

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

考慮設計循環之設計排程模式研究(1)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-009-041-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：王維志

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 11 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 93-2211-E-009-041-

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：王維志副教授 國立交通大學土木工程學系

計畫參與人員：劉正章 國立交通大學土木工程學系

一、中文摘要

建築工程之興建過程可概分為設計與施工兩階段，營建管理之工作即主要在使這兩階段不論在成本、工期或品質等各方面皆能達到甚至超出原所預期之目標。但就設計階段而言，過往之研究對於針對設計進度(design schedule)、時程管控等部份卻甚少提及。而在實務現況中，對於設計階段之管理也具有十分難以找到著力點之問題；現況設計階段之成敗，多僅仰賴於設計者及其團隊之能力與經驗，完成時間與完成工作量全操縱於設計者手中，這實非一正常之管理模式。

設計階段之管控如此不易，主要因素可區分成以下三點：(1)設計作業關係除有一般之前後置關係外，尚存在有設計循環(design iteration)關係，關係較為複雜且不易釐清；(2)設計作業工期衡量不易；(3)現有管理、評量工具不足。另由於工程之總興建時程被壓縮，設計階段之工期相對縮短，更增加了設計進度管控之困難度與突顯設計進度管控之重要。

因此，協助管理者和設計者雙方釐清設計過程(design process)、作業關係以合理評估設計作業工期，找出更有效之管理、評量工具，使各專案皆能清楚了解各時間應完成之設計工作項目，後續項目皆能順利進行將是本研究最重要之研究課題。本研究係先利用關係結構矩陣(dependency structure matrix, DSM)以釐清設計作業間關係，在有找出設計循環可能發生的作業後，再利用電腦模擬，輔以圖量計算、循環次數控制等機制所建立之設計計算模式，建立一套以模擬(simulation)為基礎之進度管控模式(Simulation-based Schedule Model)。最後，本研究將以一半導體晶圓廠房為例，說明模式之建構過程和所能提供之管理資訊，驗證本研究確能有助於釐清複雜之設計作業關係。

關鍵詞：設計進度、設計循環、設計過程、關係結構矩陣、模擬

Abstract

Constructing a building or facility depends on a design project and a construction project. The main work of construction management ensures the cost, duration and quality reaching even more than the goal we wish. But little effort has been made to control the schedule of the design project in the academic world. Current practice also have difficult to control the design project. The performance of design project often only depend on the experience

and ability which designer and his team own. The complete time and drawing amount all be controlled by the designer. This isn't a normal manage mode.

The main reasons about the difficulty of controlling the schedule probably because: (1) Design activities expect for precedence and postposition often have information dependencies between each other. We call it have relationship of iteration. So the relationship of design activities is complex; (2) To measure the duration of design activity is difficult; (3) Current tools of management can't handle the design project. Else because the total duration is anticipated shorter, so the duration of design project also is expected shorter. And so on the controlling the schedule of design project is more important, but is more difficult.

The proposed model first applies a modified dependency structure matrix to evaluate information dependencies between activities to facilitate the establishment of a schedule network. It also uses an approach to incorporate the effect on duration of the numbers of design iterations and to resolve design activities' duration by calculating drawing amount. Then this work proposes a simulation-based design schedule model to control design projects by computer modeling. Final, the model is demonstrated through its application to a wafer fabs' project, which was reviewed by industrial practitioners.

Keywords: Design iteration; Design schedule; Design process; Dependency structure matrix; Simulation

二、緣由與目的

無論其建築標地為何，建築工程皆可概分為設計與施工兩階段，營建管理之工作即主要在使這兩階段不論在成本、工期或品質等各方面皆能達到甚至超出原所預期之目標。但就設計階段而言，過往之研究多僅著眼於提升設計品質上，即如欲提高設計品質，需提供哪些必備條件；或採取哪些作為，可使設計品質更好。但對於針對設計階段之進度、時程管控等部份卻較少提及。

而在實務現況中，對於設計階段之管理卻具有十分難以找到著力點之問題；各設計圖面、文件資料之繳交時間、種類和數量多由設計者自行提出。縱有聘請專業營建管理顧問，亦多只作文件管控，即設計者是否有按期所提時間表繳交其所提出應繳交之圖面文件、所繳交之圖面文件是否具備其應具有之基本功能，至多配合業主要求或後續施工需要，要求設計者提前繳交或先完成

某部分圖面。但能否提前完成、能提前多少時間完成，仍是以設計者之意見為依歸，不像施工階段有較明確之作業工期評估、進度規劃和生產力衡量模式，可據此要求設計者需如期完成或以增派人力等等方式提前完成。故現況設計階段之成敗，多僅仰賴於設計者及其團隊之能力與經驗，實非一正常之管理模式。

設計階段之管控如此不易，撇除對美學、藝術性等較為主觀之品質追求，確實非管理可掌控部分除外，主要因素可區分成以下三點：

1. 設計作業關係較為複雜且不易釐清：

設計作業間具有重覆 (iteration) 之特性。所謂重覆之特性，即後續作業須待先行作業完成或完成一定程度之後方可進行，但後續作業完成或完成間規劃需進行調整。調整之程度、範圍或許因專案特性、設計者經驗等因素而有所不同，但均需要調整之動作。

這和施工作業是完全不同的，一般而言，施工作業間僅存在有一定之前後關係和不特定之前後關係。例如，結構體完成後，方能進行外牆裝修與內部裝修，此即一定之前後關係；而外牆裝修與內部裝修孰先孰後，端視現場人力、機具與材料等調度情況而定，並不存在一定之前後關係，可先外牆裝修再內部裝修，亦可先內部裝修再外牆裝修，如條件許可，兩作業亦可同時進行。但不論是否存在一定之前後關係，施工作業間並不存在有重覆之性質，即後續作業之進行並不會導致先行作業需再修正、調整，除非設計錯誤、施工不良或變更設計等為補補先前錯誤或需求改變等情況發生。

因設計作業間除存在有一定之前後關係、不特定之前後關係外，尚存在有重覆之特性，故導致設計階段在工作項目安排、進度規劃上要比施工階段來得複雜且不易釐清。

2. 設計作業工期衡量不易：

亦因為設計作業存在有重覆之特性，相關作業需反覆配合調整修正，而導致個別設計作業之工作量十分難以評估。假設一設計作業 A 最後需完成十張 1:500 之剖面圖，但因需要和其他設計作業配合調整修正，設計作業 A 在完成前可能需繪製十五張甚至更多的剖面圖，有些可能僅需根據之前圖面做些微修正，而些可能則需重新繪製，需多繪製之圖量和修正程度是不確定的 (uncertainly)，和相關設計作業多寡、圖面複雜度、設計者經驗、人員配合等方面皆有關係，故甚難具規則性地衡量一設計作業所需工期之長短。

3. 現有管理、評量工具不足：

現有對設計進度之管控方式，一般僅以簡單桿狀圖 (bar chart) 來控管設進度，至多再輔以里程碑 (milestone) 方法。例如，土建與機電之設計工作常各別僅以一作業表示 (即一條桿)，配合以設計開始、30%、60%、80%及 100%設計完成等里程碑來檢視設計進度是否落後。但里程碑之

時間往往僅依業主要求而定，並無特別運用理論來協助，且以里程碑來衡量進度落後與否十分模糊、不準確，例如一般以設計進度 60%為一里程碑，但是對管理者而言無法清楚了解 60%所代表的工作範圍或工作量，故難以判斷設計者和其團隊是否真完成了 60%之設計。而即使設計者真完成了 60%之設計，此 60%是否真的是該工程或業主於該時間點所需要的 60%設計，即業主或業主所聘請的管理人員可否依此 60%設計進行一定程度後，又會導致先行作業須配合修正，兩作業間需反覆配合進行修正動作，直到兩作業間資訊完全對等、傳遞完成為止。而反覆的次數則需視兩圖面之複雜度、兩圖面之相關性、需傳遞訊息的多寡等因素而定。且這反覆之過程是設計階段所必然存在的，乃因設計理念需逐步發展而來，非因設計錯誤、設計理念改變才會產生。例如，一般先決定基地之總建築面積、形狀後，方進行內部使用空間規劃，但內部使用空間規劃進行至一定程度後，可能會導致基地之總建築面積、形狀需進行修正；而即使先進行內部使用空間規劃再決定基地之總建築面積、形狀，當基地之總建築面積、形狀確定或進行至一定程度後，亦會導致內部使用空間該時間點所需進行之發包或申請建照等作業。

現況中，設計單位 (建築師事務所或工程顧問公司) 是以設計工程師所花費之人時 (man-hours) 來衡量設計完成度，而非以完成幾張設計圖來判斷，其理由可能如點 2.所述。一般而言，投入之人時多，則其完成之設計成果較多，反之則成果較少，但設計者亦可能有閑置、怠工或設計錯誤等情形，導致投入之人時和完成成果不成比例，故以人時來評斷設計完成度不能完全代表實際情形。

而如欲利用施工階段常用之進度管控方法-要徑法 (critical path method) 和生產力 (productivity) 評估等方法於設計階段之進度管控上，雖非不可行，但亦有其困難之處；如點 1.，設計作業具有重覆之特性，這和要徑法之計算規則不符，故必須將一設計作業再切分為數各子作業方可使用，如此一來勢必增加分析之複雜度。又如點 2.所述，需繪製之圖量總量和修正程度是不確定的，故欲套用生產力評估等方法來估計各作業工期十分困難。

因此，需有一新的評估方法與工具，與現有之要徑法等方式相配合，方能確切反應設計進度，以進行後續管理動作。

另隨著工程複雜度提高、投入資金增加，為減輕業主資金壓力、提高市場競爭力等因素，工程之總興建時程被希望能越短越好，除傳統增加人力、機具等趕工方式外，快捷施工法 (Fast-track) 這種邊設計邊施工，將設計階段與施工階段相重疊之施工法漸廣為工程界所採用，設計者在完成一定程度之初步設計後，即進行發包與後續施工，剩餘之設計工作隨著工程進行逐步進行。透

過工作重疊的方式，快捷施工法的確能有效縮短工期，但相對亦提高對設計管理之要求，設計者和管理者須清楚掌控初步設計應包含範圍、提交後續設計之時間表，設計階段之管控更顯重要。

因此，協助管理者和設計者雙方釐清設計作業關係、合理評估設計作業工期，找出更有效之管理、評量工具，使各專案皆能清楚了解各時間應完成之設計工作項目，後續之發包、請照、施工等項目皆能順利進行將是本研究最重要之研究課題。本研究係先利用關係結構矩陣(dependency structure matrix, DSM)以釐清設計作業間關係，在有找出設計循環可能發生的作業後，再利用電腦模擬，輔以圖量計算、循環次數控制等機制所建立之設計計算模式，建立一套以模擬(simulation)為基礎之進度管控模式(Simulation-based Schedule Model)。最後，本研究將以一半導體晶圓廠房為例，說明模式之建構過程和所能提供之管理資訊，驗證本研究確能有助於釐清複雜之設計作業關係。

三、結果與討論

設計過程是一個循環前進的過程，而設計循環將會導致設計進度的工期增加[6,7,8]。在細部設計階段，一部分的設計資訊可能會不斷地來回傳遞直到設計完成或需求達到。例如，一個設計檢討(design review)作業可能在一次檢討中發現前行的某些作業有錯誤或遺漏之處，所以必須重新完成部份圖面或其他所需的設計產物。另外，有些設計循環是由【外力】所導致；一個典型的例子如當某下游作業須進行變更設計時，其上游某些作業可能亦須配合進行重作，以符合該變更。

本研究針對實務界現況進行訪談，並針對過往文獻進行回顧後，初步整理六種出在設計階段可能存在之反覆模式，如表一所示。這六種反覆模式主要是考量當設計循環發生之作業是否為單一設計單位負責事項，發生設計循環之作業間是否涵蓋其他設計作業以及該設計循環是否為一完整的迴圈。經訪談得知，當設計循環在同一設計單位中時，合作之關係較佳，即合作環境之影響較小，故設計循環之影響較小，反之，則影響較大。又，當發生設計循環之作業間不存在其他作業時，設計循環之影響僅為兩作業間，雖亦會間接影響後續工作之進行，但影響較小，但若發生設計循環之作業間涵蓋其他作業時，不僅後續工作受其影響，兩作業間作業亦須部份或全部重新設計，則影響行為較為複雜且較大。而當設計循環為一完整迴圈時，因資訊來回傳遞，設計循環可能發生不止；而若不是一完整迴圈時，則該設計循環最多將僅發生一次。

而本研究所建立的模式化步驟將可分為表達設計流程(Phase I)、建立模擬網圖(Phase II)、建立輸入資料(Phase III)和選取所須輸出資訊和進行模

擬(Phase IV)四個部分，整體模式架構如圖一所示。

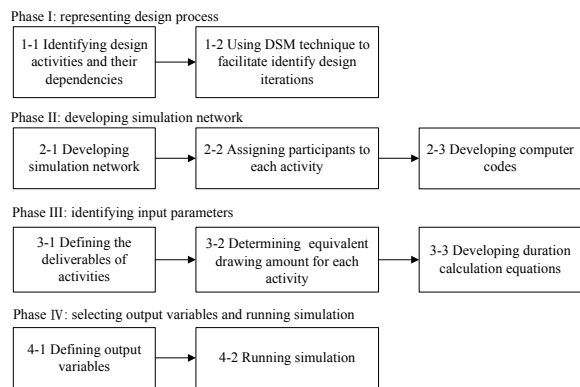


圖 1. 模式化步驟

Phase I: 表達設計流程

步驟一又可分為定義設計作業項目與關係和利用關係結構矩陣找出設計循環兩個部分。

1. 定義設計作業項目與關係

本研究所謂之設計作業，必定存在有一種設計產物。例如，在後續案例中存在有樓層計畫作業和外部設計計算作業，這兩個作業分別有”計畫圖”和”計算書”等兩種設計產物。在較高層級的設計作業，如發展設計理念作業，可能不存在明確的設計產物，而這些作業在本模式中將不予考慮，這是因為沒有明確的設計產物相對而言也就很難去評估該作業之工期。而設計作業間必定存在著某種邏輯關係，例如， $A \rightarrow B$ ，表示作業資訊從作業 A 傳遞到作業 B，B 作業需要 A 作業的資訊方能進行設計。

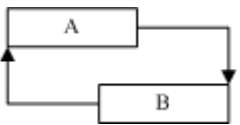
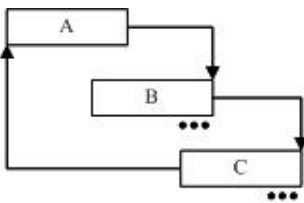
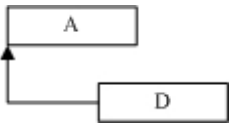
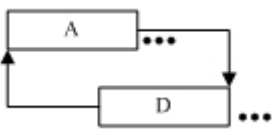
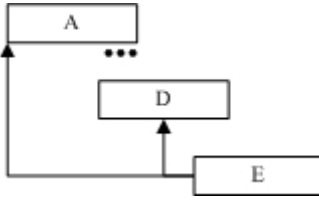
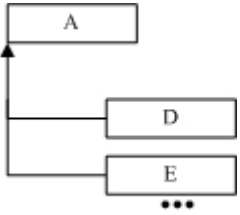
2 利用關係結構矩陣找出設計循環

在定義出設計作業項目和找出作業關係後，DSM 將可以幫助找出存在著完整迴圈的设计循環。DSM 有自己的軟體可以直接使用(refer to <http://www.dsmweb.org/>). Steward [23]和其餘許多著作對如何使用 DSM 都已有詳細的說明，這邊就不再贅述。在完整迴圈的设计循環找到後，不完整的迴圈(例如 Type 3, Type 5, and Type 6)也必須分辨出來，方能完整呈現設計循環的影響。不同於完整迴圈有 DSM 可以幫助找出，不完整的迴圈僅可透過經驗等方式找到，詳細的例子如後續案例所示。

Phase II: 建立模擬網圖

在 Phase I 定義出作業項目與關係和找出設計循環後，Phase II 建立模擬網圖需將各參予者(如建築師，專案經理和繪圖員)分配到參予的作業項目並完成程式語言的撰寫。因為 Stroboscope 具有清楚分辨資源的類別(包含設計參予者和設計產

表 1. 案例工程各種施工團隊方案之優劣比較

循環的類型	作業間關係說明	描述
簡單的內部循環 (Type 1)		<ul style="list-style-type: none"> ● 在一間公司內，兩作業間發生的設計循環 ● 完整的迴圈
複雜的內部循環 (Type 2)		<ul style="list-style-type: none"> ● 發生在一間公司內，最少三個以上作業間的設計循環 ● 完整的迴圈
簡單的外部循環 (Type 3)		<ul style="list-style-type: none"> ● 設計循環發生在兩公司、兩作業間 ● 當後續施作之D作業導致前行之A作業必須重作時，就會產生設計循環 ● 不是一個完整迴圈
複雜的外部循環 (Type 4)		<ul style="list-style-type: none"> ● 設計循環發生在分屬不同的公司的作業間。 ● 作業A和作業D間需要資訊相互傳遞，但可能各自有後續作業。 ● 完整的迴圈
多重循環 1-to-N (Type 5)		<ul style="list-style-type: none"> ● 設計循環發生在數個不同公司的作業間 ● 這種循環在後續作業F導致N個前行作業(例如A、D和其他)必須重作時。 ● 不是一個完整的迴圈
多重循環 N-to-1 (Type 6)		<ul style="list-style-type: none"> ● 設計循環發生在數個不同公司的作業間 ● 這種循環在N個後續作業(例如D、E和其他)導致一個前行作業A必須重作時。 ● 不是一個完整的迴圈

物)、資源使用狀態和作業的開始和結束時間等特性，故本研究採用，Stroboscope [26] (refer to <http://strobos.cce.vt.edu/>)，這種模擬語言完成模擬程式的撰寫。

在 Stroboscope 的語法部分，”Combi”用來表示設計作業，當設定的條件滿足後就能啟動，在網圖中，其圖示像一個左上角被切除的長方形。”Queue”則代表著資源儲存點，每一個都代表著某種特定的資源，在網圖中以”Q”代表。而箭線(→)是用來聯繫兩個節點以表示資源的流向，箭線的左邊代表著資源的流出，為前行作業，右邊(箭頭部份)則代表資源的流入，為後續作業。更詳細的語法和指令說明可見 Martinez[26]的著作。

Phase III: 建立輸入資料

這部份須訂定義每一個作業工期計算時所需的輸入資訊。所需得輸入資訊包括每一個作業所完成的設計產物類別(表示工作的類型的不同)和工作量以及所需參予者數目和參與工作比例等等。

1 定義作業的設計產物類別

設計作業的產物可能視草圖、3D 圖、說明書、照片、報告、計算書或計畫書，而大多數的設計產物均可以幫助不同設計參予者間的相互溝通。在本研究中，設計產物將依據美國建築師協會(American Institute of Architects, AIA)所訂定的標準規劃[27]和圖面模式進行分類[28]。在本研究中，設計產物包含有計畫、詳細計畫、計算、區劃、報告與圖面等幾類。表二的左半部分別表示建築、結構、空調與水電的設計產物的類型。

表 2 設計產物的類型與其轉換因子

所屬公司 (Discipline)	設計產物的類型 (Type of deliverable)	轉換因子 (Conversion Factor)
Architectural	Plan (PLA)	1.2
	Details (DET-A)	1
	Elevation (ELE)	0.85
	Section (SEC)	0.97
	Report (REP)	0.6
Structural	Calculation (CAL-S)	1.25
	Framing plan (FRA)	0.85
	Beam details (BEA)	0.8
	Column details (COL)	1
	Slab details (SLA)	0.8
HVAC	Calculation (CAL-H)	1.15
	Air duct plan (AIR)	0.80
	Water piping plan (WAT)	0.85
Electrical	Details (DET-H)	0.8
	Calculation (CAL-E)	1.15
	Lighting fixture plan (LIG)	0.60
	Emergency lighting plan (EME)	0.8
	Exhaust duct plan (EXH)	0.7
	Details (DET-E)	0.7

2. 定義圖量轉換當量

由於設計作業產物的多樣化，為求找出共通的工期計算式，本研究先定義出適當圖量轉換數 (TQ)，而透過圖量轉換數，即可將各作業不同大小、不同比例尺的圖面工作量轉換為相當之標準圖量的倍數；之後，再透過不同作業間工作複雜度之轉換因子(CF)轉換，對於不同設計產物不同工作複雜度的設計作業之工作量，即圖面轉換當量(EQ)值即可求得。

圖量轉換數 — 依過往研究表示[27,28]，迷你圖面模型(mini mock-up)將可幫助設計者在概要設計階段即評估出各作業所需的圖面大小和張數。這簡單模型可以表現出建築物的形狀、樓層數、區位、大小以及不同方位的外形等等。但細部之設計元件，如窗戶和門的數量等等，可能無法在此模型中看出。

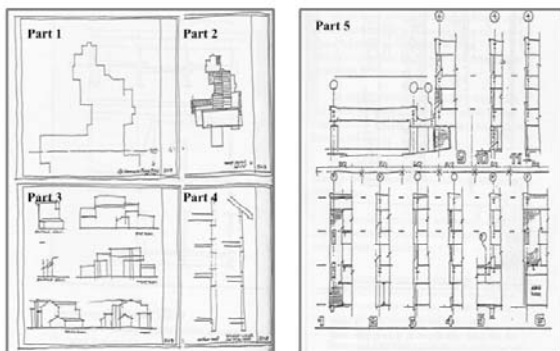


圖 2. 迷你圖面模型之一例 [27]

圖二表示某專案之迷你圖面模型之圖面 [27]。圖二中，1, 2, 3 和 4 部分分別顯示建築物的輪廓、俯視圖、側視圖(從東南西北四個方向)以及建築物的樓層數；5 部分表示建築物的水平和垂直

必須描述之剖面。例如，圖 2 中 2 部分(俯視圖)就可以用來幫助決定建築物細部設計時，所需的圖面樟樹和比例尺大小。

$$TQ_i = \sum_{j=1}^J \left(B_{i(j)} \times \frac{Size_{i(j)}}{Size_s} \times \left(\frac{Scale_{i(j)}}{Scale_s} \right)^2 \right) \quad (1)$$

公式中， j 是迷你圖中的區塊數， $B_{i(j)}$ 表示 i 作業需用 j 大小區塊表示的數目。 $Size_{i(j)}$ 和 $Scale_{i(j)}$ 分別表示迷你圖中 i 作業 j 區塊之大小和比例尺尺寸，而 $Size_s$ 和 $Scale_s$ 則表示標準圖中區塊之大小和比例尺尺寸。另外，本模式假設設計者可以直接評估設計產物非圖面類別，如計算(CAL)、報告(REP)等類型之設計作業的 TQ 值。

例如，假設標準圖的比例尺為 1/100 ($Scale_s$)，大小($Size_s$) 為 720 cm² (36cm × 20cm)。假設，某作業(如後續案例中之外牆設計作業)之 $B_{i(j1)} = 1$ ， $Size_{i(j1)} = 36 \times 7$ cm²， $Scale_{i(j1)} = 1/100$ ； $B_{i(j2)} = 3$ ， $Size_{i(j2)} = 10 \times 7$ cm²， $Scale_{i(j2)} = 1/100$ ，and $B_{i(j3)} = 3$ ， $Size_{i(j3)} = 1.2 \times 7$ cm²， $Scale_{i(j3)} = 5/100$ 。則該作業之圖量轉換數為

$$TQ_i = \left[1 \times \frac{36 \times 7}{720} \times \left(\frac{1/100}{1/100} \right)^2 \right] + \left[3 \times \frac{10 \times 7}{720} \times \left(\frac{1/100}{1/100} \right)^2 \right] + \left[3 \times \frac{1.2 \times 7}{720} \times \left(\frac{5/100}{1/100} \right)^2 \right] = 1.52 \quad (2)$$

轉換因子 — 轉換因子(CF)用來表示某一工作要比標準作業來得困難或簡單之程度。轉換因子的建立若能透過歷史資料為基準，當然最為準確不過，但將需要很多的資料。在本研究中，將定義建築師事務所中之細部設計工作(DEL)之 CF 為 1.0，其他工作之轉換因子將基於 Thomas[29] 等人之研究成果和兩位實際設計的評估建立。表二為案例專案之轉換因子整理表。

圖量轉換當量 — 各作業的圖面種換當量就等於圖量轉換數與轉換因子的相乘積。例如， i 作業的圖量轉換當量 EQ_i 可表示為

$$EQ_i = TQ_i \times CF_i \quad (3)$$

公式中， CF_i 為 i 作業之工作類型之轉換因子， TQ_i 則為 i 作業之圖量轉換數。例如，前面提及之作業之 TQ_i 為 1.52 sheets，而其 $CF_i = 0.97$ ，因為該作業之設計產物類型為 SEC (section). (See Table 2.) 則其 EQ_i 值 $1.52 \times 0.97 = 1.47$ (sheets).

3. 發展工期計算公式

設計作業 i 在 n 次設計循環之情況下，所需要之總作業工期($D_{i(n)}$) 是以下幾各部份工期的總和 arts - 基本工期(d_i) 為完成該作業工作所需之工期，傳遞時間 (dd_i) 為接收、了解及完成作業後設計資訊傳遞給下各作業所需要的時間，而重作時間 ($\sum_{n=1}^N Iter D_{i(n)}$) 為因 n 次設計循環而重作

該作業某一部分所需的時間。若以數學式表示，

$$D_{i(n)} = d_i + dd_i + \sum_{n=1}^N \text{Iter}D_{i(n)} \quad (4)$$

基本工期 (d_i) — 一各作業所需的基本工期就等於工作業的工作量乘以生產力。其中，生產力又可定義為單位效率(hour/sheet)。然而，不同種類的設計參予者的工作效率也不一樣，各作業的人員參與比例也有所差異，因此各作業的實際生產力，必須將人員參與比例分別乘以各自的工作效率。故，對 i 作業而言，其加權生產力 (weighted unit rate)， WeightUR_i 為

$$\text{WeightUR}_i = \sum_{p=1}^P (UR_{i(p)} \times \text{Ratio}_{i(p)}) \quad (5)$$

其中， $UR_{i(p)}$ 和 $\text{Ratio}_{i(p)}$ 分別為作業 i 工作人員 p 之參與比例與工作效率。例如，同樣是外牆設計作業 (wall section design)，假設該作業有三個參予者，分別為建築師，專案經理與繪圖員。這三者的參與比例與工作效率分別為(10%，60%，30%)與(8 hours/sheet, 10 hours/sheet, 15 hours/sheet)。因此，加權生產力 $\text{WeightUR}_i = (10\% \times 8) + (60\% \times 10) + (30\% \times 15) = 11.3$ hours/sheet。

所以，完成作業 i 所需之基本工期 d_i 就可表示為

$$d_i = EQ_i \times \text{WeightUR}_i \quad (6)$$

故，完成其述作業所需之基本工期 (d_i) = 1.47 (sheet) \times 11.3 hours (hours/sheet) = 16.66 hours。

傳遞接收時間 (dd_i) — 在本研究中，假設傳遞接收時間為一常數。當傳遞接收對象為公司內部時，本模式設定 dd_i 為 4 小時；而當傳遞接收對象為不同公司間時，本模式設定 dd_i 為 8 小時。

重作時間 ($\text{Iter}D_{i(n)}$) — 過往研究認為，當作業發生循環時，某部份的圖面必須要重作或重新確認 [13]。當然，在重做之前，或是公司內部或是公司與公司間一定需要先行溝通，以確認問題是由於做錯或是遺漏，亦或是資訊不一致所發生，方能對症下藥，因此額外的溝通時間必須計算在內。所以，因為 n th 設計循環所增加的工期 $\text{Iter}D_{i(n)}$ 為

$$\text{Iter}D_{i(n)} = \text{Iter}DR_i \times D_{i(0)} + (l_{i(n)} \times \frac{\text{Intra}D_i}{2^{n-1}}) + (m_{i(n)} \times \frac{\text{Inter}D_i}{2^{n-1}}) + (r_{i(n)} \times \frac{\text{Multi}D_i}{2^{n-1}}) \quad (7)$$

公式中， $\text{Iter}DR_i$ 為因為設計循環而必須重作的工作量比例，例如， $\text{Iter}DR_i$ 可以是 20%，40% 或 80%。 $D_{i(0)}$ 是指在沒有設計循環的情況下，完

成 i 作業所需之時間，也就等於 $D_{i(0)} = d_i + dd_i$ 。(See Eq. (4).) $l_{i(n)}=1$ if 作業 i 發生的是內部設計循環，否則 $l_{i(n)}=0$ 。同樣地， $m_{i(n)}$ (1 or 0) 和 $r_{i(n)}$ (1 or 0) 端是 i 作業是否發生外部設計循環或多重設計循環。 $\text{Intra}D_i/2^{n-1}$ ， $\text{Inter}D_i/2^{n-1}$ or $\text{Multi}D_i/2^{n-1}$ 是表示對 i 作業而言，當設計循環次數增加時，在不發現新錯誤的情況下，額外增加的溝通時間會以 $1/2^{n-1}$ 比例遞減。當需要溝通的對象增加時，額外的溝通時間也會增加，因此 $\text{Intra}D_i < \text{Inter}D_i < \text{Multi}D_i$ 。

設計循環下之作業工期之一例 $D_{i(n)}$ — 還是以上面談到的外牆設計 (wall section design) 作業為例，假設該作業發生了內部設計循環 2 次。若其 $dd_i = 4$ hours; $\text{Iter}DR_i = 80\%$, and $\text{Intra}D_i = 4$ hours。現在， $l_{i(1)} = 1$ ，而 $m_{i(1)} = r_{i(1)} = 0$ 。如上所述，該作業之 $d_i = 16.66$ hours， $D_{i(0)} = d_i + dd_i = 16.66 + 4 = 20.66$ hours。因此，當設計循環發生第一次 ($n = 1$) 時，重作時間 $\text{Iter}D_{i(1)}$ 為

$$\text{Iter}D_{i(1)} = \text{Iter}DR_i \times D_{i(0)} + (l_{i(1)} \times \frac{\text{Intra}D_i}{2^{1-1}}) + (m_{i(1)} \times \frac{\text{Inter}D_i}{2^{1-1}}) + (r_{i(1)} \times \frac{\text{Multi}D_i}{2^{1-1}}) \quad (8a)$$

$$= 0.8 \times 20.66 + (1 \times \frac{4}{2^0}) + (0 \times \frac{\text{Inter}D_i}{2^0}) + (0 \times \frac{\text{Multi}D_i}{2^0}) \quad (8b)$$

$$= 0.8 \times 20.66 + (1 \times 4) = 20.53 \text{ hours} \quad (8c)$$

故，完成一次設計循環所需之總工期 $D_{i(1)} = d_i + dd_i + \text{Iter}D_{i(1)} = D_{i(0)} + \text{Iter}D_{i(1)} = 20.66 + 20.53 = 41.19$ hours。同理，完成第二次 ($n = 2$) 設計循環時，重作時間 $\text{Iter}D_{i(2)}$ 為

$$\text{Iter}D_{i(2)} = \text{Iter}DR_i \times D_{i(0)} + (l_{i(2)} \times \frac{\text{Intra}D_i}{2^{2-1}}) + (m_{i(2)} \times \frac{\text{Inter}D_i}{2^{2-1}}) + (r_{i(2)} \times \frac{\text{Multi}D_i}{2^{2-1}}) \quad (9a)$$

$$= 0.8^2 \times 20.66 + (1 \times \frac{4}{2^1}) + (0 \times \frac{\text{Inter}D_i}{2^1}) + (0 \times \frac{\text{Multi}D_i}{2^1}) \quad (9b)$$

$$= 0.8^2 \times 20.66 + (1 \times 2) = 15.22 \text{ hours} \quad (9c)$$

因此，依照公式(4)，該作業在兩次設計循環的情況下所需之總工期 $D_{i(2)} = d_i + dd_i + \text{Iter}D_{i(1)} + \text{Iter}D_{i(2)} = 20.66 + 20.53 + 15.22 = 56.41$ 小時。

4. Phase IV: 選取所須輸出資訊和進行模擬

在所有上述的輸入資訊和公式都使用 Stroboscope 的語法寫入到程式碼後，Stroboscope 會自動產生大部分的輸出資訊 (稱為系統維持變數，system-maintained variables) [26]。典型的系統維持輸出包括各作業之開始時間、結束時間、工期，專案之開始時間、結束時間與工期以及各參予者的閒置時間。在本研究中，後續案例在作業系統為 Windows XP, P3 850 CPU 以及 256 Mbytes

記憶體的電腦環境下，進行 1000 次模擬約需 1 分鐘左右的時間。

展示案例是一個台灣北部某科學園區之廠房設計案。在建築師完成概念設計後，其內部空間包含電氣室、化學藥劑室、餐廳與休息室。圖三表示專案之平面圖，圖四則是化學藥劑室和餐廳的垂直剖面圖。該專案包含四個專業設計顧問－建築、結構、空調與機電。

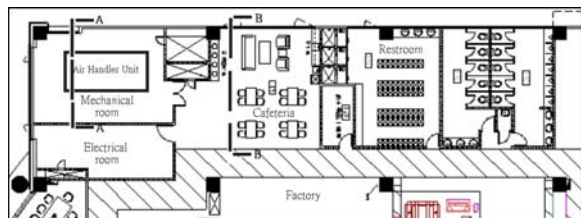
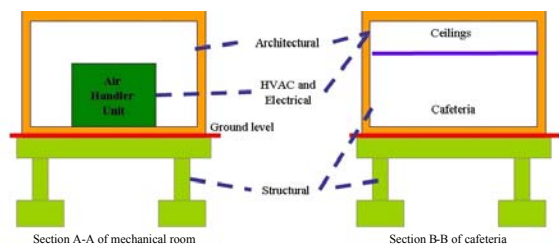


圖 3. 案例之平面圖



圖三、化學藥劑室與餐廳之垂直剖面圖

當建築設計完成作業 A1 和 A2 後，其他作業依其完成之資訊開始設計。而當所有作業完成後，建築師事務所需要 8 小時的時間來整理、裝訂各顧問公司的設計完成品，之後這個設計案才能算是完成(這過程透過 End 作業來代表)。

表三列出了這個專案所包含的 31 各設計作業的名稱，包括有 11 各建築設計作業(A1 ~ A10 和 End)、7 各結構設計作業(A11 ~ A17)、6 各空調設計作業(A18 ~ A23)與 7 各機電設計作業(A24 ~ A30)。表三的右邊分別表示各作業之後續作業。

表三、案例作業之名稱與後續作業

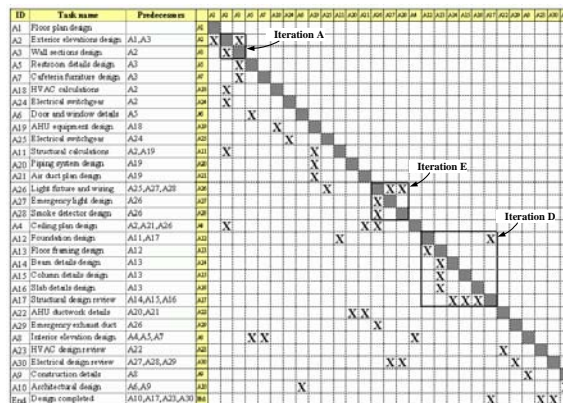
ID	作業名稱	後續作業
<i>Architectural design</i>		
A1	Floor plan design	
A2	Exterior elevations design	A1,A3
A3	Wall sections design	A2
A4	Ceiling plan design	A2,A21,A26
A5	Restroom details design	A3
A6	Door and window details design	A5
A7	Cafeteria furniture design	A3
A8	Interior elevation design	A4, A5, A7
A9	Construction details design	A8
A10	Architectural design review	A6, A9
<i>Structural design</i>		
A11	Structural calculations	A2,A19
A12	Foundation design	A11,A17
A13	Floor framing design	A12
A14	Beam details design	A13
A15	Column details design	A13
A16	Slab details design	A13
A17	Structural design review	A14, A15, A16

ID	作業名稱	後續作業
<i>HVAC design</i>		
A18	HVAC calculations	A2
A19	AHU equipment design	A18
A20	Piping system design	A19
A21	Air duct plan design	A19
A22	AHU ductwork details design	A20, A21
A23	HVAC design review	A22
<i>Electrical design</i>		
A24	Electrical switchgear calculations	A2
A25	Electrical switchgear design	A24
A26	Light fixture and wiring design	A25,A27,A28
A27	Emergency light design	A26
A28	Smoke detector design	A26
A29	Emergency exhaust duct design	A26
A30	Electrical design review	A27, A28, A29
End	Design completed	A10, A17, A23, A30

表四表示該案例為運作所需之輸入資訊，這些資訊包括各作業設計產物之種類、圖量轉換數 (TQ_i)，轉換因子 $t(CF_i)$ ，人員參與比例 ($Ratio_{i(p)}$) 以及傳遞時間 (dd_i)。例如，A3 作業的設計產物類型、 TQ_i 、 CF_i 和 dd_i 分別為 SEC (section)、1.52 sheets、0.97、和 4 小時。另外，其人員參與比例， $Ratio_{i(p)}$ ，對應建築師、專案經理與繪圖員分別為 10%、60% 與 30%。表五列出四間公司十二各參與者與其工作效率 (unit rate, $UR_{i(p)}$)。

表五 各參與者的生產力 (unit rate)

Participants	Unit rate (hour/sheet) per person
<i>Architectural discipline</i>	
Architect	8
Designer	10
Assistant designer	15
<i>Structural discipline</i>	
Structural consultant	8
Structural engineer	10
Structural assistant engineer	12
<i>HVAC discipline</i>	
HVAC consultant	6.5
HVAC engineer	9
HVAC assistant engineer	14
<i>Electrical discipline</i>	
Electrical consultant	8
Electrical engineer	10
Electrical assistant engineer	14



圖五、案例之 DSM 圖

圖五表示案例之關係結構矩陣圖，圖中 31 各

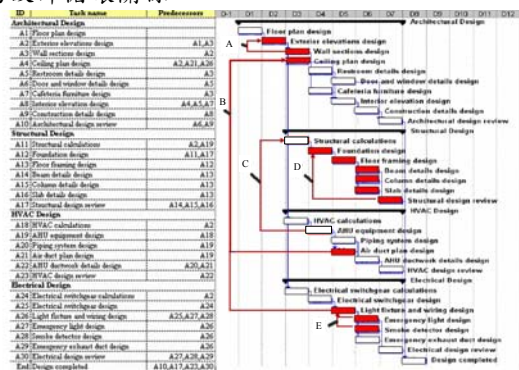
作業存在有三個完整迴圈之設計循環(iterations A, D, 和 E)。另外，兩個不完整循環(B 和 C)必須由使用者自行設定。表六為這五各設計循環的輸入

資訊，包含 $IterDR_i$, $IntraD_i$, $InterD_i$, or $MultiD_i$ 和影響的作業名稱。

表六、案例中五個設計循環

Iteration	Description	Characteristics	Initiating activities	Iterated activities	Input parameters
A (Type 1)	The downstream activity A3 (wall sections design) is to confirm the size and height of exterior openings of an upstream activity A2. Hence, part of A2 must be reworked.	<ul style="list-style-type: none"> Identified by DSM Simple intra-iteration Complete loop 	A3	A2	$IterDR_i = 80\%$ $IntraD_i = 4$ hours
B (Type 6)	Those who perform architectural tasks commonly fail to consider the locations of the air ducts (A21) and light fixtures (A26) in the ceiling plan design (A4). Therefore, downstream activities (A21 and A26) often require A4 to be reworked.	<ul style="list-style-type: none"> Identified by model user Multi-iteration N-to-1 Incomplete loop 	A21, A26	A4	$IterDR_i = 20\%$ $MultiD_i = 18$ hours
C (Type 3)	The AHU equipment design (A19) causes the structural calculations (A11) to be reworked because the equipment loading exceeds the structural loading capacity.	<ul style="list-style-type: none"> Identified by model user Simple inter-iteration Incomplete loop 	A19	A11	$IterDR_i = 20\%$ $InterD_i = 12$ hours
D (Type 2)	The structural design review (A17) forces the foundation design (A12) to be reworked. Accordingly, the design of the floor framing (A13), the details of the beams (A14), the details of the column (A15), and the details of the slabs (A16) are iterated.	<ul style="list-style-type: none"> Identified by DSM Complex intra-iteration Complete loop 	A17	A12, A13, A14, A15, A16	$IterDR_i = 20\%$ $IntraD_i = 4$ hours
E (Type 2)	The designed locations of emergency lights (A27) and smoke detectors (A28) do not meet the design standards for light fixtures and wiring (A26). Thus, A26 is reworked.	<ul style="list-style-type: none"> Identified by DSM Complex intra-iteration Complete loop 	A27, A28	A26	$IterDR_i = 40\%$ $IntraD_i = 4$ hours

圖六，則是用桿狀圖的方式表現作業間所存在的設計循環關係。



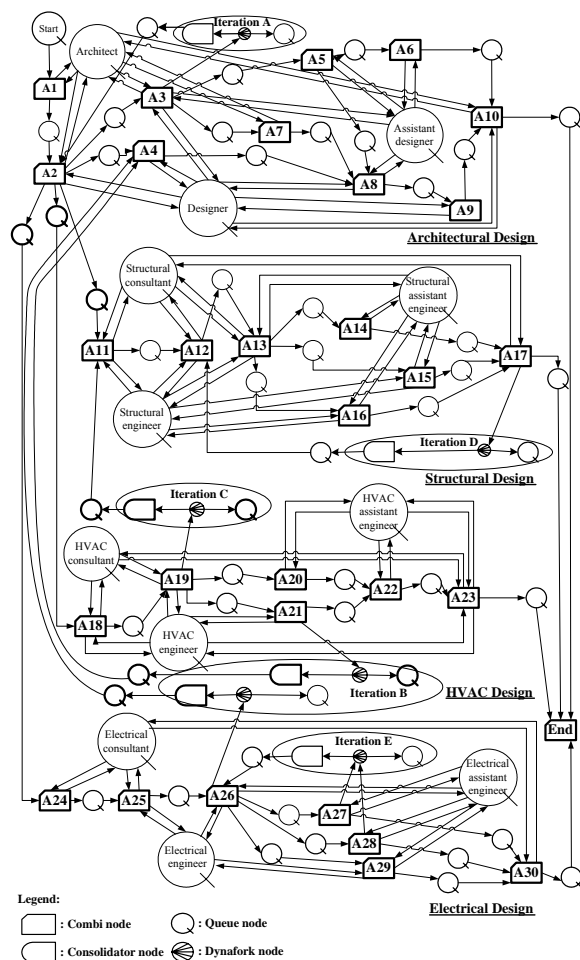
圖六、以桿狀圖表示設計循環的存在

圖七表示依案例關係所建立之模擬網圖。模

擬網圖中，包含有 31 各作業(用 Combi 來表示)，12 各參予者(用 Queue 來代表)，作業間的關係(用 link 來表示)以及設計循環的控制器(用 Dynafork 來代表)。另外，每一各小 Queue 是用來控制設計產物的流向。更詳細的程式碼說明可見 Liao 的論文[30]。

模擬結果可表示如表七、表八與圖八所示。當五各設計循環都只發生一次的情況下，專案的工期 285.75 小時，相當於 35.72 天(如果一天工作 8 小時的話)，建築、結構、空調與水電四個公司的工期分別為 243.78、232.13、152.12 與 250.77 天。表七左半部是各作業的工期、開始與結束時間，右半部則是發生設計循環時，額外工作部分的工作與閒置時間，例如，建築部份建築師、專案經理與繪圖員的閒置時間分別是 92.30，49.62 與

81.21 小時。因此，管理者可多將工作分配給建築師，因為其閒置狀況非常嚴重。



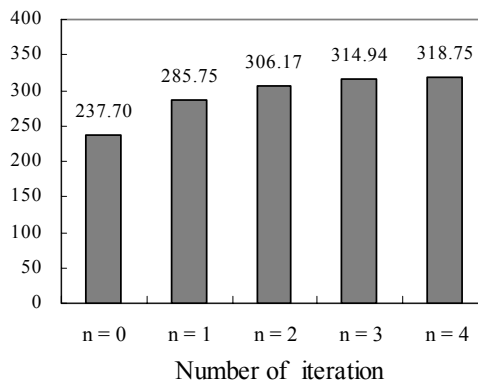
圖七、案例之模擬網圖

表八、各參予者的閒置與工作時間

Participants	Working time (hours)	Idle time (hours)
Architectural discipline		
Architect	151.48	92.30
Designer	194.16	49.62
Assistant designer	162.57	81.21
Structural discipline		
Structural consultant	161.81	1.63
Structural engineer	115.41	48.03
Structural assistant engineer	110.73	52.71
HVAC discipline		
HVAC consultant	84.72	67.40
HVAC engineer	111.12	41.00
HVAC assistant engineer	95.55	56.56
Electrical discipline		
Electrical consultant	92.36	158.41
Electrical engineer	142.01	108.76
Electrical assistant engineer	158.41	92.36

圖八表示當設計循環次數增加時，工期的變化情形。由圖中清楚可見，隨著設計循環的次數增加，專案的總工期也隨之增加，但增加的幅度卻越來越少，這和原本預期的情況相同。

Duration (hours)



圖八、當設計循環次數增加時工期的變化情形

四、研究成果自評

桿狀圖與要徑法能有效掌控僅具有單向作業關係的專案，但對具有完整或不完整循環關係的設計專案卻很難掌控。本研究發明出一以模擬為基礎之設計排程模式，並和過往研究出用以處理設計循環之方法-DSM 相結合。DSM 僅能用於發現完整迴圈之設計循環，但卻無法評估出可能增加的工期。而本研究所發展出之模式可以找出設定情況下，各作業、公司與整體專案之開始、結束時間與工期。此外，本模式亦可用於分辨各設計循環的影響大小，找出設計循環管理的重點。並且能協助人力資源的分配與趕工的參考。

在後續研究上，可能有以下數個部份可以繼續努力：

1. 設計的不確定性：
在本研究中，舉凡設計工作量、參予者的生產力、設計循環的發生機率、重作的數量等等均設定為定值，後續研究可將不確定性考慮進來，將更符合現況。
2. 成本的影響：
在展示案例的輸出結果，有各參予者的閒置與工作時間供管理者在人力吊配與趕工時增配人力之參考。但在現況中吊配人力時，除需考慮參予者的工作與閒置時間外，尚須考量到成本問題。
3. 開始狀態的彈性：
在現況中，有時前行作業並不需要全部完成，僅需完成和後續作業相關部分，後續作業即可開始。因此，後續研究或可針對這一部份，增加後續作業開始狀態的彈性。
4. 設計循環間的關係性：
在本研究中，均假定設計循環間相互獨立；但現況中，可能有部份設計循環是獨立的，部份設計循環卻會相互影響。例如展示案例中，設計循環 E 可能導致設計循環 B 再度發生，後續研究亦可將此一問題考慮在內。

五、参考文献

- [1] Allan D. C., and Saloni M., "Issues For Construction of 300-mm Fab," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 126, No. 6, pp. 451-457 (2000).
- [2] J.R. Glavan, R.L. Tucker, Forecasting design-related problems - case study, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management* 117 (1) (1991) 47-65.
- [3] M.P. Nicholson, Z. Naamani, Managing architectural design - a recent survey, *Construction Management and Economic* 10 (1992) 479-487.
- [4] F.A. Stasiowski, D. Burstein, Total quality project management for the design firm, John Wiley & Sons Inc., NY, 1994.
- [5] S.T. Chang, Reasons for cost and schedule increase for engineering design projects, *ASCE Journal of Management in Engineering* 18 (1) (2002) 29-36.
- [6] J.J. Moder, C.R. Philips, E.W. Davis, Project management with CPM, PERT and precedence diagramming, 3rd Edition. Van Nostrand Reinhold, NY, 1983.
- [7] S. Austin, A. Baldwin, A. Newton, Manipulating the flow of design information to improve the programming of building design, *Construction Management & Economics* 12 (1994) 445-455.
- [8] S. Austin, A. Baldwin, B. Li, P. Waskett, Analytical design planning technique: a model of the detailed building design process, *Design Studies* 20 (1999) 279-296.
- [9] S. Austin, A. Baldwin, B. Li, P. Waskett, Analytical design planning technique (ADePT): a dependency structure matrix tool to schedule the building design process, *Construction Management & Economics* 18 (2000) 173-182.
- [10] A. Baldwin, S. Austin, T. Hassan, A. Thorpe, Planning building design by simulating information flow, *Automation in Construction* 8 (1998) 149-163.
- [11] A. Baldwin, S. Austin, T. Hassan, A. Thorpe, Modeling information flow during the conceptual and schematic stages of building design, *Construction Management & Economics* 17 (1999) 155-167.
- [12] P.B. Luh, F. Liu, B. Moser, Scheduling of design projects with uncertain number of iterations, *European Journal of Operational Research* 113 (1999) 575-592.
- [13] D.K.H. Chua, A. Tyagi, S. Ling, S.H. Bok, Process-parameter-interface model for design management, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management* 129 (6) (2003) 653-663.
- [14] C.H. Chen, S.F. Ling W. Chen, Project scheduling for collaborative product development using DSM. *Journal of Project Management* 21 (2003) 291-299.
- [15] H.J. Choo, J. Hammond, I.D. Tommelein, S.A. Austin, G. Ballard, DePlan: a tool for integrated design management, *Automation in Construction* 13 (2004) 313-326.
- [16] W.C. Wang, T.S. Liao, J.J. Liu, Applying simulation technique to model design iterations, *Proceedings of the 21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Korea, 2004*, 413-418.
- [17] H. Rivard, S.J. Fenves, A representation for conceptual design of building, *Journal of Computing in Civil Engineering* 14 (3) (2000) 151-159.
- [18] V.E. Sanvido, K.J. Norton, Integrated design-process model, *ASCE Journal of Management in Engineering* 10 (5) (1994) 55-62.
- [19] C. Peng, Exploring communication in collaborative design: cooperative architectural modeling, *Design Studies* 15 (1994) 19-44.
- [20] E. Frankenberger, P. Badke-Schaub, Modeling design process in industry empirical investigations of design work in practice, *Automation in Construction* 7 (1998) 139-155.
- [21] A. Mokhtar, C. Bedard, P. Fazio, Collaborative planning and scheduling of interrelated design changes, *ASCE Journal of Architectural Engineering* 6 (2) (2000) 66-75.
- [22] T. Hegazy, E. Zanelidin, D. Grierson, Improving design coordination for building projects. I: information model, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management* 127 (4) (2001) 322-329.
- [23] S.T. Chang, Defining cost/schedule performance indices and their ranges for design projects, *ASCE Journal of Management in Engineering* 17 (2) (2001) 122-130.
- [24] D.V. Steward, The design structure system: a method for managing the design of complex systems. *IEEE Transactions on Engineering Management* EM 78(3) (1981) 71-74.
- [25] W.C. Wang, R.J. Dzung, Applying cluster identification algorithm and simulation to generate probabilistic network schedules for design projects, to appear in *Construction Management & Economics* (2005).

表四. 案例工程各種作業之輸入資料

ID	Type of deliverable	Transferred drawing amount (TQ)	Conversion Factor (CF)	Participation ratio ($Ratio_{i(p)}$, %)			Time required to process deliverables (dd_i , hours)
				Architect	Designer	Assistant designer	
<i>Architectural design</i>							
A1	PLA	1.00	1.2	100%	-	-	4
A2	ELE	1.20	0.85	40%	60%	-	4
A3	SEC	1.52	0.97	10%	60%	30%	4
A4	PLA	1.83	1.2	-	100%	-	4
A5	DET-A	2.11	1	-	-	100%	4
A6	DET-A	2.00	1	-	-	100%	4
A7	DET-A	3.00	1	70%	-	30%	4
A8	ELE	1.17	0.85	-	30%	70%	4
A9	DET-A	2.00	1	-	100%	-	4
A10	REP	2.00	0.6	20%	80%	-	4
				Structural consultant	Structural engineer	Structural assistant engineer	
<i>Structural design</i>							
A11	CAL-S	3.00	1.25	100%	-	-	8
A12	CAL-S	2.00	1.25	50%	50%	-	4
A13	FRA	2.00	0.85	20%	50%	30%	4
A14	BEA	1.00	0.8	-	-	100%	4
A15	COL	1.00	1	-	50%	50%	4
A16	SLA	2.00	0.8	-	100%	-	4
A17	CAL-S	2.00	1.25	50%	-	50%	4
				HVAC consultant	HVAC engineer	HVAC assistant engineer	
<i>HVAC design</i>							
A18	CAL-H	3.00	1.15	50%	50%	-	8
A19	CAL-H	2.00	1.15	50%	50%	-	4
A20	WAT	2.00	0.85	-	-	100%	4
A21	AIR	1.00	0.80	-	50%	50%	4
A22	DET-H	2.00	0.8	-	-	100%	4
A23	CAL-H	2.00	1.15	30%	50%	20%	4
				Electrical consultant	Electrical engineer	Electrical assistant engineer	
<i>Electrical design</i>							
A24	CAL-E	3.00	1.15	100%	-	-	8
A25	CAL-E	3.00	1.15	60%	40%	-	4
A26	LIG	3.00	0.60	-	60%	40%	4
A27	EME	3.00	0.8	-	60%	40%	4
A28	DET-E	3.00	0.7	-	-	100%	4
A29	EXH	2.00	0.7	-	60%	40%	4
A30	CAL-E	2.00	1.15	100%	-	-	4
End	-	-	-	-	-	-	8

表七、專案之模擬結果(在一次設計循環的情況下)

Act-ivity	Equivalent Quantity (EQ_i)	$WeightUR_i$ (hours per sheet)	$D_{i(0)}$ (hours)	$IterD_{i(l)}$ (hours)	$D_{i(l)}$ (hours)	Start time	Finish time	Start time of iteration	Finish time after iteration
Architectural design (Duration = 243.78 hours)						0.00			243.78
A1	1.20	8.00	13.60	-	13.60	0.00	13.60	-	-
A2	1.02	9.20	13.38	14.71	28.09	13.60	26.98	47.64	62.35
A3	1.47	11.30	20.66	20.53	41.19	26.98	47.64	62.35	82.88
A4	2.20	10.00	25.96	23.19	49.15	82.88	108.84	124.55	148.74
A5	2.11	15.00	35.65	-	35.65	82.88	118.53	-	-
A6	2.00	15.00	34.00	-	34.00	118.53	152.53	-	-
A7	3.00	10.10	34.30	-	34.30	152.53	186.83	-	-
A8	0.99	13.50	17.43	-	17.43	186.83	204.26	-	-
A9	2.00	10.00	24.00	-	24.00	204.26	228.26	-	-
A10	1.20	9.60	15.52	-	15.52	228.26	243.78	-	-
Structural design (Duration = 232.13 hours)						26.98			259.11
A11	3.75	8.00	38.00	19.60	57.60	26.98	64.98	190.42	210.02
A12	2.50	9.00	26.50	9.30	35.80	64.98	91.48	210.02	219.32
A13	1.70	10.20	21.34	8.27	29.61	91.48	112.82	219.32	227.59
A14	0.80	12.00	13.60	6.72	20.32	112.82	126.42	227.59	234.31
A15	1.00	11.00	15.00	7.00	22.00	126.42	141.42	234.31	241.31
A16	1.60	10.00	20.00	8.00	28.00	141.42	161.42	241.31	249.31
A17	2.50	10.00	29.00	9.80	38.80	161.42	190.42	249.31	259.11
HVAC design (Duration = 152.12 hours)						26.98			179.10
A18	3.45	7.75	34.74	-	34.74	26.98	61.72	-	-
A19	2.30	7.75	21.83	-	21.83	61.72	83.55	-	-
A20	1.70	14.00	27.80	-	27.80	83.55	111.35	-	-
A21	0.80	11.50	13.20	-	13.20	111.35	124.55	-	-
A22	1.60	14.00	26.40	-	26.40	124.55	150.95	-	-
A23	2.30	10.50	28.15	-	28.15	150.95	179.10	-	-
Electrical design (Duration = 250.77 hours)						26.98			277.75
A24	3.45	8.00	35.60	-	35.60	26.98	62.58	-	-
A25	3.45	8.80	34.36	-	34.36	62.58	96.94	-	-
A26	1.80	11.60	24.88	13.95	38.83	96.94	121.82	187.06	201.01
A27	2.40	11.60	31.84	16.74	31.84	121.82	153.66	201.01	217.75
A28	2.10	14.00	33.40	17.36	33.40	153.66	187.06	217.75	235.11
A29	1.40	11.60	20.24	-	20.24	235.11	255.35	-	-
A30	2.30	8.00	22.40	-	22.40	255.35	277.75	-	-
End					8.00	277.75	285.75		