

穀物の含水率變化에 따른 送風抵抗에 관한 研究

Resistance to Airflow of Grain as Affected by Grain Moisture Content

金滿秀*, 金聲來*

M. S. Kim, S. R. Kim

Summary

The resistance to the passage of airflow through various agricultural products is an important consideration in the design of an aeration or drying system. The amount of resistance to airflow varied widely from one kind of grain to another, and depended upon airflow rate, surface texture and shape of the particles, the size and configuration of voids, and foreign and fine material in the grain bed. The airflow rate was the major factor considered on this kind of study in the early stages. But these days, the studies on the resistance to airflow of grain affected by grain moisture content and foreign and fine material have been widely carried out. However the foreign an fine material in the grain bed could not be a major factor on the study in Korea because there were only a few grain process procedures after harvesting it.

The objectives of this study were to investigate the effect of moisture content and airflow rate on airflow resistance to grain, and to develop a model to predict the static pressure drop across the grain bed as a function of moisture content and airflow rate.

The rough rice varieties, Akibare, Milyang 15 (Japonica types), Samkwang, Backyang (Indica types) and covered barley variety, Olbori, which were harvested in 1985 were used in the experiment after cleaning them. Resistances to airflow of grain were investigated at four levels of moisture content (13-25%, wb.) for ten different airflow rates ($0.01-0.15\text{m}^3/\text{sm}^2$).

The results of this study are summarized as follows;

1. The average bulk densities were $585.3\text{kg}/\text{m}^3$ for rough rice and $691.6\text{kg}/\text{m}^3$ for barley at the loose fill, and were $648.8\text{kg}/\text{m}^3$ for rough rice and $758.2\text{kg}/\text{m}^3$ for barley at the packed fill. The pressure drops at the packed fill beds were approximately 1.4 to 1.8 times higher than those at the loose fill beds.
2. The pressure drops across grain beds decreased with the increase of moisture content and increased with airflow rate. The decreasing rates of pressure drop across grain beds according to the moisture contents at the lower airflow rates were higher than those at the higher airflow rates, and the increasing rates of pressure drop according to the airflow rates at the lower moisture contents were higher those at higher moisture contents.
3. The pressure drop across barley bed were much higher than rough rice beds and the pressure drops across Japonica type rough rice beds were a little higher than Indica type.
4. The mathematical models to predict the pressure drop across grain beds as a function of moisture content and airflow rate were developed from these experiments.

* 忠南大學校 農科大學

※ 本 研究는 1985年度 産學協同財團 學術研究費 支援으로 遂行되었음.

1. 結 論

穀物이나 여러가지 農産物의 堆積層에 對한 送風抵抗은 이러한 農産物의 乾燥, 貯藏施設의 設計에 重要한 因子들중의 하나이다. 農産物에 對한 送風抵抗은 農産物의 種類나 그 크기 및 表面形狀堆積層의 空隙率, 堆積層의 높이, 送風量 等에 따라 달라진다. 우리나라의 경우 주로 乾燥, 貯藏되는 農産物은 米 麥으로서 本 研究에서는 이들 두 穀物에 對한 送風抵抗을 究明코자 하였다.

穀物의 送風抵抗에 關한 研究는 外國의 경우 이미 오래前부터 많은 研究가 遂行되어 왔다. 이 分野에 對한 初期의 研究는 주로 送風量에 따른 穀物 堆積層의 壓力降下에 關한 것이 大部分이었으나 最近에는 穀物의 含水率 및 異物質이나 微細粒子의 含有程度에 따른 送風抵抗에 關한 研究가 활발히 遂行되고 있다.

Shedd (1951, 1953)는 콩, 옥수수, 벼 等 22種의 穀物이나 各種 作物의 種子에 對하여 送風量 약 $0.01 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ 에서 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ 의 범위에서 各 試料의 送風抵抗을 測定 發表하였던 바 이 資料는 오늘날 까지 送風시스템의 設計에 基礎資料로 이용되고 있으며 ASAE Standards로 채택되어 있다. 그러나 이 資料는 試料의 含水率이 어느 한 水準에만 국한되어 있고 精選된 穀物에서만 활용가능하다는 제약때문에 最近에는 穀物에 異物質이나 微細粒子가 포함되어 있는 穀物에서의 送風抵抗에 關한 研究가 進行중이다.

穀物의 送風抵抗 測定時 考慮되어야 할 重要한 因子들은 堆積層의 높이, 散物密度, bin의 크기, 穀物의 含水率, 送風量, 異物質이나 微細粒子의 含有程度 等이 있는데 이들 中 bin의 크기는 작은 直徑의 bin으로 實驗한 結果를 실제의 큰 直徑의 bin에서 그대로 이용할 수 있는가 하는 問題로서 Shedd (1951)의 研究 結果에 의하면 穀物과 接觸하는 벽면의 면적을 約 55% 增加했을때나 이 벽면을 제거했을때의 送風抵抗의 차이는 거의 없었던바 bin의 크기에 따른 送風抵抗의 영향은 매우 적다고 報告하였다. 또한 穀物의 堆積높이에 따른 送風抵抗에 대한 그의 報告에 의하면 穀物의 堆積높이가 約 2.7m 일 때의 單位堆積높이當 送風抵抗이 堆積높이 約 1.2m 일 때보다 1% 정도 크게 나타났으나 이러한 차이는 穀物의 含水率, 送風量, 穀物을 채우는 方法, 穀物의

物理的인 特性 等에서 오는 차이보다 크지 않다고 하였다.

따라서 穀物의 送風抵抗에 關한 研究는 이들 두 因子를 제외한 나머지 因子들에 對한 研究로서 Husain과 Ojha (1969)는 送風量을 $0.016 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ 에서 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ 까지 변화시키면서 벼에서의 送風抵抗을 測定한 結果 送風抵抗은 送風量의 2次函數로 나타낼 수 있고, 送風量이 增加함에 따라 送風抵抗도 增加하였으나 堆積 높이가 줄어들기에 따라서는 減少한다고 報告하였다. 送風量은 穀物 堆積層의 送風抵抗에 영향을 가장 많이 미치는 因子로서 이 分野의 모든 研究들이 送風량과 送風抵抗과의 關係를 다루었으며 그 結果 또한 모두가 送風量의 增加에 따라 送風抵抗은 增加한다는 報告들이었다.

穀物의 含水率이나 粒子의 形狀에 따른 送風抵抗에 關한 研究로서 Calderwood (1973)는 벼, 玄米, 白米 層에 對한 送風抵抗을 測定했던 바 대체로 이들의 送風抵抗은 穀物含水率이 增加함에 따라 減少하고 散物密度에 따라서는 增加한다고 報告하였으며, 玄米나 白米의 送風抵抗은 벼에서 보다 컸으며, 벼에서도 短粒種이 長粒種에서 보다 送風抵抗이 크다고 報告하였다. 이와 같은 現象은 서로 비슷한 穀物이라 할지라도 粒子의 크기에 따라서 送風抵抗이 다르기 때문에 類似한 穀物에 對한 送風抵抗의 資料를 一律적으로 活用하는데는 많은 問題點이 있을 것으로 思料된다. Singh (1984)은 油菜 (rape seed)에 對한 送風量을 $0.013 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ 에서 $0.254 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ 까지 變化시키면서 그 送風抵抗을 測定했던바 送風抵抗은 堆積 높이에 따라 線形的으로 增加하였으며 含水率에 따라서는 減少한다고 報告하였다.

穀物의 異物質이나 微細粒子가 含有되어 있을 경우의 送風抵抗에 대한 研究結果를 살펴보면 Haque 等 (1978, 1982)은 含水率 12% (w.b)의 옥수수에 微細粒子의 含量을 0%에서 20%까지 變化시키면서 送風抵抗을 測定하여 微細粒子의 含量과 送風量을 因子로 하는 옥수수에서의 送風抵抗에 對한 一般式을 誘導하였으며, 送風抵抗은 微細粒子의 含量에 따라 增加한다고 하였다. Chung 等 (1984)은 수수의 含水率 12%에서 18% (w.b)와 微細粒子의 含量 0%에서 8%까지 變化시키면서 送風抵抗을 測定했던 結果 含水率에 따라서는 減少하고 微細粒子의 含量에 따라서는 增加한다고 하였으며 送風量, 含水率, 微細粒子의 含量을 因子로 하는 送風抵抗의 豫測 모델을 開

發하였다. 또한 이들은 벼의 含水率 12%에서 20% (w.b)와 異物質 0%에서 5%까지 變化시키면서 벼에서의 送風抵抗을 測定했던 結果 穀物の 含水率이나 異物質 含量의 增加에 따라 送風抵抗은 減少한다고 하였으며 送風量, 含水率, 異物質 含量을 因子로 하는 送風抵抗의 一般式을 開發하였다. 이들의 研究 結果들에서 알 수 있는 바와 같이 異物質 含量의 增加에 따라서는 送風抵抗이 減少하고 微細粒子的 含量의 增加에 따라서는 送風抵抗이 增加하는 서로 相反되는 現象으로 나타나고 있는데 이것은 異物質이나 微細粒子가 穀物の 粒子보다 큰 경우에는 그 含量에 따라 送風抵抗이 減少하고 작은 경우에는 그 含量에 따라 增加하기 때문이다(1953). Grama 等(1984)은 옥수수에 微細粒子가 含有되어 있는 경우의 送風抵抗을 測定하고 이에 의한 乾燥, 貯藏時의 Fan의 動力費를 推定했던 結果, 微細粒子的 含量이 30%일 경우 送風量 $0.028\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{t}$ 일때 정선된 穀物の 乾燥費 用的 약 3.6배나 된다고 報告하였다.

위에서 살펴본 大部分의 研究結果들은 含水率을 어느 特定 水準에서나 對象穀物이 그 나라의 主穀이 大部分이며 벼에 對한 몇편의 研究도 모두가 우리나라의 벼와는 物理的 特性이 다른 長粒種에 局限되어 있어 이들 資料를 직접 利用하기에는 어려운 점이 많고 또한 異物質이나 微細粒子的 含量에 따른 送風

抵抗도 收穫體系가 다르고 處理工程이 많지 않은 우리나라에서는 別 問題가 되지 않을 것으로 판단된다.

따라서 本 研究에서는 對象穀物로는 우리나라의 主穀인 米麥으로 하고 穀物の 含水率 變化가 穀物堆積層에서의 送風抵抗에 미치는 影響을 分析하고 送風量, 含水率을 因子로 하는 各 供試 穀物の 送風抵抗을 豫測할 수 있는 數學的 模型을 開發하는데 그 目的이 있다.

2. 材料 및 方法

가. 實驗材料

本 研究에 使用한 穀物은 우리나라의 主穀인 벼와 보리로써 벼는 Japonica 型 벼 2 品種, Indica 型 벼 2 品種을 擇하였고 보리는 울보리 1 品種만 擇하였다. 試料는 모두 1985年 生産된 것으로 一般 農家에서 購入한 穀物을 再精選하여 實驗에 使用하였다.

나. 實驗裝置 및 方法

穀物の 送風抵抗(壓力降下) 測定裝置는 그림1에서 보는 바와 같이 grain Column을 直徑 약 0.29m 높이 0.64m인 투명 아크릴과 밀바닥의 開口度는 약 22%인 多孔鐵板으로 製作하였으며 壓力降下의 測定位置는 多孔板으로부터 0.02m 높이로부터 0.5m 사이에서 精密度 10^{-4}m 와 最高 0.3m 水頭까지 測定할 수 있는 傾斜管 manometer 를 使用하였다. Plenum Ch-

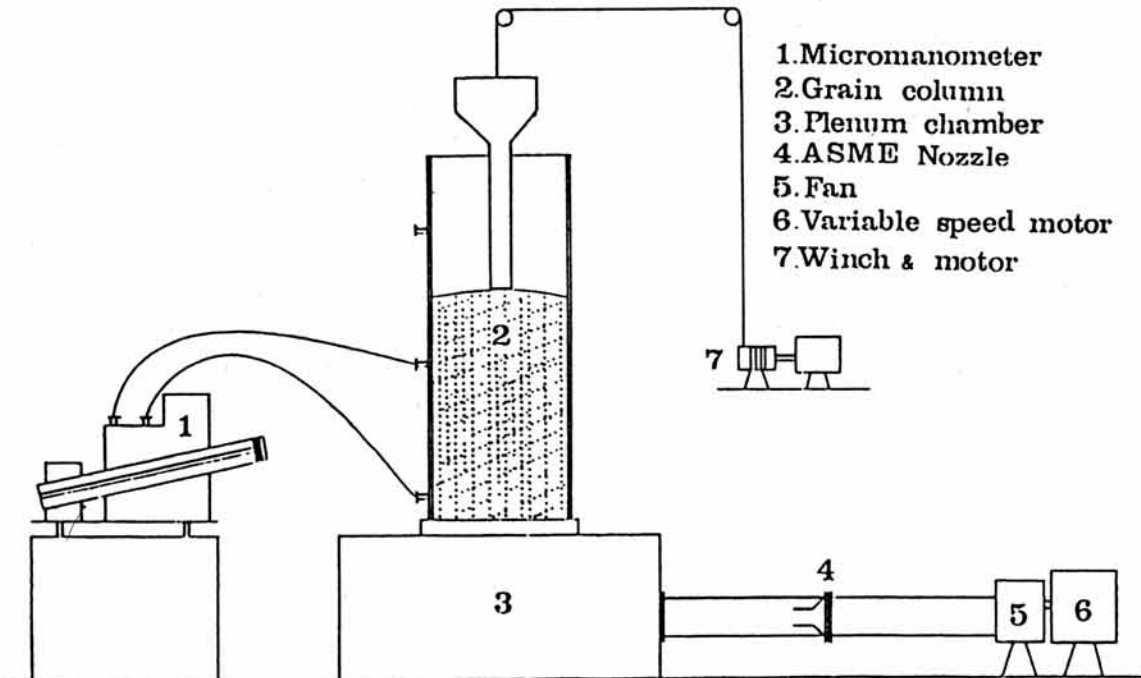


Fig. 1. Schematic diagram of apparatus used in test of resistance of grain to airflow.

amber 는 가로 세로 0.8m, 높이 0.3m가 되게 合板으로 製作하였으며 送風機는 遠心送風機와 變速모터를 이용하여 送風量을 調節하였고 送風量은 0.0254m 직경의 ASME nozzle 과 傾斜管 manometer 로 測定하였다.

試料를 試料圓筒(grain column)에 채우는 方法은 느슨한 堆積(loose fill)과 다진 堆積(packed fill)을 적용하였다. 느슨한 堆積은 稈대기와 本研究를 위해 製作한 원치 장치를 이용하여 穀物을 試料圓筒에 채울때 稈대기의 出口가 穀物表面 바로 위의 일정한 높이에서 穀物이 채워지도록 한 方法이고 다진 堆積

은 穀物을 試料圓筒에 높이 10cm 정도로 채우고 흔들어서 다진후 그 정도의 穀物을 다시 채우고 흔들어서 다지는 方法을 적용하였다.

送風量의 變化 범위는 약 0.01m³/s·m²(0.015m³/s·m²)에서 0.15m³/s·m²(0.23m³/s·m²)까지의 10水準과 穀物 含水率 약 13%(w.b)에서 25%까지 4水準에서 送風量과 含水率의 各 組合에 對하여 느슨한 堆積과 다진 堆積에 對하여 각각 3반복으로 實驗을 遂行하였으며 各 試料의 含水率과 느슨한 堆積과 다진 堆積 때의 散物密度는 表1에서 보는 바와 같다.

Table 1. Bulk density of grain samples according to the filling methods.

Grains Filling Method	Akibare		Milyang 15		Samkwang		Backyang		Av. B. D	Covered barley		Av. B. D
	M. C	B. D	M. C	B. D	M. C	B. D	M. C	B. D		M. C	B. D	
Loose	15.0	582.9	12.9	569.4	13.1	575.7	13.2	580.0	585.8	13.6	695.2	691.6
	20.0	592.7	18.2	584.1	17.8	580.0	17.5	589.5		17.5	694.8	
	23.6	596.6	20.4	580.4	19.7	577.9	19.9	595.5		21.7	690.8	
	25.2	580.1	23.5	585.5	23.5	596.1	22.2	598.2		26.2	685.6	
Packed	15.1	641.3	13.0	630.4	13.2	638.6	12.9	645.0	648.8	15.5	769.8	758.2
	19.7	656.6	18.1	649.6	18.2	637.5	17.3	647.9		17.4	765.1	
	23.1	651.9	20.3	638.8	20.0	640.9	20.0	654.7		20.7	752.8	
	25.2	650.5	23.5	669.1	23.6	658.5	22.5	669.4		26.3	745.2	

Note : B. D = grain bulk density, kg/m³

M. C = grain moisture content, % (w.b)

3. 結果 및 考察

가. 穀物을 試料圓筒에 채우는 方法과 送風抵抗과 의 關係

穀物을 試料圓筒에 채우는 方法에 따른 散物密度의 變化를 살펴보면 表1에서 보는 바와 같이 느슨한 堆積의 경우 稈대기의 散物密度는 平均 585.3kg/m³ 이었고 보리는 691.6kg/m³이었으며 다진 堆積의 경우 그 變化의 幅이 약간 컸었다.

그림 2에서 6까지는 各 供試穀物에 對하여 느슨한 堆積과 다진 堆積의 경우에 送風抵抗을 圖示하였다. 이들 그림에서 보는 바와 같이 모든 供試穀物에서 다진 堆積의 送風抵抗이 느슨한 堆積 때 보다 컸으며 Japonica 型의 稈대기 보리에 있어서는 느슨한 堆積과 다진 堆積 때의 送風抵抗의 差가 뚜렷하지 않았으나 Indica 型 稈대기에서는 그들 間에 뚜렷이 區分되었다. 또한 Shedd(1953)의 實驗結果와 比較하면

모든 供試穀物에서 다진 堆積의 경우가 Shedd의 結果와 類似하였으며 느슨한 堆積의 경우에는 Shedd의 結果보다 送風抵抗의 값이 작게 나타났는데 이러한 差異는 穀物을 圓筒에 채우는 方法의 差에서 오는 것으로 판단된다.

表2는 느슨한 堆積에 대한 다진 堆積의 送風抵抗(壓力降下)의 比를 表示한 것으로 本研究의 범위 내에서는 다진 堆積 때의 送風抵抗이 느슨한 堆積 때의 送風抵抗보다 約 1.4에서 1.8배로 높게 나타났다. 대체로 送風抵抗의 比는 같은 含水率에서 送風量이 增加함에 따라 減少하는 傾向이었으며 같은 送風量에서는 含水率의 增加에 따라 Japonica 型의 稈대기에서는 增加하는 傾向이었고 Indica 型의 稈대기 보리에서는 減少하는 傾向을 보였다.

나. 穀物의 含水率 및 送風量이 送風抵抗에 미치는 影響

穀物의 含水率과 送風量 變化에 따른 堆積穀物의

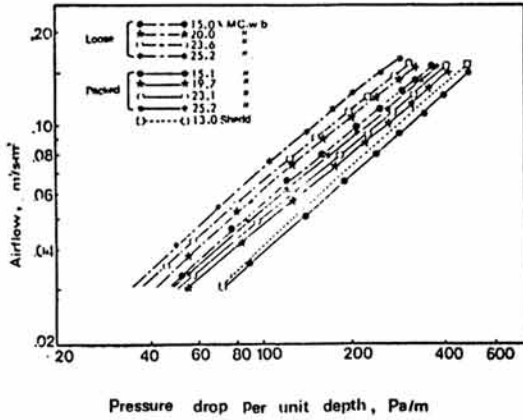


Fig. 2. Airflow vs. static pressure drop for Akibare.

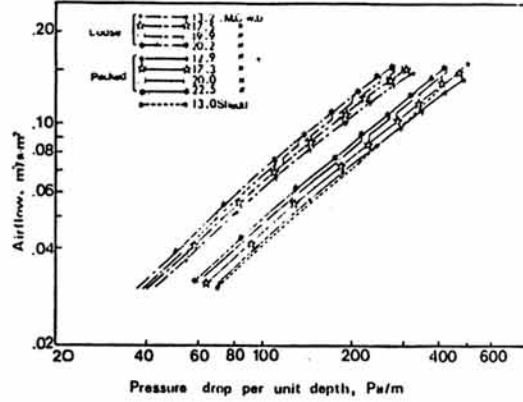


Fig. 5. Airflow vs. Static pressure drop for Backyang.

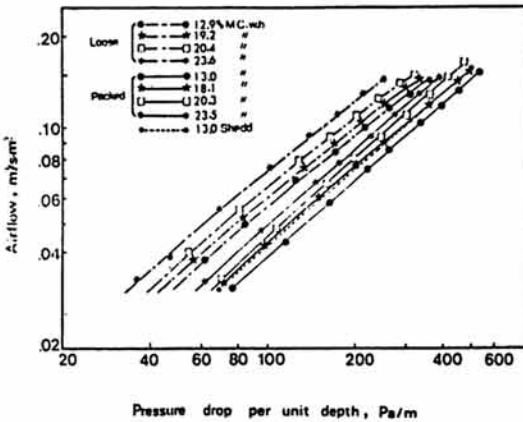


Fig. 3. Airflow vs. static pressure drop for Milyang-15.

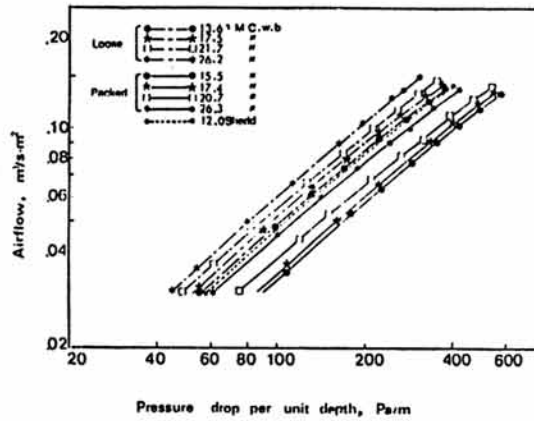


Fig. 6. Airflow vs. Static pressure drop for Barley.

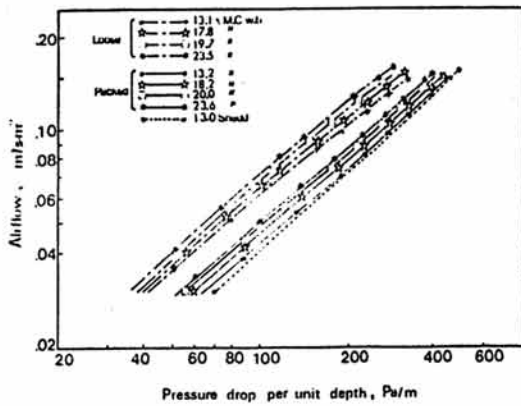


Fig. 4. Airflow vs. Static pressure drop for Samkwang.

送風抵抗에 對한 反應表面(Response Surface)을 그림 7에서 9까지에 圖示하였다. 그림들은 각각 아끼바레, 백양, 보리의 다진 채움의 경우만 圖示한 것으로 大體로 穀物の 含水率 增加에 따라서는 그 送風抵抗은 減少하였으며 送風量에 따라서는 增加하였다. 그림에서 보는 바와 같이 含水率이 15%(w.b)이고 送風量이 $0.02\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ 에서 約 7倍로 增加함에 따라 送風抵抗은 約 10배로 增加하였으며 含水率이 25% 일때는 같은 送風量의 變化범위에서 約 12배로 增加하였다. 또한 送風量이 $0.02\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ 이고 含水率이 15%에서 25%로 增加함에 따라서는 送風抵抗은 約 28%에서 42%로 減少하였으며 送風量이 $0.15\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ 일때는 같은 含水率의 變化범위에서 送風抵抗은 約 20%에서 29%로 減少하였다. 따라서 穀物の

Table 2. Pressure drop ratios of the packed grain bed to the loose grain bed for the grain samples.

Grains	M.C A.F	14	17	20	23
Akibare	0.03	1.51	1.53	1.55	1.57
	0.07	1.48	1.49	1.50	1.51
	0.11	1.45	1.46	1.46	1.47
	0.15	1.43	1.43	1.44	1.44
Milyang 15	0.03	1.62	1.65	1.69	1.75
	0.07	1.58	1.60	1.63	1.67
	0.11	1.55	1.57	1.59	1.62
	0.15	1.53	1.55	1.56	1.58
Samkwang	0.03	1.51	1.53	1.57	1.61
	0.07	1.45	1.47	1.49	1.52
	0.11	1.40	1.42	1.43	1.45
	0.15	1.37	1.38	1.39	1.41
Backyang	0.03	1.67	1.61	1.54	1.46
	0.07	1.63	1.57	1.51	1.45
	0.11	1.59	1.54	1.49	1.43
	0.15	1.57	1.52	1.47	1.42
Barley	0.03	1.63	1.61	1.60	1.58
	0.07	1.60	1.59	1.57	1.56
	0.11	1.58	1.57	1.56	1.54
	0.15	1.57	1.56	1.54	1.53
Japonica	0.03	1.58	1.58	1.59	1.60
	0.07	1.55	1.55	1.55	1.56
	0.11	1.53	1.53	1.53	1.53
	0.15	1.51	1.51	1.50	1.50
Indica	0.03	1.60	1.59	1.59	1.58
	0.07	1.56	1.55	1.54	1.53
	0.11	1.53	1.53	1.51	1.50
	0.15	1.50	1.50	1.49	1.48

Note ; M.C = grain moisture content, % (w.b)

A. F = airflow rate, cu·m/s·sq·m

含水率에 따른 送風抵抗은 送風量이 큰 경우보다 작은 경우에 더 큰 比率로 減少하였으며 送風量의 變化에 따른 送風抵抗은 含水率이 낮은 경우보다 높은 경우에 더 큰 比率로 增加하고 있음을 알 수 있다.

벼의 送風抵抗에 對하여 報告한 바 있는 Gunasekaran 等(1983) 과 Calderwood(1973)의 結果를 比較

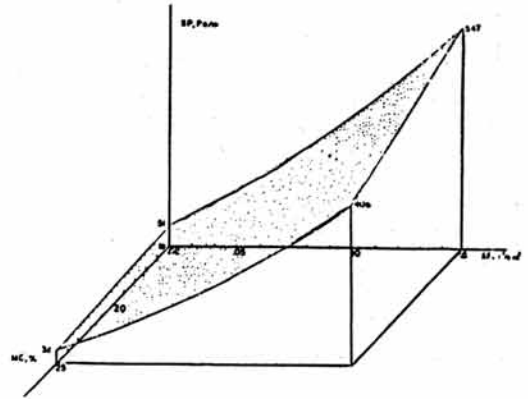


Fig. 7. Respose surface of pressure drop for Akibare as a function of moisture content and airflow rate in case of packed fill.

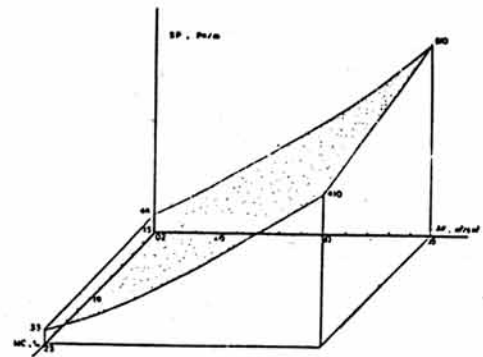


Fig. 8. Respose surface of pressure drop for Backyang as a function of moisture content and airflow rate in case of packed fill.

하면 含水率이 約 13%이고 送風量 0.05m³/s·m² 일 때 그림 2~6에서 보는 바와 같이 送風抵抗(壓力降下)은 느슨한 채움의 경우에 約 80Pa/m이었고 다진 채움일 경우 約 100Pa/m로서 다진 채움일 경우가 Gunasekaran 等의 結果와 類似하였으며 Calderwood의 느슨한 채움의 경우보다는 本 研究에서의 느슨한 채움의 경우가 약간 높은 값을 보였고 다진 채움의 경우에는 그 反對의 現象으로 나타났다.

다. 穀物의 種類 및 品種에 따른 送風抵抗

벼의 送風抵抗은 同一型의 벼에서는 서로 類似한 傾向을 보였으나 Japonica 型의 벼와 Indica 型의 벼

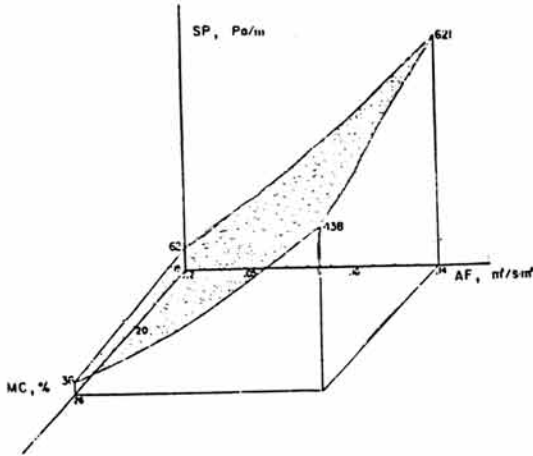


Fig. 9. Response surface of pressure drop for barley as a function of moisture content and airflow rate in case of packed fill.

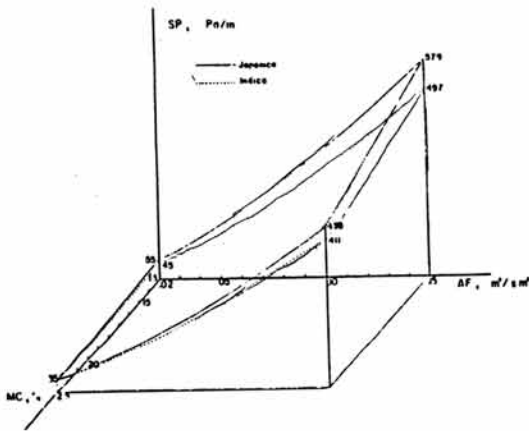


Fig. 10. Response surface of pressure drop for Japonica and Indica type rough rice as a function of moisture content and airflow rate in case of packed fill.

間에는 그림 10에서 보는 바와 같이 Japonica 型의 벼가 Indica 型의 벼에서 보다 약 17% 높은 送風抵抗의 값으로 나타났고 다진 채움때의 差異가 느슨한 채움 때 보다 크게 나타났으며 벼와 보리 間에는 보리의 送風抵抗이 벼의 送風抵抗보다 훨씬 크게 나타났다. 이러한 現象은 各 穀物의 物理的 特性때문

로 穀物 堆積層에 關係가 깊은 各 穀物의 球形率 (Sphericity)이 보리는 벼보다 크며 Japonica 型은 Indica 型의 벼보다 크기 때문이며 (1981) 이와같은 結果는 Calderwood (1973)의 長粒種 벼와 中粒種 벼에서 送風抵抗에 관한 研究와도 類似한 傾向이었다.

라. 穀物의 送風抵抗에 관한 數學的 模型

穀物의 含水率과 乾燥 및 貯藏時에 必要한 送風量을 因子로 하는 送風抵抗에 관한 數學的 模型을 開發하기 위하여 要因分析(factor analysis)을 한 結果를 表3에서 5에 表示하였다. 表에서 보는 바와 같이 大體로 含水率의 1次項, 送風量의 1, 2次項과 含水率 送風量의 1次 交互作用項들이 高度의 有意性을 보였으며, 供試穀物에 따라서는 이 以外의 項들에서도 有意性을 나타내고 있는바 이 項들 모두에 對한 回歸分析의 結果 項數가 늘어남에 따라 回歸方程式의 決定係數는 약간 增加하였지만 큰 增加는 보이지 않았으므로 數式을 簡單히 하기 爲하여 다음과 같은 模型으로 하였다.

$$SP = a(AF) + b(AF)^2 - C(AF)(MC)$$

여기서, SP = 穀物 單位堆積層에서의 送風抵抗, Pa/m

AF = 送風量, $m^3/s \cdot m^2$ 또는 $m^3/s \cdot m^2$

MC = 穀物의 含水率, % (w.b)

a, b, c = 各 穀物에 따른 常數

이러한 送風抵抗에 관한 模型은 Chung 등 (1984) 이 報告한 模型과도 類似한 것이며 本 研究 結果의 活用性을 높이기 爲하여 送風量의 單位를 Superficial Velocity ($m^3/s \cdot m^2$)와 Volumetric Velocity ($m^3/s \cdot m^3$)로, 穀物을 圓筒에 채우는 方法도 느슨한 채움과 다진 채움으로, Japonica 型 벼와 Indica 型 벼로 各 區分하여 各 供試 穀物의 送風抵抗에 관한 數學的 模型을 開發하였으며 그 結果는 表 6, 7에서와 같다.

4. 結 論

벼 4品種 (Japonica 型 2, Indica 型 2)과 穀보리 1品種에 對하여 穀物 含水率과 送風量을 變化시키고 穀物 堆積層의 채움정도 (loose, Packed fill)를 달리 하면서 穀物堆積層의 送風抵抗을 測定하여 含水率 및 送風量이 穀物의 送風抵抗에 미치는 影響을 分析하였으며 穀物의 含水率 및 送風量을 因子로 하는 穀物 堆積層의 送風抵抗을 豫測할 수 있는 數學的 模型을 開發하였던 바 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

Table 3. Anova table the effects of moisture content and airflow rate on pressure drop of Akibare.

SOURCE	DF	SS	MS	F value
MC	3	16648.880	5549.625	117.460**
MC	1	16545.120	16545.120	350.184**
MC ²	1	99.073	99.073	2.097(NS)
MC ³	1	4.637	4.637	0.098(NS)
AF	4	636146.500	159036.600	3366.077**
AF	1	628200.600	628200.600	13296.130**
AF ²	1	3949.841	3949.841	83.600**
AF ³	1	494.913	494.913	10.475**
AF ⁴	1	3501.052	3501.052	74.101**
MC*AF	12	15607.130	1300.594	27.528**
MC*AF	1	11737.760	11737.760	248.435**
MC*AF ²	1	564.819	564.819	11.955**
MC*AF ³	1	76.971	76.971	1.629(NS)
MC*AF ⁴	1	668.084	668.084	14.140**
MC ² *AF	1	5.043	5.043	0.107(NS)
MC ² *AF ²	1	42.401	42.401	0.897(NS)
MC ² *AF ³	1	604.353	604.353	12.791**
MC ² *AF ⁴	1	352.434	352.434	7.459**
MC ³ *AF	1	1.092	1.092	0.023(NS)
MC ³ *AF ²	1	369.874	369.874	7.829**
MC ³ *AF ³	1	1089.993	1089.993	23.870**
MC ³ *AF ⁴	1	94.111	94.111	1.992(NS)
ERROR	40	1889.875	47.247	
TOTAL	59	670292.400		

Note: MC = grain moisture content, %, w.b

AF = airflow rate, cu. m/s. sq. m

Table 4. Anova table the effects of moisture content and airflow rate on pressure drop of Milyang 15.

SOURCE	DF	SS	MS	F value
MC	3	7242.000	2414.000	71.939**
MC	1	6618.544	6618.545	197.237**
MC ²	1	594.718	594.718	17.722**
MC ³	1	28.644	28.644	0.854(NS)
AF	4	581126.500	145281.600	4329.495**
AF	1	571968.800	571968.800	17045.070**
AF ²	1	8834.854	8834.854	263.285**
AF ³	1	281.826	281.826	8.399**
AF ⁴	1	40.876	40.876	1.216(NS)

穀物の 含水率 變化에 따른 送風抵抗에 關한 研究

MC*AF	12	3937.125	328.094	9.777**
MC*AF	1	3187.354	3187.354	94.955**
MC*AF ²	1	46.342	46.342	1.381(NS)
MC*AF ³	1	2.077	2.077	0.062(NS)
MC*AF ⁴	1	10.192	10.192	0.304(NS)
MC ² *AF	1	131.251	131.251	3.911(NS)
MC ² *AF ²	1	265.760	265.760	7.928**
MC ² *AF ³	1	2.002	2.002	0.060(NS)
MC ² *AF ⁴	1	155.059	155.059	4.621*
MC ³ *AF	1	2.496	2.496	0.074(NS)
MC ³ *AF ²	1	28.197	28.197	0.940(NS)
MC ³ *AF ³	1	12.061	12.061	0.538(NS)
MC ³ *AF ⁴	1	88.392	88.392	2.634(NS)
ERROR	40	1342.250	33.556	
TOTAL	59	593647.900		

Note : MC = grain moisture content, %, w.b

AF = airflow rate, cu. m/s. sq. m

Table 5. Anova table the effects of moisture content and airflow rate on pressure drop of barley.

SOURCE	DF	SS	MS	F value
MC	3	12161.750	4053.917	80.675**
MC	1	11686.270	11686.270	232.562**
MC ²	1	288.642	288.642	5.744*
MC ³	1	186.915	186.915	3.728(NS)
AF	4	828390.300	207097.600	4121.345**
AF	1	818632.100	818632.100	16291.190**
AF ²	1	8109.263	8109.263	161.378**
AF ³	1	854.936	854.936	17.014**
AF ⁴	1	794.046	794.046	15.802**
MC*AF	12	5856.000	488.000	9.711**
MC*AF	1	4288.032	4288.032	85.334**
MC*AF ²	1	164.920	164.920	3.282(NS)
MC*AF ³	1	255.452	255.452	5.084*
MC*AF ⁴	1	373.750	373.750	7.438**
MC ² *AF	1	286.203	268.203	5.337*
MC ² *AF ²	1	279.777	279.777	5.568*
MC ² *AF ³	1	20.254	20.254	0.403(NS)
MC ² *AF ⁴	1	140.140	140.140	2.789(NS)
MC ³ *AF	1	20.907	20.907	0.416(NS)
MC ³ *AF ²	1	5.408	5.408	0.108(NS)
MC ³ *AF ³	1	11.344	11.344	0.226(NS)
MC ³ *AF ⁴	1	27.572	27.572	0.549(NS)

ERROR	40	2010.000	50.258
TOTAL	59	848418.000	

Note: MC = grain moisture content, %, w. b

AF = airflow rate, cu. m/s. sq. m

Table 6. Regression equations of the static pressure drop as a function of moisture content and airflow rate (superficial velocity).

Grains	Model $SP = a(AF) + b(AF)^2 - c(AF)(MC)$				R ²
		a	b	c	
Akibare	loose	2553.8410	6710.4070	67.5188	.9971
	packed	3805.6230	8374.6460	94.2626	.9979
Milyang 15	loose	2409.5660	6589.5730	66.7595	.9986
	packed	3718.8690	89330320	91.7977	.9997
Samkwang	loose	1852.5390	5917.9710	40.6773	.9992
	packed	2681.6140	7805.9350	47.9683	.9985
Backyang	loose	1543.2020	6168.9510	24.1503	.9994
	packed	3028.1590	8400.0310	67.9903	.9995
Barley	loose	2779.6480	7691.8220	68.3814	.9988
	packed	4665.3020	1106.0600	118.4514	.9994
Japonica type	loose	2392.9210	6437.1100	61.5740	.9967
	packed	3774.5840	8715.1990	94.0822	.9989
Indica type	loose	1724.8880	6008.7660	33.7489	.9990
	packed	2857.0080	8014.3140	57.3483	.9988

Table 7. Regression equations of the static pressure drop as a function of moisture content and airflow rate (volumetric velocity).

Grains	Model $SP = a(AF) + b(AF)^2 - c(AF)(MC)$				R ²
		a	b	c	
Akibare	loose	1627.9700	2733.4130	43.0326	.9971
	packed	2491.0880	3273.4380	61.7653	.9976
Milyang 15	loose	1537.4880	2683.7080	42.6169	.9986
	packed	2371.7130	3655.6440	58.5301	.9997
Samkwang	loose	1182.4860	2391.0520	25.8433	.9992
	packed	1760.5870	3065.8540	31.9406	.9989
Backyang	loose	986.4080	2497.1410	15.3501	.9994
	packed	1932.6230	3354.6800	42.6030	.9996
Barley	loose	1772.7890	3219.1270	43.5824	.9988
	packed	2978.6400	4497.8700	75.6284	.9994
Japonica type	loose	1526.2880	2621.7310	39.2802	.9967
	packed	2440.3140	3454.1490	60.6645	.9987
Indica type	loose	1100.5680	2429.9940	21.3970	.9990
	packed	1848.2390	3203.3240	37.2258	.9991

가. 벼의 散物密度는 느슨한 채움의 경우 平均 585.3 kg/m³, 보리에서 691.6kg/m³이었고 다진 채움의 경우 벼에서 648.8kg/m³, 보리에서 758.2kg/m³이었으며 다진 채움 때의 送風抵抗이 느슨한 채움 때의 送風抵抗보다 約 1.4~1.8倍로 높게 나타났다.

나. 穀物 堆積層의 送風抵抗은 穀物 含水率의 增加에 따라서는 減少하였으나 送風量에 따라서는 增加하였으며 含水率에 따른 送風抵抗은 送風量이 큰 경우 보다 작은 경우에 더 큰 비율로 減少하였고 送風量의 變化에 따른 送風抵抗은 含水率이 낮은 경우 보다 높은 경우에 더 큰 比率로 增加하였다.

다. 穀物の 種類 및 品種에 따른 送風抵抗은 供試 穀物中 보리가 가장 컸으며 벼에서도 Japonica型 벼가 Indica型 벼보다 약간 크게 나타났다.

라. 穀物の 含水率 및 送風量을 因子로 하는 穀物 堆積層의 送風抵抗에 대한 數學的 模型을 供試穀物에 대하여 各各 開發하였다.

References

1. Agrawal, K.K. and P. Chand. 1974. Pressure drop across fixed beds of rough rice. Trans. of the ASAE 17(3): 560-563.
2. Akritidis, C.B. and A.J. Siatras. 1979. Resistance of pumpkin seeds to airflow. Trans. of the ASAE 22(6): 1414-1416.
3. Calderwood, D.L. 1973. Resistance to airflow of rough, brown and milled rice. Trans. of the ASAE 16(3): 525-527, 532.
4. Chung, D.S., G.A. Abdelmoshin and M.S. Kim, 1984. Resistance of grain sorghum to airflow. ASAE Paper No. 84-3529. ASAE, St. Joseph, MI. 49085.
5. Grama, S.N., C.J. Bern and C.R. Hurlburgh, Jr. 1984. Airflow resistance of mixtures of shelled corn and fines. Trans. of the ASAE 27(1): 268-272.
6. Gunasekaran, S., V.K. Jindal and G.C. Shove. 1983. Resistance to airflow of paddy (rough rice) in shallow depths. Trans. of the ASAE 26(2): 601-605.
7. Haque, E., Y.N. Ahmed and C.W. Deyoe. 1982. Static pressure drop in a fixed bed of grain as affected by moisture content. Trans. of the ASAE 25(3): 650-653.
8. Haque, E.G., G.H. Foster and D.S. Chung. 1978. Static pressure drop across a bed of corn mixed with fines. Trans. of the ASAE 21(5): 997-1000.
9. Husain, A.P. and T.P. Ojha. 1969. Resistance to the passage of air through rough rice. J. Agric. Engng. Res. 14(4): 47-53.
10. Kim, M.S. 1981. Physical and thermal properties of grain. Unpublish Ph.D. dissertation, S.N.U.
11. Shedd, C.K. 1951. Some new of data on resistance of grain to airflow. Agricultural Engineering 32: 439-496.
12. Shedd, C.K. 1953. Resistance of grain and seeds to airflow. Agricultural Engineering 34(9): 616-619.
13. Singh, D. and S. Sokhansanj. 1984. Resistance to airflow of reapeed. ASAE Paper No. 84-3530. ASAE, St. Joseph, MI. 49085.