中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組　工程學科(二)科

佳作

052402

玉米大出擊-3 面玲瓏水準尺夾

學校名稱：國立員林高級農工職業學校

作者：	指導老師：
職二 谷姿萱	施文偉
職二 陳思羽	曾銘文
職二 梁孝寬	

關鍵詞：水準尺尺夾、3D 列印、閉合水準測量

摘要

本研究動機為舊有的鋁製水準尺尺夾，過於笨重、攜帶不便、未與水準尺貼合、架設不易等問題，容易產生誤差，便加以改良。以精簡的設計概念，配合 3D 列印技術，製出「單面、雙面、全方位」等三種水準尺夾，此尺夾為一體成形，操作簡易、攜帶便利，配合 SOP 操作流程，可提升作業效率。

本水準尺夾可自行 3D 列印製作，作品不經由工廠電鍍生產，不會排放廢水和毒物 P M2.5，友善環境。由實測數據得知水準尺夾誤差值較鋁製尺夾小，且素材便宜易得可自行製作，提升經濟效益。

Abstract

This study aims to modify Aluminum Leveling rods Tape grip which is considered cumbersome, inconvenient to carry, unfit to the Leveling rods and prone to errow. With the concept of concise design and 3D printing technology, made"single-sided", "double-sided", "all-round", Leveling rods Tape grip will be produced stage by stage. This type of Tape grip is made of one-piece forming, easy to operate, easy to carry and efficient with standard operation process.

Tape grip can be produced by the 3D printing devices , instead of plating process. Therefore , it is environmentally friendly without the discharge wastewater and toxic substances PM2.5. According to the experimental measurement, the error value of Leveling rods Tape grip is measured less than that of Aluminum Leveling rods Tape grip. In addition, the material is easy to be obtained economically and self-made efficiently.

壹、研究動機

「水準測量」[註 1]是測量的基礎，其目的在於測得未知點位的高程，所用儀器包含水準儀及水準尺，為保持水準尺尺身的穩定性，而使用尺夾將水準尺與腳架進行固定，使其與地面成垂直豎立狀態，本次研究即改善下述所列問題，其為水準尺夾製作依據。

目前廣為使用之鋁製尺夾（表一：編號 3）有下列缺點：

一、過於笨重，攜帶不便。

二、使用時未與水準尺貼合，導致架設不易。

三、無法量產，以至於價格偏高。

貳、研究目的

以精簡的設計概念，配合 3D 列印技術，製作一系列實用的測量儀器配件：

一、設計具有便捷性及實用性的水準尺夾。

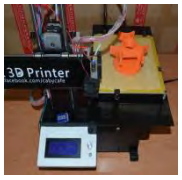
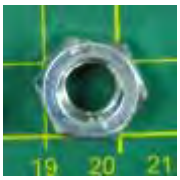
二、結合３Ｄ列印技術自行ＤＩＹ自製尺夾，同時推廣此種新興科技。

三、以具有可回收再利用特性的 PLA（玉米澱粉塑膠）材質製作尺夾，達到耗材少、成本低且具一定強度之測量儀器，並符合經濟與環保效益。

參、使用設備及材料

表 1、本研究相關材料及儀器設備彙整資料

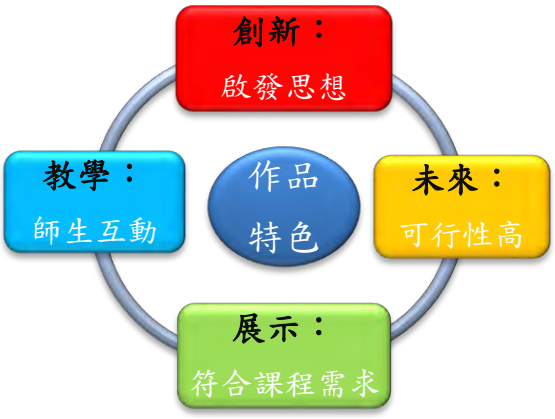
編號	名稱	說明	圖片	使用圖片
1.	水準儀	測量水準尺		
2.	水準尺	可測得數據		
3.	鋁製尺夾	固定 水準尺及腳架		
4.	鱷魚夾	架設水準尺		
5.	尺墊	保持 水準尺的穩定性		
6.	水準氣泡	調整 水準尺的水平		
7.	木樁	用於木樁法， 之儀器誤差檢測		
8.	腳架	架設水準尺		

編號	名稱	說明	圖片	使用圖片
9.	鋼捲尺	量測所需的距離		
10.	3D 列表機	列印設計之尺夾		
11.	大六角螺帽	與腳架固定， 並進行連結		
12.	中尼龍螺帽	固定尺夾旋轉軸		
13.	中螺絲	增加 螺帽的穩定性		
14.	小尼龍螺帽	固定尺夾的連結， 使其不易鬆脫		
15.	小螺絲	加強螺帽活動性 ，使其不意脫落		
16.	PLA 原料	尺夾原料		

肆、研究過程及方法

一、作品特色及性質：

本組 3D 列印水準尺夾設計，融合「創新」、「未來」、「展示」、「教學」等四大功能，其設計符合「實際所需」、「創意設計」、「模型成品」、「機能靈活」等需求，製造出一個測量作業的好夥伴。本組作品設計說明圖一如下：



(一)啟發思想

透過觀察和不斷的嘗試增進專注力，同時也培養邏輯思考能力，並於實作過程中，鍛鍊突破問題所需的態度，藉由創新思維改善既有機器配件的功能。

(二)可行性高

將現有儀器（如：鱷魚夾、鋁製尺夾），改善為 3D 列印水準尺夾。經由不斷的修正，以「便於作業」為主要指標，使用 3D 列印技術製作尺夾，並實際操作驗證，發展出製作水準尺夾的標準製程。

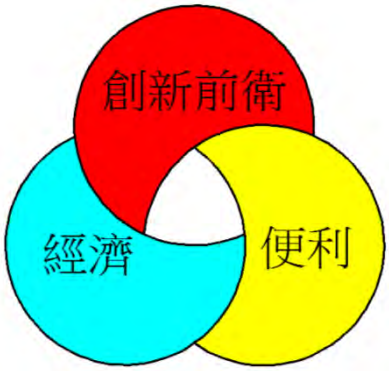
(三)符合課程需求

3D 列印水準尺夾分為：「單面、雙面、全方位（即：360 度角）」等三種不同款式，不論是外觀或功能，皆配合各個類型的水準尺架設，並適應各種場地及量測方法（例：閉合水準測量、方格測量…等），能符合測量實習課程所需。

(四)師生互動

顛覆「老師教，學生學」的傳統觀念，透過與師長的討論，學習有效溝通的表達能力，並主動尋找解決問題的方法，間接達到師生教學相長。

二、依據理論及原理：

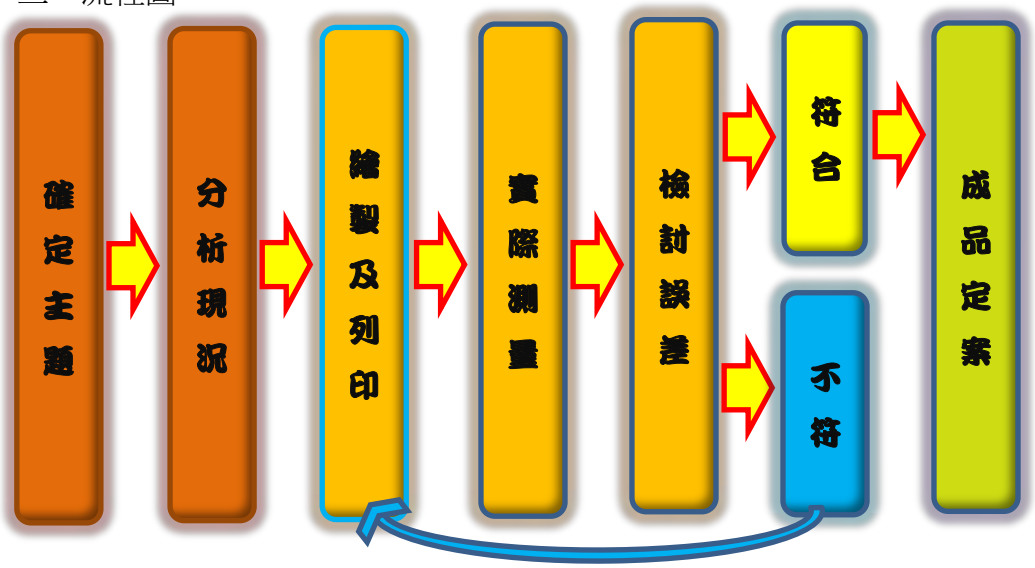


（一）便利：尺夾為一體成形的設計，不但輕巧、便捷，只要依循 SOP 操作流程，便可迅速設置，可大幅縮短架設水準尺所需的時間。

（二）創新前衛：尺夾的製作過程中，把理想與科技結合，並將想法實際化，製作符合實況所需的產物。

（三）經濟：3D 列印尺夾所用素材便宜，可自行 DIY 製造，不須經由多道的製作流程，所以製作時所耗的時間短、材料成本等消耗品皆低，因此經濟效益高。

三、流程圖：



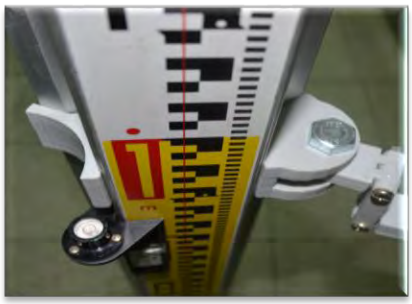
「Skepch Up」[註 2]繪製圖形，並將完成的圖形轉存立體圖檔（*.stl），輔以 Cura 切片軟體轉換檔案（*.gcode）存入 SD 卡，再放至 3D 印表機進行成品印製。以實際測量的方式檢測成品是否符合需求，若不符合，將立即修正設計後，重新印製新產品，逐步改善至符合需求，確定作品完成後再繕寫書面文件。

四、水準尺夾 SOP 標準架設流程：

於實際測量中使用 3D 列印水準尺尺夾作業，並調查使用者意見，訂定可提高整體架設效率，且人人都可以輕鬆上手使用的 SOP 操作流程。

1.將水準尺和尺夾進行組裝，
確定其與尺夾緊密貼合。

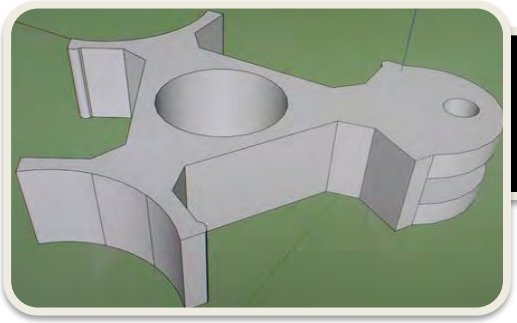
2.將底部固定器套於水準尺底部
，以保持水準尺身的平穩。



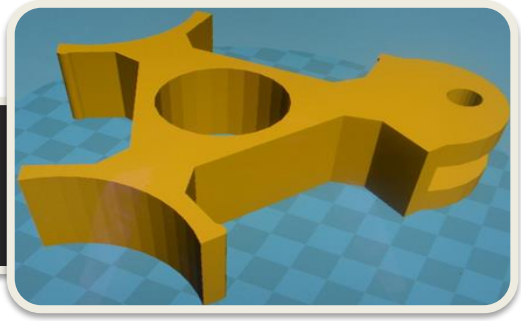
3.放置於觀測點位，並配合專業水準氣泡及尺夾
設計之轉動機能，進而調整水準尺的水平。

4.上述步驟結束後，即水準尺架設完成。

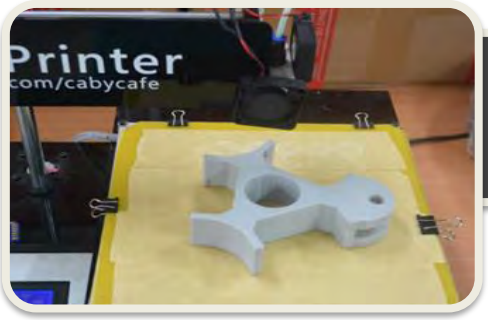
五、製作歷程：



1. 用Sketch Up軟體繪製尺夾圖型



2. 使用Cura切片軟體進行轉檔



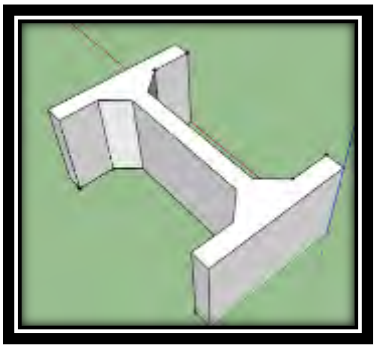
3. 使用3D印表機列印成品

4. 進行模型套量

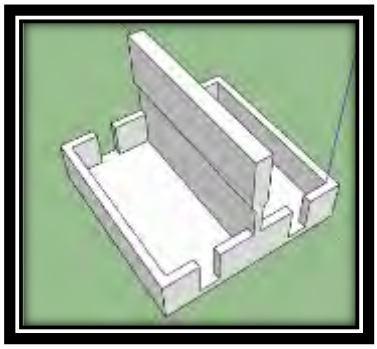
使用 Sketch Up 軟體[註 3]繪製及修改所設計之水準尺夾圖形，並將完成的圖形轉存立體圖檔（*.stl），輔以 Cura 切片軟體轉換檔案（*.gcode）再存入 SD 卡並放至 3D 印表機進行成品印製[註 4]。以實際套量檢測成品是否尺寸符合，若不符合，便即時修正設計重新列印新產品，循序改善至符合要求，確認作品完成後即纂寫書面文件。

六、研究過程：

研究過程 1：在架設水準尺的過程中，我們發現尺夾沒有卡榫，導致水準尺在架設時易與尺墊分離；而尺墊因底部及外圍厚度不夠，以至於架設時易斷裂。



圖（一）用軟體繪製尺夾



圖（二）用軟體繪製底部固定器

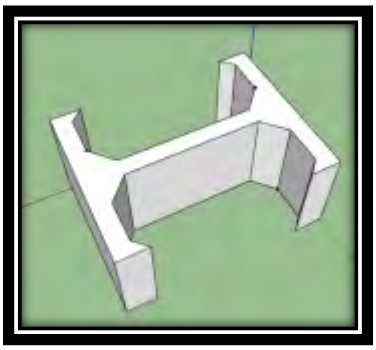
圖（三）用列印機列印尺夾

圖（四）用列印機列印底部固定器

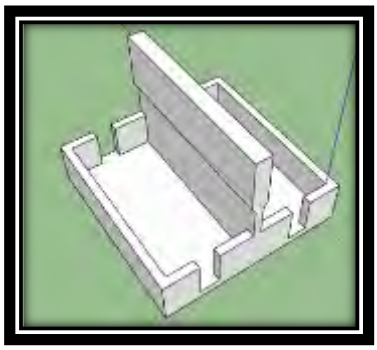
圖（五）尺夾做實際套量，確認比例是否符合

圖（六）底部固定器做實際套量，確認比例是否符合

研究過程 2：架設水準尺的過程中，我們發現三角卡榫與水準尺過於密合，拆卸時容易斷裂；將底部固定器的底部加厚並且在中心點處設置一個圓弧，使其與尺墊更加貼合。



圖（七）用軟體繪製尺夾



圖（八）用軟體繪製底部固定器

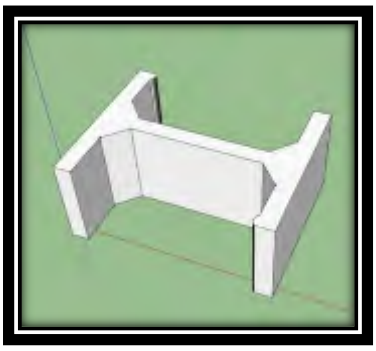
圖（九）用列印機列印尺夾

圖（十）用列印機列印底部固定器

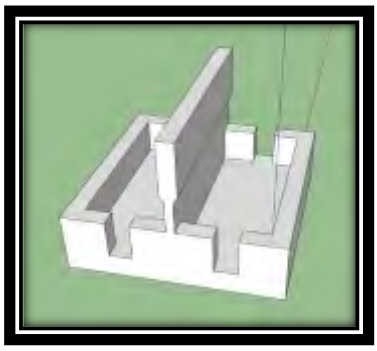
圖（十一）尺夾做實際套量，確認比例是否符合

圖（十二）底部固定器做實際套量，確認比例是否符合

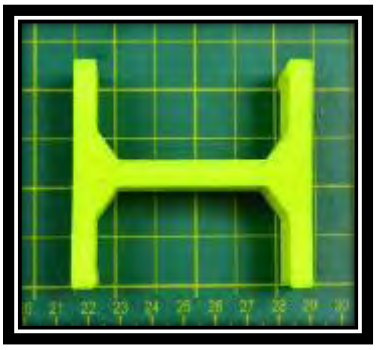
研究過程 3：設計過程中，將尺夾卡榫改以圓弧對角設計，使其更加便利；而我們將固定器的底部及外側加厚並且在中心點處設置一個半圓使其與尺墊更加貼合及穩固。



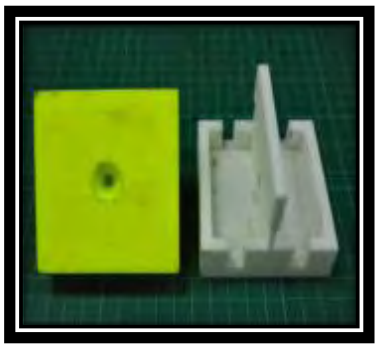
圖（十三）用軟體繪製尺夾



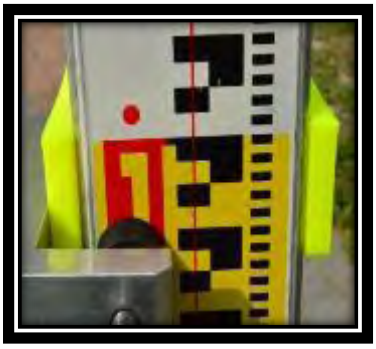
圖（十四）用軟體繪製固定器



圖（十五）用列印機列印尺夾成品



圖（十六）用列印機列印底部固定器

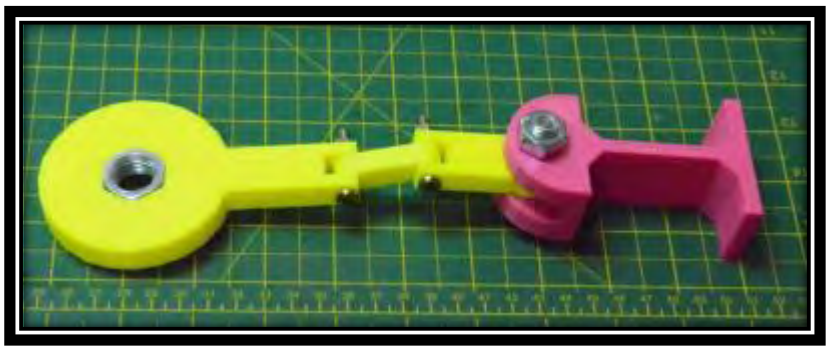


圖（十七）將尺夾做實際套量，確認比例是否符合

圖（十八）底部固定器做實際套量，確認比例是否符合

研究過程 4：設計尺夾的過程中，為了能便於攜帶，我們將其製成一體成形的尺夾，使其更輕巧、便利，替代鋁製尺夾，但尺夾的接合處並不夠穩固需再改善。

圖（十九）用軟體繪製尺夾

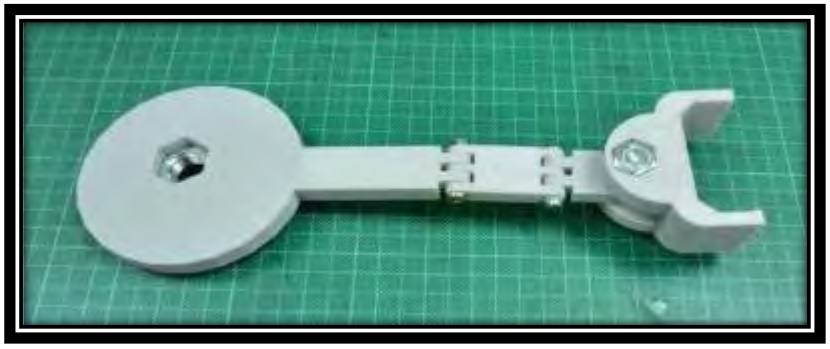


圖（二十）用列印機列印「雙面尺夾」，並以螺絲將成品組合

圖（二十一）尺夾做實際套量，確認比例是否符合

研究過程 5：設計尺夾的過程中，為了使尺夾能適用於不同測量，我們將尺夾增加款式改為單面水準尺夾，使尺夾更加的多樣性。

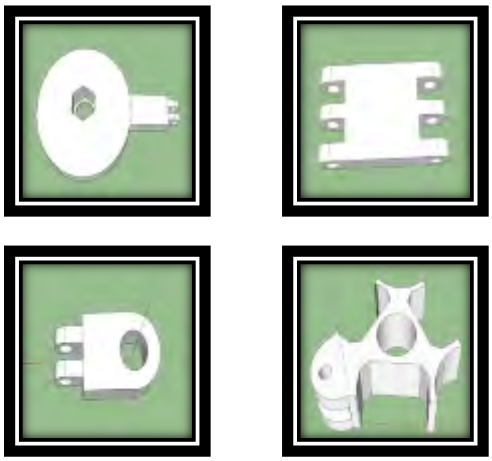
圖（二十二）用軟體繪製尺夾



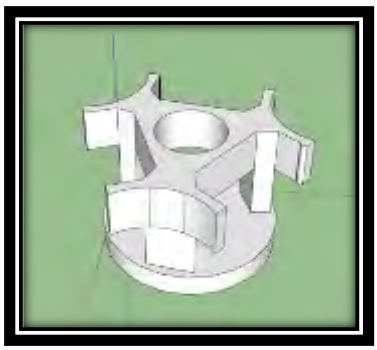
圖（二十三）用列印機列印「單面尺夾」，並以螺絲將成品組合

圖（二十四）尺夾做實際套量，確認比例是否符合

研究過程 6：設計尺夾的過程中，為了減少視線的死角，我們將尺夾改為三角形 [註 5]，如此便可減少觀測死角。

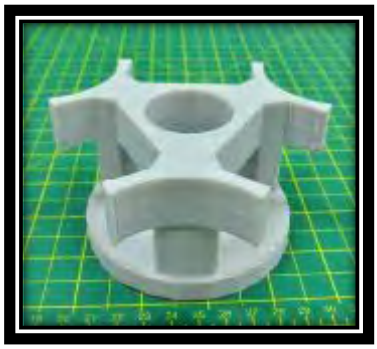


圖（二十五）用軟體繪製尺夾



圖（二十六）軟體繪製固定器

圖（二十七）用列印機列印尺夾成品

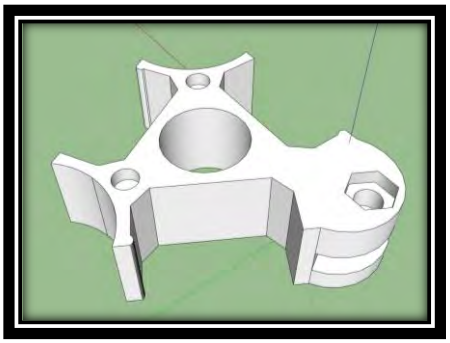


圖（二十八）用列印機列印，底部固定器成品

圖（二十九）尺夾做實際套量，確認比例是否符合

圖（三十）底部固定器做實際套量，確認比例是否符合

研究過程 7：設計尺夾過程中，為使攜帶更方便，我們將水準氣泡與尺夾結合。



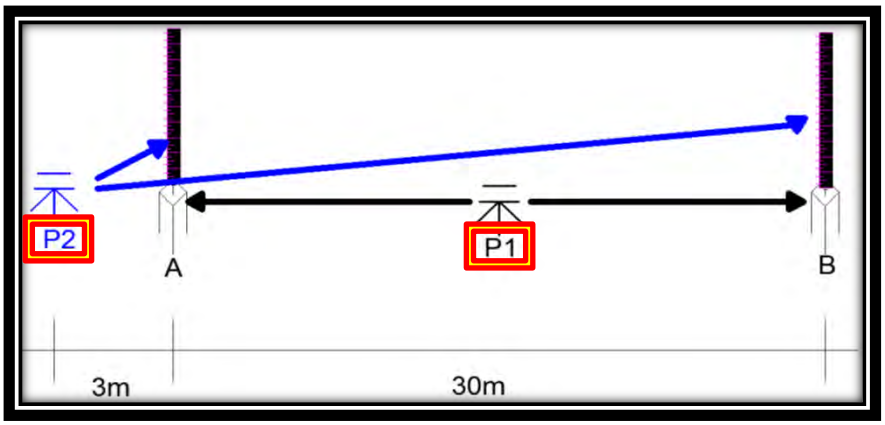
圖（三十一）用軟體繪製尺夾

圖（三十二）用列印機列印尺夾成品

圖（三十三）尺夾做實際套量，確認比例是否符合

七、研究方法

本次科展「玉米大出擊-3 面玲瓏水準尺夾」任何位置進行觀測，除水準尺固定的水平一致，使用時的誤差是否比鋁製尺夾更小，能使外務人員在進行測量作業時能更加便捷，縮短裝置時間，提升其測量效率。經討論後，本小組選用兩種測量方法：圖（三十四）木樁法[註 6]；圖（三十五）閉合水準測量[註 6]，進行測量作業。



圖（三十四）木樁法

圖（三十四）木樁法：以鋼捲尺定 30（m） AB 距離，並於 A 點架設雙面尺，B 點為單面尺，再於 A 點後方量出 1/10 的 AB 距離，操作水準儀分別在 P1 及 P2 位置做觀測，經計算後，其誤差值≦0.003，此種測量方法用以校正儀器之水平誤差。

表 2、木樁法測量數據

測站	尺上讀數 m	
A	後視（b1）	前視（f1）
	1.364	1.371
B	後視（b2）	前視（f2）
	1.366	1.372

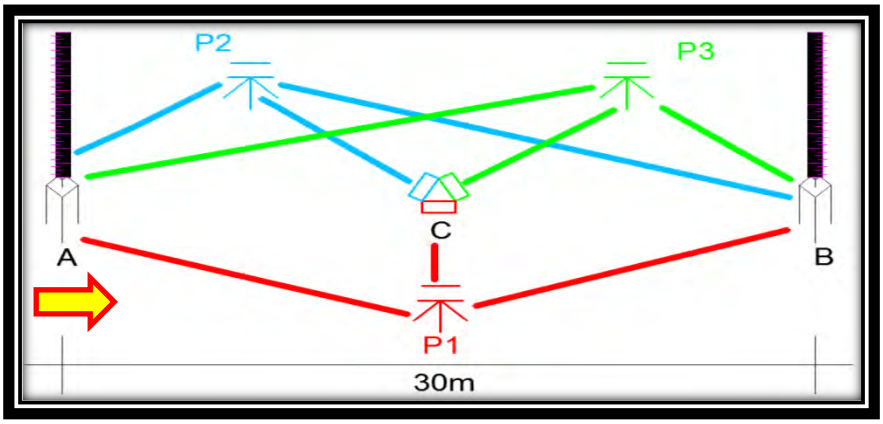
正確高程差 △h=（b1-f1）=（1.364-1.371）=-0.007

觀測高程差 △h=（b2-f2）=（1.366-1.372）=-0.006

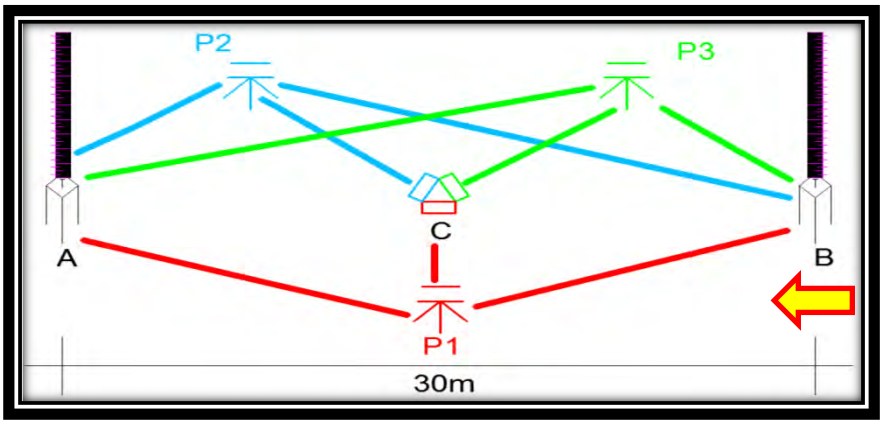
誤差值 v=△h-△h=（b2-f2）-（b1-f1）=0.001

實測結果：此份數據得知，所使用之儀器並無儀器誤差。

閉合水準測量：於 AB 距中間處，設置轉點（即：3 面尺夾），分別於 P1、P2、P3 位置進行觀測圖（三十五）、圖（三十六），經計算後，確定其高程誤差範圍≦0.003（mm）。此種測量方法以證實 3 面水準尺之任一面觀測的水平面皆相同，尺夾與尺之密合度皆誤。



圖（三十五）三面尺夾閉合水準測量-往測



圖（三十六）三面尺夾閉合水準測量-返測

實測結果：由下表可知其各點位之觀測所得誤差值皆≦0.003，從數據中我們得知三面水準尺夾架設水平度符合以外，也與水準尺密切貼合，同時減少測量誤差，並且達到更有效率測量作業。

表 3、三面尺夾-閉合水準測量數據

P1

點位	尺上讀數 m		高程差		高程 m
	後視	前視	+	-	
A	1.325				100.000
B		1.333		0.008	99.992
C	1.378	1.402		0.077	99.915
B		1.309	0.069		99.984
B	1.332				
A		1.321	0.011		99.995
C	1.375	1.400		0.068	99.927
A		1.299	0.076		100.003

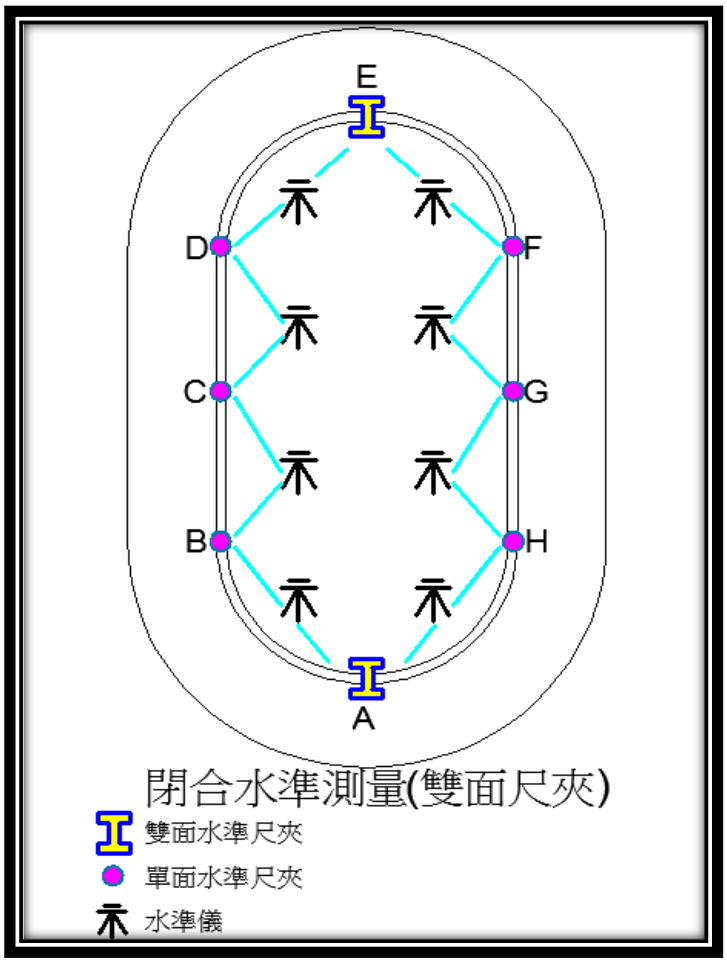
P2

點位	尺上讀數 m		高程差		高程 m
	後視	前視	+	-	
A	1.354				100.000
B		1.361		0.007	99.993
C	1.445	1.428		0.074	99.919
B		1.379	0.066		99.985
B	1.371				
A		1.363	0.008		99.993
C	1.441	1.439		0.068	99.925
A		1.365	0.076		100.001

P3

點位	尺上讀數 m		高程差		高程 m
	後視	前視	+	-	
A	1.316				100.000
B		1.325		0.009	99.991
C	1.348	1.395		0.079	99.912
B		1.279	0.069		99.981
B	1.363				
A		1.354	0.009		99.990
C	1.407	1.432		0.069	99.921
A		1.329	0.078		99.999

圖（三十七）雙面尺夾-閉合水準測量



於 A、E 點架設「雙面水準尺夾」，其餘點則設置單面水準尺夾，以順時鐘方向沿著操場做閉合水準測量。

實測結果：下述兩份「雙面尺夾-閉合水準測量數據」數據之誤差值，得知將雙面水準尺夾架設於轉點（T.P.）進行測量作業，了解以 3D 列印雙面尺夾對於尺身的穩定性高，證實之可行性極高，總觀測角度只有 200 度，仍有進步空間。

表 4、雙面尺夾-閉合水準測量數據

測點	尺上讀數 m		高程差 m	
	後視	前視	+	-
A	1.664			
B	1.620	1.630	0.034	
C	.640	1.567	0.053	
D	1.647	1.614	0.026	
E	1.669	1.722		0.075
F	1.664	1.760		0.091
G	1.70	1.708		0.044
H	1.625	1.717		0.007
A		1.520	0.105	
	【13.239】	【13.238】	【0.218】	【-0.217】

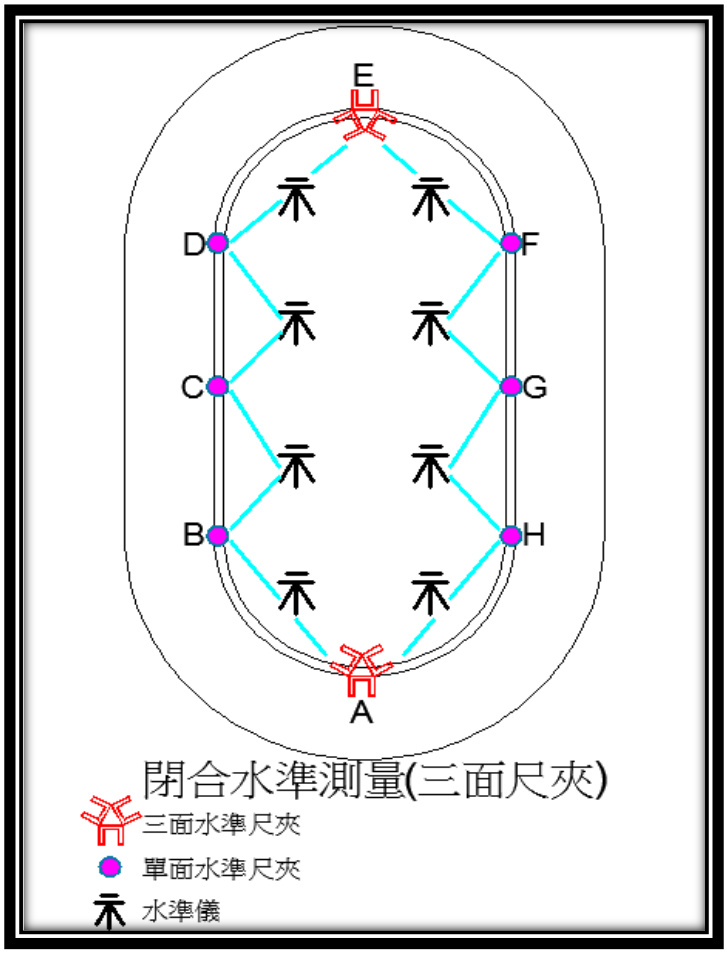
閉合差=0.001

表 5、雙面尺夾-閉合水準測量數據

測點	尺上讀數 m		高程差 m	
	後視	前視	+	-
A	1.610			
B	1.568	1.577	0.033	
C	1.534	1.514	0.054	
D	1.601	1.508	0.026	
E	1.590	1.673		0.072
F	1.621	1.681		0.091
G	1.707	1.669		0.048
H	1.578	1.712		0.005
A		1.474	0.104	
	【12.809】	【12.808】	【0.217】	【-0.216】

閉合差=0.001

圖（三十八）三面尺夾-閉合水準測量



於 A、E 點架設「三面水準尺夾」，其餘點則設置單面水準尺夾，以順時鐘方向沿著操場做閉合水準測量。

實測結果：由下述兩份「三面尺夾-閉合水準測量數據」數據得知，3D 列印三面尺夾與水準尺穩固貼合，使水準尺與地面垂直呈水平狀態，因此無觀測死角，即可於任一角進行觀測，不但縮減測量耗時，並大幅提升整體效率。

表 6、三面尺夾-閉合水準測量數據

測點	尺上讀數 m		高程差 m	
	後視	前視	+	-
A	1.624			
B	1.565	1.594	0.030	
C	1.603	1.512	0.053	
D	1.643	1.578	0.025	
E	1.570	1.724		0.081
F	1.582	1.655		0.085
G	1.736	1.627		0.045
H	1.589	1.740		0.004
A		1.480	0.106	
	【12.909】	【12.910】	【0.214】	【-0.215】

閉合差=0.001

表 7、三面尺夾-閉合水準測量數據

測點	尺上讀數 m		高程差 m	
	後視	前視	+	-
A	1.548			
B	1.520	1.519	0.029	
C	1.518	1.465	0.055	
D	1.554	1.493	0.025	
E	1.549	1.635		0.081
F	1.580	1.634		0.085
G	1.716	1.626		0.046
H	1.582	1.721		0.005
A		1.476	0.106	
	【12.567】	【12.569】	【0.215】	【-0.217】

閉合差=0.002

伍、研究結果

尺夾因為沒有卡榫，無法完全固定住，容易讓水準尺脫落，再來，尺夾 增加了三角卡榫，也加厚尺夾和固定器的厚度，而三角卡榫的密合度過高，導致無法輕易拆卸，於是，我們修改了卡榫的造型、固定器底部的圓弧、整體的厚度以及作品印製時的填充密度，接者我們將尺夾修改為一體成形造型，增加在使用上的便利性，可迅速做尺夾與水準尺的組合，此外，轉動部份的設計，我們突破舊有設計對於尺夾的限制。為了適應測量方法的多變性，我們新增了兩種新款式的尺夾，分別為單面尺夾和三面尺夾，皆可彈性使用在不同的測量上，且三面尺夾能減少觀測時，易有死角的問題。而我們也在尺夾上方處增加水準氣泡，以達到更便利的型態。

從第一代的尺夾製作，我們改良的地方分別有，尺夾的卡榫、厚度、造型、填充密度及使用上的方便性，而每個關鍵點都與尺夾的成敗有著密不可分的關係，最後得到輕盈、操作簡易上手、體積小易收納、便捷的尺夾。

陸、討論

一、尺夾之優劣

探討 3D 水準尺夾及傳統鋁製尺夾的差異，條列說明如下：

表 8、尺夾之比較

	3D 列印- 三面尺夾	3D 列印- 雙面尺夾	鋁製尺夾
誤差	高（誤差≦0.003）	高（誤差≦0.005）	中（誤差≧0.005）
裝置時間	短	短	長
使用壽命	中（3~5 年）	中（3~5 年）	長（數年）
成本	低（200 元內）	低（200 元內）	高（2000 元以上）
視角	高（300 度）	窄（200 度）	窄（100 度）
總結：效率比	高	中	低

（一）誤差：3D 列印尺夾可直接與水準尺扣合，與腳架緊密固定；相較以螺栓固定水準尺的鋁製尺夾，可大幅降低誤差值的產生。

（二）裝置時間：3D 列印尺夾與水準尺組合，並以水準氣泡廷整水平後，即架設完成；與鋁製尺夾比較，以 3D 列印尺夾架尺更為迅速。

（三）使用壽命：3D 列印尺夾為塑膠製品僅可使用 3~5 年；與金屬製成的鋁製尺夾比較，使用年限較短，可建議改用 ABS 材質以延長壽命，或在尺夾表面做陽極處理(電鍍工法)避免塑膠出現裂解效應。

（四）成本：3D 列印夾素材便宜易得，可行自製；與工廠加工製造的鋁製尺夾相比，能源消耗及材料成本皆低，因此經濟效益高。

總結：不管在成本、裝置時間又或者誤差方面上，3D 列印水準尺夾的效率比都比鋁製尺夾還要優。唯一美中不足的是，其為塑膠材料具裂解性，一段時間後便容易裂化分解，需再列印更換構件。

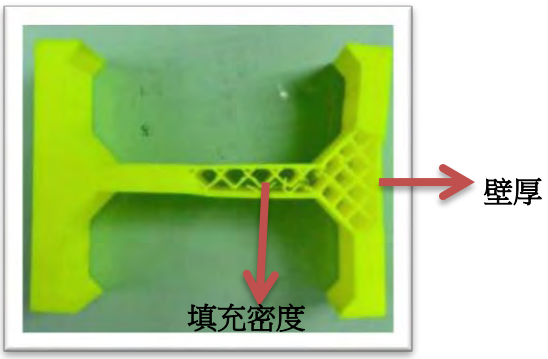
二、機器之設定

表 9、機器設定之比較

	機器設定	原始設定	最終設定
列印品質	層厚（mm）	0.3	0.3
	壁厚（mm）	0.8	1.2
填充	底/頂層厚度（mm）	0.9	0.9
	填充密度（%）	30	50
速度及溫度	列印速度（mm/s）	35	30
	列印溫度（C）	210	210
	熱床溫度	0	50
支撐	支撐類型	Everywhere	Everywhere
	黏附平台	0	0
列印材料	直徑（mm）	1.75	1.75
	流量（%）	100	100
	列印品質	劣	優

以上為列印尺夾時 3D 印表機的設定，為了使品質更好，我們將幾項原始設定進行調整，調整的項目有「壁厚」、「填充密度」、「列印速度」、「熱床溫度」四大主要項目說明如下：

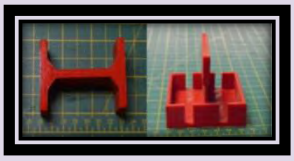
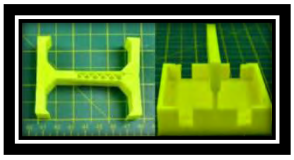
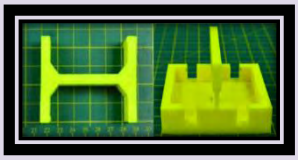
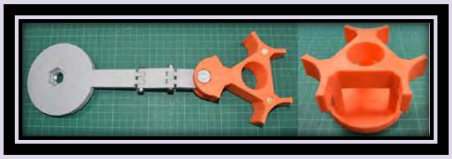
1. 壁厚：可決定此結構體是否容易斷裂（圖（三十九）水準尺夾之內部構造）。
2. 填充密度：可決定結構體的硬度（圖（三十九）水準尺夾之內部構造）。
3. 列印速度：可決定成品的質地。
4. 熱床溫度：可降低成品列印時的失敗率。



圖（三十九）水準尺夾之內部構造

三、尺夾之重量比較

表 10、尺夾之重量

編號	名稱	重量（g）	圖片
1	第一代	48	
2	第二代	52	
3	第三代	89	
4	第四代	189	
5	第五代	196	
6	第六代	308	
7	第七代	353	

四、未來展望

將測量工具與3D列印技術結合，發展出本研究3D列印水準尺夾的特色，改良以往鑄造製成的尺夾，本組所設計的尺夾，自行繪圖及印製，降低工業生產的依賴，符合客製及特製化的需求。

本研究所用之素材為（PLA）玉米塑膠，此種素材由食用玉米內提煉製成，具使用強度之脆性材，可循環利用，置於土壤經數年後便可自行分解，且素材便宜易取。模型製作過程中，不須經由工廠加工，不論時間、金錢、生產機器、模型原料等，消磨品皆低。此外，作品不經由工廠電鍍生產，不會排放廢水和毒物質ＰM2.5，可友善環境，同時兼具環保與經濟效益。

此階段的尺夾製做告一段落，下階段我們希望做更深入的研究，把 3D 列印水準尺夾與基本電路及簡易機械螺旋結合使其自動化，使用者只需透過簡單的遙控操作，便可將水準尺水準尺進行觀測面之角度調整，使水準尺夾於操作上更加的便捷。

為達此目標我們正努力地進行研究，期望本研究作品後續研究能夠成功，且於操作上能夠更加方便精進。

柒、結論及應用

將 3D 列印水準尺尺夾與鋁製尺夾的接合度及緊密度進行比較。3D 列印尺夾的設計能直接與水準尺緊密貼合，比起以螺栓接合的鋁製尺夾來的高，另外 3D 列印尺夾為一體成形，可迅速架設，縮減架設時間，儘管 3D 列印水準尺尺夾使用壽命不比鋁製尺夾好，但只要妥善使用下即可延長使用年限。

「3D 列印-單面水準尺夾」操作簡易、便利性佳，藉由本校為乙級測量檢定考場的機會，我們將其實際運用於方格水準測量之水準尺架設。圖（四十）乙級測量檢定之方格水準測量[註 7]所示。

除此之外也可與雙面及全方位尺夾一同配合，靈活使用下，皆可適應於各項測量方法，使本研究之水準尺夾發揮最大的使用效益。

圖（四十） 乙級測量檢定之方格水準測量

捌、引注資料

[註 1].王儂、過靜珺，**現代普通測量學**，五南出版社（2003）。

[註 2].陳坤松，**Google SketchUp8 設計大師從入門到精通**，松崗資產管理股份有限公司(2012) 。

[註 3].陳坤松，**SketchUp2017 室內設計繪圖實務**， 旗標出版社（2017）。

[註 4].王豪勳，**3D 列印無限可能**，博碩出版社（2014）。

[註 5].邱聰倚、姚家琦，**超簡單！3D 產品設計速繪美學**，碁峰出版社（2013）。

[註 6].施永富，**測量學**，三民書局股份有限公司-修訂三版（2）。

[註 7].趙桂生、焦有權，**測量放線工入門技巧**，化學工業出版社（2013）。

【評語】052402

研究動機與研究目的明確清楚，具良好實務應用性。利用簡單設計概念，配合 3D 列印技術，製成單面、雙面與全方位等三種水準尺夾，一體成形，操作簡易且攜帶便利。研究過程紀錄資料完整，包括英文摘要與表圖目錄，表格內容描述清楚。惟 PLA 材質的機械性質不如傳統鋁製品，使用壽命及精確度皆將受影響，實用性將受考驗。建議未來思考適當材料做為積層材料及快速量產技術。

作品海報

玉米大出擊-3面玲瓏水準尺夾

壹、研究動機

「水準測量」是測量的基礎，其目的在於測得未知點位的高程，所用儀器包含水準儀及水準尺，為保持水準尺尺身的穩定性，常使用尺夾將水準尺與腳架進行固定，使其與地面成垂直豎立狀態，本次研究即改善下述所列問題，其為水準尺夾製作依據。

目前廣為使用之鋁製尺夾有下列缺點：

一、過於笨重，攜帶不便。
二、未與水準尺貼合，不易架設。
三、無法量產，價格偏高。

貳、研究目的

以精簡的設計概念，配合3D列印技術，製作一系列實用的測量儀器配件：

一、設計具有操作便捷性與實用性的水準尺夾。
二、結合３Ｄ列印技術自行ＤＩＹ自製水準尺夾，同時推廣此種新興科技。
三、以具有可回收再利用特性的PLA（玉米澱粉塑膠）材質製作水準尺夾，達到耗材少、成本低且具一定強度之尺夾，以符合經濟與環保效益。

參、研究設備及器材

水準儀、水準尺、鋁製尺夾、尺墊、水準氣泡、木樁、腳架、鋼捲尺、3D列表機、尼龍螺帽、螺絲、PLA原料。

肆、研究過程或方法

一、作品特色及性質：

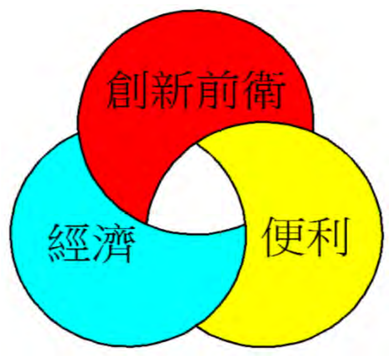
(一)啟發思想
透過觀察和不斷的嘗試增進專注力同時也培養邏輯思考能力，並於實作過程中，鍛鍊突破問題所需的態度及能力，藉由創新思維改善既有機器配件的功能。

(二)可行性高
將現有儀器（鱷魚夾、鋁製尺夾），改善為3D列印水準尺夾。經由不斷的修正，以「便於作業」為主要指標，使用3D列印技術製作水準尺夾，並經實際操作驗證，發展出製作水準尺夾的標準製程。

(三)符合課程需求
3D列印水準尺夾分為：單面、雙面、全方位（即：360度角）等三種不同款式，不論是外觀或功能，其必需能配合各個類型的水準尺架設，並適應各種現場及量測方法（例：閉合水準測量、方格測量…等），更能符合測量實習課程所需。

(四)師生互動
顛覆「老師教，學生學」的傳統觀念，透過與師長的討論，學習有效溝通的表達能力並主動尋找解決問題的方法，間接達到師生教學相長。

二、依據理論及原理：

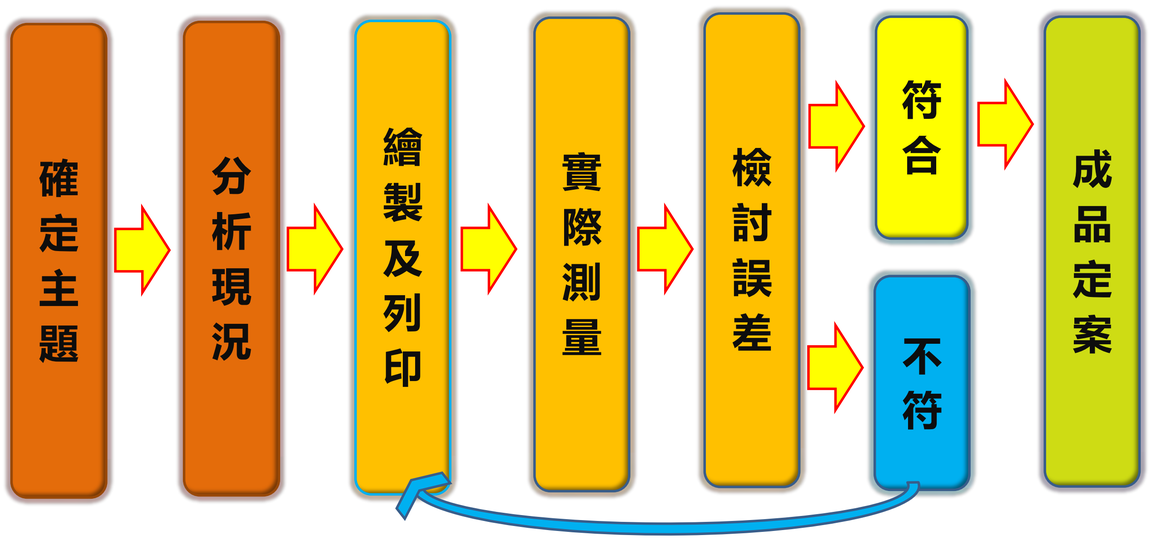


（一）便利：尺夾為一體成形的設計，不但輕巧、便捷，只要依循SOP操作流程，便可迅速設置，大幅縮短架設水準尺所需的時間。

（二）創新前衛：尺夾的製作過程中，把理想與結合科技，並將其實際化，製作出符合實況所需的產物。

（三）經濟：3D列印尺夾所用素材便宜，可自行DIY製造，不須經由多道的製作流程，所以製作時所耗的時間短、材料成本等消耗品皆低，因此其經濟效益高。

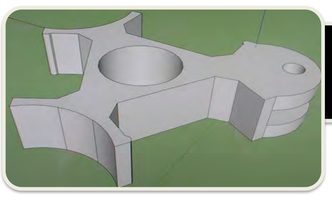
三、流程圖：



使用「Sketchup」繪製圖形，並將完成的圖形轉存立體圖檔(*.stl)，輔以Cura切片軟體轉換檔案(*.gcode)存入SD卡傳輸至3D印表機進行成品印製。以實際測量的方式檢測成品是否符合需求，並即時修正設計後列印新產品，逐步改善至符合需求，確定完成作品後繕寫書面文件。

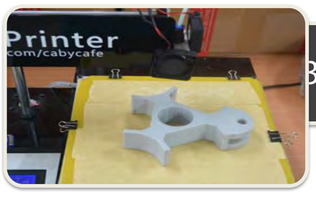
於實際測量中使用3D列印水準尺尺夾作業並調查使用者意見，訂定可提高整體測量作業效率且人人都可以輕鬆上手使用的SOP操作流程。

四、製作歷程：



1.用Sketch Up軟體繪製尺夾圖型

2.使用Cura切片軟體進行轉檔



3.使用3D印表機列印成品

4.進行模型套量

使用Sketch Up軟體繪製及修改所設計之水準尺夾圖形，並將完成的圖形轉存立體圖檔(*.stl)，輔以Cura切片軟體轉換檔案(*.gcode)後，存入SD卡傳輸至3D印表機進行成品印製。並實際套量檢測成品是否尺寸符合，及時修正設計列印新產品，循序改善至符合，確認作品完成後即纂寫書面文件。

五、水準尺夾SOP標準架設流程：

1.將水準尺和尺夾進行組裝，確定其與尺夾緊密貼合。

2.將底部固定器套於水準尺底部，以保持水準尺身的平穩。

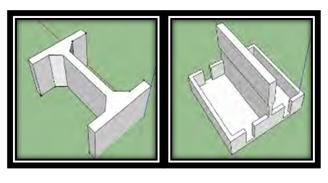
3.放置於觀測點位，並配合專業水準氣泡及尺夾設計之轉動機能，進而調整水準尺的水平。

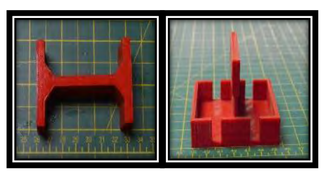
4.上述步驟結束後，即水準尺架設完成。

六、研究過程：

實驗過程1：

架設水準尺的過程中，我們發現尺夾沒有卡榫，導致水準尺在架設時易與尺墊分離；而尺墊因底部及外圍厚度不夠以至於架設時易斷裂。

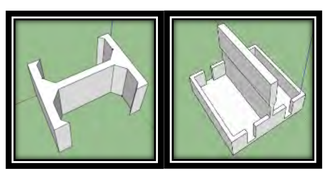

圖形繪製-實驗1

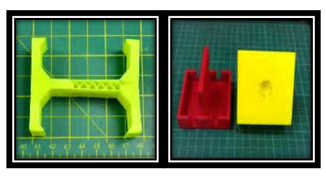

實驗成品1

實際套量1

實驗過程2：

架設水準尺的過程中，我們發現三角卡榫與水準尺過於密合，拆卸時易斷裂；將底部固定器的底部加厚並且在中心點處設置一個圓弧使其與尺墊更加貼合。

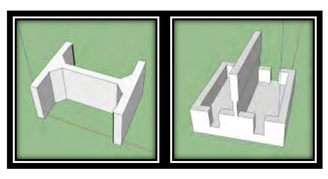

圖形繪製-實驗2

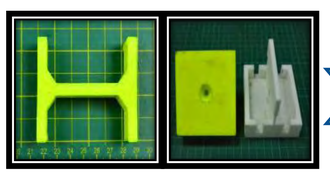

實驗成品2

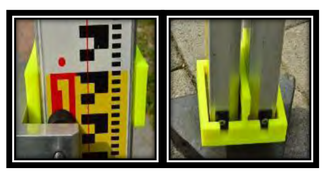
實際套量2

實驗過程3：

將尺夾卡榫改以圓弧對角設計，使其更加便利；而我們將底部固定器的底部及外側加厚並且在中心點處設置一個半圓使其與尺墊更加貼合及穩固。

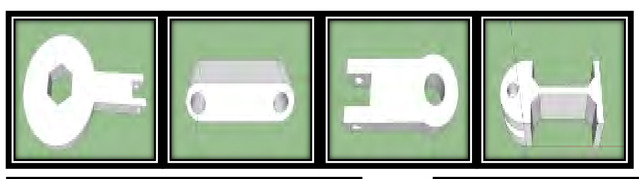

圖形繪製-實驗3


實驗成品3


實際套量3

實驗過程4：

為了能便於攜帶，我們將其製成一體成形的尺夾，使其更輕巧、便利，替代鋁製尺夾，但尺夾的接合處並不夠穩固需再改善。

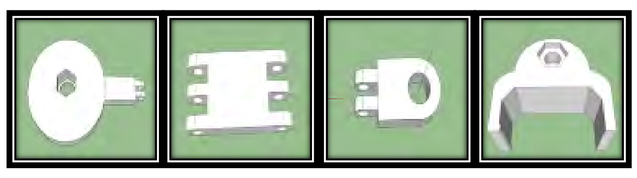

圖形繪製-實驗4

實驗成品4

實際套量4

實驗過程5：

為了使尺夾能適用於不同測量，我們將尺夾增加款式改為單面水準尺夾，使尺夾更加的便利。

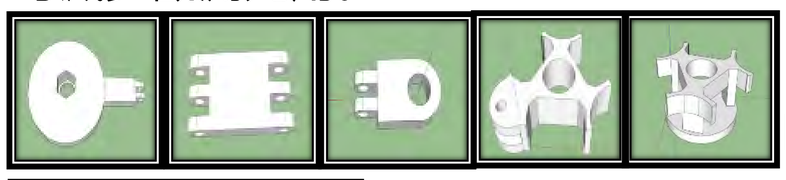

圖形繪製-實驗5

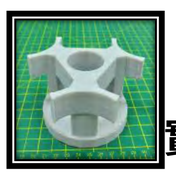
實驗成品5

實際套量5

實驗過程6：

為了減少視線的死角，我們將尺夾改為三角形，如此便可減少觀測死角。


圖形繪製-實驗6


實驗成品6

實際套量6

實驗過程7：

為了使攜帶更方便，我們將水準氣泡與尺夾結合。

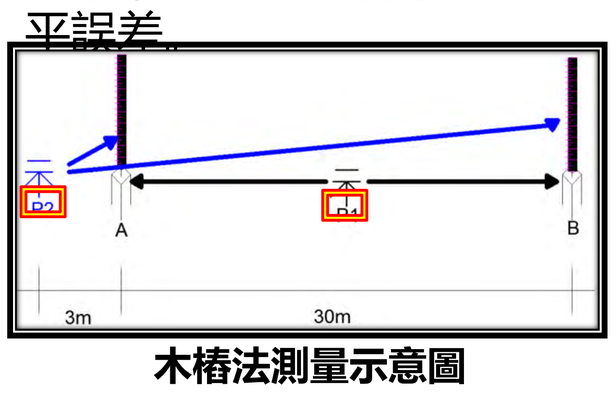
圖形繪製-實驗7

實驗成品7

實際套量7

七、研究方法

（一）木樁法：以鋼捲尺定30m之AB距離，並於A點架設雙面尺，B點為單面尺，再於A點後方量出1/10的AB距離，操作水準儀分別在P1及P2位置做觀測，經計算後，其誤差值≦0.003，此種測量方法用以校正儀器之水平誤差。



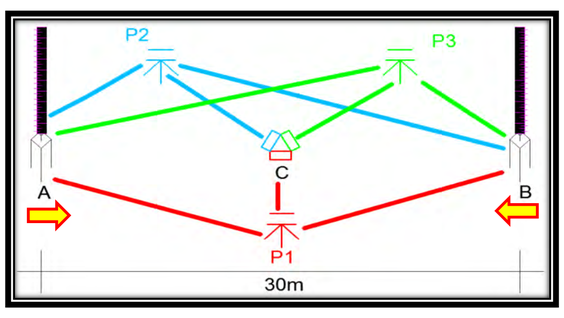
木樁法測量示意圖

測站	尺上讀數m	
A	後視（b1）	前視（f1）
	1.364	1.371
B	後視（b2）	前視（f2）
	1.366	1.372

木樁法數據

正確高程差 △h=（b1-f1）=（1.364-1.371）=-0.007
觀測高程差 △h′ =（b2-f2）=（1.366-1.372）=-0.006
誤差值 v=△h′ -△h=（b2-f2）-（b1-f1）=0.001
實測結果：此左側數據得知，所使用之儀器無儀器誤差。

（二）閉合水準測量（往返水準測量）：於AB距中間處，設置轉點（即：3面尺夾），分別於P1、P2、P3位置進行觀測，經計算後，確定其高程誤差範圍≦0.003（mm）。此種測量方法以證實3面水準尺之任一面觀測的水平面皆相同，尺夾與尺之密合度皆誤。



閉合水準測量示意圖-三面尺夾

點位	尺上讀數m 後視	尺上讀數m 前視	高程差 +	高程差 -	高程m
A	1.325				100.000
B		1.333		0.008	99.992
C	1.378	1.402		0.077	99.915
B		1.309	0.069		99.984
B	1.332				
A		1.321	0.011		99.995
C	1.375	1.400		0.068	99.927
A					100.003

實測數據-測點P1

點位	尺上讀數m 後視	尺上讀數m 前視	高程差 +	高程差 -	高程m
A	1.354				100.000
B		1.361		0.007	99.993
C	1.445	1.428		0.074	99.919
B		1.379	0.066		99.985
B	1.371				
A		1.363	0.008		99.993
C	1.441	1.439		0.068	99.925
A		1.365	0.076		100.001

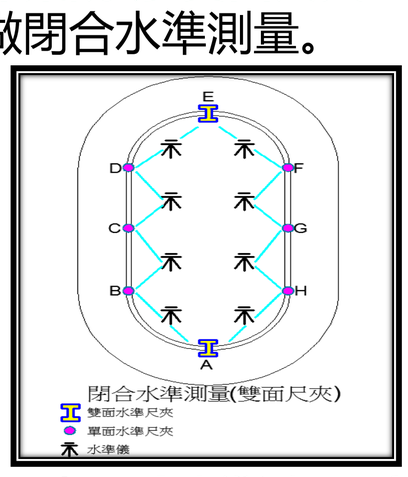
實測數據-測點P2

點位	尺上讀數m 後視	尺上讀數m 前視	高程差 +	高程差 -	高程m
A	1.316				100.000
B		1.325		0.009	99.991
C	1.348	1.395		0.079	99.912
B		1.279	0.069		99.981
B	1.363				
A		1.354	0.009		99.990
C	1.407	1.432		0.069	99.921
A		1.329	0.078		99.999

實測數據-測點P3

實測結果：由上表可知其各點位之觀測所得誤差值皆≦0.003，從數據中我們得知三面水準尺夾架設水平度符合以外，也與水準尺密切貼合，同時減少測量誤差並且達到更有效率測量作業。

作業說明-雙面尺夾：於A、E點架設「雙面水準尺夾」，其餘點則架設單面水準尺夾，以順時鐘方向沿著操場做閉合水準測量。



雙面尺夾-閉合水準測量示意圖

測 點	尺上讀數m 後視	尺上讀數m 前視	高程差m +	高程差m -
A	1.664			
B	1.620	1.630	0.034	
C	.640	1.567	0.053	
D	1.647	1.614	0.026	
E	1.669	1.722		0.075
F	1.664	1.760		0.091
G	1.70	1.708		0.044
H	1.625	1.717		0.007
A		1.520	0.105	
	【13.239】	【13.238】	【0.218】	【-0.217】

閉合差=0.001

雙面尺夾閉合-實測數據1

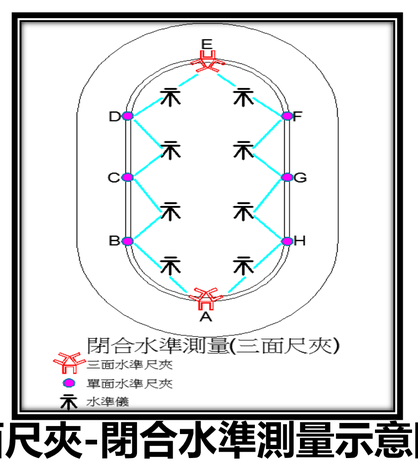
測 點	尺上讀數m 後視	尺上讀數m 前視	高程差m +	高程差m -
A	1.610			
B	1.568	1.577	0.033	
C	1.534	1.514	0.054	
D	1.601	1.508	0.026	
E	1.590	1.673		0.072
F	1.621	1.681		0.091
G	1.707	1.669		0.048
H	1.578	1.712		0.005
A		1.474	0.104	
	【12.809】	【12.808】	【0.217】	【-0.216】

閉合差=0.001

雙面尺夾閉合-實測數據2

實測結果：左述兩份「雙面尺夾-閉合水準測量數據」數據之誤差值，得知將雙面水準尺夾架設於轉點（T.P.）於測量作業，不但了解以3D列印雙面尺夾對於尺身的穩定性高，證實之可行性極高，總觀測角度只有300度，仍有進步空間。

作業說明-三面尺夾：於A、E點架設「三面水準尺夾」，其餘點則架設單面水準尺夾，以順時鐘方向沿著操場做閉合水準測量。



三面尺夾-閉合水準測量示意圖

測 點	尺上讀數m 後視	尺上讀數m 前視	高程差m +	高程差m -
A	1.548			
B	1.520	1.519	0.029	
C	1.518	1.465	0.055	
D	1.554	1.493	0.025	
E	1.549	1.635		0.081
F	1.580	1.634		0.085
G	1.716	1.626		0.046
H	1.582	1.721		0.005
A		1.476	0.106	
	【12.567】	【12.569】	【0.215】	【-0.217】

閉合差=0.001

三面尺夾閉合-實測數據1

測 點	尺上讀數m 後視	尺上讀數m 前視	高程差m +	高程差m -
A	1.624			
B	1.565	1.594	0.030	
C	1.603	1.512	0.053	
D	1.643	1.578	0.025	
E	1.570	1.724		0.081
F	1.582	1.655		0.085
G	1.736	1.627		0.045
H	1.589	1.740		0.004
A		1.480	0.106	
	【12.909】	【12.910】	【0.214】	【-0.215】

閉合差=0.001

三面尺夾閉合-實測數據2

實測結果：由上述兩份「三面尺夾-閉合水準測量數據」數據得知，3D列印三面尺夾與水準尺穩固貼合，使水準尺與地面垂直呈水平狀態，因此無觀測死角，即可於360度任一角進行觀測，不但縮減測量耗時，並大幅提升整體作效率。

伍、研究結果

尺夾因為沒有卡榫，無法完全固定住，容易讓水準尺脫落，再來，尺夾 增加了三角卡榫，也加厚尺夾和固定器的厚度，而三角卡榫的密合度過高，導致無法輕易拆卸，於是，我們修改了卡榫的造型、固定器底部的圓弧、整體的厚度以及作品印製時的填充密度，接者我們將尺夾修改為一體成形造型，增加在使用上的便利性，可迅速做尺夾與水準尺的組合，此外，轉動部份的設計，我們突破舊有設計對於尺夾的限制。為了適應測量方法的多變性，我們新增了兩種新款式的尺夾，分別為單面尺夾和三面尺夾，皆可彈性使用在不同的測量上，且三面尺夾能減少觀測時，易有死角的問題。而我們也在尺夾上方處增加水準氣泡，以達到更便利的型態。

從第一代的尺夾製作，我們改良的地方分別有，尺夾的卡榫、厚度、造型、填充密度及使用上的方便性，而每個關鍵點都與尺夾的成敗有著密不可分的關係，最後得到輕盈、操作簡易上手、體積小易收納、便捷的尺夾。

陸、討論

一、尺夾之優劣

探討3D水準尺夾及傳統鋁製尺夾的差異，條列說明如下：

尺夾之比較

	3D列印-三面尺夾	3D列印-雙面尺夾	鋁製尺夾
誤差	高（誤差≦0.003）	高（誤差≦0.005）	中（誤差≧0.005）
裝置時間	短	短	長
使用壽命	中（3~5年）	中（3~5年）	長（數年）
成本	低（200元內）	低（200元內）	高（2000元以上）
視角	高（300度）	窄（200度）	窄（100度）
總結：效率比	高	中	低

（一）誤差：3D列印尺夾可直接與水準尺扣合，與腳架緊密固定；相較以螺栓固定水準尺的鋁製尺夾，可大幅降低誤差值的產生。

（二）裝置時間：3D列印尺夾與水準尺組合，並以水準氣泡廷整水平後，即架設完成；與鋁製尺夾比較，以3D列印尺夾架尺更為迅速。

（三）使用壽命：3D列印尺夾為塑膠製品僅可使用3~5年；與金屬製成的鋁製尺夾比較，使用年限較短，可建議改用ABS材質以延長壽命，或在尺夾表面做陽極處理（電鍍工法）避免塑膠出現裂解效應。

（四）成本：3D列印夾素材便宜易得，可行自製；與工廠加工製造的鋁製尺夾相比，能源消耗及材料成本皆低，因此經濟效益高。

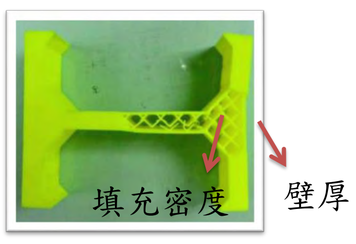
二、機器之設定

機器設定之比較

	機器設定	原始設定	最終設定
列印品質	層厚（mm）	0.3	0.3
	壁厚（mm）	0.8	1.2
填充	底/頂層厚度（mm）	0.9	0.9
	填充密度（%）	30	50
速度及溫度	列印速度（mm/s）	35	30
	列印溫度（C）	210	210
	熱床溫度	0	50
支撐	支撐類型	Everywhere	Everywhere
	黏附平台	0	0
列印材料	直徑（mm）	1.75	1.75
	流量（%）	100	100
	列印品質	劣	優

以上為列印尺夾時**3D印表機的設定**，為使品質更好，我們將幾項原始設定進行調整，調整的項目說明如下：

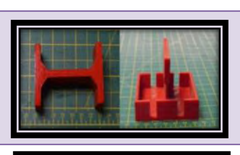
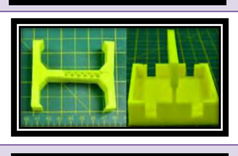
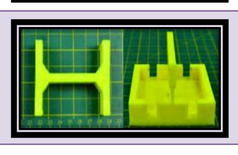
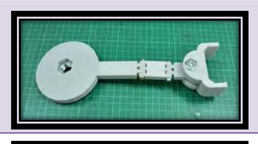
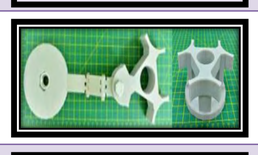
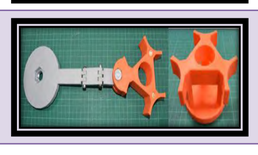
1. **壁厚：**可決定此結構體是否容易斷裂。
2. **填充密度：**可決定結構體的硬度。
3. **列印速度：**可決定成品的質地。
4. **熱床溫度：**可降低成列印時的失敗率。



水準尺夾之內構造

三、尺夾之重量比較

尺夾之重量

編號	名稱	重量（g）	圖片
1	第一代	48	
2	第二代	52	
3	第三代	89	
4	第四代	189	
5	第五代	196	
6	第六代	308	
7	第七代	353	

四、未來展望

將測量工具與3D列印技術結合，發展出本研究3D列印水準尺夾的特色，改良以往鑄造製成的尺夾，本組所設計的尺夾，自行繪圖及印製，降低工業生產的依賴，符合客製化及特製化的需求。

本研究所用之素材為（PLA）玉米塑膠，此種素材由食用玉米內提煉製成，具使用強度之脆性材，可循環利用，經數年後便可分解於土壤，而素材便宜容易取得，製作模型過程中不須經由工廠加工，不論時間、金錢、生產機器、模型原料等，消磨品皆低，此外作品不經由工廠電鍍生產，不會排放廢水和毒物質ＰＭ2.5，可友善環境，且素材便宜易得可行自製，同時增加經濟效益。

此基本階段的結束，下階段我們將會作更深入的研究，把3D列印水準尺夾與基本電路及簡易機械螺旋作融合使其自動化，使用者只需透過簡單的遙控操作，便可將水準尺夾及水準尺進行觀測面之角度調整，使水準尺夾於操作上更佳的便利。

為達此目標我們正努力地進行研究，期望本研究作品後續研究能夠成功，且於操作上能更加的便捷，更佳的精進。

柒、結論及應用

將3D列印水準尺尺夾與鋁製尺夾的接合度及緊密度進行比較，由於3D列印尺夾的設計與水準尺緊密貼合，比起以螺栓接合的鋁製尺夾來的高，此外3D列印尺夾為一體成形，架設迅速，可縮減架設時間，儘管3D列印水準尺尺夾使用壽命不比鋁製尺夾好，僅約一至二年的使用時間，但只要妥善使用下即可延長使用年限。

3D列印-單面水準尺夾操作簡易、便利性佳，藉由本校為乙級測量檢定考場的機會，我們將其實際運用於方格水準測量之水準尺架設。除此之外也可與雙面及全方位尺夾一同配合，靈活使用下，皆可適應於各項測量方法，使其發揮更大的實用效益。

乙級測量檢定之方格水準測量