

# 電動自走式升降作業機之研製<sup>1</sup>

田雲生、張旭志、陳令錫、何榮祥<sup>2</sup>

## 摘 要

本研究設計並研製一臺前輪轉向、後輪驅動之電動自走式升降作業機，可提供給設施棚架式高莖作物生產管理與採收搬運之用。本機以950 W直流馬達為行走動力，前進與後退俱為無段變速，最高速分別為5.24、3.56 km/hr，最小轉彎半徑約1.6 m。其工作平臺升降藉油壓裝置帶動連桿機構來達成，最大舉升高度800 mm、載重能力200 kgf (不含操作人員重量)，作業效率較人工快達3倍以上，二只24V並聯電瓶每次充飽電可使用2~4天。

**關鍵字：**升降作業機、自走式、電動、溫室。

## 前 言

臺灣近年來經濟快速發展，國人生活水準提高，對於農產品的需求，不再止於但求溫飽，更注重品質的提升，所以糧食作物的需求量正逐年減少，取而代之的是蔬菜、水果乃至於花卉等園藝產品<sup>(11)</sup>。依據95年農業統計年報得知，園藝作物之栽培面積約佔耕地面積的48%，產值超過70%以上<sup>(2)</sup>，即顯示農業生產已隨著消費型態改變而調整或轉型。

園藝作物生產者為迎合市場的要求，除致力於改善產品品質，同時為了克服天候環境的影響，愈來愈多的農友改採設施溫網室栽培，既方便管理，亦期望能獲得更高的投資報酬與利潤<sup>(6,8,9)</sup>。但是農家又害怕遇到農地連作障礙、土壤性病蟲害傳播等問題，所以部份農民採用新興無土栽培。這種栽培技術源自1970年代初期的西歐國家，當時岩棉栽培技術在丹麥及荷蘭地區已達實用階段，而比這更早的1965年間，在英國查西島地區的居民已開始利用泥炭苔進行作物的栽培。其優點是：可進行標準化栽培管理，降低土壤環境改良需求，提高用水效率、減少消耗水量，顯著提高施肥效率，提高產量、改善品質，減低勞力支出，亦可應用於土壤條件不良的地區栽培。1980年代以後，無土栽培即蓬勃發展，面積快速增加，以荷蘭為例，目前已有95%的果菜類，包括番茄、甜椒、胡瓜、茄子等，均以無土栽培系統生產<sup>(5)</sup>。

臺灣在南投縣埔里、國姓、草屯、集集、水里及信義一帶之山區，農友使用進口之「有機介質袋」栽培夏季果菜<sup>(10)</sup>，也有直接於泥炭苔等介質袋上挖二、四或六個洞做為栽植穴<sup>(4,7)</sup>，以及採用植床或各種容器裝填泥炭苔、椰纖、樹皮等方式，用來種植彩色甜椒及番茄、小黃瓜、辣椒等棚架式高莖藤蔓類作物，再搭配養液滴灌與環境控制系統，可有效監控管理植株成長，堪稱是一種高收益的生產模式。

<sup>1</sup>行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0693 號。

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

惟這些作物動輒向上攀升2.7-3m高，以往農友從事枝條固定、摘側芽、除舊葉、疏果、採收等工作，必須仰賴小板凳、長條椅或折疊梯等輔助墊高並爬上爬下，長時間作業之後，不僅備極辛苦，若施力不當，亦會造成腰、膝部受傷；而搬運農產品、資材則多使用手推車、簡易車架或臺車等協助，相當費工與不便。所以，相關栽培農友非常期盼同時有多項作業用途的省工機械可資利用，以減輕其勞力負荷與提高管理效率。

鑑於此需求，本場與四維機械廠有限公司於2005至2006年間，經由產學合作計畫之執行，成功研發完成一臺兼具環保、省工、多功能的「電動自走式升降作業機」，足供設施栽培農友整理植株、登高採收及搬運機械化作業應用。謹針對該機組成架構、性能規格與作業效能等簡介如後，可供果農參考應用。

## 材料與方法

### 一、機械設計原則

- (一)針對溫室內棚架式高莖藤蔓類作物栽培管理作業所需，為提升生產效率和降低操作辛勞，故機械應具自走、搬運、登高等功能。
- (二)避免動力引擎於密閉或半密閉空間造成廢氣、高分貝噪音污染，以及操作人員須立或坐於機械上，作業機宜採電動馬達驅動，且為四輪式設計。
- (三)溫室內之路況可能不盡平整，機械底盤應有類似避震或緩衝懸吊之設計，另在機械上亦需配置各類簡易附屬組件，以兼顧操作安全、方便與舒適性。
- (四)機械田間作業性能以符合「設施內電動自走式升降作業機性能測定方法及暫行基準」<sup>(3)</sup>為必要條件，以便申請性能測定時可順利通過，並列入「新型農機補助」計畫之機種，進而降低農友購置機械成本。
- (五)本電動機械除供溫室內栽培管理作業應用外，亦考慮能兼用於其他作業環境，使達一機多用途而便於量產推廣。

### 二、電動升降作業機機組裝型式

本機依照前述設計原則而為四輪自走式，採前二輪轉向、後二輪差速驅動，並配置二個24V×45Ah電瓶並聯而成一組，可供給機體前進、後退、工作臺升降與其他附屬配件所需的電源。其中行走使用DC24V×950W電動馬達為動力，並組裝電磁煞車與速度控制器；舉升則賴單動柱塞式油壓缸頂升連桿滑槽機構來達成；前輪支撐橫樑並有左右擺動功能，可因應行經不平整路面而保持機體平衡；另可配置工作臺護欄、行進速度微調開關、電瓶容量顯示表、快速充電座、工具置放籃(架)、散熱風扇、單腳座椅等必要或選擇配備。

### 三、試驗設備與材料

- (一)供試設備：研製完成之電動自走式升降作業機。
- (二)供試材料：沙袋配重，每袋25 kgf (245N)。

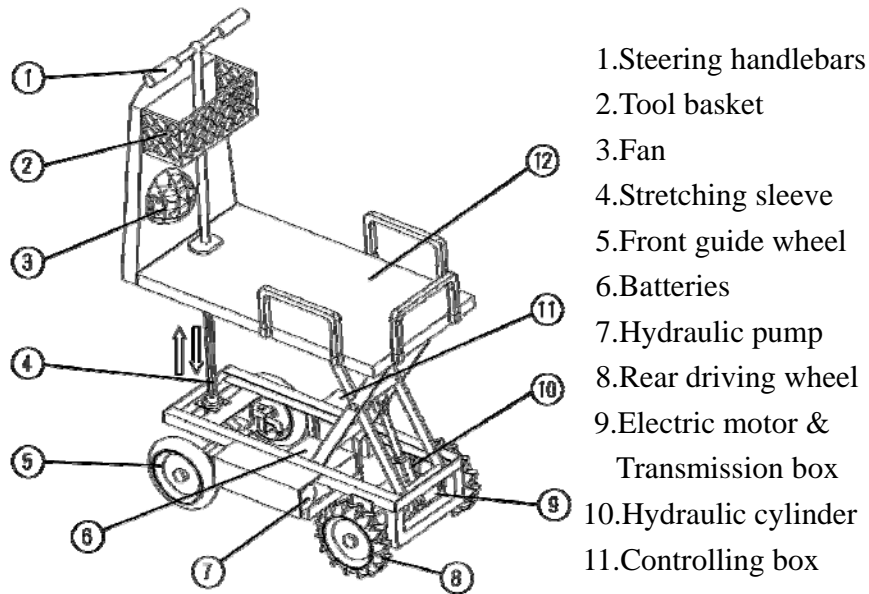
- (三)量測器材：碼表(電子式，精度0.01 sec)、電子吊秤(最大秤量600 kgf、精度0.1 kgf)、電流勾表(PROVA CM-05，最大可測量DC 400A)、資料記錄器(YOKOGAWA OR100E)、胎壓計、角度規、捲尺及鋁梯(1.5 m高)等。

#### 四、測試及調查項目

- (一)電動自走式升降作業機研製完成後，參考「設施內電動自走式升降作業機性能測定方法及暫行基準」之測試項目，針對機械性能、效率等加以試驗及調查，包含：機體全長、全寬、全高、全重，輪胎規格、輪軸距、距地高、轉彎半徑、靜態翻覆角、煞車距離、工作平臺舉升與載重能力等。
- (二)機械不同載重對油壓升降時間之比較試驗：將二只電瓶充飽電後，油壓缸節流閥旋轉至半開位置；操作人員重量以75 kgf計算，並以3袋25 kgf之沙袋代替。自零負載(仍有操作人員重量，以下亦同)開始，每次增加25 kgf沙袋配重，至載重量225 kgf為止，以碼表量測工作平臺自最低位置上升至最高位置，以及自最高位置下降至最低位置之作業時間，重複5次，計算平均值。
- (三)機械不同載重之距地高度比較試驗：將前後四輪胎壓皆設為30 psi(lb / in<sup>2</sup>)，而試驗相關條件與(二)相同，量測工作平臺自零負載至載重量225 kg之最高位置的距地高度。
- (四)機械空車與載重之行走速度測試：於水泥柏油路面擇取20 m距離，將工作平臺降至最低位置，自零負載至載重量225 kgf止，每次增加25 kgf沙袋配重，量測機械前進與後退之行走時間，重複5次，計算平均線速度(km/hr或m/sec)。
- (五)不同載重時油壓舉升與行走之電流變化測試：試驗相關條件與(二)相同，將電流勾表分別勾掛於油壓幫浦或電動馬達正極電線上，並連結至資料記錄器，量測在不同載重時，油壓缸驅動工作平臺上升瞬間之起動電流、上升過程中的舉升電流、到達最高位置電門旋鈕仍繼續導通之極限電流，以及機械行駛之起動電流與行走電流等，重複5次，計算平均值。
- (六)空車與載重時之電瓶續航測試：電瓶充飽電後，量測空車零負載與最大載重量時之行走距離或時間，以確定機械之續航能力。
- (七)機械與人工作業效率比較：於長度30 m之介質袋耕栽培區，隨機擇取連續五行縱向通道作為試驗範圍，並假設在高處可作業寬度皆為3 m。其中人工作業係以正常速度爬上1.5 m鋁梯，於頂端正向跨坐並迴旋180°反向跨坐各一次，而後回到地面搬動該梯行走約3 m距離，再爬上鋁梯、跨坐等，反覆同樣動作至完成五行區域。升降作業機以空車零負載測試，每隔3 m舉升工作平臺一次，升降動作須於機械停止間進行，並完成五行試驗區。調查人工與機械之作業時間與效率比較。

## 結果與討論

- 一、研製完成之電動自走式升降作業機，可適合於設施溫網室生產管理與採收、搬運應用，其外觀型式如圖一所示，主要構造分為三大部份：

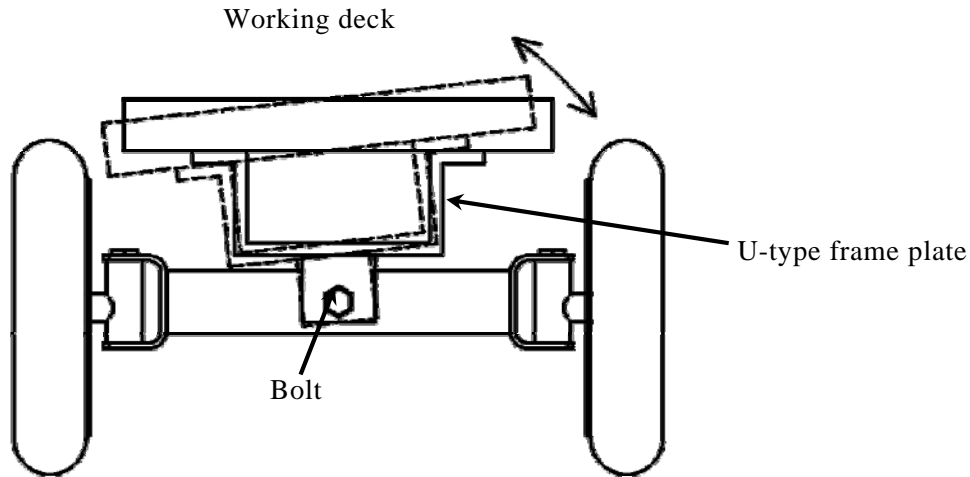


圖一、電動自走式升降作業機示意圖。

Fig. 1. The schematic diagram of the electric self-propelled lifting carrier.

#### (一)行走底盤與傳動機構

本機設計為四輪自走式，前二輪採用網紋胎面，方便於轉向與支撐；後二輪則為農用人字胎，直接與電動馬達(後方附電磁煞車)、減速機、傳動軸等連結，兼具支撐和差速傳動功能。T字型操控把手與一般腳踏車、摩托車相仿，轉向操作方式亦類似，並帶動下方連桿機構使二前輪向左或向右偏擺；作業人員在工作平臺上可選擇立姿或坐姿(加裝單腳座椅)操控機械，該把手藉由內六角伸縮套管之特殊設計，可與工作平臺同步上升和下降，意即工作平臺無論升降與否，作業人員手握把手的相對位置皆不會改變。另前輪支撐橫樑係由30×60 mm之矩形鐵管製作而成，兩側焊接厚6 mm之彎折鐵板連結輪軸，並與上方支撐機體之U型架以螺絲插銷固定，由於U型架與橫樑之間無接合，機體(包含工作平臺)前端可利用螺絲插銷為固定端，形成類似翹翹板之左右擺動功能，如圖二所示。此擺動機構主要係因應機械行經不平整路面時，儘量保持機體平衡，可避免工作平臺上之作業人員突遇凹陷等道路狀況而緊張或發生危險。



圖二、前輪橫架之左右擺動機構示意圖。

Fig. 2. The diagram of the librating mechanism of horizontal frame for the front wheel.

### (二)工作平臺與油壓舉升機構

工作平臺長寬尺寸設計為1145×620 mm，主要係提供給作業人員站立或坐在單腳椅(選擇配備)上操控機械，以及承載搬運資材、採收籃與農產品所需之空間與位置。其組裝於行走底盤正上方，由C形鐵材與薄鐵板折邊組合而成，前方位置塗佈一層防滑砂塗料，可增加操作人員與平臺之間的摩擦力，減少打滑的可能性；左、右及後側裝設有快速插入式U字型護欄，可避免物品滑落地面而造成損傷。執行工作平臺升降動作的是配置於右前後輪之間的油壓幫浦及單向油壓缸等裝置，並藉由電瓶供給所需電力。當油壓缸活塞桿伸出並帶動交叉型連桿機構時，同步驅動工作平臺向上舉起；下降時則靠操作人員、負載資材與平臺之自重，使油壓缸活塞桿縮回，致平臺向下運動。

### (三)電力系統與控制裝置

全機動力源來自二只24V×45Ah電瓶，配放於底盤前後輪軸之中間位置，方便提供電力給電動馬達與油壓裝置等運作。其更換作業時，須將工作平臺舉升至較高處才方便進行；充電作業時，則僅將充電器與預留充電座接頭相連結即可，但須注意的是避免採大電流快速充電，以防止電瓶損壞或減損使用壽命。電控箱與微電腦馬達控制器須藉由外接鍵盤以程式設定電動馬達轉速等資料，並配置於左前後輪之間，方便於調整或檢修，其與油壓幫浦概略成對稱比例，讓機體整體配置較具一致性。另於轉向操控把手上方設有開關操作或顯示面板，包括電源開關、電門旋鈕、電瓶電量顯示表、行走正逆轉選擇按鈕與速度微調開關等，皆是機械應用時之必備裝置。其中電門旋鈕作動與電磁煞車反向配合，即機械進退時電磁吸力解除煞車，反之則以摩擦力達成制動與停駐目的；而電瓶電量顯示表方面，因電瓶殘存電量不如傳統汽車油量表來得清楚明瞭，一旦沒電時，需靜候充電且無法使用，所以在操作機械時務必經常注意該顯示表，同時養成定時充電的好習慣。

## 二、升降作業機測試

(一)電動自走式升降作業機經各項操作測試，可達成所設計之目標動作，在確定各機構性能後，以測試結果綜合彙整為表一所列之性能規格。

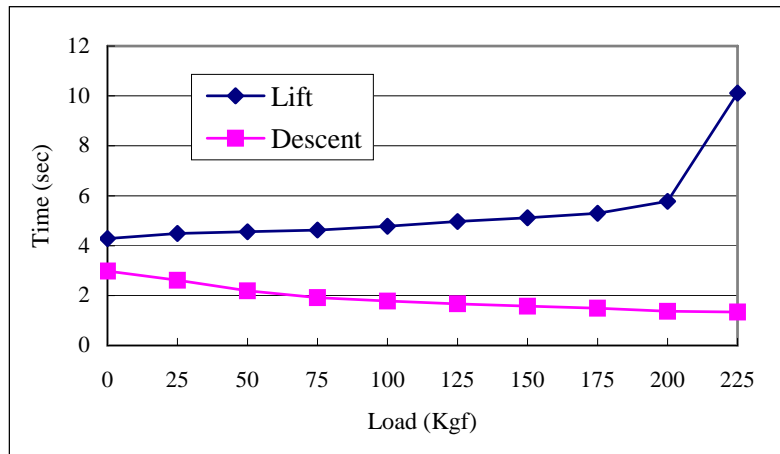
表一、電動自走式升降作業機性能規格測試結果

Table 1. Testing results and specification of the electric self-propelled lifting carrier

Items	Specification
Power unit	DC24V 950W electric motor
Wheel drive	2 wheels driving
Gross weight	210 kgf
Dimension(L×W×H)	1300×700×1425 mm
Tires	4.1-6PR×2(front wheels) 13-500-6PR×2(rear wheels)
Tread	570 mm(front wheel), 590 mm(rear wheel)
Wheel base	780 mm
Min. turning radius	160 mm
Min. ground clearance	87 mm
Min. overturning angle	45°, 29° (min.& max. lifting height of working deck)
Max. Operation speed	5.24 km/hr(1.46 m/sec)(non-load)
Braking distance	640 mm(forward), 440 mm(backward)(non-load)
Max. Lifting height	800 mm
Max. Loading	200 kgf

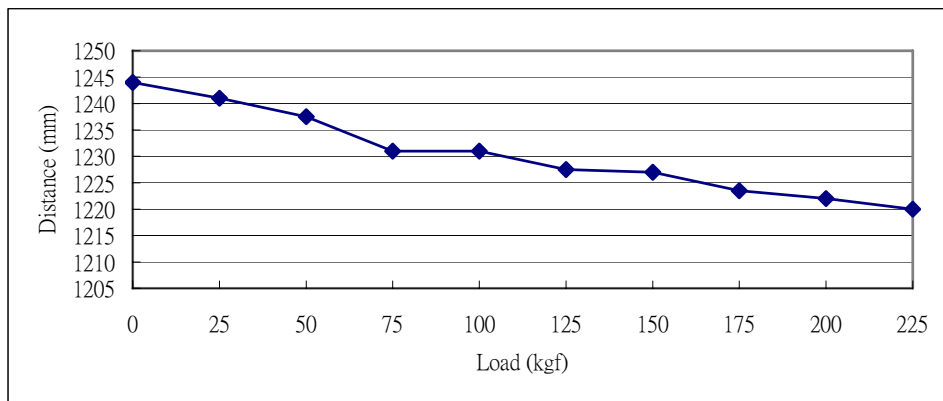
(二)機械不同載重量對油壓升降時間之比較試驗結果：由圖三結果可知，工作平臺之載重量在200 kgf以下時，其上升時間隨負載增加而和緩提升；但當載重達225 kgf時，其斜率明顯劇增，此表示油壓缸已承受之負荷過重，所以本機之最大載重量標稱為200 kgf較適合(不含操作人員重量)。另工作平臺下降係靠負載自重，作業時間自然隨載重增加而縮短；但應特別注意的是：若下降速度過快時，恐操作人員會突如其來受到驚嚇，農產品亦可能因震動碰撞而影響品質，故必須將油壓缸節流閥開度再縮小(即流量降低)，以維護作業安全。

(三)機械不同載重之距地高度比較試驗結果：由圖四結果顯示，當工作平臺處於最高位置時，空車無負載之距地高約1,244 mm，載重225 kgf時降低為1,220 mm，可知載重量與工作平臺距地高度成反比；若再加上時間因子考量，其差異將更明顯。探究並推論其原因，距地高之差別主要是重量壓縮輪胎所致，亦可能是高負載造成節流閥洩漏或回流，使油壓缸縮回與工作平臺下降而產生的結果。所以較高載重時，工作平臺不宜連續長時間舉升在高處，機械更應避免居高快速行駛，以確保操作安全性與延長相關零組件之使用壽命。



圖三、不同載重對油壓升降時間之比較。

Fig. 3. The results of lifting and descend times to various loadings.



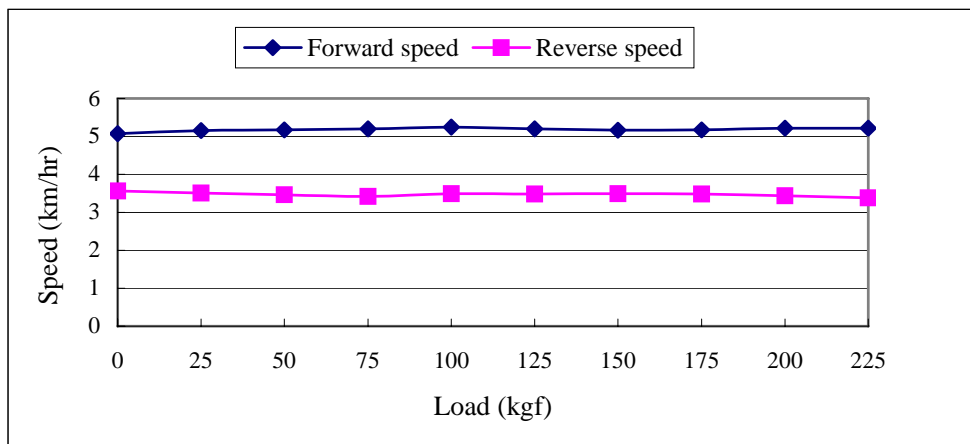
圖四、不同載重之距地高度測試結果。

Fig. 4. The ground clearance of work deck to various loadings.

(四)機械空車與載重之行走速度測試結果：在電瓶充飽電的情形下，以體重75 kgf之操作人員駕駛升降作業機，自零負載至最大載重量225 kgf為止，量得機械前進與後退之行走線速度如圖五所示。由測試結果顯示，載重量在設定的範圍內，空車或有負載之前進速度並無顯著差異，且最高速度為5.24 km/hr (1.46 m/sec)；而後退情況亦同，最高後退速度為3.56 km/hr (0.99 m/sec)。由此可知，標稱200 kgf是油壓缸工作平臺所能負荷之最大載重量，但機體行駛時可承載的重量卻不止於225 kgf，致行走速度快慢與載重量多寡並無明顯關係。

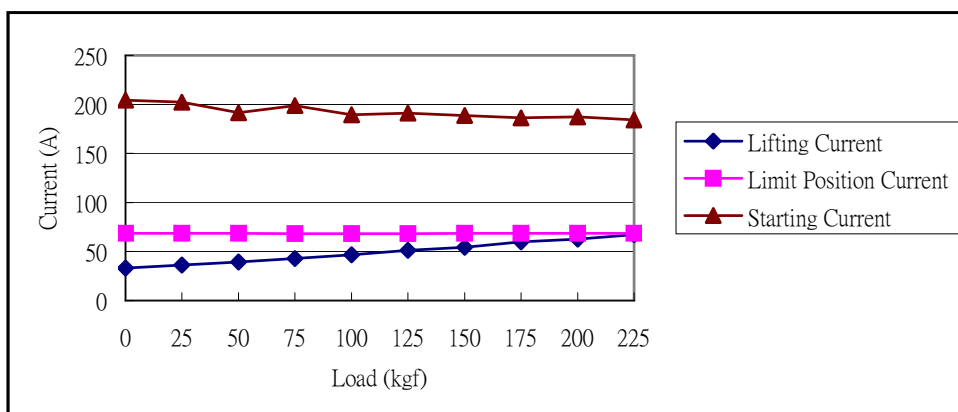
(五)不同載重時油壓舉升與行走之電流變化測試結果：經試驗結果顯示，當油壓缸驅動工作平臺上升時，瞬間起動電流最大，而後急速下降並維持一定值(舉升電流)，及至最高位置後，電流再提高並保持均值(極限電流)；此結果無論在空車或有負載時皆相同。由

圖六可知，在不同載重時，工作平臺舉升之起動電流介於192-204 A之間，差異不大；而到達最高位置後，電門旋鈕仍繼續作動之極限電流為 $68.5 \pm 0.3$  A，變化更小。但舉升電流却隨著載重增加而遞增，其中空車無負載是33.1 A；載重量200、225 kgf則分別達62.8與67.3 A，其中後者與極限電流相近。若以油壓舉升電流變化結果觀之，推論本機最大載重量是225 kgf尚稱合理，但考慮舉升時間與載重之斜率變化，仍以標稱200 kgf為最大載重量較為安全。另由圖七可知，機械行駛之起動與工作電流皆隨負載增加而增加，其中前者之空車及載重225 kgf時分別是30.5、49.0 A；而後者則下降至平均值7.5與11.3 A上下微幅變動。所以，工作所需之電流愈大，相對地電瓶電量消耗愈快，尤其應避免經常間歇式操控工作平臺之舉升，可讓電瓶使用時間拉長，再予以充電。



圖五、不同載重之行走速度測試結果。

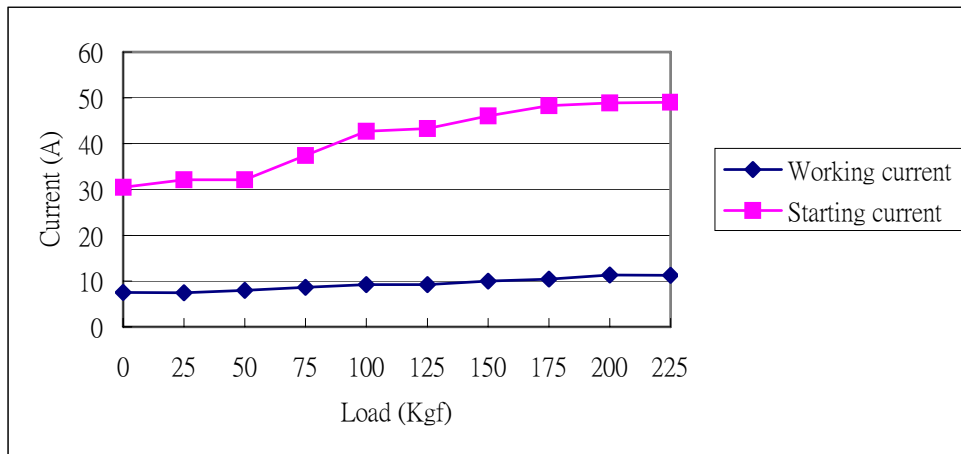
Fig. 5. The results of ground speed testing to various loadings.



圖六、不同載重對油壓舉升電流變化之測試結果。

Fig. 6. The testing results of hydraulic lifting current to various loadings.





圖七、不同載重對行走電流變化之測試結果。

Fig. 7. The testing results of driving current to various loadings.

- (六)空車與載重時之電瓶續航測試結果：二只電瓶充飽電後，以空車零負載與最大標稱載重量200 kgf連續行駛於平坦柏油道路，至電瓶電量顯示表之LED燈號移至蓄電量最低位置或行走速度明顯下降為止，其行走時間分別是33.5及32.1 hr。而實際於0.2 ha(長50 x寬40 m)之介質袋耕栽培區進行搬運與頻繁升降工作平臺的測試結果，累計約可使用17.5 hr。由此可知，若1天以8 hr計算，則本機之續航能力可達2~4天，但受作業頻繁度與電瓶使用年限等因素而有所差異。
- (七)機械與人工作業效率比較結果：人工作業時，操作人員爬上鋁梯、正向跨坐於頂端、旋轉反向跨坐、回到地面、搬動梯子移行3 m距離等，累計需進行50次，合計花費32.3 min；而升降作業機每行走3 m即停車，舉升工作平臺至最高位置，而後下降到最低位置後再前進，總作業時間是12.2 min。由試驗結果可知，只考慮登高與行走時間而言，本機械作業效率是人工之2.6倍。但實際上因工作平臺長1145 mm，立於平臺上之作業寬度可延伸至4 m以上，所以在試驗區域內，上升、下降次數最多只需要40次，且實測僅須耗時10.6 min，故作業效率可提升達3倍以上。另農友在操作本機時，或許會逕於工作平臺較高處或升降過程中移行機械，此雖更節省時間，但在路面不平整與高負載的情況下，恐發生側傾之虞，所以非常不建議如此應用，以確保操作安全。
- (八)本機機體輕巧、操作靈活、機動性高，各項性能已符合「設施內電動自走式升降作業機性能測定方法及暫行基準」，除可輔助設施栽培農友生產管理應用外，亦可進一步推廣到立體雞舍，協助雞農巡場代步，進行雞隻檢視、雞蛋撿拾等用途，達一機多功用途，極具產業上利用性與商品價值。未來將繼續針對本升降作業機使用成本與經濟效益加以調查探究，並利用電腦輔助分析軟體進行機構或材料強度模擬等，以期獲致最佳化或最適化的結果，進而供機械推廣與生產製造之參考。

## 結論與建議

- 一、完成一臺前輪轉向、後輪驅動之電動自走式升降作業機，最高行走速度5.24 km/hr，工作平臺舉升高度800 mm，最大載重量標稱值為200 kgf，作業效率較人工快達3倍以上，每次電瓶充飽電可使用2-4天，可供設施栽培農友整理植株、登高採收及搬運機械化作業應用。
- 二、本升降作業機最大特色包括電力驅動，無廢氣與噪音的污染，符合時下之環保潮流；取代傳統登高爬梯之辛苦，節省工時與氣力，並提高作業效率與精確度；機體進退、轉彎與工作臺升降等操作簡單，可做為設施栽培區內之最佳代步工具，且收藏不佔空間；設計時已考慮到農業環境需求，故構造簡單、維修方便且載運量大；可加裝小型風扇等電器裝置，改善操作人員作業條件，增加工作時間；日後再開發設施內管理設備，亦可以此機臺作為載具，靈活地於設施內移動與使用。
- 三、操作機械時，應避免在路面不平整、高負載與油壓舉升過程中快速行駛，可確保人員、物品安全及延長機件壽命；另減少經常間歇式操控工作平臺之舉升，可讓電瓶使用時間拉長；又經常留意電瓶電量顯示表，並養成定時充電的好習慣等，才能使本機發揮更大的作業功能。

## 誌 謝

本研究係與四維機械廠有限公司產學合作計畫(94農科-6.1.2-中-D3及95農科-7.1.2-中-D2)之研發成果。試驗期間承蒙中興大學生物產業機電工程學系盛中德與鄭經偉教授、建國科技大學機電光系統研究所樂家敏教授及臺灣區農機工業同業公會莊石鑑總幹事等諸多專家學者的指導與建議，四維機械廠有限公司負責人何長庚先生等傾力配合機械試驗研製，以及本場農機研究室全體同仁鼎力協助，方得以順利完成，謹申謝忱。

## 參考文獻

1. 田雲生、龍國維、陳令錫、張旭志 2007 電動自走式升降作業機之介紹 臺中區農情月刊 第93期第四版。
2. 行政院農業委員會 2006 95年農業統計年報 <http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=12928>。
3. 行政院農業委員會農業試驗所 2007 四維牌PH301中改型設施內電動自走式升降作業機性能測定報告 農機具性能測定報告 No.289。
4. 科學知識編委會 1999 蔬菜容器栽培之介質與營養管理 科學知識 臺灣省立臺中圖書館臺中。
5. 高德錚 2001 蔬果有機介質耕之發展現況與展望 p.24 臺中區農業改良場八十九年度試驗研究暨推廣學術研討會報告。
6. 盛中德 1995 花卉施藥技術與機械 臺灣花卉園藝 10:50-54。

7. 張旭志 2004 多功能溫室電動軌道車之研究 碩士論文 中興大學生物產業機電工程學系 臺中。
8. 馮丁樹 1995 設施內搬運設備 p.75-88 設施栽培自動化 臺灣大學生物產業機電工程學系 臺北。
9. 馮丁樹 1996 設施內簡易搬運設備 p.115-126 蔬菜自動化育苗技術研討會論文集 臺灣大學 臺北。
10. 蔡宜峯、高德錚 2001 本土化有機介質耕在蔬果栽培上之應用 臺中區農情月刊第27期第四版。
11. 豐年社 1995 臺灣農家要覽農作篇(二) p.201-479 豐年社 臺北。

# Development of the Electric Self-propelled Lifting Carrier<sup>1</sup>

Yun-Sheng Tien, Hsu-Chih Chang, Ling-Hsi Chen and Jung-Hsiang Ho<sup>2</sup>

## ABSTRACT

The purpose of this research was to develop a front-wheel steering & rear-wheel driving electric self-propelled lifting carrier for production management, harvesting and carrying in greenhouse. This machine was powered by a 950W DC motor. The maximum forward / backward speed were 5.24 / 3.56 km/hr, respectively. Its turning radius was about 1.6 m. The lifting of the working deck was powered by hydraulic system. The maximum lifting height was 800 mm, the lifting capacity 200 kgf (not including operator's weight). The testing results of operation speed showed that the machine is over 3 times higher than labor in performance. Two 24V batteries in parallel made this carrier operate about 2-4 days after full recharged.

**Key words:** lifting carrier, self-propelled, electric, greenhouse.

---

<sup>1</sup>Contribution No. 0693 from Taichung DARES, COA.

<sup>2</sup>Assistant Engineer, Assistant, Assistant Engineer and Associate Engineer of Taichung DARES, COA.