

多用途橋車課程導入模擬器之研析

楊家心士官長

提要

- 一、隨國軍兵力精簡及時代進步，部隊朝向人員少、速度快、效率高的發展模式，已是各先進國家軍隊發展趨勢，以美軍工兵部隊橋樑架設作業，為減少作業人力需求，架設模式已逐漸以機械協建架設取代傳統人力架設，我軍工兵部隊近年來，也於橋樑架設訓練時，多方運用多用途橋車及堆高機等機具達到機械協建目的。
- 二、傳統工兵多用途橋車訓練方式具裝備數量少、耗費時間長及訓練風險高等限制因素。然現今時代趨勢，各訓練領域逐漸搭配虛擬系統發展及模擬器建構等高科技面向邁進，各國與我國國軍各部隊之訓練亦朝向發展訓練模擬器，將逼真戰場環境、操作系統擬真化、各項參數計算、風險因素與各項作業限制融入其中，使官兵能在擬真戰場環境下實施訓練，提高訓練成效。

關鍵字：多用途橋車、機械協建、模擬器

前言

鑒於多用途橋車課程屬高風險、高強度訓練項目，本中心於109年建置「橋樑架設組合訓練系統教室」，希望訓員藉由數位平台模擬多元課程，採循序漸進、訓後回顧及缺失矯正等標準程序模擬操作多用途橋車後，再實施實車訓練，希望以模擬器訓練，取代機具不足、天候不佳、訓員眾多等限制因素，提升教學品質與部隊戰力，達成防衛作戰使命。

多用途橋車模擬運用發展現況

一、多用途橋車訓練概述

於作戰階段，河川對部隊機動會產生一定的影響，而為使部隊遂行作戰時，各機動路線能暢通無阻，工兵部隊負有確保部隊機動路線暢通及順利渡河作業之重要責任，架橋作業為其中跨越障礙之專業手段之一；然早期架橋訓練僅能以人力實施土法煉鋼之方式，不僅辛苦且風險極高，現今橋樑架設方式已由傳統人力架設，

演變為機械協建架設，以達到人員少、速度快、效率高目的，我軍工兵部隊近年來，也於橋樑架設訓練時，多方運用多用途橋車及堆高機等機具達到機械協建目的。隨著時間的演進，現今各式軍用裝備操作訓練，已逐漸由傳統實機操作，輔以資訊系統發展實施訓練，輔助增加訓練效益(如圖1、2、3)。

(一)多用途橋車簡介

1.發展概述

多用途橋車的發展始於英國，係以「機械協建」架設 **MGB** 中框橋之構想，而研製組裝成的裝備，主要目的係利用其橋車及吊桿配合少量人力，將各式橋材模組化進而架設完成整座 **MGB** 中框橋橋樑，除了



圖 1 多用途橋車吊掛作業(工兵小型機械)



圖 2 多用途橋車吊掛作業(大型阻材-消波塊、涵管)



圖 3 多用途橋車吊掛作業(M2、MGB 機械協建)

資料來源：工兵訓練中心測考中心資料，西元 2020 年 9 月。

可提昇橋樑架設能力外，並可節約戰時架橋作業兵力。本軍為配合新一代兵力整建，並提昇工兵部隊架橋能力，於民國107年至109年逐年分批採購IVECO 8×8型多用途橋車30部，係由國內常榮機械股份有限公司組裝生產。此兩種橋車除廠牌不同於英國橋車外，其性能及配備皆符合原設計需求，全車區分為車頭(駕駛艙)、車體、吊桿等三大部分，現為工兵部隊實施橋樑機械協建及橋材裝載或物資運送之吊運裝備(如圖4)。

2. 諸元介紹¹

IVECO 多用途橋車係由車頭(駕駛艙)、車體、吊桿等三大部分所組成，各部分說明(如圖5)：

(1)車頭(駕駛艙)：為左側駕駛，鋼質前平面傾斜式車艙，屬載重貨(卡)車頭。

(2)車體：將載台、底盤及車裝零附件等屬車體部分，載台可供各式橋材裝載運輸用(如圖6、表1)。

(3)吊桿：為老手牌(PALFINGER)吊桿，裝置於車頭與載台之間，屬積載型油壓起重機，人員可定點控制吊桿或使用有線/無線控制器不定點操作吊桿，吊桿並設有負載安全警示及自動停止吊重保護裝置，富安全性(如圖7、表2)。



圖4 陸軍多用途橋車

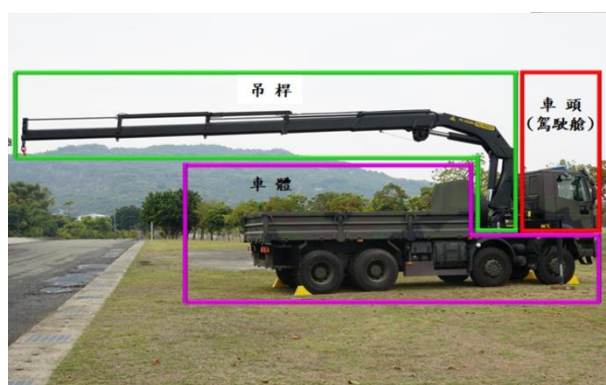


圖5 陸軍多用途橋車組成區分

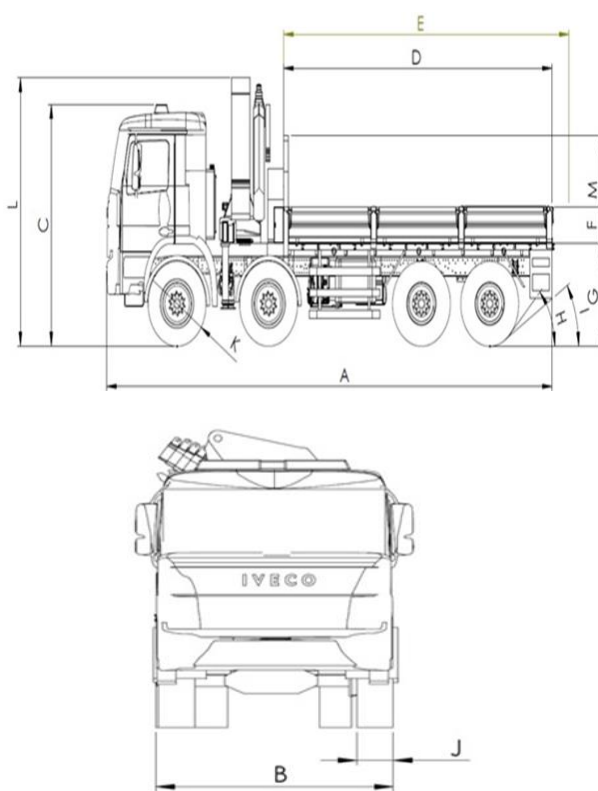


圖6 車身尺寸

資料來源：陸軍司令部，楊家心，
《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元2020年9月)，頁2-47、2-48。

¹ 常榮機械，〈IVECO 8*8型多用途橋車單位保養手冊〉，西元2018年12月，頁2-1。

表 1 車身尺寸諸元表

項次	諸元名稱	尺寸(公分)	項次	諸元名稱	尺寸(公分)
A	車長	893	I	離去角	30 度
B	車總寬度	250	J	輪胎寬度	30
C	車頭總高度	323	K	輪胎外徑	114
D	貨斗長度	550	L	車體總高度	372
E	貨斗高度	50	M	貨斗前檔高	150
F	貨斗離地高	143			

資料來源：陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 2-37。

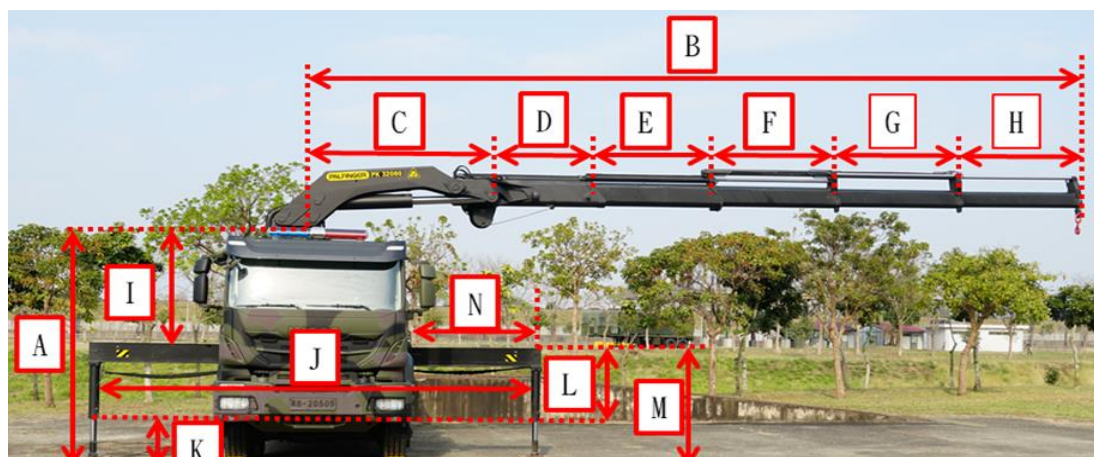


圖 7 吊桿尺寸

資料來源：陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 2-100。

表 2 吊桿尺寸對照表

項次	諸元名稱	尺寸(公分)	項次	諸元名稱	尺寸(公分)
A	主柱頂端至地面高度	140	H	延伸臂(四)	210
B	吊臂全長	1210	I	迴旋主柱	210
C	內臂	360	J	腳架跨距	245
D	外臂	80	K	地面至支撐腳架底端	80
E	延伸臂(一)	180	L	支撐腳架內縮長度	140
F	延伸臂(二)	180	M	支撐腳架伸出總長度	220
G	延伸臂(三)	200	N	腳架伸展	300

資料來源：陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 2-100。

3.特性與限制

(1)特性：IVECO 多用途橋車為柴油(DIESEL)引擎車輛，此種車輛具有扭力大、省油等優點，較富經濟效用，其裝備性能區分車身及吊桿兩部分說明如表 3。

(2)特性：IVECO 多用途橋車在操作上依結構設計及外在環境有其限制條件，作業人員必須瞭解各種限制以防危安事故發生。其主要考量因素，區分車身及吊桿兩部分說明如表 4。

表 3 IVECO 多用途橋車特性

車身		吊桿	
行駛速率	90 公里/小時	最大工作半徑	12.1 公尺(如圖 11)
最大馬力	450 匹馬力/1900 轉/分鐘	最大舉升角	84 度(如圖 12)
最大扭力	224.3 公斤-公尺 1400 轉/分鐘	吊舉力矩 (如圖 13)	最大吊重：距軸 2 公尺/10 公噸 最小吊重：距軸 12.1 公尺/2.26 公噸
定速行駛	最低定速 20 公里/小時 最高定速 90 公里/小時	旋轉角度	400 度(如圖 14)
最大爬坡能力	31 度	旋轉扭力	3806.1 公斤米
迴轉半徑	11.5 公尺(如圖 8)	泵浦工作能量	每分鐘 55~80 公升
涉水深度	0.75 公尺(如圖 9)	液壓泵工作壓力	300BAR
載重量	可載重 20 公噸(如圖 10)	作動負載	最低 50%~最高 100%
空車淨重	20 公噸	操縱方式	固定式/可攜式控制器二種
載具耗油	空車 2.5L/KM(公升/公里)、滿載 1.5L/KM(公升/公里)(油耗依原廠手冊概略估計並取決於駕駛操作行為)	鋼索絞盤	a.鋼索拉力：1000 公斤。 b.鋼索直徑：8 公厘。 c.鋼索長度：49 公尺。 d.鋼索重量：56 公斤。 e.引擎扭力：20.9 公斤米。

表 4 IVECO 多用途橋車限制

車身		吊桿	
乘坐限制	2 員	啟動限制	A 側控制(如圖 19)
高度限制	3.8 公尺	傾斜角度	5 度(如圖 20)
載重限制	a.淨重 20 公噸 b.可載重 20 公噸(含)以下	控制距離	15 公尺(如圖 21)
最大轉向角	36 度(如圖 15)	腳架跨距	6 公尺(如圖 22)
上坡路面接近角	31 度(如圖 16)	風速限制	達每小時 50 公里(含)以上
下坡路面分離角	30 度(如圖 17)	車體接觸	載台前擋板(如圖 23)
側坡安全傾斜角	16.69 度(如圖 18)	觸電距離	20 公尺
		地面支撐承載度	著地面材質會影響吊掛作業安全性，操作人員考量主要提供於不同地形(面)作業時，(如表 5)。

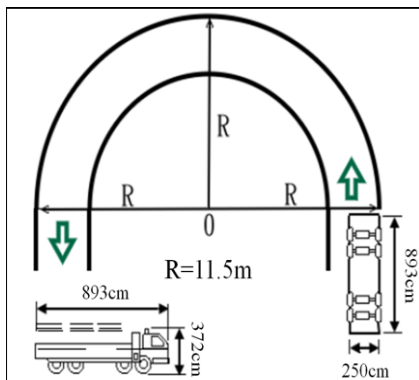


圖 8 迴轉半徑



圖 9 涉水深度



圖 10 承載重量

資料來源：作者彙整，參考陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 1-21、頁 1-22、頁 1-25。

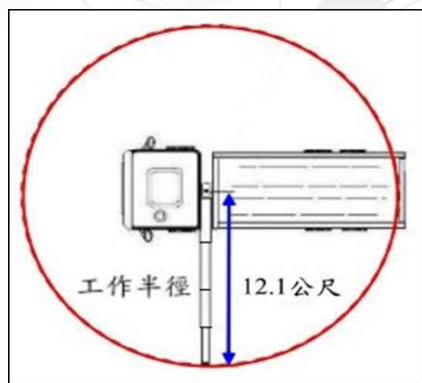
圖 11 最大工作半徑²

圖 12 最大舉升角

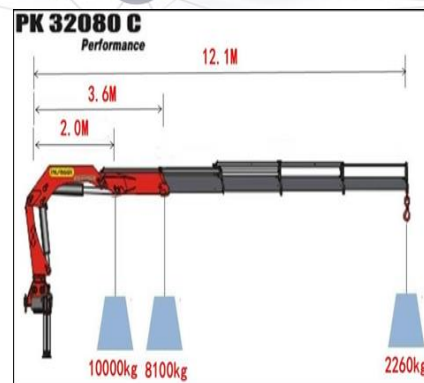


圖 13 吊舉力矩

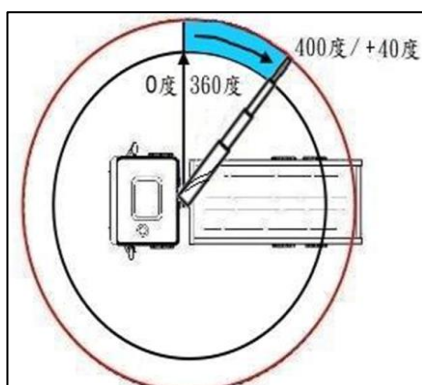
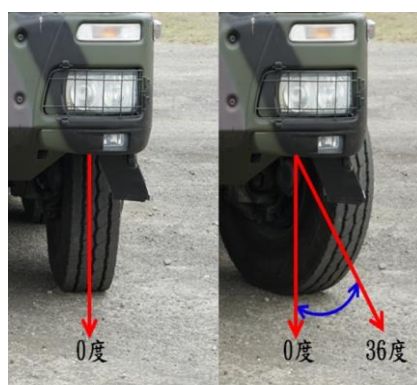
圖 14 旋轉角度³圖 15 最大轉向角⁴圖 16 上坡路面接近角⁵圖 17 下坡路面分離角⁶圖 18 側坡安全傾斜角⁷

圖 19 吊桿啟動限制

資料來源：作者彙整，參考陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 1-21、頁 1-22、頁 1-25、頁 1-30。

² 吊桿的操作範圍一般稱為工作半徑，而吊桿最大延伸長度為 12.1 公尺，並未計算吊掛物的體積(長度)，因此；包含操作人員在內都應保持與吊掛物體一定的安全距離，且非指定作業人員嚴禁進入這個工作區域，防止人員有危安事件的發生。

³ 吊桿在原廠設計下對液壓油管有長度的限制設計，在吊桿順、逆時鐘方向旋轉一圈(360度)後，可再多旋轉 40 度(400 度)，供作業人員有適當的操作空間。

⁴ 橋車前輪轉向動作，其車輪從 0 度角偏左(右)各一方向之最大轉向角 36 度，為其「最大轉向角」。

⁵ 若接近角度超出限制，在橋車車輪尚未接觸陡坡路面前，橋車前端將先碰觸陡坡路面。

⁶ 橋車後輪離開下坡路面接觸平面道路時，橋車載台長於車體大樑，駕駛人員應考慮車輛尾端分離角度，以避免造成車輛尾端碰撞。

⁷ 橋車行駛於側坡路面時，若超出傾斜角度將會造成車輛翻覆。

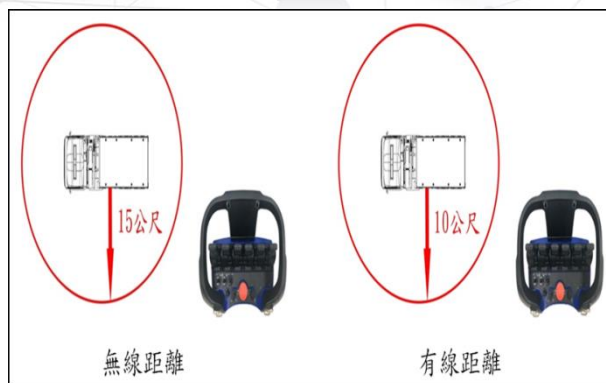
圖 20 傾斜角度⁸

圖 21 控制距離

圖 22 腳架跨距⁹圖 23 車體接觸¹⁰

表 5 地面支撐承載表

地面支撐承載受力參考值		
項次	地面種類	參考值
1	柏油路面	20400KG/m ²
2	泥濘地、沼澤、濕地	0KG/m ²
3	砂地、碎石地	15300-20400KG/m ²
4	軟、硬草地	0-30600KG/m ²
5	岩石地	102000KG/m ²
※KG/m ² = 公斤/平方公尺		

資料來源：作者彙整，陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 1-20、頁 1-30、頁 1-32。

(二)多用途橋車課程內容

多用途橋車課程內容中區分計有原則講解、實作練習、組合訓練及訓後回顧等四大面向，依照接受訓練的人員程度及教育目標的差異，實施不同的訓練方式。為徹底瞭解教育

訓練如何運用，概述方式如下：

1.原則講解：為課目訓練前，必要之課程，為了使學員能夠初步了解多用途橋車的沿革及發展、用途及特性、橋車各項諸元及機械協建流程等內容，採用口述方式，搭配簡報或圖

⁸ 車體的傾斜角度應保持在任何方向以不超過 5 度為原則，因其吊掛物重心會因車體傾斜角度而改變，具有造成車輛翻覆的危險。

⁹ 橋車因吊掛重心的改變影響，須加大著地支撐區域，因此吊桿腳架之設定跨距為必要考量的作業因素。

¹⁰ 因吊桿與載台前擋板緊靠關係，吊桿在吊掛操作中，向下操作會有碰撞的情形，作業人員必須小心操作。

表方式進行教學；亦可觀摩其他單位組合訓練過程及相關架設影片，以強化整體印象，建構後續的訓練流程的一切基礎。

2.實作練習：實施原則講解後，人員進入下一個階段的訓練，在進入組合訓練流程前，必須將先前所學的原則付諸於行動去體會，為求組合訓練順暢，在此階段，必須先了解認識多用途橋車基礎吊臂操作、單一橋材吊掛、橋材模組吊掛、機械協建訓練及故障排除與錯誤動作之訓練，完成此階段訓練，始可進入組合訓練(如圖24)。

3.組合訓練：組合訓練為多用途橋車機械協建訓練之核心，其內容不侷限於橋樑架設，從先前計畫規劃與整備至後續運

用及勤務管制，各項動作與勤務之訓練皆在範圍內。詳細訓練項目包含指揮管制、偵查計畫、計畫作為、整地經始、裝載運輸、橋樑機械協建架設、橋樑勤務等實施課程設計，其中以裝載運輸、橋樑機械協建架設為主軸。

4.訓後回顧：於各項訓練後，進行檢討及討論的一個形式，針對每項訓練的過程中有做不好的、有疑問的、有具不同意見的或對於較好的部分實施綜合性的討論，並將各項問題紀錄，以利日後針對弱點項目重點提醒。

綜合分析及效益比較，依上述所提列各訓練方式，針對其優、缺點及效益比較如表6分析。



圖 24 實作練習授課實況
資料來源：作者自行拍攝。

表 6 多用途橋車訓練方式綜合分析表

工兵部隊橋樑架設訓練方式分析表				
項次	訓練方式	實施內容	優點	缺點
1	原則講解	教官依據書面教案、教學內容實施說明講授	風險低，場地無限制	內容較為抽象
2	實作練習	依人員分組練習吊臂各項操作要領，採示範摹擬法實施	熟稔訓員吊臂基礎操作概念，建立組合訓練基礎	耗時長，裝備數量少，訓練風險高等限制因素
3	組合訓練	班隊人員依機械協建架橋進度採統一練習法實施	實際練習 MGB 中框橋機械協建項目	1.架設風險高，訓練進度緩慢 2.場地取得不易、耗用油料
4	訓後回顧	針對訓練內容實施問題討論及缺失檢討	能加深印象、改正錯誤	無立即訓練效益

資料來源：作者自行整理。

二、多用途橋車模擬軟體運用現況與發展

(一)架橋模擬軟體發展沿革

國軍發展「訓練模擬器」以高價裝備、高消耗訓練、高危險動作及難獲得場地等考量項目為優先發展對象。而工兵訓練中心配賦訓練用之多用途橋車數量少、作業危險性高及易受天候影響之因素，間接造成訓員訓練危安與時數之不足，為提昇工兵部隊因應平時與戰時各種場地之架橋能力，並提供基層多用途橋車操作手一套更加便利有效的學習方式，即發展「工兵架橋模擬教學訓練軟體」，以期精進工兵部隊之橋樑架設及搶修能力。

遵奉司令部民國 89 年「陸軍作戰模擬系統整體發展規劃」指導，準分教合練之原則，自 90 年起規劃工兵模擬訓練之配套措施，於 92 年 11 月完成驗收及系統建置 M2、MGB 橋教學軟體各 150 套，並配發至工兵連級以上單位及中心使用，並規劃其預期可得之效能有七點如表 7。

(二)架橋模擬軟體功能簡介

工兵「架橋模擬軟體」教學訓練，主要是在模擬 M2 框桁橋及 MGB 中框橋之橋樑架設程序作業，其教學方式主要是以個人電腦操作模式，藉由電腦網路平台，以 2D 立體圖像，

表 7 模擬器預期可得效能

1	操作安裝簡單易學，代替師資自我學習
2	模擬實裝實地操作，克服天然障礙因素
3	利用網路連線學習，熟悉程序步驟要領
4	電子教官即時互動，提供多人同時教學
5	降低高價裝備損耗，減少訓練場地投資
6	節約實作訓練成本，建立資料查詢系統
7	結合資訊科技發展，性能提昇極具空間

資料來源：作者自行整理。

配合聲音傳輸，讓學員發揮團隊合作精神，共同來完成架橋任務；本軟體設計模式共區分為示範、教學及測考等三種模式，分述如下(如圖 25)。

1. 示範模式：示範模式中，功能選單計有架橋元件庫、架橋工具組、職責介紹、橋材裝載、架橋流程及綜合測驗等六大項，主要是以**2D**立體圖像及說明來介紹架橋各工具、組件、職責、裝載及流程，並可以綜合測驗，提供學員實施自我測驗，讓教官瞭解學員學習成效。

2. 教學模式：主要是採電腦與學者互動教學，讓電腦提供各項架橋程序選項，供學員作選擇，以引導學員實施橋樑架設作業。

3. 測考模式：當學員完成示範及教學模式後，則進入測考模式實施全程測考，當完成後，會出現成績評定欄，成績評定欄中除了顯示學員測驗日期、測驗時間、操作時間及合格時

間外，更會出現學員測驗中錯誤種類及次數，讓教官瞭解學員學習尚有那些不足處，在實施實作課程時加強說明講解。

(三)架橋模擬器系統之發展

1. 模擬器系統概述

固定橋架設模擬系統係依據 104-113 年度建軍構想及 106-110 年兵力整建計畫，以作戰支援任務與裝備現況檢討，汰舊舊有架橋模擬軟體，實施作戰需求呈報。本系統建置架橋訓練模擬器，執行包含 **LSB** 重框橋、**M2** 框行橋及 **MGB** 中框橋之橋樑架設訓練，特別發展裝備類之橋車及貨櫃搬運吊臂模擬、堆高機模擬導入協建架橋內容，目的為建置一高擬真度、易操作、保養及維護之模擬系統，透過系統程序訓練方式，讓學員能夠充分了解橋樑架設程序，亦可透過連網方式進行組合訓練、綜合演練，藉以磨練各級指揮官指揮及操作手熟裝之程序，並可透過系統驗證執行成果。



圖 25 架橋模擬軟體

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

為彌補舊式架橋模擬軟體的不足，此次系統新增 LSB 橋樑架設訓練，來輔助部隊 LSB 重框橋架設訓練，另搭配機械操作增進擴增實境之虛擬系統擬真，使機械協建的訓練能夠更加完整。系統最主要的核心功能，是運用美軍 VBS 系統(虛擬戰鬥空間系統)，來加強我軍最為薄弱的戰鬥臨場感及模擬戰場參數融入，大幅提昇舊有模擬器之功能及效用(如圖 26)。

2. 架橋模擬器之介紹

(1)單兵作業模式：學員可以於系統內擔任任一職務，其餘職務由電腦 AI 系統操作，在單人模式中亦可訓練架橋流程。

(2)操作引導模式：引導功能將製作成能主動偵測學員當前的步驟，判斷是否有步驟順序錯誤，並直接顯示訊息阻擋學員的錯誤動作，藉此達到逐步教學的目的(如圖 27)。

(3)橋材模組協建：使用機械協建狀況下實施模擬訓

練，使機具操作手能藉此熟悉流程及各式橋材接合正確位置、距離與角度(如圖 28)。

(4)板台裝載模組：訓練各式板台裝載順序與邏輯，學習疊合原則與方式。

(5)鑑測模式：針對已完成前置示範、教學訓練之模式，施測間系統不會提醒學員步驟錯誤之處，會將全程演練及錯誤處紀錄標記，計時錄影存檔，受測完畢後，教官可藉此紀錄評比合格標準，針對學員實施個別重點教育及訓後回顧。

(6)架橋模擬器系統附設新增內容

A.計畫作為與偵查要項：針對橋樑架設之計畫寫作、整備規劃、偵查報告等項目，實施完整思維的輔助訓練，以利橋樑架設各項前置作業流程完善；亦可運用測考模式檢視架橋指揮官是否已完成整備，具備進入橋樑架設階段能力(如圖 28)。



圖 26 機械操作擴增實境虛擬系統

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。



圖 27 人工智慧執行橋材安裝示意圖



圖 28 想定融入指揮與計畫作為系統

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

B.應用、應急橋樑架設：

系統開發除制式橋樑裝備外，另針對非制式材料所搭建的應用、應急橋樑，例如索道、吊橋、木質固定橋、涵管橋、貨櫃型鋼橋、架柱式鋼橋等，亦建立各式架橋模擬流程，提供相關班隊實施「應用、應急橋樑」教學訓練，增進架橋能量(如圖 29)。

C.橋樑裝載：針對橋樑架設前置作業之橋樑裝載，提供學者實施板台裝載訓練及堆疊方式、程序訓練，避免實際狀況操作不熟悉產生危安風險(如圖 30)。

3.Virtual Battlespace

3(VBS3)虛擬戰鬥空間系統簡介：VBS系統能夠讓教官和學員在高度身歷其境的虛擬戰場環境中，執行陸、海、空和登陸及反登陸等虛擬戰術訓練和任務演練。

(1)何謂 VBS3 系統

VBS3(Virtual Battlespace 3)虛擬戰鬥空間，提供逼真的物理運算、更豐富的内容資料庫供使用者建立模型和建立想定，且具有延伸既有地形資料庫開發擁有真實地理座標的地形資料庫的能力¹¹。



圖 29 應用橋樑架設模擬器操作圖示



圖 30 板台裝載示意圖

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

¹¹ 《VBS3 產品介紹》，柏輝科技(www.aben-tech.com/vbs3intro)，檢索日期：西元 2021 年 6 月。

學者在戰場上學習如何決策、溝通和下达命令，並具備歸詢工具，讓教官可以在訓後檢視學員的訓練成效。可以進行反覆的想定或任務訓練，不需要耗費實彈、不需要大費周章調動部隊移地訓練，亦不須擔心會有人員傷亡的風險，更不會耗損相關器材與裝備，僅透過聯網的方式可進行多次的聯合訓練。

然而VBS系統具有高度的自主操作性，能將想像中的畫面轉化模擬行動，雖說是軍事訓練輔助系統，更像是一款第一人稱的射擊模擬遊戲，所以使各階層的人員操作起來都可以迅速上手，並且將能專注在上面，可以大幅提升訓練意願。

(2)VBS3 平台與此系統之運用

此系統軟體採用之VBS平台，其本身具備主機算機、視效、音效、智慧型目標物、各式武器載具模擬、任務編輯和任務歸詢等基礎模式；而其硬體部分將依據目前車內配置和各武器系統進行外觀設計與佈局，功能操作依實車目前狀態進行模擬，且所有介面皆以中文化，使人員能順利操作。下列概述此系統之重要性能及特性：

A.計算機模組：主要負責想定執行所需的動態模式和智慧型目標物等的運算，運算的範圍及項目繁多，並非一般電腦可執行，終端主機站另設於三坪大之機房內，且需要搭配空調系統，避免主機溫度升高，降的運算效能。

B.通訊系統模組：在各式模擬訓練中，於裝備操作中亦可實施通聯，模擬真實戰場相互間溝通之場景，除相互間之通聯，教官台亦可針對所屬學員實施適時的各別提醒，提高虛擬任務的逼真程度。

C.高精度物理運算模組：可準確計算各式行動及運作的物理計算，使彈道、碰撞、各式的速度跟火力大小能精密的展現出於模擬畫面上，使學員能夠吸收行動後的結果。例：吊臂吊掛物品的重量，影響慣性及重力影響，產生晃動。

D.音效模組：模擬戰場中各式音效，如機具及車輛引擎聲、破撞聲、武器發射聲音及爆炸聲等。能使學員在各式課目訓練中，能有更逼真的環境。

E.可視範圍：如同遊戲一般，可自由切換視角，能讓學員可以用第一人稱視角，模擬執行任務；亦可使用俯瞰視角，檢視全般狀況。

F.能見度：可以調整不同氣候狀況及能見度，使學員能在不同地理狀況實施訓練，使戰場環境如實呈現(如圖 31)。

G.反鋸齒功能：運用高效能的計算功能，處理影像疊合，改善鋸齒影像及斷線狀況，提高畫面品質。

H.特殊視效：可提供曳光彈、武器撞擊、毀損程度、捕捉鉤系統和攔截網等特殊視效，搭配動態目標物的行為反映出不同的特殊視效(如圖 32)。

I.任務歸詢模式：任務歸詢模組主要提供錄製模擬訓練的內容，包含所有訓練過程，並在錄製過程中有錯誤或重大事故產生，系統會自動加入重大事件書籤，提供任務歸詢時快速檢視，增進學員和教官訓練後 AAR 任務檢討效益(如圖 33)。

4.機具模組艙體介紹

(1)堆高機模組硬體設備(如圖 34)

A.真艙體設計：以實機 JCB926 堆高機座艙為設計基礎，考慮主要操作範圍為前方視角，即前叉所在的位置，前

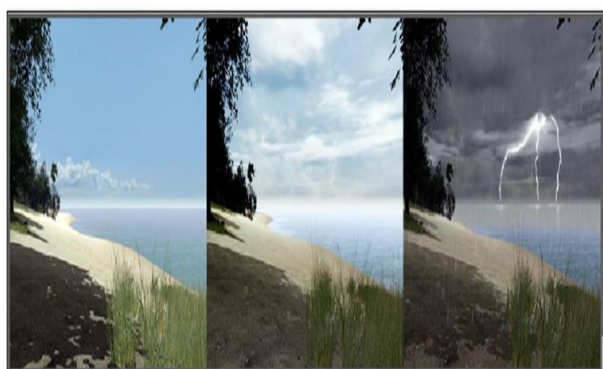


圖 31 VBS 系統氣候變化視效呈現畫面



圖 32 VBS 系統特殊視效呈現畫面

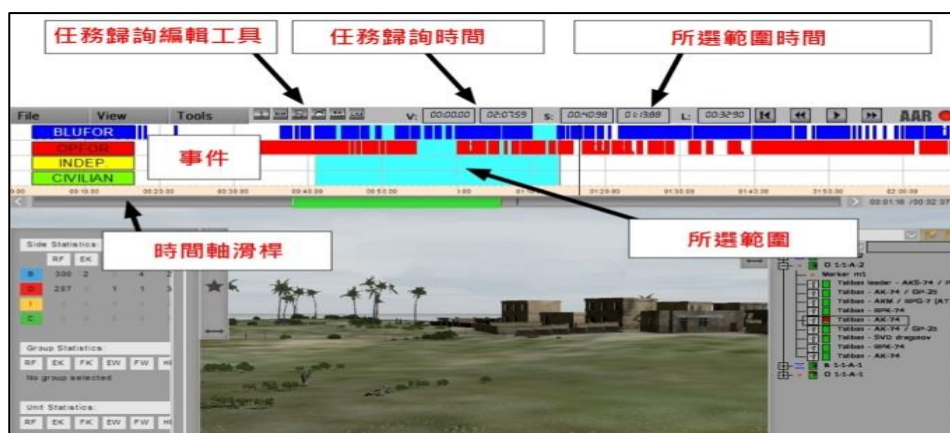


圖 33 任務歸詢模組介面

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

叉最高上升高度為 4.5 公尺，因此前方設置 4 顆螢幕來涵蓋所需的操作視野。為滿足堆高機倒車操作需求，於後方設置一顆螢幕，視野涵蓋車輛後輪，和車尾最後角落。

B. 介面分系統：硬體介面分系統負責處理所有仿真車輛的實體硬體，如座艙內之搖桿、踏板等操作系統，儀表板以及力回饋等訊號。硬體介面分系統提供數位輸入、數位輸出、類比輸入及類比輸出等傳輸功能，包含擷取控制卡及界面控制程式，以達到擷取開關作動及燈號儀表控制等功能。

其中力回饋模組設計為提供學員更逼真的模擬操作，產生相對的阻力感，操作時須緊握方向盤，如同真實操作機具一般。而環景顯示分系統將視效分系統的畫面資訊進行擴展，建立起一個較大的環境顯示空間，讓學員能有較佳的虛擬實境體驗感。



圖 34 堆高機模組硬體

(2) 吊臂模組硬體(如圖 35)

A. 仿真設計：由於吊臂操作範圍為上方與兩側延伸方向，在有限的顯示螢幕下，需涵蓋最大的視角需求，因此利用 4 顆螢幕並列且弧形排列於操作桿前方，以取得垂直方向的最大顯示範圍，並涵蓋吊臂頂上延伸的最高點，而掛勾符合實況可最接近操作人員的距離為 1 公尺，吊臂基座設計採 360 度可旋轉之機構，配合畫面角度轉動，彌補畫面橫寬不足之處。

B. 介面分系統：由於吊臂有水平轉動的操作，因此為彌補水平視角的不足，本案設計讓吊臂操作桿可進行水平的轉動，當吊臂操作桿轉動時，螢幕的視角將對應反方向旋轉，在保持操作者與吊臂間的角度下獲得最大的吊臂操作範圍。硬體介面分系統設計理念與堆高機概同，在力回饋上，吊臂操縱桿將提供微動操作和快速移動

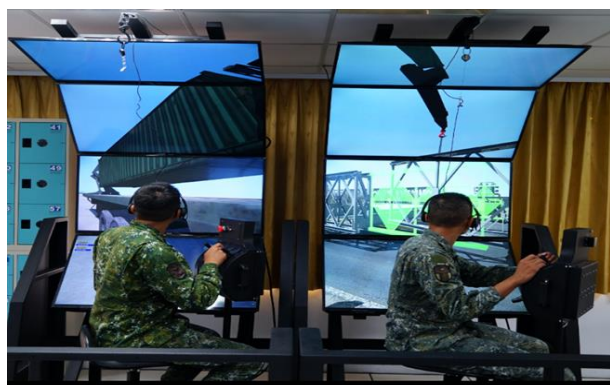


圖 35 吊臂模組硬體

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

等吊臂操縱桿操作模擬；在環景模組上，也模擬操作手於真實狀況下的視野。

5.其他功能

(1)電子書系統：將傳統紙本準則轉換成電子書模式，部分內容有動畫輔助，圖像影片多以 3D 方式呈現，同時整合先前教學用的影片、簡報檔，在同一平台實施統一教學，並在課後，可運用系統測驗模式，驗收學員學習成果。

(2)研究發展系統：本模擬器系統內容包含有 sap2000 結構分析設計軟件，可利用其系統資訊，研究結構方式及計算載重分析，並用 3D 虛擬圖及數據分析表單表示；另配賦 3D 列印機可提供橋材模型 3D 列

印，充實輔助教學器材。

(3)證照輔助訓練：運用堆高機與吊臂仿真機具操作功能，搭配證照考試術科場地模擬建置，提供學員實施操作練習，增進對裝備操作及場地熟稔度，提升證照獲照率。

三、小結

新式架橋模擬模擬器功能較舊型模擬器大為提升，使用範圍亦更為廣泛，並能協助學員使學習上能更有效率，使原本僅能在戶外操課場地能實施的課程先在也可以在教室內電腦面前教學，大幅降低訓練風險，利用新科技、新技術做最有效率且精細的授課，針對舊、新式之模擬器功能使用比較(如表 8)。

表 8 新、舊模擬器功能比較表

型式 比較項目	舊式架橋模擬器	新式架橋模擬器	建議課程調整內容
原則講解	1.僅有大部數據，架橋演練流程拘於固定形式。 2.系統較舊，處理速度緩慢不流暢	1.納入電子書及準則、教範資料，可提供教學流程生動活潑與電子化 2.搭配 VBS3 系統，使教學有戰場情境 3.配合機具操縱系統，針對不同職務者可實施室內授課	可將原則講解與橋材介紹併入模擬器教室課程內容中
運搬練習	因動畫細膩度不佳，無法藉此實施教學	1.能初步教導學員運搬方式及各式結構位置，能迅速銜接實際運搬訓練 2.以動畫方式解說錯誤運搬之影響，避免使用人力示範，提高風險	可將實作部分時數併入模擬器教室課程內，使課程連貫，加深印象
組合訓練	1.可藉此學習架橋流程，並了解各組任務及行動 2.內含有部分危安提醒，使訓練完整	1.對各數據更能自主調整，可模擬訓練各項虛擬狀況及想定，增加多元性 2.可藉此系統了解不同職務所負責之任務，同步實施個別訓練 3.為整體連貫之訓練系統，從偵查、計畫、整地、裝載、架橋、標示及維護等項目皆納入系統。	因系統更加細膩、全面，可增加時數，使領導幹部隨系統領導學習更加深刻；並使架設人員能大幅減少無謂運搬之組合訓練，即可學習整套架橋流程。
機械訓練	無有關機械訓練之項目	可搭配實車虛擬操縱系統實施擬真訓練，但協助人員及控繩人員僅能於實地訓練時實施。	配合組合訓練時數調整，於課程實施時，適切人員編組，提升教學效率
訓後回顧	僅有時間、成績及錯誤項目可供查詢，無法有效利用實施 AAR	可詳細記錄全部演練流程，並將錯誤處特別標示，影片亦可使用多角度回顧，使檢討能更加完善。	增加架橋模擬器之訓後回顧的時間，於此階段完畢後即可進入實作練習，可大幅降低口頭說明時間。

資料來源：作者自行整理。

多用途橋車模擬軟體應用於授課班隊探討

針對舊式架橋模擬器於現行多用途橋車機械協建班隊，實施各項進度時數、使用內容及效益如何等方向作討論，區分為操作班及複訓班實施個別討論，為後續考量新式架橋模擬器可輔助範圍研擬之基礎¹²，上述班隊年度召訓條件(如表 9)

一、基礎班隊運用效應與探討

(一)原則講解：現利用簡報檔實施授課，內容繁多，但多用途橋車操作使用及固定橋樑機械協建教學架設流程時，圖片及準則無法有效提供學員真實畫面想像，對基礎人員而言，效成欠佳。

(二)實作練習：時數能滿足各項教學進度及練習，惟遇天候不佳、雷擊時，不適合戶外操課，如遇班隊人數較多，學生輪代操作訓練之等待時間會增加。

(三)測驗與檢討：測驗與檢討部分，應針對教學部分多增加問題交流與授課過程缺失探討，才能使課程完善，避免學員帶著問題結訓。

(四)架橋模擬器訓練：因舊式架橋模擬軟體功能受限，畫面較為粗糙，且僅能以架橋程序實施學習，若使用新式模擬器

搭配課程，時數需重新調配，彌補原則講解、實作練習及測驗與檢討等各項不足之處，提升效益(如表 10)。

二、複訓班隊運用效應與探討

(一)原則講解：該班隊學員已有多用途橋車以及橋樑機械協建的基礎能力，需加強橋樑機械協建計畫作為、偵查作為及指揮架設等方面，舊式模擬器無法支援。

(二)實作練習：學員已具備橋車基本操作能力，需加強模組化橋材吊掛能力，以及機械協建之全盤概念，時數能滿足各項教學進度及練習，惟遇天候不佳、雷擊時，不適合戶外操課，如遇班隊人數較多，學生輪代操作訓練之等待時間會增加。

(三)測驗與檢討：測驗與檢討部分，應針對教學部分多增加問題交流與授課過程缺失探討，才能使課程完善，避免學員帶著問題結訓。

(四)架橋模擬器訓練：因舊式架橋模擬軟體功能受限，畫面較為粗糙，且僅能以架橋程序實施學習，若使用新式模擬器搭配課程，時數需重新調配，彌補原則講解、實作練習及測驗與檢討等各項不足之處，提升效益(如表 11)。

表 9 多用途橋車機械協建召訓條件

班隊名稱	召訓目的	召訓對象	進訓條件	時數(時)	年度開班(梯次)	最大訓量(員)
多用途橋車機械協建(操作班)	培訓多用途橋車操作專業人員，使其具備橋樑協建之基本能力	1.各工兵群橋樑營多用途橋車駕駛或預計劃調任橋車駕駛人員為優先任務2.各單位因任用資格取得多用途橋車操作資格之人員	訓員應具備軍用大貨車駕照	140	1	12
多用途橋車機械協建(複訓班)	複訓工兵士官、兵多用途橋車操作與保養職能	本軍工兵軍官、士官、士兵	訓員應具備多用途橋車機械協建(操作班)之資格	70	1	12

資料來源：陸軍工兵訓練中心 110 年班隊訓練預劃流路，西元 2020 年 12 月。

表 10 多用途橋車機械協建課程時數配當表(操作班)

課目	課程總時數(時)	原則講解(時)	實作練習(不含架橋模擬器)(時)	測驗與檢討(時)	模擬器訓練(時)	最大訓量(員)
多用途橋車機械協建(操作班)	140	3	133	2	2	12

資料來源：作者自行整理。

表 11 多用途橋車機械協建課程時數配當表(複訓班)

課目	課程總時數(時)	原則講解(時)	實作練習(不含架橋模擬器)(時)	測驗與檢討(時)	模擬器訓練(時)	最大訓量(員)
多用途橋車機械協建(複訓班)	70	2	64	2	2	12

資料來源：作者自行整理。

三、小結

多用途橋車機械協建課程內容多為實作練習，學員需要較多實際操作時數熟稔裝備操作，且因舊式模擬器內容僅能協助學員以觀看動畫方式了解橋樑機械協建之流程，

無模擬實際操作功能，功能較為單一、互動性不高及自主性低，致無法有效運用於此類課程進度，下為針對多用途橋車班隊做分析整理，考量新式模擬器可運用之範圍及調整(如表 12)。

表 12 舊模擬器運用功能預期效益表

班 隊 名 稱	授 課 進 度	舊 式 模 擬 器 缺 點	新 式 運 模 擬 器 功 能	預 期 效 益
(多用途橋車機械協建 操作班、複訓班)	原 則 講 解	1.無流暢動畫 2.系統內無相關授課資料	1.畫面解析度高 2.內含電子書功能 3.各項橋材3D圖	1.建立學員實體概念 2.可學習架橋程序
	實 作 練 習	1.無橋材裝載模擬訓練 2.無橋機組	1.具有橋材裝載演練功能 2.具備虛擬機械操作系統	1.瞭解橋材模組組裝順序 2.可360度環視板台裝載成果 3.藉吊臂模擬艙先期熟悉吊臂操作技巧 4.建立機械協建全盤概念
	測 驗 檢 討	1.無訓練回顧功能 2.無電腦測驗功能	1.可於系統回放練習 2.內建電腦鑑測功能	1.確實檢視錯誤之處 2.有效實施「做不好再做一次」訓練 3.減少紙本考試資源，並利用電腦閱卷及記錄
	架 橋 模 擬 器	1.計畫作為及偵查功能薄弱 2.無完整架設畫面 3.無整合各組平台 4.無動功LSB重框橋系統	1.完善具備計畫作現並參為指揮功能及，個為偵查等調整，能高自由調整，個數及高畫質放大或縮能小場地畫面，並能環視有VBS系統整合橋架 2.能新增LSB重框橋架 3.具有橋材裝載演練功能 4.具備虛擬機械操作系統	1.徹底瞭解與實做前置規畫作為 2.較實地操課更能檢視全般狀況及各組細節 3.提供指揮者逼真作業流程 4.輔助學習LSB重框橋機械協建架設作業

資料來源：作者自行整理。

研究建議

與舊式架橋模擬器相比，新式模擬器性能大幅提升且功能更加多元，為提供各班隊學員能獲得相關學習效益，將模擬系統納入多用途橋車機械協建課程輔助施訓，並調整現有課程內容及時數配當，提升教學品質。

一、增加模擬器訓練內容納入各班隊

(一)原則講解：利用電子書功能實施多用途橋車班隊原則講解，並配合教官台統一演練模擬啟動系統，實施計畫作為、橋樑架設及橋樑勤務課程，增進

互動性，加深學員印象(如圖 36)。

(二)實作練習：區分為吊臂模組艙體實機操作訓練及橋樑機械協建模擬流程訓練等兩大類

1.吊臂模組艙體實機操作訓練

學員可在模擬器教室，藉由 4 部吊臂模組艙體實機，實施多用途橋車之基礎吊臂操作、單一橋材吊掛、橋材模組吊掛、機械協建模擬及故障排除與錯誤動作之先期訓練，以熟稔訓員吊臂基礎操作概念，建立組合訓練基礎，並消弭學員等待耗時長，裝備數量少，訓練風險高等限制因素(如圖 37)。



圖 37 多用途橋車先模擬後實機教學流程

資料來源：作者自行拍攝整理。

2. 橋樑機械協建模擬流程訓練

藉高擬真度、易操作、保養及維護之模擬系統，透過系統程序訓練方式，按橋材模組組立、板台模組裝載及機械協建流程之

訓練程序，使學員充分了解橋樑機械協建架設程序，透過連網方式進行組合訓練、綜合演練，藉以磨練操作手對程序之了解，並可使用任務歸詢功能實施訓後回顧以驗證其執行成果(如圖 28)。



圖 38 橋樑機械協建教學流程

資料來源：作者自行拍攝整理。

(三)架橋模擬器教育訓練優點分析

1.運用模擬系統與實裝訓練操作之差異

(1)縮短訓練時程：運用模擬系統實施訓練，可減少教學整備工作，並針對重點練習，

逐步增加訓練次數，縮短訓練時程。

(2)不受環境限制：模擬系統之操作不受天候環境影響，受訓學(員)生及部隊可藉模擬系統持續實施訓練，增大投資訓練效益。同時，利用模擬

系統實施各種場景仿真，可使訓練更貼近作戰實況，提升訓練成效。

(3)提昇作業安全：模擬系統可模擬各種不同訓練課程及可能之突發狀況，亦能提供特殊且複雜之虛擬作戰環境及難以遭遇之天候與地形；透過高危險性場景模擬訓練，可提高實際操作之安全性，使學者熟悉作業程序及危機處理，藉以增加應變能力，期於實際作業時，將裝備實際性能予以充分發揮。

(4)可反覆從事訓練：在不同訓練條件之下，同一狀況可以反覆實施訓練，使受訓學員(生)可藉模擬器重複訓練，增大投資訓練效益。

(5)減低裝備損耗、節約訓練成本：裝備使用頻繁，其壽限大幅縮短並消耗大量爆材，運用模擬器從事訓練，能減少裝備不當損耗，延長裝備使用壽限；另可節省爆材消耗。

(6)減少訓練場地、環保抗爭：訓練場地難覓，易造成民意抗爭，模擬器於室內實施，可減少對環境與噪音污染，避免民眾抗爭。

2.傳統橋車訓練與「多用途橋車模擬器」效益比較

國外有關模擬系統之發展日趨成熟，隨著電腦硬體設

備資料處理速度不斷提升，模擬軟體開發也因市場需求日益精進，除了在技術門檻方面較於以往降低許多以外，系統成熟度與擬真度亦大為提升，同時減少了開發風險與經費需求。然而，訓練模擬器之運用能彌補現階段受限之訓練條件，可得之具體效益差異比較(如表 13)。

二、增加模擬器授課時數納入各班隊

檢討新式模擬器之各項系統功能，建議各班隊授課時數調整(如表 14)。

三、廣泛運用新式模擬器系統效能

(一)針對接受過起重機及堆高機證照課程訓練之人員，可利用此機械操作模組，訓練基本操作及課目演練，使學員就算於未持照狀態也可以在低風險的情況下進行多次的模擬訓練，進而提升部隊專業人才培養，亦可有效支援各項工兵支援任務及勤務作業(如圖 39)。

(二)指揮職幹部或授課專業教官可藉由此系統高度自由的特性，能自行將設計狀況或現實實境狀況轉換成系統內的想定，使所屬人員或學員可練習各種不同的課目，進而熟悉架橋流程，融會貫通，提升工兵部隊整體能力(如圖 40)。

表 13 橋車實機操作訓練與「多用途橋車模擬軟體」效益比較分析

訓練方式 項目	橋車實機操作訓練	多用途橋車模擬軟體	比較分析
課前準備	實施風險管控會議、器材整備、場地整理、具操作前檢查、派車申請等勤務，需多人配合才可完成。	僅教官及助教共2員完成每日使用前檢查即可完成。	以多用途橋車模擬軟體訓練每日施訓可節約2小時課前準備時間。
訓練場地	一部橋車實機操作需要15X15平方公尺之訓練場，以保持安全距離。	本中心橋樑架設模擬器教室配賦4部多用途橋車模擬軟體機台，每部占地2立方公尺，合計8立方公尺之室內空間可完成設置。	4部多用途橋車模擬軟體機台配賦於同一模擬器教室內，可供同時4位學員實施操作訓練，節省空間。
訓練成本	一、裝備燃油、定更、定檢件之消耗。 二、教學人力：一部橋車操作訓練需要1員教官與1員助教。	一、僅需220伏特之電源，訓練每人次約佔15元。 二、教學人力：僅需教官及助教共2員可同時訓練4部模擬機台。	依器材損耗、教學人力，模擬器較為優勢。
危安因素	學員初次接觸橋車，實施吊桿基本操作訓練時，易因對吊桿液壓系統不熟悉等因素操作不慎，損壞裝備或肇生訓練失慎。	運用模擬器實施吊桿基本操作訓練時，無訓練維安之顧慮，且訓員實施吊桿重置歸動作只需簡單設定即可完成，節約訓練時間。	多用途橋車模擬軟體訓練無危安因素，且輪帶訓練時間短。
訓練效益	一、由於場地限制，橋樑架設過程一次最多只有2部橋車能同時操作。 二、雷雨或天候不佳時，常停止橋車操作訓練。	一、可藉音效、視訊虛擬下雨、夜晚等景況，使學者能習得惡劣天候架橋要領。 二、可配合VR虛擬實境，使學者於訓練時能有臨場感，模擬實際吊掛現況。	多用途橋車模擬軟體可訓練臨機應變能力，將風險所導致的危害與損失能予以消弭或降至最低程度。

資料來源：作者自行整理。

表 11 新式模擬器各班隊授課時數調整建議表

班隊	時數			
	課程總時數 (時)	原模擬器時數 (時)	新模擬器時數 (時)	建議增加 (時)
多用途橋車機械協建 (操作班)	140	2	49	47
多用途橋車機械協建 (複訓班)	70	2	21	19

資料來源：作者自行整理。



圖 39 模擬器堆高機、吊臂考照場地訓練操作示意圖

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。



圖 40 模擬器編輯想定科目訓練操作示意圖

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

結語

國軍各式訓練模擬器為輔助各項軍事訓練之得力工具，雖無法完全取代傳統訓練方式，但可以避免惡劣天氣、場地及人員不足等不可抗拒之因素，亦可以針對弱項實施個別訓練及組合訓練，且是在完全低風險的環境下。新式架橋模擬器已將各式功能大幅提升及擴充，讓訓練更加效率化、簡單化及個人化，透過瞭解系統能輔助的範圍及深度

後，調整班隊授課課程時數與內容，期許班隊學員能接受更有效之課程學習，進而提升工兵職能。