

95 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」

成果完整報告

燃燒金紙、拜香及爆竹產生空氣污染物之減量及危害評估 子計畫一：燃燒金紙及拜香產生空氣污染物之成分分析及 排放量推估

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 95-EPA-Z-006-02-

執行期間：95 年 3 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

總計畫主持人：周明顯 國立中山大學 環境工程研究所

計畫主持人：朱 信 國立成功大學 環境工程學系

計畫參與人員：洪文啟、周文傑、徐敏容 國立成功大學 環境工程學系

執行單位：國立成功大學 環境工程學系

中 華 民 國 九 十 六 年 一 月 三 十 一 日

摘要

台灣傳統的民間信仰中祭祀行為稱為「拜拜」，並可將拜拜的目的分類為敬神佛、謝恩還願、謝罪、消災避祟、祈求等五大類。除此之外，許多民眾在家中亦有祭拜祖先的習俗，這些民俗祭拜程序大同小異，多有拜香、焚燒金銀冥紙等儀式。在無良好的通風及溫度條件下，拜香及金紙焚燒會有不完全燃燒之問題產生，進而產生一氧化碳、懸浮微粒、臭味、落塵、重金屬及致癌的物質等問題。

本計畫研究市面上販售之兩種金紙及三種拜香，並研究改良之兩種金紙及兩種拜香，主要工作成果分述如下：

1. 金紙燃燒後廢氣平均濃度：NO_x 為 37.5 ppm，SO₂ 為 429 ppb，CO 濃度為 1,060 ppm；拜香燃燒後廢氣平均濃度：NO_x 為 2.3 ppm，SO₂ 為 88.2 ppb，CO 濃度為 422 ppm。燃燒金紙與拜香廢氣以 GC/MS 測定結果皆含正己烷、甲苯、苯等揮發性有機物。
2. 燃燒金紙之懸浮微粒主要粒徑分布大約介於 0.56 μm 至 3.2 μm 之間，平均燃燒每公克之金紙產生 34.6 mg 之飛灰；燃燒拜香之懸浮微粒粒徑皆小於 1.8 μm，平均燃燒每公克之拜香產生 17.0 mg 之飛灰。
3. 排放量推估：台灣地區寺廟每年燃燒金紙及拜香分別約 34,920 公噸及 4,190 公噸以上，燃燒金紙平均產生 NO_x 67.0 公噸、SO₂ 1.05 公噸、CO 1,158 公噸及懸浮微粒 1,209 公噸以上；每年燃燒拜香平均產生 NO_x 14.5 公噸、SO₂ 0.81 公噸、CO 1,592 公噸及懸浮微粒 71.4 公噸以上。

關鍵詞：金紙、拜香、排放因子、排放量

Abstract

Burning the joss paper and Chinese incense is a very popular religion habit in Taiwan. It will produce CO, suspended particle, odor, dust, heavy metals and carcinogenic substances under inappropriate operations.

Results of this study are briefly described as follows :

1. Joss papers and incenses were tested firing. The average concentrations of the air pollutants from burning joss papers are shown as follows: NO_x 37.5 ppm, SO₂ 429 ppb, and CO 1,060 ppm. The average concentrations of the air pollutants from burning incenses are shown as follows: NO_x 2.3 ppm, SO₂ 88.2 ppb, and CO 422 ppm. From the GC/MS results, the major components of VOCs are n-hexane, toluene, benzene, etc.
2. After burning joss papers, the major sizes of particulates are between 0.56 μm and 3.2 μm. The average emission factor of the particulates is 34.6 mg/g-joss paper. After burning incenses, the sizes of the particulates are all smaller than 1.8 μm. The average emission factor of the particulates is 17.0 mg/g-incense.
3. There are more than 34,920 tons joss papers and 4910 tons incense burning from the temples in Taiwan every year. Emissions evaluation of air pollutants from joss paper and incense burning may be estimated as follows: joss paper: 67.0 tons NO_x, 1.05 tons SO₂, 1,158 tons CO, and 1,207 tons particulates. Incense: 14.5 tons NO_x, 0.81 tons SO₂, 1,592 tons CO, and 71.4 tons particulates.

Keywords: joss paper, Chinese incense, emission factor, emissions

目 錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
第一章 前言.....	1
1-1 緣起.....	1
1-2 研究目的.....	1
第二章 文獻探討.....	2
2-1 紙錢及祭拜用香組成特性.....	2
2-2 紙錢及祭拜用香燃燒空氣污染物相關背景研究.....	4
2-3 焚燒金爐空氣污染防制設施.....	8
第三章 執行方法.....	10
3-1 研究流程.....	10
3-2 研究設備與方法.....	11
3-2.1 金紙與拜香之選擇.....	11
3-2.2 實驗反應系統.....	13
3-2.3 採樣與分析實驗.....	16
3-2.4 排放量推估.....	20
第四章 主要工作內容及重要發現與成果.....	21
4-1 三成份分析.....	21
4-2 元素分析.....	22
4-3 粒徑分析.....	23
4-4 氮氧化物、二氧化硫及一氧化碳分析.....	26
4-5 金屬元素分析.....	28

4-6 揮發性有機物分析.....	32
4-7 排放量推估.....	37
第五章 主要建議.....	42
參考文獻.....	43

圖目錄

圖一	研究計畫流程圖.....	10
圖二	金紙焚化系統與產物採樣分析系統示意圖.....	14
圖三	拜香焚化系統與產物採樣分析系統示意圖.....	15

表目錄

表一	一般金紙之基本性質分析【董士誠，2002】	6
表二	種金紙之規格比較表	11
表三	種拜香之規格比較表	12
表四	OUDI 採樣器各層之氣動粒徑	17
表五	金屬元素之偵測波長	19
表六	紙與拜香之三成份分析	21
表七	紙與拜香之元素分析	22
表八	燃燒四種金紙所產生之懸浮微粒分布與總量表	23
表九	燃燒金紙產生懸浮微粒之排放係數比較(mg/g)	24
表十	燃燒五種拜香之懸浮微粒比較表	24
表十一	燃燒拜香產生懸浮微粒之排放係數比較(mg/g)	25
表十二	燃燒金紙之氮氧化物、二氧化硫及一氧化碳排放濃度	26
表十三	燃燒拜香之氮氧化物、二氧化硫及一氧化碳排放濃度	27
表十四	四種金紙原料之金屬元素含量	28
表十五	五種拜香原料之金屬元素含量	29
表十六	燃燒金紙後金屬元素之排放因子	30
表十七	燃燒拜香後金屬元素之排放因子	31
表十八	燃燒金紙產生揮發性有機物之排放因子 (mg/kg)	32
表十八	燃燒金紙產生揮發性有機物之排放因子 (mg/kg) (續)	33
表十九	燃燒拜香產生揮發性有機物之排放因子 (mg/kg)	35
表十九	燃燒拜香產生揮發性有機物之排放因子 (mg/kg) (續)	36

表二十	燃燒金紙之氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳排放因子與排放量推估.....	37
表廿一	燃燒拜香之氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳排放因子與排放量推估.....	38
表廿二	燃燒金紙之懸浮微粒排放因子與排放量推估.....	40
表廿三	燃燒拜香之懸浮微粒排放因子與排放量推估.....	40
表廿四	燃燒金紙與拜香之揮發性有機物排放因子與排放量推估.....	41

第一章 前言

1-1 緣起

台灣民間的宗教信仰中，人數最多者為道教、佛教二教，道教、佛教及一貫道之間有很明顯的宗教混合現象，常見一廟宇各殿分別奉祀不同的神祇。因此，若將道教、佛教及一貫道的廟宇合併計算，其比例將高達 99.72%，為台灣地區最為普遍的民間信仰。由內政部【2005】統計的資料分析，截至民國九三年底為止台灣地區有登記之寺廟總數已到達一萬一仟三百八十四座，平均每個村里約有 1.5 座寺廟，此統計數據尚不包括未登記之寺廟神壇數目，寺廟密度之高可知其與民眾生活已是息息相關，這些散佈各地的寺廟，不僅能夠安定人心，更提供了民眾心靈上的寄託，但部份的祭祀行為往往會造成環境上的污染。

前述之傳統民間信仰中的祭祀行為在台灣稱為「拜拜」，並可將拜拜的目的分類為敬神佛、謝恩還願、謝罪、消災避祟、祈求等五大類【北市民政局，2001】，以尋求心靈上的寄託與慰藉。此外，許多民眾在家中亦有祭拜祖先的習俗，闡揚懷念祖先親人的孝道，這些民俗祭拜程序大同小異，多有拜香、焚燒金銀冥紙的儀式，一般民眾相信藉由點燃拜香可傳遞祈求平安的訊息，對祖先神靈的尊敬；而金、銀紙錢是神鬼世界的貨幣，燃燒紙錢可表達對神鬼的虔誠敬意，亦可求其降福消災，對過世的親友來說，更是提供給陰間錢財讓他們花用之唯一方式。台灣地區人口稠密，尤其寺廟若座落在都會地區，焚香燒紙錢的煙塵廢氣可能會對附近居民造成直接的影響。在無良好的通風、溫度及擴散不佳的條件下，拜香及金紙焚燒會有不完全燃燒之問題產生，進而產生一氧化碳、懸浮微粒、臭味、落塵、重金屬及致癌的物質等問題，對民眾的健康危害不容忽視。

1-2 研究目的

本研究擬針對拜香、金紙焚燒造成之煙塵廢氣進行調查，蒐集國內外有關金紙與拜香焚燒產生之污染物相關文獻報告，首先進行拜香及金紙種類調查，建立完整之金紙及拜香燃燒模擬實驗系統，針對市面上販售之拜香和金紙進行燃燒後廢氣成分之分析，以了解拜香及金紙燃燒廢氣中所含粒狀物與主要氣狀污染物的種類及濃度，由此可以推估各污染物之排放因子，根據統計資料推估其廢氣排放量。

第二章 文獻探討

2-1 紙錢及祭拜用香組成特性

台灣民間燒金紙的習俗約在明末清初由大陸過來台灣的先民帶來台灣，約有三百多年的歷史。以往使用的範圍不僅在一般民間盛行，公辦的祭祀，例如祭孔、祭文昌公等亦有使用。民間將到寺廟燒香祭拜的活動俗稱為到廟裡「燒金」，由此便可以看出焚燒金紙在整個祭拜儀式中的重要性及普遍性【陳壬癸，1981】。金紙的製造基本上可分為兩種，傳統為竹子直接製成，纖維較粗、較白。另外有使用回收廢紙製造者。近年來更有紙質細緻、較薄，類似宣紙，標榜減量環保的「環保金紙」可以說是種類繁多【北市民政局，2001】。竹子生產的冥紙，燃燒後所產生的殘灰較細較白，易隨風飛散至遠處；以廢紙生產之冥紙，殘灰則較黑。

「環保金紙」之錫箔面積約佔整張金紙的 32.87%，而竹製金紙及廢紙製金紙之錫箔面積分別佔 0.94%及 1.04%【董士誠，2002】。

竹製金紙、廢紙製金紙及「環保金紙」的相關基本特性如表一【董士誠，2002】所示，由三成份分析中可知「環保金紙」所測出的灰份遠較其他二者高，其原因與錫箔所佔紙張之面積有關；在元素分析中可知金紙與一般紙類有些許差異，竹製金紙的元素分析較其他兩種金紙更接近一般紙類之元素分析。

一般紙類的相關基本特性分述如下【董士誠，2002】：

(1) 視密度(bulk density)

視密度又稱單位容積重量。一般紙類之視密度範圍在 $30 \sim 130 \text{ kg/m}^3$ 之間，中間值取 80 kg/m^3 。

(2) 閃火點與著火點

徐徐加熱紙類至某一溫度時，紙類中的可燃物成份逐漸氣化而引燃火苗，若閃火燃燒瞬間熄滅著，此溫度稱為閃火點(flash point)。如果溫度持續升高，可燃氣足以持續燃燒，火焰不再熄滅者，此溫度稱為著火點(ignition point)。一般紙類的閃火點在 $40 \sim 65^\circ\text{C}$ ，著火點在 $210 \sim 260^\circ\text{C}$ 。

(3) 工業分析

工業分析即指水份、灰份、揮發份及固定碳等四類，一般稱為近似分析(proximate analysis)。紙類之工業分析為：水份 10.24%、灰份 5.38%、揮發份 75.94% 及固定碳 11.48%。將揮發份及固定碳合成可燃份，加上水份及灰份簡稱為三成份分析。

(4) 元素分析

一般紙類之元素分析(乾基)如下：C(43.41%)、H(5.82%)、O(44.32%)、N(0.25%)、S(0.20%)、灰份(6%)。表一為該報告對一般金紙之基本性質分析。其元素分析部分與一般紙類有些許差異，竹製金紙的元素分析較其他兩種金紙更接近一般紙類之元素分析。竹製金紙其材質來自於最原始之竹子纖維，每公斤竹製金紙燃燒所需之理論空氣量大於其他二類，同時產生之二氧化碳(CO₂)及水蒸氣(H₂O)也會大於其他二類金紙。

(5) 熱值

熱值對紙類燃燒而言，為一重要之特性。測定熱值之目的，可決定爐體之熱釋放率。紙類之濕基高位發熱量約在 3,778(kcal/kg)，乾基高位發熱量約在 4,207(kcal/kg)。

拜香因使用之目的與場合不同，會使用不同型式和種類的拜香，如：線香、香環、香錐等。一般使用的拜香為線香，主要由 15 種天然植物乾燥品之粉末和竹材(拜香之骨幹，一般製香多用桂竹)所構成，包括：大黃、甘松、細新、新墓、小茴香、肉桂、甘草、排草、零陵香、香花、丁香、龍柏粉、楓樹脂、新山材(年輪較少之檀香)及黏粉(大葉楠之樹皮，可使拜香粉末黏著於竹材之上)等。竹材佔整柱香重量百分比約 33.0%，其中前 11 種粉末為中藥材粉末，佔整柱香之重量百分比為 21.3%，龍柏粉、新山材、楓樹脂及排草為增加拜香香味之添加物，佔重量組成百分比依序為 1.07%、32.0%、1.78%及 1.07%。黏粉佔 9.65%。鹽基品紅為拜香香腳之染料，在燃燒時不會燃燒至此物質【林嘉明，1996】。

2-2 紙錢及祭拜用香燃燒空氣污染物相關背景研究

台灣地區的民間信仰中，焚燒金銀紙為一重要之儀式。然而在金爐或露天燃燒時，由於沒有很好的通風及溫度條件，不完全燃燒下，會產生一氧化碳、懸浮微粒、臭味及落塵等問題。由於都會地區許多寺廟緊鄰民宅，因此雖然總排放量不大，但金爐排氣口通常不高，其煙塵多半在近距離內著地，仍可能對附近居民造成影響【董士誠，2002】。以往研究報告【林嘉明，1996；楊萬發，1996】曾針對燃燒過程中污染物形成的原因、反應機制進行研究，以了解金紙在金爐中燃燒後所排放之廢氣之特性。基本上主要包括粒狀污染物、一氧化碳、氮氧化物與酸性氣體等污染物質，敘述如下【高市環保局，2005】：

(1) 粒狀污染物

紙類燃燒過程所產生之粒狀污染物大致可分為三類：

- (a) 成份中之不燃物，在燃燒過程中較大粒狀殘留物將成為底灰，而部份的小顆粒粒狀物則隨廢氣而排出爐外成為飛灰(fly ash)，一般所產生之粒狀物粒徑大於 $10\ \mu\text{m}$ ，極易利用空氣污染防治設備去除，這些粒狀污染物主要成份為 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 及微量金屬。
- (b) 部份無機鹽類在高溫之下氣化而排出，於爐外遇冷而凝結成粒狀物，或二氧化硫氣體在低溫下遇水滴而形成硫酸鹽霧狀微粒等。
- (c) 未燃燒完全所產生之碳顆粒與煤煙，通稱為「soot」，其粒徑約在 $0.1\sim 10\ \mu\text{m}$ 之間。由於所產生顆粒非常細微，較難用空氣污染防治設備去除。

長期曝露在以細微粒為主的空氣污染狀況下與死亡率、壽命減低及致癌率有顯著的關係，PM10 濃度日變化與兒童急性呼吸道問題就診率、學校及幼稚園缺席率、正常兒童肺活量減低、兒童及成人氣喘患者藥物服用率有關。年長者、呼吸道及心血管疾病患者及兒童對於 PM10 不良影響最為敏感。細微粒較粗微粒更具危害性。

(2) 一氧化碳

由化學反應動力學的觀點可知，反應物的活化能越高則反應越難生成產物。而經比較一氧化碳氧化所需要的活化能很高，於不穩定燃燒狀態所排放出來之不完全燃燒之產物，可以發現一氧化碳最高。一氧化碳為不完全燃燒情況下之產物，因此常以 CO 之含量來判定燃燒反應之完全性與否。可藉由改變金爐內燃燒狀況，藉由爐內完全燃燒將一氧化碳反應去除之。

一氧化碳會與氧氣競爭血紅素形成碳氧血紅素而干擾氧氣傳送，間接影響組織。因此一氧化碳的不良影響造成氧氣供給量需求增加情形，包括慢性血氧不足、貧血及心臟血管疾病。慢性曝露於一氧化碳造成胎兒體重過輕及損害神經系統發展。

(3) 酸性氣體

燃燒所產生的酸性氣體，主要包括 SO_x、HCl 等，這些污染物都是直接由紙類中之 S、Cl 等元素，經燃燒反應而形成。對於一些氣喘患者，曝露於低濃度二氧化硫中亦可能造成支氣管收縮。對於急性二氧化硫曝露引起的呼吸道不順及肺活量降低皆會造成嚴重的呼吸問題。高濃度曝露則會產生肺水腫、肺組織傷害及刺激呼吸道黏膜等。

(4) 氮氧化物

氮氧化物之產生，主要來自燃料氮氧化物(Fuel NO_x)與熱氮氧化物(Thermal NO_x)兩種。燃料氮氧化物主要是紙類中的氮成份與氧氣反應產生。熱氮氧化物主要是燃燒氣體中之氮氣與氧氣在高溫下反應產生。長期曝露於二氧化氮會造成兒童急性呼吸道疾病，包括呼吸道感染及呼吸道症狀。二氧化氮短期曝露會造成呼吸困難、呼吸道收縮但不影響肺活量。長期曝露於較低的二氧化氮濃度中，患有氣喘或慢性肺功能障礙者(慢性支氣管炎、肺氣腫)，因其肺活量減少，因此危害性也較一般正常人為嚴重。當動物同時曝露於 NO₂ 及 O₃ 時，肺組織傷害較僅有 O₃ 時為嚴重。

以往學者之研究報告【沈福銘、林澤聖，2002】顯示祭拜用香燃燒會產生粒狀污染物、一氧化碳、二氧化碳、碳氫化合物、醛類(甲醛、乙醛、丙烯醛、丙醛、甲基丙烯醛、丁醛)、多環芳香烴(PAHs)、重金屬(鈹、錳、鈷、鎳、銅、鉛、鎘、鉻)，其中有些成份會增加人類致癌的機率，可能引發皮膚癌、腦腫瘤及鼻咽癌等，對人體健康產生嚴重的危害。香港理工大學研究發現焚香會釋出甲醛、苯等致癌污染物。在國內，消基會【2005】調查 13 件市售拜香，結果發現 12 件含丁二烯、苯等致癌物質，也檢出甲苯、乙腈等有害物質。甲苯可能會對人體的眼睛、皮膚、呼吸系統、中樞神經系統、肝臟、腎臟等器官造成危害，並造成運動失調、憂鬱症等，而乙腈可能對人體的呼吸系統、心血管循環系統、中樞神經系統、肝、腎造成傷害，而根據報導【聯合晚報，2005】，雖無直接證據顯示有人因吸入拜香燃燒物而罹癌，但台大環境衛生研究所檢驗市面上 15 種拜香原料，發現含多種多環芳香烴，而其中藥粉末則是產生致癌物的最大來源。根據國家衛生研究院於 92 年「肺癌診治共識」會中發表研究成果顯示，常用拜香其煙霧含有 PAHs，可能是我國肺癌罹患率增加原因；榮總胸腔部醫師表示，國人燒香和國內肺癌罹患率增加有關；台大研究發現，拜香燃燒產生的 PAHs 中，3.2%具有致癌性，高達 87%的致癌性的 PAHs 是由中藥粉末所產生，如肉桂、丁香等。

有學者針對燃燒十六種的拜香原料並以高效率液相層析儀(HPLC)分析及定量進行研究【李如訓，1994】，其結果顯示拜香原料的中藥材每克燃燒產生的總醛量在 23.27~9.565 ppm；竹材及加強香味所添加的原料，如新山柴、龍柏粉等，每克燃燒產生的總醛量在 69.88~49.64 ppm。經計算一支拜香燃燒時所產生的甲醛，92%是由新山柴及竹材所貢獻的。總醛量會隨著燃燒率愈大而下降。要降低拜香燃燒所產生的醛類物質，可以在處方上降低新山柴的用量，避免使用竹材，或者增加拜香的燃燒率。

表一 一般金紙之基本性質分析【董士誠，2002】

金紙種類	三成份分析 (wt%)			發熱量 (kcal/kg)			可燃份元素組成 (wt%)					
	水份	灰份	可燃份	乾基高位 發熱量	濕基 高位發熱量	濕基低位 發熱量	C	H	O	N	S	Cl
竹製金紙	9.53	3.75	86.72	4,887	4,421	4,012	40.64	6.52	39.34	0.09	0.05	0.08
廢紙製金紙	8.91	7.61	83.48	3,317	3,021	2,657	30.00	5.75	47.60	0.05	0.06	0.02
環保金紙	7.51	16.5	75.97	3,498	3,235	2,902	30.85	5.34	39.51	0.07	0.09	0.11

先前研究報告【高玫鍾、龍世俊，2000】推估民眾在家燒香所可能暴露之 PM₁₀ 濃度範圍，結果顯示密閉與通風時，室內 PM₁₀ 濃度達統計上顯著差異。燒香時密閉及通風室內的 PM₁₀ 濃度平均值約分別為 390~731 及 154~185 μg/m³。通風時，在燒完香後 3 小時內濃度即已降至室內背景值；而密閉狀態在燒完香後 6 小時，其 PM₁₀ 濃度雖減少，但仍比室內背景值高出約 300 μg/m³。該研究建議民眾最好在通風良好之室內拜香，可減少約 200~500 μg/m³ 之 PM₁₀ 暴露濃度。在同一研究報告針對香客在寺廟中懸浮微粒暴露濃度之研究中【高玫鍾、龍世俊，2000】發現寺廟內的懸浮微粒暴露濃度 PM₁₀ 為 618 μg/m³，PM_{2.5} 為 513 μg/m³，較一般居家環境高 5~16 倍，也較當時廟外馬路濃度高 4~5 倍。而一份針對拜香燃煙分佈動態變化與增溼成長特性研究指出，在不同溼度條件下實驗結果顯示在不同溼度下得之粒徑分佈都非常相似，顯示拜香燃煙的增溼成長幾乎可以忽略，而拜香燃燒所產生之微粒以 PM_{2.5} 為主【李繡偉，1998】，微粒會隨著人之呼吸進入至肺泡中造成人體危害。

國內學者研究【方新發，1990】發現寺廟香爐旁採樣之樣本中含有 PAHs，如 Dibenzo(a, h)anthracene，乃認定拜香燃煙是 PAHs 之重要污染來源之一。在拜香燃煙及灰中均可發現 EPA 所列管的十六種多環芳香烴化合物，其濃度在數十個 ng/g 到 sub ng/g 的範圍【胡竹君，1992】。而另一份研究【李建坤，1996】指出拜香與蚊香燃煙中都含有 PAHs，11~13 種存在於固相，3~4 種存在於氣相中，無論固相或氣相，燃燒每克拜香的 PAHs 產生量均較蚊香大。Rasmussen【1987】進行安姆氏試驗證實燃燒中國拜香煙中確實有基因毒性，且含有 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)、aromatic aldehydes 和 aliphatic aldehydes [20-21]。Lofroth 等【1991】收集柱香及香錐之燃煙，以 Salmonella TA98 進行致突變性試驗，發現柱香燃煙無論在或無代謝活性下，致突變性均較香錐燃煙高，且代謝活性下致突變性會增高。Resmussen【1987】研究發現，以燒香燃煙之收集物，對鼠傷寒桿菌(saimomella typhimurium)進行安姆氏試驗，發現有突變行為產生，但是香本身所含的麝香、檀香油成份中並無致突變作用因子，所以認為香只有在燃燒時才有致突變性，推論拜香燃煙可能含有多環化合物，Chen 等人【1987】認為中國人鼻咽癌之得患率較高，燒香可能為致病因子之一。Yang 等人【1991】研究在寺廟之金爐內燃燒金紙，其個別之 PAH 排放因子從每公斤金紙少於一毫克至數十毫克之間，總量與致癌性 PAH 排放因子分別為 71.0 mg/kg 及 3.2 mg/kg。

2-3 焚燒金爐空氣污染防制設施

紙錢燃燒之後所產生的廢氣種類大致可分為粒狀污染物與氣態的一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO_x)、氮氧化物(NO_x)與其他不完全燃燒之碳氫化合物等。由於紙錢在金爐的燃燒受通風量及香客投入紙錢之數量影響，排氣之流量相當不穩定【高市環保局，2003】。目前對廢氣中粒狀污染物之控制理論，主要包括有利用慣性力、衝擊力、離心力、靜電力與過濾等五種。而根據這些理論發展出來的控制設備，典型的有擋板收集器、旋風集塵器、濕式洗滌塔、靜電集塵器及袋濾式集塵器等，以下就已商業化的污染防制設備簡要介紹【樓基中，1991；C. David Copper1996】：

(1) 擋板收集器

擋板收集器，是採用擋板或濾層使氣流急劇改變方向，粉塵由於慣性力作用繼續按原方向運動，與擋板或濾層顆粒碰撞後下沉。一般裝在其他除塵器前，預先作淨化處理，本法可用來去除粒徑大於 15 μm 之微粒。

(2) 旋風集塵器

旋風集塵器通常利用廢氣由除塵器圓柱體的上部，沿切線方向進入，而成旋轉運動，產生離心力作用，將塵粒甩到器壁上再碰撞下落，達到除塵效果。它的體積比較小，結構簡單，設備便宜，使用經濟。缺點是圓錐部分容易堵塞與磨損，除塵效率不如袋式與靜電式除塵器。此設備亦可用作其他處理設備(如濕式洗滌塔)的前處理設備。對於粒徑大於 10 μm 的顆粒可達 80% 以上的去除效率，其效率和壓力降有關(壓力降越大者，去除率越大)，通常壓力降在 5~40 cm 水柱。而壓力降和去除率則和其設計有密切的關係。

(3) 濕式洗滌塔

濕式洗滌塔可同時去除排氣中的氣狀物和粒狀物，濕式洗滌塔的形式有：(1)噴霧塔、(2)文氏洗滌塔、(3)填充床式洗滌塔、(4)流動床式洗滌塔、(5)孔口式洗滌塔、(6)衝擊式洗滌塔。洗滌塔若屬於對流式填充塔，廢氣由下部進入，淨化氣體由塔頂排出，處理藥劑由塔內頂部向下噴灑，處理後之廢液由塔底流出。淨化的氣體再經氣體水分離器處理去除水滴後由煙囪排入大氣中，流出吸收塔的液體則可再處理後循環使用，節省大量廢水的排出。適用於焚化爐及工業爐等排放之廢氣處理，並可全部自動化控制運轉。

(4) 靜電集塵器

靜電集塵器為一有效之空氣微粒去除設備，尤其對於小於 1 μm 之微粒。它的去除效率易隨溫度及濕度狀況而改變，其去除微粒之機制包括：

氣流通過一連串之放電電極產生離子化現象使微粒帶電荷。電極收集器繞著放電電極，而使帶電微粒附著於電極收集器。將微粒從收集器表面去除後，再做最終處置。

(5) 袋式集塵器

袋式集塵器又稱為纖維過濾器。含粒狀物之排氣由集塵器底部進入，顆粒藉著對過濾袋慣性碰撞、布朗擴散作用、重力作用、截流作用，及對過濾袋的撞擊、擴散作用，及粒子與粒子間因摩擦而產生的靜電作用而留在袋中或濾袋表面(視排氣由濾袋內或外過濾)。

目前國內金爐之防制設備一般以旋風式集塵器、洗滌塔及靜電集塵系統為主【高市環保局，2003】。概估一般小型寺廟年焚燒量約 1,000 ~ 4,000 公斤，裝設旋風集塵器需初設費 90 萬元；洗滌塔 150 萬元，操作費每年各為 1.2 萬及 3.1 萬元；另靜電集塵器部份，設置費用須依處理廢氣量之多寡來估算，一般為處理 100 m³/min 的廢氣須安裝 30 萬元之設備，若加上風車及管線等施工費用，所費成本約為 40 ~ 50 萬，此設備加風車每小時所費電費約 6 ~ 12 元(6 度電)。

第三章 執行方法

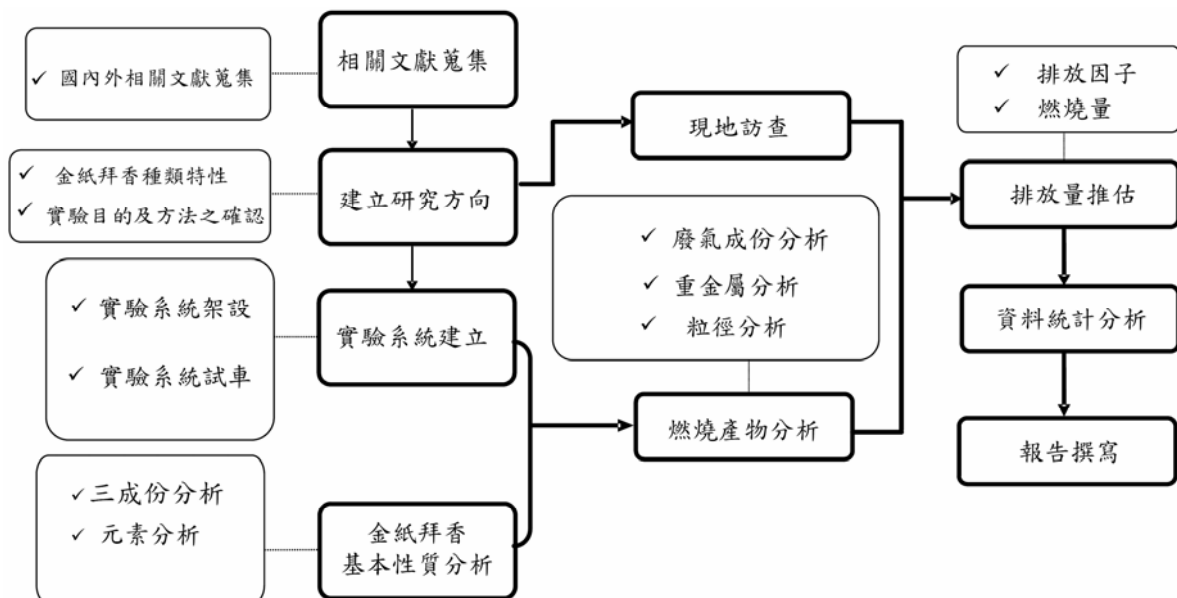
3-1 研究流程

本研究計畫將針對市面上販售及改良之金紙及拜香進行調查，首先進行金紙及拜香原料之三成份分析及元素分析，而後研究金紙及拜香燃燒後所產生的氮氧化物濃度、二氧化硫濃度、一氧化碳濃度、粒狀污染物濃度、揮發性氣體濃度及金屬元素，並推估其排放因子與排放量。

研究內容規劃如下所述：

- (1) 蒐集國內外有關金紙與拜香焚燒產生之污染物相關文獻報告，從收集之文獻報告瞭解金紙與拜香焚燒產生之污染物種類、濃度及危害。找尋環境檢驗所公告之標準方法得以檢測金紙與拜香原料及廢氣。
- (2) 對金紙及拜香之種類進行調查，選擇在市面上販售且較多人購買之金紙與拜香進行檢測。
- (3) 建立完整之金紙及拜香燃燒模擬實驗系統，將所選擇之金紙與拜香進行燃燒後廢氣成分之分析，由此得知金紙和拜香燃燒廢氣中所含粒狀物與主要氣狀污染物的種類及濃度。
- (4) 由上述實驗所得之污染物種類及濃度，配合燃燒單位質量物品產生之排氣量，推估金紙與拜香燃燒之排放係數(g 污染物/kg 燃燒物)。
- (5) 調查國內金紙與拜香之年燃燒量，結合上述排放係數，以推估國內金紙與拜香燃燒年污染物排放量。

研救濟畫流程如圖一所示。



3-2 研究設備與方法

3-2.1 金紙與拜香之選擇

本研究選擇在台灣民間市面上較受歡迎的兩種金紙與三種拜香，另外由中正大學化工系張仁瑞老師實驗室及成功大學環工系林達昌老師實驗室分別提供兩種改良金紙及兩種改良拜香。表二為四種金紙的規格說明。

金紙的大小、重量、金箔大小皆有所不同，在台灣各地區皆有使用，由於台灣地區已較少自產自銷，大多從國外進口，因此我們選用由大陸及越南進口之金紙。

大陸進口之金紙紙質較為粗糙、厚度厚，為廢紙製金紙，一張金紙重量約 3.2 公克，金紙大小約 16.0 公分×11.0 公分，金箔大小約 5.5 公分×3.5 公分，市面價格為 250 元/捆（一捆約 3,000 張）。

越南進口之金紙紙質較為細緻、厚度薄，為竹製金紙，一張金紙重量約 1.5 公克，金紙大小約 16.0 公分×10.5 公分，金箔大小約 5.5 公分×3.2 公分，市面價格為 300 元/捆（一捆約 5,000 張）。

改良金紙 A 與改良金紙 B 材質類似，為竹製金紙，改良金紙 A 外型較似正方形，一張金紙重量約 3.0 公克，金紙大小約 14.5 公分×13.2 公分，金箔大小約 3.7 公分×3.6 公分。

改良金紙 B 比起其他三種金紙要小張，一張金紙重約 1.5 公克，金紙大小約 12.6 公分×9.2 公分，金箔大小約 3.6 公分×3.2 公分。

表二 四種金紙之規格比較表

	重量(公克)	長(公分)	寬(公分)	金箔長(公分)	金箔寬(公分)
大陸金紙	3.25	16.0	11.0	5.5	3.5
越南金紙	1.55	16.0	10.5	5.5	3.2
改良金紙 A	3.00	14.6	13.2	3.7	3.6
改良金紙 B	1.50	12.6	9.2	3.6	3.2

由於種類繁多、價格不一，我們以價格較為一般民眾接受且市面上較常出現之拜香為主要目標，於是選用料香、新山香、老山香這三種拜香作為我們研究對象，另外改良拜香 A 及改良拜香 B 由林達昌老師實驗室提供，改良拜香 A 屬於料香，改良拜香 B 則屬於沉香，此五種拜香總長度及持柄長度均相似，而每支拜香的重量則皆不相同。表三為五種拜香規格比較說明。

料香是以中藥為香粉主要成份，各種組成與含量依不同製造廠商配方而有所差異，此料香一支重量約為 1.27 公克，長度約為 39.0 公分，燃燒時間約為 65 分鐘，市面價格為 100 元/斤，由中國進口。

新山香在市面上歸類為檀香之一，以新山柴為香粉主要成分，新山香一支重量約為 1.12 公克，長度約為 39.3 公分，燃燒時間約為 75 分鐘，市面價格為 200 元/斤，由台灣生產。

老山香亦為檀香之一，以老山柴為香粉主要成分，老山香一支重量約為 1.44 公克，長度約為 39.4 公分，燃燒時間約為 80 分鐘，市面價格為 300 元/斤，由台灣生產。

改良拜香 A 一支重量約為 1.03 公克，長度約為 39.2 公分，燃燒時間約為 55 分鐘；改良拜香 B 依之重量約為 1.15 公克，長度約為 39.3 公分，燃燒時間約為 75 分鐘。

表三 五種拜香之規格比較表

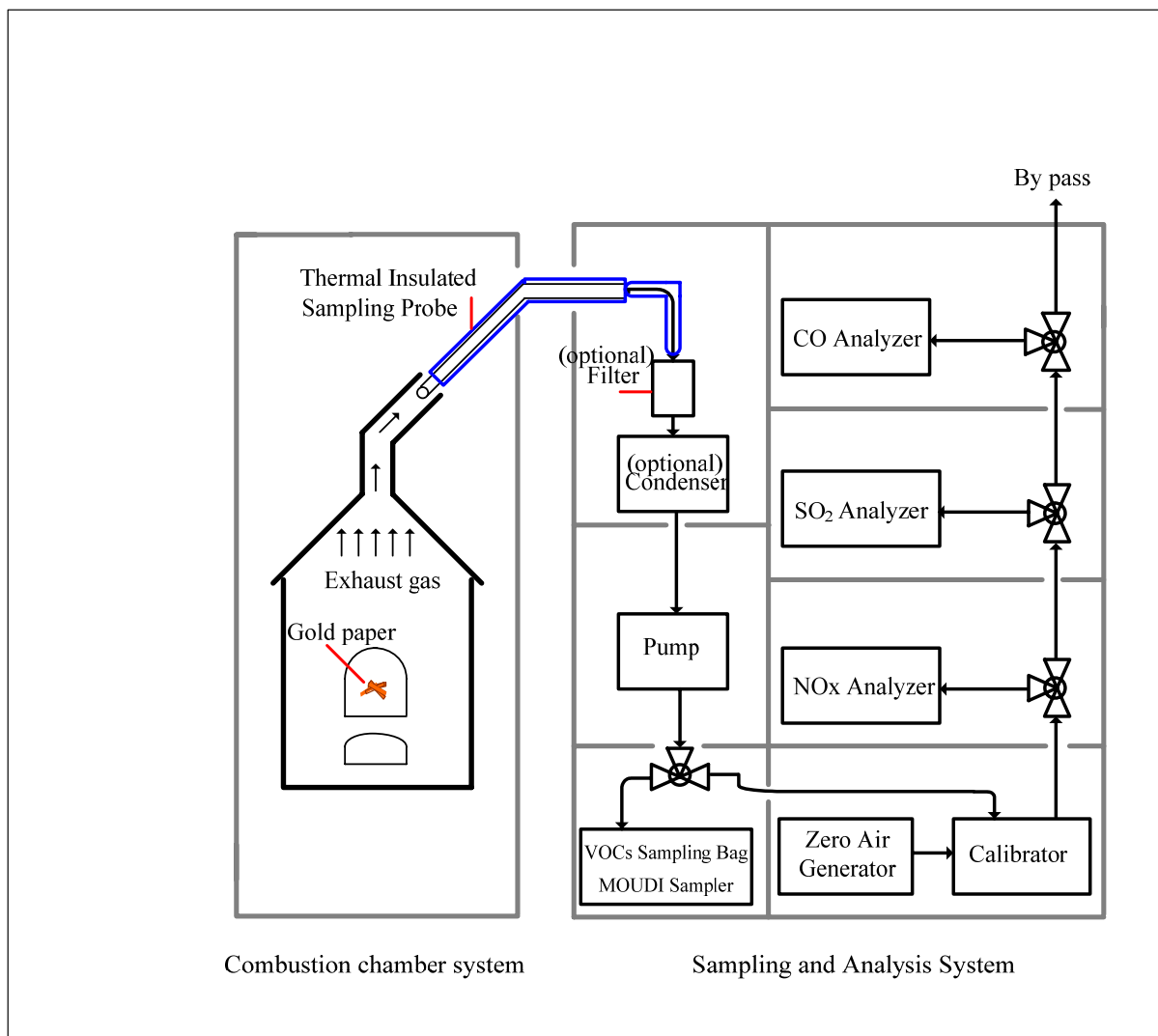
	重量 (公克)	長度 (公分)	持柄 (公分)	燃燒時間 (分鐘)	市價 (元/斤)	產地
料香	1.27	39.0	11.2	65	100	中國
新山香	1.12	39.3	11.2	75	200	台灣
老山香	1.44	39.4	11.2	80	300	台灣
改良拜香 A	1.03	39.2	11.1	55	—	台灣
改良拜香 B	1.15	39.3	11.2	75	—	台灣

3-2.2 實驗反應系統

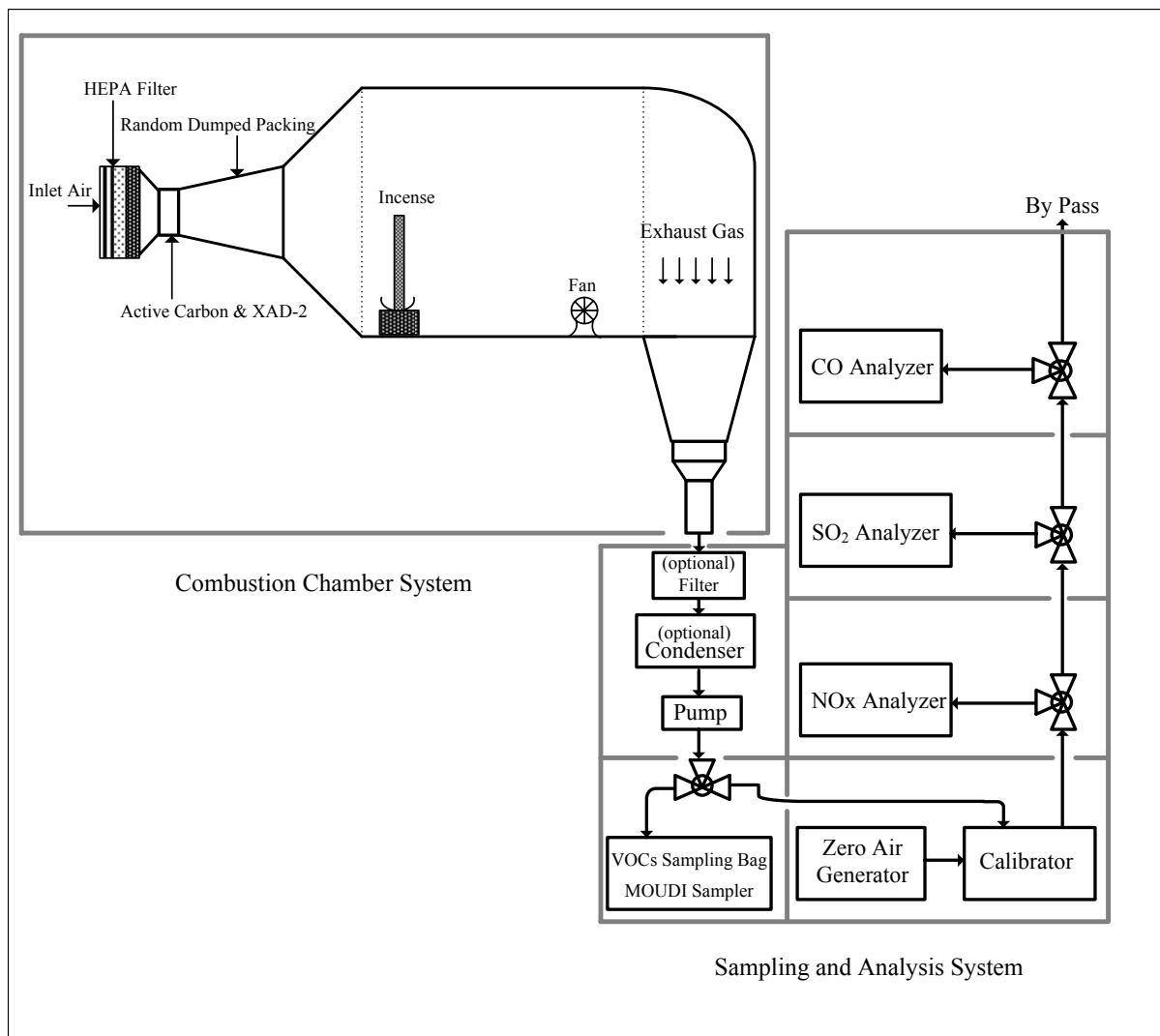
金紙燃燒實驗反應系統之概略示意圖如圖二所示，金爐體積約 0.058 m^3 ，在金爐主體中以一定之速率(每分鐘30公克金紙)投入金紙於其中燃燒，金爐主體側邊孔洞供給足夠之空氣，燃燒後廢氣經由煙囪排出，排出後氣體經過附著保溫棉與加熱器之管線，經過過濾器進入冷凝器以去除水分的干擾。由元素分析計算可知金紙之廢氣流量為 $790\sim 870\text{ L/min}$ ，首先測量 NO_x 、 SO_2 、 CO 濃度，廢氣由Pump抽入Calibrator並加入Zero air generator所產生之zero air稀釋，再進入 NO_x analyzer、 SO_2 analyzer、 CO analyzer儀器中分析；接下來分析揮發性有機氣體，則是經由Pump抽入Sampling bag中，再將其利用GC-MS分析；分析廢氣中粒徑分布時則不經過濾器及冷凝器，以Pump將煙氣直接抽入MOUDI。

拜香燃燒實驗反應系統之概略示意圖如圖三所示，燃燒室體積約 1.2 m^3 ，空氣經由HEPA 級濾網去除粒狀物後導入，再以活性碳及 XAD-2 吸附氣態污染物，經過Random dumped packing 使氣流不會直接吹向拜香，Fan 放在燃燒室內以維持空氣流動，每一次採樣放置3支拜香於不銹鋼支撐器上，點燃後待燃燒室內穩定，取樣導入分析儀器中分析，廢氣採樣流程如同金紙燃燒實驗反應系統。依據 Li and Ro【2000】指出屬於亞熱帶地區的台灣在夏天之室內空氣交換率(Air Change per Hour)為 $0.8\sim 3.5\text{ ACH}$ ，而在冬天為 $0.5\sim 2.0\text{ ACH}$ ，故本實驗在燃燒室內燃燒拜香時之空氣交換率設定為 1.5 ACH 即流量設定為 30 L/min ，計算方式如下：

$$\text{廢氣流量} = 1.5\text{ ACH} \times 1.2\text{ m}^3 = 1.8\text{ m}^3/\text{h} = 30\text{ L/min}$$



圖二 金紙焚化系統與產物採樣分析系統示意圖



圖三 拜香焚化系統與產物採樣分析系統示意圖

3-2.3 採樣與分析實驗

(1) 三成份分析

水份分析參考環保署公告 NIEA R203.01T 方法，將樣品秤重(W_1)後置於 $105^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 烘箱(Memmert UM 400)乾燥二小時以上，取出移入乾燥器中，冷卻至室溫，秤重(W_2)，利用下式計算含水率：

$$\text{水份}(\%) = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100\%$$

W_1 ：送入烘箱前之樣品重。

W_2 ：經 105°C 烘乾後之樣品重。

灰份分析參考環保署公告 NIEA R204.00T 方法，將樣品秤重(W_1)後置於 $800^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ 高溫爐(Ney 2-525 seriesII)中維持三小時，降溫至 300°C ，將樣品移至乾燥器中冷卻至室溫，秤重(W_3)，利用下式計算灰份：

$$\text{灰份}(\%) = (W_3 / W_1) \times 100\%$$

W_1 ：送入高溫爐前之樣品重。

W_3 ：經 800°C 高溫爐灰化後之樣品重。

可燃份分析參考環保署公告 NIEA R205.01C 方法，樣品之可燃分不直接測定，而由樣品總重量減去水分和灰分而得之。利用下式計算可燃份：

$$\text{可燃份}(\%) = 100(\%) - \text{水份}(\%) - \text{灰份}(\%)$$

(2) 元素分析

參考環保署公告 NIEA R409.21C 方法，利用可燃性元素燃燒產生氧化性氣體之特性，經吸附、脫附分離後，再以檢測器(Elementar vario EL III)定量換算後求得廢棄物乾基中之碳、氫、氧、氮、硫等元素之組成百分比。原理為可燃物中之 C、H、N、S 等元素在高溫純氧環境下燃燒後，產生 CO_2 、 H_2O 、 NO_x 、 SO_2 混合氣體，以 He 將燃燒後的混合氣體經過銅還原管處理後，將 NO_x 還原成 N_2 ，其他氣體進入各吸附管，依氣體吸附特性分別被不同吸附管之填充物吸附， N_2 直接由 He 帶入熱傳導偵測器(Thermal conductivity detector)檢測含量，吸附管依序以氣體不同脫附溫度加溫脫附 CO_2 、 H_2O ，再分別依序引入 TCD 以檢測各別成份含量。信號經處理後定量運算，即可自動分別列計氮、碳、氫、硫、氧之重量百分比。

(3) 粒徑分析

MOUDI(Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor)是由美國 MSP 公司製作，主要組件為：旋轉衝擊器(Rotator Impactor)、壓力讀數表(Magnehelic Gage)、旋轉機組(Rotator Unit)、外殼(Shelter)及抽氣馬達(Blower Motor)。

MOUDI 是一種慣性式採樣器，以慣性分離出各種粒徑，較大的顆粒脫離氣流而撞擊到上層的衝擊版，較小的顆粒則隨著氣流流線穿過微孔到達下一層。此型號之 MOUDI 有九階，每一層衝擊板下方有不同大小之微孔，可收集介於兩層微孔孔徑之間的懸浮微粒，收集粒徑範圍從 0.18 μm 至 18 μm ，採樣時並定時自動隔層旋轉，使微粒均勻分佈在收集濾紙之表面，抽氣維持每分鐘 30 公升之速率。

表四為 MOUDI 採樣器各層之氣動粒徑。

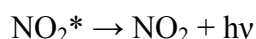
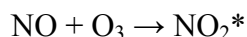
表四 MOUDI 採樣器各層之氣動粒徑

階層	Cut-size(μm)
Inlet Stage	18
第 1 階	10
第 2 階	5.6
第 3 階	3.2
第 4 階	1.8
第 5 階	1
第 6 階	0.56
第 7 階	0.32
第 8 階	0.18

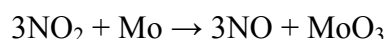
因金紙燃燒廢氣濃度較高，以下 NO_x 、 SO_2 及 CO 分析儀在金紙燃燒廢氣採樣時，以抽氣泵抽氣經質量流量校正器稀釋成 3 L/min 後，分別以各分析儀器內之流量控制器所控制之流量導入分析儀器。而拜香燃燒廢氣除 CO 濃度較高，需經過質量流量校正器稀釋成 3 L/min 後，以 CO 分析儀內之流量控制器控制流量之外， NO_x 及 SO_2 濃度較低，可不經稀釋分別以各儀器之控制流量導入分析儀器。

(4) 氮氧化物分析

參考環保署公告 NIEA A411.72C 方法，氮氧化物(NO_x)監測儀監測器型號為 API Model 200A，其偵測範圍為 0 ~ 20,000 ppb，最低偵測極限則為 0.5 ppb，採樣流量維持 460 ml/min。分析原理為：為去除採樣氣體中的粒狀物，先使氣體通過鐵氟龍濾紙後再將進流之氣體分為兩組，一組通以過量的 O₃，使其和分析氣體中的 NO 反應，產生激發態的 NO₂^{*}，之後釋放光子成為基態的 NO₂，釋放能量的強度和 NO 的濃度成正比，其反應式如下：



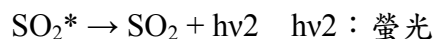
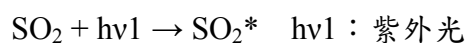
另一組氣流則通過充滿鉬催化劑，溫度為 315°C 之轉換器，使分析氣體中的 NO₂ 和鉬反應生成 NO，再通以過量之 O₃，使其產生和上述相同之反應，即可得 NO_x 濃度。



將所得之 NO、NO_x濃度相減即可得分析氣體中NO₂之濃度。

(5) 二氧化硫分析

參考環保署公告 NIEA A413.72C 方法，二氧化硫(SO₂)使用 API Model 100A 作為即時監測儀，其量測範圍為 0 ~ 2,000 ppb，最低偵測極限為 0.4 ppb，採樣流量維持 610 ml/min。原理係利用 SO₂ 受到波長在 190 ~ 230 nm 的紫外光照射時，會產生螢光性的特性，實際利用一高效率的紫外燈管產生 UV 光，經由過濾鏡後產生 214 nm 的單波長光，照射採樣氣體。當採樣氣體中 SO₂ 受到 214 nm 的單波長光照射時，會產生螢光，而螢光的強度會和 SO₂ 的濃度成正比，再利用光倍增管將其濃度量化。



(6) 一氧化碳分析

參考環保署公告 NIEA A704.03C 方法，一氧化碳(CO)使用 API Model 300 作為即時監測儀，採樣流量維持 750 ml/min。此分析儀採用紅外線偵測法，其設計採用一支高效率的紅外線線圈，以紅外線在反應室中照射採樣氣體，當紅外線照射到一氧化碳的成份時，紅外線的強度將會被衰減下來，而此衰減的量與採樣氣體中一氧化碳的量成正比，如此即可知採樣氣體中一氧化碳的量。

(7) 揮發性有機氣體分析

參考環保署公告 NIEA A715.12B 方法，以固定流速採集方式收集廢氣中揮發性有機化合物(VOC)至 30 公升採樣袋中，利用冷凍捕集方式濃縮一定量的空氣樣品再經熱脫附至氣相層析注入口前端再次冷凍聚焦，最後注入氣相層析質譜儀 GC/MS(Varian 3600/Saturn 2000)中測定樣品中揮發性有機化合物的含量。

(8) 金屬元素分析

參考環保署公告 NIEA A302.72C 方法，在分析金屬前需進行樣品微波消化之前處理，秤取約 0.1 公克金紙或拜香原料，加入適當之消化酸液，本研究用濃硝酸(65%，Fluka)與鹽酸(37%，Riedel-de Haën)以一比三的比例作為基準之王水消化液，藉由硝酸的氧化作用及氯離子的錯合作用，使金屬元素得以穩定的錯合狀態存在於消化溶液中，以消化樣品基質。將樣品與酸液放入消化瓶中，移至微波消化裝置(Milestone Ethos 900)中進行加熱，微波加熱步驟結束後取出消化瓶內溶液，經由抽氣過濾通過 0.45 μm 之濾紙後，稀釋至定容。

表五 各金屬元素之偵測波長

金屬元素	波長(nm)
Ag	328.068
Al	309.271
Ba	455.403
Ca	393.366
Cd	228.802
Co	228.616
Cr	283.563
Cu	324.754
Fe	259.94
K	766.49
Mg	279.553
Mn	293.306
Na	588.995
Ni	221.647
Pb	220.353
Sr	407.771
Zn	213.856

以感應耦合電漿光學發射光譜儀 ICP-OES (Jobin Yvon ULTIMA 2000) 分析上述稀釋後之樣品，樣品經霧化後，所形成之氣膠(Aerosol)藉由載送氣流輸送至電漿焰炬，經由無線電波(Radio-frequency)感應耦合電漿的加熱，將各待測元素激發。由各激發原子或離子所發射的光譜線，經由光柵(Grating)分光，分解出各特定波長的發射譜線。各譜線的強度再由光檢器(Photosensitive devices)偵測。表五為各金屬元素之偵測波長值。

3-2.4 排放量推估

污染物的排放總量，可以依照總量推估的公式加以估算如下式：

$$\text{【污染物排放量】} = \text{【排放因子】} \times \text{【活動強度】} \times \text{【控制因子】}$$

其中「排放因子(Emission Factor)」可定義為單位金紙或拜香燃燒所排放出空氣污染物之平均量。「活動強度」係指單位時間金紙或拜香用量。「控制因子」則為污染源受控制後與控制前之排放量比。

氮氧化物、二氧化硫與一氧化碳排放因子計算如下：

$$\text{排放因子} = W_1/W_2 \quad W_1 = A \times B \times M/C$$

W_1 ：單位時間內燃燒金紙或拜香之廢氣量 (mg/min)

W_2 ：單位時間內燃燒之金紙或拜香重 (g/min)

A：每分鐘產生幾公升廢氣量 (L/min)

B：廢氣之濃度(ppmv)

C：在 30°C 且 1 atm 下一莫耳氣體為幾公升(即 24.862 L/mol)

M：廢氣之分子量 (mg/mol)

燃燒金紙或拜香之排放因子條件：NO_x (as NO₂)、SO₂ 及 CO 分子量分別為 46、64 及 28，金紙進料量為 30 g/min，單位時間燃燒拜香量如第四章表十所示。

懸浮微粒排放因子計算如下：

$$\text{排放因子} = W_3/W_4$$

W_3 = 單位時間內燃燒產生之飛灰重 (mg/min)

W_4 = 單位時間內燃燒之金紙或拜香重量 (g/min)

第四章 主要工作內容及重要發現與成果

4-1 三成份分析

二種市面上販售金紙、三種市面上販售拜香與兩種改良金紙、兩種改良拜香之三成份分析如表六所示，越南金紙之水份、灰份及可燃份分別為 8.75%、4.30%、86.95%；大陸金紙之水份、灰份及可燃份分別為 9.04%、2.23%、88.73%；料香之水份、灰份及可燃份分別為 9.71%、3.65%及 86.64%；新山香之水份、灰份及可燃份分別為 10.20%、1.09%及 88.70%；老山香之水份、灰份及可燃份分別為 9.91%、1.59%及 88.50%；改良金紙 A 之水份、灰份及可燃份分別為 9.81%、2.82%、87.37%；改良金紙 B 之水份、灰份及可燃份分別為 8.05%、2.28%、89.66%；改良拜香 A 之水份、灰份及可燃份分別為 8.36%、4.74%、86.90%；改良拜香 B 之水份、灰份及可燃份分別為 9.11%、1.45%、89.44%。

金紙中水份最高的是改良金紙 A，而改良金紙 B 最少，但差距並不大，主要介於 8.05%至 9.81%之間；灰份最高的是越南金紙，而大陸金紙最少，但由於灰份含量比例少所以差距不大；可燃份介於 86.95%至 89.66%之間，在此無法比較出市面上販售之金紙與改良金紙三成份是否會影響金紙燃燒狀況。

拜香中水份最高的是新山香，而改良拜香 A 最少，市面上販售之拜香所含水分較改良拜香多；灰份最高的是改良拜香 A，而新山香最少，其中灰份量差別可達 4 倍之多；可燃份介於 86.64%至 89.44%之間，同屬於料香類之料香與改良拜香 A 含較少之可燃份，但與其他香類差距不大。

表六 金紙與拜香之三成份分析

種類	三成份分析 (wt%)		
	水份	灰份	可燃份
越南金紙	8.75	4.30	86.95
大陸金紙	9.04	2.23	88.73
料香	9.71	3.65	86.64
新山香	10.20	1.09	88.70
老山香	9.91	1.59	88.50
改良金紙 A	9.81	2.82	87.37
改良金紙 B	8.05	2.28	89.66
改良拜香 A	8.36	4.74	86.90
改良拜香 B	9.11	1.45	89.44

4-2 元素分析

二種市面上販售金紙、三種市面上販售拜香與兩種改良金紙、兩種改良拜香之元素分析如表七所示，越南金紙之元素分析：C(46.20%)、H(6.12%)、O(42.90%)、N(0.5%)；大陸金紙之元素分析：C(45.90%)、H(6.35%)、O(44.89%)、N(0.03%)；料香之元素分析：C(45.54%)、H(6.16%)、O(44.10%)、N(0.38%)；新山香之元素分析：C(45.58%)、H(6.12%)、O(44.70%)、N(0.39%)；老山香之元素分析：C(45.90%)、H(6.11%)、O(44.98%)、N(0.37%)。改良金紙 A 之元素分析：C(44.97%)、H(6.12%)、O(47.90%)；改良金紙 B 之元素分析：C(45.16%)、H(6.87%)、O(47.43%)；改良拜香 A 之元素分析：C(44.61%)、H(6.03%)、O(45.05%)、N(0.76%)；改良拜香 B 之元素分析：C(47.78%)、H(6.60%)、O(44.58%)、N(0.32%)。

四種金紙之元素組成類似，與一般紙類之元素分析較為類似，與表一中竹製金紙、廢紙製金紙及環保金紙有所差別，但差距不大。表七顯示金紙原料之主要成份為碳及氧，四種金紙之碳含量介於 44.97%至 46.20%之間，氫含量介於 6.12%至 6.87%之間，氧含量介於 42.90%至 47.90%之間，碳、氫及氧差異皆不大，而氮及硫含量極低，氮含量平均約為 0.02%左右，在此無法用元素分析儀偵測到硫的含量。

表七 金紙與拜香之元素分析

種類	元素分析 (wt%)						
	C	H	O	N	S	總和	其它元素
越南金紙	46.20	6.12	42.90	0.05	N.D.*	95.27	4.73
大陸金紙	45.90	6.35	44.89	0.03	N.D.	97.17	2.83
料香	45.54	6.16	44.10	0.38	N.D.	96.18	3.82
新山香	45.58	6.12	44.70	0.39	N.D.	96.79	3.21
老山香	45.90	6.11	44.98	0.37	N.D.	97.36	2.64
改良金紙 A	44.97	6.12	47.90	N.D.	N.D.	98.99	1.01
改良金紙 B	45.16	6.87	47.43	N.D.	N.D.	99.46	0.54
改良拜香 A	44.61	6.03	45.05	0.76	N.D.	96.45	3.55
改良拜香 B	47.78	6.60	44.58	0.32	N.D.	99.28	0.72

*低於偵測極限

五種拜香之元素組成類似，表七顯示拜香原料之主要成份為碳及氧，五種拜香之碳含量介於 44.61%至 47.78%之間，氫含量介於 6.03%至 6.60%之間，氧含量介於 44.10%至 45.05%之間，氮含量介於 0.32%至 0.76%之間，碳、氫、氧及氮差異皆不大，在此無法用元素分析儀偵測到硫的含量。五種拜香中四項元素之總和均超過總質量 95%以上，與木材成份【Roger, 1984】相當類似，造成含量的差異原因可能為製造拜香需添加無機鹽類，以降低成本及維持燃燒條件。拜香原料中主要成分差異不大，可能由於組成成份皆為竹支及香粉，香粉材質不同但均以植物為主體。

4-3 粒徑分析

在以 MOUDI 採樣燃燒金紙後產生之粒狀污染物時，金紙進料速率為每分鐘 30 公克，MOUDI 之 Pump 抽氣速率為每分鐘 30 公升，考量抽氣時間如果太長則 MOUDI 會堵塞，因此我們選定抽氣時間為 3 分鐘，MOUDI 採集四種金紙於金爐中燃燒所產生之粒狀污染物，將各階層所收集之粒狀物統計分布及加總計算，燃燒四種金紙之粒狀污染物如表八所示。

表八 燃燒四種金紙所產生之懸浮微粒分布與總量表

金紙種類		越南金紙	大陸金紙	改良金紙 A	改良金紙 B
單張金紙重 (g)		1.55	3.25	3.00	1.50
進料速度 (g/min)		30	30	30	30
燃燒時間 (min)		3	3	3	3
懸浮微粒重量 (mg)	粒徑(μm)	越南金紙	大陸金紙	改良金紙 A	改良金紙 B
	> 10	3.1	5.1	4.8	2.7
	5.6 ~ 10	5.0	4.0	3.6	5.5
	3.2 ~ 5.6	10.3	6.7	6.4	7.8
	1.8 ~ 3.2	28.0	30.3	26.9	24.8
	1.0 ~ 1.8	20.0	50.3	44.3	18.2
	0.56 ~ 1.0	19.0	24.7	25.9	8.0
	0.32 ~ 0.56	7.0	5.8	6.0	17.1
	0.18 ~ 0.32	7.9	2.0	2.6	6.4
	< 0.18	4.3	3.4	3.9	3.0
總量 (mg)		104.6	132.3	124.4	93.5
單位金紙重燃燒產生懸浮微粒量 (mg/g)		32.5	40.8	36.3	28.8
每張燃燒產生懸浮微粒量 (mg/張)		21.0	12.6	12.1	19.2
單位時間燃燒產生懸浮微粒量 (mg/min)		34.9	44.1	41.5	31.2

由表顯示，產生懸浮微粒質量最高者是大陸金紙為 40.8 mg/g-joss paper，其次改良金紙 A 為 36.3 mg/g-joss paper，最低者改良金紙 B 為 28.8 mg/g-joss paper，顯示不同種類金紙之懸浮微粒質量排放係數有些差異，最高與最低相差 1.4 倍，而選擇燃燒後產生懸浮微粒較少之金紙以減少對健康危害是值得深入探討的。本研究之結果相較於其他文獻【北市民政局，2001】及都市垃圾露天燃燒排放係數【U.S. EPA，1985】之數值高出許多，如表九所示。

表九 燃燒金紙產生懸浮微粒之排放係數比較(mg/g)

研究單位	本研究推估之排放係數	台北市民政局推估之排放係數	都市垃圾露天燃燒排放係數
懸浮微粒排放係數	28.8~40.8	11	8

燃燒四種金紙之懸浮微粒質量產生率介於 31.2 mg/min 至 44.1 mg/min 之間，而金紙燃燒所產生的懸浮微粒之粒徑大部份分布均在 0.56 μm 至 3.2 μm 之間，而由於大陸金紙與改良金紙 A 之厚薄粗細相當，越南金紙與改良金紙 B 之厚薄粗細相當，因此由兩兩比較得知燃燒較為大張且較重之金紙會比較為小張且較輕之金紙產生稍為多的懸浮微粒，而改良金紙部份則懸浮微粒總量會略低於市面上販售之金紙懸浮微粒總量。

在以 MOUDI 採樣燃燒拜香後產生之粒狀物時，我們一次點燃 3 支拜香，MOUDI 之 Pump 抽氣維持每分鐘 30 公升之速率，由測試結果可知燃燒 3 支拜香(約 2~4 公克)之懸浮微粒量遠比維持每分鐘進料速率 30 公克燃燒金紙的少，因此我們可以等待燃燒拜香穩定 15 分鐘後，抽氣取樣 30 分鐘。以 MOUDI 採集五種拜香於燃燒室中燃燒所產生之粒狀污染物，將各階層所收集之粒狀物統計分布及加總計算，結果由表十顯示。

表十 燃燒五種拜香之懸浮微粒比較表

拜香種類		料香	新山香	老山香	改良拜香 A	改良拜香 B
3 支香重 (g)		3.37	2.91	3.80	2.65	2.97
總燃燒時間 (min)		65	75	80	55	75
粒徑 (μm)		料香	新山香	老山香	改良拜香 A	改良拜香 B
懸浮微粒重量 (mg)	1.8~3.2	—	—	—	—	—
	1.0~1.8	0.17	0.01	0.30	0.44	0.42
	0.56~1.0	3.33	7.02	16.38	3.03	3.81
	0.32~0.56	7.19	11.24	8.87	7.25	6.15
	0.18~0.32	2.97	2.29	1.59	8.27	3.22
	<0.18	8.13	1.09	0.38	3.65	7.27
總量 (mg)		21.79	21.65	27.52	22.64	20.87
單位拜香重燃燒產生懸浮微粒量 (mg/g)		14.01	18.60	19.31	15.66	17.57
每支拜香燃燒產生懸浮微粒量 (mg/支)		15.74	18.04	24.46	13.84	17.39
單位時間燃燒產生懸浮微粒量 (mg/min)		0.73	0.72	0.92	0.75	0.70

由表顯示，產生懸浮微粒質量最高者是老山香為 19.31 mg/g-incense，其次新山香為 18.60 mg/g-incense，最低者料香為 14.01 mg/g-incense，顯示不同種類拜香之懸浮微粒質量排放係數有些差異，最高與最低相差 1.4 倍，而選擇燃燒後產生懸浮微粒較少之拜香以減少對健康危害是值得深入探討的。本研究之結果相較於其他文獻【楊奇儒，2006；Mannix，1996】之數值平均明顯較低，如表十一所示。

表十一 燃燒拜香產生懸浮微粒之排放係數比較(mg/g)

研究單位	本研究推估之 排放係數	楊奇儒所推估之 排放係數	Mannix所推估之 排放係數
懸浮微粒排放係數	14.01 ~ 19.31	15 ~ 47	46

若以每支拜香所產生之懸浮微粒而言，在不同種類的拜香之間，單一支拜香之差異達到 1.8 倍(最低者為改良拜香 A 之 13.84 mg/支，最高者為老山香之 24.46 mg/支)，可知香客選擇燃燒老山香則產生的懸浮微粒總量最大，若選擇改良拜香 A 則懸浮微粒總量可望減少。

燃燒五種拜香之懸浮微粒質量產生率為 0.70 至 0.92 mg/min 之間，除了老山香質量產生率較高之外，其餘四種拜香燃燒後懸浮微粒質量產生率大約一致。

燃燒五種拜香所產生的懸浮微粒之粒徑分布絕大部分均小於 1.8 μm ，而大多數介於大多數介於 0.32 至 1.0 μm 之間，由文獻可知【楊奇儒，2006】拜香懸浮微粒排放量(mg/支)與燃燒室內之懸浮微粒濃度成正比例關係，故可以推測燃燒拜香於空間所累積的懸浮微粒濃度越高，單位體積中懸浮微粒越多，碰撞機率較高，較粗粒徑的懸浮微粒生成量越高。凝結作用為影響拜香燃煙之粒徑分佈重要機制之一。

4-4 氮氧化物、二氧化硫及一氧化碳分析

兩種市面上販售金紙及兩種改良金紙燃燒廢氣之氮氧化物、二氧化硫與一氧化碳分析如表十二所示。在越南金紙方面，每分鐘燃燒 20 張金紙(即 30 g/min)，NO_x 排放濃度介於 33 至 50 ppm 之間，平均濃度為 38 ppm，SO₂ 排放濃度介於 290 至 600 ppb 之間，平均濃度為 510 ppb，CO 排放濃度介於 1,065 至 1,625 ppm 之間，平均濃度為 1,446 ppm；在大陸金紙方面，每分鐘燃燒 10 張金紙(即 30 g/min)，NO_x 排放濃度介於 26 至 38 ppm 之間，平均濃度為 31 ppm，SO₂ 排放濃度介於 285 至 505 ppb 之間，平均濃度為 461 ppb，CO 排放濃度介於 520 至 1,020 ppm 之間，平均濃度為 811 ppm；在改良金紙 A 方面，每分鐘燃燒 10 張金紙(即 30 g/min)，NO_x 排放濃度介於 34 至 43 ppm 之間，平均濃度為 39 ppm，SO₂ 排放濃度介於 280 至 430 ppb 之間，平均濃度為 360 ppb，CO 排放濃度介於 580 至 910 ppm 之間，平均濃度為 773 ppm；在改良金紙 B 方面，每分鐘燃燒 24 張金紙(即 30 g/min)，NO_x 排放濃度介於 36 至 44 ppm 之間，平均濃度為 42 ppm，SO₂ 排放濃度介於 350 至 410 ppb 之間，平均濃度為 385 ppb，CO 排放濃度介於 1,060 至 1,360 ppm 之間，平均濃度為 1,211 ppm。

一張改良金紙 A 之厚薄粗細與大陸金紙相當，一張改良金紙 B 之厚薄粗細則與越南金紙相當，由以上廢氣濃度可知改良金紙在 CO 排放濃度較一般市面販售之金紙低，NO_x 及 SO₂ 因排放濃度低則差異不大。

表十二 燃燒金紙之氮氧化物、二氧化硫及一氧化碳排放濃度

空氣污染物	濃度	越南金紙	大陸金紙	改良金紙 A	改良金紙 B
氮氧化物 (ppm)	最低濃度	33	26	34	36
	最高濃度	50	38	43	44
	平均濃度	38	31	39	42
二氧化硫 (ppb)	最低濃度	290	29	280	350
	最高濃度	600	505	430	410
	平均濃度	510	461	360	385
一氧化碳 (ppm)	最低濃度	1,065	520	580	1,060
	最高濃度	1,625	1,020	910	1,360
	平均濃度	1,446	811	773	1,211

三種市面上販售拜香及兩種改良拜香燃燒廢氣之氮氧化物、二氧化硫與一氧化碳分析如表十三所示。在料香方面，每 65 分鐘燃燒 3 支拜香(即 0.052 g/min)，NO_x 排放濃度介於 2.3 至 4.9 ppm 之間，平均濃度為 3.9 ppm，SO₂ 排放濃度介於 54 至 115 ppb 之間，平均濃度為 92 ppb，CO 排放濃度介於 322 至 574 ppm 之間，平均濃度為 488 ppm；在新山香方面，每 75 分鐘燃燒 3 支拜香(即 0.039 g/min)，NO_x 排放濃度介於 1.2 至 1.8 ppm 之間，平均濃度為 1.4 ppm，SO₂ 排放濃度介於 55 至 76 ppb 之間，平均濃度為 65 ppb，CO 排放濃度介於 327 至 476 ppm 之間，平均濃度為 387 ppm；在老山香方面，每 80 分鐘燃燒 3 支拜香(即 0.048 g/min)，NO_x 排放濃度介於 1.2 至 2.4 ppm 之間，平均濃度為 1.9 ppm，SO₂ 排放濃度介於 41 至 89 ppb 之間，平均濃度為 71 ppb，CO 排放濃度介於 278 至 615 ppm 之間，平均濃度為 492 ppm；在改良拜香 A 方面，每 55 分鐘燃燒 3 支

拜香(即 0.048 g/min)，NO_x 排放濃度介於 1.5 至 2.8 ppm 之間，平均濃度為 2.3 ppm，SO₂ 排放濃度介於 46 至 86 ppb 之間，平均濃度為 74 ppb，CO 排放濃度介於 261 至 420 ppm 之間，平均濃度為 377 ppm；在改良拜香 B 方面，每 75 分鐘燃燒 3 支拜香(即 0.040 g/min)，NO_x 排放濃度介於 1.0 至 2.5 ppm 之間，平均濃度為 1.8 ppm，SO₂ 排放濃度介於 82 至 190 ppb 之間，平均濃度為 139 ppb，CO 排放濃度介於 218 至 457 ppm 之間，平均濃度為 366 ppm。

由表可知，燃燒五種拜香所產生之氮氧化物濃度相當低，可能為燃燒室內燃燒拜香之溫度大約等於室溫，因此在溫度較低的情況下產生之氮氧化物濃度自然低；二氧化硫之濃度也相當低，可能原因為拜香元素分析含硫量極低，因此自然不會產生高濃度之二氧化硫；燃燒五種拜香所產生之一氧化碳濃度介於 366 至 492 ppm 之間，遠高於室內空氣品質標準之 8 小時值 9 ppm(行政院環境保護署環署空字第 0940106804 號)。

表十三 燃燒拜香之氮氧化物、二氧化硫及一氧化碳排放濃度

空氣污染物	濃度	料香	新山香	老山香	改良拜香 A	改良拜香 B
氮氧化物 (ppm)	最低濃度	2.3	1.2	1.2	1.5	1.0
	最高濃度	4.9	1.8	2.4	2.8	2.5
	平均濃度	3.9	1.4	1.9	2.3	1.8
二氧化硫 (ppb)	最低濃度	54	55	41	46	82
	最高濃度	115	76	89	86	190
	平均濃度	92	65	71	74	139
一氧化碳 (ppm)	最低濃度	322	327	278	261	218
	最高濃度	574	476	615	420	457
	平均濃度	488	387	492	377	366

4-5 金屬元素分析

在 17 種金屬成分中，Al、Ca、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Na、Pb 及 Zn 等 10 種金屬在四種金紙中可被偵測出來。

表十四表示四種金紙原料之金屬元素含量，越南金紙中金屬元素以鈣含量最高，為 4.849 mg/g-joss paper，其次為鈉含量為 1.562 mg/g-joss paper，最低者為鋅含量為 0.003 mg/g-joss paper，金屬元素總量約為 6.998 mg/g-joss paper；大陸金紙中金屬元素以鈣含量最高，為 10.857 mg/g-joss paper，其次為鈉含量為 1.472 mg/g-joss paper，最低者為錳含量為 0.023 mg/g-joss paper，金屬元素總量約為 12.643 mg/g-joss paper；改良金紙 A 中金屬元素以鈣含量最高，為 2.908 mg/g-joss paper，其次為鈉含量為 1.651 mg/g-joss paper，最低者為鋅及鉛含量為 0.001 mg/g-joss paper，金屬元素總量約為 4.869 mg/g-joss paper；改良金紙 B 中金屬元素以鈣含量最高，為 2.858 mg/g-joss paper，其次為鈉含量為 1.623 mg/g-joss paper，最低者為錳含量為 0.005 mg/g-joss paper，金屬元素總量約為 4.872 mg/g-joss paper。

由此可知不同種類之金紙原料中之主要金屬類型相似，不論是市面上販售之金紙或是改良金紙，均以鈣含量為最高，其次為鈉含量，但應該再增加金紙的種類進行分析，才更具統計上的意義。

在 17 種金屬成分中，Al、Ba、Ca、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Na、Pb、Sr 及 Zn 等 12 種金屬在五種拜香中可被偵測出來。

表十四 四種金紙原料之金屬元素含量

金屬元素 (mg/g)	越南金紙	大陸金紙	改良金紙 A	改良金紙 B
Al	0.022	0.013	0.018	0.016
Ca	4.849	10.857	2.908	2.858
Cu	—	—	0.002	—
Fe	0.069	0.068	0.048	0.063
K	0.179	0.037	0.132	0.168
Mg	0.277	0.173	0.101	0.139
Mn	0.011	0.023	0.007	0.005
Na	1.562	1.472	1.651	1.623
Pb	0.026	—	0.001	—
Zn	0.003	—	0.001	—
總計(mg/g)	6.998	12.643	4.869	4.872

—：低於偵測極限

表十五表示五種拜香原料之金屬元素含量，料香中金屬元素以鈣含量最高，為 5.821 mg/g-incense，其次為鉀含量為 1.512 mg/g-incense，最低者為銅含量為 0.006 mg/g-incense，金屬元素總量約為 8.250 mg/g-incense；新山香中金屬元素以鈣含量最高，為 4.709 mg/g-incense，其次為鉀含量為 0.468 mg/g-incense，最低者為鉛含量為 0.006 mg/g-incense，金屬元素總量約為 5.717 mg/g-incense；老山香中金屬元素以鈣含量最高，為 4.041 mg/g-incense，其次為鉀含量為 0.566 mg/g-incense，最低者為鋁含量為 0.013 mg/g-incense，金屬元素總量約為 5.019 mg/g-incense；改良拜香 A 中金屬元素以鈣含量最高，為 5.769 mg/g-incense，其次為鉀含量為 1.437 mg/g-incense，最低者為鉛及鋅含量為 0.001 mg/g-incense，金屬元素總量約為 8.525 mg/g-incense；改良拜香 B 中金屬元素以鈣含量最高，為 3.505 mg/g-incense，其次為鉀含量為 0.730 mg/g-incense，最低者為鉛含量為 0.004 mg/g-incense，金屬元素總量約為 5.058 mg/g-incense。

由此可知不同種類之拜香原料中之主要金屬類型相似，不論是市面上販售之拜香或是改良拜香，均以鈣含量為最高，其次為鉀含量，但應該再增加拜香的種類進行分析，才更具統計上的意義。

表十五 五種拜香原料之金屬元素含量

金屬元素 (mg/g)	料香	新山香	老山香	改良拜香 A	改良拜香 B
Al	0.019	0.016	0.013	0.024	0.048
Ba	0.047	—	—	0.004	0.028
Ca	5.821	4.709	4.041	5.769	3.505
Cu	0.006	—	—	0.006	0.019
Fe	0.323	0.14	0.187	0.407	0.256
K	1.512	0.468	0.566	1.437	0.73
Mg	0.227	0.105	0.079	0.351	0.199
Mn	0.075	0.015	0.022	0.071	0.045
Na	0.055	0.163	0.043	0.366	0.097
Pb	—	0.006	—	0.001	0.004
Sr	0.165	0.095	0.068	0.088	0.106
Zn	—	—	—	0.001	0.021
總計(mg/g)	8.250	5.717	5.019	8.525	5.058

—：低於偵測極限

將 MOUDI 採集到之金紙懸浮微粒全部收集後，經過前處理、微波消化等步驟，再作 ICP-OES 分析懸浮微粒中金屬元素含量，表十六為燃燒金紙之飛灰中金屬含量。由表顯示，燃燒金紙後飛灰內不含鋁、銅、鎂及鋅，而鐵及鉛含量也極低。四種金紙之飛灰中主要是鈣元素，為 55.12 至 288.62 mg/kg-joss paper 之間。其次為鈉元素，為 73.35 至 100.48 mg/kg-joss paper 之間。散佈到大氣中金屬總量為 141.41 至 461.64 mg/kg-joss paper 之間。與金紙原料之金屬元素比較可知皆以鈣元素為主，其次為鈉元素。

表十六 燃燒金紙後金屬元素之排放因子

金屬元素 (mg/kg)	越南 金紙	大陸 金紙	改良 金紙 A	改良 金紙 B
Al	—	—	—	—
Ca	138.28	288.62	81.24	55.12
Cu	—	—	—	—
Fe	0.56	—	—	0.34
K	12.73	76.31	90.19	12.52
Mg	—	—	—	—
Mn	2.11	5.33	—	—
Na	73.35	91.38	100.48	73.44
Pb	1.17	—	—	—
Zn	—	—	—	—
總計 (mg/kg)	228.19	461.64	271.91	141.41

—：低於偵測極限

如同處理燃燒金紙之飛灰，分析燃燒拜香所產生之懸浮微粒中金屬元素含量，表十七為燃燒拜香之飛灰中金屬含量。由表顯示，燃燒拜香後飛灰內不含鋁、鎂及鋇，而鐵及鉛含量也極低。五種拜香之飛灰中主要是存在鈣元素，為 46.34 至 74.19 mg/kg-incense 之間。其次為鉀元素，為 15.15 至 43.48 mg/kg-incense 之間。散佈到大氣中金屬總量為 81.00 至 119.73 mg/kg-incense 之間。與拜香原料之金屬元素比較可知皆以鈣元素為主，其次為鉀元素。

表十七 燃燒拜香後金屬元素之排放因子

金屬元素 (mg/kg)	料香	新山香	老山香	改良拜香 A	改良拜香 B
Al	—	—	—	—	—
Ba	1.56	—	—	0.85	1.28
Ca	70.21	69.67	74.19	71.24	46.34
Cu	—	—	—	0.58	4.30
Fe	1.00	0.25	—	0.42	—
K	43.48	17.51	23.28	15.15	16.06
Mg	—	—	—	—	—
Mn	2.17	0.97	1.46	4.31	2.74
Na	1.31	4.52	—	6.73	—
Pb	—	0.28	—	—	0.58
Sr	—	—	—	—	—
Zn	—	—	—	0.99	9.71
總計 (mg/kg)	119.73	93.21	98.92	100.27	81.00

4-6 揮發性有機物分析

將燃燒金紙之廢氣採集至採樣袋中，將其廢氣由 GC-MS 分析，結果如表十八所示。越南金紙燃燒廢氣 VOC 排放因子中主要有正己烷 645.70 mg/kg、甲苯 38.79 mg/kg、異戊烷 35.97 mg/kg、丙烯 32.43 mg/kg、苯 26.00 mg/kg 等揮發性有機物；大陸金紙燃燒廢氣 VOC 排放因子中主要有正己烷 79.14 mg/kg、異戊烷 33.64 mg/kg、甲苯 32.37 mg/kg、1,2,4-三甲基苯 17.12 mg/kg、間乙基甲苯 16.00 mg/kg 等揮發性有機物；改良金紙 A 燃燒廢氣 VOC 排放因子中主要有苯 337.72 mg/kg、甲苯 323.49 mg/kg、正己烷 183.88 mg/kg、3-甲基丁烷 171.47 mg/kg、異丁烯 159.47 mg/kg 等揮發性有機物；改良金紙 B 燃燒廢氣 VOC 排放因子中主要有 2-甲基丁烷 1,049.81 mg/kg、1-丁烯 569.82 mg/kg、甲苯 461.08 mg/kg、苯 459.05 mg/kg、正己烷 223.57 mg/kg 等揮發性有機物。

表十八 燃燒金紙產生揮發性有機物之排放因子 (mg/kg)

Compound Name	越南金紙	大陸金紙	改良金紙 A	改良金紙 B
Propylene	32.4	10.9	0.0	0.0
Isobutane	15.8	3.0	159.5	201.1
1-Butene	25.3	13.0	115.4	569.8
n-Butane	9.7	9.4	0.0	43.0
trans-2-Butene	4.7	0.0	0.0	11.2
cis-2-Butene	0.0	0.0	31.2	17.0
Isopentane	36.0	33.6	23.6	96.3
1-Pentene	1.7	0.0	9.9	0.0
n-Pentane	16.1	14.2	0.0	56.2
Isoprene	5.2	6.5	38.0	0.0
trans-2-Pentene	0.0	2.2	0.0	16.8
cis-2-Pentene	4.2	1.7	0.0	0.0
2,2-Dimethylbutane	0.0	0.0	0.0	0.0
Cyclopentane	0.0	0.0	0.0	33.3
2,3-Dimethylbutane	3.0	2.6	0.0	223.2
2-Methylbutane	7.8	4.3	13.4	1,049.8
3-Methylbutane	7.5	6.5	171.5	215.9
1-Hexene	0.0	0.0	0.0	36.1
n-Hexane	645.7	79.1	183.9	223.6
Methylcyclopentane	10.4	7.9	42.6	38.7
2,4-Dimethylpentane	0.0	7.2	0.0	31.8
Benzene	26.0	8.3	337.7	459.0
Cyclohexane	8.2	6.7	0.0	0.0
2-Methylhexane	4.7	3.4	28.8	28.0

表十八 燃燒金紙產生揮發性有機物之排放因子 (mg/kg) (續)

Compound Name	越南金紙	大陸金紙	改良金紙 A	改良金紙 B
2,3-Dimethylpentane	2.3	2.1	53.8	59.7
3-Methylhexane	5.1	5.2	0.0	53.4
2,2,4-Trimethylpentane	10.7	0.0	0.0	0.0
n-Heptane	4.0	3.7	0.0	49.6
Methylcyclohexane	4.0	0.0	34.5	35.4
2,3,4-Trimethylpentane	0.0	0.0	0.0	0.0
Toluene	38.8	32.4	323.5	461.1
2-Methylheptane	11.2	9.3	33.3	37.6
3-Methylheptane	4.7	4.4	0.0	0.0
n-Octane	4.7	0.0	63.1	69.4
Ethylbenzene	12.6	10.7	99.8	95.1
m,p-Xylene(0.57+0.57)	17.1	15.1	106.7	98.3
Styrene	12.7	10.4	0.0	0.0
o-Xylene	12.9	11.7	65.6	72.1
n-Nonane	0.0	0.0	0.0	0.0
Isopropylbenzene	0.0	5.5	0.0	0.0
n-Propylbenzene	0.0	9.2	55.4	54.1
p-Ethyltoluene	13.6	11.9	96.8	119.1
m-Ethyltoluene	17.6	16.0	0.0	0.0
1,3,5-Trimethyl-benzene	0.0	7.4	76.4	78.5
o-Ethyltoluene	11.3	9.7	46.3	48.6
1,2,4-Trimethylbenzene	19.1	17.1	106.7	116.8
n-Decane	0.0	0.0	0.0	0.0
1, 2, 3-Trimethylbenzene	12.0	12.0	7.0	89.5
m-Diethylbenzene	0.0	0.0	0.0	0.0
p-Diethylbenzene	0.0	0.0	0.0	0.0

將燃燒拜香之廢氣採集至採樣袋中，將其廢氣由 GC-MS 分析，結果如表十九所示。料香燃燒廢氣 VOC 排放因子中主要有丙烯 2,813.83 mg/kg、甲苯 2,389.15 mg/kg、正己烷 2,388.46 mg/kg、1-丁烯 1,750.27 mg/kg、正丁烯 1,616.37 mg/kg 等揮發性有機物；新山香燃燒廢氣 VOC 排放因子中主要有甲苯 2,929.08 mg/kg、1,2,4-三甲基苯 893.54 mg/kg、正己烷 885.77 mg/kg、1-丁烯 777.62 mg/kg、鄰二甲苯 688.54 mg/kg 等揮發性有機物；老山香燃燒廢氣 VOC 排放因子中主要有甲苯 3,188.19 mg/kg、1,2,4-三甲基苯 927.94 mg/kg、對乙基甲苯 861.69 mg/kg、鄰二甲苯 792.38 mg/kg、乙基苯 667.19 mg/kg 等揮發性有機物；改良拜香 A 燃燒廢氣 VOC 排放因子中主要有甲苯 10,501.88 mg/kg、正己烷 3,917.13 mg/kg、正丁烯 3,706.19 mg/kg、3-甲基丁烷 3,702.38 mg/kg、1,2,4-三甲基苯 3,435.56 mg/m³ 等揮發性有機物；改良拜香 B 燃燒廢氣 VOC 排放因子中主要有甲苯 15,877.13 mg/kg、鄰二甲苯 4,460.55 mg/kg、1,2,4-三甲基苯 4,209.83 mg/kg、3-甲基丁烷 4,016.85 mg/kg、1-丁烯 3,654.75 mg/m³ 等揮發性有機物。

四種金紙之揮發性有機物皆含有正己烷、苯、甲苯，其排放因子皆以改良金紙較高，市面上販售之金紙反而較低；五種拜香則皆含有甲苯及苯之衍生物，其中改良拜香 A 之 VOC 排放因子皆較高，甲苯高於市面上販售拜香排放因子約 3 倍。

表十九 燃燒拜香產生揮發性有機物之排放因子 (mg/kg)

Compound Name	料香	新山香	老山香	改良拜香 A	改良拜香 B
Propylene	2,813.8	286.8	0.0	0.0	0.0
Isobutane	773.8	65.3	97.4	1,237.7	810.2
1-Butene	1,750.3	777.6	666.4	1,969.6	3,654.8
n-Butane	1,616.4	310.2	347.7	3,706.2	791.6
trans-2-Butene	241.4	0.0	0.0	193.7	0.0
cis-2-Butene	225.6	44.2	0.0	0.0	0.0
Isopentane	667.3	193.4	428.3	0.0	628.9
1-Pentene	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
n-Pentane	499.7	317.3	218.0	0.0	0.0
Isoprene	506.3	0.0	0.0	1,080.0	1,358.0
trans-2-Pentene	138.3	0.0	30.3	0.0	0.0
cis-2-Pentene	0.0	0.0	49.3	0.0	0.0
2,2-Dimethylbutane	0.0	0.0	146.6	0.0	0.0
Cyclopentane	0.0	210.9	0.0	0.0	669.5
2,3-Dimethylbutane	0.0	115.0	132.6	0.0	0.0
2-Methylbutane	198.6	350.3	350.4	690.4	1,196.0
3-Methylbutane	263.4	138.7	115.6	3,702.4	4,016.9
1-Hexene	227.8	0.0	0.0	0.0	0.0
n-Hexane	2,388.5	885.8	640.5	3,917.1	3,194.5
Methylcyclopentane	282.6	216.2	205.0	732.2	921.5
2,4-Dimethylpentane	0.0	0.0	200.2	0.0	0.0
Benzene	803.4	327.0	451.3	1,348.7	2,717.5
Cyclohexane	216.5	227.5	268.7	0.0	0.0
2-Methylhexane	164.3	98.2	105.1	662.1	808.4
2,3-Dimethylpentane	58.8	76.2	61.4	1,359.1	1,659.8
3-Methylhexane	195.3	134.5	184.8	0.0	0.0
2,2,4-Trimethylpentane	273.9	317.8	0.0	0.0	0.0
n-Heptane	149.1	180.2	128.8	1,146.7	1,476.5
Methylcyclohexane	134.0	138.1	130.8	757.7	1,003.7
2,3,4-Trimethylpentane	0.0	120.3	0.0	0.0	0.0
Toluene	2,389.2	2,929.1	3,188.2	10,501.9	15,877.7
2-Methylheptane	0.0	0.0	0.0	871.6	1,031.0
3-Methylheptane	109.1	0.0	120.4	0.0	0.0
n-Octane	0.0	0.0	157.8	1,501.7	2,136.3
Ethylbenzene	624.3	675.5	667.2	1,519.8	3,369.8

表十九 燃燒拜香產生揮發性有機物之排放因子 (mg/kg) (續)

Compound Name	料香	新山香	老山香	改良拜香 A	改良拜香 B
m,p-Xylene(0.57+0.57)	565.2	624.2	722.1	0.0	4,460.6
Styrene	465.6	567.1	537.1	0.0	0.0
o-Xylene	592.2	688.5	792.4	958.4	2,949.2
n-Nonane	0.0	0.0	306.9	0.0	0.0
Isopropylbenzene	0.0	210.9	0.0	1,234.1	0.0
n-Propylbenzene	298.8	0.0	292.3	0.0	1,791.4
p-Ethyltoluene	445.6	392.8	861.7	2,515.4	2,640.3
m-Ethyltoluene	0.0	403.2	337.9	0.0	0.0
1,3,5-Trimethyl-benzene	285.2	328.5	357.0	1,974.5	2,563.9
o-Ethyltoluene	329.0	313.5	328.3	592.7	1,818.0
1,2,4-Trimethylbenzene	705.4	893.5	927.9	3,435.6	4,209.8
n-Decane	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1, 2, 3-Trimethylbenzene	356.3	376.3	407.1	1,789.8	0.0
m-Diethylbenzene	0.0	0.0	186.4	0.0	0.0
p-Diethylbenzene	0.0	444.5	411.9	0.0	0.0

4-7 排放量推估

根據內政部統計【2005】，台灣地區寺廟數量為 11,384 座，根據台南市環保局調查資料，南市 326 家寺廟 1 年燒掉約 1,000 噸金紙；由台南市政府統計結果，台南市市立案廟宇一年燒香量達 120 公噸，排放空氣污染物相當於台南市城西焚化爐一個月的量。保守推估台灣寺廟每年所燒的金紙量與拜香量分別為 34,920 公噸與 4,190 公噸之多，其中不包含民間住家、商家燃燒之金紙量，而根據台灣行政院內政部在 2004 年的統計資料(行政院內政部統計資料服務網)顯示，台灣一整年的紙錢燃燒量約 77,900 噸。

台灣地區燃燒金紙排放氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳之排放因子與每年排放總量如表二十所示，懸浮微粒之排放因子與總量如表廿一所示；燃燒拜香排放氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳之排放因子與每年排放總量如表廿二所示，懸浮微粒之排放因子與總量如表廿三所示。一般廟宇多無污染防治設備，故控制因子假設為 1。

燃燒金紙產生氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳及揮發性有機物之排放因子計算，以越南金紙之一氧化碳濃度為例，廢氣之氧濃度為 17.3%，由元素分析結果可知燃燒一公斤的越南金紙產生 32.442 公斤的廢氣，實驗中每分鐘燃燒 30 公克金紙，即每分鐘廢氣產生量為 839 公升，燃燒金紙後得 1,446 ppm CO，相乘後為每分鐘產生 CO 量為 1.213 公升，即每分鐘產生 1.363 公克之 CO，最後可知燃燒每公噸越南金紙可產生 45.43 公斤之 CO。CO 年排放量即排放係數 45.43(公斤/公噸)乘以年燃燒量 34,920 公噸等於 1,586.42 公噸。

表二十 燃燒金紙之氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳排放因子與排放量推估

污染物種類		硫氧化物 (公斤/公噸)	一氧化碳 (公斤/公噸)	氮氧化物 (公斤/公噸)
排放因子(越南金紙)		0.04	45.43	1.98
排放因子(大陸金紙)		0.03	26.45	1.63
排放因子(改良金紙A)		0.02	22.97	1.91
排放因子(改良金紙B)		0.03	37.79	2.16
年排放量 (公噸)	以越南金紙計算	1.40	1,586.42	69.14
	以大陸金紙計算	1.05	923.63	56.92
	以改良金紙 A 計算	0.70	802.11	66.70
	已改良金紙 B 計算	1.05	1,319.63	75.43

燃燒拜香產生氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳及揮發性有機物之排放因子計算，以料香之一氧化碳濃度為例，拜香燃燒速率為 0.052 g/min，燃燒室之空氣交換率設定為 1.5 ACH，則廢氣流量為 30 L/min，燃燒拜香後得 574 ppm CO，相乘後為每分鐘產生 CO 量為 17.22 ml，即每分鐘產生 19.39 mg 之 CO，最後可知燃燒每公噸拜香可產生 372.95 公斤之 CO。CO 年排放量即排放係數 372.95(公斤/公噸)乘以年燃燒量 4,190 公噸等於 1,562.66 公噸。

表廿一 燃燒拜香之氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳排放因子與排放量推估

污染物種類		硫氧化物 (公斤/公噸)	一氧化碳 (公斤/公噸)	氮氧化物 (公斤/公噸)
排放因子(料香)		0.17	372.95	5.23
排放因子(新山香)		0.15	412.37	2.56
排放因子(老山香)		0.14	432.89	2.78
排放因子(改良拜香A)		0.14	295.63	3.24
排放因子(改良拜香B)		0.37	386.01	3.47
年排放量 (公噸)	以料香計算	0.72	1,562.66	21.92
	以新山香計算	0.63	1,727.82	10.73
	以老山香計算	0.60	1,813.81	11.63
	以改良拜香 A 計算	0.58	1,238.70	13.57
	以改良拜香 B 計算	1.54	1,617.39	14.54

燃燒金紙產生之懸浮微粒排放因子計算以越南金紙為例，以每分鐘 30 g 之進料速度燃燒越南金紙，產生 839 公升的廢氣，每分鐘採樣 30 公升，採樣時間為 3 分鐘，採得 104.6 mg 之飛灰，因此排放因子計算如下：

$$\text{懸浮微粒(mg/g-joss paper)} = (104.6 \times 839 / 30) \div 90 = 32.50$$

懸浮微粒年排放量即排放因子 32.50(公斤/公噸)乘以年燃燒量 34,920 公噸等於 1,135.3 公噸。

燃燒拜香產生之懸浮微粒排放因子計算以料香為例，一支香燃燒時間約 65 分鐘，燃燒三支香(即燃燒掉 3.37 g)採樣 30 分鐘，每分鐘採樣 30 公升，產生 21.79 mg 之飛灰，即燃燒 1.56 g 之料香，因此排放因子計算如下：

$$\text{懸浮微粒(mg/g-incense)} = 21.79 \div 1.56 = 14.0$$

懸浮微粒年排放量即排放係數 14.0(公斤/公噸)乘以年燃燒量 4,190 公噸等於 58.7 公噸。

燃燒金紙之氮氧化物排放因子介於 1.63 至 2.16 公斤/公噸之間，每年總量介於 56.92 至 75.43 公噸之間；二氧化硫排放因子介於 0.02 至 0.04 公斤/公噸之間，每年總量介於 0.70 至 1.40 公噸之間；一氧化碳排放因子介於 22.97 至 45.43 公斤/公噸之間，每年總量介於 802.1 至 1,586.4 公噸之間；懸浮微粒排放因子介於 28.8 至 40.8 公斤/公噸之間，每年總量介於 1,005.5 至 1,426.2 公噸之間。

燃燒拜香之氮氧化物排放因子介於 2.56 至 5.63 公斤/公噸之間，每年總量介於 10.73 至 20.92 公噸之間；二氧化硫排放因子介於 0.14 至 0.37 公斤/公噸之間，每年總量介於 0.58 至 1.54 公噸之間；一氧化碳排放因子介於 295.63 至 432.89 公斤/公噸之間，每年總量介於 1,238.70 至 1,813.81 公噸之間；懸浮微粒排放因子介於 14.0 至 19.3 公斤/公噸之間，每年總量介於 58.7 至 80.9 公噸之間。

台灣地區燃燒金紙與拜香排放揮發性有機物之排放因子與每年排放總量如表廿四所示。燃燒金紙之揮發性有機物排放因子介於 0.4 至 4.9 公斤/公噸之間，每年總量介於 14.5 至 170.7 公噸之間；燃燒拜香之揮發性有機物排放因子介於 14.4 至 67.8 公斤/公噸之間，每年總量介於 60.2 至 283.9 公噸之間。

表廿二 燃燒金紙之懸浮微粒排放因子與排放量推估

污染物種類		懸浮微粒 (公斤/公噸)
排放因子(越南金紙)		32.5
排放因子(大陸金紙)		40.8
排放因子(改良金紙A)		36.3
排放因子(改良金紙B)		28.8
年排放量 (公噸)	以越南金紙計算	1,135.3
	以大陸金紙計算	1,426.2
	以改良金紙 A 計算	1,267.4
	以改良金紙 B 計算	1,005.5

表廿三 燃燒拜香之懸浮微粒排放因子與排放量推估

污染物種類		懸浮微粒 (公斤/公噸)
排放因子(料香)		14.0
排放因子(新山香)		18.6
排放因子(老山香)		19.3
排放因子(改良拜香A)		15.7
排放因子(改良拜香B)		17.6
年排放量 (公噸)	以料香計算	58.7
	以新山香計算	78.0
	以老山香計算	80.9
	以改良拜香 A 計算	65.6
	以改良拜香 B 計算	73.7

表廿四 燃燒金紙與拜香之揮發性有機物排放因子與排放量推估

金紙與拜香之排放因子		揮發性有機物 (公斤/公噸)
越南金紙		1.1
大陸金紙		0.4
改良金紙A		2.3
改良金紙B		4.9
料香		21.8
新山香		14.4
老山香		15.6
改良拜香A		49.4
改良拜香B		67.8
年排放量 (公噸)	以越南金紙計算	37.7
	以大陸金紙計算	14.5
	以改良金紙 A 計算	81.2
	以改良金紙 B 計算	170.7
	以料香計算	91.2
	以新山香計算	60.2
	以老山香計算	65.2
	以改良拜香 A 計算	207.0
	以改良拜香 B 計算	283.9

第五章 主要建議

本研究團隊調查市面上販售與改良過後之金紙與拜香，檢測其燃燒後產生之空氣污染物，並由此推估空氣污染物之排放因子，進而推估全台灣寺廟每年燃燒金紙與拜香所產生之排放量，茲將本研究團隊之建議分述如下：

主題	理由	做法	主辦/協辦
元素分析之硫分析	金紙與拜香之硫含量皆低於元素分析儀之偵測極限	可改用硫氣分析儀偵測含硫量，其偵測極限可至 ppm 等級	環保署/國科會
寺廟內懸浮微粒	排放的總懸浮微粒質量與燃燒時間成正比，且懸浮微粒粒徑小，香客在寺廟中時間越久，吸入越多懸浮微粒，造成呼吸系統的損害	減少在寺廟中活動時間	環保署/國科會
燃燒金紙與拜香產生之 NO _x 、SO ₂ 及 CO 廢氣	NO _x 、SO ₂ 濃度較低，CO 有較高濃度，需注意 CO 為有毒氣體，而寺廟內通常通風不佳	CO 為有毒氣體，香客減少金紙及拜香燃燒，廟方可添增風扇使寺廟內空氣換氣率增加	環保署/國科會
燃燒金紙與拜香產生之揮發性有機物	通常含有苯及甲苯，對人體的眼睛、皮膚、呼吸系統、中樞神經系統、肝臟、腎臟等器官造成危害	避免在室內而應在通風處燃香，讓空氣暢通，經常進香者應減少在香爐前停留的時間，並選擇有通風設備的寺廟，減少燃香的支數	環保署/國科會
燃燒金紙與拜香之排放量	本研究單指全台寺廟之排放量，不包含民間住家、商家	計畫如何有效調查民間住家、商家之金紙及拜香用量	環保署/國科會
減少金紙與拜香使用	以上研究可發現污染物繁多，且具毒性及致癌性	環保署宜制訂相關法規，由各縣市環保局推動減少金紙與拜香使用宣導、輔導及稽查	環保署/環保局

參考文獻

內政部統計處，內政統計通報九十四年第二十六週，6月，2005。

行政院內政部統計資料服務網: <http://www.moi.gov.tw/stat/>

楊萬發、李曜全、莊桓齊、董士誠，祭拜金銀紙錢燃燒煙塵廢氣調查與改善之研究，台北市政府民政局，2001。

陳壬癸，談台灣民俗—燒金銀紙，台灣文獻，第32卷第1期，頁158~162，1981。

董士誠，祭拜金銀紙錢燃燒煙塵廢氣調查與改善之研究，國立臺灣大學環境工程研究所碩士論文，六月，2002。

林嘉明，拜香原料然煙中多環芳香烴化合物之探討，國科會計畫報告，1996。

楊萬發，事業廢棄物焚化爐設計與選用手冊，經濟部工業局，1996。

高雄市政府環境保護局，高雄市鳳儀宮減量輔導協談會，10月，2005。

沈福銘、林澤聖，燃燒拜香導致重金屬污染曝露之研究，元培科學技術學院。

聯合晚報，10版/經濟生活，2005/05/18。

李如訓，拜香原料燃煙中脂族醛氣體之探討，國科會醫科學術研究，1994。

高玫鍾、龍世俊，不同通風狀態室內燒香產生PM10濃度變化之研究，中華公共衛生雜誌，19(3)，214-220，2000。

高玫鍾、龍世俊，香客在寺廟中懸浮微粒暴露濃度之探討，中華公共衛生雜誌，19(2)，138-143，2000。

李繡偉，拜香燃煙分佈動態變化與增溼成長特性，元智大學化學工程研究所碩士論文，六月，1998。

方新發，空氣中多環芳香烴化合物的分析研究，國立清華大學原子科學研究所碩士論文，六月，1990。

胡竹君，拜香之煙及灰中多環芳香烴化合物之分析，國立清華大學原子科學研究所碩士論文，六月，1992。

李建坤，拜香及蚊香燃燒產生之多環芳香烴化合物，國立臺灣大學公共衛生學研究所碩士論文，六月1996。

Rasmussen, R. E., "Mutagenic activity of incense smoke on salmonella typhimurium", Bull Environ Contact Toxicol, v38:827-833, 1987.

Schoenotol, R., Gibbard, S., "Carcinogens in Chinese incense smoke". Nature. 216:612, 1967.

Chao, H. R., Lin, T. C. and Hsieh, J. H., "Composition and characteristics of PAH emissions from Taiwanese temples", J. Aerosol Sci., 1:S303-S304, 1997.

Lofroth, G., Stensman, C., Brandhorst, S. M., "Indoor Source of Mutagenic Aerosol Part: Culate Matter: Cooking and Incense Burning", Mutation Res., v264, 21-28, 1991.

Chen, C. J., Wang, Y. F., Shieh. T., Chen, J. Y., Lin, M. Y., "Multi-factorial etiology of nasopharyngeal carcinoma", Head and Neck Oncology Research Conference, v10-12:469-476,1987.

高雄市環保局，九十二年度及九十三年度空氣污染總量管制暨減量輔導計劃，2003、2004。

樓基中，玻璃業最佳控制技術研究及背景評估、研擬操作標準及規劃執行程序委託計劃，行政院環保署報告，1991。

Li, C.S., Ro, Y.S., "Indoor characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere of Taipei", Atmospheric Environment, 34, p.611-620, 2000.

C. David Copper, F. C. Alley, "Air Pollution Control: A Design Approach", second edition, Waveland Press, Inc., 1996.

U.S. EPA, "Complication of Air Pollutant Emission Factors Volume I", U.S. EPA Office of Air and Radiation, 1985.

Yang, S., Connel, D., Hawker, D., Kalyal, S., "Polycyclic aromatic hydrocarbons in air, soil and vegetation in vicinity of an urban roadway", Science of the Total Environment, 102, p.229-240, 1991.

Roger, M.R., "The chemistry of solid wood", American Chemical Society, Washington, D.C., 1984.

U.S. EPA, "Complication of Air Pollutant Emission Factors Volume I", U.S. EPA Office of Air and Radiation, 1985.

Lung, S.C., Hu, S.C., "Generation rates and emission factors of particulate matter and particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons of incense sticks", Chemosphere, 50, p.673-679, 2003.

楊奇儒，低污染拜香研發：拜香主要成分對拜香燃煙特徵之影響，國立成功大學環境工程研究所博士論文，六月，2006。

空污防制科研計畫研究成果資料表

 可申請專利

 可技術移轉

日期：96年1月31日

計畫資料	計畫名稱：燃燒金紙及拜香產生空氣污染物之成分分析及排放量推估 計畫主持人：朱 信 國立成功大學 環境工程系 計畫編號：NSC 95-EPA-Z-006-02- (總計畫名稱：燃燒金紙、拜香及爆竹產生空氣污染物之減量及危害評估)
技術/創作名稱	燃燒金紙及拜香之排放因子與排放量推估
發明人/創作人	朱 信、周文傑、洪文啟
技術說明	中文： 燃燒金紙與拜香產生之廢氣，透過儀器分析與計算得知燃燒單位金紙或拜香會產生多少單位之空氣污染物；燃燒金紙及拜香之年排放量推估可由目前台灣寺廟多寡及寺廟燃燒金紙及拜香量得知。 英文： We use analytical instruments to determine the concentrations of air pollutants and calculate how much air pollutants will be produced when burning joss papers or incenses. Emissions evaluation of air pollutants from joss paper and incense burning may be estimated by getting how many temples are in Taiwan and how many joss papers and incenses burning are in the temples.
可利用之產業及可開發之產品	除了推估燃燒金紙及拜香排放量之外，可用類似的方法得知燃燒物質(如稻草、輪胎等)產生的排放量
技術特點	使民眾及廟方由推估的實際數值了解在寺廟及住商所在燃燒金紙、拜香帶來的空氣汙染
推廣及運用的價值	提供環保單位了解燃燒金紙及拜香產生之空氣污染物總量，進而制定相關法規。

- ※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。
- ※ 2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
- ※ 3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。