콤바인 脫穀齒 配列의 設計 理論*

Development of Design Theory on the Tooth Arrangement of the Combine Threshing Drum

鄭 昌 柱** 崔 重 燮** 李 源 祥** 鄭 秀 一***
C. J. Chung J. S. Choi W. S. Lee S. I. Chung

Summary

This study was intended to develop the design theory of the threshing unit of a head-feeding rice combine. It may be applied for various combining capacities with different cutting widths and forward speeds.

Design factors in the theoretical development are : (1) dimensions of the threshing drum, (2) tooth approching angle, (3) distance between the adjacent teeth on their spiral setting line, (4) number of spirals, and (5) total number of teeth on the drum. A computer simulation program was developed to predict the proper dimensions for the threshing drum and tooth arrangement.

A simulation for the prospective combine with varied capacities was also demonstrated. The parameters analyzed in the developed design theory were shown to be consistent with those of existing combines.

Ⅰ. 緖 論

자탈형 콤바인은 우리나라 벼수확작업의 주축을 이루고 있는 기종으로서, 근래에 와서 그 이용이 보편화되면서 大型化, 高速化에 따른 高能率化 機種으로 점차 바뀌지는 경향을 나타내고 있다. 콤바인의 탈곡부는 콤바인 전체 에너지의 절반 정도를 소모하고 탈곡물의 품질과 조제성능, 그리고 곡물 손실에 영향을 크게 미치는 콤바인의 핵심부분이다. 그러나 탈곡 현상의 복잡성 때문에 아직까지 뚜렷한 설계이론이 정립되지 못하고 주로 경험에 입각한 설계가 이루어져 왔다. 특히, 근래의 고성능 콤바인의 수요 추세에 따라 이에 적합한 탈곡부의 설계이론의 정립이 절실하게 요청되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 기존 콤바인의 탈곡부에 대한 분석을 기초로 하여 탈곡치 배열의 기초적인 설계이론을 개발하고자 하였다.

Ⅱ. 탈곡치 배열의 이론식 유도

탈곡통의 치수는 지름과 길이로 결정되며, 그

* 本 硏究는 産學協同硏究財團과 大同工業(株)의 共同硏究費支援에 의해 이루어진 것임
** 서울大學校 農業生命科學大學
*** 大同工業 株式會社

전개도는 그림 (1)에 나타낸 바와 같다. 자탈형 콤바인에서는 철선형 탈곡치를 탈곡통에 나선형으로 배열하여 고정한다.

탈곡치의 배치는 배열선의 진입각, 배열선위에서의 이웃하는 탈곡치 사이의 거리 및 배열선 사이의 원주 방향의 거리로 규정될 수 있다. 이러한 인자들의 결정에는 콤바인작업상의 제요인과 관계되므로 이들에 대한 상호 관계를 수학적으로 규정할 필요가 있다. 여기서는 벼를 대상으로 이론식을 유도하고자 한다.

1) 공급 체인을 지나는 작물의 두께

지금 콤바인의 작업속도를 V_c(cm), 작물의 예취줄수를 N_c, 작물의 포기사이의 거리를 D_a(cm), 한 포기당 절단 단면적을 A_r(㎠)이라고 하면, 단위시간당 예취되는 작물의 단면적은 $(V_c/D_a)N_cA_r$로 나타낼 수 있다. 또, 공급 체인의 속도를 V_1(cm), 공급 체인을 지나는 작물의 압축되지 않는 상태에서의 두께를 D_b(cm)라고 하면, 단위시간당 공급 체인에 의해 탈곡부에 공급되는 작물의 단면적은 V_1D_b이다. 이들 두 값은 서로 같아야 하므로

$$(V_c/D_a)N_cA_r=V_1D_b$$

즉,

$$(V_c/D_a)N_cA_r$$

$$D_b=\frac{V_c\cdot N_c\cdot A_r}{D_a\cdot V_1} \qquad (1)$$

2) 탈곡치의 타격수

작물이 탈곡통을 지나는 동안의 탈곡작용은 배열된 삼각치에 의해 이루어진다고 가정한다. 작물이 탈곡통 축과 평행한 방향으로 단위 폭(1 cm)만큼 이동하는 동안에 탈곡치가 작물을 타격하는 회수는, 삼각치의 총수와 탈곡통의 회전수 및 작물의 이동속도에 비례한다. 따라서, 공급체인을 지나는 작물의 단위 폭에 대한 탈곡치의 타격회수 N_i는 다음식으로 주어진다.

$$N_i=N_1(N_t-3)(R/60)(1/V_1)$$

$$=\frac{RN_1(N_t-3)}{60V_1} \qquad (2)$$

여기서, N_1=탈곡치 배열선의 수, R=탈곡통의 회전수(rpm), N_t=나선 배열선 하나에 포함된 탈곡치의 수이다.

하나의 나선 배열선위의 탈곡치의 수는 나선 배열선의 길이를 탈곡치 사이의 배열선 방향의 거리로 나누어 준 것과 같다. 즉,

$$N_t=\frac{L\sec(90°-\alpha)}{Dr\sec(90°-\alpha)}=\frac{L}{D_r}$$

$$=L/(D_1\tan\alpha) \qquad (3)$$

여기서, L=탈곡통의 길이 (cm), D_r=탈곡치의 회전 간격(cm), α=탈곡치 배열선의 진입각, D_1=같은 배열선 위에서 이웃한 두 탈곡치 사이의 탈곡통 원주 방향의 거리로서 타격선 간격이다.

3) 공급체인의 속도와 배열선의 진입속도의 비

나선 배열선의 피탈곡물에 대한 진입속도는 탈곡통의 회전속도에 탈곡통이 1회전하는 동안의 배열선의 진입거리를 곱한 것과 같으므로, 공급체인의 속도에 대한 배열선의 진입속도의 비(R_r)는 다음과 같다.

$$R_r=\frac{\pi DR\tan\alpha}{60V_1} \qquad (4)$$

여기서, D는 탈곡통의 유효지름(cm)이다.

4) 탈곡통과 급치 배열의 이론식

위에서 정의된 식들을 바탕으로, 다음과 같이 탈곡통의 치수와 탈곡치 배열에 관한 설계식을 유도할 수 있다. 공급체인의 속도 V_1은 (1)식에서 주어지므로 탈곡치 배열선의 진입각 α는 다음 식으로 주어진다.

$$\alpha=\tan^{-1}\frac{60R_rV_cN_cA_r}{\pi RDD_aD_b} \qquad (5)$$

식(2)를 N_t에 대해서 다시 쓰고, 이것을 식(3)

과 같게 놓고 탈곡통의 길이 L에 대하여 풀면

$$L = D_t \tan\alpha \frac{60V_t N_c}{RN_t} + 3 \quad (6)$$

또한, 식(6)에 식(1)의 V_t을 대입하면

$$L = D_t \tan\alpha \frac{60V_c N_c A_r N_i}{D_a D_b R N_t} + 3 \quad (6')$$

같은 배열선 위에 인접한 두 탈곡치 사이의 배열선 방향의 거리 D_c는 다음과 같다.

$$D_c = D_t/\cos\alpha \quad (7)$$

또 이웃한 두 배열선 사이의 탈곡통 원주방향의 거리 D_e는 탈곡통 원둘레를 배열나선의 수로 나눈 것과 같다. 즉,

$$D_e = \pi D/N_t \quad (8)$$

III. 탈곡통과 탈곡치 배열의 분석

위에서 말한 탈곡통과 탈곡치 배열에 대한 설계이론식을 유도함에 있어서 많은 수의 설계인자와 유도된 변수들이 사용되었다. 이와 같이 개발된 설계이론에 근거하여 탈곡통과 탈곡치의 배열을 설계하기 위해서는 이들 변수들의 실제적인 사용가능 범위를 규정할 필요가 있다. 예를 들어, 현재 우리나라에서 많이 사용하고 있는 D社 제품의 2, 3, 4줄용 자탈형 콤바인을 대상으로, 위의 설계이론 전개에 사용된 설계변수들인 탈곡통의 치수, 탈곡치의 종류와 그 치수, 탈곡치의 배열 변수들의 실제값을 비교 분석한 결과를 요약하면 표(1)과 같다. 또한, 탈곡치 배열의 한가지 예로서 4줄용 콤바인의 경우를 그림(1)에 나타내었다.

배열되어 있는 탈곡치의 종류는 여러가지 있으나, 구조적 측면에서 본 형태는 그림(2)에 나타낸 바와 같이 탈곡실 입구측으로부터 출구쪽으로 낮은 삼각치1, 반원치2, 이중반원치3, 낮은 이중삼각치4, 높은 이중삼각치5, 삼각치6, 날알떨이판7로 구분할 수 있다. 이들의 형태를 특성화하는 치수는 표(1)에 나타내었다.

표1. 지탈형 콤바인의 탈곡통과 탈곡치의 구조 특성의 분석

콤바인의 크기		2줄용	3줄용	4줄용
탈곡통의 지름(mm)		420	420	420
탈곡통의 길이(mm)		480	560	750
탈곡통의 정격 회전수(rpm)		480	480	480
탈곡통의 두께(mm)		5.2	68	68
탈곡치(삼각치)의 높이(mm)		68	68	68
나선 배열선의 수		4	4	4
배열선의 감긴 수		1.36	1.58	1.75
배열선당 탈곡치의 수	낮은 삼각치[1]	1	1	1
	반 원 치[1]	1	1	1
	이중반원치[1]	1	1	1
	이중삼각치	10	12	14
	삼 각 치	3	3	3
탈곡치의 총수		64	72	84[2]
공급체인의 속도(m/s)		0.26	0.45	0.5
주행속도(m/s)		0.21－1.2(6단)	0.28－1.57	〈1.06(무단)

1) 낮은 삼각치, 반원치, 이중 반원치의 설치각은 각각 10°, 20°, 13°임.

2) 두 줄에 2개의 삼각치 추가

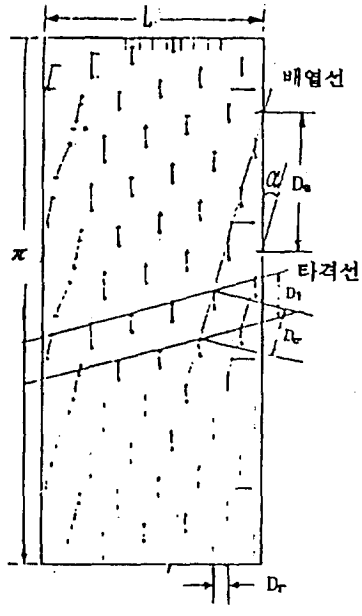


그림 (1) 탈곡치의 배열을 규정하는 변수

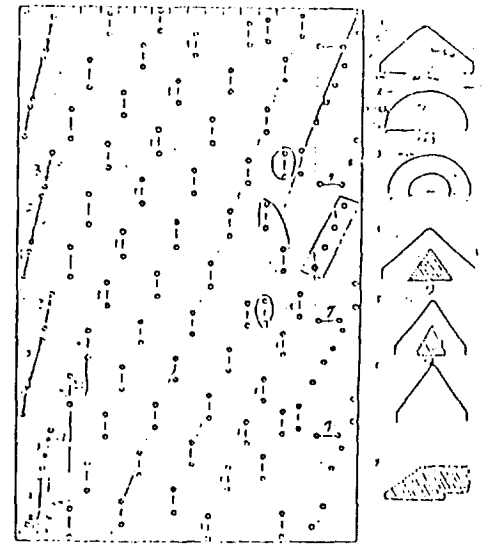


그림 (2) 4줄용 자탈형 콤바인의 탈곡치 배열도

Ⅳ. 탈곡통과 탈곡치의 설계 시뮬레이션

1) 기존 콤바인에 대한 설계

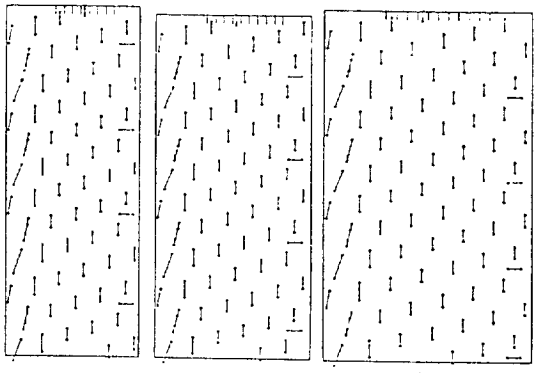
앞에서 유도된 설계이론과 분석된 현존 콤바인 탈곡부의 제변수를 적용하여 탈곡통의 치수와 탈곡치 배열을 컴퓨터 시뮬레이션을 적용하여 설계하였다. 이와 같은 방법을 통하여 설계인자의 다양한 변화에 따른 탈곡부의 설계가 손쉽게 이루어질 수 있다. 설계 시뮬레이션을 예시하기 위하여 적용된 변수치를 표(2)에 나타내었다. 그림(3)은 자탈형 콤바인 2, 3, 4줄형에 대한 설계 시뮬레이션을 나타낸 것이다.

2) 소형 콤바인의 고속화설계

기존의 2, 3줄 자탈형 콤바인은 일반적으로 작업속도가 저속(실제상 0.6m/s 이하)이므로, 고

표 2 자탈형 콤바인의 탈곡치 배열 시뮬레이션에 사용된 자료

설계 인자 / 기종		2줄용	3줄용	4줄용
탈곡통 회전속도	R (rpm)	480		
탈곡통 지름	D (cm)	42		
포기 사이	D_a (cm)	15		
포기당 단면적	A_r (cm^2)	4π		
배열선의 수	N_i	4		
타격선 간격	D_1 (cm)	12		
작업 속도	V_c (cm/s)	60	80	100
배열선 진입속도비	B_r	10.8	6.3	6.9
타격수	N_i	16	11	11
공급 두께	D_b (cm)	3.9	4.5	6.7



a b c

그림 (3) 설계 이론에 따라 컴퓨터로 설계한 탈곡치의 배열도
a) 2줄용 콤바인 b) 3줄용 콤바인
c) 4줄용 콤바인

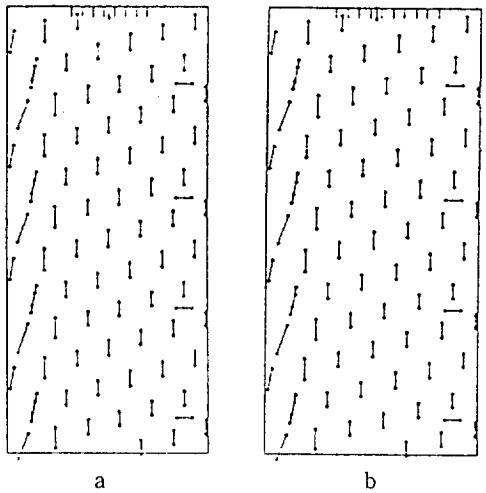
속화에 적응할 탈곡용량의 증가를 꾀하기 위해서는 설계변경이 요구된다. 이러한 탈곡부의 고속화 적응설계는 관련 변수의 다양한 변화를 시뮬레이션하여 주요변수의 적정화를 실험적으로 규명할 필요가 있을 것이다. 여기에서는 설계의 한 변수로서, 표(3)에 주어진 주요변수의 자료를 적용하여 시뮬레이션을 하였으며 그 결과를 그림(4)에 나타내었다.

V. 요약 및 결론

본 연구의 목적은 자탈형 콤바인의 예취줄수와 작업속도의 상승적으로 표현되는 작업능률의 다양한 변화를 수용할 수 있는 탈곡부의 설계이론을 개발하는데 있었다. 탈곡부의 주요 설계요

표 3. 고속화 콤바인의 시뮬레이션에 사용된 자료

설계 인자 / 기종		2줄용		3줄용	
		기 존 값	고 속 값	기 존 값	고 속 값
작업 속도	V_c(cm/s)	6	90	80	100
배열선 진입 속도비	R_r	10.8	8.0	6.3	6.6
타격 수	N_i	16	14	11	11
공급 두께	D_b (cm)	3.9	4.2	4.5	5.5



a b

그림 (4) 고속화 하였을 경우의 탈곡치 배열도
a) 2줄용 콤바인 b) 3줄용 콤바인

인으로서는 탈곡통의 치수, 탈곡치 배열선의 진입각, 배열선상에서의 탈곡치간의 거리, 공급체인의 속도, 배열선의 수, 탈곡치의 총수 등을 고려하였다.

이들 변수 상호간의 유도된 이론식을 적용하여 탈곡통과 탈곡치 배열의 설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 개발하였으며, 기존의 상이한 용량의 콤바인을 대상으로 분석한 여러 설계치를 적용하여 설계 시뮬레이션을 한 결과를 예시하였다. 여기에서 개발한 설계이론은 기존 콤바인에 대한 설계와 잘 부합되었으며, 따라서 여러가지 능률이 다른 콤바인의 설계에 대한 기본 자료로 이용할 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

1. 남 상일, 정 창주, 細川 明. 1987. 자탈형 콤바인 탈곡부 설계요인의 적정화를 위한 연구. 농업기계학회지 12(3) : 42~49.
2. 정 창주, 남 상일. 1985. 자탈형 콤바인의 탈곡과정의 수학적 모형개발에 관한 연구. 농업기계학회지 10(2) : 36~46
3. 江崎 春雄 등. 1972. 自脫 高性能化 關 研究. 日本農業機械化研究所報告 第 9 號 : 11~83.
4. 남 상일. 1988. 탈곡치의 탈곡특성 및 배열의 적정화에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문
5. 남 상일, 정 창주. 1988 자탈형 콤바인 탈곡부 설계요인의 적정화를 위한 연구(II). 한국농업기계학회지 13(4) : 9~19.

祝

學 位 取 得

姓　　名 : 朴 濬 傑
生 年 月 日 : 1952年 12月 24日
勤 務 處 : 建國大學校
取得學位名 : 農學博士
學位授與大學 : 서울大學校
學位取得年月日 : 1992年 2月 26日
學 位 論 文 : 쟁기의 耕耘抵抗力 測定 및 豫測에 關한 硏究