

「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」內政部協同研究期末報告(108年度)

「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於  
營建施工應用研究」

內政部建築研究所協同研究成果報告

中華民國 109 年 12 月

# 「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於 營建施工應用研究」

研究主持人：王榮進

協同主持人：馮重偉

研究員：陳怡兆、黃昱翔、謝宗興、劉青峰

研究助理：張展豪、林煒堃

研究期程：中華民國 109 年 2 月至 109 年 12 月

## 內政部建築研究所協同研究成果報告

中華民國 109 年 12 月

# 目次

目次	I
表次	III
圖次	IV
摘要	VII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起	1
第二節 研究背景	1
第三節 預期目標	3
第四節 本研究計畫之重要性	4
第二章 文獻回顧	6
第一節 國外 AR 擴增實境及 MR 混合實境之發展	6
第二節 國外 AR 擴增實境與 MR 混合實境於施工與運維管理之應用	10
第三節 國內 AR 擴增實境與 MR 混合實境應用之相關研究	16
第三章 研究方法與過程	27
第一節 研究採用之方法	27
第二節 研究採用方法之原因	56
第三節 預計可能遭遇之困難及解決途徑	58
第四節 重要儀器之配合使用情況	60
第五節 研究步驟	60
第四章 國外 VDC 發展策略及應用	63
第一節 美國 VDC 發展策略及應用	63
第二節 新加坡 VDC 發展策略及應用	66
第三節 小結	75

第五章 研擬國內 VDC 發展策略 .....	76
第一節 國內 VDC 發展及應用情況 .....	76
第二節 國內 VDC 發展背景及可能推動路徑分析 .....	81
第三節 辦理推廣說明會及推廣小冊 .....	85
第四節 小結 .....	87
第六章 結論與建議 .....	88
第一節 結論 .....	88
第二節 建議 .....	90
參考資料 .....	92
附錄一：工作會議紀錄 .....	95
附錄二：第一次專家座談會會議紀錄 .....	99
附錄三：第二次專家座談會會議紀錄 .....	104
附錄四：第三次專家座談會會議紀錄 .....	108
附錄五：期中審查意見回覆對照表 .....	110
附錄六：期末審查意見回覆對照表 .....	116

## 表次

表 1 施工階段 BIM 元件資訊需求 .....	32
表 2 維運階段 BIM 元件資訊需求 .....	33
表 3 施工工項需求資訊 .....	34
表 4 專案資訊解析內容 .....	36
表 5 工項元件關聯表 .....	37
表 6 資訊需求解析 .....	38
表 7 模型與工項關係表 .....	46
表 8 現地施工查核作業情境解析表 .....	49

## 圖次

圖 2-1 現實—虛擬連續光譜	7
圖 2-2 影像式(左)及光學式(右)顯示器原理	7
圖 2-3 情境因子與情境適應性系統之互動架構	9
圖 2-4 擴增實境物件呈現問題示意	10
圖 2-5 以圖像辨識機制呈現擴增實境內容	12
圖 2-6 擴增實境室內導航機制	13
圖 2-7 頭戴式標籤定位機制示意	14
圖 2-8 以 AR (MR) 裝置呈現管道物件	15
圖 2-9 4D BIM 模型結合流程	16
圖 2-10 4D BIM 與 MR 現地使用狀況	16
圖 2-11 BIM 結合 AR 和 iBeacon 應用之消防安全設備檢測系統架構	18
圖 2-12 BIM 結合 AR 和 iBeacon 應用之消防安全設備檢測系統操作畫面	19
圖 2-13 導口之移除與放置	21
圖 2-14 設備搬運與旋轉之過程	21
圖 2-15 設備順利搬出變電室之情境	22
圖 2-16 確認人員施作空間	22
圖 2-17 以 AR 辨識設備是否與環境發生衝突	22
圖 2-18 執行 MR 現地施工查核情況	24
圖 3-1 特性要因圖範例	28
圖 3-2 導入 BIM 備標作業之 BPMN Level1 總覽	29
圖 3-3 BPMN Level2 估計數量流程解析	30
圖 3-4 BPMN Level2 分析單價流程解析	30
圖 3-5 IDEF0 標記法	31
圖 3-6 IDEF0 之分解結構示意圖	32

圖 3-7 專案資訊解析流程示意圖	35
圖 3-8 專案資訊解析結構示意圖	36
圖 3-9 文字及視覺程式撰寫方式之比較	40
圖 3-10 HoloLens 外觀及內建感測器	42
圖 3-11 MRTK 包含之功能列表	43
圖 3-12 目標物定位範例	44
圖 3-13 Unity 開發介面	44
圖 3-14 Visual Studio 程式寫入 HoloLens 畫面	46
圖 3-15 混合實境資料傳遞模式	48
圖 3-16 混合實境功能架構圖	50
圖 3-17 初步開發之 AR 使用者介面	51
圖 3-18 導航功能	51
圖 3-19 小地圖功能	52
圖 3-20 測量與點算功能	52
圖 3-21 工項查詢功能	53
圖 3-22 檢查白板功能	53
圖 3-23 查驗表單功能	54
圖 3-24 讀取圖說與 PDF 功能	54
圖 3-25 初步開發之 MR 使用者介面	55
圖 3-26 初步開發讀取雲端模型庫之功能示意圖	55
圖 3-27 透過定位功能將 BIM 模型與真實環境疊合	56
圖 3-28 以兩點向量進行模型定位理論開發	56
圖 3-29 初步開發之雲端存取檢核表單	56
圖 3-30 虛擬管線與現實結構體碰撞偵測示意圖	57
圖 3-31 開啟導航至碰撞元件點位功能示意圖	57

圖 3-32 開啟模型可視化篩選功能	58
圖 3-33 開啟導航至欲查核元件位置示意圖	58
圖 3-34 研究流程圖	65
圖 4-1 CIFE 發展之結合 BIM 資訊的強大 AI 引擎	66
圖 4-2 A:AR; B:3D 列印工程元件; C:工程預鑄化; D:機器人自動化	67
圖 4-3 Mortenson 銀十字醫院	68
圖 4-4 Trimble connect 及距離量測功能	69
圖 4-5 新建階段展示 3D 模型確認管線位置及資訊	69
圖 4-6 新加坡第一次 BIM 發展路徑圖	71
圖 4-7 新加坡第二次 BIM 發展路徑圖	71
圖 4-8 BIM 基金申請流程	73
圖 4-9 建築資訊分析	76
圖 4-10 在 BIM 模型中模擬起重機	76
圖 4-11 模擬監控工址進度	76
圖 4-12 新加坡福音之光教堂	77
圖 4-13 工程排序	77
圖 4-14 起重機規劃	78
圖 5-1 設計協調與提送時程	79
圖 5-2 檢視結構與建築模型示意圖	80
圖 5-3 施工圖範例	81
圖 5-4 配合 AR 調整前與配合 AR 調整後	81
圖 5-5 榮工工程 BIM 導入	82
圖 5-6 帽樑剪力鋼箱與鋼筋介面-主筋偏移或剪力鋼箱開孔	83
圖 5-7 三鶯捷運線虛擬實境協助設計變更之可行性評估	83
圖 5-8 冰水主機空調設備維運資訊整合	84

圖 5-9 國內可能發展 VDC 之路徑圖	85
圖 5-10 擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用 推廣小冊<試讀本>封面與封底	86
圖 5-11 擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用 推廣說明會海報	86
圖 5-12 推廣說明會現場狀況	87

## 摘要

建築/工程/營造(Architecture, Engineering and Construction, AEC)產業相較於其它產業，應用新科技的步伐相當緩慢，也因此在今日資訊科技發達的社會普遍認為此產業與新科技缺乏相關性，然而隨著新科技的發展，例如擴增實境(Augmented Reality, AR)、混合實境(Mixed Reality, MR)、人工智慧(Artificial Intelligence, AI)、建築資訊模型(Building Information Modelling, BIM)等，如能有效的應用，將可增進AEC產業的價值並改變其形象。近年來提倡以AR/MR為主要工具的虛擬設計與施工(Virtual Design and Construction, VDC)概念，乃是藉由AR、MR及BIM等技術，將工程專案從規劃、設計、施工到維運整個專案生命週期，進行視覺化分析、效能評估、降低各項風險，進而節省時間、成本及提升專案品質。

雖然目前國內已有應用BIM於建築土木新建工程，但實務上，由於傳統專案執行方式，從規劃、設計、施工到維運各階段由不同的團隊負責，受限於其專業領域及相關的工作內容，而無法有效整合模型資訊，必需不斷的修改甚至重建模型以產生完成工作內容所需的資訊，影響導入BIM於工程專案的成效。然而即使利用工作整合性較高的專案執行方式，例如統包，亦常因追求縮短專案時間，造成無法應用BIM模型整合設計及施工，而是施工後才建置模型，降低其應用的價值。此外在工程施工階段，在虛擬環境中所建構的模型，常會遇到實際環境與設計的差異，例如機電管線模型，造成執行的困難，因此透過實境與虛境整合的模式，讓專案參與者能有效溝通並應用此模式於工程生命週期各階段，將可提升整體工程專案的效率及品質。

綜上所述，內政部建築研究所為分析國際近年來BIM的發展趨勢，業已於105年「BIM雲端作業之先導應用與AEC產業4.0升級策略規劃研究」

研究計畫，提出未來營建工程專案模擬的前導範例，近年國內建築資訊模型(BIM)導入建築生命週期的設計、施工及維運階段已逐漸成為營建流程應用的主軸，尤其透過 BIM 所帶來的資訊能夠在施工及維運過程提供有效的幫助。

### 主要建議事項

根據研究發現，本研究針對本案研究過程以及成果，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

#### 立即可行建議

##### 針對 AR/MR 不同應用情境的設備需求分析

主辦機關：中華民國全國建築師公會、財團法人台灣建築中心、台灣建築資訊模型協會、臺灣營建研究院

協辦機關：內政部建築研究所、中華民國電機技師公會、內政部營建署

針對混合實境(MR)設備方面，目前以微軟發行的 HoloLens 頭戴式眼鏡未來發展成效較明顯，其他 MR 設備應用效果相對不顯著，建議各單位可以參考本研究針對 AR 及 MR 不同應用情境的功能需求分析及示範系統，對應符合自身的應用情境去做思考，採購相對應的 AR 或 MR 設備，方能提升擴增實境(AR)與混合實境(MR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工的未來發展可能性及應用價值。

##### 針對 AR/MR 的模型定位技術

主辦機關：中華民國全國建築師公會、中華民國電機技師公會、台灣建築資訊模型協會、臺灣營建研究院

協辦機關：內政部建築研究所、財團法人台灣建築中心、內政部營建署

模型定位的精確程度對於擴增實境(AR)與混合實境(MR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工的未來應用發展影響甚大，現階段針對模型定位技術尚未成熟，有許多細部內容包含不同設備及科技結合之應用，建議

各單位可以將模型定位主題納入未來研究議題，期許將來研究成果可以提供更多關於模型定位的方式與相關資訊供參考，作為推動未來 AR 與 MR 應用發展的重要基石。

#### 針對 AR/MR 的建模流程與資訊成本

主辦機關： 中華民國全國建築師公會、財團法人台灣建築中心、台灣建築資訊模型協會、臺灣營建研究院、內政部營建署

協辦機關： 內政部建築研究所

針對模型資訊成本方面，建議欲發展擴增實境(AR)與混合實境(MR)的單位，前期應先解析資訊與其相對應用之需求，再結合 BIM 應用於工程上，以改善目前資料處理成本過高的現況，經前期解析產出的規範與資料內容方能應付後期擴增實境(AR)與混合實境(MR)的使用情境，若前期不重視建模規範的建立與模型相關資料的分析與處理，後期就無法有效率的達到 AR 及 MR 應用於工程上預期之成效。

#### 長期性建議

##### 針對擴增實境(AR)與混合實境(MR)未來發展

主辦機關：內政部營建署

協辦機關： 內政部建築研究所、中華民國全國建築師公會、中華民國電機技師公會、財團法人台灣建築中心、台灣建築資訊模型協會、臺灣營建研究院

針對未來發展，擴增實境(AR)與混合實境(MR)皆是未來工程領域發展自動化的基石，其成效在近幾年已經越來越顯著，建議可考量結合光達產生的多元資訊提升 AR 及 MR 於工程上的應用成效，建議各單位應該盡早著手發展，分析欲發展之情境需求找出適合自身的應用情境、方式與設備。

# 第一章 緒論

## 第一節 研究起緣

內政部建築研究所為分析國際近年來 BIM 的發展趨勢，業已於 105 年「BIM 雲端作業之先導應用與 AEC 產業 4.0 升級策略規劃研究」研究計畫，提出未來營建工程專案模擬的前導範例，近年國內建築資訊模型(BIM)導入建築生命週期的設計、施工及維運階段已逐漸成為營建流程應用的主軸，尤其透過 BIM 所帶來的資訊能夠在施工及維運過程提供有效的幫助。然而目前國內 BIM 的使用仍侷限在資訊瀏覽，在 BIM 實際施工及維運現場的連結應用上仍缺乏實質性的突破。在此前提下，本研究欲應用擴增實境(AR)、混合實境(MR) 所具備現實與虛擬結合的特性，瞭解這些技術結合 BIM 導入於虛擬設計施工(VDC)之成效，在建築物之施工及維運階段，提供規劃設計、施工及維運單位協作及應用，以期能推廣國內未來虛擬設計施工(VDC)之進階施工及維運服務。

## 第二節 研究背景

虛擬設計與施工 (Virtual Design & Construction, VDC)，係藉由資訊工具於建築專案生命週期中，利用視覺化(Visualize)、分析及效能評估等方法，進行有效之工作處理進而解省時間及成本之方式。近年來，隨著 BIM 建築資訊模型的有效推展，更進一步帶動 VDC 虛擬設計與施工在 AEC 產業的應用成效。

相關研究即指出，以 BIM 作為專案生命週期資訊整合的核心，在設計及施工階段的應用與支援已具成效，透過 BIM 建築資訊模型的元件屬性資訊、可視覺化特性(Eastman 2011)，將能夠呈現幾何外觀、空間概念，和概略物件如設施、窗戶等建築元件之屬性資料。例如，Lin 等人則利用 2D Barcode 系統記錄各種不同元件與編碼並結合 BIM 模型提升 3D 系統效益，

提供專案參與者在維運階段得以有效地掌握專案整體資訊；以及建立以 BIM 為基礎的 BIMFMM 維護模式系統，維護人員利用訪談與 BIM 模型檢視相關設施維護紀錄，使得設施維護管理的實行獲得更高效率(Lin and Su 2013)。另一方面，亦有相關研究提出 Landscape Information Modelling (LIM) 之概念，將 BIM 建築資訊模型進一步延伸應用於景觀工程之設計(Beer et al. 2007)(Zahrádková, Veronika Achten 2015)。

此外，隨著行動設備，如平板電腦、智慧型手機等裝置的快速發展，為了促使 BIM 建築資訊模型在各項行動裝置上達到整合應用的效益，相關 BIM 軟體開發商，皆已陸續發表行動裝置 BIM 應用程式，讓使用者得以在作業現場透過行動設備瀏覽 BIM 模型資訊。然而，隨著專案生命週期的進行，BIM 模型之資訊量與複雜度亦隨之增加，在行動裝置規格與效能限制下，不僅無法有效處理大量的 BIM 資訊(Irizarry et al. 2013)，亦造成資訊分享與實務應用的困難度(Kivits and Furneaux 2013)，因此，在 BIM-based 施工與維運管理的發展上，必須要考量現場作業資訊取用的完整性、行動性與有效性。另一方面，雖然 BIM 已具備 3D 視覺化的圖像，但電腦的虛擬環境與實境景物仍存在一定程度的落差，對於工作現場的使用人員而言，在應用上仍需要進行 BIM 模型與現場空間景物的比對，如 Wang 等學者指出，雖然 BIM 在工程上已有許多成功的應用案例，但在工地現場的工作、管理與監控上的應用支援卻是相對不足的(Wang et al. 2013)，因此，BIM-based 施工與維運管理模式的建置，除滿足前述作資訊取用的需求外，也必須考量資訊呈現的立即性、可見性與便利性。在可視性資訊呈現的需求下，結合 BIM 模型與虛擬實境(Virtual Reality, VR)及擴增實境(Augmented Reality, AR)於行動裝置，乃近年 A/E/C 產業之新興應用發展方向。其中，虛擬實境所提供的沉浸式體驗，僅適用於設計階段，對於模型的開發與審視上能發揮價值，卻無法在施工或營運維護階段發揮實質效益；而擴增實境則提供使用者一個虛實並俱的環境，將虛擬

的內容適時的嵌入現實環境中，在不失實際視野的前提下，獲取裝置所提供的資訊。因此，AR 技術正具備了在正確時間、正確地點呈現正確資訊予使用者之特性，倘若 AR 技術能用運用得宜，方能提高施工與維護作業的效率，改善傳統以平面圖說、自身經驗等作業方式容易產生之缺失，減少錯誤發生的機會。

綜上所述，本研究將以 BIM 模型為核心來整合相關施工與維運模式、資訊交換標準與相關規範資訊等，此種模式應是可行且符合專案資訊管理需求之方法，但仍須考量不同面向的資訊屬性、資訊取用以及資訊呈現的方式，如此才能有效落實以 BIM 模型為基礎之施工與維運應用模式。因此，本計畫將研究範圍設定在生命週期的施工與維運階段，分別就施工與維運之資訊需求解析，建立可描述多面向建物元件標準屬性架構，並進一步透過擴增實境(AR)、混合實境(MR)的整合應用，達到資訊取用的完整性、行動性與有效性，以及資訊呈現的立即性、可見性與便利性，在現有 BIM 的發展架構下進一步去擴充與延伸在營建施工之可行架構及維運應用之雛型系統。

### 第三節 預期目標

1. 彙整國內外 BIM 導入擴增實境(AR)、混合實境(MR)、虛擬設計施工(VDC)之發展現狀，了解現今產業應用之效益與瓶頸。
2. 研提國內 BIM 導入擴增實境(AR)、混合實境(MR)、虛擬設計施工(VDC)之發展建議策略及製作 BIM 為基礎的 VDC 推廣小冊，延伸 BIM 的應用價值，期能提出一套可行的施工及維運現場視覺資訊支援模式，使施工及維運階段之相關作業能在 BIM 的輔助下產生更大的效益。
3. 辦理 1 場成果說明會，發表結合 BIM、擴增實境(AR)及混合實境(MR)於施工應用之推廣小冊及展示應用系統之示範案例，透過邀請規劃設計、施工及維運等單位之參與及交流，收集回饋意見，期能提升推廣

價值及應用成效。

#### 第四節 本研究計畫之重要性

##### 1. 提出改善施工與運維管理資訊處理與整合之有效方法

在專案資訊處理與整合系統的作法上，雖然過去在營建產業資訊標準化、資訊交換與傳遞、資訊整合系統的相關研究已有需多成果，然而對產業而言，不僅技術門檻過高且系統建置成本也非一般專案所能負擔。本計畫在資訊處理與整合的作法上，是以 IFC 標準資料格式為基礎，進一步將資料屬性架構延伸至對於施工運維或管理規範的描述，並著重在將建物設計與施工內容轉換成施工與運維管理內容的處理程序，依此建立之 BIM object 元件標準屬性架構，以及資訊處理的標準程序，讓專案所建立的 BIM 資訊模型，結合行為分析模式，快速、準確的提供設施維護管理所需之資訊內容，並藉由擴增實境模式以支援設施維護之動態管理，此種方式並非大幅改變現今在實務上，關於資訊系統、繪圖方法、資料處理及資訊傳遞的作法，而是提供一個更易接受且有效的工具。

##### 2. 建立具備視覺模擬與資訊整合能力之 VDC 施工與運維管理資訊模型

現今在實務上，施工與運維管理作業仍多以紙本圖文為主要資訊傳達工具，然而，多數建築圖檔的繪製通常是由各專業領域的設計人員分別獨力完成，由於圖檔的建置方式並未考慮後續維護階段的需求或資訊的延續利用，以致往往需要耗費許多時間、人力，重複執行資料彙整與圖檔繪製的作業，即使依據圖檔建構設施維護 3D 模型，其功能多僅作為視覺模擬之展現工具，而無法有效提升在設施營運維護階段的應用價值。本計畫所建構之設施維護 BIM 模型資料屬性架構，係透過建物圖形元件結合 GSA 綱要標準格式為核心之資訊內容，在 BIM 模型建置過程中同時連結設施維護管理之屬性資料，不僅可產生後續階段所需之圖檔或相關資訊，其 3D 參

數化的建模環境亦可滿足視覺模擬之需求，並具備設施維護資訊之整合能力。

### 3. 提升 BIM 模型於施工與運維管理階段之應用效益

以專案生命週期的觀點而論，專案於營運、維護階段的重要性並不亞於專案之規劃與施工，然而，以往在 BIM 模型與專案資訊整合系統的研究中，較少提及專案完工後的應用效益，隨著工程專案規模越來越龐大且複雜化，工程完工後所移交的圖說內容，已無法滿足業主在後續設施營運、維護的需求。本計畫在施工與運維管理的應用發展上，將依據設施維護管理需求分析成果為基礎，進一步解析設施維護管理作業之相關情境因子，並建構對應之 BIM 模型，作為後續建立 BIM-based 施工與運維管理系統時，導入視覺模擬互動模式之基礎。此外，本計畫將分析 BIM 模型與情境適應性系統之互動機制，使 BIM 模型能夠透過系統判斷，傳遞充分且精準之 3D 可視化資訊，或是必要之參數化資訊，提供施工與運維管理人員作業上的協助，以有效提升 BIM 模型於施工與運維階段之應用效益。

## 第二章 文獻回顧

由於 BIM 模型具備 3D 視覺化、模型數據運算、彙整分析與取用檢視等特性，BIM-based 設施維護管理模式，將有助於改善以往施工與運維管理的缺失，然而，在實務工作上的應用上，仍須考量資訊取用與資訊呈現的方式，以期達成應用可行性與成效。

### 第一節 國外 AR 擴增實境及 MR 混合實境之發展

在資訊呈現技術上，影像科技的進展可以追溯至 1965 年由 Sutherland 所提出的終極顯示 (ultimate display)，開啟了數位物件與真實世界結合之濫觴，之後各領域開始投入此一技術的研究與應用之中 (Azuma 1997)。其後由 Milgram 與 Colquhoun 於 1999 年提出混和實境 (Mixed Reality) 之概念，以一個更完整的架構將所有虛擬與現實結合之技術，整合成一個現實到虛擬的連續光譜 (圖 2-1)，並且將擴增實境 (Augmented Reality) 定義為，將數位生成之資訊置入使用者真實視景中之技術；因此，擴增實境允許用戶在現實世界環境中，透過視覺接受電腦所產生的或建置之虛擬資訊，以支援其任務 (Milgram and Colquhoun 1999)。

在擴增實境技術的發展上，Azuma 進一步將擴增實境分為五個組成部分：展示媒介 (media representation)、互動裝置 (interaction device)、回饋顯現 (feedback display)、追蹤器 (trackers)，和計算單元 (computing unit) (Azuma 1997)。其中，展示媒介大多以文本、符號、指示燈、2D 圖像、3D 數據、模型和動畫等媒介來呈現相關資訊；互動裝置則大多透過 6 維 (三個平移和三個旋轉) 的控制技術協助；回饋顯現則是依據相關之使用者互動，使擴增實境系統向使用者顯現支援之資訊與反應；而為了精準地將虛擬物體定位在實際環境中，因此需要精確跟蹤使用者之位置和方向，以及感測環境中的真實物體的位置。

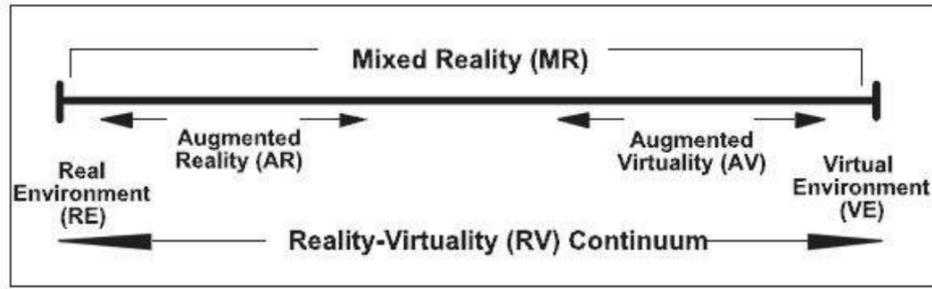


圖 2-1 現實—虛擬連續光譜(Milgram and Colquhoun 1999)

另一方面，隨著混合實境技術的發展，混合實境的設備種類也日趨多元，依據裝置的種類大致可分為手持裝置及穿戴裝置兩類。手持裝置即是利用行動裝置的相機獲取真實環境之影像，疊加虛擬物件後呈現影像於行動裝置上的螢幕供使用者觀看；穿戴裝置則是透過頭戴式、眼鏡等類型的設備進行影像呈現。穿戴式設備依照成像方式可分為影像式顯示器(Video see-through)及光學式顯示器(Optical see-through)，如圖 2-2 所示。影像式的顯示方式為透過設備相機獲取真實環境的影像，再透過影像合成疊加虛擬物件後呈現在眼前的螢幕當中；光學式則是使用者透過透鏡直接觀看真實環境之餘，虛擬影像透過光學投射反射至人眼中，從而獲得影像疊加的效果。

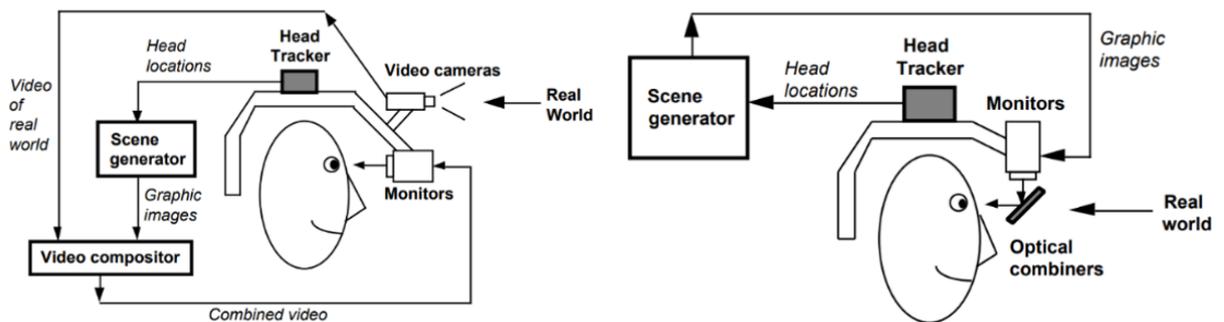


圖 2-2 影像式(左)及光學式(右)顯示器原理(Azuma 1997)

透過混合實境裝置的呈現，立體的虛擬影像能以更寫實的狀態顯示在環境中，比起以往的平面影像，更能表現出物體的尺寸大小、旋轉角度、

距離遠近等空間狀況並且能與空間中的實際景物進行對照，瞭解虛擬境與現實環境相互的關係(Milgram and Colquhoun 1999)。

除了將真實世界與虛擬影像進行結合，為了在正確的時間、地點取得正確的資訊，在資訊取用上，可進一步透過情境感知(Context-Awarenes)的概念，針對於系統在使用者所處之情境中如何取得、解讀、應用資訊做更深入的探討。情境感知技術最早是由 Schilit 和 Theimer 在 1994 年提出的，其目的在於透過感應器，依據使用者所處的地點、環境、情境，提供使用者所需的資訊(Schilit and Theimer 1994)。擴增實境與情境感知技術整合應用為資訊取用與呈現的需求提供一個有效的模式，協助使用者有效且快速取得可視化資訊之特性，逐漸受到建築設計與工程實務應用方面之重視，透過情境感知技術判斷使用者之情境，將具有相關性之資訊提供給使用者，將使現場人員在檢閱資料上更為簡便且具立即性(Wang et al. 2013)。

根據 Jens Ellenberg 等人透過情境感知技術協助住戶之生活起居研究，將情境感知之資訊處理與傳遞技術架構如圖 2-3 所示，該架構說明了資訊自感測器、網路或是邏輯判斷等方面取得後，透過低階資訊處理將其形成整個資訊的歷程變化，而後透過中階資訊處理與其他資訊系統，如 BIM 等進行比對與判讀形成具有價值的語意資訊，最終透過高階資訊處理與規則管理引擎，形成高階可判讀之資訊，最終使系統能夠對於所接受之資訊，進行判讀並做出相對應之回應，而該架構對於設施之各類維護工作是有幫助的，能夠使系統更加快速且準確的判斷所應提供之資訊內容(Ellenberg et al., 2011)。

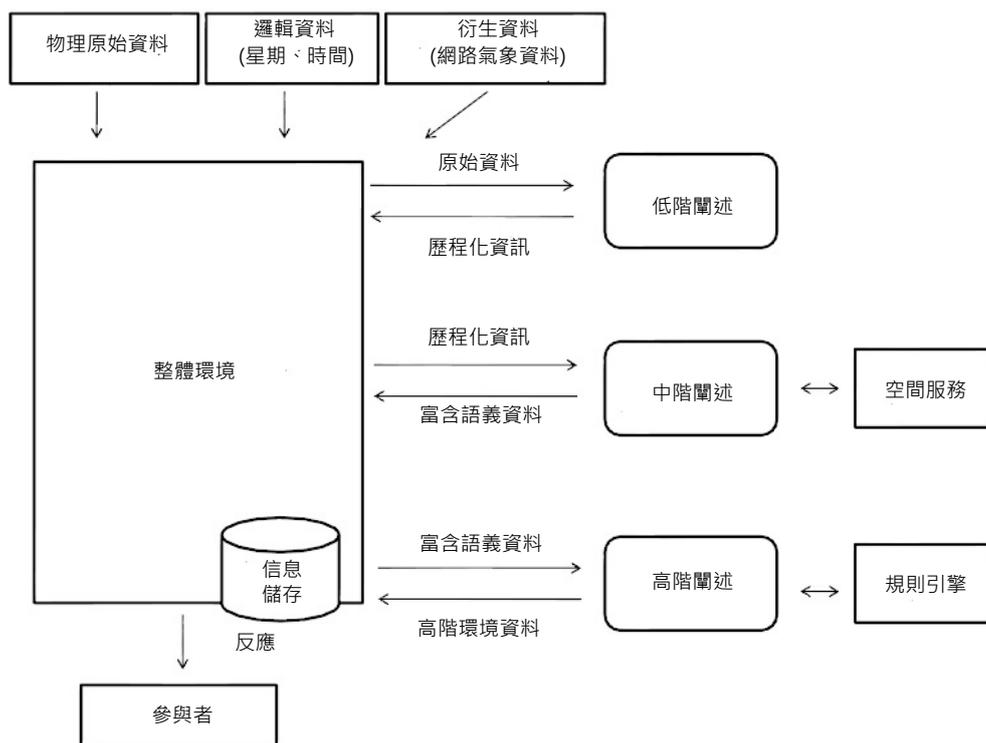


圖 2-3 情境因子與情境適應性系統之互動架構(Ellenberget al., 2011)

在工程領域方面，AR 技術相較於其他視覺化技術具備了三項優勢：(a) 增強使用者與虛擬物件之間的連結並提升工程師對於工作內容的掌握程度、(b) 使工程師得以在現地作業時，同時取得現實世界與虛聯合成的資訊、(c) 透過與現實世界的結合大幅降低 3D 建模工程 (3D Model Engineering) 的成本，且相較於時下另一項熱門的虛擬實境技術 (Virtual Reality)，AR 技術透過三維空間結合真實世界虛擬物件之特性，令使用者保留了對於現實環境的感知能力，提升使用上的安全性，更適合應用於風險較大的施工現場 (Behzadan, Dong, and Kamat 2015)。

受限於硬體限制，現行大多數的 AR 應用仰賴圖像辨識技術做為其追蹤機制，將虛擬的物件定位在特定的圖像上，導致虛擬物件僅能以靜態或是固定動畫的方式呈現在現實環境中。在缺乏其他儀器輔助的情況下，以圖像辨識為基礎的 AR 應用將無法正確判斷物件於空間中的位置，並以正

確的物件排列順序呈現給使用者，最後導致不合理的呈現結果，如圖 2-4 所示，右圖為正確的顯示成果，左圖乃錯誤之顯示成果，理應在鋼柱後面的載具卻擋住了鋼柱，形成載具位於鋼柱之前並且飄浮在地上的不合理顯像結果，不僅影響使用體驗，亦可能造成資訊傳達上的錯誤。

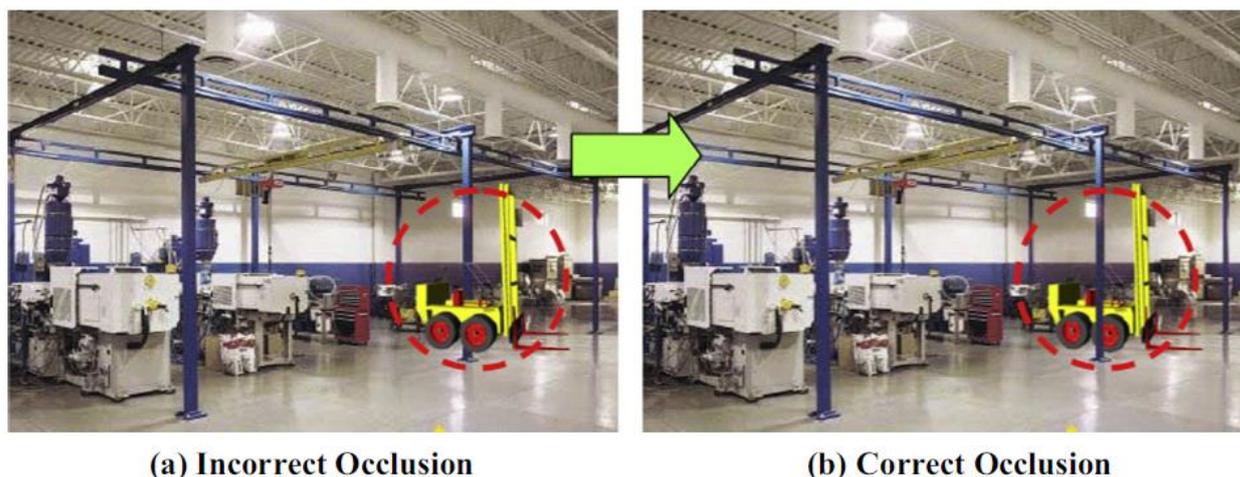


圖 2-4 擴增實境物件呈現問題示意(Behzadan, Dong, and Kamat 2015)

鑒於上述問題，目前已有廠商發展出較為進階的 AR 裝置，能夠透過裝置本身的傳感器，辨識空間分佈並定位使用者於空間中的位置，使得虛擬物件得以透過圖像辨識以外的機制定位於現實環境中，並進一步與使用者，甚至環境互動。也因為物件定位的機制不再受限於現實環境中的特定圖像，虛擬的物件能夠在現實環境的三維空間上以更高的自由度移動、轉動。然而不論在開發端或是應用端，此類 AR 裝置皆尚未普及，仍有待發展。

## 第二節 國外 AR 擴增實境與 MR 混合實境於施工與運維管理之應用

探索擴增實境於施工與運維管理之應用的相關研究，Palmarini 等人透過系統性文獻回顧 (Systematic Literature Review, SLR) 的方式針對 AR 於維護作業的應用進行評估。SLR 共有七個步驟，包含計畫、定義範圍、

搜尋文獻、評估文獻、合成、分析與撰寫。根據分析結果，在 AR 的應用上，大多流於單向的資訊呈現，使用者往往只能接收資訊，而無法與其互動，限制了 AR 的發展性，因此使用者與 AR 內容的互動性有待改善。此外，如何在兼顧環境以及維護作業的程序的條件下呈現資訊，也是開發 AR 應用需要思考的問題(Palmarini et al. 2018)。

而在工程現場的應用上，Meža 等人所提出的 AR 系統，透過資料收集、計算、定義、展示等四階段架構，整合了 BIM 與時程規劃之資訊，以提供給現場工程人員，並執行小型的實驗測試其系統之效益(Meža, Turk, and Dolenc 2014)；然而，該研究亦提到，若要在 AR 上呈現參數形式的 BIM 模型，勢必要將 BIM 模型轉換為 3D 的物件檔，而轉檔的過程中，會遇到部分資訊流失、模型失真等問題。

Kwon 等人於 2014 年提出以 AR 技術檢視鋼筋混凝土工程之架構，透過圖像辨識技術做為定位機制，將 BIM 模型以 AR 呈現在 RC 牆上，藉以檢視預留窗孔的位置是否正確（圖 2-5）(Kwon, Park, and Lim 2014)。雖然此架構能夠確實幫助施工管理人員發現施工上的瑕疵，但在 AR 的應用上卻仍存在著限制：在此架構中，AR 所呈現的並非 3D 的 BIM 模型，而是 BIM 模型特定視角的截圖，該截圖透過標記 (Marker) 進行定位後，最後以 AR 呈現，因此使用者（管理人員）僅能站在特定點檢視施工結果，並無法一邊移動一邊觀察，降低了該機制在現地使用的便利性，這個結果亦驗證了圖像辨識技術應用在 AR 上的限制。

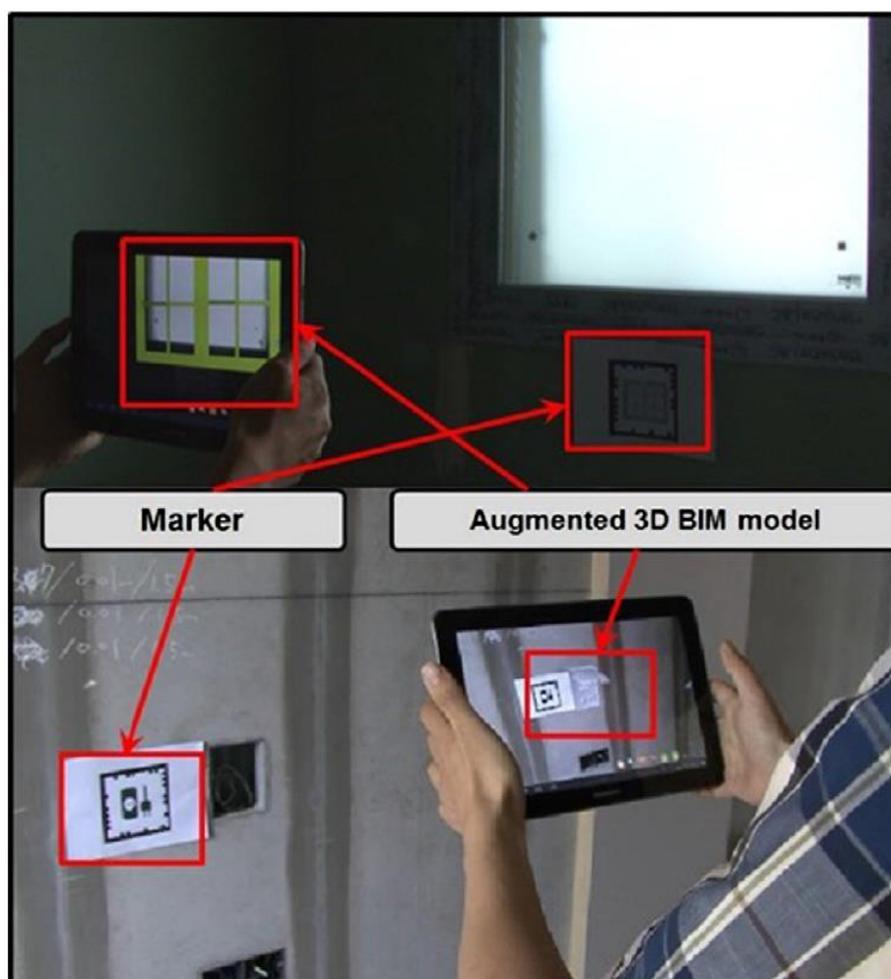


圖 2-5 以圖像辨識機制呈現擴增實境內容(Kwon, Park, and Lim 2014)

設備維護方面，Koch 等人以既有物體做為辨識標籤(Natural Marker)之 AR 系統，建立室內導航機制，藉由建築物內指標性的標示，如逃生號誌、滅火器號誌等等，協助維護人員找到需要維護的設備，並於辨識出設備後以文字內容呈現維護相關之內容，供維護人員參考(圖 2-6)(Koch et al. 2014)。做為擴增實境的辨識標籤，引導維護人員至設備所在地，就圖像辨識機制而言乃富含創意之應用，不僅省去放置條碼標籤之雜務，更能解決維護人員因不熟悉設備位置而額外花費的時間，如同現今普遍應用於汽車的導航系統，以直觀、視覺化的方式取代以往使用的平面地圖，使駕駛能夠更快、更輕易地到達目的地。

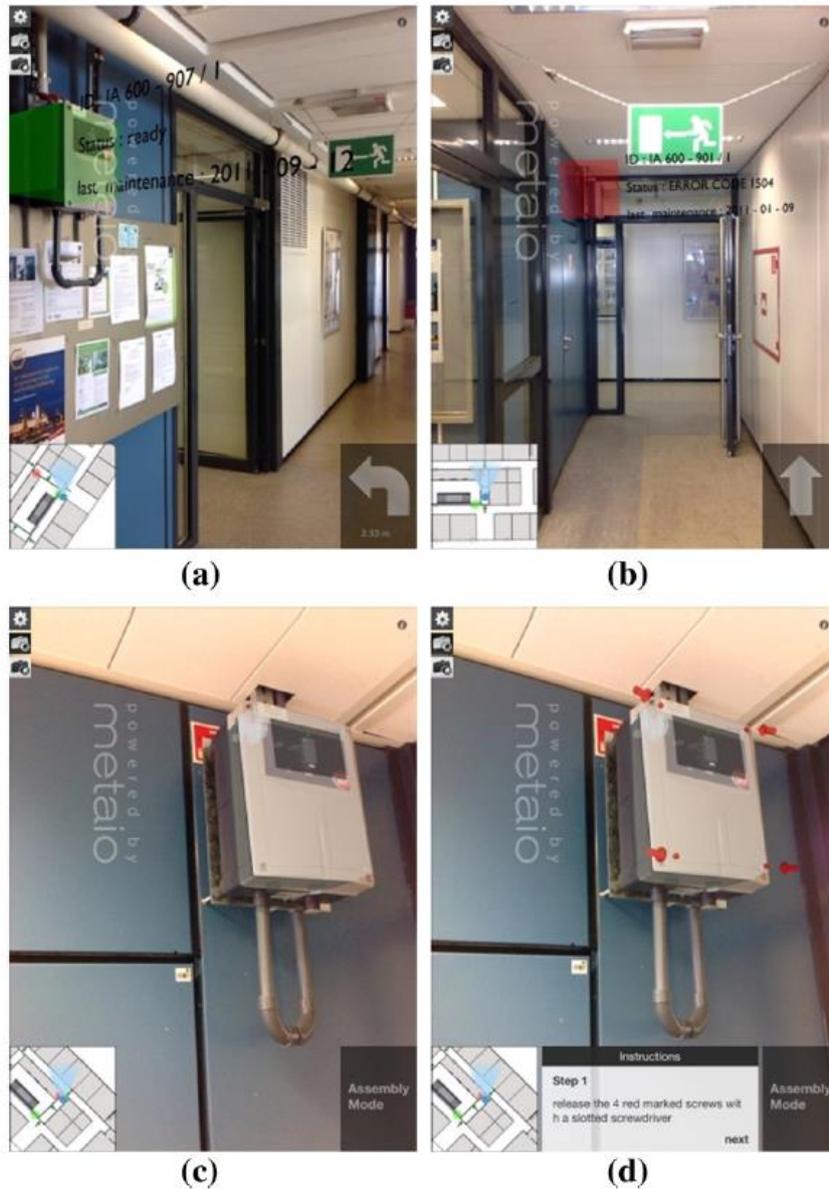


圖 2-6 擴增實境室內導航機制(Koch et al. 2014)

Kuo 等人於 2013 年以營建應用的角度開發一套頭戴式標籤追蹤系統 (Head marker tracking system) 之 AR 應用，藉由兩支以上的固定鏡頭 (Satellite Camera)，以類似 GPS 的原理定位使用者在空間中的位置，並判斷虛擬物件與使用者的距離，計算出物件應呈現的大小與位置 (圖 2-7)。透過此系統，物件的呈現不再受限於特定的標籤或是物體，而能夠以更高的自由度在空間內放置虛擬物體，改善以圖像機制呈現虛擬物件的限

制，並提高 AR 技術在環境中的適用性(Kuo, Jeng, and Yang 2013)。然而，使用此機制必須於現場架設數台鏡頭，且使用者必須戴上追蹤標籤以及一個透明後背包，於在施工環境下使用略顯不便。

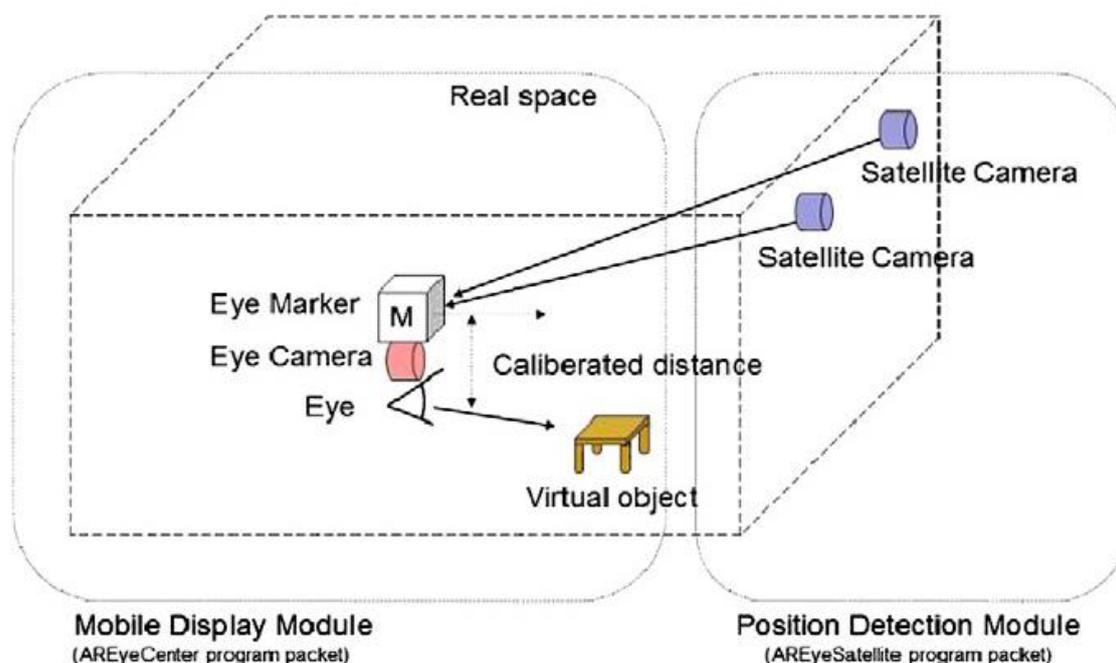


圖 2-7 頭戴式標籤定位機制示意(Kuo, Jeng, and Yang 2013)

另一方面，Bae 等人則是開發 Hybrid 4-Dimensional Augmented Reality (HD4AR)系統，透過現場拍攝影像結合伺服器之資訊，快速且經濟的取得工程現場周圍之資訊以協助工程進行(Bae, Golparvar-Fard, and White 2013)；Wang 等學者則是進一步提出，應用於工程施作現場之整合 BIM 與 AR 概念架構，將系統分成了現實 (Physical)、混成 (Mixed) 與數位 (Digital) 三大部分，並界定 BIM 與 AR 在該架構中之功能與角色，使 BIM 之資訊能依照情境感知所判斷之需求內容，將資訊與現場實物結合，讓現場人員得以可視化之方式使用 BIM 資訊(Wang et al. 2013)。而在擴增實境與情境感知在設施營運維護階段的應用上，結合 BIM 模型豐富的元件與資訊，將更能提升整體設施維護管理之作業品質(Gotze, Schumann, and Muller 2014)。

Chalhoub 等人使用 Microsoft HoloLens 裝置開發 AR (在本文獻中亦可稱為混合實境, MR) 之應用機制, 以預鑄的電氣管道安裝為例, 將 BIM 模型轉換為 HoloLens 設備上呈現之 3D 物件, 供現場施工人員視覺化的安裝依據 (圖 2-8)。相較於傳統 2D 圖說, 透過設備能使施工人員更快的識別、辨位並安裝管道, 其效益在相對沒經驗的工作人員上尤其明顯, AR(MR) 技術確實能夠有效提升工程施作的效率, 並逐步取代傳統的 2D 圖紙 (Chalhoub and Ayer 2018)。

HoloLens 設備的使用, 改善了前一篇文獻中的便利性問題, 並保留了同等的定位機制, 透過 HoloLens, 虛擬物件仍能以正確的座標系統與環境結合並正確的顯像。因此, 做為空間分析之 AR 設備, HoloLens 乃最適合用於本研究之選擇。



圖 2-8 以 AR (MR) 裝置呈現管道物件(Chalhoub and Ayer 2018)

Riexinger 等人則是提出了搭配 4D BIM 模型的混合實境系統架構 (圖 2-9) (Riexinger et al. 2018), 利用混合實境的視覺呈現, 讓工程人員能夠在施工現地參照著 BIM 所提供的動態模型資訊進行施工, 搭配著輔助資訊的提示, 讓工程人員更快速瞭解施工順序以降低錯誤發生 (圖 2-10)。

混合實境的技術能夠讓高維度的 BIM 模型更便利於現地操作，但由於 4D BIM 模型需要花費較多的建置時間，這方面仍需要被克服，此外能夠增添更多的控制功能，讓模型在現地能夠更方便地操作。

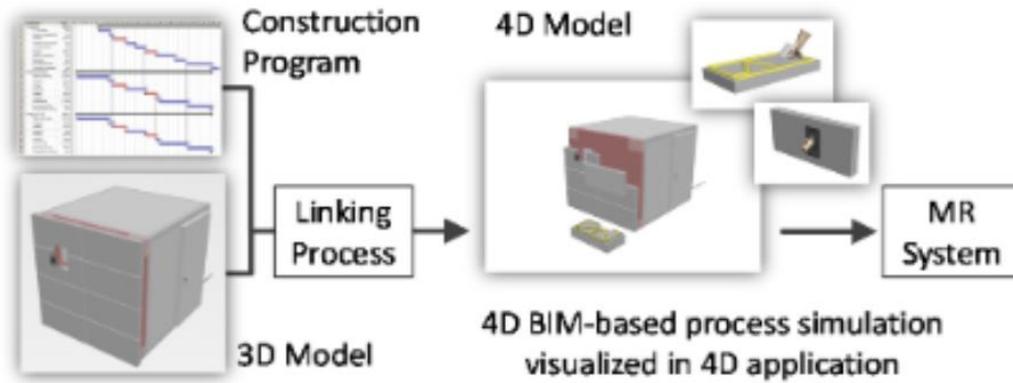


圖 2-9 4D BIM 模型結合流程(Riexinger et al. 2018)

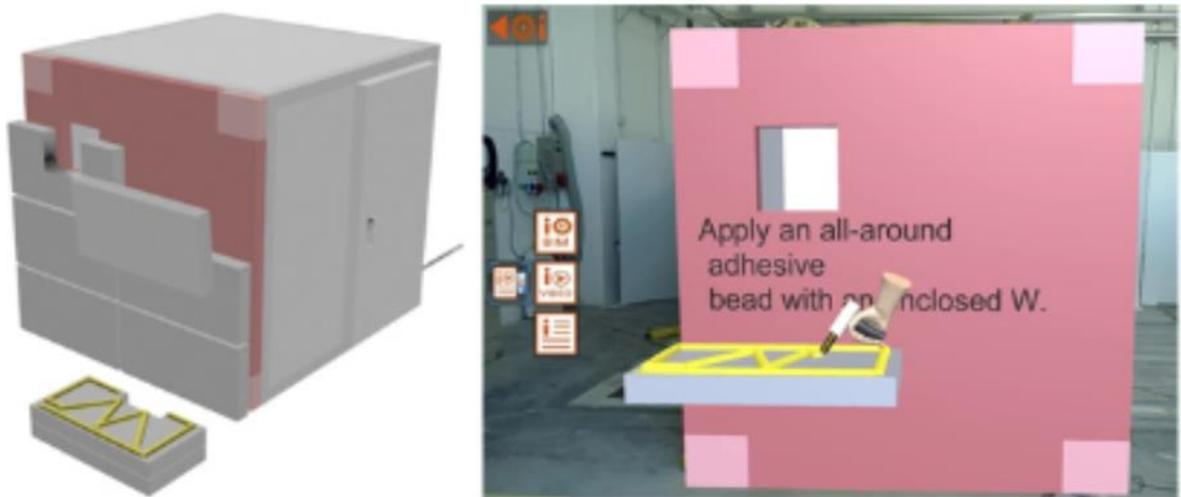


圖 2-10 4D BIM 與 MR 現地使用狀況(Riexinger et al. 2018)

### 第三節 國內 AR 擴增實境與 MR 混合實境應用之相關研究

本研究團隊近年完成多項 AR、MR 應用之相關研究方面，以下針對近年完成：「應用擴增實境與無線定位技術建構消防安全設備檢測系統之研究」、「應用擴增實境及建築資訊模型於機電設施維護作業之空間分析」、「開發以混合實境為基礎之現地施工進度追蹤及查核系統」等研究進行說

明。

### (1)應用擴增實境與無線定位技術建構消防安全設備檢測系統之研究

該項研究應用建築資訊模型(BIM)來建立消防安全設備元件，接著藉由擴增實境(AR)系統顯示所對應的消防安全設備元件資訊，並利用無線定位技術作為擴增實境系統的觸發工具，使消防安全設備檢測人員可以即時讀取、記錄檢測資訊。該項研究分析建築生命週期中所需的各種檢測和維護資訊，這些資訊包括導入擴增實境和無線定位技術後，各元件在 BIM 裡所需新增的欄位，再利用 COBie 將這些資訊整合成 3D 參數化模型，並將之儲存於雲端資料庫，以便利用手持行動裝置進行即時的消防安全設備檢測和維護作業，藉由整合擴增實境和無線定位技術於 BIM-based 的消防安全設備檢測和維護流程中，進而克服傳統紙本作業模式在消防安全設備檢測和維護流程中的限制。

該項研究目的為開發 iOS 應用程式，提供消防安全設備檢測人員使用。為了確定 檢測人員的位置，並可在消防安全設備檢測過程中提供正確的資訊，該項研究採用了低功耗藍牙 (BLE) 的 iBeacon 技術，透過整合 iBeacon 識別碼 (UUID、Major、Minor 和 Identifier) 和 BIM 的空間屬性 (Floor、Space、Room)，作為該項研究用來劃分實驗場地檢測區域的依據，接著將不同的 iBeacon 設備安裝於各別的檢測區域中，當檢測人員進入某一檢測區域之檢測位置後，檢測人員之行動裝置即可接收 iBeacon 識別碼，觸發檢測系統之功能，並且以 iBeacon 識別碼作為索引值至雲端資料庫為檢測人員帶出正確的 AR 元件模型和檢測資訊。BIM-based 結合 AR 和 iBeacon 應用於消防安全設備檢測系統之架構的操作流程如圖 2-11 所示。該項研究之消防安全設備檢測系統的 iOS APP 藉由 XCode 平台進行軟體的開發，並透過 Swift 程式語言撰寫程式碼。建模的部分，則透過 Autodesk Revit 作為 BIM 之建模平台，用來建置 BIM 模型，作為建築、設備元件之資訊來源。BIM 模型建立完成後，使用

COBie Extension 來保存、匯出 COBie 標準格式的資料，並將此消防安全設備檢測和維護所需的資訊則儲存在雲端資料庫中，並使用 UUID、Major、Minor 和 Identifier 為索引值將資料存儲在資料庫中，以供後續檢測系統運算使用。另一方面，OBJ Exporter 可以將 Revit 建立之 3D 模型匯出為 OBJ 檔案，再利用 Apple SceneKit 將這些 OBJ 文件進一步轉換為 SCN 檔案，然後藉由 Apple ARKit 產生消防安全設備之 AR 模型，iOS 應用程式即可將此 AR 模型之 3D 內容添加到程式當中並與系統做整合。最後，利用 JotForm 建置雲端的檢測報告系統，並且整合至消防安全設備檢測之 iOS APP 程式，檢測人員就可以將檢查結果即時回傳給相關檢測人員或團隊並儲存記錄（圖 2-12）。

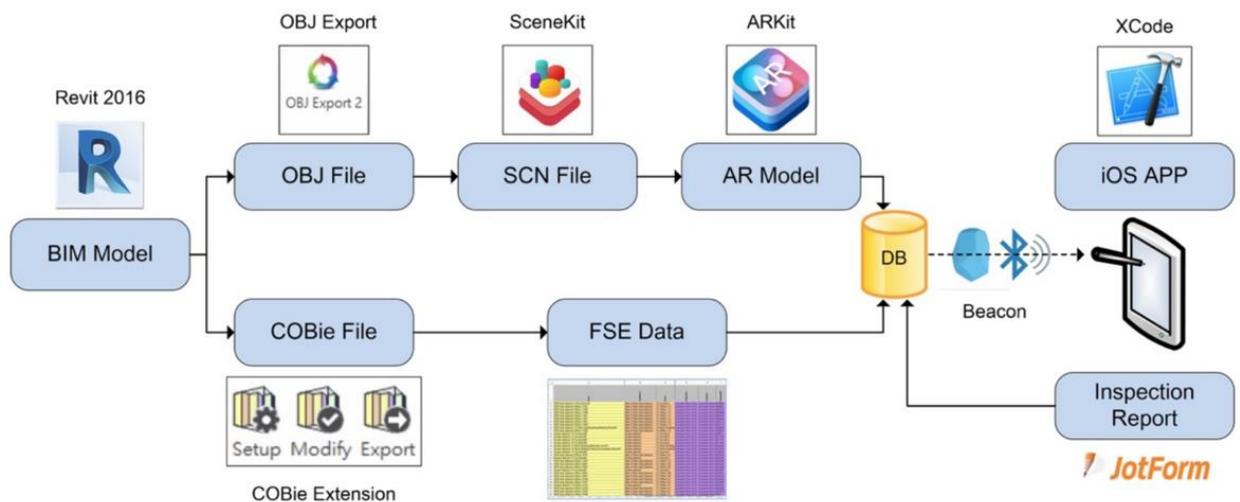


圖 2-11 BIM-based 結合 AR 和 iBeacon 應用之消防安全設備檢測系統架構

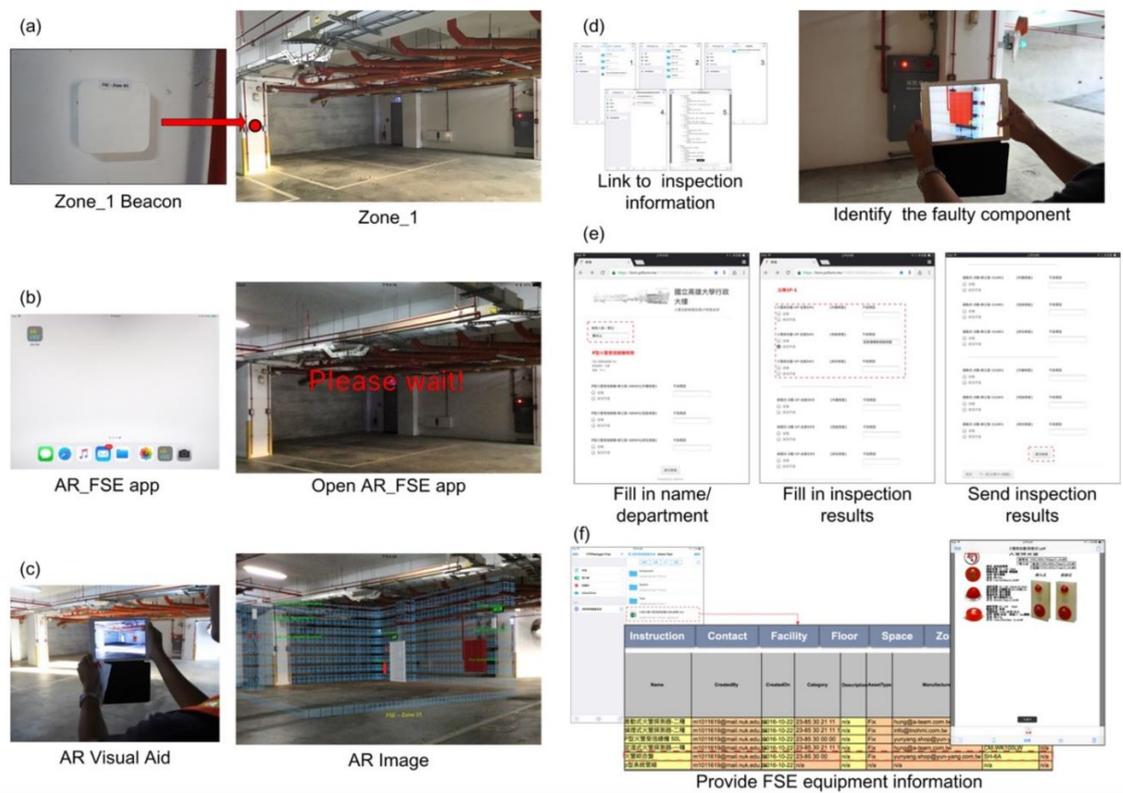


圖 2-12 BIM-based 結合 AR 和 iBeacon 應用之消防安全設備檢測系統操作畫面

該研究建立了 BIM 建築資訊模型，以滿足消防安全設備檢查和維護的資訊需求。根據 COBie 架構的方法分析生命週期中的資訊需求。該項研究所提出之系統結合了 BIM、AR 環境和 iBeacon 無線定位技術，進行了一個案例研究驗證該系統的可行性，並且發現我們的系統可以有效地以即時和更直覺的方式為消防安全設備檢查和維護提供資訊。該項研究的結果如下：(a) 根據案例的驗證分析，此消防安全設備檢測模式可作為為來開發相關系統之資訊傳遞的基礎，確保檢測系統可以提供檢測人員所需的資訊。(b) 在研究中，我們驗證了 BIM 在消防安全設備檢測系統中使用的可行性，達到資訊的一致性與完整性的需求。(c) 研究開發的系統可以有效地替代紙本文件在傳統消防安全設備檢查中的使用。透過 BIM 和 AR、無線藍芽技術的應用所形成的資料庫系統可用於即時提供檢測和維護資訊，也減少了維護操作的時間和人力成本。(d) 研究所使用的無

線藍芽傳輸之室內定位技術 iBeacon，使消防安全設備檢測和維護的模式可以更有效率，在未來可以延伸應用至其他的頭戴式裝備使用，使檢測模式的操作更為便利。

## (2)應用擴增實境及建築資訊模型於機電設施維護作業之空間分析

機電設備定期檢修之目的在於維持其功能正常運作，以減少故障所導致安全與經濟問題，然而實務上仍面臨資料處理負荷以及空間分析資訊不易呈現等問題。近年來應用 BIM 模型以及 COBie 資料格式，輔助設施維護資訊管理已具初步成果，然而，在空間分析應用上則仍有諸多瓶頸，其關鍵問題在於資訊內容不足，以及缺乏與實際空間場域的整合性。因此，該項研究建構結合 BIM 模型與 AR 擴增實境技術的設備維護管理與空間分析模擬架構，並以機電設備之維護進行案例驗證，結果顯示此模式不僅可滿足設施維護管理的資訊需求，夠有效整合虛擬模型與實際環境的空間分析。完成以 BIM 模型進行設備維護作業之模擬後，該項研究進一步以 AR 擴增實境技術，建構機電設施維護空間分析模式，透過 AR 技術產生符合設備維護需求的虛擬 3D 物件，並賦予物件與環境即時互動之能力，以有效輔助機電設備之維護管理。期望透過 AR 的技術，將虛擬的維護內容呈現在真實的環境當中，驗證 BIM 模型的維護模擬內容，改善 BIM 模型虛擬環境無法有效考慮施工誤差、雜物堆疊等空間分析細節。

在 AR 應用模式的開發上，該項研究首先將設備模型匯入至開發平台，並針對設備空間分析之需求開發應用程式功能，並以模擬器及設備交互測試開發之內容，待應用程式的開發結果滿足需求時，再移至現地進行設備維護的空間分析，並驗證上述建立的 BIM 維護模擬內容。系統模擬應用分別為透過 AR 於現地進行維護空間之分析，得以驗證 BIM 模型規劃的設備維護內容，包含了變壓器導口放置的位置（圖 2-13）、變壓器旋轉的位置（圖 2-14）、變壓器經過門口的方向（圖 2-15）等等，除此之外，藉由 AR 於現地的分析，能夠獲得更多的空間資訊細節，如維護人員搬運導口的施

作空間(圖 2-16)、設備搬運途中容易碰撞的位置(圖 2-17)、甚至於發現現實環境與模型的不同。



圖 2-13 導口之移除與放置

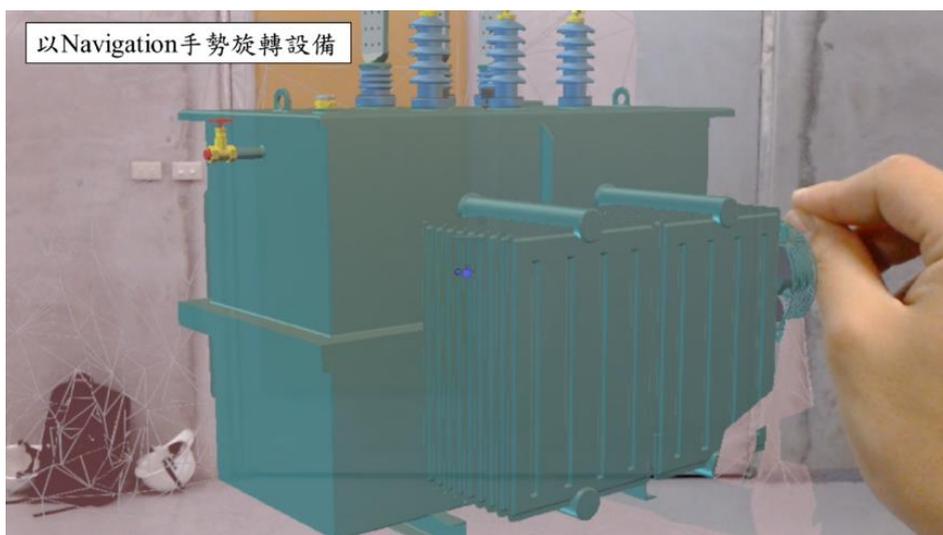


圖 2-14 設備搬運與旋轉之過程



圖 2-15 設備順利搬出變電室之情境



圖 2-16 確認人員施作空間



圖 2-17 以 AR 辨識設備是否與環境發生衝突

該項研究提出擴增實境技術，結合建築資訊模型應用於設備維護作業之空間分析上，主要成果如下：(a) 解析電氣設備於緊急維護作業之資訊需求，作為發展 BIM 模型與 AR 應用的知識基礎、(b) 基於現有的 BIM 維護架構，建立 BIM 於設備維護空間的分析架構，並加入了操作機具之考量。依據維護需求建立 BIM 模型，並透過 BIM 模型呈現的空間資訊與訪談結果建立設備維護內容，最後以 BIM 模型模擬維護作業的施作流程、(c) 以 AR 技術建立現地維護空間分析的機制，透過實地的操作，將虛擬的設備物件與現實環境進行互動，不僅可以驗證 BIM 規劃之設備維護流程，亦能觀察以 BIM 進行模擬時，較難分析之空間資訊。藉由 BIM 與 AR 的結合，在設備維護階段上，可透過完整且考量到實際因素的模擬成果，事先進行維護作業的規劃，降低故障發生時，所花費在規劃上的時間，提升設備維護作業的效率。

對於未來之建議，該項研究提出以下幾點：(a) AR 應用的功能有限，未來可思考如何建至其他功能以提高分析的效率，如設備自動定位、顯示距離等等、(b) 研究以配電變壓器為例，其維護的步驟相對簡單，並未牽涉內部元件的拆解，未來可選擇較為複雜的設備作為案例，以發揮 AR 更大的價值、(c) 研究僅使用 BIM 模型當中的幾何資訊，未將其餘的設備交付資訊納入研究架構，未來可以思考如何透過 AR 呈現 BIM 模型的其他資訊，使 AR 的應用不僅限於維護空間的分析，而可以應用於設備維護的其他面向，此外，對於工作安全與衛生的預測與評估已可納入考量。

### (3)開發以混合實境為基礎之現地施工進度追蹤及查核系統

完整的施工查核記錄是專案管理成功的關鍵，隨著科技的進步，行動裝置已廣泛應用在施工查核作業上，另一方面，建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 的技術也用於提供查核作業資料的整合，不過，即便有行動裝置及建築資訊模型的協助，現地施工查核的品質還是和查核資訊的取得有密切關聯，因此有必要發展一套能夠即時提供所需資

訊，並能夠快速與現場施作狀況進行比對的系統，以協助查核作業進行。

該項研究將發展一套結合建築資訊模型及混合實境（Mixed Reality, MR）技術的施工查核系統，透過此系統，工程師能夠藉由頭戴式混合實境裝置—HoloLens 在執行現地查核作業的過程中查看與現實環境相同比例的 BIM 模型及查核資訊，由混合實境裝置所提供的環境掃描功能，更能進一步對現地的工程項目進行量測並比較出設計與施作上的不同，最終，透過混合實境裝置所記錄的查核資訊能夠自動上傳並儲存於雲端資料庫（圖 2-18）。在混合實境查核系統的輔助下，將能夠提升查核效率及工程管理的品質。

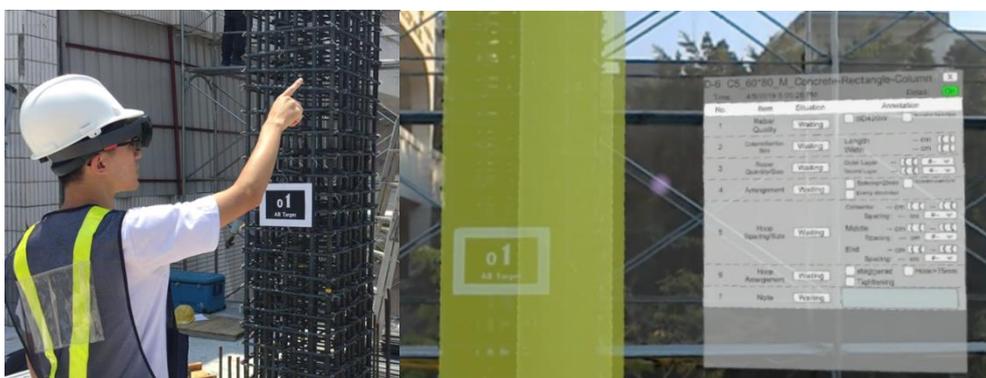


圖 2-18 執行 MR 現地施工查核情況

該項研究透過 MR 裝置的呈現以及資料庫的連結，BIM 模型會以等比例的方式與現地環境結合，工程師能夠輕易地比對出設計與實際施作上的差別，依據位置資訊的提供，能協助篩選所需要的資訊，達到資訊輕量化、提升系統存取速度，施工查核所需要的參考資料以及相關表格，也能夠及時地以影像的方式在現地呈現，改善紙本資料查閱上的不便性。此外，藉由研究所開發之 MR 查驗工具的輔助，讓查驗結果能夠快速地輸入到表單當中，提升查核工作的便利性，透過編碼系統自動連結的查核資訊與查核結果的自動輸出，能夠節省事前準備及查核後的資料處理時間，更能減少錯誤的發生，由此系統記錄下高完整性的日報紀錄將有助於提升專案管理的品質。

MR 技術在工程領域還有許多的發展性研究所提出之系統架構主要為輔助工程師執行查核作業，但在影像捕捉及圖像辨識技術的提升之下，未來將可發展出不需人員參與的自動化查核模式，此技術將能提升專案管理的效率。此外，近年來室內定位技術的提升，也將提供不一樣的定位基準，透過無線訊號的輔助，現地不需要額外設立標記點，也能夠精確定位模型，消除初始位置定位的限制。在硬體設備及軟體應用不斷開發之下，MR 裝置將能普及應用在工程領域當中。

綜上所述，可以歸納出以下重點，做為本研究「擴增實境 (AR) 結合虛擬施工及設計 (VDC) 於營建施工應用」後續使用方法與架構建立之參考：

結合擴增實境與情境感知技術，為工程現場資訊取用與呈現的一個可行方法，進一步以 BIM 模型為資訊核心，將能提升 BIM-based 設施維護管理之應用效益。然而，以往的研究著重於幾何資訊的可視化與原型系統之開發，對於整體設施維護之資訊需求、資訊傳遞等較欠缺完整的解析。此外，根據文獻回顧，AR 技術可透過不同形式的裝置所呈現，而適當的裝置類型能夠應用於工程管理的領域中，在不影響安全的前提之下，在現地即時提供資訊予管理人員或是作業人員，提升作業之效率並減少失誤。在施工及運維作業的空間分析上，AR 技術可以提供合乎實際比例的設備虛擬物件，使 AR 的使用者得以在實際環境中移動虛擬的物件，進而觀察代替設備的虛擬物件是否會在搬運路線上與環境發生衝突，找出實際作業時可能會發生的問題並加以改進。

因此，本研究期望以施工及運維管理的資訊需求與應用模式進行解析與描述，並進一步透過擴增實境 (AR)、混合實境 (MR) 的整合應用，達到資訊取用的完整性、行動性與有效性，以及資訊呈現的立即性、可見性與便利性，在現有 BIM 的發展架構下進一步去擴充與延伸在營建施工之可行架構及維運應用之雛型系統。將 BIM 模型相關資訊提供給使用者，達到資訊取用的完整性、行動性與有效性，並結合虛擬影像技術，使 BIM 模型能依

照情境感知所判斷之需求內容，將資訊與現場實物結合，使整體架構更符合施工及運維管理之需求。

## 第三章 研究方法與過程

### 第一節 研究採用之方法

#### 1. 資訊需求分析工具

建築專案施工與維運作業涉及相當大量的資訊，因此本研究將透過專家訪談取得維修相關的資訊，並透過特性要因圖與 IDEF0 歸納、解析施工與運維事件、事故成因以及作業的流程及資訊流動。

##### (1) 專家訪談

訪談是獲取專業知識與經驗的方法之一，可分為個體訪談(Interview)與群體訪談(Group Interview)。訪談前，須先整理欲了解的內容，並設一內容設定問題，問題依性質分為開放式問題(Open-ended Question)與封閉式問題(Close-ended Question)。其中，開放式問題並沒有提供受訪者既定的答案選項，受訪者依照自身所學與經驗提供答案，有助於訪問者得到訪談前未考慮到之資訊；相反的，封閉式問題提供受訪者既定的選項，可增加受訪者回答的速度，提升訪談之效率。

##### (2) 特性要因圖 (CED)

特性要因圖(Cause & Effect Diagram)，為透過圖像化的方式，展示某事件之各種成因之工具。在特性要因圖中，問題的成因會依照關聯性整理，形成層次分明、結構化之圖形，看起來如魚的骨頭，因此又稱為魚骨圖(Fishbone Diagram) (圖 3-1)。本研究將透過特性要因圖，歸納出如：設備的故障事件及其成因。

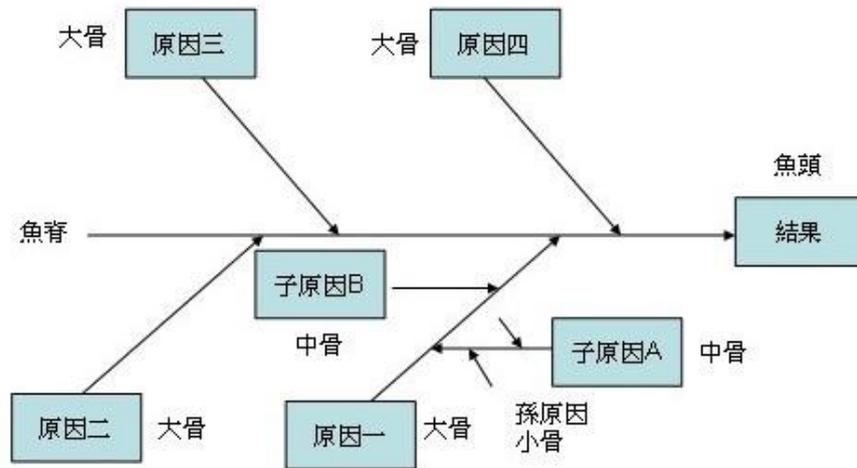


圖 3-1 特性要因圖範例

### (3) BPMN 資訊流分析

#### a. BPMN Level 1 總覽

透過 BPMN 解析 BIM 備標作業的流程應用展示 Level 1 的導入 BIM 備標作業總覽圖，其說明估計數量、分析單價、成本估算及製作備標文件等四個流程與 BIM 建置和資訊交換；在估計數量運作上，BIM 團隊將產生具有量體資訊的建築、結構與 MEP 的 BIM 模型，配合估計數量的工項數量資訊和分析單價的工項單價資訊，共同協助成本估算作業產出標案預算書。

#### b. BPMN Level 2 估計數量解析

BPMN 在 Level 2 導入 BIM 備標作業的估計數量作業層次裡，再細分為分析工項、分析建模需求、建構 BIM 模型及工項數量估計等程序，且 Level 2 已發展為具流程、參考資訊以及資訊交換等者清楚說明每一流程的參考資訊與資訊交換內容的關係；分析工項程序中，參與者為備標與 BIM 團隊依據招標文件與資料庫資訊內容，首先粗估與 BIM 相關之工項，進入到分析建模需求與建構 BIM 模型程序時，配合其備標需求、得出建模需求及依循建模規範的資訊，建置一個具有量體資訊以供工項數量運

算的 BIM 模型。因此，BPMN 方法協助瞭解 BIM 與工項的關係、建模資訊需求和規範等條件，詳實說明備標作業導入 BIM 所應具備的量體資訊程度，作為分析工項數量的參考。

### c. BPMN Level 2 分析單價解析

備標作業的分析單價流程可再細劃為分析資料庫單價、分析市場單價及評估單價等程序作業，備標團隊與 BIM 團隊在分析資料庫單價流程中，根據成本資料庫的資訊內容產出一資料庫單價資訊，同時備標團隊與成本工程師在分析市場單價流程裡，經市場趨勢的相關資訊之參考得出市場單價資訊，最後備標與 BIM 團隊透過前述解析的資訊及備標特性的榮工公司需求項目，能夠彙整運算標案之工項單價資訊。

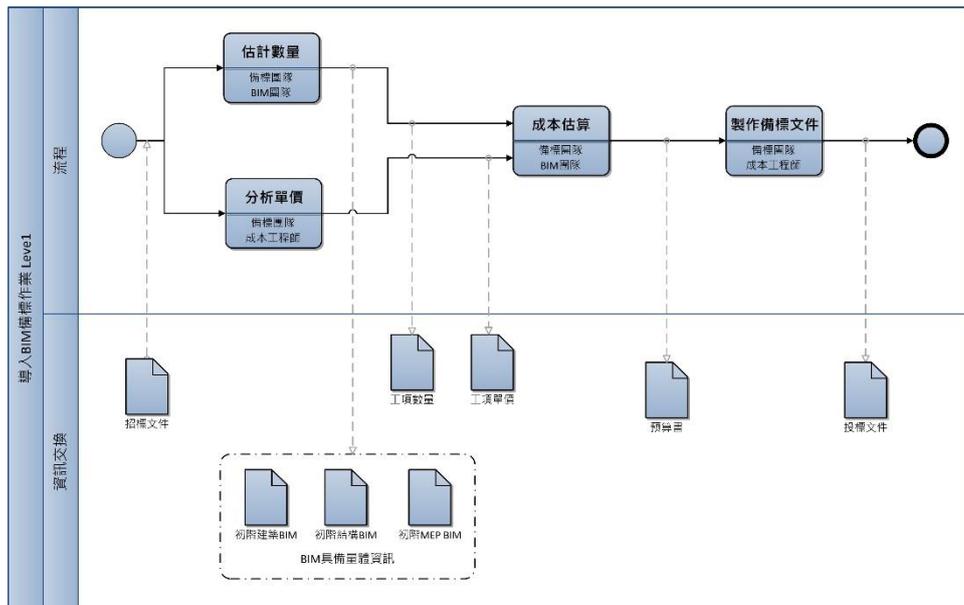


圖 3-2 導入 BIM 備標作業之 BPMN Level 總覽

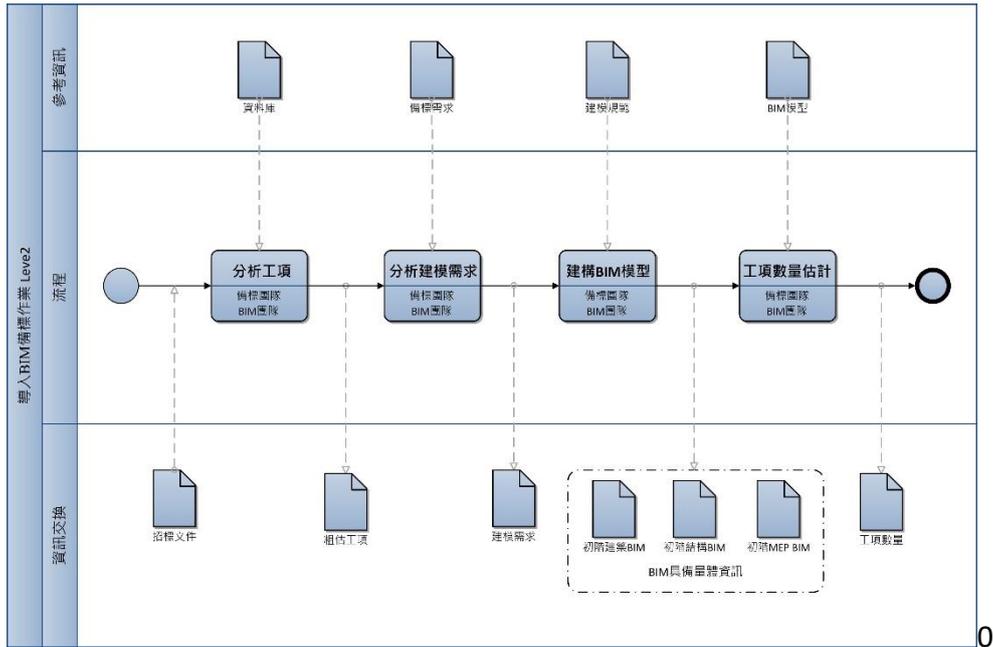


圖 3-3 BPMN Level2 估計數量流程解析

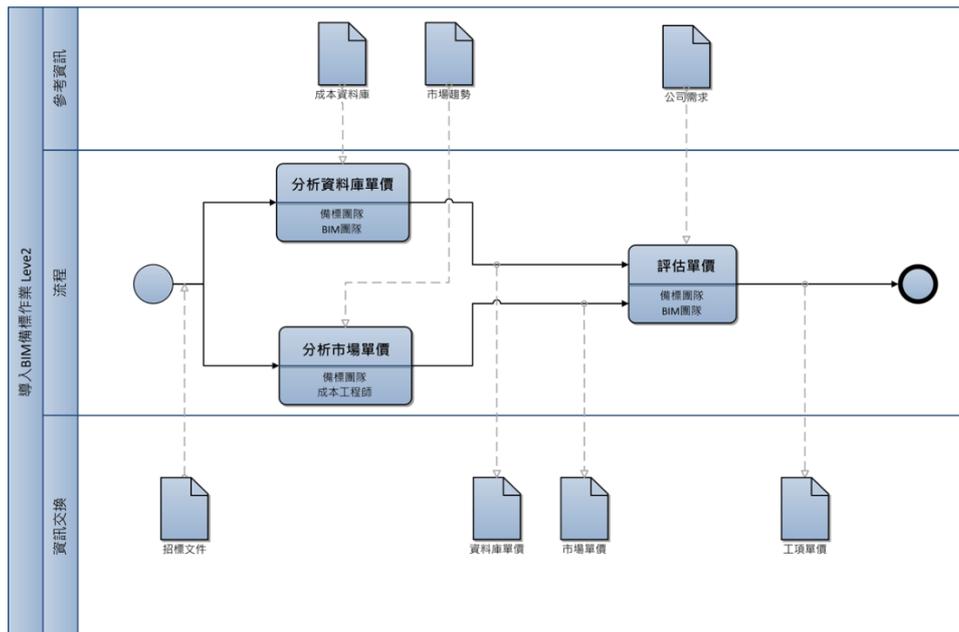


圖 3-4 BPMN Level2 分析單價流程解析

(3) IDEF0 流程圖

IDEF(Integrated Computer-Aided Manufacturing Definition Languages)，為美國空軍於七零年代發明之專案分析工具，該分析法是透過模式化的方式來描述生產過程之資訊、功能及流程，並經過不斷的

改善，當前 IDEF 已有十六種方法，包含了 IDEF0-IDEF14、  
IDEF1X(Director 1993)。

其中，IDEF0 透過圖形化與分層結構化的方式，說明資訊傳遞的形式，常用以建構一個組織或是系統當中的決策、行動以及活動，其組成包含框架 (Frame)、圖表 (Diagrams)、作業方塊 (Activity Boxes) 與箭頭 (Arrow)，並輔以文字解釋圖表中資訊所代表的意義，以及說明各作業間傳遞資訊時的各種原因和問題。

在 IDEF0 的圖形中，資訊的功能或是活動內容以方塊來表示，不同的方塊之間以箭頭符號進行連結，同時代表資訊的傳遞方向，而每個作業方塊有以下四個基本物件必須存在，如圖 3-5 所示。其中，四個物件的箭號方向不可隨意更換，但是在作業方塊中可以有不同種類的用途，藉此更能詳細檢視資訊傳遞的內容。

- 輸入 (Input)：活動方塊左側箭號，表示作業所使用的來源。
- 控制 (Control)：活動方塊上側箭號，表示完成該作業成果時之限制條件。
- 機制 (Mechanism)：活動方塊下側箭號，表示完成作業所需參與者或支援。
- 輸出 (Output)：活動方塊右側箭號，表示作業所產出的結果。

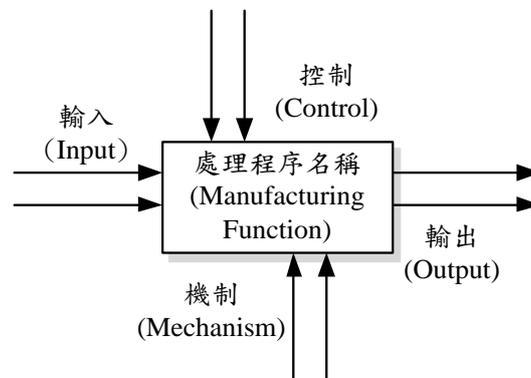


圖 3-5 IDEF0 標記法(Director 1993)

當 IDEF0 流程圖中的資訊流過於龐大時，可以透過階層化的分解方式 (Decomposition) 來解析複雜的作業內容，額外透過其他 IDEF0 流程圖輔助解釋資訊內容，而普遍的作業數量最多為六個。以圖 3-6 為例：先以單一的 A0 作業做為整體資訊的處理過程，接著將 A0 作業分解成 A1 至 A4 總共 4 個作業方塊來說明更細部的內容，同時在第三階層便以上層之命名方式來建置如 A41 至 A43，而子階層的輸入與輸出必須和來源作業方塊相同，以符合一致性原則。

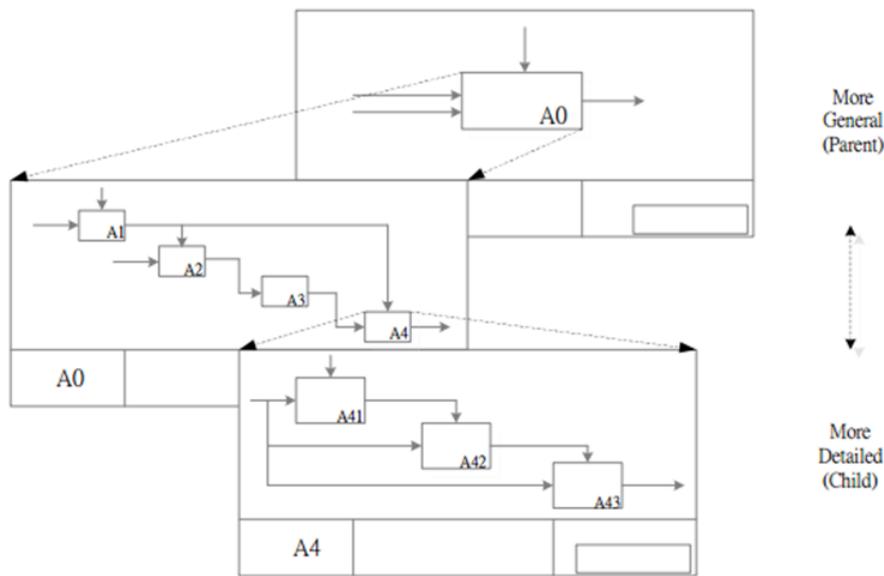


圖 3-6 IDEF0 之分解結構示意圖

表 1 施工階段 BIM 元件資訊需求

元件分類	資訊需求
機械	Revit ID、族群、類型、動力負載、口徑、流量、施作日期、施作人員、數量、編號、製造商
設備	Revit ID、族群、類型、規格、施作日期、施作人員、數量、編號、製造商
管	Revit ID、族群、類型、外徑、內徑、材質、長度、施作日期、高度、施作人員
管配件	Revit ID、族群、類型、管徑、材質、施作日期、施作人

	員、數量、編號
閥	Revit ID、族群、類型、直徑、材質、規格、施作日期、施作人員、數量編號
混凝土柱	Revit ID、族群、類型、柱高度、斷面積、斷面周長、階段設定
隔間牆	Revit ID、族群、類型、牆高度、寬度
鋁窗	Revit ID、族群、類型、窗戶周長、施作人員、製造商、施作日期

表 2 維運階段 BIM 元件資訊需求

元件分類	資訊需求
機械	Revit ID、族群、類型、動力負載、口徑、流量、施作日期、施作人員、數量、編號、製造商、維護人員、維護廠商、維護日期、維護內容
設備	Revit ID、族群、類型、規格、施作日期、施作人員、數量、編號、製造商、維護人員、維護廠商、維護日期、維護內容
管	Revit ID、族群、類型、外徑、內徑、材質、長度、施作日期、高度、施作人員、維護人員、維護廠商、維護日期、維護內容
管配件	Revit ID、族群、類型、管徑、材質、施作日期、施作人員、數量、編號、維護人員、維護廠商、維護日期、維護內容
閥	Revit ID、族群、類型、直徑、材質、規格、施作日期、施作人員、數量編號、維護人員、維護廠商、維護日期、維護內容
混凝土柱	Revit ID、族群、類型、柱高度、斷面積、斷面周長、維護人員、維護廠商、維護日期、維護內容
隔間牆	Revit ID、族群、類型、牆高度、寬度、維護人員、維護廠商、維護日期、維護內容
鋁窗	Revit ID、族群、類型、窗戶周長、施作人員、製造商、施作日期、維護人員、維護廠商、維護日期、維護內容

表 3 施工工項需求資訊

工項名稱	階段	計量單位	對應元件	相關性	需求資訊
泥作工程	施工	M <sup>2</sup>	柱、梁、牆	直接相關	材質、施作面積、高度、空間
油漆工程	施工	M <sup>2</sup>	柱、梁、牆	直接相關	材質、施作面積、高度、空間、施作長度
石材工程	施工	M <sup>2</sup>	柱、梁、牆	直接相關	材質、施作面積、高度、空間
防水工程	施工	M <sup>2</sup>	柱、牆	直接相關	材質、施作面積、高度、空間
壁紙工程	施工	M <sup>2</sup>	柱、牆	直接相關	材質、施作面積、高度、空間
輕鋼架工程	施工	M <sup>2</sup>	隔間牆	直接相關	材質、施作面積、高度
磚造隔間工程	施工	M <sup>2</sup>	隔間牆	直接相關	材質、施作面積、高度
木作隔間工程	施工	M <sup>2</sup>	隔間牆	直接相關	材質、施作面積、高度
柱鋼筋工項	施工	根	鋼筋	直接相關	性質、斷面大小、主筋配筋、主筋排列、箍筋配筋、箍筋排列

#### (4) 本體論(Ontology)

隨著建築資訊模型(building information modeling, BIM)技術在AEC產業的普及與發展，對於專案資訊的獲取與儲存，提供了可靠且有效率的方法(Eastman et al., 2011)。在相關的應用中，雖然，有不少研究發展以BIM為基礎的估算模式，以及應用BIM進行專案排程規劃，對專案成本估算與排程方法的改善帶來新的契機，然而，由於難以建立排程、估算軟體與BIM模型間的互動模式，且仍無法有效解決成本與時程整合的問題(Feng et al., 2010; Shen and Issa, 2010; Eastman et al., 2011)。

因此，BIM 所具備的優勢與益處，在專案成本與時程整合方面仍未有效地加以應用，相較於各領域的應用與發展，BIM 於專案時程與成本整合的應用與自動化的發展，以及關於工程知識經驗的整合則仍顯不足。另一方面，為了因應專案生命週期不同階段的資訊需求，針對模型資訊發展內容的完整性所定義的 LOD (Level of Development)，讓 BIM 模型的導入具備基本規範。然而，仰賴 LOD 定義的元件資訊並不能滿足營建工作流程的資訊需求，因此應用知識本體論 (Ontology) 解析專案管理的資料屬性與關聯性，並藉以建立符合專案整合管理模式資訊需求之 BIM 模型建構規則，以提升 BIM 模型之應用效益。

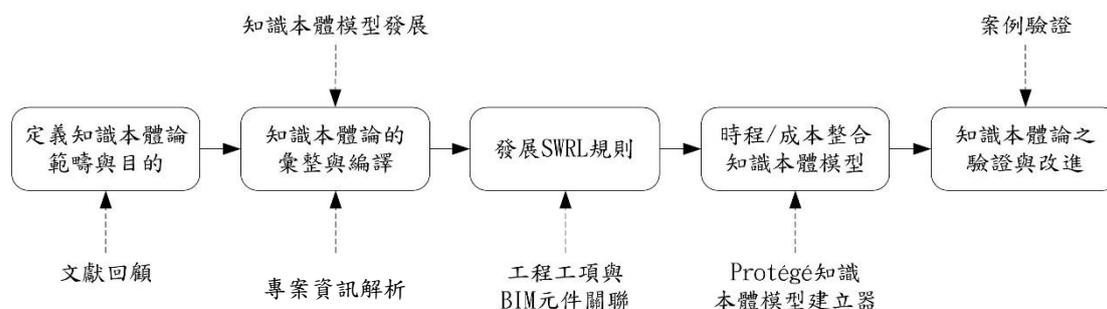


圖 3-7 專案資訊解析流程示意圖

藉由彙整工項語意資訊的方式確立專案知識領域範圍，工項語意主要分成通用工項語意和專案工項語意兩類，通用工項語意指的是廣泛並可適用於各專案的語意資訊，此類型的語意資訊分別為契約、施工規範、成本估算書籍和訪談資訊等；而專案工項語意指的主要適用該工程專案的語意資訊，此類型的語意資訊會隨著執行方式、設計內容和專案類型的不同而有很大的差異，通常可以分成下列兩種，設計圖說和施工計畫，建築物的外型、構造、設計與施工細節取決於設計圖說的內容，承攬廠商透過分析設計圖說獲得該工程的結構、高度、樓層、面積、主要工作項目和主要建材等基本資料，作為作業方法和時間的決策參考，

施工計畫則是工項具體執行策略，承攬廠商透過研擬施工計畫，釐清投標工程的工項執行方法、執行範圍與使用資源，藉此了解工項執行方式、工序、施工位置與資訊使用。

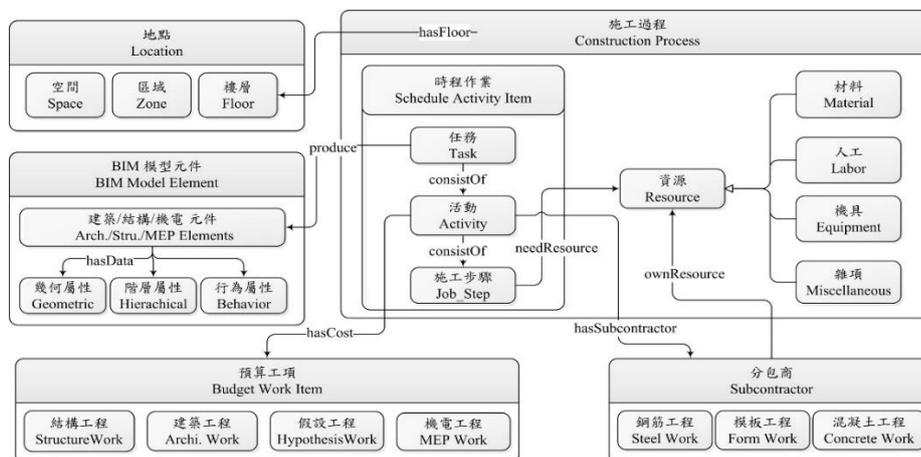


圖 3-8 專案資訊解析結構示意圖

表 4 專案資訊解析內容

應用位置	語意知識種類	語意知識內容
本體論架構	工程知識	施工程序內容包含執行構件任務、作業項目、工作順序和資源
		執行構件任務由作業項目組成，作業項目由工作順序組成
		執行每個工作順序需要資源
		資源包含人工、機具和材料
		工作執行會在建築物的不同位置，位置包含樓層、空間和區域
		分包商執行工作使用資源項目
	成本知識	預算工項包含假設工程和結構工程
		假設工程內包含鷹架工項和放樣工項
		結構工程內包含混凝土工項、模板工項、鋼筋工項、續接器工項、鋼承 鈹工項和鋼構工項
		成本資訊包含資源使用內容、工作內容與分包方式

		工項有工項編號
建築模型知識		模型元件內容包含建築元件和結構元件
		結構元件內容包含柱、樑、牆、版和樓梯。
		元件有元件編號、量體資訊、元件辨識碼

表 5 工項元件關聯表

裝修項目	OmniClass	類型	關聯元件	需求資訊
室內隔間	21-03 10 10	輕隔間	隔間牆	材質、施作面積、高度
		磚牆		
室內窗戶	21-03 10 20	落地式	窗	長、寬、玻璃面積、數量、材質、樓層、類型
		非落地式		
室內門	21-03 10 30	門	門	材質、面積、長、寬、數量、樓層
室內格柵	21-03 10 40	格柵	牆、天花板	面積、間距、材質
高架地坪	21-03 10 60	地坪	地坪裝修	面積、材質、高度、位置
懸吊式天花板	21-03 10 70	懸吊式	天花板	天花板高度、面積、位置
牆面裝修	21-03 20 10	粉刷	牆面裝修、天花	裝修材質、牆壁材質、面積、預留高度、位置
		磁磚	板、牆壁	
地坪裝修	21-03 20 30	磁磚	地坪裝修	裝修材質、面積、位置

表 6 資訊需求解析

工項			成本需求	時程需求	
裝修工程	分包作業項目		物料及工需求	施工生產率	
輕隔間工程	輕鋼架隔間		輕鋼架、板材(M <sup>2</sup> )	45	M <sup>2</sup> /天
	磚造隔間		水泥(包)、砂(M <sup>3</sup> )、紅磚(塊)	45	M <sup>2</sup> /天
泥作工程	打底粉刷	室內	水泥(包)、砂(M <sup>3</sup> )	300	M <sup>2</sup> /天
		室外		200	
	鋪貼磁磚 (工料分離)	室內	牆面磁磚施作	70	
			地坪磁磚施作	120	
室外	外牆磁磚施作	250			
石材工程	鋪貼石材 (工料分離)	室內	牆面石材施作	70	M <sup>2</sup> /天
			地坪石材施作	80	
		室外	外牆石材施作	54	
防水工程	防水層塗佈		防水層(M <sup>2</sup> )	90	M <sup>2</sup> /天
天花板工程	明架天花		輕鋼架、板材(M <sup>2</sup> )	210	M <sup>2</sup> /天
	暗架天花			200	
木材工程	木作天花		輕鋼架(M <sup>2</sup> )、板材、角材	100	M <sup>2</sup> /天
	木作輕隔間		木材、合板(M <sup>2</sup> )	45	
	木作地板		板材、角材(M <sup>2</sup> )	20	
油漆工程	油漆批土	室內	牆面油漆施作	240	M <sup>2</sup> /天
			坪頂油漆施作	240	
		室外	外牆塗裝施作	80	
門窗工程	矽利康作業		水泥、砂、矽利康(M <sup>2</sup> )	100	檯/天
	立門窗框		門框、窗框(檯)	20	

## 2. BIM 建模工具

建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)為一種協助工程專案進行與管理，並連貫整個生命週期的 3D 建模工具，包含建築、結構、機電等範疇。不同於傳統的電腦輔助設計(Computer Aided Design, CAD)，BIM 採用物件導向的建構模式，以參數化設計的概念描述元件的性質，包含材質、尺寸、顏色等等，將工程專案中所需的各式資訊整合於同一個建築模型中。此外，BIM 可藉由協同作業的方式，供專案中不同的角色編輯、取用，不僅能夠提升建模效率，更可以在建模的過程中，檢視不同介面間的衝突，並及時提出問題、修正。以下介紹本研究所採用之 BIM 模型建置工具 Autodesk Revit 及資料提取工具 Autodesk Dynamo，並說明以 Autodesk Navisworks 做為設備維護的模擬工具。

### (1) Autodesk Revit

Revit 是現行主流 BIM 建模軟體之一，其利用元件導向和參數化概念的建模方式，允許使用者依需求為元件定義新參數，修改參數後元件族群亦可連動進行更改，增進了建模的效率。Revit 除了能建置基本的尺寸資訊、三維空間資訊、材質、外觀樣式，更能對於建築物件的結構性質加以定義，如：保護層厚度、鋼筋配置、接頭型式等，這些數值的輸入能提供施工查核作業時能更快速找到所需要的資訊。另外，Revit 能對於樓層、房間等空間區域進行切割及定義，透過這些空間資訊的篩選，能夠提供模型資訊分類的基準，有助於後續資料輕量化的處理。

### (2) Autodesk Dynamo

Dynamo 是一項提供視覺化的程式開發環境，可以輔助 Revit 建置較複雜模型樣式或清單輸出等功能，並能將常用的功能開發成專用的工具，目前已內建於 Revit 2018 以上之版本當中供操作者使用。

所謂的視覺化設計(Visual Program)即是讓使用者透過圖形化的方式表達程式的說明(Instructions)與關係(Relationships)，以代替程式

碼的編寫。Dynamo 將程式內建於節點(Nodes)中，再透過節線(Wires)連結在一起，如圖 3-9 所示，使用者欲繪製一個以原點為圓心，向量 (5.6, 11.5) 為半徑的圓，上部是以文字程式(Textual Program)撰寫之結果，下半部分則是視覺化程式設計(Visual Program)的表現方式：

文字程式：

```
myPoint = Point.ByCoordinates(0.0,0.0,0.0);  
x = 5.6;  
y = 11.5;  
attractorPoint = Point.ByCoordinates(x,y,0.0);  
dist = myPoint.DistanceTo(attractorPoint);  
myCircle = Circle.ByCenterPointRadius(myPoint,dist);
```

視覺程式：

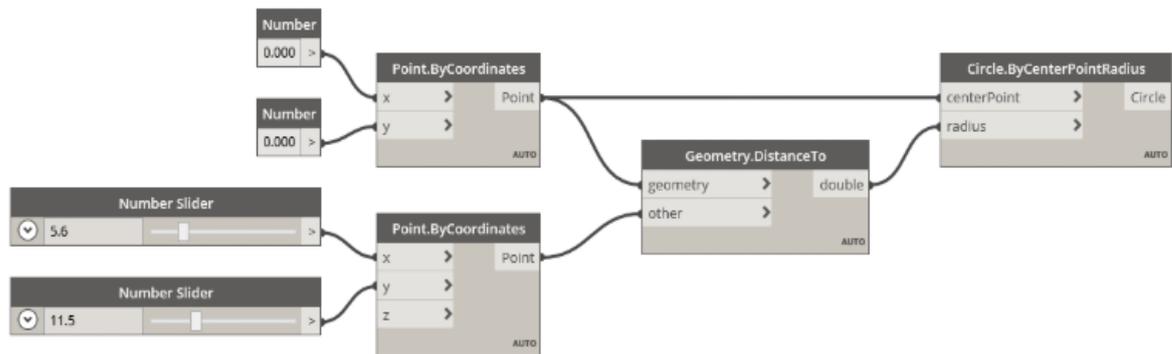


圖 3-9 文字及視覺程式撰寫方式之比較

Dynamo 與 Revit 有直接的關聯性，能夠將程式建置的參數轉換成模型，也能夠針對所選擇之模型元件提取資訊，BIM 模型在建置完之後需經由模型通用格式轉換到其他軟體上進行後續的應用，但在轉換的過程中往往會失去部分元件資訊，故本研究將模型匯出至 Unity 進行後續混合實境開發。

### 3. AR/MR 開發工具

隨著擴增實境 (AR) 混合實境 (MR) 技術的發展，市面上有許多相關的設備及開發工具，頭戴式混合實境設備以 Microsoft 所開發之 HoloLens 為較著名且功能較完善之裝置，此外，為了讓混合實境有更好的開發環境，許多公司提供了免費的開發工具套件，促進混合實境開發的大眾化，其中較著名的有 Mixed Reality Toolkit 及 Vuforia，本節將對使用到的設備及開發工具進行介紹。

#### (1) Microsoft HoloLens

HoloLens 為微軟於 2016 年推出的混合實境裝置，裝置上配有記憶體、CPU、光學投影系統及獨立電源，能夠在 HoloLens 上運行 Windows 10 作業系統，可視為一台頭戴式的個人電腦 (圖 3-10)。此外，HoloLens 亦搭載多種感測元件以達到混合實境之功能，包含：慣性測量單元、環境光感應器、環境感知鏡頭、深度感知鏡頭、200 萬畫素相機、內建麥克風，及解析動作和視線並捕捉周遭環境影像的全息影像處理器 (Holographic Processing Unit, HPU)。這些單元讓 HoloLens 具備了移動偵測、空間認知、語音識別、手勢辨識等功能，能隨時記錄及建立所處空間的模型，擴增的虛擬物件更能以全息影像的方式疊加在實境上，讓使用者在直接觀察現實環境的同時能操作虛擬物件並使其與環境互動。這些特性讓 HoloLens 與其他混合實境裝置相比更具操作上的便利性及實用性。

在這些功能當中，HoloLens 與其他混合實境裝置相比最為突出的能力為空間認知 (Environment Understanding) 技術，該功能是透過同步定位與地圖構建 (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) 技術達到的，此功能是透過鏡頭擷取 3D 影像中的特徵點資訊，並進行 3D 物件追蹤特徵點，再根據自身的定位偵測建構模型來達到定位的目的。這項技術可為移動中的裝置傳達準確的空間資訊，配合混合實境應用可達到讓虛擬物件與環境互動的功能。



圖 3-10 HoloLens 外觀及內建感測器

在施作現場若要使用混合實境設備輔助作業，裝置則須有能獨立運作而不用連接外接設備、允許使用者直接看到現地情況並空出雙手進行作業、運作時間長、操作直觀便利等優點才能符合現地的使用需求，否則會有安全上及使用性上的疑慮。與其他混合實境設備相比，HoloLens 因具備獨立運作無須連接其他設備、能紀錄空間資訊及感測使用者動作、允許直接觀察實體環境、可連接網路等優勢，故選擇 HoloLens 作為本研究之混合實境裝置。

## (2) Mixed Reality Toolkit (MRTK)

由於 HoloLens 內建許多感測器以執行其空間認知、位移偵測等複雜的功能，相關功能的開發難度高，因此 Microsoft 將混合實境常用功能的程式碼、物件、腳本等資源整合成開發工具包 Mixed Reality Toolkit 並發布於開源碼社群 GitHub 上供開發者自由使用、修改及擴充，以降低混合實境的學習門檻及促進 HoloLens 應用程式的開發速度（圖 3-11）。GitHub 上亦提供許多常見應用程式功能的範本及教學供開發者作為開發基礎，進而發展更多元的混合實境應用。基於提供之工具及教學資源豐富，本研究採用 MRTK 作為混合實境開發的輔助工具。

 <p>● HoloLens ● IHMD</p> <p><b>Input</b></p>	 <p>● HoloLens ● IHMD</p> <p><b>Sharing</b></p>	 <p>● HoloLens ● IHMD</p> <p><b>Spatial Mapping</b></p>
<p>Scripts that leverage inputs such as gaze, gesture, voice and motion controllers. Includes the Mixed Reality camera prefabs.</p>	<p>Sharing library enables collaboration across multiple devices.</p>	<p>Scripts that allow applications to bring the real world into the digital using HoloLens.</p>
 <p>● HoloLens ● IHMD</p> <p><b>Spatial Sound</b></p>	 <p>● HoloLens ● IHMD</p> <p><b>UX Controls</b></p>	 <p>● HoloLens ● IHMD</p> <p><b>Utilities</b></p>
<p>Scripts to help plug spatial audio into your application.</p>	<p>Building blocks for creating good UX in your application like common controls.</p>	<p>Common helpers and tools that you can leverage in your application.</p>
 <p>● HoloLens ● IHMD</p> <p><b>Spatial Understanding</b></p>	 <p>● HoloLens ● IHMD</p> <p><b>Build</b></p>	 <p>● HoloLens ● IHMD</p> <p><b>Boundary</b></p>
<p>Tailor experiences based on room semantics like couch, wall etc.</p>	<p>Build and deploy automation window for Unity Editor.</p>	<p>Scripts that help with rendering the floor and boundaries for Immersive Devices.</p>

圖 3-11 MRTK 包含之功能列表

### (3) Vuforia

Vuforia 目前為美國 PTC(Parametric Technology Corporation)公司所經營的一款混合實境開發平台，他提供免費的混合實境開發套件以協助在各項行動裝置上的混合實境功能開發，其中最具特色的功能為目標物(Target)偵測系統，這項系統支援平面及立體物件的偵測，透過混合實境裝置的鏡頭捕捉實地的影像，再與事先建立的資料庫進行影像比對，當辨識出目標物時，就能透過這個影像所在的位置作為基準點，呈現出虛擬的環境影像，如圖 3-12 所示，圖中的立體方塊就是以平面目標圖片作為定位基準點所呈現的虛擬影像，方塊會隨著目標圖片的遠近、角度進行變換。本研究為使虛擬模型能在現地真實環境快速定位，因此也套用這項功能來協助環境的定位。

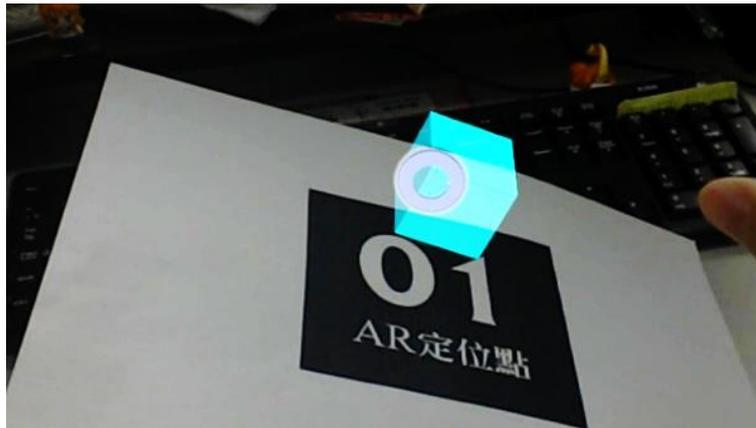


圖 3-12 目標物定位範例

#### (4) Unity

Unity 是由 Unity Technologies 開發的一套跨平台 2D 與 3D 遊戲開發引擎，包含圖形、聲音、物理、動畫系統等功能，原先用於 Windows、Mac、Linux、iOS 等平台的單機遊戲開發（圖 3-13）。隨著行動裝置、網路及 3D 遊戲的普及，Unity 支援物理引擎、提供多人連線功能、支援主流 3D 模型格式、支援 C# 及 JavaScript 等高階語言實作遊戲腳本而無需學習複雜程式語言等特性，使其成為模型視覺化、三維動畫、虛擬實境、混合實境等創作的主要工具。

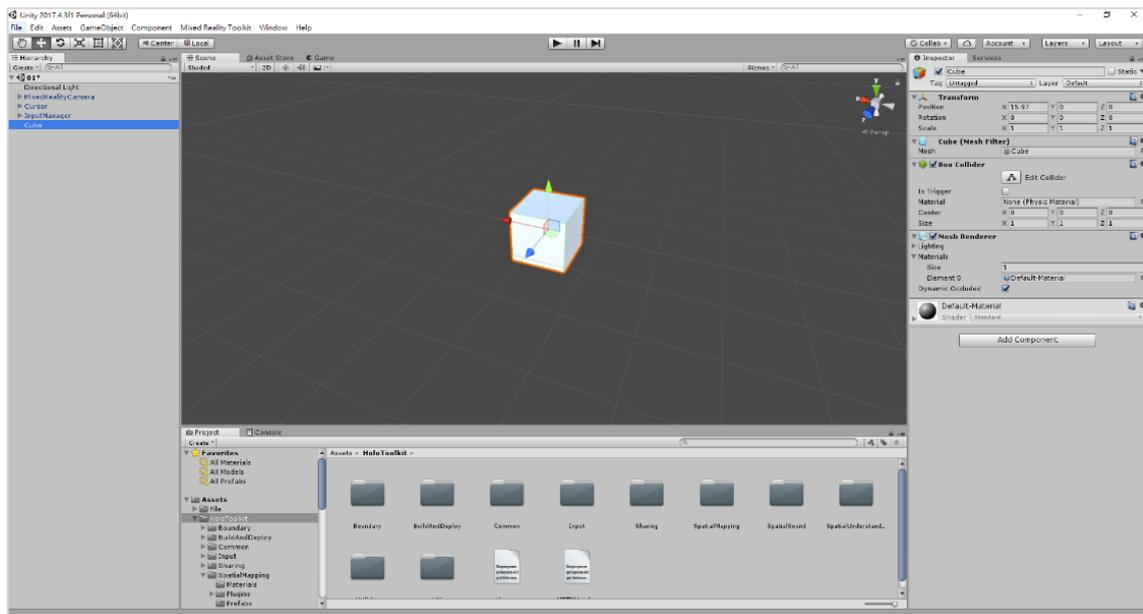


圖 3-13 Unity 開發介面

Microsoft HoloLens 是一套基於 Windows 作業系統上的設備，因此也能透過 Unity 進行應用程式開發，Unity 亦曾針對 HoloLens 的開發需求發表專屬版本，通用版本也有持續進行更新，Microsoft 更於世界上最大的代碼存放網站 GitHub 上提供開源的輔助開發工具包 Mixed Reality Toolkit 供開發者匯入 Unity，並可依開發功能需求自行使用及修改，降低了 HoloLens 應用程式的開發門檻及難度。基於上述之優勢，故本研究使用 Unity v2017.4.3f1 版本作為混合實境應用程式的開發工具。

Unity 環境中將所有元件視為遊戲物件(GameObject)，並可在介面的場景(Scene)中進行操作，而所有位於場景中的物件，如：攝影機、模型、畫布(Canvas)等，皆會呈現在階層(Hierarchy)視窗中，可定義遊戲物件間的從屬關係。而要操控遊戲物件需透過程式語言撰寫腳本(Script)，並附加於遊戲物件的屬性視窗中(Inspector)，匯出成混合實境應用程式後即可依照指令進行互動。

#### (5) Microsoft Visual Studio

Visual Studio 是由微軟公司所發展的一套開發套件整合工具集，它包含了軟體開發生命週期中多數的開發工具，如：UML 工具、代碼管控工具、整合式開發環境(IDE)等等，且 Visual Studio 支援所有微軟的平台，包括 Windows、.NET Framework、Microsoft Silverlight 等。

本研究透過遊戲引擎 Unity 來進行混合實境環境及功能的開發，當功能於 Unity 開發完成後，須從 Unity 中匯出 Visual Studio 解決方案(.sln)，該檔案必須由 Visual Studio 打開後，輸出至已連線之 HoloLens 上，待輸出完成後，即可在 HoloLens 上建立並使用應用程式，開發過程才算完成(圖 3-14)。

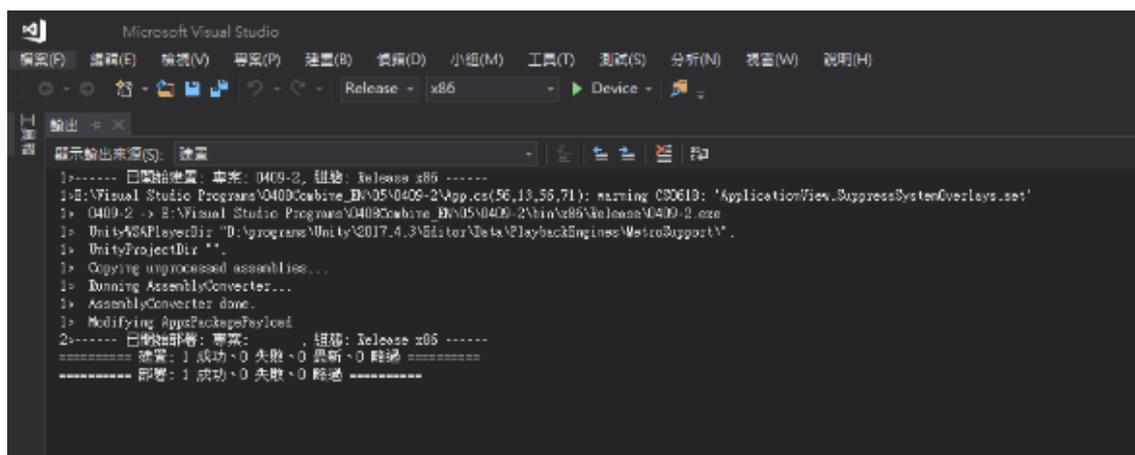


圖 3-14 Visual Studio 程式寫入 HoloLens 畫面

#### 4. 發展 AR/MR 應用程式架構

透過上述的 IDEF0 分析作業可以獲得查核作業完整資訊需求及傳遞模式，接續本節將詳細分析在 AR/MR 應用程式架構下之各階段需求，包括建築資訊模型建置需求、混合實境資訊傳遞模式以及施工查核作業情境之功能需求，以作為建立混合實境開發之依據。

本研究擬以建築資訊模型作為資料整合及連結平台，因此首先針對模型與工項連結關係進行分析，工項依據數量提取的方式不同，與模型的關聯性可分為直接相關、間接相關及無相關三種，如表 7 所示，對三種模型與工項關係列舉幾項常見的範例。由於本研究以模型作為資訊統整對象，因此各工項需與有相對應之模型，才能取得工項資訊，與模型無相關之工項則無法透過此連結取得，這也將是本系統架構之功能限制。

表 7 模型與工項關係表

工項名稱	計量單位	對應元件	相關性	量體資訊
樓板-增築泡沫混凝土	M <sup>3</sup>	泡沫混凝土樓板	直接相關	體積
輕隔間-雙面單層輕隔間	M <sup>2</sup>	TypeA1 輕隔間牆	直接相關	面積

牆面-乳膠漆(一底二度)	M <sup>2</sup>	隔間牆	直接相關	面積
地坪-磨石子地磚	坪	樓板塗層	間接相關	面積 /((0.3*0.3)*1.1
帷幕窗-塞水路	M	DW1 帷幕窗	間接相關	窗高*2+窗寬*1
鋪地磚-樓梯磚	M <sup>2</sup>	樓梯	間接相關	級高面積+平台 面積
施工圍籬	M	(無)	無相關	(無)
控制點測量	式	(無)	無相關	(無)
露天照明燈具	式	(無)	無相關	(無)

透過模型與工項關係的分析，能夠知道需建立那些模型元件以符合工項對應，另外，由量體資訊的分析，制定出各元件所需包含的資訊，繪製模型時需參考這些資訊需求，以便後續資料提取。

除了元件內部的資訊，為了使 BIM 模型資訊能夠在混合實境架構下使用，BIM 需要經過模型通用格式的轉換，才能在其他平台上使用，但在轉換的過程中，會遺失掉部分資訊未能順利轉換至其他平台，因此，在匯出之前須將 BIM 所包含之模型資訊另外保存，後續再由編碼將資訊結合，詳細的資訊傳遞模式將接續說明。

## 5. 發展 AR/MR 資訊傳遞模式

本研究將結合建築資訊模型、施工圖說規範、查核表單、混合實境操作功能於同一應用程式當中，因此需發展出能夠結合以上資訊的傳遞模式。本研究之資訊傳遞模式如圖 3-15 所示，BIM 模型透過 FBX 格式匯出，其保留之資訊只有元件的外觀以及各元件之編碼，因此須在建置模型的過程中將元件資訊由模型中提取，以文字檔型式存取，後續在透過資料處理，重新與模型連結。另一方面，紙本資料包含查核表單以及設計圖說及規範，

表單能以表格型式存取，圖說則保持圖檔的型式匯入系統當中，BIM 資訊與元件為一對一關係，所以透過元件 ID 進行連結；查核表單、圖說與規範會由工項、樓層、類型進行分類，因此需透過 Unifomat II 編碼及工項編碼兩套系統

進行對應並與模型連結；最後，混合實境控制功能則透過開放式開發插件 MRTK 的輔助引入本系統架構中，結合以上資訊及功能開發出能在 MR 裝置上使用之應用程式。

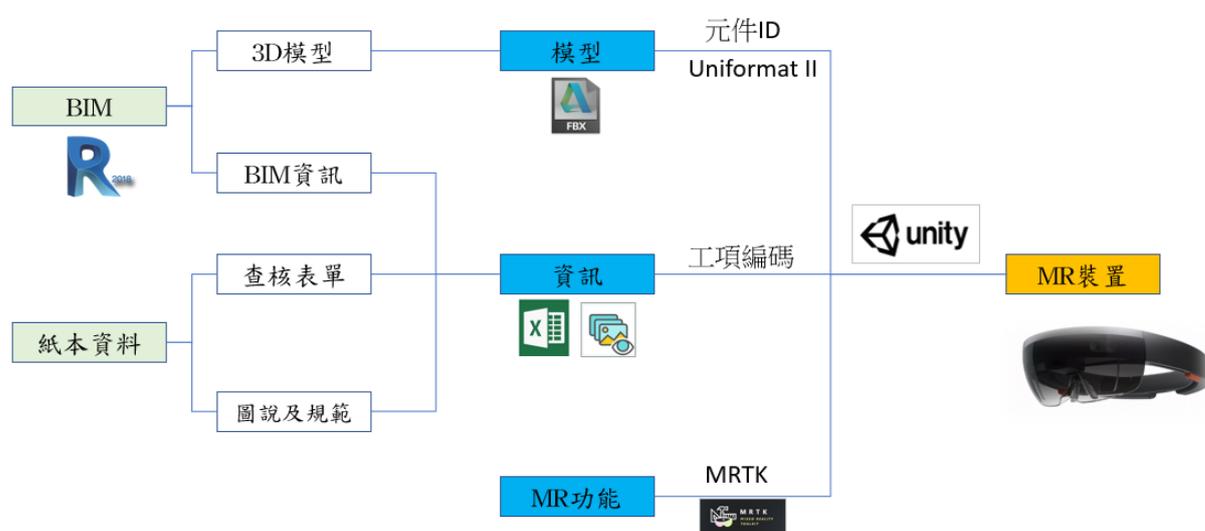


圖 3-15 混合實境資料傳遞模式

## 6. 解析施工及維運作業情境

為了提供符合施工及維運作業所需之混合實境功能，透過解析現地的施工作業情境，以瞭解實際進行作業時可能面臨之情境，分析造成情境之原因後進而推論如何透過 BIM 及會合實境輔助作業，最後確立混合實境功能架構，並針對作業需求的進行資訊傳遞及呈現。本研究透過與專家訪談和資料蒐集了解現行施工及維運作業進行時可能面臨之問題，以表 2 為例，再從中分析如何透過 BIM 及混合實境之功能開發協助解決問題。

由表格可以發現，造成現行作業流程面臨之情境的原因主要為：(1)作業過程仰賴紙本、(2)資料在現地難以即時取用及判讀、(3)過多人工處理過程易造成疏失及費時狀況。因此，本研究提出利用混合實境克服這些問題，進而發展混合實境之功能架構。在解析現地施工查核作業情境後，本研究得以依據分析結果提出利用 BIM 及混合實境的解決方案，進而發展輔助作業的混合實境功能架構。由表 8 之分析結果，本研究針對這些要素提出混合實境輔助作業之應用程式功能架構，如圖 3-16 所示。

表 8 現地施工查核作業情境解析表

作業階段	現行流程面臨情境	現行處理方式	可改善方式
查核前準備	查核資料蒐集不易	參閱電子檔案以及紙本資料，個別尋找各工項相關圖說、規範及查核表單	以資料庫型式整合所有資料，建立資訊關聯性
	遺漏查核所需參照之相關資料	參閱電子檔案以及紙本資料，個別尋找各工項相關圖說、規範及查核表單	以資料庫型式整合所有資料，並透過混合實境設備呈現所有資訊
現地查核	不易尋找工項位置	透過平面圖及網格線坐標對工項位置進行定義與尋找其所在地	應用 BIM 建置 3D 模型，並利用混合實境於現地標示出工項所在位置
	難以透過 2D 圖面判讀立體空間設計	參考平面圖及立面圖或請教有經驗之工程師	應用 BIM 建置 3D 模型，預先解決設計標示問題，並於施工現地呈現立體空間狀況
	數量點算容易多算或遺漏	反覆清點或由不同人分別清點，亦或畫記標示	透過混合實境功能開發，在已點算之物件上放置虛擬標記並計算數量
	數值記錄錯誤	使用捲尺或是其他實體量測工具進行現地量測後，再手動填寫至表單上	透過混合實境功能開發，量測現地施作狀況並自動記錄至表單當中

	水平垂直度量測需多人協助完成	以雷射水準移投射光束，再由工程師分別量測兩端之高層差並人工計算斜率	透過混合實境功能開發，量測現地項目之高層差並自動計算及填入表單中
	現地不易填寫記錄	以紙本表單形式記錄現地查核之結果	先進行資料需求分析以簡化表單，再透過混合實境功能開發，以手勢或語音等方式填寫表單
查核後資料處理	整理資料費時	需手動將資料填寫至資料庫	由現地混合實境裝置記錄之結果直接輸出至資料庫中
	填寫錯誤	將紙本記錄手動輸入至電腦中	由現地混合實境裝置記錄之結果直接輸出至資料庫中
	文字不易呈現施作狀況	透過文字敘述或照片附註說明現地施作狀況	以模型詳細標註狀況位置，再由混合實境裝置錄攝現地狀況並與模型連結

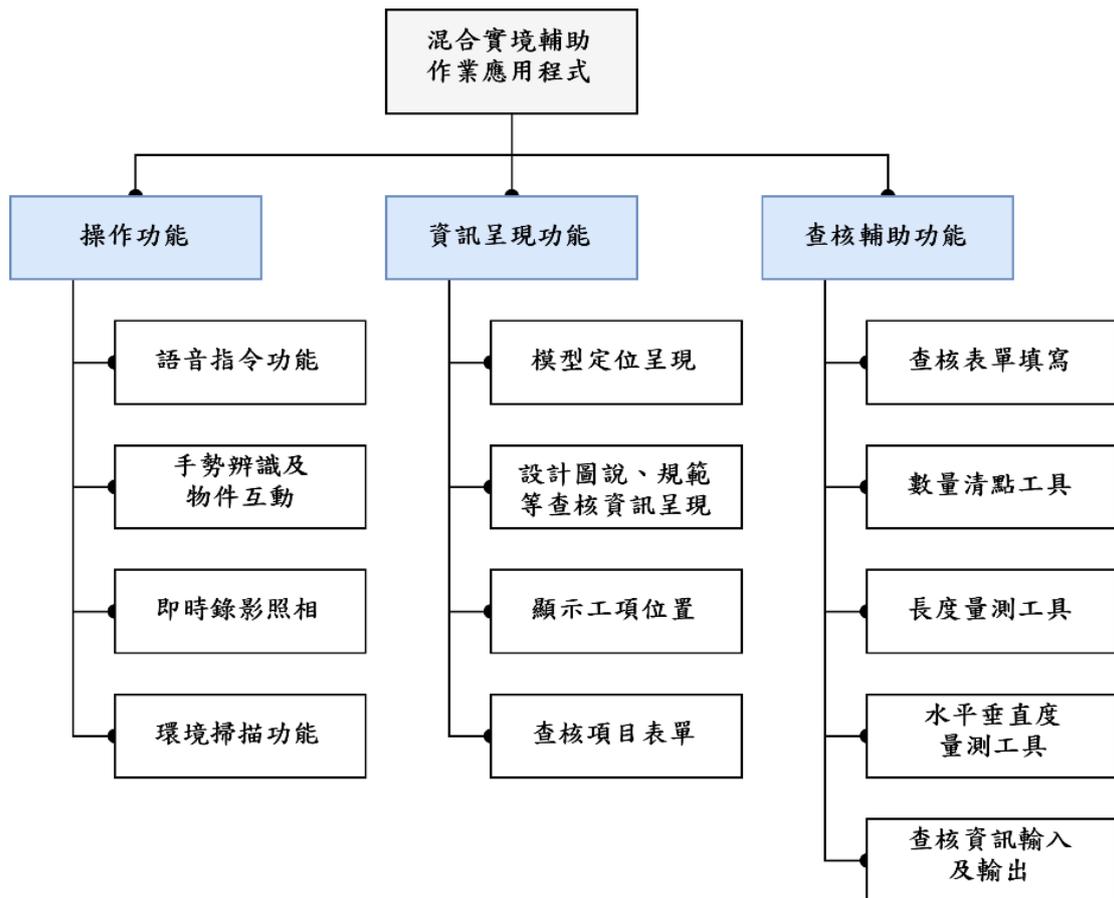


圖 3-16 混合實境功能架構圖

## 7. AR/MR 施工及維運系統功能概要

### (1) AR 初步研究成果

本研究目前 AR 系統初步開發之功能包含導航功能、小地圖、水平測量、垂直測量、數量點算、依元件查詢工項、檢查白板、查驗表單填寫，以下將針對開發之各功能進行解釋。



圖 3-17 初步開發之 AR 使用者介面

#### (a) 導航功能

開啟導航功能後，首先會出現下拉選單，提供操作人員選擇欲導航前往之目標，目標選擇完成後會於視線前方螢幕出現一綠色 AR 指引箭頭，箭頭指向本次導航之目標物，指引操作人員前往目標位置。當操作人員抵達後，AR 指引箭頭會由綠色變為紅色，提醒操作人員已抵達目標。



圖 3-18 導航功能

#### (b) 小地圖

本系統之使用者並非皆為常駐於該工地之作業人員，當工地面積較大且手邊無工程圖紙時，常因為樓層格局尚未完成而迷失方向，此時使用小地圖導航功能便可利用箭頭快速判別自身方向與位置，同時可透視於頭頂上之各類管線佈局方式。



圖 3-19 小地圖功能

(c)水平、垂直測量、數量點算

當系統開啟後，會先進行環境掃描環境資訊，此時再開啟測量功能便可以直接於屏幕上透過點擊與滑動的方式進行環境或設施的水平與垂直長度測量及數量點算，結果將顯示於屏幕上方處，並可透過點擊表單中”+”號，將測量結果自動填入表單內。

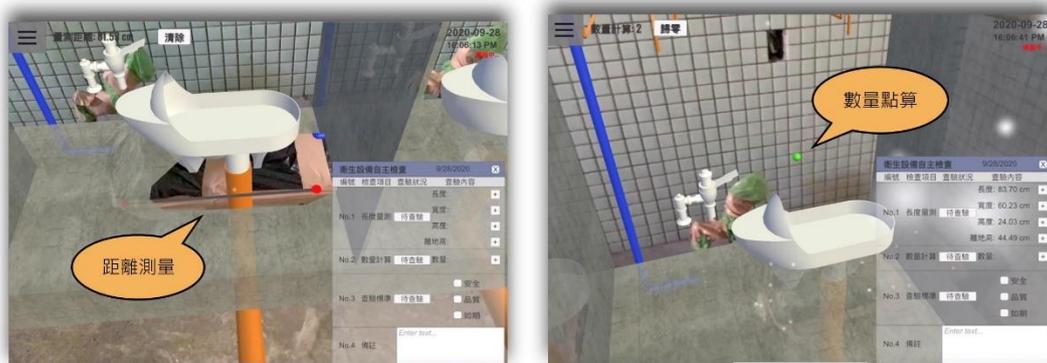


圖 3-20 測量與點算功能

(d)工項查詢

在開啟工項查詢功能後，在屏幕上點擊欲查詢之元件，該元件會以半透明顯示，並連結雲端資料庫進行對應元件的工項資料查詢，並將資料回傳至屏幕左下角的工項查詢表內；同時，亦會自動抓取該元件之世界座標，以利後續回顧查驗過程時能夠一目了然元件的所在位置與樓層。

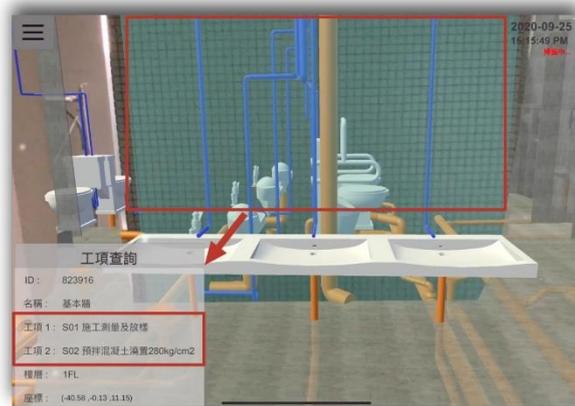


圖 3-21 工項查詢功能

### (e) 檢查白板

開啟白板功能後，白板內會顯示之欄位包括工程名稱、檢驗項目、檢驗位置、檢驗人員、檢驗時間、檢驗現況，其中檢驗時間是透過系統實時更新標準時間，而檢驗現況則以勾選方式填寫，在欄位接填寫完畢後，可利用截圖方式進行檢驗資料的保存，以利後續資料彙整，省去傳統需要兩人一組配合拍照的麻煩。

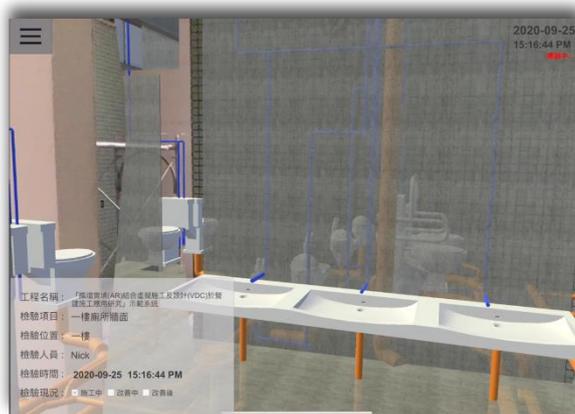


圖 3-22 檢查白板功能

### (f) 查驗表單

開啟查驗表單功能後，會於屏幕左方顯示空白查驗表單供查驗人員進行填寫，填寫完成後可將查驗表單匯出保存，改善傳統紙本資料保存與彙整不易的情況。



圖 3-23 查驗表單功能

### (g)顯示元件圖說、PDF

以設備檢查為例，過去進行設備檢查文檔繁多，檢查人員在現地往往無法快速地找到該設備對應之圖說或送審資料。透過本系統功能，在點擊欲檢查之設備後，連結後端資料庫將圖說與文檔顯示於屏幕，並可透過放大縮小來調整比例，讓設備檢查作業更加便利、快速。

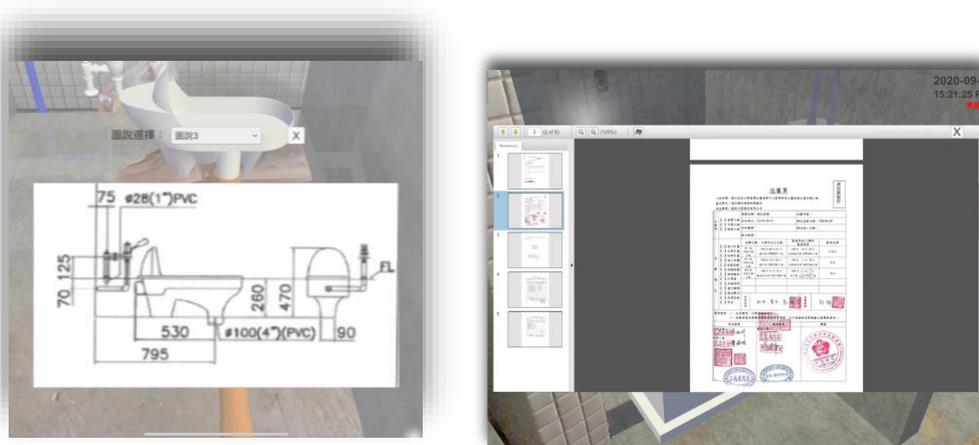


圖 3-24 讀取圖說與 PDF 功能

## (2) MR 初步研究成果

本研究目前在 MR 使用者介面中，初步開發了數個應用施工管理的功能，如圖 3-25。初步功能為雲端資料庫、定位功能、查核清單功能、量測工具、計數工具、檢查引導功能、工項篩選系統、管線碰撞偵測功能、雲

端資料庫存取功能、依照行徑顯示模型功能與位置追蹤功能以下將會對開發的各功能進行解釋。

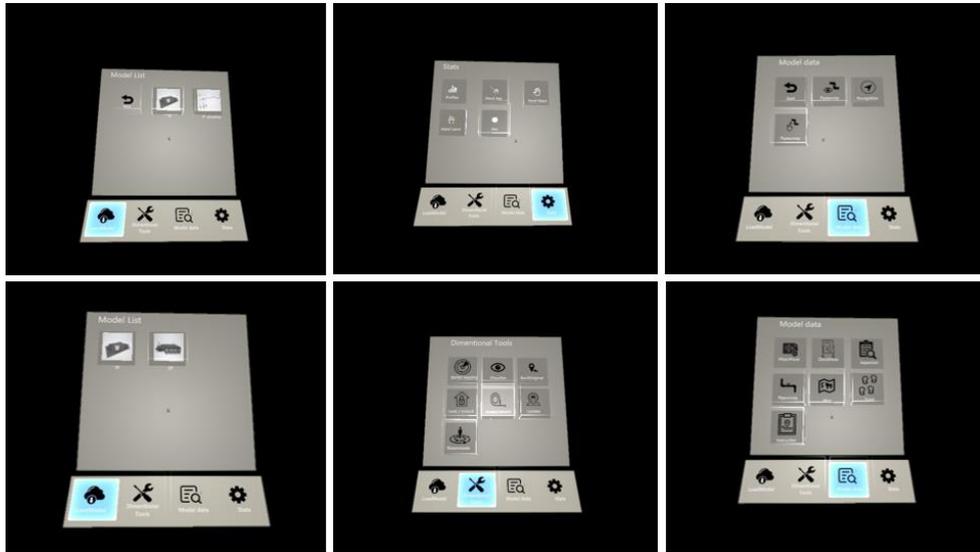


圖 3-25 初步開發之 MR 使用者介面

(a)雲端模型資料庫

開啟雲端模型資料庫，點擊介面上需要的模型進行下載，如圖 3-26。可以建置以元件為單位的模型資料庫，亦可以專案或樓層作為為資料庫的讀取分類，改善傳統儲存於設備本地端的算力負擔。



圖 3-26 初步開發讀取雲端模型庫之功能示意圖

(b)定位功能

開啟定位功能並配合 Hololens 掃描實境的功能，對使用者所在的空間進行運算並生成虛境資訊傳遞到設備之中，透過本研究藉由向量化開發的定位功能可達到來貼合虛擬與現實模型，相較於其他系統定位模式，不

需事先至現地進行圖樣的張貼程序，使用者可以肉眼自行選定作為定位的目標來達到提升定位準確率目的。

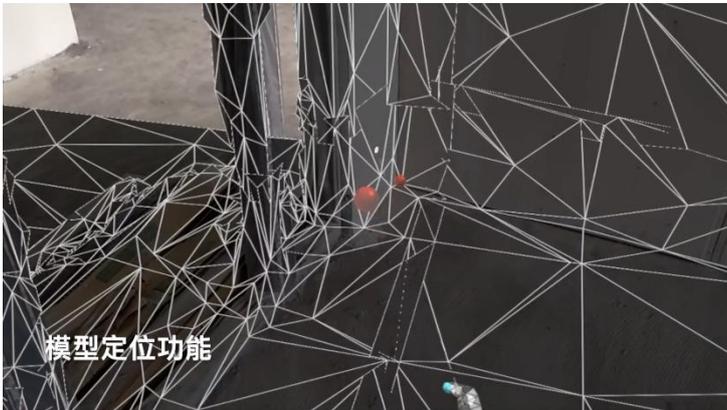


圖 3-27 透過定位功能將 BIM 模型與真實環境疊合

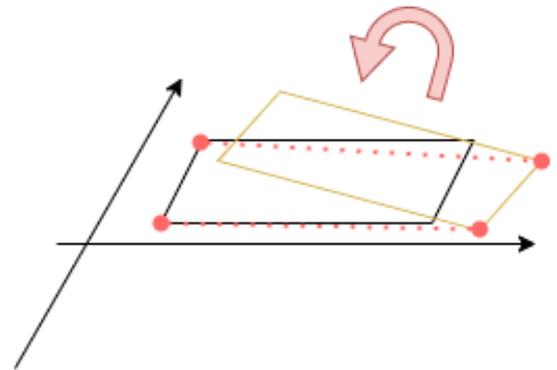


圖 3-28 以兩點向量進行模型定位理論開發

### (c) 查核清單功能

開啟查核清單功能，可依照機電管線的設計查核表單，於施工前讀取歷史的檢核資料來確認欲完成之施工進度，並可於施工後進行自主檢查的表單存取，本研究設計之表單為半自動化輸入，可自動偵測元件上的資訊與當下時間進行填寫，如圖 3-29 為一次自主紀錄表單的資料蒐集，並可以透過雲端資料庫的連結進行儲存，並將資料更新至雲端資料庫中，可降低傳統以圖面進行紀錄的不便性及人為輸入可能產生的勘誤，因此可以提升資料傳遞的準確率及效率。

工程名稱:	勝利館
監造單位:	47250
承造單位:	猛揮
檢查項目:	ID: 768845 物件名稱: M_混凝土-矩形-柱 工項: S02油漆工程 位置: 1FL
檢查人員:	leo
2020-10-04	

圖 3-29 初步開發之雲端存取檢核表單

#### (d)量測工具

開啟量測工具後，Hololens 裝置的視野中心將作為基準點，當使用者進行手勢點選行為，則在視線基準點建立量測起始點；接著使用者需要將視線中心移動到欲量測的位置，並透過手勢點選行為，建立量測之終點，此時便會獲得量測的長度結果。此量測工具所測量的數值將可以透過手勢點選按鈕的方式，將數值填寫於虛擬表單中。

#### (e)管線自動碰撞偵測功能

開啟管線自動碰撞偵測功能並結合 Hololens 能夠掃描環境的功能，虛擬的管線可以藉由與實際結構體的接觸進行碰撞分析，藉此獲得碰撞點位與元件資訊，查核人員可透過移動機電管線元件功能，移動碰撞元件進行觀察並修改模型資訊後，可經由本研究開發的資料交互操作系統將修改後的資訊存取至雲端並更改 Revit 內的模型，並開發碰撞元件及點位導航功能，方便使用者透過此功能導航到施工現場還境內的所有發生碰撞的元件位置。



圖 3-30 虛擬管線與現實結構體碰撞偵測示意圖



圖 3-31 開啟導航至碰撞元件點位功能示意圖

#### (f)檢查引導功能

開啟檢查引導功能，可以將元件依照工項進行可視化篩選，並藉由本研究開發之元件進階搜尋功能，找到欲查核的機電管線元件並以小地圖輔助導航到目的地。



圖 3-32 開啟模型可視化篩選功能

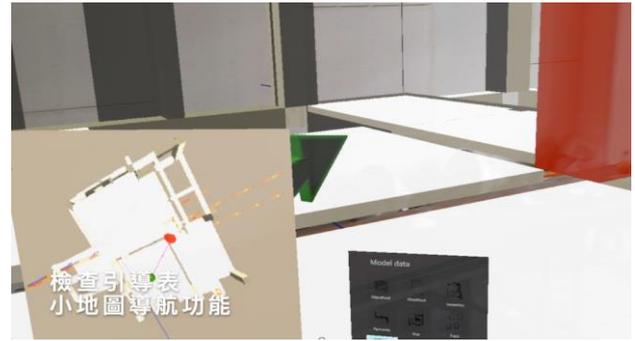


圖 3-33 開啟導航至欲查核元件位置示意圖

### (g) 位置紀錄功能

開啟位置紀錄功能，可以記錄下施工查核者當下的軌跡位置，可以確認勘查人員是否有確實做核查，以免發生查核不確實的錯誤對後續進行的工項作業產生影響，因而降低施工作業的效率。

### (h) 依照行徑顯現模型功能

本研究除了開發雲端資料庫減少設備的計算負擔，也著手進行模型輕量化的研究，開發可以自定義與自身範圍大小來顯現被涵蓋到的模型，將可以降低非必要之模型資訊的產生，並可以依照使用者的移動不斷更新被涵蓋到的模型，從而達到模型輕量化的目的。

## 第二節 研究採用方法之原因

### 1. 資訊需求分析工具

本研究將透過專家訪談取得維修相關的資訊，並透過特性要因圖與 IDEF0 歸納、解析施工與運維事件、事故成因以及作業的流程及資訊流動，以克服建築專案施工與維運作業大量資訊處理的問題。

應用專家訪談並設定開放式問題與封閉式問題，以獲取專業知識與經驗。並將透過特性要因圖，以有效歸納出施工與維運相關事件及其成因。而 IDEF0 則是用以透過圖形化與分層結構化的方式，說明資訊傳遞

的形式，輔以文字解釋圖表中資訊所代表的意義，以及說明各作業間傳遞資訊時的各種原因和問題。

## 2. BIM 建模工具

研究所採用之 BIM 模型建置工具 Autodesk Revit 及資料提取工具 Autodesk Dynamo，並以 Autodesk Navisworks 做為設備維護的模擬工具。

Autodesk Revit 為現行主流 BIM 建模軟體之一，其利用元件導向和參數化概念的建模方式，允許使用者依需求為元件定義新參數，修改參數後元件族群亦可連動進行更改，增進了建模的效率。此外，Revit 能對於樓層、房間等空間區域進行切割及定義，透過這些空間資訊的篩選，能夠提供模型資訊分類的基準，有助於於後續資料輕量化的處理。

Autodesk Dynamo 則是提供視覺化的程式開發環境，輔助 Revit 建置較複雜模型樣式或清單輸出等功能，並能將常用的功能開發成專用的工具。採用 Autodesk Dynamo 之原因係由於 Dynamo 與 Revit 有直接的關聯性，能夠將程式建置的參數轉換成模型，也能夠針對所選擇之模型元件提取資訊，BIM 模型在建置完之後需經由模型通用格式轉換到其他軟體上進行後續的應用，但在轉換的過程中往往會失去部分元件資訊，本研究架構需將模型匯出至 Unity 進行後續混合實境開發，為了讓模型資訊能夠完整保留，本研究使用 Dynamo 來協助資料的提取，以便後續使用。

## 3. AR/MR 開發工具

本研究將採用 Microsoft 所開發之 HoloLens 混合實境裝置，並應用 Mixed Reality Toolkit 及 Vuforia 作為系統開發工具套件。Microsoft HoloLens 為微軟於 2016 年推出的混合實境裝置，裝置上配有記憶體、CPU、光學投影系統及獨立電源，能夠在 HoloLens 上運行 Windows 10 作業系統，並搭載多種感測元件以達到混合實境之功能，使 HoloLens 具備了移動偵測、空間認知、語音識別、手勢辨識等功能，能隨時記錄及建立所處空間的模型，擴增的虛擬物件更能以全息影像的方式疊加在實境上，讓使用者

在直接觀察現實環境的同時能操作虛擬物件並使其與環境互動，這些特性讓 HoloLens 與其他混合實境裝置相比更具操作上的便利性及實用性。

此外，HoloLens 與其他混合實境裝置相比最為突出的能力為空間認知技術，這項技術可為移動中的裝置傳達準確的空間資訊，配合混合實境應用可達到讓虛擬物件與環境互動的功能。在施作現場若要使用混合實境設備輔助作業，裝置則須有能獨立運作而不用連接外接設備、允許使用者直接看到現地情況並空出雙手進行作業、運作時間長、操作直觀便利等優點才能符合現地的使用需求，否則會有安全上及使用性上的疑慮，故選擇 HoloLens 作為本研究之混合實境裝置。

另一方面，由於 HoloLens 相關功能的開發難度高，本研究將採用 Mixed Reality Toolkit(MRTK)套件進行 HoloLens 應用程式的開發，借重 MRTK 提供開發者自由使用、修改及擴充等特性，以降低混合實境的學習門檻及促進 HoloLens 應用程式的開發速度。此外，Microsoft 更於世界上最大的代碼存放網站 GitHub 上提供開源的輔助開發工具包 Mixed Reality Toolkit 供開發者匯入 Unity，並可依開發功能需求自行使用及修改，降低了 HoloLens 應用程式的開發門檻及難度。基於上述之優勢，故本研究將使用 Unity 作為混合實境應用程式的開發工具。

在施工與維運應用上，為使虛擬模型能在現地真實環境快速定位，本研究將採用 Vuforia 所提供的混合實境開發套件，以提升目標物(Target)偵測與定位，項系統支援平面及立體物件的偵測，透過混合實境裝置的鏡頭捕捉實地的影像，再與事先建立的資料庫進行影像比對，當辨識出目標物時，就能透過這個影像所在的位置作為基準點，呈現出虛擬的環境影像。

由於本研究透過遊戲引擎 Unity 來進行混合實境環境及功能的開發，當功能於 Unity 開發完成後，須從 Unity 中匯出 Visual Studio 解決方案(.sln)，該檔案必須應用 Visual Studio 打開後，輸出至已連線之 HoloLens

上，待輸出完成後，即可在 HoloLens 上建立並使用應用程式，完成整體系統開發程序。

### 第三節 預計可能遭遇之困難及解決途徑

以下就本計畫預期可能遭遇到的困難及解決途徑方法分述如下：

#### 1. 專案施工及維運本體知識架構建構，專案資訊流程彙整與解析不易

營建專案資訊整合系統必需滿足企業體系與工程專案之作業需求，但由於專案生命週期中涵蓋不同階段與專業領域，且目前尚無標準之資訊屬性架構及資訊處理程序，以致建立完整的資訊流程解析並不容易。因此，本計畫預計透過訪談與資料蒐集的方式，了解企業體系與專案各面向對資訊之需求，進一步則採用程序描述擷取方法，以了解 VDC 於營建施工應用各面向之資訊屬性及流向需求，本計畫首先將著重在專案管理資訊之標準屬性架構及處理程序模式之建立，再進一步發展專案施工及維運本體知識架構，使專案管理知識經驗建構成結構化資料模型，讓專案管理知識可被電腦理解、分享並交換。

#### 2. BIM object 元件之屬性定義與建模規則之建立

本計畫提出以 BIM object 元件作為敘述專案資訊之基本元件，然而，專案中所包含之建物元件相當眾多繁雜，且建物元件之形成並非如製造業元件組合的方式，而是需要透過多重的工作項目才得以完成。因此，本計畫將採用系統化的解析程序將建物元件予以分類，以充分描述建物元件所需之工作項目，連結如資源項目、施工規範等工程資訊而形成智慧型建物元件。此外，為提高專案模型的建構效率與彈性，本計畫將建立 BIM object 元件之標準件資料庫，以供使用者擴充專屬元件資料庫之參考。此

外，在 BIM 模型建構規則之發展上，將以系統化的方式，依據 LOD 規範，檢視各類工程 BIM 元件可否提供專案管理所需資訊，並依照資訊需求之特性分類，檢視其與 LOD 規範間之關聯，發展 BIM 模型建構之規則，以符合擴增實境(AR)、混合實境(MR) 之應用需求。

### 3. IfcXML 為主要知識擷取格式如何最佳化其效能與輸出

在 IfcXML 為主要格式下使用 Dynamo 從 BIM objects 擷取資料可能會導致資料的存取量與交換量放大數多倍，此項研究需思考如何克服這項問題。預計採用資料壓縮及分割方法，使需要進行資訊交換的 IfcXML 資訊，可以在 BIM Object 以及知識本體模型間傳遞而不會造成硬體設備有過大的承載量與減低讀取效率等問題。期望能滿足規劃設計、施工及維運單位在建築物施工及維運階段進行應用。

#### 第四節 重要儀器之配合使用情形

本研究將採用 Microsoft 所開發之 HoloLens 混合實境裝置，並應用 Mixed Reality Toolkit 及 Vuforia 作為系統開發工具套件。Microsoft HoloLens 為本計畫重要儀器，預計由本團隊於開發初期提供相關設備進行實作及測試，並運用相關計畫預算租用設備，以滿足計畫成果說明會展示需求。

#### 第五節 研究步驟

本研究「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」係期望應用擴增實境(AR)、混合實境(MR) 所具備現實與虛擬結合的特性，瞭解這些技術結合 BIM 導入於虛擬設計施工(VDC)之成效，提供規劃設計、施工及維運單位在建築物施工及維運階段進行應用，研究流程及步驟如圖 3-34 所示：

首先，本研究將蒐集國際間 BIM 導入擴增實境(AR)、混合實境(MR)、虛擬設計施工(VDC) 之相關研究並進行調查與分析。並透過 IDEF0 解析施工作業各階段的資訊需求，再透過訪談與文獻回顧瞭解特不同工項上的知識，使後續的應用程式功能開發能夠更符合實境的施作情形所用。此外，將整理國內現有 BIM 結合擴增實境(AR)、混合實境(MR) 於虛擬設計施工(VDC)等相關研究與案例，建立適用於國內未來發展之策略。

接著發展 BIM\_based 擴增實境(AR)、混合實境(MR)應用於營建施工之資訊傳遞架構，在開發應用程式之前，先進行功能及需求的解析，包含 BIM 建築資訊模型的資訊需求、施工及維運作業的功能需求，以及整體系統資訊傳遞模式的資訊需求等，定義出符合施工查核需求之功能架構。接續依據功能架構所訂定之建築資訊模型資訊需求，建立符合營建施工應用所需之模型，透過元件的定義後，建構出整體空間模型，再由模型中提取

查核所需之資訊。最後，搭配建築資訊模型開發擴增實境(AR)、混合實境(MR)功能模組以及整體施工應用操作介面，並將相關功能整合到實境裝置中。最終則示範結合 BIM、擴增實境(AR)及混合實境(MR)於工程施工及維運應用之雛型系統，藉由相關單位之參與及交流，收集回饋意見，期能提升推廣價值及應用成效。

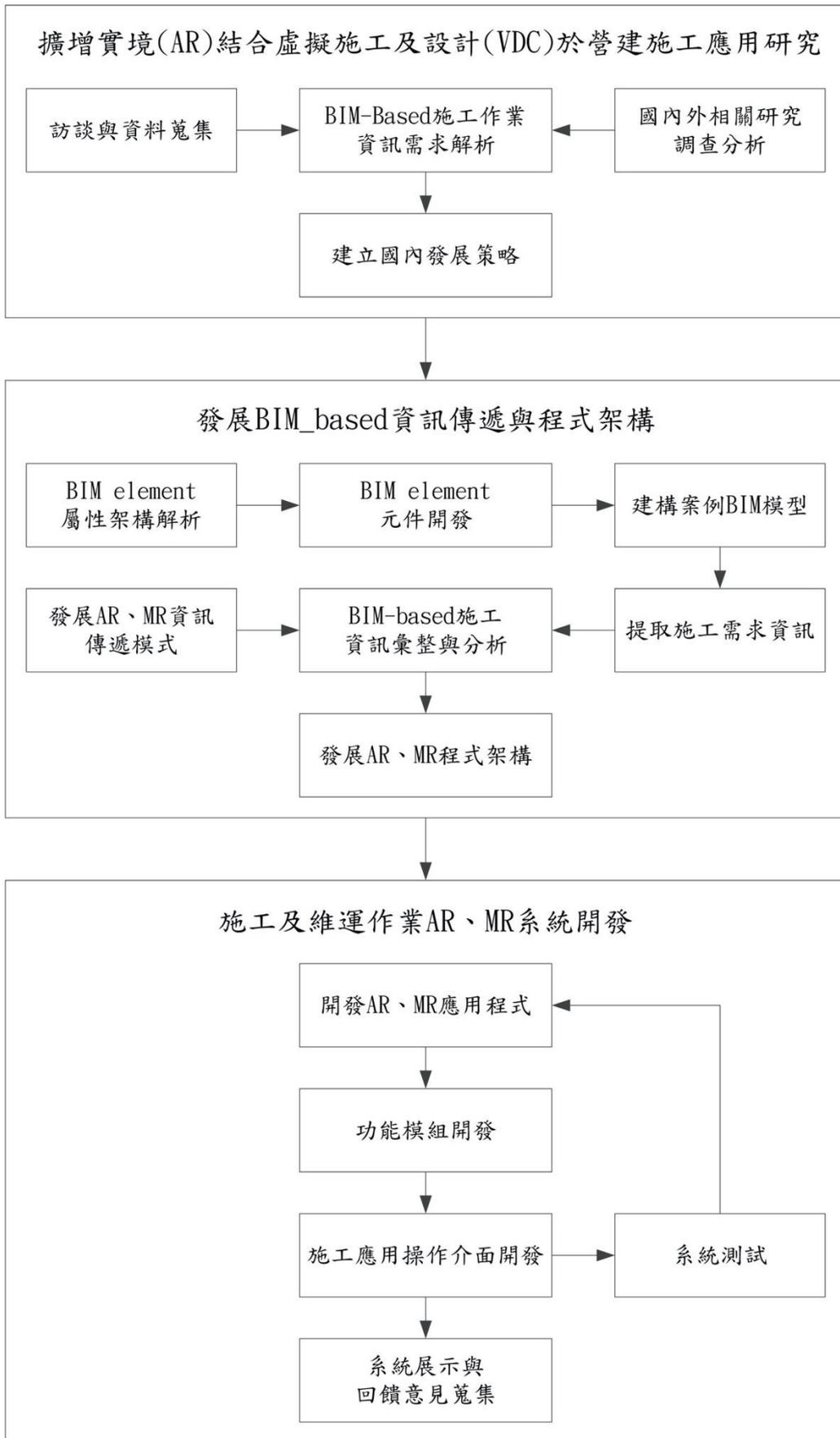


圖 3-34 研究流程圖

## 第四章 國外 VDC 發展策略及應用

### 第一節 美國 VDC 發展策略及應用

#### 1. 美國 VDC 發展策略

美國史丹佛大學(Stanford University)於1988年1月1日成立的 CIFE (Center for Integrated Facility Engineering)已經成為世界上建築行業的首要學術中心，利用數據與數位整合來改善建築行業上的結構問題，提出 MacLeamy 曲線來證明設計階段若能結合 VDC 概念來做資訊的整合及應用可以大幅降低竣工之錯誤及成本。

並為世界上第一個機構提出 BIM (Building information model 建築資訊模型)的原型及資訊模型，以及使用 4D BIM 將時間做為設計上參考資訊來模擬複雜項目之先驅。

在 2001 年 CIFE 主任提出 VDC 之概念且有系統地推廣以及研究 VDC 相關技術，並提出使用 AI 優化施工進度來解決建築工地上空間規畫的不足以及工程工作進度緩慢或是誤工的情況，並開發基於 BIM 的強大 AI 系統，藉由管理整合 BIM 之資訊達成資訊管理的能力，為 VDC 的核心概念。

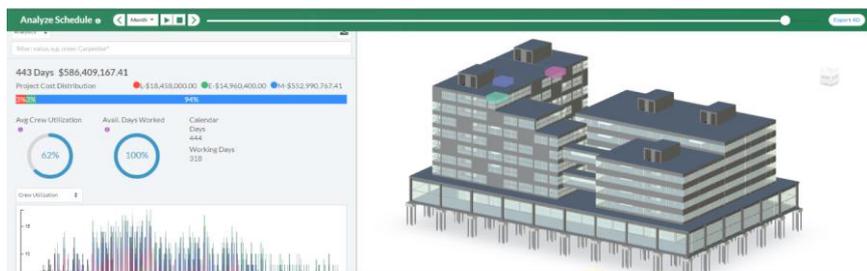


圖 4-1 CIFE 為分析風險及規劃資源而發展之結合  
BIM 資訊的強大 AI 引擎

未來將著重發展利用激光掃描與攝影等非侵入技術以及機器學習來發展建築領域的數據模型來達到將模型點雲資訊自動匯入語義 BIM 資產。

為了減少工程上所花費之時間以及人為因素即使建築產業能夠使資訊更有效的利用，未來美國 VDC 產業將著重發展 AR(增強現實)、3D 列印工程元件、工程預鑄化以及機器人自動化於工程上的技術實現。

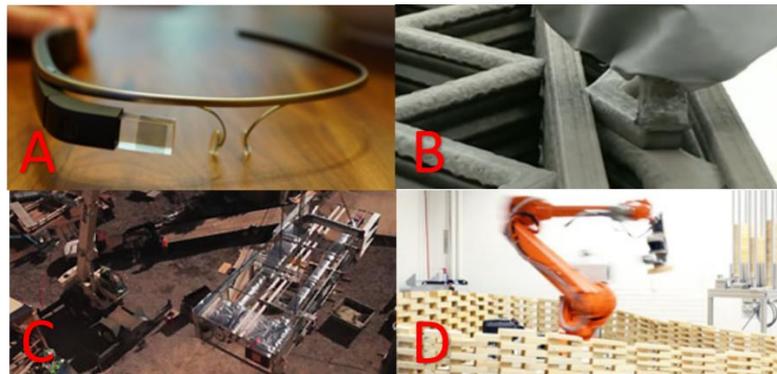


圖 4-2 A:AR; B:3D 列印工程元件;C:工程預鑄化;D:機器人自動化

## 2. 美國 VDC 應用

### ➤ Mortenson 銀十字醫院

承包商整合會議使用電子觸控屏幕連結 BIM 模型資訊建立數位 POD(每日計畫)來降低參與工程人員的資訊傳遞時發生錯誤的機會，並利用 BIM 模型來分析建築項目的成本及時間資訊，來減少完成項目的構建時的成本，並將 VDC 知識結合可再生能源的概念為專案帶來更高的價值。

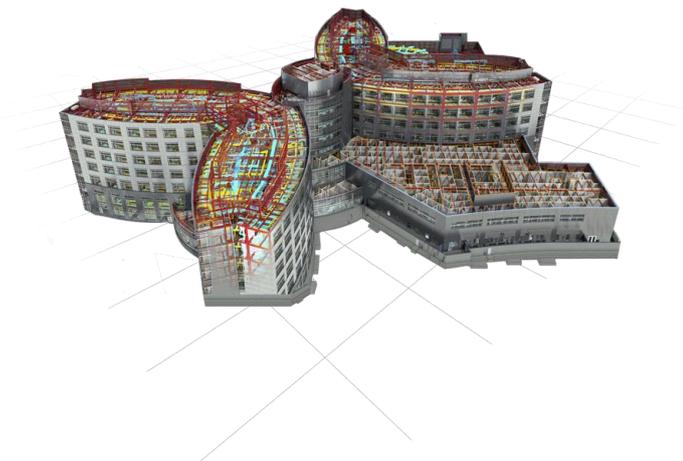


圖 4-3 Mortenson 銀十字醫院

➤ 美國 Trimble 公司

美國 Trimble 公司原為一從事測繪技術開發和應用的高科技公司，主要生產 GPS 相關產品定位系統，但自 2011 收購 Tekla，2012 收購 Sketchup 後便積極進入 XR 領域，深知虛擬模型需與實境結合方能達真正工程施作之目的及效益，因此與微軟公司合作推出以 Hololens 2 為基礎之營建工程專用 MR 設備 XR-10，並結合雲端協同工作平台 Trimble Connect，此平台支援包括等多種虛擬實境軟體格式，並可以在 Trimble Connect 應用程式中於實境進行各項作業，例如：標記、留言、量測、3D 預覽，並即時的 BIM 模型進行互動，例如：在設計階段，可以直觀的進行團隊協作、修改與 3D 量測，使用剖面框功能查看以往 2D 圖紙無法察覺的細節；在施工階段，現場人員可以比較設計成果在實際施工的情況，控制和優化施工進度，或者直接進行項目查核，省去過往要攜帶並統整許多文件的時間；在維運階段，可以賦予 BIM 模型相關竣工資訊，以利後續的設施維護，即使管線被天花板遮蔽，工作人員也可以透過 XR 技術來直接查看管線位置以利維修。



圖 4-4 Trimble connect 及距離量測功能（美國 Trimble 公司）



圖 4-5 新建階段展示 3D 模型確認管線位置及資訊（美國 Trimble 公司）

## 第二節 新加坡 VDC 發展策略及應用

### 1. 新加坡 BIM 策略

新加坡政府中負責土地使用、規劃與基礎建設發展政策研擬與執行的國家發展部(Ministry of National Development, 以下簡稱 MND)，在 1995 年即興起了透過資訊科技(Information Technology, IT)技術來進行新加坡營建業改革的念頭，此一改革動機為新加坡政府後續推動 BIM 的開端。

#### ● 政策：

新加坡政府對 BIM 的推廣、發展與應用主要政策有二：執行營建與不動產網路計畫(Construction and Real Estate Network Program, 以下簡稱 CORENET)與提出 BIM 發展路徑圖(BIM Roadmap)。

#### (1) 營建與不動產網路計畫(CORENET)

在 2000 年時，MND 提出了 CORENET，此一策略性倡議(strategic initiative)旨在透過政府業務流程的重新設計與資訊科技技術的使用來驅動營建產業的變革，並提供必要的基礎設施以促進建築專案中各參與成員之間無縫且高效率的資訊交換。CORENET 主要由三大模組組成：

(a) e-Submission(電子送審平台)：

此平台係用來供 AEC 產業之專業從業人員繳交與專案相關之計畫與文件，及供主管機關審核之用。e-Submission 於 2001 年 11 月首次發布；第一版的 BIM e-Submission 使用者手冊在 2008 制訂；在 2010 年初，BCA 正式發表建築領域 e-Submission 指引。

(b) e-Plan Check(建照電子審查系統)：

此系統主要目的則在於鼓勵新加坡營建業從傳統的 2D 設計進入到使用 BIM 技術，使資訊能在建築的全生命週期都得以被利用。註冊建築師與專業技師可以利用此系統檢核他們 BIM 的設計成果是否符合法令規定之要求，政府主管機關人員也可使用此系統對繳交的文件進行稽核；該系統會產生一檢查報告明確列出不合規定之處。此系統於 2008 年開始進行測試，2012 年開始推廣與鼓勵使用 BIM 送審，並於 2015 年 7 月 1 日起要求 5 千平方公尺以上工程案需繳交 BIM 圖檔。

(c) e-Infomation(建築和房地產資訊整合平台)：

此系統則做為所有新加坡建築法令規定、及不同建築與工程主管機關公告與通知存放的主要平台，並可定期性地將公告與事件推播給系統訂閱者。

(2) BIM 發展路徑圖(BIM Roadmap)

BCA 負責建立 BIM 的發展路徑圖，該路徑圖可被視為新加坡政府 BIM 推廣與應用的重要發展藍圖，且透過該路徑圖可以使業界對採用

BIM 有更進一步的瞭解，進而提升 BIM 的應用。自新加坡政府推動 BIM 發展迄今，在 2010 年 11 月與 2015 年 7 月分別發布了第 1 次與第 2 次，皆為 5 年期的 BIM 發展路徑圖(圖 4-6 與 4-7)。

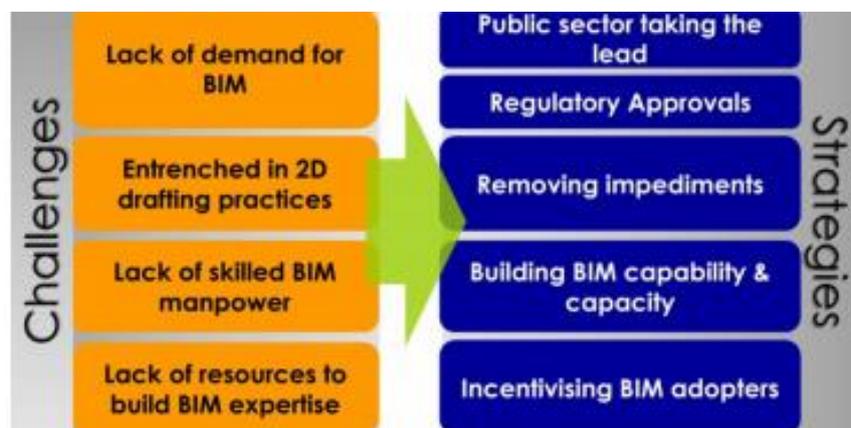


圖 4-6 新加坡第一次 BIM 發展路徑圖



圖 4-7 新加坡第二次 BIM 發展路徑圖

兩個版次的 BIM 發展路徑圖清楚呈現了新加坡政府的 BIM 政策發展方向。第一版發展路徑圖(2010-2015)先明白將營建產業對推動 BIM 可能會有的疑慮與需要面對的挑戰羅列出來，並提出政府方面解答這些疑慮與克服挑戰的策略；第二版發展路徑圖(2016-2020)則從專案全生命週期觀點探討使用 BIM 時的重點工作及發展策略。因此，新加坡政府在 2010-2015 年主要政策工作在奠定 BIM 發展的基礎、掃除推動時可能的阻礙、並正式開始導入 BIM 的應用，而在 2016-2020 的政策目標是在既有的基礎之上從專案全生命週期推動 BIM 的發展。

BCA 執行 BIM 政策主要實施策略包含在前述的發展路徑圖中，在第一版發展路徑圖中包括了以下之實施策略：

- ①由公部門做應用 BIM 的表率
- ②宣傳 BIM 成功的應用案例
- ③移除可能的阻礙

在第二版發展路徑圖中則包括了以下之實施策略：

- ①透過虛擬設計與施工驅動 BIM 的合作：

對專案合作的資金挹注比例由 50% 提高到 70%，且發展以 BIM 為基礎的採購方法與合約條件，更持續朝使用 BIM 進行計畫繳交與審查的方向努力。

- ②在不同層級發展新的訓練計畫：

對領導階層，須協助他們認識 BIM 的優點；對中階管理人則強調專案團隊與合作的訓練；對技術階層(technical level)人員則協助其理解施工之前的元件及作業協調工作。

- ③研究與發展工作：

透過在新加坡國立大學及南洋理工大學新設之卓越中心(Center of Excellence)做為 BIM 研發的先鋒，以持續服務業界的需求與協助 GPE 單位採用 BIM 技術。

- ④BIM 協助製造與組裝設計：

執行 BIM 在製造與組裝設計(BIM for Manufacturing and Assembly，以下簡稱 DfMA)上之先導研究，並持續與南洋理工大學的 DfMA 計畫合作以發展 DfMA 所需的 BIM 指引。

### ⑤BIM 輔助設施管理：

將建築物所有人與使用人納入 BIM 輔助設施與資產管理的成員中，使其了解 BIM 對完工使用之設施在營運維護上的生命週期優點；此外，也將建立供設施管理使用的 BIM Essential Guide。

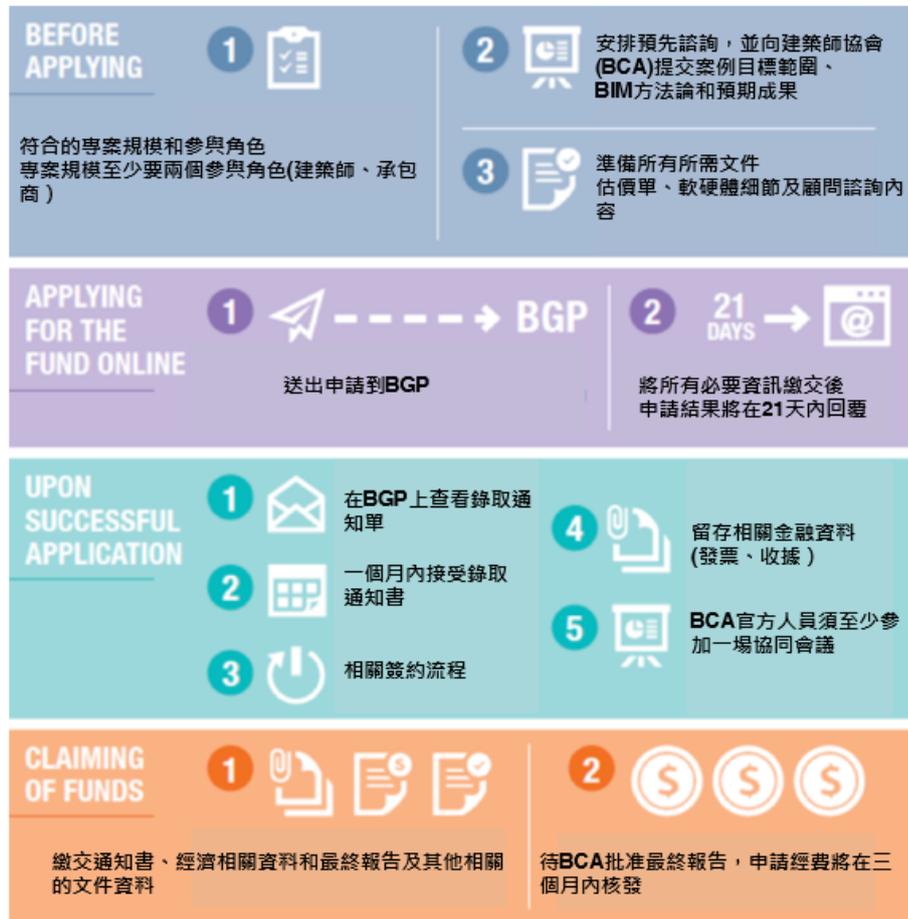


圖 4-8 BIM 基金申請流程

#### ● 目標：

在前述政策的持續推動下，新加坡政府推動 BIM 所欲達成的目標主要有二：

- ①在 2015 年底之前，增加營建業使用 BIM 科技的比率至百分之八十。
- ②擴大 BIM 的應用範疇，特別是既有建築與資產的營運管理工作。

此二目標為兩次發展路徑圖發布所欲達成的目的，最終推動的目標仍在於將新加坡的營建產業全面提升至以 IT 技術為導向的產業，以達

成 BCA 所宣示的工作目標：安全、高品質、永續、及友善的營建環境，並為未來的營建環境做好準備。

● **預期進度：**

新加坡政府對於 BIM 推動流程及其對應之年期如下所述：

①準備與推廣期(1998~2004)：

成立 BCA，召集 16 部會及 25 項產業公會代表，修正相關法規及審查權限，劃分及建立 QP(Qualified Person)建案申請專業人員制度。2001 年時 BCA 發表 CORENET e-Submission 系統，並規劃新政府專案從 2002 年 7 月起便須強制使用 e-Submission 系統，而對非政府專案則從 2004 年 1 月起生效。

②發展準備期(2005~2008)：

2D 建築圖自動審查機制；開始收集民間事務所之 3D-BIM 建築圖案例。

③自動審查測試期(2009~2011)：

彙整相關可用案件案例，著手設計 BIM 自動審查程式引擎原型程式(FORNEX 雲端網)；完成 BIM 模型的樣板設計，以允許 QP 繳交 3D CAD 圖檔；建築、結構與機電的 BIM 樣板分別於 2010 年 1 月、11 月與 2011 年 4 月正式公布。

④預定推廣作業期(2012~2015)：

2012 年起推動對象包括 2009 年起主動繳交 BIM 建築圖檔之建築師事務所、及政府各機關於各大公共工程契約中加列條文規定繳交 BIM 格式檔之建築圖；2013 年 7 月 1 日起總樓地板面積超過 2 萬平方公尺之新建築專案強制使用 e-Submission 繳交其建築計畫；自 2014 年 7

月 1 日起總樓地板面積超過 2 萬平方公尺的新建築專案強制使用 e-Submission 繳交其結構與機電計畫。

⑤全面推廣執行期(2015 以後)：

2015 年 7 月 1 日起總樓地板面積超過 5 千平方公尺之專案全面採用 BIM 檔案格式繳交建築、結構與機電計畫，並啟用 BIM 建築圖自動審查機制。

● BIM 使用優點：

- ①文檔生產率提高了 15% 以上。
- ②為業主的決策提供更好的視覺效果和演示。
- ③與其他顧問和承包商更好的協調與協作。
- ④從用於其他目的的模型中提取資訊，例如 Build ability Score 的計算。
- ⑤不只建模和提交模型之外，還可以使用 BIM 來進行模擬和分析項目協作、虛擬設計以及施工前研究等。

整體而言，新加坡政府妥善擘畫 BIM 之發展、推動與應用，並在行政權責劃分、經費、教育訓練、推動期程安排上皆有明確脈絡可循，再配合該國政府之體制特色，可謂是推動 BIM 最為成功的國家之一，足以做為我國推動時之借鏡。

2. 新加坡樟宜綜合醫院(Changi General Hospital, CGH)

- 應用:建築資訊分析、工址條理性規劃(模擬起重機)、工址進度控制、團隊合作。
- 優點:減少現場的無謂人力使用、改善專案團隊成員之間的溝通和協調。

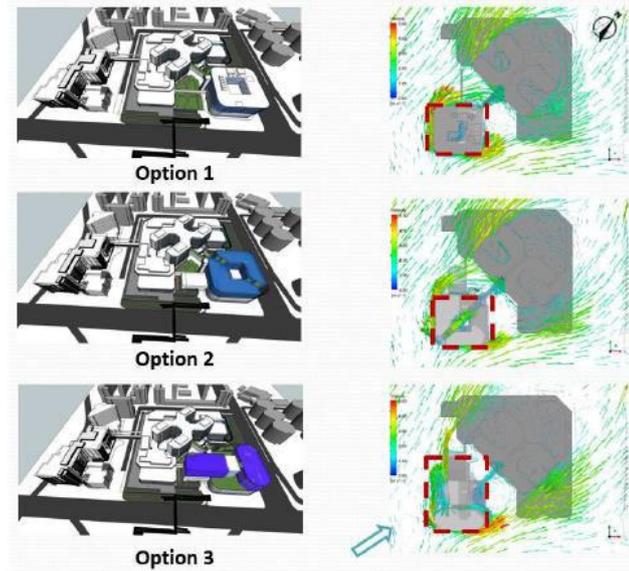


圖 4-9 建築資訊分析

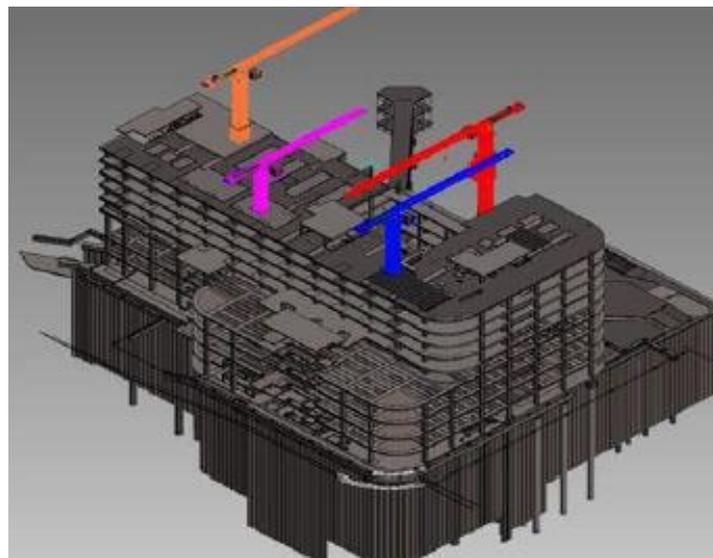


圖 4-10 在 BIM 模型中模擬起重機

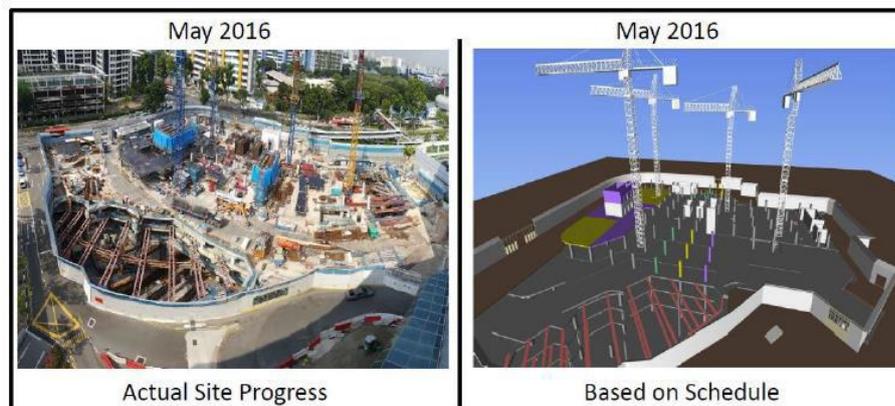


圖 4-11 模擬監控工址進度

### 3. 新加坡福音之光教堂(Gospel Light Christian Church)

- 應用:工程排序、起重機規劃、細節研討、模型整合。
- 優點: 減少現場的無謂的工作、加快施工速度、人力消耗減少 30%、專案成本降低、改善專案團隊成員之間的溝通和協調以及資源的使用。



圖 4-12 新加坡福音之光教堂

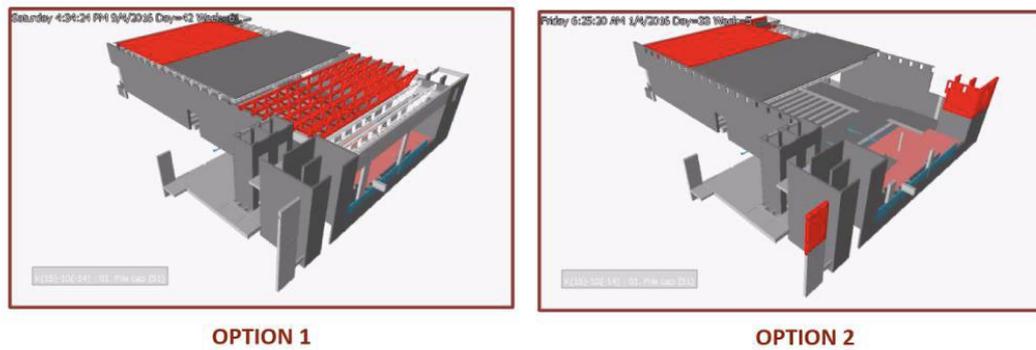


圖 4-13 工程排序

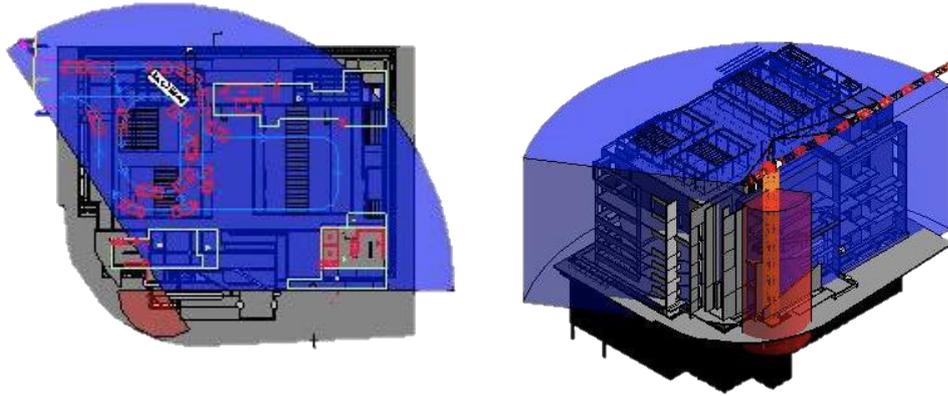


圖 4-14 起重機規劃

### 第三節 小結

國外應用 VDC 技術的政策及發展規劃因為發展時間與成果不同而造成發展策略上的走向也不同。有鑑於國外案例的文獻參考，VDC 於建築工程領域有著重大的貢獻及突破，隨著時代的變遷，傳統的建築工程領域需要著重發展 VDC 技術來增加建築資訊之數位化以及多維度的資訊整合，來達成參與人員之間的資訊交流優化以及減少傳統施工上無法有效模擬及應用建築資訊的情況發生，施工過程且減少時間以及金錢成本的浪費。

也藉由以上國外策略及應用的蒐集以及反饋，我們能夠有參考的依據來制定更加適合我國之建築領域環境的 VDC 發展策略，逐步地提升整體生產力以及 VDC 於產業上的應用價值。

## 第五章 研擬國內 VDC 發展策略

### 第一節 國內 VDC 發展及應用情況

#### ➤ 國內 VDC 發展情況

在 2018 智慧化 BIM 捷運工程應用研討會演講中，世曦工程顧問公司洪立平先生分享了目前 BIM 執行過程中實際面臨到的 6 項挑戰：

#### 1. 設計協調與提送時程混亂且不適當

機電與系統標中間才參與設計，推翻部分原先規劃，導致時間資源浪費；協調整合持續進行中，導致各專業提送之設計成果不一致。

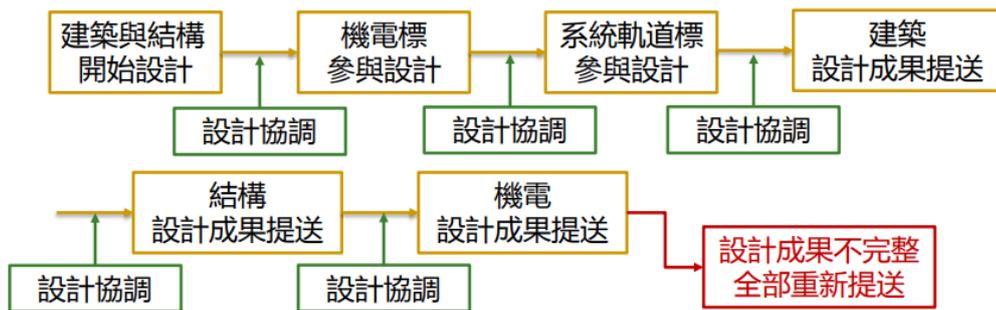


圖 5-1 設計協調與提送時程(洪立平，2018)

#### 2. 各專業間協同作業方式不良

從初期設計開始就採用 3D 套圖方式設計，比傳統 2D 作業更加複雜須同時檢查尺寸、位置、高度、開口等幾何資訊，還須檢查與調整非幾何資訊與結構設計資料，例如鋼筋配置等；各專業隨時調整設計，結構必須時時檢查並更新設計，需人工頻繁檢視與修改。

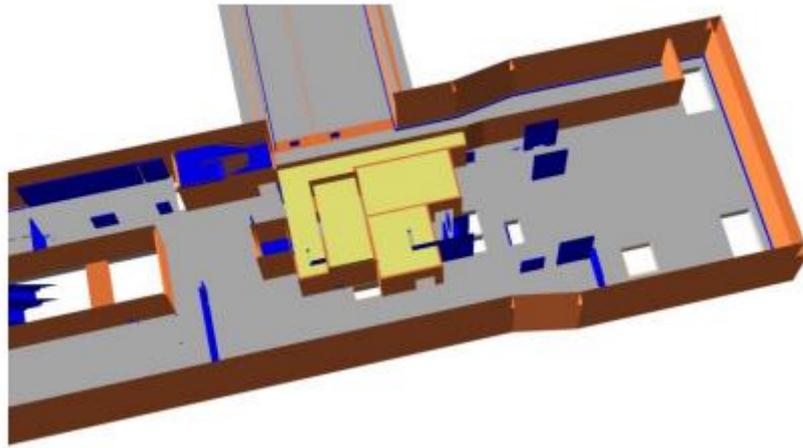


圖 5-2 檢視結構與建築模型示意圖(洪立平，2018)

### 3. 設計整合會議(VDR)成效有限

各專業參與設計與成果提送時程不同，故發生尚未完成設計，便進行設計協調，原設計不斷被推翻，介面協調議題追蹤與紀錄形成斷層、流為形式；若由結構團隊整合設計不易，因各設計專業位階相同，各有堅持，無法有效整合。

### 4. 鋼筋標示不易符合業主對施工圖之要求

傳統 CAD 繪製之設計圖，經再加工，易符合業主對施工圖要求標準，若使用 BIM 軟體建置 3D 鋼筋元件於 BIM 模型之中，雖可自動依最新設計變更圖面鋼筋配置，但不易符合業主對施工圖之要求。

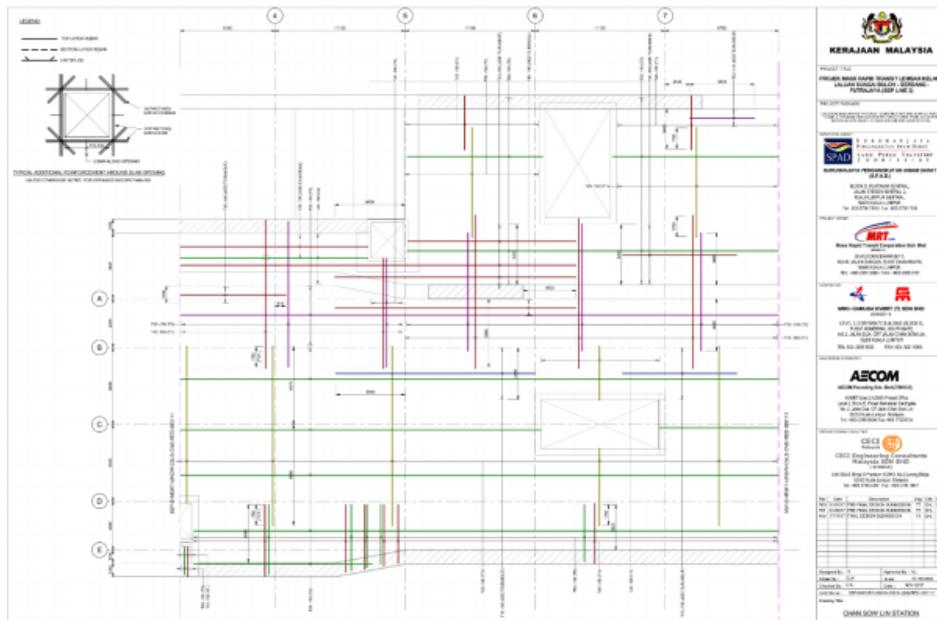


圖 5-3 施工圖範例(洪立平，2018)

5. 設計過程調整頻繁不利以 3D 鋼筋進行設計作業

設計變更頻繁致結構分析不斷重工，造成模型與作圖疲於追趕；雖 BIM 模型內 3D 鋼筋會自動更新，但設計圖須重新檢視並調整圖面顯示與標示。

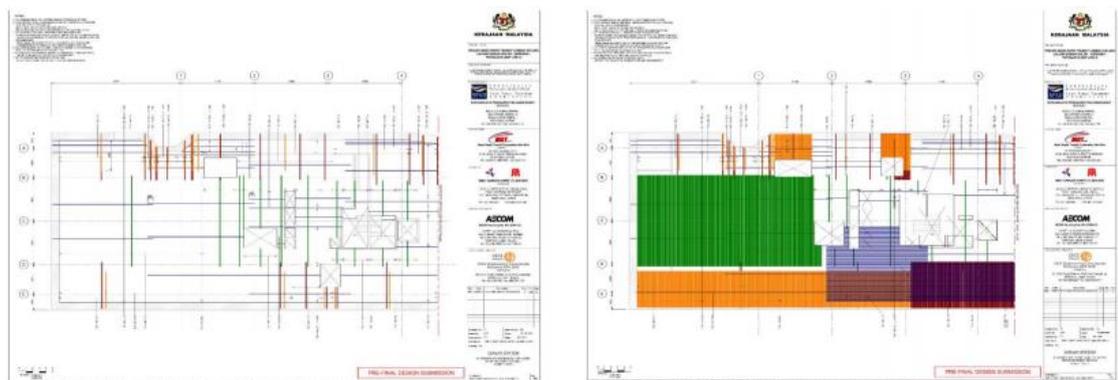


圖 5-4 配合 AR 調整前與配合 AR 調整後(洪立平，2018)

6. 網路基礎建設不足協同作業困難

設備受限於連線網路基建不足，嚴重影響協同編輯模型作業速度；若協同作業不順暢，相互干擾嚴重。

➤ 國內 VDC 應用案例:台灣新北捷運三鶯線-榮工工程

捷運三鶯線是一條興建中的臺灣新北市捷運路線，主體工程已經於 2016 年 7 月 21 日開始施工，預估將於 2023 年底完工通車，全長 14.29 公里，設置共 12 站，截至 109 年 2 月底，預定進度: 37.88%，實際進度:37.88%。

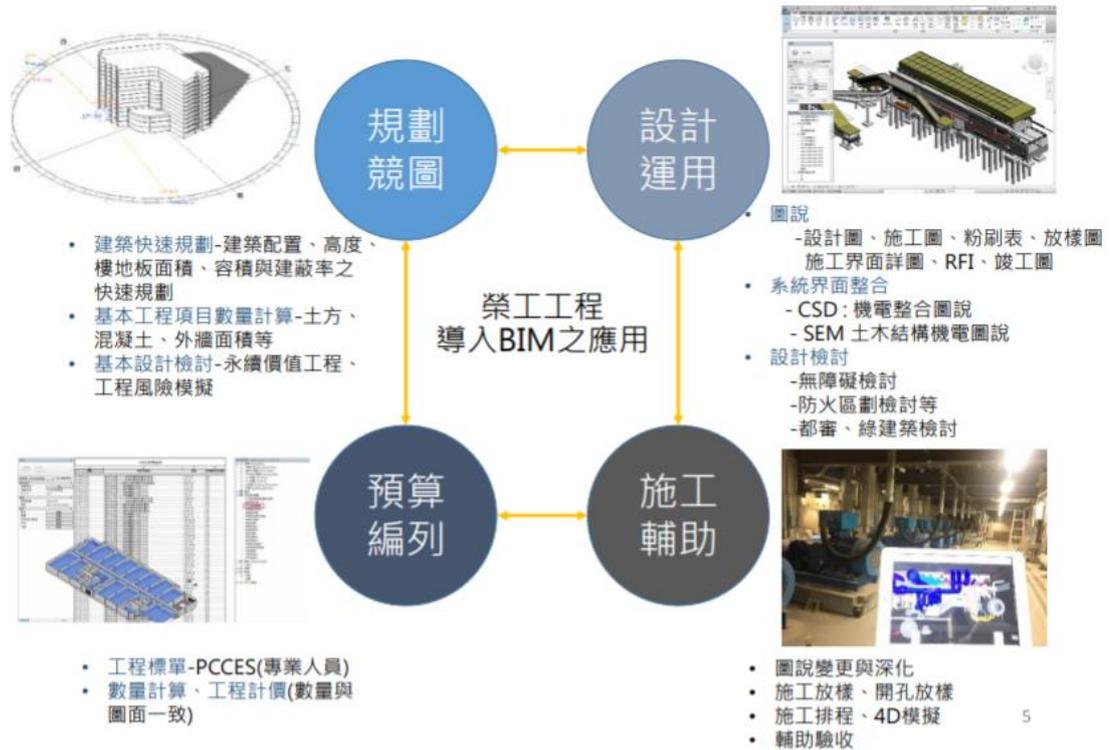


圖 5-5 榮工工程 BIM 導入(林建勳)

在本案中榮工工程從設計、施工到維運階段導入 Virtual Design & Construction 方法。利用專業技術搭配視覺化整合設計檢查帽樑剪力鋼箱與鋼筋介面-主筋偏移或剪力鋼箱開孔、橋面空間檢討-整合模型等，再進行吊裝工法工序與可行性初步評估，增加後續施工效率；界面整合方面，設計系統化界面，將各專業模型套疊，制定統一之檔案設定、整合與交換方式以利各方的協調；施工方面，利用智慧化技術(VR、AR)，進行智慧化現場施工管理，模型輔助現場預埋套管確認、工序合理性分析、同步紀錄施工變動，確保竣工現場之正確性等；維運方面，利

用 REVIT 與 EXCEL 進行各項設備維運資訊的整合與儲存，增加後續維運的資料延續性及完整性。

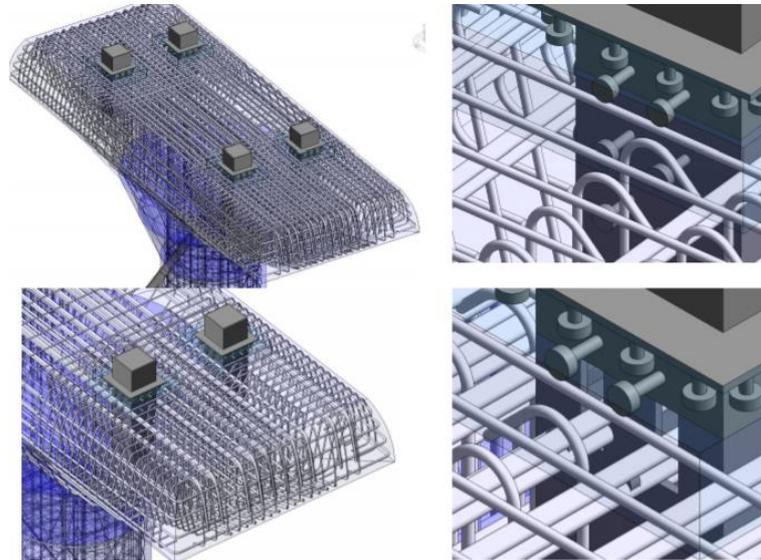


圖 5-6 帽樑剪力鋼箱與鋼筋介面-主筋偏移或剪力鋼箱開孔(林建勳)



圖 5-7 三鶯捷運線虛擬實境協助設計變更之可行性評估(林建勳)

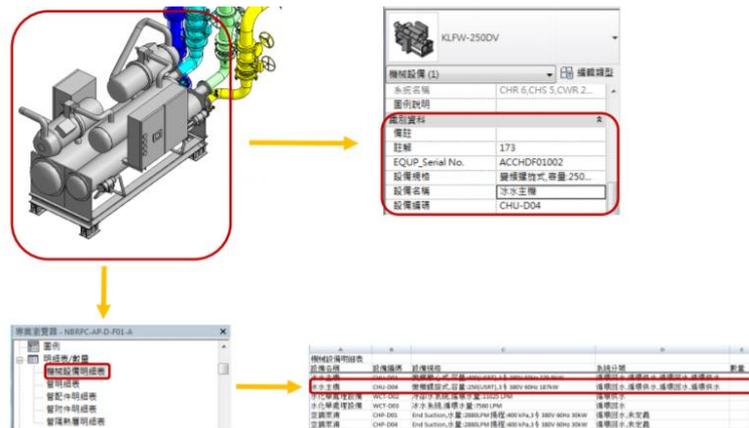


圖 5-8 冰水主機空調設備維運資訊整合(林建勳)

## 第二節 國內 VDC 發展背景及可能推動路徑分析

本研究為探討國內 VDC 發展現況，並分析目前推動障礙及可能發展之推動策略，乃參考內政部建築研究所於 105 年發表之國內外推動 BIM 之策略與成效比較研究報告(陳瑞鈴、楊智斌)及 IBT 之採訪報告(周滋靜)，針對國內目前 VDC 發展背景之現況分析，提出國內發展 VDC 之路徑圖。

近年在政府單位積極的推動及帶領下，民間單位對 VDC 的認識與期待也漸漸增加，但 VDC 也帶來了許多新的挑戰課題，例如，作業流程的改變會對事務所造成技術導入的障礙；業主缺乏專業知識，導致 BIM 的效益未完全發揮而流於形式；同時也存在技術人才不夠且無對等之服務酬金等問題。

近年來台北市與新北市的公共工程案幾乎都強制將 BIM 納入契約規範裡，但國內公共工程都是採最低標，使得標廠商在獲利空間壓縮下需承擔高度的風險，若施工過程中遭遇非預期之問題所衍生的設計變更，常導致廠商之間產生摩擦。由於國內對於 BIM 的工作目標、產出成果、驗收標準等尚無共通性的準則或規範，在執行一段時間後，反而造成契約規範內容對 BIM 工作範疇界定不清、驗收標準含糊、無對價的服務酬金等問題，讓有心發展 BIM 技術的業界人士無所適從。

綜合上述，本研究將提出國內可能發展 VDC 之路徑圖，試圖改善 VDC

的工作目標、產出成果、驗收標準尚無共通性的準則或規範等問題，以及推廣 VDC 導入專案中所能帶來之成效，而 VDC 最終應以工程自動化為目標，在前期的工程資訊整合及建立準則應該被重視，才能達成後續的虛擬技術的發展、工程預鑄化、機器人建築自動化等目的。

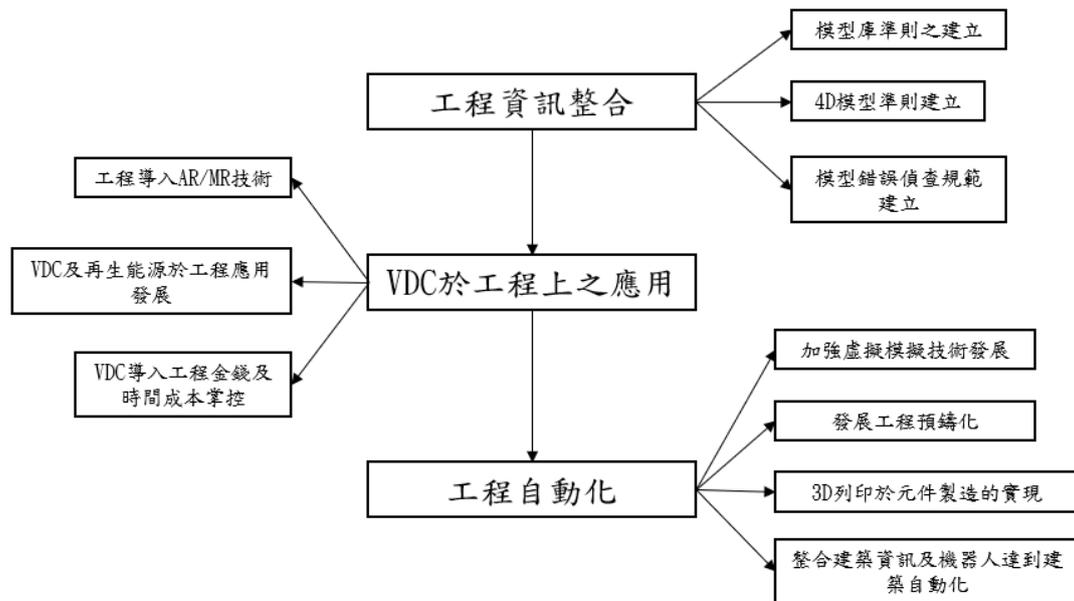


圖 5-9 國內可能發展 VDC 之路徑圖

### 第三節 辦理推廣說明會及推廣小冊

本說明會為內政部建築研究所之應用成果推廣說明會，演講內容主要以 AR、MR 在營建工程的應用模式為主題，對於擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用流程、分析及建議，進行介紹並推廣研究成果，並製作推廣小冊，以利提升與拓展研究成果之價值。

一、會議日期：109 年 10 月 14 日(星期三)

二、會議時間：13 時 45 分至 17 時 00 分

三、會議地點：新北市新店區大坪林聯合開發大樓 15 樓國際會議廳舉辦

四、參與人數：將近 70 人

五、參與機關：營建署、萬鼎工程、大陸工程、台灣世曦... 等



圖 5-10 擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用推廣小冊<試讀本>封面與封底

時間	活動內容
13:20~13:45	報到
13:45~14:00	主辦單位致詞
14:00~14:30	BIM發展與應用趨勢 劉青峰 副研究員
14:30~15:20	擴增實境AR在營建工程的應用模式 陳怡兆 教授
15:20~15:40	中場休息
15:40~16:30	混合實境MR在營建工程的應用模式 馮重偉 教授
16:30~16:45	示範系統展示
16:45~17:00	綜合討論

**地點** 大坪林聯合開發大樓(15樓國際會議廳)  
 新北市新店區北新路3段200號大坪林聯合開發大樓

**報名網址** <https://reurl.cc/WLvnK5>

**聯絡人**  
 張麗姿 n038087427@gmail.com  
 林維堃 a89720138@gmail.com

**推廣小冊下載網址** <https://reurl.cc/Ld6ymy>

**提供講習證明**  
 建師領、技師積分證類及公務人員  
 終身學習時數登錄時數2小時

圖 5-11 擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用推廣說明會海報



圖 5-12 推廣說明會現場狀況

#### 第四節 小結

因應國內 BIM-based 之 VDC 技術發展尚不成熟且普遍認知不夠完整，藉由舉辦本次推廣說明會，廣邀業界人士進行研討，以促進官產學的合作，進而推動國內發展 BIM-based 之 VDC 技術的策略。於推廣說明會後的意見交流時，發現業界人士對於 AR/MR 技術以及未來工程自動化的發展前景有高度興趣，也提出若能藉由政府作為發展先驅提出示範，可更加有效地提高產業對於 VDC 技術的接受度以及促進發展成熟度。

## 第六章 結論與建議

### 第一節 結論

建築/工程/營造(Architecture, Engineering and Construction, AEC)產業相較於其它產業，應用新科技的步伐相當緩慢，也因此在今日資訊科技發達的社會普遍認為此產業與新科技缺乏相關性，然而隨著新科技的發展，例如擴增實境(Augmented Reality, AR)、混合實境(Mixed Reality, MR)、人工智慧(Artificial Intelligence, AI)、建築資訊模型(Building Information Modelling, BIM)等，如能有效的應用，將可增進AEC產業的價值並改變其形象。近年來提倡以AR/MR為主要工具的虛擬設計與施工(Virtual Design and Construction, VDC)概念，乃是藉由AR、MR及BIM等技術，將工程專案從規劃、設計、施工到維運整個專案生命週期，進行視覺化分析、效能評估、降低各項風險，進而節省時間、成本及提升專案品質。

綜觀國內外案例以及研究成果，目前以微軟發行的HoloLens頭戴式MR眼鏡在MR領域的未來發展性較為明顯，其他MR設備應用效果相對不顯著，欲發展AR及MR的單位可以參考本研究針對AR及MR不同應用情境的功能需求分析及示範系統，對應符合自身的應用情境做考量，採購相對應的AR或MR設備，方能提升AR與MR結合VDC於建築工程營造產業的未來發展可能性及應用價值。

而模型定位的精確程度對於AR與MR的未來應用發展影響甚大，現階段針對模型定位技術尚未成熟，有許多細部內容包含不同設備及科技結合之應用，期許未來可以有更多關於模型定位的方式與相關資訊產生，作為推動未來AR與MR應用發展的重要基石。

針對資料處理的部分，前期應當重視建模規範的建立與模型相關資料的分析與處理，解析資訊與其相對應用之需求，再結合BIM，經前期解析產出的規範與資料內容方能應付後期AR與MR於工程上的應用情境，提升AR及MR應用於工程上預期之成效，以及改善目前資料處理成本過高的現況。

BIM延伸應用於AR與MR皆是未來工程領域發展自動化的基石，其成效在近幾年已經越來越顯著，若結合光達產生的多元資訊，方可提升AR及MR於工程上的應用成效，政府應作為先驅積極投入發展AR與MR結合VDC於營建施工，各單位應該盡早著手發展，分析欲發展之情境需求找出適合自身的應用情境、方式與設備，建議可依照本案成果制定標準流程，以及將其作為發展示範，進而推廣以

增進國內相關建築營建產業自動化的發展，綜上所述，期待國內相關領域投入以提升 AEC 產業的價值。

## 第二節 建議

### 建議一

針對 AR/MR 不同應用情境的設備需求分析：立即可行建議

主辦機關： 中華民國全國建築師公會、財團法人台灣建築中心、台灣建築資訊模型協會、臺灣營建研究院

協辦機關： 內政部建築研究所、中華民國電機技師公會、內政部營建署

針對混合實境(MR)設備方面，目前以微軟發行的 HoloLens 頭戴式眼鏡未來發展成效較明顯，其他 MR 設備應用效果相對不顯著，建議各單位可以參考本研究針對 AR 及 MR 不同應用情境的功能需求分析及示範系統，對應符合自身的應用情境去做思考，採購相對應的 AR 或 MR 設備，方能提升擴增實境(AR)與混合實境(MR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工的未來發展可能性及應用價值。

### 建議二

針對 AR/MR 的模型定位技術：立即可行建議

主辦機關： 中華民國全國建築師公會、中華民國電機技師公會、台灣建築資訊模型協會、臺灣營建研究院

協辦機關： 內政部建築研究所、財團法人台灣建築中心、內政部營建署

模型定位的精確程度對於擴增實境(AR)與混合實境(MR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工的未來應用發展影響甚大，現階段針對模型定位技術尚未成熟，有許多細部內容包含不同設備及科技結合之應用，建議各單位可以將模型定位主題納入未來研究議題，期許將來研究成果可以提供更多關於模型定位的方式與相關資訊供參考，作為推動未來 AR 與 MR 應用發展的重要基石。

### 建議三

針對 AR/MR 的建模流程與資訊成本：立即可行建議

主辦機關： 中華民國全國建築師公會、財團法人台灣建築中心、台灣建築資訊模型協會、臺灣營建研究院、內政部營建署

協辦機關： 內政部建築研究所

針對模型資訊成本方面，建議欲發展擴增實境(AR)與混合實境(MR)的單位，前期應先解析資訊與其相對應用之需求，再結合 BIM 應用於工程上，以改善目前資料處理成本過高的現況，經前期解析產出的規範與資料內容方能應付後期擴增實境(AR)與混合實境(MR)的使用情境，若前期不重視建模規範的建立與模型相關資料的分析與處理，後期就無法有效率的達到 AR 及 MR 應用於工程上預期之成

效。

#### 建議四

針對 AR/MR 的未來發展：長期性建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所、中華民國全國建築師公會、中華民國電機技師公會、財團法人台灣建築中心、台灣建築資訊模型協會、臺灣營建研究院

針對未來發展，擴增實境(AR)與混合實境(MR)皆是未來工程領域發展自動化的基石，其成效在近幾年已經越來越顯著，建議可考量結合光達產生的多元資訊提升 AR 及 MR 於工程上的應用成效，建議各單位應該盡早著手發展，分析欲發展之情境需求找出適合自身的應用情境、方式與設備。

## 參考資料：

### 英文部分：

- [1] Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- [2] Bae, H., Golparvar-Fard, M., & White, J. (2013). High-precision vision-based mobile augmented reality system for context-aware architectural, engineering, construction and facility management (AEC/FM) applications. *Visualization in Engineering*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1186/2213-7459-1-3>
- [3] Beer, R., Engelhardt, K. W., Pfausler, B., Broessner, G., Helbok, R., Lackner, P., Brenneis, C., Kaehler, S. T., Georgopoulos, A., & Schmutzhard, E. (2007). Pharmacokinetics of intravenous linezolid in cerebrospinal fluid and plasma in neurointensive care patients with staphylococcal ventriculitis associated with external ventricular drains. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 51(1), 379–382. <https://doi.org/10.1128/AAC.00515-06>
- [4] Behzadan, A. H., Dong, S., & Kamat, V. R. (2015). Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications. *Advanced Engineering Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.03.005>
- [5] Chalhoub, J., & Ayer, S. K. (2018). Using Mixed Reality for electrical construction design communication. *Automation in Construction*, 86, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.028>
- [6] Director, C. S. L. N. I. of S. and T. (1993). Integration Definition for Function Modeling (Idef0). *Draft Federal Information Processing Standards Publication 183*.
- [7] Eastman, C. (2011). A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. In *John Wiley & Sons, Inc.* <https://doi.org/10.1093/nq/s7-11.32.110-e>
- [8] Gotze, J., Schumann, C. A., & Muller, E. (2014). Context awareness and augmented reality in facility management. *2014 International Conference on Engineering, Technology and Innovation: Engineering Responsible Innovation in Products and Services, ICE 2014*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICE.2014.6871625>
- [9] Irizarry, J., Gheisari, M., Williams, G., & Walker, B. N. (2013). InfoSPOT: A mobile Augmented Reality method for accessing building information through a situation awareness approach. *Automation in Construction*, 33, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.002>
- [10] Kivits, R. A., & Furneaux, C. (2013). BIM: Enabling sustainability and asset management through knowledge management. *The Scientific World Journal*,

- 2013, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2013/983721>
- [11] Koch, C., Neges, M., König, M., & Abramovici, M. (2014). Natural markers for augmented reality-based indoor navigation and facility maintenance. *Automation in Construction*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.009>
- [12] Kuo, C., Jeng, T., & Yang, I. (2013). An invisible head marker tracking system for indoor mobile augmented reality. *Automation in Construction*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.011>
- [13] Kwon, O. S., Park, C. S., & Lim, C. R. (2014). A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality. *Automation in Construction*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.005>
- [14] Lin, Y. C., & Su, Y. C. (2013). Developing mobile- and BIM-based integrated visual facility maintenance management system. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2013/124249>
- [15] Meža, S., Turk, Ž., & Dolenc, M. (2014). Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system. *Automation in Construction*, 42, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.011>
- [16] Milgram, P., & Colquhoun, H. (1999). A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration. In *Mixed Reality* (pp. 5–30). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-87512-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-87512-0_1)
- [17] Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. In *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>
- [18] Riexinger, G., Kluth, A., Olbrich, M., Braun, J. D., & Bauernhansl, T. (2018). Mixed Reality for On-Site Self-Instruction and Self-Inspection with Building Information Models. *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.160>
- [19] Schilit, B., & Theimer, M. (1994). Disseminating Active Map Information to Mobile Hosts. *IEEE Network*.
- [20] Wang, X., Love, P. E. D., Kim, M. J., Park, C. S., Sing, C. P., & Hou, L. (2013). A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. *Automation in Construction*, 34, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.012>
- [21] Zahrádková, Veronika Achten, H. (2015). Required Components for Landscape Information Modelling (LIM): A Literature Review. *Peer Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture 2015 at Anhalt University of Applied Sciences, Lim*, 284–288.

#### 中文部分：

- [1] 陳俊瑋, “開發以混合實境為基礎之現地施工進度追蹤及查核系統”, 碩士論文, 國立成功大學土木工程學研究所, 台南市, 2019.
- [2] 梁高逢, “應用擴增實境及建築資訊模型輔助機電設備施作及查核作業”, 第 22 屆營建工程與管理學術研討會. 2018:54.
- [3] 黃士豪, “應用擴增實境及建築資訊模型於維護作業之空間分析—以機電設備為例”, 碩士論文, 國立成功大學土木工程學研究所, 台南市, 2018.
- [4] 行政院公共工程委員會主管法規查詢系統—品質計畫製作綱要  
Available: <https://reurl.cc/Z7ZLnp>
- [5] 成大 Azure AI Cognitive services 體驗課程,  
Available: <https://reurl.cc/gmeXmz>
- [6] HoloLens 官網. Microsoft 混合實境技術 HoloLens (第 1 代) 硬體詳細資料  
Available: <https://reurl.cc/D6Kr6m>
- [7] Rule-based vs. NLU,  
Available: <https://reurl.cc/Gr52rp>
- [8] 邱勇標, Unity 3D 遊戲設計實戰, 碁峰資訊, 臺北市, 2017.
- [9] 蔡文龍, 歐志信, 張傑瑞, 何叡, Visual C# 2017 基礎必修課, 碁峰資訊, 臺北市, 2017.
- [10] 榮工工程, BIM 在捷運三鶯線之施工應用  
Available: <https://reurl.cc/N6bK6n>
- [11] BIM / VDC 於新加坡福音之光教堂之應用  
Available: <https://reurl.cc/Md6KdK>

## 附錄一 工作會議紀錄

### 內政部建築研究所

「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」

- 一、會議名稱：「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」第1次工作會議
- 二、時間：109/04/08(三)上午 10:00
- 三、地點：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓，內政部建築研究所
- 四、人員：詳簽到簿
- 五、討論要點：

- 協同主持人：馮重偉教授

1. 針對本開發研究案所參考之國內外相關文獻、研究方向與研究架構進行簡報說明。

- 陳建忠組長

1. 能夠透過沈老師的說明了解到此研究與方向的邏輯與必要性，希望這個階段性的研究工作能對於將來 BIM 領域例如社會住宅能有所整合與取用。

回覆(馮重偉教授):

組長的問題在某種程度上切中了問題的核心，目前 BIM 的推行因為政府的努力讓部分產業有一個逐漸的轉型，裡面維運管理的銜接會是其中最大的一項指標，我們希望能夠透過往復的修正與討論，並在後續的專家會議中逐漸達成這些目標。

- 研究員 劉青峰先生

1. 希望未來有一個單位、層級或是公家機關在做營運管理時會需要用到這個系統，建議從誰會來使用這套系統為出發點，例如國內在進行社會住宅公家機關目前在委外維護管理時合約會有一些工作項目，可以將其納進來參考與對比，並了解國際上的趨勢會是什麼，對比目前所缺乏的部分，找出目前急需先進行的部分，可以把此當作未來開發的目標，以利未來能夠說服內政部等公家機關。以我之前訪問台北市住宅服務科的經驗，他們對於公營住宅維運的發包大多在保全清潔等例行的檢查工作。對應到簡報中所提出的架構，或許可以當作一項起頭的方向。

回覆(馮重偉教授):

我們再這個研究中所研發的這個系統，其實目標是在驗證我們準備要提出來某些規範和規則會不會跟現實脫離太遠，因為有時候脫離太多，這些規範可能會被認為不切實際，例如在社會住宅中，裡面會是有各種居住需求的對象，比方年長者，他在住宅中可能會需要確保他安全與健康的感測器，這種感測器就像目前常見的火災警報器，我們再這個系統中便是要演示這種可擴充感測器的存在，我們可以理解為何需要建立規範的重要性，例如裡面需要建置的層級關係與架構，也符合我們當初所提出來的內容，但我們更希望能夠將研究多推進一點，藉由將系統的落實，我們能夠回頭去檢視我們提出來的合理性，也對於施工要進到維運的過程中，建立規範中進行回推與驗證，是否合理與切中需求。但目前政府機關經常利用外包的模式經營，因為缺乏合約與規範，因此無法直接讓外面的單位進駐現場，故此案目前將利用類似的建築場域進行系統驗證與架設，待將來有進駐社會住宅場域的機會移動並整合各項系統進行驗證。

2. 簡報中提到在施工工程在完工後會要求交付竣工模，因為其太過複雜需要進行模型的輕量化，而目前台北市與新北市也有在進行類似的事情，建議可以了解他們目前的內容，並提出交付模型的機制與規範等，可以與對方的對口進行接洽。

回覆(馮重偉教授):

目前竣工模檢查完成後無法延續其生命週期，若是能延續到維運管理中的話才能看出其效應。竣工模的減壓會是規範中很大的重點，目前公共工程案部分模型脫離現場情況，我們希望能做出一些可能性的規範建議，而利用政府當作業主的社會住宅場域會是一個好的切入點，將會收集所前面所提到的資料進行研究。

3. 這案子的未來希望是提供一個規劃讓未來公家單位在計畫維運管理時，他們能夠知道要如何做到，並且讓他們有其根據，能夠知道各個功能的增加或減少該如何評估，並能協助他們在工程計畫書中就能進行規劃。

回覆(馮重偉教授):

此研究案希望能夠做出一個示範性，目前台中市政府意識到BIM在維管的潛力，我們可以利用此研究提出一項規範，讓他們了解並在會議之中往復修正，讓研究方向更加清楚，另外收集其他

縣市的資訊與建立對口聯繫，同時也在後續的專家會議中，也與各位研議出一個適當的規範與架構。

4. 如剛才所提到，目前的維管單位發包給保全公司時，經常就是聚焦在基本的清潔保全和簡單的檢修與例行檢查，對於其餘資訊分析與整合例如能源耗損與預測他們並沒有興趣，若是業主能夠提出需求的話，受託方就能夠認為這是對他們有用的，例如像是綠色標章的環保認證等，或許也能夠成為未來推動的一個方向，會有一些成果的展現。

回覆(馮重偉教授):

標章的建立會是一種誘因，但目前的推動力道因為目前被納在智慧住宅的獎勵規範下，而此研究或許能夠彰顯重要性與效益，準則的定立與規範的架構，或許都能讓推動的力道加大，未來在研究之中也會考慮加入。

5. 此案在規劃時，希望能夠過社會住宅的應用來推動 BIM 的效益，所以希望能尋找社會住宅當作實踐的場域，並把重心放在社會住宅該如何使用，這樣的話對之前提出的問題就能合理的解釋，若是這部分是未來應用的目標的話，那此案的需要專注在規範的建立與需求的釐清，例如 BIM 的圖資要如何要求，IoT 的資訊要如何要求，並說明系統需如何架構，硬體須具備哪些功能，讓他們有所根據。

回覆(馮重偉教授):

我們會先研究手邊所得到的各縣市研究，歸納出目前維運較為缺乏的部分，同時這也是後續專家會議的討論議題之一。

● 研究員 黃昱翔先生

1. 對於感測器的設置，以及所設定的傳輸頻率，或是傳輸規格雲端運算能力等等，也應該提出相關的規範與準則讓後續有架設需求的人能夠有所依據進行設置。

回覆(馮重偉教授):

感測器的設置與雲端運算能力在此系統規劃中都是被視為客製化維運管理的一部分，目標是在於讓訊息的傳遞方法，以往封閉式的資訊傳遞讓在維運管理中需要高度跨系統整合的需求不易達成，因此我們採用了 web-based 架構的原因是因為它的資訊傳

遞整合容易，同時因為軟硬體需求最低，對於使用門檻的降低有很大的功效，讓 BIM 的維管效率有很大的提升。

## 附錄二 第一次專家座談會會議紀錄

### 內政部建築研究所

「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」

- 一、會議名稱：「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」第1次專家座談會議
- 二、時間：109/6/1(一)上午 10:00
- 三、地點：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓，內政部建築研究所
- 四、人員：詳簽到簿
- 五、討論要點：

● 協同主持人: 馮重偉教授

(一) 針對本開發研究案的研究計畫背景及有關研究之檢討、研究方法  
及過程、預定進度及完成之工作項目進行簡報說明。

(二) 本次會議主要目的為聽取專家學者在各工作領域上擁有的寶貴經驗與建議，針對 AR 結合 VDC 於營建施工應用的國內推動策略及系統應用功能做進一步的討論，使本團隊之研究成果更加完善。

● 陳建忠組長

目前 BIM 在業界發展不完善，希望團隊以目的導向最大化 AR/VR 與 BIM 的效益，如透過 AR/VR 結合 BIM 進行可視化，解決過去圖紙衝突檢查不易之問題。

回覆(馮重偉教授):

目前 AR/VR 應用在土木產業比較少，以本研究室學生在科技廠房工作為例，在大型設備進行維護管理時，常需要進行設備調動，此時將 AR 技術導入其中，規劃設備進出路線，預先做出可視化的碰撞警示，可以降低工安意外發生的風險。

目前也有注意到國外的 Trimble 公司，在模型即時互動上已經有技術上的突破發展，在 BIM 應用於 AR/MR 上則有結合 Sketchup 軟體進行模型的量測、標註、剖面框，甚至可以直接走入模型中觀察，這方面技術值得參考與探討。

● 陳清楠建築師

(一) 在施工過程中，常遇到現場師傅不願參照預先建立好的機電模型，執意按照自己的經驗進行施作的狀況，讓事前的模型檢討失去意義，演變成模型修改來配合現場狀況的窘境；透過 VDC 政策的推動，加強督導現場施工人員按照模型施作，使現場施工狀況與模型一致，利於品質與進度的管控。

(二)透過 AR 擴增實境，可以訓練工作人員進行機具的維修與操作，進而提升維護效率與準確性。

**回覆(馮重偉教授):**

如陳建築師所說，透過發展 AR 應用的過程，反思國內營建施工領域中所缺乏的應用內容，包括實境虛境的結合、竣工資料傳承與保存的架構、虛擬基礎設施、應用策略都是應當著重的部分。

● 李仲昀主秘

目前若要將 AR 技術應用於業界，必先建立設計與施工的邏輯準則，並解決後端資料連結至前端設備使用的問題，才能使導入的新技術發揮效益、改變產業模式。目前本公司資料的處理分為以下三點:

- 1.圖臺:統一管理模型與資料的雲端資料庫。
- 2.資訊管理系統(Management Information System , MIS):純資料庫，包括巡檢表單、標準操作程序，依照自己的管理行為進行設定。
- 3.Building Automation (BA):所謂的智慧建築，在中控室透過感知器訊號回傳做出自動化的判斷。

針對第 1 點圖臺的部分，目前所遇到的困難點為即便在 MIS 與 BA 架構完整的狀況下「模型定位顯示」以及「點擊物件回傳 ID」的技術仍無法突破，雖然國外有許多公司已有解決方案，如 Autodesk、Trimble，但因為需要向他們購買方案，並將系統資料轉移至第三方平台上執行，有資安疑慮；建議研究團隊除了功能應用的發想外，還可以著重於整體系統串聯架構的建立及尋求在經濟可行的前提下各用戶端的解決方案，未來將有無限展望。

**回覆(馮重偉教授):**

目前在成大委託我們的興建案當中，李主秘所提到的問題我們都有遇到並嘗試解決，其中定位技術是將模型輕量化的關鍵，使用者可在不同環境下選擇顯示不同類別資訊，便能減輕設備的運算負擔。關於資料庫部分，在不同產業、不同作業要求下需呈現的資訊都不相同，目前我們選擇使用工項 ID 去做資料庫基礎架構，建立不同的虛擬模型來滿足各種需求，並配合市面上免費的雲端平台做研究開發，結果令人滿意。

最近值得注意的是，微軟公司在去年 HoloLens2 發表會當中展現了對於 MR 市場的野心，推出 Azure 雲服務，最終目的為透過用戶視覺所取得的資料回傳到 Azure 雲端，進而串流全世界的資訊做應用。

● 蕭興臺主任

- (一) 本研究題目價值性高，若研究成果具體化可提升實務面上的貢獻程度。
- (二) 建議本研究在推動策略上可加強說明 BIM-based+AR/MR 的整合性。
- (三) 建議下次邀請電競遊戲產業的專家來參與諮詢，聽取不同領域的專業建議嘗試整合。
- (四) 在營建工程環境中，BIM 從設計到施工無法串連的狀況已有改善案例，如台中社會宅標案合約中載明營造廠必須以 BIM 模型做為施工參考依據，並可在施工前利用 BIM 模型發現設計衝突，要求營造廠提出改善計畫，提升施工效率。

回覆(馮重偉教授):

視覺是最容易呈現模型內容的工具，可以透過訪談業界 BIM 的使用狀況來了解目前大環境對於 BIM 的內容以及使用的定位為何。若 BIM、AR/VR 做好資料架構的基礎、明訂規則後，結合其他產業領域可大幅提升其應用價值。

以自動車為例，車子要反應許多感應器與真實環境的變化是相當吃力的，透過虛擬化基礎設施的建立與 5G 時代的來臨，未來的發展是值得探討的。

● 李欣運教授

- (一) 地理/空間資訊系統及各資料庫間的連結與資料交換方式，可納入未來發展策略。
- (二) 與時間軸連結，可延伸至施工順序及維護營運之應用。
- (三) 需先界定不同使用者可獲取的資料權限。
- (四) 效益評估的建立，除能避免 BIM、AR/MR 流於形式外，亦能提升公部門編列預算的意願。

回覆(馮重偉教授):

如李教授所說，我們值得思考在不同角色需求下，必須提供哪些資訊、滿足哪些條件。也許往後公部門可以透過 AR 技術直接驗收特定項目，而不是只做一個竣工的模型交差了事，舉例來說，未來可以藉由數位虛擬模擬進行消防的檢查或在虛擬環境中紀錄時間、進行路徑追蹤等，達到資訊保存的完整性。

● 謝博全總經理

- (一) 施工過程的設備，目前國內 AR 眼鏡採購不易，國外進口價格偏高，普及性有困難。
- (二) 施工過程模型更新頻繁，VR/AR 應用 Unity 作業，模型轉換更新、輕量化速度及人力是否不易，且輕量化之 BIM 模型將失去意義。
- (三) 建議強化國內開發技術，以目前國內現有市場通用設備開發應用為佳，普及性與便利性較高。

回覆(馮重偉教授):

以本團隊先前執行過的某工程公司案子為例，在案子中選擇使用之設備為 HoloLens 與 iPad；HoloLens 設備雖較為昂貴，但所能呈現之功能較為豐富，而 iPad 較為輕便且普及，在 AR 功能的資源方面雖然輸 HoloLens，但在系統應用之完整性還是勝於 Android。

在 AR 中定位的準確性影響到資料的使用效益，透過建立 AR 使用準則與架構，在不同作業形式中，擷取 BIM 模型的部分資訊放入 AR 模型中，能解決模型輕量化造成的損失。

在各位專家提出的業界經驗中顯示，目前國內在 BIM/VR/AR 應用於 AEC 產業有許多困難，如分包制度導致 BIM 推廣有困難，廠商間不願相互合作等，值得我們去思考並解決。

● 吳東融組長

(一) BIM 模型相關:

1. 模型建置需要依據需求來訂定建模規範(目的導向)。
2. 思考 BIM 模型加工模式。

(二) 系統相關:

1. 系統開發如要商用，需要大量的人力來研發及確保系統穩定性。
2. 可考量使用成熟的技術來做二次開發，如客製化撰寫 API。
3. 可考量使用雲端串流 AR/VR 來減輕效能負擔，如 cloud XR。

(三) 施工應用相關:

1. 施工應用環境，設備耗損高，建議考量價格便宜、滲透率高且輕量化的行動裝置進行設備開發。
2. 建議盡可能讓更多的人廣泛使用 VR/AR 技術。
3. 現場定位技術，除 Marker 外可在探尋其他方案。

回覆(馮重偉教授):

AR 模型的加工要依據目的與角色的不同進行規劃。在設備方面，確實在先前研究案中有發現 HoloLens 價格昂貴，讓工程師產生壓力，而 iPad 相對價格較親民，但功能性卻不及 HoloLens。至於模型定位部分，有許多方法可以使用，如學校委託的興建案中，我們團隊已開發出使用已確定之量測點當作 Marker 定位，讓虛擬模型跟實境結合，並叫出模型展示資訊。

● 總結(馮重偉教授):

綜觀各位專家學者的寶貴意見，本研究團隊將針對 VDC 發展策略、BIM 模型及相關連結資料，不同設備、各項功能的需求等，於 AR/MR 上之應用做進一步的探討，進而提升本研究的研究價值。

## 附錄三 第二次專家座談會會議紀錄

### 內政部建築研究所

「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」

- 一、會議名稱：「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」第2次專家座談會議
- 二、時間：109/9/1(二)上午 10:00
- 三、地點：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓，內政部建築研究所
- 四、人員：詳簽到簿
- 五、討論要點：

● 協同主持人: 馮重偉教授

- (一)針對本研究案的研究背景、國內外相關研究與案例、研究方法與過程、預計交付成果以及第一次專家座談會議與期中審查會議之專家建議彙整進行簡報說明。
- (二)本次會議主要目的為聽取專家學者在各工作領域上擁有的寶貴經驗與建議，根據第一次專家座談會之建議邀請營建業導入 AR/MR 的專家學者，針對 AR 結合 VDC 於營建施工應用的國內推動策略及系統應用功能做進一步的討論，使本團隊之研究成果更加完善。

● 陳建忠組長

1. 希望未來能夠藉由分析舊有的工程場景來擴充 AR/MR 技術的應用。
2. 期望將來能夠制定標準化以及量化的流程規範來增加此技術的普及率以及工程業界中使用此技術的意願。

● 江志雲經理

1. 使用的行為多需要到工地現場進行操作，工地現場大多會有難以預測之危險發生例如：錯綜的鋼筋以及維修孔洞，所以衍生出使用 AR 及 MR 設備使用與職安的視覺危險識別的相關規範以及分析。
2. 定位會影響在現場使用虛擬實境技術的資訊準確率，在沒有定位機制的情形下，施工人員對 AR/MR 技術接受度會大幅度降低。
3. 傳統工程上常有為求節省材料或時間而產生出施工缺失，建議可以開發相關確認施工缺失的現場協調以及責任歸屬的功能。
4. 關於施工相關應用的開發，可以思考混凝土澆置前的施工確認，如混凝土澆置前輕隔間以及橡皮管的施作位置確認。

5. 設備於地下室應用可能會因為網路問題以及照明導致使用上的挑戰。

● 林子筌經理

1. 模型承載的大量資訊以及細緻度可能會產生龐大的檔案容量，在匯入虛擬實境的過程中需要將模型輕量化，否則會造成儀器的負擔過大。
2. 定位不精確以及檔案沒辦法即時同步最新的圖檔會導致施工人員使用 AR/MR 技術的意願不高。
3. 功能開發需考量設備的電量續航力。
4. Hololens 的造價昂貴，公司企業對於其的購買意願可能會因為成本而降低。

● 苗勵青經理

1. 在傳統 BIM 上可以使用條碼得到單一構建得到生產時間以及相關的生產資訊
2. 維運以及施工情境的功能開發上，建議可以開發出於維運或施工現場可以即時查找施工與元件的相關圖來幫助加速維運以及施工的效率。
3. AR 開發施工訓練模擬，應該考量預期效果以及成本是否會相衝突。

● 研究員 劉青峰先生

1. 未來推行未來建築 4.0 智慧營造將工作重心移入工廠中，建議可以將此項技術的場景從施工現場移入製造工廠之中。
2. 建議可以更詳細的介紹此 AR/MR 技術在維運之上的應用。

● 研究員 黃昱翔先生

1. 本案為彙整國內 VDC 結合 AR/MR 之發展現況，了解國內現今產業應用的效益與瓶頸，期待本案可以研擬一套國內 VDC 結合 AR/MR 導入之建議策略。
2. 本案將於十月辦理一場成果說明會及製作推廣小冊讓國內相關產業工作者可以了解 VDC 結合 AR/MR 之應用。成果說明會將展示示範離型系統，廣邀施工、設計、維運等相關單位參與交流，並蒐集回饋意見以提升本案研究價值與成效。

● 問題討論:

1. Q1: 請問業界可接受之 MR 導入預算成本約為多少?

\*江志雲經理 A: 公司較為看重 AR/MR 所能帶來的效益大小以及開發的時間長短，預算並不是問題，目前除了 AR/MR 之外，公司也對於空拍機有一定興趣。

\*林子筌經理 A: 公司正積極開發 AR/MR 輔助作業，目前遇到管線時常會出錯的況狀，導致失敗成本過高，若有 AR/MR 的相關應用開發能夠解決目前遭遇問題，預算討論範圍是相當大的。另外，建議 MR 設備可以開發 Check List 功能用於訓練新進員工或者階段性交接，應用價值高。

2. Q2: 目前業界是否有遇到哪些狀況是必須使用科技輔助來解決的?

\*江志雲經理 A: 目前現場工班對於實體文件與圖檔電子化有良好的反饋，且對於手機接受度比 iPad 及 MR 眼鏡高。

3. Q3: 圖檔資料與模型間的關聯為何?

\*江志雲經理 A: 圖檔資料與施工進度及位置有關，目前做法為根據樓層貼附 QRcode 的方式連結該樓層應有之圖檔資料，但也發現 QRcode 會有脫落的情況發生，需頻繁更新，建議團隊可以朝特徵值定位的方向去做研究。

● 總結(馮重偉教授):

1. 針對職安的問題，穿戴 MR 頭戴式眼鏡可以清楚看到周遭真實環境情況，對於職業安全的考量是相對有保障的；本團隊在研究過程中發現，MR 眼鏡在陽光較大的露天環境下使用會有顯示不明顯的問題，但在室內地下室則非常清晰。
2. 未來設備日新月異，價格降低與方便性提升後，MR 會是未來應用發展的趨勢，目前 AR 只是一個科技發展的過程。
3. 針對定位問題，AR 設備可透過設定模型開啟的初始點位來解決定位的問題，而 MR 設備定位方法較為多種，在定位完成後尚可依據行走路徑來即時變化欲顯示之周遭模型。
4. 針對模型精確度的問題，在 AR/MR 環境中，若模型過於細緻會導致裝置無法負荷，模型只是外殼，應著重於後端資訊的處理與連結；目前本團隊已經達成以工項為基準，找到該樓層工項所有應施作之位置，並開啟導航功能導引使用者前往目的地。

5. 針對應用情境探討，感謝專家給予我們許多可參考的應用情境，包括模擬穿樑、混凝土澆置前的檢查、機電預留管線等。
6. 針對施工環境的網路使用情況，本團隊會嘗試進行工地環境的網路測試，並提供實驗結果供參考。
7. 針對模型輕量化的問題，AR/MR 設備本身並無法負擔大量的資料運算，目前本團隊的做法為透過網路上傳下載模型與文檔資料，僅顯示使用者周遭模型的方式，以減低本地端設備的負擔。
8. 感謝各位專家提供的寶貴建議，讓本團隊更加了解目前業界實際施工的應用情境與內容以及目前業界發展中所遭遇到的問題，使本團隊之研究成果能更加完善。

## 附錄四 第三次專家座談會會議紀錄

### 內政部建築研究所

「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」

六、會議名稱：「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」第3次專家座談會議

七、時間：109/12/9(五)上午 10:00

八、地點：國立成功大學土木工程學系 成功校區，結構材料創意教室(2樓)。

九、人員：詳簽到簿

十、討論要點：

● 協同主持人：馮重偉教授

(三) 針對本研究案的研究背景、國內外相關研究與案例、研究方法與過程、預計交付成果以及前二次專家座談會議與期中期末審查會議之專家建議彙整進行簡報說明。

(四) 本次會議主要目的為聽取專家學者在各工作領域上擁有的寶貴經驗與建議，根據前二次專家座談會之建議邀請營建業導入 AR/MR 的專家學者，針對 AR 結合 VDC 於營建施工應用的國內推動策略及系統應用功能做進一步的討論，使本團隊之研究成果更加完善。

● 王裕仁副主任

3. 專案團隊以完成相當具體的研究成果。

4. BIM 與 AR/MR 模型資料轉換是否會有落差？

5. 廠商如需導入，是否需要有哪些準備？(除了購買設備外)

6. 未來可導入人工智慧，讓系統可自行判斷檢核。

● 潘乃欣教授

6. AR/MR 應用性相當有潛力。

7. 定位準確性如能提升，在有限成本下將 BIM 轉換成 IFC，資料遺失如何及時修正。

8. 在考慮安全性問題下，認為使用 IPAD(AR)比 MR 適合。

● 吳瑞安處長

5. AR/MR 在施工應用的功效確實值得肯定。

6. BIM 資料的取得至關重要，惟目前僅要求一定金額(2億)以上工程需製作 BIM，未來推廣，在設計端勢必增加預算經費。

7. AR/MR 的使用應該著重在熟練度及精確度，那麼操作者的訓練要如何認證？

8. AR/MR 在施工上的功能可著重在檢核；BIM 在施工上的功能著重在設計衝突與檢討，不知道日後在 AR/MR 的運用可否將 BIM 這一端的功能納入擴充？

● 曾新吉處長

4. 設計規劃階段就導入，可提早了解各個工種介面的衝突點，以便在設計時就避免掉。

5. 尤其在建築工程中的放樣、測量工作就導入 MR 時，對工程施工幫助很大。

6. BIM 與 MR 的轉換結合。

7. BIM 與 AR 的結合。

● 史曜齊主委

3. 檔案相容性略可研議。

4. 現場施工面上放樣應用應可再深入。

5. 因普及性問題，應可設備延伸至手持設備直覺操作。

6. 可延伸至監造、營造表單甚佳，如可應用在驗收、數量計算則更全面性。

● 總結(馮重偉教授):

9. 在 BIM 的推動方面，由於 AEC 產業的專案執行方式，從規劃、設計、施工到維運各階段可能由不同的團隊負責，受限於其專業領域及相關的工作內容，而無法有效整合模型資訊。若業主能夠釐清專案需求內容，將階段性任務劃分清楚，可幫助各團隊進行溝通整合，方可大幅提升導入 BIM 於工程專案的成效。

10. 針對模型資訊的問題，後端資訊的處理與資料庫連結至關重要，因受限於 BIM 資料無法直接在 AR/MR 環境中使用，故前期應先分割模型與資訊，以不同應用情境與需求角色為依據，再將模型與資訊進行相關處理與連結，以利後續 AR/MR 之應用。

11. 針對定位問題，目前有廠商的設備可以將 BIM 模型匯入其軟體，並自動於 BIM 模型中產生定位點，可自動偵測模型定位點與實際的相對位置並利用雷射光投射到現地，可讓工程人員更快速了解位置資訊，但費用較昂貴，未來可朝這方向做更深入的研究。

12. 職安的問題應該被重視，在工地行走過程中應放下 AR/MR 裝置注意周遭環境，將意外風險降至最低。

13. 感謝各位專家提供的寶貴建議，讓本團隊更加了解目前業界實際施工的應用情境與內容以及目前業界發展中所遭遇到的問題，期望未來產業界、學界與政府單位能夠密切合作，協力推動國內擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用發展。

## 附錄五 期中審查意見回覆對照表

### 1090722 建研所期中審查會議紀錄

- 中華民國全國建築師公會 黃建築師鄧堯：
  1. 資訊成本、效益分析應納入探討。若 AVR 只是為了應付展示用，實質效益並不高。
  2. 目前業界已被 BIM 所衍生的工作內容及增加的服務成本，壓榨至能承受的極限，然而卻沒有真正的探討過成本效益分析。
- 中華民國電機技師公會 陳技師岳憲：
  1. 目前 BIM 模型導入實境中，模型的精緻度至少為 LOD400，再導入 AVR 中呈現所耗費的成本較高。
  2. 以 Naviswork 搭配 iPad 去強化 Naviswork 功能，是否比較省錢。
- 財團法人台灣建築中心 侯副理雅壹：
  1. 建議新增成本分析及網路、硬體設備的規格敘述。
  2. 報告內容多談及施工、營運維護，建議可新增設計與施工間的聯結，或修改計畫研究範疇。
  3. 有關 VDC 文獻可參考新加坡、史丹佛大學等相關單位成果。
- 台灣建築資訊模型協會 羅理事長嘉祥：
  1. 建議進行成本分析、效益評估與系統所帶來的益處，以利其他單位作為使用與否的參考依據。
  2. 實務中施工模型與現場進度差異大，如模型要跟上施工修正並能及時反映，則需要大量現場反饋與模型維護；另涉及模型轉檔(BIM→UNITY→加入資訊→MR)等，此階段效率將影響此運用成功度。(更新太費時則跟不上現場)
  3. 查驗項目受到模型建置精細度影響。另以三級品管作業，通常二三級品管作業會在該區域混凝土澆置前三天進行查驗，較難進行 AR 或 MR 查驗。

4. 部分假設工程，如檢核結構開口部分，此開口分為建築與機電需求，實務上勘驗階段現場為模板而非模型中之實牆，又或者機電開口會以預埋套管或後續輕閣間開口為之，國內似乎較少使用此模式進行檢核。
5. 在無網路或低傳輸的空間中，是否能進行資料預載。
6. 模型規格或樣板，在業界已有建築師公會版本及新北市電子審查版，在此也建議應整合各版本以利後續使用。
7. 因此案題目為營造施工階段之運用，聚焦題目下，關於物業管理階段內容無意見表達。

➤ **謝系主任尚賢：**

1. 預期成果中的第一項為彙整國內外之發展現況，及了解產業應用之效益與瓶頸，惟目前報告在此項目之成果似乎還有加強空間，尤其是對國內營造廠導入現況之討論。
2. 施工與維運應用上之需求相當不同，從本案名稱看來應是以施工應用為重點，建議預期成果應以施工階段為目標，可先不考慮維運階段。
3. IDEF0 應用於資料流之分析很好，但在分析關係人及相互間之互動方面較弱，可考慮用 BPMN 來分析，或直接進行企業訪談。

➤ **王理事長明德：**

1. 建議研究單位對應用之情況要有具體的舉例項目，如在施工階段什麼人在什麼時候用 AR/VR/MR 來解決什麼問題，其效果如何？
2. 建議研究單位針對上述案例，比較現況所需資源與用法 (AR/VR/MR) 所需資源，以幫投資者做適當的判斷。
3. 將其運用在教育上，是相當好的教材。

➤ **賴建築師朝俊：**

1. 建議清楚載明”使用 AR 的目的”。
2. 應考慮資訊平台的共用性及費用成本。
3. 施工前模型的可行性檢討很重要。

➤ **高組長文婷：**

1. 本計畫結合建築資訊模型 BIM 及擴增實境 AR 進行應用，構想先進，值得肯定。
2. 本案建議在「提升 BIM 模型於施工及運維階段之應用效益」乙節，應從不同角色權責，分層次分等級來探討，較能切合需求。
3. 本研究中使用之軟件或配備多需額外付費，對於計畫效益之推廣將形成限制，建議考慮提供符合多種軟件之模組，以及有無可使用之免付費軟體或開源軟體，並建立通用規範內容，以供各種應用層面(如營造業施工、建築師監造、主管機關查驗、使用管理維護等)選擇使用。
4. 本計畫標的為營建施工應用，建議將施工程序(含放樣)、勘驗項目、建築設備及五大管線配置、竣工查驗項目等納入分析。

➤ **柯副執行長茂榮：**

1. 使用 AR 做查核，網路傳輸速度是個問題。
2. 工程查核現行應有許多行政流程及書面資料的審查，建議應先詳細了解其流程以及每一個節點的工作內容，以實務的角度確切切入並指出可以運用哪些 BIM 的功能，替代現行營建在工程查核的環節，才能對現有的環境提出改善。
3. 建議除了分析現有學術開發的 AR 應用外，可增加國內外實際應用於營建施工之開發案例，並歸納市場實際應用優缺點，及失敗的可能原因。
4. 建議可以更精確地寫出，因為應用了 VDC，而比以往的工程

在施工中取代了哪些工作流程或加速哪些流程進展。

5. 建議可以分析各載體及其他使用方式的優缺點，才能預期推廣時，能具備更多的彈性使用與可能性。

➤ **彭理事長繼傳：**

1. 本研究計畫可更積極推動。
2. 本案在短、中、長期之效益以及執行率預測百分比？
3. 建議以公宅為例先導入一部分，以作為漸進式之修正方向。
4. 對於導入本研究方案在實務面、面對大量之 Data 如何整合？介面及格式之相關問題能在平台上處理順暢？可能預見之問題？

➤ **魏科長國忠：**

1. 建議進行資料輕量化。
2. 建議使用手持裝置，讓大家都可以使用。
3. 應思考在維運端，案件數多時，應如何整合及使用既有的資料。

➤ **內政部建築研究所 黃研發替代役昱翔：**

1. 本所協同研究報告書有固定格式請依格式撰寫。
2. 本案預期成果包含提出一套可行的施工及維運現場視覺資訊支援模式，但報告書內容未明確表達於維運管理的應用，請進行調整。
3. 本案報告書第二章之國內外有關本案之研究狀況蒐集內容多著重於回顧新加坡、美國的發展，尚未提及國內 VDC 發展策略。
4. 本案所開發之應用程式如 AR、MR 運作模組及施工應用實境裝置介面，應釐清須交付於本所的資料使用及開發軟體，以免衍生出後續成果驗收困難。
5. 本案預計成果之工作內容(1)成果說明會宜規劃於 10 月底前完成(2)推廣小冊初稿宜經辦理 1 場專家座談會進行討論，於

期末審查前完成(3)應交付本所之應用程式以提供 HoloLens 表現本案研究之成果為原則。

➤ **內政部建築研究所 陳組長建忠：**

1. 請持續調查了解設計、虛擬設計 VDC，尤 BIM、AR、MR、VDC 間發展現況，了解產業應用之改善與瓶頸。
2. 在 VDC 上結合 BIM、AR、MR，在施工上結合 BIM、AR、MR，如何使施工及維運階段上產生改善是核心問題。
3. 施工中事後設施及設備檢核固然重要，但引導施工之測量，引導如放樣、測量(其他的請補充)，更是重要事項，不宜經淪落事後檢核。
4. 工地內或地下室內資料傳輸不能僅依賴電信公司，可支援其他資訊設備及技術。

➤ **主席：**

1. 請與業務單位確認題目範圍。
2. 軟體交付與開發系統有關，請業務單位確認交付內容。
3. 在發展策略中請具體描述環境現況、困境與使用效益等。

◇ **研究團隊回應 (馮教授重偉)**

感謝主席與各位委員的寶貴建議，研究團隊將依照以下重點進行回覆：

1. 關於資訊成本的問題，本研究之後將著重在分析應用 AR/MR 於施工各項作業所需之資料內容，並依據與作業相關之位置及使用之軟硬體設備完成資料內容的建構程序及步驟，以期達到降低資訊建構的成本及提高資訊應用的成效。
2. 有關應用 AR/MR 於工程上均與使用之設備有關連結性，本研究團隊會針對各項使用率及作業系統整合性較高的 AR/MR 設備進行分析，現已應用蘋果 iPad 及微軟 Hololens

在 AR/MR 上建構示範系統，可依據應用之情境展示工程施工及維護之作業應用，之後將依據訪談及搜集資料所得之分析成果，建構更完整之功能。

3. 有關國內外相關文獻及案例，本團隊會持續進行彙整，並將成果撰寫於期末報告，此外關於應用 AR/MR 於 VDC 上之效益，研究團隊也會進一步尋求更具體化的方法進行效益分析，並提出建議。
4. 部分應用 AR/MR 於施工作業上可以在缺乏網路之下完成，但決大部分須透過網路連結到雲端擷取及上傳資料，於 AR/MR 設備在無法直接有網路連結的狀況下，本研究是利用手機建立熱點提供 AR/MR 設備進行網路通訊，未來 5G 應有更佳的網路滲透率及品質，提升 AR/MR 的應用效率。
5. 關於虛擬模型及相關資料的整合，本研究團隊現階段已開發可依據定位產生不同作業需求下之資料內容，未來研究將根據更多的情境分析之資料內容需求結合虛擬模型。簡而言之，將從 BIM 模型的建構、BIM 至 VR 模型的轉換以及資料的連結，建立一標準程序，作為資訊整合及輕量化的依據，提升應用的效率，亦是尋求降低資訊成本的內容。
6. 關於本案交付項目、議題的範圍及系統案例情境，研究團隊將於後續工作會議及專家會議中進行探討，依據工作會議及專家會議之建議，確認交付項目及修正研究範圍並針對應用案例進行各項情境模擬。

## 附錄六 期末審查意見回覆對照表

本所 109 年度協同研究「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」及「國內建築資訊建模(BIM)技術專業人力供給與需求調查研究」等 2 案期末審查會議紀錄

一、時間：109 年 11 月 11 日（星期三）上午 10 時 00 分

二、地點：本所簡報室(新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓)

三、主持人：王所長榮進 紀錄：厲妮妮、黃昱翔

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

(一)「擴增實境(AR)結合虛擬施工及設計(VDC)於營建施工應用研究」案：

高組長文婷：

1. 本案係屬前瞻性之應用研究，應予認同。
2. 惟此研究應用尚不涉及法制之導入或研修配合，本案結論所提出之主要建議事項將營建署納入主辦機關，其合適性及必要性建議再酌。

王理事長明德：

1. AR/VR/MR 技術的發展逐步成熟中，如何適當應用於 VDC 的課題值得研究。
2. AR/VR/MR 的應用與以下幾個問題有關：(1)誰是使用者？(2)他在什麼時機(環境)中使用？(3)要解決什麼問題？(4)效果如何？(5)價錢如何？
3. 以上課題若能在此報告中補強，則可提供未來使用(投資)者之投入意願。

何建築師建隆：

1. 本案可能對面生環境運用更有效益，如消防救災、地下管線、

汙水下水道，可在真實環境透現掃描隱蔽管線。

2. 在工地運用上，日本有機器人巡查工地，比照日本施工細節，或許本案可以在架設工地攝影機，比對鋼筋、模板開始。

#### **周總工程師頌安：**

1. 近年來 BIM+VR 的應用日漸興盛，例如近 2 年金安獎評選時，廠商即展示其在勞工訓練上的應用。其他如測量廠商、國外展覽，都可以見到 BIM+VR 的應用，可見方向正確。
2. 在應用此項技術時，除技術可行性外，需考慮需求的符合，尤其是交付成果時，BIM+VR 的成果要如何提出，還有確認及驗收的流程，如果可以整合此一技術之成果及裝置作為交付，值得探討。

#### **凌助理工程員清旭：**

1. AR/MR 的導入是此 BIM 建模更遠的未來，如果需要加速產業發展，是否要以公共工程作為示範場域，若要在公共工程導入，是以契約強制要求，或是以加分方式鼓勵，以增強誘因。
2. 報告中有提到將來有進駐社會住宅場域的機會，並進行相關的系統驗證，這就必須要在工程計畫書中進行規劃，但要如何規劃，才不會令廠商卻步。
3. BIM 相關的專業人力目前尚未形成完整的市場規模，那 AR/MR 乃至於 VDC 的人才又是否能供給。
4. 認同馮老師所提，未來 VDC 的應用，可能是機器人來作。

#### **中華民國全國建築師公會：**

1. 應考量工地現場操作，若移動時之危險性評估。
2. 報告書第 52 頁模型資訊呈現，相關精準度若不具備，形同廢物功能。
3. 報告書第 52 頁設計圖說、規範等資料呈現，方便性應大於印出紙本或手機查閱資料，否則效益不大。

4. 報告書第 53 頁工地主辦正常不會找不到工項查核位置。
5. 報告書第 54 頁數量清點看柱筋圖更快，長度測量工地一定是直接量現場，建議研究方向不要往此部分。
6. 目前較需要：(1)現場機電與模型位置比對(2)若精準度夠，有無機會加速放樣線檢核。

#### **中華民國工程技術顧問商業同業公會：**

1. VR 較適合用於設計顧問公司，AR/MR 較適合用於現場方面，希望實務上的應用早點到來，期待本案研究成果。
2. 隨著 5G 的發展，若將本案開發系統落實到個人化手機端，會更加便利。

#### **財團法人台灣建築中心：**

1. 營建產業面臨數位產型，許多新興科技逐漸產生，以目前實務上使用本案設備可能會造成勞安事件以及儀器損壞問題。
2. 本案在建立自主檢查表單功能，應考慮表單製作的資訊成本以及時間成本，建議補充相關內容於報告書，另 IFC 及元件屬性表單等可以參考建研所過去的相關研究並進一步整合表單。
3. 實務上設備連線功能需要考慮在地下室之收訊狀況。

#### **台灣物業管理學會：**

1. 施工過程的工地情況是一直在變動的，現場會有工料堆置、假設設施、臨時開口與竣工 BIM 模型不同等問題，同時也因為現場情況而影響定位精準度，建議研究團隊將示範專案定位為竣工查核會更合適。
2. 報告書內容有部分錯字，請確認與修正。

#### **中華民國電機技師公會：**

1. 為了執行 MR，模型及資訊將其分離，有點失去當初 BIM 之

目的。

2. 未來的 MR 在維護管理或消防檢查的定位應用，將是一個很大的應用。

**內政部營建署：**

1. 本研究彙整國內外現況資料及案例，歸納 VDC 於工程上之應用，開發 AR/MR 示範系統並提出國內 VDC 發展可能推動路徑分析，以下提出三個報告書內容的問題：(1)摘要羅馬數字第 8 及第 9 頁「實際導入本計畫針對 AR/MR 的建模流程與資訊成本」段落重複。(2)第 60 頁第 5 節研究步驟：第一段最後一行(第五行)「圖 39」應為「圖 42」。(3)第 85 頁建議 1 和建議 3 雷同，或許可寫在同一點。
2. 有關建議事項三及長期性建議四提到「建議可考量結合光達產生的多元資訊提升 AR 及 MR 於工程上的應用成效」：(1)請教何為「結合光達產生的多元資訊」(2)AR/MR 是相當好的技術，惟有鑑於工程應用上 AR/MR 技術尚未大量普及，且本署尚無 AR 及 MR 相關業務及應用，亦尚無法制化上等需求，建請建研所另行專案委託研析具體應用實際工程甚是業務法制化可行性的計畫。

**內政部建築研究所 黃研發替代役昱翔：**

1. 本案研究報告書內容請依本所規定稿件格式修正，有引用到外部資料圖說，請註明出處。
2. 本案預期成果應著重在研提出一套可行的施工及維運現場視覺資訊支援模式，請研擬補充施工及維運現場相關作業表單。
3. 請確定營建署及所列機關團體，在考慮產、官、學三方操作的角度，如何配合中央、地方的行政命令，是否有依所列結論與建議執行的可行性。

**內政部建築研究所 陳組長建忠：**

1. 本研究對於成大生醫卓群大樓工程有何直接或間接的效益。
2. 本研究成果、軟體、工具表單，如何設製使用。
3. 使用這些 AR、MR 在施工中，如何保留數值及影像紀錄。(前提是影像資料體太龐大，如何處理？縮時錄影嗎？)
4. 作業流程提到 BIM 元件製作，在 AR、VR、MR 有沒有特別需求。
5. 可考量組裝設施的工程，或施工問題，可啟為施工前教育。(但是那些情境是可納入，哪些是必要強制要做？)
6. 施工中，如果使用 AR、VR、MR 對施工品質有關，如留有紀錄者似對建築物施工管理與責任似可考量，如何調整施工中營造之管理模式。
7. 因應 AR、MR 的施工表單及編制注意事項，請在成果中呈現。
8. AR、MR 在施工中，在對施工、製造、吊裝、運輸、組裝，甚至使用、操作似乎更有在施工前的特殊性，複雜性或施工效率及安全顧慮之檢討改進、提昇品質、效率、安全及功能。

#### **研究團隊回應 (馮教授重偉)**

1. AR/MR 應用最重要的是資料建構，要先做好資料與模型關係的處理，BIM 模型資料是無法直接使用於 AR 模型中的，需要進行資料處理與連結，而在我們學校的專案中，從專案開始就有要求 BIM 模型建置的完整性，以利於後續 AR/MR 等應用的延伸性，若外面工地在沒有經驗的情況下，要求做到這樣的資料完整性是較困難的，故本研究團隊擬定了建構資料的流程給予參考。
2. 功能開發的部份我們會在進行更多的研究開發使系統更加完整。

3. 設備部分，在委員建議中有提到使用手機進行開發以提升便利性，這是可以達到的，但在本研究團隊的過往專案經驗中，大部分工程公司還是建議我們以平板進行開發，設備成本低且顯示較清楚。
4. AR/MR 未來應與機器人結合，目前 AR/MR 正處研究階段，故資料的架構與處理必須要更加嚴謹，未來結合 LiDAR 與 5G 的發展，勢必會帶來更高的效益與未來性。

**(二)「國內建築資訊建模(BIM)技術專業人力供給與需求調查研究」案：**

**七、會議結論：**

1. 本次會議 2 案期中報告，經徵詢在場審查委員與機關團體代表意見，審查結果原則通過。請業務單位詳實記錄審查委員及出席代表意見，供執行及研究團隊參採，納入後續事項積極辦理並於期末報告妥予回應，如期如質完成計畫。
2. 補助案請依核准公文請領第 2 期款，協同研究案請逐月配合辦理經費核銷，並請業務單位依規定時程管控研究進度。

**八、散會：下午 5 時 20 分。**