

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

第三名

040216

壁癌的秘密

臺北市立第一女子高級中學

作者姓名：

高二 朱盈霞 高二 陳品玟

指導老師：

張永佶

中華民國第 四十五 屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：化 學 科

組 別：高 中 組

作品名稱：壁 癌 的 秘 密

關 鍵 詞：滲透、晶析、界面活性劑

編 號：

壹、摘要

壁癌，建築學上稱之為白華現象，是生活周遭處處可見的建築體問題，其發生歷史悠久，地域廣泛，至今未有十分完善的解決方法。細究其發生過程雖然複雜，基本的生成原理卻是建材縫隙毛細滲水過程中，水、空氣、鹽質的交互作用下，一種耐人尋味的成分晶體析出現象。

本研究將自毛細滲水與離子晶析的觀察角度出發，廣泛取樣生活中實際混凝土材料自製簡易試體，對此現象進行詳細的試體模擬探討，主要分為兩大部分：第一部分將藉由改變材料與滲透水等的各項性質，針對可能影響其滲水現象與晶析環境的諸多變因進行實驗模擬，晶析結果歷經晶析觀察與 EDTA 滴定分析，配合實驗過程中的監測資料，以求得白華現象與各項因子間的相互關係；第二部份將針對混凝土凝合原理，自行設計微量拌和添加物，以改良材料降低其滲水性，進而達到防癌效果，初步研究發現添加界面活性劑極具成效，以期對壁癌問題能提出具體而有效的結論與建議。

貳、研究動機

壁癌是生活周遭建築物常見的現象，仔細觀察住家和學校的各個牆垣處，便發現一片片絨毛狀、細沙狀，甚至是樹枝狀的白色物質自混凝土的縫隙綿延著生出來，此奇妙的現象引起其濃厚興趣，在高二化學『溶液』及高三『蒸氣壓』的單元中，提及飽和與過飽和的溶液、蒸氣壓等概念，推測牆癌產生的過程，除滲漏外，應有其相關性。生活中常有人把壁癌現象和房屋漏水問題相並而談，在初步閱讀相關資料後，了解其原因確實和建材縫隙毛細滲水密切相關，若能從簡單的實驗探討其中的微妙變化，或能對此常見問題有所建言，於是決定展開從事一系列的探究實驗。

參、研究目的

- 一、製作簡易混凝土材料試體，提供滲透水源進行模擬培養，探討滲透水與材料性質上諸多變因對其白華現象之影響。
- 二、在自製試體上塗覆常見的建築表面塗料，探討各種材料表面處理模式所造成的影響。
- 三、經由混凝土的材料特性及內部原理，自行設計改良混凝土質的材料添加物，以期對材料滲水及白華的發生，有某種程度的遏止效果。
- 四、利用表面晶析觀察、白華物質陽離子滴定分析，以了解白華的發生。

肆、研究設備及器材

一、器材

100mL 燒杯	刮杓、玻棒	濾紙、漏斗、漏斗架
滴定管	pH meter	剪刀、膠帶
電子秤、秤量紙	投影片膠片	玻片 (1"*3" 厚 1.2mm)

二、藥品

HNO ₃	Na ₂ SO ₄	KClO ₃	CoCl ₂
KOH	NaHCO ₃	KIO ₃	NiCl ₂
K ₂ Cr ₂ (SO ₄) ₄	MgSO ₄	H ₃ BO ₃	NH ₄ Cl
CuSO ₄	Na ₂ CO ₃	K ₃ Fe(CN) ₆	(NH ₄) ₂ CrO ₄
MnSO ₄	CaCO ₃	NaCl	K ₂ CrO ₄
FeSO ₄	MgCO ₃	MgCl ₂	(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇
NiSO ₄	K ₂ CO ₃	CaCl ₂	K ₂ Cr ₂ O ₇
BaSO ₄	BaCO ₃	BaCl ₂	CuCl ₂
Al ₂ (SO ₄) ₃	KBr	MnCl ₂	漆料、混凝土
EDTA	EBT 指示劑	pH10 緩衝溶液	

伍、研究過程或方法

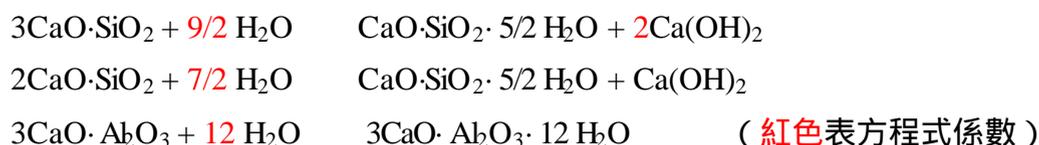
一、理論探討

(一) 標準波特蘭水泥與混凝土凝結原理

實驗所採用的標準波特蘭水泥是一般建築物使用最廣泛的水泥類型，主要由黏土質和石灰質粉末所組成，詳細成分如下。

化學成分	含量百分比(%)
石灰(氧化鈣)	61.5 65.5
二氧化矽	19.5 23.0
氧化鋁	5 8
氧化鎂	5 max
硫酸酐	2 max
氧化鐵	0 4

水泥與骨材(砂石)混勻後加水拌合，即產生一黏性砂漿，固化後形成堅強的混凝土體。關於凝結作用，一般認為使水泥硬化的主要組成物為 3CaO·SiO₂，2CaO·SiO₂，3CaO·Al₂O₃ 三者，其與水結合甚強，易起水化作用：



各式生成之含水化合物初為非結晶性膠體，其膠合力頗？，致使其和骨材緊密結合而產生強度，其後因砂漿水分蒸發漸次變成結晶質而固化。

(二) 毛細管水與混凝土白華潛變

毛細管水是一種在材料中上升而抵抗重力的水。由於一般材料內存在小孔隙，毛細管水可上升至與重力平衡為止。在一般情形下，混凝土構體的耐久性

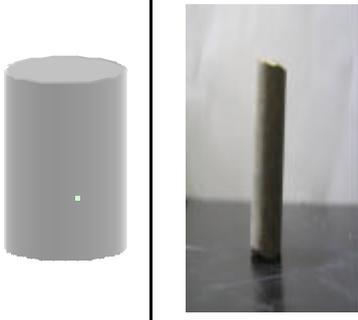
深受毛細管水的影響，一旦構體接觸到水溶液，便藉由毛細作用源源不絕滲入，而後對構體造成持續的影響，其衍生效應概略如下：

1. 水中具有某程度的酸性或鹼性對構體內物質產生侵蝕。
2. 使構體主要構成物或凝結物分解或溶入水中，造成孔隙變大與構體的疏鬆化。
3. 水中含有某些離子，在孔隙中產生結晶沉積，或和材料物質化合成新物質後析出，不僅使材料本質發生改變，其晶體或因體積膨大而具結構破壞力。

上述三種效應大多在構體中相伴發生，形成所謂的壁癌 - 白華潛變，構體毛細滲水至晶體析出的過程，便是壁癌現象的基本生成原理。

二、試體製作與裝置

(一) (綠色表溶液浸泡區域或浸泡上緣)

	試體類型	製作說明	示意圖
試體甲	玻片單面塗覆薄層試體	取一 1"*3" 厚 1.2mm 的玻片，單面塗覆厚約 2mm 的水泥砂漿，待乾燥即可。	
乙	底面垂直滲透	以粗型吸管灌注水泥砂漿(其性質依各實驗所控制者)，製成混凝土圓柱試體。	
丙	內部水平滲透	1. 以塑膠片自製模型，灌注混凝土砂漿以製成中空圓柱試體。 2. 待乾燥硬化後，取下分隔中心區域的塑膠片，並加入滲透水源之溶液。	
丁	壁面水平滲透	1. 以塑膠片製成如右圖之雙槽模型，並灌入水泥砂漿。 2. 待乾燥硬化後，取右圖中之 A 板，並在另一槽內加入滲透水源。	

1. 試體甲製成薄層，具有滲透均勻、利於蒸發、滲透現象與晶體析出皆顯而易見的優點，而玻片可支撐薄層，提供材料內部的透視面，也使試體製作變得方便。

2. 乙 丁試體的製作費工費時，但較玻片薄層試體更接近實際的材料型態，故實驗先以薄層試體為主，其他試體則用於特殊現象的進一步試驗。

(二) 依各實驗進行表面處理（披覆各種漆料及混凝土內部處理）。

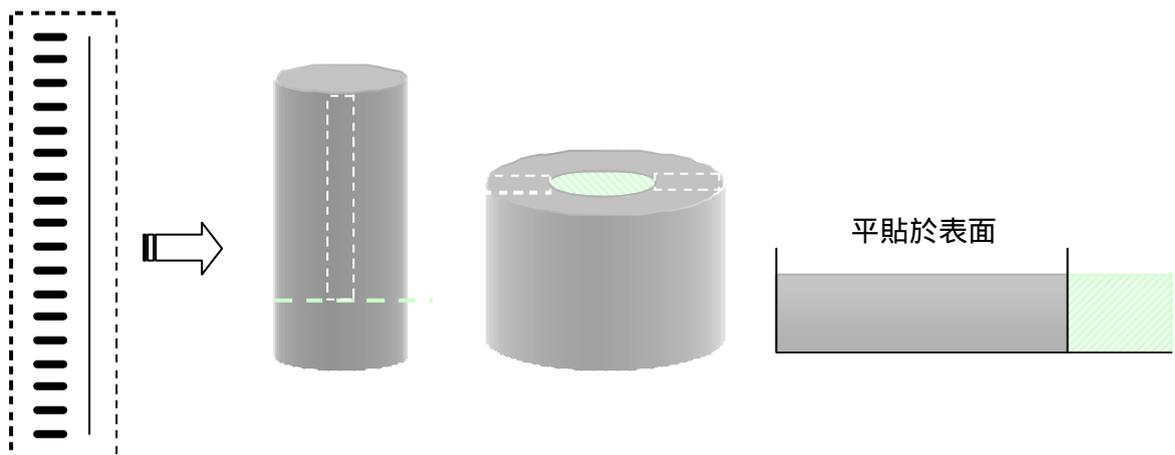
(三) 試體標設滲透水位標：

1. 說明：

(1) 由於在實驗過程中，乙 丁試體其滲水情形不易觀察，此標設主要用於了解試體孔細滲水情況，以便對總體晶析情形進行評估，設計上有兩種構思：

- 利用 Co^{2+} 、 Cu^{2+} 等離子水合後會改變呈色來檢測浸水，但易因溼氣等因素而失去準度。
- 依各實驗滲透水所含離子，設計標籤所含試劑，利用離子沉澱來檢測滲水（即當滲透水經過時，標籤即呈現某種沉澱物的顏色）。
- 將試劑配成高濃度溶液，以濾紙浸泡半小時後烘乾，製成所需標籤。

2. 標設：



- 將滲透水位標示紙剪成小條（約 $3\text{mm} \times 2\text{mm}$ ），等距（約間隔 3mm ）貼於試體上。
 - ▶不可直接塗抹是因溶液塗抹不易且為避免試劑和試體成分間發生作用而很快耗去。
 - ▶紙張內更易毛細滲水，故紙條間不可互相接觸以免失去準度。
- 位標右邊直線表一張高度尺標膠片條。

三、實驗流程

(一) 混凝土體試驗（採用波特蘭水泥普通型）

▶▶ **實驗 1**：製作試體探討不同砂石比例的影響

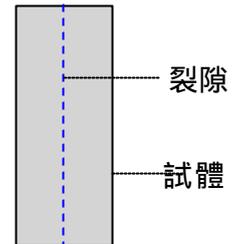
- 分別於四個紙杯 A、B、C、D 內，分別加入下表物質調製成混凝土試料，製成試體圓柱：

紙杯(水泥%)	水泥(g)	砂石(g)	水(mL)
A(20%)	10	40	15
B(40%)	20	30	15
C(60%)	30	20	15
D(80%)	40	10	15

2. 在 100mL 燒杯內配好鹽類飽和溶液，過濾溶液並調整使液面等高。
3. 將完全乾燥之混凝土試體圓柱置於杯中。
4. 於每日同一時間記錄長晶情形。

▶▶ **實驗 2**：製作試體探討表面裂隙的影響

1. 混凝土試體製作法同上實驗。
2. 乾燥後，以美工刀刻出裂隙（如右圖）。
3. 在 100mL 燒杯內配好鹽類飽和溶液，過濾溶液並調整使液面等高。
4. 將試體垂直置入。
5. 於每日同一時間記錄長晶情形。



▶▶ **實驗 3**：作試體探討不同酸鹼度滲透水的影響

1. 混凝土試體製作法同上述實驗。
2. 以硝酸、氨水、氫氧化鈉配製 pH 值各為 2,4,7,9,11 的酸鹼溶液。
3. 在 100mL 燒杯內以上述酸鹼溶液為溶劑，配製各種鹽類飽和溶液，過濾溶液並調整使液面等高。
3. 將完全乾燥之試體垂直置入。
4. 於每日同一時間記錄長晶情形。

同時使用氨水和氫氧化鈉是為避免氨氣可能有的蒸氣帶動力。

(二) 一般漆料試驗（水泥漆、磁漆、乳膠漆）

▶▶ **實驗 4**：製作試體探討不同漆料塗面對鹽類溶液滲透析出的影響

1. 在試體圓柱上均勻塗抹油漆、磁漆、乳膠漆，使之厚度相當（約 0.1mm）。
2. 在 100mL 燒杯內配好鹽類飽和溶液，過濾溶液並調整使液面等高。
3. 將完全乾燥之試體垂直置入。
4. 於每日同一時間記錄其長晶情形。

▶▶ **實驗 5**：奈米光觸媒表面噴劑試驗

1. 在試體圓柱上均勻地噴上奈米光觸媒噴劑，使之厚度相當。
2. 在 100mL 燒杯內配好鹽類飽和溶液，過濾溶液並調整使液面等高。
3. 將完全乾燥之試體垂直置入。
4. 於每日同一時間記錄其長晶情形。

▶▶ **實驗 6**：市面上防壁癌塗料試驗

1. 在試體圓柱上均勻塗抹市面上各種防壁癌塗料，使之厚度相當（約 2mm）。
2. 在 100mL 燒杯內配好鹽類飽和溶液，過濾溶液並調整使液面等高。

3. 將完全乾燥之試體垂直置入。
4. 於每日同一時間記錄其長晶情形。

(三) 改良設計低滲水性混凝土質

▶▶加入[微量鹽類]的影響 (實驗 7)

1. 在 9 個紙杯內分別秤取 12 克的水泥和 8 克的砂置入。(60% 配比)
2. 各秤取該組指定添加鹽類 0.01mol 的晶體粉末加入，9 種添加鹽類如下：

組別	1	2	3	4	5	6	7	8	9
鹽類	CaCl ₂	Na ₂ SO ₄	BaSO ₄	KBr	CaCO ₃	Fe(NO ₃) ₃	BaCO ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	MgCl ₂
備註	可溶	可溶	難溶	可溶	難溶	可溶	難溶	可溶	可溶

3. 各加入蒸餾水 20mL，並將生成砂漿充分拌和均勻。
4. 塗覆玻片以製成試體，待完全乾燥後，分別以飽和之 Na₂SO₄、MgSO₄ 溶液進行前述培養實驗。

▶▶加入[硬脂酸鈉]的影響 (實驗 8)

1. 秤取 0.31 克(0.01mol)的肥皂絲(C₁₇H₃₅COONa)，並將其溶入 20mL 蒸餾水中。
2. 在紙杯內置入 12 克水泥和 8 克砂(60% 配比)，加入前述肥皂水並充分拌勻。
3. 塗覆玻片以製成試體，待完全乾燥後，分別以飽和之 MgSO₄ 溶液進行前述培養實驗。



《由於該實驗在材料改良嘗試中有極佳的試驗結果，並由此引發數階段的延伸探討，其後續延伸之擴展實驗及各階段結果將於實驗 8【討論與應用】中詳述討論》

四、白華物質檢測法 EDTA 陽離子滴定法

- (一) 文獻中得知，白華晶體主要來源有二：一為滲透水中富含的鹽類成分，二是滲水過程中，構體內物質（如水泥中的氧化鈣形成大量鈣鹽）被溶解後析出。在各個變因的模擬實驗中，將在滲透水中添加不同的鹽類成分（除文獻中談及的壁癌主要成分外，也採用其他鹽類），以茲模擬多種之晶析情形。

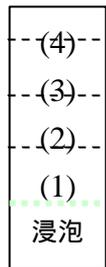
(二) 使用的滲透水鹽類來源

壁癌中常見物質		其他使用鹽類	
CaCO ₃	BaCl ₂	CoCl ₂	NiCl ₂
MgCO ₃	FeSO ₄	K ₂ Cr ₂ (SO ₄) ₄	K ₃ Fe(CN) ₆
BaCO ₃	BaSO ₄	CuSO ₄	CuCl ₂
MgCl ₂	Al ₂ (SO ₄) ₃	MnSO ₄	H ₃ BO ₃
CaCl ₂	MgSO ₄	KClO ₃	

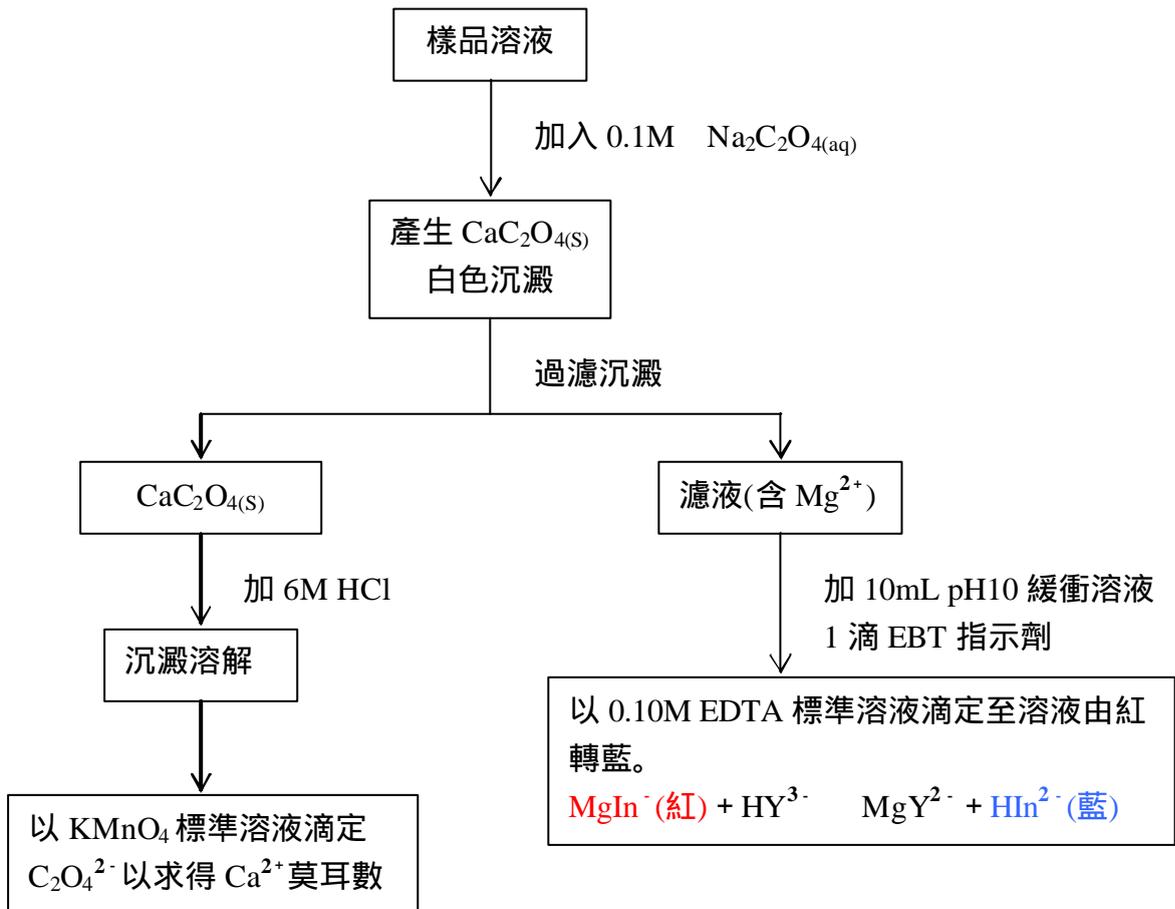
- (三) 模擬實驗的試體培養結果，除進行白華現象（滲透與晶體析出）的外觀觀察及測量外，也將對試體各部位的表面白華物質進行採樣，並以 EDTA 之陽離子滴定分析進行其晶析來源的定量分析，以獲得更精確的實驗結果。
- (四) 各實驗中將分析鈣離子（水泥主成分）以檢驗此項晶析來源。而在實際進行試體培養後（結果後述），發現滲透水添加的諸多鹽類成分中，以添加 $MgSO_4$ 者造成的白華現象最利於採樣及分析，故各變因之該項分析將以之為主要探討對象，以下亦僅詳述其分析方法。

(五)分析法

- 【取樣】
1. 將試體自溶液中取出，靜置待其乾燥。
 2. 將圓柱體由下而上畫分成四個區段(如右圖)，分別均勻刮下各區段表面的白華狀物質，再分別秤重。
 3. 將採得樣本以蒸餾水溶解。



【滴定】



陸、研究結果

一、滲透水與材料性質

(一) **不同砂石比例** (實驗 1) (*表沒有晶析現象)

1. Na_2SO_4 (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	5.6	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
40%	*	*	5.0	5.3	6.0	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
60%	2.7	3.1	3.4	5.3	6.5	6.8	6.9	6.9	6.9	7.0	7.0	7.1
80%	2.2	3.2	5.2	5.2	5.9	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

2. BaCl_2 (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	*	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
40%	*	*	*	2.1	2.5	3.3	3.9	4.1	4.5	4.7	5.2	5.3
60%	*	*	5.8	5.9	5.9	5.9	6.1	6.4	6.5	6.9	7.1	7.1
80%	*	*	*	*	*	*	5.2	5.7	5.9	6.3	6.4	6.6

3. Na_2CO_3 (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	*	*	*	*	*	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
40%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5.2	5.5
60%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
80%	*	*	*	*	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

4. NaHCO_3 (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	*	*	*	*	*	*	*	*	7.1	7.1	7.1	7.1
40%	*	*	*	*	*	4.8	5.1	5.3	5.5	5.9	6.2	6.6
60%	*	*	*	*	*	*	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
80%	*	*	*	*	*	5.9	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

5. MgSO_4 (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	6.4	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
40%	*	*	6.5	6.6	6.9	6.9	6.9	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
60%	*	5.3	5.7	6.2	6.4	6.8	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
80%	*	*	5.9	6.1	6.2	6.5	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

6. CaCl₂ (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
40%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
60%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
80%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

7. NaCl (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	*	*	*	*	*	*	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
40%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5.1	5.3	5.4
60%	*	*	*	*	5.9	6.5	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
80%	*	*	*	*	*	*	*	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

8. MgCl₂ (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
40%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
60%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
80%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

9. NH₄Cl (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	*	2.6	3.2	4.6	5.2	5.6	5.6	6.0	6.8	7.0	7.1	7.1
40%	*	1.2	1.8	2.3	2.3	2.5	2.8	3.1	4.2	4.4	4.5	4.8
60%	*	1.5	1.8	2.5	2.9	3.0	3.1	3.4	3.6	3.9	3.9	4.0
80%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

10. 赤血鹽 (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	*	4.2	6.5	7.0	7.2	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
40%	*	4.0	5.5	7.2	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
60%	*	2.8	5.5	7.0	7.0	7.1	7.2	7.3	7.3	7.3	7.5	7.5
80%	*	*	4.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

11. KClO₃ (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	*	4.5	7.0	7.0	7.1	7.1	7.1	7.3	7.5	7.5	7.5	7.5
40%	*	4.4	6.4	7.0	7.0	7.1	7.1	7.2	7.5	7.5	7.5	7.5

60%	*	4.5	6.9	7.0	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.5	7.5	7.5	7.5
80%	*	*	5.0	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

12. CuSO₄

(單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20%	2.9	5.2	6.2	6.6	7.1	7.2	7.4	7.4	7.5	7.5	7.5	7.5
40%	1.3	2.4	2.9	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.9	4.5	4.8
60%	2.1	3.4	4.2	4.7	4.9	5.0	5.1	5.1	5.3	5.4	5.5	5.8
80%	2.7	2.7	2.9	3.3	3.7	3.9	3.9	4.0	4.0	4.4	4.6	4.9

(二) **混凝土裂隙** (實驗 2)

1. Na₂SO₄

(單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	5.6	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
中有裂隙	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

2. BaCl₂

(單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	*	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
中有裂隙	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

3. Na₂CO₃

(單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	*	*	*	*	*	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
中有裂隙	*	2.3	3.1	3.9	5.4	6.2	6.5	6.8	7.0	7.0	7.0	7.1

4. NaHCO₃

(單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	*	*	*	*	*	*	*	*	7.1	7.1	7.1	7.1
中有裂隙	*	1.3	1.5	1.7	2.1	2.5	2.8	3.0	4.1	5.0	5.8	6.5

5. MgSO₄

(單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	6.4	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
中有裂隙	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

6. CaCl₂

(單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
中有裂隙	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

7. NaCl (單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	*	*	*	*	*	*	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
中有裂隙	*	2.8	4.1	5.0	5.5	6.3	6.9	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

8. MgCl₂ (單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
中有裂隙	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

9. CuSO₄ (單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	2.2	2.8	3.5	4.0	4.6	5.3	5.7	6.5	7.0	7.4	7.5	7.5
中有裂隙	平面	2.2	3.4	4.1	4.9	5.6	6.6	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
	裂隙	3.7	3.8	4.0								

10. NH₄Cl (單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	*	*	1.2	2.5	3.4	4.1	4.7	5.3	5.5	5.6	5.6	5.6
中有裂隙	*	1.3	2.7	3.2	3.6	4.0	4.4	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0

11. 赤血鹽 (單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
中有裂隙	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

12. KClO₃ (單位：cm)

試體處理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無裂隙	*	5.1	6.8	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
中有裂隙	4.4	5.8	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

(三) 不同酸鹼度之滲透水 (實驗 3)

1. CuSO₄ (單位：cm)

pH 值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	2.9	3.4	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8
4	2.5	3.4	4.1	4.7	4.9	5.5	6.1	6.4	6.9	7.1	7.1	7.1
7	2.9	5.2	6.2	6.6	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
9	2.1	3.2	3.8	4.5	5.6	5.7	5.9	6.2	6.4	6.5	7.1	7.1
11	1.8	2.5	2.8	2.9	3.0	3.5	3.7	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2

2. NH_4Cl (單位：cm)

pH 值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	*	*	*	*	1.2	1.3	1.3	1.5	1.6	1.9	1.9	2.0
4	*	*	*	*	*	1.5	1.6	1.8	2.1	2.2	2.5	2.7
7	*	2.6	3.2	4.6	5.2	5.6	5.6	6.0	6.8	7.0	7.1	7.1
9	*	*	*	1.6	2.1	2.3	2.3	2.5	2.6	2.6	2.8	3.0
11	*	*	*	*	*	1.1	1.5	2.1	2.3	2.4	2.6	2.7

3. 赤血鹽 (單位：cm)

pH 值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	3.4	3.8	4.7	5.4	6.6	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
4	4.6	5.9	6.7	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
7	*	4.2	6.5	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
9	4.0	4.7	5.3	6.1	6.8	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
11	3.8	5.1	5.8	6.9	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

4. KClO_3 (單位：cm)

pH 值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	*	*	1.2	1.5	1.7	3.0	3.1	3.1	3.4	3.5	3.5	3.5
4	2.8	3.6	4.3	5.5	5.9	6.8	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
7	*	4.5	7.0	7.0	7.1	7.1	7.1	7.3	7.5	7.5	7.5	7.5
9	3.3	4.5	5.4	6.2	6.6	6.8	7.0	7.0	7.0	7.0	7.1	7.1
11	3.4	4.8	5.5	6.7	7.0	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

二、材料表面處理

(一) 常見漆料塗面 (實驗 4)

1. 以乾燥混凝土外覆水泥漆 (單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Na_2SO_4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
BaCl_2	6.5	6.6	6.9	6.9	7.1	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Na_2CO_3	*	*	*	*	*	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
NaHCO_3	*	6.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
MgSO_4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
CaCl_2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NaCl	*	1.3	2.0	3.2	4.4	5.2	6.5	7.4	7.5	7.5	7.5	7.5
MgCl_2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CuSO_4	*	1.1	1.3	1.7	1.8	2.1	2.1	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9
KClO_3	*	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
赤血鹽	*	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
NH_4Cl	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

2. 以乾燥混凝土外覆**磁漆**

(單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Na ₂ SO ₄	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
BaCl ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Na ₂ CO ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NaHCO ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MgSO ₄	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CaCl ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NaCl	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MgCl ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CuSO ₄	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
KClO ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
赤血鹽	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NH ₄ Cl	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

3. 以乾燥混凝土外覆**乳膠漆**

(單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Na ₂ SO ₄	*	1.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3
BaCl ₂	*	*	*	*	*	1.2	1.6	2.3	2.6	2.6	2.7	2.7
Na ₂ CO ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NaHCO ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MgSO ₄	*	*	*	*	*	*	*	1.5	1.8	1.9	1.9	1.9
CaCl ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NaCl	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MgCl ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CuSO ₄	*	*	*	*	*	*	1.3	1.8	2.1	2.1	2.2	2.2
KClO ₃	*	*	*	*	*	1.5	2.3	2.6	2.9	3.2	3.4	3.5
赤血鹽	*	*	*	*	*	*	*	1.7	2.3	2.3	2.3	2.3
NH ₄ Cl	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

(二) **奈米光觸媒**表面噴劑試驗 (實驗 5)

(單位：cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Na ₂ SO ₄	*	*	*	*	*	2.1	2.3	2.4	2.5
BaCl ₂	*	*	*	*	*	1.4	1.4	1.5	1.6
Na ₂ CO ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NaHCO ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MgSO ₄	*	*	*	*	*	*	*	*	*

CaCl ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NaCl	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MgCl ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CuSO ₄	*	*	*	*	*	*	*	*	*
KClO ₃	*	*	*	1.2	1.3	2.0	2.5	2.7	2.8
赤血鹽	*	*	*	*	*	*	2.5	2.5	2.6
NH ₄ Cl	*	*	*	*	*	*	*	*	*

(三) 市面上**防壁癌塗料**試驗 (實驗 6) (單位 : cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Na ₂ SO ₄	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
BaCl ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Na ₂ CO ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NaHCO ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MgSO ₄	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CaCl ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NaCl	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MgCl ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CuSO ₄	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
KClO ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
赤血鹽	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NH ₄ Cl	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

三、設計改良低滲水性混凝土質

(一) 加入微量鹽類 (實驗 7) (單位 : cm)

溶液	鹽類	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MgSO ₄	CaCl ₂	*	2.1	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0
	Na ₂ SO ₄	*	*	1.2	1.5	2.0	2.3	2.5	2.9	3.3	3.6
	BaSO ₄	*	3.1	3.5	3.7	4.2	5.5	6.0	6.4	6.7	6.8
	KBr	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
	CaCO ₃	*	*	*	*	4.9	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
	Fe(NO ₃) ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	BaCO ₃	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
	Al ₂ (SO ₄) ₃	*	*	1.2	1.5	1.9	2.3	2.5	2.7	2.9	3.0
	MgCl ₂	*	1.7	2.3	2.8	3.7	4.8	5.5	6.2	6.9	7.1

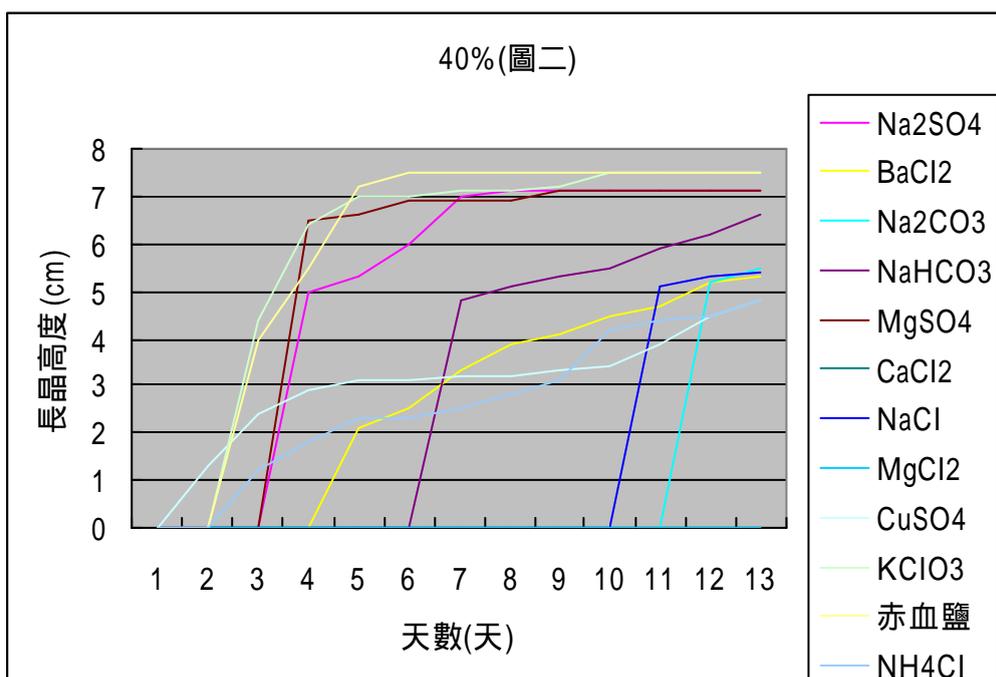
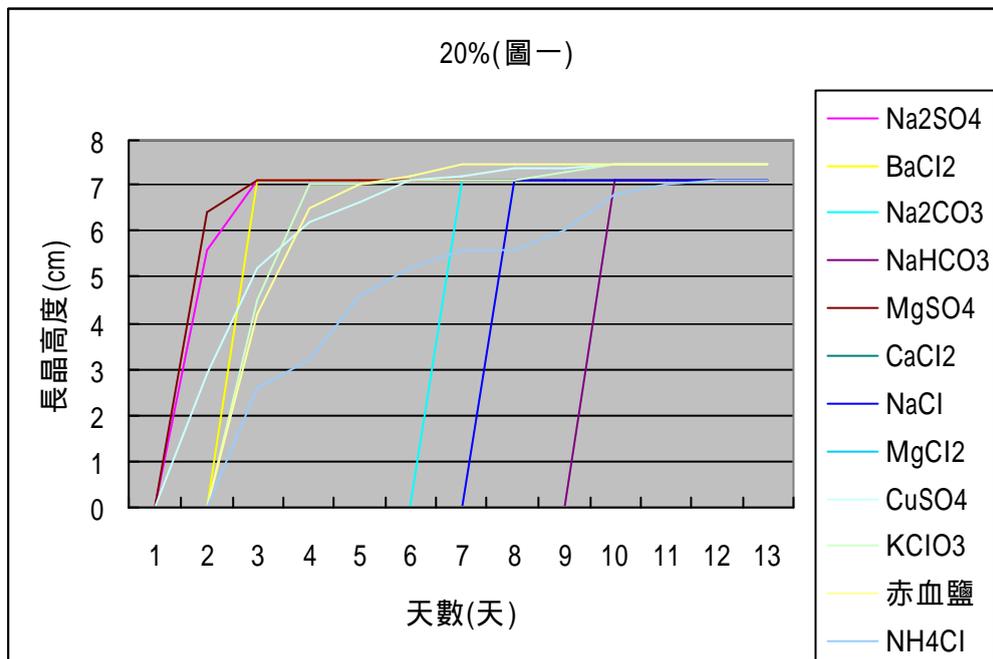
(二) 加入硬脂酸鈉 (實驗 8)

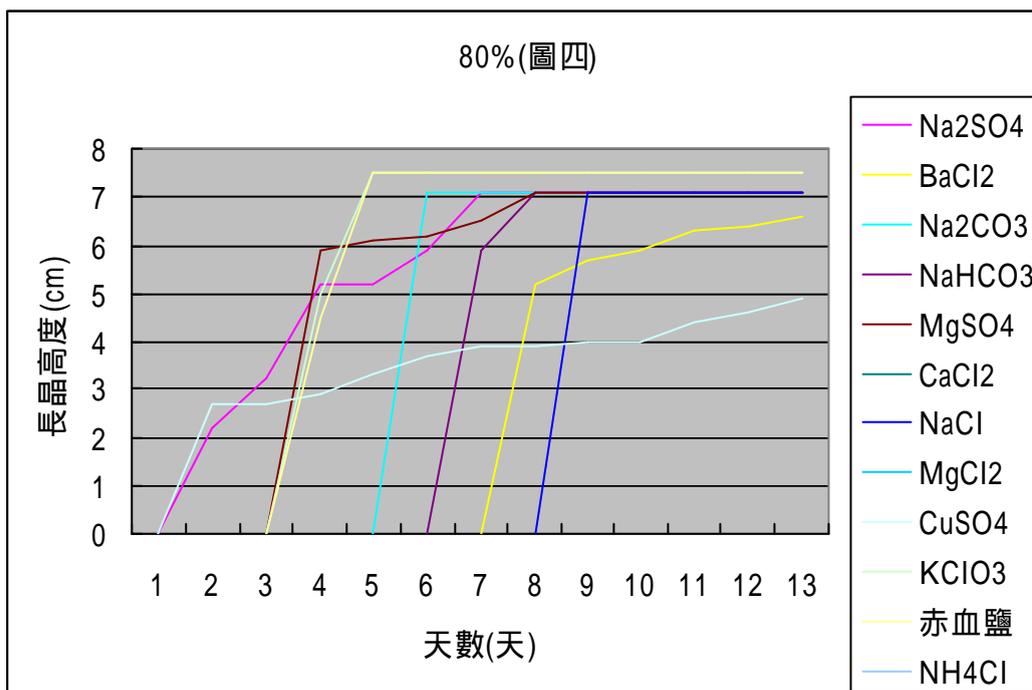
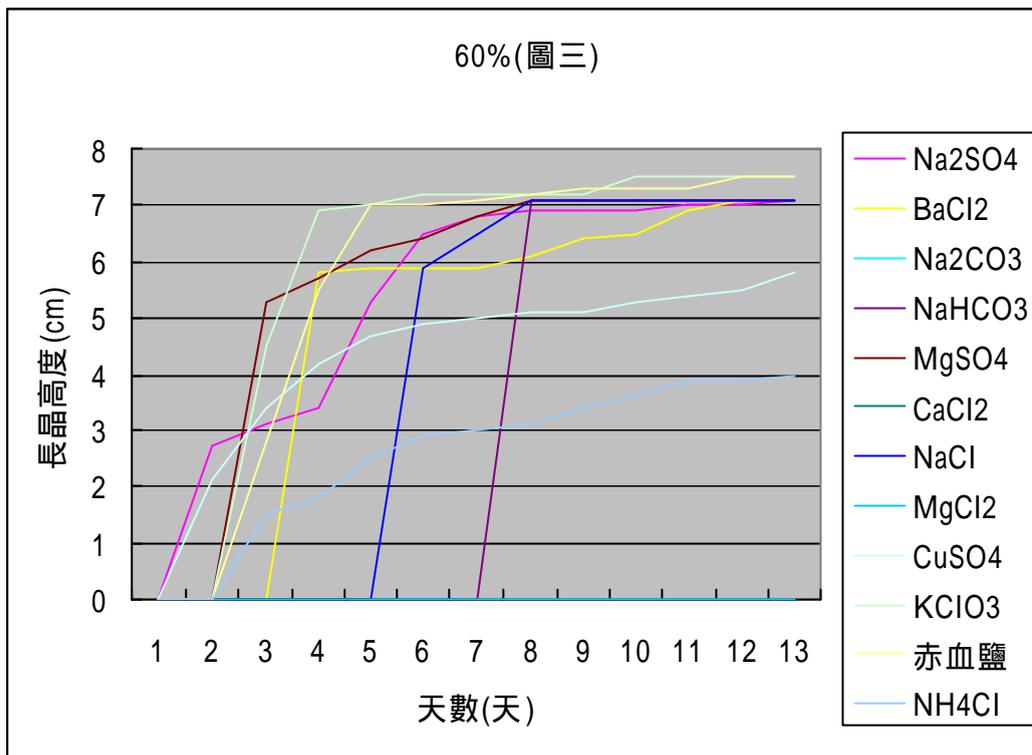
(單位: cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Na ₂ SO ₄	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.4
MgSO ₄	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

柒、討論

一、泥砂配比實驗 (實驗 1)

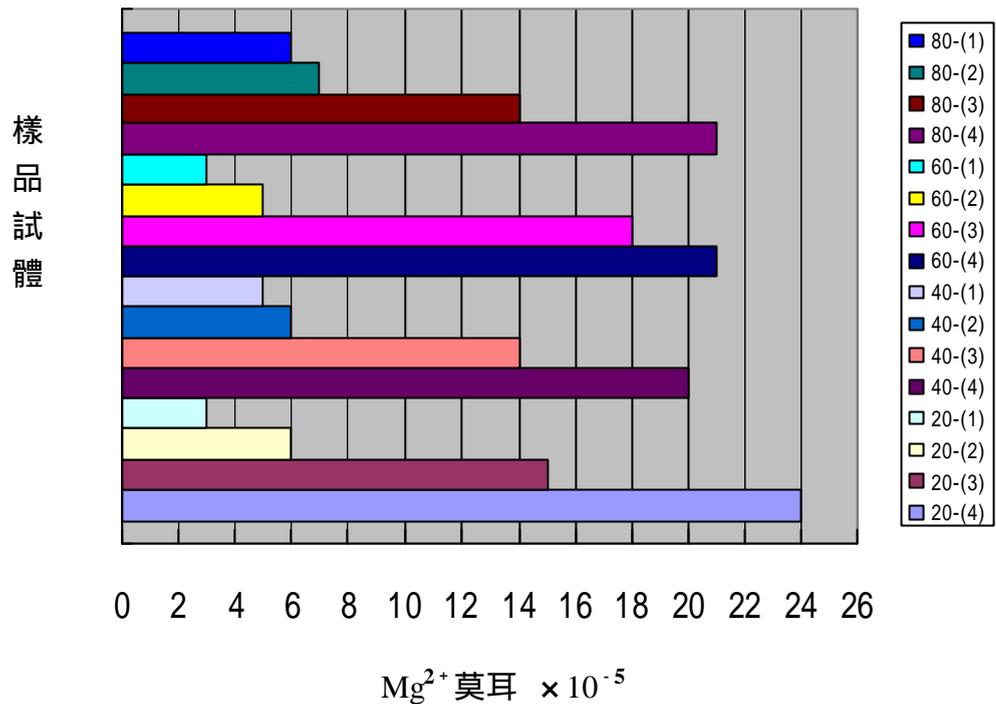




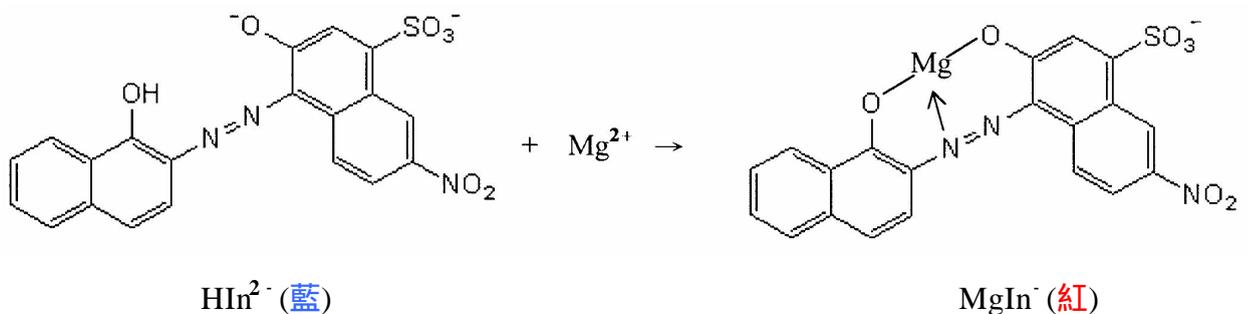
- (一) 在實驗 1 中，採取 12 種鹽類樣品(包含壁癌常見成分與實驗室常用鹽類)，來探討水泥及細骨材(砂)的配比對滲水與析出的影響，以茲推論混凝土中鹽質溶液的一般性長晶行為。
- (二) 由圖一至圖四結果中發現，晶體爬升較旺盛者為 20% 及 60%，圖中大多數鹽類之晶析曲線皆上升迅速，其中 20% 又優於 60%，而最不利於晶體爬升的配比为 40%，途中可見許多鹽類之晶析曲線皆有上升幅度下滑的現象，故有利晶體爬升之排序為 **20% > 60% > 80% > 40%**。

- (三) 混凝土包含水泥與骨材(砂)，由於砂不溶於水，不和水作用，構體中滲水主要經由水泥漿通過，本研究認為此實驗主要影響力應要考慮水泥因素。
- (四) 已知在水泥與砂加水拌和時，水泥會發生水合作用而產生一種帶膠性的水合物，其將與砂緊密結合成黏稠的混凝土塗料，同時過剩的水或混入的空氣在塗料中佔有某一定的體積，使得當塗料乾燥之後，構體本身存在許多孔隙，這些孔隙是滲入水問題的根源（孔隙越多毛細滲水愈形旺盛），也就是實驗所要探討的晶析型壁癌生成的關鍵。
- (五) 歸納結果推論，在 20% 配比構體中，水泥量過少將導致大量的過剩水，加上水泥漿不足以使骨材緊密膠合，故產生許多孔隙以利溶液毛細爬升及晶體生長。而 40% 應為最佳配比狀態。60% 及 80% 者可能都有水合不完全(水泥量過多造成水量 15mL 過少)致使水泥粉末未完全形成膠漿，仍呈部分細粒的現象，這種狀態不僅本身存在間隙機率增大，更無法和骨材有效膠合，因而有利於溶液上滲及晶體成長，60% 可能又因添砂量較多，晶析現象較 80% 又更顯著些。
- (六) 陽離子滴定分析結果（滲透水含 $MgSO_4$ 者）

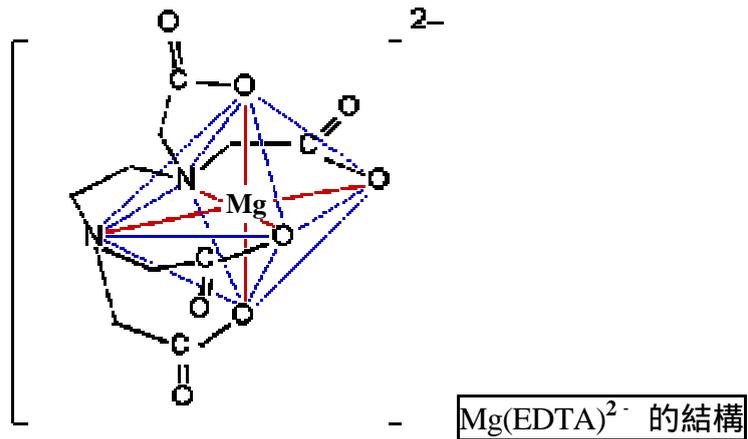
樣品	滴定耗去 EDTA 標準溶液體積(mL)				Mg^{2+} 莫耳數 (mol)
	滴定(一)	滴定(二)	滴定(三)	平均	
20-(4)	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4×10^{-4}
20-(3)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5×10^{-4}
20-(2)	0.7	0.6	0.6	0.6	6×10^{-5}
20-(1)	0.3	0.3	0.2	0.3	3×10^{-5}
40-(4)	2.0	2.1	2.0	2.0	2.0×10^{-4}
40-(3)	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4×10^{-4}
40-(2)	0.6	0.6	0.6	0.6	6×10^{-5}
40-(1)	0.5	0.5	0.5	0.5	5×10^{-5}
60-(4)	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1×10^{-4}
60-(3)	1.8	1.8	1.9	1.8	1.8×10^{-4}
60-(2)	0.6	0.5	0.5	0.5	5×10^{-5}
60-(1)	0.3	0.2	0.3	0.3	3×10^{-5}
80-(4)	2.1	2.1	2.2	2.1	2.1×10^{-4}
80-(3)	1.4	1.6	1.4	1.4	1.4×10^{-4}
80-(2)	0.7	0.7	0.8	0.7	7×10^{-5}
80-(1)	0.6	0.5	0.6	0.6	6×10^{-5}



1. 本實驗中我們對各個配比的培養結果進行試體分部白華物質採樣，並分析其中 Ca^{2+} (大量存在於混凝土中的陽離子) 以及 Mg^{2+} (滲透水中主要成份) 的含量，以對晶析結果作進一步分析。
2. 在第一步驟中，以蒸餾水溶解樣品後，在溶液中加入 0.1M 草酸鈉溶液，利用草酸鈣沉澱反應分離 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ，發現 16 種樣品中採得的鹽晶皆可用蒸餾水完全溶解，且加入草酸鈉後未觀察到沉澱產生，可見採得的白華物質幾乎全為可溶性鹽，且鈣鹽在其中的含量極低。推測可能是混凝土凝合的過程中，鈣離子已加入大分子結晶質中，不易溶出，加上以 MgSO_4 的濃溶液作為滲透水以縮短培養時間，在鎂鹽大量析出為白華時，鈣鹽在白華物質中的含量便相對偏低。
3. 在 $\text{pH} = 10$ 的環境下，我們以 EDTA(乙二胺四乙酸) 以及 EBT(Eriochrome Black T) 指示劑滴定 Mg^{2+} 含量。滴定前，EBT 指示劑和 Mg^{2+} 錯合而使溶液呈現桃紅色。



滴定開始後，由於 Mg^{2+} 和 EDTA 形成的錯合物(MY)的穩定性較金屬指示劑錯合物(MIn)高，故 EDTA 逐漸奪取 MIn 中的 M (Mg^{2+} 離子)，形成如下圖的錯合物。



最後達滴定終點時，溶液由紅轉成 HIn^{2-} 的藍色。

4. 分析結果可發現試體中鎂離子含量由下而上遞增，靠近試體頂端附近含量最高，而由外觀上亦可見其頂端附近晶體析出最為顯著，可見其滲透之旺盛。
5. 歷經十二天的浸泡培養，試體各部位白華產生量卻有極大差異，由鎂離子滴定分析結果亦可發現，其多集中於頂端(第(4)部分)，至第(3)部分已顯著減少，靠近浸泡水面的(1)(2)部分其量甚低。而如同晶析現象觀察結果，檢測出 20% 為析出最旺盛者，且其頂部集中的情形亦最明顯。

二、混凝土裂隙實驗（實驗 2）

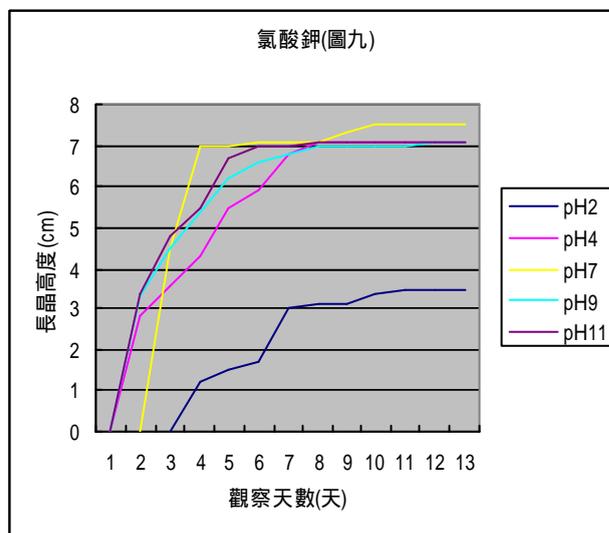
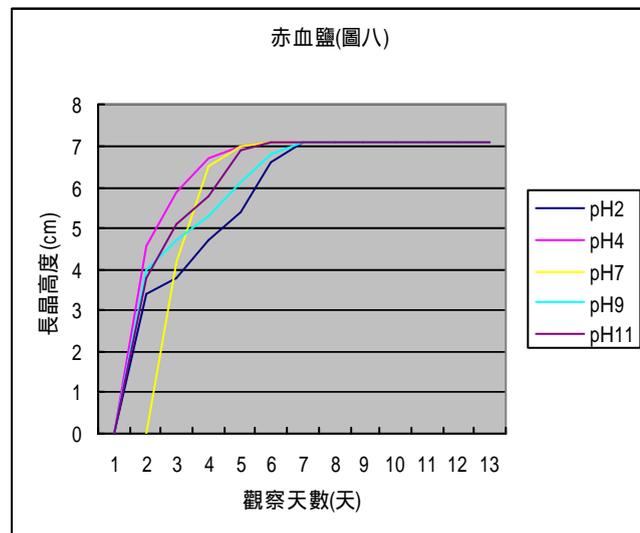
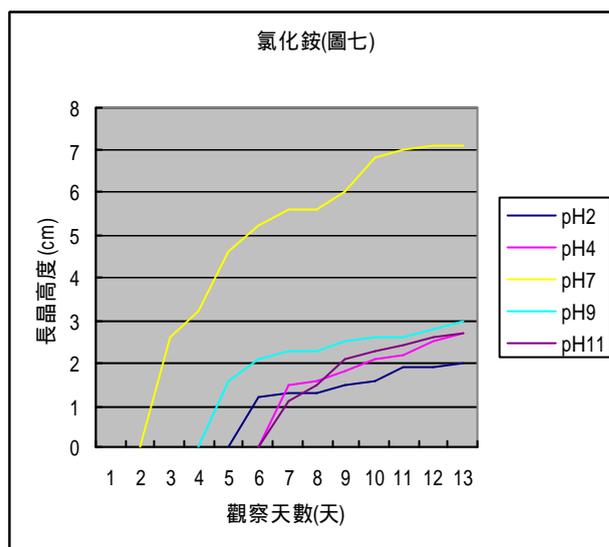
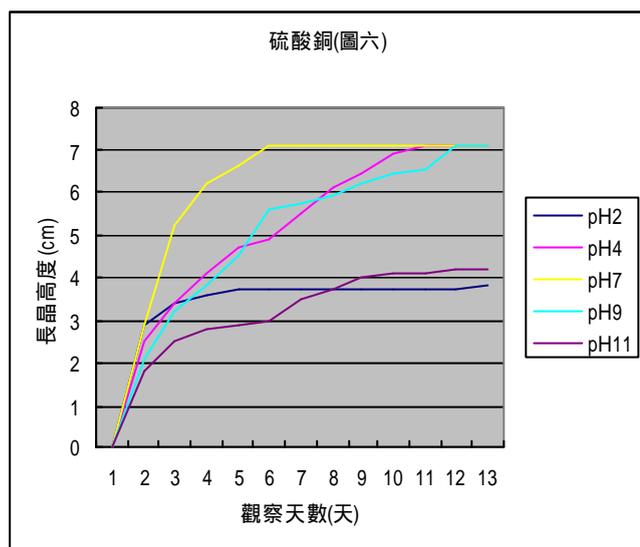
- (一) 結果發現在實驗 2 中，表面有裂隙的試體長晶速度較無裂隙的快，推測應是裂隙使得試體中央部份和溶液接觸面積增大，有助於拉引溶液上升，裂隙拉引效應由圖五可見一斑，這驗證了和物質科學化學篇「飽和與過飽和的溶液」及高三化學「蒸氣壓」、「毛細現象」等單元概念不謀而合。



赤血鹽晶析（中央一縫隙）(圖五)

(二) 在氯化銨和氯酸鉀的試驗中，均可看出有裂隙和無裂隙的差距起初很大，後來卻有逐漸接近甚至是無裂隙試體後來居上的現象，這可能是因為裂隙提供試體中正在爬升的溶液一個很大的蒸氣發散面積，使得溶液在爬升的過程中較快結晶乾涸，因此有裂隙的試體中溶液起初較快上升，後來卻觀察到停滯不前而裂隙內晶體逐漸加厚的現象，而無裂隙試體中溶液則穩定上升至試體頂部，沿途只見些許細微晶粒。

三、滲透水 pH 值試驗 (實驗 3)



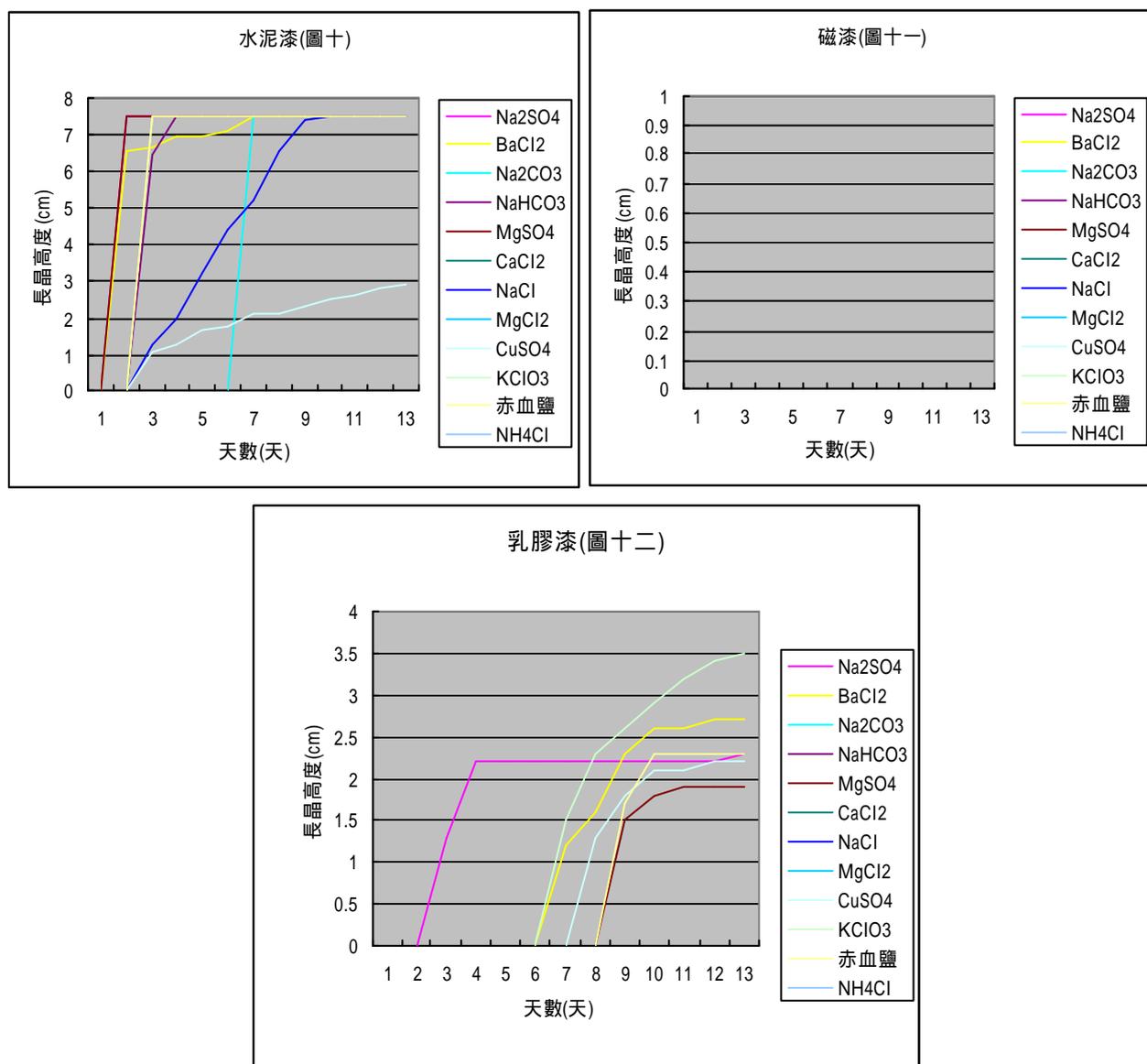
(一) 從圖六至圖九結果中發現，各種鹽類皆呈現 pH=7 晶體爬升最佳的情況，其次是較近中性的 pH=4 及 pH=9 者，最差是 pH=11 及 pH=2 者（此現象在硫酸銅中最为顯著），因此推測酸性或鹼性環境為晶體成長的不利因素。

(二) 文獻中，其波特蘭水泥的化學成分如下表

化學成分	含量百分比(%)
石灰(氧化鈣)	61.5 65.5
二氧化矽	19.5 23.0
氧化鋁	5 8
氧化鎂	5 max
硫酸酐	2 max
氧化鐵	0 4

其中多有溶於酸液或鹼液的物質，實驗中也觀察到置於酸液或鹼液中的試體在晶體略為爬升時下半部混凝土即有疏鬆崩解的現象，雖因此不利於晶體成長卻也造成混凝土體的嚴重破壞。

四、常見漆料實驗 (實驗 4)



三種漆料主要成份見下表：

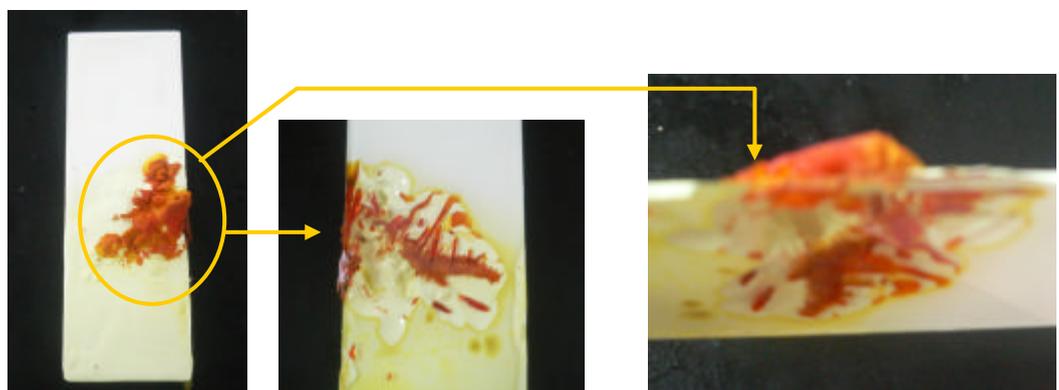
	水泥漆(丙烯酸外牆塗料)		乳膠漆		內用酚醛磁漆(白)	
	成分	含量%	成分	含量%	成分	含量%
1	丙烯酸樹脂	15-18	水	8-10	鈦白粉	18
2	增稠劑	2-3.5	分散劑	0.3-0.4	群青	0.04
3	氯化石蠟	18-20	潤濕劑	0.1	特酯膠漆	74.06
4	鈦白粉	20-28	消泡劑	0.1-0.2	200#汽油	3
5	方解石	5-7	助劑	1.5	二甲苯	2
6	矽藻土	0.2-0.4	碳酸鈣，鈦白粉，滑石粉	23-26	雙戊烯	1
7	分散劑	0.6-1.0	殺菌劑	0.1-0.2	環烷酸鈷	1.5
8	其他助劑	11-13	2-氨基-2-甲基-1-丙醇	0.3	環烷酸錳	0.4
9	200#溶劑汽油	11-13	苯丙烯乳液	25-29		
10	高沸點芳烴	12-15	增稠劑	0.2-0.3		

可發現三種漆料的成分主要是顏料(鈦白)、粉劑填充料(碳酸鈣，鈦白粉，滑石粉，方解石，矽藻土)、高分子乳液(丙烯酸樹脂，苯丙烯乳液，特酯膠漆)、溶劑。值得注意的是它們的百分比：

粉劑填充料(含鈦白)： 水泥漆(35.4%) > 乳膠漆(26%) > 磁漆(18%)

高分子乳液： 磁漆(74.06%) > 乳膠漆(29%) > 水泥漆(18%)

歸納推測在漆料試體中，粉劑填充料可能有助於滲水性的增加，而高分子乳液會造成滲水性的降低，因而影響觀察到的晶體生長情形：**水泥漆 > 乳膠漆 > 磁漆。**



圖十三：赤血鹽於水泥漆試體中的晶析（漆層因晶體析出而突起）

五、實驗 5 發現四種鹽類溶液樣品皆很難在噴灑奈米光觸媒的玻片表面上爬升或是結晶(只有赤血鹽和氯酸鉀在五、六天後略有晶體著生)。此現象頗耐人尋味。文獻中指出二氧化鈦光觸媒本為超疏水性物質，但是照光(紫外線)時，其與水之接觸角會逐漸縮小，慢慢變成親水性，最後甚至達到超親水性(接觸角在一度以下)。在停止照光後，會再逐漸增加其接觸角，變成疏水性。由此推論在實驗室的室內環境下，紫外線光量的不足極可能致使光觸媒表面持續呈疏水性狀態，因而造成溶液無法爬升，蒸氣微滴亦無法附著。至於在足量紫外線照射下，光觸媒表面上的晶析現象，或是本實驗結果的確切原因，由於高中實驗室器材因素，可留待日後深加研究。但發現實驗 4 中各種漆料的 TiO_2 (鈦白)含量多者滲透明顯，而奈米級 TiO_2 材料卻可抑制爬升，也間接證實物質奈米化確有物理性質改變的現象。

六、實驗 6 中所採樣的市面上一種常見防癌塗料，在任一種鹽類試驗中皆完全不著生結晶，藉此結果推論，該塗料可能就抑止結晶性壁癌發生而言，能發揮一定的效果。

七、混凝土質改良實驗 (實驗 7)

在添加微量鹽類的實驗中，發現添加 CaCl_2 、 Na_2SO_4 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 具有明顯的抑止滲水效果，而添加 BaSO_4 、 KBr 、 CaCO_3 、 BaCO_3 、 MgCl_2 似乎影響不大，推測可能是因混凝土本為膠體物質凝聚固化而成，又其中膠體多為疏水性膠體，故添加某些鹽類離子可能對其膠態凝合有所幫助，進而減少孔隙與滲水性。

►圖十四：左方為一般混凝土，中為添加 CaCl_2 者，右為添加 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 者，可見滲水高度的降低



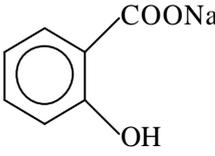
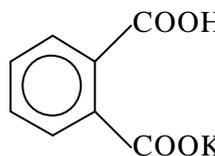
八、實驗 8 中，於 20 克的混凝土結構裡添加約 0.2 克的肥皂絲(硬脂酸鈉)，發現幾乎能完全抑制試體中水的滲入與毛細上升現象(圖十五)，因而有效防止白華的生成。推論肥皂絲防癌關鍵的因素如下：

- (一) 在拌和的過程中與構體大量的 Ca^{2+} 產生不溶性鈣鹽，並且對於構體孔隙有填補或抑制鹽類生成的效果。
- (二) 界面活化特性的影響。
- (三) 分子中某特定結構的影響 (長鏈 R 基或親水端的羧基)。

本實驗嘗試在混凝土中添加一些在特性或結構上與硬脂酸鈉具有某種相似特徵的物質，進行培養比較，以期發現肥皂絲防癌的關鍵所在。



►圖十五：添加硬脂酸鈉的試體不見滲水跡象

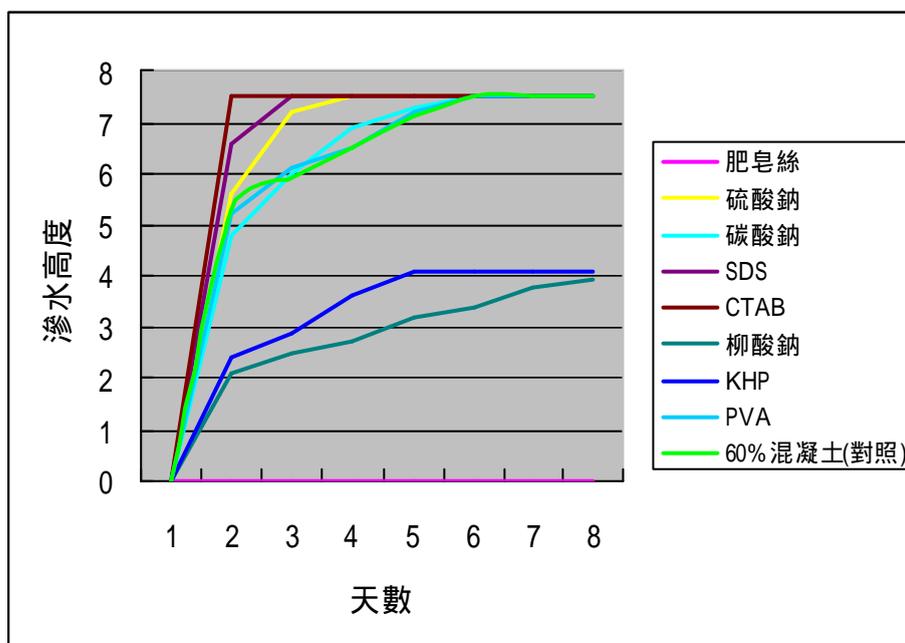
	添加物質	成分結構	說明
1	肥皂絲 (C ₁₇ H ₃₅ COONa)	CH ₃ [CH ₂] ₁₆ COONa	添加 1.5 wt % 的量，發現所製成試體幾無滲水跡象，推測可能具有幫助防癌改良材料成分。
2	硫酸鈉 (Na ₂ SO ₄)	Ca ²⁺ + SO ₄ ²⁻ CaSO _{4(s)}	針對上述之因素 1，提供和實驗 8 中的硬脂酸根等莫耳數的 SO ₄ ²⁻ 與 CO ₃ ²⁻ 使之在試體中形成不溶性鈣鹽，探討其是否亦能產生防癌效果。
3	碳酸鈉 (Na ₂ CO ₃)	Ca ²⁺ + CO ₃ ²⁻ CaCO _{3(s)}	
4	SDS 十二烷基磺酸鈉	CH ₃ [CH ₂] ₁₁ SO ₃ Na	提供等莫耳數的陰離子型界面活性劑(加入純品)，以探討界面活性劑是否產生同等效果。
5	CTAB 十六烷基三甲基溴化銨	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C}_{16}\text{H}_{33}-\text{N}^+-\text{CH}_3, \text{Br}^- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	添加陽離子型界面活性劑，亦探討是否能具有防癌現象。
6	水楊酸鈉 C ₆ H ₄ (OH)(COONa)		改變硬脂酸鈉中的長鏈烷基結構，提供連接芳香環的羧酸鈉(鉀)鹽，以探討其是否產生同等效果。
7	鄰苯二甲酸氫鉀 (KHP) C ₆ H ₄ (COOH)(COOK)		
8	PVA 聚乙烯醇	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{OH} \\ \quad \\ \text{---}(\text{C} \text{---} \text{C})_n \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	嘗試添加高分子成分，探討其是否有所助益

【實驗結果】

添加物質	1	2	3	4	5	6	7
肥皂絲	*	*	*	*	*	*	*
硫酸鈉	5.6	7.2	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
碳酸鈉	4.8	6.0	6.9	7.3	7.5	7.5	7.5
SDS	6.6	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
CTAB	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
柳酸鈉	2.1	2.5	2.7	3.2	3.4	3.8	3.9
KHP	2.4	2.9	3.6	4.1	4.1	4.1	4.1
PVA	5.2	6.1	6.5	7.2	7.5	7.5	7.5
60% 混凝土(對照)	5.3	5.9	6.5	7.1	7.5	7.5	7.5

▶註：以飽和之 $MgSO_4$ 溶液為滲透水進行培養(水面初始高度 1.2cm)。 (單位:cm)

(圖十六)



1. 由表中得知肥皂絲防癌實驗結果實具再現性，其添加後的試體幾乎完全不具滲水現象。顯著的抑制效果，應可作為材料改良的添加物。
2. 添加硫酸鈉以及碳酸鈉的試體，不論滲透與晶析現象均與對照組差異不大，並未具有類似的防癌效果，推論單單不溶性鈣鹽的生成，並不一定能產生十分顯著的抗癌效果。
3. 添加 SDS 以及 CTAB 的試體滲透現象非常明顯，或更甚於對照組，足見不同界面活性劑的添加，並不一定能產生類似的防癌效果，反而可能因利於產生泡沫而增加構體孔隙。
4. 水溶性樹脂 PVA 的添加似乎不具有類似的效果。
5. 由圖十六中數據發現，添加 KHP 和柳酸鈉的曲線和對照組有明顯的差異，似乎也具有抑止構體滲水的效果，唯較添加相同莫耳數的硬脂酸鈉者略差，觀察三者的分子結構，

可發現其皆為連接有**多碳烴基**（如十七烷基或芳香環）的**羧酸鈉(鉀)鹽**，於是本實驗研究將進一步探討此種類似結構對於混凝土的作用與影響，以探討其防癌效果之成因。

九、各式羧酸鈉(鉀)鹽之延伸探討

在第二階段的研究探討中，於試體內嘗試添加各式羧酸鈉(鉀)鹽，改變其烴基結構（如鏈的長度或嘗試接有芳香環者），亦或分子上具其他取代基者。

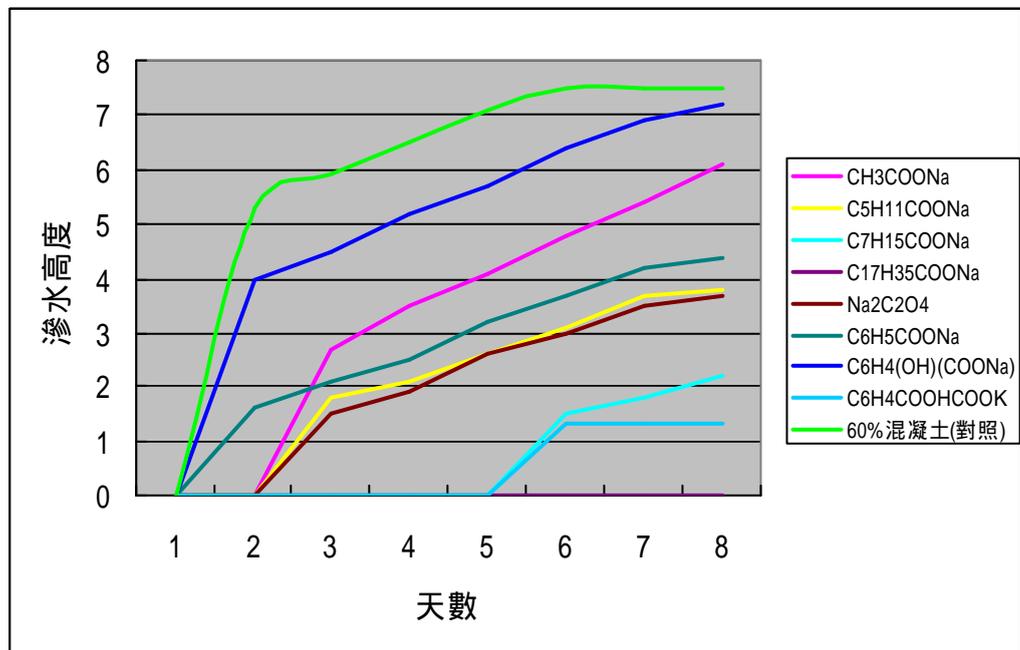
【實驗結果】

添加物質		1	2	3	4	5	6	7
醋酸鈉	CH ₃ COONa	*	2.7	3.5	4.1	4.8	5.4	6.1
正己酸鈉	C ₅ H ₁₁ COONa	*	1.8	2.1	2.6	3.1	3.7	3.8
正辛酸鈉	C ₇ H ₁₅ COONa	*	*	*	*	1.5	1.8	2.2
肥皂絲	C ₁₇ H ₃₅ COONa	*	*	*	*	*	*	*
草酸鈉	Na ₂ C ₂ O ₄	*	1.5	1.9	2.6	3.0	3.5	3.7
苯甲酸鈉	C ₆ H ₅ COONa	1.6	2.1	2.5	3.2	3.7	4.2	4.4
柳酸鈉	C ₆ H ₄ (OH)(COONa)	4.0	4.5	5.2	5.7	6.4	6.9	7.2
KHP	C ₆ H ₄ COOHCOOK	*	*	*	*	1.3	1.3	1.3

▶註：以飽和之 MgSO₄ 溶液為滲透水進行培養(水面初始高度 1.2cm)。

(單位:cm)

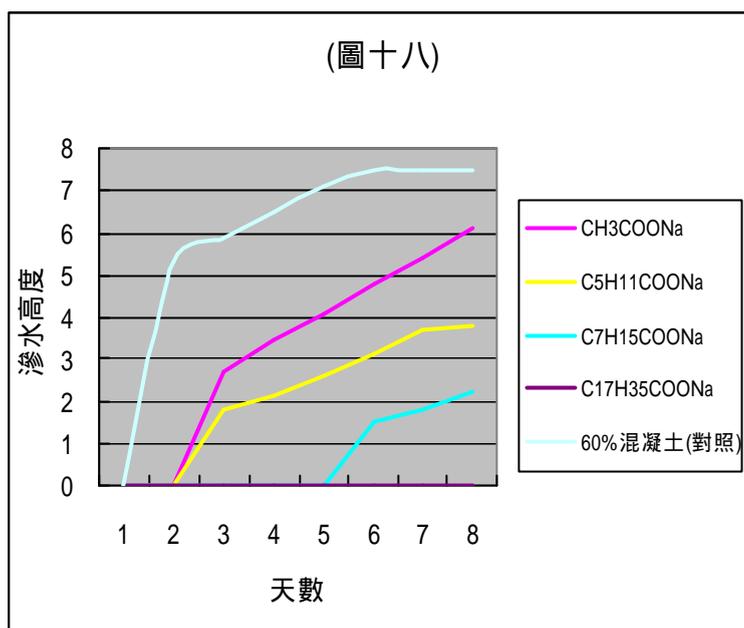
(圖十七)



(一) 圖十七中可看到滲水最顯著的(曲線上升幅度最明顯)為一般無添加物的 60% 混凝土對照組，而等莫耳數的各種添加物之抑制構體滲水程度大略為：

硬脂酸鈉 > 鄰苯二甲酸鉀 > 正辛酸鈉 > 草酸鈉 正己酸鈉 > 苯甲酸鈉 > 醋酸鈉 > 水楊酸鈉

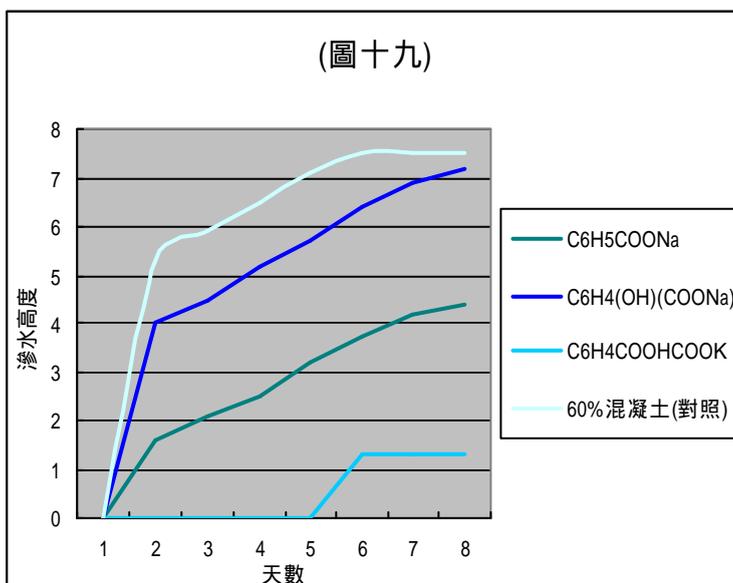
(二) 針對均接有長鏈烷基羧酸鹽的比較，發現碳鏈的增長具有抗滲水性的提升，如圖十八。



(三) 若將長鏈烷基改接芳香環，亦嘗試添加水楊酸鈉、苯甲酸鈉、鄰苯二甲酸氫鉀（如圖十九），發現其抑制滲水程度比較如下：

鄰苯二甲酸氫鉀 > 苯甲酸鈉 > 水楊酸鈉

環上具羧基雙取代的 KHP 效果最明顯，單取代的苯甲酸其次，若環上同時接有羥基如水楊酸鈉，則會大大減低其抗滲水性。



(四) 草酸鈉含兩個羧基的鍵結，其添加試體亦觀察到明顯的抗滲水效果。

捌、結論

- 一、過於富配比或貧配比的水泥在實驗中均利於晶體爬升成長，因此對結晶性壁癌的生成可能有加成性影響。
- 二、混凝土體中存在裂隙因有助拉引溶液上升，會間接助長結晶性壁癌生成。
- 三、酸性或鹼性環境雖不利晶體成長，對於構體卻會嚴重破壞。
- 四、白華物質採樣滴定分析的結果大致與晶析現象觀察結果符合，並顯示出白華物質的分布在模擬實驗中有頂部集中的現象，而晶析最旺盛的 20% 配比，該現象亦最顯著。
- 五、漆料實驗中水泥漆 > 乳膠漆 > 磁漆，水泥漆晶析極旺盛，**磁漆則可能是防止壁癌的好選擇。**
- 六、奈米光觸媒因其本身疏水特性，實驗中不利於晶體著生。
- 七、在混凝土中微量添加某些鹽類或是硬脂酸鹽可能有助於材料滲水性的降低。
- 八、**添加有機羧酸鹽於砂漿中能使構體抗滲水性大幅提升**，有助於防止壁癌的生成，此結果推測可能是一新穎且極負價值的材料改良方向。
- 九、具有改良功效的有機羧酸鹽，需是含有一些連接長鏈烷基及連接芳香環的化合物。
- 十、對連接長鏈烷基的有機羧酸鹽而言，碳鏈的長度在實驗中同時反映出抗滲水效果的提升，如添加醋酸鈉影響並不明顯，抗滲水性始終低於添加正己酸鈉與正辛酸鈉者，至於添加十八酸鈉(肥皂絲)，則構體幾乎完全不具滲水性。而**肥皂絲不僅價格低廉，易於取得，且為天然無害的成分，足為十分理想的建材改良添加物。**
- 十一、連接芳香環者，從實驗中相似的三種結構物質，發現環上羧基取代數的增加，似乎有助於效果的提升，若同時有羥基存在者，則又會大幅降低其效果。
- 十二、實驗中添加草酸鈉的試體亦具抗滲水性，足見此現象中羧基的存在確實有其影響力。

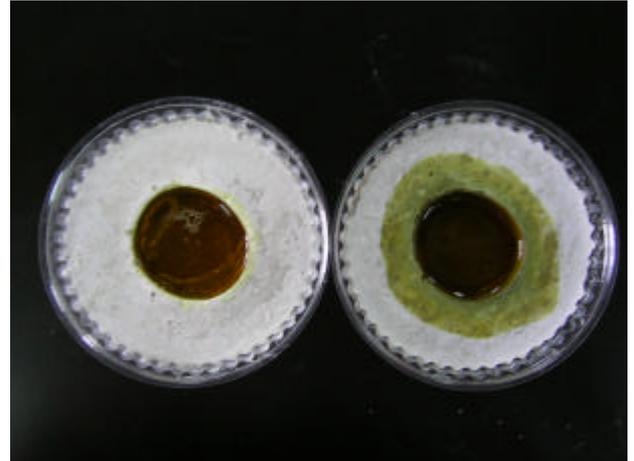
玖、參考資料

- 一、龍騰版高中化學第一冊第三章【溶解度與飽和溶液】
- 二、龍騰版高中化學第四冊第三章【水溶液中的平衡】
- 三、王櫻茂著，混凝土，臺北市，三民書局，民 79
- 四、齊修著，物理化學，國立編譯館，民 47
- 五、蘇寶洲，民 91，普蜀蘭反應對碳酸鈣白華之影響機制，成大土木所碩士論文
- 六、亞倫·荷爾頓 {Alan Holden} 著，晶體與晶體成長，吳謀泰校閱，徐氏基金會，民 57
- 七、Manahan, Stanley E. 原著，環境化學，商時代明鏡出版，民 85

【附錄】



各種晶析



左添加肥皂 圓盤水平晶析試體 右無添加



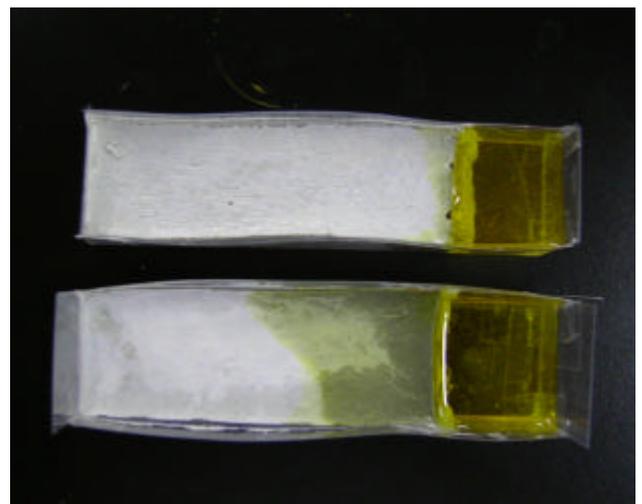
各式改良試體



圓筒垂直晶析試體



鎂離子 EDTA 滴定



上試體添加肥皂
下試體沒有添加 (滲透迅速)

長條水平晶析試體

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 化學科

第三名

040216

壁癌的秘密

臺北市立第一女子高級中學

評語：

本作品取材生活化，探討不同塩類浸泡之壁癌生成現象。應用上以不同物質添加於水泥混凝土加強防止壁癌生成，具高度實用之可能性。