

## 콤바인 예취장치의 절단특성에 관한 연구(II)

—2배형, 2중형 칼날의 절단특성—

### Cutting-Pattern and Cutting Characteristics of the Reciprocating Cutter-bar of Combine Harvester(II)

—Cutting Characteristics of the Low-Cutting Type and  
Double Cutting Type Reciprocating Knives—

이홍주\*

김홍윤\*

홍종호\*

이성범\*

정희원

정희원

정희원

정희원

H. J. Lee

H. Y. Kim

J. H. Hong

S. B. Lee

#### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the cutting mechanism of reciprocating knife of combine harvester. The cutting operation of reciprocating knife with the arrangement of the low-cutting and the double-cutting was demonstrated through cutting pattern diagram which was drawn by computer graphics. Various kinds and dimensions of reciprocating knives were analyzed using the developed program.

The results are summarized as follows

- (1) The low-cutting type reciprocating knife was represented similar cutting characteristics to the standard type, but the maximum stalk-deflection was decreased as 1/2 level of the standard type. And the first ledger plate should be designed shorter than the second ledger plate.
- (2) The bunching area and the maximum stalk-deflection for the double cutting knife almost were not changed since cutting velocity ratio of 0.6, but the secondary cut were occurred at ratio of 0.8 and increased rapidly over these ratio.
- (3) The double cutting knife was recommended for the high speed combine, because its bunching area and the maximum stalk-deflection were decreased as 1/2 level of the standard type.
- (4) In order to maintain the proper cutting mechanism characterized by the bunching area, the maximum stalk-deflection and the secondary cutting length etc., the adequate cutting velocity at forward speed of 0.5m/s to 1.2m/s was from 0.3m/s to 0.96m/s for the double cutting knives.

주요 용어(Key Words) : 콤바인(Combine), 예취 장치(Cutter-bar)

## 1. 緒論

刈取裝置는 콤바인이나 모어 등의收穫機械에 있어서 가장 중요한 부분의 하나로 현재 콤바인에는 往復動 刈取裝置가 사용되고 있으며 이 刈取裝置의 종류에는 표준형(standard type), 중간형(medium type), 2배형(low-cutting type), 2중형(double cutting type) 칼날 등이 있다.

往復動 刈取칼날의 경우는 칼날이 往復運動함과 동시에 機體가 前進運動을 하므로 칼날의 切斷速度와 機體의 前進速度와의 관계가 切斷特性에 막대한 영향을 미치게 된다. 최근에는 콤바인의 大型化, 高速化의 추세에 따라 機體의 前進속도가 빨라지고 이에 따라 切斷速度比 즉, 예취칼날의 절단속도와 기체의 전진속도와의 비도 변화하게 될 것이므로 이로 인한 切斷特性의 변화도 예상할 수 있다. 그런데, 이와 같은 往復動 刈取칼날의 切斷特性을 쉽게 분석할 수 있는 것이 切斷圖(cutting pattern diagram)로써 이는 구동칼날의 절대운동에 대한 궤적을 그린 것이다. 이 절단도를 통하여 절단현상 뿐만 아니라 설계 또는 작동상의 여러 요인의 변화에 따른 切斷特性의 변화도 파악할 수 있다.

따라서, 本 研究에서는 제 1보에서 개발한 切斷圖 作圖 및 分析 프로그램을 이용, 2배형 예취칼날과 2중형 예취칼날의 여러 設計 및 作動要因의 변화에 따른 切斷特性의 변화를 파악하여 往復動 刈取칼날의 설계에 필요한 기초 자료 및 효율적인 작동조건 등을 제시하고자 하였다. 즉, 切斷圖 분석을 통하여 2배형칼날과 2중형칼날에 대하여 절단속도비의 변화에 따른 切斷特性의 변화 즉, 절단과정중의 줄기의 휨변형, 2次切斷길이, 負荷集中面積 등을 把握하여 왕복동 예취칼날의 종류별 절단특성을 비교, 분석하고자 하였다.

## 2. 切斷圖 作圖 및 分析 프로그램 開發

왕복동 예취장치중에서 구동칼날과 고정칼날의 순간순간 움직임의 궤적을 컴퓨터로 프로그

램화하여 切斷圖를 그렸다. 컴퓨터 프로그램은 그림 1에 나타난 흐름도와 같이 C-언어로 작성하였으며, 作物의 최대 휨변형, 負荷集中面積, 2次切斷길이, 切斷이 시작되는 위치(크랭크의 회전각도)와 종료되는 위치, 그 시점에서의 刈取칼날의 절단속도와 최대 절단속도, 절단속도비 등이 분석되도록 프로그램에 반영하였다.

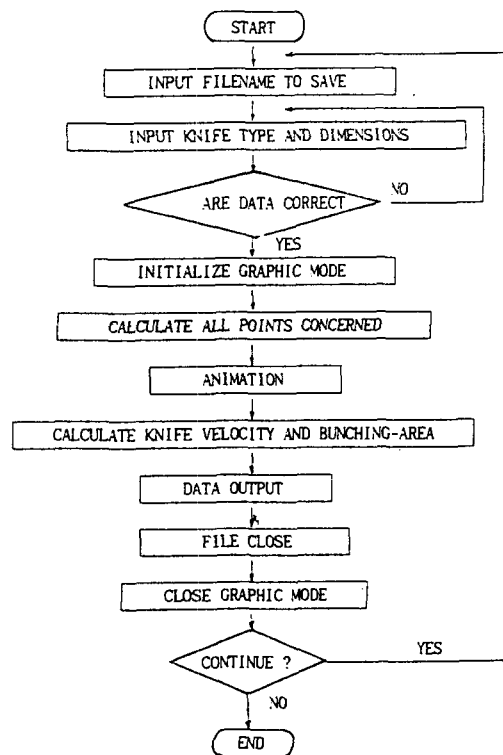


Fig. 1. Flow chart of the program for drawing the cutting pattern and analyzing the characteristics of cutting process

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 2배형 칼날의 切斷速度比 變化에 따른 切斷特性의 變化

#### 1) 2배형 칼날의 切斷圖와 切斷特性

2배형 칼날의 절단특성은 표준형 칼날의 절단특성과 유사하며 다른점은 구동 칼날이 고정칼날 2개를 경위하여 切斷된다는 점이다. 따라서, 2배형 칼날에서는 作物의 휨변형이 표준형 칼날의 약 1/2로 줄어들며 이로 인해 휨변형에 대한

저항이 큰 作物에 비교적 유리하다고 판단된다.

그림 2는 2배형 칼날의 절단도를 나타낸 것으로 作物은 구동칼날의 운동에 의하여 휘어져 제 1고정칼날의 절단선(B1-B2)과 제 2고정칼날의 절단선(B11-B10)에서 切斷이 이루어진다. 그리고, B2점에 있는 作物이 최대 휨변형이 발생하며, 면적 BA4에 있던 줄기는 고정칼날과 구동칼날에 의해서 B11점 부근에 모아져 한꺼번에 切斷이 되므로 BA4가 큰 切斷負荷를 발생시키는 면적이 된다.

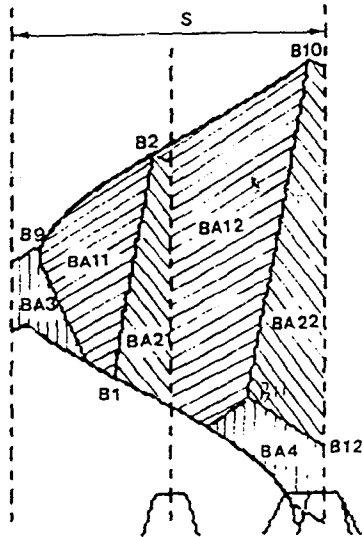


Fig. 2. Cutting pattern diagram of a low cutting type reciprocating knife

2) 切斷速度比 變化에 따른 切斷圖의 變化  
2배형 칼날의 切斷特性을 표준형 칼날의 切斷特性과 비교하기 위하여 칼날의 치수와 작동조건을 표준형 칼날과 동일하게 하고 切斷速度比 變化에 따른 切斷特性의 變化를 분석하였다.

그림 3 및 表 1은 機體의 전진속도를 1.0m/s로 하고, 절단속도비를 0.8 및 1.0으로 하였을 때의 切斷圖를 나타낸 것으로, 2배형 칼날의 규격은 표준형 칼날의 규격으로 하되 다만 고정칼날의 폭만을 25mm로 하여 분석하였다. 이 결과에 의하면 제 1고정칼날에 있어서는 칼날의 최대 절단속도를 이용하고 있지 못하는 것으로 나타나

절단초기에 切斷이 매끄럽지 못할 것으로 판단되며 제 2고정칼날에 있어서는 최대 절단속도를 충분히 이용하고 있으나 負荷集中面積(BA4)이, 표준형 칼날일 때보다 크게 나타나 切斷이 시작되는 B11점에서 집중적인 큰 부하가 발생하는 것을 알 수 있다. 한편, 切斷速度比가 0.8인 경우, 제 1고정칼날의 칼날높이가 45mm인데 비하여 실제로 切斷에 참여한 칼날높이는 28.7mm로 전혀 切斷에 참여하지 않는 칼날부분이 약 16mm 정도나 되어 아주 비효율적이며 이것은 2次切斷에도 사용되지 않는 불필요한 부분이 된다.

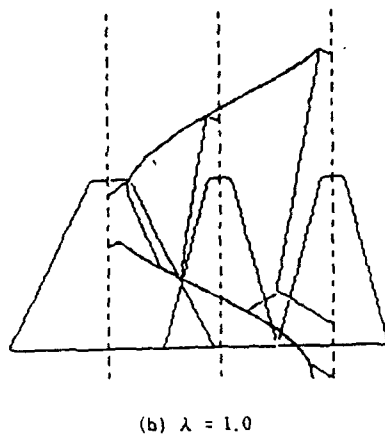
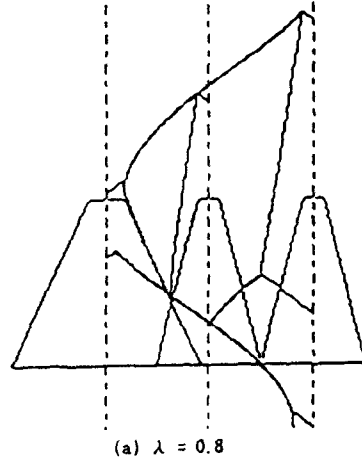


Fig. 3. Cutting pattern of low cutting type reciprocating knife by the cutting velocity ratios at  $V_m=1.0m/s$

Table 1. Cutting characteristics of low cutting type reciprocating knife by the cutting velocity ratios at  $V_m = 1.0\text{m/s}$

Item		Cutting velocity ratio			
		0.8		1.0	
Cutting starting	Crank angle(°)	1)	2)	1)	2)
		Knife velocity.(m/s)	182.5	245.2	189.8
Cutting ending	Crank angle(°)	0.050	1.026	0.241	1.109
	Knife velocity.(m/s)	243.6	316.1	253.7	304.0
Maximum velocity (m/s)		1.013	0.785	1.357	1.172
Cutting area	ratio of BA1	1.257		0.571	
	ratio of BA2	0.101	0.111	0.096	0.129
	ratio of BA3	0.372	0.197	0.352	0.336
	ratio of BA4	0.062		0.054	
Max. deflection of stalks(mm)		0.157		0.034	
Forward travel of combine(mm)		33.06		30.41	
Knife height used in cutting(mm)		125.0		100.0	
Secondary cutting length(mm)		28.7	45.0	23.94	45.0
		0.11	0.00	2.38	0.00

Note ; 1) : At 1st ledger plate      2) : At 2nd ledger plate

그림 4는 切斷速度比를 0.2에서 1.4까지 변화 시켰을 경우의 負荷集中面積, 作物의 최대 휨변형, 2次切斷길이 등의 변화를 나타낸 것으로, 切斷速度比가 증가함에 따라 負荷集中面積과 作物의 최대 휨변형은 감소하는 것으로 나타났으며 2次切斷은 제 1고정칼날에서는 切斷速度比가 0.6을 지나면서 발생하고, 제 2고정칼날에서는 切斷速度比가 1.2를 지나면서 발생하는 것으로 나타났다.

2배형 칼날의 切斷特性을 표준형 칼날의 경우와 비교하면 2배형 칼날의 경우가 負荷集中面積

의 감소율이 더 크고 作物의 최대 휨변형은 표준형 칼날의 절반 수준으로 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 2배형 칼날은 이러한 切斷特性에 맞추어 제 1고정칼날을 제 2고정칼날보다 작게 설계해야 할 것으로 판단되며 作物의 휨변형에 대한 저항이 매우 강한 作物이 아니라면 최대 절단속도를 충분히 이용할 수 있는 표준형 칼날이 유리하다고 판단된다.

나. 2중형 칼날의 切斷速度比變化에 따른 切斷特性的變化

1) 2중형 칼날의 切斷圖와 切斷特性

표준형 칼날이나 2배형 칼날은 예취장치의 관성력과 慣性모멘트로 인하여 세취칼날의 切斷速度를 무한정 빠르게 할 수 없는 것이 단점이며, Persson(1983)에 의하면 모어 설계시 크랭크의 최대 회전속도를 900~1100rpm 정도로 제한하여 왔다. 그러나, 이러한 慣性力을 줄일 수 있는 것이 2중형 칼날이며 이것은 2개의 구동칼날이 서로 상반되게 운동하므로 慣性力이 어느 정도 상쇄되어 표준형 칼날보다 적어진다. 또한 칼날의 行程 즉, 크랭크의 회전반경도 표준형 칼날의

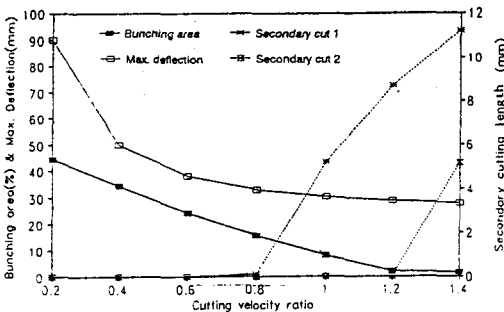


Fig. 4. Bunching area, maximum deflection and secondary cut of low cutting type reciprocating knife by the cutting velocity ratios at  $V_m = 1.0\text{m/s}$

1/2로 줄일 수 있으므로 작물의 휨변형도 작아진다.

그림 5는 2중형 칼날의 절단圖를 나타낸 것으로, 作物은 절단선(A-B)에서 절단이 이루어지며, 절단도상에 표시된 면적 BA3은 제 1구동칼날에 의해 一次的으로 수직방향으로 휘어지고 二次的으로 절단선까지 휘어져 절단되는 면적으로 최대 휨변형을 발생하는 면적을 나타낸다. 한편, 면적 BA2, BA4는 양 구동칼날에 의해 수직방향으로 휘어지고 A점 부근에 모아져 한꺼번에 절단이 일어나는 면적으로 큰 절단부하를 발생시키는 면적이 된다. 이 면적은 절단速度比 및 칼날의 치수를 변화시킴으로서 감소시킬 수 있으며 면적 BA2는 다음 행정시의 부하집중면적이 된다.

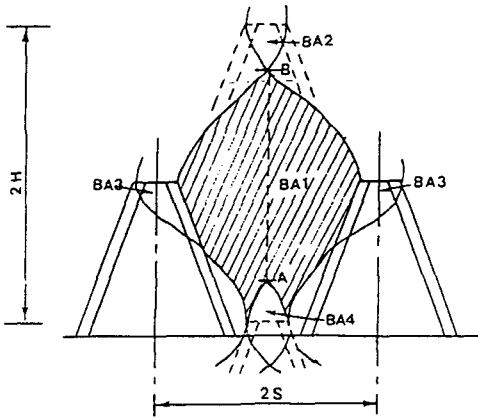


Fig. 5. Cutting pattern diagram of a double cutting type reciprocating knife

2) 절단速度比 變化에 따른 절단圖의 變化

2중형 칼날에 대한 절단特性 분석에서도 칼날의 규격 및 작동조건을 표준형 칼날의 경우와 동일하게 하였다.

그림 6 및 表 2는 절단速度比 變化에 따른 절단圖와 절단特性의 變化를 나타낸 것으로 이들에 의하면 절단速度비가 0.6일 때는 절단시에 최대 절단速度( $V_{max}=0.94m/s$ )를 거의 이용하고 있었으며, 절단되는 크랭크의 회전각 범위 또한 99°로서 비교적 넓은 범위의 角度에서 作物이 절단되는 것으로 나타나 作物의 절단負荷가 비

교적 균일하리라는 것을 알 수 있었다. 그리고, 負荷集中面積과 2次切斷은 거의 발생하지 않았으며 作物의 최대 휨변형도 36.96mm로 비교적 적은 값으로 나타났다.

절단速度比가 0.8일 때는 作物의 최대 휨변형이 30.44mm로 절단속도비 0.6일 때보다 줄어드는 것으로 나타났으며, 負荷集中面積 BA4가 없어졌으나 2次切斷길이는 7.45mm 정도 발생하였다. 그러나, 2중형 칼날에서의 2次切斷은 표준형 칼날에서의 2次切斷과는 의미상 차이가 있다. 즉, 표준형 칼날에서의 2次切斷은 한번 절단된 줄기를 다시 절단하는 것이나, 2중형 칼날에서의 2次切斷은 부하집중면적 BA2를 절단하는 것이므로 절단이 시작되는 A점에서의 부하집중을 어느정도 피할 수 있다는 것이다. 表 2에 나타난 결과를 보면 2次切斷길이는 7.45mm이지만 면적 BA2의 수직길이가 8.75mm이므로 2次切斷길이 모두가 면적 BA2를 절단하는데 관여함을 알 수 있다. 그러나, 절단速度比가 더욱 증가하여 1.0으로 되면 2次切斷길이는 14.9mm로 증가되고 면적 BA2의 수직길이는 절단속도의 증가로 7

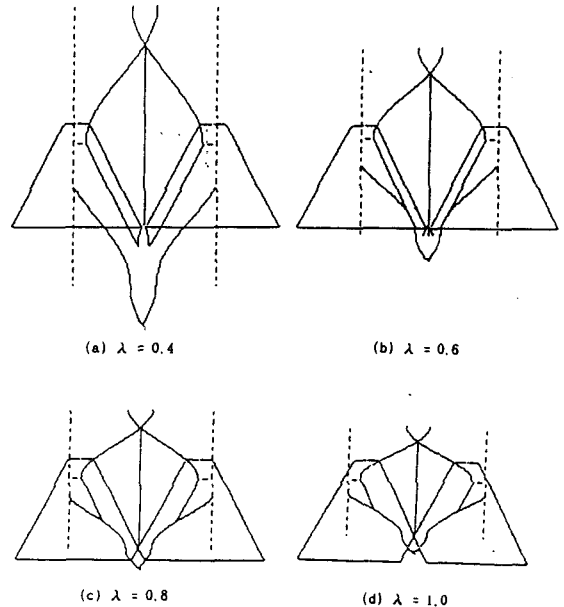


Fig. 6. Cutting pattern of double cutting type reciprocating knife by the cutting velocity ratios at  $V_m=1.0m/s$

Table 2. Cutting characteristics of double cutting type reciprocating knife by the cutting velocity ratios at  $V_m=1.0m/s$

Item		Cutting velocity ratio			
		0.4	0.6	0.8	1.0
Cutting starting	Crank angle(°)	210.2	213.7	230.1	242.6
	Knife velocity.(m/s)	0.285	0.471	0.868	1.257
Cutting ending	Crank angle(°)	311.8	312.8	298.2	309.6
	Knife velocity.(m/s)	0.422	0.622	0.996	1.089
Maximum velocity(m/s)		0.628	0.943	1.257	1.571
Cutting area	ratio of BA1	0.646	0.803	0.847	0.864
	ratio of BA2	0.032	0.032	0.032	0.032
	ratio of BA3	0.264	0.159	0.121	0.104
	ratio of BA4	0.058	0.006	0.000	0.000
Max. deflection of stalks(mm)		50.13	36.96	30.44	27.28
Forward travel of combine(mm)		125.0	83.33	62.50	50.00
Knife height used in cutting		45.0	45.0	39.95	33.70
Secondary cutting length(mm)		0.00	0.00	7.45	14.90
Height of BA2(mm)		0.00	0.00	8.75	7.00

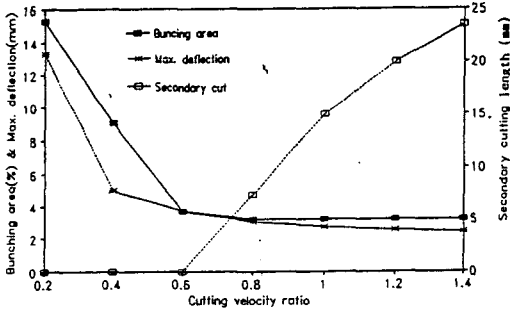


Fig. 7. Bunching area, max. deflection and secondary cut of double cutting type reciprocating knife by the cutting velocity ratios at  $V_m=1.0m/s$

mm로 줄어들어 면적 BA2의 수직길이를 제외한 나머지의 길이는 실질적인 2次切斷에 사용되어 바람직하지 못한 것으로 나타났다.

그림 7은 2중형 칼날의 切斷速度比 변화에 따른 切斷特性의 변화를 나타낸 것으로 切斷速度比가 증가함에 따라 負荷集中面積과 作物의 최대 휨변형은 급격히 감소하다가 切斷速度比 0.6 일 때를 정점으로 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며, 2次切斷길이는 반대로 切斷速度比 0.6을 기점으로 하여 급격히 증가함을 알 수 있다. 따

라서 2중형 칼날의 경우 규격이 표준형 칼날과 같을 때 최적의 切斷速度比는 0.6~0.8 정도라고 할 수 있다.

#### 다. 표준형 · 2배형 · 2중형 칼날의 切斷特性 比較

그림 8, 9, 10은 현재 많이 사용되고 있는 往復 動 刈取칼날의 3종류인 표준형, 2배형, 2중형 칼날에 대한 切斷特性을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 8은 切斷速度比 변화에 대한 負荷集中面積의 변화를 나타낸 것으로, 칼날규격(치수)과 작동조건이 동일할 때 2중형 칼날은 1.0 이하의 切斷速度比에서 負荷集中面積이 적게 나타났으나 1.0 이상에서는 표준형, 2배형 칼날의 경우와 비슷한 水準을 나타냈다. 또한, 2중형 칼날의 경우는 切斷速度比 0.6에서부터 負荷集中面積의 변화가 거의 없었으나 표준형과 2배형 칼날의 경우는 절단속도비 1.2에서부터 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서, 2중형 칼날은 표준형이나 2배형 칼날보다 낮은 切斷速度比에서 작업 하여도 큰 무리가 없는 것으로 판단된다.

그림 9는 作物의 최대 휨변형의 변화를 나타낸

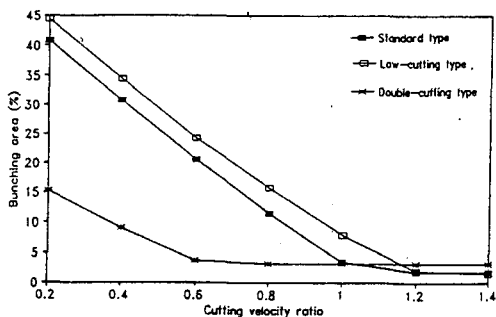


Fig. 8. Bunching area of 3 types reciprocating knife by the cutting velocity ratios at  $V_m=1.0m/s$

것으로 표준형 칼날이 가장 큰 휨변형이 발생하는 것으로 나타났고, 2배형과 2중형은 표준형의 약 1/2 수준을 나타냈다. 그림 10은 2次切斷길이의 변화를 나타낸 것으로 2중형 칼날이 가장 큰 2次切斷이 발생하는 것으로 나타났으나 실제로 이 2次切斷길이의 일부는 다음 행정시의 負荷集中面積(BA2)의 절단에 이용되므로 큰 문제가 되지 않는다. 그리고, 2배형칼날의 경우 제 1고

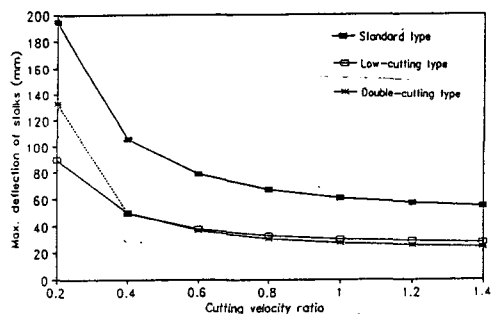


Fig. 9. Maximum deflection of stalks of 3 types reciprocating knife by the cutting velocity ratios at  $V_m=1.0m/s$

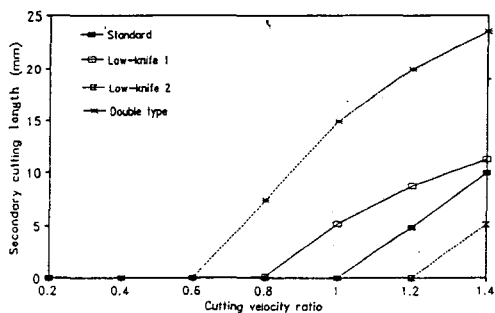


Fig. 10. The secondary cutting length of 3 types of reciprocating knife by the cutting velocity ratios at  $V_m=1.0m/s$

정칼날에서의 2次切斷이 제 2고정칼날에서보다 크게 발생하였으며 표준형 칼날은 2배형 칼날의 제 1고정칼날과 제 2고정칼날의 중간수준을 나타냈다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 2중형 칼날이 표준형이나 2배형 칼날보다는 切斷性能이 양호한 것으로 판명되었다.

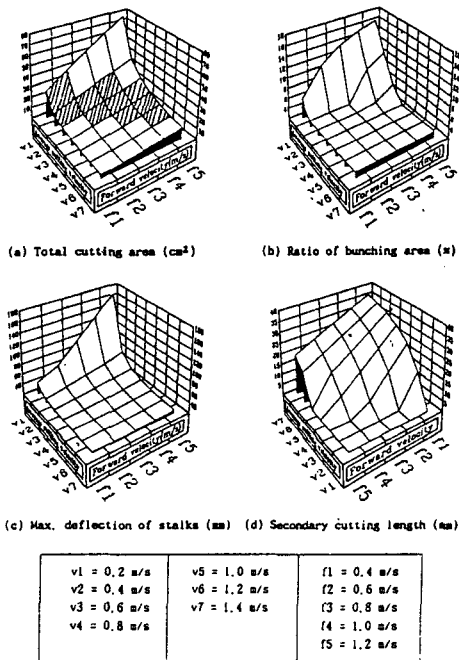


Fig. 11. Cutting characteristics of 50mm double cutting type reciprocating knife in accordance with the increase of forward velocity as well as average cutting velocity

라. 前進速度 및 切斷速度 變化에 따른 切斷特性的 變化

기체의 전진속도별 적정 절단속도 범위를 파악하기 위해 콤바인의 전진속도 및 절단속도의 변화에 따른 切斷特性的의 변화를 분석하였다. 즉, 2중형 칼날에 대해 50mm 규격과 76mm 규격별로 切斷特性的의 변화 즉, 총절단면적, 부하집중면적, 작물의 최대 휨변형, 2次切斷길이 등의 변화를 분석하였는데, 그 결과는 그림 11과 12에 나타낸 바와 같다. 이 분석 결과에 의하면 칼날의 규격별로 공히 전진 속도가 증가할 수록 또한

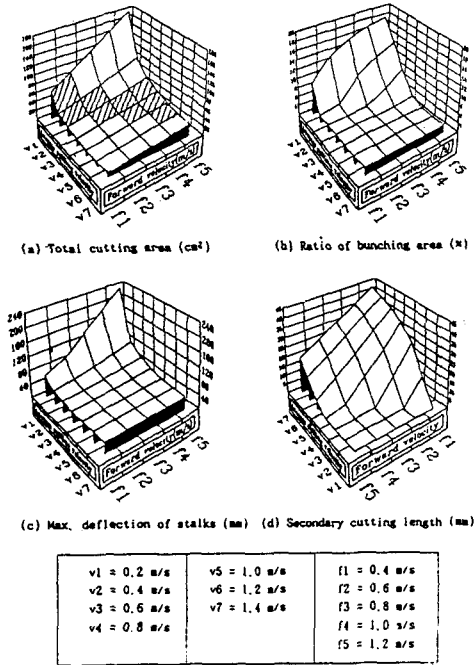


Fig. 12. Cutting characteristics of 76mm double cutting type reciprocating knife in accordance with the increase of forward velocity as well as average cutting velocity

절단속도가 감소할 수록 總切斷面積, 負荷集中面積, 作物의 최대 휨변형 등은 증가하는 것으로 나타났으나, 2次切斷길이는 반대현상으로 나타났다.

이들을 다음과 같은 기준, 즉, 總切斷面積 20 cm<sup>2</sup>(벼 한포기의 직경을 50mm로 가정하였을 때 切斷해야할 면적) 이상, 부하집중면적비율 10% 이하, 作物의 최대 휨변형 70mm 이하, 2次切斷길이 10mm 이하를 기준으로 하여 각 예취칼날에 대한 작업속도별 즉, 전진속도별 적정 절단속도 범위를 분석하였는데 그 결과는 각 그림의 總切斷面積을 나타낸 그림(a)에 빗금으로 표시하였다. 이 결과에 의하면 이들의 절단특성을 앞에서 설정한 기준내에서 유지토록하기 위해서는 機體의 전진속도  $V_m = 0.5 \sim 1.2m/s$ 의 범위(실제 작업속도)에 대한 2중형 칼날의 적정 절단속도 범위는  $V_{av} = 0.3 \sim 0.96m/s$ 로 나타났다. 따라서, 표준형 칼날의 경우(제I보 참조)와 비교하여 볼 때 콤바인의 고속화에 따른 절단속도의 고속화

문제점을 보완하기 위해서는 2중형 칼날의 채택이 필요한 것으로 판단되었다.

#### 4. 要約 및 結論

往復動 刈取칼날의 切斷特性을 쉽게 분석할 수 있는 切斷圖의 作圖 및 分析 프로그램을 개발하였으며 이 프로그램을 이용하여 칼날의 종류와 切斷速度比 變化에 따른 切斷特性의 變化를 分析하였다. 그 結果를 요약하면 다음과 같다.

(1) 2배형 칼날의 경우는 표준형 칼날과 비슷한 切斷特性을 보였으나 최대 휨변형은 표준형의 약 1/2 수준을 나타냈으며, 제 1고정칼날은 칼날 높이 전체 길이를 절단에 이용하지 않는 것으로 나타나 제 2고정칼날보다 작게 설계되어야 할 것으로 생각되었다.

(2) 2중형 칼날은 切斷速度比가 0.6에서부터 負荷集中面積과 作物의 최대 휨변형은 거의 변화가 없었으나 2次切斷길이는 절단속도비 0.8에서 발생하여 그 이상에서는 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

(3) 2중형 칼날의 경우는 負荷集中面積과 최대 휨변형이 표준형의 약 1/2로 감소하고 2次切斷길이도 크게 변화하지 않는 것으로 나타나 高速化를 위해서는 2중형 칼날의 채택이 필요한 것으로 판단되었다.

(4) 2중형 칼날의 경우 부하집중면적, 作物의 최대 휨변형, 2차절단길이 등을 적정 범위내에서 유지토록 하기 위해서는 機體의 전진속도  $V_m = 0.5 \sim 1.2m/s$  범위에 대한 칼날의 평균절단속도는  $V_{av} = 0.3 \sim 0.96m/s$  범위가 적정한 것으로 판명되었다.

#### 參 考 文 獻

1. 鄭昌柱. 1988. 農作業機械學, 서울대학교 출판부. 서울. p. 200~230
2. 鄭昌柱, 李成範, 印孝錫. 1995. 콤바인 刈取裝置의 切斷特性에 관한 研究(I). 한국농업



- 기계학회지 20(1).
3. Akritidis, C. B. 1974. The mechanical characteristics of maize stalks in relation to the characteristics of cutting blade. JAER. Vol (19) : 1~12
  4. Hummel, J. W. 1983. Impact cutting soybeans using flexible cutting system. Trans. of ASAE 27(6) : 1315~1319
  5. Ige, M. T. and M. F. Finner. 1975. Effects and interactions between factors affecting the shearing characteristics of forage harvester design. Trans. of ASAE 18(6) : 1011~1016
  6. Ige, M. T. and M. F. Finner. 1976. Forage harvester knife response to cutting force. Trans. of ASAE 19(3) : 451~454
  7. Kanafojski, Cz. and T. Karwowski. 1976. Agricultural machines-Theory and Construction. Vol(2), Crop harvesting machines. U.S. Department of Agriculture and the National Science Foundation, Washington, D.C., p. 3~109
  8. Kepner, R. A., R. Bainer and E. L. Barger. 1978. Principles of farm machinery, 3rd Edition. AVI, p. 313~340
  9. Lee, S. W. and Y. K. Huh. 1983. Threshing and cutting forces for Korean rice. Trans. of ASAE 27(6) : 1678~1681
  10. Sverker persson. 1983. Mechanics of cutting plant material. An ASAE Monograph Number 7. p. 95~160