

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

080205

「尿」不可「鹽」-探討有機添加物對水泥磚的影響

學校名稱：新竹縣竹北市十興國民小學

作者： 小六 許子誼 小六 方星喬 小六 葉欣羿 小六 林宥龍 小六 張薰勻 小五 許子祐	指導老師： 徐雪妮 劉松源
---	-----------------------------

關鍵詞：水化作用、尿素、重量百分比濃度

摘要

為了探討有機添加物對水泥磚硬度和水量改變的影響，首先，我們學習安全調配水泥漿比例，設計敲擊裝置測量水泥硬度，並進行集水實驗。硬度敲擊的測量和水量改變實驗分為二部分，一是添加不同尿素比例，二是添加氯化鈉對不同尿素比例水泥漿的影響。實驗結果:①在添加不同濃度尿素比例(2%、4%、6%和 8%)下，發現添加尿素 6%，水泥磚硬度較無添加的水泥磚硬度增加 38.9%，效果最顯著。②在同樣添加氯化鈉 0.5%的條件下，以尿素 4%水泥磚硬度增加 76.6%，效果最顯著。③在進行水量改變實驗方面，結果發現添加尿素濃 4%、氯化鈉 0.5%的水泥磚，平均每盒水泥磚水量改變達到 17.0g，根據本實驗最佳結果推算，只需增加少少的成本，一年可以省下的水量，就約足夠供一萬人生活 150 天。

壹、研究動機

在學校的閱讀課上，我們翻閱著一張張黑白的國語日報，有張照片吸引我們的注意，是一張未來太空人可以嘗試使用尿素磚在水資源缺乏的月球上做基地示意圖，又看見台灣十幾年來首嚴重的缺水旱情，導致全國水庫缺水的新聞，心想：「如果我們能夠利用尿素和少許的水就能製成水泥磚，而且還一樣堅固的話，那真令人期待。」

貳、研究目的

第一部分:探討不同濃度尿素水溶液對水泥磚硬度的影響

第二部分:探討添加氯化鈉(NaCl)對水泥磚硬度的影響

第三部分:探討有機添加物對製造水泥磚水量的影響

參、文獻探討

(一) 尿素磚

開普敦大學的研究人員從大學內男廁收集尿液並將之與沙粒、細菌混合，細菌會產生尿素酶來分解尿液中的尿素並形成碳酸鈣，接著與沙子黏結，在室溫下固化成堅硬的灰色生物磚，強度媲美黏土磚，形成過程類似於自然界中貝殼的形成方式。研究人員測試，尿液生物磚可壓力強度媲美紅磚。

文章和圖片摘取自科技新報



(二) 波特蘭水泥在常溫下之水化機理

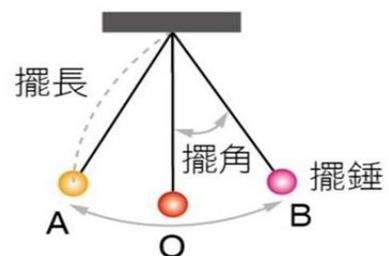
矽酸鹽水泥(波特蘭水泥)與水反應後，主要形成四個化合物：氫氧化鈣、含水矽酸鈣、含水鋁酸鈣及含水鐵酸鈣，它們共同決定水泥硬化過程特性變化。是典型水化放熱反應，凝結硬化過程大致分為三個階段：溶解水化期(準備期)、膠化期(凝結期)和結晶期(硬化期)，當水與水泥拌合在一起時，水泥顆粒即刻被水濕潤，濕潤程度與使用水量有密切關係。當水化產物的原子或離子配位不規則，電荷分佈有偏置時，結構不穩定，表面能大，相互之間就會產生很大的結合力。另外，當生成的水化產物粒子形態和尺寸各異、大小不一時，較易鑲嵌結合，形成較為緊密的堆積，表現出較高的強度。

文章摘取:化學技術與應用 何鎮揚老師/國立台灣師範大學化學系葉名倉教授責任編輯

(三) 單擺作用

單擺是一種懸掛於定點且在重力影響下往復擺動的物體。最基本的單擺可由一條繩(或竿)和一個錘所組成，繩的一端掛錘，另一端固定。擺長越長周期越長。且位於地球兩極和高緯度處的單擺，其週期比在赤道或低緯度處來得短。由於力學能守恆，在大角度的擺動下，單擺的速度可由其位置求得。

文章摘取自:單擺 (Simple Pendulum) | 科學 Online



肆、研究設備及器材

一、實驗器材

(一)實驗用具

1	凡士林		5	攪拌棒		9	鹽		13	繩子	
2	盒子		6	尿素		10	碟子		14	滴管	
3	鏟子		7	水泥粉		11	箱子		15	泡棉膠	
4	護目鏡		8	電子秤		12	燒杯		16	擺錘	

二、實驗設置

(一) 測量水泥磚硬度的單擺敲擊器

為了能夠測出水泥磚的硬度，我們一開始想到使用鉛球固定高度後，利用重力加速度垂直向下敲擊，卻發現不論多高，3片水泥磚全都不堪一擊，碎裂成細片，如圖 4-2-1。所以為了能精準測出水泥磚的硬度差異，我們必需要做出一個可以穩定施力又能調整撞擊力的裝置，於是著手設計專屬的水泥單擺敲擊器，利用固定擺長高度(72cm)、擺錘重量(527g)，自製角度板且確定敲擊角度一致(夾角 30 度)的狀況下，控制每次撞擊力道和範圍，如圖 4-2-2~圖 4-2-4。



圖 4-2-1:三塊水泥磚在鉛球敲擊下全都一次就粉碎。



圖 4-2-2:硬度敲擊器

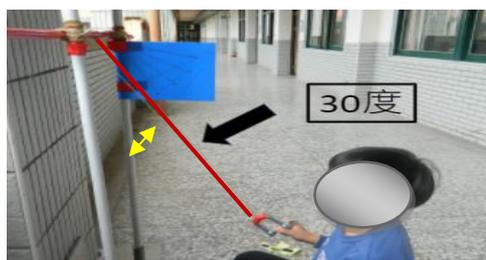


圖 4-2-3：敲擊角度 30 度



圖 4-2-4:確定敲擊範圍在圓內

在製作和使用水泥敲擊器的時候，遭遇到敲擊器會晃動的問題，我們依遇到的狀況找出解決的方法。如圖 4-2-5。

問題

- 1.橫桿與縱桿之間交叉點不夠穩固
- 2.單擺敲擊器會晃動
- 3.敲擊器敲擊的位置需要固定

解決

方法

- 1.使用橡皮筋用八字形纏繞
- 2.將塑膠杯用泡棉膠黏貼至牆壁
- 3.在水泥塊上畫圓圈，確定敲擊範圍

圖 4-2-5:敲擊器的問題和解決方法

(二) 模具設計

每個模具盒子大小尺寸相同，長 24 公分、寬 15 公分，在盒子上每隔 1 公分處畫線，精準測量水泥厚度後，再利用電子秤確定每塊重量 620g。在製作尿素磚之前，先在盒內塗抹一層凡士林，方便脫模取下，如圖 4-2-6~7。

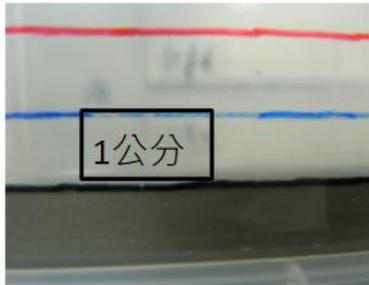


圖 4-2-6:每塊厚度 1cm



圖 4-2-7:每塊重量 620g

(三) 重量百分比濃度

要調配正確濃度的尿素和氯化鈉之前，先學習了重量百分比濃度的計算方式，並預先計算出不同濃度的水泥磚，所需的水泥粉、水量、尿素和氯化鈉，再進行水泥漿調製，如表 4-3-1、表 4-3-2、圖 4-3-1、圖 4-3-2。

公式:

$$\text{重量(體積)百分濃度} = \frac{\text{溶質重量(體積)}}{\text{溶液重量(體積)}} \times 100\%$$

表 4-3-1:不同濃度尿素成份重量表

尿素濃度	水泥粉(g)	水量(g)	尿素(g)
0%	1600	320	0
2%	1600	313.6	6.4
4%	1600	307.2	12.8
6%	1600	300.8	19.2
8%	1600	294.4	25.6

表 4-3-2:不同濃度尿素和氯化鈉成份重量表

尿素濃度	水泥粉(g)	水量(g)	尿素(g)	氯化鈉 0.5%(g)
0%	1600	318.4	0	1.6
2%	1600	312	6.4	1.6
4%	1600	305.6	12.8	1.6
6%	1600	299.2	19.2	1.6
8%	1600	292.8	25.6	1.6



圖 4-3-1:先在黑板計算並秤好重量



圖 4-3-2:調配不同濃度水溶液

(四)水泥磚放置天數(7d)

我們根據『混凝土早強劑的研究與應用進展』文章中，發現在水泥漿中摻入尿素，與同樣水泥用量的混凝土相比，7d 強度提高 57%，28d 強度提高 51%，所以我們決定將水泥磚皆放置 7 天後，再進行敲擊，如圖 4-4-1~2。



圖 4-4-1：水泥磚製作完成

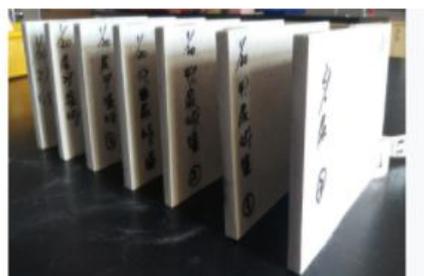


圖 4-4-2:脫模靜置 7d 後敲擊

伍、實驗過程與結果

第一部分:探討不同濃度尿素對水泥磚硬度的影響

- 一、設計理念:我們希望能了解不同濃度尿素對水泥磚硬度的影響。
- 二、實驗假設:不同濃度尿素會對水泥磚硬度有不同的影響。
- 三、實驗設計:

操縱變因	不同濃度尿素(0%、2%、4%、6%、8%)
控制變因	相同水泥漿重量(620g)、水泥粉品牌、水泥塊放置天數(7d)
應變變因	不同濃度尿素對水泥磚硬度的影響

實驗設計一開始使用尿素 5%、10%和 30%，發現尿素濃度達到 30%時，水泥磚乾掉後，磚塊表面會有白色結晶體析出(註 1)，如圖 5-1-1。而且很容易脆化，從模具取出時水泥磚就已斷裂，如圖 5-1-2，推論尿素濃度過高，反而使水泥粒子凝聚結構被破壞。所以，接下來的實驗我們依照人體中含有尿素的濃度(2.5%)來進行尿素不同濃度實驗 0%、2%、4%、6%和 8%來進行水泥磚硬度實驗，每種濃度皆有三片水泥磚進行敲擊。水泥漿的調製過程需要注意眼部和口部的安全，在製作過程中一律配帶安全眼鏡和口罩，也避免直接用手碰觸水泥漿，如圖 5-1-3~4。



圖 5-1-1:水泥磚表面有白色晶體析出

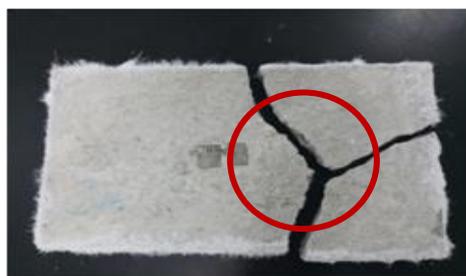


圖 5-1-2:水泥磚脫模就斷裂



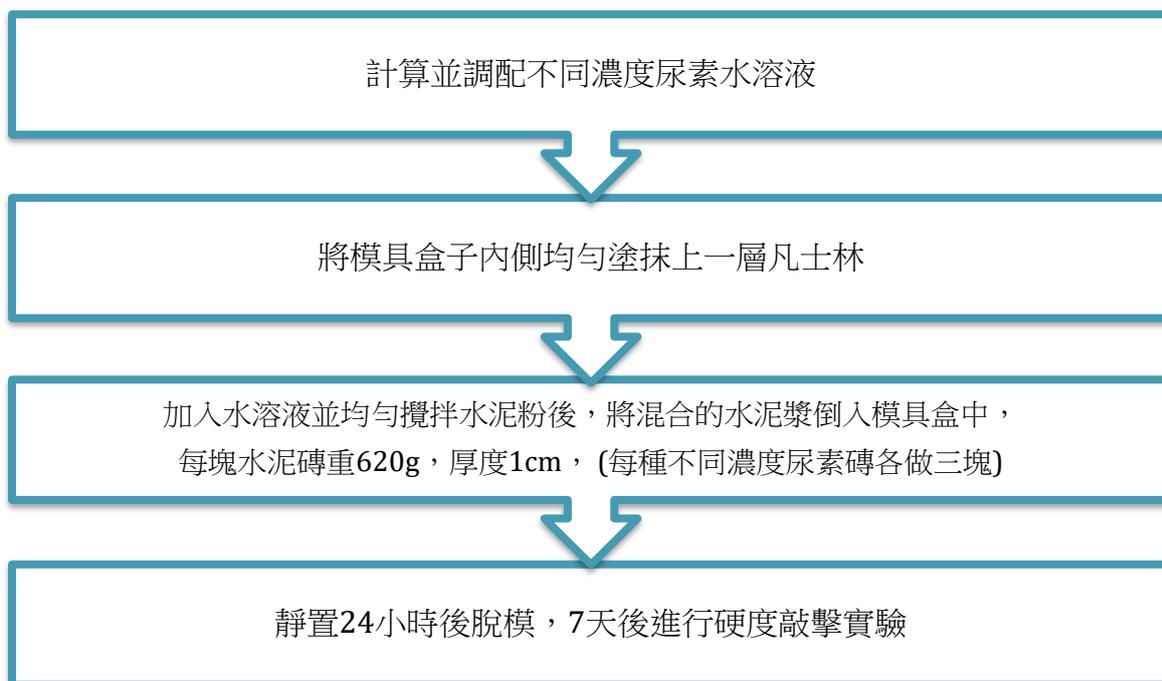
圖 5-1-3:配戴安全眼鏡保護眼睛



圖 5-1-4:利用鏟子避免手眼接觸水泥漿

註 1:析出，固體混合物在溶劑中的溶解度與溫度有密切關係。一般是溫度升高，溶解度增大。若把溶解在熱的溶劑中達到飽和，冷卻時即由於溶解度降低，溶液變成過度飽和而析出晶體。

實驗流程圖如下:



測量不同濃度尿素磚，每種濃度皆敲擊三片，測量出擊破數後再取平均值，如表 5-1-1。敲擊照片如表 5-1-2。

表 5-1-1:不同濃度尿素水泥磚的擊破數

尿素濃度	第一片(次)	第二片(次)	第三片(次)	平均值
0%	6	9	8	7.7
2%	8	6	8	7.3
4%	9	9	6	8.0
6%	9	12	11	10.7
8%	5	6	5	5.3

表 5-1-2:不同濃度尿素敲擊照片

尿素濃度	敲擊照片①	敲擊照片②	備註說明
0%			<p>①第一片:第1次敲擊,有2道裂痕。 ②第一片:第6次敲擊,擊破掉落。</p>
2%			<p>①第三片:第2次敲擊,有3道裂痕。 ②第三片:第8次敲擊,擊破掉落。</p>
4%			<p>①第一片:第2次敲擊,有3道裂痕。 ②第二片:第8次敲擊,中間已碎裂,第9次掉落。</p>
6%			<p>①第二片:第2次敲擊,有1道裂痕 ②第二片:第12次敲擊,中間已碎裂,四邊皆已裂開</p>
8%			<p>①第一片:第2次敲擊,有3道裂痕。 ②第二片:第6次敲擊,中間已碎裂,四邊皆已裂開。</p>

第二部分 探討氯化鈉對水泥漿硬度的影響

- 一、設計理念:我們希望能了解氯化鈉添加物在不同濃度尿素對水泥磚硬度的影響。
- 二、實驗假設:添加氯化物會對不同濃度尿素水泥磚的硬度有不同的影響。
- 三、實驗設計:

操縱變因	不同濃度尿素(0%、2%、4%、6%、8%)
控制變因	氯化鈉 0.5%、相同水泥漿重量(620g)、水泥粉品牌、水泥塊放置天數(7d)
應變變因	添加氯化鈉會對不同濃度尿素水泥磚之硬度有影響

水泥粉顆粒表面帶有正負兩種殘留電荷，而帶有相異電荷的水泥顆粒會相互吸引，集結成水泥團，稱為聚簇(Flock)現象，如圖 5-2-1，此現象發生時，水分會被包覆在水泥團之間，無法有效利用，使得水化作用效能下降。根據我們在文獻中得知，若能在水泥粉中有加入一種可產生電荷的添加物，藉著同電荷相斥原理，來達到水泥顆粒相互排斥，形成分散的狀態，水泥顆粒之聚簇現象消失後便放出之前所包覆的水分，增加了水泥漿體的流動性及更強的結合力。

如何取得便宜和安全性較高的添加物呢?在六年級製作霜的自然實課中，曾加氯化鈉(NaCl)來降低溫度，也就是日常生活中常見的鹽，老師曾解釋過氯化鈉若溶於水中，會產生 Na^+ 和 Cl^- 正負電荷，這值得我們實驗看看，所以在第二部分的實驗，除了添加不同濃度的尿素，增加水泥磚的硬度，更希望加入了氯化鈉後，能更有效增加水化作用效能，提高水泥磚的硬度。

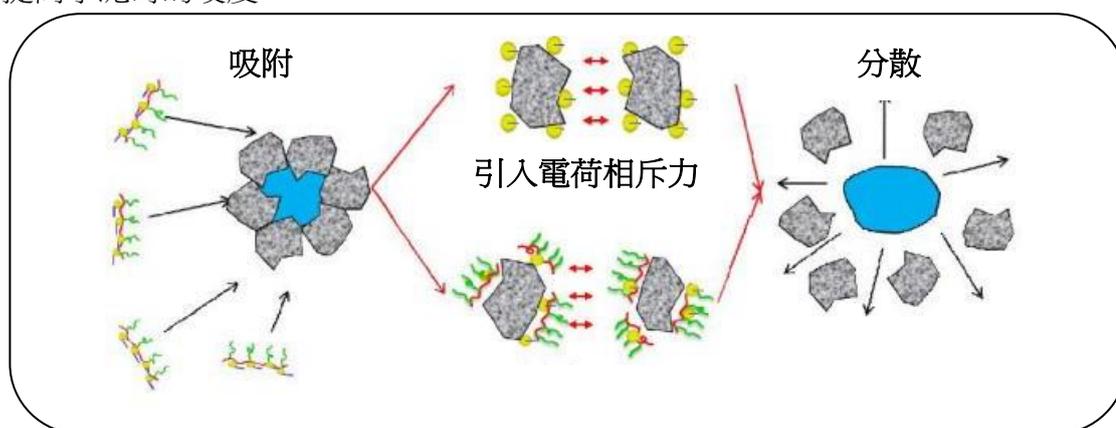


圖 5-2-1:水泥聚簇現象產生及消失 來源:建研家/每日頭條新

根據文獻和第一部份的實驗中，瞭解過多的添加物，有時反而使水泥粒子凝聚結構被破壞，故組員依據所搜尋資料及討論後，決定在此實驗中加入濃度 0.5% 的氯化鈉在不同濃度尿素水溶液中。

實驗流程圖如下：

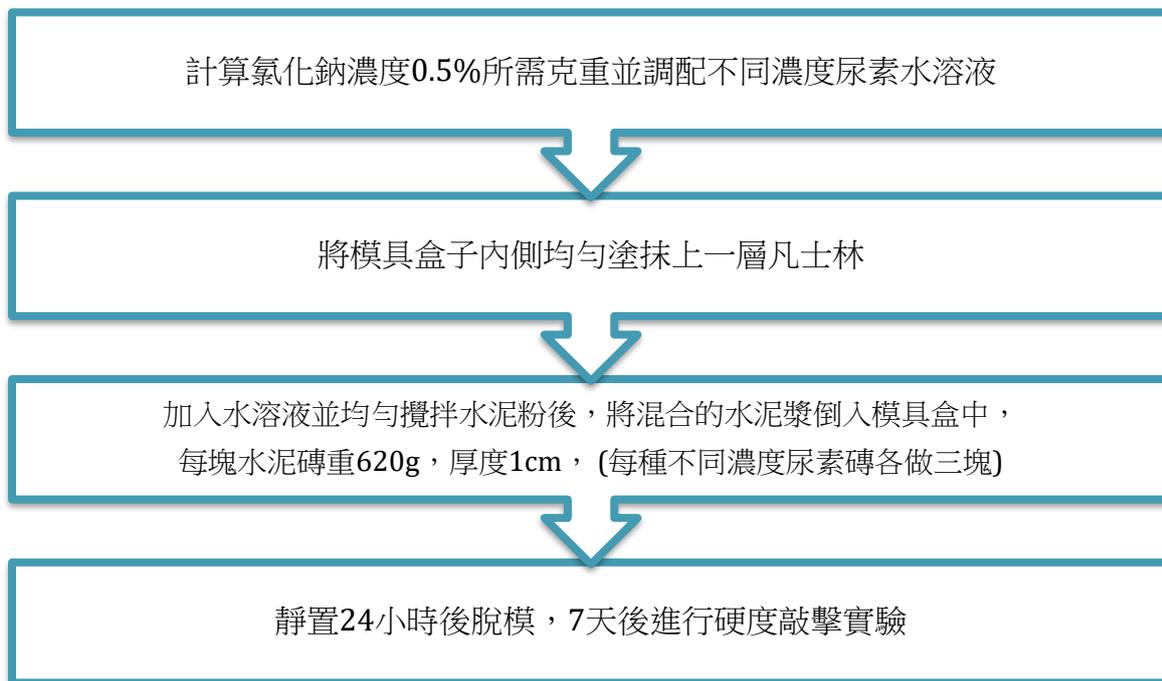
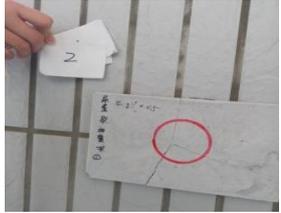


表 5-2-2:加入氯化鈉 0.5%之不同濃度尿素水泥磚的擊破數

尿素濃度	第一片(次)	第二片(次)	第三片(次)	平均值
0%	5	6	2	4.3
2%	10	7	5	7.3
4%	15	14	12	13.6
6%	2	5	4	3.7
8%	4	5	2	3.7

表 5-2-3: 加入氯化鈉 0.5% 之不同濃度尿素敲擊照片

尿素濃度	敲擊照片①	敲擊照片②	備註說明
0%			<p>①第二片: 第 2 次敲擊, 有 3 道裂痕。 ②第二片: 第 6 次敲擊, 擊破掉落。</p>
2%			<p>①第二片: 第 2 次敲擊, 有 2 道裂痕。 ②第一片: 第 6 次敲擊。</p>
4%			<p>①第一片: 第 2 次敲擊, 有 2 道裂痕。 ②第二片: 第 14 次敲擊。</p>
6%			<p>①第一片: 第 2 次敲擊, 破碎並掉落。 ②第三片: 第 4 次敲擊, 有 3 道深深的裂痕。</p>
8%			<p>①第一片: 第 2 次敲擊, 有 3 道裂痕。 ②第二片: 第 4 次敲擊, 中間已碎裂, 四邊皆已裂開。</p>

第三部份探討有機添加物對製造水泥磚水量的影響

- 一、設計理念:我們希望能了解有有機添加物對製造水泥磚水量的影響
- 二、實驗假設:有機添加物對水泥漿用水量有不同的影響
- 三、實驗設計:

操縱變因	有機添加物
控制變因	24 小時集水、相同水泥漿重量 (620g)、水泥粉品牌
應變變因	有機添加物對水泥漿用水量不同的影響

水泥漿在與水拌合後 24 小時後，放熱速率大幅減緩，水化體系的溫度不再上升，所以我們選擇在 24 小時之後收集水量。水量測量照片，如表 5-3-1。收集三盒水量後，再計算出每塊水泥磚殘餘水量平均值，如表 5-3-2~13。

表 5-3-1:尿素 4%、氯化鈉 0.5%第二盒水量

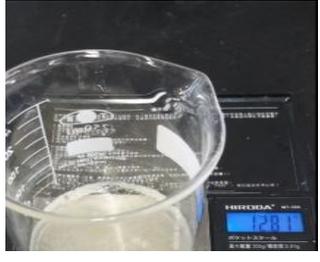
照			
圖片說明	靜置 24 小時 盒內有水份殘留	將盒內殘留水份 倒入燒杯中	第二盒的水量 12.8g

表 5-3-2:尿素 0%水泥磚(盒蓋和盒內)的集水結果

0%尿素磚的集水結果(g)						
盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	51.4	51.8	0.4	8.6	24.6	8.2
2	58.2	59.1	0.9	9.7		
3	58.1	58.7	0.6	4.4		

表 5-3-3:尿素 2%水泥磚的集水結果

2%尿素水泥磚的集水結果(g)						
盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	58.1	58.7	0.6	5.2	17.1	5.7
2	58.1	58.7	0.6	5.0		
3	58.1	58.7	0.6	5.1		

表 5-3-4:尿素 4%水泥磚的集水結果：

尿素 4%水泥磚的集水結果(g)						
盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	57.1	57.5	0.4	5.0	16.3	5.4
2	57.1	57.5	0.4	5.2		
3	57.1	57.5	0.4	4.9		

表 5-3-5:尿素 6%水泥磚的集水結果：

尿素 6%水泥磚的集水結果(g)						
盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	57.2	57.8	0.6	7.3	23.7	7.9
2	57.2	57.6	0.4	7.1		
3	57.2	57.3	0.1	8.2		

表 5-3-6:尿素 8%水泥磚的集水結果：

尿素 8%水泥磚的集水結果(g)						
盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	58.2	58.2	0	0.8	2.5	0.8
2	58.2	58.2	0	0.8		
3	58.2	58.3	0.1	0.8		

表 5-3-7:尿素 0%、氯化鈉 0.5%水泥磚的集水結果：

尿素 0%、氯化鈉 0.5%水泥磚的集水結果(g)						
盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	57.2	57.2	0	13.4	41.1	13.7
2	57.2	59.2	2.0	12.0		
3	57.9	59.0	1.1	12.6		

表 5-3-8:尿素 2%、氯化鈉 0.5%水泥磚的集水結果：氣溫 27 度

尿素 2%、氯化鈉 0.5%水泥磚的集水結果(g)						
盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	58.2	59.1	0.9	0	1.3	0.4
2	57.2	57.4	0.2	0		
3	57.2	57.4	0.2	0		

表 5-3-9:尿素 4%、氯化鈉 0.5%水泥磚的集水結果：

尿素 4%、氯化鈉 0.5%水泥磚的集水結果(g)						
盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	58.1	58.5	0.4	11.9	37.2	12.4
2	58.1	58.2	0.1	12.8		
3	58.1	58.2	0.1	11.9		

表 5-3-10:尿素 6%、氯化鈉 0.5%水泥磚的集水結果：

尿素 6%、氯化鈉 0.5%水泥磚的集水結果(g)						
盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	58.2	58.2	0	1.6	5.7	1.9
2	57.5	58.2	0.7	1.5		
3	57.1	57.3	0.2	1.7		

表 5-3-11:尿素 8%、氯化鈉 0.5%水泥磚的集水結果：氣溫 28 度

尿素 8%、氯化鈉 0.5%水泥磚的集水結果(g)						
盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	58.2	58.2	0	0	0	0
2	58.2	58.2	0	0		
3	58.2	58.2	0	0		

表 5-3-12:不同濃度尿素水泥磚水量改變統計(620g/盒)(g)

尿素濃度	調配濃度 減水量 (水泥漿 1920g)	調配濃度 平均減水量 (620g/盒)	平均集水量 盒	總平均 水量/盒
0%	0	0.0	8.2	8.2
2%	6.4	2.1 (註 2)	5.7	7.8
4%	12.8	4.1	5.4	9.5
6%	19.2	6.2	7.9	14.1
8%	25.6	8.3	0.8	9.1

註 2: 調配濃度平均減水量的計算方式

$$(620/1920)*6.4=2.1$$

表 5-3-13:添加氯化鈉 0.5%尿素之不同濃度水泥磚水量改變統計(620g/盒)(g)

尿素濃度	調配濃度 減水量 (水泥漿 1920g)	調配濃度 平均減水量 (620g/盒)	平均集水量 盒	總平均 水量/盒
0%	1.6	0.5	13.7	14.2
2%	8.0	2.6	0.4	3.0
4%	14.4	4.6	12.4	17.0
6%	20.8	6.7	1.9	8.6
8%	27.2	8.8	0.0	8.8

陸、研究與討論

第一部分:探討不同濃度尿素對水泥磚硬度的影響

(一)實驗結果：

添加尿素 6%的水溶液對於增強水泥磚硬度的效果最好，最大平均擊破數達到 10.7 次，硬度增強率達到 38.9%，而添加尿素 8%水溶液對於水泥磚硬度，反而產生減弱的效果，平均擊破數 5.3 次，比無添加尿素水泥磚的 7.7 次還少，硬度增強率為 -31.1%。

如圖 6-1-1。

(二)實驗結果分析：

1.從實驗數據中，可以看出尿素濃度從 4%和 6%是平均擊破數是高於 0%無添加的次數，但到了 8%時平均擊破數卻低於其它濃度，由此推論，若尿素濃度太高，反而使水泥粒子凝聚結構被破壞，改變水泥磚的穩定性。

2.在進行敲擊實驗時，我們也發現不同濃度的水泥磚，在敲擊時聲音不一樣，有些輕脆、有些低沉，為求進一步的觀察水泥磚的結構，我們利用顯微鏡仔細觀察並紀錄硬化水泥漿體，發現尿素濃度愈高的水泥漿體，有較多細小粉末狀結晶體。如圖 6-1-2~7。

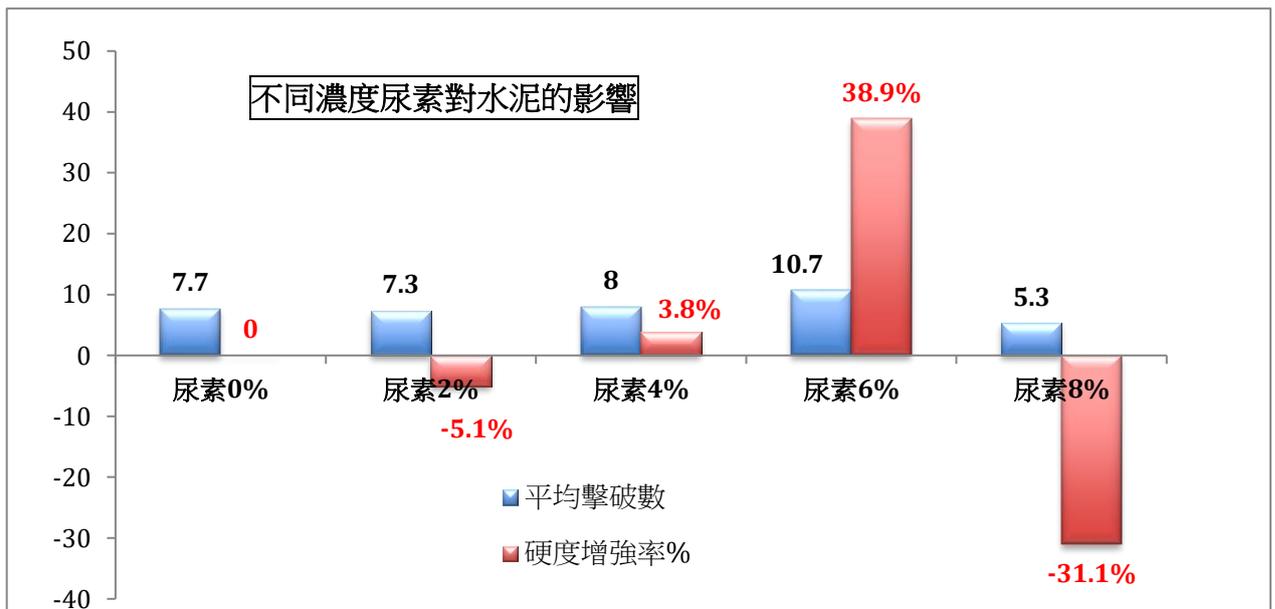


圖 6-1-1:不同濃度尿素水泥磚硬度效果

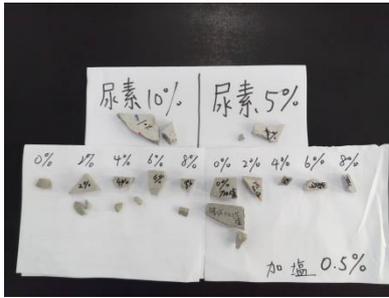


圖 6-1-2:將水泥磚敲成碎塊



圖 6-1-3:觀察水泥結構



圖 6-1-4:將影像傳至電腦

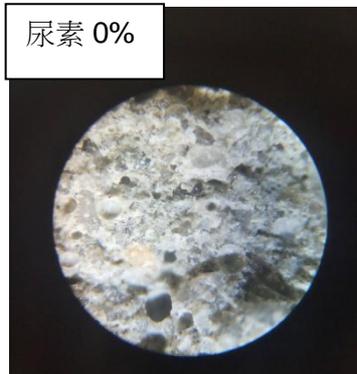


圖 6-1-5: 顯微鏡下的水泥結構

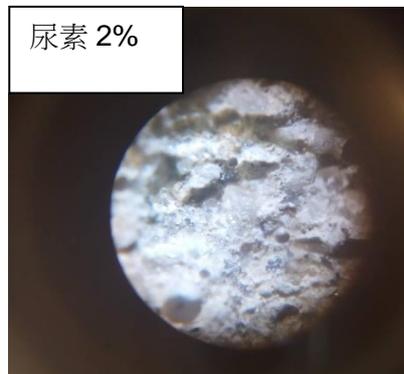


圖 6-1-6:尿素 2%的水泥結構

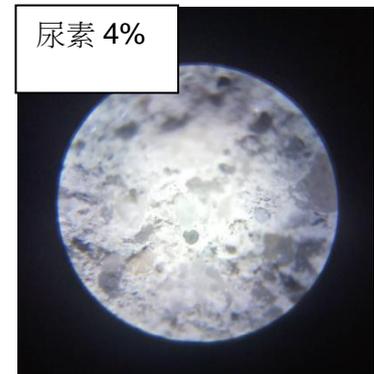


圖 6-1-7: 細小粉末狀結晶體

第二部分:探討添加氯化鈉(NaCl)對水泥磚硬度的影響

(一)實驗結果：

在添加氯化鈉 0.5%下對尿素 4%的水泥磚硬度增加有最好的效果，最大平均擊破數達到 13.6 次，硬度增強率達到 76.6%，而添加尿素 0%、2%、8%的水泥擊破數，卻全都比原始無添加水泥磚的 7.7 次還少，其中尿素 6%、8%的硬度增強率最差強人意，下降 51.9%。如圖 6-2-1。

(二)實驗結果分析：

添加氯化鈉 0.5%在尿素濃度 4%時，的確發揮了同電荷相斥原理，來達到水泥顆粒相互排斥，形成分散的狀態，水泥顆粒之聚簇現象消失後便放出之前所包覆的水分，增加了水泥漿體的流動性及更強的結合力。利用顯微鏡仔細觀察並紀錄硬化水泥漿體，也再次觀察到尿素濃度愈高的水泥漿體，有較多細小粉末包住晶體。如圖 6-2-2~4。

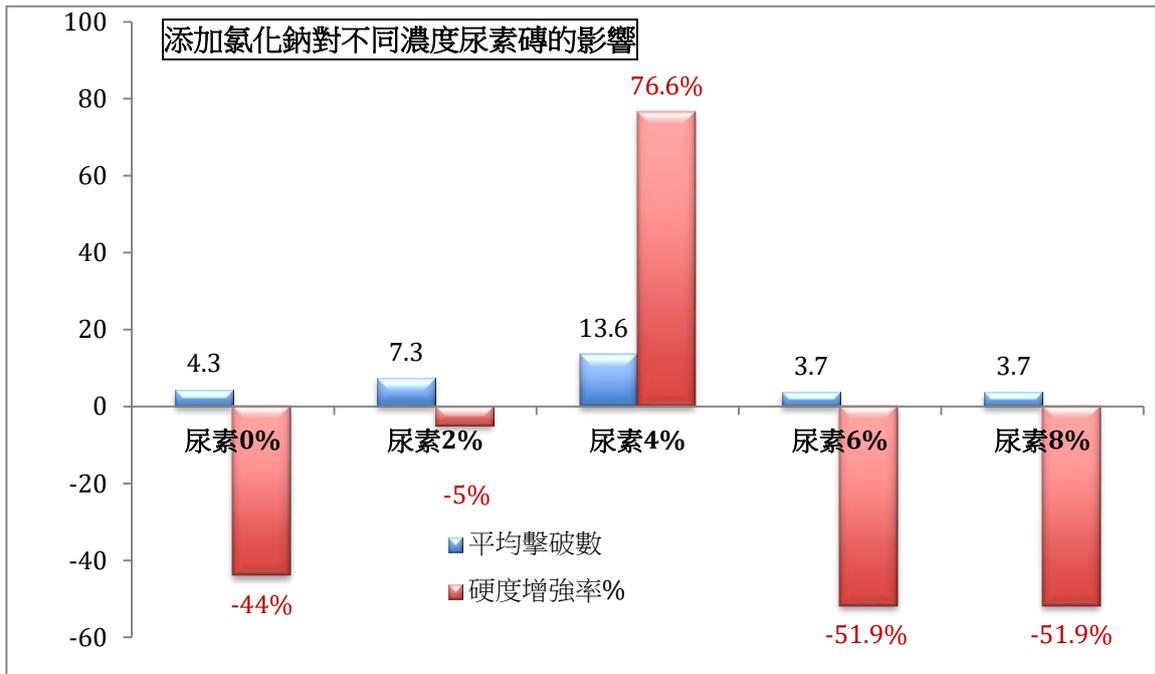


圖 6-2-1:添加氯化鈉對不同濃度尿素水泥磚硬度效果

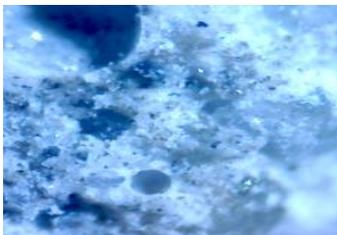


圖 6-2-2:尿素 4%水泥結構

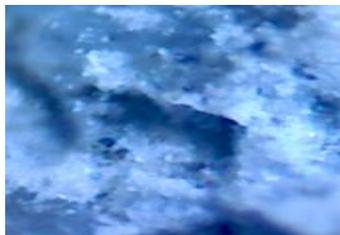


圖 6-1-6:尿素 6%細小粉末較多

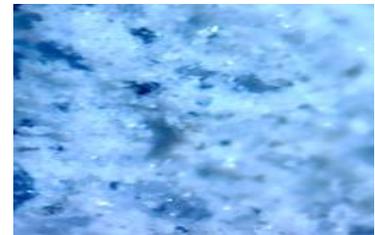


圖 6-1-7:尿素 8%粉末較多

第三部分:探討有機添加物對水泥磚集水量的影響

(一)實驗結果：

- 1.在只有添加不同濃度尿素下的水泥磚，紀錄水量改變，發現尿素 6%的水泥磚塊平均每盒的水量改變最多，達到 14.1g，比原始無添加的 8.2g，多了 5.9g 的水量。
- 2.在添加氯化鈉 0.5%濃度下，在不同濃度尿素下的水泥磚下，紀錄水量改變，發現尿素 4%的水泥磚塊平均每盒的水量改變，達到 17.0g，比原始無添加的 8.2g，多了 8.8g 的水量，水量改變的效果最好。如圖 6-3-1~2。
- 3.在添加氯化鈉 0.5%濃度下，尿素 2%、8%濃度的水泥盒在靜置 24 小時後，都沒有水份殘留，且水泥磚表面有亮亮的結晶體。如圖 6-3-3~4。

(二)實驗結果分析：

加入有機添加物的確能有效增加水泥在水化作用時期的流動性，在攪拌水泥漿時，我們也可以感受到更易拌合均勻。從盒內殘留水份變多的狀況下，推論加入有機添加物(尿素、氯化鈉)後，能使水泥在水化作用時，降低對水量的需求。

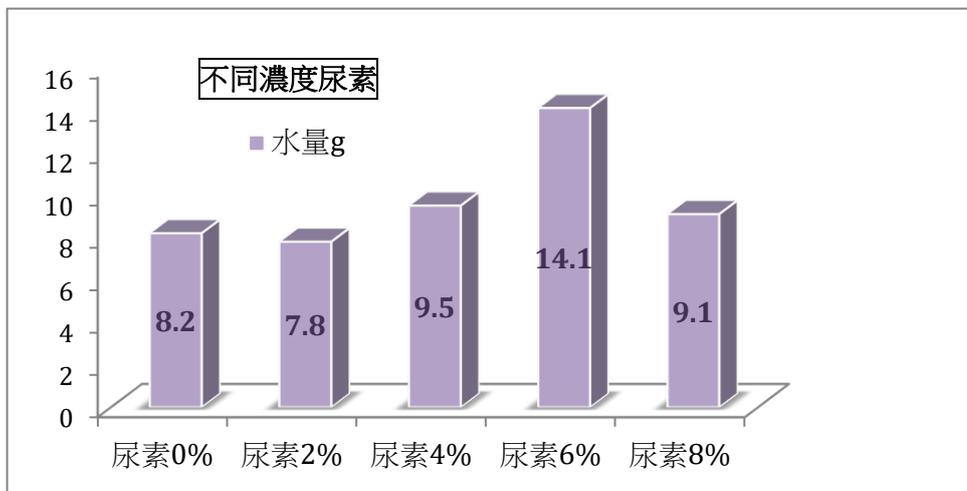


圖:6-3-1:不同濃度尿素水泥磚總平均水量改變

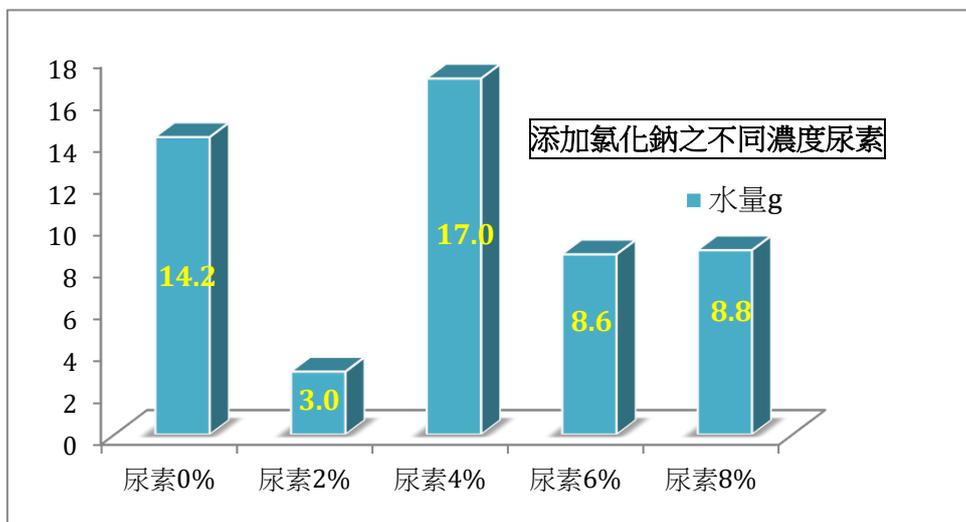


圖:6-3-2: 添加氯化鈉下不同濃度尿素水泥磚總平均水量改變



圖:6-3-3：沒有水份殘留，表面有結晶

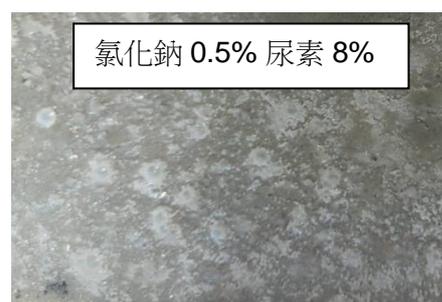


圖:6-3-4：靜置 24 小時，沒有水份殘留

柒、結論

- 一、實驗中證實，添加適當濃度的有機添加物(尿素及氯化鈉)，的確能使水泥磚硬度增強，又同時能達到節水的目的。依據台灣水泥同業公會統計 2019 年臺灣水泥消耗量為 1,138 萬公噸，根據本實驗最佳結果推算，只需增加少少的成本，一年可以省下的水量，就約足夠供一萬人生活 150 天(以每人平均 每日使用 250 公升)。
- 二、第一部分的實驗中，添加尿素 6%的水溶液對於增強水泥磚硬度的效果最好，硬度增強率達到 38.9%，而添加過多的尿素時，反而產生破壞水泥結構，使水泥磚強度減弱。
- 三、添加氯化鈉 0.5%的濃度時，則對尿素 4%的水泥磚硬度增加有最好的效果，硬度增強率達到 76.6%。推論氯化鈉水溶液的確發揮了同電荷相斥原理，達到水泥顆粒相互排斥，形成分散的狀態，增加了水泥漿體的流動性及更強的結合力。
- 四、添加氯化鈉 0.5%濃度水溶液時，對尿素濃度 4%的水泥磚硬度有其關鍵作用，由無添加氯化鈉水溶液的 8.0 次擊破數，增加為 13.6 次擊破數，硬度成功提升 70%。
- 五、在紀錄水量改變的實驗下，添加氯化鈉 0.5%、尿素 4%水溶液的水泥磚塊(620g)，平均每盒的水量改變達到 17.0g，比原始無添加的 8.2g，集水多了 8.8g 的水量，水量改變的效果最好。
- 六、此實驗中並未探討不同濃度之氯化鈉對水泥磚的效果，希望以後的實驗和討論可以再依此變因設計。

捌、參考資料

- 一、黃兆龍，「強塑劑在混凝土之應用與發展」，營建工程技術第七期，技術學院營建系學會，(1984)
- 二、張倩瑜，「氫氧化鈣在混凝土中的角色」，結構工程，第七卷，第三期，pp.107-115，(1992)。
- 三、黃國裕，「混凝土中骨材與水泥漿界面處過渡區性質與耐久性之研究」碩士論文，國立交通大學，新竹，(2004)
- 四、Emma stein。「人體排泄廢物零浪費回收，全球首塊「尿磚」強度媲美傳統紅磚」，科技新報(2018)。取自: <https://technews.tw/>

【評語】 080205

1. 研究添加物對水泥磚的影響，主題實用有趣。
2. 本研究的添加物為尿素和鹽，但題目確為有機添加物，似乎不合。
3. 為何選擇這些變因應該要說明。
4. 尿素和鹽對水泥磚的影響的結果可用化學觀點解釋並尋求解釋的依據或證據。
5. 磚中含鹽會不會造成類似海砂屋的影響應說明。
6. 自製量測器材，很好。但應經過認證。
7. 到底省水所增加的成本是多少，要寫清楚。不要寫只需增加少少的成本。
8. 應做文獻探討。
9. 參考資料如取自網站，應標明上網日期。
10. 有趣的研究題目，對於人類未來探索外星球，在缺水環境興建基地，或許可提供一些啟發。
11. 本研究有一半以上實驗在探討水泥磚硬度，這方面研究可再精準操作實驗以獲得有效的數據資料，並做客觀分析做加強，也增加更多變因的探討。
12. 研究尿素添加對水泥磚的影響，題材構思較為特別，但含氮材料添加到水泥磚中，是否恰當，應多加研究。

作品簡報

「尿」不可「鹽」
探討有機添加物對水泥磚的影響



國小組
化學科

壹、研究動機

一、在學校的閱讀課上，有張照片吸引我們的注意，是一張未來太空人可以嘗試使用尿素磚在水資源缺乏的月球上做基地示意圖。

二、又看見台灣十幾年來首嚴重的缺水旱情，導致全國水庫缺水的新聞，心想：「如果我們能夠利用尿素和少許的水就能製成水泥磚，而且還一樣堅固的話，那真令人期待。」

貳、研究目的

第一部分：探討不同濃度尿素水溶液對水泥磚硬度的影響

第二部分：探討添加氯化鈉(NaCl)對水泥磚硬度的影響

第三部分：探討有機添加物對製造水泥磚水量的影響

參、研究設備及流程

設計單擺敲擊器



1. 為了能精準測出水泥磚硬度差異，我們設計一個**可以穩定施力又能調整撞擊力的裝置**。

2. 專屬的水泥單擺敲擊器，利用一致**擺長長度、擺錘重量和自製角度板**(確定敲擊角度夾角30度)的狀況下，控制每次撞擊力道和範圍。

電子顯微鏡



1. 進行水泥磚硬度敲擊實驗後，為求**實驗更精準**，更進一步將所有不同濃度的尿素**水泥磚敲成碎塊**。

2. 再利用**電子顯微鏡**觀察水泥磚的結構，仔細觀察並紀錄硬化**水泥漿體內的結晶體**。

參、研究設備及流程

尿素濃度



尿素濃度30%時有白色晶體析出



尿素濃度30%時水泥磚脫模就斷裂

1. 實驗一開始使用尿素5%、10%和30%，發現尿素濃度達到30%時，水泥磚乾掉後，磚塊表面會有**白色結晶體析出**(註)。
2. 而且濃度在30%很容易脆化，從模具取出時水泥磚就已斷裂，**推論尿素濃度過高，反而使水泥粒子凝聚結構被破壞**。
3. 所以，接下來的實驗我們以人體中含有尿素的濃度(2.5%)為基礎，以**0%、2%、4%、6%和8%不同尿素濃度實驗**來進行水泥磚硬度實驗。

註:析出，固體混合物在溶劑中的溶解度與溫度有密切關係。一般是溫度升高，溶解度增大。若把溶解在熱的溶劑中達到飽和，冷卻時即由於溶解度降低，溶液變成過度飽和而析出晶體。

參、研究設備及流程

計算重量百分比濃度

波特蘭水泥調製比例
水泥粉:水=5:1

$$\text{重量(體積)百分濃度} = \frac{\text{溶質重量(體積)}}{\text{溶液重量(體積)}} \times 100\%$$



先在黑板計算後秤好克重



調配不同濃度水溶液



水泥磚製作完成



脫模靜置7d後敲擊

實驗流程設計

尿素濃度	水泥粉(g)	水量(g)	尿素(g)
0%	1600	320.0	0
2%	1600	313.6	6.4
4%	1600	307.2	12.8
6%	1600	300.8	19.2
8%	1600	294.4	25.6

尿素濃度	水泥粉(g)	水量(g)	尿素(g)	氯化鈉0.5%(g)
0%	1600	318.4	0.0	1.6
2%	1600	312.0	6.4	1.6
4%	1600	305.6	12.8	1.6
6%	1600	299.2	19.2	1.6
8%	1600	292.8	25.6	1.6

肆、實驗過程和結果

探討不同濃度尿素對水泥磚硬度的影響

實驗設計

操縱變因	不同濃度尿素(0%、2%、4%、6%、8%)。
控制變因	相同水泥漿重量(620g)、水泥粉品牌、水泥塊放置天數(7d)。
應變變因	不同濃度尿素對水泥磚硬度的影響。



不同濃度尿素水泥磚的擊破數

尿素濃度	第一片(次)	第二片(次)	第三片(次)	平均值(次)
0%	6	9	8	7.7
2%	8	6	8	7.3
4%	9	9	6	8.0
6%	9	12	11	10.7
8%	5	6	5	5.3



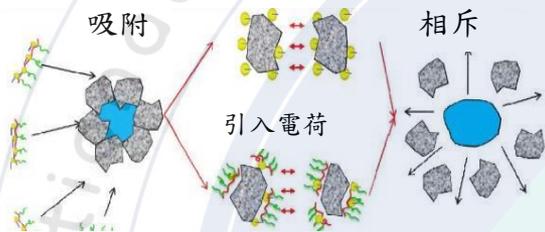
不同濃度尿素敲擊照片

尿素濃度	敲擊照片①	敲擊照片②	備註說明
0%			①第一片:第1次敲擊,有2道裂痕。 ②第一片:第6次敲擊,擊破掉落。
2%			①第三片:第2次敲擊,有3道裂痕。 ②第三片:第8次敲擊,擊破掉落。
4%			①第一片:第2次敲擊,有3道裂痕。 ②第二片:第8次敲擊,中間已碎裂,第9次掉落。
6%			①第二片:第2次敲擊,有1道裂痕 ②第二片:第12次敲擊,中間已碎裂,四邊皆已裂開
8%			①第一片:第2次敲擊,有3道裂痕。 ②第二片:第6次敲擊,中間已碎裂,四邊皆已裂開。

肆、實驗過程和結果

氯化鈉對不同濃度尿素水泥磚硬度的影響

添加0.5%氯化鈉



1. 水泥粉顆粒表面帶有正負兩種殘留電荷，而相異電荷的水泥顆粒會相互吸引，集結成水泥團，稱為聚簇(Flock)現象。

2. 此現象發生時，水分會被包圍在水泥團之間，無法有效利用，使得水化作用效能下降。

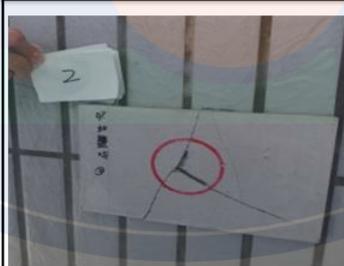
3. 在文獻中得知，若能加入一種可產生電荷的添加物，藉著同電荷相斥原理，來達到水泥顆粒相互排斥，形成分散的狀態，水泥顆粒之聚簇現象消失後，便放出之前所包圍的水分，增加了水泥漿體的流動性及更強的結合力。

氯化鈉0.5%不同濃度尿素水泥磚的擊破數

尿素濃度	第一片 (次)	第二片 (次)	第三片 (次)	平均值 (次)
0%	5	6	2	4.3
2%	10	7	5	7.3
4%	15	14	12	13.6
6%	2	5	4	3.7
8%	4	5	2	3.7



添加氯化鈉對不同濃度尿素第2次敲擊照片



尿素濃度0%



尿素濃度4%



尿素濃度6%

肆、實驗過程和結果

探討有機添加物對水泥磚水量的影響

24小時收集水量

1. 水泥漿 24 小時後，放熱速率大幅減緩，水化體系的溫度不再上升。
2. 收集不同濃度有機添加物水泥磚的三盒殘餘水量後，再計算水量平均值，測量如右圖照片。
註：尿素4%、氯化鈉0.5%

照片			
圖片說明	靜置24小時 盒內有水份殘留	將盒內殘留水份 倒入燒杯中	第二盒的秤出的 水量12.8g

9種不同濃度水泥磚集水結果較佳的前二名

無添加水泥磚的集水結果(g)

盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	51.4	51.8	0.4	8.6	24.6	8.2
2	58.2	59.1	0.9	9.7		
3	58.1	58.7	0.6	4.4		



尿素0%、氯化鈉0.5%水泥磚的集水結果(g)

盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	57.2	57.2	0	13.4	41.1	13.7
2	57.2	59.2	2.0	12.0		
3	57.9	59.0	1.1	12.6		

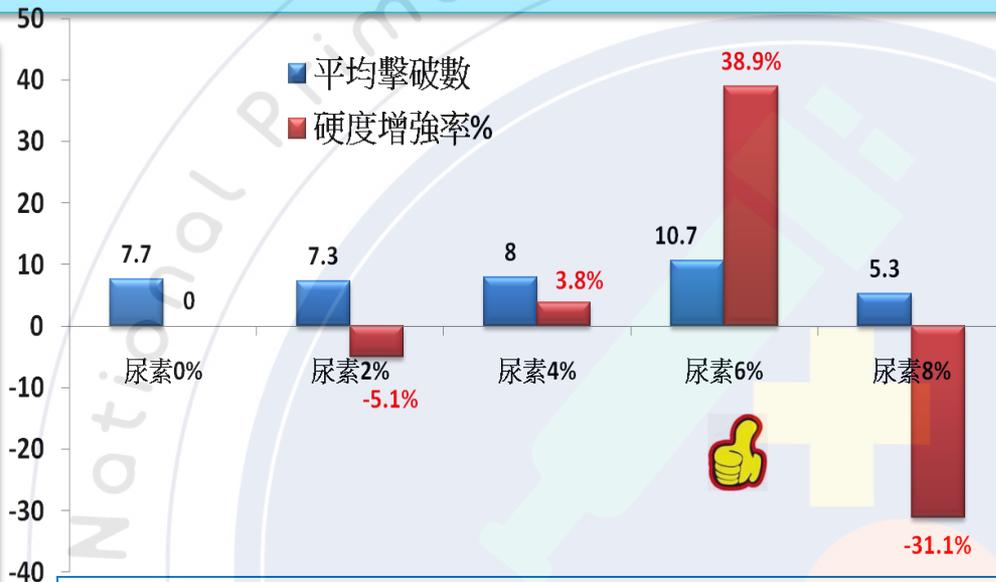


尿素4%、氯化鈉0.5%水泥磚的集水結果(g)

盒數	盒蓋重量	24hr 重量	重量改變	盒內水量	水量 (盒蓋+盒內)	平均量
1	58.1	58.5	0.4	11.9	37.2	12.4
2	58.1	58.2	0.1	12.8		
3	58.1	58.2	0.1	11.9		

伍、研究和討論

討論不同濃度尿素對水泥磚硬度的影響



圖表資料分析

1. 添加**尿素6%的水溶液**對於增強水泥磚硬度的效果最好，最大平均擊破數達到10.7次，硬度增強率達到**38.9%**。
2. 添加**尿素8%水溶液**對於水泥磚硬度，反而產生減弱的效果，平均擊破數5.3次，比無添加尿素水泥磚的7.7次還少，**硬度增強率為-31.1%**。



將水泥磚敲成碎塊

觀察水泥結構

影像傳至電腦圖

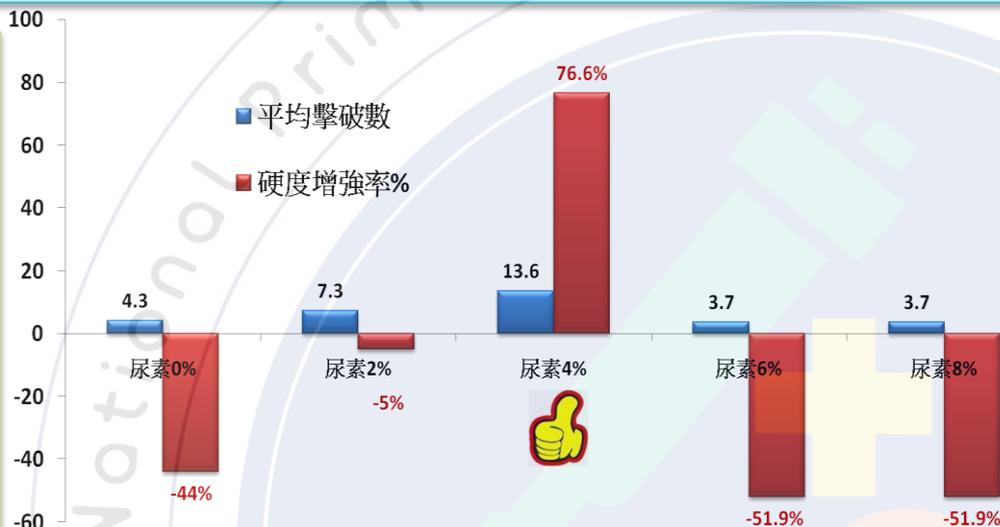
顯微鏡下的水泥結構

結果分析

1. 從實驗數據中，可以看出尿素濃度從4%和6%是平均擊破數是高於0%無添加的次數，但到了8%時平均擊破數卻低於其它濃度，由此推論，若**尿素濃度太高，反而使水泥粒子凝聚結構被破壞，改變水泥磚的穩定性。**
2. 發現不同濃度的水泥磚，在敲擊時聲音不一樣，有些輕脆、有些低沉，進一步利用顯微鏡觀察水泥磚的結構，發現**尿素濃度愈高的水泥漿體，有較多細小粉末狀結晶體。**

伍、研究和討論

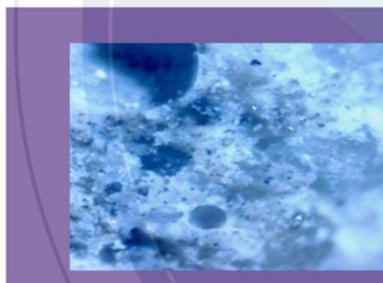
討論氯化鈉對不同濃度水泥磚硬度的影響



圖表資料分析

在添加氯化鈉0.5%

1. 對**尿素4%**的水泥磚硬度增加有最好的效果，平均擊破數達到13.6次，**硬度增強率達到76.6%**。
2. 在**尿素6%、8%**的硬度增強率最差強人意，**下降51.9%**。



尿素4%水泥結晶顆粒明顯



尿素6%細小粉末較多



尿素8%細小粉末較多

結果分析

1. 添加氯化鈉0.5%在**尿素濃度4%時**，的確發揮了**同電荷相斥原理**，來達到水泥顆粒相互排斥，形成分散的狀態，水泥顆粒之聚簇現象消失後會放出之前所包覆的水分，增加了**水泥漿體的流動性及更強的結合力**。
2. 利用顯微鏡仔細觀察並紀錄硬化水泥漿體，也再次觀察到**尿素濃度愈高**的水泥漿體，有較多細小粉末包住晶體。

伍、研究和討論

討論有機添加物對製作水泥磚水量的影響

不同濃度尿素水泥磚水量改變統計(620g/盒)(g)

尿素濃度	調配濃度減水量(水泥漿1920g)	調配濃度平均減水量(620g/盒)	平均集水量盒	總平均水量/盒
0%	0	0.0	8.2	8.2
2%	6.4	2.1 (註)	5.7	7.8
4%	12.8	4.1	5.4	9.5
6%	19.2	6.2	7.9	14.1
8%	25.6	8.3	0.8	9.1

註：調配濃度平均減水量的計算方式：

$$(620/1920)*6.4=2.1$$

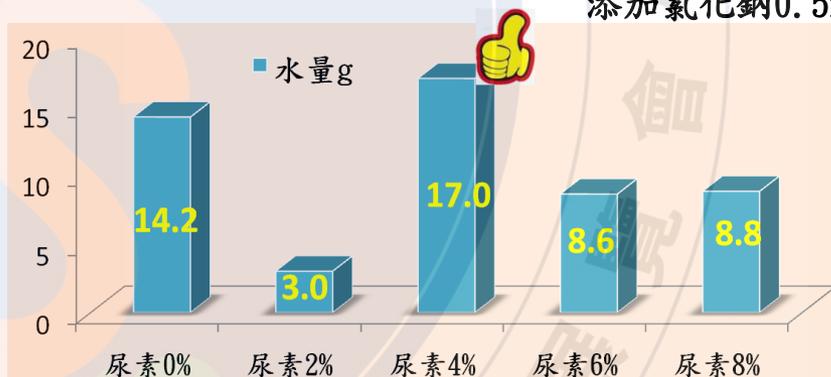
無添加氯化鈉0.5%



添加氯化鈉0.5%
不同濃度尿素水泥磚水量改變統計(620g/盒)(g)

尿素濃度	調配濃度減水量(水泥漿1920g)	調配濃度平均減水量(620g/盒)	平均集水量盒	總平均水量/盒
0%	1.6	0.5	13.7	14.2
2%	8.0	2.6	0.4	3.0
4%	14.4	4.6	12.4	17.0
6%	20.8	6.7	1.9	8.6
8%	27.2	8.8	0.0	8.8

添加氯化鈉0.5%



實驗結果

1. 無添加氯化鈉0.5%濃度下，不同濃度尿素下的水泥磚，紀錄水量改變，發現**尿素6%**的水泥磚塊平均每盒的水量改變最多，達到**14.1g**。
2. 在添加氯化鈉0.5%濃度下，不同濃度尿素下的水泥磚，紀錄水量改變，發現**尿素4%**的水泥磚塊平均每盒的水量改變，達到**17.0g**。

陸、實驗結論

一、實驗中證實，添加適當濃度的有機添加物(尿素及氯化鈉)，的確能使**水泥磚硬度增強**，又同時能達到**節水**的目的。依據台灣水泥同業公會統計2019年臺灣水泥消耗量為1,138萬公噸，根據本實驗最佳結果推算，**只需增加少少的成本**，一年可以省下的水量，就約足夠供一萬人生活150天(以每人平均每日約使用250公升)。

二、第一部分的實驗中，添加**尿素6%**的水溶液對於增強水泥磚硬度的效果最好，**硬度增強率達到38.9%**，而添加過多的尿素時，反而產生破壞水泥結構，使水泥磚強度減弱。

三、添加**氯化鈉0.5%濃度**時，則對**尿素4%**的水泥磚硬度增加有最好的效果，**硬度增強率達到76.6%**。推論氯化鈉水溶液的確發揮了同電荷相斥原理，達到水泥顆粒相互排斥，形成分散的狀態，增加了水泥漿體的流動性及更強的結合力。

四、添加**氯化鈉0.5%**水溶液時，對**尿素濃度4%**的水泥磚硬度有其關鍵作用，由無添加氯化鈉水溶液的8.0次擊破數，增加為13.6次擊破數，**成功提升70%**。

五、在紀錄水量改變的實驗下，添加**氯化鈉0.5%、尿素4%**水溶液的水泥磚塊(620g)，平均每盒的**水量改變達到17.0g**，比原始無添加的8.2g，多了8.8g的水量，水量改變的效果最好。

六、此實驗中並未探討不同濃度之氯化鈉對水泥磚的效果，希望以後的實驗和討論可以再依此變因設計。

文獻資料:

- 一、黃兆龍，「強塑劑在混凝土之應用與發展」，營建工程技術第七期，技術學院營建系學會，(1984)
- 二、張倩瑜，「氫氧化鈣在混凝土中的角色」，結構工程，第七卷，第三期，pp. 107-115，(1992)。
- 三、黃國裕，「混凝土中骨材與水泥漿界面處過渡區性質與耐久性之研究」碩士論文，國立交通大學，新竹，(2004)
- 四、Emma stein，「人體排泄廢物零浪費回收，全球首塊「尿磚」強度媲美傳統紅磚」，科技新報(2018)。