

廢光碟回收廠清洗液中銀、鋁金屬去除之研究

李清華¹ 吳彥翬¹ 郭碧芳¹ 柯秀靜¹ 樊國恕² 莊連豪³ 潘思溫³

¹大葉大學環境工程學系

51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號

²高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系

82445 高雄縣燕巢鄉大學路 1 號

³豪豪技術科技股份有限公司

82059 高雄縣岡山鎮本工三路 5 號

摘要

本研究主要是針對國內某廢光碟回收處理廠於回收廢光碟片所產生之清洗廢液，來進行廢液中銀、鋁金屬之回收去除工作，本研究採取之方法包括廢液中銀、鋁金屬之電解回收去除及氯化鈉、氯化鈣、硫化鈉、鹽酸之沉澱回收去除。根據本研究之結果顯示，該廢光碟回收處理廠之清洗廢液所含銀、鋁金屬含量不高，其銀含量僅 3 ppm 而鋁含量則為 6 ppm 左右，因此不具回收價值，另本研究結果顯示當以電解法及氯化鈉、氯化鈣、硫化鈉等沉澱法並無法有效去除廢液中之銀、鋁金屬，而當使用鹽酸來調整該廠清洗廢液之 pH 至 7 時，則有效達成 99.77% 之銀及 89.41% 之鋁之沉澱去除率。

關鍵詞：光碟，回收，再生

Removal of Silver and Aluminum from the Washing Liquid at a Scrap Compact Disk Recycling Plant

CHING-HWA LEE¹, YEN-HUI WU¹, BI-FANG GUO¹, HSIU-CHING KO¹, KUO-SHUH FAN², LIEN-HAO CHUANG³ and SZU-WEN PAN³

¹Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University
No. 168, University Rd., Dacun, Changhua, Taiwan 51591, R.O.C.

²Department of Safety, Health and Environmental Engineering, National Kaohsiung First University of Science & Technology
No. 1, University Rd., Yenchau, Kaohsiung, Taiwan 82445, R.O.C.

³Hao-Hao Technology Company
No. 5, Ben Gond 3rd Rd., Gangshan, Taiwan 82059, R.O.C.

ABSTRACT

The main purpose of this study was to recover the silver and aluminum metals contained in the washing liquid generated at a scrap compact disk recycling plant. Thus, various methods of electric winning, as well as precipitation by NaCl, CaCl, NaS, and HCl, were adopted to recover these two metals from the collected washing liquid. The results revealed that the liquid had concentrations of 3

ppm of silver and 6 ppm of aluminum; therefore, due to such low concentrations, recovery of either of these metals would not be economical. It was also demonstrated that neither the electric winning methods nor precipitation by NaCl, CaCl and NaS can effectively remove the silver and aluminum from the washing liquid. However, the 99.77% silver and 89.41% aluminum contained therein could be removed by using the HCl to adjust the pH to 7.

Key Words: compact disk, recovery, recycling

一、前言

台灣為全球排名第一的光碟片製造王國，台灣每年光碟片製造量約在 60 億片以上，其數量占全世界光碟片產出量之八成；而台灣也為資訊產品消費大國，在光碟片價格越來越便宜情況下，消費者對於電子資訊物品的接受度頗高，市面上一片空白光碟片售價大約六至八元就可買到，2003 年台灣的光碟產量已到約 55 億片，其中 47 億片銷售於國外，8 億片銷售於國內 [1]，2004 年銷售光碟片量為空白光碟片約 7.35 億片，唯讀光碟片約 1.44 億片，總共約 8.8 億片 [5]，在民眾大量使用下每年光碟片使用需求量十分可觀，因此廢光碟片數量也會隨著使用量劇增，若將其當作一般廢棄物以掩埋或焚化處理，不僅無法回收再利用，在大量的生產下，也造成對環境的負擔。

一般市面上 DVD 光碟片是由兩片圓形 PC (polycarbonate) 材質之基材中間夾合一層金屬濺鍍層，而 CD-R、CD-RW 或 VCD 的濺鍍層只濺鍍在一片 PC 基材兩面中的一面表層，金屬濺鍍層之成分通常為鋁或銀，DVD 光碟片組成構造圖如圖 1 所示。而 DVD 雙層光碟片經分離後之外觀如圖 2 所示 [3]，而去除各鍍層之雙層光碟片外觀如圖 3 所示 [3]。

目前國內事業單位大都將產生的廢光碟片視為廢塑膠送往大陸地區處理，至於民眾消費後產生之廢光碟片除小部分燒錄損壞者逆向送回零售商外，其餘大多隨一般垃圾由清潔隊收取進入掩埋場或焚化爐處置 [2]。根據環保署資料顯

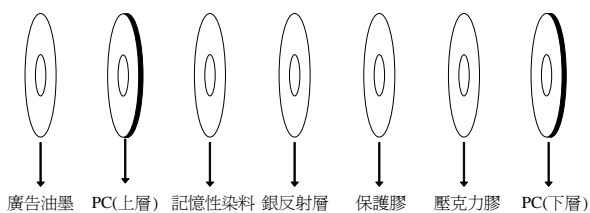


圖 1. DVD-R 光碟片之構造圖

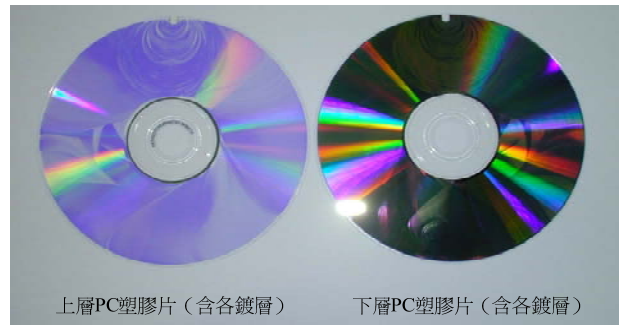


圖 2. DVD 分離後之上、下層 PC 塑膠片 [3]



圖 3. DVD 去除各鍍層之乾淨上、下層 PC 塑膠片 [3]

示，國內事業單位產生之廢光碟片可採高壓水刀、研磨拋光等物化方式或採用鹼脫脂或有機脫脂將有機塗層破壞之化學方式，回收廢光碟片內含之銀金屬及 PC 塑膠。另我國環保署已於 95 年 4 月 17 日公告修正「執行機關一般廢棄物應回收項目」將光碟片納為「資源」，即日起家中不要的廢光碟片必須分類為「資源」交由清潔隊資源回收車回收，不可混入垃圾中丟入垃圾車，若經清潔隊勸導後仍執意丟入垃圾車中，將被處新臺幣 1,200 至 6,000 元罰鍰 [6]。

由於廢光碟片中之 PC 基材為有價資源，國內已有多家廢光碟片回收處理廠，收購市面上之廢光碟片來進行資源回收處理，一般在回收處理廢光碟片大多採用粉碎方式，粉碎方式能將光碟片細小化，粉碎後之光碟片再經化學處理方法來去除光碟片中的濺鍍金屬層，再將溶蝕之藥劑分離排出，

就可回收乾淨 PC 基材。其中國內某廢光碟回收處理廠自行研發子母桶式環保清洗處理機，並配合添加氫氧化鈉清洗藥劑與水，來達到將整片廢光碟片表面各鍍層分離去除之效果，其整廠的生產流程如圖 4 所示。當子母桶式環保清洗處理機清洗完成時，經過濾後所得之清洗液體即為本計畫所收集之清洗廢液，因廢光碟 PC 塑膠片表面之鍍層物質包含有銀、鋁金屬物質，經清洗後此金屬會殘留於清洗廢液中，因此本研究將回收該廠廢光碟清洗液中所含之銀、鋁金屬，以達到資源有效再利用之目的。

二、研究方法

本研究規劃之主要工作內容如下：1. 收集廢光碟片之清洗廢液；2. 電解去除銀、鋁；3. 沉澱去除銀、鋁。茲將本研究各工作內容、研究方法與進行步驟介紹如下：

(一) 收集廢光碟片之清洗廢液

本項工作主要收集國內某廢光碟回收處理廠以環保清洗處理機回收處理廢 VCD、CD-R、CD-RW、DVD-R（容量 4.7 G）、DVD+R（容量 4.7 G）、DVD+RW（容量 4.7 G）、DVD+RW（容量 4.7 G）及 DVD+R（容量 8.5 G）等光碟片後，所產生之清洗廢液，以利研究如何將清洗廢液

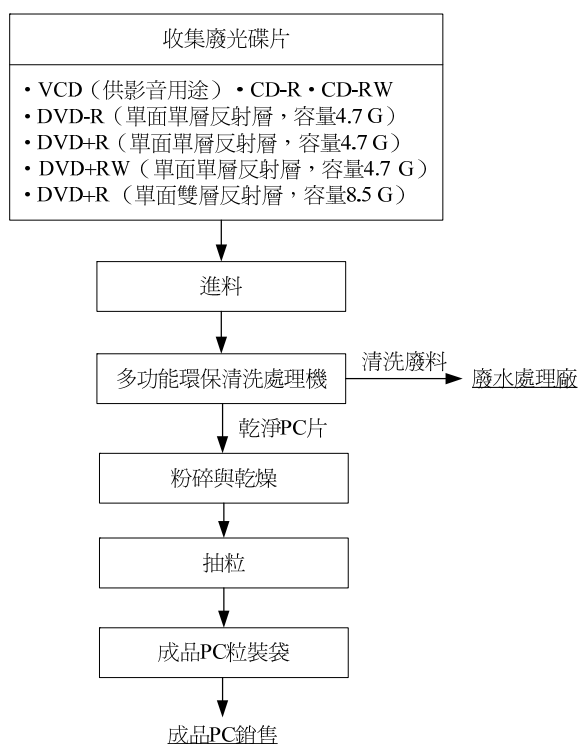


圖 4. 國內某廢光碟回收處理廠之生產流程

中之銀、鋁金屬予以回收去除。

(二) 電解去除之研發

本項工作將經環保清洗處理機處理後產生之含銀、鋁之清洗廢液，以電解的方式來去除銀、鋁等金屬。電解去除率計算公式如(1)所示：

$$\text{電解去除率} = \frac{\text{電解前水相之金屬重量} - \text{電解後水相之金屬重量}}{\text{電解前水相之金屬重量}} \times 100\% \quad (1)$$

水相中之金屬含量係以 ICP-AES(廠牌: Optima, 型號: 2000 型) 測定。另電解方法採用之電源供應器其廠牌為 Kikusui (型號: PAN 35-20A)。

(三) 沉澱去除之研發

除了電解外，本實驗亦考慮採用沉澱去除法來去除處理經由環保清洗處理機處理後產生清洗廢液中之之銀、鋁金屬。本研究選擇以氯化鈉、氯化鈣、硫化鈉、鹽酸等作為沉澱劑，來進行後續沉澱去除實驗。沉澱去除率計算公式如(2)所示：

$$\text{沉澱去除率} = \frac{\text{沉澱前水相之金屬重量} - \text{沉澱後水相之金屬重量}}{\text{沉澱前水相之金屬重量}} \times 100\% \quad (2)$$

水相中之金屬含量亦以 ICP-AES(廠牌: Optima, 型號: 2000 型) 測定。另沉澱設備係採用廠牌為 Firstek (型號: B601D) 之恆溫震盪器。

三、結果與討論

廢光碟 PC 塑膠片表面之鍍層物質包含有銀、鋁金屬物質，經清洗後此金屬會殘留於清洗廢液中，根據本計畫以 ICP-AES 分析其金屬之含量得知廢液所含的銀濃度為 3 ppm、鋁為 6 ppm，另經檢測此廢液之 pH 值為 12.34，而 COD 約為 100,000 mg/L。為去除清洗廢液中之銀、鋁金屬物質，本研究乃規劃利用電解、沉澱法來進行此工作項目。本研究主要研究工作內容包括：1. 電解去除之研發，2. 沉澱去除之研發。茲將上述完成之工作成果與討論一一介紹如下：

(一) 電解去除之研發

本研究所採用之電解法主要是利用不溶性的鉑片為陽極，不鏽鋼片為陰極來電解出銀、鋁金屬，陰陽極片之長度皆為 10 cm，寬為 4 cm。另根據文獻 [4] 常見銀電解之操作條件為：電流密度設定為 3 A/dm²，電解時間為 8 小時，故本電解研究亦採取上述操作條件作為操作依據，本計畫於電解過程中每 1 小時皆會採取 3 ml 之電解液，並以 ICP-AES 分析電解液中之銀、鋁含量，以計算了解經不同電解時間下銀、鋁之電解去除效率。

本實驗電解去除率變化趨勢如圖 5 所示，圖 5 為不同時間下廢液中銀、鋁金屬電解去除率變化圖，當電解時間為 1 小時時，銀、鋁之電解去除率分別為 0%、1.3%；而在時間 2 小時時，銀、鋁電解去除率分別為 0%、6.2%；而在 3 小時時，銀、鋁電解去除率分別為 0%、7.0%；在時間 4 小時時，銀、鋁電解去除率分別為 0%、11.8%；在時間 5 小時時，銀、鋁電解去除率分別為 0%、13.7%；在時間 6 小時時，銀、鋁電解去除率分別為 0%、17.8%；在時間 7 小時時，銀、鋁電解去除率分別為 0%、21.9%；在時間 8 小時時，銀、鋁電解去除率分別為 0%、24.1%。

綜合上述結果可知，於電解 8 小時後，因銀電解去除率始終為 0%，故可知廢液中之銀金屬無任何電解去除之效果；而鋁的電解去除率則會隨著電解時間增長而遞增，當電解時間達到 8 小時時，可得到 24.1% 之最佳鋁電解去除率，但其電解效率也不高。因此根據本項研究成果可得知利用電解法來去除銀及鋁，其電解去除效率不佳，故本計畫不建議採用電解法來去除處理該廢光碟回收處理廠清洗廢液中之銀、鋁金屬。

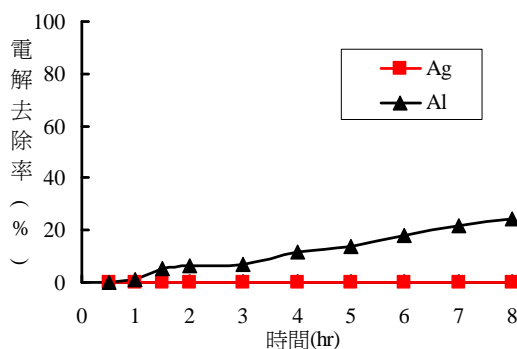


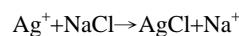
圖 5. 不同時間下銀、鋁金屬之電解去除率

(二) 沉澱去除之研發

由於使用電解方法對去除廢液中銀及鋁效率不佳，故本研究乃使用沉澱方法來去除廢液中之銀、鋁金屬。本研究在沉澱實驗方面，主要是採用「氯化鈉」、「氯化鈣」、「硫化鈉」、「鹽酸」四種沉澱劑，針對廢液中銀離子及鋁離子予以沉澱去除。

1. 氯化鈉沉澱之結果

本計畫首先各取 20 ml 清洗廢液，分別加入飽和氯化鈉溶液之理論添加量：551 倍、2,756 倍、5,512 倍及 55,129 倍（其計算過程說明如後），在室溫下使用恆溫震盪器（FIRSTEK SHAKING BATH MODEL: B601D），在 150 rpm 轉速下，震盪沉澱反應 4 小時後，再將其靜置 20 小時後，予以過濾，再將濾液以 ICP-AES 分析其中之銀、鋁金屬含量，根據濾液中所量得之銀、鋁金屬含量，以分別計算在不同氯化鈉理論添加量對銀、鋁沉澱去除率之影響。飽和氯化鈉溶液之理論添加量之計算過程主要是依據氯化鈉與銀反應形成氯化銀之反應式（如下所示），其計算過程如下：



根據國內該廠提供之廢液得知其銀含量為 3 ppm，也就是 1L 之廢液含有 0.003 g 之銀金屬，又因本沉澱實驗每次取廢液 0.02 L，故此沉澱實驗廢液中含有 0.003 g/L × 0.02 L = 0.00006 g 之銀金屬，而 1 mole 銀的原子量為 107.8 g，故此沉澱實驗廢液銀含量為 6 × 10⁻⁵ g / 107.8 g/mole = 5.566 × 10⁻⁷ mole。由上述反應式可知沉澱 1 mole 的銀需 1 mole 的氯化鈉才能反應，因此廢液 20 ml 之銀應需 5.566 × 10⁻⁷ (mole) 的氯化鈉，而每 mole 氯化鈉之分子量為 58.5 g，故沉澱廢液 20 ml 之銀應需 5.566 × 10⁻⁷ (mole) × 58.5 (g/mole) = 3.256 × 10⁻⁵ (g) 之氯化鈉，而氯化鈉飽和溶液為 35.9 g/100 ml，因此需添加之氯化鈉飽和溶液之理論值為 [3.256 × 10⁻⁵ (g) / 35.9 (g)] × 100 (ml) = 0.0000906 (ml)，此即為本計畫所稱之對沉澱廢液 20 ml 之銀金屬所需之 1 倍飽和氯化鈉溶液理論添加量。但本計畫所能量取液體之 pipe 其最小刻度為 0.05 ml，故本計畫取 0.05 ml 之飽和氯化鈉溶液為本沉澱實驗之最小添加量，此 0.05 ml 之飽和氯化鈉溶液中所含之氯化鈉數量為前述飽和氯化鈉溶液理論添加量之 551 倍，另本沉澱實驗亦添加 0.25 ml、0.5 ml 及 5 ml 之飽和氯化鈉溶液來進行清洗廢液之沉澱實驗，故其氯化鈉數量分別為前述飽和氯化鈉溶液理論添加量之 551 倍、2,756

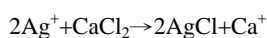
倍、5,512 倍及 55,129 倍。

不同氯化鈉添加量下廢液中銀、鋁金屬沉澱去除率變化圖如圖 6 所示，由沉澱結果可知，在理論添加量為 551 倍時，其銀、鋁之沉澱去除率分別為 4.76%、0%；而理論添加量為 2,756 倍時，銀、鋁之沉澱去除率分別為 12.30%、1.47%；理論添加量為 5,512 倍時，銀、鋁之沉澱去除率分別為 6.5%、0%；在理論添加量分別為 55,129 倍時，其銀、鋁之沉澱去除率分別為 31.30%、0%。

綜合上述結果，銀之沉澱去除率會隨著添加量之增加而遞增，當理論添加量為 55,129 倍時，亦僅獲得 31.30% 之銀沉澱去除率；然而廢液中之鋁其沉澱去除率皆趨近於 0%，並無任何沉澱之效果。根據本計畫沉澱實驗結果得之於廢液中添加氯化鈉沉澱劑並無法有效將銀、鋁予以沉澱去除，故本計畫不建議採用氯化鈉沉澱法來去除處理該廠清洗廢液中之銀、鋁金屬。

2. 氯化鈣沉澱之結果

本研究各取 20 ml 清洗廢液，分別加入飽和氯化鈣溶液之理論添加量 608 倍、3,042 倍、6,084 倍以及 60,834 倍（其計算過程說明如後），在室溫下使用恆溫震盪器，在 150 rpm 轉速下，再將其靜置 20 小時後，予以過濾，再將濾液以 ICP-AES 分析其中之銀、鋁金屬含量，根據濾液中所量得之銀、鋁金屬含量，以分別計算在不同氯化鈣理論添加量對銀、鋁沉澱去除率之影響。飽和氯化鈣溶液之理論添加量之計算過程主要是依據氯化鈣與銀反應形成氯化鈣之反應式（如下式所示），其計算過程如下：



根據該廠提供廢液之檢測分析結果得知其銀含量為

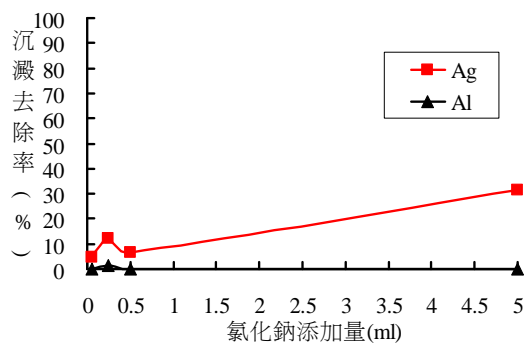


圖 6. 不同氯化鈉添加量下之銀、鋁金屬沉澱去除率

3 ppm，也就是 1 L 之廢液含有 0.003 g 之銀金屬，又因本沉澱實驗每次取廢液 0.02 L，故僅含 $0.003 \text{ g/L} \times 0.02 \text{ L} = 0.00006 \text{ g}$ 之銀金屬，而 1 mole 的銀的原子量為 107.8 g，故此沉澱實驗之廢液銀含量為 $6 \times 10^{-5} / 107.8 \text{ g/mole} = 5.566 \times 10^{-7} \text{ mole}$ 。由反應式可知沉澱 1 mole 的銀需 1 mole 的氯化鈣才能反應，因此廢液 20 ml 之銀應需 $5.566 \times 10^{-7} \text{ (mole)}$ 的氯化鈣，而每 mole 氯化鈣之分子量為 110 g，故沉澱廢液 20 ml 之銀應需 $5.566 \times 10^{-7} \text{ (mole)} \times 110 \text{ (g/mole)} = 6.123 \times 10^{-5} \text{ (g)}$ 之氯化鈣，而氯化鈣飽和溶液為 74.5 g/100 ml，因此需添加之氯化鈣飽和溶液之理論值為 $[6.123 \times 10^{-5} \text{ (g)} / 74.5 \text{ (g)}] \times 100 \text{ (ml)} = 0.00008218 \text{ (ml)}$ ，此即為本研究所稱之對沉澱廢液 20 ml 之銀金屬所需之 1 倍飽和氯化鈣溶液理論添加量。但本研究所能量取液體之 pipe 其最小刻度為 0.05 ml，故本研究取 0.05 ml 之飽和氯化鈣溶液為本沉澱實驗之最小添加量，此 0.05 ml 之飽和氯化鈣溶液中所含之氯化鈣數量為前述飽和氯化鈣溶液理論添加量之 608 倍，另本沉澱實驗亦添加 0.25 ml、0.5 ml 及 5 ml 之飽和氯化鈣溶液來進行清洗廢液之沉澱實驗，故其氯化鈣數量分別為前述飽和氯化鈣溶液理論添加量之 608 倍、3,042 倍、6,084 倍及 60,834 倍。

圖 7 為不同氯化鈣添加量下廢液中銀、鋁金屬沉澱去除率變化圖，由氯化鈣沉澱實驗可知，在理論添加量 608 倍時，其銀、鋁沉澱去除率分別為 0%、10%；而理論添加量 3,042 倍時，銀、鋁沉澱去除率分別為 0%、17.7%；在理論添加量 6,084 倍時，銀、鋁沉澱去除率分別為 0%、14.6%；在理論添加量 60,834 倍時，銀、鋁沉澱去除率分別為 0%、29.6%。理論添加量為 60,834 倍時，所加入的 5 ml 最終會變成固體，只剩下少許上澄液。

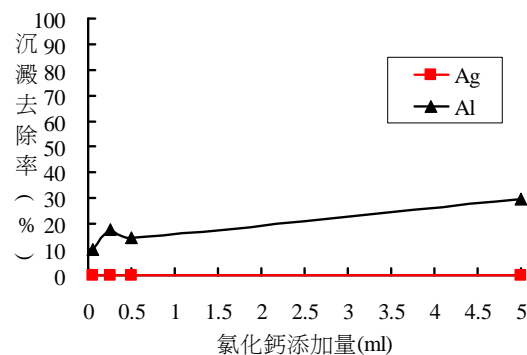
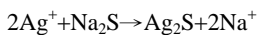


圖 7. 不同氯化鈣添加量下之銀、鋁金屬沉澱去除率

綜合上述結果，銀之沉澱去除率始終為 0%，故可知廢液中之銀金屬無任何沉澱去除之效果；然而廢液中之鋁其沉澱去除率會隨著添加量之增加而遞增，當理論添加量為 60,834 倍時，亦僅獲得 29.6% 之鋁沉澱去除率。根據本計畫沉澱實驗結果得之於廢液中添加氯化鈣沉澱劑並無法有效將銀、鋁予以沉澱去除，故本計畫不建議採用氯化鈣沉澱法來去除處理該廠清洗廢液中之銀、鋁金屬。

3. 硫化鈉沉澱之結果

本研究各取 20 ml 清洗廢液，分別加入硫化鈉之理論添加量：508 倍、2,540 倍及 5,081 倍（其計算過程說明如後），在室溫下使用恆溫震盪器，在 150 rpm 轉速下，再將其靜置 20 小時後，予以過濾，再將濾液以 ICP-AES 分析其中之銀、鋁金屬含量，以分別計算在不同硫化鈉理論添加量對銀、鋁沉澱去除率之影響。硫化鈉之理論添加量之計算過程主要是依據硫化鈉與銀反應形成硫化銀之反應式（如下所示），其計算過程如下：



根據國內該廠提供之廢液得知其銀含量為 3 ppm，也就是 1 L 之廢液含有 0.003 g 之銀金屬，又因本沉澱實驗每次取廢液 0.02 L，故僅含 0.003 g/L × 0.02 L = 0.00006 g 之銀金屬，而 1 mole 的銀的原子量為 107.8 g，故此沉澱實驗之廢液銀含量為 $6 \times 10^{-5} / 107.8 \text{ g/mole} = 5.566 \times 10^{-7} \text{ mole}$ 。由上述反應式可知沉澱 2 mole 的銀需 1 mole 的硫化鈉才能反應，因此廢液 20 ml 之銀應需 $5.566 \times 10^{-7} \text{ (mole)}$ 的硫化鈉，而每 mole 硫化鈉之分子量為 78 g，表面純度 90%，故沉澱廢液 20 ml 之銀應需 $[5.566 \times 10^{-7} \text{ (mole)} \times 78 \text{ (g/mole)} \times 90\%] / 2 = 0.00001968 \text{ (g)}$ 之硫化鈉，此即為本研究所稱之對沉澱廢液 20 ml 之銀金屬所需之 1 倍硫化鈉理論添加量。但本研究之電子天平無法秤取至此理論值，故本計畫取 0.01 g 之硫化鈉為本沉澱實驗之最小添加量，此 0.01 g 之硫化鈉中所含之硫化鈉數量為前述硫化鈉理論添加量之 508 倍，另本沉澱實驗亦添加 0.05 g 及 0.1 g 之硫化鈉來進行清洗廢液之沉澱實驗，故其硫化鈉數量分別為前述硫化鈉理論添加量之 508 倍、2,540 倍及 5,081 倍。

圖 8 為不同硫化鈉添加量下廢液中銀、鋁金屬沉澱去除率變化圖，由沉澱結果可知，當添加量為 508 倍時，其銀、鋁沉澱去除率分別為 7.2%、20.1%；當添加量為 2,540 倍時，

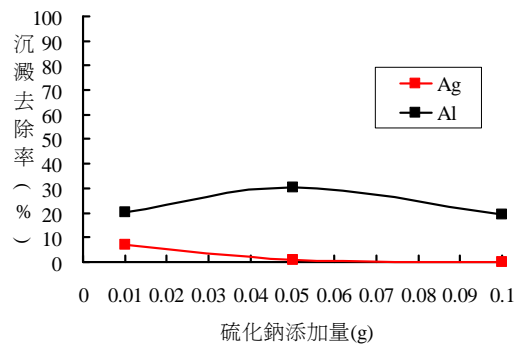


圖 8. 不同硫化鈉添加量下之銀、鋁金屬沉澱去除率

銀、鋁沉澱去除率分別為 0.9%、30.3%；而當添加量為 5,081 倍時，銀、鋁沉澱去除率分別為 0%、19.4%。硫化鈉為片狀固體，因此需磨碎後加入，經過恆溫振盪器震盪後，其粉末並未完全溶化，使其沒有與清洗廢液充分攪拌，因此可能造成去除效率不高之原因。

綜合上述結果，銀之沉澱去除率皆趨近於 0%，故可知廢液中之銀金屬無任何沉澱去除之效果；然而廢液中之鋁其沉澱去除率會隨著添加量之增加而遞增，當理論添加量為 5,081 倍時，亦僅獲得 19.4% 之鋁沉澱去除率。根據本計畫沉澱實驗結果得之於廢液中添加硫化鈉沉澱劑並無法有效將銀、鋁予以沉澱去除，故本計畫不建議採用硫化鈉沉澱法來去除處理該廠清洗廢液中之銀、鋁金屬。

4. 鹽酸沉澱之結果

於室溫下取 10 ml 之原清洗廢液，此廢液之原始 pH 值為 12.34，然後以鹽酸調整清洗廢液之 pH 值至 2、3、4、5、6、7、8、9、10，並分別予以過濾，再將濾液以 ICP-AES 分析其中之銀、鋁金屬含量，以分別計算在不同 pH 值對銀、鋁沉澱去除率之影響。

以鹽酸調整廢液在不同 pH 值下之沉澱去除率如圖 9 所示，由圖 9 可知，當 pH 為 2 時，其銀、鋁之沉澱去除率分別為 0%、0.7%；而 pH 為 3 時，其銀、鋁之沉澱去除率分別為 27.16%、65.23%；當 pH 為 4 時，銀、鋁之沉澱去除率分別為 61.07%、68.99%；當 pH 為 5 時，銀、鋁之沉澱去除率分別為 69.64%、77.39%；當 pH 為 6 時，銀、鋁之沉澱去除率分別為 70.34%、83.20%；當 pH 為 7 時，銀、鋁之沉澱去除率分別為 99.77%、89.41%；當 pH 為 8 時，銀、鋁之沉澱去除率分別為 98.41%、83.51%；當 pH 為 9 時，銀、鋁之沉澱去除率分別為 100%、80.09%；當 pH 為

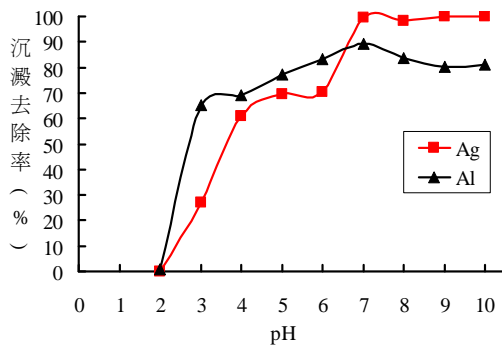


圖 9. 鹽酸調整廢液在不同 pH 值下之銀、鋁金屬沉澱去除率

10 時，銀、鋁之沉澱去除率分別為 100%、80.91%。根據實驗觀察得知，當 pH 調整偏酸性時，沉澱物會較黏稠，其液體也較澄清；而 pH 偏鹼性時，其沉澱物較鬆散，液體也較混濁。

由上述實驗可知，雖然本研究所採取之電解去除法及氯化鈉、氯化鈣、硫化鈉、鹽酸之沉澱去除法，皆是常用去除溶液中銀及鋁離子之方法，但由於本研究所收集之光碟片清洗廢液中除了銀及鋁離子外，尚含有其他雜質，如記憶性染料、保護膠、壓克力膠、廣告油墨等溶解物，另廢液中銀及鋁之含量甚低，以致影響上述銀、鋁去除方法之成效。

根據本研究之最佳成果顯示，銀及鋁其沉澱去除率皆隨著 pH 值上升而逐漸沉澱下來，當 pH 值為 7 時，可得銀及鋁最佳沉澱去除率為 99.77% 及 89.41%。而銀在 pH 值 7-10 之去除率皆趨近於 100%，鋁在 pH 值為 7 時沉澱去除率最高，pH 7 之後去除收率則慢慢往下降，因此在 pH 值為 7 時，可得到銀及鋁最佳沉澱去除率。根據本研究沉澱實驗結果得之於廢液中添加鹽酸沉澱劑可以有效將銀、鋁予以沉澱去除，故本研究建議採用鹽酸調整 pH 值方法來沉澱去除處理該廠清洗廢液中之銀、鋁金屬。

四、結論與建議

1. 本研究完成之電解實驗、氯化鈉沉澱、氯化鈣沉澱、硫化鈉沉澱結果顯示，於室溫下，電流密度 3 A/dm^2 ，電解

8 小時後，其電解去除率為 0%、24.1%，氯化鈉理論添加量為 55,129 倍時，可得到 31.30% 及 0% 之銀、鋁沉澱去除率，氯化鈣理論添加量為 60,834 倍，可得到 0% 及 29.6% 之銀、鋁沉澱去除率，硫化鈉理論添加量為 5,081 倍，可得到 0% 及 19.4% 之銀、鋁沉澱去除率，可知電解、氯化鈉沉澱、氯化鈣沉澱、硫化鈉沉澱方式無法有效將廢液中之銀、鋁予以去除，其主要原因可能為本研究所收集之光碟片清洗廢液中除了銀及鋁離子外，尚含有其他雜質，如記憶性染料、保護膠、壓克力膠、廣告油墨等溶解物，另廢液中銀及鋁含量甚低，以致影響上述銀、鋁去除方法之成效。

2. 本研究完成之鹽酸調整 pH 沉澱之結果顯示，於室溫下，以鹽酸調整廢液 pH 值至 7 時，可得到 99.77%、89.41% 之最佳銀、鋁沉澱去除率，故本計畫建議以鹽酸調整 pH 方式來將廢液中之銀、鋁予以沉澱去除。

參考文獻

1. ETtoday 資訊科技 (民 92)，台灣光碟產量約 55 億片！明年將全面公告回收光碟片，97 年 11 月 12 日，取自 <http://www.ettoday.com/2003/12/03/752-1552362.htm>。
2. 工業技術研究院環境與安全衛生技術發展中心 (民 91)，廢光碟片回收清理探討計劃 (期末報告)，新竹。
3. 李清華、楊育豪 (民 95)，廢 DVD 光碟片之資源再生方法 (I253962)，台北。
4. 郁仁貽 (民 91)，冶金學概論，上冊，頁 53，財團法人徐氏文教基金會，台北。
5. 楊育豪 (民 94)，廢 DVD 光碟片資源回收之研究，大葉大學環境工程學系碩士班碩士論文。
6. 環境資訊技術網 (民 95)，執行機關一般廢棄物回收項目，97 年 10 月 22 日，取自 <http://www.e-environment.com.tw/>。

收件：98.04.02 修正：98.06.01 接受：98.07.27