โดย... รวีณา วิทูรปกรณ์
รองผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อเคมีและฝ่ายขายต่างประเทศ
บริษัท แอร์โรเฟลกซ์ จำกัด

อันตรายจากสารพิษในเหตุไฟไหม้*

ในการศึกษาเรื่องความเสียหายและอันตรายจากอัคคีภัย หนึ่งในหัวข้อสำคัญที่มักกล่าวถึงอยู่เสมอคือเรื่องของสารพิษที่เกิดขึ้นในขณะเกิดเพลิงไหม้ ในบทความนี้จะขอกล่าวถึงสารพิษหลักๆที่มักพบและเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตเป็นลำดับต้นๆ

เป็นที่ทราบกันดีว่า สาเหตุของการเสียชีวิตในขณะเกิดเหตุเพลิงไหม้นั้นส่วนใหญ่จะเกิดจากการสำลักควัน เพราะควันสามารถกระจายตัวได้เร็วมาก โดยภายในเวลาเพียงหนึ่งวินาที มันสามารถลอยสูงได้ถึง 3 เมตร ดังนั้นใน 1 นาที ควันสามารถลอยสูงขึ้นได้ถึง 180 เมตร เทียบเท่ากับตึกสูงประมาณ 60 ชั้น ดังนั้นหากเกิดไฟไหม้ควันไฟจะลอยเข้ามาปกคลุมรอบๆตัวอย่างรวดเร็วและไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ผู้คนเริ่มให้ความสำคัญของการศึกษาเรื่องควันและสารพิษที่เกิดจากการเผาไหม้มากขึ้น โดยพิษดังกล่าวอาจให้ผลเฉียบพลัน หรือสะสมและให้ผลในระยะยาว โดยทั่วไปความรุนแรงของอันตรายที่เกิดจากความเป็นสารพิษของสารเคมีจะขึ้นอยู่กับปริมาณ ระยะเวลาสัมผัส และความเป็นพิษที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสารเคมีนั้น ๆ รวมถึงช่องทางในการได้รับสารพิษเช่นทางผิวหนัง จมูก และปาก

ในบทความนี้ เราจะแบ่งเป็นหัวข้อใหญ่ๆดังนี้

1. ชนิดและผลจากสารพิษที่ถูกปล่อยออกมาขณะเกิดไฟไหม้
2. การประเมินค่าความเป็นพิษของวัสดุต่างๆ

1. <u>ชนิดและผลจากสารพิษที่ถูกปล่อยออกมาขณะเกิดไฟไหม้</u>

ในมาตรฐาน ISO 13571 : 2007 จะพิจารณาว่ามี 4 ปัจจัยหลักที่ขัดขวางการหลบหนีออกจากกองเพลิง คือ ก๊าซพิษ, ก๊าซที่ทำให้เกิดการระคายเคือง, ควันไฟ และความร้อน

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่า การเสียชีวิตจากอัคคีภัยส่วนใหญ่จะเกิดจากการสูดเอาสารพิษเข้าไปมากเกินไป สารพิษจากการเผาไหม้นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1.1 <u>**สารพิษที่ทำให้หมดสติและเสียชีวิตจากการขาดอากาศหายใจ**</u> สารชนิดนี้จะขัดขวางไม่ให้ออกซิเจนเข้าไปเลี้ยงเซลล์ในร่างกาย ทำให้หมดสติ และเสียชีวิตในเวลาต่อมา ตัวอย่างที่สำคัญของก๊าซชนิดนี้คือ **ก๊าซไฮโดรเจน**

ไซยาไนด์ (Hydrogen Cyanide, HCN) ซึ่งพบได้มากในวัสดุกลุ่มโพลียูรีเทน และ **ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide ,CO)** ซึ่งพบได้ทั่วไปเมื่อมีออกซิเจนไม่เพียงพอขณะเผาไหม้ ทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์

1.1.1 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide ,CO)

เป็นก๊าซพื้นฐานที่จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของวัสดุทั่วๆไป เนื่องจากธาตุคาร์บอนเป็นธาตุ 1 ใน 6 ที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ ความน่ากลัวของก๊าซคอร์บอนมอนอกไซด์คือ เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส จึงยากที่จะทราบว่าในบรรยากาศขณะนั้นมีก๊าซนี้อยู่มากน้อยเพียงใดหากไม่ใช้เครื่องมือตรวจจับ จึงอาจเสียชีวิตได้โดยไม่รู้ตัว ดังที่เคยปรากฏเป็นข่าวว่ามีผู้เสียชีวิตจากการนอนในรถที่ติดเครื่องอยู่และมีการรั่วไหลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไปในตัวรถ

โดยปกติร่างกายจะได้รับออกซิเจนโดยออกซิเจนจะจับกับฮีโมโกลบินบนเม็ดเลือดแดง ฟอร์มตัวเป็น ออกซี่ฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin) เพื่อลำเลียงเอาออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย แต่เมื่อก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ร่างกาย มันจะตรงเข้าแย่งจับกับฮีโมโกลบินบนเม็ดเลือดแดง ฟอร์มตัวเป็นคาร์บอกซี่ฮีโมโกลบิน (Carboxyhemoglobin, COHb) ซึ่งมีความเสถียรมากกว่าออกซี่ฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin) ถึง 200 เท่า ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน เป็นผลให้กล้ามเนื้ออ่อนแรงและความสามารถในการคิดถดถอยลง

นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ยังชอบไปจับกับ ไมโอโกลบิน (Myoglobin) ในเซลล์กล้ามเนื้อทำให้การซึมผ่านของออกซิเจนลดลง โดยเฉพาะในกล้ามเนื้อหัวใจและกล้ามเนื้อโครงร่าง (Skeletal Muscles) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีการสะสมและใช้เวลาในการลดระดับการสะสม โดย 50% ของก๊าซจะหมดไปภายในชั่วโมงแรก แต่ที่เหลืออีก 50% อาจต้องใช้เวลาหลายวันกว่าจะสลายตัวหมด

ผลกระทบต่อร่างกายจะขึ้นกับความเข้มข้นของก๊าซในกระแสเลือด เช่น
ที่ 10 ppm ในระยะเวลาสั้นๆจะทำให้ความสามารถในการตัดสินใจและการมองเห็นลดลง
ที่ 250 ppm จะทำให้หมดสติ
ที่ 1000 ppm จะทำให้เสียชีวิตในทันที

ส่วนการรับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เจือจางในระยะยาวนั้น นักวิทยาศาสตร์สันนิษฐานว่าจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของระบบทางเดินหายใจ และหัวใจ

1.1.2 ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (Hydrogen Cyanide, HCN)

ถือเป็นก๊าซที่อันตรายมากกว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ถึง 25 เท่า เป็นก๊าซที่ไม่มีสี แต่มีกลิ่นเหมือนอัลมอนด์จางๆจนแทบไม่ได้กลิ่น จากการไฮโดรไลซิสฟอร์มตัวเป็นไซยาไนด์ไอออน (Cyanide ion) เมื่อเข้าไปในกระแสเลือด และยับยั้งการใช้ออกซิเจนในเซลล์ทั่วร่างกาย

ไฮโดรเจนไซยาไนด์จะทำให้หมดสติอย่างรวดเร็ว จึงทำให้หมดโอกาสในการหนีอย่างสิ้นเชิง จากการวิเคราะห์สาเหตุการเสียชีวิตจากเหตุเพลิงไหม้ในปัจจุบันพบว่ามีอัตราการเสียชีวิตจากไฮโดรเจนไซยาไนด์มากกว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สันนิษฐานว่าเกิดจากการใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบมากขึ้น เช่นวัสดุกลุ่มไนไตรล์ (Nitrile) และกลุ่มโพลียูรีเทน (Polyurethane, PU) ที่มักใช้ในกลุ่มเฟอร์นิเจอร์ เช่น ฟองน้ำที่บุในเบาะและ ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม

นอกจากนี้ก๊าซไซยาไนด์ก็เป็นก๊าซที่ติดไฟได้ง่ายมาก และทำปฏิกิริยาได้รุนแรง ก๊าซไซยาไนด์อาจจะระเบิดได้ เมื่อมีความเข้มข้นเกิน 5.6% ในอากาศ (เทียบเท่า56000 ppm)

1.2 **<u>สารที่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุต่างๆ</u>** เช่น เยื่อบุทางเดินหายใจ ทำให้หายใจไม่สะดวก, เยื่อบุนัยน์ตาทำให้แสบตา รวมๆแล้วคือทำให้ความสามารถการหลบหนีจากกองเพลิงลดลง และกรณีที่ร้ายแรงยิ่งขึ้นคือเมื่อสูดเอาก๊าซที่เป็นกรดเหล่านี้มากเกินไป จะทำให้เนื้อปอดเสียหาย หายใจไม่ออก น้ำท่วมปอดและเสียชีวิตได้ในที่สุด ตัวอย่างก๊าซเหล่านี้ก็เช่น ก๊าซกลุ่มฮาโลเจนเฮไลด์ (Hydrogen Halide) อย่างก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen Chloride, HCl), ไฮโดรเจนโบรไมด์ (Hydrogen Bromide, HBr) และ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (Nitrogen Fluoride, HF), ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen Dioxide, NO_2), และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur Dioxide, SO_2)เป็นต้น

1.2.1 ฮาโลเจนเฮไลด์ (Hydrogen Halides, HX)

ไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen Chloride, HCl) และไฮโดรเจนโบรไมด์ (Halogen Bromide, HBr) เป็นกรดรุนแรงที่แตกตัวได้เป็นอย่างดีในน้ำ ก๊าซที่เป็นกรดดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรงแม้ที่ความเข้มข้นต่ำที่ประมาณ 100 ppm แต่จะทำให้เสียชีวิตได้ต้องมีความเข้มข้นสูงขึ้นที่ 2600 ppm (ทดลองกับหนูเป็นเวลา 30 นาที)

มีเพียงรายงานฉบับหนึ่งรายงานว่ามนุษย์สามารถทน HCl ได้ที่ 10 ppm เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นเป็น 70 -100 ppm มนุษย์ต้องรีบหนีออกจากห้องเพราะเกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรง โดยมีอาการไอ และเจ็บหน้าอกร่วมด้วย รายงานดังกล่าวรายงานอีกว่ามนุษย์สามารถทน HCl ได้ 1 ชั่วโมงที่ความเข้มข้น 50 ppm และจะเป็นอันตรายมากเมื่อมีความเข้มข้น 1000 – 2000 ppm แม้ในระยะสั้นๆ ตารางด้านล่างนี้เป็นการสรุปเรื่องของผลของ HCl ที่มีต่อมนุษย์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ

ตาราง 1 ผลต่อมนุษย์ของปริมาณไฮโดรเจนคลอไรด์ในอากาศในระดับต่างๆกัน

Approximate Concentration (ppm)	Exposure Time	Effect
1-5		Limit of Detection by odor
>5	Unspecified	Immidiately irritating
>10	Occupational	Highly irritating, although workers develop some tolerance
10	Prolonged	Maximum tolerable
10 – 50	A few hours	Maximum tolerable
35	Short	Throat irritation
50 -100	1 hour	Maximum tolerable
1000 – 2000	Short	Dangerous

Source: National Research Council of the National Academies, Hydrogen Chloride: Acute exposure guideline level, Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals, Vol.4, The National Academies Press, Washington, DC, 2004, 79.

วัสดุที่เป็นรู้จักดีที่จะเกิดการเผาไหม้แล้วให้ก๊าซชนิดนี้ก็เช่น วัสดุโพลีไวนิลคลอไรด์ หรือพีวีซี (Polyvinylchloride, PVC), หนังเทียมที่ทำจากพลาสติไซส์โพลีไวนิลคลอไรด์ (Plasticized Polyvinylchloride) เป็นต้น

1.2.2 ออกไซด์ของไนโตรเจน (Nitogen Oxides)

ก๊าซไนตริกออกไซด์ (Nitric Oxide, NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen Dioxide, NO_2) ทั้งสองชนิดนี้เป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟ ซึ่งที่ความเข้มข้นสูงๆ ก๊าซไนตริกออกไซด์ จะออกซิไดซ์กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อย่างรวดเร็ว และก๊าซ NO_2 ก็สามารถละลายน้ำและกลายเป็นกรดไนตริก และกรดไนตรัสได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าที่ความเข้มข้นต่ำๆ กรดในตริกจะใช้ในการรักษาอาการที่เกี่ยวกับการหายใจ แต่ที่ความเข้มข้นสูงๆกรดเหล่านี้จะทำให้เกิดอาการน้ำท่วมปอดและทำให้เสียชีวิตได้ในที่สุด นอกจากนี้มันยังสามารถเข้าไปจับกับ Oxyhemoglobin และ Hemoglobin ทำให้ปริมาณออกซิเจนในเลือดต่ำลง สารพิษลุ่มนี้ก็มักพบในวัสดุที่มีไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบเช่นโพลียูรีเทน และไนไตรล์เป็นต้น

1.2.3 สารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดอาการระคายเคือง (Organoirritants)

สารอินทรีย์หมายถึงสารที่ประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งธาตุคาร์บอนเป็นธาตุพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต และเป็นธาตุหนึ่งในหกที่มีปริมาณเยอะที่สุดในธรรมชาติ เช่นเป็นส่วนประกอบของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และไม้ชนิดต่างๆ เป็นต้น สารอินทรีย์เหล่านี้ เมื่อถูกเผาไหม้ หรือถูกออกซิไดซ์ จะก่อให้เกิดสารหลากหลายประเภท บางประเภท ไม่ได้มีผลต่อไพรเมต แต่บางประเภทก่อให้เกิดความระคายเคือง เช่น

ตารางที่ 3 สารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองที่พบได้ทั่วไปขณะเกิดไฟไหม้

Substances	IDLH* value (ppm)
Acetaldehyde	2000
Acrolein	2
Benzene	500
Formaldehyde	20
Phenol	250

Source : Blomqvist, P. et al., Fire Matter., 31(8), 495, 2007.

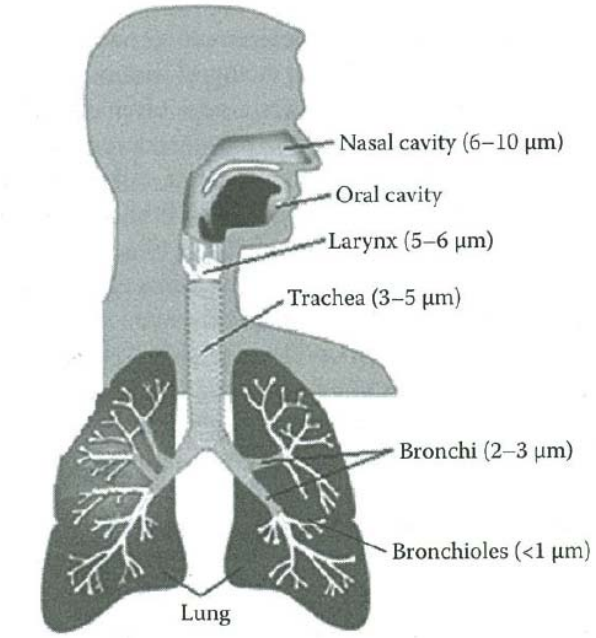
** IDLH = Immediately Dangerous to Health or Life*

1.2.4 ฝุ่น, เขม่าควัน และละอองต่างๆ (Particulates & Fumes)

สาเหตุการเสียชีวิตจากเหตุไฟไหม้ นอกเหนือไปจากการได้รับควันพิษ ซึ่งเป็นพิษโดยตรงแล้ว ยังอาจเกิดจากฝุ่นและเขม่าควันซึ่งขัดขวางการหายใจและมองเห็น ทำให้หนีไฟยากและเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ

ควันไฟที่เกิดจากอัคคีภัยมีส่วนผสมที่ซับซ้อนที่อาจประกอบด้วยก๊าซกว่า 200 ชนิด และส่วนที่เป็นละอองของเหลวและของแข็ง (เช่นเขม่า, น้ำมันดิน) โดยจะเข้าไปในปอดได้ลึกแค่ไหนจะขึ้นกับขนาดของฝุ่นและเขม่าที่สูดดมเข้าไป ดังแสดงใน รูปที่1

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของขนาดของฝุ่นละอองและความลึกที่สามารถเข้าไปในระบบทางเดินหายใจได้



นอกจากนี้ละอองน้ำมันยังสามารถทำให้เกล็ดเลือดข้นเหนียว เป็นเหตุให้เกิดภาวะหัวใจวาย และยังสามารถเป็นตัวพาเอาโมเลกุลที่เป็นพิษเข้าไปในปอดได้อีกด้วย

2. **<u>การประเมินค่าความเป็นพิษ</u>**

มีรายงานจำนวนมากกล่าวถึงการวัดระดับความเป็นพิษที่มีต่อมนุษย์ด้วยสัตว์ทดลองอย่าง หนู (rat & mouse) และไพรเมท (primate) เช่นลิง ดังแสดงในตารางที่ 2 ที่แสดงการเปรียบเทียบค่า **Lethal Concentration Fifty (LC_{50})** ซึ่งก็คือ ความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศที่คาดว่าจะทำให้สัตว์ทดลองที่สูดดมในระยะเวลาที่ระบุไว้ตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง (50%) ของจำนวนเริ่มต้น โดยในการทดลองนี้ใช้เวลาทั้งสิ้น 30 นาที

ตาราง 2 เปรียบเทียบค่า LC50* (เวลาทดลอง 30 นาที) ของสัตว์ทดลองภายใต้ก๊าซพิษชนิดต่างๆ

Chemical Agents	Mice	Rats	Primates
CO (ppm)	3500	5300-6600	2500-4000
HCN (ppm)	165	110-200	170-230
HCl (ppm)	2600	3800	5000
Low Oxygen (ppm)	607	705	6-7

Source: **Esposito, F.M. and Alarie, Y., J. Fire Sci., 6, 195, 1988**

แม้ว่าเราจะไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความเป็นพิษต่อสัตว์ดังกล่าวและต่อมนุษย์ เนื่องจากสัตว์แต่ละชนิดมีธรรมชาติที่แตกต่างกัน เช่นอัตราการหายใจและลักษณะทางชีวภาพ แต่การทดลองเหล่านี้ก็พอจะทำให้สามารถประมาณความเป็นพิษได้จากการคำนวณโดยใช้ค่า LC50 และค่าความเข้มข้นของก๊าซพิษแต่ละชนิด จากสมการ

$$FED = \left\{ \frac{[CO]}{LC_{50,CO}} + \frac{[HCN]}{LC_{50,HCN}} + \frac{[AGI]}{LC_{50,AGI}} + \frac{[OI]}{LC_{50,OI}} + \cdots \right\} \times V_{CO_2} + A + \frac{21-[O_2]}{21-5.4}$$

$$V_{CO_2} = 1 + \frac{\exp(0.14[CO_2]) - 1}{2}$$

และ

$$FEC = \frac{[HCl]}{IC_{50,HCl}} + \frac{[HBr]}{IC_{50,HBr}} + \frac{[HF]}{IC_{50,HF}} + \frac{[SO_2]}{IC_{50,SO_2}} + \frac{[NO_2]}{IC_{50,NO_2}} + \frac{[acrolein]}{IC_{50,acrolein}} + \frac{[formaldehyde]}{IC_{50,formaldehyde}} + \sum \frac{[irritant]}{IC_{50,irritant}}$$

เมื่อ..

[X] เป็นค่าความเข้มข้นที่วัดได้ของก๊าซนั้นๆ ในช่วงเวลาการทดสอบ หน่วยเป็น ppm

[AGI] = ความเข้มข้น Acid Gas Irritation

[OI] = ความเข้มข้น Organic Irritant

A = Acidosis factor equal to $[CO_2]$ x 0.05

IC_{50} = ค่าความเข้มข้นที่สามารถทำให้ครึ่งหนึ่งของประชากรหมดความสามารถในการหนี (เช่นสลบ หรือตาย)

FED (Fractional Effective Dose) ค่าที่ได้จะใช้ประเมินความเป็นพิษ โดยหากค่า FED = 1 จะเป็นค่าที่เป็นอันตรายถึงชีวิต

FEC (Fractional Effective Concentration) ใช้หลักการเดียวกันกับการหาค่า FED แต่ใช้วัดเฉพาะก๊าซที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง เช่น HCl, HBr, NO_x เป็นต้น

หากค่า FED > FEC แสดงว่าควันพิษจากวัสดุนี้จะมีแนวโน้มทำให้เสียชีวิตจากพิษโดยตรง

FED < FEC แสดงว่าควันพิษจากวัสดุนี้จะมีแนวโน้มทำให้เสียชีวิตจากการสูญเสียความสามารถในการหลบหนีออกจากที่เกิดเหตุ

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของก๊าซแต่ละชนิดที่ทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตจากการสูดดม (ISO 13344)

Chemical Agents	Concentration giving FED = 1 ISO 13344 (ppm)
CO (ppm)	5700
HCN (ppm)	165
HCl (ppm)	3800
NO_2 (ppm)	170

ในอาคารต่างๆย่อมประกอบไปด้วยวัสดุต่างชนิดจำนวนมากมาย แต่สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ควรคำนึงถึงคือระบบปรับอากาศ โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศส่วนกลางที่มีท่อส่งลมกระจายติดต่อกันไปทั่วทุกจุดในอาคาร ท่อที่ใช้กระจายเย็นหรือความอุ่นสบายเหล่านี้เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ก็สามารถกลายเป็นท่อส่งก๊าซพิษและควันได้เช่นกัน

แม้ว่าจะไม่มีใครอยากให้เกิดเพลิงไหม้ แต่เหตุการณ์เหล่านี้ก็มีโอกาสเกิดขึ้นได้ทุกเมื่อ ดังนั้นก่อนจะตัดสินใจใช้วัสดุใดๆในอาคาร ควรศึกษาเรื่องสมบัติต่างๆของวัสดุหากเกิดเหตุเพลิงไหม้ นอกเหนือไปจากการเกิดสิ่งไม่พึงประสงค์จากการเสื่อมสภาพจากการใช้งานเช่นการเปื่อยยุ่ยกลายเป็นฝุ่นผงของเนื้อวัสดุ หรือการเกิดไอระเหยที่เป็นพิษออกมาเองระหว่างการติดตั้งและการใช้งาน

References :

1. ISO 13571:2007, *Life-threatening components of fire-Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data.*

2. Lougheed, G.D.; McCartney, C.; Kanabus-Kaminska, M., Full-Scale Fire Tests for cables in plenums. *ASHRAE Transactions, v.110,pt.1,2004,pp.652-665.*
3. Charles A. Wilkie, Alexander B.Morgan, *Fire Retardancy of Polymeric Materials*. CRC Press 2010.
4. Vytenis Babraukas,Richard Gann, Stephen Grayson, *Hazards of Combustion Products*, Interscience Communications 2008.