

果園 PE 單層穿孔軟管多目標噴灌 設施之研究

The Research of Orchard Multi-purpose Spray Irrigation Installation by the Single-layered PE Soft Perforated Pipe

臺灣省立屏東農專副教授

林 龍 海

Long-Hai Lin

Abstract

1. The research of PE Soft Perforated Pipe is a PE Pipe (16 mm dia, 0.4 mm thick) bored by thermocutery-pin (pin-hole is 0.35 ± 0.025 mm dia).

2. The research of Multi-purpose Spray Irrigation is the System to supply water, and liquid fertilizer; its additional installation can spray insecticides and prevent frost.

3. The laterals of this system, since the size of the holes cannot be controlled as uniformed, had better be designed according to field experiment data, although the theory of the water from the perforated pipe can be proved.

4. The irrigation system of this research utilize spraying pressure about 1 kg/cm^2

5. The installation of this research is most fitting for an orchard in one hectare. All its costs, except for the well, the pump, the motor, the spraying pump, come to NT\$ 15,000.

一、前 言

經營果園，跟水有關係之三個主要工作項目是：①給予果樹生育各期別所需要的水分；②噴灑殺蟲與殺草藥劑；③施灌液肥。其他次要者有：噴灑灌溉水於葉面以防凍霜。此等工作，如何設計一套費用低廉，並且可以很有效率之設施予以完成，是為本研究之目標。

目前，要完成以上所述之工作，雖然有管路噴灑器之噴灑系統，然而此系統之所以在臺灣無法普遍地推行，而絕大部分之果園尚使用溝灌法、水盤

法，或根本不予灌溉，考究其主要原因，係為現階段之農民負擔不起此項設施費用故也。至於滴水灌溉系統，至目前為止，在臺灣尚有很多問題需要解決；並且滴灌設施，除了考慮灌溉以及灌注液肥而外，並沒有如本研究之設施兼而以系統之附屬設備噴灑藥劑以及防止凍霜；同時更重要的是，本灌溉設施所需之費用，根據成本分析結果，顯示出比滴水灌溉來得便宜，而且在效果方面，經過初步之田間試驗，已被證明有其實用之價值。

本研究之所謂 PE 單層穿孔軟管，係指以 PE 粒 (NA107) 與黑色母 (CM90101) 為材料，按

20:1 之配合比，加工製成管徑 16 mm，管厚 0.4mm，管重 0.021 kg/m 之黑色單層軟管，再使用自製電熱針，按實際之果樹間隔，鑽一排孔徑為 0.35 ± 0.025 mm 之小孔者。灌溉水或液肥，則以抽水機抽水，控制大約為 1 kg/cm^2 之壓力，使之自小孔流出，故與水流經過滴嘴、微管或雙層管使在無壓狀態下流出之滴灌迥異。

二、設施之概要

本灌溉系統，係由以下五部分之設施所組成。

1. 水源——包括水井、抽水以及噴霧設備。
2. 首部——包括液肥注入器、過濾器、壓力錶、流量調節閥、流量錶（因價格高昂，果農可免設）。
3. 大水槽——拌合藥劑與液肥用，其容積按噴灑一次份量估計。
4. 配水管——採用 PVC 硬管。
5. 穿孔管——採用直徑 16mm，管厚 0.4mm 之 PE 單層軟管。

本設施之特色為：①利用一 2HP 之電動機，以皮帶變換帶動抽水機以及噴霧送水機。②系統中，於水源處設置有一具自由水面之磚造大水槽，將所應噴灑之藥劑或液肥一次拌合完成。③施灌液肥時，係以液肥注入器吸進系統中，連同灌溉水由穿孔軟管之小孔噴出。④噴灑藥劑時，則變換皮帶開動噴霧送水機，將藥劑吸入另設（平時可收起來）之壓力軟管，用人工拖引噴灑。

三、PE 單層穿孔軟管之田間水理試驗

1. 試驗目的

本田間試驗之主要目的是要得知：灌溉水在不

同壓力下，經由 PE 穿孔軟管之小孔流出之均勻度、流量大小，以及 PE 穿孔軟管之損失水頭。以作為設計系統之依據。

2. 田間佈置

本試驗係於屏東老埤農場，以 2 分地之鳳梨切片苗圃為試驗區，每隔 1.35 m（畦寬）佈置一條長度為 150 m，末端封閉，而直徑為 16 mm，管厚為 0.45 mm，並每 45 cm 使用熱針鑽鑿一 0.35 ± 0.025 mm 小孔之 PE 軟管。

水源則使用直徑 2" PVC 管接自往日既設之幹管（直徑 2½"），並用閥控制流量，使流入穿孔管首端之壓力分別維持為 15、20、25 PSI。其佈置如圖 1 所示。

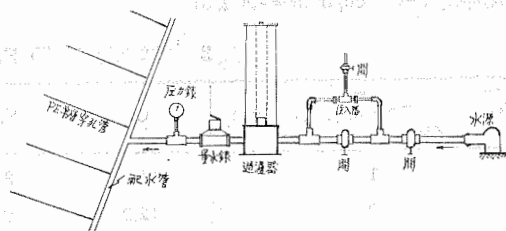


圖 1 田間試驗佈置圖

3. 試驗步驟

(I) 於 PE 單層穿孔軟管 30 m、60 m、90 m、120 m、150 m 處，分別設置量杯。

(II) 打開水源閥，並調節首部之閥，控制使壓力計指示 15 PSI（或 20 PSI，25 PSI）。

(III) 測定由 PE 單層穿孔軟管之各段長度的小孔流入量杯之水量（cc/10 Sec）。

(IV) 使用壓力計測定首部壓力為 15 PSI 下，PE 單層穿孔軟管 100m、150m 處之損失水頭

4. 試驗結果與計算分析

表 1 首部壓力為 15 PSI 下之小孔流量（cc/10sec）

No (孔)	距離 (m)	0	30	60	90	120	150
1		7.5	5.2	4.5	6.0	5.8	5.5
2		6.3	5.3	4.4	4.9	4.2	6.2
3		7.0	5.2	4.6	4.2	4.5	5.2
4		6.7	5.5	4.9	5.8	5.7	5.4
5		8.8	5.0	4.1	5.0	6.3	5.6
平均 (cc/10 sec)		7.26	5.24	4.50	5.18	5.30	5.56
百分比 (%)		100	72	62	71	73	77
Flow rate (cc/min)		43.56	31.44	27.00	31.08	31.80	33.36

總平均：33.04 cc/min $\div 2$ l/hr

表2 首部壓力為 220 PSI 下之小孔流量 (cc/10 sec)

No. (孔)	距離 (m)	0	30	60	90	120	150
1		6.9	6.5	6.0	7.9	5.7	6.3
2		8.5	6.5	5.6	6.6	6.9	5.0
3		7.9	6.5	7.5	7.7	7.7	6.0
4		8.0	6.8	5.1	7.6	8.0	8.0
5		6.9	5.5	7.0	5.4	5.8	6.7
平均 (cc/10 sec)		7.64	6.36	6.24	7.04	6.82	6.4
百分比 (%)		100	83	82	92	89	84
Flow rate (cc/min)		45.84	38.16	37.44	42.24	40.92	40.5

總平均: 40.5 cc/min=2.4 l/hr

表3 首部壓力為 25 PSI 下之小孔流量 (cc/10 sec)

No. (孔)	距離 (m)	0	30	60	90	120	150
1		13	8.5	8.0	7.6	6.0	5.0
2		12.2	9.8	6.2	7.3	6.1	5.9
3		12	4.0	7.8	7.8	4.8	5.0
4		11	9.9	7.4	8.0	6.3	6.4
5		11.6	9.5	9.0	7.2	6.6	4.4
平均 (cc/10 sec)		11.96	8.34	7.68	7.58	5.96	5.34
百分比 (%)		100	70	64	63	50	45
Flow rate (cc/min)		70.20	56.58	48.30	45.48	35.76	32.04

總平均: 46.86 cc/min=2.8 l/hr

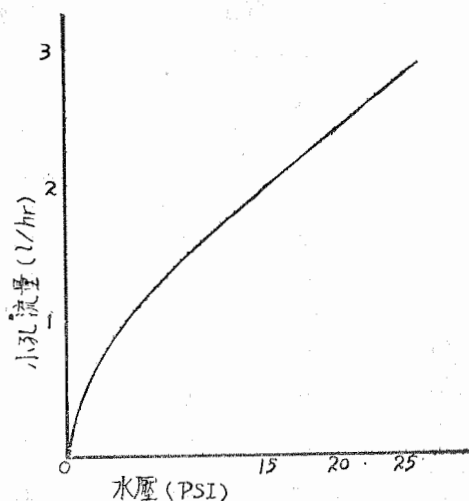


圖2 小孔流量與水壓之關係曲線

綜合以上試驗數據之分析結果，得小孔流量與壓力之關係如圖2所示。

水頭損失：首部壓力為 15 PSI 下之水頭損失為：

距離 (m)	100	150
水頭損失 (PSI)	1.5	4.5

四、吸入式液肥注入器之設計

爲了要使液肥，能從一具有自由水面之大水槽注入於首部壓力為 1~2 kg/cm² 之灌溉管路系統中，而設計了此液肥注入器。

本液肥注入器，是利用一 $\frac{3}{4}$ " \times $\frac{1}{2}$ " 之T型接頭，依據文托利錶 (Venturi meter) 之原理，

自行設計而成。其水理，可按：發生吸入作用之條件式與液肥吸入流量式予以解析。

1. 發生吸入作用之條件式

如圖 3 所示之液肥注入器示意圖，茲就兩端之斷面積 A ，使之與接合水管之斷面積相等，而中間收縮部之斷面積為 a 。並令液肥注入器安置為水平予以考慮之。

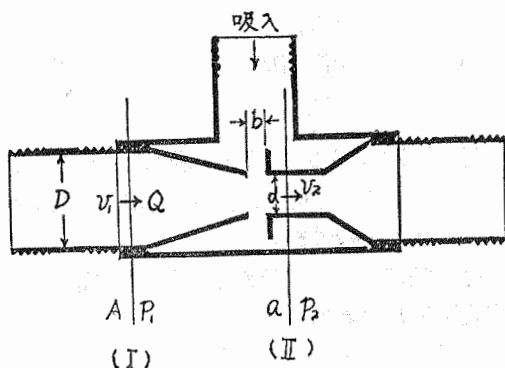


圖 3 液肥注入器示意圖

假設：

V_1, V_2 ：分別為斷面 (I)、(II) 之平均流速。

P_1, P_2 ：分別為斷面 (I)、(II) 之壓力強度。

Q ：輸入液肥注入器，使之發生吸入作用之流量。

W ：水之單位重量。

g ：重力加速度。

則依據柏諾利定理 (Bernoulli's theorem)

得：

$$\frac{P_1}{W} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{W} + \frac{V_2^2}{2g}$$

亦即：

$$\frac{P_1}{W} - \frac{P_2}{W} = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} = h \quad (1)$$

為使於斷面 (II) 處能發生吸入作用，則 $\frac{P_2}{W}$

應小於大氣壓，亦即 h 必須大於 $\frac{P_1}{W}$ 。

再由連續方程式：

$$Q = AV_1 = aV_2$$

代入於(1)式，得：

$$h = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{a} \right)^2 \left\{ 1 - \left(\frac{a}{A} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

由(2)式得知，若欲使 $h > \frac{P_1}{W}$ (此處 $\frac{P_2}{W}$ 為已知)，則可由以下兩種方式中之任何一種達到目的，即：

(I) 在斷面積 A 與 a 為一定之情況下，使用如圖 4 所示之接管方式，調節輸入液肥注入器之流量 Q 。

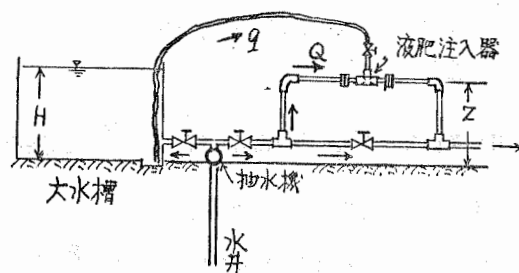


圖 4 液肥吸入器之接管方式

(II) 在一定流量 Q 之情況下，設計 A 與 a 之比率，使滿足 $h > \frac{P_1}{W}$ 。

設計時，無論要按照以上所述任何一種方式達到使液肥能注入系統中之目的，必須先查明水源之最大流量，亦即能輸入液肥注入器之最大流量，否則在一定斷面積 A 與 a 值之下，流量 Q 太小時，則將無法滿足 $h > \frac{P_1}{W}$ 之條件。

2. 液肥吸入流量式

如圖 4 所示之裝置，影響液肥吸入量之因素為：

(I) 液肥注入器收縮部之壓力水頭。

(II) 液肥注入器之環狀吸入孔隙表面積 (參見圖 3)。

(III) 連接液肥拌合大水槽與注入器之管摩擦、入口、彎曲、閘、出口等損失水頭。

(IV) 液肥拌合大水槽之水深。

(V) 液肥注入器之安裝高度。

茲假設：

q = 液肥吸入量

H = 液肥拌合槽水深

d = 收縮部之直徑

Z = 注入器安裝高度

b = 吸入孔隙之寬度

V = 液肥吸入速度

P_2 = 液肥注入器收縮部之壓力強度

Σh = 液肥拌合大水槽與注入器之連接管總損失水頭

則依據柏諾利定理：

$$H + 10.336 = Z + \frac{P_2}{W} + \frac{V^2}{2g} + \Sigma h$$

即：

$$V = \sqrt{2g \left[(10.336 + H) - \left(\frac{P_2}{W} + Z + \Sigma h \right) \right]}$$

又，環狀吸入孔隙表面積 = $\pi d \times b$

\therefore 液肥吸入量：

$$q = \pi \sqrt{2g} \, db \sqrt{(10.336 + H) - \left(\frac{P_2}{W} + Z + \Sigma h \right)}$$

根據上式，得以下之結論：

(a) 當：〔注入器收縮部之壓力水頭 $\left(\frac{P_2}{W} \right)$ + 注入器之安裝高度 (Z) + 連接管之總損失水頭 (Σh) 〕 = 〔大氣壓力水頭 (10.336) + 拌合槽水深 (H) 〕時，液肥即停止被吸入。

(b) 當： $\left(\frac{P_2}{W} + Z + \Sigma h \right) > (10.336 + H)$ 時，液肥即被吸入。

(c) 當： $\left(\frac{P_2}{W} + Z + \Sigma h \right) < (10.336 + H)$ 時，系統中之水即倒灌進入拌合水槽中。

(d) 注入器應設計使吸入孔隙之環狀寬度可以調節，以便控制液肥吸入量。

(e) 拌合槽與注入器之連接管，應設置有閥，作為不注入液肥時關閉用，避免系統中之水倒灌進入拌合水槽。

五、穿孔管之水利

有關穿孔管之水利，至今為止，只有以損失水頭為中心而設計其系統之方法。至於水由小孔流出之解析則無資料可查。因此，筆者將依據能量不減定理加以誘導其理論式，以期今後有關穿孔管灌溉系統之設計，更能進一步瞭解其水利現象。

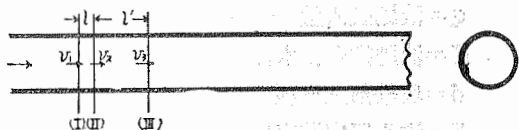


圖 5 穿孔管

如圖 5 所示，假設：

v ：管內平均流速

f ：管之摩擦係數

ρ ：水之密度

p ：壓力強度

w ：水之單位重量

C ：小孔之流量係數

a ：小孔之斷面積

D ：穿孔管之直徑

A ：穿孔管之斷面積

g ：重力加速度

又，腳註 1. 2. 3. 分別表示斷面 I、II、III；
1 為斷面 I、II 間之極小距離。並假定壓力以及流速在其間係為直線性變化。

今，茲就水由設置於水平之管上所開設之小孔流出之情形加以考慮。

假設圖 5 中，I、II 為前後緊接之兩斷面，則：

通過斷面 I 之能量 = 通過斷面 II 之能量 + 由小孔流出之能量 + I、II 斷面間之摩擦損失能量。

通過斷面 I 之能量：

$$\begin{aligned} \text{動能} &= W A V_1 \frac{V_1^2}{2g} = \rho g A V_1 \frac{V_1^2}{2g} \\ &= \frac{1}{2} \rho A V_1^3 \end{aligned}$$

$$\text{壓能} = W A V_1 \frac{P_1}{W} = A V_1 P_1$$

同理，通過斷面 II 之能量：

$$\text{動能} = \frac{1}{2} \rho A V_2^3$$

$$\text{壓能} = A V_2 P_2$$

由小孔流出之能量為：

$$\begin{aligned} & W(AV_1 - AV_2) \cdot \frac{P_1 + P_2}{2} \\ &= (AV_1 - AV_2) \frac{P_1 + P_2}{2} \\ &= C a \sqrt{2g \frac{P_1 + P_2}{2W}} \cdot \frac{P_1 + P_2}{2} \\ &= \frac{1}{2} C a \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{\rho}} \cdot (P_1 + P_2) \end{aligned}$$

I、II 斷面間之摩擦損失能量為：

$$\rho g A \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right) \left[f \cdot \frac{l}{D} \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \rho A (V_1 + V_2) \frac{f}{D} \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2 \frac{l}{2}$$

即：

$$\frac{1}{2} \rho A V_1^3 + A V_1 P_1 = \frac{1}{2} \rho A V_2^3$$

$$+ A V_2 P_2 + \frac{1}{2} C a \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{\rho}} (P_1 + P_2)$$

$$+ \frac{1}{2} \rho A (V_1 + V_2) \frac{f}{D} \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2 \frac{l}{2} \quad (1)$$

又，I、II斷面之流量差=小孔之流出量。

故，由連續方程式得如下：

$$A V_1 - A V_2 = C a \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{2 \rho g}}$$

$$= C a \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{\rho}} \quad (2)$$

(2)代入(1)，並整理之，得：

$$(V_1^3 - V_2^3) + \frac{1}{\rho} (P_1 - P_2) (V_1 + V_2)$$

$$= \frac{f l}{8 D} (V_1 + V_2)^3 \quad (3)$$

其次，於斷面II、III間，因為並無水之流出，故可由柏諾利定理以及連續方程式，假定其距離為 l' ，即可分別得以下兩式：

$$P_3 = P_2 - W f \frac{l'}{D} \frac{V_2^2}{2g} \quad (4)$$

$$V_2 = V_3 \quad (5)$$

根據以上(2)~(5)式，當 P_2 與 V_2 為已知（亦即穿孔管最前端之壓力與流速），則由(2)與(3)式解聯立方程式，即可求得 P_2 與 V_2 。再依據(4)與(5)式，即可得 P_3 與 V_3 。而此 P_3 與 V_3 ，則相當於其次小孔的 P_1 與 V_1 。如此反覆地加以計算，即可求得開設於一定間隔之各小孔其前後之壓力與流速。然後，根據(2)式，即可求出小孔之流量。

以上之計算相當繁複，故宜使用電子計算機計算之。依此即可求出本設施之噴灑支管（亦即PE單層穿孔軟管）各段之壓力損失以及小孔之流量比（最小流量／最大流量）。

本設施之PE單層穿孔軟管之小孔，由於實際上無法以電熱針鑽成同樣大小之斷面積，使得理論式在實際之應用上變成沒有太大的意義。因此，

本研究之噴灑支管，將依據田間試驗資料予以設計。

六、噴灑支管之設計步驟

1.決定樹距（tree spacing） S_T (m)，行距（row spacing） S_R (m)，噴灑支管坡度(lateral slope) LS_i (%)，果樹尖峯需水量（peak Consumptive use of the tree） CU (mm)，遮蔽率（Cover factor） K ，所需噴水支管長度（required lateral length） L (m)，希望操作時間（desired operation time） T (hr/dey)。

2.依下式(1)計算設計施灌率（design application rate） DR (l/day)。

$$DR = CU \times A \times K \quad (1)$$

式中， A —一棵樹所佔之面積= $S_R \times S_i$ (m^2)

3.決定每棵樹之噴水小孔數（number of emitters） N 。

分別由小孔流量（ Q ）與噴灑支管所需壓力（ H ）之關係（參見圖2）以及下式(2)，決定每棵樹應有之小孔數。當小孔數大於1時，並決定小孔間距。

$$Q = \frac{DR}{T \times N} \quad (2)$$

註：因為 N 與 Q 由(2)式不能任意地決定，所以必須利用試差法（the trial and error approach），選擇 N 而計算 Q ，然後由圖2較之，決定所需之壓力。

4.由(2)式計算系統設計流量之所需操作時間（the system operating time） T (hr)。

5.選擇初期之噴灑支管管徑 D (mm)。

6.根據電子計算機程式，計算支管壓力損失（pressure drop），以及小孔流量比（最小流量／最大流量）。

7.檢驗噴灑支管之損失水頭以及小孔流量比是否在容許範圍內，倘若不在容許範圍內，則另選噴灑支管管徑，並重複步驟6、7。

設計例：

有一果園栽種蓮霧，計劃施設PE單層穿孔管灌溉系統。假設其所需之噴灑支管長度為150m，樹距×行距=7.2m×7.2m，而該果園沿所要佈設噴灑設支管方向之坡度接近於0°。今，設定：蓮霧

之尖峯需水量為 4 mm/day，遮蔽率為 0.40，希望操作時間為 8 hr/day。

1.已知：

$$S_T = 7.2\text{m}$$

$$S_R = 7.2\text{m}$$

$$LS_i = 0.00\%$$

$$CU = 4\text{mm/day}$$

$$L = 150\text{ m}$$

2.設計施灌率 DR，由 $A = 51.84\text{ m}^2$ (7.2×7.2), $CU = 4\text{ mm/day}$ ，以及 $K = 0.40$ ，依(1)式得：

$$DR = 4 \times 51.84 \times 0.4 = 83\text{ l/day}$$

3.本研究，由於要應用田間試驗資料，因此N已被決定（即 $N = 7.2/0.45 = 16$ ）。同時，小孔流量採用表2噴灑支管首端壓力為 15PSI 下之平均流量 2.0 l/hr。即：

$$N = 16, Q = 2.0\text{ l/hr}, H = 15\text{ PSI}$$

4.由(2)式，得系統設計流量之所需操作時間為：

$$T = \frac{83}{16 \times 2} \div 2.6\text{ hr/day}$$

5.本研究之噴灑支管管徑D，係已固定採用 16 mm 之 PE 軟管。

6.本研究為簡單化起見，不依理論式計算噴灑支管損失水頭，以及小孔流量比，而根據田間試驗資料估認為：

$$\text{噴灑支管之壓力損失} = 4.5\text{ PSI}$$

$$\text{小孔流量比} = 0.62\text{ (表1)}$$

7.本研究，因噴灑支管已被固定必須採用管徑為 16mm 者，因此其壓力損失與流量比即使不在容許範圍內，亦無法變更噴灑支管管徑。

七、設施費用分析

將以上研究所得數據綜合歸納之，則面積大約 1ha 之果園，其多目標 PE 單層穿孔軟管噴灌設施費用，若不計水井、抽水機、電動機、噴霧送水機等之投資（因一般果農大多數均已在此等設備），則可分析如下：

1.首部設備材料費，共計：6,163元

項 目	規 格	數 量	單 價	總 價
閘	開門式 2"	2	270.00	540.00
閘	開門式 1/2"	1	50.00	50.00
T 型接頭	鐵 2"×3/4"	3	35.00	105.00
90° 彎頭	鐵 3/4"	2	15.00	30.00
卜 申	鐵 3/4×3/8"	2	10.00	20.00
由 任	鐵 3/4"	2	25.00	50.00
法 蘭	鐵 2"	4組	120.00	480.02
立 布	鐵 2"×5"L	6個	25.00	150.00
立 布	鐵 3/4×3"L	2個	5.00	10.00
立 布	鐵 1/2"×4"L	2個	4.00	8.00
軟 管	PVC 1/2"	3m	30.00	90.00
過 濾 器	φ3" 150目	1組	2,500.00	2,500.00
注 液 器	3/4"×1/2"	1組	300.00	300.00
水 壓 錶	0~5 kg/cm ²	1個	150.00	150.00
鐵 管	鍍鋅 φ3"	3尺	70.00	210.00
鐵 管	鍍鋅 φ2"	3尺	40.00	120.00
裝 配 工 資		1式	600.00	600.00
油 漆		1式	250.00	250.00
其 他			500.00	500.00

2.大水槽（容積 1.5m×1m×1m）設備材料費，共計 3,009 元

項目	規 格	數 量	單 價	總 計
紅磚	一 級 磚	400 塊	1.20	480.00
水泥	品 牌	3 包	93.00	279.00
砂	1車 (1噸半三輪車裝)		200.00	200.00
石	1車 (1噸半三輪車裝)		200.00	200.00
閘	開門式 3"	1 個	700.00	700.00
立布	鐵 3"×5"L	1 個	150.00	150.00
工資		2 工	500.00	1,000.00

3. 配水管鋪設材料費，共計 2,745 元

項 目	規 格	數 量	單 價	總 價
PVC 管	φ2", 3mm 厚 4m 長	15支	150.00	2,250.00
塞 口	PVC 2"	1	15.00	15.00
側 管 焊 接	φ16 mm	9支	20.00	180.00
配 管 工 資		一式	300.00	300.00

4. 噴灑支管鋪設材料費，共計 2,466.5 元

項 目	規 格	數 量	單 價	總 價	備 註
PE 穿孔軟管	φ 16mm 厚 0.4 mm	1500m	1.275	1,912.50	20.65g/m, 61.76元/kg
打 孔 工 資	孔距 45 cm	1500m		300.00	
轉 呆	5/8"	9 個	4.00	36.00	固定 PE 軟管於配水管
東 圈	PVC	9 個	1.50	13.50	PE 軟管尾端止水
固 定 叉	*8 鐵 線	9 支	0.50	4.50	固定 PE 軟管尾端
鋪 設 工 資	女 工	1 工	200.00	200.00	

5. 總設備費，共計 14,383.50 元

八、結論與建議

1. 目前在臺灣，一項新的灌溉方式，要能普遍地被農民所接受，必須具備二個基本條件，其一為：設施以及維持費用低廉；其二為：該項方式能以節省勞力。

本設施之灌溉方式，應用於果園，若不計水井、抽水機、電動機（2 HP）、噴霧送水機等設備費用，1 ha 之投資額為 15,000元左右，而 1 天僅灌溉 2.6 小時。換言之，若一天灌溉 8 小時，面積即可達 3 ha，而此時，所應增加的設備費用，則僅為配水管與噴灑支管（PE 軟管）而已。

本設施，由於設置有一大水槽，用以拌合液肥以及藥劑，液肥將之注入系統中；藥劑則可 1 次完成拌合所應噴灑之量。因此，勞力相當節省。

2. 由於過磷酸石灰不易溶解，不適於將之注入於系統中。因此，建議肥料公司出產溶解度高之磷酸銨肥料。

3. 自由水面式肥料槽之液肥注入器，應根據理論式妥為設計。建議廠商大量生產，以降低成本。

4. 本灌溉方式，雖然所鑽之小孔孔徑誤差大，流量並非很均勻，但由於具有水流在有壓力狀態下

自小孔流出，不易被堵塞之優點。因此，其缺點只要在容許範圍內，應不必太苛求。

5. 由於小孔孔徑之誤差不易控制，致使噴灑支管之精密設計成為沒有意義，而重要的是應依據試驗數據設計之。

6. 穿孔管灌溉方式，已逐漸被果農以及栽種特種作物的農民所接受。建議有關當局重視，並充實其水理試驗資料。

九、參 考 文 獻

1. Proceedings of the Second International Drip Irrigation Congress, San Diego, California, July 7-14, 1974
2. 管にあけた多くの小孔からの液體の流出，機械學會論文集，8 卷 22 號，P. Ⅲ~25，植松時雄，外 3 名。
3. 散水かんがいにおける損失水量，三市大農學報，20 號，1961 白井清恒
4. 老埤農場鳳梨滴水灌溉系統設計書，1978. 5，游貽陵。
5. 管路灌溉方法及技術，農復會特刊新十五號，P101~P128，P56~P60，溫理仁。
6. 農業水力學，徐氏基金會出版，1978. 1，林龍海。