

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：化學科

作品名稱：電解與磁場的秘密

得獎獎項：化學科第二名

莫斯科二〇〇三年科學博覽會

學 校：國立鳳山高級中學

作 者：李浩任

作者簡介

我~李浩任，今年就讀鳳山高中三年級，興趣是打球、讀書、看電影、聽音樂，從小就很獨立，家裡從不逼我讀書，國小偶然發現對科學的興趣，就常常到圖書館翻閱相關書籍，國中時第一次嘗試做科展，不過沒什麼進展，到了高中因為班上有專題研究課，才慢慢學會研究科學的方法，科展對我種種的啟發，使得我對化學有更進一步地了解。未來我想走材料科學方面的研究路線。

電解與磁場的秘密

中文摘要

金屬離子在磁場中的流動速率會略有改變，尤其是在強磁場中時，其影響更是顯著，即【MHD 磁流動效應】，造成整體電解液中離子的流動，此流動比擴散速率佔優勢。再利用「磁矩」具有向量性質，探討不同金屬離子（ Na^+ 、 K^+ 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Mg^{2+} ）及 MnO_4^- 在磁場角度相同但強度不同的情況下；及磁場角度不同但強度相同的情況下，對電解速率的影響。

經實驗發現有以下結論：

一、由法拉第電解第一定律出發，加以實驗數據分析，可推導出一關係式：

$$\text{電解速率 } R_{\rho} = k \times \int \langle | \mathbf{H} \text{ 向量} | \times | \cos \theta | \rangle \times | \mathbf{E} \text{ 向量} |$$

（k 單位：g / C • weber • s）

二、電解效率隨價數增高而增快。

三、較強的電解質，其對磁場的感應也越大，如果就同一族而言，往下其活性越強，對磁場的感應也越強。

THE SECRET of ELECTROLYSIS and MAGNETIC FIELD

Abstract

The flowing rate of Metal ion changes slightly in magnetic field. This influence is especially remarkable while the magnetic force is very strong, that's **【MHD (magneto Hydrodynamic Effect)** , which gives rise to ionic flowing all over the electrolyte. This flowing rate is superior to expanding rate. Further, basing on the magnetic torque 's vector trait, this research studies how electrolysis velocity affects different metal ions (Na^+ , K^+ , Fe^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+}) and MnO_4^- under following situations:

Some results are found through the experiment.

1. Begin with Farad Electrolysis First Law, and take the experimental analysis into account, then a relative formula comes out as bellow.

$$\text{Electrolysis Rate } \underline{\mathbf{R}\rho = \mathbf{k} \times \int \langle |\mathbf{H}| \times |\cos \theta| \rangle \times |\mathbf{E}|}$$

(k : g / C • weber • s)

2. Electrolysis efficiency accelerates by the increasing price amount.
3. Active electrolytes get strong response to the magnetic field. For the same group, the more active the electrolytes are, the stronger it responds to magnetic filed.

一. 研究動機：

現在許多工廠，如電鍊、食品、化學工業……等，電解皆為其中不可或缺的重要步驟之一，如能提高電解效率，將能有效提高產量，並節約所浪費的電能，達到環保與經濟的雙贏局面。

在討論加快電解速率的研究中，影響電解的因素有許多，但是其中卻較少見到磁場對電解影響的研究，因此我們希望能綜合前人的研究，達成最小能源卻有最大效率的目標。

二. 研究目的：

- (一) 探討電場中之「電位移」受磁場影響後，形成「磁偶極矩」對「總電壓」的影響，及探討「磁偶極矩」是否可能影響其「整體電阻」，而使「反應速率」改變？
- (二) 當電場與磁場成一角度 θ 改變時，如平行與垂直以及磁場反轉時，其角度 θ 對「反應速率」的影響為何？
- (三) 當電場與磁場成一角度 θ 固定時，其「磁場強度」對「反應速率」的影響為何？
- (四) 電解反應中，金屬離子對磁場的感應如何？
- (五) 金屬離子不同價數對磁場的感應如何？
- (六) 涉及電解質離子中共價鍵斷鍵之電解反應對磁場感應如何？

三. 研究設備及器材：

(一) 藥品：

1. 氫氧化鈉 **NaOH** = 40.0
2. 氫氧化鉀 **KOH** = 56.1
3. 硝酸鈉 **NaNO₃** = 85.0
4. 硝酸鎂 **Mg(NO₃)₂ · 8H₂O** = 256.4
5. 硝酸鋁 **Al(NO₃)₃ · 9H₂O** = 375.1
6. 硝酸鐵 **Fe(NO₃)₃ · 9H₂O** = 404.0
7. 過錳酸鉀 **KMnO₄** = 158.4

(二) 實驗器材：

1. 塑膠注射筒 3 ml 2 支
 35ml 2 支
 60ml 4 支
2. 塑膠雙向閥 內徑 3.5mm 2 個
3. 塑膠 T 型管 內徑 6.0mm 1 個
4. 碳棒 約 2.5 cm 數個
 約 10.0 cm 數個
5. 容量瓶 250 ml 數個
6. 燒杯 250 ml 數個
7. 壓克力板 10 ×10 cm 1 片
8. 強力磁鐵 4 組
9. 微量天平 1 台
10. 熱熔膠槍 1 支
11. 測磁儀 1 台
12. PH 儀 1 台
13. 直流電源供應器 2 台
14. 三用電表 2 台
15. 刮勺 1 支
16. 鐵製書架 1 組

四. 研究步驟與方法：

(一) 研究原理：

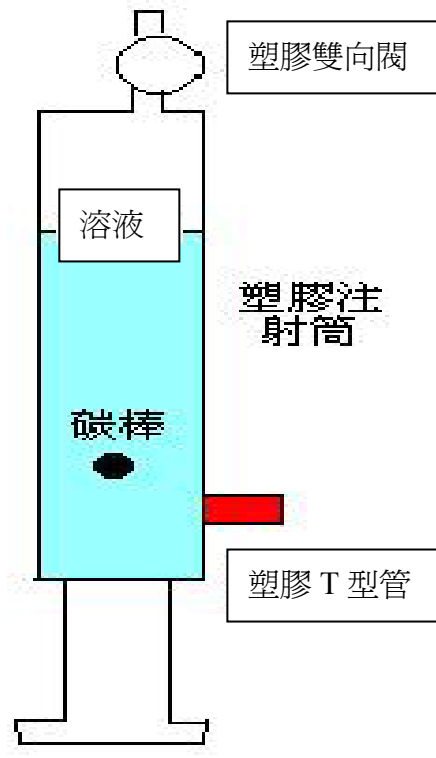
1. 古典物理的四大基石之一：電磁學。物理學家，馬克士威最重要的貢獻，是他所提出的一組電磁學方程組「馬克士威方程組」。每個方程式對應一個重要的電磁學定律，將四個定律放在一起，並寫成形式統一的數式：
 - (1) 電的高斯定律：電荷與周圍電場之間的關係。
 - (2) 磁的高斯定律：指出孤立的磁極絕不存在。
 - (3) 法拉第定律：描述變動的磁場如何產生電場。
 - (4) 安培定律修正版：描述磁場如何由電流與變動的電場共同產生。
2. 「磁矩」具有向量性，根據量子力學的解釋，磁矩是由粒子的「電子軌道運動」與「電子的自旋運動」而成，又依據居里由實驗發現物質的磁化強度與有效磁場成正比，其受磁場強度的影響而形成的磁偶極矩所造成的磁場應該可以增大或減少電阻，當電解反應進行時施與外加磁場，由此探討電場、磁場與電解反應的關係。
3. 歐姆定律：電壓 $V =$ 電流 $I \times$ 電阻 R
4. 法拉第電解第一定律：
$$M = ZQ = ZIT \quad (Z = E / F \text{ 爲電化當量 單位：g / C})$$
5. 化學反應式：
$$2OH^- + 2H^+ \xrightarrow{\text{(電解)}} 2H_2 + O_2$$

NaOH、KOH、NaNO₃、Mg(NO₃)₂、Al(NO₃)₃、Fe(NO₃)₃、KMnO₄
6. 在強磁場下會造成整體電解液中離子的流動，此流動比擴散速率佔優勢，即稱爲 **MHD** **【Magnetohydrodynamic effect】** 磁流動效應。

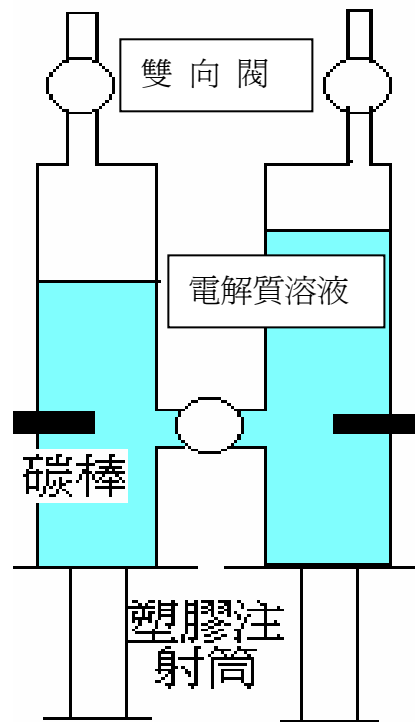
(二) 實驗方法：

1. 使用適合的廢乾電池中取出的碳棒和 35 ml 塑膠注射筒、塑膠雙向閥、塑膠 T 型管製成下列的電解反應容器(1)。如圖【1】、【2】

圖【1】 微型電解儀器側面圖

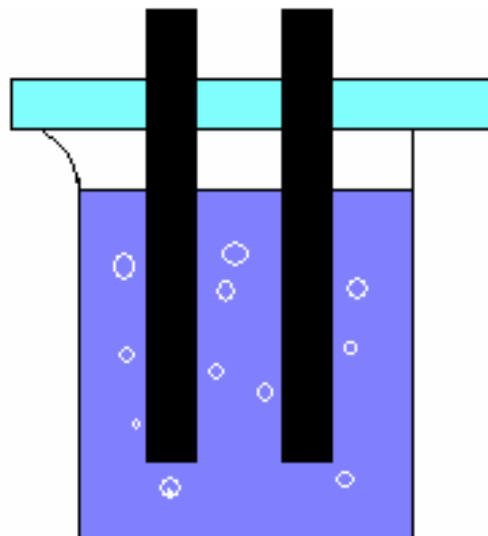


圖【2】 微型電解儀器正面圖



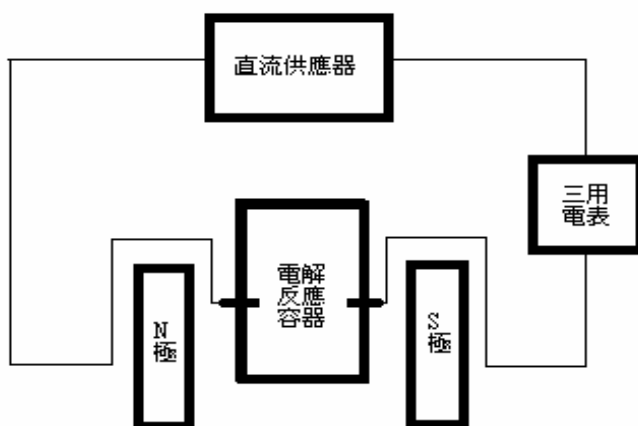
2. 將壓克力板鑽兩孔相距約 3 公分，以兩支 10 公分碳棒插入此兩孔，並用熱熔膠固定此兩碳棒為互相平行並與壓克力板垂直，配合 250 ml 燒杯，製成下列的電解反應容器(2)。如圖【3】。

圖【3】 電解反應容器(2)縱切圖



3. 以 DC 供應器提供適當伏特數之電壓，並使用三用電表測電流。以 250 ml 容量瓶泡製 NaOH 2M、 KOH 2M、 NaNO_3 2M、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 2M、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 2M、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 2M、 KMnO_4 0.01 M，使 NaOH 、 KOH 、 NaNO_3 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液密封避免與空氣接觸，等待冷卻至室溫後，裝入 60 ml 塑膠注射筒內，注入反應容器(1)， KMnO_4 置入反應容器(2)，各以兩組不同組合的永久磁鐵，分別放置兩側，相距約 12 公分。電路分配如圖【4】。

圖【4】 電路分配圖



4. 以無外加磁場之下進行一組實驗為對照組，紀錄其電壓、電流、反應時間，定氫氣柱達 15ml 時所用去的時間為反應時間，再進行以下實驗。依據反應速率公式討論不同變因。(反應速率公式： $R = \text{反應生成物} / \text{反應時間} \text{ ml / s}$)若有外加磁場，則需先放置於磁場 30 分鐘後開始電解。

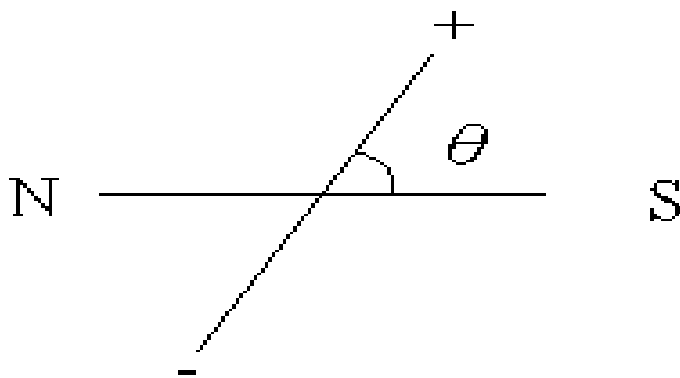
(1) θ 對「反應速率」的影響：

以電極方向與磁場方向所夾角度為 θ ，放置於磁場中約 30 分鐘後開始電解。定在電解反應容器(1)中，電解 KOH 2M、NaOH 2M 溶液時正極產生氣體至 15ml，電解 NaNO₃ 2M、Mg(NO₃)₂ 2M、Fe(NO₃)₃ 2M 溶液時，正極產生氣柱 5ml，電解 Al(NO₃)₃ 2M 溶液時，因其反應甚慢，所以定正極產生氣體至 1ml 為基準，紀錄其電壓、電流、反應時間後，計算出 R，由此比較「 θ 相對於 R 的關係」。

(定 相對速率 $R^C = \text{對照組反應速率} / \text{實驗組反應速率}$)

磁場與電場配置角度如圖【5】

圖【5】 角度圖



(2) 「磁場強度」對「反應速率」的影響：

將兩組永久磁鐵分別組成與 2000、3000、4000、5000、6000 高斯相近的五種強度的磁場，定在電解反應容器(1)中，電解 KOH 2M、NaOH 2M 溶液時正極產生氣體至 15ml，電解 NaNO₃ 2M、Mg(NO₃)₂ 2M、Fe(NO₃)₃ 2M 溶液時，正極產生氣柱 5ml，電解 Al(NO₃)₃ 2M 溶液時，正極產生氣柱 1ml 為基準，紀錄其電壓、電流、反應時間後，計算出 R，由此比較「磁場強度相對於 R」的關係。

(定 相對速率 $R^C = \text{對照組反應速率} / \text{實驗組反應速率}$)

(3) 分子鍵斷鍵之電解反應對磁場感應：

將 KMnO₄ 0.01 M 溶液置入電解反應容器(2)內，電解並紀錄其四小時之內電流的變化，比較「磁場」的強度、與電場角度 θ ，探討對離子移動速度的影響。

五. 研究結果：

(一) 電解反應中，磁場與電場角度 θ 對各離子的影響：

1. 電壓 20V、NaOH 2M、KOH 2M 溶液，磁場強度約 6000 高斯時。

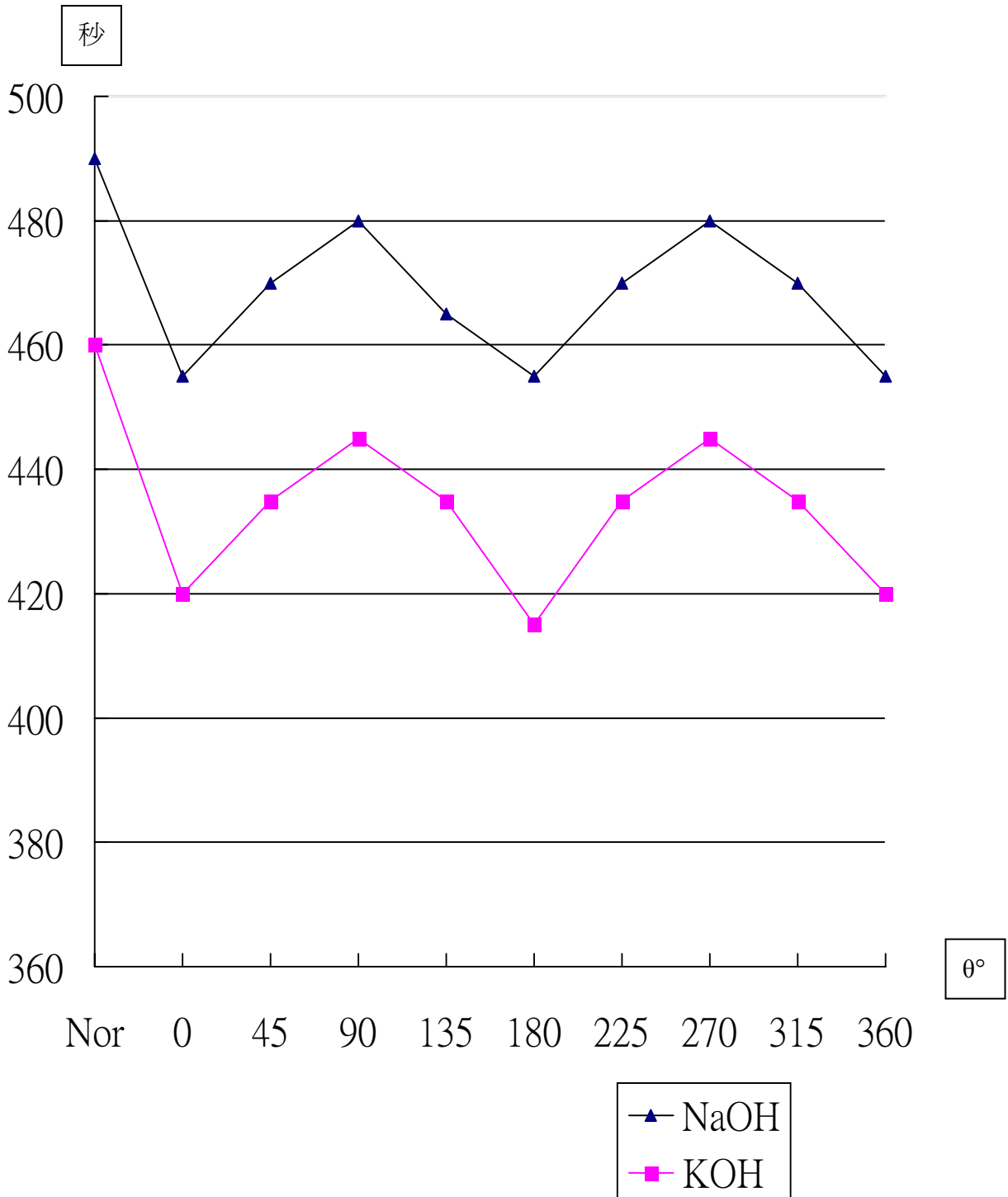
(1) 角度對 NaOH、KOH 電解反應時間之影響：如下表【1】。

表【1】 角度對反應時間之影響

V	高斯	θ	反應時間〈秒〉	
			NaOH	KOH
20.0	0	0	490	460
20.0	6000	0	455	420
20.0	6000	45	470	435
20.0	6000	90	480	445
20.0	6000	135	465	435
20.0	6000	180	460	425
20.0	6000	225	465	435
20.0	6000	270	480	445
20.0	6000	315	470	435

將表【1】繪成圖形，如圖【6】。

圖【6】 角度與反應時間之關係圖



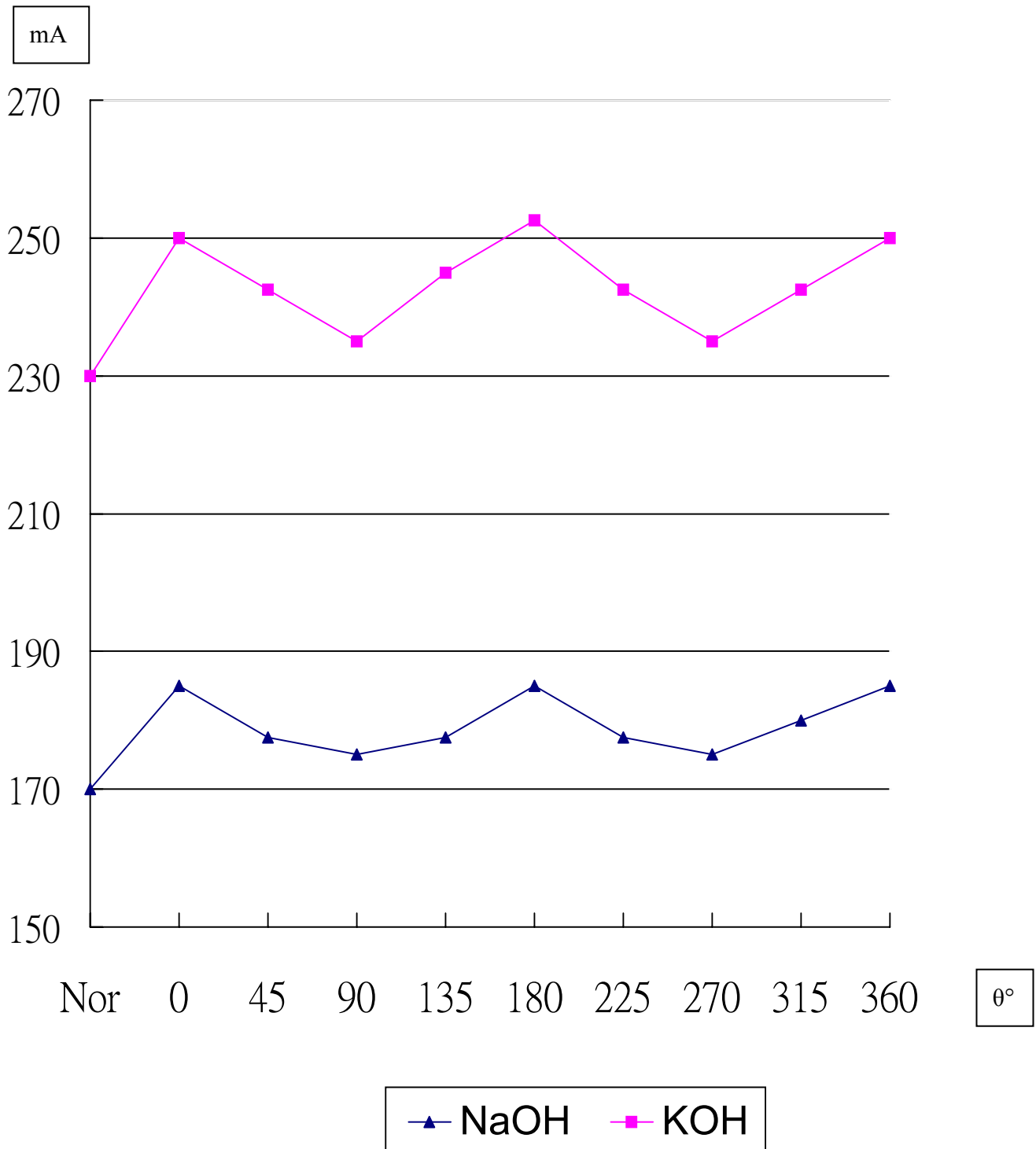
(2)角度對 NaOH、KOH 電解電流大小之影響：如表【2】

表【2】 角度對電流大小之影響

V	高斯	θ	mA	
			NaOH	KOH
20.0	0	0	170.0	230.0
20.0	6000	0	185.0	250.0
20.0	6000	45	177.5	242.5
20.0	6000	90	175.0	235.0
20.0	6000	135	177.5	242.5
20.0	6000	180	185.0	252.5
20.0	6000	225	177.5	242.5
20.0	6000	270	175.0	235.0
20.0	6000	315	180.0	245.0

將表【2】繪成圖形，如圖【7】。

圖【7】 角度與電流大小之關係圖



(3)角度對 NaOH、KOH 反應速率大小之影響：

如表【3】。在此將反應速率公式：『 $R = \text{反應生成物} / \text{反應時間}$ 』轉化，定『對照組反應速率為 1』，【比較速率 $R = \text{對照組反應時間} / \text{實驗組反應時間}$ 】

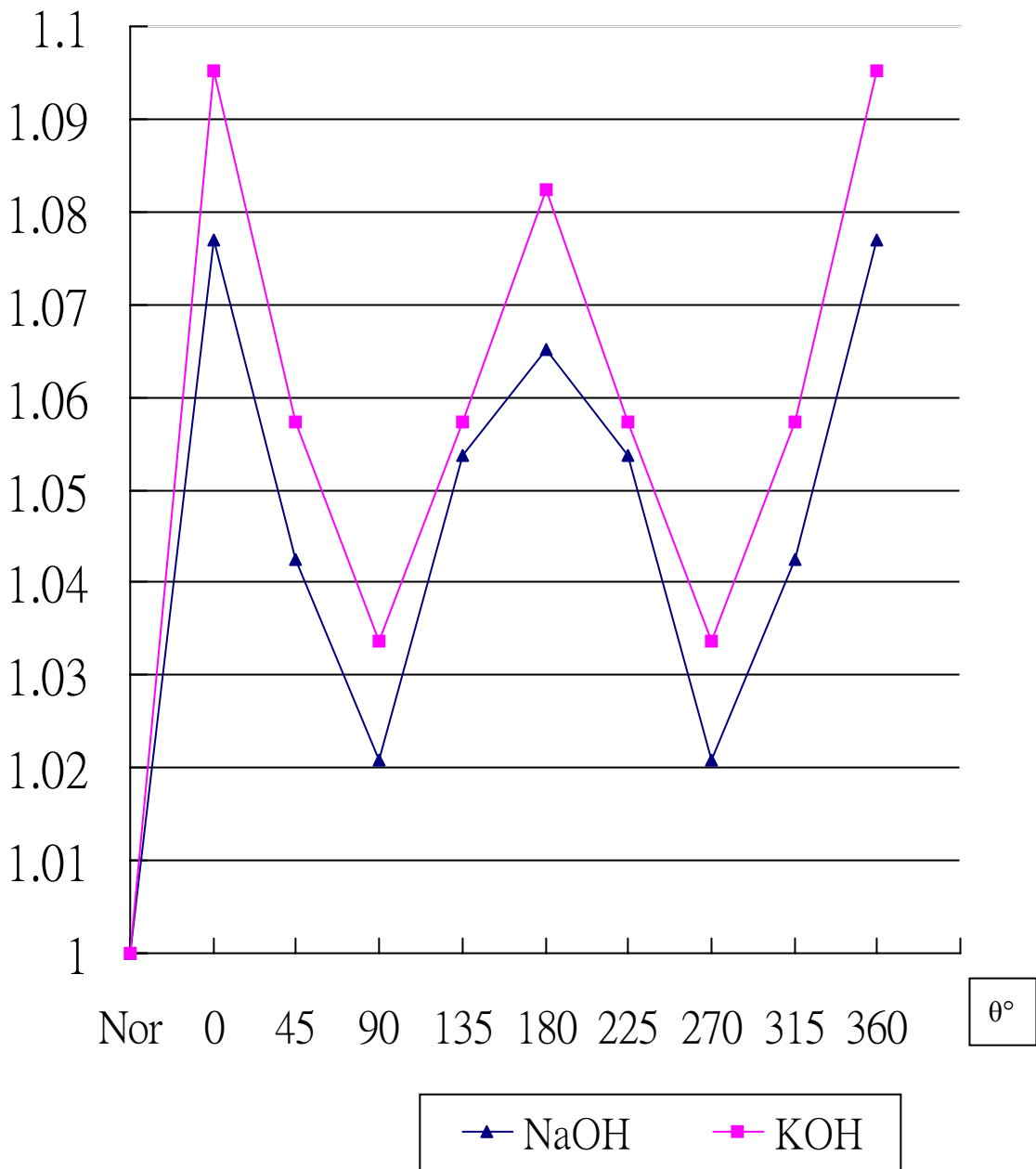
表【3】 6000 高斯下 角度對反應速率之影響

V	高斯	θ	反應速率	
			NaOH	KOH
20.0	0	0	1.0000	1.0000
20.0	6000	0	1.0769	1.0952
20.0	6000	45	1.0425	1.0574
20.0	6000	90	1.0208	1.0337
20.0	6000	135	1.0537	1.0574
20.0	6000	180	1.0652	1.0823
20.0	6000	225	1.0537	1.0574
20.0	6000	270	1.0208	1.0337
20.0	6000	315	1.0425	1.0574

將表【3】繪成圖形，如圖【8】。

圖【8】 角度對反應速率之關係圖

比較速率



2. 電壓 20V、 NaNO_3 2M、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 2M、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 2M、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 2M，磁場強度約 6000 高斯時。

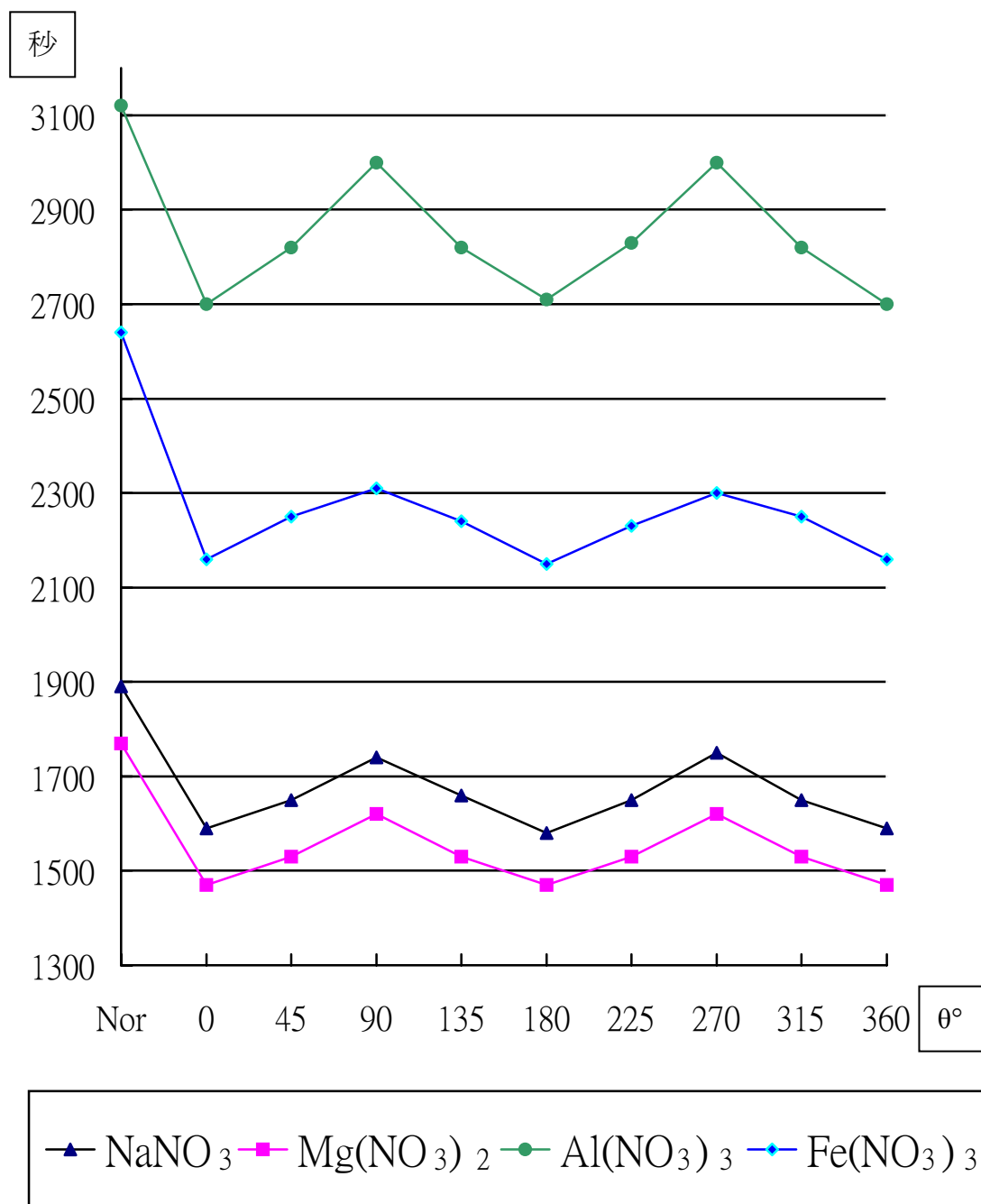
(1) 角度對 NaNO_3 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 電解反應時間之影響：如下表【4】。

表【4】 角度對反應時間之影響

V	高斯	θ	反應時間(秒)			
			NaNO_3	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$
20.0	0	0	1890	1770	3120	2640
20.0	6000	0	1590	1470	2700	2160
20.0	6000	45	1650	1530	2820	2250
20.0	6000	90	1740	1620	3000	2310
20.0	6000	135	1660	1530	2820	2240
20.0	6000	180	1580	1470	2710	2150
20.0	6000	225	1650	1530	2830	2230
20.0	6000	270	1750	1620	3000	2300
20.0	6000	315	1650	1530	2820	2250

將表【4】繪成圖形，如圖【9】。

圖【9】 角度與反應時間之關係圖



(2)角度對 NaNO_3 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 電解電流大小之影響：如表【5】

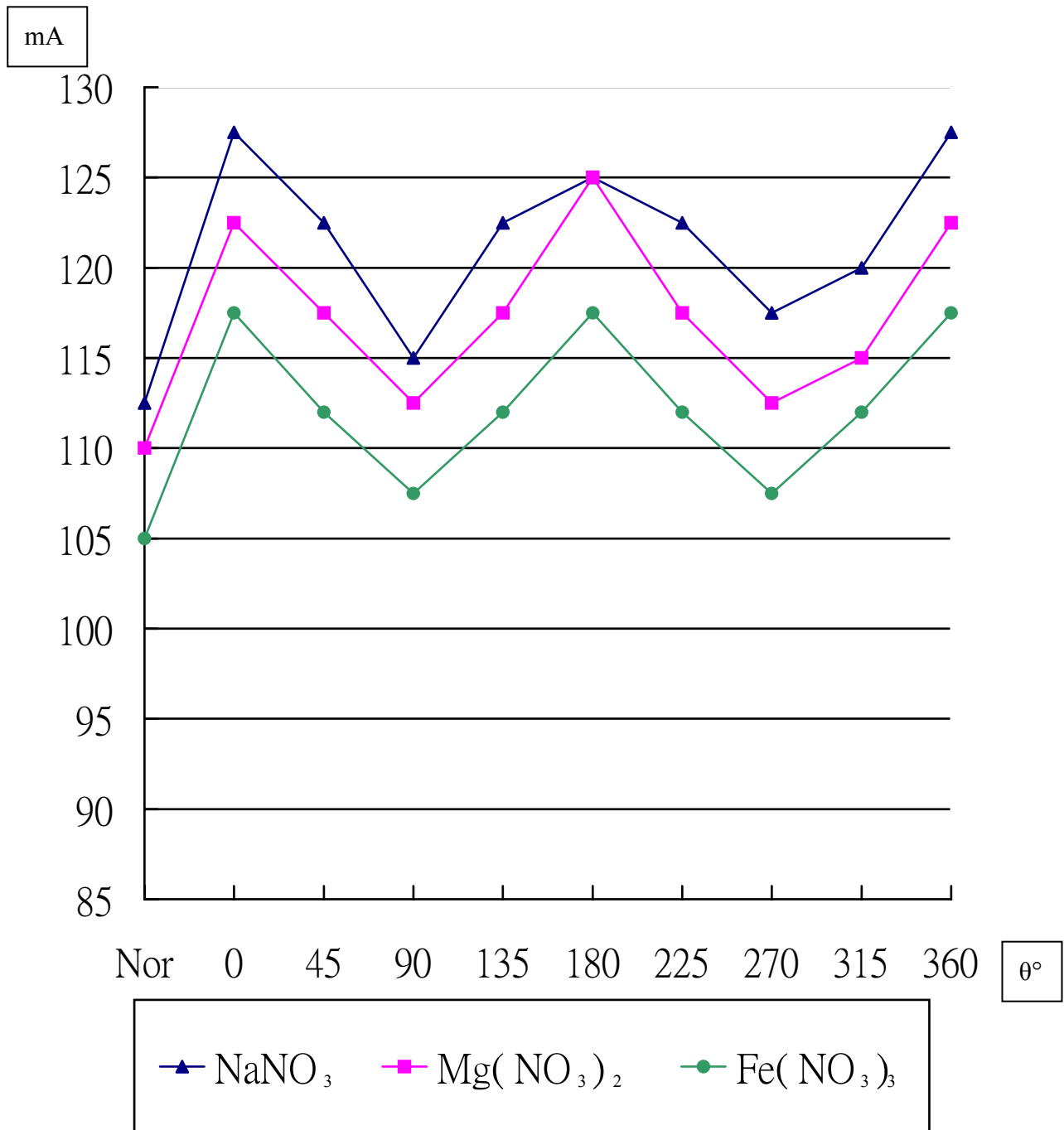
表【5】 角度對電流大小之影響

V	高斯	θ	mA		
			NaNO_3	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$
20.0	0	0	112.5	110.0	105
20.0	6000	0	127.5	122.5	117.5
20.0	6000	45	122.5	117.5	112
20.0	6000	90	115.0	112.5	107.5
20.0	6000	135	122.5	117.5	112
20.0	6000	180	125.0	125.0	117.5
20.0	6000	225	122.5	117.5	112
20.0	6000	270	117.5	112.5	107.5
20.0	6000	315	120.0	115.0	112

由於電解 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 反應其電流變化較為特殊，我們將於（4）呈現。

將表【5】繪成圖形，如圖【10】。

圖【10】 角度與電流大小之關係圖



(3)角度對 NaNO_3 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 反應速率大小之影響：
 如表【6】。

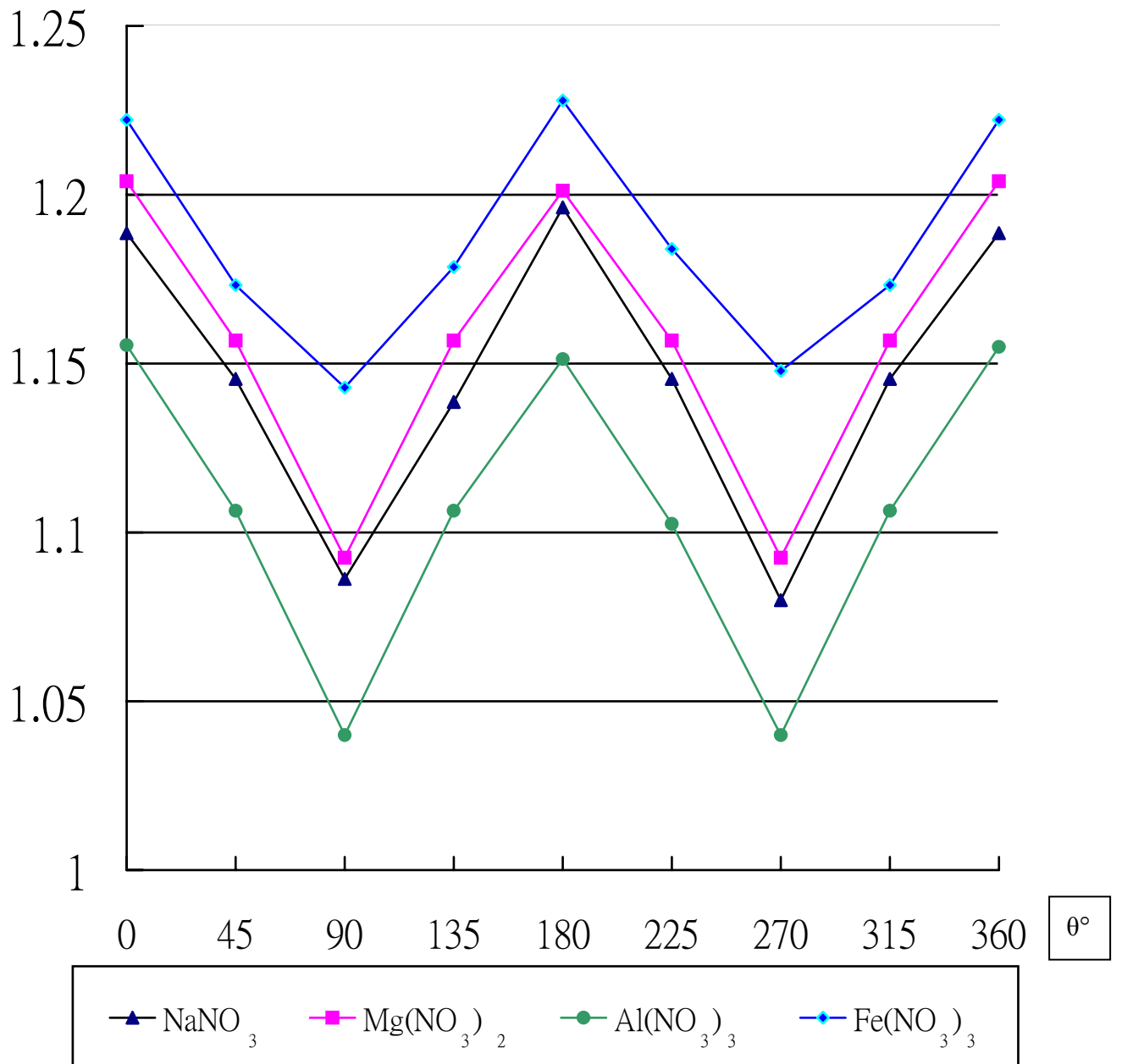
表【6】 6000 高斯下 角度對反應速率之影響

V	高斯	θ	反應速率			
			NaNO_3	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$
20.0	0	0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
20.0	6000	0	1.1887	1.2040	1.1555	1.2222
20.0	6000	45	1.1455	1.1568	1.1064	1.1733
20.0	6000	90	1.0862	1.0925	1.0400	1.1429
20.0	6000	135	1.1386	1.1568	1.1025	1.1786
20.0	6000	180	1.1962	1.2012	1.1513	1.2279
20.0	6000	225	1.1455	1.1568	1.1064	1.1839
20.0	6000	270	1.0800	1.0925	1.0400	1.1478
20.0	6000	315	1.1455	1.1568	1.1064	1.1733

將表【6】繪成圖形，如圖【11】。

圖【11】 角度對反應速率之關係圖

比較速率



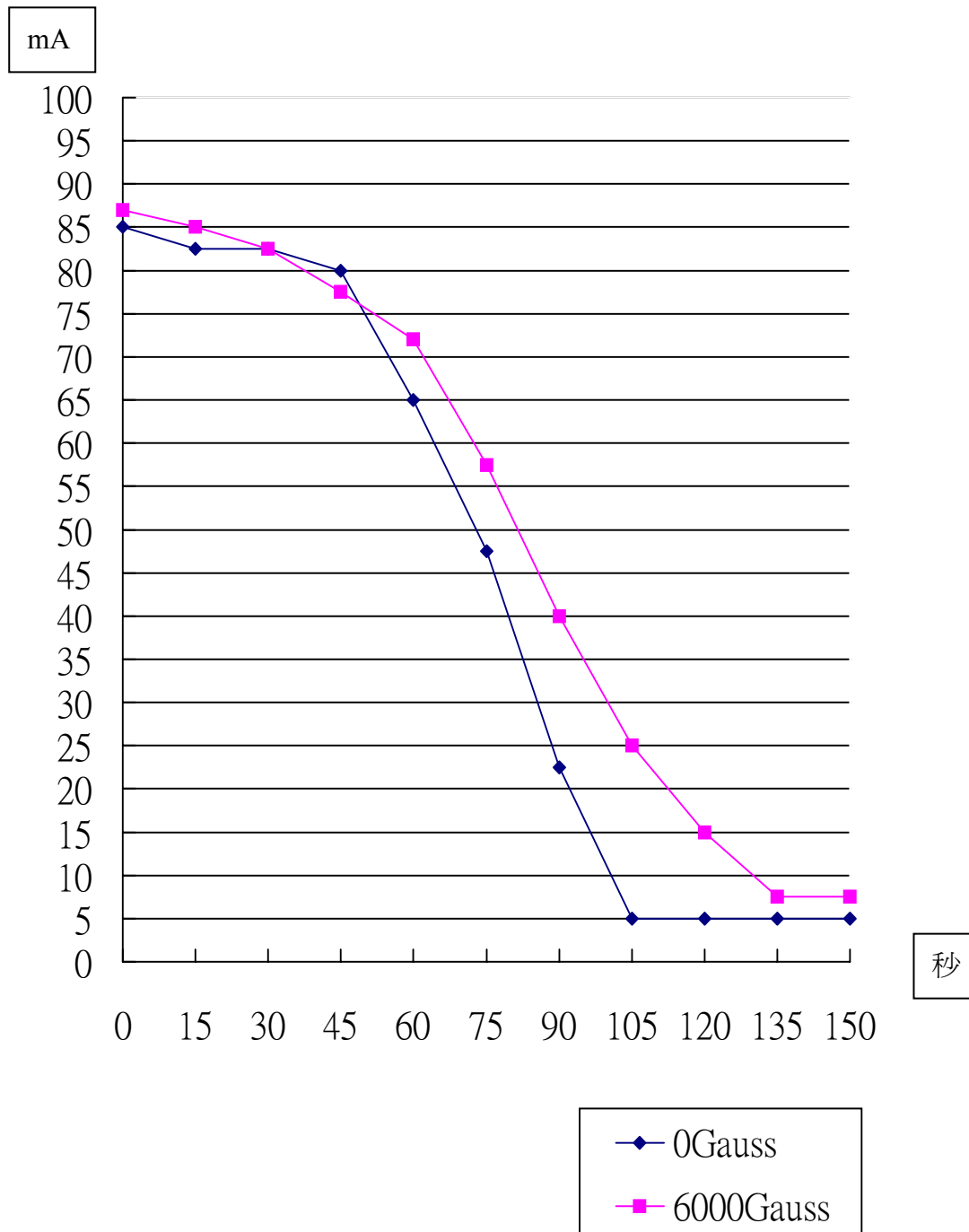
(4)有無外加磁場對 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 2M 溶液電解：如表【7】。

表【7】 無外加磁場對 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液電解的電流變化 (mA)

V	高斯	時間(秒)	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	
			無外加磁場	6000Gauss
20.0	0	0	0	0
20.0	0	15	85.0	87.0
20.0	0	30	82.5	85.0
20.0	0	45	82.5	82.5
20.0	0	60	80.0	77.5
20.0	0	75	65.0	72.0
20.0	0	90	47.5	57.5
20.0	0	105	22.5	40.0
20.0	0	120	7.5	25.0
20.0	0	135	5.0	15.0
20.0	0	150	5.0	7.5
20.0	0	165	5.0	7.5

將表【7】繪成圖形，如圖【12】。

圖【12】 電流與反應時間之關係圖



(二)電解反應中，磁場強度對各離子的影響：

1. 電壓 20V、NaOH 2M、KOH 2M 溶液，磁場強度各約為 0、2000、3000、4000、5000、6000 高斯時。

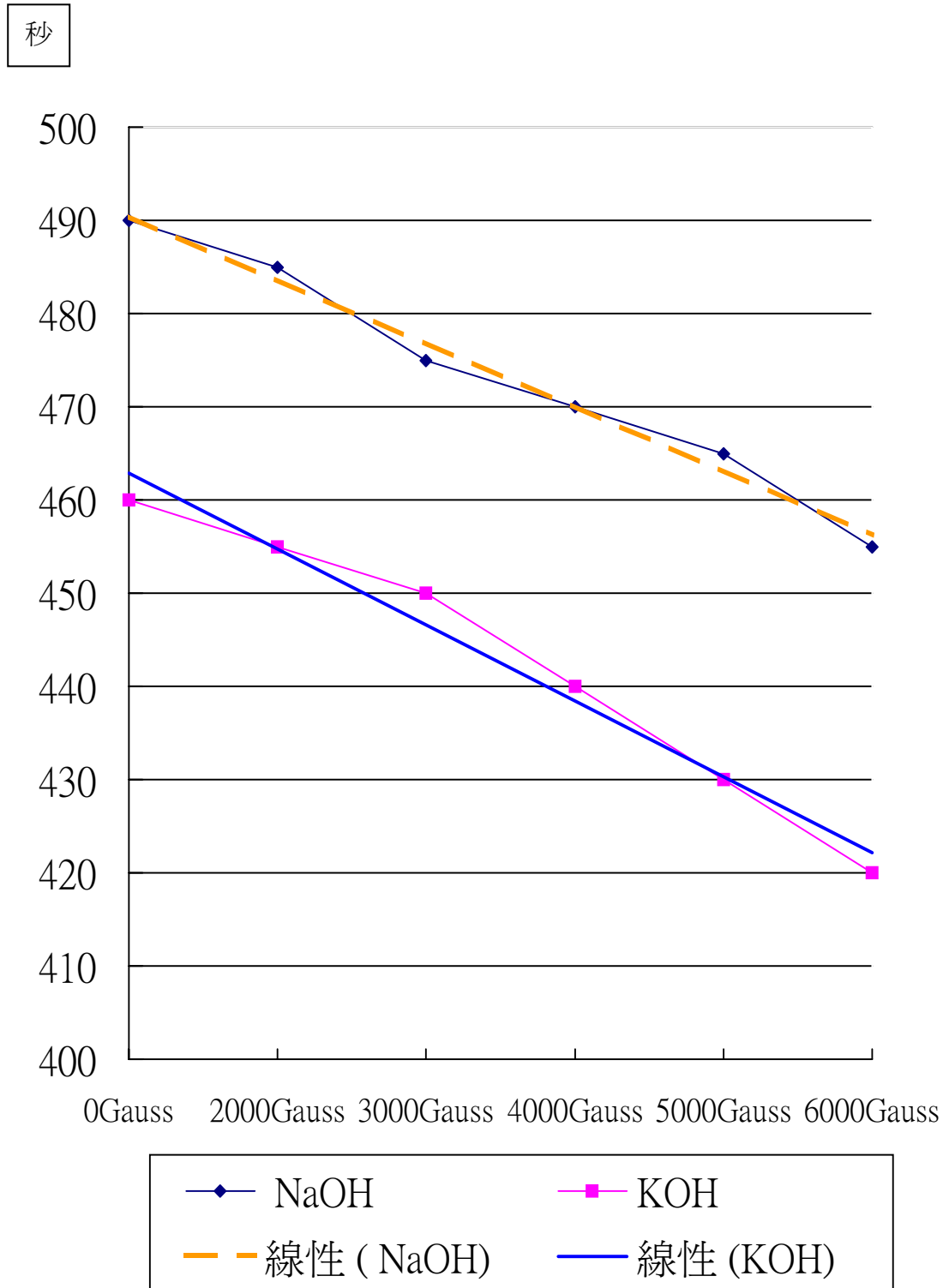
(1) 磁場強度對 NaOH、KOH 電解反應時間之影響。如表【8】

表【8】 磁場強度對反應時間之影響

V	高斯	反應時間〈秒〉	
		NaOH	KOH
20.0	0	490	460
20.0	2000	485	455
20.0	3000	475	450
20.0	4000	470	440
20.0	5000	465	430
20.0	6000	455	420

將表【8】繪成圖形，如圖【13】。

圖【13】 磁場強度與反應時間之關係圖



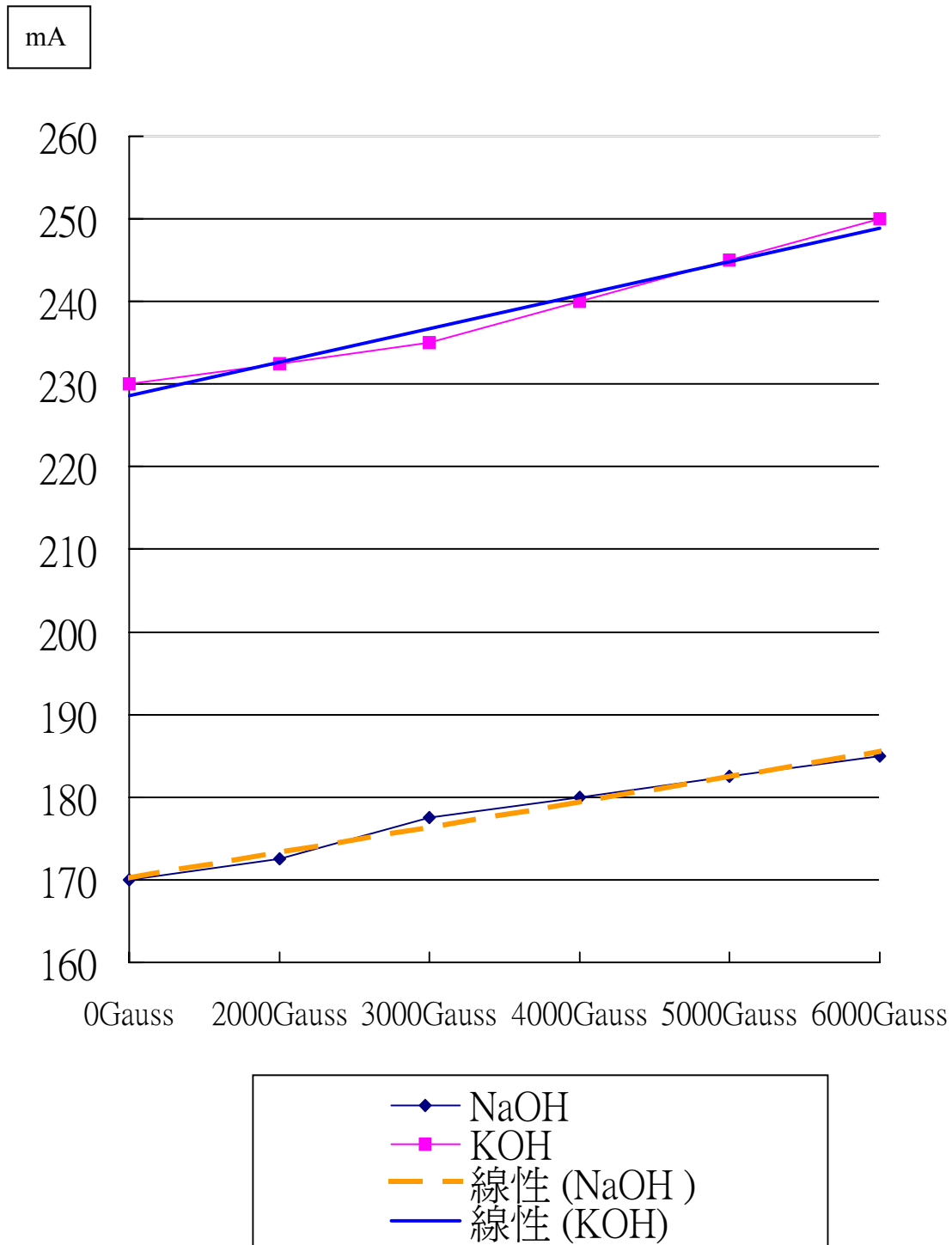
(2) 磁場強度對 NaOH、KOH 電解電流大小之影響。表【9】

表【9】 磁場強度對電流大小之影響

V	高斯	mA	
		NaOH	KOH
20.0	0	170.0	230.0
20.0	2000	172.5	232.5
20.0	3000	177.5	235.0
20.0	4000	180.0	240.0
20.0	5000	182.5	245.0
20.0	6000	185.0	250.0

將表【9】繪成圖形，如圖【14】

圖【14】 磁場強度與電流大小關係圖



(3) 磁場強度對 NaOH、KOH 電解反應速率之影響：如表【10】

表【10】

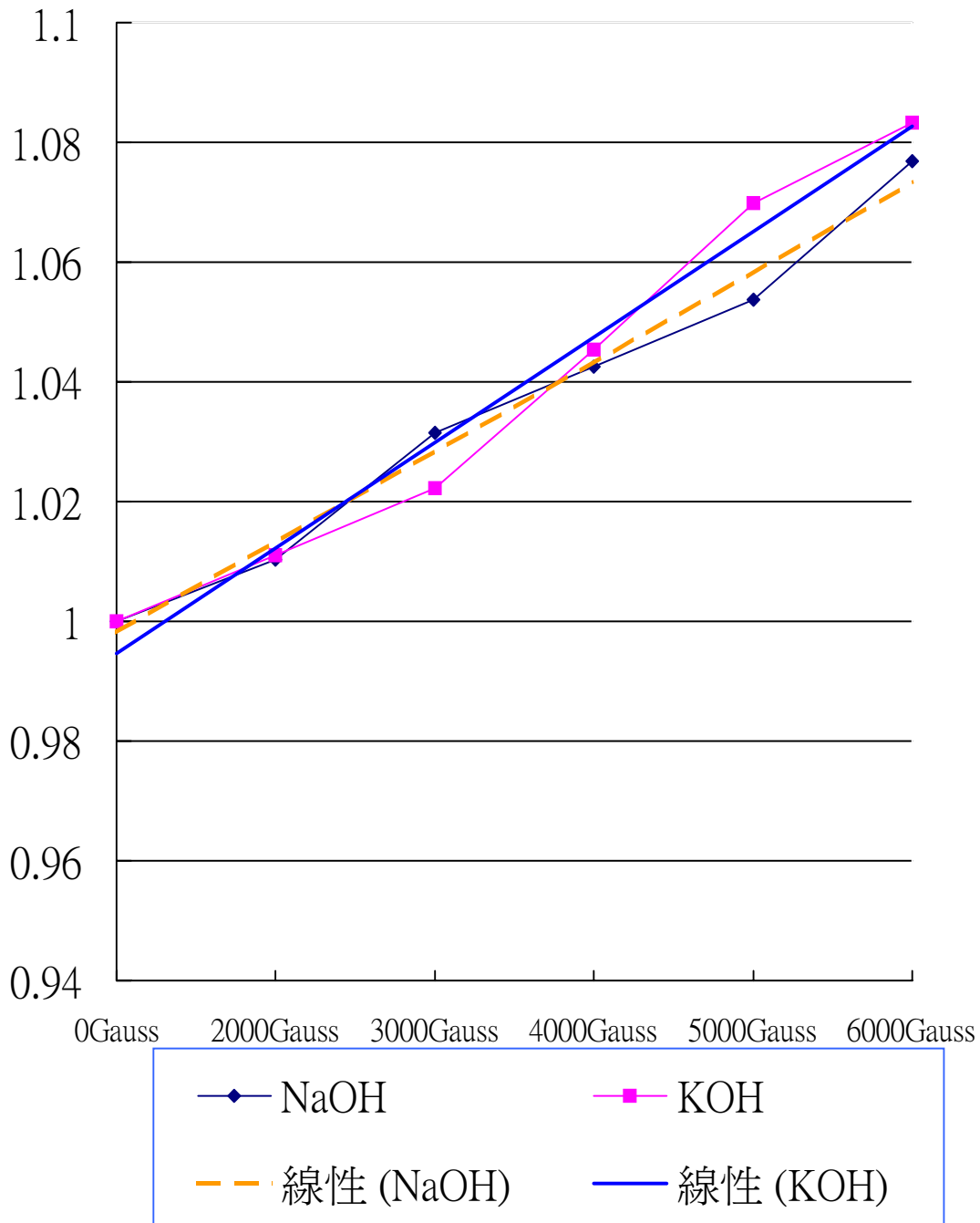
磁場強度對反應速率之影響

V	高斯	反應速率	
		NaOH	KOH
20.0	0	1.0000	1.0000
20.0	2000	1.0103	1.0110
20.0	3000	1.0315	1.0222
20.0	4000	1.0425	1.0454
20.0	5000	1.0538	1.0698
20.0	6000	1.0769	1.0833

將表【10】繪成圖形，如圖【15】。

圖【15】 磁場強度對反應速率之關係圖

比較速率



2. 電壓 20V、 NaNO_3 2M、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 2M、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 2M 溶液，磁場強度各約為 0、2000、3000、4000、5000、6000 高斯時。

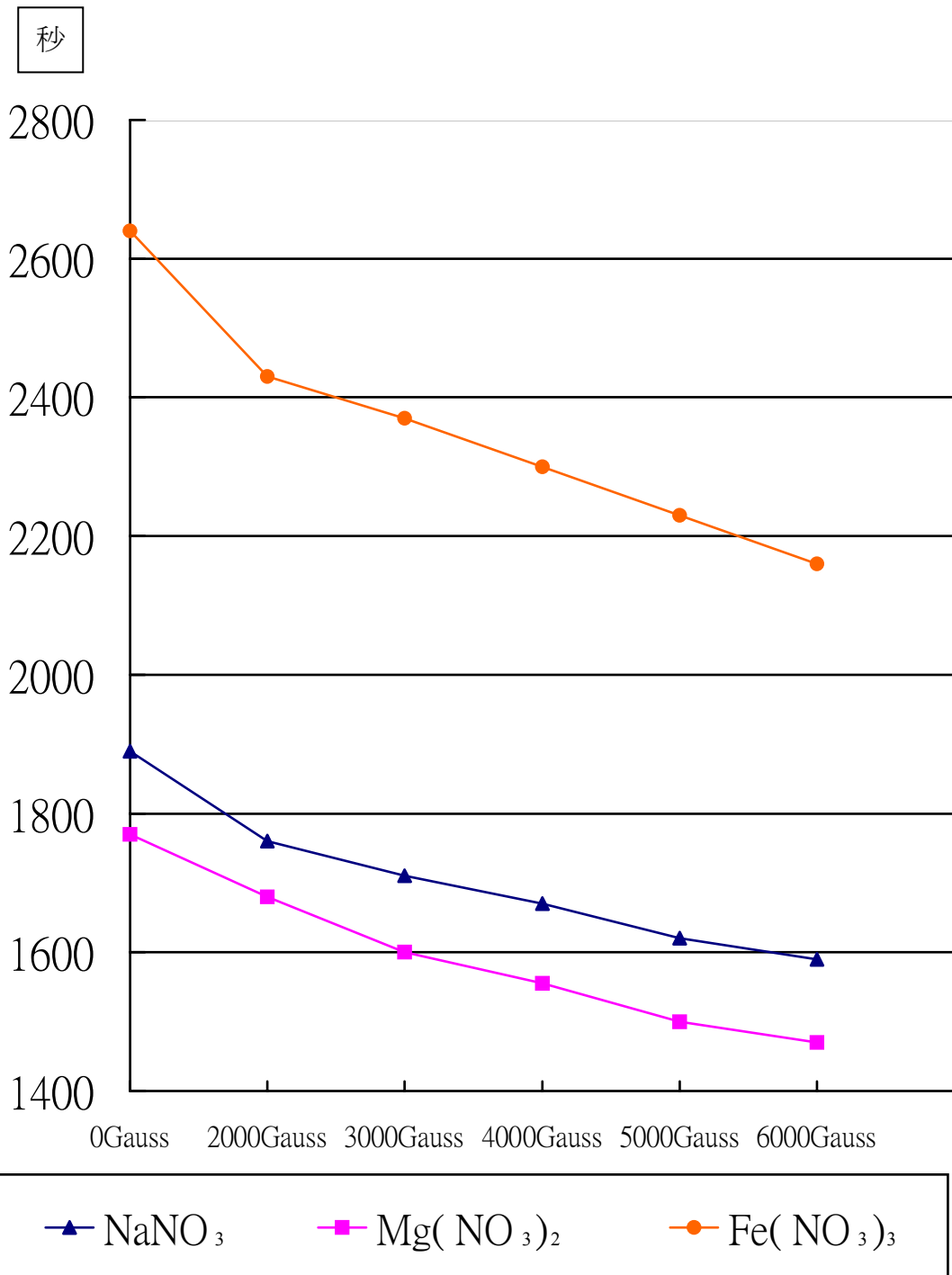
(1) 磁場與電場平行時，磁場強度對 NaNO_3 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 電解反應時間之影響。
如表【11】

表【11】 磁場強度對反應時間之影響

V	高斯	反應時間〈秒〉		
		NaNO_3	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$
20.0	0	1890	1770	2640
20.0	2000	1760	1680	2430
20.0	3000	1710	1600	2370
20.0	4000	1670	1555	2300
20.0	5000	1620	1500	2230
20.0	6000	1590	1470	2160

將表【11】繪成圖形，如圖【16】。

圖【16】 磁場強度與反應時間之關係圖



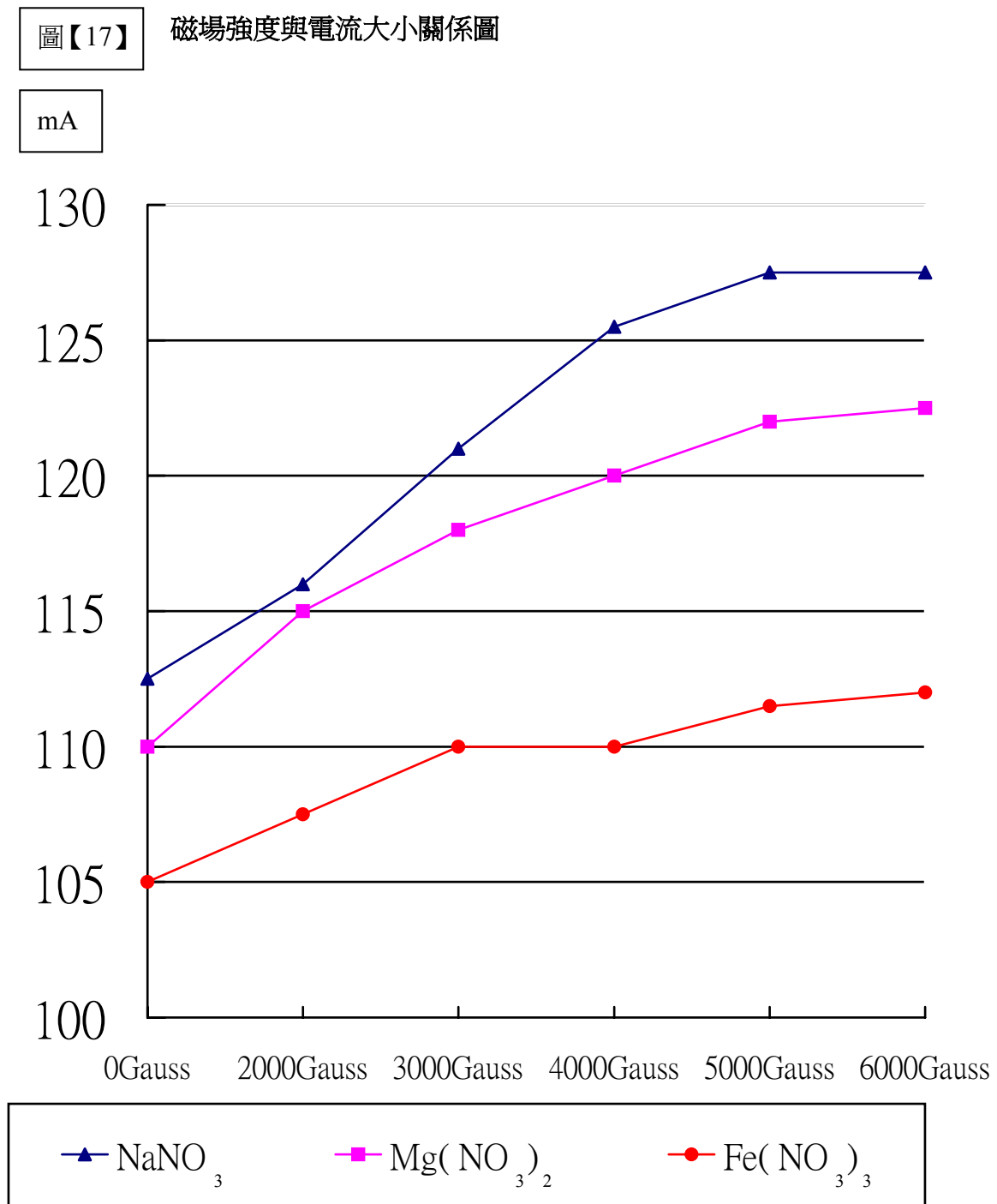
(2) 磁場與電場平行時，磁場強度對 NaNO_3 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 電解電流大小之影響。

表【12】

表【12】 磁場強度對電流大小之影響

V	高斯	mA		
		NaNO_3	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$
20.0	0	112.5	110.0	105
20.0	2000	116	115.0	107.5
20.0	3000	121	118	110
20.0	4000	125.5	120	110
20.0	5000	127.5	122	111.5
20.0	6000	127.5	122.5	112

將表【12】繪成圖形，如圖【17】。



(3)磁場與電場平行時磁場強度對 NaNO_3 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 電解反應速率之影響。如表【13】。

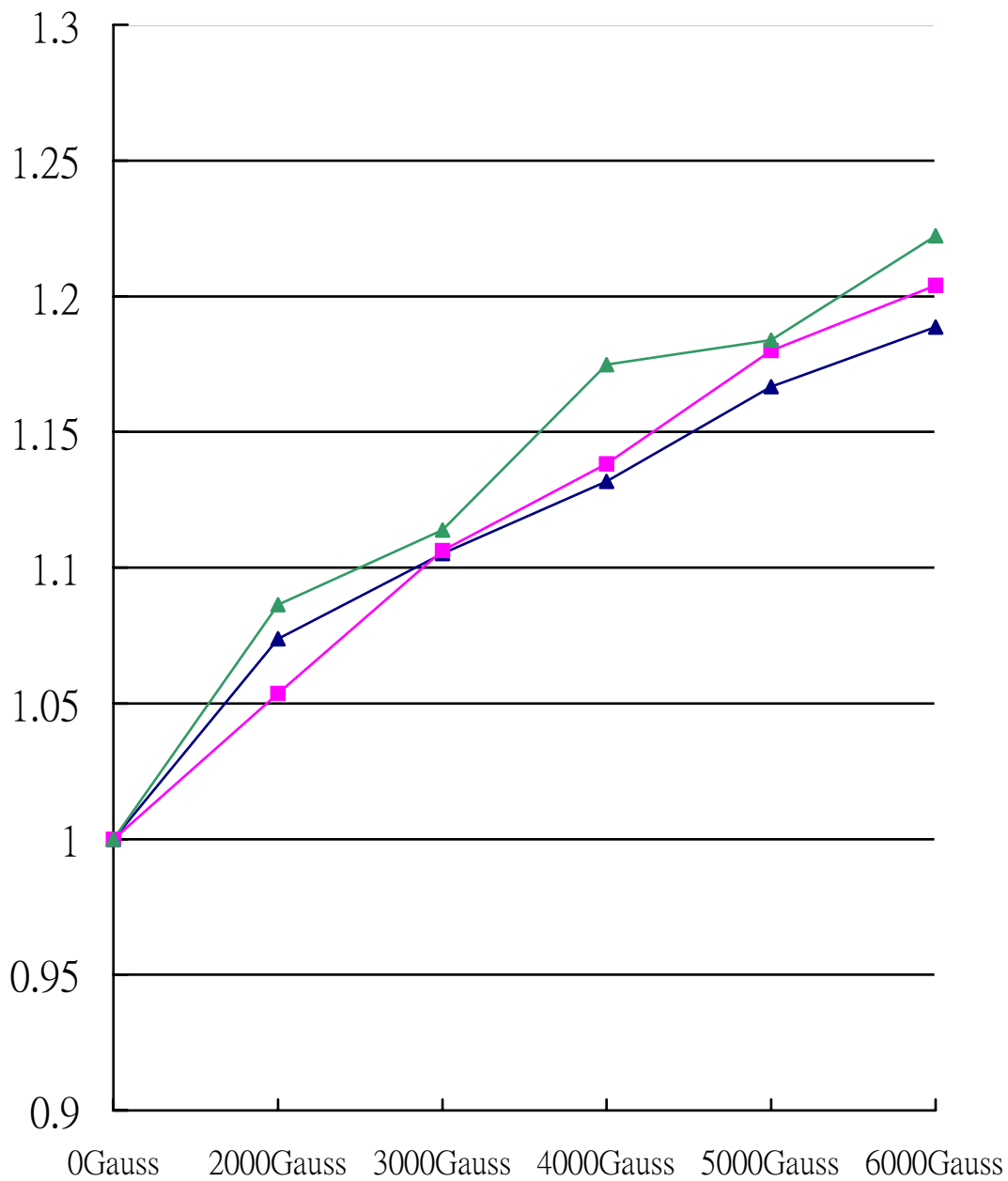
表【13】

磁場強度對反應速率之影響

V	高斯	反應速率		
		NaNO_3	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$
20.0	0	1.0000	1.0000	1.0000
20.0	2000	1.0738	1.0536	1.0864
20.0	3000	1.1052	1.1063	1.1139
20.0	4000	1.1317	1.1382	1.1748
20.0	5000	1.1666	1.1800	1.1838
20.0	6000	1.1887	1.2040	1.2222

將表【13】繪成圖形，如圖【18】。

圖【18】 磁場強度對反應速率之關係圖



▲ NaNO₃

■ Mg(NO₃)₂

▲ Fe(NO₃)₃

3. 電壓 20V、 KMnO_4 0.01M 溶液，磁場強度各約為 0、6000 高斯時。

(1) 磁場與電場平行時磁場強度對 KMnO_4 電流變化之影響。

如表【14】

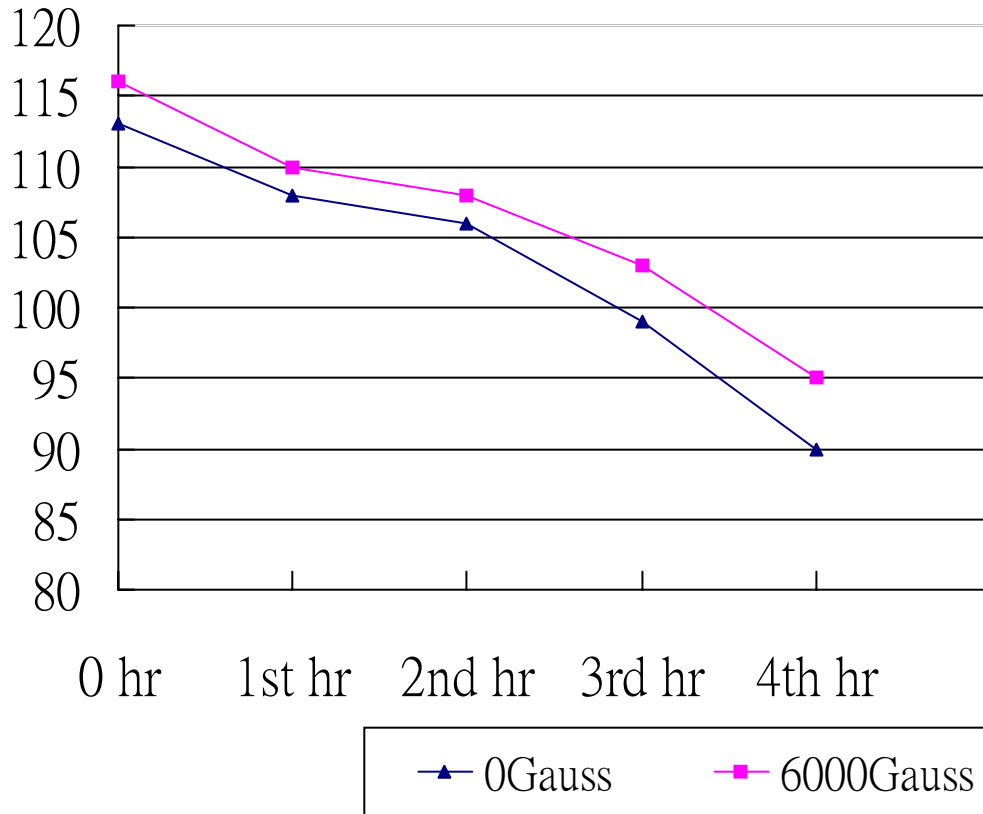
表【14】 磁場強度對電流變化之影響

V	高斯	電流變化 mA				
		0 hr	1 st hr	2 nd hr	3 rd hr	4 th hr
20.0	0	113	108	106	99	90
20.0	6000	116	110	108	103	95

將表【14】繪成圖形，如圖【19】。

圖【19】 磁場與反應時間之關係圖

電流大小 mA



六. 討論：

(一) 磁場強度對電解質溶液之電阻的影響：

由上表【8】、表【11】及圖【13】、圖【16】中可得知，反應時間在磁場 2000 高斯、3000 高斯、4000 高斯、5000 高斯、6000 高斯下，以磁場 6000 高斯所需電解時間為最短，也就是說，若電壓相同，且電解液濃度不變，依歐姆定律： $\text{電壓}=\text{電流}\times\text{電阻值}$ 。電阻值假設為相同時，則電壓固定，電流也應保持定值。但依表【9】、表【12】及圖【14】、圖【17】中可得知電流隨磁場強度之強弱而改變了。由圖【15】、圖【18】中發現磁場對不同的離子，也會有些不同幅度的改變，這個部分將留到後面作統整性的討論，話說回來，磁場對不同離子的影響，都有一個共同點就是，不同離子在越強的磁場下電解，其電流就越大，換言之就是，強磁場必定影響的整個電解液的電阻了。而且在圖【14】、圖【17】中可知電流大小與磁場大小的趨勢關係就類似一條不通過原點的線性函數。

(二) 磁場與電場所夾角度對反應速率的影響：

由上討論(一)中我們已討論到，反應時間在磁場 6000 高斯下，形成等量產物之所需電解時間為最短，推測若外加磁場與電極成平行時其反應速率最大，則由表【3】、圖【8】及表【6】、圖【11】中，可以得知當磁場同為 6000Gauss 時，即當電場與磁場所成角度 θ 為 0° 或 180° 時反應速率 R 值為最大，實驗中巨觀性的證明了假設的正確性，而當 θ 為 90° 或 270° 時磁場對反應速率 R 值的影響則在同磁場強度下是最小的，但我發現就算磁場的方向向量與電場垂直也仍會比未外加磁場時的 R 值還要大，在微觀的理論推測下，認為應該是在磁場與電場垂直的狀況下，其所造成平行方向之磁距最小所致，反之，就是說當為平行時磁距為最大，才會影響電解液，使電阻值變小，所以才會提升反應速率。而當 θ 為 45° 、 135° 、 225° 或 315° 時反應速率 R 值相近且介於 0° 至 90° 之間，若以之前的猜想推測，當磁場與電極成 45° 時，其磁距在平行方向的影響，剛好與表【3】、圖【8】及表【6】、圖【11】不謀而合。因此我的猜想應該是正確的。從觀察中發現，反應速率 R_{\max} 值出現在 θ 為 0° 或 180° ；反應速率 R_{\min} 值出現在 θ 為 90° 或 270° 時。 θ 對電解速率的影響與三角函數圖形中的 $\text{Cos } \theta$ 函數圖形相類似。

(三) 磁場強度與角度對 NaOH、KOH 兩種金屬氫氧化物影響之比較：

由表【1】及圖【6】可知在無外加磁場的情況下電解 NaOH、KOH 溶液，KOH 溶液產生相同量氫氣的時間比 NaOH 還要來的短，但以週期表來說，Na 在第三週期，K 在第四週期，則 K^+ 離子比 Na^+ 離子重，分子移動速度應該比較慢，我們猜測應該是因為 K 活性比 Na 大，由此推測，若是改由 K 原子溶於水中，使其形成 KOH，其使水解離成 H^+ 、 OH^- 的程度應該比等量 Na 原子溶於水中，其形成 NaOH 使水解離成 H^+ 、 OH^- 的程度還大，因此 2M 之 $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ PH 值(12.60)也就比 2M 之 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ PH 值(11.85)大，因此在無外加磁場的情況下 PH 值對電解反應速率的影響更勝過離子重量的影響。此時若再加入強磁場，就像同施予一相等的能量，防止電解液的極化。因此，即使外加了 6000Gauss 的強磁場，生成等量氣柱時， $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ 的速率仍會比 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 快。

(有關 PH 值與文獻之衝突，請見附錄)

有外加磁場時，磁場強度與角度對 NaOH、KOH 影響的趨勢幾乎相同，但仍以 KOH 略大，以 MHD 效應的角度來看， Na^+ 較輕，應該較好推動，提升的反應速率也應該較大，但事實上，水中的 H^+ 、 OH^- 皆會受到磁場感應，再嘗試過泡製 1L 的水中同時含有 1mole 的 KOH 和 1mole 的 NaOH，使其 PH 值介於兩者間，電解時間果然介於兩者之間，而我們都知道 PH 值取決於 H^+ 、 OH^- 的離子濃度在此三個實驗中，PH 值愈大， OH^- 離子愈多，表示解離程度愈大。在討論（一）中我們說道：「離子移動速率隨磁場強度變大而增加。」這是否在暗示我們離子數增多而影響幅度變大呢？試想，巨觀的結果乃是由微小的因素所造成，離子數越是多，可感應磁場的效果自然就越好，我們可以知道電解速率可隨 PH 值增加而增加，同時受 PH 及 MHD 效應的影響，使反應速率加快。

（四）磁場強度與角度對 NaNO_3 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 三種不同價數金屬硝酸物的影響：

磁場對硝酸根系、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 離子化合物的影響的比較變得較不規則，但我們發現離子價數的確會影響反應速率。從中可知在有外加磁場的狀況下，如表【6】及圖【11】中可以看出電解效率 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 > \text{NaNO}_3 > \text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ，但由於 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 的情況極為特殊，其電流在兩分鐘內降至不到 10mA，電解的時間也長，所以其誤差也較大，不得已下，只好選擇了同價數的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 來比較，如圖【11】所示，電解效率 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 > \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 > \text{NaNO}_3 > \text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ，價離子最高的 Fe^{3+} 大於 Mg^{2+} 大於 Na^+ ，所以我推測，【金屬離子價數越高、對磁場的感應也將越大】，但因 NO_3^- 離子電解時彼此有差異(如 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 電解時負極也有氣體產生，其他三者則無)，加上 Fe^{3+} 為 B 族離子，價數雖同，但與我原先所希望差異小的同週期已相差頗多。另外有一個自己的猜想，就是 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 在水中可以解離成 Al^{3+} 及 NO_3^- 而 Al^{3+} 若是與水產生 $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 水合離子 ($\text{Al}^{3+} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$)，那移動速率就要低的多了。若是強磁場可減少這種可能，就使得整個巨觀實驗正常多了。但我沒有任何儀器可以驗證，亦沒有搜尋到任何徒手實驗驗證法，日後也許因緣際會能使我想到或找到有關的研究。

(五) 強磁場下電解 KMnO_4 對電流變化的影響：

當電解 $\text{KMnO}_4(\text{aq})$ 時，因過錳酸鉀的溶解度低，室溫下 0.01M 的溶液已趨近飽和，如果電壓調為較低的伏特數，電流的變化就不夠顯著，因為我們主要是觀察電解反應進行時，磁場與電流變化的趨勢，所以選擇以 20 伏特為電解電壓，在這種電壓下，即使是結合力強大的過錳酸根離子也可能崩解產生複雜的副反應，任何可能的氧化還原反應也許也會發生，就不會像文獻記載的純粹電解水那麼簡單了，在附錄中我作了幾個簡單的定性分析實驗，以證明電阻的來源是 MnO_4^- 分解產生的 MnO_2 。

電解反應進行的過程中電阻值因 MnO_2 之產生，而隨反應時間漸漸變大。由表【14】及圖【19】中，我們知道在外加磁場 6000Gauss 下電流改變趨勢雖與無外加磁場相似，但很明顯的磁場提高了電解反應的電流，就這個部分已達成了目的。

(六) 問題探討：

1. 為何使用永久磁鐵為磁場來源，而不使用較均勻電磁場呢？

Ans：若是能使用均勻的電磁場對於做更精密的研究固然是可以得到更好的效果，但若是如此，則有以下三項缺點。

- (1) 電磁解的線圈體積大且笨重。
- (2) 需使用高壓電為電源。
- (3) 兩次耗能，且虛耗量大。

我認為有以下可行的方法，尤以需避免再次耗能為主要出發點。

- (1) 擬在我能力可及後，學習燒結、壓製超導體線材的方法，利用超導體的反磁性，且電阻為零的特性，則只需消耗液態氣體，但目前而言，高溫超導研究仍在進行，所知的材料要成為超導體也要零下數十 $^{\circ}\text{C}$ ，所以不合適。
- (2) 若改以使用永久磁鐵：一、具磁性不會消失，可不必外加能源。二、其強度穩定，雖其磁力線分布較電磁場亂，但以測磁儀測定若干點後取其平均值，若平均值越大，表磁力線密度也越大，場效也就越大；最後永久磁鐵具有體積小、重量輕、方便使用的優點。

綜合以上各點，我認為使用永久磁鐵，具有免耗能、高穩定、方便使用的優點，較適合應用於工業上。

2.爲何在做實驗前，需先放在強磁場下 30 分鐘才開始電解，不能馬上電解嗎？

Ans：在我做研究時，引進了一個很重要的概念，就是“MHD 磁流動效應”它的解釋是：離子在溶液中受強磁場影響時，其程度將勝過擴散的速率。因此在作實驗時，爲求客觀性，則定其置於磁場 30 分鐘時，開始電解至氫氣柱達 15ml 時，中止，所用去的時間爲反應時間。若是一開始即電解的話，則反應時間。若是一開始即電解的話，則反應時間將拖長一些，但仍比不外加強磁場還要來得快。同理其反應時間隨在強磁場放置時間越久也就越短。

3.電解反應所需時間僅以氫氣柱達 15ml 爲標準，爲何不用氧氣柱爲標準呢？

Ans：在自製的反應容器中，針筒內體積所能達到最大量值爲 35ml，而以液面不低於 T 型管及碳棒爲首要，其安全範圍則約爲 25ml，所以乃取氫氣柱 15ml 爲佳。若是需取氧氣並非不可，但氧氣量需以較少量來比較反應速率，但有時可能不只產生一種反應，因此氧氣重與氫氣柱的比值可能更小，則氫氣柱若是低於 T 型管，則使 T 型管內有氫氣，減少了截面積及離子流動數目，將使實驗失去意義。

七. 結論：

(一) 在電解反應中不同磁場強度與反應速率的關係：

本報告探討的電解反應中以鹼金族氫氧化物的電解最為規律，也是今日工業電解最常用的兩種電解質。

我發現磁場強度對電解反應速率的影響呈線性關係，也就是說，磁場強度越大，反應速率就越快，關係式為：

R(實驗速率) - R₀(正常速率) 正比於 H(磁場強度)

(二) 在電解反應中不同磁場角度與反應速率的關係：

電場是由電荷所產生的，而磁場是由電荷運動的產物，誠如安培假設磁性物質的磁場，是由分佈在磁性物質內部的永久性環流所建立的。且自然界中尚未發現對應於磁荷的電荷，因此將磁場反轉 180° 時並不會造成反效果，由實驗應證亦為如此。又由實驗得知當磁場與電場平行時所得 R 值為最大，垂直時為最小，R 值應與 $\cos \theta$ 有相當的關聯性。其具有向量性質，所以原子或離子磁距大小，即其所有電子產生的磁距向量和。得到下列關係式：

R(實驗速率) - R₀(正常速率) 正比 H(磁場強度) × |cos θ|

電場強度增加時對同狀態之電解質溶液之電解速率必然增大。由法拉弟定律：

析出物質量 $m =$ 比例常數 $Z \times$ 電流強度 $|E| \times$ 時間 $t \rightarrow (a)$

可知電解速率必正比於 $|E|$ ，且 $m =$ 總電解速率 $R \rho \times$ 時間 t

將(a)代入法拉弟電解第一定律可得：

$$R \rho = \text{比例常數 } Z \times \text{電流強度 } |E|$$

然而因為磁場內磁力線並不相交，且磁力線並非全都平行於電場，應用上述磁力僅作用於平行於電場的分量造成電解速率之改變。所以電解速率應為磁場內所有磁力線作用於電場平行方向的積分：

$$\int \langle |H \text{ 向量}| \times |\cos \theta| \rangle$$

又由實驗得知當磁場與電場平行時所得 R 值為最大，垂直時為最小，R 值應與 $\cos \theta$ 有相當的關連性。其具有向量性質，所以原子或離子磁距大小，即其所有電子產生的磁距向量和。

因此即使磁場與電場相垂直仍可加快反應速率，不會因 $\cos 90^\circ = 0$ 而使反應速率之值為 0，而使邏輯上矛盾。

若不考慮磁場與電場以外的因素下，可求得：

$$\text{電解速率 } R \rho = k \times \int \langle |H \text{ 向量}| \times |\cos \theta| \rangle \times |E \text{ 向量}|$$

k 為比例常數，單位的求法由上式左右同乘以反應時間 t 可得：

$$t \times R \rho = m = k \times \int \langle |H \text{ 向量}| \times |\cos \theta| \rangle \times |E \text{ 向量}| \times t$$

所以 k 的單位即： $g / C \cdot \text{weber} \cdot s$

(三)磁場強度對不同價數金屬離子 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 關係：

在電解反應中，取不同價數離子，發現金屬離子的電解效率的確有隨著價數增高而略為增快的情況， $\text{Fe}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Al}^{3+}$ ，但 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 的電解效率幾乎降低到趨近於零，所以其誤差也大，我懷疑 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 在電解反應中可能會產生其他物質，而嚴重影響其導電度，因為我們所要探討的是價數，所以我選擇了同價的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 來操作，另外由於 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 電解時，產生的產物與 NaNO_3 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 並不完全相同，B 族的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 和其他三者也有差異，因此我不能完全肯定地確定他們的關聯。

(四)磁場強度對鹼金族離子 Na^+ 、 K^+ 的關係：

電解反應中， K^+ 離子雖比 Na^+ 離子還重，但 KOH 之解離度比 NaOH 大，因此 PH 值對在外加磁場下電解 KOH 、 NaOH 之反應速率的影響佔了絕大比例，遠大於其原子量的影響，也就是說較強的電解質，其對磁場的感應也越大，如果就同一族而言，往下其活性越強，對磁場的感應也越強。

(五)磁場中各離子互不影響

在比較 2M 的 KOH 、2M 的 NaOH 、和 1L 中含有 1mole KOH 和 1mole NaOH 的混合液的數據，發現各離子在不發生化學反應下，其受磁場的感應和其未混合一樣，並未有加成性，而整體的速率取決於各離子的總向量和。

※ 結語：本研究希望將其成果推展到工業上以提高產率，磁場的來源雖以電磁場較好控制，但過於耗能，因而使用永久磁鐵也可避免再次耗能，可使生產速率提高，節省時間，再加以前人的研究，以達到最佳狀態，因此我認為將磁場運用於電化學工業的確是可行的。

八. 參考文獻：

1. 方金祥 著 《微型化學實驗之設計與製作》高雄復文圖書出版社
2. 林雲海 著 《電磁學》(二版) 銀禾文化出版 74 年 10 月
3. 田福助 著 《電化學—基本原理與應用》(四版) 高立圖書出版 79 年 8 月
P.1~77
4. 段木干 主編 《物理大辭典》(初版) 人文出版社 69 年 4 月
5. 孫又予 著 《微波電路學-電磁理論》(初版) 國立編譯館 81 年 3 月 P.16~55
6. 曾國輝 著 《化學》(二版) 藝軒圖書出版社 75 年 1 月 P.789~795

附 錄

(一) NaOH 與 KOH 溶液在 2M 時 PH 值的探討：

實驗時，我發現電解 KOH 的電解速率比電解 NaOH 的電解速率大，在好奇心的驅使下乃以同為 2M 的溶液，測其 PH 值，發現 KOH 的 PH 值比 NaOH 的 PH 值大，然而文獻均指出此兩種化合物為百分之一百解離，以下為一般計算 PH 值的方法——

2M 的 KOH、NaOH 溶液中，因為 KOH、NaOH 是 100% 游離，所以假定 $[OH^-]=2M$

$$\text{因為 } K_w=[H^+][OH^-] \rightarrow [H^+]=\frac{K_w}{[OH^-]}$$

$$\Rightarrow [H^+]=\frac{1.00 \times 10^{-14}}{2} = \frac{1}{2} \times 10^{-14}$$

$$PH = -\log \frac{1}{2} \times 10^{-14} = -\log \frac{1}{2} + 14 = \log 2 + 14 = 14.301$$

因為剛開始的 PH 值比較實驗較為簡約，且與空氣接觸的時間較長，以往的實作經驗中此兩離子化合物的溶液很容易吸收空氣中的二氧化碳，而影響實驗的結果，公信力不足，因而設計了以下實驗，希望能盡量達到隔絕空氣的效果。

Abstract

The purpose of this study is to explore the effect of magnetic field on the rate of electrolysis in various electrolyte aqueous solutions.

A series of electrolyte, such as KOH, NaOH, NaNO₃, Fe(NO₃)₃, Al(NO₃)₃, Mg(NO₃)₂ and KMnO₄ were used in this study. The major equipments were graphite bar, the tube with switch, hypodermic syringe and T-shape aqueduct. They were designed by the ideal of micro chemical experiment. The rate of electrolysis reaction were measured by the volume of cathode gas (H₂) produced in the 2M aqueous solution while KMnO₄ in 0.05M.

The flowing rate of Metal ion changes in magnetic field slightly. The influence of magnetic field is especially remarkable as in a very high field strength, name as Magneto hydrodynamic Effect (MHD), which gives rise to ionic flowing all over the electrolyte. This flowing rate is superior to expanding rate. Further more, basing on the magnetic torque' s vector is the trait of this research.

The results of this study found:

First, A relative formula of the rate of electrolysis reaction was formulated as following,

$$R\rho = k \times \int \langle | \mathbf{H} | \times | \cos \theta | \rangle \times | \mathbf{E} | \quad (k : g / C \cdot \text{Weber} \cdot s, H : \text{Weber}, E : C)$$

Second, electrolysis reaction could be accelerated by increasing the electronic change of ions. This study also found that the strong electrolytes got the strong effect of magnetic field.

1. Introduction

Recently, electrolysis has been used to produce many kinds of merchandise, though the slow rate of electrolysis reaction is the critical problem. Thus, many studies try to find effective ways to promote electrolysis rate. However, these researches neglect the effect of magnetic field. Compare with some current electrochemistry researches, this study run the electrolysis reaction in a magnetic field, and concern the change on the rate of the reaction.

1.1 Aims of study:

- A. The magnetic field can produce “magnetic moment ” that give this study an idea that from changing the electrolysis rate could be changed weather the whole “ electrical resistance ”.
- B. Changing the angles θ between the ions flowing way and magnetic poles may have some relationship with changing the electrolysis rate. (angle θ shows in figure 5 .)
- C. Under the constant angle θ , what is the relationship between electrolysis reaction and magnetic field.
- D. The different metal ions (Na^+ , K^+ , Fe^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+} and MnO_4^-) in electrolyte solution might have some relationship with electrolysis rate in magnetic field.

1.2 Equipments and Chemicals:

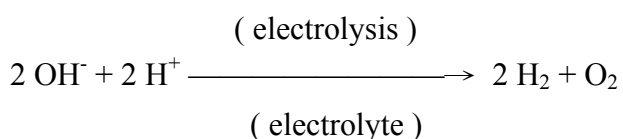
- A. The equipments :
 - a. Hypodermic syringes, 3ml, 35 ml, 60 ml.
 - b. Electronic balance.
 - c. The T shape tube.
 - d. The tube with switch.
 - e. The Graphite stick
 - f. The Strong magnet
 - g. The iron board in L shape.
 - h. The pH meter.
 - i. The Volt and Ampere meter.
 - j. The magnetic meter.
 - k. The DC power supplier.
 - l. The cylinder in 250 ml

B. Chemicals :

- a. NaOH (MW = 40.0)
- b. KOH (MW = 56.1)
- c. NaNO₃ (MW = 85.0)
- d. Mg(NO₃)₂ · 8H₂O (MW = 256.4)
- e. Al(NO₃)₃ · 9H₂O (MW = 375.1)
- f. Fe(NO₃)₃ · 9H₂O (MW = 404.0)
- g. KMnO₄ (MW = 158.4)

2. Theories :

- 2.1 The “magnetic moment” is a “vector”. Based on to the explanation of quantum mechanics, the magnetic moment comes from “electron spin” and “the motion of electron”. The experimental evidences show the positive relationship of the magnetization material in magnetic field.
- 2.2 The Ohm’s Law : $V = I R$, (V: Volt , I : Ampere , R : Ohm)
- 2.3 The Faraday First Law of Electrolysis : $M = Z Q = Z I T$, (M : gram , Z is a constant of electrochemical equivalent , $Z = E / F$ and unit of measurement : g / C, T : second)
- 2.4 The explanation of MHD (magneto hydrodynamic) effect : The flowing rate of metal ions change slightly in the magnetic field, and this influence is especially remarkable under a very strong magnetic force, which will raise the ionic flowing all over the electrolyte. This flowing rate is superior to expanding rate.
- 2.5 The Chemical Equation :



3. Experimental Procedures:

Step 1. Get the suitable graphite stick from dry cells, the T shape tube and the tube with switch and 35 ml hypodermic syringes and assemble the electrolysis cell, as the figure1 and 2.

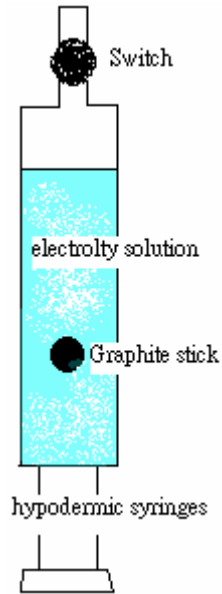


Figure 1: The side graph of cell A

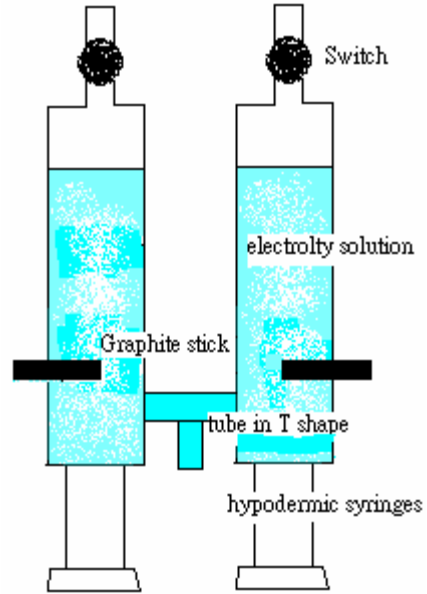


Figure 2, The front graph of cell A.

Step 2. Drilling two holes about 3 cm distance on the acrylic board and put two suitable graphite stick into that holes, this is named as the electrolysis cell B, as figure 3.

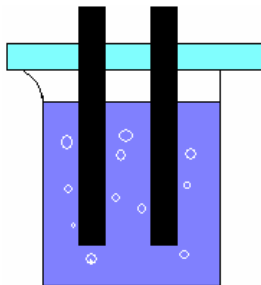


Figure 3: The vertical section of cell B

Step 3. Adjust the DC power supplier with suitable voltage by the Volt and ampere. Preparing the following solution There are kinds of solution NaOH 2M, KOH 2M, NaNO₃ 2M, Mg(NO₃)₂ 2M, Al(NO₃)₃ 2M, Fe(NO₃)₃ 2M, KMnO₄ 0.01 M. Keep those solutions from the air over ten minutes and let it as cool the room temperature of the room about 25°C ~ 30°C. Then use the 60 ml hypodermic syringes to inject the solutions in the cell A and the KMnO₄ solution in the cell B. Let the cells A and B stand in the magnetic field 30 minutes then open the switch of DC power supplier. The ordinary designed photo as figure 4, and the angle θ as figure 5.

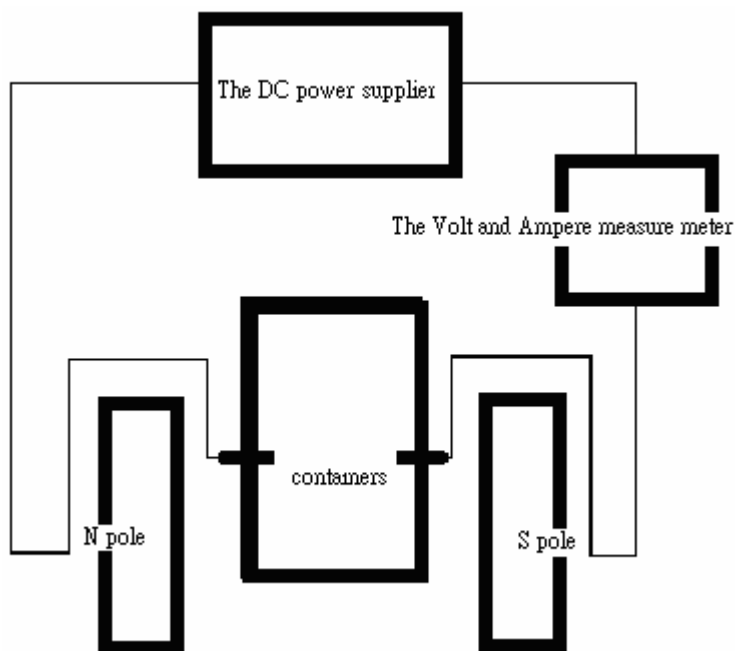


Figure 4 : The ordinary designed photo.

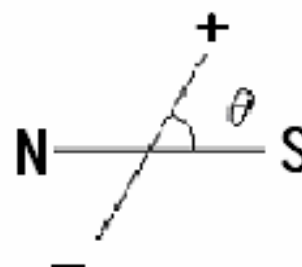


Figure 5 : The angle θ graph

Step4. Run a contrast experiment without the strong magnetic field. Record the voltage, ampere and the reaction time at the hypodermic syringes of H_2 gas reaching a defined volume. Then calculate the electric resistance and the rate of electrolysis from the equation,

$$* \text{ reaction rate} = \text{weight of production} / \text{time} \quad , \quad (\text{ml} / \text{s})$$

Redefinition of the rate of reaction:

This study defined the electrolysis rate as follows.

$$* \quad R' = DR / NR = NT / DT$$

The symbols NR and NT in this equation indicate the rate and the reaction time of natural experiment, and the symbols DR and DT in this equation indicate the rate and the reaction time of designed experiment. Because of NR and DR measuring the same volume of production, this study renewed the definition to calculate the R' with NT and DT. Besides, the change of the rate can be easily observed. Then the values exactly reflect the promotion percentage of the rate.

Controlling the experimental factors:

- A. The effect of “ θ ” on the rate of electrolysis: Changing the angle “ θ ” as 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° with a constant strength of magnetic field about 6000 Gauss. 30 minutes latter, switch on the DC power supplier. In these study, set the ending of the reaction as the volume of H_2 in KOH, NaOH tube at 15ml; $NaNO_3$, $Mg(NO_3)_2$, $Fe(NO_3)_3$ tube at 5ml and $Al(NO_3)_3$ 2M tube of H_2 at 1ml, because it is not easy to run that the rate of production lower than the above for us.
- B. The effect of strength of magnetic field on electrolysis rate: Set up the magnets to product the strength of magnetic field that there were about 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 Gauss. When the θ fixed in 0° , this study repeat the same process as the last act in A instead of the strength of magnetic field.

In this experiment, stand the solution $KMnO_4$ that the concentration was 0.01M in the strength of magnetic field about 6000 Gauss then turn on the switch of the DC power supplier. Recording the Ampere every one hour and ended the experiment after four hours.

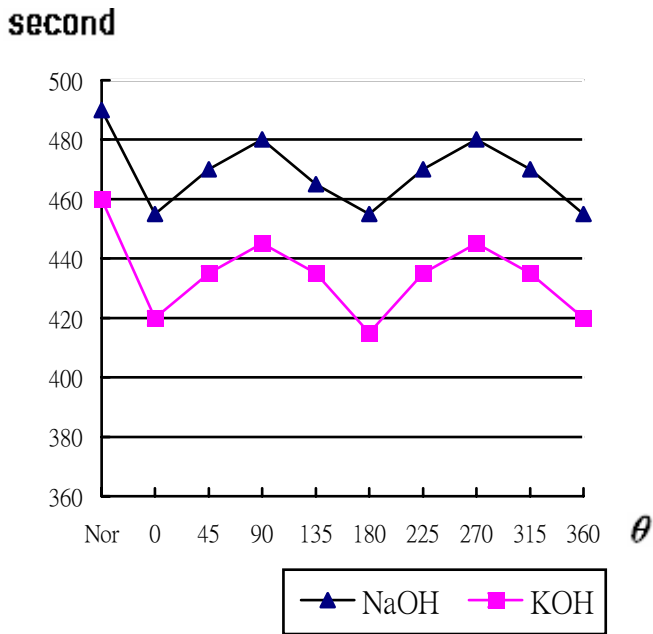
4. The Tables and Figures of The Results :

4.1 The Experiment of A :

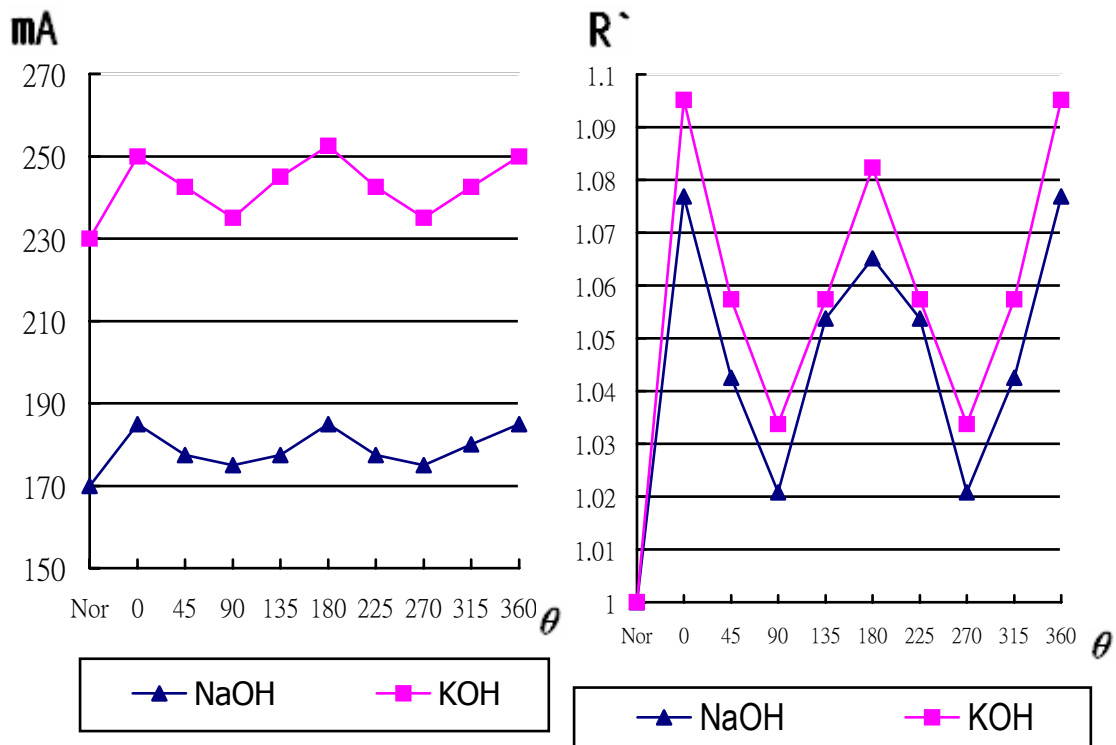
Table 1 : the reaction time ,electrolysis current and the R' of NaOH and KOH solution, at constant voltage 20 V ,and changing factor “ θ ” and all .

Gauss	θ	reaction time (Second)		mA		R'	
		NaOH	KOH	NaOH	KOH	NaOH	KOH
0	0	490	460	170.0	230.0	1.0000	1.0000
6000	0	455	420	185.0	250.0	1.0769	1.0952
6000	45	470	435	177.5	242.5	1.0425	1.0574
6000	90	480	445	175.0	235.0	1.0208	1.0337
6000	135	465	435	177.5	242.5	1.0537	1.0574
6000	180	460	425	185.0	252.5	1.0652	1.0823
6000	225	465	435	177.5	242.5	1.0537	1.0574
6000	270	480	445	175.0	235.0	1.0208	1.0337
6000	315	470	435	180.0	245.0	1.0425	1.0574

Figures 6-8 were calculated from the data in Table 1.



Figures 6 : the relationship between θ and reaction time .



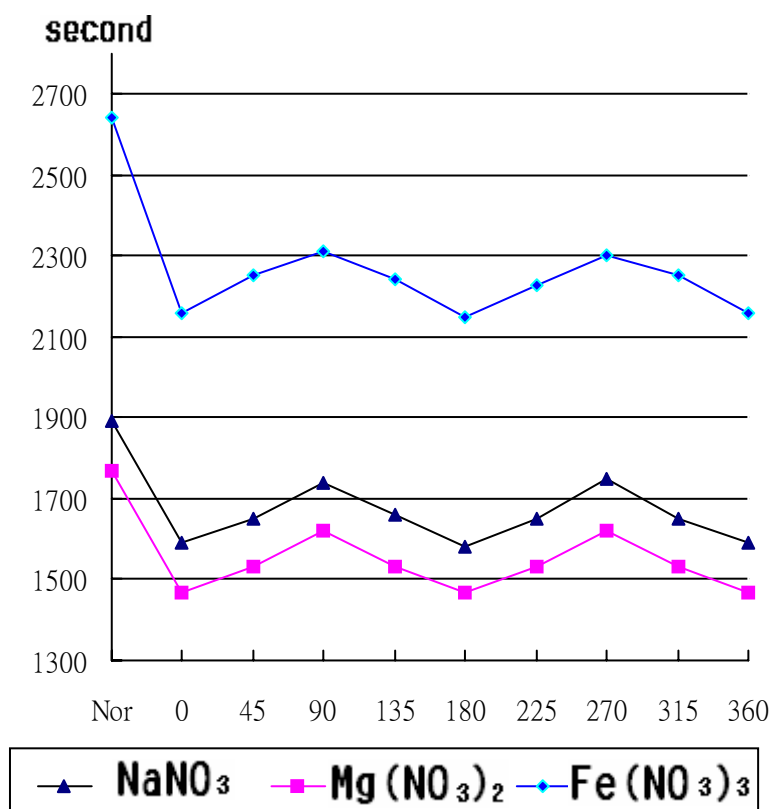
Figures 7: the relationship between θ and electrolysis current. (the Left)

Figures 8: the relationship between θ and R' . (the Right)

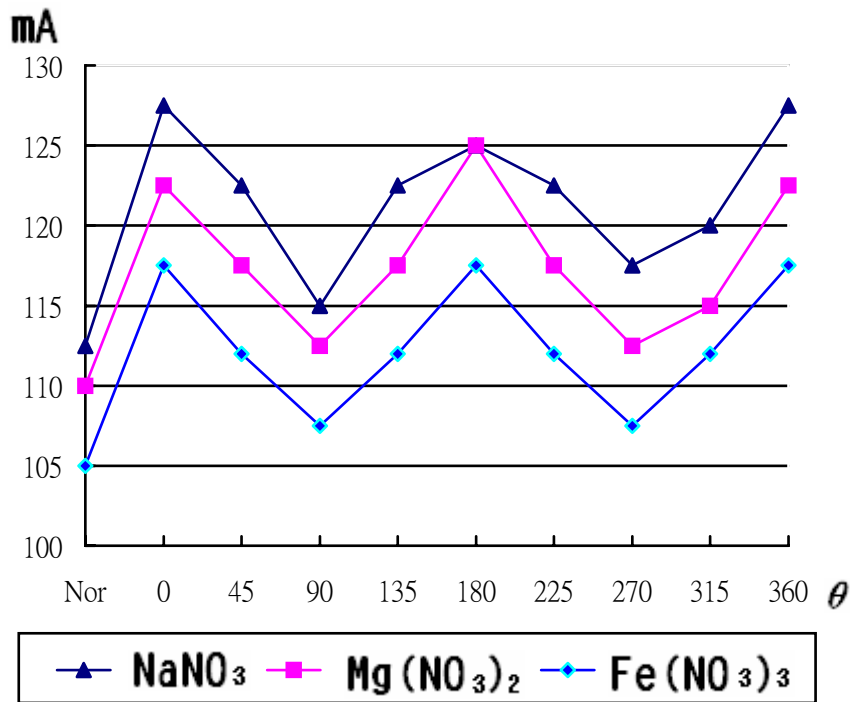
Table 2: The reaction time, electrolysis current and the R' of NaNO₃, Mg(NO₃)₂ and Fe(NO₃)₃ solution, at constant voltage 20 V and changing factor “ θ ” .

Gauss	θ	reaction time (Second)			mA			R'		
		NaNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Fe(NO ₃) ₃	NaNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Fe(NO ₃) ₃	NaNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Fe(NO ₃) ₃
0	0	1890	1770	2640	112.5	110.0	105	1.0000	1.0000	1.0000
6000	0	1590	1470	2160	127.5	122.5	117.5	1.1887	1.2040	1.2222
6000	45	1650	1530	2250	122.5	117.5	112	1.1455	1.1568	1.1733
6000	90	1740	1620	2310	115.0	112.5	107.5	1.0862	1.0925	1.1429
6000	135	1660	1530	2240	122.5	117.5	112	1.1386	1.1568	1.1786
6000	180	1580	1470	2150	125.0	125.0	117.5	1.1962	1.2012	1.2279
6000	225	1650	1530	2230	122.5	117.5	112	1.1455	1.1568	1.1839
6000	270	1750	1620	2300	117.5	112.5	107.5	1.0800	1.0925	1.1478
6000	315	1650	1530	2250	120.0	115.0	112	1.1455	1.1568	1.1733

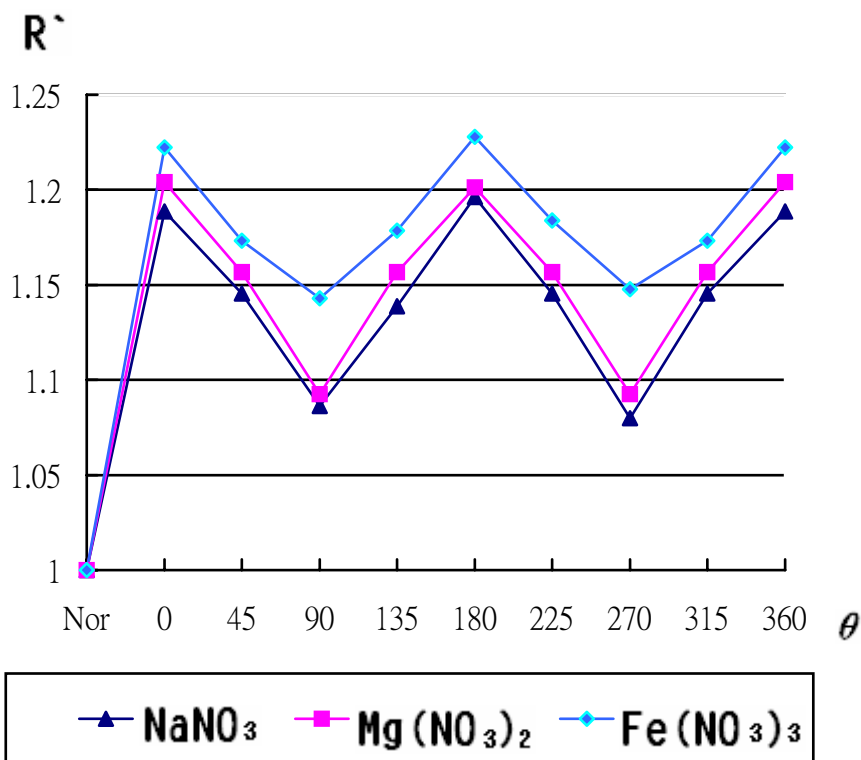
Then the data in Table 2 were used to produce Figures 9-11.



Figures 9 : the relationship between θ and reaction time .



Figures 10: the relationship between θ and electrolysis current



Figures 11: the relationship between θ and R'

4.2 Experiment B:

Table 3: the reaction time, electrolysis current and the R' of NaOH and KOH solution, used the voltage always 20 V and changing factor “strength of magnetic field”.

Gauss	reaction time (Second)		mA		R'	
	NaOH	KOH	NaOH	KOH	NaOH	KOH
0	490	460	170.0	230.0	1.0000	1.0000
2000	485	455	172.5	232.5	1.0103	1.0110
3000	475	450	177.5	235.0	1.0315	1.0222
4000	470	440	180.0	240.0	1.0425	1.0454
5000	465	430	182.5	245.0	1.0538	1.0698
6000	455	420	185.0	250.0	1.0769	1.0833

Then the data in table 3 were used to produce the Figure 12-14.

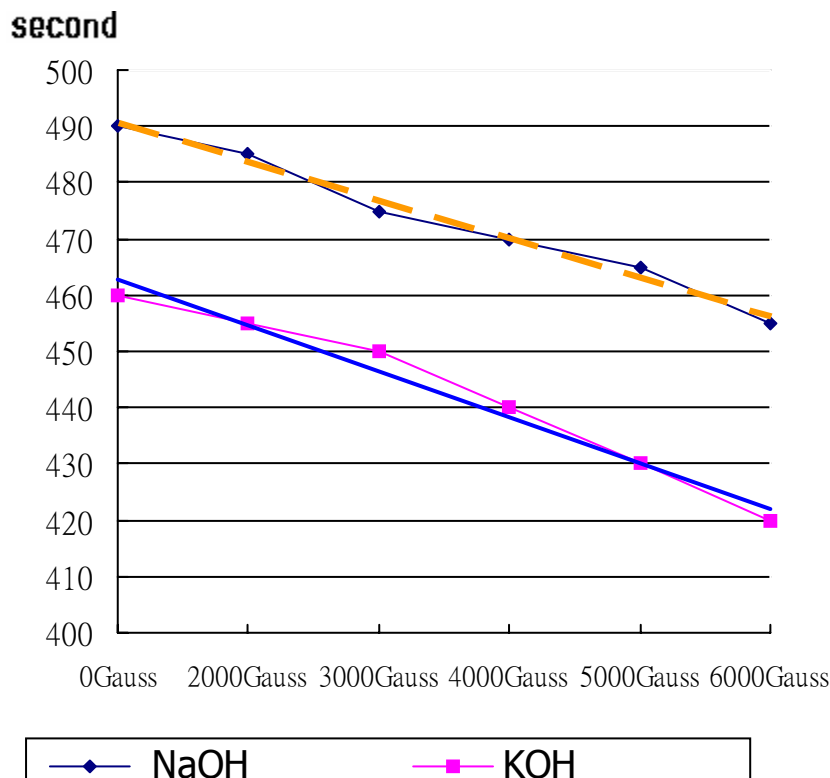


Figure 12: the relationship between the strength of magnetic field and reaction time.

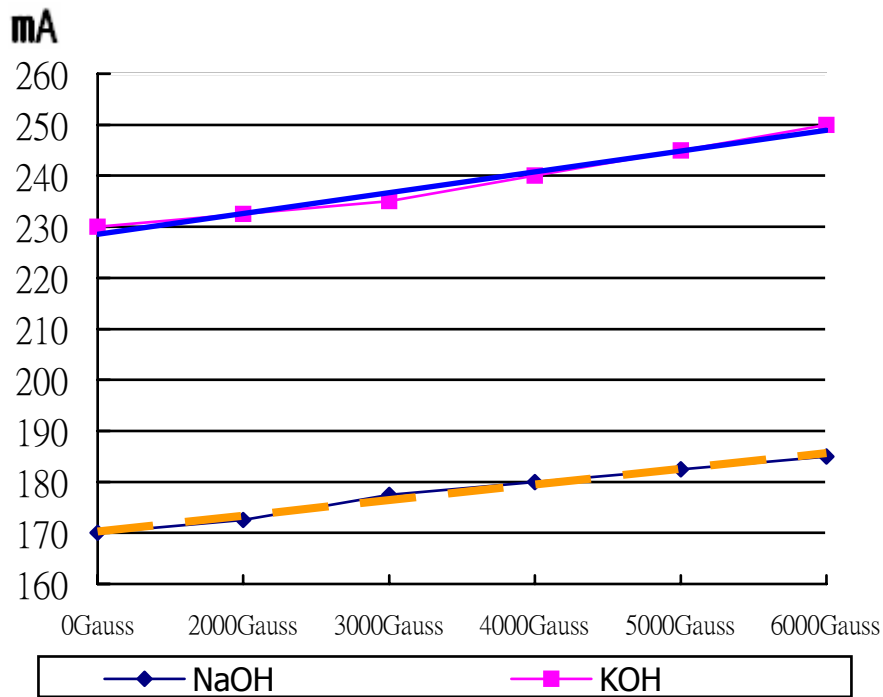


Figure 13: the relationship between the strength of magnetic field and electrolysis current.

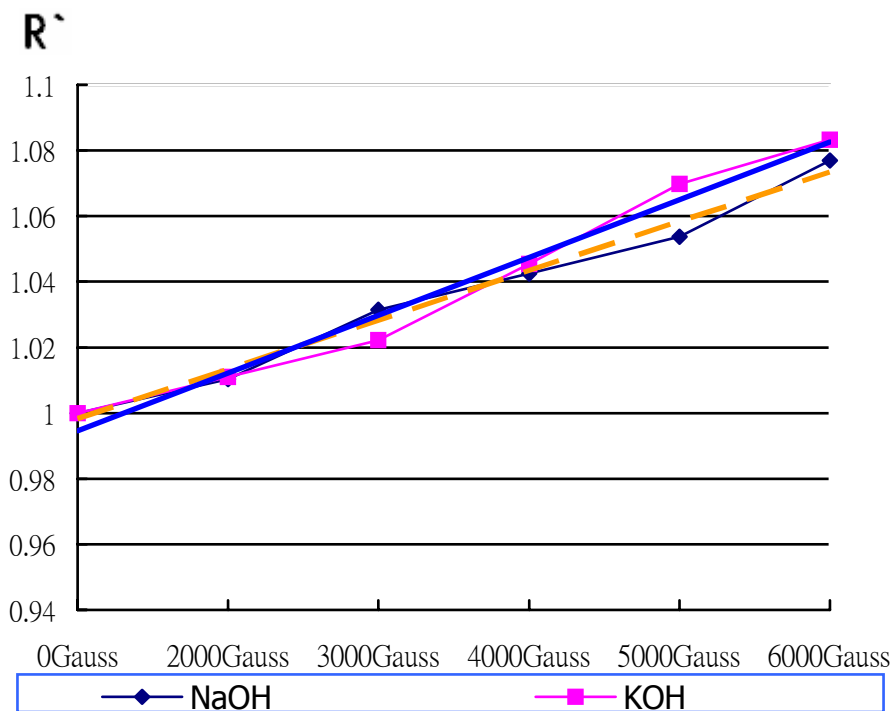


Figure 14: the relationship between the strength of magnetic field and R'.

Table 4: the reaction time, electrolysis current and the R` of NaNO₃, Mg(NO₃)₂ and Fe(NO₃)₃ solution, under the constant voltage 20 V and changing factor “strength of magnetic field ”

Then the data in table 4 were used to produce the Figure 15-17.

Gauss	reaction time (Second)			mA			R`		
	NaNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Fe(NO ₃) ₃	NaNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Fe(NO ₃) ₃	NaNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Fe(NO ₃) ₃
0	1890	1770	2640	112.5	110.0	105	1.0000	1.0000	1.0000
2000	1760	1680	2430	116	115.0	107.5	1.0738	1.0536	1.0864
3000	1710	1600	2370	121	118	110	1.1052	1.1063	1.1139
4000	1670	1555	2300	125.5	120	110	1.1317	1.1382	1.1748
5000	1620	1500	2230	127.5	122	111.5	1.1666	1.1800	1.1838
6000	1590	1470	2160	127.5	122.5	112	1.1887	1.2040	1.2222

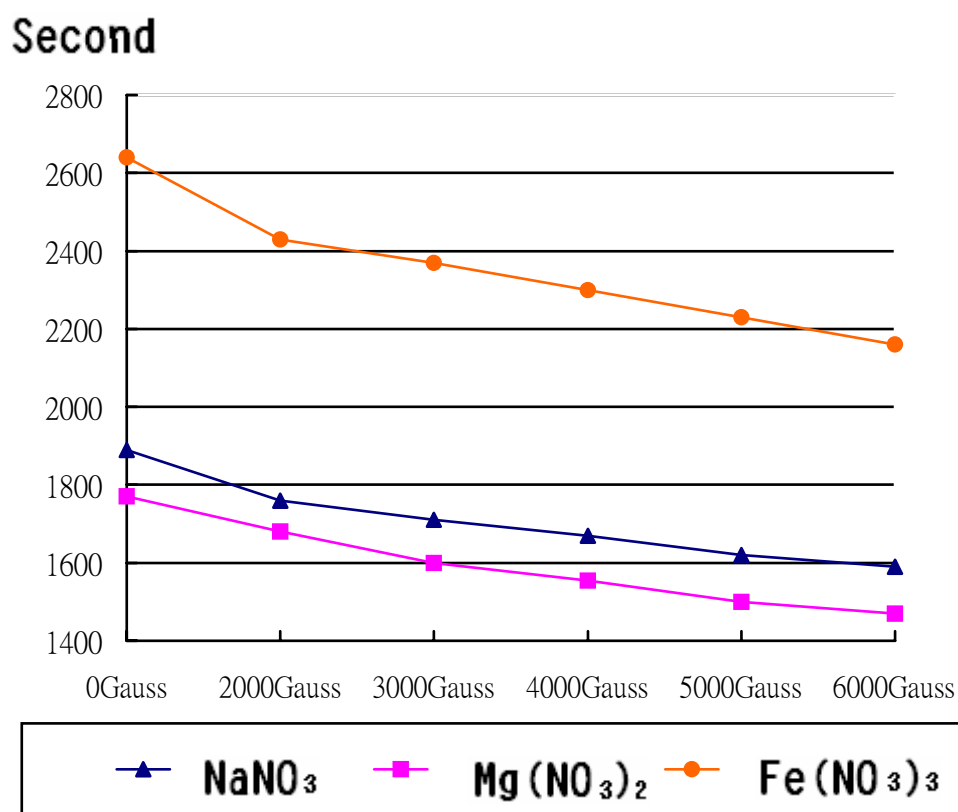


Figure 15: the relationship between the strength of magnetic field and reaction time.

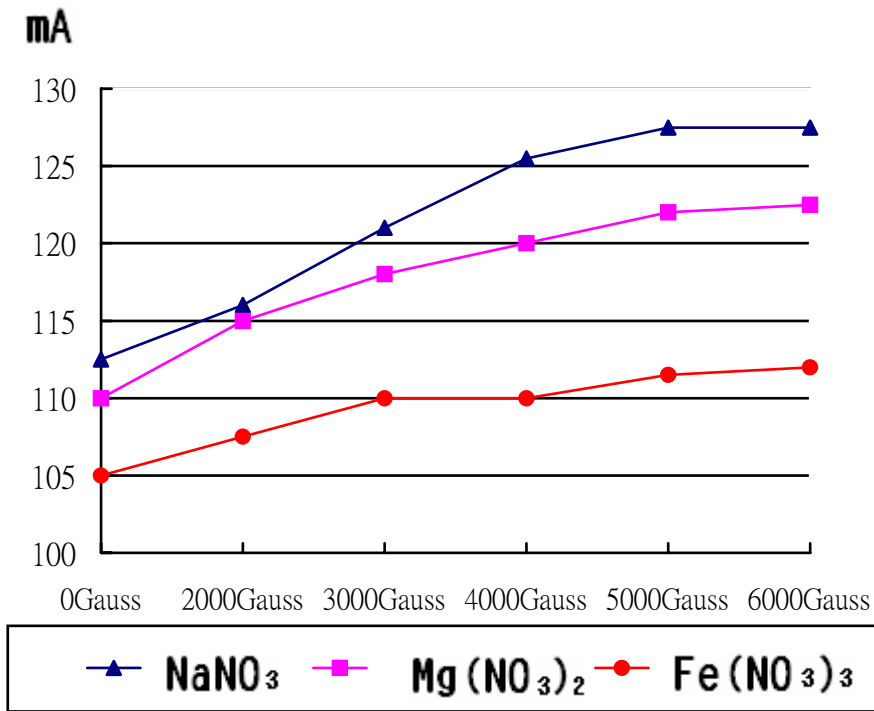


Figure 16: the relationship between the strength of magnetic field and electrolysis current.

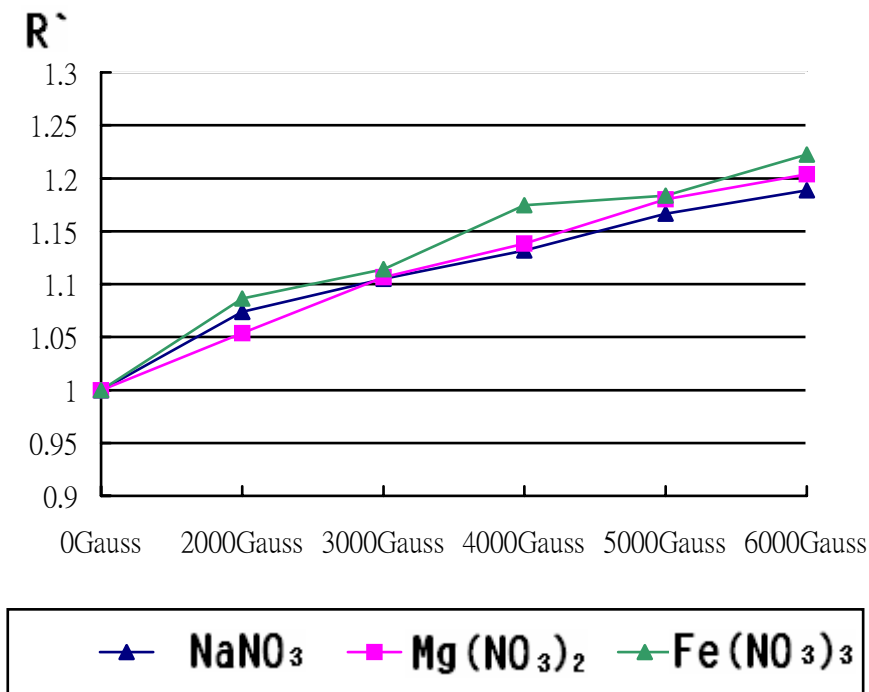


Figure 17: the relationship between the strength of magnetic field and R' .

Table 5: The electrolysis current changed with time in $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ solution under the constant voltage 20 V and changing factor “strength of magnetic field”

Then the data in table 5 were used to produce the Figure 18.

Time(Second)	(mA)	
	0Gauss	6000Gauss
0	0	0
15	85.0	87.0
30	82.5	85.0
45	82.5	82.5
60	80.0	77.5
75	65.0	72.0
90	47.5	57.5
105	22.5	40.0
120	7.5	25.0
135	5.0	15.0
150	5.0	7.5
165	5.0	7.5

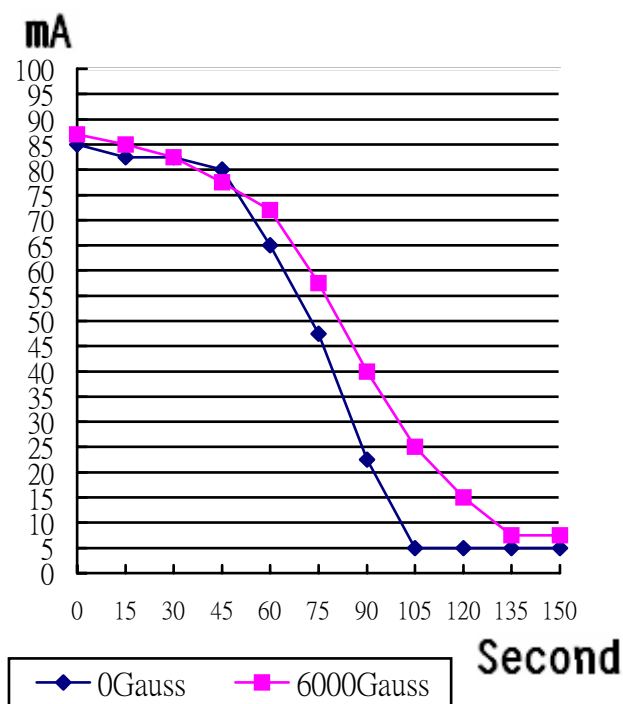


Figure 18 : the change of electrolysis current .

Table 6 : The electrolysis current changed with time in KMnO_4 solution under the constant voltage 20 V and changing factor “strength of magnetic field”

Then the data in table 6 were used to produce the Figure 19.

Gauss	mA				
	0 hr	1 st hr	2 nd hr	3 rd hr	4 th hr
0	113	108	106	99	90
6000	116	110	108	103	95

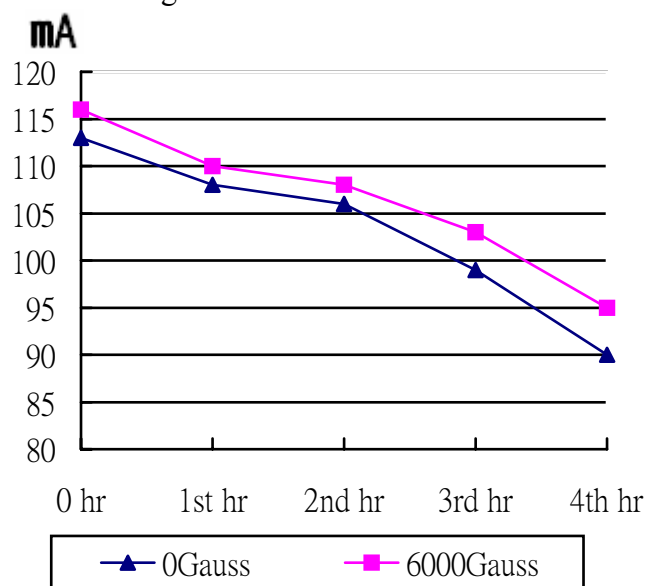


Figure 19: the change of electrolysis current.

5. Discussions and Conclusions:

5.1 The effect of the electric resistance in the solutions with strength of magnetic field:

The electric resistance of the solutions follows the Ohm's Law: $V = I R$ that provides the same concentration of solution and the similar surroundings factors. Suppose that the electric resistance of the solutions is fixed. Under the constant θ , 0° , the Table 3, 4 and Figure 13, 16 reveal that the changes of ampere as much as the strength of the magnetic field. The different solutions in magnetic field displayed the similarly linear functions that do not pass by the origin point.

Then we know that "the electric resistance of the solutions has a positive relationship with the strength of the magnetic field."

5.2 The effect of the angle " θ " on electrolysis rate:

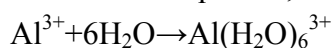
The angle " θ " is defined as the degree of ion flowing and the magnetic field. In last discussion 5.1 the θ was controlled at 0° , as the stronger strength of the magnetic field, the higher the rate of electrolysis reaction. Suppose that direct of ion flowing is parallel to the magnetic field, the electrolysis rate is highest whenever the only factor is θ . Then the some messages from the Table1, 2 and Figure 6, 9 that reaction time changed with θ , and then the rate changed also with θ . In Figure 8 and 11, the electrolysis rate is highest at 0° and 180° , and lowest at 90° and 270° that are still higher than natural electrolysis. Further more, the rate at 45° , 135° , 225° , and 315° are among parallel and vertical. This study mentioned before, that magnetic field has the character of vector when it is parallel the magnetic moment is largest and it is vertical the magnetic moment is smallest. However it may still has some other effect of the magnetic field that let its rate still higher then the natural experiment. The figures reveal the shape of $\cos \theta$ function.

5. 3 The effect of the strength of magnetic field and the angle "θ" in solutions KOH and NaOH :

In Table 1 and 3, the rate in KOH is higher than the rate in NaOH. But the mass of K^+ is a little higher than Na^+ . In the experiment to measure the pH of solutions, the pH value of solution KOH is 12.60 and NaOH is 11.85. So when the reactions were run under the strong magnetic field, it just likes to add the some extra power moving the ions faster. The results found that in 6000 Gauss and the θ is parallel the rate at both solution are fastest. And also the ions in strong magnetic field has an effect "MHD", the more the ions, the higher the rate. So the concentration of ion calculated from the pH. And the rates of the KOH and NaOH solution have an effect of "pH" and "MHD".

5. 4 The effect of the strength of magnetic field and the angle " θ " in $NaNO_3$ 、 $Mg(NO_3)_2$ 、 $Al(NO_3)_3$ 、 $Fe(NO_3)_3$ solutions :

The ions in these solutions do not have an exactly definite generalization of their valence changes. However, the generalization had been discussed in 5.1 and 5.2. In the Table 6, $Al(NO_3)_3$ has a special reaction that the electric current sharply down faster and faster in Figure 18. This study speculates that it has a serious polarization effect. Based on the equation,



The hydration causes the electrolysis happening hardly. But this study had not performed further experiment outing to the lack of instruments to proof it. However, it is a potential researching question it in the future. The solution $Fe(NO_3)_3$ has been tried to as a pilot study. By the definition of R' , we can found the trend of the rate of these solutions has an relationship that is $Fe(NO_3)_3 > Mg(NO_3)_2 > NaNO_3$ as in Figure 17.

5. 5 The effect of electric current in $KMnO_4$ solution in strong magnetic field:

Because of the concentration of $KMnO_4$ solution 0.01M is the almost saturated solution. So the constant voltage 20V was used to induce the obvious reaction. In Figure 19 and Table 6, the electric current changed and decreased with time. And the source of electric resistance is that product MnO_2 . The Figure 19 shows that the electric current is higher in the strong magnetic field.

5.6 Questions and Answers :

Q1. Why use the magnet instead of electromagnetic field:

Answer: Although the strength of electromagnetic field is precise, but it has three disadvantages. First, the volume is large and the weight is heavy; second, electromagnetic field requires high-voltage power; third, it consumes power again.

The author considered it has some way of instead of electromagnetic field which waste two times power. The first, alternate is to use superconductor, but it should run under a very low temperature; the second choice is to use the magnet which has advanced advantage from power supply to keep its steady magnetic field. Finally, its volume is small, and the weight is light and convenient for us to handle it. So magnet is suitable to this study.

Q2. Why stand the solutions in magnetic field for 30 minutes before starting electrolysis experiments:

Answer: In this study, there is a very important theorem from "MHD" effect that the flowing rates of metal ions change slightly in the magnetic field. This influence is especially remarkable while the magnetic force is very strong which rises to ionic flowing all over the electrolyte. This flowing rate is superior to expanding rate. Similarly, the longer the solutions stand, the higher the electrolysis rate. So this study emphasized standing to put the solutions in magnetic field over 30 minute before to starting electrolysis experiments.

Q3. Why measuring the reaction time only at 15 ml of produced in H₂ tube, why not using O₂ ?

Answer: The hypodermic syringe on the electrolysis cell has the volume about 35 ml. Because the liquid surface during electrolysis cannot low than the surface of the T shape tube, the safe volume range is about 20 ml, the reaction time only measured at 15 ml of the hypodermic syringe. If we defined the reaction time at some volume of O₂ rather than 10 ml H₂ will only most at of the hypodermic syringe, so the suitable reaction time was defined by the tube of H₂.

5.7 The critical factors of electrolysis rate are the strength of magnetic field and θ :

In this study, the solution NaOH and KOH are used as the regular experiment and also the two of the usually used electrolyte in electrochemistry factories. Both of them show the obvious relationship of electrolysis rate to the strength of magnetic field as following formula,

* $R \propto NR$ has a linear relationship with H .

Defined the symbol H is the strength of magnetic field.

As discussed in 5.2, there also is a relationship of R and $\cos\theta$ value. So the relationship was formulated as

* $R \propto NR$ has a linear relationship with $H \times |\cos\theta|$

As discussed in 5.2 we know the lines of magnetic force are not all vertical with the direct of ions flowing. So I add it an symbol “ \int ” is added, then the formula is

* $R \propto NR$ has a linear relationship with $\int H |\cos\theta|$

Then this formula could be not contradict with logic that when $\cos 90^\circ = 0$

In The Faraday First Law of Electrolysis: $M = Z Q = Z I T$ and $M = R \times t$

Finally the formula is,

* $R = Z I$

Then the equation as following,

$$R = k \times \int \langle |H| \times |\cos\theta| \rangle \times |I| \quad (k : g / C \cdot \text{Weber} \cdot s)$$

6. Reference :

Fang, Jin-Xiang (1995), “The Design of Micro Chemistry and Experiment”,
Kaohsiung, Taiwan Fu-Wen publisher, pp. 102 – 135.

Lin, Yun-Hai(1985), “electromagnetism”, Taiwan, Wen-Hua publisher, pp 473- 494.

Tian, Fu-Zhu (1993), “Electrochemistry–Fundamental Theorems and Applications”,
Taiwan, Gao-Li publisher, pp.1~77

Duan, Mu-Gan (1980), “The Dictionary of Physics”, Taiwan, Human publisher, pp.
323

Zeng, Guo-Hui (1986), “Chemistry”, Taiwan, Yi Xuan publisher, pp.789~795

【實驗】

1. 先秤取試藥級 KOH、NaOH 各 0.5mol，置入已注入七分滿水位的 250ml 容量瓶，慢慢搖晃量瓶至肉眼看不到 KOH、NaOH 固體，接著靜置使之溫度與室溫同，再以塑膠滴管緩緩滴入去離子水到液面中央對齊 250ml 刻度線。
2. 將泡製完成的 2M KOH、NaOH 溶液，以新的乳頭滴管吸取後滴入乾淨的試管中，並封閉試管口，盡量不與空氣接觸。
3. 將 PH 探測針分別置入兩溶液的試管中，以秒錶計時兩分三十秒後開始測量，過程中以塑膠袋圍住試管口和 PH 探測針，以橡皮筋綁緊。

【實驗結果】

實驗測得 2M KOH、NaOH 溶液 PH 值分別為 13.25 與 12.60

【討論】

理論上 KOH、NaOH 均為百分之百解離，但由實驗測得的數值卻比理論值低了許多，且 KOH 的 PH 值比 NaOH 大，我認為主要是因為粒子數目與離子間的交互作用力為主要因素。

當 KOH、NaOH 溶於水時，在低濃度時會較趨近百分之百解離，然而在較高濃度下，離子間相互作用力變大，影響之下，解離的程度略為下降，因此 PH 值會比理論值略低。而若是改由 K 原子溶於水中，使其形成 KOH，其使水解離成 H^+ 、 OH^- 的程度應該比等量 Na 原子溶於水中，其形成 NaOH 使水解離成 H^+ 、 OH^- 的程度還大， $[OH^-]_{KOH}$ 就比較大，PH 值就上升。

再以另一微觀的角度來看， $M-OH$ (M 表金屬) 如需有較好的離子性，則 M 的電負度需較小，原子半徑需較大，文獻上記載，Na 的電負度為 0.9、K 的電負度為 0.8，且 Na 為第三週期原子、K 為第四週期原子，無疑地，其離子半徑 $K^+ > Na^+$ ，所以可得知 KOH 的解離程度比 NaOH 大，PH 值也較大。

(二) 電解過錳酸鉀反應生成物的探討：

在 20V 下，電解過錳酸鉀，其反應兩小時後以塑膠滴管吸取溶液，接著進行以下實驗。

【比色】

電解兩小時後，電解液的顏色已由紫紅色轉變為紫黑色。

【層析法】

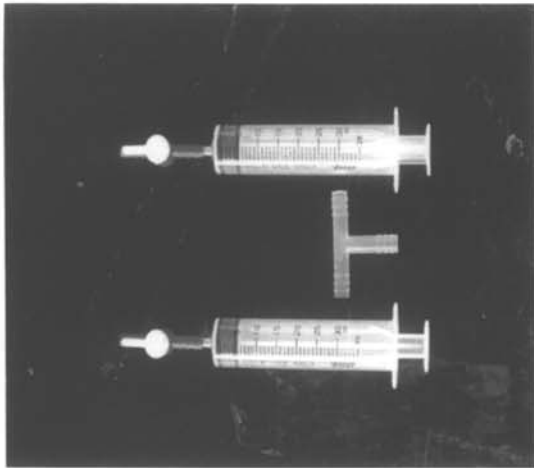
將塑膠滴管中的溶液滴一滴到濾紙上，發現有兩層同心圓，一層是原 MnO_4^- 的紫紅色，另一層是棕黑色物質，表示其生成物只有一種。

【以 H_2O_2 檢測】

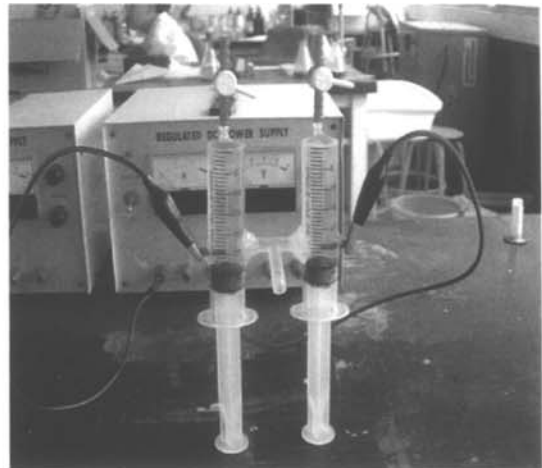
將塑膠滴管中的溶液滴幾滴到 50ml 燒杯中，再緩緩滴入 H_2O_2 (3.5%)，發現有氣體產生，所以反應生成物可催化 H_2O_2 。

【反應生成物】

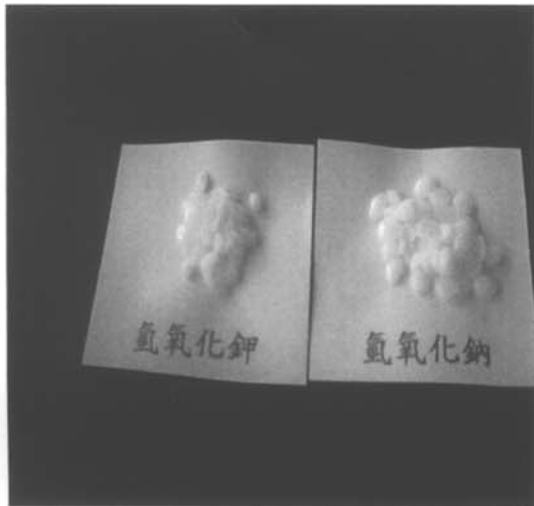
錳的化合物種類眾多，其中 MnO_2 最符合上述條件，且被通以較大電壓者的生成物多半會分解成小分子，因此確立了 MnO_2 為此實驗的一副產物。



附圖一



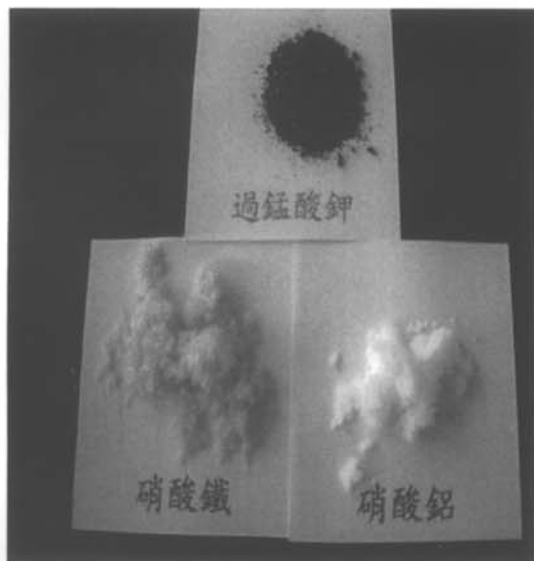
附圖二



附圖三



附圖四



附圖五



附圖六

附圖解析

附圖一：反應容器(一)實體拍攝

附圖二：電解反應裝置實照

附圖三：藥品 KOH、NaOH 實照

附圖四：藥品 NaNO_3 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 實照

附圖五：藥品 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 、 KMnO_4 實照

附圖六：電解 KMnO_4 反應前(右)及反應後(左)

評語

本研究以簡單的器材，有系統的利用強磁鐵對電解的氧還反應做有系統的探討，相當具有創意。惟在理論知識之背景仍不夠，需再加強文獻，如離子溶液論與電磁場之關係，做進一步的解析。建議 1.詳細閱讀如 Alkin 第 7th 版的物理化學相關之部分，據物理教授稱本研究基本上「磁場」扮演「攪拌」之角色，加速了（流體）之反應速率（見分子間的作用力一章）2.技術上磁場穩定度與相量對有效電流之利用與溶液電阻之「增」與「減」做進一步的釐清。擬向大會推薦參加國際科展之一如莫斯科科展。其程度是利用高中環境可做研究出類拔萃之一，推薦為本次科展之第二名。