

飲用水中 MTBE 及 THMs 對民眾之暴露量推估

*林佩雲、**陳靖玟、**洪旭文、***林財富、***王根樹

*大學生，**博士班學生***副教授

成功大學環境工程學系，台灣大學公共衛生學系

摘要

甲基第三丁基醚 (Methyl *tert*-butyl ether, MTBE) 為含氧汽油添加劑，目前已被證實是致癌性物質，美國環保署基於嗅覺和味覺考量，建議飲用水濃度不要超過 20-40 $\mu\text{g/L}$ 。而三鹵甲烷 (Trihalomethanes, THMs) 則是自來水處理之加氯消毒副產物，亦已被證實為人類致癌物，目前台灣的 THMs 法規值為 100 $\mu\text{g/L}$ 。傳統上，飲用水中法規之管制標準是以飲水途徑所造成之人體吸收量為考慮。然而，文獻顯示，MTBE 及 THMs 除飲水途徑外，亦有其他可能之重要暴露途徑，例如呼吸暴露及皮膚吸收。

因此，本研究特針對 MTBE 及 THMs 進行人體暴露量推估，包括呼吸暴露模式及皮膚吸收模式兩大類，推估人體對 MTBE、THMs 之呼吸及皮膚接觸暴露量後，並配合飲水途徑，計算出總暴露量。所得結果為 MTBE 在高濃度的總暴露量為 1280 $\mu\text{g/L}$ ；低濃度則為 63.6 $\mu\text{g/L}$ ；THMs 的總暴露量是沖澡時間而定，當沖澡時間 < 2.4 倍皮膚穿透時間 (t_{lag}) 時，北部為 51.3 $\mu\text{g/L}$ 、中部 58 $\mu\text{g/L}$ 、南部 75.6 $\mu\text{g/L}$ 及金門 132.1 $\mu\text{g/L}$ ；當沖澡時間 $t > 2.4t_{lag}$ 時，北部為 56 $\mu\text{g/L}$ 、中部 64.4 $\mu\text{g/L}$ 、南部 82.9 $\mu\text{g/L}$ 及金門 144.1 $\mu\text{g/L}$ 。MTBE 在最可能暴露量的結果顯示，飲水之暴露量為沖澡之 2 倍之多，皮膚則較不顯著。而 THMs 之呼吸暴露量，與飲水攝入量之推估值相差不多，皮膚亦較不顯著。

前言

河川、湖泊及地下水等，是台灣地區主要的自來水水源。由於近年來普遍受到家庭、工業、畜牧及農業廢水等影響，使得水源水質有逐漸惡化的現象，因此倍受相關單位及民眾所重視。隨著水質惡化的現象產生，各類污染物也相續地出現在水體中。自 1984 年開始，台灣地區要求降低汽油中含鉛量，並提高辛烷值，使汽油的完全燃燒度增加，最常使用的汽油添加劑為甲基第三丁基醚 (Methyl *tert*-Butyl Ether, MTBE)。MTBE 乃一種與石油具混合特性且不需分離的含氧汽油添加劑，其可增加辛烷值，及抗震爆效果，降低 CO 及 HC 的排放，減少空氣污染。此外，MTBE 便宜，易製成，適於轉換，石油可直接於現有管線混合，但卻是人類致癌物質，常見於淺層地下水中。Hartley 等人 (1999) 收集了一些關於 MTBE 之暴露分佈及來源，並配合其特性進行評估。發現 MTBE 在環境中是很穩定的，且可以很快的從淺含水層至深含水層中，在地下水中，因 MTBE 對好氧及厭氧所產生的衰減並不敏感，故可以穩定的存在。故當地下水被作為自來水的水源時，則 MTBE 即為重要之揮發性有機污染物。目前一般石油中，MTBE 的添加量約在 6~8%，以不超過 11% 為主。但由於 MTBE 的揮發性極高，可能會經由加油過程揮發至空氣中或因地下油槽洩漏至土壤，地下水再溢散至空氣中，產生極大的暴露量，對人體及環境產生不良之影響 [鄭福田, 1999]。

另外，飲用水中之揮發性有機物—三鹵甲烷 (Trihalomethanes, THMs)，是自來水廠加氯消毒程序所產生之消毒副產物[蔣氏, 1996]。THMs 已經被證實為人類致癌性之污染物，目前台灣地區與各先進國家已經對一些揮發性有機物及總三鹵甲烷進行管制工作，同時也積極訂定管制標準的修定策略，目前台灣之飲用水法規值為 100 $\mu\text{g/L}$ [行政院環保署, 1999]。傳統上，飲用水中之 THMs 管制標準是以飲水途徑所造成之人體吸收量為考慮。然而，飲用水中之 THMs 對人體之暴露途徑有飲用 (Ingestion)、呼吸暴露 (Inhalation) 及皮膚吸收 (Skin Absorption) 等三種 [Wallace, 1997]。在訂定 THMs 管制標準時，若能針對居民對揮發性有機物在不同暴露途徑之暴露量作進一步的了解，則可更有利於訂定更合理之管制標準。Lin and Hoang (2000) 曾針對南台灣地區居民對自來水中 THMs 之暴露量進行探討，研究中發現居民之 THMs 呼吸暴露量與經由飲水途徑中進入人體之 THMs 暴露量相近，顯示由呼吸所引起之呼吸暴露量應值得重視。文章中也發現在沖澡 (Shower Activity)、洗滌 (Pre and Post-cooking Activities) 及燒開水 (Cooking process) 三種呼吸暴露量中，沖澡之呼吸暴露量約佔總呼吸暴露量之 85%。Backer 等人 (2000) 則是針對沖澡 (Showering)、泡澡 (Bathing) 及飲水 (Drinking) 等三種不同暴露途徑，進行不同暴露時間下人體血液 THMs 濃度變化探討。該研究發現在三種不同暴露途徑下，沖澡完後 10 分鐘，人體血液 THMs 濃度最高，而在飲水 1 公升後之 10 分鐘濃度最低。其研究成果顯示，沖澡或是泡澡等活動所引起之 THMs 呼吸暴露量及皮膚吸收量是不可以忽略的。

綜合上述，本研究擬針對 MTBE 及 THMs，將沖澡 (Showering) 之呼吸暴露、皮膚吸收及飲水等途徑納入考慮，進行推估台灣地區居民對飲用水中之 MTBE 及 THMs 在此三種不同途徑之暴露量及其相對或然率高低，並比較之，以一步判定

不同途徑之重要性，以供相關單位後續修改/訂定法規管制標準或是風險評估時之重要參考。

MTBE 及 THMs 水質資料現況分析

由於 MTBE 缺乏台灣地區的本土資料，故本研究參考了外國相關文獻後，將 MTBE 之濃度假設為高濃度平均值(600 $\mu\text{g/L}$)、低濃度平均值為美國 EPA 的 MTBE 飲用水建議值(30 $\mu\text{g/L}$)，此處所指之飲用水建議值的範圍實為 20~40 $\mu\text{g/L}$ ，故以 30 $\mu\text{g/L}$ 為代表值。然後將此數據各取標準偏差 $\pm 50\%$ ，代入後續暴露量模式進行推估。而 THMs 所用之水質資料則取自台灣地區北、中、南部及金門部分淨水場的實驗採樣數據，來建立背景資料，相關數據圖形列於圖一至四。本研究假設 THMs 呈對數常態分佈，再求出其平均值及標準偏差，將其代入暴露量模式進行推估。依實驗數據所得，台灣北部、中部、南部及金門的 THMs 之平均值分別為 30.93 $\mu\text{g/L}$ ，30.25 $\mu\text{g/L}$ ，43.69 $\mu\text{g/L}$ 及 70.74 $\mu\text{g/L}$ ；標準差為 20.57 $\mu\text{g/L}$ ，30.24 $\mu\text{g/L}$ ，26.95 $\mu\text{g/L}$ 和 22.94 $\mu\text{g/L}$ 。

研究方法

暴露量模式介紹

在進行個人沖澡活動時，水中之揮發性有機物—甲基第三丁基醚(MTBE)及三鹵甲烷(THMs)，會從水裡釋放至浴室空氣中，使其在空氣中的濃度增加，再經由人呼吸及皮膚接觸而進入人體且存積於內，故本研究特針對自來水用戶的沖澡活動，進行推估 MTBE 及 THMs 此兩種有機物因逸散揮發，所造成的空氣濃度增加值，並與潮氣量、呼吸頻率及時間配合，求得呼吸暴露量。以下為相關模式介紹：

(1) 沖澡模式

以 Little (1992) 的雙層理論 (Two

Resistance Theory) 為基礎，假設沖澡蓮蓬頭水為柱塞流 (Plug Flow Reactor)，洗澡氣相為完全混合反應槽，如此配合質量傳輸與化學平衡方程式，推導洗澡時飲用水中之 MTBE 及 THMs 與浴室內空氣接觸，而揮發逸散至空氣中之量。

水之質傳平衡:

$$C_{out} = C_{in} (e^{-N}) + (y_s/m)(1-e^{-N}) \text{ ---- (1)}$$

空氣之質傳平衡:

$$(dC_s / dt) V_s = Q_L (C_{in} - C_{out}) - Q_g (C_s - C_{sin}) \text{ ---- (2)}$$

(1)代入(2)積分後得

式中，

$$C_s = (a/b) + [C_{si} - (a/b)] e^{-bt}$$

式中：

$$a = [Q_L C_{in} (1-e^{-N}) + Q_g (C_s - C_{sin})] / V_s$$

$$b = [(Q_L / m) (1-e^{-N}) + Q_g] / V_s$$

$$N = K_{OL} A / Q_L$$

參數：

C_s = THMs 之濃度，mg/L

V_s = 淋浴體積， m^3

Q_L = 洗澡水流量，L/min

Q_g = 空氣流量，L/min

C_{in} = THMs 的初始濃度值，mg/L

C_{out} = 自來水中 THMs 的最後濃度值，mg/L

C_{sin} = 空氣進入淋浴時所持有之 THMs 濃度，mg/L，當 $t=0$ 時， $C_{sin}=0$

t = 淋浴時間

$K_{OL} A$ = 質量傳送係數， m^3/min

沖澡的呼吸暴露量推估，則利用下式：

$$E_{THM} = \int C_s V_t f_B dt$$

式中，

V_t = 呼吸體積 ($m^3/time$)

f_B = 呼吸頻率 (times/min)

(2) 皮膚吸收模式

以 Khanal (1999) 發展的皮膚吸收模式為基礎，假設皮膚外層是由緊密的脂肪蛋白質組織所構成，污染物可藉由濃度梯度差，貫穿入皮膚內部，以推估污染物經

滲透進入皮膚之 THMs 濃度。

該模式在不同暴露時間之皮膚吸收速率可表示為：

$$M_{in} = AC_w (P_{sc} K_{sc/w} L_{sc} t_{exp} / \pi)^{1/2}$$

當 $t_{exp} \leq 2.4 t_{lag,sc}$

$$M_{in} = AC_w [P_{sc} t_{exp} + (K_{sc/w} L_{sc} / 3)]$$

當 $t_{exp} > 2.4 t_{lag,sc}$

式中，

$t_{lag} = L_{sc}^2 / 6D_{sc}$ 為污染物擴散穿透皮膚之特性時間

$$P_{sc} = K_{sc/w} D_{sc} / L_{sc}$$

$$\log P_{sc} = -2.74 + 0.71 \cdot \log K_{o/w} - 0.0061 \cdot MW$$

$$\log K_{sc/w} = 0.74 \log K_{o/w}$$

參數：

L_{sc} = 皮膚表層厚度

D_{sc} = 有效擴散係數

P_{sc} = 滲透係數

$K_{sc/w}$ = 平衡分配係數

$K_{o/w}$ = 辛醇分配係數

MW = 分子量

其中， P_{sc} 和 $K_{sc/w}$ 則可以藉由辛醇分配係數和分子量求得。

(3) 飲用水攝入量

飲用水攝入量可由人體每日所攝取之飲用水量，乘以飲用水中 THMs 的濃度後積分而得。如下式：

$$Ing = \int 2 \times C_{Ing} dt$$

式中，

C_{Ing} = 飲用水中 THMs 的濃度，mg/L

2 = 人體每日所攝取之飲用水量，L/day

暴露量推估

(1) 模式參數值調查

本研究所使用之模式輸入參數列於表一。所使用之參數乃參考相關文獻後所得。所用之參數皆以本國內的研究數據為準，部分缺乏的數據始使用外國相關研究數據所得。

MTBE 在呼吸模式的亨利常數乃利用 Robbins (1993) 所導之方程式所得，即 $H = \exp (A - B/T)$

而呼吸模式所用之 THMs 亨利常數，乃使用文獻 (Khanal, 1999) 所實驗得之結果，求出亨利常數 (m) 與溫度(T) 之關係式，再代入該模式，求得空氣中的 THMs 濃度。

亨利常數(m)與溫度(T)之關係式：

$$m = k (1/T) \times 10^{-J(1/T)}$$

(2) 暴露量推估

暴露量乃利用上述之各模式，配合適當的參數輸入，在 @RISK 軟體 (Risk Analysis and Simulation, Palisade Corporation, U.S.A.) 執行推估。該軟體為只需輸入模式之數值或其分佈型態，結合不同模式之數值運算，即可求得居民對三鹵甲烷可能暴露量及其或然率高低，亦可將此相關資料繪成圖表列出。研究所使用之用戶自來水中的 MTBE 及 THMs 是採用對數常態分佈，其餘如浴室時間、沖澡水溫度、沖澡時間、沖澡水流量、質傳係數、空氣交換率及每日飲水量等，則使用均勻分佈。將這些數據代入各相關模式後，分別模擬 400 次，而得可能之暴露量。本研究亦曾用 800 次及 1200 次的模擬次數進行推估，所得結果與 400 次的推估值相差皆在 3% 以內，故選擇 400 次之推估值，作為此次數據依據。

結果與討論

MTBE 暴露量推估結果

由暴露量推估結果顯示，MTBE 對人體之暴露量最主要來源為飲水和呼吸這兩種途徑，而皮膚接觸暴露量對人體所造成的影響則不太顯著。MTBE 的暴露量推估之數值由表二所示，高濃度的總暴露量為 1280 μ g、低濃度時則為 63.6 μ g。另外，由表三所示，在最可能暴露量中，飲水的暴露量為沖澡之 2-3 倍之多，故可知飲水對人體暴露量之重要性更為顯著。在 Johnson (2002) 報告中指出，人體對 MTBE 之暴露量主要是來自於呼吸途徑，接著是飲水和皮膚接觸，而每公斤每天的總暴露量為

6.8*10⁻⁴mg/kg-d，皮膚暴露量的強度遠小於呼吸及飲水途徑，且進入人體中的 MTBE 約有 50% 會繼續殘留在體內，其餘的 50% 則會自行排出體外，而停留在人體中的 MTBE 經由呼吸途徑殘留在體內的約為飲水途徑的 2.4 倍。Johnson (2002) 並飲用其他研究報告指出，呼吸暴露量依所攝取水源污染程度不同，為飲水暴露量之 45~110% 之間，在高濃度水源中，攝入之 MTBE 量為呼吸暴露量的兩倍。

THMs 暴露量推估結果

一般考慮人體對 THMs 的暴露量時，多僅以飲水途徑作為依據。但已有文獻顯示，THMs 的暴露量並不僅於此，故本研究特針對 THMs 經飲水途徑、沖澡活動之呼吸及皮膚接觸三種途徑，推估其暴露量，所得的平均值及最可能暴露量結果列於表五及表六。由此看出，經沖澡所引起的呼吸暴露量，與飲水攝入量之推估值相差不多，北、中部約 31 μ g 至 35 μ g 之間，南部約 46 μ g 至 50 μ g 之間，金門則在 73 μ g 至 80 μ g 之間。皮膚接觸量則較小，當沖澡時間小於 t_{lag} (污染物擴散穿透皮膚之特性時間) 時，北、中部約在 3 μ g，南部為 4 μ g，金門為 6 μ g。而且若泡澡時間大於 0.9 小時 (相當於污染物穿透皮膚時間)，則 THMs 之暴露量亦持大幅度上升。當沖澡時間大於 t_{lag} 時，北、中部約在 9 μ g，南部為 13 μ g，金門為 22 μ g。綜合比較三種暴露途徑，可明顯看出呼吸暴露為三鹵甲烷進入人體之重要途徑，因此訂定法規時，應予以考慮之，不可忽視。將本研究 THMs 的暴露結果，與 Lin and Hoang (2000) 所收集的 1995 至 1998 之相關水質參數，所獲得之南台灣地區居民飲用水中之 THMs 呼吸暴露量 26.4 μ g，進行比較，得知經過幾年後，台灣地區三鹵甲烷的暴露量，仍有相近的數值。

另外，就地區而言，台灣北部及中部的暴露量推估平均值及最可能暴露量甚為接近，南部次之 (約為北部及中部之 0.5

倍)，金門則偏高(為北、中部之 1.5 倍)，此乃因暴露量與三鹵甲烷的濃度是成正比關係，故南部與金門所得之推估值亦相對地高。然此值得討論的是，由於台灣地區的淨水場清水池樣品中，氯仿大多超過總三鹵甲烷的 70%，故為簡化計算，所用之質量傳送相關參數乃以氯仿為代表，將其相關參數代入模式，進行模擬推估。然此做法並不適用於推估金門的暴露量，因金門的三鹵甲烷濃度偏高的因素，是由於自來水中溴離子的濃度過高，造成溴仿濃度增加，導致三鹵甲烷總量隨著增加，故不適用氯仿取代之。

結論與建議

本研究探討台灣地區居民用戶對水中 MTBE 及 THMs 的暴露量評估。MTBE 在最可能暴露量的結果顯示，飲水之暴露量為沖澡之 2 倍之多，故在訂定法規時，應更重視由飲水攝入進入人體中之 MTBE 暴露量。另，THMs 的暴露量推估結果顯示除飲水外，呼吸也為重要暴露途徑，因此訂定法規時，不應忽略呼吸的暴露量。由於本研究有許多本土參數均缺乏，因此採用外國典型數據取代之。為使往後的模式推估值更趨完善，應繼續調查本土數據，以利後續發展。

參考文獻

1. Lindstrom, A.B. and Pleil, J.D. "Alveolar breath sampling and analysis to assess exposures to Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE) during motor vehicle refueling", *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol.46, no.7, P676-P682, (1996).
2. Backer, L.C., Ashley, D.L., Bonin, M.A., Cardinali, F.L., Kieszak, S.M., and J.V. Wooten., "Household exposures to drinking water disinfection by-products: whole blood trihalomethane levels", *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, Vol. 10, pp. 321-326 (2000).
3. Stern, B.R. and Tardiff, R.G. "Risk Characterization of Methyl tertiary Butyl Ether(MTBE) in tap water" *Risk Analysis*, Vol. 17, No. 6, P727-744, (1997).
4. Hsu, C.H. W.L. Jeng, W.L., Chang, R.M., Chien, L.C. and Han, B.C. "Estimation of Potential Lifetime Cancer Risks for Trihalomethanes from Consuming Chlorinated Drinking Water in Taiwan", *Environmental Research Section A*, vol. 85, pp. 77-82 (2001).
5. Johanson, G. Nihlen, A., and Lof, A. "Toxicokinetics and acute effects of MTBE and ETBE in male volunteers" *Toxicology Letters* 82/83, p713~718 (1995).
6. Kuo, H.W., Chiang, T.F., Lo, I.I., Lai, J.S. Chan, C.C. and Wang, J.D. "Estimates of cancer risk from chloroform exposure during showering in Taiwan", *The Science of the Total Environment*, vol. 218, pp. 1-7 (1998).
7. Khanal, R., *Chemical Contaminants in Drinking Water: An Integrated Exposure Analysis*, Master thesis, Virginia Tech., (1999).
8. Lin, T.F., and S.W. Hoang, "Inhalation Exposure to THMs from Drinking Water in South Taiwan", *The Science of the Total Environment*, Vol.246, pp. 41-49 (2000).
9. Little, J.C., "Applying the Two-Resistance Theory to Contaminant Volatilization in Showers", *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 26, pp. 1341-1349 (1992).
10. Backer, L.C., Ashley, D.L., Bonin, M.A., Cardinali, F.L., Kieszak, S.M., and Wooten, J.V. "Household exposures to drinking water disinfection by-products: whole blood trihalomethane levels", *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, Vol.10.4, P321-P326 (2000).
11. Lyman, W.J., Reehl, W.F. and Rosenblatt, C.H. *Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Chemicals*.

- American Chemical Society, Washington, DC, (1990).
12. Anderson, M.A. "Removal of MTBE and other organic contaminants from water by sorption to high Silica Zeolites", *Environ. Sci. Technol.*, 34, 725-727 (2000).
 13. Johnson, M.A. "Exposure of humans to MTBE from drinking water", John Muir Institute of the Environment University of California, Davis, CA (2002)
 14. Squillace, P.J., Pankow, J.E., Korte, N.E. and Zogorski, J.S. "Review of the environmental behavior and fate of methyl tert-butyl ether" *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol.16, No.9, pp.1836-1844 (1997).
 15. Wallace, L.A., "Human Exposure and Body Burden for Chloroform and other Trihalomethanes", *Critical Reviews in Environment Science and Technology*, Vol., 27(2) pp. 113-194 (1997).
 16. WHO, "Guidelines for Drinking-Water Quality", second edition, *Health Criteria and Other Supporting Information*, vol. 2 (1996).
 17. Hartley, W.R., Englande, A. J., Jr. and Harrington, D. J. "Health risk assessment of groundwater contaminated with Methyl Tertiary Butyl Ether(MTBE)" *Wat. Sci. Tech.* Vol.39, No.10-11, pp.305-310, (1999).
 18. 洪旭文,「台灣地區居民對飲用水中揮發性有機物之呼吸暴露量推估」,大專學生參與專題研究計劃成果報告, NSC87-2815-C-006-031-E, (1998)。
 19. 蔣本基等,「飲用水中消毒副產物調查及處理技術之評估」, EPA-85-E3J1-09-01, 國立台灣大學環境工程研究所 (1996)。
 20. 行政院環保署,「飲用水管理條例暨相關子法彙編」,行政院環保署環境衛生及毒物管理管處,台北 (1999)。

表二：MTBE 平均暴露量及其標準偏差

高濃度	呼吸	飲水	皮膚接觸 ($t > 2.4t_{lag}$)	皮膚接觸($t < 2.4t_{lag}$)	總暴露量
平均值(μg)	583.87	693.321	0.053	0.019	1280
標準差(μg)	469.701	224.270	0.013	0.006	
低濃度	呼吸	飲水	皮膚接觸 ($t > 2.4t_{lag}$)	皮膚接觸($t < 2.4t_{lag}$)	總暴露量
平均值(μg)	29.1	34.445	0.003	0.001	63.6
標準差(μg)	23.769	10.380	0.001	0.0002	

表三：MTBE 最可能暴露量及其相對機率

高濃度	呼吸	飲水	皮膚接觸($t > 2.4t_{lag}$)	皮膚接觸($t < 2.4t_{lag}$)
暴露量(μg)	301.2	649	0.05	0.016
最可能暴露機率(%)	0.223	0.1264	0.1528	0.1272
高濃度	呼吸	飲水	皮膚接觸($t > 2.4t_{lag}$)	皮膚接觸($t < 2.4t_{lag}$)
暴露量(μg)	16.63	28.93	0.0024	0.0008
最可能暴露機率(%)	0.217	0.1528	0.1539	0.1234

表一：模式輸入參數彙整表

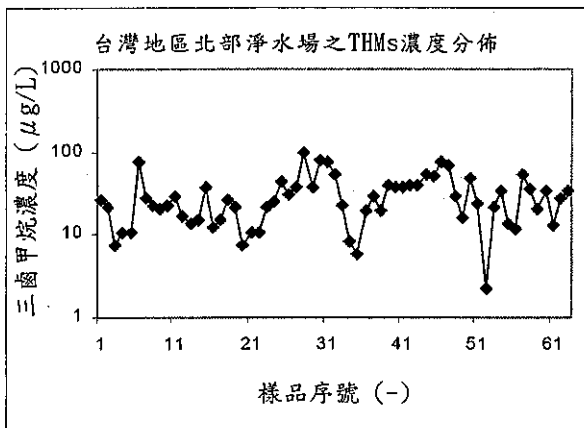
輸入參數	範圍	參考資料來源
呼吸暴露模式參數		
呼吸頻率 (L/min)	7.5	Champell (1993)
浴室大小 (m ³)	3-15	House and Urban Development Bureau (1985)
水溫 (°C)	33-42	Little (1992)
水流量 (m ³ /min)	0.0063-0.032	Lee et al. (1993)
空氣交換率 (h ⁻¹)	1.0-3.0	McKone (1987)
淋浴時間 (min)	5-20	McKone (1987)
質量傳送係數 (m ³ /min)	0.0038-0.019	Little (1992)
皮膚吸收模式參數		
淋浴時間 (min)	5-20	McKone (1987)
皮膚表面積 (cm ²)	18,000	Khanal (1999)
皮膚厚度 (μm)	16	Khanal (1999)
辛醇分配係數之對數值 (-) _{MTBE}	1.20	Lyman (1990)
辛醇分配係數之對數值 (-) _{THM}	1.97	WHO (1996)
MTBE 分子量 (-)	88.15	
氯仿分子量 (-)	120	
飲水模式參數		
每日飲水量 (L/day)	0.8-1.5	Lin (1996)

表五：THMs 暴露量之平均值及其標準偏差

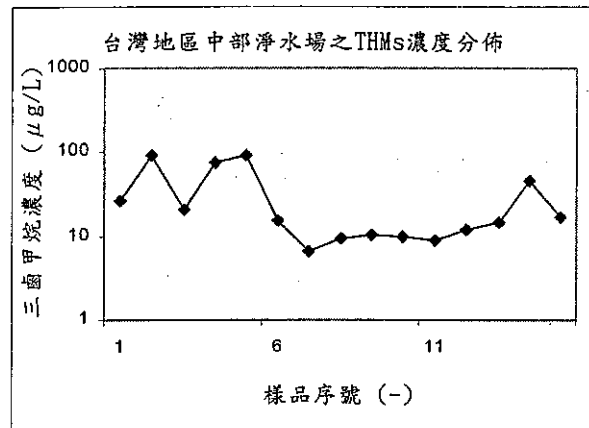
呼吸暴露量 μg/shower	台北	台中	台南	金門	法規
平均值	31.645	30.795	45.659	73.430	107.412
標準差	35.761	43.108	49.522	71.703	91.930
皮膚接觸暴露量 (μg) < 2.4t _{lag}					
平均值	2.774	2.775	3.931	6.353	8.981
標準差	1.997	3.142	2.571	2.440	1.662
皮膚接觸暴露量 (μg) > 2.4t _{lag}					
平均值	9.487	9.373	13.486	21.721	30.717
標準差	6.287	9.841	8.758	7.100	1.373
飲水攝入量 (μg/day)					
平均值	35.493	34.470	50.440	80.777	114.982
標準差	24.287	32.355	33.278	28.619	20.253
三鹵甲烷總量 (μg)					
平均值 [M _{in} < 2.4t _{lag}]	69.912	68.04	100.03	160.56	231.375
平均值 [M _{in} > 2.4t _{lag}]	76.624	74.638	109.585	175.929	253.111

表六：THMs 最可能暴露量及其相對機率

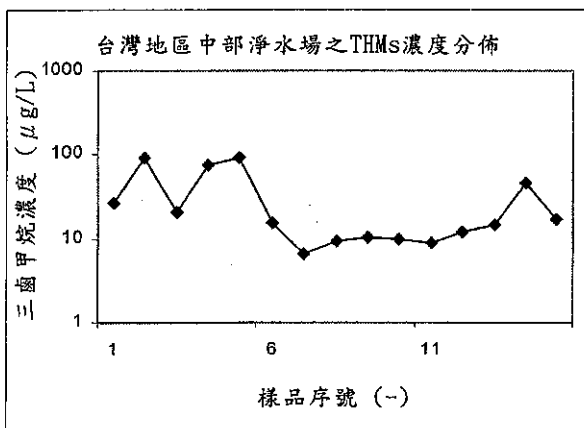
呼吸曝露量	台北	台中	台南	金門	法規
曝露量 (μg)	23.98	30.91	39.92	57.09	4.672
最可能暴露機率 (%)	23.009	21.974	22.847	28.968	16.501
皮膚接觸 $t < 2.4t_{lag}$					
曝露量 (μg)	1.799	3.079	2.633	7.5	10.115
最可能暴露機率 (%)	31.296	26.987	23.751	61.625	8.054
皮膚接觸 $t > 2.4t_{lag}$					
曝露量 (μg)	6.479	9.49	10	19.5	31.022
最可能暴露機率 (%)	25.500	29.516	31.257	29.716	10.510
飲水攝入量					
曝露量 (μg)	25.5	24	33	67.5	111.567
最可能暴露機率 (%)	38.784	31.913	29.405	23.529	7.029
三鹵甲烷總量					
曝露量 (μg) $t < 2.4t_{lag}$	51.279	57.989	75.553	132.09	126.354
曝露量 (μg) $t > 2.4t_{lag}$	55.959	64.4	82.92	144.09	147.261



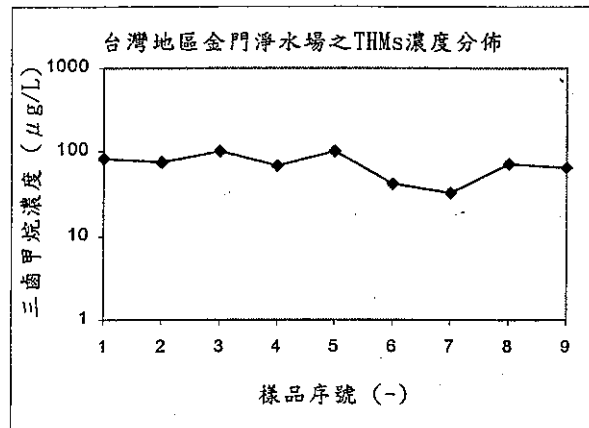
圖一：THMs 淨水場濃度分佈圖(北部)



圖二：THMs 淨水場濃度分佈圖(中部)



圖三：THMs 淨水場濃度分佈圖(南部)



圖四：THMs 淨水場濃度分佈圖(金門)