

國立臺灣大學工學院環境工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Environmental Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis



再利用場址之垃圾焚化底渣級配料重金屬再溶出特性

The Heavy Metal Leaching Behavior of Reused Municipal

Solid Waste Incineration Bottom Ash from

Existing Road Base

王聲富

Sheng-Fu WANG

指導教授：林正芳 博士

Advisor: Cheng-Fang LIN, Ph.D.

中華民國 102 年 7 月

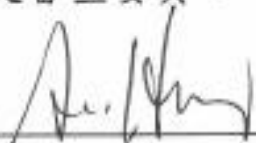
July 2013

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

再利用場址之垃圾焚化底渣級配料重金屬再溶出特性
The Heavy Metal Leaching Behavior of Reused Municipal Solid
Waste Incineration Bottom Ash from Existing Road Base

本論文係王聲富君(學號 R00541120)在國立臺灣大學環境工程學
研究所完成之碩士學位論文，於民國 102 年 7 月 18 日承下列考試委員
審查通過及口試及格，特此證明

論文審查委員：




Professor Andy P. K. Hong, Ph.D., P.E
Department of Civil and Environmental
Engineering, University of Utah



吳忠信博士
國立高雄應用科技大學化學工程與材料
工程系 教授



林正芳博士
國立台灣大學環境工程學研究所 教授



林郁真博士
國立台灣大學環境工程學研究所 副教授



黃國權博士
新加坡國立大學土木與環境工程學系
博士後研究員

指導教授：

所 長：

誌謝



開始進入到研究所，從起初對於實驗上與觀念上的一知半解，開始做實驗的慌張，研究過程中遭遇許許多多的可預測和不可預測的問題，到現在完成一本論文，一眨眼的功夫就要畢業了，我最感謝的就是恩師 林正芳老師，從老師的身上學習到了實驗的嚴謹、經驗的傳承與尋找文獻的方法，讓我對於不管研究、生活的態度有更深入的體會，在此獻上最誠摯的感謝，並在口試期間，康佩群老師，吳忠信老師，林郁真老師與博士後研究員黃國權的惠賜指教，讓我受益良多，特此致謝。

同時要感謝實驗室的戰友郁婷、祈潔、以丞與穎志，及實驗室學長姐，包括永楠、謹陞學長；彥妘、佩勳、虹瑤學姐等，在做研究同時給予我鼓勵與幫助；學弟妹的加入，讓實驗室增添不少歡樂。再來要感謝潤隆建設股份有限公司環安部門的員工，對於採樣與實驗的協助深感謝意。此外要感謝 305 們的一起打羽球的同好政達、哲賢、炯文、劭宇、小妤、曉玫、安琪等，分享喜怒哀樂的夥伴光傑、楷堯、書弘、欣叡、皓瑜、韻倫等，沒有你們這些同學，我想我的研究所生活一定會黯淡不少；還要感謝大學朋友一路以來的關心，讓我知道在學習的路上還有你們陪伴。

最後且最要感謝的就是我的家人，特別是父母親對我怨無悔的付出與栽培之恩，還有大姐與二姐的激勵與關懷，有你們在後面的扶持，讓我可以順利完成碩士學位，將此等喜悅與你們分享，並獻上十二萬分的趕謝。

王聲富 謹誌於

國立臺灣大學環境工程學研究所

中華民國 102 年 7 月



摘要

由於有許多研究者發現底渣具備與天然骨材相似的性質，已有許多國家(美國、法國、德國等)將底渣設立其標準與法規，使底渣骨材再利用於道路鋪設工程，取代天然骨材的消耗之應用。台灣目前已有多處道路場址進行底渣再利用工程，底渣埋設廠址的當地環境特性與時間年份不盡相同，因此，於台北縣萬里鄉以底渣作為六年道路路基，桃園縣龍潭鄉以底渣作為一年道路路基與未經埋設之底渣 e 級配料進行實驗室模擬溶出試驗，藉此研究成果，了解埋設不同年份之底渣其溶出潛勢，進而可作為國內底渣應用於道路鋪設對環境影響之參考。

粒徑分佈曲線來看，底渣 e 級配料、龍潭、萬里之粒徑分佈範圍區分為 d_{10} ， d_{30} ， d_{65} ， d_{90} ，埋設時間越長，其粒徑分佈範圍越大。基本特性分析方面，底渣 e 級配料之重金屬總量以 Zn (3200~3600 mg/kg) 以及 Cu (1800~2150 mg/kg) 含量較高，其次為 Pb (530~605 mg/kg)；龍潭一年道路底渣級配料之重金屬總量以 Zn (1950~2660 mg/kg) 以及 Cu (1000~1310 mg/kg) 含量較高，其次為 Pb (405~605 mg/kg)；萬里六年道路底渣級配料之重金屬總量以 Zn (700~2150 mg/kg) 以及 Cu (550~1210 mg/kg) 含量較高，其次為 Pb (350~1200 mg/kg)。動態管柱溶出試驗十天結果發現底渣 e 級配料之 pH 約在 11~12 之間，龍潭與萬里之底渣級配料之 pH 約在 7~9 之間。三處底渣之導電度，氯離子和及 TOC 隨時間的增加而有明顯的下降情形，不論顆粒大小在初期溶出是最大的。在硝酸溶液 pH=5(\pm 0.5)與 DI water (pH=6.82)之淋洗試驗，DI water 淋洗底渣級配料其部份溶出值低於硝酸溶液淋洗試驗。底渣 e 級配料、龍潭與萬里動態管柱試驗中，在三組底渣不同粒徑分佈範圍中，重金屬溶出量不易從顆粒中分出，較不規律。

關鍵字：焚化底渣、道路、溶出試驗、重金屬、再利用

Abstract



Several studies indicated that incinerated bottom ash is a proper material for road paving. Therefore, countries, such as USA, France, Germany, etc., established guidelines for recycling incinerated bottom ash. In Taiwan, several experimental roads using incinerated bottom ash as road base were tested. To understand the effect of incinerated bottom ash to the environment, the leakage from experimental roads by leaching test were well analyzed,. We chose two roads as experimental subjects, both using incinerated bottom ash as aggregate material, one was from Wanli Township, Taipei(constructed six years ago), and the other is from Longtan Township, Taoyuan(constructed one year ago). Both of them are compared with a bottom ash.

The longer the bury time, the more the particle size varies. In total amount of heavy metal, the materials of bottom ash, Experimental results showed the incinerated bottom ash from Longtan and Wanli highly contained Zn(3200~3600 mg/kg; 1950~2660 mg/kg; 700~2150 mg/kg) and Cu(1800~2150 mg/kg; 1000~1310 mg/kg; 550~1210 mg/kg), then is Pb (530~605 mg/kg; 405~605 mg/kg; 350~1200 mg/kg). The leaching test of bottom ash shows pH range between 11~12, on the other hand, Longtan and Wanli samples show pH range between 7~9. According to leaching experiments, Cl⁻, TOC and conductivity were decrease with time. Comparing HNO₃(pH=6.82) with DI water(pH=5±0.5) as leaching solution, using HNO₃ as leaching solution shows higher results in part of the experiments. In three leaching tests and different particle size distribution, there is no significant regularity of heavy metal leaching.

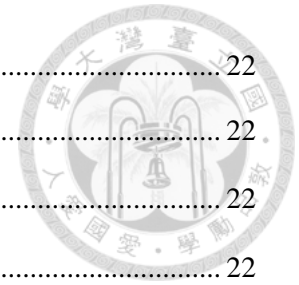
Keyword : incinerator bottom ash 、 road 、 leaching test 、 heavy metal 、 reuse

目錄



口試委員審定書.....	i
誌謝.....	ii
摘要.....	iii
Abstract	iv
目錄.....	v
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究緣起及目的.....	1
1.2 研究內容與工作項目.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 底渣特性分析.....	3
2.1.1 焚化底渣物理特性.....	3
2.1.2 焚化底渣化學特性.....	4
2.2 都市垃圾焚化底渣前處理技術.....	8
2.3 國內外相關法規與底渣再利用之現況.....	9
2.4 底渣填海造路之影響與重金屬溶出.....	12
2.5 都市垃圾焚化底渣的溶出試驗.....	13
2.5.1 重金屬溶出試驗評估.....	13
2.5.2 國內外管柱實驗探討.....	15
第三章 實驗方法與材料.....	17
3.1 實驗內容.....	17
3.2 實驗方法.....	18
3.2.1 基本特性分析.....	18
3.2.2 動態溶出試驗.....	20

第四章 結果與討論.....	22
4.1 底渣 e 級配料.....	22
4.1.1 粒徑分佈.....	22
4.1.2 重金屬總量分析.....	22
4.1.3 動態管柱實驗.....	23
4.2 龍潭一年道路底渣級配料.....	36
4.2.1 粒徑分佈.....	36
4.2.2 重金屬總量分析.....	37
4.2.3 動態管柱實驗.....	38
4.3 萬里六年道路底渣級配料.....	50
4.3.1 粒徑分佈.....	50
4.3.2 重金屬總量分析.....	51
4.3.3 動態管柱實驗.....	52
第五章 結論與建議.....	65
5.1 結論.....	65
5.2 建議.....	66
參考文獻.....	67
附錄.....	70



表目錄



表 2.1 經處理之粗粒料底渣之物理性質	3
表 2.2 垃圾焚燒底渣元素含量	4
表 2.3 MSWI ash 氧化組成物(wt%).....	5
表 2.4 底渣中重金屬含量(mg/kg)	5
表 2.5 國內各焚化廠底渣重金屬總量	6
表 2.6 底渣原始檢測統計 2012/01 至 2012/12.....	7
表 2.9 不同國家採用底渣溶出試驗法規	11
表 2.10 底渣前處理後再利用產品各類型品質標準	12
表 2.11 各種溶出試驗方法比較	14
表 3.1 台北市、新北市、桃園縣 2006-2011 之年降雨量	21

圖目錄



圖 2.1 焚化底渣處理流程.....	9
圖 3.1 實驗室模擬試驗流程.....	17
圖 4.1 底渣 e 級配料之粒徑分佈曲線.....	22
圖 4.2 底渣 e 級配料在不同粒徑分佈之重金屬總量.....	23
圖 4.3 底渣 e 級配料在不同粒徑重量百分比下 pH 值溶出變化.....	25
圖 4.4 底渣 e 級配料在不同粒徑重量百分比下導電度溶出變化.....	26
圖 4.5 底渣 e 級配料在不同粒徑重量百分比下氯鹽溶出變化.....	27
圖 4.6 底渣 e 級配料在不同粒徑下 TOC 溶出變化.....	28
圖 4.7 底渣 e 級配料在不同粒徑重量百分比下重金屬溶出濃度(硝酸).....	29
圖 4.8 底渣 e 級配料在不同粒徑重量百分比下重金屬累積重量(硝酸).....	30
圖 4.9 底渣 e 級配料在不同重金屬於各粒徑下之累積重量(硝酸).....	31
圖 4.10 底渣 e 級配料在不同重金屬於各粒徑下之累積重量-續(硝酸).....	32
圖 4.11 底渣 e 級配料在不同粒徑下重金屬溶出濃度(DI water).....	33
圖 4.12 底渣 e 級配料在不同粒徑下重金屬累積重量(DI water).....	34
圖 4.13 底渣 e 級配料在不同重金屬於各粒徑下之累積重量(DIwater).....	35
圖 4.14 底渣 e 級配料在不同重金屬於各粒徑下之累積重量-續(DI water).....	36
圖 4.15 龍潭一年道路底渣級配料之粒徑分佈曲線.....	37
圖 4.16 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑分佈之重金屬總量.....	37
圖 4.17 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑重量百分比下 pH 值溶出時間變化.....	39
圖 4.18 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下導電度溶出變化.....	40
圖 4.19 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下氯鹽溶出變化.....	41
圖 4.20 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下 TOC 溶出變化.....	42
圖 4.21 龍潭一年底渣級配料在不同粒徑重量百分比下重金屬溶出時間濃度(硝酸).....	43
圖 4.22 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬累積重量(硝酸).....	44
圖 4.23 龍潭一年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量(硝酸).....	45
圖 4.24 龍潭一年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量-續(硝酸).....	46
圖 4.25 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬溶出濃度(DI water).....	47

圖 4.26	龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬累積重量(DI water)	48
圖 4.27	龍潭一年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量(DI water)	49
圖 4.28	龍潭一年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量-續(DI water)	50
圖 4.29	萬里六年道路底渣級配料之粒徑分佈曲線	51
圖 4.30	萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑分佈之重金屬總量	51
圖 4.31	萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下 pH 溶出變化	53
圖 4.32	萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下導電度溶出變化	54
圖 4.33	萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下氯鹽溶出變化	55
圖 4.34	萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下 TOC 溶出變化	56
圖 4.35	萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬溶出濃度(硝酸)	57
圖 4.36	萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬累積重量(硝酸)	58
圖 4.37	萬里六年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量(硝酸)	59
圖 4.38	萬里六年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量-續(硝酸)	60
圖 4.39	萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬溶出濃度(DI water)	61
圖 4.40	萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬累積重量(DI water)	62
圖 4.41	萬里六年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量(DI water)	63
圖 4.42	萬里六年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量-續(DI water)	64



第一章 緒論

1.1 研究緣起及目的

因垃圾掩埋場用地取得困難，環保署在民國 80 年訂定「垃圾處理方案」，明定「焚化為主、掩埋為輔」。為使垃圾焚化廠之順利興建，於民國 80 年 6 月訂定「臺灣地區垃圾資源回收(焚化)廠興設計畫」，由環保署在臺灣省興建大型焚化廠。全國目前已有 24 座大型垃圾焚化廠正式操作營運，全國焚化垃圾量約達 596.2 萬公噸/年，全年約產生 123.6 萬公噸垃圾焚化灰渣，其中底渣約 96.9 萬公噸。垃圾焚化後產生的底渣，仍須以掩埋做為最終處置，垃圾焚化後體積減少有助於增加掩埋場的使用年限，且掩埋場的處理量終究有限，以此來看，再加上近年來有許多專家學者投入底渣再利用之研究，各種不同底渣再利用的方式也推陳出新，顯示底渣再利用逐漸備受重視 (行政院環保署, 2013)。

台灣行政院環保署於垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式從民國 91 年開始，至民國 101 年修改其名稱為「一般廢棄物-垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」。對於底渣資源化產品品質標準，注重於水溶性氯離子含量與重金屬濃度，如 Pb、Cd、Cr、Cu 等對環境可能造成危害的物質。

垃圾焚化後的底渣再利用方式，除採用傳統的掩埋方法，還包含如做為建築與道路鋪設材料，玻璃陶瓷用料，農業用途，亦可以於汗水處理廠處理染料以及重金屬以及沸石的製造等相關研究方式逐漸被研發出來，其中又以底渣應用於道路工程，為消耗較低處理成本的方法之一。

台灣目前已有多處場址進行底渣再利用工程，底渣埋設場址的當地環境特性與時間年份不盡相同，造成底渣經雨水淋洗也會有所不同，對於國內推動綠色資源與環境安全，評估埋設焚化都市垃圾的底渣應用於道路路基鋪設後，經雨水淋

洗可能造成的影響是非常重要的。本研究注重在既有底渣鋪設場址的底渣材料經雨水淋洗之特性進行分析。



1.2 研究內容與工作項目

既有底渣再利用的場址，採取以做為道路鋪設工程之底渣材料以及原底渣再生級配料，進行實驗室模擬雨水淋洗潛勢試驗。模擬雨水淋洗潛勢試驗，內容主要為採取一年與六年既有底渣再利用場址之底渣再生級配料及原底渣再生級配料，進行動態管柱試驗，評估不同粒徑大小之底渣經過模擬雨水淋洗後各項參數淋洗之潛勢，比較埋設不同年分的底渣再生級材料與原底渣再生級配料之特性差異。



第二章 文獻回顧

2.1 底渣特性分析

焚化廠焚化都市垃圾所產生的底渣，是由爐床末端排出的殘留物質，會因都市垃圾性質不同，與焚化爐設計、操作、控制條件不同而有所變異。由此來看，都市垃圾焚化後的底渣若需加以處置或處理的話，瞭解都市垃圾焚化底渣的組成與特性是必要的，底渣物理與化學特性如下加以說明。

2.1.1 焚化底渣物理特性

底渣為一種異質性(heterogeneous)的混合渣，主要是由玻璃粉塵、礦物(長石、輝石等)、合成陶瓷、磁性金屬、非磁性金屬、含鐵化合物、非含鐵化合物及其他無機物、未燃燒盡有機物所組成 (Chimenos et al., 1999; Wiles, 1996)。

底渣為輕重量、多孔性和較好的吸水性材質，有研究顯示底渣之乾固體密度為 950 kg/m^3 或是更高，底渣細顆粒部分比重為1.5-2，粗顆粒部分比重為1.8-2.4。大多呈現球型或不規則形。底渣因淬火(quenching)緣故含有不同量的水分，其含量通常為15%至25%，在含水率約16%時，底渣可壓縮至 1600 kg/m^3 的密度，使其水力傳導係數達 10^{-6} cm/S 或是更小，此水力傳導係數對於底渣管理與利用的判斷是非常重要的 (Wiles, 1996)。表2.1為台灣各焚化廠粗粒料底渣之物理性質，整體比重在1.9-2.3，吸水率在4-13%，洛杉磯磨損值在33-35%。

表 2.1 經處理之粗粒料底渣之物理性質

物理性質	木柵廠	內湖廠	北投廠	樹林廠	新店廠	八里廠	台中廠
比重	2.17	2.15	2.15	1.99	2.28	2.2	1.91
吸水率(%)	8.2	7.7	7.7	12.1	4.4	6.6	12.6
洛杉磯磨 耗率(%)	34	35	33	34	34	34	35

資料來源：潤隆建設股份有限公司(2012)，再利用場址後續重金屬溶出特性估計書。



2.1.2 焚化底渣化學特性

焚化底渣之化學特性分析，主要是評估在焚化過程中是否有危害物質的產生與非危害物質的最終管理要求，通常焚化底渣化學特性分析項目包含化學組成 (chemical composition)、溶出特性、氯離子含量 (chloride content)、有機成分 (organic constituents)、重金屬含量 (heavy metal)、灼燒減量 (loss on ignition) 等 (Lam et al., 2010)。

多篇文獻中指出底渣中主要物質是由O、Si、Fe、Ca、Al、Na、K所組成，次要物質是由Ba、Cu、Cr、Cl、Mn、Mg、Pb、Ti、Zn等組成，微量部分則是由Sn、Sb、V、Mo、As、Se、Sr、Ni、Co、Ce、Ag、Hg、B、Br、F 和 I所組成，而且大部分之組成都是由一價金屬及二價金屬組成 (Lam et al., 2010; Wei et al., 2011; Wiles, 1996)；表2.2為各地的垃圾焚燒底渣各種元素的濃度。

表 2.2 垃圾焚燒底渣元素含量 (Meima and Comans, 1997)

濃度 (ppm)	元素
<500000	Ca、Fe、O、Si
<100000	Al、C、Mg、Na
<20000	K、Pb、S
<10000	Cu、P、Ti、Zn
<5000	Ba、Cl、Cr、Ni
<2500	F、Mn、N、Sr
<500	As、B、Br、Co、Mo、Sb、Sn、V
<100	Ag、Au、Cd、Cs、Ga、Hg、I、La、Rb、 Sc、Y

此外，底渣常見的氧化組成物，如SiO₂、Al₂O₃、CaO、Fe₂O₃、MgO、K₂O、Na₂O、SO₃、P₂O₅、TiO₂大多與玄武岩或其它地質材料組成相似 (Forteza et al., 2004; Lam et al., 2010; Wiles, 1996)，表2.3為都市垃圾焚化底渣氧化組成物與重金屬含量，表2.4與表2.5為國內外底渣中重金屬含量。

表 2.3 MSWI ash 氧化組成物(wt%) (Lam et al., 2010)

	比利時—底渣	台灣新竹—底渣	義大利—底渣	西班牙—底渣
SiO₂	27.8	13.44	46.7	49.38
Al₂O₃	9.9	1.26	6.86	6.58
CaO	25.9	50.39	26.3	14.68
Fe₂O₃	4	8.84	4.69	8.38
MgO	3.3	2.26	2.22	2.32
K₂O	1.8	1.78	0.888	1.41
Na₂O	3.3	12.66	4.62	7.78
SO₃	N/A	0.5	2.18	0.57
P₂O₅	6.9	N/A	0.855	N/A
TiO₂	2	2.36	0.77	N/A

表 2.4 底渣中重金屬含量(mg/kg) 整理自 (Lam et al., 2010)

	丹麥	美國	台灣	日本	西班牙
Cd	1.4~40	0.3~61	6.8-7.8	110	3
Cr	230~600	13~1,400	323-439	260	900
Cu	900~4,800	80~10,700	4,139-4,474	N/A	500
Hg	<0.01~3	0.003~2	N/A	N/A	2.6
Pb	1,300~5,400	98~6,500	2,474-2,807	N/A	2,700
Zn	1,800~6,200	200~12,400	4,261-4,535	N/A	600



表 2.5 國內各焚化廠底渣重金屬總量

廠別		總砷 (mg/kg)	總銅 (mg/kg)	總鉻 (mg/kg)	總鎘 (mg/kg)	總汞 (mg/kg)	總鉛 (mg/kg)	總鋅 (mg/kg)
樹林廠	底渣	5.12-8.85	2860-13,700	63.6-76.0	7.58-37.5	0.028-0.065	932-3790	2160-3980
新店廠	底渣	69.2-73.7	3480-8650	69.2-73.7	6.53-25.1	0.020-0.069	828-1990	3480-8650
新店廠	飛渣	-	1036.1	240.4	100.6	-	3314.6	1036.1
新店新 廠	混合渣	143.8	2214-2415	58-115.8	17.4-25	ND	429-6496.4	2214-2415
內湖廠	底渣	ND	1598-2374	159-228	9-14	ND	1760-3825	1598-2374

資料來源：吳佩勳（2007），都市焚化廠底渣再利用於鋪面工程及現地環境偵測，碩士論文，國立台灣大學環境工程研究所。

表 2.6 為 2012 年台灣桃園以北垃圾焚化底渣重金屬溶出量，鉛和銅的溶出量相對於其他重金屬較高，對底渣資源化標準有超出之疑慮。都市垃圾焚化底渣成分與性質不一致，所分析重金屬的結果也有所差異，對於底渣再利用之過程，重金屬對於環境的影響是有待商榷的。

表 2.6 底渣原始檢測統計 2012/01 至 2012/12

廠別	砷 (mg/L)	鎘 (mg/L)	鉻 (mg/L)	六價鉻 (mg/L)	銅 (mg/L)	鉛 (mg/L)	汞 (mg/L)
北投	ND-0.025	ND-0.214	ND-2.22	ND-1.05	ND-0.738	ND-0.267	ND-0.0005
木柵	ND-0.056	0.006-0.042	0.012-0.207	ND-0.01	0.286-1.32	ND-4.45	ND-0.0052
內湖	ND-<0.002	ND-0.344	ND-0.387	ND-0.13	0.084-2.7	ND-1.93	ND-0.0049
新店	ND-0.005	0.103-0.161	0.24-0.33	0.06-0.14	1.78-2.77	0.74-0.96	ND-0.152
樹林	0.012-0.032	0.141-0.171	0.39-0.63	ND-0.068	2.63-2.88	1.21-1.61	ND-0.128
八里	ND	ND-0.024	0.015-0.357	ND-0.18	0.087-0.511	ND-0.33	ND-0.0005
桃園	ND-<0.01	<0.02-0.518	<0.1-1.43	ND-1.31	0.997	ND-0.558	ND-<0.002

資料來源整理：行政院環保署-焚化廠營運管理系統-底渣原始檢測統計表(TCLP)



2.2 都市垃圾焚化底渣前處理技術

不同焚化底渣的化學特性，可運用合適的分離技術，改善底渣的品質；經分離技術處理後的底渣，需考量底渣最終處置和再利用的可能性，選用適當的程序、技術並評估對於環境衝擊較小的影響，使底渣有妥善的處理。下列則分別針對底渣分離技術與利用技術進行探討 (Lam et al., 2010)。

都市垃圾經焚化廠焚燒後所產生的底渣，含有氯化物、重金屬、有機物、戴奧辛等會對環境造成衝擊的物質；而焚化底渣採用分離技術的目的就是減少底渣中所含污染物濃度，減少焚化底渣對於環境的影響。底渣分離技術如下加以說明。

(一) 水洗

水洗技術主要藉由如水、酸液等溶液將焚化底渣經過沖洗後，減少焚化底渣中氯化物、鹽類、鹼度及重金屬的含量。

台灣北部(新竹、桃園、八里和木柵)都市垃圾焚化底渣，不同水洗量(20 ml/min、50 ml/min、80 ml/min)，去除率的效果。顯示20 ml/min、50 ml/min、80ml/min流量水洗不同場址的底渣，除氯效率分別為0.02-0.08 %/hr、0.12-0.22 %/hr、0.19-0.36 %/hr，表示水洗流量高增加氯的去除，流量在80 ml/min下所使用的水最少 (Chen and Chiou, 2007)。

(二) 淋洗

淋洗技術主要使用溶液將灰爐中的重金屬提取出來，並且進一步恢復使用過的溶液的解決方法。為了比較好回收重金屬，其重金屬濃度要高以確保較好的回收，而淋洗液的類型、pH 及固液比的不同會影響到重金屬的萃取。

六種錯合劑(complexants)有機溶劑(乙酸、檸檬酸銨、檸檬酸、草酸、乙二胺四乙酸、酒石酸)萃取垃圾底渣中的污染物(其中銅是最為重要)，檸檬酸銨的效果最佳 (Van Gerven et al., 2007)。有使用有機和無機溶劑(醋酸、乙烷/丙酮、乙醇/水、鹽酸、氫氧化鈉、水)萃取都市固體廢棄物焚化底渣的總碳和有機碳；有機碳的萃取主要是進行焚化底渣的評估，總碳則用來確定萃取溶劑和溶解有機碳之間的效率。結果發現，最終pH是影響總碳萃取的一個重要因素，在萃取效率高或萃取液

含量較少的時候，pH在中性或酸性條件下是必要的 (Guimaraes et al., 2005)。

而國內都市垃圾焚化底渣前處理應用技術流程，如圖2.1，一開始為焚化底渣進入進料斗後，經過粗篩分離、細篩分離、磁選分離、鐵處理流程、非鐵金屬分離、風選機、顆粒破碎與噴灑藥劑等技術處理過後，底渣最終可四種不同的物料，分別為鐵金屬、非鐵金屬、e級配以及未完全燃燒產物。

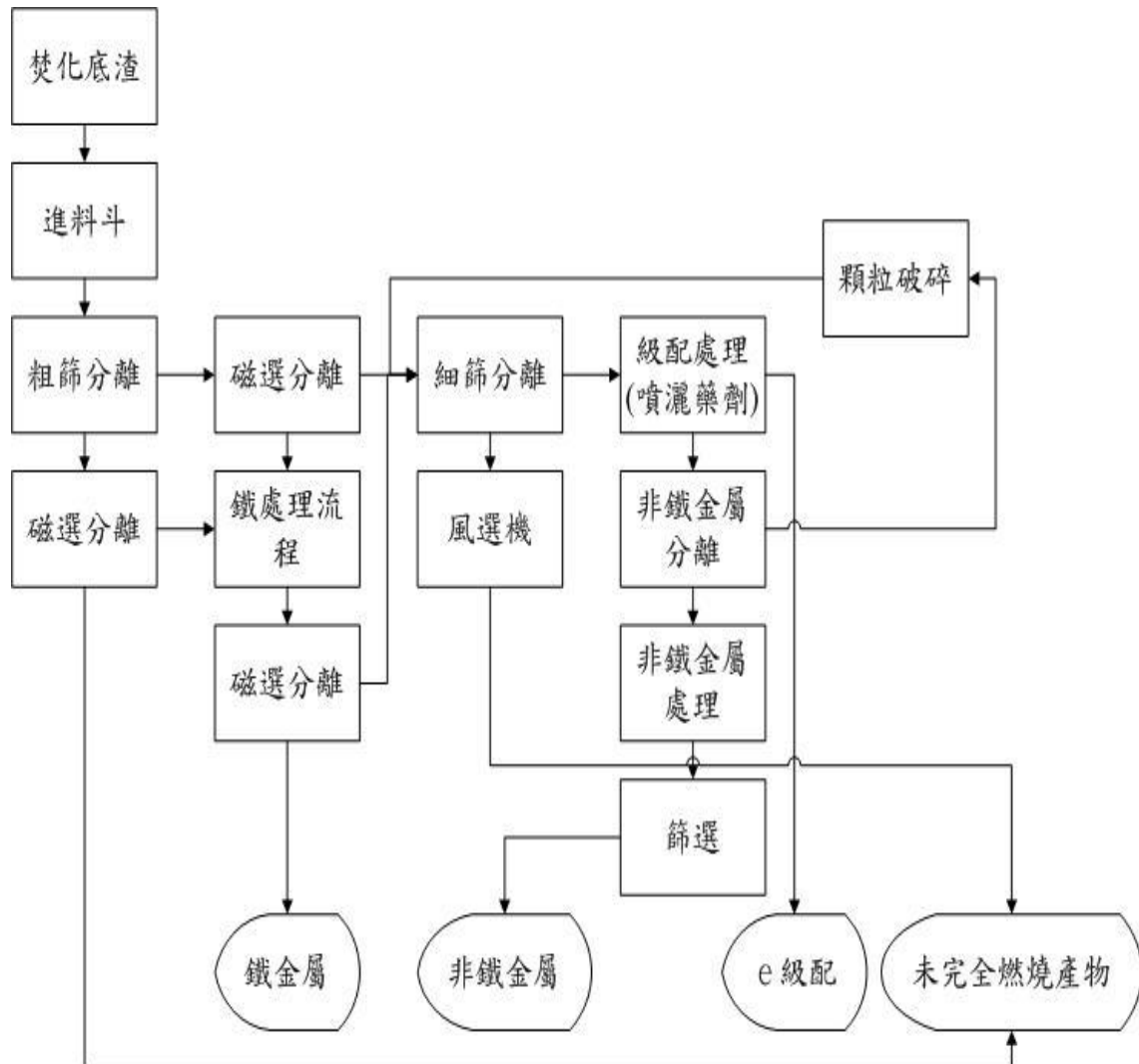


圖 2.1 焚化底渣處理流程

資料來源引自:潤隆建設股份有限公司

2.3 國內外相關法規與底渣再利用之現況

由於焚化爐焚化後的底渣特性各有不同，加上近年來底渣從掩埋方式逐漸改變為再利用，各個國家再利用方式與管制方式如表 2.8 所示。

表 2.8 各國底渣再利用管制要項

國家	再利用用途	管制要項
美國	混凝土磚、路基材料、掩埋場附土、停車場底層材料	美國聯邦政府對於灰渣之認定並無公告之法令規定，由各州依據該地區之相異特性，自行訂定相關法規標準。
法國	道路路基底層材料	法國法規規定，僅底渣可進行再利用，飛灰須經固化經掩埋場棄置處理，而底渣之化學成份亦須符合限值規範方可再利用。
德國	道路工程路基、隔音牆骨材、堤防建築骨材	德國焚化灰渣之管理策略為在經濟條件可行下，須對灰渣進行分類並予以回收某些成分。管制主要依據德國聯邦法 LAGA，另外其底渣再利用需先經篩選及磁選分離鐵金屬，並經至少三個月以上熟化。
丹麥	基底層材料、混凝土骨材	丹麥焚化爐底渣管理政策，在對環境無不可接受影響前提下皆可進行再利用。管制規定任何再利用之底渣，須進行化學成分析並符合規範，此外不同工程應用上亦須符合相關規範。
荷蘭	工廠基地、道路路基、堤防材料、瀝青混凝土骨材	荷蘭對於廢棄物再利用主要依據建築材料指令 (BDM)，目前已制定相關合理使用許可規範，透過以「環境釋入量」及「成份含量」為管制基準。
台灣	道路路基、混凝土添加料、磚品添加料及水泥生料添加料與填海造島	台灣垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式，對於品質分類與檢測、資源化產品使用、底渣處理廠設施(備)須符合其限制方能使用，並建立一套管制系統，以確實申報。

資料來源引自：潤隆建設股份有限公司 (2012)，再利用場址後續重金屬溶出特性估計書。

為了減少底渣利用對環境造成的影響，各國對於底渣再利用紛紛訂定溶出試驗法規如表 2.9 所示：

表 2.9 不同國家採用底渣溶出試驗法規



國家	溶出試驗法規
日本	JST-13
美國	TCLP method 1311
法國	AFNORNF X31-210
德國	DIN38414 S4
瑞典	ENA Skaktest
丹麥	Combined colum and batch leaching test
英國	WRU Batch extraction
荷蘭	NEN7343
瑞士	TVAE Eluattest
台灣	TCLP method 1311

資料來源：國立台灣大學環境工程學研究所，焚化爐底渣再利用之健康及環境風險評估(2008)

各國底渣必須符合相關溶出試驗標準，方可利用。

一個典型的路面是由四個層面所概括的，最上層應為均勻，堅固耐用，高防滑性的，材料通常為瀝青；第二層為主要負載鋪散層，材料為預混瀝青、水泥混凝土、顆粒級配料、碎石，或穩定的石灰材料；第三層為基層，材料通常為礫石、水泥或石灰材料；第四層為路基，完全以土壤做為路面的基礎 (Lam et al., 2010)。

都市垃圾焚化底渣使用的方式為更換負載鋪散層的材料，提供一個簡單直接焚化底渣利用方法。許多國家如法國、荷蘭、丹麥、西班牙、英國及美國等，底渣主要利用方式都是道路鋪設，由於底渣含有重金屬、鹽類等有害物質的浸出潛能，許多國家對於底渣應用於道路鋪設有其限制條件。路面的應用條件上，法國需要超過水源30公尺；德國需要超過地下水1公尺；丹麥需要超過河水與地下水20公尺；台灣需要超過飲用水源20公尺，地下水1公尺 (Shih and Ma, 2011)。

台灣對於底渣資源化產品品質標準包含了毒性特性溶出程序(重金屬)、水溶性

氯離子含量(%)如下表 2.10 所示。

表 2.10 底渣前處理後再利用產品各類型品質標準

	總鉛	總鎘	總鉻	總銅	總汞	水溶性氯離子含量 (%)
第一類型	≥0.4	≥0.8	≥4.0	≥12.0	≥0.016	≥0.024
第二類型	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
第三類型	應低於有害事業廢棄物認定標準規定					

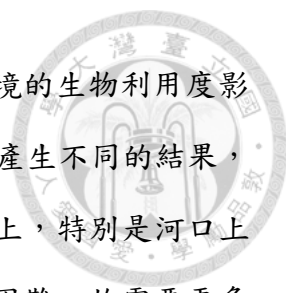
資料來源：垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式，行政院環保署(2012)

2.4 底渣填海造路之影響與重金屬溶出

鹽度(Salinity)，即是將海水中一切碳化合物（碳酸鹽）、溴及碘化物等均代換為氯化物，同時將所有有機物完全氧化，則一公斤海水中所含有之固體物質之總克數即為鹽度。所以鹽度是重量百分比濃度，其單位為：千分之一(‰)。

許多研究指出隨著鹽度的增高，大部分的重金屬於水中的分布係數也會隨之降低 (Turner and Millward, 1994)，而分部係數愈低，則溶解態的金屬就愈多。像是溶解態的鎘、鈷、鎳、鋅等金屬會隨著鹽度增加而增加；但是溶解態的銅則是有相反的趨勢 (Lores and Pennock, 1998)；也有些金屬如鉛、鋅、鉻其溶解態，隨鹽度增加會有先增後減的現象 (DePaula and Mozeto, 2001)。

另有許多研究強調重金屬型態和溶解性重金屬-有機物之間交互作用的重要性，金屬溶解性有機物是一個考慮評估海洋環境生物利用度(bioavailability)的重要因素，也就是說要是了解金屬與溶解性有機物結合的特性，可能會導致金屬對於海洋生物的生物利用度造成影響，因此利用生物利用度可以更好預測各種金屬物對環境的風險。



雖然有不同的實驗結果顯示金屬溶解性有機物對於海洋環境的生物利用度影響較小，但考慮地點影響、pH 值、重金屬來源或鹽度，則可能會產生不同的結果，像是在河口與海洋水域可能使結合的金屬位移到另一個配位體上，特別是河口上游地區，但各類溶解性有機物質親和力的不同也增加其判斷的困難，故需要更多的研究來發現金屬於海洋或河口的生物利用度。

2.5 都市垃圾焚化底渣的溶出試驗

2.5.1 重金屬溶出試驗評估

國內外有多種固體廢棄物或有害性物質的重金屬或有害成分之溶出方法，研究物質溶出之機制；或依照相關法規判定物質之危害性，評估對於環境所帶來之影響效應。焚化底渣掩埋與再利用後需長期監測其溶出行為，但往往不易在短期內就能瞭解溶出行為，導致於研究需從實驗室來模擬溶出程序。

實驗室的溶出試驗常被用來模擬評估灰渣的溶出特性，常用的評估特性為有效性(availability)、溶解度(solubility)、釋放率(release rate)，有效性溶出為在特殊狀態下，測試其長期的溶出潛勢，液固比通常較高(如 100:1)，適合小粒徑(<300um)，需控制 pH 及溶解反應時間，且預估其最大可能溶出量，時間能長至千年。溶解度測試則以低液固比(如 6:1)及小粒徑設計，並控制 pH 及達到化學平衡之時間。典型的釋放率測試則以管柱流(column flow)之方式測試粒狀物質，批次式(serial batch test)則常用來評估一段時間的釋放速率，兩者皆可評估溶出與時間之函數關係，不同的情境設定常配合環境條件之不同而調整。不過最終的 pH 值及液固比之設定則常為溶出試驗的主要關鍵，較低之 pH 值狀態及較大的液固比會導致較多的重金屬溶出 (趙永楠, 2003)。

表 2.11 為各種溶出試驗比較，各種試驗方法其設計與特性皆有所差異，應考慮物質所埋設的環境及目的而選用適合的方法。

表 2.11 各種溶出試驗方法比較

測試方法	摘要	方法編號	目的
Leaching test 淋洗試驗	直徑為 100mm，長度 300mm，厚度 6mm 的玻璃管柱。最大試料粒徑為 10mm。在浸出飽和時間內，收集浸出液並分析其內容物。	ASTM D 4874 (美國)(2006)	滲出液之有機、無機、半揮發性和非揮發性的化合物分析，代表整個材料中的物理性，化學性和生物性。
Column Test 動態溶出管柱試驗	以直徑 25cm，高 4.5cm，類似圓餅狀，以最大限度減少操作時間，來獲得其脫附曲線。	PCLT (1996) (Myers, Brannon, and Tardy 1996)	應用於低離子強度淋洗液在不穩定河口的沉積物，使膠體物(鹽類)沖洗出來做分析。
Column Test 動態溶出管柱試驗	以內部直徑 5cm(±0.5cm)，高度至少為內部直徑 4 倍以上。以去礦化水及酸化水 (HNO ₃ 1±0.1 mol/L，分析純質量) 的導電率小於 1μS/cm 做為浸洗液)，L/S 分別以 0.1，0.2，0.5，1，2，5，10 七個階段溶出分析。	NEN 7343 (荷蘭)	應用於泥土，石頭建材和廢棄材料的淋洗特徵。測定粒狀物與無機物浸出的管柱試驗。
Upflow percolation test 上流式浸透試驗	試料粒徑小於 4mm，以去礦化水為溶劑，固液比 (L/S)=0.1-10，約 21 天作七次溶出分析。	prEN 14405 (歐洲)(2004)	應用於無機與有機污染物的溶出狀況。



2.5.2 國內外管柱實驗探討

以蒸餾水為溶出劑進行底渣管柱溶出實驗，顯示因鈉離子、氯離子、鉀離子等多存在於可溶性鹽中，故在溶出試驗剛開始時測得較高濃度。鈣、硫酸根、鋇、鋅、矽、鋁、鉛離子的溶出濃度則較為穩定，這些離子的鹽類溶出極少(Hyks et al., 2009)。

有研究則指出，管柱實驗溶出量和溶出流速並無明顯關係，但底渣的自然風乾時間會影響鉛、鉻、銅、鋅金屬的溶出量 (Rosende et al., 2008)。

以檸檬酸、檸檬酸銨等六種溶出液來試驗對於底渣的溶出效果；實驗結果顯示檸檬酸和檸檬酸銨對於銅的溶出為較佳的方式 (Van Gerven et al., 2007)。

從都市固體廢物焚燒後所產生的底渣，在鹼性條件下以不同溶出液去除其中之重金屬，包含：硝酸銨，硫酸銨，醋酸銨，檸檬酸銨鹽等混合物。其中檸檬酸銨能促進鉻、銅、錳、磷、銻、鐵的流動性，尤其是鐵，而利用硝酸銨促使鎂溶出更為顯著，檸檬酸銨和尿素併用則增加鐵之溶出 (Takahashi et al., 2010)。

國內相關底渣再利用級配之重金屬溶出特性研究，選用三種都市垃圾焚化爐之焚化底灰為研究標的，分別於台灣地區三座焚化爐採樣底灰進行試驗，A 廠位於北部區域，屬都市型焚化爐，屬於都市型焚化爐，日處理量 900 噸，B 廠位於北部近郊，為混燒式爐床，日處理量 1350 噸，C 廠位於中部區域，日處理量 900 噸。此實驗結果顯示，A、B、C 廠連續用酸雨淋洗後，整體趨勢觀察其鉛和銅之溶出量隨時間增加而增加，亦即在連續酸洗下，鉛和銅都還有溶出的潛勢。至於鉻和鎘其累計溶出的量較低，隨時間增加而溶出濃度呈現遞減之現象，累計溶出量趨緩，甚至無溶出的情況發生。連續以模擬酸雨 (pH 值為 5.20 ± 0.05) 淋洗後，重金屬的溶出貢獻度不容易從粒徑分佈變化比較其規律性，即 A、B、C 三廠的焚化底灰在模擬酸雨連續動態之淋洗下，粒徑分佈與溶出累積量之關係未有共同趨勢。由長期管柱溶出試驗觀察結果，可推斷底渣在前 20 天的溶出行為較具監測意義

(趙永楠, 2003)。

。淋洗時間越久，各金屬之可交換態與碳酸鹽鍵結態比例較少。而模擬酸雨連續動態試驗累積量皆以銅最多，隨著時間，銅有持續溶出的潛勢 (劉彥均, 2004)。



第三章 實驗方法與材料



3.1 實驗內容

本研究之主要設計以評估應用於道路鋪設工程之都市垃圾焚化底渣，經埋設不同年份後底渣之溶出物對環境可能產生的影響。所選擇研究的底渣分別為：未經埋設的底渣 e 級配料(為再利用工廠所製備之底渣利用級配料，是將垃圾焚化處理廠之底渣，經過初步分類、磁選、篩分、風選後，予以噴灑穩定藥劑，所製備出之再生骨材)，埋設一年的道路底渣級配料(桃園龍潭)，以及埋設六年的道路底渣級配料(新北萬里)。

由於應用於道路鋪設的底渣為不同焚化爐之底渣 e 及配料混合理設，故未經埋設的底渣 e 級配料為不同焚化之底渣經處理與加藥後混合，以四分法均勻採樣；應用於道路鋪設之底渣則是利用類似小型潛盾工法隨機取樣後加以混合均勻。利用動態管柱試驗模擬酸雨淋洗底渣之情況，以瞭解應用於道路鋪設之底渣其溶出特性。

圖 3.1 實驗室模擬試驗流程



3.2 實驗方法

3.2.1 基本特性分析

- (1) pH 值：水之氫離子濃度指數 (pH 值) 測定方法—電極法(NIEA W424.52A)
- (2) 導電度：水中導電度測定方法—導電度計法(NIEA W203.51B)
- (3) 氯離子：使用 IC 層析儀進行分析。
- (4) 總有機碳：水中有機碳檢測方法(NIEA W530.51C)—燃燒／紅外線測定法 TOC 分析儀 IL 550 TOC-TN。分析方法為：水樣均勻攪拌及適當稀釋或減量後，經微量注射針注入一內含催化劑（如氧化鈷、鉑金屬、鉻酸鉬）的加熱反應器內，水分會揮發掉，有機碳被氧化產生二氧化碳和水，無機碳轉換成二氧化碳，將這些二氧化碳以載流氣體送至非分散式紅外線分析儀，檢測所得為總碳濃度。另外，將水樣經由微量注射針注入另一個可將樣品酸化的反應器內，在酸性的條件下，僅無機碳轉換成二氧化碳，利用非分散式紅外線分析儀可測得無機碳濃度，再由總碳濃度減去無機碳濃度即為總有機碳濃度。
- (5) 重金屬總量試驗：使用土壤中重金屬檢測方法—王水消化法 (NIEA S321.63B)，以 ICP-AES 檢測。

依據環保署公告之土壤中重金屬檢測方法—王水消化法，其實驗步驟如下：

1. 秤取適量已經風乾處理之土壤樣品，依照「土壤水分含量測定方法—重量法」測定土壤中水分含量。
2. 同時另取土壤樣品約 3 g (精秤至 1 mg)，置於 250 mL 反應瓶中。
3. 先以 0.5 至 1 mL 水潤濕樣品。
4. 緩慢加入 21 mL 濃鹽酸，再慢慢加入 7 mL 濃硝酸，搖盪充分混合均勻。若樣品加酸會產生強烈氣泡，則需小心逐滴加入。
5. 在室溫下靜置於回流冷凝管 16 小時後，緩慢加熱溶液至迴流溫度，使溶液在沸



騰狀態下維持約 2 小時。加熱程度保持迴流區域在冷凝管高度三分之一以下。

6. 冷卻樣品至室溫後，以約 10 mL 0.5 M 稀硝酸沖洗冷凝管，並收集於反應瓶中。

7. 將反應瓶中溶液倒入 100 mL 量瓶中，以 0.5 M 稀硝酸沖洗反應瓶，並收集於此量瓶中，再加水至標線，加蓋並搖勻。

8. 待不溶物沈降後，取上澄液分析。若不溶物不易沈降，需藉過濾、離心等方法移除，以免在霧化時堵塞原子吸收光譜儀之噴霧裝置或其他分析儀器之樣品進入裝置。最後以感應耦合電漿原子發射光譜法 (NIEA W311.52C) 分析。

(6) 重金屬溶出濃度：使用水中金屬及微量元素檢測方法—感應耦合電漿原子發射光譜法 (NIEA W311.52C)

(7) 底渣採樣方法：廢棄物焚化灰渣採樣方法 (NIEA R119.00C)

依據環保署公告之廢棄物焚化灰渣採樣方法之最終樣品，其實驗步驟如下：

1. 底渣或無害化產物之初步樣品，應以 9.5 mm 標準篩進行篩分，篩分前，結成團狀易碎的底渣塊應先以採樣鏟或鐵鎚壓碎。

2. 通過篩網的底渣或無害化產物量，應至少在 8 公斤以上，此時應將通過篩網的底渣或無害化產物及留於網上的殘留物予以稱重記錄。

3. 飛灰、無害化產物及經過篩的底渣等初步樣品，分別將其充分混合後以四分法進行縮分，每次保留對角兩份，經數次縮分後，取得檢驗室規定重量 / 數量之最終樣品，置入容器內密封。

(8) 粒徑分析：從底渣 e 級配料、埋設一年多的道路底渣級配料(桃園龍潭)，以及埋設六年多的道路底渣級配料(新北萬里)取 8-9 kg 底渣，經自然風乾後，以 ASTM 規格篩網作篩分，統計每次過篩的底渣重量，再將其各粒徑區間之底渣重量累計，計算其重量分佈比粒，並與篩網粒徑作圖，可得粒徑分佈曲線，依分佈曲線結果求出各樣品之 d_{10} ， d_{30} ， d_{65} ， d_{90} 。隨後將底渣總量樣品依此分佈篩分成四種粒徑樣品，分別為： d_{10} - d_{90} ， d_{65} - d_{90} ， d_{30} - d_{65} ， d_{10} - d_{30} 。

篩網:ASTM 規格篩網，分別取編號 12、15、18、21、24、30、33、36、39 號篩網進行篩分。



3.2.2 動態溶出試驗


動態溶出試驗為將待評估樣品填充於管柱中，由萃取液已連續通量流入貫穿之方式，連續與樣品接觸，而收集濾液分析，此方法較符合模擬一般實場之溶出情境。本研究為模擬焚化底渣經酸雨長期淋洗後，評估重金屬溶出之長期潛勢，分別將篩分後的底渣粒徑 $d_{10}\sim d_{90}$ 、 $d_{10}\sim d_{30}$ 、 $d_{30}\sim d_{65}$ 、 $d_{65}\sim d_{90}$ 共四組底渣樣品置於管柱中，以蠕動泵打入萃取液，即以柱塞式向上流之方式連續打入模擬酸雨的萃取液，以萃取液淋洗底渣後，採取出流水樣分析其重金屬溶出濃度。因不同粒徑壓密度不一，填充孔隙度亦有差異。萃取液淋洗流速控制 24 ml/hr~36 ml/hr，設計採樣時間為:5 hr，24 hr，隨後每天採樣一次，取樣後添加硝酸使其 $\text{pH}<2$ ，保存於 4 °C 以下，最後以 ICP-AES/AA 分析檢測重金屬溶出時，結果以時間之溶出濃度與累積溶出量表示。並定期監測溶出液之 pH、導電度、氯離子、TOC、重金屬。

實驗室模擬試驗設備：管柱材質為玻璃製成，直徑 5 cm(± 0.5 cm)，高度 40 cm，進出水相距高度 30 cm，管柱上下端置放一多孔狀散水盤以使進出水流均勻分散，灰渣填充量 350 公克，加入適量水（約 100 至 130 mL），使土樣浸泡於水中，蠕動幫浦以上流式打入淋洗液，以減少短流現象之發生。

淋洗液:DI water 之 $\text{pH} = 6.82$ 與濃度 10^{-5} M 之 HNO_3 溶液， pH 值維持在 $5 (\pm 0.5)$ 。

動態管柱試驗的配置過程及實驗條件說明如下：

1. 使用之管柱直徑為 5 公分，長度為 40 公分。
2. 在填充底渣樣品之前，在底部放置一不織布，以防止土樣流失

- 
3. 加入適量水 (約 100 至 130 mL)，並每支管柱填充 350 g 之底渣樣品，使底渣浸泡於水中，再以淋洗液進行淋洗，已達均勻化。
 4. 淋洗液為 DI water (pH = 6.82) 與 10^{-5} M 之 HNO₃ 溶液，pH 值維持在 5 (± 0.5)。
 5. 用定量幫浦以 800 mL/day 的流量流入每支管柱，將淋洗液自管柱下方加入。
 6. 管柱與溶出液之瓶子，均用鋁箔紙密封開口，以避免灰塵的干擾。
 7. 取樣頻率：第一天第 5、24 小時，第二天後每 24 小時取樣。
 8. 每次取樣頻率時紀錄滲出液的體積、pH 值、導電度，並分析氯鹽、TOC、及重金屬濃度。

實驗主要模擬酸雨的淋洗，理論的 pH 值小於 5.6 即為酸雨，現今台灣酸雨現況為 4.96，而台灣北部酸雨幾乎為 4.7(台灣酸雨資訊網)，因此配製 10^{-5} M 的硝酸使 pH 介於 4.5-5.5 之間，以模擬酸雨的情況。

總淋洗量： $800 \text{ mL/day} \times 10 \text{ day} = 8,000 \text{ mL}$ ，將之除以管柱面積(約為 20 cm^2)，此約為 4,000 mm 的降雨量，而參考新北、台北、桃園地區最近幾年的降雨量，約等於 2-3 年的降雨淋洗量。

表 3.1 台北市、新北市、桃園縣 2006-2011 之年降雨量 (單位: mm)

	台北市	新北市	桃園縣
2011	1592	1909	1782.5
2010	1889.8	2291	1875
2009	1347.9	1616.5	1162
2008	2687.9	2720.4	2385.5
2007	2439.7	3018.7	2569
2006	2160.6	2285.3	2399.5

第四章 結果與討論



4.1 底渣 e 級配料

4.1.1 粒徑分佈

底渣 e 級配料經篩分後，作粒徑分佈曲線，如圖 4.1 所示，其粒徑之 d_{10} ， d_{30} ， d_{65} ， d_{90} 分別為 1.651mm，2.794mm，4.699mm 與 9.5mm。本研究實驗控制之粒徑分佈分為四組，分別為 d_{10} - d_{90} (1.651mm-9.5mm)， d_{65} - d_{90} (4.699mm-9.5mm)， d_{30} - d_{65} (2.794mm-4.699mm)， d_{10} - d_{30} (1.651mm-2.794mm)

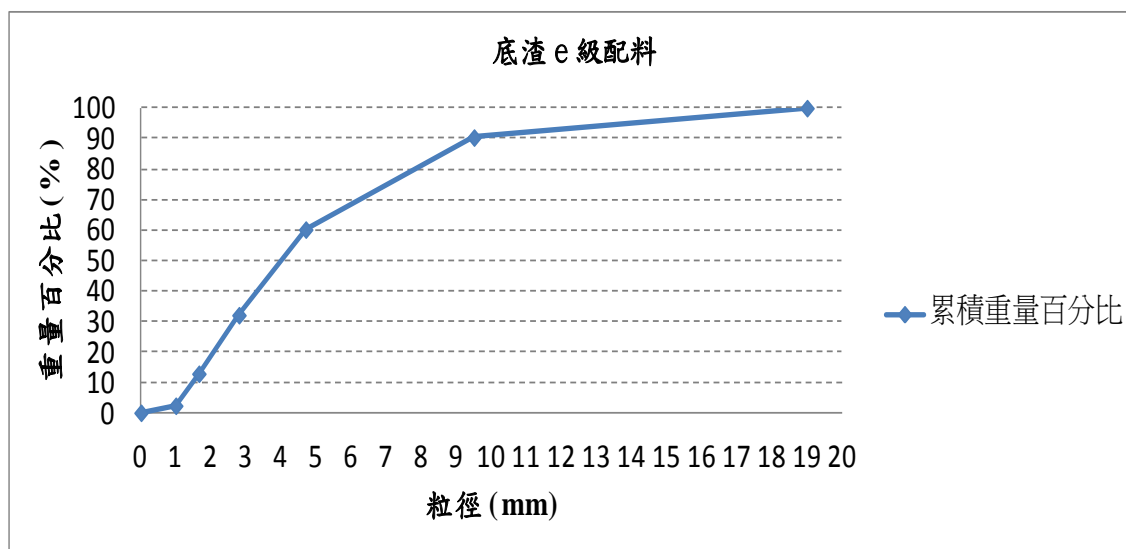


圖 4.1 底渣 e 級配料之粒徑分佈曲線

4.1.2 重金屬總量分析

從底渣 e 級配料之重金屬總量檢測出之數值圖 4.2 來看，含量較高之重金屬為鋅、鉛、銅，鋅含量最高(3248 mg/kg-3555 mg/kg)，銅含量次之(1815 mg/kg-2146 mg/kg)，鉛含量最低(531 mg/kg-604 mg/kg)。含量較低之重金屬為鉻(146

mg/kg-231mg/kg)與鎘(3.3 mg/kg-8.3 mg/kg)。

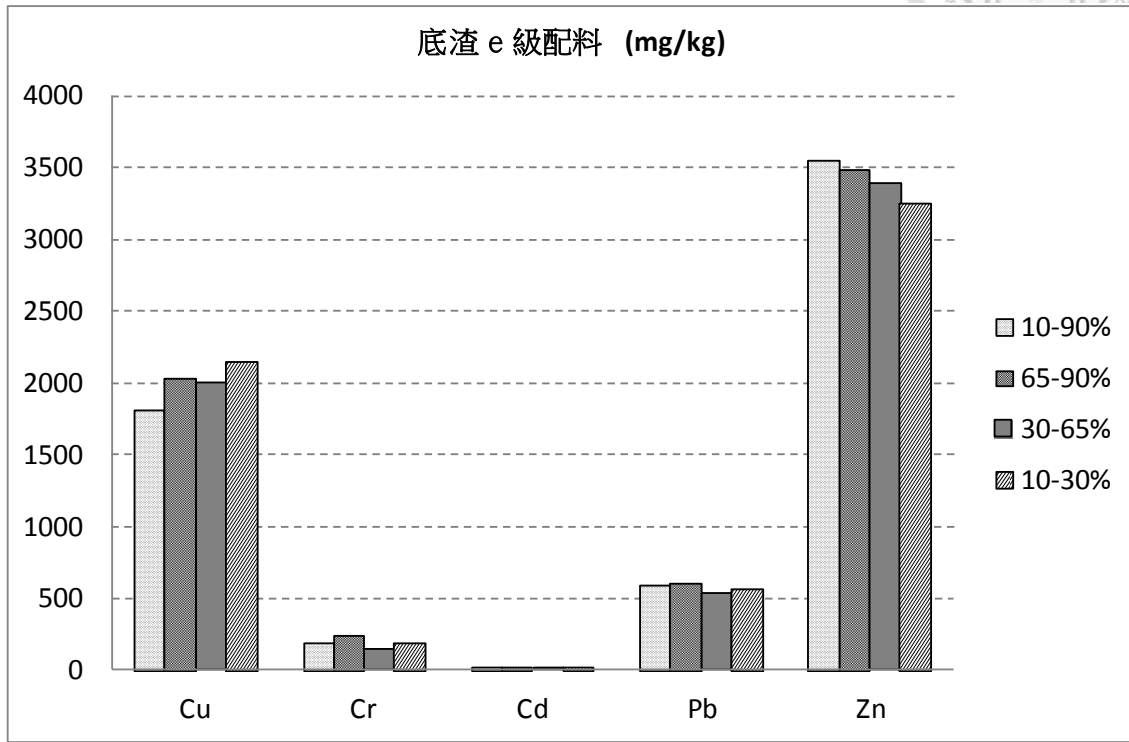


圖 4.2 底渣 e 級配料在不同粒徑分佈之重金屬總量

4.1.3 動態管柱實驗

將底渣 e 級配料進行動態管柱試驗，所取得的溶出液進行分析後，圖 4.3 至圖 4.6 分別為不同粒徑範圍(d_{10} - d_{90} ， d_{65} - d_{90} ， d_{30} - d_{65} ， d_{10} - d_{30})在不同溶出液(硝酸與 DI water)的試驗結果，將 pH、導電度、氯鹽、TOC 隨時間的變化做圖比較。在溶出試驗 10 天中發現 pH 值約在 11~12 左右，在第一天的硝酸溶液淋洗中，導電度、氯鹽、TOC 皆有明顯的溶出(d_{10} - d_{90} 之導電度:2630 至 12610 $\mu\text{s/cm}$ ；氯鹽:13598 至 19503 mg/L；TOC:90 至 500 mg/L， d_{65} - d_{90} 之導電度:670 至 9150 $\mu\text{s/cm}$ ；氯鹽:1625 至 14016 mg/L；TOC:24 至 328 mg/L； d_{30} - d_{65} 之導電度:1868 至 13660 $\mu\text{s/cm}$ ；氯鹽:2659 至 13879 mg/L；TOC:55 至 667 mg/L； d_{10} - d_{30} 之導電度:12060 至 15780 $\mu\text{s/cm}$ ；氯鹽:13335 至 16594 mg/L；TOC:345 至 748 mg/L)；在第一天

的 DI water 溶液淋洗與硝酸淋洗的趨勢相同，pH 值約在 11~12 左右，導電度、氯鹽、TOC 有明顯的溶出。

圖 4.7 至圖 4.14 中為不同粒徑範圍($d_{10}-d_{90}$ ， $d_{65}-d_{90}$ ， $d_{30}-d_{65}$ ， $d_{10}-d_{30}$)在不同溶出液(硝酸與 DI water)之試驗結果，將重金屬(Cd、Cr、Cu、Pb、Zn)溶出濃度與累積總量隨時間的變化做圖比較。圖 4.7 和圖 4.8 在硝酸溶液與圖 4.11 和圖 4.12 在 DI water 溶液溶出試驗比較發現，使用硝酸溶液所溶出之重金屬濃度為相似或較高。以重金屬溶出濃度來看，Cu 初期溶出的濃度最大(小於 5 mg/L)，鉛與鋅初期也有溶出，除 $d_{10}-d_{90}$ 第一天所溶出的濃度略高於地下水污染管制法規標準(0.5 mg/L)，其於皆低於標準，且隨著時間的增加，重金屬溶出已漸漸平穩且並無明顯溶出；而圖 4.8 重金屬溶出累積量 Cu 累積量最大：3.22~4.76 mg，Pb 累積量為 0.25~2.54 mg，Zn 累積量為 0.23~1.97 mg，鉻在溶出試驗後期逐漸被淋洗出，但其溶出量與累積量都偏低。

此外，由個別重金屬於不同粒徑下探討累積溶出之趨勢，如圖 4.9、圖 4.10 圖、圖 4.13 與圖 4.14，鉻以 $d_{10}-d_{30}$ 含量最高， $d_{30}-d_{65}$ 含量次之；銅以 $d_{10}-d_{30}$ 之累積量最高， $d_{65}-d_{90}$ 含量為最低；鉛以 $d_{10}-d_{90}$ 之累積量為最高， $d_{30}-d_{65}$ 含量最低；鋅在硝酸溶液中以 $d_{10}-d_{90}$ 累積量為最高，在 DI water 則以 $d_{65}-d_{90}$ 為最高。

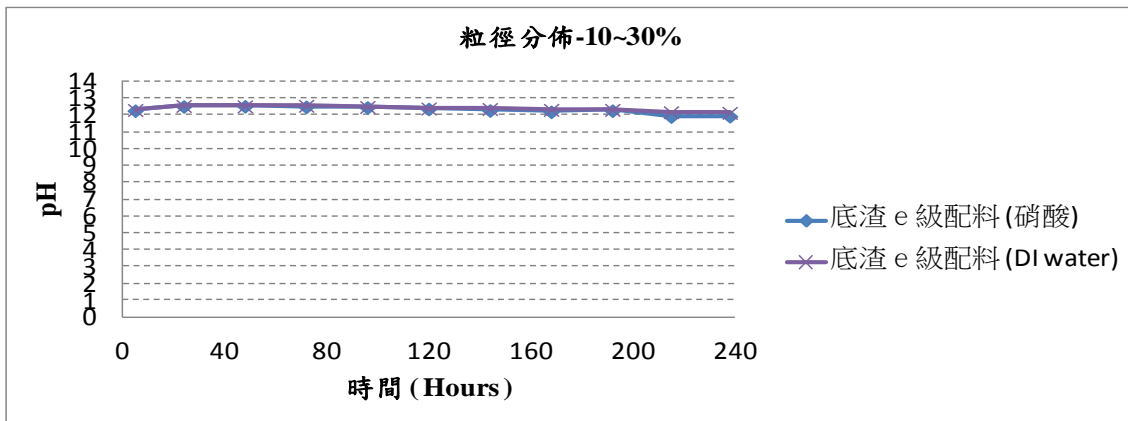
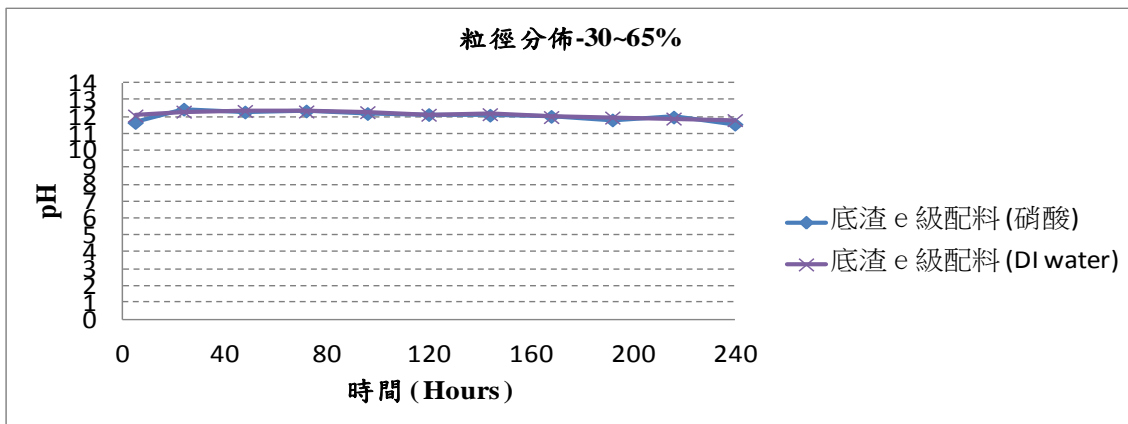
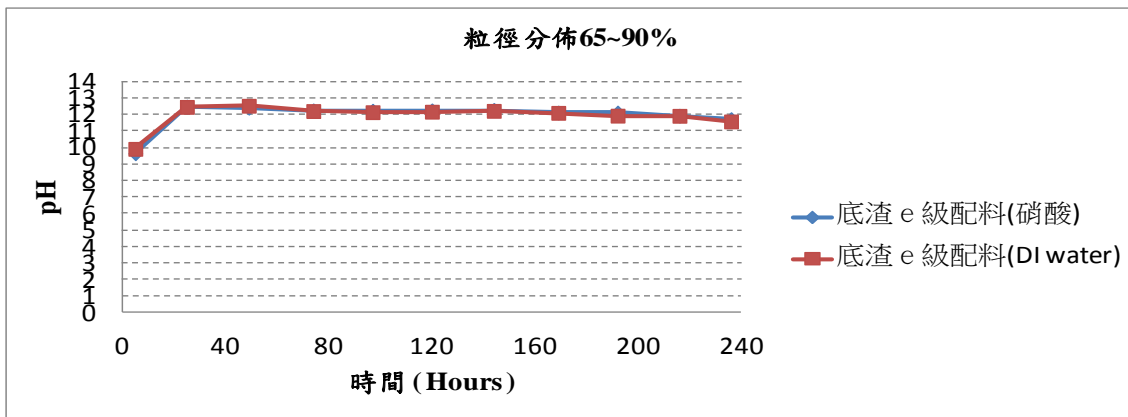
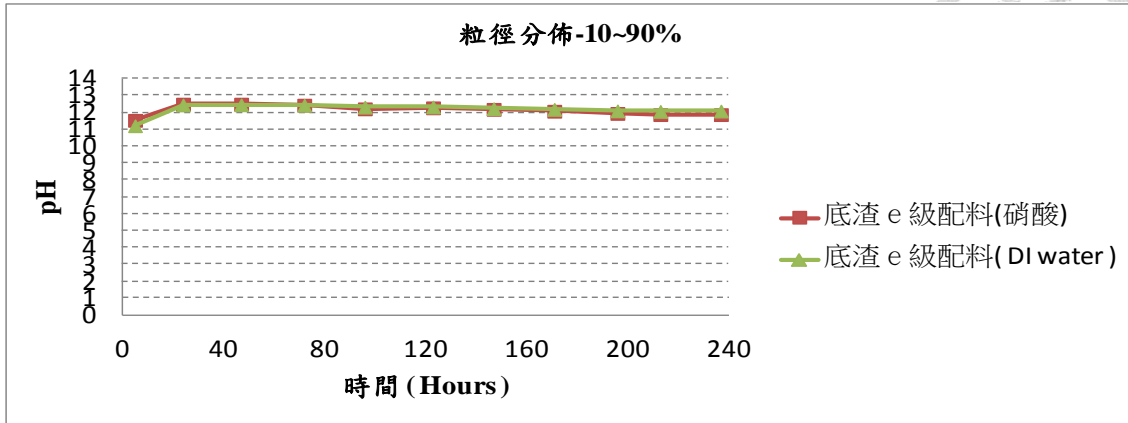


圖 4.3 底渣 e 級配料在不同粒徑重量百分比下 pH 值溶出變化

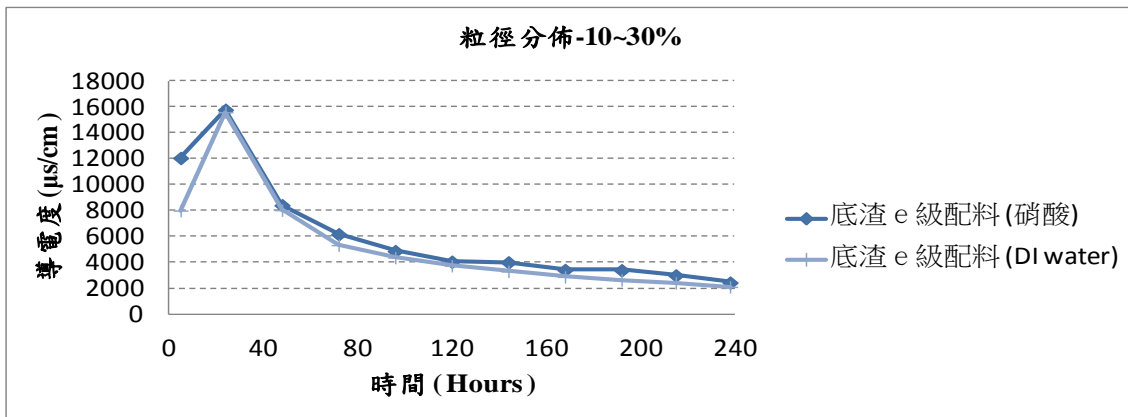
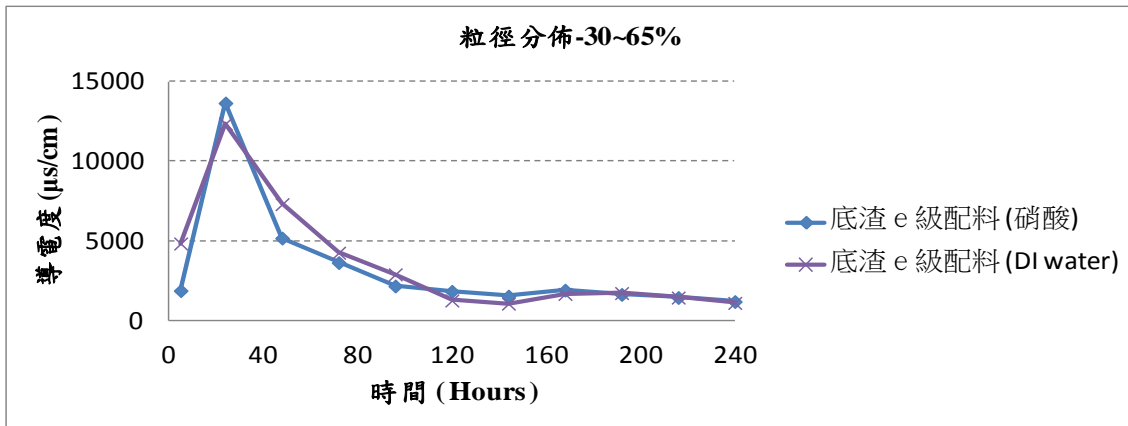
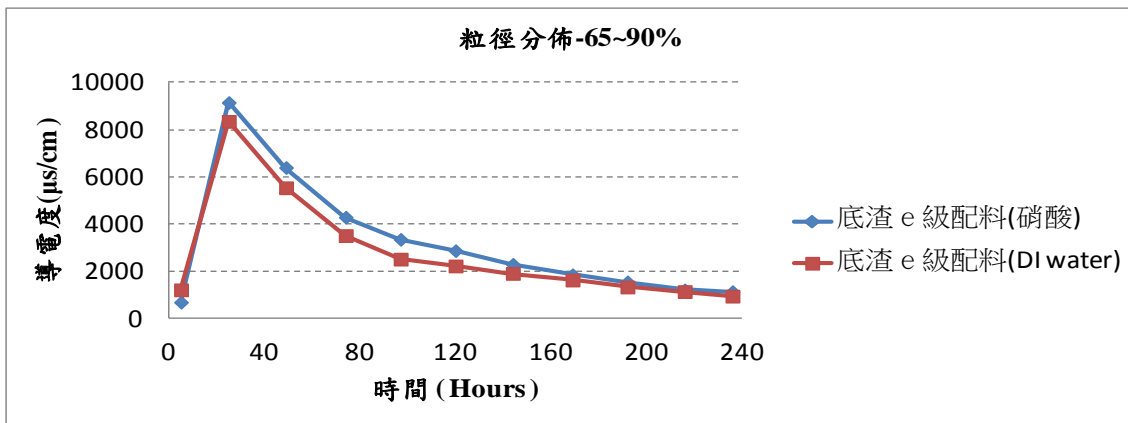
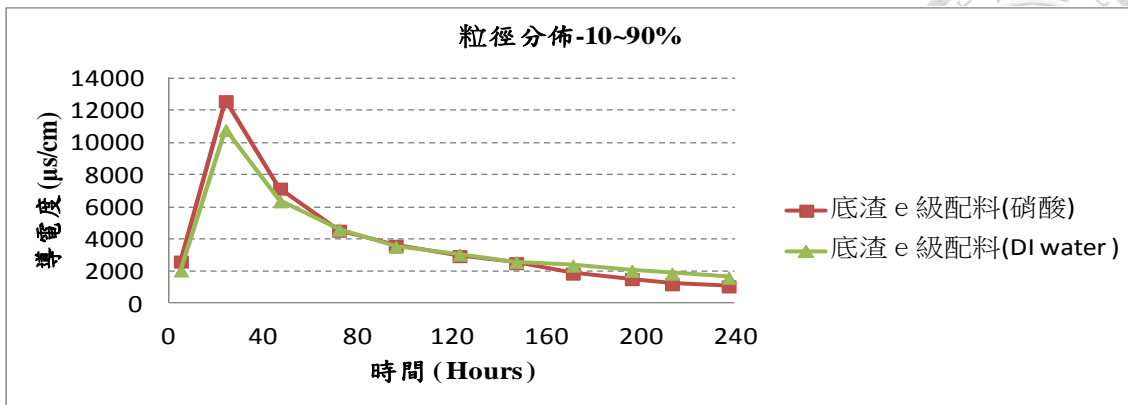


圖 4.4 底渣 e 級配料在不同粒徑重量百分比下導電度溶出變化

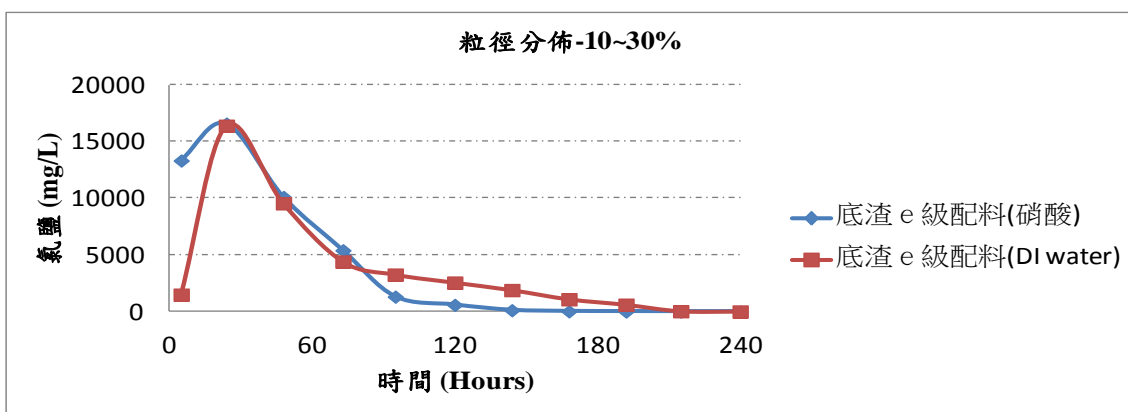
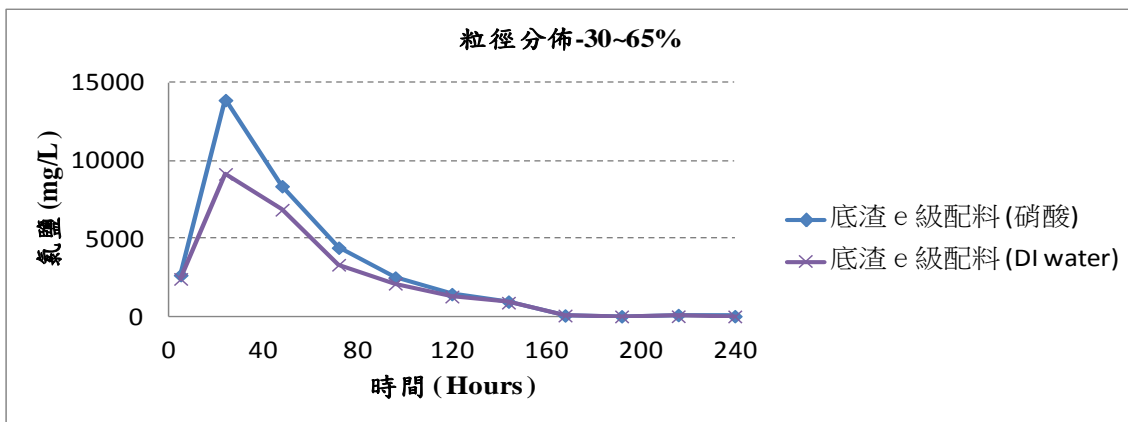
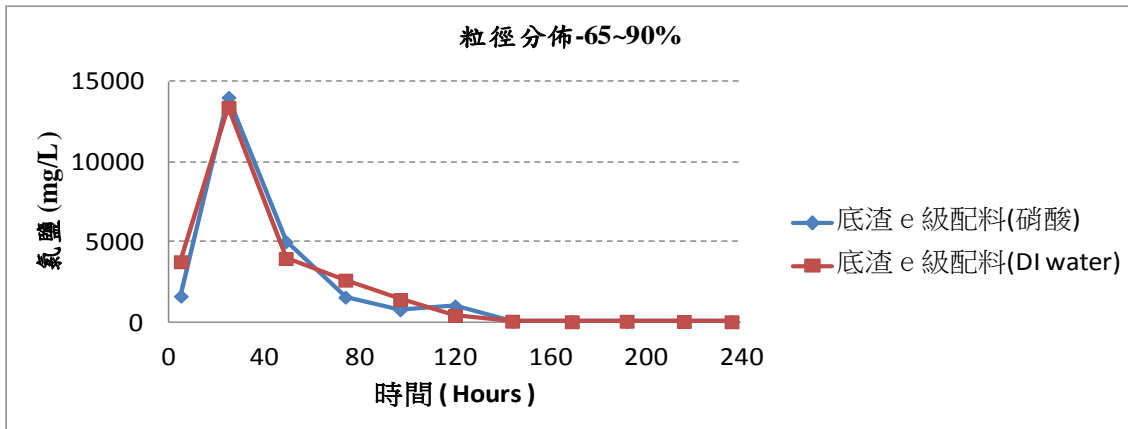
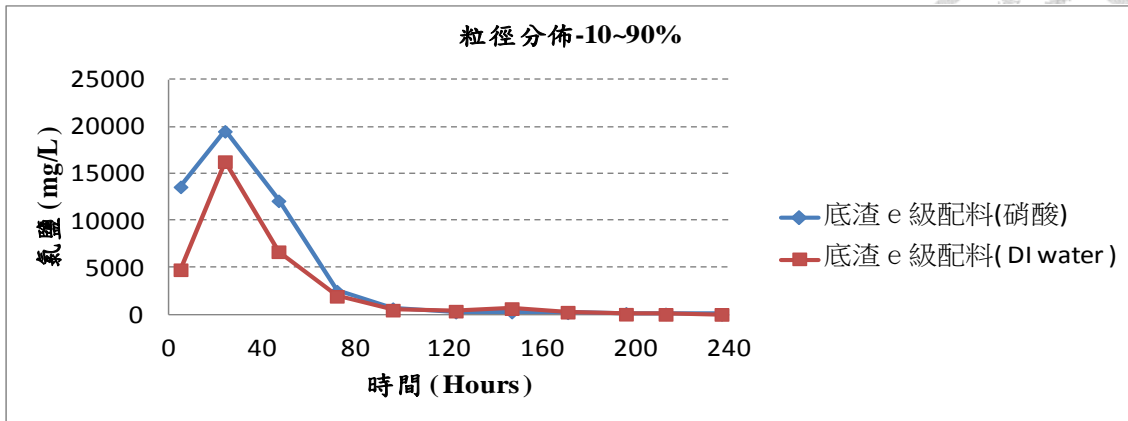


圖 4.5 底渣 e 級配料在不同粒徑重量百分比下氯鹽溶出變化

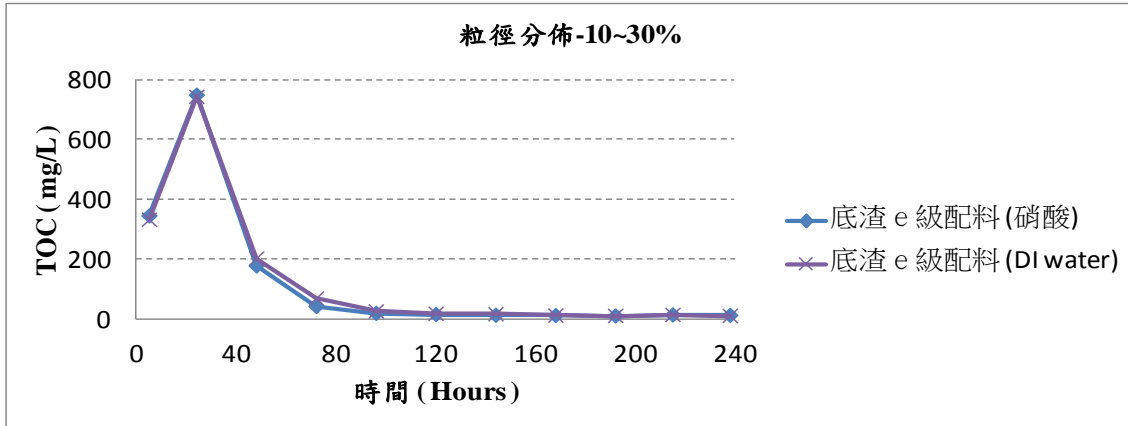
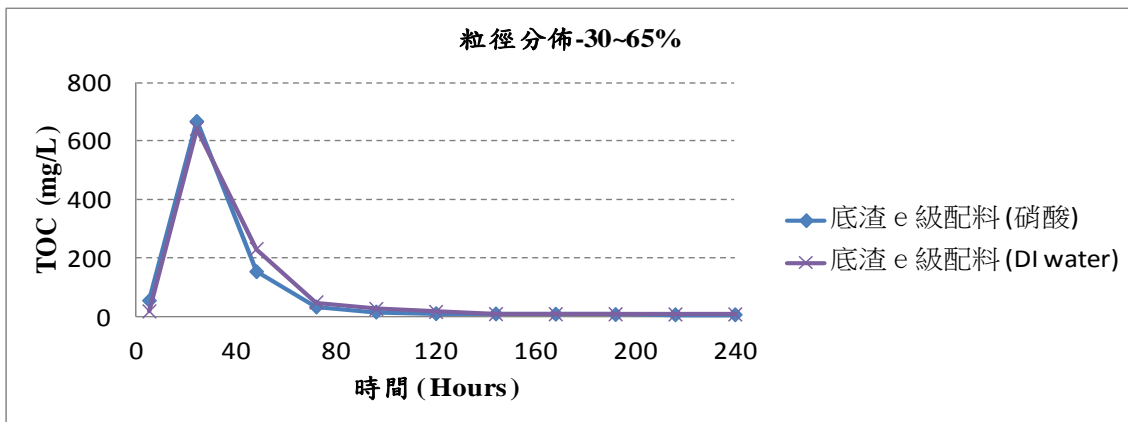
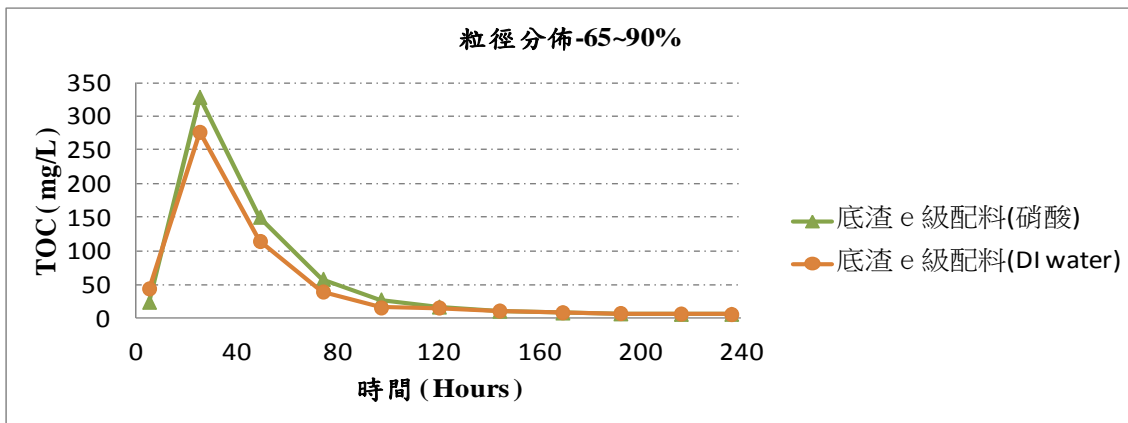
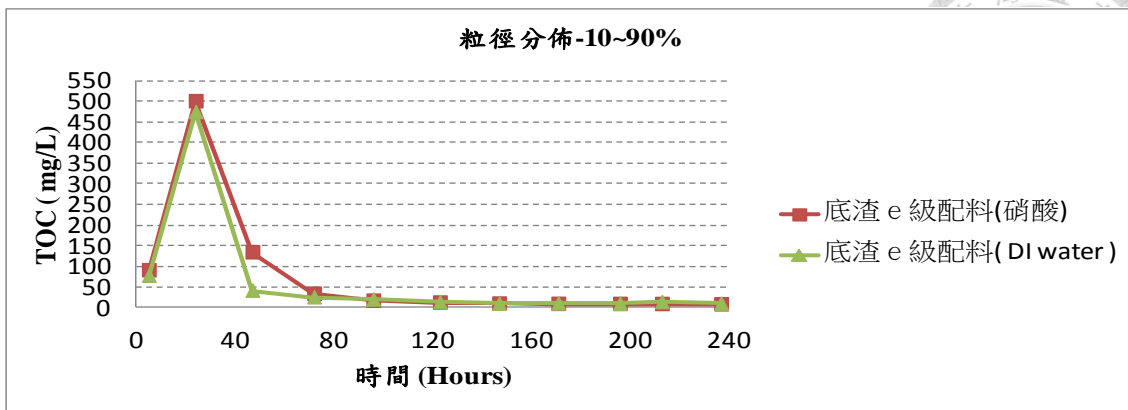


圖 4.6 底渣 e 級配料在不同粒徑下 TOC 溶出變化

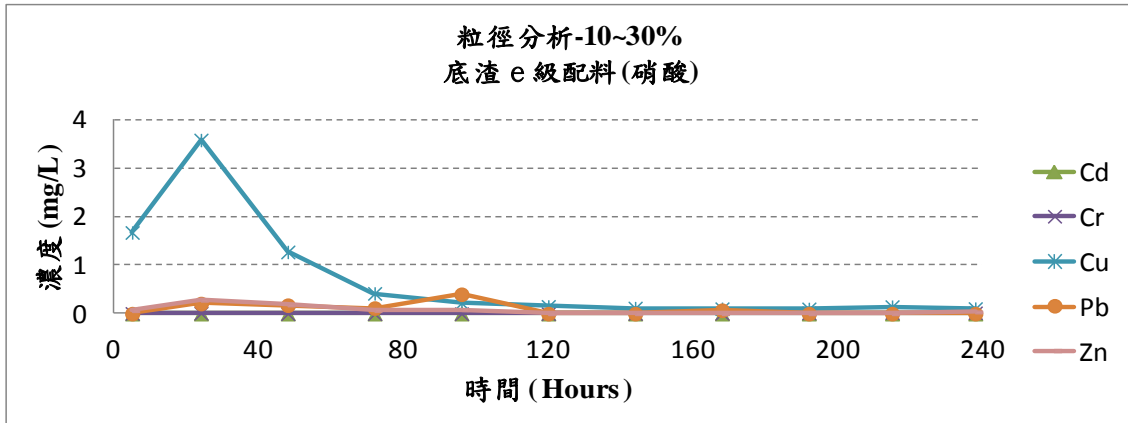
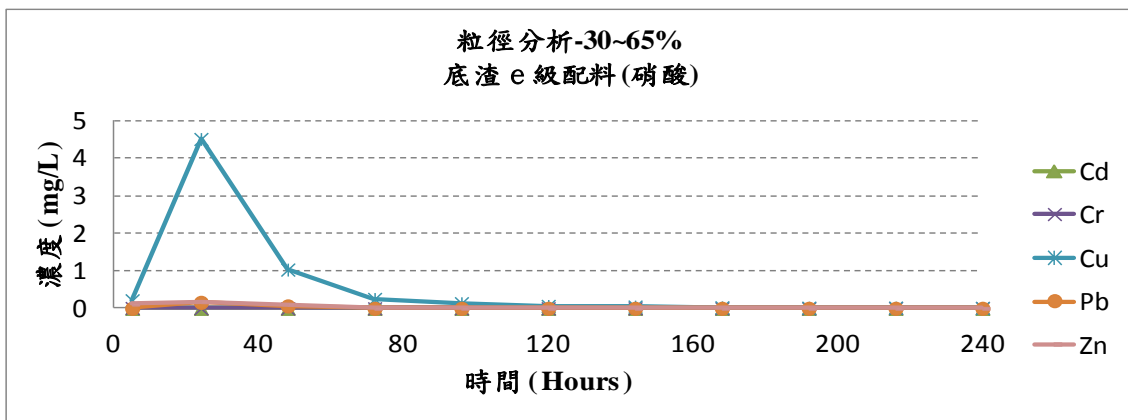
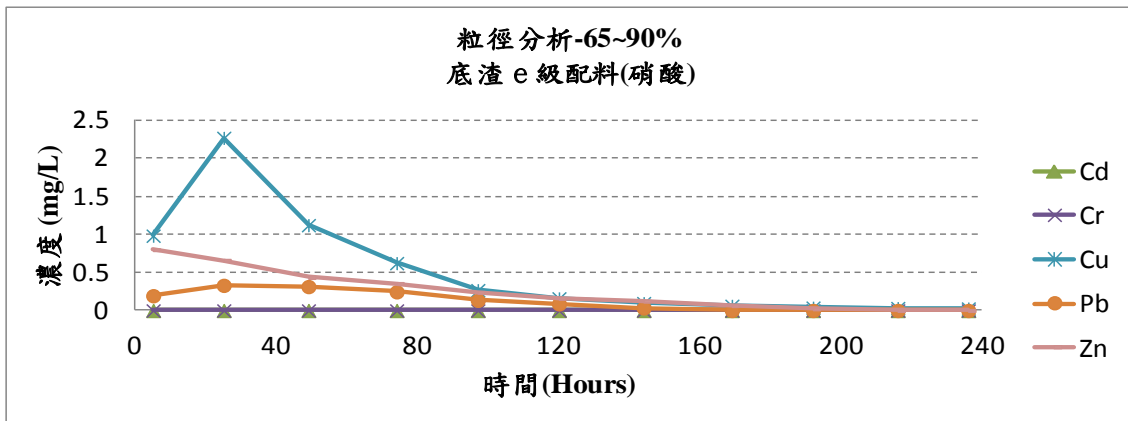
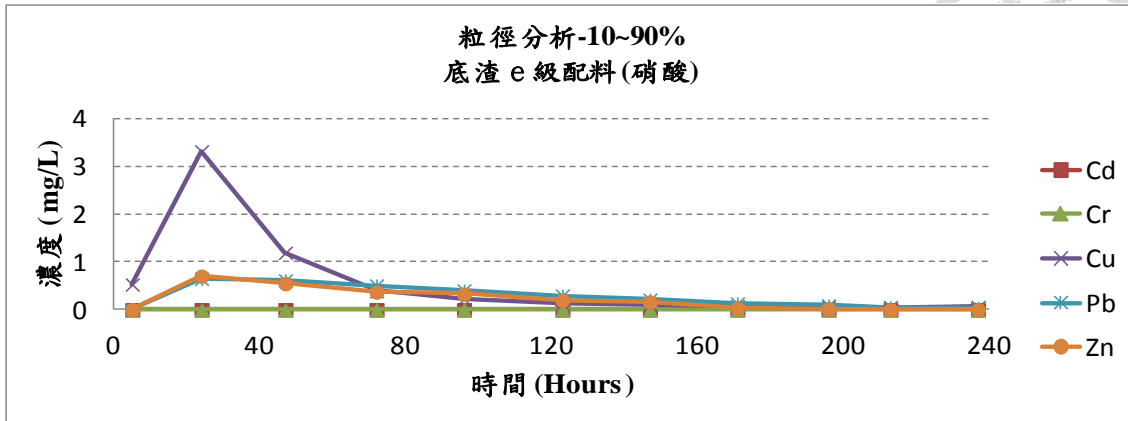


圖 4.7 底渣 e 級配料在不同粒徑重量百分比下重金屬溶出濃度(硝酸)

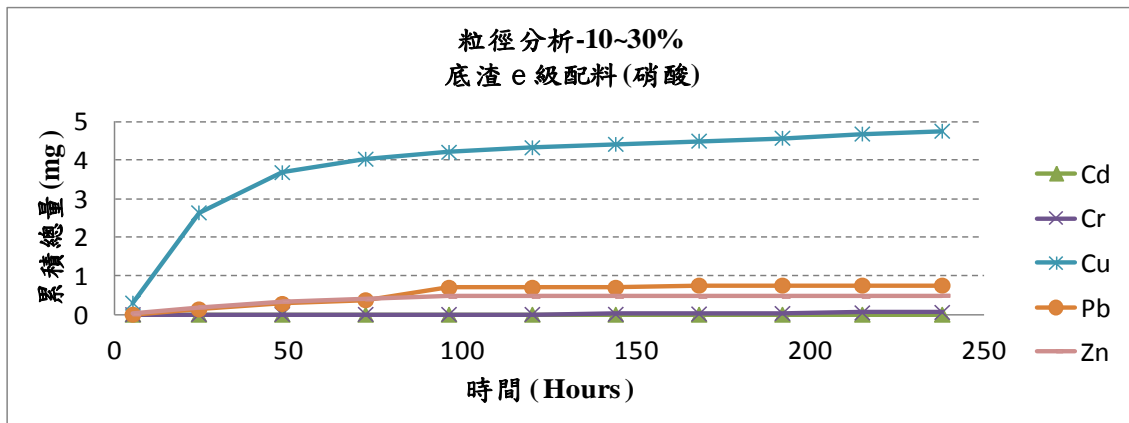
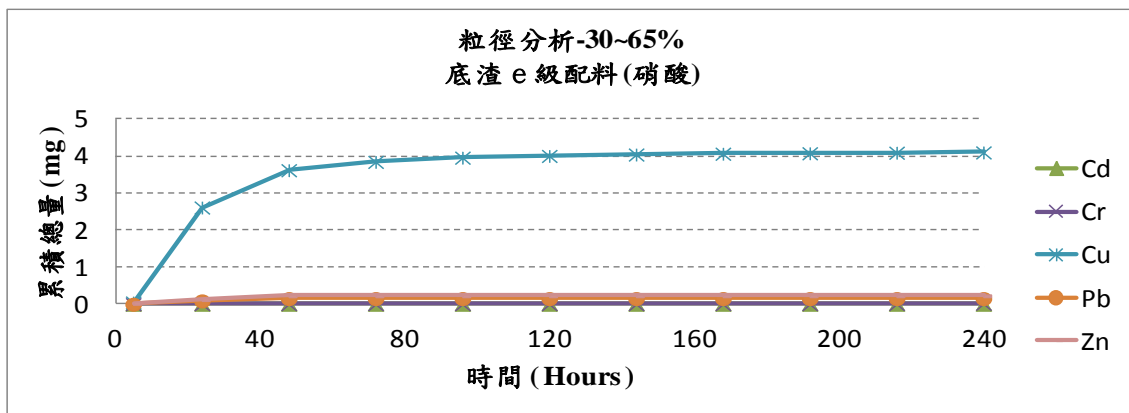
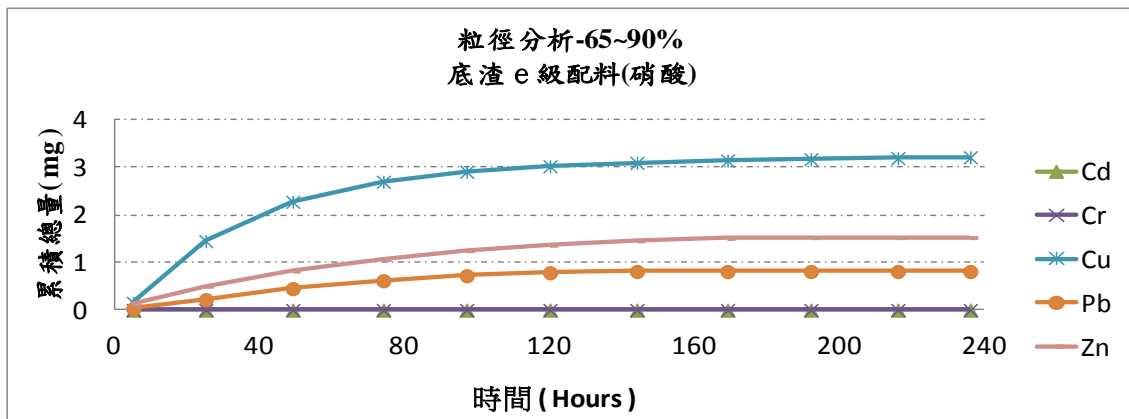
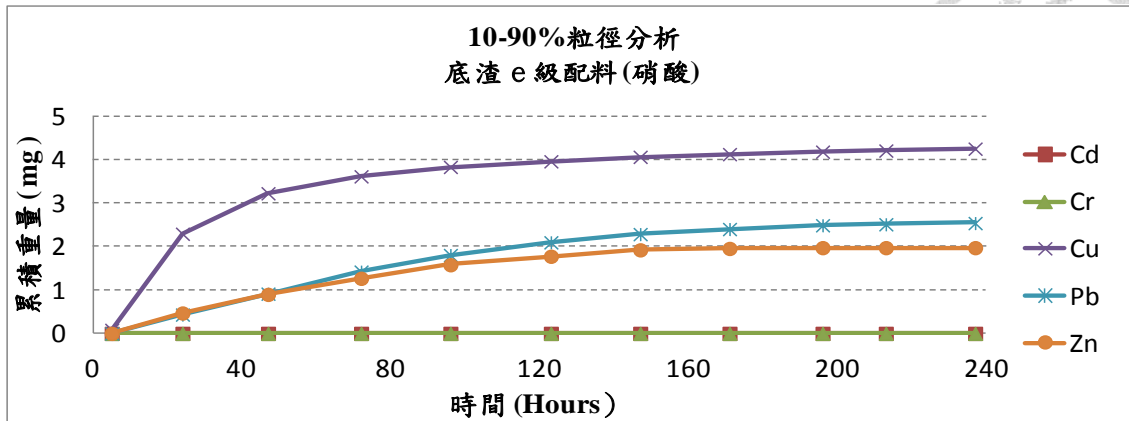


圖 4.8 底渣 e 級配料在不同粒徑重量百分比下重金屬累積重量(硝酸)

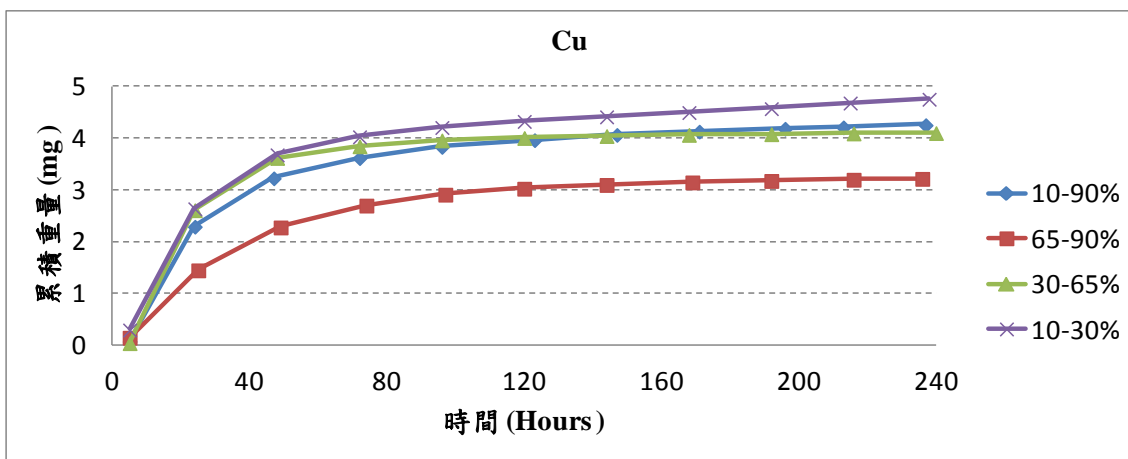
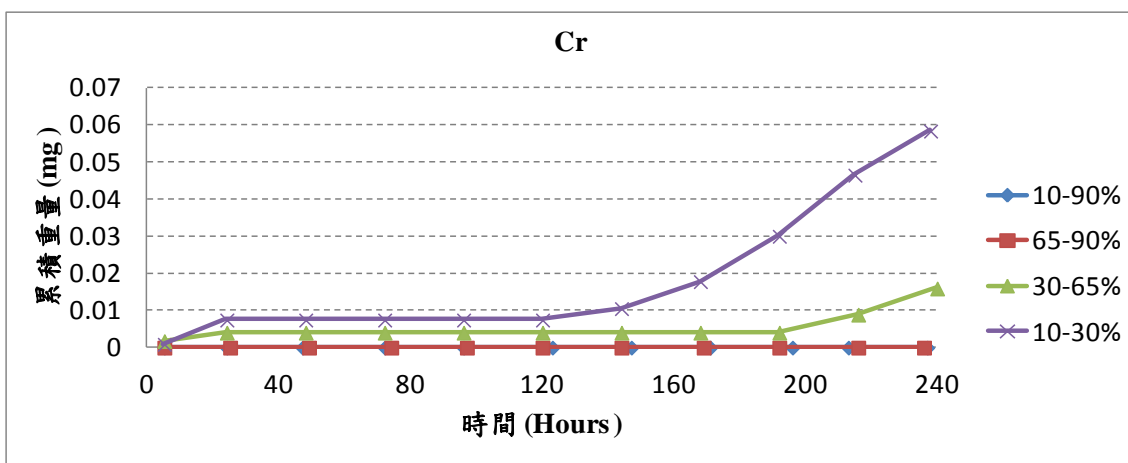
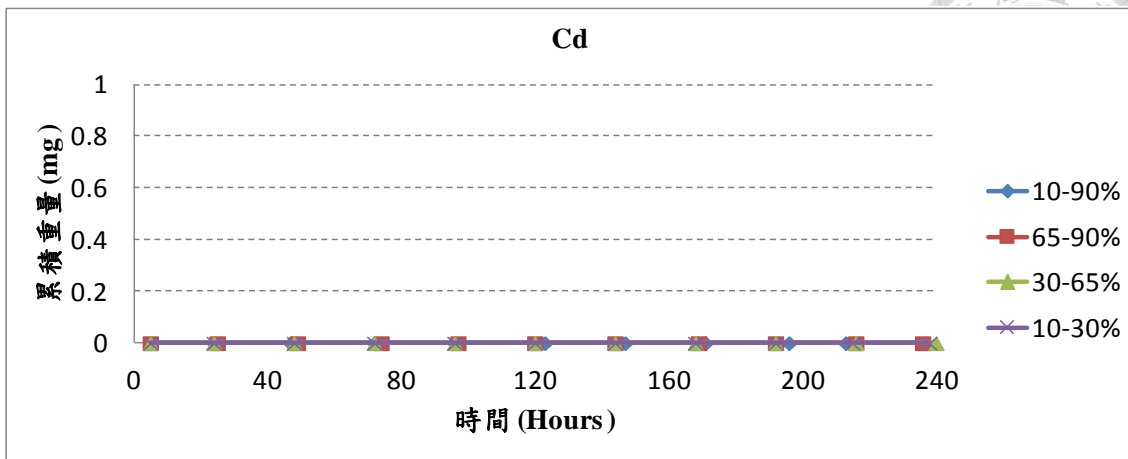


圖 4.9 底渣 e 級配料在不同重金屬於各粒徑下之累積重量(硝酸)

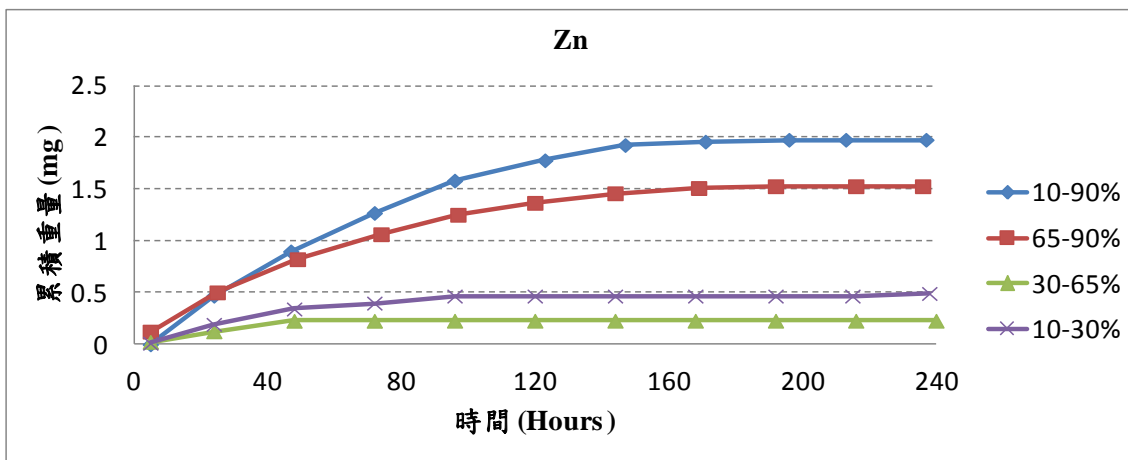
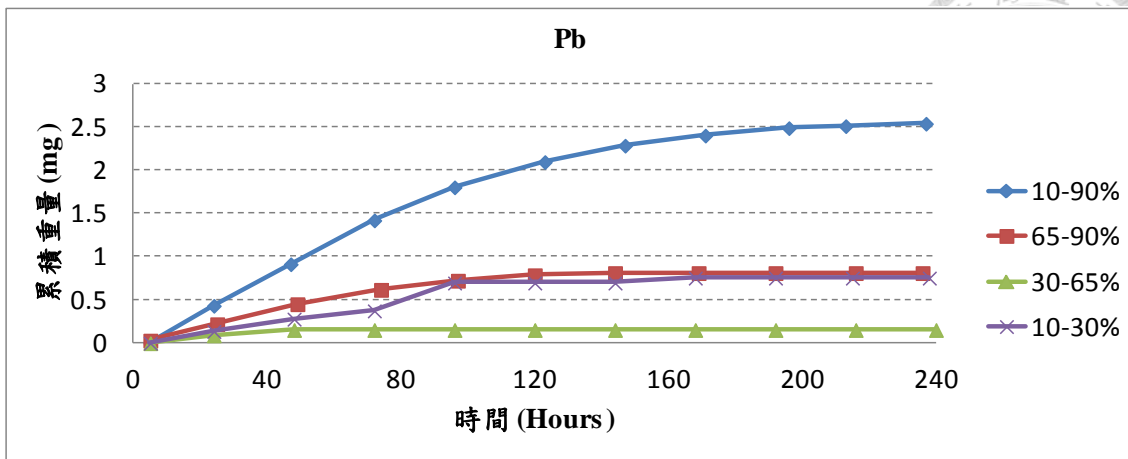


圖 4.10 底渣 e 級配料在不同重金屬於各粒徑下之累積重量-續(硝酸)

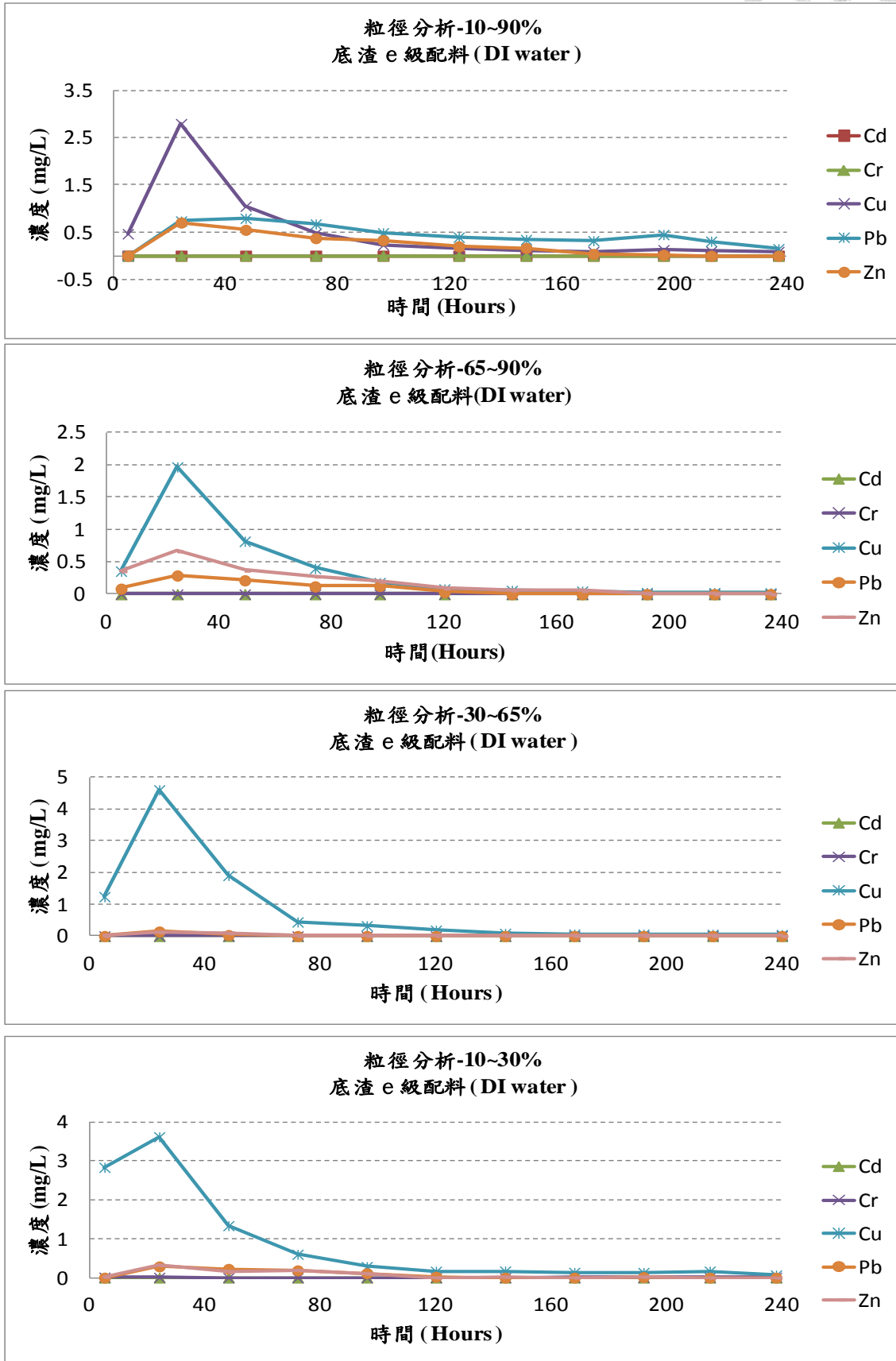


圖 4.11 底渣 e 級配料在不同粒徑下重金屬溶出濃度(DI water)

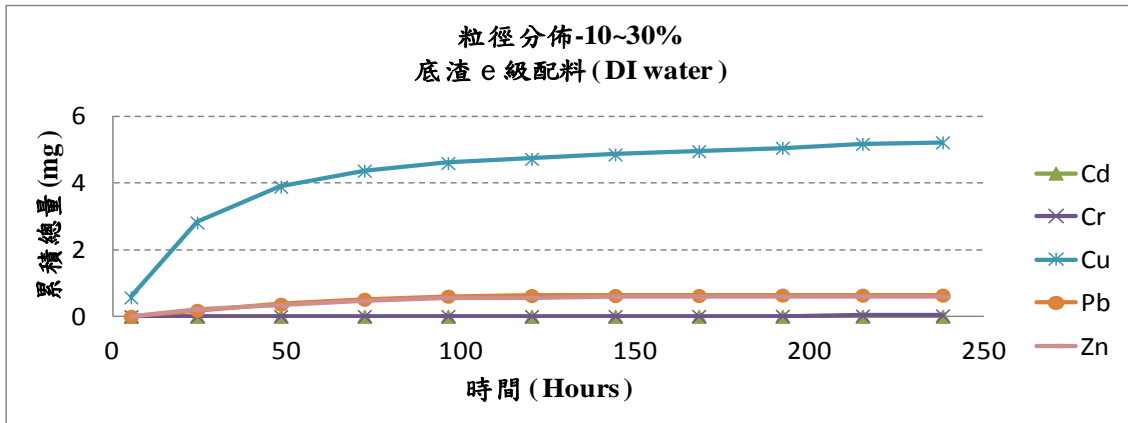
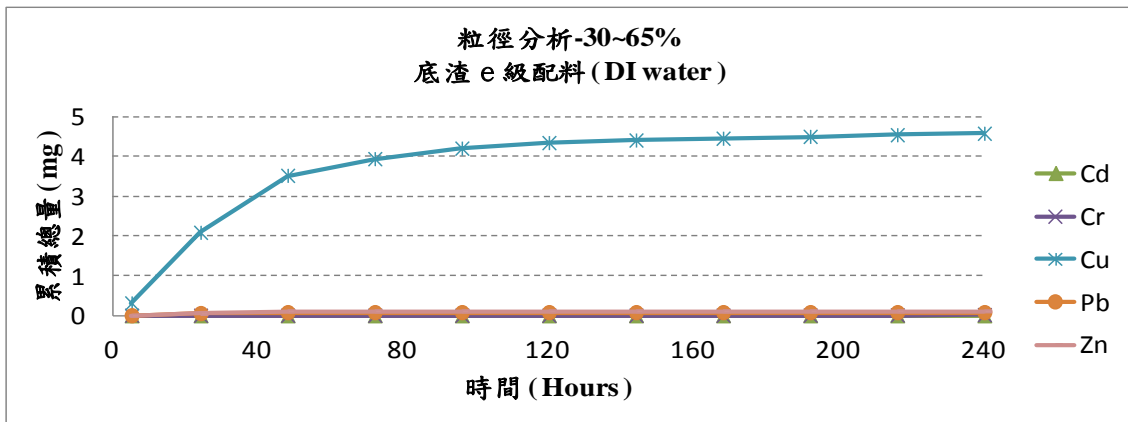
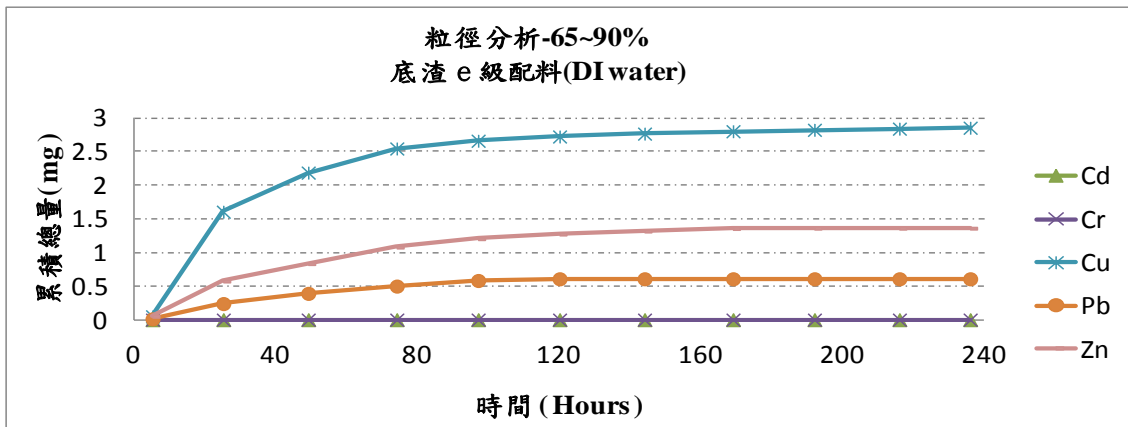
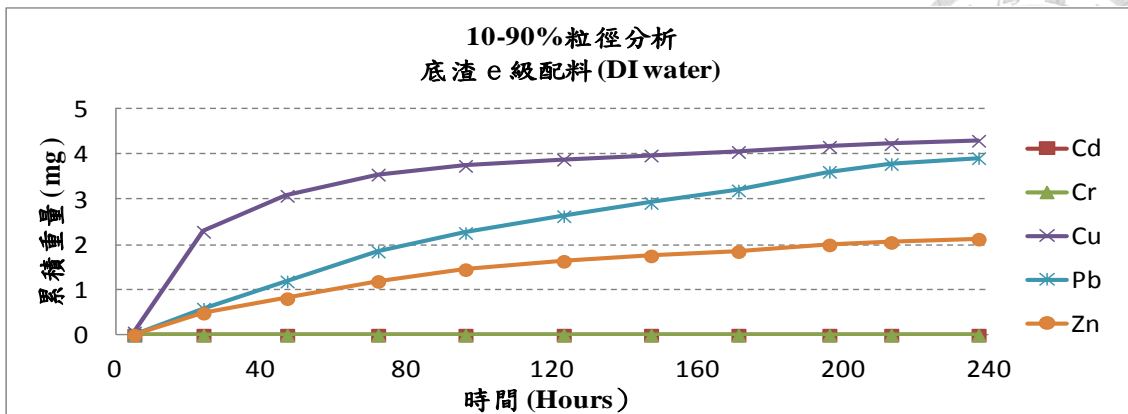


圖 4.12 底渣 e 級配料在不同粒徑下重金屬累積重量(DI water)

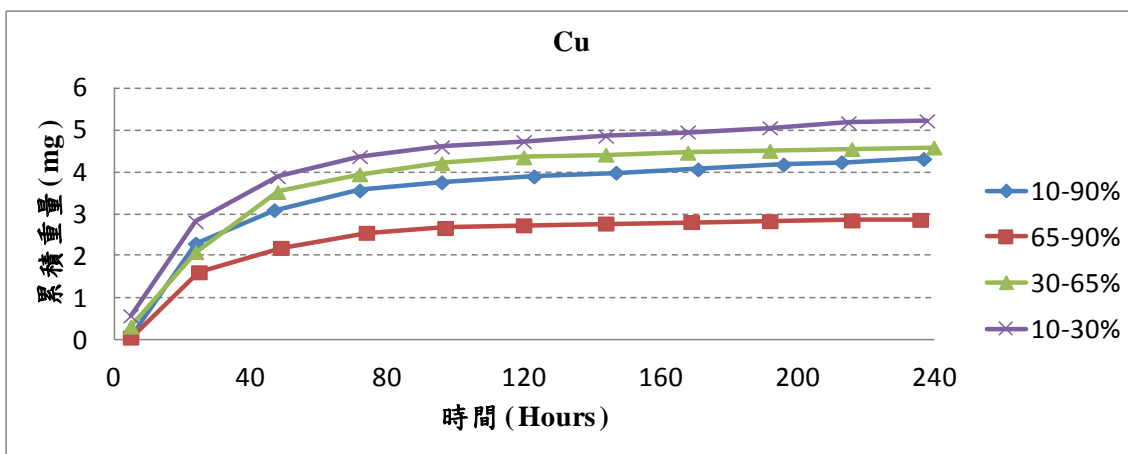
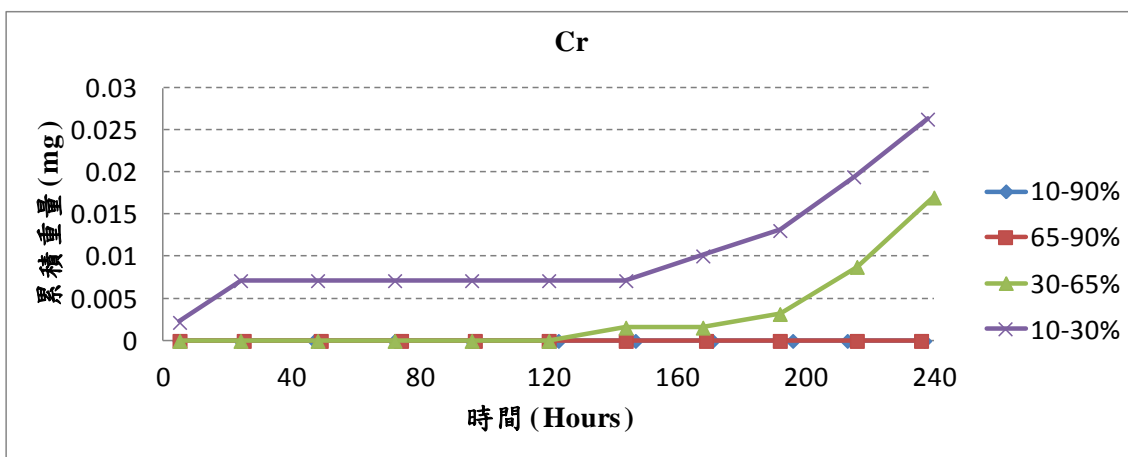
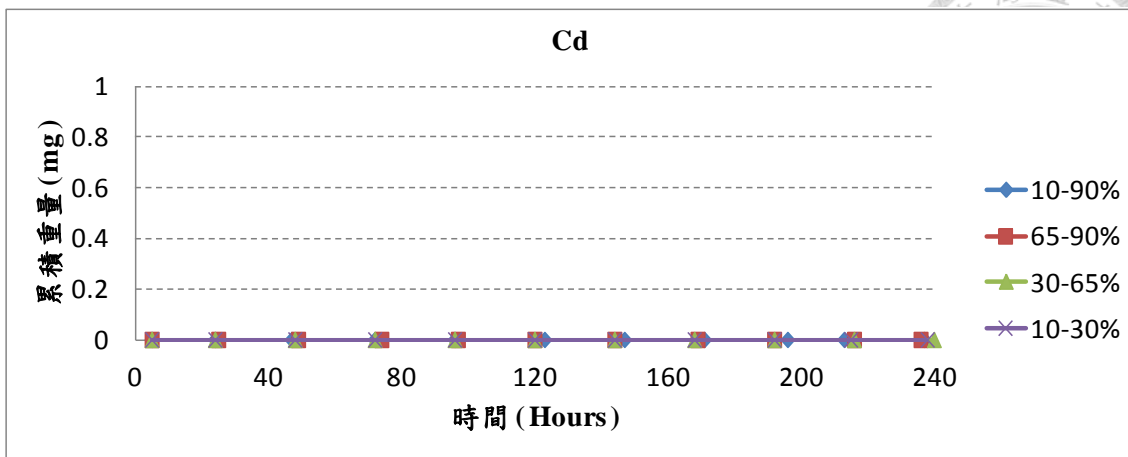


圖 4.13 底渣 e 級配料在不同重金屬於各粒徑下之累積重量(DIwater)

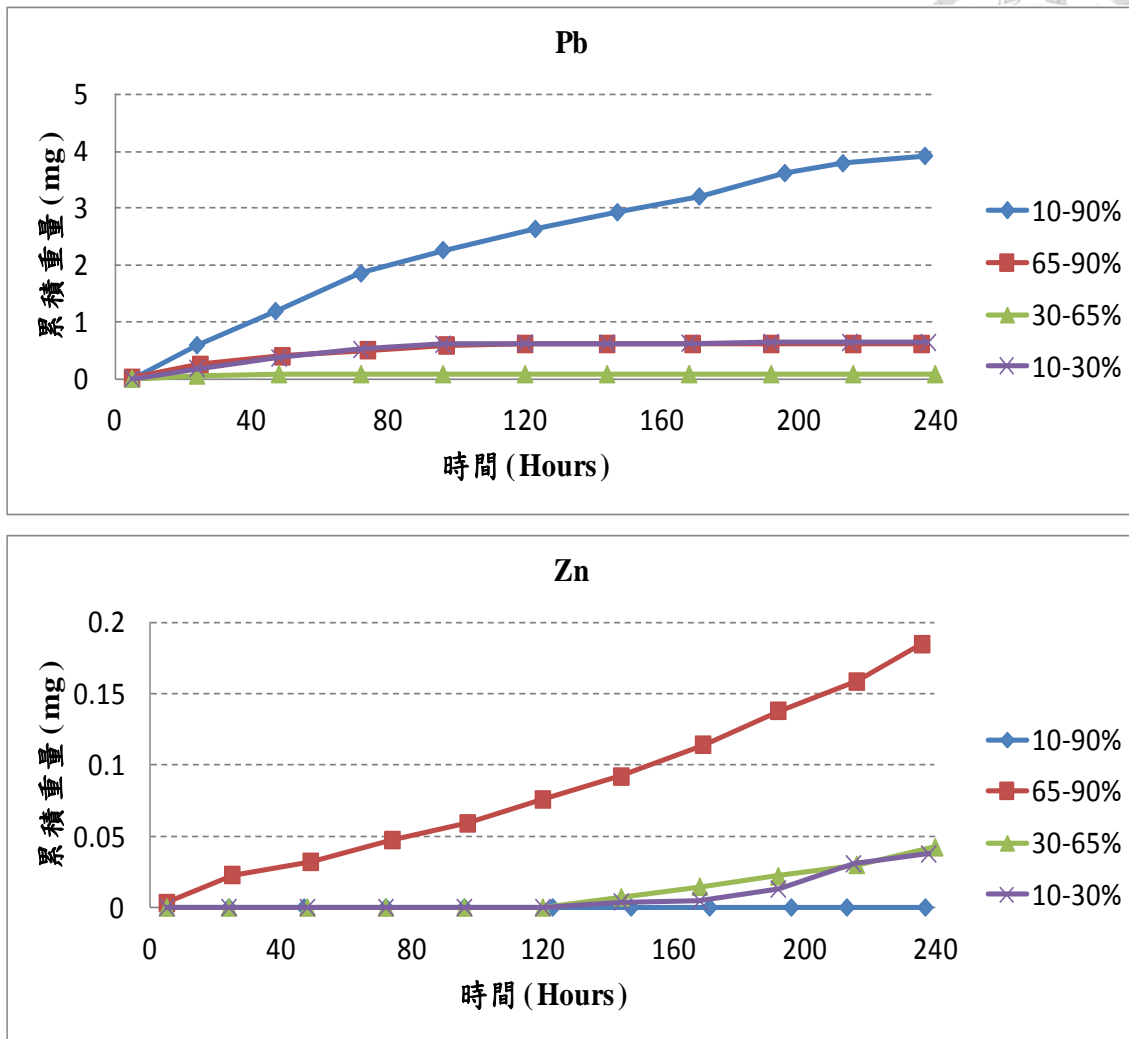


圖 4.14 底渣 e 級配料在不同重金屬於各粒徑下之累積重量-續(DI water)

4.2 龍潭一年道路底渣級配料

4.2.1 粒徑分佈

龍潭一年道路底渣級配料經篩分後，作粒徑分佈曲線，如圖 4.15 所示，其粒徑之 d_{10} ， d_{30} ， d_{65} ， d_{90} 分別為 0.351mm，0.991mm，2.794mm 與 9.5mm。本研究實驗控制之粒徑分佈分為四組，分別為 d_{10} - d_{90} (0.351mm-9.5mm)， d_{65} - d_{90} (2.794mm-9.5mm)， d_{30} - d_{65} (0.991mm-2.794mm)， d_{10} - d_{30} (0.351mm-0.991mm)

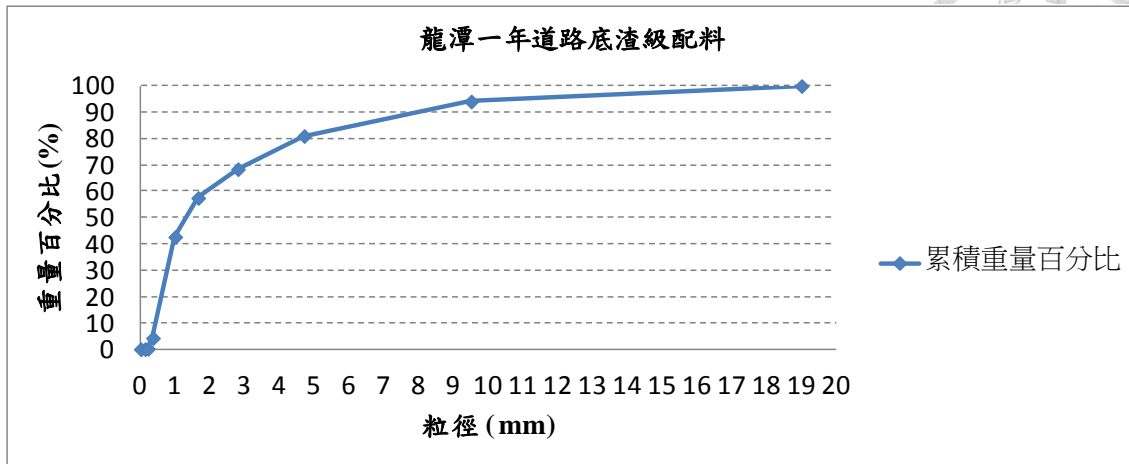


圖 4.15 龍潭一年道路底渣級配料之粒徑分佈曲線

4.2.2 重金屬總量分析

從龍潭一年道路底渣級配料之重金屬總量檢測出之數值圖 4.16 來看，含量較高之重金屬為鋅、鉛、銅，鋅含量最高(1952 mg/kg-2652 mg/kg)，其中又以 d₆₅-d₉₀ 的重金屬總量為最高，銅含量次之(1014 mg/kg-1302 mg/kg)，鉛含量最低(406 mg/kg-603 mg/kg)。含量較低之重金屬為鉻(115 mg/kg-152 mg/kg)與鎘(2.6 mg/kg-5.9 mg/kg)。

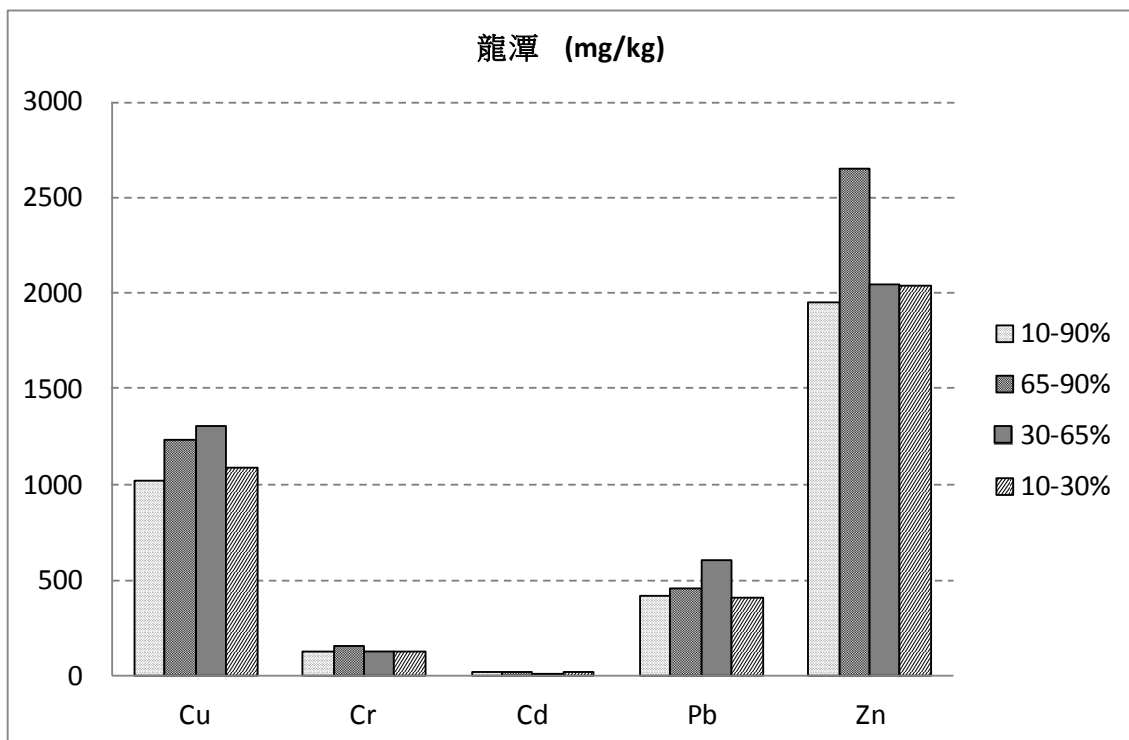


圖 4.16 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑分佈之重金屬總量



4.2.3 動態管柱實驗

將龍潭一年道路底渣級配料進行動態管柱試驗，所取得的溶出液進行分析後，圖 4.17 至圖 4.20 分別為不同粒徑範圍(d_{10} - d_{90} ， d_{65} - d_{90} ， d_{30} - d_{65} ， d_{10} - d_{30})在不同溶出液(硝酸與 DI water)的試驗結果，將 pH、導電度、氯鹽、TOC 隨時間的變化做圖比較。在溶出試驗 10 天中發現 pH 值約在 7~9 左右，在第一天或至第二天的硝酸溶液淋洗中，導電度、氯鹽有上升的溶出 (d_{10} - d_{90} 之導電度:240 至 417 μ s/cm；氯鹽:1.89 至 46.64mg/L；TOC:6.2 至 5.24 mg/L， d_{65} - d_{90} 之導電度:102.8 至 261 μ s/cm；氯鹽:1.14 至 8.53 mg/L；TOC:2.27 至 1.56 mg/L； d_{30} - d_{65} 之導電度:68.7 至 605 μ s/cm；氯鹽:3.41 至 29.65 mg/L；TOC:1.9 至 11.26 mg/L； d_{10} - d_{30} 之導電度:224 至 784 μ s/cm；氯鹽:25 至 87 mg/L；TOC:17.62 至 101.12 mg/L)；在第一天的 DI water 溶液淋洗與硝酸淋洗的趨勢相同，pH 值約在 7~9 左右，導電度、氯鹽有明顯的溶出。

圖 4.21 至圖 4.28 中為不同粒徑範圍(d_{10} - d_{90} ， d_{65} - d_{90} ， d_{30} - d_{65} ， d_{10} - d_{30}) 在不同溶出液(硝酸與 DI water)之試驗結果，將重金屬(Cd、Cr、Cu、Pb、Zn)溶出濃度與累積總量隨時間的變化做圖比較。圖 4.21 和圖 4.22 用硝酸溶液與圖 4.25 和圖 4.26 用 DI water 溶液溶出試驗比較發現，使用硝酸溶液所溶出之銅之重金屬濃度為相似或較高。圖 4.21 與圖 4.25 中 d_{10} - d_{90} 並未檢測出任何重金屬濃度， d_{65} - d_{90} 使用硝酸溶液作為淋洗液之溶出前期，鋅、鉛、銅濃度有被檢測出來，其中以鋅含量為最高；使用 DI water 溶液做為淋洗液之溶出前期，鋅、鉛、銅濃度也有被檢測出來其中以鉛為最高。在 d_{10} - d_{30} 、 d_{30} - d_{65} ，銅金屬濃度較明顯的被檢測出來。

此外，個別重金屬於不同粒徑下探討累積總量之分佈，圖 4.23、圖 4.24、圖 4.27、圖 4.28，銅金屬以 d_{10} - d_{30} 所含的累積總量為最高， d_{10} - d_{90} 最低；鉻金屬以 d_{30} - d_{65} 為最高；鉛與鋅累計含量則是以 d_{65} - d_{90} 為最高。

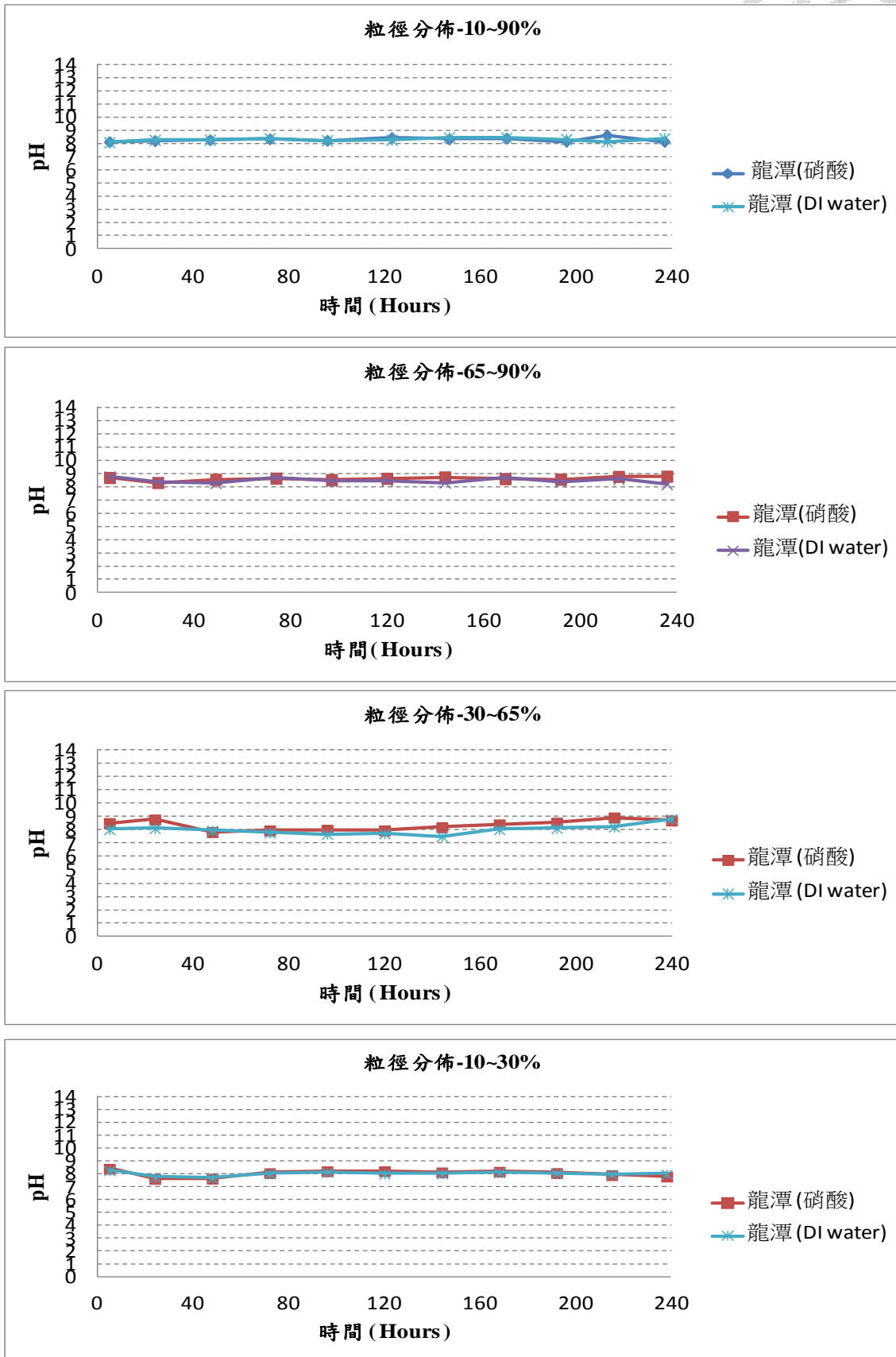


圖 4.17 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑重量百分比下 pH 值溶出時間變化

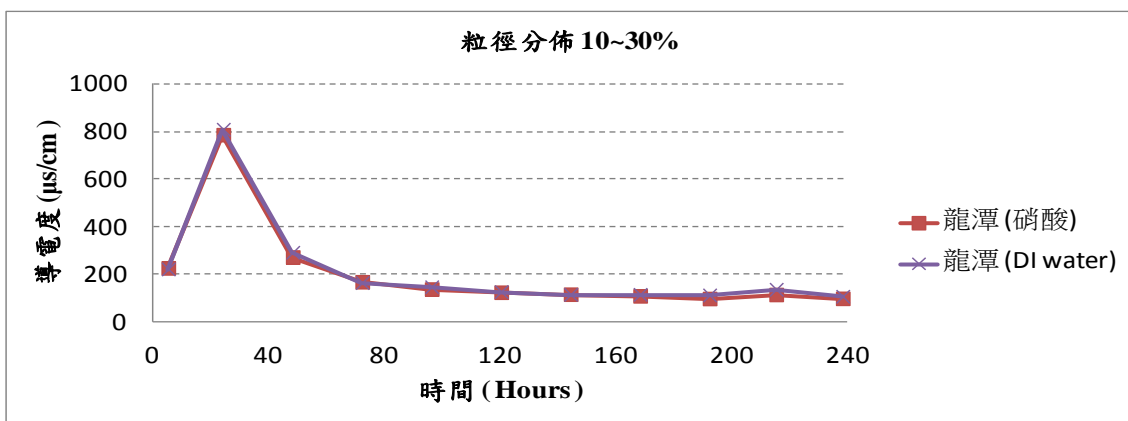
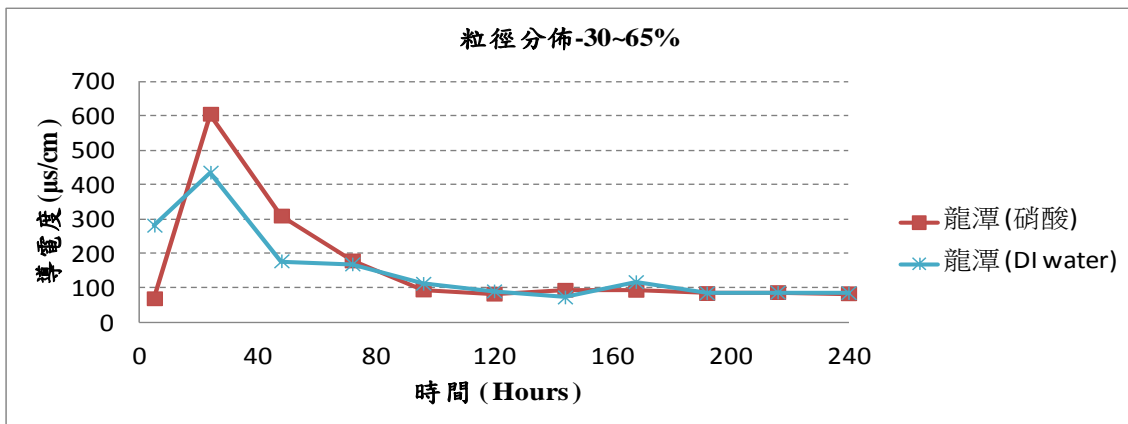
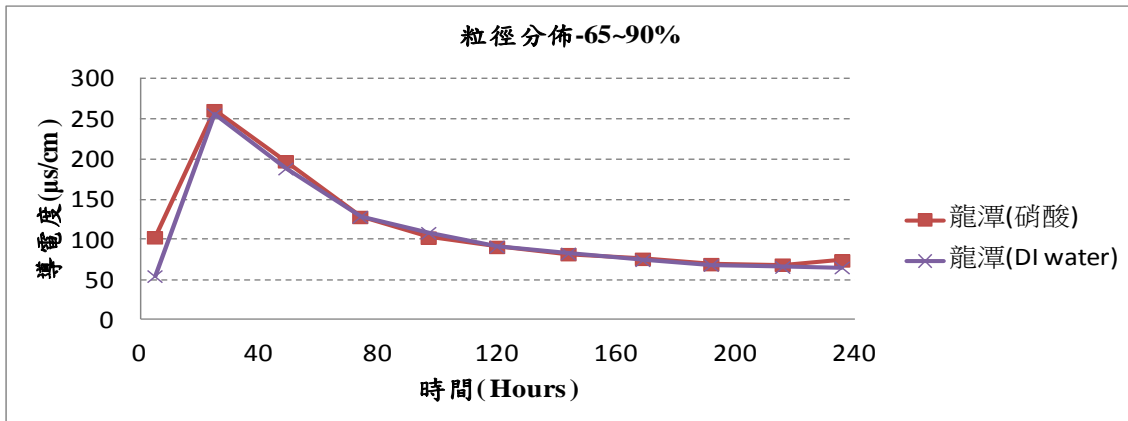
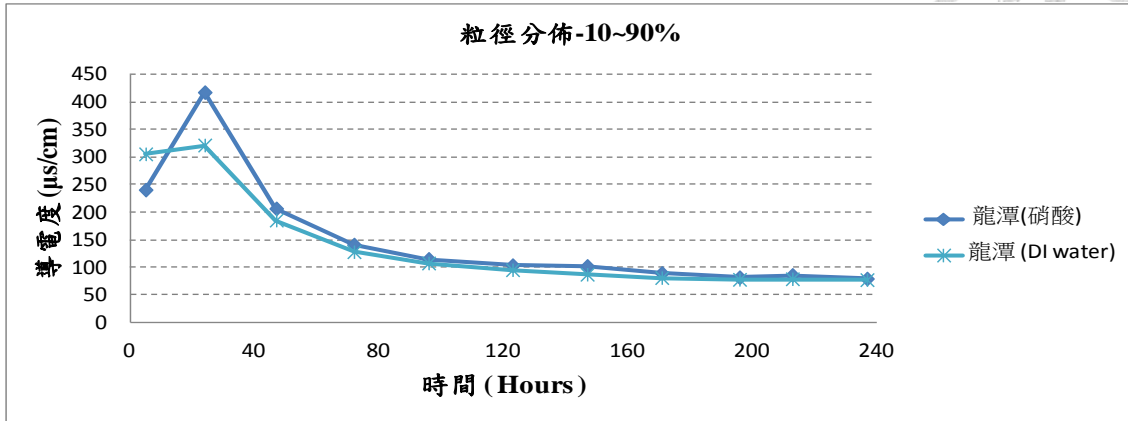


圖 4.18 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下導電度溶出變化

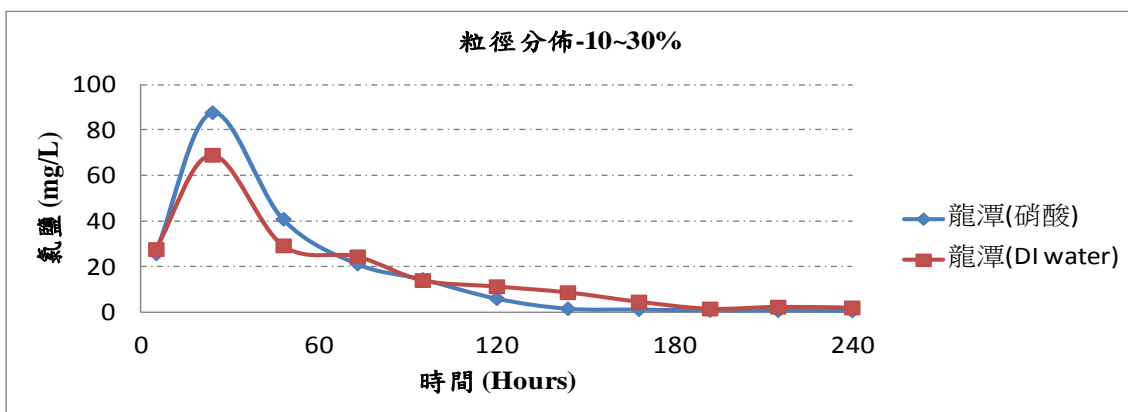
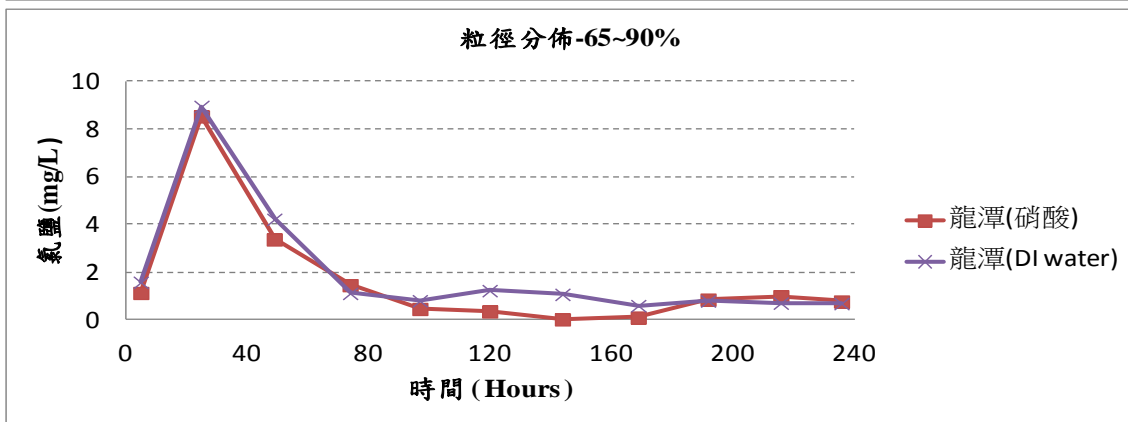
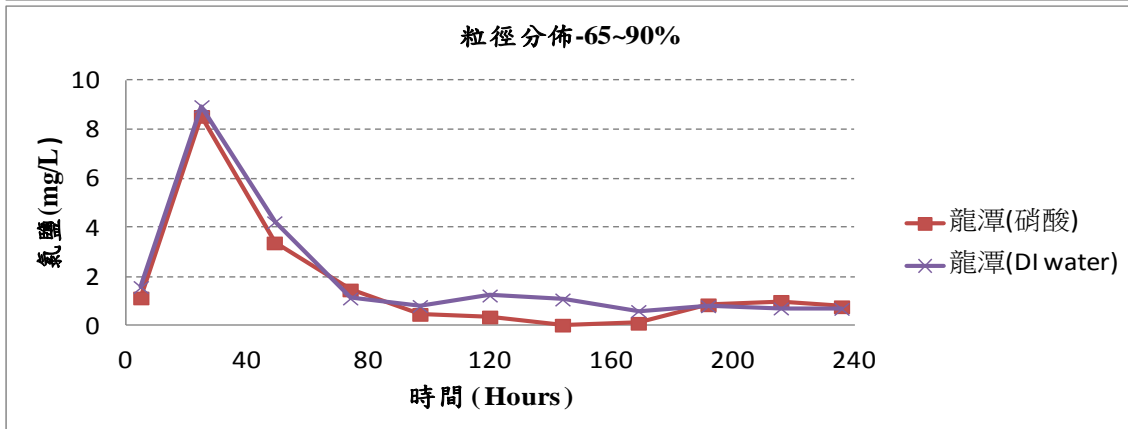
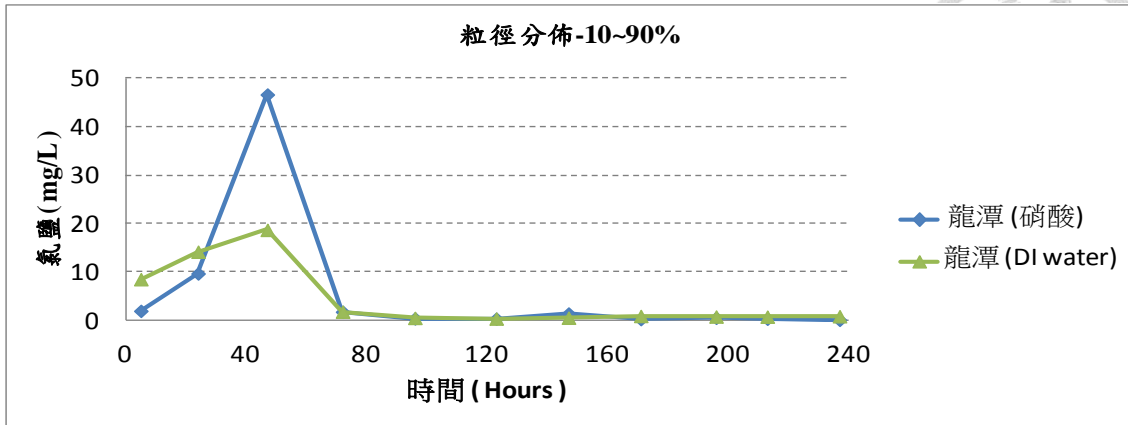


圖 4.19 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下氯鹽溶出變化

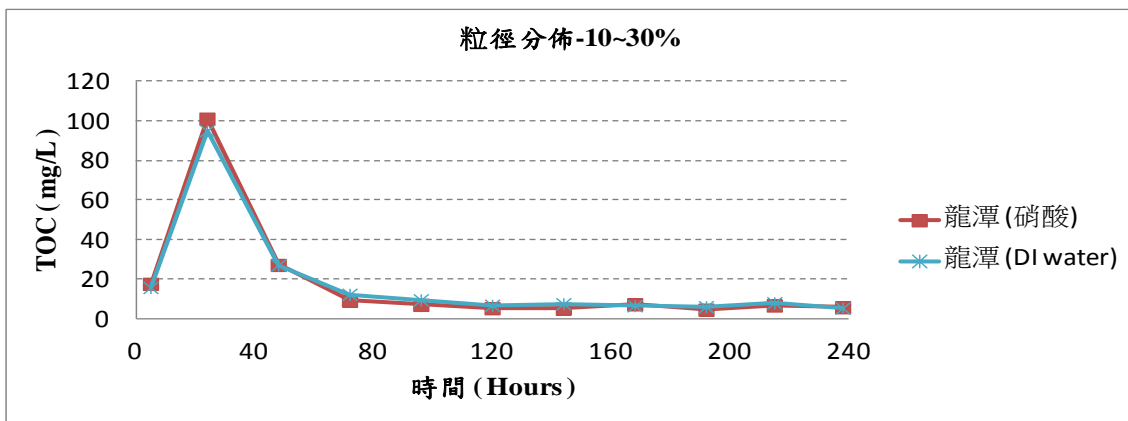
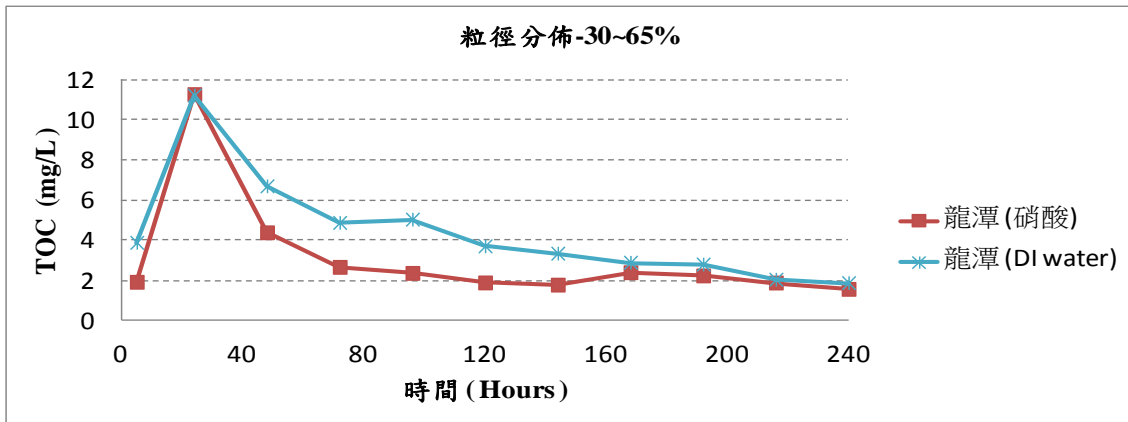
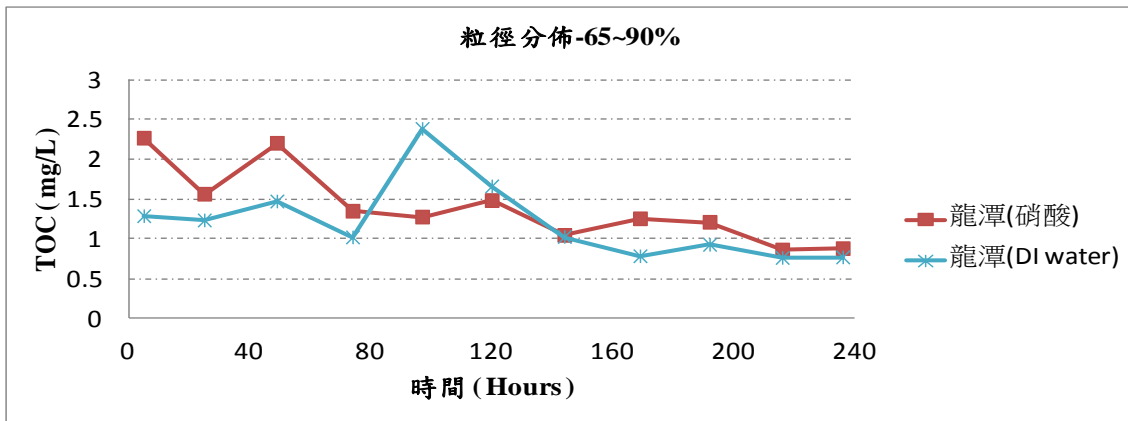
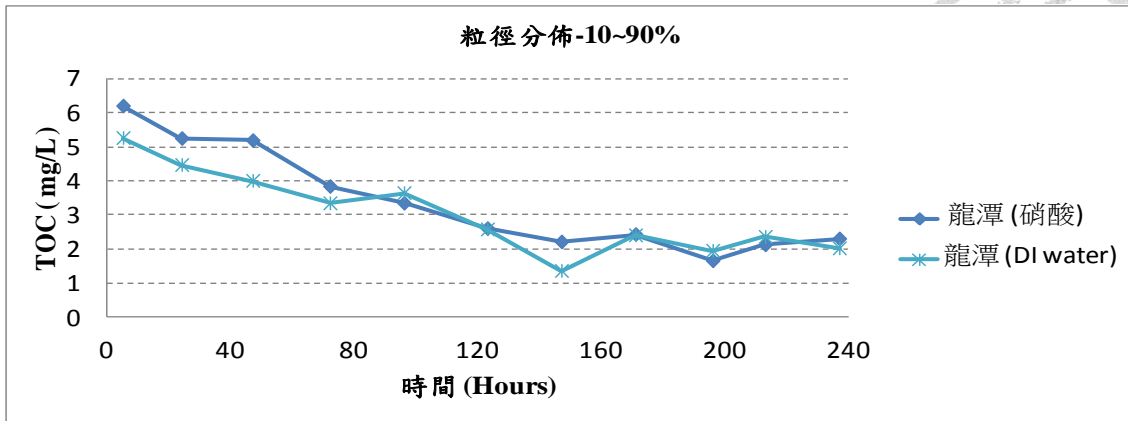


圖 4.20 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下 TOC 溶出變化

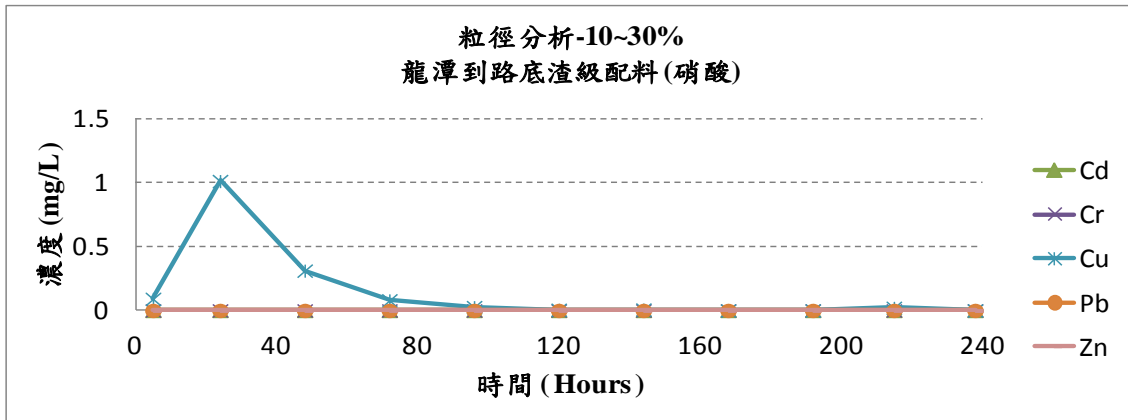
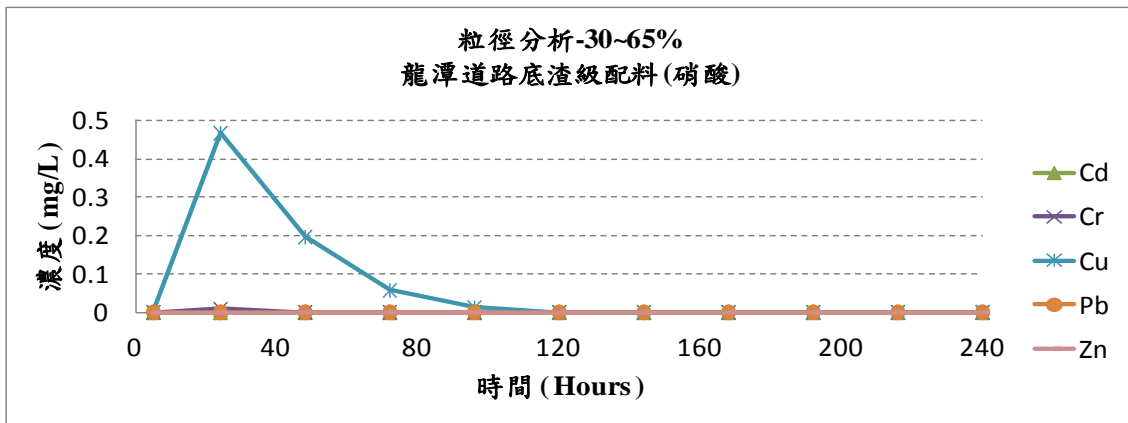
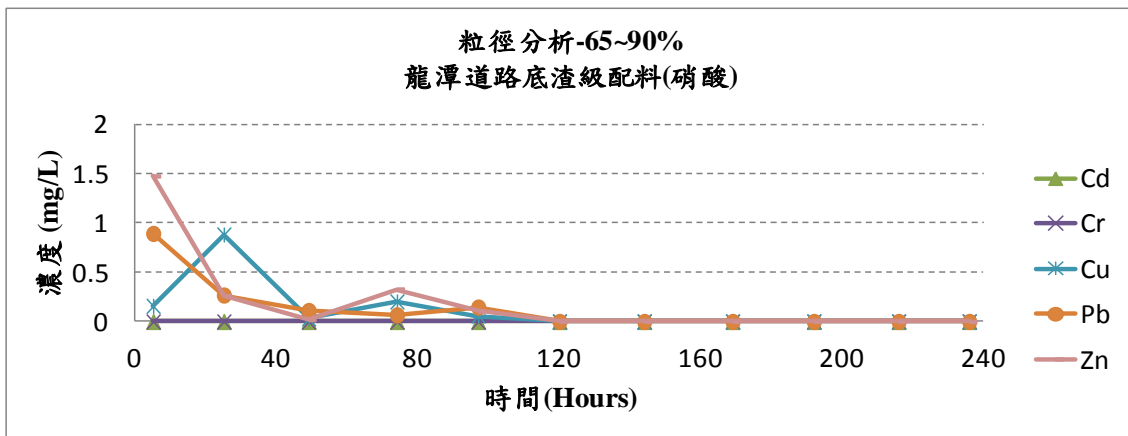
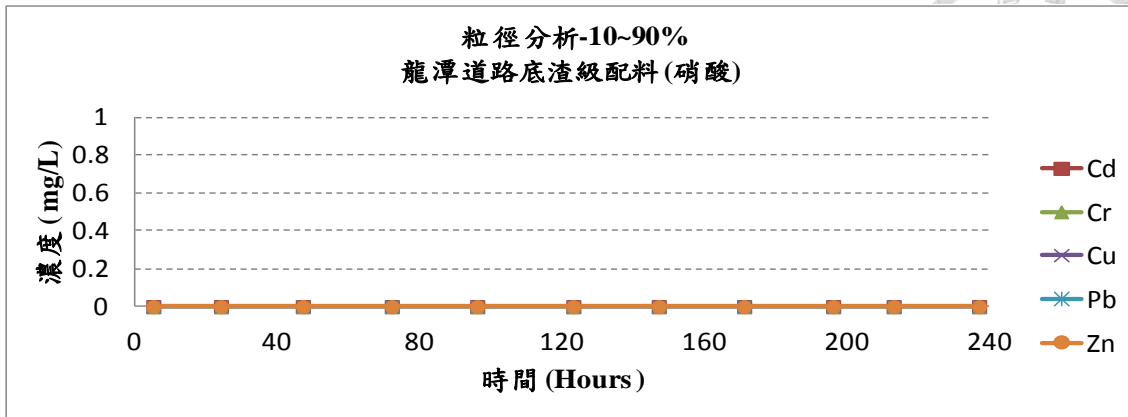


圖 4.21 龍潭一年底渣級配料在不同粒徑重量百分比下重金屬溶出時間濃度(硝酸)

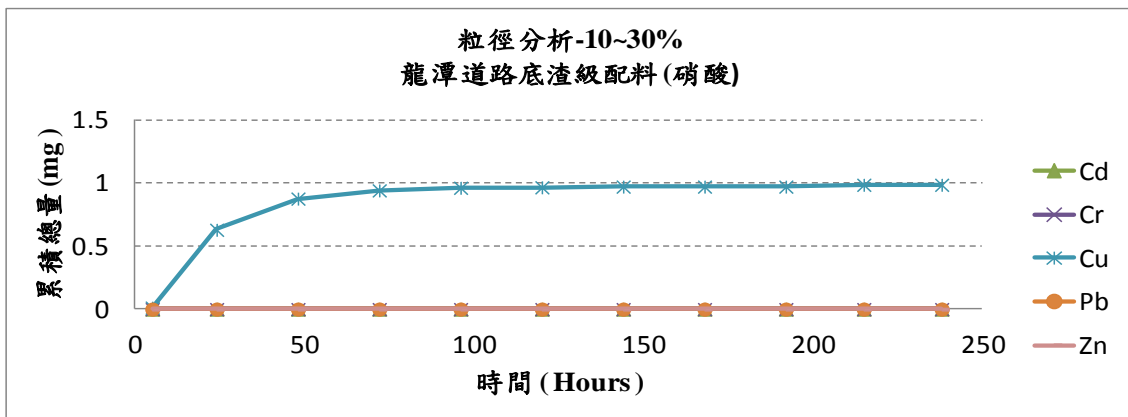
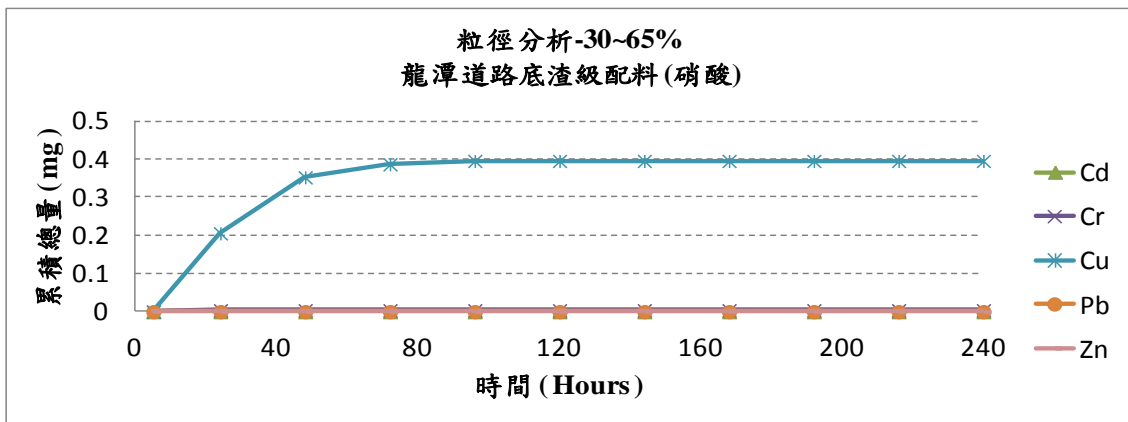
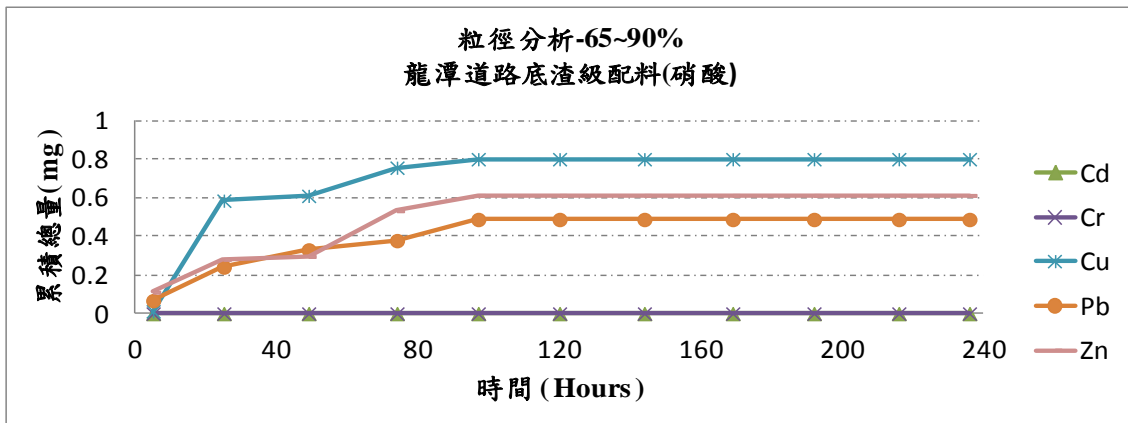
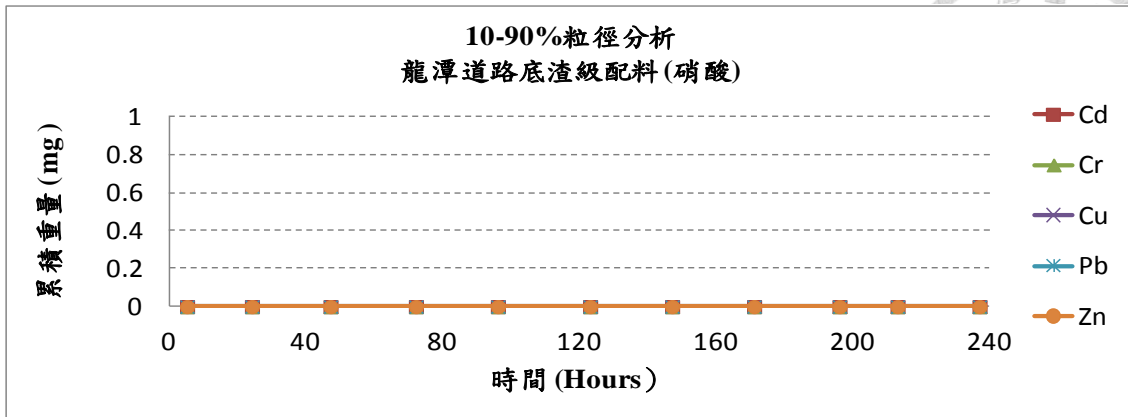


圖 4.22 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬累積重量(硝酸)

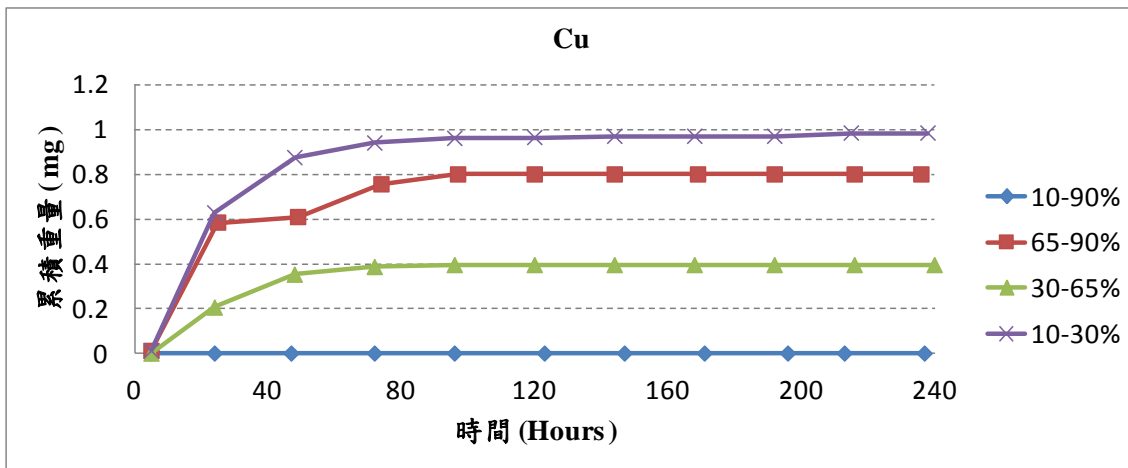
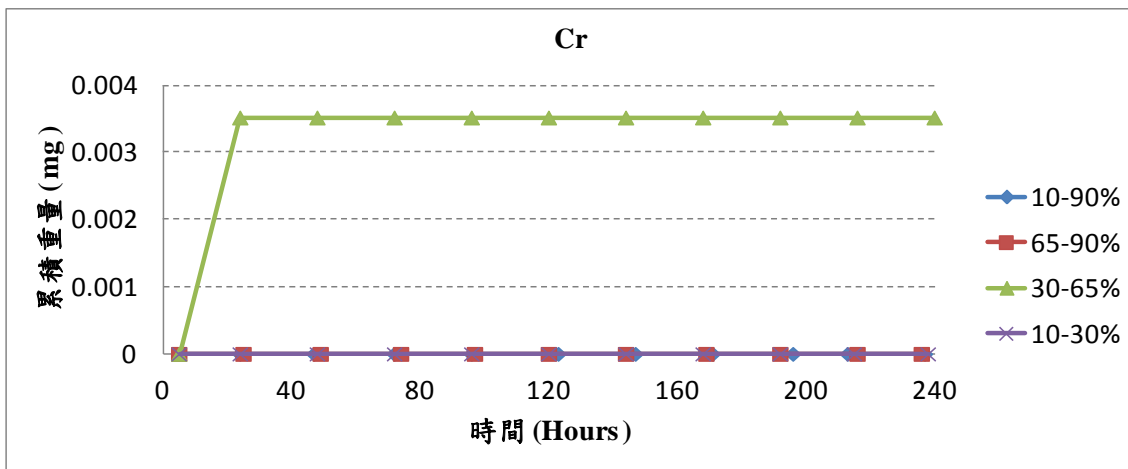
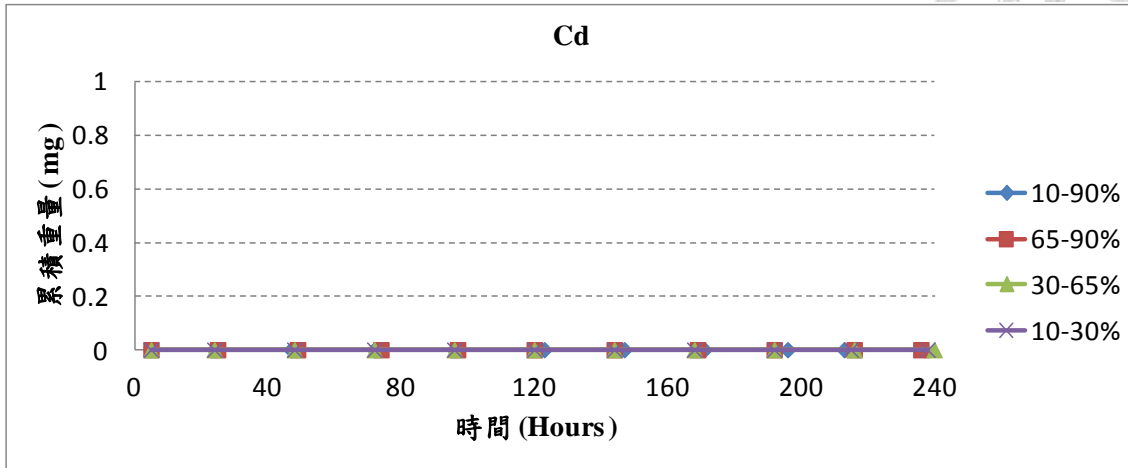


圖 4.23 龍潭一年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量(硝酸)

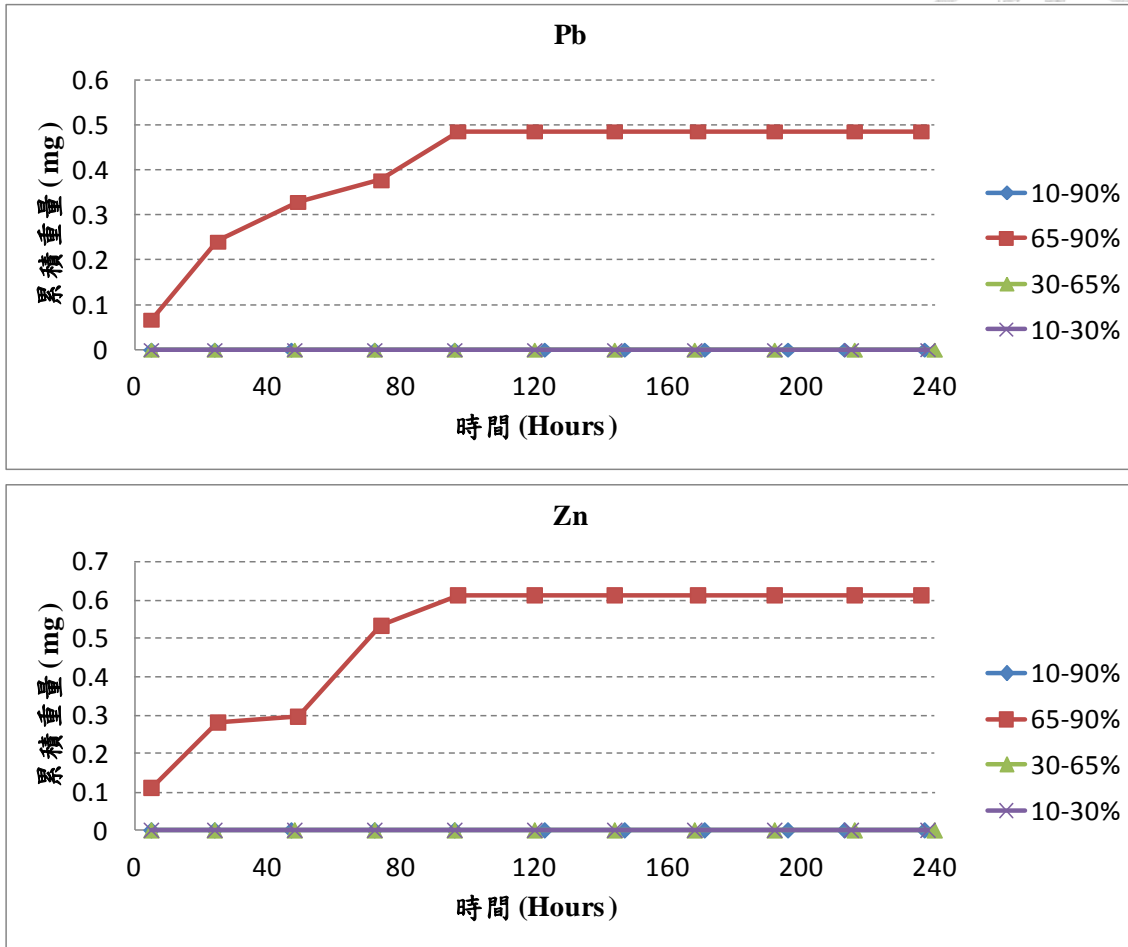


圖 4.24 龍潭一年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量-續(硝酸)

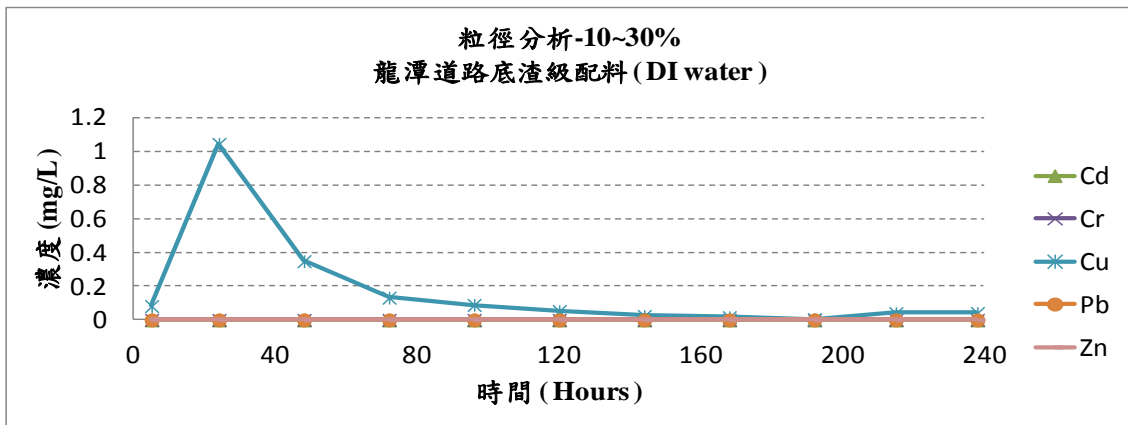
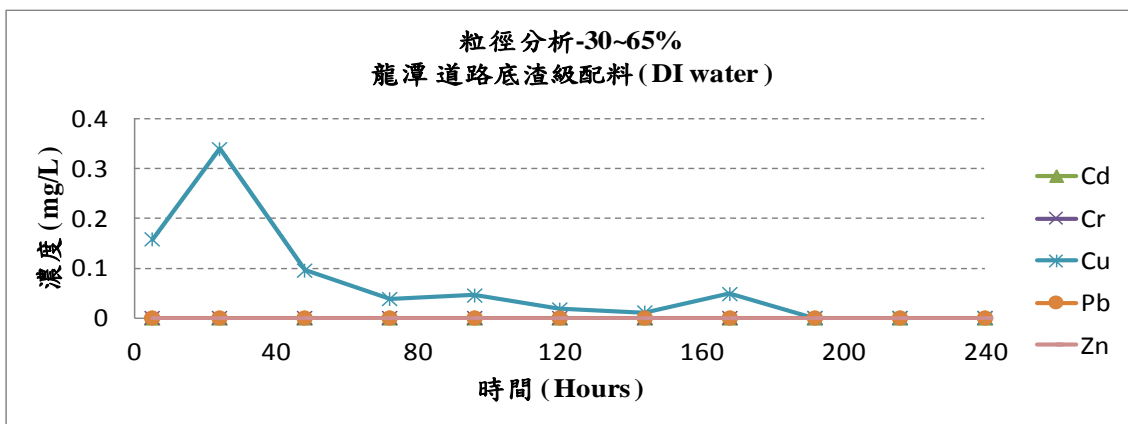
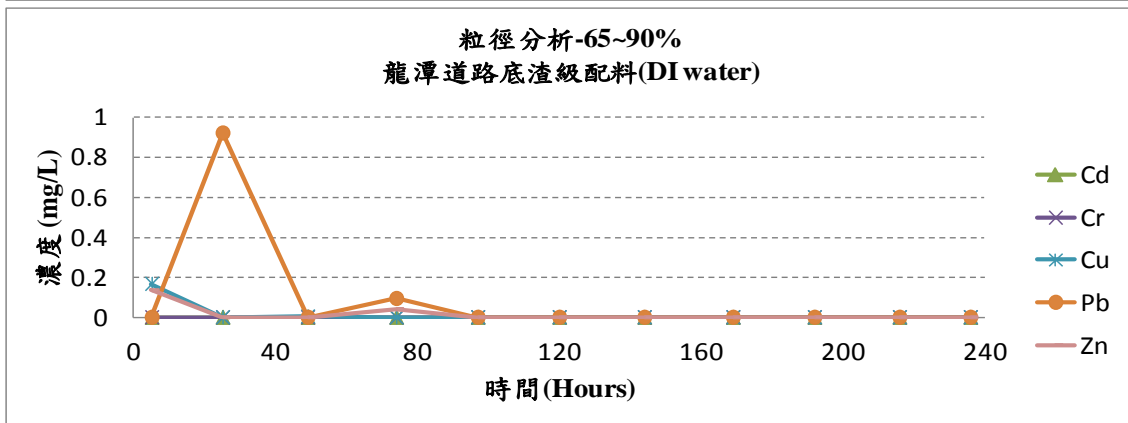
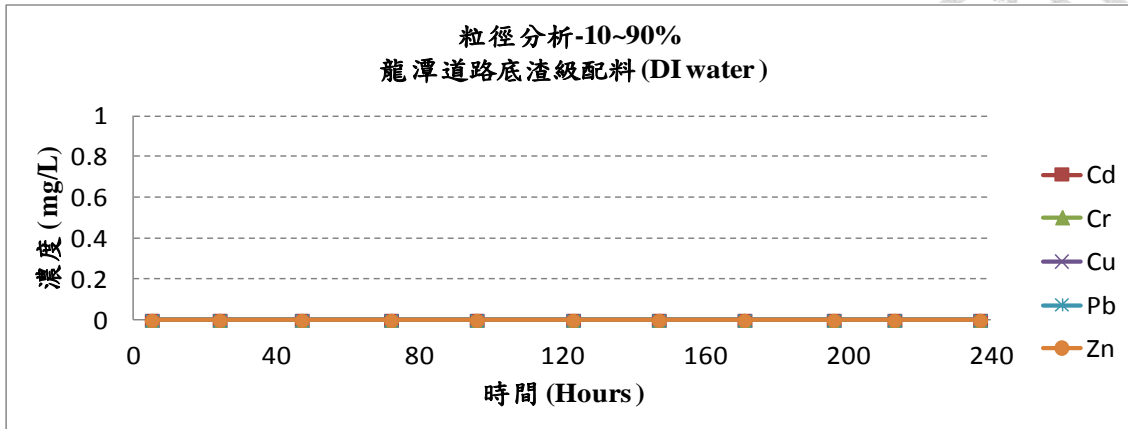


圖 4.25 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬溶出濃度(DI water)

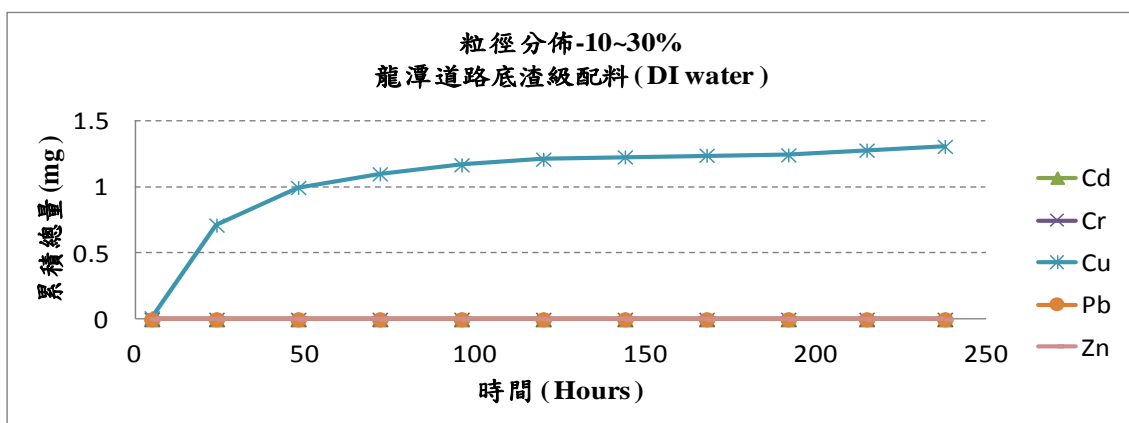
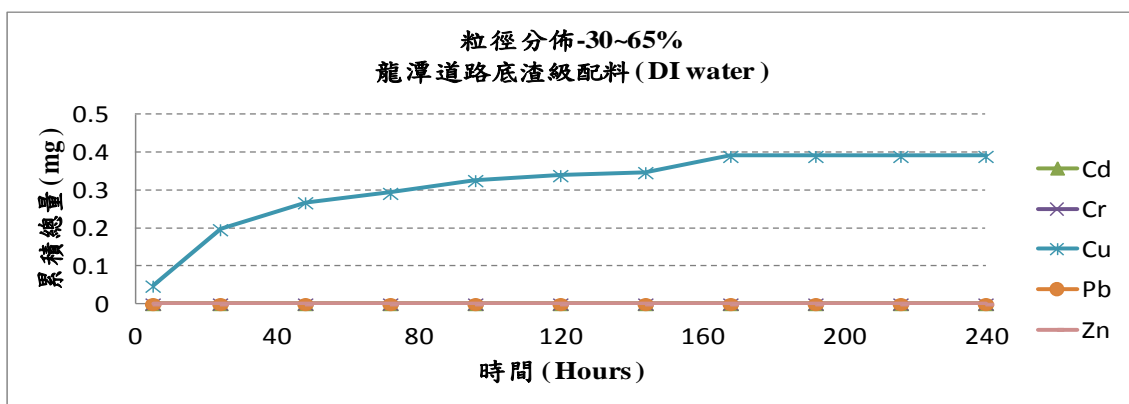
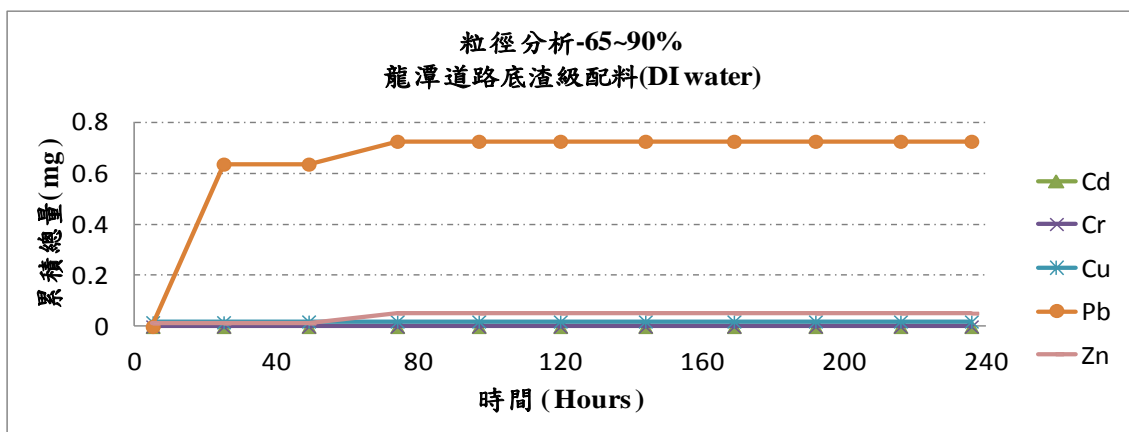
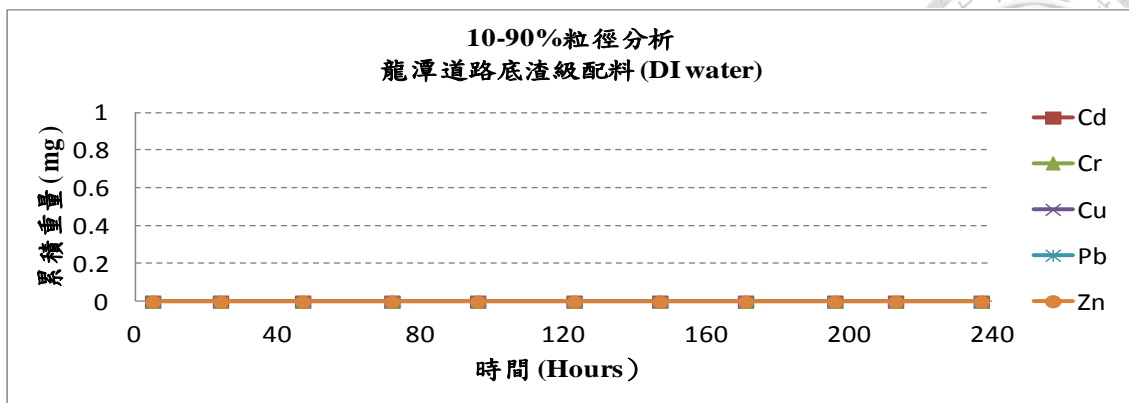


圖 4.26 龍潭一年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬累積重量(DI water)

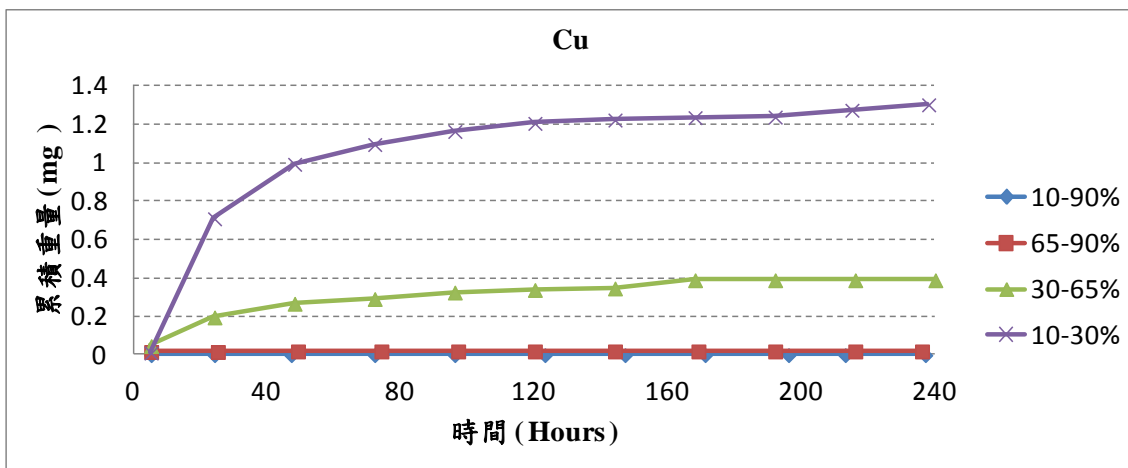
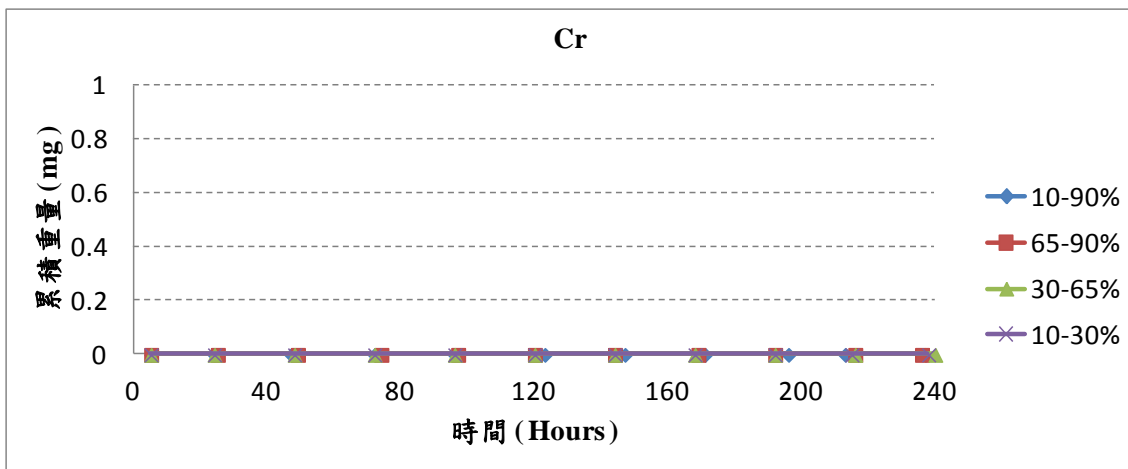
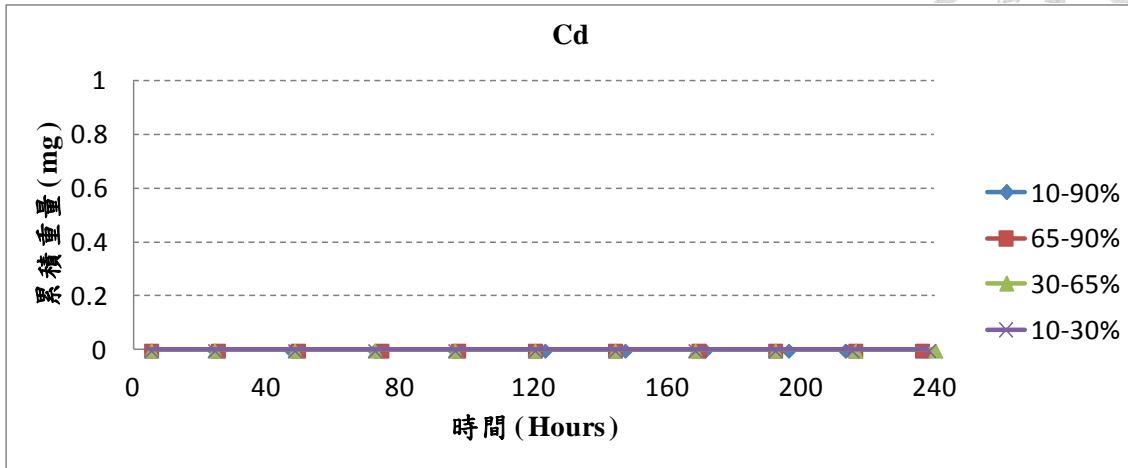


圖 4.27 龍潭一年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量(DI water)

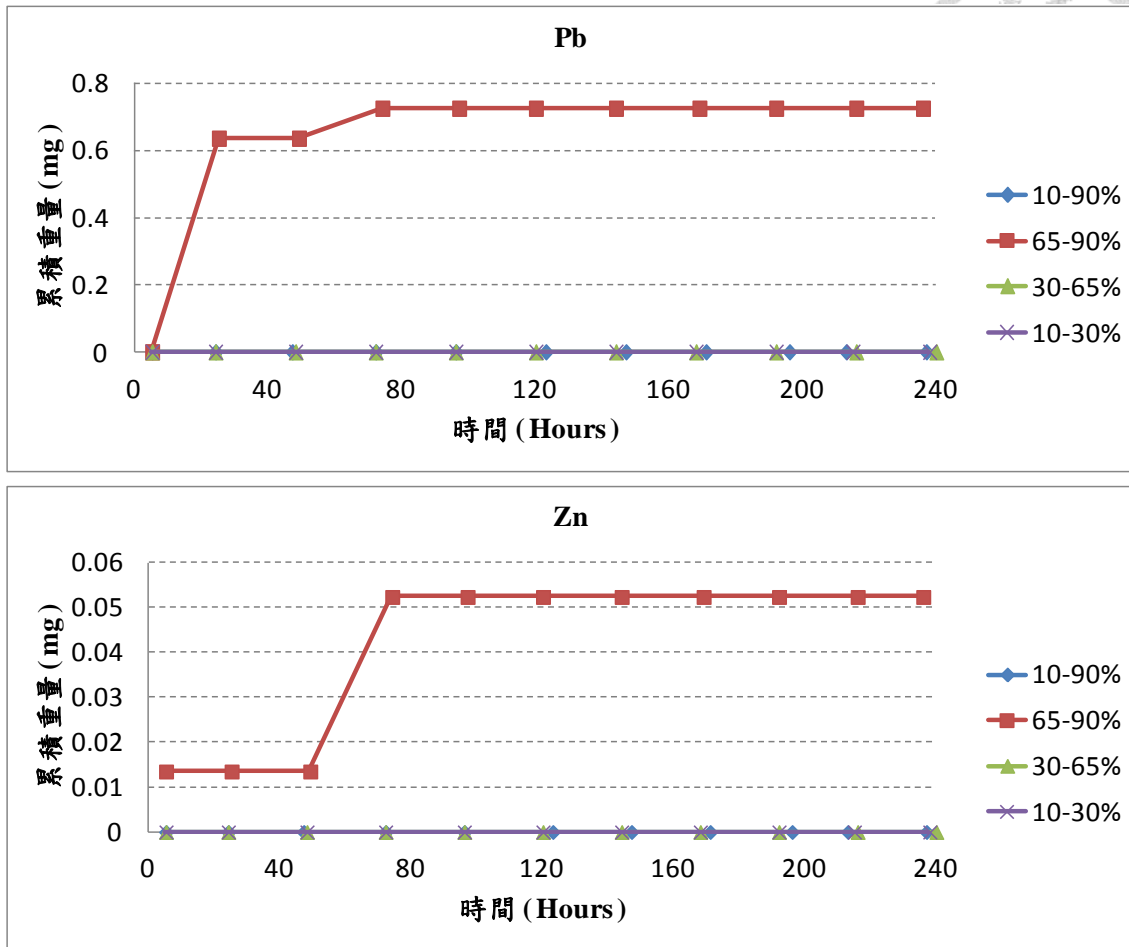


圖 4.28 龍潭一年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量-續(DI water)

4.3 萬里六年道路底渣級配料

4.3.1 粒徑分佈

萬里六年道路底渣級配料經篩分後，作粒徑分佈曲線，如圖 4.29 所示，其粒徑之 d_{10} ， d_{30} ， d_{65} ， d_{90} 分別為 0.124mm，0.351mm，1.651mm 與 9.5mm。本研究實驗控制之粒徑分佈分為四組，分別為 d_{10} - d_{90} (0.124mm-9.5mm)， d_{65} - d_{90} (1.651mm-9.5mm)， d_{30} - d_{65} (0.351mm-1.651mm)， d_{10} - d_{30} (0.124mm-0.351mm)

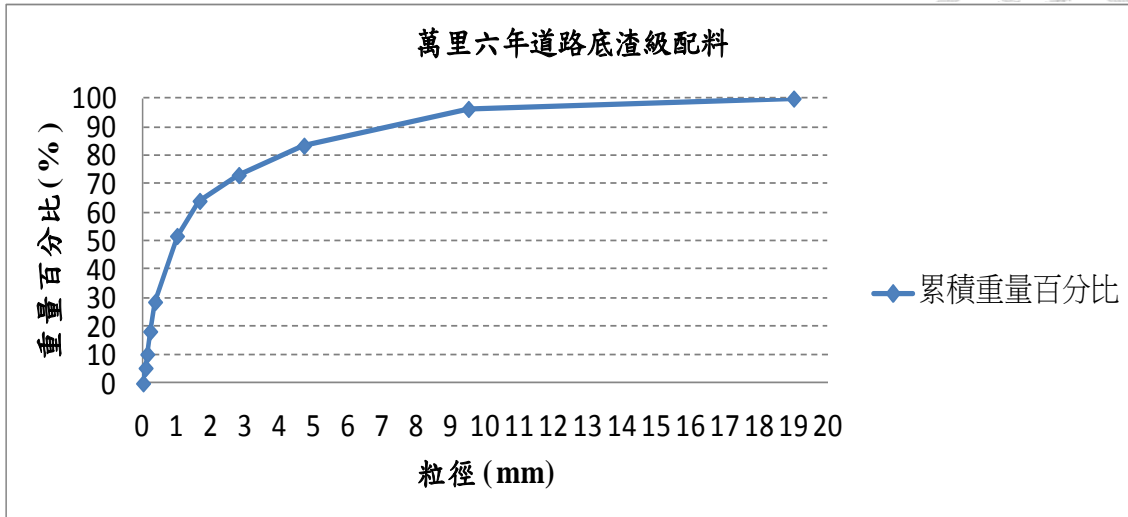


圖 4.29 萬里六年道路底渣級配料之粒徑分佈曲線

4.3.2 重金屬總量分析

從萬里六年道路底渣級配料之重金屬總量檢測出之數值圖 4.30 來看，含量較高之重金屬為鋅、鉛、銅，鋅含量最高(701 mg/kg-2127 mg/kg)，銅含量次之(563 mg/kg-1206 mg/kg)，鉛含量最低(363 mg/kg-1163 mg/kg)。含量較低之重金屬為鉻(47 mg/kg-172 mg/kg)與鎘(1.3 mg/kg-4.6 mg/kg)。

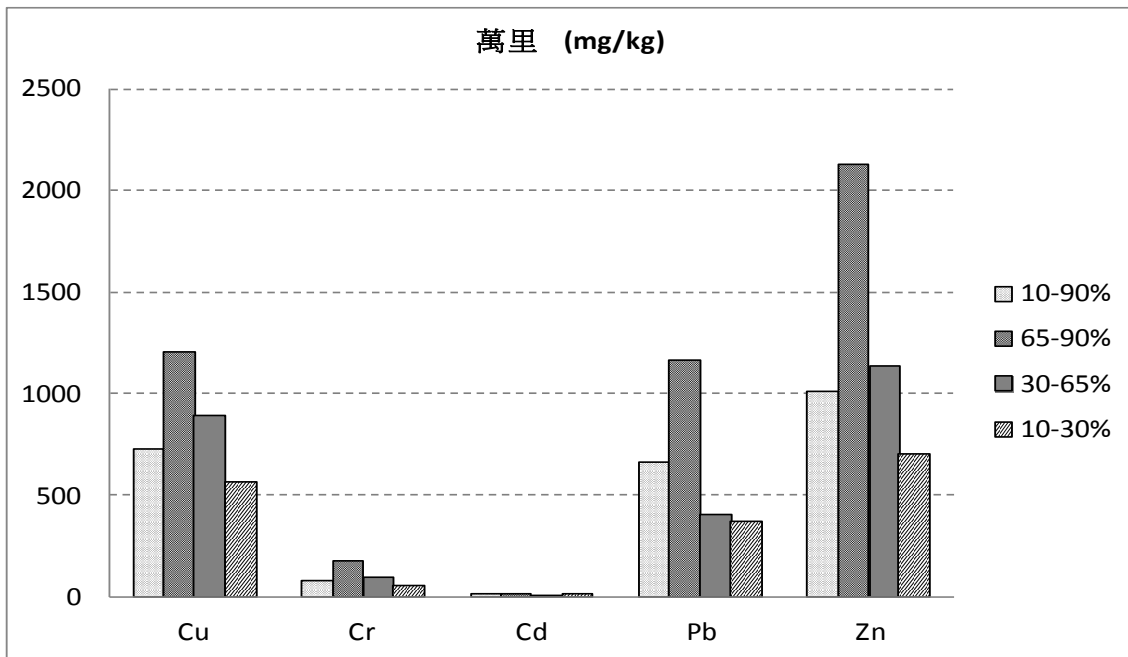


圖 4.30 萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑分佈之重金屬總量



4.3.3 動態管柱實驗

將萬里六年道路底渣級配料進行動態管柱試驗，所取得的溶出液進行分析後，圖 4.31 至圖 4.34 分別為不同粒徑範圍(d_{10} - d_{90} ， d_{65} - d_{90} ， d_{30} - d_{65} ， d_{10} - d_{30})在不同溶出液(硝酸與 DI water)的試驗結果，將 pH、導電度、氯鹽、TOC 隨時間的變化做圖比較。在溶出試驗 10 天中發現 pH 值約在 7~9 左右，在第一天的硝酸溶液淋洗中，導電度、氯鹽、TOC 皆有上升的溶出(d_{10} - d_{90} 之導電度:335 至 801 μ s/cm; 氯鹽:10.03 至 70.29 mg/L; TOC:8.69 至 11.69 mg/L， d_{65} - d_{90} 之導電度:190.1 至 592 μ s/cm; 氯鹽:8.37 至 19.97 mg/L; TOC:3.54 至 6.78 mg/L;， d_{30} - d_{65} 之導電度:100.5 至 780 μ s/cm; 氯鹽:6.83 至 69.11 mg/L; TOC:4.07 至 41.98 mg/L;， d_{10} - d_{30} 之導電度:169 至 1121 μ s/cm ; 氯鹽:83 mg/L; TOC:9.55 至 13.9 mg/L); 在第一天的 DI water 溶液淋洗與硝酸淋洗的趨勢相同，pH 值約在 7~9 左右，導電度、氯鹽、TOC 有明顯的溶出。

圖 4.35 至圖 4.42 中為不同粒徑範圍(d_{10} - d_{90} ， d_{65} - d_{90} ， d_{30} - d_{65} ， d_{10} - d_{30})在不同溶出液(硝酸與 DI water)的試驗結果，將重金屬溶出濃度與重金屬累積總量隨時間的變化。圖 4.35 與圖 4.39 中，硝酸溶液為溶出液相對於 DI water 為溶出液，以銅金屬溶出濃度較高，且在不同粒徑分佈下，銅金屬溶出趨勢也較為明顯；在 d_{65} - d_{90} 中，鉛，鋅，銅之金屬被檢測出來，但在溶出期間較不規律。

此外，個別重金屬於不同粒徑下探討累積總量之分佈，如圖 4.36、圖 4.37、圖 4.41、圖 4.42，銅金屬以硝酸溶液為溶出液以 d_{65} - d_{90} 所含的累積總量為最高， d_{30} - d_{65} 為最低；以 DI water 溶液為溶出液則以 d_{10} - d_{30} 為最高， d_{30} - d_{65} 為最低。鉛與鋅累計含量則是以 d_{65} - d_{90} 為最高。

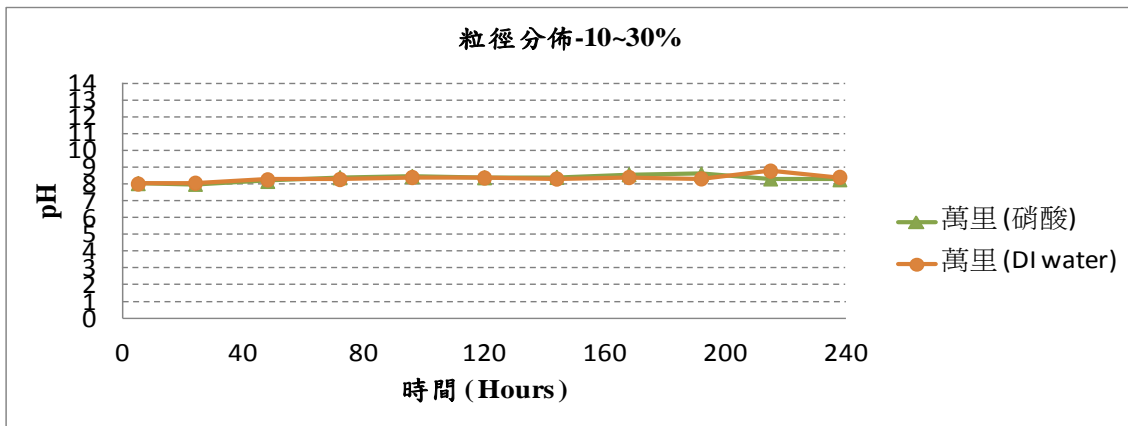
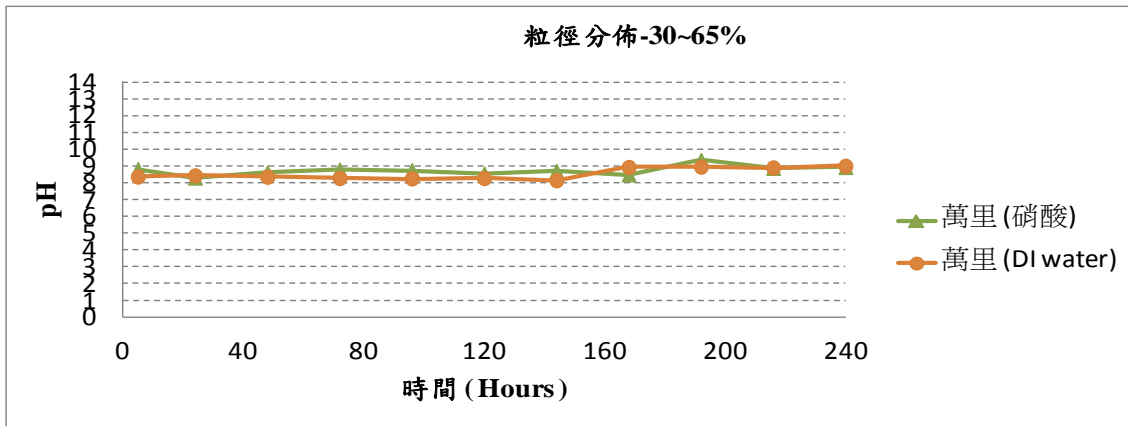
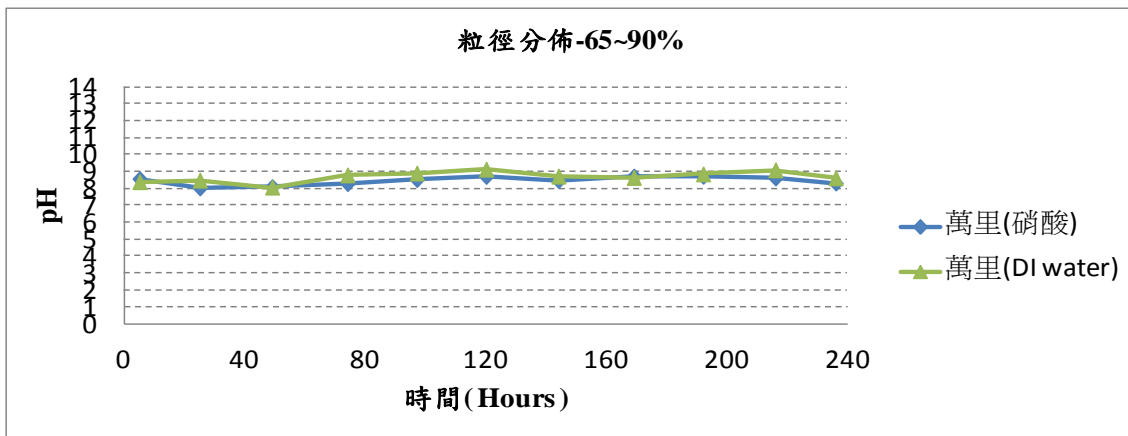
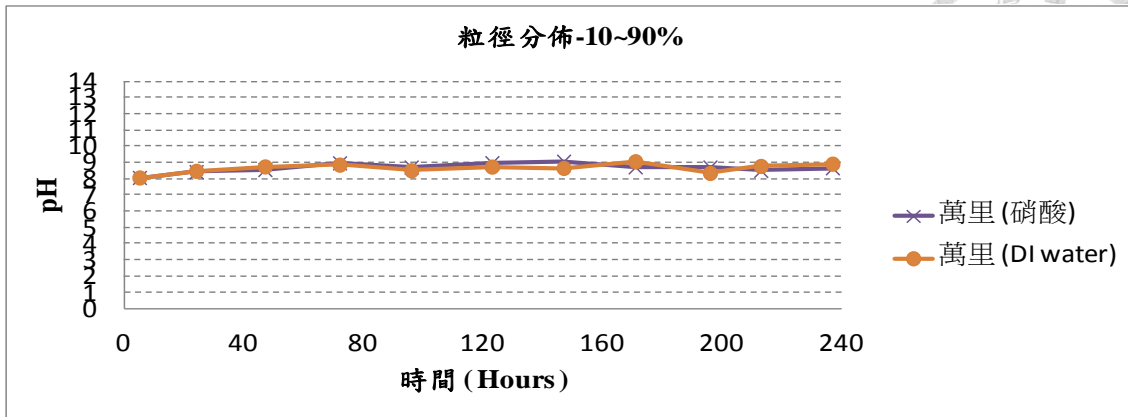


圖 4.31 萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下 pH 溶出變化

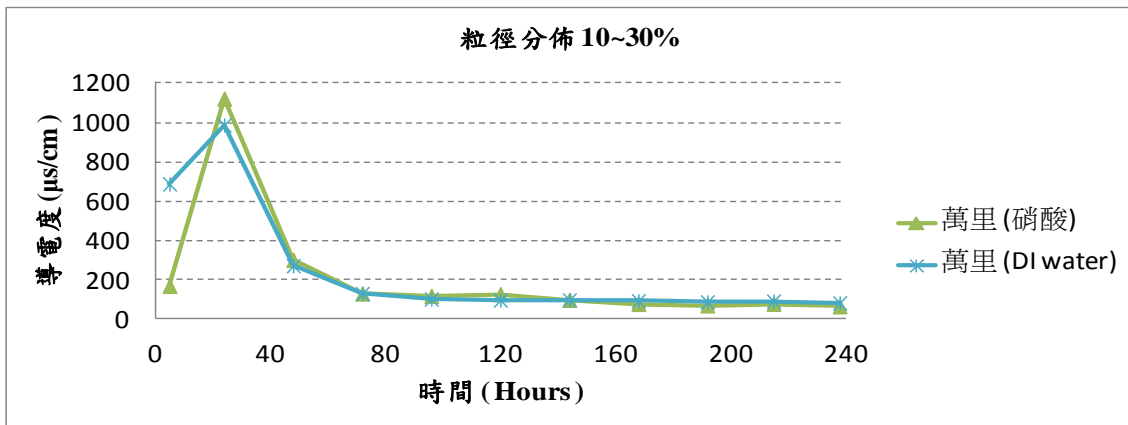
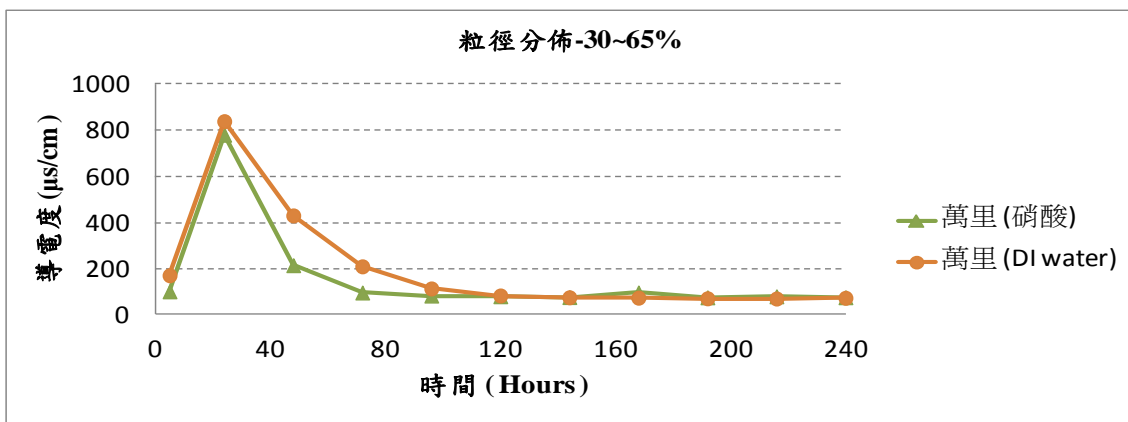
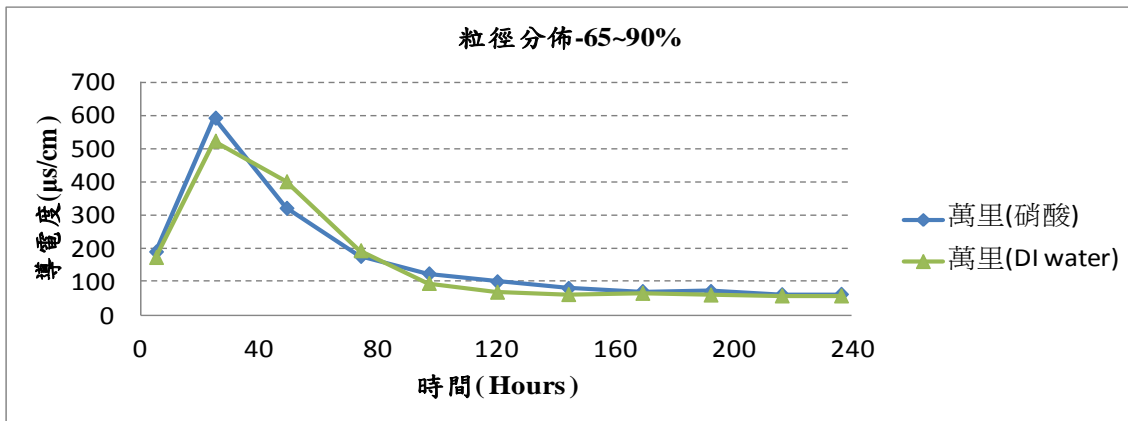
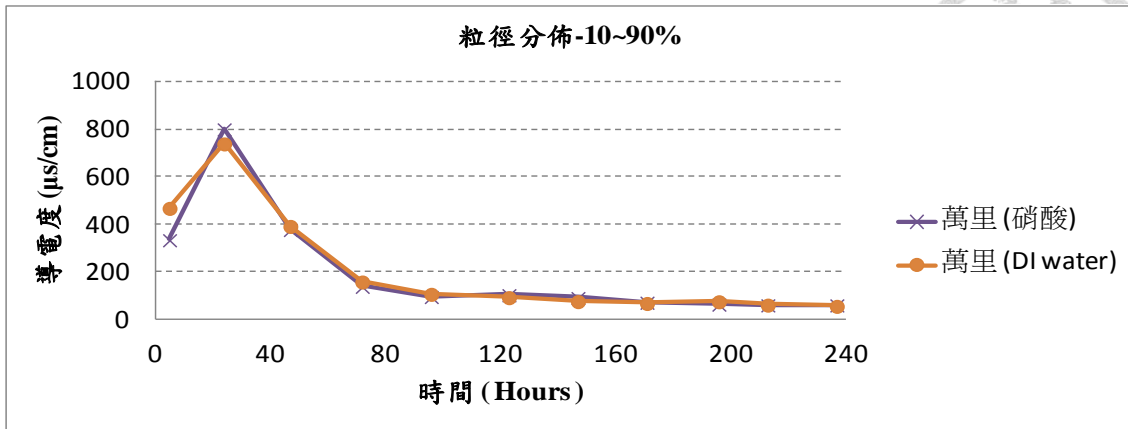


圖 4.32 萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下導電度溶出變化

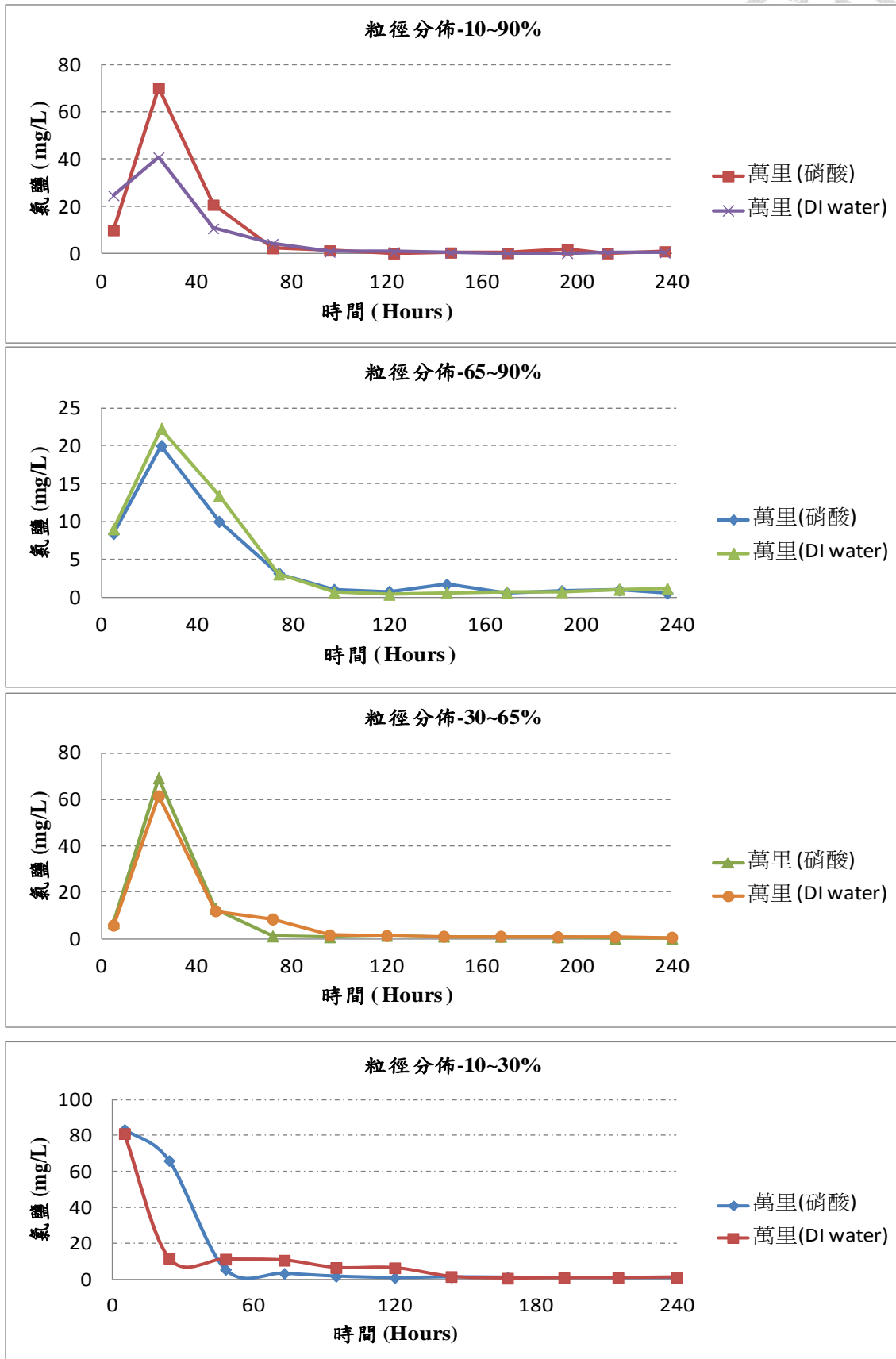


圖 4.33 萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下氣鹽溶出變化

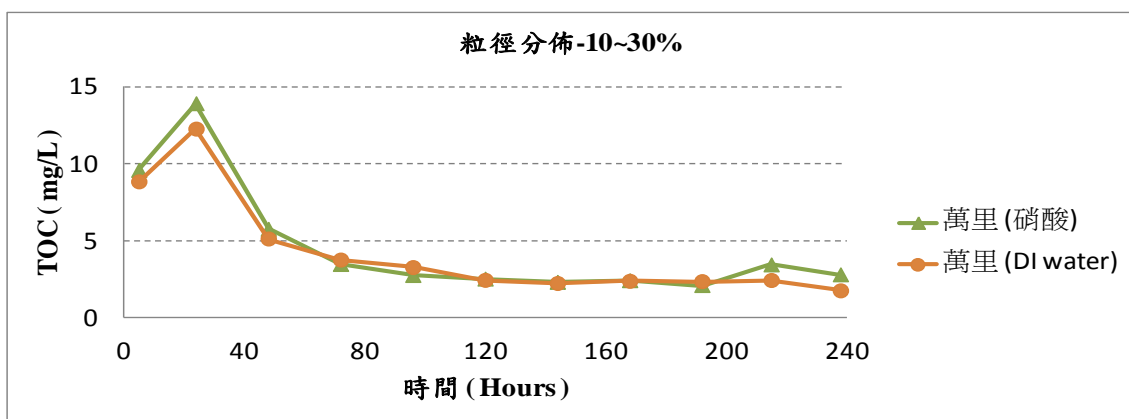
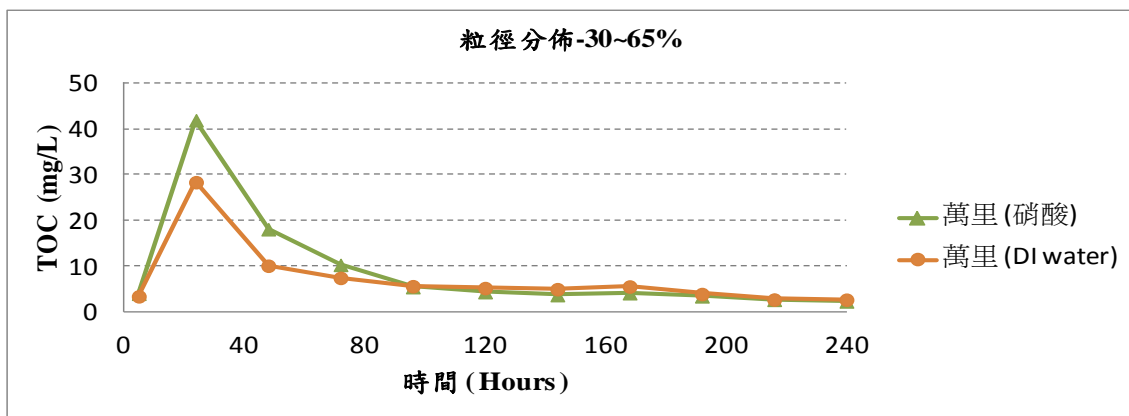
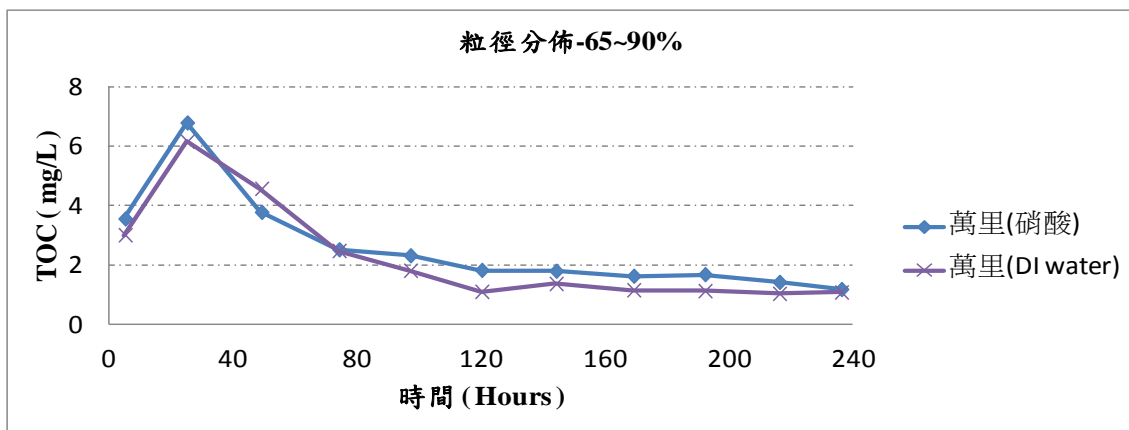
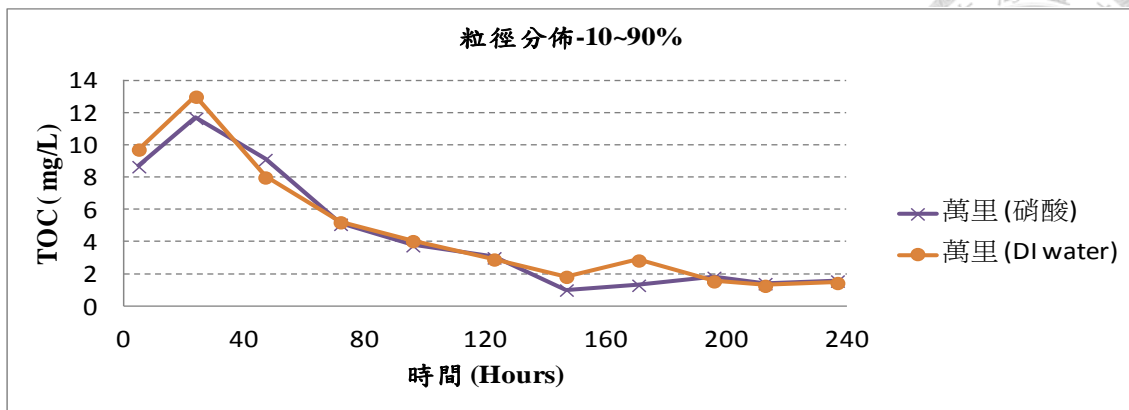


圖 4.34 萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下 TOC 溶出變化

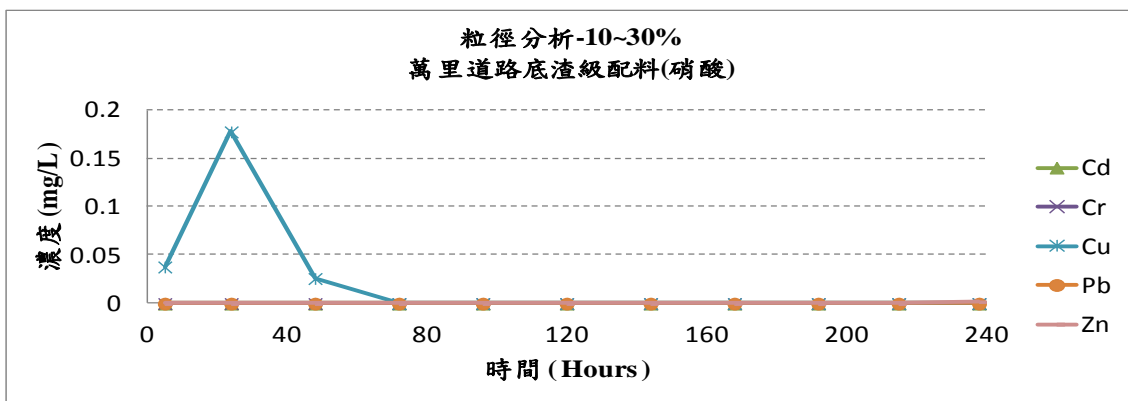
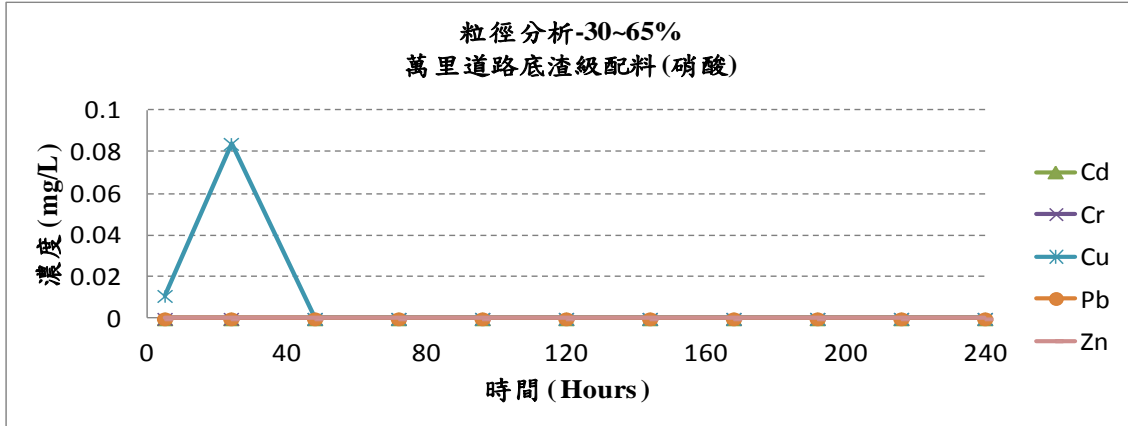
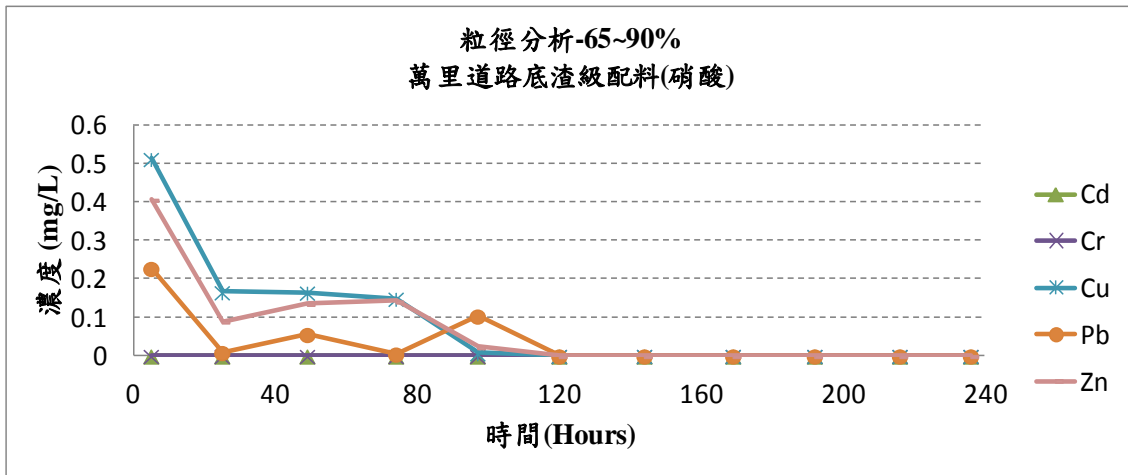
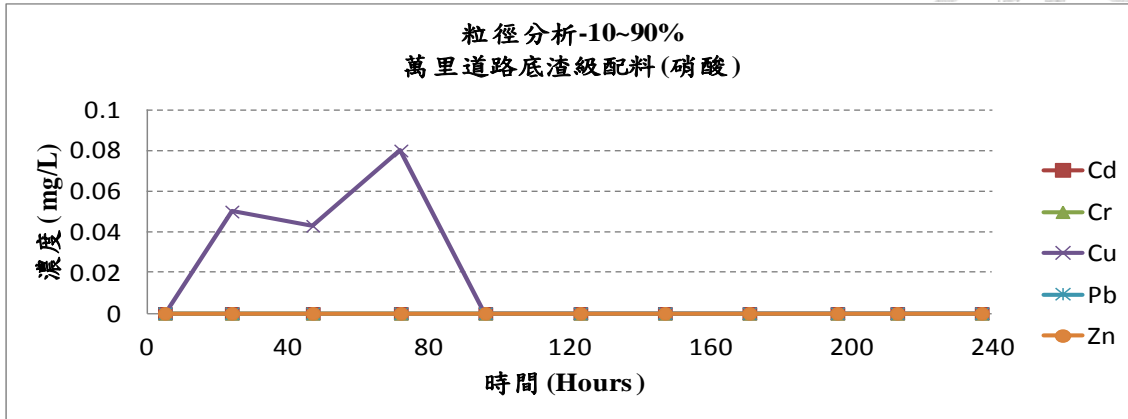


圖 4.35 萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬溶出濃度(硝酸)

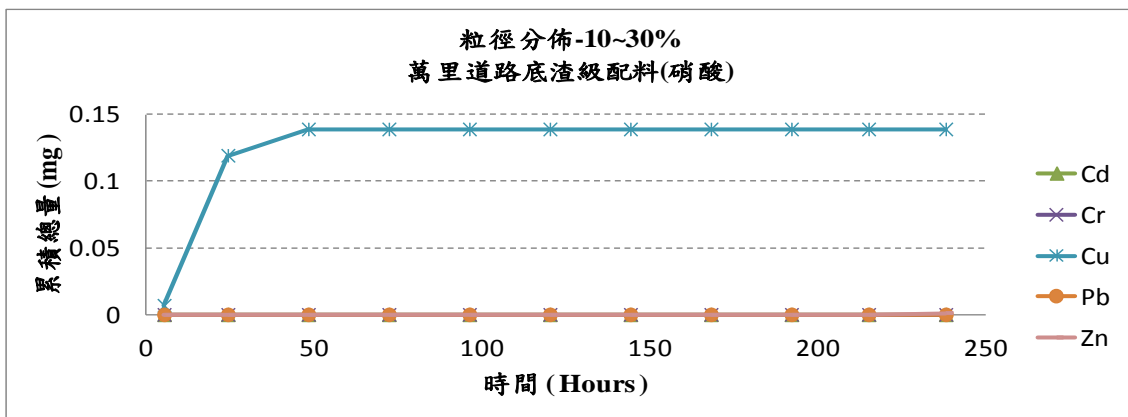
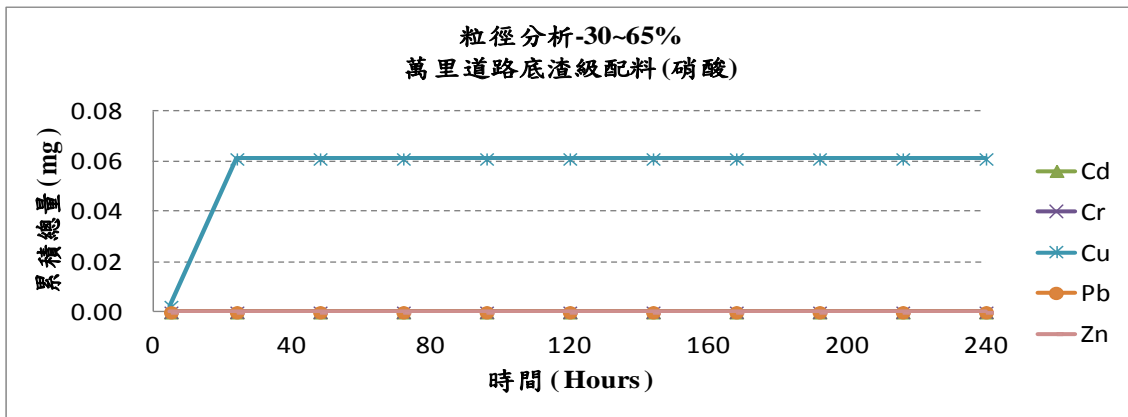
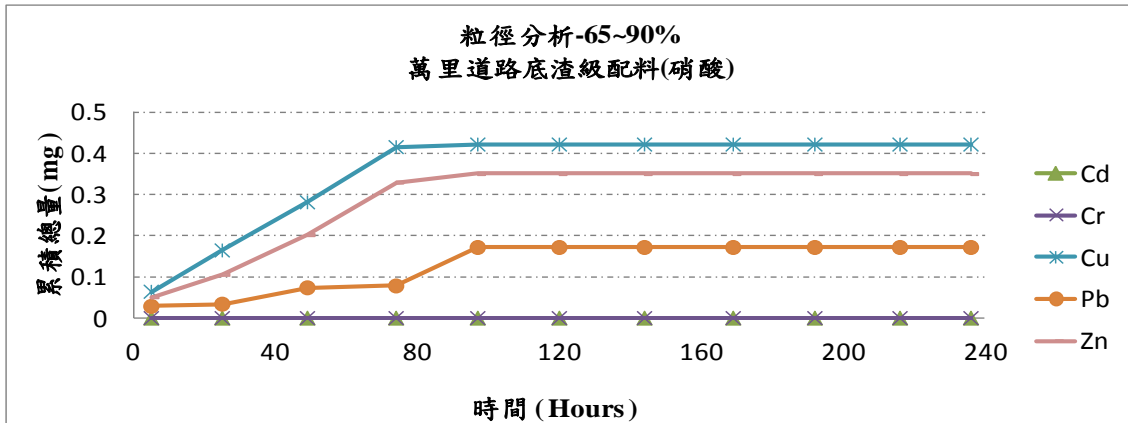
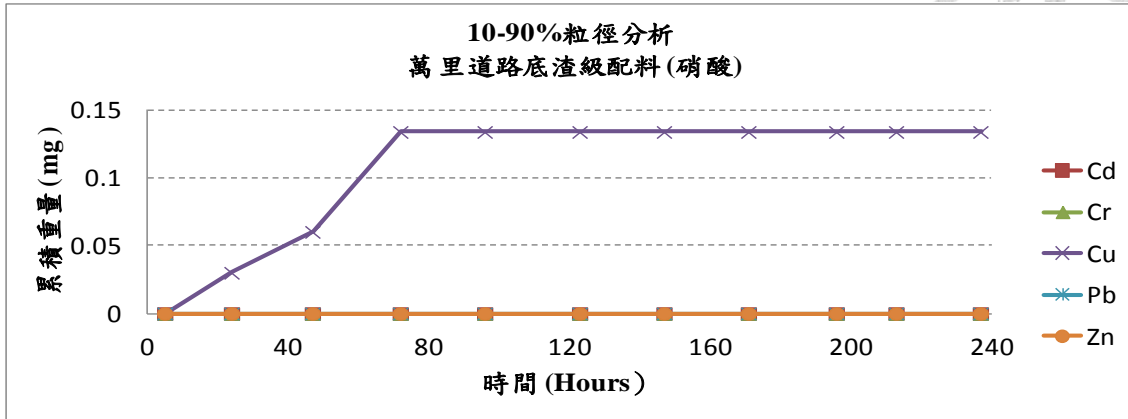


圖 4.36 萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬累積重量(硝酸)

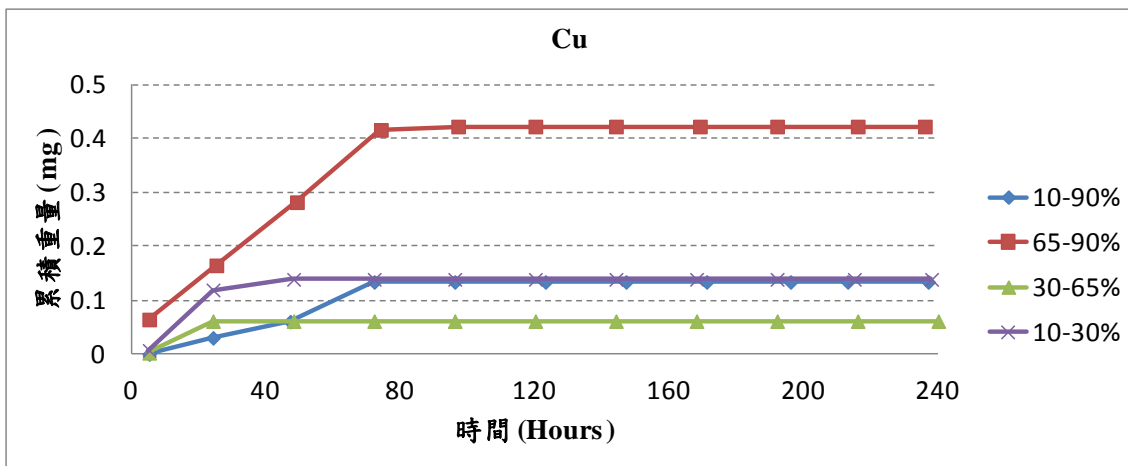
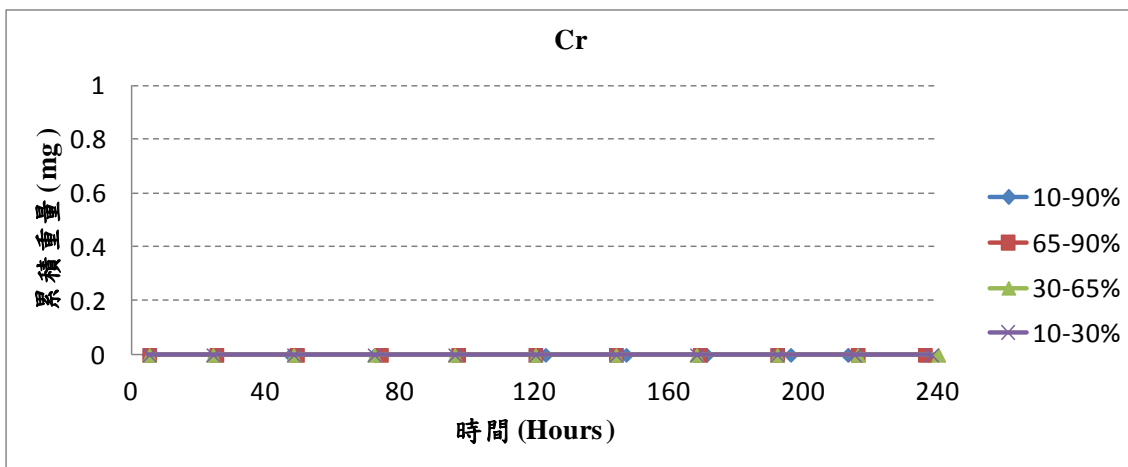
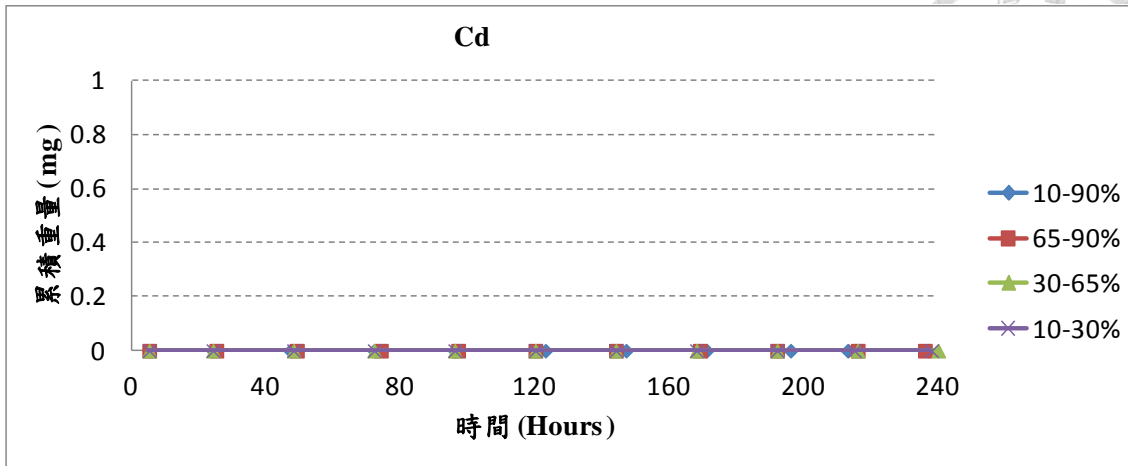


圖 4.37 萬里六年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量(硝酸)

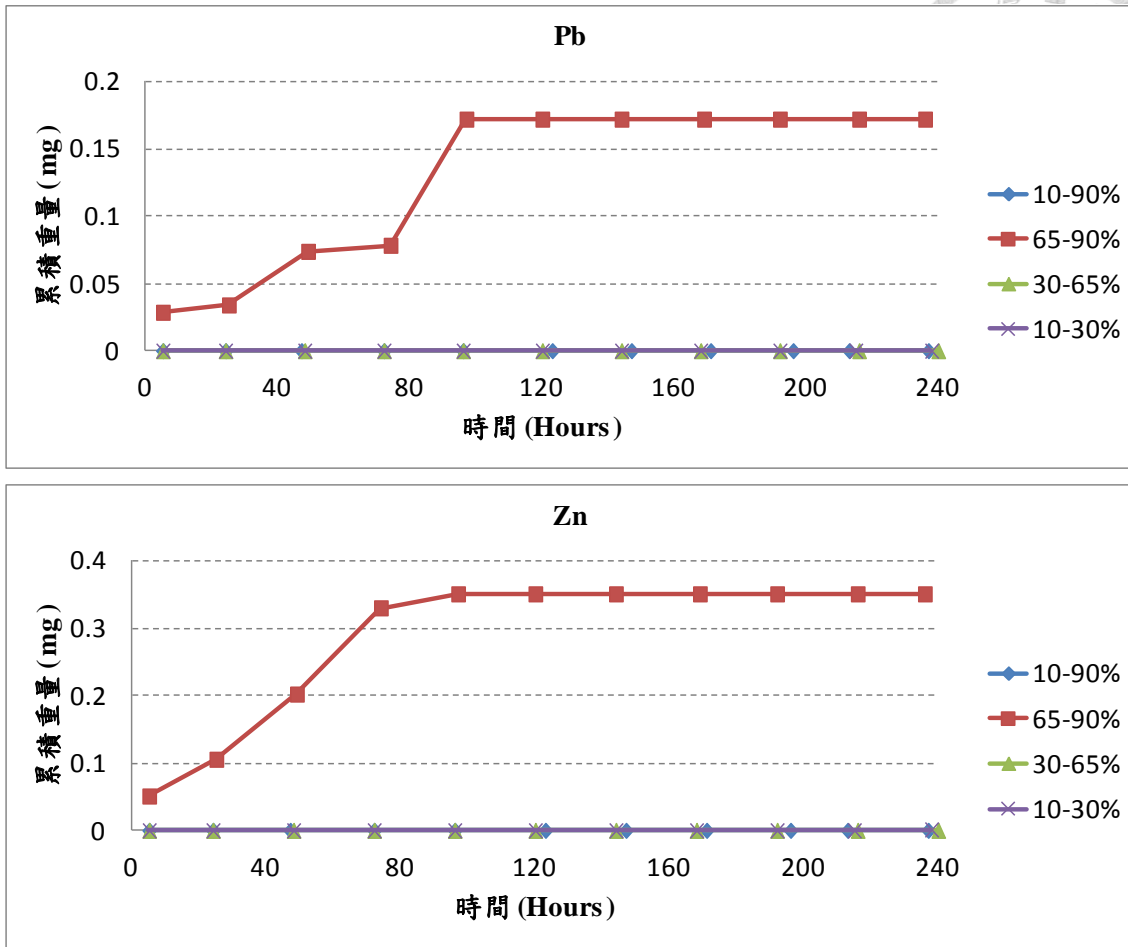


圖 4.38 萬里六年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量-續(硝酸)

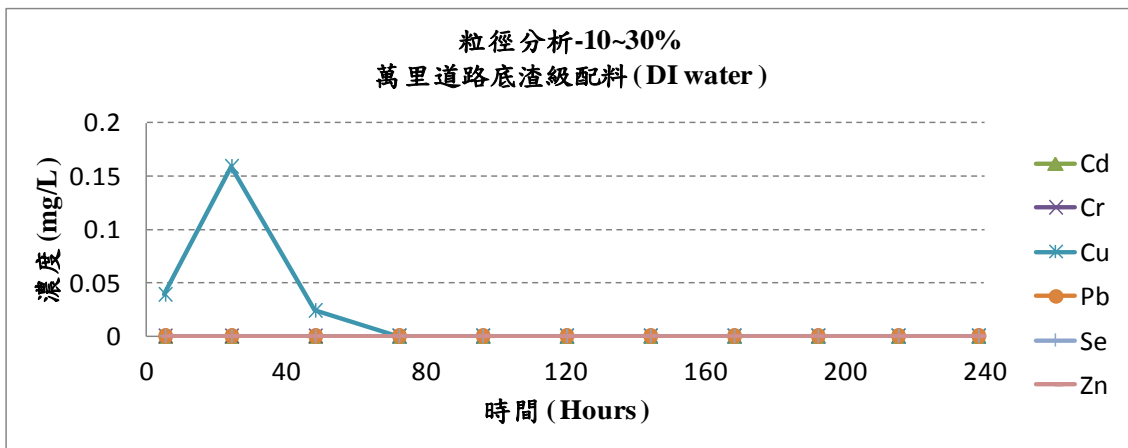
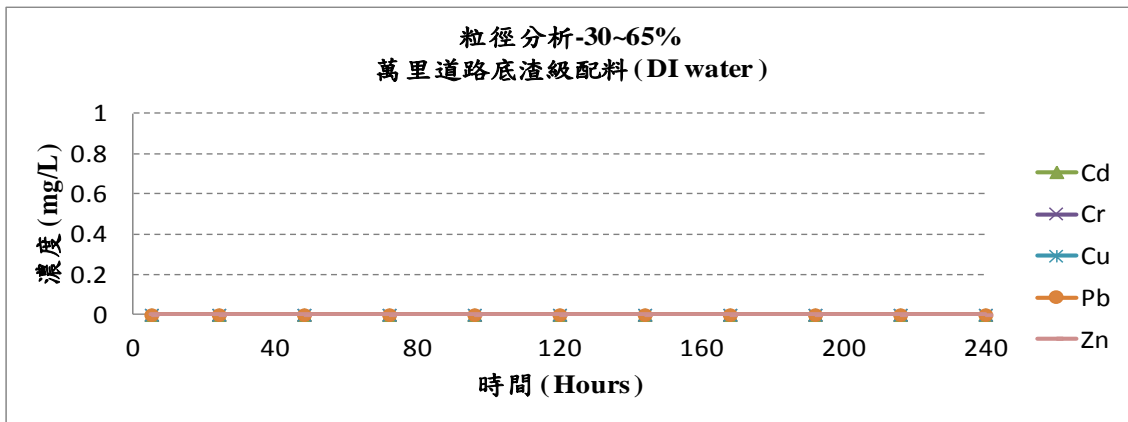
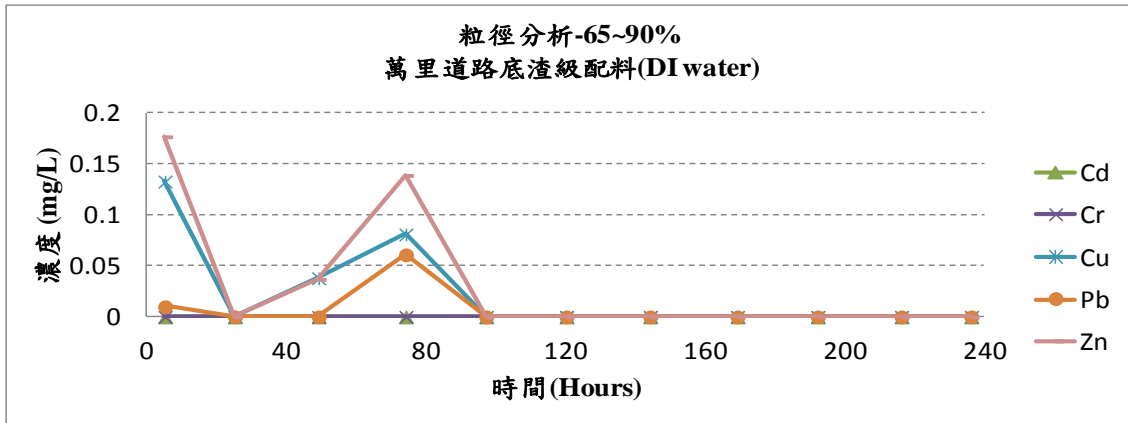
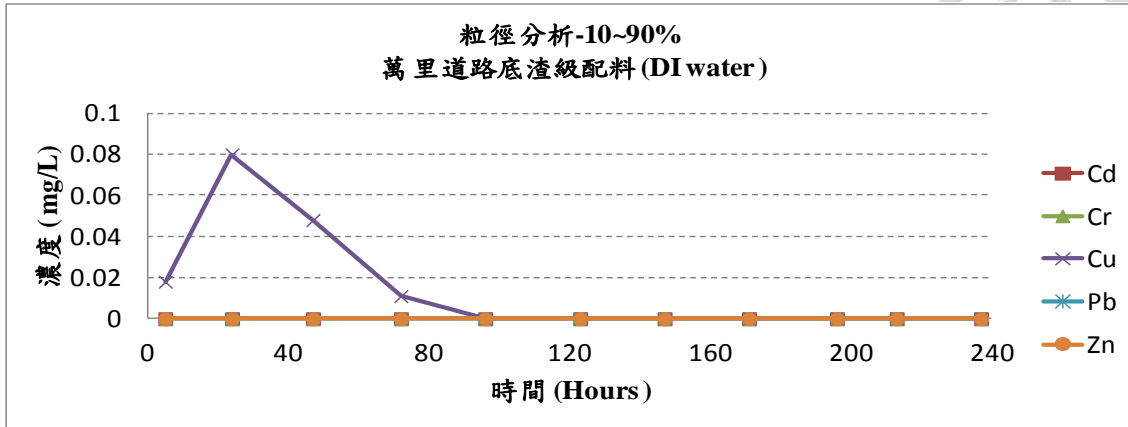


圖 4.39 萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬溶出濃度(DI water)

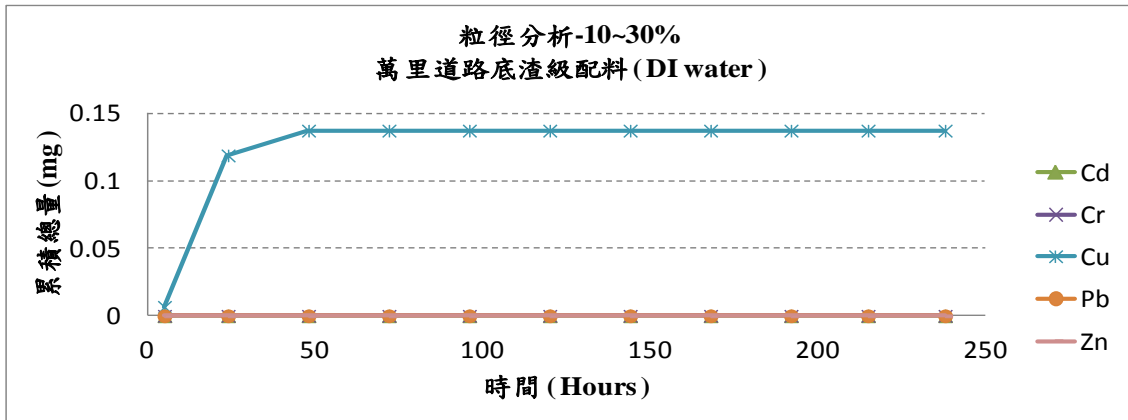
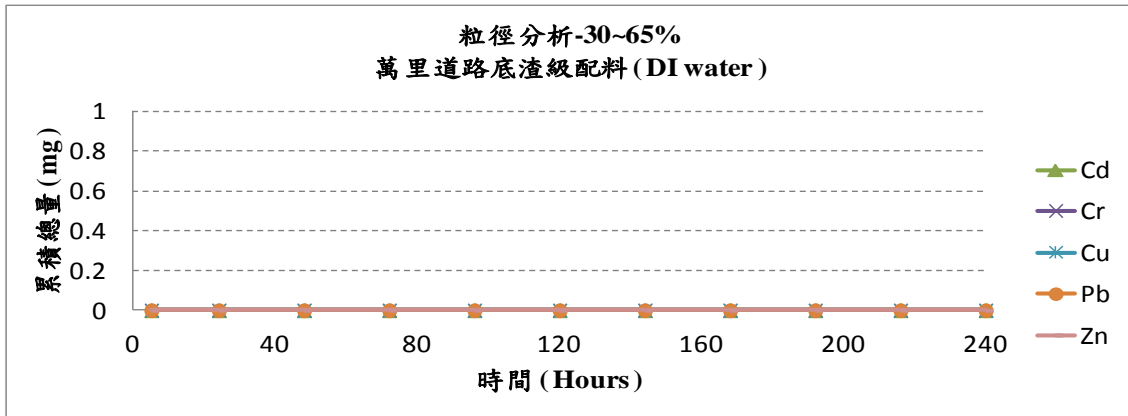
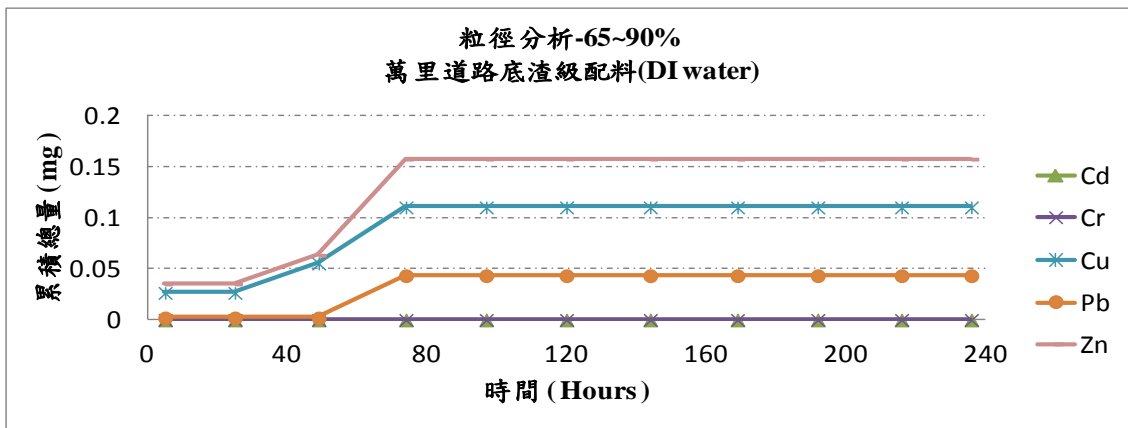
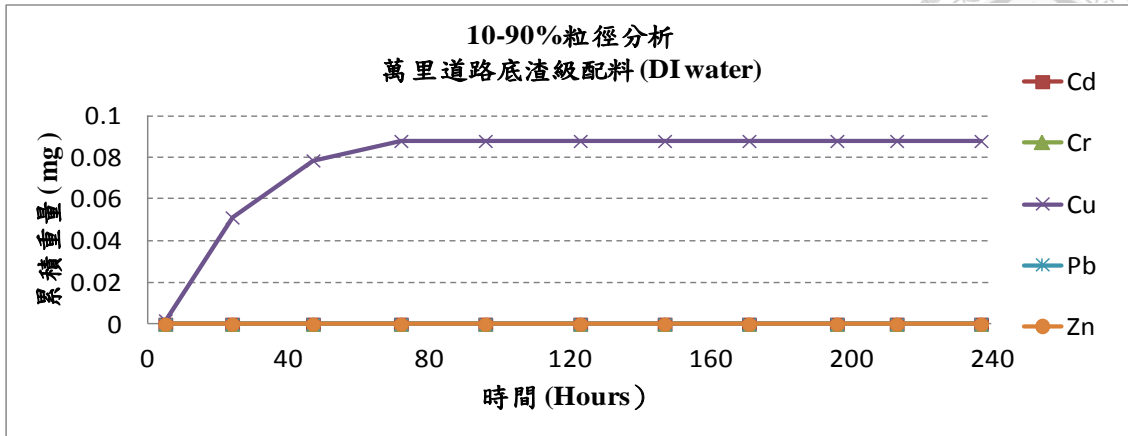
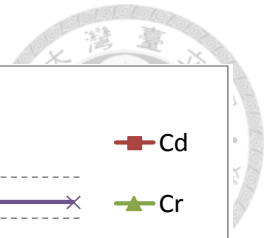


圖 4.40 萬里六年道路底渣級配料在不同粒徑下重金屬累積重量(DI water)

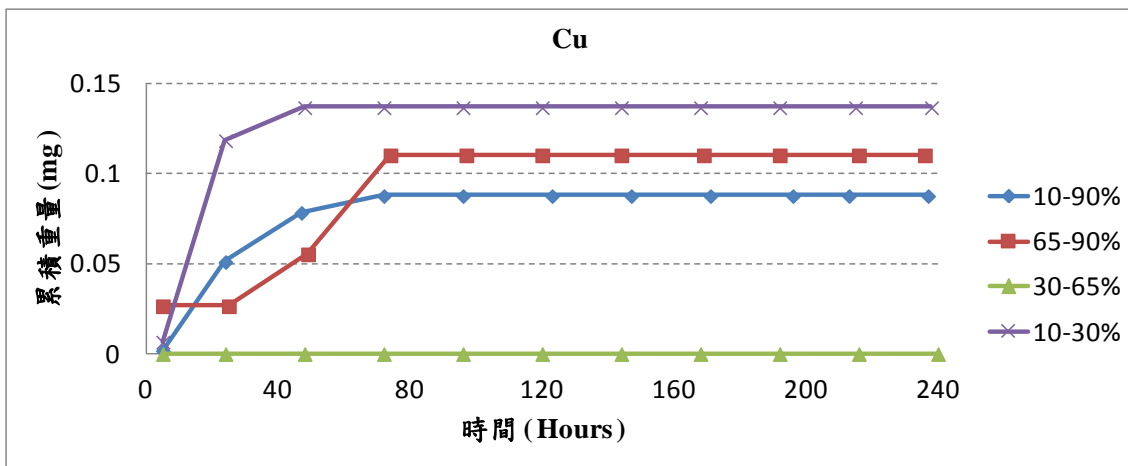
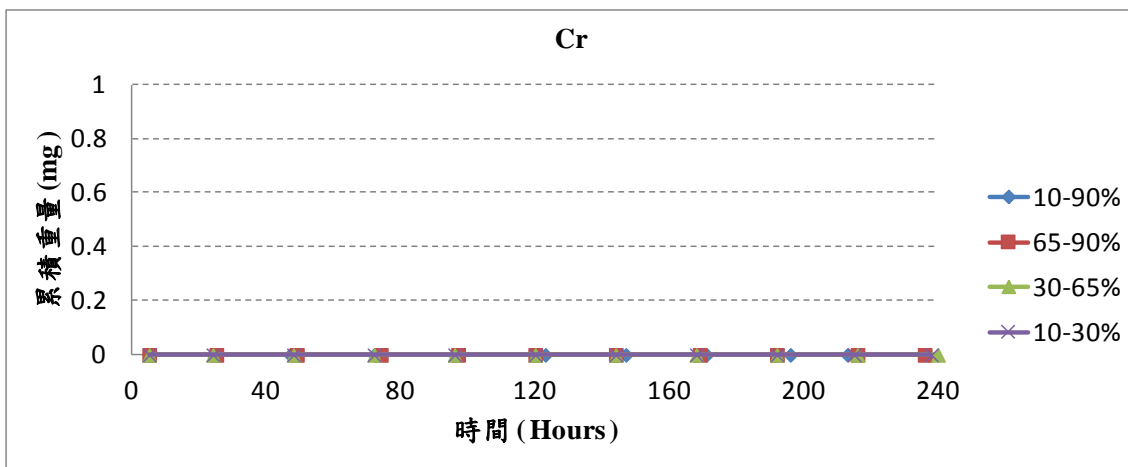
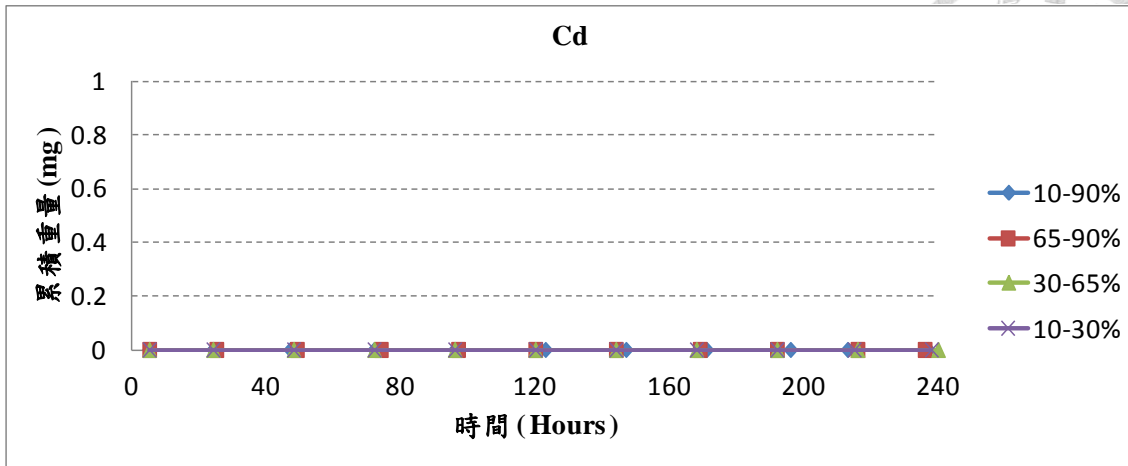


圖 4.41 萬里六年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量(DI water)

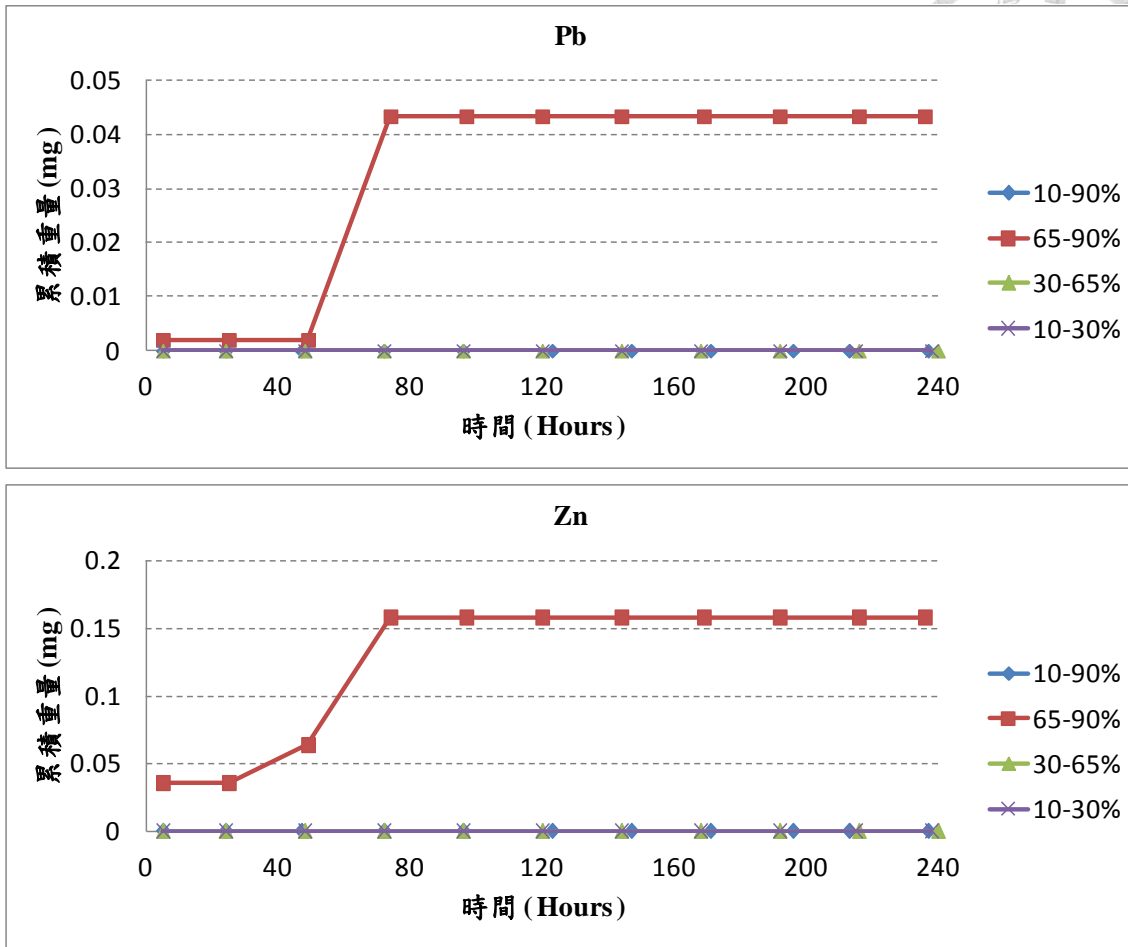


圖 4.42 萬里六年道路底渣級配料不同重金屬在各粒徑下之累積重量-續(DI water)

第五章 結論與建議



5.1 結論

1. 依粒徑分佈曲線，底渣 e 級配料之粒徑分佈範圍 d_{10} ， d_{30} ， d_{65} ， d_{90} 分別為 1.651 mm，2.794 mm，4.699 mm，9.5 mm。龍潭之粒徑分佈範圍 d_{10} ， d_{30} ， d_{65} ， d_{90} 分別為 0.351 mm，0.991 mm，2.794 mm，9.5 mm。萬里之粒徑分佈範圍 d_{10} ， d_{30} ， d_{65} ， d_{90} 分別為 0.124 mm，0.351 mm，1.651 mm，9.5 mm。由於底渣經鋪設道路後，經環境的影響而導致顆粒逐漸變小。
2. 未經再用之底渣 e 級配料，埋設一年的道路底渣級配料與埋設六年的道路底渣級配料之重金屬總量為鋅含量(3200~3600 mg/kg; 1950~2660 mg/kg; 700~2150 mg/kg)最高，銅(1800~2150 mg/kg; 1000~1310 mg/kg; 550~1210 mg/kg)次之，再者為鉛(530~605 mg/kg; 405~605 mg/kg; 350~1200 mg/kg)。重金屬總量與粒徑大小並無明顯關係。
3. 動態管柱試驗，底渣 e 級配料之 pH 約在 11~12 之間；龍潭與萬里之底渣級配料因雨水淋洗或當地環境因素影響可能使鹼性物質流失，故 pH 值約在 7~9 之間。
4. 管柱試驗淋洗 10 天，大多底渣之導電度，氯離子和及 TOC 隨時間而有明顯的下降；底渣顆粒粒徑範圍分佈越小，龍潭與萬里底渣級配料之導電度、氯離子及 TOC 溶出值越大。
5. 硝酸溶液 pH=5(± 0.5)與 DI water (pH=6.82)之淋洗試驗，DI water 淋洗底渣級配料其溶出值部分低於硝酸溶液淋洗試驗，。
6. 動態管柱試驗之重金屬濃度(銅：4.7 (mg/L)、鉛：0.9 (mg/L))，底渣 e 級配料其溶出量較大，龍潭與萬里部分之重金屬濃度(銅：1 (mg/L)；0.5 (mg/L)、鉛：0.9 (mg/L)；0.2 (mg/L))由於道路鋪設後，經環境影響導致重金屬含量較低。
7. 底渣 e 級配料、龍潭與萬里動態管柱試驗，在三組粒徑分佈範圍，重金屬溶出量不易從顆粒中分出，且重金屬累積量/底渣樣品重量(350 g)為溶出重金屬之重金屬總量，與其底渣樣品以王水消化法測得之重金屬總量相比為可忽略。



5.2 建議

1. 對於不易設立監控站之底渣鋪設場址，建議不定期取已埋設之底渣樣本進行實驗，以評估對於環境之影響。
2. 由於道路鋪設底渣之樣品取樣有限，且底渣仍為 random，故在不同粒徑之溶出可能為極端值或中間值，要很多組才可作出趨勢。
3. 近年來各國底渣再利用於道路鋪設工程已有相當的研究，但對於底渣應用於填海造島(陸)之研究相當缺乏，建議未來可設立填海造島(陸)示範模場，研擬底渣應用於填海造島(陸)之可行度。

參考文獻



Chen, C.-H. and Chiou, I.-J. (2007) Distribution of chloride ion in MSWI bottom ash and de-chlorination performance. *Journal of Hazardous Materials* 148(1), 346-352.

Chimenos, J., Segarra, M., Fernandez, M. and Espiell, F. (1999) Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator. *Journal of Hazardous Materials* 64(3), 211-222.

DePaula, F.C. and Mozeto, A.A. (2001) Biogeochemical evolution of trace elements in a pristine watershed in the Brazilian southeastern coastal region. *Applied Geochemistry* 16(9), 1139-1151.

Forteza, R., Far, M., Seguí, C. and Cerda, V. (2004) Characterization of bottom ash in municipal solid waste incinerators for its use in road base. *Waste Management* 24(9), 899-909.

Guimaraes, A., Okuda, T., Nishijima, W. and Okada, M. (2005) Chemical extraction of organic carbon to reduce the leaching potential risk from MSWI bottom ash. *Journal of Hazardous Materials* 125(1), 141-146.

Hyks, J., Astrup, T. and Christensen, T.H. (2009) Leaching from MSWI bottom ash: Evaluation of non-equilibrium in column percolation experiments. *Waste Management* 29(2), 522-529.

Lam, C.H., Ip, A.W., Barford, J.P. and McKay, G. (2010) Use of incineration MSW ash: A review. *Sustainability* 2(7), 1943-1968.

Lores, E.M. and Pennock, J.R. (1998) The effect of salinity on binding of Cd, Cr, Cu and Zn to dissolved organic matter. *Chemosphere* 37(5), 861-874.

Meima, J.A. and Comans, R.N. (1997) Overview of geochemical processes controlling leaching characteristics of MSWI bottom ash. *Studies in environmental science* 71, 447-457.

Rosende, M., Miró, M. and Cerdà, V. (2008) The potential of downscaled dynamic column

extraction for fast and reliable assessment of natural weathering effects of municipal solid waste incineration bottom ashes. *Analytica chimica acta* 619(2), 192-201.

Shih, H.-c. and Ma, H.-w. (2011) Assessing the health risk of reuse of bottom ash in road paving. *Chemosphere* 82(11), 1556-1562.

Takahashi, F., Etoh, J. and Shimaoka, T. (2010) Metal mobilization from municipal solid waste incineration bottom ash through metal complexation with organic and inorganic ligands. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 12(1), 1-9.

Turner, A. and Millward, G. (1994) Partitioning of trace metals in a macrotidal estuary. Implications for contaminant transport models. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 39(1), 45-58.

Van Gerven, T., Cooreman, H., Imbrechts, K., Hindrix, K. and Vandecasteele, C. (2007) Extraction of heavy metals from municipal solid waste incinerator (MSWI) bottom ash with organic solutions. *Journal of Hazardous Materials* 140(1), 376-381.

Wei, Y., Shimaoka, T., Saffarzadeh, A. and Takahashi, F. (2011) Mineralogical characterization of municipal solid waste incineration bottom ash with an emphasis on heavy metal-bearing phases. *Journal of Hazardous Materials* 187(1), 534-543.

Wiles, C.C. (1996) Municipal solid waste combustion ash: State-of-the-knowledge. *Journal of Hazardous Materials* 47(1), 325-344.

潤隆建設股份有限公司 (2012)，再利用場址後續重金屬溶出特性評估計畫。

行政院環保署 (2011-2012)，焚化廠營運管理系統-底渣原始檢測統計表。

施秀靜，馬鴻文 (2008)，焚化爐底渣再利用之健康及環境風險評估，國立台灣大學環境工程學研究所，焚化爐底灰再利用論壇。

行政院環保署 (2012)，垃圾焚化廠底渣再利用管理方式。

趙永楠 (2003)，以動態/半動態溶出試驗評估都市垃圾焚化底灰長期穩定特性之研究，碩士論文，國立台灣大學環境工程學研究所。

劉彥均 (2004) 以逐步萃取成序及溶出試驗評估都市垃圾焚化底渣長期穩定特性

之研究，碩士論文，國立台灣大學環境工程學研究所。

吳佩勳（2007），都市焚化廠底渣再利用於鋪面工程及現地環境偵測，碩士論文，
國立台灣大學環境工程研究所。



附錄



底渣 e 級配料粒徑分佈 10-90% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	150	11.53	2630	13598.28	90.04
24	670	12.49	12610	19503.85	500.65
47	785	12.49	7170	12113.13	133.74
72	1000	12.43	4550	2514.30	33.12
96	950	12.21	3610	651.03	16.17
123	990	12.27	2970	275.66	11.66
147	900	12.18	2530	285.16	9.17
171	885	12.07	1883	205.68	8.47
196	950	11.94	1537	152.34	8.32
213	475	11.87	1220	98.79	8.19
237	740	11.87	1087	40.82	7.32

底渣 e 級配料粒徑分佈 65-90% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	155	9.62	670	1625.33	24.26
25	575	12.45	9150	14016.22	328.51
49	740	12.38	6390	5018.84	150.49
74	680	12.22	4280	1563.02	58.29
97	790	12.2	3340	779.12	27.70
120	725	12.22	2860	1017.72	17.12
144	745	12.25	2280	53.97	10.96
169	800	12.09	1837	62.53	8.28
192	770	12.09	1534	31.94	7.01
216	740	11.9	1195	28.33	6.30
236	650	11.69	1120	41.20	6.35



底渣 e 級配料粒徑分佈 30-65% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	220	11.66	1868	2659.75	55.84
24	570	12.45	13660	13879.45	667.86
48	980	12.28	5170	8359.61	154.69
72	900	12.34	3630	4416.84	34.13
96	835	12.19	2160	2503.73	16.86
120	735	12.13	1825	1443.76	11.35
144	820	12.09	1524	963.26	10.38
168	815	12.02	1898	73.89	9.52
192	860	11.81	1630	21.354	8.33
216	810	11.98	1436	103.14	7.58
240	785	11.56	1181	30.34	7.65

底渣 e 級配料粒徑分佈 10-30% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	180	12.28	12060		345.74
24	655	12.53	15780		748.47
48	820	12.54	8410		178.65
72	835	12.51	6170		43.54
96	810	12.47	4870		20.62
120	785	12.38	4050		16.71
144	770	12.29	4000		14.25
168	810	12.21	3410		13.11
192	765	12.28	3390		11.95
215	750	11.93	2990		15.24
238	700	11.95	2435		13.74



底渣 e 級配料粒徑分佈 10-90% (DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	120	11.21	2080	4787.04	76.72
24	800	12.44	10810	16283.28	474.21
47	760	12.45	6380	6701.38	40.59
72	990	12.42	4620	1965.27	24.46
96	850	12.31	3550	492.86	18.90
123	950	12.32	3070	385.99	12.18
147	860	12.22	2600	663.10	8.73
171	880	12.18	2380	275.90	9.44
196	920	12.09	2060	60.35	8.82
213	570	12.06	1882	42.65	12.76
237	875	12.08	1631	36.84	9.14

底渣 e 級配料粒徑分佈 65-90% (DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	140	9.89	1196	3772.60	44.04
25	790	12.43	8350	13397.77	276.52
49	710	12.50	5530	3973.56	114.42
74	900	12.18	3500	2626.15	39.39
97	650	12.11	2500	1419.78	15.74
120	800	12.14	2210	421.61	15.65
144	765	12.19	1893	67.45	11.10
169	800	12.07	1612	34.38	8.58
192	850	11.90	1317	64.14	7.43
216	790	11.89	1123	50.43	6.62
236	750	11.55	928	31.34	5.89



底渣 e 級配料粒徑分佈 30-65% (DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	250	12.07	4830	2419.13	19.20
24	385	12.3	12370	9146.45	643.03
48	750	12.34	7300	6853.47	231.90
72	950	12.31	4250	3327.09	49.91
96	815	12.27	2892	2109.15	27.39
120	765	12.12	1252	1285.37	17.20
144	790	12.15	1052	895.68	9.75
168	750	11.98	1662	70.14	9.53
192	810	11.95	1716	14.30	9.40
216	800	11.89	1432	22.85	8.68
240	825	11.8	1096	12.28	8.83

底渣 e 級配料粒徑分佈 10-30% (DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	200	12.32	8000		332.80
24	620	12.56	15590		742.77
48	805	12.54	8030		203.08
72	795	12.57	5330		69.93
96	815	12.5	4370		26.79
120	765	12.41	3740		19.07
144	780	12.38	3300		17.85
168	735	12.33	2880		13.11
192	755	12.33	2640		11.95
215	710	12.19	2420		15.24
238	685	12.15	2105		12.00



龍潭一年道路底渣級配料粒徑分佈 10-90% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	100	8.11	240	1.89	6.20
24	650	8.18	417	9.62	5.24
47	710	8.25	206	46.64	5.18
72	980	8.32	140.4	1.70	3.83
96	890	8.21	114.4	0.32	3.34
123	960	8.42	103	0.28	2.60
147	880	8.31	101.6	1.34	2.21
171	890	8.38	88.8	0.19	2.43
196	945	8.14	81.1	0.46	1.65
213	450	8.61	85.3	0.26	2.12
237	700	8.13	78.7	0.03	2.30

龍潭一年道路底渣級配料粒徑分佈 65-90% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	75	8.67	102.8	1.14	2.27
25	650	8.29	261	8.53	1.56
49	800	8.53	197.4	3.38	2.20
74	720	8.62	128.1	1.46	1.35
97	750	8.51	102.4	0.46	1.27
120	755	8.61	90.8	0.36	1.48
144	790	8.71	81.8	0.03	1.04
169	830	8.58	76	0.10	1.25
192	775	8.54	69.4	0.86	1.21
216	750	8.75	68.7	1.00	0.86
236	680	8.77	74	0.78	0.88



龍潭一年道路底渣級配料粒徑分佈 30-65% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	170	8.52	68.7	3.41	1.90
24	440	8.79	605	29.65	11.26
48	750	7.85	309	6.70	4.37
72	600	7.97	178.6	0.50	2.65
96	725	8.02	94.2	0.60	2.35
120	825	7.97	82.1	0.54	1.87
144	805	8.21	93.4	0.50	1.76
168	800	8.42	93.2	0.14	2.40
192	850	8.55	83.9	0.13	2.22
216	820	8.94	86.7	0.12	1.86
240	795	8.72	83.2	0.11	1.55

龍潭一年道路底渣級配料粒徑分佈 10-30% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	130	8.43	224		17.62
24	610	7.64	784		101.12
48	795	7.66	270		27.16
72	825	8.09	166		9.12
96	790	8.23	135.4		6.97
120	810	8.24	121.9		5.27
144	760	8.15	113.7		5.11
168	790	8.2	106.7		7.24
192	775	8.1	95.6		4.54
215	720	7.93	112.5		6.65
238	710	7.82	96.3		5.77



龍潭一年道路底渣級配料粒徑分佈 10-90% (DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	100	8.06	305	8.45	5.26
24	750	8.24	321	14.13	4.47
47	645	8.25	184.8	18.65	4.00
72	930	8.36	127.3	1.73	3.34
96	800	8.21	106.9	0.44	3.64
123	880	8.25	94.6	0.30	2.57
147	800	8.44	86.5	0.48	1.36
171	850	8.41	80.4	0.84	2.40
196	900	8.3	77.2	0.72	1.95
213	435	8.14	78.2	0.69	2.36
237	870	8.36	76.6	0.78	2.02

龍潭一年道路底渣級配料粒徑分佈 65-90% (DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	100	8.74	54.5	1.58	1.28
25	690	8.34	256	8.94	1.23
49	710	8.26	188.4	4.22	1.47
74	950	8.67	128.4	1.12	1.02
97	715	8.41	108.4	0.81	2.38
120	725	8.46	91.3	1.23	1.66
144	750	8.30	82.6	1.07	1.02
169	790	8.68	74.2	0.60	0.78
192	770	8.36	68.3	0.80	0.92
216	720	8.57	65.8	0.71	0.76
236	650	8.17	65.3	0.69	0.77



龍潭一年道路底渣級配料粒徑分佈 30-65% (DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	300	8.04	281	14.08	3.87
24	440	8.12	435	24.81	11.21
48	750	7.97	177.6	12.93	6.69
72	650	7.79	168.6	5.81	4.86
96	750	7.69	112.2	2.99	5.02
120	780	7.72	90.1	1.46	3.70
144	720	7.52	72.5	1.19	3.33
168	890	8.04	117	0.13	2.88
192	885	8.13	84.5	0.12	2.78
216	820	8.24	86.7	0.14	2.03
240	780	8.83	85	0.13	1.86

龍潭一年道路底渣級配料粒徑分佈 10-30% (DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	140	8.28	220		15.76
24	670	7.76	807		95.04
48	815	7.72	290		27.12
72	780	8.04	162.5		12.29
96	765	8.15	144.9		9.49
120	810	8.02	124.7		6.73
144	750	8.04	113.2		7.49
168	775	8.12	113.2		6.54
192	750	8.07	110.5		6.04
215	715	7.99	134.6		8.01
238	690	8.02	105.2		5.35



萬里六年道路底渣級配料粒徑分佈 10-90% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	100	8.05	335	10.03	8.69
24	600	8.41	801	70.29	11.69
47	700	8.54	378	20.82	9.13
72	920	8.95	138.9	2.35	5.11
96	825	8.69	96	1.44	3.78
123	900	8.96	103.7	0.17	3.03
147	810	9.05	91.6	0.53	1.03
171	825	8.71	71.9	0.29	1.32
196	890	8.69	64.1	1.90	1.81
213	440	8.49	61	0.20	1.43
237	675	8.65	60.8	1.05	1.59

萬里六年道路底渣級配料粒徑分佈 65-90% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	200	8.55	190.1	8.37	3.54
25	605	8.00	592	19.97	6.78
49	760	8.08	321	9.96	3.76
74	680	8.26	176.5	3.12	2.50
97	700	8.50	124	0.95	2.30
120	750	8.68	100.2	0.70	1.81
144	865	8.44	80.4	1.65	1.78
169	800	8.70	70.8	0.54	1.61
192	720	8.69	71.00	0.79	1.66
216	700	8.59	61.3	0.92	1.40
236	710	8.29	62.4	0.50	1.16



萬里六年道路底渣級配料粒徑分佈 30-65% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	210	8.78	100.5	6.83	4.07
24	700	8.28	780	69.11	41.98
48	950	8.59	214	12.79	18.17
72	910	8.76	95.4	1.03	10.39
96	825	8.72	82.1	0.67	5.52
120	800	8.52	79.2	1.29	4.43
144	815	8.67	75.7	0.96	3.78
168	700	8.47	95.6	0.88	4.20
192	810	9.33	74.6	0.66	3.51
216	785	8.86	78.9	0.08	2.75
240	810	8.91	74.9	0.11	2.40

萬里六年道路底渣級配料粒徑分佈 10-30% (硝酸)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	180	8.02	169		9.55
24	630	7.98	1121		13.90
48	755	8.15	301		5.72
72	805	8.37	129.9		3.43
96	790	8.44	118.2		2.71
120	795	8.37	126.8		2.48
144	780	8.39	98.1		2.27
168	810	8.55	77.3		2.38
192	760	8.58	69.7		2.06
215	780	8.3	77.5		3.40
238	690	8.25	65.2		2.76



萬里六年道路底渣級配料粒徑分佈 10-90%(DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	100	8.05	469	24.76	9.75
24	640	8.46	740	40.99	13.03
47	570	8.73	393	10.74	8.02
72	850	8.84	159.1	4.30	5.23
96	775	8.49	107.4	0.74	4.07
123	870	8.72	93.3	0.75	2.93
147	790	8.64	76.7	0.40	1.85
171	850	9.05	68.9	0.20	2.86
196	930	8.33	76.1	0.23	1.57
213	555	8.76	61.9	0.27	1.29
237	825	8.9	56.8	0.41	1.47

萬里六年道路底渣級配料粒徑分佈 65-90%(DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	125	8.37	173.4	8.99	2.99
25	605	8.46	523	22.26	6.14
49	710	8.05	401	13.39	4.56
74	900	8.77	193.6	3.02	2.46
97	900	8.88	95.4	0.61	1.79
120	730	9.11	69	0.35	1.08
144	750	8.7	61.9	0.55	1.35
169	750	8.62	65.6	0.61	1.14
192	795	8.83	60.5	0.69	1.11
216	735	9.07	57.8	1.00	1.02
236	680	8.6	57.8	1.11	1.06



萬里六年道路底渣級配料粒徑分佈 30-65%(DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	155	8.34	170.3	5.70	3.52
24	400	8.41	839	61.38	28.45
48	900	8.33	430	11.87	10.20
72	940	8.25	209	8.32	7.54
96	780	8.23	113	1.46	5.73
120	795	8.25	82.5	1.20	5.32
144	815	8.12	74.7	0.90	5.08
168	800	8.91	73	0.87	5.66
192	650	8.93	70.3	0.66	4.02
216	820	8.88	69.3	0.69	2.81
240	775	8.98	72.5	0.49	2.78

萬里六年道路底渣級配料粒徑分佈 10-30%(DI water)

時間 (hour)	溶出量 (mL)	pH	導電度 (μ s/cm)	氯離子 (mg/L)	TOC (mg/L)
5	170	7.99	687		8.81
24	705	8.04	987		12.24
48	765	8.24	271		5.09
72	820	8.26	129.5		3.72
96	775	8.38	101.7		3.23
120	790	8.35	96.7		2.40
144	745	8.29	96.9		2.19
168	760	8.38	93		2.34
192	745	8.3	87.3		2.32
215	720	8.76	91		2.39
238	680	8.39	82.3		1.71



重金屬濃度 mg/L (底渣 e 級配料 10-90% 粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.529	0	0	0	0
24	0	3.31	0	0	0.647	0.701
47	0	1.191	0	0	0.614	0.547
72	0	0.39	0	0	0.508	0.371
96	0	0.228	0	0	0.404	0.329
123	0	0.132	0	0	0.296	0.198
147	0	0.113	0	0	0.211	0.164
171	0	0.072	0	0	0.132	0.037
196	0	0.059	0	0	0.091	0.019
213	0	0.055	0	0	0.049	0
237	0	0.058	0	0	0.038	0

重金屬濃度 mg/L (底渣 e 級配料 65-90% 粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.021	0.981	0	0	0.194	0.798
25	0.013	2.264	0	0	0.33	0.659
49	0.015	1.12	0	0	0.314	0.433
74	0.011	0.622	0	0	0.245	0.355
97	0.011	0.267	0	0	0.134	0.238
120	0.012	0.159	0	0	0.087	0.159
144	0.017	0.097	0	0	0.034	0.124
169	0.015	0.061	0	0	0	0.064
192	0.019	0.037	0	0	0	0.022
216	0.028	0.032	0	0	0	0
236	0.043	0.026	0	0	0	0



重金屬濃度 mg/L (底渣 e 級配料 30~65% 粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.213	0.008	0	0	0.112
24	0	4.507	0.004	0	0.159	0.178
48	0	1.031	0	0	0.064	0.104
72	0	0.25	0	0	0	0
96	0	0.136	0	0	0	0.001
120	0	0.064	0	0	0	0
144	0	0.046	0	0	0	0
168	0	0.027	0	0	0	0
192	0.009	0.015	0	0	0	0
216	0.01	0.018	0.006	0	0	0
240	0.014	0.01	0.009	0	0	0

重金屬濃度 mg/L (底渣 e 級配料 10-30% 粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.004	1.672	0.005	0	0	0.064
24	0	3.576	0.01	0	0.208	0.278
48	0	1.271	0	0	0.174	0.181
72	0	0.418	0	0	0.115	0.068
96	0.002	0.222	0	0	0.399	0.084
120	0.002	0.15	0	0	0	0
144	0.002	0.115	0.004	0	0	0
168	0.004	0.102	0.009	0	0.07	0
192	0.015	0.098	0.016	0	0	0
215	0.017	0.145	0.022	0	0	0
238	0.017	0.105	0.017	0	0	0.036



重金屬濃度 mg/L (底渣 e 級配料 10-90% 粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.464	0	0	0	0
24	0	2.793	0	0	0.733	0.607
47	0	1.047	0	0	0.791	0.424
72	0	0.474	0	0	0.67	0.385
96	0	0.228	0	0	0.483	0.307
123	0	0.147	0	0	0.392	0.195
147	0	0.105	0	0	0.341	0.138
171	0	0.089	0	0	0.316	0.109
196	0	0.126	0	0	0.447	0.161
213	0	0.099	0	0	0.305	0.096
237	0	0.087	0	0	0.147	0.083

重金屬濃度 mg/L (底渣 e 級配料 65-90% 粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.022	0.356	0	0	0.084	0.355
25	0.025	1.969	0	0	0.288	0.664
49	0.013	0.819	0	0	0.214	0.365
74	0.017	0.399	0	0	0.12	0.273
97	0.018	0.177	0	0	0.128	0.192
120	0.021	0.079	0	0	0.032	0.086
144	0.021	0.056	0	0	0	0.058
169	0.028	0.045	0	0	0	0.048
192	0.028	0.024	0	0	0	0.006
216	0.026	0.022	0	0	0	0
236	0.035	0.018	0	0	0	0



重金屬濃度 mg/L (底渣 e 級配料 30~65% 粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	1.24	0	0	0	0
24	0	4.613	0	0	0.142	0.122
48	0	1.911	0	0	0.031	0.086
72	0	0.444	0	0	0	0
96	0	0.323	0	0	0	0
120	0	0.184	0	0	0	0
144	0.009	0.081	0.002	0	0	0
168	0.01	0.06	0	0	0	0
192	0.009	0.057	0.002	0	0	0
216	0.01	0.053	0.007	0	0	0
240	0.015	0.044	0.044	0	0	0

重金屬濃度 mg/L (底渣 e 級配料 10-30% 粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	2.833	0.011	0	0	0.02
24	0	3.617	0.008	0	0.289	0.319
48	0	1.335	0	0	0.226	0.147
72	0	0.6	0	0	0.188	0.192
96	0	0.284	0	0	0.114	0.103
120	0	0.164	0	0	0.025	0
144	0.005	0.169	0	0	0	0.019
168	0.001	0.133	0.004	0	0	0
192	0.011	0.132	0.004	0	0.016	0.025
215	0.025	0.167	0.009	0	0	0
238	0.01	0.068	0.01	0	0	0



重金屬濃度 mg/L (龍潭一年道路底渣級配料 10-90%粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0
123	0	0	0	0	0	0
147	0	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0
196	0	0	0	0	0	0
213	0	0	0	0	0	0
237	0	0	0	0	0	0

重金屬濃度 mg/L (龍潭一年道路底渣級配料 65-90%粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.017	0.158	0	0	0.893	1.476
25	0.009	0.882	0	0	0.268	0.262
49	0.023	0.031	0	0	0.111	0.019
74	0.014	0.203	0	0	0.067	0.329
97	0.016	0.059	0	0	0.146	0.106
120	0.017	0	0	0	0	0
144	0.017	0	0	0	0	0
169	0.012	0	0	0	0	0
192	0.017	0	0	0	0	0
216	0.018	0	0	0	0	0
236	0.018	0	0	0	0	0



重金屬濃度 mg/L (龍潭一年道路底渣級配料 30~65%粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0	0	0	0	0.112
24	0	0.467	0.008	0	0.159	0.178
48	0	0.196	0	0	0.064	0.104
72	0	0.057	0	0	0	0
96	0.001	0.012	0	0	0	0.001
120	0	0	0	0	0	0
144	0	0	0	0	0	0
168	0	0	0	0	0	0
192	0	0	0	0	0	0
216	0	0	0	0	0	0
240	0	0	0	0	0	0

重金屬濃度 mg/L (龍潭一年道路底渣級配料 10-30%粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.09	0	0	0	0
24	0	1.011	0	0	0	0
48	0	0.311	0	0	0	0
72	0	0.079	0	0	0	0
96	0	0.026	0	0	0	0
120	0	0.005	0	0	0	0
144	0	0.007	0	0	0	0
168	0	0	0	0	0	0
192	0	0	0	0	0	0
215	0.002	0.02	0	0	0	0
238	0	0	0	0	0	0



重金屬濃度 mg/L (龍潭一年道路底渣級配料 10-90%粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0
123	0	0	0	0	0	0
147	0	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0
196	0	0	0	0	0	0
213	0	0	0	0	0	0
237	0	0	0	0	0	0

重金屬濃度 mg/L (龍潭一年道路底渣級配料 65-90%粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.041	0.167	0	0	0	0.135
25	0.018	0	0	0	0.921	0
49	0.018	0.004	0	0	0	0
74	0.019	0	0	0	0.094	0.041
97	0.018	0	0	0	0	0
120	0.021	0	0	0	0	0
144	0.019	0	0	0	0	0
169	0.017	0	0	0	0	0
192	0.018	0	0	0	0	0
216	0.016	0	0	0	0	0
236	0.02	0	0	0	0	0



重金屬濃度 mg/L (龍潭一年道路底渣級配料 30~65%粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0	0.158	0	0	0
24	0	0	0.339	0	0	0
48	0	0	0.095	0	0	0
72	0	0	0.038	0	0	0
96	0	0	0.045	0	0	0
120	0	0	0.017	0	0	0
144	0	0	0.011	0	0	0
168	0	0	0.048	0	0	0
192	0	0	0	0	0	0
216	0	0	0	0	0	0
240	0.001	0	0	0	0	0

重金屬濃度 mg/L (龍潭一年道路底渣級配料 10-30%粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.082	0	0	0	0
24	0	1.043	0	0	0	0
48	0	0.348	0	0	0	0
72	0	0.132	0	0	0	0
96	0.005	0.089	0	0	0	0
120	0	0.052	0	0	0	0
144	0	0.023	0	0	0	0
168	0.001	0.016	0	0	0	0
192	0	0.004	0	0	0	0
215	0	0.04	0	0	0	0
238		0.041	0	0	0	0



重金屬濃度 mg/L (萬里六年道路底渣級配料 10-90%粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0	0	0	0	0
24	0	0.05	0	0	0	0
47	0	0.043	0	0	0	0
72	0	0.08	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0
123	0	0	0	0	0	0
147	0	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0
196	0	0	0	0	0	0
213	0	0	0	0	0	0
237	0	0	0	0	0	0

重金屬濃度 mg/L (萬里六年道路底渣級配料 65-90%粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.013	1.133	0	0	0.01	0.177
25	0.014	0	0	0	0	0
49	0.018	0.038	0	0	0	0.037
74	0.023	0.081	0	0	0.061	0.139
97	0.018	0	0	0	0	0
120	0.016	0	0	0	0	0
144	0.016	0	0	0	0	0
169	0.021	0	0	0	0	0
192	0.019	0	0	0	0	0
216	0.016	0	0	0	0	0
236	0.019	0	0	0	0	0



重金屬濃度 mg/L (萬里六年道路底渣級配料 30~65%粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.011	0	0	0	0
24	0	0.084	0	0	0	0
48	0.002	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0
120	0.002	0	0	0	0	0
144	0.002	0	0	0	0	0
168	0.001	0	0	0	0	0
192	0.001	0	0	0	0	0
216	0.003	0	0	0	0	0
240	0.002	0	0	0	0	0

重金屬濃度 mg/L (萬里六年道路底渣級配料 10-30%粒徑分佈 硝酸溶液)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.038	0	0	0	0
24	0	0.178	0	0	0	0
48	0.006	0.026	0	0	0	0
72	0.002	0	0	0	0	0
96	0.007	0	0	0	0	0
120	0.001	0	0	0	0	0
144	0.004	0	0	0	0	0
168	0.003	0	0	0	0	0
192	0.007	0	0	0	0	0
215	0.004	0	0	0	0	0
238	0.005	0	0	0	0	0.002



重金屬濃度 mg/L (萬里六年道路底渣級配料 10-90%粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.018	0	0	0	0
24	0	0.08	0	0	0	0
47	0	0.048	0	0	0	0
72	0	0.011	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0
123	0	0	0	0	0	0
147	0	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0
196	0	0	0	0	0	0
213	0	0	0	0	0	0
237	0	0	0	0	0	0

重金屬濃度 mg/L (萬里六年道路底渣級配料 65-90%粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.019	0.513	0	0	0.228	0.407
25	0.019	0.166	0	0	0.009	0.09
49	0.019	0.165	0	0	0.056	0.136
74	0.021	0.149	0	0	0.005	0.142
97	0.024	0.007	0	0	0.104	0.023
120	0.021	0	0	0	0	0
144	0.023	0	0	0	0	0
169	0.021	0	0	0	0	0
192	0.022	0	0	0	0	0
216	0.022	0	0	0	0	0
236	0.024	0	0	0	0	0



重金屬濃度 mg/L (萬里六年道路底渣級配料 30~65%粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0
120	0.007	0	0	0	0	0
144	0.008	0	0	0	0	0
168	0.006	0	0	0	0	0
192	0.002	0	0	0	0	0
216	0.006	0	0	0	0	0
240	0	0	0	0	0	0

重金屬濃度 mg/L (萬里六年道路底渣級配料 10-30%粒徑分佈 DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.039	0	0	0	0
24	0	0.159	0	0	0	0
48	0	0.024	0	0	0	0
72	0.002	0	0	0	0	0
96	0.007	0	0	0	0	0
120	0.003	0	0	0	0	0
144	0.007	0	0	0	0	0
168	0.007	0	0	0	0	0
192	0.014	0	0	0	0	0
215	0.005	0	0	0	0	0
238	0.005	0	0	0	0	0



底渣 e 級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-30% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.079	0	0	0	0
24	0	2.297	0	0	0.433	0.470
47	0	3.232	0	0	0.915	0.899
72	0	3.622	0	0	1.423	1.270
96	0	3.839	0	0	1.807	1.583
123	0	3.969	0	0	2.100	1.779
147	0	4.071	0	0	2.290	1.926
171	0	4.135	0	0	2.407	1.959
196	0	4.191	0	0	2.493	1.977
213	0	4.217	0	0	2.517	1.977
237	0	4.260	0	0	2.545	1.977

底渣 e 級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-30% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.003	0.152	0	0	0.030	0.124
25	0.011	1.454	0	0	0.220	0.503
49	0.022	2.283	0	0	0.452	0.823
74	0.029	2.706	0	0	0.619	1.064
97	0.038	2.917	0	0	0.725	1.252
120	0.047	3.032	0	0	0.788	1.368
144	0.059	3.104	0	0	0.813	1.460
169	0.071	3.153	0	0	0.813	1.511
192	0.086	3.181	0	0	0.813	1.528
216	0.107	3.205	0	0	0.813	1.528
236	0.135	3.222	0	0	0.813	1.528



底渣 e 級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 30-65% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.047	0.002	0	0	0.025
24	0	2.616	0.004	0	0.091	0.126
48	0	3.626	0.004	0	0.153	0.228
72	0	3.851	0.004	0	0.153	0.228
96	0	3.965	0.004	0	0.153	0.229
120	0	4.012	0.004	0	0.153	0.229
144	0	4.050	0.004	0	0.153	0.229
168	0	4.072	0.004	0	0.153	0.229
192	0	4.084	0.004	0	0.153	0.229
216	0	4.099	0.009	0	0.153	0.229
240	0	4.107	0.016	0	0.153	0.229

底渣 e 級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-30% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.001	0.301	0.001	0	0	0.012
24	0.001	2.643	0.007	0	0.136	0.194
48	0.001	3.685	0.007	0	0.279	0.342
72	0.001	4.034	0.007	0	0.375	0.399
96	0.002	4.214	0.007	0	0.698	0.467
120	0.004	4.332	0.007	0	0.698	0.467
144	0.005	4.421	0.011	0	0.698	0.467
168	0.009	4.503	0.018	0	0.755	0.467
192	0.020	4.578	0.030	0	0.755	0.467
215	0.033	4.687	0.047	0	0.755	0.467
238	0.045	4.760	0.058	0	0.755	0.492



底渣 e 級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-90% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.056	0	0	0	0
24	0	2.290	0	0	0.586	0.486
47	0	3.086	0	0	1.188	0.808
72	0	3.444	0	0	1.851	1.189
96	0	3.749	0	0	2.261	1.450
123	0	3.889	0	0	2.634	1.635
147	0	3.979	0	0	2.927	1.754
171	0	4.057	0	0	3.205	1.850
196	0	4.173	0	0	3.616	1.998
213	0	4.229	0	0	3.790	2.053
237	0	4.306	0	0	3.919	2.125

底渣 e 級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 65-90% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.003	0.050	0	0	0.012	0.050
25	0.023	1.650	0	0	0.239	0.574
49	0.032	2.187	0	0	0.391	0.833
74	0.047	2.546	0	0	0.499	1.079
97	0.059	2.661	0	0	0.582	1.204
120	0.076	2.724	0	0	0.608	1.273
144	0.092	2.767	0	0	0.608	1.317
169	0.114	2.803	0	0	0.608	1.355
192	0.138	2.823	0	0	0.608	1.361
216	0.159	2.841	0	0	0.608	1.361
236	0.185	2.854	0	0	0.608	1.361



底渣 e 級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 30-65% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.310	0	0	0	0
24	0	2.086	0	0	0.055	0.047
48	0	3.519	0	0	0.078	0.111
72	0	3.941	0	0	0.078	0.111
96	0	4.204	0	0	0.078	0.111
120	0	4.345	0	0	0.078	0.111
144	0.007	5.409	0.002	0	0.078	0.111
168	0.015	4.454	0.002	0	0.078	0.111
192	0.022	4.500	0.003	0	0.078	0.111
216	0.030	4.543	0.009	0	0.078	0.111
240	0.040	4.579	0.017	0	0.078	0.111

底渣 e 級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-30% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.567	0.002	0	0	0.004
24	0	2.809	0.007	0	0.179	0.202
48	0	3.884	0.007	0	0.361	0.320
72	0	4.361	0.007	0	0.511	0.473
96	0	4.592	0.007	0	0.603	0.557
120	0	4.718	0.007	0	0.623	0.557
144	0.004	4.850	0.007	0	0.623	0.572
168	0.005	4.947	0.010	0	0.623	0.572
192	0.013	5.047	0.013	0	0.635	0.590
215	0.031	5.166	0.020	0	0.635	0.590
238	0.038	5.212	0.026	0	0.635	0.590



龍潭一年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-90% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0
123	0	0	0	0	0	0
147	0	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0
196	0	0	0	0	0	0
213	0	0	0	0	0	0
237	0	0	0	0	0	0

龍潭一年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 65-90% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.001	0.012	0	0	0.067	0.111
25	0.007	0.585	0	0	0.241	0.281
49	0.026	0.610	0	0	0.330	0.296
74	0.036	0.756	0	0	0.378	0.533
97	0.048	0.800	0	0	0.488	0.613
120	0.060	0.800	0	0	0.488	0.613
144	0.074	0.800	0	0	0.488	0.613
169	0.084	0.800	0	0	0.488	0.613
192	0.097	0.800	0	0	0.488	0.613
216	0.111	0.800	0	0	0.488	0.613
236	0.123	0.800	0	0	0.488	0.613

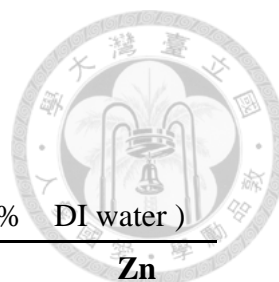


龍潭一年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 30-65% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0	0	0	0	0
24	0	0.205	0.004	0	0	0
48	0	0.352	0.004	0	0	0
72	0	0.387	0.004	0	0	0
96	0.001	0.395	0.004	0	0	0
120	0.001	0.395	0.004	0	0	0
144	0.001	0.395	0.004	0	0	0
168	0.001	0.395	0.004	0	0	0
192	0.001	0.395	0.004	0	0	0
216	0.001	0.395	0.004	0	0	0
240	0.001	0.395	0.004	0	0	0

龍潭一年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-30% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.012	0	0	0	0
24	0	0.628	0	0	0	0
48	0	0.876	0	0	0	0
72	0	0.641	0	0	0	0
96	0	0.961	0	0	0	0
120	0	0.965	0	0	0	0
144	0	0.971	0	0	0	0
168	0	0.971	0	0	0	0
192	0	0.971	0	0	0	0
215	0.001	0.985	0	0	0	0
238	0.001	0.985	0	0	0	0

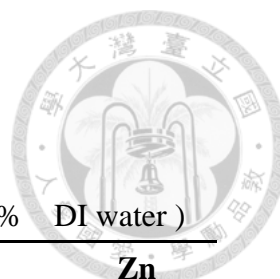


龍潭一年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-90% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0
123	0	0	0	0	0	0
147	0	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0
196	0	0	0	0	0	0
213	0	0	0	0	0	0
237	0	0	0	0	0	0

龍潭一年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 65-90% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.004	0.017	0	0	0	0.014
25	0.017	0.017	0	0	0.635	0.014
49	0.029	0.020	0	0	0.635	0.014
74	0.047	0.020	0	0	0.725	0.052
97	0.060	0.020	0	0	0.725	0.052
120	0.075	0.020	0	0	0.725	0.052
144	0.090	0.020	0	0	0.725	0.052
169	0.103	0.020	0	0	0.725	0.052
192	0.117	0.020	0	0	0.725	0.052
216	0.129	0.020	0	0	0.725	0.052
236	0.142	0.020	0	0	0.725	0.052



龍潭一年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 30-65% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.011	0	0	0	0
24	0	0.710	0	0	0	0
48	0	0.994	0	0	0	0
72	0	1.097	0	0	0	0
96	0	1.165	0	0	0	0
120	0.004	1.207	0	0	0	0
144	0.004	1.224	0	0	0	0
168	0.004	1.237	0	0	0	0
192	0.005	1.240	0	0	0	0
215	0.005	1.275	0	0	0	0
238	0.005	1.304	0	0	0	0

龍潭一年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-30% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.047	0	0	0	0
24	0	0.197	0	0	0	0
48	0	0.268	0	0	0	0
72	0	0.293	0	0	0	0
96	0	0.326	0	0	0	0
120	0	0.340	0	0	0	0
144	0	0.347	0	0	0	0
168	0	0.390	0	0	0	0
192	0	0.390	0	0	0	0
216	0	0.390	0	0	0	0
240	0.001	0.390	0	0	0	0



萬里六年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-90% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0	0	0	0	0
24	0	0.030	0	0	0	0
47	0	0.060	0	0	0	0
72	0	0.134	0	0	0	0
96	0	0.134	0	0	0	0
123	0	0.134	0	0	0	0
147	0	0.134	0	0	0	0
171	0	0.134	0	0	0	0
196	0	0.134	0	0	0	0
213	0	0.134	0	0	0	0
237	0	0.134	0	0	0	0

萬里六年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 65-90% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.003	0.027	0	0	0.002	0.035
25	0.011	0.027	0	0	0.002	0.035
49	0.025	0.055	0	0	0.002	0.064
74	0.040	0.111	0	0	0.043	0.158
97	0.053	0.111	0	0	0.043	0.158
120	0.065	0.111	0	0	0.043	0.158
144	0.077	0.111	0	0	0.043	0.158
169	0.094	0.111	0	0	0.043	0.158
192	0.108	0.111	0	0	0.043	0.158
216	0.119	0.111	0	0	0.043	0.158
236	0.132	0.111	0	0	0.043	0.158

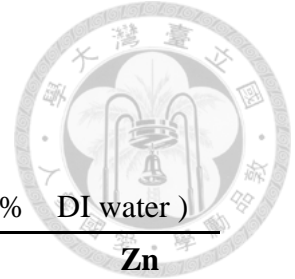


萬里六年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 30-65% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.007	0	0	0	0
24	0	0.119	0	0	0	0
48	0.005	0.139	0	0	0	0
72	0.006	0.139	0	0	0	0
96	0.012	0.139	0	0	0	0
120	0.012	0.139	0	0	0	0
144	0.016	0.139	0	0	0	0
168	0.018	0.139	0	0	0	0
192	0.023	0.139	0	0	0	0
215	0.026	0.139	0	0	0	0
238	0.030	0.139	0	0	0	0

萬里六年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-30% 硝酸)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.02	0	0	0	0
24	0	0.061	0	0	0	0
48	0.002	0.061	0	0	0	0
72	0.002	0.061	0	0	0	0
96	0.002	0.061	0	0	0	0
120	0.004	0.061	0	0	0	0
144	0.005	0.061	0	0	0	0
168	0.006	0.061	0	0	0	0
192	0.007	0.061	0	0	0	0
216	0.009	0.061	0	0	0	0
240	0.011	0.061	0	0	0	0

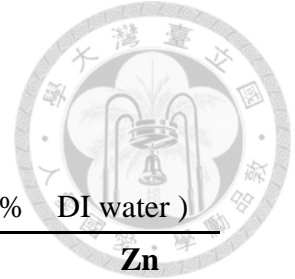


萬里六年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-90% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.002	0	0	0	0
24	0	0.051	0	0	0	0
47	0	0.079	0	0	0	0
72	0	0.088	0	0	0	0
96	0	0.088	0	0	0	0
123	0	0.088	0	0	0	0
147	0	0.088	0	0	0	0
171	0	0.088	0	0	0	0
196	0	0.088	0	0	0	0
213	0	0.088	0	0	0	0
237	0	0.088	0	0	0	0

萬里六年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 65-90% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0.002	0.064	0	0	0.029	0.051
25	0.014	0.165	0	0	0.034	0.105
49	0.027	0.282	0	0	0.074	0.202
74	0.046	0.416	0	0	0.078	0.330
97	0.068	0.422	0	0	0.172	0.350
120	0.083	0.422	0	0	0.172	0.350
144	0.100	0.422	0	0	0.172	0.350
169	0.116	0.422	0	0	0.172	0.350
192	0.134	0.422	0	0	0.172	0.350
216	0.150	0.422	0	0	0.172	0.350
236	0.166	0.422	0	0	0.172	0.350



萬里六年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 30-65% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0.007	0	0	0	0
24	0	0.119	0	0	0	0
48	0	0.137	0	0	0	0
72	0.002	0.137	0	0	0	0
96	0.007	0.137	0	0	0	0
120	0.009	0.137	0	0	0	0
144	0.015	0.137	0	0	0	0
168	0.020	0.137	0	0	0	0
192	0.030	0.137	0	0	0	0
215	0.034	0.137	0	0	0	0
238	0.037	0.137	0	0	0	0

萬里六年道路底渣級配料重金屬累積 mg (粒徑分佈 10-30% DI water)

	As	Cu	Cr	Cd	Pb	Zn
5	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0
120	0.006	0	0	0	0	0
144	0.012	0	0	0	0	0
168	0.017	0	0	0	0	0
192	0.018	0	0	0	0	0
216	0.023	0	0	0	0	0
240	0.023	0	0	0	0	0