

投稿類別：工程技術類

篇名：

紅土跑道與 PU 跑道之比較及分析

作者：

詹圓圓。私立曉明女中。高一丙班
林品妤。私立曉明女中。高一丁班
張家嘉。私立曉明女中。高一戊班

指導老師：陳英偉老師

壹、前言

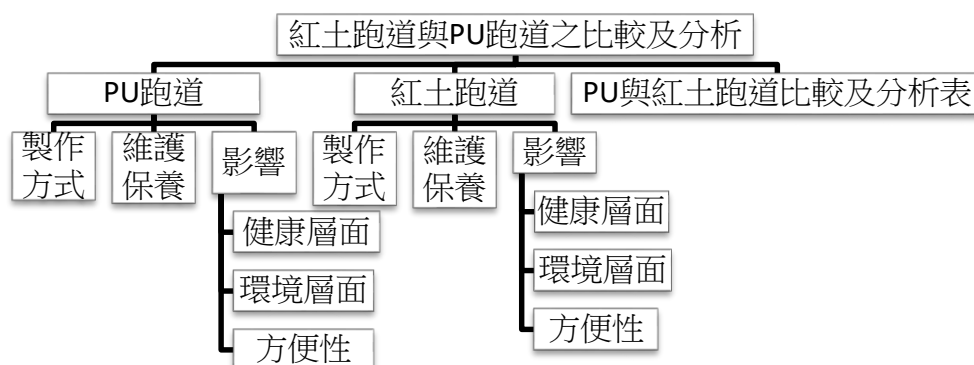
一、研究動機

國一踏進曉園時，學校的紅土跑道對於我們無比新奇，但幾次體育課、放學途經操場後，卻時常感覺到紅土跑道的不便，舉例而言：學校規定的白布鞋及皮鞋沾染紅土後得時常清洗、下雨天的泥濘不堪、以及風大時有嚴重的風砂問題……不禁令我們開始懷念國小方便的 PU 跑道，而學校卻以環保為由堅持使用紅土操場，讓我們十分好奇，究竟紅土跑道與 PU 跑道差別在哪？優劣如何？因而想以此為題作為研究。

二、研究方法

由網路及書籍蒐集相關資料，並配合問卷調查及以往的使用經驗，實際了解紅土跑道與 PU 跑道的使用情形。

三、研究架構



圖一：研究架構
(資料來源：研究者繪製)

貳、正文

一、PU 跑道

(一) 簡介

PU 跑道，或稱為 (Polyurethane) 聚氨酯跑道，具有排水快速、具吸震力、耐久耐磨、彈性佳等優點，尤其以雨天後能迅速恢復使用為最大優勢，又稱為「全天候性跑道」，為目前台灣學校使用數量最多的田徑跑道。然而，PU 跑道卻會因所使用的有機溶劑揮發而產生異味、影響健康，也因為 PU 跑道的不透氣性易影響環境生態，成為採用 PU

跑道與否的最大爭議。

（二）製作

1、材料

PU 跑道有多種形式（例如：空隙式、複合式、透氣式、傳統式…等），原料皆以 PU 樹脂及橡膠顆粒為主。

（1）聚氨酯（polyurethanes）

為單體異氰酸酯與羥基化合物聚合而成，可抗多種酸鹼或有機溶劑腐蝕，經常作為橡膠製品的代替品，在工業的應用上相當廣泛。PU 跑道中最常見的 PU 樹脂溶劑成分為異氰酸鹽（通式為 $R-N=C=O$ ）中的甲苯二異氰酸酯（Toluene diisocyanate）及二苯基甲烷二異氰酸酯（Diphenyl-methane-diisocyanate），以下簡稱 TDI 及 MDI。TDI 的異味類似甲苯，施作時常會放出毒氣，引起肺氣腫、哮喘、眼部紅腫等症狀，甚至引發中毒。而 MDI 雖然價高，但常溫下不會產生蒸氣壓、無色無味、閃火點高、安全性良好。然而兩者經加熱後都會釋出氰化物（CN⁻）與氮氧化物（NO_x）等有毒氣體。

（2）橡膠顆粒

可分為無毒但價格較高的 EPDM 橡膠顆粒、SBR 橡膠顆粒，及對人體較有害的廢輪胎橡膠顆粒及回收之 PU 顆粒（含柏油、灰塵、廢輪胎顆粒等）。其中後兩者回收後在陽光照射下是否會釋放戴奧辛等有毒物質仍有爭議，可確實降低中毒疑慮的方法便是減少使用，但如此會使 PU 成為不可回收的耗材，對環保層面有很大的傷害，且國內因成本問題，無法完全禁用，只按教育部相關規範，跑道面最上層「厚耐磨層」不可使用上述兩材質。

2、製作方式

常以瀝青、混凝土為基底，鋪以混合高彈性 NR 橡膠粒的 PU 樹脂作為顆粒彈性層，表面則是混和 EPDM 橡膠顆粒的耐磨彈性層。

（1）二甲苯（Xylene）

為鋪設 PU 跑道底漆時易揮發出的氣體，是以往多起毒跑道事件中引發人體不適的主因之一。二甲苯進入環境後會快速被陽光、微生物分解，能很快排出體外，只少

量會累積於生物體中，但二甲苯可經由呼吸道和皮膚被吸收，高濃度暴露也可能導致過敏、頭痛頭暈、神智不清、肌肉與平衡感不協調，甚至呼吸困難、肺部問題、記憶困難、肝腎產生變化、死亡。尤其孩童對於急性的吸入性暴露較成人敏感，呼吸道腫脹等症狀的影響在孩童身上會較為嚴重。至於致癌性的問題，國際癌症研究中心和美國環境保護署皆認為沒有充分的資料可確定二甲苯是否為致癌物。台灣法規中規定，勞工在工作場所中八小時日時量平均容許濃度(PEL-TWA)為 100 ppm，434 mg/m³。

3、造價

價格一般在 160 元／平方米，視實際情況一座操場的造價由 100 萬到 500 萬不等。

(三) 維護保養

PU 跑道使用年限為 8－10 年，安裝後 24 小時即可正常的使用，基本上具有免維護的優勢，但若施工品質不良，可能會有水氣侵入導致跑道隆起、平整度不佳使局部積水長出苔蘚等問題，得進行修補與定期清潔，每年以高壓水管進行沖刷兩次，且人為破壞及使用時無可避免地磨損，例如：車輛行駛、堆壓重物、穿釘子過長的釘鞋、破壞橡膠顆粒，可能導致橡膠顆粒掉光磨平只剩下 PU 膠，十分容易打滑，需立即進行補修。

(四) 影響

1、對健康的疑慮

(1) 異味與揮發性毒氣

PU 跑道在夏天時會散發異味，加上存有釋出有毒物異氰酸鹽(MDI、TDI)的疑慮，有家長擔心孩子跌倒受傷時會有毒物質跑進身體。問卷調查的結果顯示，兩成以上學生注意到 PU 跑道夏天高溫時會有異味，還有近一成五學生對跑道是否有毒抱持疑慮。甚至在國內外「毒跑道」事件也層出不窮，使大量學生身體不適以致需要送醫。

※PU 跑道中毒事件

①高雄縣岡山國小

2010 年 9 月 29 日岡山國小操場旁的大樓傳出異味，乃建設操場 PU 跑道的廠商，因趕工噴塗的底漆揮發出二甲苯氣體，造成班級位在該樓的學生中有二十八名吸入化學異味身體不適，出現嘔吐、噁心和頭暈症狀，緊急送醫診療休息後均無大礙，陸續返家休養。

②台南縣永康國中

2005 年 10 月 22 日永康國中 PU 跑道整建，疑因包商未做好防護措施及施工時機不當，以致黏著劑中的二甲苯揮發，多名學生出現頭暈、噁心嘔吐、流眼淚、呼吸急促、喉嚨痛等症狀。鄰近的永康國小也有學生不適，共有 200 多名學生就醫。

③中國各地多起毒跑道事件

2016 年 6 月 24 日壹讀新聞發布消息，全中國多地(北京、蘇州、無錫、南京、杭州、深圳、成都……)陸續有學校塑膠跑道損害學生身體健康的問題爆發。

(2) 彈性傷膝蓋

醫師建議，關節炎患者若選擇室外運動，選擇 PU 跑道可降低對關節的衝擊，多數學生們也認為 PU 跑道較好跑、跑得較快。然而依據網路上跑友的經驗分享，在 PU 跑道上跑步時若穿著彈力較強的鞋子、跑步姿勢不正確，長期跑下來容易造成小腿痠痛，改善以上情況後可輕鬆舒適的運動。

2、對周邊環境的影響

PU 跑道在施作及夏日高溫時，易散發出臭味，影響周圍民眾。

3、對生態的傷害

由於 PU 跑道不透水，沒有雨水滲透到地底，一旁的樹根無法順利吸收水份，會產生浮根現象，破壞跑道使跑道起伏不平，也影響學童安全。

4、使用性方便與否

為排水快速的「全天候性跑道」是其使用上最大的優勢，利用跑道兩旁的排水溝，在雨後可以迅速恢復使用。依據問卷調查以及網路上跑友們的分享，五成以上學生認為在 PU 跑道上能跑得更快，不易滑倒也更安全，但是由於 PU 跑道有很大的彈性，也有人反應姿勢錯誤的話容易造成膝蓋、小腿損傷。而五成學生認為 PU 跑道較紅土更為美觀好看，也常有人以 PU 跑道為一個學校是否現代化的評斷依據，甚至影響家長讓孩子就讀的意願，雖然這可能只是就較為膚淺的層面來理解 PU 跑道，但這也常是民眾喜愛 PU 跑道的重要理由之一。

另外，撇去車輛重壓、刮壞跑道的特殊例子，使用者的破壞幾乎是難以避免的問題，升旗、體育課時摳下跑道的橡膠顆粒並以此嬉戲是多數學生都有過的行為、樂此不疲且難以禁止，長久下來造成跑道橡膠顆粒的損失，對跑道的使用年限有一定的損害。

二、紅土

（一）簡介

具有透水性佳、環保、造價低廉等優點。普遍有易起風沙、紅土流失、滋生雜草、位處低窪區降雨易淹水等管理難題。卻也因其透水特性及材質，對於環境較為友善、能常保土地呼吸，也能從土壤顏色判斷土壤排水的程度。場地使用用途較具彈性，可作多元使用。

（二）製作

主要成分則為質輕、易受風吹飛揚的紅磚粉，並加上少許石灰粉及鹽。紅磚粉粒為磚塊搗碎之顆粒或粉末，粒徑較大的顆粒較重，不易受風吹而飛揚，但往往具很多粗糙尖銳角，孩童跌倒時，易造成嚴重破皮和擦傷；故學校常選擇研磨較細的紅磚細粉，但紅磚細粉因質輕，易使塵土飛揚導致上課不便及清掃困難。

（三）維護保養

一年約需 8-20 萬的維護費用，補土費用約 35 元/平方公尺

（四）影響

1、對健康的疑慮

依據問卷調查，七成五的學生反應沙塵飛揚的情況嚴重。七成以上學生表示，在跑步以及風大時有吸進塵土的經驗。而這些微小的沙塵是否會對呼吸道的健康造成影響，也是學生們擔心的問題。此外，超過五成的學生認為在紅土跑道上受傷，容易因沙粒刮過而形成更嚴重的擦傷，且侵入傷口的紅土會使傷口難以清理，甚至容易造成感染。

處理紅土造成的傷口需以煮沸過的冷開水或生理食鹽水沖洗傷口，並以透氣且能吸收滲液的敷料或人工皮服貼傷處，視情況定期更換，較深入的沙塵以沾過生理食鹽水的紗布、棉棒由傷口中心向外刷洗擦拭，無法自行處理則尋求醫護人員幫助。

也常有肉眼難以看見的沙塵或是較深入傷口的沙塵無法被沖掉，影響傷口復原，由於沙塵不會自行排出人體，因此務必清除乾淨，否則可能造成發炎、潰瘍、反覆感染、外傷性刺青等後果。

2、對周遭環境的影響

若紅土跑道排水不善，青苔容易在紅土表面生長，造成跑道打滑且孳生小黑蚊，可替換掉舊的紅磚粉並灑上粗鹽以解決青苔問題。另外，風沙經常侵擾跑道周遭的校舍，堆積於窗溝及窗簾，二成的學生認為這樣的情況讓清掃工作難以進行、並影響建築物美觀。雖然維護紅土跑道需要耗費大量時間翻土、除草，卻能常保土地呼吸。紅土的透水性也較不會影響周邊植物的生長，環保的同時讓使用者健康加分。

3、使用性方便與否

紅土跑道遇上下雨天便常出現嚴重的泥濘，讓操場幾乎無法使用。據問卷調查，五成學生表示雨天即使只是路過操場也會感受到很大的不便，且紅土易附著在鞋子與衣物上形成髒污，尤其白色、淺色的服裝上有極為明顯的影響。除此之外，據問卷調查，相較於 PU 跑道的 6.1%，有 47.7% 的學生認為紅土跑道容易滑倒，也有學生反映跑步相關競賽因此受到影響。

三、PU 與紅土比較表

表一：紅土與 PU 跑道之比較及分析

	紅土跑道	PU 跑道
材質	細紅磚粉	1. 聚氨酯(甲苯二異氰酸酯 (TDI) 或二苯基甲烷二異氰酸酯 (MDI)) 2. 橡膠顆粒
	結論：紅土跑道材質明顯較 PU 跑道天然環保，但為了安全問題而採用的細紅磚粉卻有質輕、易飛揚的特性，常造成沙塵問題。	
造價／使用年限	紅土費用約 35 元／平方米 補土即可重複使用	約 160 元／平方米 可使用 8－10 年
維護項目／次數／價格	補土費用約 8-20 萬元／年 學校會於每年運動會前補一次土	1. 施工不良，水氣侵入致跑道隆起 2. 定期以高壓水柱清潔（一年兩次） 3. 橡膠顆粒掉光磨平需補修
跑道彈性	低。	高。 1. 具吸震力，彈性佳可降低對關節的衝

		擊 2.若穿著彈力較強的鞋子、跑步姿勢不正確，容易造成小腿痠痛 3.五成以上學生認為在 PU 跑道上可以跑得比較快
健康疑慮		
空氣汙染	風大時易起風沙，嚴重時影響眼睛、呼吸道	1.鋪設 PU 跑道底漆時易揮發出二甲苯，「毒跑道」事件層出不窮 2.廢輪胎橡膠顆粒及回收 PU 顆粒是否釋放戴奧辛等有毒物質仍有爭議 3.PU 樹脂溶劑成分有釋出毒物異氰酸鹽（MDI、TDI）的疑慮
結論：以空氣污染程度來看，紅土跑道的沙塵問題會有較直接明顯且立即的不適。而 PU 跑道有釋出有毒物質的疑慮，也曾有多起的「毒跑道事件」，但皆是在跑道施工時散發大量二甲苯，二甲苯在陽光下能快速被分解，且在 18 小時內排出人體，若能挑在學生不在場的時間施工，便不會造成問題，而關於跑道在竣工後持續散發的有毒物質，由於缺乏相關資料及證據，並不能確認其濃度是否對人體造成慢性影響。		
受傷程度	問卷調查結果（曾在紅土跑道上受過最重的傷）（調查對象：民眾，學生居多）： 輕傷：164 人 普通傷害：86 人 較重傷害：8 人	問卷調查結果（曾在 PU 跑道上受過最重的傷）（調查對象：民眾，學生居多）： 輕傷：326 人 普通傷害：90 人 較重傷害：4 人
	容易因沙粒刮過而形成更嚴重的擦傷	
結論：依據問卷調查結果，在 PU 跑道受輕、普通傷害的人數遠高於紅土跑道，但考慮部分學生反應不敢在紅土跑道上完全施展手腳，且上國高中後對操場跑道的使用率大幅降低的緣故(國小使用紅土操場的學生僅有 5.2%，問卷調查的對象多是國高中才使用紅土跑道)，紅土跑道上受傷人數的調查結果大幅低於 PU 跑道是相當合理的現象，但在普通傷害的部分兩者的人數卻差不多，較重傷害的部分甚至紅土高過 PU 跑道，因此就推論而言，傾向認為紅土跑道較易造成運動傷害。		
受傷時的清理	侵入傷口的紅土會使傷口難以清理，清理不善可能造成發炎、潰瘍、反覆感染、外傷性刺青.....等等後果。	普通處理即可。
	結論：依照受傷時的清理而言，紅土跑道相較 PU 跑道麻煩許多	
結論：PU 跑道的空汙問題雖然較紅土為重，但是依照上述推論，紅土跑道集合了易受傷、傷後難以處理的兩大缺點，是立即性的問題，而 PU 跑道則是慢性且未經確實證明的汙染，因此在健康疑慮的部分，我們認為 PU 較紅土為佳。		

環保與否		
透水性	透水性佳。 能常保土地呼吸，透水度良好也能對周邊植物的生長造成較小的影響	透水性差。 不透氣性易影響環境生態，使跑道周邊樹根產生浮根現象、破壞跑道，危害學生安全。
空氣汙染	雖有沙塵的情況，但對自然生態沒有什麼影響	二甲苯、異氰酸鹽影響環境
結論：相較於 PU 跑道的諸多化學成分，材料單純且能保持透水性的紅土跑道在環保上勝過 PU 跑道。		
便利性		
清掃	風沙侵擾跑道周遭校舍，清掃工作難以進行	無相關問題
排水速度	排水速度慢。 雨後易淹水，無法立即恢復使用且出現嚴重泥濘。且長期排水不良會長苔、孳生小黑蚊。	排水速度快 雨後能迅速恢復使用，為全天候性跑道
滋生雜草	容易	無相關問題
用途	較多元，可隨意畫線使用	較單一，以用作跑道為主
髒污	1.附著在鞋子與衣物上形成髒污 2.影響建築物美觀	無相關問題
摩擦力	較小。 容易滑倒甚至影響跑步競賽	較大。 較不易滑倒，可跑得比較快

四、 其他

除了紅土及 PU 以外，還有其他種各有不同特色的操場，雖然在此暫且不多做討論，但也可作為考量的選擇之一。

(一) PP 跑道

正名為「人工草跑道」，是將原料聚丙烯抽成條狀纖維草並加熱、編織成地毯狀後加上防水層，最後穿孔以排水。草質硬，可填充矽砂或橡膠粒，雨後短時間能恢復使用。但不耐紫外線、不耐磨，常硬化或纖維斷裂，導致跑道只剩底材，跑起來堅硬無彈性。現多以性能較佳且價格相近的 PE 跑道代替。使用年限約為 5 年，年維修費近乎為零。

(二) PE 跑道

製作基本上與 PP 跑道相同，差別是原料為聚乙烯，無毒，為熱塑性塑料，可加熱

回收重塑，較為環保且維修費較低，草絲柔軟，不易填沙，排水良好，雨後短時間內可使用，抗磨損、抗紫外線等性能皆較 PP 佳，價格也較尼龍低，現為人工草跑道之最大宗，也成為替代 PU 跑道的選擇。使用年限約為 8 至 10 年，年維修費同樣近乎為零。

參、結論

起初寫這份小論文時，我們其實是挾帶一直以來對紅土操場的不滿，以推翻學校「紅土操場較好」的說法為目的，抱持著顆想要應證事理的心選擇這個題目。然而，在蒐集資料的過程中，看到了許多以往所不知道的事件、數據，經過各自的剖析及思索、多次的討論後，對紅土跑道的成見才漸漸消弭，發現了這片紅土的另一份美好、發現了我們沒想過的 PU 的壞處。在方便先進的產品之下也許藏著危害生態及人體的因子，但潔淨無污染的環保中又也許得以極大的不便和更大的受傷率作為代價。

紅土，有著長久生態環保的優勢；PU，卻更能保障學童立即性的安全，兩者究竟如何取捨，只能由個人做出判斷。我們能理解學校以環保為重的堅持，不是因為忽視學生安全，而是重視學生心靈成長勝過身上的一點傷口；我們也能明白同學們對紅土跑道的抱怨與不理解，畢竟忍受了諸多不便，卻被硬塞了一個沒有輔助證據的「因為比較環保」作為理由，大家絕不好受。經過這次的小論文，我們理解到學生不該只將困惑訴諸抱怨，而該親身去找資料、尋找問題答案。事物常常沒有絕對的好與壞，若只聽信他人的說法而不親自去了解、體會，便容易流於成見。我們都應該抱持著開放客觀的心，秉棄成見，以查詢論證並親自判斷的模式，累積經驗與成果，最終必能發現不一樣的風景。就像那塊樸實無華的紅土操場，等著你去漸漸了解、摸索，當你拂去了在上面一層層的塵土，才能看見它與印象中不盡相同的面貌。

肆、引註資料

教育部 97 跑道檢討報告。2017 年 8 月 19 日，取自
www.sa.gov.tw/wSite/public/Attachment/f1388115512254.doc

劉益軍（2012）。**聚氨酯樹脂及其應用**。中國：化學工業出版社。

資料來源：張曉卉（2012）。「破除六個傷口照顧迷思」。康健雜誌，144 期。

塑膠跑道：台灣。2017 年 8 月 19 日，取自 Word:<https://goo.gl/bSNCv9>

慶泰樹酯化學股份有限公司。2017 年 8 月 19 日，取自 <https://goo.gl/wBM3gm>

教育部體育署國中小操場面層使用檢討報告。2017 年 8 月 19 日，取自 <https://goo.gl/Wcqmju>

全民健康基金會- 健康起步走！快走、健走、慢跑哪種好？。2017 年 8 月 19 日，取自
<https://goo.gl/ccnasM>

操場 PU 跑道施工 28 童薰倒| 蘋果日報。2017 年 8 月 19 日，取自 <https://goo.gl/PokBem>
學校整建 PU 跑道 200 位學生中毒- 生活- 自由時報電子報。2017 年 8 月 19 日，取自
<https://goo.gl/lrlVw5>

國家衛生研究院國家環境毒物研究中心-二甲苯,Xylene。2017 年 8 月 19 日，取自
<https://goo.gl/oyEbvH>

中華民國護理人員協進會 校護論壇。2017 年 8 月 19 日，取自 <https://goo.gl/iiagbi>

高雄市田徑跑道材質與管理現況調查之研究。2017 年 8 月 19 日，取自 <https://goo.gl/y8HsAR>

田徑場跑道材質演變與使用之研究。2017 年 8 月 19 日，取自 <https://goo.gl/6jYyha>

各種跑道的簡介 受傷人數統計調查。2017 年 8 月 19 日，<https://goo.gl/4tz32n>

運動設施場地材質分析。2017 年 8 月 19 日，取自 <https://goo.gl/QRcs63>