



住宅建築利用熱緩衝空間對冷氣使用
耗電量影響之研究—以台大綠房子為例

**Influence of Thermal Buffer Zone on Air Conditioning
Energy Consumption of Residential Building
— A Case Study of N.T.U. “Smart Home”**

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
教授

韓 選 棠*

Siian-Tang Han

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
博士生

徐 嘉 宏

Chia-Hung Hsu

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
碩士生

汪 孟 欣

Meng-Shin Wang

摘 要

由於能源短缺的問題日益嚴重，近年來在節約建築空調耗能的課題上，「熱緩衝空間(Thermal Buffer Zone)」概念的發展與應用，成為住宅建築有效降低耗電量的設計方式之一。

熱緩衝空間可歸納為外緩衝空間與內緩衝空間二大類型，住宅建築透過熱緩衝空間的配置設計，發揮其遮陽與隔熱之功能，可以達到調節室內熱環境、節約空調耗電量之效果。本文以台灣大學內之節能示範屋-綠房子為實例，進行了全年逐時冷氣耗電量之數值模擬計算與結果之比較分析。

研究結果顯示，在綠房子原有空間配置型態下，全年冷氣耗電量經計算為 3383.69 Kwh。綠房子在完全無熱緩衝空間可供遮陽、隔熱情況下，全年冷氣耗電量大幅增加為 6471.02 Kwh，較原先增加了 91.24%。是故熱緩衝空間之運用具有正面之節能效益。

關鍵詞：熱緩衝空間，節能設計，耗電量，數值模擬，綠房子。

ABSTRACT

Du to energy shortage in recent years, the development and application of the

*通訊作者，國立台灣大學生物環境系統工程學系教授，10617 台北市大安區羅斯福路四段 1 號，smarthouse@ntu.edu.tw

thermal-buffer-zone concept in saving air conditioning energy consumption become a desirable design which can effectively reduce energy consumption of residential architecture.

The thermal buffer zone can be classified into the exterior and interior buffer zones. The application of thermal buffer zone in residential architecture for sunshade and heat insulation purposes has the effect of adjusting indoor temperature. In this study, the N.T.U. energy-saving demonstration building, "Smart-Home" is taken as an example through the numerical simulation to calculate air conditioning energy consumption in the period of one year.

The results show that with the original spatial allocation, the Smart-Home consumes 3383.69 Kwh energy by air conditioning system all year around. However, the Smart-Home removes the outdoor veranda, eaves gallery and balcony and indoor sunny room and store room from the numerical model. The result shows that the air conditioning energy consumption all the year around will increase significantly by 6471.02 Kwh, 91.24% more than before. The application of thermal buffer zone really has a positive effect in energy saving, and it seems an feasible and effective strategy for the future energy saving design of residential building.

Keywords: Thermal Buffer Zone, Design of Energy Saving, Energy Consumption, Numerical Simulation, Smart Home.

一、前 言

全球能源短缺的問題日益顯著，近年來在節約建築空調耗能的課題上，「熱緩衝空間(Thermal Buffer Zone)」概念的發展，成為住宅建築可應用的節能設計方式之一。熱緩衝空間的概念，從住宅建築空間的平、剖面配置設計著手，考慮當地的氣候特性，以主要使用空間為核心，將住宅建築中使用時間較短或沒有供暖、降溫需求的次要空間，配置於建築外圍，使成為熱緩衝空間。

熱緩衝空間可概分為二類型，一是無外牆之半室外空間(以下簡稱外緩衝空間)，如住宅建築中的陽台、露台或外檐廊等。二是位於室內並連接外牆之空間(以下簡稱內緩衝空間)，如：廚房、浴廁、車庫及陽光室等空間。

故為瞭解熱緩衝空間應用於建築物中其對冷氣使用耗電量之影響，本研究藉由利用熱緩衝空間概念所設計的台大「綠房子」建築為例，進

行現場實驗及數值模擬計算評析熱緩衝空間之節能效益，期研究成果有助於建築空間進行節能設計時之參考。

二、數值模擬工具 ENERGYPLUS 簡介

ENERGYPLUS 數值模擬計算工具為勞倫斯伯克利國家實驗室等科研機構聯合開發的建築耗能模擬軟體。其主要以非穩態傳熱理論為主，採用了熱傳導傳遞函數法(Conduction Transfer Functions, CTFs)計算建築外殼部位的熱傳導量，並結合熱平衡法(Heat Balance Method)計算室內各空間的空氣溫度及冷熱負荷量。數值模擬計算的核心是所計算區域的空氣熱平衡方程式[文 1]。從[文 2]的研究成果更得知 EnergyPlus 是近年新發展成熟的建築耗能模擬軟體，較早期 BLAST 和 DOE-2 等模擬軟體有更精確及更廣泛應用之功能，圖 1 為市面常見模擬軟體對 140 個案例研究的成果比較圖，因此本研究採用 EnergyPlus 軟體做為模擬工具。

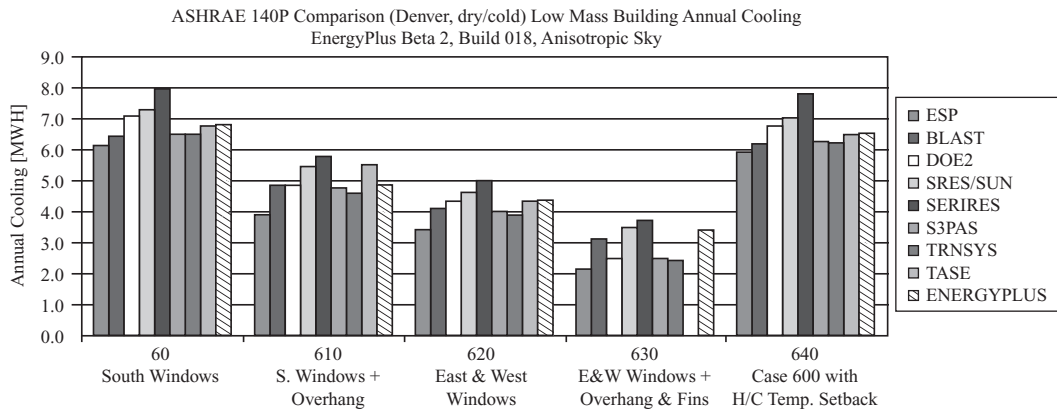


圖 1 常見模擬軟體對 140 個案例模擬的成果比較圖。(摘自文 2, p.330)

房間空氣熱平衡方程式：

$$\sum_{i=1}^c q_{i,c} A_i + Q_{oth} - Q_{ext} = \rho V_{ro} c_p \Delta T \Delta t \quad (1)$$

式中：

$\sum_{i=1}^c q_{i,c} A_i$ ：各表面向室內空氣的對流熱流量；

$q_{i,c}$ ：通過表面 i 的對流熱流密度；

A_i ：表面 i 的面積；

N ：圍護結構表面的個數；

Q_{oth} ：燈光、人員、設備和空氣流通等帶來的熱量；

Q_{ext} ：房間需要排出的熱量；

$\rho V_{ro} c_p \Delta T \Delta t$ ：房間空氣的熱累積速度；

ρ ：空氣密度；

V_{ro} ：房間容積；

c_p ：空氣熱容比；

ΔT ：房間空氣的溫度變化；

Δt ：時間間隔。

當房間的空氣溫度維持一定的定值時($\Delta T = 0$)，房間需要排出的熱量 Q_{ext} 即為房間的冷熱負荷。其中對流傳熱量 $q_{i,c}$ 可以由相關內表面的熱平衡方程式求出。

圍護結構熱平衡方程式：

$$q_i + q_{i,r} = \sum_{k=1}^n q_{i,k} + q_{i,c} \quad (2)$$

式中：

q_i ：表面 i 的傳導熱流密度；

$q_{i,r}$ ：室內熱源和日光輻射等的輻射熱流密度；

$q_{i,k}$ ：表面 i 到表面 k 的輻射熱流密度。

輻射熱流密度方程式：

$$q_{i,k} = h_{i,k} (T_i - T_k) \quad (3)$$

式中：

$h_{i,k}$ ：表面 i 和表面 k 之間的輻射放熱係數；

T_i ：內表面 i 的溫度；

T_k ：內表面 k 的溫度。

同時，對流熱流密度 $q_{i,c}$ 也可由下式表示：

$$q_{i,c} = h_c (t_i - t_{ro}) \quad (4)$$

式中：

$q_{i,c}$ ：對流熱流密度；

h_c ：對流換熱係數；

T_{ro} ：房間空氣溫度。

對流換熱係數 h_c 是未知的，而能耗數值模擬中根據經驗公式將其視為定值進行計算。如果房間空氣溫度 T_{ro} 已知，內表面溫度 T_i 則可以通過同時聯立求解表面熱平衡方程式(2)求得。

三、案例簡介與參數設定

3.1 案例簡介

本研究案例位於台灣大學校區內，為一獨棟三層樓雙斜屋頂鋼構造建築。在建築空間規劃上運用了多種遮陽隔熱節能設計手法，以減低太陽輻射或室外空氣溫度等熱源侵入室內。圖 2 為綠房子現有一樓平面圖，包含外緩衝空間(陽台、露台及外檐廊)和內緩衝空間(陽光室、車庫、儲藏室、機具室)此兩區劃空間旨在於阻隔外界熱源對主要空間之影響；主要空間(玄關、客廳、餐廳、廚房、臥室)為夏季經常使用冷氣之空間。圖 3 則為綠房子所設置的外緩衝空間-屋頂花園陽台、觀景露台及外檐廊配置透視圖。

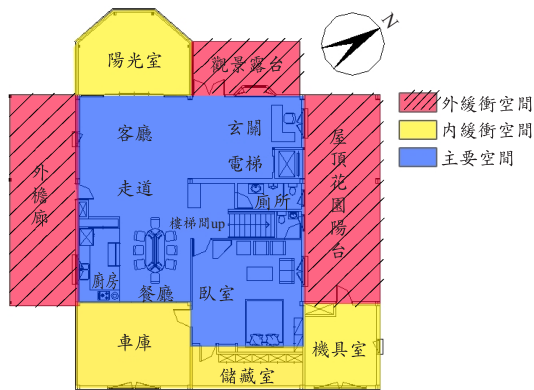


圖 2 綠房子一樓平面空間節能區劃示意圖



圖 3 外緩衝空間-屋頂花園陽台、觀景露台及外檐廊配置透視圖

3.2 參數設定

3.2.1 建材熱傳導參數

在本次模擬中，建材係數的設定係依據綠房子現況之牆板、地板、天花板及玻璃四部位於 EnergyPlus 軟體中分別進行設定而成，提供後續模擬之用，詳細各構材說明及熱傳透率詳見表 1。

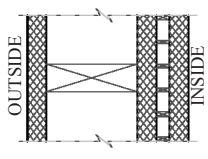
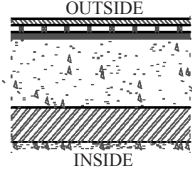
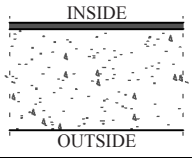
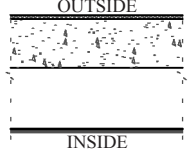
3.2.2 標準氣象年資料

本研究計算所運用的氣象資料係採台北 TMY2 標準氣象年資料(取自中央氣象局於 1998-2006 年間之逐時資料經統計所得)。此筆資料為一可供動態耗能計算軟體使用的氣象資料，一般稱為平均氣象年(Average Weather Year)或有的稱之為 TMY (Typical Meteorological Year)作為當地典型氣候之代表。其內容包括耗能解析上所需要的氣溫、濕度、日射量、雲量、風向、風速等 8760 小時逐時的氣象資料。

3.2.3 數值模型校驗

本研究採效率係數評估方法，對實測值與模擬值進行變動趨勢的擬合驗證，當該係數值為 1.0 的時表示模擬結果與實測值完全符合，計算方式詳式(5)。實測值取自綠房子的陽光室及多媒體室，三天的逐時室內溫度實測資料；模擬值則透過 EnergyPlus 求得，圖 4 及圖 5 分別為陽光室及多媒體室溫度分佈曲線。經由效率係數驗證後，可發現取樣空間之數值模擬與實測溫度值變化趨勢相似，故以此模擬本研究對象具一定之可信程度，當能應用於後續全年冷氣耗電量之計算。

表 1 綠房子建材說明及熱傳透率

建材名稱與剖面示意圖		材料層 (由外到內)	熱傳透率 (w/m ² · k)
塑鋼牆板		硬質塑鋼板	0.72
		空氣層	
		硬質塑鋼板	
		空氣層	
		矽酸蓋板	
銅瓦屋頂		銅瓦	1.8
		空氣層	
		PU 防水層	
		混凝土	
		蓋板	
樓地板		混凝土	1.8
		地磚	
天花板		地磚	1.8
		混凝土	
		空氣層	
		礦纖板	

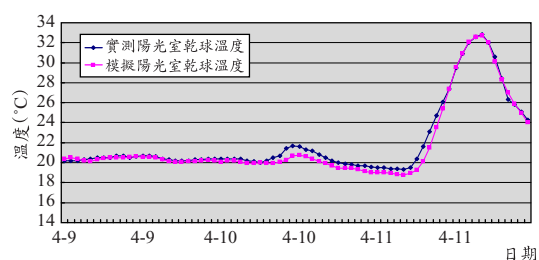


圖 4 陽光室溫度實測值與模擬值變化圖(時間：2007/04/09-11，效率係數：0.98)

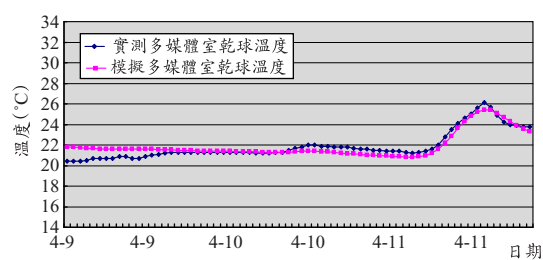


圖 5 陽光室溫度實測值與模擬值變化圖(時間：2007/04/09-11，效率係數：0.83)

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (T_{obsi} - T_{simi})^2}{\sum_{i=1}^n (T_{obsi} - \bar{T})^2} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

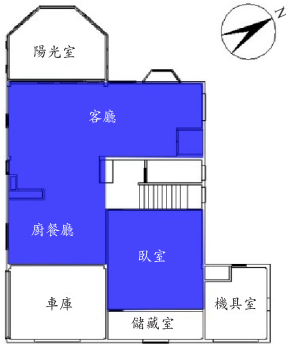
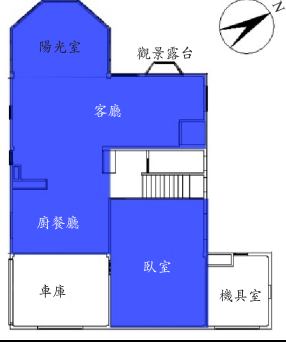
T_{obsi} ：時間 i 的實測溫度(°C)；
 T_{simi} ：時間 i 的模擬溫度(°C)；
 $\bar{T}$ ：實測溫度平均值(°C)。

四、結果與討論

在經前一節確定數值模擬值與實測值相符後，以下便針對綠房子熱緩衝空間對於冷氣使用耗電量節能效益評估。為清楚表達 A、B、C 和 D 四個評估模組之平面配置及模擬條件說明，茲將以圖說整合方式說明如表 2。

經數值模擬計算結果發現，詳見表 3。

表 2 綠房子熱緩衝空間四組評估模組配置說明表

評估模組	平面配置圖	說 明
A		模擬綠房子一樓空間現有配置情況下，各空調空間(臥室、客廳與廚餐廳)全年冷氣耗電量。
B		剔除所有外緩衝空間：如屋頂花園陽台、觀景露台以及外檐廊等外緩衝空間進行模擬計算一樓室內空調空間全年冷氣耗電量之影響。
C		剔除陽光室及儲藏室：視為不再具有內緩衝空間隔熱層之功能下，模擬計算在此平面配置型態下，一樓室內空調空間全年冷氣耗電量之影響。
D		剔除所有熱緩衝空間：模擬計算結合模組 B 及模組 C 的空間配置型態，探討綠房子一樓全無熱緩衝空間情形下，全年冷氣耗電量之變化情況。

※ 以上各平面配置圖中之著色範圍，代表冷房空調區域。

※ 由於客廳及廚餐廳係無內牆分隔之開放空間，故於分析全年冷氣耗電量模擬計算結果時，統一以「客廳」空間之名稱代表該空調區域之耗能量。

表 3 各評估模組全年冷氣耗電量計算結果

評估模組 冷氣耗電量	原有 平面配置	剔除所有 外緩衝空間	剔除陽光室 及儲藏室	剔除所有 熱緩衝空間
	A	B	C	D
臥室耗電量(Kwh)	893.51	1005.98	1200.64	1323.46
臥室耗電量增加比例(%)	-	12.50	34.4	48.12
客廳空間耗電量(Kwh)	2490.19	3195.06	4341.53	5147.56
客廳空間耗電量增加比例(%)	-	28.31	74.35	106.71
總耗電量(Kwh)	3383.69	4201.04	5542.17	6471.02
總耗電量增加比例(%)	-	24.16	63.8	91.24

—評估模組「A」：

綠房子有熱緩衝空間配置型態下，全年所需冷氣耗電量總計為 3383.69 Kwh (臥室 893.51 Kwh，客廳 2490.19 Kwh)。

—評估模組「B」：

綠房子在全無陽台、露台及外檐廊可供遮陽的外緩衝空間應用的情況下，全年冷氣總耗電量 4201.04 Kwh (臥室 1005.98 Kwh，客廳 3195.06 Kwh)。

—評估模組「C」：

綠房子缺乏內緩衝空間可供隔熱情況下，全年冷氣總耗電量 5542.17 Kwh (臥室 1200.64 Kwh，客廳 3195.06 Kwh)。

—評估模組「D」：

在全無熱緩衝空間時，全年冷氣總耗電量 6471.02 Kwh (臥室 1323.46 Kwh，客廳 5147.56 Kwh)。

從研究結果中的評估模組 C 發現，一年的總耗電量較評估模組 A 增加 63.8%，由此說明了在建築空間規畫上如無內緩衝空間的配置，對建築空間之冷氣耗電量造成極大耗能現象，且年總耗電量增加比例更高於評估模組 B (無外緩衝空間型態)，凸顯出內緩衝空間有其降低空間能耗之效益。

5.1.3 內、外熱緩衝空間的節能效益

從本案例的數值模擬中發現，應用熱緩衝空間減緩室外熱源向室內空調空間之傳遞，所能達到的節能效益，以綠房子的情況而言，在完全無任何內、外緩衝空間時，其全年冷氣耗電量自原先之 3383.69 Kwh (有內、外緩衝空間)，劇增至 6471.02 Kwh，能源消耗竟有近一倍之差距，證明了這些熱緩衝空間的規劃與配置，一年可為綠房子節省將近一倍的冷氣電費支出。由此可知，熱緩衝空間的應用對建築物確實有降低室內空調耗電量之助益。

五、結論與建議

5.1 結論

5.1.1 外緩衝空間的節能效益

從綠房子案例分析結果得知，評估模組 B 較評估模組 A 的一年總耗電量增加 24.16%，從此數據顯示出，在建築節能設計過程中如設計有外緩衝空間時，可有效遮蔽日射熱直接照射門窗開口及牆面，減緩熱源侵入室內降低冷房負荷。也更因此證明了在台灣氣候條件下，「遮陽隔熱」為建築節能設計上不容忽視的設計重點。

5.1.2 內緩衝空間的節能效益

5.2 建議

本研究之熱緩衝空間配置手法僅為建築節能技術之一，除此之外，尚有：基地微氣候、風、光、熱、音、水、室內空間使用機能與動線、節能綠建材及設備…等為建築設計過程中需同步考量或可運用之環境條件與節能技術。因此，建議在進行建築節能設計時，在使用熱緩衝空間手法設計時還需納入上述它項設計因子進行整體設計，以避免造成熱緩衝空間不易設計或室內空間不易使用等衝突現象發生，不至淪為單一設計

思考模式，相對的，如能加以活用節能設計技法，將更能讓建築物獲得更佳之節能效益。

另本研究僅從單一個案的室內空間在密閉狀態下進行整體熱緩衝空間的研究，從中瞭解內、外熱緩衝空間對室內的耗電量。其中發現，外緩衝空間的設計，如同於建築物外殼設計遮陽設施進行隔熱，此為目前國內建築常見應用手法之一。然而，內緩衝空間的設計，是將使用空調之空間盡量集中於建築中央，較少使用空調的次要空間則配置於外圍，如此一來，雖然減少了空調負荷達到節能功效，但對於建築中央常用的室內空間之照明、通風換氣等耗電量，以及建築空間的彈性設計，如何取捨創造雙贏，則為後續研究考量之重點。

故建議在未來進行研究時可依住宅類型、空間坪數及使用用途等分類比較研究，透過量化數據建構適應台灣氣候之標準節能住宅建築模式，為未來值得探究之方向。

參考文獻

1. LIU Yang, LIU JUN-jie, ZHU Neng, Jan. 2004, *Dynamic Simulation for Dwelling House Energy Consumption*, Gas & Heat, China, Vol. 24, p. 17-20.
2. Drury B. Crawley, Linda K. Lawrie, Frederick C. Winkelmann, etc., 2001, *EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program*, Energy and Buildings, p. 319-331.
3. Prom. H. Schreck, G. Hillmann, J. Nagel, 1989, *Passive and Hybrid Solar Low Energy Buildings-Design Context*, International Energy Agency, p. 43-48.
4. Scottish Solar Energy Group, 1998, *Building energy and environmental modeling-CIBSE Applications Manual: AM11*, London, Chartered Institution of Building Services Engineers, p. 66-67.
5. Seung-Bok Leigh, Jeung-Ick Ba, Young-Hee Ryu, 2004, A Study on Cooling Energy Savings Potential in High-Rise Residential Complex Using Cross Ventilated Double Skin Façade, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, p. 275-282.
6. Yuko Kuma, Hiroatsu Fukuda, Akihito Ozaki, 2007, Performance Evaluation of Residences by Dynamic Simulation: Heat Load Based on Changing the Location-Plan and Specification of Residences, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, p. 183-187.
7. 孫萍，2005，節能住宅建築能耗模擬研究，碩士論文，北京，北京工業大學建築環境與設備工程研究所。
8. 林憲德、黃國倉，2004，台灣 TMY2 標準氣象年之研究與應用，*建築學報*，p. 74-94。

收稿日期：民國 98 年 6 月 4 日
修正日期：民國 98 年 10 月 23 日
接受日期：民國 98 年 10 月 29 日