



# 混合實境 (MR) 結合 工程全生命週期管理 於 新北捷運工程 之應用

李政安 / 新北市政府捷運工程局 局長  
林逸羣 / 新北市政府捷運工程局 副總工程司  
陳加乘 / 新北市政府捷運工程局 科長  
黃正翰 / 財團法人臺灣營建研究院 博士、組長  
謝禎謙 / 財團法人臺灣營建研究院 專案副理  
高士恩\* / 財團法人臺灣營建研究院 助理工程師

在捷運工程中早已有建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 輔助施工，但由於 BIM 設備要求較高且在施工現場不易檢討，本研究透過 BIM 延伸混合實境技術 (Mixed Reality, MR) 並應用於捷運工程的虛擬設計及施工技術 (Virtual Design and Construction, VDC) 的優勢，本研究將深入探討 MR 技術在捷運興建的生命周期在設計階段、施工階段和維護管理階段中的應用場景，在設計階段導入工程介面檢討會議、透過 MR 設備建立釋疑點、雲端紀錄等，施工階段現場施工模型檢核、設備安裝定位確認、工程 BIM 驗收與維護管理階段即時遠端協助與設備巡檢等三階段，使施工現場在 MR 技術的輔助下，透過 1:1 疊合提升施工品質減少施工誤差並降低各式風險如早期檢討、紀錄追蹤等方式使問題得到確實的解決，並且運用 MR 技術可大幅節省時間成本，如原需要技師到場協助，透過 MR 技術可遠端即時支援透過與專業技師合作解決問題，透過各階段的應用，引入 MR 技術透過視覺化技術加速決策過程，減少傳統溝通方式帶來的誤差，提升捷運工程施工品質和施工安全性。

## 前言

隨著近年來資訊科技的快速發展，以及元宇宙風潮的興起，將混合實境技術 (MR) 導入營造產業中，應用於設計施工階段，並進一步交付業主協助後續營運維護。採用混合實境技術 (MR) 不僅可以實現即時的互動體驗，還可以應用於解決工程介面的衝突和設備維護等相關問題。

\* 通訊作者，p2586033@tcrci.org.tw

捷運工程的施工複雜性與難度較高且後續有長期的設備維護需求，本研究透過既有專案中已有建置的建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 並結合混合實境技術，透過混合實境技術 (MR)，協助在設計施工階段所遇到的工程問題，與提升設備維護管理的效率，減少捷運施工過程中的困難，並解決管線衝突等挑戰。透過融合 BIM 和 MR 技術，有助於在施工现场設備安裝與以及系統維護的財產管理應用，以其能夠在工程領域中創造更為智慧化和前瞻性的應用情境。

## 文獻回顧

### 國內軌道工程 BIM 實際案例

#### BIM 整合土建、系統機電及軌道

淡海輕軌及三鶯線捷運將 BIM 技術應用於房屋建築、土木及基礎設施類、系統機電與軌道，以高架候車站整合機電系統（如圖 1(a)）及橋樑基礎整合地下管線（如圖 1(b)）之設計及施工為例，透過 BIM 可直接執行衝突檢查，並視覺化呈現，有效率的解決介面衝突問題，並以此模型資料供未來營運管理階段使用<sup>[1,2]</sup>。

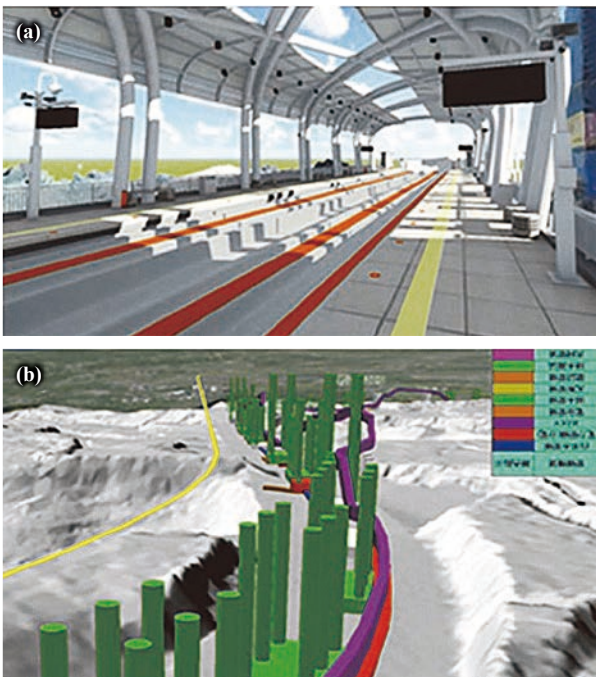


圖 1 (a) BIM 整合模型（高架站）展示；(b) BIM 橋樑與管線整合展示圖（資料來源：李等人<sup>[1]</sup>）

#### 運用 BIM 技術進行 4D 施工模擬

BIM 技術也能進行 4D 施工模擬，如懸臂工作車及相關橋樑吊裝組裝等施工過程，淡海輕軌也利用 BIM 來整合並模擬施工時程，透過 4D 技術以視覺化呈現展示施工組裝順序，如淡海輕軌在濱海路口大轉彎路段則是利用 BIM 的 4D 技術模擬鋼梁吊裝作業（如圖 2）<sup>[1]</sup>，可以檢討及評估施工可行性、工序合理性及安全性等問題；三鶯線則用來模擬帽樑剪力鋼箱與鋼筋介面、主筋偏移或剪力鋼箱開孔，若利用 MR 混合實境設備來進行模擬，可讓工程師更瞭解整體施作方式<sup>[2]</sup>。安坑輕軌安心橋工程則也有導入 BIM 模擬計算進行，分階段檢討於各個設計和施工階段進行碰撞檢討，以確保設計和施工的一致性、根據各階段的設計需求，設定碰撞檢討

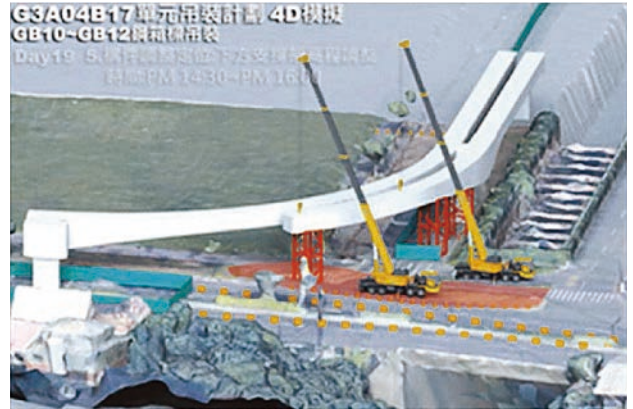


圖 2 BIM 模擬鋼橋吊裝施工  
（資料來源：李等人<sup>[1]</sup>）

的目的和範圍、建立動作樣板，將碰撞檢討的流程和方法進行系統化，以提升效率和品質<sup>[3]</sup>。日本 JR 線也利用 BIM/CIM 引入了可以附加資訊的 3D 模型，在施工、維護和管理的各個階段實現協作和開發，並實現各種考慮，這是為了提高設計、施工與營運維護管理的效率<sup>[4]</sup>。

#### BIM 結合 VR 沉浸式視野應用

虛擬實境 (Virtual Reality, VR) 是目前科技應用的熱門趨勢，淡海輕軌將 BIM 結合 VR 技術（如圖 3(a)），建立候車站及輕軌列車的 VR 場景（如圖 3(b)），透過讓使用者得到如在現場環境之體驗，並探討設計議題及設計成果。



圖 3 (a) 以 VR 技術討論設計成果；(b) 模擬候車站列車進站 VR 圖（資料來源：李等人<sup>[1]</sup>）

## AR、VR、MR 差異性

### AR (Virtual Reality)

擴增實境 (AR) 是一種將虛擬元素融合到現實世界的技術，透過相機和感應器捕捉現實環境，然後在螢幕上顯示虛擬物體，讓使用者同時體驗真實和虛擬世界。AR 廣泛應用於遊戲、導航、教育和工業等領域，提供豐富的互動體驗。使用者可以透過智慧手機、平板電腦或 AR 眼鏡來體驗 AR。

### VR (Virtual Reality)

虛擬實境 (VR) 顯示技術採用包覆式頭盔，讓使用者感覺身歷其境，VR 指在體驗虛擬空間，使用者可以參與互動與探索虛擬世界。使用者戴上 VR 頭盔後，感官被完全包圍，他們只能感受到虛擬世界中的視覺和聽覺刺激，從而實現沉浸式體驗<sup>[5]</sup>。

### MR (Mixed Reality)

混合實境 (MR) 是結合了虛擬實境 (VR) 和擴增實境 (AR) 的技術，透過混合實境可以讓使虛擬物件與真實世界的物件進行疊合，且有空間定位等功能，讓使用者不須再架設感應器或是手持等裝置，使用者相較於 AR 與 VR 兩者有良好的互動體驗和解決問題方面具有潛力。

## 選擇 MR 研究原因

### 快速對比虛實差異

捷運工程在工程界屬於施工難度高且管線複雜性較高的工程，工程師需要能夠在現場施工時進行實時比對設計和實際現場情況，迅速識別並解決潛在的問題和衝突。為了有效縮短了團隊溝通時差，捷運工程透 BIM 導入 MR 設備，利用虛實場景融合，使用者透過視覺化的方式有助於工程團隊更快了解狀況，減少不必要的時間成本。

### 便利性與安全性

透過 MR 設備不需要手持其他裝置，使工作人員可以在施工現場增加靈活性，並且可搭配施工安全帽，使穿戴裝置也能符合安全規定。

## 研究方法

傳統捷運機廠的 BIM，概念上即為將傳統紙本圖面的資訊數位化，BIM 以資料庫的方式儲存運用，過去皆利用電腦軟體檢視的方式，利用其

3D 畫面排除衝突及問題，由於許多施工人員對於 BIM 軟體不太會操作且施工現場也不適合攜帶電腦至施工現場檢討，在維護管理方面若當發生設備異常等狀況需要立即性排解，但現場技師難以解決時，需要透過方便與即時性的溝通方式。

因此，本研究透過 MR 技術協助捷運工程在設計階段檢核設計空間與機電管線建置合適性，解決不會使用 BIM 的現場施工人員或業主與工程師進行討論，施工階段於結構體剛完成時，可使用 MR 將機電管線呈現於施工現場，預先檢核結構物體內管線走向，降低機電工程管線與空間規劃變更設計之風險，維護管理部分，可透過 MR 混合實境結合 BIM 或現場設備實境，檢視相關元件資訊如 (製造廠商、型號等) 或讓非駐廠技師、遠端工程師即時協助指導，為營運人員帶來更為便利的營運維護效益，以下將針對各階段導入 MR 技術應用內容說明。本研究所採用的為微軟的 Microsoft HoloLens 2 設備可偵測眼球、手勢之動作並可載入 BIM 操作相關軟體<sup>[6]</sup>，利用眼鏡內投影技術呈現現況與實際完工或施工中之樣貌整合，來讓工程師瞭解施工及介面整合以及後續執行方式。

## 各階段導入 MR 技術應用說明

### 於設計施工階段應用

由於捷運工程較於複雜且管路眾多，當各分包團隊依照自己的施工圖施作時，經常會發生現場管線空間預留不足，或管線設備過多，使淨高不足等因素導致實際施工產生大量修改設計，導致工程延宕等因素，因此，當設計階段透過實務經驗豐富的工程先進，帶起 MR 設備模擬現場正在建造或安裝時，以實境方式去檢視所需要的預留與安裝方式進行討論，對於後續進行施工時會較為有利，MR 導入設計階段執行流程 (如圖 4)，利用 MR 設備進行設計檢討。

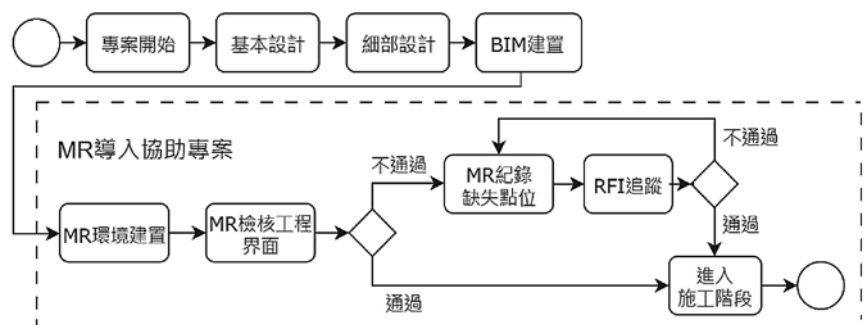


圖 4 MR 導入設計階段執行流程 (資料來源：本研究彙整)

### 前期準備階段

在工程開始時，此時 BIM 在基本設計階段設備管線等未建置，這階段引入 MR 設備效益有限，因此建議在工程進入細部設計階段，BIM 已有機電資料，在此時導入 MR 設備檢討，能輔助工程人員討論再裝設機電設備時是否會與結構發生衝突，虛擬環境中檢查配置是否符合圖說設計與施工規範。

### MR 環境建置

MR 設備上進行檢核，首先需要使用 BIM 軟體生成 FBX 檔案，在匯出過程中，須盡可能減少三角網格的數量，否則可能會導致 MR 設備出現導入失敗和效能較低等問題。在 BIM 軟體匯出前，建議三角網格面的數量不超過 50 萬面，如圖 5 所示之檢核模型三角網格數量，確認完成後再將模型轉入 MR 設備中。

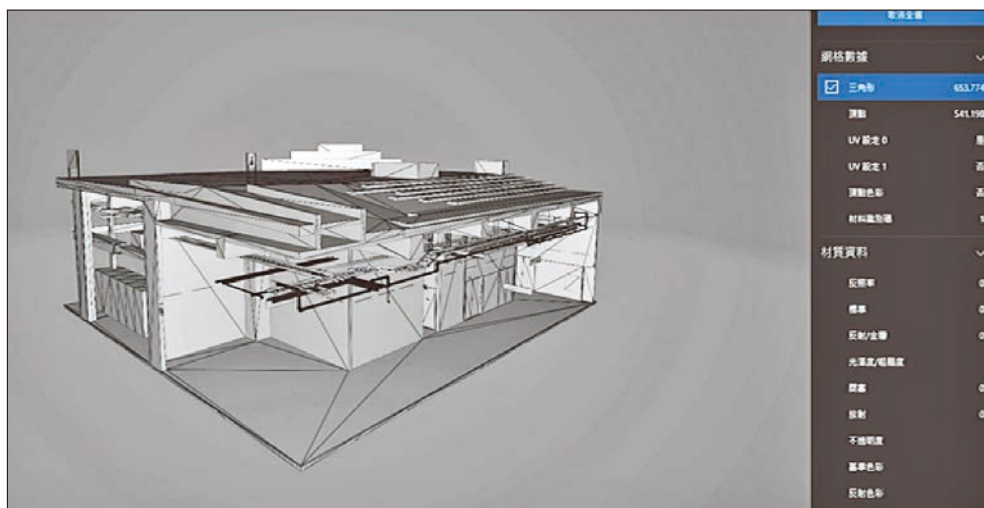


圖 5 BIM 三角網格數據 (資料來源：本研究彙整)

### MR 檢核工程界面

目前公共工程中在設計與施工階段要求統包團隊定期召開工程介面檢討會議，檢討工程中所發現的問題，並在會議中討論並留下紀錄，但在傳統介面檢討會議中如檢討管線高程時，在圖紙上難以發現問題。導入 MR 來檢核施工議題，使工程師能在會議中以視覺化的方式檢查管線高程，複雜區域並檢討施工性，如圖 6 所示，MR 設備使用者可分享畫面供其他參與會議的工程師協同合作討論管線路徑等議題。

### MR 記錄缺失點

前一階段會議中檢核模型過程所發現的缺失點，施工與監造、專管單位須將本次發現之問題建立 RFI 釋疑點，本研究在 MR 設備加入直接紀錄缺失點的功能，有助於後續追蹤後續並以視覺化方式查看模型，並將已建立的缺失點同步上傳至雲端當中。

本研究情境中採用安坑機廠之維修廠，並實際在工務所中透過 MR 設備的 BIM 檢核軟體將模型切割，(如圖 7) 位於維修廠挑高的空間中，設有消防管路，在傳

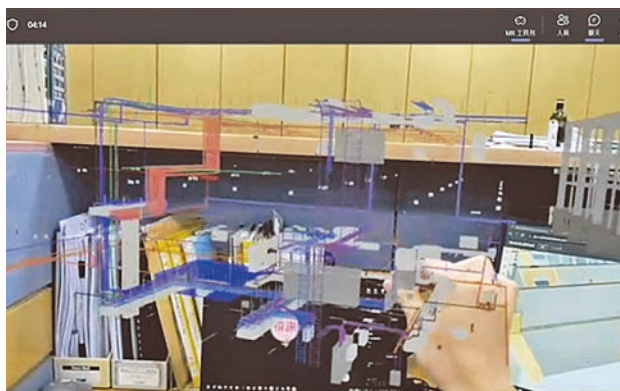


圖 6 多系統拆解畫面 (資料來源：本研究彙整)

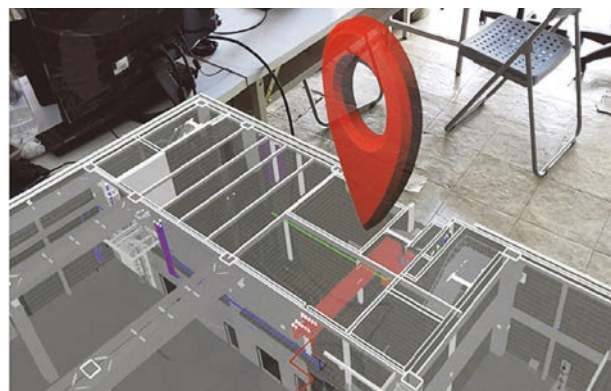


圖 7 MR 設備實際呈現畫面 (資料來源：本研究彙整)

統 2D 圖紙中同樓層垂直管路較難於圖面判讀，本研究透過會議中使用 MR 設備檢核此管線，工程師並研判此處管線安裝不易，且較容易出錯並於模型標示需至現場檢核之議題點。

### 雲端 RFI 追蹤

本研究上一階段模擬情境中透過 MR 建立缺失點，透過雲端系統來管理本次建立的議題，過程中若需要多方技術顧問協調，可藉由雲端平台統一紀錄、追蹤、管理，讓專案參與人員能在 MR 環境下協同討論，並於平板裝置或個人電腦管理相關紀錄（如圖 8），在專業團隊提供建議後，於雲端紀錄。



圖 8 透過雲端平台追蹤議題點（資料來源：本研究彙整）

### MR 於工程施工階段應用

施工過程中由於工程介面複雜與時程因素，使工程師會依據現況調整，若缺少會議紀錄與後續追蹤，可能導致 BIM 和施工現場之間存在差異，後續將導致更多修改成本問題。本研究導入 MR 設備於現場施工，透過虛實融合的方式，可以發現與解決 BIM 與現場的差異，即時檢核各分包商是否依照圖說施工，避免日後可能發生管線預留不足問題，本研究研擬施工階段 MR 設備導入流程（如圖 9），可以透過 MR 設備協助施工現場模型檢核、輔助施工、完工驗收等，達成有效的協調與提升工作效率。

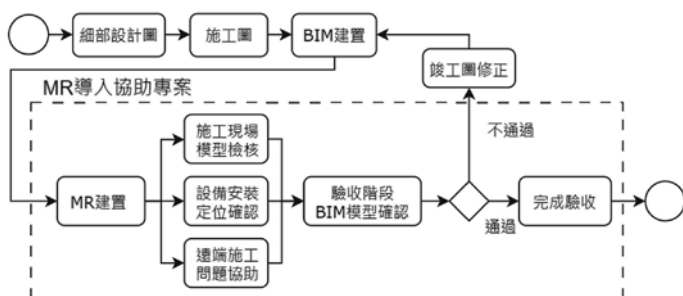


圖 9 施工階段 MR 設備導入流程（資料來源：本研究彙整）

### 前期準備

在導入 MR 設備前須先完成施工圖說和 BIM 的建置，再透過 BIM 軟體將模型檔案進行轉檔後導入本研究開發之 BIM 轉換軟體，轉換後傳輸至 MR 設備，並導入至施工階段。

### 施工模型檢核

#### 現場 1:1 實景套疊

MR 設備於施工現場進行 1:1 實景套疊功能時，快速也有效檢核模型是否與現場是否一致，先在現場放置 QR Code 定位點（如圖 10），此動作是使 MR 設備能夠將 BIM 模型套疊在實體位置，定位完成後即可檢視套疊畫面（如圖 11）。

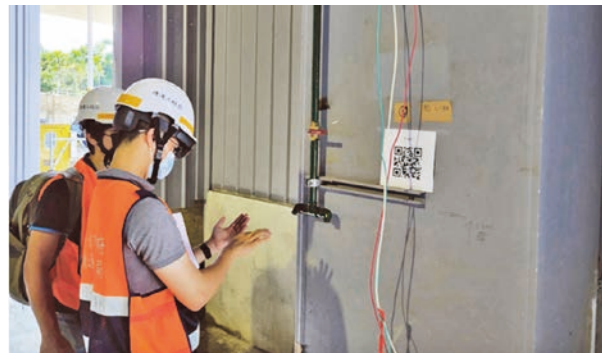


圖 10 MR 設備透過 QR Code 進行 1:1 定位（資料來源：本研究彙整）



圖 11 MR 設備現場套疊畫面（資料來源：本研究彙整）

### 設備安裝定位確認

透過 MR 設備於施工現場使用 1:1 實景套疊，如圖 12 所示，目前畫面中有一部分管線已安裝與一部分未安裝，透過 MR 設備可快速確認未來安裝的路徑，若管路此時發生穿樑與碰撞時，工程師就能透過 MR 設備進行截圖標示，建立表單後於施工會議中提出，可大幅節省紀錄時間與溝通成本。



圖 12 MR 設備現場套疊畫面  
(資料來源：本研究彙整)

### 遠端施工問題協助

若施工過程中發生突發事件或需緊急協助，可透過 MR 設備請求遠端支援協助，現場工程師可透過 MR 設備求助遠端技師顧問（如圖 13），進行多方通訊，並同步將現場畫面傳送給遠端技師顧問，如圖 14，遠端技師顧問可及時給予協助，減少雙方溝通時差與縮減差旅支出。



圖 13 透過 MR 設備尋求遠端技師協助  
(資料來源：本研究彙整)

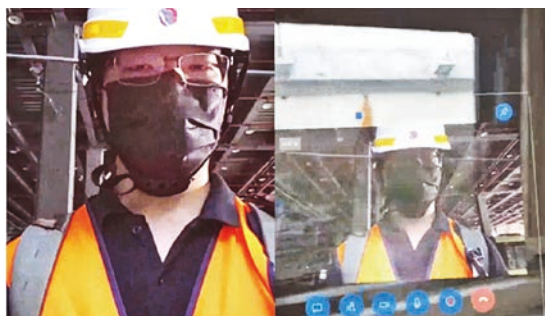


圖 14 遠端技師顧問給予即時指導 (資料來源：本研究拍攝)

### 驗收階段 BIM 檢核

為使 BIM 專案模型與實際竣工現況相符，利用混合實境技術實景套疊 BIM 是否與現場相符，本階段需請施工單位於待驗收空間，建立 MR 視點與相對應的 QR Code，於驗收時業主透過 MR 設備，檢視套疊於實體空間的 BIM，有利於驗場 BIM 的比對與確認，如圖 15 所示。



圖 15 透過 MR 設備驗收 BIM 與現場是否一致  
(資料來源：本研究彙整)

### MR 於維護管理應用

透過 MR 設備可在風險較高的時期，例如流行疾病疫情嚴峻時期，工程可能會限制進入工地人員數，這會使工人在需要時難以獲得幫助，無法到現場的主管或遠端技術顧問，與現場人員在溝通上產生障礙，也無法親自解決問題，且後續維護管理階段需要進行臨時維護以及定期巡檢時，可以透過 MR 技術提供現場進行維護管理的便利性，如圖 16。

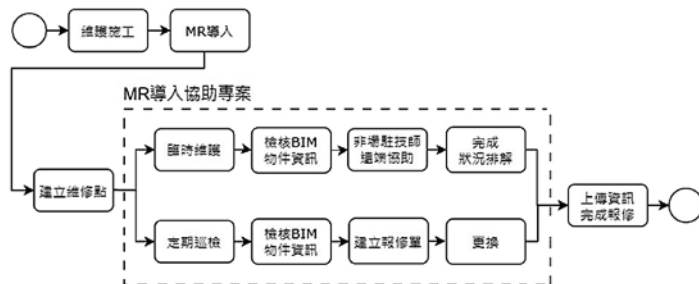


圖 16 維護管理階段 MR 設備導入流程  
(資料來源：本研究彙整)

### 臨時維護

#### 檢核 BIM 物件

維運階段情境模擬若發生緊急狀況檢修人員透過 MR 設備進行設備定位後，至現場後針對所需檢視之設備進行查看，如圖 17、圖 18，可透過 MR 檢核 BIM 中的元件資訊，並可立即透過 BIM 中的設備資訊進行通報或緊急維護。

#### 非駐廠技師顧問遠端協助

若發生緊急狀況，設備涉及專業廠商維護範疇無法即時到現場維修時，現場人員可以使用 MR 設備與非駐廠技師共享即時畫面。如圖 19，非駐廠技師，可以直接從他們的電腦螢幕上看到 MR 設備中看見現場

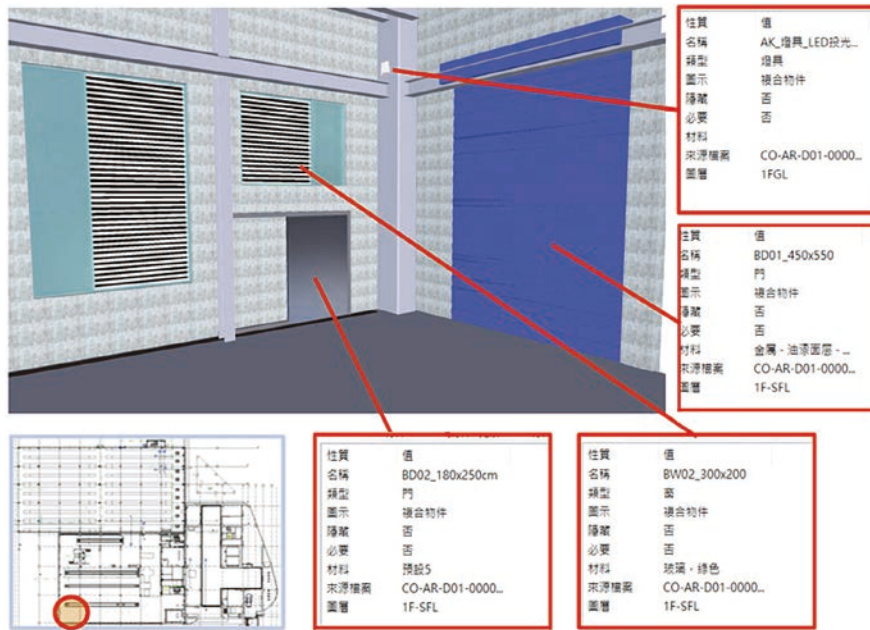


圖 17 於停留點中檢修人員所檢核之相關元件資訊 (資料來源: 本研究彙整)

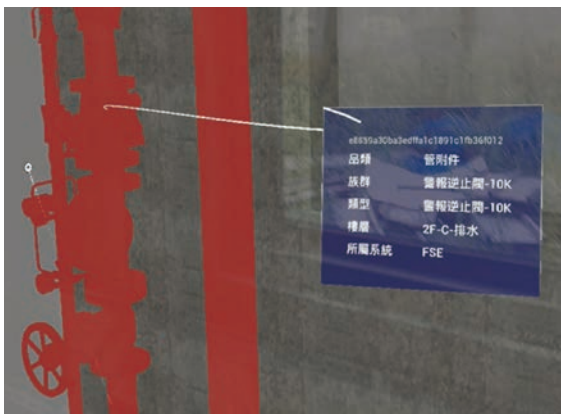


圖 18 MR 設備檢視 BIM 元件資訊 (資料來源: 本研究彙整)



圖 19 MR 設備現場維護檢修狀況 (資料來源: 本研究彙整)

人員相同的工程現場，且現場人員可以透過空出的雙手使用工具來進行即時維修，而非廠駐技師顧問可以在現場人員施作時透過標記、檔案傳輸、照片分享等功能輔助現場人員更能理解修復過程。

## 定期巡檢

### 檢核 BIM 物件

在傳統發生設備異常等狀況時，常需查找圖說與送審資料才可知道設備名稱與維護廠商，本研究在維護管理階段中現場定期巡檢人員透過 MR 設備進行設備定位後，至現場後對設備進行查看 (如圖 20)，若發現設備異常可透過 MR 檢核 BIM 中元件資訊，並立填寫報修單使維護廠商到場協助修復，可大幅減少查找圖說與資料的時間。

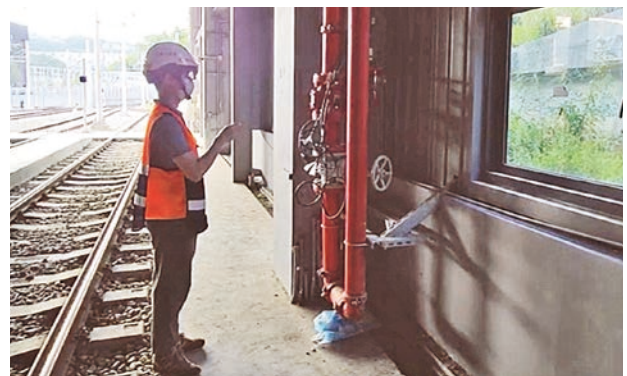


圖 20 MR 設備現場維護檢修狀況 (資料來源: 本研究彙整)

### 建立報修單

使用 MR 設備查看 BIM 資訊，將需維修的設備資訊填寫於維修工單中，透過 Field Service 網頁建立檢修工單，進行後續維修時之狀況追蹤亦可進行管理及查看，如圖 21。



圖 21 Field Service 網頁建立檢修工單 (資料來源：本研究彙整)

新北捷運工程 BIM 導入 MR 設備呈現設計、施工及維護管理階段模型於實際案場，將 MR 設備結合 BIM，透過設計前檢討施工前後比對，進而模擬工程結構與機電系統碰撞衝突；維護管理階段透過機械設備維護管理資訊管理、維修派工作業等項目，使營建產業結合更多元的智慧科技應用。

### 結論與建議

為提升工程品質，在新北捷運工程生命週期導入混合實境 (MR) 之新技術，減少施工問題避免發生管線與工程結構衝突，透過 MR 設備更能了解管線於圖面上配置，利用虛實疊合技術，使工程施能快速了解現場管線配置與走向後可減少不按圖施工等問題，進而控制進度與成本。於後續維護管理方面，捷運工程各式設備在完工之後被使用的過程中，關於當初採購供應商、保固商、產品規格、操作手冊等相關資訊，都可以在 BIM 技術的幫助下更有效的完整保存，以下舉例幾項運用 MR 實境技術可協助施工現場的優勢：

#### 1. 虛實疊合視覺化呈現

利用 MR 設備的虛實疊合視覺化技術可以解決平面視圖上無法確認的碰撞問題，也可於現場疊合 BIM 與現場做 1：1 比對，讓現場工程師可在各階段發揮不同效益，在設備安裝前可確認預留空間是否足夠，設備安裝後可查閱 BIM 模型資訊協助維護階段檢修使用。

#### 2. 降低各式風險

透過 MR 設備進行前期檢討後期確認，可避免於施工階段發生管線衝突問題，減少後續重工或結構體打除等問題，提升工程進度，且 MR 的輕巧與簡易操作性相較於 BIM 軟體，可提升施工人員使用意願。

#### 3. 節省時間成本

有鑑於新冠疫情期間各項交通皆受到影響，而新北捷運安坑線於工程內有許多設備及特殊工項如集電弓線路、號誌系統仍須非駐廠工程師技術服務與協助，若未來發生相似狀況，以致於許多須急迫解決問題遭到延遲，工程師能攜帶 MR 設備至現場，利用設備遠距技術支援，當遇到較為複雜之技術問題時，可透過系統遠端請求非駐廠技師協助，並利用現場 1：1 實景套疊功能確認設備所在位置，配合專業技師快速針對狀況做排除。

#### 4. 提升專案品質

在設計階段透過 MR 設備在各系統之檢討會議中可快速確認衝突位置，並檢討相對應策略；施工階段利用 MR 設備可以在工地現場確認與檢核施做位置並在三維空間標記，使釋疑時能夠更準確的確認現場狀況；維護管理階段利用 MR 設備可於現場快速檢查各設備的狀況，以保持設備在良好狀況下運轉。

透過前述等優勢本研究運用 MR 技術之經驗以期導入更多類型工程，使營建產業結合更多元的智慧科技應用，提升工程上混合實境的應用成效，增進相關產業科技發展。

### 參考文獻

1. 李政安、凌建勳、涂貫迪 (2018)，「淡海輕軌 BIM 技術應用與設計施工整合特色」，土木水利，第四十五卷，第一期，第 73-81 頁。
2. 林建輝，「BIM 在捷運三鶯線之施工應用—BIM 在智慧化運用」。
3. 李政安、鄒宏基、周茂益、劉泰儀、吳崇弘 (2021)，「建築資訊模型 (BIM) 於安坑輕軌系統安新橋設計施工應用實務探討」，土木水利，第四十八卷，第一期，第 29-36 頁。
4. JR 東日本，進行中の建設プロジェクト最新技術を活用したプロジェクト推進：JR 東日本。
5. 周淵清、陳宜民 (2019)，「BIM 結合 VR 之工程應用」，中興工程，第 145 期，第 15-20 頁。
6. Microsoft，HoloLens 2 功能並檢閱技術規格，取自：<https://www.microsoft.com/zh-tw/hololens/hardware>

