



國立中山大學 海洋環境及工程學系(研究所)

碩士論文

高雄港區沉積物特性影響多環芳香烴及

多氯聯苯不均勻分布之研究

Enrichment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and
Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the Low Density Sediment
Particles in Kaohsiung Harbor

研究生：黃韻潔

指導教授：李宗霖 博士

方孟德 博士

中華民國九十七年八月

謝 誌

從大四那一年就開始進入研究生身份的我，轉眼間兩年的碩士生活就快要結束了，回想起當年懵懵懂懂的自己，對於眼前的一切都感到十分好奇，到現在別人口中的學姊，好像有點來的太快，讓我有些捨不得，但這卻只是漫長人生旅途中的一個暫時的停泊站，這還不是我最後的終點。

首先要十分感謝恩師 李宗霖教授在大學及研究所五年裡指導，無論是國科會大專生專題研究、3233 人才培育計畫到碩士學位的取得，都是有老師不斷給予鼓勵與提攜，讓我能夠有更多的目標以及成果。而在論文口試期間，特別感謝 方孟德博士、柯風溪老師與 劉莉蓮老師(依姓氏筆劃順序排列)，在百忙當中依然抽空審查論文內容，並且給予學生許多寶貴的意見使得論文更加完整與充實。

感謝研究室裡的各位學長姐與同學們，特別是孟德學長，雖然已經從博士班畢業，但是對於我的研究進度與數據上的分析仍給予最大的幫助，也十分鼓勵我往博士班努力；也很感謝冰潔學姊、郭大哥、婉婷學姊、政傑學長、桂禎學姊、秉憲學長、互慶學長、陳大哥與葉大哥在這段期間協助我對於這個領域的了解；同時也感謝同學建成、堃衍、志成、富允、凱亭、建明、國洋、玉珍跟皇凱學長，在這段時間的幫助與鼓勵，因為你們讓我的碩士生活變的更加充實。還有成鷓、小高、小羅、靜怡、小洞、承翰等這些大學同學們以及學妹佳綺，謝謝你們陪我聊天、聽我發脾氣、不斷為我加油，因為你們讓我有更多努力的動力。

最感謝的是一直支持我的家人們，因為你們不斷的鼓勵讓我對於未來有了更多的目標，除了經濟上的付出，你們不辭辛勞的帶來許多好吃的食物，讓我感到疲憊的身心都收到了安慰。

這段日子要感謝的人太多，許多事情無法用言語表示我的感激，謝謝每一個陪我度過這段日子的人。

摘要

自然環境中持久性有機污染物(persistent organic pollutants, POPs)充斥，其中多環芳香烴(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)及多氯聯苯(Polychlorinated biphenyls, PCBs)為大宗，且部份已被研究證實對於人體可能具有致癌性與致突變性。這類有機化合物因為特殊的化學結構以及高疏水特性使其進入水體後與顆粒相結合而沉澱在底床上，長時間存在環境當中而造成生態污染。近岸海域以及港區接收來自都市的污水、工業及港區活動所產生的有害廢棄物污染，隨著經濟發展而逐漸增加，因此高雄港區富含持久性有機污染物，表層沉積物的再懸浮作用，會使原本吸附於顆粒上的污染物再次回到水體環境造成生態衝擊。本研究針對高雄港區內沉積物之粒徑(1000、500、250、125 及 63 μm 為間隔)及密度(以 2.15 g/cm³ 分隔)對吸附多環芳香烴以及多氯聯苯之影響進行研究。

研究結果顯示高雄港區內高雄港支航道測站與旗津上竹里漁港測站之沉積物總多環芳香烴濃度分別為 3400 與 1700 (ng/g dw)，總多氯聯苯濃度分別為 103 與 141(ng/g dw)。總多環芳香烴濃度是呈現 KH1 高於 KH2，而總多氯聯苯濃度則呈現相反情形。雖然低密度顆粒在本研究當中僅佔沉積物總重的 4.3 至 7.7%，但是大於 91%的多環芳香烴以及大於 87%以上的多氯聯苯污染物集中於低密度顆粒上。多氯聯苯同源物主要以 PCB 132+153+105 以及 OCS+PCB 63 為最常見，同族物則是以四到七氯的多氯聯苯同族物為主。

由化合物成分結果顯示，高雄港支航道(KH1)沉積物之多環芳香烴主要來自於船隻及卡車的柴油引擎燃燒產生，而旗津上竹里漁港(KH2)沉積物則來自鋼鐵廠與發電廠燃燒煤及石油所產生。

高雄港區沉積物在高低密度顆粒之共面式多氯聯苯毒性當量分別介於 1.1-7.6 pg-TEQ/g 以及 8.9-1500 pg-TEQ/g，與國外安全總多氯聯苯毒性

當量比較，高密度顆粒屬於低毒性當量的範圍，而低密度顆粒則落在高污染的範圍。

依 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)的沉積物品質參考準則(Sediment Quality Guidelines, SQGs)，高密度顆粒對於水生生態系統影響不大，但低密度顆粒之多環芳香烴和多氯聯苯濃度範圍大多介於 ERL 與 ERM 值之間，顯示其對水體中的生物或是底棲生物可能造成部分的傷害與影響。

中文關鍵字：多環芳香烴、多氯聯苯、沈積物、高雄港、顆粒密度

ABSTRACT

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) are persistent, ubiquitous, and toxic organic contaminants in coastal sediments. Being hydrophobic in water column, PAHs and PCBs tend to sorb rapidly on particles and eventually accumulate in sediments. Re-suspension of fine or low-density particles from the surface sediment would lead to release of the pollutants bound in sediment particles into water column. This study was to evaluate the potential of remobilization of sediment-bound pollutants into harbor water column by measuring the concentrations and compositions of PAHs and PCBs in different particle size (size fraction: 1000, 500, 250, 125 and 63 μm) and the different density fractions (density: > 2.15 , < 2.15 g/cm^3) in the Kaohsiung Harbor area.

The total PAH concentrations obtained from the sediments of Kaohsiung sub-channel (KH1) is higher than those of Shang-Zhu-Li fishing ferry (KH2), but it presents the opposite situation in total PCB concentrations. Total PAH concentrations are 3400 and 1700 (ng/g dw) and total PCB concentrations are 103 and 141 (ng/g dw) at sites of KH1 and KH2. PAH and PCB concentrations in the low-density fraction sediment made up more than 91% and 87% of the total concentration of the bulk sediment, respectively; while low-density fraction sediment made up only 4.3 to 7.7% of the bulk sediment in dry weight.

According to the chemical fingerprinting, PAH source of Kaohsiung sub-channel (KH1) is from pyrogenic which might be from the diesel oil burning of shipping activities and containerized traffic. But the PAH sources in Shang-Zhu-Li fishing ferry (KH2) were from the combustion of coal and petroleum, which is possibly from iron and steel plant and the power plant nearby.

The Toxic equivalents (TEQ) of dioxin-like PCBs in low and high-density fraction

sediments were ranged from 1.1-7.6 pg-TEQ/g and 8.9-1500 pg-TEQ/g, respectively. Based on the Sediment Quality Guidelines (SQGs), only few PAH concentrations in the high-density fraction sediments were higher than the TEL value, while most of PAH concentrations in the low-density fraction sediments ranged between ERL and ERM values. This suggests the low-density sediment particles possessed higher potential of adverse effects to organisms in the aquatic environment.

Key Words: PAHs, PCBs, Kaohsiung Harbor, sediments, density fractions



目 錄

摘要

Abstract

目錄	I
圖目錄	IV
表目錄	V
附表目錄	VII
第一章 前言	1
1-1 研究動機	1
1-2 研究目的	3
第二章 文獻回顧	4
2-1 多環芳香烴之研究緣起	4
2-2 多環芳香烴之基本性質	4
2-3 多環芳香烴之來源	5
2-4 多環芳香烴之毒理特性	6
2-5 多環芳香烴之化學指紋鑑識	8
2-6 顆粒特性與多環芳香烴之分佈	10
2-7 多氯聯苯之研究緣起	11
2-8 多氯聯苯之基本特性	12
2-9 多氯聯苯之來源	13
2-10 多氯聯苯之毒理特性	14
2-11 海域沉積物品質參考準則	15
第三章 研究方法及步驟	23
3-1 材料與儀器	23

3-1-1.材料	23
3-1-2.儀器	24
3-2 試藥及器材前處理	24
3-3 採樣與保存	25
3-4 分析方法	26
3-4-1 粒徑分析	26
3-4-2 密度分離分析	26
3-4-3 多環芳香烴分析	27
3-4-4 氣相層析質譜儀分析	27
3-4-5 多氯聯苯分析	28
3-4-6 氣相層析電子捕捉偵檢器分析	29
3-5 品管及品保要求(QA/QC)	29
3-5-1 方法回收率	29
3-5-2 標準品查核樣品分析	30
3-5-3 空白分析實驗	30
3-5-4 方法偵測極限	30
第四章 結果與討論	35
4-1 沉積物特性	35
4-2 沉積物之多環芳香烴含量分布	35
4-3 總多環芳香烴與全球檢測結果比較	37
4-4 多環芳香烴之來源	38
4-5 Perylene 來源探討	40
4-6 沉積物之多氯聯苯含量分布	41
4-7 總多氯聯苯與全球檢測結果比較	42
4-8 多氯聯苯化合物同源物含量分析	43

4-9	多氯聯苯化合物同族物含量分析	43
4-10	多環芳香烴總毒性當量	45
4-11	多氯聯苯總毒性當量	46
4-12	沉積物品質指標(Sediment Quality Guidelines, SQG)	47
第五章 結論與建議		51
5-1	結論	51
5-2	建議	53
參考文獻		88
附錄		104

圖目錄

圖 2-1 美國環保署(USEPA)公佈之 16 種多環芳香烴結構圖	17
圖 2-2 多氯聯苯化學結構式	18
圖 2-3 DDT (dichloro-dipheyl-trichloroethanum)化學結構	18
圖 3-1 各測站之採樣點位置圖	31
圖 4-1 高雄港支航道 (KH1)沉積物粒徑百分比	54
圖 4-2 旗津上竹里漁港 (KH2)沉積物粒徑百分比	54
圖 4-3 高雄港支航道 (KH1)沉積物在不同粒徑之密度百分比	55
圖 4-4 各旗津上竹里(KH2)沉積物在不同粒徑之密度百分比	55
圖 4-5 兩測站之總多環芳香烴之分布	56
圖 4-6 高雄港支航道(KH1)各粒徑多環芳香烴之分布	56
圖 4-7 旗津上竹里漁港(KH2)各粒徑多環芳香烴之分布	57
圖 4-8 兩測站高低密度之多環芳香烴之分布	57
圖 4-9 KH1 多環芳香烴之 isomer ratio	58
圖 4-10 KH2 多環芳香烴之 isomer ratio	59
圖 4-11 兩測站之總多氯聯苯之分布	60
圖 4-12 高雄港支航道(KH1)各粒徑多氯聯苯之分布	60
圖 4-13 旗津上竹里漁港(KH2)各粒徑多氯聯苯之分布	61
圖 4-14 兩測站高低密度之多氯聯苯分布	61
圖 4-15 高雄港支航道(KH1)多氯聯苯同族物組成百分比	62
圖 4-16 上竹里漁港(KH2)多氯聯苯同族物組成百分比	64
圖 4-17 各測站各粒徑大小之 Mean ERM Quotient 圖	66

表目錄

表 2-1 多環芳香烴之致癌性	19
表 2-2 多氯聯苯主要用途	20
表 2-3 多氯聯苯 IUPAC 之命名	21
表 2-4 多氯聯苯同源物毒性當量因子	22
表 3-1 標準沉積物 SRM 1941b 多環芳香烴分析結果	32
表 3-2 各測站之多環芳香烴擬似標準品回收率	33
表 3-3 標準沉積物 SRM 1941b 多氯聯苯分析結果	34
表 4-1 各測站沉積物顆粒在不同粒徑與密度下之重量百分比	67
表 4-2 兩測站沉積物特性與總多環芳香烴濃度	68
表 4-3 沉積物總多環芳香烴濃度與文獻上測值之比較	69
表 4-4 全球海洋沉積物 perylene 研究文獻彙整表	70
表 4-5 高雄港區 Perylene/penta-PAHs 之百分比	73
表 4-6 沉積物總多氯聯苯濃度與文獻上測值之比較	74
表 4-7 兩測站前三高之多氯聯苯同源物	76
表 4-8 Co-Eluting 多氯聯苯同源物在不同同族物之間分配比例	77
表 4-9 高雄港支航道(KH1)多氯聯苯同族物濃度(ng/g dw)	78
表 4-10 上竹里漁港(KH2)多氯聯苯同族物濃度(ng/g dw)	79
表 4-11 三氯加四氯多氯聯苯除六氯多氯聯苯同族物的比率	80
表 4-12 高雄港支航道(KH1)之多環芳香烴總毒性當量	81
表 4-13 上竹里漁港(KH2)之多環芳香烴總毒性當量	82
表 4-14 高雄港支航道(KH1)之多氯聯苯總毒性當量	83
表 4-15 上竹里漁港(KH2)之多氯聯苯總毒性當量	84
表 4-16 沉積物品質指標兩測站不同密度之多環芳香烴值比較	85
表 4-17 沉積物品質指標與 KH1 測站樣品百分比	86

表 4-18 沉積物品質指標與 KH2 測站樣品百分比 · · · · · 87

附表目錄

附表 1 多環芳香烴之偵測極限(ng)	105
附表 2 多氯聯苯 之偵測極限(ng)	107
附表 3 高雄支航道(KH1)沉積物之多環芳香烴含量(ng/g)	109
附表 4 旗津上竹里漁港(KH2)沉積物之多環芳香烴 含量(ng/g)	111
附表 5 高雄支航道(KH1)沉積物之多氯聯苯含量(ng/g)	114
附表 6 旗津上竹里漁港(KH2)沉積物之多氯聯苯含量(ng/g)	118

第一章 前言

1-1 研究動機

高雄地區數十年來人口高度的成長與工業的蓬勃發展，以及經濟全球化的多方面影響下，高載貨量的海運市場需求量漸漸增加，高雄港為因應航運需求以及世界航運系統中船舶大型化的趨勢，而將港區設計成為大型船隻可以行駛的深水航道；為了維持高雄港區船道之深度，需要不定期的對港區進行疏浚的工程，讓原本因為透過河川、污水下水道等等所排放於此的污染物，隨著底泥受到人為擾動作用而產生再懸浮作用，造成對環境的二次污染。

最近幾年以來發現自然環境中的持久性有機污染物(persistent organic pollutants, POPs)，例如：多環芳香烴(Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 及多氯聯苯(Polychlorinated biphenyls, PCBs) 等對於海洋環境之影響最為嚴重，因為這一類化合物的高疏水性(hydrophobicity)，造成此類化合物進入水體之後容易與水中的懸浮顆粒相結合，隨著顆粒的沉降作用而沉澱至底床的沉積物中(Karickhoff *et al.*,1979；Ko and Baker,1995)；而且其化學結構穩定，不容易被海水中的微生物降解或者被陽光所分解(Readman *et al.*,1982, Guzzella & Depaolis,1994)，所以停留在海洋水體的時間較長，再加上此類的化合物具有脂溶性在生物體內形成生物累積(bioaccumulation)現象，並有致癌性與致突變性(carcinogenic and mutagenic)，這樣的結果不單單影響到海洋生態環境，也可能經由食物鏈的累積進而影響到生物與人類的健康狀況。

但是近年來有關高雄地區持久性有機污染物的研究，大部分是針對河川所帶來的污染物、污水下水道系統所排放之廢水或是附近海域因為海流作用而帶來多環芳香烴或是多氯聯苯的影響與分布進行討

論(江，2006；巫，2006；李，2005；高，2001；張，2005；楊，2004)，比較少針對高雄港區表層底泥因人為擾動而產生再懸浮作用進行研究討論，所以在本研究當中，針對高雄港區內表層底泥顆粒之粒徑、密度及有機質含量與多環芳香烴以及多氯聯苯種類與含量的分布進行探討。

1-2 研究目的

1. 分析高雄港區沉積物中多環芳香烴、多氯聯苯在不同粒徑、密度及有機質含量之顆粒的分布，探討影響多環芳香烴、多氯聯苯在沉積物的分布特性。
2. 針對不同顆粒特性與多環芳香烴成分與含量的分布情形，探討港區沉積物之可能污染來源。
3. 藉由不同顆粒及密度中多環芳香烴、多氯聯苯之濃度與相關標準值比較來探討人為擾動後易懸浮顆粒對於港區生態環境衝擊潛勢。

第二章 文獻回顧

2-1 多環芳香烴之研究緣起

1775 年，英國外科醫生 Percival Pott 指出煙囪清潔工因長期曝露在煤煙中，導致罹患陰囊癌的比例比一般人高(Pott, 1775)，1933 年，由焦油中分離出 Benzo[a]pyrene (BaP)，經過證明其具有致癌性(Cook *et al.*, 1933)。1976 年，有超過 30 種多環芳香烴及幾百種多環芳香烴衍生物被證實可能具有致癌性(Dipple, 1976)，使得多環芳香烴成為目前環境中致癌性化學物為數眾多的一群，美國環保署(USEPA)已將 16 種多環芳香烴列為優先處理污染物(priority pollutants)，如圖 2-1，並在美國境內許多的超級基金污染區(superfund site)發現多環芳香烴的污染，並對當地環境及人體健康造成影響(陳，2007)。

2-2 多環芳香烴之基本性質

多環芳香烴是指兩個或兩個以上苯環鍵結所產生具多環分子結構的化合物，其同分異構物的種類繁多。理論上具有六環之多環芳香烴共有 82 種異構物，七環之多環芳香烴共有 333 種異構物，而二到八環之多環芳香烴共有 1896 種異構物(USEPA, 1987)。它們具有穩定的化學結構，不容易在自然界中自行分解。由於多環芳香烴具有較高的正辛醇-水之分配係數(octanol water partition coefficient, K_{ow})，故屬於高疏水性有機化合物，溶解度隨分子量的增加而逐漸減少，因此，在海水中多環芳香烴易與懸浮顆粒結合最後沉降在底床(Lee & Ryan, 1983; Readman *et al.*, 1984; Baumard *et al.*, 1998)。多環芳香烴與無機物的鍵結能力較有機物弱，所以含有較高有機物的顆粒能夠吸附多環芳香烴的量較多(Karickhoff *et al.*, 1979)。

2-3 多環芳香烴之來源

自然環境中原本就存在許多的多環芳香烴，其中有些化合物是由植物合成的，而在自然環境中所產生的石油或灰燼都具有此化合物或其先驅物；但自然環境當中多環芳香烴含量遠低於人為因素所產生多環芳香烴，人類活動所產生的多環芳香烴才是今日環境當中的主要來源。因為區域的不同，污染源周邊大氣中多環芳香烴含量會有不同程度的影響，並也在季節上也有差異性存在(林，2000)，使得海洋環境中的多環芳香烴的來源眾多且複雜，根據目前的研究可概分成下列來源(Lee *et al.*, 1981; Douben, 2003)：

(一)燃燒來源(pyrogenic)

碳氫化合物在高溫狀況下進行熱裂解而形成活性極大碳氫自由基，其迅速催化未燃燒之碳氫化合物，進而生成多環芳香烴。燃燒來源可分為天然與人為兩類，天然來源主要像是森林火災及火山爆發等自然界的燃燒；而人為來源主要來自汽機車引擎燃燒、火力發電廠排放、焚化爐排放、工業製造過程燃燒排放等，會經由地表逕流或長距離大氣傳輸沉降等進入海洋環境中。其化合物特性為四環以上之高分子量多環芳香烴為主(Neff, 1979; Daniel *et al.*, 2004)。

(二)石油來源(petrogenic)

在許多的碳化過程，如在高壓、低溫(小於 200°C)環境下生物體經長時間的分解形成石油及煤的過程中也會產生多環芳香烴，轉化的機制與高溫燃燒相似，但是反應較慢，所以這類多環芳香烴通常以低環數(2-3 ring)或具烷基(alkylated group)為主。主要源自都市及工業廢水、石化工業產物、船舶洩油以及油品運輸溢油等，直接釋放於海洋環境當中。

(三)生物來源(biogenic)

常見的生物來源大多為有機物質或松柏類植物轉化產生，如 perylene 主要在(一)缺氧的海洋環境及陸緣性泥煤；(二)具有高初級生產力的水體或海洋環境(尤其是富有矽藻的區域)，例如湧升流、河口及湖泊等；(三)厭氧的環境(如海溝、底層水等)中生成(Venkatesan, 1988)；而 retene (1-methyl-7-isopropylphenanthrene) 在含有松柏類植物的土壤(Wakeham et al., 1980; Simoneit et al., 1986)、腐殖煤(humic coals)(Li & Johns, 1990; Radke et al., 1990; Casareo, 1996)及深海沉積物(Simoneit, 1977)都具有，但主要是由具有結毬果的松柏類等高等植物樹脂中的松香酸(Wakeham et al., 1980)經過成岩作用(diagenesis)轉化而成 (Wen et al., 2000)。

2-4 多環芳香烴之毒理特性

多環芳香烴能夠經由吸入、食入、皮膚接觸等三種暴露途徑進入人體當中。多環芳香烴具有極高之致突變性及致癌性，其中又以 Benzo[a]pyrene 之強致癌性及強突變性引起最多探討(Peters et al., 1999)。Grimmer et al. (1983) 從生物試驗中發現致癌物質主要為 4~7 環的多環芳香烴，而四環以上的非揮發性多環芳香烴，主要是吸附在微粒物質上，易進入肺部中，如果人體長期曝露在存有多環芳香烴的環境當中，除了可能有致癌性及致突變性的風險之外，可能引發皮膚及呼吸道等疾病，並能破壞造血和淋巴系統的作用，甚至使脾、胸腺和橫膈膜淋巴結退化、抑制骨骼形成等傷害。

多環芳香烴本身並不具備直接的致癌性或致突變性，需要經過生物組織的代謝轉化才能產生致癌性與致突變性，例如 Benzo[a]pyrene (BaP) 進入體內之後經肝臟細胞色素-P450 (Cytochrome P450) 氧化酵素系統作用轉化成為終極致癌物(ultimate carcinogen): Bap-7,

8-dihydrodiol-9, 10-epoxide 才會導致癌細胞的生成與惡性腫瘤 (malignant tumor)。多環芳香烴在體內會被代謝為不同的代謝物，並增加其水溶性以及排至體外的機會，一般稱為生物轉化作用 (biotransformation)，由於不同多環芳香烴的結構相似，因而其代謝方式也類似，而經由代謝後的多環芳香烴主要排出途徑是經由糞便或尿液(陳，2007)。

表2-1為法國國際癌症研究中心(International Agency for Research on Cancer, IARC)，美國環保署(U. S. Environmental Protection Agency, USEPA) 與美國國家科學學院 (National Academy of Sciences, NAS) 所列出之多環芳香烴致癌性 (IARC, 1983; USEPA, 1987)。IARC以2表示具致癌性潛能，A的致癌性潛能比B高，3的致癌性比2低。美國環保署致癌性報告中，B2為具致癌性多環芳香烴、D為無法分類(Not classifiable)。以動物來做致癌性測試，S為具有充分證據證實可致癌性(Sufficient evidence)、L為具限制之證據證實可致癌(Limited evidence)、I為具不充分證據證實可致癌(Inadequate evidence)，No為不具充分證據證實可致癌(Bjørseth and Becher, 1986)。整體而言，高分子量的多環芳香烴致癌性之可能性較高。

多環芳香烴本身為初級污染物(primary pollutants)，其反應性不高，但容易與大氣中的某些強反應性污染物產生作用，例如NO₂、N₂O、SO_x、PAN、O₃及自由基(free radicals)，生成多環芳香烴的衍生物，如氧化多環芳香烴及硝化多環芳香烴的二級污染物(secondary pollutants)(Cope & Lailwarf, 1987)。Tuominen *et al.* (1988) 研究指出，2-3環之多環芳香烴無明顯之致突變性，但其硝基衍生物 (Nitro-PAHs) 則具有強烈致突變性，不需要酵素活化過程便對人體有嚴重影響。

2-5 多環芳香烴的化學指紋鑑識

化學指紋鑑定(chemical fingerprinting)是利用分析化學技術為基礎，找出特殊化合物於污染物內之組成特徵，利用組成成分間的比例或利用分析指標性物種來判斷其可能來源。應用在多環芳香烴的污染源鑑定上，由探討一些特定的多環芳香烴物種比例(molecular ratio)或是特定物種的出現與否，由複雜的環境基質當中釐清及辨別多環芳香烴的可能來源，因為多環芳香烴間各化合物之熱安定性不同，如以熱力學觀點，phenanthrene 會較其同分異構物之 anthracene 穩定，因此石油中的 phenanthrene 含量會高於 anthracene，Yunker *et al.*(2002)曾提到目前應用於多環芳香烴污染源鑑識上常用之判別指標，分別如下：

1. Anthracene / Anthracene & Phenanthrene (AN / 178)

以熱力學觀點，phenanthrene 會較同分異構物之 anthracene 穩定，因此石油中的 phenanthrene 含量會高於 anthracene，通常當 $AN / 178 < 0.1$ 視為石油來源的指標， $AN / 178 > 0.1$ 則代表以燃燒來源為主(Budzinski *et al.*, 1997)。

2. Fluoranthene / Fluoranthene & Pyrene (FLT / FLT & PYR)

分子量 202 為主的 FLT / (FLT & PYR) 之值 0.4 通常作為判定石油/燃燒的轉變處(Budzinski *et al.*, 1997)，當 $FLT / (FLT \& PYR) > 0.4$ 為燃燒來源，反之則為石油來源。

Yunker *et al.* (2002)研究中提出大多數石油來源之 FLT / (FLT & PYR) 比值皆小於 0.5，但當來源為石油燃燒來源(如燃燒石油、柴油、燃油、原油或汽機車排放)，其比值亦小於 0.5，燃燒/石油之界線似乎更靠近 0.4，故以 $FLT / (FLT \& PYR) < 0.4$ 為石油來源， $FLT / (FLT \& PYR)$ 介於 0.4 至 0.5 為燃燒液態石油燃燒(包括

交通排放及燃燒原油)， $FLT / (FLT \& PYR) > 0.5$ 則為熱裂解來源 (如煤、木、草之燃燒)。

3. Benzo[a]anthracene / Benzo[a]anthracene & Chrysene (BaA / 228)

BaA / 228 比值小於 0.2 為石油來源，介於 0.2 至 0.35 之間則視為石油及燃燒混合來源，BaA / 228 比值大於 0.35 則為燃燒來源。

4. Indeno [1,2,3-c d] pyrene / Indeno [1,2,3-cd] pyrene & Benzo [g, h, i] perylene (IP / IP & BghiP)

當污染來源為燃燒植物、煤，其 IP / (IP & BghiP) 大於 0.5，若為汽油、柴油、煤油等之燃燒產物，其 IP / (IP & BghiP) 比值介於 0.2 至 0.5 之間，而 IP / (IP & BghiP) 小於 0.2 時，污染來源可能為原油。

5. 低分子量/高分子量(LMW / HMW)

高低分子量的界線是以分子量 202 為分界點，分子量小於等於 202 屬於低分子量，即由 naphthalene 到 pyrene 都是屬於低分子量，而 benzo[a]anthracene 到 indeno[1,2,3-c,d]pyrene 則為高分子量(Jacquot *et al.*, 1999)。從石油污染來的多環芳香烴多落在低分子量的部份，而高分子量則為燃燒所產生的多環芳香烴(Soclo *et al.*, 2000)，因此低分子量/高分子量之值小於 1 時，傾向於燃燒所產生的污染來源。

6. Perylene

海洋沉積物中 perylene 的來源至今仍然有爭議存在 (Aizenshtat, 1973)，其可能來源可分為以下五種：

1. 燃燒產生再經由大氣傳輸沉降至海洋(Davies *et al.*, 1976; Reddy *et al.*, 2002)。
2. 石油及煤中含有極微量之 perylene (Pancirov *et al.*, 1980)。

3. 厭氧環境下有機物質經成岩作用(diagenesis)轉化而成。
4. 矽藻(diatoms)分解物也是 perylene 之前驅物質。
5. 沼澤地中泥煤(peat)分解生成 perylene 經河流傳輸到近岸海域 (Venkatesan, 1988)。

當含量越高可視為該測站受自然來源影響越大，一般認為石油來源之 perylene 約佔總多環芳香烴之 1-4% (Wakeham *et al.*, 1980)，若 Perylene 佔 10%以上時，則可能受生物影響 (Tolasa *et al.*, 1996; Wu *et al.*, 2003; Yim *et al.*, 2005)。

2-6 沉積物特性與多環芳香烴之分佈

沉積物(Sediment)為任何可由流體流動因而移動的顆粒，主要是由礦物質與有機物質顆粒堆積，因為其來源不同及自然環境中物化作用等因素，使得沉積物的特性(如沉積物顆粒大小、顆粒密度及有機質含量等)產生差異(周，1987)。底泥來自水中懸浮顆粒的傳輸與沉降，會吸附或釋放來自水體的各類污染物，如有機物質、重金屬以及農藥等，造成水體缺氧或是經由食物鏈循環危害生物體(陳等，2007)。

陸源性有機物(包含人為產生之污染物，如多環芳香烴、多氯聯苯等)經由河川、污水下水道及放流水進入河口或是近岸海域等交界區域，會因鹽析(salting-out，利用物質的溶解度變化而將物質由溶液中析出)等作用，而吸附在水中懸浮顆粒上進而沉降。這些作用雖然可緩和 water 環境的水質污染，但是過度累積反而會對於河川以及水域環境造成持久性傷害，受污染的沉積物在海流、人為活動及當地底棲生物活動作用下，會經由再懸浮作用(re-suspension)使已穩定的污染物釋放出來，而對當地生態造成影響，同時也會經由食物鏈及生物累積作用在水產品中累積，進而威脅到人體健康。

但是沉積物並非由相同的介質所組成，而是混合不同來源、粒徑以及物化特性的顆粒所組成，所以目前有許多研究是針對有機污染物和沉積物粒徑、有機質含量以及密度的相關性做探討。例如 Prahl 及 Caroenter(1983)在華盛頓州附近的海岸沉積物發現多環芳香烴濃度與低密度、粒徑大的維管束植物及木炭碎屑顆粒有正相關；Rocken *et al.* (2002) 在 Piles 灣中發現低密度顆粒 ($< 1.7 \text{ g/cm}^3$) 含有 85%的總多環芳香烴濃度，而這些顆粒約僅佔總重的 4%；以及 Simpson *et al.* (1998) 發現加拿大的 Kitimat 港之沉積物中多環芳香烴濃度較高的結果都落在粒徑較大的顆粒範圍內 (300-1180 μm ，及 $>1180\mu\text{m}$)，而這些顆粒因為來自木炭、植物碎屑及煤炭故有較高的有機質。但是部分文獻指出多環芳香烴濃度與顆粒粒徑成負相關(Kim *et al.*, 1999)，亦或指出多環芳香烴與有機質含量的關聯性較低(Maruya *et al.*, 1996)。上述文獻結果雖然呈現互相衝突抵觸，但是因為每個監測點之沉積物的組成不同，所以呈現不同的結果，但由上可知道顆粒特性對於多環芳香烴的分布有一定的影響力。

2-7 多氯聯苯之研究緣起

1881 年多氯聯苯首次在德國被 Schmidt 和 Schulz 所合成，而至 1929 年由美國 Monsanto Co.大量生產以供應柑橘類水果病害防制使用，因為多氯聯苯對於真菌類具有抑制作用。多氯聯苯也可以作為熱交換器的熱媒體，台灣 1979 年米糠油中毒事件，就是因為生產米糠油時，熱交換氣管線破裂，多氯聯苯露出污染米糠油，其污染範圍影響到兩千多人，主要症狀是皮膚的疹狀潰瘍、指甲和皮膚變黑、上眼皮腫脹、短期視力障礙、聽覺受阻、以及呼吸與免疫系統受損等情形，台灣環保署在米糠油事件隔年便停止進口多氯聯苯，並公告禁止使用

於食品加工設備。美國環保署在 1978 年將多氯聯苯列入毒性物質加以管制，並在 1983 年明令禁止生產製造，而台灣環保署在 1988 年將多氯聯苯公告為第一號列管毒性化學物質，並且禁止製造、輸入、販賣及使用於食品業，於 1994 年由監察院要求行政院加強對多氯聯苯的管制，環保署在 1996 年提出公告，讓業者緩衝 4 年，直到 2000 年 12 月 31 日，才全面禁用多氯聯苯的使用。

2-8 多氯聯苯之基本性質

多氯聯苯，又名二聯酚，為氯化聯苯同屬物的總稱，由不同氯化取代程度的二聯苯基所組成，分子式為 $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ ($n=1\sim 10$)，結構如圖 2-2 所示，其化合物結構與 DDT (dichloro-dipheyl-trichloroethanum) 相似(圖 2-3)，與有機氯農藥、戴奧辛被並列為全球性的有機污染物。由於聯苯上氯的取代基之數目及位置的差異可形成 209 種同源物 (congeners)，根據氯化程度的不同，可將多氯聯苯分為十種同族物 (homologs)。1980 年 Bashmirer 和 Zell 將所有的多氯聯苯編號，成為目前大家最常使用的 IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry，國際純理與應用化協會)命名系統，如表 2-3。

多氯聯苯呈油狀，親油性，在水中溶解度相當低，呈半揮發性 (王，2002；艾，2002)，而含氯數越高的同源物，就有越大的正辛醇-水分配係數 (Octanol Water Partition Coefficients, K_{ow})，其 $\text{Log}K_{ow}$ 在 4.46 到 8.18 之間 (UN/ECE，2003)。

多氯聯苯由不同的國家廠商發展出不同的產品名稱，如美國生產的 Aroclor、Pydraul，日本製造的 Kanecor、Santotherm 或是法國的 Pyralene 等產品。多氯聯苯是以混合物型態生產，以美國 Monsanto Co. 生產的多氯聯苯混合物 Aroclor 為例，其命名方式為商標後加四位數

字，前兩位代表聯苯分子當中之碳原子數，後兩位數字為含氯量之百分比(劉，2000)。工業製程中能夠生產出具不同氯取代程度因而具有不同氯百分含量的多氯聯苯。多氯聯苯的商業配製品視其預定用途含有不同的氯化程度，這是因為混合物性質會隨氯化程度而異，應用也隨之不同。如 Aroclor 1260 含有 12 個碳及 60% 的氯，是由 11 種異構物混合而成，因具長期穩定性可用於電力變壓器中；Aroclor 1242 含有 42% 的氯，特別適用於電力供應控制電路作為電介質。

2-9 多氯聯苯的來源與分佈

多氯聯苯因具有特殊的物化特性，不易燃燒、不易被熱分解、不易被氧化、耐酸、耐鹼、耐腐蝕、較低的蒸氣壓、低溶解度、高絕緣性、穩定的氧化作用及熱阻抗等，所以是一種相當穩定又好用的絕緣體，因此早期被大量使用在電壓器及電容器之絕緣油、塑膠添加物、無碳複寫紙、接合劑、潤滑油、殺蟲劑、浸潤油、水泥添加劑、塗漆、黏著劑、油蠟、油墨、阻火劑等，主要使用途徑如表 2-2 (許，2000)。

在 1960 年代中期，瑞典科學家 Jensen 等學者第一次在野生動物體內發現多氯聯苯化合物之後，多氯聯苯的分布成為近年來環境研究的重要議題之一，並且也開始注意多氯聯苯在環境的殘留與變遷途徑(劉，2000)。

目前多氯聯苯的來源還有：(一)合法的多氯聯苯處置/焚燬場，其中包含處理多氯聯苯廢棄物的焚化爐、高效率鍋爐及化學廢棄物掩埋場等，其處理過程中產生的微量多氯聯苯是無法被避免；(二)多氯聯苯意外釋出，是只含有多氯聯苯的設備的洩露與意外火災等；(三)都市廢水處理廠；(四)部分戴奧辛的產生來源也會同時產生多氯聯苯，如工業木料燃燒、廢輪胎燃燒及污泥焚化等(陳，2007)。

最常見到的輸入途徑，便是隨著廢棄物進入環境，例如帶有多氯聯苯的廢棄電容器、工業用廢棄油類以及含有多氯聯苯的殺蟲劑、農藥等，經由掩埋進入土壤、廢水排放進入下水道及河川，甚至經由空氣傳播，然後下降到極區的冰山(Klamer *et al.*, 1991)。

2-10 多氯聯苯之毒理特性

多氯聯苯的急毒性並不高，進入生物體內後，會殘留非常久的時間，因為多氯聯苯易溶於脂肪，所以進入體內之後就不容易經代謝作用排出體外，對於免疫系統、肝臟、荷爾蒙分泌造成重大影響，並且具生物累積以及生物放大效應(Clark *et al.*, 1988)，因此食物鏈中階層越高的動物，所受的傷害也越大。

對於人體的傷害主要為肝、腎臟以及心臟。除了會破壞這些內臟的機能之外，還會縮小其體積，減輕重量。除此之外，還有貧血、骨髓發育不良、胃壁加厚、脫毛等症狀。因為是脂溶性，會不知不覺中融入身體裡面，並且無法由人體代謝排出體外。表現在外的有顏面、頸部或是身體柔軟部位出現疙瘩，或是類似青春痘的皮膚病、頭暈目眩、手腳疼痛、四肢無力、水腫，或是指甲、眼白、齒齦、嘴唇、皮膚等處的黑色素沈澱，甚至融入細胞 DNA 中，使遺傳因子紊亂，促使癌症產生；根據研究指出多氯聯苯會經由胎盤進入到胚胎當中或是經由哺乳的過程傳遞到幼兒的體內(Guo *et al.*, 1997)。

在多氯聯苯的化學結構上，由於氯原子較大，若在同邊的鄰位(2 與 2' 或 6 與 6')上有兩個氯原子，則會造成排擠作用，並使兩個苯環中間的單鍵旋轉，且不在同一平面上；若在兩個苯環的鄰位 (ortho) 位置都無氯原子取代或是兩個鄰位的位置只有一個氯原子取代，能維持平面的結構，因此稱為「共面式多氯聯苯(co-planar PCBs)」。在 209

種不同多氯聯苯的異構物中，有 68 種為共面式多氯聯苯，其中 20 種的氯原子皆在非鄰位(non-ortho，即間或對位)的位置上，包含有 PCB 81，PCB 77，PCB 126，PCB169 等，其餘的 48 種則僅有一個氯原子在鄰位上(ortho-substituted)，包含 PCB 105，PCB 114，PCB 118，PCB 123，PCB 156，PCB 157，PCB 167，PCB 189 等。

此種共面式結構除了與 TCDD (四氯戴奧辛，2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin)相似外，並且會與動物體細胞內核膜上的芳香族碳氫化合物接受器(Aryl Hydrocarbon Receptor, AhR)發生作用而產生類似戴奧辛(dioxin)毒性(Landers & Bunce, 1991; 高, 2002)。世界衛生組織(WHO)在 1998 年針對人類與哺乳動物，將不同異構物的毒性以毒性最強的 2,3,7,8-TCDD 的毒性強度以 1 為標準，訂出其他化合物的相對毒性，其中 12 種共面式毒性多氯聯苯之毒性當量因子【Toxic (TCDD) equivalency factors, TEF】，如表 2-4 所示，其毒性當量(Toxic equivalent, TEQ)濃度計算方式如下：

$$TEQ = \sum_{i=1}^{12} [\text{多氯聯苯同源物}] \times TEF_i$$

2-11 海域沉積物品質參考準則

建立海域沉積物品質參考準則是評估當地海洋環境遭受污染程度的重要指標，我國只規定了水質標準，並未針對沉積物訂定標準，所以在本研究當中是參考國外政府與專家學者建議，評估海域沉積物的污染程度。

目前沉積物品質參考準則大致有以下三種模式：第一種，根據過去普查資料，訂定背景濃度和受污染的標準；第二種根據水質濃度標準，換算成處於平衡狀態水域沉積物的濃度(Connel *et al.*, 1998; Liang

et al., 1999) ；第三種根據生物可能受影響程度建立沉積物影響濃度，其中關鍵影響濃度 (Threshold effect concentration, TEC) ，代表在此濃度以下，以沉積物為棲地的生物不受影響；而可能影響濃度 (Probable effect concentration, PEC) 則代表超過此濃度，以沉積物為棲地的生物可能會受到部份的有害影響 (MacDonald *et al.*, 2000) 。

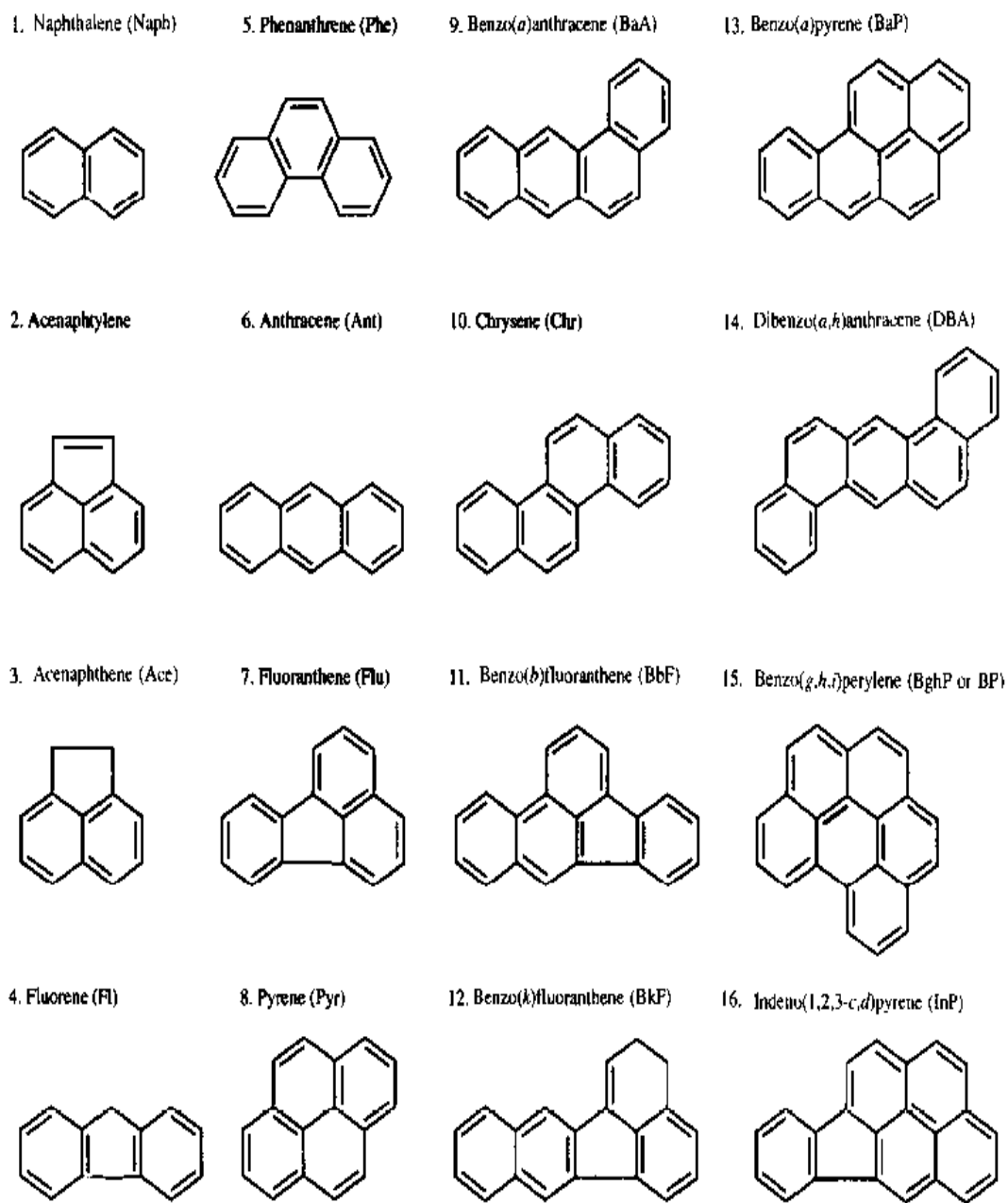


圖 2-1 美國環保署公佈之 16 種多環芳香烴結構圖 (Witt, 1995)

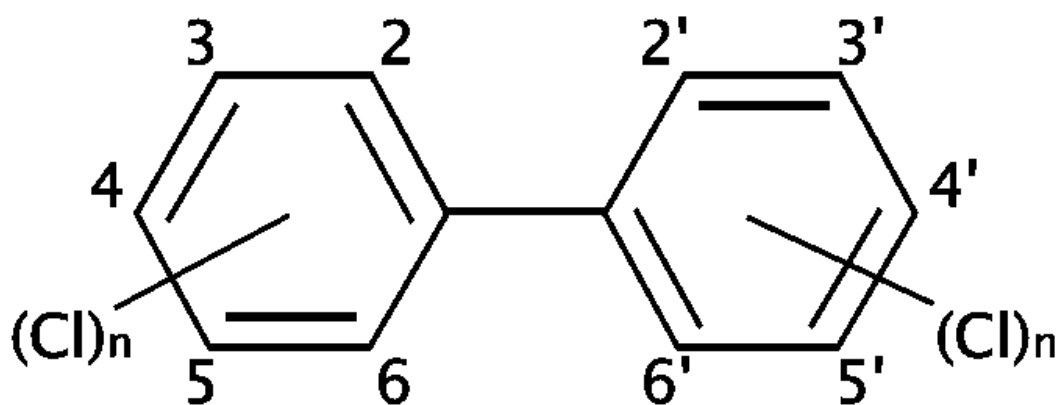


圖 2-2 多氯聯苯化學結構式(維基百科，Wikipedia)

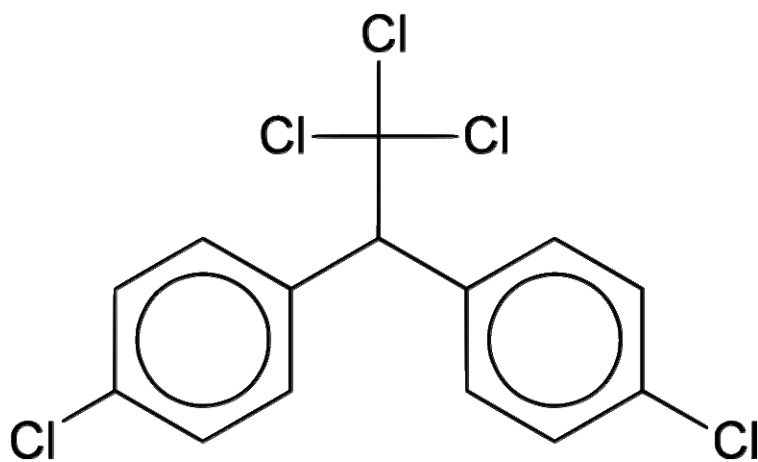


圖 2-3 DDT 化學結構式(維基百科，Wikipedia)

表 2-1 多環芳香烴之致癌性

多環芳香烴	IARC	USEPA	NAS	動物致癌性
Naphthalene			0	
Acenaphthylene			0	
Acenaphthene				
Fluorene	3	D		I
Phenanthrene	3	D	0	I
Anthracene	3	D	0	No
Floranthene	3	D	+	No
Pyrene	3	D	0	No
Benz[a]anthracene	2A	B2	+	S
Chrysene	3	B2	0/+	L
Benzo[b]fluoranthene	2B	B2		S
Benzo[k]fluoranthene	2B	B2		S
Benzo[e]pyrene			0/+	I
Benzo[a]pyrene	2A	B2	++	S
Perylene	3		0	I
Indeo[1,2,3-c,d]pyrene				S
Dibenz[a,h]anthracene	2A	B2		S
Benzo[g,h,i]perylene		D	+	I
Coronene	3		0/+	I

Source: IARC, 1983; USEPA, 1987

註：1.法國國際癌症研究中心：致癌性潛能：2A>2B>3

2.美國環保署：B2-具致癌性多環芳香烴，D-無法分類

3.動物致癌性：S-具有充分證據證實可致癌性

L-具限制之證據證實可致癌

I-具不充分證據證實可致癌

No-不具充分證據證實可致癌

表 2-2 多氯聯苯主要用途

用途	製品及應用範圍
絕緣體	高樓、醫院車輛船舶之變壓器；螢光燈、水銀燈、冷氣、洗衣機、馬達等之電容器
熱媒體	化學、食品、製紙、藥品及塑膠工業
潤滑油	高溫用潤滑油、水中用潤滑油、真空幫浦油、切削油(金屬加工)
增韌劑	電線的披覆、絕緣膠帶
可塑劑	PE 及 PVC 樹脂、接著劑
塗料	防燃性塗料、耐酸鹼塗料、印刷油墨
複寫紙	無碳複寫紙、電子式複寫紙
其他	紙及毛織物添加物、農藥效力延長劑等

Source: 許(2000)

表 2-3 多氯聯苯 IUPAC 之命名

No.	Structure	No.	Structure	No.	Structure	No.	Structure	No.	Structure
Monochlorobiphenyls									
1	2	43	2,2', 3,5	88	2,2', 3,4,6	133	2,2'3, 3'5, 5'	178	2,2', 3,3', 5,5', 6
2	3	44	2,2'3, 5	89	2,2', 3,4,6	134	2,2'3, 3', 5,6	179	2,2', 3,3', 5,6,6'
3	4	45	2,2'3, 6	90	2,2', 3,4', 5	135	2,2'3, 3', 5,6'	180	2,2'3, 4,4', 5,5'
Dichlorobiphenyls									
4	2,2'	46	2,2', 3,6'	91	2,2', 3,4', 6	136	2,2'3, 3', 6,6'	181	2,2', 3,4,4', 5,6
5	2,3	47	2,2', 4,4'	92	2,2', 3,5,5'	137	2,2'3, 4,4'5	182	2,2'3, 4,4', 5,6'
6	2,3'	48	2,2', 4,5	93	2,2', 3,5,6	138	2,2', 3,4,4', 5'	183	2,2', 3,4,4', 5', 6
7	2,4	49	2,2'4, 5'	94	2,2', 3,5,6'	139	2,2'3, 4,4'6	184	2,2', 3,4,4', 6,6'
8	2,4'	50	2,2', 4,6'	95	2,2', 3,5', 6	140	2,2', 3,4,4', 6'	185	2,2', 3,4,5,5', 6
9	2,5	51	2,2'4, 6'	96	2,2'3, 6,6'	141	2,2'3, 4,5,5'	186	2,2', 3,4,5,6,6'
10	2,6	52	2,2'5, 5'	97	2,2', 3', 4,5	142	2,2'3, 4,5,6	187	2,2', 3,4', 5,5', 6
11	3,3'	53	2,2'5, 6'	98	2,2', 3', 4,6	143	2,2'3, 4,5,6'	188	2,2', 3,4', 5,6,6'
12	3,4	54	2,2'6, 6'	99	2,2', 4,4', 5	144	2,2', 3,4,5,6'	189	2,3,3', 4,4', 5,5'
13	3,4'	55	2,3,3', 4	100	2,2'4, 4', 6	145	2,2', 3,4,6,6'	190	2,3,3', 4,4', 5,6
14	3,5	56	2,3,3', 4'	101	2,2'4, 5,5'	146	2,2', 3,4', 5,5'	191	2,3,3'4, 4', 5', 6
15	4,4'	57	2,3,3', 5	102	2,2'4, 5,6'	147	2,2', 3,4', 5,6	192	2,3,3', 4,5,5', 6
Trichlorobiphenyls									
16	2,2', 3	58	2,3,3', 5	103	2,2'4, 5', 6	148	2,2', 3,4', 5,6'	193	2,3', 4', 5,5'6
17	2,2', 4	59	2,3,3', 5	104	2,2', 4,6,6'	149	2,2', 3,4', 5',	Octachlorobiphenyls	
18	2,2', 5	60	2,3,4,4'	105	2,3,3', 4,4'	150	2,2', 3,4', 6,6'	194	2,2', 3,3', 4,4', 5,5'
19	2,2', 6	61	2,3,4,5	106	2,3,3', 4,5	151	2,2', 3,5,5', 6	195	2,2', 3,3', 4,4', 5,6
20	2,3', 3'	62	2,3,4,6	107	2,3,3', 4', 5	152	2,2'3, 5,6,6'	196	2,2', 3,3', 4,4', 5', 6
21	2,3,4	63	2,3,4', 5	108	2,3,3', 4,5'	153	2,2', 4,4', 5,5'	197	2,2'3, 3'4, 4'6, 6'
22	2,3,4'	64	2,3,4', 6	109	2,3,3', 4,6	154	2,2', 4,4', 5,6	198	2,2'3, 3', 4,5,5', 6
23	2,3,5	65	2,3,5,6	110	2,3,3', 4', 6	155	2,2', 4,4'6, 6'	199	2,2', 3,3', 4,5,5', 6
24	2,3,6	66	2,3', 4,4'	111	2,3,3', 5,5'	156	2,3,3', 4,4', 5	200	2,2', 3,3', 4,5', 6,6'
25	2,3'4	67	2,3', 4,5	112	2,3,3,3'5, 6	157	2,3,3', 4,4', 5	201	2,2', 3,3', 4', 5,5'6
26	2,3', 5	68	2,3'4, 5'	113	2,3,3', 5', 6	158	2,3,3', 4,4', 6	202	2,2', 3,3', 5,5', 6,6'
27	2,3'6	69	2,3'4, 6	114	2,3,4,4', 5	159	2,3,3', 4,5,5'	203	2,2', 3,4,4', 5,5', 6
28	2,4,4'	70	2,3', 4'5	115	2,3,4,4', 6	160	2,3,3', 4,5,6	204	2,2', 3,4,4', 5,6,6'
29	2,4,5	71	2,3'4', 6	116	2,3,4,5,6	161	2,3,3', 4,5', 6	205	2,3,3', 4,4', 5,5', 6
30	2,4,6	72	2,3', 5,5'	117	2,3,4', 5,6	162	2,3,3', 4', 5,5'	Nonachlorobiphenyls	
31	2,4', 5	73	2,3', 5', 6	118	2,3', 4,4', 5	163	2,3,3', 4', 5,6	206	2,2', 3,3', 4,4', 5,5',
32	2,4' 6	74	2,4,4', 5	119	2,3', 4,4', 6	164	2,3', 4', 5,6	207	2,2', 3,3', 4,4',
33	2', 3,4	75	2,4,4', 6	120	2,3', 4,5,5'	165	2,3,3', 5,5', 6	208	2,2', 3,3', 4,5,5',
34	2', 3,5	76	2', 3,4,5	121	2,3', 4,5', 6	166	2,3,4,4', 5,6	Decachlorobiphenyls	
35	3,3'4	77	3,3', 4,4'	122	2', 3,3', 4,5	167	2,3', 4,4'5, 5'	209	2,2', 3,3', 4,4', 5,5',
36	3,3'4	78	3,3', 4,5	123	2', 3,4,4', 5	168	2,3', 4,4', 5,6	Heptachlorobiphenyls	
37	3,4,4,	79	3,3', 4,5'	124	2', 3,4,5,5'	169	3,3'4, 4', 5,5'	Hexachlorobiphenyls	
38	3,4,5	80	3,3'5, 5'	125	2'3, 4,5,6'	Heptachlorobiphenyls			
39	3,4', 5	81	3,4,4', 5	126	3,3'4, 4', 5	170	2,2', 3,3',	Hexachlorobiphenyls	
Tetrachlorobiphenyls									
40	2,2', 3,3'	Pentachlorobiphenyls		127	3,3', 4,5,5'	171	2,2', 3,3',	Hexachlorobiphenyls	
41	2,2'3, 4	82	2,2'3, 3', 4	Hexachlorobiphenyls		172	2,2', 3,3',	Hexachlorobiphenyls	
42	2,2'3, 4	83	2,2'3, 3', 5	128	2,2'3, 3'4, 4'	173	2,2', 3,3',	Hexachlorobiphenyls	
		84	2,2'3, 3', 6	129	2,2'3, 3', 4,5	174	2,2', 3,3',	Hexachlorobiphenyls	
		85	2,2', 3,4,4'	130	2,2'3, 3', 4,5'	175	2,2'3, 3', 4,5',	Hexachlorobiphenyls	
		86	2,2', 3,4,5	131	2,2'3, 3', 4,6	176	2,2', 3,3',	Hexachlorobiphenyls	
		87	2,2', 3,4,5'	132	2,2'3, 3', 4,6'	177	2,2', 3,3', 4',	Hexachlorobiphenyls	

表 2-4 多氯聯苯同源物毒性當量因子

PCB congener (IUPAC#)	Chlorine Substitution pattern	TCDD TEF
77 Non-ortho	3,3',4,4'	0.0001
81 Non-ortho	3,4,4', 5	0.0001
126 Non-ortho	3,3', 4,4', 5	0.1
169 Non-ortho	3,3', 4,4', 5,5'	0.01
105 Mono-ortho	2,3,3', 4,4'	0.0001
114 Mono-ortho	2,3,4,4', 5	0.0005
118 Mono-ortho	2,3', 4,4', 5	0.0001
123 Mono-ortho	2', 3,4,4', 5	0.0001
156 Mono-ortho	2,3,3', 4,4', 5	0.005
157 Mono-ortho	2,3,3', 4,4', 5'	0.0005
167 Mono-ortho	2,3', 4,4', 5,5'	0.00001
189 Mono-ortho	2,3,3', 4,4', 5,5'	0.0001

Source: Van den Berg *et al.* (1998)

第三章 研究方法及步驟

3-1 材料與儀器

3-1-1.材料

試藥：無水硫酸鈉 (anhydrous sodium sulfate) 0.63 -2.0 mesh ,
Merck 。

氧化鋁 (alumina) 0.2 - 0.63 mm mesh , Merck 。

鹽酸 (Hydrochloric Acid)35% , 聯工試藥 。

鎢酸鈉 (Sodium metatungstate hydrate), Aldrich 。

銅絲 99% Alfa Aesar 。

矽酸鎂 (Florisil) 60-100 mesh, RHD 。

鹽酸 (Hydrochloric Acid) 35% , 聯工試藥 。

溶劑：正己烷(n-hexane) 殘量級 , Merck 。

二氯甲烷(Dichloromethane) 殘量級 , Merck 。

丙酮(Acetone) 殘量級 , Merck 。

石油醚(Petroleum ether) 殘量級 , Merck 。

實驗用水：用 Millipore (Milli RO/ Milli-Q 水處理系統)製造之超
純水 。

多環芳香烴標準品：

- 內標準品 (Internal Standards)：分別為 acenaphthene-d₁₀、phenanthrene-d₁₀、benzo[a]anthracene-d₁₂ 與 benzo[a]pyrene-d₁₂ 。
- 擬似標準品 (Surrogate Standards)：分別為 naphthalene-d₈、fluorene-d₁₀、fluoranthene-d₁₀、perylene-d₁₂ 。

多氯聯苯標準品：

- 內標準品 (Internal Standards) 工業合成的 PCB 30 和 PCB 204。
- 擬似標準品 (Surrogate Standards)：工業合成的 PCB 14、PCB 65 和 PCB 166。

3-1-2 儀器：

- 氣相層析質譜儀 (GC-MS)：gas chromatograph (Hewlett Packard 6890) plus mass spectrometer (5973N)。
- GC-MS 自動注射系統 (auto-sampler, HP-7683)。
- 加速溶劑萃取系統：Accelerated Solvent Extraction System (ASE 300 Dionex)。
- 氣相層析/電子捕捉偵測器(GC-ECD)：gas chromatograph plus electron-capture detector (Aglient 4890D)。
- 真空減壓濃縮機 (Buchi Rotavapor, R300)。
- 微量電動天平 (Sartorial analytic, A210P)。
- 碳硫分析儀 (LECOCS-244)。
- 高速離心機 (Sigma, 2-15)。

3-2 試藥及器材前處理

- 玻璃器皿：採集樣品與實驗分析過程中，所使用之玻璃器皿均先以中性洗劑(Alconox™)刷洗，以自來水沖洗乾淨，超純水潤濕後晾乾，再將玻璃器具以高溫爐(450°C)烘四小時以去除有機物，後以鋁箔紙封口待用。
- 銅絲：將銅絲泡在鹽酸(10%)中 2-3 小時去除氧化物，再依序以超

純水、殘量級丙酮及殘量級正己烷浸泡。

- 氧化鋁：使用前先以高溫爐(550°C)烘四小時，後移至乾燥器冷卻。
- 矽酸鎂：放入烘箱中 550°C 烘 4 小時後冷卻備用。
- 玻璃棉、玻璃濾紙：使用前先以高溫爐(450°C)烘四小時。
- 研鉢、棒：先以 Alconox™ 洗劑洗滌、晾乾，再以 350°C 烘 4 小時。
- 不銹鋼篩網：先以 Alconox™ 洗劑洗滌，以自來水沖洗乾淨，並以超純水、殘量級丙酮及殘量級正己烷潤濕。

3-3 採樣與保存

研究的沉積物是 2006 年 11 月 24 日與 2006 年 12 月 3 日分別於高雄港支航道(KH1)及旗津上竹里漁港(KH2)進行採集，採樣點如圖 3-1 所表示。在現場以箱式採泥器採集表層沉積物(約 5cm)，再以刮杓刮取沉積物於 0.5L 棕色玻璃瓶中，旋緊瓶蓋，儘速帶回實驗室以 4°C 的冷凍櫃保存並且在兩個月內完成分析。

本研究區域主要針對高雄港區的第一及第二港口做探討，港區內沉積物主要來自於：(一)河川溪流及排放口等注入，(二)港口外海漂沙帶入以及(三)港區工程之施工(董，2000)。高雄港區面積為 17,678 公頃，其中陸域面積 1,442 公頃，佔全港面積之 8.2%，水域面積 16,236 公頃，佔全港面積之 91.8%，港區配置以碼頭作業區為主，其次為工業區，其餘則為港務行政、漁港、造船廠、台電、中油等用地，主要可分為港阜營運區、漁業專業區、工業專業區及港阜行政區等四大主要區域(交通部高雄港務局網頁，2008)。

高雄港目前進出港航道有兩個，第一港口之內港口水深 11 公尺，航道寬 80 公尺，可通行 3 萬噸級船舶，鄰近有愛河等河川注入，並

且有較多的貨櫃及捕撈等船隻活動，主要是以漁業及商業活動為主；第二港口之內港口水深 16 公尺，航道寬 150 公尺，可通行 10 萬噸級船舶。在第二港口的部分，鄰近的大林臨海工業區中有大林發電廠、中油公司的油庫等重工業，主要以工業活動以及港阜營運為主(交通部高雄港務局網頁，2008)。因為一、二港口的沉積物及污染來源有所差異，所以各設立一個採樣點進行採樣，以了解之間污染物種類與分布的差異性。

3-4 分析方法

3-4-1 粒徑分析

將沉積物取出退冰後攪拌均勻，使沉積物沒有分層及顏色不均的現象，以海水(34psu)以及一系列不同網目大小的不鏽鋼網進行溼篩，其網目大小分別為： >1000 、 $500 - 1000$ 、 $250 - 500$ 、 $125 - 250$ 、 $63 - 125$ 以及 $<63 \mu\text{m}$ 而 $<63 \mu\text{m}$ 的顆粒利用離心機($3034 \times g$, 15 min)進行集中收集。

3-4-2 密度分離分析

將過篩完畢的底泥顆粒取適量放入離心管當中並且加入約 10-20 ml 的鎢酸鈉溶液($3\text{Na}_2 \cdot (\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3) \text{H}_2\text{O}$)，其溶液密度為 $2.15 \text{g}/\text{cm}^3$ (Aldrich, Germany)，均勻上下搖晃之後置於離心機進行離心($434 \times g$, 10 min)，上層懸浮的顆粒即屬於低密度(Light)顆粒部分($\text{density} < 2.15 \text{g}/\text{cm}^3$)，而沉澱部份之顆粒屬於高密度(Heavy)顆粒部份($\text{density} > 2.15 \text{g}/\text{cm}^3$)。

低密度顆粒以玻璃纖維濾紙(Whatmam GF/F, 孔徑 $0.7 \mu\text{m}$ ，直徑 47mm)過濾，濾紙以 50°C 烘乾後置於 -20°C 保存備用；高密度顆粒收集

於100ml棕色瓶中以50°C烘乾置於-20°C保存備用。

3-4-3 多環芳香烴分析

取適量經密度分離的沉積物樣品 0.1 - 4 g，於研鉢與無水硫酸鈉混合研磨均勻，使沉積物顆粒能均勻分散。將已去活化(deactivate)的氧化鋁倒入 ASE-300 的 cell body (100ml)後填塞玻璃棉，並將與無水硫酸鈉混合研磨均勻的樣品倒入，各添加 100 μ l 多環芳香烴以及多氯聯苯之擬似標準品(Surrogate Standard)，以二氯甲烷於 ASE-300 裝置進行萃取與淨化。

收集萃取液倒入 500ml 平底燒瓶，再加入經前處理的銅絲後靜置 24 小時除硫；取出銅絲後，樣品以真空減壓濃縮機濃縮至約 5 - 10ml 後進行吹氮(高純氮，99.99%)濃縮至約 0.5ml。於儀器分析前添加 100 μ l 內標準品(internal standard)，隨後再以氣相層析質譜儀(selected ion monitoring mode)進行分析。

3-4-4 氣相層析質譜儀(GC-MS)分析

- I. 毛細層析管柱(HP-5MS)：長 30m，徑寬 0.25mm，膜厚 0.25 μ m。
- II. 升溫條件：第一段升溫控制在 50°C 以每分鐘 10°C 上升至 280°C；第二段升溫控制於以每分鐘 5°C 上升至 310°C。
- III. 載流氣體：氦氣，流速為 1ml/min，壓力設定 36.2Kpa。
- IV. 注射口溫度與 GC-MS 之界面溫度：310°C。
- V. 注射量：2 μ l with splitless injection。

本研究使用內標準品法定量多環芳香烴，內標準品為 acenaphthene-d₁₀、phenanthrene-d₁₀、benzo[a]anthracene-d₁₂、benzo[a]pyrene-d₁₂。將混合標準液之層析訊號與添加之內標準品訊號相比，產生之比值為相對反應因子(relative response factor, RRF)，並

利用樣品和內標準品的積分面積及相對反應因子來求得樣品的濃度，標準品計算方式如下：

$$RRF = \frac{A_S / C_S}{A_{is} / C_{is}}$$

其中

RRF = 相對反應因子

A_S = 待測物或擬似標準品之波峰面積

C_S = 待測物或擬似標準品之濃度，ng/g

A_{is} = 內標準品之波峰面積

C_{is} = 內標準品之濃度，ng/g

待測物濃度計算如下：

$$C_S = \frac{A_S / C_{is}}{A_{is} / RRF}$$

本研究多環芳香烴定性是利用待測物的極性與沸點對層析管柱內層塗佈材質作用力的不同，依相對於混合標準品的滯留時間及質譜圖中鑑定之。

3-4-5 多氯聯苯分析

將經前處理的適量矽酸鎂(Florisil)粒子(60 - 100 mesh)加入 2.5% 的超純水使其去活化，在 Florisil 的淨化管中填入玻璃棉後，倒入 8 克去活化的矽酸鎂，再加入約 1 cm 高的無水硫酸鈉，填充完畢加入 30 ml 石油醚淋洗管柱，待液面降至無水硫酸鈉上方稍高的高度，即可將濃縮後之樣品移入淨化管中，再以 30 ml 石油醚淋洗，收集至離心管中，最後以真空減壓濃縮機濃縮至約 5 - 10ml 後進行吹氮(高純氮，99.99%)濃縮至約 0.5ml，隨後再以氣相層析儀電子捕捉偵測器(GC

- ECD)分析。

3-4-6 氣相層析儀電子捕捉偵測器(GC - ECD)分析

- I. 毛細層析管柱(DB-5, J&W Sci)：長 60m，徑寬 0.25mm，膜厚 0.25 μ m。
- II. 升溫條件：從 100 $^{\circ}$ C 以每分鐘 4 $^{\circ}$ C 的速率升至 170 $^{\circ}$ C，再以每分鐘 3 $^{\circ}$ C 的速率升至 280 $^{\circ}$ C。
- III. 載流氣體：氦氣，流速為 1ml/min，壓力設定 170Kpa。
- IV. 偵測器端溫度與分析管柱之界面溫度：285 $^{\circ}$ C。
- V. 注射量：2 μ l with splitless injection。

本研究亦使用內標準品法定量多氯聯苯，內標準品使用 PCB 30 (2,3,6-trichlorobiphenyl) 以及 PCB 204 (2,2',3,4,4',5,6,6'-octachlorobiphenyl)。將待測物之層析訊號與添加之內標準品訊號相比，產生之比值為相對反應因子(relative response factor, RRF)，計算待測物濃度之方式同氣相層析質譜儀分析定量方式。本研究多氯聯苯定性是利用待測物的極性與沸點對層析管柱內層塗佈材質作用力的不同，依相對於標準品 PCB 610 的滯留時間來鑑定之。

3-5 品管及品保要求 (QA / QC)

3-5-1 方法回收率

研究中，玻璃器皿以溶劑沖洗後經高溫烘烤去除污染物，沉積物在進行萃取之前則添加已知濃度之擬似標準品，用以判斷本實驗流程是否造成樣品的損失並增加其數據之可性度，分析結果列於表 3-2。naphthalene-d₈、fluorene-d₁₀、fluoranthene-d₁₀、perylene-d₁₂，沉積物之平均回收率分別為 54 \pm 13%、80 \pm 13%、76 \pm 13%以及 73 \pm

14%，本研究結果之多環芳香烴濃度以回收率校正，因為經回收率校正的 SRM 實驗結果較接近標準值，故在此作校正。在多氯聯苯部份，因為在實驗過程中僅部分樣品有添加擬似標準品，故本研究結果之多氯聯苯濃度不以回收率校正。

3-5-2 標準品查核樣品分析

每 12 個樣品夾一個標準品進行查核，查核樣品(standard reference material, SRM) 為 1941b SRM (National Institute of Standard and Technology, USA)，查核樣品之分析結果，可確定分析程序之可信度或分析結果之準確度，分析結果如表 3-1。

3-5-3 空白分析實驗

由於實驗過程可能遭受污染而影響分析結果，所以每 12 個樣品夾一空白樣品。空白分析為使用乾淨之無水硫酸鈉，與沉積物樣品進行相同之分析程序，來偵測是否有實驗過程之外的污染影響，若空白分析結果低於實際空白分析訊號值求得之 10 倍標準偏差值，表示實驗過程沒有受到污染(Giuseppe *et al.*, 2004)，由附表 1 及附表 2 的結果可得知實驗過程未遭受污染而影響分析結果。

3-5-4 方法偵測極限

由於待測物之最低量或最小濃度，產生可與空白訊號區別之訊號者，就表示該待測物之濃度在 99% 之可性度下會產生大於平均雜訊之三倍平均訊號。本研究將實驗中空白分析訊號值求得之三倍平均值，為本方法之偵測極限。附表 1 及附表 2 為多環芳香烴及多氯聯苯之偵測極限。

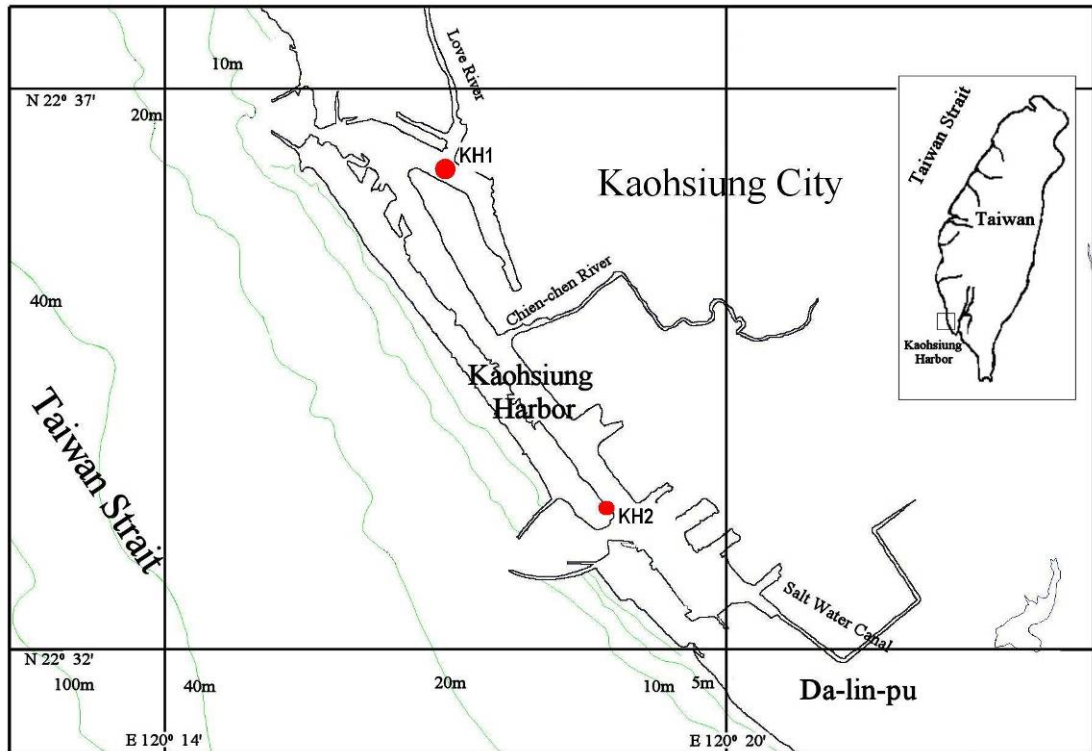


圖 3-1 各測站之採樣點位置圖

表 3-1 標準沉積物 SRM 1941b 多環芳香烴分析結果

Compound conc. (ng/g dw)	SRM1	SRM2	SRM3	SRM4	Certified conc. (ng/g)	Mean±SD (ng/g)	Recovery±SD (%)
Naphthalene	645.9	706.9	598.0	605.2	848	639±43	75±5
Fluorene	41.4	45.6	46.1	41.7	85	43±2	51±3
Phenanthrene	503.2	424.5	343.5	414.9	406	421.5±57	104±14
Anthracene	187.8	169.3	193.4	147.8	184	174.6±18	95±10
3-methylphenanthrene	144.0	111.6	106.6	93.1	105	113.8±19	108±18
2-Methylanthracene	91.6	61.7	80.4	42.1	128	68.9±19	54±15
1-Methylphenanthrene	56.8	89.7	103.2	71.3	73.2	80.3±18	110±24
Fluoranthene	522.0	564.6	494.1	646.5	651	566.8±58	86±9
Pyrene	402.1	441.3	365.7	410.9	581	405±27	70±5
1-Methylpyrene	40.3	31.9	38.7	34.8	52.5	36.4±3	69±6
Benz [a] anthracene	532.5	298.4	264.1	230.3	335	331.3±119	99±35
Chrysene+Triphenylene	252.2	327.5	261.0	274.9	399	278.9±29	70±7
Benzo [b] fluoranthene	418.5	491.3	360.8	468.8	453	434.9±50	96±11
Benzo [k] fluoranthene	276.0	250.6	299.1	318.0	225	285.9±25	127±11
Benzo [e] pyrene	365.8	353.0	280.9	332.5	325	333±32	102±10
Benzo [a] pyrene	193.7	252.7	249.1	226.9	358	230.6±23	64±7
Perylene	303.3	344.5	290.2	272.3	397	302.6±27	76±7
Indeno [1,2,3-c, d] pyrene	348.4	387.5	499.9	339.3	341	393.8±64	115±19
Dibenz [a, h] anthracene	96.8	66.2	87.5	70.1	53	80.1±12	151±24
Benzo [g, h, i] perylene	338.9	264.1	273.2	221.9	307	274.5±42	89±14
Coronene	156.1	113.4	97.6	73.9	72.6	110.2±30	152±41

表 3-2 各測站之多環芳香烴擬似標準品回收率

Station	naphthalene-d ₈	fluorene-d ₁₀	fluoranthene-d ₁₀	perylene-d ₁₂
KH1				
<63(L)-1	56.3%	80.8%	80.5%	70.8%
<63(L)-2	52.7%	67.5%	75.7%	71.3%
<63(H)	64.1%	101.6%	93.1%	80.4%
63-125(L)	57.6%	84.3%	77.1%	68.9%
63-125(H)	54.1%	84.7%	78.2%	72.6%
125-250(L)	55.7%	74.2%	72.1%	66.1%
125-250(H)	54.8%	92.0%	77.2%	69.2%
250-500(L)	55.4%	88.5%	90.8%	82.9%
250-500(H)	45.6%	92.5%	76.8%	66.0%
500-1000(L)	72.4%	84.1%	86.5%	92.4%
500-1000(H)	63.2%	83.2%	83.8%	82.8%
KH2				
<63(L)	75.0%	89.9%	87.3%	86.0%
<63(H)	46.2%	81.1%	69.8%	66.4%
63-125(L)	64.2%	87.6%	87.0%	86.6%
63-125(H)	41.8%	75.3%	63.4%	66.6%
125-250(L)	71.3%	85.7%	85.7%	88.3%
125-250(H)-1	46.0%	73.3%	64.7%	61.1%
125-250(H)-2	25.6%	76.6%	63.7%	61.0%
250-500(L)	59.3%	77.4%	81.4%	81.4%
250-500(H)	49.6%	79.2%	69.6%	72.8%
500-1000(L)	72.2%	88.3%	90.2%	76.4%
500-1000(H)	41.6%	80.0%	65.6%	72.5%
>1000(L)	56.5%	75.2%	80.1%	76.5%
>1000(H)	24.4%	31.2%	30.1%	24.2%
Average	54.4±13.1%	80.6±12.9%	76.3±13.3%	72.6±13.5%

表 3-3 標準沉積物 SRM 1941b 多氯聯苯分析結果

PCB Congeners	This study (n=4)	Certified
Cong 8,5	4.89±0.76	1.65±0.19(PCB8)
Cong 18	1.06±0.23	2.39±0.29
Cong 31,28	4.16±0.27	7.7±0.7
Cong 45	0.37±0.12	0.73±0.12
Cong 52	2.46±0.65	5.24±0.28
Cong 49	2.33±0.57	4.34±0.28
Cong 44	2.22±0.59	3.85±0.23
Cong 74	1.01±0.21	2.04±0.15
Cong 70,76	3.36±0.63	4.99±0.29(PCB70)
Cong 66,95	6.15±1.14	8.89±0.82
Cong 56,60,92	3.10±1.09	1.21±0.11(PCB56)
Cong 101,89	1.60±0.26	5.11±0.34(PCB101)
Cong 99	0.85±0.14	2.9±0.36
Cong 81,87	0.37±0.12	1.14±0.16(PCB87)
Cong 77,110	2.40±0.33	4.93±0.36
Cong 107	0.17±0.02	0.628±0.028
Cong 123,149	1.97±0.28	8.58±0.32
Cong 146	0.71±0.10	1.22±0.12
Cong 132,153,105	4.43±0.50	8.18±0.43
Cong 163,138	3.03±0.17	4.88±0.29
Cong 158	0.84±0.36	0.65±0.15
Cong 187,182	1.60±0.17	2.17±0.22(PCB187)
Cong 183	0.86±0.22	0.979±0.087
Cong 128	0.22±0.08	0.696±0.044
Cong 174	0.91±0.07	1.51±0.39
Cong 202,171,156	0.68±0.06	0.507±0.090(PCB156)
Cong 180	2.36±0.26	3.24±0.51
Cong 193	0.54±0.11	0.292±0.075
Cong 170,190	1.04±0.14	1.35±0.09(PCB170)
Cong 201	0.96±0.20	0.777±0.034
Cong 208,195	0.80±0.19	0.645±0.060(PCB195)
Cong 194	0.57±0.12	1.04±0.06
Cong 206	1.07±0.26	2.24±0.19
Cong 209	1.13±0.48	4.86±0.45

第四章 結果與討論

4-1 沉積物特性

高雄港支航道測站(KH1)以粉砂(silt; $<63\mu\text{m}$)與砂(sand; $63-125\mu\text{m}$)佔大部分; 分別佔總重的 94%及 5.4%, 含量最少的為 $500-1000\mu\text{m}$ 及 $>1000\mu\text{m}$ 的顆粒如圖 4-1 所示; 而旗津上竹里漁港站(KH2) 也以粉砂(silt; $<63\mu\text{m}$)與砂(sand; $125-250\mu\text{m}$)佔大部分, 分別佔總重的 68%及 12%, 含量最少的亦為 $500-1000\mu\text{m}$ 及 $>1000\mu\text{m}$ 的顆粒, 如圖 4-2 所示, 因為 KH1 測站鄰近愛河, 一般位在河川出口的沉積物之粒徑, 因河川沖刷會有較多的細顆粒, 而靠近外港處應會有較多的砂含量(陳, 2005), 所以會 KH1 測站之細顆粒含量較 KH2 測站高。

進一步探討沉積物在不同粒徑的密度分布, 將兩測站不同粒徑的沉積物利用鎢酸鈉溶液(density = 2.15 g/cm^3)分為高(Heavy)、低(Light)兩種不同密度的顆粒。就高、低密度顆粒而言, 如圖 4-3 所示, KH1 除了 $500-1000\mu\text{m}$ 之外, 也都呈現高密度顆粒含量遠大於低密度顆粒的現象, 如圖 4-4 所示。最後由表 4-1 中, 可以看到 KH1 與 KH2 測站中的低密度顆粒分別僅佔整體重量的 4.3%與 7.7%, 這可能是因為低密度顆粒懸浮在水體當中較難沉降至底床上, 所以在沉積物中的含量非常的低。

4-2 沉積物之多環芳香烴含量分布

本研究中兩測站之所有樣品皆可測得多環芳香烴之存在(附表 3 與 4)。KH1 與 KH2 沉積物總多環芳香烴濃度(sum of 52 PAHs compounds)分布分別為 3400 與 1700 (ng/g dry wt), 如圖 4-5, 兩測站之平均濃度為 2500 (ng/g dry wt)。KH1 測站位於高雄港區的航道上, 可能是因為船舶洩油、油品運輸溢油或是貨櫃卡車及船隻的柴油引擎燃燒導致 KH1 測站有較高多環芳香烴濃度。而 KH2 測站可能是因為位在一個較封閉的空間

且鄰近大林臨海工業區，其工業區中有大林發電廠、中油公司的油庫、盛行於 70 年代的大林拆船區之海港拆船作業以及部分的化工廠，所以其污染物濃度仍高。

再由兩測站不同粒徑大小沉積物所含總多環芳香烴濃度來探討。一般而言，小顆粒有較高比表面積的磁性礦物與較高的有機物含量，能吸附更多的有機污染物(Barber, 1994)。故沉積物的粒徑越小，可以吸附多環芳香烴的量越高，所以沉積物中多環芳香烴之濃度會與粒徑成反比。Kim(1999) 在 Kyeonggi 研究顯示沉積物中多環芳香烴濃度與總有機碳及顆粒大小有好的相關性；但 Wang(2001)在 Boston Harbor 研究中發現多環芳香烴與沉積物粒徑未呈現負相關，而多環芳香烴濃度與總有機碳呈現正相關，可能是因為沉積物吸附多環芳香烴並非受到粒徑影響，而是沉積物的特性。

可是在本研究中最高的總多環芳香烴濃度卻是集中在 63-125 μm 的顆粒上(如圖 4-6、4-7)，在此推測可能是 63-125 μm 的低密度顆粒上的有機物含量較高，所以吸附多環芳香烴能力較強。

而針對高、低密度上的差異，由圖 4-8 可以發現多環芳香烴集中在低密度的顆粒上面，由表 4-2 可知低密度顆粒在兩個測站中的總多環芳香烴濃度佔了 91 及 98%，但總重量僅佔整體的 4.3 及 7.7%，而這樣的結果和 Rocken *et al.*(2002)在紐約的紐澤西港中發現 50-80%的多環芳香烴會集中在密度 <1.7 的顆粒上，這些低密度顆粒僅佔總沉積物質量的 3-15%的結果相似。也與 Michael *et al.*(2004)在紐西蘭的 Auckland Harbor 的研究結果相似，他們發現 78%的多環芳香烴集中在密度 < 2.15 的顆粒，而且這些低密度顆粒僅佔總沉積物質量的 3%。Michio *et al.* (2005) 東京都市及道路的 dust 結果也發現低密度顆粒 ($< 1.7 \text{ g /cm}^3$) 的總多環芳香烴濃度(12 種多環芳香烴) 約是高密度顆粒的 10 倍，且這些低密度顆粒僅佔總沉積物質量的 0.69 - 4%。

由這樣的結果，我們可以推測原本在底床的沉積物，當航道受到人為擾動的過程中，可能會將沉積物中的高污染、輕密度顆粒再度揚起，進而重新懸浮在水體當中，這個現象對於生活在港區內的水棲生物與其相關生態環境造成另一次的污染衝擊。特別是水層中生產者與初級消費者利用水體中的營養鹽或浮游生物，同時也將這些高濃度的污染物累積在體內，又因為多環芳香烴不容易被生物代謝排出體外，而在生物體內產生生物累積作用，如果人類再攝取這些受污染的生物體，對於人體的影響會更加的嚴重。

4-3 總多環芳香烴與全球檢測結果比較

全球港區總多環芳香烴濃度整理於表 4-3 當中，主要是收集港區沉積物之總多環芳香烴濃度。在此採用一般文獻常用之方法，將不同區域之濃度直接引用作為本研究區域污染程度的評估，所以不考慮採樣時間、地點、採樣與分析方式以及分析化合物之數目的差異性，以減少比較上的困難度。

本次研究結果港區沉積物中含量分布範圍與 Fang *et al.*(2005)在興達港之研究結果相似，而該港區以低分子量的化合物為主要貢獻者，污染來源來自於非法處理廢機油；而與高屏河口附近的港口沉積物相互比較(巫，2006)，本研究結果高於汕尾漁港所測得的港區沉積物之總多環芳香烴濃度(740-1300 ng/g dw)，而低於東港漁港之濃度(28000 ng/g dw)，造成東港漁港沉積物具有高濃度多環芳香烴的可能原因為漁船及相關船舶運輸活動產生的油污染(如壓艙水及廢機油排放)。

本研究結果與韓國的 Incheon 港的結果比較(Kim *et al.*, 1999) 則有相似的濃度範圍，該區域主要可能是受到鄰近的工業區影響；而與亞洲地區的廈門港與維多利亞港結果比較(Hong *et al.*, 1995) 則有較低的濃度範

圍，其污染來源可能是來自上游的工業活動與人為生活污水的排放經由河川輸送到港區當中累積。與美洲地區港口沉積物做比較，本研究區域之結果低於該區之濃度(表 4-3)，並且與 1996 年加拿大 Kitimat Harbor (Simpson *et al.*, 1996)所測得之最高濃度(528000 ng/g dw)相較，該區濃度高出本研究結果約 100-300 倍，其高濃度是因為其上游之鋁精煉廠，燃燒所產生的多環芳香烴隨風以及大氣乾溼沉降至河川並且於港區形成累積。其他如義大利的 Proto 港以及法國的港區沉積物亦與本次結果相近。

4-4 多環芳香烴之來源

本研究所使用多環芳香烴來源之判別指標，分別為下列四種：Anthracene / (Anthracene & Phenanthrene), (AN/178)、Fluoranthene / (Fluoranthene & Pyrene), (FLT/FLT & PYR)、Benz[a]Anthracene / (Benz[a]anthracene & Chrysene), (BaA/228)以及 Indeno[1,2,3-c,d]pyrene / (Indeno[1,2,3-c,d]pyrene & Benzo[g,h,i]perylene), (IP/IP & BghiP)。

如前述，當 AN / 178 < 0.1 時，多環芳香烴來自石油；而當 AN / 178 > 0.1 則來自燃燒高溫過程(Yunker *et. al.*, 2002)。分子量 202 的 FLT / (FLT & PYR)之值 0.4 通常判別石油/燃燒的轉變處，當 FLT / (FLT & PYR) > 0.5 表示是煤油、木頭、牧草、煤之固體物燃燒所產生，FLT / (FLT & PYR)介於 0.4 至 0.5，則被定義為石油燃燒的來源，如柴油引擎燃燒，使用在汽車及柴油車的燃料油及原油燃燒等，而 FLT / (FLT & PYR) < 0.4 則為石油來源的原油、潤滑油。

(BaA / 228)以及 IP / (IP & BghiP)比例低於 0.2 以下時通常表示其來源為石油來源的原油、潤滑油(Yunker *et. al.*, 2002)，當 (BaA / 228) > 0.35 時，表示多環芳香烴可能來自於燃燒產生，(BaA / 228) < 0.2 則表示多環

芳香烴可能來自低溫成岩作用的石油，若該比值介於 0.2-0.35 時兩者可能都有。

當 $IP / (IP \& BghiP) < 0.2$ 其污染來源可能為原油， $IP / (IP \& BghiP)$ 介於 0.2 至 0.5 之間，為石油燃燒的來源，而 $IP / (IP \& BghiP) > 0.5$ 時，污染來源則可能為植物、木餾油、煤的燃燒。結合以上四種判別指標繪製如圖 4-9、4-10。

如圖 4-9-a 所示，在 KH1 測站沉積物樣品中， $AN / 178$ 之比值皆大於 0.1，表示其來源主要為高溫燃燒程序，另以 $FLT / (FLT \& PYR)$ 比值結果得知，幾乎所有樣品的比值落在 0.4-0.5 之間，主要是由汽油或是使用在交通工具上的柴油之引擎燃燒所產生(Yunker *et. al.*, 2002)。若再由另一個比值($BaA / 228$)來看，各樣品中比值範圍皆大於 0.35，可以得知，KH1 是以燃燒來源為主。另外 $IP / (IP \& BghiP)$ 之比值也顯示此測站是以石油燃燒為主要污染來源，如圖 4-9-b 所示。

整體來看，KH1 測站的樣品大部分都落在由液化石油燃料燃燒所產生的範圍內，所以 KH1 測站的多環芳香烴可能是來自航道中船隻或是港區貨櫃柴油卡車的柴油引擎燃燒所產生，進而造成底床沉積物受到原油及柴油之引擎燃燒所產生的多環芳香烴污染。

針對各粒徑大小以及高低密度之差異的多環芳香烴來源來探討，可由圖 4-9 中得知，各粒徑的高低密度顆粒並無明顯呈現特定來源族群。

而在 KH2 測站之沉積物樣品當中， $AN / 178$ 之比值亦皆大於 0.1(圖 4-10-a)，表示其來源可能為高溫燃燒程序，另以 $FLT / (FLT \& PYR)$ 比值結果得知，各樣品中的比值落在 0.2 到 0.6 之間，其中 $500-1000\mu m L$ 污染源可能為煤料之燃燒，而 $< 63\mu m L、H$ ； $> 1000\mu m L、H$ ； $500-1000\mu m H$ ； $63-125\mu m H$ 污染來源為石油燃燒，其餘的樣品則落在由柴油之引擎燃燒來源範圍裡面。 $(BaA / 228)$ 比值於各樣品中範圍皆大於 0.35，亦指出

KH2 是以燃燒來源為主。若以 IP / (IP & BghiP) 比值來分，所呈現的結果也顯示此測站是以燃燒為主要污染來源(圖 4-10-b)。

綜合來看，在 KH2 中，大致而言都是落在煤或石油燃燒的範圍內。由於地處於高雄港第二港口附近，按照其燃燒來源的性質來看，第二港口附近存在許多鋼鐵廠與發電廠，需要消耗大量的煤炭或是石油，故推測來源是因上述原因影響。

針對各粒徑大小以及高低密度之差異的多環芳香烴來源來探討，可由圖 4-10 中得知，這個測站的沉積物特性並無明顯呈現特定來源族群。

4-5 Perylene 來源探討

Perylene 主要是在陸源性物質中被發現，尤其是在河口或是湖泊當中 (Venkatesan, 1988)。將海洋沉積物中 perylene 之相關研究文獻做整理(表 4-4)，perylene 在海洋沉積物中背景濃度約 10 ng/g，在厭氧的自然環境中 perylene 濃度為 2000-4000 ng/g (Venlatesan, 1988)。本研究兩測站所有樣品皆有測得 perylene 的存在(表 4-5)，表示陸源性物質可能提供部份多環芳香烴。

當 perylene 含量(%) 越高可推測該採樣點受自然來源影響越大，一般認為石油來源中 $\text{perylene} / \sum \text{penta-PAHs}$ (sum of benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[e]pyrene, benzo[a]pyrene and perylene) 為 1~4% (Wakeham *et al.*, 1980)，若此比值 > 10% 則視為生物來源 (Tolosa *et al.*, 1996; Wu *et al.*, 2003; Yim *et al.*, 2005)。Yim *et al.* (2005) 在珠江三角洲沉積物的分析研究中顯示 $\text{perylene} / \text{penta-PAHs}$ 為 18%，表示此地區的多環芳香烴的污染源是來自於陸源性物質所提供。此外，Fang *et al.* (2003) 及江 (2006) 分別在興達海域以及高雄沿岸之研究顯示 $\text{perylene} / \sum \text{penta-PAHs}$ (%) 呈現離岸越遠含量越高。

Perylene 在高雄港區之 perylene/ Σ penta-PAHs (%) 結果如表 4-5 所示，在 KH1 測站當中 perylene / Σ penta-PAHs(%)範圍及平均值為 6-19% (11%)，生物來源可能提供部分多環芳香烴來源。而 KH2 測站當中 perylene / Σ penta-PAHs (%)範圍及平均值為 6-13% (9%)，由於 KH2 測站總多環芳香烴濃度含量較高，並且高分子量之多環芳香烴含量較高，故各樣品之 perylene / Σ penta-PAHs(%)之含量較低，大都接近約 10%。因為 KH2 測站為港內測站，而且 KH2 測站附近有許多鋼鐵廠與發電廠，由人類活動所產生之多環芳香烴含量較多，所以可能是因為外在污染源存在而導致 perylene / Σ penta-PAHs 的含量較 Fang *et al.* (2003)及江(2006)分別在興達海域 (7-74%)以及高雄沿岸 (7-83%)之研究結果來的低。

4-6 沉積物之多氯聯苯含量分布

本研究中兩測站多氯聯苯之分析結果如附表 5 與附表 6。各沉積物樣品中部份同源物沒有檢測出含量，可能是因為回收率偏低或是本身濃度較低以至於儀器無法偵測，故不列入計算。KH1 與 KH2 沉積物總多氯聯苯濃度(sum of 118 PCBs congeners)分別為 100 與 140 (ng/g dry wt)，如圖 4-11，平均濃度為 120 (ng/g dry wt)。KH1 測站位於高雄港區的航道上，可能是因為船舶變壓器的絕緣體、船隻使用二級燃油的溶劑或是排放廢油所產生，而 KH2 這個測站可能是位在一個較封閉的空間且鄰近大林臨海工業區，其工業區中有發電廠、中油公司的油庫以及部分的化工廠，這些工業活動會使用變壓器及電容器介質、潤滑劑、可塑劑、防火材料等含有多氯聯苯之材料，其污染物會隨著水流被帶進 KH2 區域沉積。

再以兩測站各粒徑的總多氯聯苯濃度做分析，在本研究中 KH1 最高的總多氯聯苯濃度落於 125-250 μ m 範圍內，而 KH2 測站最高的總多氯聯苯濃度卻是集中在 63-125 μ m 的顆粒上(如圖 4-12、4-13)，可能是 63-125 μ m

以及 125-250 μm 的低密度顆粒上的有機物含量較高，所以吸附多氯聯苯能力較強。

由圖 4-14 亦可以發現多氯聯苯集中在低密度的顆粒上，所以當受到人為擾動影響後，可能會將沉積物中的高污染、低密度顆粒再度揚起，進而重新懸浮在水體。

4-7 總多氯聯苯與全球檢測結果比較

與文獻結果相互比較得知，本研究所測得總多氯聯苯濃度在亞洲地區大多與韓國及日本等所測得多氯聯苯濃度結果相似(表 4-6) (Iwata *et al.*, 1994; Hong *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2001; Khim *et al.*, 1999)。與其他區域做比較，總多氯聯苯濃度低於美洲太平洋海岸的 0.1-2000 ng/g dw(Brown *et al.*, 1998)、美國 Narragansett Bay 的 20.8-1766 ng/g dw(Hartmann *et al.*, 2004)以及澳洲的 Queensland 濃度範圍(4.53-1038.27 ng/g dw) (Muller *et al.*, 1999)。

雖然台灣地區在 2000 年已經全面禁止使用多氯聯苯，高雄港區內的總多氯聯苯濃度在亞洲區域仍落在高濃度範圍，除了可能因為本研究所計算之同源物數目較其他文獻多，也可能因大林臨海工業區中發電廠的輸電設備、中油公司的油庫以及部分的化學、塑膠工廠等過去使用含有多氯聯苯產品殘留於沉積物當中，或是來自不完全燃燒及工廠生產過程無意間所產生之副產品(Buekens *et al.*, 2001)，以及來自高雄港區船舶變壓器的絕緣體、船隻使用二級燃油的溶劑或是排放廢油所產生，或是因為港區環境中自然分解及降解能力較低，故本研究區域所測得之總多氯聯苯濃度較中國大陸及香港高。

4-8 多氯聯苯化合物同源物含量分析

由附表 5 與附表 6 可得知各樣品同源物的濃度，高密度顆粒樣品之同源物濃度大都低於偵測極限。KH1 測站，濃度最高的同源物主要為 PCB 132+153+105 (88% Hexa-CB, 12% Penta-CB)、OCS+PCB 63 (Tetra-CB)、PCB 66+95 (81% Tetra-CB, 19% Penta-CB)，如表 4-7，上述同源物在 KH1 測站各樣品中皆為常見高濃度同源物。而 KH2 測站當中，濃度最高的同源物主要為 OCS+PCB 63，為含四個氯原子取代基的多氯聯苯。其次為 PCB 180 (Hepta-CB)、PCB 132+153+105 (88% Hexa-CB, 12% Penta-CB)，分析結果同源物中的 OCS(八氯聚苯乙烯，octachlorostyrene)，此化合物在高雄港區中有非常高的濃度，但 OCS 並非多氯聯苯同源物，但因為 OCS 與 PCB 63 有相同的滯留時間(retention time)，會干擾 PCB 63 的定量，所以在定量時以 OCS+PCB 63 表示。

台灣早年主要是進口日本 Kanegafuchi Co.所生產之多氯聯苯商品(產品名稱為 Kanechlor，代碼 200~600，其中型號 300 指其混合物中平均約含有 3 個氯原子之多氯聯苯所組成)，主要用於電容器與變壓器的絕緣油。

但是台灣缺乏使用商業製混合多氯聯苯的資料，無法藉由多氯聯苯同源物的圖譜回推高雄港區中多氯聯苯污染源是來自特定工廠或是由高氯化物經分解代謝之產物，所以無法確切指出造成港區含有高濃度多氯聯苯的主要原因。

4-9 多氯聯苯化合物同族物含量分析

將多氯聯苯同源物依據含氯數分成十大族，如有非單一同源物則根據表 4-9 計算同族物，兩測站各樣品多氯聯苯同族物的含量列表在表 4-10 與表 4-11，組成百分比繪製如圖 4-15 及圖 4-16。KH1 的多氯聯苯同族主

要以四氯為主，其次為五、六、七氯的同族物，在高密度顆粒的樣品當中除了 500-1000 μm 之外，皆無測出一氯及九氯聯苯的濃度；而 KH2 測站的多氯聯苯同族物以四氯的同族物為主，其次為七氯的同族物，其中 63-125H、125-250H 及 500-1000H 中四氯多氯聯苯分別占全體多氯聯苯組成 62%、58%、72%。在低密度顆粒中，在粒徑小於 250 μm 樣品皆無測得十氯聯苯的濃度，而在高密度顆粒則主要為四氯到九氯的同族物。

Kim *et al.* 在 2000 年提到透過同族物組成可以判斷污染來源，同時可配合監測污染海域周遭海放管，檢測廢水中懸浮顆粒多氯聯苯同族物的組成以判斷污染源。而 Ferreira *et al.* (2003) 指出顆粒較大且沉積年齡較短的底泥，所含的三氯加四氯除六氯的同族物比例會比較高。由上述結果來檢測本次研究多氯聯苯同族物的組成，其結果如表 4-12。KH1 測站之比例範圍及平均值為 1.78-4.22 (2.76)，而 KH2 測站之比例與平均值為 0-5.94 (2.79)。與高屏河口所測得數值範圍為 1.99-14.71 相比較(楊，2004)，本研究區域的比值偏低，可推測此區域沉積物是屬於沉積年齡較長的底泥。

多氯聯苯經由人類活動產生釋出，藉由環境中不同介質的遷移作用，而形成一生地化循環(biogeochemical cycle)，循環過程當中產生分佈與再分佈作用。多氯聯苯由地表揮發後以氣態或附著於懸浮顆粒存在於大氣之中，並藉由大氣的長程傳輸至較遠的地區。因為不同的同族物具有不同的揮發性，造成同族物間有不同的分布特性。含 1-2 氯的同族物多停留於空氣中，2-5 氯的同族物則是經由“蚱蜢效應”(grasshopper effect，指污染物不斷的被釋放於大氣中再藉由沉降作用回到陸地，並隨季節變化一再反覆進行) 和“全球蒸餾效應”(透過重複從土壤和水面揮發和沉積的循環，在大氣中遠距離傳送，由較溫暖的地區移往較寒冷的地區，使污染物在全球環境中重新分布) 被帶至兩極地區；5-9 氯的同族物分散

於中緯度地帶，而 9-10 氯的同族物則在鄰近排放點之區域被發現 (陳，2007)。

經由沉降作用(如降雨)被帶至陸域當中的多氯聯苯，因為有較低的水溶性、揮發性以及對有機物質的高吸附力，在水體與沉積物當中生物降解並不明顯，通常含氯數較少者容易被分解而無累積的現象，但 5 氯以上的同族物被生物降解的能力有限，較容易累積在沉積物與底泥當中 (陳，2007)。本研究區域沉積物多氯聯苯同族物主要是 5-7 氯之同源物為優勢，由上述多氯聯苯傳輸途徑可推測本研究區域之多氯聯苯濃度可能是由大氣傳輸將其他區域的多氯聯苯帶至港區中沉降累積以及原先未被分解之多氯聯苯化合物所提供。

4-10 多環芳香烴總毒性當量

多環芳香烴化合物雖然種類甚多，但相關的毒性資料相對較少，目前研究主要針對美國 EPA 所公佈的 16 種多環芳香烴以及已證實具有致癌性或突變性的化合物為主。美國 EPA 將不同的多環芳香烴化合物賦予一相對於 Benzo(a)pyrene(BaP)毒性因子，稱之為相對效能因子(relative potency factor, RPF)，訂出其他化合物的相對毒性，如表 4-13、4-14，而其總毒性當量為個別多環芳香烴濃度與其相對效能因子乘積的總和(陳，2007)。

在 KH1 測站當中總多環芳香烴毒性當量(TEQ_{PAH})在高、低密度顆粒的範圍及平均值分別介於 27-230(85)與 84 - 4400 (1400) ng/g dw 之間 (表 4-13)，最高毒性當量樣品為 63-125 μ m 低密度顆粒，而在>1000 μ m 高密度顆粒有最低的毒性當量值。KH2 測站當中總多氯聯苯毒性當量(TEQ_{PAH})在高、低密度顆粒的範圍及平均值分別介於 11-62 (42)與 180-9600 (3100) ng/g dw 之間 (表 4-14)，最高毒性當量樣品亦為 63-125 μ m 低密度顆粒，

而在 $<63\mu\text{m}$ 高密度顆粒有最低的毒性當量值。兩測站皆呈現低密度顆粒的總毒性當量遠高於高密度顆粒。雖然目前已將多環芳香烴視為重要的環境污染因子，但是相關資料與調查的缺乏以及目前無屬於國內本身底泥污染標準，因此，其對環境系統的破壞與傷害無法評估，而含有多環芳香烴的生物經生物利用進入食物網的循環，對於生物體的生長、生殖及呼吸等作用形成傷害。

4-11 多氯聯苯總毒性當量

根據 WHO 在 1998 年制定的毒性當量因子【Toxic (TCDD) equivalency factors, TEF】(表 2-2) 計算高雄港區毒性當量，但本研究測得多氯聯苯同源物缺乏 PCB126、PCB167、PCB169，所以以其餘 9 種多氯聯苯同源物做計算。但由於分析的多氯聯苯同源物並非全為單一同源物，因此 PCB 123 以及 PCB 156 的濃度是以 PCB 123+149 與 PCB 202+171+156 計算(因為 PCB 123+149 與 PCB 202+171+156 以本研究之層析管柱無法分離)。分析結果當中有部份樣品的同源物濃度低於偵測極限濃度，在此以偵測極限值代替真正濃度來計算毒性當量，故所得之總多氯聯苯毒性當量(TEQ_{PCB})會高於實際值。

KH1 測站總多氯聯苯毒性當量(TEQ_{PCB})在高、低密度顆粒的範圍及平均值分別介於 2.2 - 7.6(4.8)與 8.9 - 46 (25) pg-TEQ/g 之間 (表 4-15)，最高毒性當量樣品為 63-125 μm 低密度顆粒，而在 $<63\mu\text{m}$ 高密度顆粒有最低的毒性當量值，而 KH2 測站總多氯聯苯毒性當量(TEQ_{PCB})在高、低密度顆粒的範圍及平均值分別介於 1.1 - 5.5(3.0)與 10 - 1500 (330) pg-TEQ/g 之間 (表 4-16)，最高毒性當量樣品為 63-125 μm 低密度顆粒，而在 $>1000\mu\text{m}$ 高密度顆粒有最低的毒性當量值。在 KH1 與 KH2 測站中的 PCB156(此處

採用 PCB 202+171+156)的毒性當量佔全 TEQ_{PCB} 的 90 - 94 % 以及 78 - 94 %，為平面毒性多氯聯苯的主要來源。

與其他文獻結果之共面式毒性多氯聯苯的總毒性當量相互比較，Kannan *et al.*(2006)在美國的 Shiawassee River 測得總毒性當量範圍為 0.2 - 9.8 pg-TEQ/g dw，而附近 Saginaw River 與 Saginaw Bay 分別為 3.0 - 3820 pg-TEQ/g dw 以及 3 - 266 pg-TEQ/g dw，由於排放至 Shiawassee River 的水是經過污水處理的排放水，所以其總毒性當量較低。Eljarrat (2001)在西班牙海域所測得 TEQ_{PCB} 之範圍為 0.03 - 24.75 pg-TEQ/g dw；而與 Mario *et al.*(2007)在南義大利的 Naples 港區內測得之 TEQ_{PCB} 結果 (49-132 pg-TEQ/g dw)互相比較，該區與本研究結果類似，其污染來源主要來自 Naples 這個城市所排放的市政與工業廢水。

本研究結果與美國有毒物質和疾病登錄局(U.S. Agency of Toxic Substances and Disease Registry) 所規定底泥之總毒性當量 50 pg - TEQ/g 相互比較，發現在 KH2 測站中 63 - 125、125-250 以及 250-500 μ m 的低密度顆粒所測得之總多氯聯苯毒性當量皆高於標準值。而與世界衛生組織(World Health Organization, WHO)規定的底泥標準值 20 pg-TEQ/g (Evers, 1996)做比較，可發現大部份的低密度顆粒的結果都高於標準值，應該儘快進行處理，但因國內目前無底泥污染標準值，使得高污染的底泥對於當地的水生生態系統產生部分的破壞與傷害，應儘快建立完整的品質指標與污染物處理方式。

4-12 沉積物品質指標(Sediment Quality Guidelines, SQG)

為評估水體生物及環境是否受到沉積物中之污染物的影響，需要依據不同環境及目標生物之特性訂定沉積物之品質指標，用以規範微量金屬和有機化合物污染的濃度，以提供環境監測之警訊或復育依據，故在

此將國外訂定之沉積物品質指標與高雄港區沉積物之多環芳香烴分析值進行比較，以評估高雄港區沉積物中多環芳香烴污染是否對底棲生物造成危害，其中包括 ERL(effects range-low)和 ERM(effects range-median)，低於 ERL 限值，表示污染物影響水體之生物很少，介於 ERL 與 ERM 濃度值之間，表示有時會影響及傷害水體中生物，當高於 ERM 濃度值時，即表示經常性地對水中生物造成傷害與影響(Long *et al.*,1995)。此外指標包括影響閾值(Threshold effects level, TEL)，代表在此 TEL 濃度下，對以沉積物為生存棲地的生物是不會有影響的；可能影響限值(probable effects level, PEL)，若超過此限值，表示此區域之生物可能會受到部份的有害影響(MacDonald *et al.*, 2000)。

在總多環芳香烴濃度方面，由表 4-17 顯示兩測站的低密度顆粒濃度皆高於 NOAA 以及 FDEP 所列出的沉積物品質指標，表示低密度顆粒對於水體環境的影響極大。而在高密度顆粒則是呈現皆大於 TEL 標準值，但 KH1 的濃度亦高於 ERL 標準值，但其影響程度仍低於低密度顆粒。

以 KH1 的研究結果顯示(表 4-17)，在高密度顆粒當中只有 Benzo[a]anthracene 以及 Dibenzo[a,h]anthracene 這兩個化合物的濃度大於 TEL 值，大部分都是低於 TEL 值，所以高密度顆粒對於水體環境的污染影響並不大，但是在低密度顆粒裡可以發現所列出的各類多環芳香烴濃度都高於 TEL 與 ERL 值，所以對於水體生物或底棲生態系統可能造成部分的傷害與影響，在 Benzo[a]anthracene 以及 Dibenzo[a,h]anthracene 這兩個化合物甚至超過了 ERM 值，而這兩個有機化合物是有可能致癌及致突變性，故在 KH1 的生態環境中生物產生腫瘤病變的機率與可能性會因此而提高許多。

而在 KH2 的結果當中(表 4-17)，也可以發現高密度顆粒當中只有 Dibenzo[a,h]anthracene 這個化合物的濃度大於 TEL 值，所以這些顆粒對於水體的污染影響並不大。在低密度顆粒方面，各多環芳香烴濃度都落在

TEL-PEL與ERL-ERM兩標準值範圍之間，所以可得知污染對於水生或底棲生物可能會造成偶而或是經常性的傷害與影響，而且其濃度大於KH1區，可以知道KH2之污染程度更勝於KH1，對於水體生態系統的影響可能更加的劇烈。

而在總多氯聯苯的部分(表4-17)，在兩測站當中高密度顆粒的總多氯聯苯值，落在PEL-TEL與ERL-ERM兩標準值範圍之間，可能有時會傷害與影響水體生物；而在低密度顆粒的總多氯聯苯值，高於PEL與ERM兩標準值範圍之間，對於水體環境的影響甚大。

由表4-18與表4-19的百分比分布可知，KH1測站中80-100%的濃度低於ERM標準值以及有60-90%是低於PEL標準值，但是在KH2測站當中只有75-91%低於ERM標準值，而58-83%是低於PEL標準值。由這樣的結果可以推測 KH2測站對於水體環境的影響以及污染程度大於KH1測站。

在兩測站的檢測結果可發現低密度顆粒的影響遠大於高密度顆粒，所以在綠色海岸營造與工程技術上，利用濬渫或是覆砂改善底質以進行自然生態復育(生態棲地營造、海域淨化)或景觀及遊憩親水(景觀美質營造、遊憩親水環境營造)的時候(郭、李，2006)，若將易懸浮的低密度顆粒所帶來的影響列入工程執行過程中重要之環境因子，則可降低機械工程所揚起的懸浮顆粒造成水體生態環境的破壞與影響。

再以兩個測站以及不同的粒徑以Mean ERM Quotient(MERM-Q)探討並相互比較，MERM-Quotient可用於預測沉積物中化學混合物的毒性程度，在此用MERM-Q=1作為界線來劃分；計算方式如下：

$$\text{MERM-Q} = \sum \frac{([\text{Chemical}_x])}{\text{ERM}_x} \Bigg/ \# \text{Chemical}$$

其中 $[\text{Chemical}_x]$ 為實驗數據結果， ERM_x 為沉積物指標中之標準值，而 $\# \text{Chemical}$ 是列入計算的化合物的數量(Joseph, 2003)。

當MERM-Q<1時，代表其污染源對於環境的影響與傷害較小，反之

MERM-Q大於1，代表其污染源對於環境的影響較大。計算結果，KH1測站之MERM-Q值介於0.03-0.71之間，而KH2測站則介於0.05-1.12。由圖5-17可以發現KH2的沉積物樣品大部份高於KH1的樣品，所以KH2沉積物之污染物質對於水體環境的影響大於KH1，造成這樣的結果，其原因如前所述，可能是因為KH2測站(旗津上竹里漁港)為一較封閉的空間且附近工廠林立，所以污染物隨著水流帶進沉積不易再被帶離開，而持續累積。在不同粒徑當中，以63-125 μm 的MERM-Q最大，可能是因為63-125 μm 吸附多環芳香烴能力較強，因而含有較高多環芳香烴的濃度以及較大的MERM-Q值。

由上述幾個沉積物品質指標來看，高雄港區內的污染物對於當地的水域與底棲生態系統可能已經產生部分的影響與傷害，尤其是低密度顆粒所帶來的影響。因為低密度顆粒雖然僅佔總質量的4%與7%，但是其總多環芳香烴濃度卻佔了91-98%，再加上高濃度的多氯聯苯污染物，雖然環境具有自淨能力，但有時生物體對於環境改變會有明顯的反應，此時應該藉由人為方式來改善底泥環境以維持生態環境。所以在進行疏濬時應先進行事業廢棄物毒性特性溶出程序試驗(Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP)，判定其是否為有害廢棄物，再決定其中間處理及最終處置方式，或是由污水下水道系統等地區藉由監測水質、底泥及生物，減少污染源的輸入。若繼續置之不理，富含污染物之再懸浮低密度顆粒，將會破壞該區的生態環境。

第五章 結論與建議

5-1 結論

1. 本研究沉積物粒徑之重量分布以小顆粒($<63\mu\text{m}$)為主，而各粒徑範圍內大部分呈現以高密度顆粒佔了該粒徑重量的 90%以上，低密度顆粒僅佔整體重量的 4.3 至 7.7%。
2. 高雄港區中 KH1、KH2 沉積物總多環芳香烴濃度分別為 3400 與 1700(ng/g dw)，平均濃度為 2500(ng/g dw)，總多環芳香烴濃度最高的樣品為 KH2 測站中粒徑 63-125 μm 的低密度顆粒。整體而言，總多環芳香烴濃度為 KH1 高於 KH2。
3. 高雄港區 KH1、KH2 沉積物總多氯聯苯濃度分別為 100 與 140 (ng/g dry wt)，平均濃度為 120 (ng/g dw)。整體而言，總多氯聯苯濃度為 KH2 高於 KH1。
4. 雖然低密度顆粒僅佔沉積物整體重量的 4.3 至 7.7%，但是大於 91% 的多環芳香烴與大於 87% 的多氯聯苯集中於低密度顆粒上，而低密度顆粒會因人為擾動再度揚起而重新懸浮，造成污染再次釋放到水體當中，如此之現象對於港區內的水域及底棲生態環境造成衝擊。
5. 以多環芳香烴指標來看，KH1 的沉積物中多環芳香烴來源主要是船隻以及貨櫃卡車的柴油引擎燃燒所產生。KH2 多環芳香烴大致而言來自發電廠或是煉鋼廠燃燒煤或石化燃料所產生。
6. 港區內沉積物樣品之 perylene/ Σ penta-PAHs 之含量大都接近 10%，表示港區中部份多環芳香烴濃度是由生物性來源提供。KH2 因為該區可能受外在污染源存在而造成其含量低於鄰近海域之結果。
7. 本研究之總多環芳香烴濃度與台灣地區其他研究結果相似，但低於美國及中國大陸港區所測得之結果。而總多氯聯苯含量則與亞洲地區的韓國與日本所測得之結果相似。

8. 多氯聯苯同源物的優勢化合物為 PCB132+153+105、OCS+PCB63、PCB66+95 及 PCB180。
9. 本研究區域沉積物多氯聯苯同族物以四到七氯的多氯聯苯為主。由同族物在環境中的分布特性，可推測港區中的多氯聯苯是由大氣傳輸及原先未被分解的多氯聯苯所提供
10. 高雄港區共面式多氯聯苯毒性當量範圍在兩測站分別為 2.2-46 pg-TEQ/g 及 1.1-1500 pg-TEQ/g。與國外底泥標準值比較，低密度顆粒屬於高毒性當量範圍，而主要影響同源物是 PCB156(採 PCB202+171+156)。
11. 高雄港區沉積物中的高密度顆粒在各種多環芳香烴濃度僅有少數幾個化合物是高於 TEL 標準值，所以高密度顆粒對於水體生物的影響不大，對於低密度顆粒而言，大部分的濃度介於 ERL 與 ERM 之間，但有些具有致癌及致突變性的化合物甚至大於 ERM 值，對水域及底棲生態系統可能造成嚴重的傷害與影響，且這些高致癌性的污染物對於水體或是底棲生物可能產生腫瘤病變的機率。
12. 沈積物的粒徑與密度對於污染物的分布有明顯的影響，所以在分析結果或應用上，應該考慮到沈積物的特性。

5-2 建議

1. 本研究總多環芳香烴及多氯聯苯濃度集中在 63-125 μm 的顆粒上，根據文獻之結果推測為此範圍之顆粒含有較高的有機碳，故可以吸附較多的多環芳香烴，為進一步了解顆粒吸附多環芳香烴的原因，應進一步分析各顆粒的有機碳含量，確定多環芳香烴、多氯聯苯等污染物與總有機碳之間的關係。
2. 由於人為擾動(如疏濬、漁業捕撈的拖網等)而再懸浮顆粒中之有機污染物造成之二次污染在高雄港區內相關研究非常欠缺，因此應針對整個港區做整體的監測與調查，並藉此建立背景資料，作為污染改善之基礎。
3. 除了粒徑與密度之外，應可再加上其他如鹽度、黑碳含量等特性，探討其與多環芳香烴或其他持久性有機污染物之間是否有相關；並透過毒性當量與規範值判斷對水體生態環境之影響，以建立更完整的環境評估資訊。
4. 由研究得知對水體生態影響很大的為易懸浮的低密度細顆粒，而這類沉積物又容易因為施工不慎而再次揚起，因此建議施工時須將此類問題列入工法選擇考量範圍之中。

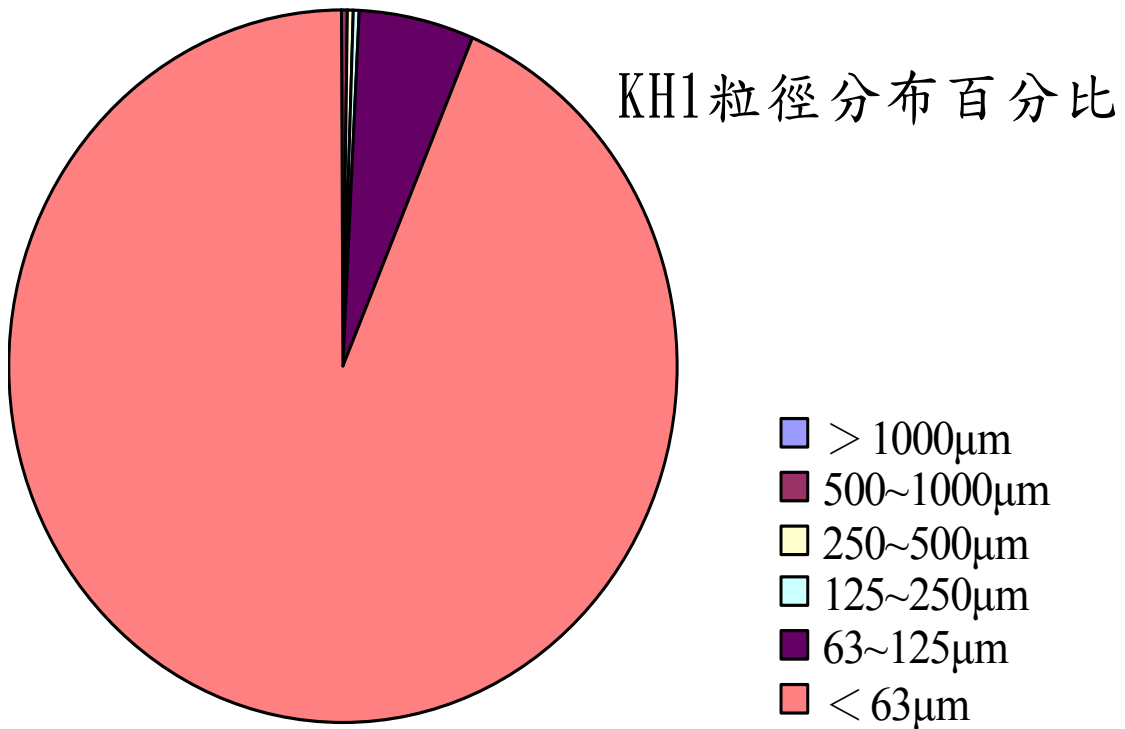


圖 4-1 高雄港支航道 (KH1) 沉積物粒徑組成百分比

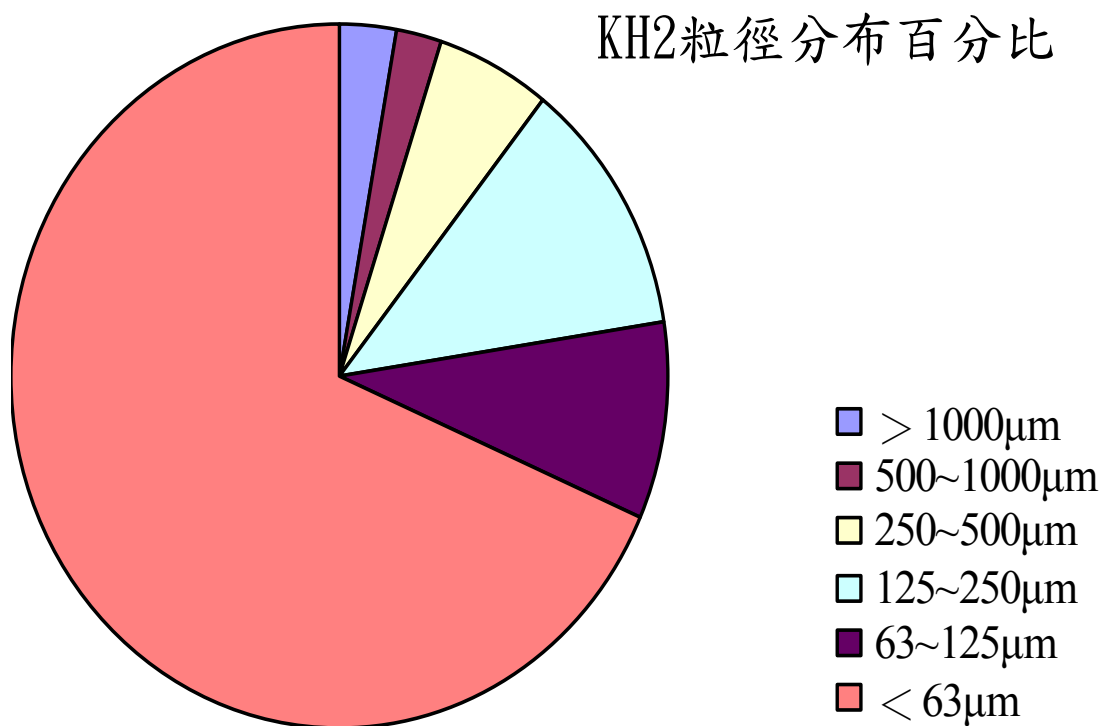


圖 4-2 旗津上竹里漁港 (KH2) 沉積物粒徑組成百分比

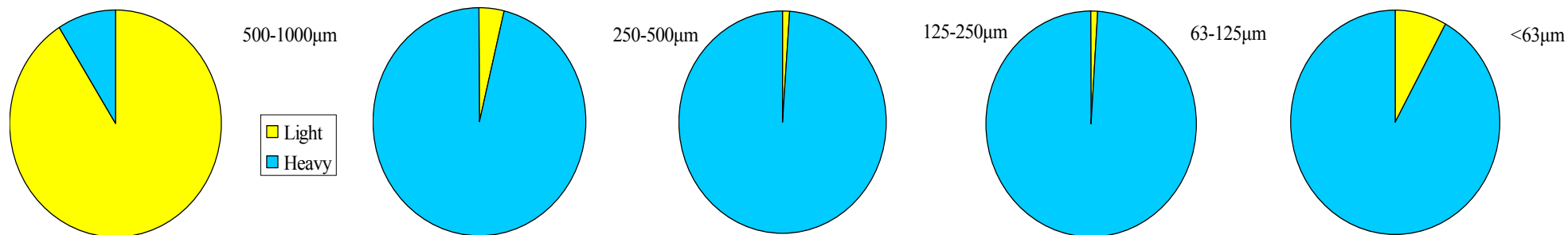


圖 4-3 高雄港支航道 (KH1) 沉積物在不同粒徑之密度百分比

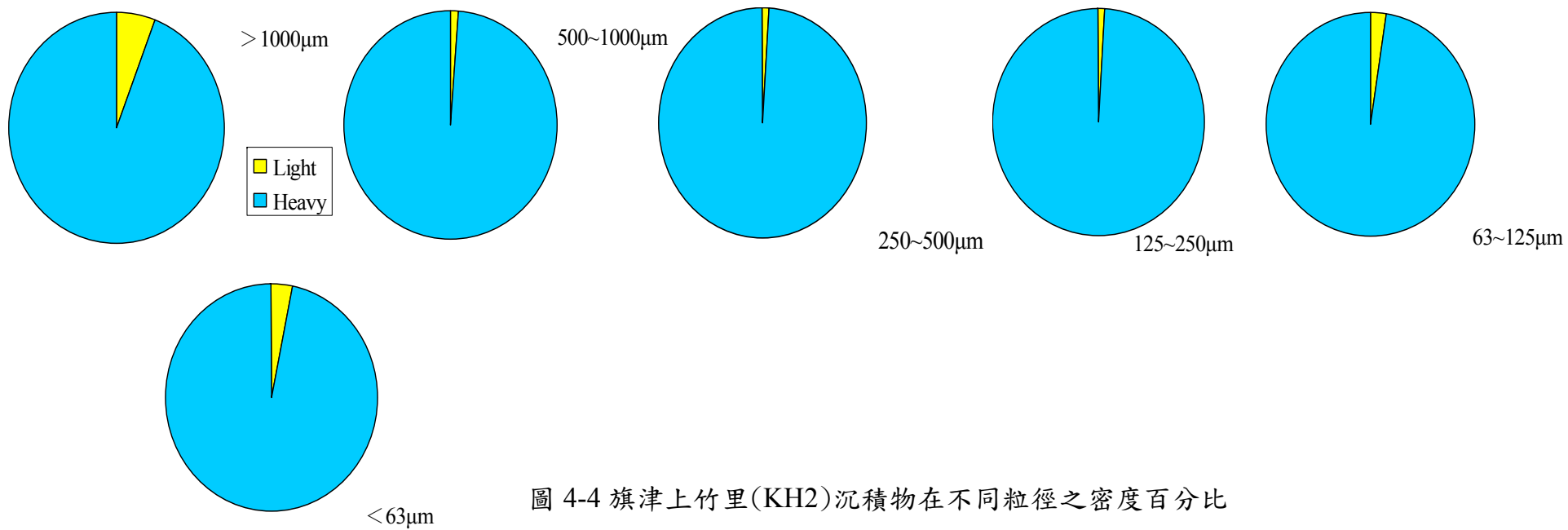


圖 4-4 旗津上竹里 (KH2) 沉積物在不同粒徑之密度百分比

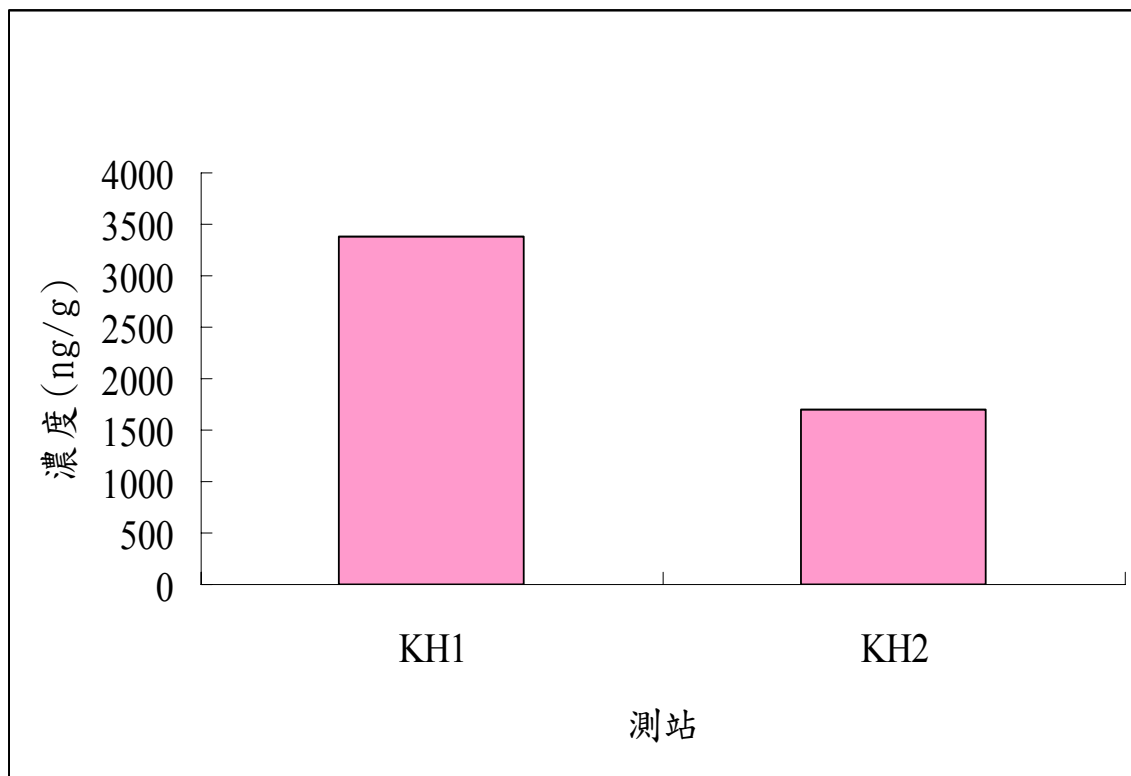


圖 4-5 兩測站之總多環芳香烴之分布

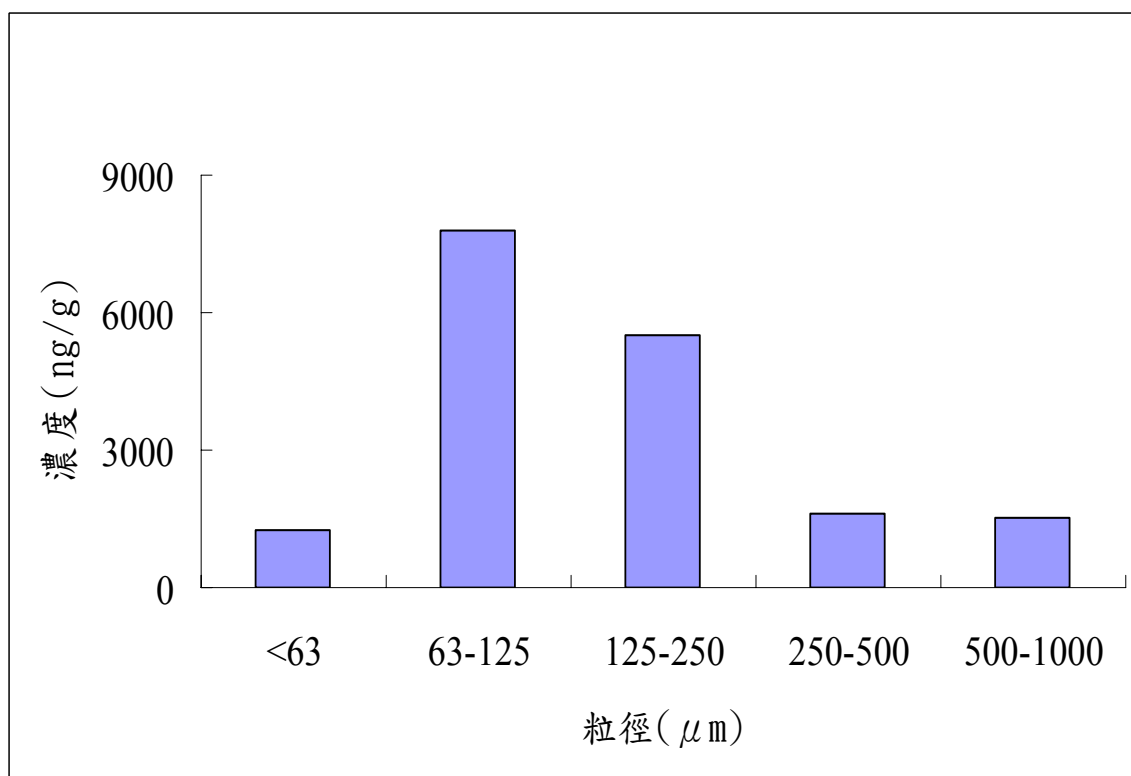


圖 4-6 高雄港支航道(KH1)各粒徑多環芳香烴之分布

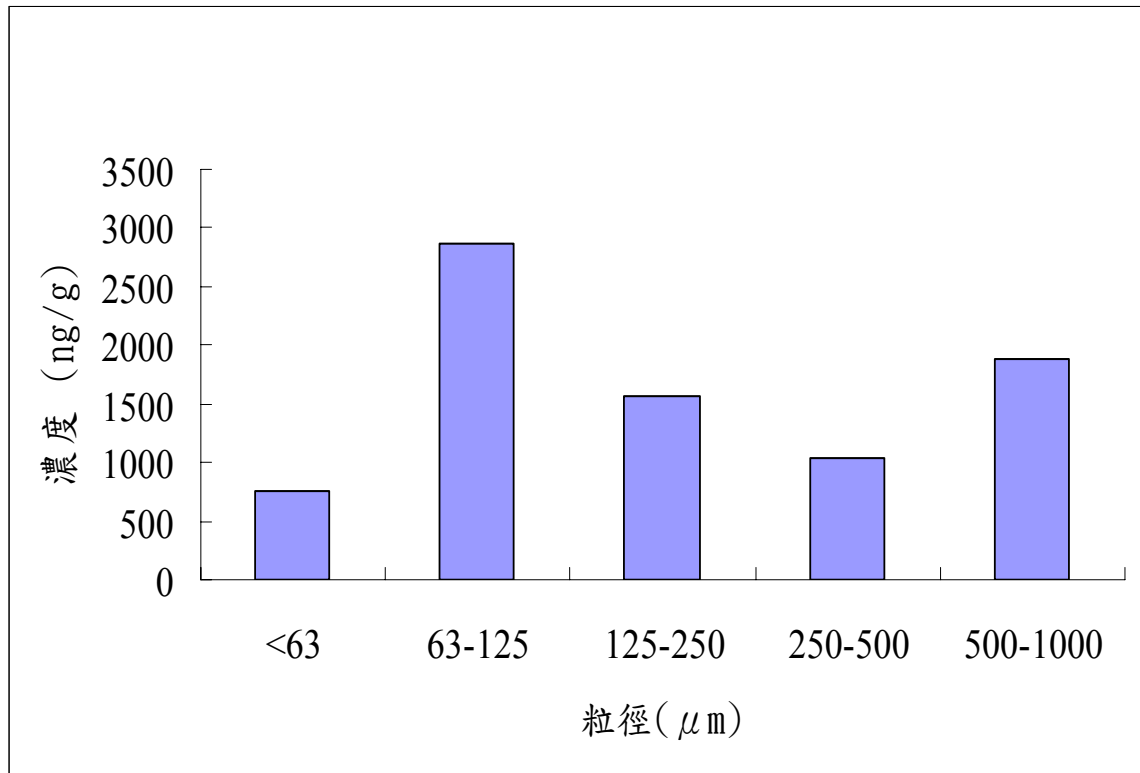


圖 4-7 旗津上竹里漁港(KH2)各粒徑多環芳香烴之分布

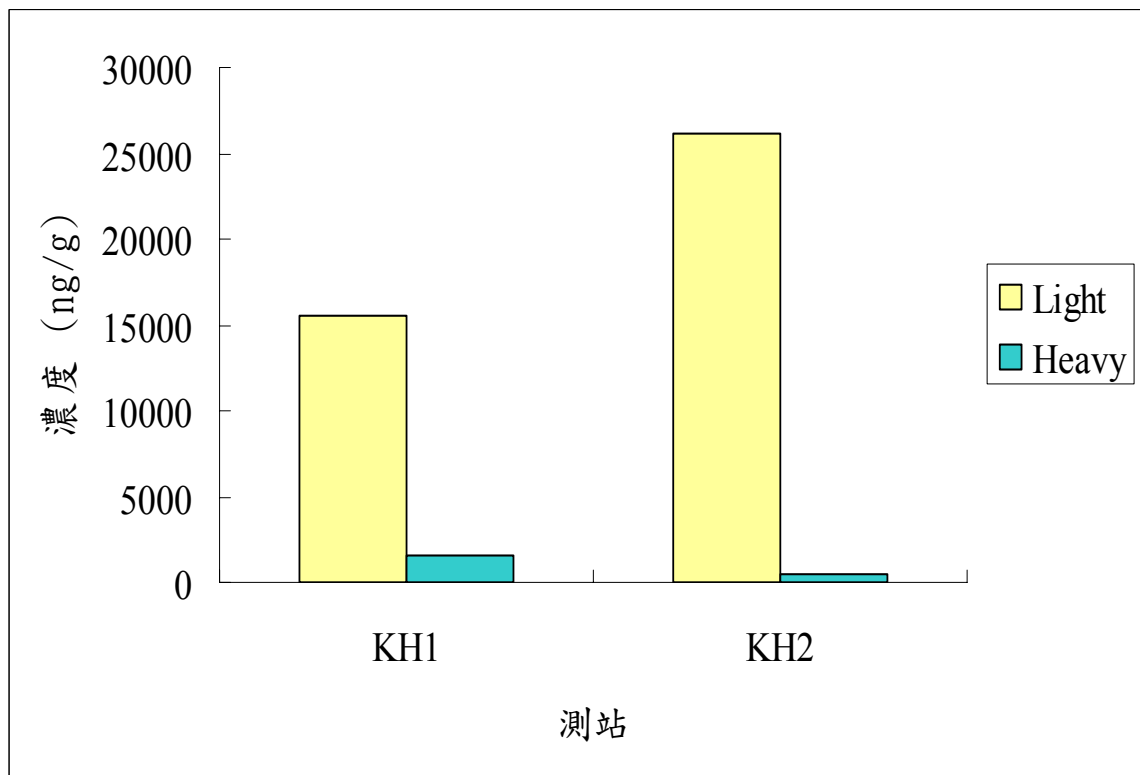
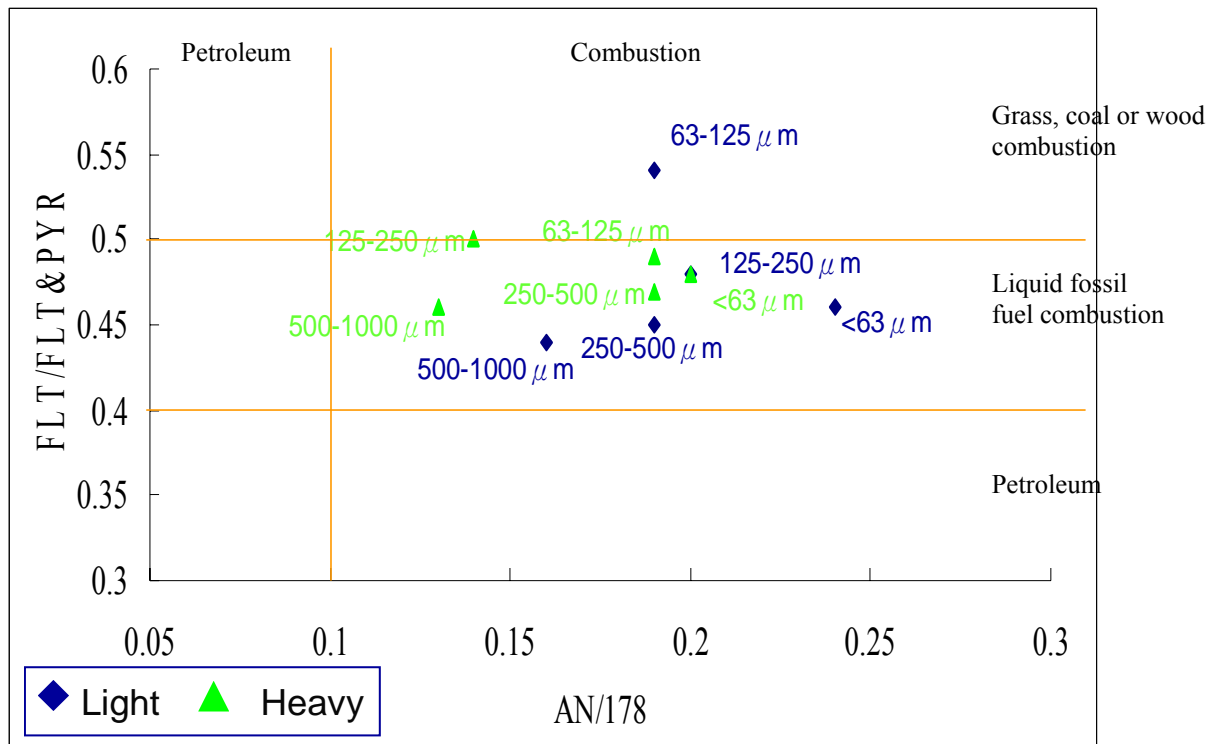


圖 4-8 兩測站高低密度之多環芳香烴之分布

(a)



(b)

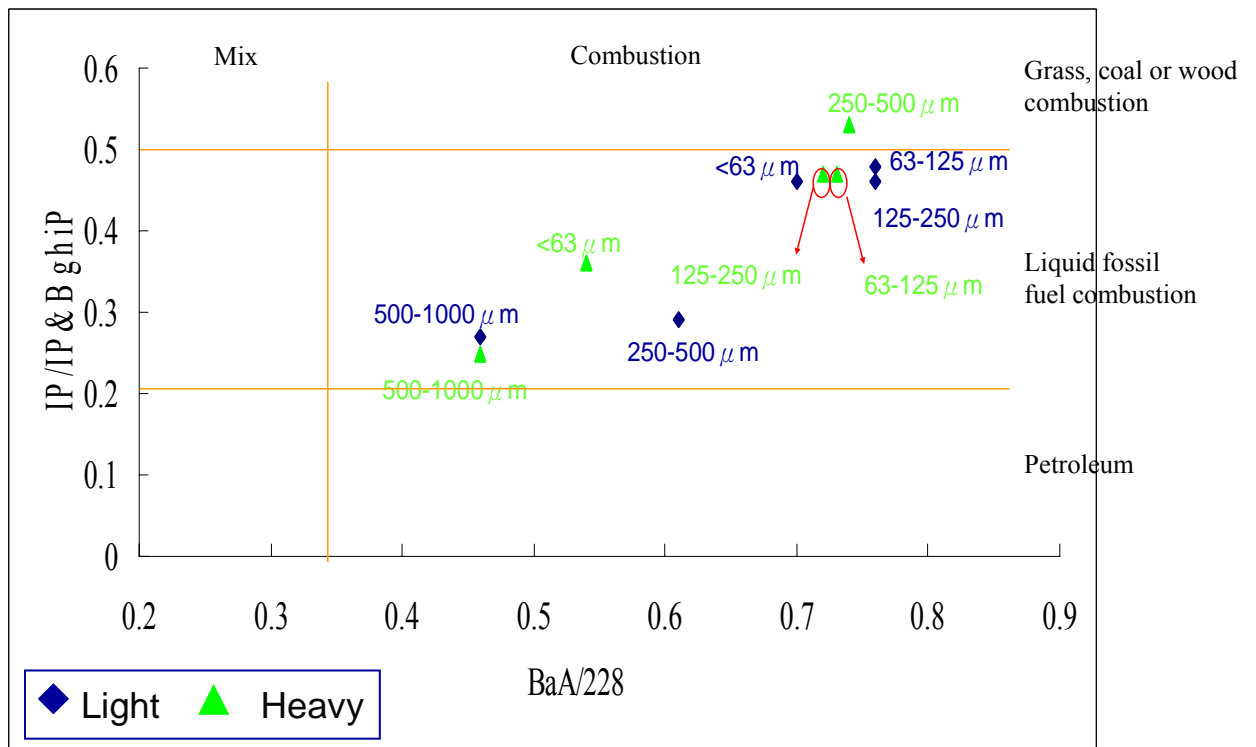
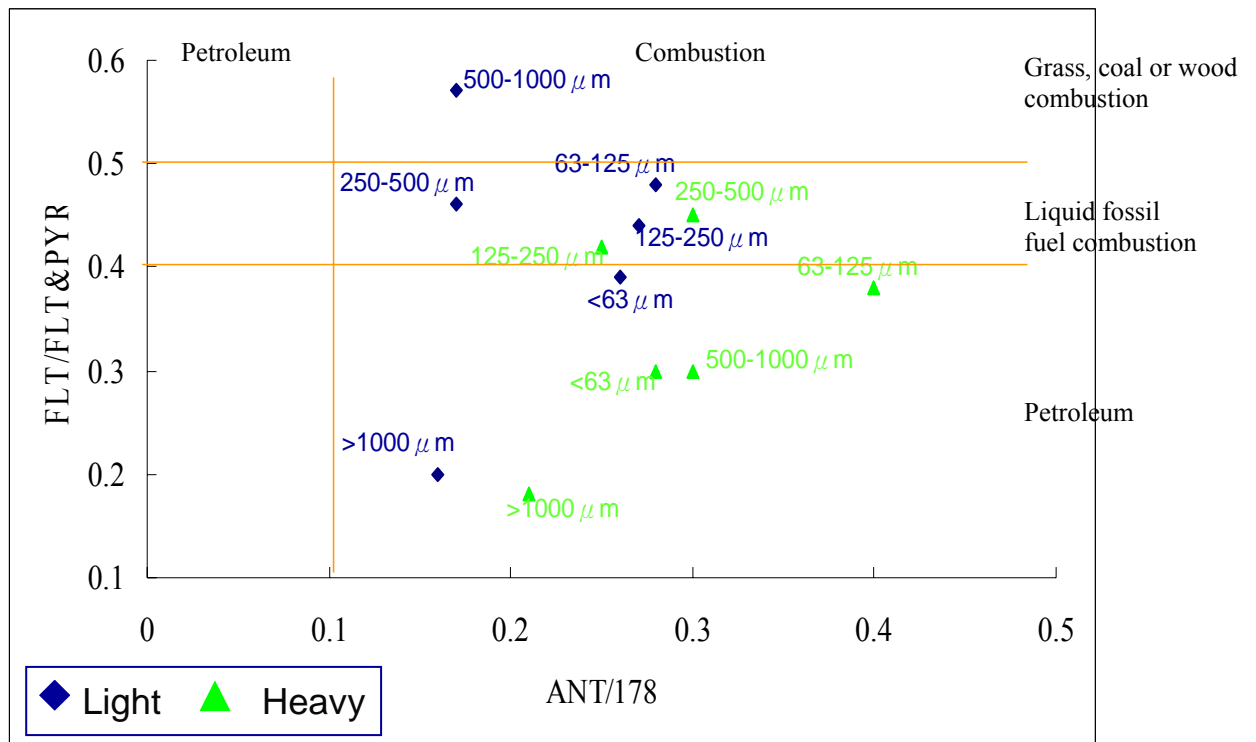


圖 4-9 高雄港支航道(KH1) isomer ratio

(a)



(b)

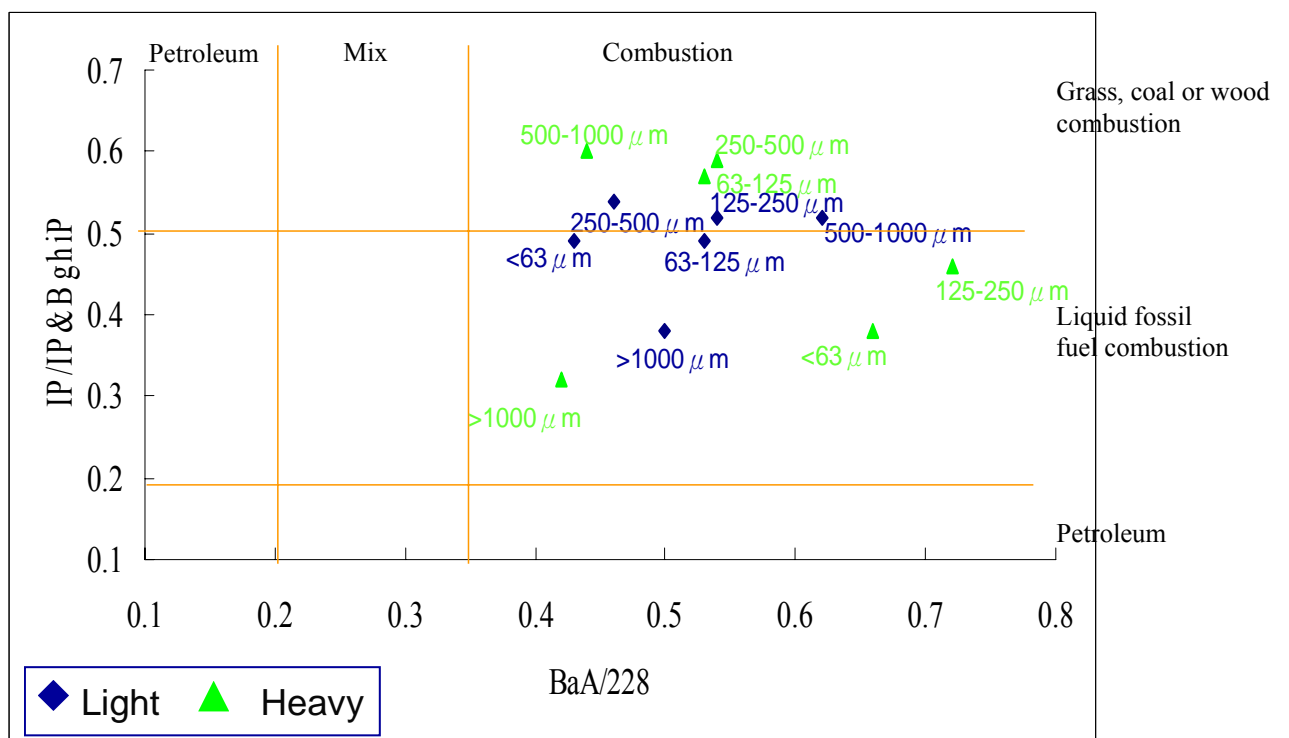


圖 4-10 旗津上竹里漁港(KH2) isomer ratio

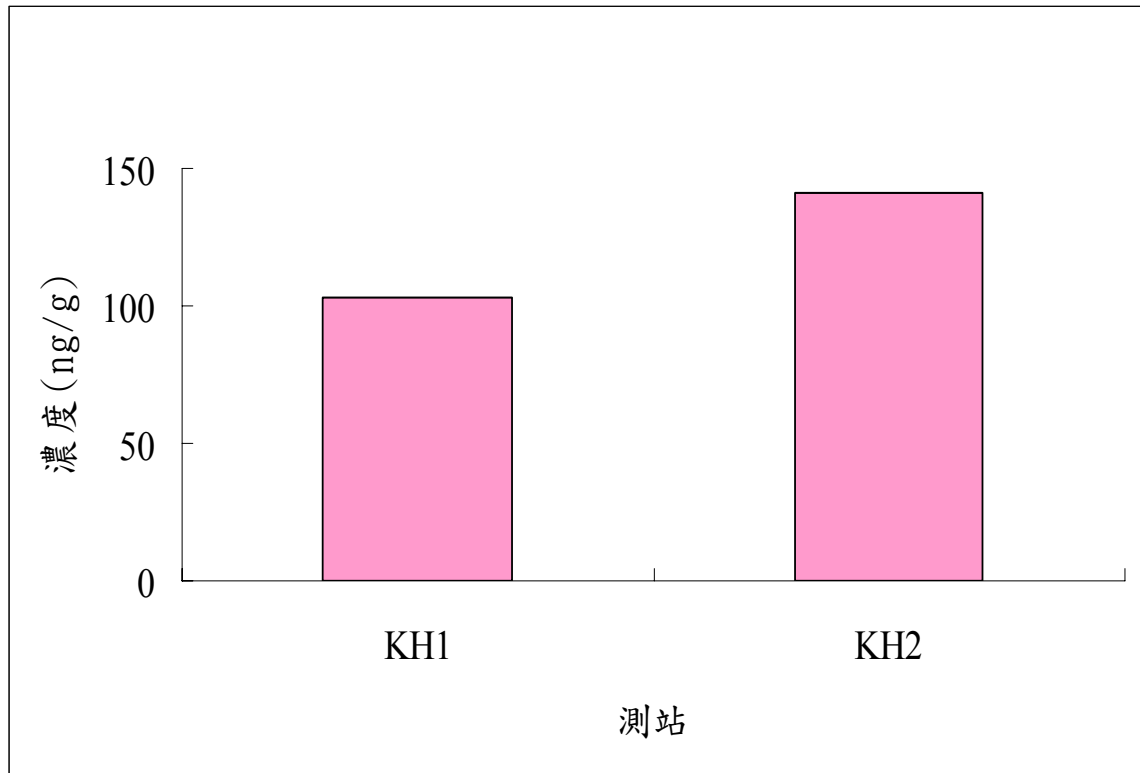


圖 4-11 兩測站之總多氯聯苯之分布

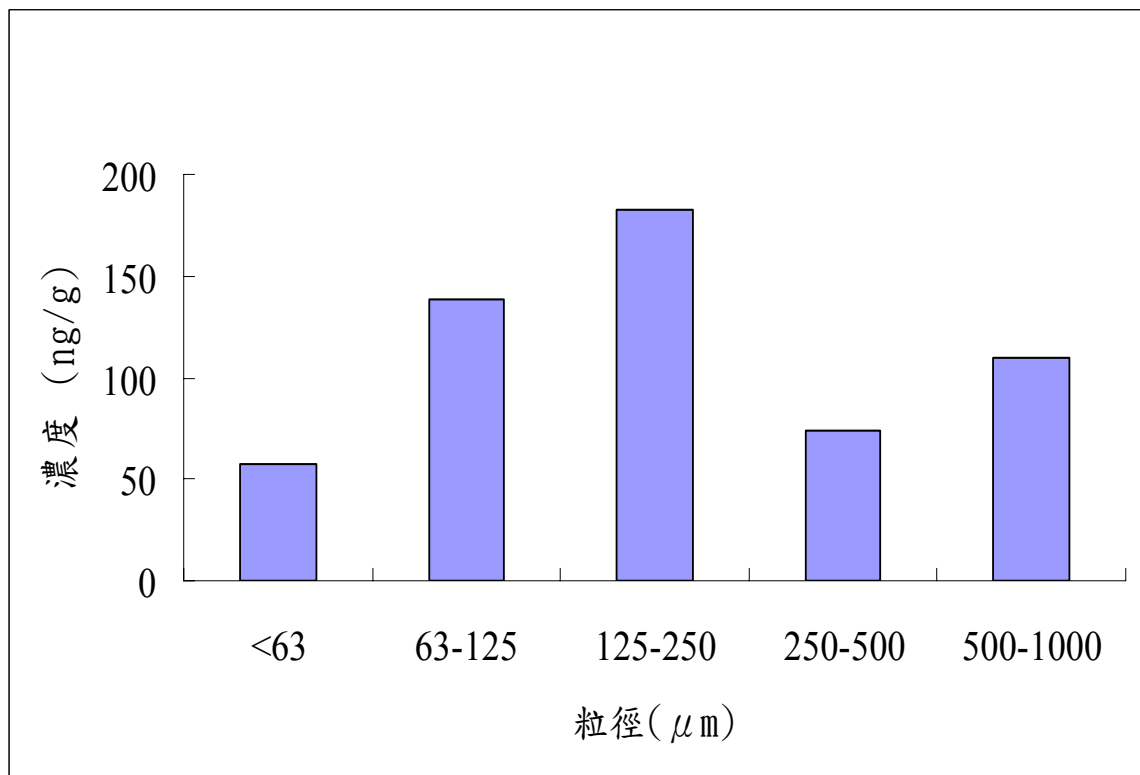


圖 4-12 高雄港支航道(KH1)各粒徑多氯聯苯之分布

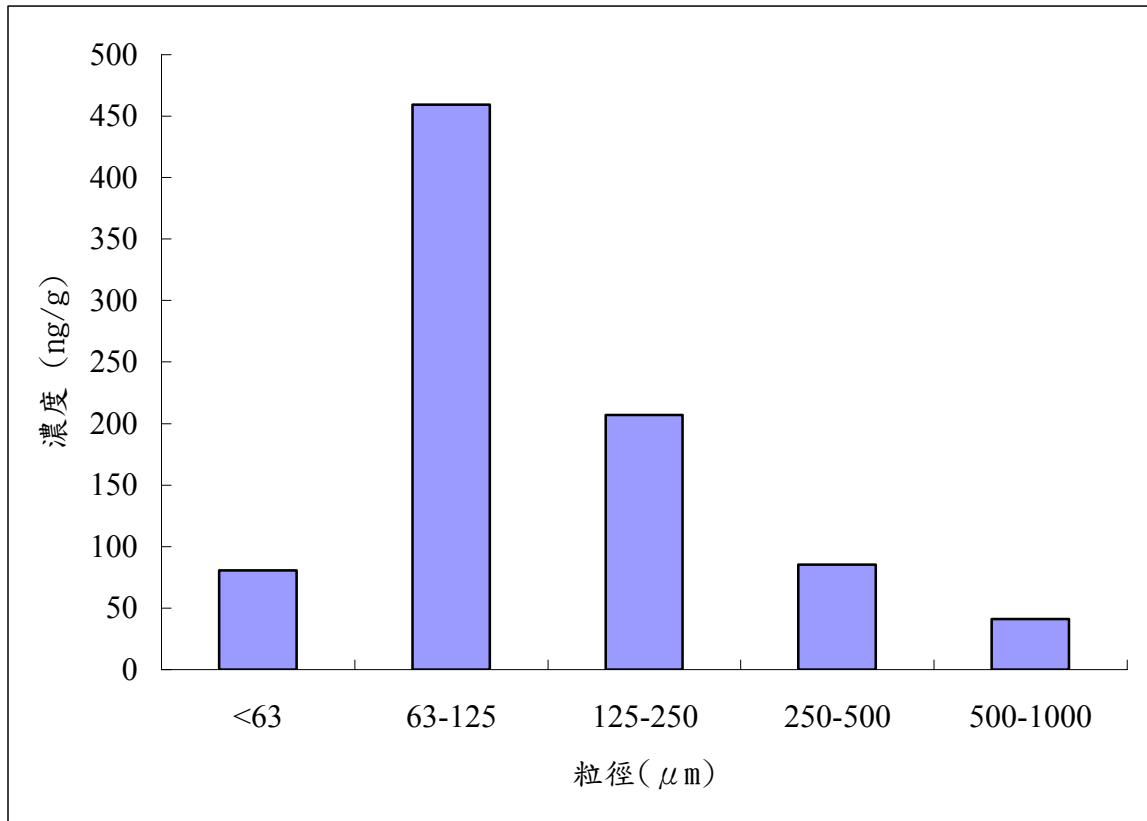


圖 4-13 旗津上竹里漁港(KH2)各粒徑多氯聯苯之分布

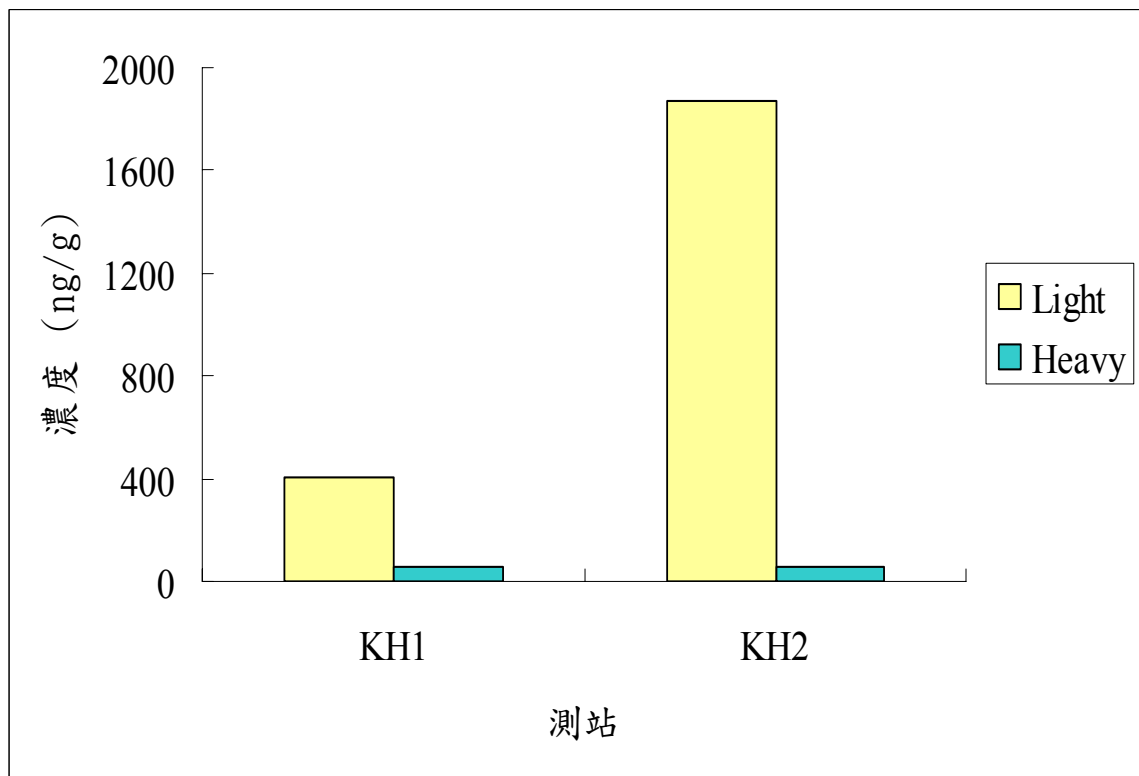


圖 4-14 兩測站高低密度之多氯聯苯分布

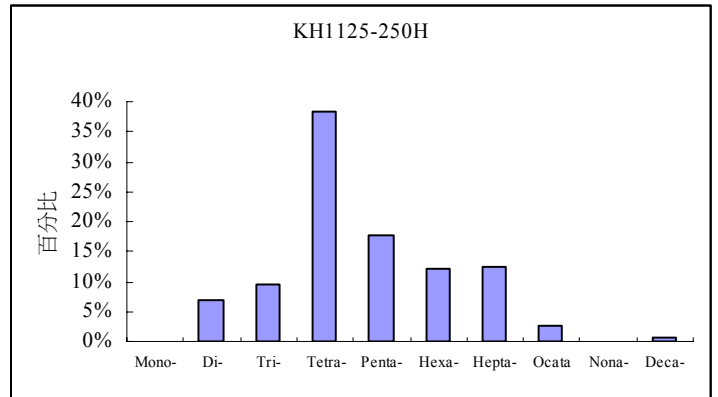
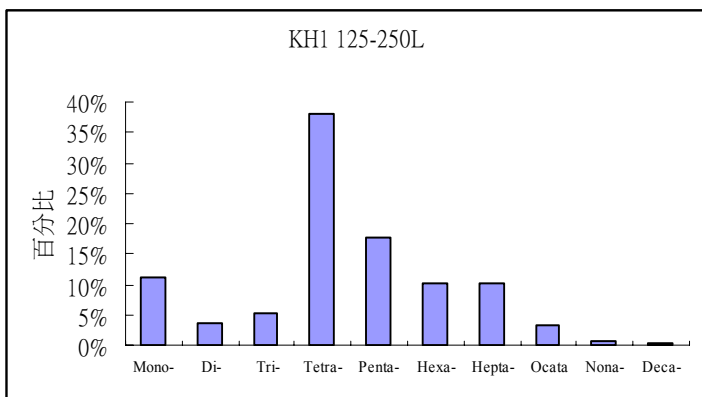
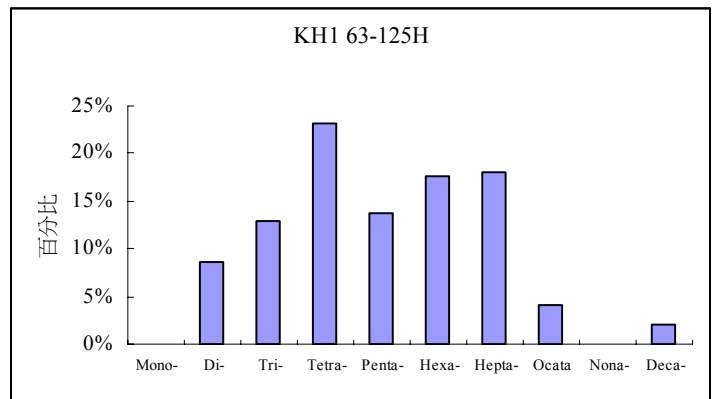
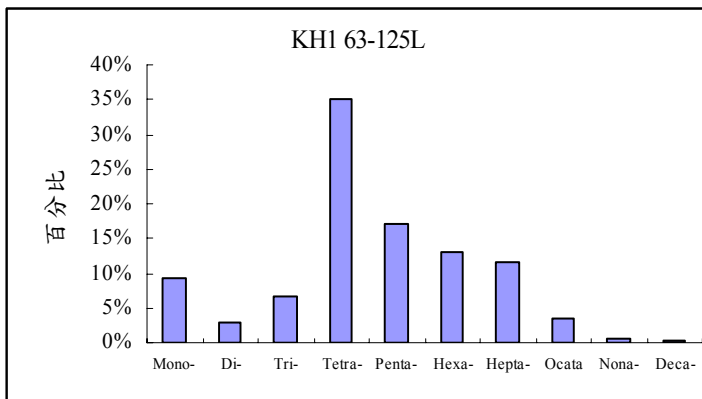
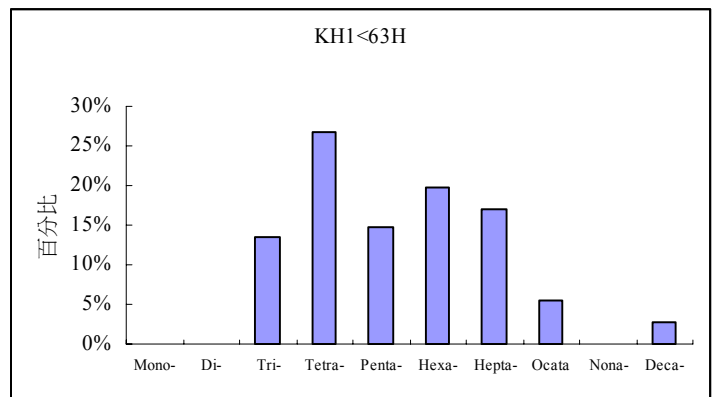
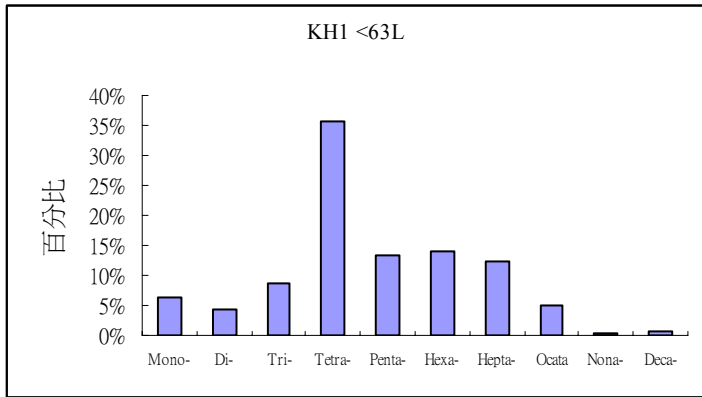
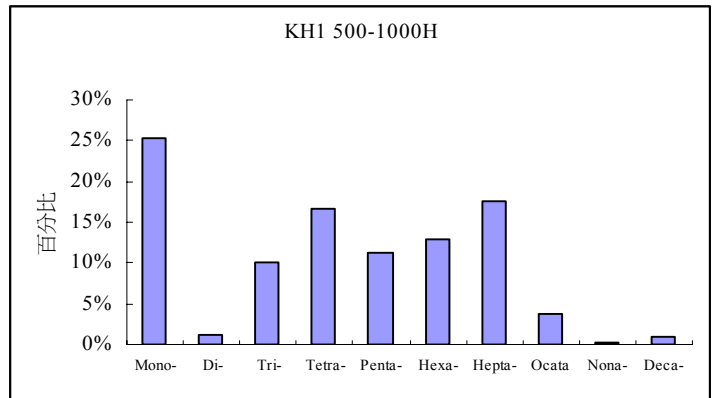
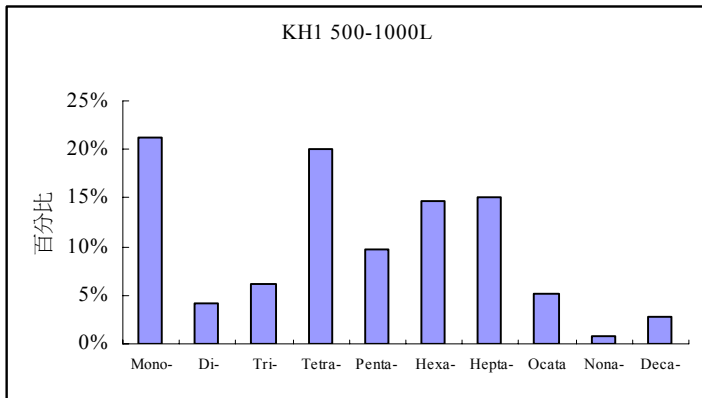
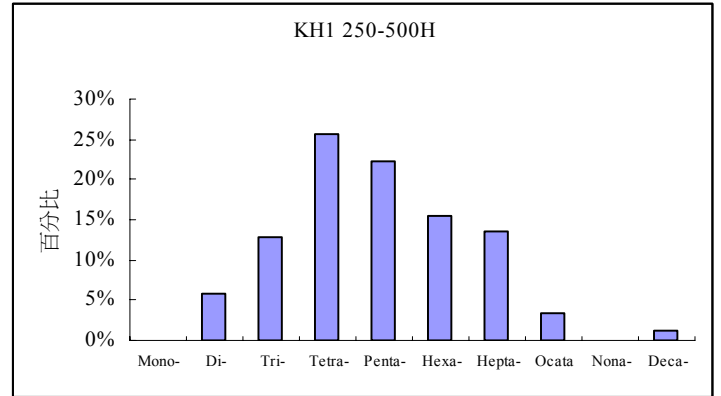
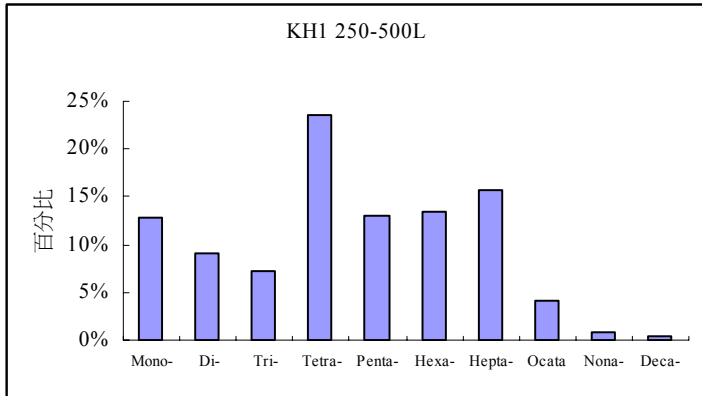


圖 4-15 高雄港支航道(KH1)多氯聯苯同族物組成百分比



(續) 圖 4-15 高雄港支航道(KH1)多氯聯苯同族物組成百分比

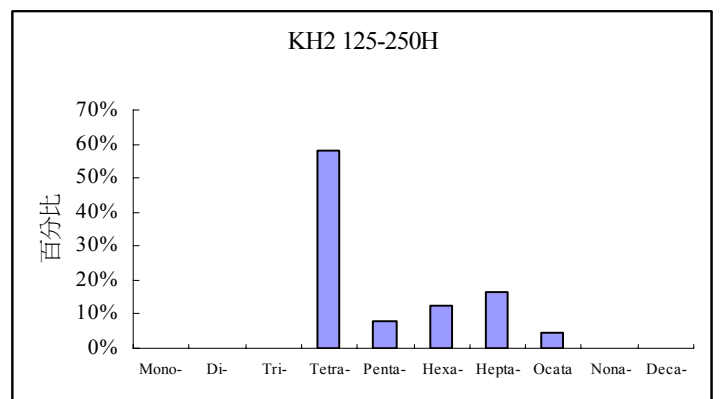
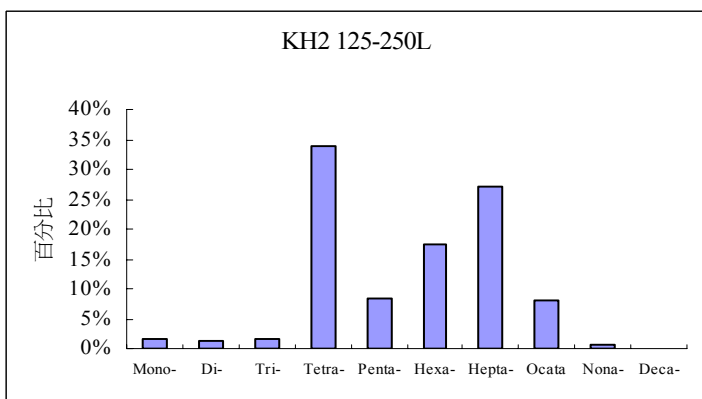
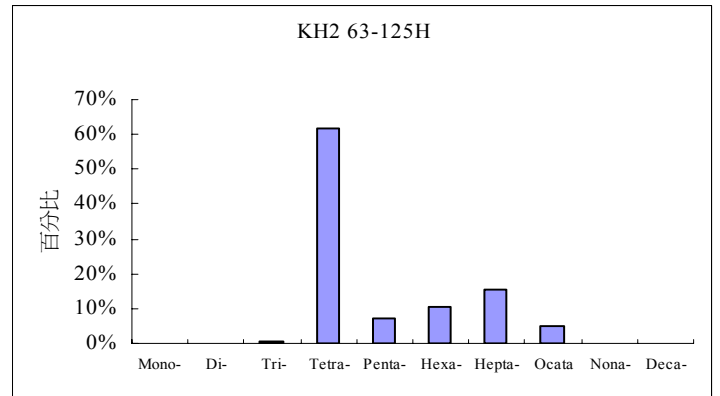
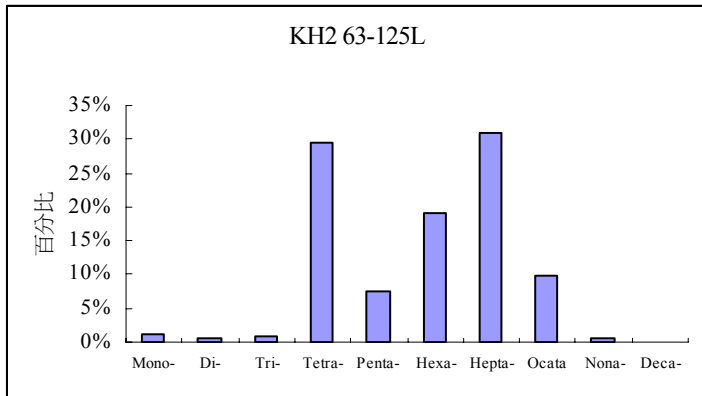
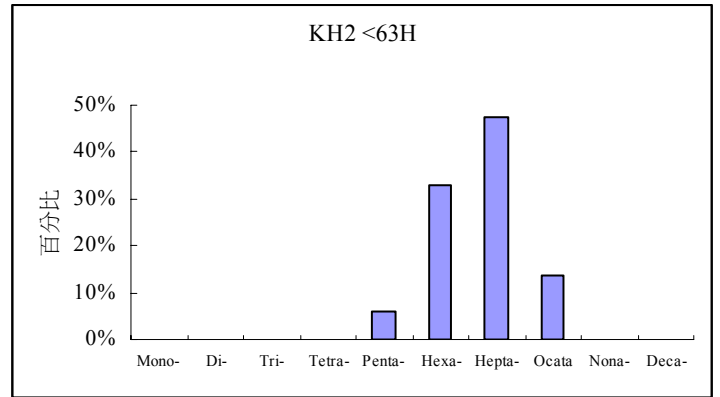
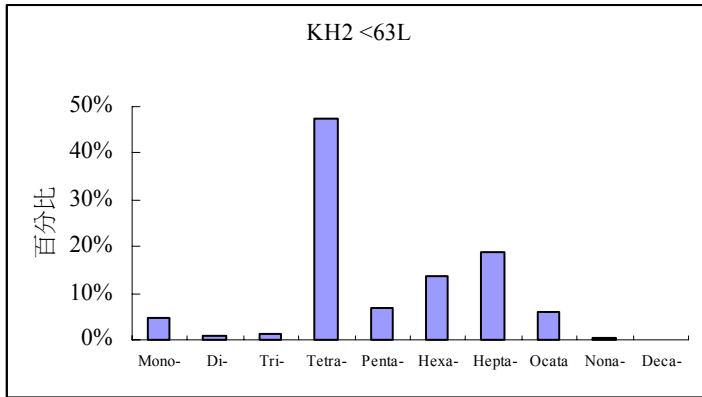
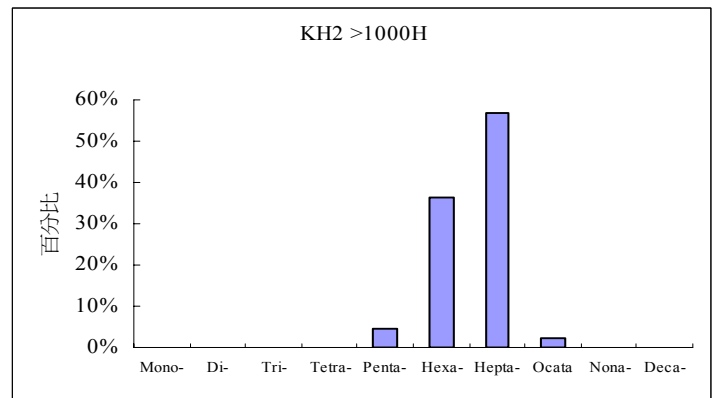
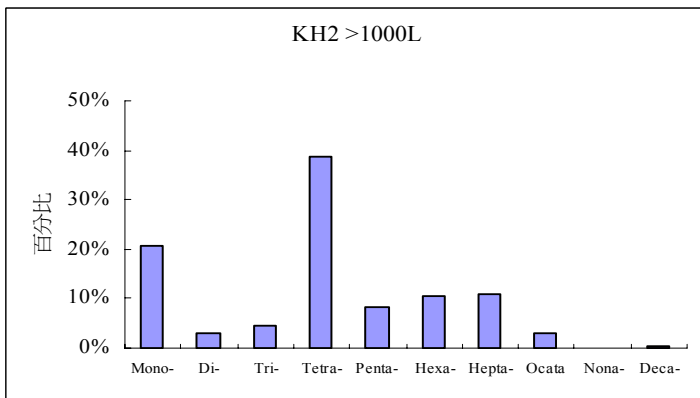
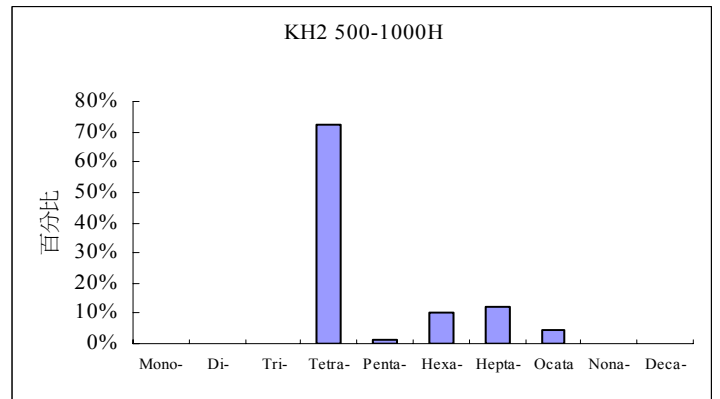
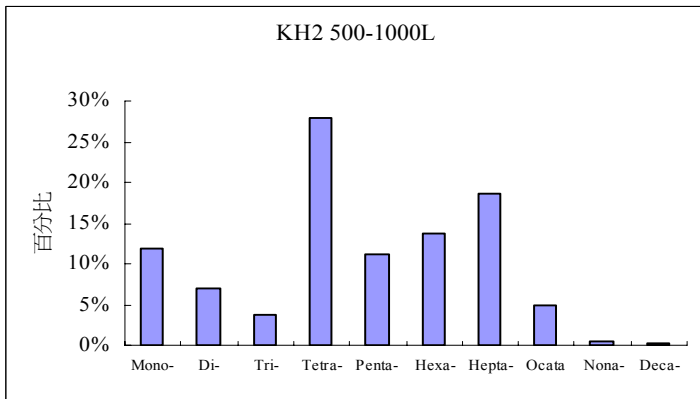
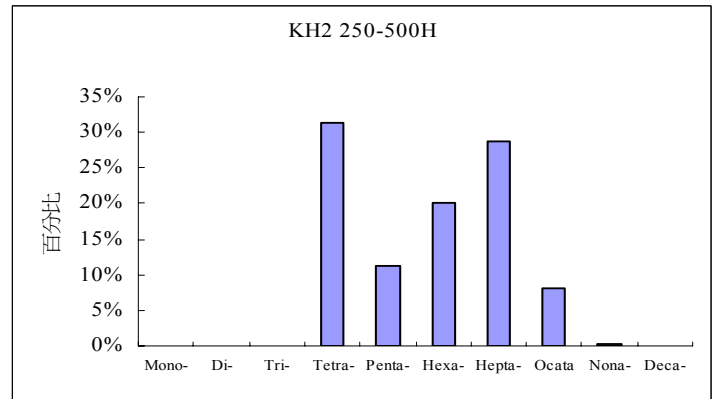
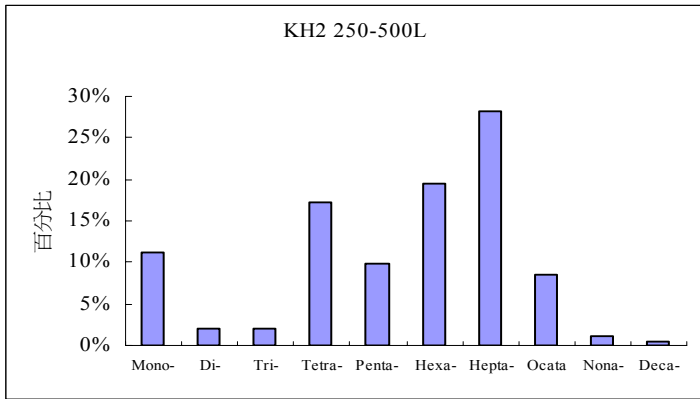


圖 4-16 上竹里漁港(KH2)多氯聯苯同族物組成百分比



(續) 圖 4-16 上竹里漁港(KH2)多氯聯苯同族物組成百分比

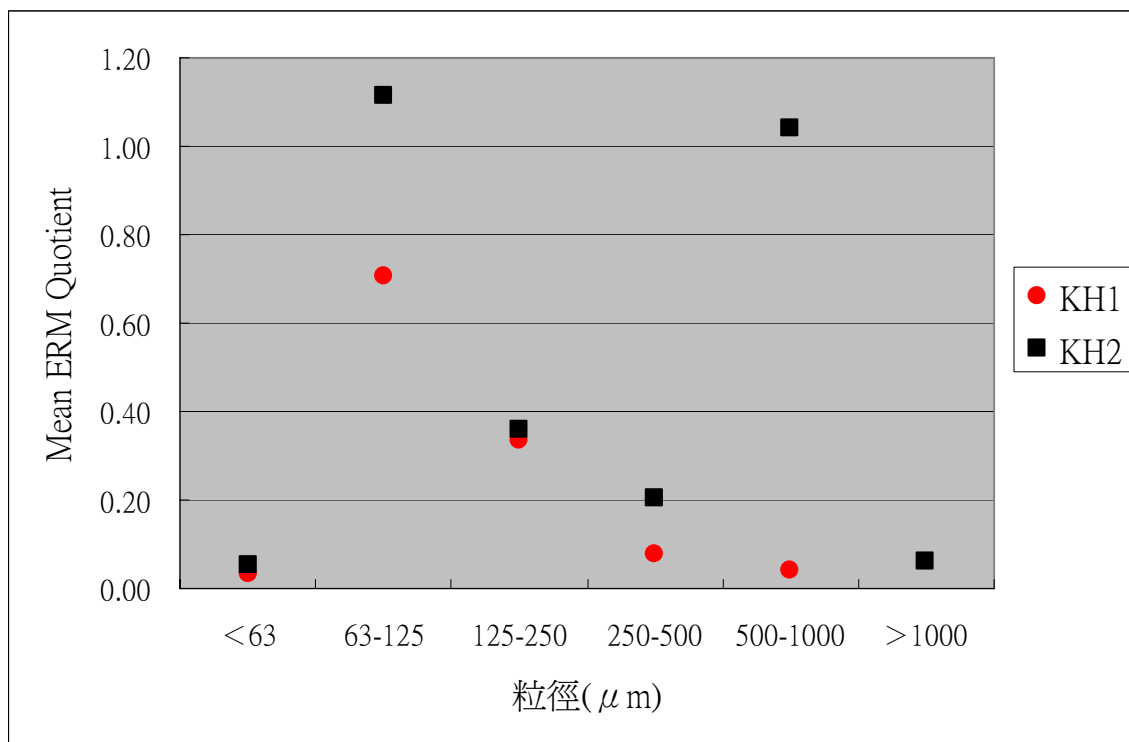


圖 4-17 兩測站各類多環芳香烴之 Mean ERM Quotient(MERM-Q)

表 4-1-a 高雄港支航道(KH1)沉積物顆粒在不同粒徑與密度下的重量百分比

粒徑(μm)	Mass contribution to total dry wt.	Mass contribution to fraction dw		Mass-weighted contribution to total sediment dw.		
		Light	Heavy	Light	Heavy	
> 1000	0.04%	--	--	--	--	
500~1000	0.11%	90.91%	9.09%	0.10%	0.01%	
250~500	0.46%	3.93%	96.07%	0.02%	0.44%	
125~250	0.32%	1.05%	98.95%	0.00%	0.32%	
63~125	5.42%	1.25%	98.75%	0.05%	5.37%	
< 63	93.65%	7.92%	92.08%	7.49%	86.16%	
				Total	7.66%	92.30%

表 4-1-b 旗津上竹里漁港(KH2)沉積物顆粒在不同粒徑與密度下的重量百分比

粒徑(μm)	Mass contribution to total dry wt.	Mass contribution to fraction dw		Mass-weighted contribution to total sediment dw.		
		Light	Heavy	Light	Heavy	
> 1000	2.80%	3.20%	96.80%	0.09%	2.71%	
500~1000	2.10%	2.58%	97.42%	0.06%	2.05%	
250~500	5.70%	0.68%	99.32%	0.06%	5.64%	
125~250	11.90%	0.87%	99.13%	0.12%	11.78%	
63~125	9.20%	0.96%	99.04%	0.09%	9.11%	
< 63	68.30%	5.67%	94.33%	3.89%	64.41%	
				Total	4.31%	95.69%

表 4-2 兩測站之沉積物特性與總多環芳香烴濃度

KH1						
Grain size Fraction (μm)	Mass contribution to fraction dw		Mass-weighted contribution to total sediment dw		ΣPAH (ng/g dw)	
	Light	Heavy	Light	Heavy	Light	Heavy
> 1000	—	—	—	—	—	—
500~1000	90.91%	9.09%	0.10%	0.01%	3603.78	1034.79
250~500	3.93%	96.07%	0.02%	0.44%	7550.33	1218.71
125~250	1.05%	98.95%	0.00%	0.32%	25727.00	3313.88
63~125	1.25%	98.75%	0.05%	5.37%	54060.62	1566.08
< 63	7.92%	92.08%	7.49%	86.16%	3142.19	731.90

KH2						
Grain size Fraction (μm)	Mass contribution to fraction dw		Mass-weighted contribution to total sediment dw		ΣPAH (ng/g dw)	
	Light	Heavy	Light	Heavy	Light	Heavy
> 1000	3.20%	96.80%	0.09%	2.71%	15834.42	446.25
500~1000	2.58%	97.42%	0.06%	2.05%	54280.80	445.17
250~500	0.68%	99.32%	0.06%	5.64%	21497.39	667.96
125~250	0.87%	99.13%	0.12%	11.78%	36193.24	531.17
63~125	0.96%	99.04%	0.09%	9.11%	112643.34	848.78
< 63	5.67%	94.33%	3.893%	64.407%	5718.32	260.69

表 4-3 沉積物總多環芳香烴濃度與文獻上測值之比較

Location	n ^a	Range (ng/g dw)	Reference
Kaohsiung Harbor	2	1707.68-3379.11	This study
Asia			
Love River, Taiwan	29	110-4200	李(2005)
Chianjen River, Taiwan	29	230-3900	李(2005)
Inner harbor, Taiwan	15	533-1756	Fang <i>et al</i> (2005)
Hsin-ta Harbor, Taiwan	30	1156-3382	Fang <i>et al</i> (2005)
Xiamen Harbor, China	9	2900-61000	Hong <i>et al</i> (1995)
Victoria Harbor, Hong Kong	8	700-261000	Hong <i>et al</i> (1995)
Incheon Harbor, Korea	24	12-1400	Kim <i>et al</i> (1999)
Harbor near Kao-Ping estuary	3	740-28000	巫(2006)
Tianjin, China	54	787-1943000	Shi <i>et al</i> (2005)
Coastal area of Korea	117	8.8-18500	Yim <i>et al</i> (2007)
America			
Kitimat Harbor, Canada	25	310-528000	Simpson <i>et al</i> (1996)
Boston Harbor, US	3	7266-358092	Wang <i>et al</i> (2001)
Baltimore Harbor, US	32	89-46200	Ashley and Baker (1999)
Richmond Harbor, US	21	2902-29590	Pereia <i>et al</i> (1996)
Santos Harbor, Brazil	17	80-42390	Nishigima <i>et al</i> (2001)
Harbor in the Northwest US	3	47700	Kima <i>et al</i> (2008)
Other area			
Proto Harbor, Italy	13	70-1210	Giuseppe <i>et al</i> (2004)
Langstone Harbor, England	15	N.D.	Woodhead <i>et al</i> (1999)
Olbia Sarsinia, Italy (harbor)	10	160-770	De Luca <i>et al</i> (2005)
Genoa Voltri, Italy (harbor)	1	7458	Bertolotto <i>et al</i> (2003)
Genoa Polcevera, Italy (harbor)	3	9313-16227	Bertolotto <i>et al</i> (2003)
Genoa Punta, Italy (harbor)	3	5201-23247	Bertolotto <i>et al</i> (2003)
Leucate, France (harbor)	1	54.05	Baumard <i>et al</i> (1998)
Port Vendres, France (harbor)	2	145-6940	Baumard <i>et al</i> (1998)
Barcelona, Spain (harbor)	2	1740-8420	Baumard <i>et al</i> (1998)
Lazaret, France (harbor)	5	1440-48090	Benlahcen <i>et al</i> (1997)

a. Number of Sample

表 4-4 全球海洋沉積物 perylene 研究文獻彙整表

Location	Perylene (ng/g)	Comments	Reference
This study			
Kaohsiung sub-channel	13.38-615.59	probably biogenic	
Shang-Zhu-Li fishing ferry	3.20-1976.53	probably biogenic	
Asia			
Tania coastal area, Taiwan	0.7-19.4	biogenic	江(2006)
Hsin-ta coastal area, Taiwan	1.7-19.4	biogenic	江(2006)
Kaohsiung coastal area, Taiwan	0.6-90.7	biogenic	江(2006)
Kaoping estuary, Taiwan	0.6-6.5	biogenic or probably terrigenous	江(2006)
Kaoping estuary, Taiwan	Nd-47	probably terrigenous	高(2001)
Hsin-ta coast, Taiwan	7%-74%*	Ocean or/and remote terrigenous precursors	Fang <i>et al.</i> (2003)
Kaoping river and submarine canyon, Taiwan	47%-55%*	diagenetic	Fang <i>et al.</i> (2007)
Southeast coast, India	0.05, 0.1	Land-derived	Venkatesan (1988)
Masan Bay, Korea	18%*	Terrigenous precursors	Yim <i>et al.</i> (2005)
Tokyo Bay, Japan	47-295	probably terrigenous	Venkatesan (1988)
Arabian Sea	0-232	Marine origin	Venkatesan (1988)
Channel in Bangkok, Thailand	70-184	River-borne particle	Ruchaya <i>et al.</i> (2006)
Chao Phraya River, Thailand	44-230	River-borne particle	Ruchaya <i>et al.</i> (2006)
Estuary of the Chao Phraya River, Thailand	4-182	River-borne particle	Ruchaya <i>et al.</i> (2006)
Whole Thai Coast, Thailand	1-67	River-borne particle	Ruchaya <i>et al.</i> (2006)
Yarra River Estuary	60-4200	Probably runoff	Venkatesan (1988)
South China Sea, China	0.7-59.4	Biogenic origin	Yang (2000)

* , perylene/ΣPAHs(%)

(續) 表 4-4 全球海洋沉積物 perylene 研究文獻彙整表

Location	Perylene (ng/g)	Comments	Reference
Yellow Sea, China	~150	Terrigenous precursors	Wu <i>et al.</i> (2003)
Yalujiang Estuary, China	1-110	Biogenic origin	Wu <i>et al.</i> (2003)
Pearl River Estuary and the Northern South China Sea	21.7-192	diagenetic	Chen <i>et al.</i> (2006)
Pearl River Estuary and adjacent coastal areas, China	41.8-228.3	Biogenic origin	Luo <i>et al.</i> (2006)
The American continents			
Santa Barnara Basin	<0.2-260	Biogenic origin	Venkatesan (1988)
Washington Continental Shelf	0.5-9.5	Land-derived	Venkatesan (1988)
Gulf of California	<0.1	Terrigenous precursors	Venkatesan (1988)
San Pedro Basin	30-720	Anthropogenic and biogenic inputs	Venkatesan (1988)
Beaufort Sea	10-40	Terrigenous precursors	Venkatesan (1988)
Saanich Inlet, B. C.	300-2400	Land-derived precursors	Venkatesan (1988)
Gulf of Mexico	<0.1-12	Land-derived	Venkatesan (1988)
Winyah Bay, Carolina	12%-71%*	Terrigenous precursors	Kucklick <i>et al.</i> (1997)
Richardson Bay	8.9-171	Pyrolytic origin	Pereirra <i>et al.</i> (1999)
San Pablo Bay	52-269	Peat origin	Pereirra <i>et al.</i> (1999)
Narragansett Bat	~7000	Diatoms origin	Lima <i>et al.</i> (2003)

* , perylene/ΣPAHs(%)

(續) 表 4-4 全球海洋沉積物 perylene 研究文獻彙整表

Location	Perylene (ng/g)	Comments	Reference
Europe			
Gemilk Bay, Turkey	0.1-485	Terrigenous influence	Selma & Bedri (2006)
Mediterranean Coast, Malta	4-72	Probably fossil fuel	Venkatesan (1988)
Black Sea	~1000	Reducing conditions	Venkatesan (1988)
Saudafjord, Norway	0-1757	Decrease from the point source (metal smelter)	Venkatesan (1988)
Norwegian Sea	0.02-90	Probably autochthonous	Venkatesan (1988)
Pechora Sea, Russia	8-24	Diatoms or peat origin	Loring <i>et al.</i> (1995)
NW Mediterranean Sea	1-594	Terrigenous precursors	Tolosa <i>et al.</i> (1996)
Eastern Mediterranean Sea	0.4-18.4	Terrigenous precursors	Gugou <i>et al.</i> (2000)
Other			
Kazakhstan	<20%*	Pyrolytic source	Tolosa <i>et al.</i> (2004)
Bransfield Strait	16-2000	Marine origin	Venkatesan (1988)
Walvis Bay	267, 375	Probably marine	Venkatesan (1988)

* , perylene/ΣPAHs(%)

表 4-5 高雄港區 Perylene/penta-PAHs 之百分比

Sample name	Perylene/penta-PAHs (%)
KH1	
<63L	9.68
<63H	13.27
63-125L	6.17
63-125H	7.03
125-250L	7.40
125-250H	7.30
250-500L	11.67
250-500H	9.09
500-1000L	18.60
500-1000H	15.35
KH2	
<63L	11.52
<63H	7.87
63-125L	8.72
63-125H	10.35
125-250L	8.20
125-250H	8.91
250-500L	8.01
250-500H	7.76
500-1000L	7.48
500-1000H	6.32
>1000L	12.55
>1000H	9.65

表 4-6 沉積物總多氯聯苯濃度與文獻上測值之比較

Location	Range (ng/g dw)	Analytes	Reference
Kaohsiung Harbor	103.33-140.78	Sum of 118 congeners	This study
Asia			
Kao-Ping coast, Taiwan	1.432-6.681	Sum of 112 congeners	楊(2004)
Osaka Bay, Japan	63-240	Aroclor and Kanechlor mixture basis	Iwata <i>et al.</i> (1994)
Pearl River Delta, China	10.2-339	Aroclor and Kanechlor mixture basis	Mai <i>et al.</i> (2002)
Estuaries, China	1.69-14.29	Aroclor and Kanechlor mixture basis	Yuan <i>et al.</i> (2001)
Ximan Harbor, China	0.05-7.24	Not available	Hong <i>et al.</i> (1995)
Coast of Korea	0.17-371	Σ PCB ₁₈ × 2	Hong <i>et al.</i> (2006)
Hong Kong	0.5-97.9	Aroclor and Kanechlor mixture basis	Richardson & Zheng (1999)
Cities, India	4.8-1000	Not available	Iwata <i>et al.</i> (1994)
Cities, Thailand	11-520	Not available	Iwata <i>et al.</i> (1994)
Cities, Indonesia	5.9-220	Not available	Iwata <i>et al.</i> (1994)
Cities, Japan	63-240	Not available	Iwata <i>et al.</i> (1994)
North Coast Vietnam	0.47-28.15	PCB in Aroclor 1254 equivalents	Nhan <i>et al.</i> (1999)
Victoria Harbor, Hong Kong	3.2-81	Not available	Hong <i>et al.</i> (1995)
Bohai Sea and Yellow Sea, China	3.4-14.9	Sum of 10 congeners	Ma <i>et al.</i> (2001)
Daya Bay, China	0.85-27.37	Sum of 12 congeners	Zhou <i>et al.</i> (2001)
Kyeonggi Bay, Korea	<0.99-580	101 individual peaks	Lee <i>et al.</i> (2001)
Masan Bay, Korea	10.3-148	Sum of 98 congeners	Khim <i>et al.</i> (1999)
America			
Pacific coast, USA	0.1-2000	Aroclor and Kanechlor mixture basis	Brown <i>et al.</i> (1998)
Off Savannah, Georgia, US	1.95, 2.37	Sum of 35 congeners	Loganathan <i>et al.</i> (2001)
San Quintin Bay, Mexico	<10	Not available	Galindo <i>et al.</i> (1996)
Narragansett Bay, US	20.8-1766	Sum of 30 congeners	Hartmann <i>et al.</i> (2004)

(續)表 4-6 沉積物總多氯聯苯濃度與文獻上測值之比

Location	Range (ng/g dw)	Analytes	Reference
San Francisco Estuary, US	<0.1-8.1	Sum of tetra, penta and hexa-PCB	Pereira <i>et al</i> (1994)
Cities, Australia	0.5-790	No information available	Iwata <i>et al.</i> (1994)
Other area			
Northern Part of the Baltic Sea	9-9.3	Aroclor and Kanechlor mixture basis	Strandberg <i>et al.</i> (1998)
Mediterranean coast, France	58-362	Sum of <i>o</i> , <i>p</i> '-DDE, <i>p</i> , <i>p</i> '-DDE, <i>o</i> , <i>p</i> '-DDD, <i>p</i> , <i>p</i> '-DDD, <i>o</i> , <i>p</i> '-DDT and <i>p</i> , <i>p</i> '-DDT.	Pie'rard <i>et al.</i> (1996)
Queensland, Australia	4.53-1038.27	Sum of 10 congeners	Muller <i>et al</i> (1999)
Western Mediterranean coast	2-654	Aroclor and Kanechlor mixture basis	Tolosa <i>et al</i> (1997)

表 4-7 兩測站前三高之多氯聯苯同源物(ng/g dry wt)

Sample Name	First	Second	Third
KH1			
<63(L)	OCS+PCB 63(23.58)	PCB 32+153+105(9.06)	PCB 1(8.23)
<63(H)	PCB 132+153+105(1.72)	PCB 163+138(1.22)	PCB 66+95(1.17)
63-125(L)	OCS+PCB 63(157.49)	PCB 3(48.84)	PCB 132+153+105(41.74)
63-125(H)	PCB 132+153+105(2.46)	PCB 163+138(1.92)	PCB 8+5(1.65) PCB 66+95(1.65)
125-250(L)	OCS+PCB 63(199.91)	PCB 3(72.56)	PCB 132+153+105(39.05)
125-250(H)	OCS+PCB 63(19.47)	PCB 8+5(4.45)	PCB 132+153+105(4.33)
250-500(L)	PCB 3(41.05)	OCS+PCB 63(35.12)	PCB 132+153+105(21.92)
250-500(H)	PCB 132+153+105(2.14)	PCB 66+95(1.87)	PCB 100(1.70) PCB 163+138(1.70)
500-1000(L)	PCB 3(36.92)	OCS+PCB 63(26.24)	PCB 1(18.79)
500-1000(H)	PCB 3(11.80)	PCB 1(3.25)	PCB 132+153+105(2.96)
KH2			
<63(L)	OCS+PCB 63(280.10)	PCB 180(38.72)	
<63(H)	PCB 132+153+105(0.90)	PCB 180(0.86)	PCB 163+138(0.56)
63-125(L)	OCS+PCB 63(5040.46)	PCB 180(1841.99)	
63-125(H)	OCS+PCB 63(69.88)	PCB 180(6.26)	PCB 132+153+105(5.52)
125-250(L)	OCS+PCB 63(1487.16)	PCB 180(423.93)	
125-250(H)	OCS+PCB 63(34.60)	PCB 180(3.44)	PCB 132+153+105(3.33)
250-500(L)	OCS+PCB 63(103.72)	PCB 180(74.34)	PCB 3(64.36)
250-500(H)	OCS+PCB 63(17.18)	PCB 180(5.92)	PCB 132+153+105(5.63)
500-1000(L)	OCS+PCB 63(112.29)	PCB 3(42.27)	
500-1000(H)	OCS+PCB 63(13.58)	PCB 180(1.10)	PCB 132+153+105(0.98)
>1000(L)	OCS+PCB 63(91.63)	PCB 1(31.47)	PCB 3(31.21)
>1000(H)	PCB 187+182(0.93)	PCB 163+138(0.73)	PCB 137+130+176(0.54)

表 4-8 Co-Eluting 多氯聯苯同源物在不同同族物之間分配比例

Co-elutant		Homolog group	Distribution
33+21+53	33+21	Tri	84%
	53	Tetra	16%
37+42	37	Tri	49%
	42	Tetra	51%
66+95	66	Tetra	81%
	95	Penta	19%
87+81	87	Penta	90%
	81	Tetra	10%
110+77	110	Penta	79%
	77	Tetra	21%
135+144+147+124	135+144+147	Hexa	95%
	124	Penta	5%
153+132+105	153+132	Hexa	88%
	105	Penta	12%
178+129	178	Hepta	92%
	129	Hexa	8%
157+200	157	Hexa	7%
	200	Octa	93%
172+197	172	Hepta	84%
	197	Octa	16%
208+195	298	Nona	6%
	195	Octa	94%

Source: Nakanishi Koichiro, 1996

表 4-9 高雄港支航道(KH1)多氯聯苯同族物濃度(ng/g dw)

	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H
Mono-	8.32	Nd	72.78	Nd	101.73	Nd	54.89	Nd	55.71	15.04
Di-	5.98	Nd	23.49	2.85	32.99	6.62	38.41	1.97	11.18	0.72
Tri-	11.57	2.58	52.87	4.22	46.90	9.09	30.67	4.38	16.41	6.07
Tetra-	48.13	5.07	276.47	7.62	345.00	37.02	100.36	8.78	52.79	9.95
Penta-	17.88	2.81	133.45	4.50	159.83	17.03	55.89	7.61	25.80	6.69
Hexa-	18.90	3.77	101.57	5.78	92.94	11.67	57.32	5.30	38.90	7.64
Hepta-	16.40	3.22	90.21	5.93	91.66	11.93	67.13	4.68	39.76	10.41
Octa	6.52	1.03	26.44	1.33	29.89	2.56	17.32	1.19	13.44	2.29
Nona-	0.37	Nd	5.27	0.01	6.43	0.01	3.77	Nd	1.90	0.14
Deca-	0.70	0.50	2.48	0.69	2.07	0.63	1.35	0.38	7.44	0.59
Σ homolog	134.78	18.99	785.03	32.90	909.53	96.55	427.09	34.30	263.34	59.55

表 4-10 上竹里漁港(KH2)多氯聯苯同族物濃度(ng/g dw)

	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H	>1000L	>1000H
Mono-	28.58	Nd	201.37	Nd	75.14	Nd	93.72	Nd	62.19	Nd	62.69	Nd
Di-	5.09	Nd	118.73	Nd	58.31	Nd	17.52	Nd	36.75	Nd	8.90	Nd
Tri-	9.38	Nd	148.81	0.72	71.56	Nd	16.05	Nd	19.36	Nd	13.15	Nd
Tetra-	301.69	Nd	5368.78	75.33	1614.84	37.53	143.67	20.50	145.80	14.48	117.27	Nd
Penta-	42.91	0.24	1359.12	8.54	393.22	5.32	82.01	7.37	58.33	0.30	25.11	0.19
Hexa-	86.45	1.35	3449.49	12.80	824.92	8.01	161.92	13.14	72.11	1.99	32.55	1.48
Hepta-	120.40	1.93	5590.92	18.80	1295.07	10.74	233.21	18.75	97.52	2.38	33.65	2.33
Octa	37.14	0.56	1772.29	5.90	385.90	2.89	70.43	5.24	25.16	0.90	8.82	0.09
Nona-	2.68	0.00	112.69	0.29	27.27	0.02	8.54	0.25	2.74	Nd	0.50	Nd
Deca-	1.12	Nd	18.14	Nd	6.34	Nd	2.88	Nd	1.53	Nd	1.13	Nd
Σhomolog	635.44	4.07	18140.33	122.38	4752.58	64.51	829.96	65.24	521.50	20.05	303.77	4.08

表 4-11 三氯加四氯多氯聯苯除六氯多氯聯苯同族物的比率

Sample Name	(Tri+Tetra)-CB/Hexa-CB
KH1	
<63(L)	3.16
<63(H)	2.03
63-125(L)	3.24
63-125(H)	2.05
125-250(L)	4.22
125-250(H)	3.95
250-500(L)	2.29
250-500(H)	2.48
500-1000(L)	1.78
500-1000(H)	2.09
KH2	
<63(L)	3.06
<63(H)	0.00
63-125(L)	1.60
63-125(H)	5.94
125-250(L)	2.04
125-250(H)	4.68
250-500(L)	0.99
250-500(H)	1.56
500-1000(L)	2.29
500-1000(H)	7.26
>1000(L)	4.01
>1000(H)	0.00

表 4-12 高雄港支航道(KH1)之多環芳香烴總毒性當量(ng-TEQ/g)

Sample Name											
Compounds	RPF	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H
Naph	NA	69.56	21.61	791.39	40.59	510.23	84.13	454.10	62.81	452.64	92.29
Acen1	NA	6.26	1.45	198.58	3.54	160.71	6.75	13.25	1.66	6.52	1.49
Acen2	NA	5.85	1.88	146.35	5.77	62.44	10.25	14.41	4.19	8.60	1.97
Flu1	NA	26.75	7.15	295.36	13.73	79.46	28.21	45.89	16.62	29.20	9.90
Phen	NA	123.63	26.89	2562.39	60.97	873.31	150.86	245.33	67.98	171.66	53.02
Anth	NA	38.25	6.62	613.32	14.26	224.23	25.16	56.06	16.44	31.80	7.77
Flu2	NA	168.14	42.04	4376.14	116.15	1572.96	238.01	366.01	72.05	160.41	52.69
Pyr	NA	194.51	45.38	2766.57	118.96	1692.79	240.27	447.18	81.06	203.65	62.42
BaA	0.1	182.30	20.55	6310.48	124.2	2846.9	285.5	270.0	74.9	73.5	22.6
Chr	0.01	78.52	17.18	2035.72	48.33	899.40	103.71	174.02	26.27	87.12	26.76
BbF	0.1	109.11	24.97	3010.90	70.97	968.51	140.24	243.32	27.92	76.47	18.26
BkF	0.01	48.54	10.16	1679.85	34.08	754.15	69.56	139.32	13.63	36.90	12.97
BaP	1	75.60	24.41	2317.48	50.52	1159.73	123.25	243.21	21.48	53.30	15.71
IND	0.1	112.60	18.25	2752.25	66.94	1242.21	153.16	141.31	32.88	28.73	8.28
DBA	1	30.35	5.00	847.02	18.28	421.43	46.06	66.80	11.54	11.63	6.21
BP	NA	131.72	32.51	2971.77	74.71	1443.37	169.69	341.83	28.74	79.41	25.04
TEQ for PAHs		147.62	36.06	4409.02	95.84	2103.46	228.93	378.61	46.99	84.04	27.23

NA- Not available

Acen1: Acenaphthylene; Acen2: Acenaphthene

Flu1: Fluorene; Flu2: Fluoranthene

表 4-13 上竹里漁港(KH2)之多環芳香烴總毒性當量(ng-TEQ/g)

Sample Name													
Compounds	RPF	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H	>1000L	>1000H
Naph	NA	224.23	11.17	2376.69	16.08	624.99	12.80	611.54	12.41	614.34	10.98	920.48	27.62
Acen1	NA	24.19	0.71	676.10	3.41	284.39	2.08	152.00	6.20	56.76	1.46	6.86	0.42
Acen2	NA	30.82	1.39	211.26	4.55	68.32	2.82	45.60	1.49	1198.64	0.62	21.77	1.14
Flu1	NA	58.64	2.41	493.24	4.58	123.71	2.48	91.80	2.20	1893.62	0.99	44.47	1.47
Phen	NA	296.22	14.78	4015.74	35.66	1081.35	24.18	1027.61	21.12	10116.82	6.91	260.38	11.73
Anth	NA	102.20	5.71	1547.53	24.18	409.42	8.18	206.40	9.23	2114.63	3.02	48.93	3.20
Flu2	NA	201.22	5.69	6143.81	36.78	1910.78	27.29	1054.13	42.47	6733.58	9.09	108.63	9.55
Pyr	NA	309.98	13.53	6721.51	59.31	2454.28	37.87	1228.71	52.70	5127.45	20.94	439.50	42.49
BaA	0.1	136.00	8.80	4841.64	25.84	1676.39	37.02	589.73	27.24	2785.67	9.64	98.44	5.27
Chr	0.01	178.48	4.46	4363.43	23.33	1431.88	14.33	688.24	22.90	1676.25	12.03	98.00	7.23
BbF	0.1	229.22	17.50	7049.76	29.25	2667.14	33.36	1320.18	41.98	1910.98	40.56	148.35	15.17
BkF	0.01	109.62	6.50	3439.97	24.14	1436.85	12.30	711.44	20.95	1174.64	19.48	67.32	5.61
BaP	1	182.27	5.19	6294.18	35.43	2495.05	22.03	1102.20	37.16	2044.43	26.80	124.17	11.43
IND	0.1	223.95	6.43	6468.86	52.86	2411.36	26.70	1196.00	53.36	1157.86	53.86	79.08	6.06
DBA	1	39.77	2.50	1427.01	9.98	411.20	7.69	247.53	5.80	265.99	9.79	22.63	3.59
BP	NA	230.22	10.46	6621.26	40.66	2269.09	31.83	1034.08	36.76	1089.74	35.28	128.21	13.17
TEQ for PAHs		283.84	11.07	9635.25	56.68	3610.43	39.69	1674.32	55.66	2924.38	47.31	181.04	17.80

NA- Not available

Acen1: Acenaphthylene; Acen2: Acenaphthene

Flu1: Fluorene; Flu2: Fluoranthene

表 4-14 高雄港支航道(KH1)之多氯聯苯總毒性當量(pg-TEQ/g)

PCB congener (IUPAC#)	TEF	Sample Name									
		<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H
PCB 77	0.0001	583.8	132	3110.1	176.4	2593.5	476.7	1887.4	222.6	663.6	266.7
PCB 81	0.0001	6.2	34 ^c	423	34 ^c	344	70	145	34 ^c	44	34 ^c
PCB 105	0.0001	1087	206	5008.8	295.2	4686	519.6	2630.4	256.8	1441.2	355.2
PCB 114	0.0005	130	70 ^c	1090	140	2700	200	560	170	850	140
PCB 118	0.0001	1470	400	9280	600	8590	1490	5090	650	2290	780
PCB 123 ^a	0.0001	2950	920 ^c	15930	920 ^c	14090	2150	8400	970	3710	1560
PCB 156 ^b	0.005	1610	400	8440	630	610	1410	7480	800	4510	1180
PCB 157	0.0005	266	16.1 ^c	157.5	16.1 ^c	187.6	18.9	74.2	16.1 ^c	107.8	23.1
PCB 189	0.0001	80	60 ^c	460	60 ^c	680	60 ^c	560	60 ^c	850	80
TEQ for PCBs		8.87	2.22	46.24	3.44	7.59	7.64	39.59	4.31	23.93	6.29

- a. 使用 PCB 123+149
- b. 使用 PCB 202+171+156
- c. 使用偵測極限濃度

表 4-15 上竹里漁港(KH2)之多氯聯苯總毒性當量(pg-TEQ/g)

PCB congener	Sample Name													
		(IUPAC#)	TEF	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H	>1000L
PCB 77		0.0001	812.7	111.3 ^c	20871.9	241.5	6932.1	151.2	1668.4	172.2	1625.4	111.3 ^c	642.6	111.3 ^c
PCB 81		0.0001	61	34 ^c	2372	34 ^c	620	34 ^c	50	34 ^c	55	34 ^c	67	34 ^c
PCB 105		0.0001	4333.2	108	161305.2	662.4	39184.8	399.6	6891.6	675.6	3405.6	117.6	1664.4	87.6
PCB 114		0.0005	440	70 ^c	18410	70 ^c	4230	70 ^c	1370	70 ^c	1650	70 ^c	240	90
PCB 118		0.0001	1690	130 ^c	32910	390	10280	290	3930	220	3500	130 ^c	1130	130 ^c
PCB 123 ^a		0.0001	13580	920 ^c	533340	3710	148320	2330	26340	3630	15340	920 ^c	6020	920 ^c
PCB 156 ^b		0.005	6300	190 ^c	279800	980	68580	590	10860	970	2340	240	1870	190 ^c
PCB 157		0.0005	117.6	16.1 ^c	7050.4	20.3	1528.1	16.1 ^c	286.3	22.4	106.4	16.1 ^c	58.8	16.1 ^c
PCB 189		0.0001	430	60 ^c	17430	60 ^c	3790	60 ^c	650	60 ^c	290	60 ^c	160	60 ^c
TEQ for PCBs			33.87	1.129	1488.55	5.45	366.69	3.32	59.08	5.38	15.00	1.38	10.47	1.13

- a. 使用 PCB 123+149
- b. 使用 PCB 202+171+156
- c. 使用偵測極限濃度

表 4-16 沉積物品質指標(Sediment Quality Guidelines, SQG)與兩測站不同密度之 PAHs 值比

Compound (ng/g dry wt.)	NOAA Guidelines		FDEP Guidelines		KH1 (ng/g)		KH2 (ng/g)	
	ERL*	ERM*	TEL**	PEL**	Light	Heavy	Light	Heavy
Naphthalene	160	2100	34.6	391	455.6	60.3	895.4	15.2
Acenaphthene	16	500	6.71	88.9	47.5	4.8	262.7	2.0
Fluorene	19	540	21.2	144	95.3	15.1	450.9	2.4
Phenanthrene	240	1500	86.7	544	795.3	71.9	2799.7	19.1
Anthracene	85	1100	46.9	245	192.7	14.0	738.2	8.9
Fluoranthene	600	5100	113	1494	1328.7	104.2	2692.0	21.8
Pyrene	665	2600	153	1398	1260.9	109.6	2713.6	37.8
Benzo [a] anthracene	261	1600	74.8	693	1936.6	105.6	1688.0	19.0
Chrysene+Triphenylene	384	2800	108	846	655.0	44.4	1406.0	14.0
Benzo [a] pyrene	430	1600	88.8	763	769.9	47.1	2040.4	23.0
Dibenzo [a, h] anthracene	63.4	260	6.22	135	295.4	17.4	402.4	6.6
Total PAHs	4022	44792	1684	16770	15497.13 ^a	1532.73 ^a	26119.77 ^a	539.15 ^a
Total PCBs	22.7	180	21.6	189	404.44 ^b	57.46 ^b	1872.53 ^b	58.83 ^b

*ERL = effect range-low ; ERM = effect range-median (Long and Morgan,1990)

**TEL = threshold effects level ; PEL = probable effects level (Simpson et al. 1996, MacDonald et al. 1996)

a. Sum of 52 PAH compounds

b. Sum of 118 congeners

表 4-17 沉積物品質指標(Sediment Quality Guidelines, SQG)與 KH1 測站樣品百分比

Compound (ng/g dry wt.)	NOAA Guidelines		% of Sample			FDEP Guidelines		% of Sample		
	ERL*	ERM*	<ERL	ERL-ERM	>ERM	TEL**	PEL**	<TEL	TEL-PEL	>PEL
Naphthalene	160	2100	60	40	-	34.6	391	10	50	40
Acenaphthene	16	500	80	20	-	6.71	88.9	50	40	10
Fluorene	19	540	70	30	-	21.2	144	40	50	10
Phenanthrene	240	1500	70	20	10	86.7	544	40	40	20
Anthracene	85	1100	80	20	-	46.9	245	70	20	10
Fluoranthene	600	5100	80	20	-	113	1494	30	50	20
Pyrene	665	2600	80	10	10	153	1398	40	40	20
Benzo [a] anthracene	261	1600	60	20	20	74.8	693	30	50	20
Chrysene+Triphenylene	384	2800	80	20	-	108	846	70	10	20
Benzo [a] pyrene	430	1600	80	10	10	88.8	763	60	20	20
Dibenzo [a, h] anthracene	63.4	260	70	10	20	6.22	135	20	60	20

*ERL=effect range-low ; ERM=effect range-median (Long and Morgan,1990)

**TEL=threshold effects level ; PEL=probable effects level (Simpson et al. 1996, MacDonald et al. 1996)

表 4-18 沉積物品質指標(Sediment Quality Guidelines, SQG)與 KH2 測站樣品百分比

Compound (ng/g dry wt.)	NOAA Guidelines		% of Sample			FDEP Guidelines		% of Sample		
	ERL*	ERM*	<ERL	ERL-ERM	>ERM	TEL**	PEL**	<TEL	TEL-PEL	>PEL
Naphthalene	160	2100	50	42	8.3	34.6	391	50	8.3	42
Acenaphthene	16	500	50	42	8.3	6.71	88.9	50	333	17
Fluorene	19	540	58	33	8.3	21.2	144	50	333	17
Phenanthrene	240	1500	50	33	17	86.7	544	50	17	33
Anthracene	85	1100	58	25	17	46.9	245	50	25	25
Fluoranthene	600	5100	67	17	17	113	1494	58	17	25
Pyrene	665	2600	67	17	17	153	1398	50	25	25
Benzo [a] anthracene	261	1600	67	8.3	25	74.8	693	50	25	25
Chrysene+Triphenylene	384	2800	67	25	8.3	108	846	58	17	25
Benzo [a] pyrene	430	1600	58	17	25	88.8	763	50	17	33
Dibenzo [a, h] anthracene	63.4	260	67	8.3	25	6.22	135	25	42	33

*ERL=effect range-low ; ERM=effect range-median (Long and Morgan,1990)

**TEL=threshold effects level ; PEL=probable effects level (Simpson et al. 1996, MacDonald et al. 1996)

參考文獻

王書信(2002)“以微波輔助頂空固相微萃取分析水中多氯聯苯”，國立高雄師範大學化學系碩士論文。

行政院環境保護署環境檢驗所網站：<http://www.niea.gov.tw/>

江政傑(2006)“台灣西南海域沉積物中持久性有機化合物含量分布之研究”，國立中山大學海洋環境與工程學系碩士論文。

艾文健(2002)“以微波輔助萃取法探討影響土中多氯聯苯脫附的因子”，國立中興大學環境通工程學系碩士論文。

交通部高雄港務局全球資訊網 <http://www.khb.gov.tw/>

巫思佩(2006)“高屏河海系統多環芳香碳氫化合物之分布及通量研究”，國立中山大學海洋環境與工程學系碩士論文。

李郁惠(2005)“愛河及前鎮河水體中多環芳香烴含量分佈之研究”，國立中山大學海洋環境與工程學系碩士論文。

周瑞燉(1987)“海洋地質學”，聯經出版事業公司。

林淵宗(2000)“餐廳廚房排放廢氣及周圍大氣中多環芳香烴化合物之特徵”，國立成功大學環境工程研究所碩士論文。

郭一羽、李麗雪(2006)“海岸生態景觀環境營造”，明文書局股份有限公司。

高櫻芬(2001)“高屏溪河口與近岸海域沉積物中石油衍生性有機化合物及重金屬含量分析研究”，國立中山大學海洋環境與工程學系碩士論文。

許菁芳(2000)“油症患者血液中多氯聯苯、多氯戴奧辛、多氯夫喃同源物濃度與肝功能異常之相關性研究”，國立成功大學環境醫學研究所碩士論文。

- 陳志峰(2005) “高雄港區沉積物及底層水中重金屬之分布探討”，國立中山大學環境工程研究所碩士論文。
- 陳章波、謝蕙蓮、范嵐楓(2007) “河口底泥與河床清淤之探究”，2007河川底泥管理及污染整治技術研討會，pp. 14-32
- 陳健民(2007) “環境毒物學(第二版)”，新文京開發出版股份有限公司。
- 張偉凱(2005) “高屏峽谷岩心中多環芳香烴化合物之濃度及來源”，國立中山大學海洋環境與工程學系碩士論文。
- 董正鈇等(2000) “高雄港區淤泥、生態及水質委託監測工作”，交通部高雄港務局
- 楊宜寧(2004) “高屏溪河口與近岸海域沉積物中多氯聯苯與六氯聯苯化合物含量分析之研究”，國立中山大學海洋環境與工程學系碩士論文。
- 劉盈均(2000) “氣相層析質譜儀應用於貝類中有機氯農藥及多氯聯苯之分析研究”，國立清華大學化學系碩士論文。
- Aizenshtat, Z. (1973) “Perylene and its geochemical significance.” *Geochemical at Cosmochimica Acta*, vol. 37, pp. 559-567.
- Ashley, J. T. F., Baker, J. E. (1999)” Hydrophobic organic contaminants in surficial sediments of Baltimore Harbor: inventories and sources.” *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 18, pp. 838-849.
- ATSDR. (2000)” Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls.”
- Barber, L. B. (1994)” Sorption of chlorobenzene to Cape COD Aquifer sediments.” *Environmental Science and Technology*, vol. 28, pp. 890-897.
- Baumard P., Budzinski, H., Garrigues, P., Sorbe, J. C., Burgeot, T., Bellocq, J. (1998) ”Concentration of PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) in Various Marine Organisms in Relation to those in Sediments and to Tropic Level” *Marine pollution Bulletin* vol. 30, No. 12, pp. 951-960.
- Benlahcen, K.T., Chaoui, A., Budzinski, H., Bellocq, J., Garrigues, P.

- (1997) "Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in some Mediterranean coastal sediments." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 34, pp. 298–316.
- Bertolotto, R.M., Ghioni, F., Frignani, M., Alvarado-Aguilar, D., Bellucci, L.G., Cuneo, C., Picca, M.R., Gollo, E. (2003) "Polycyclic aromatic hydrocarbons in surficial coastal sediments of the Ligurian Sea." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 46, pp. 907–913.
- Bjørseth, A., Becher, G. (1986) "PAH in Work Atmospheres: Occurrence and Determination." CRC Press, Inc. Boca Ration, Florida, ISBN 0-8493-6064-1
- Brown, D.W., McCain, B.B., Horness, B.H., Sloan, C.A., Tilbury, K.L., Pierce, S.M., Burrows, D.G., Chan, S. -L., Landahl, J.T., Krahn, M.M. (1998) " Status, correlations and temporal trends of chemical contaminants in fish and sediment from selected sites on the Pacific Coast of the USA. "*Marine Pollution Bulletin*, vol. 37, pp. 67–85.
- Budzinski, H., Jones, I., Bellocq, J., Pierard, C., Garrigues, P. (1997) "Evaluation of Sediment Contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Gironde Estuary" *Marine Chemistry*, vol. 58, pp. 85-97.
- Buekens, A., Stieglitz, L., Hell, K., Huang, H., Seges, P. (2001) "Dioxins from thermal and metallurgical processes: recent studies for the iron and steel industry." *Chemosphere*, vol. 42, pp. 729-735.
- Casareo, F.E.(1996) " Geochemical and petrographic studies of coals in the Upper Permian Wittingham Coal Measures, Northern Sydney Basin, New South Wales, Australia." *PhD dissertation, Macquarie University, School of Chemistry, Australia.*
- Chen, S. J., Luo, X. J., Mai, B. X., Sheng, G. Y., Fu, J. M., Zeng, E. Y. (2006) " Distribution and Mass Inventories of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Sediments of the Pearl River Estuary and the Northern South China Sea." *Environmental Science and Technology*, vol.40, pp. 709-714.

- Clark, T., Clark, K., Paterson, S., Mackay, D., Norstrom, R. J. (1988) "Wildlife monitoring modeling, and fugacity." *Environmental Science and Technology*, vol. 22, pp. 120-127.
- Connell, D. W., Wu, R. S. S., Richardson, K., Leung, K., Lam, P. S. K., Connell P.A. (1998) "Fate and risk evaluation of persistent organic contamination and related compounds in Victoria Harbour, Hong Kong." *Chemosphere* vol. 36, pp. 2019-2030.
- Cope, V. W., Lailwarf, D. R. (1987) "Photooxidation of Selected Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Pyrenequinones Coated and Glass Surfaces." *Environmental Science and Technology*, vol. 21, pp. 643-648.
- Cook, J. W., Hewett, C. L., Hieger, I. (1933) "The Isolation of Cancer-Producing Hydrocarbon from Coal tar, Part I, II and III." *Journal of Chemical Society*, pp. 395-421.
- Daniel, R., Oros, John R. M. Ross (2004) "Polycyclic aromatic hydrocarbons in San Francisco Estuary sediments." *Marine Chemistry*, vol. 186, pp.169-184.
- Davies, I. W., Harrison, R. M., Perry, M., Ratnayak, D., Wellings, R. A. (1976) "Municipal Incinerator as Source of polynuclear aromatic hydrocarbons in Environment." *Environmental Science and Technology*, vol. 10, pp.451-453.
- De Luca, G., Furesi, A., Micera, G., Panzanelli, A., Piu, P. C., Pilo, M. I., Spano, N., Sanna, G. (2005) "Nature, distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the sediments of Olbia harbor (Northern Sardinia, Italy)." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 50, pp. 1223-1232.
- Dipple, A. (1976) "In Chemical Carcinogens, ACS Monograph 173, C. E. Searle Ed." *American Chemical Society, Washington, D.C.*
- Douben, P. E. T. (2003) "PAHs: An Ecotoxicological Perspective." *Wiley Chichester*.
- Eljarr, E., Caixach, J., Rovera, J. De Torres, M., Ginebreda, A. (2001) "Toxic

- potency assessment of non- and mono-ortho PCBs, PCDDs, PCDFs, and PAHs in northwest Mediterranean sediments (Catalonia, Spain).” *Environmental Science & Technology*, vol. 35, pp. 3589-3594.
- Fang, M. D., Lee, C. L., Yu, C. S. (2003)” Distribution and source recognition of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of Hsin-ta Harbour and adjacent coastal areas, Taiwan.” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 68, pp. 265-282.
- Fang, M. D., Lee, C. L., Song, H. J. (2005)” Pollution topography of chlorobenzenes and hexachlorobutadiene in sediments along the Kaohsiung coast, Taiwan—a comparison of two consecutive years_ survey with statistical interpretation.” *Chemosphere*, vol. 58, pp. 1503-1516.
- Fang, M. D., Hsieh, P. C., Fung-Chi Ko, F. C., Joel E. Baker, Lee, C. L. (2007)” Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of Kaoping river and submarine canyon system, Taiwan ” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 54, pp. 1179-1189.
- Ferreira, A. M., Martins, M., Vale, C. (2003) “Influence of diffuse sources on levels and distribution of polychlorinated biphenyls in the Guadiana River estuary, Portugal.” *Marine Chemistry*, vol. 83, pp. 175-184.
- Galindo, R. J. G., Medina, J. A., Villagrana, L. C. (1996) “Physiological and biochemical changes in shrimp larvae (*Penaeus vannamei*) intoxicated with organochlorine pesticides.” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 32, pp. 872-875.
- Giuseppe, D. L., Antonio, F., Riccardo, L., Giovanni, M., Angelo, P., Paola, C. P., Gavino, S. (2004)” Polycyclic aromatic hydrocarbons assessment in the sediments of the Porto Torres Harbour (Northern Sardinia, Italy).” *Marine Chemistry*, vol. 86, pp. 15-32.
- Grimmer, G., Naujack, K.W., Schreider, D., (1983) “Changes in PAHs profiles in different areas of a city during the year. In polynuclear aromatic hydrocarbons” *Chemistry and biological effects. Battelle Press, Columbus*, pp. 107-125.
- Gugou, A., Boulobassi, I., Stephanous, E. G. (2000) “Marine organic

- geochemistry of the Easter Mediterranean: I. Aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in Cretan Sea surficial sediments.” *Marine Chemistry*, vol. 68, pp.265-282.
- Guo, Y. L., Ryan, B. P. Y. Lau, B. Y. P., Yu, M. L., Hsu, C. C. (1997) “Blood serum levels of PCBs and PCDFs in Yucheng women 14 years after exposure to a toxic rice oil.” *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 33, pp. 104-108.
- Guzzella, L., Depaolis, A. (1994)” Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments of the Adriatic Sea.” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 45, pp. 2359-2367.
- Hartmann, P. C., Quinn, J. G., Cairns, R. W., King, J. W. (2004) “Polychlorinated biphenyls in Narragansett Bay surface sediments.” *Chemosphere*, vol. 57, pp. 9-20.
- Hong, H., Xu, L., Zhang, L., Chen, J.C., Wong, Y.S., Wan, T.S.M. (1995)” Environmental fate and chemistry of organic pollutants in the sediment of Xiamen and Victoria Harbors.” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 31, pp. 229–236.
- Hong, S.H., Yim, U.H., Shim, W.J., Li, D.H., Oh, J.R. (2006) “Nationwide monitoring of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in sediments from coastal environment of Korea.” *Chemosphere*, vol. 64, pp. 1479-1488.
- IARC. (1983)”Polynuclear aromatic compounds. Part 1. Chemical environmental and experimental data.” *Office of Health and Environmental Assessment*, USEPA, Washington, D. C.
- Iwata, H., Tanabe, S., Sakai, N., Nishimura, A., Tatsukawa, R. (1994) “Geographical distribution of persistent organochlorines in air, water and sediments from Asia and Oceania, and their implications for global redistribution from lower latitudes.” *Environmental Pollution*, vol. 85, pp. 15-33.
- Jacquot, F., Dreau, Y. L., Doumenq, P., Munoz, D. (1999) “The Origins of

hydrocarbons trapped in the lake of berre sediments.” *Chemosphere*, vol. 39, No. 9, pp. 275-310.

Joseph Beaman (2003)” TMDL Endpoint for Contaminated Sediment Impairments Due to Metals.” *Baltimore Harbor SAG*

Kannan, K., Yun, S. H., Ostaszewski, A., McCabe, J. M., Mackenzie-Taylor, D., Taylor, A. B. (2006)” Dioxin-like toxicity in the Saginaw river watershed: Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and biphenyls in sediments and floodplain soils from the Saginaw and Shiawassee rivers and Saginaw bay, Michigan, USA.” *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 54, pp. 9-19.

Karickhoff, S. W., Brown, D. S., Scott, T. A. (1979)” Sorption of Hydrophobic Pollutants on Natural Sediments.” *Water Research*, vol. 13, pp. 241-248.

Klamer, J., Lane, R. W. P. M., Marquenie, J. M. (1991) “Sources and fate of PCBs in the North sea- A review of available data.” *Water Science and Technology*, vol. 24, pp. 77-85.

Khim, J. S., Kannan, K., Villeneuve, D. L., Koh, C. H., Giesy, J. P. (1999) “Characterization and distribution of trace organic contaminants in sediment from Masan Bay, Korea. 1. Instrumental analysis.” *Environmental Science and Technology*, vol. 23, pp. 4199-4205.

Kim, G. B., Maruya, K. A., Lee, R. F., Lee, J. H., Koh, C. H., Tanabe, S. (1999)” Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Kyeonggi Bay, Korea.” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 38, pp. 7-15.

Kim, S. K., Lee, D. S., Oh, J. R., Kahng, S. H. (2000) “ Effects of extreme tidal range on characteristic of polychlorinated biphenyl distribution in sediment of industrial Incheon North Harbour, Korea.” *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 19, pp. 2448-2456.

Kima, M., Kennicutt II, M. C., Qianb, Q. (2008)”Source characterization using compound composition and stable carbon isotope ratio of PAHs in sediments from lakes, harbor, and shipping waterway” *Science of The Total*

Environment, vol. 389, pp. 367-377.

Ko, F. C., Baker, J. E. (1995) "Partitioning of Hydrophobic Organic Contaminants to Resuspended Sediments and Plankton in the Mesohaline Chesapeake Bay." *Marine Chemistry*, vol. 49, pp. 171-188.

Kucklick, J. R., Silvertsen, S. K., Sanders, M., Scott, G. I. (1997) "Factors influencing polycyclic aromatic hydrocarbons distributions in South Carolina estuarine sediments." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 213, pp. 13-29.

Landers, J. P., Bunce, N. J. (1991) "The Ah receptor and the mechanism of dioxin toxicity." *Biochemical Journal*, vol. 276, pp. 273-287. (摘自高, 2002)

Lee, M. L., Novotny, M. V., Bartle, K. D. (1981) "Analytical chemistry of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons" *Academic Press, New York*.

Lee, R. F., Ryan, C. (1983) "Microbial and photochemical degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in estuarine waters and sediments" *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, vol. 40, No. 2, pp. 86-94.

Lee, K. T., Tanabe, S., Koh, C. H. (2001) "Contamination of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Sediments from Kyeonggi Bay and Nearby Areas, Korea." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 42, pp. 273-279.

Li, M., Johns, R.B. (1990) "Kerogen extract interrelationships of terpenoid biomarkers from a Jilin brown coal." *Organic Geo-chemistry*, vol. 15, pp. 109-121.

Liang, Y., Wong, M. H., Shutes, R. B. E., Revitt, D. M. (1999) "Ecological risk assessment of polychlorinated biphenyl contamination in the Mai Po Marshes Nature Reserve, Hong Kong." *Water Research* vol. 33, pp. 1337-1346.

Lima, A. L. C., Eglinton, T. I., Reddy, C. M. (2003) "High-resolution record of pyrogenic polycyclic aromatic hydrocarbons deposition during the 20th century." *Environmental Science and Technology*, vol. 37, pp. 53-61.

- Loganathan, B. G., Sajwan, K. S., Richardson, J. P., Chetty, C. S., Owen, D. A. (2001) "Persistent organochlorine concentrations in sediment and fish from Atlantic Coastal and Brackish Water off Savannah, Georgia, USA." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 46, pp. 246-250.
- Long, E. R., MacDonld, D. D., Smith, S. L., Calder, F. D. (1995)" Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentration in marine and estuary sediments." *Environmental Management*, vol. 19, pp. 81-97.
- Long, E. R., Morgan, L. G. (1990) " The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Programs, NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52, NOAA Office of Oceanography and Marine Assessment, Ocean Assessment Division: Seattle, WA, pp. 173 and Appendices.
- Loring, D. H., Naes, K., Dahle, S., Matshov, G. G., Illin, G. (1995) "Arsenic trace metals and micro contaminants in sediments from the Pechora Sea, Russia." *Marine Geology*, vol. 128, pp. 153-167.
- Luo, X. J., Chen, S. J., Mai, B. X., Yang, Q. S., Sheng G. Y., Fu, J. M. (2006)" Polycyclic aromatic hydrocarbons in suspended particulate matter and sediments from the Pearl River Estuary and adjacent coastal areas, China." *Environmental Pollution*, vol. 139, pp. 9-20.
- Ma, M., Feng, Z., Guan, C., Ma, Y., Xu, H., Li, H. (2001) "DDT, PAH and PCB in sediments from the intertidal zone of the Bohai Sea and the Yellow Sea." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 42, pp. 132–136.
- MacDonald, D. D., Ingersoll, G. G., Berger, T. A. (2000) "Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystem." *Environmental Contamination and Toxicology* vol. 39, pp. 20-31.
- Mai, B. X., Fu, J. M., Zhang, G., Lin, Z., Min, Y., Sheng, G., Wang, X. (2001)" Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Pearl River and estuary, China: spatial and temporal distribution and sources." *Applied Geochemistry*, vol. 16, pp. 1429-1445.

- Mai, B. -X., Fu, J. -M., Sheng, G. -Y., Kang, Y. -H., Lin, X., Zhang, G., Min, Y. S., Zeng, E.Y. (2002) "Chlorinated and polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine and estuarine sediments from Pearl River Delta, China." *Environmental Pollution*, vol. 17, pp. 457–474.
- Mario, S., Maria, L. F., Lidia, P., Daniela, S. M., Simone, S., Stella, T., Ennio, N. (2007)"Heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in surface sediments of the Naples harbour (southern Italy)" *Chemosphere*, vol. 67, pp. 998-1009.
- Maruya, K. A., Riserbrough, R. W., Scott, T. A. (1996) "Partitioning of Polynuclear aromatic hydrocarbons between sediments from San Francisco Bay and their porewater." *Environmental Science & Technology*, vol. 30, pp. 2942-2947.
- Michael J. Ahrens, Craig V. Depree (2004)"Inhomogeneous distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in different size and density fraction of contaminated sediment from Auckland Harbour, New Zealand: an opportunity for mitigation." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 48, pp. 341-350.
- Michio Murakami, Fumiyuki Nakajima, and Hiroaki Furumai (2005)" Size- and density-distributions and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban road dust." *Chemosphere*, vol. 61, pp. 783-791.
- Muller, J. F., David, H., Michael, McL., Frieder, B., Stefan, W. (1999) "PCDDs, Pcdfs, PCBs and HCB in marine and estuarine sediments from Queensland, Australia." *Chemosphere*, vol. 39, pp. 1707-1721.
- Nakanishi Koichiro (1996)" Hydrophobic organic contaminants in sediments of the Chesapeake Bay. " *M. S. Thesis of the University of Maryland at College Park*.
- Neff, J. M. (1979)"Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment: sources, fates and biological effects." *Applied Science, London, UK*.
- Nhan, D. D., Am, M. M., Carvalho, F. P., Villereuve, J. P., Cattini, C. (1999)

- “Organochlorine pesticides and PCBs along the coast of the north Vietnam.” *Science of the Total Environment*, vol. 237/238, pp. 363-371.
- Nishigima, F. N., Weber, R. R., Bicego, M. C. (2001) “Aliphatic and aromatic hydrocarbons in sediments of Santos and Cananea, SP, Brazil.” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 42, pp. 1064-1072.
- Pancirov, R. J., Searl, T. D., Brown, R. A. (1980) “Methods of analysis for polynuclear aromatic hydrocarbons in environmental samples. In: Petrakis, L., Weiss, F. T. (Eds), *Petroleum in the Marine Environment*.” *American Chemical Society, Washington*, pp. 123-142.
- Pereira, W. E., Hostettler, F. D., Cashman, J. R., Nishioka, R. S. (1994) “ Occurrence and distribution of organochlorine compounds in sediment and livers of striped bass (*Morone saxatilis*) from the San Francisco Bay delta estuary.” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 28, pp. 434-441.
- Pereira, W. E., Hostettler, F. D., Rapp, J. B. (1996) “Distribution and fate of chlorinated insecticides, biomarkers and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments along a contamination gradient from a point-source in San Francisco Bay, California.” *Marine Environmental Research*, vol.41, pp. 299-314.
- Pereira, W. E., Hostettler, F. D., Luoma, S. N., Geen, A. V., Fuller, C. C., Anima, R. J. (1999) “Sedimentary record of anthropogenic and biogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in San Francisco Bay, California.” *Marine Chemistry*, vol. 64, pp. 99-113.
- Pie'rard, C., Budzinski, H., Garrigues, P. (1996) “ Grain-size distribution of polychlorobiphenyls in coastal sediment.” *Environmental Science and Technology*, vol. 30, pp. 2776–2783
- Peters, L. D., Shaw, J. P., Nott, M., O'Hara, S. C. M., Livingstone, D. R. (1999) “ Development of cytochrome P450 as a biomarker of organic pollution in *Mytilus* sp.: field studies in United Kingdom ('Sea Empress' oil spill) and the Mediterranean Sea.” *Biomarkers*, vol. 4, pp. 425-441.
- Pott, P. (1775) “Chirurgical Observations Relative to the Cataract, the Polypus

of the Nose, the Cancer of the Scotym, the different Kinds of Ruptures, and the Mortification of the Toes and Feet.” *L.Hawes, W.Clarke, and R.Collims, London.*

Prahl, F. G. and Carpenter, R. (1983) ”Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-phase associations in Washington Coastal sediments.” *Geochemical et Cosmochimica Acta*, vol. 47, pp. 1013-1023.

Radke, M., Willsch, H., Teichmüller, M. (1990) “Generation and distribution of aromatic hydrocarbons in coals of low rank. “*Organic Geochemistry*, vol. 15, pp. 539-563.

Readman, J. W., Mantoura, R. F. C., M. M. Rhead, L. (1982) ”Aquatic Distribution and Heterotrophic Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in the Tamar Estuary.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 14, pp. 369-389.

Readman, J. W., Mantoura, R. F. C., Rhead, M. M. (1984) ”The physico-chemical speciation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in aquatic system.” *Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie*, vol. 319, pp. 126-131.

Reddy, C. M., Pearson, A., Xu, L., McNichol, A. P., Benner, B. A., Jr., Wise, S. A., Klouda, G. A., Currie, L. A., Eglinton, T. I. (2002) ”Radiocarbon as a tool apportion the sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and black carbon in environmental samples.” *Environmental Science and Technology*, vol. 36, pp. 1774-1782.

Richardson, B.J., Zheng, G.J. (1999) “Chlorinated hydrocarbon contaminants in Hong Kong surficial sediment.” *Chemosphere*, vol. 39, pp. 913–923.

Rocken, K. J., Shor, L. M., Young, L. Y., Taghon, G. L., Kosson, D. S. (2002) ”Distributed sequestration and release of PAHs in sediments near Kitimat, British Columbia.” *Environmental Science & Technology*, vol. 32, pp. 3266-3277.

Ruchaya, B., Gullaya, W., Ayako, T., Hideshige, T. (2006) ”Distribution and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in riverine, estuarine,

- and marine sediments in Thailand.” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 52, pp. 942-956.
- Selma, U., Bedri, A. (2006) ”Distribution and sources of hydrocarbons in surface sediments of Gemlik Bay (Marmara Sea, Turkey).” *Chemosphere*, vol. 64, pp 764-777.
- Shi, Z., Tao, S., Pan, B., Fan, W., He, X. C., Zuo, Q., Wu, S. P., Li, B. G., Cao, J., Liu, W. X., Xu, F. L., Wang, X. J., Shen, W. R., Wong, P. K. (2005) ”Contamination of rivers in Tianjin, China by polycyclic aromatic hydroca.” *Environmental Pollution*, vol. 134, pp. 97-111.
- Simoneit, B.R.T. (1977) “Diterpenoid compounds and other lipids in deep-sea sediments and their geochemical significance.” *Geochimica at Cosmochimica Acta*, vol. 41, pp. 463-476.
- Simoneit, B.R.T., Grimalt, J.O., Wang, T.G., Cox, R.E., Hatcher, P.G., Nissenbaum, A. (1986) ”Cyclic terpenoids of contemporary resinous plant detritus and of fossil woods, ambers and coals. In: Leythaeuser, D., RuilkoÈtter, J. (Eds.), *Advances in Organic Geochemistry 1985*. “Organic Geo-chemistry, vol. 10. Pergamon Press, Oxford, pp. 877-889.
- Simposon, C. D., Mosi, A. A., Cullen, W. R., Reimer, K. J. (1996) ”Composition and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in surficial marine sediments from Kitimat Harbor, Canada.” *The Science of the Total Environment*, vol. 181, pp. 265-278.
- Simposon, C. D., Harrington, C. F. and Cullen, W. R. (1998) ” Polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in marine sediments near Kitimat, British Columbia.” *Environmental Science and Technology*, vol. 32, pp. 3266-3272.
- Soclo, H. H., Garrigues, P. H., Ewald, M. (2000) “Origin of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: Case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas.” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 40, No. 5, pp. 387-396.
- Strandberg, B., van Bavel, B., Rergqvist, R. -A., Broman, D., Ishaq, R., Naf,

- C., Pettersen, H., Rappe, C. (1998) "Occurrence, sedimentation and spatial variations of organochlorine contaminants in settling particulate matter and sediments in the northern part of the Baltic Sea." *Environmental Science and Technology*, vol. 32, pp. 1754–1759.
- Tolosa, I., Bayona, J. M., Albaiges, J. (1996) "Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons and sulfur/oxygen derivatives in Northwestern Mediterranean sediments: Spatial and temporal variability, fluxes and budgets." *Environmental Science and Technology*, vol. 30, pp. 2495-2503.
- Tolosa, I., Readman, J.W., Fowler, S.W., Villeneuve, J.P., Dachs, J., Bayona, J.M., Albaiges, J. (1997) "PCBs in the western Mediterranean. Temporal trends and mass balance assessment." *Deep-sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography*, vol. 44, pp. 907–928.
- Tolosa, I., Stephen de Mora, Mohammad, R. S., Jean, P. V., Jean, B., Chantal, C. (2004) "Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 48, pp. 44-60.
- Tuominen, J., Salomaa, S., Pyysalo, H., Skytta, E., Tikkanen, L., Nurmela, T., Sorsa, M., Pohjola, V., Sauri, M. Himberg, K. (1988) "Polynuclear Aromatic Hydrocarbons and Genotoxicity in Particulate and Vapor Phases of Ambient Air: Effect of Traffic Season, and Meteorological Conditions." *Environmental Science & Technology*, vol. 22, pp. 1228-1234.
- UN-ECE, (2003). "Health risks of persistent organic pollutants from Long-Range Transboundary air pollution."
www.euro.who.int/air/Activities/20020419_1
- USEPA (1987) "Locating and Estimating Air Emission from Sources of Polycyclic Organic Matter (POM)." EPA-450/4-84-007.
- U.S. Department of Health and Human Services (2000) "Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs)" *Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry*
- Van den Berg, M., Brinbaum, L., Bosveld, A. T. C., Brunstrom, B., Cook, P., Feeley, M., Giesu, J.P., Hanbert, A., Hasegawa, R., Kennedy, S. W., Kubiak,

- T., Larsen, J. C., Van Leeuwen, F. Zacharewski, T. (1998) " Toxicity equivalency factors (TEF) for PCBs, PCDD, PCDFs for human and wildlife." *Environmental Health Perspectives*, vol. 106, pp. 775-792.
- Venkatesan, M.I. (1988)"Occurrence and possible sources of perylene in marine sediments – a review." *Marine Chemistry*, vol. 25, pp. 1-27.
- Wakeham, S.G., Schaffer, C., Giger, W., (1980)" Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent lake sediments-II. Compounds derived biogenic precursors during early diagenesis." *Geochemical et Cosmochimica Acta*, vol. 44, pp. 415-429.
- Wang, X. C., Zhang, Y. X., Chen, R. F. (2001)" Distribution and partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in different size fractions in sediments from Boston Harbor, United States." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 42, pp. 1140-1150.
- Wen, Z., Ruiyong, W., Radke, M., Qingyu, W., Guoying, S., Zhili, L. (2000)" Retene in pyrolysates of algal and bacterial organic matter. "*Organic Geochemistry*, vol. 31, pp. 757-762.
- Witt, G. (1995)" Polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediment of the Baltic Sea." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 31, pp. 237-248.
- Woodhead, R. J., Law, R. J., Mathiessen, P. (1999) "Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments around England and Wales, and their possible biological significance." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 38, pp. 773-790.
- Wu, Y., Zhang, J., Zhu, Z. (2003) "Polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Yalujiang Estuary, North China." *Marine Pollution Bulletin*, vol. 46, pp. 619-625.
- Yang, G. P. (2000)"Polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the South China Sea." *Environmental Pollution*, vol. 108, pp. 163-177.
- Yim, U. H., Hong, S. H., Shim, W. J., Oh, J. R. (2005) "Spatial-temporal distribution of PAHs in sediments from Masan Bay, Korea." *Marine*

Pollution Bulletin, vol. 50, pp. 319-326.

Yim, U. H., Hong, S. H., Shim, W. J. (2007) "Distribution and characteristics of PAHs in sediments from the marine environment of Korea." *Chemosphere*, vol. 68, pp. 85-92.

Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, R.H., Goyette, D., Sylvestre, S. (2002) "PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition." *Organic Geochemistry*, vol. 33, pp. 489– 515.

Zhou, J. L., Maskaoui, K., Qiu, Y. W., Hong, H. S., Wang, Z. D. (2001) "Polychlorinated biphenyl congeners and organochlorine insecticides in the water column and sediments of Daya Bay." *Environmental Pollution*, vol. 113, pp. 373-384.

附 錄

附表 1 PAHs 之偵測極限(ng)

Compound	concentration	1	2	3	4	5	6	7	Average	MDL	10 σ
Naphthalene		11.01	15.78	17.07	22.50	17.40	20.54	10.48	16.40	49.20	44.78
2-Methylnaphthalene		0.46	7.66	9.12	15.45	12.73	15.53	4.09	9.29	27.88	57.22
1-Methylnaphthalene		1.30	4.71	4.30	7.94	6.28	7.44	2.44	4.91	14.74	24.85
2,6-Dimethylnaphthalene		0.13	1.31	0.40	2.84	1.94	1.93	0.38	1.28	3.83	10.18
1,3-Dimethylnaphthalene		1.07	1.31	1.15	3.09	1.68	1.76	0.73	1.54	4.62	7.69
1,6-Dimethylnaphthalene		0.36	0.77	1.06	1.70	0.99	0.82	0.10	0.83	2.48	5.16
1,4-Dimethylnaphthalene		0.15	0.37	0.27	0.90	0.56	0.48	0.21	0.42	1.26	2.57
1,5-Dimethylnaphthalene		0.07	0.20	0.10	0.49	0.25	0.29	0.13	0.22	0.66	1.43
Acenaphthylene		0.04	0.14	0.10	0.27	0.17	0.19	0.04	0.14	0.41	0.83
1,2-Dimethylnaphthalene		0.09	0.23	0.09	0.77	0.45	0.37	0.07	0.30	0.89	2.56
1,8-Dimethylnaphthalene		0.13	4.73	4.92	4.53	4.91	4.86	5.47	4.22	12.67	18.28
Acenaphthene		0.44	0.12	0.10	0.22	0.17	0.18	0.01	0.18	0.53	1.32
2,3,5-Trimethylnaphthalene		0.33	0.55	1.13	1.67	0.88	0.83	0.35	0.82	2.46	4.75
Fluorene		0.15	0.30	0.22	0.80	0.45	0.50	0.22	0.38	1.14	2.28
1-Methylfluorene		7.13	4.87	2.33	0.47	0.22	0.26	0.03	2.19	6.56	27.93
Dibenzothiophene		0.05	0.35	0.30	1.47	0.62	0.71	0.35	0.55	1.65	4.59
Phenanthrene		5.15	4.46	5.26	18.56	5.88	6.62	6.88	7.54	22.63	49.33
Anthracene		0.60	0.34	0.71	1.46	0.26	0.26	0.64	0.61	1.83	4.18
3-methylphenanthrene		0.33	0.26	0.64	1.03	0.32	0.29	0.10	0.42	1.27	3.11
2-Methylphenanthrene		0.16	0.29	0.24	1.65	0.50	0.61	0.17	0.52	1.56	5.29
2-Methylanthracene		1.85	0.02	0.15	0.19	0.07	0.08	0.03	0.34	1.03	6.67
4,5-Methylenephenanthrene		0.05	0.25	0.10	1.04	0.20	0.31	0.11	0.30	0.89	3.39
1-Methylanthracene		0.07	0.17	0.14	1.29	0.39	0.42	0.22	0.39	1.16	4.20
1-Methylphenanthrene		0.07	0.22	0.17	0.92	0.26	0.29	0.11	0.29	0.87	2.88
4,6-Dimethyldibenzothiophene		0.07	0.20	0.23	0.71	0.20	0.22	0.08	0.25	0.74	2.15
9-Methylanthracene		0.11	0.05	0.12	0.35	0.04	0.10	0.04	0.11	0.34	1.09
3,6-Dimethylphenanthrene		0.20	0.07	0.03	0.33	0.11	0.07	0.04	0.12	0.36	1.07
Fluoranthene		0.50	0.74	1.17	8.26	0.58	1.89	0.35	1.93	5.78	28.43
2,3-Dimethylanthracene		0.08	1.97	0.09	0.16	0.08	0.14	0.07	0.37	1.10	7.07
Pyrene		0.08	0.74	1.02	10.02	0.50	1.02	1.42	2.11	6.34	35.13
9,10-Dimethylanthracene		59.59	7.69	0.16	1.91	0.38	0.30	0.20	10.04	30.11	220.18
2-Methylfluoranthene		0.04	0.01	0.04	0.44	0.04	0.06	0.02	0.09	0.27	1.53
Benzo [a] fluorene		0.04	0.02	0.01	0.47	0.01	0.06	0.01	0.09	0.27	1.70

(續) 附表 1 PAHs 之偵測極限(ng)

Compound concentration	1	2	3	4	5	6	7	Average	MDL	10 σ
Retene	0.08	0.05	0.01	0.42	0.12	0.11	0.01	0.12	0.35	1.43
Benzo [b] fluorene	0.23	0.04	0.03	0.04	0.03	0.13	0.03	0.07	0.22	0.78
1-Methylpyrene	0.15	0.02	0.01	0.12	0.02	0.06	0.03	0.06	0.18	0.56
Benz [a] anthracene	0.19	0.22	0.09	0.45	0.18	0.53	0.01	0.24	0.72	1.88
Chrysene+Triphenylene	0.15	0.29	0.24	1.03	0.27	0.79	0.05	0.40	1.21	3.63
1-Methylbenzo (a) anthracene	0.04	0.01	0.01	0.05	0.00	0.01	2.82	0.42	1.26	10.57
4-/6-Methylchrysene	0.08	0.02	0.04	0.05	0.01	0.01	0.02	0.03	0.09	0.25
Benzo [b] fluoranthene	1.20	0.21	0.66	2.00	0.80	3.55	0.03	1.21	3.62	12.22
Benzo [k] fluoranthene	0.66	0.26	0.56	0.17	0.32	1.63	0.02	0.52	1.55	5.38
3,9-Dimethylbenz [a] anthracene	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.04	0.12
Benzo [e] pyrene	0.04	0.63	0.39	1.47	0.63	2.56	0.03	0.82	2.47	9.08
Benzo [a] pyrene	0.02	0.32	0.07	1.57	0.73	1.17	0.02	0.56	1.67	6.19
Perylene	0.04	0.02	0.39	0.44	0.50	0.38	0.02	0.26	0.77	2.18
10-Methylbenzo (a) pyrene	0.08	0.07	0.12	0.82	0.05	0.01	0.13	0.18	0.55	2.83
7,10-Dimethylbenzo (a) pyrene	0.02	0.08	0.07	0.45	0.01	0.03	0.03	0.10	0.29	1.58
Indeno [1,2,3-c, d] pyrene	0.01	0.11	0.21	0.95	0.42	2.25	0.03	0.57	1.71	8.08
Dibenz [a, h] anthracene	0.02	0.06	0.02	0.04	0.05	0.23	0.02	0.06	0.19	0.75
Benzo [g, h, i] perylene	0.07	0.40	0.43	1.07	0.68	2.35	0.08	0.72	2.17	7.95
Coronene	0.01	0.05	0.04	0.18	0.09	0.44	0.01	0.12	0.35	1.56

附表 2 PCBs 之偵測極限(ng)

Compound conc.	1	2	3	Average	MDL	10 σ	Compound conc.	1	2	3	Average	MDL	10 σ
Cong 1	0.46	0.90	0.60	0.65	1.96	2.29	Cong 49	0.11	0.05	0.06	0.07	0.22	0.31
Cong 3	1.01	2.04	3.08	2.05	6.14	10.33	Cong 47,48	0.09	0.10	0.05	0.08	0.24	0.29
Cong 4,10	0.44	0.06	0.05	0.18	0.55	2.24	Cong 44	0.09	0.06	0.07	0.08	0.23	0.15
Cong 7,9	0.12	0.04	0.03	0.06	0.19	0.49	Cong 37,42	0.07	0.07	0.07	0.07	0.21	0.03
Cong 6	0.04	0.12	0.04	0.07	0.20	0.44	Cong 41,64,71	0.14	0.07	0.08	0.10	0.29	0.40
Cong 8,5	0.19	0.95	0.34	0.49	1.48	4.03	Cong 40	0.02	0.06	0.03	0.04	0.11	0.18
Cong 19	0.01	0.05	0.05	0.04	0.11	0.22	Cong 100	0.01	0.03	0.06	0.03	0.10	0.26
Cong 12,13	0.06	0.12	0.14	0.11	0.32	0.42	OCS+Cong 63	1.05	9.70	1.94	4.23	12.69	47.60
Cong 18	0.08	0.09	0.12	0.09	0.28	0.21	Cong 74	0.02	0.06	0.06	0.05	0.14	0.20
Cong 17	0.01	0.49	0.08	0.19	0.58	2.60	Cong 70,76	0.03	0.20	0.07	0.10	0.29	0.94
Cong 24	0.03	0.01	0.02	0.02	0.06	0.08	Cong 66,95	0.07	0.15	0.05	0.09	0.27	0.50
Cong 16,32	0.04	0.07	0.09	0.06	0.19	0.25	Cong 91	0.02	0.03	0.02	0.02	0.06	0.06
Cong 29	0.01	0.04	0.01	0.02	0.05	0.16	Cong 56,60,92	0.04	0.11	0.07	0.07	0.21	0.36
Cong 26	0.01	0.07	0.09	0.06	0.17	0.38	Cong 84	0.07	0.06	0.08	0.07	0.20	0.10
Cong 25	0.01	0.11	0.06	0.06	0.18	0.48	Cong 101,89	0.02	0.14	0.06	0.08	0.23	0.61
Cong 31,28	0.04	0.10	0.15	0.10	0.29	0.51	Cong 99	0.01	0.04	0.04	0.03	0.10	0.15
Cong 33,21,53	0.08	0.21	0.08	0.12	0.36	0.74	Cong 119	0.04	0.14	0.03	0.07	0.20	0.59
Cong 51	0.02	0.02	0.06	0.03	0.10	0.27	Cong 83	0.21	0.18	0.04	0.14	0.43	0.88
Cong 22	0.05	0.12	0.21	0.13	0.38	0.82	Cong 97	0.23	0.69	0.52	0.48	1.45	2.34
Cong 45	0.06	0.05	0.05	0.05	0.16	0.06	Cong 81,87	0.26	0.03	0.05	0.11	0.34	1.28
Cong 46	0.06	0.05	0.05	0.05	0.16	0.06	Cong 85	0.46	0.30	0.05	0.27	0.80	2.07
Cong 52	0.11	0.06	0.07	0.08	0.24	0.23	Cong 136	0.36	0.07	0.04	0.16	0.47	1.80

(續) 附表 2 多氯聯苯之偵測極限(ng)

Compound conc.	1	2	3	Average	MDL	10 σ	Compound conc.	1	2	3	Average	MDL	10 σ
Cong 77,110	0.28	0.22	0.02	0.18	0.53	1.34	Cong 177	0.03	0.10	0.12	0.08	0.25	0.50
Cong 82,151	0.03	0.01	0.01	0.02	0.05	0.10	Cong 202,171,156	0.03	0.07	0.08	0.06	0.19	0.25
Cong 135,144	0.15	0.03	0.06	0.08	0.23	0.62	Cong 157,200	0.07	0.06	0.10	0.08	0.23	0.25
Cong 107	0.01	0.04	0.04	0.03	0.09	0.14	Cong 172	0.04	0.13	0.07	0.08	0.24	0.46
Cong 123,149	0.17	0.68	0.07	0.31	0.92	3.26	Cong 197	0.03	0.08	0.05	0.05	0.16	0.23
Cong 118	0.04	0.06	0.03	0.04	0.13	0.15	Cong 180	0.07	0.15	0.09	0.10	0.31	0.40
Cong 134	0.02	0.04	0.08	0.05	0.14	0.28	Cong 193	0.06	0.12	0.12	0.10	0.30	0.35
Cong 114	0.01	0.03	0.03	0.02	0.07	0.11	Cong 191	0.03	0.08	0.07	0.06	0.17	0.27
Cong 146	0.04	0.47	0.05	0.19	0.57	2.46	Cong 199	0.31	0.29	0.13	0.24	0.72	1.00
Cong 132,153,105	0.10	0.53	0.09	0.24	0.73	2.53	Cong 170,190	0.03	0.07	0.06	0.05	0.16	0.18
Cong 141	0.03	0.07	0.10	0.07	0.20	0.35	Cong 198	0.02	0.04	0.07	0.04	0.12	0.24
Cong 137,130,176	0.04	0.03	0.04	0.04	0.12	0.05	Cong 201	0.04	0.06	0.09	0.06	0.19	0.24
Cong 163,138	0.09	0.10	0.05	0.08	0.23	0.26	Cong 203,196	0.07	0.08	0.16	0.10	0.30	0.48
Cong 158	0.40	0.17	0.23	0.27	0.80	1.21	Cong 189	0.01	0.03	0.02	0.02	0.06	0.11
Cong 129,178	0.15	0.06	0.06	0.09	0.26	0.50	Cong 208,195	0.03	0.04	0.06	0.04	0.13	0.17
Cong 187,182	0.08	0.06	0.08	0.07	0.22	0.13	Cong 207	0.02	0.04	0.07	0.04	0.13	0.24
Cong 183	0.21	0.08	0.08	0.13	0.38	0.76	Cong 194	0.03	0.07	0.07	0.06	0.17	0.21
Cong 128	0.01	0.04	0.03	0.03	0.08	0.19	Cong 205	0.02	0.04	0.02	0.03	0.08	0.12
Cong 185	0.03	0.06	0.06	0.05	0.15	0.16	Cong 206	0.03	0.09	0.09	0.07	0.21	0.34
Cong 174	0.03	0.12	0.12	0.09	0.27	0.49	Cong 209	0.21	0.02	0.03	0.08	0.25	1.05

附表 3 高雄支航道(KH1)沉積物之 PAHs 含量(ng/g)

	<63L	<63 H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H
Naphthalene	69.6	21.6	791.4	40.6	510.2	84.1	454.1	62.8	452.6	92.3
2-Methylnaphthalene	100.8	22.8	1232.2	54.1	547.9	95.7	255.7	63.4	195.7	53.6
1-Methylnaphthalene	46.9	11.1	598.9	19.3	222.4	38.1	140.8	25.7	107.6	29.7
2,6-Dimethylnaphthalene	73.2	19.6	827.8	30.8	267.7	80.1	115.1	49.7	109.5	23.8
1,3-Dimethylnaphthalene	65.7	14.0	1152.7	33.6	290.4	76.2	86.7	47.1	77.2	18.0
1,6-Dimethylnaphthalene	27.6	6.1	347.6	8.0	129.4	6.8	53.7	12.2	39.0	9.7
1,4-Dimethylnaphthalene	10.8	4.6	370.0	8.3	96.1	20.0	28.4	10.6	22.9	5.4
1,5-Dimethylnaphthalene	12.3	2.3	143.6	3.6	45.9	7.1	19.6	4.9	13.7	17.7
Acenaphthylene	6.3	1.5	198.6	3.5	160.7	6.8	13.4	1.7	6.5	1.5
1,2-Dimethylnaphthalene	10.0	2.7	169.5	4.4	56.4	7.9	18.5	5.8	15.3	6.0
1,8-Dimethylnaphthalene	12.9	0.2	6.2	4.0	46.1	0.1	43.4	0.1	51.1	12.6
Acenaphthene	5.9	1.9	146.3	5.8	62.4	10.3	14.4	4.2	8.6	2.0
2,3,5-Trimethylnaphthalene	46.9	16.9	706.5	22.3	240.4	55.9	88.9	28.8	28.4	14.0
Fluorene	26.8	7.2	295.4	13.7	79.5	28.2	45.9	16.6	29.2	9.9
1-Methylfluorene	69.6	8.0	294.7	24.7	202.8	18.2	50.1	10.1	27.9	9.0
Dibenzothiophene	54.6	11.3	340.2	21.1	158.3	45.0	103.0	21.4	58.0	19.3
Phenanthrene	123.6	26.9	2562.4	61.0	873.3	150.9	245.3	68.0	171.7	53.0
Anthracene	38.2	6.6	613.3	14.3	224.2	25.2	56.1	16.4	31.8	7.8
3-methylphenanthrene	111.5	20.5	935.5	37.4	461.9	88.9	203.0	45.1	84.3	32.0
2-Methylphenanthrene	217.2	33.1	1402.2	72.3	875.6	153.1	317.1	77.8	140.9	52.0
2-Methylanthracene	43.1	8.6	486.9	18.7	299.6	18.2	70.7	16.8	22.2	8.0
4,5-Methylenephenanthrene	34.2	6.4	21.9	13.1	187.1	28.5	74.0	11.4	39.4	14.9
1-Methylanthracene	60.8	23.3	489.9	18.5	319.9	45.7	234.6	21.8	67.1	26.5
1-Methylphenanthrene	52.3	8.8	441.4	16.7	257.9	30.9	86.1	14.7	58.9	23.1
4,6-Dimethyldibenzothiophene	82.0	32.2	121.9	7.9	617.9	18.7	365.5	9.7	158.4	60.0
9-Methylanthracene	5.5	1.4	6.6	1.8	36.3	4.1	11.3	1.7	7.2	4.9
3,6-Dimethylphenanthrene	39.2	8.8	234.9	13.3	194.4	26.6	115.1	14.1	53.3	17.3
Fluoranthene	168.1	42.0	4376.1	116.1	1573.0	238.0	366.0	72.0	160.4	52.7
2,3-Dimethylanthracene	16.9	0.6	27.3	0.7	16.5	1.7	7.1	6.9	24.0	8.6
Pyrene	194.5	45.4	3766.6	119.0	1692.8	240.3	447.2	81.1	203.7	62.4
9,10-Dimethylanthracene	50.4	33.7	407.5	50.5	691.9	77.7	582.7	26.0	232.2	22.2
2-Methylfluoranthene	29.0	7.8	402.8	11.3	199.4	27.2	79.1	10.2	35.3	11.0
Benzo[a]fluorene	52.8	12.1	1090.6	24.9	491.0	57.4	111.7	17.0	37.5	11.1
Retene	63.9	12.8	1012.9	18.4	464.0	38.2	153.0	15.3	63.7	18.3

(續) 附表 3 高雄支航道(KH1)沉積物之 PAHs 含量(ng/g)

	<63L	<63 H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H
Benzo[b]fluorene	22.4	9.3	662.3	12.5	275.0	30.5	106.3	10.7	55.0	15.2
1-Methylpyrene	34.2	7.8	381.6	14.4	197.3	34.5	86.2	15.0	38.5	13.3
Benz[a]anthracene	182.3	20.5	6310.5	124.2	2846.9	285.5	270.0	74.9	73.5	22.6
Chrysene+Triphenylene	78.5	17.2	2035.7	48.3	899.4	103.7	174.0	26.3	87.1	26.8
1-Methylbenzo(a)anthracene	7.6	2.4	125.1	2.0	69.8	7.7	32.6	1.6	10.8	3.0
4-/6-Methylchrysene	4.8	3.4	91.4	2.3	51.1	6.7	35.4	2.1	14.1	4.0
Benzo[b]fluoranthene	109.1	25.0	3010.9	71.0	968.5	140.2	243.3	27.9	76.5	18.3
Benzo[k]fluoranthene	48.5	10.2	1679.8	34.1	754.1	69.6	139.3	13.6	36.9	13.0
3,9-Dimethylbenz[a]anthracene	15.5	3.7	163.7	7.0	146.5	14.1	55.4	4.4	21.8	5.6
Benzo[e]pyrene	121.3	28.7	2346.9	66.6	1142.9	146.9	275.0	35.5	92.1	26.9
Benzo[a]pyrene	75.6	24.4	2317.5	50.5	1159.7	123.3	243.2	21.5	53.3	15.7
Perylene	38.0	13.51	615.59	16.8	321.5	37.8	119.0	9.9	59.1	13.38
10-Methylbenzo(a)pyrene	4.9	2.7	105.6	1.6	62.3	4.6	24.9	1.4	9.0	3.5
7,10-Dimethylbenzo(a)pyrene	18.7	0.3	13.1	1.4	345.0	4.1	23.8	0.6	0.7	0.3
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	112.6	18.2	2752.3	66.9	1242.2	153.2	141.3	32.9	28.7	8.3
Dibenz[a,h]anthracene	30.3	5.0	947.0	18.3	421.4	46.1	66.8	11.5	11.6	6.2
Benzo[g,h,i]perylene	131.7	32.5	2971.8	74.7	1443.4	169.7	341.8	28.7	79.4	25.0
Coronene	83.2	24.8	1507.4	39.8	786.3	84.1	114.5	9.3	20.5	3.5

附表 4 旗津上竹里漁港(KH2)沉積物之 PAHs 含量(ng/g)

	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H	>1000L	>1000H
Naphthalene	224.2	11.2	2376.7	16.1	625.0	12.8	611.5	12.4	614.3	11.0	920.5	27.6
2-Methylnaphthalene	209.7	9.9	3060.7	17.9	661.6	14.6	688.3	11.5	714.5	9.0	3491.7	13.8
1-Methylnaphthalene	124.8	6.2	1989.0	10.1	404.9	7.7	431.4	6.9	566.9	5.0	1632.3	8.2
2,6-Dimethylnaphthalene	197.3	8.8	1851.2	13.4	582.7	8.3	689.2	10.9	465.8	7.3	2333.7	5.2
1,3-Dimethylnaphthalene	153.8	7.9	2014.1	9.7	487.7	8.4	565.6	7.2	462.1	5.5	870.9	5.1
1,6-Dimethylnaphthalene	83.0	2.9	1112.2	6.3	270.0	3.3	298.8	4.6	210.7	3.8	921.8	2.6
1,4-Dimethylnaphthalene	53.3	2.4	794.0	3.2	168.8	2.5	179.8	2.4	140.8	1.6	325.3	1.5
1,5-Dimethylnaphthalene	25.5	1.4	355.3	2.0	91.2	1.2	100.0	1.9	73.8	1.3	204.8	1.4
Acenaphthylene	24.2	0.7	676.1	3.4	284.4	2.1	152.0	6.2	56.8	1.5	6.9	0.4
1,2-Dimethylnaphthalene	26.8	0.8	382.2	1.9	108.0	1.0	122.8	1.7	87.0	1.2	259.1	1.2
1,8-Dimethylnaphthalene	18.2	2.0	22.3	0.1	3.0	1.2	2.8	1.3	3.4	1.2	23.0	12.3
Acenaphthene	30.8	1.4	211.3	4.6	68.3	2.8	45.6	1.5	1198.6	0.6	21.8	1.1
2,3,5-Trimethylnaphthalene	122.4	5.4	1955.3	10.8	267.8	6.2	278.6	8.5	155.7	6.0	419.4	5.0
Fluorene	58.6	2.4	493.2	4.6	123.7	2.5	91.8	2.2	1893.6	1.0	44.5	1.5
1-Methylfluorene	59.5	1.8	688.9	6.5	165.0	3.1	128.6	2.7	152.3	2.0	95.7	2.1
Dibenzothiophene	57.2	2.1	892.0	7.2	285.6	4.2	279.2	5.6	835.9	3.1	291.1	5.4
Phenanthrene	296.2	14.8	4015.7	35.7	1081.4	24.2	1027.6	21.1	10116.8	6.9	260.4	11.7
Anthracene	102.2	5.7	1547.5	24.2	409.4	8.2	206.4	9.2	2114.6	3.0	48.9	3.2
3-methylphenanthrene	147.2	8.9	1695.3	17.3	484.4	12.3	539.4	11.7	846.7	6.4	179.1	8.4
2-Methylphenanthrene	176.5	8.9	2092.3	16.8	526.7	14.8	526.8	14.1	954.0	7.8	197.7	6.9
2-Methylanthracene	180.2	8.8	2943.5	59.3	816.0	12.6	344.2	16.8	722.2	6.1	111.6	15.7
4,5-Methylenephenanthrene	49.6	0.5	837.8	7.2	278.3	2.1	149.4	8.5	996.7	3.6	57.6	3.5
1-Methylanthracene	153.4	6.5	2179.9	24.8	576.1	9.3	398.0	11.5	646.0	6.8	164.7	12.0

(續) 附表 4 旗津上竹里漁港(KH2)沉積物之 PAHs 含量(ng/g)

	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H	>1000L	>1000H
1-Methylphenanthrene	100.1	5.3	1184.7	9.9	376.3	3.5	368.8	7.8	347.1	5.4	124.5	4.6
4,6-Dimethyldibenzothiophene	102.5	6.2	1036.0	18.1	457.2	9.0	493.8	13.6	246.8	9.0	309.4	32.9
9-Methylanthracene	12.9	0.0	262.8	5.4	58.7	1.6	32.4	1.0	31.1	0.0	28.8	4.0
3,6-Dimethylphenanthrene	45.7	3.5	455.9	9.1	178.8	4.4	187.2	5.5	166.3	3.2	105.0	17.8
Fluoranthene	201.2	5.7	6143.8	36.8	1910.8	27.3	1054.1	42.5	6733.6	9.1	108.6	9.6
2,3-Dimethylanthracene	48.1	0.6	411.7	9.2	174.3	3.6	95.7	4.3	25.5	2.4	57.6	2.1
Pyrene	310.0	13.5	6721.5	59.3	2454.3	37.9	1228.7	52.7	5127.4	20.9	439.5	42.5
9,10-Dimethylanthracene	15.2	6.7	564.0	10.0	172.8	2.7	156.9	4.3	146.9	3.1	12.5	3.5
2-Methylfluoranthene	67.3	2.8	1220.2	9.1	374.4	4.7	168.9	7.5	401.0	3.6	81.8	8.2
Benzo[a]fluorene	102.4	3.3	2090.0	9.3	564.9	8.2	213.0	7.4	873.9	3.2	81.3	4.4
Retene	67.2	2.7	1668.1	6.8	284.1	3.4	106.9	4.0	70.6	2.6	50.3	2.9
Benzo[b]fluorene	59.2	1.6	1411.9	7.6	369.1	4.0	126.5	6.4	888.0	2.1	49.6	3.6
1-Methylpyrene	109.8	6.0	1419.2	20.5	530.6	10.2	257.9	11.6	313.9	8.1	224.0	19.6
Benz[a]anthracene	136.0	8.8	4841.6	25.8	1676.4	37.0	589.7	27.2	2785.7	9.6	98.4	5.3
Chrysene+Triphenylene	178.5	4.5	4363.4	23.3	1431.9	14.3	688.2	22.9	1676.3	12.0	98.0	7.2
1-Methylbenzo(a)anthracene	19.0	0.5	478.5	3.3	140.1	1.3	61.2	2.5	104.4	1.7	28.0	0.7
4-/6-Methylchrysene	33.6	0.8	630.2	3.6	189.7	1.6	87.7	2.4	87.6	1.6	46.0	3.2
Benzo[b]fluoranthene	229.2	17.5	7049.8	29.3	2667.1	33.4	1320.2	42.0	1911.0	40.6	148.4	15.2
Benzo[k]fluoranthene	109.6	6.5	3440.0	24.1	1436.9	12.3	711.4	20.9	1174.6	19.5	67.3	5.6
3,9-Dimethylbenz[a]anthracene	41.7	0.6	658.5	6.7	198.0	3.1	163.0	7.1	85.8	3.5	55.5	3.4
Benzo[e]pyrene	233.2	8.2	5893.0	32.3	2185.1	25.4	1142.0	29.1	1435.1	27.2	196.9	25.3
Benzo[a]pyrene	182.3	5.2	6294.2	35.4	2495.0	22.0	1102.2	37.2	2044.4	26.8	124.2	11.4

(續) 附表 4 旗津上竹里漁港(KH2)沉積物之 PAHs 含量(ng/g)

	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H	>1000L	>1000H
Perylene	98.3	3.20	1976.53	14.0	784.6	9.1	372.2	10.9	530.9	7.7	67.4	6.1
10-Methylbenzo(a)pyrene	26.4	0.0	556.0	4.3	164.6	2.5	78.0	4.1	62.2	3.6	33.1	6.9
7,10-Dimethylbenzo(a)pyrene	4.7	2.0	508.2	12.2	101.4	6.2	31.0	3.1	76.5	5.4	31.2	12.3
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	223.9	6.4	6468.9	52.9	2411.4	26.7	1196.0	53.4	1157.9	53.9	79.1	6.1
Dibenz[a,h]anthracene	39.8	2.5	1427.0	10.0	411.2	7.7	247.5	5.8	266.0	9.8	22.6	3.6
Benzo[g,h,i]perylene	230.2	10.5	6621.3	40.7	2269.1	31.8	1034.1	36.8	1089.7	35.3	128.2	13.2
Coronene	115.5	4.3	2660.0	16.6	955.0	10.9	324.4	13.7	391.2	12.5	55.0	9.2

附表 5 高雄支航道(KH1)沉積物之多氯聯苯含量(ng/g)

Compound conc.	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H
Cong 1	8.32	Nd	23.94	Nd	29.17	Nd	13.83	Nd	18.79	3.25
Cong 3	Nd	Nd	48.84	Nd	72.56	Nd	41.05	Nd	36.92	11.80
Cong 4,10	Nd	Nd	1.47	0.70	0.63	0.93	3.37	Nd	1.71	Nd
Cong 7,9	Nd	0	0.34	0.23	8.23	0.48	7.77	Nd	1.13	Nd
Cong 6	Nd	Nd	3.08	0.27	3.08	0.75	4.03	0.32	1.18	0.30
Cong 8,5	Nd	Nd	17.72	1.65	19.77	4.45	21.17	1.64	4.75	Nd
Cong 19	Nd	0.20	1.61	0.28	1.55	0.68	2.52	0.16	2.35	0.51
Cong 12,13	Nd	Nd	0.89	Nd	1.28	Nd	2.07	Nd	2.43	0.42
Cong 18	Nd	0.32	3.50	0.45	3.21	1.02	2.95	0.47	2.69	0.83
Cong 17	Nd	Nd	4.10	Nd	3.88	0.74	2.26	Nd	1.71	Nd
Cong 24	23.58	Nd	0.11	Nd	0.34	Nd	0.10	Nd	Nd	0.06
Cong 16,32	9.06	0.38	4.97	0.54	4.90	1.04	2.27	0.63	1.31	0.50
Cong 29	5.72	Nd	0.30	Nd	0.32	Nd	0.19	Nd	0.56	0.11
Cong 26	5.14	Nd	1.22	Nd	0.88	0.19	0.92	Nd	0.50	0.40
Cong 25	4.63	Nd	1.03	Nd	0.97	Nd	0.86	Nd	0.46	0.30
Cong 31,28	4.50	1.12	21.08	1.60	17.42	2.96	9.74	1.52	3.34	1.58
Cong 33,21,53	4.40	0.51	7.55	0.84	6.48	1.44	4.40	0.97	2.00	0.95
Cong 51	3.01	Nd	0.80	Nd	0.83	0.16	0.52	Nd	0.38	0.20
Cong 22	2.95	Nd	6.31	0.45	5.10	0.84	3.76	0.54	1.27	0.79
Cong 45	2.78	Nd	1.55	Nd	1.79	0.27	0.80	Nd	0.45	0.20
Cong 46	2.73	Nd	1.22	Nd	1.68	0.16	1.20	Nd	0.45	0.23
Cong 52	2.71	0.46	7.11	0.70	9.17	1.22	4.29	0.69	1.45	0.67

(續) 附表 5 高雄支航道(KH1)沉積物之多氯聯苯含量(ng/g)

Compound conc.	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H
Cong 49	2.50	0.53	7.74	0.75	8.15	1.22	4.75	0.66	2.09	0.81
Cong 47,48	2.28	0.37	6.48	0.56	8.21	0.95	3.75	0.49	1.22	0.50
Cong 44	2.11	0.53	21.60	0.85	27.65	2.10	7.77	1.38	2.28	0.92
Cong 37,42	2.08	0.27	4.68	0.41	6.08	0.84	2.84	0.50	1.09	0.40
Cong 41,64,71	1.99	0.44	14.34	0.62	26.60	1.53	3.14	0.80	2.15	0.75
Cong 40	1.97	Nd	2.20	0.20	3.16	0.42	1.20	0.24	0.59	0.21
Cong 100	1.92	Nd	20.26	0.12	56.49	0.58	0.60	1.70	0.45	Nd
OCS+Cong 63	1.87	Nd	157.49	Nd	199.91	19.47	35.12	Nd	26.24	Nd
Cong 74	1.83	0.24	5.46	0.36	4.30	0.80	2.59	0.33	1.05	0.40
Cong 70,76	1.79	0.57	10.29	0.81	12.08	2.11	7.18	1.00	2.64	1.09
Cong 66,95	1.73	1.17	19.78	1.65	22.89	3.72	14.41	1.87	6.55	2.05
Cong 91	1.61	0.13	1.58	0.18	1.96	0.33	0.92	0.18	0.61	0.21
Cong 56,60,92	1.61	0.64	17.47	0.90	15.87	2.38	12.20	1.05	4.91	1.67
Cong 84	1.52	0.41	8.42	0.59	8.74	1.47	5.36	0.69	2.46	0.85
Cong 101,89	1.47	0.36	7.55	0.51	9.49	1.21	4.75	0.60	2.28	0.75
Cong 99	1.35	0.20	3.35	0.24	3.93	0.62	2.22	0.36	1.01	0.38
Cong 119	1.32	Nd	0.50	Nd	1.16	0.21	0.50	Nd	0.33	Nd
Cong 83	1.27	Nd	1.95	Nd	1.95	Nd	1.42	Nd	0.56	Nd
Cong 97	1.19	Nd	23.02	Nd	15.26	3.43	4.65	Nd	3.79	Nd
Cong 81,87	1.15	Nd	4.23	Nd	3.44	0.70	1.45	Nd	0.44	Nd
Cong 85	1.14	Nd	2.41	Nd	1.95	Nd	1.15	Nd	Nd	Nd

(續) 附表 5 高雄支航道(KH1)沉積物之多氯聯苯含量(ng/g)

Compound conc.	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H
Cong 136	1.12	Nd	1.47	Nd	1.23	Nd	0.77	Nd	Nd	Nd
Cong 77,110	1.11	0.63	14.81	0.84	12.35	2.27	8.94	1.06	3.16	1.27
Cong 82,151	1.05	0.05	1.40	0.07	1.27	0.15	0.86	0.07	0.30	0.11
Cong 135,144	1.00	Nd	2.78	Nd	2.15	0.57	1.41	Nd	0.64	Nd
Cong 107	0.97	Nd	2.18	Nd	3.32	0.38	0.50	Nd	0.24	Nd
Cong 123,149	0.95	Nd	15.93	Nd	14.09	2.15	8.40	0.97	3.71	1.56
Cong 118	0.91	0.40	9.28	0.60	8.59	1.49	5.09	0.65	2.29	0.78
Cong 134	0.70	0.33	12.60	0.77	5.82	1.17	4.39	0.76	1.36	0.17
Cong 114	0.68	Nd	1.09	0.14	2.70	0.20	0.56	0.17	0.85	0.14
Cong 146	0.67	Nd	5.40	Nd	5.31	0.64	2.66	Nd	1.91	Nd
Cong 132,153,105	0.62	1.72	41.74	2.46	39.05	4.33	21.92	2.14	11.76	2.96
Cong 141	0.61	0.32	6.14	0.46	5.55	0.71	3.42	0.47	2.63	0.49
Cong 137,130,176	0.57	0.13	1.88	0.19	1.42	0.30	0.68	0.16	1.70	0.21
Cong 163,138	0.56	1.22	32.38	1.92	34.89	3.33	16.63	1.70	11.52	2.46
Cong 158	0.51	Nd	2.03	Nd	2.03	Nd	2.27	Nd	2.50	Nd
Cong 129,178	0.49	Nd	3.00	0.43	4.04	0.87	4.17	0.40	3.24	0.81
Cong 187,182	0.46	0.64	13.97	1.07	12.19	2.33	9.77	0.97	5.84	1.60
Cong 183	0.46	Nd	8.24	0.50	8.81	1.00	3.56	Nd	3.43	0.71
Cong 128	0.46	0.19	5.38	0.37	6.10	0.80	3.08	0.26	2.78	0.61
Cong 185	0.43	0.23	4.66	0.48	6.27	0.63	2.45	Nd	1.95	0.39
Cong 174	0.41	0.44	6.98	0.76	7.26	1.46	8.87	0.72	7.92	1.88

(續) 附表 5 高雄支航道(KH1)沉積物之多氯聯苯含量(ng/g)

Compound conc.	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H
Cong 177	0.41	0.34	9.08	0.58	10.59	1.05	10.12	0.61	3.83	0.86
Cong 202,171,156	0.40	0.40	8.44	0.63	0.61	1.41	7.48	0.80	4.51	1.18
Cong 157,200	0.38	Nd	2.25	Nd	2.68	0.27	1.06	Nd	1.54	0.33
Cong 172	0.38	Nd	2.66	Nd	1.43	0.32	1.93	Nd	1.90	0.32
Cong 197	0.35	Nd	1.22	Nd	1.34	0.19	1.51	Nd	1.01	0.23
Cong 180	0.33	1.15	23.28	1.58	23.12	2.61	14.02	1.22	5.84	2.23
Cong 193	0.30	Nd	6.12	Nd	4.23	0.49	5.11	0.32	1.69	0.72
Cong 191	0.28	Nd	2.87	Nd	3.45	0.24	1.40	Nd	0.78	0.17
Cong 199	0.26	Nd	1.16	Nd	2.63	Nd	1.93	Nd	1.48	Nd
Cong 170,190	0.25	0.43	9.13	0.55	9.91	0.99	5.51	0.48	2.75	0.71
Cong 198	0.24	Nd	0.60	Nd	0.89	Nd	0.62	Nd	0.79	0.16
Cong 201	0.23	0.27	5.81	0.33	5.16	0.56	3.07	0.27	1.31	0.37
Cong 203,196	0.22	0.51	10.27	0.63	10.03	1.10	5.82	0.57	2.85	0.77
Cong 189	0.20	Nd	0.46	Nd	0.68	Nd	0.56	Nd	0.85	0.08
Cong 208,195	0.18	Nd	2.15	0.16	2.15	0.21	1.27	Nd	1.22	0.22
Cong 207	0.17	Nd	0.65	Nd	2.30	Nd	1.51	Nd	0.60	0.13
Cong 194	0.14	0.25	4.50	0.34	6.42	0.42	2.56	0.35	3.76	0.31
Cong 205	0.13	Nd	0.26	Nd	0.41	Nd	0.52	Nd	0.51	0.09
Cong 206	0.12	Nd	4.49	Nd	4.00	Nd	2.18	Nd	1.22	Nd
Cong 209	0.08	0.50	2.48	0.69	2.07	0.63	1.35	0.38	7.44	0.59

附表 6 上竹里漁港(KH2)沉積物之多氯聯苯含量(ng/g)

Compound conc.	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H	>1000L	>1000H
Cong 1	11.39	Nd	99.62	Nd	20.25	Nd	29.37	Nd	19.92	Nd	31.47	Nd
Cong 3	17.19	Nd	101.75	Nd	54.89	Nd	64.36	Nd	42.27	Nd	31.21	Nd
Cong 4,10	1.04	Nd	9.06	Nd	7.83	Nd	0.86	Nd	3.15	Nd	2.22	Nd
Cong 7,9	Nd	Nd	7.39	Nd	6.13	Nd	1.02	Nd	4.27	Nd	0.23	Nd
Cong 6	0.43	Nd	22.95	Nd	1.49	Nd	2.17	Nd	5.04	Nd	0.47	Nd
Cong 8,5	3.61	Nd	54.35	Nd	35.83	Nd	12.03	Nd	16.51	Nd	4.50	Nd
Cong 19	0.35	Nd	9.19	Nd	9.17	Nd	1.16	Nd	0.90	Nd	0.48	Nd
Cong 12,13	Nd	Nd	24.97	Nd	7.04	Nd	1.44	Nd	7.78	Nd	1.48	Nd
Cong 18	0.44	Nd	23.70	Nd	7.88	Nd	1.55	Nd	2.32	Nd	1.44	Nd
Cong 17	0.73	Nd	8.44	Nd	8.85	Nd	1.39	Nd	4.28	Nd	0.91	Nd
Cong 24	0.09	Nd	4.37	Nd	1.30	Nd	0.34	Nd	0.36	Nd	0.09	Nd
Cong 16,32	0.74	Nd	14.13	Nd	12.61	Nd	1.43	Nd	1.97	Nd	1.54	Nd
Cong 29	0.24	Nd	4.59	Nd	1.53	Nd	0.20	Nd	0.15	Nd	0.14	Nd
Cong 26	0.34	Nd	2.26	Nd	0.95	Nd	0.65	Nd	0.83	Nd	0.35	Nd
Cong 25	0.75	Nd	7.56	0.27	3.65	Nd	0.85	Nd	0.64	Nd	0.47	Nd
Cong 31,28	2.94	Nd	16.42	0.44	8.11	Nd	4.03	Nd	3.47	Nd	3.91	Nd
Cong 33,21,53	1.44	Nd	17.64	Nd	12.26	Nd	3.07	Nd	2.84	Nd	2.33	Nd
Cong 51	0.16	Nd	5.35	Nd	0.59	Nd	0.74	Nd	0.69	Nd	0.54	Nd
Cong 22	1.22	Nd	38.52	Nd	6.18	Nd	1.33	Nd	1.54	Nd	1.36	Nd
Cong 45	0.45	Nd	15.82	Nd	4.17	Nd	0.90	Nd	0.36	Nd	0.58	Nd
Cong 46	0.32	Nd	8.65	Nd	2.12	Nd	1.43	Nd	1.13	Nd	0.25	Nd
Cong 52	0.80	Nd	20.91	0.38	5.50	0.26	1.75	Nd	1.52	Nd	1.48	Nd

(續) 附表 6 上竹里漁港(KH2)沉積物之多氯聯苯含量(ng/g)

Compound conc.	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H	>1000L	>1000H
Cong 49	2.92	Nd	21.43	1.01	12.67	0.52	4.96	0.45	4.52	0.37	3.65	Nd
Cong 47,48	1.36	Nd	20.59	0.50	7.60	0.26	2.40	0.30	2.26	Nd	1.99	Nd
Cong 44	0.26	Nd	19.10	0.41	11.97	0.25	4.46	Nd	3.14	Nd	2.47	Nd
Cong 37,42	0.69	Nd	9.84	Nd	2.12	Nd	1.10	Nd	1.05	Nd	1.04	Nd
Cong 41,64,71	1.46	Nd	22.00	0.50	7.42	Nd	2.59	0.30	1.98	Nd	1.58	Nd
Cong 40	0.26	Nd	4.43	Nd	1.14	Nd	0.57	Nd	0.42	Nd	0.44	Nd
Cong 100	0.21	Nd	3.10	Nd	1.30	Nd	0.51	Nd	0.26	Nd	0.42	Nd
OCS+Cong 63	280.10	Nd	5040.65	69.88	1487.16	34.60	103.72	17.18	112.29	13.58	91.63	Nd
Cong 74	0.77	Nd	8.55	Nd	3.42	Nd	1.20	Nd	0.93	Nd	0.96	Nd
Cong 70,76	1.38	Nd	19.26	Nd	6.00	Nd	2.29	Nd	1.81	Nd	1.67	Nd
Cong 66,95	8.73	0.43	129.90	2.32	50.29	1.42	13.42	2.23	10.69	0.65	7.70	Nd
Cong 91	0.53	Nd	5.32	0.16	2.10	0.10	0.73	0.07	0.69	Nd	0.63	0.10
Cong 56,60,92	2.93	Nd	25.72	0.53	13.75	0.33	3.00	0.29	3.42	Nd	2.19	Nd
Cong 84	1.65	Nd	19.71	0.38	6.94	0.27	2.23	0.22	2.06	Nd	1.32	Nd
Cong 101,89	3.29	Nd	107.02	1.15	32.27	0.71	5.55	1.09	4.20	Nd	2.60	Nd
Cong 99	1.25	Nd	14.08	0.29	4.79	0.19	1.49	0.13	1.99	Nd	0.93	Nd
Cong 119	Nd	Nd	2.11	Nd	0.75	Nd	0.34	Nd	0.64	Nd	Nd	Nd
Cong 83	0.81	Nd	6.19	Nd	1.92	Nd	1.64	Nd	2.57	Nd	Nd	Nd
Cong 97	6.46	Nd	205.94	Nd	63.28	Nd	12.80	Nd	5.84	Nd	3.12	Nd
Cong 81,87	0.61	Nd	23.72	Nd	6.20	Nd	0.50	Nd	0.55	Nd	0.67	Nd
Cong 85	Nd	Nd	10.14	Nd	2.32	Nd	0.81	Nd	1.07	Nd	Nd	Nd
Cong 136	1.18	Nd	56.02	Nd	15.41	Nd	2.32	Nd	2.14	Nd	0.83	Nd
Cong 77,110	3.87	Nd	99.39	1.15	33.01	0.72	8.04	0.82	7.74	Nd	3.06	Nd

(續) 附表 6 上竹里漁港(KH2)沉積物之多氯聯苯含量(ng/g)

Compound conc.	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H	>1000L	>1000H
Cong 82,151	0.81	0.05	39.27	0.28	9.64	0.18	1.62	0.27	0.85	0.06	0.42	Nd
Cong 135,144	2.02	Nd	106.07	0.67	25.30	0.42	3.88	0.66	3.46	Nd	1.04	Nd
Cong 107	0.27	Nd	5.12	Nd	2.20	Nd	0.54	Nd	1.23	Nd	0.24	Nd
Cong 123,149	13.58	Nd	533.34	3.71	148.32	2.33	26.34	3.63	15.34	Nd	6.02	Nd
Cong 118	1.69	Nd	32.91	0.39	10.28	0.29	3.93	0.22	3.50	Nd	1.13	Nd
Cong 134	1.15	Nd	14.59	0.17	7.06	Nd	3.54	Nd	2.24	Nd	1.06	Nd
Cong 114	0.44	Nd	18.41	Nd	4.23	Nd	1.37	Nd	1.65	Nd	0.24	0.09
Cong 146	5.27	Nd	197.15	0.76	58.16	0.58	25.17	0.76	3.98	Nd	2.07	Nd
Cong 132,153,105	36.11	0.90	1344.21	5.52	326.54	3.33	57.43	5.63	28.38	0.98	13.87	Nd
Cong 141	8.69	Nd	421.04	1.41	94.43	0.85	13.97	1.52	5.96	0.23	3.06	Nd
Cong 137,130,176	3.39	Nd	116.59	0.41	27.66	0.30	3.86	0.37	3.55	Nd	1.06	0.54
Cong 163,138	24.97	0.56	1003.45	3.51	230.92	2.21	43.42	3.69	20.00	0.67	9.23	0.73
Cong 158	1.97	Nd	63.79	Nd	14.49	Nd	5.16	Nd	2.82	Nd	0.95	Nd
Cong 129,178	3.63	Nd	145.07	0.59	34.11	0.41	8.68	0.62	3.73	Nd	1.34	0.37
Cong 187,182	18.07	0.42	771.30	2.63	180.83	1.68	33.51	2.75	15.48	0.47	5.01	0.93
Cong 183	11.27	Nd	504.05	1.68	117.18	1.07	23.86	1.75	11.27	Nd	3.33	0.48
Cong 128	1.65	Nd	60.04	0.13	13.76	0.10	4.07	0.13	4.62	Nd	0.90	0.17
Cong 185	2.10	Nd	113.10	0.35	28.26	0.29	11.22	0.36	4.49	Nd	0.86	Nd
Cong 174	14.48	0.32	686.40	2.27	162.55	1.38	25.47	2.43	9.54	0.39	4.23	Nd
Cong 177	8.45	Nd	417.97	1.41	99.52	0.85	15.16	1.52	7.12	Nd	2.48	Nd
Cong 202,171,156	6.30	Nd	279.80	0.98	68.58	0.59	10.86	0.97	2.34	0.24	1.87	Nd
Cong 157,200	1.68	Nd	100.72	0.29	21.83	Nd	4.09	0.32	1.52	Nd	0.84	Nd
Cong 172	3.27	Nd	164.53	0.53	38.22	0.31	5.94	0.54	2.55	Nd	0.90	Nd

(續) 附表 6 上竹里漁港(KH2)沉積物之多氯聯苯含量(ng/g)

Compound conc.	<63L	<63H	63-125L	63-125H	125-250L	125-250H	250-500L	250-500H	500-1000L	500-1000H	>1000L	>1000H
Cong 197	0.40	Nd	34.18	Nd	7.69	Nd	2.35	Nd	2.05	Nd	0.53	Nd
Cong 180	38.72	0.86	1841.99	6.26	423.93	3.44	74.34	5.92	24.28	1.10	10.01	0.33
Cong 193	2.43	Nd	118.90	0.31	26.99	Nd	3.78	0.31	2.65	Nd	0.70	Nd
Cong 191	2.28	Nd	72.44	0.20	22.96	Nd	4.70	0.18	6.77	Nd	0.48	Nd
Cong 199	1.51	Nd	51.25	Nd	12.19	Nd	2.41	Nd	2.50	Nd	Nd	Nd
Cong 170,190	15.56	0.33	749.35	2.62	159.46	1.35	26.59	2.40	9.65	0.42	4.27	0.17
Cong 198	0.63	Nd	35.11	Nd	7.79	Nd	4.00	Nd	1.81	Nd	0.19	Nd
Cong 201	8.62	Nd	409.16	1.52	91.99	0.78	15.46	1.36	4.48	0.23	1.93	Nd
Cong 203,196	16.01	0.38	754.63	2.81	166.34	1.44	26.96	2.46	8.41	0.47	3.40	Nd
Cong 189	0.43	Nd	17.43	Nd	3.79	Nd	0.65	Nd	0.29	Nd	0.16	0.07
Cong 208,195	3.95	Nd	187.04	0.58	39.47	0.30	7.47	0.54	1.88	Nd	0.82	Nd
Cong 207	0.47	Nd	16.91	Nd	6.09	Nd	4.16	Nd	1.07	Nd	0.13	Nd
Cong 194	7.08	0.18	326.71	1.15	65.65	0.59	13.10	0.98	3.50	0.20	1.78	Nd
Cong 205	0.37	Nd	22.69	Nd	4.47	Nd	0.55	Nd	0.54	Nd	Nd	0.09
Cong 206	1.97	Nd	84.56	0.26	18.82	Nd	3.93	0.22	1.56	Nd	0.32	Nd
Cong 209	1.12	Nd	18.14	Nd	6.34	Nd	2.88	Nd	1.53	Nd	1.13	Nd

