해 전동기의 회전 동력이 예취날의 왕복 운동으로 전환된다.

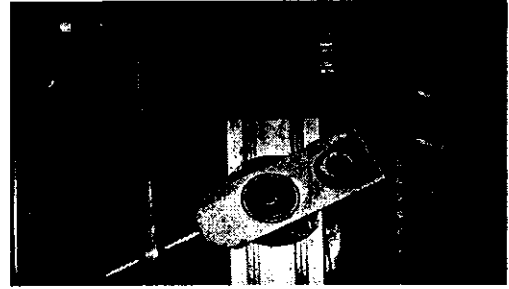
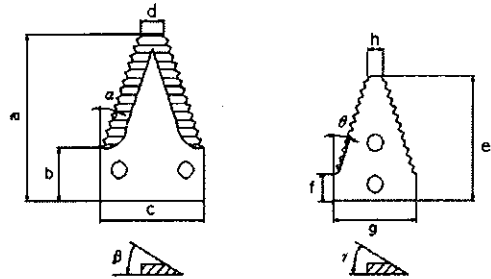


Fig. 2 Crank mechanism

예취날은 구동칼날과 고정칼날로 구성되어지며, 구동방식은 아래 예취날이 고정되어지고 위 예취날이 구동되어지는 단날 구동방식과 위 예



(a) knife section

(b) ledger plate

a, e : total length of cutting knife c, g : width of cutting knife

b, f : fixed part length of cutting knife

d, h : edge width of cutting knife

α : cutting angle of knife β : cutting knife angle

classi.	knife section (mm)				ledger plate (mm)				cutting blade angle(°)			
	a	b	c	d	e	f	g	h	α	β	γ	θ
single driven knife	80	23	50	10	60	10	40	6	20	28	42	19
double driven knife	85	35	50	5.5	same as knife section				22	33	-	-
developedknife	85	35	50	7.0	same as knife section				20	35	-	-

Fig. 3 Shape and dimension of cutting knife.

그림 3은 예취날의 형상과 제원을 나타낸 것이다. 그림에서 (a)는 윗날의 형상을 나타낸 것이고 (b)는 아랫날의 형상을 나타낸 것이다.

취날과 아래 예취날이 서로 반대 방향으로 구동되어지는 양날 구동방식으로 구분되어진다. 본 연구에서는 시중에 판매되는 제품 2종(단날구동

1종, 양날구동 1종)과 개발제품 1종(단날구동 및 양날구동)으로 모두 3종의 공시 예취날을 사용하였다.

본 연구에서 개발한 예취날은 양날구동 방식의 타사제품과 거의 유사한 형상을 하고 있으나 윗날(예도)에 홈을 가공하여 타사제품의 예취날과 다르게 하였다. 또한 예취날 선단의 폭을 기존 날의 경우 5.5mm 인데 비해 개발 날의 경우 7.0mm로 비교적 넓게 설계하였으며, 예취날의 절단각도도 기존 날의 22°에 비해 개발 날의 경우 홈 가공에 따라 절단각도를 20°로 감소시켜 홈 가공에 따른 예취날 밑면의 홈에서 선단까지의 여유를 두었다. 그리고 예취날부의 경사각을 기존 날의 33°에 비해 다소 큰 35°로 하여 예취날 선단부의 파손을 방지할 수 있도록 설계하였다. 또한 홈의 형상은 밑면 30mm, 높이 50mm의 삼각형 모양으로 깊이 3mm로 가공하였다. 가공한 홈의 면적은 약 75mm² 정도이다.

그림 4는 개발한 예취날을 찍은 사진이다. 윗날의 내부에 평면 홈을 가공함으로써 구동마찰저항을 최소화 하였다.

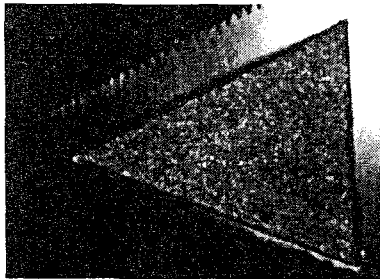
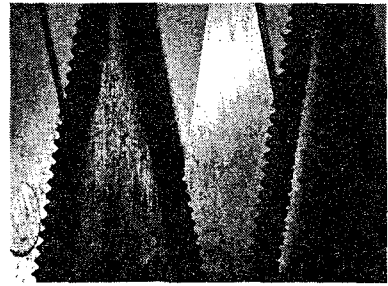


Fig. 4 Shape of developed cutting knife

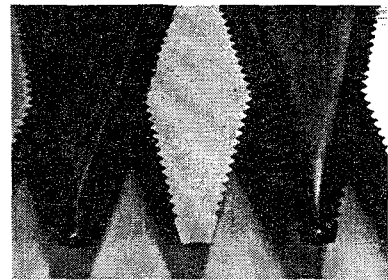
홈 가공은 윗날에만 하였으며 단날 구동방식과 양날 구동방식으로 조합하여 실험하였다.

그림 5(a)는 예취날 형상 중 톱니형상으로 된 윗날과 평날형상의 아랫날의 조합을 나타낸 것이며, 그림 5(b)는 윗날과 아랫날 모두 톱날형상

으로 된 것을 나타낸 것이다.



a) knife shape (knife section: knife edge type, ledger plate : serrate type)



b) knife shape (knife section and ledger plate : serrate type)

Fig. 5 Shape of cutting knife

실험에 사용한 공시 벗짚의 함수율은 각각 14.2%, 55.3%, 84.2%인 3종을 사용하였다.

2. 실험방법

실험은 공시 예취날과 공시 벗짚을 이용하여 각 예취날의 미세취시 구동 마찰저항을 측정하고, 예취시 공시 벗짚의 함수율 변화에 따른 예취저항을 측정하였다. 일반적으로 벼의 예취는 콤바인 차체가 주행하면서 벼줄기의 그루터기 부분을 예취하게 된다. 즉 포장에서 생육되는 벼는 고정되어져 있고, 포장내에서 콤바인이 이동하면서 예취날을 구동하여 예취하게 된다. 그러나 본 실험에서는 실험의 편의성을 위해 예취부를 고정시킨 상태에서 예취날만 좌우로 작동하

고 이 사이에 벼가 예취부로 이송되어져 예취되도록 하였다. 콤바인 차체의 주행속도 즉 벼의 이송속도를 0.37m/s로 일정하게 하고, 이에 따른 예취날의 절단 속도를 0.37, 0.41, 0.44, 0.48, 0.51, 0.55m/s로 설정하였으며, 이에 따라 예취날의 평균 절단속도와 차체의 주행속도(벼의 이송속도)의 비 즉, 절단속도비(k)를 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5으로 6단계 변화시키면서 공시 예취날의 벧짚 절단 저항을 측정하였다.

3. 토크 변환기 측도 설정

벧짚 절단저항을 측정을 하기 위하여 본 실험에서 사용한 TP-20 KMCB 토크 변환기의 측도 설정 곡선은 그림 6과 같으며 상관계수는 0.9997, 저항값에 대한 토크 변환식 $T = 0.007 \times r$ 로 나타났다.

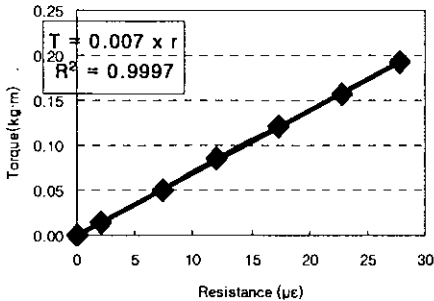


Fig. 6 Calibration curve of torque converter

결과 및 고찰

1. 예취날 구동 마찰 특성

그림 7은 벧짚을 예취 하지 않은 상태에서 예취날만 구동했을 때의 마찰저항을 나타낸 것이다. 예취날은 기존의 윗날과 아랫날 모두 톱니형 상으로 된 단날구동식의 날과 윗날에 홈을 가공

한 개발 날을 단날구동방식으로 작동시켰을 때의 결과이다.

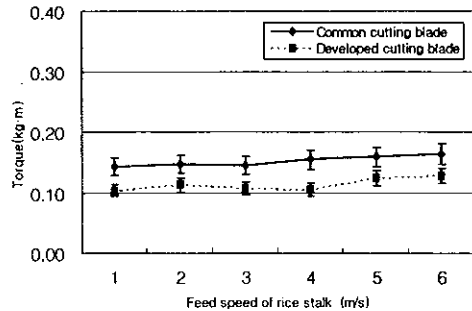


Fig. 7 Friction force of cutting knife by different shape at single driving type

그림에서와 같이 예취날의 속도 0.48m/s에서 개발 날의 구동 마찰저항은 0.11 kg·m로 기존 날의 구동 마찰저항 0.16 kg·m보다 31% 정도 작게 나타났으며 속도 0.37m/s에서 0.55m/s범위 내에서는 예취날의 구동 마찰저항은 홈 가공을 한 개발 날이 평균 0.12 kg·m로 홈 가공을 하지 않은 기존 날의 평균 0.16 kg·m에 비해 25% 낮게 나타났다.

또한 그림8은 기존 예취날과 홈 가공을 한 개발날을 양날 구동방식으로 하여 미 예취시의 구동 마찰 저항을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 단날 구동방식의 경우와 유사한 경향을 보였으며 예취날의 속도가 0.48m/s에서 기존 날의 구동 마찰 저항은 0.14 kg·m, 홈이 가공된 개발날의 구동 마찰 저항은 0.11 kg·m로서 개발날이 기존날에 비해 마찰저항이 21% 정도 작게 나타났다. 또한 예취날의 속도 0.37 m/s에서 0.55m/s범위 내에서는 기존 날에 비해 개발 날의 경우가 평균 26%정도 구동 마찰저항이 낮게 나타나 단날 구동의 실험결과와 유사하였다. 이와 같이 윗날에 홈을 가공한 경우가 미 가공된 기존의 예취날에 비해 마찰저항이 작게

나타난 이유는 윗날과 아랫날의 마찰면적을 최소화하기 위해 윗날의 접촉면을 홈으로 가공함으로써, 무게를 경감시키고 아랫날과의 마찰면적을 최소화하여 전체적인 마찰저항을 최소화하였기 때문이라고 판단된다.

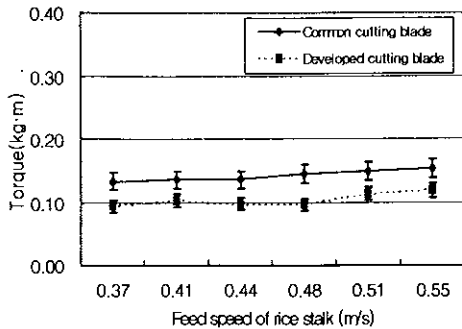


Fig. 8 Friction force of cutting knife by different shape at double driving type

2. 개발한 예취날의 예취 특성

예취날의 예취 저항을 측정하기 위해서 맑은 날 실제 포장에서 벼를 수확할 때의 벗짚 함수율과 거의 동일한 함수율 14.2%, 비온 후 수확작업시의 벗짚 함수율과 거의 동일한 함수율 55.3%, 벼가 침수 도복된 경우의 수확작업시의 벗짚 함수율과 동일한 함수율 84.2%를 대상으로 각각 예취 저항을 측정하였다. 여기에서 예취날의 예취 저항값은 벗짚의 예취저항을 측정한 값에서 예취날 구동저항값을 제하여 산출하였다.

2.1. 함수율 14.2%(wb) 벗짚

그림9는 함수율이 14.2%(wb)인 벗짚을 공시 재료로 기존 날과 본 연구에서 개발한 윗날의 내면에 홈 가공을 한 날을 이용하여 절단속도비(k)를 1.0에서 1.5까지 6단계로 변화시키면서 예취저항을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 이것은 양날 구동으로 실험한 결과이다.

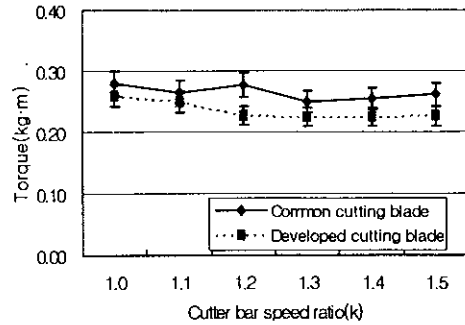


Fig. 9 Cutting resistance of rice stalk(14.2%, wb)

그림에서와 같이 기존 날과 개발 날 모두 절단속도비 1.3에서 예취저항이 가장 낮게 나타났으며 절단속도비가 1.0에서 1.3까지는 예취저항이 감소하다가 1.3 이상에서는 예취 저항이 미소하나 증가하는 경향을 보였다. 따라서 1.3이 최적 절단속도비임을 알 수 있다. 절단 속도비 1.3에서 기존 날의 예취저항은 0.25kg·m로 나타났으며, 홈 가공한 개발날의 예취저항은 0.22kg·m로 나타나 기존날에 비해 예취 저항이 10% 정도 감소함을 알 수 있다. 평균적으로 기존 날에 비해 개발 날의 경우가 약 12%정도 예취 저항이 낮은 것으로 나타났다.

2.2. 함수율 55.3%(wb) 벗짚

그림10은 함수율이 55.3%(wb)인 벗짚을 공시 재료로 기존 날과 본 연구에서 개발한 홈을 낸 날을 이용하여 절단속도비(k)를 6단계로 변화시키면서 예취저항을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 이것은 양날 구동으로 실험한 결과이다. 그림에서와 같이 절단속도비가 증가할수록 기존날과 개발날 모두 예취저항이 다소 감소하는 경향을 보였다.

절단속도비가 1.5의 경우 기존 날의 예취 저항은 0.26kg·m, 개발 날의 예취저항은 0.22 kg·m로 개발날의 예취저항이 15% 낮게 나타났다. 또

한 절단속도비 1.0~1.5 범위 내에서는 기존 날에 비해 개발 날의 경우가 평균 15%정도 예취저항이 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 실험장치 설계상 절단 속도비를 1.5이상 증가시킬 수 없어서 최적 절단속도비를 찾을 수 없었다. 함수율 14.2%(wb)인 벼짚의 경우는 절단속도비 1.3을 기준으로 속도비가 증가함에 따라 예취저항이 다소 증가한 반면 함수율 55.3%(wb)인 벼짚의 경우는 절단 속도비가 1.5에서도 예취저항이 감소하는 현상이 나타나 벼짚의 함수율에 따른 최적 절단 속도비가 다르게 나타남을 알 수 있다.

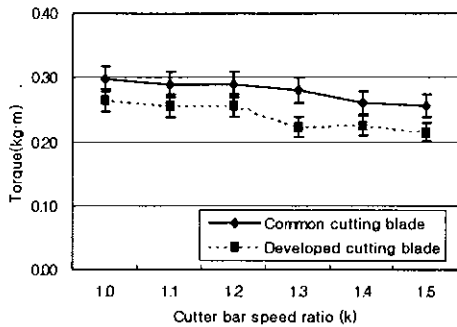


Fig. 10 Cutting resistance of rice stalk(55.3%, wb)

2.3. 함수율 84.2%(wb) 벼짚

그림11은 함수율이 84.2%인 벼짚을 공시 재료로 기존 날과 본 연구에서 개발한 홈 가공한 날을 이용하여 절단속도비(k)를 1.0에서 1.5까지 6 단계로 변화시키면서 예취저항을 측정하였다. 이것은 양날 구동으로 실험한 결과이다. 그림에서와 같이 전체적으로 홈이 가공되어진 개발 날의 경우가 홈이 가공되지 않은 기존 날에 비해 저항 토크가 다소 낮게 나타났다.

절단속도비가 1.4의 경우 개발한 날과 기존의 날 모두 예취저항이 최소로 나타났으며 개발 날의 예취저항은 0.21kg·m로서 기존 날의 예취저항 0.26 kg·m에 비해 약 20%정도 감소현상을

보였다. 따라서 개발 날과 기존 날 모두 절단속도비 1.4가 최적절단속도임을 알 수 있다.

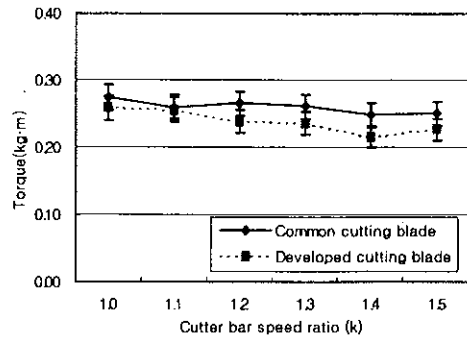


Fig. 11 Cutting resistance of rice stalk(84.2%, wb)

3. 양날구동과 단날구동의 예취 특성

그림12는 예취날의 윗날과 아랫날을 모두 구동하는 양날구동방식과 아랫날을 고정하고 윗날만 구동하는 단날구동방식에 따른 예취저항을 나타낸 것이다. 공시 예취날은 개발한 날을 이용하였으며, 홈의 가공면은 단날과 양날 모두 동일한 형상으로 하였다. 실험에 사용한 공시 벼짚은 함수율이 14.2%(wb)이고, 예취날의 절단속도비는 1.0에서 1.5까지 6단계로 변화시키면서 예취저항을 측정한 결과이다.

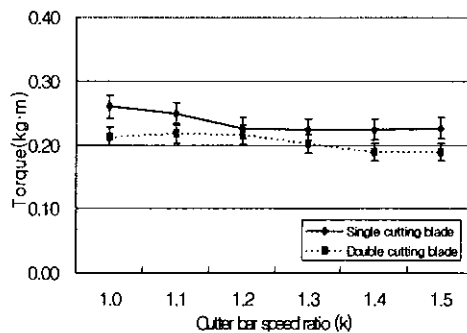


Fig. 12 Cutting resistance of rice stalk(14.2%, wb) by different driving type

그림에서와 같이 양날구동방식의 예취 절단 저항은 평균 0.20 kg·m로 단날 구동방식의 평균

0.24 kg·m에 비해 17%정도 낮게 나타났다. 따라서 개발하는 예취날은 양날구동방식으로 하는 것이 효율적인 것으로 생각된다.

4. 예취날의 최적 속도비는 벧짚의 함수율 변화에 따라 다르게 나타났으며 함수율 14.2%, 84.2%에 대해 각각 1.2, 1.4로 나타났다.

적 요

본 연구는 예취시 벧 줄기의 절단 저항이 적은 콤바인 예취날 개발에 필요한 기초 자료를 제공하기 위하여 예취날의 윗날 내부에 면적 75 mm²의 평면 홈을 가공한 개발날과 사중에 판매되는 예취날을 사용하여 절단속도비와 벧짚의 함수율을 인자로 미예취시 예취날의 구동 마찰저항과 예취저항을 측정된 결과는 다음과 같다.

1. 예취날 속도 0.37m/s에서 0.55m/s범위 내에서 단날 구동시의 예취날 구동 마찰저항은 홈 가공을 한 개발 날이 평균 0.12 kg·m로 홈 가공을 하지 않은 기존 날의 평균 0.16 kg·m에 비해 25% 낮게 나타났다. 또한 양날 구동방식에서도 홈 가공을 한 개발날이 기존날에 비해 평균 26%정도 구동 마찰저항이 낮게 나타났다.
2. 절단속도비 10.에서 1.5범위 내에서 홈을 가공한 개발날의 벧짚 예취 저항은 기존 날에 비해 벧짚의 함수율 14.2%, 55.3%, 84.2%에 대해 각각 평균 12%, 15%, 20% 낮게 나타났다.
3. 예취날 구동 방식에 따른 벧짚 예취 저항은 양날구동방식이 0.20 kg·m로 단날 구동방식의 0.24 kg·m에 비해 평균 17%정도 낮게 나타났다.

참고문헌

1. 강정일 외. 1991. 2000년대 농업기계화의 전망과 과제, 한국농촌경제연구원.
2. 강정일 외. 1995. 농기계산업의 활성화 방안, 한국농업기계학회.
3. 강정일 외. 1999. 농업기계화사업의 과제와 정책방향, 한국농촌경제연구원.
4. 곽병철. 1993. 콤바인 이중형 예취장치의 동적특성, 서울대학교 석사학위논문.
5. 김경옥외. 2000. 농기계 부품의 효율적인 공급과 관리방안, 한국 농업기계학회.
6. 류관희 외. 1994. 농기계산업의 발전 방향에 관한 연구, 한국농업기계학회.
7. 이성범. 1992. 콤바인 왕복동 예취장치의 절단 및 동적 특성, 서울대학교 사학위논문.
8. 인효석. 1992. 예취 및 절단도에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
9. 정창주 외. 1995. 삼고 농업기계학, 향문사.
10. 정창주 외. 1995. 콤바인 예취장치의 절단특성에 관한 연구, 한국농업기계학회지 20(1):3-21.
11. 한국농업기계학회. 1990. 농업구조 조정과 농업기계화 추진방향.
12. 한국농업기계협동조합·한국농업기계학회. 2003. 농업기계연감.