

## 벼와 현미의 마찰특성

한충수 · 박종수\*

충북대학교 농기계공학과, \*북해도대학 농업공학과

### Friction Characteristics of Rough and Brown Rices

Chung-Su Han and Jong-Su Park\*

Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungbuk National University

\*Dept. of Agricultural Engineering, Hokkaido University Japan

#### Abstract

This research was carried out to investigate the friction characteristics of rices for the design of the rice process equipment. The various domestic rough and brown rices with the different moisture contents were examined with the different surfaces of friction boards. In the rough rices with the moisture content in the range of 15.5~24.7%, the kinetic friction coefficients against friction surfaces of iron, stainless steel, and zinc galvanizing boards were in the range of 0.32~0.39, 0.29~0.34, and 0.27~0.32, respectively. In the brown rices of different species with the moisture content in the range of 13~17%, the kinetic friction coefficients of were 0.28~0.32. Friction coefficients were not nearly affected by the sliding speed of the friction board surface, variation of the normal force and species of samples. The friction coefficients of rice were increased as the moisture content were increased.

Key words: kinetic friction coefficient, friction board, rough rice, brown rice

## 서 론

일반적으로 저장 및 가공과정 중에 미곡에 영향을 미치는 요인은 기계적·리올로지 특성, 열적 특성, 기하학적 특성 등이 있다. 이러한 여러 가지 특성 중에서 마찰계수는 각종 저장 및 이송시설에 있어서 재질 및 설계기준을 확립하기 위하여 기초자료가 되는 중요한 특성이다. 그러나 지금까지는 저장 및 가공설비의 설계에 있어서 마찰에 관한 특성을 크게 고려하지 않은 것이 사실이다.

최근에는 미곡의 수확후 처리 또는 저장에 관한 기계화 및 자동화가 급격하게 진행되면서 선별과 품질 유지 등에 마찰이 미치는 영향이 크다는 것이 인식되고, 이것에 관한 자료의 필요성이 높아지고 있다. 마찰계수 측정법은 농산물에 따라 다르지만 일반적으로 경사법 및 마찰면 이동법 등이 이용되고 있고, 마찰계

수와 관련된 주요선행 연구로는 미국의 Brubaker 등(1965), Snyder 등(1967)은 곡물의 함수율에 따라 마찰판을 변화시키면서 보리, 귀리, 옥수수, 콩 등의 곡물에 관한 마찰계수를 측정하였다. 또한 미국의 Stewart 등(1969)은 철, 합성수지, 콘크리트판에서 사탕수수 씨앗의 마찰계수에 관한 실험을 하였다. 실험은 일정 체적의 시료통 내에 사탕수수 씨앗을 넣고 모터를 구동시켜 마찰판을 이동시키며, 시료통에 가해지는 하중을 측정하는 방법으로 제안하고 있다. 일본의 法貴 誠(1979)은 마찰계수를 측정하는 여러 가지 방법들을 종합적으로 정리하고 그 결과들을 고찰하였다. Snyder 등(1967, 1973), 김만수와 이종호(1976)는 시료통에 곡물을 얇게 채우고 그 위에 하중을 가하여 등속도로 마찰면을 움직이면서 마찰력을 측정하여 동마찰계수를 측정하였다.

이러한 마찰특성은 각종 기계의 설계 및 작업기능의 해석에 많은 이용 가능성이 있다. 따라서 본 연구는 국내산 벼와 현미를 이용하여 마찰판과 함수율 변화에 따른 마찰계수를 결정하여 미곡 저장 및 가공설

Corresponding author : Chung-Su Han, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungbuk National University, San 48 Gaesin-dong, Cheongju, 361-763, Korea.

비의 설계 자료를 제공하기 위해 수행되었다.

### 실험장치 및 방법

#### 실험장치

곡물의 마찰계수 측정법은 여러 가지가 있지만 여기서는 일정체적의 원통에 곡물을 채우고 마찰면을 이동시켜 원통에 가해지는 수평력을 측정하여 곡물의 마찰계수를 구하였다.

Fig. 1에 마찰계수 측정장치의 개략도를 나타내었다. 시료통(Ø: 85 mm, H: 180 mm, W: 4.21 g)은 마찰계수에 영향을 주는 하중에 영향을 적게 미치게 하기 위해 glossy paper를 사용하여 제작하였다. 시료통에 일정량의 곡물(100 g 내외)을 채우고 그 위에 강철원판(W: 153 g)을 올려 일정한 수직력으로 곡물과 마찰면이 완전히 접촉하도록 하였다. 마찰판을 유동 테이블(1500×500 mm)위에 고정시킨 후, 모터(0.4 kW)의 구동력을 이용하여 마찰판이 고정된 유동테이블을 등속도로 이동시켰다. 시료통과 로드셀은 신축성이 적은 줄(Ø: 0.4 mm)로 연결하였다.

유동테이블을 이동시킬 때 시료통에 발생하는 수평력은 로드셀(CS.N:64AN, CAS)을 이용하여 전기적인 신호가 A/D컨버터를 통해 컴퓨터시스템에 기록되도록 하였다. 동마찰계수는 등속도의 상태에서 측정해야 하므로 유동테이블과 모터에 연결되는 줄, 로드셀과 실린더에 연결되는 줄은 일정한 유격을 두어 모터가 일정회전수에 도달할 때까지 유동테이블이 움직이지 않도록 하였다.

#### 실험 재료 및 조건

실험 재료는 벼, 현미를 사용하였으며, 품종은 안산, 화영, 화남, 오대, 다산 등 5품종을 사용하였다. 시료의 함수율 범위는 실제 미곡종합처리장에서 처리하는 원료의 일반적인 함수율을 기준으로 벼와 현미의 경우 각각 15~27%, 13~17%의 범위로 하였다.

마찰판은 미곡종합처리장에서 많이 사용되고 있는

철판, 스테인레스틸, 아연도금판 등 3종류를 사용하였다. 유동테이블의 이동속도와 시료통의 정하중 변화에 따른 마찰특성 기초실험 결과는 큰 차이가 없는 것으로 나타나, 본실험에서 이동속도는 2 cm/sec로 하고, 정하중은 153 g으로 하였다. 마찰계수는 각 조건 별로 3회 반복실험하여 평균값을 사용하였다.

한편 마찰계수는 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\mu = \frac{F}{N}$$

여기서 F는 로드셀에 걸리는 힘 즉 마찰력이고, N은 시료 무게와 정하중의 합인 수직력이다.

마찰계수는 시간이 경과함에 따라 어느 정도까지 증가한 후에 약간씩 감소하여 일정한 값을 유지한다. 이때 가장 높은 값을 최대정지마찰계수로 하고, 일정한 값을 유지 할 때의 값을 운동마찰계수로 하였다.

### 결과 및 고찰

#### 마찰판의 이동속도에 따른 마찰계수

마찰판의 이동속도가 곡물의 마찰계수에 미치는 영향을 알아보기 위해 모터의 회전수를 조절하여 마찰판이 고정된 유동 테이블의 이동속도를 변화시켰다.

Fig. 2는 철판 마찰판이 고정된 유동 테이블을 1.5~4.5 cm/sec 범위에서 4수준으로 이동시킨 경우 경과시간에 따른 마찰계수 변화를 나타낸 것이다.

마찰판은 철판으로 하고, 시료는 함수율이 17%인 화남 벼를 사용하였다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 마찰판을 당기는 시간이 경과함에 따라 처음에는 마찰계수가 증가하여 최대정

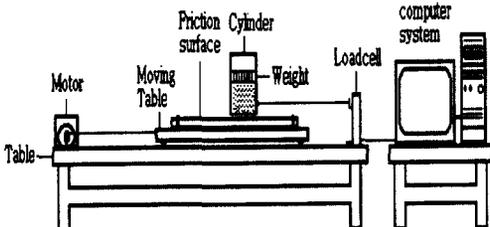


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus.

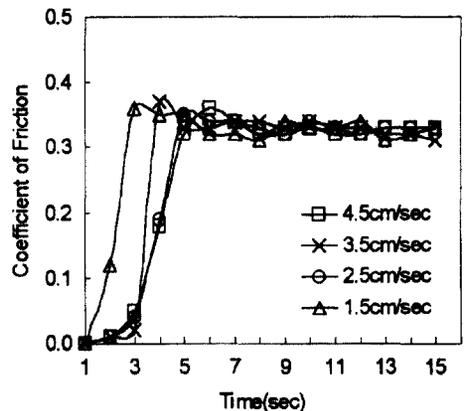


Fig. 2. Effects of the speeds of friction surfaces on the friction coefficient.

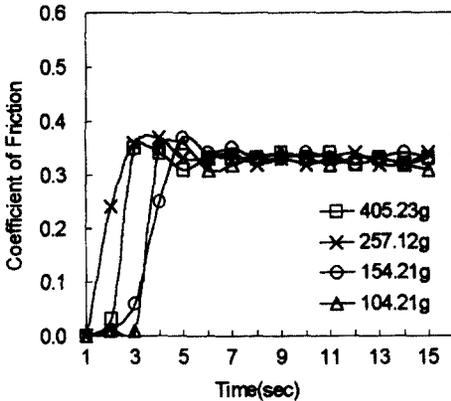


Fig. 3. Effects of the normal forces on the friction coefficient.

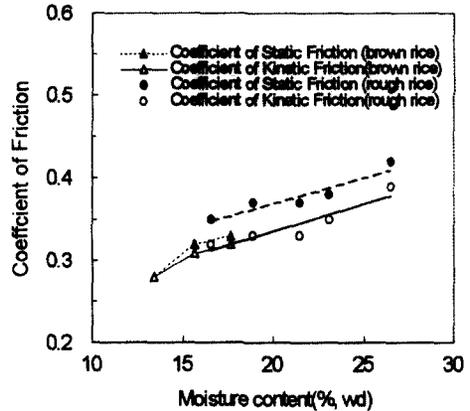


Fig. 4. Friction coefficients of the rough and brown rices with various moisture contents.

지마찰계수에 이르게 되고, 그 후의 마찰계수는 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 이때의 마찰계수가 운동마찰계수이다.

실험결과 마찰판이 고정된 유동테이블의 이동속도 변화에 따른 마찰계수는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 마찰계수가 속도의 영향을 거의 받지 않는 것으로 알려진 것과 같은 경향을 나타내었다 (Clark 등, 1970; 法貴 誠, 1979).

수직력의 변화에 따른 마찰계수

Fig. 3은 수직력의 크기 변화가 마찰계수에 주는 영향을 알아보기 위해 수직력의 크기를 변화시킨 경우 경과시간에 따른 마찰계수 변화를 나타낸 것이다.

공시재료는 앞절과 같이 철판과 화남 벼를 이용하였다. 수직력은 104.21~405.23 g의 범위에서 4수준으로 하고, 마찰판의 이동속도는 2 cm/sec로 하였다.

Fig. 3에서 알 수 있듯이 수직력의 변화에 따른 최대정지마찰계수는 0.35~0.37 정도였고, 운동마찰계수는 0.31~0.34로 거의 일정한 값을 나타내었다.

앞절에서 설명한 바와 같이 초기의 마찰계수는 증가하다가 최대정지마찰계수에 도달하고, 시간이 경과함에 따라 값이 일정한 운동마찰계수를 유지하는 같은 경향을 나타내었다.

따라서 수직력 크기 변화도 마찰판의 이동속도와 마찬가지로 마찰계수에 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

벼와 현미의 마찰계수

Fig. 4에 벼와 현미의 함수율 변화에 따른 마찰계수를 나타내었고, Table 1에 운동마찰계수와 최대정지마찰계수에 대한 회귀방정식을 나타내었다.

Table 1. Regression equations for static and kinetic friction coefficients of Ansan rough rice as a function of moisture content

Regression equations	R <sup>2</sup>	Standard error
SFC=0.0064X + 0.2419	0.8839	0.0116
KFC=0.0068X + 0.1997	0.8536	0.0125

SFC: Static friction coefficient, KFC: Kinetic friction coefficient, X: Moisture content(%)

마찰판은 철판을 사용하고, 시료는 안산 벼를 사용하였다. 마찰판의 이동속도는 2 cm/sec, 수직 하중은 257.12 g이었다.

Fig. 4에서와 같이 함수율에 따른 벼의 운동마찰계수는 0.32~0.39, 현미는 0.28~0.32로 나타났고, 최대정지마찰계수는 벼가 0.35~0.42, 현미가 0.28~0.33으로 벼가 현미보다 큰 것으로 나타났다.

벼의 최대정지마찰계수는 운동마찰계수보다 0.03정도 큰 것으로 나타났고, 현미의 경우는 0.00~0.01 정도로 차이가 없는 것으로 나타났다.

벼가 현미보다 마찰계수 값이 크게 나타난 것은 벼의 표면에 부착된 가락에 의해 마찰판과의 저항력이 증가했기 때문이라 판단된다. 또한 함수율이 증가함에 따라 마찰계수도 커지는 것으로 나타났다. 이것은 시료의 함수율 증가로 인해 유동성이 저하되어 시료 표면과 마찰판과의 저항이 커졌기 때문이라 판단된다.

품종에 따른 현미 운동마찰계수

Fig. 5는 현미의 품종에 따라 함수율과 운동마찰계수의 관계를 나타낸 것이다. 마찰판은 철판, 이동속도는 2 cm/sec, 수직하중은 257.12 g으로 하였다.

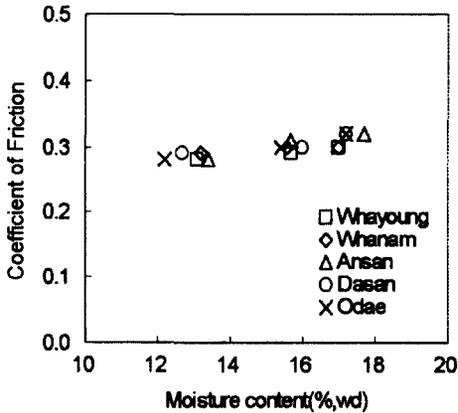


Fig. 5. Kinetic friction coefficients of different species of the brown rices with various moisture contents.

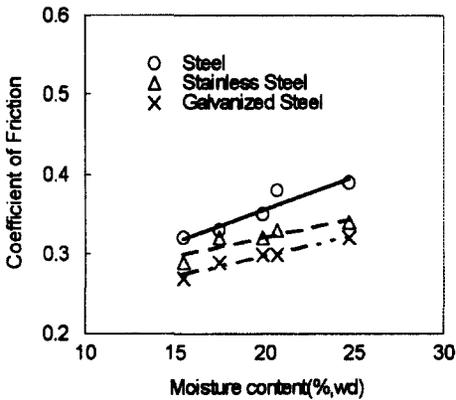


Fig. 6. Kinetic friction coefficients of the rough rices with various friction surfaces and moisture contents.

Fig. 5에서와 같이 함수율에 따른 화영 벼의 운동마찰계수 범위는 0.28~0.30을 나타냈고, 화남 0.29~0.30, 안산 0.28~0.32, 다산 0.29~0.32, 오대 0.28~0.32의 범위를 나타내 품종간에 마찰계수는 큰 차이가 없으므로 나타났으며, 함수율이 증가함에 따라 마찰계수가 0.02~0.04정도 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 마찰계수는 품종보다 함수율에 의한 영향을 받는 것으로 판단된다.

미찰판의 종류에 따른 운동마찰계수

미찰판 종류에 따른 화영 벼의 함수율 변화와 운동마찰계수의 관계를 Fig. 6에 나타내었고, Table 2에 운동마찰계수에 대한 회귀방정식을 나타내었다.

시료의 함수율은 15.5~24.7% 범위이었고, 미찰판의 이동속도와 수직하중의 크기는 앞절에서 설정한 것과 같게 하였다.

Table 2. Regression equations for kinetic friction coefficients of Whayoung rough rice on surfaces as a function of moisture content

Surfaces	Regression equations	R <sup>2</sup>	Standard error
Steel	KFC=0.0083X+0.1916	0.8902	0.01360
Stainless steel	KFC=0.0049X+0.2244	0.8201	0.00837
Galvanized steel	KFC=0.0051X+0.1958	0.9543	0.00812

KFC: Kinetic friction coefficient, X: Moisture content(%)

Fig. 6에서와 같이 함수율이 증가함에 따라 운동마찰계수도 증가하는 경향을 나타내었다.

운동마찰계수는 철판이 0.32~0.39, 스테인레스스틸판이 0.29~0.34, 아연도금판이 0.27~0.32로 나타나, 철판의 마찰계수가 가장 크고, 다음이 스테인레스스틸판, 아연도금판 순으로 마찰계수가 작은 것으로 나타났다. 이에 벼의 운동마찰계수는 함수율과 미찰판의 종류에 따라서도 영향을 받는 것으로 판단된다.

김 등(1976)은 진홍 벼의 함수율이 15~25%일 때 철판에 대한 운동마찰계수가 0.347~0.448로서 본 연구의 철판에 대한 운동마찰계수 값과 비교할 때 품종은 다르지만 0.32~0.39 보다 약 6~13%의 차이를 나타내 거의 비슷한 경향을 나타내었다.

Table 2의 함수율 변화에 따른 미찰판별 운동마찰계수의 회귀방정식의 결정계수(R<sup>2</sup>)와 표준오차는 각각 0.82~0.95, 0.013~0.008로 비교적 높은 정밀도를 나타내 실용 가능성이 충분한 것으로 판단된다.

요 약

최근에는 미곡의 수확후 처리 또는 저장에 관한 기계화 및 자동화가 급격하게 진행되면서 선별과 품질유지 등에 미찰이 미치는 영향이 크다는 것이 인식되고, 이것에 관한 자료의 필요성이 높아지고 있다. 또한 미찰특성은 각종 기계의 설계 및 작업기능의 해석에 중요한 인자이다.

따라서 본 연구는 국내산 벼와 현미를 이용하여 미찰판과 함수율 변화에 따른 미찰특성을 규명하여 미곡 가공설비의 설계 기초자료를 제공하기 위해 수행되었다.

실험결과를 요약하면 다음과 같다

- (1) 미찰계수는 미찰판 이동속도의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.
- (2) 시료통에 정하중 변화가 미찰계수에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

(3) 현미의 최대정지마찰계수는 운동마찰계수보다 0.00~0.01, 벼는 0.03정도 높은 값을 나타냈고, 운동마찰계수는 벼가 현미보다 0.04~0.07 정도 높았다.

(4) 시료의 품종에 따른 마찰계수 변화는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

(5) 현미 함수율이 13~17%인 경우 품종 화영의 마찰계수는 0.28~0.30, 화남 0.29~0.30, 안산 0.28~0.32, 다산 0.29~0.32, 오대 0.28~0.32의 범위를 나타냈다.

(6) 마찰판에 따른 마찰계수는 철판, 스테인레스스틸 판, 아연도금판의 순으로 작았다

(7) 벼의 함수율 범위가 15.5~24.7%에서 마찰판에 따른 운동마찰계수는 철판이 0.32~0.39, 스테인레스스틸판이 0.29~0.34, 아연도금판이 0.27~0.32로 나타났다.

(8) 곡물의 마찰계수는 함수율이 증가함에 따라 크게 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 농림부 농림기술관리센터에서 지원하는 연구비에 의하여 수행된 연구결과로 이에 감사드립니다.

### 문헌

1. 김만수, 이종호. 1976. 곡물의 동마찰계수 측정에 관한 연구. 한국농업기계학회지. **1**(1): 49-54
2. 法貴 誠. 1979. 農産物の物性および測定法に関する總合的研究, 農産物性研究グループ: 70-83
3. Clark, R. L., G. B. Welch and W. R. Fox. 1970. Kinetic friction of cotton seeds as affected by several factors *Transactions of the ASAE.* **13**(6): 708-709
4. Brubakert, J. E. and J. Pos. 1965. Determining Static Coefficients of friction of grains on structural surfaces. *Transactions of the ASAE.* **8**(1): 53-55
5. Stewart, B. R., Q. A. Hossain and O. R. Kunze. 1969. Friction coefficients of sorghum grain on steel, teflon and concrete surfaces. *Transactions of the ASAE.* **12**(4): 415-418
6. Clark, R. L., H. A. McFarland. 1973. Granular materials friction apparatus. *Transactions of the ASAE.* **16**(6): 1198~1199
7. Snyder L. H., W. L. Roller and G. E. Hall. 1967. Coefficients of kinetic friction of wheat on various metal surfaces. *Transactions of the ASAE.* **10**(3): 411~413