

# Greenhouse Bulk乾燥機에 의한 太陽熱利用에 관한 研究(第 I 報)

陳 晶 義 · 李 承 哲 · 李 相 夏

韓國煙草研究所 大邱試驗場

(1980. 2. 20 접수)

## Solar Energy Utilization in a Greenhouse Bulk Curing and Drying System(I)

Jeoung Eui Jin, Seung Chul Lee, and Sang Ha Lee

Daegu Experiment Station, Korea Tobacco Research Institute

(Received Feb. 20, 1980)

### 抄 錄

韓國煙草研究所, 大邱試驗場(北緯 $35^{\circ} 49'$ )에서 1979年 透明한 fiber glass로 지은 円柱型 greenhouse ( $4.50 \times 3.83 \times 2.80$  m) 內에 乾燥室의 外壁 및 天井을 polyurethan에 함석을 입혀 黑色 paint 로 coating한 板을 heat absorber겸 斷熱板으로, 乾燥室 양편에 各各  $4.5\text{m}^2$ 의 자갈을 넣은 gravel heat storage system 그리고 greenhouse內的 加熱된 空氣를 燃燒室로 誘導할 수 있는 air duct를 設置한  $8.25\text{m}^3$ 의 太陽熱 直接利用 方式의 Bulk 乾燥材와 同一한 크기의 Bulk 乾燥材를 比較 試驗하였다.

乾燥期間中 外溫  $30.5 \sim 35.5^{\circ}\text{C}$ , 總日射量  $1004.2 \sim 1436.2 \text{ cal/cm}^2$ 의 條件下에서 3回 乾燥 試驗한 結果, 天井 heat absorber의 最高溫度는  $89^{\circ}\text{C}$  이었으며, 燃燒室로 吸入되는 空氣의 最高溫度는  $64^{\circ}\text{C}$  이며 平均  $46^{\circ}\text{C}$  로서 外溫에 比하여  $18^{\circ}\text{C}$  가 높았고, 慣行Bulk乾燥材에 比하여 25%의 燃料가 節減 되었다.

### Abstract

The greenhouse bulk curing and drying system utilizing the direct solar energy was tested to see how much fuel could be saved for curing flue-cured tobacco at the Daegu Experiment Station, Korea Tobacco Research Institute (North latitude:  $35^{\circ}49'$ ), in 1979. The structure consists of transparent fiberglass exterior, polyurethan boards covered with galvanized iron as the heat absorbers and insulation boards, air duct in which the air is introduced to the furnace room of bulk curing barn, and gravel heat storage system. All exterior surface of heat absorbers, air duct, and gravels were coated with black paint.

The air temperature and total radiation were 20.5 to 35.5°C and 1004.2 to 1436.2cal/cm<sup>2</sup> during the 3 replicated curing tests, respectively. The greenhouse bulk curing and drying system was able to cut fuel consumption by 25 percent compared with the conventional bulk curing barn. The maximum temperatures for the top absorber and the inlet air of the system were 89°C and 64°C, respectively, and the average temperature of inlet air was higher than that of conventional one by 18°C.

## 緒 論

農業은 作物이 太陽 energy를 光合成에 依하여 轉貯 貯藏한 energy를 利用하는 것으로 每年 273×10<sup>6</sup>M/T의 石炭에 該當하는 energy를 生産한다고 한다(14).

生産된 農産物을 乾燥 加工하는데도 直間接으로 太陽熱이 利用되어 왔으나, 1950年代 以後부터 보다 效率의이며 積極의인 方法들이 많은 研究家들에 依하여 發表되었다(1, 2, 4, 9, 10, 11, 12, 13).

잎담배 乾燥에 있어서도 製品 原料上 要求되는 物理 化學的 特性과의 問題와 關聯하여 陽乾種이나 Burley種은 主로 太陽熱에 依하여, 黃色種은 人工熱에 依하여 乾燥하여 왔으나, 近間 담배種類에 關係없이 太陽熱을 利用한 보다 效率的인 乾燥方案 摸索에 關한 研究가 많이 進行되었다(3, 5, 6, 7, 8, 16, 15, 16, 17).

이들 報告들 中에서 Huang와 Bowers(7)이 開發한 greenhouse bulk curing and drying system을 greenhouse內에 太陽熱을 直接 集熱 및 貯藏하여 잎담배 乾燥에 利用하도록 設計되어 있어 別途의 集熱, 蓄熱 그리고 放熱等을 위한 裝置가 必要치 않으며, greenhouse內에 乾燥機를 組立式으로 設置함으로써 乾燥를 하지 않을 때는 담배育苗나 蔬菜栽培等 多目的으로 活用할 수 있는 長點이 있어, 이를 우리나라 담배栽培 農家 實情에 맞도록 그 規模를 縮少하고 greenhouse內에 두개로 되어있는 乾燥室을 한개로 하는 등으로 變形 그 利用 可能性을 試驗하였던 바 얻은 結果를 報告하는 바이다.

## 材料 및 方法

Greenhouse와 乾燥室의 模型圖는 Fig. 1 같으며, Greenhouse는 Fig. 2와 같이 concrete에 block담을 設置하고 그위에 Fig. 1과 같이 steel pipe(φ24<sup>mm</sup>×8.25m)로 骨格을 세우고 外部에 corrugated clear fiber glass(720<sup>mm</sup>×1800<sup>mm</sup>×1<sup>mm</sup>)로 덮어 設置하였다.

乾燥室의 壁 및 天井은 두장의 합석板 사이에 2cm 두께의 polyurethan을 넣어 製作한 防熱板을 外部에 黑色 paint로 coating하였으며, 機關部는 慣行 bulk乾燥機의 것을(木原製作所 製品) 그대로 利用하였다.

Gravel energy storage system의 자갈은 φ 2cm~5cm인 花崗岩을 Fig. 1과 같이 乾燥室 양쪽에 各各 4.5m<sup>3</sup>式 넣었으며, 表面에는 黑色 paint로 coating하였다.

天井을 세로 지르는 air duct는 합板으로 製作하였고 外部에 黑色 paint로 coating하였으며 greenhouse內의 加熱된 空氣가 이 air duct를 통하여 機關部의 吸入口와 連結되도록 하였으며(Fig. 3), air duct밑에 乾燥室內의 水蒸氣가 greenhouse內로 排氣 液化되면서 發生하는 熱을 利用하기 위하여 天窓을 設置하고 開閉할 수 있도록 設計하였다.

乾燥室 後面는 Fig. 4와 같이 잎담배吊入을 위한 出入口를 設置하고 air duct는 開閉 裝置를 하여 必要時 空氣의 流通이 可能하도록 設計하였다.

乾燥燃料는 燈油를 使用하였으며, 잎담배乾燥 試料는 一般 mulching 栽培한 Hicks品種을 供試하였고, 乾燥操作은 葉分別慣行 bulk 乾燥機 標準方法에 準하였으며 韓國煙草研究所 大邱試驗

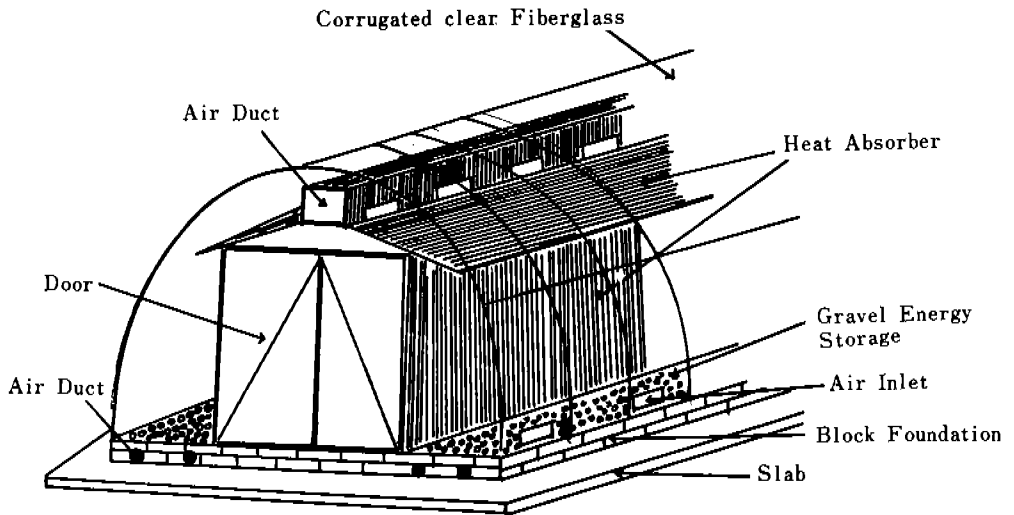


Fig. 1. Perspective view of greenhouse bulk curing and drying system.

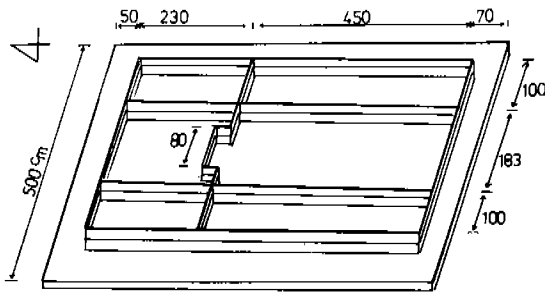


Fig. 2. Foundation of greenhouse bulk curing and drying system.

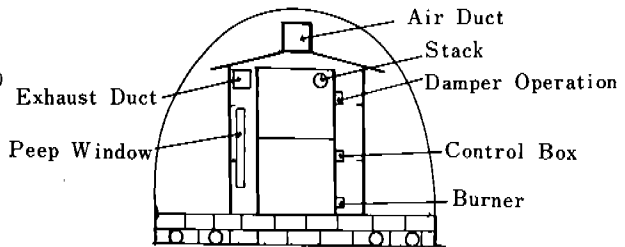


Fig. 3. Front elevational view of greenhouse bulk curing and drying system.

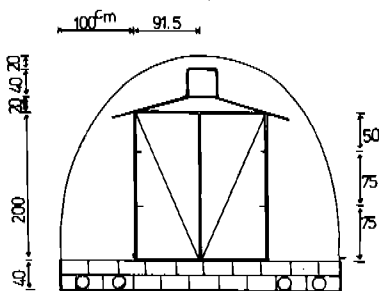


Fig. 4. Rear elevational view of greenhouse bulk curing and drying system.

場(東經128° 30', 北緯35° 49')에서 實施하였다.

### 結果 및 考察

Fig. 5는 1979年 8月 1日 外溫 30~34℃, 日射量 457cal/cm<sup>2</sup>/day이며 greenhouse內的 空氣移動이 거의 없는 狀態에서의 熱吸收板의 表面溫度를 調査한 것이다.

東西便 天井 熱吸收板의 最高溫度는 各各 12時 및 午後 3時에 86℃ 및 89℃ 이었고 垂直熱吸收板은 東便이 午前 9時~11時 사이에 70℃ 内外를 維持하다가 12時부터 下降하기 始作하면서 西便이 急格히 上昇하며, 午後 3時부터 6時 까지 70℃ 以上을 維持하며, 最高溫度는 午後 4時에

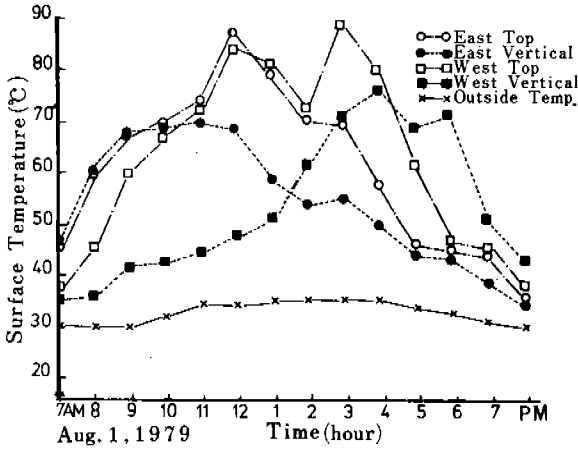


Fig. 5. Typical surface temperatures of absorbers during a tobacco curing and drying test.

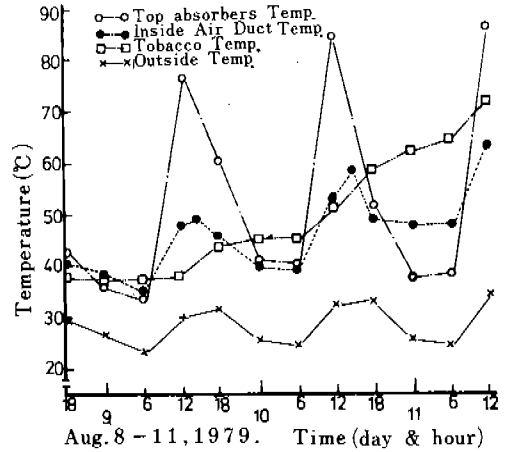


Fig. 6. Temperature patterns during greenhouse bulk tobacco curing and drying test.

75°C를 나타내었다.

한편 8월 8일부터 11일까지의 앞담배 乾燥期間中의天井熱吸收板, air duct内部空氣의溫度, 그리고 乾燥經過에 따른 乾燥室内溫度(tobacco temp.)를 調査한 結果는 Fig. 6 과 같다. 天井熱吸收板의 最高溫度는 9日, 10日 및 11日에서 各各 76°C, 86°C 및 89°C로 外溫 및 日射量에 따른 差異가 있으나 Fig. 5와 近似한 變異를 나타내고 있으며, air duct內的溫度, 即機關部로 吸入되는 空氣의 最高溫度는 午後 1時~3時에 日別로 各各 49°C, 60°C 및 64°C로 나타났고, 全乾燥期間中 平均은 46°C로서 外溫平均 28°C에 比하여 18°C가 높았다. 이 差異 18°C를

太陽熱 利用 溫度로 볼 수 있으며, 着火 24時間後인 8月 9日 18時까지 및 10日 12時를 前後한 期間동안은 吸入空氣가 乾燥室内의 乾燥 經過에 따라 維持 해야할 溫度보다 높으므로 거의 燃料의 消耗가 없을 것이다. 그러나 吸入空氣가 乾燥室内 溫度를 維持하는데는 앞담배에서 蒸發되는 水分의 氣化熱에 依한 熱損失이 考慮 되어야 하며, 空氣 循環系統의 開閉程度 및 溫度의 高低에 따라 差異가 크게 나타날 것이다.

本 試驗期間中 乾燥 各期別로 吸入空氣가 乾燥室内 溫度의 維持 可能 限界를 正確히 調査하지는 못하였으나 色擇 固定末期의 排氣量이 最大인 狀態에서 吸入空氣가 64°C일 때 乾燥室内維

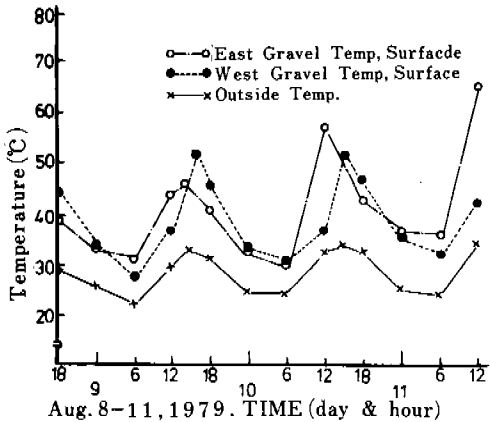


Fig. 7. Temperature patterns of gravel and outside.

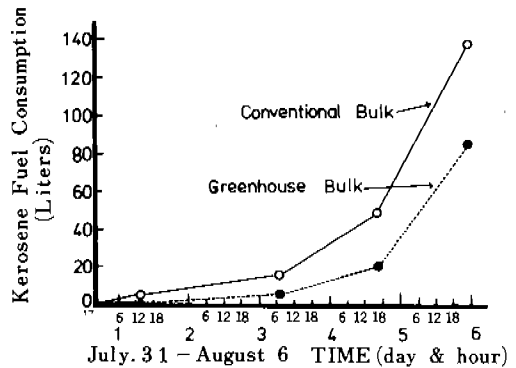


Fig. 8. Comparison of fuel consumption patterns for tobacco curing between greenhouse bulk curing and conventional bulk barn.

持可能 溫度는 56°C로서 8°C의 差異를 나타내었다. 또한 乾燥室內 溫度와 吸入空氣의 溫度變異를 보면 中骨乾燥期에 그차가 가장 크게 나타나고 있다. 따라서 greenhouse bulk 乾燥機의 利用으로 燃料를 節減하기 위하여서는 中骨乾燥期에 太陽熱을 最大한 利用할 수 있는 時間計劃이 必要하며, 中骨壓搾이나 穿孔 또는 除去等の 積極的인 方法을 講究한다면, 酵素의 不活性化를 위한 一時的인 高溫을 維持하는데 所要되는 燃料外에 中骨乾燥를 위한 燃料 消耗는 크게 減少시킬 수 있을 것이다.

外溫과 air duct內的 溫度와의 差異가 黃變期에서 中骨乾燥期로 갈수록 漸次 커지는 傾向인데 이것은 적은量이나마 乾燥室에서 損失되는 熱이 greenhouse에 集積될 수 있고 특히 夜間

操作에 있어 排氣된 水蒸氣의 液化熱을 利用하기 위하여 乾燥室內 乾溫球差를 葉狀態에 따른 標準 乾燥 溫濕度로 維持하는 範圍內에서 天窓과 排氣 damper를 適切히 運用한 結果로 考察된다.

外溫에 따라 差異가 있겠으나 3回의 乾燥中 調查한 結果로서는 夜間中 42°C까지는 排氣duct를 閉鎖한 狀態에서 天窓의 開閉만으로 必要한 乾濕球의 差異를 維持할 수 있었다.

Fig. 7은 8日부터 11日까지의 乾燥期間中 grevel energy storage system의 자갈 表面 溫度를 調查한 것이다. 外溫의 變化가 21°C - 34°C인데 比하여 乾燥室 양편 자갈 溫度는 各各 12時 및 午後3時에 64°C 및 52°C였으며 平均外溫은 28°C인데 比하여 자갈은 39.4°C로서 11.4°C

Table 1. Comparison of Fuel Consumption for Curing between Greenhouse Bulk Curing and Conventional bulk barn

Test	Curing System	Period	Out-side Temp. °C	Total Sun-shine Hours	Total Radia-tion cal/cm <sup>2</sup>	Leaf Posi-tion	Fresh Leaves Hang-ed (kg/Barn)	Fuel Consumption		
								Liters per Curing	Liters per of Fresh Leaves	Index
1st	Conventional Bulk	July 24, 17:00 - 29, 10:00	22.0 - 34.5	43.4	1226.8	Cutt-ers	967	143.5	0.148	100
	Greenhouse Bulk	24, 17:00 - 29, 08:00						118.5	0.123	83
2nd	Conventional Bulk	July 31, 17:00 - August 6, 01:00	23.0 - 35.0	50.7	1436.2	Leaf	1,073	138.0	0.129	100
	Greenhouse Bulk	July 31, 17:00 - August 5, 24:00						87.5	0.082	64
	Conventional Bulk	August 8, 16:00 - 11, 14:00	20.5 - 35.5					33.4	1004.2	Tips
Greenhouse Bulk	8, 16:00 - 11, 14:00		85.5	0.083	77					
Average	Conventional Bulk						1,023	131.0	0.128	100
	Greenhouse Bulk							97.2	0.096	75

\* Operated after 80% yellowing of harvested tobacco leaves had been reached.

가 높았으며, air duct内部 溫度보다는 平均 6.6°C가 낮았다.

Fig. 8은 本 試驗中 第2回 乾燥時의 燃料 消耗 樣相을 對比한 것으로 黃變終了期인 8月 2日 8時까지는 慣行 14ℓ에 比하여 greenhouse 乾燥機가 4.5ℓ로서 68% 節減되었고, 色澤固定期 (2日 8時~3日 18時)에는 各各 35ℓ 및 15ℓ로서 57% 그리고 中骨乾燥期 (3日 18時~乾燥終了)에는 各各 89ℓ 및 68ℓ로서 22%의 燃料가 節減되었으며, 燃料 總消耗量은 Table 1에서와 같이 各各 138.0ℓ 및 87.5ℓ로서 36%가 節減되었다.

Fig. 8에서 考察한 바와 같이 中骨乾燥期에 吸入空氣와 乾燥室內 溫度와의 差異가 가장 큰데 基因되어 이 期間동안의 燃料 節減率이 가장 낮게 나타났으며 燃料 消耗量은 가장 많은 時期이므로 前述한 바와 같이 中骨에 대한 各種 前處理에 對한 重點的 研究가 要求된다. 하겠다.

今年 greenhouse bulk 乾燥機와 慣行 bulk 乾燥機를 3回 對比 乾燥試驗한 結果는 Table 1과 같다. greenhouse bulk 乾燥機가 慣行 bulk 乾燥機에 比하여 1回 17% 2回 36% 3回 23%의 燃料節減을 나타내었으며 3回 平均值로는 慣行 bulk 乾燥機가 生藥 1kg當 燈油 0.128ℓ가 消耗된데 比하여 greenhouse bulk 乾燥機는 0.096ℓ로서 平均 25%의 燈油가 節減되었다.

우리나라 黃色種 담배의 乾燥 最盛期인 7月의 本 地域의 平均氣溫은 27°C이며, 日射量은 341.7 cal/cm<sup>2</sup>/day인데 比하여 本 試驗期間 (7月 24日~8月 11日)의 平均氣溫은 29°C이며 平均 日射量은 317.5 cal/cm<sup>2</sup>/day로서 平年の 氣象條件이 本 試驗期間中의 氣象條件에 比하여 平均氣溫은 2°C 낮으나 日射量은 24.2 cal/cm<sup>2</sup>/day이나 높은것을 勘案하면 greenhouse bulk 乾燥機의 利用으로 25% 以上の 燃料 節減이 可能할 것으로 考察된다.

또한 本 試驗에 供試된 greenhouse의 後面 (Fig. 4)의 乾燥室 門은 外部에 露出되어 있으나 fiber glass로 2重門을 設置하여 이 部分으로 加熱된 空機를 利用토록 設計하면 太陽熱 利用에 依한 燃料 節減率은 더욱 커질것으로 期

待된다.

Huang와 Bowers는 (7) 1976年 greenhouse bulk curing and drying system으로 37%의 燃料 節減이 可能하다고 報告한 反面, 最近 Huang의 私信에 依하면 美國 North Carolina 및 Taiwan 등의 亞熱帶 地域에서는 約50%의 燃料가 節減된다고 한다.

우리나라에서는 亞熱帶 地域과 같은 效果를 얻을 수는 없으며, 現實적으로 fiber glass는 高價品으로 1979年 7月 價格으로 本 試驗에 供試된 greenhouse를 設置하는데 48萬원이 所要된 것은 greenhouse의 產地普及에 가장 큰 問題點이라 하겠다.

그러나 非產油國의 苦痛을 當하여야 하는 우리나라 實情으로 보아 가장 効率的인 燃料 節減對策은 繼續 研究할 必要가 있을 것이다.

Greenhouse bulk 乾燥機의 經濟性은 1980年 담배 育苗 및 冬期 菜蔬栽培等 多目的 利用可能性의 綜合檢討 및 前述한 熱効率 提高對策을 講究, 再檢討後 報告코자 한다.

本 試驗 遂行에 있어 指導하여 주신 North Carolina 州立大學 Huang 博士에게 깊은 謝意를 表하는 바입니다.

## 參 考 文 獻

1. Akyunt, M., and M. K. Selcuk. Solar Energy, 14 (3) : 313-320 (1973)
2. Bailey, P. H., and W. F. Williamson., J. Agr. Engin. Res., 10 (3): 191-196 (1965)
3. Bourdtte, V. R., Agric. Res., 26(11): 6-7 (1978)
4. Buelaw, F. H., Mich. Agr. Expt. Sta. Quart. Bul., 4 (2): 421-429 (1958)
5. Chang, H. S., Agricultural Mechanization in Asia : 11-16 (1978)
6. Huang, B. K. U. S. Pat. No. 4, 109, 395. Off. Gaz. U.S. Pat. Off. 973 (5) : 2036 (1978)
7. Huang, B. K., and C. G. Bowers., Research Performed Under Grant, No. PTP 74-

- 17622, U. S. A. (1976)
8. Hudson, J. *Progressive farmer* : 72-73 (1965)
  9. Kranzler, G. A., C. J. Bern., and G. L. Kline. Paper 75-3001, Amer. Soc. Agr. Engin., St. Joseph, Mich. (1975)
  10. Lipper, R. I., and C. P. Davis. Paper No. 59-902, Amer. Soc. Agr. Engin., St. Joseph, Mich. (1959)
  11. Löf, G. O. C. *Solar Energy*, 6(4) : 122-128 (1962)
  12. Meyer, G. E., H. M. Keener., and W. L. Roller, Paper No. 75-3002, Amer. Soc. Agr. Engin., St. Joseph, Mich. (1975)
  13. Peterson, W. H., S. Dak. State Univ., EMC 657, Brookings.
  14. Scott, J. M., *Arizona Highways*. Phoenix, Ariz. (1975)
  15. Walton, L. R., W. H. Henson., S. G. McNeill., J. N. Walker., J. M. Bunn., and B. F. Parker, *Ky. Agric. Exp. Lexington, Annu. Rep.*, 89: 15 (1976)
  16. Walton, L. R., W. H. HeNson., S. G. McNeill., J. N. Walker., and J. M. Bunn. *Tob. Int.*, 180(2): 31-33. (1978)
  17. Walton, L. R., W. H. Henson., S. G. McNeill., B (F. Parker., and J. M. Bunn. *Am. Sob. Agric. Eng. Trans.*, 21(4): 762-766, 772 (1978)