

軸流 콤바인의 開發에 關한 基礎 研究(II)

— 脱粒過程의 數學的 模型 開發 —

Fundamental Studies on the Development of Axial-flow Combine(II)

— Development of Mathematical Model of Threshing Process —

李 昇 揆*, 禹 鍾 龜**, 金 成 泰*

S. K. Lee, J. K. Woo, S. T. Kim

Summary

This study was carried out getting basic data for developing a new combine which is suitable for the cultivating situation in Korea or Southeast Asia.

The relation of the amount of unthreshed grains and the axial displacement of crop in threshing process was attempted to formulate mathematically in a threshing chamber of axial-flow threshing unit.

It was found that unthreshed grain is an exponentially-decaying function of axial displacement of grains based on available data. Threshing experiments were performed to validate the mathematical model by changing various levels of pertinent variables for malting barley.

Good correlation were obtained between the theoretical calculation and observed data for various test conditions, such as inclination, vane pitch, concave length, drum speed, feeding velocity, stream weight, moisture content.

Therefore the model can be used for general purpose to find the amount of unthreshed grain if the mean rate of occurrence of threshing of kernels(λ_T) is properly calibrated considering some other operating conditions and crop conditions which are not involved in this analysis.

1. 緒 論

收穫作業은 극히 고된 作業일 뿐만 아니라 水稻作 全勞動投下量의 30~40%를 차지하고 있다. 특히 2稈作地帶에서는 收穫時期와 移秧 또는 播種時期가 겹쳐 勞動피크를 이루게 되어, 이 期間中의 높은 勞賃과 勞動力 不足現象은 우리나라 農業發展에 큰 制約要因의 하나가 되고 있다. 이러한 勞動力 不足을 解消함은 물론 勞動生産性의 提高와 適期適作 및 收穫損失의 最少化에

의한 增收, 기후불순으로 인한 收穫損失의 危險 負擔率 減少 등을 위해서는 收穫作業의 機械化가 切實하게 要求된다.

先進國에서 가장 널리 利用되고 있는 穀物收穫機는 콤바인이며, 開發途上國에서도 콤바인의 普及은 急進의으로 增加되고 있으므로 앞으로 이러한 콤바인의 改良 또는 開發은 部分的인 것이라 할지라도 世界的인 關心을 끌 것으로 생각된다. 그러나 歐美地域에서 주로 使用되고 있는 直流 콤바인은 여러가지 作物에 대하여 利用可

* 慶尙大學校 農科大學 農業機械工學科

** 大同工業(株) 研究所

能한 反面, 巨大한 選別機構를 갖추고 있음에도不拘하고 作物流量에 대한 作業精度가 不安定하고, 大型 高價로서 集約의 小農構造의 經濟性を 充足시키기 어렵고, 특히 벼의 境遇 穀粒損失과 損傷이 많다. 또 우리나라나 日本에서 주로 使用되고 있는 自脫型 콤바인은 所要動力이 적고, 穀粒損失이 적어 일반벼에는 아주 理想的이라 할 수 있으나 벼 以外的의 作物에는 適應性이 낮고, 인디카型 벼나 生育狀態가 不均一한 벼에는 穀粒損失이 많아지고, 특히 高水分, 이슬이 있을 때에는 作業이 不可能하여 年間 負擔面積에 큰 制約이 되고 있다. 따라서 이러한 慣行 콤바인의 一部 改良만으로는 現水準의 콤바인의 性能을 크게 向上시키기 어려우므로 새로운 脫穀選別方式이 摸索되어야 할 것이다. 특히 東南아시아나 우리나라의 實情에 알맞는 콤바인의 開發은 매우 時急하다.

軸流 脫穀選別裝置는 키가 크고 濕한 作物은 扱胴에 감기기 쉽고, 所要動力이 많으며 짚의 破碎가 심하여 널리 利用되지 못하였다. 그러나 作物이 脫穀力과 選別力을 받는 時間과 回數가 增加하므로 性能이 向上될 可能性이 있고, 脫穀室內의 作物의 移動速度가 늦어 穀粒損傷이 減少하며, 특히 巨大한 畝線별체에 比하여 小型 輕量 임에도不拘하고 選別面積이 增加하고, 또한 傾斜地에 有利한 點 等の 觀點에서 最近 世界的인 關心을 끌고 있다. 그러나 지금까지 發表된 軸流 脫穀選別裝置에 關한 研究는 稈을 잘라내고 이삭部分만을 供給한 模型實驗이거나^{12, 17)}, 實技實驗結果^{5, 8, 9, 15, 19, 23, 25)}도 性能實驗을 통한 斷片的 知識의 提供에 머물고, 最適 設計要因에 關한 豫測情報을 提供해 주기에 未洽한 實情이다.

따라서 本 研究에서는 軸流 콤바인의 脫粒現象을 理論的으로 一般化하기 위한 數學的 模型을 開發하고, 設計 製作한 試作機에 關한 性能實驗을 통하여 理論式을 檢證하므로써 軸流 脫穀裝置의 脫粒作用에 關한 基礎的 豫測情報을 얻고자 한다.

2. 研究史

脫穀裝置의 脫粒過程을 자세히 觀察하고 穀粒에 影響을 주는 諸要因을 分析한 研究는 많다^{1, 4, 6, 7, 10, 15等)}. 土屋¹⁶⁾는 自動脫穀機의 供給口로부터 扱齒의 最初 3列 以內에서 穀粒의 95% 以上이 脫粒된다고 하였고, 直鍋¹³⁾는 自脫型 콤바인의 脫穀에너지 利用效率은 2% 以下에 不過하다고 하였다. Lamp²⁶⁾는 遠心力에 의한 穀粒일을 運動 에너지와 反登係數로 나타낸 바 있고, Reznicek²⁸⁾ 역시 機械的 穀粒일에 關한 理論式을 提案하였으며, 姜과 鄭²⁾은 脫粒에 關한 力學的 分析을 한 바 있다. 그러나 川村 等¹⁴⁾은 枝梗은 含水率 20%를 境界로 機械的 性質이 달라져 低含水率의 境遇에는 彈性體, 高含水率의 境遇에는 塑性體에 가깝다고 하였다. 또 Krutikov²⁴⁾는 作物마다 最少動力과 最少損傷으로 最大脫粒을 얻을 수 있는 最適 壓縮應力值가 存在한다고 하였다.

實驗結果로부터 脫粒率에 關한 重回歸模型을 開發하거나 實驗式을 提案한 研究는 많으나^{18, 21, 30, 31, 32等)}, Hall과 Husman²⁰⁾은 밀과 보리는 전혀 다른 特性을 보여 함께 集成하여 分析할 수 없고, 機械的 縮小模型은 實機와 性能上 相關關係가 잘 나타나지 않으며, 作物의 物性的 影響은 複雜하다고 하였다. Trollope²⁹⁾는 脫粒率을 作物의 脫穀室內 角變位에 대한 指數函數로 簡略化한 理論式과 實驗式을 開發하였으며, 梅田³⁾은 自脫型 콤바인의 脫粒率을 作物의 脫穀室內 通過時間에 대한 確率密度函數로 나타낸 바 있다. 특히 Huynh等²²⁾은 直流 콤바인의 脫粒過程에 대한 數學的 模型을 開發하고, 脫粒率은 畝層의 運動 에너지와 畝層에 대한 그 傳達率에 比例한다고 假定하여 實測值로 부터 比例常數를 推定하였다. Mailander와 Krutz²⁷⁾는 軸流 콤바인의 옥수수收穫에 關한 레이트模型을 開發하고, Huynh의 模型²²⁾을 利用하여 시뮬레이션하였다. 또 鄭과 南¹¹⁾은 自脫型 콤바인의 脫粒過程에 대하여 扱齒의 벗단에 대한 累積 打擊回數에 의한 確率模型을 開發하고, 脫粒率은 流量에 比例하고 運動 에너지와 水分에 反比例한다고 假定하였다. 李⁷⁾는 投入式 軸流 脫穀裝置의 脫粒過程을

脫穀室內 作物의 位置 또는 通過時間에 의한 數學的 模型으로 나타내었다.

3. 脫粒過程에 대한 數學的 模型

가. 物理的 模型

理論으로 解析할 裝置의 物理的 模型은 可能한 한 實機와 一致시키기 위하여 그림1과 같이 設計 製作한 投入式 軸流 脫穀裝置를 選擇하였다. 이 裝置는 円筒型 扱胴과 扱網 및 脫穀室 덮개로 이루어진 단순한 형태로 模型化한 것이다. 扱胴의 表面에는 一定 피치로 扱齒를 配列하였고, 脫穀實 下半部는 一定한 扱網틀새를 두고 扱胴을 둘러싸고 있는 固定 扱網으로 이루어져 있으며 脫穀室 上半部는 內表面에 一定 피치의 깃이 附着된 철판덮개로 이루어져 있다.

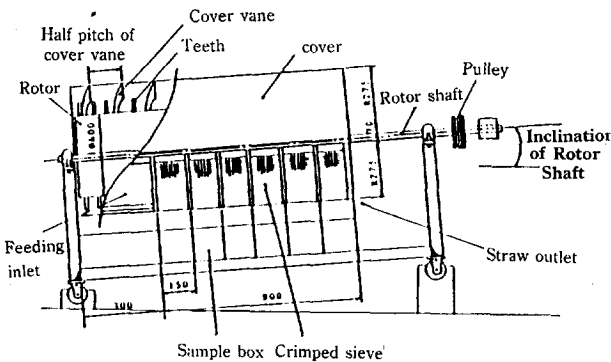


Fig. 1 Schematic diagram of cylindrical type test rig.

作物은 컨베이어에 의해 一定한 供給速度와 均一한 密度로 이삭部分부터 扱胴의 円周方向으로 供給되어, 水平과 一定 角度로 傾斜진 扱胴軸을 中心으로 一定 角速度로 回轉하고 있는 扱齒의 打擊을 받게 된다. 脫穀室內에 投入된 被脫穀物은 扱齒의 作用에 의하여 에너지를 傳達받고, 衝擊, 反發係數差와 力積, 摩擦과 훑는 作用 等の 組合作用에 의하여 穀粒이 이삭으로부터 分離되는 脫粒現象이 發生한다. 被脫穀物은 이와 같은 過程을 反復하면서 脫穀室內을 回轉하면서 軸方向으로 移動하여 排出口로 自然落下하여 排出된다. 脫穀室內에 있는 동안 被脫穀物은 數回의 衝擊을 받는 不連續 問題이지만, 衝擊回數를 無限

으로 接近시켜 正常過程의 連續問題로 近似化하므로써, 數學的 模型이 實際使用時 便宜성과 折衷이 되도록, 즉 系를 그레이박스(Grey Box)로 看做하여 物理的 模型을 單純化한다. 따라서 脫粒過程은 力學的으로 一定한 過程을 輕由한다고는 말할 수 없는 確率過程으로 假定하고, 어느 時點에서 任意의 穀粒이 任意의 位置에서 脫粒될 確率は 全穀粒이 同一하며, 脫粒率은 時間에 比例한다고 假定한다. 또 脫穀室內로부터 排出될 때까지 脫粒되지 않은 穀粒은 未脫穀粒으로 한다. 被脫穀物의 脫穀室內 運動狀態 等 言及되지 않은 事項은 李²⁾의 物理的 模型을 따르는 것으로 한다.

나. 數學的 模型

脫粒現象을 確率過程으로 假定하고, 脫粒現象의 結果를 確率密度函數로 나타내기 위하여 時間의 函數인 確率發生距離를 確率變數로 한다. 作物이 供給口에 供給되는 瞬間으로부터 脫粒事象이 發生할 때까지의 被脫穀物의 軸方向變位를 Z라 하면, 供給된 被脫穀物中の 全穀粒數에 대한 脫粒되는 脫粒數는 Z에 대하여 確率密度函數를 積分하여 얻을 수 있다. 파라미터 λ_T 를 脫粒에 影響을 미치는 諸要因으로부터 誘導되는 函數의 單位距離當 平均 脫粒率이라 하여 任意區間內에서 一定하다고 假定하고, 脫粒되는 軸方向距離 Z의 確率密度函數 $f_T(Z)$ 를 式(1)과 같이 假定하면, 穀粒이 이삭으로부터 脫粒되는 確率分布函數 $F_T(Z)$ 는 式(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_T(Z) = \lambda_T \exp(-\lambda_T Z) \dots \dots \dots (1)$$

$$F_T(Z) = \int_0^Z f_T(Z) dz = 1 - \exp(-\lambda_T Z) \dots \dots \dots (2)$$

여기서, $0 \leq Z < \infty$, $\lambda_T > 0$ 이다.

$F_T(Z)$ 는 軸方向變位 0로부터 Z까지 脫粒되는 穀粒의 累計가 되므로, 被脫穀物이 供給된 後 距離 Z까지 脫粒되지 않은 確率, 즉 未脫穀粒比 L_T 는 式(3)이 된다.

$$L_T = \exp(-\lambda_T Z) \dots \dots \dots (3)$$

脫粒에 影響을 주는 要因은 대단히 많은데, 作動要因으로서는 作物의 種類와 品種, 熟度, 摩擦係數, 反發係數差, 천알무게, 密度, 키, 짚날알비, 穀粒 및 짚의 含水率 등이 있고, 機械要因으로서는 拔胴의 形態와 크기, 拔胴軸의 傾斜角, 拔齒의 形態와 크기 및 配列方法, 固定拔齒의 數와 配列方法, 拔網의 形態와 拔網틈새, 抵抗板, 脫穀室 덮개 짓의 數와 피치 등을 들 수 있다. 또 作動要因으로서는 拔胴速度, 供給速度, 供給두께, 供給姿勢, 짚과 穀粒의 流量 등이 있고, 溫度나 濕度 등의 環境要因도 作用한다. 이러한 要因들은 獨立的으로 作用하는 것도 있으나 大部分 交互作用이 存在하고, 서로 函數關係가 있거나 相殺되는 效果를 보이는 것도 있으므로, 파라미터의 推定을 單純化하기 위하여 脫粒率을 (4)式과 같은 變數들의 冪函數로 假定하였다.

$$\lambda_T = C_0 \cdot M^{c_1} \cdot P_v^{c_2} \cdot \xi^{c_3} \cdot V_i^{c_4} \cdot \delta^{c_5} \cdot V_f^{c_6} \cdot E^{c_7} \cdot (M/G)^{c_8} \cdot N_i^{c_9} \cdot N_c^{c_{10}} \cdot C_l^{c_{11}} \cdot \alpha^{c_{12}} \dots \dots \dots (4)$$

여기서, M은 被脫穀物의 含水率, P_v는 脫穀室 덮개의 짓피치, ξ는 拔胴軸의 傾斜角, V_i는 拔齒 周速度, δ는 供給作物層의 두께, V_f는 供給速度, E는 品種, 熟度 등에 따른 脫粒所要에너지, M/G는 짚날알비, N_i는 拔齒數, N_c는 固定拔齒數, C_l는 拔網틈새, α는 拔胴의 円錐角, C₀~C₁₂는 調整해야 할 實驗係數이다.

4. 數學的 模型의 檢證

가. 材料 및 方法

設計 製作하여 實驗에 使用한 円筒型 軸流 脫穀裝置의 構造는 理論解析에서의 物理的 模型에서 說明한 것과 같다(그림 1). 拔胴은 지름이 400mm, 軸方向길이 1,100mm인 円筒形으로 外表面에는 높이 65mm, 先端 曲率半徑 10mm, 尾部分 幅 62mm인 逆V字形 두께 5mm짜리 線材 拔齒 39개를 回轉間隔 30mm, 리이드 540mm, 螺旋角 18.4°가 되도록 二重 螺旋形으로 配列하였다. 脫穀室 下半部는 拔齒先端과 拔網과의 틈새가 14mm가 되도록 하여, 9.7mm의 正方形 망눈을 가진 空間率 70.4%, 直徑 1.8mm의 鐵線으로 된 크립프網을 使用한 拔網을 拔胴 包回角이 180°가 되도록 固定하였다. 이 拔胴은 半徑 275mm, 網部分의 表面積 0.65m², 軸方向길이 1,200mm로서, 그림1과 같이 軸方向 길이를 15cm씩 分割하여 拔胴의 長이를 變化시킬 수 있도록 하였다. 脫穀室 上半部의 덮개 內表面에는 초생달 模型의 짓을 附着하고, 그 피치를 變化시킬 수 있도록 하였다. 또 이 裝置가 水平과 이루는 傾斜角을 變化시킬 수 있도록 製作하였다. 拔胴은 可變速 3相 誘導電動機(7.5KW, 4極)에 의하여 驅動되며, 作物의 供給은 可變速 電動機(1.5KW, 4極)로 驅動되는 길이 5m, 나비 50cm의 벨트 컨베이어를 利用하였다.

實驗에 使用한 作物은 慶南 普陽郡 一般農家에서 栽培된 맥주보리(泗川 2號)로서, 1986年 6 月 9日에 낫으로 베어 그늘에 세워두고 약 2週間에 걸쳐 實驗하였다. 供試材料의 刈取後 키는 85.4±7.0cm, 한이삭당 알의 數는 24±3개, 천알

Variables	Concave length (cm)	Inclination of thresher (deg)	Pitch of cover vane (cm)	Threshing drum speed (rpm)	Feeding velocity (m/s)	Stream weight (kgm)	Moisture content (% , w.b.)		
							Grain	Straw	
Levels	45,60,75, 90, 105, 120 *	0*, 5, 10	15, 30, 45*	500,600, 700*, 800	0.6,0.8* 1.0, 1.2	0.5,0.75* 1.0	WET	15.9± 0.2	30.8± 6.5
							DRY	11.7± 0.2	18.4± 1.3

* Standard levels common to each test.

무게 43.4±1.5g, 畚斗比 1.0±0.1이었다.

實驗에 採擇한 要因은 表1에 나타난 바와 같이 7가지로서, 機械的 要因으로 拔網의 길이, 裝置의 傾斜角, 깃의 피치, 作動要因으로 拔胴의 回轉速度, 作物의 供給速度 및 供給層 두께, 그리고 作動要因으로 乾材와 濕材를 供試하였다. 實驗은 長時間이 所要되므로, 水分變動 等의 影響을 줄이기 위하여 한가지 要因의 水準을 變化시킬 때 다른 要因의 水準은 表1에 *표로 나타난 水準으로 固定하였다. 脫粒率은 脫粒된 穀粒의 供給된 全穀粒에 對한 重量百分比로 算出하였다. 따라서 未脫穀粒比(%)는 100에서 脫粒率(%)을 뺀 것이다.

나. 파라미터의 推定

實驗結果로부터 구한 未脫穀粒比를 應答變數로 하고, 實驗에 採擇한 모든 要因을 獨立變數로 한 重回歸分析 結果 最適 模型은 兩對數模型으로서 決定係數가 0.762로 나타났다. 또 寄與率이 5% 未滿인 變數는 式(4)에서 除外하고, 供給速度와 供給層 두께는 流量으로 나타내었다. 이때 畚斗比보다는 全流量이, 또 穀粒의 含水率보다는 畚斗의 含水率이 模型을 보다 더 잘 나타내 주었다. 따라서 式(4)에 包含된 變數中 本 實驗에서 固定한 變數는 除外하고, 파라미터 λ_T 를 다음 式(5)와 같이 變形하였다.

$$\lambda_T = C_0 \cdot M_s^{C_1} \cdot P_V^{C_2} \cdot \xi^{C_3} \cdot V^{C_4} \cdot Q^{C_5} \dots \dots \dots (5)$$

여기서, M_s 는 畚斗의 含水率, Q 는 全流量이다.

式(5)의 係數 $C_0 \sim C_5$ 는 非線型 最適化 方法中 單變量法(Univariate method)을 利用하여, 拔網 길이別 實驗데이터로부터 컴퓨터解를 구하였다. 그 結果 $C_0=1.07$, $C_1=-0.78$, $C_2=-0.21$, $C_3=-0.25$, $C_4=-1.55$, $C_5=-0.05$ 로 推定되었다.

實測 實驗에서는 軸方向 變位 0으로부터 30 cm 區間은 供給口로서 同時에 被脫穀物이 投入되는 地點이다. 따라서 理論値와 比較하기 위해서는 初期値를 調整하지 않으면 안될 것이므로 式(3)을 다음과 같이 變形하였다.

$$L_T = A \exp(-\lambda_T Z) \dots \dots \dots (6)$$

즉, $Z=0$ 일 때 L_T 는 理論上 100%가 되어야 하므로 A 는 1이 될 것이나, 여기서는 A 를 1.075로 하여 供給口 條件을 補正해 주었다.

다. 理論値와 實測値의 比較

1) 被脫穀物의 軸方向 變位와 未脫穀粒比와의 關係

軸方向으로 15cm씩 分割되는 拔網을 着脱해 가면서 測定한 未脫穀粒比와 式(6)의 數學的 模型에 의해 計算한 推定値와를 片對數紙上에 比較하여 나타난 것이 그림 2이다. 그림에서 實測値는 點으로, 推定値는 實線으로 나타내었다.

그림 2(a)는 脫穀裝置의 傾斜角을 媒介變數로 하여 被脫穀物의 軸方向 變位에 따른 乾材와 濕材의 未脫穀粒比를 나타낸 것이다. 乾材의 境遇에는 實測値와 推定値가 잘 一致하고 있고, 모두 傾斜角이 5°일 때 가장 未脫穀粒이 적고, 10°, 0°의 順으로 未脫穀粒이 增加하였다. 그러나 濕材의 境遇에는 實測値가 推定値보다 未脫穀粒이 약간 많게 나타났다. 또 傾斜角에 따른 未脫穀粒은 乾材의 境遇와는 다르게, 推定値는 傾斜角이 增加하나, 實測値는 傾斜角이 0°일 때 가장 적고 10°, 5°의 順으로 增加하였다. 또 實測値와 推定値가 모두 濕材가 乾材보다 未脫穀粒이 많게 나타났다. 이것은 水稻의 境遇와는 다른 것으로, 水分含量別로 좀더 細分해서 實驗해 볼 必要가 있으나 軸傾斜角이 脫粒率에 미치는 影響은 水分보다는 훨씬 작고, 相互間에 交互作用이 存在하기 때문인 것으로 생각된다.

脫穀室 畚斗內表面의 깃 피치의 變化에 따른 未脫穀粒比를 被脫穀物의 軸方向變位の 函數로 나타낸 것은 그림 2(b)와 같다. 變位別로 實測値와 推定値는 拔胴中央部를 除外하면 모든 境遇에 比較的 잘 一致하는 것으로 나타났으며, 특히 實測値와 推定値가 모두 깃 피치가 增加할수록 未脫穀粒이 增加하였다. 이러한 傾向은 乾材나 濕材의 境遇가 모두 同一하게 나타났다. 이것은 깃 피치가 增加할수록 被脫穀物의 脫穀室內에서 的 軸方向 移動速度가 빨라져 脫粒에너지를 받는 時間이 減少하기 때문으로 判斷된다.

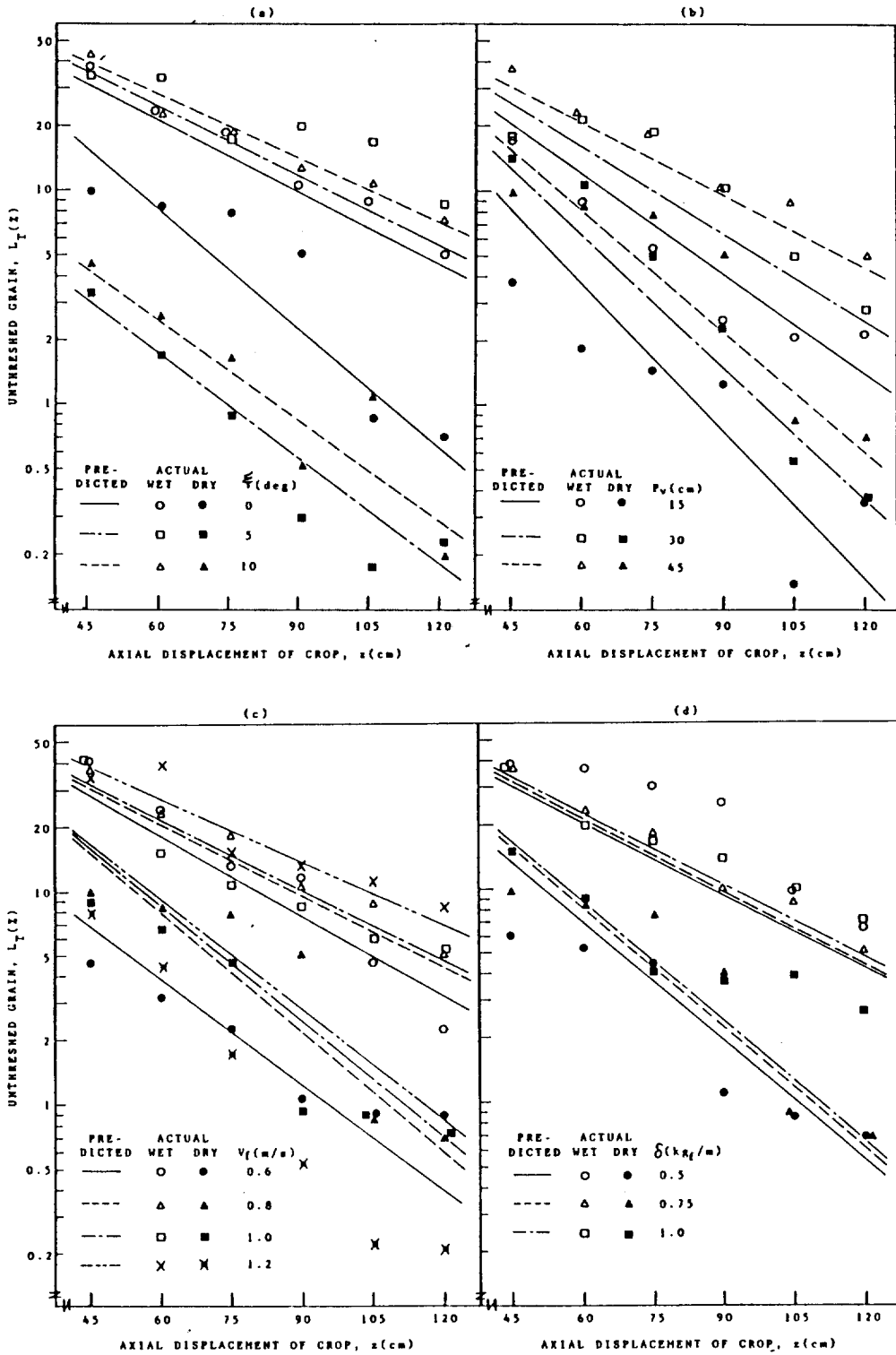


Fig. 2 Observed and predicted unthreshed grain as a function of axial displacement of crop for various threshing drum speeds.

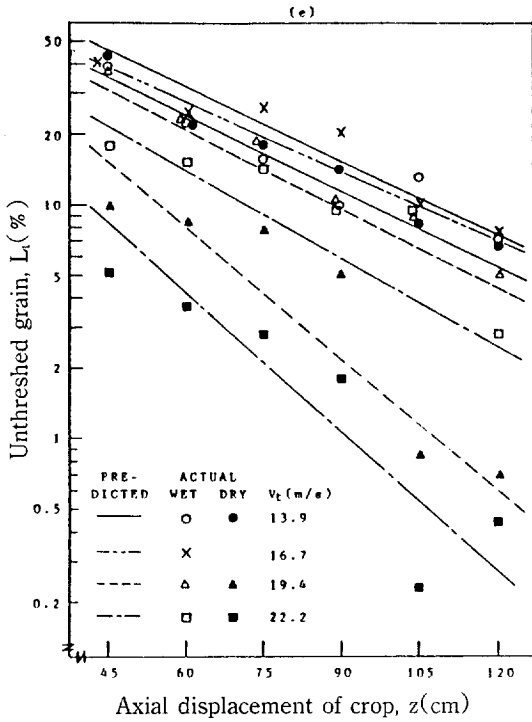


Fig. 2(e) Observed and predicted unthreshed grain as a function of axial displacement of crop for various threshing drum speeds.

맥주보리의 供給速度別로, 軸方向變位와 未脫穀粒比와의 關係를 理論値와 實測値로 比較해 본 結果는 그림 2(c)와 같다. 乾材와 濕材가 모두 軸方向 變位別로, 또 供給速度別로 實測値와 推定値가 比較的 近接하게 나타났고, 變位傾向도 類似하게 나타났다. 濕材의 境遇는 供給速度와 未脫穀粒과의 關係가 一定한 傾向을 보이지 않았으나, 乾材의 境遇에는 供給速度 0.6m/s일 때를 除外하고는 供給速度가 增加할수록 未脫穀粒은 減少하였다. 供給速度가 0.6m/s일 境遇, 濕材는 急傾斜를 나타낸 反面, 乾材는 緩傾斜 直線으로 나타났다. 이것은 供給速度가 낮으면 被脫穀物이 脫穀室內에서 均一한 層이 되어 移動하지 못하고 몽텅이가 되어 移動하기 때문에 생각된다. 乾材는 供給口쪽에서, 濕材는 中央部에서 이러한 現象이 심하게 나타나고 있다. 乾材의 境遇 供給速度 1.2m/s(全流量 3.24 t/h)까지 供給

速度가 增加할수록 未脫穀粒이 減少한 것은 被脫穀物의 脫穀室內에서의 移動에 대한 抵抗이 커지기 때문에 생각되며, 乾燥할수록 散物密度가 減少하므로 이러한 現象이 크게 나타날 것으로 推定된다.

그림 2(d)는 供給作物層의 두께에 다른 軸方向變位別 未脫穀粒比를 나타낸 것이다. 實測値는 比較的 分散이 심하여 軸方向變位에 따라 推定値와 잘 一致하지 않는 境遇가 많았고, 乾材의 境遇 이러한 傾向이 더 크게 나타났다. 그러나 供給層 두께에 따른 未脫穀粒의 變化傾向은 實測値와 推定値가 類似하였으며, 供給層 두께가 增加할수록 濕材의 境遇는 未脫穀粒이 減少한 反面에, 乾材의 境遇는 逆으로 增加하였다. 이것은 同一 全流量에서는 乾材가 濕材보다 體積이 크므로 供給두께의 增加에 따라 畚의 緩衝作用으로 인하여 未脫穀粒이 增加하나, 濕材의 境遇는 實驗範圍內에서는 供給두께의 增加에 따라 脫穀室內 移動에 대한 抵抗이 增加하므로 未脫穀粒이 減少한 것으로 생각된다.

그림 2(e)는 拔齒 周速度別로 被脫穀物의 軸方向變位에 따른 未脫穀粒比의 實測値와 計算値를 片對數紙에 比較하여 나타낸 것이다. 理論値와 實測値가 모두 拔齒의 回轉速度가 增加함에 따라 未脫穀粒比가 減少하였다. 그러나 大體의 으로 實測値가 理論値보다 높게 나타나는 傾向을 보였다. 또 乾材가 濕材보다 直線의 기울기가 急하여 未脫穀粒比가 낮으며, 實測値가 推定値에 보다 接近하여 나타났다.

全般的으로 實測値와 推定値가 모두 濕材가 乾材보다 未脫穀粒比가 높게 나타났다. 좁은 範圍에서 두가지 水分에 대하여만 比較하였으므로, 앞으로 理論式의 係數 推定에는 水分의 影響을 좀더 補正할 必要가 있다고 思料된다. 또 實測値는 推定値에 比較하여 약간 크게 나타난 境遇가 많았으나, 要因의 變化에 따른 未脫穀粒의 變化는 大部分 一致하였다. 이것은 實驗時 拔齒도 分割하여 實驗하여야 보다 精密한 값을 얻을 수 있겠으나, 拔網만 分割하여 測定하였으므로 若干의 誤差를 避할 수 없었기 때문에 생각된다. 따라서 이 數學的 模型은 파라미터 λ_T (그림

2에서 直線의 기울기)를 보다 廣範圍한 實驗 데이터로부터 誘導한다면 脫粒에 관한 一般化된 理論으로 活用될 수 있을 것으로 期待된다.

2) 脫粒率

여러 가지 要因의 變化에 따른 試作機의 實測한 脫粒率과 開發한 模型에 의한 脫粒率을 בק주

보리의 乾材와 濕材에 대하여 각각 比較한 것은 그림 3과 같다. 試作機에서 固定拔齒는 除外하였으므로 脫粒率은 李⁷⁾의 裝置에 比하여 낮게 나타나고 있다.

拔胴軸의 水平과의 傾斜角의 變化에 따른 脫粒率의 變化는 그림 3(a)와 같다. 乾材의 境遇는 實測値와 推定値가 잘 一致하였으나, 濕材의 境

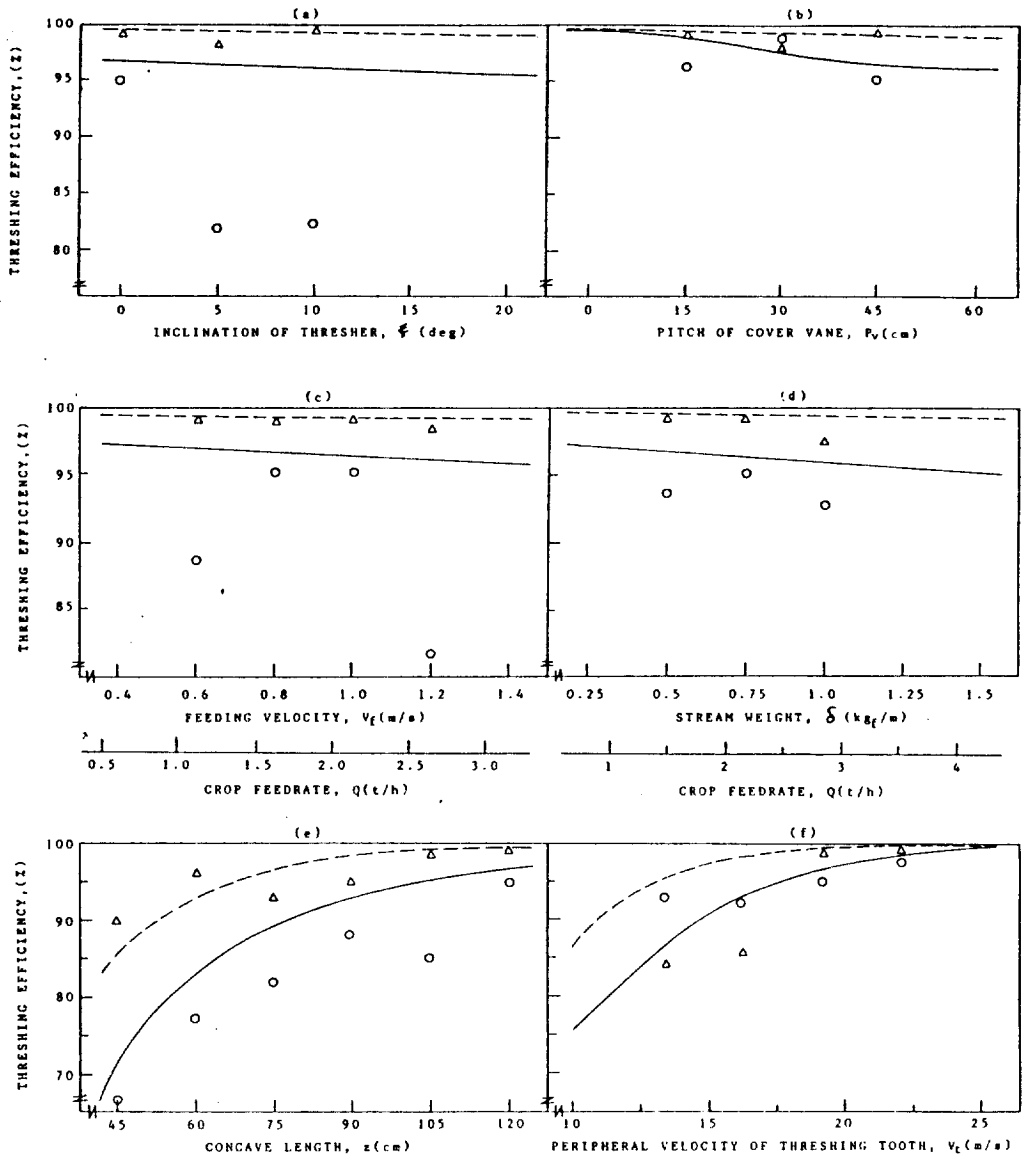


Fig. 3 Comparison between threshing efficiency calculated theoretically and values obtained experimentally depending on the described factors.
 Predicted values for wet crop ; - , for dry crop ; ... Experimental results for wet crop ; o , for dry crop ; Δ

遇는 큰 差異를 보였다. 이것은 傾斜角이 脫粒率에 미치는 影響이 그다지 크지 않고, 作物水分의 影響이 크므로 濕材에 대한 實測値는 다른 要因의 影響을 받은 것으로 생각된다. 脫粒率은 傾斜角이 增加함에 따라 큰 差異는 없으나 거의 直線的으로 減少하였다.

脫穀室 덮개 內表面의 깃 피치의 變化에 따른 脫粒率의 變化는 그림 3(b)에 나타낸 바와 같이 깃 피치가 增加할수록 脫粒率이 減少하며, 乾材보다는 濕材의 境遇가 그 傾向이 크게 나타났다. 實測値는 깃 피치를 3水準만 測定하였으므로 뚜렷한 傾向을 發見할 수는 없었으나 推定値보다若干 낮은 값을 나타내었다.

供給速度의 變化에 따른 脫粒率의 變化는 그림 3(c)에 나타낸 바와 같이 供給速度가 빨라질수록 脫粒率이 減少하였다. 특히 乾材의 境遇는 脫粒率이 供給速度의 影響을 크게 받지 않고, 實測値와 理論値가 거의 一致하였다. 供給 作物層의 두께의 變化에 따른 脫粒率의 變化는 그림 3(d)와 같이 供給速度를 變化시킨 境遇와 거의 類似的한 傾向을 나타내었다. 따라서 두 要因을 합쳐 全流量으로 나타내는 것이 좋을 것으로 생각된다.

그림 3(e)는 標準으로 한 實驗條件에서 扱網의 길이에 따른 脫粒率을 나타낸 것으로, 豫想대로 扱網이 길수록 脫粒率이 急增하나 105cm 以上부터는 거의 增加하지 않았다. 또 乾材는 實測値와 理論値가 큰 차이는 없었으나, 濕材는 實測値가 훨씬 낮게 나타났다.

扱齒 先端의 周速度의 變化에 따른 脫粒率의 變化는 그림 3(f)와 같다. 脫粒率은 扱齒 周速度의 影響을 크게 받아 22m/s 程度까지는 周速度의 增加에 따라 脫粒率이 急增하나 그 以上부터는 거의 一定해지는 傾向을 보였다. 또 周速度 17 m/s 以下에서는 實測値와 推定値의 差가 크게 나타났다.

全般的으로 實測値와 理論値가 모두 乾材가 濕材보다 脫粒率이 높게 나타났으며, 作物水分이 脫粒率에 미치는 影響은 대단히 큰 것으로 나타났다. 특히 乾材의 境遇는 實測値와 理論値가 比較的 잘 一致하였으나, 濕材의 境遇는 分散

이 若干 크게 나타나 作物과 機械 및 作動 要因間的 交互作用이 큰 것으로 推定된다. 앞으로 이 模型을 다른 機種이나 作物 等 廣範圍한 實測値와 比較하여 補正한다면 活用 可能性이 클 것으로 期待된다.

5. 結 論

投入式 軸流-脫穀裝置에서 脫粒現象을 確率過程으로 假定하고, 未脫穀粒比를 被脫穀物의 軸方向變位の 函數로 나타낸 數學的 模型을 開發하였다. 맥주보리로 實驗하여 模型을 檢證한 結果, 實驗範圍內에서는 開發된 模型에 의한 推定値와 實測値는 比較的 잘 一致하였으며, 作物水分要因을 細分하고, 實驗하지 않은 要因에 대해서도 理論式을 補正한다면 開發된 式은 一般化된 模型으로서 適用 可能性이 클 것으로 期待된다.

參 考 文 獻

1. 江崎春雄 등. 1972. 自脫コンバイン의 高性能에 關する 研究. 農機研. 大宮.
2. 姜永善, 鄭昌柱. 1984. 統一벼의 脫粒에 關한 力學的 分析. 韓國農業機械學會誌. 9(1) : 11-21.
3. 梅田幹雄. 1969. 自脫型 콘바인의 動的 解析. 京都大學 修士論文.
4. 石原昂, 寺田優. 1972. 自脫型 콘바인의 生脫穀에 關する 研究. (第1報) - 脫穀作用에 對하여 鳥取大學 農研報 24 : 33-37
5. 市川友彦. 1983. 스와리코型 脫穀·選別機構의 開發에 關する 研究. 農機研. 大宮
6. 江祥芝 등. 1979. 稻麥半投入 脫粒部件의 試驗 研究. 農業機械學報 10(3) : 44-55.
7. 李昇揆. 1986. 軸流 스티시 到 關する 研究. 京都大學 博士論文.
8. 李昇揆 등. 1982. 扱胴形態와 作物의 水分含量이 맥주보리의 脫穀性能에 미치는 影響. 韓國農業機械學會誌. 7(7) : 45-56

9. 李昇撥, 川村登. 1986. 軸流スリシシに関する研究(第1報)－試作機の設計變數の評価. 日本農業機械學會誌. 47(4) : 475-483
10. 李昇揆, 金成泰, 崔圭洪. 1986. 軸流콤바인의開發에 관한 研究(I)－粗選別裝置의 設計變數의 評價－ 韓國農業機械學會誌 11(2) -31-40.
11. 鄭昌柱, 南相一. 1985. 自脫型콤바인의 脫穀過程의 數學的 模型開發에 관한 研究. 韓國農業機械學會誌. 10(2) : 36-46
12. 中川健治 等. 1980. 円錐形脫穀機に関する二・三・實驗. 三重大トウ年報. 4 : 19-29
13. 眞鎬雄一郎. 1977. 脱穀工ネハギの利用効率について 京都大學卒業論文.
14. 川村登 等. 1968. 初の脱穀性と米粒の引張・壓縮強さに 日本農業機械學會誌. 30(2) : 88-92, 105
15. 崔準五. 1982. 扱齒의 配列이 軸流脱穀機의 性能에 미치는 影響. 慶尙大學 碩士論文.
16. 土屋功位. 1962. 上扱式自動送込脱穀機に関する研究. 日本農業機械學會誌. 24(2) : 85-89
17. Buchanan, J.C. and W.H.Johnson. 1964. Functional characteristics and analysis of a centrifugal threshing and separating mechanism. Trans. ASEA 7(4) : 460-463, 468
18. Chattopadhyay, P.K., et.al. 1979. Time, temperature, and moisture effects on the failure strength of rice. Cereal Foods World 24(10) : 514-516
19. Ghaly, A.E. 1985. A stationary threshing machine : design, construction and performance evaluation. AMA 16(3) : 19-30
20. Hall, J.W. and J.F.Husman. 1981. Correlating physical properties with combine performance. ASAE Paper No.81-3538
21. Hoag, D.L. 1975. Determination of the susceptibility of soybeans to shatter. Trans. ASEA 18(6) : 1174-1179
22. Huynh, V.M., et.al. 1982. Threshing and separating process-A mathematical model. Trans. ASAE 25(1) : 65-73
23. Khan, A.U. 1971. Harvesting and threshing of paddy. IRRI Conf. Paper No.71-05
24. Krutikov, I.A. 1964. The development of criteria for the assesment of rational selection of parameters of threshing mechanisms. Vestn. Selkhoz 9(11) : 138-144(NIAE Tr. No.185)
25. Lalor, W.F. and W.F.Buchele. 1963. Designing and testing of a threshing cone. Trans. ASAE 6(2) : 73-76
26. Lamp, Jr., B.J. 1960. Centrifugal threshing of small grains. Trans. ASAE 3(2) : 24-28
27. Mailander, M. and G.Krutz. 1984. Development of a dynamic model of a combine harvester in cone. ASAE Paper No.84-1588
28. Reznicek, R. 1971. Minimum energy required for release of grain from ear. J. agric. Engng Res. 16(4) : 337-342
29. Trollope, J.R. 1982. A mathematical model of the threshing process in a conventional combine-thresher. J. agric. Engng. Res. 27(2) : 119-130
30. Tsai, Y.J. 1981. The simulation of material flow in a combine. M.S.Thesis, Clemson Univ.
31. Vas, F.M. and H.P.Harrison. 1969. The effect of selected mechanical threshing parameters on kernel damage and threshability of wheat. Canadian Agric. Engng. 11(2) : 83-87, 91
32. Zaidi, S.H. 1974. A comparison of five wheat threshability parameters using an instrumented laboratory cylinder. M.S.Thesis, Kansas State Univ.