

中國醫藥大學

碩士論文

編號：DOSH-0202

金屬切削廠中金屬加工液之生物氣膠特
性評估

**Assessment of Bioaerosols Associated
with Metalworking Fluids at a Metal
Cutting Factory in Taiwan**

所別：職業安全與衛生學系碩士班

指導教授：林文海 博士

學生：劉思承 Liu, Szu-Cheng

學號：9472002

中華民國九十六年六月

誌謝

兩年前知道自己考上研究所時，真是非常的高興。這兩年的研究所生活也確實沒讓我失望，讓我學習到如何尋找所需的資料，及做人、做事的道理。另外，也學會了要積極的去解決問題，而不是去逃避問題。

這本論文可以完成，最要感謝的是我的指導老師-林文海老師。感謝林文海老師這兩年來辛苦的指導，您的諄諄教誨及叮嚀，使我在研究所兩年的生活獲益良多。感謝賴俊雄老師及李書安老師，兩位口試委員給予我許多的建議及指正，使這本論文可以更加完整。

另外，要謝謝浥程及俊佑在實驗上給予的大力協助，使我的實驗能夠順利完成。也感謝玟玲學姊、琇評、學謙、明彥，及所有職安所的老師同學們，感謝大家對我在研究所的鼓勵及支持。

還要謝謝一直在我身後支持我的父母、弟弟及家人，因為有你們的支持與鼓勵，我才能無憂無慮的完成研究所的學業。當然，要謝謝我的女朋友明華，因為妳一直在我身旁支持我。當我受到挫折時，妳總是一再鼓勵我要振作，使我能順利的度過研究所的兩年生活。

最後，謹以此為獻給我摯愛的雙親。

摘要

本研究以國內某一使用金屬加工液之工廠為例，評估其使用金屬加工液造成作業環境空氣中之細菌生物氣膠濃度及細菌菌種分佈特性，並利用 Biosampler 及 MAS-100 生物氣膠採樣器來進行作業現場之空氣微生物採樣。

結果發現在新鮮的金屬加工液中的細菌濃度低於 20 CFU/mL，而使用過的金屬加工液最高可含有 1.1×10^7 CFU/mL 的細菌濃度。在更新金屬加工液後，在距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺的空氣中分別有 1.0×10^4 、 1.6×10^4 及 5.3×10^3 CFU/m³ 的細菌濃度存在。在金屬加工液使用二天後，則有 4.1×10^5 、 3.3×10^5 及 2.5×10^5 CFU/m³ 的細菌濃度。經過三天的操作並加入部分新鮮的金屬加工液後，會有 1.5×10^5 、 5.2×10^4 及 8.1×10^4 CFU/m³ 的細菌濃度。經過五天後，則空氣中的細菌濃度會達到 1.1×10^6 、 8.7×10^5 及 1.8×10^6 CFU/m³。

在空氣中可鑑定出來的菌種有 *Ralstonia pickettii*、*Actinomyces neuii ssp anitratus*、*Aeromonas hydrophila* group 2、*Arcanobacterium haemolyticum*、*Bacillus coagulans*、*B. licheniformis*、*B. pumilus*、*B. sphaericus*、*B. stearothermophilus*、*B. thuringiensis*、*Brevibacillus brevis*、*Brevibacterium* spp.、*Burkholderia cepacia*、*Cellulomonas* spp.、*Corynebacterium aquaticum*、*C. minutissimum*、*C. urealyticum*、*Flavimonas oryzihabitans*、*Micrococcus* spp.、*Oerskovia turbata*、*O. xanthineolytica*、*Serratia marcescens*、*Staphylococcus capitis*、*S. epidermidis*、*S. lentus*、*S. xylosus* 等菌種。而在空氣可鑑定出最多的菌種是 *Ralstonia pickettii* (93.6~100%)，此菌種在 1993 年之前是稱為 *Pseudomonas pickettii*。

在結論方面可發現 (1)研究結果發現原本不含菌之金屬加工

液，在使用後會產生大量細菌。在金屬加工液中會有 2.4×10^4 CFU/mL $\sim 1.7 \times 10^8$ CFU/mL 的細菌會存在。(2)受污染之金屬加工液可能會因切削作業而變成氣膠散佈至空氣中，而使空氣中也含有高濃度之細菌生物氣膠，因此距離切削機台 0.5、1.5 及 3 公尺的空氣中可測量到大量之細菌濃度，濃度範圍為 5.3×10^3 CFU/m³ $\sim 1.1 \times 10^6$ CFU/m³。(3)可以發現金屬加工液使用的時間越長，在金屬加工液中所含的細菌菌落濃度越高，而在靠近切削機台的 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺採樣點所採集到的細菌菌落濃度也越高。(4)可以發現在切削機台附近發現大量的革蘭式陰性桿菌的存在，如 *Ralstonia pickettii* 等菌種存在。

為了要減少空氣中的細菌濃度，建議要增加更換金屬加工液的頻率及在更新金屬加工液前要徹底的清潔機台，包括管線中的金屬加工液都要清潔。

關鍵字:金屬加工液、生物氣膠、氣膠



Abstract

This study was to investigate the characteristics of bioaerosols associated with metalworking fluids (MWFs) at a metal cutting factory in Taiwan. The concentrations and identification of bacteria both in the air and in the MWFs were measured. Bioaerosol samples were collected by Biosamplers and MAS-100 samplers. It was found that the bacterial concentrations in the fresh and used MWFs were below 20 CFU/mL and as high as 1.1×10^7 CFU/mL, respectively. In a factory, when fresh MWFs were used, the airborne bacterial concentrations at 0.5, 1.5 and 3 m away from a metal-working machine were 1.0×10^4 , 1.6×10^4 , and 5.3×10^3 CFU/m³, respectively. After 2-day operation, the bacterial concentrations increased as much as 4.1×10^5 , 3.3×10^5 , and 2.5×10^5 CFU/m³, respectively. After 3-day operation, some fresh MWFs were added, and the bacterial concentrations became 1.5×10^5 , 5.2×10^4 , and 8.1×10^4 CFU/m³, respectively. After 5-day operation, the bacterial concentrations became as high as 1.1×10^6 , 8.7×10^5 , and 1.8×10^6 CFU/m³, respectively. The bacterial bioaerosols were found to be *Ralstonia pickettii*, *Actinomyces neuii ssp anitratus*, *Aeromonas hydrophila* group 2, *Arcanobacterium haemolyticum*, *Bacillus coagulans*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *B. sphaericus*, *B. stearothermophilus*, *B. thuringiensis*, *Brevibacillus brevis*, *Brevibacterium* spp., *Burkholderia cepacia*, *Cellulomonas* spp., *Corynebacterium aquaticum*, *C. minutissimum*, *C. urealyticum*, *Flavimonas oryzihabitans*, *Micrococcus* spp., *Oerskovia turbata*, *O. xanthineolytica*, *Serratia marcescens*, *Staphylococcus capitis*, *S. epidermidis*, *S. lentus*, *S. xylosus*. The most predominant bacterium was *Ralstonia pickettii* (93.6~100%) which used to be *Pseudomonas pickettii* before 1993. In conclusion, (1) The range of bacteria in the MWFs : $2.4 \times 10^4 \sim 1.7 \times 10^8$ CFU/mL, (2) The range of bacteria in the air :

$5.3 \times 10^3 \sim 1.1 \times 10^6$ CFU/m³, (3) Both of bacterial concentrations in the MWF and air increased with the age of MWF. (4) The most predominant bacterium in the air was *Ralstonia pickettii*. In order to decrease the bioaerosol concentrations, it should be better to increase the frequency of replacement of used MWFs and to clean the piping before fresh MWFs were added.

Keywords: Metalworking fluids, Bioaerosol, Aerosol



目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
表目錄.....	VII
圖目錄.....	VIII
第一章 緒論	
第一節 研究背景.....	1
第二節 研究之重要性.....	4
第三節 研究目的.....	5
第二章 文獻探討	
第一節 金屬加工液的產業用量.....	6
第二節 金屬加工液的類型.....	7
第三節 國內外針對金屬加工液霧滴的研究.....	8
第四節 金屬加工液所引起的健康效應.....	11
第五節 國外對金屬加工液中所含微生物的研究.....	14
第六節 受微生物污染金屬加工液的健康效應.....	18
第七節 金屬加工液工作場所的生物氣膠研究.....	20
第八節 生物氣膠採樣器之選擇.....	21
第三章 研究方法	
第一節 研究設計.....	24
第二節 研究對象.....	25
第三節 研究儀器設備及工具.....	26
(一) 總粉塵採樣.....	26
(二) Biosampler 採樣器.....	26

(三) MAS-100 生物氣膠採樣器.....	28
(四) 培養基.....	28
(五) Biosampler 採樣流程.....	29
(六) 細菌菌種鑑定流程.....	31
(七) api™細菌菌種鑑定套件選擇流程.....	33
第四節 資料統計與分析.....	35
第四章 研究結果	
第一節 採樣地點.....	37
第二節 採樣結果.....	40
第三節 菌種鑑定結果.....	46
第四節 總粉塵的採樣結果.....	50
第五章 討論	
第一節 本研究的發現.....	51
第二節 研究的應用.....	59
第三節 研究限制.....	60
第四節 未來研究方向.....	61
第六章 結論與建議	
第一節 結論.....	62
第二節 建議.....	63
參考文獻.....	64

表目錄

表一、現場之溫溼度及風速.....	40
表二、使用天數對金屬加工液中細菌濃度的變化情形.....	41
表三、循環使用一天空氣中之細菌濃度.....	42
表四、循環使用二天空氣中之細菌濃度.....	43
表五、循環使用三天空氣中之細菌濃度.....	44
表六、更新金屬加工液五天，循環使用三天空氣中之細菌濃度.....	45
表七、空氣中距離切削機台較近、較遠的菌種鑑定情況.....	47
表八、金屬加工液中的菌種型態.....	49
表九、不同使用天數與總粉塵濃度的變化情形.....	50
表十、本研究與 Mattsby-Baltzer <i>et al.</i> (1989)之濃度比較.....	51



圖目錄

圖一、金屬切削廠現場平面圖.....	25
圖二、Biosampler 採樣器.....	27
圖三、MAS-100 生物氣膠採樣器.....	28
圖四、細菌菌種鑑定流程.....	32
圖五、api™ 細菌菌種鑑定套件選擇流程.....	34
圖六、循環使用金屬加工液之金屬切削機台.....	37
圖七、金屬切削機台局部放大圖.....	38
圖八、現場採樣地點.....	39
圖九、金屬加工液使用天數與細菌濃度關係圖.....	52
圖十、不同距離之採樣點與空氣中細菌濃度關係圖.....	53



第一章 緒論

第一節 研究背景

生活及工作環境中可能存在著許多會對人體健康產生危害的物質，而懸浮於空氣中的生物氣膠 (bioaerosols) 就是其中之一。生物氣膠定義為泛指氣膠化的生物體或由其所產生之物質，其組成包括了細菌、真菌、病毒、花粉、昆蟲、植物等有生命的物體，以及不具生命的動物的碎片與微生物的代謝產物等⁽¹⁾。這些懸浮於空氣中的微粒會廣泛地存在於居家環境、辦公室、學校、醫療院所、農場等環境中，並且造成感染 (infection)、過敏 (allergy) 與毒性 (toxicity) 等健康影響，其重要性隨著人們對它們的了解而與日俱增⁽²⁾。流行性感冒、病態建築症候群、退伍軍人症、開放性肺結核、花粉熱及 SARS 等，都是大家耳熟能詳與生物氣膠相關的疾病。因此，在工作場所及作業環境中了解所含的生物氣膠濃度及了解如何能有效的控制生物氣膠，乃是對抗傳染病、提升工作環境品質的第一要務。

金屬加工液 (metalworking fluid, MWFs) 在工業上常使用在機械或研磨過程的表面潤滑，或是用在帶走接觸面的金屬碎屑、消除接觸面產生的熱能。在美國有超過一百萬的勞工暴露在金屬加工液散佈的環境中⁽³⁾，我國也有許多的勞工也暴露在金屬加工液的環境中。金屬加工液可以分成下列四大類⁽³⁾：礦物油 (完全不含水)、可溶解性油 (含 15~70%的礦物油)、半合成金屬加工液 (含 65~95%的礦物油)、全合成金屬加工液 (完全不含有礦物油)。其中，後三大類是以水為基底液，水的體積分率甚至達 95%。這些以水為基底質的金屬加工液通常含了 5~80%的礦物油，另外含有少量的介面活性劑、乳化劑、抗泡劑和抗腐蝕劑⁽⁴⁾。

目前國內外只有少數論文針對現場之金屬加工液霧滴進行實測，以了解勞工於工作場所暴露金屬加工液霧滴的情形，如 Kriebel *et al.*

(1994)⁽⁵⁾、Greaves *et al.* (1995a,b; 1997)⁽⁶⁾⁽⁷⁾和 Robins *et al.* (1994)⁽⁸⁾都針對在汽車製造廠的勞工進行金屬加工液霧滴的暴露及呼吸道影響的評估，結果發現空氣中的濃度都低於 1.0 mg/m^3 。一般在操作金屬加工液時所產生的油霧滴，是由研磨、使用金屬或金屬替代物進行機械操作時所產生的。而影響金屬加工液的油霧滴產生是由很多因素所造成的，包括金屬加工液的種類、操作壓力、噴嘴的大小及形式、溫度、工具的種類和速度、通風、研磨時的飛濺或其他的因素⁽⁹⁾。

目前美國職業安全衛生署 (Occupational Safety and Health Administration; OSHA)、美國政府工業衛生師協會 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists; ACGIH) 及英國的職業暴露標準 (occupational exposure standards; OES) 針對油霧滴的八小時日時量平均容許濃度均為 5 mg/m^3 ，但是英國的職業暴露標準則是多規定了短時間的暴露值為 10 mg/m^3 。而我國勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準規定油霧滴的八小時日時量平均容許濃度也是 5 mg/m^3 。Stear (2003)⁽¹⁰⁾指出雖然英國目前的法規還是規定八小時日時量平均容許濃度均為 5 mg/m^3 ，但已經有金屬加工液的指引出版了。在新的指引中建議切削油的油霧滴濃度為 3 mg/m^3 ，與水混合過的金屬加工油則是 1 mg/m^3 。另外也建議了要對金屬加工液進行管理，把管理分成三種等級，(1)好的管理是使金屬加工液中的微生物小於 10^3 CFU/mL 、內毒素小於 10^3 EU/mL ；(2)可接受的管理對微生物是大於或等於 10^4 CFU/mL 但是小於 10^5 CFU/mL 、內毒素則是大於或等於 10^4 EU/mL 但是小於 10^5 EU/mL ；(3)不好的管理則是使微生物含量大於或等於 10^6 CFU/mL 、內毒素大於或等於 10^5 EU/mL 。至於美國職業安全衛生研究所 (The National Institute for Occupational Safety and Health; NIOSH) 則是特別有針對金屬加工液訂定建議值，建議值在總粉塵為 0.5 mg/m^3 ，胸腔性粉塵則為 0.4 mg/m^3 。

生物氣膠有可能會附著在金屬加工液霧滴上，進而擴散至空氣中造成勞工之不良影響。已有國外文獻指出，在使用切削機台內的金屬加工液及切削機台附近的空氣中有大量的細菌產生，但是國內尚無針對使用金屬加工液之勞工工作現場進行生物氣膠之調查研究，因此本研究將針對使用金屬加工液之作業現場進行生物氣膠之特性評估。



第二節 研究之重要性

有鑒於目前國外已有許多研究人員在進行金屬加工液之研究，但國外亦鮮少有針對金屬加工液的生物性氣膠分布情況進行之研究，且國內迄今也並沒有針對金屬加工液之生物氣膠之相關研究。因此有必要針對國內使用金屬加工液之工廠進行生物氣膠研究，以了解目前國內使用金屬加工液之工廠的生物氣膠特性。



第三節 研究目的

- 一、以國內某一有使用金屬加工液之工廠為例，調查其所使用之金屬加工液中的細菌濃度。
- 二、針對使用金屬加工液之切削機台，在不同距離處的作業環境空氣中所含之細菌生物氣膠濃度及細菌菌種分佈特性。
- 三、調查不同的金屬加工液使用天數對金屬加工液中的細菌菌落數及空氣中的細菌菌落數是否有影響。



第二章 文獻探討

第一節 金屬加工液的產業用量

與本次採樣工廠同為自行車及其零件製造業之廠家，依照行政院主計處 2001 年的統計資料⁽¹¹⁾顯示平均為 1324 家，共有勞工 2 萬 3838 人，而這些從事金屬加工製造的工作者所處的工作場所均可能會使用金屬加工液。金屬加工液在產業界是常常被使用於金屬切削零件的潤滑及冷卻，免於因為過高的溫度而造成零件的損壞。除了保護零件的功能之外，金屬加工液也有帶走切削後所產生的金屬碎片的功能，使工作檯面上不會有太多的金屬碎片而造成生產品質下降。

Simpson *et al.* (2000)⁽¹²⁾ 指出，1998 年在英國大約有 10 萬到 20 萬的勞工可能會暴露在金屬加工液的場所，每個月大約有 1300 噸的切削油使用量、可溶於水的金屬加工液每個月則有 600 噸的使用量，但是如果以業界常用的 5 % 比例來計算的話，大約每個月有 12,000 噸可溶於水的加工液使用量。

第二節 金屬加工液的類型

依照 NIOSH 的分類，金屬加工液可以分成下列四種類型⁽³⁾：

(1)礦物油：完全不含水的金屬加工液，為了配合各種金屬及各種切割、鑽孔、切削等加工需求，市面上提供了多種不同粘度，但皆具優良的潤滑性、抗磨損、抗焊熔、抗油劑氧化及防銹性，低起煙性等特性。

(2)可溶性的金屬加工液：含 15~70%的礦物油，具有優異的乳液安定性、防銹性及抗腐敗性，適合硬度 300 ppm 以內之水質，適用於各種鐵系及非鐵金屬如銅、鋁之切削加工。

(3)半合成的金屬加工液：含 65~95%的礦物油，有不易起泡、使用壽命長、優異防銹性，適合硬度 300 ppm 以內之水質，適用於各種金屬，例如鐵系及銅、鋁之切削加工。

(4)全合成的金屬加工液：完全不含有礦物油，具有不易起泡、極長壽命，優異防銹性、不易侵蝕底漆、不含亞硝酸鹽、酚的衍生物等有害物質，適合應用於鐵系及非鐵金屬的各種切削加工。

本研究所採樣的工廠則是使用可溶性的金屬加工液來當作切削金屬管時之冷卻及潤滑。

第三節 國內外針對金屬加工液霧滴的研究

Chen *et al.* (2006)⁽¹³⁾ 對國內螺絲製造業勞工進行油霧滴暴露濃度與粒徑分佈特徵的研究發現，油霧滴可分成粗粒徑油霧滴（氣動直徑 8.16~13.0 μm ）及細粒徑油霧滴（氣動直徑 0.310~0.501 μm ），至於作業勞工的暴露主要集中在肺泡區（佔 66.9~77.9%），其次為頭區（佔 14.5~19.1%），最後為氣管與支氣管區（佔 7.56~15.8%）。由此可知油霧滴可以順利到達人體的肺泡區，因此生物氣膠也有可能跟隨著油霧滴到達人體的呼吸道中，而對人體造成不良之健康效應。

Rosenthal *et al.* (2001)⁽¹⁴⁾ 對一家軸承製造公司的研磨操作進行油霧滴的濃度及粒徑分布進行調查。採樣時同時利用開口式濾紙採樣器及閉口式濾紙採樣器進行採樣。結果發現開口式的濾紙採樣器採集到的濃度範圍是 0.34 ~ 2.43 mg/m^3 ，閉口式的濾紙採樣器採集的濃度範圍則是 0.14 ~ 2.01 mg/m^3 。質量中位數氣動直徑(MMAD)的範圍是 3.33 ~ 6.26 μm 。結果可發現使用閉口式濾紙採樣器採集到的油霧滴濃度較開口式的濾紙採樣器為低，所以使用閉口式的濾紙採樣器可能會有低估的情況出現。另外也發現了不同的研磨操作情況，可能會改變油霧滴的濃度及粒徑大小。

Ross *et al.* (2004)⁽¹⁵⁾ 在加拿大對 20 家的機械工廠進行採樣，共有 88 個機械工程師參與研究。結果發現勞工利用 37mm 的開口式濾紙採樣器採集到的平均油霧滴暴露量為 0.32 mg/m^3 (0.06 mg/m^3 - 2.19 mg/m^3)，而用 PM_{10} 採樣器採集到的暴露量為 0.27 mg/m^3 (0.026 mg/m^3 - 3.67 mg/m^3)。也發現到研磨的時間越長、有護圍且使用電腦控制的機具皆會增加油霧滴的產生。但是工作檯的高度較高及工廠有通風時則會減少油霧滴的產生。

目前在實驗室探討金屬加工液氣膠產生機制之論文亦不多見，如 Thornburg *et al.* (2000)⁽¹⁶⁾ 在實驗室研究車床在金屬研磨期間使用可溶解

的金屬加工液和礦物油所產生霧滴的大小分佈情形。發現到有三種機制會影響氣膠粒徑的大小組成：衝擊、離心運動和蒸發/冷凝。而在這三種機制中，離心運動所產生的粒狀物是最大的、衝擊所造成的粒狀物大小次之，蒸發/冷凝產生的粒狀物則是最小的。但金屬加工液霧滴則不受金屬加工液的種類、流率、工具的旋轉速度及黏度所影響。

Heitbrink *et al.* (2000)⁽¹⁷⁾ 在實驗室研究發現金屬加工液的霧滴濃度和粒徑分布和工具的旋轉速度、金屬加工液的使用時間、工具的使用率有關。當工具的旋轉速度或金屬加工液使用時間增加時，會增加金屬加工液的霧滴濃度，但是不會改變粒徑的分佈狀況。

Turchin *et al.* (2000)⁽¹⁸⁾ 在實驗室利用霧滴產生器來模擬在工作現場金屬加工液霧滴的產生情形，看看霧滴的揮發是會受那些因素的影響，結果證明了液體內的污染物是主要影響霧滴揮發程度的因素。

Dasch *et al.* (2002)⁽¹⁹⁾ 在實驗室研究會影響金屬加工霧滴的質量濃度的原因，總共討論了濃度、總類、揮發性、使用時間、溫度、液體的流率、通過研磨工具的頻率、研磨工具的速度、工具的直徑、研磨的深度及工具的磨損程度等條件。結果發現在所有的參數中，工具的速度是影響霧滴質量濃度最大的因素。

Michalek *et al.* (2003)⁽²⁰⁾ 在實驗室模擬現場切削螺紋時，有哪些因素會影響油霧滴的產生。結果發現在油霧滴產生的因素中，蒸發/冷凝及霧化是相對重要的因素。不過主要會影響油霧滴的質量濃度及氣動粒徑大小的則是轉軸的旋轉速度。

Glaser *et al.* (2007)⁽²¹⁾ 比較 NIOSH method 5524 及 ASTM method D-7049-04 對金屬加工液的效能測試。共有六個實驗室參與這個測試，結果可發現使用這兩種方法都有良好的回收率。一般在運輸樣本通常不會

進行冷藏，而是回到實驗室才進行冷藏。在本次實驗中發現在運送過程中不冷藏，回到實驗室後冷藏七天再利用 NIOSH method 5524 及 ASTM method D-7049-04 進行測試，則還是會有良好的回收率。



第四節 金屬加工液所引起的健康效應

Sullivan *et al.* (1998) ⁽²²⁾ 調查在加工及研磨作業時使用不同類型的金屬加工液與食道癌的關係。結果發現食道癌與在研磨工作時使用可溶性的金屬加工液及全合成的金屬加工液有顯著的關係。在研磨操作時使用可溶性的金屬加工液的勞工罹患食道癌的機率為 9.3 倍，使用全合成的金屬加工液的勞工罹患食道癌的機率 4.1 倍。另外也發現當亞硝酸胺 (OR=5.4) 及抗生素 (OR= 3.8) 變多時，罹患食道癌的機率也會增加。

Koh *et al.* (2001) ⁽²³⁾ 指出在新加坡從 1996 年到 1998 年，共有 3472 個確定的職業病例回報到人力資源部，而其中的 11% 為工業引起的皮膚病。會因為職業上接觸而引起過敏的物質有鉻酸鹽、鎳、化學橡膠、樹脂及金屬加工液。而一般會發生的行業有建築業、電子業及金屬加工業。在 252 位因皮膚病去看診的病人中，有 23% 的病人是過敏性皮膚炎。所以認為暴露到金屬加工液可能會有過敏性皮膚炎的產生。

Ueno *et al.* (2002) ⁽²⁴⁾ 調查 74 名因為使用金屬加工液而造成皮膚炎的勞工，可發現其中有 28 人是使用金屬加工液之後才產生皮膚炎的症狀。勞工最容易受到刺激的部位是手部(100%)，其次還有大腿(15.9%)及身體(11.1%)。在工作習慣方面可發現，有皮膚炎的勞工很少會在接觸金屬加工液後立即去用肥皂或清水清洗。而皮膚會接觸到金屬加工液是不可避免的，因此作者建議要從健康教育做起，使勞工的健康危害降至最低。

Oudyk *et al.* (2003) ⁽²⁵⁾ 對汽車製造廠的 2935 名勞工以問卷方式進行呼吸道不適的調查。在有使用金屬加工液的場所油霧滴濃度為 0.02 ~ 2.85 mg/m³，一般的工作地點油霧滴濃度則為 0.02 ~ 0.84 mg/m³。問卷方面則可發現在一般場所工作的勞工會有氣喘、胸悶、喉嚨痛及喉嚨啞等上呼吸道症狀。在有油霧滴場所工作的勞工則有乾咳、有痰、氣喘、發熱/冷及喉嚨啞等上、下呼吸道的症狀。

Reeve *et al.* (2003)⁽²⁶⁾ 對 11 間製造汽車相關零件的公司員工進行非惡性呼吸道疾病調查。調查了在 1993 年到 1997 年間在工廠工作的員工，其中在有金屬加工液使用部門的勞工有 20,434 人，在沒有使用金屬加工液部門的勞工則有 8681 人。結果在五年的研究中可發現在有使用金屬加工液部門的勞工較沒有使用金屬加工液部門勞工有呼吸道疾病的機率高了 44 % (年千人率分別為 6.67 及 4.62)。假如把年齡調整後，在有使用金屬加工液部門工作的勞工得到呼吸道疾病的機率還是較沒有使用金屬加工液的勞工多了 35%。而不管在使用金屬加工液的部門或沒有使用金屬加工液的部門，現場的油霧滴濃度都非常低，均低於 0.5 mg/m^3 。這個結果也顯示了，雖然使用金屬加工液部門的油霧滴的濃度低於 0.5 mg/m^3 ，但在有使用金屬加工液場所工作的勞工還是比在沒有使用金屬加工液場所工作的勞工有較高的機率會有呼吸道方面的疾病。

Park *et al.* (2007)⁽²⁷⁾ 針對尖峰吐氣流量與空氣中所含的油霧滴濃度關係去做研究。對 158 名操作可溶性的金屬加工液的勞工進行尖峰吐氣流量的測試及去測量勞工工作場所空氣中所含的油霧滴濃度。結果發現工作場所空氣中濃度的算術平均數為 0.4 mg/m^3 ，且有 9.2% 的勞工有尖峰吐氣流量降低 10% 以上。但是尖峰吐氣流量與空氣中所含油霧滴的相關性還是太薄弱，因此只能說如果勞工的尖峰吐氣流量減少則空氣中的油霧滴濃度是高於 0.2 mg/m^3 。

Verma *et al.* (2007)⁽²⁸⁾ 調查金屬加工液氣膠在可吸入性(inhalable)、胸腔性(thoracic)、與可呼吸性(respirable)三種類型間之相關性。利用 RsepiCon 採樣器來模擬人體吸入這三種氣膠類型，總共採集了 37 個樣本，採樣時間則是 120 ~ 400 分鐘。利用通過原點的線性迴歸模式計算，得到可吸入性氣膠對胸腔性氣膠的影響力為 1.38；可吸入性氣膠對可呼吸性氣膠的影響力為 1.51；胸腔性氣膠對可呼吸性氣膠的影響力為 1.13。

這個結果有助於評估現場空氣中可吸入性氣膠、胸腔性氣膠、與可呼吸性氣膠這三種氣膠類型的濃度，同時也能解釋為何在不同的氣膠類型要有不同的標準。

另外，在流行病學及動物實驗的研究中發現了金屬加工液霧滴經由呼吸道吸入可能會造成喉癌⁽²⁹⁾、產生氣喘⁽³⁰⁾、引起呼吸道的症狀⁽³¹⁾⁽³²⁾、支氣管炎⁽³³⁾、肺炎⁽³⁴⁾ 甚至肺癌⁽³⁵⁾ 等症狀產生，因此推測金屬加工液的霧滴在呼吸道沉降的位置不同，可能造成的健康效應也不同。



第五節 國外對金屬加工液中所含微生物的研究

目前普遍使用的金屬加工液大多是以水為基底質，並加入礦物油等有機化合物做為營養源，所以容易有微生物的存在。所以國外有少數針對金屬加工液中的微生物進行研究，如 Mattsby-Baltzer *et al.* (1989)⁽³⁶⁾ 在瑞典的 Göteborg 的一間使用大量金屬加工液的工廠，觀察了一年的金屬加工液使用情況，發現到在 150 m³ 的儲槽中，雖然含有大量的抑菌劑，可是還是含有大量的 *Pseudomonas pseudoalcaligenes* (>10⁸ CFU/mL)。最初的幾個星期只有少量的微生物，之後則有大量的腸內菌 (>10⁷ bacteria/mL) 及革蘭氏陰性菌 (>10⁸ bacteria/mL) 產生。

Dilger *et al.* (2005)⁽³⁷⁾ 在針對有添加抑菌劑和沒添加抑菌劑的金屬加工液的工廠進行研究發現，在作業場所的金屬加工液有大量的微生物，不管是沒有添加抑菌劑 (>10⁷CFU/mL) 和有添加抑菌劑 (44.8 %的樣本高於 10⁵CFU/mL)。在大的儲槽 (120 m³) 中雖然已經增加抑菌劑的濃度，但是還是沒有辦法完全的抑制細菌的產生。在比較小的儲槽 (2.9 m³) 的儲槽中，增加抑菌劑的濃度則可以抑制細菌的產生。另外，作者也進行了菌種鑑定，發現會潛在引起人類疾病的綠膿桿菌 (*Pseudomonas aeruginosa*) 會生長在有添加抑菌劑的金屬加工液之中。

Park *et al.* (2001)⁽³⁸⁾ 對 19 個使用以水為基底質的金屬加工液的小型機械工廠進行調查，總共有 140 個機油槽被調查。結果發現內毒素的幾何平均濃度為 6791 EU/mL。而污染金屬加工液的浮油類型、金屬加工液的 pH 值、金屬加工液的溫度及金屬加工液本身的類型都會影響內毒素的含量。當 pH 值低於 8.5 時，內毒素的幾何平均濃度會到達 10600 EU/mL；而 pH 值在 8.5 到 9.5 時，內毒素濃度則會降至 3600 EU/mL。當使用可溶性的金屬加工液時內毒素的幾何平均濃度會到達 11800 EU/mL；當使用全合成的金屬加工液時，內毒素濃度降至 2800 EU/mL。當機油槽中溫度

較高時，內毒素的含量也會增加，在 11°C 時內毒素濃度為 2600 EU/mL，但是當溫度為 32°C 時內毒素濃度則增加到 21500 EU/mL。因此，建議如果不希望金屬加工液中的內毒素太高，就要注意不要使金屬加工液被其他浮油所污染，及使用全合成的金屬加工液。另外也可對機油槽中的金屬加工液 pH 值及溫度做監測，以預先得知金屬加工液中可能的內毒素含量。

Simpson *et al.* (2003) ⁽³⁹⁾ 在某一家工程公司調查金屬加工液的暴露情況。發現使用含有水的金屬加工液的操作作業中，研磨及鑽孔所產生的油霧滴量較旋轉及銑削的工作所產生的油霧滴量多。此外，也發現礦物油較含有水的金屬加工液有較多的微小霧滴產生(礦物油有 395 mg/L，含有水的金屬加工液則有 18 mg/L)，但是在研磨作業時則不論是礦物油或含有水的金屬加工液都有大量的微小霧滴產生。另外，金屬加工液中可以發現大量的微生物及內毒素的存在，在含有水的金屬加工液中可常見到大於 1×10^6 CFU/mL 的細菌濃度及大於 1×10^5 EU/mL 的內毒素濃度，平均濃度則分別為 1.09×10^5 CFU/mL 及 8039 EU/mL。在調查機油槽的狀況時可發現機油槽的溫度為 20°C、pH 值為 9，而這種一般情況環境正好適合細菌的生長。所以這個結果顯示工廠應重視機油槽的管理，以減少勞工可能的暴露危害。

Veillette *et al.* (2004) ⁽⁴⁰⁾ 在某間工廠觀察使用了多種抗生素的大型半合成金屬加工液系統在執行傾倒、清潔及更換金屬加工液後，連續六個月內金屬加工液中的細菌濃度。此間工廠是在經過大規模的清潔後，才加入了新鮮、無污染的金屬加工液。結果發現在還沒進行更換前的金屬加工液含有 5.7×10^7 cells/mL 的濃度。在金屬加工液原液稀釋後馬上測量則沒有測到有菌落存在，但是在經過 12 小時後金屬加工液中的菌落濃度來到 6.9×10^6 cells/mL、經過一個月後菌落濃度變成 2.2×10^6

cells/mL、經過三個月後菌落濃度來到了 3.6×10^8 cells/mL、六個月後菌落濃度則到達 6.1×10^8 cells/mL。此篇文獻也証明了利用一般的清理方式來清理金屬加工液系統是不足的，因為殘留在系統中的微生物會快速的再污染新更換的金屬加工液。

Wang *et al.* (2007)⁽⁴¹⁾ 在工廠及實驗室內調查內毒素 (endotoxin) 在不同粒徑大小的分布情況。結果發現金屬加工液會產生高濃度的微小顆粒懸浮於空氣中，在粒徑小於 $0.39\mu\text{m}$ 時可發現有較高的內毒素濃度。而這個粒徑範圍是小於正常未受損細胞的，應是革蘭式陰性菌種的細胞破裂後所產生的內毒素附著在微小顆粒上，且因機台的動作而使帶有內毒素微小顆粒懸浮於空氣中所致。另外也發現，雖然現場的微粒質量沒有提高，但是總微生物濃度及內毒素的分析都顯示在採樣地點有高濃度的微生物存在。因此可以推斷在使用金屬加工液的工作場所可能會包含了大量的微小顆粒，而這些微小顆粒可能包含了微生物產生的物質，例如內毒素等。

另外也有國外的研究者於實驗室模擬，例如：Wang *et al.* (2004)⁽⁴²⁾ 在實驗室研究微生物 (*Bacillus subtilis*、*Pseudomonas fluorescens* 及 *Penicillium melinii*) 在不同的金屬加工液中，及不同的微生物在相同的加工液中是否會有不同的氣膠化程度。結果發現微生物在不同的金屬加工液中的氣膠化程度並沒有不同 ($p=0.23$)，至於 *Bacillus subtilis* 的氣膠化程度則是明顯的高於 *Pseudomonas fluorescens* 及 *Penicillium melinii* 的 ($p < 0.01$)。

Wang *et al.* (2005)⁽⁴⁾ 在實驗室研究微生物在金屬加工液中是否會對霧滴產生影響，結果發現在每分鐘 8000 轉的情況下，有微生物污染的金屬加工液比沒有微生物污染的，會造成 50 倍的細小微粒數量濃度的增加。

上面的文獻都是在探討可培養的微生物如何造成氣膠的粒徑改變或

是利用採樣器去看現場有多少的可培養的微生物。Chang *et al.* (2004)⁽⁴³⁾ 則是提出利用不同的方式-利用流式細胞儀去偵測及定量金屬加工液中所含的微生物濃度。結果發現在 2.31×10^4 到 2.31×10^7 cells/mL 的範圍內使用流式細胞儀與直接使用螢光顯微鏡來定量微生物濃度結果有良好的關連性，但是在所需的時間則大大的減少，由螢光顯微鏡完成每個樣本所需的 300 秒減少到流式細胞儀所需的 10 秒。

而在菌種鑑定方面，一般在工業中使用以水為基底質的金屬加工液中可以鑑定出的菌種有 *Mycobacteria*⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾、*Aspergillus niger*、*Staphylococcus capitas*、*Bacillus pumilus*⁽⁴⁶⁾及 *Pseudomonas*⁽³⁷⁾等。



第六節 受微生物污染金屬加工液的健康效應

Bernstein *et al.* (1995)⁽⁴⁶⁾ 在汽車製造部門工作六個星期的六個勞工身上發現到有與工作有關的呼吸困難、咳嗽及疲勞的情況出現，其中有兩個勞工產生發燒及體重減輕的情況。這六個勞工都是在使用可溶性的金屬加工液的區域工作，而在此區域金屬加工液是以高壓的方式噴出，因此可能產生了懸浮在空氣中的油霧滴。在胸部電腦斷層掃描可以發現其中四位病人有肺間質性病變，另外在進行肺功能測試時也發現有四位勞工有肺擴散容積減少的情況出現。而當這些勞工調離工作此工作場所後即恢復健康。在血液檢查方面也發現到在六個勞工中都有一種到多種細菌存在，但是在非暴露組中則完全沒有發現到細菌的存在。在六個勞工的血液中均可發現 *Pseudomonas fluorescens* 的抗原存在，另外也有 *Aspergillus niger*、*Staphylococcus capitis*、acid-fast *Rhodococcus* spp. 及 *Bacillus pumilus* 等菌種被發現。這也是第一篇提出金屬加工液中的微生物可能會引發過敏性肺炎的產生。

Kreiss *et al.* (1997)⁽⁴⁴⁾ 對8群在汽車公司工作有暴露到金屬加工液的過敏性肺炎勞工進行調查。在這些勞工暴露地點的金屬加工液中都有大量的微生物存在，且空氣中的油霧滴濃度都小於 0.5 mg/m^3 。這些過敏性肺炎的勞工只要停止暴露、更換至沒有金屬加工液的地點或更換不同的金屬加工液後症狀就會停止。

Watt (2003)⁽⁴⁷⁾ 調查金屬加工液中所含三氯六環衍生物的抑菌劑與 *Mycobacteria* 菌種的對過敏性肺炎發生的關係。共調查了9家工廠，其中共有277個大型金屬加工液系統。結果可發現 *Mycobacteria* 菌種在已添加三氯六環衍生物抑菌劑的可溶性的金屬加工液、半合成的金屬加工液及全合成的金屬加工液中都可以生長，且三氯六環衍生物的抑菌劑與 *Mycobacteria* 菌種在金屬加工液中有很高的相關性。因此懷疑三氯六環衍

生物的抑菌劑是使 *Mycobacteria* 菌種在金屬加工液中可以生長很好的物質，而 *Mycobacteria* 菌種又有可能是造成過敏性肺炎的原因。所以建議金屬加工液中不要添加三氯六環衍生物的抑菌劑以保護勞工，免於造成勞工產生過敏性肺炎。

因為有許多的研究都認為金屬加工液的油霧滴是造成急性呼吸道症狀的主因，但是 Abrams *et al.* (2000)⁽⁴⁸⁾ 認為存在其中的微生物可能也是引起急性呼吸道症狀的原因，因此針對製造汽車變速器的工廠進行調查。結果發現在組裝區的胸腔性粉塵濃度為 0.13 mg/m³、閥體製造區為 0.32 mg/m³、外盒製造區為 0.56 mg/m³。平均可吸入至胸腔的細菌濃度在組裝區為 0.38 bacteria /cc、在閥體製造區為 0.87 bacteria /cc、在外盒製造區則是 2.66 bacteria /cc。在內毒素的部份，第三次採樣時組裝區為 16.4 EU/m³、閥體製造區為 34.7 EU/m³、外盒製造區為 234 EU/m³。機油槽中所含的細菌菌落濃度則大於 10⁸ bacteria /mL、內毒素濃度則是 10⁴~10⁵ EU/mL。而空氣中所含的胸腔性粉塵濃度、可吸入至胸腔的細菌濃度及總內毒素濃度對金屬加工液的操作類型有很大的相關性。因此，作者認為假如能夠降低油霧滴的產生，則可能也會降低空氣中的細菌及內毒素濃度，以減少急性呼吸道症狀的產生。

Rosenman *et al.* (1997)⁽⁴⁹⁾ 的研究也發現使用以水為基底質的金屬加工液可能會導致氣喘及呼吸道疾病的發生。除了上述的危害之外，另外也可能造成過敏性皮膚炎⁽⁵⁰⁾、呼吸道疾病⁽⁵¹⁾、肺炎⁽⁵²⁾ 和氣喘⁽⁵³⁾ 等症狀產生。

第七節 金屬加工液工作場所的生物氣膠研究

Mattsby-Baltzer *et al.* (1989)⁽³⁶⁾ 在一家使用金屬加工液的工廠去調查在大型的金屬加工液供應系統中，微生物在金屬加工液的生長情況及在金屬加工液中添加抑菌劑是否有效的抑制微生物的生長，主要研究的大型的金屬加工液供應系統是 150m³ 儲槽。在這個研究中可發現雖然有大量的抑菌劑加在儲槽裡，但是大量的 *Pseudomonas pseudoalcaligenes* 菌種 (>10⁸ CFU/mL) 仍可以在儲槽中維持一年。在移除了舊的金屬加工液，注入新鮮的可溶性金屬加工液不久後，就可以發現大量的 *Pseudomonas pseudoalcaligenes* 菌種，而菌落濃度甚至達到了 >10⁸ bacteria/mL。在最初的幾個星期濃度較低的其他菌種被發現，之後則有許多種類的腸內菌及其他的革蘭式桿菌出現，分別有 10⁷ bacteria/mL 及 10⁸ bacteria/mL 的濃度。

在調查金屬加工液儲槽附近空氣中的濃度，則是利用離心式空氣採樣器 (Biotest Reuter centrifugal air sampler) 及安德森六階採樣器 (Andersen six-stage sampler) 來進行微生物的採樣。利用離心式空氣採樣器，在距離使用金屬加工液的切削機台 0.5 公尺處的空氣中測到 3.9 × 10⁴ CFU/m³、1.5 公尺測到 1.6 × 10⁴ CFU/m³、3 公尺測到 1.0 × 10³ CFU/m³、10 公尺測到 2.3 × 10² CFU/m³ 的 *Pseudomonas pseudoalcaligenes* 菌種濃度。另外，可發現距離切削機台越遠則空氣中所含的細菌菌落量越少。

第八節 生物氣膠採樣器之選擇

本研究是以 Mattsby-Baltzer *et al.* (1989)⁽³⁶⁾ 為主要的參考文獻，想了解在經過 17 年後的今天，在使用金屬加工液的工廠是否還是有高濃度的細菌菌落數存在於金屬加工液中及存在於切削機台附近的空氣中。

Mattsby-Baltzer *et al.* (1989)⁽³⁶⁾ 在切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺、3 公尺處及 10 公尺處均是使用離心式空氣採樣器來進行生物氣膠濃度之採樣。由文中可知使用金屬加工液的現場可能會有大量的微生物產生，因此本研究將在距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺處採用 Biosampler 採樣器；在 10 公尺及戶外則是使用 MAS-100 生物氣膠採樣器來進行生物氣膠濃度分佈分析。

不使用離心式空氣採樣器來進行距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺處之生物氣膠濃度採樣，是因為 Mehta *et al.* (2000)⁽⁵⁴⁾ 指出離心式空氣採樣器對於採集細菌，有較低的回收效率，且離心式空氣採樣器的採樣下限為 0.8 μm ，因此離心式空氣採樣器在對高濃度之微生物採樣時容易有低估之情況出現。而依照離心式空氣採樣器的採樣流量及 Mattsby-Baltzer *et al.* (1989)⁽³⁶⁾ 採樣現場濃度來計算，可知利用離心式空氣採樣器的採樣時間約為 11.5 秒左右，很難代表現場真正之濃度情況，如果使用 Biosampler 採樣器則可有較長的採樣時間，更能反映採樣現場之生物氣膠濃度。

Biosampler 採樣器之採樣下限則是小於 0.5 μm ，且因為是採用液態之採樣介質，對於高濃度之微生物場所，可利用不同的稀釋倍數使培養基上之菌落數於適量之範圍(30~300)內，因此使用 Biosampler 採樣器不易有濃度過高之情況出現，非常適於在工作場所中採集高濃度之細菌菌落。至於為何不選用同樣是使用液體當作採樣介質的 AGI-30 採樣器，是因為 Lin *et al.* (1999)⁽⁵⁵⁾ 有針對 AGI-30 採樣器及 Biosampler 採樣器進行比

較，結果發現 Biosampler 採樣器相較於 AGI-30 採樣器有較好的細菌存活率及有較久的採樣時間。因此決定使用 Biosampler 採樣器來進行距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺處之生物氣膠濃度採樣，但不在距離切削機台 10 公尺及戶外處使用 Biosampler 採樣器。不在距離切削機台 10 公尺及戶外處使用 Biosampler 採樣器的原因是，Biosampler 採樣器使用的採樣介質為 20mL 之液體，採集後要從 20mL 之液體中取 200 μ L 至培養基中進行培養。所以如果現場濃度太低，則現場濃度有可能會因為稀釋 100 倍後，而使取至培養基的菌落濃度低於建議的菌落數範圍(<30)。依照 Mattsby-Baltzer *et al.* (1989)⁽³⁶⁾距離切削機台 10 公尺處之現場濃度來計算，則利用 Biosampler 採樣器採樣並移液至培養基後，培養基上的菌落數約為 2~3 個，在推算現場濃度時容易有誤差產生，因此在距離切削機台 10 公尺及戶外處則不使用 Biosampler 採樣器。

距離切削機台 10 公尺及戶外處，本研究是使用 MAS-100 生物氣膠採樣器來進行生物氣膠濃度來進行生物氣膠之採樣，為何不使用與 Mattsby-Baltzer *et al.* (1989)⁽³⁶⁾相同之離心式空氣採樣器或一般環境中經常用之 Burkard 採樣器，因為 Mehta *et al.* (2000)⁽⁵⁴⁾指出離心式空氣採樣器對於採集細菌，與 Burkard 採樣器相比有較低的回收效率。在林氏(林雅晴，1998)⁽⁵⁶⁾針對多種不同衝擊採樣器進行生物氣膠之採樣效率評估時，也發現 MAS-100 生物氣膠採樣器與 Burkard 採樣器在短時間的採樣(小於十分鐘)並沒有顯著之差異，但是 MAS-100 生物氣膠採樣器具有流量控制器，在有任何環境下均可維持 100L 的採樣流率且較 Burkard 採樣器有較低的截取粒徑(Burkard 採樣器為 2.97，MAS-100 生物氣膠採樣器為 1.69)。因此本研究決定於使用 MAS-100 生物氣膠採樣器在距離切削機台 10 公尺及戶外處進行生物氣膠之採樣。但並不在距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺處進行生物氣膠之採樣，因為依照 Mattsby-Baltzer *et*

al. (1989)⁽³⁶⁾ 距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺處之現場濃度來計算，要使 MAS-100 生物氣膠採樣器採樣於培養基上之菌落數為適量之範圍(30~300)內，則採樣時間為 4.6 秒，並不能代表現場之真實濃度，因此距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺處則不使用 MAS-100 生物氣膠採樣器。

綜合上述之原因，因此本研究將使用 Biosampler 採樣器及 MAS-100 生物氣膠採樣器來進行生物氣膠濃度分佈分析。

雖然 *Chen et al.* (2006)⁽¹³⁾ 有針對螺絲製造業勞工之油霧滴暴露濃度與粒徑分佈特徵進行研究，但是國內迄今沒有在實驗室針對金屬加工液的氣膠及生物性氣膠進行特性研究，而不論是氣膠及生物性氣膠對人體的健康影響通常都是不良的，所以有其必要進行更深入的研究。

本研究為國內第一篇針對金屬加工液場所的微生物濃度進行採樣，同時也是國內第一篇使用 Biosampler 採樣器於勞工作業現場進行實測之研究。

第三章 研究方法

第一節 研究設計

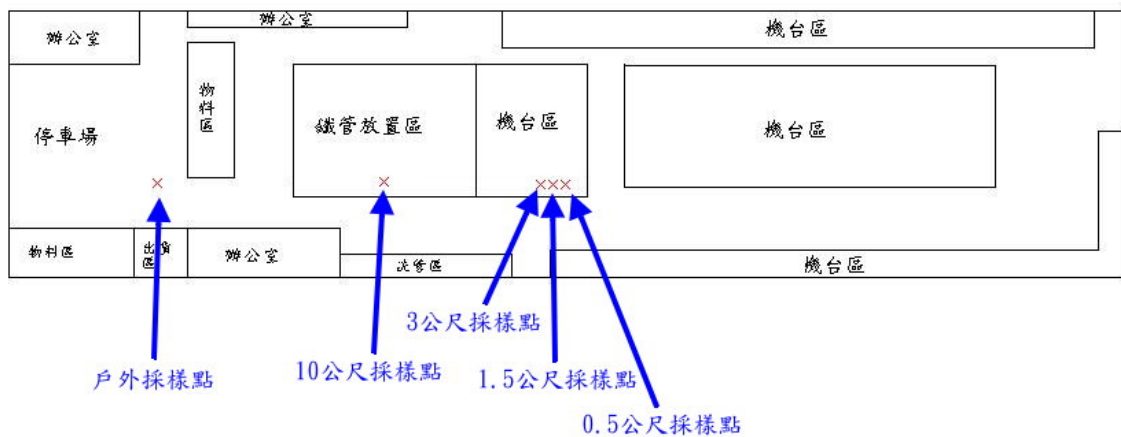
本研究使用 Biosampler 採樣器及 MAS-100 生物氣膠採樣器來進行生物氣膠濃度分佈分析，及使用 2L/min 之個人採樣泵連接二件式濾紙匣，以鐵氟龍濾紙為採樣介質，於機台附近以定點形式來採集工作現場之總粉塵濃度。Biosampler 採樣器和 MAS-100 生物氣膠採樣器進行同步採樣，總粉塵採樣則為八小時之連續採樣。每日採樣前後皆針對 Biosampler 採樣器及個人採樣泵進行幫浦流量校正及儀器消毒，並檢點儀器是否有無損毀、阻塞等情形。

MAS-100 生物氣膠採樣器部分，在採樣現場於使用前先以 70% 的酒精棉球擦拭後，再將 TSA 培養基置於採樣器中，採集空氣中微生物至培養基中。為了預估生物氣膠濃度範圍，因此 MAS-100 生物氣膠採樣器之採樣時間將以 5 分鐘為原則，以確保能採到具有適當菌落數 (30 至 300) 之樣本，採樣完成後以石蠟膜密封保存。Biosampler 採樣器每次採樣時間為三十分鐘，至少進行三次；MAS-100 生物氣膠採樣器每次採樣時間為 5 分鐘，並進行三重複採樣。採樣器架設於作業人員作業之地點，收集工作人員呼吸區高度 1.5 公尺之生物氣膠暴露量。

另外，本研究也將建立於高濃度微生物作業環境中可行之生物氣膠採樣策略，包括使用以 Biosampler 採樣器進行生物氣膠濃度之評估。

第二節 研究對象

本研究針對使用金屬加工液之切削機台，在距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺、3 公尺、10 公尺及戶外(距離機台約 20 公尺)處進行空氣中之生物氣膠採樣。金屬切削廠為長 50 公尺、寬 12 公尺、高 6 公尺之廠房。在歷次採樣時，現場之風向均為由停車場向廠房內之機台區吹入。金屬切削廠之現場平面圖，如圖一所示。



圖一、金屬切削廠現場平面圖

第三節 研究儀器設備及工具

本研究利用 Biosampler (SKC Inc., Eighty Four, PA) 及 MAS-100 (MAS-100 microbial air sampler, Merck KGaA, Darmstadt, Germany) 生物氣膠採樣器進行作業現場之空氣中微生物採樣，鐵氟龍濾紙則是置於 2 件式濾紙匣中來進行總粉塵之採樣。Biosampler 為高濃度生物氣膠場所經常使用之生物氣膠採樣器。而 MAS-100 生物氣膠採樣器則是便於攜帶之生物氣膠採樣器，也是目前在進行生物氣膠採樣時經常使用之採樣器。

(一) 總粉塵採樣

在採集現場總粉塵方面，則是利用兩件式濾紙匣，使用鐵氟龍濾紙 (37mm, 2 μ m) 當作採集介質，連接至流量為 2 L/ min 的個人採樣泵，於距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺、3 公尺、10 公尺及工廠戶外(20 公尺) 處進行連續八小時之總粉塵採樣。

(二) Biosampler 採樣器

本研究所使用的 Biosampler 採樣器，一般適用於生物氣膠濃度較高之地點，為玻璃製的採樣器，採樣流量為 12.5L/ min，採樣介質為無菌去離子水或 ViaTrap 礦油，採樣時間可從 30 分鐘至數小時，視使用不同的採樣介質而有所不同。採樣介質可稀釋至適合的濃度來進行培養。Biosampler 有三個可使空氣速度達到音速的噴口，因此可使空氣中的生物氣膠利用衝擊及離心的方式進入採樣介質。本研究所採用之採樣介質為無菌去離子水，因為 Lin *et al.* (1999)⁽⁵⁵⁾認為如果使用水當作 Biosampler 採樣器之採樣介質時，超過 30 分鐘可能會有液體揮發的情況產生，因此本研究的採樣時間訂為 30 分鐘。使用 Biosampler 採樣器進行採樣之地點為，距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺處。Biosampler 採樣器如圖二所示。



圖二、Biosampler 採樣器。頂端為氣體採樣頭，中間則為連接採樣泵之接頭，底部標示的部份為能使空氣達到音速的噴頭。(取自 SKC 網頁)

(三) MAS-100 生物氣膠採樣器

MAS-100 生物氣膠採樣器適用於一般的環境，為不鏽鋼製且為使用電池之可攜式生物氣膠採樣器，採樣流量為 $100\text{L}/\text{min} \pm 2.5\%$ ，內含數位式的風速計及流量偵測器，可自動調整流量至設定值。採樣頭內可放置 9 公分之塑膠培養皿。使用 MAS-100 生物氣膠採樣器來進行採樣之地點為，距離切削機台 10 公尺及工廠戶外。MAS-100 生物氣膠採樣器如圖三所示。



圖三、MAS-100 生物氣膠採樣器(取自 Merck 網頁)

(四) 培養基

本研究將以可培養性細菌為主要生物氣膠分析種類，以 Trypticase Soy Agar (TSA, Difco, Detroit MI, USA)採集並培養樣品中之細菌，其中 TSA 培養基為每公升二次去離子水中加入 40 克，其成分中含有 Tryptone 15 克、Soytone 5 克、氯化鈉 5 克、Agar 15 克。

培養基調配均勻後置入高壓滅菌釜中以攝氏 121 度滅菌 15 分鐘以達到滅菌效果。滅菌後之培養基則須置於水浴中維持在攝氏 55 度，並在無菌操作檯中利用蠕動式幫浦每次定量 20 毫升置入直徑 9 公分之培養皿中，並放置過夜使培養基凝固乾燥，再保存於室溫培養箱中待用。

(五) Biosampler採樣流程⁽⁵⁷⁾

採樣前的準備步驟：

- (1)將 Biosampler 採樣器注入採樣時所用的無菌水後，連接至流量校正器後再連接至採樣泵，調整採樣泵之流量至 12.5 L/min。
- (2)先利用鋁箔紙封住分解後的 Biosampler 採樣器開口面，再將 Biosampler 採樣器與微量滴管及二次去離子水置入高壓滅菌釜中以攝氏 121 度滅菌 15 分鐘，使之成為無菌狀態。
- (3)將各組採樣器貼上編號後，攜至採樣現場。

現場採樣步驟：

- (1)到現場所決定的採樣點後，先設置能使 Biosampler 採樣器距離地面 1.5 公尺高之三角架。並讓採樣泵試運轉一分鐘，檢視採樣泵是否能正常運作。
- (2)把 Biosampler 採樣器的鋁箔紙移除後倒入採樣用的無菌水，並利用軟管連接採樣泵與 Biosampler 採樣器。並確認軟管沒有打結或有影響氣流通過之情況出現，如果有則要排除影響氣流通過之情況。
- (3)可使用倒數計時器或相似之裝置，在開啟採樣泵時同時開始計時。
- (4)如果是使用無菌水當作採樣介質，則要注意水是否有因為採樣器的氣流而旋轉或溢出。
- (5)採樣時間結束後，把採樣泵關掉，把採樣介質倒入有刻度的無菌離心管中，並讀取剩餘的體積。
- (6)記錄採樣器的編號、採樣流量、採樣時間、採樣介質的最終體積。最好也紀錄採樣時的溫度及溼度情況。

採樣後的處理步驟：

- (1)將採樣後之採樣介質稀釋至適當的濃度

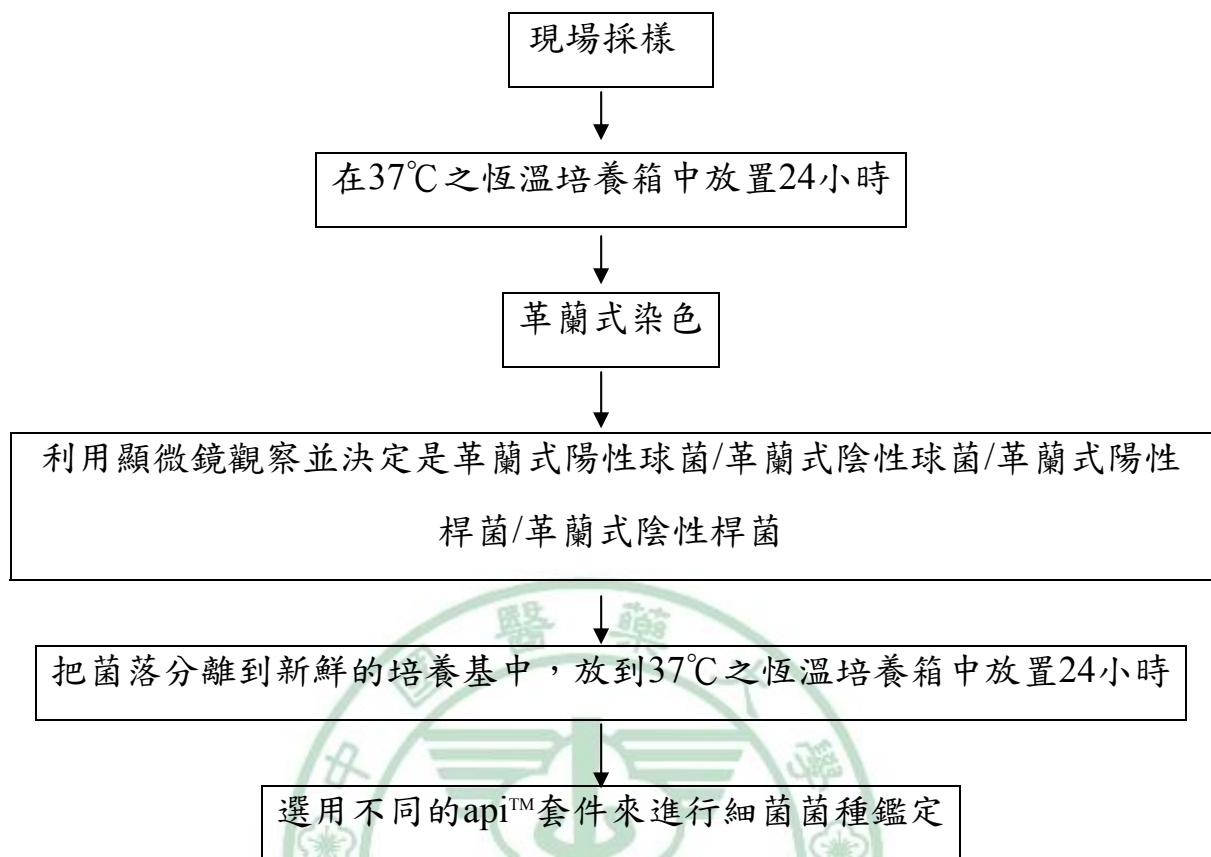
- (2) 利用微量滴管把 200 μ l 的採樣介質移到 TSA 培養基上，並利用滅菌後之培養皿塗抹棒塗抹，使採樣介質平均的分布於培養基上。
- (3) 待採樣介質乾燥後，利用石蠟膜密封培養基，並倒置於 37 $^{\circ}$ C 之恆溫培養箱中。



(六) 細菌菌種鑑定流程

(1)現場採樣回到實驗室後，將細菌之培養基放置於37°C之恆溫培養箱中放置24小時後，做菌落計數。計數後分別進行細菌之革蘭氏染色鏡檢型態及菌種鑑定。

(2)先利用目視的方式把不同型態的細菌菌落取出後，再利用革蘭氏染色劑進行染色。革蘭氏染色 (Gram stain, Difco™, Becton Dickinson and Company, Sparks, MD) 是細菌辨認上重要的區分技術，經由染色可將細菌區分為兩大類，一為革蘭氏陽性菌，另一為革蘭氏陰性菌，並用光學顯微鏡觀察其型態，主要區分成桿菌及球菌，總共可分為革蘭氏陽性桿菌、革蘭氏陰性桿菌、革蘭氏陽性球菌或革蘭氏陰性球菌。知道是陽性菌或陰性菌後再把菌落分離到新鮮的培養基中，把培養基放到 37°C 之恆溫培養箱中放置 24 小時，使單一菌種的菌落數可以達到細菌菌種套件所要求的菌落量。培養後再依不同的染色結果選用不同的套件來進行細菌菌種鑑定。細菌菌種鑑定流程如圖四所示。



圖四、細菌菌種鑑定流程

(七) api™細菌菌種鑑定套件選擇流程

在細菌鑑定方面，本研究參考行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告「養豬場生物氣膠暴露危害研究(二)-細菌菌種分析與探討」的細菌鑑定流程⁽⁵⁸⁾，利用 api™ 鑑定套件(bioMerieux, Inc., Hazelood, MO) 來針對重要菌種進行鑑定。

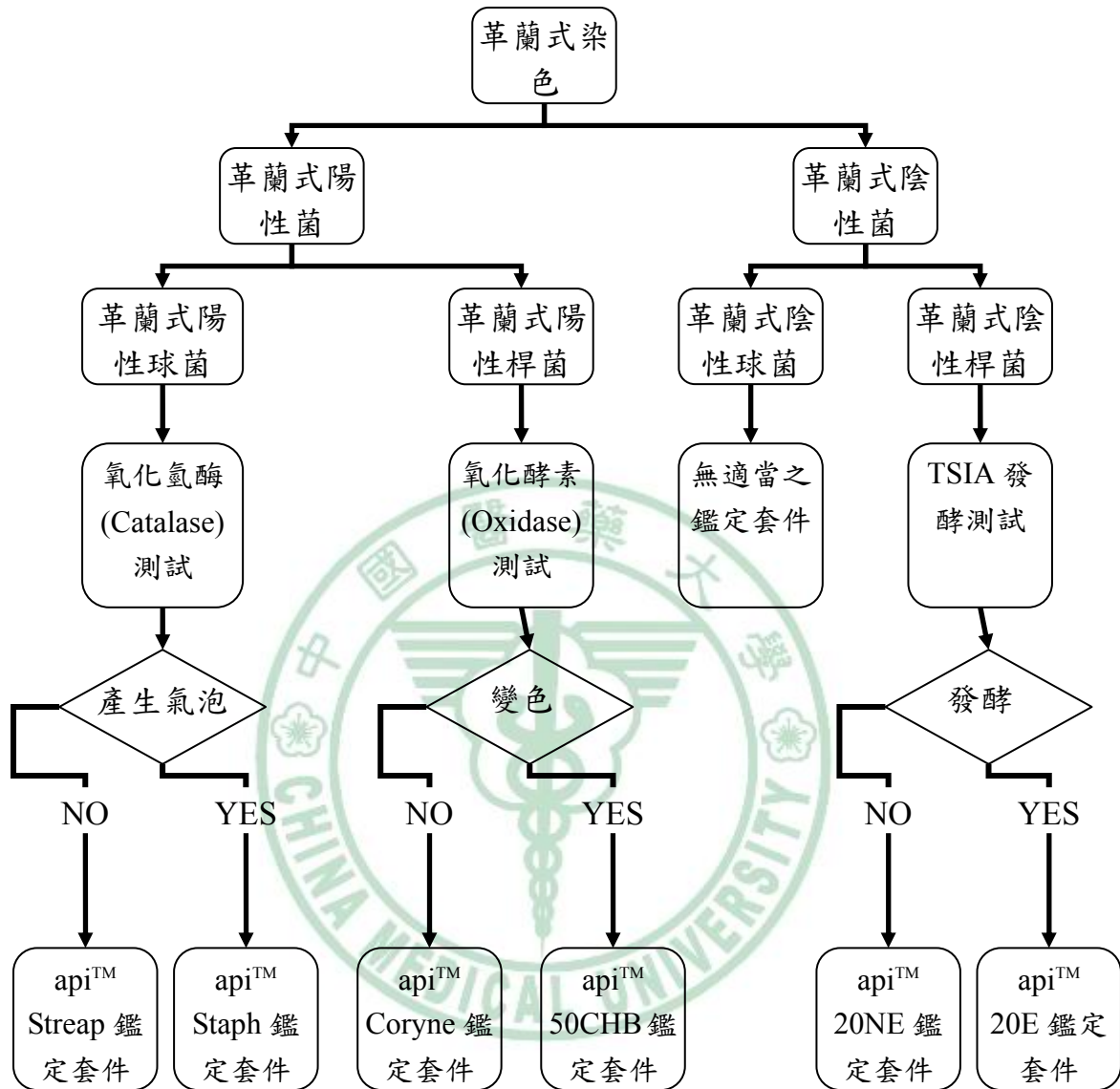
革蘭氏陽性球菌先以氧化氫酶 (Catalase) 測試，產生氣泡為葡萄球菌，輔以 api™ *Staph* 之鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有：*Staphylococcus aureus*, *Staph. hyicus*, *Staph. auricularis*, *Micrococcus spp.*, *Stomatococcus mucilaginosus* 等；若無產生氣泡則為鏈球菌，輔以 api™ *Strep* 之鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有：*Streptococcus agalactiae*, *Strep. suis*, *Enterococcus faecalis*, *Aerococcus viridans*, *Listeria grayi* 等。

革蘭氏陽性桿菌先以氧化酵素(Oxidase)測試，若菌落呈深藍紫色，表陽性結果，無顏色變化為陰性結果，陽性以 api™ 50CHB 之鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有：*Bacillus cereus*, *B. anthracis*, *B. cereus*, *B. mycoides*；陰性以 api™ *Coryne* 之鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有：*Corynebacterium aquaticum*, *C. bovis*, *C. pseudodiphtheriticum*, *C. jeikeium*, *C. renale*, *Actinomyces pyogenes*, *Brevibacterium* 等。

革蘭氏陰性桿菌以 Triple sugar iron agar (TSIA) 分為葡萄糖發酵菌與葡萄糖非發酵菌，前者 TSIA 有變黃或變黑之現象，以 api™ 20E 之鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有：*Escherichia coli*, *Shigella spp.*, *Salmonella spp.*, *Klebsiella spp.*, *Erwinia spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Proteus vulgaris* 等。後者 TSIA 維持紅色而無變黃或變黑之現象，以 api™ 20NE 之鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有：*Pseudomonas aeruginosa*, *P. putisa*, *Acinetobacter lowffii*, *Aeromonas hydrophila*, *Bordetella bronchiseptica* 等。

革蘭氏陰性球菌則沒有適合的細菌菌種套件可進行鑑定。

api™細菌菌種鑑定套件選擇流程如圖五所示。



圖五、api™細菌菌種鑑定套件選擇流程

第四節 資料統計與分析

Biosampler 採樣器採樣後之菌落數則以不同稀釋倍數培養之菌落數及採樣時間、採樣體積來計算空氣中所含之細菌菌落濃度。可依下列公式計算得濃度：

$$C(\text{CFU}/\text{m}^3) = \frac{D \times \text{CFU} \times V(\text{mL}) \times 1000(\mu\text{L}/\text{mL}) \times 1000(\text{L}/\text{m}^3)}{v(\mu\text{L}) \times Q(\text{L}/\text{min}) \times T(\text{min})} \quad (1)$$

C：為空氣中濃度，單位是 CFU/m^3

D：為稀釋倍數

CFU：為依照稀釋倍數數出在培養基上之菌落數

V：為 Biosampler 採樣器中所裝的液體體積，一般為 20 mL

v：為塗抹在培養基上之菌液體積，單位是 μL

Q：為採樣流量，為 12.5 L/min

T：為採樣時間，單位是 min

MAS 100 採樣後得到之菌落數以菌落數校正表 (Positive hole conversion table) 校正菌落數後，依下列公式計算得濃度：

$$\text{濃度}(\text{CFU}/\text{m}^3) = \frac{\text{校正後菌落數}(\text{CFU})}{100(\text{L}/\text{min}) \times t(\text{min}) \times 10^{-3}(\text{m}^3/\text{L})} \quad (2)$$

總粉塵則是依下列公式計算得空氣中的總粉塵濃度：

$$\text{濃度}(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{[W_1(\text{g}) - W_0(\text{g})] \times 1000(\text{mg}/\text{g}) \times 1000(\text{L}/\text{m}^3)}{Q(\text{L}/\text{min}) \times T(\text{min})} \quad (3)$$

W_1 ：為採樣後秤重之重量，單位是公克(g)

W_0 ：為採樣前秤重之重量，單位是公克(g)

Q ：為採樣流量，為 2 L/min

T ：為採樣時間，單位是 min

採樣分析後的資料將使用 Microsoft Excel 建檔與管理。描述性資料的呈現及資料統計分析則使用 Microsoft Excel、Origin (Microcal Software, Inc., Northampton, MA)、SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL)。



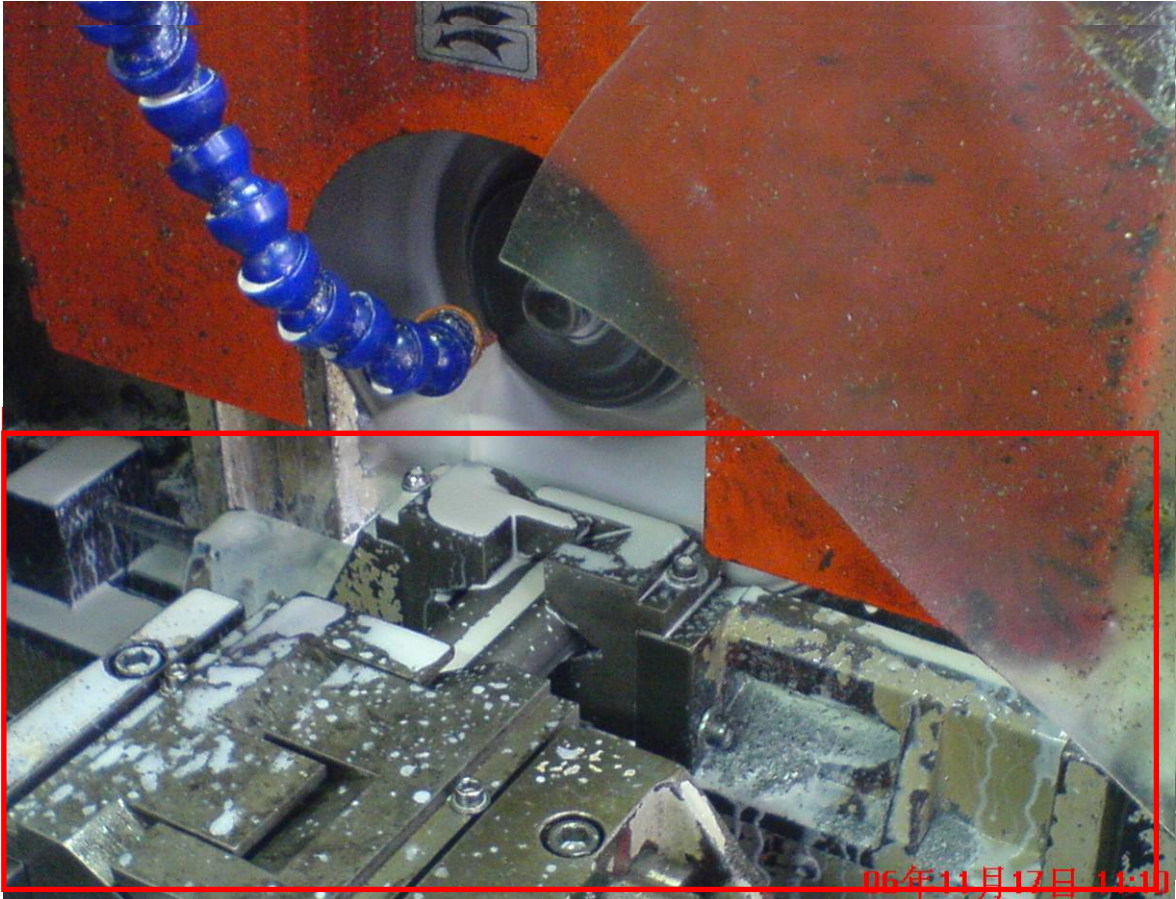
第四章 研究結果

第一節 採樣地點

本研究針對台灣中部地區的某一使用水溶性金屬加工液之金屬切削廠，進行生物氣膠濃度調查。於現場實際勘察，並與現場負責主管討論後決定採樣地點如下：選定一切割金屬管並且循環使用金屬加工液之金屬切削機台(如圖六、圖七所示)，在距離機台 0.5 公尺、1.5 公尺、3 公尺、10 公尺、工廠戶外進行生物氣膠濃度採樣及總粉塵採樣(如圖八所示)。生物氣膠濃度採樣在每個採樣點均進行三次重複，總粉塵採樣則為八小時之連續採樣。



圖六、循環使用金屬加工液之金屬切削機台。圖中框起來處為切削機台之刀具部份。



圖七、金屬切削機台局部放大圖。圖中框起來之部分皆為噴濺至機台的金屬加工液。





圖八、現場採樣地點。圖中框起來之部分為使用 Biosampler 採樣器及個人採樣泵在距離切削機台 1.5 公尺及 3 公尺處之採樣點進行採樣。

第二節 採樣結果

在金屬切削廠進行採樣的時間為：2006年11月17日、2007年1月16日、2007年3月8日及2007年3月26日。

現場環境的溫濕度及風速，如表一所示。室外風速的量測地點為戶外採樣點之位置，溫度、溼度及室內風速的量測位置則是位於距離機台0.5公尺處採樣點之位置。2006年11月17日、2007年1月16日則因儀器緣故，而沒有測定室外及室內風速。

表一、現場之溫溼度及風速

日期	溫度 (°C)	濕度 (% RH)	室外風速 (m/s)	室內風速 (m/s)
2006.11.17	26.9 ~ 27.6	68.6 ~ 72.2	2.5 ~ 3.5	0 ~ 1.0
2007.01.16	22.3 ~ 22.8	77.3 ~ 78.8	1.4 ~ 3.7	0.2 ~ 0.7
2007.03.08	18.0 ~ 19.4	70.0 ~ 70.0	-	-
2007.03.26	26.0 ~ 27.0	68.0 ~ 72.0	-	-

※ -表示沒有進行測量

在此一金屬切削廠中，可發現從工廠拿回的金屬加工液原液於實驗室內依照現場使用比例(金屬加工液原液:水=1:20)稀釋後，金屬加工液中的細菌濃度低於20 CFU/mL，2007年3月8日在現場用來添加至切削機台的新鮮金屬加工液含有 2.4×10^4 CFU/mL，2006年11月17日採集循環使用二天後之金屬加工液含有 1.1×10^7 CFU/mL，2007年3月8日採集循環使用三天後之金屬加工液含有之細菌菌落數濃度則可達到 1.7×10^8 CFU/mL，但加入新鮮金屬加工液之後，細菌濃度變成 1.6×10^7 CFU/mL。2007年3月26日因為遇到星期六、日不上班，所以是更新金屬加工液後的第五天，但是第三天循環使用之金屬加工液則含有 4.1×10^6 CFU/mL的

細菌菌落數濃度。至於在 2007 年 1 月 16 日的採樣，則因故未能取得循環使用第一天之金屬加工液。另外，由於要配合工廠之生產情況，故沒有辦法進行連續性之採樣。不同的使用天數對金屬加工液中細菌濃度的變化情形如表二所示。

表二、使用天數對金屬加工液中細菌濃度的變化情形

金屬加工液的操作天數	細菌濃度 (CFU/mL)
金屬加工液之原液於實驗室內稀釋	< 20
添加至切削機台的新鮮金屬加工液 (2007.03.08)	2.4×10^4
循環使用二天 (2006.11.17)	1.1×10^7
循環使用三天 (2007.03.08)	1.7×10^8
循環使用三天且添加了新鮮金屬加工液 (2007.03.08)	1.6×10^7
更新金屬加工液五天，循環使用第三天(2007.03.26) (第三天及第四天沒有作業)	4.1×10^6

在循環使用一天後的金屬加工液之切削機台空氣環境中，發現距離機台 0.5 公尺之空氣中有 1.0×10^4 CFU/m³、1.5 公尺之空氣中有 1.6×10^4 CFU/m³、3 公尺之空氣中有 5.3×10^3 CFU/m³、10 公尺之空氣中有 256 CFU/m³、工廠戶外則有 320 CFU/m³ 之細菌菌落數。循環使用一天後，切削機台附近空氣中之細菌濃度如表三所示。

表三、循環使用一天空氣中之細菌濃度

採樣地點	細菌濃度 (CFU/m ³)
距離切削機台 0.5 公尺處	1.0×10^4
距離切削機台 1.5 公尺處	1.6×10^4
距離切削機台 3.0 公尺處	5.3×10^3
距離切削機台 10 公尺處	256
工廠戶外	320

在循環使用二天後的切削機台空氣環境中，發現距離機台 0.5 公尺之空氣中有 4.1×10^5 CFU/m³、1.5 公尺之空氣中有 3.3×10^5 CFU/m³、3 公尺之空氣中有 2.5×10^5 CFU/m³、10 公尺之空氣中有 1187 CFU/m³、工廠戶外則有 1314 CFU/m³ 之細菌菌落數。循環使用二天後，切削機台附近空氣中之細菌濃度如表四所示。

表四、循環使用二天空氣中之細菌濃度

採樣地點	細菌濃度 (CFU/m ³)
距離切削機台 0.5 公尺處	4.1×10^5
距離切削機台 1.5 公尺處	3.3×10^5
距離切削機台 3.0 公尺處	2.5×10^5
距離切削機台 10 公尺處	1187
工廠戶外	1314

在循環使用三天後的切削機台空氣環境中，發現距離機台 0.5 公尺之空氣中有 1.3×10^5 CFU/m³、1.5 公尺之空氣中有 5.2×10^4 CFU/m³、3 公尺之空氣中有 8.1×10^4 CFU/m³、10 公尺之空氣中有 776 CFU/m³、工廠戶外則有 752 CFU/m³ 之細菌菌落數。循環使用三天後，切削機台附近空氣中之細菌濃度如表五所示。

表五、循環使用三天空氣中之細菌濃度

採樣地點	細菌濃度 (CFU/m ³)
距離切削機台 0.5 公尺處	1.3×10^5
距離切削機台 1.5 公尺處	5.2×10^4
距離切削機台 3.0 公尺處	8.1×10^4
距離切削機台 10 公尺處	776
工廠戶外	752

在更新金屬加工液五天後，但是循環使用第三天的切削機台空氣環境中，發現距離機台 0.5 公尺之空氣中有 1.1×10^6 CFU/m³、1.5 公尺之空氣中有 8.7×10^5 CFU/m³、3 公尺之空氣中有 1.8×10^6 CFU/m³ 之細菌菌落數。10 公尺及戶外部份則因故而沒有進行採樣。更新金屬加工液五天後，但是循環使用三天的切削機台附近空氣中之細菌濃度如表六所示。

表六、更新金屬加工液五天，循環使用三天空氣中之細菌濃度

採樣地點	細菌濃度 (CFU/m ³)
距離切削機台 0.5 公尺處	1.1×10^6
距離切削機台 1.5 公尺處	8.7×10^5
距離切削機台 3.0 公尺處	1.8×10^6

第三節 菌種鑑定結果

本研究的採樣結果可發現，在距離切削機台較近的採樣點(0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺)的菌種分布情況，與距離切削機台較遠的採樣點(10 公尺及工廠戶外)的菌種分佈情況不同。

採樣結果可發現距離切削機台較近的採樣點所鑑定出來的菌種有 *Bacillus pumilus*、*B. thuringiensis*、*Brevibacillus brevis*、*Burkholderia cepacia*、*Corynebacterium aquaticum*、*C. urealyticum*、*Flavimonas oryzihabitans*、*Micrococcus* spp.、*Oerskovia turbata*、*Ralstonia pickettii*、*Staphylococcus capitis*、*S. epidermidis*、*S. lentus*、*S. xylosus* 等菌種。

在距離切削機台較遠的採樣點所鑑定出來的菌種則有 *Actinomyces neuii ssp anitratus*、*Aeromonas hydrophila* group 2、*Arcanobacterium haemolyticum*、*Bacillus coagulans*、*B. licheniformis*、*B. pumilus*、*B. sphaericus*、*B. stearothermophilus*、*B. thuringiensis*、*Brevibacillus brevis*、*Brevibacterium* spp.、*Cellulomonas* spp.、*Corynebacterium aquaticum*、*C. minutissimum*、*C. urealyticum*、*Micrococcus* spp.、*Oerskovia xanthineolytica*、*Serratia marcescens*、*Staphylococcus capitis*、*S. xylosus* 等菌種。距離切削機台較近的菌種及距離切削機台較遠的菌種鑑定情況如表七所示。

表七、空氣中距離切削機台較近、較遠的菌種鑑定情況

距離切削機台較近的菌種	距離切削機台較遠的菌種
<p><i>Burkholderia cepacia</i></p> <p><i>Corynebacterium urealyticum</i></p> <p><i>Flavimonas oryzihabitans</i></p> <p><i>Oerskovia turbata</i></p> <p><i>Ralstonia pickettii</i></p> <p><i>Staphylococcus epidermidis</i></p> <p><i>S. lentus</i></p>	<p><i>Actinomyces neuii ssp anitratus</i></p> <p><i>Aeromonas hydrophila</i> group 2</p> <p><i>Arcanobacterium haemolyticum</i></p> <p><i>Bacillus coagulans</i></p> <p><i>B. licheniformis</i></p> <p><i>B. sphaericus</i></p> <p><i>B. stearothermophilus</i></p> <p><i>Brevibacterium</i> spp.</p> <p><i>Cellulomonas</i> spp.</p> <p><i>Corynebacterium minutissimum</i></p> <p><i>C. urealyticum</i></p> <p><i>Oerskovia xanthineolytica</i></p> <p><i>Serratia marcescens</i></p>
	<p><i>Bacillus pumilus</i></p> <p><i>B. thuringiensis</i></p> <p><i>Brevibacillus brevis</i></p> <p><i>Corynebacterium aquaticum</i></p> <p><i>Micrococcus</i> spp.</p> <p><i>Staphylococcus capitis</i></p> <p><i>S. xylosus</i></p>

此外，本研究也對金屬加工液中的菌種進行菌種鑑定，可發現有 *Bacillus circulans*、*Burkholderia cepacia*、*Citrobacter freundii*、*Corynebacterium urealyticum*、*Klebsiella oxytoca*、*Ochrobactrum anthropi*、*Enterobacter aerogenes* 等菌種。其中除了 *Bacillus circulans*、*Corynebacterium urealyticum* 為革蘭式陽性桿菌外，其餘的 *Burkholderia cepacia*、*Citrobacter freundii*、*Klebsiella oxytoca*、*Ochrobactrum anthropi*、*Enterobacter aerogenes* 菌種均為革蘭式陰性桿菌。

另外，也發現在不同的使用天數，金屬加工液中的細菌菌種可能會有所變異。在稀釋用的新鮮金屬加工液中鑑定出含有 *Citrobacter freundii*、*Corynebacterium urealyticum* 菌種。操作第二天可鑑定出金屬加工液中有 *Bacillus circulans*、*Burkholderia cepacia* 菌種。但是操作第三天時可鑑定出金屬加工液中有 *Citrobacter freundii*、*Klebsiella oxytoca*、*Ochrobactrum anthropi* 菌種。到了加入第五天，但是為操作第三天時金屬加工液中的菌落則為 *Klebsiella oxytoca* 及 *Enterobacter aerogenes* 菌種。各種金屬加工液中菌種之型態，如表八所示。

表八、金屬加工液中的菌種型態

使用天數	菌種	菌種型態
第一天	<i>Citrobacter freundii</i>	革蘭式陰性桿菌
	<i>Corynebacterium urealyticum</i>	革蘭式陽性桿菌
第二天	<i>Bacillus circulans</i>	革蘭式陽性桿菌
	<i>Burkholderia cepacia</i>	革蘭式陰性桿菌
第三天	<i>Citrobacter freundii</i>	革蘭式陰性桿菌
	<i>Klebsiella oxytoca</i>	革蘭式陰性桿菌
	<i>Ochrobactrum anthropi</i>	革蘭式陰性桿菌
第五天	<i>Klebsiella oxytoca</i>	革蘭式陰性桿菌
	<i>Enterobacter aerogenes</i>	革蘭式陰性桿菌

從研究結果可發現，在剛開始使用金屬加工液時可能會有革蘭式陽性菌種生長在金屬加工液中，但是經過二天之後則全部變成了革蘭式陰性菌種，可見在本研究工廠所使用之沒有添加抑菌劑的可溶性金屬加工液可能適合革蘭式陰性菌種的生長。

另外，在 2007 年 1 月 16 日及 2007 年 3 月 26 日之採樣，可發現在距離切削機台較近之採樣點，有大量之 *Ralstonia pickettii* (93.6~100%) 存在。

第四節 總粉塵的採樣結果

在循環使用一天後，可發現距離機台 0.5 公尺之空氣中有 0.30 mg/m³、1.5 公尺之空氣中有 0.18 mg/m³、3 公尺之空氣中有 0.29 mg/m³、10 公尺之空氣中有 0.27 mg/m³、戶外之空氣中有 0.23 mg/m³ 之總粉塵。循環使用二天後，可發現距離機台 0.5 公尺之空氣中有 0.16 mg/m³、1.5 公尺之空氣中有 0.04 mg/m³、3 公尺之空氣中有 0.10 mg/m³、10 公尺之空氣中有 0.02 mg/m³、戶外之空氣中有 0.09 mg/m³ 之總粉塵。循環使用三天後，可發現距離機台 0.5 公尺之空氣中有 0.17 mg/m³、1.5 公尺之空氣中有 0.16 mg/m³、3 公尺之空氣中有 0.14 mg/m³、10 公尺之空氣中有 0.15 mg/m³、戶外之空氣中有 0.12 mg/m³ 之總粉塵濃度。金屬加工液的不同使用天數與總粉塵濃度的變化情形，如表九所示，表中的 W₁ 為採樣後秤重之重量，W₀ 為採樣前秤重之重量，C 為濃度。

表九、不同使用天數與總粉塵濃度的變化情形

使用天數 採樣地點	循環使用一天後		循環使用二天後		循環使用三天後	
	W1-W0(g)	C(mg/m ³)	W1-W0(g)	C(mg/m ³)	W1-W0(g)	C(mg/m ³)
0.5m from MWM	0.00013	0.30	0.00015	0.16	0.00014	0.17
1.5m from MWM	0.00011	0.18	0.00004	0.04	0.00013	0.16
3.0m from MWM	0.00017	0.29	0.00010	0.10	0.00013	0.14
10m from MWM	0.00010	0.27	0.00002	0.02	0.00013	0.15
outdoor	0.00014	0.23	0.00009	0.09	0.00011	0.12

W0：採樣前秤重之重量

W1：採樣後秤重之重量

C；總粉塵濃度

第五章 討論

第一節 本研究的發現

由第四章的結果可以得知，本研究與 Mattsby-Baltzer *et al.* (1989)⁽³⁶⁾ 之研究都可發現，距離機台越近細菌的濃度越高，且當距離切削機台達 10 公尺時都相同降低至 10^2 CFU/m³，而距離切削機台 10 公尺之細菌的菌種分佈情形則和工廠戶外相似。本研究與 Mattsby-Baltzer *et al.* (1989) 之濃度比較如表十所示。

表十、本研究與 Mattsby-Baltzer *et al.* (1989) 之濃度比較

使用天數 採樣地點	循環使用一天後	循環使用二天後	循環使用三天後	更新金屬加工液 五天後，循環使用 第三天	Mattsby-Baltzer <i>et al.</i> (1989)
	細菌濃度 (CFU/m ³)	細菌濃度 (CFU/m ³)	細菌濃度 (CFU/m ³)	細菌濃度 (CFU/m ³)	細菌濃度 (CFU/m ³)
0.5m from MWM	1.0×10^4	4.1×10^5	1.3×10^5	1.1×10^6	3.9×10^4
1.5m from MWM	1.6×10^4	3.3×10^5	5.2×10^4	8.7×10^5	1.6×10^4
3.0m from MWM	5.3×10^3	2.5×10^5	8.1×10^4	1.8×10^6	1.0×10^3
10m from MWM	256	1187	776	-	2.3×10^2
outdoor	320	1314	752	-	-

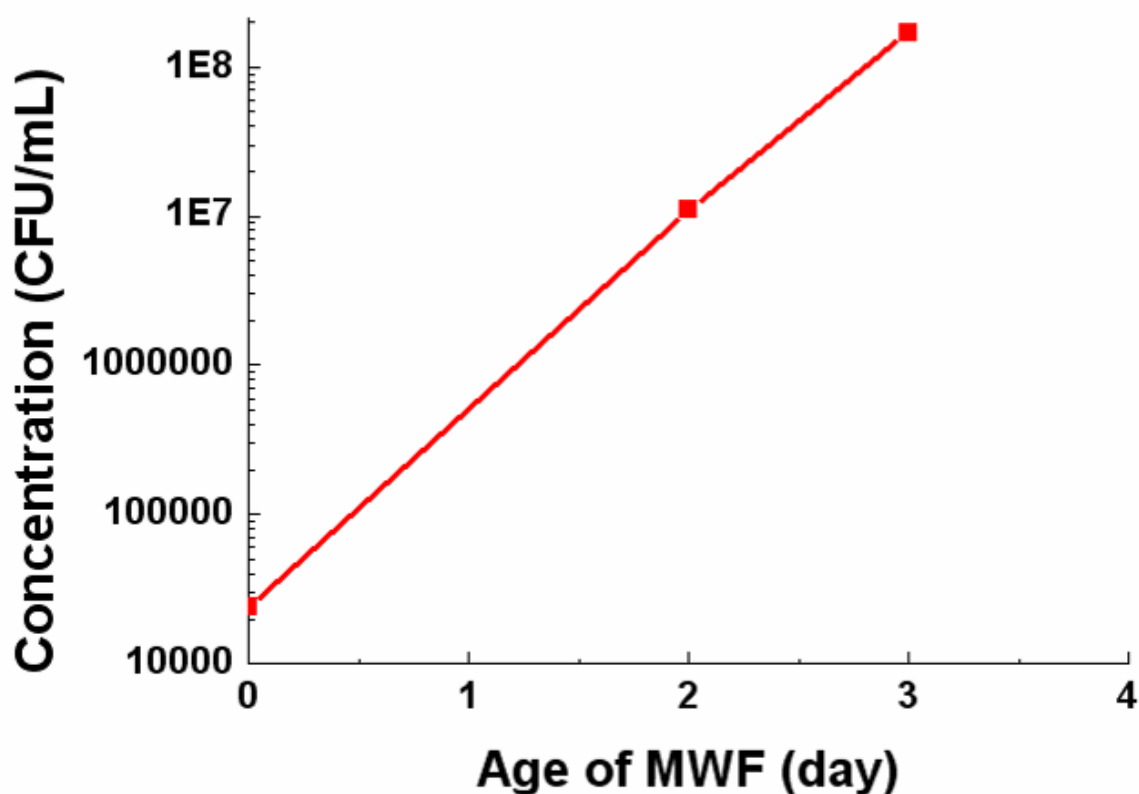
※ -表示沒有進行測量

另外，在結論所提到在距離切削機台附近的 *Ralstonia pickettii* 菌種在 1993 年之前稱為 *Pseudomonas pickettii*⁽⁵⁹⁾，且 *Pseudomonas pseudoalcaligenes* 與本研究所鑑定出來之 *Ralstonia pickettii* 均為不發酵之革蘭氏陰性桿菌。

雖然本研究沒有對內毒素進行採樣，但是本研究在切削機台附近採集到高濃度之革蘭氏陰性桿菌--*Ralstonia pickettii* 菌種($>10^5$ CFU/m³)，*Ralstonia pickettii* 菌種本身對人體沒有嚴重的危害，但是革蘭氏陰性桿菌卻是內毒素的來源，本研究與 Park *et al.* (2001)⁽³⁸⁾、Simpson *et al.* (2003)⁽³⁹⁾、Wang *et al.* (2007)⁽⁴¹⁾ 等工作現場有採集內毒素之研究相似，均可

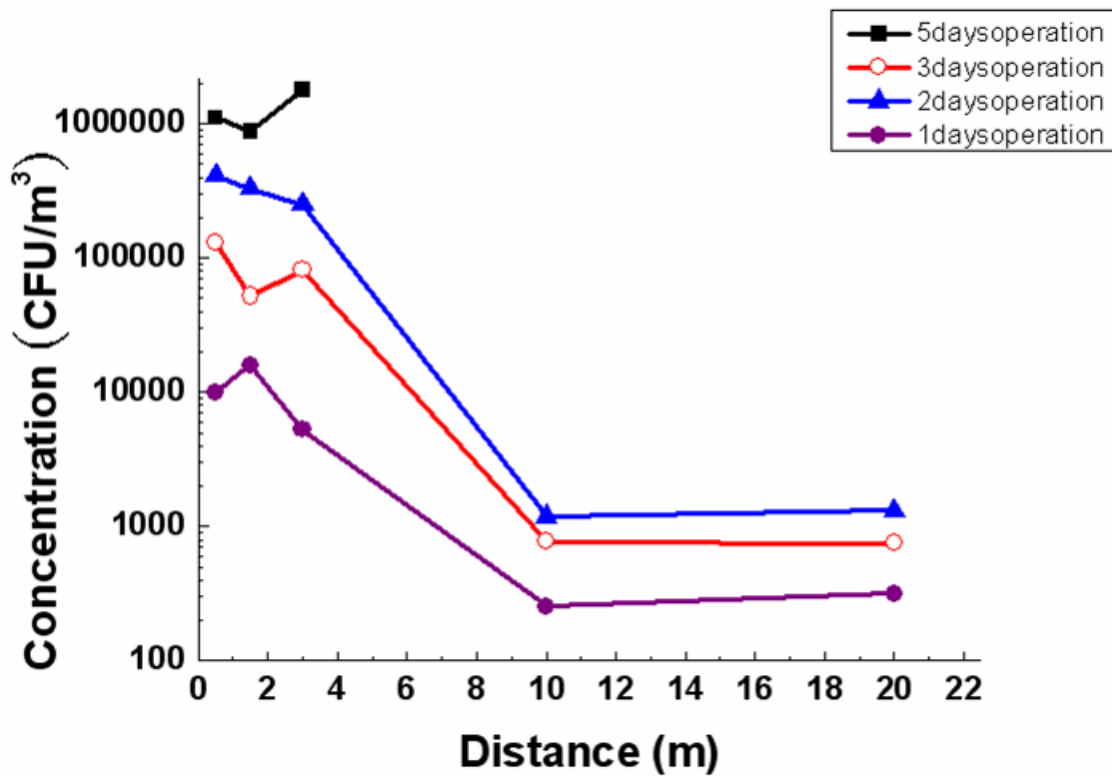
發現使用金屬加工液使用的場所會有高濃度之革蘭式陰性桿菌存在於作業機台附近。

在結果部份也可發現，雖然本研究工廠所使用之水溶性金屬加工液中並沒有添加抑菌劑，但是與 Veillette *et al.* (2004)⁽⁴⁰⁾ 在某間工廠觀察使用了多種抗生素的大型半合成金屬加工液系統中的細菌濃度，都可發現如果金屬加工液使用的時間越長，則在金屬加工液中所含之細菌菌落濃度越高。且發現依照一般只有更新機油槽中金屬加工液之清潔方式是不夠的，因為存在於管線中之金屬加工液所含的細菌菌落可能會快速的污染新鮮的金屬加工液，使得短時間內細菌濃度就到達 $>10^7$ CFU/mL。對金屬加工液中所含細菌菌落濃度與使用天數來畫圖，可表示如圖九所示。



圖九、金屬加工液使用天數與細菌濃度關係圖

另外，本研究也發現把不同距離之採樣點與空氣中所含之細菌菌落濃度畫圖，有距離切削機台越遠，細菌菌種濃度就越低的情況出現，如圖十所示。同時也可看出，如果金屬加工液的使用天數越久，則在各採樣點所採集到空氣中所含的細菌菌落數也愈高。



圖十、不同距離之採樣點與空氣中細菌濃度關係圖

由圖九可發現使用新鮮的金屬加工液時，在距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺處之濃度均較其他使用天數為低。反之，使用天數越久之金屬加工液在距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺處之濃度均較高。另外，也可發現距離切削機台 10 公尺及工廠戶外所含之菌落濃度則不受金屬加工液使用天數所影響，因此可認為金屬加工液所逸散之細菌會影響在切削機台附近的勞工，但是並不會使全廠之細菌菌落濃度增加，而影響全廠之勞工。

此外，因為金屬切削機台在切削金屬管時會有金屬加工液減少的情況，因此會有補充金屬加工液的動作出現，而圖中第三天的細菌菌落濃度較第二天為低，應是因為當天有加入新鮮之金屬加工液，而稀釋了細菌菌落濃度所致。在 Mattsby-Baltzer *et al.* (1989)⁽³⁶⁾ 的研究中也同樣可觀察到，在添加新鮮的金屬加工液時，會使原本金屬加工液中的細菌菌落濃度降低。

在本研究中可發現到，更新了新鮮的金屬加工液之後，會使空氣中之細菌濃度下降，但是細菌菌落濃度還是超過 10^4 CFU/m³，研判可能是因為更新金屬加工液時並沒有清洗機台，使得新鮮之金屬加工液受到殘留之金屬加工液污染所造成，與 Veillette *et al.* (2004)⁽⁴⁰⁾ 的研究推論相同。如果定期更換新鮮之金屬加工液，且更換時先徹底清洗機台，可能會避免造成新鮮之金屬加工液受到污染，至於是否可以有效的降低，則需要進一步之研究。

在第四章所提到使用不同天數的金屬加工液中可能會有不同的細菌菌種產生，而我們在實驗室也有進行菌種的生長曲線測試。本研究的金屬切削廠更換金屬加工液之時間通常為操作三天後即換新鮮之金屬加工液，而在實驗室中進行實驗，可發現 *Citrobacter freundii* 菌種在金屬加工液中的生長曲線在三天甚至到五天之時間均可以維持穩定之菌落濃度。

可見革蘭式陰性菌種在不含抑菌劑之可溶性金屬加工液中可以有很好的生長情況。至於為何在不同使用天數會有不同的菌種，則需更進一步之研究。

在第四章所鑑定出來的菌種曾經在臨床上所可能產生的危害及發現的部位，如以下所示⁽⁶⁰⁾⁽⁶¹⁾：

- (1) *Actinomyces* spp. 可在傷口感染、膿瘡及尿道感染中找到。
- (2) *Aeromonas hydrophila* 可引起腹瀉、蜂巢組織炎、肺炎、敗血症、腹膜炎、傷口及尿道感染。
- (3) *Arcanobacterium haemolyticum* 與急性咽喉炎、頸部的淋巴結病、扁桃腺炎有關。*A. haemolyticum* 所引起的急性咽喉炎通常發生於小孩及青年人身上(10~30歲的族群)。
- (4) *Bacillus* spp. 是在一般環境中常見的細菌，可能會在手術過程、免疫力降低、有外傷傷口、燙傷、血液透析及藥物濫用時被感染，為伺機性感染的細菌。也可能造成眼睛刺激及肌肉骨骼的刺激，包括急性或慢性的骨髓炎、壞死性筋膜炎等症狀產生。
- (5) *Brevibacterium* spp. 曾被發現會引起白血病、淋巴瘤及睪丸癌等疾病的發生。
- (6) *Cellulomonas* spp. 為環境中常見的菌種，曾經從尿道管及腦脊髓液中分離出此菌種。
- (7) *Corynebacterium urealyticum* 則可在皮膚上發現，與急性或慢性的泌尿道感染、尿結石及尿道狹窄症有關。
- (8) *Micrococcus* spp. 則曾經引起肺炎、腦膜炎、關節炎敗血症、菌血症及造成連續洗腎的病人引發腹膜炎。
- (9) *Oerskovia turbata* 很少會使健康的人受到感染，但是曾在3歲男童的導管中發現，另外也曾使受大主動脈瓣置換手術的68歲男性引發心內膜

炎。

(10) *Ralstonia pickettii* 很少與人類感染有關，但曾經在院內造成長期血液析離的病人菌血性、尿道感染、骨髓炎等案例傳出。

(11) *Serratia marcescens* 則與多種人類的感染有關，特別是肺炎及有惡性網狀內皮組織並接受化學治療病人的敗血病。同時也是一般環境中常見的菌種。

(12) *Staphylococcus epidermidis* 會在泌尿道感染、外科手術的傷口感染、腹膜透析感染及眼睛的感染中發現。

而其他鑑定出來的菌種，如 *Brevibacillus brevis*、*Burkholderia cepacia*、*Corynebacterium aquaticum*、*C. minutissimum*、*Flavimonas oryzihabitans*、*Oerskovia xanthineolytica*、*Staphylococcus capitis*、*S. lentus*、*S. xylosus* 等菌種，在目前則沒有特殊之人體危害被發現。

另外，在總粉塵濃度與不同使用天數的金屬加工液的變化情況可看出，雖然總粉塵濃度均低於我國及美國職業安全衛生署等法定之 5 mg/m^3 之油霧滴容許濃度，甚至連距離機台 0.5 公尺處測量到最高的總粉塵濃度 0.3 mg/m^3 ，也較美國職業安全衛生研究所建議的 0.5 mg/m^3 之金屬加工液濃度為低，但是在不同的使用天數中，距離機台 0.5 公尺處都有最高的總粉塵濃度的存在。由現場之風速可發現，在戶外風速均較室內風速為高，而室內之總粉塵濃度卻較室外總粉塵濃度為高，依照通風之特性，應是風速較高之區域有較高的粉塵揚起，但本研究卻發現在室內有較高之總粉塵濃度。因此本研究認為在距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺處之總粉塵應可代表是金屬加工液霧滴，在依照圖九中生物氣膠濃度在不同距離的分布也可看出，在距離切削機台 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺處之生物氣膠濃度高於距離機台 10 公尺及工廠戶外部份，且在 Chen *et al.* (2006)⁽¹³⁾ 的研究中也是把在機台附近採集到的總粉塵完全認定是金屬加

工液霧滴。在距離機台 10 公尺及工廠戶外部份的生物氣膠濃度則與一般環境中之生物氣膠濃度及 Mattsby-Baltzer *et al.* (1989)⁽³⁶⁾ 距離使用金屬加工液機台 10 公尺處之測量結果相似。因此在距離機台 10 公尺及工廠戶外部份本研究則認定為一般之厭惡性粉塵。因此本研究認為距離切削機台附近之金屬加工液霧滴內含的細菌菌落可能會因機台的操作而逸散至空氣中，與 Abrams *et al.* (2000)⁽⁴⁸⁾ 認為在機台附近懸浮於空氣中的微粒可能帶有內毒素之結果相符。

Mattsby-Baltzer *et al.* (1989)⁽³⁶⁾ 在一家使用金屬加工液的工廠去調查在大型的金屬加工液供應系統中，微生物在金屬加工液的生長情況及在金屬加工液中添加抑菌劑是否有效的抑制微生物的生長，結果可發現在大型的儲槽中(150 m³)只有在剛加入抑菌劑時有使細菌菌落濃度降低，但是過了一段時間則菌落濃度又會增加，而 Dilger *et al.* (2005)⁽³⁷⁾ 在針對有添加抑菌劑和沒添加抑菌劑的金屬加工液的工廠進行研究發現，在比較小的儲槽 (2.9 m³) 的儲槽中，增加抑菌劑的濃度則可以抑制細菌的生長。本研究所採樣之金屬切削廠所使用的金屬加工液並沒有添加抑菌劑的成分，且採樣之金屬切削機台的儲槽容量為 0.03 m³，依照 Dilger *et al.* (2005)⁽³⁷⁾ 發現添加抑菌劑在小的儲槽是能有效抑制微生物生長的研究結果。但 Watt (2003)⁽⁴⁷⁾ 發現三氯六環衍生物的抑菌劑與 Mycobacteria 菌種在金屬加工液中有很高的正相關性。而 Mycobacteria 菌種又有可能是造成過敏性肺炎的原因，所以建議金屬加工液中不要添加三氯六環衍生物的抑菌劑以保護勞工，免於造成勞工產生過敏性肺炎。這也可能是為何本研究之金屬切削廠選擇不含抑菌劑之金屬加工液，而不選擇含有抑菌劑之金屬加工液的原因。

在工程控制方面，Sheehan *et al.* (2007)⁽⁶²⁾ 想了解何種控制技術可以減少金屬加工液霧滴的產生，所以對一家有使用金屬加工液的生產線，看

看利用護圍是否可以減少金屬加工液霧滴的產生。結果發現利用護圍完全包覆生產線後，可以減少生產線附近空氣中一半的金屬加工液霧滴濃度。雖然與本研究所採樣的金屬切削機台的作業方式不同，但應可以加以參考或應用。



第二節 研究的應用

雖然本研究只針對一家使用水溶性金屬加工液之金屬切削廠進行採樣，但是依照行政院主計處 2001 年的統計資料顯示⁽¹¹⁾與本次採樣工廠同為自行車及其零件製造業之廠家，平均為 1324 家，共有勞工 2 萬 3838 人。而真正有使用水溶性金屬加工液的廠家及會暴露在金屬加工液工作環境中的勞工也一定遠大於行政院主計處 2001 年的統計資料。因此，本研究發現之結果應可適用於所有使用水溶性金屬加工液之產業。



第三節 研究限制

本研究並沒有在所有機台都停止運轉的情況下去採集工廠中之背景值，原因是因為本研究所使用之 Biosampler 採樣器每次採樣所需的時間為 30 分鐘，且要進行三重複，所以背景值採樣時間就會變成 90 分鐘。而工廠的上班時間為上午 8 點，如果要採集工廠中之背景值則必須要求勞工於上午 6 點 30 分前到達工廠。基於現場之情況，本研究要配合現場作業勞工之正常上下班情況，無法要求勞工於正常上班時間前到作業場所。又因本研究之工廠是使用自然通風的方式來進行作業環境之通風，因此本研究將戶外之濃度認定為現場之可能背景值，用來替代所有機台都停止之工廠背景值。



第四節 未來研究方向

因本研究可發現更新新鮮之金屬加工液有助於減少空氣中之細菌菌落濃度，但是存在於切削機台管線中剩餘金屬加工液所含的細菌菌落可在短時間內使金屬加工液中之細菌菌落濃度提高，而增加對人體危害的風險。因此如果在定期更換新鮮之金屬加工液時，先徹底清洗機台及管線，可能會避免造成新鮮之金屬加工液受到污染，或延長金屬加工液中微生物到達高濃度的時間，而可以減少更新金屬加工液的使用次數。至於是否可以有效的降低，則需要進一步之研究。



第六章 結論與建議

第一節 結論

(1) 研究結果發現原本不含菌之金屬加工液，在使用後會產生大量細菌。在金屬加工液中會有 2.4×10^4 CFU/mL \sim 1.7×10^8 CFU/mL 的細菌會存在。

(2) 受污染之金屬加工液可能會因切削作業而變成氣膠散佈至空氣中，而使空氣中也含有高濃度之細菌生物氣膠，因此距離切削機台 0.5、1.5 及 3 公尺的空氣中可測量到大量之細菌濃度，濃度範圍為 5.3×10^3 CFU/m³ \sim 1.1×10^6 CFU/m³。

(3) 可以發現金屬加工液使用的時間越長，在金屬加工液中所含的細菌菌落濃度越高，而在靠近切削機台的 0.5 公尺、1.5 公尺及 3 公尺採樣點所採集到空氣中的細菌菌落濃度也越高。

(4) 可以發現在切削機台所使用的金屬加工液中及附近的空氣中發現大量的革蘭式陰性桿菌的存在，如 *Ralstonia pickettii* 等菌種存在。

第二節 建議

由研究結果可發現，在使用金屬加工液切削機台附近的勞工，會有高濃度的細菌暴露，雖然不一定會造成健康方面的影響，但從文獻可得知，操作機台的勞工也有可能因為吸入金屬加工液中之微生物而導致過敏性肺炎⁽⁴⁶⁾，或因接觸金屬加工液而有過敏性皮膚炎之情況之發生⁽²³⁾⁽²⁴⁾⁽⁵⁰⁾。因此建議可使從業勞工佩戴密合度高之口罩及適當之防護手套，以降低勞工可能的暴露風險，至於其防護效能則需進一步研究。未來將對金屬加工液中細菌菌種濃度分佈情形及相關從業勞工健康效應做進一步之評估。



參考文獻

- (1) ACGIH. Guidelines for the Assessment of Bioaerosols in the Indoor Environment. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1989.
- (2) 張靜文。空氣中生物性危害與呼吸防護(下)。北市衛生；1999；46: 19-22。
- (3) NIOSH. Criteria for Recommended Standard Occupational Exposure to Metalworking Fluids. *National Institute of Occupational Safety and Health*, Cincinnati, Ohio. 1998.
- (4) Wang HX, Reponen T, Li W, Martuzevicius D, Grinshpun SA, and Willeke K. Aerosolization of fine particles increases due to microbial contamination of metalworking fluids. *Journal of Aerosol Science*. 2005; 36: 724-734.
- (5) Kriebel D, Eberiel D, Eisen EA, Eraso RM, Kumar S, Sama S, et al. Field investigations of the acute respiratory effects of machining fluids. Final report to the *UAW-GM National Joint Committee on Safety and Health*, June 1, 1994.
- (6) Greaves IA, Eisen EA, Smith TJ, Pothier LJ, Kriebel D, Woskie SR, et al. (1995a). Respiratory health of automobile workers and exposures to metal-working fluid aerosols. III. Lung spirometry. Boston, MA: Harvard School of Public Health, Occupational Health Program. Final Draft. 1995.
- (7) Greaves IA, Eisen EA, Smith TJ, Pothier LJ, Kriebel D, Woskie SR, et al. (1995b). Respiratory health of automobile workers exposed to metal-working fluid aerosols. II. Respiratory symptoms. Boston, MA: Harvard School of Public Health, Occupational Health Program. Final Draft. 1995.
- (8) Robins T, Seixas N, Franzblau A, Burge H, Abrams L, and Minick S.

Respiratory effects of machining fluid aerosols. Final report to the UAW-GM Occupational Health Advisory Board. 1994.

- (9) ANSI. American national standard technical report: mist control considerations for the design, installation, and use of machine tools using metalworking fluids. *American National Standard Institute*, B11 Ventilation Subcommittee, ANSI B11 TR 2-1997 New York, NY. 1997.
- (10) Stear MA. Controlling health risk from workplace exposure to metalworking fluids in the United Kingdom engineering industry. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2003; 18: 877-882.
- (11) 中華民國統計資訊網(URL: <http://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=1683&cfNode=543>)
- (12) Simpson AT, Groves JA, Unwin J, and Piney M. Mineral Oil Metal Working Fluids (MWFs) - development of Practical Criteria for Mist Sampling. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2000; 44(3): 165-172
- (13) Chen MC, Shin TS, Lee WJ, Chang CC, and Tsai PJ. Concentration and Particle Size Distribution of Oil Mist Exposed to Fastening Industry Workers. *Journal of Occupational Safety and Health*. 2006; 14(1): 8-16
- (14) Rosenthal FS, and Yeagy BL. Characterization of metalworking fluid aerosols in bearing grinding operations. *AIHAJ : a journal for the science of occupational and environmental health and safety*. 2001; 62(5): 379-382.
- (15) Ross AS, Teschke K, Brauer M, and Kennedy SM. Determinants of exposure to metalworking fluid aerosol in small machine shops. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2004; 48(5): 383-391.
- (16) Thornburg J, and Leith D. Size distribution of mist generated during metal machining. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2000; 15(8): 618-628.
- (17) Heitbrink WA, D'Arcy JB, and Yacher JM. Mist generation at machining center. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 2000; 61: 22-30.

- (18) Turchin H, and Byers P. Effect of oil contamination on metalworking fluid mist. *Lubrication Engineering*. 2000; 56(7): 21–25.
- (19) Dasch JM, Ang CC, Mood M, and Knowles D. Variables affecting mist generation from metal removal fluids. *Lubrication Engineering*. 2002; 10–17.
- (20) Michalek DJ, Hii WW, Sun J, Gunter KL, and Sutherland JW. Experimental and analytical efforts to characterize cutting fluid mist formation and behavior in machining. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2003; 18: 842-854.
- (21) Glaser R, Kurimo R, and Shulman S. Performance Testing of NIOSH Method 5524/ASTM Method D-7049-04, for Determination of Metalworking Fluids. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2007; 4: 583–595.
- (22) Sullivan PA, Eisen EA, Woskie SR, Kriebel D, Wegman DH, Hallock MF, Hammond SK, Tolbert PT, Smith TJ, and Monson RR. Mortality studies of metalworking fluid exposure in the automobile industry: VI. a case-control study of esophageal cancer. *American Journal of Industrial Medicine*. 1998; 34: 36-48.
- (23) Koh D, Leow YH, and Goh CL. Occupational allergic contact dermatitis in Singapore. *The Science of the Total Environment*. 2001; 270: 97-101.
- (24) Ueno S, Shiomi Y, and Yokota K. Metalworking fluid hand dermatitis. *Industrial Health*. 2002; 40: 291-293.
- (25) Oudyk J, Haines AT, and Arcy JD. Investigation respiratory responses to metalworking fluid exposure. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2003; 18: 939-946.
- (26) Reeve GR, Stout AW, Hands D, and Curry E. Inpatient hospital admission rates for nonmalignant respiratory disease among workers exposed to metal removal fluids at a U.S. automobile manufacturer. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2003; 18: 930-938.

- (27) Park D, Chin K, Kwag H, Youn K, Choi S, Ha K, Yoon C, and Yim S. Effect of metalworking fluid mist exposure on cross-shift decrement in peak expiratory flow. *Journal of Occupational Health*. 2007; 49: 25-31.
- (28) Verma DK. Relationships Between Inhalable, Thoracic, and Respirable Aerosols of Metalworking Fluids. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2007; 4: 266–271.
- (29) Russi M, Dubrow R, Flannery JT, Cullen MR, and Mayne ST. Occupational exposure to machining fluids and laryngeal cancer risk: contrasting results using two separate control groups. *American Journal of Industrial Medicine*. 1997; 31(2): 166-171.
- (30) Robertson AS, Weir DC, and Burge PS. Occupational asthma due to oil mists. *Thorax*. 1988; 43: 200–205.
- (31) Jarvholm B, Bake B, Lavenius B, Thiringer G, and Vokmann R. Respiratory symptoms and lung function in oil mist-exposed workers. *Journal of Occupational Medicine*. 1982; 24: 473-479.
- (32) Massin N, Bohadana AB, Wild P, Goutet P, Kirstetter H, and Toamain JP. Airway responsiveness, respiratory symptoms, and exposures to soluble oil mist in mechanical workers. *Occupational and Environmental Medicine*. 1996; 53(11): 748-752.
- (33) Kennedy SM, Chan YM, Teschke K, and Karlen B. Change in airway responsiveness among apprentices exposed to metalworking fluids. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 1999; 159(1): 87-93
- (34) Cullen MR, Balmes JR, Robins JM, and Smith GJW. Lipoid pneumonia caused by oil mist exposure from a steel rolling tandem mill. *American Journal of Industrial Medicine*. 1981; 2:51-58
- (35) Kazerouni N, Thomas TL, Petralia SA, and Hayes RB. Mortality among workers exposed to cutting oil mist: update of previous reports. *American Journal of Industrial Medicine*. 2000; 38(4): 410-416.

- (36) Mattsby-Baltzer I, Sandin M, Ahlstrom B, Allenmark S, Edebo M, Falsen E, K. Pedersen, Rodin N, Thompson RA, and Edebo L. Microbial Growth and Accumulation in Industrial Metal-Working Fluids. *Applied and Environmental Microbiology*. 1989; 55(10): 2681-2689.
- (37) Dilger S, Fluri A, and Sonntag HG. Bacterial contamination of preserved and non-preserved metal working fluids. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2005; 208: 467–476.
- (38) Park D, Teschke K, and Bartlett K. A model for predicting endotoxin concentrations in metalworking fluid sumps in small machine shop. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2001; 45(7): 569-576.
- (39) Simpson AT, Stear M, Groves JA, Piney M, Bradley SD, Stagg S, and Crook B. Occupational exposure to metalworking fluid mist and sump fluid contaminants. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2003; 47(1): 17-30.
- (40) Veillette M, Thorne PS, Gordon T, and Duchaine C. Six month tracking of microbial growth in a metalworking fluid after system cleaning and recharging. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2004; 48(6): 541-546.
- (41) Wang H, Reponen T, Lee SA, White E, and Grinshpun SA. Size distribution of airborne mist and endotoxin-containing particles in metalworking fluid environments. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2007; 4: 157-165.
- (42) Wang HX, Reponen T, Adhikari A, Willeke K, and Grinshpun SA. Effect of Fluid Type and Microbial Properties on the Aerosolization of Microorganisms from Metalworking Fluids. *Aerosol Science and Technology*. 2004; 38: 1139–1148.
- (43) Chang SC, Rihana A, Bahrman S, Gruden CL, Khijniak AI, Skerlos SJ, and Adriaens P. Flow cytometric detection and quantification of mycobacteria in metalworking fluids. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2004; 54: 105-112.

- (44) Kreiss K, and Cox-Ganser J. Metalworking fluid-associated hypersensitivity pneumonitis: a workshop summary. *American Journal of Industrial Medicine*. 1997; 32: 423–432.
- (45) Moore JS, Christensen M, Wilson RW, Wallace RJ, Jr. Zhang Y, Nash DR, and Shelton B. Mycobacterial contamination of metalworking fluids: involvement of a possible new taxon of rapidly growing mycobacteria. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 2000; 61: 205–213.
- (46) Bernstein DI, Lummus ZL, Santilli G, Siskosky J, and Bernstein, L. Machine operator's lung: a hypersensitivity pneumonitis disorder associated with exposure to metalworking fluid aerosols. *Chest*. 1995; 108: 636–641.
- (47) Watt WD. Observations on the relationship between triazines and Mycobacteria in metal removal fluids. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2003; 18: 961-965.
- (48) Abrams L, Seixas N, Robins T, Burge H, Muilenberg M, and Franzblau A. Characterization of metalworking fluid exposure indices for a study of acute respiratory effects. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2000; 15(6): 492-502.
- (49) Rosenman KD, Reille MJ, and Kalinowski D. Work-related asthma and respiratory symptoms among workers exposed to metalworking fluids. *American Journal of Industrial Medicine*. 1997; 32: 325–331.
- (50) Alomar A. Occupational skin from cutting fluids. *Dermatologic Clinics*. 1994; 12(3): 537-546.
- (51) Graves LA, Eisen EA, Smith TJ, Pothier LJ, Kriebel D, Woskie S, Kennedy SM, Shalat S, and Monson RR. Respiratory health of automobile workers exposed to metalworking fluids aerosols: respiratory symptoms. *American Journal of Industrial Medicine*. 1997; 32: 450–459.
- (52) Penes MC, Vallon JJ, Sabot JF, and Vallon C. GC/MS detection of paraffins in a case of lipoid pneumonia following occupational exposure

- to oil spray. *Journal of Analytical Toxicology*. 1990; 14:372-374.
- (53) Chan-Yeung M, and Malo JL. Occupational asthma. *The New England Journal of Medicine*. 1995; 333(2):107-112.
- (54) Mehta SK, Bell-Robinson DM, Groves TO, Stetzenbach LD, and Pierson DL. Evaluation of portable air samplers for monitoring airborne culturable bacteria. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 2000; 61(6): 850-854.
- (55) Lin X, Reponen TA, Willeke K, Grinshpun SA, Foarde KK, and Ensor DS. Long-term sampling of airborne bacteria and fungi into a non-evaporating liquid. *Atmospheric Environment*. 1999; 33: 4291-4298.
- (56) 林雅晴。衝擊器之生物氣膠採樣效率。國立台灣大學公共衛生學院環境衛生研究所，碩士論文。1998。
- (57) SKC. Biosampler operating instructions.
- (58) IOSH (行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所) 養豬場生物氣膠暴露危害研究(二)-細菌菌種分析與探討」，IOSH85-H302，1996。
- (59) VALIDATION LIST N° 57. *Int. J. Syst. Bacteriol*. 1996; 46: 625-626.
- (60) Washington W, Stephen A, William J, Elmer K, Gary P, Paul S, and Gail W. Koneman's color atlas and textbook of diagnostic microbiology, sixth edition. Lippincott Williams & Wilkins. 2006.
- (61) 蔡文城。實用臨床微生物診斷學，第六版。九州圖書文物有限公司，1991。
- (62) Sheehan MJ, and Hands D. Metalworking Fluid Mist—Strategies to Reduce Exposure: A Comparison of New and Old Transmission Case Transfer Lines. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2007; 4: 288–300.