

空運中心尖峰降落費與擁擠定價之研究*

涂保民**

摘 要

本研究主要針對空運中心尖峰時段降落費及擁擠定價之相關課題進行探討。研究中首先比較各國空運中心之降落費與營運特性，經統計結果，中正機場降落費高居世界之冠；就亞太地區而言，費率略高於東京成田機場，但比起鄰近的香港啓德機場與新加坡樟宜機場高出約五成。其次，本研究建立數學模式探討空運中心之降落費訂定策略。研究中以單一空運中心之旅客運輸為討論對象，在考量旅次需求型態為固定的情形下，以航空器接受塔台進場管制至離開塔台離場管制之時段為研究範圍。本研究以平均成本定價法來決定非尖峰時段之降落費，以期能在收支平衡下避免造成經營單位虧損及政府補貼；而在尖峰時段，則以機場擁擠所造成之額外成本及空運中心乘客之轉機效益為主要考慮因素，在社會邊際成本定價法的原則下，以系統總成本最小為目標決定最佳的尖峰降落費及時間帶長度。最後，並以中正國際機場為實例應用分析之對象，以驗證模式之合理性。此項研究成果，可提供未來空運中心訂定降落費之參考依據；而研究中建立的分析模式，可以作為評估最適降落費與時間帶的基礎。

關鍵詞：空運中心、降落費、擁擠定價、時間帶長度

*本文部份內容曾發表於中華民國運輸學會第九屆學術論文研討會及運輸計劃季刊第二十六卷第二期

**康寧護理專科學校專任教師

一、緒 論

所謂空運中心，即航空公司經由航線、班次和時刻的協調，使旅客和貨物以此機場為接駁點，而各個來自不同起點的飛機，在一短時段內同時抵達，經一段合理的接駁時段後，在另一短時段內，再同時飛往其他目的地。大型航空公司為提高在同業間之競爭優勢，紛紛採取空運中心之軸輻型網路 (Hub-and-Spoke Networks) 策略，此舉不僅可以增加飛航頻率、提高乘載率、改善服務品質，更可降低營運成本、增加營收等 (Kanafani and Ghobrial, 1985; Wheeler, 1989)。但由於飛機大量集中的結果，造成飛機起降延滯，外部成本 (External Cost) 大量增加，進而影響其營運成本及乘客權益。為了改善上述尖峰時段的擁擠現象，有些機場則採取尖峰定價來抑制尖峰時段的飛機成長（例如：紐約、香港、倫敦等機場），但若飛機起降時間過於分散，則旅客之轉機時間將會延長，間接失去了空運中心的運作效益。

由此觀之，尖峰定價係與空運中心在短時間內完成轉乘之目的互相衝突；因此空運中心如何能兼顧其營運績效，同時又能合理運用機場設施，實為建立一空運中心之重要課題。換言之，由於機場在擴建或新建皆需大量的投資，且在時效上常緩不濟急，因此機場降落費訂定之基礎及費率水準是否符合經濟效率及公平合理原則，不但攸關使用者的權益，更影響到機場設備之使用效率；如何在同時兼顧機場設施之有效運用並發揮空運中心之理念下，有效制定尖峰費率，實為重要的研究主題。

本研究依據成本分派 (Cost Allocation) 之公平原則，就空運中心、航空公司業者及乘客三方面之相關特性進行分析，以建立空運中心尖峰降落費訂定之最佳化模式。本文首先進行相關文獻回顧，包括「機場經濟與定價理論」、「機場外部成本與擁擠定價分析」等方面之探討；其次針對空運中心、航空公司及乘客之特性，分別考量空運中心與航空公司之營運成本，以及乘客之使用者成本，逐步建立數學模式，進行最佳化研究；本研究並以中正國際機場之供需特性為基礎，配合相關需求特性之假設進行模擬分析，以驗證模式之適用性；最後針對本研究分析結果提出具體之結論與建議。

二、文獻回顧

利用擁擠費來作為機場降落費之考量依據，國外方面已有若干研究成果。本研究除了對「機場外部成本與擁擠定價」作一探討外，並針對與本研究課題相關的「機場經濟與定價理論」進行評述。

(一) 機場經濟與定價理論

由於運輸業的供給與需求特性不同於一般企業，且有濃厚的公共服務事業色彩，因此在費率的訂定上必須配合其本身之特性及外在因素加以考慮。以下探討各種運輸定價理論，並討論機場降落費在不同運輸定價理論上所做之相關研究。Carlin and Park (1970b) 曾應用邊際成本定價法來推求飛機因擁擠而損失之擁擠成本，並以美國紐約的 LaGuardia 機場來進行分析。文中亦探討利用擁擠費來解決機場擁擠問題之可行性。

Morrison (1987) 由機場經營者觀點，將航空公司所產生的消費者剩餘最大作為目標式，而以收支平衡為限制式來求得機場降落費，經推導後將其結果應用於舊金山國際機場 (San Francisco Int'l Airport)，結果發現此模式之分析結果，對於經營通勤旅次之航空公司較為有利。

Borins (1978) 以加拿大多倫多的 Malton 國際機場為例，在社會邊際成本定價原則下，利用模擬法分析該機場之定價策略及最佳投資時程。Oum 與 Zhang (1990) 在分析機場跑道的最佳興建時程中，以最大社會淨效益 (Social Net Benefit, 此即 Social Welfare) 為目標，利用社會邊際成本定價法求得使用者在擁擠時段下所付出之價格。

此外 Morrison (1982) 曾利用雷姆西定價法 (Ramsey Quasi-Optimal; Second Best Pricing)，來探討未擁擠機場之降落費訂定問題。Morrison 認為：一個設備未充分利用的機場，利用邊際成本定價法可能導致機場營運虧損，而要彌補此虧損則只有靠政府補貼，或將降落費定於邊際成本之上，如此卻可能導致無效率的定價。因此 Morrison 以社會淨效益最大，在考量特定回收之下，求得降落費係由機場的邊際成本、旅客需求彈性、及飛行成本所組成。

Daniel (1991) 以美國的 Minneapolis-St. Paul 機場為例，探討尖峰定價之可行性。Daniel 將軸輻網路系統作為研究範圍，構建出「軸輻網路排班模式」 (Model of Atomistic Hub-and-Spoke Route Network Scheduling) 及「隨機到達離散時間瓶頸模式」 (Discrete Time Bottleneck Model with Stochastic Arrivals)，求得飛機起降所造成之延誤及損失成本，並以 Minneapolis-St. Paul 機場之營運狀況為基礎，利用迴歸分析求得瓶頸模式內之各參數值。研究結果顯示：尖峰定價法雖對每架飛機之乘載率及時間帶 (Band) 的長短無太大影響，但可減少飛機降落時約 50% 的延誤及外部成本，對於飛機起飛所減少之延誤及外部成本更高達 65% 以上，且此法對於飛機的到達型態有分散的實質效益，而不致有太集中 (Concentration) 的現象。

(二) 機場外部成本與擁擠費定價分析

所謂擁擠費 (Congestion Toll) 定價之原理為係考量每個旅客並不知道其旅次行為對他人所造成的某些外部效果 (External Effect) 或外部成本 (External Cost)。因此，在決定

旅次時往往並未將這些成本納入。廣義而言，所謂的外部效果（或成本）可分成兩類：第一類是使用者對非使用者所產生之空氣汙染、噪音、震動、危險等負面影響；第二類為使用者對使用者造成的成本，如交通擁擠。一般而言，旅客只考慮到實際上所承擔的一般化成本 (Generalized Cost)，如旅行時間成本。因此旅客在預估旅次成本時，容易造成低估，而產生旅次需求過大的現象。

由於上述兩類的外部成本，在需求量接近運輸設施容量時，其所帶來之負面影響就更為顯著，但這卻無法透過市場機能來反映，故須藉由其他方式來處理，而擁擠費就是來處理這類外部成本的方法。就航空市場而言，合理的降落費可反映不同時段的擁擠成本 (Vickrey, 1969)，因此欲利用擁擠費來減少機場延誤，最常使用的方法是決定飛機降落費時，就考慮以擁擠成本為主要之訂定依據 (Levine, 1969)。

就其效益而言，擁擠費之徵收可減少不必要的延誤，這可從兩方面說明：其一是將尖峰時段之需求分散於非尖峰時段上，以提高運輸設施之使用效率 (Vickrey, 1968; Oum and Zhang, 1990)；其二是將需求轉移到其他未徵收擁擠費的運輸設施上 (Baumol and Bradford, 1970)。如此就不必增建新的運輸設施，而減少資源的浪費，同時可產生重分配效果 (Starkie, 1986)，即經濟強勢者可花較多的金錢來節省旅行時間，而經濟弱勢者只能花較多的旅行時間以減少金錢支出。

就一般航空業而言，其所稱之延誤有三種，第一種是「時刻表延誤」 (Schedule Delay)，為旅客心目中理想之搭乘飛機時間與實際飛航時刻表間之時間差；第二種是「轉機延誤」 (Layover Delay)，即某些航線須經由第三地之轉機才可到達目的，而在轉機過程所花費的時間即為轉機延誤；第三種為「擁擠延誤」 (Congestion Delay)，為機場因容量不足，造成飛機起降所產生的延誤 (Daniel, 1991)。飛機起降延誤會造成航空公司營運成本增加，同時也影響其商譽，使得旅客產生不信任感。根據 Mayer (1988) 的估計，美國在 1980 年代期間，每年因飛機延誤所損失的成本就高達 20 億美元。基本上，時刻表延誤及轉機延誤可藉由增加飛航頻率而得以縮小，但若飛航頻率過於頻繁，可能會造成擁擠延誤增加，故徵收擁擠費實為減少整體延誤、提昇機場設施使用效率之可行方法。

Carlin 與 Park (1970b) 曾應用邊際成本定價來推算飛機在擁擠情形下之延誤成本。而 Findlay (1983) 的研究發現：最佳的航空費率及飛航頻率組合對社會福利有正面影響；而航空公司間彼此競爭的結果可使航空市場的飛機數目維持在最佳狀態。

Fawcett 等人 (1988) 指出，美國在 1986 年時，平均每天有 1,144 架飛機的延誤超過 15 分鐘以上，由此推之，一年約有 417,644 架飛機延誤，其延誤成本高達 30 億美元。Deen (1993) 對實施擁擠費定價則持肯定的態度，認為徵收擁擠費可減少不必要的延滯，使運量成長，並可使尖峰時段的需求分散於其他時段，因此可增加運輸設施的使用

效率，並防止其過度使用。

Fisher (1989) 認為，機場由於空域、跑道、及航站大廈之容量不足而造成機場的擁擠，興建機場雖能滿足長期的需求，但對於短期內無濟於事，因此 Fisher 提出時間縫(Slot) 拍賣、尖峰／非尖峰定價及直接對旅客收取附加費等三個方法來解決機場擁擠。Fisher 同時認為機場之降落費應採用邊際成本定價，可使沒必要在尖峰時段搭機的旅客轉移到非尖峰時段裡，可有效的降低機場的擁擠及延誤。

三、各國機場降落費之分析

機場降落費與航空業者成本密切相關，同時也是機場之主要收入來源之一。根據國際民航組織 (International Civil Aviation Organization; ICAO) 的報告中指出，大部份的機場降落費訂定標準以能滿足機場的支出為原則 (ICAO, 1992)。以下說明機場降落費訂定特性並比較分析世界各國之降落費收費標準。

(一) 各國降落費之訂定方式比較

目前各國對於降落費之收費方式，主要是考量飛機著陸時對機場跑道所造成的破壞程度，而以飛機重量為基礎來進行徵收。換言之，飛機重量愈大，對跑道造成之破壞程度也愈大，故須負擔較多之降落費。現今世界各國主要以最大起飛重量(Maximum Take-Off Weight, MTOW)、最大降落重量(Maximum Landing Weight, MLW)、最大滑行重量(Maximum Taxi Weight, MTW)、及最大允許重量(Maximum Allowable Weight, MAW; Maximum Permissible Weight, MPW)等四種不同的飛機重量為計費基礎 (涂保民, 1994)。台灣地區現行降落費係以航空器之最大起飛重量 (MTOW) 為基礎，共分成三級，以分級累加方式計算，並區分為國際及國內航線兩種費率結構，如表 1 所示。

(二) 世界各國降落費之收費標準

表 2 為亞太各國國際機場營運現況比較表，其中以日本東京的成田機場與香港啓德機場使用率最高，無論是跑道、航站大廈、停機坪之尖峰時段使用率均在 100% 以上。我國中正機場之航站大廈與停機坪於尖峰時段可達九成以上的使用率，但航管人員為避免飛機起降時間過於短暫造成飛安事故，常會增加飛機起降間之緩衝時間，同時跑道能否達到最大容量，也與起降助航設備有極密切關係，故尖峰時段之跑道使用率雖只有 29%，但非尖峰時段的使用率更只有 7%，尖峰時段飛機集中的現象仍相當明顯。就整體而言，此數據顯示機場跑道之使用尚未達其容量，其相關作業與使用效率應有提昇的空間，而未來空運中心發展中，中正機場之航站大廈與停機坪則為設施限制之一，值得加以重視。

表 1 我國機場降落費收費標準

航線	航空器重量 (公噸, W)	收 費 (新台幣)
國際	50 公噸以下	$218 * W$
	50 至 100 公噸	$10,900 + 273 * (W - 50)$
	100 公噸以上	$24,550 + 305 * (W - 100)$
國內	20 公噸以下	$88 * W$
	20 至 100 公噸	$1,960 + 132 * (W - 20)$
	100 公噸以上	$12,520 + 161 * (W - 100)$

註：計費基礎：MTOW；計費單位：1 公噸。資料來源：交通部 (1988)。

表 2 亞太各國國際機場營運現況比較表

機場設施	跑 道		航 站		停 機		坪	降落費
評估因子 機場	尖峰小時容量 (架次)	使用率 (%)	尖峰小時容量 (架次)	使用率 (%)	現有登機門數	尖峰小時需求	使用率 (%)	以 B747 為例 (仟元)
日本東京 成田機場	28	100	8,600	138	28	45	161	106.6
韓國漢城 金浦機場	48	88	國際 6,200	58	73	53	73	63.8
			國內 1,800	156				
香 港 啓禮機場	30	107	3,300	164	32	32	100	61.9
泰 國 曼谷機場	60	75	6,400	92	54	60	111	42.8
新 加 坡 樟宜機場	66	61	10,000	63	65	38	58	64.4
中華民國 中正機場	77	29	4,000	95	22	20	91	114.5

資料來源：鄭傳耀等人(1993)

為了進一步瞭解我國現行降落費與世界各國降落費之差異，本研究以目前國際航線較常使用之 B747 及 B767 兩種機型，試算其他國家之降落費，其結果如表 3 所示，而詳細之費率制度參見相關研究（涂保民，1994）。由表 3 可知，我國降落費較其他各國

為高。而香港、倫敦、紐約等地區尚依據其尖峰特性而對起降飛機實施尖峰定價，其中倫敦的三個主要機場 Heathrow、Gatwick 及 Stansted 除了對起降飛機收取擁擠定價外，也對旅客實施尖峰定價。由於我國機場跑道之使用率尚低，而降落費卻高居世界之冠，在我國極欲發展「空運中心」之際，此項高費率政策將直接影響目前國內航空公司之經營策略，而是否會影響各航空公司飛航我國的意願，應有重新檢討的必要。

表 3 世界各大機場降落費費率 單位：新台幣⁷

站 名	計費基礎 ¹	B747 ²	B767 ²
阿姆斯特丹 (AMS)	MTOW	97,835	41,928
北京 (BEJ) ³	MTOW	83,740	36,676
曼谷 (BKK)	MTOW	42,768	19,180
底特律 (DTW)	MLW	26,069	11,426
香港 (HKG) ⁴	MAW	61,850	36,569
雅加達 (JKT)	MTOW	58,768	24,228
吉隆坡 (KUL)	MAW	36,784	17,737
洛杉磯 (LAX)	MLW	27,033	13,200
倫敦 (LON) ⁵	MAW	31,818	14,012
紐約 (NYC) ⁶	MTOW	58,439	21,945
馬尼拉 (MNL)	MTOW	48,950	20,873
巴黎 (PAR)	MTOW	78,265	30,483
西雅圖 (SEA)	MLW	36,729	17,600
漢城 (SEL)	MTOW	63,795	29,909
舊金山 (SFO)	MLW	14,410	8,099
新加坡 (SIN)	MTW	64,389	26,331
胡志明市 (SGN)	MAW	67,582	22,236
台北 (TPE)	MTOW	114,525	46,815
東京 (TYO)	MTOW	106,625	40,700

資料來源：基本資料與公式來自 ICAO (1992)及長榮航空公司，並經本研究計算整理而得。

註 1：MTOW：最大起飛重量；MLW：最大降落重量；

MTW：最大滑行重量；MAW：最大允許重量。

註 2：B747 之最大起飛重量為 395,000 kg；B767 為 173,000 kg。

註 3：當地時間 23:00 - 6:00 對起降飛機加收 25%。

註 4：當地時間 13:00 - 18:00 對起降飛機加收港幣 500 元。

註 5：格林威治時間 4 月 1 日至 10 月 31 日 7:00 - 10:00 及 17:00 - 19:00

對起降飛機及出入境旅客採尖峰收費，其費率依機場及時間不同而異。

註 6：當地時間 15:00 - 22:00 對起降飛機加收美金 100 元。

註 7：幣值換算基礎係 1.0 新台幣 = 0.038 美元 = 4.0 日元 = 0.072 荷幣 = 0.962 泰幣 = 0.056 坡幣。

四、空運中心尖峰降落費之最佳化分析

本研究經由空運中心經營特性之分析，考量合理有效的差別定價策略，並根據經濟學的相關定價理論，建立尖峰定價分析模式以探討尖峰時段之降落費費率。本節以下分別說明模式的假設及架構，並於下一節中進行實例分析。

(一) 模式假設

本研究建立的模式係以單一空運中心為對象，考慮飛機從進場到離場時間內，空運中心、航空公司與乘客之營運成本及使用者成本。此處的外部成本以機場擁擠所造成之延誤成本為主，但不考慮噪音、空氣污染、土地價值等外部成本。除此之外，本模式並假設空運中心一天內所服務之飛機數及旅客量，應在其容量限制以內，否則該空運中心就無法再以差別定價方式有效運用機場設施，而應儘速擴充其設施容量。

一個規劃完善的空運中心，必須在機場收支能夠平衡下，兼顧航空業者及旅客之權益。由於航空市場也有尖峰時段特性，因此當飛機集中到某一程度後，會因擁擠而造成飛機延誤。要改善擁擠情況，可利用下列兩種方式：第一是採用降落費尖離峰定價。此法可將飛機分散於非尖峰時段上，使尖峰時段不致於過份擁擠，因而可適度的縮短時間帶 (Band) 長度，使旅客轉機成本降低，但此法卻會提高航空業者的營運成本；第二是延長時間帶長度。延長時間帶使得單位時間起降飛機數減少，可降低飛機的延誤成本，但卻會增加旅客的轉機時間、提高轉機成本。

由於降落費之尖離峰差別定價及時間帶長度改變，均會對航空業者及乘客造成影響，因此如何在業者及旅客間取得一平衡點、兼顧彼此權益，則是本研究之重點。在模式構建上，係利用一非尖峰與尖峰降落費比值 μ 來描述降落費尖離峰差別定價之比例，以 L_p 來代表時間帶長度。而本研究則在航空運輸系統總成本最小的目標下，透過最佳化分析，求得最佳非尖峰與尖峰降落費比值 μ^* 及最佳時間帶長度 L_p^* 。

以下係針對「旅客需求函數」、「空運中心成本函數」、「航空公司成本函數」、及「旅客成本函數」等四部份來構建整個模式，以建立航空運輸系統之空運中心、航空公司與旅客彼此間之關係。在整個航空系統中，空運中心、航空公司、及旅客之相關成本主要以圖 1 之分類方式為基礎，而模式推導過程中，詳細之符號說明則參見附錄。

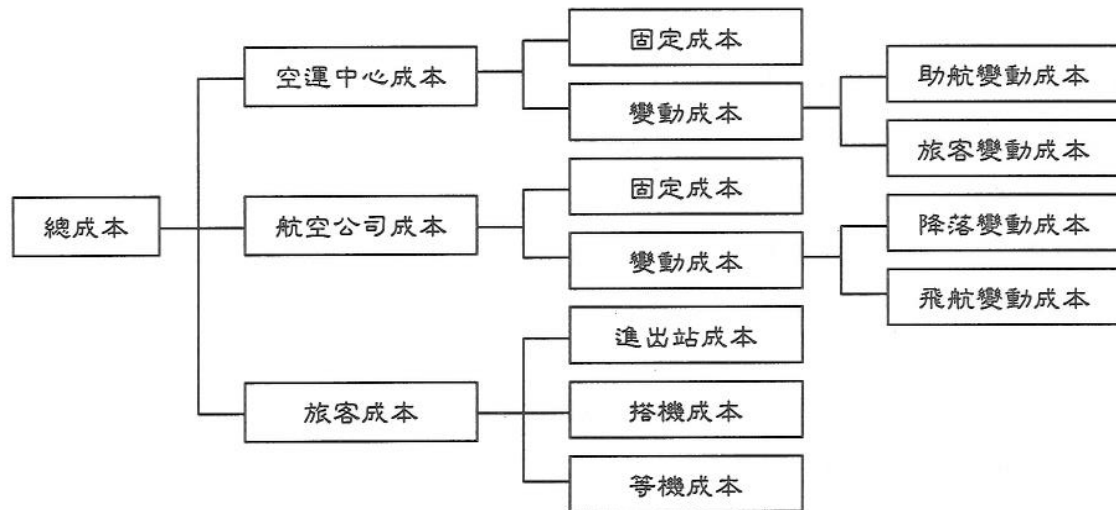


圖 1 總成本各項目分類

(二) 旅客需求

在旅客需求方面，係針對單一空運中心出入境旅客及轉機旅客來考量。首先假設一天內以該空運中心為起點及訖點之旅客數相等，均定義為 n ；而轉機旅客數則定義為 m ，同時假設以該空運中心為轉機之旅客為一可經由調查分析之給定值。

就尖峰時段而言，主要以需求面來考量航空公司之供給情形，因此本研究假設這些旅客不會因降落費之不同，而有在不同時段間主動轉移的現象。就尖峰時段而言，以此時段出入境旅客佔一天旅客數的比例 α ($\alpha < 1$)，而轉機旅客數則佔一天轉機旅客數的特定比例 β ($\beta < 1$)，故尖峰時段中，此航空運輸系統之旅客數(q_p)為

$$q_p = \alpha n + \beta m \quad (1)$$

在非尖峰時段，則考慮旅次需求為平均分佈，此時段之旅客數(q_f)為

$$q_f = (1 - \alpha)n + (1 - \beta)m \quad (2)$$

(三) 空運中心之成本函數

空運中心一天中之營運成本 (Operation Cost) 可包含固定成本 (Fixed Cost) 及變動成本 (Variable Cost) 兩部份，其中固定成本以 F_H 代表，包含飛航服務總台、航空站、貨運站、及航空警察局等固定設施及折舊成本(中正國際航空站，1989)；而變動成本又可區分為助航變動成本 (Navigation Variable Cost) 及旅客變動成本 (User Variable Cost)。就助航變動成本而言，主要是考量飛機降落時對跑道造成的破壞，以及助航時之成本，理論上可由一天內第 i 型飛機數目 M_i 與其單位成本 γ_N 相乘而得；而旅客變動成本，主要是以空運中心服務旅客所花費之成本（如海關檢查、行李服務等）為主，可由一天內之出境旅客數 n 與其單位成本 γ_u 相乘而得，故空運中心一天內之營運成本可表為

$$C_{HD} = F_H + \sum_{i=1}^k M_i \gamma_{Ni} + n \gamma_n \quad (3)$$

其中 k 為空運中心內不同型式飛機之種類。

同樣的，空運中心於尖峰時段之營運成本也可用固定成本與變動成本表示，其中固定成本 C_h 可用一天內空運中心之固定成本 F_H 在一特定的成本分配 (Cost Allocation) 模式假設下乘上某一比例 u ($u < 1$) 而得

$$C_h = u F_H \quad (4)$$

而尖峰時段變動成本 C_v ，則考量該時段起降之各型飛機數 N_i 及出入境旅客數 αn 分別乘上其單位營運成本，可表為

$$C_v = \sum_{i=1}^k N_i \gamma_{Ni} + \alpha n \gamma_n \quad (5)$$

故空運中心於尖峰時段之總成本為

$$C_H = C_h + C_v \quad (6)$$

在此，為簡化某些符號，並增加模式推導的方便性，而將尖峰時段不同型式飛機數 N_i 加總的結果以 N 表示，即

$$N = \sum_{i=1}^k N_i \quad (7)$$

(四) 航空公司之成本函數

航空公司於尖峰時段的營運成本 (Operation Cost) 也可分成固定成本 (Fixed Cost) 及變動成本 (Variable Cost) 兩部份，其中固定成本 C_a 可由航空公司一天之固定成本 F_A 乘上某一比例 v ($v < 1$) 而得，可表為

$$C_a = v F_A \quad (8)$$

在航空公司於尖峰時段所使用的各型飛機數 N_i ，可用一天內降落之各型飛機數 M_i 乘上該型飛機之集中因子 λ_i 而得，即

$$N_i = \lambda_i M_i \quad (9)$$

其中集中因子 λ_i 與機場的相對降落費有關，如果尖峰時段的降落費愈高，則飛機的尖峰集中性將趨緩；因而本研究僅以下式描述其間的關係：

$$\lambda_i = a_i \mu \quad (10)$$

其中 a_i 為第 i 型飛機之集中常數， μ 為非尖峰降落費與尖峰降落費的比值，即

$$\mu = \frac{P_{Oi}}{P_{Pi}} \quad (11)$$

P_{Oi} 及 P_{Pi} 分別為第 i 型飛機於非尖峰及尖峰時段之降落費，而 μ 之範圍為 $0 < \mu \leq 1$ 。

在公式 (10) 之集中因子係一簡化的結果。就一般式而言，可表為 $\lambda_i = a_i \mu^{r_i}$ ，其中 r_i 為 μ 之敏感度，由於此項敏感度並無相關文獻討論，故在本研究中令 $r_i = 1$ ，以簡化模式之推導。當無尖峰定價，即 $\mu = 1$ 時，可得 $\lambda_i = a_i$ 。在此分析模式中，係假設旅客不會因降落費不同，而有在不同時段間主動轉移的現象；即在尖峰時段的出入境旅客及轉機旅客是一定的。就實際情況而言，除非航空公司將尖峰時段所增加的降落費反應於票價上，否則是不太容易造成旅客於不同時段間的轉移。若要考慮尖峰機票加成，則又是屬於另一研究的範疇。

一般而言，航空公司所提供之供給量，應能滿足旅客於該時段之需求量，而尖峰時段旅客數（包括出入境及轉機）與各型飛機之座位數 S_i 及乘載率 ρ_i 可有以下之關係

$$\alpha n + \beta m = \sum_{i=1}^k N_i S_i \rho_i \quad (12)$$

在變動成本方面，可分成降落變動成本 (Landing Variable Cost) 及飛航變動成本 (Aviation Variable Cost)。就降落變動成本 C_d 而言，包括飛機降落後所負擔的地勤服務、尖峰加成等成本，以尖峰時段的各型飛機數 N_i 乘上其單位成本 δ_{oi} 而得，再加上飛機於尖峰時段所加收之尖峰收費 (Peak Charge)，由各型飛機數 N_i 乘上尖峰時段與非尖峰時段之降落費差值 ($P_{pi} - P_{oi}$)，故降落變動成本可表為

$$C_d = \sum_{i=1}^k N_i \delta_{oi} + \sum_{i=1}^k N_i \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right) P_{oi} \quad (13)$$

在飛航變動成本 C_n 方面，主要考慮飛機進場及離場飛行時所花費的成本，由各型飛機數 N_i 乘上飛行時間及單位飛航成本而得，表為

$$C_n = \sum_{i=1}^k N_i (T_A + D_A) \delta_{Ai} + \sum_{i=1}^k N_i (T_D + D_D) \delta_{Di} \quad (14)$$

其中 T_A 、 T_d 、 D_A 、 D_D 、 δ_{Ai} 及 δ_{Di} 分別為飛機進場及離場飛行時間、平均延誤時間、及單位飛航成本。

Carlin 與 Park (1970a) 在推導飛機延誤時，認為當飛機起降次數大於機場跑道容量時，會造成飛機起降之等候線長度增加（圖 2(a)(b)），並建立等候線公式

$$Q(t) = \int_{t_0}^t [A(t) - K] dt, \quad t_1 \leq t \leq t_3 \quad (15)$$

但根據 FAA (1983) 及 TRB (1990) 的報告中顯示：即使在跑道容量未飽和的情況下也會造成起降延誤，只不過情況不若超過跑道容量的情形嚴重(如圖 2(c)所示)。

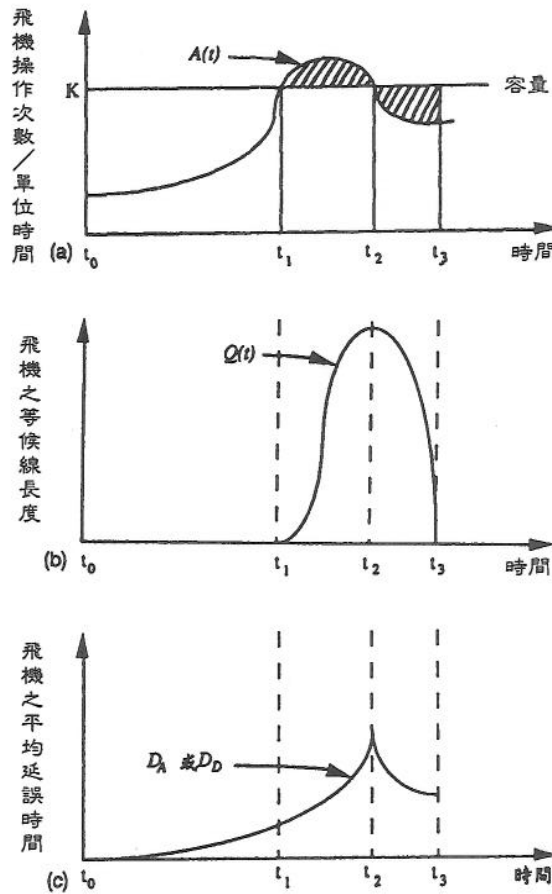


圖 2 機場擁擠與飛機延誤關係圖

資料來源：由 Carlin and Park (1970a), FAA (1983), TRB (1990) 修改而得

就進場平均延誤時間 (D_A)而言，可定義為：所有進場飛機延誤時間 d_{A_j} 之總和除上總飛機數 N ，即

$$D_A = \sum_{j=1}^N \frac{d_{A_j}}{N} \quad (16)$$

在本研究中，則假設飛機之延誤均由跑道擁擠造成，而非起因於登機門或航站大廈。因為登機門容量不夠時，尚可以彈性的停放措施，利用大型接駁公車接送登機，而航站大廈之容量不足與飛機延誤並無直接明顯的關係。在此採用類似流量容量比 (Volume Capacity Ratio) 的觀念來描述進場延誤時間，即利用起降飛機次數 bN 與該時段之跑道容量 $L_p K$ 的比值來表示，稱作進場延誤因子 (Arrival Delay Factor)，以下列式子表之

$$D_A = e_A \left(\frac{bN}{L_p K} \right)^f \quad (17)$$

其中 L_p 為時間帶長度(Band), K 為跑道容量(單位:起降次數/小時), b 為將飛機數轉換為起降操作次數之參數, e_d 為進場延誤因子係數、 f 則為延誤因子指數。

同樣的, 飛機離場平均延誤時間 D_D , 可根據定義及容量觀念來表示離場延誤因子 (Departure Delay Factor), 分別表為

$$D_D = \sum_{j=1}^N \frac{d_{Dj}}{N} \quad (18)$$

$$D_D = e_D \left(\frac{bN}{L_p K} \right)^f \quad (19)$$

因此, 綜合公式 (8)、(13)、(14), 航空公司於尖峰時段之總成本可表 C_A 為

$$C_A = C_a + C_d + C_n \quad (20)$$

(五) 旅客之成本函數

在旅客使用者成本 (User Cost) 方面, 則考量其進出站成本 (Access Cost)、搭機成本 (In-Aircraft Cost) 及等待成本 (Waiting Cost)。以進出站成本 C_x 而言, 由尖峰時段出境旅客數 αn 乘上進出站時間 t 、單位成本 θ_i 而得, 可表示為

$$C_x = \alpha n t \theta_i \quad (21)$$

搭機成本 C_e 則包含進場及離場兩部份, 由總旅客數 $\alpha n + \beta m$ 乘上進、離場飛行時間、延誤時間及單位時間成本 θ_e 而得, 表示為

$$C_e = (\alpha n + \beta m)(e_r + D_A)\theta_e + (\alpha n + \beta m)(e_o + D_D)\theta_e \quad (22)$$

式中 D_A 與 D_D 分別為進場與離場延誤時間, 如(17) 與 (19) 式所示。

而等待飛機成本 C_w 也可分為二部份, 其一是出境旅客數 αn 乘上等機時間 T 及時間成本 θ_L 而得, 其二是轉機旅客數 βm 乘上等機時間及時間成本 θ_L 而得。本模式假設尖峰時段到達或離開之飛機平均分布在該時段內, 因此當時間帶愈長, 會造成等機時間增加, 其關係為正比關係, 所以等機時間可表為一比例常數 h 乘上時間帶長度 L_p ; 而當飛機數增多時, 會使尖峰時段內的飛機平均起降時間縮短, 而有轉機時間與飛機數目 N 成一反比例關係, 其一般式可表為

$$\text{轉機時間} \propto N^x \quad \text{其中 } 0 > x;$$

$$\text{或 } \text{轉機時間} \propto 1/N^y \quad \text{其中 } 0 < y;$$

為使本模式在求解過程中不致過於複雜, 即令 $y=1$ 來予以簡化, 此在後續研究可以再做分析。所以等待飛機成本可表為

$$C_w = \alpha n T \theta_L + \beta m h L_p \theta_L / N \quad (23)$$

因此, 尖峰時段之旅客使用者成本 C_U 可由 (21)、(22) 及 (23) 式加總而得

$$C_U = C_x + C_e + C_w \quad (24)$$

(六) 非尖峰時段之降落費分析

對於非尖峰時段之降落費，本研究乃採用平均成本定價法 (Average Cost Pricing) 決定之。其主要目的，在使空運中心的財務能符合自給自足原則，以免造成經營單位虧損及政府補貼的壓力，且此種定價法易由會計帳面來確定，使政府便於管制。

首先考慮公式 (3) 空運中心一天之營運成本，其中旅客變動成本 $n\gamma_n$ 應等於對出境旅客所收取之機場服務費總額，而固定成本 F_H 及助航變動成本 $\sum M_i \gamma_{Ni}$ ，則應用平均成本法，使其與降落費之收入相等，因此可表為

$$\sum_{i=1}^k P_{Oi} M_i = F_H + \sum_{i=1}^k M_i \gamma_{Ni} \quad (25)$$

在本研究中，對於降落費之收費原則仍採最大起飛重量 (MTOW) 為標準，故第 i 型飛機之降落費 P_{Oi} 與其本身重量 σ_{wi} 可以下列線性關係表示：

$$P_{Oi} = \omega \sigma_{wi} \quad (26)$$

其中 ω 為單位重量之降落費費率。

因此將 (26) 式代入 (25) 式，可求得單位重量之降落費 ω 為

$$\omega = \frac{F_H + \sum_{i=1}^k M_i \gamma_{Ni}}{\sum_{i=1}^k \sigma_{wi} M_i} \quad (27)$$

再將 ω 代回 (26) 式即可求得各機型於非尖峰時段之降落費。

(七) 尖峰時段之最佳化分析

尖峰時段降落費，係以非尖峰時段之降落費為基礎，在考量外部成本內部化的情形下，將擁擠成本計算於系統總成本之內，並以社會邊際成本定價法為定價原則，系統之總成本最小為目標函數，求取最佳之尖峰加成比例(即 $1/\mu^*$)，同時在考量旅客轉機效益下，求得最佳時間帶長度(L_p^*)。

1. 尖峰時段之最佳時間帶長度

總成本 C_T 係空運中心、航空公司、及旅客成本之加總，即

$$C_T = C_H + C_A + C_U \quad (28)$$

將公式 (6)、(20)、(24) 代入可得

$$C_T = C_h + C_v + C_a + C_d + C_n + C_x + C_e + C_w \quad (29)$$

欲求最小成本下之最佳時間帶長度 L_p ，則使一階導函數為 0，可解得最佳時間帶長度 L_p^* ，以下式表之

$$L_p^* = \left(\frac{fb^f N^{f+1} R}{\beta m h \theta_L K^f} \right)^{\frac{1}{f+1}} \quad (30)$$

其中

$$R = \sum_{i=1}^k N_i (e_A \delta_{Ai} + e_D \delta_{Di}) + (\alpha n + \beta m)(e_A \theta_e + e_D \theta_e) \quad (31)$$

為使總成本有最小值，再求其二階導函數之結果大於 0，故此總成本函數 C_T 有最小值，而 (30) 式即為所求。

由公式 (30) 所示，整體參數與最佳時間帶長度 L_p^* 成 $1/(f+1)$ 次方關係，就個別參數而言，其中飛機數 N 與 L_p^* 成 1 次方正比關係，而與旅客等機單位成本 θ_L 成 $1/(f+1)$ 次方反比關係，跑道容量 K 則成 $f/(f+1)$ 次方反比關係。

2. 尖峰時段之最佳降落費

尖峰時段之降落費，係考慮機場之擁擠而採行尖峰定價。在推導最佳解的過程中，將集中因子 λ_i (公式 (10))，進、離場平均延誤因子 D_A 、 D_D (公式 (17)、(19)) 代入公式 (29) 之總成本函數 C_T 中，再以系統總成本最小為目標，求其一階導函數得

$$\frac{\partial C_T}{\partial \mu} = (1+f)\mu^f W + f\mu^{f-1} X + \mu Y + \frac{Z}{\mu^2} \quad (32)$$

其中

$$W = \sum_{i=1}^k a_i M_i (e_A \delta_{Ai} + e_D \delta_{Di}) \left(\frac{b}{L_p K} \right)^f \left(\sum_{i=1}^k a_i M_i \right)^f \quad (33)$$

$$X = (\alpha n + \beta m)(e_A \theta_e + e_D \theta_e) \left(\frac{b}{L_p K} \right)^f \left(\sum_{i=1}^k a_i M_i \right)^f \quad (34)$$

$$Y = \sum_{i=1}^k a_i M_i (\gamma_{Ni} + \delta_{Oi} + T_A \delta_{Ai} + T_D \delta_{Di} - P_{Oi}) \quad (35)$$

$$Z = -\frac{\beta m h L_p \theta_L}{\sum_{i=1}^k a_i M_i} \quad (36)$$

由於 μ 為非尖峰與尖峰時段之降落費比值，故 $\mu \neq 0$ ，將 (32) 式略微修改成 $f(\mu)$ 的函數，可表為

$$f(\mu) = (1+f)W\mu^{f+1} + fX\mu^{f+1} + Y\mu^2 + Z \quad (37)$$

由於 (37) 式之 f 未知，無法判斷其為幾階函數，故在此無法求得一封閉解 (Closed-form Solution)，而二階導數經過驗證為大於零 (涂保民，1994)，故此總成本函數 C_T 有最小值。若令 μ 之最佳化結果使 $f(\mu^*) = 0$ ，則尖峰時段之降落費可由公式 (11)

改寫為

$$P_{pi}^* = \frac{P_{oi}}{\mu^*} \quad (38)$$

在下一節中將以中正機場作為實例研究之對象來進行分析，並討論各變數對最佳化結果的影響。

五、實例分析

本節以台灣中正國際機場為本研究實例應用分析之對象，其航站之相關基本資料，係由中正國際機場年鑑 (1992) 中所求得。航空運輸系統中之旅次運量、飛航架次、跑道容量及跑道延誤情形，則以涂保民 (1994) 之研究為基礎來進行分析。

在中正機場每週使用客機之機型分佈方面，主要是以 B737、B747、A300、DC10、L1011、及 B767 等六種飛機為主，這六種機型就佔了起降架次的 99.2%；而其中起降最多的機型為 B747，其次為 A300。在機場跑道容量方面，本研究假設尖峰時段內起降之飛機數相等，求得中正機場之容量為 77 架次/小時。在飛機延誤方面，係以涂保民 (1994) 之飛機降落及起飛之近似延誤建議值為主(如圖 3 所示)，而將公式 (17) 及 (19) 轉變為：

$$D_A = e_A \left(\frac{bN}{L_p K} \right)^f = \frac{0.03bN}{L_p K} \quad (39)$$

$$D_D = e_D \left(\frac{bN}{L_p K} \right)^f = \frac{0.05bN}{L_p K} \quad (40)$$

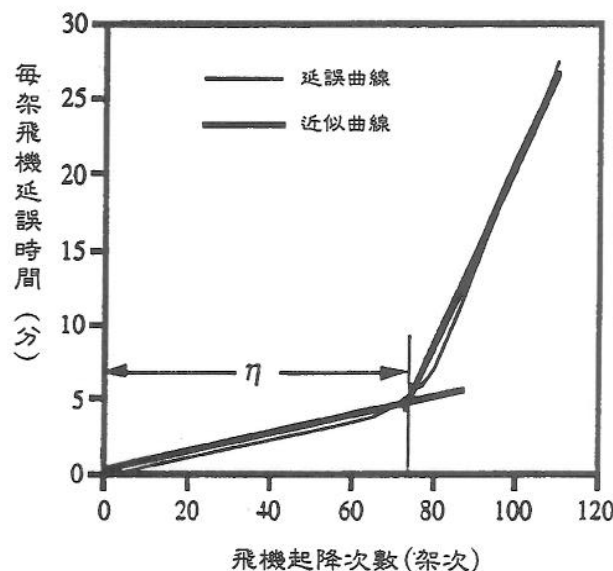


圖 3 延誤曲線模擬示意圖

在集中因子 λ_i 方面，因無相關研究，故以 Gillen 等人 (1988) 研究之結論為基礎，假設大型飛機降落費之彈性小，因此在尖峰時段內不易因尖峰定價而轉移，而小型飛機則因彈性大，故在尖峰定價下容易轉移至其他時段。表 4 則為不同機型之集中常數 a_i 及尖峰飛機數之參考值。

將附錄之基準值代入公式 (27)，並以 8% 的投資報酬率為中正機場之成本基礎，可求出非尖峰時段之單位重量價格 ω 為 192，其次再將 ω 之結果代入公式 (26) 中與其飛機重量相乘而得到非尖峰時段之費率，如表 5 所示，而此項結果是僅利用降落費及機場服務費兩項收入所訂出之降落費費率，若還要考慮特許營業費及設備費等其他收入，則降落費還有下降的空間。就表 5 所得之結果，新費率約為現行費率的七成左右。

表 4 不同機型之集中常數 a_i 、一天及尖峰飛航架次

機 型	一天飛航架次 (1)	百分比	a_i (2)	尖峰飛航架次 = (1) x (2)
A300	29	26%	0.15	4
B737	6	5%	0.10	1
B747	50	45%	0.28	14
B767	7	7%	0.15	1
DC10	7	7%	0.10	1
L1011	11	10%	0.10	1
合 計	110	100%	----	22

表 5 降落費之試算結果

機型	重量 (噸)	現行費率 (新台幣)	本研究結果 (新台幣)
A300	142.0	37,360	27,264
B737	64.9	14,995	12,480
B747	394.6	114,525	75,840
B767	173.0	46,815	33,216
DC10	263.1	74,570	50,688
L1011	195.1	53,830	37,632

就尖峰時段而言，令延誤因子指數 $f=1$ 及參數建議值代入公式 (30)，可求得最佳時間帶長度 L_p^* 為

$$L_p^* = \left(\frac{bN^2R}{\beta m h \theta_L K} \right)^{1/2} \quad (41)$$

由公式 (41) 可知，最佳時間帶長度 L_p^* 與尖峰時段飛機數 N 成一次方正比關係，而與轉機旅客數 βm 、等機之單位時間成本 θ_L 、及跑道容量 K 成二分之一次方反比關係。

因為 $f=1$ ，所以 (37) 式之 $f(\mu)$ 為三次方程式，表為

$$f(\mu) = 2W\mu^3 + X\mu^2 + Y\mu + Z \quad (42)$$

根據 Burington (1973) 所介紹之三次方公式解法，可求得最佳之非尖峰與尖峰降落費比值 μ^* 為

$$\mu_k^* = 2U \cos \left(\frac{1}{3} \cos^{-1} \left(\frac{-Z - 4WU^3}{4WU^3} \right) + 120^\circ k \right) - U, \quad k=0, 1, 2 \quad (43)$$

其中

$$U = \frac{X+Y}{6W} \quad (44)$$

將附錄之基準值代入 (43) 式，由於 μ^* 之範圍為 $0 < \mu^* \leq 1$ ，故可求得在該基準值下，應選 $k=0$ 之解，因此可求得最佳之非尖峰與尖峰降落費比值 μ^* 為

$$\mu^* = 2U \cos \left(\frac{1}{3} \cos^{-1} \left(\frac{-Z - 4WU^3}{4WU^3} \right) \right) - U \quad (45)$$

由於公式 (42) 為三次多項式，故得到之最佳化結果 μ^* 為一餘弦函數，而此一最佳化結果與各參數間關係較難從公式 (45) 中觀察得知，但目前因為電子計算工具之普遍應用，公式 (42) 也可利用試誤法 (Trial Error) 求解。由於公式 (41) 及 (45) 中之 L_p 及 μ 互為決策變數，因此必須透過反覆求解才能得到最佳之 L_p^* 及 μ^* 。

同時，最佳集中因子 λ_i^* 可表為

$$\lambda_i^* = a_i \mu^* \quad (59)$$

同樣的，將附錄之基準值代入公式 (41) 及 (45) 中，可求得最佳時間帶長度 L_p^* 為 1.6 小時 (= 96 分鐘)，而最佳非尖峰與尖峰降落費比值 μ^* 為 0.88，故尖峰降落費為非尖峰降落費之 $1/0.88 = 1.1$ 倍，即在尖峰時段降落之飛機，可再依其非尖峰降落費再加一成收費。

表 6 為實施尖峰定價後，尖峰飛機數之改變情形統計。由表 6 可知，尖峰時段之飛機數由 22 架 (44 架次) 減少為 20 架 (40 架次)，若參酌涂保民 (1994) 之飛機座位數，並假設所有各型飛機之乘載率皆相同，則利用公式 (12) 可求出乘載率 ρ_i 由

81.10% 提高至 90.80%。

表 6 實施尖峰定價飛機數改變情形

機型	一天飛航架次 (1)	原集中因子 (2)= a_i	尖峰飛航架次 =(1) × (2)	尖峰定價後 集中因子 λ_i^* (3)=(2) × μ^*	尖峰定價後 之飛航架次 =(1) × (3)
A300	29	0.15	4	0.13	4
B737	6	0.10	1	0.09	1
B747	50	0.28	14	0.25	12
B767	7	0.15	1	0.13	1
DC10	7	0.10	1	0.09	1
L1011	11	0.10	1	0.09	1
合 計	110	----	22	----	20

六、結論與建議

本研究探討空運中心擁擠定價與尖峰降落費之問題，首先對世界主要機場之降落費進行比較，並建立空運中心尖峰降落費之最佳化模式。文中亦以中正國際機場做一實例應用分析。針對上述之研究結果，歸納為以下之結論與建議。

(一) 結論

1. 經統計結果，中正機場降落費高居世界之冠；就亞太地區而言，費率略高於東京成田機場，但比起鄰近的香港啓德機場與新加坡樟宜機場高出約五成，這勢必影響本國航空公司營運成本，並可能影響各航空公司飛航我國之意願。
2. 由於以往對於降落費之相關研究僅以機場擁擠為主要討論對象，而忽略了對旅客所造成之衝擊。為改善上述情形，本研究在空運中心收支能平衡下，考量機場擁擠及旅客轉機成本，建立了最佳化模式，並在系統總成本最小的目標下，同時求解尖峰降落費及時間帶長度，以期兼顧航空業者及旅客之權益。
3. 在中正國際機場之實例研究中得知：最佳時間帶長度與尖峰時段飛機數成一次方正比關係，而與轉機旅客數、等機之單位時間成本、及跑道容量成二分之一次方反比關係；而最佳非尖峰與尖峰降落費比值則為一餘弦函數關係式。

4. 本研究以中正國際機場 1994 年營運狀況為實例研究之主要對象，在非尖峰時段之降落費約為現行費率的七成；而尖峰時段之降落費，透過最佳化分析後可求得最佳時間帶長度為 1.6 小時 (= 96 分鐘)，而最佳非尖峰與尖峰降落費比值為 0.88，故尖峰降落費為非尖峰降落費之 $1/0.88 = 1.1$ 倍，即在尖峰時段降落之飛機，可再依其非尖峰降落費再加一成收費。

(二) 建議

1. 本研究只考慮單一空運中心之降落費訂定，但對於國際機場間之競爭對降落費訂定有何影響，與推展亞太營運中心計劃是否有所關聯，值得繼續研究。
2. 理論模式中關於飛機起降在尖、離峰時段分佈對降落費之敏感程度方面，係假設由非尖峰與尖峰時段之降落費比值來決定，建議將此敏感程度列為研究重點。
3. 本研究未能將飛機起降所帶來之噪音、空氣污染等外部效果進行探討，後續之研究可融入現有的分析方法將其列為另一課題，探討徵收污染費之可行性。
4. 一個空運中心的發展，要有足夠的旅客量、強大的機隊以及完善的航空路網與稅費制度，因此唯有改善投資及觀光環境、輔導國內航空業者及開拓航權，才能提高空運中心之國際競爭力；而台灣位置適中，是發展空運中心的優良條件之一。除此之外，政府應研擬相關措施，以達成發展空運中心的目標。

參考文獻

- Baumol, W. J. and Bradford, D. F. (1970). Optimal departures from marginal cost pricing. *The American Economic Review*, 60(3), 265-283.
- Borins, S. (1978). Pricing and investment in a transportation network: The case of Toronto Airport," *The Canadian Journal of Economics*, 11(4), 680-700.
- Burington, R. S. (1973). *Handbook of mathematical tables and formulas* (5ed.), New York: McGraw-Hill.
- Carlin, A. and Park, R. E. (1970a). Marginal cost pricing of airport runway capacity. *The American Economic Review*, 60(3), 310-319.
- Carlin, A. and Park, R. E. (1970b). A model of long delays at busy airports. *Journal of Transport Economics and Policy*, 4(1), 37-52.
- Daniel, J. (1991). Peak-load-congestion pricing of hub airport operations with endogenous scheduling and traffic-flow adjustments at Minneapolis--St. Paul Airport. *Transportation Research Record*, 1298, Transportation Research Board, 1-13.
- Deen, T. B. (1993). Congestion pricing. *TR News*, 167, 3-10.
- Fawcett, S. E. and Fawcett, S. A. (1988). Congestion at capacity-constrained airports: A question of economics and realism. *Transportation Journal*, 27(4), 42-54.
- Federal Aviation Administration (1983). *Airport capacity and delay*. Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation.
- Findlay, C. C. (1983). Optimal air fares and flight frequency and market results. *Journal of Transport Economics and Policy*, 17(1), 49-66.
- Fisher, J. B. (1989). Managing demand to reduce airport congestion and delays. *Transportation Research Record*, 1218, Transportation Research Board, 1-10.
- Gillen, D. W., Oum, T. H., and Tretheway, M. W. (1988). Airport pricing policies: An application to Canadian Airports. *Transportation Research Forum*, 29(1), 28-34.
- International Civil Aviation Organization (1992). *Manual of airport and air navigation facility tariffs*. International Civil Aviation Organization (Canada: Quebec).
- Kanafani, A. and Ghobrial, A. A. (1985). Airline hubbing: Some implications for airport economics," *Transportation Research*, 19A(1), 15-27.
- Levine, M. E. (1969). Landing fees and the airport congestion problem. *The Journal of*

- Law and Economics, 12(1), 79-108.
- Mayer, C. J. (1988). The late, late show: How a priority flight system can reduce the cost of air traffic delays. Transportation research record, 1161, Transportation Research Board, 14-23.
- Morrison, S. A. (1982). The structure of landing fees at uncongested airports: An application of ramsey pricing. Journal of Transport Economics and Policy, 16(2), 151-159.
- Morrison, S. A. (1987). The equity and efficiency of runway pricing. Journal of Public Economics, 34(1), 45-60.
- Oum, T. H. and Zhang, Y. (1990). Airport pricing: congestion tolls, lumpy investment, and cost recovery. Journal of Public Economics, 43(3), 353-374.
- Starkie, D. (1986). Efficient and politic congestion tolls. Transportation Research, 20A(2), 169-173.
- TRB (1990). Airport system capacity: Strategic choices, special report 226, Transportation Research Board (Washington, D.C.).
- Vickrey, W. (1968). Congestion charges and welfare. Journal of Transport Economics and Policy, 2(1), 107-118.
- Vickrey, W. S. (1969). Congestion theory and transport investment. The American Economic Review, 59(2), 251-260.
- Wheeler, C. F. (1989). Strategies for maximizing the profitability of airline hub-and-spoke networks. Transportation research record, 1214, Transportation Research Board, 1-9.
- 中正國際航空站 (1989): 中正國際機場年鑑。台北: 中正國際航空站。
- 交通部 (1988): 民用航空器使用航空站, 飛行場及助航設備收費標準。中華民國七十七年二月十五日交通部發字第七七〇一號令修正發布。
- 涂保民 (1994): 空運中心降落費與擁擠定價之研究。台北: 台大土木工程學研究所碩士論文 (未發表)。
- 鄭傳耀等人 (1993): 台灣地區發展空運中心之可行性研究。台北: 交通部運輸研究所委託美聯科技公司辦理。

附錄 符號定義與基準值

符號	定 義	單 位	基準值
a_i	第 i 型飛機之集中常數		0.2
b	將飛機數轉換為起降操作次數之參數	operations / aircraft	2
C_A	航空公司尖峰時段之營運成本	NT\$	---
C_a	航空公司尖峰時段之固定營運成本	NT\$	---
C_d	航空公司尖峰時段之降落變動成本	NT\$	---
C_e	旅客之搭機成本	NT\$	---
C_H	空運中心尖峰時段之營運成本	NT\$	---
C_h	空運中心尖峰時段之固定營運成本	NT\$	---
C_{HD}	空運中心一天之之營運成本	NT\$	---
C_n	航空公司尖峰時段之飛行變動成本	NT\$	---
C_U	旅客之使用者成本	NT\$	---
C_v	空運中心尖峰時段之變動成本	NT\$	---
C_w	旅客之等機成本	NT\$	---
C_x	旅客之進出站成本	NT\$	---
D_A	飛機進場平均延誤時間	hrs	---
D_D	飛機離場平均延誤時間	hrs	---
d_{A_i}	每架飛機進場時之延誤時間	hrs	---
d_{D_i}	每架飛機離場時之延誤時間	hrs	---
e_T	旅客在進場飛機上之平均時間	hrs	---
e_O	旅客在離場飛機上之平均時間	hrs	---
e_A	進場延誤因子係數		0.03
e_D	離場延誤因子係數		0.05
F_A	航空公司一天之固定營運成本	NT\$ / day	---
F_H	空運中心一天之固定營運成本	NT\$ / day	2,350,000
f	延誤因子指數		1
h	等機時間之比例常數		1.5
i	變動參數		---
j	變動參數		---
K	機場之跑道容量	operations / hr	77

k	空運中心內起降飛機之種類		---
L_p	時間帶長度	hrs	---
M_i	一天內之飛機總數	aircrafts	110
m	一天轉機旅客數	passengers	3,800
N	尖峰時段之飛機總數	aircrafts	---
N_i	尖峰時段第 i 型飛機之數目	aircrafts	---
n	一天內之當地旅客數	passengers	15,700
P_{pi}	航空公司於尖峰時段之第 i 型飛機降落費	NT\$ / aircraft	---
P_{oi}	航空公司於非尖峰時段之第 i 型飛機降落費	NT\$ / aircraft	---
q_{fi}	尖峰時段之旅客數	passengers	6610
q_{pi}	非尖峰時段之旅客數	passengers	12890
R	公式 (31) 的組合		---
r_i	μ 之敏感度常數		---
S_i	第 i 型飛機之座位數	seats / aircraft	---
T	當地旅客等機時間	hrs	---
T_A	飛機平均進場時間	hrs	0.2
T_D	飛機平均離場時間	hrs	0.3
t	當地旅客進出站時間	hrs	---
U	公式 (44) 的組合		---
u	空運中心尖峰時段與一天內固定成本比例	1 / day	---
v	航空公司尖峰時段與一天內固定成本比例	1 / day	---
W	公式 (33) 的組合		---
X	公式 (34) 的組合		---
Y	公式 (35) 的組合		---
Z	公式 (36) 的組合		---
α	尖峰時段旅客佔一天總旅客數的比例		0.3
β	尖峰時段轉機旅客佔一天總轉機旅客的比例		0.5
δ_{Ai}	航空公司與進場飛行時間有關之單位營運成本	NT\$ / aircraft-hr	10,000
δ_{Di}	航空公司與離場飛行時間有關之單位營運成本	NT\$ / aircraft-hr	10,000
δ_{oi}	航空公司與第 i 型飛機有關之單位營運成本	NT\$ / aircraft	10,000
γ_{Ni}	空運中心與第 i 型飛機數目有關之單位營運成本	NT\$ / aircraft	30,000
γ_n	空運中心與旅客數有關之單位營運成本	NT\$ / passenger	300

λ_i	尖峰時段之飛機集中因子		---
μ	非尖峰與尖峰降落費的比值		---
θ_e	旅客在飛機上之單位時間成本	NT\$ / passenger-hr	300
θ_L	旅客等機之單位時間成本	NT\$ / passenger-hr	300
θ_i	旅客進出站之單位時間成本	NT\$ / passenger-hr	---
ρ_i	第 i 型飛機之平均乘載率	passengers / seat	---
σ_{wi}	第 i 型飛機之重量	tons	---
ω	單位重量之降落費費率	U.S.\$ / ton	---
*	最佳化結果記號		---

Peak Landing Fees and Congestion Pricing at Hub Airports

Bau-Min Tu*

ABSTRACT

This research analyzes the peak landing fees and congestion pricing of hub airports. Operation environments and landing fees of hub airport at various countries are first compared in this study. It is found that the landing fees of Chiang Kai-Shek (CKS) International Airport is the highest around the world. It is a little higher than Tokyo's Narita Airport, and fifty percent higher than airports at Hong Kong and Singapore. Also, analytic mathematical models are developed for jointly optimizing landing fees and band at hub airports. Total cost function, consisted of operation cost of airports, operation costs of airlines, and time cost of travellers, is formulated for a single hub airport considered in this model. Average cost pricing is used in off-peak period for avoiding loss and subsidy by operator, while social marginal cost pricing is applied in peak period. Analysis has also be conducted for considering the external congestion cost and transfer benefit of traveller at the hub airport. The peak landing fees and band are optimially determined with minimum total cost objective. The model is applied to CKS International Airport for varification of model's applicability. Optimality guidelines for determining the landing fees and congestion price at hub airports are provided based on results of this study.

Key words: hub airports, landing fees, congestion pricing, band

*Lecturer, Kang-Ning Junior College of Nursing