

「生活中的電磁波」教學單元研發與成效評估

李育賢^{1,2,*} 簡佑達³ 李家駒¹ 傅祖怡² 張俊彥⁴

¹ 國立金門高級中學

² 國立臺灣師範大學物理研究所

³ 國立臺灣海洋大學教育研究所/師資培育中心/臺灣海洋教育中心

⁴ 國立臺灣師範大學科學教育研究所/科學教育中心

*聯絡人 E-mail : joeleeyh@gmail.com

摘要

十二年國民基本教育自然科學領域課程強調科學探究的習慣養成，期望透過新式課程與教學單元的研發，不但讓學生能夠理解媒體所報導的科學相關內容，更進一步反思其真實與正確性，以理性的態度參與公民社會議題的決策與問題解決。此外，在這人手一機的行動通訊時代，以手機電磁波相關的新聞或社會爭議層出不窮，如何讓學生運用科學知識來解讀並參與手機電磁波相關社會議題，儼然是重要的科學教育議題。因此，作者以臺灣東港里電信基地台拆遷爭議、手機是否能測試微波爐安全性等新聞為情境，設計「生活中的電磁波」物理教學單元，發展數個演示實驗，引導學生推測、觀察與驗證手機在不同環境所發出電磁波強度的變化，期望能促使學生反思與探究電磁波相關新聞報導中的科學知識與迷思。本研究旨於初探本教學設計對於高中學生的適切度，以及其對學生電磁波知識與態度的影響，並針對研究成果精進教學設計。該教學單元為時2小時，共計約134位高一學生參與。學生於在課程實施前、後各填寫一份電磁波知識測驗與態度問卷。初步研究結果顯示，該教學單元的確有助學生釐清新聞報導中的電磁波知識與迷思，並促使學生使用較理性的態度來面對於生活中的電磁波相關議題。

關鍵詞：電磁波、手機基地臺、探究與實作

壹、研究背景

不少同學對於電磁波都有所顧忌，然而，電磁波對人體真的有害嗎？(邱韻如，華人健康網，林基興2013，蔡志明2015)。即使上了那麼多年的物理課，有些觀念，似乎是根深柢固的，就算那並非真理。那麼課本的教育對學生的觀念影響有多少？我們該如何讓學生相信真理。幾年前的新聞有居民抗爭有關拆除基地台的議題(壹凸新聞2011，華視2012)，可以了解從傳統的印象中，我們都認為基地台坐落在住家附近有所不妥，然而，究竟是什麼會對人體的健康造成損害？這種傷害有多嚴重？其實，我們都沒有確定的答案，於是，不希望人云亦云的我們著手開始進行一連串有關手機的波與基地台的實驗。希望用統計的方式，以科學的操作方式觀察實驗後對比實驗前的差距，避免主觀的解讀數據，觀查改變的程度，希望藉由簡單的實驗，達到破解眾人迷思，推行科普教育的目的，並減少無謂的恐懼、道聽塗說與迷信(王瑞琦2010)。

貳、研究過程與方法

由物理課程得知電磁波皆是以光速前進，在光速不變的前提下，波的頻率愈高，波長就愈短，反之波的頻率愈低，波長就愈長。長波長的電磁波，在低強度或低功率的情況下通常對生物細胞分子是沒有危害的，係歸類於「非游離輻射」部份，我們平常使用的手機與微波爐，皆是屬於此類。若生物細胞分子被短波長的「游離輻射」照射，就容易受到影響(行政院環境保護署)，這部份要到高一的基礎理化課程，才会有更進一步的探討。

本研究推測，高中各年段的學生會因為學習課程內容的差異，對電磁波的態度與知識產生顯著影響，在多次討論前測的題目後，不斷修改、調正，旨在讓問卷內容更清晰，主詞更明確，題目盡量讓受測者在填答時不會產生不耐煩的感受，並把題目控制在 30 題以內(如附錄)，本研究實驗流程主要針對高一的學生進行前測、教學演示、後測，共三個部份進行分析探討。

回收前測問卷後，本研究針對電磁波的「態度」部分共 15 題進行「效度」檢測，即利用因素分析，可以由表得知，我們所設計的概念性題目 c1-c15，皆符合預期設定的五個構面，對於下列的概念分組皆有一定的效度 >0.7 。相同構面的部份為 C01、C02、C03、C04、C05，進行分析統計。其中 c15「基地臺架設意向」調查共 1 題，剩下的電磁波相關的知識共 15 題，此 15 題的組別為 K。

(一)c1-c3 電磁波科學概念理解的「信心」共 3 題，組別為 C01

(二)c4-6 學校「教學」對於面對日常電磁波議題的幫助共 3 題，組別為 C02

(三)c7-9 對於電磁波議題的「興趣」共 3 題，組別為 C03

(四)c10-12 對於電磁波與「生活的態度(一)：恐懼」共 3 題，組別為 C04

(五)c13-14 對於電磁波與「生活的態度(二)：規範」共 3 題，組別為 C05

參、教學單元設計

我們在針對同學們施測的結果推測，高一的同學應該可以有更正確的電磁波認知，但這認知一定要靠學校的物理或是相關的正規科學課程嗎？筆者參考在「2017 全國科學探究競賽-這樣教我就懂」競賽的「手機的穿針引線」作品內容(李育賢、王哲剛 2017)，經過再次的討論與修改後，簡化到可以針對高一的同學，利用約 2 節課的時間，讓我們一同進行實驗的演示過後，再進行後測分析，希望能夠以探究實作的方法，讓高一同學們可以達到更高的認知程度，或是有不一樣的態度變化。演示與探討的內容設計重點如下：

一、如何偵測電磁波

使用可測量手機波段的電磁波偵測器，以正確的機器量測手機電磁波強度的強弱數值。

二、相關新聞的探討

由參考資料中東港鎮居民為例(壹凸新聞 2011)，居民抗議了基地台不該架設在住家附近，在電信業者拆除後，又抗議手機的收訊太差，這其中的矛盾做為探究的素材(華視 2012)。

【一】、東港鎮民抗議基地台縣府斷電處置 2011 年 6 月 22 日

【二】、電信服務品質差 消費者申訴最多 2012 年 5 月 30 日(東港)

【三】、東港基地台拆光 手機訊號爛爆! 2012 年 6 月 30 日

以上系列的新聞讓同學們參考，並讓同學們思考

發生何事？發生的原因？如何發生？有什麼的矛盾？

提高同學們對於電磁波這爭議性議題，有想要了解這議題的動機，經統計的結果可以明確得知，本作法的教學模組有助於學生提高興趣與相關議題的學習動機。

三、金屬可以阻擋電磁波的示範

以老鼠籠、金屬籠來做為阻隔電磁波的工具，並以收音機與手機來做對照組

四、手機用金屬阻擋電磁波後，電磁波數值的量測

使用電磁波偵測器來觀察不同情況下的數值，可以發現，手機在收訊愈差的地方，電磁波訊號愈強，也就是說，真正離我們最近的手機，還是強度最強的電磁波發射源，而且只要基地台的收訊理想，手機就不會發出過強的電磁波(李育賢、王哲剛 2017)。

五、那些東西也是電磁波

微波爐、電磁爐、太陽光等等~

六、爭議性問題的探討

例：你願意在你家架設基地台嗎？你會長時間使用手機嗎？等等的話題探討。

肆、研究結果與發現

一、高一後測信度與效度

表1、因素分析：高一後測電磁波的「態度」共15題，旋轉元件矩陣^a

	元件			
	1	2	3	4
後C1	.755			
後C2	.797			
後C3	.766			
後C4	.837			
後C5	.826			
後C6	.608			
後C7			.870	
後C8			.724	
後C9			.897	
後C10		.872		
後C11		.900		
後C12		.734		
後C13				.859
後C14				.892
後C15		-.497	.510	

擷取方法：主體元件分析。

轉軸方法：具有 Kaiser 正規化的最大變異法。

a. 在 5 疊代中收斂循環。

我們可以發現，C01 與 C02 成為同一個構面(前測時 C01、C02、C03、C04、C05 皆為不同構面)，證實額外的課程可以讓同學們提高信心，也讓同學們發現信心的提升是靠有效的課程教學，另外針對後測的信度部份，Cronbach's α 值也都 >0.7 ，皆有一定的可靠程度。

二、態度構面變化分析C01、C02、C03、C04、C05、c15

我們針對高一的同學進行後測與前測的分析，可以發現不論 c1-c9 題在前、後測上皆有顯著的提升，表示課程可以提高同學們對於電磁波知識的信心 C01、且認為學校的教學是有用的 C02，最重要的是，也提高了同學們對於電磁波議題的興趣 C03。

表2、構面(C01)成對樣本檢定

高一	平均數	標準偏差	程對差異數			T	df	顯著性 (雙尾)
			標準錯誤	95% 差異數的信賴區間				
				平均值	下限			
對組 C01 - 後測C01	2.691	2.552	.230	2.236	3.146	11.697	122	.000

表3、構面(C02)成對樣本檢定

高一	平均數	標準偏差	程對差異數			T	df	顯著性 (雙尾)
			標準錯誤	95% 差異數的信賴區間				
				平均值	下限			
對組 C02 - 後測C02	3.236	3.003	.271	2.700	3.772	11.950	122	.000

表4、構面(C03)成對樣本檢定

高一	平均數	標準偏差	程對差異數			T	df	顯著性 (雙尾)
			標準錯誤	95% 差異數的信賴區間				
				平均值	下限			
對組 C03 - 後測C03	1.642	2.599	.234	1.178	2.106	7.007	122	.000

針對C04生活態度部份的構面，只有c12有顯著差異，表示同學們對於恐懼(c10)與不安(c11)是很難短在時間內改變的生活態度，但整體構面C04還是有達到 $p < 0.05$ 的顯著差異。因此受測者在前、後測對於c12與整體C04還是有態度上的顯著轉變，當面對電磁波的議題時，經過課程教學與演示後，同學們相較於前測來說，有顯著提高面對此課題的態度。

表5、構面(C04)成對樣本檢定

高一	平均數	標準偏差	程對差異數			T	df	顯著性 (雙尾)
			標準錯誤	95% 差異數的信賴區間				
				平均值	下限			
對組 C04 - 後測C04	-.569	2.643	.238	-1.041	-.097	-2.388	122	.018

有關c13與c14的問題，主要是針對政府及廠商是否有隱藏真相，態度也有顯著轉變，受測者經過課程與演示後，減少了對於政府與廠商之陰謀論的觀點。

表6、構面(C05)成對樣本檢定

高一	平均數	標準偏差	程對差異數			T	df	顯著性 (雙尾)
			標準錯誤	95% 差異數的信賴區間				
				平均值	下限			
對組 C05 - 後測C05	-.480	1.922	.173	-.823	-.137	-2.768	122	.007

由 c15 可知，同學們在課程之後，比較能夠接受住家附近架設手機基地台。

表7、第c15題前後測成對樣本檢定

高一	平均數	標準偏差	程對差異數			T	df	顯著性 (雙尾)
			標準錯誤	95% 差異數的信賴區間				
				平均值	下限			
對組 c15 - 後測c15	.577	1.124	.101	.377	.778	5.698	122	.000

三、後測與前測知識顯著性(K)之差異

由學生的知識統計分數，後測時提高了4.17分，以統計上的顯著性P值(0.000)遠小於0.05來看，屬於有顯著的差異，證明本次課程有助於同學們答對相關的知識問題。因前後測係針對同一個樣本群進行比較，因此同時有參加前、後測的人數略減為123人，統計上則以成對(Paired)樣本T檢定進行資料分析。

表8、前後測成對樣本檢定

高一	平均數	標準偏差	程對差異數			T	df	顯著性 (雙尾)
			標準錯誤	95% 差異數的信賴區間				
				平均值	下限			
對組 1 前測 - 後測	-4.171	3.538	.319	-4.802	-3.539	-13.073	122	.000

由高一的前、後測結果可以得知，除了k11題外，平均皆比前測高，本題主要是探討金屬的阻擋電磁波是因為反射而不是吸收，課程中並沒有特別提到此點，所以受測者在此題上沒有顯著進步更能證明教學演示確實有其作用。

表9、高一知識前後測成對樣本檢定

		程對差異數					T	df	顯著性 (雙尾)
		平均數	標準 偏差	標準錯誤平 均值	95% 差異數的信賴區 間				
					下限	上限			
對組 1	k1 - 後k1	-.447	.889	.080	-.606	-.288	-5.579	122	.000
對組 2	k2 - 後k2	-.285	.928	.084	-.450	-.119	-3.401	122	.001
對組 3	k3 - 後k3	.073	.907	.082	-.089	.235	.895	122	.373
對組 4	k4 - 後k4	-.423	.747	.067	-.556	-.289	-6.279	122	.000
對組 5	k5 - 後k5	-.333	.709	.064	-.460	-.207	-5.214	122	.000
對組 6	k6 - 後k6	-.138	1.035	.093	-.323	.047	-1.481	122	.141
對組 7	k7 - 後k7	-.463	.792	.071	-.605	-.322	-6.487	122	.000
對組 8	k8 - 後k8	-.089	1.064	.096	-.279	.100	-.933	122	.353
對組 9	k9 - 後k9	-.472	.908	.082	-.634	-.309	-5.758	122	.000
對組 10	k10 - 後k10	-.171	.597	.054	-.277	-.064	-3.174	122	.002
對組 11	k11 - 後k11	.065	.817	.074	-.081	.211	.883	122	.379
對組 12	k12 - 後k12	-.724	.813	.073	-.869	-.578	-9.873	122	.000
對組 13	k13 - 後k13	-.488	.853	.077	-.640	-.336	-6.344	122	.000
對組 14	k14 - 後k14	-.114	1.034	.093	-.298	.071	-1.221	122	.224
對組 15	k15 - 後k15	-.163	.762	.069	-.299	-.027	-2.368	122	.019

另外在前、後測沒有顯著提升的幾個題目「k3、k6、k8、k11、k14」，其中k3、k6、k8、k14題主要是有關物理的基本理解與電器結構概念，本研究推測此概念可能已根深柢固在同學的印象中，若想要僅靠單一節課的教學演示就期待能提升學生的認知，根據實驗的結果發現仍有其難度，雖然平均分數有提升，但仍未達顯著差異水準。

伍、討論

一、演示課程的幫助：

我們經過一系列的討論可以發現，課程或是演示對於同學們的認知，其實有一定的影響力，雖然在信心與 C01 與課程幫助 C02 在高一後測的結果可以明確得知，若有明確的實驗課程介入，同學們是可以得到明確的信心與減少恐懼，並提升興趣。

二、態度的轉變：

我們整體的演示課程與統計結果可以明確的發現，知識程度的提升，可以改變同學面對爭議性問題的態度，知識的提升是讓民眾擁有最正確的判斷依據，避免淪為為了反對而反對的不理性思考。

三、前後測描述性資料

從前測所得的回饋中可以發現，大多數學生對於電磁波是不了解的，甚至是害怕的，在不夠了解的情況下，我們可以看到許多電磁波的知識是錯誤的，這很正常，畢竟課本生硬的文字中，不但甚少提及這個部分，學生們也都興致缺缺，其實對於生活有極大關聯的手機電磁波才是我們應該要花時間好好了解的。

陸、結論

我們發現，即使是背景知識最薄弱的高一生，經過課程演示，對於相關電磁波概念也有飛躍性的進步，且對電磁波知識更自信，也更有興趣。可見只要議題夠貼近自身生活經驗，小小簡單實驗演示就有顯著性的效果，省去大量課堂講述的時間。雖然演示課程可以讓同學知道金屬可以阻擋電磁波，但真正的物理機制還是要深入的課程，無法由演示就讓同學改變觀點，不過，同學在經過演示後，比較可以接受住家附近安裝手機基地台。最後，學生對於電磁波基本上都是有所疑慮的，以我們針對高一同學進行的後測可以發現，適當的演示實驗及知識教學可有效減少恐懼的感受。經過一系列的討論，正確的知識可以減少無謂的恐懼，適當的指引，可以提升同學們對於科學概念的信心。

參考文獻

1. 吳明隆(2013)。SPSS 統計應用學習實務：問卷分析與應用統計。新北市：易習圖書。
2. 游懿萱、李立心譯(2016)。大數據時代的必勝競爭力、一次搞懂統計與分析。台北，商周出版。
3. 鄭永銘(2016)。跟著鄭大師玩科學-在微波爐中測試手機。取自 <http://www.masters.tw/96501/> 在微波爐中測試手機。

4. 林基興。科學與人文的溝通-從電磁恐慌談起【師大線上課程】。取自 <http://ocw.lib.ntnu.edu.tw/course/view.php?id=130>
5. 邱韻如。格物致知學習網站-該恐懼電磁波或恐懼無知。取自 <http://chiuphysics.cgu.edu.tw/yun-ju/cguweb/sciknow/PhyNews/EMWaveFear.htm>
6. 行政院環境保護署。非屬原子能游離輻射管制網。取自 <http://nonionized.epa.gov.tw/>
7. 楊嘉慧(2009)。快速傳遞手機訊號。取自 <http://kuochun24.pixnet.net/blog/post/27630440>
8. 華人健康網。手機電磁波會致癌？腫瘤科醫師破解(2015年12月24日)。取自 <https://www.top1health.com/Article/32686>
9. 馬丁·布藍克 著、魏兆汝 譯(2015)。電磁波的真相。新北市，臺灣商務。
10. 劉辰岫(2014年08月25日)。3G、4G、5G？行動網路與生活。取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/SOx7.htm>
11. 吳美枝(2014年07月01日)。電磁波知多少：淺談電磁波。取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/H810.htm>
12. 蔡志明(2015年12月8日)。與電磁波和平共存。取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/mPpv.htm>
13. 王道還(2016年7月11日)。手機電磁波能「延年益壽」？。取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/e4d6.htm>
14. 公共電視臺。手機發出的電磁波強到可以煮熟蛋 你覺得是真？還是假？。取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/WJiu.htm>
15. 公共電視臺。鐵籠可以阻擋電磁波，你覺得是真？還是假？。取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/rXNn.htm>
16. 吳美枝(2014年08月07日)。電磁波知多少：天線的應用。取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/TF7n.htm>
17. 壹凸新聞(2011年06月22日)。東港鎮民抗議基地台縣府斷電處置。取自 <http://news.e2.com.tw/utf-8/2011-6/2646122.htm>
18. 華視(2012年05月30日)。電信服務品質差 消費者申訴最多。取自 <http://ppt.cc/mynj>
19. 華視，許文男報導(2012年06月28日)。東港基地台拆光 手機訊號爛爆。取自 <http://news.cts.com.tw/cts/life/201206/201206281036336.html#.WsDIyUkh2Uk>
20. 林基興(2013年05月17日)。關心你我的健康-「害怕電磁波」的虛與實。取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/sVgw.htm>
21. TVBS 記者 趙國成 台北報導(2006年03月17日)。國外報告：基地台密集電磁波反而小。取自 <https://news.tvbs.com.tw/life/371053>
22. 王瑞琦(2010)。基地台設置的風險溝通與公民參與之困境。國立臺灣大學社會科學院政治學系碩士論文。
23. 國家教育研究院電子報。男生、女生腦袋大不同？-以 TASA 資料為例。取自 http://epaper.naer.edu.tw/index.php?edm_no=34&content_no=923
24. 李育賢、王哲剛(2017)。手機的穿針引線。「2017 全國科學探究競賽-這樣教我就懂」競賽作品。

附錄

一、電磁波「態度」，各面向之例題

(一)c1-c3 電磁波科學概念理解的「信心」共 3 題，組別為 C01

以 c3 為例：我能夠從科學的角度來看待與電磁波有關的生活議題

(二)c4-6 學校「教學」對於面對日常電磁波議題的幫助共 3 題，組別為 C02

以 c4 為例：學校的課程幫助我從科學的角度來看待與電磁波有關的生活議題

(三)c7-9 對於電磁波議題的「興趣」共 3 題，組別為 C03

以 c8 為例：我會留意與電磁波有關的新聞報導

(四)c10-12 對於電磁波與「生活的態度(一)：恐懼」共 3 題，組別為 C04

以 c11 為例：當我意識到周圍有電磁波時，我會感到不安

(五)c13-14 對於電磁波與「生活的態度(二)：規範」共 3 題，組別為 C05

以 c14 為例：我感覺政府對於電磁波的規範沒有作為