

電動自走鼓風噴霧機之開發¹

陳令錫、田雲生、張旭志、何榮祥²

摘 要

本研究目的為研製電動載具，承載噴霧系統，並進行行走及噴霧性能試驗。研製完成的電動自走鼓風噴霧機之車身尺寸為1,900×750×1,300 mm，轉彎半徑約4.8 m，行走速度介於0.5至7.4 km/hr之間，在電瓶充飽電力下之作業時間約為6 hrs；全機包括行走馬達、噴霧幫浦及鼓風馬達均採用電力驅動，試驗之管路壓力達7 bar，噴架結構為左右側二支噴桿各裝4粒Teejet 11001VHXL噴頭，噴桿裝設於向左右二側噴出的電動鼓風機出風口，其噴霧流量在7 bar壓力下為4.8 l/min，每粒噴頭流量約為0.6 l/min。最大負載下車體起動瞬間之最大電流約為82 A，大電流維持約2 sec，接著不到1sec的時間內，電流瞬間降至20 A以下。其間電壓在最初1 sec內升至21.6 V，接著大電流期間的電壓值約21.4 V~22.8 V之間，最後電壓值升至約23.7 V維持穩定。因此本行走驅動系統之控制器、直流馬達與減速傳動機構之配置可在起步的3 sec後維持電壓電流穩定，性能穩定可靠。

關鍵字：電力載具、噴霧、電流。

前 言

目前成本最低、使用方便且廣泛運用於各種農作物噴霧作業的人力牽管噴霧方式具有作業辛苦、效率低及霧粒容易與人接觸等缺點^(2,15)。國內各試驗研究單位研製有中型噴霧車的商品機販售⁽⁵⁾，而小型噴霧機以背負式為主，重量、振動及噪音會對作業之健康造成威脅，間接減低勞動效率⁽⁸⁾。設施具有阻擋風雨侵襲的功用，在亞熱帶的臺灣夏秋季節可以發揮功效，設施省工栽培⁽⁸⁾更形重要。因此國內各大學及試驗研究改良場所均曾進行輪式自走車控制系統，及設施內省工安全自動噴霧系統之開發研究^(1,3,6,7,9,10,11,14,15,17,19,21)，除人工手動操作機型之外，自動操作之控制系統依主機之不同分為PC-based及單晶片控制系統，均具有自走控制的功能。

履帶式車輛具有抓地力強，打滑率低的優點，適於開發田間行走的機具，臺中區農業改良場曾利用小型履帶底盤開發噴藥機具及自走車^(4,12,20)，對履帶式噴藥機具之良好的田間行走噴霧性能及履帶式行走機構的轉向控制特性有相當的瞭解，並分析其作業行進性能、噴藥量及附著率等，提昇施藥安全性，期望減少農藥浪費及對作業者及環境之衝擊，然而目前部份

¹行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0696 號。

²行政院農業委員會臺中區農業改良場助理研究員、助理研究員、研究助理、副研究員。

設施蔬果生產業者在地面鋪設止草蓆，減輕雜草管理的工作量，如此履帶式車輛反而不適合在此等場合應用。目前設施栽培低莖作物或穴盤育苗場採用懸吊桿式自動噴藥或噴水系統之應用較為成功^(10,11)，但是此系統不適用於高莖蔬果作物應用，因為種植高莖蔬果作物的溫室會架設垂直網架或細繩讓作物攀爬。故需要開發小型地面自走機型，方便於地面機動作業。

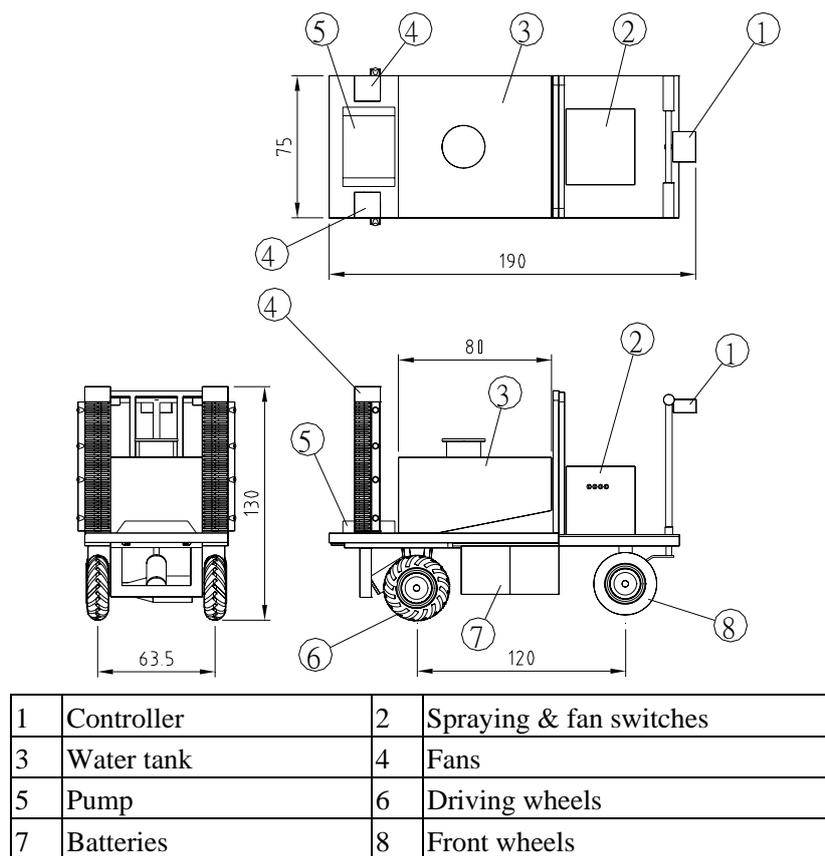
在石化燃料引擎技術實用前，約1896至1915年間，具備電瓶動力的交通工具曾經廣為製造使用，最高時速約32 km/h，移動距離接近30 km⁽¹⁸⁾。因為電瓶的能量密度限制載具移動距離和農場重負載工作的潛能，電瓶為動力的曳引機僅可適用於資材承載處理，如播種、施肥、噴藥等輕負荷農耕作業，而不適合執行重負荷耕犁作業。電動車輛具有低操作成本、安全、立即啓動、減少污染及低噪音等優點。科學家預估石化能源存量僅能使用40到60年，隨著石化燃料的枯竭，替代能源的地位更形重要⁽¹⁸⁾，而農業設施生產之電動載具之研究亦趨重要。

任何自動噴霧技術之開發需要良好的動力自走機臺為基礎，本研究開發之小型電動噴霧機具可修改為自走機臺，期望未來逐步向省工安全自動化機具邁進。因此，本研究目的為研製電動載具，承載噴霧系統，並進行行走及噴霧性能試驗。

材料與方法

- 一、電動自走鼓風噴霧機：機體長190 m寬75 m高130 m軸距120 m輪距63.5 m，如圖一所示。四只電動車專用電瓶6V 225AH供應DC24V電力，為全電力驅動的噴霧機具。行走部由DC24V 0.9KW直流電動機驅動附差速功能的後軸總成組成後輪驅動單元，與前輪轉向機構連結成底盤車架，行進速度採用可變電阻無段變速控制，該直流電動機由一只驅動器連結控制輸入及顯示輸出之元件所驅動，可調整行走速度、前進/後退及顯示電瓶電量等。噴霧系統由210公升藥桶、過濾器、輸送管路、DC24V電動泵，左右側二支噴桿各裝4粒Teejet 11001VHXL噴頭，噴桿裝設於向左右二側噴出的電動鼓風機出風口。電動泵與二只鼓風機均有單獨控制鈕，具有單純鼓風、單純噴霧、混合鼓風加噴霧、左側鼓風、右側鼓風、雙側同時鼓風等作業模式可供運用。麻聯電機公司的MF24/30型充電器供給DC24V給予電動自走鼓風噴霧機之電瓶組均勻充電。
- 二、捲尺、計時器、6 lt量桶、14bar壓力錶，試驗噴霧系統壓力與流量、行走系統之速度及轉彎半徑等。
- 三、YOKOGAWA OR100E手持式資料記錄器及PROVA CM-05鈎表記錄作業過程中行走馬達電路之電壓與電流變化。YOKOGAWA OR100E手持式資料記錄器有2個類比輸入點，記錄頻率可調整。
- 四、試驗方法分為行走性能、噴藥系統單獨測試、充飽電之耐久測試及藥桶滿載之起步電壓電流測試。
 1. 行走性能測試：捲尺及粉筆在平坦路面間隔20 m劃線，以最高速通過二劃線處之時間差及 $V=D/T$ 公式求得行走速度。在平坦地面轉彎慢速前進，外側車輪以布沾水滴至地面呈現的輪跡，量該圓形輪跡之最大直徑之半即為轉彎半徑。

2. 噴霧系統測試：藥桶加水半滿，在藥桶側邊的水位塑膠透明管上每1 cm劃一刻度線作記號，共6個記號顯示5個區間。加水至最高刻度之上，啓動泵記錄壓力值及各刻度之時間，根據 $Q=L/T$ 以獲得流量數據。
3. 電動鼓風噴霧機充飽電之耐久測試：用麻聯電機公司的MF24/30型充電機之均勻充電功能將4只電瓶充飽電，四只輪胎充飽氣至2.2 bar，藥桶加滿水，接上OR100E資料記錄器及CM-05鈎表，記錄頻率調整為2/3 Hz。測量試驗過程中行走馬達之電壓及電流變動情形，以了解試驗機充電後之耐久性能及可以執行噴霧作業之總時間與每桶藥液之作業時間，以及藥桶以水龍頭加水之時間。
4. 藥桶滿載之起步電壓電流測試：接上OR100E資料記錄器及CM-05鈎表，記錄頻率調整為4,000 Hz，亦即取樣率為250 μ s，觀察最大負載下之起步電壓電流變化，作為評估行走驅動系統性能之依據。



圖一、電動自走鼓風噴霧機各部元件配置圖。

Fig. 1. The scheme of the electric self-propel air-assist sprayer.

結果與討論

行走性能測試

最小轉彎半徑測試結果約4.8 m，行走速度約7.4 km/hr，由於行走速度之快慢影響目標物噴霧附著量，最佳的田間噴霧速度約4至5 km/hr，已經涵蓋在設計速度區間內。行進速度採用可變電阻無段變速控制，具有操作簡單、維護容易、機體簡潔、耗電量小、低污染、無噪音以及維護容易等優點，充氣輪胎行進間振動較實心胎小，適於設施內運用，但是轉彎半徑需要縮小以利換畦操作。

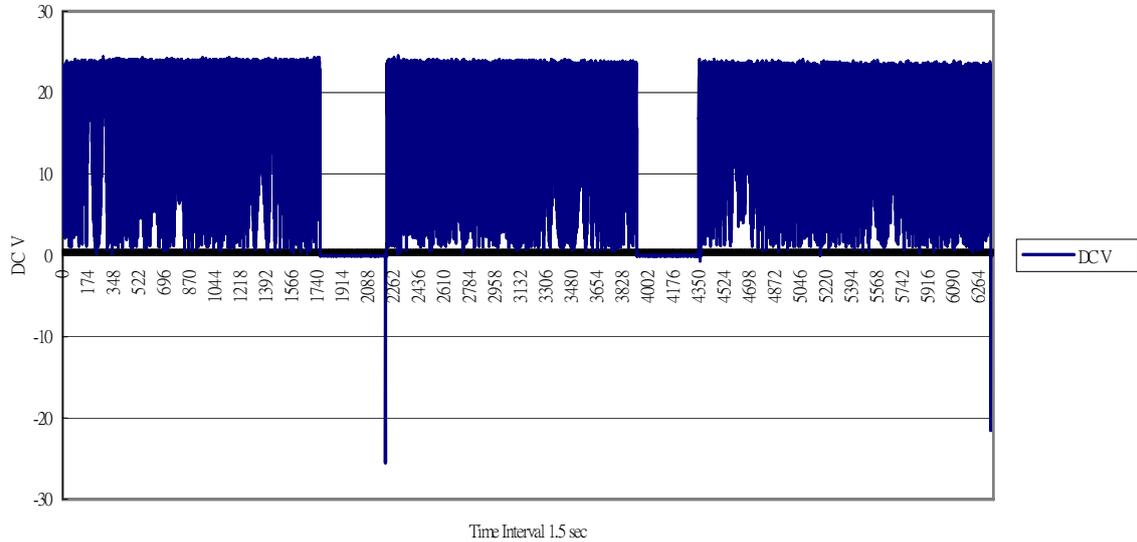
噴霧系統測試

水位降1 cm之時間約75 sec，藥桶之長為80 cm，寬為75 cm，因此藥桶1 cm高度之體積為6 l，經流量計算公式 $Q=V/T$ 計算結果流量為4.8 l/min，每粒噴頭流量約為0.6 l/min。觀察壓力錶之噴霧壓力約7 bar。根據Spraying Systems Co.型錄44M⁽²²⁾顯示該型噴頭屬於低壓噴頭，4 bar壓力以下即可霧化，於4 bar時每粒噴頭流量為0.45 l/min。而本噴霧系統7 bar時每粒噴頭流量試驗結果為0.6 l/min，根據該公司型錄55M⁽²³⁾得知流量與壓力平方根成正比，7 bar之對應流量應該是0.6 l/min，與試驗結果相符。因為試驗配置的噴霧系統管路壓力高，因此電動幫浦之輸出能量尚足夠提供更多噴頭或其他種類之細霧噴頭運用之擴充能力，本噴霧系統只有8粒噴頭之涵蓋範圍小，增加噴頭數量可擴大噴霧範圍。

電動鼓風噴霧機充飽電之耐久測試

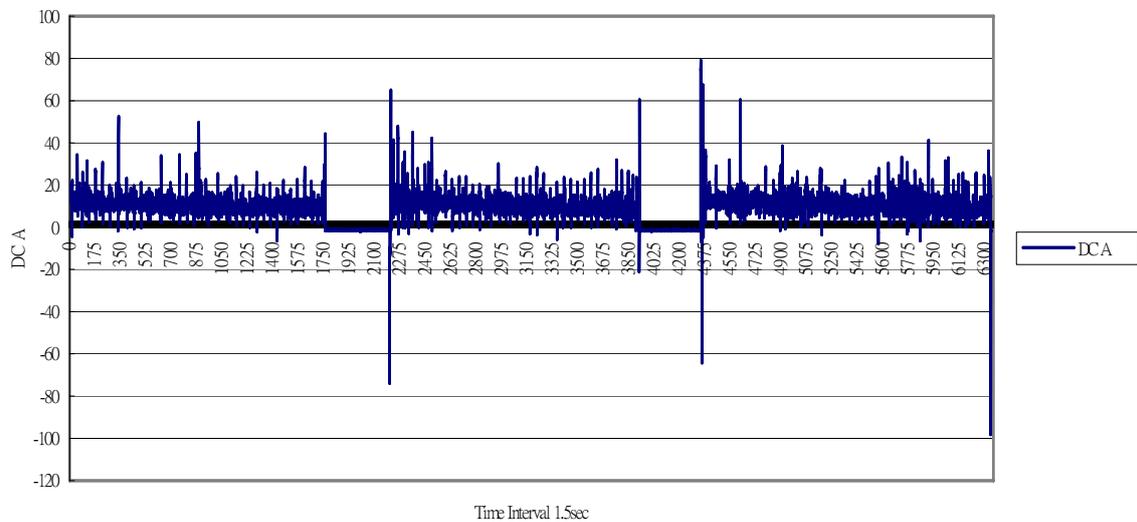
經全程試驗結果充飽電具有噴霧6桶藥液的能力，試驗時上下午各噴三桶，僅舉前三桶之行走電壓變化情形如圖二，210 l藥桶作業時間約44 min，亦即噴霧系統之流量約4.77 l/min，與上述噴霧系統測試結果近似，顯示試驗配置的噴霧系統管路性能穩定。藥桶重新加水期間車體靜止，行走馬達電路電壓為零，加水時間約10~17 min，該時間隨水龍頭出水能力而異。210 l藥液桶加水時間及噴霧時間合計約1 hr。行走電壓方面，控制器採PWM控制方式，圖二顯示測得的行走電壓上下震盪，由於取樣率為每1.5 sec紀錄一點，故波形不完整。剛開始電壓維持23~24 V，逐漸降至21~22 V，第6桶時降至20 V，此時控制器發出電壓過低警示音，停止試驗。行走電流方面如圖三所示，起步動作的瞬間電流高達78 A，行進間消耗電流平均約11A。因此，充飽電可執行6桶藥液的噴霧能量，以畦寬1.1 m行寬0.4 m之介質耕蔬果生產田區而言，作業速度4.5 km/hr，每畦溝均噴霧一次計，約可作業4.9分地；速度降為3.5 km/hr，每畦溝均噴霧一次計，約可作業3.8分地。圖中各桶加滿水開始試驗之初期電壓與電流短時間呈現負值應該是車體倒車離開加水位置之測試結果。

噴霧車在以上作業條件下測試，直至行走控制器發出低電壓警示音後停止作業，以避免電瓶電能耗盡損及使用壽命，隨即給予充電以保持電瓶活性，充電時間約10小時，因此於夜間充電，次日即可再次使用，充電耗用功率以功率表測得5.5 kWh即5.5度電，以電費3元/度計，約16.5元之充電費用。



圖二、電動鼓風噴霧機充飽電之耐久測試前三桶之行走電壓變化情形。

Fig. 2. Voltage variation of the durable test for the first 3 tanks of the electric self-propel air-blast sprayer.



圖三、電動鼓風噴霧機充飽電之耐久測試前三桶之行走電流變化情形。

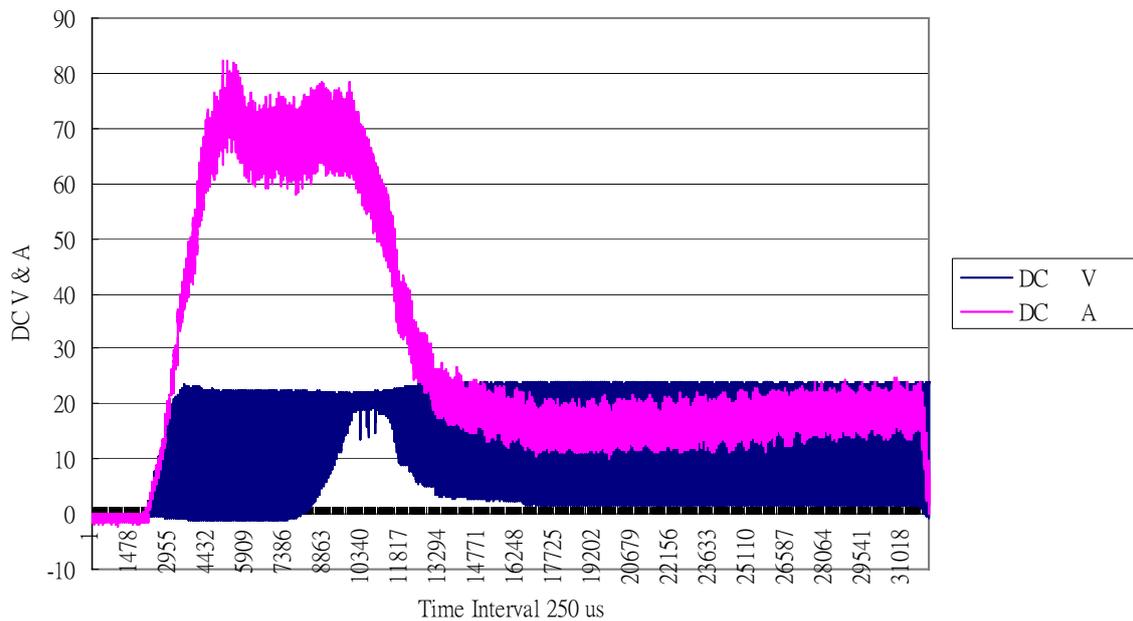
Fig. 3. Ampere variation during the first 3 tanks of water in the durable test of the electric self-propel air-blast sprayer.

藥桶滿載之起步電壓電流測試

取樣率設定為4000 Hz，量測時間約8 sec之試驗結果如圖四，於3553時間點時電壓值升至21.6 V，於5031時間點出現最大電流82.14 A，然後至10016時間點之間消耗電流在70 A附近上下震盪維持約1 sec，其間電壓值在21.4 V~22.8 V之間；接著10016時間點至13500時間點在不到1 sec的時間內，電流瞬間降至20 A以下，電壓值升至約23.7 V維持穩定。由此可知，最

大負載下之起步電流在開始的2 sec最大值約為82 A，而電壓在1 sec內升至21.6 V，本系統可在3 sec內電壓電流維持穩定，因此本行走驅動系統之控制器、直流馬達與減速傳動機構之性能配置是穩定可靠的。

施藥機械的功能是適時將適量的藥液送至目標物，本試驗著重機械與電器性能，關於噴霧附著性能將於機械性能改良後再行試驗。



圖四、藥桶滿載之起步電壓電流變化情形，取樣率 4000Hz。

Fig. 4. The voltage and ampere variation at the starting stage of the electric self-propel air-blast sprayer, sample rate 4000 Hz.

結 論

1. 電動自走鼓風噴霧機之驅動能源為四顆DC6V 220AH電瓶，提供DC 24V電力，具有電動行走、電動舉升、電動噴霧及電動鼓風輔助噴霧等功能，電動行走功能由DC24V 0.9 KW電動馬達連結減速差速機構組成後輪驅動單元，與前輪轉向機構連結成底盤車架，行進速度採用可變電阻無段變速控制，具有操作簡單、維護容易、機體簡潔、耗電量小、低污染、無噪音以及維護容易等優點，充氣輪胎行進間振動較實心胎小，適於設施內運用，但是轉彎半徑需要縮小以利換畦操作。
2. 電力幫浦加壓藥液之噪音低，壓力穩定，自走機型不用長的橡膠軟管輸送藥液，因此壓力損失小，可省能源，鼓風噴霧功能可以提升葉片之霧粒附著。

3. 電力驅動則無引擎式機種繁雜的保養作業程序，沒有石化燃料污染的廢氣排放問題，而且電力來源具有可替換性，作業特色為靜音、無空氣污染、低石化能源依存度、符合人體工學，此機具在農業設施生產環境之應用，頗具潛力。
4. 噴霧系統於7 bar時每粒噴頭流量試驗結果為0.6 l/min，因為試驗配置的噴霧系統管路壓力高，電動幫浦之輸出能量尚足夠提供更多噴頭或其他種類之細霧噴頭運用之擴充能力，本噴霧系統只有8粒噴頭作業涵蓋範圍小，增加噴頭數量可擴大噴霧範圍。
5. 車體操作過程中詳細的消耗電流變化對於性能的了解與改善，相當重要，運用YOKOGAWA OR100E手持式資料記錄器及PROVA CM-05鉤表記錄作業過程中行走馬達電路之電壓與電流變化，分析作業過程中行走馬達的消耗電流變化，瞭解電力行走系統之性能。根據試驗結果，最大負載下車體起動瞬間之最大電流在開始的2 sec最大值約為82 A，其間電壓在最初1 sec內升至21.6 V。接著行走電流在70 A附近上下震盪維持約1 sec，其間的電壓值約21.4 V~22.8 V之間。接著不到1sec的時間內，電流瞬間降至20 A以下，電壓值升至約23.7 V維持穩定。因此本行走驅動系統之控制器、直流馬達與減速傳動機構之配置可在起步的3 sec後維持電壓電流穩定，性能穩定可靠。

誌 謝

本試驗承蒙農機研究室鼎力支持，李安心先生、謝宗諺先生、吳銅鼎先生及賴碧琴小姐等協助組裝、試驗及文稿建檔等，謹誌謝忱。

參考文獻

1. 朱元南、陳文杰 1994 應用於農業機器人的自走式車輛的研製 農業機械學刊 3(2):1-9。
2. 李宏萍 1997 農民噴藥之安全防護評估 農業世界 164:17-21。
3. 位國慶、簡銘宏、黃東瑞、潘清樂、陳文輝 1996 固定式噴藥設施裝設及其噴施效果 臺灣糖業研究所研究彙報 154:31-48。
4. 林國照、何榮祥 1989 履帶式噴藥機械之研製 臺中區農業改良場研究彙報 22:3-11。
5. 邱銀珍、葉仲基 1999 油壓桿式噴藥機之研製 施藥技術服務6:36-43 農業機械化中心 臺北市。
6. 曾如參 1999 採果用自動行走車之研製 國立中興大學農業機械工程學研究所碩士論文。
7. 莊士良 1998 農用自動車行走導引之研究 國立中興大學農業機械工程學研究所碩士論文。
8. 陳加忠 1997 設施內部栽培作業之省力與舒適化 臺灣花卉園藝月刊 11:17-21。
9. 陳令錫 1997 擺動噴霧架設計與應用 臺中區農業改良場研究彙報 56:23-33。
10. 陳令錫 1996 設施噴霧技術:管路定置噴嘴及動力自走噴桿之探討 施藥技術服務 3:4-7 農業機械化中心 臺北市。

11. 陳令錫 1996 單一懸吊唇槽鋼軌道自走式噴霧裝置開發—行走及液體輸送性能試驗 臺中農業改良場研究彙報 53:25-34。
12. 陳令錫、林聖泉 2002 農用履帶車輛自動導引控制之研究 臺中區農業改良場研究彙報 77:27-41。
13. 陳令錫 2003 簡易移動式動力噴霧架與傳統噴霧作業於設施玫瑰之比較研究 臺中區農業改良場研究彙報 80:63-70。
14. 陳令錫、朱峻民、林聖泉 2006 小型電動噴霧機具及霧粒附著影像分析之研究 臺中區農業改良場研究彙報 92:63-74。
15. 盛中德 1992 溫室內施藥機械介紹 興農月刊 279:14-18。
16. 馮丁樹譯 1987 小農制之農業機械化 徐氏基金會出版。
17. 廖盈達、葉仲基、梁連勝 2002 GPS自動噴藥機之開發---田間定點定量施噴作業 p.194-204 農委會農業試驗所特刊第101號 應用於水稻精準農業體系之知識與技術 臺中縣霧峰鄉。
18. Alcock, R. 1983. Battery powered vehicles for field work. Transactions of ASAE 26(1):10-13.
19. Cho, Seong In, Jung Youp Lee and Young Sik Park. 1990. Autonomous speed sprayer using DGPS, gyrosensor and GIS. ASAE Annual International Meeting, Toronto Canada.
20. Desrial, Nobutaka Ito. 1999. Theoretical model for the estimation of turning motion resistance for the tracked vehicle. Journal of JSAM, 61(6):169-178.
21. Rintanen, K. H., Makela, K. Koskinen, J. Puputti, M. Sampo and M. Ojala. 1996. Development of an autonomous navigation system for an outdoor vehicle. Control Eng.Practice, 4:499-505.
22. Spraying Systems Co. 1994 TEEJET Agricultural Spray Products Catalog 44M p.16.
23. Spraying Systems Co. 1994 Industrial Spray Products Catalog 55M p.8.

Development of the Electric Self-propel Air-blast Sprayer¹

Ling-Hsi Chen, Yun-Sheng Tien, Hsu-Chih Chang and Jung-Hsiang Ho²

ABSTRACT

This study has assembled the electric carrier and the carrier can carry the spraying unit. The electric sprayer's moving and spraying performances were tested. The size of the electrically operated self-propelled air-blast spraying machine is 1900*750*1300 mm. The turning radius is 4.8 m. The running speed is between 0.5 to 7.4 km/hr, as the batteries are sufficiently charged. The operating time approximately is 6 hours. The sprayer is operated by the electric power. The essential part is the electrically operated pump. The liquid operating pressure can reach 7 bar. The spraying unit consists of two spraying rods, and each rod has 4 units of Teejet 11001VHXL nozzle. The spraying rods are installed on both side of blower, the flowing rate under 7 bar pressures is 4.8 l/min, the flowing rate of a nozzle is 0.6 l/min. The instant current under the maximum loading of the chassis to move approximately is 82 A. The high electric current maintain approximately 2 sec, then during 1 sec period, the electric current instantaneous drops to below 20 A. Voltage climbs from 0 V to 21.6 V at the first 1 sec, then the high electric voltage is 21.4 V~22.8 V. Finally the voltage jumps to 23.7 V and maintain to be stable. Therefore the design of the sprayer's electric driving system does have stable voltage and current after the first 3 sec. The performance of the sprayer is stable and reliable.

Keywords: electric carrier, spraying, current.

¹ Contribution No. 0696 from Taichung DARES, COA.

² Assistant Researcher, Assistant Researcher, Research Assistant and Associate Researcher of Taichung DARES, COA.