

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 環境學科

探究精神獎

052609

使用氣溶膠噴霧產品對人體與環境是否造成危害探討

學校名稱： 國立中科實驗高級中學

作者： 高二 陳弘翊	指導老師： 王亞喬
-------------------	------------------

關鍵詞： 氣溶膠噴霧、推進劑、FTIR

使用氣溶膠噴霧產品對人體與環境是否造成危害探討

摘要

本實驗旨在測試氣溶膠噴霧產品使用時推進劑之噴出量，以了解日常使用此類產品時推進劑之暴露量是否對人體、環境造成影響。研究對象為五種市售氣溶膠噴霧商品，包括洗面乳、髮妝造型噴霧以及刮鬍泡。本實驗採用內容分析研究法，以 FTIR 測量測試腔內推進劑種類及濃度，用以推估浴室空間濃度、模擬使用時人體呼吸暴露量、以及污水系統中的累積量。分析方法包括 FTIR 紅外光譜分析、T-test 量化分析。結果顯示，測試商品中推進劑的種類為丙烷、丁烷、異丁烷，部分丁烷使用時濃度高於立即致危濃度(IDLH)，表示可能對人體有危害，使用後推進劑隨殘餘泡沫流佈污水系統，亦可能對城市安全及環境造成影響，因此，建議應制定完善的規範，以確保使用者的安全和環境的永續性。

壹、前言

一、研究動機

氣溶膠噴霧罐產品在日常生活中隨處可見，使用推進劑技術的洗面乳，能夠有效省去傳統乳膏式洗面乳搓揉泡沫的程序；而推進劑技術應用在髮膠上，能有效提升髮妝效率；應用在防曬乳或香水時，能使內容物更均勻、快速地分布於肌膚上，大幅節省了出門準備的時間；由此可見，氣溶膠噴霧技術為我們的生活帶來了諸多便利。

然而，儘管廠商標示使用液化石油氣（Liquefied Petroleum Gas，簡稱 LPG）作為推進劑，這些物質仍然潛藏風險，例如，液化石油氣中的丁烷，在常溫常壓下是無色易燃氣體，其爆炸下限為 1.55%，表示其在使用過程中可能具有燃燒與爆炸之風險。丙烷也是 LPG 組成之一，其短時間容許濃度（short term exposure limit，簡稱 STEL）為 1000 ppm，超過此濃度可能對人體健康造成威脅。除此之外，這些化學物質均屬於揮發性有機物（Volatile Organic Compounds，簡稱 VOCs），根據環境部的資料顯示，這些物質可作為臭氧的前驅物，在特定的環境條件和陽光強度下，可能與氮氧化物（NO_x）反應生成高濃度臭氧^[1]。有鑑於此，普遍使用含推進劑商品之安全疑慮，及其可能對人體與環境

受體的影響觸發本研究之動機。

二、研究目的

本研究之目的在探討使用含推進劑產品情境下，推進劑釋放出來的劑量或濃度，是否對我們人體、環境造成影響。因此，提出三個研究問題如下：

- (一) 探討氣溶膠噴霧推進劑的組成包含什麼？
- (二) 探討使用氣溶膠噴霧產品是否對人體健康造成危害？
- (三) 探討使用氣溶膠噴霧產品是否對環境造成影響？

三、文獻探討

為了瞭解本實驗的目標氣體種類，以市場調查與資料搜尋結果，整理使用液化石油氣為推進劑之主要物質如表 1 所列，推進劑的物質主要含有丙烷、丁烷及異丁烷等。

表 1 推進劑組成及其危害濃與全球暖化潛勢（作者自行製表，資料參考^[2]）

推進劑	丙烷（Propane）	丁烷（Butane）	異丁烷（Isobutane）
立即致危濃度 IDLH ¹	2,100 ppm	1,600 ppm	---
短時間時量平均容許濃度 STEL ²	1,000 ppm	1,000 ppm	---
八小時日時量平均容許濃度 TWA ³	1,000 ppm	800 ppm	---
爆炸下限濃度 LEL ⁴	2.10 %	1.55 %	1.80 %
全球暖化潛勢 GWP ⁵	0.072	0.022	3

註：

- 1.立即致危濃度：Immediately Dangerous to Life and Health Values，針對有急性呼吸危害之暴露而訂定，達此濃度可能導致生命喪失、不可逆的健康效應及降低逃生能力
- 2.短時間時量平均容許濃度：Threshold Limit Value-Short Term Exposure Limit
- 3.八小時日時量平均容許濃度：PEL-TWA, permissible exposure limit-time weighted average
- 4.爆炸下限濃度：Lower Explosion Limit
- 5.全球暖化潛勢：Global Warming Potential

根據化學品的物質安全資料表^{[1][2]}，丙烷、丁烷及異丁烷等此類有機氣體具易燃、易爆之特性，使用時需考量其安全性的危害，由此類化學品由液體揮發為氣體時，會致使空間內氧氣不足導致可能有窒息的危害。除此之外，由文獻資料發現，近期青少年揮發性物質濫用（volatile substance abuse，簡稱 VSA）成為一種普遍現象^[3]，因氣溶膠噴霧推進劑用途廣泛、成本低廉、且易於獲得的特性，使其成為各個社會階層的年輕人和成年人中濫用的物質^[4]，儘管這些化學品作為氣溶膠噴霧推進劑被認為是安全的，但可能以意外或自殺的方式發生意外^[5]。曾有針對丁烷致死之病例進行研究，深入探討與分析成癮致死病例的死因，研究結果顯示丁烷並非無毒，高濃度的吸入對心臟存在潛在危害，可能導致心律不整，甚至在嚴重情況下引發猝死^[6]。這不僅凸顯丁烷的危險性，也提醒我們在使用這類產品時需要更加謹慎。2016 年國際法醫學科學期刊發表兩起因吸入丙烷和丁烷混合物而意外死亡的案例，透過案例的組織病理學證據和毒理學調查發現，丙烷、丁烷屬於高脂溶性物質，使其能透過呼吸系統和血腦屏障快速吸收，對神經系統產生影響，因脂溶性高而有分佈在脂肪組織、肺部和腦中的趨勢，且在體內的代謝過程中，容易與脂肪含量較高的細胞結合，危害腎臟和肝臟等重要器官，進而影響整體健康^[7]。另外，丁烷除了對心臟有影響之外，對腦部也有危害，研究發現，丁烷的吸入不僅可能導致窒息，還有可能引發中毒性腦病變，認知、運動、視覺和聽覺區域可能會受到嚴重損害。其他影響可能涉及協調性、痙攣以及聽覺和視力喪失等^{[8][9]}。

彙整文獻資料顯示，雖然氣溶膠噴霧罐產品在生活中提供了便利，但所使用的推進劑卻潛藏著多重安全與健康之隱患，這些危害風險不僅影響使用者自身，也可能對周圍環境造成負面影響。

雖然文獻資料已清楚顯示推進劑的危害特性，也有病例調查結果顯示這類推進劑會危害人體健康，但目前還沒有以此兩者的暴露途徑與關係進行研究調查，因此，期望透過此實驗解析出推進劑可能導致危害的其中途徑。

貳、研究設備及器材

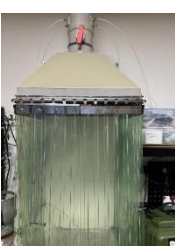
一、實驗材料

本實驗之研究對象為市售使用推進劑技術之產品，且標示含 LPG 或石油氣之商品，包含有洗面乳、髮膠及刮鬍泡，由超市或賣場(如全聯、寶雅)購入，商品資訊如表 2 所列。為了能分析推進劑組成，實驗使用傅立葉轉換紅外光譜(Fourier-transform infrared spectroscopy, 簡稱 FTIR)分析由商品壓出之氣體成分，並搭配設計腔體進行氣體濃度量測，實驗所使用之材料與設備詳如表 3 所列，a 與 k 項為 FTIR，b 項為抽氣用軟管，c 項是體積為 23.19 升的測試腔，d 項為增加氣密的保鮮膜，e 項是體積為 60 毫升的泡沫盛皿，f 項為實驗室的抽氣罩，g 項為清理殘餘氣體的空氣噴槍，h 項為擾動泡沫的網狀勺，i 項為抽氣泵，搭配 j 項採氣袋以進行空氣採樣，l 項為拍照與計時用手機，m 項為 3 個串連的壓克力桶，作為模擬微小化污水系統，n 項為燒杯，o 項為注射器，用以調節壓克力桶內之水位。

表 2 5 種含推進劑之商品（作者自行繪製，商品圖片來源^[10]）

實驗代碼	Bi	Sa	Si	Ga	Gi
產品類型	洗面慕斯	髮妝造型噴霧			刮鬍泡
廠牌	Biferta 碧菲絲特	SASSOON 沙宣	Sifone 絲逸歡	GATSBY	Gillette 吉列
規格(容量)	180 g	150 ml	150 ml	65 ml / 45 g	210 g
標示推進劑	LPG 碳酸瓦斯	LPG	LPG	LPG	石油氣
產品外觀 (圖)					

表 3 實驗資材與設備（作者自行拍攝與製表）

	 Tygon 管 PTFE 管	 體積=35.0*25.0*26.5 cm =23.1875 l(升)
a. 直讀式 FTIR	b. 輸氣、液管	c. 推進劑測試腔
		
d. 保鮮膜	e. 測試盛皿	f. 抽氣櫃
		
g. 空氣槍	h. 網狀勺	i. 採氣泵
		
j. 採氣袋	k. 抽氣式 FTIR	l. 手機(拍攝與計時)
		
m. 壓克力桶與水槽（漏斗）	n. 燒杯	o. 注射器

二、實驗儀器

(一) 儀器原理

本實驗使用 FTIR 測量推進劑的組成與濃度，FTIR 的儀器運作原理是利用氣體分子在紅外光區之圖譜具有其獨特吸收波型，以此指紋特性進行氣體成分的定性，根據 Beer-Lamber-Bouguer(BLB)定律，利用氣體分子濃度與光譜吸收強度成正比之特性，量測推進劑組成與其濃度，原理如圖 1 所示。利用氣體分子之指紋特性，FTIR 的優點是能同時辨識不同氣體的組成，然而，同核雙原子分子（例如： O_2 、 N_2 ）在紅外光區不吸收，所以無法偵測，而本次實驗的目標氣體不包含此類型氣體，因此，確認本研究可使用 FTIR 進行實驗。

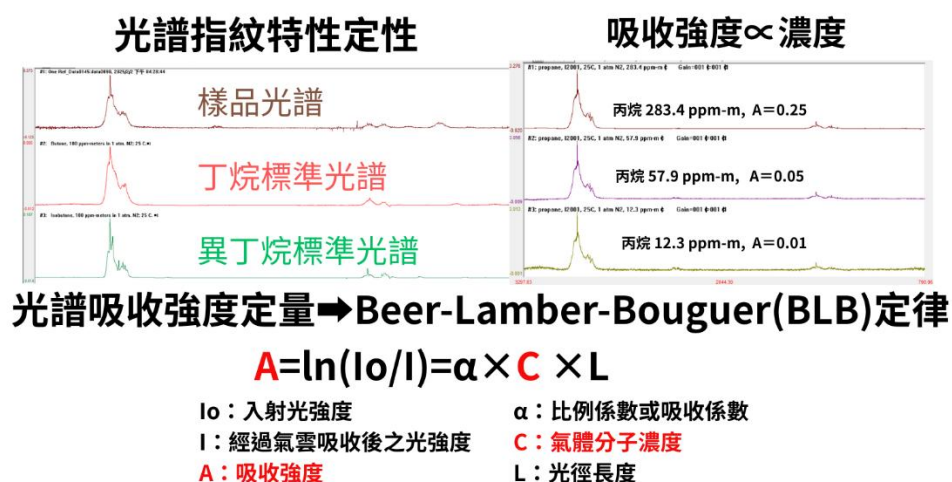


圖 1 利用紅外光譜的指紋特性定性，同時根據 BLB 定律對氣體分子濃度定量
(作者自行繪製，公式資料來源^[11])

(二) 儀器精準度測試

實驗前先針對本次所用之 FTIR（型號為 XplorIR，廠牌：908devices）依照標準操作方法建議進行校驗測試^[12]，校正氣體為 200ppm 的乙烯(C_2H_4 / N_2)，設備選用為自動判讀的連續監測模式，測試流程如所示，步驟 1.確認設備讀值為 0，步驟 2 將氣體樣品導入儀器中進行自動判讀與濃度計算，連續讀取 5 筆數值後之平均值為此批次結果，步驟 3 將氣袋樣品移開，確認讀值歸 0，完成此 3 步驟後即完成一次測試流程，爾後，再重複 4 次相同流程，即可完成 5 次乙烯氣體重複測試，測試結果如所表 4 列，由結果可知，FTIR 可自動判讀辨識乙烯氣體，並有良好的

準確度結果。

表 4 以 200 ppm 之乙烯氣體進行 FTIR 重複測試結果（作者自行製表）

次 \ (ppm)	讀值 1	讀值 2	讀值 3	讀值 4	讀值 5	平均值	標準差
第 1 次	202	201	200	199	203	201	$\sigma = 0.52$
第 2 次	202	200	203	201	202	202	
第 3 次	200	203	202	201	201	201	
第 4 次	202	202	200	202	203	202	
第 5 次	202	203	204	201	202	202	

更進一步，為確認 FTIR 對於推進劑辨識率及定量準確性，配置濃度為 67 ppm 的丁烷氣體樣品（ C_4H_{10} / N_2 ），進行如圖 2 相同步驟之重複測試 5 次，實驗結果顯示每一梯次 FTIR 皆能判讀氣體組成為丁烷，計算 5 個梯次重複測試結果如圖 3 所示，5 批次重複測試結果之標準差為 0.57，確認 FTIR 在推進劑之自動判讀結果，以及濃度計算之準確度都有良好的結果。

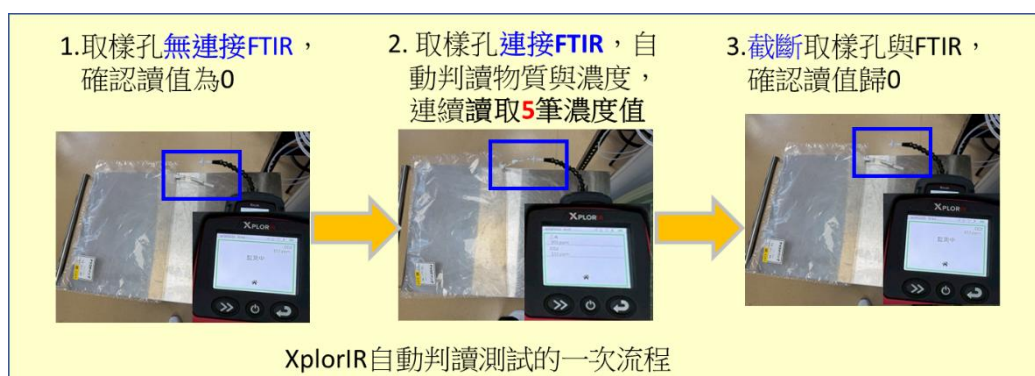


圖 2 氣體樣品進行重複測試之流程（作者自行拍攝與繪製）

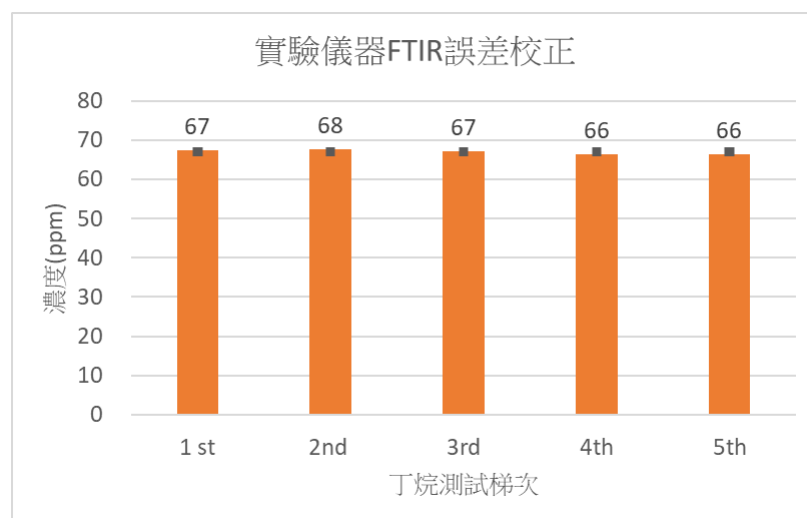


圖 3 丁烷氣體樣品 5 次重複測試結果（作者自行繪製）

參、研究過程或方法

本實驗採用內容分析研究法，依照研究對象（洗面乳、髮膠、刮鬍泡）之產品說明建議進行使用量假設，如圖 4 所示，各產品皆以手掌盛裝泡沫體積（ ~ 60 ml 盛皿體積）進行實驗推估。研究範圍示意如圖 5 所示，實驗假設情境有三種，第一種是將商品之泡沫擠壓在體積為 23.19 升的推進劑測試腔內，如圖 6 所示，再以 FTIR 偵測氣體種類與濃度，用來推估在浴室內使用時可能的暴露濃度；第二種情境是模擬使用產品時，在人呼吸帶可能暴露的濃度，因此，在距離泡沫 15 公分處以 FTIR 量測推進劑濃度，推進劑測試腔內之空間配置如圖 7 所示；第三種情境是藉由泡沫的流向調查推進劑對環境的影響，將情境二使用後的泡沫沖洗到設計之微型污水系統內，如圖 8 所示，再以 FTIR 量測污水系統液面上方的推進劑氣體濃度。以下將針對此三種情境之實驗流程進行說明：



圖 4 研究對樣使用量推估示意圖（作者自行拍攝）

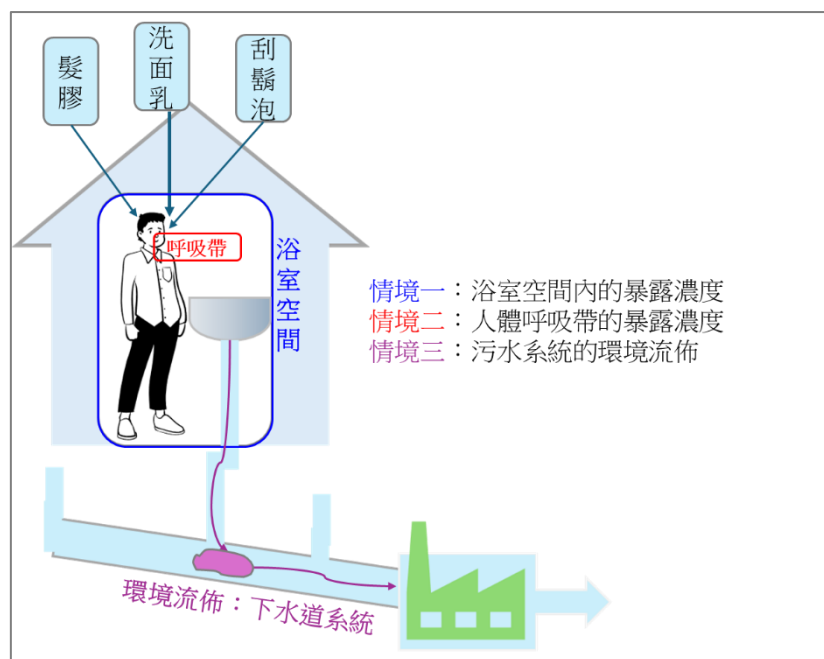


圖 5 研究範圍示意圖（作者自行繪製）



圖 6 測試腔大小示意圖（作者自行拍攝繪製）

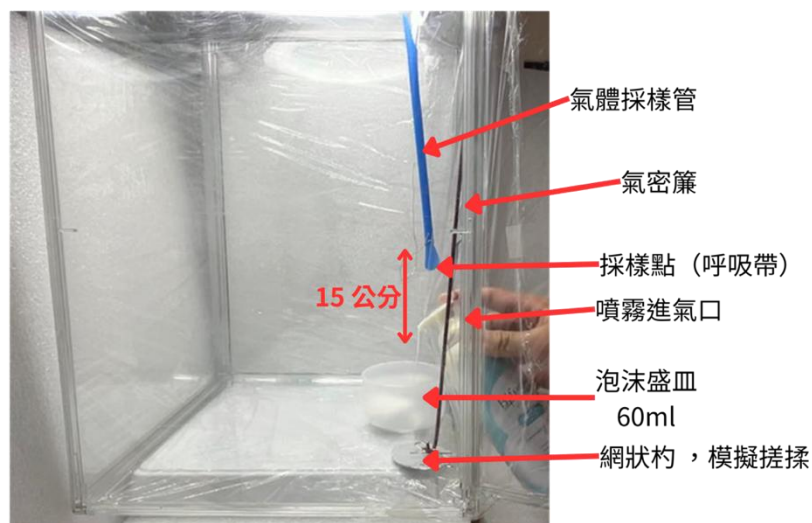


圖 7 測試腔空間配置圖（作者自行繪製）

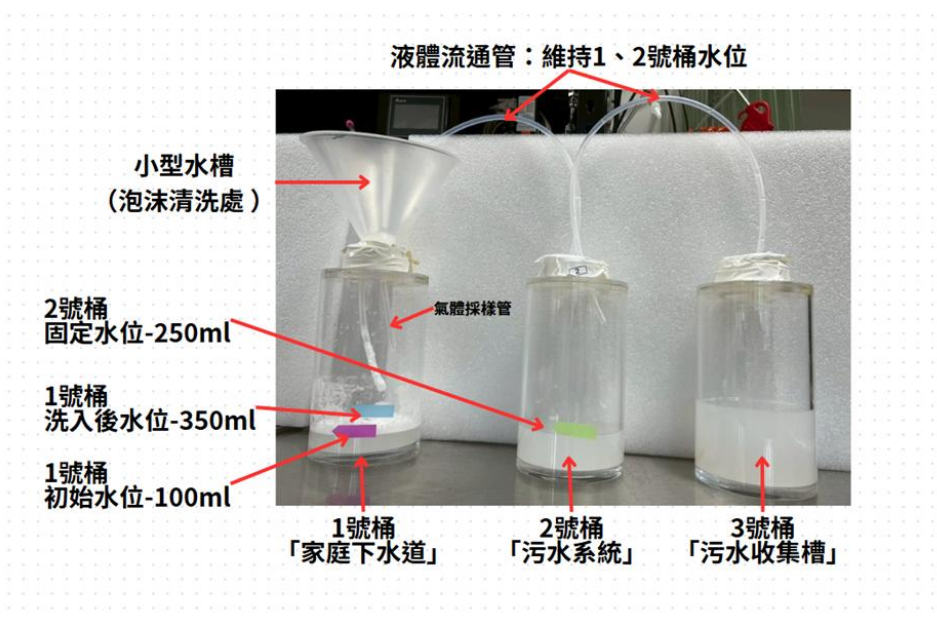


圖 8 微型化生活污水系統（作者自行拍攝繪製）

一、實驗流程

1. 實驗情境一：推進劑組成與浴室空間濃度推估

此實驗之目的主要是驗證推進劑組成與商品標示及文獻資料相符，將於測試腔內所測得的推進劑濃度值，以體積比稀釋法估算其浴室內空間濃度值。實驗流程如圖 9 所示，測試對象為實驗編碼 Bi 與 Sa，參考商品使用說明，將噴霧罐上下搖晃 10 次後，擠出體積約為 60ml 的泡沫至測試盛皿中，靜置 1 分鐘待氣體均勻分佈在測試腔內，在測試腔中間點進行氣體取樣分析，使用直讀式 FTIR 連續分析 3 分鐘，並記錄分析結果與最大濃度值。假設浴室空間為 4503.68 升，為測試腔的 194.2 倍大（ $4503.68 / 23.19 = 194.2$ ），依據理想氣體方程式 $PV=nRT$ ，在常溫常壓條件下，氣體濃度與體積成反比，將測試所得推進劑濃度值除以 194.2 即可推得該氣體浴室內空間內之濃度值。

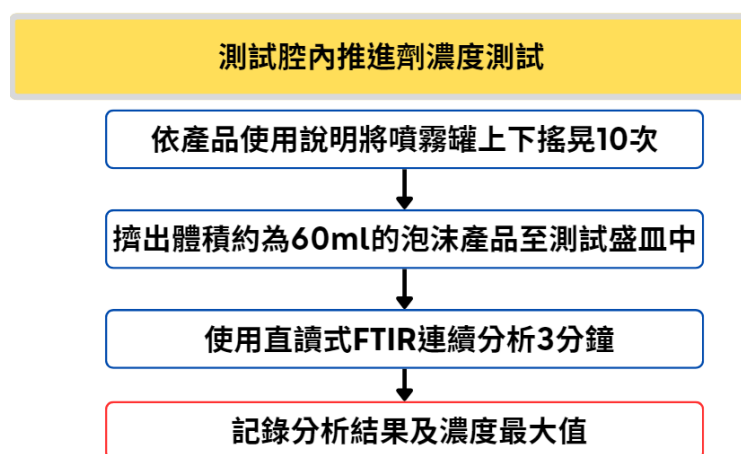


圖 9 推進劑組成與浴室空間濃度推估實驗流程（作者自行繪製）

2. 實驗情境二：模擬使用氣溶膠噴霧產品時，在人呼吸帶可能暴露的濃度

此實驗之目的主要是要瞭解在使用氣溶膠噴霧產品的短暫時間內，在人的呼吸帶位置可能暴露的推進劑濃度。實驗流程如圖 10 所示，測試對象為實驗編碼 Bi~Si，參考商品使用說明，將噴霧罐上下搖晃 10 次後，擠出體積約為 60ml 的泡沫至測試盛皿中，為了模擬實際使用產品時會搓揉泡沫的行為，使用一網狀杓持續擾動盛皿內泡沫達 3 分鐘，過程持續以直讀式 FTIR 連續量測，記錄分析結果與最大濃度值；但若量測過程氣體濃度超過直讀式 FTIR 偵測上限，則改以抽氣泵搭配體積為 2 升之氣袋進行氣體取樣後，再以抽氣式 FTIR 分析採集後氣體組成與濃度。

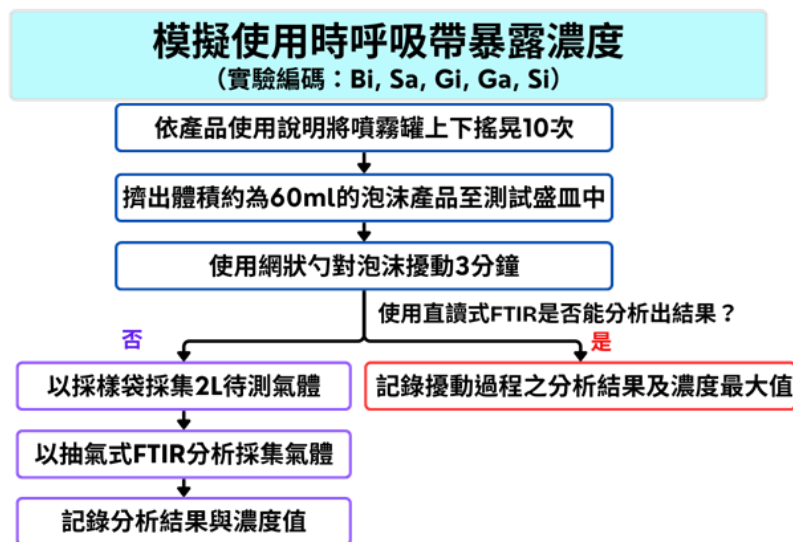


圖 10 模擬使用時呼吸帶暴露濃度之實驗流程（作者自行繪製）

3. 實驗情境三：模擬使用氣溶膠噴霧產品後，推進劑在污水系統的環境流佈

此實驗之主要目的在於調查推進劑對環境的影響，透過氣溶膠噴霧之泡沫產品流佈在污水系統中的足跡為何？測試對象編碼 Bi(洗面乳)與 Gi(刮鬍泡)使用後因清洗而流入水系統，因此以這兩研究對象各進行 3 次沖洗泡沫實驗。實驗流程如圖 11 所示，模擬污水系統，在 1 號桶內先導入 100 ml 的水，每次以 250 ml 之自來水將情境二使用後之泡沫沖洗入 1 號桶，靜置 2 分鐘後再以 FTIR 量測液面上推進劑濃度；接續模擬污水排放至其他管道，因此將 1 號桶內污水透過壓力平衡方式導入 2 號桶，相同的靜置 2 分鐘後再以 FTIR 量測 2 號桶污水上方推進劑濃度，當 2 號污水液面高於設定時，則再將污水導入 3 號桶蒐集。

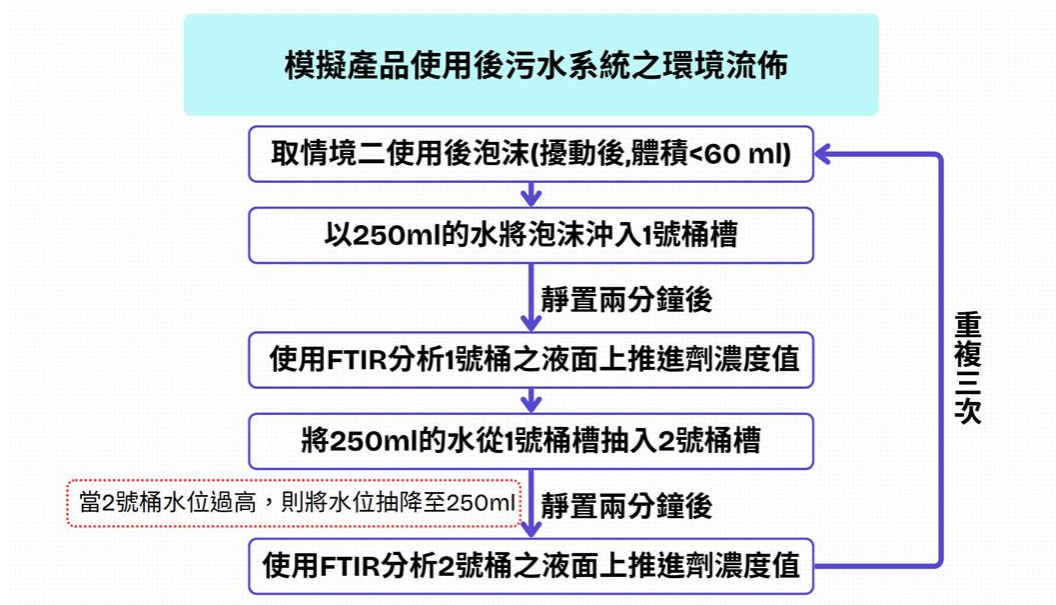


圖 11 模擬推進劑在污水系統環境流佈之實驗流程（作者自行繪製）

肆、研究結果

本研究共測試 5 種使用推進劑的市售產品，且推進劑標示為「石油氣」或「LPG」，主要目的在瞭解使用此類商品時，所釋放出來的推進劑在浴室空間內的濃度，以及模擬使用產品行為時，在使用者呼吸帶位置的可能暴露濃度，藉以此實驗結果探討推進劑對人體的危害與環境的影響；根據測試結果說明如下：

一、推進劑組成與浴室空間濃度推估

以情境一實驗流程進行 5 次重複測試結果，實驗代碼與 Bi 與 Sa 分別於體積為 23.19 升的測試腔內進行 5 次測試，結果如圖 12 與圖 13 所示，直讀式 FTIR 量測實驗代碼 Bi 產品之推進劑成分為異丁烷，5 次異丁烷濃度平均值為 95 ppm；而實驗代碼 Sa 的結果則顯示推進劑組成含丙烷及丁烷，5 次測試中有 3 次推進劑組成為丙烷與丁烷複合組成，其餘 2 次僅測得丙烷，丙烷平均濃度為 530.2 ppm，丁烷平均濃度為 322.3 ppm。由 FTIR 量測推進劑組成主要有丙烷、丁烷與異丁烷，樣品圖譜與標準圖譜比對結果如圖 14 與圖 15 所示，此結果與商品標示及文獻資料^[13]顯示之推進劑成分組成相符。

以本研究者居家浴室空間為例，馬桶與洗手台空間體積忽略不計，浴室內部空間體積約為 4503.68 升，假設無通風換氣條件下，浴室空間體積為推進劑測試腔的 194.2 倍（ $4503.68 / 23.19 = 194.2$ ），將圖 12 與圖 13 濃度值除以 194.2 倍即可得浴室空間內推進劑平均濃度值，如圖 16 與圖 17 所示。根據計算結果，使用 Bi 產品時浴室內異丁烷平均濃度為 0.49 ppm，使用 Sa 產品時在浴室丙烷平均濃度為 2.73 ppm，丁烷平均濃度則為 1.66 ppm，上述推進劑濃度皆遠低於立即危害濃度。

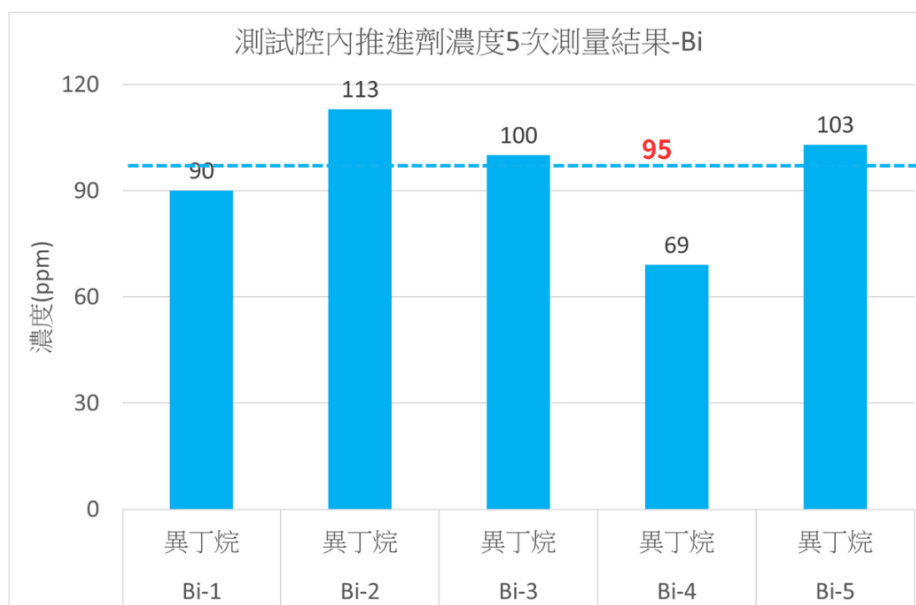


圖 12 情境一實驗測試腔內 Bi 產品推進劑濃度（作者自行繪製）

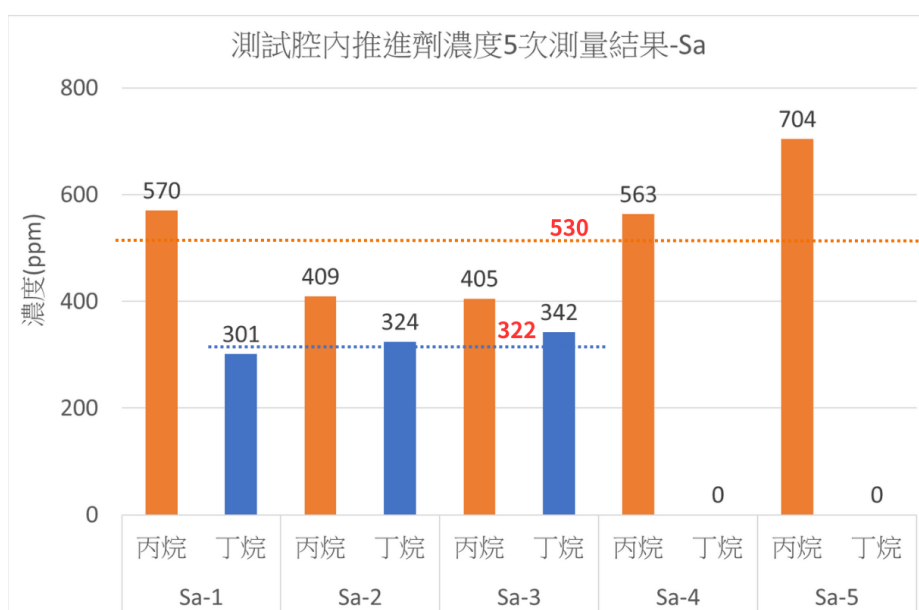


圖 13 情境一實驗測試腔內 Sa 產品推進劑濃度（作者自行繪製）

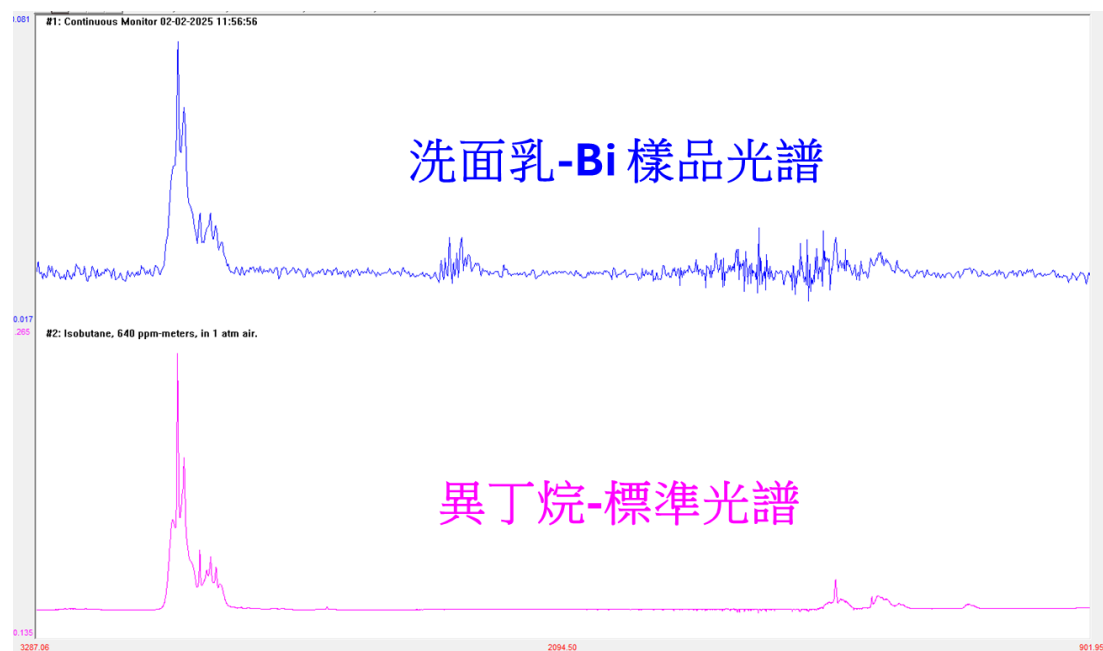


圖 14 實驗編碼 Bi 產品推進劑組成圖譜與異丁烷圖譜比對圖（作者自行繪製）

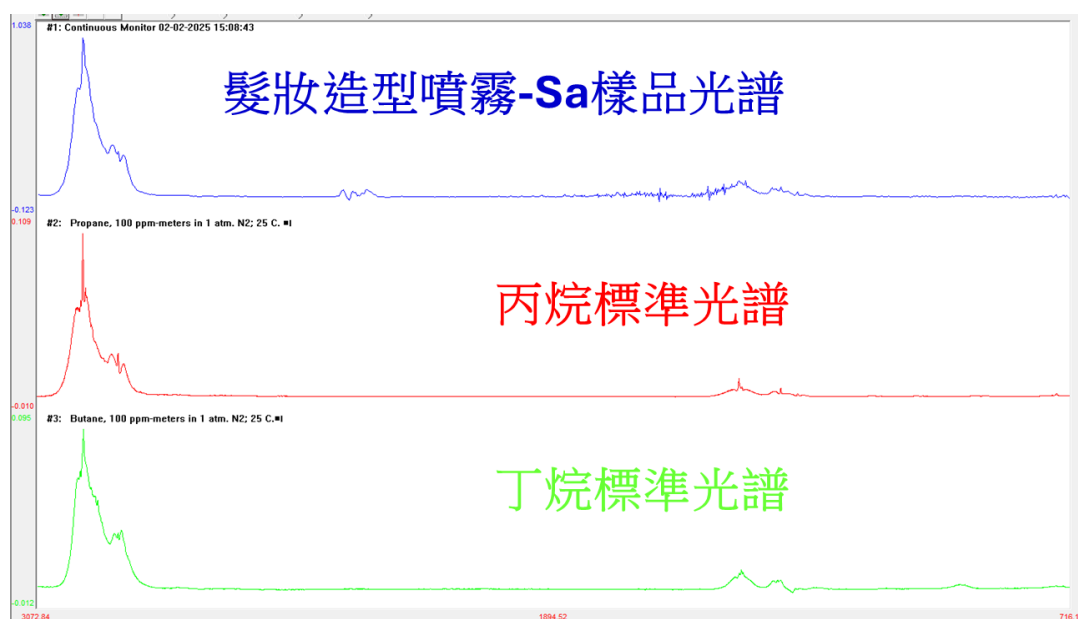


圖 15 實驗編碼 Sa 產品推進劑組成圖譜與丙烷與丁烷圖譜比對圖（作者自行繪製）

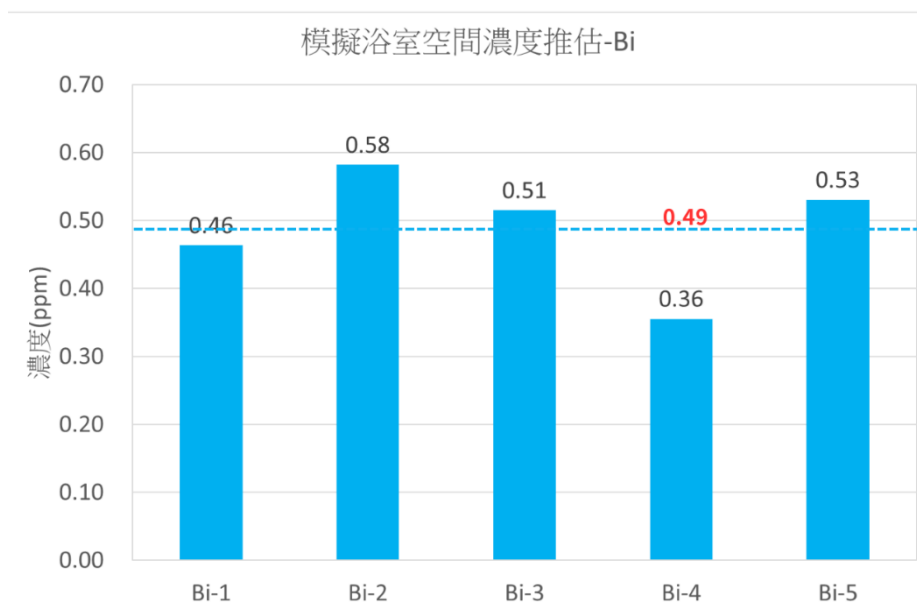


圖 16 實驗編碼 Bi 產品在浴室空間內濃度推估結果（作者自行繪製）

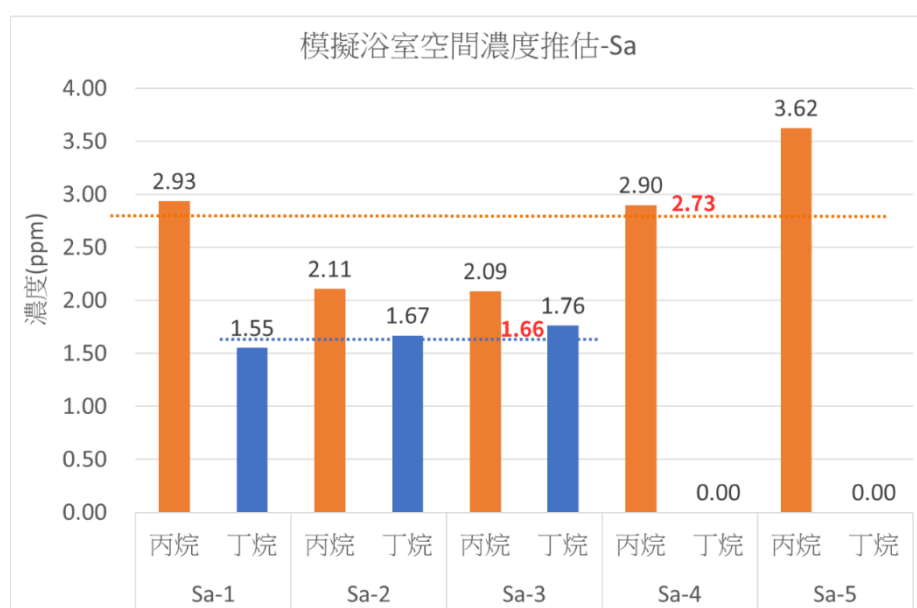


圖 17 實驗編碼 Sa 產品在浴室空間內濃度推估結果（作者自行繪製）

二、模擬使用氣溶膠噴霧產品時，在人呼吸帶可能暴露的濃度

以情境二實驗流程進行 5 次重複測試結果，實驗代碼與 Bi 與 Sa 分別於體積為 23.19 升的測試腔內進行 5 次測試，結果如圖 18 與圖 19 所示。以直讀式 FTIR 分析結果，推進劑組成仍與情境一相同，然而，在情境二持續擾動泡沫之實驗條件下，實驗代碼 Bi 的 5 次實驗平均濃度為 254.4 ppm，相較於情境一的平均濃度 95.0 ppm，明顯提升 5.52 倍；實驗代碼 Sa 的 5 次實驗結果，丙烷平均濃度為 1248.4 ppm，丁烷平均濃度為 634.8 ppm，

相較於情境一之結果，亦有明顯提升。

將實驗代碼 Bi 與 Sa 兩種情境之實驗結果彙整如表 5 所列，透過 T-test 量化分析結果顯示，實驗代碼 Bi 的異丁烷濃度之 P 值約為 0.001(<0.05)，代表泡沫擾動後異丁烷濃度有顯著的提升；而實驗代碼 Sa 之丙烷濃度增加比例為 235%、丁烷濃度增加比例為 197%，經由 T-test 量化分析結果顯示丙烷 P 值約為 0.027(<0.05)、丁烷 P 值約為 0.040(<0.05)，代表泡沫擾動後丙烷、丁烷濃度皆有顯著的分析。綜上所述，比較 Bi、Sa 兩情境之實驗結果發現，產品泡沫擾動後 FTIR 所測得濃度有顯著的提升。

將產品代碼 Si、Ga 與 Gi 同樣進行情境二之實驗條件，結果彙整如圖 20 與表 6 所列，Si 的結果顯示推進劑組成含丙烷、丁烷、異丁烷，丙烷的濃度為 1149.3 ppm，丁烷的濃度為 214.5 ppm，異丁烷的平均濃度為 251.1 ppm。Gi 的結果顯示推進劑組成含丁烷、異丁烷，丁烷的濃度為 1764.1 ppm，異丁烷的濃度為 508.1 ppm。Ga 的結果顯示丁烷推進劑組成含丁烷、異丁烷，丁烷的濃度為 2079.9 ppm，異丁烷的濃度為 892.3 ppm。參考文獻資料的丙烷、丁烷、異丁烷的立即致危濃度(Immediately Dangerous to Life and Health，簡稱 IDLH)^[14]進行比較，其中實驗代碼 Ga 與 Gi 的丁烷濃度高於立即致危濃度，顯示在情境二實驗條件下使用該產品，呼吸帶所測得之丁烷高於立即致危濃度，暴露在這樣的濃度下可能會對人體健康造成危害，丁烷可能危害健康的結果也與文獻資料^{[6][7][8][9]}相符。

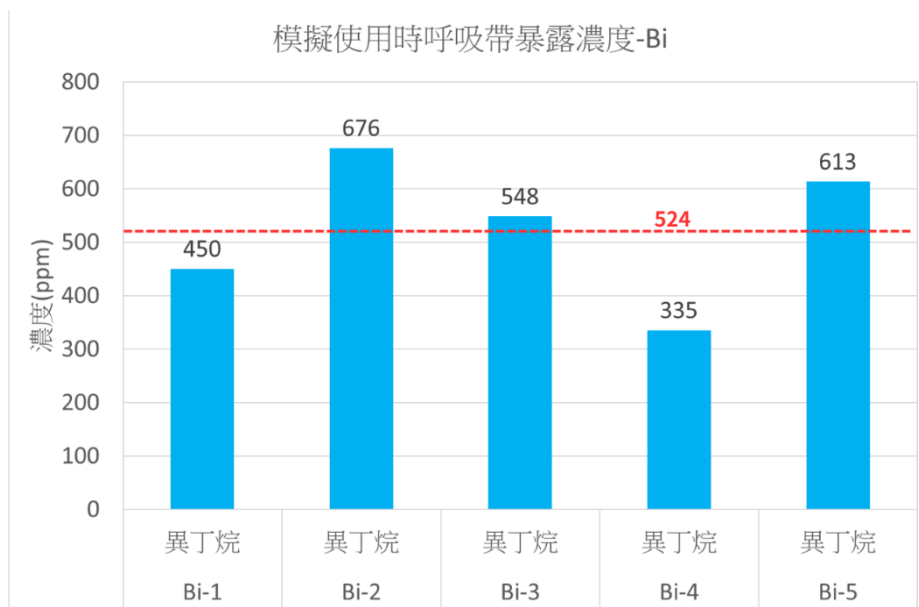


圖 18 情境二實驗編碼 Bi 模擬使用時呼吸帶推進劑量測結果與濃度（作者自行繪製）

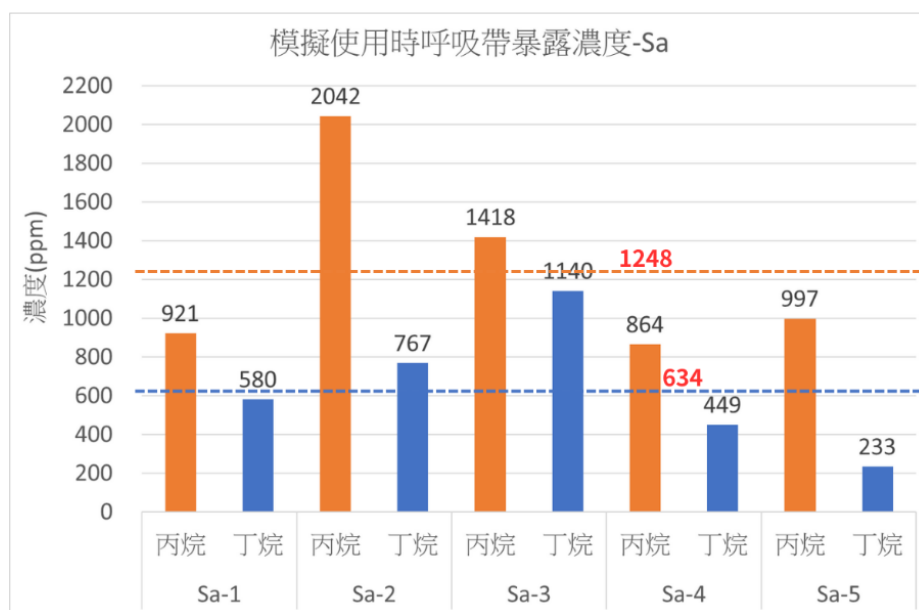


圖 19 情境二實驗編碼 Sa 模擬使用時呼吸帶推進劑量測結果與濃度（作者自行繪製）

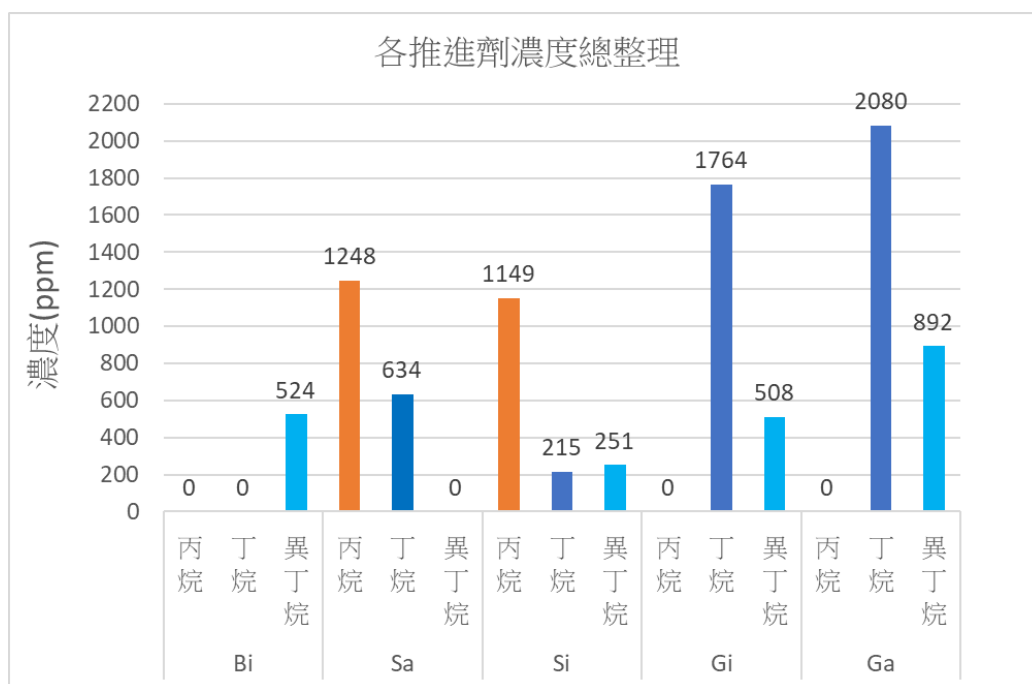


圖 20 情境二 5 種含推進劑商品模擬使用時呼吸帶濃度量測結果（作者自行繪製）

表 5 實驗代碼 Bi 與 Sa 兩種實驗情境之結果比較（作者自行製表）

實驗代碼		Bi	Sa	
產品類型		洗面乳	髮妝造型品	
推進劑分析成分		異丁烷	丙烷	丁烷
測試腔 內	平均濃度(ppm)	95.0	530.2	322.3
	標準差	16.7	125.7	20.6
推估浴室內平均濃度 (ppm)		0.49	2.73	1.66
呼吸帶 暴露	平均濃度(ppm)	524.4	1248.4	634.8
	標準差	139.4	494.1	343.4
擾動泡沫 濃度增加比例(%)		524/95*100% =551%	1248/530*100% =235%	634/322*100% =197%
有無擾動泡沫比較 T 檢定 p 值		P≈0.001***	P≈0.027*	P≈0.040*

P<0.05*. P<0.01**. P<0.001***

表 6 5 種含推進劑商品在情境二之實驗結果（作者自行製表）

實驗代碼	Bi	Sa		Si			Ga		Gi	
產品類型	洗面乳	髮妝造型品							刮鬍泡	
推進劑成分	異丁烷	丙烷	丁烷	丙烷	丁烷	異丁烷	丁烷	異丁烷	丁烷	異丁烷
呼吸帶濃度 (ppm)	254.4	1248.4	633.8	1149.3	214.5	251.1	2079.9	892.3	1764.1	508.1
IDLH (ppm)	1800	2100	1600	2100	1600	1800	1600	1800	1600	1800

三、調查氣溶膠噴霧泡沫產品使用後，推進劑隨泡沫到污水系統的環境流佈

此實驗主要針對泡沫產品會透過污水流佈至環境中之情境，因此，研究對象以實驗代碼 Bi(洗面乳)及 Gi(刮鬍泡)為標的，以情境三的實驗流程進行三次累積測試結果，實驗代碼 Bi 與 Gi 的 1 號桶推進劑濃度結果如圖 21 所示，根據 FTIR 分析其結果，在污水系統內所測得之推進劑的組成與情境二相同，Bi 之推進劑為異丁烷，而 Gi 之推進劑則為丁烷與異丁烷，除此之外，無論是何種推進劑，在 1 號桶上方之濃度都會隨著清洗次數增加而增加，例如第一次清洗 Bi 之泡沫後，在 1 號桶所測得之異丁烷濃度為 15269.0 ppm，第二次清洗後則提升至 16157.6ppm，第三次則提升至 32255.7 ppm；相同地，Gi 的 3 次清洗泡沫實驗亦有相同趨勢，這表示推進劑隨泡沫流入污水系統後，會被釋出在污水系統的氣體空間內，且有持續累積的特性。

另外，微小型污水系統的 2 號桶污水乃源自於 1 號桶液面下污水體，透過壓力調節方式將其由 1 號引入 2 號，在 2 號桶液面上 FTIR 也可測得相同的推進劑成分，如圖 22 所示，這表示推進劑可透過污水攜帶流佈至其他區域。

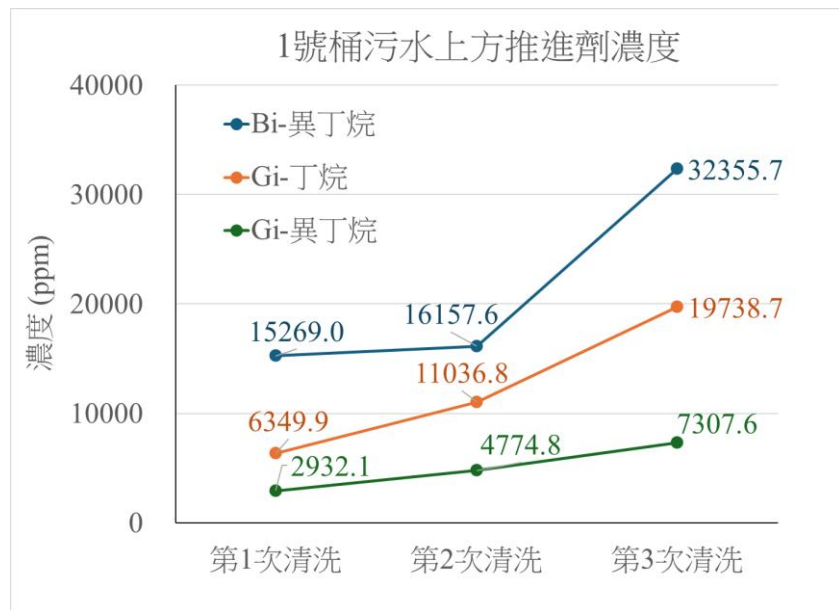


圖 21 情境三的 3 次泡沫清洗累積後 1 號桶污水上方推進劑濃度（作者自行繪製）

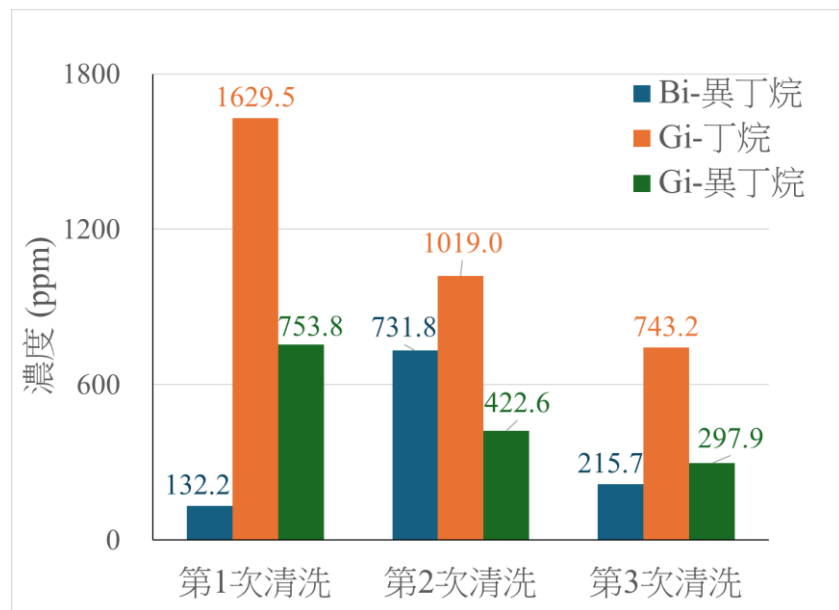


圖 22 情境三的 3 次泡沫清洗累積後 2 號桶污水上方推進劑濃度（作者自行繪製）

伍、討論

本研究之目的在探討使用含推進劑產品情境下，推進劑釋放出來的劑量或濃度，是否對我們人體、環境造成影響。根據實驗結果，本研究實驗對象標示之推進劑為「石油氣」或「LPG」與實際量測結果相符，推進劑種類有丙烷、丁烷、異丁烷，此結果也吻合文獻資料^[13]。

含推進劑之產品使用量因個人需求而有所變異，於本實驗條件下模擬使用氣溶膠產品時，在呼吸帶量測推進劑的氣體濃度，結果呼應文獻資料，這些推進劑如丙烷、丁烷和異丁烷，對人體中樞神經及某些器官可能造成危害。然而，現行法規並未對這些物質的暴露容許濃度進行明確規範。除了在高濃度下可能引發急性健康危害外，長期接觸這些推進劑所導致的慢性健康影響仍然未知。雖然產品使用習慣與使用環境會影響呼吸帶推進劑的濃度，此次實驗中有部分數據高於立即致危濃度，表示在使用時可能對人體健康造成危害。

除此之外，由實驗結果發現，含推進劑產品之泡沫在擾動後，腔體內所測得推進劑濃度顯著上升，推測可能原因為擾動過程將泡沫破壞，致使包覆於當中的高濃度推進劑被釋放出來，而使量測數值明顯提升，這一結果亦透過 T 檢定驗證。文獻資料顯示泡沫能夠從周圍環境中收集並濃縮化學物質，這些化學物質包括污染物^[15]，這意味著泡沫能成為化學物質的載體，在本次研究的情境三實驗也證實了相同的結果，綜合實驗與文獻資訊^[15]可推得，擠出泡沫中可能含有高濃度的推進劑，基於安全與健康考量，建議使用時應在通風良好的環境中，並避免任何可能的引火源。在污水系統的環境流佈實驗結果，證實氣體推進劑會隨著泡沫產品流佈到污水系統各處，且可能有局部空間的累積特性，當下水道系統局部濃度累積至可能引發燃燒或爆炸之風險時，便有城市安全之虞。

根據聯合國氣候變化專門委員會（IPCC）發布的資料，丙烷、丁烷和異丁烷均屬於溫室氣體，其使用將對環境造成負擔^[16]，這不僅對氣候變化產生影響，也可能對生態系統造成潛在的損害。因此，在推進劑的使用和管理上，應考慮其環境影響，並尋求更為環保的替代品或技術，以降低對環境的負擔。

綜合上述，本研究強調了氣溶膠推進劑在人體健康和環境安全方面的潛在風險，未來的研究可針對這些推進劑在環境中的可能流佈再進一步探討，並制定更為完善的規範和使用指引，以確保使用者的安全和環境的永續性。

陸、結論

本研究目的是在測試氣溶膠噴霧產品使用時推進劑之釋出量，用來瞭解我們日常生活中使用這類產品時，推進劑釋放出來的劑量或濃度，暴露在這樣的濃度或劑量下是否對我們人體、環境造成影響，實驗結果顯示氣溶膠噴霧產品推進劑種類為丙烷、丁烷、異丁烷，此結果與文獻相符，實驗時部分推進劑濃度高於 IDLH，表示可能危害人體健康，也與文獻資料相符合，更重要的是，氣態的推進劑也會隨泡沫產品流佈至下水道或污水系統，且具有局部空間累積特性，致使城市下水道有安全之隱憂。除此之外，根據聯合國氣候變化專門委員會（IPCC）報告，丙烷、丁烷和異丁烷等此類推進劑均屬於溫室氣體，使用後若未經妥善處置而排放至環境中，將對環境與生態造成影響。因此，在推進劑的使用和管理上，不僅要考量對人體健康之危害，還要評估長期環境影響，並尋求更為環保的替代技術或商品，以降低對人類與環境的負面影響，尋求環境永續。

柒、參考文獻資料

- [1] 空品之最. (n.d.). 環境部.
https://airtw.moenv.gov.tw/cht/Encyclopedia/pedia09/pedia9_2.aspx
- [2] PubChem. (n.d.). National Library of Medicine. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- [3] A. Ciftci Demirci, A. Erdoğan, O. Yalçın, E. Yıldızhan, Z. Koyuncu, T. Eseroğlu, A. Önder, C. Evren, Sociodemographic characteristics and drug abuse patterns of adolescents admitted for substance use disorder treatment in Istanbul, *Am. J. Drug. Alcohol Abuse* 41 (3) (2015) 212–219.
- [4] A. Esmail, H.L. Anderson, J.D. Ramsey, J. Taylor, A. Pottier, Controlling deaths from volatile substance abuse in under 18s: the effects of legislation, *BMJ* 305 (6855) (1992) 692.
- [5] H. Pfeiffer, M. Al Khaddam, B. Brinkmann, H. Köhler, J. Beike, Sudden death after isobutane sniffing: a report of two forensic cases, *Int. J. Legal Med.* 120 (3) (2006) 168–173
- [6] Almulhim, K. N. (2017). Fatal Butane Toxicity and Delayed Onset of Refractory Ventricular Fibrillation. *Saudi Medical Journal*, 38(2017), 1251–1252.
<https://doi.org/10.15537/smj.2017.12.20811>
- [7] Sironi, L., Amadasi, A., & Zoja, R. (2016). Recreational Inhalation of Butane and Propane in Adolescents: Two Forensic Cases of Accidental Death. *Forensic Science International*, 266, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.05.028>
- [8] S.H. Dinwiddie, Abuse of inhalants: a review, *Addiction* 89 (8) (1994) 925–939.
- [9] Yun, J., Jang, S.H., Cho, H. *et al.* Neuropsychological, neuroimaging and autopsy findings of butane encephalopathy. *BMC Neurol* 23, 223 (2023).
<https://doi.org/10.1186/s12883-023-03278-4>
- [10] Carrefour 家樂福. (n.d.). 家樂福線上購物. <https://reurl.cc/0Kr6Vl>
Biferta 碧菲絲特, <https://reurl.cc/DqVm96>

SASSOON 沙宣, <https://reurl.cc/RYZOZn>

Sifone 絲逸歡, <https://reurl.cc/AMNy5Z>

GATSBY, <https://reurl.cc/VYdRAQ>

Gillette 吉列, <https://reurl.cc/aeW153>

[11] The Beer-Lambert Law. (2021, July 8). EDINBURGH INSTRUMENTS.

<https://www.edinst.com/resource/the-beer-lambert-law/>

[12] U.S. EPA, Method 320 Measurement of Vapor Phase Organic and Inorganic Emissions by Extractive Fourier Transform Infrared 1-14-2019.

[13] Xie, S. (2023, March 27). *World of Aerosol Products Production(1): What Are Personal Care Aerosols?* LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/world-aerosol-products-production1-what-personal-care-stephy-xie-at/>

[14] *The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*. (2021, February 27).

Immediately Dangerous To Life or Health (IDLH) Values.

<https://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>

[15] *Foam & Chemical Contamination in Waterways*. (2015, December). NSW Environment Protection Authority. [https://www.epa.nsw.gov.au/-/media/epa/corporate-](https://www.epa.nsw.gov.au/-/media/epa/corporate-site/resources/epa/foam-chemical-contamination-in-waterway.pdf)

[site/resources/epa/foam-chemical-contamination-in-waterway.pdf](https://www.epa.nsw.gov.au/-/media/epa/corporate-site/resources/epa/foam-chemical-contamination-in-waterway.pdf)

[16] *The Intergovernmental Panel on Climate Change*. (n.d.). IPCC. <https://www.ipcc.ch/>

【評語】 052609

本作品測試氣溶膠噴霧產品使用時推進劑的釋出量，以 FTIR 測量測試腔內推進劑種類及濃度，用以推估浴室空間濃度，模擬使用時人體呼吸暴露量及污水系統中的累積量，以評估其對人體與環境的潛在影響。研究中由問題、背景進而推至研究假設的路徑清楚。實驗中有考量批次間的實驗偏差，可反應實驗的精確度，也體現樣品間是否確實產生差異。此研究成果可用於未來產品安全性評估與替代產品探討之用。

相關建議與問題如下：

1. 丙烷、丁烷與異丁烷的特徵峰位置相近，如何對標的物定性與經確定量？
2. 以主動抽氣採樣方式採集樣品是否會對逸散源周界氣流產生擾動而產生濃度偏差？
3. 擾動組的結果變異性大，可以討論原因。
4. 濃度增長比例以實驗腔體中平均濃度為基數的原因為何？是否該以背景濃度為基數。

作品海報

使用氣溶膠噴霧產品對人體與環境是否造成危害探討

摘要

本實驗旨在測試氣溶膠噴霧產品使用時推進劑之噴出量，以了解日常使用此類產品時推進劑之暴露量是否對人體、環境造成影響。研究對象為五種市售氣溶膠噴霧商品，包括洗面乳、髮妝造型噴霧以及刮鬍泡。本實驗採用內容分析研究法，以FTIR測量測試腔內推進劑種類及濃度，用以推估浴室空間濃度、模擬使用時人體呼吸帶暴露量、以及污水系統中的累積量。分析方法包括FTIR紅外光譜分析、T-test量化分析。結果顯示，測試商品中推進劑的種類為丙烷、丁烷、異丁烷，部分丁烷使用時濃度高於立即致危濃度(IDLH)，表示可能對人體有危害，使用後推進劑隨殘餘泡沫流佈污水系統，亦可能對城市安全及環境造成影響，因此，建議應制定完善的規範，以確保使用者的安全和環境的永續性。

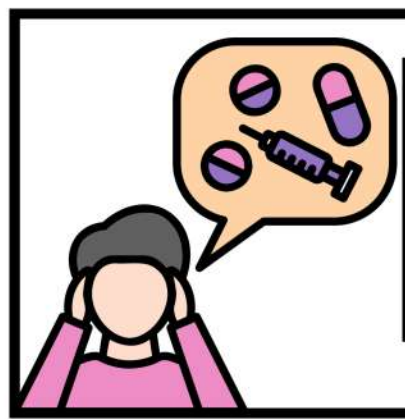
研究動機、目的

氣溶膠噴霧罐在日常生活中普遍使用，特別是推進劑為基礎的洗面乳，能省去傳統乳膏式洗面乳的麻煩，並使髮膠和香水的使用更為方便。然而，廠商使用的推進劑為液化石油氣（liquefied petroleum gas,簡稱LPG），這些物質仍然存在風險。例如，丁烷的爆炸下限為1.55%，顯示其使用過程中的危險。本研究的主要目的有：

- 探討推進劑的組成有什麼？
- 探討使用氣溶膠噴霧產品推進劑對人體暴露是否有危害？
- 探討使用氣溶膠噴霧產品對環境是否有影響？

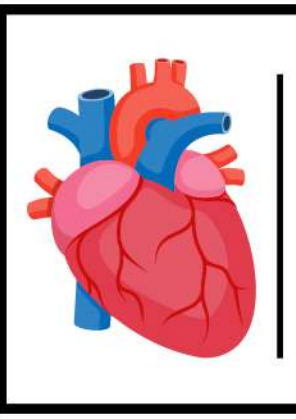
文獻探討

- 1.推進劑（如LPG）具有爆炸性和易燃性，屬於窒息性氣體的一種[1]。
- 2.丁烷暴露存在嚴重中樞神經系統和心臟毒性的風險，導致致命的結果[2];
- 3.國際法醫學在2016年發表兩起因吸入丙烷和丁烷混合物而意外死亡的案例[3]
- 4.丙烷、正丁烷、異丁烷、正戊烷，含有此類碳氫化合物的產品已使用廣泛、成本低廉、易於獲取使它們成為各個社會階層的年輕人和成年人濫用的藥物[4][5]
- 5.根據環境部[6]資料，揮發性有機物可作為臭氧的前驅物，在特定的環境條件和陽光強度下，可能與氮氧化合物（NOx）反應生成高濃度臭氧。



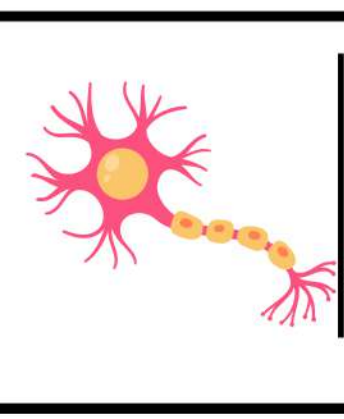
成癮

近期青少年將丙、丁烷作為吸入劑的事件越來越多



心臟毒性

對心臟具有刺激性，會導致心律不整，猝死



中樞神經

可能導致中毒性腦病變
認知功能障礙



安全危害

揮發性有機物被列為空氣污染物的一種，有燃燒爆炸危害

(作者自行繪製 圖片來源：Canva)

研究設計

- 1.實驗材料：由商場購入5種氣溶膠噴霧產品[7]

實驗代碼	Bi	Sa	Si	Ga	Gi
產品類型	洗面慕斯	髮妝造型噴霧			刮鬍泡
廠牌	Bifesta 碧菲斯特	SASSON 沙宣	Sifone 絲逸歡	GATSBY	Gillette 吉列
規格（容量）	180g	150ml	150ml	65ml/45g	210g
標示推進劑	LPG碳酸瓦斯	LPG	LPG	LPG	石油氣
商品外觀					

(作者自行製表)

- 2.測試儀器與原理：

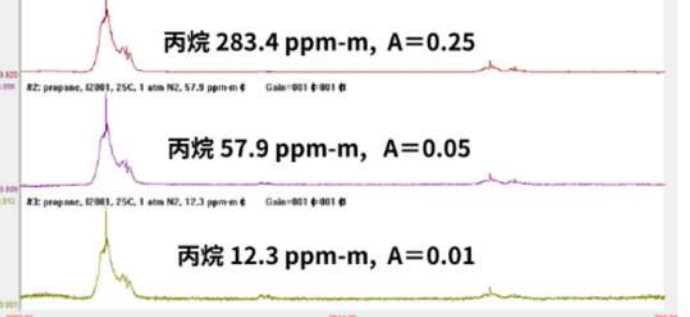
Fourier-transform infrared spectroscopy, 簡稱FTIR，利用氣體分子在紅外光區之圖譜具有指紋特性，且分子濃度與光譜吸收強度成正比之特性，量測推進劑組成與其濃度[8]。

光譜指紋特性定性



樣品光譜
丁烷標準光譜
異丁烷標準光譜

吸收強度∝濃度



丙烷 283.4 ppm-m, A=0.25
丙烷 57.9 ppm-m, A=0.05
丙烷 12.3 ppm-m, A=0.01

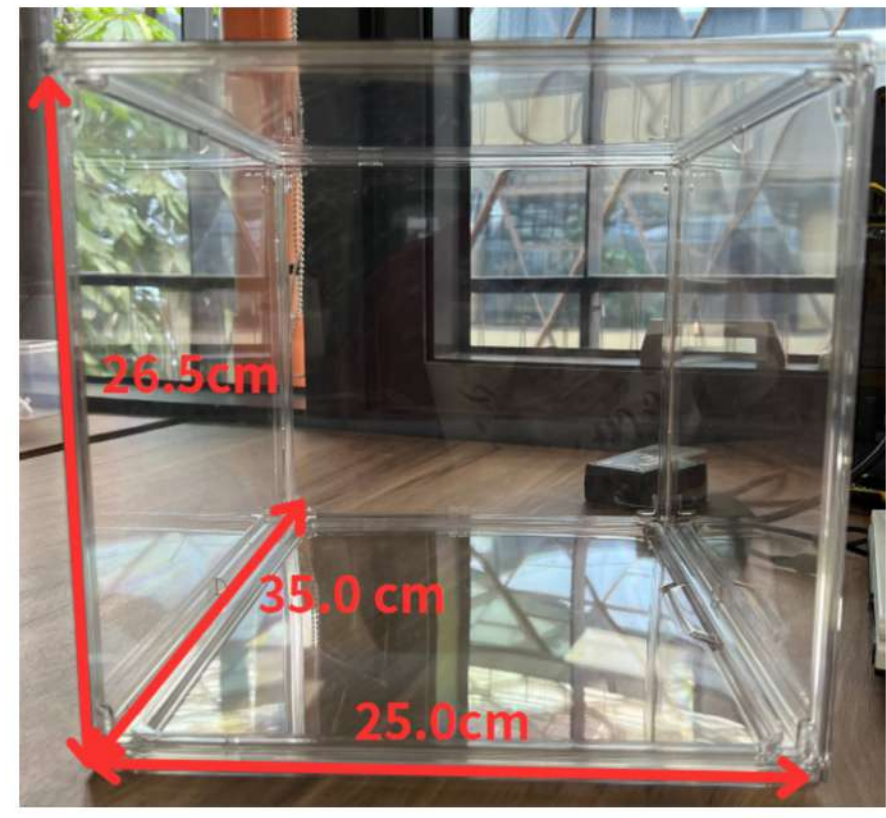
光譜吸收強度定量→Beer-Lamber-Bouguer(BLB)定律

$$A=\ln(I_0/I)=\alpha\times C\times L$$

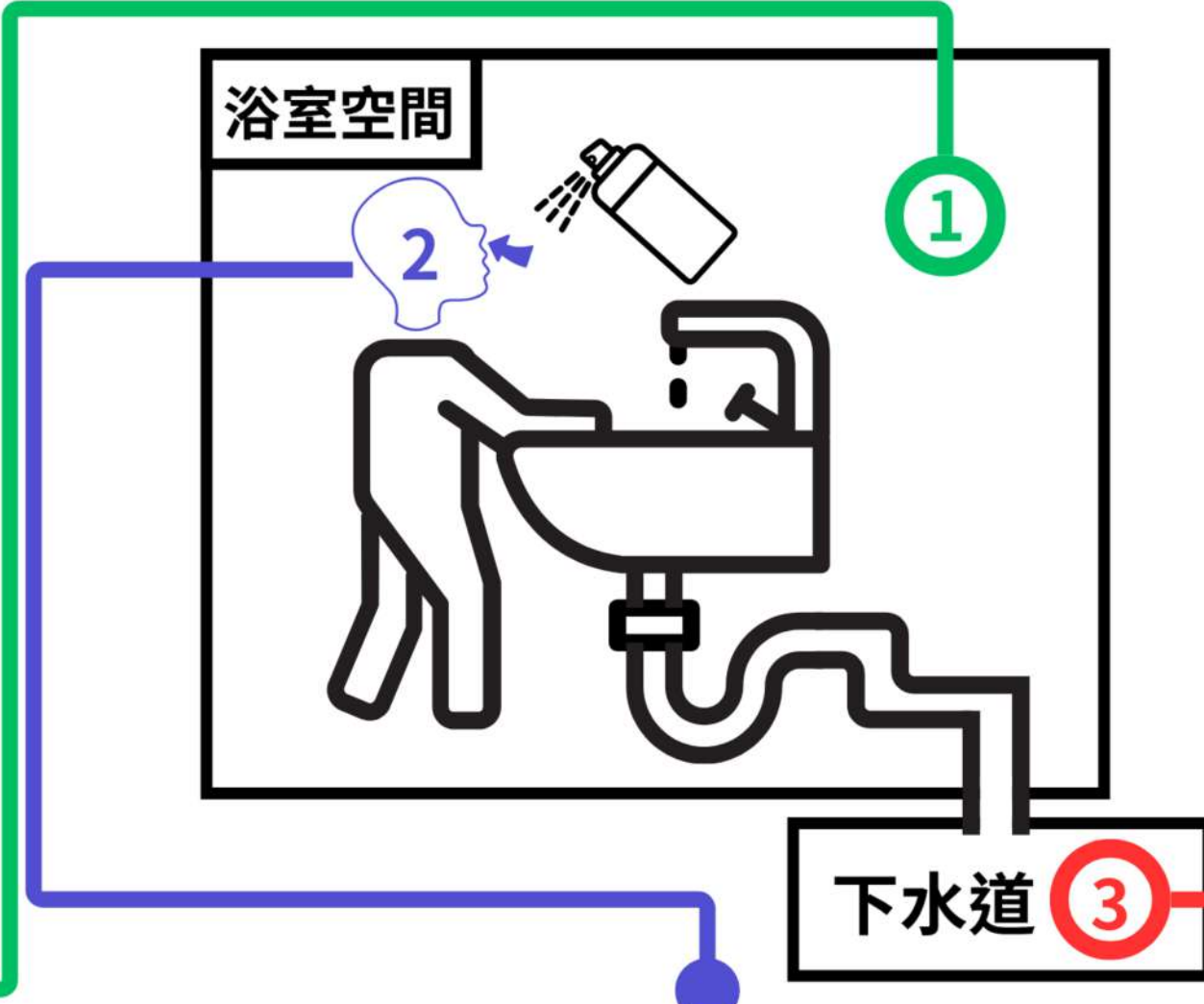
I_0 ：入射光強度
 I ：經過氣霧吸收後之光強度
 A ：吸收強度
 α ：比例係數或吸收係數
 C ：氣體分子濃度
 L ：光徑長度

(作者自行繪製)

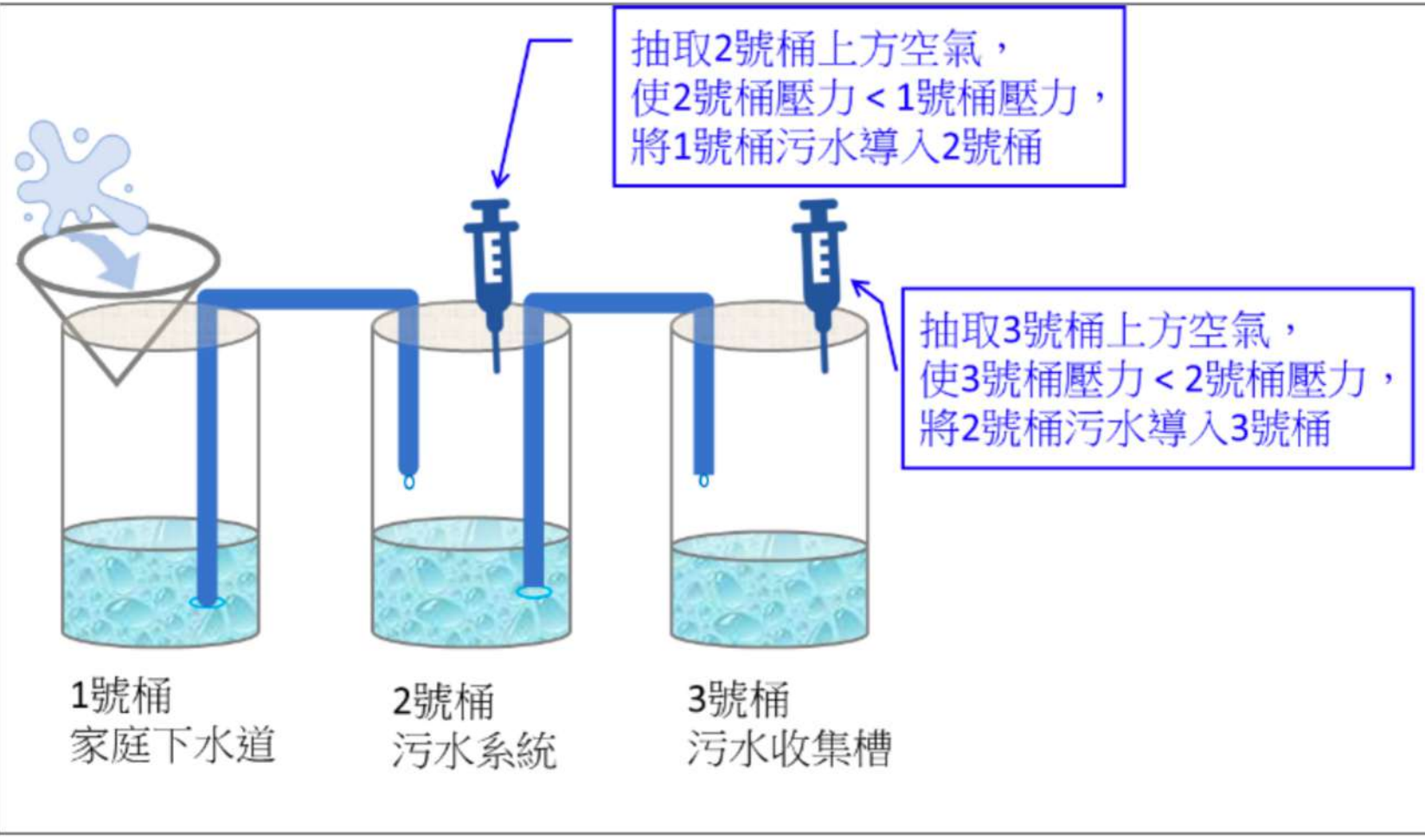
實驗情境介紹



測試腔體積= 35 * 25.0 * 26.5 cm
= 23.188 L



浴室空間
下水道



1號桶 家庭下水道
2號桶 污水系統
3號桶 污水收集槽

測試腔內推進劑濃度測試

- ① 依產品使用說明將噴霧罐上下搖晃10次
- ② 擠出體積約為60ml的泡沫產品至測試盛皿中
- ③ 使用直讀式FTIR連續分析3分鐘

記錄分析結果及濃度最大值

模擬使用時呼吸帶暴露濃度

- ① 依產品使用說明將噴霧罐上下搖晃10次
- ② 擠出體積約為60ml的泡沫產品至測試盛皿中
- ③ 使用網狀勺對泡沫擾動3分鐘

使用直讀式FTIR是否能分析出結果？

否：以採樣袋採集2L待測氣體 → 以抽氣式FTIR分析採集氣體 → 記錄分析結果與濃度值

是：記錄擾動過程之分析結果及濃度最大值

模擬產品使用後污水系統之環境流佈

取情境二使用後泡沫（擾動後）

- ① 以250ml的水將泡沫沖入1號桶槽
- 靜置兩分鐘後
- 使用FTIR分析1號桶之液面上推進劑濃度值
- ② 將250ml的水從1號桶槽抽入2號桶槽
- 靜置兩分鐘後
- ③ 2號桶槽水位過高，則將水位抽降至250ml
- 使用FTIR分析2號桶之液面上推進劑濃度值

重複三次

②將泡沫噴入測試盛皿



③FTIR連續測試3分鐘



②將泡沫噴入測試盛皿



③網狀勺擾動3分鐘，FTIR連續測試



① 1號桶「家庭下水道」



② 2號桶「污水系統」



③ 3號桶「污水收集槽」



(作者自行拍攝、繪製)

實驗結果

推進劑種類分析、使用情境推進劑濃度比較

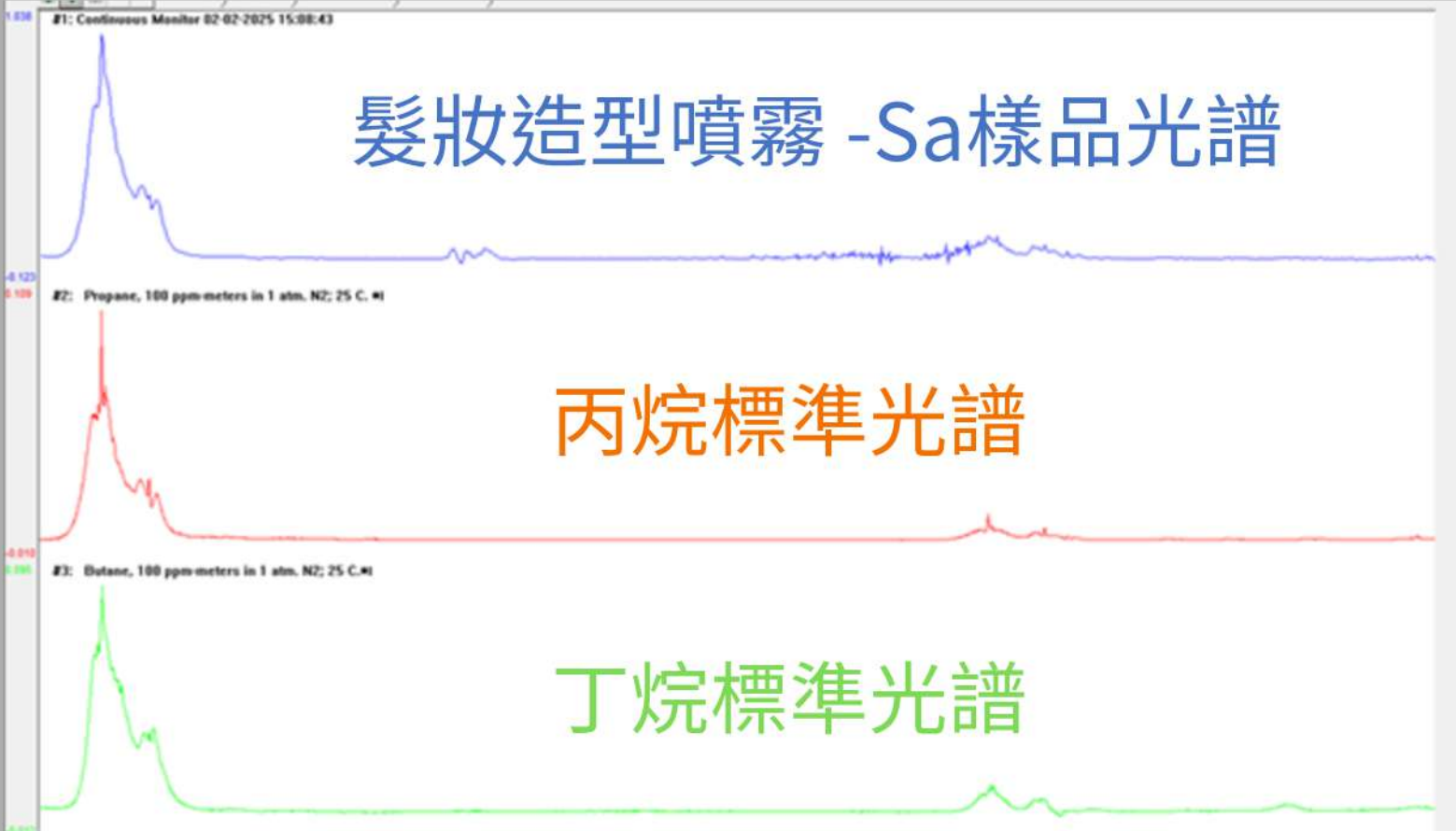
本研究分析市售氣溶膠噴霧產品，包括洗面乳、髮妝造型噴霧與刮鬍泡等，共計5種不同產品，根據測試結果顯示：

- 推進劑標示為「石油氣」或「LPG」，以FTIR分析其組成主要為丙烷、丁烷及異丁烷。
- 在浴室空間(4503.68 L)無換氣條件下，兩種產品的平均濃度為：
Bi---0.49 ppm（異丁烷）
Sa---2.73 ppm（丙烷）、1.66 ppm（丁烷）
- 於模擬使用泡沫產品條件下，將擠出體積為60ml的泡沫以網狀勻擾動時，在人呼吸帶以FTIR測試結果，推進劑濃度相較於無擾動條件提升幅度如下：
Bi---增加比例：551%（異丁烷）
Sa---增加比例：235%（丙烷）、197%（丁烷）
- 泡沫間可能包覆高濃度推進劑，因而在擾動後環境推進劑濃度上升

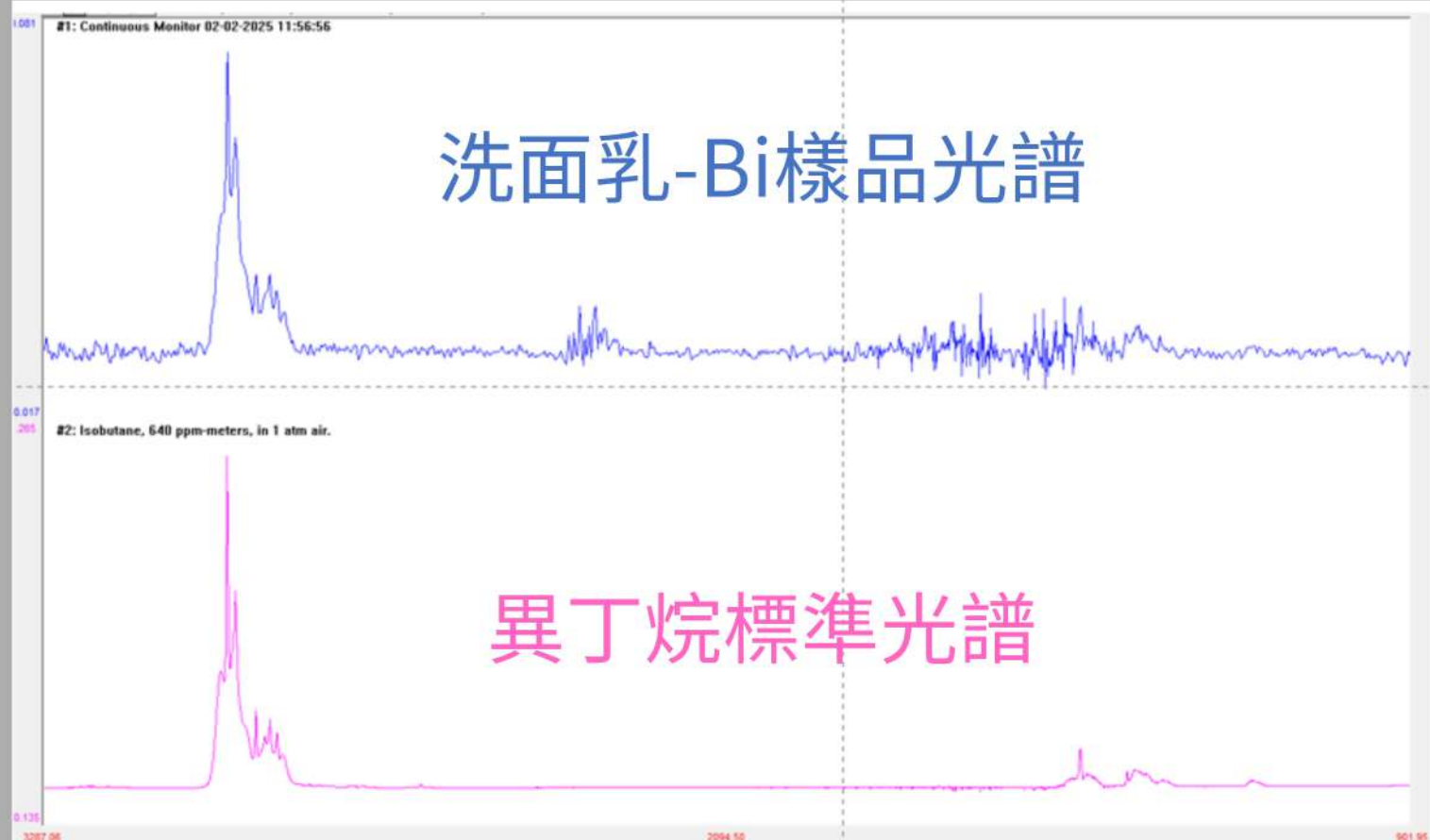
實驗代碼	Bi	Sa	
產品類型	洗面慕斯	髮妝造型品	
推進劑分析成分	異丁烷	丙烷	丁烷
測試腔內平均濃度(ppm)	95.0	530.2	322.3
推估浴室內平均濃度(ppm)	0.49	2.73	1.66
呼吸帶暴露濃度(ppm)	524.4	1248.4	634.8
擾動泡沫濃度增加比例(%)	524/95*100% =551%	1248/530*100% =235%	634/322*100% =197%
有無擾動比較 T檢定P值	0.001	0.027	0.040

(作者自行製表)

推進劑之FTIR光譜



(作者自行繪製)



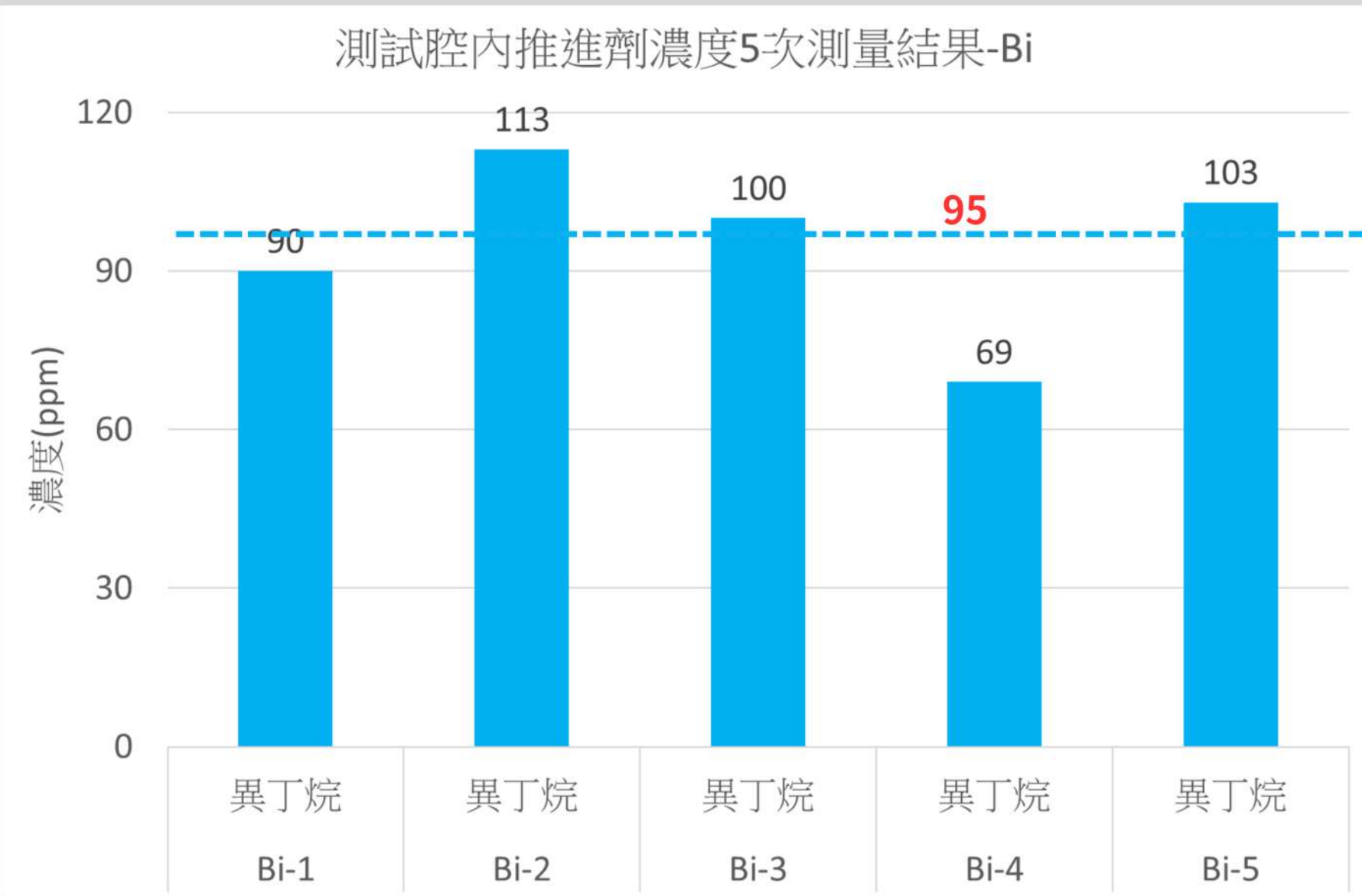
(作者自行繪製)

推進劑濃度分析結果

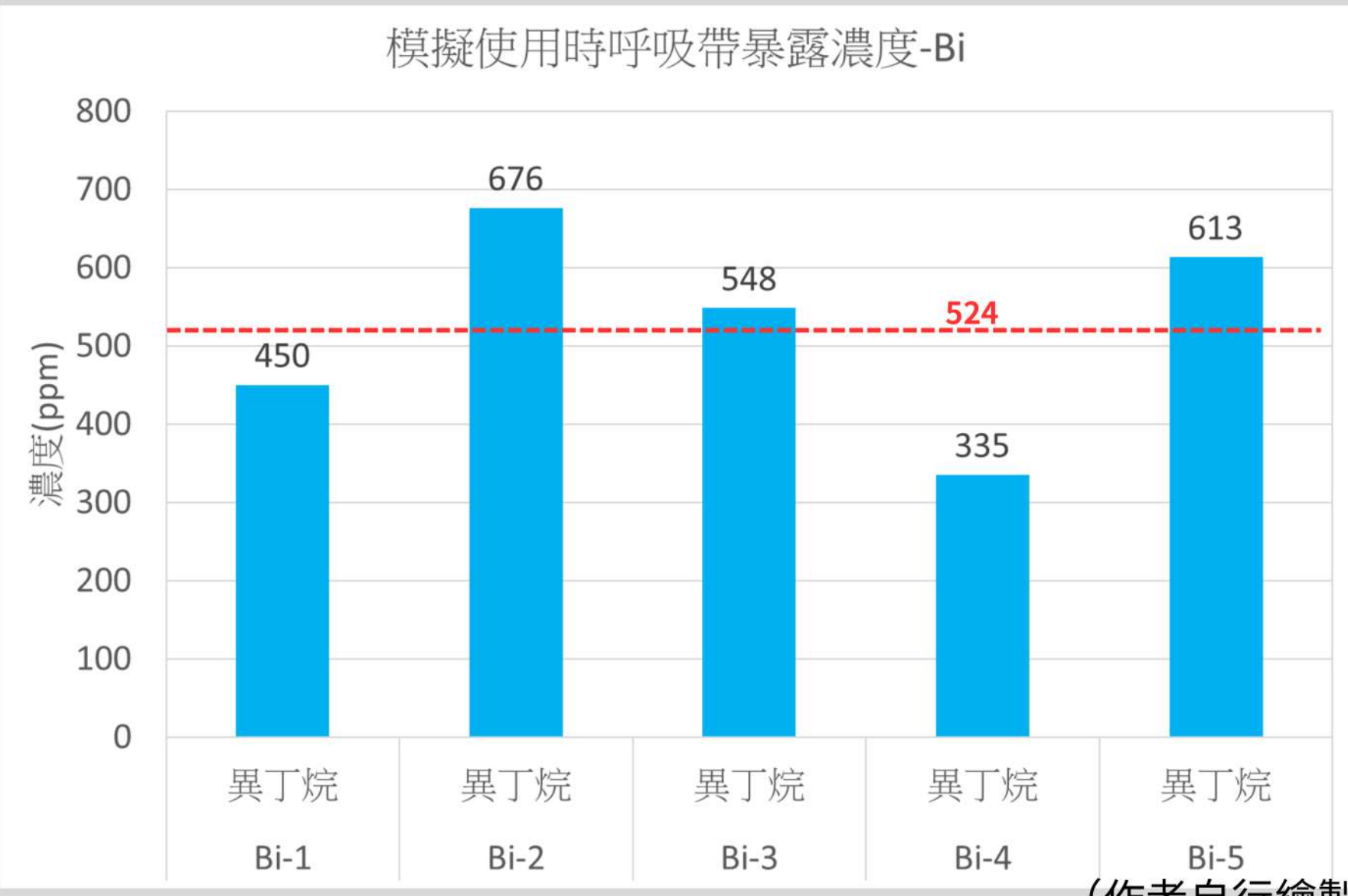
靜置

擾動（模擬使用搓揉泡沫）

實驗編碼Bi

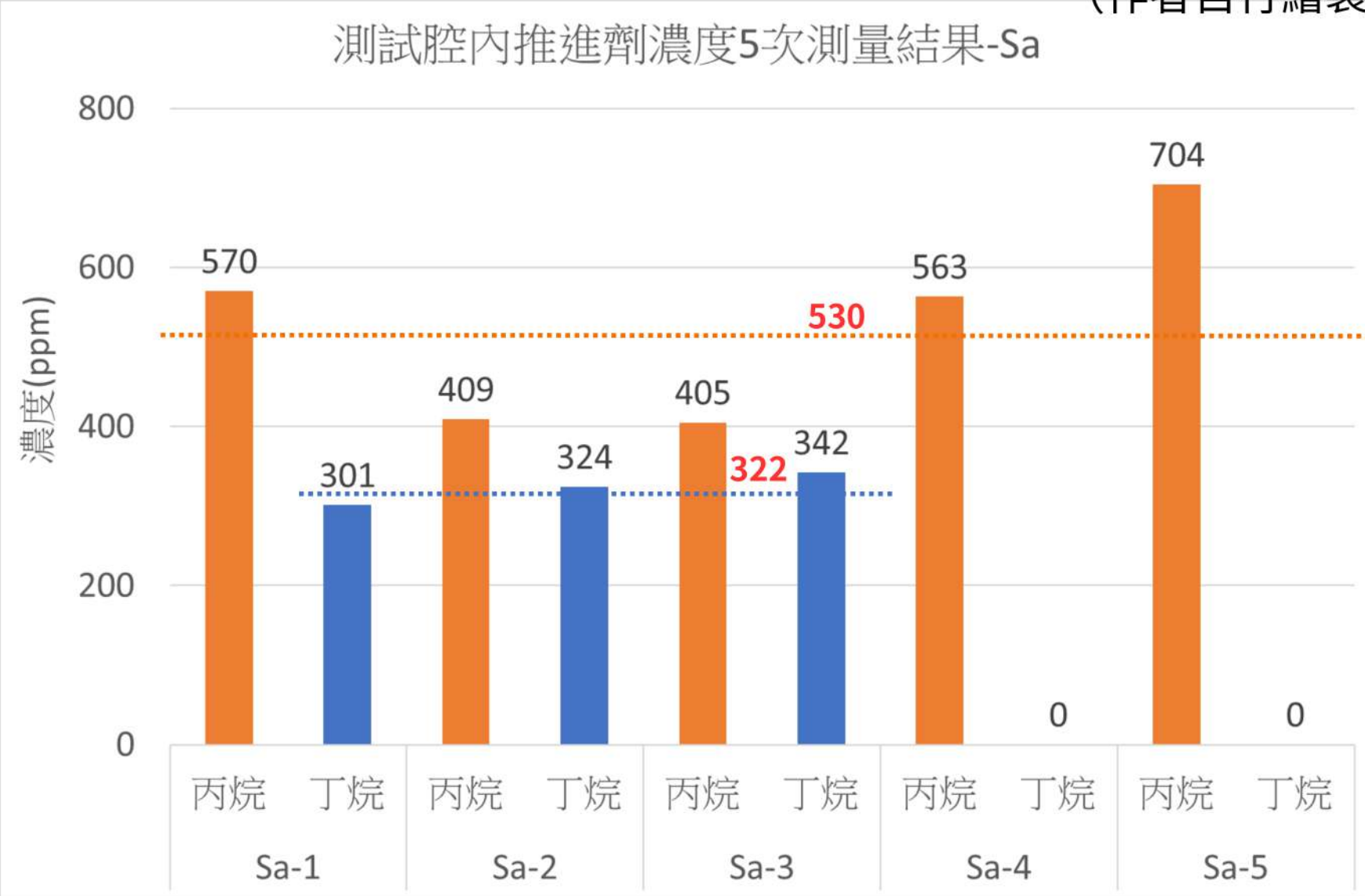


(作者自行繪製)

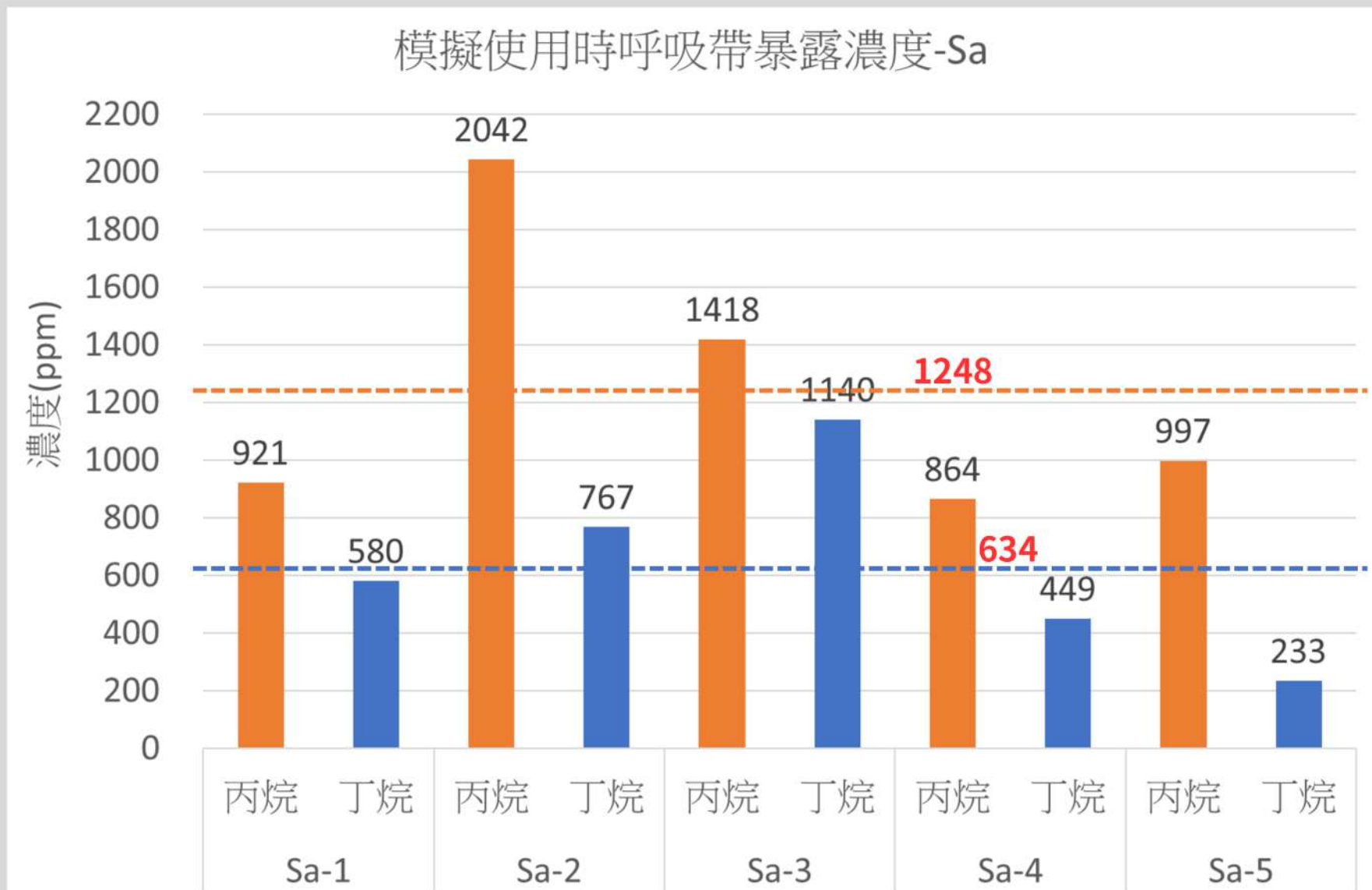


(作者自行繪製)

實驗編碼Sa



(作者自行繪製)



(作者自行繪製)

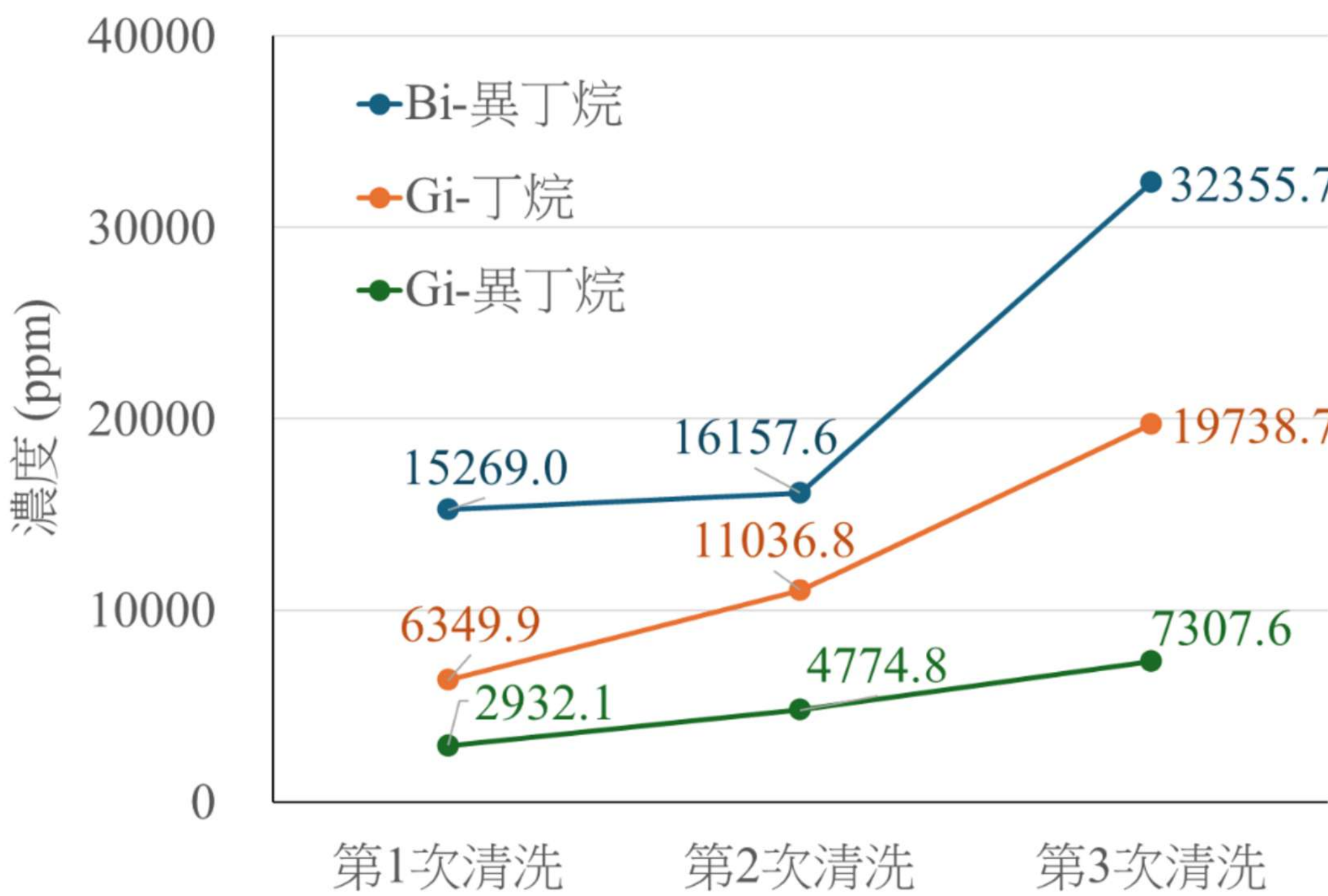
推進劑的污水系統空間濃度累積性、環境流佈實驗結果分析

本實驗分析氣溶膠噴霧泡沫沖洗後，下水道空間推進劑濃度評估，以及推進劑透過污水流佈結果，如下所示

- 在1號桶槽(模擬家庭下水道)上方空間，實驗代碼Bi、Gi產品泡沫沖洗後，連續三次推進劑分析結果，其推進劑濃度變化分別為：
Bi 異丁烷---15269.0 ppm ~ 32355.7 ppm
Gi 丁烷---6349.9 ppm ~ 19738.7 ppm
Gi 異丁烷---2932.1 ppm ~ 7307.6 ppm
- 將1號桶槽中的污水導入2號桶槽，依然可測得推進劑，顯示推進劑可透過污水攜帶流佈至其他區域

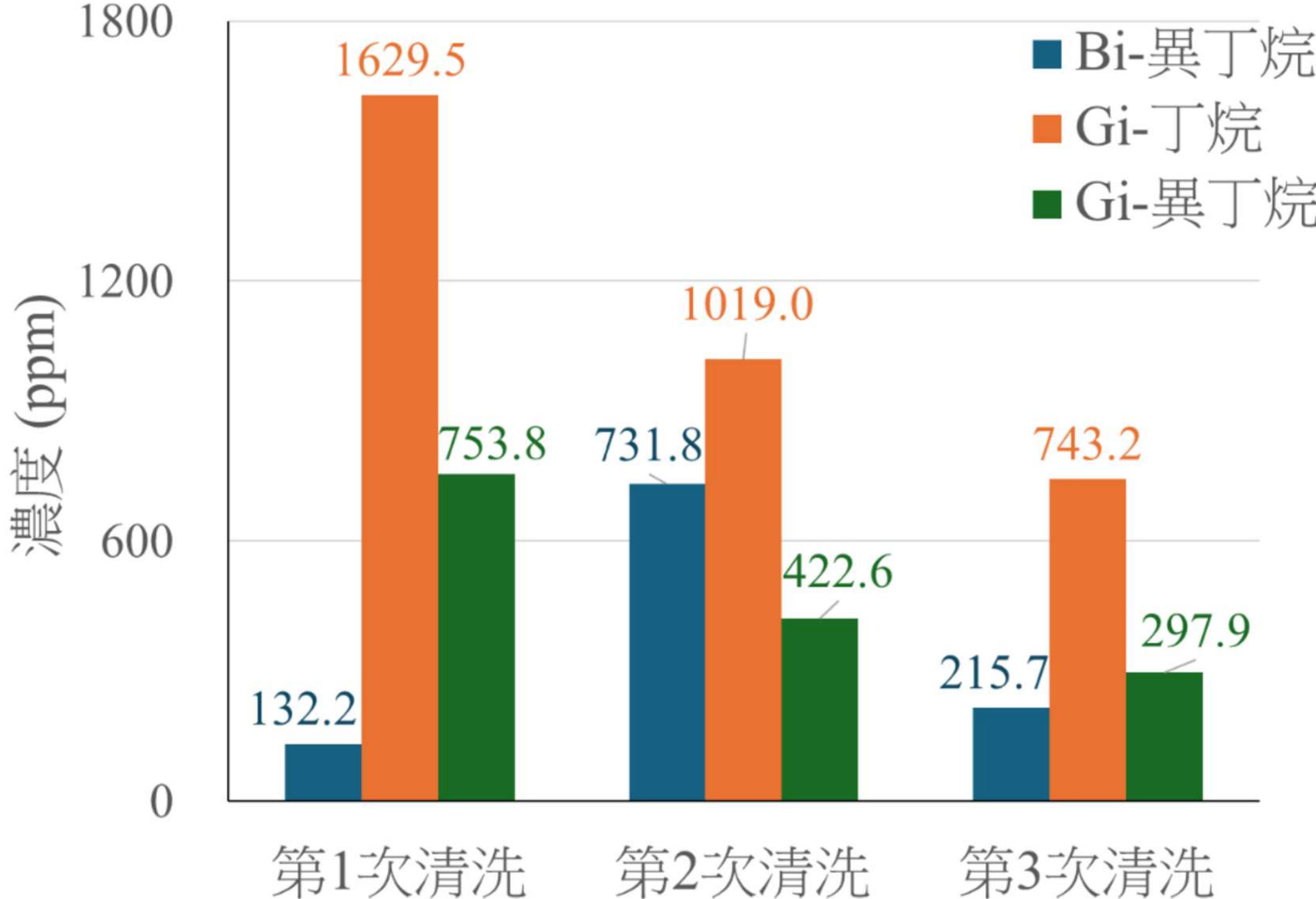
濃度皆呈現上升趨勢

1號桶槽



(作者自行繪製)

2號桶槽



(作者自行繪製)

沖洗泡沫後污水槽空間濃度(模擬家庭污水)

推進劑累積

以水管引流至其他區域濃度(模擬污水系統空間)

推進劑隨污水流佈

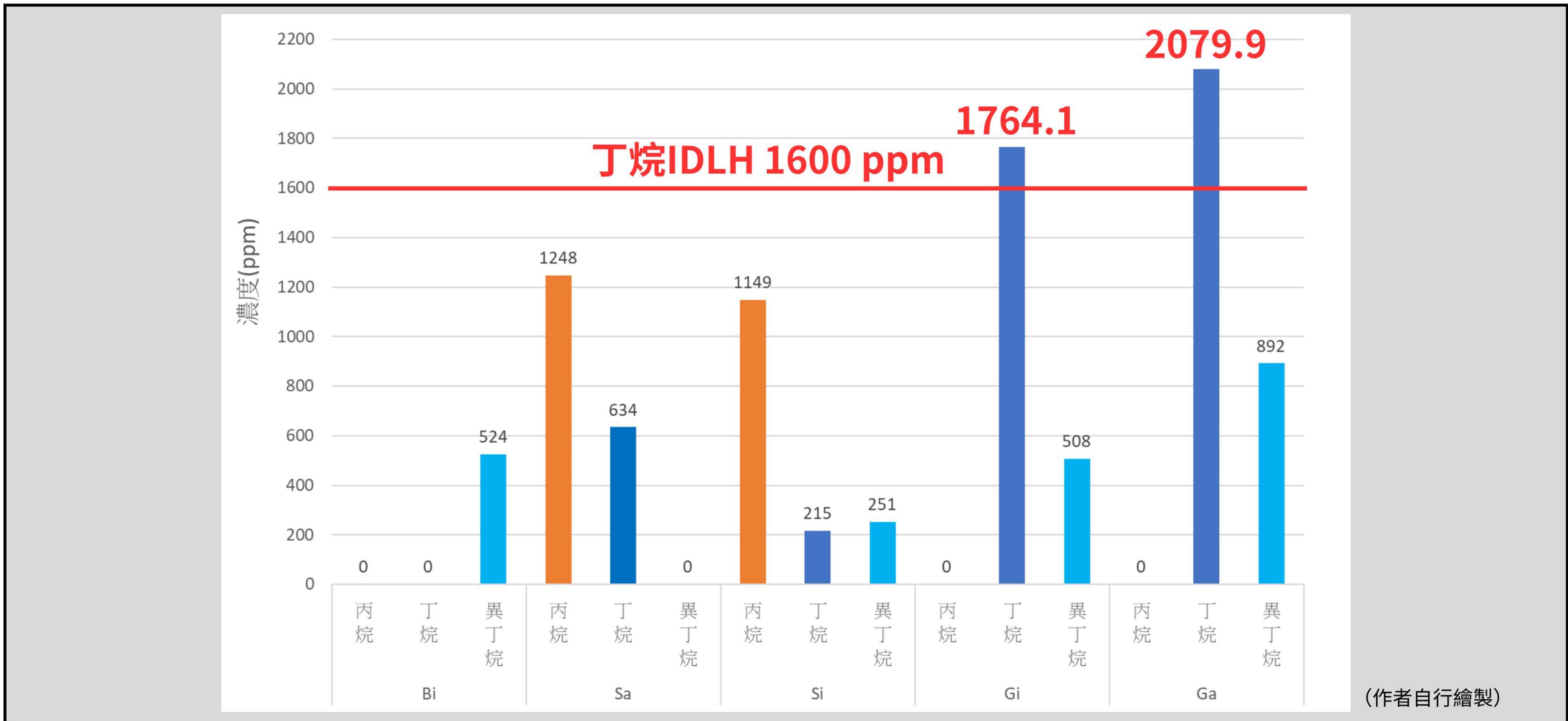
人體暴露致危濃度分析

- 丁烷之立即致危濃度(IDLH)為1600 ppm，部分測試數值高於丁烷之IDLH，表示使用時暴露此濃度下可能導致健康之危害。
- 丙烷、異丁烷的分析結果濃度皆低於其IDLH（丙烷：2100ppm；異丁烷：1800ppm(10%LEL)

* 立即致危濃度(IDLH，Immediately Dangerous to Life and Health)：針對有急性呼吸危害之暴露而訂定，達此濃度可能造成生命喪失、不可逆的健康效應及降低逃生能力。[9]

實驗代碼	Bi	Sa		Si			Ga		Gi		
產品類型	洗面慕斯	髮妝造型噴霧								刮鬍泡	
推進劑分析成分	異丁烷	丙烷	丁烷	丙烷	丁烷	異丁烷	丁烷	異丁烷	丁烷	異丁烷	
呼吸帶暴露濃度 (ppm)	254.4	1248.4	633.8	1149.3	214.5	251.1	2079.9	892.3	1764.1	508.1	
IDLH (ppm)	1800	2100	1600	2100	1600	1800	1600	1800	1600	1800	

(作者自行製表)



(作者自行繪製)

研究結果

- 本研究測試市售三類型商品，包含洗面乳、髮妝造型品與刮鬍泡等，共計測試5種不同產品，根據本研究測試結果顯示：
- 1.推進劑標示為「石油氣」或「LPG」，以FTIR測試其組成主要為丙烷、丁烷及異丁烷。
 - 2.在浴室空間無換氣條件下，推進劑平均濃度為0.49 ppm(異丁烷)、1.66 ppm(丁烷)、2.73 ppm(丙烷)。
 - 3.於模擬使用泡沫產品條件下，將擠出體積為60ml的泡沫以網狀勺擾動時，在呼吸帶距離以FTIR進行測試結果顯示，推進劑濃度提昇至254.4 ppm(異丁烷)、1248 ppm(丙烷)、2079.9 ppm（丁烷），濃度比例提升197%(丁烷)、551%(異丁烷)、235%(丙烷)
 - 4.丁烷之立即致危濃度(IDLH)為1600 ppm，部分測試數值高於丁烷之IDLH，表示使用時暴露此濃度下可能導致健康之危害。
 - 5.泡沫沖洗至模擬下水道空間後，空間內推進劑濃度隨沖洗次數上升。顯示推進劑濃度在模擬下水道空間內具有累積性，同時將沖洗後污水導入另一桶槽時，在另一桶槽內依然可測得推進劑

討論

探討氣溶膠噴霧產品推進劑的組成包含什麼？

- 實驗結果顯示氣溶膠噴霧產品推進劑(LPG)主要成分為丙烷、丁烷、異丁烷，此結果與文獻[10]相符

探討氣溶膠噴霧產品對人體是否有危害？

- 根據文獻顯示，氣溶膠推進劑如丙烷、丁烷和異丁烷，對人體中樞神經及某些器官可能造成危害，暴露在高濃度下可能引發急性健康危害外，長期接觸這些推進劑所導致的慢性健康影響仍然未知。
- 在本次研究中，氣溶膠噴霧噴出的泡沫在擾動後，致使推進劑濃度顯著上升，根據文獻[11]泡沫會包覆、吸收化學物質，實驗結果也顯示，泡沫產品包覆的高濃度推進劑在使用時會被釋放出來；此外，部分實驗數值的丁烷高於IDLH，基於安全與健康考量，建議使用含推進劑產品時應在通風良好的環境中，並避免任何可能的引火源。

探討氣溶膠噴霧產品對環境是否有危害？

- 根據聯合國氣候變化專門委員會（IPCC）發布的資料[12]，丙烷、丁烷和異丁烷均屬於溫室氣體，使用後若未經妥善處置而排放至環境中，將對環境與生態造成影響。因此，在推進劑的使用和管理上，應考慮其環境影響，並尋求更為環保的替代技術或產品，以降低對環境的負擔。
- 根據污水系統環境流佈的實驗結果，推進劑在下水道侷限空間內具有累積性，若推進劑濃度過高可能有危害城市安全的隱憂。同時推進劑可透過污水流佈至廣泛區域。
- 承上述，本研究發現了氣溶膠推進劑在人體健康和環境安全方面的潛在風險。未來的研究可延續此研究結果探討推進劑（可燃性氣體）環境流佈後可能累積之風險與危害。

參考資料

1. PubChem. (n.d.). National Library of Medicine. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
2. Almulhim, K. N. (2017). Fatal Butane Toxicity and Delayed Onset of Refractory Ventricular Fibrillation. Saudi Medical Journal, 38(2017), 1251–1252. <https://doi.org/10.15537/smj.2017.12.20811>
3. Sironi, L., Amadasi, A., & Zoja, R. (2016). Recreational Inhalation of Butane and Propane in Adolescents: Two Forensic Cases of Accidental Death. Forensic Science International, 266, 52–58. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.05.028>:
4. A. C. iftc, i Demirci, A. Erdog˘an, O˘ . Yalc ı, In, E. Yildizhan, Z. Koyuncu, T. Eserog˘lu, A. O˘ nder, C. Evren, Sociodemographic characteristics and drug abuse patterns of adolescents admitted for substance use disorder treatment in Istanbul, Am. J. Drug. Alcohol Abuse 41 (3) (2015) 212–219.
5. A. Esmail, H.L. Anderson, J.D. Ramsey, J. Taylor, A. Pottier, Controlling deaths from volatile substance abuse in under 18s: the effects of legislation, BMJ 305 (6855) (1992) 692.
- 6.空品之最. (n.d.). 環境部. https://airtw.moenv.gov.tw/cht/Encyclopedia/pedia09/pedia9_2.aspx
- 7.Carrefour家樂福. (n.d.). 家樂福線上購物. <https://reurl.cc/0Kr6VI> Biferta 碧菲絲特, <https://reurl.cc/DqVm96> SASSOON 沙宣, <https://reurl.cc/RYZOZn> Sifone 絲逸歡, <https://reurl.cc/AMNy5Z> GATSBY, <https://reurl.cc/VYdRAQ> Gillette 吉列, <https://reurl.cc/aeW153>
8. The Beer-Lambert Law. (2021, July 8). EDINBURGH INSTRUMENTS. <https://www.edinst.com/resource/the-beer-lambert-law/>
- 9.Immediately Dangerous To Life or Health (IDLH) Values. (2021, February 26). National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>
- 10.Xie, S. (2023, March 27). World of Aerosol Products Production(1): What Are Personal Care Aerosols? Linkedin. <https://www.linkedin.com/pulse/world-aerosol-products-production1-what-personal-care-stephy-xie-at/>
- 11.Foam & Chemical Contamination in Waterways. (2015, December). NSW Environment Protection Authority. <https://www.epa.nsw.gov.au/-/media/epa/corporate-site/resources/epa/foam-chemical-contamination-in-waterway.pdf>
- 12.The Intergovernmental Panel on Climate Change. (n.d.). IPCC. <https://www.ipcc.ch/>