

自脫型 콤바인還元裝置의還元物流動現象과還元性能 改善에 關한 研究(II)

—還元物流動의 理論解析과 實驗分析—

Tailings Behavior and Performance of the Tailings Return Unit of the Head-feed Combine(II) —Theoretical and Experimental Analysis of Tailing Behavior—

曹永吉*, 鄭昌柱**, 崔圭烘*, 朴阪圭*
Y. K. Cho, C. J. Chung, K. H. Choi, P. K. Park

Summary

This study was undertaken to investigate the structural and configurational characteristics of the tailings return-unit in the commercially available head-feed combines and to study the aero-dynamical behavior of the tailings in the units. The mathematical model of the motion of tailings in the thrower casing was developed and the simulated trajectories for different type of units was analyzed to compare with the measured ones. The air-stream velocity profile in various locations along the tailings returning duct was measured to find the effect of configurational characteristics and blade tip speed.

The results of the study are summerized as follows.

1. The ejecting angle, which is the angle between the direction of the particle velocity ejecting from the blade and the horizontal axis, was found to be about 66° in both the simulation and experiment. The angle was much greater than the setting angle of actual duct of the combines studied, which were $48\sim 56^\circ$. By comparison of these results, it was suggested to change duct setting angle so as to reduce the frictional force, between the duct wall and tailings, by reducing the difference between the ejecting and setting angles.

2. The velocity of the air stream in the duct was in general higher in the upper bound of the duct compared to the lower and decreased as the stream went toward the end of duct. The comparison of the tailings units among the combines studied showed a superior performance with the tapered duct having small diameter in the outlet and with greater number of thrower blade.

* 農業機械化研究所 收穫機械科

** 서울大學校 農科大學 農工學科

1. 緒 論

國內에 普及되고 있는 콤바인의 還元裝置는 橫移送 還元 오거와 還元 스톱 및 排出管 (duct)으로 構成되어 있으며, 스톱이 回轉하면서 發生하는 慣性力, 衝擊力 및 排出管의 氣流에 의하여 還元物質을 移送시키는 것으로 그 구조가 간단하고 製作費가 低廉하다는 장점이 있다. 그러나 환원장치의 막힘이 자주 발생되는 결점을 가지고 있으며, 지금까지의 콤바인 이용상 가장 큰 問題點으로 보고된 바 있다. 이러한 還元裝置의 막힘 要因을 解析하기 위해서는 還元物의 流動現象을 正確히 把握할 需要가 있다. 本研究의 第1報에서는 還元裝置로 들어 오는 환원물의 組成比를 분석하여 作物의 品種, 含水率 및 供給率 등 作業條件이 還元性能에 미치는 영향을 구명한 바 있다.

이 研究에서는 스톱 케이싱 내에서 날개 (blade)에 의한 還元物의 運動軌跡과 排出管內의 流速分布를 理論解析과 實驗 分析을 통하여 還元裝置의 막힘 要因을 究明하고자 遂行하였다.

2. 케이싱內 還元物 運動軌跡의 理論分析 및 시뮬레이션

가. 運動 方程式

穗切粒, 枝莖附着粒, 單粒, 검불 등 多様な 特性을 가진 混合物로 構成되는 還元物은 形態가 대단히 不規則의이며 鐵板과의 摩擦係數, 還元物 相互間의 摩擦係數, 飛行姿勢 등 不確實한 要素가 많기 때문에 實質的으로 理論的 方法에 의하여 스톱 및 排出管 내에서 還元物質의 總體의 舉動을 豫測함에는 限界가 있다. 따라서 여기서는 케이싱으로 둘러 쌓인 스톱 內에서 還元物의 軌跡을 몇가지 假定 下에서 分析하고 그 結果를 觀察實驗을 통하여 證明하고자 한다.

그림 1에는 極座標系 (polar coordinate system)를 利用하여 스톱 날개에 의한 還元物의 運動을 分析하기 위하여 質點(m_p)에 대한 힘의 자유선도를 나타내었다.

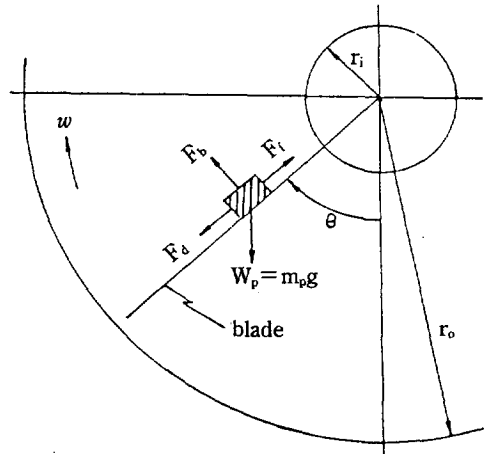


Fig. 1 Free-body diagram of particle of tailings on the thrower blade

還元物은 스톱 케이싱 內의 처음 投入位置 (r_1)에서 스톱 날개와 처음 接觸한 후 날개와 함께 回轉함과 同時에 날개 表面을 따라 즉 半徑方向으로 미끄러지면서 날개 끝 部分으로 移動하게 된다. 어떤 瞬間의 位置(r, θ)에서 還元物에 작용하는 힘은 스톱 날개가 還元物에 가하는 힘 F_b , 空氣抗力 F_a , 摩擦力 F_f 및 重力 W_p 로 나타낼 수 있다.

還元物의 接線 및 半徑方向 加速度는 각기 $a_{\theta} = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}$ 와 $a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2$ 로 나타낼 수 있으므로

還元物의 스톱 날개의 接線 方向 및 半徑方向의 運動方程式은 (1) 및 (2)식과 같다.

$$F_b - m_p g \sin \theta - m_p (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}) = 0 \quad (1)$$

$$F_a - F_f + m_p g \cos \theta - m_p (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) = 0 \quad (2)$$

摩擦力(F_f)은 還元物과 날개사이의 動摩擦係數를 μ 라 하면

$$F_f = \mu m_p (r\ddot{\theta} + \dot{r}\dot{\theta}) + \mu m_p g \sin \theta \text{ 이고}$$

還元物의 空氣抗力 $F_a = C_d m_p \dot{r}^2$ 가 되므로 이것을 (2)식에 代入하여 정리하면

$$\ddot{r} + \mu (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}) - r\dot{\theta}^2 = C_d \dot{r}^2 - g(\mu \sin \theta - \cos \theta) \quad (3)$$

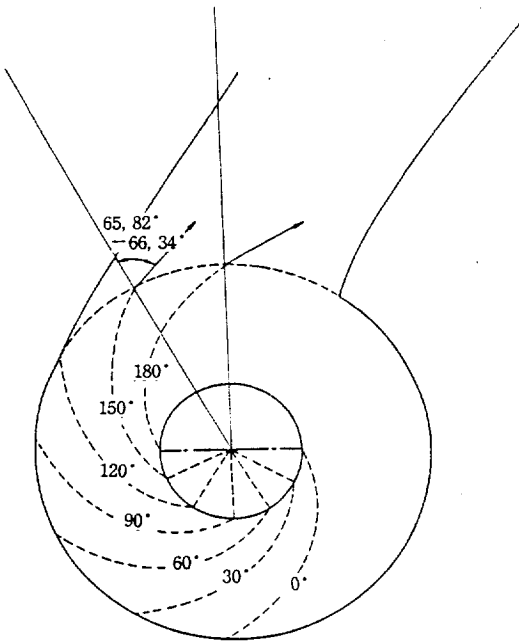


Fig. 3 The simulated trajectory and discharge angles of tailings in the thrower casings with the speed of thrower at 1100rpm

動軌跡과還元물이 케이싱에서放出되는角을 나타낸 것이다.

여기에서還元물의運動經路는還元물의最初投入位置에 따라 비슷한結果로 나타났으며,스로워種類別로도 같은結果를 얻었다. 또한 케이싱에서還元물이放出되는角은還元물의스로워 날개 끝에서의半徑方向에 대해放出速度가 이루는角으로 65.8°~66.4°인 것으로 나타났다.

(2) 摩擦係數에 의한影響

表 1, 表 2와 그림 2에서 보는 바와 같이 우리

나라에서生産普及되고 있는콤바인 4種類의還元裝置는構造的으로各各 다른形態로 되어 있으나,그림 3에서 보는 바와 같이 케이싱內的還元物の運動軌跡은類似한結果로 나타났다. 그러나運動 에너지의減少에 큰影響을 주는還元物の摩擦係數는還元物を組成하고 있는物質의 크기,形狀,質量,表面狀態 등이多樣할 뿐만 아니라,같은還元物이라도含水率에 따라摩擦係數가크게 다르다.摩擦係數(μ)를 4水準 즉 0.2, 0.4, 0.6, 0.8로變化시키고,還元物이還元 오거로부터 가장 많이排出될 것으로豫想되는 90°位置를基準으로 하여스로워 날개半徑에 대한還元物の半徑方向變位를無次元比로 나타낸結果는그림 4(a)와 같다.

還元物이 케이싱에서排出될 때 케이싱壁과衝突하지 않고排出管에 이르도록 하는 것이 가장 바람직한構造라고 볼 때, (5)式과 그림 4(a)에서 보는 바와 같이還元物の摩擦係數값이 클수록還元物の運動軌跡이스로워種類에關係 없이水平面 위쪽의排出管入口를 향하는 것으로 나타났다. 그러나 그 지점에서의스로워種類別排出管傾斜角은表 2와 같이 48~56°로 큰 차이가 없으며,시뮬레이션에서 구한放出角 65.8~66.4°보다 모두 작으므로還元物이 케이싱에서排出될 때까지 케이싱壁과의衝突에 의한 에너지損失은 클 것이다. 따라서,그림 2에서 보는 바와 같이스로워 C의排出管入口壁面이 바깥 쪽으로 구부러진形態로 된것은還元物이排出될 때壁面과衝突에 의한摩擦損失을 줄이기 위한 것으로 생각된다.

또한 (5)式에서還元物の運動은스로워 날개

Table 2. Specification of the tailings return unit analyzed

Thrower model	Dia. of casing (mm)	No. of thrower blade (EA)	Blade tip clearance (mm)	Duct length (mm)	Area ratio of outlet to inlet duct cross-sectional area	Inclined angle of duct (deg.)
A	265	2	7.5	530	0.939	48
B	270	2	10.0	500	1.000	56
C	350	4	10.0	620	0.645	52
D	330	4	10.0	620	0.740	54

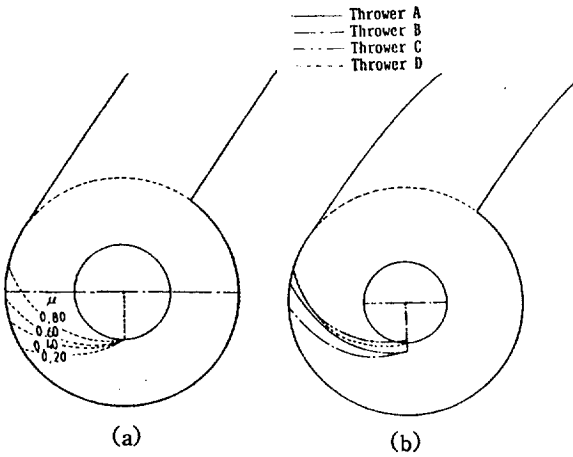


Fig. 4 Simulated trajectories of tailings (a) simulated at different frictional coefficient, (b) simulated at $\mu = 0.6$ for different design of the throwers A, B, C, and D

入口 및先端半徑의函數이므로 오거半徑이 길고 날개半徑이 짧은스로워 B에서還元物이 케이싱壁과의衝突후 미끄러지는 거리가 가장 길고,스로워 A는스로워 C와 D보다 길게 나타날 것이며,스로워 C와 D는비슷할 것으로 추측된다.

그림 4(b)는 摩擦係數(μ)가 0.6일 때 각形式에 대한還元物運動軌跡을 시뮬레이션한結果로스로워 A는스로워 날개의길이와 케이싱을 크게 하면 다른形式보다도 미끄럼距離를 짧게 할 수 있을 것으로 判斷된다.

3. 排出管内流速分布分析

가. 排出管内의流速測定

單粒,穗切粒,枝莖附着粒,짚,검볼로 이루어지는還元物이排出管内에서氣流에 의하여 어떻게流動되는지를 알기 위하여는排出管内의流速分布를把握하는 것이 매우重要하다.그러나排出管内에還元物이氣流와 함께流動할 때에는還元物의形狀과 크기가不均一하고還元物이測定裝置에影響을 미치므로正確한流速分布를 알기는 어렵다. 따라서國內에普及되고 있는 네가지 콤바인還元裝置의排出管内의流速分布를比較分析하여 막힘 要因을 究明하

기 위하여 스톱워를空回轉시켜回轉數에 따른排出管内流速를測定分析하였다.

4種類의 공식還元裝置는還元 오거의直徑과 길이가 각각 55~60mm, 500~520mm로 비슷하므로, 그림 5와 같은還元裝置部를製作하고還元裝置側面に面積이 800×750mm이고 두께가 5mm인鋼板을附着固定시킨 다음, 이곳에 스톱워를形式別로實際 콤바인에附着된 것과 같이 볼트로附着하였다. 스톱워의回轉數를任意로調整할 수 있도록回轉速度調節範圍 150~1500rpm인 3상 2.2kw 變速모터를附着하여驅動動力으로使用하였다. 製作과觀察이容易하게 하기 위하여排出管은 두께 5mm인透明아크릴板으로 그림 6에서 보는 바와 같이排出管曲面과 같은模樣이 되도록製作하고流速計로流速를測定할 수 있도록直徑이 8mm인 구멍을排出管斷面과風路方向에 대해等間隔으로 뚫어配列하였다. 스톱워回轉速度는 6水準(900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400rpm)으로 하고, 排出管内 24개 지점에서의流速를熱線風速計(hot-wire anemometer)로測定하였다.

流速測定에使用한熱線風速計는마노미터(pitot static tube manometer)에 의하여 다음式과 같이測度를設定하였다.

$$Y = 1.031X - 0.207 (r^2 = 0.996)$$

여기서 Y: 마노미터風速

X: 熱線風速計風速

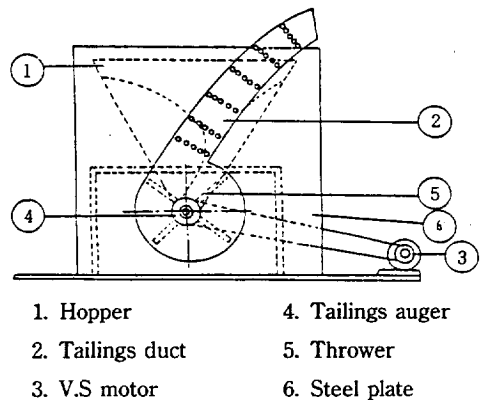


Fig. 5 Experimental device for analysis of velocity profile in duct of tailings return unit

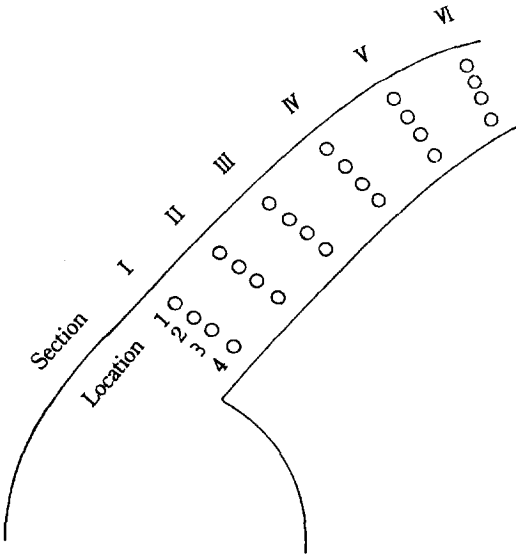


Fig. 6 Measured positions of fluid velocity established in the duct

나. 結果 및 考察

排出管 길이가 比較의 짧고, 排出管 內 氣流의 概略的인 레이놀즈數가 6,000以上으로 亂流流動이며, 흐름을 理論的으로 解析할 수 있을 만큼 完全히 發達된 流動이 아니기 때문에, 排出管 內 各 斷面, 各 支點의 流速을 理論的으로 解析하기는 대단히 어렵다. 따라서 各 斷面의 各 點에서 測定한 絶對流速을, 氣流에 의한 還元物 移送에 있어서 막힘을 解析하는데 가장 큰 比較 因子인 終末速度(terminal velocity)에 대한 無次元速度 比로 表示하고, 排出管 各 型式에 대하여 스로워 回轉 速度別로 分析한 結果는 그림 7과 그림 8에서와 같이 나타났다. 여기서 還元物의 終末速度는 還元物 成分中 검불의 終末速度인 2.0~4.8 m/s를 基準로 3.5m/s에 대하여 나타내었다.

各 點의 絶對流速은 콤파인 還元裝置의 種類에 關係없이 스로워 回轉速度가 增加할 수록 種類別로 一定하게 增加하였다. 各 種類別 各 斷面에 대한 流速分布는 排出管 形態가 그림 2에서 보는 바와 같이 種類別로 서로 달라 一般的으로 說明할 수는 없으나, 排出管 內의 絶對 流速은 스로워 날개 數가 많은 形式이 빠르고, 케이싱 部에 가까운 쪽은 上部側(혹은 左上側)이 높았

으나, 排出口 쪽으로 갈수록 下部側(혹은 右下側)이 漸次的으로 높게 分布되었다. 이것은 排出管 內에서의 흐름이 漸次的으로 定常流動으로 發達되어 一定한 流速分布를 이룬다는 亂流境界層理論과 같은 結果인 것으로 생각된다. 특히 스로워 C의 排出管 曲面은 그림 2에서와 같이 케이싱 위쪽에서 바깥쪽으로 屈曲되어 있으므로 그림 6에서 보는 바와 같이 斷面 II의 測定點 1에서는 流速이 急擊히 떨어지고, 測定點 2에서는 急擊히 上昇 하는 것으로 나타났다. 이것은 그림 3에서 나타난 것과 같이 그 지점에서 還元物이 가장 많이 放出되므로 還元物이 放出될 때 慣性力에 의하여 반대편 排出管 壁과 衝突하게 되어 摩擦 損失을 일으키게 되므로 이를 줄이기 위한 것으로 判斷된다.

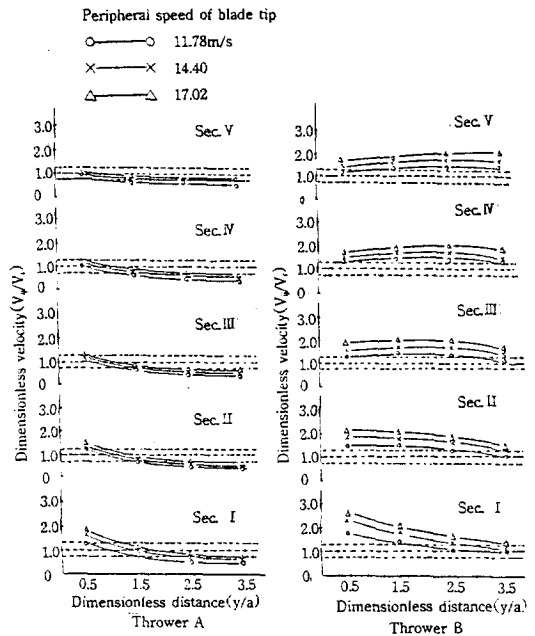


Fig. 7 Dimensionless velocity distribution at each section of thrower models A and B at different peripheral speed of blade tip. Dimensionless velocity and dimensionless distance are defined as the ratio of air velocity ($V_{\bar{a}}$) to a representative terminal velocity ($V_T=3.5\text{m/s}$) of tailings and ratio of the distance (y) from the upperside to the width (a) of the duct, respectively.

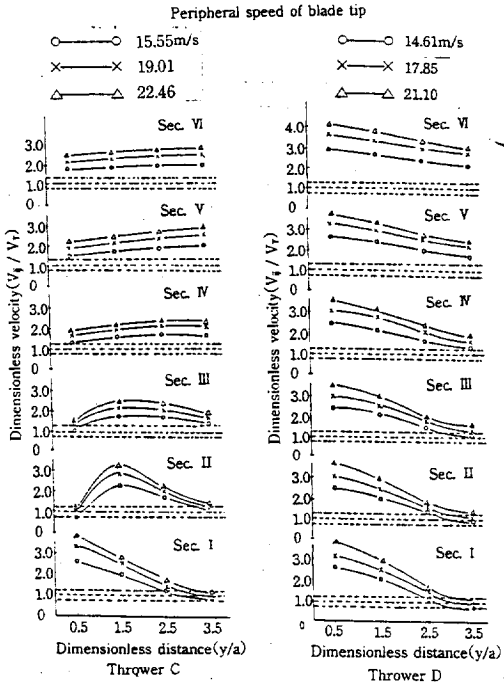


Fig. 8 Dimensionless velocity distribution at each section of thrower models C and D at different peripheral speed of blade tip. Dimensionless velocity and dimensionless distance are defined as the ratio of air velocity (V_{ij}) to a representative terminal velocity ($V_T=3.5\text{m/s}$) of tailings and ratio of the distance (y) from the upperside to the width (a) of the duct, respectively.

또한還元物이排出管内에서 다른外力의影響을 받지 않고氣流만에 의하여移送된다고 할境遇에는排出管内의流速은還元物의終末速度보다最小限 같던가 커야만還元物이移送될 수 있을 것이다. 이런觀點에서 볼 때 그림 9에서 보는 바와 같이 스로워 A와 B各斷面各点의流速이 스로워 C와 D에 비해 작은 것으로 나타났으므로 막힐可能性이 더 많을 것으로推定된다.

各形式別로各斷面に 있어서의平均流速에 대한 스로워回轉速度別流量을分析한結果 날개가 2매인 스로워 A와 B는 $1.55\sim 3.34\text{m}^3/\text{min}$ 인데 비하여 날개가 4매인 Thrower C, D는 $3.71\sim 6.32\text{m}^3/\text{min}$ 로 약 2배가 되고,形式에關係없이

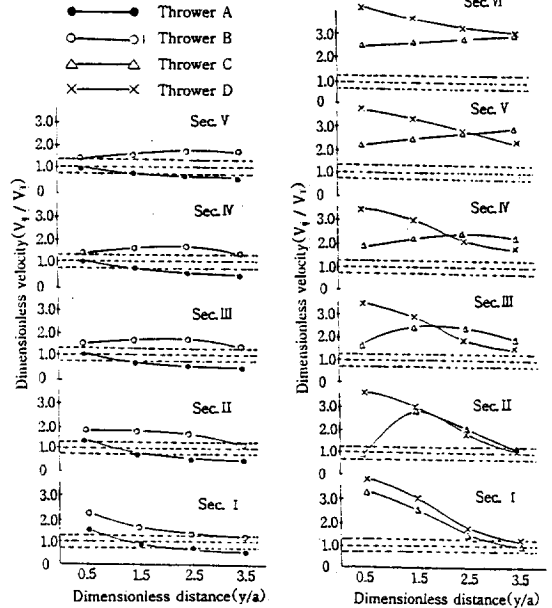


Fig. 9 Dimensionless velocity distribution at each section of thrower models A, B, C and D at different thrower speed of 1100rpm. Dimensionless velocity and dimensionless distance are defined as the ratio of air velocity (V_{ij}) to a representative terminal velocity ($V_T=3.5\text{m/s}$) of tailings and ratio of the distance (y) from the upperside to the width (a) of the duct, respectively.

스로워回轉數의影響은 날개數의影響보다 크지 않게 나타났다. 그러나 Blevins와 Hansen (12)이 블로워 날개에 의하여氣流를發生시킬 때 所要되는動力은 날개數와 크기에比例하고回轉數의 3승에比例한다는研究結果와,遠心펌프의軸馬力을決定하는水頭와流量은 임펠러깃數에 따라減少하게 된다는 점을考慮할 때 날개數가 많은 것이 반드시還元物移送에 좋은 것이라고端的으로 말할 수 없다.

따라서各形式別로效率을相對的으로評價하기 위하여流量係數를 날개數에 대한平均流量으로定義하여各形式別로 나타낸結果, 그림 10에서 보는 바와 같이 스로워回轉數에 따라流量係數가直線的으로 변하였다.流量係數 값

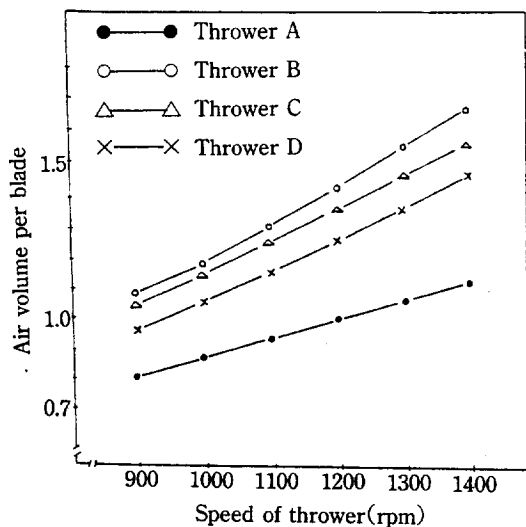


Fig. 10 Air volume per blade at different rotational speed of thrower

이 큰 것은 스로워 날개 하나가 발생시키는 流量이 많으므로 相對的으로 效率이 높다고 할 수 있다. 이런 側面에서 볼 때 날개數 2매인 스로워 B가 날개數 4매인 스로워 C와 D보다 流量係數가 높은 것으로 나타나 보다 效率的인 것으로 생각된다.

특히, 날개數 2매인 스로워 A는 2 절에서 說明한 바 있는 畚, 畚斗의 終末速度에 대한 流速比와 날개數에 대한 流量比, 즉 流量係數로 評價할 때 效率이 가장 낮고, 排出管內 流速은 스로워 回轉速度에 關係없이 全般的으로 작으므로 流速을 높일 수 있도록 還元裝置를 改善할 必要가 있는 것으로 判斷된다. 따라서 스로워 A에 대하여는 補助 送風機에 의하여 不足한 風量을 補償하는 方法이 강구되어야 되어야 할 것으로 판단된다.

4. 結 論

콤바인 還元裝置의 막힘 現象을 방지할 수 있도록 還元裝置를 개선하기 위하여 國內에 보급되고 있는 콤바인 還元裝置의 構造 및 還元裝置로 들어오는 還元物의 運動軌跡을 理論的으로 해석 시뮬레이션하여 實驗的으로 檢證하였으며, 排出管內의 流速分布를 測定 分析하였다. 그 結

果를 要約하면 다음과 같다.

1. 스로워 날개로부터 排出管으로 還元物이 放出되는 水平面에 대한 角은 實測値와 시뮬레이션 값이 모두 약 66°로 나타났으며, 實際 콤바인 排出管의 設定角이 型式에 따라 48~56°이므로 排出管과 還元物사이의 摩擦抵抗을 줄이기 위하여는 放出角과 設定角의 차이를 줄일 必要가 있었다.

2. 排出管의 풍로 方向에 대한 流速은 케이싱부에 가까운 上部側이 빠르고 排出口 쪽으로 갈수록 減少하는 것으로 나타났으며, 國內에 普及되고 있는 콤바인 中에는 排出管 斷面 曲線이 이루는 斷面積이 排出口 쪽으로 갈수록 줄어들고 스로워 날개數가 많은 型式이 性能이 優秀하였다.

參 考 文 獻

1. 曹永吉 外 3人. 1991. 自脫型 콤바인 還元裝置의 還元物 流動現狀과 還元性能 改善에 關한 研究(I). 韓農機誌 16(1) : 18-26
2. 金滿秀, 鄭昌柱. 1974. 次元解析法에 의한 스로워의 揚穀特性에 關한 研究. 韓農工誌 16(4) : 28-40
3. 成敏基 外 2人. 1989. 垂直型로타리 撒布機에 의한 肥料粒子의 運動. 韓農機誌 14(4) : 242-250
4. 松本始, 大西秀明, 日下部兼吾, 森本國昭. 1960. 揚穀에 關する研究(第1報)-跳上式揚穀의 理論的研究-日農機誌 22(3) : 107-110
5. 松本始, 大西秀明, 日下部兼吾, 森本國昭. 1960. 揚穀에 關する研究(第2報)-揚穀狀態의 觀察及び效率에 關する2, 3의 實驗-日農機誌 22(4) : 135-138
6. 松本始, 大西秀明, 日下部兼吾, 森本國昭. 1961. 揚穀에 關する研究(第3報)-스로워에 關する2, 3의 實驗-日農機誌 23(2) : 79-82
7. 岩尾俊男. 1978. 穀粒用의 選別機. 日農機誌 40(4) : 580-588
8. 中川建治, 杉野公一, 堀部和雄. 1970. 自走式

- 茶摘機のスローワに關する研究(第1報)－スローワによる茶葉の損傷－日農機誌 32(1) : 43-46
9. 中川建治, 堀部和雄, 佐藤純一. 1970. 自走式茶摘機のスローワに關する研究(第2報)－スローワ内における茶葉の運動－日農機誌 32(2) : 129-134
10. 中川建治, 堀部和雄, 朝生博明. 1970. 自走式茶摘機のスローワに關する研究(第3報)－スローワの改良に關する二,三の實驗－日農機誌 32(3) : 211-214
11. Bakker-Arkema, F.W., R.J. Patterson and W.G.Bickert. 1969. Static Pressure-Airflow Relationships in Packed Beds of Granular Biological Materials such as Cherry Pits. Trans. of the ASAE 12(1) : 134-136,140
12. Blevins, F. Z. and H. J. Hansen. 1956. Analysis of Forage Harvester Design. J. Agric. Engng Res. 37 : 21-29
13. Harris, W.L., K.E.Felton and G.J.Burkhardt. 1965. Design Data for Pneumatic Conveying of Chopped Forage. Trans. of the ASAE 8(2) : 194-195. 198
14. Tatepo, C.G. 1968. Predicting Capacity and Power Requirements in the Horizontal Pneumatic Conveying of Chopped Forage. Unpublished M.S.Thesis, University of Wisconsin.
15. Totten, D. 1961. Mathematic Description of particle Path in the Forage Blower. Trans. of the ASAE 4(2) : 219-221



學位取得

姓 名: 金 在 煥
生 年 月 日: 1949年 7月 15日
勤 務 處: 순천대학교
取得學位名: 농학박사
學位授與大學: 전남대학교 대학원
學位取得年月日: 1991年 2月 26日
學位論文: 農村에너지 資源 利用을 위한 스텔링 機關의 開發

