

以系統動態模擬結合多目標權重法建構橋樑支撐先進工法供應

鏈模式最佳化之研究

A Study using Dynamic Simulation and Multi-object in Moving Scaffolding System Supply Chain Model Optimization

潘乃欣¹ 彭傑源²

摘要

本研究以『SIMPROCESS』作為輔助建模之工具進行供應鏈作業模式之評估及探討高鐵 C291 標上部結構原料供應商從鋼筋 (Steel)、鋼腱 (Steel tendon)、及混凝土 (Concrete) 之間的供需採購行為，此外，蒐集現行供應鏈不良的因子，探討供應鏈作業上之問題點，並提供動態模擬的方式呈現整個模型採購流程與供需行為，再以多目標權重法之方式，利用此軟體所內建之最適化機制，搜尋最佳的專案物料採購計畫，解決企業於複雜供應鏈體系下所面臨的難題。

關鍵字：支撐先進工法、動態模擬、供應鏈

Abstract

The research use the dynamic simulation soft program of “SIMPROCESS” try to assisting establish a hierarchical model. Discuss the supply-demand buying behaviors of upper structure suppliers of Taiwan high speed rail C291 stake from Steel、Steel tendon、and concrete. We collect every factors and reasons about damaging the Supply Chain and offer appearing procedure in whole model in way of dynamic simulation. Multi-object weight laws search the solution of optimization and Search the best special project purchase plan.

Based on research, we can provide the solutions for any business and enterprise need to do construction project when they facing the complex Supply Chain problems.

Keywords : Movable Scaffolding System、Dynamic Simulation、Supply Chain

¹國立雲林科技大學營建工程所副教授

²國立雲林科技大學營建工程所研究生

1. 緒論

台灣高速鐵路工程，政府以BOT之方式發包，並由台灣高鐵公司取得35年之興建及經營權。高鐵公司計畫完成全長約326公里之土建工程，為了達成這個目標，除了採用包含細部設計及施工之發包策略外。由於將來高鐵營運安全之特殊需求，故結構型態多採用高架橋設計，合計全長為242公里，高架橋部份約佔總長度73%。為縮短施工時間，因此必須採用施工速率較快、且易於掌握工程品質的工法，因此全跨徑預鑄吊裝工法（Pre-cast and Lanching Full Span Method，簡稱為PLSM工法），及支撐先進工法（Movable Scaffolding System 簡稱MSS工法）。成為高鐵為達成如期完工之選擇。（2004 藍啟榮）

1.1 研究背景與動機

支撐先進工法係為高度機械化之橋梁施工法，因此與傳統之橋梁施工法比較有以下之特點。

- 1.不需架設地面支撐，適合大部份地形，跨越鐵、公路或河川、深谷時若跨在合乎經濟條件之下，均可採用。
- 2.機械化、自動化施工，工人熟練度高，工程進度與品質容易控制。

有鑑於此本研究利用供應鏈模式於SIMPROCESS中建構一MSS施工階段之供應鏈模型，以專案部門的角度分析及探討MSS工法之施工流程及流程上可能發生之瓶頸。

1.2 研究目的

本研究將以實際案例說明支撐先進工法執行下之供應鏈模式，以動態模擬工具『SIMPROCESS』來做整個流程的完整了解，最後透過軟體內鍵之最佳化機制結合模糊理論，搜尋出最佳之採購點以及採購數量。而本研究之主要目的歸納如下：

- 1.以電腦模擬軟體『SIMPROCESS』建構MSS工法之施工供應鏈流程模型，並以實際案例為例，分析其流程可能之瓶頸。
- 2.以多目標決策規劃，透過軟體內鍵的禁忌搜尋結合類神經網路之混合演算搜尋機制進行最佳化，以庫存量最低以及施工現場等待時間最小為目標，搜尋出最佳之專案採購計畫。

1.3 研究對象及範圍限制

本研究將以工程中之施工階段流程的供應鏈模式來做分析，最後得出較佳之供應鏈模式。依據上述之說明而建構出的方法論，歸納後有下列之限制：

- 1.本研究所建立的供應鏈模型主要是針對營造廠之供需行為進行探討，以營造廠為中心之第一階段之供應商與顧客，對於原物料供應商的原料採購不在本研究中進行探討。
- 2.由於支撐先進工程整體需要配合施工介面繁多，且搭配的協力廠商相對也較多。因此在建立供應鏈模型針對物料供應商與專業分包商各單一供應商進行探討。

2. 支撐先進工法供應鏈模式建立

本章節將針對高鐵 C-291 標支撐先進工法施作流程之供應鏈做說明，並針對論文當中所使用之工具『SIMPROCESS』兩種軟體的使用與國內外實際案例做一說明，建立供應鏈模型以強化其本研究之結果可信度。

2.1 支撐先進工法介紹

支撐先進工法係將模板組立於活動支撐鋼架上，並借由固定於橋墩之托架支撐，待整跨橋樑之上部結構完成澆鑄、施完預力後，將活動支撐架及模板向前移

至下一跨徑並定位，再構築該跨徑之上部結構，如此重覆向前推移、逐跨構築，直至整座橋完成。本工法依據活動支撐架之形式的不同，可分為懸吊模工法及支撐模工法。本研究案例高鐵工程C-291標均採用支撐模工法施工如下說明。

- 1.架設第一、二跨之支撐塔，並裝設支撐主架。
- 2.組立並調整外模板。
- 3.配置底版鋼筋、腹版鋼筋及鋼腱。
- 4.安裝內模、配置頂版鋼筋。
- 5.澆置箱形樑混凝土至下一跨施工縫、養護至足夠強度後施預力。
- 6.移動工作車至下一跨

2.2 供應鏈範圍的確認

1.產品的選擇

使用物料以鋼筋、預力鋼腱及混凝土為主要生產原料，因此在原料採購模式中，本研究將針對這三種原料的供應情形進行探討，圖1為供應鏈模型，圖2為現場施做流程說明。

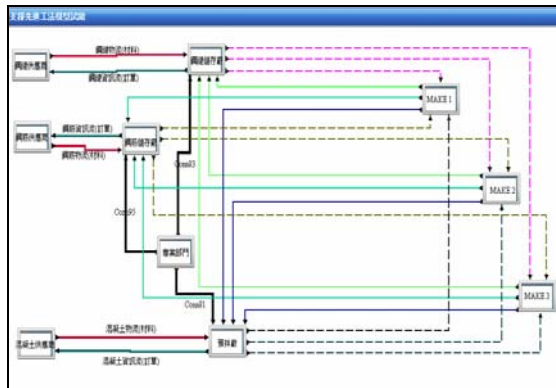


圖 1 供應鏈模式架構圖

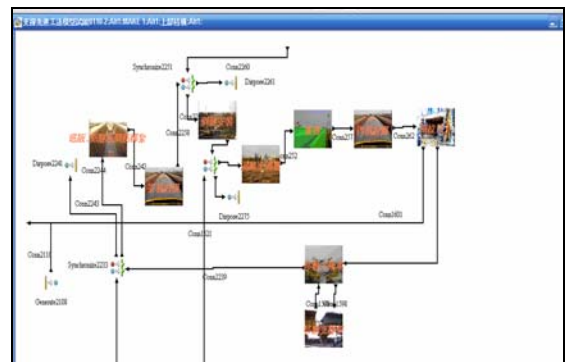


圖 2 現場施做流程架構圖

上圖中供應鏈有著資訊流及物流的傳遞，顧客端（現場作業）對物料之需求先透過工作車（分配者）拉料，若此階層庫存不能滿足，或是因為給予物料後已將降低至訂購點導致缺貨，此時材料儲存廠則需要向供應商進行訂貨；不考慮其他單價或是隨叫隨到之材料。

依據實際訪談得知，工作車每日依進度生產箱型樑，其所使用之原料數量龐大，且材料儲存廠設有每日安全庫存量，導致在儲存廠內常堆積著大量的生產原料，所謂

的安全存量 (Safety Stock) 是預期需求下額外的存貨，用來緩衝在真實環境中可能的隨機變化，防止缺貨發生。因此，安全存量會影響到缺貨成本的減少與持有成本的增加，影響安全存量的原因有前置時間及 (或) 需求的變動性和不確定性、訂貨的頻率、期望的服務水準、持有成本及缺貨成本的高低及預測或控制前置時間的能力。缺貨可能產生補貨 (Backorder)、損失銷售 (Lost Sale) 或部分補貨 (Partial Backorder) 之結果。

3. 輸出結果分析與驗證

本章節將針對模型進行模擬，並將得到之結果進行兩個項目驗證，以驗證模型的建構的邏輯性與各作業的供應關係與實際結果的供應關係是否合理，以證明本研究所建構的模型效用。

3.1 模擬結果分析

模擬過程以橋梁長度依據生產日報表需求產生 30 米的橋梁，並以 45 跨為終止條件。模擬過程中採及時顯示的情形，並且將總施工天數記錄下來。原始模擬依據實際訪談而得之採購情況進行，即專案部門每 14 天針對鋼鍵、鋼筋及混凝土下一次訂單，其每次訂單所要求的資源量，以最低庫存量兩跨為基準，分別為鋼鍵 54t、鋼筋 396t、混凝土 1648.2m³，經由模擬後所得之結果如下表 1 所示。

表 1 模擬結果

名稱	單位	平均施做天數	最少施作天數	最多施做天數
第一工作車	跨	14.41	14.2	15.77
第二工作車	跨	14.38	14.0	16.04
第三工作車	跨	14.32	13.8	15.73
平均物料庫存		2.5523(跨/工作車)		
平均最大等候時間		1.888059 小時		
完成日期		2003/8/7		

3.2 模型單位一致性測試

主要是在檢查模型內所設之變數其使用之單位是否具有的一致性；這是一項簡單且有效的測試方法，針對各個變數逐一檢查；通常在模型剛建立完成時，透過測試方式容易找出變數設計錯誤或輸入錯誤的地方，如資源使用上的單位一致。

1. 鋼筋、預力鋼鍵使用以噸為單位。
2. 混凝土則以立方米為單位。

以逐一檢查之方式，改正模型所使用的單位，並反覆檢查的直到所使用的各種材料單位均統一，若在單位不一致情形下，模型則會產生無法辨識之狀態，在驗證過程中並無此情形發生。

3.3 行為重現測試

主要是檢查模型所得到的產生行為是否可以重現於真實系統中，而且模擬結果也能於現實生活中得到驗證；本研究以工作車的生產情形進行模擬，在訪談現場施工人員與對照工程進度報表資料後，得知高鐵 C-291 標的上構生產情形以及工作車實際施做情形。

首先驗證工作車 1 場鑄箱型梁生產作業模型（圖 3）。

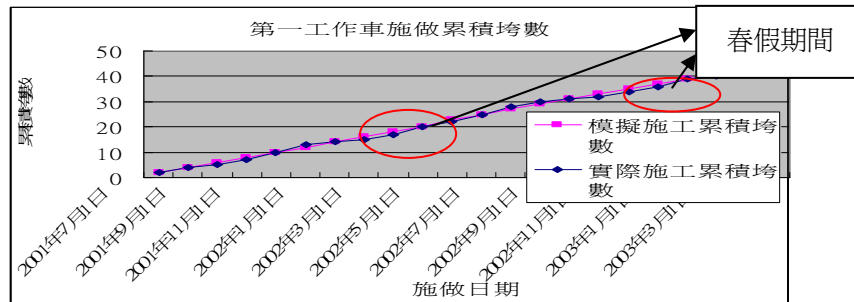


圖 3 每年施工跨數分析

根據上圖分析得知在第一工作車模擬時間實際工作車施做的時間的差異不大，主要是在春假期間模擬施做跨數約較實際施工跨數大於 1-2 跨此為模擬結果中未對於過春節（中國農曆年）作一限制，原因模型假設工作車均為制式的方式生產，因而使實際與結果所產生之差異。

另外在第二及第三工作車研究成果與第一工作車模樣之結果大致相同，在此不再予以贅述。

3.4 結構驗證

本研究現行方案模擬模式部分是與高鐵 C-291 標資深工程師、現場施工人員進行溝通討論，模式中包含鋼筋採購回饋圖、鋼腱採購回饋圖、混凝土採購回饋圖、箱型梁生產回饋圖等，其步驟如下：

1. 根據實際 C-291 標中得知混凝土、鋼腱、鋼筋實際用量、採購情形、庫存量繪製環路圖，並檢查整體模型是否呈現收斂之狀態。於每一模型中所形成的回饋環路皆為負性回饋環路，所以可由此得知本模型的架構是呈現收斂的狀態，圖 3.3 所示。
2. 上部結構施作方式則依據現場施工人員提供工作車施作流程繪製回饋圖，並請資深工程師與高層管理者作模型與實際施工做一比對確認模型給予採納。
3. 本項測試結果中可以發現，本研究所建構之模型與實際之供應情形相近，並運用近似實際作業時的情形，如組立、同步等作業元件代表。最後與專案經理以及現場工程師（經驗 5-10 年）訪談及材料供應商主管對於所建構之模型做些許修正。因此結構驗證方面是與現場施工流程相符，可通過此項驗證。

4. 最適化分析

上述專案模擬結果雖然施工現場因物料未達而造成之等候時間為 0，可在約定之

工期內完成專案，但透過模擬中的即時瓶頸變色顯示物料資源囤積明顯偏高，將造成過多之資源閒置成本；因此本研究希望透過軟體內建的最適化機制，以物料庫存量最低以及現場等候時間最小為目標，搜尋出最佳的專案物料採購計畫。本章探討如何運用多目標權重法來修正因系統複雜及不確定性所造成的缺失，並與做一比較與分析。

4.1 系統目標式

系統目標為庫存物料量最低以及現場等候物料時間最小兩相衝突之目標，庫存物料為混凝土、鋼筋、鋼鍵三個儲存場的平均庫存量，現場等候物料時間為施拉預力結束後向儲存場取料直到物料抵達現場的時間。

4.1.1 多目標權重法之系統目標式

多目標權重法假設每增加一單位物料庫存，則增加五倍的現場等候時間，即物料庫存權重為 1，現場等候時間權重為 5，相加取其最小。使用多目標權重法之目標式如下所示：

$$\text{MIN Model.ProductInventory}+(5*\text{Model.OrderTime})$$

Model.ProductInventory=混凝土、鋼筋、鋼鍵三物料之平均庫存量(單位：跨／一台工作車)，Model.OrderTime=三台工作車現場等候混凝土、鋼筋、鋼鍵三物料之最大等候時間的平均值(單位：小時)。

4.2 終止條件

設定停止條件為利用執行次數或是以收斂情形作為停止之條件，本研究所設定是以收斂情形作為停止之條件，本研究所設定是以收斂的精確度再加上所執行的次數為終止條件。Maxium Iterations 為 200 次，Auto Stop 設定值為當精準度為 0.0001 則停止搜尋，而每次重複模擬次數設定為三次。另外系統決策變數之設定及變動量如表 2 所示。

表 2 系統決策變數設定

訂購點名稱	說明	單位	初始值	下限	上限	變動量
FinSteelOrderPt	鋼筋安全庫存量	t/個	396	66	396	66
FinrollsteelOrderPt	鋼鍵安全庫存量	t/個	54	9	54	9
FinConOrderPt	混凝土安全庫存量	m ³ /個	1648	275	1648	275
ConOrderSize	混凝土採購數量	m ³ /個	1648	275	2472	138
SteelOrderSize	鋼筋採購數量	t/個	396	66	594	33
RollsteelOrderSize	鋼鍵採購數量	t/個	54	9	81	5
POC	混凝土採購時間點	day	14	5	31	2
POS	鋼筋採購時間點	day	14	5	31	2
POR	鋼鍵採購時間點	day	14	5	31	2

4.3 最佳化執行結果

以軟體內建之最佳化機制(QptQuest)進行搜尋，搜尋過程中介面會顯示目前所求

得最佳世代數、最適值、參數組合、限制式等，並搭配圖示顯示求解收斂情形，多目標權重法之最佳化執行結果分別如下：

4.3.1 多目標權重法最佳化執行結果

多目標權重法執行介面如圖 4.3 所示，其中包含的資訊有，最佳化抬頭設定 (Optimization Settings)、最佳化目標設定 (Objective)、目標值設定 (Objective Value)、最大搜尋停止世代 (Maximum Iterations)、最佳解世代 (Best Iteration)、最佳解的目標值 (Best Objective Value)，以及各決策變數最佳組合等結果，整理於表 3。

表 3 多目標權重法最佳化設定與結果

Optimization Settings		OrderSize&Pt	
Objective		Minimize	
Objective Value		InventoryPlusOrderTime:Value	
Maximum Iterations		200	
Best Iteration		70	
Best Objective Value		10.51694	
Decision Variables			
名稱	初始值	最適解值	差距
FinSteelOrderPt	396	132	-264
FinrollsteelOrderPt	54	18	-36
FinConOrderPt	1648	550	-1098
ConOrderSize	1648	1241	-407
SteelOrderSize	396	132	-264
RollsteelOrderSize	54	24	-30
POC	14	9	-5
POS	14	9	-5
POR	14	9	-5

4.4 原始結果與最佳化結果比較與分析

將最佳化搜尋機制所產生新的可行解帶入系統中進行 30 次模擬，其結果分別如下：

4.4.1 套用多目標權重法最佳化執行結果

多目標權重法最佳化搜尋結果顯示專案部門下訂單的次數應更加頻繁，如此一次之採購量可減少，相對的庫存量亦可降低，對施工現場等待物料的時間也不會造成影響。結果建議三種物料皆 9 天採購一次，每次採購之數量為混凝土 1241m³、鋼筋 132t、鋼鍵 24t，物料之庫存下限為混凝土 550m³、鋼筋 132t、鋼鍵 18t，將其帶入系統模擬之結果如表 5 所示：

表 5 套用多目標權重法最適解模擬結果

名稱	單位	平均施做天數	最少施作天數	最多施做天數
第一工作車	跨	14.29	14.2	15.76
第二工作車	跨	14.09	14.0	15.59
第三工作車	跨	14.42	13.8	15.84
平均物料庫存			1.077045(跨/工作車)	
平均最大等候時間			1.887979 小時	
總完成日期			2003/8/11	

模擬結果可看出在現場等候時間沒有增加的情況下，平均物料庫存明顯降低，但總完成日期與原始方案相比延遲了 3 天。

4.4.2 結果比較與分析

利用統計軟體「Minitab」來分析此兩種系統模式之關連性、並選出較佳之方案。分析結果如下圖 4 所示：

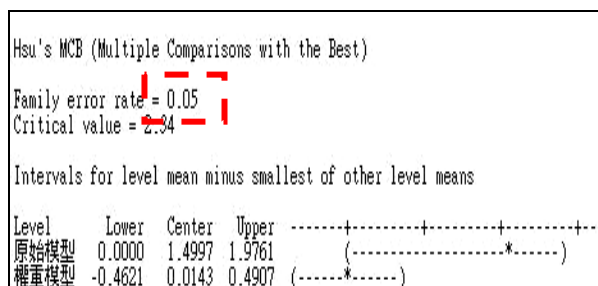


圖 4. 兩種方案之 MCB 分析

由上表分析結果得知，在此兩個方案分析之的錯誤率為 0.05，且模型套用多目標權重法最佳化後所得的平均庫存優於原始模型。

5. 結論與建議

本研究主要是針對支撐先進工法從上構箱型梁的生產加工到提供工作車等一系列供應鏈行為進行探討，在實際訪談與整理相關文獻探討之後，以系統模擬的工具來建構整體的施工模型，並由實際案例進行模擬後得到以下數點結論：

1. 本研究利用動態模擬工具去建立一支撐先進工法的動態模型，模擬整個工程的工作車生至箱型梁加工完成等一系列行為證明本研究所建立的系統模型是可正確反應出現實系統。
2. 經由統計軟體Minitab分析後指出，套用多目標權重法最佳化執行結果之模型，其平均庫存量均能有效降低，因此確實為較佳之方案。
3. 本研究所建構之模型以動態顯示方式呈現供應鏈的供應方式，並提供一電腦輔助工具。在條件相同的環境下，使用者只需修改必要的參數值便可進行模擬，另一方面更可以設定目標參數值藉由最佳化找出最適的目標值，可以達到快速求解的目標。

參考文獻

1. 陳奎言，(2005)，「以動態模擬建構全跨預鑄工法供應鏈模型之資源組合研究-以高鐵 C-260 標橋樑結構為例」，國立雲林科技大學營建工程研究所，碩士論文。
2. AbouRizk, S., and Shi, J. , (1994), “Automated construction-simulation optimization.J. Constr. Engrg. and Mgmt.,” *ASCE*, vol.120 No. 2 , pp.374-385 .
3. Bruzzone, A., and Signorile, R., (2000) , “Simulation and genetic algorithms for ship planning and shipyard layout.,” *Simulation*, Vol.171 , No.2 ,pp. 74-83 .