การประยุกต์ใช้แบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย เพื่อปรับปรุงห้องเก็บสารเคมีไวไฟให้ปลอดภัยจากอัคคีภัยสำหรับโรงงานผลิตเลนส์

Application of Fire Dynamic Simulator for Fire Prevention in Flammable Chemical Storage Room of Lens Manufacturing Company

คำนำ

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของสารเคมีไวไฟเมทานอล ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ถูกเก็บไว้ในห้องเก็บสารเคมีไวไฟของโรงงานผลิตเลนส์ โดยทำการศึกษาในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ภายในห้องเก็บสารเคมีไวไฟ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองแบบช่วยในการวิเคราะห์เพื่อทำการทำนายผลที่จะเกิดขึ้นและเปรียบเทียบกันระหว่างแบบที่ไม่มีการควบคุมการลุกลามของเพลิงกับแบบที่มีการออกแบบเพื่อควบคุมการลุกลามของเพลิง การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองแบบช่วยในการวิเคราะห์ สามารถจะทำให้เห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งถ้าเป็นการทดลองโดยใช้การทดสอบจริงนั้นมีความเสี่ยงสูง และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์มาใช้ในการออกแบบระบบเตือนเพื่อความปลอดภัยได้อีกด้วย

การเกิดเพลิงไหม้ที่พบเห็นได้อยู่เสมอ ๆ ในสถานประกอบการเกิดจากแหล่งกำเนิดอัคคีภัยที่แตกต่างกัน จากการวิจัยของบริษัทแห่งหนึ่งที่ทำธุรกิจเกี่ยวกับการป้องกันไฟ (Courtesy Factory Mutual Engineering Company) ของประเทศอังกฤษ ได้ทำการวิเคราะห์ถึงแหล่งกำเนิดของไฟที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมประมาณ 25,000 ครั้ง ในรอบ 10 ปี พบว่ามีสาเหตุและแหล่งกำเนิดแตกต่างกันไปดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ไฟฟ้า ประมาณร้อยละ 23 เกิดจากประกายไฟซึ่งมีความร้อนสูง เนื่องมาจากสายไฟที่ฉนวนหุ้มเปื่อยลอกหลุด ขั้วต่อที่หลวม การใช้สะพานไฟฟ้าหรือฟิวส์ที่ไม่ถูกขนาด รวมทั้งการชำรุดเสียหายของส่วนประกอบอื่น ๆ นอกจากนี้อุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดซึ่งได้รับการดูแลรักษาที่ไม่เหมาะสมอาจมีความร้อนสูงในตัวเอง เมื่อสัมผัสกับฝุ่นละออง ก๊าซ ไอระเหยของสารไวไฟหรือเชื้อเพลิงอื่น ๆ ก็อาจเกิดการลุกไหม้ได้

2. การสูบบุหรี่หรือการจุดไฟ ร้อยละ 18 เกิดจากการขาดความระมัดระวัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูบบุหรี่หรือการจุดไฟในบริเวณที่มีไอระเหยของสารไวไฟ เช่นน้ำมันเบนซินอาจเกิดการจุดระเบิดและก่อให้เกิดอันตรายถึงชีวิต นอกจากนี้ความร้อนจากก้นบุหรี่ที่ติดไฟและไม้ขีดไฟที่จุดไฟแล้วอาจทำให้เชื้อเพลิงบางชนิดเกิดการลุกไหม้ได้

3. ความเสียดทาน ร้อยละ 10 เกิดจากส่วนประกอบของเครื่องจักร เครื่องยนต์ เช่น ตลับลูกปืน เพลา ซึ่งทำให้เกิดความร้อนสูง เมื่อถูกต้องกับเชื้อไฟ เช่น ฝุ่นผง ใยผ้า พลาสติก เปลือกแห้งของเมล็ดพืช สารเคมีบางชนิด ขี้เลื่อย ฯลฯ ทำให้เกิดการลุกไหม้ได้

4. เครื่องทำความร้อน ร้อยละ 8 เกิดเนื่องจากเครื่องทำความร้อนที่มีเปลวไฟ ซึ่งเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ความร้อนและความร้อนที่สะสมไว้ที่ตัวเครื่องหรือส่วนประกอบของตัวเครื่องเมื่อเกิดการสัมผัสระหว่างเปลวไฟหรือความร้อนกับเชื้อเพลิงก็ย่อมจะเกิดการลุกไหม้ได้

5. วัตถุที่มีผิวร้อนจัด ร้อยละ 7 เช่น เหล็กที่ถูกเผา ท่อไอน้ำ เมื่อมีการกระทบหรือสัมผัสระหว่างผิวที่ร้อนจัดกับเชื้อไฟ อาจเกิดการลุกไหม้ได้

6. เตาเผาซึ่งไม่มีฝาปิดหรือเปลวไฟที่ไม่มีสิ่งปกคลุม ร้อยละ 7 โดยถ้าในบริเวณใกล้เคียงมีเชื้อไฟ ซึ่งไม่ได้รับการระมัดระวังดูแล เมื่อเกิดการสัมผัสระหว่างไฟกับเชื้อไฟนั้นก็จะเกิดการลุกไหม้ได้

7. การเชื่อมและตัดโลหะ ประมาณร้อยละ 4 จะก่อให้เกิดประกายไฟตลอดเวลาที่ทำงาน เมื่อสัมผัสกับเชื้อไฟจะทำให้เกิดการลุกไหม้ได้

8. การลุกไหม้ด้วยตัวเอง ร้อยละ 4 เกิดจากการสะสมของสารบางชนิด เช่น พวกขยะแห้ง ถ่านหินจะก่อให้เกิดความร้อนขึ้นในตัวของมันเอง จนกระทั่งถึงจุดติดไฟ เมื่ออยู่รวมกับเชื้อไฟก็ย่อมเกิดการลุกไหม้ได้

9. เกิดจากการวางเพลิง มีประมาณร้อยละ 3 ที่เกิดจากความจงใจของผู้ประกอบกิจการเองหรือจากผู้อื่น โดยมีจุดมุ่งหมายแตกต่างกัน เช่น กิจการประสบการขาดทุน เผาเพื่อหวังเงินประกันหรือผู้อื่นต้อง การทำลายชื่อเสียงของโรงงาน หรือเกิดการขัดแย้งกับโรงงาน ต้องการทำลายโรงงาน

10. ประกายไฟที่เกิดจากเครื่องจักร พบว่าร้อยละ 2 เกิดจากเครื่องจักรขัดข้อง เกิดประกายไฟกระเด็นไปถูกเชื้อเพลิงที่อยู่บริเวณใกล้เคียงทำให้เกิดเพลิงไหม้

11. โลหะหรือวัตถุหลอมเหลว พบว่าร้อยละ 2 เกิดจากการที่วัตถุหลอมเหลว เช่น หลอมโลหะ กระเด็นออกมาถูกเชื้อเพลิง หรือเกิดจากการขนย้ายวัตถุหลอมเหลว เช่น โลหะหรือแก้วจากเตาหลอมไปใส่แบบพิมพ์แล้ววัตถุหลอมเหลวนั้นไปหล่นถูกเชื้อเพลิงอื่น

12. ไฟฟ้าสถิต เกิดจากการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตระหว่างวัตถุ ซึ่งมีค่าความต่างศักย์ระหว่างไฟฟ้า หากเกิดการสัมผัสของประกายไฟซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตกับเชื้อไฟเกิดการลุกไหม้ได้

13. ปฏิกิริยาของสารเคมีบางชนิด ร้อยละ 1 เกิดจากกระบวนการทางเคมีที่ไม่สามารถควบคุม เช่น ปฏิกิริยาของสาร การสลายตัวของสารเคมีที่ไม่เสถียรภาพ หรือสารเคมีบางชนิด เช่น โซเดียม โปแตสเซียม ฟอสฟอรัส เมื่อสัมผัสกับน้ำ อากาศ หรือวัสดุอื่น ๆ ทำให้เกิดการลุกไหม้ได้

14. สภาพบรรยากาศที่มีสิ่งปนเปื้อนก่อให้เกิดการระเบิดได้ เกิดขึ้นจากสภาพบรรยากาศที่มีสิ่งปนเปื้อน เช่น ฝุ่นผงหรือไอระเหย ก๊าซ ของสารซึ่งมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เมื่ออยู่ในบริเวณหรือพื้นที่จำกัด ซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึงจุดระเบิด ก็จะเกิดการระเบิดและลุกไหม้ขึ้นได้

15. จากสาเหตุอื่น ๆ อีกประมาณร้อยละ 5 สาเหตุที่ไม่สามารถจำแนกได้อย่างชัดเจน ไม่ใช่เหตุการณ์ปกติดังที่จำแนกมาแล้ว

<u>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</u>

1. เพื่อใช้หลักวิชาการ ด้านวิศวกรรมความปลอดภัยในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลุกลามของเพลิงในห้องเก็บสารเคมีไวไฟ

2. เพื่อศึกษารูปแบบการเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องเก็บสารไวไฟด้วยวิธีการของ Fire Dynamic Simulator เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการวิเคราะห์ปัญหาและป้องกันการเกิดการลุกลามของเพลิงไหม้

3. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการสร้างภาพเสมือนเพื่อให้เห็นภาพแต่ละระนาบของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในห้องเก็บสารเคมีไวไฟ

4. เพื่อศึกษาอุณหภูมิภายในห้องเก็บสารเคมีไวไฟที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกันระหว่างแบบที่ไม่มีการควบคุมการลุกลามของเพลิงและแบบที่มีการออกแบบเพื่อควบคุมการลุกลามของเพลิง

ประโยชน์ของการวิจัย

1. สามารถใช้โปรแกรม Fire Dynamic Simulator เพื่อสร้างแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้ในห้องเก็บสารเคมีไวไฟ

2. ทำให้ทราบรูปแบบและพฤติกรรมของไฟที่เกิดขึ้น จากสารเคมีที่ทำการวิจัย โดยทำให้ทราบทั้งอุณหภูมิและค่าความร้อนที่เกิดขึ้น

3. สามารถประยุกต์ใช้การจำลองแบบ สร้างภาพเสมือนของการเผาไหม้เพื่อนำมาวิเคราะห์และออกแบบการควบคุมเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นได้

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้โปรแกรม Fire Dynamic Simulator มาวิเคราะห์ปัญหาและป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ในห้องเก็บสารไวไฟ ของโรงงานผลิตเลนส์

2. ศึกษาเฉพาะในจุดที่มี Methanol รั่วหกภายในถาดรองการรั่วหกของสารเคมี ขนาด กว้าง 1.4 เมตร ยาว 5 เมตร สูง 0.1 เมตร โดยเกิดจากการขนย้ายถังเพียงถังเดียวมาวางแล้วเกิดการรั่วหก ภายในห้องเก็บสารเคมีไวไฟขนาดความกว้าง 5 เมตร ความยาว 17 เมตร และกำหนดให้ห้องนี้เก็บเพียง Methanol อย่างเดียว

3. ข้อมูลของสารเคมีที่นำมาใช้ในการเขียนนำมาจากฐานข้อมูลของตัวโปรแกรม Fire Dynamic Simulator

การตรวจเอกสาร

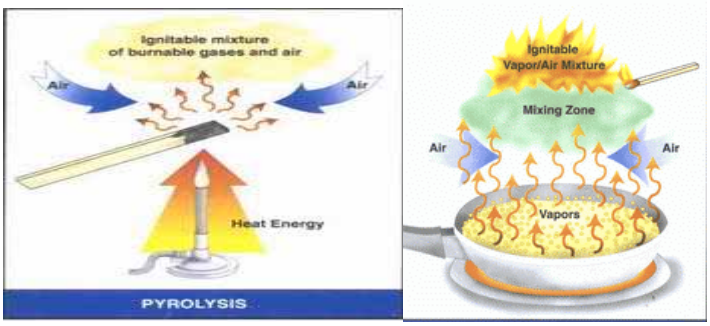
ไฟเกิดขึ้นได้นั้นต้องมีองค์ประกอบ 3 อย่าง ซึ่ง เราเรียกกันว่า "สามเหลี่ยมไฟ" (fire triangle) ซึ่งองค์ประกอบดังกล่าวประกอบด้วย "เชื้อเพลิง" "ความร้อน" และ "ออกซิเจน" ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว องค์ประกอบทั้งสามอย่างนี้ต้องรวมตัวกันอย่างได้สัดส่วน หรือต้องมีความสมดุลในการทำปฏิกิริยา ดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1 สามเหลี่ยมขององค์ประกอบการเกิดไฟ

ที่มา: Department of Engineering (2006)

ความหมายของการเกิดเพลิงไหม้

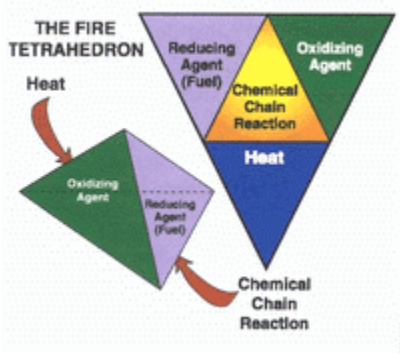
โดยทั่วไปวัตถุ (เชื้อเพลิง) ที่สามารถติดไฟได้นั้นต้องอยู่ในรูปของไอซึ่งการที่วัตถุจะอยู่ในสถานะของไอเชื้อเพลิงได้นั้น ก็ต้องมีอุณหภูมิมาเกี่ยวข้อง และอุณหภูมิที่สูงขึ้นเราเรียกว่าความร้อน ความร้อนที่ส่งเข้าไปที่ตัวเชื้อเพลิงไม่ว่าจะเป็นโดยวิธีใดก็ตาม (การนำ , การพา, การแผ่รังสีความร้อน) จะทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นไอออกมา และเข้าผสมกับอากาศ (ออกซิเจน) เมื่อความเข้มข้นของไอเชื้อเพลิงสูงถึงจุดที่จะสามารถติดไฟได้ หรือที่เราเรียกกันว่า "จุดติดไฟต่ำสุด"(LELหรือ LFL) และถ้าสภาวะในบริเวณนี้มีความร้อนที่สูง (ประกายไฟ, หรือแหล่งความร้อนอื่น ฯลฯ) เพียงพอที่จะเผาไหม้ได้ บริเวณนั้นก็จะเกิดเป็นไฟขึ้นมาได้ทันที ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพแสดง การเกิดไฟ

ที่มา: Department of Engineering (2006)

จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่า การเผาไหม้ตามทฤษฎีของสามเหลี่ยมไฟนั้น ต้องใช้ออกซิเจนในการเผาไหม้ ซึ่งถ้าออกซิเจนน้อยกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ ไฟก็จะค่อย ๆ หรี่ลงและมอดดับในที่สุด แต่มีเชื้อเพลิงบางอย่างที่สามารถเผาไหม้ได้โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจนเลย เช่น แมกนีเซียม อลูมิเนียม เชื่อเพลิงเหล่านี้สามารถเผาไหม้ในสภาพบรรยากาศที่มี ก๊าซไนโตรเจนได้ ดังนั้น ถ้าจะใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมไฟในการอธิบายการเผาไหม้ดังกล่าวก็คงจะไม่ได้ ดังนั้นจึงได้มีทฤษฎีปิรามิดไฟเกิดขึ้น (Fire tetrahedron) ดังแสดงในภาพที่ 3 เพื่ออธิบายการเผาไหม้ในรูปแบบดังกล่าว



ภาพที่ 3 ปิรามิดของ การเกิดไฟ

ที่มา: Department of Engineering (2006)

วัตถุบางชนิดสามารถสร้างความร้อนขึ้นเองและเกิดการเผาไหม้ขึ้นได้ เรียกว่าการลุกติดไฟได้เอง (spontaneous combustion) ซึ่งอาจทำให้เกิดไฟไหม้หรือระเบิดตามมาได้ โดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง "สารออกซิไดซ์" (สารที่ทำปฏิกิริยาแล้วให้ก๊าซออกซิเจน) ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ และเชื้อเพลิงก็จะเป็นสารที่ถูกออกซิไดซ์หรือสารรีดิวซ์ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งเชื้อเพลิงอาจจะเป็นสารใดก็ได้ทั้งที่เป็นธาตุ เช่น แมกนีเซียม คาร์บอน ไฮไดรเจน หรือสารประกอบ เช่น เซลลูโลส ไม้ กระดาษ สารประกอบ ปิโตรเลี่ยม สารผสมระหว่างสารออกซิไดซ์และสารรีดิวซ์อาจจะเสถียร (ไม่เกิดปฏิกิริยาใด ๆ) ภายใต้สภาวะหนึ่ง แต่เมื่อมีพลังงาน เช่น แสงเข้าไปกระตุ้นก็จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้น ดังนั้นการดับไฟทำได้โดยการขัดจังหวะปฏิกิริยาลูกโซ่นั้น

องค์ประกอบสุดท้ายของสี่เหลี่ยมไฟก็คืออุณหภูมิ อุณหภูมิถูกนำมาใช้แทนความร้อน โดยอุณหภูมิเป็นปริมาณของพลังงานที่ทำให้เริ่มการเผาไหม้ ในบางครั้งความร้อนซึ่งมีปริมาณมากแต่ไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้ อุณหภูมิจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการทำให้เกิดปฏิกิริยาในสี่เหลี่ยมไฟ

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Fire Dynamics simulator มาช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุการลุกลามของเพลิงในพื้นที่ปิดล้อมและใช้พื้นฐานของสามเหลี่ยมของไฟมาใช้อธิบายการเกิดเพลิงไหม้เบื้องต้น เพื่อมาหาแนวทางการออกแบบห้องเก็บสารเคมีไวไฟให้มีความปลอดภัย และนำค่าไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดวิธีการป้องกันการเกิดการลุกลามของเพลิงไหม้ห้องเก็บสารเคมีไวไฟให้เหมาะสม

ชนาคัลภ์ (2542) ได้ศึกษาแนวความคิดในการออกแบบเพื่อการป้องกันอัคคีภัยในอาคารประเภทโรงแรม จากงานวิจัยสรุปได้ว่าการเกิดอัคคีภัยอาคารส่วนใหญ่เกิดจากความประมาทของมนุษย์ ดังนั้นควรให้การศึกษา คือ การฝึกอบรมเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัยในอาคารเพื่อป้องกันเหตุเพลิงไหม้ที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากหลักการของระบบการตรวจจับอัคคีภัยคือการปกป้องช่วยเหลือชีวิตก่อนทรัพย์สิน เมื่อระบบเกิดการบกพร่องก็อาจทำให้สูญเสียชีวิตและทรัพย์สินได้ จึงควรมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติภายในอาคาร ส่วนการจำกัดวงพื้นที่เป็นการป้องกันไฟเชิงรับ ซึ่งจะช่วยต้านทานการเกิดและลุกลามของไฟโดยมากจะเป็นส่วนที่รวมอยู่กับตัวอาคาร เช่น โครงสร้างอาคารควรทำจากวัสดุกันไฟและความร้อน ควรมีเครื่องดับเพลิงในบริเวณอาคาร และควรมีแบบแปลนผังแสดงตำแหน่งอุปกรณ์ดับเพลิงแสดงให้เห็นได้ในบริเวณของอาคาร

เกชา (2542) ได้ศึกษาสถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัย ในยุโรป สหรัฐอเมริกา สิงค์โปร์ มาเลเซีย และฮ่องกง คนที่ประกอบวิชาชีพ ทางด้านสถาปัตยกรรมจะต้องมีความรู้เรื่องข้อกำหนดทางด้านการป้องกันอัคคีภัย อันเป็นข้อกำหนดส่วนที่สำคัญที่สุดในการออกแบบอาคาร ข้อกำหนดบทแรก ๆ ใน Architectural Building Codes ก็คือ Fire Safety Codes and Regulation ส่วนในประเทศไทยยังไม่มีหลักสูตรทางด้านการป้องกันอัคคีภัย แต่คณะกรรมการป้องกันอุบัติภัยแห่งชาติ (กปอ.) ก็ได้เคยมีนโยบายสวัสดิศึกษา เพื่อให้มีการสอนเรื่องความปลอดภัยในสถานศึกษา และหวังว่าในอนาคตทบวงมหาวิทยาลัยและกระทรวงศึกษาฯ ก็คงจะเห็นความสำคัญ และกำหนดให้มีหลักสูตรนี้เพิ่มในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ รวมทั้งการศึกษาในระดับโรงเรียนต่อไป

พฤติกรรมของไฟ

ความร้อนเป็นสิ่งที่ทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงสูงขึ้นถึงจุดติดไฟ (Ignitions point) และส่งผลต่อให้องค์ประกอบของการเกิดไฟ (ปฏิกิริยาการสันดาป) เกิดขึ้น อย่างเหมาะสม ซึ่งเชื้อเพลิงแต่ละชนิดย่อมจะมีจุดติดไฟไม่เหมือนกัน เช่น เชื้อเพลิงเหลวอาจมีจุดติดไฟต่ำกว่าพวกเชื้อเพลิงแข็ง

ความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) คือ ปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อสสารเกิดปฏิกิริยา การเผาไหม้ อย่างสมบูรณ์แล้ว (การเผาไหม้ คือ การเปลี่ยนรูปสสารให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ) ความร้อนของการเผาไหม้ หมายถึง การเกิดความร้อน (calorific) หรือ ค่าเชื้อเพลิง (fuel value) โดยขึ้นอยู่กับชนิด จำนวนอะตอมในโมเลกุล และการจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุล ค่าการเกิดความร้อน (calorific values) สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ ค่าการเกิดความร้อน (calorific values) นำมาใช้ในการคำนวณหาพิกัดขนาดของไฟ (fire loading) แต่ไม่ได้แสดงถึงอันตรายของไฟดังกล่าว เพราะอันตรายของไฟขึ้นอยู่กับอัตราการลุกไหม้ ซึ่งคำนวณค่ามาจากการแพร่กระจายของเชื้อเพลิง และปริมาณความร้อนทั้งหมดเกิดขึ้น

การแบ่งระยะของการเกิดเพลิงไหม้

การเกิดเพลิงไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่

1. ระยะเริ่มก่อตัวของเพลิงไหม้ (Growth Phase)
2. ระยะที่มีการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง (Steady State Burning Phase)
3. ระยะที่มีการเผาไหม้ลดลง (Decay Phase)

ประเภทของไฟแยกตามชนิดของวัตถุดิบ (Material Classifications of Fire)

ประเภทของไฟสามารถแยกตามชนิดของวัตถุดิบได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทของไฟแยกตาม วัตถุดิบที่เป็นเชื้อเพลิง

ประเภทของไฟ	สัญลักษณ์	ประเภทของเชื้อเพลิง
A		ของแข็ง เช่น ฟืน ฟาง ยาง ไม้ ผ้า กระดาษ พลาสติก ปอ นุ่น ฝ้าย
B		ของเหลว & ก๊าซ เช่น น้ำมันแอลกอฮอล์ ทินเนอร์ จารบี
C		ของแข็งที่มีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิด
D		โลหะ หรือสารเคมีที่ติดไฟ เช่น วัตถุระเบิด, ปุ๋ยยูเรีย

ที่มา: Department of Engineering (2006)

การจำแนกประเภทวัตถุอันตราย

การจัดทำมาตรฐานด้านความปลอดภัย ในการขนส่งวัตถุอันตราย เริ่มเมื่อปี 2493 หลังสงครามโลกครั้งที่สองภายใต้อาณัติของสหประชาชาติในปี 2499 คณะผู้เชี่ยวชาญด้านการขนส่งสินค้าอันตราย (Committee of Experts on the Transport of Dangerous Goods) ซึ่งตั้งขึ้นโดย United Nations Economic and Social Council (ECOSOC) เสนอรายงาน กำหนดมาตรฐานเบื้องต้นในการขนส่งวัตถุอันตราย ทุกระบบการขนส่ง คือ United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods ซึ่งรู้จักกันว่า " UN Recommendations " หรือ "Orange Book " องค์การระหว่างประเทศและประเทศต่าง ๆ ใช้มาตรฐานเบื้องต้น เป็นแนวทางในการออกกฎระเบียบต่าง ๆ ในการขนส่งวัตถุอันตราย และจำแนกประเภทของวัตถุอันตรายไว้ดังนี้

1. วัตถุอันตรายประเภทที่ 1 วัตถุระเบิด

สารระเบิด หมายถึง ของแข็งหรือของเหลว (หรือสารผสม) สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีโดยตัวของมันเองแล้วให้ก๊าซที่เมื่อถึงอุณหภูมิ และความดันหนึ่งจะเกิดการระเบิดที่เร็วถึงขั้นหนึ่งจนก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่โดยรอบสารประเภท ดอกไม้เพลิง รวมอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

Pyrotechnic Substances หมายถึง สารหรือสารผสม ที่ออกแบบเพื่อให้เกิดความร้อน และเสียง ก๊าซ หรือควัน หรืออย่างหนึ่งอย่างใด หรือหลายอย่างรวมกัน เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่มีการให้ความร้อนออกไปจากระบบอย่างต่อเนื่อง

สิ่งของระเบิดได้ หมายถึง สิ่งของที่มีส่วนประกอบของสารระเบิดหนึ่งอย่างหรือมากกว่า

สินค้าอันตรายประเภทที่ 1 แบ่งออกเป็น 6 ประเภทย่อย ดังต่อไปนี้

1.1 ประเภทย่อย 1.1 หมายถึง สารหรือสิ่งของที่ก่อให้เกิดการระเบิดทั้งมวล

1.2 ประเภทย่อย 1.2 หมายถึง สารและสิ่งของที่มีอันตรายที่เกิดจากการยิง แต่ไม่เกิดการระเบิดทั้งมวล

1.3 ประเภทย่อย 1.3 หมายถึง สารและสิ่งของที่มีอันตรายเกิดจากการติดไฟ และมีอันตรายเกิดจากการระเบิดเล็กน้อย หรือการยิงออกไปบ้างเล็กน้อยอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเกิดทั้ง 2 อย่าง แต่ต้องไม่เกิดอันตรายจากการระเบิดทั้งมวล

1.4 ประเภทย่อย 1.4 หมายถึง สารและสิ่งของที่มีอันตรายไม่มากนักก่อให้เกิดอันตรายไม่เฉพาะเจาะจง

1.5 ประเภทย่อย 1.5 หมายถึง สารที่ไม่ไวต่อการระเบิด แต่หากระเบิดจะเกิดอันตรายจากการระเบิดทั้งมวล

1.6 ประเภทย่อย 1.6 หมายถึง สิ่งของที่ไม่มีความไวต่อการระเบิดเลย และไม่มีอันตรายแบบการระเบิดทั้งมวล

สินค้าอันตรายประเภทที่ 1 สามารถจัดอยู่ในหนึ่งในหกประเภทย่อย ขึ้นอยู่กับประเภทของอันตราย แบบไหน และจัดให้อยู่กลุ่มที่สามารถอยู่รวมกัน (Compatibility group) ได้ 1 ใน 13 กลุ่ม ซึ่งขึ้นกับชนิดของ สารและสิ่งที่ระเบิด ได้ที่พิจารณาแล้วว่าเข้ากันได้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจำแนกประเภทวัตถุระเบิดโดยการจับคู่ประเภทย่อยของอันตรายกับกลุ่มที่เข้ากันได้

ประเภทย่อยของอันตราย	กลุ่มที่เข้ากันได้													
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	N	S	A-S รวมจำนวน
1.1	1.1A	1.1B	1.1C	1.1D	1.1E	1.1F	1.1G		1.1J		1.1L			9
1.2		1.2B	1.2C	1.2D	1.2E	1.2F	1.2G	1.2H	1.2J	1.2K	1.2L			10
1.3						1.3F	1.3G	1.3H	1.3J	1.3K	1.3L			7
1.4		1.4B		1.4D	1.4E	1.4F	1.4G						1.4S	7
1.5				1.5D										1
1.6												1.6N		1
1.1-1.6 รวมจำนวน	1	3	4	4	3	4	4	2	3	2	3	1	1	35

ที่มา: ภิญโญ และ ธีระศักดิ์ (2548)

2. <u>วัตถุอันตรายประเภทที่ 2 ก๊าซ</u>

หมายถึง สารที่อุณหภูมิ 50°C มีความดันไอมากกว่า 300 kPa หรือมีสภาพเป็นก๊าซโดยสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 20 °C ที่ความดันปกติ 101.3 kPa

วัตถุอันตรายประเภทที่ 2 แบ่งตามอันตรายปฐมภูมิของก๊าซ ออกเป็น 3 ประเภทย่อย ดังต่อไปนี้

2.1 ประเภทย่อย 2.1 ก๊าซไวไฟ หมายถึง ก๊าซที่อุณหภูมิ 20 ° C และความดันปกติ 101.3 kPa เมื่อผสมกับอากาศสามารถติดไฟได้ที่ความเข้มข้น 13 % หรือต่ำกว่า โดยปริมาตร หรือมีช่วงกว้างของการติดไฟเมื่ออยู่ในอากาศตั้งแต่ 12 % ขึ้นไป

2.2 ประเภทย่อย 2.2 ก๊าซไม่ไวไฟและไม่เป็นพิษ หมายถึง ก๊าซที่ทำการขนส่งที่ความดันไม่น้อยกว่า 280 kPa ที่อุณหภูมิ 20° C หรือในสภาพ เป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ และสามารถทำให้หายใจไม่ออกได้ เนื่องจากก๊าซเหล่านี้ ทำให้ออกซิเจนเจือจางลง หรือแทนที่ออกซิเจน ที่มีในอากาศ หรือก๊าซที่มีคุณสมบัติ เป็นออกซิไดซ์ ซึ่งเมื่อสัมผัส กับออกซิเจนทำให้เกิด หรือช่วยให้เกิดการเผาไหม้วัสดุอื่นได้ดีกว่าอากาศ หรือไม่สามารถจำแนกอยู่ในประเภทย่อยอื่นได้

2.3 ประเภทย่อย 2.3 หมายถึง ก๊าซพิษ หมายถึงก๊าซซึ่งมีคุณสมบัติเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าเป็นพิษหรือกัดกร่อนต่อมนุษย์ หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือได้มีการสรุปว่าอาจเป็นพิษหรือกัดกร่อนต่อมนุษย์

3. <u>วัตถุอันตรายประเภทที่ 3 ของเหลวไวไฟ</u>

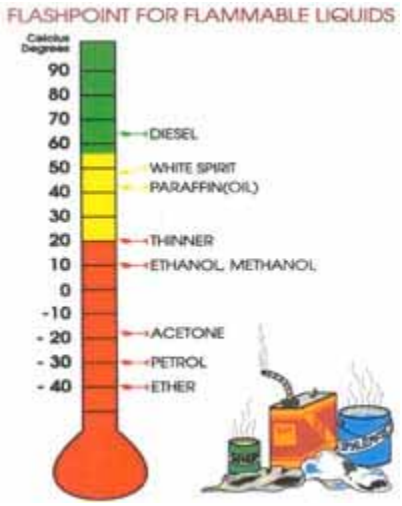
หมายถึง ของเหลว ของเหลวผสม หรือของเหลวที่มีสารที่ปกติเป็นของแข็งละลายอยู่ หรือของเหลวที่มีสารแขวนลอยผสม ซึ่งมี จุดวาบไฟ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60.5° C โดยวิธีการทดสอบแบบ Close-cup หรือต่ำกว่า 65.5° C โดยวิธีการทดสอบแบบ Open-cup นอกจากนั้นแล้ววัตถุอันตรายประเภทนี้ยังหมายถึงของเหลวซึ่งในการขนส่งต้องมีอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับจุดวาบไฟของของเหลวนั้น ดังแสดงในภาพที่ 4

<u>ตัวอย่างจุดวาบไฟของสารไวไฟชนิดต่าง ๆ</u>

METHANOL 12 ^{o} C

CYCLOPENTANONE 31 ^{o} C

CYCLOPENTANOL 51 ^{o} C



<u>ภาพที่ 4</u> ตัวอย่างจุดวาบไฟของสารไวไฟ

ที่มา: ภิญโญ และ ธีระศักดิ์ (2548)

4. <u>วัตถุอันตรายประเภทที่ 4 ของแข็งไวไฟ</u>

หมายถึง สารที่เกิดการลุกไหม้ได้เอง สารที่ให้ก๊าซไวไฟ เมื่อสัมผัสกับน้ำ วัตถุอันตรายประเภทที่ 4 แบ่งออกเป็น 3 ประเภทย่อย ดังต่อไปนี้

4.1 ประเภทย่อย 4.1 ของแข็งไวไฟ หมายถึง ของแข็งซึ่งระหว่างการขนส่ง สามารถที่เผาไหม้ได้ง่าย และอาจลุกไหม้ได้ หรือทำให้ลุกไหม้ขึ้นได้ จากการเสียดสี, สารหรือสารข้างเคียงที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยา ที่คายความร้อนออกมาได้ง่าย สารระเบิดที่ถูกทำให้ไม่ไวในการระเบิด แต่สามารถระเบิดได้หากไม่อยู่ในสภาพเจือจางเพียงพอ ตามข้อกำหนด

4.2 ประเภทย่อย 4.2 สารที่มีความเสี่ยงต่อการลุกไหม้ได้เอง หมายถึง สารที่อาจร้อนขึ้นมาและสามารถลุกไหม้ได้เอง ภายใต้สภาวะปกติ ในระหว่างการขนส่ง หรือสารที่เมื่อสัมผัสกับอากาศแล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ติดไฟได้

4.3 ประเภทย่อย 4.3 สารที่ให้ก๊าซไวไฟเมื่อสัมผัสกับน้ำ หมายถึง สารเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้ว อาจลุกไหม้ได้เอง หรือให้ก๊าซไวไฟ ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายได้

5. <u>วัตถุอันตรายประเภทที่5 สารออกซิไดซ์และสารเปอร์ออกไซด์อินทรีย์</u>

สารออกซิไดซ์ และสารเปอร์ออกไซด์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อยดังนี้

5.1 ประเภทย่อย 5.1 สารออกซิไดซ์ หมายถึง สารที่ด้วยตัวของสารเองไม่จำเป็นต้องติดไฟ แต่โดยทั่วไปจะปล่อยออกซิเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่เป็นสาเหตุหรือร่วมในการลุกไหม้ของวัสดุอื่น สารประเภทนี้บางชนิดรวมอยู่ในสิ่งของอื่นได้ด้วย

5.2 ประเภทย่อย 5.2 สารเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ หมายถึง สารอินทรีย์ที่มีโครงสารออกซิเจน 2 อะตอม ซึ่งอาจจะถือได้ว่าเป็นสารที่มีอนุพันธ์ของ hydrogen peroxide ซึ่งอะตอมของ hydrogen นี้ถูกแทนที่ด้วยอนุมูล (radical) 1 หรือ 2 ตัว สารเปอร์ออกไซด์อินทรีย์เหล่านี้เป็นสารไม่เสถียรเมื่อถูกความร้อนจะเกิดการแตกตัวรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการคายความร้อนออกมา กล่าวคือ สารเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ต้องประกอบด้วยคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือมากกว่าดังนี้ สามารถระเบิดได้เมื่อเกิดการสลายตัว, เผาไหม้อย่างรวดเร็ว, มีความไวต่อการกระทบหรือการเสียดสี, ทำปฏิกิริยากับสารอื่นที่เป็นอันตรายได้, เป็นอันตรายต่อตา

6. <u>วัตถุอันตรายประเภทที่ 6 สารพิษและสารติดเชื้อ</u>

สารพิษและสารติดเชื้อ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อย ดังต่อไปนี้

6.1 ประเภทย่อย 6.1 สารพิษ หมายถึง สารพิษที่เป็นอันตรายถึงชีวิต หรือบาดเจ็บร้ายแรง หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งอาจเข้าสู่ร่างกาย ได้โดยการกลืน การสูดดม หรือจากการสัมผัสทางผิวหนัง ค่าความเป็นพิษของวัตถุอันตรายย่อย 6.1 มีรายละเอียด ดังนี้

ของเหลว	LD50 (oral)	< 500mg/kg
ของแข็ง	LD50 (oral)	< 200mg/kg

6.2 ประเภทย่อย 6.2 สารติดเชื้อ หมายถึงสารที่รู้ว่าหรือคาดว่ามีเชื้อโรครวมอยู่ด้วย เชื้อโรคหมายถึงสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (รวมทั้งแบคทีเรีย, ไวรัส, แบคทีเรียกับราบางชนิดปนกัน พยาธิ, เชื้อรา) หรือเชื้อจุลินทรีย์ได้รับการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้เป็นที่รู้กันว่าหรือคาดว่าสามารถทำให้เกิดโรคติดเชื้อได้ในสัตว์หรือมนุษย์

7. <u>วัตถุอันตรายประเภทที่ 7 วัตถุกัมมันตรังสี</u>

หมายถึง วัตถุใด ๆ ที่มีนิวเคลียร์ ที่เปล่งกัมมันตรังสีได้ โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

7.1 วัตถุกัมมันตรังสี มีทั้งที่เป็นอันตรายมาก หรือน้อย เนื่องจากรังสีที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าที่เปล่งออกมานั้น อาจเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกายของสิ่งมีชีวิต อันตรายที่อาจได้รับจากรังสีคือความร้อนที่เปล่งออกมาด้วย

7.2 ในการขนส่งค้าหากสารใดที่มีค่า specific activity มากกว่า 70 kBq/kg (0.002 Uci /g) ให้จัดอยู่ในประเภทนี้

8. <u>วัตถุอันตรายประเภทที่ 8 สารกัดกร่อน</u>

หมายถึง สารซึ่งโดยปฏิกิริยาเคมี จะเป็นเหตุให้ เกิดความเสียหาย อย่างรุนแรง เมื่อสัมผัสกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต หรือในกรณีเกิดการรั่วไหลจะเกิดการเสียหายต่อวัตถุ หรือแม้กระทั่งทำลายสินค้าอื่น ๆ หรือพาหนะที่ใช้ขนส่ง สารพวกนี้อาจทำให้เกิดอันตรายชนิดอื่นได้ด้วย โดยสารกัดกร่อนมีคุณสมบัติดังนี้

8.1 สภาพปกติเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว และมีฤทธิ์กัดกร่อนเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และหากมีการรั่วไหลของสารจากภาชนะบรรจุอาจทำความเสียหายกับสภาพแวดล้อมได้

8.2 ไอระเหยของสารอาจเป็นอันตรายต่อนัยน์ตาและโพรงจมูก

8.3 สารบางชนิดอาจให้ก๊าซพิษเมื่อสลายตัวเมื่ออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง

8.4 สารบางชนิดอาจมีคุณสมบัติติดไฟได้ด้วย

8.5 สารทุกชนิดในประเภทนี้ทำอันตรายต่อวัสดุต่าง ๆ เช่น โลหะ ใยสังเคราะห์

8.6 สารบางชนิดจะมีฤทธิ์กัดกร่อนต่อเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้น

8.7 สารบางชนิดเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะให้ก๊าซไวไฟ

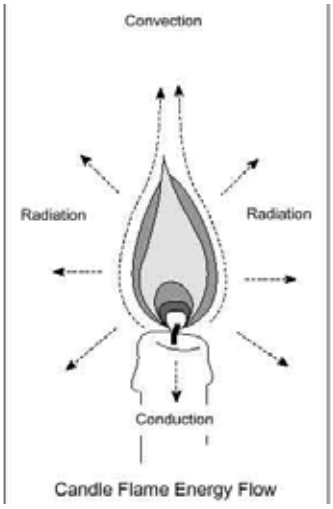
8.8 สารบางชนิดเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำหรือสารอินทรีย์จะให้ความร้อนสูงมาก

9. <u>วัตถุอันตรายประเภทที่ 9 สารและสิ่งของอันตรายเบ็ดเตล็ด</u>

หมายถึง สารหรือสิ่งของที่ไม่ถูกจัดไว้ในประเภทอื่น ๆ แต่จากประสบการณ์ ในการขนส่งสารหรือสิ่งของนี้ แสดงให้เห็นถึง ความเสถียรในการเกิดอันตรายขึ้นได้ สารหรือสิ่งของ ที่จัดอยู่ในประเภทนี้ หมายรวมถึงสารหรือสิ่งของที่ต้อง มีการควบคุมอุณหภูมิ ระหว่างการขนส่ง โดยอุณหภูมิควบคุมนี้ สูงกว่าหรือเท่ากับ 100 °C ในสภาพที่เป็นของเหลว หรือ 240 °C ในสภาพที่เป็นของแข็ง

<u>ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน</u>

กลไกของ การถ่ายเทความร้อน (หรือพลังงาน) สิ่งที่จะสามารถทำให้เข้าใจพฤติกรรมและกระบวนการของไฟ ที่ควรจะสนใจมีอยู่สามอย่างนั่นคือ การนำความร้อน, การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน



<u>ภาพที่ 5</u> การนำความร้อน, การพาความร้อน, การแผ่รังสี

ที่มา: http://www.nasaexplores.com (2006)

สมการพื้นฐานสำหรับการถ่ายเทความร้อนได้แก่

การนำความร้อน เป็นความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนผ่านของแข็งที่มีความหนา l โดย k คือคุณสมบัติวัตถุหรือค่าการนำความร้อน (kW / mK), l คือระยะความหนาของวัตถุ (m) และ T1, T2 คือค่าของอุณหภูมิ (ในองศา Kelvin)

$$q^{\bullet''} = \frac{k}{l}(T_1 - T_{2)} \qquad \text{kW/m}^2 \qquad (1)$$

การนำความร้อน (Conduction) คือ ความร้อนซึ่งถ่ายเท เมื่อมีวัตถุชิ้นหนึ่งสัมผัสอยู่กับวัตถุอื่นโดยตรง การนำความร้อน จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุที่ร้อน กับวัตถุที่เย็นกว่า สัมผัสกันนั่นคือ เมื่อวัตถุที่ร้อนถูกสัมผัสก็จะเย็นลง ส่วนวัตถุที่เย็นก็จะร้อนขึ้น

การพาความร้อน คือการถ่ายเทความร้อนจากของไหล เช่น อากาศ, เปลวไฟ หรือความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ที่บริเวณผิวหน้าของไฟ (ของแข็ง หรือ ของเหลว) โดย h คือค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ฟลั๊กซ์การถ่ายเทความร้อนแบบการพา แสดงได้ดังนี้

$$q\bullet'' = h(T_1 - T_2) \qquad \text{kW/m}^2 \qquad (2)$$

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยการหมุนเวียนเคลื่อนที่ของตัวกลาง เช่น ก๊าซ หรือ ของเหลว ความร้อนที่เกิดขึ้นจากเตาไฟ จะแพร่กระจายไปทั่วทั้งห้องได้ เนื่องจากอากาศร้อนบริเวณเตา พาความร้อนออกมา การหมุนเวียนของอากาศร้อนไปทั่วทั้งห้องและไปถึงชิ้นวัตถุ จัดเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน จากนั้นความร้อนจึงจะถ่ายเทจากอากาศไปสู่วัตถุด้วยวิธีการนำความร้อน (Conduction) ตามธรรมชาติของอากาศเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวและลอยสูงขึ้น ดังนั้น การถ่ายเทความร้อนโดยการพา มักจะเกิดขึ้นในทิศทางเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนเสมอ แม้ว่าจะมีการใช้พัดลมเป่าให้กระแสอากาศอาจหมุนเวียนพาความร้อนไปทุกทิศทุกทางแล้วก็ตาม

การแผ่รังสี (Radiation) คือ รูปแบบการเคลื่อนที่ของพลังงาน ผ่านห้วงอวกาศ หรือวัสดุในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แสงสว่าง คลื่นวิทยุ เอ็กเรย์ (X-rays) ในสุญญากาศ คลื่นพลังงานการแผ่รังสีทั้งหมด จะเดินทางด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง เมื่อมาถึงตัววัตถุจะเกิดการดูดซับ (absorbed) สะท้อนกลับ (reflected) หรือ ส่งต่อ (transmitted) แสงที่สามารถมองเห็นได้ ประกอบด้วยความยาวคลื่นช่วงระหว่าง 0.4 x 10-6 ถึง 0.7 x 10-6 เมตร (ม่วง ถึง แดง) รังสีที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาไหม้ จะอยู่ในช่วงขอบเขตอินฟาเรด (ความยาวคลื่นยาวกว่าสีแดง) ซึ่งตาของคนเราสามารถมองเห็นได้แค่ในช่วงความยาวคลื่นหนึ่ง ๆเท่านั้น โดย ε คือ สภาพเปล่งรังสีของวัสดุ σ เป็นค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman = 5.67 x 10-8 $\text{W/m}^2\text{K}^4$

$$q\bullet'' = \varepsilon\sigma(T_1{}^4 - T_2{}^4) \qquad \text{kW/m}^2 \qquad (3)$$

<u>การจำลองการเกิดเพลิงไหม้ด้วย CFD</u>

การเกิดเพลิงไหม้สร้างความเสียหายต่อทรัพย์สิน เบี้ยประกัน และค่าบำรุงรักษาของหน่วยงานดับเพลิงในสหรัฐอเมริกาปีละมากกว่า 100 ล้านเหรียญ โดยค่าใช้จ่ายเหล่านี้ไม่สามารถเรียกเก็บจากภาษีของประชาชน ในแต่ละปีมีผู้เสียชีวิตประมาณ 4,000 คน บาดเจ็บ 23,000 คน โดยประมาณ 80 % ของผู้เสียชีวิต จะประสบเหตุเพลิงไหม้ที่บ้านของตนเอง

ควันและแก๊สพิษเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตจากเพลิงไหม้ แม้ว่าจะมีการพัฒนาปรับปรุงการออกแบบอาคารให้ได้ตามมาตรฐาน แต่การแพร่กระจายอย่างรวดเร็วของเปลวไฟ และควันไฟยังคงเป็นปัญหาหลักและจำเป็นที่ต้องทำความเข้าใจกับพฤติกรรมของไฟให้มากขึ้น

ดังนั้นจึงมีการนำแบบจำลองของไฟ (Fire Modeling) และเครื่องมือที่ช่วยให้มองเห็นภาพ (Visualization Tool) มาใช้เพื่อหาทางป้องกันแก้ไขการแพร่กระจายของควันและเปลวไฟ

1. <u>CFD คืออะไร</u>

ปี 1970 สถาบัน NIST (The National Institute of Standard and Technology) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาแบบจำลองเกี่ยวกับไฟที่สามารถอธิบายได้ว่าไฟสามารถแผ่ไปในห้องได้อย่างไร แบบจำลองจะแบ่งห้องปิดล้อมออกเป็น 2 ส่วน โดยพบว่าส่วนบนจะประกอบไปด้วยควันร้อนและผลพลอยได้จากการเผาไหม้ ส่วนล่างประกอบไปด้วยอากาศที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศปกติ แบบจำลองนี้จึงช่วยให้เราอธิบายได้ว่าพื้นจะยุบตัวลงมาเมื่อเกิดเพลิงไหม้ได้อย่างไร

แบบจำลองแบบแบ่งเขตของไฟ (Zone Fire Model) ใช้หลักการของสมการอนุรักษ์มวลและพลังงานเพื่ออธิบายการเกิดไฟของทั้ง 2 ชั้น คือด้านบน และด้านล่าง สมการโมเมนตัม, กฎของ Bernoulli ถูกนำมาใช้คำนวณอัตราการไหลของลมภายในห้องปิดล้อม (Compartment) ซึ่งสมการเหล่านี้สามารถอธิบายกระบวนการทางกายภาพ เช่น การลุกไหม้ของไฟและการแพร่รังสีความร้อนและการถ่ายเทความร้อน Zone Fire Model ช่วยในการพยากรณ์การแบ่งความสูงของทั้ง 2 ชั้นในห้องปิดล้อม และอุณหภูมิในแต่ละชั้น โดยพิจารณาจากแนวโน้มการก่อตัวเป็นชั้นของแก๊สร้อนหรือการลอยตัวของความร้อนในแต่ละชั้น อย่างไรก็ตาม Zone Fire Model ไม่ได้พิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญ แต่จะพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการปล่อยค่าความร้อน ซึ่งการคำนวณโดยใช้ Zone Fire Model บนเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ภายในเวลาไม่กี่นาที ซึ่งเทคนิค Computational fluid dynamics (CFD) มักถูกใช้ใน Zone Fire Model

2. <u>Fire Dynamics Simulator และ Smoke View</u>

การศึกษาแบบจำลองของไฟด้วยคอมพิวเตอร์ล่าสุดที่ NIST ได้สนับสนุนให้นำมาใช้งาน คือ Fire Dynamics Simulator (FDS) ซึ่งระบบนี้จะทำการพยากรณ์การเคลื่อนที่ของควัน หรือการไหลของอากาศร้อนที่เกิดจากเพลิงไหม้, แรงลม, ระบบระบายอากาศ และปัจจัยอื่น ๆ โดย CFD ใช้เทคนิค ที่เรียกว่า LES (Large Eddy Simulator) เพื่ออธิบายเกี่ยวกับการเกิดความร้อนจากเพลิงไหม้ในห้องปิดล้อม นอกจากนี้ LES ยังใช้อธิบายความแปรปรวนของอัตราการไหล โดยความแปรปรวนนี้เป็นสาเหตุให้แก๊สเคลื่อนที่ไปได้ในระยะที่กว้าง ซึ่งเป็นสิ่งที่ยากต่อการจำลองเหตุการณ์บนคอมพิวเตอร์ ในขณะที่ FDS สามารถอธิบายเกี่ยวกับการเผาไหม้ในรูปแบบง่าย ๆ คือ เชื้อเพลิง และออกซิเจนจะถูกเผาทันทีที่ผสมกัน และจากการทดลองพบว่ามีปฏิกิริยาทางเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการเป็นจำนวนมากถึงร้อยปฏิกิริยา

FDS ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับไฟในระบบวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย ด้วยการใช้เครื่องมือเกี่ยวกับหลักการของกลไกการเกิดไฟและการเผาไหม้ โดยมีการใช้ Smokeview เข้ามาช่วยในการแสดงผลของ FDS ได้ง่ายขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในแบบจำลองนี้เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบต่าง ๆ ของอาคาร เช่น ระบบดักจับควันและระบบกระจายน้ำดับเพลิง และสามารถนำไปใช้งานในส่วนเกี่ยวข้องกับบ้านพักอาศัย และสิ่งปลูกสร้างทางอุตสาหกรรม

3. <u>รายละเอียดของการจำลองแบบ</u>

FDS มีหลักการที่เหมือนกับแบบจำลอง CFD คือ แบ่งห้องหรืออาคารออกเป็นส่วนเล็ก ๆ ในลักษณะที่เรียกว่า computational cells เพื่อใช้คำนวณความหนาแน่น, ความเร็ว, อุณหภูมิ, ความดัน และความเข้มข้นของแก๊สในแต่ละช่องโดยใช้กฎการอนุรักษ์มวลและพลังงาน FDS นี้จะใช้คุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ เช่น วัสดุตกแต่ง ผนังห้อง พื้นห้อง และเพดานในการจำลองเหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้

ความสามารถในการแสดงผลของแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบจำนวน Cell ลักษณะเดียวกับคุณภาพของภาพดิจิตอลขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซล (Pixel) ซึ่งคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันสามารถกำหนดได้ถึง 2-3 ล้านพิกเซล ดังนั้นผู้ใช้งานต้องตัดสินใจว่าต้องการผลลัพธ์ที่มีความละเอียด

มากน้อยเพียงใด จำนวนช่องและอัตราการไหลเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดระยะเวลาในการทดลอง โดยระยะเวลาในการทดลองอาจอยู่ในช่วงของนาทีถึงสัปดาห์ขึ้นอยู่กับจำนวนของช่องและระยะเวลาของการคำนวณ ซึ่งผู้ใช้งานส่วนใหญ่พยายามกำหนดเวลาในการทดลองไว้ไม่ให้เกินกว่า 1-2 วัน

แบบจำลอง CFD สามารถอธิบายผลของข้อมูลได้มากกว่า 1 GByte เปรียบเหมือนคำพูดที่ว่า “ภาพ 1 ภาพ แทนคำพูดได้เป็นพันคำ” เช่นเดียวกับโปรแกรมซอฟท์แวร์ Smokeview ที่สามารถช่วยในการพยากรณ์เกี่ยวกับการเกิดเพลิงไหม้ในรูปแบบที่ง่ายและสามารถเข้าใจได้ง่าย โดย Smokview เวอร์ชั่นแรกเริ่มประกาศใช้ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2000 และมีการพัฒนาปรับปรุงต่อมาอีกหลายเวอร์ชั่น โดยสามารถทำงานได้หลายระบบปฏิบัติการ เช่น Windows, UNIX และ Linux

Smokeview สามารถแสดงผลจากแบบจำลอง FDS ได้ทั้งในลักษณะ 2 มิติ และ 3มิติ โดย Smokeview จะแสดงผลของข้อมูลแบบ ค่าของข้อมูล ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง โดยใช้ข้อมูลประเภทเดียวกัน นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในรูปแบบอื่น ๆ ได้ด้วย เช่น animated isosurfaces, color contours of gas phase, animated flow vectors และ particle animations for simulating smoke or water droplets โดยแต่ละเทคนิคจะถูกเลือกนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ หรือลักษณะปัญหาที่แตกต่างกัน

4. <u>Slices-2D animated contours & Isosurfaces-3D animated contours</u>

Smokeview ในลักษณะ 2D สามารถแสดงภาพการเคลื่อนไหวโดยแบ่งตามเฉดสีทั้งในแนวแกนนอน และแกนตั้งของแต่ละระนาบในการทดลอง ในขณะที่ 3D จะแสดงผลในรูปแบบข้อมูลที่เป็น 3 มิติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ว่างของฮาร์ดดิสก์ แต่ระบบนี้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ตลอดเวลาการทดลอง ดังนั้นผู้ใช้จึงต้องกำหนดข้อมูลที่ต้องการเก็บก่อนเริ่มการทดลอง โดยทั้ง 2 รูปแบบ นี้จะใช้วิธีการวาดเส้นรูปร่างเพื่อแสดงปริมาณอุณหภูมิ, ความร้อน ซึ่งวิธีการนี้เหมาะกับการแสดงผลความเร็วของการเกิดเปลวไฟ หรือการเกิดเพลิงไหม้ที่ก่อตัวขึ้น

ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

1. เป้าหมายของ ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

เป้าหมายของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง คือ การส่งน้ำไปยังวัตถุเป้าหมายที่มีการเกิดเพลิงไหม้และ ลดการลุกลามของเพลิงออกไปสู่จุดอื่น ซึ่งจะลดอัตราการลุกลามของตัวเพลิงเอง ทำให้สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิลดลง

2. ขนาดของหยดน้ำ

หยดน้ำที่มีขนาดเล็กก็จะสามารถดูดซับความร้อนในอากาศได้ดีกว่า ขนาดของหัวกระจายน้ำ (Orifice) จะได้รับการออกแบบมาเพื่อกำหนดอัตราการไหล (flow rate, Q) โดยที่อัตราการไหลนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ Sprinkler conform to Bernoule สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Q = K\sqrt{P} \qquad (4)$$

Q = อัตราการไหล (Flow rate)

K = สัมประสิทธิ์ของ ขนาดของหัวกระจายน้ำ (Orifice flow coefficient, K-factor)

P = แรงดันในเส้นท่อ (Pipe Pressure)

ข้อจำกัดของระบบ Sprinkler ประการหนึ่งคือ ปริมาณน้ำที่ต้องมีเพียงพอต่อระบบการออกแบบที่เหมาะสมจะต้องทำให้หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงานในช่วงเวลาที่พอเหมาะกับการลุกไหม้ของไฟ นั่นคือถ้าระบบทำงานช้าเกินไป ไฟก็จะลุกลามมากเกินกว่าที่ระบบกระจายน้ำสามารถควบคุมได้ แต่ถ้าระบบทำงานเร็วเกินไปจำนวนของหัวกระจายน้ำ ก็จะทำงานมากเกินไปทำให้เกิดความเสียหาย และ ทำให้ลดปริมาณน้ำที่ใช้จ่ายให้กับหัวกระจายน้ำที่อยู่ใกล้กับจุดที่เกิดเพลิงไหม้ลดลง

3. <u>การทำงานของหัวกระจายน้ำดับเพลิง</u>

ความร้อนของไฟจะถูกส่งผ่านไปยังหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Sprinkler) โดยการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีและการพาความร้อน ในเบื้องต้นการแผ่รังสีจะเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน โดยความร้อนจะมาจากเปลวของไฟ การพาความร้อนจะส่งผ่านความร้อนขึ้นสู่ด้านบนโดยการลอยตัว (Buoyant Plume) เมื่อก๊าซความร้อนไปถึงสิ่งกีดขวางด้านบน เช่น เพดาน หรือหลังคา ความร้อนก็จะวิ่งไปตามแนวของสิ่งกีดขวางนั้น หรือที่เรียกว่า Ceiling Jet เพื่อที่จะลดการเผาไหม้และอัตราการลุกลามของไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพหยดน้ำจากหัวกระจายน้ำดับเพลิง จะต้องวิ่งจากหัวกระจายน้ำผ่าน Ceiling Jet และเปลวของไฟไปสู่แหล่งกำเนิดของไฟจากเส้นทางการกระจายของหยดน้ำ หยดน้ำต้องสูญเสียพลังงานไปกับความร้อนที่ต้องวิ่งผ่านและยังสูญเสียมวลไปกับการระเหยของตัวหยดน้ำเองจากการดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้

4. <u>การแบ่งประเภทของพื้นที่ครอบครอง</u>

การแบ่งประเภทของพื้นที่ครอบครองหมายถึงการกำหนดประเภทของพื้นที่นั้น ๆ โดยพิจารณาจากการใช้งาน เพื่อจะสามารถจัดระบบป้องกันอัคคีภัยตามมาตรฐานที่กำหนด จำแนกออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

4.1 พื้นที่ครอบครองอันตรายน้อย (Light Hazard Occupancies.)

พื้นที่ครอบครองอันตรายน้อย เป็นพื้นที่ที่มีวัสดุที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงได้อยู่น้อยและวัสดุที่มีค่าอัตราการปล่อยความร้อนต่ำ (Low heat release) เช่น ที่พักอาศัย สำนักงานทั่วไป สถานศึกษา

4.2 พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง (Ordinary Hazard Occupancies.)

4.2.1 พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง กลุ่มที่1 (Ordinary Hazard Group 1). เป็นพื้นที่ที่มีวัสดุ ที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงได้อยู่แต่วัสดุนั้นมีอันตรายต่ำ มีการเผาไหม้หรือระเบิดได้แต่ไม่รุนแรง เมื่อเกิดการเผาไหม้ จะมีค่าอัตราการปล่อยความร้อน(Heat Release Rate) ต่ำ เช่น ร้านทำขนมปัง ห้องแสดงรถยนต์ ร้านซักผ้า

4.2.2 พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง กลุ่มที่ 2 (Ordinary Hazard Group 2). เป็นพื้นที่ที่มีวัสดุ ที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงได้อยู่แต่วัสดุนั้นมีอันตรายไม่มากแต่สูงกว่าพื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง กลุ่มที่ 1 มีการเผาไหม้หรือระเบิดได้ เมื่อเกิดการเผาไหม้ จะมีค่าอัตราการปล่อยความร้อน(Heat Release Rate) สูงกว่าพื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง กลุ่มที่ 1 เช่น โรงสีข้าว โรงกลึง ห้องสมุดที่มีชั้นเก็บหนังสือขนาดใหญ่

4.3 พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก (Extra Hazard Occupancies.)

4.3.1 พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก กลุ่มที่ 1 (Extra Hazard Group 1). เป็นพื้นที่ที่มีการครอบครองวัสดุ หรือวัตถุดิบ ที่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ในปริมาณมาก เมื่อเกิดการเผาไหม้จะมีค่าอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) สูง เช่น โรงพิมพ์ โรงเลื่อย

4.3.2 พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก กลุ่มที่ 2 (Extra Hazard Group 2). เป็นพื้นที่ที่มีการครอบครองวัสดุ หรือวัตถุดิบ ที่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ และเมื่อเกิดการลุกไหม้จะไหม้อย่างต่อเนื่องและใช้เวลานาน เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก พื้นที่ ๆ ใช้สารฉีดเหลวชนิดไวไฟได้

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดประเภทของพื้นที่โดยพิจารณาจากการใช้งาน เพื่อจะสามารถจัดระบบป้องกันอัคคีภัยตามมาตรฐานที่กำหนด เป็นแบบ พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก กลุ่มที่ 2 เพราะ Methanol เป็นสารเหลวชนิดไวไฟ

5. <u>การกำหนดพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง</u>

พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Protection area of coverage per sprinkler: As) สามารถกำหนดได้ โดยจะต้องทำการหาค่าของ ระยะห่างของหัวกระจายน้ำดับเพลิงแต่ละหัว แบ่งเป็นระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง ในเส้นท่อเดียวกัน (Along branch lines: S) และระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง ระหว่างเส้นท่อที่ขนานกัน (Between branch lines: L)

พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง (As) จะได้มาจากการนำค่าของระยะในเส้นท่อเดียวกัน (Along branch lines: S) คูณกับระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง ระหว่างเส้นท่อที่ขนานกัน (Between branch lines: L)

$$As = S * L \quad (5)$$

โดยค่าที่ได้จะต้องไม่เกินค่า พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิงสูงสุด (Maximum Protection Area of Coverage) ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน หรือตามการออกแบบของหัวกระจายน้ำดับเพลิงนั้น

<u>ประสิทธิภาพของการดับเพลิงของน้ำ</u>

ในการดับเพลิงน้ำมีส่วนสำคัญในการ

1. ทำให้เปลวไฟเย็นลง โดยในการดับเพลิง เมื่อหยดน้ำถูกส่งเข้าไปในเปลวไฟ ตัวของเปลวไฟก็จะถูกทำให้เย็นลงอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะไม่สามารถติดขึ้นมาได้อีก

2. ทำให้ผิวหน้าของเป้าหมายเย็นลงนั่นคือ เมื่อหยดน้ำกระทบถูกผิวหน้าที่กำลังลุกไหม้จะทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิลดลงซึ่งการจะทำให้ดับต้องใช้เวลาจนกว่ากระบวนการเผาไหม้นั้นไม่เกิดขึ้นอีก

3. ลดการแผ่รังสีของเปลวไฟ ตัวของหยดน้ำจะทำการป้องกันหรือลดการแผ่รังสีจากเปลวไฟทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลงที่บริเวณพื้นผิวของวัตถุเป้าหมาย

อัตราการเติบโตหรือการเพิ่มขึ้นของไฟถูกกำหนดในรูปแบบของ “$t^2 Fire$” ซึ่งอัตราการปล่อยความร้อนแปรผันตรงกับกำลังสองของเวลา ไฟได้ถูกจัดแบ่งออกเป็น 4 ประเภท แบ่งตามการเผาไหม้และเงื่อนไขของไฟนั้น เพื่อที่วิศวกรป้องกันอัคคีภัยจะสามารถเลือกการออกแบบป้องกันอัคคีภัย ตามอัตราการลุกไหม้ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3

<u>ตารางที่ 3</u> ตารางแสดง อัตราการลุกไหม้ของไฟแบ่งตามการเผาไหม้และเงื่อนไขของไฟ

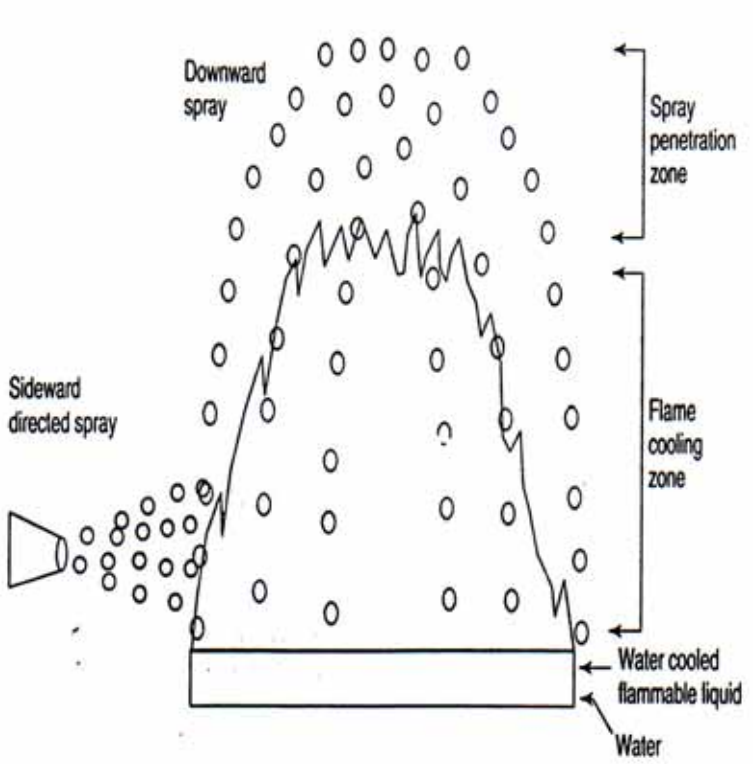
อัตราการลุกไหม้ช้า	$Q^{\bullet} = (0.00293\frac{kW}{Sec^2}) * t^2$ (1050kW in 600 sec)
อัตราการลุกไหม้ปานกลาง	$Q^{\bullet} = (0.01172\frac{kW}{Sec^2}) * t^2$ (1050kW in 300 sec)
อัตราการลุกไหม้เร็ว	$Q^{\bullet} = (0.0469\frac{kW}{Sec^2}) * t^2$ (1050kW in 150 sec)
อัตราการลุกไหม้เร็วมาก	$Q^{\bullet} = (0.1876\frac{kW}{Sec^2}) * t^2$ (1050kW in 75 sec)

ที่มา: Spray Characteristics of Sprinkler (2002)

ในผลการวิเคราะห์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พบว่าค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดยโปรแกรม FDS. มีอัตราอัตราการลุกไหม้ของไฟอยู่ในกลุ่มของ อัตราการลุกไหม้เร็วมาก

Water Spray มีความสามารถในการควบคุมและระงับไฟที่เกิดจากของเหลวไวไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ กลไกและวิธีการทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้

ในภาพที่ 6 อธิบายถึงการดับไฟด้วย Water Spray ในการใช้ละอองน้ำพ่นจากด้านบนเพียงอย่างเดียวบางครั้ง อาจมีหยดน้ำเพียงบางส่วนที่สามารถเข้าถึงส่วนในของไฟโดยหยดน้ำจำนวนหนึ่งถูกระเหยไปและหยดน้ำที่เข้าถึงเปลวไฟ จะทำให้ส่วนของเปลวไฟนั้นเย็นลง โดยลดการแผ่รังสีความร้อนของตัวของเปลวไฟจากผิวหน้าของของเหลว จากในภาพที่6 แสดงให้เห็นว่าหยดน้ำถูกพ่นจากด้านข้างของไฟ หยดน้ำจะลดอุณหภูมิของของเหลวให้ต่ำลง และถ้าเป็นของเหลวที่สามารถละลายน้ำได้ หยดน้ำก็จะสามารถเจือจางของเหลวไวไฟให้เป็นสารประกอบที่ไม่ติดไฟ



<u>ภาพที่ 6</u> ภาพแสดงการดับเพลิงด้วย Spray Water

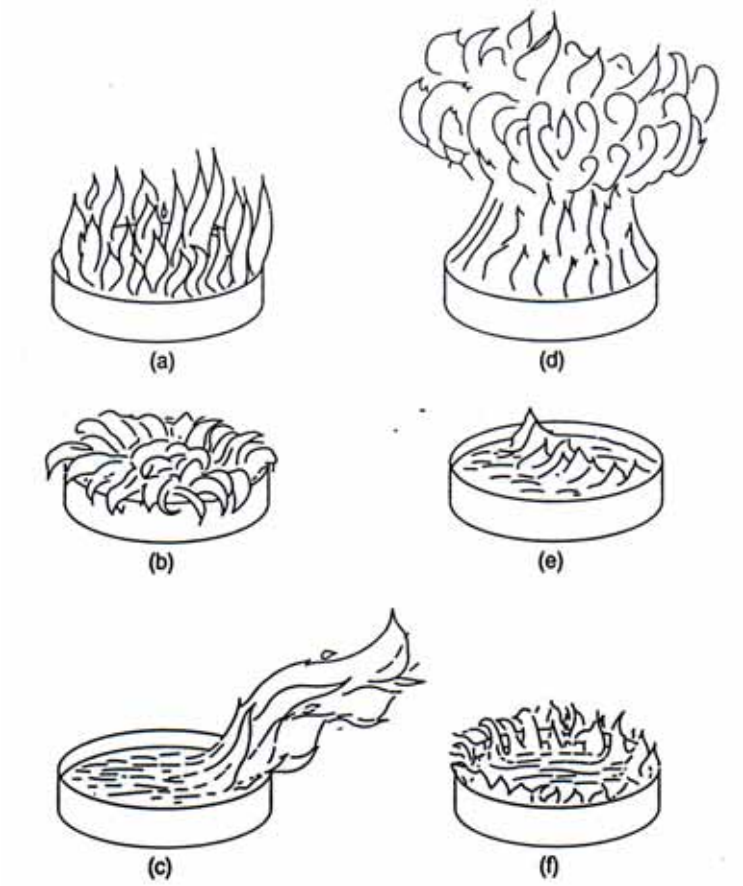
ที่มา: Industrial Fire Protection Engineering. (n.d.)

ภาพที่ 7 ในหน้าถัดไป แสดงถึงลักษณะของไฟในรูปแบบต่างๆดังนี้

ภาพที่ 7 (a) แสดงเปลวไฟที่ถูก หัวกระจายน้ำ ควบคุมทำให้เปลวไฟมีลักษณะไม่สูง หยดน้ำที่ถูกพ่นออกมาจะลดอุณหภูมิที่ผิว และลดการระเหยที่ผิวหน้าของเป้าหมายลง

ภาพที่ 7 (b) แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของเปลวไฟที่มีลักษณะแบบราบเหตุเพราะ ทิศทางของอากาศที่มีทิศทางลง ซึ่งจะมีลักษณะเดียวกันกับละอองน้ำที่ถูกกระจายตัวมีทิศทางลงด้วยความเร็ว

ภาพที่ 7 (c) แสดงภาพเปลวไฟที่ถูกเป่าทำให้มีทิศทางเอียง จะถูกใช้กับลักษณะของไฟที่เกิดจากของเหลวที่มีจุดวาบไฟต่ำ เช่น เฮบเทน (heptanes) ลักษณะการดับเพลิงแบบนี้จะเห็นเมื่อเปลวไฟถูกเป่าจนพ้นขอบของเหลว



<u>ภาพที่ 7</u> ภาพแสดงไฟในลักษณะต่างๆ

ที่มา: Industrial Fire Protection Engineering. (n.d.)

ภาพที่ 7 (d) แสดงให้เห็นภาพเปลวไฟที่ลุกอย่างรุนแรงแสดงถึงลักษณะการตกกระทบของหยดน้ำกับผิวของของเหลวที่กำลังลุกไหม้ที่อุณหภูมิมากกว่า 100 $^{\circ}$C ซึ่งถ้าหยดน้ำมีขนาดเล็กและไม่สามารถจมเข้าไปในของเหลวได้ การลุกไหม้แบบนี้จะเกิดขึ้นในช่วงสั้น ๆ จนกระทั่งอุณหภูมิของของเหลวลดลงต่ำหรือไฟถูกทำให้ดับ แต่ถ้าหยดน้ำมีขนาดใหญ่มากพอที่จะจมลงในของเหลวได้เปลวไฟก็อาจลุกไหม้แบบรุนแรงในลักษณะนี้ยาวนานขึ้น

ภาพที่ 7 (e) เป็นภาพของเปลวไฟที่มีลักษณะเป็นสันและใกล้จะดับเมื่อของเหลวไม่มีไฟติดในที่อื่น ๆ

ภาพที่ 7 (f) เป็นภาพแสดงถึงลักษณะของไฟที่บริเวณขอบของภาชนะเมื่ออุณหภูมิที่ขอบของภาชนะมีอุณหภูมิสูงกว่าตรงกลางเพราะไม่มีไฟลุกไหม้ที่บริเวณตรงกลางของภาชนะ

<u>การประมาณค่าอัตราการปล่อยความร้อน</u>

<u>ตารางที่ 4</u> แสดงอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (BURNING RATE DATA FOR LIQUID HYDROCARBON FUELS)

Fuel	Mass Burning Rate	Heat of Combustion	Density	Empirical Constant
	$\dot{m}''$ (kg/m^2-sec)	$\Delta H_{c,eff}$ (kJ/kg)	ρ (kg/m^3)	$k\beta$ (m^{-1})
Methanol	0.017	20,000	796	100
Ethanol	0.015	26,800	794	100
Butane	0.078	45,700	573	2.7
Benzene	0.085	40,100	874	2.7
Hexane	0.074	44,700	650	1.9
Heptane	0.101	44,600	675	1.1
Xylene	0.09	40,800	870	1.4
Acetone	0.041	25,800	791	1.9
Dioxane	0.018	26,200	1035	5.4
Diethy Ether	0.085	34,200	714	0.7
Benzine	0.048	44,700	740	3.6
Gasoline	0.055	43,700	740	2.1
Kerosine	0.039	43,200	820	3.5
Diesel	0.045	44,400	918	2.1
JP-4	0.051	43,500	760	3.6
JP-5	0.054	43,000	810	1.6
Transformer Oil, Hydrocarbon	0.039	46,000	760	0.7
561 Silicon Transformer Fluid	0.005	28,100	960	100
Fuel Oil, Heavy	0.035	39,700	970	1.7
Crude Oil	0.0335	42,600	855	2.8
Lube Oil	0.039	46,000	760	0.7

ที่มา: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Edition (2002)

จากสมการ

$$Q^{\bullet} = m^{\bullet} * \Delta H_{c,eff} \qquad (6)$$

$Q^{\bullet}$ = อัตราการปล่อยพลังงาน (Heat release rate) กิโลวัตต์ $(kW.)$

$m^{\bullet}$ = อัตราการเผาไหม้มวลสารต่อหน่วยเวลา (Burning or mass loss rate) $(kg / Sec.)$

$\Delta Hc, eff$ = ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (kj / kg)

โดยทั่วไปอัตราการเผาไหม้ของสารจะได้จากการทำการทดลองเผาไหม้ตัวสารนั้น ๆ (Free Burning Test) และทำการเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่มีการเผาไหม้มีหน่วยเป็น $(kg / m^2 - Sec)$ ถ้าในกรณีที่ทราบพื้นที่ของการเผาไหม้และทราบค่าความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง $\Delta H_{c,eff}$ สมการด้านบนจะสามารถเปลี่ยนเป็น

$$Q^{\bullet} = m^{\bullet} * \Delta H_{c,eff} (1 - e^{-k\beta D}) * A_{dike} \qquad (7)$$

โดย

$Q^{\bullet}$ = อัตราการปล่อยพลังงาน $(kW.)$

$m^{\bullet}{}''$ = อัตราการเผาไหม้มวลสารต่อหน่วยพื้นที่ต่อเวลา $(kg / m^2 - Sec.)$

$\Delta Hc, eff$ = ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (kj / kg)

A_{dike} = พื้นที่ของการเผาไหม้ (m^2)

$k\beta$ = ค่าคงที่ของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (m^{-1})

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่ที่มีการเผาไหม้ (m)

ในกรณีที่เส้นผ่าศูนย์กลางของการรั่วหกของสารมีขนาดใหญ่มาก ทำให้ค่าของเทอมที่อยู่ในฟังก์ชั่นเอ็กโปเนเชี่ยนมีค่าน้อย สมการที่ (7) สามารถลดรูปเป็นสมการที่ (8) ได้ดังนี้

$$Q^{\bullet} = m^{\bullet} * \Delta H_{c,eff} (1 - e^{-k\beta D}) * A_{dike} \qquad (8)$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Morita (2000) ศึกษาเกี่ยวกับกลไกการใช้ละอองน้ำในการดับเพลิงสำหรับไฟที่อยู่ในภาชนะบรรจุ (Suppression Mechanism of Water Mist for Pool Fire; 2000) โดยมี วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของความร้อนแฝงที่เกิดจากการดับเพลิงโดยใช้ละอองน้ำในการดับไฟที่ลุกไหม้จากห้องเก็บสารเคมี n-heptane และควบคุมขนาดของละอองน้ำอยู่ที่ 85 ไมครอน โดยใช้ Saunter mean diameters

การศึกษาครั้งนี้ได้มีการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดับเพลิงโดยใช้ละอองน้ำ 4 ประการ ได้แก่ ความร้อนแฝงของไอระเหย. ค่าความจุความร้อน. ความเข้มข้นของออกซิเจน และการเย็นตัวลงของเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุความร้อนและความเข้มข้นของออกซิเจนมีผลกระทบต่อการดับเพลิงที่ใกล้เคียงกันสำหรับสารเคมีประเภทแก๊สเฉื่อย และจากการทดลองพบว่าค่าความร้อนแฝงจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าความจุความร้อนซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักตามอัตราการไหลของน้ำ

Liu and Kim (2001) ศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีการดับเพลิงโดยใช้ละอองน้ำ (A review of Water Mist Fire Suppression Technology; 2001) สำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น การใช้ถังดับเพลิงประเภท B ในพื้นที่ที่มีเครื่องมือ เครื่องจักร หรือยานพาหนะทางการทหาร และห้องจัดเก็บของเหลวไวไฟ, การดับเพลิงประเภท A ในพื้นที่อยู่อาศัย เรือสำราญ และพื้นที่สาธารณะทั่วไป รวมถึงการดับเพลิงประเภท C ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และห้องคอมพิวเตอร์ โดยอ้างถึง Milke and Gerschefski (1995) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการใช้ละอองน้ำในการดับเพลิงภายในพื้นที่ห้องสมุด โดยทำการทดลองในพื้นที่ขนาด 7.92x3.96x2.29 เมตร มีชั้นหนังสือ 3แถว และบรรจุหนังสือจำนวน 500 เล่ม ซึ่งมีการติดตั้งระบบละอองน้ำความดันสูง (69 บาร์) และมีการติดตั้งหัวฉีดไว้บริเวณทางเดิน และในพื้นที่ปล่องไฟ ซึ่งผลการทดลองพบว่า ระบบละอองน้ำสามารถช่วยให้อุณหภูมิของห้องลดลงอย่างรวดเร็ว และพบว่าหนังสือพิมพ์ที่เก็บในชั้นวางหนังสือ 2 ชั้นที่อยู่เหนือระดับเปลวไฟได้รับความเสียหายเพียงเล็กน้อย

Prasad *et al.* (1998) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการดับเพลิงที่เกิดจากการเผาไหม้ของเมธานอล (Numerical Modeling of Water Mist Suppression of Methanol-Air Diffusion Flame; 1998) โดยอธิบายเป็น 2 ช่วง คือระยะที่เป็นแก๊ส และระยะที่เป็นละอองน้ำ เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการทางกายภาพของปฏิกิริยาระหว่างละอองน้ำและเปลวไฟ และผลการทดลองพบว่า ขนาดของละอองน้ำ ความหนาแน่นในการฉีด ความเร็วละอองน้ำที่เข้าสัมผัสกับเปลวไฟมีผลต่อการดับเพลิง และ Prasad K., Li, C. และ Kailasanath, K., ศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของการฉีดละอองน้ำบนเปลวไฟ โดยทั้ง 2 การทดลอง สรุปได้ว่า ละอองน้ำขนาดเล็กสามารถดับเพลิงได้อย่างเหมาะสมภายใต้สภาวะที่ทำการฉีดน้ำไปในตำแหน่งฐานของไฟ ในขณะที่ละอองน้ำขนาดใหญ่จะสามารถดับเพลิงได้ดีหากฉีดไปในตำแหน่งด้านข้างของไฟ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

หน่วยประมวลผล INTEL Pentium 4 2.6 GHz

หน่วยความจำ 768 MB

40 GB of hard disk

2. โปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง

Nist Fire Dynamic Simulator Version 4.0.5

วิธีการ

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎี การเกิดเพลิงไหม้ของสารเคมีที่จะทำการทดลอง และค้นคว้าเกี่ยวกับเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ศึกษาบทความ หนังสือ ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีไวไฟที่ทำการวิจัยและ Fire Dynamic Simulator

2. ทำการรวบรวมข้อมูล เช่น แบบของอาคาร และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ที่ถูกเก็บในห้องเก็บสารเคมีไวไฟเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง

3. ทำการทดลองสร้างแบบจำลอง การเกิดเพลิงไหม้จากข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมลงใน คอมพิวเตอร์

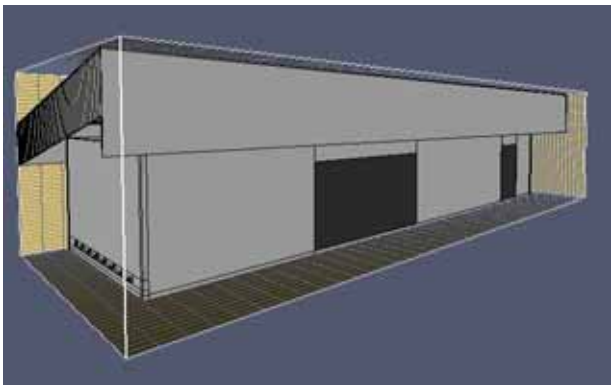
4. ทำการวิเคราะห์และออกแบบ แบบจำลองเพื่อใช้ในการควบคุมเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรม FDS.

วิธีการศึกษาการจำลองแบบการควบคุมและป้องกันการเกิดเพลิงไหม้จากสารเคมีไวไฟ มีรายละเอียดและวิธีการศึกษาดังนี้

1. <u>ข้อมูลของห้องเก็บสารเคมีไวไฟที่ใช้ในการทำวิจัย</u>

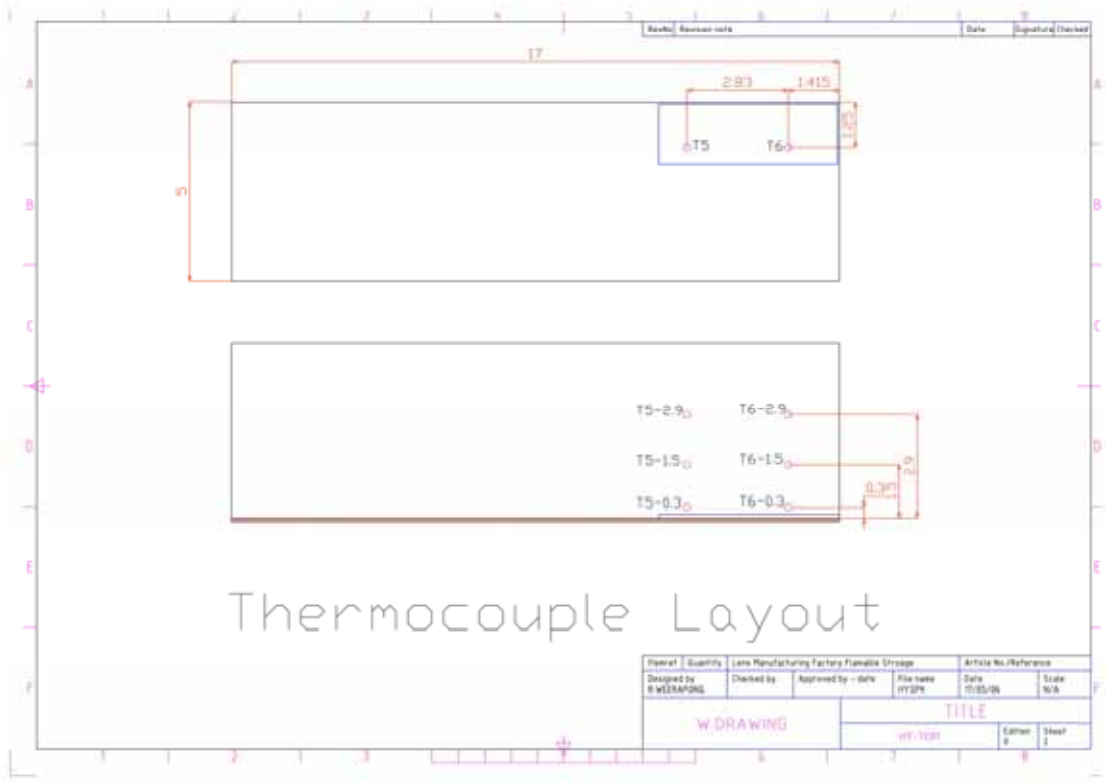
ห้องเก็บสารเคมีไวไฟที่ใช้ในการทำวิจัยเป็นอาคารคอนกรีต ขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 17 เมตร สูง 5 เมตร มีพื้นที่เท่ากับ 85 ตารางเมตร ในการวิจัยกำหนดให้พื้นที่นี้เก็บสาร Methanol เพียงอย่างเดียว ณ จุดเกิดเพลิงไหม้เป็นถาดรองรับการรั่วหกของสารเคมี ขนาด ยาว 5 เมตร กว้าง 1.4 เมตร สูง 0.1 เมตร ตำแหน่งแสดงตามภาพที่ 10

<u>ภาพที่ 8</u> ภาพแสดงลักษณะของตัวอาคารห้องเก็บสารเคมีไวไฟซึ่งมองจากภายนอก



<u>ภาพที่ 9</u> แสดงแบบจำลองของตัวอาคาร ของห้องเก็บสารเคมีไวไฟซึ่งมองจากภายนอก

ในภาพที่ 10 แสดงตำแหน่ง ของถาดรองรับการรั่วหก และตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิ โดยมีหัววัดอุณหภูมิทั้งหมด 6 จุดโดยอยู่ห่างจากกำแพง (ด้านยาว 17เมตร) เป็นระยะ 1.25 เมตร และห่างจากกำแพงด้านข้าง (ด้านกว้าง 5 เมตร) เป็นระยะ 1.415 เมตร และ2.83 เมตร ตามลำดับ ความสูงของหัววัดอุณหภูมิจะอยู่ที่ระยะ 0.3 เมตร 1.5 เมตร และ 2.9 เมตร จากพื้นอาคาร



<u>ภาพที่ 10</u> ภาพแสดงตำแหน่ง ของถาดรองรับการรั่วหกและตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิโดยมองจากด้านบนและด้านหน้า

การวิจัยแบ่งการสร้างแบบจำลอง ออกเป็น 2 กรณี โดยในกรณีที่1 จะเป็นการสร้างแบบจำลอง เพื่อศึกษาพฤติกรรมของไฟที่เกิดขึ้นก่อนมีการออกแบบเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้ และกรณีที่ 2 จะเป็นการสร้างแบบจำลอง ที่มีการควบคุมการเกิดเพลิงไหม้ โดยในกรณีที่ 2 จะมีการออกแบบเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้โดยเพิ่มความสูงของผนังเพื่อลดทางเข้าของอากาศและมีการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพื่อทำการลดอุณหภูมิที่เกิดจากการลุกไหม้ จากนั้นนำค่าของอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 กรณี มาทำการเปรียบเทียบกัน

สำหรับในกรณีที่ 2 ซึ่งจะมีการออกแบบเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้นั้นจะใช้การติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงโดย เลือกใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงที่มีในฐานข้อมูลของ Fire Dynamic Simulator เป็น แบบ K-5 (Sprinkler: K5.spk) โดยออกแบบตามตาราง ของ NFPA13 ที่ความสูง 3 เมตร หัวกระจายน้ำดับเพลิงมีค่า K-factor=79 (l/m)/ (bar) $^{1/2}$หรือ 5.48 Gallon/min/ (psi) $^{1/2}$ โดยมีขนาดหยดน้ำเท่ากับ 800 ไมครอน

2. <u>ขั้นตอนการวางหัว กระจายน้ำดับเพลิง</u>

สำหรับการคำนวณหาระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง และการวางตำแหน่งของหัวกระจายน้ำดับเพลิงสามารถคำนวณได้จาก ตารางที่ 5 ซึ่งเป็นตารางการกำหนดค่าสูงสุดของ ระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง และพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบ พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก กลุ่มที่ 2 เพราะ Methanol เป็นสารเหลวชนิดไวไฟ ในตารางที่ 5 ชนิดของสิ่งกีดขวางแบ่งเป็น3แบบคือ แบบไม่มีสิ่งกีดขวาง จากโครงสร้างแบบโครงสร้างที่กีดขวางไม่ติดไฟ และแบบโครงสร้างที่กีดขวางติดไฟ

<u>ตารางที่ 5</u> ตารางการกำหนดค่าสูงสุดของ ระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง และพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ชนิดของสิ่งกีดขวาง	ระบบที่ใช้คำนวณ	ค่าสูงสุดของพื้นที่ป้องกัน		ค่าสูงสุดของระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง	
		ft^2	m^2	Ft	m
ทุกแบบ	Pipe Schedule	90	8.4	12	3.7
ทุกแบบ	Hydraulically calculated with density >=0.25	100	9.3	12	3.7
ทุกแบบ	Hydraulically calculated with density <0.25	130	12.1	15	4.6

<u>หมายเหตุ</u> Table 8.6.2.2.1(c) Protection Areas and Maximum for Extra Hazard Standard Spray Upright/Standard Spray Pendent) For Extra Hazard

ที่มา: NFPA13: (2002)

ขั้นตอนการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิงจะมีขั้นตอนดังนี้

2.1 กำหนดพื้นที่ของห้องเก็บสารเคมีไวไฟ

2.2 คำนวณจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงจาก

จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง = พื้นที่ที่ต้องการวิเคราะห์/Protective Area

2.3 ทำการออกแบบวาง หัวกระจายน้ำดับเพลิง

ระยะห่างในแนวเส้นท่อเดียวกัน (Along branch lines :) S

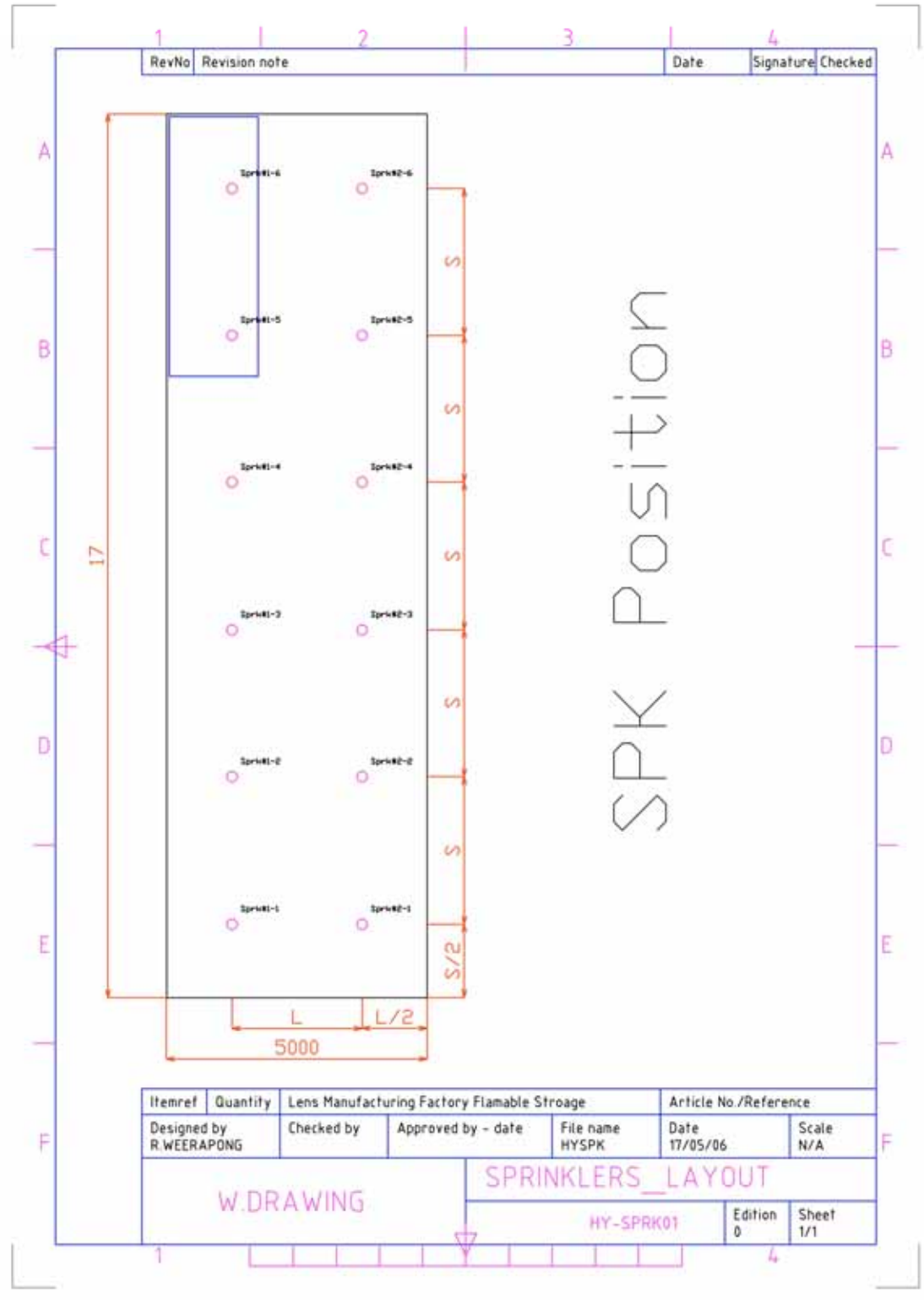
ระยะจากกำแพงถึงหัวหัวกระจายน้ำดับเพลิง = $\frac{S}{2}$

ระยะห่างในแนวระหว่างเส้นท่อ (Between branch lines :) L

ระยะจากกำแพงถึงหัวกระจายน้ำดับเพลิง = $\frac{L}{2}$

พื้นที่การป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง $As = S * L$

ในภาพที่ 11 เป็นการแสดงตำแหน่งของการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิงจากการออกแบบ โดยรายละเอียดการคำนวณได้ทำการแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.



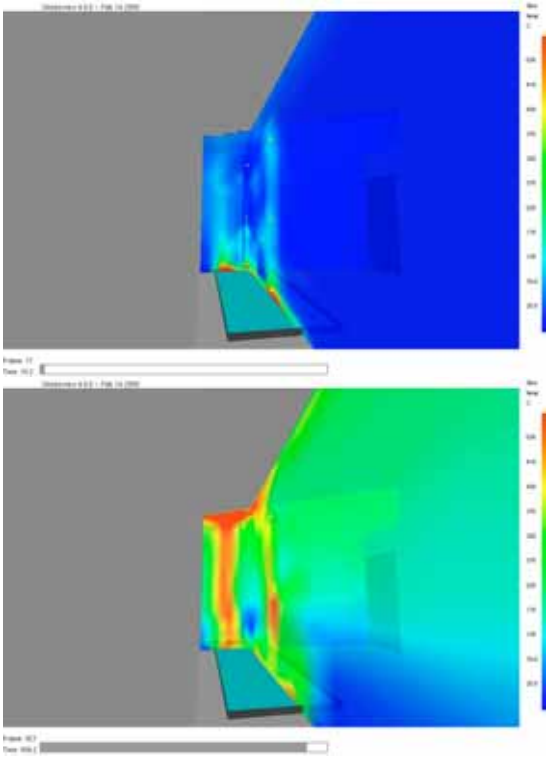
<u>ภาพที่ 11</u> ภาพแสดงตำแหน่งของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ผลและการวิจารณ์

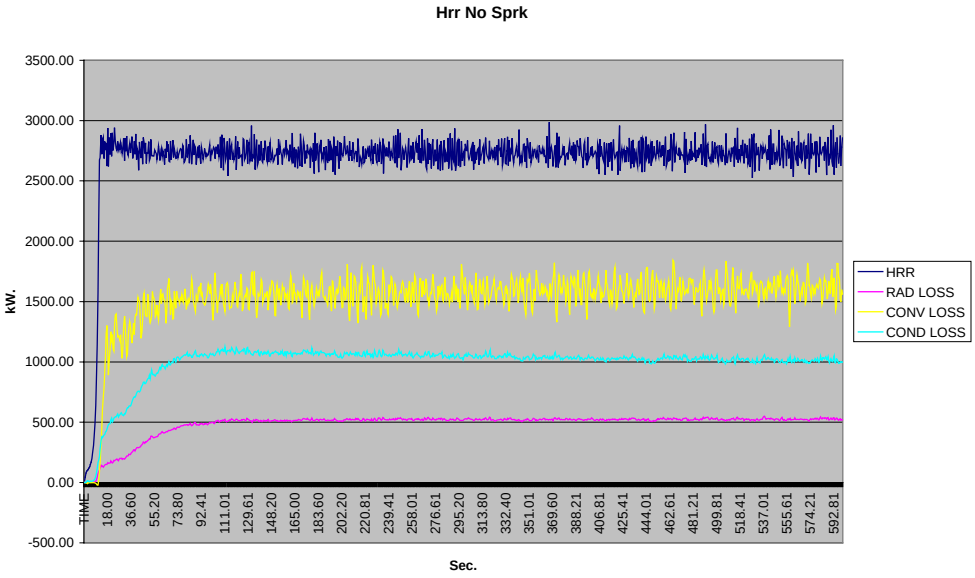
ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของไฟในห้องเก็บสารเคมีก่อนการออกแบบปรับปรุง

จากการสร้างแบบจำลอง การเกิดเพลิงไหม้ในห้องเก็บสารเคมีไวไฟ พบว่า รูปแบบของการเกิดเพลิงไหม้ของเมทานอล ณ จุดที่ทำการทดลองทำให้อุณหภูมิภายในห้องเพิ่มขึ้นสูงโดยมีการกระจายตัวขึ้นสู่ด้านบนดังแสดงในภาพที่ 12 ในภาพที่ 13 เป็นกราฟแสดงค่าความร้อนที่เกิดจากการลุกไหม้ของ Methanol จากการสร้างแบบจำลอง

ในภาพที่ 15, 16 และ 17 เป็นกราฟแสดงอุณหภูมิที่บริเวณที่มีการตั้งจุดวัดอุณหภูมิเหนือถาดรองรับการรั่วหก ที่ความสูง 0.3 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 697 องศาเซลเซียส ที่เวลา 550 วินาที ที่ความสูง 1.5 เมตรมีอุณหภูมิสูงสุด 607 องศาเซลเซียส ที่เวลา 511 วินาที และ ที่ความสูง 2.9 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 536 องศาเซลเซียส ที่เวลา 516 วินาที

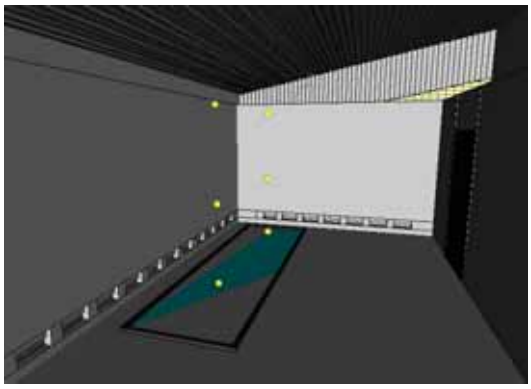


ภาพที่ 12 ภาพอุณหภูมิภายในห้องที่มีการกระจายตัวขึ้นสู่ด้านบน ที่เวลา 10 วินาที และ 556 วินาที

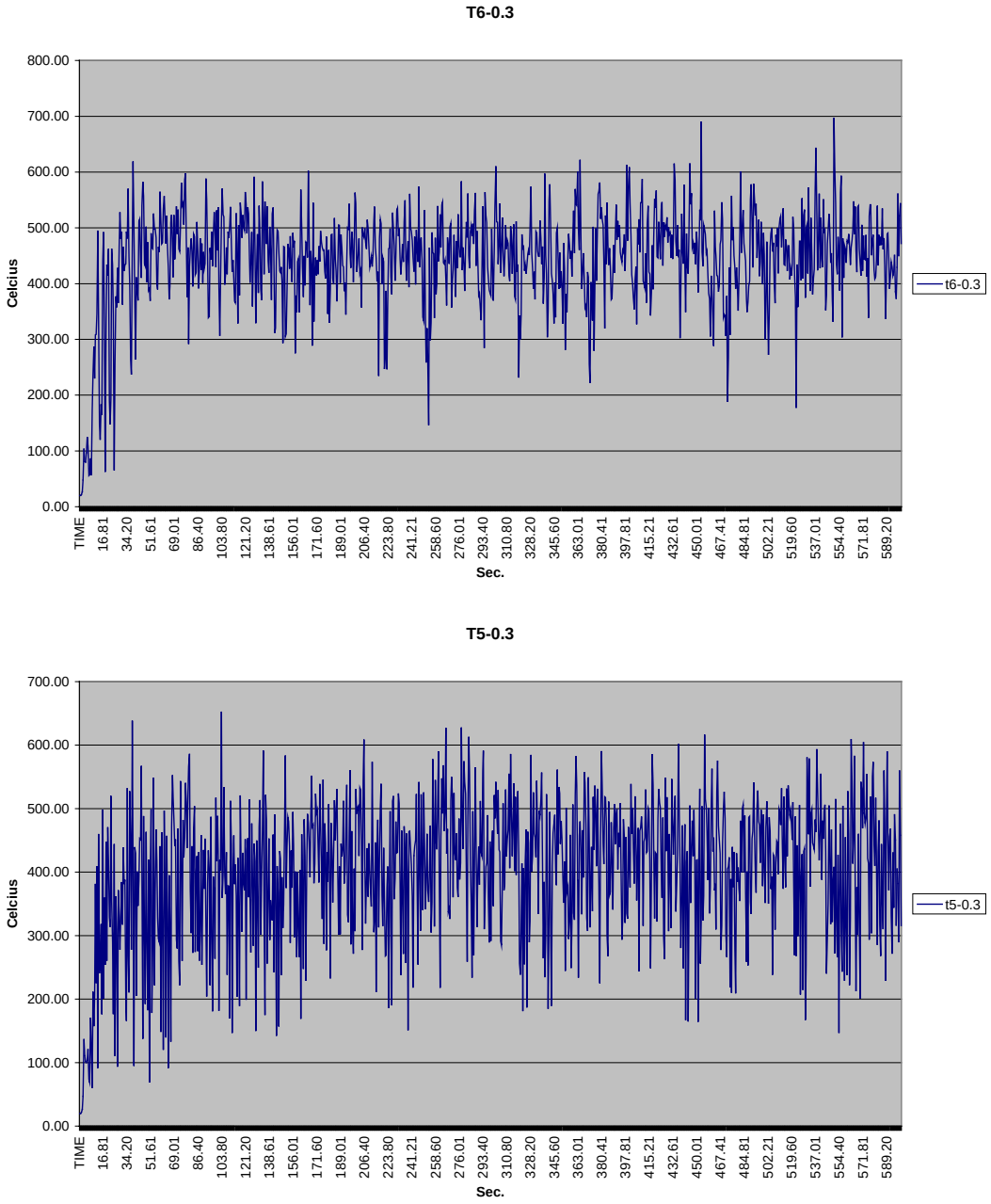


<u>ภาพที่ 13</u> กราฟแสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. แบบไม่มีการควบคุมเพลิงไหม้

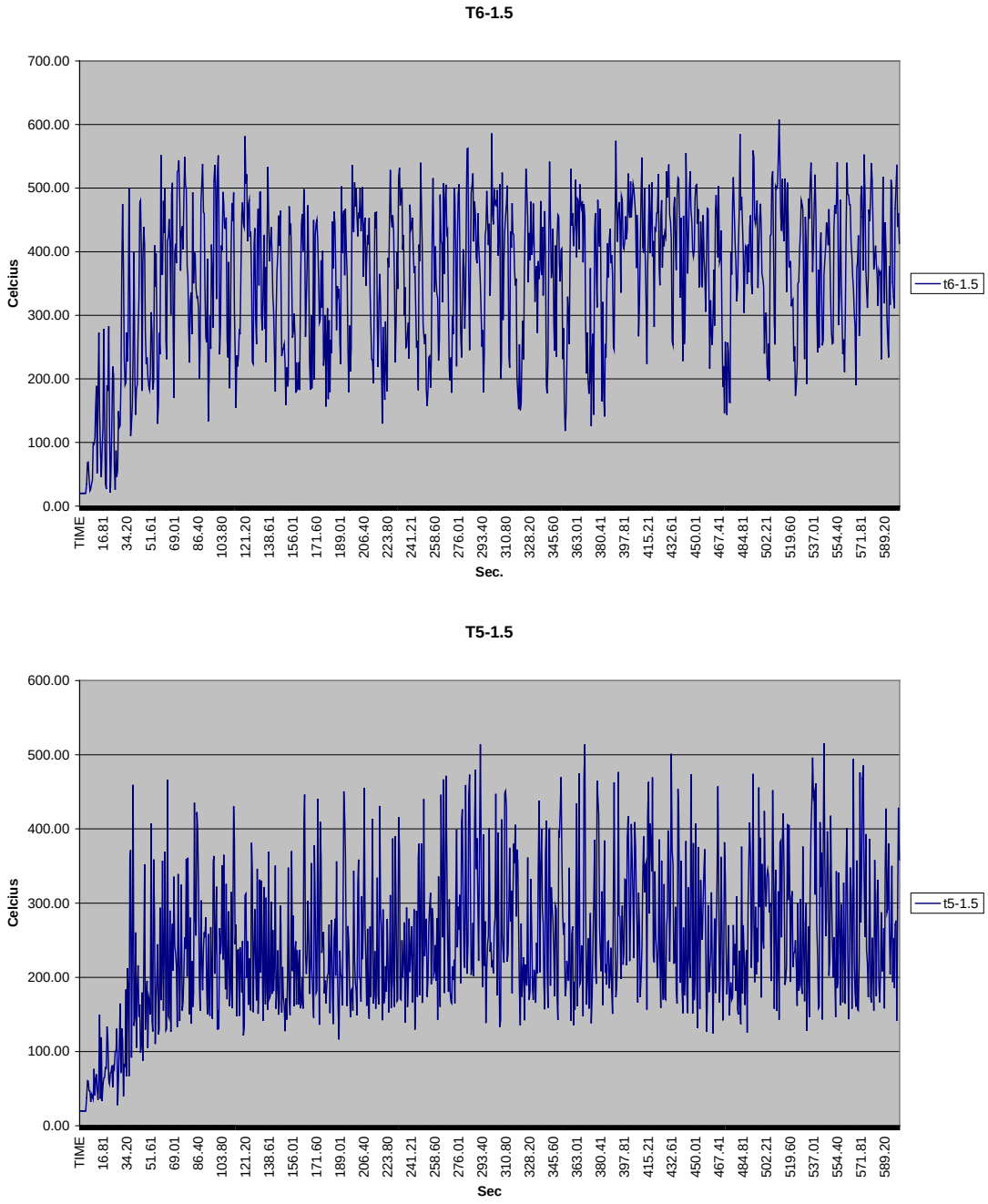
จากภาพที่ 13 เส้นHRR แสดงถึงค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้ (Heat Release Rate) เส้น RAD LOSS แสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ภายในขอบเขตของแบบจำลองที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiative Heat Loss) เส้นCONV LOSS แสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ภายในขอบเขตของแบบจำลองที่เกิดจากการพาความร้อน (Convective Loss) เส้น COND LOSS แสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ภายในขอบเขตของแบบจำลองที่เกิดจากการนำความร้อน (Conductive Loss)



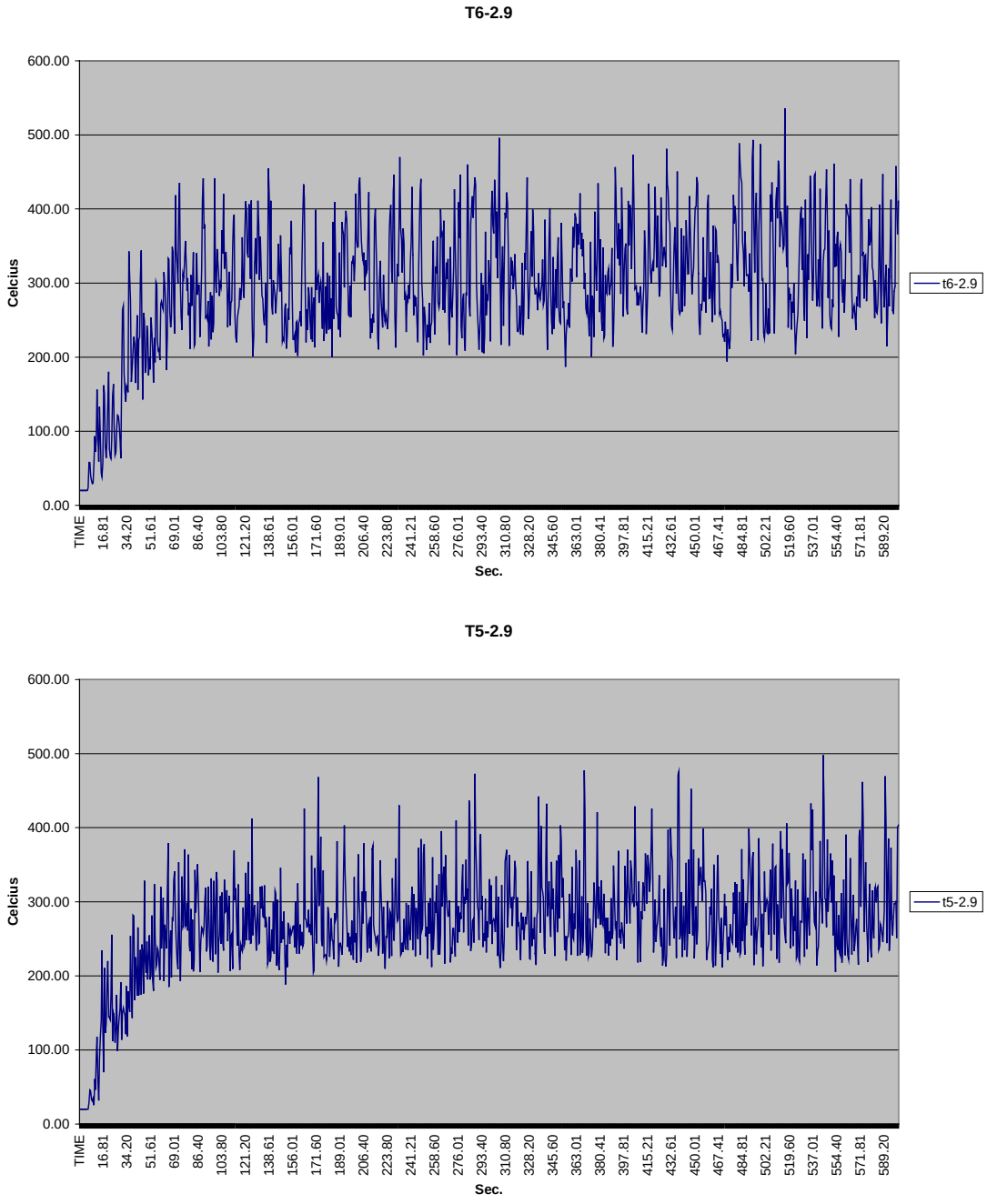
<u>ภาพที่ 14</u> ภาพแสดงตำแหน่งของตัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ที่ใช้ในการจำลองโดย FDS.



<u>ภาพที่ 15</u> กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. ที่ตำแหน่งความสูง 0.3 เมตร เหนือถาดรองรับการรั่วหก ในแบบที่ไม่มีการควบคุมเพลิงไหม้



ภาพที่ 16 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. ที่ตำแหน่งความสูง 1.5 เมตร เหนือถาดรองรับการรั่วหก ในแบบที่ไม่มีการควบคุมเพลิงไหม้

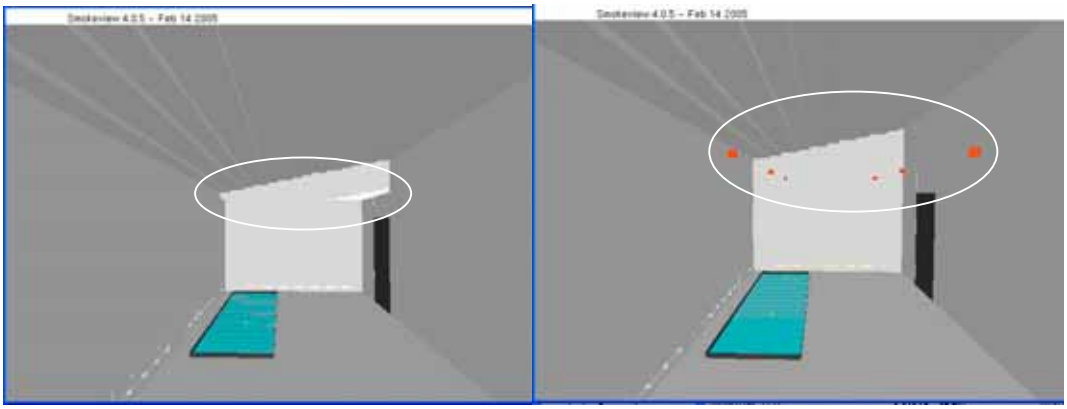


ภาพที่ 17 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. ที่ตำแหน่งความสูง 2.9 เมตร เหนือถาดรองรับการรั่วหก ในแบบที่ไม่มีการควบคุมเพลิงไหม้

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของไฟในห้องเก็บสารเคมีไวไฟ หลังจากที่มีการออกแบบปรับปรุง

ในงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบปรับปรุงห้องเก็บสารเคมีไวไฟเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้ดังนี้

1. ปรับปรุงโดย การเพิ่มความสูงของผนังห้องเพื่อลดทางเข้าของอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 18 โดยในภาพ แสดงภาพก่อนและหลังทำการปรับปรุงห้องเก็บสารเคมีไวไฟโดยในภาพที่ 18 ด้านซ้ายจะเป็นภาพก่อนมีการออกแบบเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้โดยเพิ่มความสูงของผนังและมีการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงจุดสีแดงที่ปรากฏในภาพด้านซ้ายแทนหัวกระจายน้ำดับเพลิง

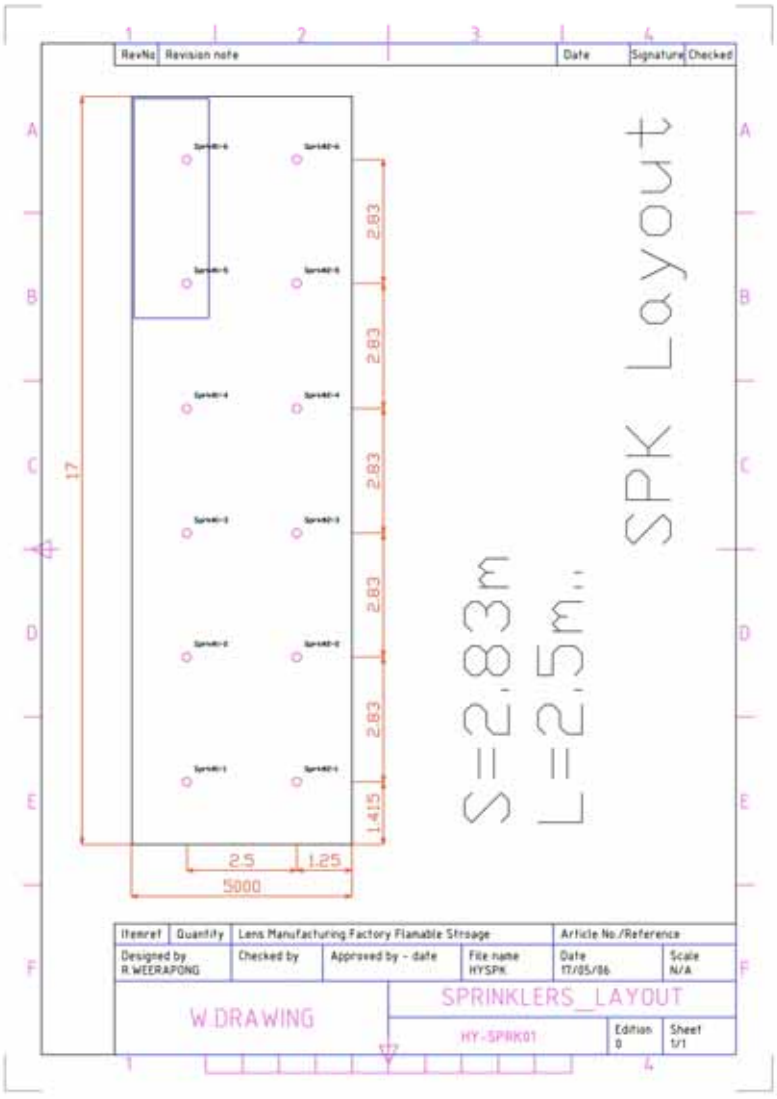


ภาพที่ 18 ภาพแสดงการสร้างแบบจำลอง ก่อนมีการออกแบบเพื่อควบคุมการเกิดเพลิงไหม้เปรียบเทียบกับหลังมีการปรับปรุงโดยเพิ่มความสูงของผนังและมีการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง

2. ปรับปรุงโดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง

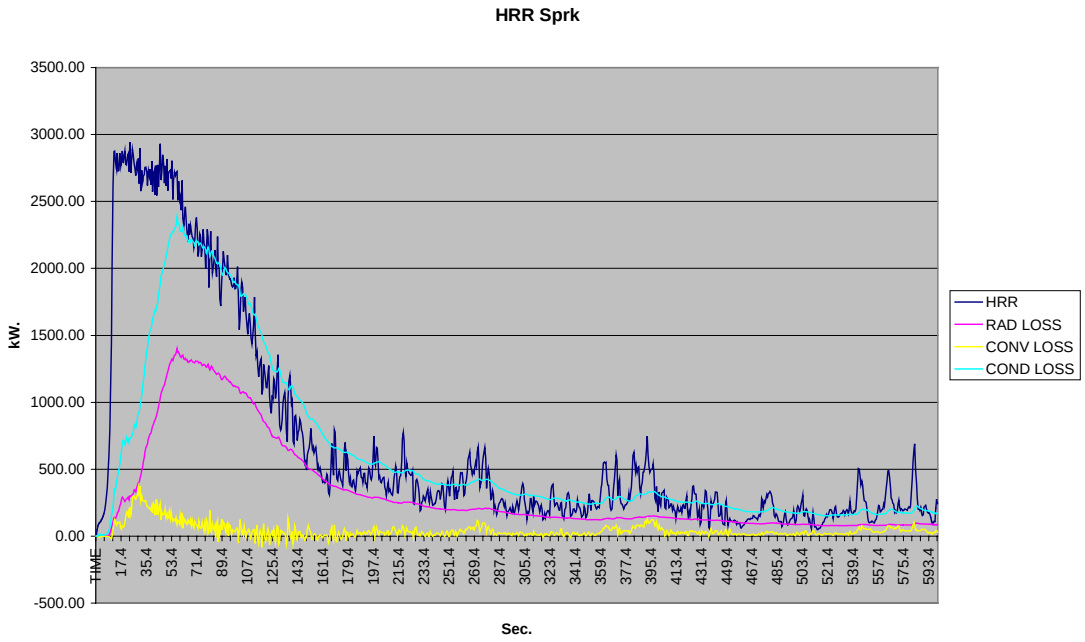
ในการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงจะอ้างอิงจากมาตรฐาน NFPA13 โดยพื้นที่ของห้องเก็บสารเคมีไวไฟ มีค่าเท่ากับ 85 ตารางเมตร ในการติดตั้งจะใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงทั้งหมด 12 หัว โดยติดตั้งในแนวเส้นท่อเดียวกันแบ่งเป็น 2 แถวละ 6 หัว ระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิงในแนวเส้นท่อเดียวกันมีค่า 2.83 เมตร ระยะห่างจากกำแพงถึงหัวกระจายน้ำดับเพลิงคือ 1.42 เมตร ระยะห่างระหว่างเส้นท่อ มีค่า 2.5 เมตร ระยะห่างจากกำแพงถึงหัวกระจายน้ำดับเพลิงคือ 1.25 เมตร มีพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำดับเพลิง 7 ตารางเมตร ภาพแสดงระยะการติดตั้ง

หัวกระจายน้ำดับเพลิงในห้องเก็บสารเคมีไวไฟแสดงไว้ในภาพที่19 สำหรับรายละเอียดการคำนวณ ระยะต่าง ๆ ของการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงได้คำนวณไว้ในภาคผนวก ก.



ภาพที่ 19 ภาพแสดงแผนผังการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงในห้องเก็บสารเคมีไวไฟ

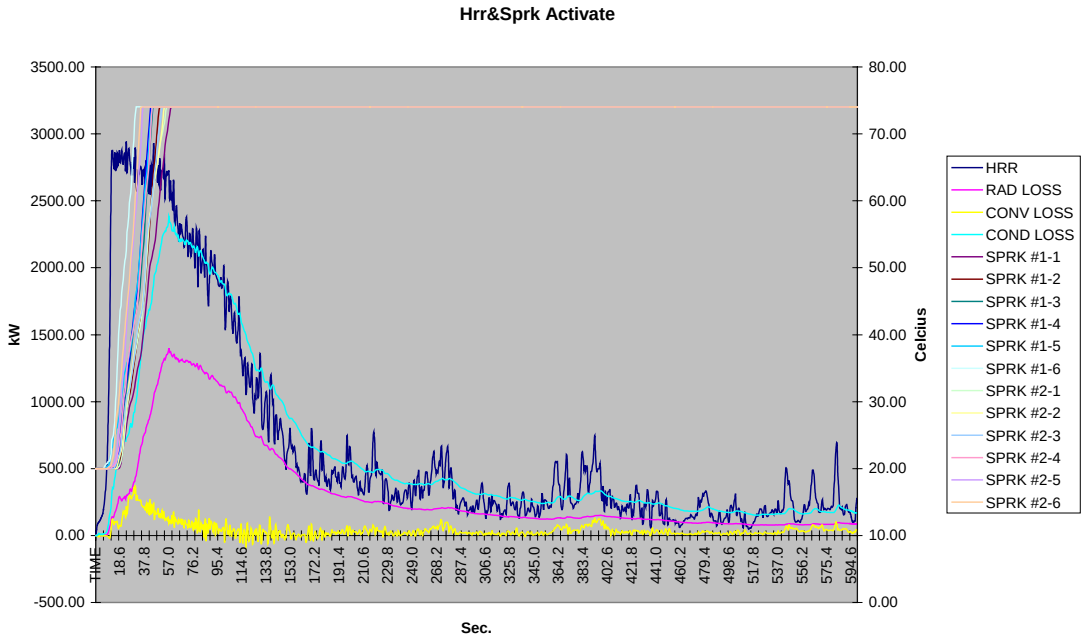
ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม FDS. สำหรับห้องเก็บสารเคมีไวไฟที่ได้มีการปรับปรุงแล้วพบว่า เมื่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน (ที่อุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิและค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องจะลดลง ภาพที่ 20 แสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS.



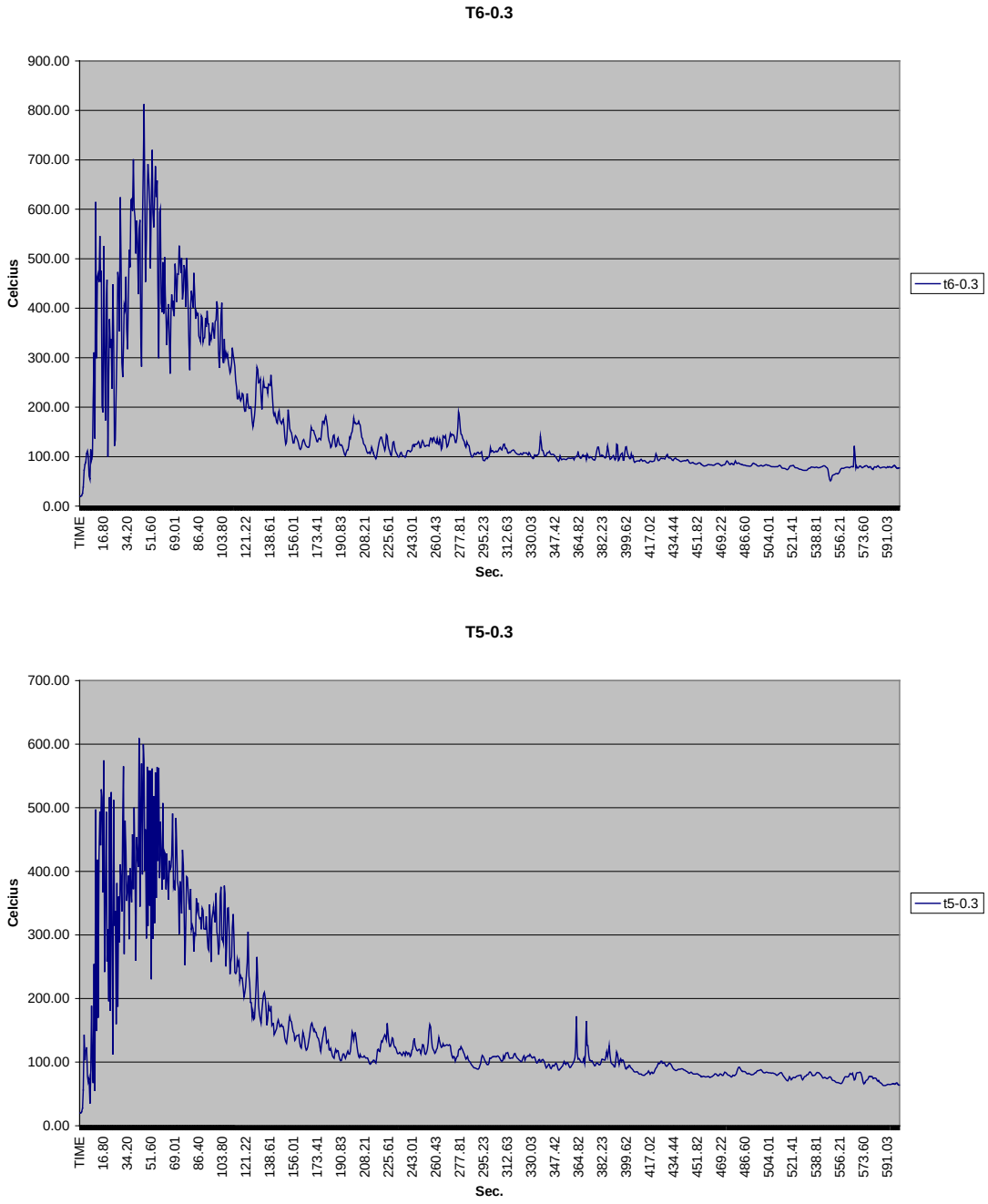
ภาพที่ 20 กราฟแสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. แบบมีการควบคุมเพลิงไหม้

จากภาพที่ 20 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทดลองในลักษณะที่มีการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเพื่อทำการควบคุมการเกิดเพลิงไหม้จะสามารถเห็นได้ว่าค่าความร้อนจะลดลงเมื่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงานโดยสามารถเปรียบเทียบกันระหว่าง ภาพที่ 13 และ ภาพที่ 20

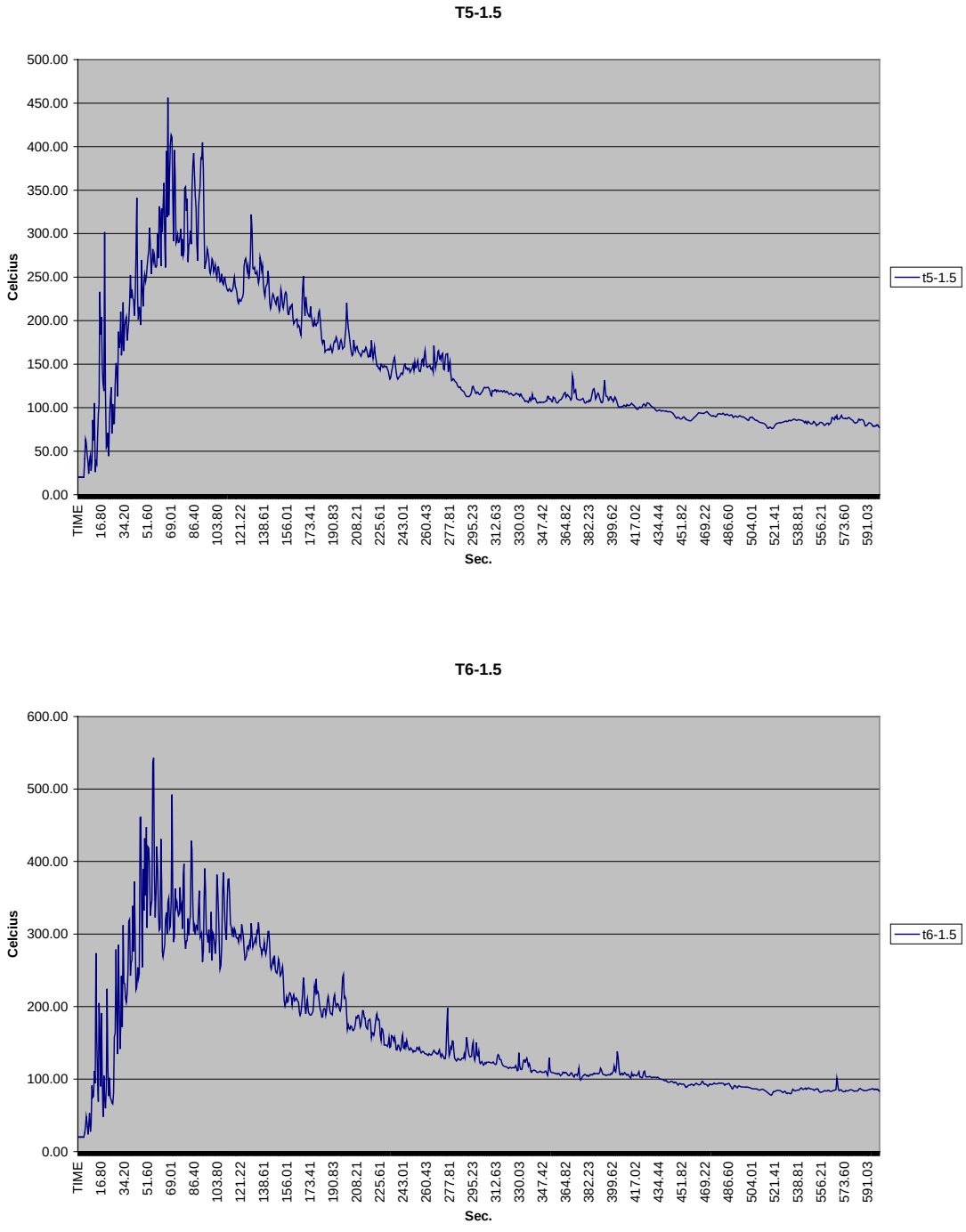
ภาพที่ 21 แสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นและค่าอุณหภูมิที่หัวกระจายน้ำดับเพลิง ในภาพที่ 22, 23 และ 24 แสดงค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งความสูง 0.3, 1.5 และ 2.9 เมตรตามลำดับ



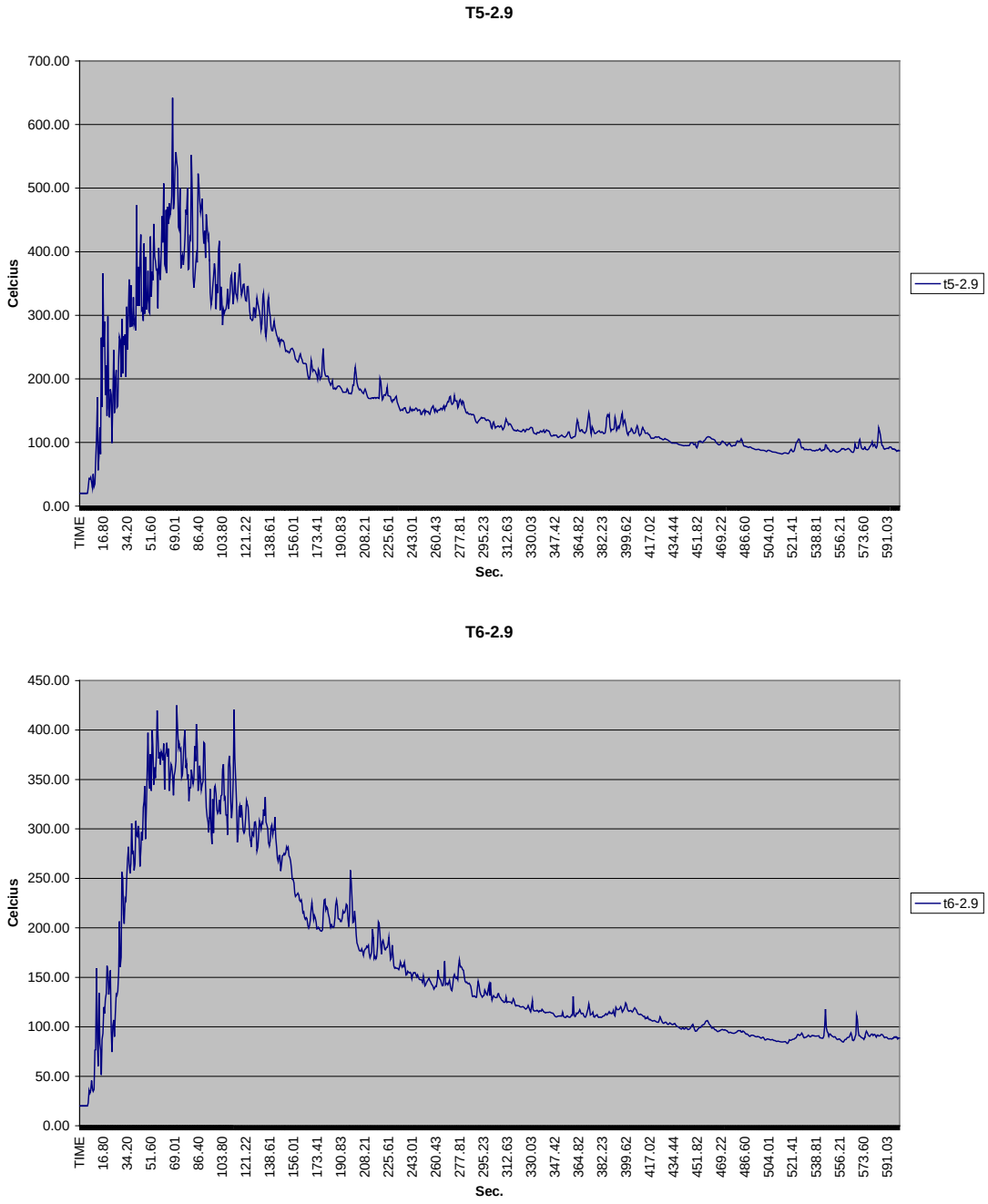
ภาพที่ 21 กราฟแสดงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. แบบมีการควบคุมเพลิงไหม้และแสดงค่าอุณหภูมิที่หัวกระจายน้ำดับเพลิง



ภาพที่ 22 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. ที่ตำแหน่งความสูง 0.3 เมตร เหนือถาดรองรับการรั่วหก ในแบบที่มีการควบคุมเพลิงไหม้

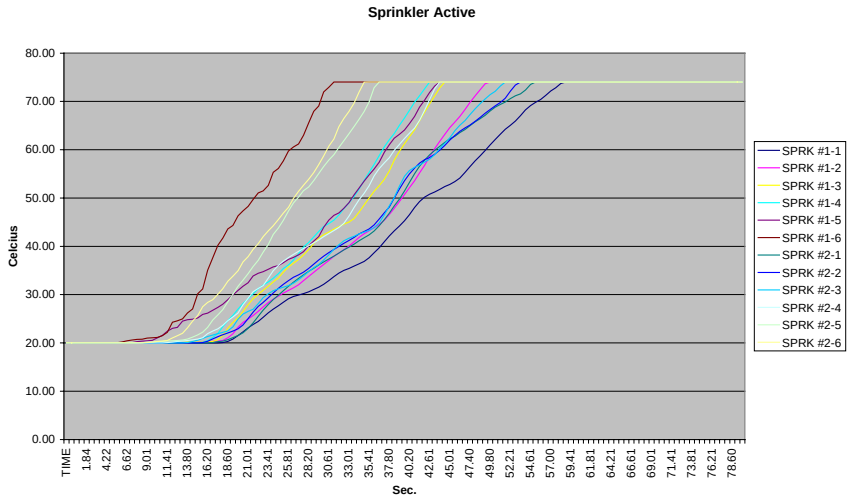


<u>ภาพที่ 23</u> กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. ที่ตำแหน่งความสูง 1.5 เมตร เหนือถาดรองรับการรั่วหก ในแบบที่มีการควบคุมเพลิงไหม้



<u>ภาพที่ 24</u> กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. ที่ตำแหน่งความสูง 2.9 เมตร เหนือถาดรองรับการรั่วหก ในแบบที่มีการควบคุมเพลิงไหม้

จากการทดลองโดยใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงจากฐานข้อมูลของโปรแกรม FDS. จะเห็นว่าเมื่อเกิดการลุกไหม้ และอุณหภูมิในห้องเพิ่มขึ้น ตัวของหัวกระจายน้ำดับเพลิงจะเริ่มทำงาน เมื่อตัวของมันเองมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 74 องศาเซลเซียต ดังสามารถแสดงได้ในภาพที่ 25



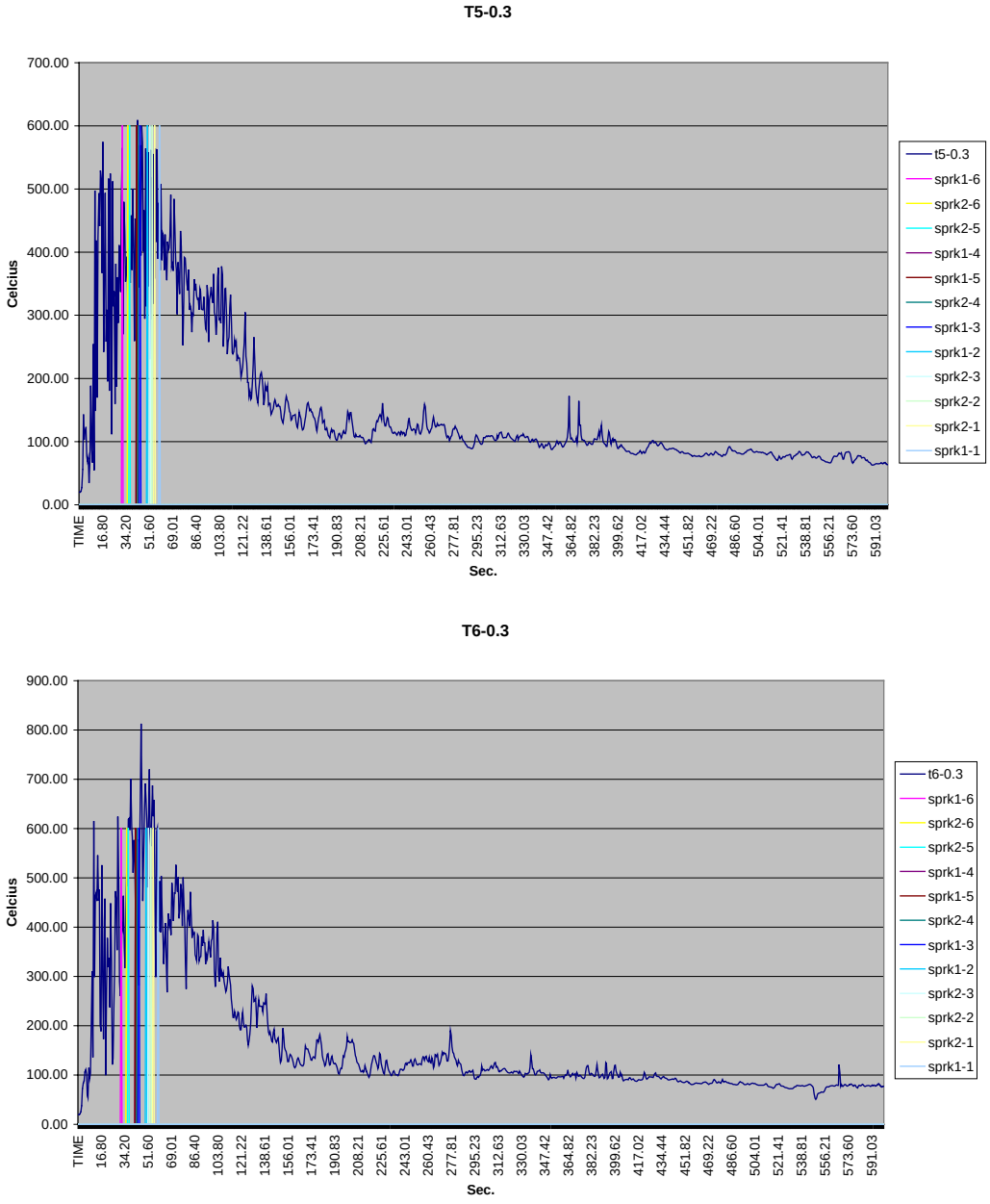
ภาพที่ 25 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. ของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

จากภาพที่ 25 จะเห็นว่าหัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงานที่เวลาต่างกันเป็นเพราะตำแหน่งในการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิง ทำให้ระยะจากหัวกระจายน้ำดับเพลิง ถึงจุดที่เกิดเพลิงไหม้ต่างกัน อุณหภูมิที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงที่เกิดจากการจำลองแบบจึงต่างกัน เวลาที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงานแสดงได้ในตารางที่6 และในภาพที่27, 28 และ 29 แสดงให้เห็นกราฟของ อุณหภูมิและเวลาที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน

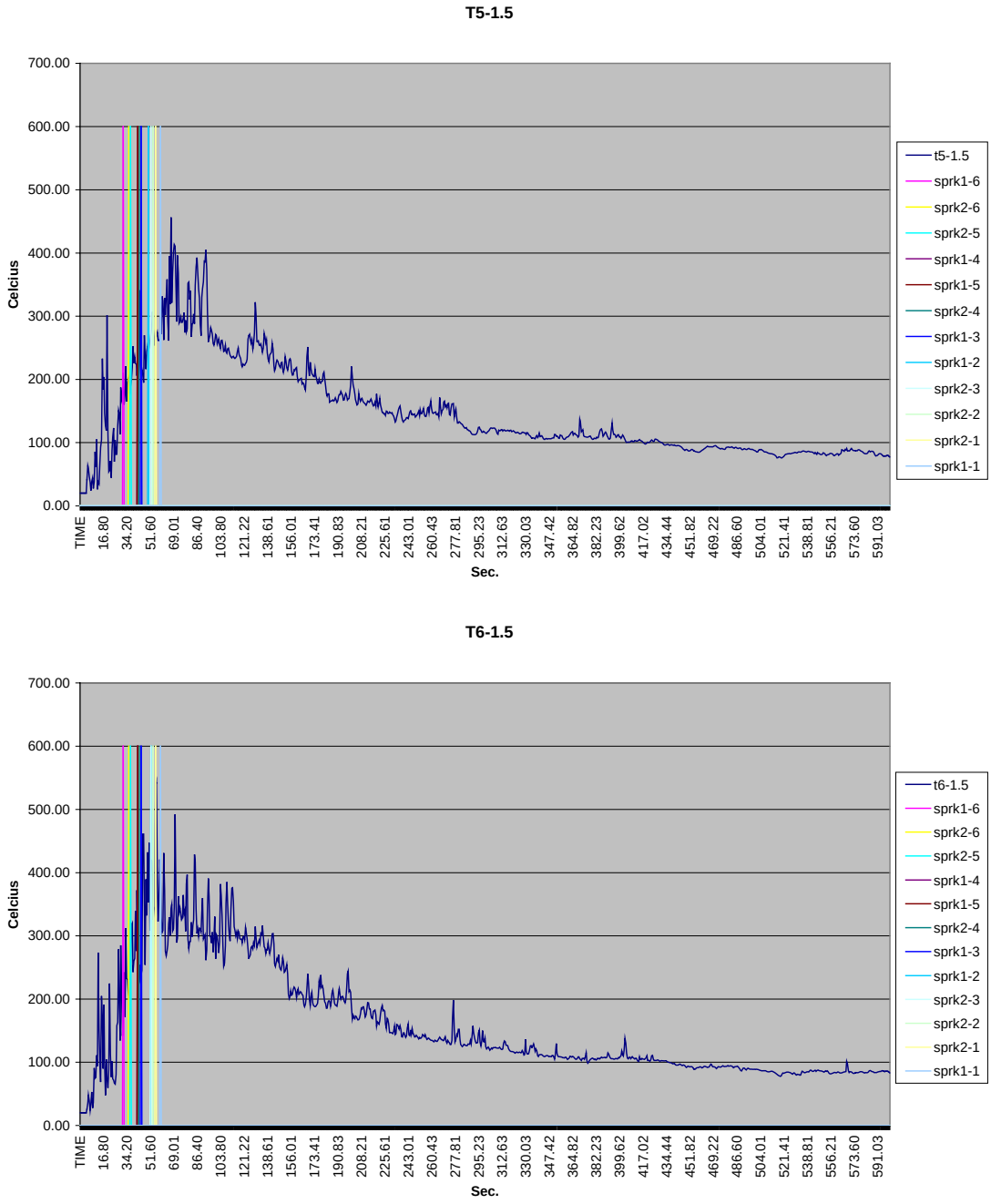
ตารางที่ 6 ตารางแสดงเวลาที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงเริ่มทำงานของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ลำดับที่	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11
หัวที่	1-6	2-6	2-5	1-4	1-5	2-4	1-3	1-2	2-3	2-2	2-1	1-1
เวลา (วินาที)	31.16	35.60	37.01	43.20	44.20	44.41	45.01	50.01	52.21	53.80	55.60	59.01

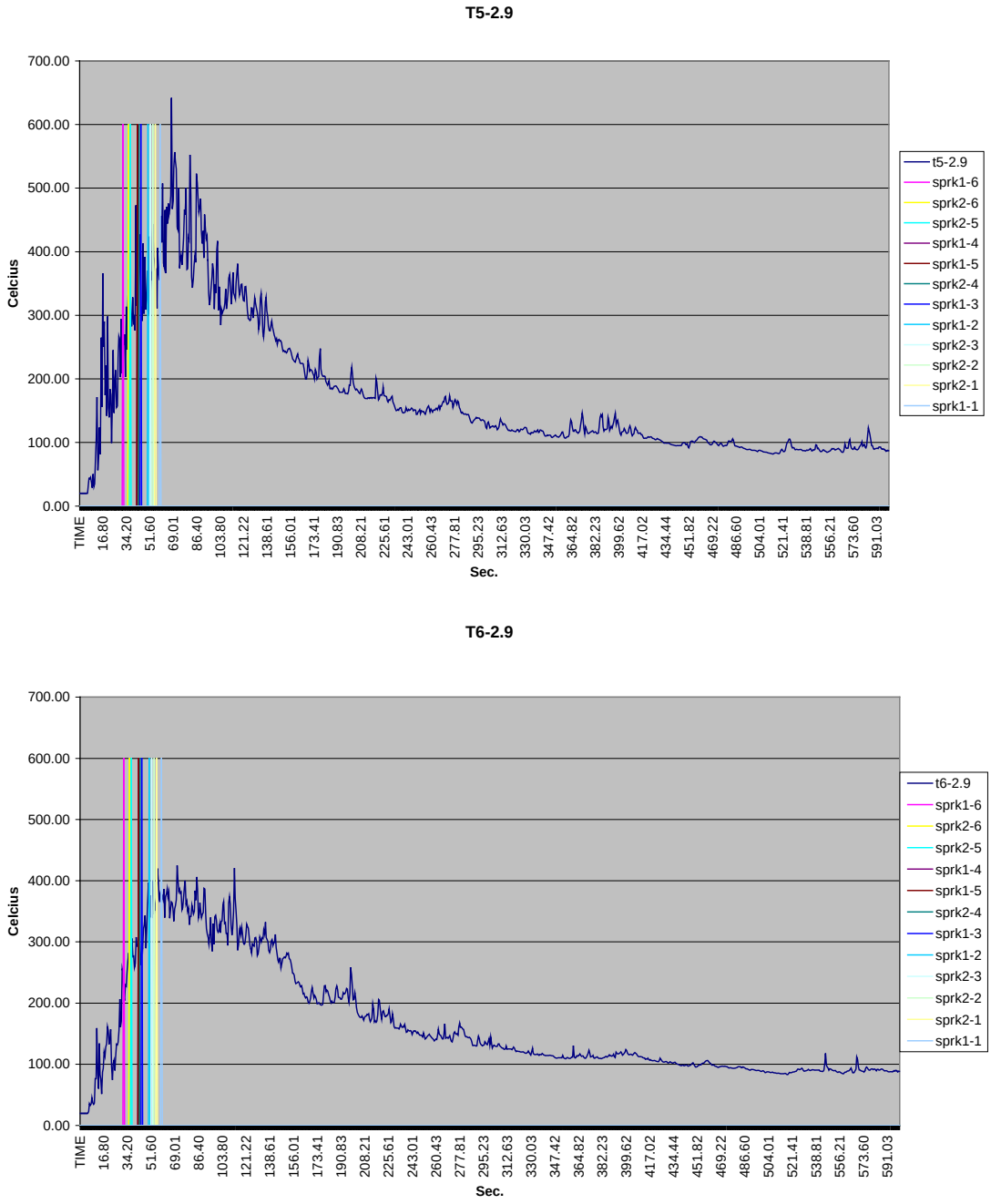
ในภาพที่ 26, 27 และ 28 แสดงแสดงค่าอุณหภูมิและเวลาที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงานที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. เส้นในแนวตั้งเป็นเส้นแสดงเวลาการทำงานของหัวกระจายน้ำดับเพลิง



<u>ภาพที่ 26</u> กราฟแสดงค่าอุณหภูมิและเวลาที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน ที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. ที่ตำแหน่งความสูง 0.3เมตรเหนือถาดรองรับการรั่วหก ในแบบที่มีการควบคุมเพลิงไหม้

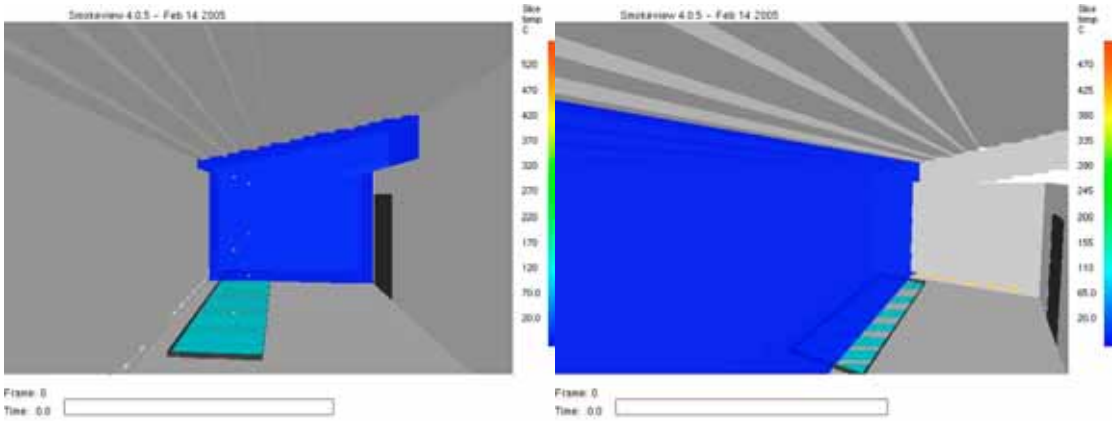


ภาพที่ 27 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิและเวลาที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน ที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. ที่ตำแหน่งความสูง 1.5เมตรเหนือถาดรองรับการรั่วหก ในแบบที่มีการควบคุมเพลิงไหม้

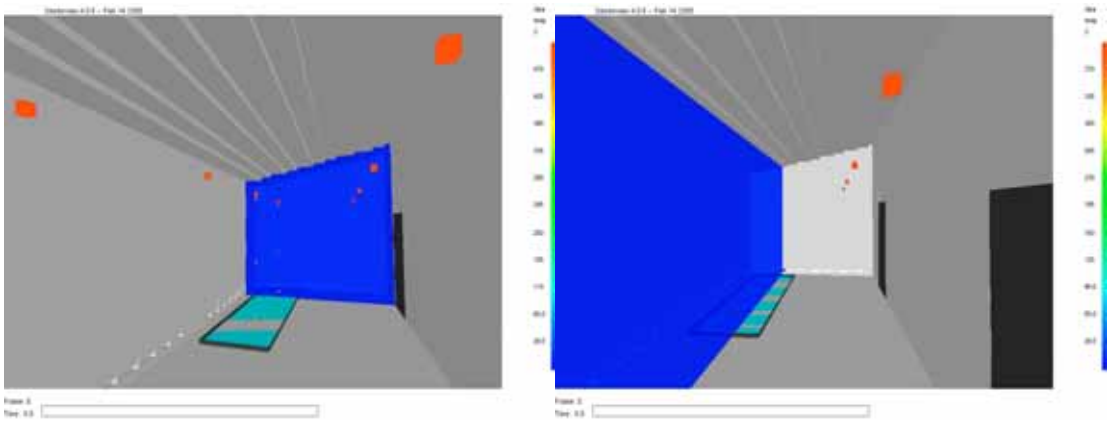


ภาพที่ 28 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิและเวลาที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน ที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดย FDS. ที่ตำแหน่งความสูง 2.9เมตรเหนือถาดรองรับการรั่วหก ในแบบที่มีการควบคุมเพลิงไหม้

ในภาพที่ 29, 30, 31 และ32 แสดงภาพของอุณหภูมิในห้องใน ณ เวลาต่าง ๆ กัน เพื่อเปรียบเทียบขณะเกิดเพลิงไหม้ในห้องเก็บสารเคมี ก่อนการออกแบบปรับปรุงในรูป (ก) และหลังมีการออกแบบปรับปรุงในรูป (ข)

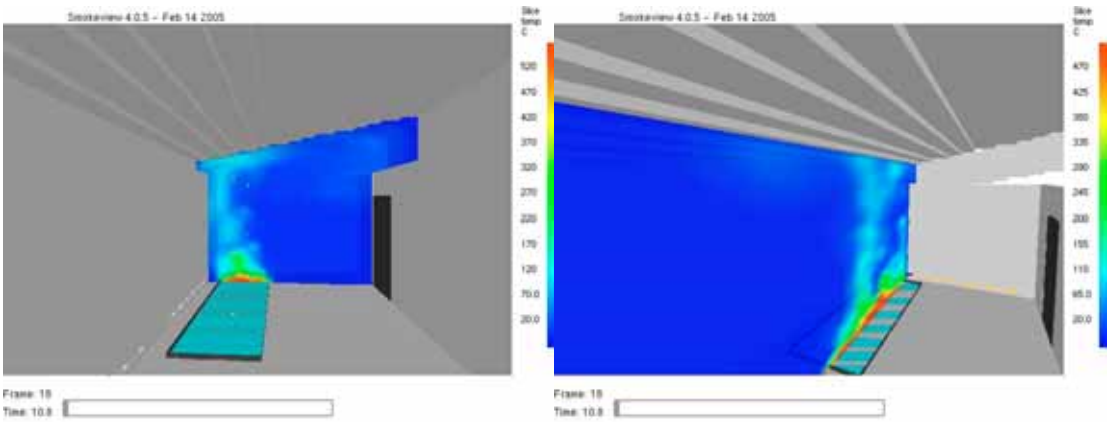


(ก)

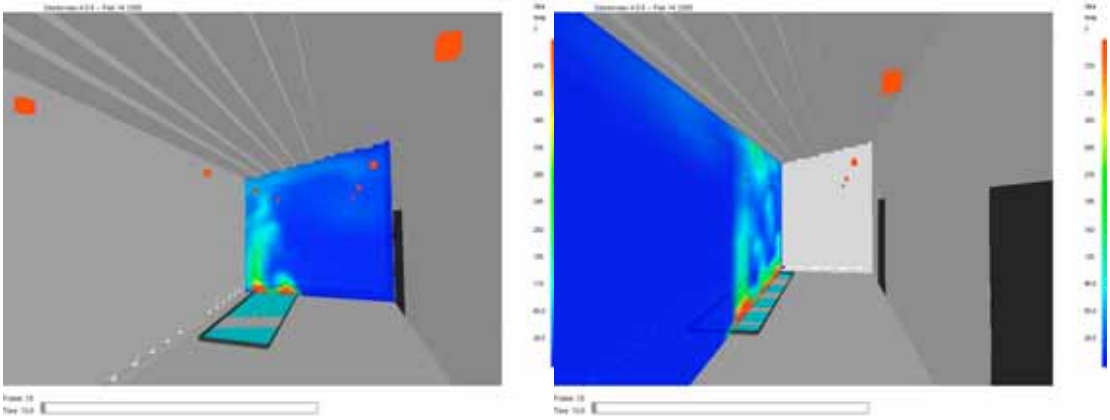


(ข)

<u>ภาพที่ 29</u> ภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศเปรียบเทียบกันที่เวลา 0 วินาที

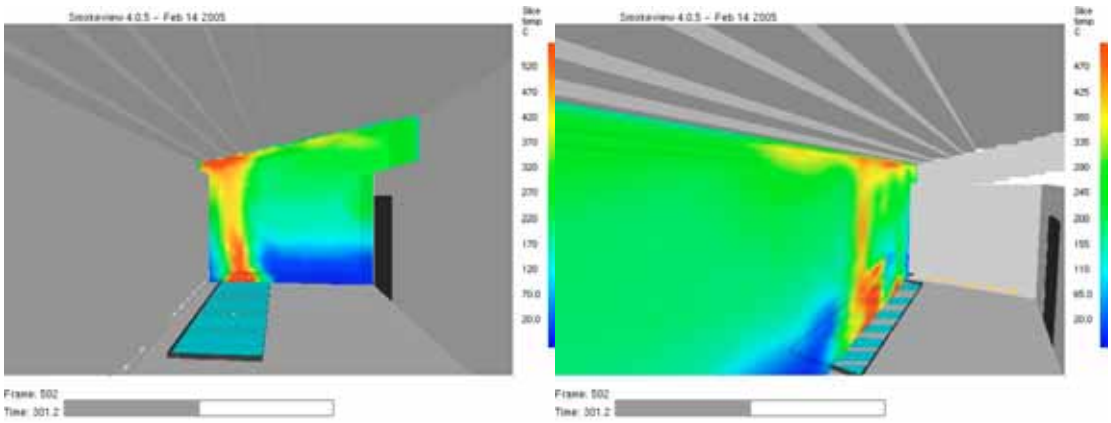


(ก)

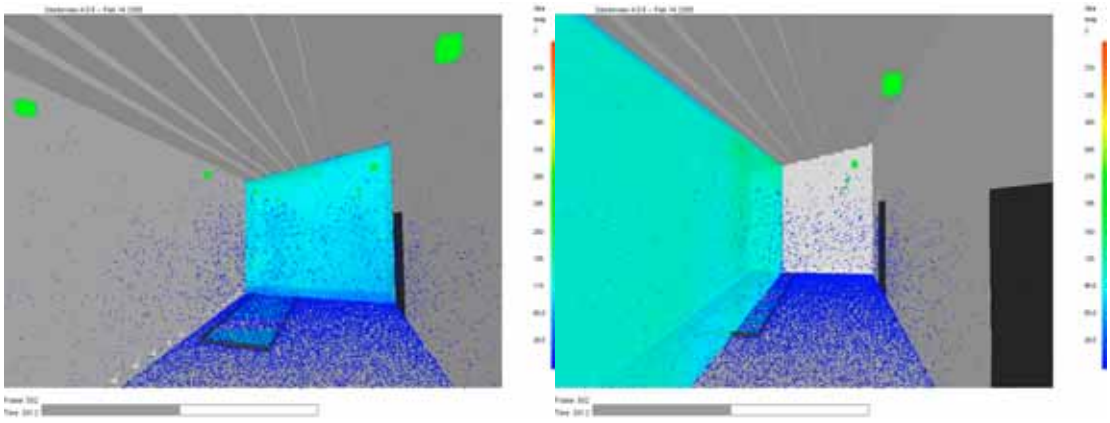


(ข)

<u>ภาพที่ 30</u> ภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศเปรียบเทียบกันที่เวลา 10 วินาที

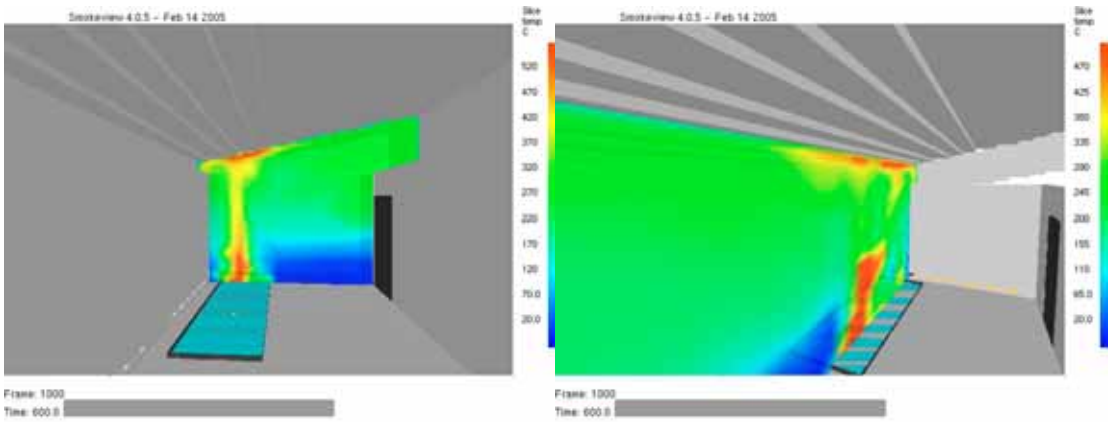


(ก)

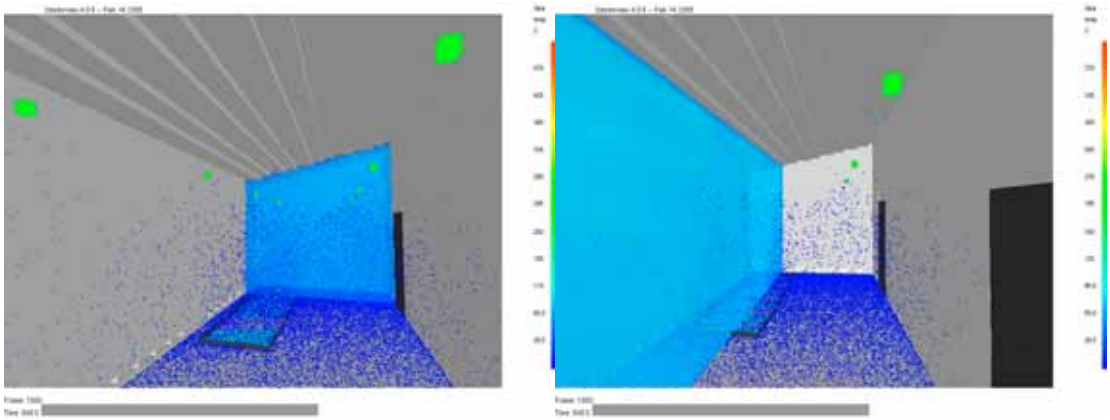


(ข)

ภาพที่ 31 ภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศเปรียบเทียบกันที่เวลา 301 วินาที



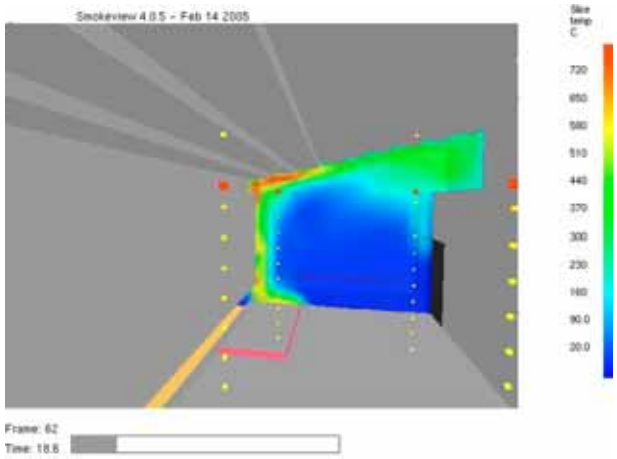
(ก)



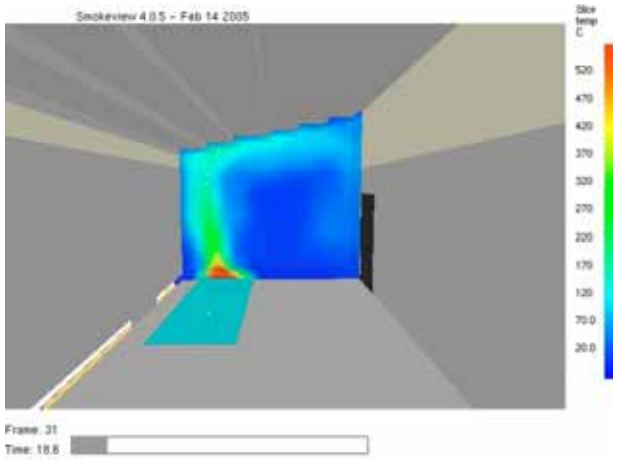
(ข)

<u>ภาพที่ 32</u> ภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศเปรียบเทียบกันที่เวลา 600 วินาที

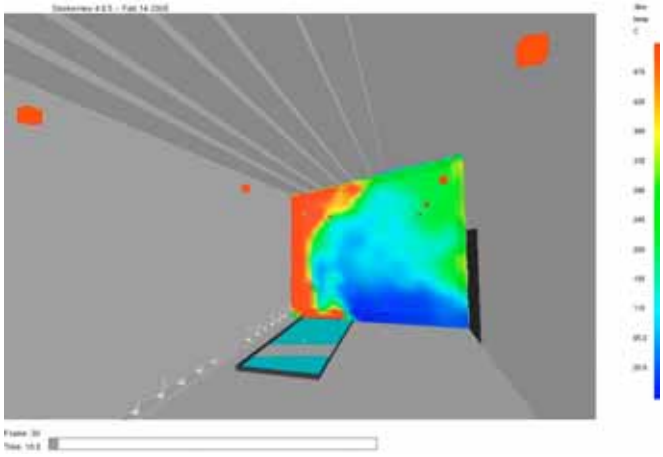
ภาพที่ 33-35 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เกิดขึ้น 3 แบบคือ รูป (ก) เป็นการปรับปรุงในลักษณะที่ใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว รูป (ข) เป็น การการปรับปรุงแบบใช้การเพิ่มความสูงของผนัง และรูป (ค) เป็นแบบที่ใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงร่วมกับการเพิ่มความสูงของผนัง และภาพที่ 36 แสดงกราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศเปรียบเทียบกัน 3 แบบ



(ก)

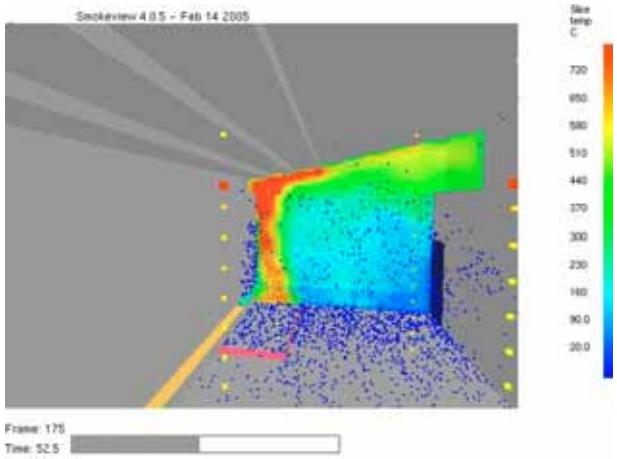


(ข)

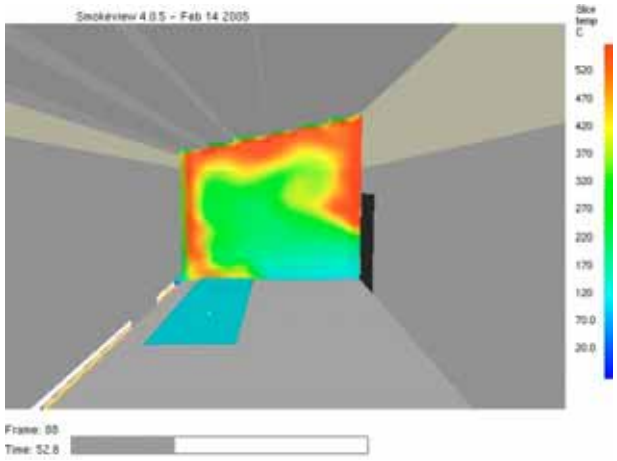


(ค)

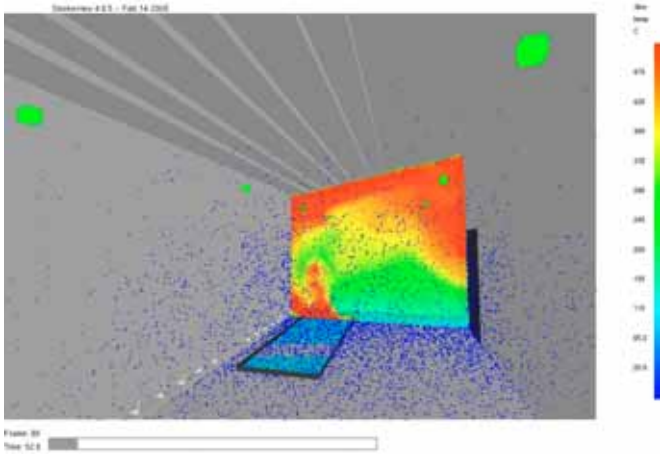
<u>ภาพที่ 33</u> ภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศเปรียบเทียบกัน3 แบบที่เวลา 18 วินาที



(ก)

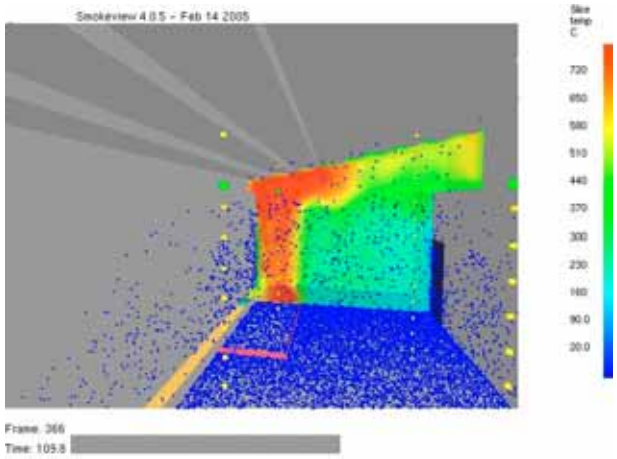


(ข)

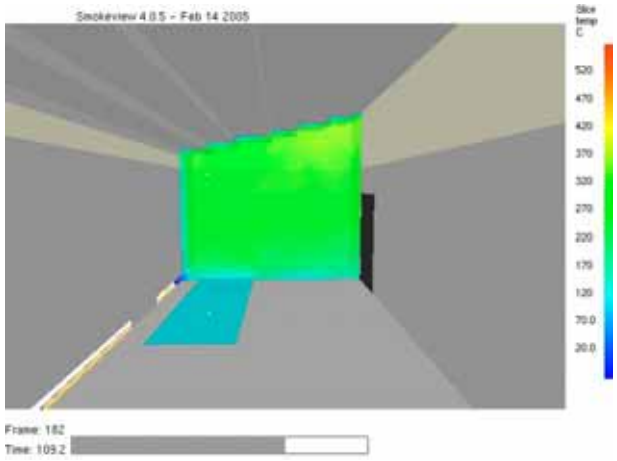


(ค)

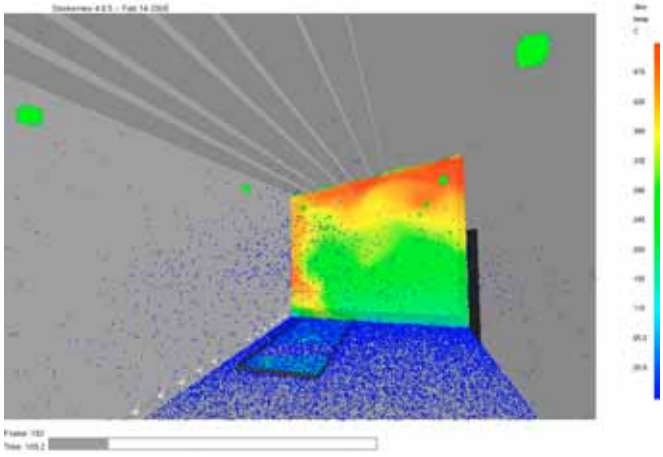
<u>ภาพที่ 34</u> ภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศเปรียบเทียบกัน 3 แบบที่เวลา 52 วินาที



(ก)

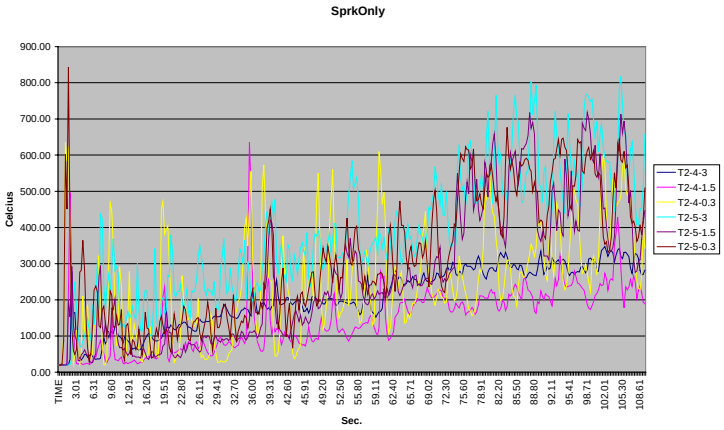


(ข)

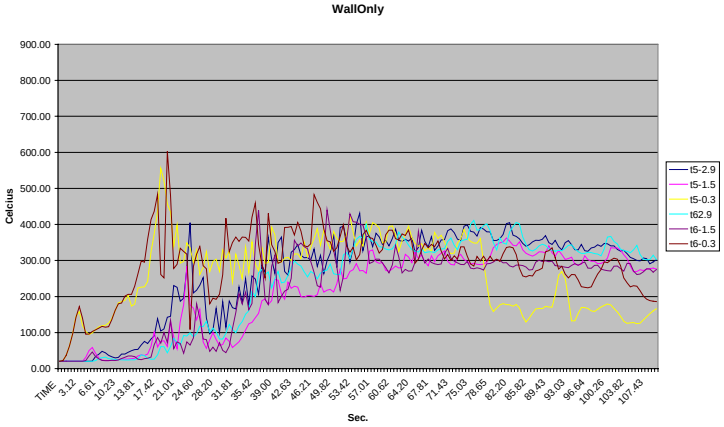


(ค)

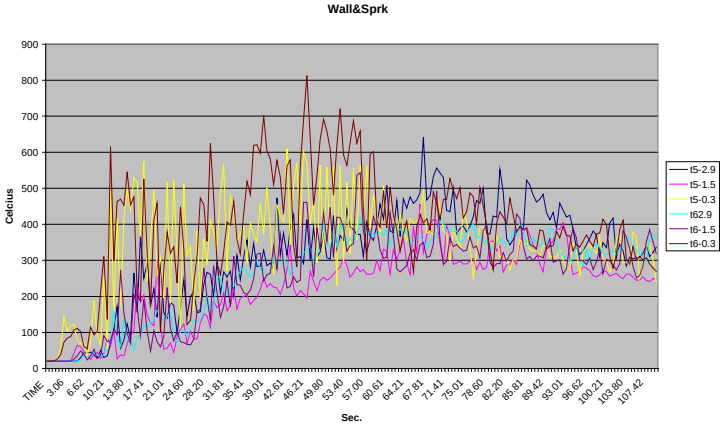
<u>ภาพที่ 35</u> ภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศเปรียบเทียบกัน 3 แบบที่เวลา 109 วินาที



(ก)



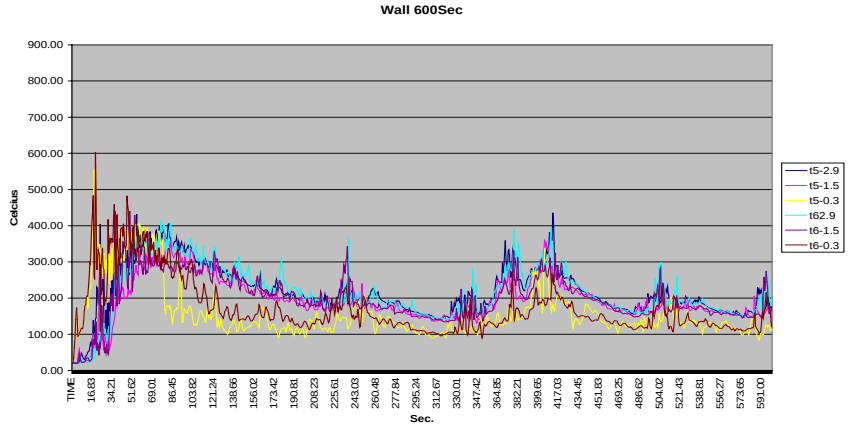
(ข)



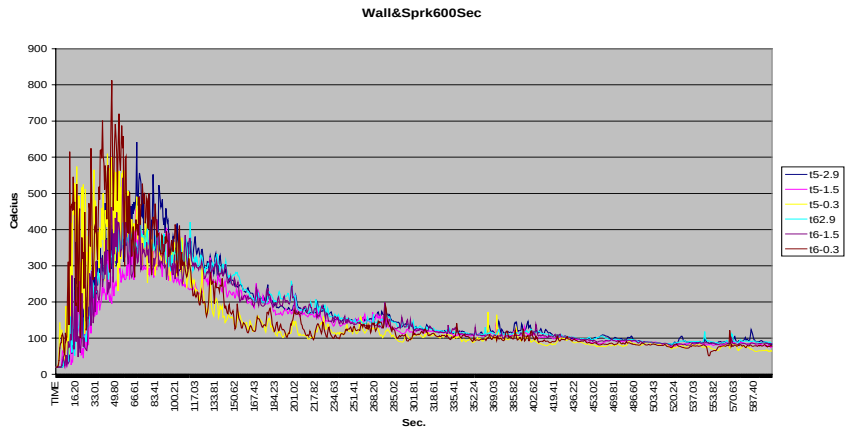
(ค)

<u>ภาพที่ 36</u> กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศเปรียบเทียบกัน3 แบบ

จากการเปรียบเทียบในภาพที่36 (ก), (ข) และ (ค) พบว่าการปรับปรุงโดยใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียวไม่มีแนวโน้มที่จะทำให้อุณหภูมิลดลง ได้จึงทำการทดสอบในแบบที่เพิ่มความสูงของผนังเพียงอย่างเดียวพบว่าอุณหภูมิมีแนวโน้มที่จะลดลงมากกว่าการปรับปรุงโดยใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงเพียงอย่างเดียว แต่อุณหภูมิยังสูงอยู่จึงทำการปรับปรุงโดยใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงร่วมกับการเพิ่มความสูงของผนัง พบว่าอุณหภูมิลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มความสูงของผนังอย่างเดียวดังแสดงในภาพที่ 37



(ก)



<u>ภาพที่ 37</u> กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศเปรียบเทียบกันระหว่างแบบปรับปรุงโดยเพิ่มความสูงของผนังเพียงอย่างเดียว กับการปรับปรุงโดยใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงร่วมกับการเพิ่มความสูงของผนัง

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเกิดเพลิงไหม้ในห้องเก็บสารเคมีไวไฟ โดยใช้โปรแกรมจำลองการเผาไหม้ Fire Dynamic Simulator ของ Nist และใช้โปรแกรม Smokeview เพื่อแสดงการจำลองภาพของการเผาไหม้ ในส่วนของการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงได้ใช้มาตรฐานการออกแบบตำแหน่งติดตั้งจาก NFPA13 มาเป็นมาตรฐานในการออกแบบ

จากการวิเคราะห์ทำให้เห็นรูปแบบของการเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องเก็บสารไวไฟด้วยวิธีการของ Fire Dynamic Simulator และสามารถออกแบบเพื่อทำการจำลองการควบคุมเพลิงที่เกิดขึ้น โดยไม่ต้องทำการเผาไหม้จริงนอกจากนี้ยังสามารถทราบรายละเอียดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในแต่ละระนาบของสภาพภายในห้องที่เกิดเพลิงไหม้ ทำให้สามารถใช้หลักวิชาการด้านวิศวกรรมความปลอดภัยในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลุกลามของเพลิงในห้องเก็บสารเคมีไวไฟ

จากการเปรียบเทียบค่าของผลการวิเคราะห์ที่ได้ ของอุณหภูมิพบว่าในกรณีที่มีการออกแบบเพื่อป้องกันการลุกลามของการเกิดเพลิงไหม้สามารถทำให้ อุณหภูมิลดลง โดยทำการเพิ่มความสูงของผนังร่วมกับการใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบK5.spk ณ เวลาประมาณ600 วินาที อุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้าที่ความสูง 0.3 เมตรลดลงอยู่ที่ประมาณ64 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าจุดเดือดของ Methanol แต่ ณ เวลาเดียวกัน การทดลองที่ไม่ได้มีการออกแบบเพื่อควบคุมเพลิง มีอุณหภูมิอยู่ที่ 315 องศาเซลเซียส ทำให้ผลจากการวิเคราะห์การจำลองแบบโดยใช้โปรแกรม FDS. สรุปได้ว่าการปรับปรุงโดยใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงร่วมกับการเพิ่มความสูงของผนังสามารถทำให้ห้องเก็บสารเคมี มีความปลอดภัยจากการลุกลามของเพลิงเมื่อเกิดเพลิงไหม้ได้

ข้อเสนอแนะ

ในโรงงานอุตสาหกรรมควรมีการศึกษาและประยุกต์ใช้มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ของโรงงานนั้น เพื่อเป็นการป้องกันและควบคุมความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับทั้งบุคคลและทรัพย์สิน

โดยในมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมของ วสท.มีการกล่าวถึงการใช้มาตรฐานการป้องกัน เช่น การมีระบบป้องกัน มีการประเมินและวิเคราะห์อันตรายจากไฟไหม้และการระเบิดที่เกิดจากการปฏิบัติงานกับของเหลวไวไฟ มีการใช้มาตรการควบคุมการปฏิบัติงาน การวิเคราะห์ระบบระบายอากาศ สถานที่ตั้งของที่เก็บสารไวไฟ ผลกระทบต่อชุมชนข้างเคียง การประเมินความสามารถและศักยภาพของหน่วยงานภายนอกที่จะเข้ามาช่วยเหลือได้ การวางแผนฉุกเฉิน การฝึกอบรมบุคลากรเพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์

ในส่วนของการตรวจวัดและเตือนภัยควรจัดให้มีการเฝ้าระวังอย่างเหมาะสมเช่นการเดินตรวจความปลอดภัยภายในโรงงาน การจัดให้มีอุปกรณ์การตรวจวัดการรั่วไหล หรือเครื่องตรวจวัดก๊าซเพื่อใช้ในการเตรียมการป้องกันก่อนที่จะเกิดเหตุเพลิงไหม้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เกชา ธีระโกเมน. 2542. **สถาปัตยกรรมกับการป้องกันอัคคีภัย**. แหล่งที่มา: http://se-ed.net/winyou/article04/fireb.html, 10 ธันวาคม 2548.

คณะกรรมการร่างมาตรฐานความปลอดภัยด้านอัคคีภัย. 2545. **มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการร่างมาตรฐานความปลอดภัยด้านอัคคีภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. **มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ชนาคัลภ์ พันธ์หว้า. 2542. **แนวความคิดในการออกแบบเพื่อการป้องกันอัคคีภัยในอาคารประเภทโรงแรม**. บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ภิญโญ พานิชพันธ์ และ ธีระศักดิ์ พงศ์พนาไกร. 2548. **ความเสี่ยงและอันตรายจากสารเคมี (Risk and danger of Chemical Product), Learn On Line**. แหล่งที่มา: http://www.learn.in.th/rish_and_danger.html, 19 ตุลาคม 2548.

Husted, B.P., G. Holmsted and T. Hertzberg. 2004. **The Physic Behind Water Mist System**. IWMA conference, Rome.

Liu, Z. and A.K. Kim. 2001. **A Review of Water Mist Fire Suppression Technology: PartII-Application Studies**. Journal of Fire Protection Engineer 11 (2001)

Milke, J.A. and C.E. Gerscheski. 1995. **Overview of Water Research for Library Applications**. International Conference on Fire Research and Engineering, USA.

Morita, M. 2000. **Suppression Mechanism of Water Mist for Pool Fire**. Science University of Tokyo, Tokyo.

National Fire Protection Association 2002. **Standard for the Installation of Sprinkler Systems**, NFPA13, USA.

Potel, M.J. 2003. **Understanding Fire and Smoke Flow Through Modeling and Visualization**. IEEE computer Graphics and Application. Available source: http://www.wildcrest.com, April 2, 2006.

Prasad, K., C. Li, K. Kailasanath, C. Ndubizu, R. Ananth and P.A. Taten. 1998. **Numberical Modeling of Methanol Liquid Pool Fire Suppression**. Annual Conference on Fire Research 1998.

Sheppard, D.T. 2002. **Spray Characteristics of Fire Sprinklers**. Mechanical Engineering Department, Northwestern University, Evanston.

Socity of Fire Protection Engineer. 1995. **The SFPE Handbook of fire Protection Engineer**, **Second Edition**, National Fire Protection Association, Massachusetts.

Zalash, R.G. n.d. **Industrial Fire Protection Engineer**. Center for Fire safety Studies, Worecester Polytechnic Institute, Wiley.