

맷들의 분쇄판 홈 형상에 따른 동마찰계수 측정

Kinetic Friction of Comminution Disc Surface types

강위수* 양승기*
정희원 정희원
W. S. Kang S. K. Yang

1. 서 론

경제발전으로 인하여 가공 식품류도 저공해, 고유의 향기, 맛(mouth feel)의 우수함 등이 점점 강조되고 있다. 곡물의 분쇄는 분쇄방법, 분쇄기 종류 등에 따라 분쇄 생성물의 향과 맛이 좌우되는 경향이 크며, 맷돌 분쇄기 장점은 기존 분쇄기에 비해 분쇄열이 적게 발생되어 곡물의 고유한 향기와 성분을 보존할 수 있으므로 맛이 우수한 식품 가공이 가능하다.

맷돌 분쇄기의 분쇄원리는 圓板狀의 돌의 면에 요철의 홈을 放射狀으로 만들고 이것을 두 개 맞대어 한쪽 판을 회전하면서 그 사이에 원료를 투입하여 분쇄하게 된다.

분쇄기는 취급 원료의 크기에 따라 粗粉碎機, 中間粉碎機, 細粉碎機, 微粉碎機 등으로 분류되며, 맷돌분쇄기는 돌 재료로 가공된 한 쌍의 원판으로 구성되어 원판의 표면들이 곡물과 서로 접촉하면서 분쇄물이 생성된다.

효율적인 곡물의 분쇄를 위해서는 곡물과 맷돌 원판간의 동마찰계수 등의 기본자료가 요구되는데, 맷돌 분쇄기는 홈 형상이 있는 하부 원판과 상부 맷돌 원판의 自重과 회전에 의해 분쇄가 이루어지므로 정마찰계수보다는 동마찰계수가 더 중요한 기본자료가 된다.

곡물의 동마찰계수에 관한 연구는 Bickert 등(1966), Bucklin 등(1993), 法貴 誠 등(1975), 강위수 등(2000), 김만수 등(1976,1981), 양승기(1990) 등의 연구가 보고된 바 있는데, 외국의 경우는 곡물의 안식각의 벽면 효과(wall effect) 등의 연구로 곡물의 저장을 위한 실험이 주를 이루고, 강위수 등, 김만수 등, 양승기 등은 곡물과 마찰재간의 동마찰계수 측정에서 동마찰계수에 영향을 미치는 주요 요인을 究明하였다.

맷돌분쇄기로 곡물을 분쇄할 경우 하부 맷돌 원판의 홈 형상은 맷돌의 粉碎能(grindability)을 좌우하는 중요한 요인 중의 하나이나, 이에 관한 연구는 미미한 현실이므로 보다 분쇄효율이 향상된 맷돌 분쇄기에 관한 다각적인 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구는 맷돌 분쇄기의 분쇄능 분석을 위한 선행연구로 분쇄판(마찰판)의 여러 모양의 홈 형상에 따른 하중별로 동마찰계수를 측정하여 이에 영향을 미치는 요인들과 동마찰계수간의 관계를 究明하기 위하여 수행되었다.

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

2. 재료 및 방법

가. 실험 재료

실험의 시료는 2000년도에 재배된 메밀로서 이의 분쇄는 맷돌 분쇄기와 sieve를 이용하여 20mesh의 입도를 선택하였으며, 함수율의 측정엔 건조기를 이용하여 5g의 시료를 105℃에서 3시간 건조 후 측정하였다. 실험용 마찰판은 그림 1과 같이 우리나라 전통으로 사용되고 있는 맷돌의 原石(철원산)을 사용하였으며, 130×130×20mm의 크기로 홈의 각도는 0°, 30°, 45°, 60°, 90° 등 5종류로서 홈의 너비는 5mm로 형상을 가공 제작하였다.

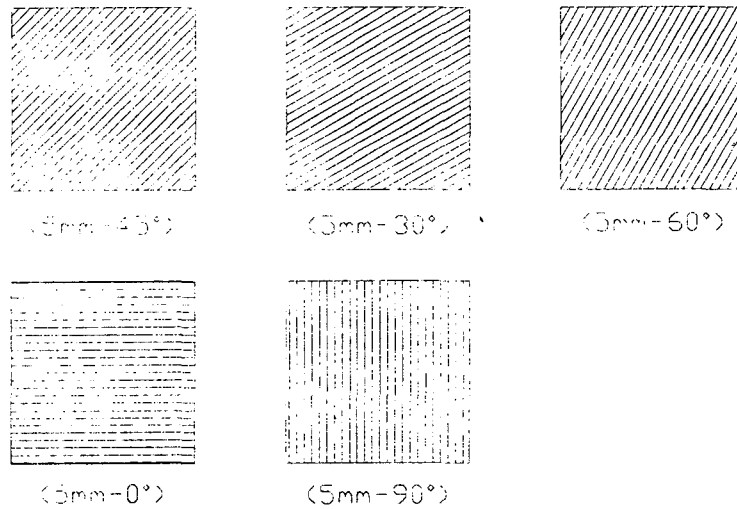


Fig. 1 Friction surface types

표 1. 실험장치의 사양

Experimental apparatus		measuring instrument	
nomenclature	dimensions	item	UTM
Friction surface (mm)	130×130×20	manufacturer	United Calibration Corporation
Speed of moving	300	model	STM-20
friction plate (mm/min)		dimensions	31" (W)×24" (D)×92.5" (H)
Added weight (kg)	1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0	(load frame)	
Load cell capacity (kg)	25.4	weights	750(lbs)
		(load frame)	
		speed Range	1-500mm/min

나. 실험 장치

메밀가루와 마찰판 표면의 동마찰계수를 측정하기 위한 장치는 그림 2에서 보는 바와 같이 마찰판의 견인을 위한 실험 테이블과 이를 등속도로 견인하면서 수평력을 측정하는 측정 장치(UTM), Computer 등의 실험장치를 표-1과 같이 구성하였으며, 이러한 실험장치는 Bickert 등, Bucklin 등, 강위수 등, 김만수 등, 양승기 등의 실험장치 및 연구결과를 참고하였다.

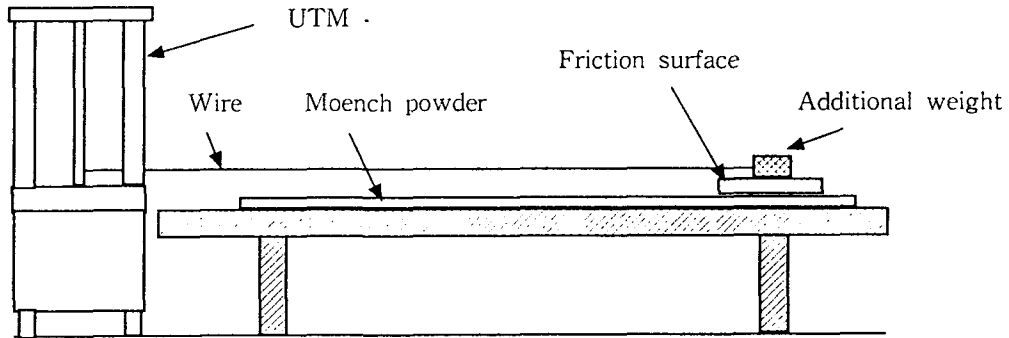


Fig. 2 Apparatus for measurement of the Kinetic Friction Coefficient

다. 실험 방법

본 실험은 메밀가루 입도 20mesh(10.96% w.b.)를 이용하였고, 마찰판의 흠은 5종류의 각도로 제작하였으며, 5수준의 하중별로 3반복 수행하여 마찰력을 측정하였다.

1) 동마찰력의 측정

마찰판별 동마찰력의 측정은 먼저 실험대 위의 고정판에 메밀가루와 마찰이 없는 상태에서 마찰판을 등속도로 견인하여 UTM(그림2)에 의해 마찰판만 견인하는데 소요되는 수평력을 측정한다. 고정판 위에 약 10~15mm 두께로 메밀가루를 일정하게 산포하여 그 위에 형상별 마찰판을 놓은 후 상부에 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0kg의 추로 수직하중을 부가하여 메밀가루와 마찰판이 완전하게 접촉되도록 한 다음, 300mm/min의 등속도로 견인하여 수평력을 측정하고, 위에서 실시한 수평력을 뺀 값을 해당 메밀가루와 마찰판간의 동마찰력으로 하였다.

2) 동마찰계수 계산

동마찰계수는 다음 공식을 이용하여 계산하였다. 마찰재가 견인될수록 점차 메밀가루 속으로 진입하면서 밀판과 접촉으로 인하여 불균일한 진폭이 발생하여, 일정한 견인구간을 마찰력으로 선정하였다.

$$\mu_k = F/W$$

여기서, μ_k : 동마찰계수

F : 마찰 판의 견인력(kg)

W : 부가 하중 + 마찰판 자중

3. 결과 및 고찰

가. 마찰판 홈의 각도에 따른 동마찰계수

마찰판의 홈 형상이 동마찰계수에 미치는 영향을 분석하기 위하여 그림 1과 같이 마찰판을 제작하여 20mesh 입도의 메밀가루 위를 300mm/min의 속도로 견인하였다. 마찰판은 현 맷돌 분쇄기로 사용되는 재료를 사용하였고, 시료는 맷돌 분쇄기로 분쇄한 후 함수율 10.96%의 메밀가루를 사용하였다. 그림 3은 각도에 따른 마찰판의 동마찰계수의 변화를 나타낸 것이며, 실험결과 동마찰계수의 범위는 각도가 0° 일 경우 0.523~0.606, 30° 경우 0.400~0.614, 45° 경우 0.441~0.715, 60° 경우 0.394~0.603, 90° 경우 0.480~0.644의 범위를 보였으며, 각 평균값은 각의 순서대로 0.582, 0.514, 0.576, 0.517, 0.575의 값을 알 수 있었다. 여기서, 30° 는 60° 와 0° 는 90° 와 거의 유사한 값을 나타냈으며, 0° 의 마찰판이 가장 큰 평균값을 보였다.

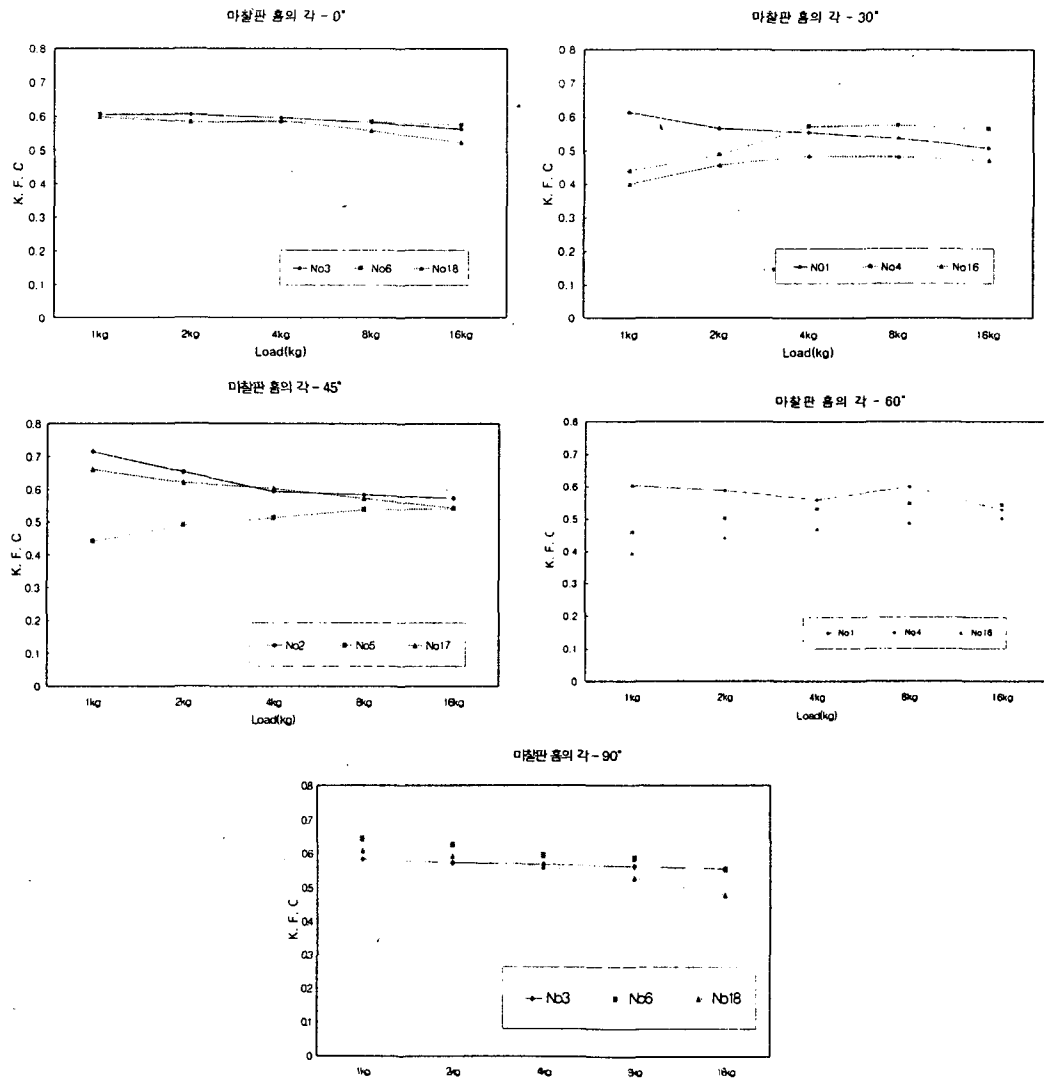


Fig. 3 Effects of friction surfaces on the Kinetic Friction Coefficients

나. 마찰판의 홈의 각도와 수직하중에 따른 동마찰계수의 변화

그림 4는 마찰판의 홈의 각도와 수직하중에 따른 동마찰계수의 변화를 알아보기 위하여 각도별로 수직하중에 대한 평균값으로 나타낸 것이다. 수직하중에 대한 각도별 동마찰계수의 변화는 1kg수준에서 가장 큰 차이를 보였고, 하중이 점점 증가함에 따라 동마찰계수 범위는 차츰 줄어들었으며, 16kg수준에서는 모든 각도가 거의 유사한 값을 나타냈다. 수직하중은 1~16kg의 범위에서 5수준으로 하중을 부가하였으며, 마찰판의 이동속도는 300mm/min으로 하였다. 그림 4에서 보여주는 바와 같이 0°, 45°, 90° 경우는 수직하중이 증가할수록 동마찰계수가 작아지는 경향을 보였으며, 30°와 60° 경우는 조금 상승하는 것으로 나타났다. 각각의 동마찰계수의 범위는 0° 경우 0.553~0.603, 30° 경우 0.484~0.538, 45° 경우 0.552~0.605, 60° 경우 0.485~0.545, 90° 경우 0.531~0.612범위를 나타냈고, Duncan 검증결과 동마찰계수는 마찰판 홈의 각도가 0°, 45°, 90°의 세 종류간에는 A그룹으로 유의성이 없고, 30°와 60°의 두 종류는 B그룹으로 유의성이 없는 것으로 분석되었다.

다. 수직하중에 따른 동마찰계수의 변화

수직하중에 따른 동마찰계수의 변화는 마찰판의 각도를 무시한 모든 수직하중별 평균값으로 나타냈으며, 실험결과 그림 5에서 보는 바와 같이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 수직하중이 동마찰계수에 거의 영향을 미치지 않는다는 것으로 보고된 것과 같은 경향을 보였다 (한충수 등, 2001; Bucklin 등, 1993; Snyder 등, 1967).

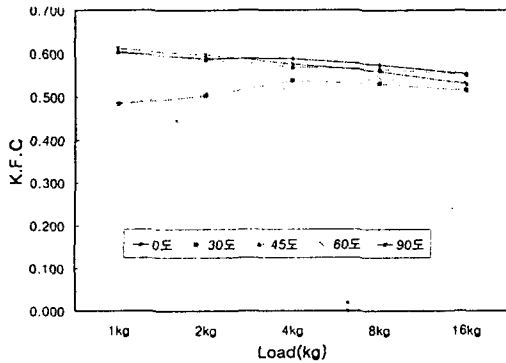


Fig. 4 Effects of the loads and friction surfaces on the Friction Coefficients

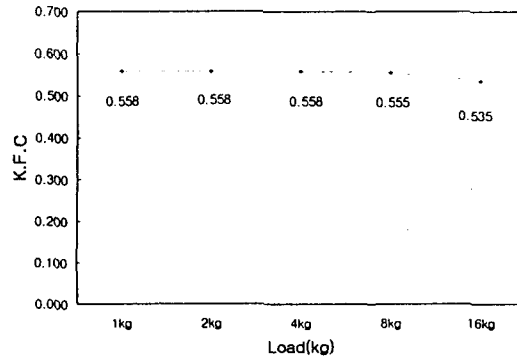


Fig. 5 Effects of the loads of friction surfaces

표 2. Duncan 검증에 의한 평균 동마찰계수의 다중검증 결과

	0°	30°	45°	60°	90°
Mean	0.5817 A	0.5143 B	0.5757 A	0.5169 B	0.5752 A

표 3. 통계처리에 의한 마찰판 홈 각도와 하중간의 유의성 분석

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Groove angle	4	0.06943205	0.01735801	5.22	0.0014
Load	4	0.00583285	0.00145821	0.44	0.7804
Groove angle * Load	16	0.02696595	0.00168537	0.51	0.9318

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 메밀가루를 이용하여 마찰판의 여러 각도 흠 형상과 수직하중에 따른 동마찰계수를 규명하여 맷돌 분쇄기의 설계 기초자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

실험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 각도에 따른 마찰판별 동마찰계수의 범위는 0° 경우 0.553~0.603, 30° 경우 0.484~0.538, 45° 경우 0.552~0.605, 60° 경우 0.485~0.545, 90° 경우 0.531~0.612범위를 나타냈다.

(2) 각도와 수직하중에 따른 동마찰계수 변화는 45° 일 때 가장 큰 변화 폭을 보였고, 0° 경우는 거의 일정한 값을 보여 변화 폭이 없는 것으로 나타났다

(3) 각도를 무시한 경우 모든 마찰판의 수직하중 평균값에 의한 동마찰계수는 1kg일 때 0.558, 2kg일 때 0.558, 4kg일 때 0.558, 8kg일 때 0.555 그리고 16kg일 때 0.535로 나타나 수직하중의 변화는 동마찰계수에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

(4) 수직하중을 무시한 경우 모든 마찰판의 흠의 각도 평균값에 의한 동마찰계수의 크기는 0° > 45° > 90° > 60° > 30° 의 순으로 나타났고, 각 동마찰계수의 값은 0.582, 0.576, 0.575, 0.517, 0.514였다.

(5) 마찰판 흠의 각도와 수직하중간의 동마찰계수의 변화는 마찰판별 각도에 따라 영향을 미치는 것으로 판단되고, 하중에는 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

본 실험결과 0°, 45°, 90° 의 흠 각도가 다른 각도에 비해 분쇄효율이 우수한 것으로 분석되어 맷돌의 분쇄영역을 이러한 흠의 각도를 이용하여 적절하게 분할 배치한다면 보다 분쇄효율이 향상될 것으로 사료된다.

6. 참고 문헌

- 1) 강위수 외2인(2000). 고춧가루의 동마찰계수 측정에 관한 연구. 한국농업기계학회 2000 하계학술대회 논문집5(2):pp224~229
- 2) 강석호(1995). 분체공학. 회중당
- 3) 김만수, 이종호(1976). 곡물의 동마찰계수 측정에 관한 연구. 한국농업기계학회지1(1):pp 49~54.
- 4) 김만수 외 1인(1981). 곡물의 물리적 특성에 관한 연구. 한국농업기계학회지1(1):pp73~82.
- 5) 양승기(1990). 벼의 동마찰계수에 관한 연구. 강원대학교 교육대학원 석사논문.
- 6) 한충수, 박종수(2001). 벼와 현미의 마찰특성. 식품가공학회지5(1):pp14~18.
- 7) 法貴 誠 外3人(1975). 곡물의 동마찰계수 측정, 三重大學 農學部 學術報告 48:pp469~482.
- 8) Bickert, W.G. and F.H.Buelow(1966). Kinetic friction of grains on surfaces. Trans. of the ASAE,9(1):pp129~131,134.
- 9) R.A.Bucklin, S.A.Thompson, I.J.Ross, R.H.Biggs(1993). Apparent Dynamic Coefficient of Friction of Corn on Galvanized Steel Wall Material. Trans. of the ASAE, 36(6) :pp1915~1918.
- 10) 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) : 411~413,419