

# 廢水處理廠產生之污泥處理方法

陳俊德\* 邱世良\*\* 蔡明谷\*\*\* 陳炳烝\*\*\*\* 李惠隆\*\*\*\*\*

## 摘要

我國近數年來各方面均有長足之進步，在各種工業進步之同時難免會產生廢棄物，衛生署環保局及工業局為避免這些廢棄物造成公害，積極輔導有關工業設置廢水處理設備。惟很多廠商設置該設備後產生之污泥，未知應如何處理，尤其對含有有害重金屬之污泥傷透腦筋。如果未善加處理至無害基準內即丟棄於河川或掩埋於地下會造成水源污染等再次危及國民健康。臺泥公司為配合政府防治環境污染之德政，多年前即開始研究，使污泥中重金屬變成另一無害之形態，且使之固化於固化物中不溶於水，俾能掩埋或丟棄海中，以免造成公害。

本公司經多年，對本省多處廢水處理之污泥，做研究試驗之結果，成功地能使污泥中重金屬達到日本環境廳之無害基準範圍內，並將此實驗例報告於本文中。

## 一、前言

廢水處理廠產生之污泥可分為有毒污泥及無毒污泥，前者即含有 Hg (汞) Cd (鎘) 、有機磷、Pb (鉛) 六價鉻、As (砷) 、CN (氰) 等所謂有害重金屬及有毒物質。此等有害重金屬各具其特性，首先須了解其型態後使之轉為無毒性之型態，並且須使之固化於固化物內。一則使之變成難溶於水，二則使之變成具有強度之固化物，以便易於處理。

後者雖不具毒性，但含水比太大，不便搬運，有的雖不具毒性，但臭味甚重，這些無毒性污泥必須使之固化、脫臭方能易於搬運填海或掩埋等，亦可利用於砌製圍牆、花壇及其他用途。

## 二 污泥中有害重金屬之毒性及其處理

因受篇幅限制關係，本文僅以汞為例，說明其毒性及化學處理，使之轉變為無害化合

\* 臺灣水泥公司副總經理

\*\* 臺灣水泥公司研究室主任

\*\*\* 臺泥研究室專門委員

\*\*\*\* 臺泥研究室主辦研究員

\*\*\*\*\* 臺泥研究室研究員

物。

- 1.汞之毒性：由於世界各地汞中毒事件常有發生，使得人們對於汞感受之威脅日益嚴重。汞經由農工業大量使用後未經適當處理即丟棄而污染水源，又經過「生物濃縮」作用與「食物鏈鎖」途徑進入人體。甲基汞能刺激中樞神經，初期症狀為全身倦怠、食慾不振、視力減退、反應遲鈍、運動失調。重症則導致意識或死亡。據文獻所載，甲基汞化物蓄積於人體內含量  $25\sim40\text{mg}$  時產生知覺障礙， $55\text{mg}$  以上時知覺失調、視力減退， $170\text{mg}$  時聽力困難，達  $200\text{mg}$  以上時死亡。因此水污染防治法施行細則中規定一般工廠廢水流放標準為  $0.05\text{mg}/\ell$  以下，而事業廢棄物汞含量不得超過  $0.005\text{ ppm}$ 。
- 2.汞之型態：汞為毒性極強之金屬，但其毒性高低則視存在之型態而異。例如金屬汞、無機汞化合物、有機汞化合物，其中以有機汞化合物毒性較大。有機汞包含烷基汞、苯基汞，其中烷基又包含甲基汞 ( $\text{MeHg}$ )，二甲基汞 ( $\text{Me}_2\text{Hg}$ ) 及乙基汞 ( $\text{EtHg}$ ) 等。
- 目前由生產線生成之廢棄物或曾經被丟棄於河川之廢棄物其含汞汚泥之汞型態各不相同，如果未經處理即丟棄則汞化物溶於水後仍將為害人類。因此須將之轉化成毒性最低且最不易溶出之硫化汞 ( $\text{HgS}$ )。硫化汞於  $18^\circ\text{C}$  之溶解度積 ( $K_{\text{sp}}$ ) 為  $3 \times 10^{-52}$ ，而  $\text{Hg}_2\text{S}$  於  $25^\circ\text{C}$  之溶解度積為  $2.8 \times 10^{-24}$ 。故將汞轉化成硫化物為最理想之做法。
- 3.汞汚泥之處理：經廢水處理場產生之汚泥，一般而言，含水比甚大，汞汚泥亦不例外。唯化學處理過之汚泥，僅作上述之轉化仍不夠理想，應將此含水比之汞汚泥固化。固化物愈緻密其強度愈高，且汞愈難溶出而易於搬運或做其他處理。

### 三、污泥處理劑之功能及種類：

#### 1. 污泥處理劑之功能及固化原理：

臺泥公司研究開發之污泥處理劑乃將各種有害重金屬變成無害型態，並視各種重金屬之種類及型態配料之化學成份亦不同。此污泥處理劑內特殊成份能與污泥中之水份化合成結晶水而吸收之。

品牌污泥處理劑其本身不但具有甚強之固結力，並能將污泥中各成分固結成另一化合物，此一生成之微細化合物填塞於污泥粒子間孔隙而增加強度，且其強度隨齡期增長而增高。基於此特性故可適用於土木工程方面改善土壤承載力或應用於工業廢棄污泥之處理，使其固化無毒性。

#### 2. 品牌污泥處理劑之種類：

本公司出品之污泥處理劑目前共分三類：

第一型：適用於一般污泥之脫臭，固化，達到淨化環境之目的。

第二型：適用於處理含重金屬污泥使之固化。（視各種重金屬之特性，添加不同化學藥品）。

第三型：適用於高含水量、高有機物含量污泥之固化或污泥快速固化，使達淨化環境，防治污染。

## 四、實驗概要：

### 1. 試驗儀器及設備

(1) 試體恒溫恒濕養生櫃：

溫度控制在  $23 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$  依 ASTM D1632 濕度控制在 R.H. > 96% 之規定

(2) 單軸耐壓試驗機：

Soil test U160. 1000 Ib Capacity.

unconfined uniaxial Compression Apparatus.

(3) 可調頻率振動機：

振動頻率：200 cycles/min

振帽：4~5cm

(4) 原子吸收光譜儀：

Perkin Elmer : Model 2380 Atomic Absorption Spectrophotometer.

Graphite Furnace HGA-300. Mercury Hydride System

MHS-10.

### 2. 樣品前處理方法

(1) 汚泥前處理方法

取已拌和均勻之原汚泥約 1 ~ 2 g 放入消化瓶中，精確稱重，迅速加入  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  (1 : 3) 10mℓ，蓋上瓶蓋俟 30 分鐘完全消化後再加入  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  10% W/V 2mℓ 利用原子吸收光譜儀測定其重金屬含量。

(2) 溶出液前處理方法

取出適量溶出液以 GFC 濾紙過濾，收集 50mℓ 過濾液液。經冷卻至  $4^{\circ}\text{C}$  添加濃  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5mℓ 再放入  $70^{\circ}\text{C}$  水浴箱加溫 1 小時，消化後放入冰浴中冷卻之，再加入 50mℓ 6% W/V  $\text{KMnO}_4$ ，經  $70^{\circ}\text{C}$  水浴消化 2 小時後取出冷卻至室溫，再加入 15mℓ 20% W/V  $\text{NH}_2\text{OH HC}$  最後加入  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2mℓ，利用原子吸光譜儀測定重金屬之含量。

### 3. 固化試驗

首先將樣品以原子吸收光譜儀、化學分析及 X 光繞射分析儀等分析其化學成份及粘土礦物，判定其汚泥特性分別配料經多次試配實驗探討最適當配料後，將配妥之汚泥處理劑，以各種百分比加入汚泥樣品中，在 Hobart Mixer 充分攪拌後灌入直徑 5 公分高 10 公分之模型放置於 100% 濕度櫃中分別養生 3、7、28 天，脫模後，以無圍壓縮試驗測其單軸壓縮強度，求出汚泥處理劑之用量與無害化程度及固化物耐壓強度之關係。

### 4. 溶出試驗方法

目前國內尚無重金屬溶出試驗之標準試驗方法，本試驗參考日本環境廳第十三號方法 (1973 年 2 月 17 日公告)

方法：使用重量體積比為試體十倍之純水加鹽酸調整PH值至5.8~6.3之間為溶劑，以接近地下水之酸鹼度，模擬實際掩埋狀況，於20°C一大氣壓下，振幅4~5cm，頻率200rpm振盪六小時，溶出以1μm孔徑之過濾紙過濾測定重金屬含量。

## 五、實驗例

### 原汚泥性質分析結果

檢驗項目	單位	No. 1 汞汚泥	No. 2 汞汚泥	No. 3 汞汚泥
含水 量	%	37.9	38.4	42.3
單位容積重	T/M <sup>3</sup>	1.663	1.536	1.463
總固體量	%	62.1	61.6	57.7
總揮發固體量	%	10.02	13.37	12.12
酸鹼度 (H <sub>2</sub> O)		10.29	9.79	9.81
汞含量	mg/kg Dry Base	34.4	86.9	142.5

表1. 汚泥處理劑及Na<sub>2</sub>S添加量與三天單軸壓縮強度關係

試驗項目 汞泥類別 Na <sub>2</sub> S 加量 汚泥處理劑/ 汚泥量%	三天單軸壓縮強度 Kg/cm <sup>2</sup>											
	No. 1				No. 2				No. 3			
	0	0.1	0.2	0.3	0	0.1	0.2	0.3	0	0.1	0.2	0.3
10	0.63	1.00	0.96	0.56	0.36	0.35	0.43	0.34	0.17	0.13	0.15	0.13
20	2.34	2.55	2.37	2.39	1.24	1.32	1.26	1.23	0.43	0.36	0.49	0.46
40	11.66	13.24	11.29	10.39	5.10	5.13	4.79	4.94	1.26	1.21	1.31	1.47
60	28.45	27.31	24.41	22.97	13.47	13.15	11.95	12.61	3.34	3.12	3.24	3.58
80	54.05	60.22	38.98	40.40	26.11	24.30	25.49	23.03	7.03	6.07	6.81	7.20

表 2. 污泥處理劑及  $\text{Na}_2\text{S}$  添加量與七天單軸壓縮強度關係

試驗項目 汞泥類別 $\text{Na}_2\text{S}$ 添加量 % 汚泥處理劑/ 汚泥量 %	七天單軸壓縮強度 $\text{Kg}/\text{cm}^2$											
	No. 1				No. 2				No. 3			
	0	0.1	0.2	0.3	0	0.1	0.2	0.3	0	0.1	0.2	0.3
10	1.18	1.57	1.11	1.05	0.55	0.55	0.63	0.48	0.23	0.17	0.25	0.19
20	3.99	4.46	2.78	3.80	1.96	2.20	1.85	1.76	0.71	0.62	0.76	0.70
40	18.22	40.36	15.19	15.69	8.13	8.35	7.74	7.72	2.22	2.13	2.14	2.23
60	41.62	40.61	35.14	36.44	20.01	19.84	18.20	18.03	5.53	5.35	5.15	5.75
80	70.18	81.80	61.03	57.54	36.93	36.30	35.56	34.59	11.51	10.31	10.57	11.03

表 3. 污泥處理劑及  $\text{Na}_2\text{S}$  添加量與廿八天單軸壓縮強度關係

試驗項目 汞泥類別 $\text{Na}_2\text{S}$ 添加量 % 汚泥處理劑/ 汚泥量 %	廿八天單軸壓縮強度 $\text{Kg}/\text{cm}^2$											
	No. 1				No. 2				No. 3			
	0	0.1	0.2	0.3	0	0.1	0.2	0.3	0	0.1	0.2	0.3
10	2.54	3.37	3.16	2.59	1.25	1.17	1.49	1.18	0.66	0.51	0.60	0.52
20	8.10	10.06	8.21	9.59	5.11	5.03	4.02	4.75	1.77	1.63	1.92	1.65
(30)									(3.32)	(3.33)	(3.17)	(3.16)
40	34.72	38.42	33.75	35.60	17.51	16.22	16.72	16.85	5.33	5.36	5.36	5.31
(50)									(10.24)	(8.67)	(8.55)	(8.96)
60	73.45	76.67	62.41	65.31	36.83	33.67	34.21	36.25	13.50	13.31	12.93	13.83
80	124.75	109.58	91.41	97.42	58.73	60.66	59.75	53.87	22.81	21.86	20.01	21.68

註：1.( )內所列數據為 30% 及 50% 污泥處理劑摻量時之單軸壓縮強度。

2.日本環境廳有害產業廢棄物固型化，陸上掩埋處理之標準中規定固化物之單軸壓縮強度必須大於  $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

圖 1 No.1 禾污泥固化試體廿八天單軸強度

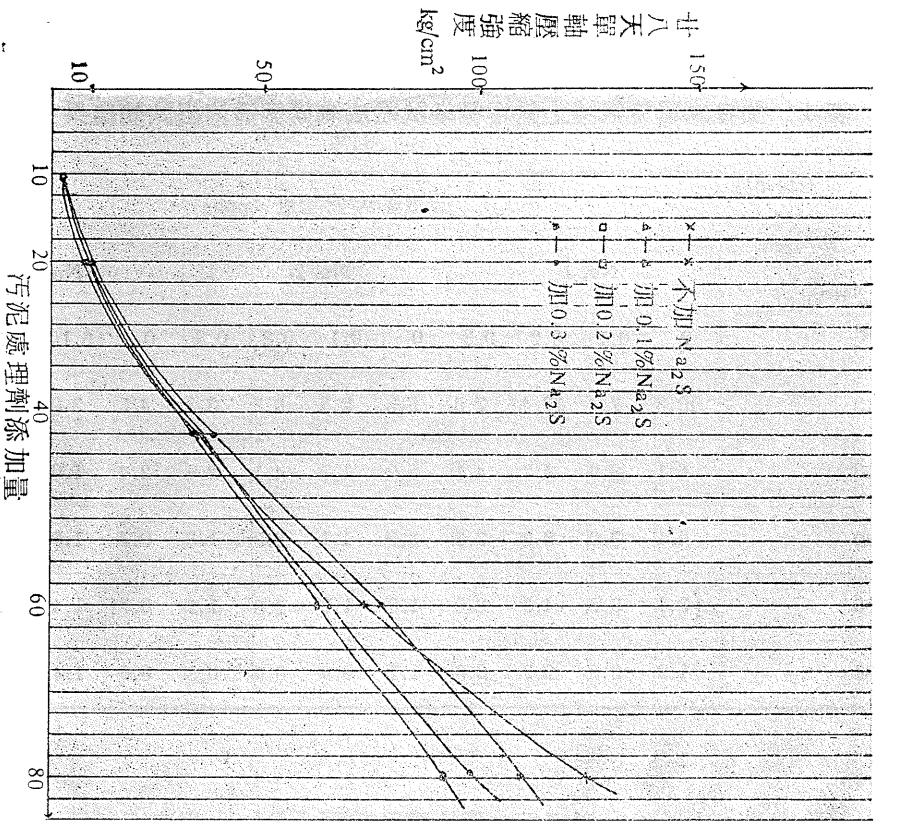


圖 2 No.2 禾污泥固化試體廿八天單軸強度

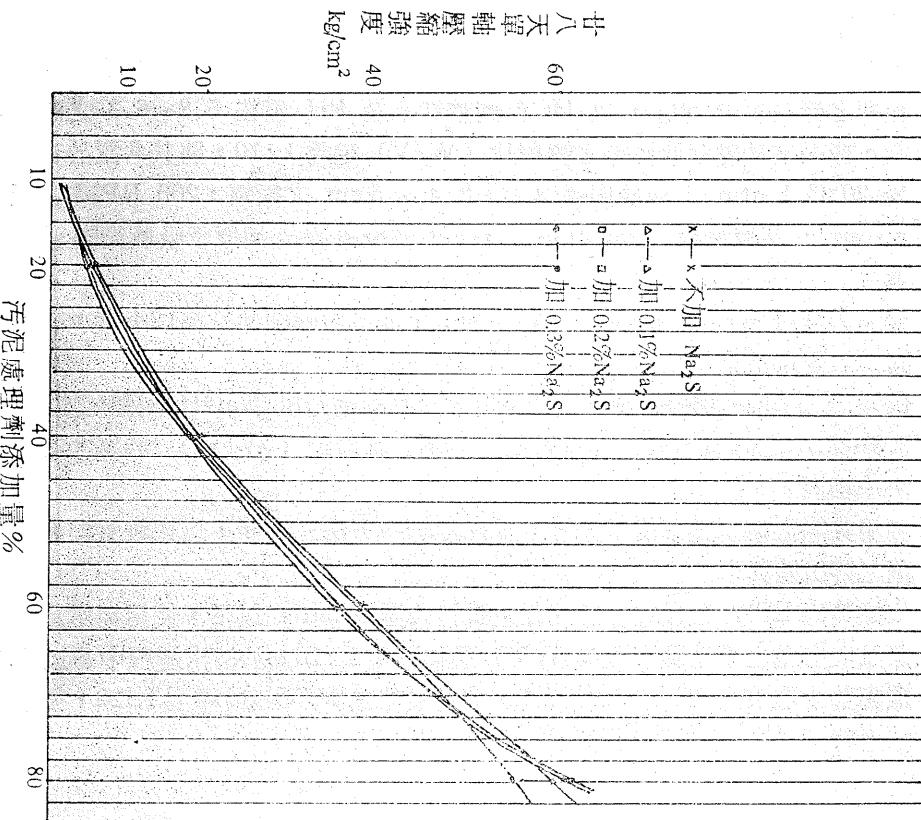


表 4. 依日本環境廳陸上掩埋標準試驗法測得振盪溶出試驗結果

試驗項目 汞泥類別 $\text{Na}_2\text{S}$ 添加量% 污泥處理劑/ 污泥量%	萃取液中之汞含量 (ppb)											
	No. 1				No. 2				No. 3			
	0	0.1	0.2	0.3	0	0.1	0.2	0.3	0	0.1	0.2	0.3
10	10.3	7.4	10.4	7.5	5.5	2.3	6.7	3.8	4.3	2.0	4.7	2.7
20	6.1	3.9	4.7	4.7	5.0	1.7	4.1	2.4	2.4	1.0	2.3	2.0
40	4.1	3.0	3.3	3.2	3.0	1.1	2.8	1.3	0.7	1.5	1.2	1.5
60	3.1	3.7	4.3	3.0	1.8	1.0	1.8	1.2	0.7	1.4	0.7	0.9
80	1.2	2.8	2.9	0.8	1.1	0.9	0.9	0.5	0.6	1.4	0.6	0.9

振盪溶出試驗方法：本試驗曾採用日本環境廳及美國 EPA 之規定五種振盪溶出試驗方法，茲分述如下：

方法一：依據「日本陸上掩埋之標準試驗法」，將固化試體打碎後篩取  $0.5\text{mm} \sim 5\text{mm}$  粒徑範圍之樣品至少  $50\text{g}$ ，以  $\text{HCl}$  調整純水之  $\text{PH}$  值在  $5.8 \sim 6.3$  之間用為萃取溶劑。樣品重量對萃取溶劑之體積比 ( $\text{W/V}$ ) 定為  $1:10$ ，將其共置於有蓋燒杯內，於  $20^\circ\text{C}$   $1\text{ atm}$  下夾於振盪器上，以  $4 \sim 5\text{ cm}$  之振幅， $200\text{ RPM}$  之頻率，振盪 6 小時，萃取液以  $1\mu\text{m}$  孔徑之 GFP 濾紙過濾後用原子吸收光譜儀測定其汞含量。

方法二：樣品處理振盪方式與方法一完全相同，惟振盪時間延長為 12 小時，以比較振盪時間長短對汞溶出量之影響。

方法三：依據「日本海洋投棄標準」之規定，萃取溶劑乃以  $\text{NaOH}$  調整純水之  $\text{PH}$  值在  $7.8 \sim 8.3$  之間者，樣品重量對萃取溶劑之體積比 ( $\text{W/V}$ ) 為  $3\%$ ，其餘規定與方法一相同。

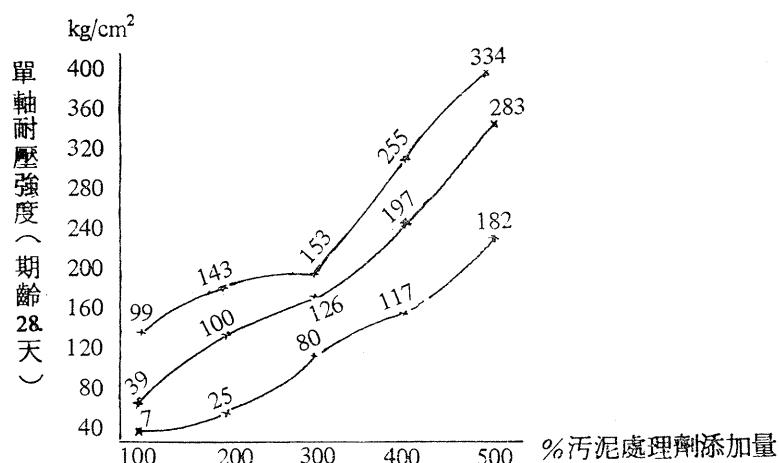
方法四：利用實際之海水為萃取溶劑，其他條件均與方法三相同，以比較實際海水與模擬溶劑之溶出差異。

方法五：依據美國 EPA 之規定，將固化試體打碎至  $9.5\text{mm}$  以下，使用純水為萃取溶劑，樣品與溶劑之重量體積比 ( $\text{W/V}$ ) 最初選用  $1:16$ ，於溶出過程中須以  $0.5\text{N}$  之醋酸調整萃取液之  $\text{PH}$  至  $5.0 \pm 0.2$ ，並使最終之  $\text{W/V}$  值稀釋至  $1:20$ ，振盪時間則需 24 小時。

表 5. 五種不同振盪溶出試驗方法所得萃取液中之汞含量 (ppb) 比較

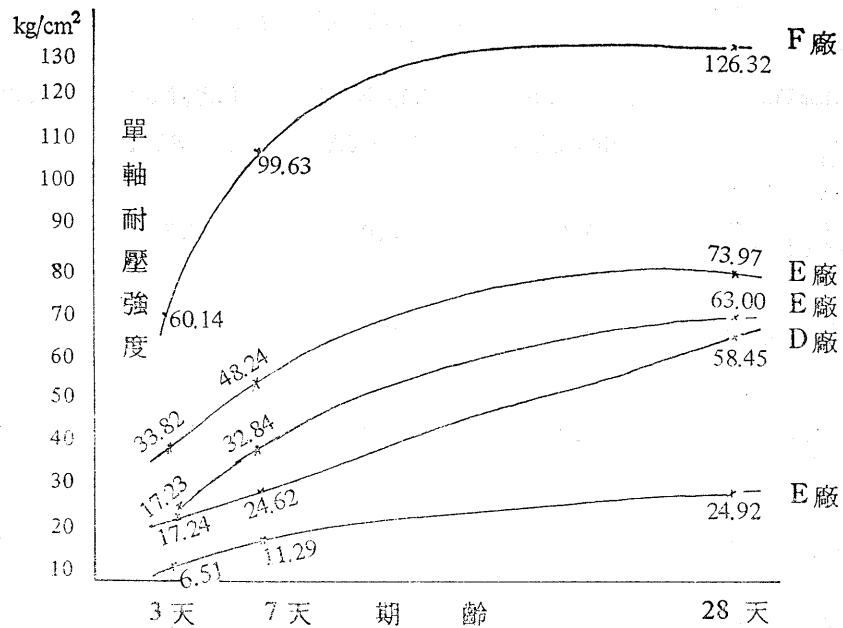
No. 汞汚泥 振盪溶出 試驗方法	試驗項目			
	萃取液中之汞含量 (ppb)			
	不加 Na <sub>2</sub> S 加 50% STA	加 0.1% Na <sub>2</sub> S 50% STA	加 0.2% Na <sub>2</sub> S 50% STA	加 0.3% Na <sub>2</sub> S 50% STA
	5.4	3.0	0.6	1.1
方一 (日本陸掩埋)	6.3	2.3	2.3	1.6
方二 (同一、振盪12hr)	4.0	2.4	1.5	2.5
方三 (日本海洋投棄)	7.6	4.5	2.8	2.1
方四 (同三，用實際海水)	3.9	2.4	2.6	1.8
方五 (美國 EPA)				

註：STA: Sludge Treatment Agent 污泥處理。

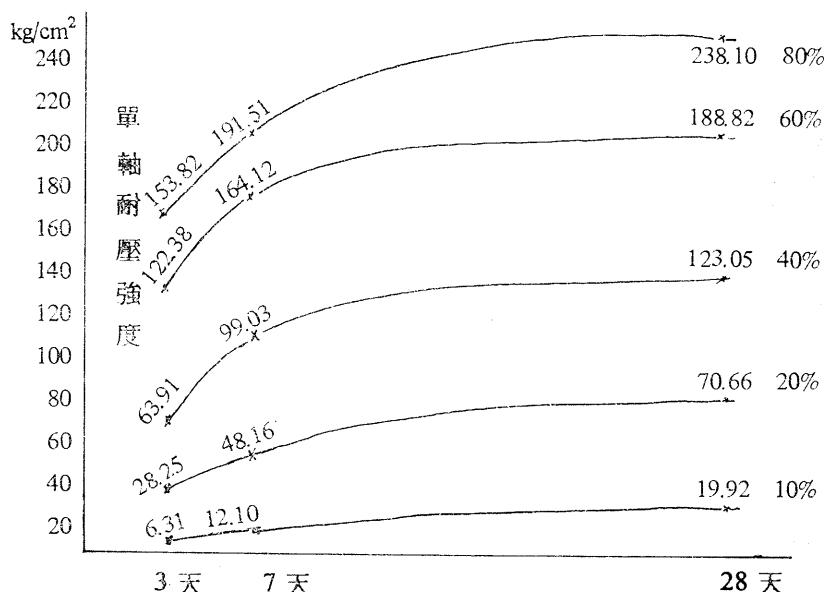


實驗例①金屬表面處理廠廢水污泥處理劑添加量與耐壓強度之關係

（三）不同量之汙泥處理劑對不同廠之汙泥，其單軸耐壓強度之影響



不同汞汚泥添加同量汙泥處理劑3、7、28天之單軸耐壓強度



F廠汞汚泥添加不同量之汙泥處理劑3、7、28天各添加量之單軸耐壓強度

實驗例②碱氯廠汞汚泥固化及無害化處理

表 三

廠名	E廠	D廠	E廠	F廠
原汞汚泥汞含量mg/kg	67	76	711.3	1605.5
固化物振盪溶出試驗ppb	ND	ND	3.85	0.368~0.883
處理年月日	73. 2. 10	73. 3. 24	73. 6. 16	73. 8. 5

汞含量之無害判斷基準為 5 ppb

實驗例③金屬表面處理廠廢水污泥

某單位金屬表面處理廠廢水污泥之固化及無害化處理

表 四

原汚泥 mg/kg

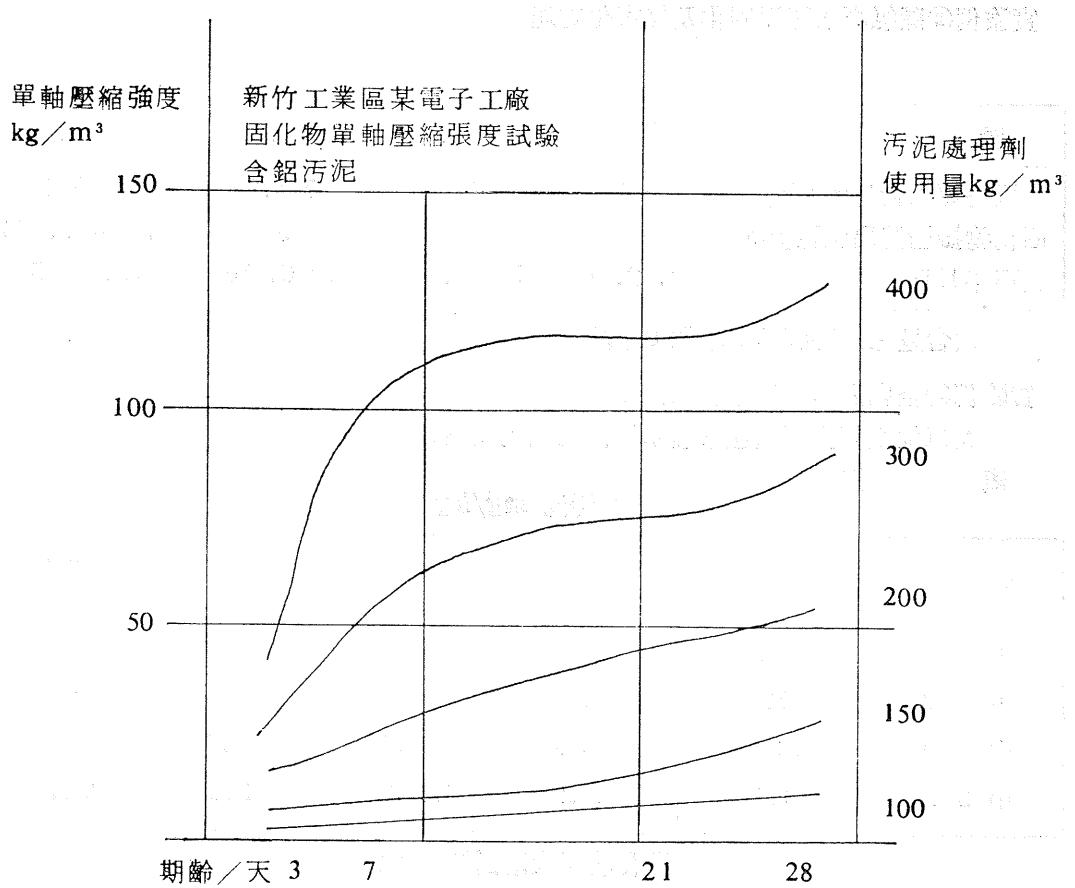
項目	Cu	Cd	Pb	Cr	CN
中 1	365110	1.74	130.7	10621	131.8
中 2	151329	53.6	771.16	182808	147
中 1 A	304300	1.66	177.5	9791.7	58.7
中 2 A	69175	87.2	1357.3	104691	267.3

固化物振盪溶出試驗 ppb

1—3 C	96.73	0.87	27.45	67.25	28
1—5 C	126.54	0.65	29.24	61.83	26
1—5 B	712.8	1.56	50.0	98.6	39.3
1—3 B	274.1	1.73	47.2	97.8	33.7
2—3 B	314.9	1.09	48.0	143.0	41.2
1—3 A	80.3	1.56	48.3	139.6	64.0
2—5 B	100.1	0.58	63.9	72.7	43.0
1—5 A	88.3	1.01	47.8	127.5	67.4
2—5 A	316.9	1.33	63.9	97.1	35.6
2—3 A	694.3	1.33	64.4	250.0	70.8

無害化判斷基礎 ppb

掩埋	未 訂	300	3000	1500	1000
丢 海	未 訂	100	1000	500	1000

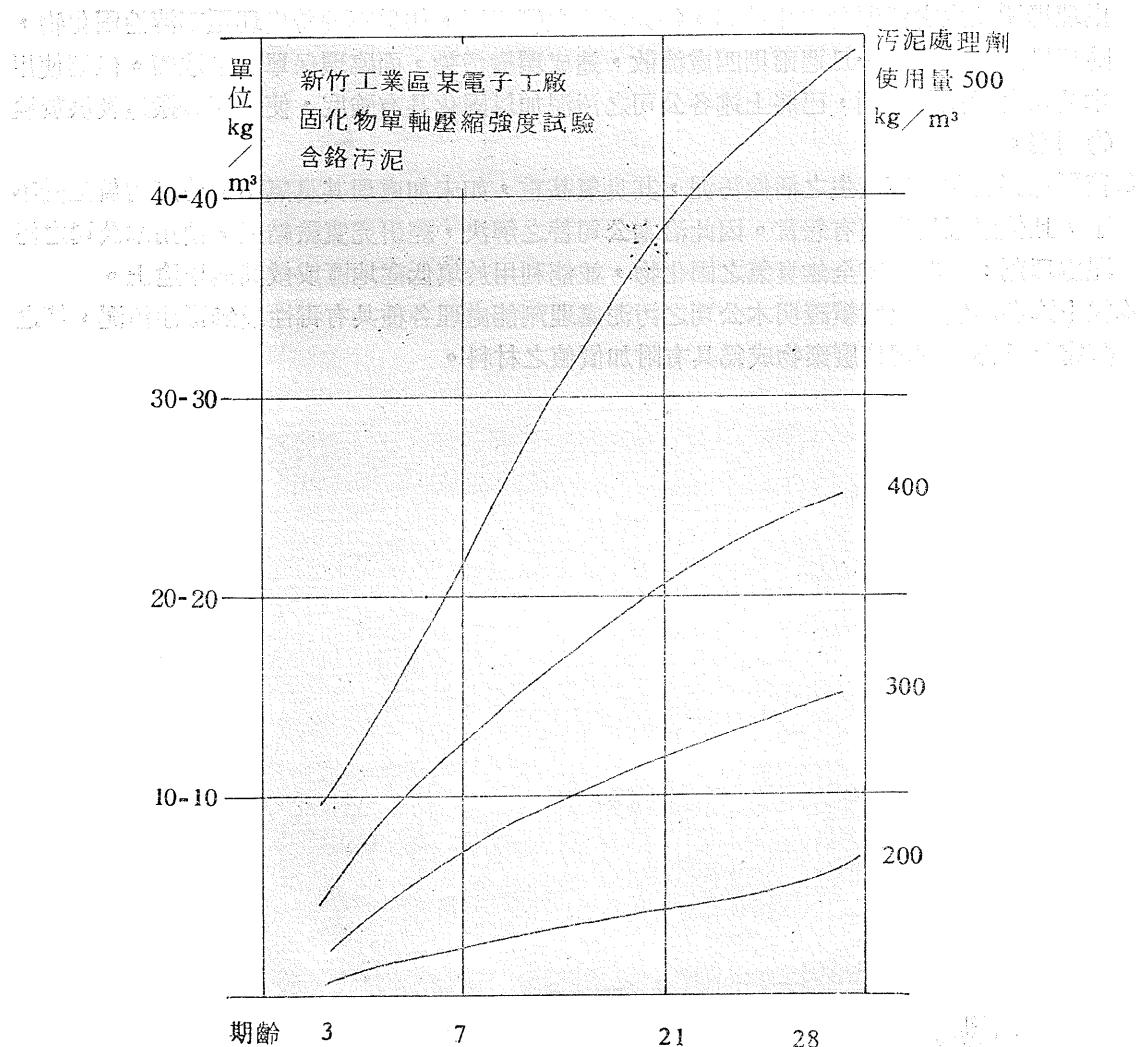


### 原狀污泥

項 目	#1	#2	#3
Cr ppm	398.8	—	222.7
Cd ppm	167.3	—	77.46
Pb ppm	3364.7	314.2	1963.8

### 振盪溶出試驗

NO/HM	Cr(ppm)	Cd(ppm)	Pb(ppm)
1-3	0.07	0.10	0.97
1-5	0.07	0.10	0.82
2-2	—	—	0.23
2-4	—	—	0.52
3-2	0.09	0.27	2.31
3-4	0.09	0.17	1.57
無害基準	1.50	0.30	3.00



## 六 結 語

1.我國隨工業發展之同時，廢棄物亦應運而生，而其處理問題漸來成為社會關切之問題，但由於衛生署環保局及經濟部工業局輔導之下，各公司對廢棄物之處理亦日益熱心。有的工廠雖設置了廢水處理之設備，但對於所產生之污泥則茫然失措。

本公司一向以「貢獻社會不後於人之精神」研究開發了「污泥處理劑」此污泥處理劑不但解決了上述各種污泥之間題，同時也解決了中油鑽井污泥、某家電用電子公司、某液晶體製造廠、某色料公司等（因篇幅之關係無法一一枚舉其處理經過），各公司產生之污泥中各種有害重金屬問題，均能以不同配料及不同用量之污泥處理劑固化，達成可再利用之耐壓強度，並且使之無害化。

2.至於無毒性污泥，如竹東區某化工廠，新竹某公營公司、宜蘭區某石粉加工廠等等其廢水

處理場所產生之汚泥含水比甚高。每天產生之爛污泥，如果不妥善處理至不溶性固化物，隨便排放或堆置，一旦遇雨則四處流散，造成環境污染，面臨環保單位之取締。但經使用本公司之汚泥處理劑，已將上述各公司之汚泥加以固化具有強度，使之便於搬運及供於廢物利用。

3. 苗栗縣某石化工廠產生之活性汚泥，其臭氣甚重，如未加處理其臭氣不但使廠內員工受不了，且使附近居民頗有怨言。因此洽本公司替之解決，經研究實驗結果，使用本公司之汚泥處理劑，令其變成全無臭氣之固化物，並能利用於填低窪地區或做其他用途上。
4. 經上述各種實驗及實績證明本公司之汚泥處理劑能處理各種具有毒性或無毒性汚泥，使之無害化及再予利用使廢棄物成為具有附加價值之材料。