

第九屆原住民雲端科展

發現原住民文化的科學智慧

「創客新契機 一童一口簧」

研究報告

- 參展團隊名稱：太魯閣族創客
- 參展團隊成員：周羽涵、胡安妮、馬慶翔、搭袞·拉罕
- 團隊指導教師：拉罕羅幸、張嵩雄、徐昱萱

關鍵詞： 3D 列印口簧琴、創客技術、STEAM

摘 要

臺灣原住民的傳統竹口簧琴因為製作及吹奏上的困難，導致使用口簧琴的人仍然很少，而使口簧琴文化式微的愈來愈快。我們為了解決這個問題，於是嘗試利用最近很熱門的 3D 列印技術來協助我們。經過我們的研究與實作後，我們發現了以下的結果。

- 一、傳統竹口簧琴在製作與吹奏上確實有難度，學習的門檻高。
- 二、3D 列印技術確實可以解決傳統口簧琴製作與吹奏的困難。
- 三、3D 列印口簧琴品質的接受度甚佳，值得推廣。

壹、緒論

一、研究動機與目的

(一)、動機

從一些文獻中，我們可以了解到台灣原住民的口簧琴是最獨特的。雖然在平常的學校生活中，可以看到合唱團及木琴隊在吹奏展演，可是對一般人而言，口簧琴的吹奏是困難的，因為吹奏時需要很多的技巧。再來能製作口簧琴的人很少，因為傳統的口簧琴製作方法，流程非常複雜，又容易失敗。因為這些原因，使口簧琴文化不容易普及，我們覺得非常可惜，於是我們希望解決這個問題。

最近我們認識了 3D 列印技術，我們覺得可以好好利用這個技術協助我們解決讓口簧琴更容易被製作，而所製作出來的新式的口簧琴，希望讓每個人都能夠輕輕鬆鬆地學會吹奏太魯閣族的口簧琴，使這項文化能夠傳承下去。

(二)、目的

- 1、瞭解太魯閣族口簧琴傳統智慧中的科學原理。
- 2、找出傳統口簧琴製作與吹奏的困難點，嘗試利用 3D 列印技術改善。
- 3、找出 3D 列印製造出的新式口簧琴與傳統口簧琴的差異。
- 4、製作出大家能認同的新式 3D 列印口簧琴。

二、研究範圍

(一)、太魯閣族口簧琴文化研究

- 1、傳統口簧琴的製作方法。
- 2、傳統口簧琴不容易傳承的原因

(二)、創客技術研究 (STEM)：研究的內容包含以下內容。

- 1、Science 科學:聲音頻率
- 2、Technology 科技:3D 列印操作
- 3、Engerring 工程:3D 繪圖
- 4、Mathmatic 數學:長度的測量 (尺度、幾何)

(三)、3D 列印口簧琴品質接受度調查：從外型、吹奏舒適感、容不容易吹奏及聲音品質等項度來評量 3D 列印口簧琴被大家所接受的情況。

三、研究問題

- (一)、傳統口簧琴製作與吹奏真的很難嗎？難在哪裡呢？
- (二)、用 3D 列印技術是否可以協助解決傳統口簧琴製作與吹奏的困難？又如何解決？
- (三)、3D 列印口簧琴與傳統竹口簧琴有什麼差異？
- (四)、3D 列印口簧琴品質的接受度如何？

貳、文獻整理

一、太魯閣族的口簧琴

從原住民族文化科教獎原住民雲端科展的網站中，我們找到 3 篇有關口簧琴的研究報告。其中 2010 年由我們秀中學長姐潘郁心、方笙與潘俊宇所做的〈口簧恒久遠，支支遠流傳〉的研究報告中，了解到太魯閣族的口簧琴因為金屬與竹子複合材料及多簧的樣式，為成為了世界上最有特色的口簧琴。雖然我們的口簧琴很有特色，可是現在吹的人其實不多，只有特定的表演者、團體及收藏者會使用外，一般的太魯閣人已很少使用，以我們所居住的秀林村和崇德村幾乎沒有人在使用。

從其它的研究報告中，我們發現到臺灣原住民的口簧琴因著時代的更迭而漸漸失傳(謝滢生、賴銘俊、謝冬艷、盧美瑤、盧婷萱，2009)，口簧琴很少被使用的主要原因有兩個，一個是製作非常困難，第二個就是不容易吹奏。我們從潘郁心等人(2010)及的研究報告中得知，傳統的製作程序多又複雜，從找竹子自己鋸，量出簧片距離，在竹片上面畫線，用半圓口雕刻刀挖竹肉，割出簧片孔，拿美工刀割出簧片的主體，挖出音槌長度，削簧片邊邊，削平握把，鑽孔機鑽洞，在兩端綁上棉繩，並綁上紅繩加以裝飾，試吹聲音，再作些微調，才能完成一支口簧琴。其實製作一支口簧琴並不是很容易，跟個人手藝有很大的關聯，需要非常的仔細與小心，尤其是挖竹肉的部分，方法錯誤就很容易刮到自己的手，割簧片邊緣的時候，也要非常的小心，否則可能你一個錯誤就必須得重頭來過。雖然潘郁心等人(2010)成功地以壓模的方法來製作口簧琴，可是她們對此方法提出了健康的疑慮，值得我們研究進一步思考更好的解決方案。

臺灣原住民的口簧琴吹奏技巧多樣，誠如高宇孝、張瞳卉、方翎雲、曾建宇(2014)的研究報告中，得知口簧琴的吹奏的技巧有扯奏及吹奏兩種，扯奏是指沒有吹氣，吹奏則是有吹氣及吸氣的分別，每種技巧都會呈現不同的聲音出來。太魯閣族口簧琴的吹奏不像國外彈撥式的那麼容易，需要一些技巧才能吹奏出聲音來。我們從一些文獻中發現以下吹奏的技巧有：1)吹奏時手要緊貼臉頰、2)拉的時候要大約 30 度的方向、3)拉的時候到底時要彈回來放鬆、4)吹奏時用嘴唇輕輕含住口簧琴左方、5)含的時候要不要含的太裡面、6)依照口型變換吹奏出不同的音階。以上技巧很容易了解，但對初學者而言可能不容易那麼快達成，必須反覆練習，體會以上技巧，這樣才能吹出好的聲音來。

從以上文獻，我們可以看出太魯閣族口簧琴的文化價值已被重視，但在製作及吹奏上的難度很高，導致普及性並不高。因此如何在前人的基礎上繼續克服製作及吹奏的困難，是我們這次想要挑戰的工作。

二、創客技術研究

在閱讀完拉罕羅幸、李暉(2017)利用 3D 列印技術製作口簧琴的文獻後，我們四人一致認為創客技術應該可以好好的學習與利用在這次的科展。以上針對創客技術，我們進行的文獻整理如下。

(一)、科學(聲音物理學)

從八年級上學期自然與生活科技領域第三章「波動與聲音」中，我們學到聲音形成三要素為音調、音色及響度。潘郁心等人(2010)針對單銅簧口簧琴做了一系列的音調、音色的研究比較，我們得知單銅簧口簧琴的聲音和簧片的材質、長度、厚度、頭尾寬比率有絕對的關係，其研究結果整理如下：

1. 簧片長度愈長，音調愈低，簧片長度與音調呈反比。
2. 簧片厚度愈厚，音調愈高，簧片厚度與音調呈正比。
3. 頭尾寬比率愈大，音調愈低，頭尾寬比率與音調呈反比。

由於我們所要探討是3D列印的竹口簧琴，其音調結果是否會和上面所提的結果一樣，我們還得進一步實驗。

(二)、科技

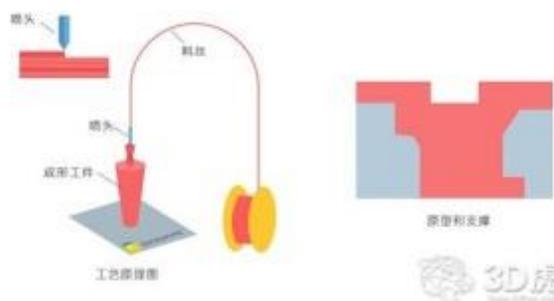
拉罕羅幸與李暉(2017)利用 3D 列印技術開啟了以創客技術應用於原民口簧琴文化的先鋒。在這科技這個部份，我們鎖定在 3D 列印技術。3D 列印就是將電腦軟體設計的 3D 模型，透過列印設備與特定素材，以堆積成型的方式產生與電腦模型相同的實體(邱聰倚、姚家琦、劉耀鴻，2014)。我們透過上網查找資料，發現到原來 3D 列印的技術可以做出很多東西來，舉凡生活所想到的都可以用 3D 列印做出來，例如手機架、玩具、文具、小工具、樂器，甚至是身體的穿戴用具，例如飾品、鞋子及身心障礙人士的輔助用具等等……

3D 列印的技術很多種，我們列出三種常見的 3D 列印技術，做為我們使用 3D 列印技術採用的比較依據。(資料來源: <https://kknews.cc/zh-tw/news/4lklj3.html>)

1. FDM：FDM(Fused Deposition Modeling，熔融沉積)

(1) 技術原理：FDM 熔融層積成型技術

是將絲狀的熱熔性材料加熱融化，同時三維噴頭在計算機的控制下，根據截面輪廓信息，將材料選擇性地塗敷在工作檯上，快速冷卻後形成一層截面。一層成型完成後，機器工作檯下降一個高度（即分層厚度）再成型下一層，直至形成整個實體造型。



〔圖一〕FDM 圖解

(2) 優點：

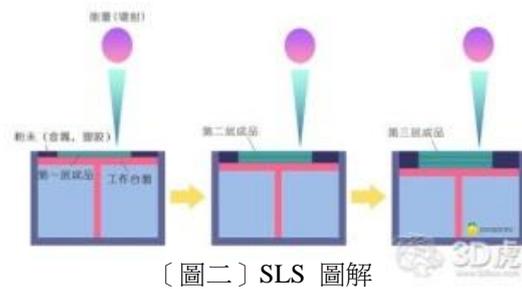
- 操作環境乾淨、安全，材料無毒，可以在辦公室、家庭環境下進行，沒有產生毒氣和化學污染的危險。
- 無需雷射器等貴重元器件，因此價格便宜。
- 原材料為捲軸絲形式，節省空間，易於搬運和替換。
- 材料利用率高，可備選材料很多，價格也相對便宜。

(3) 缺點：

- 成形後表面粗糙，需後續拋光處理。最高精度只能為 0.1mm。
- 速度較慢，因為噴頭做機械運動。
- 需要材料作為支撐結構。

2. SLS：SLS(Selective Laser Sintering，粉末材料選擇性雷射燒結)

- (1) 技術原理：該技術採用鋪粉將一層粉末材料平鋪在已成型零件的上表面，並加熱至恰好低於該粉末燒結點的某一溫度，控制系統控制雷射束按照該層的截面輪廓在粉層上掃描，使粉末的溫度升到熔化點，進行燒結並與下面已成型的部分實現粘結。一層完成後，工作檯下降一層厚度，鋪料輥在上面鋪上一層均勻密實粉末，進行新一層截面的燒結，直至完成整個模型。



(2) 優點：

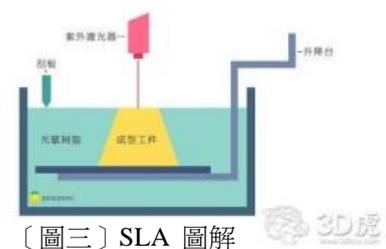
- 可用多種材料。其可用材料包括高分子、金屬、陶瓷、石膏、尼龍等多種粉末材料。特別是金屬粉末材料，是目前 3D 列印技術中最熱門的發展方向之一。
- 製造工藝簡單。由於可用材料比較多，該工藝按材料的不同可以直接生產複雜形狀的原型、型腔模三維構建或部件及工具〔圖二〕 SLS 圖解
- 高精度。一般能夠達到工件整體範圍內 (0.05-2.5) mm 的公差。
- 無需支撐結構。疊層過程出現的懸空層可直接由未燒結的粉末來支撐。
- 材料利用率高。由於不需要支撐，無需添加底座，為常見幾種 3D 列印技術中材料利用率最高的，且價格相對便宜。

(3) 缺點：

- 表面粗糙。由於原材料是粉狀的，原型建造是由材料粉層經過加熱熔化實現逐層粘結的，因此，原型表面嚴格講是粉粒狀的，因而表面質量不高。
- 燒結過程有異味。SLS 工藝中粉層需要雷射使其加熱達到熔化狀態，高分子材料或者粉粒在雷射燒結時會揮發異味氣體。
- 無法直接成型高性能的金屬盒陶瓷零件，成型大尺寸零件時容易發生翹曲變形。
- 加工時間長。加工前，要有 2 小時的預熱時間；零件構建後，要花 5 至 10 小時時間冷卻，才能從粉末缸中取出。
- 由於使用了大功率雷射器，除了本身的設備成本，還需要很多輔助保護工藝，整體技術難度大，製造和維護成本非常高，普通用戶無法承受。

3. SLA：SLA(Stereo Lithography Apparatus，光敏樹脂選擇性固化)

- (1) 技術原理：在液槽中充滿液態光敏樹脂，其在雷射器所發射的紫外雷射束照射下，會快速固化 (SLA 與 SLS 所用的雷射不同，SLA 用的是紫外雷射，而 SLS 用的是紅外雷射)。在成型開始時，可升降工作檯處於液面以下，剛好一個截面層厚的高度。通過透鏡聚焦後的雷射束，按照機器指令將截面輪廓沿液面進行掃描。



掃描區域的樹脂快速固化，從而完成一層截面的加工過程，得到一層塑料薄片。然後，工作檯下降一層截面層厚的高度，再固化另一層截面。這樣層層疊加構成建構三維實體。

(2) 優點：

- 發展時間最長，工藝最成熟，應用最廣泛。在全世界安裝的快速成型機中，光固化成型系統約占 60%。
- 成型速度較快，系統工作穩定。
- 具有高度柔性。
- 精度很高，可以做到微米級別，比如 0.025mm。
- 表面質量好，比較光滑：適合做精細零件。

(3) 缺點：

- 需要設計支撐結構。支撐結構需要未完全固化時去除，容易破壞成型件。
- 設備造價高昂，而且使用和維護成本都不低。SLA 系統需要對液體進行操作的精密設備，對工作環境要求苛刻。
- 光敏樹脂有輕微毒性，對環境有污染，對部分人體皮膚有過敏反應。
- 樹脂材料價格貴，但成型後強度、剛度、耐熱性都有限，不利於長時間保存。
- 由於材料是樹脂，溫度過高會熔化，工作溫度不能超過 100°C。且固化後較脆，易斷裂，可加工性不好。成型件易吸濕膨脹，抗腐蝕能力不強。

綜合上述資料，我們製作如下表一的評估表供這次研究所使用 3D 列印技術的採用依據。每一項得分為 1 到 3 分，不可重覆，總得分最高即我們將採用的 3D 列印技術。

表一、3D 列印技術採用評估表

3D 列印技術 比較項目	FDM 熔融沉積	SLS 粉末材料選擇性雷射燒結	SLA 光敏樹脂選擇性固化
機械操作及材料安全性	3	1	2
材料環保性	3	1	2
成品品質	1	2	3
成品耐用性	2	3	1
取得性(價格)	3	2	1
操作性(入門容易)	3	1	2
成型速度	1	2	3
總得分	15	11	14

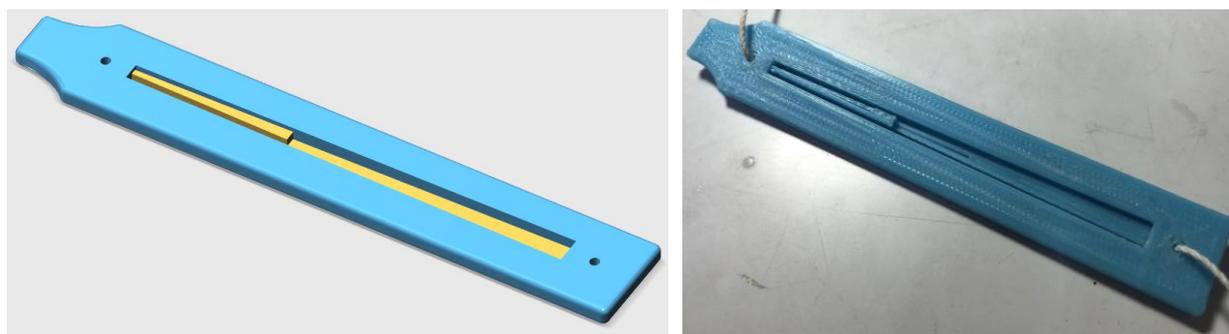
由上表計分結果，我們決定採用 FDM 熔融沉積的 3D 列印技術做為我們此次的研究工具。主要因為機械操作及所用的材料較其它二者安全，另外在材料的選擇上比較多，而此次我們選用了兩種材料來製作 3D 列印口簧琴，一個是 PLA，另一個是 PETG，其中 PLA 是最環保的塑膠原料，因為它是由玉米澱粉所製作而成的，是較容易被大自然分解，對環境的破壞比較少。在價格上，FDM 的機器比較便宜，在網路拍賣網上，最便宜用 8000 元的價格就可以買到一台，同時塑膠原料也可以較便宜的價格購買，大約 1 公斤的 PLA 是

450 元。在操作上，因為 FDM 的構造比較簡單，相對的操作上很容易調校。雖然成品的品質及成型的速度是最差的，但依據拉罕羅幸及李暉(2017)所做的研究成品來看，FDM 成品的品質應該是可以接受的。

(三)、工程製圖

工程製圖 (engineering drawing) 是技術製圖 (technical drawing) 的一種，是一種 2D 圖表或圖畫來描述建築圖、結構圖、機械製圖、電氣圖紙、和管路圖紙的製圖方式。用工程製圖的方法繪製的圖紙稱為工程圖。工程圖依共同協定的標準規範，在正確、迅速、清晰與整潔之製圖四大目標下，使用線條與字法表示工程設計的意念，亦為工業共通的語言 (維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/工程圖>)。

我們此次的研究是在處理 3D 物體的列印，因此在工程製圖工作則是在處理立體建模。3D 列印模型可以使用電腦輔助設計軟體或三維掃描器生成。手動搜集製作 3D 圖像所需的幾何資料過程同雕塑等造型藝術類似。通過 3D 掃描，可以生成關於真實物體的形狀、外表等的電子檔案 (維基百科，https://zh.wikipedia.org/wiki/3D_打印)。雖然現在網路上有很多有關 3D 圖可以下載，但因為我們處理的口簧琴並沒有地方可以下載，因此我們必需透過拉罕羅幸和李暉(2017)的原始口簧琴建模(圖四)來做為研究的參考依據。



〔圖四〕拉罕羅幸和李暉(2017)的 3D 列印口簧琴建模原型

上圖口簧琴經過我們四人的試用與討論後，發現到初學者而言還是有吹奏上的困難。第一個就是不容易抓握，就跟傳統的口簧琴一樣，左手要用繩子綁緊，再用大拇指、食指及中指捏住口簧琴末端，吹久了，左手會酸而且綁繩子的無名指和小拇指會很痛。第二個就是右手拉口簧琴的時候，也會因為拉繩子的關係而手部疼痛。因此，我們希望學會 3D 製圖，並實際畫出並列印出適合初學者吹奏的口簧琴。

(四)、數學(尺度與幾何)

口簧琴是非常精細的手工作品，因此我們在進行這個研究時，會面對小尺度的測量問題。同時也會面臨幾何圖形的辨識與構圖。從謝灃生等(2009)及潘郁心等(2010)的研究中，我們看到他們在處理彈片時，厚度及長度所使用的尺度都是毫米為單位，因此口簧琴的聲音變化是非常敏感的。因此未來在進行測量長度時，我們也會依照他們的使用的精細卡尺進行測量。

3D 繪圖工作是一項困難的工作，我們必需先仔細觀察口簧琴的長相，不論是整體的外觀，還是細部的手握處及彈片的形體，都要先進行正視的、側視的手繪工作，之後再利軟

體進行依手繪草稿繪圖、對稱繪圖、立體拉升、物件結合與相減等等具有數學概念的電腦操作程序。

三、3D 列印口簧琴流程

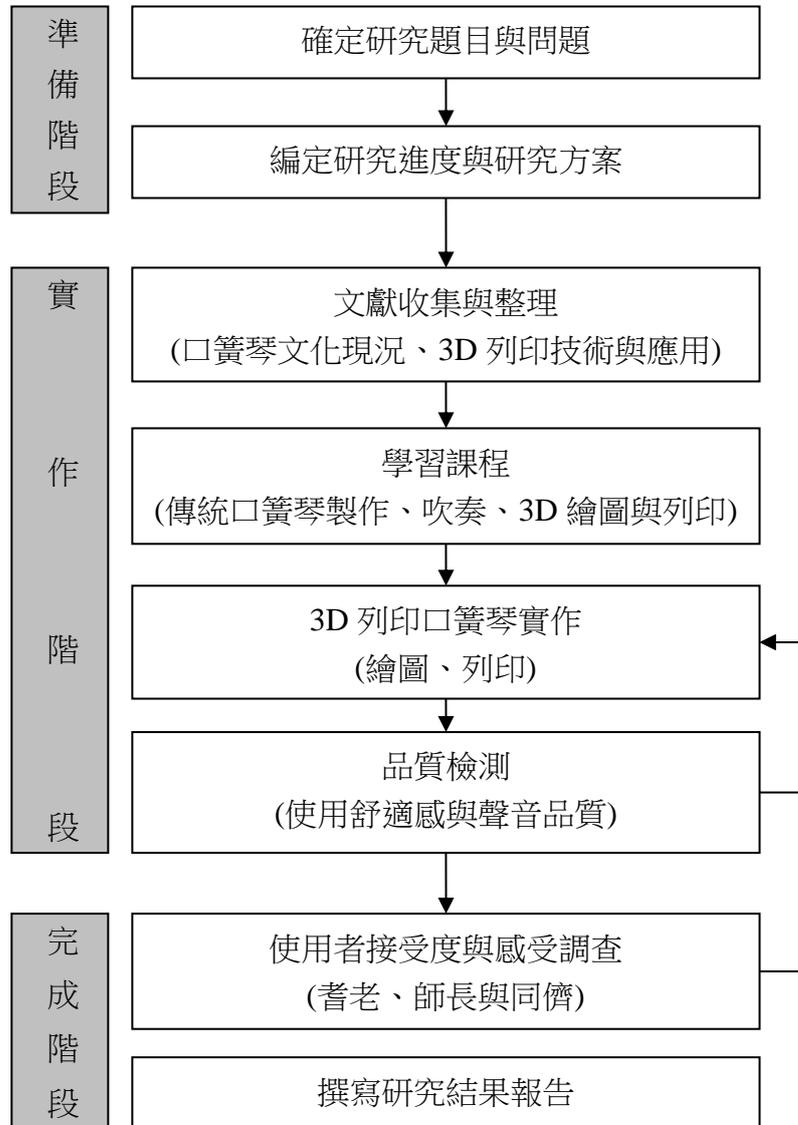


〔圖五〕3D 列印流程圖

- (一)、實物測量：以精密電子游標卡尺測量拉罕羅幸及李暉(2017)的作品作為我們創新的3D 列印口簧琴的改造標本。
- (二)、創意發想：透過討論，我們先用手繪的方式把心中天馬行空的想法畫出來。
- (三)、3D 建模：利用 3D 繪圖軟體將我們的想法畫出來。
- (四)、模型切片：透過切片軟體將 3D 圖檔轉成 3D 印表機可以辨識可執行的 gcode 檔。
- (五)、模型列印：將 gcode 檔匯入 3D 印表機，並列印作品。
- (六)、完成作品：列印完成後，我們再進行測試與修正。

參、研究方法

一、研究流程



〔圖五〕研究流程圖

二、研究設計、對象與方法

(一)、研究設計

我們為了讓口簧琴文化愈來愈好，於是進行了這個探索性的研究，我們採用調查法進行，我們先透過文獻去了解口簧琴的文化以及現況，然後親自去製作傳統的竹口簧琴並創新製作口簧琴，接下來就將我們創新的口簧琴給部落耆老及國中國小生使用後，問問他們對於用 3D 列印口簧琴的感想及接受度，用來驗證我們創新製作口簧琴適不適合推廣。

(二)、研究對象

本研究對象為 3D 列印口簧琴，討論我們以創客軟硬體工具製作 3D 列印口簧琴的歷程，以及進行其簧片之音頻的分析與比較。透過比較的結果，我們可以初步決定哪種 3D 列印口簧琴比較適合做為調查的樣本。

我們製作 3D 列印口簧琴的目的就是希望能夠被人們所接受，因此，我另一個研究的對象就是探討部落耆老及國中國小的學生對於我們製作的 3D 列印口簧琴的品質接受度，透過這樣的調查結果，就可以提供我們哪種 3D 列印口簧琴適合大量製造。

(三)、研究方法

1、文獻整理

透過第九屆原住民雲端科展歷年研究報告、相關圖書及網際網路，取得有關口簧琴的資料，做為我們認識口簧琴的媒介及學習並操作創客的技術。

2、3D 列印口簧琴

利用所學習的 3D 繪圖與列印技術印出創新的 3D 列印口簧琴作為實驗的樣本。

3、簧片聲音取樣

我們採用潘郁心等(2010)聲音採樣的流程，即以手撥的方式讓彈片振動，再以平板電腦的頻譜 APP 協助分析不同樣本的聲音頻率。取樣的結果，是決定我們最後成品的規格。

4、訪談及問卷調查

透過調查的方式，訪問部落耆老，加深了解口簧琴的文化意涵，並得到耆老的寶貴建議。而學生調查的部份，是希望找出一個最能被大家所接受的 3D 列印口簧琴的樣式。

三、研究工具與材料

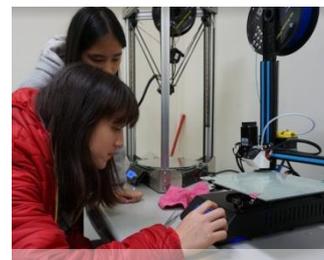
(一)、田野影音採集工具：數位相機、手機。

(二)、3D 列印工具與材料分析

1、3D 印表機：我們使用是學校提供的創想懸臂式的 CR-8 印表機及天空科技的 Delta 式的 H360 印表機。

2、3D 列印塑料：3D 列印塑料有很多種，例如 PLA、ABS、TPE、TPEG、METALS (金屬類)、Carbon (碳纖維)、Wooden

(仿木材料)、Nylon (尼龍)、NGEN (Co-Polyester)、CPE、……，而市面上常見的列印塑料有 PLA 及 ABS，表二是我們針對常見的塑料做了一些調查結果，做我們選擇材料的依據。



〔圖六〕3D 印表機

表二、3d 列印材料優缺點比較

材料	優點	缺點
PLA	1.低成本 2.堅硬,有良好的強度 3.良好的尺寸精度 4.良好的保質期 5.由玉米澱粉製成，較容易被大自	1.耐熱性低 2.可能滲出並可能需要冷卻風扇 3.線材可能會變脆而斷裂 4.不適合戶外（日光曝曬）

材料	優點	缺點
	然分解。	
ABS	1. 低成本 2. 良好的耐衝擊性和耐磨性 3. 較少滲出和拉絲的情況，使模型表面更光滑 4. 良好的耐熱性	1. 容易翹取 2. 需要加熱平台或加熱室 4. 列印時會產生刺鼻氣味 5. 部件容易彎曲縮小，導致尺寸不精準
TPE	1. 彈性及柔軟 2. 優質的減震效果 3. 保存期長 4. 良好的抗衝擊性	1. 難以列印 2. 橋接特性差 3. 產生斑點和穿線的可能性 4. 擠出機可能會無法正常運作
PETG	1. 強度高 2. 彈性佳 3. 保存期長 4. 列印容易	1. 吸濕性高 2. PETG 卻比 ABS 更容易刮傷 3. 價格稍貴
Wooden 仿木材料	1. 美觀的木頭紋理 2. 不需任何昂貴的耐磨噴 3. 芳香和愉悅的氣味	1. 容易穿線 2. 時間一久，較小的噴嘴可能會有部分堵塞 3. 需要更大尺寸的噴嘴(建議使用 0.4mm 以上的噴嘴)
資料來源：3DMART https://3dmart.com.tw/news/3d-printing-different-kinds-filaments-guide		

由以上優缺點比較，並經過測試後，我們最後選擇 PLA。主要原因為較環保、價格較便宜，列印的彈片的聲音佳。雖然我們此次研究不在塑料的比較，但 PETG 的優點是彈性不錯，為了滿足我們的好奇心，我們決定購買一捲來試試看。

- 3、3D 繪圖軟體：市面上的 3D 繪圖軟體很多種，我們考量了經費及使用難易度，我們最後選擇了 Autodesk 公司出版的免費入門軟體 123D Design，版本是 2.2.14。
- 4、3D 切片軟體：從 123D Design 所畫出來的圖檔不能直接由 3D 印表機列印出來，因為 3D 印表機沒有辦法直接讀取圖檔，必須再經過轉檔，也就是要把 3D 圖轉換成 STL 檔，接著再由切片軟體將 STL 轉換成 gcode 檔後，才能交由 3D 印表機列印。而我們使用的切片軟體是 3D 印表機所附的免費軟體 CURA15 版。

(三)、聲音分析工具

1、取樣與測量工具

(1)、精密電子游標卡尺。

游標卡尺主要是用在測量口簧琴尺寸的測量，精度可達 0.01 毫米。



〔圖七〕游標卡尺

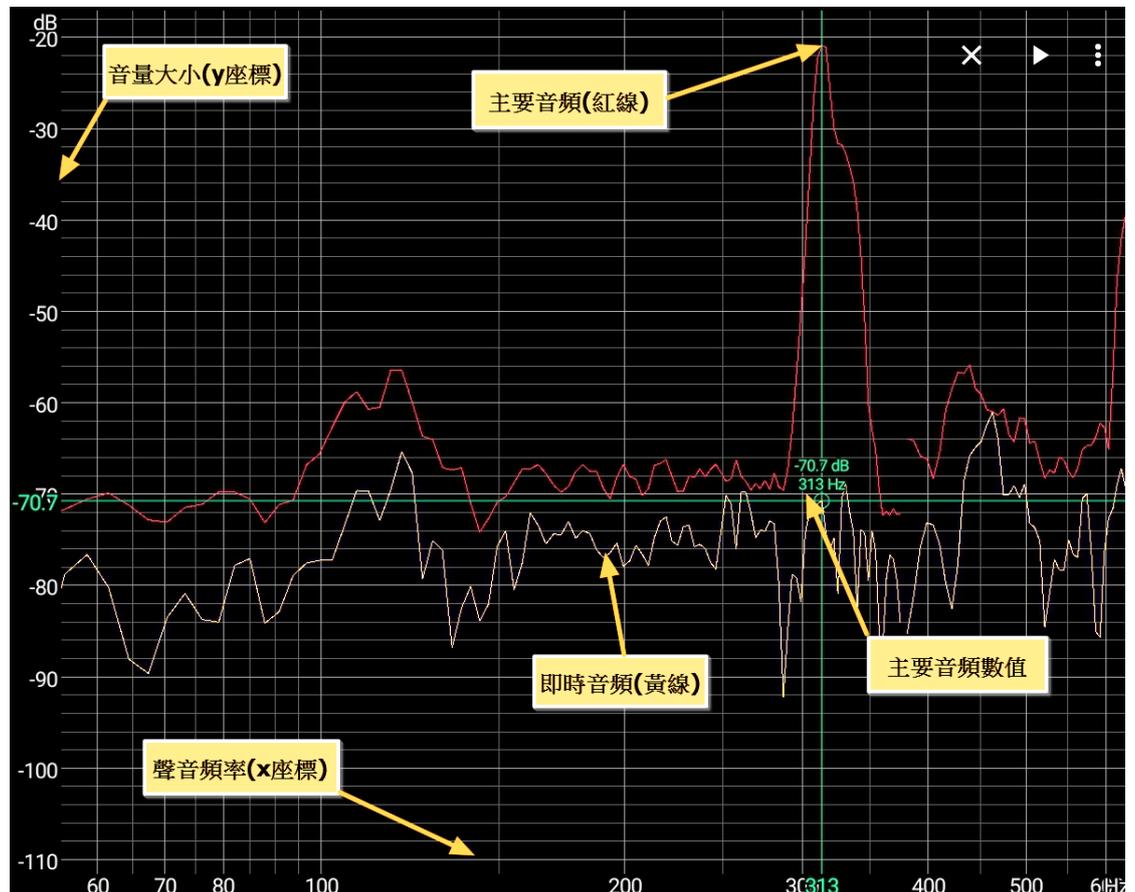
(2)、平板電腦。

平板電腦主要是用來擷取並測量口簧琴聲音的音頻，原本打算使用手機，但因為手機螢幕太小而選擇使用平板。

2、分析工具

(1)、音頻分析軟體：Android APP：Spectroid，版本 1.1.0，由 Carl Reinke 所提供。

我們打開 app，將口簧琴靠近平板電腦的麥克風，用手撥動彈片使它振動，然後平板就會收音，接著軟體就會即時進行聲音的分析。如下圖，每當我們進行簧片聲音分析時，app 軟體就會自動幫我們分析這支簧片所有的音頻。如圖八，我們就以音量最高的做為這支簧片主要的音頻。



〔圖八〕音頻分析軟體介面

(2)、資料統計軟體：Microsoft Excel 2010：主要用來問卷調查分數的統計。

四、研究限制

- (一)、我們使用的 3D 印表機是入門型的，列印出來的簧片品質精細度仍然有限，就算是用同一個圖去印，有時會因為平台的傾斜而成品不同，導致我們的樣本的簧片規格會有 0.1-0.01mm 落差。
- (二)、沒有高品質的收音器材，故收音品質有限。
- (三)、研究時間不足，無法做出更多不同的 3D 列印口簧琴樣本進行分析。

肆、實驗結果與討論

一、體驗製作傳統竹口簧琴

(一)、製作流程

為了親自體驗傳統口簧琴製作的困難，我們請張嵩雄主任教我們製作，以下是我們記錄的製作流程。

1. 先利用刀子將竹子切成竹片。
2. 在竹片上畫上口簧琴的形狀。
3. 在將簧片兩側旁的竹肉削薄,凸顯出簧片。(不要削的太薄不然容易用斷)
4. 在簧片左測挖出小洞。(洞不能太小,要比簧片的頭寬還要長一點)
5. 再沿著簧片兩邊割下來。(一開始先不要使力,到中間時在用力往下拉)
6. 再將多餘的簧片削掉,留下音槌。
7. 再用美工刀進行修飾,把簧片內側兩旁的竹子慢慢地削掉,好讓簧片能夠活動。(要慢慢去修飾,而且要越削越細)
8. 將口簧琴的邊末端將它削平,好讓在吹奏時能比較好握。
9. 最後在口簧琴左右兩側穿洞,將麻線穿上去。



〔圖九〕製作傳統竹口簧琴

(二)、製作心得

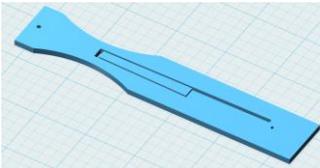
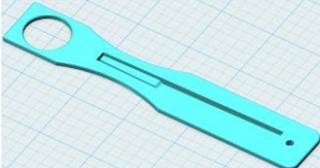
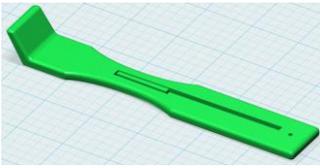
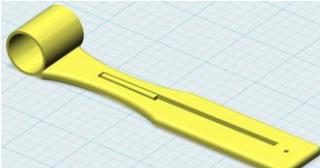
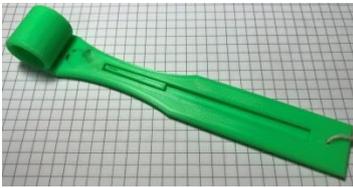
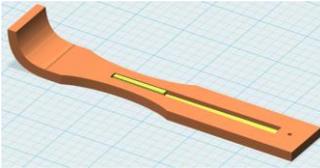
製作傳統口簧琴真的不容易，雖然老師一步一步的教我們，從選竹子、鋸竹子、劃出分線並割出、挖竹肉、削簧片的邊、鑽洞，以及綁繩線，最困難的部份我們覺得是割破竹子和劃破簧片的動作，一旦沒做好就要重頭來過，還有挖竹肉的時候要非常的專注，一不小心就很容易讓自己手受傷。

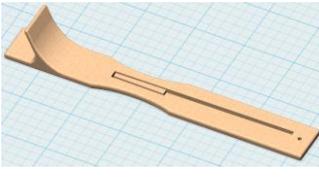
傳統口簧琴製作困難而且要花很久間才能作好，但音色非常獨特好聽，較之下，利用3D 列印技術製作口簧琴非常簡單,花的時間也不多，但音色卻沒有傳統的響亮。透過自己親手去實作，我們體會到以前祖先的智慧與製作時的辛苦，作出一個好的口簧琴並不是那麼簡單，先人利用身邊所擁有的東西就地取材，用一個看似平凡的竹子，作出一種聲音美妙的樂器，中間有許多複雜的程序，也不知道他們為甚麼會想要做口簧琴，又如何知道作出來，或許跟他們生活的地方以及生活習慣有關吧，現在原住民文化正在默默消失，因社會文化的轉變，使得族人漸漸忘記屬於自己的傳統，只靠著少部分的人在維持在傳承，人們的忘本，使文化逐漸消失，我們的文獻可以提供他人參考，多學習有關自己的文化，希望太魯閣族的文化可以永流傳。

二、3D 列印口簧琴的創作歷程

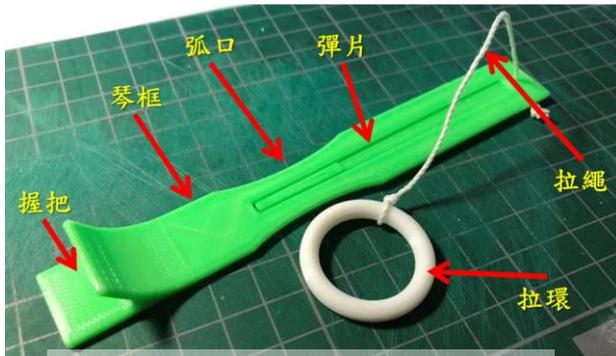
親自體驗手工製作的口簧琴後，對於初學者的我們實在是一大挑戰，我們也相信對一般的初學者而言也是一樣。為了降低初學者能順利學習口簧琴，我們學習 3D 繪圖與 3D 列印技術，希望能夠克服初學口簧琴的困難。以下是我們利用創客技術製作 3D 列印口簧琴的過程與創作說明。

表三、3D 列印口簧琴的創作歷程表

版本	3D 圖檔	列印實體	創作說明
1			這隻口簧琴琴身的兩個凹槽是要將嘴巴含在那裡，這對初學者而言是比較容易正確地將口簧琴放到對的位置，但由於是第一版，位置有點偏左，所以不太好吹，而且手握的地方太方太短，吹奏時很容易鬆脫。
2			這一支我們改變了凹槽的位置，並且在手握的地方增加了一個凹洞，用來固定好左手，也不像傳統容易讓左手固定時感到疼痛。但是這一版本簧片比較粗，雖然很容易吹奏，但聲音很低沉，很多人不太喜歡。
3			這一版我們一樣改變了左手固定的地方，是用凸出來的地方以便握住，但由於表面太光滑，而且左手拇指沒有很好拖力空間，所以在吹奏時，口簧琴很容易脫落。
4			這版固定左手的地方是用圓筒，但是因為圓筒太小，大概只有小學二三年級和手指較細的人的手才能握住，同時也跟第三板有左手拇指沒有很好拖力空間的缺點，吹奏時，口簧琴也容易脫落。
5			這板可以說是第三版的進化版，將第三版凸出的地方角度做得更斜，比第三版還要更好握住，但整體厚度太厚，不易吹奏。

版本	3D 圖檔	列印實體	創作說明
6			這一隻在固定的地方針對人的手指握住時的動作而畫出的，可以說是考量了人體功學，對於初學者而言，無論是手握的姿勢，或是嘴巴放的位置，都可以快速且正確地做到。這比其他版更好握，但厚度還是太厚，吹奏時不太好拉，所以聲音不是很亮。
7			這一版可以說是最好吹奏的一版，是由是將第六版太厚的缺點加以改善，變得更好握住，加上固定嘴巴的凹槽已經調整到最好的位置，這一版經過大家的測試後，一致認為是最好吹的版本。

以下針對我們設計的最終版第 7 版 3D 列印口簧琴做介紹與



〔圖十〕3D 列印口簧琴部件名稱



〔圖十一〕3D 列印口簧琴收納

簡易吹奏程序

1. 左(右)手大拇指、中指及無名指抓握	2. 右手食指套入拉環，左手呈水平
	

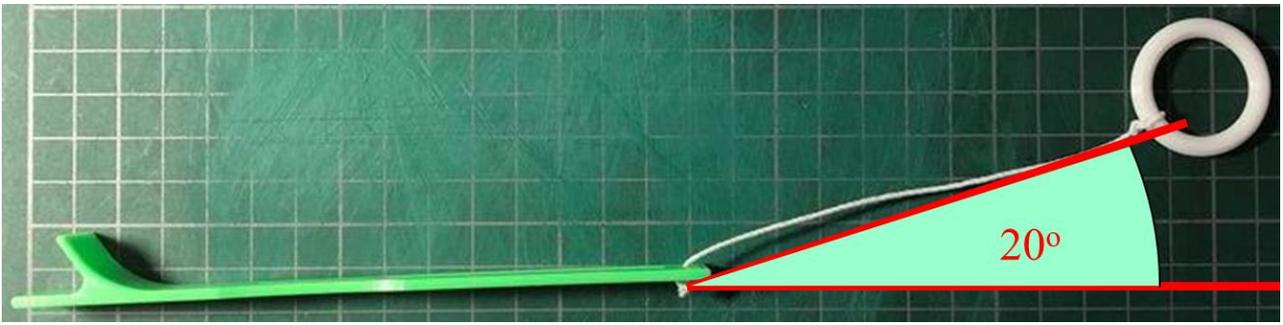
3. 左手拇指緊靠左嘴角，雙唇置於弧口處，切勿使力咬住



4. 右手往復拉繩，使彈片振動即可出聲



小技巧：拉繩時，角度約略 20 度。拉至極限處時，即刻收回。



三、3D 列印口簧琴與傳統竹口簧琴的聲音探究

(一)、數據分析

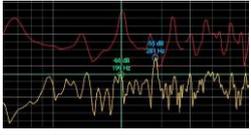
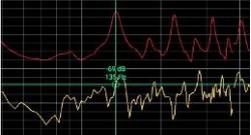
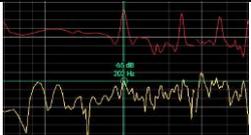
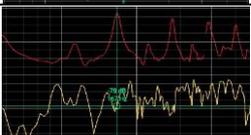
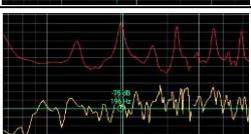
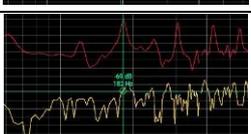
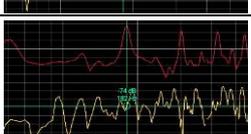
我們將所有創作出來的 3d 列印口簧琴進行聲音的分析，如下圖，最左邊的是第一版，最右邊的是最後一個版本，由左而右，依序為樣本 1-1、樣本 1-2、……、一直到樣本 1-7。



〔圖十二〕
各類 3D 列印
口簧琴

每種的版本的口簧琴型狀、長度、厚度、簧片長度、簧片厚度、簧片頭寬尾寬比率等都不一樣，我們接著進行每一個樣本的聲音的分析。音頻分析詳如表四。

表四、3D 列印口簧琴之音頻分析表

樣本編號	簧片長度 (mm)	簧片厚度 (mm)	簧片頭寬尾寬比率(mm)	音調(頻率) (Hz)	頻譜圖
1-1	84.0	1.95	1.64	199	
1-2	87.0	1.56	1.75	135	
1-3	88.0	2.00	2.51	202	
1-4	89.0	1.99	2.54	167	
1-5	86.8	1.90	1.95	196	
1-6	88.8	1.73	1.91	182	
1-7	89.0	1.8	1.91	182	

(二)、數據討論

由上表可知，7種樣本的音頻都不一樣，聲音的頻率落在 167Hz 至 202Hz 之間。而影響口簧琴聲音頻率的因素有簧片的長度、厚度及簧片頭寬及尾寬。接下來的分析我們也將以此因素做為控制的項目。

四、同規格同材質(PLA)但不同簧片厚度的 3D 列印口簧琴簧片之音頻分析



〔圖十三〕3D 列印口簧琴樣本

(一)、數據分析

此次以簧片厚度做為實驗的研究變項，我們有四組不同的實驗樣本，每組樣本都是以相同的 PLA 塑料製作，分別為樣本 2-1 至樣本 2-4，簧片的長度都是 89.00mm，寬度都是 2.09mm，而厚度依序是 1.5mm，1.6mm，1.7mm 和 1.8mm，分析比較如表五所示。

表五、不同厚度 PLA 簧片的音頻分析表

樣本編號	2-1	2-2	2-3	2-4
簧片長度	89.00mm	89.00mm	89.00mm	89.00mm
簧片厚度	1.5mm	1.6mm	1.7mm	1.8mm
簧片頭寬尾寬比率	2.09	2.09	2.09	2.09
音調	158 Hz	164 Hz	179 Hz	188 Hz
頻譜圖				

(二)、數據討論

由上表可知，厚度 1.5mm 的簧片頻率為 158Hz，厚度 1.6mm 為 164Hz，厚度 1.7mm 為 179Hz，厚度 1.8mm 的則為 188Hz。根據實驗分析結果，相同長度及簧片頭寬尾寬比率的情況下，簧片厚度愈厚，頻率愈高，所以厚度確實會影響頻率大小。誠如潘郁心等(2015)針對銅簧片所做的分析結果是一樣的。因此，我們可以推論，不管任何的簧片材質，厚度是決定音頻的因素之一。

五、同規格不同材質(PLA、PETG) 的 3D 列印口簧琴簧片之音頻分析

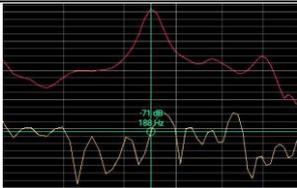
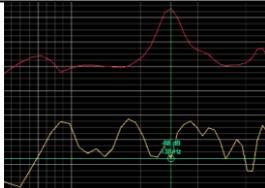
(一)、數據分析

此次以線材材質做為實驗對象，我們用有兩種不同材質的口簧琴，因此實驗樣本僅兩組，兩組簧片長度都是 89.00mm，簧片尾寬度都是 1.8mm，但厚度都是 1.8mm。分析比較如表六所示。



〔圖十四〕3D 列印口簧琴樣本

表六、同規格不同材質 3D 列印口簧琴簧片的音頻分析表

樣本編號	3-1	3-2
簧片長度	89.00mm	89.00mm
簧片厚度	1.8mm	1.8mm
簧片頭寬尾寬比率	2.09	2.09
簧片材質	PLA 塑料	PETG 塑料
音調	188Hz	164 Hz
頻譜圖		

(二)、數據討論

由上表可知，在相同簧片長度及厚度的情形下，樣本 3-1，頻率為 188Hz；樣本 3-2，頻率為 164Hz。根據實驗分析結果，材質會改變簧片發出的頻率和音色，PLA 是我們最常用的線材，但 PETG 塑料比較特別，擁有較好的韌性，因此頻率較低，可是聲音的音色與振動持久性都是優於 PLA 的，也不容易損壞，缺點是列印的難度比較高，失敗率比較高，因為列印 PETG 的材料時，噴嘴的溫度要 200~240 度之間，熱床要 75~85 度之間，同時也要看 3D 印表機的品質夠不夠支援以上的溫度要求。另一個缺點就是 PETG 的線材價格比 PLA 還要貴到 100~200 元。

六、3D 列印口簧琴與傳統竹口簧琴的品質接受度調查

本研究以 3D 列印技術製作口簧琴，主要目的在於能夠製作出容易吹奏的口簧琴，為了驗證我們的 3D 列印口簧琴品質的接受度，我訪問的對象有部落裡的口簧琴吹奏及製作專家與耆老 2 人及秀林國中的學生 35 人。其中部落專長耆老的部份我們以訪談的內容呈現，學生的部份則以問卷統計各樣本的結果。

(一)、3D 列印口簧琴品質接受度調查

我們一共做了 7 種不同的 3D 列印口簧琴，但其中的 1-3、1-4 及 1-5 等 3 個樣本列印出來之後，因為連我們都覺得不是很理想，所以沒有將它們列入品質接受度的比較樣本。接受調查的人將會給每一個樣打分數，評分標準是「非常好：5 分、好：4 分、普通：3 分、再加強：2 分及需改進：1 分」，而所評分的項目有「外型、好不好握、容不容易吹、聲音好不好聽、你最喜歡的程度」等五項，最後再將每個項目的得分加起來，得分最高就代表是大家最能接受的樣本。表七是 4 種不同樣本的 3D 列印口簧琴品質接受度調查比較表。

表七、3D 列印口簧琴品質接受度調查比較表 (樣本數:35 人)

樣本	外型	好不好握	容不容易吹奏	聲音好不好聽	你最喜歡的程度	總分
樣本 1-1	127	103	102	108	106	546
樣本 1-2	112	92	99	109	111	523
樣本 1-6	142	135	123	134	136	670
樣本 1-7	152	137	139	135	138	701

樣本 1-7 在外型中獲得了 152 分，是各口簧琴中最受喜歡的；在好不好握中獲得了 137 分，也是四個樣本中最好握的；在容不容易吹中獲得了 139 分，是樣本中最容易吹出聲音的；在聲音好不好聽中獲得了 135 分，是四個樣本中聲音好聽的；在你最喜歡的程度上獲得了 138 分，是大家選出最喜歡的口簧琴；在總分共得了 701 分，是樣本裡分數最高的，代表樣本 1-7，是我們作出最後的改良，也是大家覺得最好的一個。

Piteyru 老師是家喻戶曉的太魯閣族歌手，目前仍然從事太魯閣族族語歌謠的創作。當我們初次與他見面訪問時，他都不急著給我意見，他一直叫我們吹 3D 列印口簧琴，甚至要求我們隨著他給的節奏吹，一直吹一直吹，接著他也就拿出他自己的傳統口簧琴與我們合奏，說也奇怪，經過他口簧音巧妙的進入，我們覺得 3D 列印口簧琴和傳統的口簧琴的合奏音是多麼的獨特美妙。我們在那裡吹了好久，他終於肯說出我們的 3D 列印口簧琴的想法了。他說：「我們的 3D 列印口簧琴是一個突破。……終於後繼有人了。」他很肯定我們的研究，也很佩服我們這一群高科技的原住民。



Hayu 牧師是一位謙恭有禮的長輩，他在口簧琴的音樂研究上有非常重要的地位。他說：「你們做的口簧琴真的很好，也很容易吹。」同時，他也建議我們「如果作出的 3D 列印口簧琴可以用較接近竹子的顏色，或者加上祖靈之眼這樣比較有傳統口簧琴的感覺」。

他覺得我們很有想法與創意，他很喜歡我們最終改良的 1.7 版本，說我們改良得口簧琴很適合初學者，如果要用 3D 列印的話很難作出像竹子一樣響亮的聲音，就和我們的研究目的不一樣，我們的目的是為了將傳統口簧琴簡化，讓初學者好吹奏，但不是為了要取代傳統竹口簧琴，如果口簧琴之後都是利用高科技來做，那麼會失去傳統的智慧了，所以我們的成品也只能當作是一個學習範本，最後我們也讓他挑選他喜歡的都可以拿走。因為他第一次看過這麼方便又可以吹出好聽的 3D 列印口簧琴，便讓我們信心滿滿~他也用了我們做的口簧琴吹出一首歌讓我們欣賞，讓我們聽得非常入迷。有了 Hayu 牧師的好評，讓我們覺得對自己的研究感到很高興也很踏實。



從以上的問卷調查結果及與耆老專家的訪談過程中，可以發現到我們所做的 3D 列印口簧琴是被大家所接受與認同的。

(二)、3D 列印口簧琴與傳統竹口簧琴品質接受度調查

傳統竹口簧琴與 3D 列印口簧琴因為材質不同，所以音質不同。雖然我們做的 3D 列印口簧琴的主要目的降低製作的難度及容易吹奏，但我們也很好奇這樣塑膠製的口簧琴與傳統竹製的口簧琴的接受度比較。於是我找再 35 人進行一次這兩種口簧琴的調查比較。比較的項目與統計方式如上，結果如表八：

表八、傳統竹口簧琴與 3D 列印口簧琴品質接受度調查比較表 (樣本數:35 人)

	外型	好不好握	容不容易吹奏	聲音好不好聽	你最喜歡的程度	總分
傳統	152	140	134	153	155	734
3D	142	141	137	127	133	680

從上表的外型項目來看，傳統竹口簧琴得分是 152 分，優於 3D 列印口簧琴，經過訪談得知，有人認為 3D 列印口簧琴的型狀很怪，比較習慣看傳統的。不過有關外型的部份，有人說如果顏色可以是黑色的，他就會比較喜歡 3D 列印口簧琴，由此可以知道，顏色也是決定人們喜不喜歡 3D 列印口簧琴的因素之一。至於好不好握的項目兩種口簧琴得分只差 1 分，代表多數人都覺得這兩種口簧琴都很好握，這個結果有點讓我們訝異，我們以為傳統口簧琴原本就是因為不好握所以大家覺得不容易吹奏，仔細想想，可能是因為我們調查的對象大部份都是合唱團的，因為他們都會吹傳統的竹口簧琴，所以不習慣吹 3D 列印口簧琴的緣故吧。不過這也提醒了我們的設計有再修改的必要。在容不容易吹奏的項目裡，3D 列印口簧琴的得分是 137 分，略優於傳統的。很多同學都表示 3D 列印口簧琴輕輕的拉就讓彈片振動而發出聲音，比傳統的還要容易多了。談論到聲音好不好聽，得分的結果不出我們意料之外，傳統竹口簧琴的 153 分是遠高於 3D 的。多數的人都認為竹製的口簧琴聲音比較清脆響亮，而 3D 的則是較低沉，他們都喜歡傳統竹口簧琴的聲音。就像 Piteyru 老師和 Hayu 牧師所認為的，**傳統口簧琴的聲音遠比 3D 口簧琴的聲音好聽，因竹子的聲音非常獨特**。最後就總得分來看，傳統竹口簧琴的 734 分遠遠高於 3D 列印口簧琴，代表了傳統竹口簧琴的音質仍舊是大家比較能接受的口簧琴。

伍、結論

一、傳統竹口簧琴在製作與吹奏上確實有難度，學習的門檻高。

傳統竹口簧琴從選竹、陰乾一直到製作，程序多又複雜，特別是在削竹子的過程，是非常講求製作者的手工技術、耐心和細心，特別是用刀的技巧與力道，不是幾次的練習就可以學會的。傳統竹口簧琴的吹奏對初學者而言也是有難度的，因為它是扁平狀的，所以左手在握口簧琴的時候，必須用繩子纏繞左手的手指，右手的也要纏繞拉繩，在吹奏時，因為拉扯常常會讓人感到疼痛。另外對於初學者而言，吹奏口簧琴時擺放的位置會花很多時時去摸索，很多人常常因為擺放不正確而使彈片無法振動，或者彈片會打到牙齒、嘴巴或舌頭，而讓人失去玩口簧琴的興趣。因此如何製作一個容易製作與吹奏的口簧琴是一件值得去挑戰的問題。

二、3D 列印技術確實可以解決傳統口簧琴製作與吹奏的困難。

透過電腦數位控制的技術，3D 列印機可以很精準地做出我們所畫出來的 3D 列印口簧琴，也就是說，我們不用準備竹子也不需要用到刀子就可以列印出一個完整的口簧琴，而且可以用比較便宜的費用去大量製作呢。在研究的過程中，因為失敗率太高，我們得花三到四天的中午時間才能完成一支品質不是很好的竹口簧琴。現在，晚上睡前我們只要下個指令，就可以讓 3D 列印機幫我們印口簧琴，明天早上起床就有現成的口簧琴可以使用，甚至一個晚上可以做出 8 到 9 支口簧琴。當然我們也是花不少時間去 3D 繪圖、檢測再修圖完成，但最後的成品就可以分享給大家使用。

在吹奏的部份，我們製作的 Y 型手握把及圓形拉環就是為了解決手部因拉繩而疼痛的缺點。在我們的接受度調查統計裡，多數人都認為這是一個非常實用的設計。口簧琴彈片的厚度是決定口簧琴容不容易發出聲音的主要因素，彈片厚度太薄，音高就低，甚至太小聲，厚度太厚的話，雖然聲音較高，但是就不容易拉動它。針對初學者的需求，經過反覆的測試與修圖，我們最終決定以 1.7mm 做為我們此次研究的 3D 列印口簧琴成品。

三、3D 列印口簧琴品質的接受度甚佳，值得推廣。

經過我們的訪問與調查，無論是部落耆老及國中國小的學生都認同並接受我們的製作出來的 3D 列印口簧琴，接受度很高。初學者試過傳統和 3D 的口簧琴後，都認為 3D 列印口簧琴很容易吹奏，手不會痛。接受調查的同學看到多樣色彩的口簧琴後，都覺得驚豔，感到很新奇。就連部落耆老對我們的創作讚譽有佳。

然而，3D 列印口簧琴的材質畢盡是塑膠，材質的韌度與強度沒有竹子好，所以聲音都是偏低的，音色也不如竹子那樣的響亮，所以縱使傳統竹口簧琴不容易吹奏，絕大多數的部落耆老及同學們仍然認為傳統竹口簧琴的聲音比 3D 列印口簧琴。

陸、未來展望

一、改善 3D 列印口簧琴的音質

我們的研究結果顯示 3D 列印口簧琴的音高偏低，導致大家不太喜歡。我們認為這是材質的關係，可以朝改變彈片材質的方向去探索，找出一個可以類似竹子性質的材料來製作彈片，未來也許製作出逼近於竹子音色的 3D 列印口簧琴。

二、客製化口簧琴的可能性

我們的研究結果顯示在固定長度及簧片頭尾寬比率的情況下，不同厚度的彈片可以決定不同的音調。我們覺得可以利用這樣的關係來製作出每一個人所喜歡的口簧琴，甚至可以設計出可以組裝彈片的方式，讓使用者可以依喜好而自行抽換彈片而改變音調，同時也可以自行選擇顏色列印，這樣的混搭，或許可以讓更多人願意來玩口簧琴。

三、3D 列印技術應用於原住民文化的可能性

就我們的經驗而言，3D 列印技術真的很強，只要我們畫得出 3D 圖，3D 印表機就可以幫我們印出實體來。3D 印表機除了幫我們把口簧琴列印出來之外，我們認為也可以印出獵首笛、打獵的器具、織布的工具等等有關原住民的器物。甚至我們也查到了 3D 印表機於身體裝飾的應用，例如在衣服上列印圖案、列印項鍊手飾品等等，我們發現 3D 列印技術可以用在原住民文化的應用可以很多，希望大家一同參加原住民創客的行列。

參考文獻

- 拉罕羅幸、李暉（2017）。結合創客運動之原住民文化傳承課程~以鐮射切割及 3D 列印技術製作台灣原住民太魯閣族口簧琴為例（中文版）。文化回應式教學，2017 世界原住民教育論壇（2017WIPCE），加拿大多倫多。
- 潘郁心、方笙、潘俊宇（2010）。口簧恆久遠，支支永流傳。清華與華碩原住民雲端科展：「飛鼠部落」生態文化與科學智慧研究報告。
- 謝灃生、賴銘俊、謝冬艷、盧美瑤、盧婷萱(2009)。泰雅口簧大樂隊。清華與華碩原住民雲端科展：「飛鼠部落」生態文化與科學智慧研究報告。
- 高宇孝、張瞳卉、方翎雲、曾建宇(2014)。泰雅的聲音。清華與華碩原住民雲端科展：「飛鼠部落」生態文化與科學智慧研究報告。
- 邱聰倚、姚家琦、劉耀鴻（2014）。超簡單！Autodesk 123D Design 與 Tinkercad 3D 設計速繪美學。臺北市:基峰資訊。
- 重慶 3D 虎（2016.08.19）。科普：三種常見 3D 列印技術：FDM、SLS、SLA 技術原理。民 107 年 3 月 10 日，取自：<https://kknews.cc/zh-tw/news/4lklj3.html>
- 拉罕羅幸(2009)。線上傳統樂器製作工坊之學習成效研究—以台灣原住民太魯閣族口簧琴製作教學為例(碩士論文)，第 15-31 頁。