

# 新北市政府113年度自行研究報告

## 新北捷運工程應用混合實境之 效益與未來展望

研究機關：新北市政府捷運工程局

研究人員：何冠德

研究期程：113年1月1日至113年12月31日

## 新北市政府113年度自行研究成果摘要表

計畫名稱	新北捷運工程應用混合實境之效益與未來展望
期程	自113年1月1日至113年12月31日
經費	無
緣起與目的	<p>近年來資訊科技產業蓬勃發展，以及元宇宙風潮的興起，擁有虛擬和真實之間可無縫切換的混合實境技術(Mixed Reality, MR)，已逐漸被營造業應用於設計、施工及營運維護階段。</p> <p>因此，擁有設計困難、土建水環與機電施工界面複雜、維護年限長等特色的新北捷運統包工程，即可利用已有建置的建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 結合混合實境技術，讓統包廠商有效解決在設計、施工階段遇到的工程問題，加速設計階段的模擬評估、減少土建水環間的界面衝突問題，並助於施工現場設備安裝工序安排與系統維護效率，後續則期許新北捷運能夠在捷運工程領域中創造更為智慧和前瞻性的應用情境。</p>
方法與過程	<p>本局於捷運工程中早已有利用 BIM 進行設計模擬、土建水環界面整合及施工界面衝突檢討，但囿於 BIM 技術通常是以辦公室進行電腦操作，進而利用工程師的經驗進行設計模擬及施工界面衝突檢討，過往偶爾會利用 BIM 資源搭配第三方軟體製作模擬影片，以利更加快速了解複雜的捷運工程設計衝突情形以及未來的成果展現。</p>

	<p>考量近年來資訊科技產業蓬勃發展，本局特別透過 BIM 導入 MR 技術，並將 MR 技術應用於捷運工程設計、施工和營運管理等不同階段，再來探討 MR 技術與過往僅利用 BIM 檢討捷運工程界面整合的差異性。</p>
<p>研究發現及建議</p>	<p>本局特別將 MR 技術應用於捷運工程設計、施工和營運管理等不同階段，發現工程師於設計階段將 BIM 導入 MR 後，可利用 MR 設備的虛擬模擬功能來進行模型檢核，使設計工程師及檢核人員可拋開過往紙上談兵的方式，以視覺化的方式，瀏覽設計成果，使成果展現更加人性化且具體化，可有效縮短溝通誤差，加速複雜的設計議題收斂；施工階段則可將 MR 設備帶至現場，讓工程師與監造人員或業主現場進行施工模型檢核及討論比對，快速了解現場狀況，以降低施工誤差；營運階段則可透過 MR 設備及遠端操控方式，讓遠端的原廠技師協助操控演示，讓營運的維護工程師可有效解決困難的問題。</p> <p>考量捷運工程的專業性及複雜性，本局已將 MR 技術導入捷運汐東線及後續捷運路網，期待未來施工團隊及本局同仁可妥善利用嶄新的元宇宙技術，提升新北市的捷運工程設計、施工品質、安全性及妥適性。</p>
<p>備註</p>	

# 目錄

壹、摘要.....	1
貳、主旨及背景說明 .....	2
參、相關研究、文獻之檢討 .....	3
一、BIM 結合 MR 應用 .....	3
二、設計階段的應用 .....	4
三、施工階段的應用 .....	4
四、維護與營運中的應用 .....	6
五、挑戰與發展方向 .....	6
肆、研究方法.....	7
伍、研究發現.....	9
一、分析 MR 應用於設計階段 .....	9
二、分析 MR 應用於工程施工階段 .....	12
三、分析 MR 應用於營運維護管理階段 .....	15
陸、結論與建議.....	18
一、研究效益 .....	18
二、未來展望 .....	19
柒、參考文獻.....	20

## 圖目錄

圖 2-1 新北市政府捷運工程局三環六線願景圖 .....	2
圖 3-1 4D BIM 模型結合流程(RIEXINGER ET AL. 2018).....	5
圖 3-2 4D BIM 與混合實境現地使用狀況(RIEXINGER ET AL. 2018).....	5
圖 4-1 混合實境導入各階段應用方式 .....	8
圖 4-2 混合實境結合 BIM 應用的短中長期規劃.....	8
圖 5-1 界面會議以混合實境設備進行遠端議題討論 .....	9
圖 5-2 以混合實境檢討設計衝突及問題追蹤概念圖 .....	9
圖 5-3 演示設計階段利用混合實境將結構進行拆解畫面 .....	10
圖 5-4 建立議題點示意圖 .....	11
圖 5-5 雲端平台同步顯示.....	11
圖 5-6 以平板演示透過雲端平台掌握議題點的示意圖 .....	12
圖 5-7 以混合實境檢討施工衝突及問題追蹤概念圖 .....	13
圖 5-8 現場套疊施工 BIM 於混合實境設中的視覺化表現 .....	14
圖 5-9 以混合實境雲端系統整合現場施工與施工 BIM 模型概念圖 ..	15
圖 5-10 以混合實境進行維修操作概念圖 .....	16
圖 5-11 巡檢人員於 FIELD SERVICE 網頁建立檢修工單 .....	17

# 壹、摘要

新北市捷運工程三環六線正在依規劃期程逐步展開規劃、設計、施工及營運，然而隨著全球城市化進程的加速，捷運系統作為城市公共交通的重要基石，其建設規模與複雜度不斷提升。傳統的營建工程設計與施工方法面臨著越來越多的挑戰，包括設計誤差、施工風險、溝通不暢以及資源浪費等問題，更遑論具有土建水環與機電設計施工界面複雜、維護年限長等特色的捷運工程。

在此背景下，新興科技的應用成為解決這些問題的重要途徑，近年國內建築資訊模型(BIM)導入捷運工程、營建工程生命週期的設計、施工及營運階段已逐漸成為應用主軸，尤其透過 BIM 帶來的資訊能夠在施工及營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 實際施工及營運現場的連結應用上仍缺乏實質性的突破，而混合實境技術(MR)以其具獨特的優勢，帶來了革命性的改變。

MR 技術結合了虛擬實境(VR)與擴增實境(AR)的特性，能夠將虛擬模型與真實場景無縫融合，為設計、施工、營運管理提供更直觀、精確的解決方案。這不僅提升了工程的效率與精度，更降低了風險與成本。隨著技術的快速發展，越來越多國家開始探索 MR 技術在捷運工程或營造工程的探索及應用，逐漸展現出其在智慧化基礎建設中的廣泛潛力。本文將探討 MR 技術在捷運工程中的應用現狀與未來發展，分析其帶來的優勢與挑戰，並展望新北捷運在捷運工程領域中創造更為智慧化和前瞻性的應用情境。

## 貳、主旨及背景說明

大臺北都會區捷運建設二期路網陸續通車，隨本府規劃捷運三環三線建設藍圖，大臺北都會區捷運建設由以臺北市為中心逐漸轉為以新北市為核心，並擴大路網規劃將三環三線升級為三環六線

(三環三線+三線)(如圖 2-1)，可服務新興開發區，將捷運核心路網往外圍地區延伸，透過路線轉乘機能擴大整體路網面。藉由三環六線的推動，不僅可以紓解目前轉乘站的人潮壓力，更提供大臺北的乘客更完整、更便捷的捷運路網。



圖 2-1 新北市政府捷運工程局三環六線願景圖

考量捷運工程龐大施工量體及營運需求，以及土木機電工程項目界面複雜，因此期望藉由蒐集捷運工程 BIM 及 MR 技術應用相關文獻，提出對於捷運工程數位化、系統化管理的未來執行方向，以提升營運中的捷運服務品質與設施維護管理效率、減少捷運工程管理困難、施工困難及排除管線衝突、協助現場設計施工與系統維護之財產管理應用之情境，以達到利用 BIM 及資訊相關系統進行捷運工程管理之願景。

## 參、相關研究、文獻之檢討

隨著數位化與智慧化建設技術的快速發展，混合實境技術(MR)在營建工程中的應用逐漸成為國際研究的焦點。MR 技術通過將虛擬資訊與真實環境相結合，為設計、施工和營運提供了全新的解決方案。本國近年來也逐漸成為營建工程與捷運工程應用 MR 技術的先行者，相關研究與實務應用展現出技術整合的多樣性與創新性，本篇文獻回顧將探討近年來相關研究的發展及應用進行分析。

### 一、 BIM 結合 MR 應用

(一)由於 VR 技術的蓬勃發展，讓營建產業也不得不跟上 VR 的運用潮流，透過將 BIM 3D 模型匯入 VR 中，可利用 VR 直接觀察 BIM 3D 模型的狀況，透過身歷其境的方式探討設計及施工階段產生的界面衝突，亦或是將 BIM 3D 模型加上工序模擬後可直接在 VR 中觀察施工順序，探討施工中可能發生的工安問題並進行工安訓練模擬或是進度檢討，以增加施工效率及安全性。

(二)近期 VR、AR 技術的發展，慢慢朝向兩者混合使用演進為 MR，透過混合實境裝備觀看現實空間與3D 虛擬內容融合在一起的景象。MR 混合實境技術將會改變整個產業軟硬體的應用，未來可以使用 MR 穿戴設備直接比對 BIM 3D 模型與工地現場，或是透過 BIM 3D 模型取得埋在牆內管線位置，供施工人員或是後續維護人員能更快的將 BIM 的數據資料與現場結合。所以 BIM 3D 資訊的提供對於 VR、AR 及 MR 的應用將會非常重要，以便相關人員在現場使用 MR 穿戴設備

時，有足夠的資訊能夠在後台運作並即時呈現至穿戴設備中。

## 二、設計階段的應用

在營建工程與捷運工程的設計階段，MR 技術主要用於視覺化設計方案與模擬實際施工場景。透過 MR 技術，工程師可以更直觀地檢視建築及捷運設計，並與業主及監造單位進行即時溝通，減少設計修改次數，也可讓業主更能深刻了解未來完工的意象，增進雙方的信任感。

## 三、施工階段的應用

(一)MR 技術在施工管理被廣泛用於進度追蹤、資源管理以及現場協作。透過將實際施工場景與 BIM 模型進行疊加，工程師可以快速識別施工偏差並進行即時調整。此外，MR 還能用於進行施工安全模擬，有效降低意外發生率。

(二)Riexinger 等人提出了搭配4D BIM 模型的混合實境系統架構（如圖 3-1）(Riexinger et al. 2018)，利用混合實境的模擬視覺，讓工程師在施工現地可直接依 BIM 所提供的動態模型資訊進行施工，再搭配輔助資訊的提示，讓工程師更快速瞭解施工順序，以降低錯誤發生（如圖 3-2）。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。

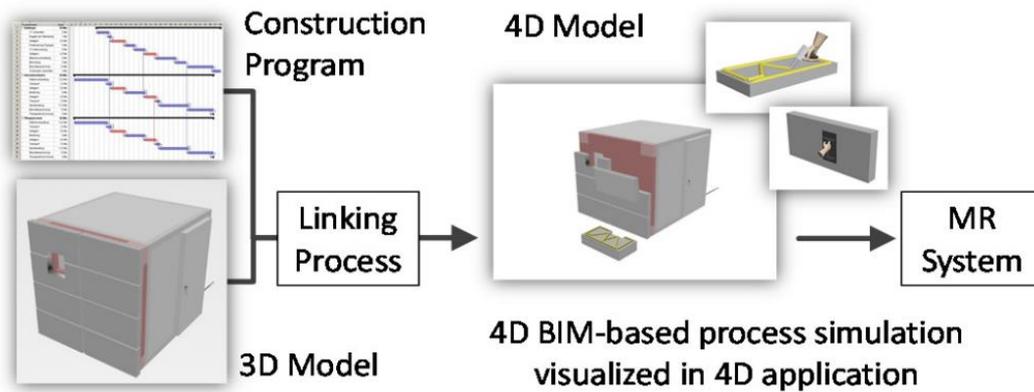


圖 3-1 4D BIM 模型結合流程(Riexinger et al. 2018)

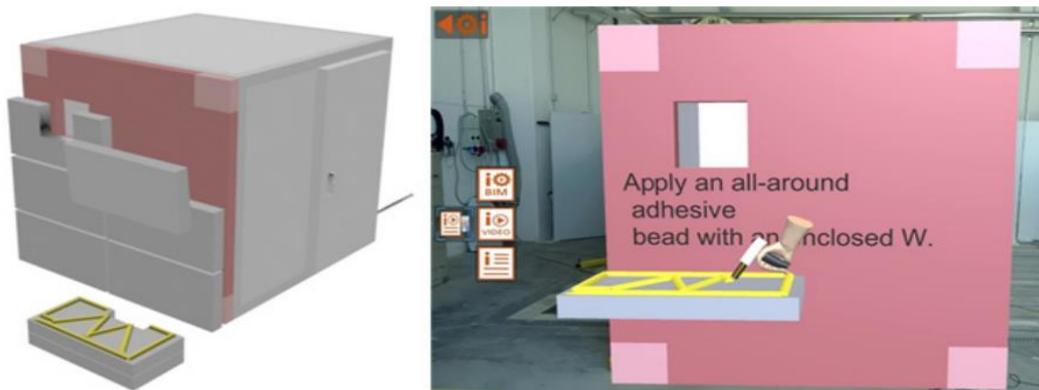


圖 3-2 4D BIM 與混合實境現地使用狀況(Riexinger et al. 2018)

(三)國內「開發以混合實境為基礎之現地施工進度追蹤及查核系統」研究指出(陳俊瑋，2019)，該研究發展一套結合 BIM 及 MR 技術的施工查核系統，工程師能夠藉由頭戴式混合實境裝置，在執行現地查核作業的過程中，以現實環境相同比例的 BIM 模型進行查核，藉由混合實境裝置提供的環境掃描能力，進一步對工程項目進行量測，即可比較設計與施工的差異性。此外，在該研究的混合實境查核系統輔助，施工查核參考資料及相關表單，也可及時以影像的方式呈現，改善平時攜帶大量紙本資料至工地而產生查閱資料的不便性。工程師可藉由開發 MR 查驗工具，讓查驗結果能快速地輸入到表

單中，提升查核的便利性及效率，亦可透過編碼系統自動連結的功能，節省事前準備及查核後文書處理時間，以減少錯誤發生，工程師可由此系統記錄完整性較高的日報紀錄，可大幅提升專案管理的品質及效率。

#### **四、 維護與營運中的應用**

(一)在訓練與教育領域，MR 技術為施工人員提供了安全且高效的學習環境。透過模擬真實的施工場景，新進人員可以熟悉施工過程，並在虛擬環境中進行操作訓練。

(二)台北捷運公司2021年首創將 MR 應用在軌道運輸人員訓練，並於2023年以現有「文湖線電聯車 MR 混合實境模擬訓練系統」為基礎，在既定手動駕駛與列車異常排除情境架構，增設不同情境操作項目，客製新增列車重大故障情境、370型電聯車車內設備操作、256型電聯車手動駕駛與故障排除設備操作等項目，並增設多人教學連線模組，擴充延伸文湖線電聯車 MR 模擬訓練系統，不僅有效提升了駕駛訓練效率，還降低了因駕駛失誤而造成的潛在風險。

#### **五、 挑戰與發展方向**

儘管國外研究已經展現出 MR 技術的多重優勢，但其應用仍面臨挑戰，例如硬體成本高昂、技術普及度有限以及需要與現場環境高度融合的問題。此外，MR 技術與 BIM 數據的深度整合仍需更多的技術支持。未來，透過與人工智慧、大數據技術的結合，MR 技術有望進一步優化，並應用於更多元化的基礎設施建設與管理場景。

## 肆、研究方法

現今資訊科技發達，隨著新科技發展蓬勃，於工程產業結合混合實境技術(MR)是未來重要趨勢之一，MR除了可即時互動體驗外，亦可解決工程面設計施工的界面衝突與設備維護等相關應用。本計畫透過導入建築資訊模型(BIM)應用於捷運工程的構想，研擬工程管理及設施維護面向結合MR技術，以協助設計施工界面協調、減少捷運施工困難及排除管線衝突，提升營運中的捷運服務品質與設備維護管理效率，並制定MR進階應用短中長期規劃，期望以MR技術強化捷運工程管理的願景。

捷運工程上針對各階段不同單位之間相互溝通的效率與完整性，為執行工程專案成敗的關鍵因素，本研究為更加強化各階段溝通執行上的便利性，導入MR技術於設計階段、施工階段與營運階段，研擬展示各情境應用方式，透過混合實境之穿戴式設備導入結合BIM建築資訊模型，從設計階段、工程階段、營運管理階段等不同階段、不同層面導入MR，協助推動捷運工程專案檢討工程各階段的各界面衝突與未來設備巡檢維護作業的便利性。

本研究研擬為短中期、長期等階段進行MR技術導入，由於需搭配各捷運期程，本局已規劃捷運汐東線於設計階段即完整引入MR設備及技術應用，於各階段定期召開BIM界面協調會議引入MR設備，藉由將BIM導入混合實境技術，使現場能於施工前即時檢討衝突並修正，節省工程非必要之開銷，於設計衝突檢討時，可利用視覺化模擬輔助討論，避免溝通上的誤解。此外，於工程查驗時，也更利將BIM 3D模型與現場進行比對，藉此減少施工誤差，

提升工程施作之品質，於營運階段，提升設備維護管理效率。

短中期階段為 MR 導入設計、施工階段，目標為加速設計效率、減少施工中問題檢討，降低施工誤差，透過設計階段與施工階段導入工程實務相關應用。長期階段為 MR 導入維護管理階段，主要利用 MR 進行設備維護與維護教學，將 BIM 模型與實體空間結合，並透過視覺化方式呈現，現場維護人員如遭遇維修困難，將不再受到距離影響，可透過遠端及時支援，各階段 MR 應用方式如圖 4-1，詳細短中長期規劃如圖 4-2。

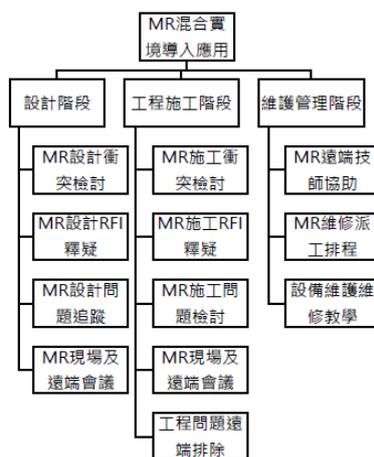


圖 4-1 混合實境導入各階段應用方式



圖 4-2 混合實境結合BIM應用的短中長期規劃

## 伍、研究發現

### 一、分析 MR 應用於設計階段

由於捷運工程量體及工程項目較為複雜，且有水環、機電系統等管路眾多，若當團隊還在使用傳統獨立作業的方式工作時，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設計疑義或衍伸設計修改、設計變更情形，進而導致工程延宕。因此，施工廠商在設計階段可透過邀請工程經驗豐富的工程師，帶起 MR 設備模擬現場正在建造或安裝的情境(如圖 5-1)，以實境方式去檢視所需要的預留與安裝方式進行多方溝通討論，對於後續設計效率及後續進行施工時會相較有利，設計階段導入 MR 的概念如圖 5-2。



圖 5-1 界面會議以混合實境設備進行遠端議題討論



圖 5-2 以混合實境檢討設計衝突及問題追蹤概念圖

透過定期召開 BIM 界面檢討會議，針對 BIM 3D 模型內的碰撞點進行設計衝突檢討，若牽涉到多個系統間的干涉，或是空間狹小卻多系統區域，以一般設備較難看出施工性，若以 MR 裝置呈現，可以更加自由移動視點，較能與實體空間尺寸進行比對，能夠以真實進入實際空間的感受，更精準地確認周遭物件是否有影響碰撞因素，其針對 BIM 3D 模型內管線及結構衝突，使用者可以在 MR 環境下檢討最佳解決方式，讓設計界面議題整合更加順暢及方便，如圖 5-3。

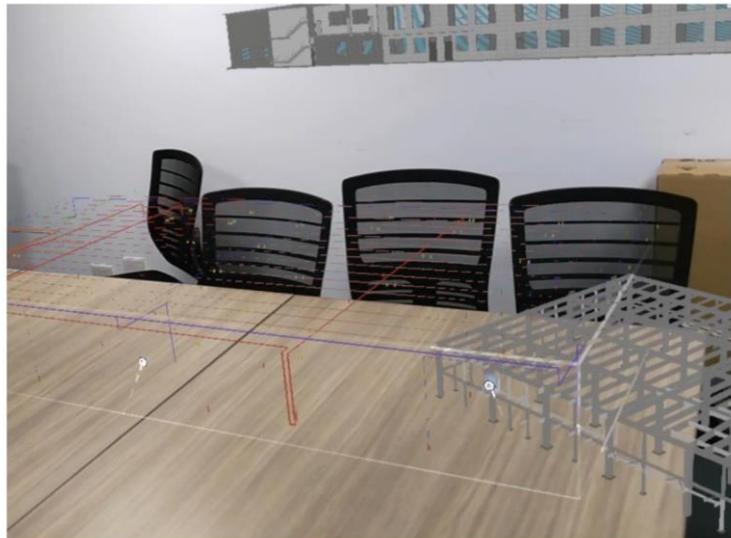


圖 5-3 演示設計階段利用混合實境將結構進行拆解畫面

#### (一)透過 MR 建立缺失點：

召開 BIM 界面檢討會議時，若有需注意與需建立 RFI 釋疑處，利用 MR 設備以視覺化方式查看模型，透過 MR 模型建立檢視點並上傳至雲端當中，此情境中之模型為安坑輕軌機廠停車場模型，並透過 MR 設備的 BIM 檢核軟體將模型切割，位於駐車廠挑高位置有消防管路，一般以圖面來進行判讀時，圖紙中同樓層垂直管路需要較有經驗的工程師才能判讀，如以 MR 設備進行探討時，工程師可

研判此處管線安裝較容易出錯，並於模型標示需至現場檢核之議題點，如圖 5-4。

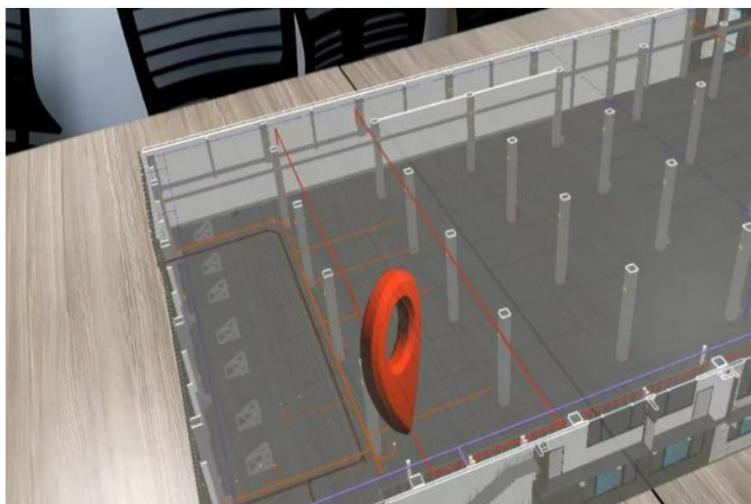


圖 5-4 建立議題點示意圖

## (二)透過 MR 追蹤管控設計 RFI：

捷運工程於設計階段，經常有各種界面需要整合，過程中需要與業主及監造單位進行協調，整合議題可藉由雲端平台進行紀錄、追蹤、管考(如圖 5-5)，讓工程師能在設計階段以 MR 的環境與專任技師、業主及監造單位協同討論，亦可於平板裝置或個人電腦管理相關紀錄，可增加討論議題的便利性，如圖 5-6。



圖 5-5 雲端平台同步顯示



圖 5-6 以平板演示透過雲端平台掌握議議題點的示意圖

### (三)MR 於設計階段的延伸應用：

捷運工程因土建與機電常有界面議題，因此必須頻繁地召開設計界面協調會議，若會議中需機電廠商於國外的專業技師指導討論，可透過 MR 設備至會議室檢討界面議題，並可將實境畫面展示於會議室螢幕中，並同步透過視訊通話方式展示 MR 畫面，於 MR 虛擬環境瀏覽 BIM 模型進行多方討論，以加速捷運工程土機界面的議題收斂。

### (四)提升捷運設計品質效益：

工程師可以利用 MR 設備進行視覺化溝通協調，亦可有效解決過往 2D 平面圖說上無法確認的界面碰撞問題。如捷運工程有複雜的土建工程、水環工程、機電系統工程界面，為避免施工階段發生管線衝突或設備安裝衝突等問題，可透過設計階段界面會議導入 MR 設備檢討，進而提升設計品質及效率。

## 二、 分析 MR 應用於工程施工階段

捷運工程在施工過程中會因為各種原因不斷檢討修改設計圖，突發狀況有時候比整體團隊的反應速度更快，尤其牽涉上下或橫向

的溝通。例如，可能需要一個工程變更單，但工程數據管理部門需要時間來改設計圖，接踵而來即時狀況，最終常會造成連鎖反應，甚至可能影響到施工進度。如果沒有紀錄與有效溝通 BIM 模型和施工圖之間存在的差異，可能會導致嚴重的系統衝突、違約或是付出更多修改成本的問題。此外，參與人數眾多，每個角色對工程抱持不同看法，對於施工也有相對的影響。

為了加強整合團隊之間的協作，提升檢測錯誤並解決問題的效率，使施工團隊可以輕易發現與解決突發狀況，工程師可利用 MR 視覺化的修改內容再搭配實際現場的情形進行團隊討論，避免一系列日後可能發生的更大問題。當施工團隊所有成員對 MR 工程具有共同的視覺概念時，可以更有效的彼此溝通協調，並避免延誤工作進度，如圖 5-7。



圖 5-7 以混合實境檢討施工衝突及問題追蹤概念圖

**(一)前置作業：**

MR 技術於施工階段，工程師必須先依據施工圖完成施工 BIM

的建置，再透過 BIM 軟體將檔案轉檔後傳輸至 MR 設備。此外，工程師必須於 BIM 中建置施工位置的 QR Code 定位點，以利現場定位作業。

### (二)MR 應用於施工查核：

為使 MR 設備將 BIM 模型套疊在實體位置，工程師至捷運站體施工現場後，必須於原先規劃的 QR Code 定位點進行定位，方可透過 MR 設備進行模型與實體的1:1實景套疊，幫助工程師迅速地確定施作位置及進行施工品質的查核作業，如圖 5-8。如工程師於現場發現現場有施工疑慮或有設施衝突情形，可即時透過 MR 設備進行截圖標示，建立表單後於施工會議中提出討論，可有效節省紀錄時間與溝通成本。



圖 5-8 現場套疊施工BIM於混合實境設中的視覺化表現

### (三)MR 應用於驗收檢核：

業主可要求監造單位於竣工查驗階段，即同步檢核施工 BIM 模型與竣工圖之差異，並依竣工圖調整 BIM 模型。再依 QR Code 定位方式將重點驗收區域進行定位後，由主驗人員及監造單位於驗收階

段除檢視紙本竣工書圖外，亦可利用 MR 設備進行實景套疊進行檢核確認，有利於主驗人員於驗收時更方便地進行核對。

#### (四)降低現場施工誤差效益：

可改變過往於工地現場必須攜帶2D 施工圖進行工地督導及檢核的做法，工程師在施工現場攜帶 MR 設備，以1:1實景套疊施工 BIM 模型，進行現場施工情形與施工 BIM 模型比對作業，能夠快速並準確地完成檢核，可減少攜帶大量施工圖的不便性，亦可降低與現場施工誤差的情形，如圖 5-9。

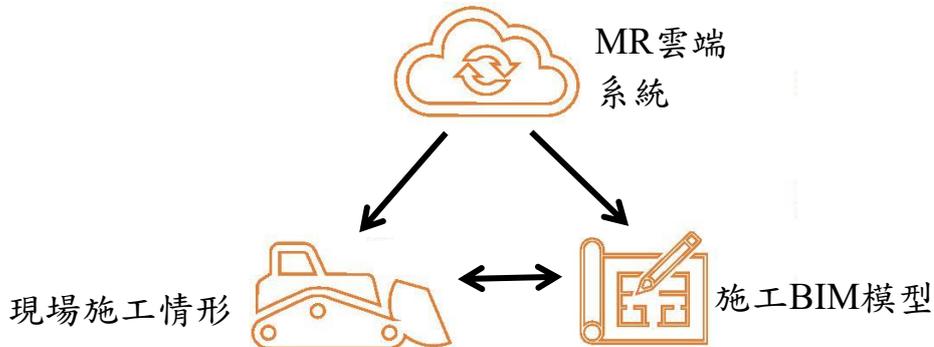


圖 5-9 以混合實境雲端系統整合現場施工與施工BIM模型概念圖

### 三、分析 MR 應用於營運維護管理階段

捷運工程在完工通車後，設備使用年限多為數十年，為使民眾可舒適及安全的搭乘捷運，捷運的營運維護即屬非常重要的階段，然而，過往營運單位在維修、保養、教育訓練等作業，通常都是以紙本圖表、實體操作及課堂訓練等方式進行管理及記錄，必須耗費相當大的人力及時間，且日積月累的大量資料也成為難以調閱的障礙。因此，藉由透過 MR 軟體及設備，讓維修人員以資訊數位化、模擬化、遠端操作等方式，進行以上問題的改善，如圖 5-10。

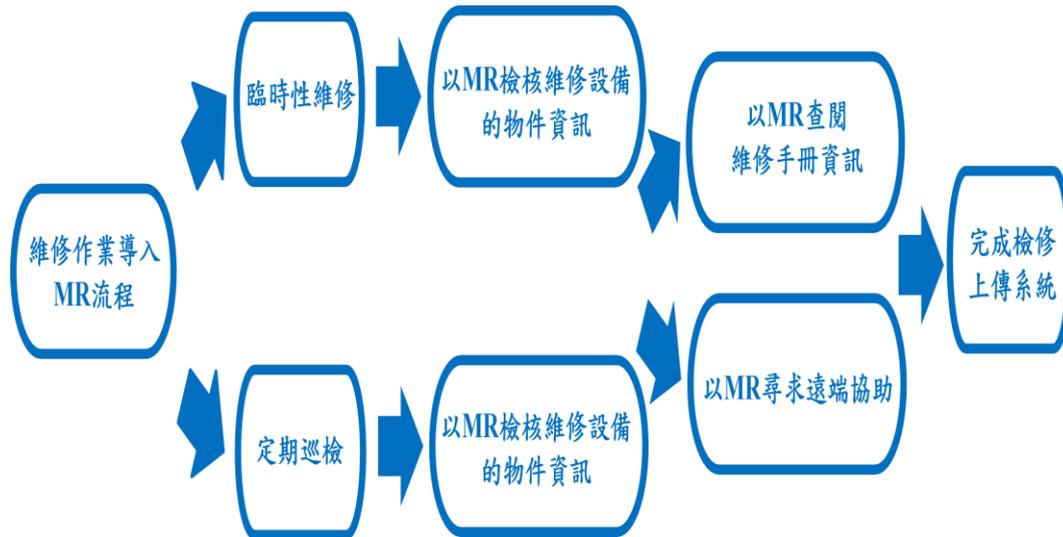


圖 5-10 以混合實境進行維修操作概念圖

### (一)前置作業：

MR 技術未來推廣至維護管理階段，工程師在營運通車前，必須先依據維修手冊內容，將各設備元件內容建立於 BIM 的 COBie 資料庫中，並依據竣工圖完成竣工 BIM 的建置，再透過 BIM 軟體將檔案轉檔後傳輸至 MR 設備。

### (二)以 MR 設備進行派工排程：

在本研究案的模擬情境中，因接獲營運單位通知現場巡檢設備過程中發現有設備漏水情形，因此，藉此機會使用 MR 設備查看設備的 BIM 模型資訊，並將資訊畫面進行拍照截圖，透過 Field Service 網頁建立檢修工單(圖 5-11)，可立即安排檢修派工作業，或立即以 MR 設備查看維修手冊，進行維修作業。除了維修的便利性之外，維修人員亦可透過 MR 系統將工單、維修紀錄表單等資料儲存於雲端空間，可利於後續資料查找及管理作業。另外可結合大數據分析與 MR 技術，預測設備潛在問題，實現預防性維修，避免突發故障。

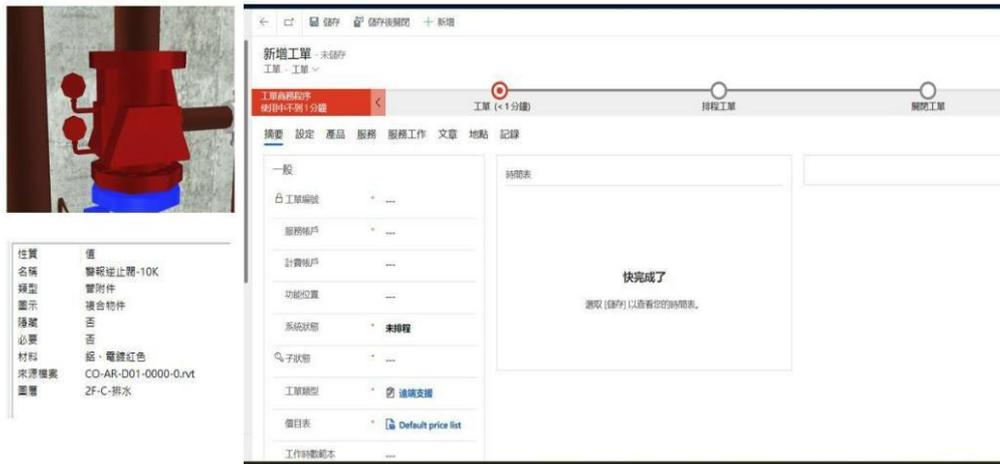


圖 5-11 巡檢人員於 Field Service 網頁建立檢修工單

### (三)以 MR 設備遠端協助維修操作：

1. 本研究中模擬維修人員在現場檢修專業設備時，如遇到供電系統、號誌系統、廣播系統或旅客顯示資訊系統等系統設備出狀況時，須有較專業的技術去解決問題時，如查閱維修手冊仍無法解決維修問題，維修人員即可透過 Dynamics 365 Remote Assist 服務，於 MR 設備開啟 Remote Assist App 並撥出通話功能，遠端請求專業技師協助。
2. 維修人員可透過 MR 設備的空間定位與專業技師進行遠端視訊，遠端技師可將操作指示標註於現場的相對空間內，讓現場能夠快速排除狀況，原廠技師亦可透過 MR 系統傳送設備維修手冊資料，讓現場人員能夠以 MR 設備即時查閱相關資料，同時空出雙手進行維修作業，可加速維修速度及維修品質，確保不會延遲進度的情況下完成工作。
3. 為避免同一類問題重複發生，維修人員可將遠端技師協助操作的紀錄影像，同步上傳至 MR 系統，以做為日後教育訓練教材或備份維修紀錄，進而提升維修品質及效率。

## 陸、結論與建議

### 一、研究效益

綜整本研究分析，捷運工程導入混合實境技術有以下幾個主要優點：

#### (一)提升設計準確性

混合實境可將虛擬模型直接與現實環境結合，提升工程師設計可視化、優化空間規劃，可更清楚地檢視設計與實際場地的適配性，提前發現潛在問題並進行修正，有效提升設計準確性。

#### (二)優化施工效率

1. 工程團隊可以利用混合實境技術進行施工現場的即時模擬與測試，減少因施工圖紙誤解而導致的重複工作。
2. 提供直觀的視覺輔助，幫助現場工班可更準確地完成複雜的施工任務。

#### (三)強化團隊協作

1. 利用混合實境進行遠程協作，讓不同地點的專家能即時參與設計討論和施工指導，縮短決策時間。
2. 促進設計、施工及管理團隊之間的溝通，減少資訊傳遞中的錯誤。

#### (四)降低施工風險

1. 在施工前先使用混合實境進行現場環境模擬與演練，幫助安衛工程師預測可能的風險點，提前進行風險評估及研擬風險對策，減少實際施工中的突發問題。

2. 輔助安全培訓，提升施工人員的安全意識與操作熟練度。

#### (五)增加維修便利性

混合實境技術在捷運工程維護管理階段的應用，能夠大幅提升維護效率、安全性與成本控制，並改善人員培訓與跨部門協作，並可有效加速問題排除。隨著技術的不斷進步，MR將成為未來捷運系統維護管理的重要工具，推動捷運運營更加智慧化與高效化。

#### (六)提升公眾參與度與支持

混合實境技術可以讓公部門更便利地向民眾展示捷運工程完成後的效果，增加公共工程的曝光度，提升民眾對捷運工程的理解、支持與期待。

#### (七)推動技術創新與智慧化建設

將混合實境技術融入捷運工程有助於加速智慧化基礎設施的發展，為未來的交通建設提供示範效應。

## 二、未來展望

捷運工程導入混合實境技術是全球智慧基礎建設發展的重要趨勢之一。在國際上，許多先進國家為提升施工準確性、效率和安全性，已經開始將混合實境技術應用於大型基礎建設。這不僅代表技術的創新應用，更彰顯了各國在營建工程或交通建設領域追求智慧化與現代化的共同目標。

對於捷運工程而言，混合實境技術提供了一個多功能的平台，將虛擬設計、實景模擬、施工監控及營運需求結合，為工程施工團隊和未來營運單位提供更直觀且高效的解決方案。未來隨著混合實

境技術的進一步成熟，國際間的經驗交流與技術合作也將促進這項技術的普及與進步，並帶動全球交通基礎設施的智慧化轉型。

然而，該技術的成功應用仍需克服如高昂成本、硬體限制、專業人員技術培訓及政策支持等相關挑戰。因此，本局未來將持續在致力推動的三環六線捷運路網中(如捷運汐東線、基隆捷運、淡海輕軌二期工程、三鶯延伸八德段、五泰及泰板輕軌、八里輕軌等)投入資源，促進混合實境技術成熟度的提升，並擴大應用範圍，助力新北市城市交通基礎設施的智慧化發展。

## 柒、參考文獻

- [1] 新北市政府捷運工程局捷運線路網圖-新北市政府捷運工程局官方網站。
- [2] 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”,2019.
- [3] 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*.
- [4] 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.