火災後所殘留的物質對現場人員造成的危害研究與預防

職安2A 陳郁欣、職安2A廖芸岑

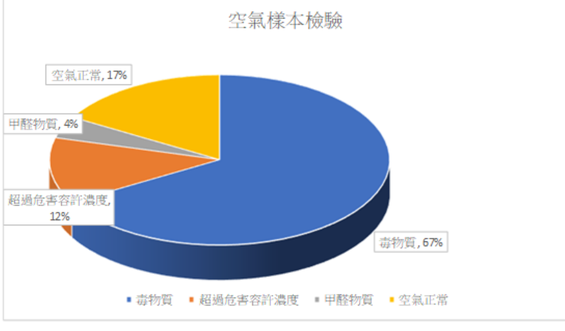
指導老師 邱惠琪

研究動機

根據美國疾病管制與預防中心在 2015 年發表的一項研究，消防人員罹患癌症的風險較一般大眾提高了 9%，因癌症而喪生的風險更是提高了 14% 。該研究包含了將近 30,000 名在 1950 年至 2009 年間於芝加哥、費城以及舊金山，實際參與第一線火場工作消防人員的資料，發現主要的癌症與消化道、呼吸系統和泌尿系統相關，公衛學家仍然需要更多時間和證據來釐清這樣的因果關係，IARC 的工作小組將消防工作歸類可能致癌，但是證據有限 ，但消防員在工作的過程中確實會接觸到燃燒產生的煙霧、和氣體，藉由了解火災現場和偵測有害氣體進行成份來源彙整，深入的了解其毒害物對第一線的人員健康的影響。

毒害物質背景研究

初步了解有害物質產生的方式和總類。2011年鳳凰城消防局火災調查人員，利用CO、HCN、H_2S、O_2的氣體偵測器，來對火災後的現場進行空氣樣本進行檢驗，檢測出如下統計圖顯示毒物佔67%而甲醛有4%和超過危害容許濃度12%物質[1]。



A.火災現場可能產生毒害物質種類

火災燃燒會造成完全燃燒及不完全燃燒的物品會產生大量濃煙，而當可燃物經高溫的濃煙，就會形成有毒氣體，以及大量的焦油和污垢及懸浮微粒、 粉塵、纖維、玻璃纖維（Fiber Reinforced Plastic， FRP）、有毒物質等。 這些物質可能會在火災後殘留在空氣、地面和建築物表面，對人體健康產生危害，而殘留長達數十個小時、數十天。火災現場毒害物質種類及來源如表1和表2，以下就常見的有毒生成物分別說明：

- 灰塵和微粒：

火災產生的灰塵和微粒中可能含有有害物質，例如石棉、PM 2.5等，其中最嚴重的是 PM 2.5，因為直徑小於或等於 2.5 μm（微米）的顆粒物質，當燃燒源形成直接排放到大氣中，形成的化學物質，而這些物質可能會對人體呼吸系統和健康造成嚴重危害。

- 煙霧：

固體顆粒物質、液態物質和各種氣態物質的混合物質，是燃燒過程的副產物。煙霧可能含有許多不同的化學物質，例如一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、硫氧化物等。

表1 火災現場可能產生毒害物質列表

火災現場可能產生的有毒物質及揮發氣體
CO（Carbon Monoxide）一氧化碳
CO_2（Carbon Dioxide）二氧化碳
HCN（Hydrogen Cyanide）氰化氫
HCl（Hydrogen Chloride）
HBr（Hydrogen Bromide）溴化氫
HF（Hydrogen Fluoride）氟化氫
Nitrous Gases 亞硝氣體
CCl_2O（Phosgene）光氣
H_2S（Hydrogen Sulfide）硫化氫
SO_2（Sulfur Dioxide）二氧化硫
C_3H_4O（Acrolein）丙烯醛
C3H3N（Acrylonitrile）丙烯腈
NH_3（Ammonia）氨
HCHO（Formaldehyde）甲醛
$OHC(CH_2)_3CHO$（Glutaraldehyde）戊二醛
C_2H_4O（Acetaldehyde）乙醛
C_7H_6O（Benzaldehyde）苯甲醛
C_6H_6（Benzene）苯
C_7H_8O苯酚
$C_6H_5C_2H_5$ Ethyl Benzene乙苯
CH(CH)Xylene二甲苯
Various PAHs (polynuclear aromatic hydrocarbons)多環芳香烴類
NO2（Nitrogen Dioxide）二氧化氮
C7H8（Toluene）甲苯
HCOOH（Formic acid）甲酸
CH3COOH（Acetic acid）乙酸
Asbestos 石棉
Cd、Cr、Pb等金屬粉塵
C4H4O2 Dioxins戴奧辛

表2 火災現場毒害物質生成來源

火場中的有毒氣體或蒸氣	來源
CO、CO_2	所有有機物質
HCN、NO、NO_2、NH_3	棉、絲、含氮塑膠、人造纖維、尼龍等
HC、HF、HBr	PVC、fluorinated plastics含氟塑膠、fluorocarbon sealants碳氟化合物（冷凍劑、防水劑）、氟烷塑料
SO_2二氧化硫	橡膠、polysulfide sealants聚硫密封劑、含硫塑料
C_6H_6O苯酚	苯酚樹脂phenolic resins
HCHO甲醛	acetal resin縮醛樹脂
HCOOH（Formic acid）甲酸 CH3COOH（Acetic acid）乙酸 C_8H_4O酞酐、多環芳香烴類	纖維素塑料、人造纖維 木材、紙類
Aldehydes醛類	聚酯塑膠、乾洗劑、蔬菜、介面活性劑、木材、尼龍、聚酯樹脂塗料
C_2H_4	聚苯乙烯PS（電視、收音機外殼、電線管、電器零件絕緣體等）、PVC、聚酯樹脂塗料
Dioxins戴奧辛	噴漆、橡膠

B. 依據現場場域彙整可能產生的有害物質

1.一般住宅:在以前的建築物中都有毒性化學物質，最嚴重的是受到燃燒後的石綿暴露於空氣中，而石綿是致癌物質，加上還會產生有毒氣體及蒸氣或懸浮微粒粉;隨著生活型態和家具裝潢使用高分子材質影響下，火災現場因合成高分子材料在燃燒中伴有熱裂解產生含刺激性的毒性氣體，如氯化氫（HCl）、光氣（$COCl_2$）、氰化氫（HCN）及氧化氮（NO_X)。

2. 學校實驗室、化學工廠：化學物質有毒性、強酸、強鹼、腐蝕性化學物質;當火災時，因為有毒、刺激性的發揮氣體及燃燒交互作用生成物在空氣中，造成人體接觸或吸入對健康有較大的危害，容易造成肺部、皮膚、眼、黏膜受傷和致癌的風險。

3. 科技、半導體廠房

- 蝕刻及清洗:混和液、酸鹼溶液(ex:氨)
- 黃光區:光阻液清洗、濕像液清除、蝕刻液清除、晶圓清洗的有機溶劑(ex:苯)
- 工業設施排放:二氧化硫→硫酸鹽、有機氣體→碳
- 其他設施燃燒源排放:氮氧化物→硝酸鹽

4.農舍倉庫:內存放農藥，火災發生時，化學毒害容易對搶救人員或災後調查人員造成危害。

火災救災與調查人員應有的防護裝備：

救災人員通常會穿戴SCBA 進行搶救，但火災調查人員不太可能穿戴SCBA 進行火災調查工作， 但若無完整個人防護裝備，在燃燒過後的火場仍 可能殘留多種毒害物質的情況下，火災調查人員 的健康將遭受危害。各國文獻中最早提到火災調 查人員健康危害的是美國國家職業安全衛生研 究所（National Institute for Occupational Safety and Health，NOISH），於1996-97 年時火災燃燒測試 （Fires & test burns），文中提到火災調查人員曝 露於火場中的刺激性毒害物質，可能引發急性的 健康危害及慢性的致癌危害，然而使用呼吸防護 裝備可有效減少這些潛在毒物曝露程度。英國及 美國消防單位火災調查作業規定皆有規範，火災 調查人員於火場勘查時需穿戴完整防護裝備，如 NFPA921 規範火災調查人員應有的防護裝備包括 口罩、手套、護目鏡、消防鞋、工作安全帽、濾 毒罐、防護衣等，火災調查人員需依現場環境來 選擇適合的個人防護裝備（PPE)。

除上述個人防護外，如災後現場恢復人員能增加氣體偵測器:能預防看不見揮發的有毒(固體)氣體(顆粒)減少火場毒害措施等以下步驟也能對於保護更加保障。

- 打開建築物的窗戶或屋內的對外開口
- 自然排煙排出屋外
- 機械排煙以正壓排煙方式排出屋外
- 密閉空間建議開啟空氣清淨機過濾空氣
- 使用吸塵器清理大部分的煙塵

參考資料

賴麒文(2015)大量粉塵、有毒氣體火災調查人員健康危害及防護裝備探討，消防月刊6月號