行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

損耗性商品在需求隨時間變動及允許部份欠撥下之供應鏈存貨模式

研究成果報告(精簡版)

計 畫 類 別 ：個別型
計 畫 編 號 ：NSC 96-2416-H-468-008-
執 行 期 間 ：96 年 08 月 01 日至 97 年 07 月 31 日
執 行 單 位 ：亞洲大學經營管理學系

計畫主持人：張紘炬
共同主持人：戴忠淵

處 理 方 式 ：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 97 年 08 月 28 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※ ※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※ ※

※ **損耗性商品在需求隨時間變動及允許部份欠撥下之供應鏈存貨模式** ※

※ ※

※ Supply chain inventory model for perishable items with ※

※ time-varying demand and time-dependent partial backlogging ※

※ ※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※ ※

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC 96－2416－H－468－008

執行期間：96年8月1日至97年7月31日

計畫主持人：張紘炬

E-Mail：chj@asia.edu.tw

執行單位：亞洲大學經營管理學系

中華民國九十七年七月二十九日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

損耗性商品在需求隨時間變動及允許部份欠撥下之供應鏈存貨模式

Supply chain inventory model for perishable items with time-varying demand and time-dependent partial backlogging

計畫編號：NSC 96－2416－H－468－008

執行期間：96年8月1日至97年7月31日

計畫主持人：　張紘炬　亞洲大學經營管理學系

摘要

不同企業實體的合作是降低供應鏈成本獲得競爭優勢的重要方法。在本計畫中, 我們考慮一個兩階層的供應鏈模式: 零售商持有完成品並面對與時間有關的市場需求, 而供應商製造零售商所需的訂購量。在有限計畫期間內, 允許不等訂購區間及與時間有關之欠撥率的條件下建構買賣雙方的聯合成本, 並以買賣雙方的聯合成本最低爲目標。我們也將進一步提出一個直覺的補貨次數起始值來簡化最佳解的搜尋過程。 最後我們也將以範例來說明買賣雙方整合的好處。同時, 本研究也將對重要的參數進行敏感度分析, 以瞭解各參數變動對最適解的影響。

關鍵詞: 供應鏈, 存貨, 退化性產品, 與時間有關需求, 部份欠撥

ABSTRACT

Coordination between two different business entities is an important way to gain competitive advantage as it lowers supply chain cost. In this project, we consider a two-echelon supply chain: a single retailer holds a finished goods inventory to meet a time-varying market demand, and a single manufacturer produces the retailer's replenishment orders on a make-to-order basis. The objective of this project is to minimize the joint total cost. We solve the problem with the conditions of unequal replenishments periods and time-dependent partial backlogging rate during the finite planning horizon. We then simplify the search process by providing an intuitively good starting value for the optimal number of replenishments. Finally, numerical examples are used to illustrate the benefit of integration. A sensitivity analysis is also performed to explore the effect of key parameters on replenishment numbers, lot size, and joint total cost.

Keyword: supply chain, inventory, perisable items, time-varying demand, partial backlogging

計畫緣由與目的

當我們必須儲存物品以供應未來某段時期的需求時, 便產生了所謂的「存貨問題」。幾乎每一種工商業都必須儲存物品以確保作業順利進行。關於決定「訂購多少」及「何時訂購」則爲典型的存貨問題。必要

的需求量可依全期一次進貨, 也可依單位時間分別補充。訂購量大, 容易造成資金的積壓, 但發生缺貨次數減少, 訂購次數亦少; 另一方面, 訂購量低雖然可以減少存貨的累積, 但訂購次數加多, 且有發生缺貨的危險。以上這些情形都會使得總成本增加。所以 , 關於訂購數量及訂購時間的決定, 必須折衷以上成本作爲選擇依據, 使得成本函數最小化, 這也就是建立存貨模式的基礎。

由 Harris [27]發展並經由 Wilson [50]所推廣的傳統經濟訂購量模式在應用上雖然相當方便, 但卻有多處與現實情況相違背。傳統經濟訂購量模式假設存貨的減少僅是因爲產品需求所導致, 產品可以無限期儲存。然而, 在現實生活中,「時間」對於存貨模式顯然是重要的因素。在很多存貨系統中, 大多數的產品在持有過程中都會有退化的現象, 例如藥物、酒精等揮發性液體 和 新鮮蔬果, 使得存貨數量除了因爲需求的耗用而減少外, 也因爲產品的退化而減少。因此, 在決定此類物品之存貨策略時, 產品退化所造成的額外損失就不可忽略掉, 否則將使模式的成本結構不正確, 作出錯誤的策略而造成更大的損失。有關退化性存貨模式探討起源於 Ghare 和 Schrader [20], 其建立一個退化率爲固定常數的傳統經濟訂購量模式。Covert 和 Philip [14]則延伸 Ghare 和 Schrader [20]的模式, 提出產品退化率服從二參數韋伯分配 (two-parameter Weibull distribution) 之退化性存貨模式。接著, Philip [38]提出退化率服從三參數韋伯分配 (three-parameter Weibull distribution) 之存貨模式, 並分別討論產品在接收時已退化與儲放一段時間才退化兩種情形。Misra [30]假設物品的退化率服從兩參數韋伯分配, 討論進貨補充率有限的情形。Tadikamalla [43]則建立一個物品的退化率服從Gamma分配的存貨模式。Cohen [13]假設物品的需求率是售價的線性函數, 建立退化率服從指數分配的存貨模式。Kang 和 Kim [29]推廣 Cohen [13]的模式, 考慮補貨率有限的情形。其他的學者如 Aggarwal 和 Jaggi [4], Wee [48], Chang 和 Dye [10], Mukhopadhyay 等學者 [31]及 Ouyang 等學者 [33]也都根據 Ghare 和 Schrader [20]的模式探討不同狀況下的存貨模式。

然而產品的需求也並非固定不變。當產品處於生命週期的成長期或衰退期時, 產品的需求率往往隨時間明顯有遞增或遞減的特性。此時, 傳統的經濟訂購量模式則不適用。因此, 將需求之時間趨勢納入模式中是有必要的。在近二十年來, 有關需求隨時間變動之存貨模式已經獲得學者間廣泛的討論。需求隨時間變動之基本存貨模式最早是由 Donaldson [17]所建立, 其提出在有限的計畫期間內需求爲 時間的線性函數及不允許缺貨之基本訂購模式。由於 Donaldson模式的求解過程在計算上太過於複雜, 使得 Silver [42], Phelps [37], Ritchie [39] 和 Teng [44]等學者著手推導較爲簡便的啓發式解法。至於有關產品退化的部份, Dave 和 Patel [16]首先將退化性商品及需求率之時間趨勢一併考慮, 分別求得訂購週期固定及不允許缺貨之最佳訂購策略。Sachan [40]則放寬 Dave 和 Patel [16]模式中不允許缺貨之假設。之後, Datta 和 Pal [15]也建立變動退化率及需求爲時間之多項式函數的退化性存貨模式。後來的學者諸如 Mudereshwar [32], Goswami 和 Chaudhuri [21], Goyal 等學者 [24], Hariga [25], Benkherouf [7], Chakrabarti 和 Chaudhuri [8], Hariga 和 Alyan [26], Wee 和 Wang [49], Chen [12], Wee 和 Law [49], Teng 等學者 [46]及 Chang 和 Dye [11]也都致力於隨時間變動需求之退化性存貨模式的研究上。

另一方面, 當零售商以現有的存貨數量無法及時滿足消費者的需求時, 會發生缺貨的情形。然而上述文獻通常假設不允許缺貨或完全欠撥。在寡佔市場或是單一零售商的情況下, 由於缺乏替代品或競

爭者, 當發生缺貨時, 消費者唯有等待零售商補足缺貨。然而, 在實際的銷售行爲中, 即使有多家零售商可供選擇, 但由於某些消費者對於特定零售商的忠誠度, 在零售商發生缺貨時仍願意等候欠撥, 另一部份則不願意等候而轉向其他競爭的零售商購買。因爲缺貨造成消費者的流失, 對零售商而言是一種利潤的損失, 它可視爲機會成本, 有必要納入存貨的相關成本中考量。爲了衡量缺貨期間消費者接受欠撥的情形, Park [36]和 Wee [47]在存貨模式中考慮欠撥率爲一固定比例。Padmanabhan 和 Vrat [34]假設缺貨期間消費者願意接受欠撥的比率爲等候欠撥數量的線性遞減函數, 等候欠撥的數量愈多, 接受欠撥的比例愈低。Chang 等學者[19]引用 Padmanabhan 和 Vrat[34]的欠撥率假設將模式推廣至有限計畫期間內需求隨時間變動之退化性存貨模式。另一方面, 等待零售商下一次補貨的時間長度, 也是消費者考慮是否願意接受欠撥的因素。爲了反映這個現象, Abad [1, 2]假設退化性物品在缺貨期間內的欠撥率爲與等候時間有關的函數, 等候的時間愈長, 消費者願意接受欠撥的比例愈低。他提出兩種與等候時間有關的欠撥率: $k_0e^{-\delta x}$ 和 $\frac{k_0}{1+\delta x}$, 其中 x 爲等候下一次補貨的等候時間長度, $0 < k_0 \leq 1$, 和 欠撥參數 $\delta > 0$。由於缺貨成本 和 銷售損失難以估計, Abad [1, 2]並未將缺貨期間造成的缺貨成本 和 銷售損失納入存貨的成本考量, 這不僅低估了總成本, 所制訂的存貨策略對消費者也造成了較低的服務水準。之後, Chang 和 Dye [9]以及 Papachristos 和 Skouri[35]分別假設欠撥率爲 $\frac{1}{1+\delta x}$ 和 $e^{-\delta x}$, 建立退化性物品在有限計畫期間的存貨模式。稍後, Teng 等學者 [45]加入銷售損失的成本以改善 Papachristos 和 Skouri [35]的缺失。最近, Dye [18]修正 Abad [1, 2]的退化性物品存貨模式, 將缺貨成本和銷售損失納入總利潤函數中並證明最佳解不僅存在而且唯一。

然而我們可以發現上述文獻多是由零售商或是供應商個別的觀點出發。當企業僅以本身的最適決策做爲考量時，將會產生個別目標與整體目標不一致的衝突，而使該價值鏈失去競爭優勢，唯有供應商和 零售商充分合作，才能達到供應鏈系統整體利益最大化的目標。因此, 連結上中下游 (供應商、零售商、消費者)，經由即時資訊分享與傳遞，同步協調供應鏈中備料、生產、運輸 和 分配的作業流程經濟有效的方式達到對客戶適時、適量 和 適地的供補使得買賣方雙贏是有必要討論的。根據AMR (Advanced Manufacturing Research) 的定義，供應鏈管理有三項主要目標：(1) 以最低成本，使得企業能夠在正確的地點提供正確的產品。(2) 盡可能讓存貨降至最低，但仍舊能夠提供優異的客戶服務。(3) 縮短週期和 供應鏈流程。Goyal [22]首先提出單一賣方單一買方，以EOQ爲基礎的整合存貨模型。Banerjee[5]接著提出整合經濟批量模型，模型中賣方生產買方訂購的數量，待全部產品生產完畢後再整批運送給買方。Goyal [23]繼續推廣 Banerjee [5]的模型，建議賣方的生產批量是買方訂購數量的整數倍，待全部產品生產完畢後再分批等量運送給買方。Ben-Daya 和 Hariga [6]則延伸 Banerjee [5]的模式, 提出供應商前置時間爲時間的線性函數及隨機需求的整合存貨模型。Yang 和 Wee [51]提出一個有限的計畫期間的整合性供應鏈的耗損品存貨系統。當供應商的生產率及零售商的需求率皆爲常數的假設下, 推導出一個使買賣雙方達到雙贏的最佳聯合成本之存貨模式。其目標爲將買賣雙方在供應鏈系統中的設置成本、持有成本以及耗損成本的整合成本最小化。Huang 和 Yao [28]則修改 Yang 和 Wee [51]的模式並建立一個更有效率的演算法。另一方面, Sarker等學者 [41]及 Abad 和 Jaggi [3]則提出考慮信用交易的整合存貨模型。

綜合上述相關文獻的介紹可以發現, 運用數量方法以供應鏈的角度來探討有限計畫期間內需求隨時

間變動的整合存貨模型尚有許多討論的空間, 值得做進一步的研究。本研究將延續我們92[1]及93[2]年度的計畫, 將隨時間變動之需求率及缺貨期間內隨等候時間變動之欠撥率納入供應鏈模式中, 以決定供應鏈中供應商與零售商的最適生產、訂購及運送策略。我們將嘗試以數理的方式證明供應商與零售商最適的生產與訂購策略不僅存在而且唯一。接著, 我們將以數學分析所得到的性質建立演算法並使用數學軟體做爲輔助工具撰寫程式, 利用數值範例說明求解過程及驗證模式之合理性及實用性。同時, 本研究擬對重要的參數進行敏感度分析, 以瞭解各參數變動對最適解的影響。

References

[1] P. L. Abad. Optimal pricing and lot-sizing under conditions of perishability and partial backordering. *Management Science*, 42:1093–1104, 1996.

[2] P. L. Abad. Optimal price and order size for a reseller under partial backordering. *Computers & Operations Research*, 28:53–65, 2000.

[3] P. L. Abad and C. K. Jaggi. A joint approach for setting unit price and the length of the credit period for a seller when end demand is price sensitive. *International Journal of Production Economics*, 83:115–122, 2003.

[4] S. P. Aggarwal and C. K. Jaggi. Ordering policies of deteriorating items under permissible delay in payments. *Journal of the Operational Research Society*, 46:658–662, 1995.

[5] A. Banerjee. A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor. *Decision Sciences*, 17:292–311, 1986.

[6] M. Ben-Daya and Hariga M. A. Integrated single vendor single buyer model with stochastic demand and variable lead time. *International Journal of Production Economics*, 92:75–80, 2004.

[7] L. Benkherouf. On an inventory model with deteriorating items and decreasing time-varying demand and shortages. *European Journal of Operational Research*, 86:293–299, 1995.

[8] T. Chakrabarti and K. S. Chaudhuri. An eoq model for deteriorating items with a linear trend in demand and shortages in all cycles. *International Journal of Production Economics*, 49:205–213, 1997.

[9] H. J. Chang and C. Y. Dye. An eoq model for deteriorating items with time varying demand and partial backlogging. *Journal of the Operational Research Society*, 50:1176–1182, 1999.

[10] H. J. Chang and C. Y. Dye. An eoq model with deteriorating items in response to a

[1] 考量退化性商品及部分欠撥下零售商之最佳售價與訂購策略之研究, NSC-92-2416-H-032 -004

[2] 考慮變動需求率及欠撥量與缺貨量有關之退化性存貨模式, NSC-93-2416-H-032-004

temporary sale price. *Production Planning and Control*, 11:464–473, 2000.

[11] H. J. Chang and C. Y. Dye. The effect of credit period on the optimal lot size for deteriorating items with time varying demand and deterioration rates. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 22:211–227, 2005.

[12] J. M. Chen. An inventory model for deteriorating items with time-proportional demand and shortages under inflation and time discounting. *International Journal of Production Economics*, 55:21–30, 1998.

[13] Morris A. Cohen. Joint pricing and ordering policy for exponentially decaying inventory with known demand. *Naval Research Logistics*, 24:257–268, 1977.

[14] Richard P. Covert and George C. Philip. An eoq model with weibull distribution deterioration. *AIIE Transactions*, 5:323–326, 1973.

[15] T. K. Datta and A. K. Pal. Order level inventory system with power demand pattern for items with variable rate of deterioration. *Indian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 19:1043–1053, 1988.

[16] U. Dave and L. K. Patel. (t, s_i) policy inventory model for deteriorating items with time proportional demand. *Journal of the Operational Research Society*, 32:137–142, 1981.

[17] W. A. Donaldson. Inventory replenishment policy for a linear trend in demand-an analytical solution. *Operational Research Quarterly*, 28:663–670, 1977.

[18] C. Y. Dye. Joint pricing and ordering policy for a deteriorating inventory with partial backlogging. *Omega*, 35:184–189, 2007.

[19] C. Y. Dye, H. J. Chang, and J. T. Teng. A deteriorating inventory model with time-varying demand and shortage-dependent partial backlogging. *European Journal of Operational Research*, 172:417–429, 2006.

[20] P. M. Ghare and G. H. Schrader. A model for an exponentially decaying inventory. *Journal of Industrial Engineering*, 14:238–243, 1963.

[21] A. Goswami and K. S. Chaudhuri. An eoq model for deteriorating items with shortages and a linear trend in demand. *Journal of the Operational Research Society*, 42:1105–1110, 1991.

[22] S. K. Goyal. An integrated inventory model for a single supplier-single customer problem. *International Journal of Production Research*, 15:107–111, 1976.

[23] S. K. Goyal. A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor: a comment. *Decision Sciences*, 19:236–241, 1988.

[24] S. K. Goyal, D. Morrin, and F. Nebebe. The finite horizon trended inventory replenishment problem with shortages. *Journal of the Operational Research Society*, 43:1173–1178, 1992.

[25] M. A. Hariga. Optimal eoq models for deteriorating items with time-varying demand. *Journal of the Operational Research Society*, 47:1228–1246, 1996.

[26] M. A. Hariga and A. Al-Alyan. A lot sizing heuristic for deteriorating items with shortages in growing and declining markets. *Computers & Operations Research*, 24:1075–1083, 1997.

[27] F.W. Harris. *What quantity to make at once, The Library of Factory Management, Vol. 5, Operations and costs.* A. W. Shaw Company, Chicago, 1915.

[28] J. Y. Huang and M. J. Yao. A new algorithm for optimally determining lot-sizing policies for a deteriorating item in an integrated production-inventory system. *Computers & Mathematics with Applications*, 51:83–104, 2006.

[29] S. Kang and I. Kim. A study on the price and production level of the deteriorating inventory system. *International Journal of Production Research*, 21:899–908, 1983.

[30] R. B. Misra. Optimum production lot size model for a system with deteriorating inventory. *International Journal of Production Research*, 13:495–505, 1975.

[31] S. Mukhopadhyay, R. N. Mukherjee, and K. S. Chaudhuri. Joint pricing and ordering policy for a deteriorating inventory. *Computers & Industrial Engineering*, 47:339–0349, 2004.

[32] T. M. Murdeshwar. Inventory replenishment policy for linearly increasing demand considering shortages - an optimal solution. *Journal of the Operational Research Society*, 39:687–692, 1988.

[33] L. Y. Ouyang, C. T. Chang, and J. T. Teng. An eoq model for deteriorating items under trade credits. *Journal of the Operational Research Society*, 56:719–726, 2005.

[34] G. Padmanabhan and P. Vrat. Eoq models for perishable items under stock dependent selling rate. *European Journal of Operational Research*, 86:281–292, 1995.

[35] P. Papachristos and K. Skouri. An optimal replenishment policy for deteriorating items with time-varying demand and partial-exponential type-backlogging. *Operations Research Letters*, 27:175–184, 2000.

[36] K. S. Park. Inventory models with partial backorders. *International Journal of System Science*, 13:1313–1317, 1982.

[37] R. I. Phelps. Optimal inventory rule for a linear trend in demand with a constant replenishment period. *Journal of the Operational Research Society*, 31:439–442, 1980.

[38] G. C. Philip. A generalized eoq model for items with weibull distribution deterioration. *AIIE Transactions*, 6:159–162, 1974.

[39] E. Ritchie. The eoq for linear increasing demand: a simple optimal solution. *Journal of the Operational Research Society*, 35:949–952, 1984.

[40] Sachan R. S. On $(t,\ s_i)$ inventory policy model for deteriorating items with time proportional demand. *Journal of the Operational Research Society*, 35:1013–1019, 1984.

[41] B. R. Sarker, A. M. M. Jamal, and Shaojun Wang. Supply chain models for perishable products under inflation and permissible delay in payment. *Computers & Operations Research*, 27:59–75, 2000.

[42] E. D. Silver. A simple inventory replenishment decision rule for a linear trend in demand. *Journal of the Operational Research Society*, 30:71–75, 1979.

[43] P. R. Tadikamalla. An eoq inventory model for items with gamma distribution. *AIIE Transactions*, 10:100–103, 1978.

[44] J. T. Teng. A note on inventory for replenishment policy for increasing demand. *Journal of the Operational Research Society*, 45:1335–1337, 1994.

[45] J. T. Teng, H. J. Chang, C. Y. Dye, and C. H. Hung. An optimal replenishment policy for deteriorating items with time-varying demand and partial backlogging. *Operations Research Letters*, 30:387–393, 2002.

[46] J. T. Teng, M. S. Chern, H. L. Yang, and Y. J. Wang. Deterministic lot-size inventory models with shortages and deterioration for fluctuating demand. *Operations Research Letters*, 24:65–72, 1999.

[47] H. M. Wee. Deterministic lot-size inventory model for deteriorating items with shortages and a declining market. *Computers & Operations Research*, 22:345–356, 1995.

[48] H. M. Wee. A replenishment policy for items with a price-dependent demand and a varying rate of deterioration. *Production Planning & Control*, 8:494–499, 1997.

[49] H. M. Wee and W. T. Wang. A variable production scheduling policy for deteriorating items with time-varying demand. *Computers & Operations Research*, 26:237–254, 1999.

[50] R. H. Wilson. A scientific route for stock control. *Harvard Business Review*, 13:116–128, 1934.

[51] P. C. Yang and H. M. Wee. An integrated multi-lot-size production inventory model for deteriorating item. *Computers & Operations Research*, 30:671–682, 2003.

結果與討論

本研究利用數量方法建立供應商與零售商的整合存貨模型。探討在一有限計畫期間內, 當需求隨時間變動及允許部份欠撥時, 供應商與零售商如何協同生產、訂購及運送使得買賣雙方的聯合成本極小化。本研究除了在理論上證明最佳解存在外, 並將發展適

當的演算法以利撰寫電腦程式求得最佳解。同時會針對模式中重要參數進行敏感度分析, 了解參數變動對最佳解的影響。

計畫成果自評

本研究所提出的整合存貨模型是一全新的觀念。探討在有限計畫期間內, 商品在需求隨時間變動及允許部份欠撥下之供應鏈存貨模式。截至目前爲止，本計畫已將研究成果投稿至具SCI等級之國際期刊，*European Journal of Operational Research*。此外，計畫執行過程中所發現之部份研究成果亦已投稿並接受於*International Journal of Information and Management Sciences* 。