

私立東海大學資訊工程與科學研究所

碩士論文

指導教授：周忠信

瀏覽器的耗能研究

**The Study of Browser Energy Consumption**

研究生：王京郁

中華民國一〇一年七月七日

## 摘要

隨著耗能議題的備受關注以及電腦廣被使用下，電腦耗能的探討也益發重要。過去有關電腦硬體耗能的研究者眾，而軟體耗能的研究則相對較少。在軟體耗能的研究上，本論文以瀏覽器做為研究對象。在基於兩種不同作業系統以及三種不同瀏覽器做為實驗對象，本研究發現，當瀏覽器執行 JavaScript 時，其耗能遠高於處於閒置時之瀏覽器耗能的 20% 以上。不同瀏覽器間在執行同一 JavaScript 時的耗能，其差異可大到一至三倍。本研究結果指出，在發展網路應用軟體時，應將瀏覽器端的耗能納入設計考量。

*關鍵字：耗能、網路應用軟體、瀏覽器、JavaScript*

## **Abstract**

With the concern of global warming and energy shortage, the study of computer energy consumption becomes quite important nowadays. The consumption produced by hardware has been widely discussed, while the consumption caused by software is less explored. Therefore, in this thesis we choose browser as the target software to find out the energy consumption of different browsers under different execution modes. This research shows that the energy consumption is at least 20% more when comparing the browser in JavaScript execution mode and idle mode. The results also show that when performing the same JavaScript, the energy consumed by different browsers can be 300% different. Our research points out that in order to reduce energy consumption, a new way of software design cannot be ignored.

*Keywords : Energy Consumption , Web application , Browser , JavaScript*

# 目錄

摘要.....	i
Abstract .....	ii
表目錄.....	v
圖目錄.....	vii
1. 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究範圍限制及使用.....	2
1.3 論文架構.....	4
2. 研究背景.....	5
2.1 耗能定義.....	5
2.2 電腦硬體的耗能.....	6
2.3 應用軟體的耗能研究.....	7
3. 瀏覽器耗能模型探討.....	9
3.1 待機時耗能.....	10
3.2 瀏覽器耗能模型.....	12
3.3 JavaScript 實驗設計.....	15
3.3.1 V8.....	16
3.3.2 Kraken.....	18
3.3.3 FPM.....	20
3.3.4 TV.....	21
4. 實驗結果與分析.....	22
4.1 V8 實驗.....	22
4.1.1 V8 中相同瀏覽器不同作業系統耗能.....	22
4.1.2 V8 中相同作業系統不同瀏覽器耗能.....	25
4.2 Kraken 實驗.....	27

4.2.1	Kraken 中相同瀏覽器不同作業系統耗能 .....	27
4.2.2	Kraken 中相同作業系統不同瀏覽器耗能 .....	30
4.3	FPM 實驗.....	31
4.3.1	FPM 中相同瀏覽器不同作業系統耗能 .....	31
4.3.2	FPM 中相同作業系統不同瀏覽器耗能 .....	34
4.4	TV 實驗 .....	36
4.4.1	TV 中相同瀏覽器不同作業系統耗能.....	36
4.3.1	TV 中相同作業系統不同瀏覽器耗能.....	38
4.5	結果探討與比較.....	40
4.5.1	瀏覽器使用 JavaScript 與閒置時之電量差距.....	40
4.5.2	各種瀏覽器使用之耗能比較 .....	41
5.	結論與未來研究 .....	43
6.	參考文獻 .....	44

## 表目錄

表 3-1 實驗環境 .....	9
表 3-2 作業系統的市占率 .....	10
表 3-3 作業系統平均電量及變異係數 .....	11
表 3-4 作業系統 1 分鐘內平均電量及比例 .....	11
表 3-5 瀏覽器的市占率 .....	13
表 3-6 瀏覽器平均電量及變異係數 .....	14
表 3-7 三種瀏覽器在不同作業系統 1 分鐘內的平均電量及比例 .....	15
表 3-8 JavaScript 常用物件 .....	16
表 3-9 V8 使用之常用物件 .....	18
表 3-10 Kraken 使用之常用物件 .....	19
表 4-1 IE 在不同作業系統的 V8 實驗平均電量 .....	23
表 4-2 Chrome 在不同作業系統的 V8 實驗平均電量 .....	24
表 4-3 Firefox 在不同作業系統的 V8 實驗平均電量 .....	25
表 4-4 IE 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均電量 .....	28
表 4-5 Chrome 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均電量 .....	28
表 4-6 Firefox 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均電量 .....	29
表 4-7 IE 在不同作業系統的 FPM 實驗平均電量 .....	32
表 4-8 Chrome 在不同作業系統的 FPM 實驗平均電量 .....	33
表 4-9 Firefox 在不同作業系統的 FPM 實驗平均電量 .....	34
表 4-10 IE 在不同作業系統的 TV 實驗平均電量 .....	37
表 4-11 Chrome 在不同作業系統的 TV 實驗平均電量 .....	37
表 4-12 Firefox 在不同作業系統的 TV 實驗平均電量 .....	38
表 4-13 瀏覽器使用和不使用時的電量差距 .....	41

表 4-14 各項實驗的瀏覽器耗能比較 .....42

## 圖目錄

圖 3.1 作業系統 1 天內截取 300 次待機時的電量.....	11
圖 3.2 瀏覽器耗能模型.....	12
圖 3.3 各種瀏覽器在不同作業系統 1 天內截取 300 次的電量.....	14
圖 4.1 IE 在 V8 之實驗平均耗能.....	23
圖 4.2 Chrome 在 V8 之實驗平均耗能.....	24
圖 4.3 Firefox 在 V8 之實驗平均耗能.....	25
圖 4.4 Windows 7 在 V8 之實驗平均耗能.....	26
圖 4.5 Windows XP 在 V8 之實驗平均耗能.....	26
圖 4.6 IE 在 Kraken 之實驗平均耗能.....	27
圖 4.7 Chrome 在 Kraken 之實驗平均耗能.....	28
圖 4.8 Firefox 在 Kraken 之實驗平均耗能.....	29
圖 4.9 Windows 7 在 Kraken 之實驗平均耗能.....	30
圖 4.10 Windows XP 在 Kraken 之實驗平均耗能.....	30
圖 4.11 IE 在 FPM 之實驗平均耗能.....	32
圖 4.12 Chrome 在 FPM 之實驗平均耗能.....	33
圖 4.13 Firefox 在 FPM 之實驗平均耗能.....	34
圖 4.14 Windows 7 在 FPM 之實驗平均耗能.....	35
圖 4.15 Windows XP 在 Kraken 之實驗耗能.....	35
圖 4.16 IE 在 TV 之實驗平均耗能.....	36
圖 4.17 Chrome 在 TV 之實驗平均耗能.....	37
圖 4.18 Firefox 在 TV 之實驗平均耗能.....	38
圖 4.19 Windows 7 在 TV 之實驗平均耗能.....	39
圖 4.20 Windows XP 在 TV 之實驗平均耗能.....	39



# 1. 緒論

## 1.1 研究動機與目的

能源並非取之不盡用之不竭，隨著人們對能源的使用越來越頻繁，全球能源缺乏的問題也越來越嚴重。因此，能源消耗(energy consumption)已成為影響全球能源和環境的議題[29]，而如何測量和減少能源的消耗也將成為關注的重點。其中，做為現今生活中不可或缺的一份子，ICT(Information & Communication Technology)的耗能也被廣泛討論[12, 15]。與 ICT 相關的耗能研究，包含了嵌入式系統(embedded system) [2, 5, 14]、電腦 [17, 23]、行動裝置(mobile device)[6, 20, 31]、無線感測網路(Wireless sensor network)[21, 32]、網際網路(Internet)[1, 28]及電子郵件(email)[16]等。

大多數電腦的耗能研究，都著重在硬體上[3, 4]，因為耗能與硬體的使用可以很明確的產生對應。然而，電腦在使用時的耗能並非只取決於硬體，儘管軟體不同於硬體會直接消耗能源，但軟體會造成硬體設備的使用率提升，如處理器(CPU)、記憶體(RAM)、硬碟(Disk)等，而這些設備的使用率提升也會使硬體的耗能增加，故軟體也會是影響電腦耗能的重要因素[8, 22]。隨著網路的普及化，網路應用軟體(Web application)已逐漸成為現今應用軟體的主軸[26]，如何量測網路應用軟體的耗能也成為我們研究的一大目標。

網路應用軟體是指用戶端(Client)會透過網際網路(Internet)連接使用此應用，也就是說，網路應用軟體必須經由瀏覽器(Browser)才可運作，而網路應用軟體必須為瀏覽器能夠支援的程式碼，瀏覽器才會將網路應用軟體下載至用戶端執行。所以，本篇論文中即以測量瀏覽器在用戶端使用網路應用軟體的耗能做為本研究的內容。

## 1.2 研究範圍限制及使用

進行瀏覽器在使用網路應用軟體的耗能研究前，必須先對硬體設備、使用作業系統及瀏覽器的選擇做出使用範圍的定義，而做為瀏覽器的普遍使用者，本研究以用戶端的使用率和市占率做為選擇的依據。而本篇論文中使用了 Windows XP 及 Windows 7 的作業系統，以及 IE8、IE9、Chrome 及 Firefox 的瀏覽器做為研究。並列出瀏覽器耗能的使用狀態，分為：

- **待機時的耗能：**待機時耗能为不使用瀏覽器時的耗能，電腦硬體只執行作業系統(Operating System)並不執行其於程式的運作。
- **閒置(idle)時的耗能：**閒置時的耗能为開啟瀏覽器進入空白頁(blank)時的耗能，除了瀏覽器進入空白頁，不執行任何運作。
- **使用時的耗能：**使用時的耗能即為開啟瀏覽器後執行網路應用軟體時的耗能。

在這三種不同的狀態下進行實驗後發現，閒置時的耗能較待機時的耗能相比，並不會產生額外的耗能，但在現實中，使用瀏覽器時並不會只進入空白頁而不執行任何運作，而為了測量瀏覽器在使用時的耗能，我們必須了解使用瀏覽器時主要的運作內容。在網路應用軟體中，JavaScript 的程式已成為瀏覽器在運作時的主要內容[13]。因此，我們將瀏覽器執行 JavaScript 程式碼做為測量瀏覽器使用時的耗能。

本研究中列舉了 JavaScript 常用的物件(Object)和影響耗能的主要因素做為實驗的參考依據，並根據這些項目尋找適合的 JavaScript 程式做為實驗。其中，我們發現 Google 開發的 V8 benchmark suite 和 Mozilla 開發的 Kraken JavaScript Benchmark 與所列舉的項目較為符合，V8 和 Kraken 都是測量瀏覽器使用 JavaScript 時的效能測試程式，我們使用這兩者做為實驗。但我們認為 V8 與 Kraken 在 Math 的物件以及使用者介面(User Interface)上的 JavaScript 使用略有不

足，而這兩者也是影響耗能的一大因素，所以本篇論文設計了 Math 物件和使用者介面的 JavaScript 程式做為實驗，分別為 FPM(Floating Point Multiplication)及 TV(Table View)。FPM 為使用大量的浮點數運算來增加 Math 物件及處理器使用率的 JavaScript 程式，TV 則是動態產生表格來更改使用者介面大小的 JavaScript 程式。由這四種實驗，能大致的滿足了瀏覽器使用時會產生耗能的情況，並測得瀏覽器使用時的平均耗能和平均電量。本研究除了將瀏覽器使用 JavaScript 時的平均電量與瀏覽器閒置時的平均電量做比較，也將各種不同瀏覽器使用 JavaScript 時的平均耗能做比較，從中能夠得知：

1. **瀏覽器使用 JavaScript 時的耗能值得被關注：**不論何種瀏覽器在任何實驗中的平均電量，都高於閒置時的平均電量 20% 以上，在 TV 實驗中使用 IE9 的平均電量更比待機時多了 53%。可以明顯看出瀏覽器使用時與閒置時電量的明顯差距，因此瀏覽器在使用 JavaScript 時所產生的耗能值得被關注。
2. **不同瀏覽器之間的耗能差異極大：**不同瀏覽器在使用 JavaScript 時的平均耗能也有著許多的差異，將 IE9 之與 Chrome 相比較，在各種實驗中 IE9 與 Chrome 耗能的差距在 FPM 實驗中 IE9 耗能為 Chrome 之 0.35 倍，在 V8 及 Kraken 實驗中為 1 至 3 倍，而 TV 實驗中則為 1100 倍左右，故瀏覽器之間的耗能差異極大，而瀏覽器使用網路應用軟體時的耗能將成為設計軟體時的一大考量。

透過實驗結果的探討，本研究指出，使用網路應用軟體的耗能較不使用時有著明顯的差距，因此如何減少能源的消耗，成為在設計網路應用軟體時必須考量的因素。而選擇耗能較少的瀏覽器對於企業來說，也是非常重要的問題。

### 1.3 論文架構

本論文架構如下，第二章介紹了電腦硬體的耗能及應用軟體耗能的研究。第三章提出瀏覽器耗能模型及瀏覽器耗能的實驗設計。第四章為透過各種使用瀏覽器實驗比較電腦和網路應用軟體的耗能和瀏覽器之間耗能的差異。第五章則是本論文的結論。

## 2. 研究背景

本論文主要在探討瀏覽器使用網路應用軟體時的耗能，首先，本章介紹耗能的定義，同時本章也介紹了目前電腦硬體的耗能以及在應用軟體上的耗能研究，透過這些研究，我們能夠更準確的進行瀏覽器耗能的實驗設計。

### 2.1 耗能定義

「能源」的定義非常廣泛，其中包含了石油、天然氣、煤、電…等，而在使用時間內所消耗的能源則稱為耗能。本文為探討電腦上瀏覽器使用的耗能，所以以電的消耗做為耗能的解釋。

電量為國際單位制(SI unit)的基本單位中所衍生出的單位[27]，命名為瓦特(Watt)，為每秒(sec)所消耗的焦耳(Joule)，其公式如下：

$$W = \frac{J}{s}$$

- W 表示電量。
- J 表示焦耳。
- s 表示秒數。

根據耗能的解釋，耗能的單位為時間內所消耗的電量。其公式如下：

$$E = P \cdot T$$

- E 表示耗能，單位為瓦特小時(Wh)。
- P 表示電量(power)，單位為瓦特(Watt)。
- T 表示所花的時間，以小時(hour)為單位

焦耳為國際單位制中的能量單位，也就是說，焦耳同樣也能為耗能表示的單位，1Wh=3600J，在許多的研究中會以 Wh 或者 Joule 來表示耗能的多少[11, 17, 18]，而在日常生活中，普遍以 Wh 做為電能消耗的單位。而本篇論文中我們以 W 做為電量的單位，並以 Wh 做為耗能的單位。

## 2.2 電腦硬體的耗能

電腦硬體的主要組成為主機板(motherboard)、處理器(CPU)、記憶體(RAM)、硬碟(disk)、顯示卡(graphics card)…等，而這些硬體相關耗能的研究者眾。透過上一節的耗能公式我們得知，要測得其耗能，必須先測得電量和所花的時間，而這些耗能研究也提供了許多關於電腦硬體上的電量數據。

目前家庭電腦電量的研究中[19]，該篇研究為計算家庭電腦所產生的電量，將一台家庭電腦在一年的耗能(224000 Wh/yr)除以一年使用電腦的時間(2954 hr/yr)，可以得知一台家庭電腦平均的電量約在 75W。而電腦所使用的硬體，如處理器的電量也被研究測量[9]，該研究使用 Intel i7 的處理器做為實驗，測量出每個不同階段的處理器使用率，其電量會由最小使用率的 12W 增加至最大的 95W，由此可知處理器的使用率在對電腦的電量會產生極大的影響。有關硬碟部分，我們知道固態硬碟(SSD)的電量較平常使用的硬碟(HDD)還低，如何使固態硬碟的更節能的方法也被提及[10]，其中指出固態硬碟產生電量約從 0.3W 至 2.7W，而我們平常使用的硬碟(HDD)則是 3.7W 至 6.6W。然而，由於現今電腦的電量易於測量，這些研究並不著重在電腦硬體的耗能，而是更深入的在探討如何減少耗能的研究上。

在電腦硬體組成電量的相關研究中[30]，以硬體廠商提供的電量做為依據，列出了處理器、記憶體、硬碟、顯示卡、主機板的電量，分別為 40W、9W、12W、25W、25W，雖然這些由硬體廠商提供的電量，都為閒置時的電量或者使用率為 100%的電量，但由此我們仍然可以簡略得知電腦硬體組成所產生的電量大小。而該篇論文更經由硬體使用率觀測出，在電腦硬體中，處理器的使用率對於電腦耗能有較大的影響。

在本研究中，可以經由電腦硬體廠商提供的電量，得知電腦硬體耗能的分布情形，並由電錶測得使用時的電量和使用時間，得知電腦的耗能。

## 2.3 應用軟體的耗能研究

相較於硬體的耗能已在諸多研究中被實現，較多的軟體耗能研究都集中於嵌入式軟體，相較之下，應用軟體的耗能研究則較少被提及；在有關測量應用軟體能源效率方法的研究中[7]，該篇論文依據他們的實驗結果，分析和比較各種應用軟體能源效率(energy efficiency)的影響因素，並考量應用開發環境對於應用軟體在耗能上的影響。

能源效率定義原為在能夠達到相同的目的下，減少使用所產生的耗能；而該研究則提出了關於應用軟體的能源效率闡述方式，他們認為，使用軟體必定會產生額外的耗能，而在同一種應用開發環境下產生耗能越低的應用軟體，其能源效率越高。

他們將提出的能源效率的命名為 Special Energy(SE)，其 SE 公式如下：

$$SE_i = \frac{Ed_i - \overline{Ed_A}}{\overline{Ed_A}}$$

- $Ed_A$ 表示使用平台的平均電量。
- $Ed_i$ 則是使用的應用軟體的電量。

其能源效率則如下：

$$EE_i = 1 - SE_i$$

- EE 的值越高則代表能源效率越好。

該研究的使用平台為一伺服器級的硬體及作業系統做為應用開發環境，他們使用了 63 種開放原始碼(Open Source)的應用軟體做為實驗，包含了 FTP、日曆、圖像處理、文字處理、遊戲、ERP 系統…等應用軟體，為了保證測量的能源效率不會受使用程式語言的不同影響，這些應用軟體皆為 Java 的程式語言。透過提出的能源效率方法，測量出各個應用軟體的能源效率後互相比較。

該研究結果指出，ERP 系統、文字處理、圖像處理和遊戲的應用軟體能源效率，與 FTP 及日曆的應用軟體能源效率相比較差；他們指出，遊戲和圖像處理

會使處理器的使用率增高，而 ERP 和文字處理在使用者介面上有較複雜的資料處理。也就是說，使用者介面的資料處理和處理器的使用率都會使能源效率降低。也就是說，使用者介面的資料處理和處理器的使用率耗能較高。

與本篇論文中不同的是，該研究以伺服器端做為應用軟體耗能的實驗平台，而本篇論文則以用戶端做為應用軟體耗能的實驗平台；在第一章提到，網路應用軟體已成為現今應用軟體的趨勢，而用戶端連接使用網路應用軟體的則必須使用瀏覽器做為必備之應用。然而，我們仍可參考該研究的實驗結果：使用者介面的資料處理及處理器的使用率為應用軟體耗能的影響因素，做為本研究在設計瀏覽器使用網路應用軟體實驗的依據。



### 3. 瀏覽器耗能模型探討

在本章中，我們首先選擇適合的實驗環境，接著比較了瀏覽器耗能中的兩種使用狀態電量，分別為待機時耗能和閒置時耗能，之後才對瀏覽器使用時的耗能進行研究設計。

在進行環境的選擇前，我們知道，瀏覽器的使用者主要以用戶端(Client)為主，也就是說我們是以用戶端的個人電腦(Personal Computer)做為實驗環境。個人電腦的種類也區分成許多種，包含了桌上型電腦(Desktop)、筆記型電腦(Laptop)、小筆電(Netbook)、平板電腦(Tablet)…等；雖然行動裝置(mobile device)的迅速崛起，但桌上型電腦在用戶端的個人電腦上仍是最多的使用者，而本實驗即以桌上型電腦做為本篇論文的實驗環境。

根據 2.2 節，本研究中的電腦硬體也使用了提供硬體電量的知名廠商，如此能夠大致的了解這些硬體設備上的電量，並透過這些廠商提供的資訊得知，本實驗使用上市兩年內的電腦硬體做為實驗環境的架設，雖然電腦硬體不斷的更新，但我們認為此型號仍可做為目前桌上型電腦的主流之一，表 3-1 為本研究的實驗環境。

表 3-1 實驗環境

HW	
MB	Gigabyte GA-EG45M-DS2H
CPU	Intel Quad 2 core Q8200 2.33GHz
RAM	Kingston DDR2 800N6/2G
HDD	WD EALX 1TB
Video	內建 Video

### 3.1 待機時耗能

瀏覽器的使用狀態中，待機時耗能即為在硬體設備安裝作業系統後不執行作業系統外任何運作的耗能，[25]為統計全球連線使用網路時，這些電腦的作業系統市占率，表 3-2 為 2012 年 3 月的統計結果。

表 3-2 作業系統的市占率

作業系統	市佔率
Windows 7	45.23%
Windows XP	34.04%
Windows Vista	9.87%
OS X	7.41%
iOS	1.81%
Linux	0.83%
Other	0.81%

本研究認為百分之九十的市占率已經能夠代表普遍的使用者，而前三者 (Windows 7、Windows XP、Windows Vista) 的市占率總和已達到 89.14%。然而，數據顯示[25]，Windows Vista 的市占率隨著時間不斷的下滑，因此本研究僅使用市占率 79.27% 的 Windows 7 及 Windows XP 做為本研究中的待機耗能模型。

本篇論文能夠測得兩種不同的作業系統在待機時的電量。圖 3.1 為兩種作業系統在一天內截取 300 次待機時的電量，待機為進入作業系統不執行其他運作。表 3-4 則為兩者的平均電量和變異係數。

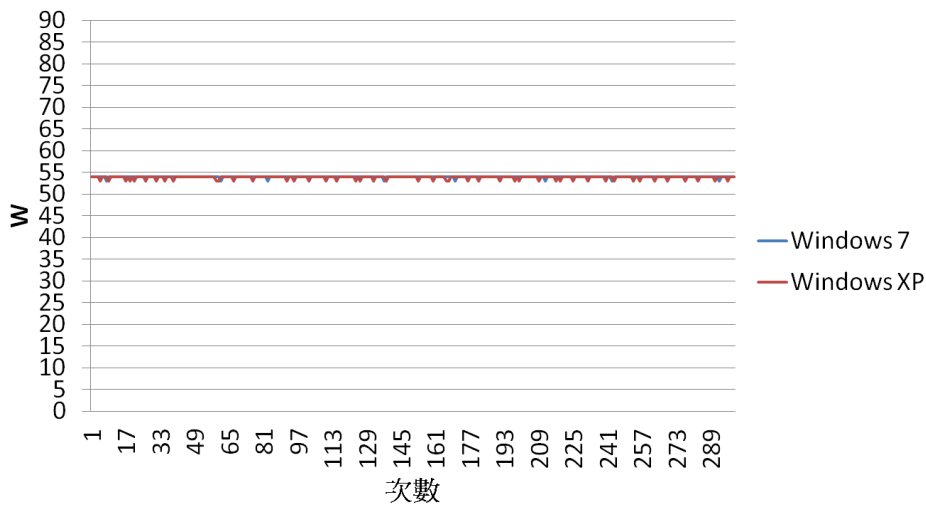


圖 3.1 作業系統 1 天內截取 300 次待機時的電量

表 3-3 作業系統平均電量及變異係數

	平均電量(W)	變異係數
Windows 7	53.97	0.3%
Windows XP	53.85	0.76%

從圖表中可得知不論何種作業系統在待機時變異係數皆小於 1%，由此可得知，在待機時電量並無明顯變動，即電量為穩定。故我們以 1 分鐘內的平均電量做為作業系統耗能的依據。表 3-5 為兩種作業系統在 1 分鐘內的平均電量和兩者相差的百分比。

表 3-4 作業系統 1 分鐘內平均電量及比例

	平均電量(W)	以 Windows 7 為比例
Windows 7	53.97	100%
Windows XP	53.75	99.59%

Windows XP 之電量為 Windows 7 的 99.59%，即兩種作業系統在待機時的電量並無明顯差異。

## 3.2 瀏覽器耗能模型

如何選用正確的網路應用軟體，才能測量瀏覽器所產生的耗能？JavaScript 的程式在網路應用軟體中已成為瀏覽器運作時的主要內容[13]。亦即，在使用瀏覽器時，JavaScript 的程式也同樣的被瀏覽器使用中，故本篇論文中選用了 JavaScript 做為瀏覽器的耗能模型。圖 3.2 為瀏覽器使用 JavaScript 所產生的耗能模型，根據此模型，測量瀏覽器在使用時的耗能即為瀏覽器使用 JavaScript 時的耗能。因此，如何選擇 JavaScript 做為實驗內容將是本章的一大重點。

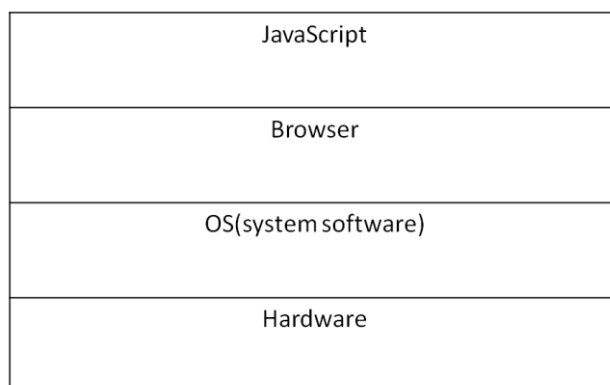


圖 3.2 瀏覽器耗能模型

從瀏覽器耗能模型中可看出，選用適當的瀏覽器也成為必要的考量因素，而閒置時的耗能即為開啟瀏覽器後進入空白頁的耗能，與作業系統相同來源的統計資料中[24]，提供了使用瀏覽器的市占率，表 3-3 為 2012 年 2 月的統計資料。

表 3-5 瀏覽器的市占率

瀏覽器	市佔率
IE	34.81%
Chrome	30.87%
Firefox	24.98%
Safari	6.72%
Opera	1.78%
Other	0.84%

同樣的，市占率已達到 89.66% 的 IE、Chrome、Firefox 做為本研究所使用的瀏覽器依據，我們認為如此的市占率已經足夠代表普遍的使用者。本篇論文中使用了 IE8、IE9、Firefox 8、Chrome 16 的版本，將 IE8 和 IE9 皆列入考量原因在於，雖然 IE9 為目前最新的瀏覽器版本，但在 Windows XP 的作業系統中無法使用，此為 Microsoft 本身的限制，故將 IE8 也列入實驗環境中。

測量此四種瀏覽器分別在不同作業系統的閒置時耗能，圖 3.3 為三種瀏覽器在兩種不同作業系統下進入空白頁的電量，一天內截取 300 次的電量，空白頁為開啟瀏覽器後輸入 blank 之網頁。表 3-6 則為各別的平均電量和變異係數。

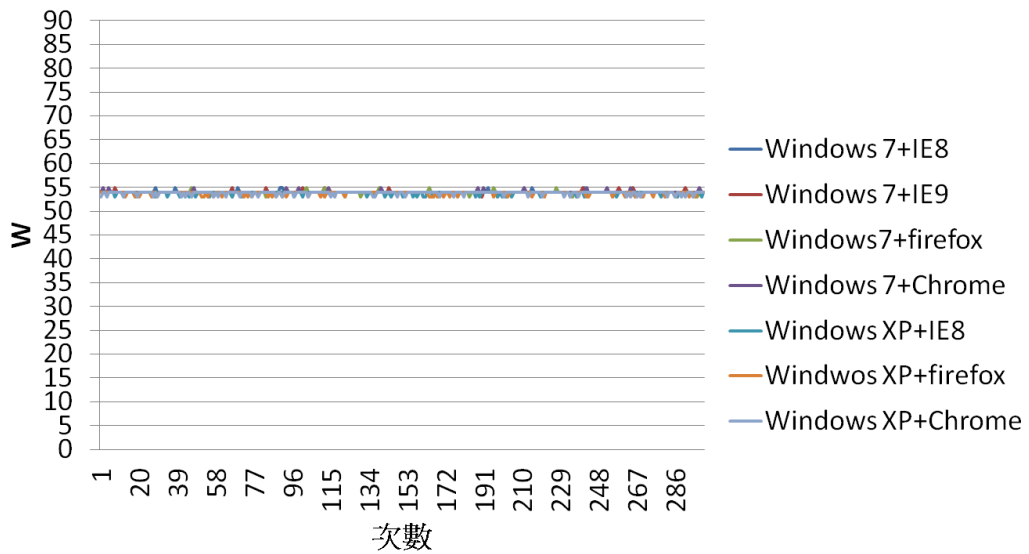


圖 3.3 各種瀏覽器在不同作業系統 1 天內截取 300 次的電量

表 3-6 瀏覽器平均電量及變異係數

	平均電量(W)	變異係數
Windows 7+ IE8	54.03	0.30%
Windows 7+ IE9	54.03	0.35%
Windows 7+ Chrome	53.99	0.45%
Windows 7+ Firefox	54.05	0.39%
Windows XP+ IE8	53.86	0.64%
Windows XP+ Chrome	53.84	0.68%
Windows XP+ Firefox	53.86	0.65%

觀察各種瀏覽器在空白頁的平均電量，其變異係數皆小於 1%，可以得知在空白頁時電量並無明顯變動，即電量為穩定。故我們使用 1 分鐘內的電量做為瀏覽器耗能的依據。表 3-7 為三種瀏覽器在不同作業系統 1 分鐘內的平均電量和相差的百分比。

表 3-7 三種瀏覽器在不同作業系統 1 分鐘內的平均電量及比例

	平均電量(W)	以 Windows 7+ IE8 為比例
Windows 7+IE8	54.02	100%
Windows 7+IE9	54.03	100.01%
Windows 7+Chrome	53.98	99.93%
Windows 7+Firefox	54.05	100.06%
Windows XP+IE8	53.84	99.67%
Windows XP+ Chrome	53.80	99.59%
Windows XP+ Firefox	53.82	99.63%

由圖表可得知不論在何種瀏覽器下電量的差距皆小於 1%，即瀏覽器閒置情況下各種電量均無明顯差異。比較作業系統中最低的平均電量，和瀏覽器中最高平均電量，作業系統為瀏覽器的 99.56%。由此可得知，在瀏覽器閒置耗能時與作業系統待機時耗能並無明顯差異，但在現實情況下，用戶端在使用瀏覽器時並不會只進入空白頁而不執行任何運作，所以我們必須驗證在使用瀏覽器時與作業系統的耗能差異，透過瀏覽器耗能模型，本研究將瀏覽器執行 JavaScript 的耗能做為使用時耗能，因此，本研究對 JavaScript 進行了分析與設計。

### 3.3 JavaScript 實驗設計

在 ECMA-262 的規範中提到，JavaScript 為一種物件導向(object-oriented)的程式語言，因此，JavaScript 中常用的物件會是瀏覽器使用時耗能的一大指標，而在 2.3 節提到，使用者介面和圖形處理以及文字處理都會造成應用軟體的耗能影響，因此在 JavaScript 的常用物件中也將這三者列入考量。而文字處理已在字串(String)物件中被納入，故不列入其中，W3School 為一網路應用程式開發語言

的教學網站，其中列舉了 JavaScript 所使用的幾個常用物件，表 3-8 為本論文參考 W3School 後所提出的 JavaScript 常用物件。

表 3-8 JavaScript 常用物件

常用物件
String
Date
Array
Math
RegExp
UI
Image

選用符合上述所列的 JavaScript 物件，成為本研究的考慮因素。目前網路上有許多利用 JavaScript 測試瀏覽器效能的程式，其中，V8 JavaScript benchmark suite 以及 Kraken JavaScript benchmark，與我們提出的 JavaScript 物件較為符合，本篇論文分析了 V8 和 Kraken 的 JavaScript 程式碼，對其所測試的各個項目稍做介紹，並列出其所使用的物件與常用物件之差異，分析不足處後，針對不足處設計了兩支 JavaScript 程式做為實驗。

### 3.3.1 V8

V8 JavaScript benchmark suit 為 Google 所開發的利用 JavaScript 測試瀏覽器效能的程式，本篇論文中使用第 6 版做為實驗，V8 列舉了 7 個項目做為測試的內容，V8 會透過瀏覽器執行這些項目並依據所花費的時間計算分數，分數越高則代表瀏覽器效能越好。其中，V8 使用 Date 物件做為紀錄各個項目所花的時間，Math 物件則是將時間透過加權計算得到分數，故每個項目中都使用了 Date 及 Math 物件。以下是各個項目內容和使用物件的介紹：



- **Richards (String)**：為模擬作業系統排程的運算程式，排列各項任務 (Task) 會因狀態而產生先後的順序，狀態分為 work、handler、idle…等，透過這些任務來測試的分配順序和執行的速度。
- **DeltaBlue (UI)**：為依照給予的各種權重(weight)判斷頁面所需之長度及寬度，經由改變權重來測試使用者介面變更時的速度。
- **Crypto (String)**：用 RSA 演算法對字串進行加密和解密，RSA 為電子商業中常被使用的加密及解密演算法，為測試 JavaScript 在字串上的加密和解密速度。
- **Raytrace (Math)**：光線追蹤演算法為一種判斷光線來源使 3D 圖像更為真實的技術，為測試其數學運算速度的測試。
- **EarleyBoyer (String)**：將字串轉譯成 JavaScript 過後執行的程式；Google Web Toolkit 亦是讓開發者使用 Java 程式語言，轉譯為 JavaScript 的工具。為測試 JavaScript 轉譯和編譯的速度。
- **Regexp (RegExp)**：為 JavaScript 中的一個物件，常用在比對和驗證登入身分，在這用來測試比對資料的速度。
- **Splay (String)**：一個二元搜尋樹的演算法，在此用來測試做資料處理 (CRUD) 的速度測試。

在分析各項目後，與本論文的 JavaScript 常用物件做比對，表 3-9 為 V8 所使用之常用物件，結果顯示，除了 Array 物件外，V8 符合了本篇論文所提出的其他 JavaScript 常用物件，因此，V8 可以做為本論文中瀏覽器耗能的實驗。

表 3-9 V8 使用之常用物件

常用物件	V8
String	✓
Date	✓
Array	✗
Math	✓
RegExp	✓
UI	✓
Image	✗

### 3.3.2 Kraken

Kraken JavaScript benchmark 為 Mozilla 所開發的利用 JavaScript 測試瀏覽器效能的程式，本篇論文中使用 1.1 版做為實驗，Kraken 列舉了 5 個項目做為測試的內容，Kraken 會透過瀏覽器執行這些項目並計算所花時間，時間越快代表瀏覽器效能越好。其中，Kraken 使用 Date 物件為紀錄執行各個項目所花時間，Math 物件則是用來執行 10 次的重覆運算，與 V8 相同，每個項目中都使用了 Date 及 Math 物件。以下是各個項目內容和使用物件的介紹：

- **ai (Array)**：使用 astar 演算法，astar 為在圖形平面上，有多個節點的路徑，求出最低通過成本的演算法。在此設計了一個 100X100 的矩陣，求由左上角(0,0)至右下角(100,100)所花的時間。
- **audio (Image, String)**：為使用音訊測試 JavaScript 透過傅立葉轉換和快速傅立葉轉換的演算法，將字串轉換為數位訊號圖形的速度。
- **imaging (Image)**：使用三種常見的影像處理方法(模糊、暗房、灰階)，

來測試 JavaScript 在圖像的影像處理速度

- **Json (String)**：為一種在 JavaScript 常用的資料交換語言，讓人易於閱讀和編寫，類似 V8 的 EarleyBoyer。用來測試 JavaScript 轉譯和編譯的速度。
- **Standford (String)**：與 V8 的 Crypto 相同，為對字串進行加密及解密，不同的是使用了 4 種演算法(crypto-aes、crypto-ccm、crypto-pbkdf2、crypto-sha256-iterative)，來測試 JavaScript 在加密及解密上的速度。

與 V8 相同，分析各項目後，與本論文的 JavaScript 常用物件做比對，表 3-10 為 Kraken 所使用之常用物件，結果顯示，除了 UI 及 RegExp 物件外，Kraken 符合了本篇論文所提出的其他 JavaScript 常用物件，因此，Kraken 也會做為本論文中瀏覽器耗能的實驗之一。

表 3-10 Kraken 使用之常用物件

常用物件	Kraken
String	✓
Date	✓
Array	✓
Math	✓
RegExp	✗
UI	✗
Image	✓

在第 2.3 節提到，影響耗能的因素為使用者介面的資料處理和處理器的使用率，雖然透過物件的比較，V8 和 Kraken 互相彌補了未使用的 JavaScript 常見物件，但在使用者介面上並未使 JavaScript 進行大量的處理資料，僅用於更改使用

者介面的頁面大小；在 Math 物件上也並未使處理器的使用率達到最大，僅用於計算所花時間及使程式重複執行。因此本論文設計了兩支 JavaScript 的程式做為在瀏覽器耗能上的實驗對象，來完善使用者介面的資料處理和處理器的使用率：

- FPM(Floating Point Multiplication)
- TV(Table View)

### 3.3.3 FPM

在 2.3 節提到，處理器的使用率會是影響耗能的一大因素[7]，如何設計使處理器的使用率維持峰值成為本實驗中的考量，我們知道浮點數(Floating point)的運算能最快速的增加處理器的使用率，故我們使用大量浮點數相乘的運算來做為實驗的內容。本篇論文設計了一個浮點數相乘的 JavaScript 程式 FPM(Floating Point Multiplication)，FPM 為使用 50000000 筆隨機的相乘浮點數之運算，使用的物件為 Math，如此一來，較 V8 和 Kraken 更能將處理器的使用率達到最高，與瀏覽器使用時耗能的實驗也更為完整。

FPM 之主要程式碼如下：

```
function floatX()
{
    var p = document.form1.input.value;
    for(var i=0; i<p ; i++)
    {
        var a = Math.random();
        var b = Math.random();
        var c = a*b;
    }
}
```

### 3.3.4 TV

同樣的，網路應用軟體在使用者界面的資料處理能源效率較差[7]。雖然在 V8 中已經有了使用者界面的 JavaScript 實驗，但在 V8 中為透過演算法使 JavaScript 判斷網頁應有的長寬，用於更改使用者界面的頁面大小，並未有過多的資料處理。本篇論文設計了一個動態增加表格的 JavaScript 程式稱為 TV(Table View)，TV 為利用持續增加 400X400 筆長寬的表格來更動使用者界面的大小，並在每個表格內輸入 value 做為表格內的資料，如此，較 V8 更能將大量的資料處理用於使用者界面上，而瀏覽器使用時耗能的實驗也更為完整。

TV 之主要程式碼如下：

```
function insTable()
{
    var p = document.form1.input.value;
    var l = document.form1.input1.value;
    for(var i=0; i<p ; i++)
    {
        var = document.getElementById('myTable').insertRow(1);
        for(var j=0;j<l;j++)
            x.insertCell(j).innerHTML="value";
    }
}
```

本篇論文選取了 JavaScript 的常用物件做為參考，經由比較，使用了 V8 和 Kraken 做為實驗，並針對兩者的不足，設計了 FPM 及 TV 納入實驗內容，經由實驗設計，雖然仍不能代表瀏覽器使用的所有 JavaScript 程式，但我們認為這些實驗已經考量了大部分瀏覽器會使用到的 JavaScript 物件。進而，透過這四個 JavaScript 實驗在不同的作業系統及瀏覽器環境下，能夠測量並得知瀏覽器使用時的耗能。

## 4. 實驗結果與分析

本篇論文將各種瀏覽器在不同作業系統下每種實驗各進行了十次，測量這些實驗所花的時間及每秒所產生的電量，透過耗能公式得知十次實驗所產生的耗能後，取其平均耗能；並將十次實驗產生的耗能，除以十次實驗所花的時間可得平均電量，如此才能保證各項耗能及電量較不會因某次的實驗數據不同而影響結果。在本篇論文中，將四種實驗分為相同瀏覽器不同作業系統的耗能及相同作業系統不同瀏覽器的耗能做比較。

### 4.1 V8 實驗

#### 4.1.1 V8 中相同瀏覽器不同作業系統耗能

在 V8 實驗中，測得 IE、Chrome、Firefox 在 Windows 7 與 Windows XP 上之耗能，圖 4.1 為 IE 在不同作業系統的 V8 實驗平均耗能，表 4.1 為 IE 在不同作業系統的 V8 實驗平均電量，圖 4.2 為 Chrome 在不同作業系統的 V8 實驗平均耗能，表 4.2 為 Chrome 在不同作業系統的 V8 實驗平均電量，圖 4.3 為 Firefox 在不同作業系統的 V8 實驗平均耗能，表 4.3 為 Firefox 在不同作業系統的 V8 實驗平均電量。

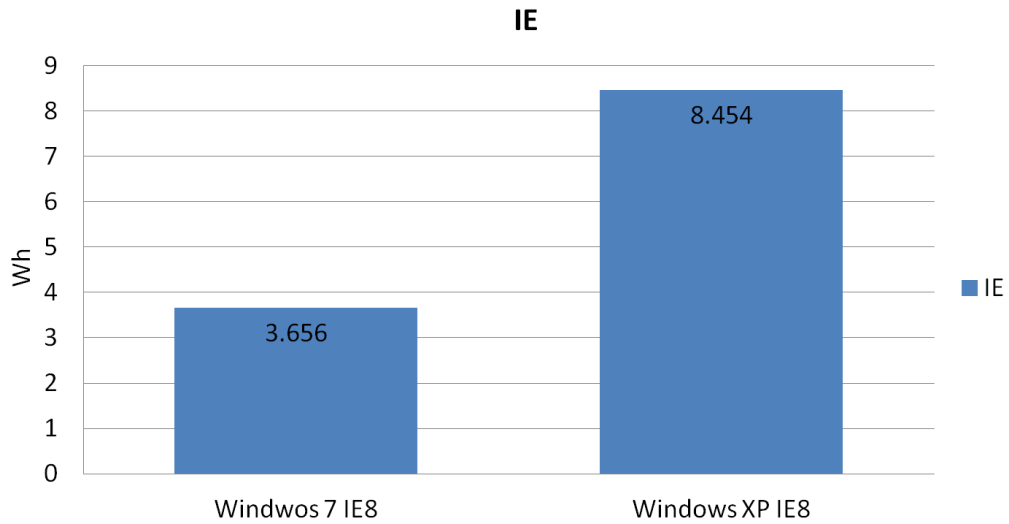


圖 4.1 IE 在 V8 之實驗平均耗能

表 4-1 IE 在不同作業系統的 V8 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	3.66	8.45
平均所花時間(sec)	191.87	399.15
平均電量(W)	68.6	76.25

藉由圖表得知，以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗電為 Windows 7 之 2.31 倍，可得知 IE8 會因作業系統的不同影響耗電，Windows 7 平均耗電較 Windows XP 小。而 Windows XP 的平均電量大於 Windows 7，所花時間為其 2.1 倍，所產生的耗電也較大。

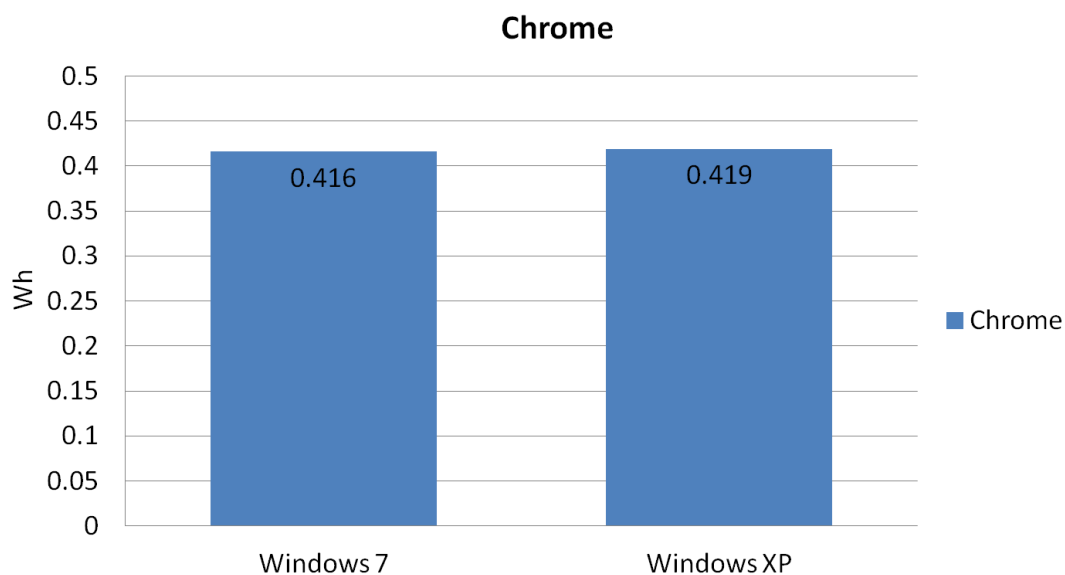


圖 4.2 Chrome 在 V8 之實驗平均耗能

表 4-2 Chrome 在不同作業系統的 V8 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	0.42	0.42
平均所花時間(sec)	21.29	21.36
平均電量(W)	70.36	70.65

以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗電為 Windows 7 之 1.007 倍，差距小於 1%，可以認為 Chrome 之耗電受作業系統不同的影響微小，兩者並無明顯差異。而在 V8 實驗中，Windows 7 平均電量與 Windows XP 平均電量和所花時間同樣的並無明顯差異，故耗電也如此。



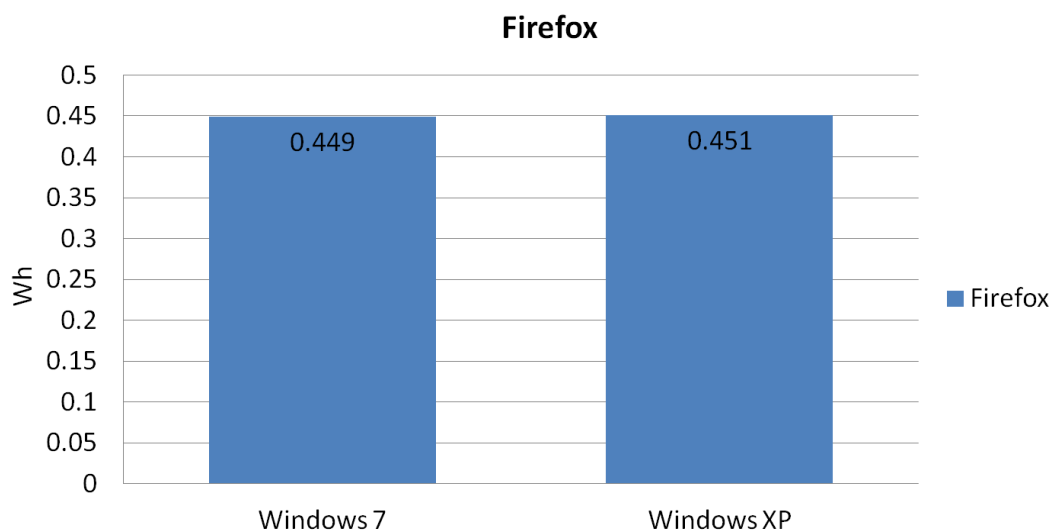


圖 4.3 Firefox 在 V8 之實驗平均耗能

表 4-3 Firefox 在不同作業系統的 V8 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	0.45	0.45
平均所花時間(sec)	71.34	71.28
平均電量(W)	22.66	22.77

以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗電為 Windows 7 之 1.004 倍，差距小於 1%，可以認為 Firefox 之耗電受作業系統不同的影響微小，兩者並無明顯差異。與 Chrome 相同，在 V8 實驗中，Windows 7 平均電量與 Windows XP 平均電量和所花時間同樣的並無明顯差異，故耗電也如此。

透過相同瀏覽器不同作業系統耗電之比較，可以得知在 V8 實驗中除了 IE 之外，Chrome 及 Firefox 之耗電及電量和所花時間均不受作業系統不同影響。而 IE 之耗電、電量及所花時間皆為 Windows 7 小於 Windows XP。

#### 4.1.2 V8 中相同作業系統不同瀏覽器耗電

比較相同作業系統在不同瀏覽器時之耗電中，瀏覽器的差異。圖 4.4 為不同瀏覽器在 Windows 7 的 V8 實驗平均耗電，圖 4.5 為不同瀏覽器在 Windows XP

的 V8 實驗平均耗能。

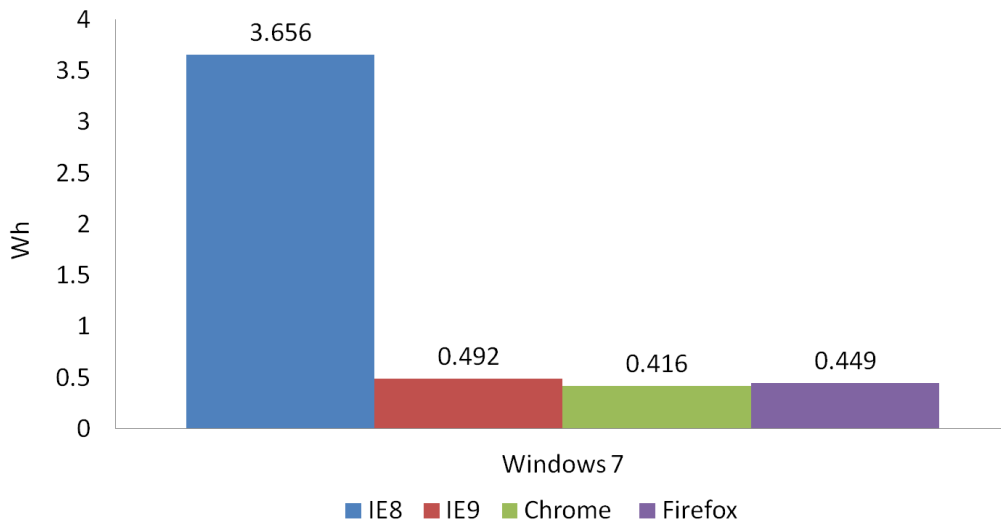


圖 4.4 Windows 7 在 V8 之實驗平均耗能

Windows 7 在 V8 耗能實驗中，以 IE8 為比例，IE9 為 IE8 之 13.46%，Chrome 為 11.38%，Firefox 為 12.28%。可以得知，在此耗能實驗中，IE8 之耗能遠大於其餘三者，其中，耗能的大小為 IE8>IE9>Firefox>Chrome。

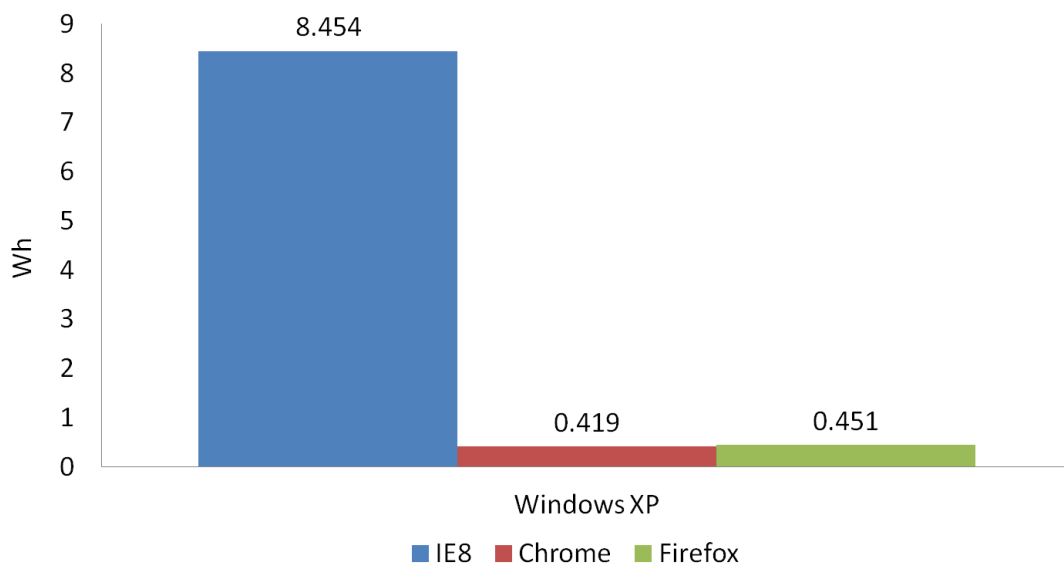


圖 4.5 Windows XP 在 V8 之實驗平均耗能

Windows XP 在 V8 耗能實驗中，以 IE8 為比例，Chrome 為 IE8 之 4.96%，Firefox 為 5.34%，可以得知，在此耗能實驗中，IE8 之耗能遠大於其餘二者，其中，耗能的大小為 IE8>Firefox>Chrome。由此可知，在 V8 實驗中不論何種作業

系統，瀏覽器的耗能大小排名皆相同。

## 4.2 Kraken 實驗

### 4.2.1 Kraken 中相同瀏覽器不同作業系統耗能

在 Kraken 實驗中，測得 IE、Chrome、Firefox 在 Windows 7 與 Windows XP 上之平均耗能，圖 4.6 為 IE 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均耗能，表 4.4 為 IE 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均電量，圖 4.7 為 Chrome 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均耗能，表 4.5 為 Chrome 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均電量，圖 4.8 為 Firefox 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均耗能，表 4.6 為 Firefox 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均電量。

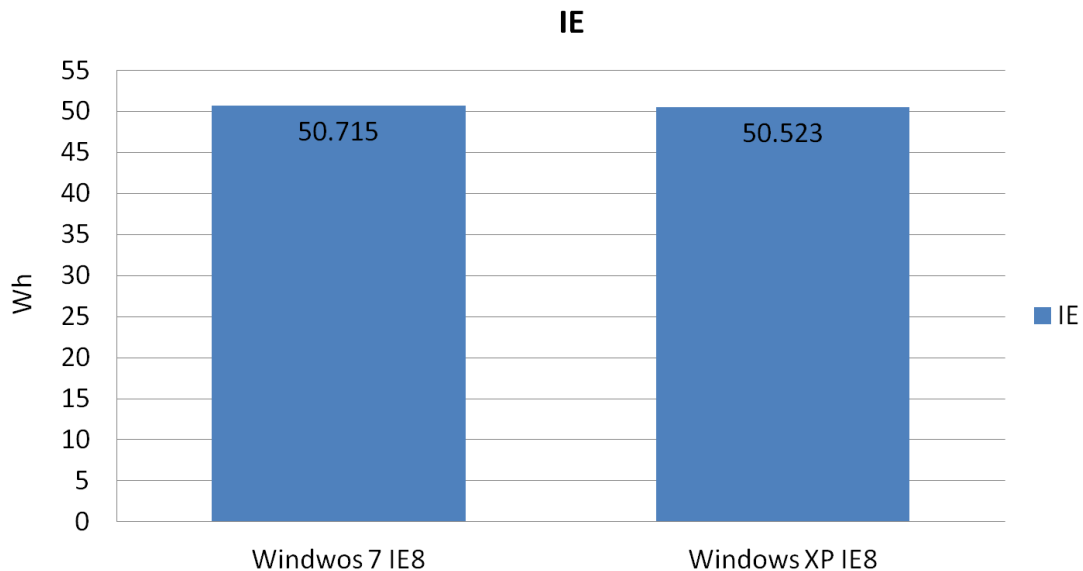


圖 4.6 IE 在 Kraken 之實驗平均耗能

表 4-4 IE 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	50.72	50.52
平均所花時間(sec)	2685.75	2690.58
平均電量(W)	67.98	67.60

以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗電為 Windows 7 之 99.62%，差距小於 1%，可以認為 IE8 之耗電受作業系統不同的影響微小，兩者並無明顯差異。在 Kraken 實驗中，Windows 7 平均電量與 Windows XP 平均電量和所花時間同樣的並無明顯差異，故耗電也是如此。

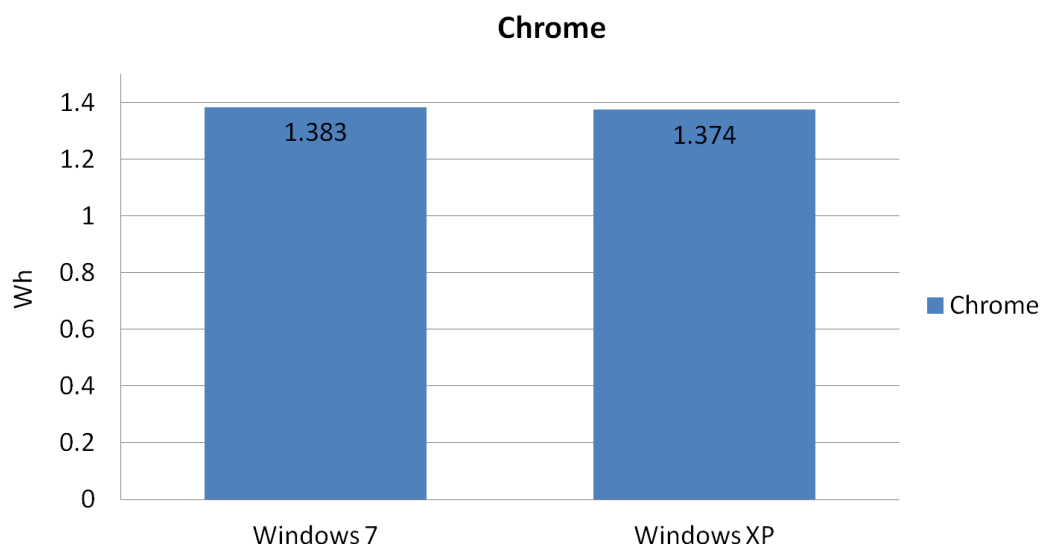


圖 4.7 Chrome 在 Kraken 之實驗平均耗電

表 4-5 Chrome 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	1.38	1.37
平均所花時間(sec)	66.63	66.10
平均電量(W)	74.75	74.82

以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗電為 Windows 7 之 99.35%，差距小於 1%，可以認為 Chrome 之耗電受作業系統不同的影響微小，兩者並無明

顯差異。與 V8 實驗相同，在 Kraken 實驗中，Chrome 在 Windows 7 平均電量與 Windows XP 平均電量和所花時間同樣的並無明顯差異，故耗能也如此。

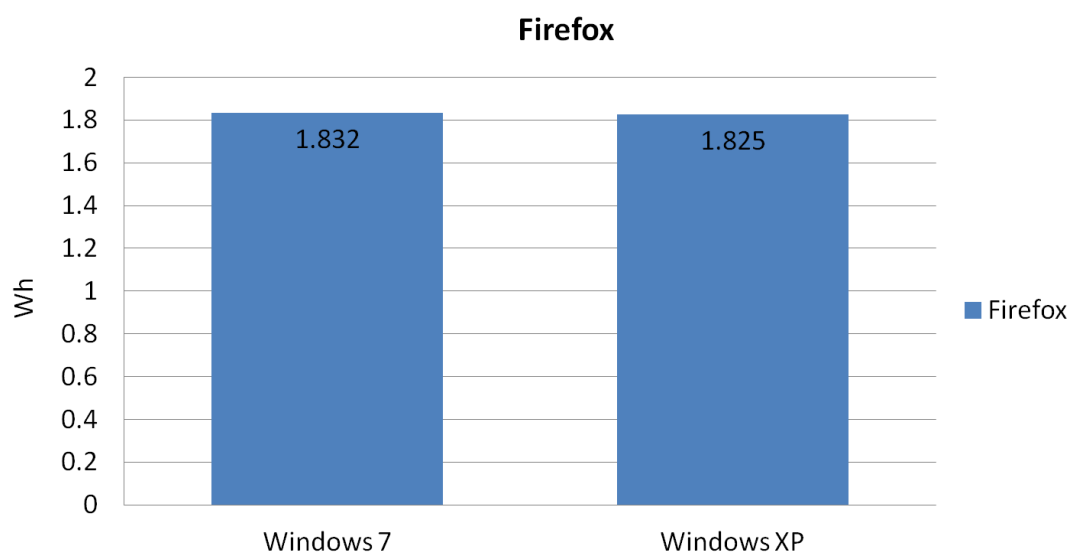


圖 4.8 Firefox 在 Kraken 之實驗平均耗能

表 4-6 Firefox 在不同作業系統的 Kraken 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	1.83	1.83
平均所花時間(sec)	92.50	92.18
平均電量(W)	71.31	71.25

以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗電為 Windows 7 之 99.62%，差距小於 1%，可以認為 Firefox 之耗電因作業系統不同影響微小，兩者並無明顯差異。

由相同瀏覽器不同作業系統平均耗電之比較，可以得知在 Kraken 實驗中 IE、Chrome 及 Firefox 之耗電不受作業系統不同影響。同樣的，與在 V8 實驗相同，在 Kraken 實驗中，Firefox 在 Windows 7 電量與 Windows XP 電量和所花時間同樣的並無明顯差異，故耗能也如此。

## 4.2.2 Kraken 中相同作業系統不同瀏覽器耗能

將上述測得之耗能，透過相同作業系統在不同瀏覽器時之耗能，比較在 Kraken 實驗中瀏覽器的差異。圖 4.9 為不同瀏覽器在 Windows 7 的 Kraken 實驗平均耗能，圖 4.10 為不同瀏覽器在 Windows XP 的 Kraken 實驗平均耗能。

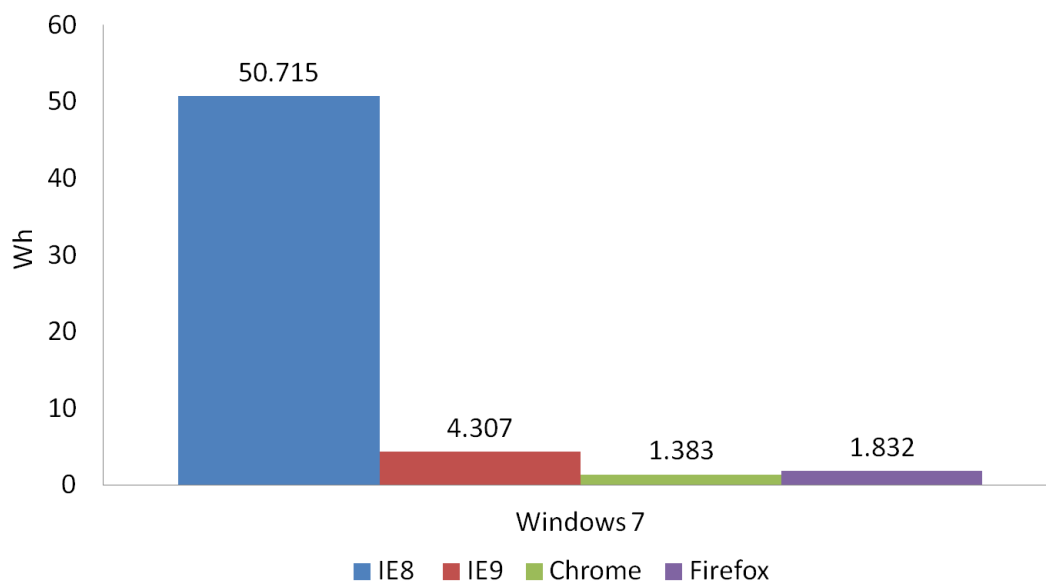
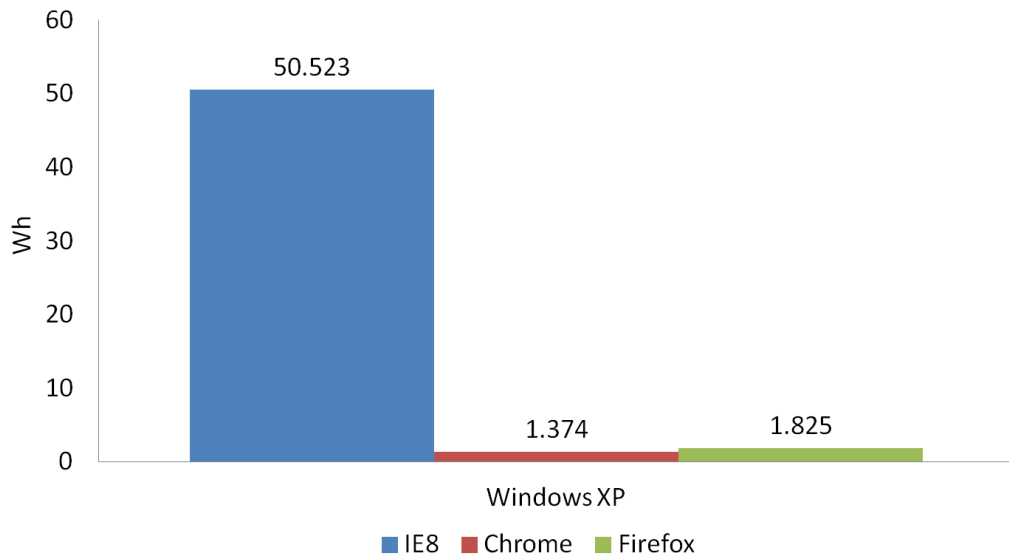


圖 4.9 Windows 7 在 Kraken 之實驗平均耗能

Windows 7 在 Kraken 耗能實驗中，以 IE8 為比例，IE9 為 IE8 之 8.49%，Chrome 為 2.73%，Firefox 為 3.61%。可以得知，在此耗能實驗中，IE8 之耗能遠大於其餘三者。其中，耗能的大小為 IE8>IE9>Firefox>Chrome。

圖 4.10 Windows XP 在 Kraken 之實驗平均耗能



Windows XP 在 Kraken 耗能實驗中，以 IE8 為比例，Chrome 為 IE8 之 2.72%，Firefox 為 3.61%，可以得知，在此耗能實驗中，IE8 之耗能遠大於其餘二者，其中，耗能的大小為 IE8>Firefox>Chrome。由此可知，在 Kraken 實驗中不論使用何種作業系統，耗能的排名皆相同。並且，也與 V8 的耗能實驗結果相同。

## 4.3 FPM 實驗

### 4.3.1 FPM 中相同瀏覽器不同作業系統耗能

在 FPM 實驗中，測得 IE、Chrome、Firefox 在 Windows 7 與 Windows XP 上之平均耗能，圖 4.11 為 IE 在不同作業系統的 FPM 實驗平均耗能，表 4.7 為 IE 在不同作業系統的 FPM 實驗平均電量，圖 4.12 為 Chrome 在不同作業系統的 FPM 實驗平均耗能，表 4.8 為 Chrome 在不同作業系統的 FPM 實驗平均電量，圖 4.13 為 Firefox 在不同作業系統的 FPM 實驗平均耗能，表 4.9 為 Firefox 在不同作業系統的 FPM 實驗平均電量。

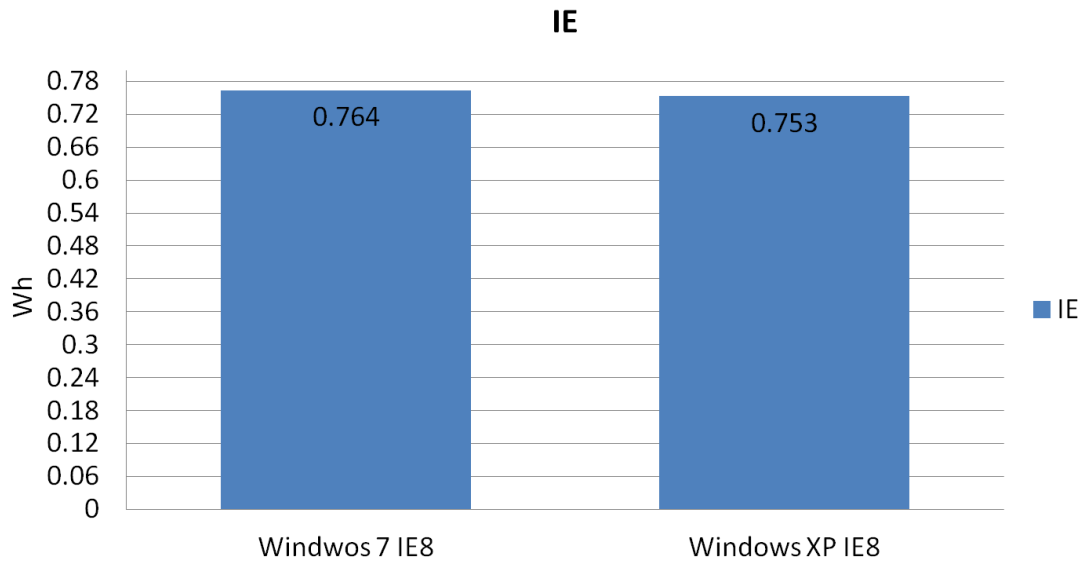


圖 4.11 IE 在 FPM 之實驗平均耗能

表 4-7 IE 在不同作業系統的 FPM 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	0.76	0.75
平均所花時間(sec)	41.61	44.12
平均電量(W)	65.97	65.93

以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗能為 Windows 7 之 98.56%，差距約在 1.5%，可以認為 IE8 之耗能會因作業系統不同而影響，但遠不如 V8 實驗之差異。在 FPM 實驗中，Windows 7 平均電量與 Windows XP 平均電量並無明顯差異，但因時間的差距而使 IE8 在 Kraken 實驗產生的耗能有 1.5% 的差距。



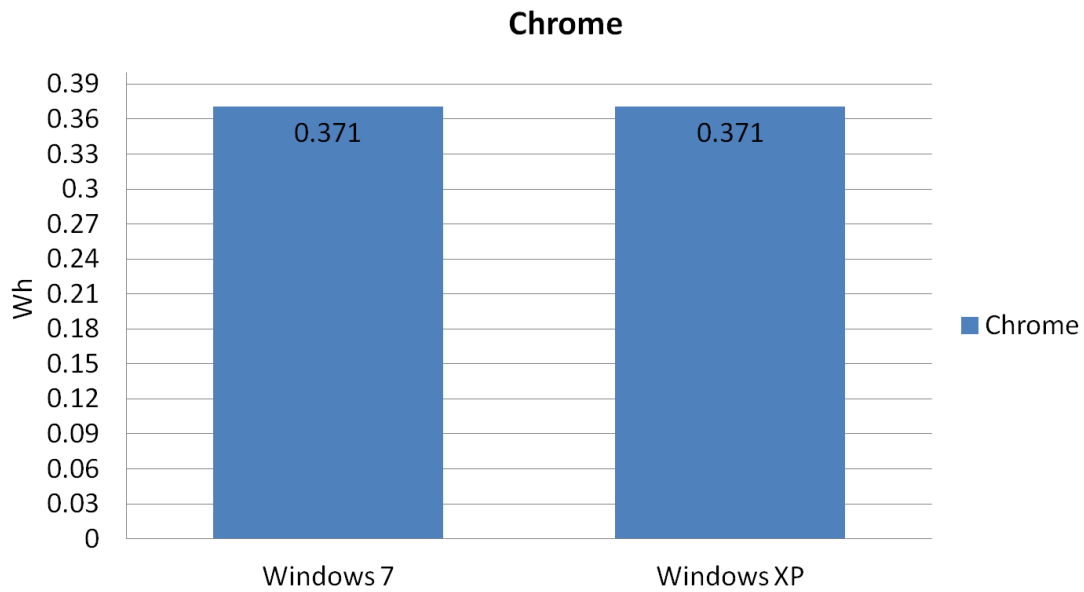


圖 4.12 Chrome 在 FPM 之實驗平均耗能

表 4-8 Chrome 在不同作業系統的 FPM 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	0.37	0.37
平均所花時間(sec)	19.93	19.91
平均電量(W)	67.03	66.98

以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗能與 Windows 7 並無明顯差異，可以說作業系統並不影響耗能。與前兩者實驗相同，Chrome 在 Windows 7 平均電量與 Windows XP 平均電量和所花時間同樣的並無明顯差異，故耗能也如此。

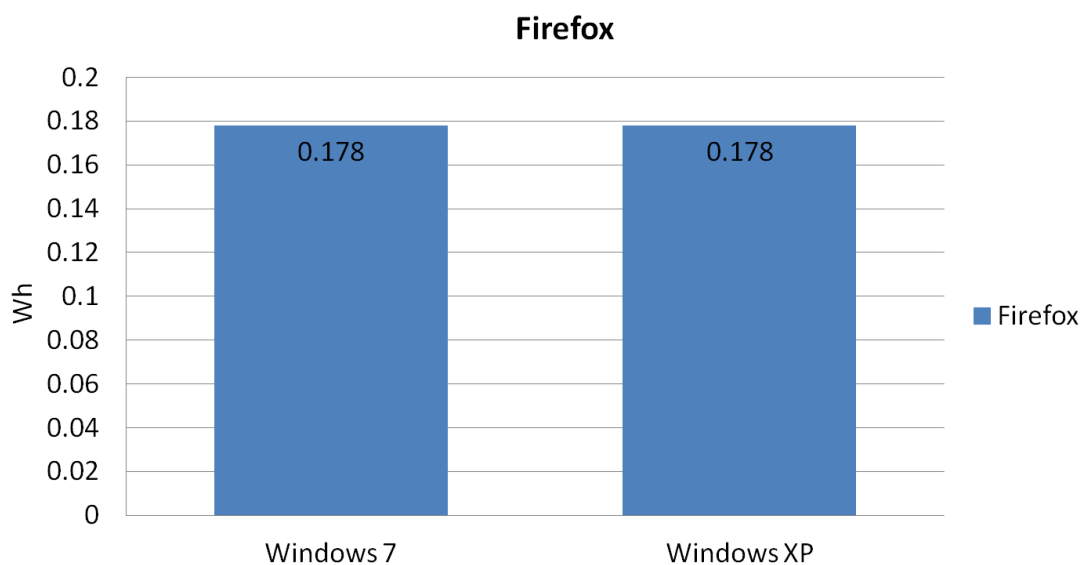


圖 4.13 Firefox 在 FPM 之實驗平均耗能

表 4-9 Firefox 在不同作業系統的 FPM 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	0.18	0.18
平均所花時間(sec)	9.86	9.86
平均電量(W)	64.97	65.01

以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗能與 Windows 7 並無明顯差異，可以說作業系統並不影響耗能。同樣的，與前兩者實驗相同，Firefox 在 Windows 7 平均電量與 Windows XP 平均電量和所花時間同樣的並無明顯差異，故耗能也如此。

由相同瀏覽器不同作業系統耗能之比較，可以得知在 FPM 實驗中 IE 會因作業系統耗能影響但差異小於 1.5%，而 Chrome 及 Firefox 之耗能不受作業系統不同影響。

#### 4.3.2 FPM 中相同作業系統不同瀏覽器耗能

將上述測得之耗能，透過相同作業系統在不同瀏覽器時之平均耗能，比較在 FPM 實驗中瀏覽器的差異。圖 4.14 為不同瀏覽器在 Windows 7 的 FPM 實驗平均

耗能，圖 4.15 為不同瀏覽器在 Windows XP 的 FPM 實驗平均耗能。

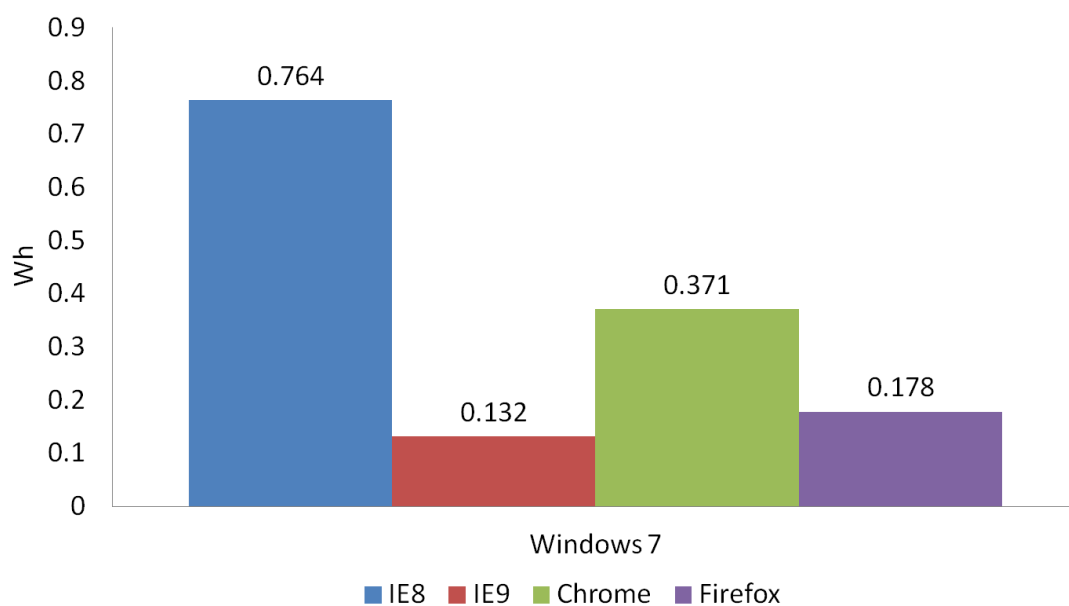


圖 4.14 Windows 7 在 FPM 之實驗平均耗能

Windows 7 在 FPM 耗能實驗中，以 IE8 為比例，IE9 為 IE8 之 17.28%，Chrome 為 48.56%，Firefox 為 23.30%。與 V8 和 Kraken 實驗不同，IE8 的耗能雖相同的大於其餘三者，但 IE9 在 FPM 實驗中耗能为最少。其中，耗能的大小為 IE8>Chrome>Firefox>IE9。

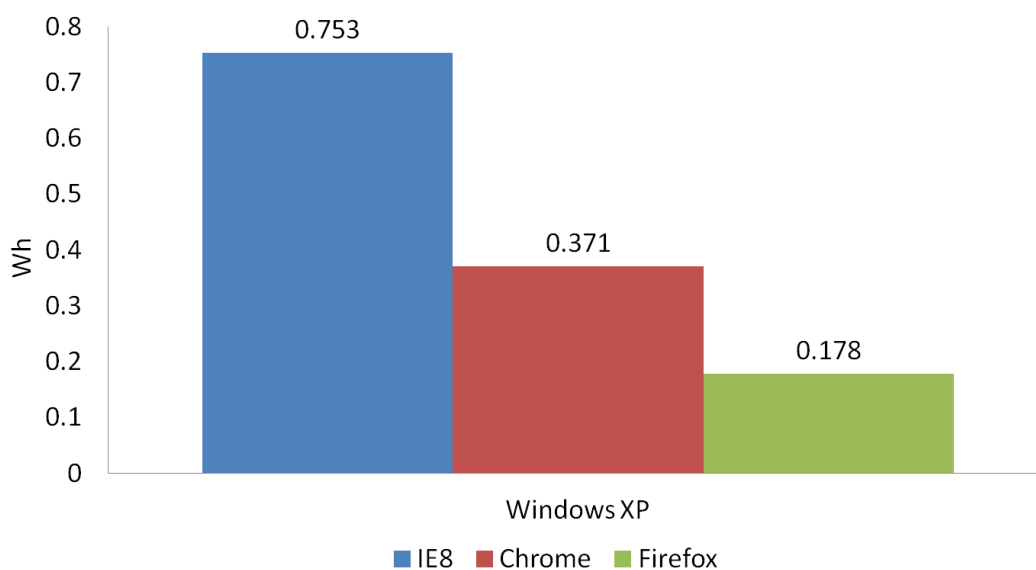


圖 4.15 Windows XP 在 Kraken 之實驗耗能

Windows XP 在 FPM 耗能實驗中，以 IE8 為比例，Chrome 為 IE8 之 49.27%，Firefox 為 23.64%，可以得知，在此耗能實驗中，IE8 之耗能遠大於其餘二者。其中，耗能的大小為 IE8 > Chrome > Firefox。在 FPM 實驗中，不論何種作業系統，耗能的大小排名皆相同。但與 V8 和 Kraken 不同，在此實驗中 IE9 的耗能最小，Firefox 次之。

## 4.4 TV 實驗

### 4.4.1 TV 中相同瀏覽器不同作業系統耗能

在 TV 實驗中，測得 IE、Chrome、Firefox 在 Windows 7 與 Windows XP 上之平均耗能，圖 4.16 為 IE 在不同作業系統的 TV 實驗平均耗能，表 4.10 為 IE 在不同作業系統的 TV 實驗平均電量，圖 4.17 為 Chrome 在不同作業系統的 TV 實驗平均耗能，表 4.11 為 Chrome 在不同作業系統的 TV 實驗平均電量，圖 4.18 為 Firefox 在不同作業系統的 TV 實驗平均耗能，表 4.12 為 Firefox 在不同作業系統的 TV 實驗平均電量。

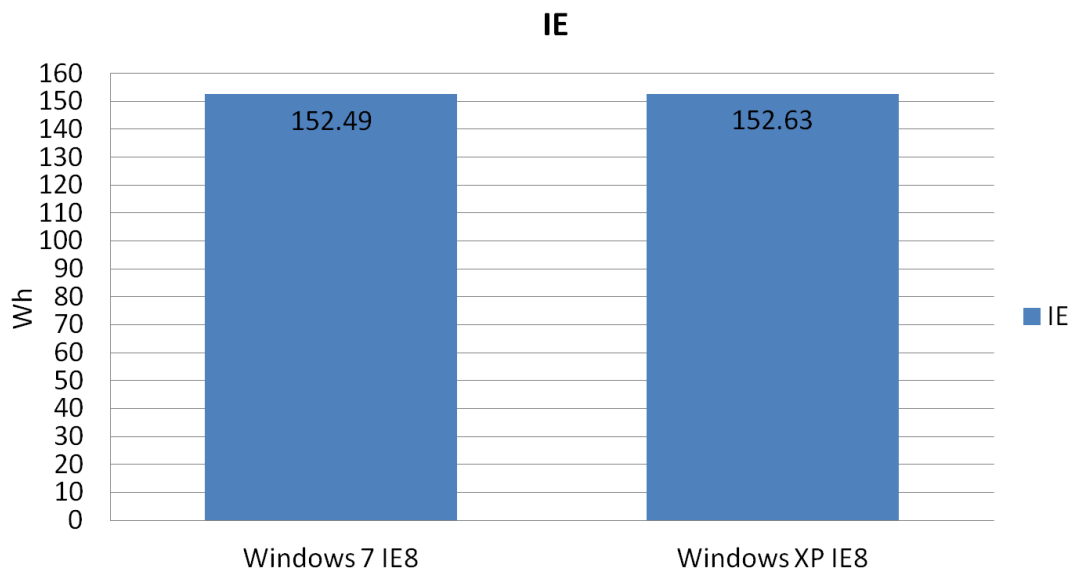


圖 4.16 IE 在 TV 之實驗平均耗能

表 4-10 IE 在不同作業系統的 TV 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	152.49	152.63
平均所花時間(sec)	7420.92	7428.29
平均電量(W)	73.98	73.97

以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗電為 Windows 7 之 1.001 倍，差距在 1% 之內，可以認為 IE8 之耗電受作業系統不同的影響微小，兩者並無明顯差異。在 TV 實驗中，Windows 7 平均電量與 Windows XP 平均電量並無明顯差異，時間的差距只有 0.1%，使產生的耗電也無明顯的差異。

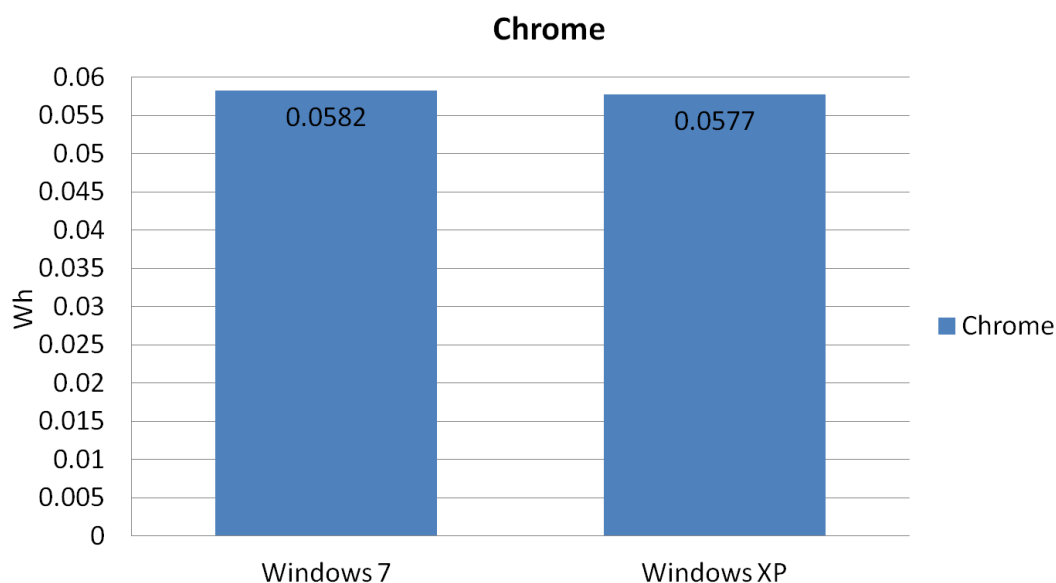


圖 4.17 Chrome 在 TV 之實驗平均耗電

表 4-11 Chrome 在不同作業系統的 TV 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	0.06	0.06
平均所花時間(sec)	3.08	2.91
平均電量(W)	69.17	71.33

以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗電為 Windows 7 之 99.10%，差距小於 1%，可以認為 Chrome 之耗電受作業系統不同的影響微小，兩者並無明

顯差異。但與前三者實驗不同，Chrome 在 Windows 7 平均電量較 Windows XP 平均電量低，而所花時間卻較長，才會使得耗能並無明顯差異。

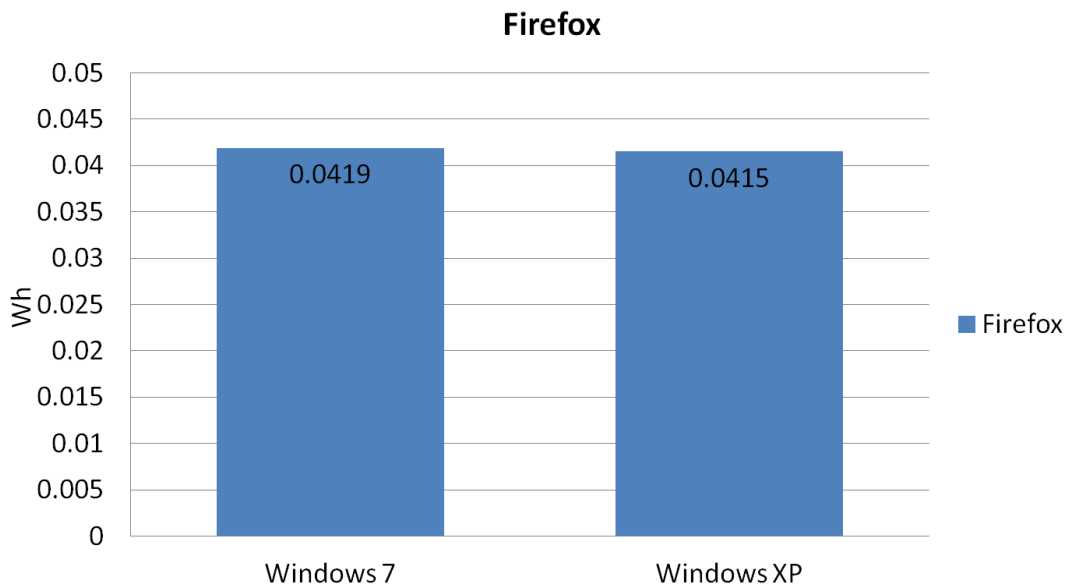


圖 4.18 Firefox 在 TV 之實驗平均耗能

表 4-12 Firefox 在不同作業系統的 TV 實驗平均電量

OS	Windows 7	Windows XP
平均耗能(Wh)	0.04	0.04
平均所花時間(sec)	2.15	2.12
平均電量(W)	70.18	70.55

以 Windows 7 為比例，Windows XP 之平均耗能為 Windows 7 之 99.05%，差距小於 1%，可以認為 Firefox 之耗能因作業系統不同影響微小，兩者並無明顯差異。與前三者實驗相同，Firefox 在 Windows 7 平均電量與 Windows XP 平均電量和所花時間同樣的並無明顯差異，故耗能也如此。

由相同瀏覽器不同作業系統耗能之比較，可以得知在 TV 實驗中 IE、Chrome 及 Firefox 之耗能不受作業系統不同影響。

### 4.3.1 TV 中相同作業系統不同瀏覽器耗能

將上述測得之耗能，透過相同作業系統在不同瀏覽器時之耗能，比較在 TV

實驗中瀏覽器的差異。圖 4.19 為不同瀏覽器在 Windows 7 的 TV 實驗平均耗能，圖 4.20 為不同瀏覽器在 Windows XP 的 TV 實驗平均耗能。

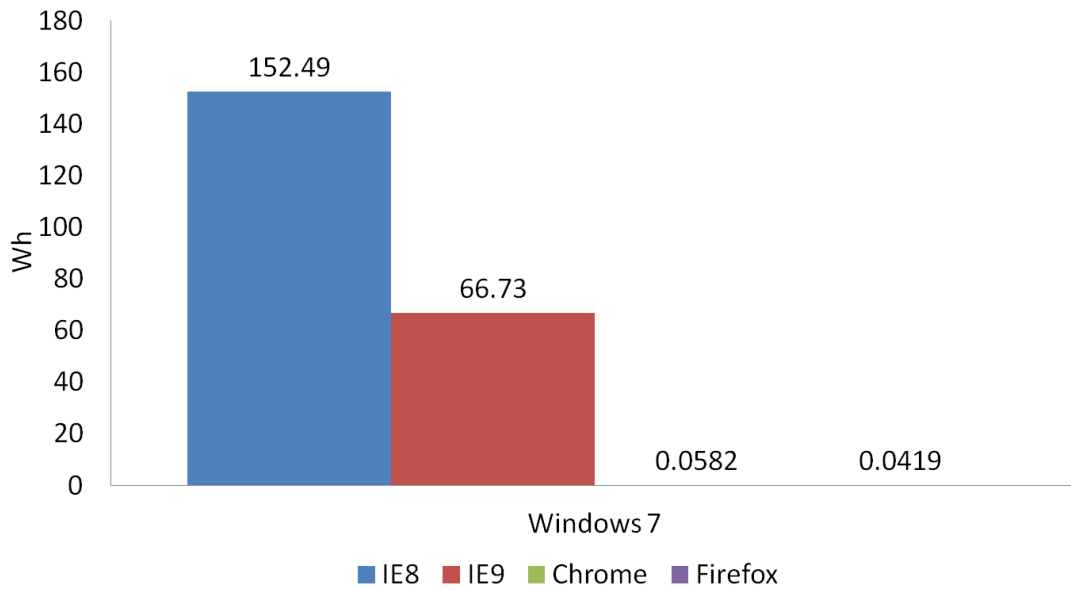


圖 4.19 Windows 7 在 TV 之實驗平均耗能

Windows 7 在 TV 耗能實驗中，以 IE8 為比例，IE9 為 IE8 之 43.76%，Chrome 為 0.04%，Firefox 為 0.03%。可以得知，在此耗能實驗中，IE8 與 IE9 之耗能遠大於其餘三者。其中，耗能的大小為 IE8>IE9 >Chrome>Firefox。

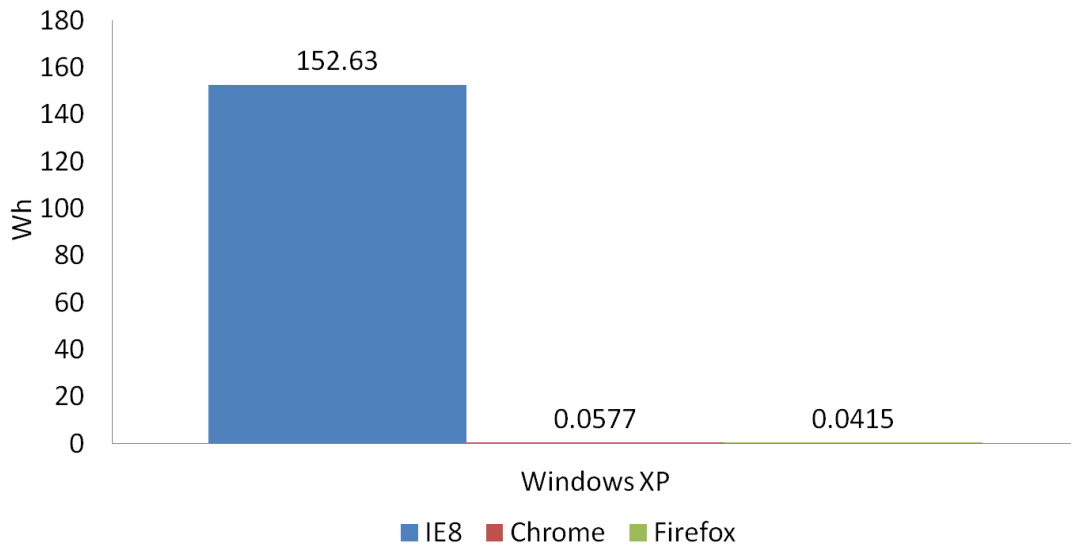


圖 4.20 Windows XP 在 TV 之實驗平均耗能

Windows XP 在 TV 耗能實驗中，以 IE8 為比例，Chrome 為 IE8 之 0.04%，Firefox 為 0.03%，可以得知，在此耗能實驗中，IE8 之耗能遠大於其餘二者。其

中，耗能的大小為 IE8>Chrome>Firefox。由此可知，在 TV 實驗中不論何種作業系統，耗能的排名皆相同。

## 4.5 結果探討與比較

經由實驗結果得知，使用 IE8 時，在 V8 實驗及 FPM 實驗中耗能會因作業系統不同而影響，其餘的瀏覽器不論在何種實驗中，兩種作業系統的耗能均無明顯差異，也就是說 Chrome 及 Firefox 的耗能不會因作業系統不同而有所不同；而為了與 Firefox 和 Chrome 最新版本做比較，IE9 做為 IE 最新的瀏覽器版本，其耗能也必須被納入比較中，故本節選用了 Windows 7 做為各種瀏覽器之間探討和比較的作業系統，但也將 IE8 納入比較中，希望能由此觀察出 IE8 與 IE9 之耗能及電量差異。

### 4.5.1 瀏覽器使用 JavaScript 與閒置時之電量差距

本節中探討了瀏覽器使用 JavaScript 時的電量和瀏覽器閒置時的電量差距，我們列舉了各種瀏覽器在各個實驗時的平均電量，其中，由於在先前閒置時各種瀏覽器的電量並無明顯差距的結果，本篇比較中使用了 Chrome 在 Windows 7 的閒置時電量作為比較，能夠得知，瀏覽器在使用 JavaScript 時，較不使用時產生多少額外的電量。表 4.13 為瀏覽器使用和不使用時的電量差距。



表 4-13 瀏覽器使用和不使用時的電量差距

實驗	V8		Kraken		FPM		TV	
	平均電量 (W)	與 Chrome 閒置時電量比較 (53.99W)	平均電量 (W)	與 Chrome 閒置時電量比較 (53.99W)	平均電量 (W)	與 Chrome 閒置時電量比較 (53.99W)	平均電量 (W)	與 Chrome 閒置時電量比較 (53.99W)
IE8	68.60	127%	67.98	126%	65.97	122%	73.98	137%
IE9	69.77	129%	73.54	136%	66.58	123%	82.87	154%
Chrome	70.36	130%	74.75	139%	67.03	124%	69.17	128%
Firefox	71.34	132%	71.31	132%	64.97	120%	70.18	130%

瀏覽器使用 JavaScript 時的電量與瀏覽器閒置時之電量差距，最高為 IE9 在 TV 實驗時，為閒置時之 1.54 倍，而最低則是 Firefox 在 FPM 實驗時差距為 1.2 倍。表中能看出不論在何種瀏覽器及任何實驗中，使用 JavaScript 時的電量較閒置時至少多出了 20% 以上。而在 TV 實驗中，也能夠看出在使用者介面上的資料處理的確會造成電腦的電量提升。

#### 4.5.2 各種瀏覽器使用之耗能比較

本節也比較了各個瀏覽器在四種實驗的耗能及碳排放量差距，我們列出瀏覽器在各個 JavaScript 實驗時的耗能，並以 Chrome 作為基準相比較。表 4.14 中將不同瀏覽器在各個實驗做比較。

表 4-14 各項實驗的瀏覽器耗能比較

實驗	V8		Kraken		FPM		TV	
	平均 耗能 (Wh)	與 Chrome 比較	平均 耗能 (Wh)	與 Chrome 比較	平均 耗能 (Wh)	與 Chrome 比較	平均 耗能 (Wh)	與 Chrome 比較
Chrome	0.42	100%	1.38	100%	0.37	100%	0.06	100%
IE8	3.66	871%	50.72	3675%	0.76	205%	152.49	254150%
IE9	0.49	167%	4.31	312%	0.13	35%	66.73	111217%
Firefox	0.45	107%	1.83	133%	0.18	49%	0.04	67%

由各個實驗耗能的比較可得知：

1. IE8 不論在何種實驗中，耗能皆遠大於其他者，而 IE9 之耗能則與 Firefox 及 Chrome 較為接近，固不將 IE8 列入比較只以 IE9 作為 IE 之耗能參考依據。
2. V8 和 Kraken 的實驗使用較多的 JavaScript 物件做為依據，其比較也較為全面，兩者實驗結果相同，皆顯示 Chrome 的耗能最少，Firefox 之耗能为 Chrome 之 1.07 倍及 1.33 倍，IE9 之耗能則為 Chrome 之 1.67 倍及 3.12 倍。
3. 在 FPM 的實驗中能夠得知，IE9 瀏覽器在處理器使用率達到最高的情況下，耗能为最少，為 Chrome 之 0.35 倍。
4. 而實驗中能夠得知，Firefox 瀏覽器在使用者界面的資料處理時，耗能为最少，為 Chrome 之 0.67 倍。

## 5. 結論與未來研究

本論文以瀏覽器使用 JavaScript 時的耗能做為研究。在基於兩種不同作業系統以及三種不同瀏覽器做為實驗對象，本研究發現，當瀏覽器執行 JavaScript 時，其耗能遠高於瀏覽器閒置時耗能的 20% 以上。因此，瀏覽器在執行 JavaScript 時，的確會在耗能上造成影響。本研究比較目前較受歡迎的幾款瀏覽器，分別是 IE、Firefox、以及 Chrome。在實驗中由於 IE8 之耗能遠高與其餘兩者以及 IE9，同時 IE8 的下一版本 IE9 也已列入比較，因此在不考量 IE8 下，以 V8 和 Kraken 測試實驗做為依據，IE9 的耗能分別為 Chrome 的 1.6 倍及 3.2 倍。而在 TV 實驗中，IE9 的耗能更是 Chrome 的 1100 倍。

本研究未來將進一步根據 JavaScript 的耗能模式，提出開發 web 應用軟體時的耗能設計準則，從而有效降低網路軟體在用戶端(client side)的耗能。

## 6. 參考文獻

- [1]. Baliga, J., Hinton, K., Tucker, R. S., “Energy Consumption of the Internet,” *Proceedings of 32nd Australian Conference on Optical Internet*, Melbourne, VIC, 24-27, Jun, 2007, pp. 1-3.
- [2]. Baynes, K., Collins, C., Fiterman, E., Ganesh B., “The Performance and Energy Consumption of Embedded Real-Time Operating Systems,” *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 52, Iss. 11, 2003, pp.1454-1469.
- [3]. Beckmann, A., Meyer, U., Sanders, P., Singler, J., “Energy-efficient sorting using solid state disks,” *Journal of Sustainable Computing: Informatics and Systems*, Vol. 1, Iss. 2, June, 2011, pp. 151-163.
- [4]. Benini, L., Micheli, G., “System-level power optimization: techniques and tools,” *ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems*. Vol. 5, Iss. 2, Apr, 2000.
- [5]. Callou, G., Maciel, P., Tavares, E., Andrade, E., “Energy consumption and execution time estimation of embedded system applications,” *Journal of Microprocessors and Microsystems*, Vol. 35, Iss. 4, June, 2011, pp. 426–440.
- [6]. Cano, M.D., Gines, D.A., “A secure energy-efficient m-banking application for mobile devices,” *Journal of Systems and Software*, Vol. 84, Iss. 11, Nov, 2011, pp. 1899-1909.
- [7]. Capra, E., Francalanci, C., Slaughter, S.A., “Is software “green”? Application development environments and energy efficiency in open source applications,” *Journal of Information and Software Technology*, Vol. 54, Iss. 1, Jan, 2012, pp. 60-71.
- [8]. Capra, E., Merlo, F., “Green IT: Everything starts from the software,” *Proceeding of Information Systems on European Conference*, 2009.
- [9]. Cioara, T., Anghel, I., Salomie, I., Copil, G., Moldovan, D., Grindean, M., “Time series based dynamic frequency scaling solution for optimizing the CPU energy consumption,” *Processing of 2011 IEEE International Conference*, 25-27 Aug, 2011, pp. 477 – 483.
- [10]. Deng, Y., Wang, F., Na, H., “EED: Energy Efficient Disk drive architecture,” *Journal of Information Sciences*, Vol. 178, Iss. 22, 15 Nov, 2008, pp. 4403-4417.
- [11]. Elnozahy, E.N., Kistler, M., Rajamony, R., “Energy-efficient server clusters,” *Proceedings of the 2nd international conference on Power-aware computer systems*, 2003.
- [12]. Fettweis, G. and Zimmermann, E., “ICT Energy Consumption–Trends and

- Challenges,” *Proceedings of IEEE WPMC*, Lapland, Finland, Sep. 8-11, 2008.
- [13].Kienle, H.M., “It’s About Time to Take JavaScript (More) Seriously,” *Journal of IEEE software*, Vol. 27, Iss. 3, May-June, 2010, pp. 60 – 62.
- [14].Lafond, S., Lilius, J., “Energy consumption analysis for two embedded Java virtual machines,” *Journal of Systems Architecture*, Vol. 53, Iss. 5–6, May–June, 2007, pp. 328–337.
- [15].Markovic, D.S., Zivkovic, D., Cvetkovic, D., Popovic, R., “Impact of nanotechnology advances in ICT on sustainability and energy efficiency,” *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, Iss. 5, Jun, 2012, pp. 2966–2972.
- [16].McAfee Inc., “The Carbon Footprint of Email Spam Report,” 2008, <http://resources.mcafee.com/content/NACarbonFootprintSpam>
- [17].Newsham, G.R., Tiller, D.K., “The Energy Consumption of Desktop Computers Measurement and Savings Potential,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 30 , Iss. 4, 1994, pp. 1065 – 1072.
- [18].Potlapally, N.R., Ravi, S., Raghunathan, A., Jha, N.K., “A Study of the Energy Consumption Characteristics of Cryptographic Algorithms and Security Protocols,” *IEEE Transaction on Mobile Computing*, Vol. 6, Iss. 2, Feb, 2006, pp. 128 – 143.
- [19].Roth, K.W., McKenney, K., ”Energy Consumption by Consumer Electronics in U.S. Residences,” *Consumer Electronics Association TIA X LLC Inc.*, January, 2007. [http://www.ce.org/pdf/Energy\\_Consumption\\_by\\_CE\\_in\\_U.S.\\_Residences](http://www.ce.org/pdf/Energy_Consumption_by_CE_in_U.S._Residences)
- [20].Sharafeddine, S., Maddah, R., “A light weight adaptive compression scheme for energy-efficient mobile-to-mobile file sharing applications,” *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 34, Iss. 1, Jan, 2011, pp. 52-61.
- [21].Shnayder, V., Hempstead, M., Chen, B., Allen, G. W., Welsh, M., “Simulating the power consumption of large-scale sensor network applications,” *Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, Baltimore, USA, Nov, 03 – 05, 2004.
- [22].Sivasubramaniam, A., Kandemir, M., Vijaykrishnan, N., Irwin, M.J., “Designing energy-efficient software,” *Proceedings of International Parallel and Distributed Processing Symposium*, vol. 2, 2002, pp. 176.
- [23].Somavat , P., Jadhav ,S., Namboodiri, V., ”Accounting for the Energy Consumption of Personal Computing Including Portable Devices,” *Proceedings of the 1st International Conference on Energy-Efficient Computing and Networking*, Passau, Germany, April, 2010.
- [24].Statcounter, Browser monthly 2012-03: <http://gs.statcounter.com/#browser-ww-monthly-201203-201203-bar>

- [25].Statcounter, OS monthly 2012-02:  
<http://gs.statcounter.com/#os-ww-monthly-201202-201202-bar>
- [26].Taivalasaari, A., Mikkonen, T., Anttonen, M., Salminen, A., ” The Death of Binary Software: End User Software Moves to the Web,” Proceedings of Creating, Connecting and Collaborating through Computing, Jan., 2011, pp. 17-23.
- [27].Taylor, B.N., “The International System of Units (SI),”  
<http://physics.nist.gov/Pubs/SP330/sp330.pdf>
- [28].Taylor, C., Koomey, J., “Estimating Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Internet Advertising,” Feb, 2008,  
<http://www.imc2.com/Documents/CarbonEmissions.pdf>
- [29].Tunç, M., Ç amdali, Ü ., Liman, T., Değer, A., “Electrical energy consumption and production of Turkey versus world,” *Journal of Energy Policy*, Vol. 34, Iss. 17, Nov, 2006, pp. 3284-3292.
- [30].Xiaobo Fan, X., Weber, W.D., Barroso, L.A., “Power Provisioning for a Warehouse-sized Computer,” *Proceedings of the 34th annual international symposium on Computer architecture*, Vol. 35, Iss. 2, May, 2007.
- [31].Yu, X., Kalyanaraman, R.S., Yla-Jaaski, A., “Energy Consumption of Mobile YouTube : Quantitative Measurement and Analysis,” *Proceedings of Next Generation Mobile Applications Conference, Services and Technologies conference*, Sep, 2008, pp. 61-69.
- [32].Zhang, X., Wu, Z.D., “The balance of routing energy consumption in wireless sensor networks,” *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Vol. 71, Iss. 7, July, 2011, pp. 1024-1033.