

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

### 2.1 เทคนิคการวิเคราะห์แบบฟอลต์ทรี (Fault Tree Analysis)

การวิเคราะห์ FTA (Fault Tree Analysis) แปลเป็นภาษาไทยตรงตัว หมายถึง การวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด หรือต้นไม้แห่งความล้มเหลว เรียกชื่อย่อเป็นภาษาอังกฤษว่า FTA ในบางงานวิจัยเรียกชื่อย่อวิธีนี้ว่า การวิเคราะห์ฟอลต์ทรี ทับศัพท์ภาษาอังกฤษ วิธีนี้มักใช้ในวงการวิศวกรรม เป็นวิธีการที่ยึดระบบเป็นศูนย์กลางการดำเนินงาน (System-Centered Approach) โดยการกระตุ้นให้ผู้เกี่ยวข้องสร้างความคิดในรูปโครงข่ายขององค์ประกอบต่าง ๆ การวิเคราะห์ FTA เป็นวิธีการที่ซับซ้อนหากเทียบกับวิธีวิเคราะห์สาเหตุอื่น แต่นับว่าเป็นวิธีวิเคราะห์สาเหตุที่มีพลังมากที่สุด เนื่องจากให้ผลการวิเคราะห์ที่ทำให้เห็นความผิดพลาดหรือความล้มเหลวซึ่งถือว่าเป็นการประเมินความเสี่ยงรูปแบบหนึ่ง จุดมุ่งหมายปลายทางของการวิเคราะห์ FTA อยู่ที่การรู้และหาทางหลีกเลี่ยงปัญหาต่าง ๆ ที่อาจนำไปสู่ความล้มเหลว การวิเคราะห์ฟอลต์ทรี ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1961 โดย H.A. Watson of Bell Telephone Laboratories ร่วมมือกับ U.S. Air Force เพื่อใช้ศึกษา The Minuteman Missile Launch Control System ในปี 1965 มีการจัดสัมมนาด้านความปลอดภัย ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นในการใช้การวิเคราะห์ฟอลต์ทรีเป็นเครื่องมือ ในการวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยและใช้ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบที่มีความซับซ้อน

การวิเคราะห์ FTA เป็นกระบวนการที่เริ่มด้วยการกำหนดความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปัจจัยต่าง ๆ ที่นำไปสู่การเกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ (Undesired Event: UE) โดยมีข้อตกลงว่าสาเหตุหลัก (หรือ เรียกว่าเหตุการณ์) ที่ทำให้เกิดสิ่งไม่พึงปรารถนาสามารถแตกแขนงเป็นสาเหตุรองได้จนถึงสาเหตุสุดท้ายที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสาเหตุย่อยใด ๆ ได้อีก เหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์บางเหตุการณ์อาจเกิดจากสาเหตุย่อยหลายสาเหตุ โดยอาจเป็นสาเหตุเดี่ยวหรือสาเหตุร่วมที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ รูปแบบของโครงสร้างของสาเหตุเหล่านี้มีการนำเสนอเหมือนต้นไม้ที่มีการแตกกิ่งก้านสาขา เรียกว่า ต้นไม้แห่งความล้มเหลว (Fault Tree) เพราะเป็นต้นไม้ที่ประกอบด้วยเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดความล้มเหลวของการทำงาน การสร้างแผนภาพต้นไม้จึงเป็นงานหลักในการวิเคราะห์ FTA ในแผนภาพต้นไม้ เหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ (UE) จะอยู่บนสุด และมีเหตุการณ์หรือสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดความล้มเหลวอยู่ลดหลั่นเป็นระดับลงไปเรื่อย ๆ

กระบวนการวิเคราะห์ความวิบัติของระบบ สามารถกระทำได้ทั้งการวิเคราะห์ย้อนหลัง หรือการวิเคราะห์เพื่อทำนายไปข้างหน้า ถ้าเป็นการวิเคราะห์ย้อนหลังจะเป็นการศึกษาสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดความล้มเหลวเรียกว่าวิธี Fault Tree แต่หากเป็นการวิเคราะห์ไปข้างหน้าจะเป็นการ คาดการณ์ว่าจะเกิดอะไรขึ้นเรียกว่าวิธี Event Tree ในกระบวนการวิเคราะห์เชิงปริมาณจำเป็นต้องมี การกำหนดโอกาสหรือความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ซึ่งนำไปสู่เหตุการณ์ที่ไม่พึง ประสงค์ และการเชื่อมโยงเหตุการณ์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของสาเหตุเหล่านี้จะใช้สัญลักษณ์ ที่เรียกว่า ประตูเชิงตรรกะ (Logic Gate) ส่วนสาเหตุต่าง ๆ เรียกว่าเหตุการณ์ (Event) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เหตุการณ์นำเข้า (Input Event) และเหตุการณ์ผลผลิต (Output Event)

## 2.2 ข้อดีของเทคนิคการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี (Advantages of Fault Tree Analysis)

American Institute of Chemical Engineers (1985) ได้แสดงข้อดีของเทคนิคการวิเคราะห์ แบบฟอลท์ทรี (Fault Tree Analysis) ไว้ดังนี้


1. ใช้วิเคราะห์หาสาเหตุของอันตรายที่เกี่ยวข้องกับงาน วิธีการทำงาน เครื่องจักร และ ขบวนการผลิตได้
2. ใช้วางแผนป้องกันอุบัติเหตุเพราะจะทราบเหตุการณ์สำคัญที่มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุสูง
3. สามารถนำมาใช้ในการสอบสวนอุบัติเหตุที่สลับซับซ้อนได้
4. การวิเคราะห์จะแสดงความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ต่างๆ ด้วยรูปภาพ ทำให้เห็นภาพได้ อย่างชัดเจน และเข้าใจง่ายขึ้น

## 2.3 สัญลักษณ์ที่ใช้ในเทคนิคการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี


Louvar (2002) อธิบายถึงสัญลักษณ์ที่ใช้ในเทคนิคการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี (Fault Tree Analysis) ไว้ดังนี้ (ตารางที่ 2.1)


### (1) สัญลักษณ์ที่ใช้กับเหตุการณ์ (Event)

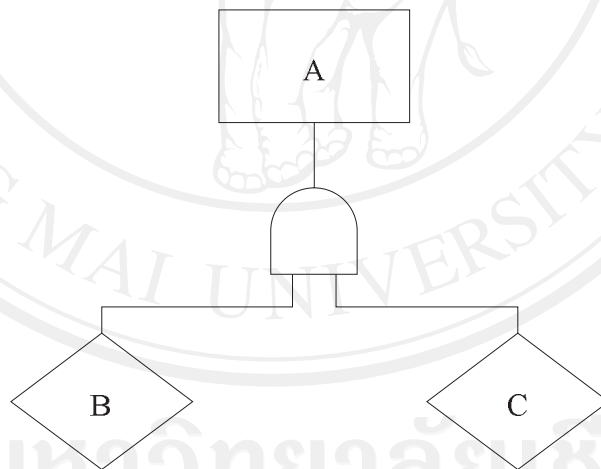
เหตุการณ์ของเทคนิค Fault Tree Analysis มีสัญลักษณ์พื้นฐานที่ใช้ 4 รูปแบบดังนี้

(1.1) Fault Event ใช้สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า  (Rectangle) ส่วนมากใช้ เป็นเหตุการณ์ที่อยู่ระหว่างกลาง (Intermediate Event) ไม่ใช่เหตุการณ์เริ่มต้นหรือเหตุการณ์สุดท้าย ของกิ่งก้านสาขาในแผนภูมิต้นไม้ Fault Event จะต้องอธิบายในลักษณะสาเหตุที่ก่อให้เกิด เหตุการณ์ผิดปกติ เพื่อนำไปสู่การสร้างหรือต่อเป็นรูปต้นไม้ต่อไปอีก Fault Event จะใช้เป็น ตัวแทนของเหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุหรือเป็นผลมาจากเหตุการณ์ผิดปกติต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ด้าน ปริมาณ Fault Event จะไม่ระบุเป็นตัวเลข เพราะไม่ใช่สาเหตุหรือเหตุการณ์สุดท้ายของปัญหาซึ่ง


จะต้องถูกทำการวิเคราะห์ต่อไปอีกเสมอ ซึ่งต่างจาก Basic Event ที่จะต้องระบุตัวเลขอัตรา การเกิดเหตุการณ์ด้วยทุกครั้ง

(1.2) Basic Event ใช้สัญลักษณ์เป็นรูปร่างกลม  (Circle) ใช้เป็นตัวแทนของเหตุการณ์ ที่เกิดจากความบกพร่องหรือความผิดปกติ ซึ่งเป็นเหตุการณ์สุดท้ายหรือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เหตุการณ์นี้จะอยู่ในส่วนล่างสุดของทุก ๆ เหตุการณ์เสมอไม่สามารถวิเคราะห์ต่อไปได้อีก เช่น เหตุการณ์ของดวงไฟที่ติดไว้เพื่อแสดงสัญญาณเตือนภัยไม่ทำงาน อันมีสาเหตุมาจากความเสื่อมสภาพของไส้หลอด เป็นต้น


(1.3) Undeveloped Event ใช้สัญลักษณ์รูปเพชร  (Diamond) หรือรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ใช้เป็นตัวแทนของเหตุการณ์ที่ไม่มีข้อมูลเพียงพอหรือยุ่งยากซับซ้อนหรือเป็นข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องกับ Top Event หรือไม่ใช่เหตุการณ์สำคัญจึงไม่ทำการวิเคราะห์ต่อไป แต่เมื่อใดที่มีข้อมูลเพิ่มเติมหรือสนับสนุนในภายหลัง ก็สามารถวิเคราะห์ต่อไปได้ (Fault Event) จากรูปที่ 2-1 จะเห็นเหตุการณ์ B และ C เป็นสาเหตุทำให้เกิดเหตุการณ์ A ขึ้น



รูปที่ 2-1 แสดงการใช้สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน


(1.4) House Event ใช้สัญลักษณ์รูปบ้าน  (House) บางครั้งเรียกว่า Switch Event หรือ Normal Event เพราะเหตุการณ์นี้ต้องพิจารณาว่าจะเกิดเหตุการณ์หรือไม่เกิดเหตุการณ์ขึ้นใช้แทนด้วยสวิตช์ปิด – เปิด

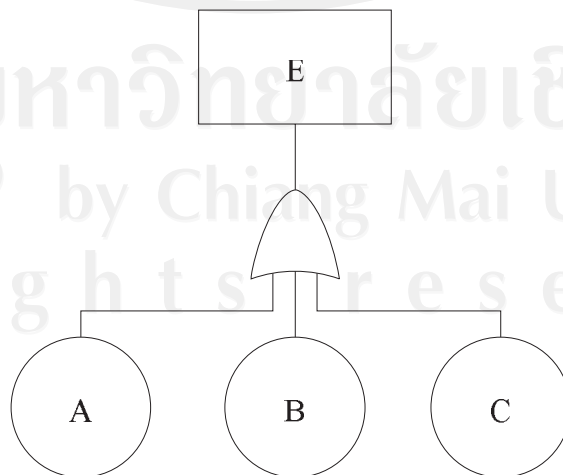
## (2) สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงการถ่ายโอน (Tree Transfer)

(2.1) Tree Transfer หรือ Transfer Gate ใช้สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยม  เป็นสัญลักษณ์ที่ไม่ได้ใช้แทนเหตุการณ์ แต่ใช้แทนการอ้างอิงถึงเหตุการณ์อีกเหตุการณ์หนึ่งซึ่งอยู่ในกิ่งก้านอื่นของแผนภูมิต้นไม้แต่เป็นเหตุการณ์ที่ซ้ำกันเพราะฉะนั้นในเทคนิค Fault Tree ถ้าพบว่ามีเหตุการณ์ซ้ำกันก็ไม่ต้องเขียน เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการวิเคราะห์ห้ซ้ำกัน ๆ ที่ได้ทำการวิเคราะห์แล้วแต่จะใช้สัญลักษณ์สามเหลี่ยม อ้างอิงไปถึงเหตุการณ์เดิมที่เคยวิเคราะห์แล้วในกิ่งก้านอื่น ๆ ของ Top Event เดียวกัน


## (3) สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงความเป็นเหตุเป็นผลกัน (Logic Gate)

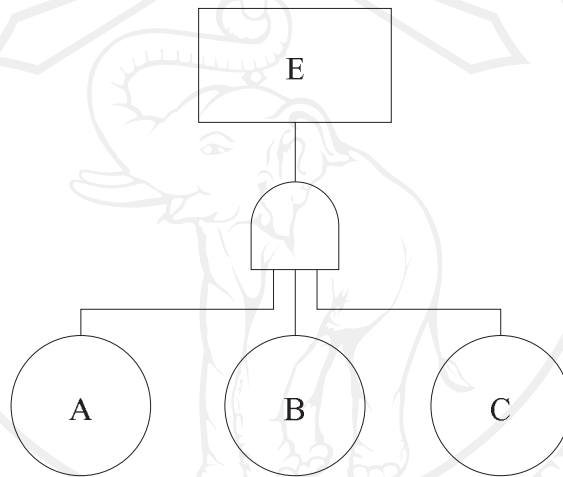
เทคนิคการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี (Fault Tree Analysis) เป็นเทคนิคที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์ต่าง ๆ ของระบบ ความเชื่อมโยงของแต่ละเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องหรือไม่นั้น สามารถใช้สัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

(3.1) Or Gate ใช้สัญลักษณ์รูป  เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์อย่างน้อยหนึ่งเหตุการณ์ หรือมากกว่าหนึ่งเหตุการณ์ซึ่งเกิดภายในเวลาเดียวกัน หรือมีผลต่อเหตุการณ์เดียวกันซึ่งเหตุการณ์หนึ่งจะเกิดขึ้นได้นั้น ต้องมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์นั้น ๆ อย่างน้อยหนึ่งเหตุการณ์ หรือมากกว่าหนึ่งเหตุการณ์ เช่น เหตุการณ์ A,B,C เป็น Input ที่มีความสัมพันธ์กันแบบ Or Gate แสดงว่า เหตุการณ์ E จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ A หรือ B หรือ C ขึ้นอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันก็ได้ (ดังรูปที่ 2-2)




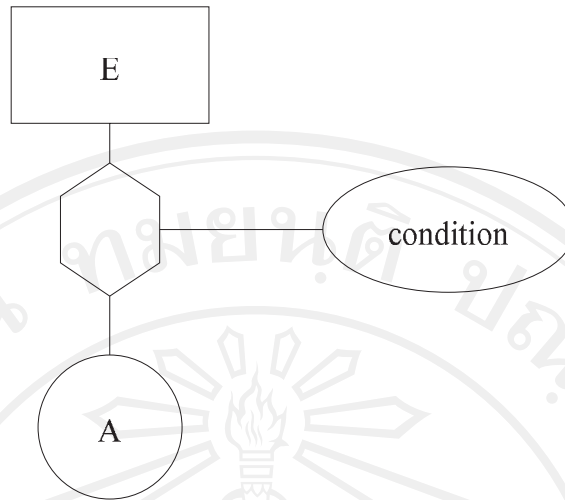
รูปที่ 2-2 แสดงการใช้สัญลักษณ์ Or Gate แสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

(3.2) And Gate ใช้สัญลักษณ์รูป  เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงให้เห็นว่าเหตุการณ์หนึ่งจะเกิดขึ้นได้ (Output) จะต้องมีสาเหตุมาจากทุก ๆ เหตุการณ์ (Input) ซึ่งจะต้องเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน เช่น เหตุการณ์ E จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ A,B และ C เกิดพร้อม ๆ กันทั้งหมด แต่เมื่อใดก็ตามที่เกิดเหตุการณ์ A หรือ B หรือ C เกิดเหตุการณ์ A,B หรือ B,C หรือ A,C อย่างใดอย่างหนึ่งก็จะไม่ทำให้เกิดเหตุการณ์ E ขึ้นมาได้ (ดังรูปที่ 2-3)



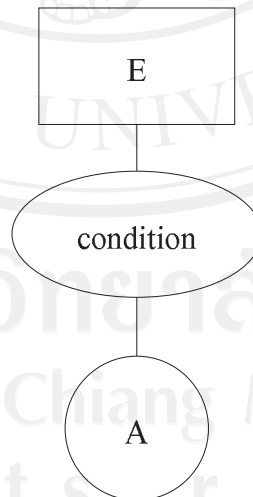
รูปที่ 2-3 แสดงการใช้สัญลักษณ์ And Gate แสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

(3.3) Inhibit Gate ใช้สัญลักษณ์รูป  เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงไว้ในแผนภูมิต้นไม้ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ใด ๆ (Output) จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีเงื่อนไข (Condition) หรือข้อจำกัด (Restriction) หรือองค์ประกอบอื่น ๆ ครบ เช่น สถานที่ อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบเสริมที่จะทำให้เกิดเหตุการณ์นั้น ๆ ได้ เช่น ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ระบุไว้ต้องมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ A (Input) จึงจะสามารถทำให้เกิด High Pressure (เหตุการณ์ E หรือ Output) (ดังรูปที่ 2-4)



รูปที่ 2-4 แสดงการใช้ Inhibit Gate

(3.4) Delay Time (Condition Event) สามารถทำให้เกิดเหตุการณ์ผิดปกติ (Fault Event ,E) ได้ก็ต่อเมื่อมีเหตุการณ์ A และมีเงื่อนไขของระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องมีลักษณะเฉพาะ เช่น ถ้า Retort มีอุณหภูมิสูง 120 องศาเซลเซียส นานเกิน 2 นาที วาล์วจะถูกเปิดออกเพื่อลดความดันและอุณหภูมิ (ดังรูปที่ 2-5)



รูปที่ 2-5 แสดงภาพการเขียนเงื่อนไขของระยะเวลา

ตารางที่ 2-1 แสดงสัญลักษณ์เหตุการณ์ (Event) และสัญลักษณ์ประตูเชิงตรรกะ (Gate) ต่างๆ ที่ใช้ในแผนภาพฟลอร์ทรี

|   | สัญลักษณ์   | ชื่อ   | ความหมาย   |
|---|---|--|--|
| 1 |    | Fault Event:<br>เหตุการณ์ย่อย                          | เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิด<br>เหตุการณ์ต่อเนื่องจน เป็นเหตุให้เกิด<br>อุบัติเหตุ   |
| 2 |   | Basic Event:<br>เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยปกติ            | เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นได้ตามปกติ<br>ซึ่งหมายถึง สาเหตุที่เห็นได้ชัดเจน<br>โดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ<br>ต่อไป ถือเป็นสาเหตุแรกของการเกิด<br>อุบัติเหตุ |
| 3 |  | Undeveloped Event:<br>เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไปไม่ได้ | เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องทำการ<br>วิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป เนื่องจากไม่<br>มีข้อมูลสนับสนุน  |
| 4 |  | External Event:<br>เหตุการณ์ภายนอก                     | เหตุการณ์ภายนอกหรือปัจจัยภายนอก<br>ที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์<br>ต่างๆ   |
| 5 |  | Transfer Gate:<br>สัญลักษณ์การถ่ายโอน                  | แสดงให้เห็นว่าสาเหตุในแผนภาพจะ<br>มีการโยกย้ายไปแสดงในหน้าอื่นหรือ<br>อีกแผนภาพหนึ่ง   |
| 6 |  | Or Gate:<br>สาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง                        | เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจาก<br>สาเหตุใดสาเหตุหนึ่งของสาเหตุย่อย  |

ตารางที่ 2-1 (ต่อ) แสดงสัญลักษณ์เหตุการณ์ (Event) และสัญลักษณ์ประตูเชิงตรรกะ (Gate) ต่างๆ ที่ใช้ในแผนภาพฟอลท์ทรี

|   | สัญลักษณ์   | ชื่อ                                 | ความหมาย  |
|---|---|--------------------------------------|---|
| 7 |  | And Gate:<br>สาเหตุหลายสาเหตุ        | เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุของเหตุการณ์ย่อยทุกตัว                     |
| 8 |  | Inhibit Gate:<br>สาเหตุแบบมีเงื่อนไข | เหตุการณ์ผลลัพธ์จะเกิดขึ้นจากสาเหตุนำเข้าได้ก็ต่อเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด |

#### 2.4 กระบวนการขั้นตอนในเทคนิคการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี

ไพฑูรย์ ดันอุด (2547) อธิบายถึงเทคนิคการวิเคราะห์ฟอลท์ทรีมีขั้นตอนทั้งหมด 4 ขั้นตอนคือ การนิยามระบบ (System Definition) การสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี (Fault Tree Construction) การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Evaluation) และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Evaluation) มีรายละเอียดในขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

##### 1) การนิยามระบบ (System Definition)

การนิยามระบบเป็นการอธิบายระบบโดยกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ ของระบบ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี ในการนิยามระบบจะต้องระบุเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ที่จะทำการวิเคราะห์ พร้อมทั้งข้อมูลในส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบ ขอบเขตของข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ ลักษณะความเสียหายของระบบ รวมถึง ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุต่าง ๆ ภายในระบบ จากข้อมูลที่ได้ในการนิยามระบบก็จะถูกนำไปใช้ในการสร้างแผนภาพฟอลท์ทรีในขั้นตอนต่อไป

##### 2) การสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี (Fault Tree Construction)

การสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี เป็นการนำความรู้ที่ได้จากการนิยามระบบมาสร้างเป็นแผนภาพฟอลท์ทรี โดยที่คำจำกัดความ สัญลักษณ์ที่ใช้กับเหตุการณ์ (Event) และสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงความเป็นเหตุเป็นผลกัน (Logic Gate) แสดงในหัวข้อที่ผ่านมาข้างต้น การสร้างแผนภาพฟอลท์ทรีมีกระบวนการในการสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี 2 กระบวนการ คือ กระบวนการสังเคราะห์และกระบวนการวิเคราะห์ (Brown, 1976) ดังนี้



ก.) กระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis Process) มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. หาเหตุการณ์ในระดับต่างๆ ไปทุกๆ เหตุการณ์ที่สามารถพิจารณาให้เป็นเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ในระบบที่ต้องการจะศึกษา
2. แยกเหตุการณ์ต่างๆ ที่ได้ ออกเป็นกลุ่มๆ ตามลักษณะเหตุการณ์ที่มีความสัมพันธ์ร่วมกัน เช่น มีสาเหตุเดียวกัน หรือมีลักษณะอื่นๆ ร่วมกัน เป็นต้น
3. ใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์ร่วมกัน หาเหตุการณ์ 1 เหตุการณ์ ที่ครอบคลุมเหตุการณ์อื่น เพื่อกำหนดให้เป็นเหตุการณ์ส่วนหัว (Head Event) และจะถูกพิจารณาเป็นแผนภาพฟอลท์ทรี

ข.) กระบวนการในการวิเคราะห์ (Analysis Process) มี 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. เลือกเหตุการณ์ส่วนหัวมาหนึ่งเหตุการณ์จากกระบวนการสังเคราะห์ในข้อ 3 ซึ่งในหนึ่งระบบอาจจะมีอยู่หลายเหตุการณ์ส่วนหัวได้
2. หาเหตุการณ์ปฐมภูมิและทุติยภูมิทั้งหมด ที่สามารถเป็นสาเหตุทำให้เกิดเหตุการณ์ส่วนหัวได้
3. หาความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุและเหตุการณ์การส่วนหัว ในเชิงตรรกศาสตร์
4. พิจารณาความสำคัญหรือขอบเขตในการวิเคราะห์ เหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อ 2 และข้อ 3 สำหรับเหตุการณ์ที่จะทำการวิเคราะห์ต่อไป ให้ทำซ้ำในขั้นตอนข้อที่ 2 และข้อที่ 3 แต่เหตุการณ์ส่วนหัวที่จะวิเคราะห์ จะถูกแทนที่ด้วยเหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุที่จะวิเคราะห์ต่อไป
5. ทำซ้ำในขั้นตอนข้อที่ 2 ข้อที่ 3 และข้อที่ 4 จนกว่าจะได้เหตุการณ์อยู่ในรูปเหตุการณ์เบื้องต้นหรือเหตุการณ์ที่ไม่ต้องแจกแจง
6. เขียนแผนภาพฟอลท์ทรี โดยใช้สัญลักษณ์ต่างๆ ในหัวข้อที่ผ่านมาข้างต้น

นอกจากนี้ ในการสร้างแผนภาพฟอลท์ทรีมีกฎอีก 5 ข้อ เพื่อช่วยลดการข้ามขั้นตอนหรือการตัดทอนขณะสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี ได้แก่

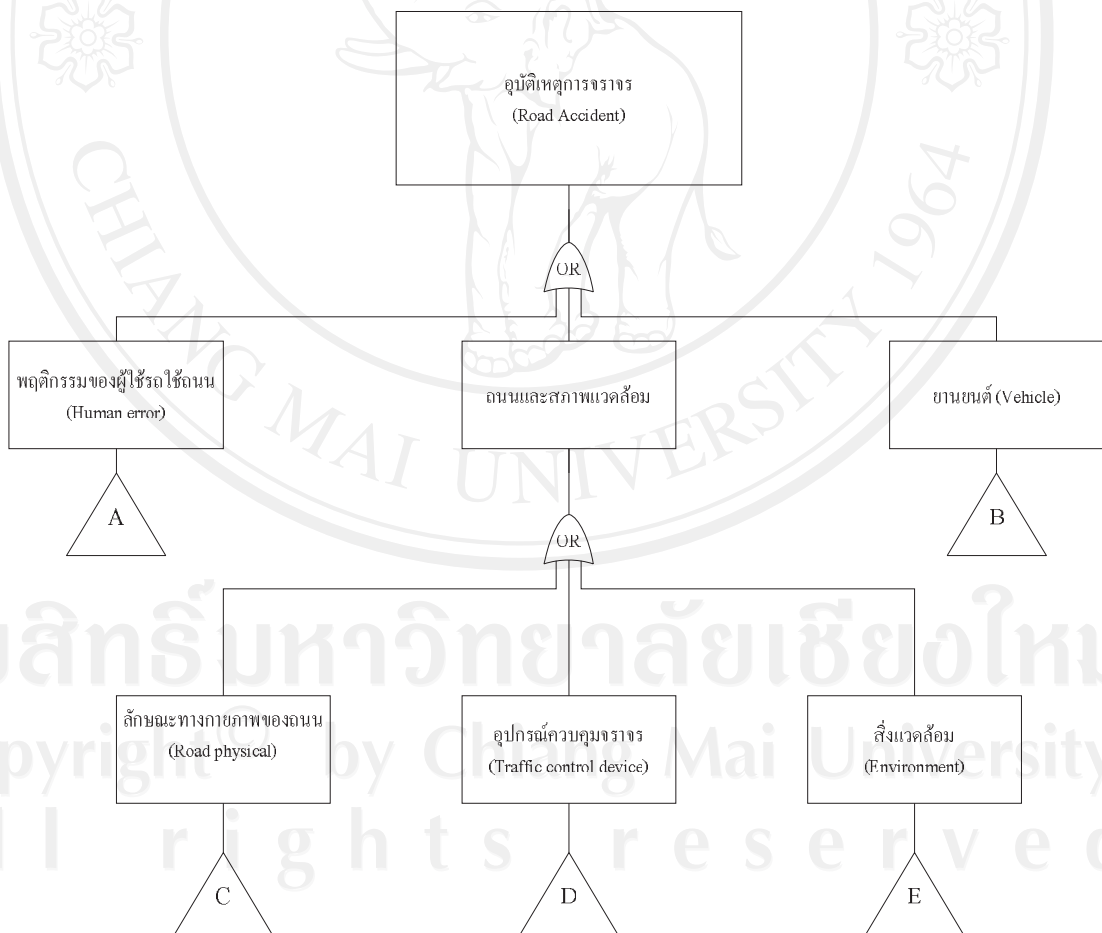
1. Fault Event Statement (Fault Identification – The “Be Precise” Rule) : การเขียน Top Event ต้องระบุให้ครบ 3 ประเด็น คือ WHAT , WHERE , WHEN

2. Rule for Abbreviation : เขียนอธิบายคำจำกัดความหรือนิยามในแผนภาพฟอลท์ทรีให้กระชับและได้ใจความ

3. The “No Miracles” Rule : ให้หาสาเหตุจากสภาวะการทำงานที่ผิดปกติของ เครื่องมือนั้น ๆ ไม่ต้องสมมติเหตุการณ์มหัศจรรย์ต่าง ๆ เช่น ไฟฟ้า แผ่นดินไหว หรือ ไฟไหม้แล้วจะมีฝนตกลงมาทำให้ไฟดับ เป็นต้น

4. The “Complete the Gate” Rule : การทำทุก Gate ให้สมบูรณ์ในการทำ Fault Tree ต้องหาสาเหตุหรือเหตุการณ์หรือประเด็นให้ครอบคลุมทั้งหมดในแต่ละระดับก่อน จึงเริ่มคิดในระดับถัดไปได้ “ห้ามคิดข้ามขั้น” โดยเด็ดขาด

5. The “No Gate-to-Gate” Rule : เป็นกฎที่กล่าวว่า ประตูตรรกศาสตร์ไม่สามารถต่อเชื่อมกันกับประตูตรรกศาสตร์โดยตรงได้



รูปที่ 2-6 แสดงตัวอย่างการเขียนแผนภาพฟอลท์ทรีของการเกิดอุบัติเหตุการจราจร

### 3) การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Evaluation)

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เป็นการประเมินแผนภาพฟอลท์ทรี โดยใช้ข้อมูลในเชิงคุณภาพ ที่ได้จากแผนภาพฟอลท์ทรีมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปในเชิงคุณภาพ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้ 2 แบบ คือ การหาชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ (Minimal Cut Sets, MCS) และการหาความสำคัญเชิงคุณภาพ (Qualitative Importance)

#### ก.) การหาชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ (Minimal Cut Sets, MCS)

การหาชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ (Minimal Cut Sets, MCS) คือการหาชุดรูปแบบของเหตุการณ์ที่นำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุที่สนใจหรือเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ (Top Event) ซึ่งสามารถเกิดได้หลายรูปแบบโดยจำนวนรูปแบบที่น้อยที่สุด และแต่ละรูปแบบมีความแตกต่างกันจะเรียกว่า Minimal Cut Sets (MCS) ซึ่งมีประโยชน์ในการระบุรูปแบบต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ บางรูปแบบมีค่า โอกาสเกิดสูงกว่ารูปแบบอื่น เช่น รูปแบบที่ประกอบด้วยเหตุการณ์ย่อย 2 เหตุการณ์ ย่อมมีโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุมากกว่าที่ประกอบด้วยเหตุการณ์ย่อย 3-4 เหตุการณ์ที่ต้องล้มเหลวพร้อมกัน โดยในแต่ละ MCS จะมีทั้งการรวมกัน (Combination) การเกิดเหตุการณ์ร่วมกัน (Intersection) ของแต่ละเหตุการณ์พื้นฐาน (Basic Event) ซึ่งเพียงพอที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ แต่หากเหตุการณ์พื้นฐานใน MCS เกิดขึ้นไม่ครบอุบัติเหตุก็จะไม่เกิดขึ้นเช่นกัน ในแต่ละแผนภาพฟอลท์ทรีจะมีจำนวนของ MCS ที่มีจำนวนที่จำกัด

ในชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ (MCS) จะประกอบด้วยจำนวนต่างๆ ในแต่ละชุดเหตุการณ์น้อยที่สุด ในชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่มีเหตุการณ์พื้นฐานหนึ่งเหตุการณ์ เรียกว่า Single Component Minimal Cut Sets ซึ่งแสดงถึง เหตุการณ์พื้นฐานเพียงเหตุการณ์เดียว สามารถทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์เกิดขึ้นได้ แต่ถ้ามีเหตุการณ์พื้นฐานสองเหตุการณ์ ก็จะเรียกว่า Double Component Minimal Cut Sets หรือถ้ามีจำนวน  $n$  เหตุการณ์พื้นฐาน ใน MCS ก็จะเรียกว่า  $n$  Component Minimal Cut Sets จำนวนขององค์ประกอบในชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดจะใช้ในการวิเคราะห์ความสำคัญเชิงคุณภาพต่อไป

การหาชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดของแผนภาพฟอลท์ทรี สามารถทำได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. แปลงแผนภาพฟอลท์ทรีไปเป็นสมการทางตรรกศาสตร์ (Boolean Equation)
2. แทนที่เหตุการณ์คั่นกลาง (Intermediate Causes) ต่างๆ ที่อยู่ในสมการ ด้วยเหตุการณ์ปฐมภูมิ (Primary Cause Event) ในการแทนที่สามารถทำได้ทั้งแบบบนลงล่าง (Top Down) หรือแบบล่างขึ้นบน (Bottom Up) ก็ได้

3. ทำการลดรูปสมการทางตรรกศาสตร์ โดยใช้กฎทางพีชคณิตของบูลีน (Rules of Boolean Algebra) ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ในการเขียนเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ในรูปของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุด (Minimal Cut Sets) ที่ทำให้เกิด สามารถเขียนได้ดังนี้

$$T = M_1 + M_2 + \dots + M_k \quad (1)$$

$$M_i = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n \quad (2)$$

โดยที่ T คือ เหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์

$M_i$ ,  $i = 1$  ถึง  $k$  คือ ชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์

$X_i$ ,  $i = 1$  ถึง  $n$  คือ เหตุการณ์พื้นฐาน

สัญลักษณ์ + เป็น แทนประตูตรรกศาสตร์ “ หรือ ”

สัญลักษณ์  $\cdot$  เป็น แทนประตูตรรกศาสตร์ “ และ ”

ตารางที่ 2-2 แสดงกฎทางพีชคณิตของบูลีน (Rules of Boolean Algebra)

|      | Mathematical Symbolism                           | Engineering Symbolism                       | Designation                         |
|------|--|---|-------------------------------------|
| (1a) | $X \cap Y = Y \cap X$                            | $X \cdot Y = Y \cdot X$                     | Commutative Law                     |
| (1b) | $X \cup Y = Y \cup X$                            | $X + Y = Y + X$                             |                                     |
| (2a) | $X \cap (Y \cap Z) = (X \cap Y) \cap Z$          | $X \cdot (Y \cdot Z) = (X \cdot Y) \cdot Z$ | Associative Law                     |
| (2b) | $X \cup (Y \cup Z) = (X \cup Y) \cup Z$          | $X + (Y + Z) = (X + Y) + Z$                 |                                     |
| (3a) | $X \cap (Y \cup Z) = (X \cap Y) \cup (X \cap Z)$ | $X \cdot (Y + Z) = X \cdot Y + X \cdot Z$   | Distributive Law                    |
| (3b) | $X \cup (Y \cap Z) = (X \cup Y) \cap (X \cup Z)$ | $X + Y \cdot Z = (X + Y) \cdot (X + Z)$     |                                     |
| (4a) | $X \cap X = X$                                   | $X \cdot X = X$                             | Idempotent Law                      |
| (4b) | $X \cup X = X$                                   | $X + X = X$                                 |                                     |
| (5a) | $X \cap (X \cup Y) = X$                          | $X \cdot (X + Y) = X$                       | Law of Absorption                   |
| (5b) | $X \cup (X \cap Y) = X$                          | $X + X \cdot Y = X$                         |                                     |
| (6a) | $X \cap X' = \phi$                               | $X \cdot X' = \phi$                         | Complementation                     |
| (6b) | $X \cup X' = \Omega = I^*$                       | $X + X' = \Omega = I$                       |                                     |
| (6c) | $(X')' = X$                                      | $(X')' = X$                                 |                                     |
| (7a) | $(X \cap Y)' = X' \cup Y'$                       | $(X \cdot Y)' = X' + Y'$                    | De Morgan's Theorem                 |
| (7b) | $(X \cup Y)' = X' \cap Y'$                       | $(X + Y)' = X' \cdot Y'$                    |                                     |
| (8a) | $\phi \cap X = \phi$                             | $\phi \cdot X = \phi$                       | Operations with $\phi$ and $\Omega$ |
| (8b) | $\phi \cup X = X$                                | $\phi + X = X$                              |                                     |
| (8c) | $\Omega \cap X = X$                              | $\Omega \cdot X = X$                        |                                     |
| (8d) | $\Omega \cup X = \Omega$                         | $\Omega + X = \Omega$                       |                                     |
| (8e) | $\phi' = \Omega$                                 | $\phi' = \Omega$                            |                                     |
| (8f) | $\Omega' = \phi$                                 | $\Omega' = \phi$                            |                                     |

ตารางที่ 2-2 (ต่อ) แสดงกฎทางพีชคณิตของบูลีน (Rules of Boolean Algebra)

|   | Mathematical<br>Symbolism  | Engineering<br>Symbolism  | Designation   |
|---|--|---|---|
| (9a)<br>(9b)  | $X \cup (X' \cap Y) = X \cup Y$<br>$X' \cap (X \cup Y) = X' \cap Y =$<br>$(X \cup Y)'$ | $X + X' \cdot Y = X + Y$<br>$X' \cdot (X + Y) = X' \cdot Y =$<br>$(X + Y)'$ | These relationships are unnamed but are frequently useful in the reduction process. |
| * The symbol I is often used instead of $\Omega$ to designate the Universal Set. In engineering notation $\Omega$ is often replaced by 1 and $\phi$ by 0. |  |   |   |

ที่มา : Fault Tree Handbook (1981)

### ข.) ความสำคัญเชิงคุณภาพ (Qualitative Importance)

การวิเคราะห์หาความสำคัญเชิงคุณภาพ เป็นการวิเคราะห์หาความสำคัญของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดชุดต่างๆ ที่มีผลต่อความวิบัติของระบบ โดยมีการหาโอกาสของการวิบัติจากขนาดของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุด

เนื่องจากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพจึงเปรียบเทียบความน่าจะเป็นในการเกิดของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดโดยนับจากจำนวนองค์ประกอบในชุดเหตุการณ์น้อยที่สุด ชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่มีจำนวนองค์ประกอบจำนวนน้อยจะมีความน่าจะเป็นในการเกิดมากกว่าชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่มีจำนวนองค์ประกอบจำนวนมาก เนื่องจากมีโอกาสที่เหตุการณ์พื้นฐานในชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันมากกว่าชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่มีจำนวนองค์ประกอบมาก

แต่อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ความสำคัญเชิงคุณภาพ สามารถบ่งบอกถึงความสำคัญของแต่ละชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถเปรียบเทียบความสำคัญของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่มีจำนวนองค์ประกอบเท่ากันได้ จึงมีการพัฒนาไปสู่การวิเคราะห์ความสำคัญในเชิงปริมาณ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ทำให้ทราบชุดเหตุการณ์หรือชุดสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ และความสำคัญของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ จากการวิเคราะห์ดังกล่าว สามารถนำไปใช้ในการควบคุมดูแลระบบเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายหรือลดโอกาสในการเกิดความเสียหาย โดยควบคุมดูแลชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดทั้งหมดหรือควบคุมดูแลชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดตามความสำคัญ ไม่ให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

#### 4) การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Evaluation)

การวิเคราะห์ฟอลท์ทรีปกติสามารถใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis) และวิเคราะห์เชิงปริมาณได้ด้วย (Quantitative Analysis) เพื่อหาข้อสรุปต่างๆ ให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น (Vesely and others, 1981) ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณจะใช้ค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ต่างๆ มาเกี่ยวข้อง โดยหาค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์จากข้อมูลทางสถิติหรือจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ การวิเคราะห์เชิงปริมาณมีการคำนวณค่าความน่าจะเป็นมีหลักการคำนวณดังต่อไปนี้

Louvar (1998) ได้แสดงสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าของโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุและความน่าเชื่อถือของระบบ หลังจากเขียนแสดงความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ด้วย Logic Gate ด้วยวิธี Fault Tree Analysis ไว้ดังนี้

กรณีที่มีความสัมพันธ์ของเหตุการณ์พื้นฐาน คือ “ หรือ ” (Or Gate)

กำหนดให้  $F$  เป็นค่า Probability of Failure ของระบบ

$F_1, F_2, F_3 \dots F_n$  เป็นค่า Probability of Failure ของส่วนประกอบย่อยที่  $i$  ของระบบ จะได้ว่า

$$P(F_i) + P(\bar{F}_i) = 1 \quad (3)$$

$$P(\bar{F}_i) = 1 - P(F_i) \quad (4)$$

เมื่อ  $F_i$  เป็นเหตุการณ์ที่อิสระต่อกัน แสดงว่า มี 2 ความเป็นไปได้ในการที่จะทำให้เกิดความวิบัติของเหตุการณ์  $F_i$  โดยพิจารณาจากความวิบัติเนื่องจากเหตุการณ์  $F_1, F_2, F_3 \dots F_n$  คือ โอกาสที่จะทำให้เกิดเหตุการณ์  $F_i$  เกิดขึ้นน้อยที่สุด และ โอกาสที่เหตุการณ์  $F_i$  ไม่เกิดขึ้น อธิบายได้ดังนี้

$$P(\text{at least one } F_i \text{ occurs}) = 1 - P(\text{no } F_i \text{ occurs}) \quad (5)$$

$$P(\text{at least one } F_i \text{ occurs}) = 1 - P(\bar{F}_1 \text{ and } \bar{F}_2 \text{ and } \bar{F}_3 \dots \text{ and } \bar{F}_n) \quad (6)$$

เมื่อ  $F_i$  เป็นเหตุการณ์ที่อิสระต่อกัน ดังนั้น  $\bar{F}_i$  จะต้องเป็นเหตุการณ์ที่อิสระต่อกัน และจากสมการที่ (4) จึงสามารถแสดงได้ว่า

$$P(\bar{F}_1 \text{ and } \bar{F}_2 \text{ and } \bar{F}_3 \dots \text{ and } \bar{F}_n) = [1 - P(F_1)][1 - P(F_2)][1 - P(F_3)] \dots [1 - P(F_n)] \quad (7)$$

จากสมการที่ (6) และ สมการที่ (7) ค่า Probability of Failure ของระบบ กรณีที่

ความสัมพันธ์ของเหตุการณ์พื้นฐาน คือ “ หรือ ” (Or Gate) คือ

$$F = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i) \tag{8}$$

กรณีที่ความสัมพันธ์ของเหตุการณ์พื้นฐาน คือ “ และ ” (And Gate)

กำหนดให้ F เป็นค่า Probability of Failure ของระบบ

$F_1, F_2, F_3 \dots F_n$  เป็นค่า Probability of Failure ของส่วนประกอบย่อยที่ i ของระบบ และ เมื่อ  $F_i$  เป็นเหตุการณ์ที่อิสระต่อกัน จะได้

$$P(\text{at all one } F_i \text{ occurs}) = P(F_1 \text{ and } F_2 \text{ and } F_3 \dots \text{ and } F_n) \tag{9}$$

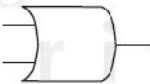


เมื่อ  $F_i$  เป็นเหตุการณ์ที่อิสระต่อกัน สามารถแสดงได้ว่า

$$P(F_1 \text{ and } F_2 \text{ and } F_3 \dots \text{ and } F_n) = P(F_1)P(F_2)P(F_3) \dots P(F_n) \tag{10}$$

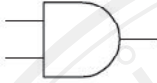
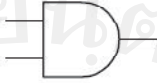
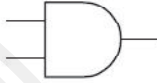
จากสมการที่ (9) และ สมการที่ (10) ค่า Probability of Failure ของระบบ กรณีที่ความสัมพันธ์ของเหตุการณ์พื้นฐาน คือ “ และ ” (And Gate) คือ

$$F = \prod_{i=1}^n F_i \tag{11}$$

ตารางที่ 2-3 แสดงสมการทางคณิตศาสตร์จากการเขียนความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ด้วย Or Gate

| Failure probability   | Reliability   | Failure rate  |
|---|---|---|
|  |  |  |
| $F = 1 - (1 - F_1)(1 - F_2)$  | $R = R_1 R_2$   | $\mu = \mu_1 + \mu_2$   |
| $F = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i)$   | $R = \prod_{i=1}^n R_i$   | $\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i$  |

ตารางที่ 2-4 แสดงสมการทางคณิตศาสตร์จากการเขียนความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ด้วย And Gate

| Failure probability   | Reliability   | Failure rate  |
|---|---|---|
|  |  |  |
| $F = F_1 F_2$   | $R = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)$  | $\mu = \mu_1 + \mu_2$   |
| $F = 1 - \prod_{i=1}^n F_i$   | $R = \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$   | $\mu = (-\ln R) / t$  |

การวิเคราะห์เชิงปริมาณสามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้ 3 แบบ คือ ความสำคัญของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ความน่าจะเป็นในการเกิดของระบบ และการประเมินความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบ

#### ก.) ความสำคัญของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์

การวิเคราะห์ความสำคัญของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดเชิงปริมาณ เป็นการวิเคราะห์หาความสำคัญของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่มีผลต่อความเสียหายของระบบ โดยวิเคราะห์จากค่าความน่าจะเป็นในการเกิดของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุด ซึ่งแสดงถึงความสำคัญหรือความมีอิทธิพลที่มีผลต่อการเกิดของเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์

การหาค่าความน่าจะเป็นในการเกิดของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุด สามารถหาได้จากการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการเกิดของเหตุการณ์พื้นฐานที่ประกอบเป็นชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดของชุดนั้น

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์ความสำคัญของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ทำให้ทราบความสำคัญของแต่ละชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่ส่งผลต่อเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ และสัดส่วนของแต่ละชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่มีผลต่อเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ประโยชน์อีกด้านหนึ่งในการใช้งาน สามารถนำค่าความน่าจะเป็นในการเกิดของชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดมาเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้ในการเกิดความล้มเหลว เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขหรือลดโอกาสในการเกิดเหตุการณ์นั้นๆ ต่อไป

#### ข.) ความน่าจะเป็นของระบบ

การหาค่าความน่าจะเป็นของระบบเป็นการหาค่าความน่าจะเป็นที่ระบบหรือเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์จะเกิดขึ้นภายใต้สิ่งแวดล้อมของระบบ โดยคำนวณจากค่าความน่าจะเป็นในการเกิด



ของเหตุการณ์พื้นฐาน โดยคำนวณตามเส้นทางในแผนภาพฟอลท์ทรีจากล่างขึ้นบน (Bottom Up)

### ค.) การประเมินความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบ

การประเมินความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบเป็นการประเมินผลกระทบของระบบ (ความน่าจะเป็นของระบบ) ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์พื้นฐานภายในระบบ เหตุการณ์ใดในระบบที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นของระบบสูง แสดงถึงความสำคัญของเหตุการณ์นั้นๆ ว่ามีผลกระทบต่อระบบมาก นำมาซึ่งการปรับปรุงระบบให้ตรงกับสาเหตุที่มีผลต่อระบบมากที่สุด

จากการวิเคราะห์ฟอลท์ทรีในเชิงปริมาณ ทำให้ทราบถึงความน่าจะเป็นของระบบ ความสำคัญของแต่ละชุดเหตุการณ์น้อยที่สุดที่ส่งผลถึงเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ และเหตุการณ์พื้นฐานที่มีความไวต่อผลลัพธ์ของระบบ

ในการวิเคราะห์โดยวิธีฟอลท์ทรี ผลลัพธ์ต่างๆ ที่ได้ทั้งจากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ สามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจและวางแผน เพื่อลดโอกาสในการเกิดความล้มเหลว หรือความวิบัติที่จะเกิดขึ้นในระบบที่ทำการวิเคราะห์ได้

## 2.5 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุทางหลวง

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุทางหลวง ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ คน ยานพาหนะ ถนน และสิ่งแวดล้อมซึ่งองค์ประกอบแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดในระบบขนส่ง ดังนั้นการทำความเข้าใจถึงสาเหตุของอุบัติเหตุจราจรทางบกจึงจำเป็นต้องรู้ถึงองค์ประกอบและลักษณะต่างๆขององค์ประกอบที่มีความเกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุเหล่านั้นๆ เพื่อที่จะสามารถนำไปออกแบบแก้ไข ปรับปรุงระบบการจราจรให้เป็นไปอย่างคล่องตัว และมีความปลอดภัยมากที่สุด

### 2.5.1 องค์ประกอบด้านคน

องค์ประกอบด้านคน (Road Users) ประกอบด้วย ผู้ขับขี่ (Driver) และคนเดินเท้า (Pedestrian) โดย

(1) ผู้ขับขี่ (Driver) คือ ผู้ที่เป็นตัวการเกิดอุบัติเหตุโดยตรงเพราะผู้ขับขี่เป็นคนบังคับและควบคุมยานพาหนะให้อยู่ในสถานการณ์ต่าง ๆ ทั้งการบังคับรถเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดอุบัติเหตุ และการบังคับรถที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดอุบัติเหตุ

(2) คนเดินเท้า (Pedestrian) คือ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุการจราจรในขณะที่มีได้ขับหรือขี่หรือโดยสารพาหนะ หรือสัตว์ใด ๆ คนเดินเท้าส่วนใหญ่จะถือเอาความสะดวกสบายในการข้าม

ถนนเป็นสำคัญ โดยไม่คำนึงถึงอันตราย หรืออุบัติเหตุมากนัก ซึ่งเป็นผลให้อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นนั้น ส่วนหนึ่งมาจากคนเดินเท้า เนื่องจากมีการฝ่าฝืนกฎจราจรอยู่เสมอ

### 2.5.2 องค์ประกอบด้านยานพาหนะ

องค์ประกอบด้านยานพาหนะ (Vehicles) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อการเกิดอุบัติเหตุ โดยเฉพาะยานพาหนะที่ไม่ได้มาตรฐาน ไม่มีอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยที่ดีและเพียงพอ และยานพาหนะที่มีสภาพชำรุดบกพร่องขาดการตรวจสอบและบำรุงรักษาที่ดีก่อนใช้งาน อาจเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุ

### 2.5.3 องค์ประกอบด้านถนน

องค์ประกอบด้านถนน (Road) เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญประกอบด้วย การวางแนวถนน (Road Alignment) ลักษณะทางโค้งต่าง ๆ ตลอดจนระยะมองเห็นปลอดภัย (Sight Distance) และลักษณะต่าง ๆ ของทางแยก (Intersection) ที่มีผลต่อความสะดวกและความปลอดภัย

### 2.5.4 องค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม

องค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental) เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อการเกิดอุบัติเหตุจราจรทางบก โดยส่วนใหญ่แล้วจะเกิดจากปัจจัยทางธรรมชาติเป็นสำคัญ เช่น ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของแต่ละพื้นที่ สภาพดินฟ้าอากาศ นอกจากนี้ยังเกิดจากมนุษย์เป็นผู้กระทำได้อีกด้วย เช่น การเผาไฟ การปลูกสร้างสิ่งบดบังสายตา เป็นต้น

## 2.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุจราจรทางถนน

กวี เกื้อเกษมบุญ (2545) สรุปปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุจราจรทางถนน ซึ่งการเกิดอุบัติเหตุแต่ละครั้งอาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยเดียวหรือจากหลายปัจจัยเกิดขึ้นร่วมกัน โดยมีรายละเอียดของแต่ละปัจจัยดังต่อไปนี้

### 2.6.1 ปัจจัยด้านคนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุจราจรทางถนน

ผู้ขับขี่ส่วนใหญ่มักเป็นตัวการเกิดอุบัติเหตุโดยตรง เพราะเป็นผู้บังคับและควบคุมยานพาหนะให้อยู่ในสถานการณ์ต่างๆ ในขณะที่คนเดินเท้า (Pedestrian) ส่วนใหญ่มักเป็นผู้รับเคราะห์ โดยมีตัวแปรทั้งหมด 5 ปัจจัย คือ

(1) การดื่มของมึนเมาหรือการใช้สารเสพติด ซึ่งจะทำให้ผู้ขับขี่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุสูงกว่าปกติ เนื่องจากประสาทการรับรู้และการตัดสินใจช้าลงซึ่งมีผลทำให้การควบคุมการขับรถลดประสิทธิภาพลง

(2) พฤติกรรมการใช้รถ และการไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุสูงกว่าผู้ขับขี่ที่ปฏิบัติตามกฎจราจร

(3) สภาพร่างกาย คือผู้ขับขี่ยานพาหนะขณะร่างกายขาดความพร้อมในการควบคุมรถ จะทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุมากกว่าผู้ขับขี่ที่สภาวะร่างกายปกติ เนื่องจากผู้ขับขี่อาจไม่สามารถประเมินสถานการณ์ขณะขับขี่ได้ถูกต้อง

(4) สภาวะด้านจิตใจ คือ ผู้ขับขี่ยานพาหนะมีสภาวะทางจิตใจที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ เช่น ขอบการต่อสู้ แข่งขัน ขอบความก้าวหน้า มีความเชื่อมั่นในตัวเองสูง มีความเครียด ขาดความยับยั้งชั่งใจ และมีความผิดปกติทางจิต ทำให้โอกาสเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้มากกว่าผู้ขับขี่ที่มีสภาวะด้านจิตใจที่ปกติ เนื่องจากกลุ่มคนเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะขับขี่ยานพาหนะด้วยความประมาทเกินไป

(5) ประสาทการรับรู้ คือ ผู้ขับขี่ยานพาหนะที่มีปัญหาด้านประสาทการรับรู้ ซึ่งประกอบด้วย การมองเห็น การได้ยิน และการประเมินความเสี่ยงขณะขับรถต่อสถานการณ์ต่างๆ ปัญหาดังกล่าวจะทำให้ผู้ขับขี่เกิดความผิดพลาดในการควบคุมการขับรถทำให้เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้มากกว่าผู้มีประสาทการรับรู้ที่ดี

### 2.6.2 ปัจจัยด้านยานพาหนะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุจากรถทางถนน

ยานพาหนะที่มีสภาพชำรุดบกพร่องขาดการตรวจสอบและบำรุงรักษาที่ดีก่อนใช้งาน ตลอดจนยานพาหนะที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน อาจเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุจากรถได้ โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะอาจแยกได้เป็น 2 ประเด็นดังนี้

(1) ยานพาหนะมีอุปกรณ์ที่อยู่ในสภาพไม่สมบูรณ์ ชำรุด บกพร่อง ได้แก่ ระบบห้ามล้อทำงานไม่ปกติ สภาพของยาง ระบบไฟส่องสว่างและไฟสัญญาณ ระบบปิดน้ำฝนไม่สามารถใช้งานได้ในขณะที่ฝนตก

(2) ยานพาหนะไม่เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย ได้แก่ การบรรทุกน้ำหนักเกิน การบรรทุกสูงเกิน การบรรทุกยื่นเกินอัตราที่กำหนด มีการปรับแต่งสภาพยานพาหนะอันอาจส่งผลต่อความปลอดภัย รวมทั้งไม่มีอุปกรณ์เสริมเพื่อความปลอดภัย เช่น เข็มขัดนิรภัย หมวกกันน็อก เป็นต้น

### 2.6.3 ปัจจัยด้านถนนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุจราจรทางถนน

ถนนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบการจราจร หากถนนมีการออกแบบที่ไม่ได้มาตรฐานตามหลักวิศวกรรมหรือมีสภาพชำรุดบกพร่องขาดการตรวจสอบและบำรุงรักษาที่ีคืออาจเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุจราจรได้ โดยปัจจัยด้านถนนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุจราจรประกอบด้วย

(1) ความกว้างของผิวจราจร จากผลการศึกษาผลกระทบของความกว้างผิวจราจรที่มีต่อการเกิดอุบัติเหตุ Zegeer และคณะ (1981) และ Cirillo และ Council (1986) พบว่าความกว้างผิวจราจรระหว่าง 3.40-3.70 เมตร เป็นความกว้างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับถนนขนาด 2 ช่องจราจรบริเวณนอกเมืองเนื่องจากมีอัตราการเกิดอุบัติเหตุต่ำและมีความสมดุลระหว่างการไหลของกระแสจราจรกับความปลอดภัยต่อการจราจรมากที่สุด และจากการศึกษาของ Lay (1986) พบว่าถนนที่มีผิวจราจรกว้างน้อยกว่า 3.00 เมตร นั้นมีอิทธิพลทำให้เกิดอุบัติเหตุจราจรแต่ละครั้งมีรถเกี่ยวข้องมากกว่าหนึ่งคัน

(2) ความกว้างไหล่ทาง คือ พื้นที่ด้านข้างของผิวทางที่อยู่ด้านนอกทั้งสองข้างและยังมิได้จัดทำเป็นทางเท้า ซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยในการจราจรจากผลการศึกษาผลกระทบของไหล่ทางที่มีต่อการเกิดอุบัติเหตุจราจร พบว่าขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างและชนิดของผิวไหล่ทาง Ogden (1996) ได้กล่าวว่าไหล่ทางชนิดที่ไม่ปูผิวทางจะมีอัตราการเกิดอุบัติเหตุสูงกว่าชนิดที่ปูผิวไหล่ทางอย่างชัดเจน

(3) ระยะเวลามองเห็นในทางโค้งแนวราบ จากการศึกษาของ Glennon (1987b) พบว่าระยะมองเห็นที่ปลอดภัยนั้นมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการควบคุมการขับขี่ยานพาหนะให้ได้รับความปลอดภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับกรณีของรถบรรทุกซึ่งมีความสามารถตอบสนองต่อการเบรกต่ำ โดยจากรายงานของ Federal Highway Administration (1986) ได้กล่าวสรุปว่าระดับสายตาที่ผู้ขับขี่รถบรรทุกสามารถมองเห็นวัตถุได้สูงกว่ารถยนต์ประเภทอื่น นั้นมีส่วนช่วยในการชดเชยการตอบสนองต่อการเบรกต่ำของรถบรรทุกชนิดต่าง ๆ ได้ แต่หลักเกณฑ์นี้อาจไม่สามารถใช้กับกรณีของรถบรรทุกขนาดใหญ่ได้ ทั้งนี้เพราะเป็นรถที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักบรรทุกมากซึ่งจำเป็นต้องใช้ระยะทางหยุดที่ปลอดภัยยาวกว่ารถยนต์ทั่วไป

(4) ระยะเวลามองเห็นในทางโค้งแนวตั้ง จากรายงาน Glennon (1987b) พบว่าบนทางหลวงที่มีข้อจำกัดของระยะมองเห็นที่ปลอดภัยที่บริเวณทางโค้งดิ่งแบบคว่ำ (Crest Curve) จะมีความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุสูงถึงร้อยละ 52 ของทางโค้งดิ่งแบบหงาย (Sag Curve)

(5) แนวทางราบ ประกอบด้วยส่วนที่เป็นทางตรงและทางโค้ง การออกแบบทางโค้งนั้นมีความสำคัญต่อความสะดวกสบายของผู้ขับขี่เป็นอย่างมาก ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบต่างๆ

คือ รัศมีความโค้ง (Radius of Curve) มุมเปลี่ยนแนว (Deflection Angle of Curve) การยกโค้ง (Super Elevation) และการขยายผิวทางในทางโค้ง (Widening) จากการศึกษา Glennon (1987a) พบว่าจำนวนอุบัติเหตุจากรบนทางหลวงจะเกิดขึ้นที่บริเวณทางโค้งมากกว่าบริเวณทางตรงถึง 3 เท่า โดยส่วนใหญ่เกิดจากการวิ่งหลุดออกจากทางโค้ง นอกจากนี้ผลการศึกษาของ Neuman และคณะ (1983) พบว่ารัศมีความโค้งเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความปลอดภัยของการออกแบบทางโค้งราบ โดยพบว่าทางโค้งราบที่มีรัศมีความโค้งต่ำกว่า 600 ม. จะมีส่วนช่วยสนับสนุนให้มีอัตราการเกิดอุบัติเหตุจากรเพิ่มขึ้น

(6) แนวทางโค้ง ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ความลาดชันถนน (Grades) และทางโค้งโค้ง (Vertical Curve) โดยทั่วไปแล้วทางโค้งโค้งแบบหางย (Sag Curve) จะมีปัญหาด้านระยะมองเห็นปลอดภัยไม่มากนัก ในขณะที่ทางโค้งโค้งแบบคว่ำ (Crest curve) นั้นจะมีข้อจำกัดของระยะมองเห็นที่ปลอดภัยมากกว่า สำหรับความลาดชันของถนนนั้น จากรายงานของ Organization for Economic Cooperation (1986) พบว่าอัตราการเกิดอุบัติเหตุและความรุนแรงจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลาด และความชันถนน และจากการศึกษาของ Zegeer และคณะ (1992) พบว่าถนนในทิศทางระดับลาดลงนั้นมีปัญหาความปลอดภัยมากกว่าในทิศทางที่ชันขึ้น ซึ่งจะมีผลมากสำหรับการเดินทางของรถบรรทุกขนาดใหญ่ โดยเฉพาะที่ระดับลาดชันมากกว่าร้อยละ 6 พบว่าจะมีอัตราการเกิดอุบัติเหตุเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ Pakpoy และ Kneebone (1988) ได้รายงานไว้ว่า บริเวณจุดที่เป็นทางโค้งราบและมีระดับความลาดชันมาก จัดเป็นจุดอันตรายสำหรับถนนบริเวณนอกเมืองขนาด 2 ช่องจราจร เนื่องจากผลการศึกษาพบว่ามีควมถี่การเกิดอุบัติเหตุสูง ดังนั้นการออกแบบทางหลวงให้มีความปลอดภัยควรจะต้องพิจารณาออกแบบทางโค้งแนวราบและทางโค้งแนวโค้งควบคู่กันไป

(7) จำนวนช่องจราจร คือ จำนวนช่องทางเดินรถที่จัดแบ่งสำหรับการเดินรถ โดยทำสัญลักษณ์ด้วยการตีเส้นแบ่งช่องจราจรและเครื่องหมายบนผิวทาง เช่น ลูกศร เป็นต้น จากการศึกษาสถิติอุบัติเหตุจากรของกองวิศวกรรมจราจร กรมทางหลวง (2540) พบว่าอุบัติเหตุจากรบนทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงจังหวัดมักเกิดบนทางตรงมากที่สุด โดยเฉพาะสภาพเส้นทางที่ดีเรียบมักทำให้ผู้ขับขี่ขาดความระมัดระวังและขับขี่ด้วยความเร็วสูง และถนนที่มี 2 ช่องทางจะเกิดอุบัติเหตุมากกว่าถนนที่มี 4 ช่องทาง

(8) อุปกรณ์กั้นข้างทาง คือ อุปกรณ์ที่ติดตั้งเพื่อป้องกันมิให้รถที่เกิดอุบัติเหตุวิ่งออกนอกถนน โดยทั่วไปจะติดตั้งไว้บริเวณที่เป็นจุดเสี่ยงอันตราย เช่น บริเวณทางโค้ง สะพาน และจุดที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุอื่นๆ ตัวอย่างของอุปกรณ์กั้นข้างทางเพื่อความปลอดภัย เช่น ราวกันชนตก (Guard Rail) เป็นต้น

(9) เครื่องหมายจราจร คือ เครื่องมือบอกข้อมูลด้าน การห้าม การเตือน และการแนะนำที่สำคัญสำหรับผู้ใช้รถใช้ถนนเพื่อช่วยให้การขับขี่มีความปลอดภัยมากขึ้น โดยลักษณะของเครื่องหมายจราจรจำเป็นต้องเข้าใจง่าย สังกัดได้ชัดเจนทั้งกลางวันและกลางคืน ตำแหน่งของเครื่องหมายมีความเหมาะสมต่อผู้ขับขี่และคนเดินเท้าที่จะสามารถมองเห็นได้ชัด ต้องมีความชัดเจนไม่ลบเลือนหายไป ตัวอย่างของเครื่องหมายจราจร เช่น ทางม้าลาย เส้นแบ่งช่องจราจร เส้นแบ่งทิศทางการเดินรถ ลูกศร และข้อความเตือนต่างๆ เป็นต้น

(10) ป้ายจราจร คือ เครื่องมือที่ช่วยบอกข้อมูลด้าน การห้าม การบังคับ การเตือน และการแนะนำที่สำคัญสำหรับผู้ใช้รถใช้ถนนเพื่อช่วยให้การขับขี่มีความปลอดภัยมากขึ้น โดยลักษณะของป้ายจราจรจำเป็นต้องเข้าใจง่าย สังกัดได้ชัดเจนทั้งกลางวันและกลางคืน ตำแหน่งของป้ายมีความเหมาะสมต่อผู้ขับขี่และคนเดินเท้าที่จะสามารถมองเห็นได้ชัด ต้องมีความชัดเจนไม่ลบเลือนหายไป ตัวอย่างของป้ายจราจร เช่น ป้ายหยุด ป้ายห้ามเลี้ยว เป็นต้น

(11) สัญญาณไฟจราจร คือ เครื่องมือจัดระบบการจราจรที่มีความสำคัญโดยเฉพาะบริเวณทางแยกที่มีปริมาณยานพาหนะมากถึงจุดที่ต้องติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร โดยตำแหน่งการติดตั้งระบบสัญญาณไฟควรให้ผู้ขับขี่และคนเดินเท้าสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนและต้องไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น กิ่งไม้

(12) สิ่งอำนวยความสะดวกคนเดินเท้า คือ อุปกรณ์หรือเครื่องมือด้านความปลอดภัยที่จัดเตรียมไว้ สำหรับคนเดินเท้า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบการจราจร เช่น ทางเท้า ทางข้าม (สะพานลอย) และสัญญาณไฟคนเดินข้าม เป็นต้น

(13) สภาพผิวถนน คือ ความสมบูรณ์ของถนนมีความเหมาะสมกับการใช้งานหรือมีข้อบกพร่อง เช่น พื้นผิวถนนมีความเสียดทานน้อย ถนนเป็นหลุมเป็นบ่อ มีโคลนตม ถนนขาด และถนนกำลังซ่อมบำรุง เป็นต้น ข้อบกพร่องต่างๆเหล่านี้อาจเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุได้ จากรายงานของคณะกรรมการความปลอดภัยด้านการจราจรแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (National Transportation Safety Board, 1980) ได้ทำการศึกษาถึงการวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงในการทำถนนในรัฐยูทาห์ ซึ่งเป็นถนนที่มีสัมประสิทธิ์ความฝืดต่ำ ทำให้เกิดการลื่นไถลได้ง่าย แสดงให้เห็นว่าสภาพผิวถนนที่มีความฝืดน้อยจะเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุโดยเฉพาะในเวลาฝนตกถนนลื่น

(14) ไฟฟ้าส่องสว่างบนถนน แสงสว่างในถนนมีความสำคัญอย่างมาก เพราะเกี่ยวกับความสามารถในการมองเห็น และการจัดแสงสว่างบนถนนให้เพียงพอ จะช่วยลดอุบัติเหตุได้ เพราะจะลดการใช้ไฟสูง ซึ่งแสงไฟสูงจากรถคันที่แล่นสวนมาอาจส่งผลให้ผู้ขับขี่สายตาวามัวได้ ทำให้มองไม่เห็นทางและเป็นอันตรายต่อการขับรถ โดยจากรายงานอุบัติเหตุ คณะกรรมการป้องกันอุบัติเหตุแห่งชาติ (วิจิตร บุญยะโทตระ, 2536) กล่าวว่า ในสหรัฐอเมริกาเกือบร้อยละ 60 ของ

อุบัติเหตุที่มีผู้เสียชีวิตจะเกิดขึ้นในเวลากลางคืน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าถ้าแสงสว่างบนถนนเพียงพอสามารถช่วยลดอุบัติเหตุลงเนื่องจากผู้ขับขี่จะเปิดไฟสูงน้อยลง

#### 2.6.4 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุจราจรทางถนน

สิ่งแวดล้อมหรือสภาพแวดล้อมของถนนอาจเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุจราจรได้ โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมของถนนอาจแยกได้เป็น 3 ประเด็นดังนี้

(1) อุปสรรคทางธรรมชาติ คือ สิ่งที่ยับยั้งความสามารถในการขับขี่ให้ลดลงที่มีผลมาจากอุปสรรคทางธรรมชาติ เช่น ฝนตก มีหมอกปกคลุมหรือมีฝุ่นมาก ต้นไม้บดบังป้ายหรือสัญญาณไฟจราจร ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ทำให้ทัศนวิสัยผู้ขับขี่ลดลงทั้งสิ้นและอาจส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้

(2) อุปสรรคที่เกิดจากการกระทำของคน คือ สิ่งที่ยับยั้งความสามารถในการขับขี่ให้ลดลงที่มีผลมากจากการกระทำของคน เช่น การเผาขยะหรือหญ้าริมทาง ควันดำจากท่อไอเสียรถยนต์ การติดตั้งป้ายโฆษณา ตู้โทรศัพท์หรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ บดบังป้ายและสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น

(3) สิ่งกีดขวางบนช่องจราจร คือ วัตถุที่ล่วงหล่นบนผิวจราจร รถจอดกีดขวางทางจราจร (รถเสียและรถที่จอดตามข้างถนน) การปิดถนนเพื่อซ่อมบำรุงโดยไม่มีป้ายหรือสื่ออื่นๆบอกผู้ขับขี่อย่างชัดเจน คนเดินข้ามหรือขี่รถจักรยานข้ามถนน และสัตว์เดินข้ามถนน เป็นต้น

#### 2.7 การวิเคราะห์เพื่อกำหนดบริเวณอันตรายและเพื่อบ่งชี้จุดอันตรายในโครงข่ายถนน

ในการศึกษาปัญหาอุบัติเหตุจราจรบนถนน เป้าหมายหลักประการหนึ่งคือ การลดจำนวนอุบัติเหตุที่บริเวณถนนที่เป็นอันตราย (Hazardous Road Locations) ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึง บริเวณที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นมาก บางครั้งเรียกว่า จุดอันตราย (Black Spot) ในการที่จะกำหนดว่าบริเวณไหนหรือจุดไหนเป็นจุดอันตราย จำเป็นที่จะต้องรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ และกำหนดเกณฑ์ที่จะใช้ในการพิจารณาว่าจุดไหนเป็นจุดอันตราย

วิธีทั่วไปที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อใช้จัดอันดับ โดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ

ก. จำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น (Number of Accident) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด อันดับต่างๆจะถูกจัดขึ้นตามจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจริง ณ ตำแหน่งนั้นๆ ในช่วงเวลาเดียวกัน เช่น ต่อปี ตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุสูงสุดจะถูกจัดเป็นอันดับ 1 และเรียงต่อกันมา โดยทั่วไปตำแหน่งที่มีการเกิดอุบัติเหตุ 3 ครั้ง หรือน้อยกว่านี้จะไม่ถูกนำมาคิดเพราะถือว่ามีย่านน้อย วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายต่อการอธิบายและมี

ประโยชน์ในกรณีที่มีผู้เสนอให้คิดเครื่องหมายจราจรหรือสัญญาณไฟจราจร เพื่อความปลอดภัยในตำแหน่งที่ไม่สำคัญ แต่ในกรณีที่เป็นการวัดจำนวนอุบัติเหตุบนช่วงถนนจะใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อทุกช่วงของถนนที่นำมาพิจารณามีความยาวเท่ากันหมด ถ้าช่วงของถนนมีความความยาวไม่เท่ากัน จำนวนการเกิดอุบัติเหตุต่อช่วงความยาว เช่น ต่อกิโลเมตร หรือต่อไมล์ จะถูกนำมาใช้แทน แต่การจัดอันดับโดยวิธีนี้ก็มิใช่ข้อเสียเปรียบอยู่เหมือนกันยกตัวอย่างเช่นในตำแหน่งที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นไม่มากและการแก้ไขปรับปรุงทำได้ง่าย ก็จะถูกมองข้ามไปเนื่องจากอยู่ในอันดับล่างๆของการจัดอันดับและในโครงข่ายถนนขนาดใหญ่จะมีหลายตำแหน่งที่มีจำนวนใกล้เคียงกันในกรณีอย่างนี้ค่าเฉลี่ยควรนำมาใช้เพื่อให้ได้ผลในการเลือกที่ดีขึ้น

**ข. อัตราหรือความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ (Rate of Accident)** เป็นวิธีที่มีประโยชน์มากในการจัดอันดับตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุสูงตามข้อมูลอุบัติเหตุที่ผ่านมา ตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุสูงที่สุดไม่ได้หมายความว่าตำแหน่งที่อันตรายที่สุดด้วย ในทางตรงกันข้ามการขาดซึ่งข้อมูลจากการบันทึกอุบัติเหตุในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งก็ไม่ได้หมายความว่าช่วงนั้นหรือเวลานั้นจะไม่มีความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ

ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุบางครั้งอาจแสดงในรูปของ อัตรา: จำนวนการเกิดอุบัติเหตุ ณ ตำแหน่งนั้นๆ ในช่วงเวลาที่สนใจหารด้วยจำนวนรถที่เข้าสู่ตำแหน่งนั้นในช่วงเวลาเดียวกันและเพราะว่าอุบัติเหตุเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นไม่บ่อย การใช้อัตราโดยทั่วไปจะทำให้ได้ค่าที่มีทศนิยมจำนวนมาก ดังนั้นในการเขียนอัตราจะนิยมคูณด้วย 1 ล้าน หรือ 100 ล้าน ซึ่งจะแสดงถึงจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นต่อยานพาหนะ 1 ล้านคันและ 100 ล้านคันตามลำดับ

อัตราการเกิดอุบัติเหตุที่นำมาใช้นั้นยังแบ่งออกเป็นอัตราการเกิดอุบัติเหตุสำหรับทางแยก และอัตราการเกิดอุบัติเหตุสำหรับช่วงถนน โดยอัตราการเกิดอุบัติเหตุสำหรับทางแยก ( $R_j$ ) หาได้จากสมการที่ (12)

$$R_j = \frac{(A)(100,000,000)}{T(V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n)} \quad (12)$$

เมื่อ

$R_j$  คือ อัตราการเกิดอุบัติเหตุที่ทางร่วมทางแยกต่อยานพาหนะ 100 ล้านคันที่เข้าสู่ทางแยก



$A$  คือ อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา  $T$  วัน

$T$  คือ ช่วงเวลา (วัน) ที่ศึกษา โดยทั่วไปใช้ช่วงการนับอุบัติเหตุ 365 วันหรือ 1 ปี

$V_1$  คือ AADT บน ขาที่ 1 ของทางแยก ( $n$  = จำนวนขาของทางแยก)

สำหรับอัตราการเกิดอุบัติเหตุบนช่วงถนนนั้นเนื่องจากแต่ละช่วงถนนที่ทำการศึกษานั้นมีหลายความยาว การที่จะนำอัตราการเกิดอุบัติเหตุมาเทียบกันนั้นจะต้องแสดงในหน่วยเดียวกัน ดังนั้นอัตราการเกิดอุบัติเหตุของช่วงถนนมักแสดงในรูปของจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นต่อหน่วยความยาวของถนนเช่น กิโลเมตรหรือไมล์ ต่อปี ( $R_m$ ) หรือจำนวนอุบัติเหตุต่อ 1 ล้านไมล์หรือกิโลเมตรการเดินทางในช่วงถนนนั้น ( $R_s$ ) โดย

$$R_m = \frac{365(A)}{TL} \quad (13)$$

$$R_s = \frac{A(1,000,000)}{TVL} \quad (14)$$

เมื่อ

$R_m$  คือ อัตราการเกิดอุบัติเหตุบนช่วงถนนต่อไมล์หรือกิโลเมตรต่อปี

$R_s$  คือ อัตราการเกิดอุบัติเหตุบนช่วงถนนต่อ 1 ล้านไมล์หรือกิโลเมตรการเดินทาง

$L$  คือ ความยาวของช่วงถนนที่ศึกษาเป็นไมล์หรือกิโลเมตร

อย่างไรก็ตาม การใช้อัตราการเกิดอุบัติเหตุในการประเมินจะไม่น่าเชื่อถือถ้าจำนวนการเกิดอุบัติเหตุมีจำนวนน้อย ในทางปฏิบัติตำแหน่งที่มีจำนวนอุบัติเหตุเกิดขึ้น 3 ครั้งหรือน้อยกว่าจะไม่น่ามาคิด

ปัจจุบันไม่ได้มีมาตรฐานที่จะใช้ในการชี้ชัดว่าตำแหน่งไหนบนถนนเป็นตำแหน่งอันตรายหรือไม่อันตราย หรือบ่งบอกระดับของความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุแน่นอนในการเลือก

ตำแหน่งเพื่อใช้ในการศึกษาจะมีเพียงเส้นแบ่ง (Cut Off) ที่บ่งบอกเพียงว่าตำแหน่งที่เกิดขึ้นเหนือเส้นแบ่งนี้จะใช้ในการศึกษาและใต้เส้นแบ่งนี้ไม่ต้องศึกษา

ดังนั้นในการกำหนดเส้นแบ่งนี้ก็ต้องมีวิธีการเลือกเพื่อการศึกษาวิธีที่ใช้มีอยู่หลายวิธีคือ

(1) **Accident Number Method** เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการกำหนดเส้นแบ่ง โดยทั่วไปตำแหน่งที่มีการเกิดอุบัติเหตุ 3 ครั้งหรือน้อยกว่านี้จะถูกตัดออกไป แต่ถ้ามีตำแหน่งที่มีจำนวนอุบัติเหตุมากกว่า 3 ครั้งมากเป็นร้อยหรือพันตำแหน่งหรือตำแหน่งที่มีจำนวนอุบัติเหตุเท่ากันเยอะๆ การเลือกเส้นแบ่งโดยวิธีนี้จะไม่เพียงพอ

(2) **Accident Density Method** พิจารณาจากจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นต่อหน่วยความยาวของช่วงถนน ถ้าเกินกว่าค่า ความหนาแน่นวิกฤติ (Critical Density) ถือว่าเป็นช่วงที่เกิดอุบัติเหตุสูง แต่ควรที่จะเลือกช่วงที่มีการจราจรค่อนข้างคงที่เพราะอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมักเป็นสัดส่วนกับปริมาณการจราจร

(3) **Accident Rate Method** เมื่อปริมาณการจราจรต่างกัน ถนน 2 ช่วงที่มีจำนวนอุบัติเหตุเท่ากัน ไม่จำเป็นต้องเป็นตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุสูงเท่ากัน โดยเฉพาะเมื่อช่วงหนึ่งมีปริมาณการจราจรมากกว่าอีกช่วงหนึ่ง วิธีนี้นำปริมาณการจราจรมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วย

(4) **Number – Rate Combination Method** เป็นวิธีที่รวมทั้งสองวิธีทั้ง Accident Number Method และ Accident Rate Method เป็นวิธีที่มีประโยชน์และใช้กันแพร่หลายในระบบโครงข่ายถนนที่มีขนาดใหญ่และมีตำแหน่งที่มีจำนวนอุบัติเหตุใกล้เคียงกันหลายจุด ในการพิจารณา ตำแหน่งที่มีค่าทั้งสองเกินค่าวิกฤติจะเป็นตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุสูง เป็นวิธีที่มีประโยชน์มาก โดยเฉพาะกับทางร่วมทางแยก การตัดออกครั้งแรกใช้จำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่เลือกนั้นและครั้งที่สองใช้อัตราการเกิดที่ตำแหน่งเดียวกัน ถ้า 2 ตำแหน่งมี จำนวนอุบัติเหตุเท่ากัน ตำแหน่งที่มีอัตราการเกิดอุบัติเหตุสูงกว่าจะนำมาศึกษาก่อน

(5) **Rate – Volume Method** เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดอุบัติเหตุกับค่าปริมาณการจราจรซึ่งเป็นแบบไม่ใช่เส้นตรง โดยอัตราการเกิดอุบัติเหตุจะมีค่ามากในบริเวณที่มีค่าปริมาณการจราจรต่ำและมีค่าน้อยในบริเวณที่ปริมาณมีการจราจรสูง ค่าวิกฤติจะอยู่บนเนื้อเส้นกราฟ

(6) **Accident Severity Method** วิธีนี้ใช้ค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากอุบัติเหตุมาจัดอันดับ โดยอาจออกมาในรูปความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากอุบัติเหตุทั้งหมดที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งหรือช่วงถนน ตำแหน่งที่มีค่าความสูญเสียมากจะถูกจัดอยู่ในอันดับต้นๆและนำมาพิจารณาก่อน

(7) **Quality Control Method** เป็นวิธีที่เหมาะสมกับช่วงถนนของทางนอกเมืองที่มีปริมาณการจราจรค่อนข้างคงที่แต่ก็สามารถใช้ได้กับทางแยกหรือตำแหน่งที่มีลักษณะคล้ายกันได้ อัตราการเกิดอุบัติเหตุวิกฤติจะถูกคำนวณสำหรับแต่ละตำแหน่งจากค่าเฉลี่ยสำหรับทุกตำแหน่งในกลุ่มสมการสำหรับคำนวณอัตราวิกฤติของช่วงถนน ดังแสดงในสมการที่ (15)

$$R_c = R_a + k \sqrt{\frac{R_a}{M} + \frac{1}{2M}} \quad (15)$$

เมื่อ

$R_c$  คือ อัตราการเกิดอุบัติเหตุวิกฤติบนช่วงถนน

$R_a$  คือ อัตราการเกิดอุบัติเหตุเฉลี่ยบนถนน ต่อ ปริมาณการเดินทาง 100 ล้านคัน - ไมล์หรือกิโลเมตร

$M$  คือ โอกาสในการเกิดอุบัติเหตุต่อปริมาณการเดินทาง 100 ล้านคัน - ไมล์หรือกิโลเมตร

$k$  คือ ค่าทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $k = 1.645$ )

สมการเดียวกันนี้สามารถใช้ได้กับทางแยกเหมือนกัน โดย  $R_a$  เป็นค่าเฉลี่ยอัตราการเกิดอุบัติเหตุในหน่วย 100 ล้านคันของรถที่วิ่งเข้าสู่ทุกทางแยกในกลุ่ม และ  $M$  เป็นค่าจำนวนรถที่เข้าสู่ทางแยกนั้นๆ

ในการวิเคราะห์โดยวิธี Quality Control นี้ ควรหลีกเลี่ยงทางแยกหรือช่วงถนนที่มีจำนวนอุบัติเหตุเกิดขึ้นน้อยหรือมากเกินไป ในกรณีช่วงถนนหรือทางแยกที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นน้อยเกินไปก็ควรนำไปรวมกับช่วงที่อยู่ข้างเคียงที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นน้อยกว่า ในขณะที่ช่วงถนนที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นมากเกินไปก็ควรแบ่งใหม่ออกเป็น 2 ช่วงเพื่อให้การวิเคราะห์โดยวิธีนี้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

นอกจากนี้วิธีนี้ยังสามารถบ่งชี้ตำแหน่งถ้าเกิดอุบัติเหตุน้อยกว่าที่คาดไว้มาก โดยใช้ขอบเขตวิกฤติล่าง จากการตรวจสอบอาจพบลักษณะของถนนที่ไม่เหมาะสมต้องเพิ่มส่วนประกอบ

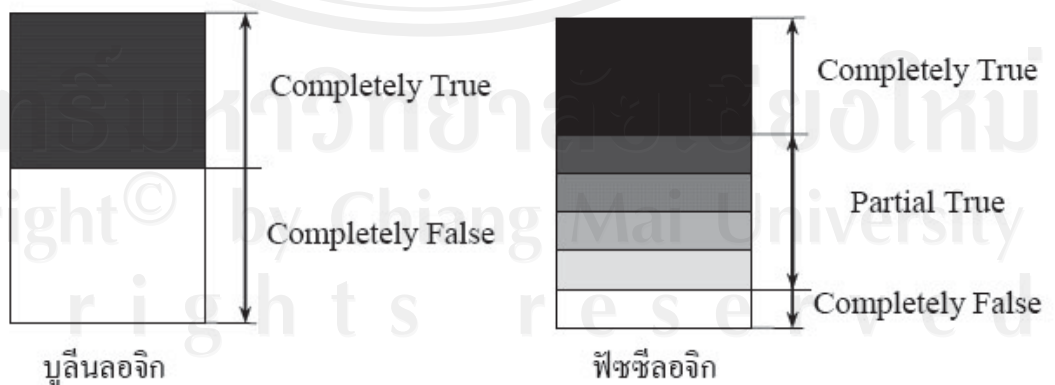
พิเศษเข้าไปเพื่อให้ถนนสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการคำนวณขอบเขตวิกฤติต่างหาได้จากสมการที่ (16)

$$R_c = R_a - k \sqrt{\frac{R_a}{M}} - \frac{1}{2M} \tag{16}$$

## 2.8 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซี

### 2.8.1 ฟัซซีลอจิก

ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบน โลกแห่งความเป็นจริง ไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (Uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (Fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (Exact) ที่ถูกคิดค้นโดยโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean Logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial True) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely True) กับเท็จ (Completely False) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก)

ความเป็นฟัซซี (Fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (Multivalence) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับ ไบวาลานซ์ (Bivalence) ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (Uncertainty)” ใช้วิเคราะห์ในกรณีมัลติวาลานซ์

ในทฤษฎีของข้อมูล T. J. Ross (1995) กล่าวว่า ข้อมูลประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ข้อมูลแน่นอน (Certainty) มีลักษณะแบบชัดเจน (Deterministic) และข้อมูลไม่แน่นอน (Uncertainty) ซึ่งในส่วนของข้อมูลไม่แน่นอน (Uncertainty) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ข้อมูลลักษณะไม่แน่นอนแบบสุ่ม (Random) และ ข้อมูลไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซี หรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2-8

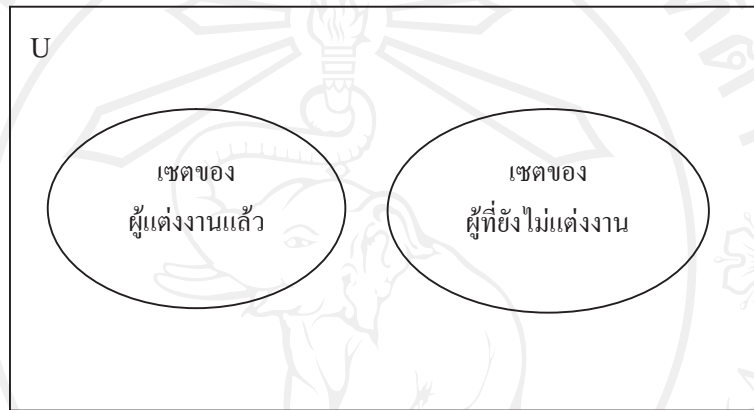


รูปที่ 2-8 ความไม่แน่นอน (Uncertainty)

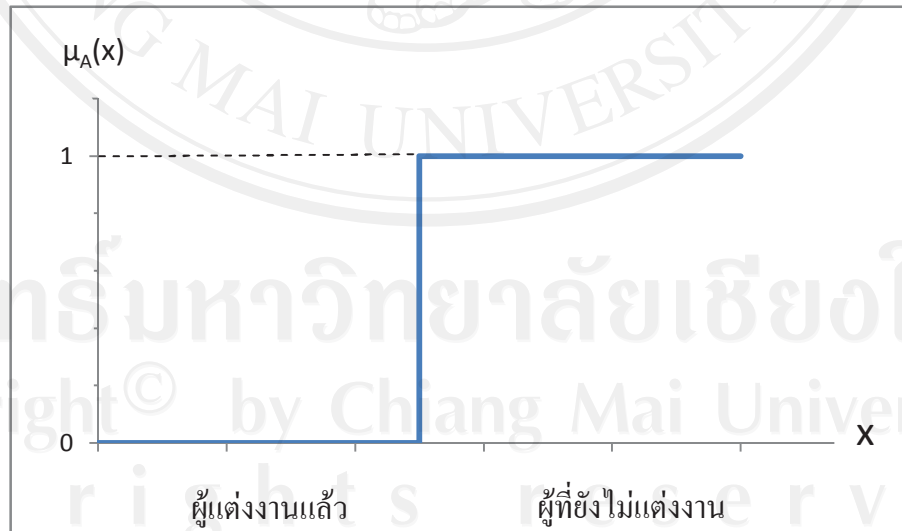
ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision Making) โดยอาศัยฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก (Membership Function) สำหรับกรณีข้อมูลแน่นอน (Certainty) สามารถอธิบายด้วยเซตแบบดั้งเดิม (Crisp Set) ซึ่งถือได้ว่าเป็นกรณีหนึ่งของ ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

### 2.8.2 เซตแบบดั้งเดิม (Crisp Set)

ในเซตแบบดั้งเดิม (Crisp Set) หรือเซตแบบฉบับ (Classical Set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1  $\{0, 1\}$  เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบดั้งเดิมจะมีขอบเขตแบบแข็ง (Sharp Boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด เซตแบบดั้งเดิมมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่ง ๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกแบบชัดเจนเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิกเท่านั้น



รูปที่ 2-9 ตัวอย่างเซตแบบดั้งเดิม (Crisp Set)



รูปที่ 2-10 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่ทำงาน

รูปที่ 2-9 แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซตในรูป Venn – Euler Diagram คือเซตของผู้ที่แต่งงานและเซตของผู้ที่ไม่แต่งงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งานหรือไม่แต่งงาน ในรูปที่ 2-10 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน จากภาพจะเห็นได้ว่า ผู้ที่แต่งงานแล้วจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ไม่แต่งงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีค่าความเป็นสมาชิกภาพของเซตผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 1 ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบดั้งเดิมมีรูปดังนี้

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (17)$$

เมื่อ A เป็นเซตแบบดั้งเดิมหรือเซตแบบฉบับ x เป็นสมาชิกในเซต  $\mu_A$  เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ  $\mu_A(x)$  เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

### 2.8.3 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

มนุษย์สามารถอธิบายพฤติกรรมของสิ่งต่าง ๆ รอบตัว เราด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบไม่เป็นเชิงเส้น ทฤษฎีเซตเป็นตัวอย่างหนึ่งของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวซึ่งใช้เพื่อบอกว่าสิ่งใดมีคุณสมบัติบางประการเหมือนกับข้อกำหนดจนสามารถกำหนดให้สิ่งนั้นเป็นสมาชิกหนึ่งของกลุ่มนี้ ซึ่งกลุ่มของวัตถุนี้เรียกว่า เซต

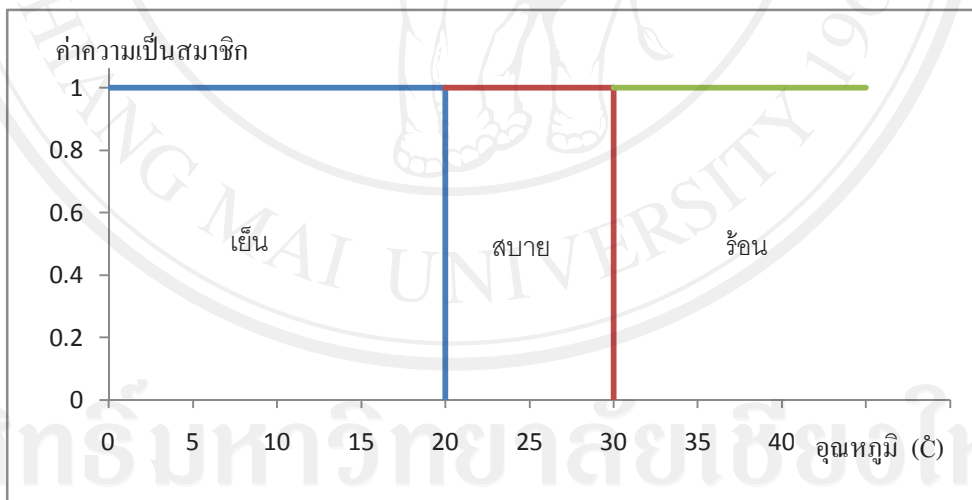
การจัดสิ่งของเข้าเป็นสมาชิกของเซตใด ๆ นั้นในบางกรณีคุณสมบัติของเซตทำให้สามารถบอกได้ว่าสิ่งของนั้นๆ เป็นหรือไม่เป็นสมาชิกของเซตนั้นอย่างชัดเจน โดยมีโอกาสเป็นไปได้เพียงแค่ 2 แนวทางเท่านั้น คือเป็นหรือไม่เป็น เช่น ให้ A เป็นเซตของจำนวนเต็มคู่ที่มีค่าน้อยกว่า 12 แสดงว่าเป็นสมาชิกของเซต A และ 5 หรือ 24 ไม่เป็นสมาชิกของเซตนี้ ดังเช่นกรณีของเซตแบบดั้งเดิม อย่างไรก็ตามในบางสถานการณ์เป็นเรื่องยากที่จะระบุอย่างชัดเจนเช่นนี้

ทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy Set) ช่วยให้เราสามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบต่างๆ ที่ปรากฏในชีวิตประจำวันได้ชัดเจนขึ้นกว่าการอธิบายทางคณิตศาสตร์โดยใช้ทฤษฎีเซตแบบดั้งเดิม (Crisp Set) ทำให้ไม่เกิดข้อโต้แย้ง หลักสำคัญของทฤษฎีฟัซซีเซตคือ ยอมรับสมาชิกที่มีลักษณะตามที่กำหนดของเซตนั้นๆ แม้เพียงบางส่วนเข้ามาเป็นสมาชิก โดยสมาชิกทุกค่ามีการให้น้ำหนักค่าระดับความเป็นสมาชิกกำกับไว้ด้วยซึ่งแตกต่างจากทฤษฎีเซตดั้งเดิม ฟัซซีเซตเขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\} ; \text{สำหรับค่า } x \text{ แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete)} \quad (18)$$

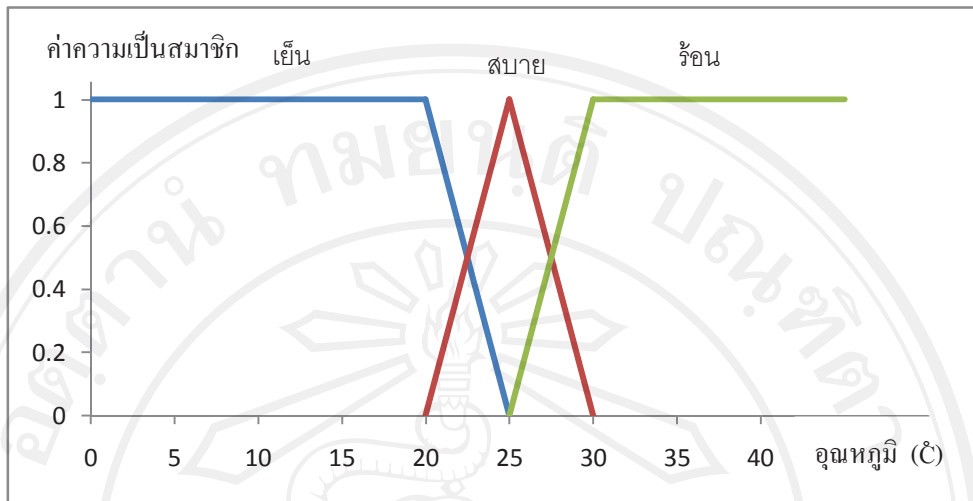
$$A = \left\{ \int \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} ; \text{สำหรับค่า } x \text{ แบบต่อเนื่อง (Continuous)} \quad (19)$$

โดยที่  $\mu_A(x)$  คือค่าความเป็นสมาชิก (Degree of Membership) มีค่าอยู่ระหว่าง  $[0 - 1]$  ซึ่งแตกต่างจากทฤษฎีของเซตแบบดั้งเดิมที่  $\mu_A(x)$  มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น เมื่อ  $\mu_A(x)$  เท่ากับ 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกของเซต และ 1 หมายถึง เป็นสมาชิกของเซต ส่วนค่าที่อยู่ระหว่าง 0 - 1 บอกระดับความสำคัญ (Degree) ของการเป็นสมาชิก รูปที่ 2-11 และรูปที่ 2-12 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของอุณหภูมิห้องในช่วงของสับเซต เย็น สบาย และร้อน ในกรณีที่อุณหภูมิเท่ากับ  $21^{\circ}\text{C}$  ในรูปที่ 2-11 จะเป็นสับเซตของอุณหภูมิในช่วงสบาย และในรูปที่ 2-12 จะเป็นสับเซตของอุณหภูมิทั้ง 2 ช่วงคือ เย็น และสบาย โดยค่าความเป็นสมาชิกในช่วงของเย็นจะมากกว่าในช่วงของสบาย



รูปที่ 2-11 กราฟฟังก์ชันระดับความเป็นสมาชิกของอุณหภูมิห้อง เซตแบบดั้งเดิม





รูปที่ 2-12 กราฟฟังก์ชันระดับความเป็นสมาชิกของฟuzzy เซตอุณหภูมิห้อง

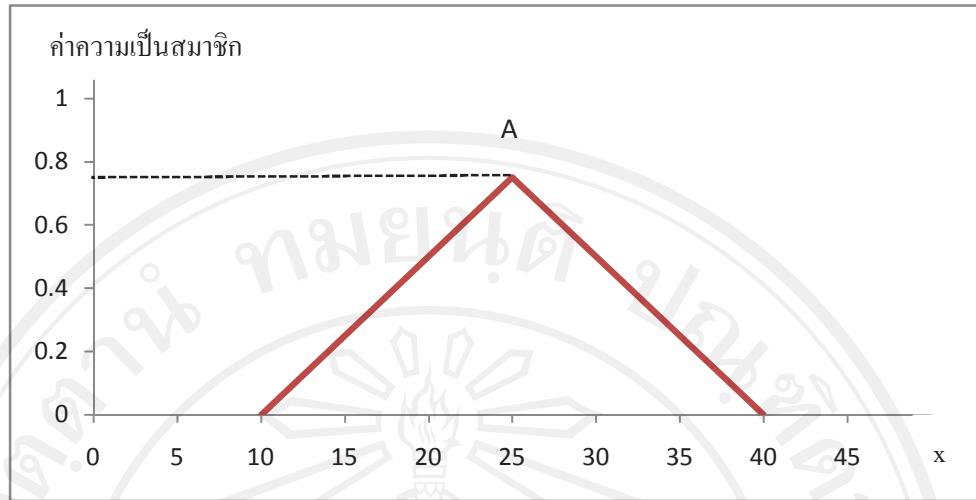
ทฤษฎีฟuzzy เซตสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดของเซตแบบดั้งเดิมได้ โดยฟuzzy เซตยอมให้มีค่าหรือดีกรีของความเป็นสมาชิก (Degree of Membership) ซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 และ 1 หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์  $[0, 1]$  โดย 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต 1 หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต และค่าระหว่าง 0 กับ 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต การทำเช่นนี้ทำให้เกิดความราบเรียบในการเปลี่ยนจากพื้นที่นอกเซตไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่าง ๆ โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็นฟังก์ชันจับเทียบ (Mapping Function) วัตถุในโดเมนใด ๆ ให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกในฟuzzy เซต ความเป็นสมาชิกสำหรับฟuzzy เซตมีจำนวนระดับความเป็นสมาชิกเป็นอนันต์ คือค่าต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งครอบคลุมการกำหนดสมาชิกแบบฉบับ และเซตแบบฉบับ (Classical Set) หรือเซตดั้งเดิม (Crisp Set)

#### 2.8.4 คุณสมบัติของฟuzzy เซต

##### (1) ความสูงของฟuzzy เซต (Fuzzy Set Height)

ความสูงของฟuzzy เซตใดๆ จะเท่ากับค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดในเซตนั้น ดังตัวอย่าง

ในรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 กราฟแสดงความสูงของฟัซซีเซต A

ความสูงของฟัซซีเซต A นี้  $= 0.75$  ซึ่งเขียนสมการได้เป็น

$$\text{hgt}(A) = \sup \mu_A(x) \quad (20)$$

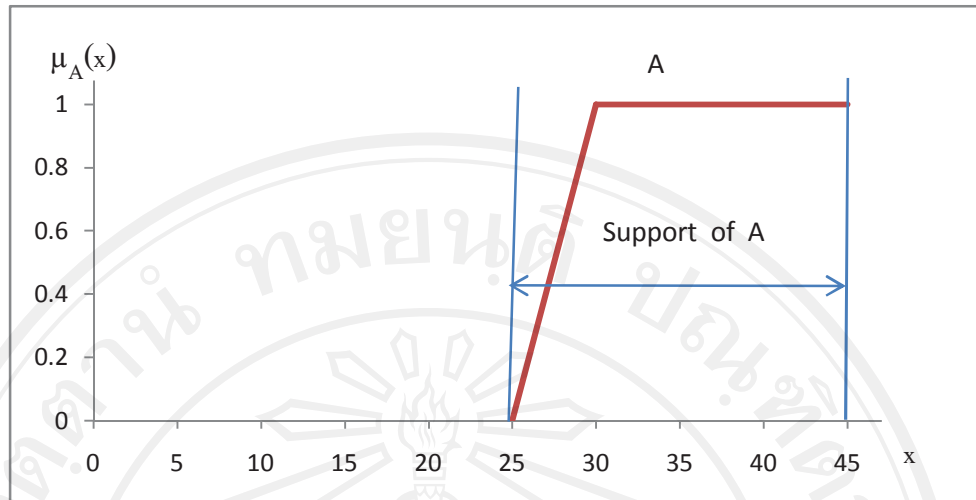
(2) ซัพพอร์ต (Support)

ซัพพอร์ตของฟัซซีเซตใดๆ คือ ขอบเขตในฟัซซีเซตนั้นที่มีค่าความเป็นสมาชิกไม่เท่ากับ 0 (ดังรูปที่ 2-14) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{supp}(A) = \{x \in U; \mu_A(x) > 0\} \quad (21)$$

เมื่อ  $x$  คือ ตัวเลขฟัซซีเป็นเซตย่อยของเซตทั้งหมด (Universe U)

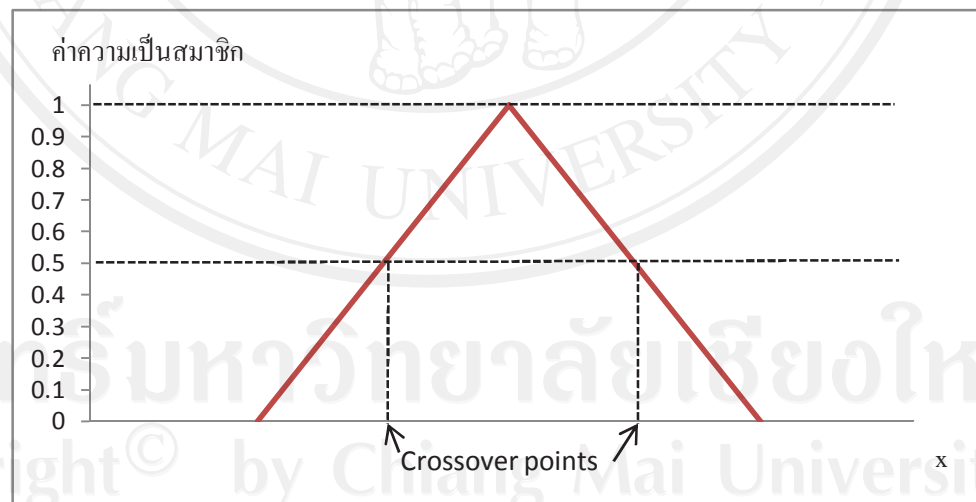
และ  $\mu_A(x)$  คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก



รูปที่ 2-14 แสดงซัพพอร์ตของฟัซซีเซต A

### (3) จุดครอสโอเวอร์ (Crossover Point)

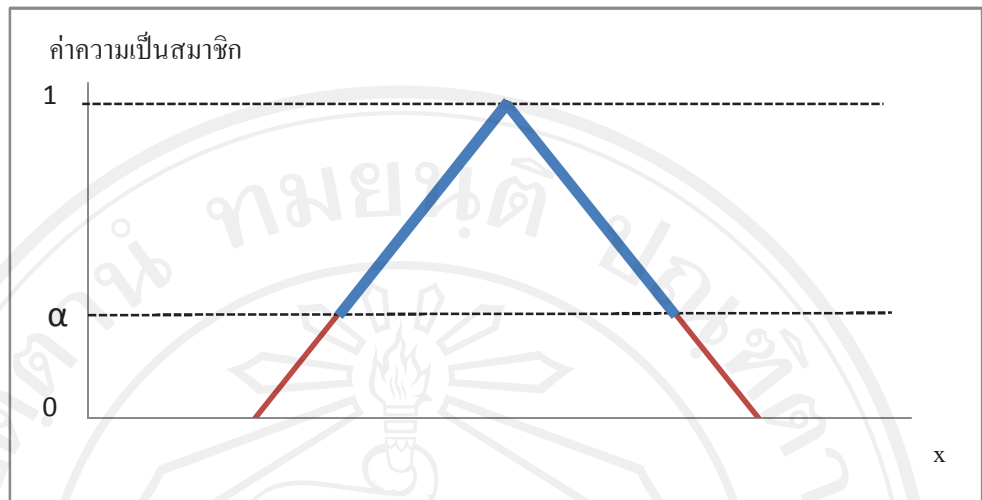
จุดครอสโอเวอร์ ของฟัซซีเซตใดๆ ก็คือ ตำแหน่งของตัวแปร X ที่สมาชิกของฟัซซีเซต ณ ตำแหน่งนั้นมีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5 หรือ “The element of x where  $\mu_A(x) = 0.5$ ” ดังตัวอย่างในรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 แสดงตำแหน่งจุด Crossover Points

### (4) ฟัซซีคัทเซต ( $\alpha$ – Cutset หรือ $\alpha$ – Level Set)

ฟัซซีคัทเซตคือ ส่วนของฟัซซีเซตที่ประกอบขึ้นด้วยสมาชิกที่มีค่าความเป็นสมาชิกที่มีค่าความเป็นสมาชิกมากกว่า  $\alpha$  ขึ้นไป ดังตัวอย่างในรูปที่ 2-16

รูปที่ 2-16 ตัวอย่าง  $\alpha$  - Cutset

เขียนสมการได้เป็น

$${}^{\alpha}A = \{x \in U ; \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (22)$$

เมื่อ  ${}^{\alpha}A$  คือ ฟัซซีเซตประกอบด้วยสมาชิก  $x$  เป็นเซตย่อยของเซตทั้งหมด (Universe  $U$ ) โดยที่มีค่าความเป็นสมาชิกกำหนดด้วยฟังก์ชัน  $\mu_A(x)$  มีค่าเท่ากับและมากกว่า  $\alpha$

ฟัซซีเซตมีคุณสมบัติตามเซตแบบดั้งเดิม ได้แก่

(1) Commutativity

$$\begin{aligned} A \cup B &= B \cup A \\ A \cap B &= B \cap A \end{aligned}$$

(2) Associativity

$$\begin{aligned} A \cup (B \cap C) &= (A \cup B) \cap C \\ A \cap (B \cup C) &= (A \cap B) \cup C \end{aligned}$$

(3) Distributivity

$$\begin{aligned} A \cup (B \cap C) &= (A \cup B) \cap (A \cup C) \\ A \cap (B \cup C) &= (A \cap B) \cup (A \cap C) \end{aligned}$$

(4) Idempotency

$$A \cup A = A \text{ และ } A \cap A = A$$

(5) Identity

$$A \cup 0 = A \text{ และ } A \cap X = A$$

$$A \cap 0 = 0 \text{ และ } A \cup X = X$$

(6) Transitivity

$$\text{ถ้า } A \subseteq B, B \subseteq C \text{ แล้ว } A \subseteq C$$

(7) Involution

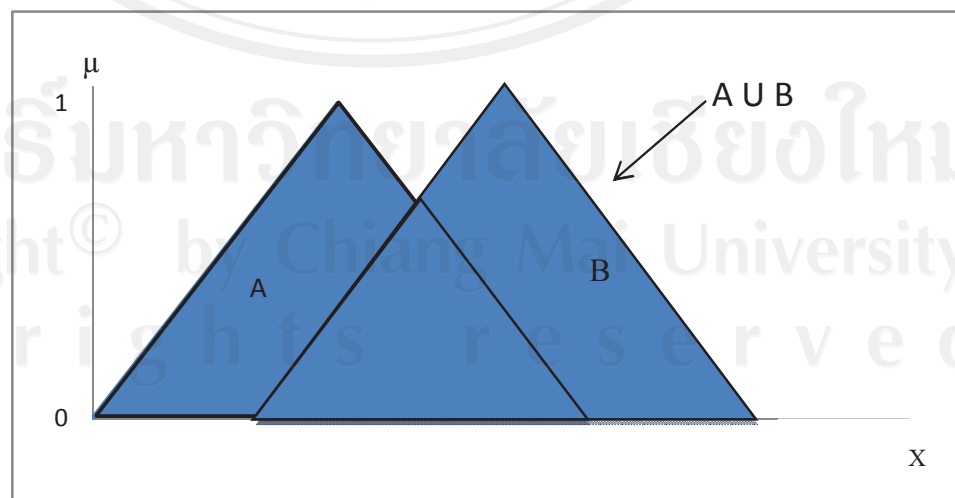
$$\overline{\overline{A}} = A$$

### 2.8.5 การทำงานกับฟัซซีเซต (Fuzzy Set Operation)

การทำงานของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไป มีการทำงาน (Operation) คือ Union Intersection และ Complement

1. ยูเนียน (Union) ของฟัซซีเซต จะเป็น OR operation ในสมการ และรูปที่ 2-17

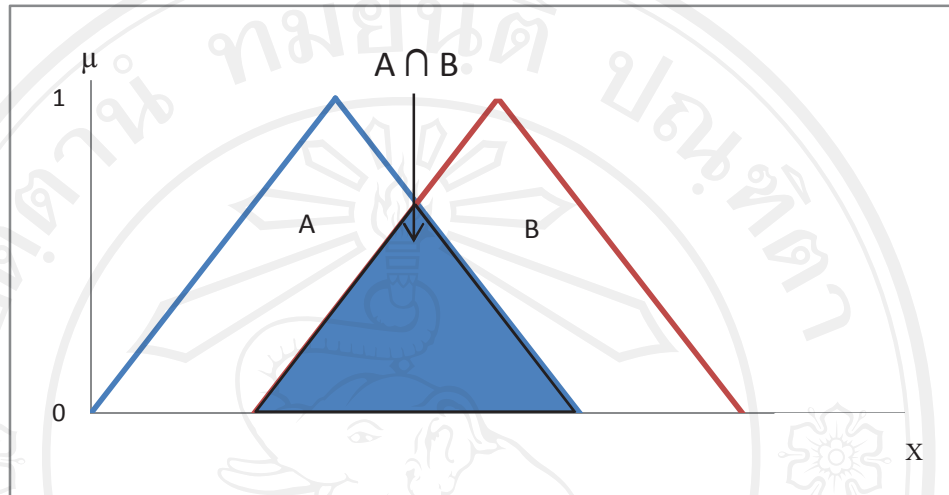
$$\begin{aligned} \mu_{A \cup B}(x) &= \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \\ &= \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \end{aligned} \quad (23)$$



รูปที่ 2-17 Union ของฟัซซีเซต A และ B

2. อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซีเซต จะเป็น AND operation ในสมการ และรูปที่ 2-18

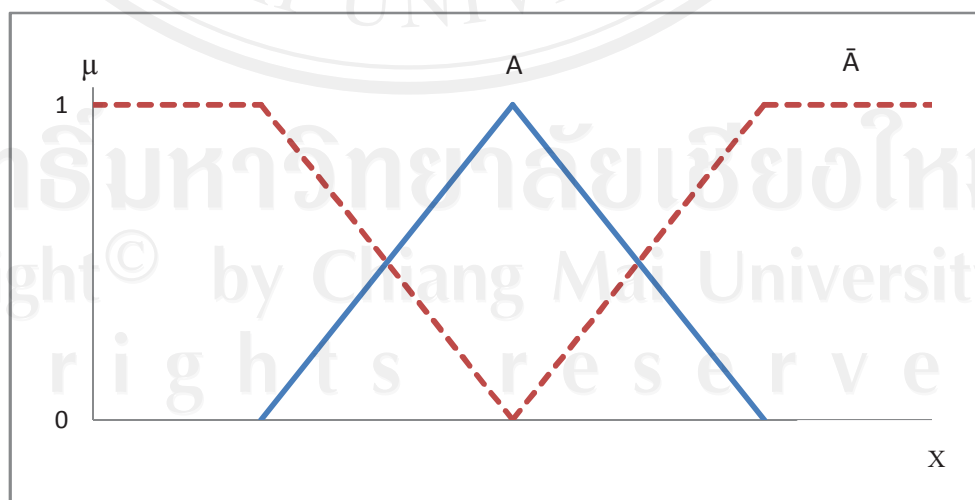
$$\begin{aligned}\mu_{A \cap B}(x) &= \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \\ &= \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}\quad (24)$$



รูปที่ 2-18 Intersection ของฟัซซีเซต A และ

3. คอมพลิเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต ในสมการและรูปที่ 2-19

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (25)$$



รูปที่ 2-19 Complement ของฟัซซีเซต A

### 2.8.6 ขอบเขตของตัวเลขฟัซซีและการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (Fuzzy Intervals , Numbers , and Arithmetic)

ฟัซซีเซตสามารถนิยามได้ทั้งเซตของจำนวนจริง และเซตของจำนวนนับ โดยที่ขอบเขตของแต่ละฟัซซีเซตอธิบายโดยใช้หลักการ  $\alpha$  - Cutset ในการดำเนินการ ซึ่งกำหนดให้ค่า  $\alpha$  มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ( $\alpha \in [0,1]$ ) และขอบเขตของตัวเลขฟัซซี (Fuzzy Interval) มีค่าเป็นจำนวนจริงใดๆ ในฟัซซีเซต ( $x \in R$ ) สามารถแสดงในรูปแบบมาตรฐานทั่วไปได้ดังนี้

$$A(x) = \begin{cases} f_A(x) & \text{for } x \in [a, b] \\ 1 & \text{for } x \in [b, c] \\ g_A(x) & \text{for } x \in [c, d] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (26)$$

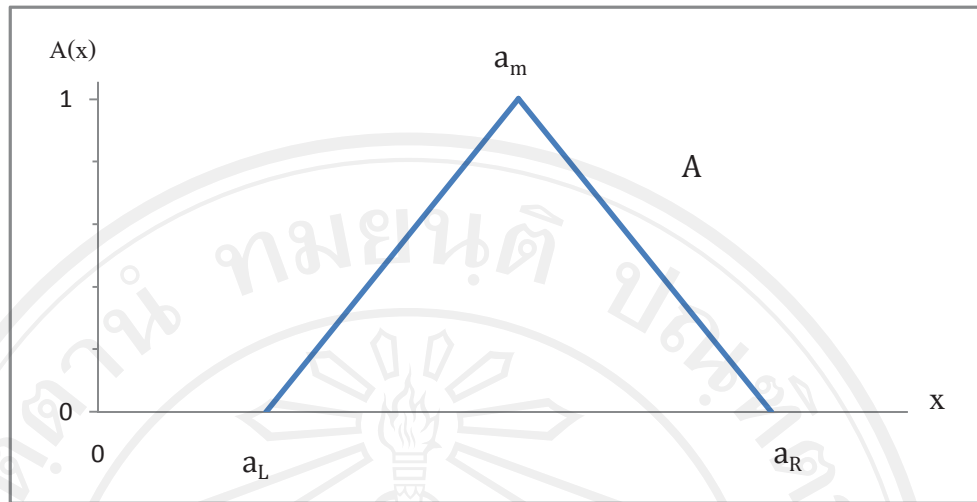
เมื่อ  $a, b, c, d$  คือค่าจำนวนจริง โดยที่  $a \leq b \leq c \leq d$   
 $f_A(x)$  คือฟังก์ชันของจำนวนจริงในช่วงที่เพิ่มขึ้น  
 $g_A(x)$  คือฟังก์ชันของจำนวนจริงในช่วงที่ลดลง  
 $A$  คือตัวเลขฟัซซี (Fuzzy number)

หรือสามารถเขียนอยู่ในอีกรูปแบบได้คือ

$$\alpha A = \begin{cases} [f_A^{-1}(\alpha), g_A^{-1}(\alpha)] & \text{เมื่อ } \alpha \in (0,1) \\ [b, c] & \text{เมื่อ } \alpha = 1 \end{cases} \quad (27)$$

เมื่อ  $f_A^{-1}$  และ  $g_A^{-1}$  คือฟังก์ชันส่วนกลับ (Inverse function) ของ  $f_A$  และ  $g_A$  ตามลำดับ

สำหรับขอบเขตของตัวเลขฟัซซีเซต  $A$  รูปสามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Interval  $A$ ) เขียนได้ดังนี้คือ  $A[a_L, a_m, a_R]$  (ดังแสดงในรูปที่ 2-20)



รูปที่ 2-20 แสดงขอบเขตของตัวเลขฟัซซีเซต A รูปสามเหลี่ยม

เมื่อนำมาเขียนอยู่ในรูปแบบมาตรฐานทั่วไปเขียนได้ดังนี้คือ

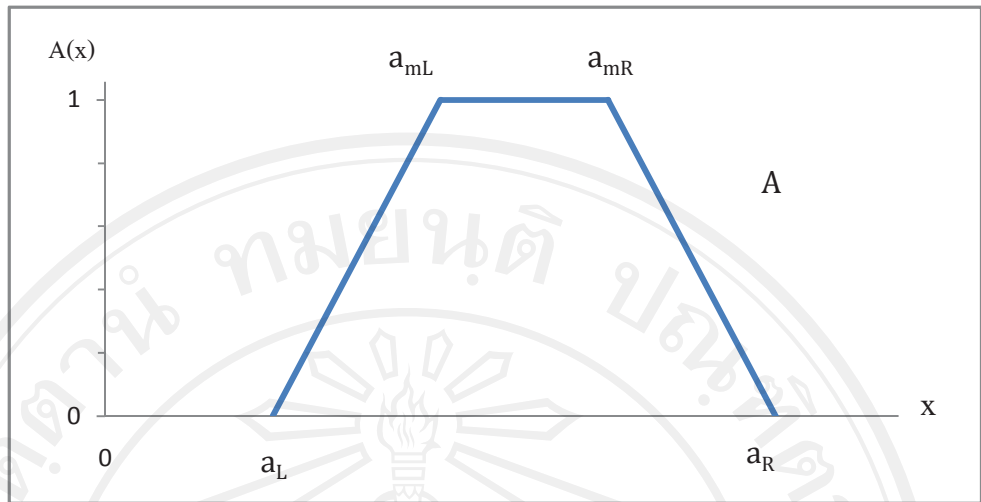
$$A(x) = \begin{cases} \frac{x - a_L}{a_m - a_L} & \text{for } a_L \leq x \leq a_m \\ \frac{a_R - x}{a_R - a_m} & \text{for } a_m \leq x \leq a_R \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (28)$$

หรือ

$${}^\alpha A = [a_L + \alpha(a_m - a_L), a_R + \alpha(a_R - a_m)] \quad (29)$$

สำหรับขอบเขตของตัวเลขฟัซซีเซต A รูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Fuzzy Interval A) เขียนได้ดังนี้คือ  $A[a_L, a_{mL}, a_{mR}, a_R]$  (ดังแสดงในรูปที่ 2-21)





รูปที่ 2-21 แสดงขอบเขตของตัวเลขฟัซซีเซต A รูปสี่เหลี่ยมคางหมู

เมื่อนำมาเขียนอยู่ในรูปแบบมาตรฐานทั่วไปเขียนได้ดังนี้คือ

$$A(x) = \begin{cases} \frac{x - a_L}{a_{mL} - a_L} & \text{for } a_L \leq x \leq a_{mL} \\ 1 & \text{for } a_{mL} \leq x \leq a_{mR} \\ \frac{a_R - x}{a_R - a_{mR}} & \text{for } a_{mR} \leq x \leq a_R \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (30)$$

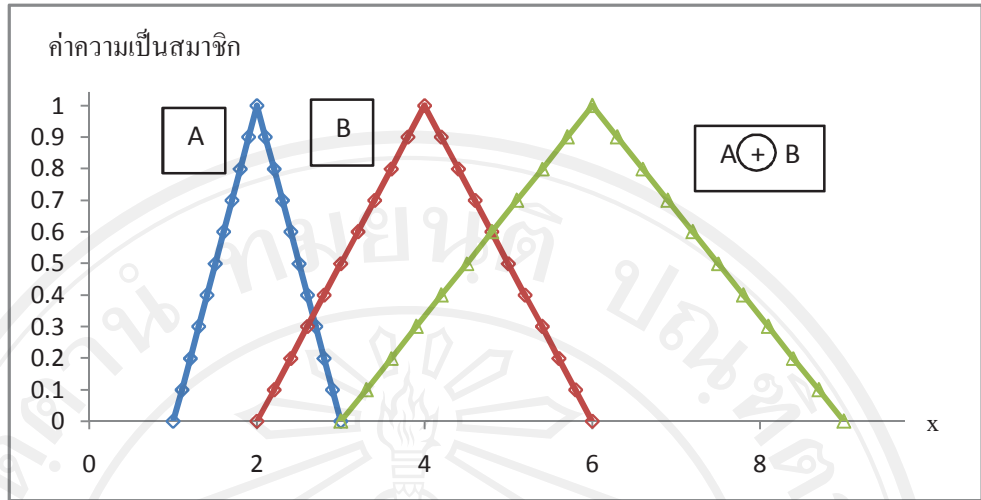
หรือ

$${}^\alpha A = [a_L + \alpha(a_{mL} - a_L), a_R + \alpha(a_R - a_{mR})] \quad (31)$$

การทำงานระหว่างขอบเขตของตัวเลขฟัซซีเซตใด ๆ มีการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้คือ

1. การดำเนินการบวกฟัซซีเซต (Arithmetic of Addition on Fuzzy Sets)

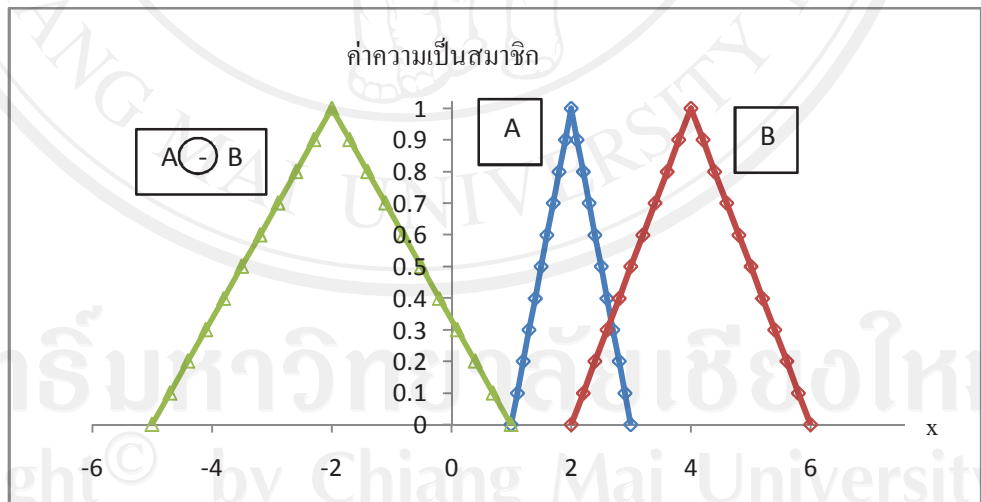
$${}^\alpha A \oplus {}^\alpha B = {}^\alpha [a_L, a_R] + {}^\alpha [b_L, b_R] = {}^\alpha [a_L + b_L, a_R + b_R] \quad (32)$$



รูปที่ 2-22 แสดงตัวอย่างการดำเนินการบวกฟัซซีเซต (Arithmetic of Addition on Fuzzy Sets)

## 2. การดำเนินการลบฟัซซีเซต (Arithmetic of Subtraction on Fuzzy Sets)

$${}^{\alpha}A \ominus {}^{\alpha}B = {}^{\alpha}[a_L, a_R] - {}^{\alpha}[b_L, b_R] = {}^{\alpha}[a_L - b_R, a_R - b_L] \quad (33)$$

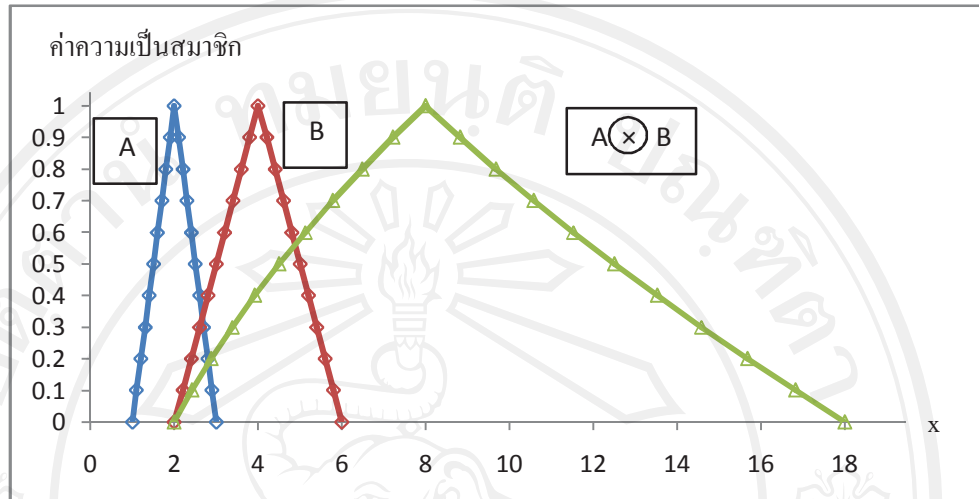


รูปที่ 2-23 แสดงตัวอย่างการดำเนินการลบฟัซซีเซต (Arithmetic of Subtraction on Fuzzy Sets)

## 3. การดำเนินการคูณฟัซซีเซต (Arithmetic of Multiplication on Fuzzy Sets)

$${}^{\alpha}A \otimes {}^{\alpha}B = {}^{\alpha}[a_L, a_R] \times {}^{\alpha}[b_L, b_R]$$

$$= {}^\alpha[\min(a_L b_L, a_L b_R, a_R b_L, a_R b_R), \max(a_L b_L, a_L b_R, a_R b_L, a_R b_R)] \quad (34)$$

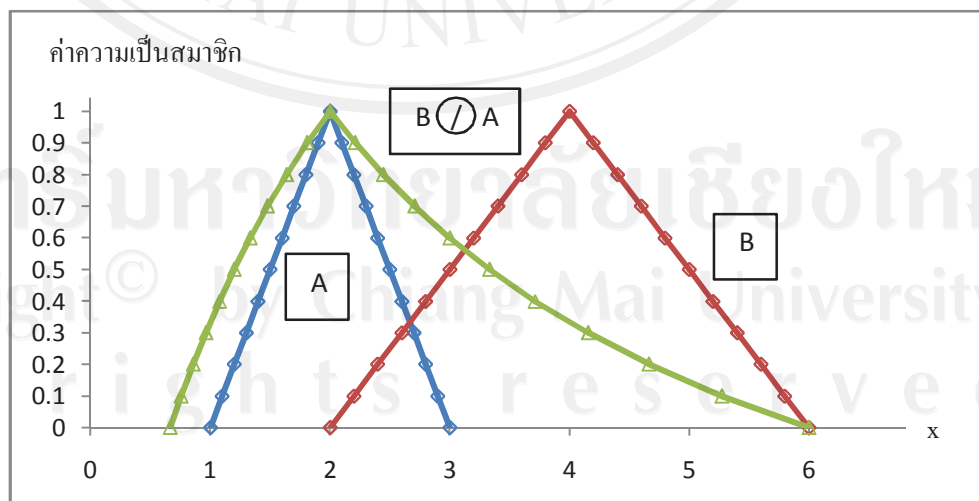


รูปที่ 2-24 แสดงตัวอย่างการดำเนินการคูณฟัซซีเซต (Arithmetic of Multiplication on Fuzzy Sets)

4. การดำเนินการหารฟัซซีเซต (Arithmetic of Division on Fuzzy Sets)

$${}^\alpha A \oslash {}^\alpha B = {}^\alpha[a_L, a_R] / {}^\alpha[b_L, b_R]$$

$$= {}^\alpha[\min(a_L/b_L, a_L/b_R, a_R/b_L, a_R/b_R), \max(a_L/b_L, a_L/b_R, a_R/b_L, a_R/b_R)] \quad (35)$$



รูปที่ 2-25 แสดงตัวอย่างการดำเนินการหารฟัซซีเซต (Arithmetic of Division on Fuzzy Sets)

### 2.8.7 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้

#### ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

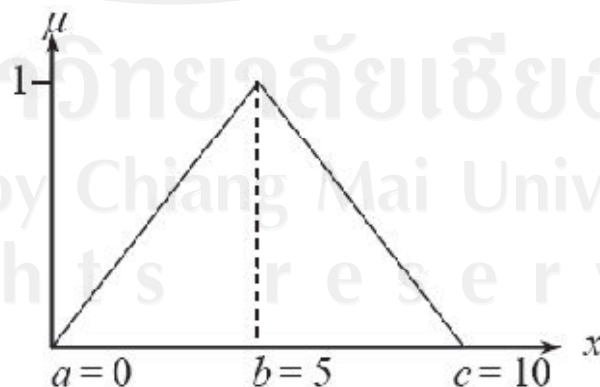
ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 6 ชนิดฟังก์ชันเท่าที่เป็นที่นิยมใช้กันมาก ดังนี้

#### 1. ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ  $\{a, b, c\}$

$$\text{Triangular}(x: a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (36)$$

ตัวอย่างกำหนดให้  $a$  เท่ากับ 0,  $b$  เท่ากับ 5 และ  $c$  เท่ากับ 10 แสดงกราฟฟังก์ชันสามเหลี่ยมดังรูปที่ 2-26



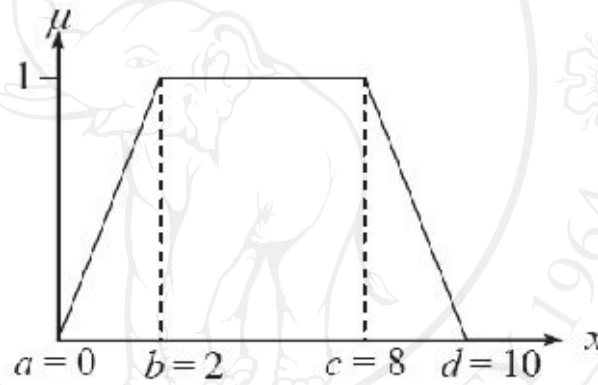
รูปที่ 2-26 กราฟของฟังก์ชันสามเหลี่ยม

## 2. ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ  $\{a, b, c, d\}$

$$\text{Trapezoidal}(x: a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (37)$$

ตัวอย่างกำหนดให้  $a=0, b=2, c=8$  และ  $d=10$  กราฟที่ได้แสดงดังรูปที่ 2-27



รูปที่ 2-27 กราฟของฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู

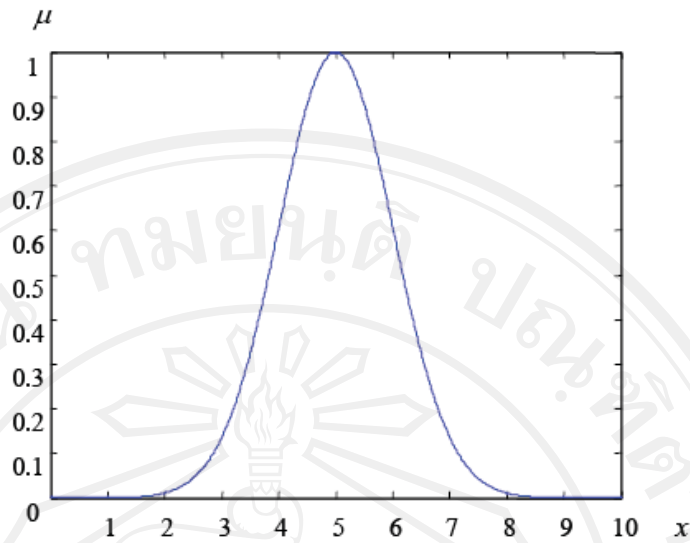
## 3. ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Membership Function)

ฟังก์ชันเกาส์เซียนมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ  $\{m, \sigma\}$  ซึ่ง  $m$  หมายถึงค่าเฉลี่ย และ  $\sigma$

หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{Gaussian}(x: m, \sigma) = \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}\right] \quad (38)$$

ตัวอย่างเมื่อกำหนดให้  $m=5$  และ  $\sigma=1$  ฟังก์ชันเกาส์เซียนแสดงดังรูปที่ 2-28



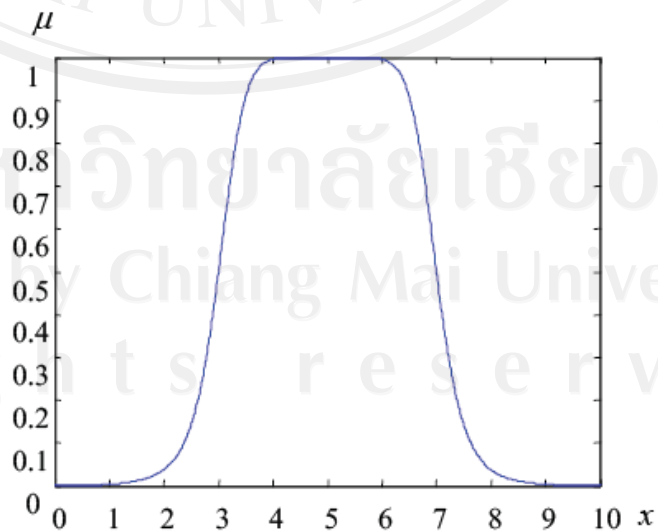
รูปที่ 2-28 กราฟของฟังก์ชันเกาส์เซียน

## 4. ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-Shaped Membership Function)

ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ  $\{a, b, c\}$ 

$$\text{Bell-Shaped}(x: a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}} \quad (39)$$

ตัวอย่างเมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์  $a = 2$ ,  $b = 4$  และ  $c = 5$  จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 2-29



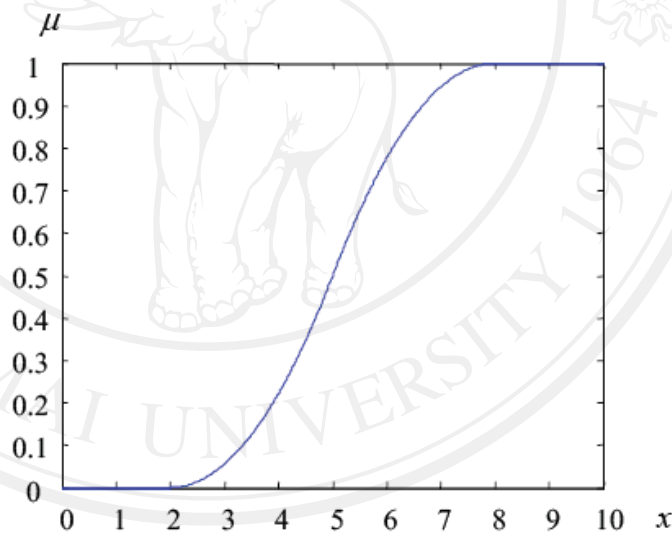
รูปที่ 2-29 กราฟของฟังก์ชันระฆังคว่ำ

## 5. ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ  $\{a, b\}$

$$S(x; a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2 \left[ \frac{x-b}{b-a} \right]^2 & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left[ \frac{x-b}{b-a} \right]^2 & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (40)$$

ตัวอย่างเมื่อกำหนดให้ค่าความเป็นสมาชิกมีค่าเป็น  $a=2$  และ  $b=8$  จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 2-30



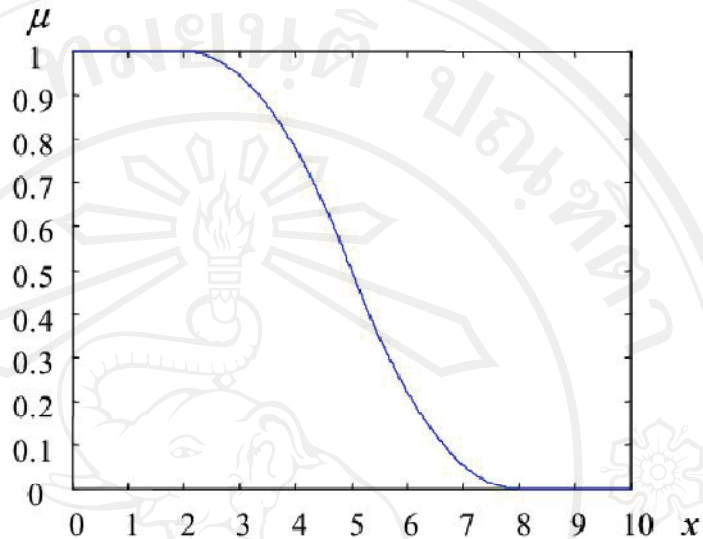
รูปที่ 2-30 กราฟของฟังก์ชันรูปตัวเอส

## 6. ฟังก์ชันตัวแซด (Z-Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวแซดมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ  $\{a, b\}$

$$Z(x; a, b) = \begin{cases} 1 & x < a \\ 1 - 2 \left[ \frac{x-b}{b-a} \right]^2 & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left[ \frac{x-b}{b-a} \right]^2 & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (41)$$

ตัวอย่างเมื่อกำหนดให้ค่าความเป็นสมาชิกมีค่าเป็น  $a = 2$  และ  $b = 8$  จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 2-31



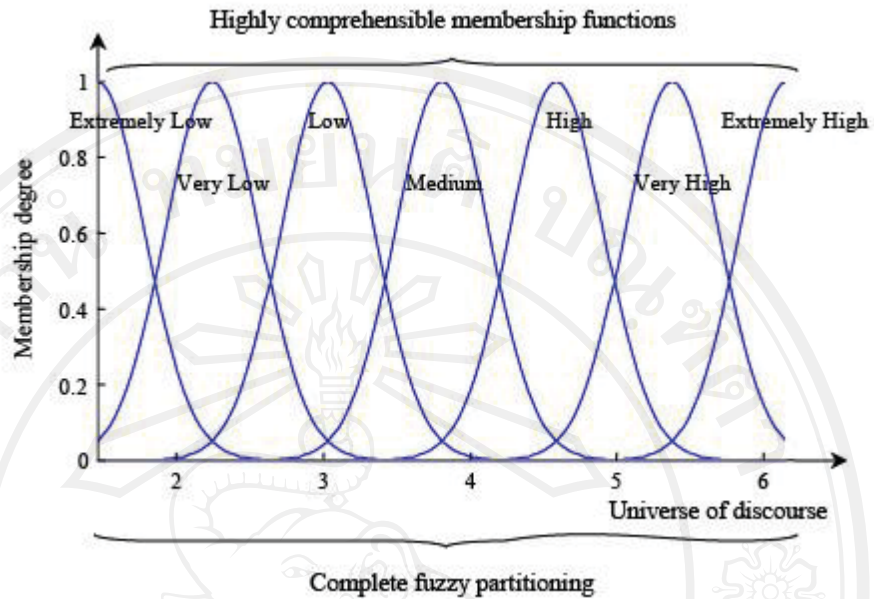
รูปที่ 2-31 กราฟของฟังก์ชันรูปตัวแซด

การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก จะต้องเลือกตามความเหมาะสมความครอบคลุมของข้อมูลที่จะรับเข้ามา โดยสามารถที่ทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะกับงานที่กำลังปฏิบัติงานหรือตามความต้องการ

### 2.8.8 ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

เซตแบบฟัซซีสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม เช่น ประโยค “อุณหภูมิในห้องเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นคำที่ใช้แสดงปริมาณอุณหภูมิ ในทางรูปนัยสามารถเขียนได้เป็น “ปริมาณอุณหภูมิในห้องเย็น” หรือ “Temperature Quantity is Cold” ตัวแปร Temperature Quantity เป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะแบบฟัซซี ตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพ โดยใช้พจน์ภาษา (Linguistic Term) และในรูปปริมาณ โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ซึ่งแสดงความหมายของเซตแบบฟัซซี พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข





รูปที่ 2-32 ตัวอย่างตัวแปรภาษา (พวง มีสัจ , 2551)

ตัวแปรภาษาเป็นการประกอบกัน (Composition) ของตัวแปรสัญลักษณ์ (Symbolic Variable) และตัวแปรเชิงเลข (Numerical Variable) ตัวอย่างตัวแปรสัญลักษณ์ เช่น “รูปร่างเป็นทรงกระบอก” (Shape = Cylinder) คำว่า “รูปร่าง” เป็นตัวแปรที่บอกถึงรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างตัวแปรเชิงเลข เช่น “ความสูงเท่ากับ 4 ฟุต” (Height = 4') ตัวแปรเชิงเลขจะมีใช้กันในสาขาทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ การแพทย์ และอื่น ๆ ส่วนตัวแปรสัญลักษณ์มีความสำคัญในวิทยาการเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์และการตัดสินใจ การใช้ตัวแปรภาษาเป็นการรวมตัวแปรเชิงเลขกับตัวแปรสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน รูปที่ 2-32 แสดงตัวอย่างเซตตัวแปรภาษาของฟัชซีเซต ได้แก่ Extremely Low, Very Low, Low, Medium, High, Very High และ Extremely High

### 2.8.9 การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ (Selection of Experts)

Ayyub, B.M. and Klir, G.J. (2006) ได้เสนอหลักเกณฑ์และคุณสมบัติในการคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญสำหรับเป็นผู้ประเมินผลในประเด็นที่สนใจต่างๆ โดยสรุปได้ 7 ข้อ ดังนี้

1. มีความรู้ความชำนาญ และมีประสบการณ์ ในประเด็นที่สนใจ
2. อุปนิสัยเป็นกันเอง และมีความรอบรู้ในหลายๆ ด้านที่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่สนใจ

3. มีความเต็มใจและสมัครใจในการเป็นผู้ประเมิน และมีความยุติธรรมโดยไม่มีจิตใจที่เอนเอียงเป็นอคติ
4. ยินดีที่จะเสียสละเวลาให้ในช่วงเวลาที่ทำการประเมิน และพยายามประเมินผลอย่างเต็มที่
5. มีความรู้และความชำนาญในเรื่องที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน โดยเฉพาะ กับประเด็นที่สนใจ
6. มีความเต็มใจที่จะมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็น การอภิปรายผลร่วมกัน และสามารถชี้แจงถึงเหตุผลต่างๆ ในการประเมินได้อย่างมีประสิทธิภาพ
7. สามารถติดต่อได้อย่างสะดวก มีมนุษยสัมพันธ์ที่ดี มีความยืดหยุ่น เป็นธรรมชาติ และมีความสามารถที่จะสรุปหลักการรวมถึงประเด็นต่างๆ ที่เสนอแนะให้เข้าใจได้ง่าย

#### 2.8.10 การรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (Combining Expert Opinions)

สำหรับการประเมินผลการรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญซึ่งมีการตัดสินใจหลากหลายบุคคล จึงจะต้องนำผลของการตัดสินใจในคำพูดที่คลุมเครือของแต่ละบุคคลมารวมกันเป็นหนึ่งเดียนั้น Cooke (1991) และ Rowe (1992) ได้เสนอการจำแนกวิธีการรวมความคิดเห็นออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีการแบบตกลงเป็นเอกฉันท์ร่วมกัน (Consensus Method) และวิธีการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Method) ซึ่งวิธีการรวมความคิดเห็นที่เป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในงานศึกษาวิจัย คือ วิธีการรวมความคิดเห็นแบบถ่วงน้ำหนัก (Weight Combinations of Opinions) โดยถือว่าเป็นวิธีการหนึ่งของวิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งวิธีการรวมความคิดเห็นแบบถ่วงน้ำหนักนี้สามารถกระทำได้หลายวิธี โดยวิธีการที่นิยมใช้ ได้แก่

1. ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Arithmetic Average) มีรูปแบบสมการ

ดังนี้

$$M_j = \sum_{i=1}^n w_i A_i \quad (42)$$

เมื่อ  $M_j$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวเลขฟัซซีในการตัดสินใจของบุคคลมารวมกันในแต่ละเหตุการณ์พื้นฐาน  $j$

$w_i$  คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญของบุคคลที่  $i$

$A_i$  คือ ค่าตัวเลขฟัซซีในการตัดสินใจของบุคคลที่  $i$

2. ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Geometric Average) มีรูปแบบสมการดังนี้

$$M_j = \prod_{i=1}^n (A_i)^{w_i} \quad (43)$$

เมื่อ  $M_j$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวเลขฟัซซีในการตัดสินใจของบุคคลมารวมกันในแต่ละเหตุการณ์พื้นฐาน  $j$

$w_i$  คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญของบุคคลที่  $i$

$A_i$  คือ ค่าตัวเลขฟัซซีในการตัดสินใจของบุคคลที่  $i$

3. ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Harmonic Average) มีรูปแบบสมการดังนี้

$$M_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{A_i}} \quad (44)$$

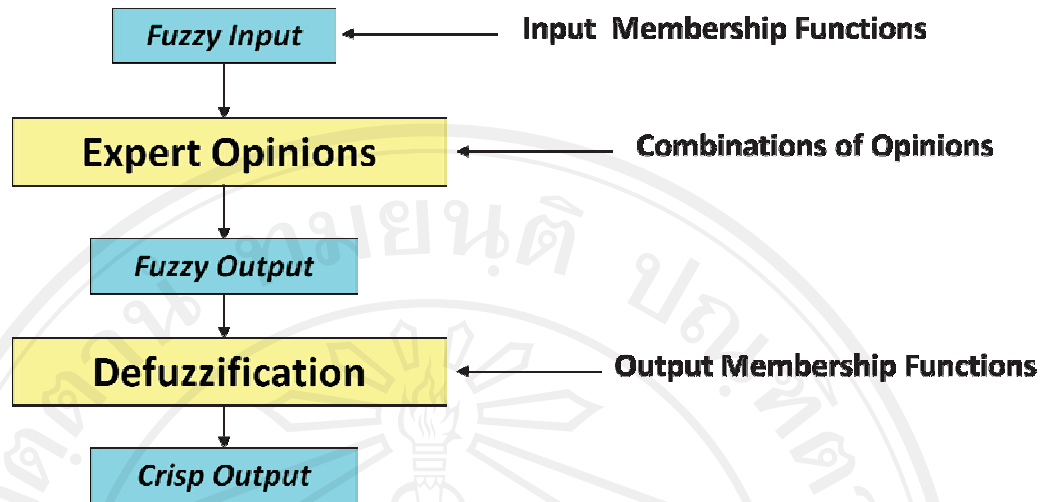
เมื่อ  $M_j$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวเลขฟัซซีในการตัดสินใจของบุคคลมารวมกันในแต่ละเหตุการณ์พื้นฐาน  $j$

$w_i$  คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญของบุคคลที่  $i$

$A_i$  คือ ค่าตัวเลขฟัซซีในการตัดสินใจของบุคคลที่  $i$

### 2.8.11 วิธีการดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)

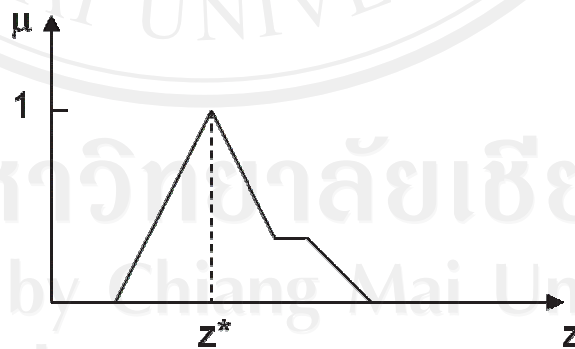
ในการประยุกต์นำทฤษฎีฟัซซีเซต เข้ามาใช้ช่วยวัดผลและประเมินผลโดยอาศัยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญนั้น ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลแบบฟัซซี จากนั้นจะดำเนินการรวมข้อมูลความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดให้เป็นฟัซซีเซตเดียวกัน และดำเนินการแปลงผลลัพธ์สุดท้ายแบบฟัซซีที่ได้จากการรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญให้เป็นเอาต์พุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขแบบดั้งเดิม ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีการดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) ดังแสดงในรูปที่ 2-33 ซึ่งวิธีการดีฟัซซิฟิเคชันนี้สามารถกระทำได้หลายวิธีแล้วแต่ความเหมาะสมกับสถานการณ์ของปัญหา โดยวิธีการที่เป็นที่นิยม ได้แก่



รูปที่ 2-33 โครงสร้างกระบวนการเปลี่ยนข้อมูลแบบฟัซซีให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขแบบดั้งเดิม

1. เทคนิคการเลือกค่าสูงสุด (Max – Membership Principle) จากหลายๆฟัซซีเซตมาเพียงหนึ่งค่า เป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับความเป็นสมาชิกจากการกระทำหลายๆแบบ แล้วเลือกกระทำเพียงหนึ่งแบบเท่านั้น (ดังแสดงรูปที่ 2-34)

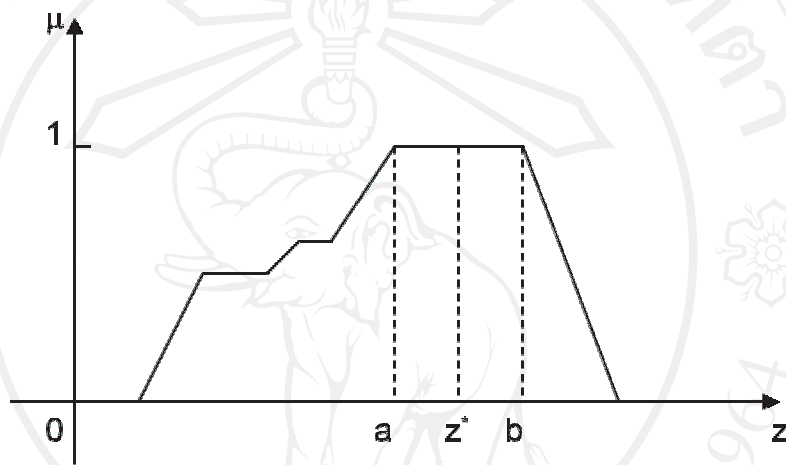
$$z^* \geq \mu_c(z) \quad \text{for all } z \in Z \quad (45)$$



รูปที่ 2-34 Max – Membership Defuzzification Method (Ross, T. J. , 1995)

2. วิธี Mean - Max Membership Method หรือ Middle of Maxima Method (MOM) วิธีนี้จะคล้ายกับวิธีแรก จะแตกต่างกันก็เพียงวิธีแรกจะนำหลายๆเซตมาพิจารณา และเลือกเซตที่มีค่าเป็นค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดมาใช้ แต่วิธีนี้จะนำค่าสูงสุดซึ่งอาจจะมีหลายค่ามาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้เอาต์พุต การหาค่าเฉลี่ยจะมีรูปสมการดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 2-35)

$$z^* = \frac{a + b}{2} \quad (46)$$

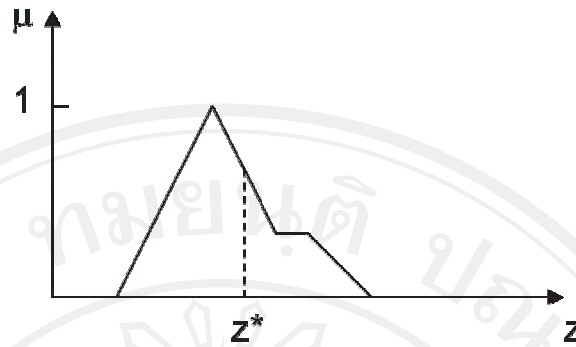


รูปที่ 2-35 Mean - Max Membership Defuzzification Method (Ross, T. J. , 1995)

3. วิธี Centroid Method บางครั้งก็เรียกวิธีการนี้ว่า Center of Area method (COA) หรือ Center of Gravity method (COG) เป็นวิธีการที่เป็นที่นิยมมาก ซึ่งมีการนำเอาลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตเซตมาประมวลผลด้วย โดยหลังจากใช้ส่วนตัดสินใจแบบฟัซซีแล้วจะหาค่าเอาต์พุตจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่ใต้ดังสมการดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 2-36)

$$z^* = \frac{\int \mu(z) \cdot z dz}{\int \mu(z) dz} \quad (47)$$

โดย  $\mu(z)$  = ค่าความเป็นสมาชิก (Membership Value) ของตำแหน่ง  $z$



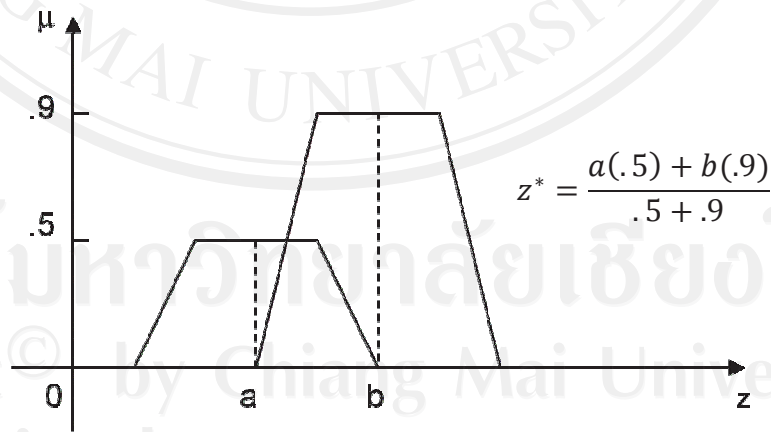
รูปที่ 2-36 Centroid Defuzzification Method (Ross, T. J. , 1995)

4. วิธี Weight Average Method วิธีนี้จะใช้จุดศูนย์กลางมวลแทนการใช้จุดกึ่งกลางของเอาต์พุตที่มีรูปสมการดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 2-37)

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^N \mu_j c_j}{\sum_{j=1}^N \mu_j} \tag{48}$$

โดย  $\mu_j$  = ค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตที่ตำแหน่ง  $j$

$c_j$  = จุดกึ่งกลางของมวลในฟัซซีเซตที่  $j$



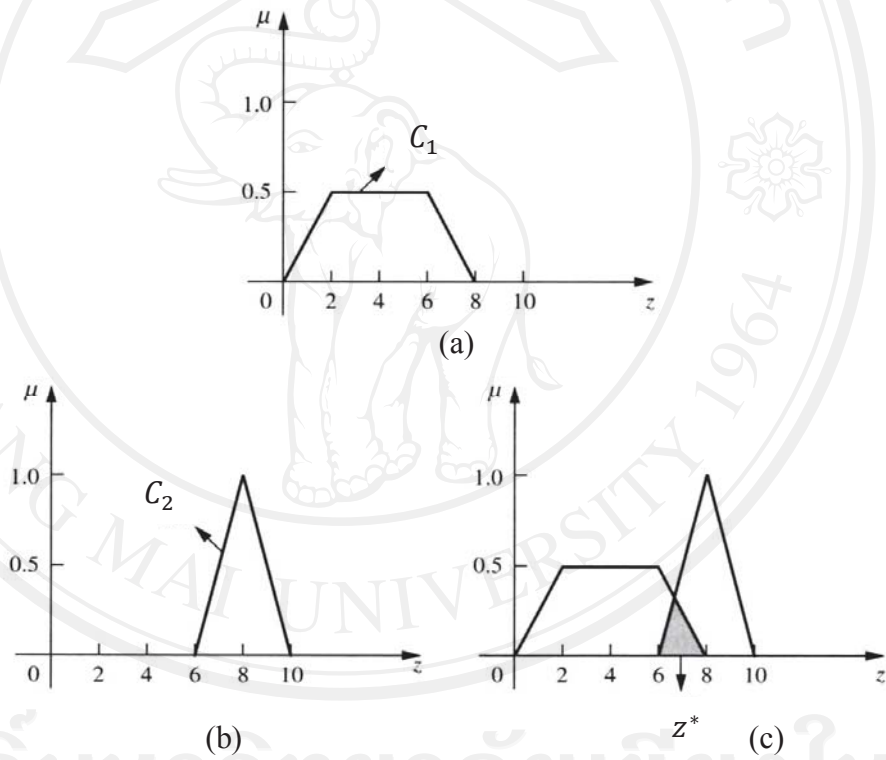
รูปที่ 2-37 Weight Average Defuzzification Method (Ross, T. J. , 1995)

5. วิธี Center of Sums Method (COS) เป็นวิธีที่จะประมวลผลได้สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีที่กล่าวมาและใช้กันมากในปัจจุบัน ซึ่งขบวนการประมวลผลวิธีการ COS นี้จะเป็นการรวมเอาต์พุตฟัซซีเซตของแต่ละบุคคลมารวมกันแทนการยูเนียนกัน ซึ่งจะทำให้พื้นที่ในส่วนของ

อินเตอร์เซกชันนั้นจะถูกนำมาคิดเป็นสองเท่า โดยหลักการคล้ายๆกับวิธี Weight Average method ซึ่งวิธี COS จะหาค่านำหนักตามรูปร่างลักษณะพื้นที่ของฟัซซีเซต ตามสมการดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 2-38)

$$z^* = \frac{\int_Z z \sum_{k=1}^n \mu_k(z) dz}{\int_Z \sum_{k=1}^n \mu_k(z) dz} \tag{49}$$

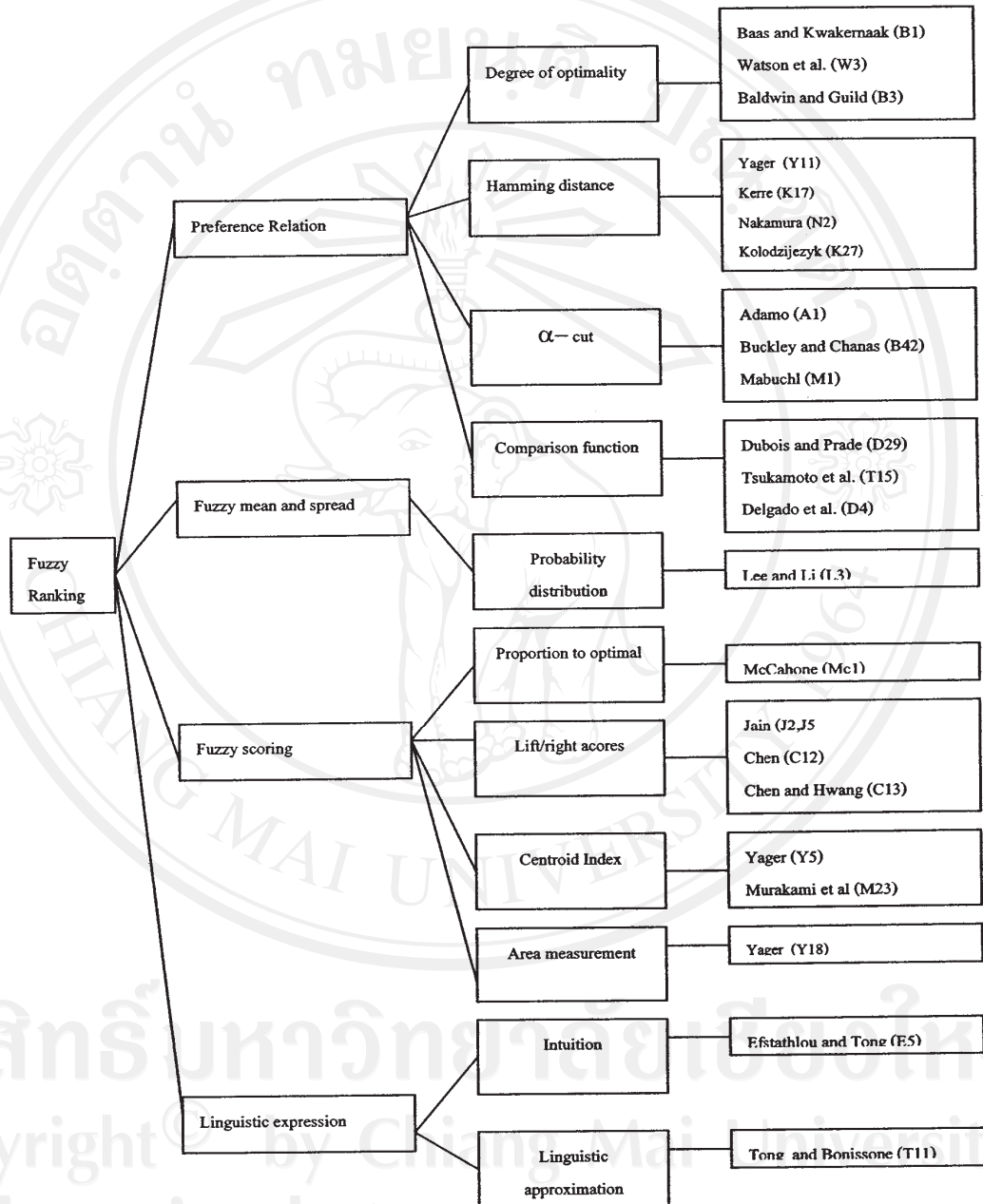
โดย  $\mu_k(z)$  = ค่าความเป็นสมาชิก (Membership Value) ของ Fuzzy Set k



รูปที่ 2-38 Center of Sums Defuzzification Method : (a) First Membership Function ; (b) Second Membership Function ; (c) Defuzzification Step. (Ross, T. J. , 1995)

6. วิธี Fuzzy Ranking Method เป็นวิธีซึ่งเริ่มพัฒนาศึกษาและประยุกต์ใช้ตั้งแต่ปี 1970 และได้มีผู้ศึกษามาอย่างต่อเนื่อง โดยวิธี Fuzzy ranking method สามารถแยกได้ประมาณ 20 วิธี ซึ่งแยกเป็นประเภทหลัก ๆ 4 ประเภท (ดังรูปที่ 2-39) ได้แก่ 1) Preference Relation 2) Fuzzy Mean and Spread 3) Fuzzy Scoring (หรือ Direct Comparison) และ 4) Linguistic Expression โดยวิธี Fuzzy Scoring ได้มีผู้พัฒนาต่อมาและสามารถแยกได้ 3 วิธีคือ วิธีของ Jain (1976) วิธีของ Chen

(1985) และวิธีของ Chen and Hwang (1992) โดยงานวิจัยนี้ขอก้าวเพียงวิธีที่เกี่ยวข้องคือ วิธีของ Chen and Hwang เท่านั้น



รูปที่ 2-39 ระบบการจำแนกของวิธีการจัดลำดับฟัซซี่ (Chen and Hwang , 1992)



วิธีของ Chen and Hwang มีรากฐานมาจากวิธีของ Jain (1976) และวิธีของ Chen (1985) ซึ่งโดยหลักการค่า Crisp Number ของ Fuzzy Set ใด ๆ เป็นค่าเฉลี่ยของค่า Crisp Number ของการประมวลผลระหว่าง Fuzzy Set นั้นกับค่า Minimum Fuzzy Set และ Maximum Fuzzy Set โดยที่ค่า Crisp Number ของการประมวลผลเลือกจากวิธี Max – Membership Principle ดังนี้

กำหนดให้  $M$  เป็นฟัซซีเซต (Fuzzy Set) และ  $x$  (Fuzzy Number) เป็นสมาชิกของ  $M$  โดยที่  $M$  ประกอบด้วย  $x$  และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก  $\mu_M$  :

$$M(x) = \{x, \mu_M\}, \quad 0 \leq x \leq 1 \quad (50)$$

ให้ Minimizing Fuzzy Set และ Maximizing Fuzzy Set มีรูปแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิก  $\mu_{min}(x)$  และ  $\mu_{max}(x)$  :

$$\mu_{min}(x) = \begin{cases} 1 - x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (51)$$

$$\mu_{max}(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (52)$$

การประมวลผลของ  $M(x)$  และ  $\mu_{min}(x)$  ได้ผลเป็น เซต  $\mu_L(M)$  โดยที่

$$\mu_L(M) = \sup_x [\mu_M(x) \wedge \mu_{min}(x)] \quad (53)$$

ค่า Crisp Number ของเซตใหม่จะเท่ากับ  $(1 - \mu_L(M))$

การประมวลผลของ  $M(x)$  และ  $\mu_{max}(x)$  ได้ผลเป็น เซต  $\mu_R(M)$  โดยที่

$$\mu_R(M) = \sup_x [\mu_M(x) \wedge \mu_{max}(x)] \quad (54)$$

ในกรณีนี้ ค่า Crisp Number ของการประมวลผลจะเท่ากับ  $\mu_R(M)$

ค่าเฉลี่ยของ Crisp Number กรณีแรกและกรณีหลัง ถือเป็นค่า Crisp Number ของ Fuzzy Set  $M$  ให้ผลคือ :

$$\mu_T(M) = [\mu_R(M) + 1 - \mu_L(M)]/2 \quad (55)$$

## 2.9 การประยุกต์ทฤษฎีฟัซซีเซตกับเทคนิคการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี (Fuzzy Fault Tree Analysis )

เทคนิคการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี (Fault Tree Analysis) ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าในเชิงปริมาณนั้นสามารถวิเคราะห์หาความน่าจะเป็น (Probability) ในการเกิดเหตุการณ์พื้นฐานต่างๆ จากจำนวนครั้งของการเกิดเหตุการณ์พื้นฐานต่อโอกาสของการเกิดเหตุการณ์พื้นฐานนั้นๆ เพื่อที่จะนำค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์พื้นฐาน ไปหาค่าความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกิดเหตุการณ์สูงสุดต่อไป แต่สำหรับกรวิเคราะห์โดยวิธีฟัซซีฟอลท์ทรี (Fuzzy Fault Tree Analysis) ในการหาค่าความเป็นไปได้ (Possibility) ของการเกิดเหตุการณ์พื้นฐานต่างๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าในเชิงปริมาณในแผนภาพฟอลท์ทรีสามารถทำได้ ดังนี้

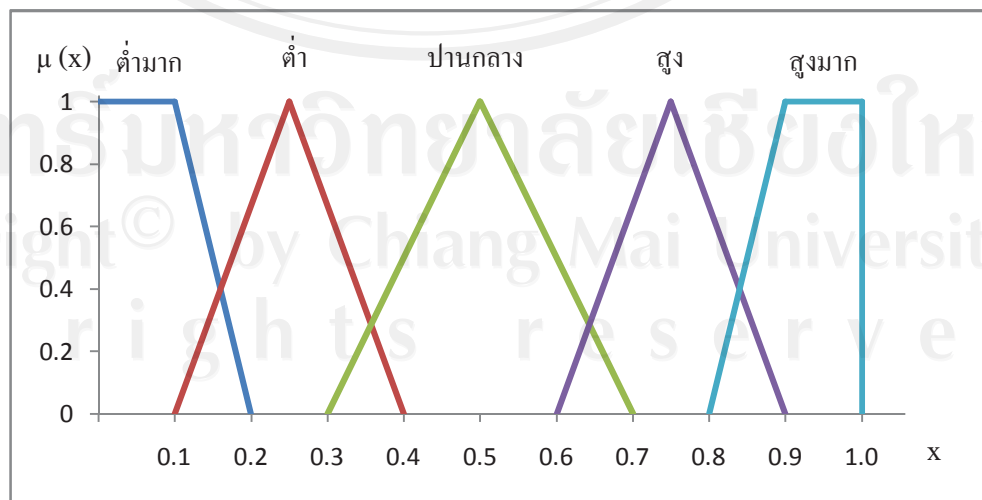
### 2.9.1 การเปลี่ยนข้อมูลความเห็นเชิงภาษาเป็นตัวเลขฟัซซี (Converting Linguistic Terms to Fuzzy Numbers)

ในงานประเมินระดับความสำคัญ (Rating) กรณีที่ผู้ประเมินมีข้อมูลพื้นฐานที่คลุมเครือ (Vagueness Information) นั้น ผู้ประเมินจะประเมินระดับเชิงภาษา (Linguistic) ซึ่งการนำระดับการประเมินไปใช้วิเคราะห์ในลำดับต่อไปจำเป็นต้องเปลี่ยนข้อมูลเชิงภาษาให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข โดยอาศัยหลักการของ Fuzzy Set และ Fuzzy Number จากผลการวิจัยที่ผ่านมา Chen และ Hwang (1992) ได้ปรับปรุง และนำเสนอเป็นวิธีการเปลี่ยนความเห็นเชิงภาษาเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข โดยสรุปเป็นรูปแบบทั้งสิ้น 8 รูปแบบ (Scale) และการประเมินเชิงภาษาระดับต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-5

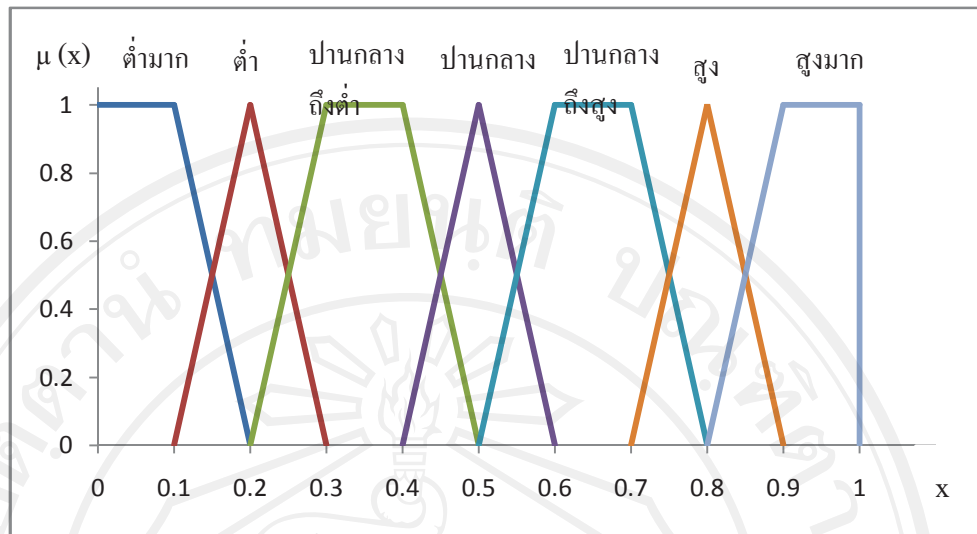
ในงานศึกษาด้านการวิเคราะห์แบบฟัซซีฟอลท์ทรี (Fuzzy Fault Tree Analysis) ของระบบท่อส่งน้ำมัน Dong Yuhua และ Yu Datao (2005) ใช้แนวทางของ Chen และ Hwang โดยกำหนดระดับการประเมินเชิงภาษาเป็น 5 ระดับ และเลือกใช้รูปแบบ (Scale) ที่ 3 (ตารางที่ 2-5) ซึ่งให้ผลการประเมินเชิงตัวเลขคลุมเครือดังแสดงในรูปที่ 2-40 ต่อมา Nang Fei Pan และคณะ (2007) ได้ศึกษาการวิเคราะห์แบบฟัซซีฟอลท์ทรี (Fuzzy Fault Tree Analysis) ของระบบความวิตติในการก่อสร้างสะพาน โดยกำหนดระดับการประเมินเชิงภาษาเป็น 7 ระดับ และเลือกใช้รูปแบบ (Scale) ที่ 6 (ตารางที่ 2-5) ผลการประเมินเชิงตัวเลขคลุมเครือดังแสดงในรูปที่ 2-41

ตารางที่ 2-5 สรุปคำพูดที่คลุมเครือที่ใช้ในการเปลี่ยนให้เป็นตัวเลขฟัซซีในแต่ละมาตราส่วน (Chen and Hwang , 1992)

| ชนิดของคำพูดที่ใช้ | Scale<br>1 | Scale<br>2 | Scale<br>3 | Scale<br>4 | Scale<br>5 | Scale<br>6 | Scale<br>7 | Scale<br>8 |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| ไม่มี              |            |            |            |            |            |            |            | √          |
| ต่ำมาก             |            |            | √          |            | √          | √          | √          | √          |
| ต่ำถึงต่ำมาก       |            |            |            |            |            |            | √          | √          |
| ต่ำ                |            | √          | √          | √          | √          | √          | √          | √          |
| ค่อนข้างต่ำ        |            |            |            | √          | √          |            | √          |            |
| ปานกลางถึงต่ำ      |            |            |            |            |            | √          |            | √          |
| ปานกลาง            | √          | √          | √          | √          |            | √          | √          | √          |
| ปานกลางถึงสูง      |            |            |            |            |            | √          |            | √          |
| ค่อนข้างสูง        |            |            |            | √          | √          |            | √          |            |
| สูง                | √          | √          | √          | √          | √          | √          | √          | √          |
| สูงถึงสูงมาก       |            |            |            |            |            |            | √          | √          |
| สูงมาก             |            |            | √          |            | √          | √          | √          | √          |
| ดีเยี่ยม           |            |            |            |            |            |            |            | √          |
| จำนวนคำพูดที่ใช้   | 2          | 3          | 5          | 5          | 6          | 7          | 9          | 11         |



รูปที่ 2-40 การประเมินเชิงภาษา 5 ระดับที่คลุมเครือของรูปแบบที่ 3 (Chen and Hwang , 1992)



รูปที่ 2-41 การประเมินเชิงภาษา 7 ระดับที่คลุมเครือของรูปแบบที่ 6 (Chen and Hwang , 1992)

### 2.9.2 การเปลี่ยนค่าตัวเลขฟัซซีให้เป็นค่าคะแนนความเป็นไปได้คลุมเครือ (Converting Fuzzy Number into Fuzzy Possibility Score)

จากการเปลี่ยนข้อมูลที่คลุมเครือให้เป็นตัวเลขฟัซซีดังรายละเอียดในหัวข้อที่แล้ว จะเห็นว่าผลลัพธ์ของการตัดสินใจออกมาเป็นฟัซซีเซตซึ่งยังมีค่าคลุมเครือ (Fuzzy) อยู่ เนื่องจากยังมีค่ากระจายตามฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตเอาต์พุตนั้นอยู่ แต่โดยทั่วไปแล้วผลลัพธ์ของการตัดสินใจนั้นจะต้องออกมาในลักษณะที่เป็นปริมาณคริสป์หรือตัวเลขจึงจะสามารถนำไปใช้งาน เป็นผลลัพธ์ของการตัดสินใจครั้งนั้น ๆ ได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นค่าตัวเลขฟัซซีนั้นจึงจะต้องทำการแปลงค่าตัวเลขฟัซซีให้เป็นค่าคะแนนคริสป์ (Crisp Score) ซึ่งในการประเมินผลการตัดสินใจของบุคคลขั้นตอนนี้ผลลัพธ์ที่ได้บางครั้งเราอาจจะเรียกว่า ค่าคะแนนความเป็นไปได้คลุมเครือ (Fuzzy Possibility Score , FPS) ในการคำนวณหาค่า FPS นี้เราสามารถที่ใช้กระบวนการดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) วิธีใดวิธีหนึ่งของระบบฟัซซีลอจิก ดังแสดงในหัวข้อ 2.8.11

### 2.9.3 การแปลงค่าคะแนนความเป็นไปได้คลุมเครือให้เป็นค่าความเป็นไปได้ของการวิบัติที่คลุมเครือ (Transforming Fuzzy Possibility Score into Fuzzy Failure Possibility)

#### Weber – Fechner’s Law

ในปี ค.ศ. 1834 นักจิตฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ เอิร์นสต์ เวเบอร์ (Ernst Weber, 1795-1878) ได้ค้นพบ กฎของเวเบอร์ (Weber’s Law) ซึ่งเมื่อเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\Delta I \propto I \quad (56)$$

$$\Delta I = KI \quad (57)$$

$$K = \frac{\Delta I}{I} \quad (58)$$

เมื่อ  $\Delta I$  หมายถึง ความเข้มที่แตกต่างกันระหว่างสิ่งเร้าใหม่กับสิ่งเร้าเดิม  
 $I$  หมายถึง ความเข้มของสิ่งเร้าเดิม

ค่า  $K$  ในสมการเรียกว่า ตัวคงที่ของเวเบอร์ (Weber’s Constant) หมายถึง ลักษณะเฉพาะของความรู้สึกของบุคคลที่มีต่อสิ่งเร้าแต่ละอย่าง กฎของเวเบอร์เป็นประโยชน์ต่อการพยากรณ์พฤติกรรมความรู้สึกของคนมาก ต่อมาในปี ค.ศ. 1860 นักจิตฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ กุสตัฟ เฟคเนอร์ (Gustav Fechner, 1801 – 1887) ได้ค้นพบ กฎของเฟคเนอร์ (Fechner’s Law) โดยอธิบายสาธิตให้เห็นได้ว่ากิจกรรมทางความคิด (Mental Activity) สามารถวัดในเชิงปริมาณได้ ซึ่งความเข้มของความรู้สึกมีค่าเป็นฟังก์ชันลอการิทึมของความเข้มของสิ่งเร้า

กฎของเฟคเนอร์ (Fechner’s Law) อธิบายโดยใช้สมการได้ดังนี้

$$S = f(I) \quad (59)$$

ซึ่งในสมการการตอบสนองต่อสิ่งเร้าด้านเสียง รูปแบบฟังก์ชัน  $f$  และสมการที่ (59) เขียนได้เป็น

$$S = W \log I \quad (60)$$

เมื่อ  $S$  หมายถึง ปริมาณของการรู้สึก  
 $I$  หมายถึง ความเข้มของสิ่งเร้า  
 $W$  หมายถึง ตัวคงที่ เป็นลักษณะเฉพาะของบุคคลในความรู้สึกที่มีต่อสิ่ง  
 กระตุ้นแต่ละอย่างซึ่งจะมีค่าคงที่เฉพาะของมันเอง บุคคลแต่ละคนก็จะมีค่าคงที่เฉพาะของตัวเอง  
 อันมาจากพื้นฐานในสมการของเวเบอร์ มีค่าเท่ากับ  $1/\log K$  เมื่อ  $K$  เป็นตัวคงที่ของเวเบอร์

โดยทั่วไปสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ เราสามารถหาค่าโอกาสของการเกิดความเสียหายจากค่า  
 อัตราความเสียหาย (Failure Rate) ที่ได้จากการทดสอบหรือจากสถิติข้อมูลในตำราคู่มือที่เคยศึกษา  
 เกี่ยวกับอุปกรณ์เหล่านั้นมาก่อน ซึ่งจะสามารถหาค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) และค่าโอกาสของ  
 ความน่าจะเป็น (Probability) ที่จะเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ชิ้นนั้นๆ ในเหตุการณ์  
 ต่างๆ ได้ แต่สำหรับการตัดสินใจของแต่ละบุคคลนั้นการหาค่าโอกาสของความน่าจะเป็น  
 (Probability) ที่จะเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากเหตุการณ์ต่างๆ สามารถหาได้จากค่าคะแนน  
 ความเป็นไปได้คลุมเครือ (Fuzzy Possibility Score , FPS) Takehisa Onisawa นักวิจัยชาวญี่ปุ่นได้  
 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของการรู้สึกของการตัดสินใจในมนุษย์ (Human Sensation Quantity) ให้  
 เป็นปริมาณเชิงกายภาพ (Physical Quantity) โดยอาศัยกฎของ Weber – Fechner’s Law เขียนได้ว่า

$$\text{Human Sensation} = f(\text{Physical Stimuli}) \quad (61)$$

ในปัญหานี้ Human Sensation คือค่าคะแนนความเป็นไปได้คลุมเครือ (Fuzzy Possibility  
 Score , FPS) ที่ผู้เชี่ยวชาญกำหนดให้ (มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1) สำหรับระดับการประเมินเชิงภาษา  
 ของ Fuzzy Set ที่กำหนด (เช่น Set ของ Failure)

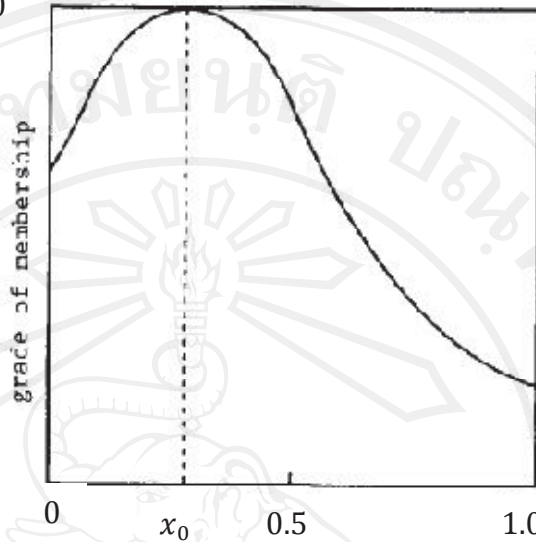
Failure Set (Fuzzy Set) กำหนดโดย  $F(x)$  โดยที่

$$F(x) = \{x, \mu(x)\} \quad , \quad 0 \leq x \leq 1 \quad (62)$$

มีรูปแบบทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2-42

$\mu(x)$

1.0



รูปที่ 2-42 Failure Possibility Set (Takehisa Onisawa , 1996)

โดยที่  $x_0$  คือค่าคะแนน (Fuzzy Score) ที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด (Full membership or The most likely) ของ Failure Set และ  $x_0$  ในที่นี้เรียกว่า ค่าคะแนนความเป็นไปได้คลุมเครือ (Fuzzy Possibility Score , FPS) ถือเป็นค่าความรู้สึก (Sensation) ที่กระตุ้น โดยความรู้สึกจากค่าความเป็นจริง (Physical Quantity) ซึ่งถือเป็นค่าความเป็นไปได้ของ Failure จริง เรียกว่า ค่าความเป็นไปได้ของการวิบัติที่คลุมเครือ (Fuzzy Failure Possibility , FFP)

จากกฎของเฟคเนอร์ (Fechner's Law)

$$FPS = f(FFP) \quad (63)$$

Takehisa Onisawa เสนอรูปแบบฟังก์ชัน  $f$  ดังนี้

$$FPS = \frac{1}{1 + \{K \log(1/FFP)\}^3} \quad (64)$$

จากสมการที่ (64) สามารถหาค่า FFP ได้ในรูป

$$FFP = \frac{1}{10^{(1-FPS/FPS)^{1/3} \times \frac{1}{K}}} \quad (65)$$

โดยที่  $K = \frac{1}{\log(1/p_s)} \quad (66)$

เมื่อ  $FFP$  คือ ค่าความเป็นไปได้ของการวิบัติที่คลุมเครือ (Fuzzy Failure Possibility)

$FPS$  คือ ค่าคะแนนความเป็นไปได้คลุมเครือ (Fuzzy Possibility Score)

$p_s$  คือ ค่ามาตรฐานของ Failure Rate (Standard Failure Rate) ขึ้นอยู่กับชนิดของเหตุการณ์

Swain and Guttman (1983) ได้แนะนำในกิจกรรมต่างๆ ที่ดำเนินการโดยมนุษย์ โดยทั่วไปมีค่าอัตราความผิดพลาด (Human Error Rate) อยู่ในช่วง  $10^{-2} - 10^{-3}$  ดังนั้นจึงสามารถกำหนดค่ามาตรฐานของ Failure Rate ( $p_s$ ) ในการตัดสินใจผิดพลาดของคนได้เท่ากับ 0.005 และเมื่อแทนค่ามาตรฐานของ Failure Rate ( $p_s$ ) ลงในสมการที่ (66) จะทำให้ได้ค่าคงที่  $K$  คือ 0.435 ดังนั้นจึงสามารถหาค่าความเป็นไปได้ของการวิบัติที่คลุมเครือ (Fuzzy Failure Possibility , FFP) จากสมการที่ (65) โดยสามารถเขียนจัดรูปแบบใหม่ได้เป็นดังเช่นสมการที่ (67) และสมการที่ (68) ซึ่งค่าความเป็นไปได้ของการวิบัติที่คลุมเครือ (FFP) ที่หาได้นี้ก็คือค่าความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้วิเคราะห์เชิงปริมาณในแผนภาพฟอลท์ทรี

$$FFP = \begin{cases} 1/10^m & , FPS \neq 0 \\ 0 & , FPS = 0 \end{cases} \quad (67)$$

โดยที่

$$m = \left[ (1 - FPS) / FPS \right]^{1/3} \times 2.301 \quad (68)$$