

國立交通大學

工業工程與管理學系

碩士論文

應用 TOC Demand-pull 庫存管理在啤酒遊戲
之研究

Application of TOC Demand-pull inventory management study in the
beer game

研究生：梁佑任

指導教授：李榮貴 博士

彭德保 博士

中華民國九十九年六月

應用 TOC Demand-pull 庫存管理在啤酒遊戲 之研究

Application of TOC Demand-pull inventory management study in the
beer game

研究生：梁佑任

Student：You-Ren Liang

指導教授：李榮貴 博士

Advisor：Dr. Rong-Kwei Li

彭德保 博士

Dr. Der-Baau Perng

國立交通大學

工業工程與管理學系碩士班

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Industrial Engineering and Management

College of Management

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science

In

Industrial Engineering

June 2010

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年六月

應用 TOC Demand-pull 庫存管理在啤酒遊戲之研究

研究生：梁佑任

指導教授：李榮貴博士

彭德保博士

國立交通大學工業工程與管理學系碩士班

中文摘要

長鞭效應一直是供應鏈管理重要的議題，過去有許多研究探討長鞭效應的相關議題，其中1960年代MIT Sloan管理學院發展的啤酒遊戲即是用來驗證此效應存在的例子。然而傳統MIT啤酒遊戲僅能看到問題，卻無法提出解決方案，因此本研究試圖驗證在MIT啤酒遊戲情境下應用TOC的Demand-pull庫存機制可有不錯績效，藉此提供一個不錯的庫存方法來解決此效應所產生的問題。另外長鞭效應形成，除了Lee提出的四個成因外，Goldratt博士認為另一個重要主因為「調整目標庫存水位後，並沒有等增加的貨進來後再做檢視」，本研究透過模擬來進行驗證此論點是否成立。最後針對MIT啤酒遊戲中不合理地方做延伸探討與分析。

【關鍵詞】：啤酒遊戲、長鞭效應、限制理論、拉式補貨

Application of Demand-pull inventory management study in the beer game

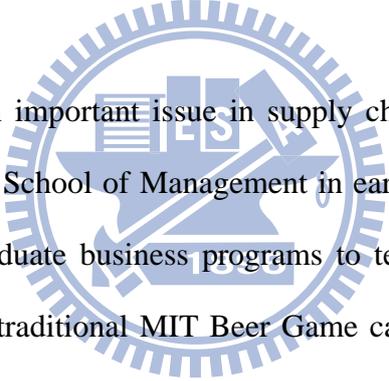
Student: You-Ren Liang

Advisor: Dr. Rong-Kwei Li

Dr. Der-Baau Perng

Department of Industrial Engineering and Management College of Management
National Chiao Tung University

Abstract



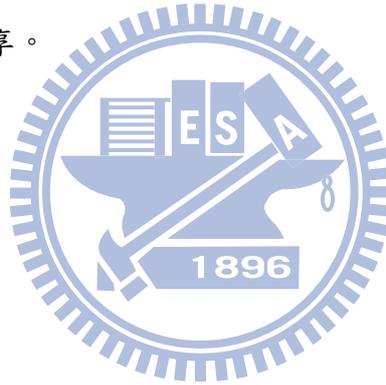
Bullwhip effect has been an important issue in supply chain management. The beer game, developed at the MIT Sloan School of Management in early 1960s, is a classic supply chain problem widely used in graduate business programs to teach the concepts of supply chain management. However, the traditional MIT Beer Game can barely emerge the problem, but not proposing a solution. This study attempts to provide a good way to solve inventory problems arising from the bullwhip effect by verifying the application of Demand-pull mechanism can have better inventory performance in the MIT Beer Game. On the other hand, in addition to the four causes coming up with Lee, Dr. Goldratt thinks another major reason for the bullwhip effect is due to “After the adjusting of inventory target level, managers revise the level again without waiting for the increase quantities come in later.” This study used the simulation program to verify this argument is substantiated. Eventually, this study do further research and extension analysis against the unreasonable of MIT Beer Game.

【Key words】 Beer Game, Bullwhip Effect, Theory of Constraints, Demand-pull

誌謝

終於邁向畢業，歷經兩年的交大洗禮，學習到很多東西。首先要感謝指導教授—李榮貴老師在這兩年對我的教導，若不是老師不厭其煩的教導著，也不會今天的我，每次與老師 meeting 以及當老師助教時所得到的東西，對我本身而言，不管是現在或者未來出社會我相信有無窮的幫助，也讓我體驗不同以往的思考邏輯。另外也非常感謝蔡志宏老師與張盛鴻老師對於論文的指導，使得論文的錯誤之處降低許多。

在交大的兩年裡，同窗的弘易、彥叡、詩淵、詩婷、淳民、杰運、政宏、政峰、宏彬以及育昇，無論在課業上、生活上的互相扶持，如今可以順利畢業，真的要好好感謝大家。最後，要感謝我的家人，沒有他們支持與付出，不會現在的我，我要將這份碩士學位的榮耀與你們一同分享。



梁佑任 于交大 MB007
中華民國九十九年七月五日

目錄

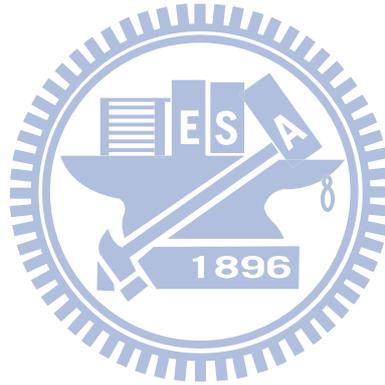
中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
圖目錄	v
表目錄	vi
第一章 研究動機與目的	1
第二章 文獻探討	3
2.1 長鞭效應改善文獻	3
2.2 Demand-pull 庫存管理方法	5
第三章 研究方法與模擬數據分析	10
3.1 原始啤酒遊戲(Beer Game)環境說明	10
3.1.1 期初情境	10
3.1.2 評估指標	11
3.2 Demand-pull 在啤酒遊戲(Beer Game)執行步驟	11
3.3 模擬數據分析	13
3.3.1 情境探討	13
3.3.2 模擬數據分析	14
3.3.3 MIT 啤酒遊戲結構探討	16
3.4 模擬數據分析總結	17
第四章 結論與後續研究	19
參考文獻	20

圖目錄

圖 1 MIT 啤酒遊戲結構圖	1
圖 2 供應鏈需求扭曲惡性循環圖	4
圖 3 供應源頭預測變異較小	6
圖 4 拉式補貨模式示意圖	8
圖 5 各緩衝區示意圖	9
圖 6 緩衝管理執行情序	9
圖 7 MIT 啤酒遊戲(Beer Game)配置圖[18]	10
圖 9 零售商緩衝存量示意圖(1)	12
圖 10 零售商緩衝存量示意圖(2)	12
圖 11 批發商緩衝存量變化圖	12
圖 12 本研究模擬介面	14
圖 13 原始存/缺貨狀況[10]	14
圖 14 模擬存/缺貨狀況	15
圖 15 修改後供應鏈結構	17
圖 16 零售商存貨狀況比較	18

表目錄

表 1 供應鏈模擬議題文獻[3]	4
表 2 補貨前置時間定義	7
表 3 兩種補貨方式差異表	13
表 4 原始模擬成本表	15
表 5 修正後模擬成本表	15
表 6 原始供應鏈需求變化	16
表 7 修正後供應鏈需求變化	16
表 8 結構改變成本表	17



第一章 研究動機與目的

傳統供應鏈的運作模式，是由最末端的零售商以預測方式下訂單，配銷中心再將訂單彙整變成工廠的訂單。工廠依訂單生產後再送至配銷中心，再轉配送至零售商。此運作模式稱為「推式(Push)生產」。一般來說預測通常不準確，而且供應商不可靠以及補貨時間長等等因素導致需求波動的現象，此現象隨著供應鏈系統逆推，需求扭曲程度越來越大，最後形成所謂的「長鞭效應」[18]。而啤酒遊戲就是用來驗證此效應存在的例子[26]。

啤酒遊戲是 1960 年代 MIT 的 Sloan 管理學院所發展出來的一種類似「大富翁」的策略遊戲。所有參與的成員只需做一個決策一下訂單。啤酒遊戲目的使參與成員暫時置身在一種普遍存在的組織。這個遊戲是一個單一產品的生產與配銷系統。參與遊戲成員各自扮演不同的角色：零售商 (Retailer)、批發商(Wholesaler)、配銷商(Distributor)、工廠(Factory)，如圖 1 所示。參與成員每周的決策就是根據下游所給的需求去決定需要跟上游訂購多少啤酒，目標為扮演好自己的角色並且使整體供應鏈成本最小化。遊戲中四個成員假設彼此皆資訊不流通，只能透過訂單傳達訊息。

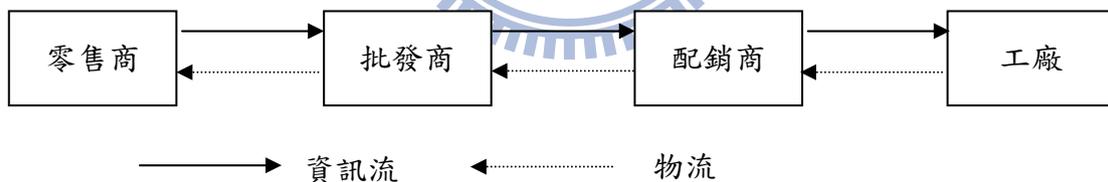
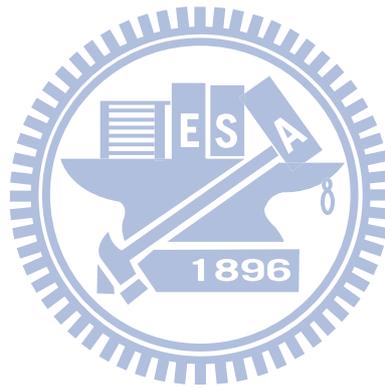


圖 1 MIT 啤酒遊戲結構圖

在 MIT 的啤酒遊戲中除了製造商的前置時間以外，其餘其他假設四個成員均相同，遊戲中四個成員有彼此的庫存量面對下游所傳送過來的訂單，把貨賣給下游成員並且再向上游成員訂購自己所需的啤酒數量。而零售商、批發商與供應商會在運送延遲時間後接收到啤酒，而工廠會在生產延遲時間後收到啤酒。近五十年以來蒐集分析參與玩 MIT 啤酒遊戲資料[2][16][26]，發現參與的成員有各種年齡層、國籍、文化、背景；有些人甚至每天都在處理類似的問題或者原本處於比遊戲中更複雜的生產與配銷的組織。但是每次玩啤酒遊戲時，相同的危機與問題仍然發生。MIT 啤酒遊戲在許多供應鏈管理相關

講習與課程中被玩過好幾千次，讓遊戲參與者了解長鞭效應問題，但是卻沒提供遊戲參與者解決此效應方法。

而且長鞭效應的形成方面，Lee *et.al.*,(1997b)認為長鞭效應形成有四個成因，然而 Goldratt 博士認為另一個重要主因為當決策者調整目標庫存水位後，並沒有等調整增加的貨進來後再做檢視與調整，針對此問題 Goldratt 博士建議應用 Demand-pull 庫存機制來改善，故本研究希望透過 Demand-pull 庫存機制應用於啤酒遊戲驗證 Goldratt 博士提出長鞭效應形成說法是否正確並且改善傳統 MIT 啤酒遊戲僅能看到問題，卻無法提出解決方案的情況。另外本研究認為 MIT 啤酒遊戲環境結構不合理而且也是造成長鞭效應問題更加嚴峻原因之一，故本研究進一步驗證此環境結構是否影響供應鏈整體績效表現。



第二章 文獻探討

長鞭效應的產生是因為過去傳統供應鏈經營法則是供應商接到客戶一定數量的訂單後，經過一段所需作業時間後，運送交給客戶，而此訂單後續責任轉由此客戶再賣給其下層客戶，而基本供應商基本上對於此原先訂購量的決定正確是否無法得知 (Robert,1999)。但是實際上對於整體供應鏈而言，下層是否順利銷售產品出去是會影響到供應鏈的績效。而且在傳統供應鏈經營法則中，供應商只能扮演供給角色而已，對於實際銷售需求並不了解，所以容易造成供給與需求方面不對稱，進而衍生出許多供應鏈的問題。

2.1 長鞭效應改善文獻

Forrester(1961)以三階供應鏈研究 Industrial Dynamics 指出即使是零誤差預測結果也會造成兩階之間兩星期的時間延遲，使兩星期後的訂單在工廠訂單足足增加 50% 比率，而系統則持續 15 個月的振盪(Oscillation)，造成供應鏈振盪的原因很多且相互交錯。而 Sterman(1989)利用 MIT 啤酒遊戲所收集的數據與參與過程來分析人們在此類似系統中的行為以及此振盪現象造成原因，並且稱此現象稱為「系統之非理性行為(system irrational behavior)」或「回饋的錯誤感知(misperception of feedback)」。而 Lee *et.al.*,(1997a)將此震盪效應稱為「長鞭效應(Bullwhip Effect)」現象，定義長鞭效應為當顧客端需求變異大於供給端變異時，隨著供應鏈逆推下此變異會逐漸扭曲變大。且將長鞭效應歸納出四個原因：需求訊號(demand signal)、批次訂購(order batching)、價格波動(fluctuation price)、短缺賽局(shortage game)[19]。

根據 Forrester(1961)、Sterman(1989)、Lee *et.al.*,(1997a,1997b)文章中我們可以得知因為預測誤差、時間延遲以及對於回饋的錯誤感知造成我們對於需求與存貨錯誤的誤解，而此誤解卻造成如圖 2 所示，整體的供應鏈惡性循環與付出極大的代價。

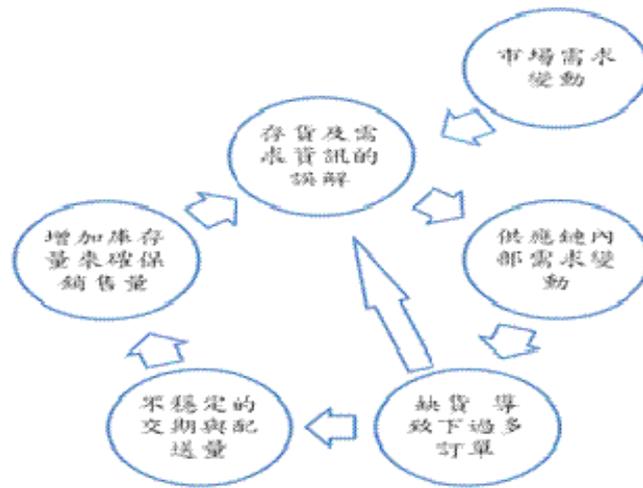


圖 2 供應鏈需求扭曲惡性循環圖

到現在不斷有許多學者提出不同思維與看法[3]，主要可以分成兩大部分：分析部分、模擬部分，本研究將 Chan and Chan, Felix (2010)文章中所整理文獻如下表 1 所示：

表 1 供應鏈模擬議題文獻[3]

探討方向	研究者
資訊分享	Chiang and Feng(2007)
	Elofson and Robinson(2007)
	Fleisch and Tellkamp (2005)
	Reddy and Rajendran (2005)
	Van Donselaar <i>et al.</i> (2001)
	Yee (2005)
	Zhao and Xie (2002)
	Zhao <i>et al.</i> (2002)

模糊理論	Hojati (2004) Hu <i>et al.</i> (2001) Grabot <i>et al.</i> (2005) Petrovic <i>et al.</i> (1998) Petrovic <i>et al.</i> (1999)
啤酒遊戲模擬	Chen, F. and R. Samroengraja(2000) Forrester(1961) Hieber and Hartel (2003) J. Nienhaus <i>et al.</i> (2006) Kimbrough <i>et al.</i> (2002) Mason-Jones and Towill (1997) Sterman(1989) Subhash <i>et al.</i> (2009)

從表 1 中啤酒遊戲模擬部分整理與大致歸納過去學者探討方向：Chen and Samroengraja(2000)探討在穩態需求下計算出最佳的庫存水準；Hieber and Hartel (2003) 探討比較不同訂貨策略績效；Nienhaus *et al.*(2006)利用線上啤酒遊戲蒐集資料分析人行為模式；Kimbrough *et al.* (2002)利用基因演算法提升預測的準確性；Subhash *et al.* (2009) 探討在穩態需求去比較不同訂貨策略的績效。Nienhaus *et al.*(2006)、Subhash *et al.* (2009) 上述兩篇文章中皆有提到 Demand-Pull 庫存機制概念，但是跟 TOC 的 Demand-Pull 庫存機制有所出入且未將緩衝管理機制套入使用，本研究主要使用 TOC 的 Demand-Pull 庫存機制概念加上緩衝管理機制，當面對需求變化時，此庫存機制能可以適用且不失控。

2.2 Demand-pull 庫存管理方法

Goldratt 博士在「絕不是靠運氣」一書中[10]，初次提出 Demand-pull 概念，將傳統依據預測進行補貨的推式 (Push) 作法改成依據實際消耗數量來決定生產及補貨數量的拉式 (Pull) 概念。Demand-pull 模式之所以能有效改善整體存貨及缺貨問題，原因在於

背後有四個重要概念做為運作依據，分別為聚集、增加補貨頻率、Demand-pull 庫存機制以及緩衝管理，以下說明這四個概念：

1. 聚集：傳統存補貨方法認為產品應放在離消費者最近的地方以利銷售，然而這種作法易使存貨分配不恰當，部份產品缺貨，而部份產品卻滯銷的情況產生，為了解決這個問題，Demand-pull 模式提出聚集的概念，將大部分庫存留在供應鏈的源頭處，有利於分配滿足下游最為迫切需求點的需求，如圖 3 所示。另外，根據統計原理，個別計算變異一定遠高於整體計算的變異，因此若能把主要庫存放在供應源頭處，使整體變異較低，穩定供應鏈的存貨。

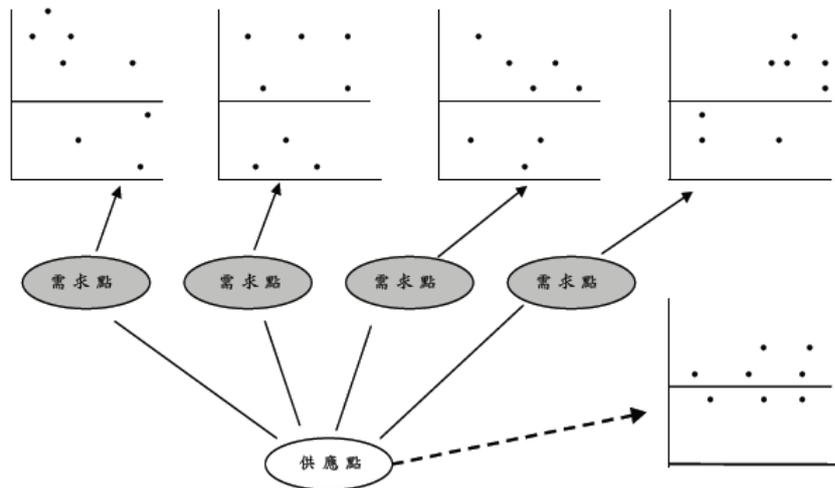


圖 3 供應源頭預測變異較小

2. 增加補貨頻率：執行 Demand-pull 庫存機制時，必須先訂定目標庫存量的多寡，目標庫存量包含在庫庫存與在途庫存的總和，其中在庫庫存必須能夠滿足訂購前置時間的預期消耗量，在途庫存必須能夠滿足生產及運輸前置時間的預期消耗量。以安全存量為考量，兩者皆以最大消耗量為目標存量之估算，因此須先依據過去歷史資料與未來市場需求來推算最大消耗率，再將補貨前置時間（包含訂購、生產及運輸前置時間）列入考慮，可得目標庫存量之設定。因此目標庫存量的設定會受到補貨前置時間長短而影響，例如補貨前置時間為一個月，則目標庫存至少備有一個月內

的消耗量，若補貨前置時間為一星期，則目標庫存僅需備有一星期內的消耗量。

在限制理論中，補貨前置時間定義為三種時間的加總，分別為訂購前置時間、生產前置時間及運輸前置時間，這三種時間各自的定義說明可見表 2。因此若能降低補貨前置時間，目標庫存量就能減少。限制理論認為有效降低補貨前置時間有一方法，即是增加補貨頻率，此做法能使訂購前置時間縮短，在庫庫存亦減少。舉例來說，若每月需求為 20 單位，每月補貨一次，則在庫庫存最多為 20 單位；若增加補貨頻率，為每週補貨一次，每次訂 5 單位，則庫存大部分會在運送的途中，因此在庫庫存會降低。

表 2 補貨前置時間定義

補貨前置時間	定義
訂購前置時間 (Order Lead Time)	從一件產品賣出到一張補貨訂單被發出的時間，即發出補貨訂單的頻率。
生產前置時間 (Production Lead Time)	製造商/供應商從決定發出工單直到完成生產的時間。
運輸前置時間 (Transportation Lead Time)	成品從供應商運送到訂購庫存地的時間。

3. Demand-pull 庫存機制：Demand-pull 模式是以下游消耗多少貨品就向上游訂購多少貨品的機制，此做法能克服市場預測的不準確，同時避免預測誤差帶來的長鞭效應，達到整體存貨有效降低等表現。其運作步驟說明如圖 4 所示：

(1) 零售商儲存足夠庫存涵蓋可靠補貨期間內的需求，零售商用掉多少數量就對上游(配銷商/批發商)訂購多少。

- (2) 配銷商/批發商儲存足夠庫存涵蓋可靠補貨期間內的需求，配銷商運送多少數量到下游商(零售商)，就對上游(製造商)訂購多少。
- (3) 製造商儲存足夠庫存涵蓋可靠補貨期間內的需求，製造商運送多少數量到下游商(配銷商/批發商)，就對上游(供應商)訂購多少。

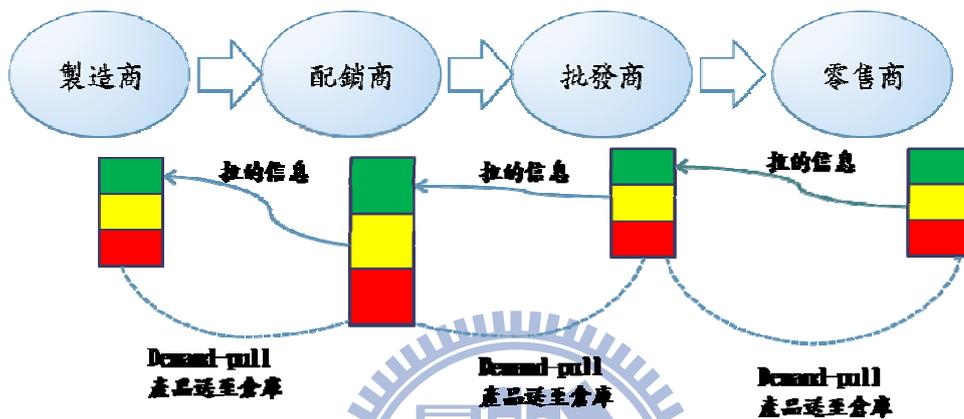


圖 4 拉式補貨模式示意圖

4. 緩衝管理 (Buffer Management): 緩衝管理是限制理論中的一個監控庫存量的方法。將目標庫存量三等份為三個緩衝區，分別為紅色、黃色及綠色緩衝區，代表趕工、警告及忽略。當連續數個補貨週期的庫存狀態都處於紅色緩衝區，代表目標庫存水位設定可能過低，無法確保滿足需求的風險大增，便須考慮提高目標庫存；反之，當連續數個補貨週期的庫存狀態都處於綠色緩衝區，代表目標庫存水位設定可能過高，長期而言庫存成本過高，便須考慮降低目標庫存，如圖 5 所示。至於目標庫存之調整幅度，限制理論並未明確規範，一般而言以 1/3 的目標庫存量作為調高與調降比率參考，因各種產業特性而有所不同。當需求型態產生變動時透過緩衝管理可簡易調整參數，依需求趨勢改變而做調整，避免存貨過高。

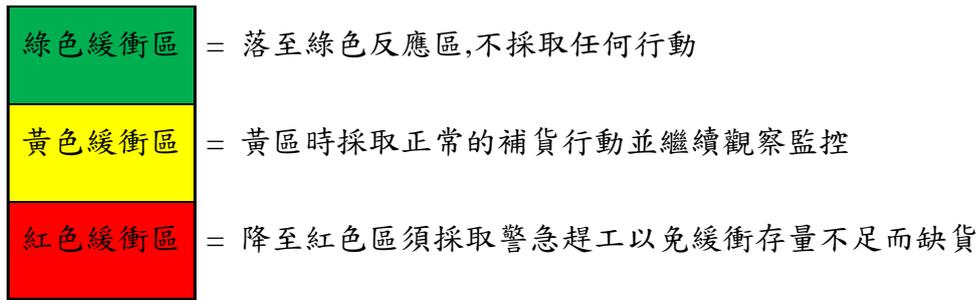


圖 5 各緩衝區示意圖

緩衝管理則是為了讓 Demand-pull 庫存機制在面對需求型態變動時可以簡易調整參數的機制。二者的配合才能使作業順利進行，缺少其中之一，將導致增加存缺貨的困擾問題。依需求趨勢的改變而調整，可避免緩衝存貨過高。存貨緩衝區具有補貨可調整功能的機制才能滿足一方面要維持低水準緩衝區存貨且滿足不同的需求情境。對於調整的準則依服務水準而定，但會依策略不同而有所不同，因此本研究簡化袁國榮[36]以監視視窗(monitoring window, MW)概念所訂定準則與步驟如圖 6 所示。

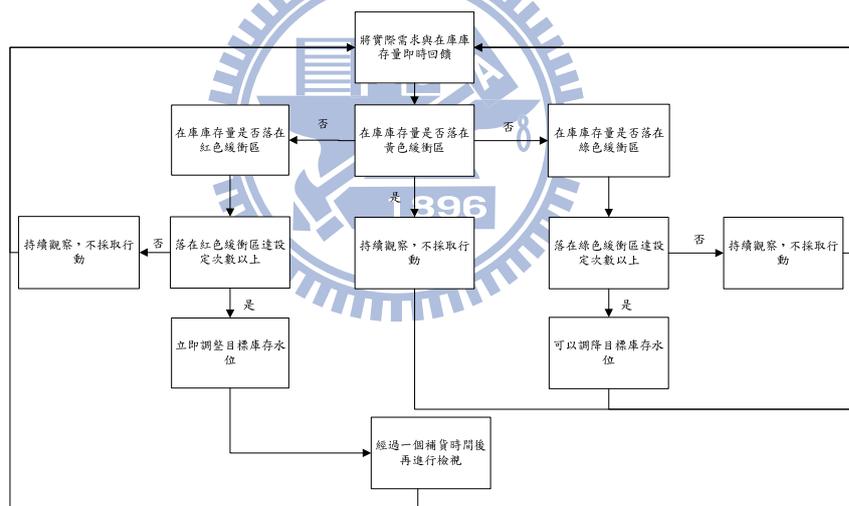


圖 6 緩衝管理執行情序

第三章 研究方法與模擬數據分析

3.1 原始啤酒遊戲(Beer Game)環境說明

此模式主要是呈現一個處理啤酒存貨的簡化的供應鏈，其中包含了生產/配銷系統，主要有四個角色在這個遊戲中-零售商(Retailer)、批發商(Wholesaler)、配銷商(Distributor)、工廠(Factory)。遊戲參與者在不同位置可以自由下決策決定訂貨數量以及管理庫存數量，目的希望可以達到利潤最大化。顧客產生需求時，必須到零售商取貨不能跨過零售商，直接向上游批發商、供應商或者製造商取貨。整個供應鏈中，只有工廠能夠生產產品且產品傳遞也必須依據所對應之下游，不能直接傳遞至顧客端。此遊戲的配置如圖 7 所示。

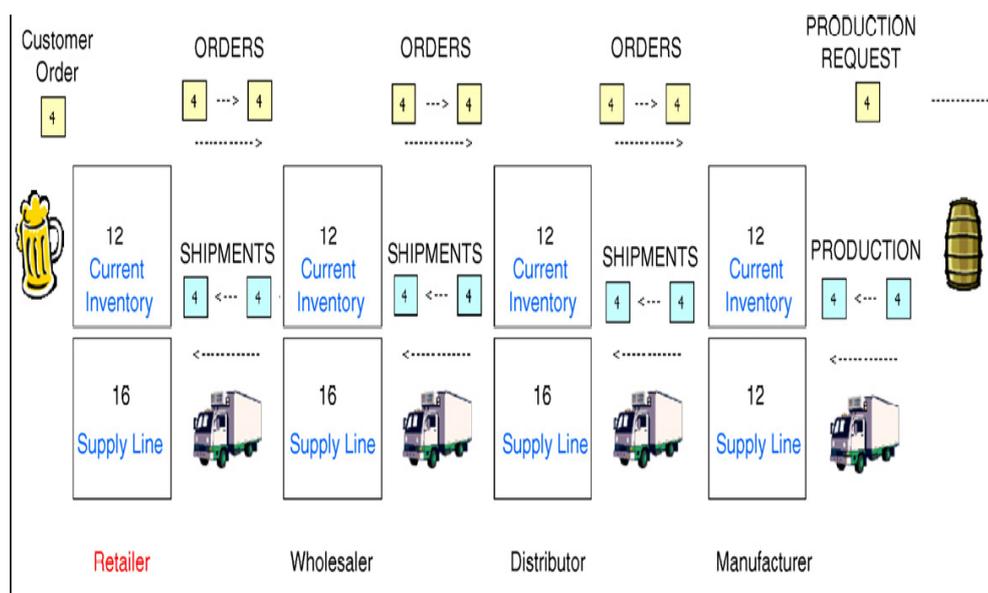


圖 7 MIT 啤酒遊戲(Beer Game)配置圖[27]

3.1.1 期初情境

遊戲一開始，規定了供應鏈中每個位置的初始情境：供應鏈中每一個成員都有 12 箱啤酒；訂單放置處上有兩張 4 箱啤酒的訂單，有一張訂單即將發出，有一張訂單即將送達至上游；

1. 運送位置上有兩個 4 箱啤酒，有 4 箱準備配送至下游，有 4 箱啤酒即將送達；
2. 製造商產能無限制；

3. 遊戲開始四期內，訂單都保持 4 箱啤酒；
4. 第五期開始，由供應鏈中成員自行決定訂單量；製造商自行決定生產量；
5. 供應鏈中成員彼此資訊不流通，只能由下游發出訂單做判斷；
6. 供應鏈中除了製造商前置期為 3 週(資訊延遲 1 週以及生產時間 2 週)以外，其餘成員前置期為 4 週(資訊延遲 2 週以及運送延遲 2 週)；
7. 訂貨與出貨皆為期初發出
8. 供應鏈中成員要盡可能滿足下游的訂單需求；
9. 遊戲週數設定 52 週，遊戲一回合必須至少 38 週；
10. 本模式是缺貨後補模式
11. 成本設定:

持有成本:\$0.5/每箱啤酒/每週

缺貨成本:\$1.0/每箱啤酒/每週

3.1.2 評估指標

遊戲執行後，針對每次執行結果均需要明確的評估指標來決定成果的優劣。評估指標如下所示:

1. 平均庫存量、平均持有成本；
2. 平均缺貨量、平均缺貨成本；

3.2 Demand-pull 在啤酒遊戲(Beer Game)執行步驟

MIT 啤酒遊戲中(以零售商為例)，一開始先確認原始遊戲目標庫存水位是否滿足，期初情境假設中在庫庫存量加上在途庫存量為 32 超過 Demand-pull 所訂定目標庫存水位: 補貨前置期(5)*需求量(4)=20，遊戲執行前四期中，以限制理論(TOC)將緩衝分為三個控制管理區分別為綠色、黃色、紅色緩衝區，每一個緩衝區大約為整個緩衝區三分之一的管理方法下，所以紅色緩衝為[0,9]、黃色緩衝為[9,19]、綠色緩衝為[19,28]，發現到前四期在庫庫存都落在黃色管制區中如圖 8 所示，代表目前的緩衝存量(在庫庫存量)剛好故不調整。



圖 8 零售商緩衝存量示意圖(1)

第五期顧客需求從 4 增加到 8 時，從圖 9 中可以發現在庫庫存量降低到 8 已經侵蝕到紅色緩衝區，所以立即調整目標庫存水位增加目前目標庫存水位 1/3 如所所示，

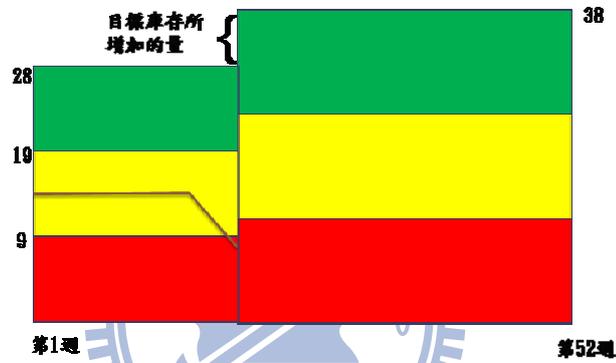


圖 9 零售商緩衝存量示意圖(2)

其他成員面對需求變化時緩衝管理作法以此類推，使用 Demand-Pull 庫存機制面對需求變化時，調整目標庫存水位後。Goldratt 博士認為調整目標庫存水位後，至少需在一個補貨週期間隔後才可再次檢視與調整，如圖 10 所示當批發商調整目標水位後，須等紅色圈起來地方補貨進來才可以再次檢視。

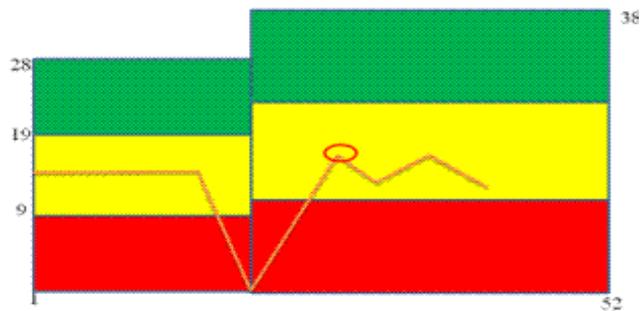


圖 10 批發商緩衝存量變化圖

3.3 模擬數據分析

3.3.1 情境探討

因 MIT 啤酒遊戲本身設計下單方式為傳統庫存管理方法，而 TOC 的 Demand-pull 庫存機制則是依照當期實際需求在當期期末下實際需求訂單量，所以在遊戲中下訂單的時間點有所出入，為了維持遊戲是一個連續不中斷的情況，本研究假設使用 TOC 的 Demand-pull 庫存機制時，在遊戲一開始時就已經發出一張需求 4 的訂單，否則當遊戲進行到第 5 週時會發生沒有期初進貨的窘境，故本研究的遊戲情境的在途庫存量會比原本啤酒遊戲多出 4 的量原因與差異如表 3，其餘情境假設與限制皆與 MIT 啤酒遊戲假設相同。

表 3 兩種補貨方式差異表

	下單時間點	下單方式	遊戲中差異
傳統庫存管理方法	期初	預測當期需求	第 1 週期初下單則到第 5 週期初進貨
Demand-pull 庫存機制	期末	根據當期實際需求	第 1 週期末下單則到第 5 週期末進貨，須等到第 6 週才可使用(第 5 週沒有期初進貨量)

本研究發現因為 MIT 啤酒遊戲除了工廠本身沒有產能限制，其餘成員皆受限於上游的庫存量的產能限制，換言之如果零售商發出訂單量如果大於批發商的當期所能滿足零售商的產能，此時原本零售商超過批發商產能的超額量則會從原本預期補貨前置期 4 週變為 8、12 甚至 16 週才會送至零售商手中，因為 MIT 啤酒遊戲是採用缺貨後補模式，所以零售商下單超過批發商可以滿足的量部分須等批發商跟配銷商下單並進貨才可以提供給零售商，故在此情境結構下本研究發現各階的成員補貨前置期會隨著上游成員是否滿足下游成員訂單有所變化。所以本研究第一次模擬，忽略在途庫存量狀況，每 4 週

即做調整與檢視；則在第二次模擬中本研究將遵守 Goldratt 博士提出的調整目標庫存水位後，等調整增加的貨進來後再做檢視與調整。再以兩者比較結果來驗證 Goldratt 博士提出說法是否正確。根據第三章 TOC 的 Demand-pull 的庫存機制執行步驟去模擬，如圖 11 (零售商為例)

期數	期初庫存	本期入庫	顧客需求	本期出貨量	本期訂購量	在途庫存	期末存貨	缺貨量	在途+在庫	目標庫存	零售商存貨狀況
1	12	4	4	4	4	20	12	0	32	32	12
2	12	4	4	4	4	20	12	0	32	32	12
3	12	4	4	4	4	20	12	0	32	32	12
4	12	4	4	4	4	20	12	0	32	32	12
5	12	4	8	8	18	34	8	0	42	42	8
6	8	4	8	8	8	38	4	0	42	42	4
7	4	4	8	8	8	42	0	0	42	42	0
8	0	4	8	4	8	46	0	4	46	42	-4
9	0	4	8	4	8	50	0	8	50	42	-8
10	0	16	8	16	22	56	0	0	56	56	0
11	0	4	8	4	8	60	0	4	60	56	-4
12	0	4	8	4	8	64	0	8	64	56	-8
13	0	4	8	4	8	68	0	12	68	56	-12
14	0	4	8	4	8	72	0	16	72	56	-16
15	0	16	8	16	26	82	0	8	82	74	-8
16	0	4	8	4	8	86	0	12	86	74	-12
17	0	4	8	4	8	90	0	16	90	74	-16
18	0	4	8	4	8	94	0	20	94	74	-20
19	0	4	8	4	8	98	0	24	98	74	-24
20	0	16	8	16	34	116	0	16	116	100	-16
21	0	4	8	4	8	120	0	20	120	100	-20
22	0	4	8	4	8	124	0	24	124	100	-24
23	0	4	8	4	8	128	0	28	128	100	-28
24	0	42	8	36	8	94	6	0	100	100	6
25	6	14	8	8	41	121	12	0	133	133	12
26	12	8	8	8	8	121	12	0	133	133	12

圖 11 本研究模擬介面

3.3.2 模擬數據分析

本研究先將第一次模擬結果存/缺貨狀況結果跟過去學者[16]蒐集 MIT 啤酒遊戲的結果做比較如圖 12 與圖 13

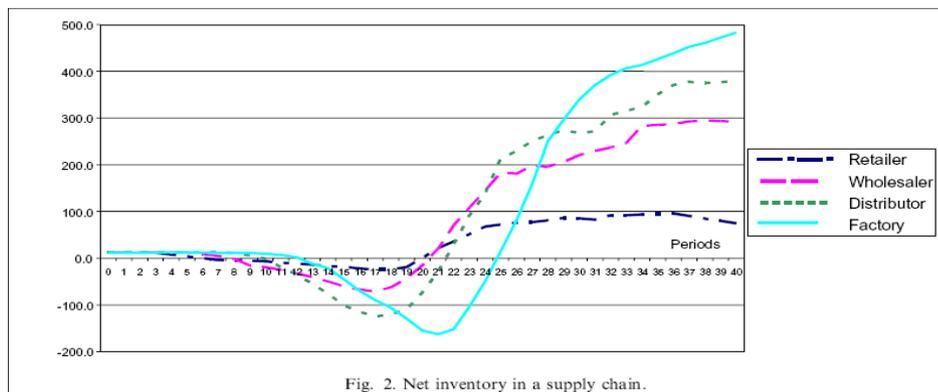


Fig. 2. Net inventory in a supply chain.

圖 12 原始存/缺貨狀況[16]

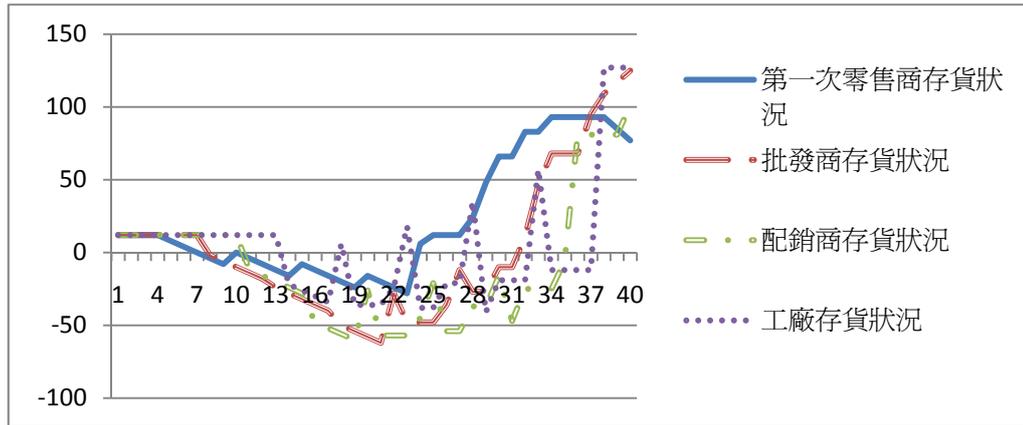


圖 13 模擬存/缺貨狀況

從圖 12 可以發現過去 42 期資料顯示在沒有良好庫存機制下，供應鏈成員的表現非常不理想，尤其在供應鏈逆推下越上游的成員存缺貨的變化非常大，庫存方面最高甚至快達到 500 的庫存量，缺貨方面最高快達到 150 的缺貨量；反觀圖 13 雖然沒有遵守 Goldratt 博士所提的做法結果在庫存方面最高仍不超過 133 庫存量，缺貨方面最高也不超過 60 缺貨量，明顯的改善長鞭效應在原始數據所產生存/缺貨過高的問題。接下來針對遵守 Goldratt 博士所提的做法做第二次模擬並與第一次模擬作比較如表 4 與表 5 所示：

表 4 原始模擬成本表

第一次模擬	零售商	批發商	配銷商	工廠	整體供應鏈
儲存成本	857	957	1037	1045	3895
缺貨成本	220	728	905	508	2361

表 5 修正後模擬成本表

第二次模擬	零售商	批發商	配銷商	工廠	整體供應鏈
儲存成本	393	319	489	676	1876
缺貨成本	220	246	214	128	808

從表中可以發現，遵守等調整增加的貨進來後再做檢視與調整準則，供應鏈成員表現績效明顯成長許多，在存/缺貨成本上也明顯下降一倍以上。為何差異如此大可以從兩個模

擬後本研究整理供應鏈成員的需求變化表來看，如表 6 與表 7 所示：

表 6 原始供應鏈需求變化

第一次模擬	零售商	批發商	配銷商	工廠
需求平均數	7.692308	8.5384615	9.384615	11.28846154
需求標準差	1.076276	7.4451235	14.19632	20.6096651

表 7 修正後供應鏈需求變化

第二次模擬	零售商	批發商	配銷商	工廠
需求平均數	7.692	8.269	8.846	9.88
需求標準差	1.076	3.779	6.584	10.792

表中發現原始模擬的需求平均數與標準差，因為一直調整目標庫存水位，而忽略在途庫存量的狀況結果明顯比遵守 Goldratt 博士提出說法的模擬結果不好，從表 6 與表 7 兩表中發現原始模擬的批發商與修正後模擬的批發商到第一次模擬的工廠與第二次模擬的工廠的標準差差異快到一倍，所以當考慮在途庫存狀況之後，需求標準差可以下降一倍以上並消除不必要的需求波動，原始模擬與修正後模擬可間接驗證 Goldratt 博士所提出當調整目標庫存水位後須等到增加的存量進來後再做觀察與檢視論點。

3.3.3 MIT 啤酒遊戲結構探討

現實供應鏈環境中並不存在 MIT 啤酒遊戲的多階單線環境，通常多階的環境應上游成員對應下游成員是遞增的情況，換言之應該是一個工廠對應兩個或多個配銷商；一個配銷商對應兩個或多個批發商以此類推。本研究認為在 MIT 啤酒遊戲的環境來看零售商與工廠之間的批發商和配銷商是多餘的程序，本研究將原始 MIT 啤酒遊戲的不合理結構做修改，改為兩階式供應鏈環境如圖 14 所示：

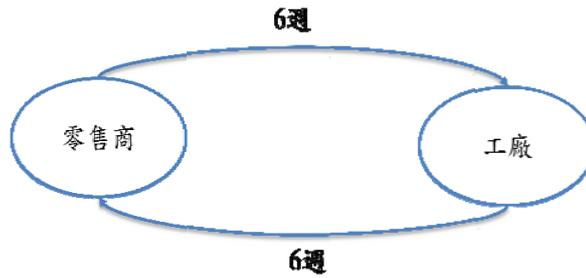


圖 14 修改後供應鏈結構

所以零售商補貨前置期為 13 週；工廠補貨前置期不變為 3 週，原本批發商與配銷商的在庫庫存量則皆移至零售商，而為了維持遊戲是一個連續且不中斷的情境，遊戲一開始發出需求量 4 訂單有 7 張；在途運送的需求量 4 訂單有 6 張。也就是說遊戲一開始零售商在庫庫存量為 36，在途庫存量為 52；工廠維持不變。藉此模擬驗證 MIT 啤酒遊戲本身結構上面問題導致整體供應鏈績效受影響。下表 8 為模擬後結構改變成本表：

表 8 結構改變成本表

結構改變模擬	零售商	工廠	整體供應鏈
儲存成本	780	693	1472
缺貨成本	76	128	204

從表 5 與表 8 可發現，結構改變後整體供應鏈儲存成本方面因為去除多餘兩個暫存區（批發商、配銷商）的庫存量減少了 404 的庫存成本且在缺貨成本方面更是明顯下降至 204 的缺貨成本，代表多設的兩個暫存區的結果造成整體供應鏈缺貨成本多出 604 與庫存成本多出 404。

3.4 模擬數據分析總結

一開始將 TOC 的 Demand-pull 的庫存機制套入 MIT 啤酒遊戲情境中，並與過去學者[16]所蒐集彙整的存/缺貨狀況圖做比較，可以發現明顯改善長鞭效應所帶來供應鏈整體的存/缺貨狀況影響；也驗證 TOC 的 Demand-pull 的庫存機制在 MIT 啤酒遊戲此情境需求變化下仍可以明顯的減緩長鞭效應所產生問題。而原始模擬與修正後模擬則驗證 Goldratt 博士所提出當調整目標庫存水位後須等新增加量進來後，再做觀察與檢視；另

一方面從圖 15 中可以看出 Demand-pull 庫存機制在第一次模擬與修正後模擬最後皆都趨於穩定的庫存水準且差異不大，但從 24 期開始兩模擬存貨狀況有明顯不同，也可以清楚發現修正後的模擬存貨狀況變動較穩定；相對來說在第一次模擬存貨狀況不斷在變動與調整，管理階層所需投入的心力也相對比第二次模擬高，但績效方面卻不如第二次模擬好。

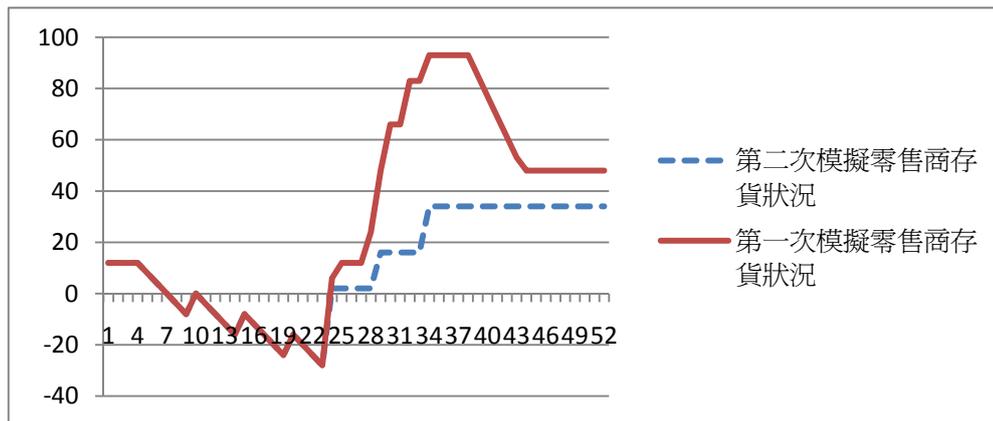


圖 15 零售商存貨狀況比較

本研究更進一步從 MIT 啤酒遊戲情境結構方面下手，認為遊戲本身情境結構上不符合現實供應鏈環境且影響整體供應鏈績效，故打破原本結構後模擬發現 Demand-pull 庫存機制執行績效更好，尤其在缺貨成本方面有顯著的下降；庫存方面則因前置期不變下，故在庫庫存量需維持 13 週的需求量則庫存成本沒辦法下降太多，關於這方面將牽涉到 Demand-pull 的庫存機制適用環境的問題，假設可以在此供應鏈情境下增加一個中央倉庫在零售商與工廠間減少補貨前置時間相信庫存成本方面應該有明顯的改善空間。也是本研究未來可延伸探討的方面。

第四章 結論與後續研究

本研究將 Demand-pull 庫存機制套入 MIT 啤酒遊戲所得到的績效明顯比原始蒐集到的數據績效好很多，再次驗證 Demand-pull 庫存機制是一個良好庫存機制並且可提供 MIT 啤酒遊戲參與者一個不錯的解決方法，也解決過去讓遊戲參與者了解長鞭效應問題後，但是卻沒提供遊戲參與者解決此效應方法窘境。而在第一次模擬與修正後模擬兩者主要驗證 Goldratt 博士認為長鞭效應形成另一個重要主因為當決策者調整目標庫存水位後，不斷的調整目標庫存水位，並沒有等調整增加的貨進來後再做檢視與調整；從第四章結論中可以發現沒有遵守 Dr. Goldratt 論點使整體供應鏈成本從 2684 上升到 6256，總成本上升 2.33 倍。而在結構改變下情境從表 5 與表 8 中發現因為結構上問題使整體供應鏈成本多出 1008 成本，總成本大約上升 1.6 倍。綜上述而言，可以得知以下幾點結論：

1. Demand-pull 適用於 MIT 啤酒遊戲中，並可改善傳統 MIT 啤酒遊戲僅能看到問題，卻無法提出解決方案之窘境。
2. Goldratt 博士提出當調整過目標庫存水位後，須等增加存量進來後才可以做檢視與調整是正確的說法。
3. 啤酒遊戲本身結構會造成長鞭效應產生的問題更加嚴峻。

MIT 啤酒遊戲是多階單線的環境，若將此情境環境擴展成符合現實的多階多線供應鏈環境，此時就可將 TOC 中聚集(Aggregation)的概念套入探討；在結構修改方面，可以發現庫存成本下降幅度並不顯著，在未來可以探討如增加中央倉庫對此情境是否產生正面的影響。而本研究衡量績效指標只以存/缺貨成本做判斷唯一指標，並未考慮成本金額與時間的相乘關係，容易落入做錯決策與改善，故可以加入有效產出天·元(TDD)與存貨天·元(IDD)兩績效指標來克服未考慮金額與時間的相乘關係。

參考文獻

1. Chen, F., “Decentralized Supply Chains Subject to Information Delays,” Management Science, 45 ,1076-1090, 1999.
2. Chen, F. and R. Samroengraja., “The Stationary Beer Game ,” Production And Operations Management, VOL. 9, NO.1, 2000.
3. Chan, Hing. K. and Chan, Felix T.S., “A review of coordination studies in the context of supply chain dynamics,” International Journal of Production Research, 2793 -2819, 2009.
4. Chiang, W.K. and Feng, Y., “The value of information sharing in presence of supply uncertainty and demand volatility,” International Journal of Production Research, 45(6), 1429-1447, 2007.
5. Disney, S.M. and Towill, D.R., “On the Bullwhip and Inventory Variance Produced by an Ordering Policy,” The International Journal of Management Science, 157-167, 2003.
6. Elofson, G. and Robinson, W.N., “Collective customer collaboration impacts on supply-chain performance,” International Journal of Production Research, 45(11), 2567-2594, 2007.
7. Forrester, J.W., Industrial Dynamics, Cambridge, Boston, MA: MIT Press, 1961.
8. Fleisch, E. and Tellkamp, C., “Inventory inaccuracy and supply chain performance: a simulation study of a retail supply chain,” International Journal of Production Economics, 95(3), 373-385, 2005.
9. Goldratt, E.M., and Cox, J., The Goal 2nd edition, North River Press, 1992.
10. Goldratt, E. M., It’s Not Luck, North River Press, 1994.
11. Goldratt, E. M. and Rami, Avraham., TOC Insights, 2003.
12. Grabot, B.,*et al.* “Integration of uncertain and imprecise orders in the MRP method,” Journal of Intelligent Manufacturing, 16(2), 215-234, 2005.

13. Hieber, R. and Hartel. I., "Impacts of SCM order strategies evaluated by simulation-based 'beer game' approach: the model, concept, and initial experiences," Production Planning & Control, 14 (2), 122–134, 2003.
14. Hojati, M., "Bridging the gap between probabilistic and fuzzy-parameter EOQ models," International Journal of Production Economics, 91(3), 215-221, 2004.
15. Hu, Q., Kumar, K., and Zhang, S., "A bidding decision model in multiagent supply chain planning," International Journal Production Research, 39(15), 3291-3301, 2001.
16. Jose A.D. Machuca *, Rafael P. Barajas., "The impact of electronic data interchange on reducing bullwhip effect and supply chain inventory costs," Transportation Research, Part E 40, 209–228, 2004.
17. Kimbrough, S.O., Wu, D.J., and Zhong, F., "Computers play the beer game: can artificial agents manage supply chains?" Decision Support Systems, 33 (3), 323–333, 2002.
18. Lee H. L., Padmanabhan, V., Whang, S., "The Bullwhip Effect in Supply Chains," Sloan Management Review/Spring, 93-102, 1997a.
19. Lee H. L., Padmanabhan, V., Whang, S., "Information Distribution in a Supply Chain," Management Science, 546-558, 1997b.
20. Nienhaus, J., Ziegenbein, A. and Schoensleben, P., "How human behaviour amplifies the bullwhip effect. A study based on the beer distribution game online," Production Planning & Control, 547 — 557, 2006.
21. Petrovic, D., Roy, R., and Petrovic, R., "Modelling and simulation of a supply chain in an uncertain environment," European Journal of Operational Research, 109(2), 299-309, 1998.
22. Petrovic, D., Roy, R., and Petrovic, R., "Supply chain modelling using fuzzy sets," International Journal of Production Economics, 59(1-3), 443-453, 1999.

23. Robert, B., Handfield, E. L. and Nichols, J.R., "Introduction to Supply Chain Management," Prentice-Hall, Inc, 1999.
24. Reddy, A.M. and Rajendran, C., "A simulation study of dynamic order-up-to policies in a supply chain with non-stationary customer demand and information sharing," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 25(9-10), 1029-1045, 2005.
25. Subhash, Wadhwa, Bibhushan and Felix T.S. Chan., "Inventory performance of some supply chain inventory policies under impulse demands," International Journal of Production Research, Vol. 47, No. 12. 3307–3332, 2009.
26. Sterman, J. D., "Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment," Management Science, 35(3), 321-339, 1989.
27. Towill, D.R., "Time Compression and Supply Chain Management-a guide tour," Logistics Information Management, Vol. 9, No.6, 41-53, 1996.
28. Van Donselaar, K, Kopczak, L.R., and Wouters, M., "The use of advance demand information in a project-based supply chain," European Journal of Operational Research, 130(3), 519-538, 2001.
29. Wu, D.Y. and Elena Katok., "Learning, communication, and the bullwhip effect," Journal of Operations Management, 839–850, 2006.
30. Zhao, X. and Xie, J., "Forecasting errors and the value of information sharing in a supply chain," International Journal of Production Research, 40 (2), 311–335, 2002.
31. Zhao, X., Xie, J., and Leung, J., "The impact of forecasting model selection on the value of information sharing in a supply chain," European Journal of Operational Research, 142 (2),321–344, 2002.
32. 江治緯，「以實驗比較推式系統與拉式系統在供應鏈之績效」，國立交通大學，碩士論文，民國 98 年。

33. 李榮貴，張盛鴻，「TOC 限制理論：從有「限」走向無限」，中國生產力中心出版，民國 94 年。
34. 李榮貴，「製造管理專題上課講義」，國立交通大學工業工程與管理研究所課程，民國 98 年。
35. 林書弘，「以限制理論為基礎的配銷遊戲開發」，國立交通大學，碩士論文，民國 95 年。
36. 袁國榮，「強化限制理論 Demand-pull 補貨模式之研究」，國立交通大學，博士論文，民國 95 年。
37. 蔣易般，「Demand-pull 手法應用在啤酒遊戲之可行性研究」，國立交通大學，碩士論文，民國 97 年。

