

穀物の 動摩擦係數 測定에 關한 研究

Kinetic Friction of Grains on Surfaces

金 滿 秀* , 李 鍾 瑚*
Kim, Man Soo Lee, Chong Ho

Summary

No reliable basic data were available on the kinetic friction coefficients between grains and frictional surfaces being used in grain handling equipments in Korea. In order to determine appropriate kinetic friction coefficient between three grains(Tongil, Jinheung, barley) and two surfaces at four levels of moisture content of grain, the laboratory tests using the newly designed experimental apparatus and strain gage measuring system were carried out, and the relationships among factors that affect kinetic friction coefficients of grains were analyzed.

The results of this study are summarized as follows;

1. Kinetic friction coefficient of samples being tested was dependent on surfaces and moisture content of grains. The ranges of them were 0.369-0.512 for Tongil variety, 0.347-0.469 for Jinheung variety, and 0.360-0.502 for barley, respectively.
2. There was a little difference of kinetic friction coefficients between two varieties of rice at the same testing conditions. Because the interaction had been large among treatments, each value of kinetic friction coefficient determined in this study should be used only for the corresponding conditions in this study.
3. Kinetic friction coefficients increased almost linearly with increase in moisture content of grains and their regression equations were shown in Table 4.
4. Kinetic friction coefficients on a PVC surfaces was shown a little lower values than on the steel surfaces at various moisture levels, but especially in Jinheung and barley, a big difference was shown

1. 緒 論

米麥中心의 우리나라 農業에서 比較的 일찍부터

*서울大學校 農科大學 農工學科 農業機械學教室

機械化가 이루어진 分野가 穀物調製分野이나 大部分의 米麥調製機에 裝着되어 있는 搬送裝置, 揚穀裝置 등의 所要動力推定은 大部分 經驗的으로 遂行되고 있는 實情이다. 따라서 이들 裝置들의 보다 合理的인 設計를 위해서는 穀物과 이들 裝置에 使用된 摩擦材사이의 動摩擦係數등과 같은 基本資料가

必要하다. 一般적으로 靜止摩擦係數(static friction coefficient)가 靜止하고 있는 物體가 움직이기 始作할때 그 物體가 接觸하고 있는 單位面積當의 水平力(tangential force)과 摩擦面에 作用하는 垂直力(normal force)과의 比로서 定義⁽³⁾되고 있는 反面, 어떤 表面위에서 運動하고 있는 物體의 運動을 抵止시키려고 하는 摩擦力(frictional force)과 그때 그면에 作用하는 垂直力과의 比를 動摩擦係數라 定義하고 있다⁽⁴⁾. 一般적으로 條件이 같은 境遇 靜止摩擦係數가 動摩擦係數보다 若干 큰 값을 가지며 穀物の 移動을 ;目的으로하는 揚穀裝置, 搬送裝置 등의 設計나 所要動力의 推定에는 靜止摩擦係數보다는 動摩擦係數가 더 重要な 基本資料가 된다.

歐美에서는 일찍부터 여러가지 農産物의 動摩擦係數測定에 關한 많은 研究가 遂行되어 왔으나 Brumistrova et al⁽⁵⁾과 Lorenzen⁽⁶⁾ 등의 研究結果에서 볼 수 있는바와 같이 同一한 條件, 같은 種類의 供試材料에 關해서 動摩擦係數를 測定했음에도 不拘하고 그 값은 倍程度의 差異를 보이고 있는바 이는 主로 測定方法과 供試材料의 品種上의 差異에 起因된것으로 看做된다. 주어진 垂直荷重에 對한 穀物의 動摩擦力의 測定에 使用된 基本測定裝置는 여러 研究를 通해서 볼때 거의 類似하였으나⁽²⁾⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾, 計測方法 또는 計測裝置上에는 相當한 差異가 있었으며 比較의 近年에 遂行된 研究에서는 大部分이 스트레인 게이지 시스템(strain gage system)이 採擇되었다.

動摩擦係數測定을 위한 測定裝置設計時 반드시 考慮되어야 할 問題中의 하나는 摩擦面을 搭載한 移動車(moving cart)를 等速度로 움직여주는 方法이며 이方法에는 電動기를 이용한 윈치(winch)를 採擇한 境遇가 많았고⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 油壓裝置를 利用한 境遇도 있었다⁽¹⁾.

一般적으로 穀物의 動摩擦力에 影響을 미치는 主要 要因은 移動速度(sliding velocity), 含水率, 垂直荷重, 摩擦材의 種類, 接觸面積등으로 看做되어 왔으나 外氣의 相對濕度 및 摩擦面의 狀態등이 動摩擦力에 若干의 影響이 미친다는 事實이 밝혀진 反面 移動速度和 垂直荷重은 動摩擦力에 거의 影響을 미치지 않는다는 事實이 많은 研究에서 밝혀져 있다.

穀物의 表面含水率은 어느 주어진 範圍內에서는 動摩擦力과 直線的인 關係를 가지며 含水率이 增加하면 할수록 動摩擦力은 커진다는 事實이 報告되어 있고, Bickert 등⁽⁸⁾은 基礎實驗結果 穀物의 動摩擦係

數를 測定할 境遇 穀物의 安息角으로 因한 壁面 効果(wall effect)를 最小化하기 위해서는 圓筒型 穀物콘테이너(cylindrical grain container)의 直徑을 8 inch 以上으로 하여야 한다고 밝혀 接觸面積의 最小範圍를 規定한바 있으며 Snyder 등⁽²⁾과 Brubaker 등⁽⁴⁾도 同一한 觀點에서 實驗裝置를 設計한바 있다.

米麥의 動摩擦係數에 關한 資料, 特히 Indica type의 벼에 關한 資料는 國內에서는 찾아 볼 수가 없고 外國의 境遇 보리에 關한 若干의 實驗結果가 있기는 하나 品種 및 摩擦材의 差異로 因해 이들 結果의 直線的인 導入에는 많은 問題點이 內包된다.

따라서 本 研究는 米麥調製機械의 所要動力算定 및 設計에 必要한 基本資料로서 米麥과 摩擦材間의 動摩擦係數를 測定하고 動摩擦係數에 影響을 미치는 主要 要因들과 動摩擦係數間의 關係를 究明하기 위하여 遂行되었다.

2. 材料 및 方法

가. 材料

本實驗에 使用된 穀物은 우리나라 農村에 널리 普及되어 있는 穀物調製機具의 主對象物인 벼와 보리로서 벼의 境遇는 Japonica type의 振興과 Indica type의 統一 등 두 品種을 擇하였으며 摩擦面은 이들 機具의 材料로서 主로 利用되고 있는 鐵板과 PVC 板의 두 種類를 使用하였다.

나. 實驗裝置

穀粒과 摩擦面과의 動摩擦係數를 測定하기 위한 裝置는 그림(1) 및 (2)에서 볼 수 있는바와 같이 摩擦面을 搭載한 移動車, 移動車가 移動할 수 있는 레일(rail)을 設置한 테이블, 穀物콘테이너, 移動車를

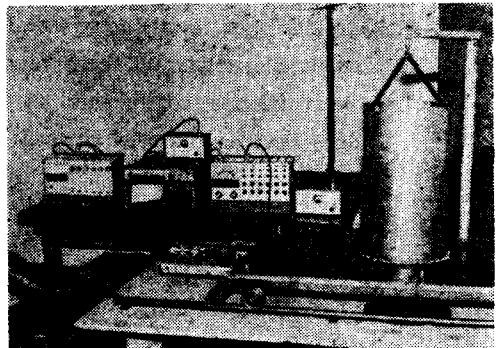
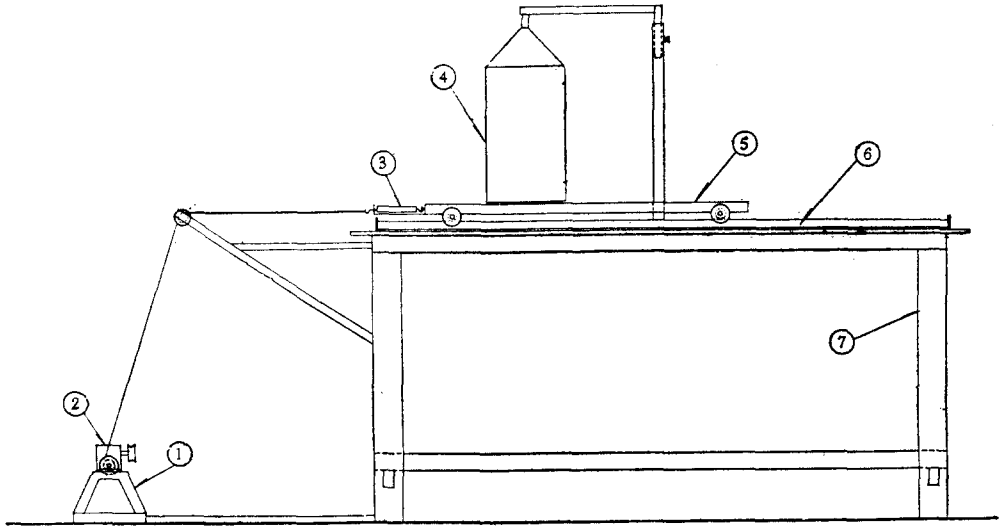


Fig. 1. Experimental apparatus and measuring instruments.



1. winch frame and electric motor 2. winch 3. load cell
4. grain container 5. moving cart 6. rail 7. table

Fig. 2. Skematic diagram of the experimental apparatus.

等速度로 움직이게 하기 위한 모터, 減速裝置 및 윈치(winch)와 計測器具 등으로 되어 있으며 이들 裝置는 Bickert 등⁽⁶⁾의 實驗裝置 및 研究結果를 參考하여 製作되었다. 또 動摩擦係數의 算定에 必要한 水平力(lateral force)의 測定에는 스트레인 게이지 시스템(strain gage system)을 利用하였고 로드 셀(load cell)은 스프링鋼으로 製作하여 使用하였

다. 製作使用된 實驗裝置 및 計測器具의 主要諸元은 表(1)과 같다.

다. 實驗方法

本實驗은 穀物含水率 15%, 20%, 25%, 30%의 4水準에 對해 穀物別, 摩擦面別로 3反覆으로 遂行되었으며 水平力의 換算과 動摩擦力의 測定은 다음 方

Table 1. Specifications of the experimental apparatus and measuring instruments

experimental apparatus		measuring instruments			
nomenclature	dimensions	items	low pass filter	dynamic strain amplifier	rapicorder
moving cart (cm)	94L×49W	manufacturer	KyowaElectronic Instrument Co.	KyowaElectronic Instrument Co.	KyowaElectronic Instrument Co.
rail for cart (cm)	168L	model	LF-6B	DPM-6E	RMV-33N
grain container(cm)	φ23×40H	channels	6	6	
speed of moving cart (cm/sec)	6	dimensions(mm)	365×238×145	386×307×150	325×210×494
capacity of load cell (kg)	20	weights(kg)	10.0	10.5	30.0

法과 같이 實施하였다.

1) 水平力의 換算: 移動車를 固定시키고 로드 셀에 連結된 牽引로프에 靜荷重을 주어 이때의 靜荷重에 對한 로드 셀의 스트레인 變化量을 換算表로 作成하여 이에 따라 水平力을 換算하였다.

2) 動摩擦力의 測定: 穀物の 動摩擦力의 測定은 穀物과의 摩擦이 없는 狀態에서 移動車를 6 cm/sec의 等速度로 움직이게 하여 空車만을 움직이는데 소

要되는 水平力을 測定한 다음 穀物콘테이너에 約 10cm 두께로 穀粒을 넣고 垂直荷重이 8 kg이 되도록 靜荷重을 附加하여 穀粒과 摩擦面이 完全히 接觸되게 한 다음 移動車를 6 cm/sec의 等速度로 移動시켜 이때의 水平力을 測定하여 이값에서 空車移動을 위한 水平力을 뺀 값을 當該穀物과 摩擦面間의 動摩擦力으로 하였다.

이때 移動車의 로울러와 레일의 不均一接觸으로

記錄紙(recording sheet)에 나타난 動摩擦力은 微細한 振幅을 가진 曲線으로 나타났기 때문에 一定한 區間의 動摩擦力曲線 以下の 面積을 求積器(planimeter)로 求하여 이 값을 摩擦力으로 換算하였다.

3. 結果 및 考察

가. 穀物의 動摩擦係數

穀物別로 2種의 摩擦面에 對한 含水率變化에 따

Table 2. Coefficients of kinetic friction between grains and friction surfaces at four different levels of moisture content

materials	surfaces replication moisture level(% , w.b.)	steel				PVC			
		1	2	3	average	1	2	3	average
Tongil	15	0.370	0.374	0.355	0.369	0.390	0.387	0.389	0.389
	20	0.385	0.394	0.387	0.389	0.406	0.394	0.390	0.397
	25	0.497	0.472	0.481	0.483	0.460	0.460	0.460	0.460
	30	0.512	0.486	0.539	0.512	0.500	0.506	0.511	0.506
Jinheung	15	0.348	0.346	0.348	0.347	0.357	0.385	0.351	0.364
	20	0.413	0.424	0.435	0.424	0.374	0.368	0.362	0.368
	25	0.464	0.422	0.499	0.448	0.418	0.443	0.431	0.431
	30	0.458	0.478	0.473	0.469	0.464	0.411	0.496	0.459
Barley	15	0.376	0.355	0.350	0.360	0.401	0.361	0.325	0.362
	20	0.401	0.445	0.411	0.419	0.381	0.361	0.399	0.381
	25	0.462	0.473	0.517	0.484	0.415	0.437	0.401	0.418
	30	0.502	0.506	0.499	0.502	0.445	0.426	0.438	0.433

른 動摩擦係數 測定結果는 表(2)에 表示된것과 같다. 表(2)에서 알 수 있는 바와 같이 穀物의 動摩擦係數는 摩擦材의 種類및 含水率에 따라 差異가 있으나 統一의 境遇는 0.369-0.512의 範圍였고 振興品種은 0.347-0.469 內外였으며 보리의 境遇는 0.360-0.502 內外였다. 또한 摩擦面에 따른 各 穀物處理間의 動摩擦係數는 거의 類似하였다.

나. 벼의 動摩擦係數에 影響을 미치는 要因

벼의 動摩擦係數의 影響을 미치는 主要 要因들間의 關係를 究明하기 위하여 分割區配置法에 依한 分散分析을 實施하였으며 그 結果를 表(3)에 表示하였다. 表(3)에서 알 수 있는 바와 같이 品種間 動摩擦係數의 有意差가 認定되었으며, 統一品種의 動摩擦係數가 振興品種의 動摩擦係數보다 約 5.5%程度 높은 값을 보이고 있음을 알 수가 있었다. 또한 摩擦面에 따른 差異는 보이지 않았으나 含水率에 따라서는 高度의 有意差를 보였으며 含水率 25%인 境

遇의 動摩擦係數는 15%인 境遇보다 約 25%程度 높은 값을 보이고 있음을 알 수가 있었다. 한편 處理相互間의 交互作用(interaction)이 各各 高度의 有意性을 보이고 있는바, 벼의 動摩擦係數는 品種, 摩擦面의 種類, 含水率등과 같은 各 因子가 獨立的으로 作用함과 同時に 全體的인 函數關係를 보여주고 있다고 判斷되었다.

以上的 結果에서 벼의 動摩擦係數는 品種間에 差異가 있음을 알 수가 있었고 摩擦材에 따른 벼의 動摩擦係數는 거의 差異를 보이지 않고 있음을 알 수가 있었다. 또 벼의 境遇 動摩擦係數에 가장 큰 影響을 미치는 因子는 含水率이라고 判斷되었다.

다. 穀物의 含水率에 따른 動摩擦係數의 變化

그림(3) 및 (4)는 各各 摩擦面의 種類에 따른 穀物別 含水率과 動摩擦係數間의 關係를 表(4)에 表示한 回歸方程式에 따라 表示한 것이다. 그림 (3)과 (4)에서 알 수 있는 바와 같이 穀物의 含水率과 動

Table 3. Analysis of variances for kinetic friction coefficient (rice)

S.O.V	d.f.	S.S.	M.S.	F-value
Block	2	0.049	0.025	26.400*
Variety, V	1	0.396	0.396	
Error (A)	2	0.029	0.015	
Main plot	5	0.474		
Surface, S	1	0.089	0.089	<1
V.S	1	0.077	0.077	
Error (B)	4	0.494	0.124	
Split plot	6	0.660		
Moisture content, MC		7.003	2.334	583.500**
V · MC	3	0.233	0.078	19.500**
S · MC	3	0.252	0.084	21.000**
V · S · MC	3	0.126	0.042	10.500**
Error (C)	24	0.097	0.004	
Split split plot	36	7.711		
Total	47	8.845		

Table 4. Regression equations and standard error of estimate for kinetic friction coefficients of grains on surfaces as a function of moisture content

materials	surfaces	regression equations	standard error of estimate
Tongil	steel	$KFC = 0.203 + (1.046 \times 10^{-2}) MC$	0.009
	PVC	$KFC = 0.252 + (8.280 \times 10^{-3}) MC$	0.007
Jinheung	steel	$KFC = 0.245 + (7.800 \times 10^{-3}) MC$	0.008
	PVC	$KFC = 2.228 + (7.740 \times 10^{-3}) MC$	0.008
barley	steel	$KFC = 0.221 + (9.780 \times 10^{-3}) MC$	0.007
	PVC	$KFC = 0.286 + (5.000 \times 10^{-3}) MC$	0.003

摩擦係數사이에는 거의 直線의인 關係가 있음을 알 수가 있었다. 또한 摩擦面間의 含水率變化에 따른 動摩擦係數는 PVC 板이 鐵板보다 若干 적은 값을 보이고 있으며, 持히 振興 및 보리의 境遇, 20% 以上の 含水率에서는 5.8% 및 12.3% 以上の 差異를 보여 주므로서 利用面에서 考慮되어야 할 要素라고 判斷되었다. 이에 反해 統一의 境遇는 PVC板 및 鐵板에 對한 動摩擦係數의 값은 다른 傾向을 보여 주고 있음을 알 수가 있었다.

Bickert 등⁽³⁾은 本 研究에서와 같이 보리의 鐵板에 對한 動摩擦係數를 含水率의 函數로서 回歸方程式을 發表하였던 바 이에 따르면 含水率 15%인 境遇의 보리의 動摩擦係數는 0.379로서 本 研究의 表(4)에 의한 값 0.368과 거의 近似함을 보여 주었다.

4. 結 論

米麥調製機械의 所要動力算定 및 設計의 基礎資料가 되는 米麥과 鐵板 및 PVC板間의 動摩擦係數를 測定하고 이들 動摩擦係數에 影響을 미치는 主要 要因들間의 關係를 究明하기 위하여 穀物含水率 4水準에 對해 實驗을 實施하고 要因分析을 實施하였던바 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

가. 供試材料의 動摩擦係數는 摩擦材의 種類 및 含水率에 따라 差異가 있었으나 벼의 境遇 統一品種이 大略 0.369—0.512, 振興品種이 0.347—0.469 程度였으며, 보리의 動摩擦係數는 0.360—0.512 範圍였다.

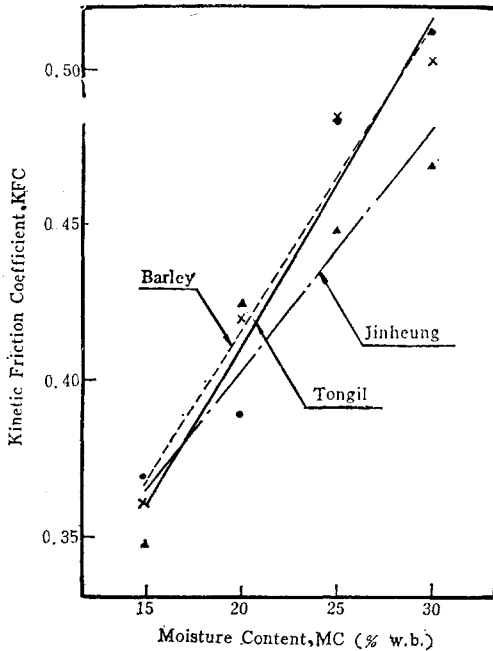


Fig. 3. Kinetic friction coefficient vs. moisture content on the sheet steel.

나. 벼의 動摩擦係數에 影響을 미치는 要因을 分析한 結果 品種에 따라 動摩擦係數에 差異가 있음을 알 수 있었고 또 含水率에 따라 動摩擦係數은 큰 差異를 보이고 있음을 알 수가 있었다. 그러나 處理相互間의 交互作用이 高度의 有意性을 보이고 있는바 動摩擦係數의 實際 利用時에는 摩擦面의 種類, 穀物의 含水率 및 品種에 따라 適切한 값을 選擇하여야 할 것으로 判斷되었다.

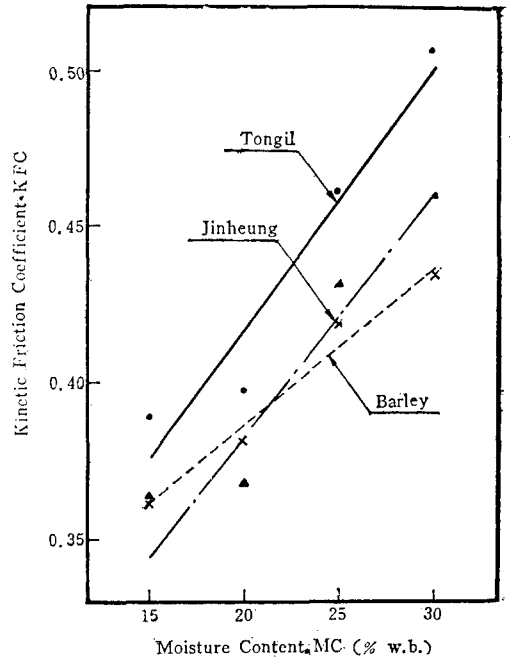


Fig. 4. Kinetic friction coefficient vs. moisture content on the PVC plate.

다. 穀物의 含水率에 따라 動摩擦係數의 變化는 거의 直線의인 關係를 보여 주고 있었으며 이들 間의 關係를 回歸方程式으로 表示하면 表 (4)와 같다.

라. 含水率變化에 따른 摩擦材間의 動摩擦係數는 그림 (3)과 (4)에서 볼 수 있는 바와 같이 PVC板의 境遇가 鐵板보다 大體로 적은 값을 보이고 있으며 統一品種에 비해 振興品種과 보리의 動摩擦係數는 摩擦材에 따라 큰 差異를 보였다.

參 考 文 獻

1. Handerson, J.M. 1967. Measuring kinetic friction coefficients using oscillatory motion. Trans. of the ASAE. 10(3) : p.348-351.
2. Snyder, L.H., W.L. Roller, and G. E. Hall. 1967. Coefficients of kinetic friction of wheat on various metal surfaces. Trans. of the ASAE. 10(3) : p.411-413, 419.
3. Bickert, W.G. and F.H. Buelow. 1966. Kinetic friction of grains on surfaces. Trans. of the ASAE. 9(1) : p.129-131, 134.
4. Brubaker, J.E. and J. Pos. 1965. Determining static coefficients of friction of grains on structural surfaces. Trans. of the ASAE. 8(1) : p.53-55.
5. Burmistrova, M.F., et al. 1963. Physicomechanical properties of agricultural crops. Translated from Russian, Published for the National Science Foundation by the Israel Program for Scientific Translations. OTS 61-31216. Available from Office of technical services, U.S. Department of Commerce, Washinton 2 5, D.C.
6. Lorenzen, R. T. 1959. Moisture effect on friction coefficients of small grain. ASAE paper 59-416, ASAE.
7. Richter, D.W. 1954. Friction coefficients of some agricultural materials. Agricultural Engineering. 35(6) : p.411-413.