

**ถึงเกิดปฏิกิริยาที่เย็นเกินไปทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ควบคุมไม่ได้ ใด้นหรือไม่ ?**

กรกฎาคม 2561

ปี 2539 เกิดระเบิดขึ้นที่ดังเกิดปฏิกิริยาแบบแบทช์ขนาด 600 แกลลอน (~2.3 ลบ.ม) ที่โรงงาน British dye กระบวนการผลิตจำเป็นต้องมีการเติมสารไนโตรซิล ซิลฟิตรีด แอซิด (NSA) เข้าไปในถังเกิดปฏิกิริยา ซึ่งมี เอมีน และกรดซิลฟิตรีด ที่อุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 40 °C ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบคายความร้อน โดยทั่วไปใช้เวลาเติมสารประมาณ 5 ชั่วโมง มีพนักงานฝ่ายผลิตเป็นผู้ควบคุม (manually controlled) กระบวนการผลิตนี้ดำเนินงานมาเป็นเวลาหลายปี และหลายร้อยแบบทซ์โดยไม่มีปัญหาอะไร

ในช่วงแรกที่มีการเติมสาร NSA มีการให้ความร้อนสูงเกินจนอุณหภูมิขึ้นไปถึงเกือบ 50 °C ทำให้มีการหยุดเติม NSA หลังจากนั้นมีการทำให้ระบบเย็นลงมาที่ 25 °C (เย็นเกินไป) ก่อนที่จะเติมสาร NSA ต่อ เมื่อเติมสาร NSA จนคนไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในถังเกิดปฏิกิริยาได้ด้วยระบบทำความเย็นที่มีอยู่ อุณหภูมิขึ้นสูงเกินกว่าค่าที่เครื่องวัดอุณหภูมิจะอ่านค่าได้ ความดันในถังเกิดปฏิกิริยาสูงเกินจากปฏิกิริยาที่ควบคุมไม่ได้และเกิดระเบิดขึ้น ส่วนล่างของถังเกิดปฏิกิริยาพังเหมือนจรวดไปยังพื้นล่างของตึก ในกระบวนการดังกล่าวหลังจาก และ พบส่วนบนของถังห่างไปประมาณ 150 ม. โขลคที่ไม่มีใครได้รับบาดเจ็บ ความเสียหายโดยตรงมีมูลค่ากว่า 2 ล้านดอลลาร์

ความเสียหายจากปฏิกิริยาอื่นที่ ควบคุมไม่ได้



Jacksonville, Florida, 2550



Morganton, North Carolina, 2549

อ้างอิง: Partington and Waldrem, IChemE Symposium Series, No. 148, pp. 61-93, 2001.

**คุณทราบหรือไม่?**

- อัตราการเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนส่วนใหญ่ เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และ ลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ถ้าอุณหภูมิต่างเกินไป อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะต่ำลงเรื่อย ๆ และจะเกิดการสะสมของสารเคมีที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา ในถังเกิดปฏิกิริยา ถ้าหลังจากนั้นอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมาสารที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาที่สะสมอยู่ก่อนหน้านี้จะเกิดปฏิกิริยาขึ้น ถ้ามีปริมาณสารที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาจำนวนมาก ความร้อนที่คายออกมาอาจสูงเกินกว่าความสามารถในการระบายความร้อนของถังเกิดปฏิกิริยา
- ที่อุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาอื่นรวมถึงปฏิกิริยาการสลายตัวซึ่งอาจไม่สำคัญมากที่อุณหภูมิต่ำก็อาจมีความสำคัญขึ้นมา ปฏิกิริยาเหล่านี้อาจคายความร้อนจำนวนมาก และอาจเกิดแก๊สที่ทำให้เกิดความดันสูงเกินในถังเกิดปฏิกิริยา
- โอลิมปีเหตุการณ์ เชื่อว่าประมาณ 30% ของสาร NSA สะสมในถังเกิดปฏิกิริยา ระหว่างที่อุณหภูมิเย็นเกินไป ผลจากห้องแลปและการจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์พบว่าปริมาณที่สะสมอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ควบคุมไม่ได้ อาจต้องมีแหล่งความร้อนอื่น เช่น ไลน์นำรั่วเข้าไปในระบบแจ็คเก็ตของถังเกิดปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาของ NSA ที่สะสมอยู่ทำให้ถังเกิดปฏิกิริยาเสี่ยงที่จะเกิดปฏิกิริยาที่ควบคุมไม่ได้หากมีแหล่งความร้อนอื่นที่ทำให้ อุณหภูมิสูงขึ้น
- สำคัญมากที่จะต้องให้แน่ใจว่าระบบการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในสภาพที่ดี เนื่องจากถ้ามีรอยรั่ว และ ความผิดปกติอื่น ๆ อาจทำให้เกิด หรือ มีส่วนทำให้เกิด อุบัติเหตุเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีขึ้นได้

**คุณสามารถทำอะไรได้บ้าง?**

- ต้องทราบว่าปฏิกิริยาใดที่เป็นแบบคายความร้อน และ อาจควบคุมไม่ได้ถ้าเกิดการสะสมของสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ เช่น ปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ไนเตรชัน ซัลโฟเนชัน ปฏิกิริยาการหว่าน กรด ต่าง และ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- ต้องตระหนักว่า ปฏิกิริยาจำนวนมาก เพื่อความปลอดภัย ไม่เพียงแต่ต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินขีดจำกัดเท่านั้น ยังต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ต่ำกว่าขีดจำกัดด้วย การที่ถังเกิดปฏิกิริยาเย็นเกินไปสามารถทำให้เกิดการสะสมของสารที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา และ สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ควบคุมไม่ได้ขึ้นภายหลังเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
- ทำความเข้าใจผลกระทบของการเบี่ยงเบนจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำคัญ – อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล การผสม หรือ อะไรก็ตามที่สำคัญมากในกระบวนการผลิตของคุณ ต้องตระหนักถึงผลกระทบของการเบี่ยงเบน ทั้งสูงเกินไปและต่ำเกินไป และ ทราบว่าต้องปฏิบัติอย่างไรถ้าเกิดการเบี่ยงเบนขึ้น
- ถ้าโรงงานของคุณไม่มีกระบวนการผลิตเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมี ต้องตระหนักว่าอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปก็สามารถทำให้เกิดปัญหาได้ เช่น ของเหลวอาจแข็งตัวหรือ อาจเหนียว ของแข็งอาจตกตะกอนแยกตัวออกจากสารละลาย

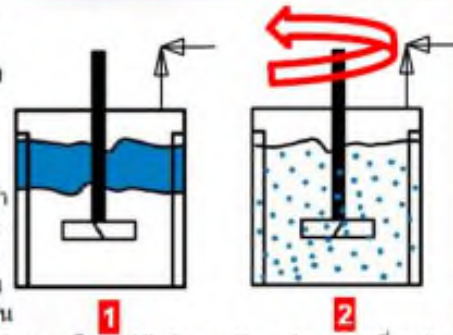
**อาจจะไม่ปลอดภัยถ้ากระบวนการผลิตของคุณ "เย็นเกินไป"!**

## จะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่มีการกวน (agitator failure) ?

สิงหาคม 2561

เมื่อปี พ.ศ. 2536 ในโรงงานของเยอรมัน สาร o-chloronitrobenzene ทำปฏิกิริยากับโซดาไฟที่ละลายในเมทานอล เพื่อผลิต o-nitroanisole ในถังเกิดปฏิกิริยาแบบแบทช์ขนาด 36 ลบ.ม. ปฏิกิริยานี้คายความร้อน และ จะเติมโซดาไฟที่อุณหภูมิประมาณ 80°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

เป็นที่ประหลาดใจมากที่สุดที่แบทช์ที่ไม่ต้องการใช้น้ำหล่อเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิเลย ! แต่กลับต้องมีการใช้น้ำเพื่อให้ความร้อนแทน หลังจากนั้นพบว่าไม่ได้มีการเปิดใบกวนระหว่างที่มีการเติมโซดาไฟ ทำให้ส่วนผสมไม่เข้ากัน (รูป 1) เมื่อเปิดใบกวนขึ้นมาอีกครั้ง ส่วนผสมที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา ผสมเข้าด้วยกัน (รูป 2) และอุณหภูมิของแบทช์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนเกิน 160 °C ที่อุณหภูมิที่สูงนี้ มีปฏิกิริยาอื่นเกิดขึ้น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนด้วยเช่นกัน ของที่อยู่ในถังเกิดปฏิกิริยาจำนวน 20 ลบ.ม ถูกระบายออกไปสู่บรรยากาศผ่านทางวาล์วนิรภัย พื้นที่วงกว้าง รวมถึงชุมชนโดยรอบ เกิดการปนเปื้อน ไม่มีใครได้รับบาดเจ็บ แต่ยังคงมีความกังวลต่อความเสี่ยงด้านสุขภาพอยู่ ความเสียหายโดยตรงมูลค่าปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 38 ล้านดอลลาร์สหรัฐ



### คุณทราบหรือไม่?

- ถ้าสารเคมีมากกว่า 1 ชนิดไม่สัมผัสกันก็จะไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น ถ้าไม่มีการกวนผสมเกิดขึ้นในถังเกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นช้าหรือไม่เกิดขึ้นเลย และจะมีการสะสมของสารที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา ในปฏิกิริยาคายความร้อนกรณีนี้ถือว่าเป็นอันตรายที่รุนแรงมาก ถ้าคุณเปิดใบกวนขึ้นมาอีกครั้งขณะที่มีการสะสมของสารเคมีที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาจำนวนมาก ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอีกครั้งอย่างรวดเร็ว ระบบทำความเย็นของคุณอาจจะไม่เพียงพอที่จะถ่ายเทความร้อนออกเพื่อควบคุมอุณหภูมิของถังเกิดปฏิกิริยา
- การผสมเข้ากันเป็นสิ่งที่สำคัญมากในถังที่บรรจุของผสมที่มีหลายเฟส เช่น ของเหลวกับของแข็ง หรือ สารออร์แกนิกกับสารละลายที่เป็นของเหลว ที่สำคัญด้วยเช่นกันคือสารที่อยู่ในถังละลายเข้าด้วยกันหรือในรูปคอลลอยด์ การเติมน้ำส้มสายชูซึ่งสามารถละลายน้ำได้ในน้ำโดยที่ไม่มีการกวน น้ำส้มสายชูจะจมลงก้นแก้วและไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ จนกระทั่งมีการใช้ช้อนคนให้เข้ากัน

### คุณสามารถทำอะไรได้?

- ถ้าไม่มีการกวนเกิดขึ้นในถังเกิดปฏิกิริยาของคุณ ไม่ว่าจะแบบแบทช์ หรือ แบบต่อเนื่อง ขอความช่วยเหลือด้านเทคนิคก่อนที่จะเปิดใบกวนขึ้นมาอีกครั้ง หาข้อมูลเพื่อแชร์ให้กับผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคนิคทราบเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจแก้ปัญหา เช่น ใบกวนหลุดไปแล้วนานเท่าไร เติมน้ำอะไรลงไปแล้วบ้าง อุณหภูมิและความดันในถังเป็นอย่างไร ?
- ตระหนักว่าการที่ไม่มีการกวนผสมเกิดขึ้นอาจทำให้เกิดปัญหาในถังอื่นแม้จะเป็นถังที่ไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น ถ้าไม่มีการกวนผสมจะทำให้ในถังมีความเข้มข้นของสารหรืออุณหภูมิแตกต่างกันมาก อาจทำให้ตัวคานบนที่มีการให้ความเย็นแข็งตัว หรือ ตัวคานบนที่มีการให้ความร้อนเดือด ของแข็งตกลงก้นออกมาจากสารละลาย หรือ การจับตัวเป็นก้อนของของแข็งแยกออกจาก slurry ความเข้มข้นของสารที่แตกต่างกันที่ถ่ายจากถังที่มีการกวนผสมที่ไม่ดีพอไปยังอีกถังหนึ่งสามารถทำให้เกิดปัญหาด้านการผลิต หรือ ด้านความปลอดภัยในถังปลายทางได้
- มีแนวโน้มว่าการทำให้ถังร้อน หรือ เย็น โดยไม่มีการกวนผสม จะไม่มีประสิทธิภาพ และอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดอาจไม่เที่ยงตรงถ้าของที่อยู่ในถังไม่ถูกผสมให้เข้ากัน



ที่มา: Gustin, J.L., "How the Study of Accident Case Histories Can Prevent Runaway Reaction Accidents to Occur Again." IChemE Symposium Series No. 1411, pp. 27-41, 2001.

**เพื่อความปลอดภัย ดูแลเพื่อให้มีการกวนผสมเกิดขึ้นในถังเกิดปฏิกิริยา!**

**ความขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน (Common Cause Failures)**

ธันวาคม 2561

สนามบินนานาชาติชาร์ทฟีลด์-แจ๊คสัน ที่เมืองแอตแลนต้า รัฐจอร์เจียเป็นสนามบินที่มีผู้ใช้บริการมากที่สุดในโลก มีผู้โดยสารเฉลี่ย 275,000 คนต่อวัน เมื่อเวลาประมาณบ่าย 1 โมงของวันอาทิตย์ที่ 12 ธ.ค. 2560 ซึ่งเป็นวันที่มีคนเดินทางมากที่สุดในวันหนึ่งของปี เกิดไฟไหม้ขึ้นซึ่งทำให้ระบบไฟฟ้าทั้งระบบหลักและระบบสำรองขัดข้อง ส่งผลให้ไฟฟ้าดับทั้งสนามบินเป็นเวลา 11 ชั่วโมง ขณะนั้นมีคนอยู่ในสนามบินเกือบ 30,000 คน ผู้โดยสารหลายร้อยคนติดอยู่บนเครื่องบินที่จอดอยู่หรือกำลังบิน รวมถึงอดีตเลขาธิการกรมการขนส่งของสหรัฐมากกว่า 1000 ที่ยวบยาบต้องถูกยกเลิกในช่วงเวลา 2 วัน มีการเลื่อนตารางการบินทั่วทั้งสหรัฐอเมริกา และมีรายงานค่าเสียหายจากการบินหนึ่งถึง 50 ล้านดอลลาร์สหรัฐ



สวิตช์ไฟในห้องระบบไฟฟ้าขั้นใต้ดินของสนามบินชาร์ททำให้เกิดไฟไหม้ขึ้น ไฟที่จ่ายให้กับสนามบินมาจากโรงไฟฟ้า 2 สถานีย่อยแยกจากกัน แต่สายไฟจากทั้ง 2 สถานีลากผ่านอุโมงค์เดียวกันใกล้กับสวิตช์ที่ชำรุด ไฟไหม้ที่เกิดขึ้นทำระบบจ่ายไฟทั้งระบบหลักและระบบสำรองใช้งานไม่ได้ ซึ่งลักษณะนี้เรียกว่า “ความขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน (common cause failure)” เหตุการณ์เดียว – ซึ่งเป็น “สาเหตุร่วม”, ในกรณีนี้คือสวิตช์ไฟไหม้ – ส่งผลให้อุปกรณ์ หรือ ระบบ ตั้งแต่ 2 อุปกรณ์หรือมากกว่านั้นเกิดขัดข้อง – ระบบจ่ายไฟหลักและระบบจ่ายไฟสำรองที่จ่ายไฟให้กับสนามบินขัดข้อง

ความขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกันสามารถเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตด้วยเช่นกัน ทั้งในการผลิตปกติและในกรณีฉุกเฉิน เช่น ถังเกิดปฏิกิริยามีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิซึ่งจะหยุดผลิตเมื่ออุณหภูมิสูง 2 ตัว เช่น เซอร์ทั้ง 2 ตัวได้รับการสอบเทียบในช่วงเวลาเดียวกัน โดยช่างคนเดียวกันตามขั้นตอนการสอบเทียบฉบับเดียวกัน นำเสียดายที่ช่างคนที่ไม่ได้รับการฝึกอบรมที่ดีพอจึงทำการสอบเทียบเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัวไม่ถูกต้อง ทำให้เซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัวอ่านค่าอุณหภูมิไม่ถูกต้อง

ในเหตุการณ์หยวนที่แท่นเจาะน้ำมันไปเปอร์ อัลฟา ทะเลเหนือเมื่อปี 2527 ป้อนน้ำดับเพลิงที่ใช้น้ำมันจากทะเลถูกตั้งค่าเป็น “manual start” เพราะนักต้ำน้ำอยู่กลางทะเลใกล้กับแท่นเจาะ เมื่อมีแก๊สรั่วบนแท่นเจาะและเกิดลุกติดไฟขึ้น เพลิงไหม้ทำให้ไม่สามารถเข้าไปเปิดสวิตช์ป้อนน้ำดับเพลิงได้ เหตุไฟไหม้เป็นสาเหตุร่วม – ซึ่งทำให้ต้องการนำดับเพลิง และทำให้ไม่สามารถเข้าไปเปิดสวิตช์ป้อนน้ำดับเพลิงได้ด้วยเช่นกัน ไม่มีสถานที่อื่นเลยที่สามารถเข้าถึงเพื่อไปเปิดสวิตช์ป้อนน้ำดับเพลิงได้



**คุณสามารถทำอะไรได้?**

- มองหาความขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกันซึ่งสามารถทำให้ระบบต่าง ๆ หลายระบบในโรงงานของคุณขัดข้องในเวลาเดียวกัน (โดยเฉพาะระบบหลักและระบบสำรอง) – ทั้งในการทำงานในสภาวะปกติ รวมถึงระบบและขั้นตอนการปฏิบัติในการโต้ตอบสถานการณ์ฉุกเฉิน
- เมื่อคุณเข้าร่วมในการซ้อมเหตุการณ์ฉุกเฉิน ดูเกี่ยวกับความขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน – สิ่งซึ่งทั้งสามารถทำให้เกิดเหตุฉุกเฉินได้และยังทำให้คุณไม่สามารถปฏิบัติตามขั้นตอน หรือ ใช้อุปกรณ์การโต้ตอบสถานการณ์ฉุกเฉินได้ในเวลาเดียวกัน เช่น ถ้าคุณต้องเปิดใช้งานเครื่องจ่ายไฟฉุกเฉินเมื่อไฟฟ้าดับในเวลาฉุกเฉิน ขณะที่ไม่มีแสงสว่างคุณจะสามารถมองเห็นได้ชัดเจนพอที่จะเปิดใช้งานเครื่องจ่ายไฟได้หรือไม่ขณะที่ไฟฟ้าดับ ?
- ตรวจสอบระบบความปลอดภัยและอุปกรณ์ความปลอดภัยสำรองอย่างละเอียดและพิจารณาโอกาสที่จะเกิดความขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน โดยเฉพาะถ้าระบบหลักและระบบสำรองอยู่ในห้องเดียวกัน หรือ อยู่ใกล้กัน พิจารณาโอกาสที่เมื่อเกิดไฟไหม้ น้ำท่วม หรือ เหตุการณ์รุนแรงอื่น ๆ จะทำให้ทั้งระบบหลักและระบบสำรองขัดข้อง
- รายงานสิ่งที่เป็นประเด็นให้กับฝ่ายจัดการและฝ่ายเทคนิคทราบเพื่อที่เขาเหล่านั้นจะได้ประเมินและกำจัดสภาวะที่ทำให้เกิดความขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน

**มองหาความขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกันทั้งในการผลิตปกติและในการโต้ตอบสถานการณ์ฉุกเฉิน!**