

蔬菜育苗場搬運作業之工程分析與模擬

洪景鐘¹，陳世銘²

1.國立台灣大學農業機械工程學系研究所碩士

2.國立台灣大學生物產業機電工程學系教授，本文通訊作者

摘 要

蔬菜穴盤育苗自動化作業包括播種作業、搬運作業及育苗管理作業，其中工作分派與動線流程需要詳加規劃以節省不必要的工時浪費，並提高效率。本研究利用電腦模擬的方法，針對育苗場搬運系統之出苗及入苗作業進行分析。模擬結果顯示，母車在溫室中來回移動的時間為現行入苗作業之瓶頸，因此以增加搬運車之搬運量的改善方案將搬運量增加一倍，預估作業時間將可縮短 30% 以上。若調整溫室的排列方式，將母車動線流程重新規劃，讓原本直線排列的溫室改置為分置在播種作業室之兩側時，大紙箱出苗作業時間可縮短 34%。若同時有大紙箱及小紙箱進行出苗作業，建議場方安排小紙箱在距出貨區較遠的溫室出苗，而大紙箱在較近的溫室出苗，以提高員工及搬運系統之利用率。本研究應用AweSim所發展出的蔬菜育苗場搬運作業電腦模擬模式是一個有效的分析工具，利用本模式可進一步評估搬運作業各參數對模式的影響，進行最佳化的分析，並對不同的改善方案作評估，提供規劃育苗場決策的參考。

關鍵詞：搬運作業、電腦模擬、蔬菜育苗場、自動化

SIMULATION BASED PERFORMANCE ANALYSIS OF TRANSPORT OPERATIONS FOR VEGETABLE NURSERIES

Ching-Chung Hung¹, Suming Chen²

1. *Former Graduate Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, National Taiwan University.*

2. *Professor, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University. Corresponding Author.*

ABSTRACT

Work arrangements and material flow need to be well planed to save time and increase efficiency in the vegetable seedling production, including seeding system, transportation system and nursery system. This study developed a computer simulation based performance analysis for transport operations in vegetable nurseries. The moving time of the carrier was the bottleneck during transportation of trays into the greenhouses. If the transportation system was remodeled by doubly increasing the carriage, the operation time was decreased by an amount of 30%.

Moreover, the operation time in moving seedlings out of greenhouses by using large boxes was decreased by 34% through a suggested improvement proposal, in which greenhouses were arranged on both sides of the working house of seeding operation. If large and small boxes were moved out during the same work period, small boxes should be moved out at the farther end of greenhouses and the large ones should be moved out at nearby greenhouses in order to increase efficiency. Using software AweSim in this study to develop the simulation model of vegetable transportation system was proved to be a useful analysis tool, which could be used to optimize the system by analyzing the parameters of the model, evaluating different amendments, and a decision support system could then be provided.

Keywords: Transport operations, Computer simulation, Vegetable nursery, Automation

一、前言

在蔬菜穴盤育苗自動化的工作中，包括有播種作業、搬運作業及育苗管理作業，其中許多工作分派與動線流程需要被完成與安排。因此適當地分配工作任務與規劃動線流程可節省不必要的工時浪費。利用電腦模擬的方法代替傳統的試誤法，對於作業流程、動線規劃與人員、資源分配等問題進行探討並改善。在進行電腦模擬之前，首先要將實際現場作業系統進行分析，了解系統變因所在，簡化不必要之變數，用以建立系統的模式。系統模式流程建立之後，則對其中各項作業進行工時資料搜集，至工作現場量測工時數據，再利用統計的方法找出適當的分佈函數去配適；其後，開始撰寫模擬程式，對現況作模擬。程式撰寫完成後，對模擬結果做有效性的檢定，驗證模式的適切性。進一步地加以修正，直到模擬模式之結果契合現場狀況。下一步，依據經驗提出改善方案，在電腦模擬程式中改變相關因子，模擬改善方案之作業情況，分析模擬結果，對不同的改善方案作評估，提供規劃育苗場決策的參考。

邱與馮(1998)選定九場育苗中心進行搬運作業之現況分析，項目包括作業方式、作業工時、搬運作業長度、流動強度以及運輸功等，其研究成果可提供給育苗業者，作為改善現有作業方式的參考，並可清楚得知各種搬運機具的特性及適用場合。Chiu et al. (2000) 更進一步以電腦模擬分析台灣水稻育苗中心田間輸送機之秧苗搬運作

業。Chiu et al. (1998) 以 SIMLIB 模擬語言建構出水稻育苗播種模式，將水稻育苗播種作業中各項工作任務紀錄，依操作的狀況，分派不同的工作者；制定工作的優先順序及系統的限制條件。並探討介質及種子補充線的改變、料斗大小的改變、播種作業系統速度的改變等對員工利用率的影響。洪等人(2001)針對蔬菜自動化育苗場的播種作業流程進行電腦模擬分析，其中包括循環式及積排式播種系統兩種不同播種作業模式，模擬結果可提供給經營者作為育苗場規劃及改善之參考。本研究接續洪等人(2002)之研究，針對蔬菜育苗場之搬運作業，以電腦模擬的方式對搬運流程、動線規劃、及人員、資源之分配進行分析探討，以便確認作業瓶頸，找出最佳的作業方式，並得到最高的工作效率。

二、蔬菜自動化育苗場之搬運系統架構

常用之蔬菜育苗場之搬運系統與設備種類不少（陳與張，1996；馮，1995；陳，1999a；陳，1999b），本研究所探討之搬運系統是採用輪軌式電動母車配合床沿雙軌台架（子車），母車可在溫室內外行進，台架可在母車上作上下升降，並在植床上前後移動（陳，1999a）。本研究以雲林縣元長鄉之茂盛蔬菜自動化育苗場為對象進行分析研究，搬運系統包括(一)入苗作業及(二)出苗作業，其動線配置圖參照圖 1。以下就入苗、出苗作業流程分別加以說明。

(一)入苗作業

在完成播種作業之後，播種好的苗盤放置在催芽區等待發芽。在苗盤內的種子發芽之後，則必須將之搬運至溫室內作育苗管理的工作，此一作業稱為入苗作業。

入苗作業通常由四名員工執行。首先員工先將床沿雙軌台架（以下稱之為子車）置於輪軌式

電動母車（圖 2）上，駛至催芽區（圖 1 之位置 7），所有的員工隨即在催芽區將原本堆疊好的苗盤，以十盤為單位搬上子車，子車每次的載運量為 140 盤苗盤。裝載完成後，母車以較人步行稍慢的速度，即約 0.61m/sec，駛往溫室植床區（圖 1 之位置 2）。員工搭乘電動母車跟隨前往欲放置苗盤的空植床以進行排盤作業。母車到達目標植床後，員工將子車推上植床的最後方（距母車最遠端），開始進行排盤（圖 3），每個植

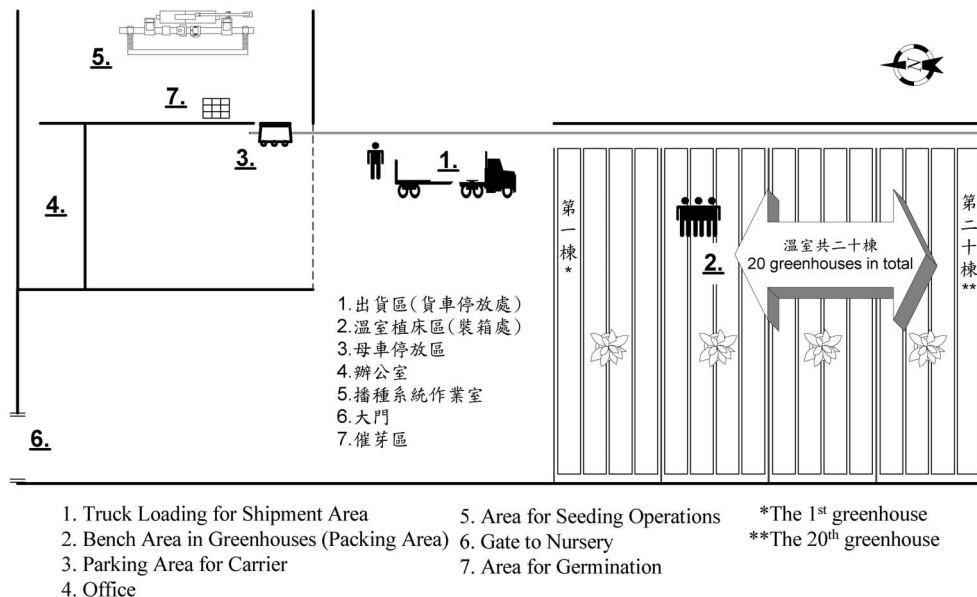


圖 1 搬運系統動線配置圖

Fig.1 Material flow layout for transport operations



圖 2 輪軌式電動母車

Fig.2 Electric carrier with two rail wheels on one side while two tires on another side



圖 3 員工進行排盤作業

Fig.3 Distribution of trays on the bench

床可以放置 183 盤苗盤。當排盤完成時，員工將子車推回母車，母車隨即駛回催芽區，載運下一批的苗盤入苗，此時僅有一名員工乘坐母車回到催芽區進行搬運，其餘的員工則在植床邊休息，等待苗盤。同樣地，在此一名員工完成裝載 140 苗盤至子車的作業後，母車將再行往植床區，進行排盤，如此不斷地循環作業，到催芽區的苗盤搬運完畢為止。

在排盤作業時，若是工作植床已經排滿苗盤，而子車上仍有剩餘的苗盤，則利用母車將子車移至下一個空植床上進行排盤。

(二) 出苗作業

當溫室內的蔬菜苗經過栽培管理之後，成長至適合田間移植的成苗時，即必須由溫室中移出，運送至各個菜農的田間栽種。此一由溫室中將苗裝箱搬運至貨車上的作業稱為出苗作業。

育苗場出苗所使用的紙箱有兩種，兩種紙箱的材質皆為瓦楞紙。一種為出苗時連同軟盤一起裝入的大紙箱，各軟盤間以隔板隔開，一箱可以裝載六盤苗盤，大紙箱尺寸為長 62 公分、寬 32 公分、高 75 公分。另外一種為將蔬菜苗自穴盤中取出並裝入的小紙箱，一只小紙箱同樣可以裝填六盤蔬菜苗，小紙箱尺寸為長 62 公分、寬 32 公分、高 15 公分。兩種不同的紙箱裝箱作業的時間並不相同，且紙箱的成本亦有所不同。小紙箱裝箱作業時間較長，但其價格較便宜。出苗以何種紙箱裝填端視運貨距離的遠近而定，較遠的

蔬菜田區建議採用大紙箱，保留軟盤以保持菜苗不易壓壞枯死。

出苗作業通常由四名員工執行，其中一名員工位於出貨區，以下稱之為員工甲。而其他三名員工位於欲出苗的植床邊，以下稱之為員工乙群。

首先，員工甲負責準備出苗所需的紙箱，將紙箱搬上子車，利用母車運送至溫室植床區（圖 1 之位置 2）。員工乙群在母車到達後，將紙箱搬下置於植床邊。若是紙箱的數目不足出貨所需時，則母車駛回出貨區，再度由員工甲裝載紙箱運送至溫室植床區。此時，員工乙群將植床上的蔬菜苗一一裝箱（圖 4 及圖 5），裝箱完成後等待子車、母車的到來，用子車將植床上已裝有菜苗的紙箱運至母車上，再駛回出貨區（圖 1 之位置 2）。



圖 5 員工進行小紙箱裝箱作業（苗由穴盤中取出）
Fig.5 Packing of seedlings out of trays into a small carton box



圖 4 員工進行大紙箱裝箱作業
Fig.4 Packing of trays into a large carton box



圖 6 員工將裝箱完成的紙箱由母車搬上貨車
Fig.6 Truck loading of carton boxes for shipment

置1)，由員工甲搬上貨車（圖6），如此一趟趟地循環，完成出苗作業。

三、研究方法

本研究利用電腦模擬的方法，以 AweSim! 模擬語言(AweSim, 1996)撰寫模擬程式，對於作業流程、動線規劃與人員、資源分配等問題進行改善，並對新方案作評估以找出最佳的作業方式作業，得到最好的工作效率。其中蔬菜育苗場各項搬運作業工時資料之配適，經由至工作現場量測工時數據後，再以ExpertFit軟體(ExpertFit, 1997)，找出最適合的函式，作為在模擬程式中以亂數產生各項作業工作時間的依據。

(一) 自動化育苗搬運作業電腦模式之建立

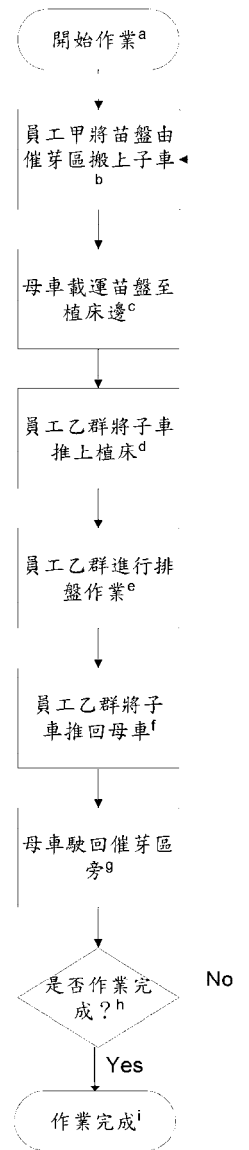
搬運作業可分為入苗作業及出苗作業。入苗與出苗作業雖然使用同樣的搬運機具，但這兩種作業相互獨立。因此，將此兩部分的模式分開建立如下：

1. 入苗作業

在模式中假設作業人數為四人，模式中對於系統的設定及假設，分述如下：

- (1) 入苗前置作業的時間（即母車與子車的歸位時間）不計入，即假設子車與母車開始工作時即已停放在催芽區旁。
- (2) 子車、母車的故障極少發生，因此在模式中，假設機器在作業時並無故障情況的發生。
- (3) 假設一名員工（以下稱為員工甲）固定位於催芽區，進行將苗盤搬運至子車上的工作。
- (4) 假設三名員工（以下稱為員工乙群）固定位於植床邊進行排盤作業。
- (5) 設溫室中每個植床可以放置的苗盤數定為180盤，而非實際的183盤。
- (6) 苗盤所欲放置的空植床是相連的。即員工將選擇可以容納入苗數的相連空植床放置苗盤。
- (7) 員工持續地執行作業，無中斷休息。

模式中員工之工作任務列於表1。入苗作業流程圖繪於圖7。



^a Start

^b Worker A moves seeded trays up to wheeled platform from germination area

^c Carrier moves seeded trays to greenhouse bench

^d Worker group B move wheeled platform on bench

^e Distribution of seeded trays on bench by worker group B

^f Worker group B move wheeled platform back to carrier

^g Carrier returns to germination area

^h Task done?

ⁱ Finish

圖7 入苗作業流程圖

Fig.7 Flow chart for input operations of seedlings into greenhouses

表 1 入苗作業員工工作任務

Table 1 Duties of workers for input operations of seedlings

員工編號 Worker No.	工作任務 Duties
員工甲 Worker A	1. 將催芽區的苗盤搬上子車。 Move seeded trays up to wheeled platform from germination area.
員工乙群 Worker Group B	1. 在母車到達植床時，將子車推上植床。 Move wheeled platform on greenhouse bench from carrier. 2. 負責排盤。 Tray distribution. 3. 將空子車推回母車。 Move empty wheeled platform back to carrier.

表 2 出苗作業員工工作任務

Table 2 Duties of workers for output operations of seedlings

員工編號 Worker No.	工作任務 Duties
員工甲 Worker A	1. 將空紙箱裝上母車。 Move empty boxes on to carrier. 2. 將裝箱完成的紙箱由母車搬上貨車。 Load packed boxes on truck from carrier.
員工乙群 Worker Group B	1. 將母車運來的空紙箱搬下，放置在植床邊。 Move empty boxes down from carrier at bench. 2. 執行裝箱作業。 Boxes packing. 3. 將裝箱完成的紙箱搬上子車，再推上母車。 Move packed boxes on wheeled platform and carrier.

2. 出苗作業

育苗場之出苗作業分為大紙箱出苗及小紙箱出苗兩種方式，這兩種出苗方式在員工的作業流程上是相同的，且皆是以四名員工同時進行出苗作業，因此以兩種紙箱進行出苗作業之模式中，系統的設定與假設是相同的，分述如下：

(1) 出苗作業由子車、母車位於催芽區旁開始。

(2) 子車、母車的故障不予考慮。

(3) 一名員工（以下稱為員工甲）固定位於催芽區，將裝箱完成的紙箱搬上貨車。

(4) 三名員工（以下稱為員工乙群）固定位於植床邊進行裝箱作業。

(5) 員工持續地執行作業，無中斷休息。

模式中員工之工作任務列於表2。出苗作業流程圖繪於圖8。

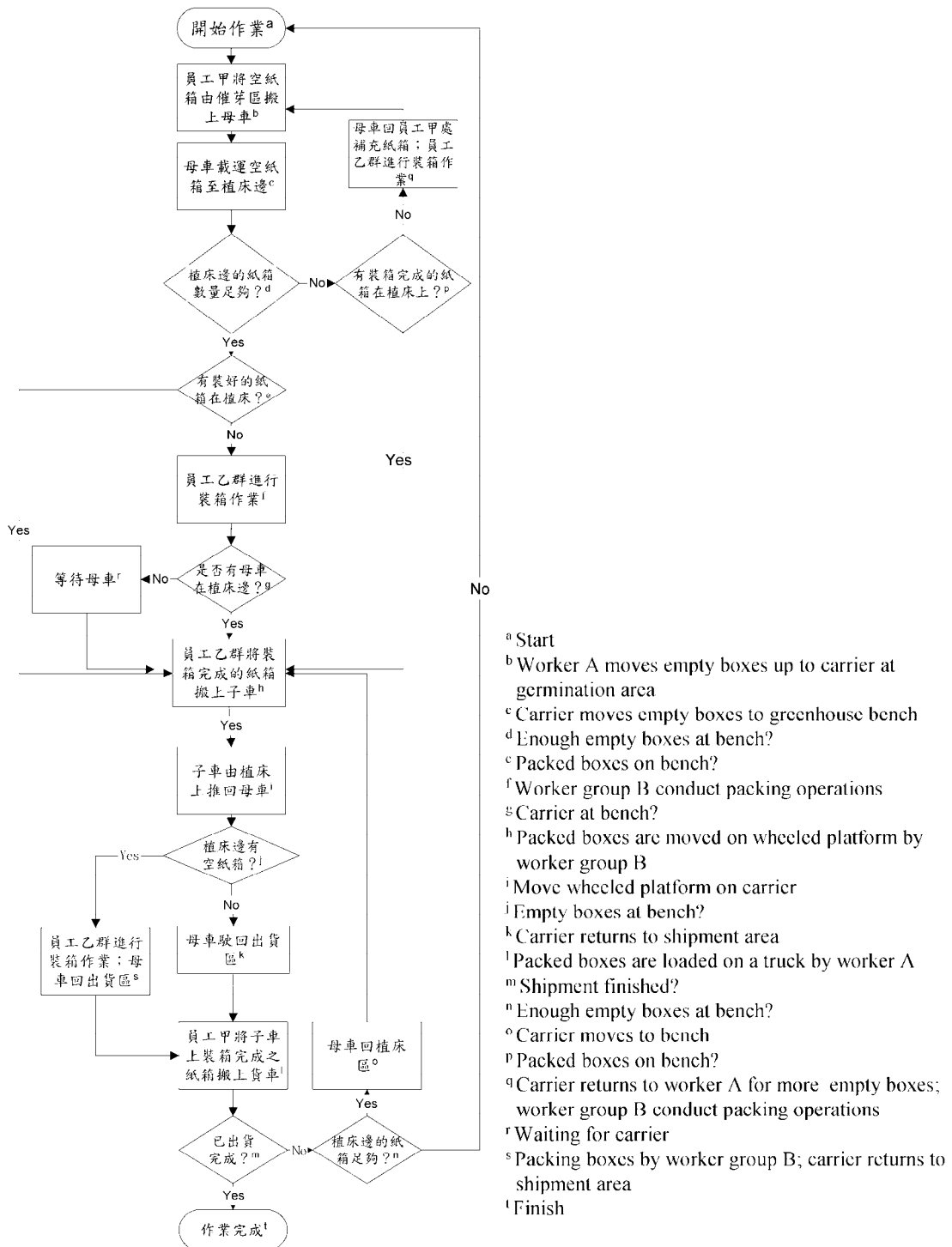


圖 8 出苗作業流程圖

Fig.8 Flow chart for output operations of seedlings out of greenhouses

(二)搬運作業出苗入苗工時資料之函式配適

本研究利用 ExpertFit 軟體，將現場作業各項工作之實際調查的工時資料，求算出最適合之時間分佈函式。尋求各項工作任務作業時間之分佈函式，以下就各個系統中的工時資料列表說明。

表 3 列出入苗作業各項工時資料之配適函數。表 3 之「將滿載的子車推上植床」及「將空子車推回母車」作業時間短暫，因此在模擬程式中將其作業時間視為定值。母車移動的時間，由於機器速度穩定，滿載時與空車時移動速度經量測差異甚小，因此視為定值。子車在植床上移動

的時間亦視為定值。

使用兩種紙箱出苗作業時間並不相同，分別將大紙箱及小紙箱之工時資料作說明。表 4 列出以大紙箱作出苗作業各項工時資料之配適函數。由於大紙箱出苗時紙箱大多回收使用，因此不需要再將大紙箱打開粘好。表 4 之「將空的大紙箱裝上母車」、「將母車運來的大空紙箱搬下」及「裝好的大紙箱放上子車」等三項作業，在模擬程式中將其作業時間視為定值，以其平均值代入。母車、子車移動速度與入苗作業一致，視為定值。

表 3 入苗作業工時資料表
Table 3 Work time data for seedling input operations

工作任務(員工編號) Duties (Worker No.)	作業單元 Unit	量測次數 Observations	Mean (sec)	Variance	Probability Function
將催芽區的苗盤搬上 子車(甲) ^a	10個苗盤 10 trays	50	14.19	4.31	Log-Logistic
將滿載的子車推上 植床(乙) ^b	子車 Wheeled Platform	3	13.11	—	Constant
排盤作業(乙) ^c	10個苗盤 10 trays	26	22.61	11.94	Inverted Weibull
將空子車推回母車(乙) ^d	子車 Wheeled Platform	2	7.06	—	Constant
母車由催芽區移動至 溫室 ^e	—	1	34.33	—	Constant
母車在溫室中移動 一個植床 ^f	—	1	12.08	—	Constant
子車移動一個植床 (空車) ^g	—	1	24.00	—	Constant
子車移動一個植床 (滿車) ^h	—	1	43.00	—	Constant

^a Move Seeded Trays on Wheeled Platform (Worker A)

^b Move Wheeled Platform with Full Load on Bench (Group B)

^c Tray Distribution (Group B)

^d Move Empty Wheeled Platform on Carrier (Group B)

^e Carrier Travels from Germination Area to Greenhouse

^f Carrier Travels One-Bench Distance

^g Wheeled Platform Travels One-Bench Distance (No Load)

^h Wheeled Platform Travels One-Bench Distance (Full Load)

表 4 大紙箱出苗作業工時資料表
Table 4 Work time data for seedling output operations (large boxes)

工作任務(員工編號) Duties (Worker No.)	作業單元 Unit	量測次數 Observations	Mean (sec)	Variance	Probability Function
將空的大紙箱裝上母車(甲) ^a	8個紙箱 8 boxes	4	76.40	—	Constant
裝箱完成的大紙箱由母車搬上 貨車(甲) ^b	1個紙箱 1 box	35	7.20	15.21	Weibull (E)
將母車運來的大空紙箱搬下(乙) ^c	8個紙箱 8 boxes	1	51.75	—	Constant
大紙箱裝箱作業(乙) ^d	1個紙箱 (6苗盤) 1 box (6 trays)	33	80.88	218.63	Normal
裝好的大紙箱放上子車(乙) ^e	1個紙箱 1 box	6	9.73	11.90	Constant

^a Move Empty Boxes on Carrier (Worker A)

^b Load Packed Boxes on Truck (Worker A)

^c Move Empty Boxes from Carrier (Group B)

^d Packing of Boxes (Group B)

^e Move Packed Boxes on Wheeled Platform (Group B)

表 5 小紙箱出苗作業工時資料表
Table 5 Work time data for seedling output operations (small boxes)

工作任務(員工編號) Duties (Worker No.)	作業單元 Unit	量測次數 Observations	Mean (sec)	Variance	Probability Function
將小紙箱打開(甲) ^a	1個紙箱 1 box	27	12.38	9.92	Weibull (E)
裝箱完成的紙箱由母車 搬上貨車(甲) ^b	1個紙箱 1 box	16	4.41	2.63	Gamma
將苗由軟盤中拔出裝入 小紙箱(乙) ^c	1個紙箱 (6苗盤) 1 box (6 trays)	30	182.20	3308.40	Gamma (E)
裝好的紙箱放上子車(乙) ^d	1個紙箱 1 box	—	5	—	Constant

^a Open Boxes (Worker A)

^b Load Packed Boxes on Truck (Worker A)

^c Packing of Seedlings out of Trays into Boxes (Group B)

^d Move Packed Boxes on Wheeled Platform (Group B)

表 5 列出以小紙箱作出苗作業各項工時資料之配適函數。表 5 中「將空的小紙箱裝上母車」及「將母車運來的空小紙箱搬下」等兩項作業，依現場之測試估計在模式中分別假設為 240 秒（100 箱）及 120 秒（100 箱）。此外，「裝好的紙箱放上子車」作業時間短暫，假設為定值 5 秒（1 箱）。

四、結果與分析

搬運系統之模擬程式中，各項作業之工時依據所配適的函數，取不同亂數種子代入執行。本文表 6 至表 14 中所述之各項模擬值皆為模擬程式執行十次所得之平均，並列出其標準差。搬運系統分為(一)入苗作業及(二)苗作業，分述如下。

(一)入苗作業

表6列出入苗作業之模擬值與實測值的驗證結果，由表中可知誤差在14%以內，模式的適切性尚可，因此依此模式進行分析。表7列出在第一棟溫室第一個植床以現行作業模式進行入苗作業，對不同作業量模擬之結果。模擬結果中的「誤差」、「員工甲利用率」、「員工乙群利用率」、「子車利用率」及「母車利用率」的分別定義於式(1)至式(5)。

$$\text{誤差} = (\text{模擬值} - \text{實測值}) / \text{實測值} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{員工甲利用率} = (\text{總作業時間} - \text{員工閒置時間}) / \text{總作業時間} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{員工乙群利用率} = [(\text{三名員工乙之作業時間和} \div \text{總作業時間}) / 3] \times 100\% \quad (3)$$

子車利用率

$$= (\text{總作業時間} - \text{子車在催芽區及植床邊閒置的時間}) / \text{總作業時間} \times 100\% \quad (4)$$

母車利用率(入苗)

$$= (\text{總作業時間} - \text{母車在催芽區閒置的時間}) / \text{作業總時間} \times 100\% \quad (5)$$

由表7可知員工的利用率皆不到43%，而搬運車的利用率皆為100%，因此可以推斷搬運車為入苗作業之瓶頸，針對此點提出兩個改善方案，改善方案中子車的利用率計算方式定義於式(6)。

第一改善方案：多增加一台子車，在前一批子車運來的苗盤尚未排盤完成時，可以另一台子車，再運送苗盤過來。且增加一次搬運的苗盤數為180盤，如此可減少母車來回的次數。

第二改善方案：增加搬運車之搬運量，即一次可以運送較多的苗盤。

表6 入苗作業模擬值與實測值之比較

Table 6 Comparison of simulated and measured total operation time for seedling input operations

作業溫室 Greenhouse	作業量(盤) Capacity (trays)	實測時間(分) Measured (min)	模擬時間(分) Simulated (min)	誤差(%) Error (%)
第十三棟 No. 13	130	11.5	13.3	14.0
第十九棟 No. 19	166	16.1	15.7	-2.8

表7 入苗作業現況模擬結果(第一棟溫室中作業)

Table 7 Simulation of current status for seedling input operation (greenhouse No. 1)

作業量 (盤) Capacity (trays)	作業時間(分) Total Operation Time (min)		員工利用率(%) Worker Utilization (%)		子車利用率 Wheeled Platform Utilization (%)	母車利用率 Carrier Utilization (%)
	模擬值 Simulation	標準差 Standard Deviation	員工甲 Worker A	員工乙群 Worker Group B		
500	27.0	0.89	42.9	38.6	100.0	100.0
1000	56.0	1.73	41.4	38.6	100.0	100.0
2000	114.6	2.41	41.4	36.7	100.0	100.0
4000	242.7	3.84	39.1	34.3	100.0	100.0

表 8 入苗作業第一改善方案模擬結果（第一棟溫室中作業）

Table 8 Simulation of the first improved proposal for seedling input operation (greenhouse No. 1)

作業量 (盤) Capacity (trays)	作業時間(分)		作業時間 縮短* (%)	員工利用率(%)		子車利用率 Wheeled Platform Utilization (%)	母車利用率 Carrier Utilization (%)
	Total Operation Time (min)			Worker Utilization (%)			
	模擬值	標準差		員工甲	員工乙群		
	Simulation	Standard Deviation		Worker A	Worker Group B		
500	19.0	0.86	29.6	62.2	48.9	78.8	94.8
1000	35.6	1.37	34.6	65.0	54.2	89.6	99.5
2000	74.7	2.37	35.6	63.1	52.0	94.5	100.0
4000	159.3	3.86	34.8	59.9	47.6	97.2	100.0

*Reduction in Operation Time: Comparison with the results in Table 7.

表 9 入苗作業第二改善方案模擬結果（第一棟溫室中作業；搬運車一次載 180 盤）

Table 9 Simulation of the second improved proposal for seedling input operation (greenhouse No.1, carrier load=180 trays)

作業量 (盤) Capacity (trays)	作業時間(分) Total Operation Time (min)		作業時間 縮短* (%)	員工利用率(%) Worker Utilization (%)		子車利用率 Wheeled Platform Utilization (%)	母車利用率 Carrier Utilization (%)
	模擬值 Simulation	標準差 Standard Deviation		員工甲 Worker A	員工乙群 Worker Group B		
500	22.5	1.01	18.8	43.8	40.1	100.0	94.9
1000	45.1	1.42	19.0	40.6	41.8	100.0	100.0
2000	94.0	1.97	17.3	38.9	41.2	100.0	100.0
4000	197.9	3.06	18.5	37.7	39.1	100.0	100.0

*Reduction in Operation Time: Comparison with the results in Table 7.

子車利用率

$$= \left[\sum_{i=1}^n (\text{作業總時間} - \text{子車 } i \text{ 在催芽區閒置時間}) / n \right] / \text{作業總時間} \times 100\% \quad (6)$$

第一改善方案在第一棟溫室進行入苗作業，模擬的結果列於表 8。由表 8 可以看出，改善方案的員工利用率提高，且與表 7 比較，作業時間縮短 29.6% 以上。此外，由模擬觀察可知，子車的使用率有下降的趨勢，但在作業量越高時，利用率仍越接近 100%。母車的使用率在任一作業量下都接近 100%，因此，推判搬運車的作業速度仍是入苗作業中的瓶頸所在。

第二改善方案分別假設搬運車一次可搬運 180 盤苗盤（一個植床的量）及 280 盤苗盤（目前載運量的兩倍）在第一棟溫室進行入苗作業等二個情況，模擬的結果列於表 9 及表 10。由表 9 及表 10 可以得知，搬運車的載運量越高，作業時間也明顯地縮短。當搬運車的載運量達到目前的兩倍時作業時間可以縮短 32% 以上。同時員工乙群的利用率也提升至 42% 以上，可見搬運車來回的次數越少，作業時間越短。同時由第一及第二改善方案模擬的結果比較可知若能提高搬運車的載運量至目前的兩倍以上，其作業節省的時間將較多增加一台子車為多，第二改善方案可以加

表 10 入苗作業第二改善方案模擬結果（第一棟溫室中作業；搬運車一次載 280 盤）

Table10 Simulation of the second improved proposal for seedling input operation (greenhouse No.1, carrier load=280 trays)

作業量 (盤) Capacity (trays)	作業時間(分)		作業時間 縮短* (%)	員工利用率(%)		子車利用率 Wheeled Platform Utilization (%)	母車利用率 Carrier Utilization (%)
	Total Operation Time (min)			Worker Utilization (%)			
	模擬值	標準差		員工甲	員工乙群		
	Simulation	Standard Deviation		Worker A	Worker Group B		
500	18.8	0.85	32.0	45.7	42.0	100.0	100.0
1000	35.0	1.25	37.2	38.0	47.7	100.0	100.0
2000	69.3	2.45	39.0	34.1	49.7	100.0	100.0
4000	141.2	2.73	41.9	34.3	47.9	100.0	100.0

*Reduction in Operation Time: Comparison with the results in Table 7.

表 11 大紙箱出苗作業模擬值與實測值之比較

Table11 Comparison of simulated and measured total operation time for seedling output operations (large box packing)

作業溫室 Greenhouse	作業量(盤) Capacity (trays)	實測時間(分) Measured (min)	模擬時間(分) Simulated (min)	誤差(%) Error (%)
第三、七及八棟 No. 3, 7, 8	720	119.0	111.5	-6.3
第十九棟 No. 19	96	37.3	33.0	-11.5

掛一個母車車廂或增大搬運車之載運量而達到。

(二) 出苗作業

以下分別就大紙箱及小紙箱的出苗作業模擬結果作分析。其中員工乙群的利用率是將三名員工的利用率加以平均所得之值。母車利用率定義於式(7)。

$$\text{母車利用率(出苗)} = (\text{總作業時間} - \text{母車在植床邊閒置的時間}) / \text{總作業時間} \times 100\% \quad (7)$$

表 11 列出大紙箱出苗作業之模擬值與實測值的驗證結果，誤差在 12% 以下，模式的適切性可以接受，因此以此模式進行大紙箱出苗作業的分析。表 12 列出大紙箱出苗作業之模擬結果。在第三棟以後之溫室進行大紙箱出苗作業，員工乙群的利用率皆低於 85%，母車的利用率皆接近

100%，可知母車移動至植床的時間過長，員工裝箱完成後必須等待母車的到來。針對此點提出第一改善方案。此外，若是改變溫室之配置，減短搬運車移動的距離應可縮短搬運車移動的時間，依此提出第二改善方案。

第一改善方案：增加母車移動的速度為原來之兩倍。

第二改善方案：重新配置溫室之排列方式，將原本的二十棟直線排列的溫室（圖 9a）改置為：1. 每十棟並排（圖 9b，甲式配置）；2. 以十棟為一組分置在播種作業室之兩側（圖 9c，乙式配置）。

大紙箱出苗第一改善方案列於表 13。可以發現員工乙群的利用率在第二十棟溫室作業時由 36.1% 提高至 59.6%。母車的利用率在第七棟溫室以後才達到 100%，員工乙群的利用率在第七棟

表 12 大紙箱出苗作業模擬結果（作業量為 240 盤）

Table12 Simulation of seedling output operations (large box packing, work load = 240 trays)

作業溫室 Greenhouse	作業時間(分) Total Operation Time (min)		員工利用率(%) Worker Utilization (%)		母車利用率 Carrier Utilization (%)
	模擬值 Simulation	標準差 Standard Deviation	員工甲 Worker A	員工乙群 Worker Group B	
第一棟 No. 1	30.2	0.51	37.1	87.2	91.8
第二棟 No. 2	30.9	1.08	35.5	85.0	97.4
第三棟 No. 3	33.0	0.98	33.5	79.5	100.0
第十棟 No. 10	47.8	0.98	22.9	55.1	100.0
第二十棟 No. 20	72.7	1.12	16.0	36.1	100.0

表 13 大紙箱出苗第一改善方案模擬結果（作業量為 240 盤）

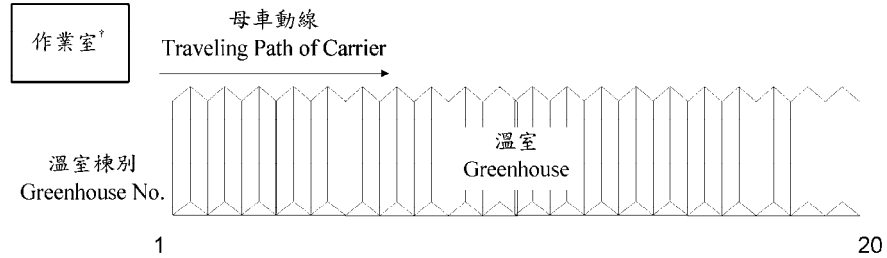
Table13 Simulation of the first improved proposal for seedling output operations (large box packing, work load = 240 trays)

作業溫室 Greenhouse	作業時間(分) Total Operation Time (min)			員工利用率(%) Worker Utilization (%)		母車利用率 Carrier Utilization (%)
	模擬值 Simulation	標準差 Standard Deviation	縮短時間* Reduction Time* (%)	員工 甲 Worker A	員工 乙群 Worker Group B	
第一棟 No. 1	30.2	0.99	2.1	42.4	85.8	85.0
第二棟 No. 2	30.6	0.74	4.7	42.3	84.7	89.6
第三棟 No. 3	30.7	0.79	4.6	41.8	84.0	90.9
第七棟 No. 7	31.0	1.53	22.0	33.1	81.9	100.0
第十棟 No. 10	35.8	1.08	22.9	30.2	70.1	100.0
第二十棟 No. 20	44.3	1.06	38.1	21.8	59.6	100.0

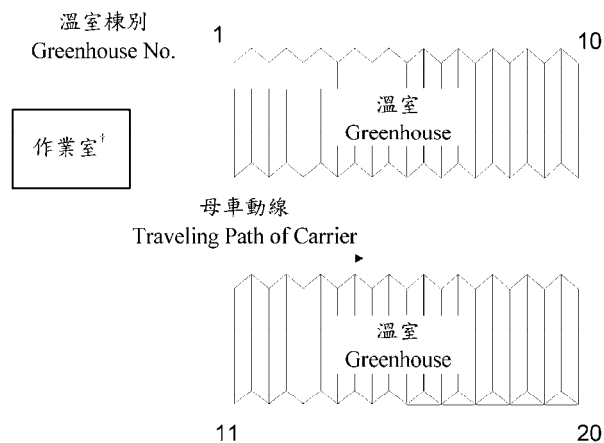
*Comparison with the results in Table 12

溫室之前都接近文獻上建議的負荷量 85% (洪, 1997), 可知在前六棟溫室中員工乙群與搬運系統的作業能力達到平衡。若是在技術上加快母車移動之速度不成問題, 此一方案是可行的。

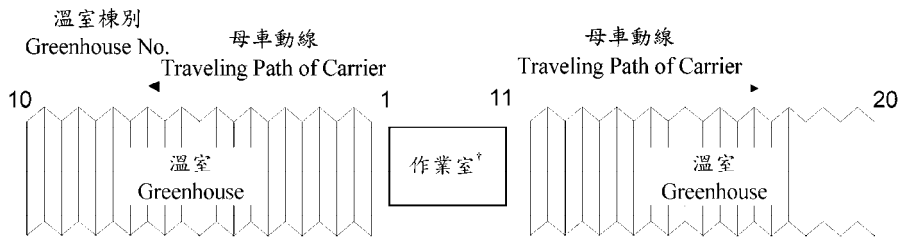
圖 9 繪出第二改善方案之示意圖。若溫室改採此二種方式配置, 並假設搬運車在重新配置的溫室中移動速度不變, 則可知在第一至第十棟溫室中進行大紙箱出苗作業, 作業時間與溫室重新



(a) 現況之溫室配置圖
(a) Current status of greenhouse layout



(b) 甲式溫室配置 (每十棟溫室並排)
(b) Proposal A-ten greenhouses in two parallel zones



(c) 乙式溫室配置 (播種作業室置於中央)
(c) Proposal B-equal amount of greenhouses are located at both ends of seeding house
†House for Seeding Operation

圖 9 溫室母車動線配置改善方案示意圖

Fig.9 Schematic diagrams of improvement proposals for traveling paths of the carrier

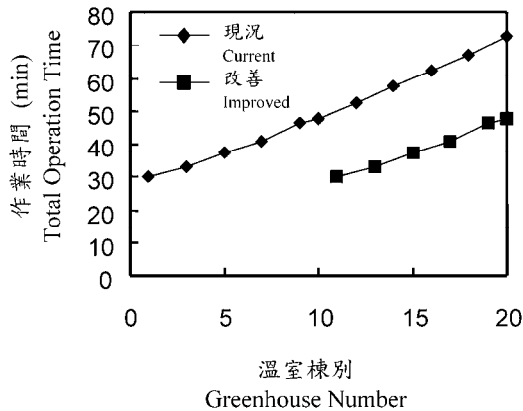


圖 10 改善溫室配置後之作業時間與作業溫室棟別關係圖（作業量為 240 盤）

Fig.10 Total operation time versus greenhouse number for current status and improved proposals (work load=240 trays)

配置前相同，而在第十一棟以後之溫室進行作業，作業時間將獲得改善，即在第十一棟溫室中作業之時間與現行配置方式的第一棟溫室中作業之時間相同；在第十二棟溫室中作業之時間與在現行配置方式的第二棟溫室中作業之時間相同，依此類推。第二改善方案與現況作業時間之比較見圖 10，改善後的作業時間最長只與現況下在第十棟溫室作業時的時間相等，可知以四名員工進行作業員工乙群的利用率至少可在 55% 以上，而作業時間則縮短 34%（表 12），因此建議新育苗場在進行動線規劃時宜考慮圖 9 中溫室配置之 (b) 或 (c) 兩種改善方式。

表 14 列出小紙箱出苗作業之模擬值與實測值的驗證結果。表 15 列出小紙箱出苗作業之模擬結果。以小紙箱出苗的結果可以看出，不論是

表 14 小紙箱出苗作業模擬值與實測值之比較

Table14 Comparison of simulated and measured total operation time for seedling output operations (small box packing)

作業溫室 Greenhouse	作業量(盤) Capacity (trays)	實測時間(分) Measured (min)	模擬時間(分) Simulated (min)	誤差(%) Error (%)
第九棟 No. 19	150	45.0	39.4	-12.5

表 15 小紙箱出苗作業模擬結果(作業量為 240 盤)

Table15 Simulation of seedling output operations (small box packing, work load = 240 trays)

作業溫室 Greenhouse	作業時間(分) Total Operation Time (min)		員工利用率(%) Worker Utilization (%)		母車利用率 Carrier Utilization (%)
	模擬值 Simulation	標準差 Standard Deviation	員工甲 Worker A	員工乙群 Worker Group B	
第一棟 No. 1	65.0	2.93	11.7	93.0	21.3
第二棟 No. 2	65.9	3.42	11.8	92.8	22.4
第三棟 No. 3	65.8	2.86	11.1	92.4	23.0
第十棟 No. 10	70.0	2.19	11.1	90.9	30.3
第二十棟 No. 20	72.8	3.65	10.9	88.5	40.4

那一個溫室出苗員工乙群的利用率都超過 85%，而母車的利用率皆不到 50%。同時，由任一溫室出苗的時間都相差不大，因此可以判斷員工乙群的工作量過高，是作業的瓶頸所在。建議場方在以小紙箱出苗時應增加員工乙群的人數，以縮短作業的時間。

此外，由表 14 及表 15 可知採用小紙箱和大紙箱出苗時的作業瓶頸並不相同。用大紙箱在距離出貨區較遠的溫室進行出苗作業時，作業時間因等待母車而延遲許久，使員工的利用率降低，造成浪費；而以小紙箱進行出苗作業時，作業時間則不會因出苗溫室的遠近而有太大的差異。因此，建議場方若在同一天內同時有小紙箱及大紙箱的出苗作業時，可將小紙箱出苗作業安排在距出貨區較遠的溫室進行，而大紙箱出苗作業安排在較近的溫室進行，以節省工時提高員工的利用率。

五、結 論

應用 AweSim 電腦模擬軟體所發展出的蔬菜育苗場搬運作業電腦模擬模式是一個有效的分析工具。可利用本模式做進一步分析搬運作業各參數對模式的影響，進行最佳化的分析，亦可作為育苗場人力調配及工作規劃之依據。

由於搬運車在溫室中來回移動的時間為現行入苗作業之瓶頸，因此針對搬運系統重新規劃，以增加搬運車之搬運量的改善方案將搬運量由 140 盤增加至 280 盤，預估作業時間將可縮短 30% 以上。

母車移動的時間為現行大紙箱出苗作業的瓶頸，若採用母車移動的速度增加為兩倍之改善方案，員工利用率可由 36% 提高至 60%，作業時間縮短了 38%。若調整溫室的排列方式，將母車動線流程重新規劃，讓原本的二十棟直線排列的溫室改置為以十棟為一組分置在播種作業室之兩側時，員工利用率可由原來之 36% 提高至 55% 以上，作業時間則縮短 34%。

若在一天內同時有大紙箱及小紙箱的出苗作業，建議場方安排小紙箱在距出貨區較遠的溫室

出苗，而大紙箱在較近的溫室出苗，以提高員工及搬運系統之利用率。

六、誌 謝

本研究期間承蒙宜蘭大學生物機電學系邱奕志教授提供寶貴意見，吳明同、向先行、陳洵毅、余政書、周奕宇等實驗室成員協助完成各項工時調查及分析，以及茂盛蔬菜自動化育苗場之協助，謹此致謝。

七、參考文獻

1. 邱奕志、馮丁樹。1998。台灣地區水稻育苗場搬運作業體系之分析。農業機械學刊 7 (1): 45-57。
2. 洪景鐘。1997。自動化蔬菜育苗作業之工程分析與模擬。碩士論文。台北：國立台灣大學農業機械工程學研究所。
3. 洪景鐘、陳世銘、周奕宇。2002。自動化育苗場播種作業之電腦模擬與工時分析。農業機械學刊 11(3)
4. 陳世銘。1999a。輪軌式台車搬運系統。種苗生產自動化技術專輯第 99004 號。台北：行政院農委會種苗生產自動化技術服務團。
5. 陳世銘。1999b。種苗自動搬運系統。種苗生產自動化技術專輯第 99005 號。台北：行政院農委會種苗生產自動化技術服務團。
6. 陳世銘、張金發。1996。台灣蔬菜育苗自動化之發展。出自“蔬菜自動化育苗技術研討會論文集”，陳世銘主編，63-69。台北：國立台灣大學農業機械工程學系。
7. 馮丁樹。1995。設施用簡易搬運機具。台北：財團法人農學機械化研究發展中心。
8. Abrams, C. F., Jr., L. H. Chen and E. G. Humphries. 1980. Simulation of bulk harvest and handling of sweet potatoes. Transactions of the ASAE. 23(3): 535-540.
9. AweSim User's Guide. 1996. Ver1.4, Indianapolis, IN: Pritsker Corp.

10. Buchlin, R., O. J. Loewer, T. Breeden, T. Bridges and G. Benock. 1989. Simulation of the materials handling system in a seed bagging and processing plant. *Applied Engineering in Agriculture*. 32(3): 419-424.
11. Chen, L. H., D. H. Willits and R. S. Sowell. 1978. Computer simulation of nursery potting operations. *Transactions of the ASAE*. 21(3): 427-430.
12. Chen, L. H., R. S. Sowell and J. W. Jones. 1979. Event scheduling and process interaction concepts in discrete simulation modeling. *Transactions of the ASAE* 22 (4): 857-860.
13. Chiu, Y. C., D. S. Fon, and L. H. Chen. 1998. A simulation model of a seeding system for rice nursery. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 69: 239-248.
14. Chiu, Y. C., D. S. Fon, and L. H. Chen. 2000. Simulation of conveyor operations using gantry system. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 75: 417-428.
15. ExperFit User's Guide. 1997. Tucson, Arizona: Averill M. Law & Associates.
16. Fang, W. and K. C. Ting, G. A. Giacomelli. 1990. Animated simulation of greenhouse internal transport using SIMAN/CINEMA. *Transactions of the ASAE*. 33 (1): 336-340.
17. Pritsker, B. Alan and C. D. Pegden. 1979. *Introduction to simulation and SLAM*. 4th ed. Systems Publishing Corporation, West Lafayette, IN.
18. Robert, S. Sowell, T. L. and D. A. Link. 1971. Simulation of expected crop returns. *Transactions of the ASAE*. 14 (2): 383-386.
19. Ross, D. S., R. A. Aldrich, S. P. E. Persson and J. W. Mastalerz. 1975. Simulation of bedding plant production. *Transactions of the ASAE*. 18 (1): 152-155.
20. Starbird, S. A. and M. Ghiassi. 1986. Simulation modeling of a multi product tomato processing plant. *Transactions of the ASAE*. 29 (1): 324-330.
21. Syed, A. S., M. R. Okos and G. V. Reklaitis. 1985. A SLAM based computer simulation model of a meat processing plant. *Transactions of the ASAE*. 28 (5): 1698-1703.

