

# 콤바인刈取裝置의切斷現象 및 動的特性에 관한 研究(II)

—二重型 刈取裝置의 動的特性—

## Dynamic Characteristics of the Reciprocating Cutter-bar of Combine Harvester

郭柄哲\*

鄭昌柱\*

B. C. Kwag

C. J. Chung

### Summary

This study was conducted to investigate experimentally the basic characteristics of the torque of the cutterbar driving shaft as the double-knife was used instead of the conventional standard single-knife type. A new design for inclined setting of the cutterbar relative to the direction perpendicular to combine harvester movement was investigated to test a possible reduction of concentrated load caused by the simultaneous cutting of many rows. It was evaluated that the maximum torque and mean total power of the driving shaft due to the cutting resistance of the rice straw were largely depended upon the rotational shaft-speed and straw feeding rate, but were respectively 1.1~2.3 and 1.15~1.34 times higher compared to those while idling. It was also proved that the inclined setting of the cutterbar could save a considerable amount of energy required for its driving shaft.

### 1. 緒論

우리 나라에서 벼 收穫作業은 勞動盛需期에 이루어지고 특히 收穫作業의 勞動需要가 벼 재배과정 전체 所要勞動力의 30%를 상회한다는 점에서 收穫作業 機械化의 重要性을 찾을 수 있다. 최근에 와서 大型化 高性能 農業機械의 수요 추세에 따라 作業速度가 빠르고 作業效率이 높은 大型 高性能 콤바인이 다수 보급되고 있다.

콤바인의 高速化는 일련의 콤바인 作業過程中에서 우선 刈取作業에 큰 부담을 가져오게 된다. 高速化로 인해 切斷現狀이 달라지고 刈取部

의 動的不均衡 現狀이 加重될 수 밖에 없다. 따라서, 高速化에 對應한 예취날의 새로운 設計를 비롯한 刈取部 驅動的 機械力學的 研究의 必要性이 제기되고 있다.

따라서, 本 研究에서는 이러한 고속 콤바인 예취장치의 개발에 필요한 기초자료로서 벼의 切斷抵抗力에 의해 발생되는 二重型 刈取裝置의 예취날 구동토크 變化特性을 實驗的으로 究明하고, 大型·高速 콤바인 刈取部의 動的不均衡 現狀을 줄일 수 있는 예취날의 適正設計를 위한 基礎資料를 提示하고자 하는데 있다.

\* 서울대학교 農業生命科學大學 農工學科 農業機械專攻

## 2. 實驗裝置 및 方法

### 가. 實驗裝置

本研究에서는 二重型 刈取裝置의 動的 特性을 研究對象으로 채택하였다. 그림 1은 널리 사용되고 있는 二重型 刈取裝置의 驅動機構圖를 나타낸 것이다. 예취날 구동기구는 구동축의 회전운동을 구동칼날의 왕복운동으로 변환하기 위한 크랭크 암, 연결봉, 두 개의 로커암, 그리고 왕복운동을 하는 두 개의 구동칼날로 구성된다.

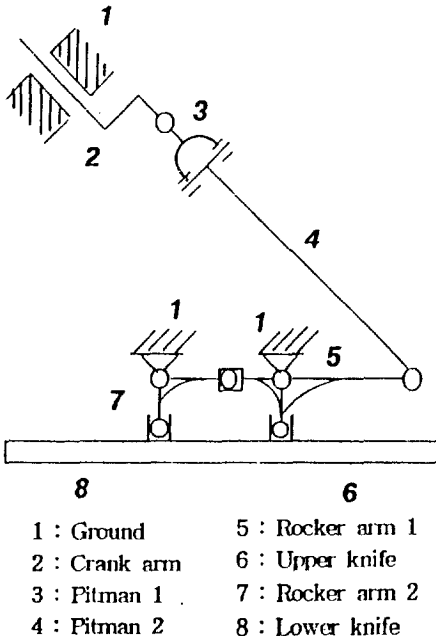


Fig. 1. Driving mechanism of the double-knife cutterbar.

供試機로는 국내에서 생산되고 있는 50mm 二重型 예취날이 부착된 3조형 콤팩트의 刈取部를 이용하였으며 예취날 구동토크만을 측정하기 위해 다른 부분의 동력전달은 모두 분리시켰다. 예취날을 구동하기 위한 동력전달은 가변속 모터를 사용하였으며 벼의 공급은 예취부를 이동시키는 대신 공급장치를 제작하여 공급장치의 이동속도를 변화시킬 수 있도록 제작하였다.

예취날 구동축에서의 구동토크를 測定하기 위하여 예취부 구동풀리와 연결된 구동축의 표면에 120Ω 이축 스트레인 게이지 2개를 부착하여 풀브리지 회로를 구성하여 토크변환기를 제작하였다.

예취날 구동축의 회전각 변화에 따른 예취날 구동토크의 변화를 분석하기 위해 마이크로 스위치를 예취부 프레임에 부착하여 회전각을 측정하도록 구성하였다.

토크변환기의 출력신호는 스트레인 증폭기를 거쳐 A/D 변환기를 통하여 마이크로 컴퓨터에 입력 저장되도록 하였고 회전각 측정장치의 출력신호는 A/D 변환기를 거쳐 마이크로 컴퓨터에 입력 저장되도록 하였다. 그림 2는 자료수집 장치의 구성과 블록선도를 나타낸 것이다.

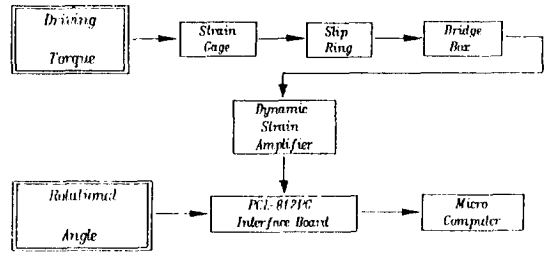


Fig. 2. Block diagram of the data acquisition system.

### 나. 實驗方法

#### 1) 예취날 구동축의 回轉速度와 벼 供給速度 水準設定

실제 벼 收穫作業을 수행할 때 예취날 구동축의 回轉速度 變化範圍는 400~700 rpm 정도이므로 本研究에서는 예취날 구동축의 回轉速度 變化水準을 400, 500, 600, 700 rpm으로 設定하였다. 그리고 벼 供給速度의 變化水準은 高速(약 1.0 m/s), 中速(약 0.7 m/s), 低速(약 0.4 m/s)로 設定하였다. 벼는 한 포기는 25줄기로 하고 주간거리 14 cm, 조간거리 30 cm로 하여 4조씩 供給하였다.

2) 예취날 設置角의 設定

우리 나라의 벼 재배는 株間과 條間에 일정한 거리를 두고 이양하는 방법상의 특성때문에 벼를 多條의 콤바인으로 예취할 때에는 切斷負荷가 集中하여 나타나게 될 것이다. 따라서, 연속적인 작업을 할 경우 발생하는 切斷抵抗力은 약간의 시간간격을 두고 연속적으로 발생하는 펄스형 負荷이다. 또한 作業速度가 빨라지고 刈取條數가 增加할수록 짧은 시간에 많은 양의 벼를 절단하게 되어 예취날에서 더욱 큰 集中負荷가 連續적으로 발생하게 된다. 이러한 벼 切斷抵抗力의 變化는 예취날 구동축의 반경방향으로 전달되는 힘의 급격한 변화를 가져와 예취날 구동축에서의 振動을 크게 하고 예취날 구동토크의 變動을 크게 하여 결국 刈取部 動的不均衡 現狀을 加重시킬 것으로 豫想할 수 있다.

따라서, 이러한 動的不均衡 現狀을 줄이기 위한 방법으로는, 여러 조를 동시에 절단하는 기존의 방법과는 달리 절단이 順次的으로 이루어지도록 하여 切斷抵抗力의 變化를 줄이는 방법이 있고 예취날 구동축에 플라이휠 역할을 하는 장치를 부착하여 切斷抵抗力의 變化를 줄이는 방법이 있을 수 있을 것이다.

本 研究에서는 콤바인의 진행방향에 수직인 방향으로 예취날이 設置되는 각을 약간 변화시킴으로써 즉, 약간의 設置角을 두어 예취날을 設置함으로써 순간적인 큰 集中負荷를 分散시켜 刈取部의 動的不均衡 現狀을 어느 정도 減少시킬 수 있으리라 판단되었다.

예취날의 設置角은 콤바인의 진행방향에 수직인 방향과 예취날이 설치되는 위치사이의 각으로서 다음과 같이 定義될 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{l}{W}\right)$$

여기서,

$\theta$  : 설치각(degree)

$l$  : 콤바인의 진행방향으로 예취날이 기울어진 거리(m)

$W$  : 조간거리 × (예취조수 - 1) (m)

$L$  : 주간거리(m)

設置角의 目的이 여러 조의 벼를 동시에 절단하지 않고 順次的으로 절단하기 위한 것이므로 주간거리, 조간거리에 따라 일정한 간격으로 재배되는 우리 나라 벼 재배방식의 특성상 設置角 設定의 限界가 있게 된다. 즉, 한 줄의 벼를 절단하는 동안 다음 줄의 벼를 절단하지 않도록 해야 設置角의 본래 목적이 유효하게 되는 것이다. 그림 3은 4조형 콤바인에서의 예취날의 設置角과 그 限界를 決定하는 것을 나타낸다. 그림 3에서 알 수 있듯이 4조형 콤바인의 경우 設置角의 限界가 약 8° 정도임을 알 수 있다. 따라서, 本 研究에서는 예취날 설치각의 集中負荷에 대한 分散效果를 究明하기 위해 設置角의 變化水準을 0, 3, 5, 7°로 設定하였다.

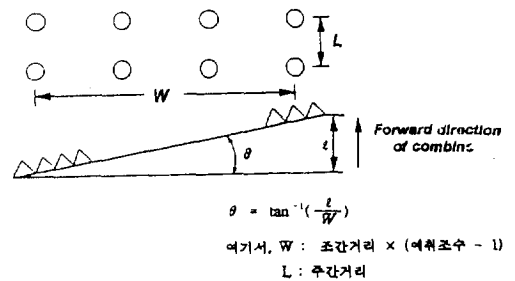


Fig. 3. Setting angle of the 4 rows combine harvester and determination of the limit of setting angle.

3) 實驗方法

實驗은 다음과 같이 크게 두 가지 경우로 구분하여 실시하였다.

① 벼를 절단하지 않을 때 예취날 구동토크의 측정

각 실험수준에서 벼 切斷抵抗力에 의해 발생하는 예취날 구동토크를 분석하기 위해 무부하시, 즉 벼를 절단하지 않을 때의 예취날 구동축 회전속도 4수준에서 예취날 구동토크를 측정하였다.

② 4조의 벼를 절단할 때 예취날 구동토크의 측정

- (㉠) 예취날 구동축의 회전속도 변화에 따른 예취날 구동토크
- (㉡) 벼 공급속도의 변화에 따른 예취날 구동토크
- (㉢) 예취날 설치각의 변화에 따른 예취날 구동토크

4) 測定設定

예취날 구동축의 구동토크를 측정하기 위한 測定設定은 토크가 가해지지 않을 때 증폭기의 영점을 조정하고 약 234 $\mu$ c의 스트레인이 발생할 때 0.3125 V의 出力信號가 발생하도록 증폭기의 범위를 조정하였다. 각각 구동토크와 出力信號(電壓), 구동토크와 변형량과의 관계는  $R^2=0.999$  이상을 가지는 관계로 나타났다.

$$Y=39.304X-0.215(R^2=0.999)$$

Y : 구동토크(Nm),

X : 토크변환기의 출력신호(V)

3. 實驗 結果 및 考察

벼 切斷抵抗力에 의해 발생하는 예취날 구동토크는 각 실험수준에서 벼를 절단하지 않는 無負荷狀態의 토크곡선과 벼를 절단할 때의 토크곡선을 重疊하여 구하였으며 實驗 結果를 比較 分析하기 위해 사용된 指標는 벼를 절단할 때 발생하는 最大驅動토크, 벼의 절단이 일어나는 동안의 平均驅動토크, 벼의 절단이 일어나는 동안의 平均總所要動力, 平均純切斷所要動力 등이다.

가. 無負荷狀態에서의 예취날 구동축의 回轉速度 變化에 따른 예취날 구동토크의 變化

그림 4는 無負荷狀態에서 二重型 예취날 구동축의 각 回轉速度에서의 한 행정동안의 구동토크 변화를 나타낸 것이다.

그림 5는 無負荷狀態에서 二重型 예취날 구동축의 回轉速度 變化에 따른 最大驅動토크와 平均總所要動力의 變化를 나타낸 것이다.

그림 4와 5에서 보는 바와 같이 예취날 구동

축의 回轉速度가 增加할수록 전체적인 구동토크, 最大驅動토크, 그리고 平均總所要動力이 增加함을 알 수 있다. 이는 예취날 구동축의 回轉速度가 增加됨에 따라 예취날 구동메카니즘을 구성하는 각 링크의 慣性力이 增加하기 때문으로 판단된다.

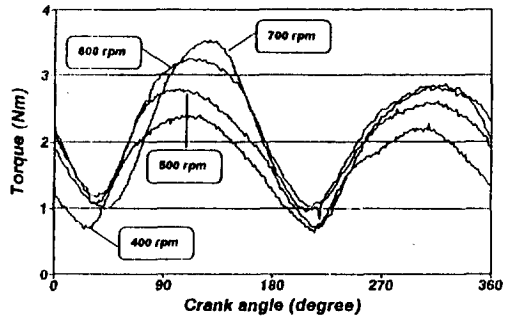


Fig. 4. Variations of the torque according to the variation of crank shaft speeds at unloaded condition.

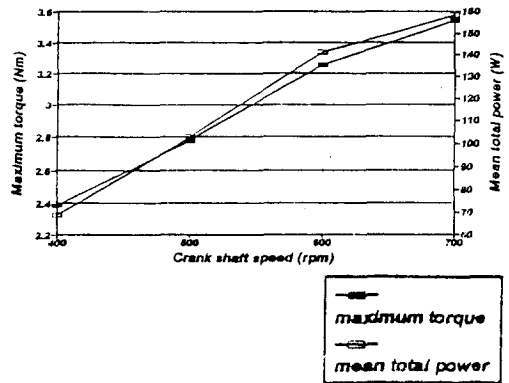


Fig. 5. Variations of the maximum torque and the mean total power according to the variation of crank shaft speed at unloaded condition.

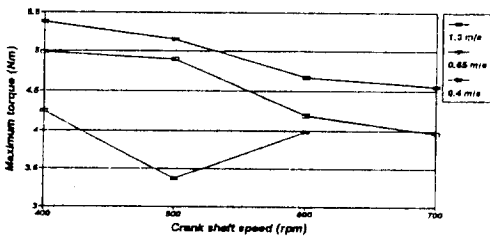
나. 4조의 버를 절단할 때 作業條件의 變化에 따른 예취날 구동토크의 變化

그림 6은 4조의 버를 절단할 때 作業條件의 變化에 따른 最大驅動토크, 平均驅動토크, 平均總所要動力, 그리고 平均純切斷所要動力의 變化를 나타낸 것이다.

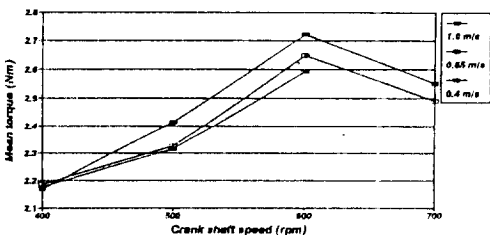
그림 6에서 알 수 있듯이 예취날 구동축의 回轉速度가 增加할수록 供給速度 3수준에서 버 切斷抵抗力에 의해 發生되는 最大驅動토크는 減少하고 平均驅動토크와 平均總所要動力은 대체적으로 增加하는 경향을 나타내었으나 平均純切斷所要動力은 특정한 경향을 나타내지 않았다.

最大驅動토크의 減少傾向은 예취날 구동축의 回轉速度가 增加할수록 구동칼날의 往復速度가 增加하여 버 절단시 支持力의 增大效果를 가져와 切斷抵抗力이 減少하여 最大驅動토크가 減少하기 때문이라 생각되었다. 平均驅動토크와 平均總所要動力의 增加傾向은 예취날 구동축의 回轉速度가 增加할수록 切斷抵抗力은 減少하지만 구동메카니즘을 구성하는 각 링크의 慣性力이 增大하여 전체적으로 구동토크가 커지기 때문이라 생각되었다.

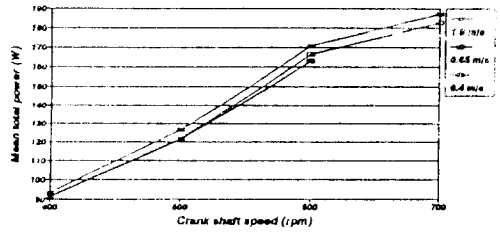
1) variation of the maximum torque



2) variation of the mean torque



3) variation of the mean total power



4) variation of the mean net cutting power

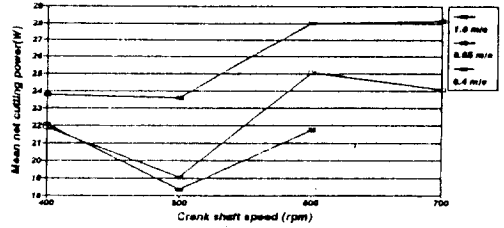


Fig. 6. Variations of the maximum torque, the mean torque, the mean total power, and the mean net cutting power according to variation of crank shaft speeds and feeding speeds when knives were set to cut 4 rows together.

그림 6에서 알 수 있듯이 예취날 구동축의 각 回轉速度 수준에서 供給速度가 增加함에 따라 모든 값이 增加하는 것으로 나타났다. 이것은 供給速度가 增加할수록 큰 切斷抵抗力이 發生하여 平均驅動토크가 增大하고 平均純切斷所要動力이 增大하여 平均總所要動力이 增大하기 때문이라 생각되었다.

다. 버 切斷抵抗力에 의해 發生되는 예취날 구동토크의 變化模型

그림 7은 예취날 구동축의 回轉速度가 500 rpm, 버 供給速度가 0.7 m/sec일 때 버 절단이 이루어지는 동안의 전체구동토크와 切斷抵抗力에 의해 發生된 토크변화를 나타낸 것이다.

그림 7로부터 구동칼날의 한 행정대 대략 하나의 펄스형 토크가 發生하며 한 행정으로 절단이 완료되지 않고 여러 행정에 걸쳐 절단이 이

루어지고 시간이 지날수록 작은 토크가 발생함을 알 수 있다. 그리고, 最大驅動토크가 발생하는 예취날 구동축의 회전각은 한 행정이 끝날 무렵임을 알 수 있다.

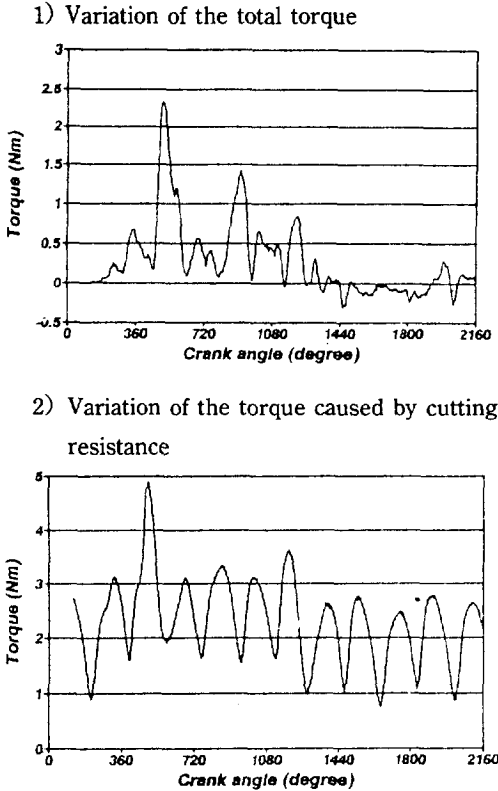


Fig. 7. Variations of the total torque and the torque caused by cutting resistance of rice straws when knives were set to cut 4 rows together at 500 rpm and feeding speed=0.7 m/s.

그림 8은 예취날 구동축의 回轉速度가 600 rpm, 벼 供給速度가 0.7 m/s일 때 벼 切斷抵抗力에 의해 발생하는 예취날 구동축에서의 토크 변화를 초기의 세 행정에 대해 각각 나타낸 것이다.

그림 7과 8에서 알 수 있듯이 예취날 한 행정 동안의 구동토크 변화는 切斷抵抗力의 변화에

影響을 받아 초기에는 서서히 增加하다 어느 순간 급격히 增加하고 그 후에 급격히 減少하는 傾向임을 알 수 있다.

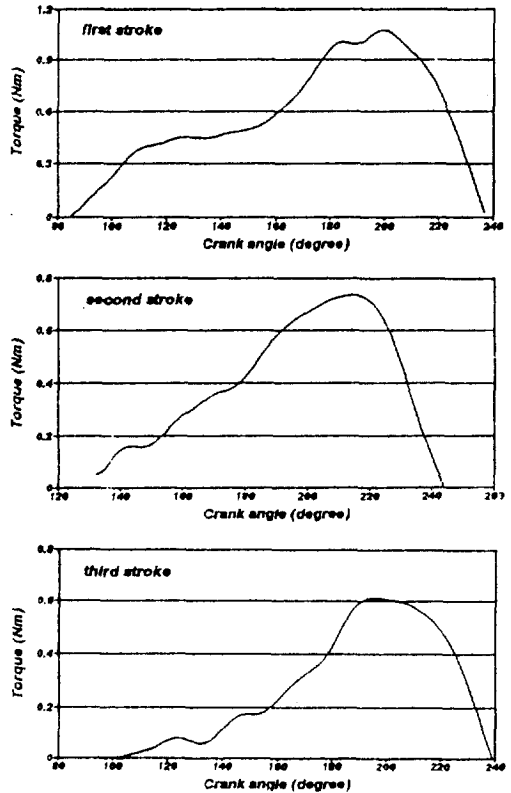


Fig. 8. Variations of the torque caused by cutting resistance of rice straws in each stroke of double-knife cutterbar at 600 rpm and feeding speed=0.7 m/s.

표 1은 벼를 절단함에 따라 부가적으로 발생하는 驅動토크와 所要動力을 無負荷時의 그들 값과 比較·分析하기 위해 각 실험수준에서의 값과 그들 값의 차이를 백분율로 나타낸 것이다. 예취날 구동축의 回轉速度가 增加할수록 慣性力의 影響이 커지는 반면 切斷抵抗力은 작아져 最大驅動토크와 平均總所要動力의 차이의 백분율은 減少함을 알 수 있다. 그리고, 예취날 구동축의 같은 回轉速度에서 벼 供給速度가 낮아질수

속 切斷抵抗力이 작아져 最大驅動토크와 平均總所要動力의 차이의 백분율이 減少함을 알 수 있다.

날 駒動軸의 最大驅動토크, 平均驅動토크, 平均總所要動力, 平均純切斷所要動力의 變化를 나타낸 것이다.

Table 1. Comparison of maximum torque and mean total power with cutting of 4 rows and without cutting.

Crank shaft speed (rpm)	Feeding speed (m/sec)	Maximum torque(Nm)		Percentage (%)*	Mean total power(W)		Percentage (%)*
		4 rows cutting (A)	unloaded (B)		4 rows cutting (A)	unloaded (B)	
400	1.0	5.38	2.39	125	93.48	69.69	34
	0.7	4.99		109	91.46	69.57	32
	0.4	4.25		77	91.21	69.11	32
500	1.0	5.15	2.78	85	126.37	102.76	23
	0.7	4.90		76	121.77	102.71	19
	0.4	3.37		21	121.23	102.88	17
600	1.0	4.67	3.25	44	170.94	142.91	20
	0.7	4.20		29	166.46	141.43	18
	0.4	3.99		23	163.00	141.26	15
700	1.0	4.55		29	186.99	158.85	18
	0.7	3.96		12	192.69	158.63	15

$$* \text{percentage}(\%) = \left(\frac{A}{B} - 1\right) \times 100$$

이 分析에서 重要하다고 생각되는 것은 예취날 驅動機構의 動의不均衡에 의한 影響과 실제 作物의 절단시의 切斷負荷에 의한 影響을 비교하면 후자의 비중도 대단히 크게 나타난다는 사실이다. 즉, 작동조건에 따라 다소의 차이는 있으나 예취날 구동축의 回轉速度 400~700 rpm에서 作物 절단에 의한 부가적인 動의不均衡 影響은 最大驅動토크가 12~125%, 平均總所要動力이 15~34% 정도를 차지함을 알 수 있다.

라. 設置角의 變化에 따른 예취날의 驅動토크의 變化

그림 9는 400 rpm의 예취날 驅動速度에서 設置角의 變化와 供給速度의 變化에 따른 예취

그림 9에서 보는 바와 같이 設置角이 클수록 最大驅動토크, 平均驅動토크, 平均總所要動力, 平均純切斷所要動力이 減少함을 알 수 있다. 이는 콤바인의 진행방향에 대해 약간의 設置角만큼 예취날이 기울어지도록 설치함으로써 4조가 동시에 절단되는 기존의 방법과는 달리 절단시간을 길게 하면서 순차적으로 절단이 이루어지도록 하여 순간적이고 큰 切斷抵抗力을 여러 행정에 걸쳐 고르게 分散시켜 切斷抵抗力이 작아지고 그에 따라 발생하는 구동토크가 작아졌기 때문이다. 즉, 순간적이고 큰 集中負荷에 대한 負荷分散效果가 있기 때문이다. 따라서, 콤바인의 진행방향에 수직인 방향에 예취날이 설치되는 각을 변화시킴으로써 刈取部의 動의不均衡 現狀과 所要動力의 減少效果를 얻을 수 있을 것

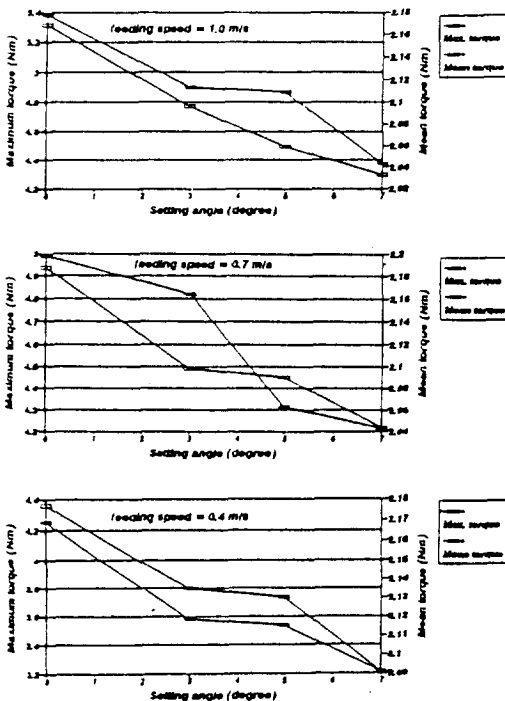
으로 판단된다.

표 2는 각 실험수준에서의 설치각이 0°일 때의 최대구동토크, 평균총소요동력, 평균순절단소요동력을 100%라고 할 때 설치각이 7°일 때 각 값의 감소정도와 그 감소정도를 백분율로 나타낸 것이다.

다. 適正 設置角의 決定

약간의 設置角을 둠으로써 벼를 절단할 때 발생하는 순간적이고 큰 集中負荷를 分散시킬 수 있음을 앞의 實驗結果로부터 알 수 있었다. 그 減少程度는 設置角이 0°일 때를 기준으로 실험에서 설정한 設置角이 클수록 큰 것으로 나타났다. 따라서, 콤바인의 진행방향에 대해 예취날이 기울어지도록 설치함으로써 순간적이고 큰 切斷抵抗力을 減少시킬 수 있어 예취날의 구동축에 전달되는 힘과 토크의 變動을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 결과적으로 구동축에 전달되는

(1) Variation of the maximum torque and the mean torque



(2) Variations of mean total power and the mean net cutting power

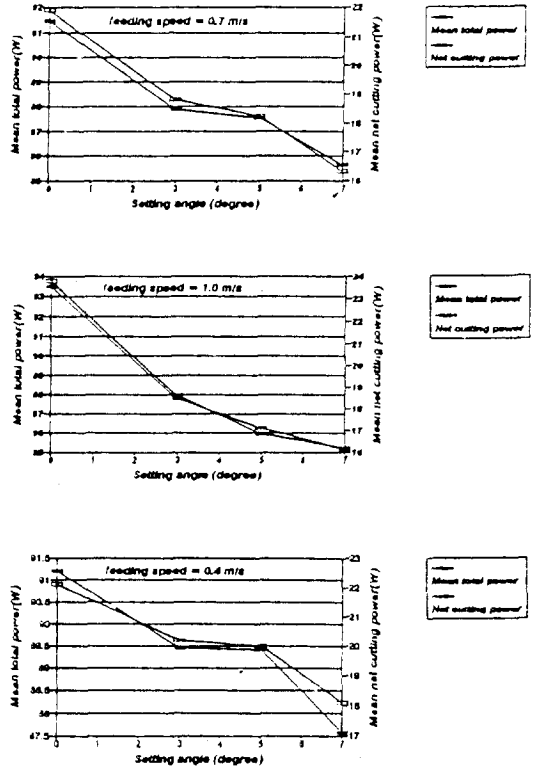


Fig. 9. Variations of the maximum torque, the mean torque, the mean total power and the mean net cutting power according to variations of setting angles when knives were set to cut 4 rows together at 400 rpm

振動의 變化를 減少시키고 所要動力도 상당히 減少시킬 수 있다고 판단된다.

適正 設置角의 決定은 처음 줄의 벼를 절단하는 동안 다음 줄의 벼가 절단되지 않는 범위 내 이어야 하므로 앞에서 설정한 限界設置角 약 8.8°를 넘지 않는 범위로 약 5°~7°가 適正水準이라고 판단된다.



Table 2. Comparison of the maximum torque, the mean total power and the mean net cutting power at 0° and 7° setting angle

Crank shaft speed (rpm)	Feeding speed (m/sec)	Maximum torque(Nm)		Difference (Nm)	Mean total power(W)		Difference (W)	Mean net cutting power(W)		Difference (W)
		0°	7°		0°	7°		0°	7°	
400	1.0	5.378	4.376	1.002(18.63%)	93.476	85.142	8.334 (8.92%)	23.73	16.192	7.598 (31.94%)
	0.7	4.988	4.214	0.774(15.52%)	91.46	85.623	5.837 (6.38%)	24.745	16.319	8.426 (34.05%)
	0.4	4.25	3.212	1.03 (24.43%)	91.207	87.582	3.625 (3.97%)	22.1	18.108	3.992 (18.06%)
500	1.0	5.15	3.566	1.58 (30.68%)	126.372	120.027	6.345 (5.02%)	23.614	17.449	6.165 (26.11%)
	0.7	4.898	3.548	1.35 (27.57%)	121.766	115.827	5.939 (4.38%)	19.057	13.171	5.886 (30.89%)
	0.4	3.368	3.218	0.15 ( 4.45%)	121.223	117.399	3.824 (3.15%)	18.339	14.893	3.446 (18.79%)
600	1.0	4.67	3.914	0.75 (16.06%)	170.938	155.743	15.195 (8.89%)	28.028	14.551	13.477 (48.08%)
	0.7	4.196	3.998	0.198( 4.72%)	166.464	157.223	9.241 (5.55%)	25.033	16.549	8.484 (33.89%)
	0.4	3.986	3.92	0.006( 0.15%)	163.001	158.194	4.807 (2.95%)	21.744	16.193	5.551 (25.53%)
700	1.0	4.55	3.968	0.582(12.79%)	186.988	183.253	3.735 ( 2%)	28.143	23.864	4.279 (15.2%)
	0.7	3.962	3.918	0.044( 1.11%)	182.693	181.276	1.417 (0.78%)	24.068	22.061	2.007 (8.34%)

#### 4. 要約 및 結論

本 研究의 目的은 二重型 刈取裝置에서 벼 切斷 抵抗力에 의해 發生되는 예취날 구동토크의 變化特性을 實驗的으로 究明하고 콤바인 예취부에서의 動的 不均衡을 減少시킬 수 있는 예취날의 適正 設計條件을 찾고자 하는데 있었다. 구체적으로 벼 切斷 抵抗力에 의한 二重型 刈取裝置의 예취날 구동토크의 變化特性을 分析하여 模型化하고 作業條件의 變化가 예취날 구동토크에 미치는 影響을 分析하였으며 여러 조의 벼를 동시에 절단할 때 發生되는 순간적인 큰 集中負荷를 分散시켜 예취날 구동축에 전달되는 힘과 토크의 變動을 줄이기 위해 예취날이 설치되는 위치를 변화시켜 그 影響을 究明하였다.

本 研究의 內容을 要約하면 다음과 같다.

- 1) 二重型 刈取裝置의 벼 切斷 抵抗力에 의해 發生되는 예취날 구동토크의 變化는 切斷 抵抗力의 變化에 影響을 받아 切斷 初期에 壓縮이 이루어지는 과정에서 토크가 서서히 증가하다가 最大로 壓縮되어 순수한 切斷이 시작될 무렵에 순간적인 큰 토크가 發生하며 切斷이 完了될 무렵부터 급격히 減少하는 일종의 펄스형의 토크변화라고 할 수 있다.
- 2) 本 研究 供試機의 驅動메카니즘에 대해 4 조의 벼를 切斷할 때의 最大驅動토크와 平均總所要動力은 벼를 절단하지 않을 때보다 각각 1.1~2.3, 1.15~1.34배 정도 큰 것으로 나타났다.
- 3) 예취날 구동축의 回轉速度를 빠르게 할수

록 벼 切斷抵抗力에 의한 예취날 구동축에서의 最大驅動토크는 減少하였으며 驅動메카니즘을 구성하는 각 링크의 慣性力 增大 影響으로 平均總所要動力은 增加하였다. 그리고, 벼 供給速度를 빠르게 할수록 最大驅動토크와 平均總所要動力은 增大하였다.

4) 콤바인의 前進速度 1 m/sec, 예취날 구동축의 回轉速度 500~700 rpm 범위에서 7°의 設置角을 마련함으로써 13~31%의 最大驅動토크 減少, 2~9%의 平均總所要動力의 減少, 그리고 15~48%의 平均純切斷所要動力의 減少를 가져오는 것으로 나타났다. 따라서, 設置角의 限界 내에서 設置角을 마련함으로써 刈取部의 動的 不均衡 現狀과 刈取部 所要動力을 상당히 減少시킬 수 있는 것으로 판단되며 適正 設置角은 4조형 콤바인의 경우 5~7° 정도로 나타났다.

#### 參 考 文 獻

1. 鄭昌柱. 1988. 農作業機械學. 서울大學校 出版部 : 200~230.
2. 鄭昌柱. 1991. 農作業機械의 分析和 設計. 서울大學校 出版部 : 145~186.
3. 韓應教. 1976. 스트레인 게이지-理論과 應用. 普成出版社 : 139~230.
4. 許潤根. 1987. 水稻의 力學的 및 리올리지 特性에 關한 研究. 忠北大學校 大學院 農學博士學位論文.
5. 江崎春雄. 1986. 穀類 收穫機. ISEBU : 197~387.
6. 松居勝廣. 1986. 農業機械學(下券). 北海道大學校 : 1~62.
7. 柳寬熙 外. 1987. 計測 및 마이크로 컴퓨터 活用技術. 韓國農業機械學會 : 99~128.
8. Ajit K. Srivastava and Carroll E. Goering. 1991. Engineering principles of agricultural machines. : 1~26.
9. Blevens, F. Z. and H. J. Hanson. 1956. Analysis of forage harvester design. Agric. Engng. 37(1) : 1011~1016.
10. Bosoi, E. S., O. V. Veniaev, I. I. Smirnov, and E. G. Sultanshakh. 1991. Theory, construction and calculation of agricultural machines. Vol(2) : 317~392.
11. Chancellor, W. J. 1958. Energy requirements for cutting forage. Agric. Engng. 39(10) : 633~639, 652.
12. Chen, P. 1973. Application of spatial mechanisms to agricultural machinery. Trans. of ASAE. 16(2) : 214~217
13. Elfes, L. E. 1954. Design and development of a high-speed mower, Agric. Engng. 35(3) : 147~153.
14. Hall, A. S. 1966. Kinematics and linkage design. West Lafayette. : 1~85.
15. Kanafojski, Cz. and T. Karwowski. 1976. Agricultural machines-theory and construction. Vol(2). Warsaw. : 3~109.
16. Kepner, R. A., R. Bainer and E. L. Barger. 1978. Principles of farm machinery. 3rd Edition. AVI. : 313~340.
17. Kepner, R. A. 1952. Analysis of the cutting action of a mower, Agric. Engng. 33(11) : 693~697.
18. Lee, S. W. and Y. K. Huh. 1983. Threshing and cutting forces for Korean rice. Trans. of ASAE. 27(6) : 1678~1681.
19. Maron, M. J. and R. J. Lopez. 1991. Numerical analysis-A practical approach. 3rd Edition. WADSWORTH. : 115~216.
20. Prince, R. P., W.C. Wheeler and A. Fisher. 1958. Discussion on energy requirement for cutting forage. Agric. Engng. 39(10) : 638~639, 652.
21. Shigley, J. E. and J. J. Uicker. 1981. Theory of machines and mechanism. McGRAW-HILL. : 1~517.
22. Sverker persson. 1983. Mechanics of cutting plant material. ASAE. : 95~160.