

水分첨가된 옥수수(Corn-Cob-Mix)의 펌프 運送 時의 流體性質 究明 Flow Properties of Water Additive Corn-Cob-Mix for Handling by Pump

吳 仁 煥*, H. J. Heege**
I. H. Oh

Summary

The flow properties of water added corn-cob-mix(CCM) were studied in order to provide basic information for designing its pumping system. For the study, a model system similar to actual situation was constructed.

From the experiment, it can be concluded that the flow properties of the water added CCM has close relationship with its moisture content as follows;

1. The pressure drop caused by friction was very low when the moisture content of water added CCM was more than 70%. However, when the moisture content of the material is about 60%, the pressure drop increases up to 10 kPa/m at low pumping speed, and 20 kPa/m at high pumping speed, respectively.
2. The water added CCM having about 65% moisture content showed pseudo-plastic flow characteristics.
3. As the moisture content of the material decreases, the shear stress increases more rapidly than the shear rate does. Finally, below approximately 60% moisture, the shear stress becomes a linear relationship with the shear rate.
4. It was possible to pump the material having the moisture content down to 58% through a pipe having 80 mm diameter by a pump operating at 234 rpm. However, by either increasing the diameter of the pipe or decreasing the pumping speed, it can be possible to pump the material having lower moisture content than 55%.

1. 緒 論

습한 穀物貯藏方式에서는 收穫 당시의 水分含量으로 氣密貯藏을 하기 때문에 乾燥를 하는데 소요되는 燃料費를 절약하는 利點이 있으나, 穀物을 싸이로에 입출고하는 作業에 사용되는 機械가 복잡하고 故障이 잦으며, 경우에 따라서는 穀物이 싸이로 안에서 아치를 形成하여 잘 나오지않는 등 몇가지

短點이 있다. 이러한 弊端을 없애기 위하여 開發된 것이 液狀 穀物貯藏方法으로 飼料穀物을 분쇄하여 약간의 水分을 첨가한 후 펌프를 이용하여 싸이로의 運送을 하는 方式이다. 이때 材料의 水分含量은 55~60% 범위이다. 특히 대규모 養豚場에서는 飼料給餌時 노력절감과 부산물을 이용할 수 있는 液狀 飼料 給餌方法을 널리 채택하고 있는 바, 이 方法은 貯藏方法과 一貫作業體係를 이루고 있다.

* 建國大學校 自然科學大學 農業機械學科

** Institut für Landw. Verfahrenstechnik, Universität Kiel, West Germany

본 研究의 目的은 수분첨가된 옥수수(Corn-Cob-Mix)를 펌프로 運送할 때 수반되는 문제중 運送裝置와 導管을 設計하는데 기초가 되는 材料의 流體性質을 究明하는 것이다. 즉, 流體線圖를 제시하고 펌프될 수 있는 限界를 조사하는데 主眼點이 있다.

2. 文獻概要

농업에서 취급하는 液體로는 液狀飼料라든가 液狀糞尿 등이 있는데 그것들은 同質性이 아니며, 여러가지 流體性質을 나타낸다. 이른바 비뉴우튼 流體의 狀態를 가지며 이러한 流體性質을 規定하기 위하여 다양한 粘度計가 사용되었다.

液狀飼料의 流體性質을 究明하기 위하여 실험실용으로 개발된 押出粘度計를 이용하였는가 하면¹⁾, 液狀糞尿의 流體線圖를 나타내기 위하여 同軸으로 된 圓筒粘度計가 쓰이기도 하였다.⁴⁾

Neumann⁷⁾은 液狀糞尿의 密度를 알기 위하여 변형된 振動圓錐方法을 이용하였고, Langenegger 등⁸⁾은 변화된 球落下法을 사용하여, 여러가지 펌프 종류에 있어서 液狀糞尿密度에 대한 펌프곡선을 작성하였다. 또한 液狀糞尿의 粘度和 限界剪斷應力을 측정하기 위하여 回轉粘度計가 사용되기도 하였다⁹⁾.

液體가 포함하는 상대적으로 큰 粒子들은 정밀한 측정기구에 흐름의 不連續性을 주기 때문에 導管運送에 측정치들을 직접 적용할 수 있기 위하여 실제 규모의 펌프모델에서 流體性質이 조사되기도 하였다^{10, 11, 12)}. 구하고자 하는 流體函數를 규정하기 위한 기본 원리로는 이웃한 流體線이 평행하게 흐를 때, 즉 層流流動현상을 나타낼 때 圓形導管에서의 壓力差에 따른 流量으로 표시되는 Hagen-Poiseuille 법칙이 적용되었다. 流狀飼料는 擬可塑性 流體狀態를 나타내며, 剪斷應力에 대한 속도기울기(勾配)의 관계는 Ostwald와 De Waele 식으로 표현되었다¹²⁾.

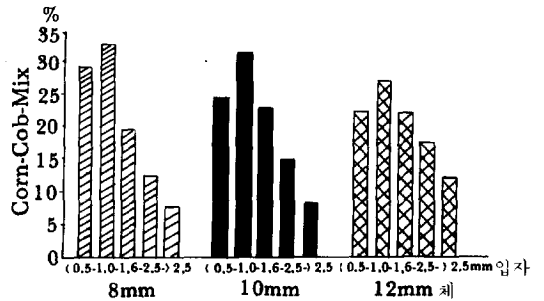
실험실에서 回轉粘度計를 이용하여 측정된 數値를 실제에 가깝도록 설치된 모델에서 측정된 것과 비교한 試驗도 있었다¹⁰⁾. Cumby¹¹⁾는 사료용 액상 보리(水分含量 U=67~83%)의 流體線圖를 回轉粘度計를 이용하여 측정하였고, 모델(毛管粘度計)에

서 측정된 값과 비교하였다. 回轉粘度計로 측정된 流體線圖는 측정점과 회전자의 치수에 크게 영향을 받았다. 실제에 가까운 모델은 나사펌프와 세가지 크기의 導管直徑으로 설치되었는 바 좋은 反復性을 얻을 수 있었다.

이상의 여러 시험결과들을 살펴볼 때 流體性質은 材料의 乾物含量과 溫度에 의하여 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 또한 사용된 粘度計의 종류와 측정방법에 따라 결과가 다양하게 나타났다.

3. 材料 및 方法

流體性質에 대한 信賴도가 높은 측정을 하기 위하여 실제의 運送條件과 일치하는 모델을 설치하였다. 材料로는 옥수수 낱알과 그 속의 혼합(Corn-Cob-Mix)을 擇하였다. 이 材料는 옥수수 낱알만 飼料로 이용하는 것에 비하여 돼지가 필요로 하는 粗纖維를 추가로 공급한다는 측면이 있어 歐美에서는 그 이용이 증가하고 있다. 이 혼합은 햄머밀(Hammermill)에 8, 10 또는 12mm 체를 裝着하여 粉碎가 되며, 분쇄粘도를 나타내는 粒子의 분포도는 그림 1과 같다.



이 試驗에서는 10mm 체를 裝着하여 분쇄한 材料를 사용하였다. 水分첨가된 옥수수의 流體性質을 究明하기 위하여 14~17℃의 온도 범위내에서 材料의 水分含量을 변화시켜 가면서 試驗이 遂行되었다.

그림 2에 보인 모델은 容積이 2 m³인 재료저장통과 나사펌프, PVC 圓形導管 및 체측장비로 이루어졌다. 나사펌프(Netsch, Mohno-Pumpe NE60A)는 회전자의 直徑이 60 mm이고, 회전수는 분당 78~390 회전으로 無段變速이 가능하였다. 導管壓力測定

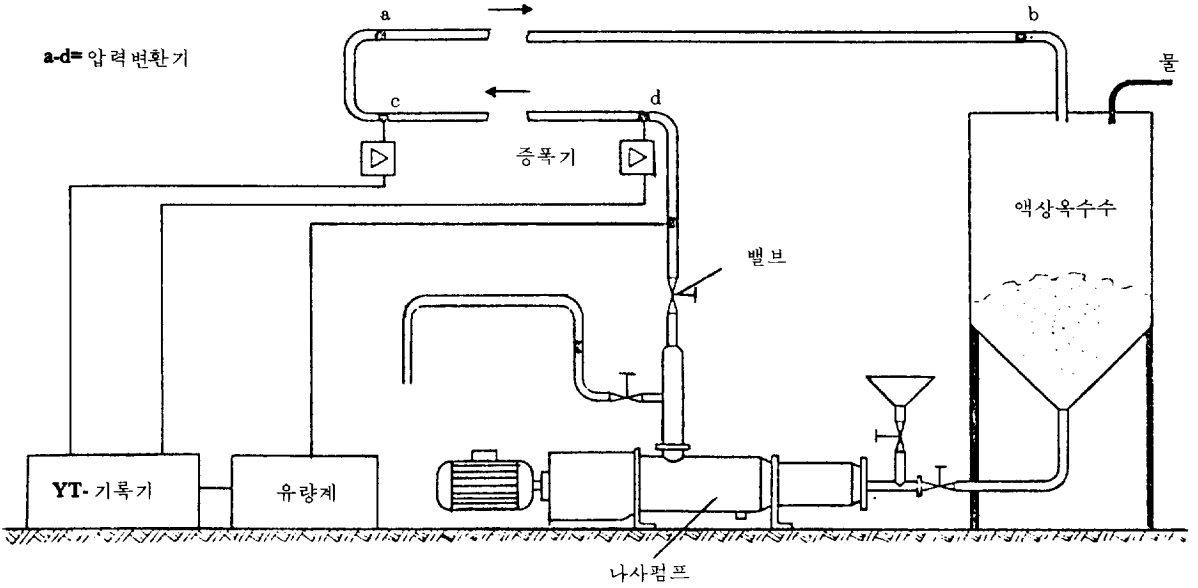


그림 2. 壓力測定을 위한 試驗모델

을 위한 도관은 위아래로 평행하게 설치하였으며, 아랫부분의 측정길이는 14.8 m, 윗부분은 17.1 m였다. 펌프 흡입관의 안지름은 100 mm,送出管에서는 80 mm이었다. 측정기구로는 壓力測定器, 流量計, 記錄器 등이 사용되었다. 壓力測定器(MDTR-350 S, Schaevitz)로 도관의 네군데에 있는 壓力 측정 구멍에서 壓力를 측정하였다. 그 원리는 電氣抵抗式 스트레인-게이지를 이용한 것으로, 게이지 서항선의 저항변화를 측정하기 위해서는 휘이스톤 브리지(Wheatstone bridge) 회로에 根據를 두었다. 즉, 어떠한 負荷가 壓力 변환기의 壓力에 예민한 膜에 작용할 때 발생하는 저항을 전기적으로 계측하고, 이것은 다시 增幅器를 통하여 증폭되며 디지털 신호기가 壓力를 직접 bar 단위로 나타내게 하였다.

流量의 측정에는 超音波流量計가 사용되었으며, 이것은 도플러효과 원리에 근거를 두고 흐름속도를 檢出한다. 流量計의 신뢰성을 검사하기 위하여 일정한 시간동안 運送된 量을 큰 용기에 받아서 무게를 측정하여 材料의 比重과의 관계에서 流量을 계산하였고, 이를 流量計에 나타난 數値와 比較하였다. 眞比重 계측에는 Pycnometer (Modell 76, Gerhardt)가 사용되었으며, Stampvolumeter (STAV 2003, Engelsmann)로는 Stamp 比重을 측정하여, 水分含量에 따른 乾物量, 空氣 그리고 水分의 분포를

그림 3에 나타내었다. 물과 수분첨가된 옥수수(C-CM)의 流量을 측정하는데 있어서 낮은 水分含量($U < 67.2\%$)에서는 流量計로 측정된 數値와 무게로 계산된 運送量이 좋은 一致를 보였다. 그러나 水分含量 $U = 72.9 \sim 92.5\%$ 에서는 流量計로 측정된

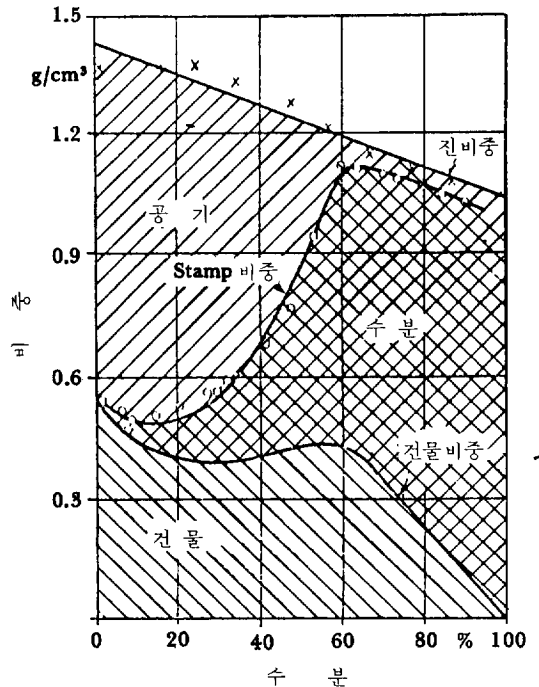


그림 3. 水分含量에 따른 空氣, 水分, 乾物의 分布圖

값이 다소 낮았다. 이 水分含量 範圍에서는 거품이 발생하는 것을 觀察할 수 있었으며, 이러한 거품으로 인하여 材料의 比重에 변화가 생겨 反射된 音波와 流量과의 관계에 異常이 있었던 것 같다. 그래서 물과 낮은 水分含量에서 측정된 數値로부터 流量과 逆壓 사이의 관계를 直線의인 回歸에서 알아내었고, 그것으로부터 높은 水分含量의 範圍에서 流量計로 측정되었던 값을 矯正하였다.

導管의 半徑이 R이고 길이가 L인 區間에서의 流量은 壓力差 Δp 로써 일정하게 유지된다. 이러한 壓力差로부터 導管内에서 流體에 작용하는 힘 F가 표시될 수 있다.

$$F = \Delta p \pi R^2 \dots\dots\dots (1)$$

定常流動의 경우 도관안벽에 작용하는 剪斷力은 剪斷應力과 導管壁面積의 곱으로 나타낼 수 있으며 다음과 같은 관계에 있다.

$$F = \Delta p \pi R^2 = \tau 2 \pi R L \dots\dots\dots (2)$$

윗 式으로부터 剪斷應力 τ 는,

$$\tau = \frac{\Delta p \pi R^2}{2 \pi R L} = \frac{\Delta p R}{2 L} \dots\dots\dots (3)$$

으로 된다.

流量과 壓力差의 관계는 다음과 같은 Hagen-Poiseuille 법칙이 이용되었으며,

$$Q = \frac{\Delta p}{8 \eta L} \pi R^4 \dots\dots\dots (4)$$

여기서 Q는 단위시간당 流量, η 는 粘性係數를 뜻한다.

위의 式을 변형하여 式 (3)이 代入될 수 있도록 하면 다음과 같다.

$$\eta = \frac{\Delta p R}{2 L} \cdot \frac{\pi R^3}{4 Q} = \frac{\Delta p R}{2 L} \cdot \frac{4 Q}{\pi R^3} \dots\dots\dots (5)$$

동일한 材料와 測定裝置에서 서로를 비교하는데 필요한 資料를 얻기 위하여 粘度를 나타내는 일반적인 式 $\eta = \tau/D$ 와 式 (5)를 비교하면 속도기울기 D는 다음과 같이 된다.

$$D = \frac{4 Q}{\pi R^3} \dots\dots\dots (6)$$

측정된 壓力損失 Δp 를 式 (3)에 代入하여 剪斷應力 τ 를, 流量 Q를 式 (6)에 代入하여 속도기울기 D

를 얻을 수 있으며, 이 수치들을 式 (5)에 代入함으로써 粘性係數 η 를 구할 수 있다. 이와같은 방법으로 계산된 수치들을 연결하면 層流流動에 있어서의 流體線圖를 그릴 수 있다.

4. 結果 및 考察

導管에서의 壓力과 流量을 펌프의 분당 回轉數 78, 234 그리고 385 회전에서 측정하였다. 나사펌프는 특히 높은 回轉數에서 제작회사가 물을 재료로써 작성한 運送線圖에서 읽을 수 있는 값보다 적게 運送을 하였다. 단위길이당 導管에서의 壓力損失과 材料의 水分含量과의 관계를 그림 4에 제시하였다.

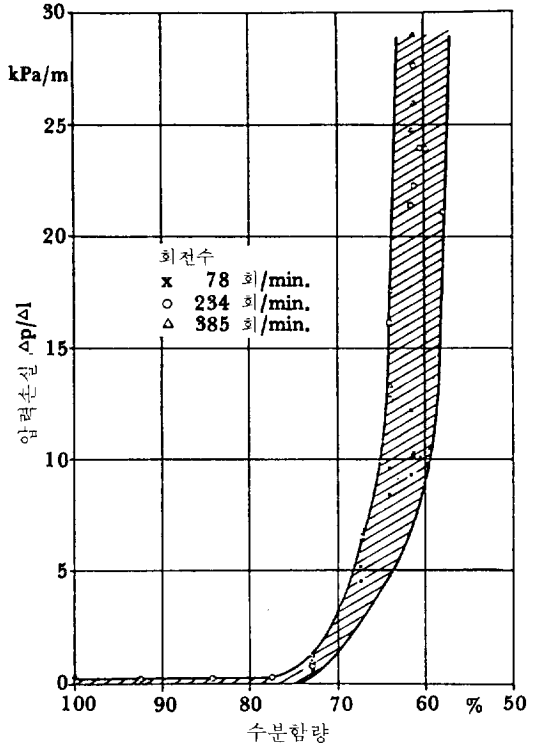


그림 4. 水分含量과 壓力損失의 관계

단위길이당 壓力損失이 水分含量 70% 이상에서는 아주 적었다. 그러나 水分含量이 그 이하가 되면서 壓力損失이 급격하게 增加되었고, 펌프 回轉數에 따른 差異 또한 뚜렷해진다. 水分含量 60%에서 단위길이당 壓力損失은 낮은 回轉數에 있어서 약 10kPa/m이고, 높은 回轉數에서는 20~30kPa/m

를 나타낸다.

그림 5에서는 水分含量에 따른 수분첨가된 옥수수의 流體線圖를 나타내었다. 이 線圖는 흐르는 방향에서의 剪斷應力과 應力이 작용하는 표면에 수직인 방향으로의 剪斷比, 즉 속도기울기(速度勾配)와의 관계를 나타내고 있다. 일반적으로 뉴우튼 流體만이 剪斷應力과 속도기울기 사이에 직선적인 관계에 있는데, 水分含量 72.9% 이상에서는 뉴우튼 流體狀態와의 偏差가 최소이며, 水分含量 63.9%와 67.2% 사이에서 材料는 擬可塑性質(Pseudo-plastic)을 나타내며 剪斷應力이 속도기울기보다 서서히 增加한다. 이 範圍내에서 壓力損失은 실험시작 직후 미소하게 減少하는 것을 觀察할 수 있었다. 이러한 현상은 시간이 경과함에 따라 粘度가 약간 낮아지는 Thixotrop 狀態를 암시하는 것 같으며, 옥수수 粒子의 표면에 結合되어 있던 水分이 자유롭게 되면서 導管안벽에 미끄럼 膜을 형성하여 材料가 용이하게 흐른다고 볼 수 있다.

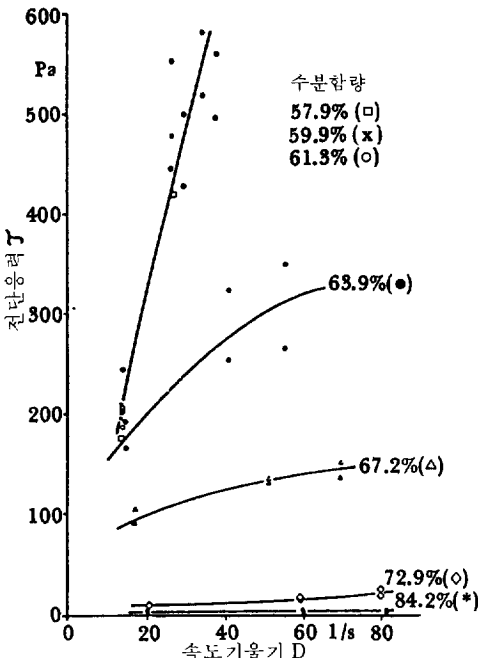


그림 5. 水分含量에 따른 流體線圖

水分含量이 더 減少하면 ($U \approx 60\%$) 剪斷應力은 거의 직선적으로 속도기울기에 대하여 급격하게 增加한다. 이때 流體는 塑性狀態(Plastic)로 되는 것 같다. 이 水分含量 範圍에서는 材料의 粒子 표면에

結合되어 있는 水分이 減少되어 運送되려 할 때 粒子 사이에 粘着力이 增加하게 되며 逆壓이 累積된다. 이러한 이유로 運送에 많은 에너지가 소모된다. 材料는 Rheopex 流體와 유사한 狀態를 나타낸다. 실험이 낮은 속도기울기 ($D < 15 S^{-1}$)에서는 遂行될 수가 없었기 때문에 그림 5로부터 流體曲線이 0부터 시작되는지, 아니면 初期에 材料를 움직이기 위한 降伏應力이 요구되는 지를 알 수는 없다.

Herum 등⁽³⁾은 液狀飼料의 流體性質이 시간과 관계가 있다고 보고하였다. 飼料과 물의 혼합비 1 : 2.5에서는 Thixotrop 狀態를 그리고, 水分含量이 적어져서 1 : 1이 될 때 Rheopex 狀態를 나타낸다고 하였다. Lotz⁽⁶⁾는 水分含量 58%인 담근질된 穀物과 옥수수 혼합물의 流體性質 究明에서 Thixotrop과 유사한 狀態였다고 보고하였다. 또한 본 試驗結果와는 대조적으로 부분적으로 아주 높은 粘度 ($\eta = 10 \sim 100 Pa \cdot s$)를 측정하였다. 주요인은 아마도 相異한 측정방법에 있는 것 같다.

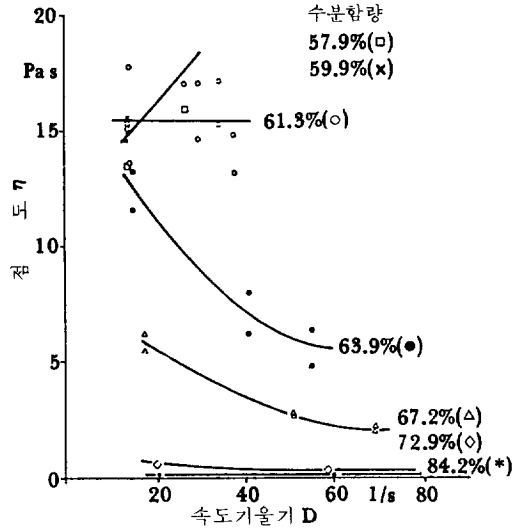


그림 6. 속도기울기와 粘度와의 관계

그림 6은 속도기울기에 대한 粘度의 관계를 나타낸다. 水分含量 63.9%와 67.2%에서 材料는 앞에서 언급한 바와 같이 전형적인 擬可塑性 流體性質을 나타내며 粘度는 속도기울기가 增加함에 따라 減少한다. 水分含量 61.3%에서 粘度는 속도기울기가 增加함에도 불구하고 일정하다. 이 範圍에서 流體性質이 Thixotrop에서 Rheopex 狀態로 移行되는 것

을 알 수 있다. 水分含量이 더욱 減少함에 따라 粘度는 상승하는 경향을 나타낸다. 이 水分含量 範圍에서 나사펌프는 분당 回轉數 385 회전에서 더 이상 작동되지 않았다. 이 범위에서 옥수수를 펌프할 수 있는 限界에 도달하였다. 粘度의 增加와 함께 逆壓이 상당히 높아져서 모터의 性能이 부족하게 되었다. 그러나 낮은 펌프 回轉數에서는 여전히 運送이 가능하였다.

그림 7에서 보는 바와 같이 水分含量 $U < 70\%$ 에서 粘度는 급격하게 증가하며, 水分含量 60%에서 그 수치는 약 15 Pa s에 달한다. 剪斷應力은 增加하는 속도기울기와 減少하는 水分含量과 더불어 增加하며 材料의 낮은 水分含量에서 높은 粘度를 얻는다. Fiala¹²⁾가 水分含量 $U < 74\%$ 와 溫度 10°C에서 측정된 液狀飼料의 視粘度와 이 結果가 잘 일치함을 알 수 있다.

運送裝置와 導管의 設計는 본질적으로 壓力損失의 크기와 관계가 있다. 제 작업체가 다른 材料를 토대로 작성한 계산도표에 試驗結果를 代入하면, 주어진 流量과 導管直徑에서의 단위길이당 壓力損失을 구할 수가 있다(그림 8). 이와같은 방법으로 얻

어진 壓力損失에 관한 수치들은 그 연결시킨 점이 層流流動範圍안에 있을 때, 즉 계산도표의 오른쪽 부분에서 연결되는 점이 해당 導管直徑 D_1 線의 윗

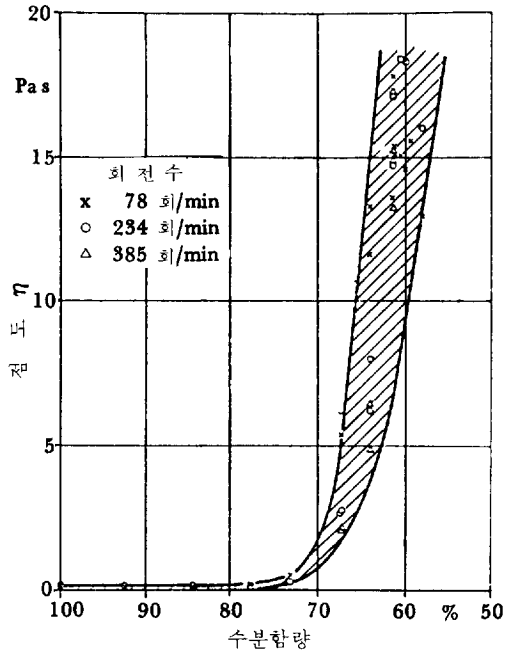


그림 7. 水分含量과 粘度와의 관계

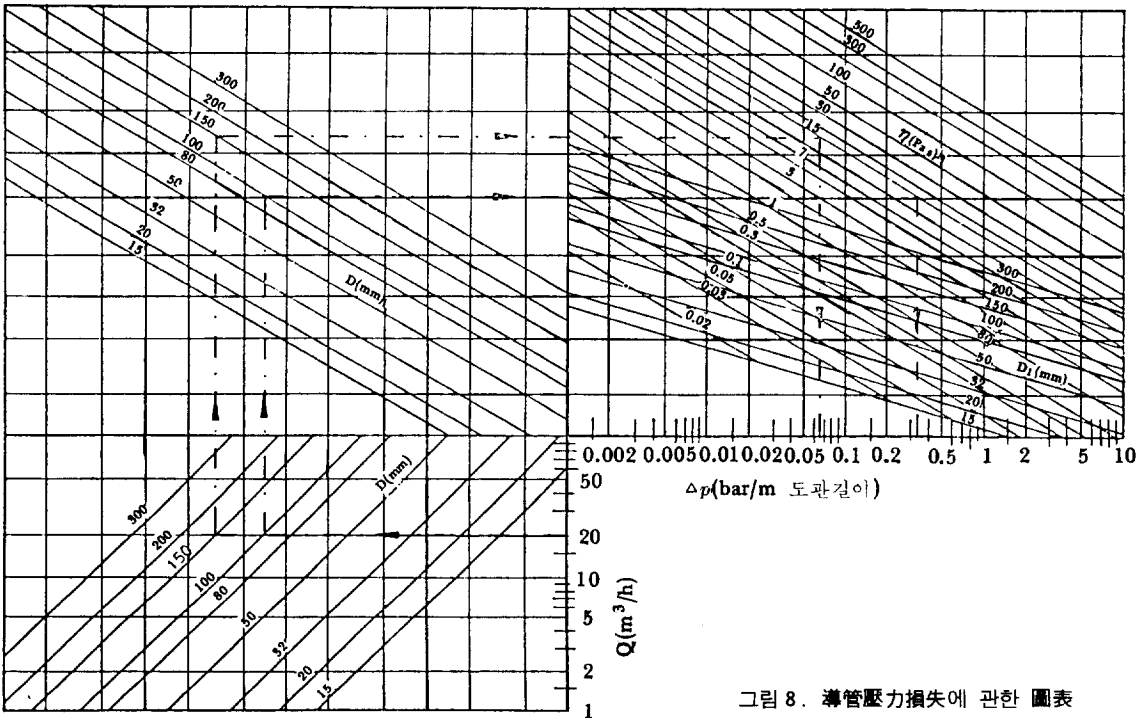


그림 8. 導管壓力損失에 관한 圖表

부분에 있을 경우에만 적용이 가능하다. 예를 들면 流量이 20 m³/h이고, 粘度가 $\eta=15 \text{ Pa s}$ 일 때 導管의 안지름이 100 mm라면 단위길이당 壓力損失은 약 0.35 bar/m(=35 kPa/m)가 된다. 그러나 導管直徑이 150mm이면 단위길이당 壓力損失은 약 0.07 bar/m(=7 kPa/m)로 줄어든다. 즉, 단위길이당 壓力損失은 동일한 流量에서 導管直徑이 增加할수록 작아짐을 알 수 있다. 이와 반대로 導管直徑이 작아지고 流量이 增加하게 되면 단위길이당 壓力損失은 급격하게 增加한다. 그렇기 때문에 펌프의 에너지 소요량도 導管의 直徑에 따라 달라지며, 큰 導管直徑을 사용함으로써 流量에 따른 動力 요구량을 줄일 수 있다. 다른 방법으로 導管의 길이를 가능한한 짧게 하면 壓力損失과 流量에 따른 에너지의 요구량을 적게 유지할 수 있다.

5. 結 論

液狀飼料의 運送裝置와 導管의 設計에 필요한 基礎資料를 提供하고자 실제에 가까운 模型을 設置하여 水分이 첨가된 옥수수의 流體性質과 펌프될 수 있는 限界를 측정하였다. 본 試驗으로부터 材料의 流體性質이 水分含量과 관계가 깊다는 것을 알 수 있었다. 또한 運送에 있어서 펌프의 回轉數, 導管 直徑 등도 중요한 의미를 갖는 것으로 밝혀졌다.

材料의 水分含量 70% 이상에서는 管摩擦로 인한 壓力損失이 아주 적었으나, 水分含量이 60%에서는 導管 단위길이당 壓力損失이 낮은 펌프 回轉數에서 는 약 10 kPa/m이었고, 높은 回轉數에서는 20~30 kPa/m를 나타내었다.

水分含量 65% 내외에서는 材料가 擬可塑性質을 나타내어 剪斷應力이 속도기울기보다 서서히 增加 하였으나, 水分含量이 60% 이내로 減少하면서 剪斷 應力이 속도기울기에 대하여 거의 직선적으로 급격 하게 增加하였다.

導管의 直徑 80 mm와 펌프 回轉數 234 회/분에서 水分含量 58%의 옥수수를 펌프할 수 있었고, 粘度는 약 17 Pa s이었다. 더 큰 直徑의 導管을 사용하고 펌프 回轉數를 좀 낮춘다면 材料를 水分含量 55% 이하에서도 펌프할 수 있겠다.

參 考 文 獻

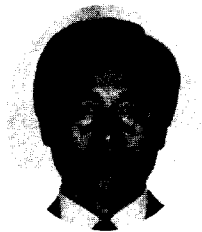
1. Cumby, T.R. 1980. A Capillary Viscometer for the Study of the Rheological Properties of Slurries. J. Agric. Eng. Res. 25: 221-230.
2. Fiala, J. 1967. Das Verhalten Fließfähiger Futtermischungen für Schweine beim Durchfluß durch Rohrleitungen. Landt. Forschung Bd. 17(6): 168-175.
3. Herum, F.L., G.W. Isaacs & R.M. Peart. 1966. Flow Properties of Highly Viscous Organic Pastes and Slurries. Transactions of the ASAE.: 45-47 & 51.
4. Kumar, M., H.D. Bartlett & N.N. Mohsenin. 1972. Flow Properties of Animal Waste Slurries. Transactions of the ASAE.: 718-722.
5. Langenegger, G. & H.D. Zeisig. 1976. Die Pumpfähigkeit von Flüssigmist. Landtechnik 2: 56-59.
6. Lotz, A. 1984. Entwicklung und Beurteilung neuerer Feuchtkonservierungsverfahren für Körnerfrüchte. Forsch.-Bericht Agrartechnik der MEG Nr. 101.
7. Neumann, R. 1974. Untersuchungen zum Fördern von Gülle geringerer Fließfähigkeit mit einer eingängigen Schnecke. Agrartechnik 24(8): 399-401.
8. Oh, I.H. & H.J. Heege. 1987. Fließeigenschaften von Corn-Cob-Mix sowie Pumpleistung bei der Flüssigkonservierung. Grndl. Landtechnik 37(2): 47-53.
9. Stuhmann, H. & H. Eichhorn. 1980. Die Bedeutung strömungstechnischer Grundlagen für den Bau von Flüssigmistanlagen. Landtechnik 7: 317-322.
10. Tschierschke, M. 1968. Zur Bestimmung des Druckabfalls beim Fördern fließfähiger Futtermischungen. Deutsche Ag-

rartechnik 18(10): 492-493.
11. Türk, M. 1976. Berechnung des Druckverlustes bei der Förderung konzentrierter landwirtschaftlicher Suspensionen in Rohrleitungen. Agrartechnik (Ost-Berlin)

26(10): 486-490.
12. Türk, M. 1978. Berechnung des Druckverlustes bei der Förservierten Zuckerrüben in Rohrleitungen. Agrartechnik (Ost-Berlin) 28(3): 134-137.

祝

學位取得



姓名：金 鴻 允
生 年 月 日：1939年 1月 19日
勤 務 處：安城農業專門大學 農業機械科
取得學位名：工學博士
學位授與大學：忠北大學校 大學院
學位取得年月日：1989年 2月 25日
學位論文：機械移秧 準備畝의 碎土整地作業에 關한 基礎研究