



กรอบแนวคิดในการออกแบบระบบบรรณศาสตร์คลุ่มเครือ (พีชชีลोजิก) เพื่อ
สนับสนุนการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินค่าความน่าจะเป็นทาง
ธรณีวิทยาของโครงการขุดสำรวจปิโตรเลียม

โดย

นายธนกร ตั้งพีรชัยกุล

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

กรอบแนวคิดในการออกแบบระบบบรรณศาสตร์คลุ่มเครือ (ฟิชชีลोजิก) เพื่อ
สนับสนุนการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินค่าความน่าจะเป็นทาง
ธรณีวิทยาของโครงการขุดสำรวจปิโตรเลียม

โดย

นายธนกร ตั้งพีรชัยกุล

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



Framework in use of Fuzzy Logic as a Decision Support System
for Assessing Chance of Geological Success on Exploratory
Petroleum Drilling Projects

BY

Mr. Thanakorn Tungperachaikul

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF BUSINESS ADMINISTRATION
FACULTY OF COMMERCE AND ACCOUNTANCY
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2015
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี

การค้นคว้าอิสระ

ของ

นายธนกร ตั้งพีรชัย

เรื่อง

กรอบแนวคิดในการออกแบบระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (ฟัชซีลอจิก) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ
ของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินค่าความน่าจะเป็นทาง
ธรณีวิทยาของโครงการขุดสำรวจปิโตรเลียม

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 17 ก.พ. 2559

ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สถาพร โอภาสานนท์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ


(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกจิตต์ จีงเจริญ)

คณบดี


(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ โรจนกิจอำนวย)

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	กรอบแนวคิดในการออกแบบระบบตรรกศาสตร์ คลุมเครือ (ฟัซซีลอจิก) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของ ผู้เชี่ยวชาญในการประเมินค่าความน่าจะเป็นทาง ธรณีวิทยาของโครงการขุดสำรวจปิโตรเลียม
ชื่อผู้เขียน	นายธนกร ตั้งพิรัชกุล
ชื่อปริญญา	บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต
คณะ/มหาวิทยาลัย	คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ	รองศาสตราจารย์ ดร. เอกจิตต์ จิ่งเจริญ
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอแนวคิดในการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกเพื่อการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา ซึ่งมีความสำคัญในขั้นตอนการประเมินมูลค่าปัจจุบันของโครงการสำรวจปิโตรเลียม โดยมีการกล่าวถึงตัวแปรทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้อง และแนวทางในการประเมินค่าตัวแปรดังกล่าว รวมทั้งการวางแบบแผน และการนำเสนอกรณีตัวอย่างโดยการพิจารณาปัจจัยด้านการปิดกั้นของแหล่งสัมปทานอาทิตย์บนรูปแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิก 3 รูปแบบ คือ Triangular, Trapezoid และ Gaussian รวมทั้งนำเสนอแนวทาง และกรณีศึกษาในการแก้ไขข้อจำกัดเรื่องขอบเขตของค่าเอาต์พุตของการทำ Defuzzifier จากการวิธีคำนวณหาค่าจุดศูนย์กลาง (Center of Gravity) ด้วยวิธีการสร้างเงื่อนไขพิเศษ

จากการพิจารณาผลของการอนุมานฟัซซีที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นตามแบบแผนที่มีการนำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้กับกรณีศึกษาของแหล่งสัมปทานอาทิตย์ พบว่าการใช้ฟัซซีลอจิกในการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาโดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Trapezoid นั้นให้ความแม่นยำที่สูงที่สุด โดยให้ค่าให้ค่าที่มีความผิดพลาดระหว่าง 2.37% – 3.44% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากข้อมูลข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การดำเนินการตามกรอบแนวคิดในการออกแบบระบบฟัซซีลอจิก เพื่อการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยานั้น สามารถทำได้จริง และเป็นทางเลือกที่ให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ ที่ผู้เชี่ยวชาญจะสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาสำหรับโครงการขุดสำรวจได้

คำสำคัญ: ฟัชซิลอจิก, ความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา, การคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วง



Independent Study Title	RESEARCH TO DESIGN FRAMEWORK IN USE OF FUZZY LOGIC AS A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ASSESSING CHANCE OF GEOLOGICAL SUCCESS ON EXPLORATORY PETROLEUM PROJECTS
Author	MR. Thanakorn Tungperachaikul
Degree	Master of Business Administration
Faculty/University	Faculty of Commerce and Accountancy Thammasat University
Thesis Advisor	Associate Professor Ekachidd Chungcharoen, Ph.D.
Academic Years	2015

ABSTRACT

This research introduces the use of fuzzy logic to assess chance of geological success, which is a major procedure in evaluating net present value of any exploratory petroleum drilling project. The paper presents all related geological factors including scientific approaches used to estimate the parameters. The real case study of considering of Fault seal in Arthit concession is used to compare performances of the fuzzy logic model through 3 different membership functions, Triangular, Trapezoid, and Gaussian. Limited output from the defuzzifier using center of gravity calculation may be resolved by creating additional rules.

From the case study results, using fuzzy logic model with Trapezoidal-Shaped membership function achieves the most accurate result within 2.37% - 3.44% failure rate with 95% level of confidence.

The findings confirm our main hypothesis that fuzzy logic can be used as a decision support tool for geologists to estimate the chance of geological success due to its high accuracy results, which can help support decision maker during the evaluation process.

Keywords: Fuzzy logic, Chance of geological success, Center of gravity



กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร. เอกจิตต์ จิงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โอภาสานนท์ สำหรับข้อแนะนำในทุก ๆ ด้านในการทำวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในทีมงานนักธรรมวิทยาให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัว ซึ่งคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นายธนกร ตั้งพีรชัยกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บททำ	4
2.1.1 ความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา	4
2.1.2 เครื่องมือเพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ	8
2.1.2.1 โครงข่ายประสาทเทียม	9
2.1.2.2 ฟัซซีลอจิก	10
2.1.2.3 การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์	11
2.1.2.4 วิธีเดลฟาย	12

2.1.2.5 การเลือกเครื่องมือในการใช้งาน	14
2.1.3 ฟัชซิลอจิก	14
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	18
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	18
3.1.2 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการประเมินอินพุต และเอาต์พุต	18
3.1.2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับหินต้นกำเนิด	19
3.1.2.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเวลา และเส้นทางการไหล	20
3.1.2.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกักเก็บ	21
3.1.2.4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการปิดกั้น	22
3.1.2.5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของแหล่งกักเก็บ	23
3.1.3 การกำหนดขอบเขตให้กับตัวแปรอินพุต และเอาต์พุต	23
3.1.4 กำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้กับตัวแปรอินพุต และเอาต์พุต	24
3.1.5 การกำหนดกฎให้กับระบบฟัชซี	26
3.1.6 กำหนดฟังก์ชันการอนุมานให้กับระบบฟัชซี	26
3.1.7 การทำ Defuzzifier	28
3.1.8 การตรวจสอบระบบฟัชซีที่ถูกรูปแบบไว้	33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	34
4.1 การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องสำหรับการออกแบบระบบการประเมิน ความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาสำหรับแปลงสัมปทานอาทิตย์	34
4.2 การออกแบบระบบการประเมินความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา โดยอาศัยฟัชซิลอจิก	35

4.2.1 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรอินพุต และเอาต์พุต	35
4.2.1.1 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรอินพุต Juxtaposition	36
4.2.1.2 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรอินพุต Shale smear factor	36
4.2.1.3 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรอินพุต Offset well similarity	37
4.2.1.4 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรอินพุต Data confidence	37
4.2.1.5 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรเอาต์พุต %Pg of Fault seal	38
4.2.2 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้ค่าตัวแปรอินพุต และเอาต์พุต	39
4.2.3 การกำหนดกฎให้กับระบบฟัซซี	47
4.2.4 การกำหนดฟังก์ชันอนุมานให้ระบบฟัซซี	48
4.2.5 การทำ Defuzzifier	50
4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของระบบที่ออกแบบไว้	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุป และอภิปรายผลการวิจัย	62
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อประโยชน์ต่อผู้ใช้งานวิจัย	63
5.2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	63
5.2.2 แนวทางในการแก้ไขข้อจำกัดของการคำนวณโดยวิธีคำนวณจุดศูนย์ถ่วง	63
5.2.3 การปรับค่าของฟังก์ชันสมาชิกให้มีความแม่นยำมากขึ้น	64
รายการอ้างอิง	65
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบฟัซซี	67
ภาคผนวก ข รูปภาพที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการออกแบบระบบฟัซซี	77
ภาคผนวก ค นิยาม และทฤษฎีเกี่ยวกับธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้อง	83
ประวัติผู้เขียน	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 Maturation range chart	20
3.2 แสดงรูปแบบของแบบสอบถาม เพื่อการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่าง อินพุต และเอาต์พุตของระบบฟัชชี	26
4.1 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดขอบเขตของตัวแปรอินพุต และเอาต์พุต	38
4.2 แสดงผลการแบ่งระดับชั้นของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	39
4.3 แสดงผลการหาขอบเขตที่คลุมเครือของระดับชั้นต่างๆ	41
4.4 แสดงพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Triangular	43
4.5 แสดงพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Trapezoid	45
4.6 แสดงพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Gaussian	46
4.7 แสดงผลของการออกแบบกฎในการอนุมานฟัชชี	48
4.8 แสดงกฎที่ถูกกระตุ้นในการอนุมานฟัชชีตามตัวอย่าง	49
4.9 แสดงกฎที่เข้าข่ายเงื่อนไขพิเศษด้าน High	53
4.10 แสดงกฎที่ตรงตามเงื่อนไขพิเศษด้าน Low	54
4.11 แสดงกฎที่มีค่าเอาต์พุตสูงกว่า 83% จากการให้ความเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญ	55
4.12 แสดงตารางตัวคูณเพื่อการปรับปรุงค่าของเงื่อนไขพิเศษด้าน High	56
4.13 แสดงตารางตัวคูณเพื่อการปรับปรุงค่าของเงื่อนไขพิเศษด้าน Low	57
4.14 แสดงตารางของกฎที่ให้ค่าเอาต์พุตตรงกับการใช้เงื่อนไขพิเศษ	59
4.15 แสดงตัวอย่างการใช้งานตารางเงื่อนไขพิเศษ	60
4.16 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้เงื่อนไขพิเศษของแต่ละกฎ	60

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงให้เห็นความสำคัญของค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาที่กำหนดถึงภาพรวมของความน่าจะเป็นของโครงการทั้งหมด	5
2.2 แสดงลำดับชั้นหินของแอ่งมาเลย์ทางเหนือ	6
2.3 แบบจำลองของเซลล์ประสาทหนึ่งเซลล์	9
2.4 Artificial neural network แบบหลายชั้น	10
2.5 แสดงการเปรียบเทียบตรรกะแบบจริงเท็จ และตรรกะแบบฟัซซี	10
2.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของการ์ดตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์	11
2.7 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซี	16
2.8 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบสามเหลี่ยม	16
2.9 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบคางหมู	17
2.10 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบเกาส์เซียน	17
3.1 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบสามเหลี่ยม	25
3.2 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบคางหมู	25
3.3 แสดงภาพประกอบการคำนวณการอนุมานแบบค่าน้อยสุด	28
3.4 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธี Defuzzifier ที่แตกต่างกัน	28
3.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตระหว่างการทำ Defuzzifier แบบการคำนวณหา Center of gravity และการใช้ค่า Mean of maxima	29
3.6 ประกอบแสดงตัวอย่างในการทำ Defuzzifier ด้วยวิธีการคำนวณหาค่าจุดศูนย์กลางถ่วง	30
3.7 แสดงการวิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด – ต่ำสุด (Max – Min composition)	31
3.8 แสดงค่าเอาต์พุตที่มีคาร์ระดับความเป็นสมาชิกแตกต่างกัน แต่ให้ผลลัพธ์เดียวกันในกรณีที่ฟังก์ชันสมาชิกมีความสมมาตร	32
3.9 แสดงขอบเขตของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ เมื่อคำนวณด้วยวิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง	32
4.1 แสดงสมการ และฟังก์ชันสมาชิกแบบสามเหลี่ยม	42
4.2 แสดงสมการ และฟังก์ชันสมาชิกแบบคางหมู	44
4.3 แสดงสมการ และฟังก์ชันสมาชิกแบบเกาส์เซียน	45
4.4 แสดงการทำงานของกฎที่ถูกกระตุ้นโดยอินพุ	50
4.5 แสดงการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด – ต่ำสุด (Max – Min composition)	51

4.6 แสดงภาพประกอบในการคำนวณเพื่อหาค่าจุดศูนย์ถ่วงเพื่อการทำ Defuzzifier	53
4.7 แสดงค่าเอาต์พุตที่เป็นไปได้ของการคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วง	52
4.8 แสดงค่าความผิดพลาดของเอาต์พุตที่ได้จากการทดสอบระบบฟัซซี	58
4.9 แสดงการเปรียบเทียบของค่าความผิดพลาดของเอาต์พุตก่อนและ หลังการใช้ตัวคูณเพื่อปรับปรุงค่า	61



รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
$%P_g$	Chance of Geological Success ความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา
$%P_c$	Chance of Commercial Success โอกาสที่จะคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์
ANN	Artificial Neural Network โครงข่ายประสาทเทียม
FLS	Fuzzly Logis System ระบบฟัซซีลอจิก
MCDM	Multi Criteria Decision Making การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์
DM	Degree of Membership ระดับความเป็นสมาชิก
Training data	ชุดข้อมูลสำหรับให้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ในการสร้างความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต
COG	Center of Gravity จุดศูนย์ถ่วงน้ำหนัก
Defuzzifier	ขั้นตอนการแปลผลลัพธ์เชิงภาษาที่ได้จากการอนุมานฟัซซี ให้อยู่ในรูปผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับค่าความเป็นจริง
Juxtaposition	ค่าที่บอกถึงโอกาสที่การเคลื่อนตัวของเปลือกโลกจะทำให้ชั้นของทรายเคลื่อนที่ไปชนกับชั้นหิน จนเกิดเป็นแหล่งกักเก็บชั้น
Shale Smear Factor	ค่าที่บอกถึงความต่อเนื่องของชั้นหินบริเวณที่เกิดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก

Offset well similarity	ค่าที่บอกถึงความใกล้เคียงกันทางสภาพทาง ธรณีวิทยาของหลุมสำรวจในอดีต กับหลุมที่ สนใจ
Data confident	ค่าที่บอกถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ สนับสนุนการตัดสินใจ
RANDBETWEEN()	ฟังก์ชันการสุ่มค่าในระหว่างช่วงที่กำหนดใน โปรแกรม Microsoft Excel
Triangular	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม
Trapezoid	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู
Gaussian	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากการลงทุนในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมนั้นเป็นโครงการลงทุนที่มีขนาดใหญ่ และใช้เม็ดเงินลงทุนจำนวนมาก นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยจากความไม่แน่นอนทั้งในทางการเงิน และ ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสำรวจหาแหล่งปิโตรเลียม โดยเฉพาะประเทศไทยในปัจจุบัน ที่เป็นที่ยอมรับกันดีว่ามีอัตราการขุดพบแหล่งพลังงานสำรองลดน้อยลงเรื่อยๆ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากแหล่งกักเก็บที่ถูกขุดค้นพบ และเข้าถึงได้ง่ายนั้นถูกสำรวจไปเป็นส่วนมากแล้ว ทำให้บริษัทสำรวจและขุดเจาะปิโตรเลียมต้องเผชิญความท้าทายทั้งในแง่ของการวางแผนออกแบบหลุมเจาะ เช่น การขุดหลุมสำรวจที่มีเป้าหมายที่ลึกลงไปกว่าที่เคยขุดเจาะในอดีต หรือการขุดหลุมที่เป้าหมายอยู่ไกล จากตำแหน่งที่ขุดเจาะเป็นอย่างมาก (Extended reach well) รวมทั้งข้อจำกัดทางวิศวกรรมของ เครื่องมือที่ใช้ในการขุดสำรวจ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงขึ้นเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับการขุดสำรวจในอดีต ในขณะที่ราคาน้ำมันในตลาดโลกกลับลดลงต่ำที่สุดในรอบสิบปี ทำให้บริษัทสำรวจ และขุดเจาะปิโตรเลียมต้องหันมาทำการบริหารจัดการค่าใช้จ่ายอย่างจริงจังเพื่อความอยู่รอด ในภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบัน ซึ่งการประเมินความเสี่ยงที่ไม่แม่นยำ จะนำไปสู่การตัดสินใจที่ผิดพลาด ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อโครงการขุดสำรวจ หรือในบางกรณี อาจรุนแรงถึงขั้นที่ทำให้บริษัทต้องหยุด ดำเนินกิจการลง

เนื่องจากผลกระทบที่เกิดจากความไม่แน่นอนนั้นค่อนข้างรุนแรง จึงเป็นธรรมชาติ ของอุตสาหกรรมที่แต่ละบริษัทจะดำเนินงานด้วยความระมัดระวัง โดยพยายามใช้เครื่องมือที่ทันสมัย และมีความแม่นยำสูงในการติดตามการดำเนินงานทุกขั้นตอน เพื่อให้มั่นใจว่าความเสี่ยงเหล่านั้นถูก จำกัดให้อยู่ในระดับที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการใช้เครื่องมือที่มีเทคโนโลยี สูง แต่ก็ยังเป็นเพียงเครื่องมือที่ช่วยประกอบให้การทำงานเป็นไปตามแผนที่วางไว้เท่านั้น แต่การ ตัดสินใจดำเนินการใดๆก็ยังคงต้องอาศัยความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางอยู่ โดยเฉพาะปัญหาที่มี ความคลุมเครือซึ่งใช้ความรู้สึก หรือสามัญสำนึกในการตัดสินใจ ดังนั้น การพัฒนาเครื่องมือที่สามารถ ช่วยในการจัดการกับปัญหาที่มีความคลุมเครือ เพื่อการสนับสนุนการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญนั้น จึงมี ความสำคัญกับการดำเนินกิจการของอุตสาหกรรมนี้

งานวิจัยฉบับนี้จะนำเสนอถึงรูปแบบของแนวคิดที่ใช้ในการเลือกเครื่องมือ และการ สร้างโมเดลในการประเมินความเสี่ยงทางธรณีวิทยา ซึ่งอยู่ในรูปของค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา

โดยแนวคิดที่จะนำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้จะช่วยในการจำลองรูปแบบของตรรกะที่ผู้เชี่ยวชาญทาง
ธรณีวิทยาเลือกใช้ รวมทั้งการตรวจสอบความผิดพลาดของแบบจำลอง และแนวทางแก้ไขโดย
ละเอียด

1.2 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้จัดทำโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างกรอบแนวคิดในการจำลอง
รูปแบบการพิจารณากำหนดค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาด้วยฟัชชีลอจิก เพื่อใช้เป็นข้อมูล
ประกอบในการประเมินความเป็นไปได้ในการดำเนินการขุดสำรวจแหล่งปิโตรเลียมที่สนใจโดย
ผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยา

โดยในบทที่ 2 จะเป็นการนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องถึงที่มา และหลักการพื้นฐาน
ในการพิจารณาข้อมูลทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา รวมทั้ง
เปรียบเทียบถึงข้อเด่น และข้อด้อยของวิธีการที่มีการใช้งานเพื่อจำลองการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญใน
ปัจจุบัน ในบทที่ 3 เป็นการนำเสนอกรอบ และขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง และใน
บทที่ 4 จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงการนำแนวคิดที่นำเสนอในบทที่ 3 มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง
เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงภาพของการใช้งานแนวคิดการสร้างโมเดลเพื่อจำลองลักษณะของการ
ตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ และบทที่ 5 จะเป็นการนำเสนอข้อสรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และ
ข้อจำกัดของกรอบแนวคิด หรือเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยเลือกแหล่งสัมปทานอาทิตย์ เนื่องจาก
เป็นแปลงสัมปทานที่มีการขุดสำรวจมาเป็นเวลานานอยู่แล้ว ทำให้มีข้อมูลในอดีตที่สามารถอ้างอิง
สำหรับการศึกษาได้เป็นจำนวนมาก กอปรกับการที่แหล่งสัมปทานอาทิตย์นั้น มีโครงสร้างทาง
ธรณีวิทยาที่ไม่ซับซ้อนมากนักเมื่อเทียบกับบริเวณใกล้เคียง ซึ่งตรงกับความตั้งใจของผู้วิจัยที่ไม่
ต้องการจะนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์เชิงลึกทางธรณีวิทยาโดยไม่จำเป็น เนื่องจากไม่ใช่วัตถุประสงค์
หลักของงานวิจัยฉบับนี้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยฉบับนี้ มุ่งเน้นการนำเสนอกรอบแนวคิดในการการพัฒนาแบบจำลองเพื่อวัตถุประสงค์ในการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาโดยประยุกต์ใช้ฟิซซีลอจิก ซึ่งจะทำให้ผู้ที่สนใจ สามารถทำความเข้าใจถึงการทำงานของฟิซซีลอจิก และสามารถใช้นโยบายที่นำเสนอในงานวิจัย เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองฟิซซีเพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจสำหรับแหล่งสำรวจต่างๆได้

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

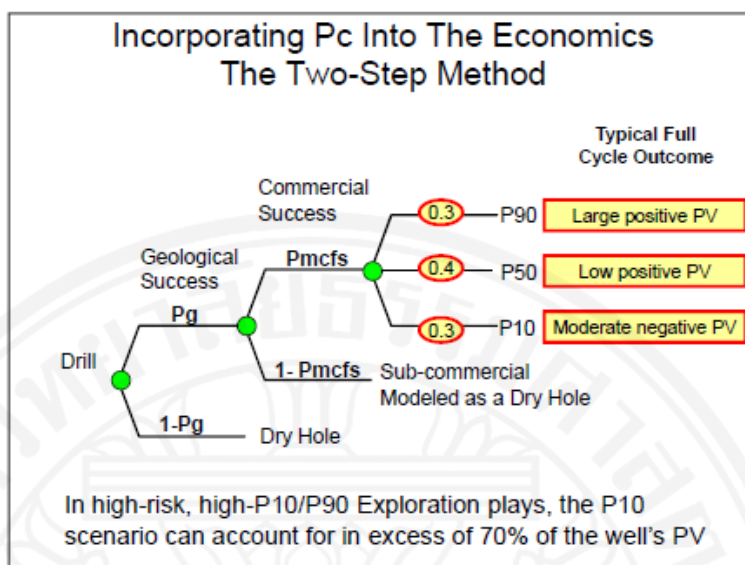
2.1 บทนำ

หัวข้อแรกที่จะทำการกล่าวถึงในบทนี้คือการทำความเข้าใจเกี่ยวกับค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา ทั้งในเรื่องของที่มา และความสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกลงทุน รวมทั้งอภิปรายถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 2 จะเป็นการวิเคราะห์ถึงเครื่องมือที่มีการใช้งานเพื่อการจำลองการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญรูปแบบต่างๆ และส่วนที่ 3 คือการอธิบายถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับฟิชซีลोजิก

2.1.1 ความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา

ค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา (Possibility of geological success, P_g) ถูกสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ความไม่แน่นอนทางธรณีวิทยานั้น ได้ถูกสะท้อนเป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันของโครงการ (Net present value, NPV) รวมทั้งการคำนวณมูลค่าคาดคะเนทางการเงิน (Expected monetary value, EMV) เพื่อการตัดสินใจลงทุนในโครงการสำรวจปิโตรเลียม โดยที่ค่าดังกล่าว จะบอกถึงโอกาสที่จะขุดพบแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมตามที่นักธรณีวิทยาได้ทำการประเมินเอาไว้ ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์กับค่าความน่าจะเป็นอื่นๆที่เกี่ยวข้องในการประเมินมูลค่าทางการเงินของโครงการได้ดังภาพที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าความน่าจะเป็นที่การขุดสำรวจจะมีความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ (Possibility of commercial success, P_c) นั้นถูกกำหนดโดยค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา และโอกาสที่จะขุดพบแหล่งกักเก็บที่มีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้เกิดความคุ้มค่าเชิงพาณิชย์ (Minimum commercial field size, P_{mcf})

โดยในทางธรณีวิทยาแล้ว ในการที่การกำเนิดและสะสมตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะเกิดขึ้นนั้น ปัจจัยที่จำเป็นคือการที่หินในแหล่งกักเก็บจะต้องมีความพรุน (Porous) และมีคุณสมบัติให้ปิโตรเลียมสามารถไหลผ่านได้ (Permeable) โดยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะเดินทางจากหินแหล่งกำเนิด (Source rock) ไปยังแหล่งกักเก็บ โดยที่มีหินที่ทำหน้าที่กั้นไม่ให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไหลออกได้ จึงจะทำให้การเกิดของแหล่งกักเก็บนั้นเสร็จสมบูรณ์ (Dott and Reynolds, 1969)

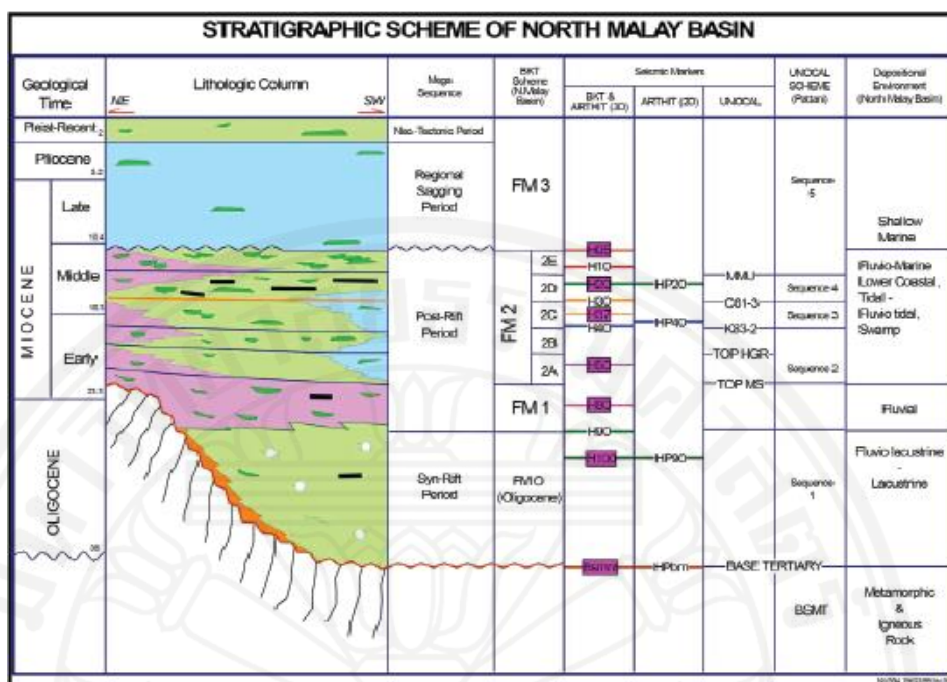


ภาพที่ 2.1 แสดงให้เห็นความสำคัญของค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาที่กำหนดถึงภาพรวมของ ความน่าจะเป็นของโครงการทั้งหมด (J. Eric Bickel et al, 2008)

ซึ่งถ้าขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์แล้ว จะส่งผลให้ไม่เกิดแหล่งกักเก็บขึ้นในบริเวณ นั้น แนวคิดนี้ถือเป็นแนวคิดพื้นฐานสำหรับการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาในปัจจุบัน โดยที่แต่ละตัวแปรจะถูกพิจารณาอย่างเป็นอิสระต่อกัน

เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการประเมินค่าความน่าจะเป็น ทางธรณีวิทยา ผู้ศึกษาจำเป็นต้องเข้าใจถึงพื้นฐานของการกำเนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ก่อน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละพื้นที่ โดยสำหรับแหล่งสัมปทานอาทิตย์ ซึ่งตั้งอยู่บนแอ่งมาเลย์ สามารถอธิบายได้จากแผนภาพการลำดับชั้นหินได้ดังภาพที่ 2.2

ลำดับในการเกิดของชั้นหิน (DMF, 2542) ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของปิโตรเลียม เริ่มจากชั้นหินในช่วงของ Syn-Rift period (FM 0) ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นช่วงปลายของยุค Oligocene ซึ่งมีอายุกว่า 30 – 35 ล้านปี โดยเกิดจากการสะสมกันของตะกอนธารน้ำกึ่งทะเลสาบ (Fluvio-lacustrine) ซึ่งประกอบด้วยหินดินดานปนหินทราย และตะกอนน้ำพัดพารูปร่างพัด (Alluvial fans) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินเหนียวสีเทา แทรกสลับกับหินทรายสีเทาขนาดปานกลางถึงหยาบ โดยชั้นหินในยุคนี้เอง ที่ทำหน้าที่เป็นหินแหล่งกำเนิด (Source rock) ให้กับปิโตรเลียมที่ถูกขุดค้นพบ ในชั้นหินที่อยู่เหนือขึ้นไป



ภาพที่ 2.2 แสดงลำดับชั้นหินของแอ่งมาเลย์ทางเหนือ (Intharawijitr and Triamwichanon, 1998)

ต่อมาในยุคของ Miocene ชั้นหินในยุคนี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของ Post-Rift period ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรก (FM 1) เกิดจากการทับถมของตะกอนในช่วงต้นของยุค Miocene ซึ่งประกอบด้วยตะกอนธารน้ำกึ่งทะเลสาบ และตะกอนของที่ราบน้ำท่วมถึง ที่มีความหนาโดยเฉลี่ย 600 – 1500 เมตร โดยครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมดของแหล่งสัมปทานอาทิตย์ และส่วนที่สอง (FM 2) ซึ่งเกิดในช่วงกลางของยุค Miocene ซึ่งพื้นผิวเริ่มได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมทางทะเล โดยชั้นหินในยุคนี้มีความหนาเฉลี่ยระหว่าง 600 – 1300 เมตร โดยชั้นหินในส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บ (Reservoir) ให้กับปิโตรเลียมที่เกิดขึ้นจากหินแหล่งกำเนิดในช่วง Syn-Rift period ที่เคลื่อนที่ (Migration) ขึ้นมาตามช่องทางต่างๆ โดยที่แหล่งกักเก็บจะสมบูรณ์ได้นั้น จะต้องมิตั้งหินที่สามารถปิดกั้น (Seal) ไม่ให้ปิโตรเลียมเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกักเก็บ และต้องมีลักษณะของโครงสร้าง (Closure) ที่เอื้ออำนวยต่อการกักเก็บปิโตรเลียมด้วย

ลำดับสุดท้ายของชั้นหินที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในช่วงปลายของยุค Miocene ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของ Regional sagging period โดยชั้นหินในส่วนนี้มีส่วนประกอบหลักคือดิน และแทรกไปด้วยทรายแม่น้ำ (Fluvial Sand) ที่เกิดจากการพัดพาโดยทางน้ำ โดยชั้นหินในยุคนี้จะทำหน้าที่เป็นชั้นหินปิดกั้น เพื่อไม่ให้ปิโตรเลียมที่เดินทางขึ้นมานั้น ขึ้นไปสู่ผิวโลกได้

จากลำดับการเกิดของชั้นหินดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ในการที่การเกิดขึ้นของแหล่งกักเก็บจะสมบูรณ์ได้นั้น ต้องประกอบไปด้วยปัจจัยทั้งหมด 5 ประการ (PTTEP, 2006) คือ

- **ปัจจัยทางด้านหินต้นกำเนิด (Source rock)**

ว่าด้วยการศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการก่อกำเนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยทั่วไปแล้วจะพิจารณาถึงขนาด และชนิดของหินต้นกำเนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ตัวแปรย่อย คือ Richness, Volume และ Maturity

- **ปัจจัยทางด้านเวลา และเส้นทางการไหล (Timing/Migration)**

Timing คือปัจจัยที่ว่าด้วยการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดขึ้นของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และการเกิดขึ้นของโครงสร้างของแหล่งกักเก็บ ส่วน Migration คือการศึกษาถึงการเคลื่อนที่ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากแหล่งกำเนิด ไปยังแหล่งกักเก็บ โดยทั้งสองปัจจัย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ตัวแปรย่อย คือ Media competency, Migration pathway และ Timing

- **ปัจจัยทางด้านแหล่งกักเก็บ (Reservoir)**

เป็นปัจจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความพรุน และความสามารถในการกักเก็บของหิน ซึ่งจะศึกษาถึงตัวแปรย่อย 2 ตัว คือ Presence และ Quality

- **ปัจจัยทางด้านการปิดกั้น (Seal)**

การปิดกั้นนั้นอาจเกิดจากหิน หรือสารประกอบอื่นๆ ซึ่งเกิดขึ้นได้ใน 3 ลักษณะ คือ Top Seal, Lateral Seal และ Base seal

- **ปัจจัยทางด้านโครงสร้าง (Closure)**

ว่าด้วยการศึกษาถึงลักษณะโครงสร้างของแหล่งกักเก็บว่าจะสามารถกักเก็บปิโตรเลียมเอาไว้ได้หรือไม่ ซึ่งปัจจัยนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปร 2 ตัว คือ Map reliability และ Presence

ซึ่งการประเมินความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาสำหรับโครงการขุดสำรวจ ทำได้โดยการศึกษาข้อมูลทางธรณีวิทยา เพื่อทำการประเมินถึงโอกาสที่จะเกิดปัจจัยแต่ละปัจจัยขึ้น โดยค่าที่ได้จากการคูณกันของค่าความน่าจะเป็นทั้ง 5 นั้นจะเป็นค่าที่บอกถึงโอกาสที่แหล่งปิโตรเลียมที่พิจารณานั้นจะมีปริมาณที่มากพอที่จะทำให้เกิดการไหลได้ (Rose, 1992) ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการที่ 2.1

$$\%P_g = (p_1 \times p_2 \times p_3 \times p_4 \times p_5) \quad (2.1)$$

โดยที่

$\% P_g$ = ความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาที่จะขุดพบปิโตรเลียม

p_1 = ความน่าจะเป็นที่จะมีหินแหล่งกำเนิด

p_2 = ความน่าจะเป็นที่จะมีช่องทางให้ปิโตรเลียมไหลผ่านไปยังแหล่งกักเก็บ

p_3 = ความน่าจะเป็นที่จะมีแหล่งกักเก็บอยู่จริง

p_4 = ความน่าจะเป็นที่จะมีหินที่ทำหน้าที่ปิดกั้นอยู่จริง

p_5 = ความน่าจะเป็นที่แหล่งกักเก็บจะมีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการกักเก็บ

2.1.2 เครื่องมือเพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ หรือ Decision support system นั้นถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้จัดการ รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจในสถานการณ์ที่มีความซับซ้อน โดยการใช้งานกฎ แบบจำลอง และเครื่องมือต่างๆร่วมกับระบบฐานข้อมูล และความเห็นของผู้ที่มีหน้าที่ตัดสินใจ (Turban E, 1990) ซึ่งประกอบด้วยส่วนย่อย ดังนี้ (Pandian V et al, 2004)

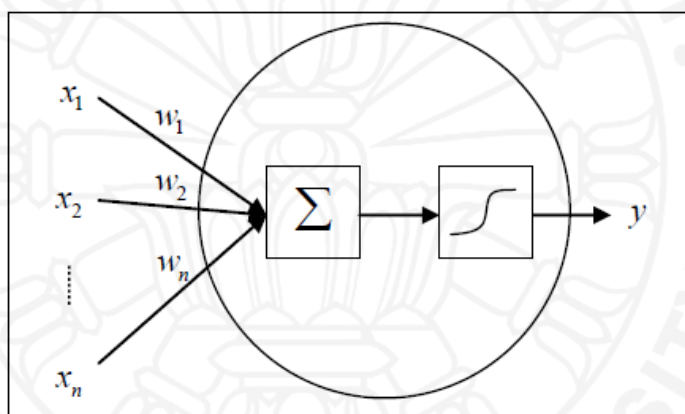
- (1) Operation Research (OR)
- (2) Management Science (MS)
- (3) Database Technology
- (4) Artificial Intelligence (AI)
- (5) System Engineering
- (6) Decision analysis

ระบบผู้เชี่ยวชาญ หรือ Expert system เป็นสาขาย่อยหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ที่จำลองการตัดสินใจของมนุษย์ของผู้เป็นผู้เชี่ยวชาญในด้านใดด้านหนึ่ง โดยใช้ความรู้และการสรุปเหตุผลเชิงอนุมาน (inference) ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนที่ต้องอาศัยองค์ความรู้เฉพาะทาง เช่น การตีความหมาย (Interpretation) การวินิจฉัย (Diagnosis) การควบคุม (Monitoring) การทำนาย (Predict) และการวางแผน (Planning) โดยระบบผู้เชี่ยวชาญได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้งานในระบบต่างๆ อย่างแพร่หลายมากกว่า 30 ปี ไม่ว่าจะเป็นในแวดวงธุรกิจ การแพทย์ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม อุตสาหกรรม เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ (Songsak, 2009) โดยเครื่องมือที่นิยมใช้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาเพื่อเปรียบเทียบหาเครื่องมือที่เหมาะสมในการใช้งานเพื่อการประเมินความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยานั้นมี 4 ชนิด คือ โครงข่ายประสาทเทียม

(Artificial neural network, ANN), ฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic system, FLS), การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) และ วิธีเดลฟาย (Delphi method)

2.1.2.1 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network, ANN)

คือโมเดลทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (Connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และการสร้างความรู้ใหม่ (Knowledge Extraction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมอง

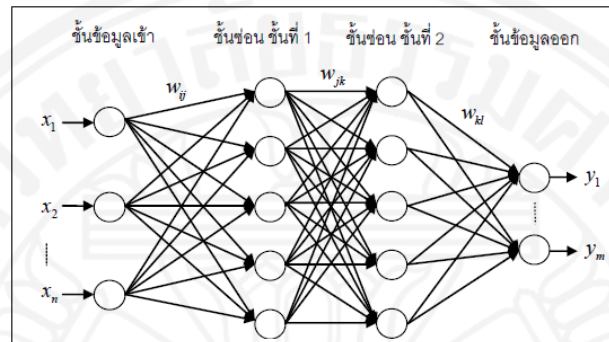


ภาพที่ 2.3 แบบจำลองของเซลล์ประสาทหนึ่งเซลล์. จาก การพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์, 4(1), 37, โดย นันทชัย กานตานันทะ, 2555.

ANN สามารถทำงานได้เมื่อมีข้อมูลนำเข้ามายัง network ระบบจะทำการคำนวณโดยใช้ค่าน้ำหนัก มาคูณกับค่าน้ำหนัก (weight) ของแต่ละตัวแปร หลังจากนั้น Neuron จะนำผลที่ได้จากแต่ละตัวแปรมารวมกัน โดยมีการกำหนดค่า Threshold ที่แต่ละ neuron เอาไว้ ซึ่งผลรวมของค่าอินพุตนั้น จะต้องไม่น้อยกว่าค่า Threshold จึงจะถูกส่งต่อไปยังอินพุตของ Neuron อื่นๆที่เชื่อมต่อกันเป็นระบบประสาทเทียม จะเห็นได้ว่า สิ่งที่สำคัญของการออกแบบระบบโครงข่ายประสาทเทียม คือการกำหนดค่าน้ำหนัก และค่า Threshold ของแต่ละอินพุตให้ถูกต้อง

โครงสร้างที่นิยมใช้ในการออกแบบ ANN คือ ANN แบบหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron, MLP) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบป้อนไปข้างหน้า โครงสร้างนี้จะประกอบไปด้วยชั้น (Layer) ต่างๆ 3 ชั้น ได้แก่ชั้นข้อมูลเข้า (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นข้อมูลออก

(Output Layer) โดยข้อมูลจะถูกส่งจากชั้นข้อมูลเข้าไปถึงชั้นข้อมูลออกโดยไม่มีการส่งย้อนกลับ และใช้เทคนิคการเรียนรู้โดยวิธีที่ปรับค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสมโดยพิจารณาจากผลต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้กับผลลัพธ์ที่ต้องการ

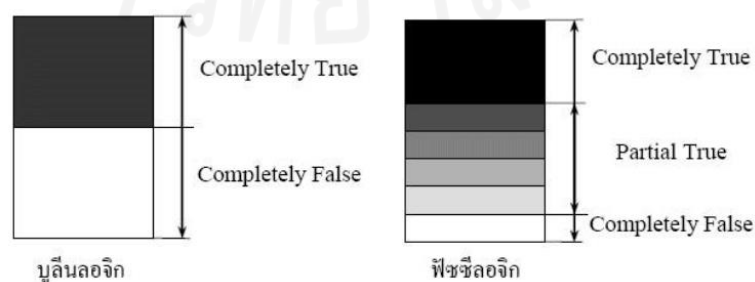


ภาพที่ 2.4 Artificial neural network แบบหลายชั้น. จาก การพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์, 4(1), 38, โดย นันทชัย กานตานันทะ, 2555.

2.1.2.2 ฟัชซีลอจิก

ฟัชซีลอจิก เป็นแนวคิดที่ใช้การกำหนดระดับความเป็นสมาชิก (degree of membership) เพื่อจำลองสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติ โดยเฉพาะการให้ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญซึ่งมักจะใช้สามัญสำนึกในการแก้ปัญหา ซึ่งมีความคลุมเครือในความหมายเมื่อพิจารณาเชิงตัวเลข

ตรรกะแบบ Fuzzy มีคุณสมบัติพิเศษคือทำให้ข้อมูลมีความยืดหยุ่นได้ โดยการจำลองวิธีคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ซึ่งเป็นแนวคิดที่ขยายออกจากหลักตรรกศาสตร์แบบเดิมที่มีเพียงค่าจริง และค่าเท็จ โดยมีการเพิ่มส่วนที่เป็นค่าที่อยู่ระหว่างค่าจริง และค่าเท็จเข้าไป โดยมีการให้ค่าระดับความเป็นสมาชิกกับสมาชิกที่อยู่ในฟัชซีเซตเข้าไปด้วย



ภาพที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบตรรกะแบบจริงเท็จ และตรรกะแบบฟัชซี, โดย พยุง มีสัจ, 2553.

การทำงานของฟัชซิลอจิก ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน คือ

1. การเตรียมค่าอินพุตให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานกับระบบฟัชซี
2. การกำหนดกฎ หรือเงื่อนไขที่ใช้ในการควบคุมเพื่อจำลองการตัดสินใจ
3. การอนุมานผลลัพธ์ที่ได้จากการตัดสินใจของระบบ
4. การแปลงผลลัพธ์ที่ได้จากระบบฟัชซี ให้อยู่ในรูปของผลลัพธ์ที่สามารถใช้

งานได้ในโลกความเป็นจริง

จะเห็นได้ว่าการทำงานของฟัชซิลอจิกนั้น มีความคล้ายคลึงกับระบบโครงข่ายประสาทเทียม ในการประมาณค่าความสัมพันธ์ แต่ต่างกันตรงที่ฟัชซิลอจิก ไม่ได้ใช้การเรียนรู้ แต่อาศัยองค์ความรู้ที่อยู่ในฐานความรู้ (Knowledge Base) แทน

2.1.2.3 การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making, MCDM)

การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์นั้น คือ เป็นวิธีการตัดสินใจที่ใช้ได้กับทั้งการพิจารณาปัจจัยเชิงคุณภาพ และปริมาณ โดยการเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด จากทางเลือกทั้งหมดที่มีภายใต้ปัจจัยต่างๆ ที่อาจจะมีความขัดแย้งกันหรือไม่ก็ได้ ซึ่งทางเลือกดังกล่าวจะต้องส่งผลให้วัตถุประสงค์ที่กำหนดเอาไว้ั้น บรรลุให้ได้มากที่สุด (Optimal solution) โดยมีกระบวนการตัดสินใจที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของ การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์

1. การระบุปัญหา (Problem recognition)

ถือเป็นขั้นตอนเริ่มต้นเพื่อทำความเข้าใจกับปัญหา เช่น ที่มาของปัญหา สภาพแวดล้อมของปัญหา ผลกระทบของปัญหา ซึ่งจะถูกใช้เพื่อประกอบการพิจารณาในการเลือกทางเลือกต่อไป

2. การระบุทางเลือกที่เป็นไปได้ (Identification of Alternatives)

เป็นขั้นตอนที่กำหนดทางเลือกทั้งหมดของปัญหา โดยทางเลือกที่ถูกกำหนดขึ้นนั้น อาจจะไม่จำเป็นต้องเป็นทางเลือกที่มีอยู่ทั้งหมด แต่ให้พิจารณาเฉพาะทางเลือกที่สามารถปฏิบัติจริงได้เท่านั้น

3. การวิเคราะห์ทางเลือก (Alternative Analysis)

เป็นขั้นตอนที่พิจารณาทางเลือกที่ถูกสร้างขึ้นในขั้นตอนที่ผ่านมา โดยมีขั้นตอนการระบุเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพของทางเลือก ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้จะต้องมีความสอดคล้องกับตัวปัญหาที่เกิดขึ้น

4. การเลือกทางเลือกที่เหมาะสม (Choice Process)

เป็นขั้นตอนการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในกรณีที่ปัญหาที่มีความซับซ้อนนั้น ทางเลือกที่มีความเหมาะสมต่อการแก้ไขปัญหานั้นอาจจะเป็นไปได้หลายทาง ดังนั้น การอาศัยเครื่องมือ หรือเทคนิคกระบวนการคิดในการพิจารณาทางเลือกจึงมีความจำเป็น

5. การประเมินผลหลังการตัดสินใจ (Post-Choice Evaluation)

เป็นขั้นตอนการตรวจสอบ และประเมินผลของการเลือกทางเลือกว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่

2.1.2.4 วิธีเดลฟาย (Delphi method)

เป็นกระบวนการในการตัดสินใจต่อปัญหาโดยปราศจากการเผชิญหน้ากันโดยตรงของผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยอาศัยการรวบรวมข้อมูลผ่านการตอบแบบสอบถามโดยกลุ่มของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งสามารถลดปัญหาในแง่ของการถูกรบกวนทางความคิดได้ เพราะผู้เชี่ยวชาญสามารถแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ ซึ่งขั้นตอนการใช้งานวิธีเดลฟายนั้น ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

1. การวางกรอบการเก็บข้อมูล

คือ การกำหนดคำถามสำหรับวางกรอบการเก็บข้อมูล โดยปัญหาที่จะทำการวิจัยนั้นจะต้องสามารถตัดสินได้จากการวิเคราะห์ และวิจัยผู้เชี่ยวชาญในสาขานั้นๆ

2. การเลือกกลุ่มของผู้เชี่ยวชาญ

สิ่งที่สำคัญคือขนาดของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญซึ่งควรจะมิขนาดไม่น้อยกว่า 17 คน เพื่อให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (Macmillan, 1971) นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติ และความร่วมมือของผู้เชี่ยวชาญในการตอบแบบสอบถามด้วย

3. การทำแบบสอบถาม

จำนวนครั้งในการตอบแบบสอบถามนั้น มักจะไม่เกินสี่ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งจะมีลักษณะของคำถามที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

- คำถามสำหรับแบบสอบถามรอบที่ 1 จะเป็นคำถามปลายเปิด และเป็นการถามแบบไม่เฉพาะเจาะจงเพื่อให้ครอบคลุมขอบเขตของปัญหา
- คำถามสำหรับแบบสอบถามรอบที่ 2 นั้น จะเป็นคำถามที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของแบบสอบถามในรอบแรก นำมาสร้างเป็นแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่าเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญให้น้ำหนักของความสำคัญในแต่ละข้อได้
- คำถามสำหรับแบบสอบถามรอบที่ 3 เกิดขึ้นหลังจากการนำคำตอบของแบบสอบถามในรอบที่ 2 มาวิเคราะห์ความสอดคล้องกันระหว่างคำตอบของผู้เชี่ยวชาญ โดยคำถามในรอบนี้ จะมีวัตถุประสงค์เพื่อการตรวจสอบความเห็นของผู้เชี่ยวชาญซ้ำ และเปิดโอกาสให้มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบได้
- คำถามสำหรับแบบสอบถามรอบที่ 4 จะเป็นการดำเนินการซ้ำกับการทำแบบสอบถามรอบที่ 3 ในกรณีที่คำตอบของผู้เชี่ยวชาญยังขาดความสอดคล้องกันอยู่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผลที่ได้จากการทำแบบสอบถามรอบที่ 4 จะได้ข้อสรุปใกล้เคียงกับการทำแบบสอบถามรอบที่ 3

สำหรับประเภท และลักษณะของปัญหาที่เหมาะสมในการใช้เทคนิคเดลฟาย คือ ปัญหาที่ไม่มีคำตอบที่ถูกต้องแน่นอน และต้องการความคิดเห็นจากหลายๆด้าน โดยหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการให้ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน (ใจทิพย์ เชื้อรัตนพงษ์, 2552)

2.1.2.5 การเลือกเครื่องมือในการใช้งาน

จากการศึกษาไม่พบว่ามีข้อสรุปอย่างชัดเจนว่าวิธีการใด เป็นวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการใช้งานเพื่อระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว การเลือกใช้เครื่องมือในการออกแบบนั้น ขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ที่ต้องการ วัตถุประสงค์ในการออกแบบ และข้อมูลที่มีอยู่ในขณะนั้น (นันทชัย กานตานันทะ, 2555)

เมื่อพิจารณาถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาแล้วพบว่า มีตัวแปรหลายตัวที่อาศัยความรู้สึก หรือสามัญสำนึกของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินค่า และไม่สามารถระบุขอบเขตของการตัดสินใจได้อย่างชัดเจน ทำให้เกิดความคลุมเครือในการตัดสินใจเลือกใช้ค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาสำหรับโครงการสำรวจ ดังนั้น เครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดในกรณีนี้จึงเป็นการใช้ฟัชซีลอจิกในการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อช่วยในการตัดสินใจต่อปัญหาที่มีความคลุมเครือ หรือมีการใช้ความรู้สึกมาเกี่ยวข้องในการตัดสินใจ

แม้ว่า Delphi ก็เป็นการหาคำตอบของปัญหาโดยอาศัยความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีพื้นฐานใกล้เคียงกับฟัชซีลอจิก แต่มีข้อเสียที่ความยืดหยุ่นของคำตอบ ที่ต้องทำแบบสอบถามให้ครอบคลุมในทุกมิติทั้งหมดที่เป็นไปได้ เนื่องจากไม่ได้มีการสร้างแบบจำลองเพื่อการประเมินค่าเหมือนฟัชซีลอจิก

ส่วน ANN นั้น แม้จะสามารถใช้สำหรับการตัดสินใจที่มีความคลุมเครือได้ แต่ไม่เหมาะสมกับการใช้งานของผู้วิจัยในกรณีนี้ เนื่องจากไม่มี Training data สำหรับให้ระบบเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุต นอกจากนี้ ANN ยังไม่สามารถสืบกลับถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตได้ ทำให้ไม่สามารถระบุถึงจุดที่สร้างความแตกต่าง ในกรณีที่ผลการประเมินโดยการใช้เครื่องมืออื่น มีความแตกต่างจากสิ่งที่ผู้เชี่ยวชาญคาดการณ์เอาไว้ได้

2.1.3 ฟัชซีลอจิก

ทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือ หรือ Fuzzy logic ได้ถูกนำเสนอในปี ค.ศ. 1965 โดย นักคณิตศาสตร์ชื่อ Lofti A. Zadeh จากมหาวิทยาลัย University of California at Berkeley ซึ่งในปี ค.ศ. 1965, Zadeh ได้ให้ความหมายในภาพกว้างของฟัชซีลอจิกไว้ว่า “Fuzzy logic is

determined as a set of mathematical principles for knowledge representation based on degrees of membership rather than on crisp membership of classical binary logic.”

ฟัซซีลอจิก เป็นแนวคิดที่ใช้การกำหนดระดับความเป็นสมาชิก (degree of membership) เพื่อจำลองสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งที่มีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (พยุ่ง มีสัจ, 2553) โดยเฉพาะการให้ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญซึ่งมักจะใช้สามัญสำนึกในการแก้ปัญหา ซึ่งมีความคลุมเครือในความหมายเมื่อพิจารณาเชิงตัวเลข โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการทำให้อุปกรณ์ที่คลุมเครือนั้น มีความชัดเจนมากขึ้น

การทำงานของฟัซซีลอจิก ประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อยทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ

1. Fuzzifier

เป็นขั้นตอนการแปลงค่าอินพุต ให้มีความเหมาะสมตามฟัซซีลอจิก และให้เป็นค่าความเป็นสมาชิก จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้ออกแบบไว้ แล้วทำการรวมผลลัพธ์ของ อินพุตตามเงื่อนไข

2. Rules

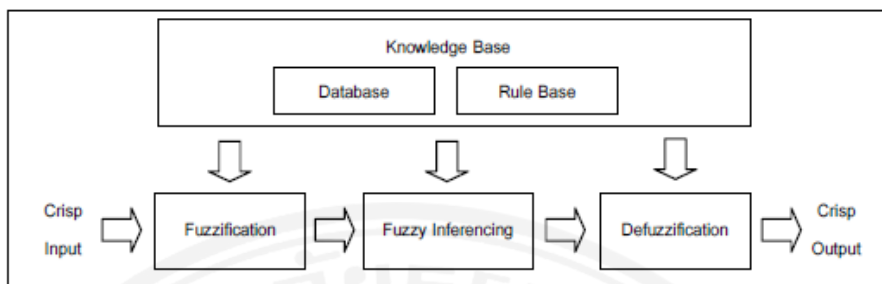
เป็นการออกแบบกฎ หรือเงื่อนไขที่จะใช้ในการดำเนินการควบคุมผลลัพธ์จากระบบ Fuzzy logic ให้เป็นไปตามแนวคิดของการใช้กฎฟัซซีลอจิกในการจำลองการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ

3. Inference

เป็นขั้นตอนการอนุมานผลลัพธ์ที่ได้จากการตัดสินใจของระบบ ที่จะนำไปพิจารณาร่วมกับกฎการทำงานที่สอดคล้องกับเงื่อนไขดังกล่าว แล้วจึงดำเนินการส่งผลลัพธ์ไปยังขั้นตอนต่อไป

4. Defuzzifier

เป็นขั้นตอนการแปลงผลลัพธ์เชิงภาษาที่ได้จากกลไกการอนุมาน ให้อยู่ในรูปแบบผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับค่าความเป็นจริง



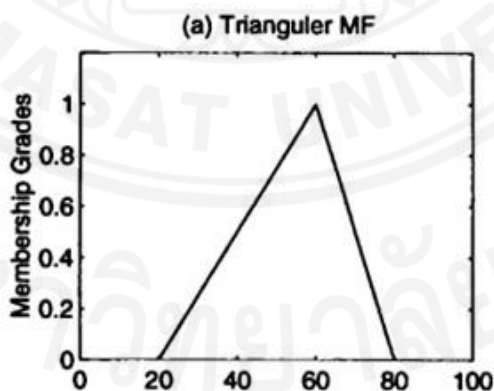
ภาพที่ 2.7 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซี. จาก การพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์, 4(1), 39, โดย นันทชัย กานตานันทะ, 2555.

คำจำกัดความของค่าเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับฟัซซีลอจิก

1. ฟัซซีเซต (Fuzzy set) เป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบที่ครอบคลุมเซตแบบดั้งเดิม โดยหลักสำคัญของทฤษฎีฟัซซีเซตคือ ยอมรับสมาชิกที่มีลักษณะตามที่กำหนดแม้เพียงบางส่วนเข้ามาเป็นสมาชิก โดยสมาชิกทุกค่ามีการให้น้ำหนักค่าระดับความเป็นสมาชิกกำกับไว้ด้วย

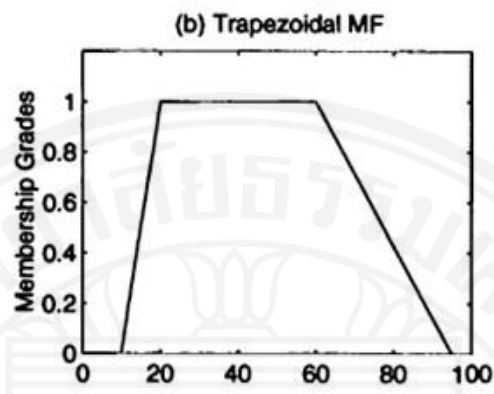
2. ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership function) เป็นฟังก์ชันที่กำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่สนใจ ซึ่งชนิดของฟังก์ชันสมาชิกที่เลือกใช้มีความสำคัญต่อกระบวนการอนุมานของระบบ โดยฟังก์ชันสมาชิกนั้น จะอยู่ในรูปแบบที่สมมาตรหรือไม่ก็ได้ โดยสามารถแสดงฟังก์ชันสมาชิกที่นิยมใช้งานได้ ดังนี้

1. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Triangular)



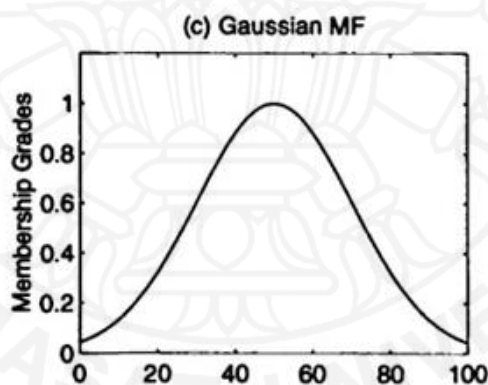
ภาพที่ 2.8 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบสามเหลี่ยม

2. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบคางหมู (Trapezoid)



ภาพที่ 2.9 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบคางหมู

3. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน (Gaussian)



ภาพที่ 2.10 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบเกาส์เซียน

3. ตัวแปรเชิงภาษา (Linguistic variable) คือเซตแบบฟัซซีที่สามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิมซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในฟัซซีลอจิก โดยตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพ โดยใช้พจน์ภาษา (Linguistic Term) และในรูปปริมาณโดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเป้าหมายในการสร้างแนวคิดในการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา ที่จะชดเชยแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมในบริเวณที่ทำการศึกษา โดยการพัฒนาระบบการประเมินด้วยฟัซซีลอจิก โดยจะอาศัยการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา นำมาเป็นตัวแปรอินพุตให้กับระบบการประเมิน เพื่อทำการประมาณค่าเอาท์พุตที่ควรจะเป็น เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาของโครงการสำรวจปิโตรเลียม โดยผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยา

3.1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการประเมินอินพุต และเอาท์พุต
2. ออกแบบระบบฟัซซีเพื่อการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาตามขั้นตอนต่อไปนี้
 - ก. กำหนดขอบเขตให้กับตัวแปรอินพุต และเอาท์พุต
 - ข. กำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้กับตัวแปรอินพุต และเอาท์พุต
 - ค. กำหนดกฎให้กับระบบฟัซซี
 - ง. กำหนดฟังก์ชันการอนุมานให้กับระบบฟัซซี
 - จ. การทำ Defuzzifier
3. ตรวจสอบความถูกต้องของระบบฟัซซีที่ถูกออกแบบไว้

3.1.2 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการประเมินอินพุต และเอาท์พุต

ทำการหาข้อมูลจากงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งตำราเรียนจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น จากฐานข้อมูลของห้องสมุดมหาวิทยาลัย จากฐานข้อมูลของหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งฐานข้อมูลในอดีตของแหล่งสำรวจที่สนใจ หรือแหล่งข้างเคียง และการสืบค้นข้อมูลจากตำราเรียนของนักธรณีวิทยา อย่างไรก็ตาม อินพุตของระบบฟัซซีที่ใช้สำหรับแหล่งกักเก็บที่แตกต่างกันนั้น ไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีของแหล่งสัมปทานอาทิพย์ จะสามารถตัดตัวแปรอินพุตบางตัวออกได้ เนื่องจากการประเมินค่าที่ควรจะเป็นนั้น สามารถทำได้โดยอาศัยฐานข้อมูลที่ได้จากการขุดสำรวจในอดีต ที่มีความแม่นยำมากกว่าการให้ความเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญ

โดยงานวิจัยที่ต้องทำการศึกษาค้นคว้าได้แก่

3.1.2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับหินต้นกำเนิด (Source Rock)

เอาท์พุทในการพิจารณาตัวแปรเกี่ยวกับหินต้นกำเนิดนั้น คือค่าความน่าจะเป็น (ความมั่นใจ) ที่หินต้นกำเนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนั้นจะเกิดการบ่มตัวจากความร้อนนั้น จะมีปัจจัยสนับสนุนที่เหมาะสม ที่จะสามารถผลิตสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้มากพอที่จะส่งต่อไปยังแหล่งกักเก็บ โดยค่าความน่าจะเป็นของปัจจัยเกี่ยวข้องกับหินต้นกำเนิดนี้ในบางพื้นที่ อาจจะมีค่าสูงมาก หรือเท่ากับ 100% ในกรณีของแหล่งปิโตรเลียมที่มีการขุดสำรวจมากพอจนสามารถสรุปได้จากข้อมูลผลการขุดสำรวจในอดีต โดยไม่ต้องทำการประเมินซ้ำจากข้อมูลทางธรณีวิทยา

สำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาหินต้นกำเนิด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มย่อยได้ดังนี้

1. Richness

หมายถึงสัดส่วนของส่วนประกอบสารอินทรีย์ในหินแหล่งกำเนิดและปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่น่าจะผลิตได้ ซึ่งสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่มาก ก็จะทำให้มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากไปด้วย ซึ่งจะใช้การเก็บตัวอย่างชั้นหินจากหลุมสำรวจ เพื่อทำการวิเคราะห์ทาง Organic Geochemistry โดยมีตัวอย่างของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- a. ค่า Organic Richness ซึ่งบ่งบอกถึงสัดส่วนของสารอินทรีย์ในหินต้นกำเนิด
- b. ค่า Total organic carbon (TOC) ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณคาร์บอนที่ถูกพบจากสารอินทรีย์
- c. ค่า S1 ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในหินตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์
- d. ค่า S2 ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อน แสดงถึงศักยภาพของหินตัวอย่างในการให้กำเนิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

2. Volume

หมายถึงปริมาตรของหินแหล่งกำเนิด โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ความหนาและความกว้างของพื้นที่ที่เป็นหินต้นกำเนิด รวมถึงการพิจารณาถึงข้อมูลการขุดเจาะหลุมสำรวจในอดีต ซึ่งปริมาตรนั้นจะแปรผันตรงกับปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่ผลิตได้

3. Maturity

หมายถึงระดับความอิมตัวของการบ่มภายใต้อุณหภูมิ และแรงดันจากชั้นหินใต้ผิวโลก ซึ่งเป็นข้อมูลที่ต้องพิจารณาร่วมกับปัจจัยทางด้าน Richness จึงจะสามารถสรุปได้ว่าหินต้นกำเนิดนั้นมีความอิมตัวมากพอหรือไม่ โดยเทียบกับ Maturation range chart มีตัวอย่างของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- Vitrinite reflectance (%Ro) เป็นการศึกษาหาค่าการสะท้อนแสงของสาร vitrinite ซึ่งเป็นตัวชี้วัดค่าความร้อนของถ่านหินในแอ่งสะสมตะกอนขณะสะสมตัว และบอกถึงอุณหภูมิของสารเคอโรเจนในหินต้นกำเนิดว่ามีศักยภาพพอที่จะสามารถให้น้ำมันออกมาได้หรือไม่
- Tmax เป็นค่าอุณหภูมิในเอื้อต่อการเกิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยอัตราที่สูงที่สุด ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของคีโรเจนในแหล่งกำเนิด
- Thermal gradients เป็นการดูถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- Burial history เพื่อศึกษาถึงอายุ และรูปแบบของชั้นหิน

ตารางที่ 3.1 Maturation range chart

Level of Thermal Maturity						
Stage of Thermal Maturity for Oil	Maturation			Generation		
	R _o	T _{max}	Thermal Alteration Index (TAI)	Bitumen/TOC	Bitumen	Production Index
	(%)	°C			(mg/g rock)	[S ₁ /(S ₁ + S ₂)]
Immature	0.2-0.6	<435	1.5-2.6	<0.05	<50	<0.10
Mature						
Early	0.6-0.65	435-445	2.6-2.7	0.05-0.10	50-100	0.10-0.15
Peak	0.65-0.9	445-450	2.7-2.9	0.15-0.25	150-250	0.25-0.40
Late	0.9-1.35	450-470	2.9-3.3	---	---	>0.40
Postmature	>1.35	>470	>3.3	---	---	---

From Peters and Cassa, 1994

3.1.2.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเวลา และเส้นทางการไหล

เอาท์พุตในการพิจารณาตัวแปรเกี่ยวกับเวลา และเส้นทางการไหลนั้น คือความน่าจะเป็น (ความมั่นใจ) ที่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิด ไปยังแหล่งกักเก็บที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเกิดการเคลื่อนที่ ในปริมาณที่มากพอที่จะสามารถตรวจสอบได้ โดย

ปัจจัยในหัวข้อนี้ จะเป็นการศึกษาแบบพลวัต เนื่องจากการเคลื่อนที่ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน นั้นจะต้องเกิดขึ้นในเวลาที่เหมาะสม หรือ Critical moment ซึ่งแหล่งกักเก็บนั้นเกิดขึ้น และมีคุณสมบัติที่จะสามารถกักเก็บสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ได้ก่อนที่จะเกิดการเคลื่อนที่ และต้องมีช่องทางที่เชื่อมต่อระหว่างแหล่งกำเนิด และแหล่งกักเก็บ เพื่อให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนนั้น สามารถเคลื่อนที่ไปได้ โดยปริมาณที่เคลื่อนที่ไปนั้นจะต้องไม่น้อยกว่าปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจสอบได้

สำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาเวลา และเส้นทางการไหล สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มย่อยได้ดังนี้

1. Media competency หมายถึงคุณสมบัติทางธรณีวิทยาของเส้นทางที่ไฮโดรคาร์บอนเคลื่อนที่ผ่าน เช่น คุณสมบัติด้านความซึมของชั้นทราย ว่าเอื้อต่อการเดินทางของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหรือไม่ หรือมีพลังงานภายนอกที่ช่วยส่งเสริมให้การเดินทางง่ายขึ้นหรือไม่ เช่น การขยายตัวของก๊าซในแหล่งกำเนิด
2. Migration pathway ซึ่งเป็นการพิจารณาเรื่องของระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิด และแหล่งกักเก็บ ว่าไฮโดรคาร์บอนจะสามารถเคลื่อนที่ไปยังแหล่งกักเก็บได้หรือไม่
3. Timing เป็นการพิจารณาถึงลำดับในการเกิดเหตุการณ์ทางธรณีวิทยา โดยประเด็นที่ต้องให้ความสนใจคือ การเคลื่อนที่ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนั้น เกิดขึ้นก่อน หรือหลังการเกิดของการปิดกั้นของแหล่งกักเก็บ ในกรณีที่เกิดก่อน ก็จะไม่เกิดแหล่งกักเก็บ

3.1.2.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกักเก็บ

เอาท์พุดในการพิจารณาตัวแปรเกี่ยวกับแหล่งกักเก็บ คือความน่าจะเป็น (ความมั่นใจ) ที่หินที่ทำหน้าที่กักเก็บนั้นจะมีอยู่จริง โดยมีค่าความพรุน (Porosity) และค่าความซึม (Permeability) มากพอที่จะกักเก็บสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ในปริมาณที่สามารถตรวจพบได้ ซึ่งทั่วไปแล้ว จะมีการกำหนดคุณสมบัติเกณฑ์ขั้นต่ำของแหล่งกักเก็บที่ถูกรับเอาไว้ เช่น เกณฑ์ของความหนา ความพรุน และความซึมของหินกักเก็บ

สำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกักเก็บ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อยได้ดังนี้

1. Presence เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดคลื่นสะท้อน และการหยั่งธรณี เพื่อตรวจสอบถึงการมีอยู่ของแหล่งกักเก็บ
2. Quality เป็นการพิจารณาถึงคุณสมบัติด้านธรณีวิทยาของหินกักเก็บ โดยตัวแปรที่ต้องให้ความสนใจคือ
 - a. การวัดค่าความพรุนของหินเพื่อประเมินความสามารถในการกักเก็บไฮโดรคาร์บอน
 - b. การวัดขนาดของแหล่งกักเก็บเพื่อประเมินปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในแหล่งกักเก็บ

3.1.2.4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการปิดกั้น

เอาท์พุทในการพิจารณาตัวแปรเกี่ยวกับการปิดกั้น คือความน่าจะเป็น (ความมั่นใจ) ที่การปิดกั้นนั้นเกิดขึ้น โดยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์ทางธรณีวิทยาเกี่ยวกับเนื้อหิน และลักษณะโครงสร้างของแหล่งกักเก็บ ในการวิเคราะห์ว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสามารถรวมตัวกันภายในบริเวณแหล่งกักเก็บ โดยไม่เกิดการรั่วซึมออกไปได้หรือไม่

สำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการปิดกั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อยได้ดังนี้

1. Top seal เป็นการวิเคราะห์การมีอยู่ของชั้นหินที่ทำหน้าที่ปิดกั้น การเคลื่อนที่ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในแนวดิ่ง โดยการพิจารณาตัวแปรดังนี้
 - a. ความต่อเนื่องของชั้นปิดกั้น ซึ่งจะไม่เปิดช่องว่างให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านของไฮโดรคาร์บอน
 - b. ความเปราะของชั้นปิดกั้น ในกรณีที่มีความเปราะมาก จะเพิ่มโอกาสที่จะเกิดช่องว่างให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้
 - c. การมีอยู่ของชั้นปิดกั้น เนื่องจากอาจเกิดการกัดเซาะ หรือถูกรอยเลื่อนตัดผ่าน ทำให้สูญเสียความสามารถในการปิดกั้นไป
2. Lateral seal เป็นการวิเคราะห์การมีอยู่ของชั้นหินที่ทำหน้าที่ปิดกั้น การเคลื่อนที่ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในแนวระนาบ โดยการพิจารณาตัวแปรดังนี้

- a. Fault seal เกิดขึ้นในกรณีที่แหล่งกักเก็บนั้นมียอยเลื่อนเคลื่อนที่ผ่าน จึงต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของรอยเลื่อนนั้นๆ ว่าทำหน้าที่ปิดกั้นได้หรือไม่ เช่น การดูความต่อเนื่องของชั้นปิดกั้น และการเรียงตัวของชั้นหิน และทรายภายหลังเกิดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่า Shale smear factor ซึ่งบ่งบอกถึงความต่อเนื่องของชั้นหินเมื่อเกิดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก
- b. Stratigraphic seal เป็นลักษณะของโครงสร้างที่ไม่มีรอยเลื่อนของเปลือกโลกตัดผ่าน จึงสนใจในเรื่องของความต่อเนื่องของชั้นปิดกั้นเป็นหลัก

3.1.2.5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของแหล่งกักเก็บ

เอาท์พุตในการพิจารณาตัวแปรเกี่ยวกับโครงสร้าง คือความน่าจะเป็น (ความมั่นใจ) ที่แหล่งกักเก็บที่พิจารณานั้นจะมีรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการกักเก็บสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

สำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของแหล่งกักเก็บ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อยได้ดังนี้

1. Map Reliability and control เป็นการวิเคราะห์ถึงความถูกต้องในการแปลค่าข้อมูลทางธรณีวิทยา ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูล
2. Presence เป็นการพิจารณารูปแบบของโครงสร้างว่าอยู่ในรูปแบบใด เนื่องจากความสามารถในการกักเก็บนั้นแตกต่างกัน เช่น โครงสร้างแบบ 4-ways นั้นจะมีความสามารถในการกักเก็บที่ดีกว่าโครงสร้างแบบ 3-Ways

3.1.3 กำหนดขอบเขตให้กับตัวแปรอินพุต และเอาท์พุต

การกำหนดขอบเขตของตัวแปรอินพุต และเอาท์พุตในขั้นตอนนี้ เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาข้อมูลในขั้นตอนที่ 3.1.1.1 มากำหนดขอบเขตของค่าที่เป็นไปได้สำหรับตัวแปรแต่ละตัว โดยในกรณีที่ค่าของตัวแปรได้มาจากการคำนวณ และมีข้อมูลอ้างอิงที่มีความน่าเชื่อถือ เช่น ค่าที่ได้จากหลุมสำรวจข้างเคียง จากงานวิจัยในแหล่งข้างเคียง หรือแหล่งสำรวจที่มีคุณสมบัติทางธรณีวิทยาใกล้เคียงกันนั้น สามารถนำข้อมูลดังกล่าว มาใช้กำหนดเป็นขอบเขตของเซตของตัวแปรได้ สำหรับค่าของตัวแปรเชิงคุณภาพ ที่ต้องใช้พิจารณาของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินค่านั้น

สามารถสมมติให้เป็นช่วงได้ตามความเหมาะสม เช่น ให้ค่าเป็นคะแนนตั้งแต่ 1 – 100 โดยมีการกำหนดนิยามไว้ชัดเจน ว่าค่าดังกล่าวสามารถตีความได้อย่างไรบ้าง

3.1.4 กำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้กับตัวแปรอินพุต และเอาต์พุต

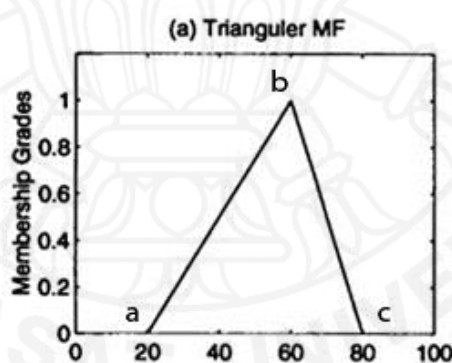
ทำการแปลงจากค่าอินพุตทั่วไป เป็นค่าฟัซซี ทำได้โดยเริ่มจากการแบ่งตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุตออกเป็นช่วงๆโดยอาศัยคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยา โดยที่ผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยาดังกล่าวนั้น อาจจะเป็นเพียงบุคคลเดียว หรือกลุ่มบุคคลก็ได้ เนื่องจากระบบฟัซซีลอจิกสำหรับการประเมินความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยานั้น เป็นระบบที่มีการออกแบบอย่างเฉพาะเจาะจงให้กับผู้ที่ทำหน้าที่ตัดสินใจ ทำให้ตัวแบบที่ถูกสร้างขึ้นนั้น อาจใช้ไม่ได้ในทุกกรณี โดยเฉพาะในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวผู้ทำหน้าที่ตัดสินใจ ด้วยสาเหตุดังกล่าว ดังนั้น การเก็บข้อมูลเพื่อออกแบบระบบฟัซซีลอจิกเพื่อการประเมินความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยานั้น จึงขึ้นอยู่กับรูปแบบของการตัดสินใจที่มีการใช้งานจริง เช่น กรณีที่ใช้มติร่วมของที่ประชุมในการกำหนดค่าดังกล่าว การกำหนดค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรแต่ละตัว ก็ต้องอาศัยมติร่วมของที่ประชุม หรือกรณีที่ใช้การตัดสินใจโดยวิศวกรอาวุโส การกำหนดค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรแต่ละตัว ก็ต้องมาจากการให้ความเห็นของวิศวกรอาวุโสผู้มีหน้าที่ตัดสินใจเท่านั้น จึงจะได้แบบจำลองที่ให้ค่าเอาต์พุตที่มีความถูกต้องตรงกับความเห็นของผู้ที่หน้าที่ตัดสินใจ

ในขั้นตอนแรกนั้น เซตของตัวแปร จะยังอยู่ในรูปแบบของหลักตรรกศาสตร์ดั้งเดิม ซึ่งมีเพียงค่าถูกหรือผิดเท่านั้น วิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการแปลงให้เป็นฟัซซีเซต ทำได้โดยการตั้งคำถามให้ผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยาตอบ ซึ่งเป็นคำถามที่ถูกออกแบบมาสำหรับการหาขอบเขตของฟัซซีเซต ยกตัวอย่างเช่น กรณีที่ตัวแปร A มีขอบเขตของช่วงตั้งแต่ 1 – 100 และถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงย่อย คือ

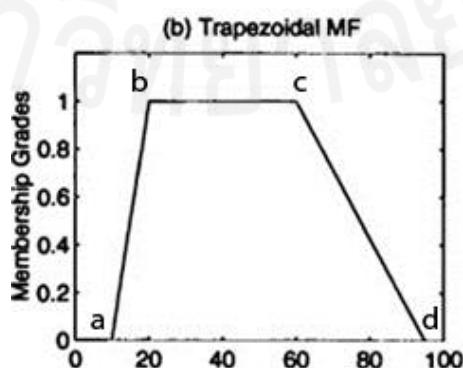
1. ช่วงที่ A มีค่าอยู่ในช่วงของค่าน้อย ซึ่งอยู่ระหว่าง 1 – 50
2. ช่วงที่ A มีค่าอยู่ในช่วงของค่ามาก ซึ่งมาค่าตั้งแต่มากกว่า 50 จนถึง 100

ในกรณีนี้ คำถามควรจะเริ่มจากการสุ่มค่าของตัวแปรในช่วงที่ใกล้กับขอบของขั้นก่อน เพื่อปรับความเข้าใจระหว่างผู้วิจัย และผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยาก่อน เช่น ถ้า A มีค่าเท่ากับ 51 ในกรณีนี้ ถือว่า A มีค่ามากหรือน้อย หรือกรณีที่ A มีค่าเท่ากับ 49 ถือว่า A มีความเป็นค่ามากก็เปอร์เซ็นต์ และเป็นค่าน้อยก็เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ เพื่อให้ผู้ตอบคำถาม เข้าใจถึงภาพของความคลุมเครือที่เกิดขึ้นก่อน แล้วจึงนำไปสู่คำถามที่สำคัญคือ A ต้องมีค่าเป็นเท่าใด จึงจะถือว่าเป็นค่าที่น้อยจริงๆ หรือ มากจริงๆ ซึ่งค่าที่ได้จากการตอบคำถามนี้ จะถูกกำหนดเป็นขอบเขตใหม่ของฟัซซีเซต

สำหรับการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรนั้น สามารถทำได้โดยการทดสอบระบบโดยการเปลี่ยนรูปแบบฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซีเซตไปเรื่อยๆ จนได้ค่าเอาต์พุตที่มีความแม่นยำตามความต้องการของผู้วิจัย อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยจำเป็นที่จะต้องตั้งคำถามกับผู้เชี่ยวชาญตามนิยามของรูปแบบของฟังก์ชันสมาชิกที่เลือกใช้ เช่น ในกรณีของฟังก์ชัน Triangular ซึ่งฟังก์ชันชนิดนี้จะมีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยม โดยขึ้นอยู่กับค่าตัวแปร 3 ตัวคือ a , b และ c โดยที่กำหนดให้ a และ c เป็นจุดที่ฐานทั้งสองด้านของสามเหลี่ยมที่มีระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับศูนย์ และ b เป็นจุดยอดของสามเหลี่ยมที่มีระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 นั้น ผู้วิจัยจะต้องรู้ถึงจุดที่ให้ค่าความเป็นสมาชิกสูงที่สุดเพียงจุดเดียวในแต่ละระดับชั้น ในขณะที่ฟังก์ชัน Trapezoid ซึ่งฟังก์ชันชนิดนี้จะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู โดยขึ้นอยู่กับค่าตัวแปร 4 ตัวคือ a , b , c และ d โดยที่กำหนดให้ a และ d เป็นจุดที่ฐานทั้งสองด้านของสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับศูนย์ ส่วน b และ c เป็นสูงสุดของสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 นั้น ผู้วิจัยต้องการข้อมูลในลักษณะของช่วงที่ให้ค่าความเป็นสมาชิกสูงที่สุดในแต่ละระดับชั้น



ภาพที่ 3.1 แสดงลักษณะของฟังก์ชันสมาชิกแบบ Triangular



ภาพที่ 3.2 แสดงลักษณะของฟังก์ชันสมาชิกแบบ Trapezoid

3.1.5 การกำหนดกฎให้กับระบบฟuzzy

กฎของฟuzzyลอจิกนั้น เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุต ตามฟังก์ชันการทำงานของระบบที่ออกแบบขึ้น โดยจำนวนของกฎจะขึ้นอยู่กับปริมาณ และระดับชั้นของตัวแปรอินพุต เช่น กรณีที่ตัวแปรอินพุตมี 2 ตัว แต่ละตัวถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับชั้น กฎของระบบที่ประกอบไปด้วยตัวแปรลักษณะนี้ จะมีจำนวนทั้งหมดเท่ากับ $3 \times 3 = 9$ กฎ การกำหนดเอาต์พุตของกฎนั้นทำได้โดยการให้ผู้เชี่ยวชาญกรอกแบบสอบถามในส่วนของค่าเอาต์พุต

ตารางที่ 3.2 แสดงรูปแบบของแบบสอบถาม เพื่อการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตของระบบฟuzzy

Input 1	Input 2	Output
High	High	
High	Medium	
High	Low	
Medium	High	
Medium	Medium	
Medium	Low	
Low	High	
Low	Medium	
Low	Low	

3.1.6 กำหนดฟังก์ชันการอนุมานให้กับระบบฟuzzy

ฟังก์ชันการอนุมานของระบบฟuzzyนั้น ขึ้นอยู่กับตัวแปรอินพุตที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม ในการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยานั้น ยึดหลักในการประเมินตามกรณีที่เราว่าร้ายที่สุดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ดังนั้น ฟังก์ชันการอนุมานของระบบฟuzzyนี้จึงถูกกำหนดให้เลือกใช้เป็นค่าน้อยที่สุดเท่านั้น ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบของฟังก์ชันสมาชิกได้ดังสมการ 3.1

$$\mu_{\underline{A}}(X) = \min(\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_n}(x_n)) \quad (3.1)$$

Δ แทนกฎของฟuzzyที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรอินพุต

$$A_1, A_2, A_3 \dots A_n$$

X แทนชุดของอินพุตที่ถูกป้อนเข้าในระบบ ซึ่งประกอบด้วยค่า

$$x_1, x_2, x_3 \dots x_n$$

x_n คือค่าของอินพุตของตัวแปร A_n

$\mu_{A_n}(x)$ คือค่าระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตที่ x_n

$\mu_{\Delta}(X)$ คือค่าเอาต์พุตที่ได้จากการอนุมานฟuzzyของชุดอินพุต X

โดยสามารถแสดงตัวอย่างการใช้งานฟังก์ชันอนุมานแบบค่าน้อยสุด บนระบบฟuzzy ซิลอจิกแบบ 2 ตัวแปรได้โดยอ้างอิงแผนภาพที่ 3.3 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

กำหนดให้ Δ เป็นกฎของฟuzzyที่ประกอบด้วยอินพุต A, B และเอาต์พุต C

สมมติให้ X เป็นชุดข้อมูลของอินพุตที่มีค่า A และ B เท่ากับ 5 และ 7

ตามลำดับ จะได้ว่า

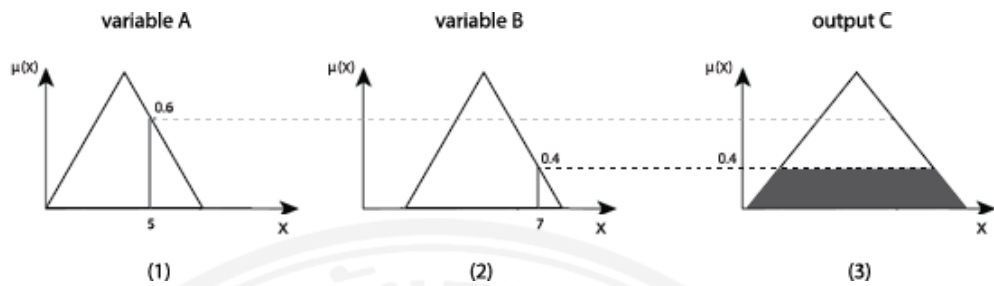
$$x_1 = 5, x_2 = 7$$

เมื่อพิจารณาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในกราฟที่ (1) ทางซ้ายมือจะได้ว่า กรณีที่ค่าอินพุตของตัวแปร A เท่ากับ 5 นั้น จะมีระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.6 และจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในกราฟที่ (2) จะได้ว่า กรณีที่ค่าอินพุตของตัวแปร B เท่ากับ 7 นั้น จะมีระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.4 ดังนั้น

$$\mu_A(5) = 0.6, \mu_B(7) = 0.4$$

เมื่อแทนค่าทั้งสองในสมการฟังก์ชันอนุมานจะค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันอนุมานของกฎ Δ มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยที่สุด $\mu_A(5)$ และ $\mu_B(7)$

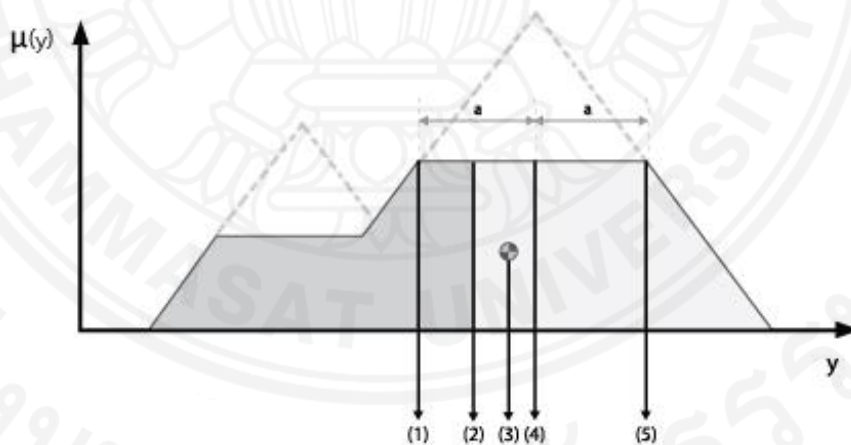
$$\mu_{\Delta}(X) = \min(0.6, 0.4) = 0.4$$



ภาพที่ 3.3 แสดงภาพประกอบการคำนวณการอนุมานแบบค่าน้อยสุด

3.1.7 การทำ Defuzzifier

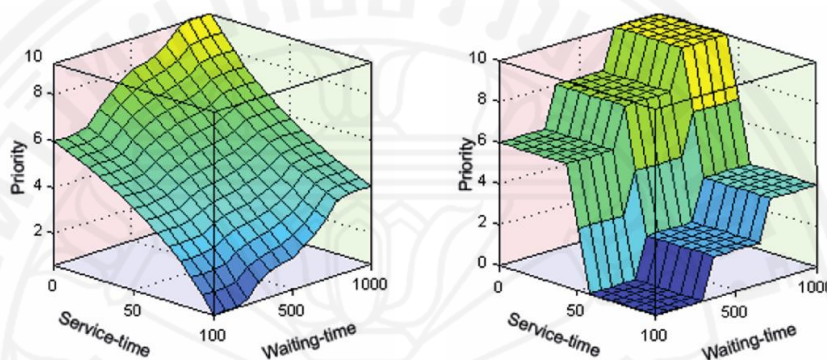
เป็นขั้นตอนการแปลงค่าที่ได้จากการทำงานร่วมกันระหว่างกฎของฟัซซี และ ฟังก์ชันการอนุมาน ให้อยู่ในรูปแบบของตัวเลขที่สามารถใช้งานจริงได้ โดยวิธีในการทำ Defuzzifier นั้นเป็นไปได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งานของผู้วิจัย เช่น การหาจุดศูนย์กลางของกราฟ (Center of gravity) การใช้จุดกึ่งกลางของช่วงที่มีค่าสูงที่สุด (Mean of Maximum) การใช้ค่าต่ำสุดของช่วงที่มีค่าสูงที่สุด (Min of Maximum) การใช้ค่าสูงสุดของจุดที่สูงที่สุด (Max of Maximum) และ การหาจุดที่แบ่งพื้นที่ใต้กราฟออกเป็นสองส่วนเท่าๆกัน (Bisection of Area) เป็นต้น



ภาพที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธี Defuzzifier ที่แตกต่างกัน

- (1) Min of Maximum
- (2) Bisection of area
- (3) Center of gravity
- (4) Mean of Maximum
- (5) Max of Maximum

อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยฉบับนี้ จะนำเสนอวิธีการในการทำ Defuzzifier ตามแบบวิธีของ Mamdani ซึ่งเป็นวิธีที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่ใกล้เคียงกับวิธีการตัดสินใจของมนุษย์ในการหาจุดที่เหมาะสมโดยการคำนึงถึงน้ำหนักของแต่ละเอาต์พุต และมีข้อดีในเรื่องของความแม่นยำ และให้ค่าของเอาต์พุตที่มีความต่อเนื่อง (Khaled E, 2008)



ภาพที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตระหว่างการทำ Defuzzifier แบบการคำนวณหา Center of gravity และการใช้ค่า Mean of maxima (Khaled E, 2008)

โดยเป็นการใช้วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด – ต่ำสุด (Max – Min composition) ซึ่งเป็นวิธีการที่นำผลลัพธ์ที่ได้จากการอนุมานของกฎแต่ละข้อมาซ้อนทับกัน แล้วจึงใช้ค่าที่สูงที่สุดในแต่ละตำแหน่งมาทำการสร้างกราฟใหม่ แล้วจึงทำการคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงของผลลัพธ์ที่ได้ (Center of gravity) ตามสมการที่ 3.2

$$\text{COG} = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)} \quad (3.2)$$

เมื่อ

COG แทนค่าจุด Center of Gravity ของผลลัพธ์ของการประเมิน

$\mu_A(x)$ คือระดับความเป็นสมาชิกที่ตำแหน่ง x

x คือระยะห่างจากจุดอ้างอิงในแกนนอน

ยกตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 3.6 เพื่อแสดงการคำนวณหาค่าจุดศูนย์กลาง โดยจากกราฟจะได้ว่า

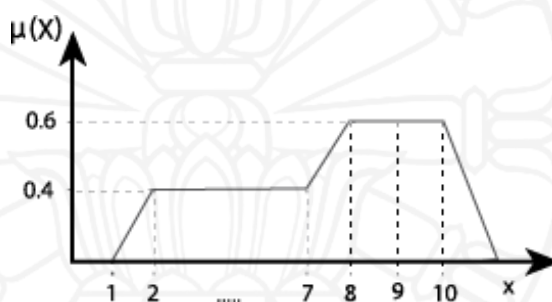
ที่ตำแหน่งที่ $x = 0$ นั้น มีค่าระดับความเป็นสมาชิก ($\mu_A(x)$) เท่ากับ 0

ที่ตำแหน่งที่ $x = 2 - 7$ นั้น มีค่าระดับความเป็นสมาชิก ($\mu_A(x)$) เท่ากับ 0.4

ที่ตำแหน่งที่ $x = 8 - 10$ นั้น มีค่าระดับความเป็นสมาชิก ($\mu_A(x)$) เท่ากับ 0.6

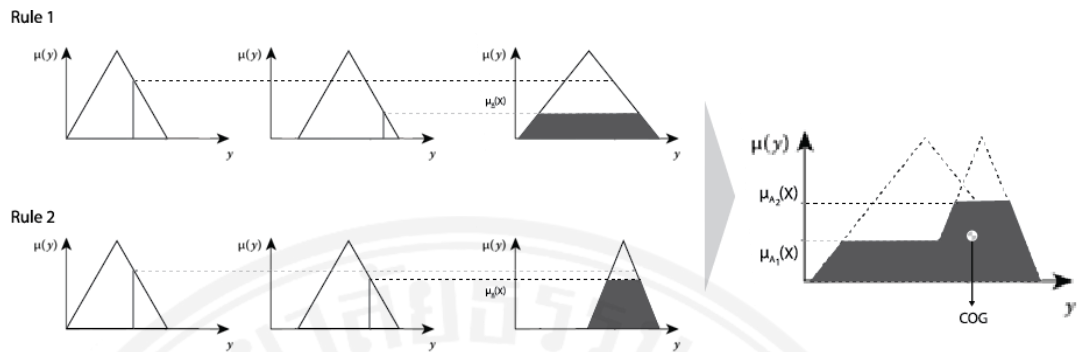
เมื่อทำการแทนค่าในสมการจะได้ว่า

$$\text{COG} = \frac{[(2+3+4+5+6+7) \times 0.4] + [(8+9+10) \times 0.6]}{(0.4+0.4+0.4+0.4+0.4+0.4+0.6+0.6+0.6)} = 6.43$$



ภาพที่ 3.6 ประกอบแสดงตัวอย่างในการทำ Defuzzifier ด้วยวิธีการคำนวณหาค่าจุดศูนย์กลาง

แผนภาพที่ 3.7 แสดงให้เห็นถึงการซ้อนทับกันของผลลัพธ์ที่ได้จากการอนุมานกฎแต่ละข้อ ในกรณีที่มีอินพุต 2 ค่า และมีกฎที่ตรงกับลักษณะของอินพุตจำนวน 2 กฎ จากภาพจะเห็นได้ว่า ในกรณีของกฎข้อที่ 1 นั้น จะได้ค่าระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตเท่ากับ $\mu_{A1}(X)$ และกรณีของกฎข้อที่ 2 จะได้ค่าระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตเท่ากับ $\mu_{A2}(X)$ โดยที่ $\mu_{A2}(X) > \mu_{A1}(X)$ ทำให้ผลลัพธ์จากการซ้อนทับกันมีลักษณะเป็นขั้นบันไดเนื่องจากระดับความเป็นสมาชิกที่แตกต่างกันของผลลัพธ์ที่ได้จากกฎทั้งสองข้อ



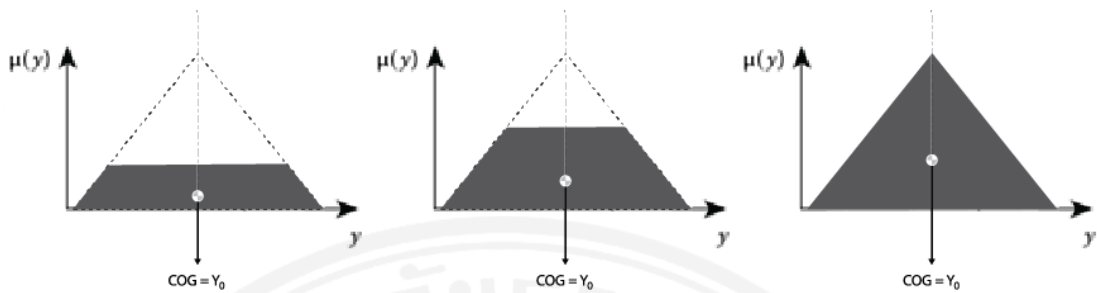
ภาพที่ 3.7 แสดงการวิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด - ต่ำสุด (Max - Min composition)

ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอน Defuzzifier นอกจากจะเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้แล้ว ยังเป็นตัวที่ช่วยให้ นักวิจัยสามารถทำการตัดสินใจเลือกฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมได้ โดยการกำหนดขอบเขตของความผิดพลาดของผลที่ได้จากการประเมินเอาไว้ก่อน แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับมีค่าความผิดพลาดอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้หรือไม่

อย่างไรก็ตาม การทำ Defuzzifier โดยอาศัยการหาจุดศูนย์กลางของกราฟนั้น จะมีข้อจำกัดอยู่ในกรณีที่มีอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ตรงกับกฎการทำงานเพียงข้อเดียว โดยสามารถแบ่งเป็น 2 หัวข้อย่อยได้ดังนี้

1. ในกรณีที่ฟังก์ชันสมาชิกมีความสมมาตร

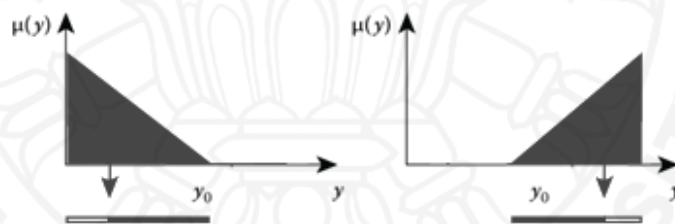
กรณีนี้เกิดขึ้นได้ เมื่อผู้ออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิก กำหนดให้ฟังก์ชันเหล่านั้นมีลักษณะสมมาตร ทำให้ระดับความเป็นสมาชิกที่ได้จากการอนุมานฟัซซีของค่าอินพุต ไม่ถูกสะท้อนออกมาในผลที่ได้จากการอนุมานฟัซซีด้วย ในกรณีที่มีกฎเพียงข้อเดียวที่ตรงกับลักษณะของอินพุตที่ป้อนให้ระบบ จากแผนภาพที่ 3.8 แสดงให้เห็นถึงกราฟของเอาต์พุตที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกแตกต่างกัน แต่ให้ผลลัพธ์เดียวกัน เนื่องจากการคำนวณค่าจุดศูนย์กลางของรูปทรงที่มีความสมมาตรนั้น จะได้ค่าของตำแหน่งศูนย์กลางที่จุดกึ่งกลางเสมอ



ภาพที่ 3.8 แสดงค่าเอาต์พุตที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกแตกต่างกัน แต่ให้ผลลัพธ์เดียวกันในกรณีที่ฟังก์ชันสมาชิกมีความสมมาตร

2. ข้อจำกัดของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่าจุดศูนย์กลางถ่วง

กรณีที่ค่าของเอาต์พุตนั้น ตกอยู่ในช่วงของผลลัพธ์ที่มากที่สุด หรือน้อยที่สุด และมีระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 แล้ว การคำนวณด้วยวิธีการนี้จะไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ค่าเอาต์พุตสูงสุด และต่ำสุดได้ ดังแสดงได้ดังแผนภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แสดงขอบเขตของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ เมื่อคำนวณด้วยวิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง

จะเห็นได้ว่าค่าน้อยสุด และมากที่สุดของเอาต์พุตที่เป็นไปได้ จะถูกกำหนดโดยค่าจุดศูนย์กลางถ่วงของฟังก์ชันสมาชิกที่ครอบคลุมบริเวณที่ค่าเอาต์พุตน้อยที่สุด และมากที่สุดตามลำดับ แม้ว่าผู้เชี่ยวชาญจะกำหนดค่าเอาต์พุตที่เป็นค่ามากที่สุดเอาไว้ ด้วยข้อจำกัดนี้ก็จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการอนุมานค่าฟัซซีนั้น ไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องได้

แนวทางแก้ไขปัญหาดังสองข้อนั้น สามารถทำได้สามวิธี โดยวิธีแรกคือการเพิ่มระดับของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้มากขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดกรณีที่มีกฎเพียงข้อเดียวที่ทำงาน ซึ่งจะทำให้รูปแบบการอนุมานฟัซซีมีความซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากต้องมีการกำหนดกฎมากขึ้นตามจำนวนฟังก์ชันสมาชิกที่ถูกรวมออกไปแล้ว และวิธีที่สองคือ การให้ค่าน้ำหนักของกฎแต่ละข้อแตกต่างกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ครอบคลุมกับค่าที่ออกมาแล้ว โดยการสร้างชุดคำสั่งเพื่อประมวลผลเพิ่มเติม และวิธีที่สามคือการเพิ่มเงื่อนไขพิเศษในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ดังกล่าว เพื่อให้ได้ค่าผลลัพธ์ที่

ใกล้เคียงกับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นวิธีสามารถใช้ได้เฉพาะในกรณีที่ลักษณะของ อินพุต และเอาต์พุตนั้นไม่ซับซ้อนมากนัก โดยเงื่อนไขการพิจารณาเลือกใช้วิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับความ ซับซ้อน ความรวดเร็วในการตอบสนอง และระดับความแม่นยำของผลที่ต้องการ เช่น การสร้างระบบ ควบคุมทางวิศวกรรมนั้น การเลือกสร้างชุดคำสั่งเพื่อให้ระบบฟัซซีสามารถกำหนดน้ำหนักของกฎแต่ ละข้อให้เหมาะสมกับผลลัพธ์ที่ได้จากการให้ความเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญนั้น จะเพิ่มความสามารถในการ ติดตาม และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วด้วยความแม่นยำที่สูงกว่าวิธีอื่น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนในการคำนวณ ทำให้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับการทำงานด้วย คอมพิวเตอร์ มากกว่าการใช้การคำนวณด้วยมนุษย์ เป็นต้น

3.1.8 การตรวจสอบระบบฟัซซีที่ถูกออกแบบไว้

ในการตรวจสอบความแม่นยำของระบบฟัซซีนั้น สามารถทำได้โดยการทดลอง สุ่มค่าอินพุต เพื่อเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตที่ได้จากการประเมินโดยความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ และ ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินโดยระบบฟัซซีลอจิก การสุ่มค่าอินพุตนั้น ผู้วิจัยต้องมั่นใจว่าเป็นการสุ่ม ค่าครอบคลุมถึงความเป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบในช่วงความเป็นไปได้ต่างๆ โดยจำนวนของการสุ่มนั้น ขึ้นอยู่กับความกว้างของค่าที่เป็นไปได้ของอินพุต และเอาต์พุต

ในกรณีที่เอาต์พุตมีความผิดพลาดสูงกว่าที่ออกแบบไว้ สามารถแก้ไขได้โดยการ ปรับแต่งระดับชั้นของฟัซซีเซต หรือทดลองเปลี่ยนรูปแบบฟังก์ชันสมาชิก หรือการเปลี่ยนวิธีในการทำ Defuzzifier

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องสำหรับการออกแบบระบบการประเมินความน่าจะเป็นทาง ธรณีวิทยาสำหรับแปลงสัมปทานอาทิตย์

ในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างกรอบแนวคิดในการออกแบบระบบการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาโดยใช้ฟัซซีลอจิก เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถศึกษา และปฏิบัติตามในการสร้างแบบจำลองเพื่อเป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญได้ โดยมีการออกแบบระบบสำหรับแปลงสัมปทานอาทิตย์เป็นกรณีศึกษา

สำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับแปลงสัมปทานอาทิตย์นั้นสามารถสรุปได้ว่า

1. ความน่าจะเป็น (ความเชื่อมั่น) ที่เกี่ยวข้องกับหินต้นกำเนิด ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100% เนื่องจากมีการเก็บตัวอย่างของชั้นหินมาทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบปัจจัยทางด้าน Richness, Volume และ Maturity ของแหล่งสัมปทาน ซึ่งพบว่าในบริเวณแหล่งสัมปทานอาทิตย์นั้นมีหินต้นกำเนิดอยู่จริง และเป็นหินต้นกำเนิดที่ถูกบ่มเป็นเวลานาน จนอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตปิโตรเลียมในระดับที่เหมาะสมต่อการผลิตในเชิงพาณิชย์ได้
2. ความน่าจะเป็น (ความเชื่อมั่น) ที่เกี่ยวข้องกับเวลา และเส้นทางการไหลนั้น ในส่วนของ Media competency และ Timing จะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100% เนื่องจากมีการวิเคราะห์ตัวอย่างของชั้นหินที่พบว่ามีคุณสมบัติทางธรณีวิทยาที่เอื้อต่อการเดินทางของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และการทำแบบจำลองเพื่อตรวจสอบจนสามารถสรุปได้แล้วว่า ช่วงเวลาที่ปัจจัยต่างๆ เกิดขึ้นนั้น มีความเหมาะสมต่อการกำเนิดของแหล่งกักเก็บ จึงเหลือเพียงปัจจัยย่อยด้าน Migration pathway ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละแหล่งกักเก็บเท่านั้น ที่ต้องทำการพิจารณาในปัจจุบันนี้
3. ความน่าจะเป็น (ความเชื่อมั่น) ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกักเก็บ ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100% เนื่องจากเป็นแหล่งปิโตรเลียมที่มีข้อมูลการขุดเจาะมากพอที่จะสามารถสรุปได้ถึงการมีอยู่ของแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมที่มีคุณสมบัติทางธรณีวิทยาที่เหมาะสมต่อการกักเก็บสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

4. ความน่าจะเป็น (ความเชื่อมั่น) ที่เกี่ยวข้องกับการปิดกั้น ในส่วนของ Top seal นั้น ด้วยการศึกษาลักษณะของการก่อตัวของชั้นหินในแปลงสัมปทาน ทำให้นักธรณีวิทยาสามารถสรุปได้ว่า มีชั้นหินที่ทำหน้าที่ปิดกั้นอยู่จริงในซึ่งเกิดขึ้นในยุค Regional sagging period จึงมีเพียงปัจจัยทางด้าน Lateral seal เท่านั้นที่ยังคงต้องพิจารณา เนื่องจากเป็นลักษณะเฉพาะของแหล่งกักเก็บ

5. ความน่าจะเป็น (ความเชื่อมั่น) ที่เกี่ยวข้องกับความน่าจะเป็นของโครงสร้างของแหล่งกักเก็บ ซึ่งทั้งปัจจัย Map reliability และ Presence นั้น เป็นคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละแหล่งกักเก็บ จึงต้องทำการพิจารณาซ้ำทุกครั้ง ที่มีการพิจารณาแหล่งกักเก็บใหม่

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ในการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาของแหล่งสัมปทานอาทิตย์นั้น มีตัวแปรที่ยังต้องทำการศึกษาเพียง 4 ค่าเท่านั้น คือ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ Migration pathway, Lateral seal, Map reliability และ Presence ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยจะขอเสนอแนวทางในการพัฒนาระบบพีชชี สำหรับตัวแปร Lateral seal ซึ่งต้องพิจารณาข้อมูลทั้งในเชิงคุณภาพ และปริมาณ โดยตัวแปรที่จะทำการพิจารณาเพื่อประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีของตัวแปรด้าน Lateral seal จะพิจารณาในประเภทของ Fault seal ซึ่งเป็นลักษณะของการปิดกั้นที่เกิดขึ้นในแหล่งสัมปทานอาทิตย์ โดยพิจารณาตัวแปร 4 ตัว คือ

1. Juxtaposition ซึ่งจะบอกถึงโอกาสที่การเคลื่อนตัวของเปลือกโลกจะทำให้ชั้นของทรายเคลื่อนที่ไปชนกับชั้นหิน จนเกิดเป็นแหล่งกักเก็บขึ้น
2. Shale smear factor ซึ่งจะบอกถึงความต่อเนื่องของชั้นหินบริเวณที่เกิดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก
3. Offset well similarity ซึ่งจะบอกถึงความใกล้เคียงกันทางสภาพทางธรณีวิทยาของหลุมสำรวจในอดีต กับหลุมที่สนใจ
4. Data confident ซึ่งจะบอกถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้สนับสนุนการตัดสินใจ

4.2 การออกแบบระบบการประเมินความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาโดยอาศัยพีชชีลอจิก

4.2.1 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรอินพุต และเอาท์พุต

สำหรับวิธีการกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรสำหรับการออกแบบระบบพีชชีลอจิกเพื่อการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาในส่วนของ Fault seal นั้น ตัวแปรจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรเชิงปริมาณ ที่ค่าอินพุตได้จากวัดค่า และการคำนวณ ในกรณีนี้คือ ค่า Juxtaposition และ Shale smear factor (SSF) ส่วนประเภทที่สอง คือ ตัวแปรเชิงคุณภาพ ซึ่งค่า

อินพุตไม่ได้เกิดจากการวัดค่าทางคณิตศาสตร์ แต่เกิดจากการให้ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ในกรณีนี้คือ ค่า Offset well similarity และค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูล

เนื่องจากระบบการตัดสินใจเลือกค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้น แม้ว่าจะมีทีมงานนักธรณีวิทยา และวิศวกรแหล่งกักเก็บเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนต่างๆ แต่ในขั้นตอนสุดท้าย จะมีนักธรณีวิทยาระดับหัวหน้างานเพียงคนเดียวที่ศึกษาผลการวิเคราะห์ข้อมูลดิบทั้งหมด และกำหนดค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาออกมา ดังนั้น เพื่อให้ตัวแบบสามารถให้ค่าเอาท์พุทที่ใกล้เคียงกับค่าที่ควรจะเป็นมากที่สุด ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะเก็บข้อมูลจากนักธรณีวิทยาที่มีหน้าที่กำหนดค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาเพียงคนเดียวเท่านั้น ทั้งนี้ ในกรณีที่มีการตัดสินใจนั้นเกิดจากกลุ่มบุคคล การเก็บข้อมูลความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ก็อาจใช้เป็นมิติที่ประชุมก็ได้เช่นเดียวกัน

4.1.1.1 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรอินพุต Juxtaposition

เนื่องจากตัวแปรนี้ จัดอยู่ในประเภทตัวแปรเชิงปริมาณ ที่สามารถวัดค่าทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนั้น การกำหนดขอบเขตของค่าที่เป็นไปได้ให้กับตัวแปรจึงทำได้โดยการศึกษาข้อมูล หรือค่าสถิติทางธรณีวิทยา สำหรับแปลงสัมปทานอาทิตย์ที่เป็นแปลงสัมปทานที่มีการดำเนินการขุดเจาะมาเป็นเวลานานแล้ว และมีการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ตัวอย่างเป็นจำนวนมากอย่างต่อเนื่อง ทำให้ในกรณีนี้ ผู้วิจัยสามารถสรุปขอบเขตของตัวแปรได้จากข้อมูลทางสถิติในอดีต โดยการค้นจากรฐานข้อมูลของนักธรณีวิทยา

โดยจากข้อมูลที่ได้จากหลุมสำรวจและผลิตรวมจำนวน 102 หลุม ที่ค่าความลึกแตกต่างกันสามารถสรุปได้ว่า ค่า Net to gross ratio ของแปลงสัมปทานอาทิตย์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.3 โดยที่ค่าที่ดีที่สุดที่เอื้อต่อการเกิด Fault seal คือค่า Juxtaposition ที่ 0.01 และค่าที่ทำให้โอกาสเกิด Fault seal น้อยที่สุดคือ 0.3

4.1.1.2 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรอินพุต Shale smear factor

เนื่องจากตัวแปรเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ที่สามารถวัดค่าทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนั้น การกำหนดขอบเขตของค่าที่เป็นไปได้ให้กับตัวแปรจึงทำได้โดยการศึกษาข้อมูล หรือค่าสถิติทางธรณีวิทยา อย่างไรก็ตาม แม้ว่าแปลงสัมปทานอาทิตย์จะเป็นแปลงสัมปทานที่มีการดำเนินการขุดเจาะมาเป็นเวลานานแต่กลับไม่พบว่ามีการศึกษาหรือเก็บข้อมูลของตัวแปรนี้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการศึกษาถึงงานวิจัยในอดีต เกี่ยวกับ Shale smear factor ในบริเวณใกล้เคียง และพบว่าได้มีการทำงานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ Fault seal ของแปลงสัมปทานเอราวัณในปี 2005 ซึ่งถือได้ว่าเป็น

แปลงสัมปทานที่อยู่ไม่ไกลจากแปลงสัมปทานอาทิตย์มากนัก และมีคุณลักษณะทางธรณีวิทยาที่สามารถเทียบเคียงกันได้

จากงานวิจัยดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยสามารถกำหนดขอบเขตให้กับตัวแปร Shale smear factor ของแปลงสัมปทานอาทิตย์ได้ว่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 6 โดยค่าที่ดีที่สุดของที่เอื้อต่อการเกิด Fault seal คือค่า Shale smear factor เท่ากับ 1 และค่าที่แย่ที่สุด ที่ยังคงเอื้อต่อการเกิด Fault seal คือค่าที่ Shale smear factor เท่ากับ 6 (Tokio Kachi et al, 2005)

4.1.1.3 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรอินพุต Offset well similarity

สำหรับตัวแปร Offset well similarity นั้น จัดอยู่ในประเภทตัวแปรเชิงคุณภาพ ซึ่งเกิดจากการพิจารณาาร่วมกันของหลายตัวแปรย่อย ที่ไม่สามารถวัดค่าเป็นตัวเลขทางคณิตศาสตร์ได้ โดยในกรณีของแปลงสัมปทานอาทิตย์ ผู้วิจัยกำหนดให้ค่าอินพุตสำหรับตัวแปรนี้ อยู่ในรูปแบบของการให้คะแนนตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ สำหรับสเกลของคะแนนนั้น ขึ้นอยู่กับความสำคัญของตัวแปร ว่าต้องการให้ค่าที่มีความละเอียดขนาดไหน ทั้งนี้ การกำหนดสเกลของระดับคะแนนนั้น ทำได้โดยการตั้งคำถามกับผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีวิทยา เช่น การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรเพียงเล็กน้อยนั้นจะส่งผลกระทบต่อภาพรวมในการประเมินมากน้อยเพียงใด ในกรณีที่นักธรณีวิทยาให้ความเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจเลือกค่าที่เหมาะสมนั้น ผู้ทำวิจัยอาจเลือกที่จะกำหนดให้สเกลมีความกว้าง หรือละเอียดมากขึ้น เพื่อให้ระบบฟัซซีสามารถสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงได้ใกล้เคียงกับการให้ความเห็นของนักธรณีวิทยามากขึ้น

โดยในกรณีของแปลงสัมปทานอาทิตย์นั้น ผู้วิจัยเลือกที่จะใช้สเกลตั้งแต่ 0 ถึง 100 เนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมาก โดยให้ความหมายว่า 0 คือกรณีที่ Offset well ที่ใช้อ้างอิงนั้น ไม่มีความคล้ายคลึงที่สามารถใช้อ้างอิงได้ในแง่ของธรณีวิทยาเลย และ 100 คือกรณีที่ Offset well ที่ทำการศึกษานั้น มีความเหมือนกับหลุมสำรวจที่ต้องการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาเป็นอย่างมาก สามารถใช้ข้อมูลต่างๆอ้างอิงซึ่งกันและกันได้อย่างแม่นยำ

4.1.1.4 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรอินพุต Data confidence

ตัวแปรนี้ถูกจัดให้อยู่ในประเภทตัวแปรเชิงคุณภาพ เนื่องจากเป็นการแสดงความรู้สึกของผู้เชี่ยวชาญ ต่อข้อมูลดิบที่ใช้ประเมินค่าอินพุตของระบบฟัซซี ว่ามีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใดทั้งในแง่ของคุณภาพ และปริมาณของข้อมูล

สำหรับแปลงสัมปทานอาทิตย์นั้น ข้อมูลดิบที่ใช้ประเมินค่าอินพุตของระบบฟัซซี ได้มาจาก 2 แหล่ง คือ ข้อมูลจากการสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือน (Seismic) ซึ่งเป็นการสำรวจก่อนที่จะทำการขุดเจาะจริง และข้อมูลจากการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นหินด้วย

วิธีการหยั่งธรณีหลุมเจาะ (Wireline logging) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการหยั่งธรณีหลุมเจาะนั้น ทางธรณีวิทยาแล้วถือว่าเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือสูง จึงไม่ถูกนำมาพิจารณาในการประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลดิบ ซึ่งต่างจากข้อมูลการสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือนที่มีเรื่องของวิธีการสำรวจความละเอียด หรือความถี่ในการสำรวจมาเกี่ยวข้องด้วย อย่างไรก็ตาม อาจมีบางกรณีที่คุณสมบัติทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่สนใจไม่มีความซับซ้อน หรือมีฐานข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงที่น่าเชื่อถืออยู่ นักธรณีวิทยาก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดสูงมากในการตัดสินใจ ทำให้มีกรณีที่มีข้อมูลมีความละเอียดต่ำ แต่ก็มีมีความน่าเชื่อถือเกิดขึ้นได้เช่นกัน

สำหรับกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยเลือกการกำหนดขอบเขตของตัวแปรนี้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 โดยกำหนดให้ 0 แทนข้อมูลที่ไม่มีความน่าเชื่อถือเลย และ 100 แทนข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือเป็นอย่างมาก

4.1.1.5 การกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรเอาท์พุท %P_g of Fault seal

ค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา หรือ Possibility (or confidence) of geological success (%P_g) นั้น ถูกกำหนดให้มีค่าตั้งแต่ 0 ไปจนถึง 100 โดยที่ค่า %P_g = 0 นั้นหมายถึงหลุมสำรวจที่สนใจศึกษา มีโอกาสที่จะขุดไม่พบแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมเลย และค่า %P_g = 100 นั้นหมายถึงมีโอกาสสูงที่จะขุดพบแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมตามที่นักธรณีวิทยาได้ทำการประเมินเอาไว้

สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดขอบเขตของตัวแปรอินพุต และเอาท์พุทในกรณีนี้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดขอบเขตของตัวแปรอินพุต และเอาท์พุท

Input	Range	Remark
Juxtaposition	(0.01 - 0.3)	Modified historical field data
Shale smear factor	(1 - 6)	Historical nearby field data
Offset well similarity	(0 - 100)	Expert judgment
Data confident	(0 - 100)	Expert judgment
Output	Range	Remark
%P _g	(0% - 100%)	Expert judgment

4.2.2 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้ค่าตัวแปรอินพุต และเอาต์พุต

หลังจากที่ได้ขอบเขตของอินพุต และเอาต์พุตแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการแปลงขอบเขตของค่าตัวแปรดังกล่าว ให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้งานกับระบบฟัซซีลอจิกมากขึ้น โดยการแบ่งขอบเขตเดิมของตัวแปรเป็นระดับชั้นย่อย ตามความเหมาะสมโดยอาศัยคำแนะนำ และความเชี่ยวชาญจากนักธรณีวิทยา ซึ่งในขั้นตอนนี้ ผลลัพธ์ที่ได้จะยังอยู่ในรูปแบบของเซตแบบดั้งเดิม กล่าวคือ ยังไม่มีขอบเขตของความคลุมเครือเกิดขึ้นในระหว่างแต่ละระดับชั้นที่ทำการแบ่งเอาไว้ และระดับความเป็นสมาชิกของสมาชิกในเซตยังเป็นแบบจริง-เท็จอยู่ ซึ่งกรณีศึกษาสามารถแสดงผลลัพธ์ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการแบ่งระดับชั้นของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

Input	Step	Range
Juxtaposition	High	0.01 - 0.1
	Medium	>0.1 - 0.2
	Low	>0.2 - 0.3
Shale smear factor	High	1 - 3
	Medium	>3 - 5
	Low	>5 - 6
Offset well similarity	High	>80 - 100
	Medium	>50 - 80
	Low	1 - 50
Data confident	Very high	>80 - 100
	High	>55 - 80
	Medium	>45 - 55
	Low	>20 - 45
	Very low	1 - 20

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการแบ่งระดับชั้นของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

Output	Step	Range
%P _g	High	>55 - 100
	Medium	>45 - 55
	Low	0 - 45

เมื่อได้ทำการแบ่งระดับชั้นแล้วจึงดำเนินการต่อในขั้นตอนของการหาขอบเขตที่คลุมเครือของระดับชั้นต่างๆ โดยอาศัยการตั้งคำถามกับผู้เชี่ยวชาญดังที่กล่าวถึงในหัวข้อ 3.1.4 ซึ่งเป็นคำถามที่ถูกออกแบบมาสำหรับการหาขอบเขตของฟัซซีเซต ยกตัวอย่างเช่น กรณีที่ตัวแปร %P_g ซึ่งมีขอบเขตของช่วงตั้งแต่ 0 – 100 และถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงย่อย คือ

ช่วงที่ %P_g = High ซึ่งอยู่ระหว่าง >55 – 100

ช่วงที่ %P_g = Medium ซึ่งอยู่ระหว่าง >45 – 55

ช่วงที่ %P_g = Low ซึ่งอยู่ระหว่าง 0 – 45

ในกรณีนี้ คำถามควรจะเริ่มจากการสุ่มค่าของตัวแปรในช่วงที่ใกล้กับขอบของชั้นก่อน เพื่อปรับความเข้าใจระหว่างผู้วิจัย และผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยา ก่อน เช่น ถ้า %P_g มีค่าเท่ากับ 46 ในกรณีนี้ ถือว่า %P_g มีค่าปานกลางหรือน้อย หรือกรณีที่ %P_g มีค่าเท่ากับ 44 ถือว่า %P_g มีความเป็นค่าปานกลางก็เปอร์เซ็นต์ และเป็นค่าน้อยก็เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ เพื่อให้ผู้ตอบคำถาม เข้าใจถึงภาพของความคลุมเครือที่เกิดขึ้นก่อน แล้วจึงนำไปสู่คำถามที่สำคัญคือ %P_g ต้องมีค่าเป็นเท่าใด จึงจะถือว่าเป็นค่าที่อยู่ในช่วง Low หรือ Medium จริงๆ เช่น การกำหนดช่วงของ High ในกรณีศึกษาที่ผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยาได้ให้คำตอบว่า กรณีของช่วง High นั้น ค่า %P_g ที่น้อยที่สุด ที่ยังถือได้ว่าเป็นค่าอยู่ในกลุ่มของค่าสูง คือ ค่า %P_g = 55 % เป็นต้น ซึ่งค่าที่ได้จากการตอบคำถามนี้ จะถูกกำหนดเป็นขอบเขตใหม่ของฟัซซีเซต โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทำกรณีศึกษา นี้ แสดงได้ดังตารางที่ 4.3

เมื่อสามารถระบุขอบเขตของความคลุมเครือให้กับตัวแปรอินพุต และเอาท์พุตได้แล้ว ขั้นตอนถัดมาคือขั้นตอนการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเพื่อให้เซตของตัวแปรดังกล่าวอยู่ในรูปแบบของฟัซซีเซต โดยในขั้นตอนนี้ จะต้องมีการกำหนดค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เอาไว้ เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสม ซึ่งในกรณีศึกษาที่ สมมติฐานของเอาท์พุตคือ ค่าที่ได้จากการอนุমানซัพพลายจิก จะต้องมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการให้ความเห็นโดย

ผู้เชี่ยวชาญไม่เกิน 5% ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% ทั้งนี้ อาจมีขั้นตอนเพิ่มเติมในการกำหนดจุด หรือ ช่วงย่อยในระดับชั้นต่างๆ ตามรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เลือกใช้ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึง ขั้นตอนดังกล่าวในลำดับถัดไป

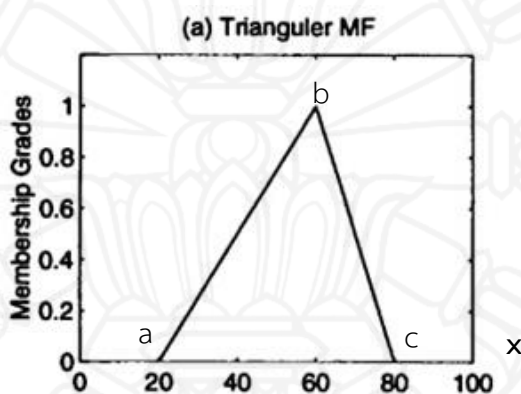
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการหาขอบเขตที่คลุมเครือของระดับชั้นต่างๆ

Input	Step	range
Juxtaposition	High	0.01 - 0.13
	Medium	0.1 - 0.2
	Low	0.15 - 0.3
Shale smear factor	High	1 - 3
	Medium	2.8 - 5
	Low	3.5 - 6
Offset well similarity	High	70 - 100
	Medium	35 - 80
	Low	1 - 50
Data confident	Very high	80 - 100
	High	55 - 85
	Medium	45 - 65
	Low	20 - 47
	Very low	1 - 25
Output	Step	Range
%P _g	High	0.55 - 1
	Medium	0.45 - 0.8
	Low	0 - 0.5

โดยทั่วไปแล้ว การเลือกรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกลักษณะนั้นสามารถทำได้ด้วยวิธีการทดสอบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสุ่ม โดยการเปลี่ยนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกไปเรื่อยๆ เพื่อหาฟังก์ชันที่ให้ค่าเอาต์พุตอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หรือเหมาะสมที่สุด หรือการให้ผู้เชี่ยวชาญตอบคำถามเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก สำหรับกรณีศึกษา นี้ ผู้วิจัยเลือกที่จะทำการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม 3 รูปแบบ ดังนี้

(1) ฟังก์ชันสมาชิกแบบ Triangular

$$\text{triangle}(x; a, b, c) = \max \left(\min \left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right) \quad (4.1)$$



ภาพที่ 4.1 แสดงสมการ และฟังก์ชันสมาชิกแบบสามเหลี่ยม

(<http://www.bindichen.co.uk/post/AI/fuzzy-inference-membership-function.html>)

สำหรับฟังก์ชันสมาชิกแบบนี้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันเชิงเส้นตรง ค่าของระดับความเป็นสมาชิกจะขึ้นอยู่กับค่า a , b , c โดยที่ขอบเขตบนของความคลุมเครือ คือค่า c และขอบเขตล่างของความคลุมเครือ คือค่า a ซึ่งทั้งสองจุดถือเป็นจุดที่มีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0 ทำให้ในกรณีนี้ ผู้วิจัยต้องกำหนดค่าเพิ่มเติม คือจุด b ซึ่งเป็นจุดที่ให้ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1

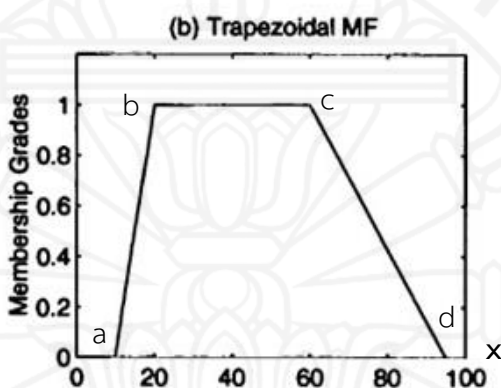
การกำหนดค่าของจุด b ทำได้โดยการสอบถามถึงความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ โดยตั้งคำถามว่า ค่าใดในช่วงของความคลุมเครือ ที่มีค่าความเป็นสมาชิกในช่วงนั้นๆ สูงที่สุด แล้วจึงกำหนดให้จุดดังกล่าว เป็นจุดที่มีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 ซึ่งในกรณีศึกษา นี้ สามารถแสดงพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Triangular ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Triangular

Input	Step	range	Low	Degree of membership = 1	High
Juxtaposition	High	0.01 - 0.13	0.01	0.01	0.13
	Medium	0.1 - 0.2	0.10	0.15	0.20
	Low	0.15 - 0.3	0.15	0.15	0.30
Shale smear factor	High	1 - 3	1.00	1.00	3.00
	Medium	2.8 - 5	2.80	4.00	5.00
	Low	3.5 - 6	3.50	6.00	6.00
Offset well similarity	High	70 - 100	70.00	100.00	100.00
	Medium	35 - 80	35.00	70.00	80.00
	Low	1 - 50	1.00	1.00	50.00
Data confident	Very high	80 - 100	80.00	100.00	100.00
	High	55 - 85	55.00	65.00	85.00
	Medium	45 - 65	45.00	53.00	65.00
	Low	20 - 47	20.00	27.00	47.00
	Very low	1 - 25	1.00	1.00	25.00
Output	Step	Range			
%P _g	High	0.55 - 1	0.55	1.00	1.00
	Medium	0.45 - 0.8	0.45	0.50	0.80
	Low	0 - 0.5	0.00	0.00	0.50

(1) ฟังก์ชันสมาชิกแบบ Trapezoid

$$\text{trapezoid}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a. \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b. \\ 1, & b \leq x \leq c. \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d. \\ 0, & d \leq x. \end{cases} \quad (4.2)$$



ภาพที่ 4.2 แสดงสมการ และฟังก์ชันสมาชิกแบบคางหมู

(<http://www.bindichen.co.uk/post/AI/fuzzy-inference-membership-function.html>)

สำหรับฟังก์ชันสมาชิกแบบนี้ ค่าของระดับความเป็นสมาชิกจะขึ้นอยู่กับค่า a , b , c , d โดยที่ขอบเขตบนของความคลุมเครือ คือค่า d และขอบเขตล่างของความคลุมเครือ คือค่า a ซึ่งทั้งสองจุดถือเป็นจุดที่มีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0 ทำให้ในกรณีนี้ ผู้วิจัยต้องกำหนดค่าเพิ่มเติม คือช่วงของ b ถึง c ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1

การกำหนดช่วงของจุด b , c ทำได้โดยการสอบถามถึงความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ โดยตั้งคำถามว่า ช่วงใดในช่วงของความคลุมเครือ ที่มีระดับความเป็นสมาชิกของเซตนั้นอย่างสมบูรณ์ ยกตัวอย่างเช่น กรณีที่ตัวแปร A ถูกแบ่งออกเป็นสองช่วงคือระดับล่าง และระดับบน โดยช่วงเซตระดับล่างที่มีขอบเขตของความคลุมเครืออยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 และ ช่วงเซตระดับบนนั้นมีขอบเขตของความคลุมเครืออยู่ระหว่าง 3 ถึง 10 ซึ่งในกรณีนี้จะเห็นได้ว่า ถ้า A มีค่าเท่ากับ 4 แล้ว A จะมีความเป็นสมาชิกของทั้งเซตระดับบน และระดับล่าง ซึ่งสิ่งที่ผู้วิจัยต้องหาให้ได้คือ ที่ช่วงใดในเซตนี้ที่เป็นสมาชิกของเซตระดับกลางเท่านั้น และเป็นช่วงที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่า มีค่าความเป็นสมาชิกสูงที่สุดในช่วงของเซตที่สนใจ แล้วจึงกำหนดให้ช่วงดังกล่าว เป็นช่วงที่มีค่าความเป็นสมาชิก

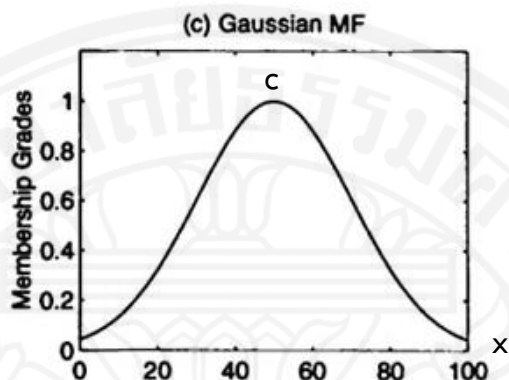
เท่ากับ 1 ซึ่งในกรณีศึกษา นี้ สามารถแสดงพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Trapezoid ได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Trapezoid

Input	Step	range	High	Degree of membership = 1		Low
Juxtaposition	High	0.01 - 0.13	0.01	0.01	0.09	0.13
	Medium	0.1 - 0.2	0.10	0.09	0.15	0.20
	Low	0.15 - 0.3	0.15	0.20	0.30	0.30
Shale smear factor	High	1 - 3	1.00	1.00	2.80	3.00
	Medium	2.8 - 5	2.80	3.00	3.50	5.00
	Low	3.5 - 6	3.50	5.00	6.00	6.00
Offset well similarity	High	70 - 100	70.00	90.00	100.00	100.00
	Medium	35 - 80	35.00	50.00	70.00	80.00
	Low	1 - 50	1.00	1.00	35.00	50.00
Data confident	Very high	80 - 100	80.00	85.00	100.00	100.00
	High	55 - 85	55.00	65.00	80.00	85.00
	Medium	45 - 65	45.00	47.00	57.00	65.00
	Low	20 - 47	20.00	25.00	35.00	47.00
	Very low	1 - 25	1.00	1.00	20.00	25.00
Output	Step	Range				
%P _g	High	0.55 - 1	0.55	0.80	1.00	1.00
	Medium	0.45 - 0.8	0.45	0.50	0.60	0.80
	Low	0 - 0.5	0.00	0.00	0.30	0.50

(3) ฟังก์ชันสมาชิกแบบ Gaussian

$$\text{gaussian}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2} \quad (4.3)$$



ภาพที่ 4.3 แสดงสมการ และฟังก์ชันสมาชิกแบบเกาส์เซียน

(<http://www.bindichen.co.uk/post/AI/fuzzy-inference-membership-function.html>)

สำหรับฟังก์ชันสมาชิกแบบ Symmetric Gaussian นั้น ค่าของระดับความเป็นสมาชิกจะขึ้นอยู่กับค่า c ซึ่งเป็นค่ากลางของช่วงขอบเขตความคลุมเครือที่มีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 และค่า σ ซึ่งเป็นค่าความกว้างของฟังก์ชัน ซึ่งในกรณีศึกษาี้ สามารถแสดงพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Gaussian ได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Gaussian

Input	Step	range	Low	Center	High
Juxtaposition	High	0.01 - 0.13	0.01	0.01	0.13
	Medium	0.1 - 0.2	0.10	0.15	0.20
	Low	0.15 - 0.3	0.15	0.30	0.30
Shale smear factor	High	1 - 3	1.00	1.00	3.00
	Medium	2.8 - 5	2.80	3.90	5.00
	Low	3.5 - 6	3.50	6.00	6.00
Offset well similarity	High	70 - 100	70.00	100.00	100.00
	Medium	35 - 80	35.00	57.50	80.00
	Low	1 - 50	1.00	1.00	50.00

ตารางที่ 4.6 แสดงพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Gaussian (ต่อ)

Input	Step	range	Low	Center	High
Data confident	Very high	80 - 100	80.00	100.00	100.00
	High	55 - 85	55.00	70.00	85.00
	Medium	45 - 65	45.00	55.00	65.00
	Low	20 - 47	20.00	33.50	47.00
	Very low	1 - 25	1.00	1.00	25.00
Output	Step	Range			
%P _g	High	0.55 - 1	0.55	1.00	1.00
	Medium	0.45 - 0.8	0.45	0.63	0.80
	Low	0 - 0.5	0.00	0.00	0.50

ผู้สนใจสามารถศึกษากราฟแสดงฟังก์ชันสมาชิกของแต่ละตัวแปรภายใต้การเลือกใช้ฟังก์ชันสมาชิกทั้งสามแบบได้ในภาคผนวก ข.

4.2.3 การกำหนดกฎให้กับระบบฟuzzy

สำหรับกฎของระบบฟuzzyลอจิกนั้น เป็นการกำหนดว่าอินพุตลักษณะใด จะให้ค่าเอาต์พุตของระบบอยู่ในช่วงใด ซึ่งสำหรับกรณีศึกษาี้ เนื่องจากอินพุตประกอบไปด้วยตัวแปรทั้งหมด 4 ตัวแปร โดย 3 ตัวแปรแรก ซึ่งประกอบไปด้วย Offset well similarity, Juxtaposition และ Shale smear factor นั้น สามารถแบ่งอินพุตได้ออกเป็น 3 ช่วง คือ Low medium และ high ส่วนตัวแปรอินพุตสุดท้าย หรือ Data confident นั้น ถูกแบ่งออกเป็น 5 ช่วง คือ Very low, Low, Medium, High และ Very high ดังนั้น รูปแบบของอินพุตจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้งหมดเท่ากับ $3 \times 3 \times 3 \times 5 = 135$ กรณี

ภายหลังจากที่ได้รูปแบบที่เป็นไปได้ของอินพุตทั้งหมดแล้ว ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีในการหาค่าเอาต์พุตสำหรับอินพุตแต่ละรูปแบบ โดยการสอบถามผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยา ผ่านการตอบแบบสอบถาม ซึ่งสามารถแสดงบางส่วนของผลลัพธ์ได้ดังตารางที่ 4.7 (ผลลัพธ์ทั้งหมดในตาราง ก.1)

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของการออกแบบกฎในการอนุมานพีชชี

Case	Similarity	Data confident	Juxtaposition	Smear	%POS
1	H	VH	H	H	H
2	H	H	H	H	H
3	H	M	H	H	H
4	H	L	H	H	H
5	H	VL	H	H	H
6	H	VH	H	M	H
7	H	H	H	M	H
8	H	M	H	M	H
9	H	L	H	M	H
10	H	VL	H	M	H
11	H	VH	H	L	H
12	H	H	H	L	H
13	H	M	H	L	H
14	H	L	H	L	H
15	H	VL	H	L	H
16	H	VH	M	H	H
17	H	H	M	H	H

...

120	L	VL	M	L	L
121	L	VH	L	H	H
122	L	H	L	H	H
123	L	M	L	H	H
124	L	L	L	H	M
125	L	VL	L	H	M
126	L	VH	L	M	L
127	L	H	L	M	L
128	L	M	L	M	L
129	L	L	L	M	M
130	L	VL	L	M	M
131	L	VH	L	L	L
132	L	H	L	L	L
133	L	M	L	L	L
134	L	L	L	L	L
135	L	VL	L	L	L

4.2.4 การกำหนดฟังก์ชันอนุมานให้ระบบพีชชี

สืบเนื่องจากเหตุผลในการพิจารณาโดยใช้หลักประเมินกรณีที่เราร้ายที่สุด ทำให้ฟังก์ชันที่เหมาะสมสำหรับการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาคือ ฟังก์ชันอนุมานแบบค่าน้อยสุด สำหรับในกรณีศึกษา นี้ ผู้วิจัยจะเลือกค่าชุดของอินพุตมา 1 ชุด เพื่อใช้แสดงให้เห็นถึงการทำงานของระบบในสถานการณ์จริง โดยค่าอินพุตที่ผู้วิจัยเลือกใช้คือ

ค่า Juxtaposition เท่ากับ 0.14

ค่า Shale smear factor เท่ากับ 6

ค่า Offset well similarity เท่ากับ 74

ค่า Data confident เท่ากับ 27

ในกรณีที่พิจารณานฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Trapezoid จะสามารถเปรียบเทียบค่าอินพุต กับตารางแสดงขอบเขตคลุมเครือของตัวแปรได้ว่า

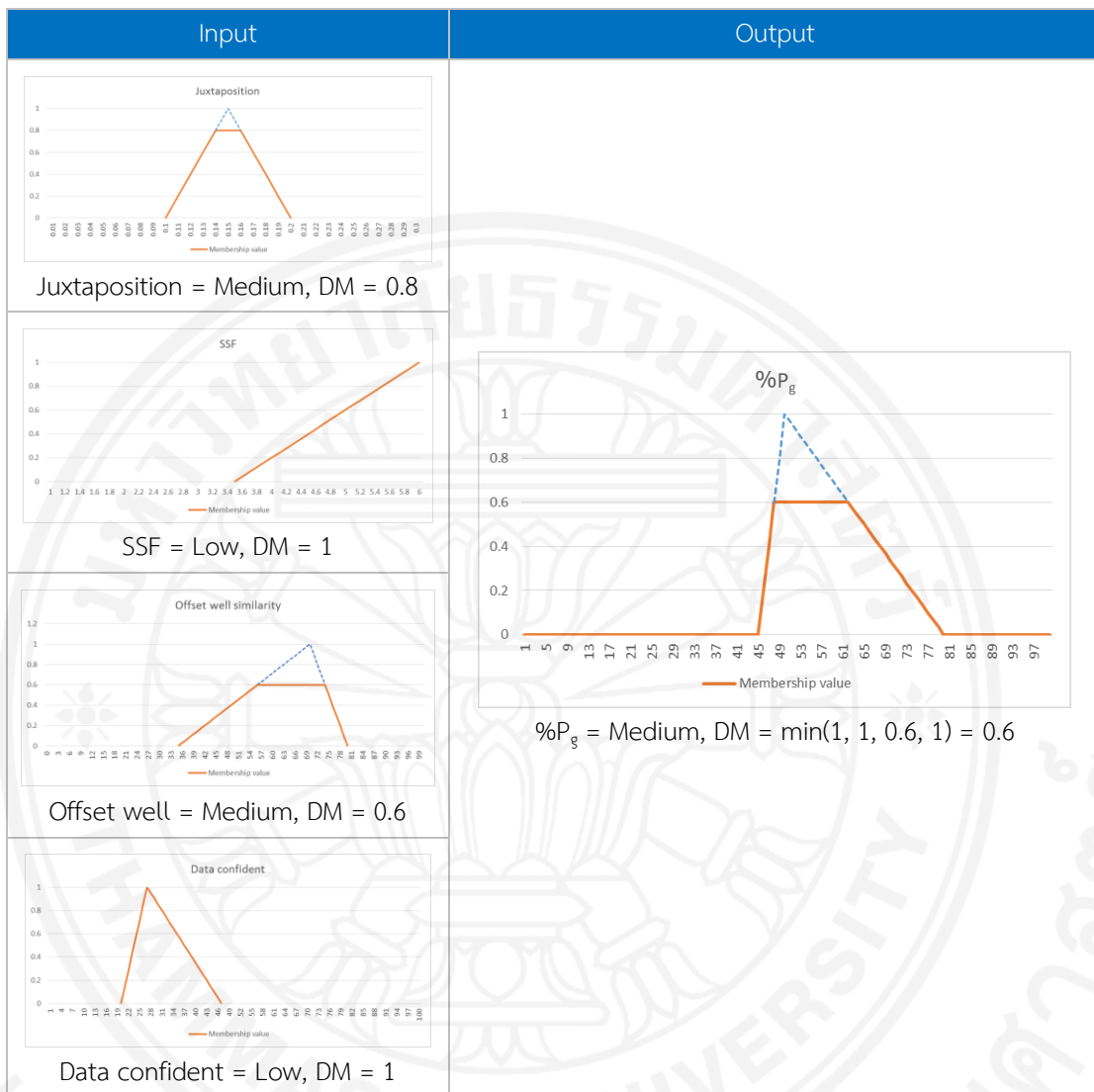
- ค่า Juxtaposition เท่ากับ 0.14 จะอยู่ในช่วงของ Medium ที่มีระดับความเป็นสมาชิก (Degree of Membership, DM) เท่ากับ 1
- ค่า Shale smear factor เท่ากับ 6 จะอยู่ในช่วงของ Low ที่ระดับความเป็นสมาชิก (Degree of Membership, DM) เท่ากับ 1
- ค่า Offset well similarity เท่ากับ 74 จะอยู่ในทั้งช่วงของ Medium และ High โดยที่มีระดับความเป็นสมาชิกเมื่ออยู่ในช่วงของ Medium เท่ากับ 0.6 และเท่ากับ 1 เมื่ออยู่ในช่วงของ High
- ค่า Data confident เท่ากับ 27 จะอยู่ในช่วงของ Low ที่ระดับความเป็นสมาชิก (Degree of Membership, DM) เท่ากับ 1

ซึ่งผู้วิจัยจะนำค่าที่ได้ไปเทียบเคียงกับกฎของระบบฟัซซีที่ได้ทำการออกแบบไว้ในขั้นตอนที่ 4.2.3 จะสามารถสรุปได้ว่า กฎของฟัซซีที่ถูกใช้งานในกรณีนี้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงกฎที่ถูกกระตุ้นในการอนุมานฟัซซีตามตัวอย่าง

Case	Juxtaposition	Shale smear factor	Offset well similarity	Data confident	$\%P_g$
1	M	L	H	L	M
2	M	L	M	L	L

โดยสำหรับการทำงานของกฎข้อที่ 1 นั้น จะได้ว่าค่า $\%P_g$ เอาท์พุทนั้นจะเป็นค่าที่อยู่ในช่วง Medium ที่ระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.6 ดังสามารถแสดงให้เห็นเป็นแผนภาพได้ดังนี้

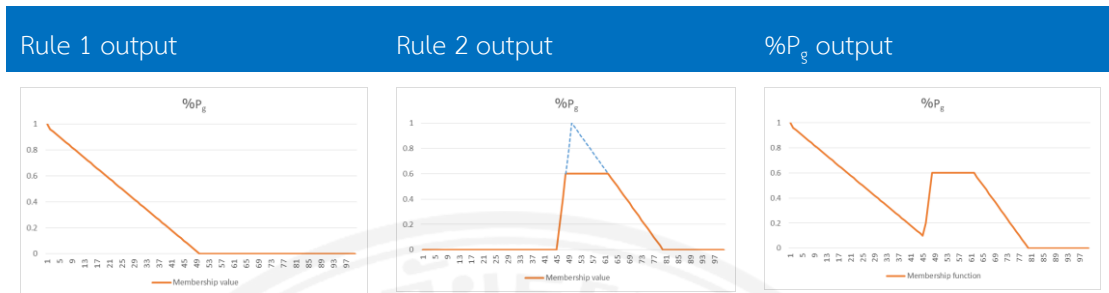


ภาพที่ 4.4 แสดงการทำงานของกฎที่ถูกกระตุ้นโดยอินพุต (DM = Degree of membership)

โดยสำหรับการทำงานของกฎข้อที่ 2 นั้น จะได้ว่าค่า $\%P_g$ เอาท์พุทนั้นจะเป็นค่าที่อยู่ในช่วง Low ที่ระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการอนุมานกฎของฟัซซีทั้งสองกรณี จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป คือการทำ Defuzzifier

4.2.5 การทำ Defuzzifier

การแปลงค่าที่ได้จากการอนุมานฟัซซี ให้กลับเป็นข้อมูลความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา เริ่มจากการรวมผลลัพธ์ที่ได้จากการอนุมานกฎของฟัซซีทั้งสองข้อในวิธีก่อนหน้าตามวิธีแบบ Mamdani โดยใช้วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด – ต่ำสุด (Max – Min composition) นั้น สามารถแสดงในรูปแบบของแผนภาพได้ดังนี้



ภาพที่ 4.5 แสดงการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด – ต่ำสุด (Max – Min composition) โดยเส้นทึบ แสดงค่า Max ในแต่ละตำแหน่งหลังจากการซ้อนทับกันของกราฟเออร์ทฟุตทั้งสอง

ภายหลังจากได้ข้อมูลเออร์ทฟุตดังแสดงในแผนภาพที่ 4.5 แล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการแปลงค่าเออร์ทฟุตที่ได้จากระบบฟัซซีลอจิก ให้อยู่ในรูปแบบของค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา สามารถทำได้โดยการคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงตามสมการ

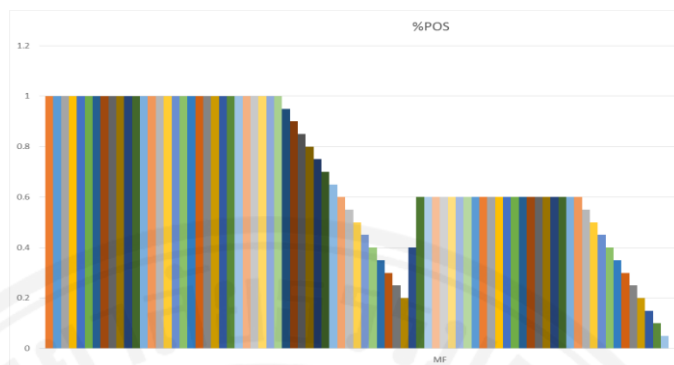
$$COG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x) x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)} \quad (4.4)$$

ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นในรูปแบบของแผนภาพได้ดังนี้ โดยพจน์บนนั้น คำนวณได้จากผลรวมของการนำค่าตำแหน่งของจุดกึ่งกลางของกราฟแท่งแต่ละแท่ง คูณกับพื้นที่ของกราฟแท่งนั้นๆ ส่วนพจน์ล่างได้มาจากผลรวมของความสูงของกราฟแท่งแต่ละอัน

เมื่อแทนค่าในสมการในกรณีนี้จะได้ว่า

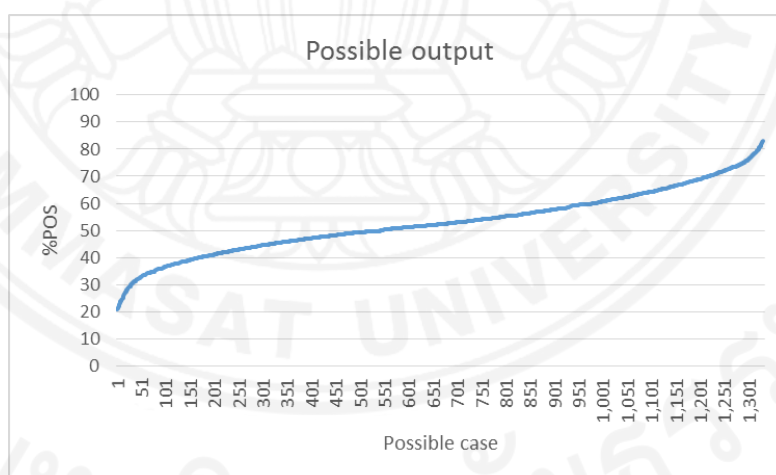
$$\%P_g = COG = \frac{[(0.5+1.5+\dots+29.5)x1]+\dots+(0.05 \times 79.5)}{(1+1+1+\dots+0.15+0.1+0.05)}$$

ซึ่งจะได้ว่า ค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาที่ประเมินได้สำหรับกรณีนี้ มีค่าเท่ากับ 32.26%



ภาพที่ 4.6 แสดงภาพประกอบในการคำนวณเพื่อหาค่าจุดศูนย์กลางสำหรับการทำ Defuzzifier

อย่างไรก็ตาม สืบเนื่องจากข้อจำกัดของการทำ Defuzzifier ด้วยวิธีการคำนวณหาค่าจุดศูนย์กลาง ในกรณีที่พิจารณาฟังก์ชันสมาชิกรูปแบบ Trapezoid จะได้ขอบเขตของค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาที่ได้จากการคำนวณของระบบฟัซซีนี้ ที่มีขอบเขตบนของค่าเอาต์พุตคือ 83 และขอบเขตล่างของค่าเอาต์พุตคือ 21 โดยกราฟแสดงค่าเอาต์พุตที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ได้จากการอนุมานกฎของฟัซซีในกรณีศึกษาสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 แสดงค่าเอาต์พุตที่เป็นไปได้ของการคำนวณหาจุดศูนย์กลาง

เพื่อให้ค่าเอาต์พุตของระบบฟัซซีมีความครอบคลุมถึงช่วงที่เป็นไปได้ทั้งหมด ตั้งแต่ค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาเท่ากับ 1 ไปจนถึง 100 โดยในกรณีนี้ ผู้วิจัยเลือกที่จะใช้วิธีการสร้างเงื่อนไขพิเศษเพิ่มเติม เนื่องจากเป็นระบบที่ถูกออกแบบเพื่อการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยานั้น เป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน การสร้างเงื่อนไขพิเศษจึงสามารถทำได้ง่าย และไม่ต้องพึ่งพา

การคำนวณที่ยู่ยาก หรือการออกแบบชุดคำสั่งเพิ่มเติมในระบบคอมพิวเตอร์ โดยเงื่อนไขที่สร้างขึ้นในกรณีศึกษา นี้ จะถูกใช้งานในสองกรณี คือ

1. กรณีที่ค่าเอาต์พุตเท่ากับขอบเขตบนของค่าที่เป็นไปได้

ในกรณีศึกษา นี้ กรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อองค์ประกอบสองอย่างเกิดขึ้นพร้อมๆกัน คือ กฎของฟัซซีที่ตรงกับเงื่อนไขของอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ มีผลลัพธ์ในช่วงของค่า “High” ทั้งหมด และมีค่าระดับความเป็นสมาชิกที่ได้จากการอนุมานกฎของฟัซซีเท่ากับ 1 ซึ่งจะทำให้ค่าเอาต์พุตเท่ากับ 83 ซึ่งตรงกับขอบเขตบนของค่าเอาต์พุตที่เป็นไปได้ทั้งหมดพอดี

ยกตัวอย่างกรณีที่อินพุตมีค่าดังนี้

- Juxtaposition = 0.16
- Shale smear factor = 1.00
- Offset well similarity = 40
- Data confident = 80

เมื่อทำการตรวจสอบกับกฎของฟัซซีในกรณีที่ใช้ฟังก์ชันสมาชิกแบบ Trapezoid ที่กำหนดไว้ พบว่ามีกฎ 4 ข้อที่ตรงกับลักษณะของข้อมูลอินพุต คือ

ตารางที่ 4.9 แสดงกฎที่เข้าข่ายเงื่อนไขพิเศษด้าน High

case	Output				Output
	Juxtaposition	Smear	Near well	Data confident	% Pg
1	M	H	M	H	H
2	L	H	M	H	H
3	M	H	L	H	H
4	L	H	L	H	H

โดยค่าของระดับความเป็นสมาชิกที่ได้จากผลการอนุมานฟัซซีของกฎทั้งสี่ข้อ คือ $MF = 1$ ซึ่งเมื่อนำไปผ่านขั้นตอน Defuzzier โดยวิธีการคำนวณหาจุดศูนย์กลางแล้วจะพบว่าค่าความน่าจะเป็นในทางธรณีวิทยา จะมีค่าเท่ากับ 83 ซึ่งเท่ากับค่าขอบเขตบนของช่วงของผลลัพธ์ที่ได้คำนวณไว้ก่อนหน้านี้

2. กรณีที่ค่าเอาท์พุทเท่ากับขอบเขตล่างของค่าที่เป็นไปได้

ในกรณีศึกษาครั้งนี้ กรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อองค์ประกอบสองอย่างเกิดขึ้นพร้อมๆกัน คือ กฎของฟัซซีที่ตรงกับเงื่อนไขของอินพุทที่ป้อนให้กับระบบ มีผลลัพธ์ในช่วงของค่า “Low” ทั้งหมด และมีค่าระดับความเป็นสมาชิกที่ได้จากการอนุมานกฎของฟัซซีเท่ากับ 1 ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ของการอนุมานเท่ากับ 21 ซึ่งตรงกับขอบเขตล่างของค่าเอาท์พุทที่เป็นไปได้ทั้งหมดพอดี

ยกตัวอย่างกรณีอื่นพุดมีค่าดังนี้

- Juxtaposition = 0.28
- Shale smear factor = 5.00
- Offset well similarity = 26
- Data confident = 13

เมื่อทำการตรวจสอบกับกฎของฟัซซีในกรณีที่ใช้ฟังก์ชันสมาชิกแบบ Trapezoid ที่กำหนดไว้ พบว่ามีกฎ 1 ข้อที่ตรงกับลักษณะของข้อมูลอินพุท คือ

ตารางที่ 4.10 แสดงกฎที่ตรงตามเงื่อนไขพิเศษด้าน Low

case	Output				Output
	Juxtaposition	Smear	Near well	Data confident	% Pg
1	L	L	L	L	L

โดยค่าของระดับความเป็นสมาชิกที่ได้จากผลการอนุมานฟัซซี คือ $MF = 1$ ซึ่งเมื่อนำไปผ่านขั้นตอน Defuzzifier โดยวิธีการคำนวณหาจุดศูนย์กลางแล้วจะพบว่าค่าความน่าจะเป็นในทางธรณีวิทยา จะมีค่าเท่ากับ 21 ซึ่งเท่ากับค่าขอบเขตล่างของช่วงของผลลัพธ์ที่ได้คำนวณไว้ก่อนหน้านี้ สำหรับกรณีศึกษาครั้งนี้ ช่วงของค่าเอาท์พุทที่ต้องใช้เงื่อนไขพิเศษในการคำนวณคือ เมื่อค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยามีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 20 และ ช่วงค่าตั้งแต่ 83 จนถึง 100 สำหรับการออกแบบเงื่อนไขเพื่อให้ได้ค่าเอาท์พุทครอบคลุมช่วงตั้งแต่ 83 จนถึง 100 ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีให้ผู้เชี่ยวชาญตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับกฎของฟัซซีซ้ำอีกครั้ง โดยที่ครั้งนี้ให้ระบุค่าที่คาดว่าจะป้อนของเอาท์พุท แทนที่จะกำหนดเป็นระดับชั้นแบบขั้นตอนที่ 4.2.3 แล้วจึงนำค่าที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อ

สร้างตารางMultiplier matrix เพื่อใช้ในการประเมินค่าเอาท์พุตให้ครอบคลุมความเป็นไปได้ทั้งหมด โดยสามารถแสดงลำดับการออกแบบเงื่อนไขได้ดังนี้

Maximum possible output = 83

Maximum desired output = 100

Rules with output (Expert opinion) > 83

ตารางที่ 4.11 แสดงกฎที่มีค่าเอาท์พุตสูงกว่า 83% จากการให้ความเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญ

case	Juxtaposition	Smear	Similarity	Data confident	Expert opinion
1	H	H	H	VH	100
2	H	H	H	H	99
3	H	H	H	M	90
4	H	H	H	L	85
5	H	M	H	VH	97
6	H	M	H	H	95
7	H	M	H	L	84
8	H	L	H	VH	87
9	H	L	H	H	84
10	H	L	H	M	84
11	M	H	H	VH	95
12	M	H	H	H	94
13	M	H	H	M	86
14	M	H	H	L	84
15	M	M	H	VH	83
16	M	M	H	H	83
17	L	H	H	VH	85
18	L	H	H	H	83
19	L	H	H	M	83
20	H	H	M	VH	89

ตารางที่ 4.11 แสดงกฎที่มีค่าเอาท์พุทสูงกว่า 83% จากการให้ความเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญ (ต่อ)

case	Juxtaposition	Smear	Near well	Data confident	Expert opinion
21	H	H	M	H	88
22	H	H	M	M	84
23	H	M	M	VH	87
24	H	M	M	H	84
25	H	M	M	M	84
26	M	H	M	VH	86
27	M	H	M	H	84
28	M	H	M	M	84
29	M	M	M	VH	83
30	M	M	M	H	83
31	H	H	L	VH	85
32	H	H	L	H	85

ตารางที่ 4.12 แสดงตารางตัวคูณเพื่อการปรับปรุงค่าของเงื่อนไขพิเศษด้าน High

		Data confident input			
		H	M	L	VL
Juxtaposition & SSF & Offset well input	HHH	1.20	1.19	1.08	1.02
	HHL	1.02	1.02		
	HHM	1.07	1.06	1.01	
	HLH	1.05	1.01	1.01	
	HMH	1.17	1.14		1.01
	HMM	1.05	1.01	1.01	
	LHH	1.02	1.00	1.00	
	MHH	1.14	1.13	1.04	1.01
	MHM	1.04	1.01	1.01	
	MMH	1.00	1.00		
	MMM	1.00	1.00		

สำหรับเงื่อนไขในส่วนที่มีค่าเอาต์พุตอยู่ระหว่าง 1 ถึง 21 นั้นทำได้โดยใช้วิธีการลักษณะเดียวกัน ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

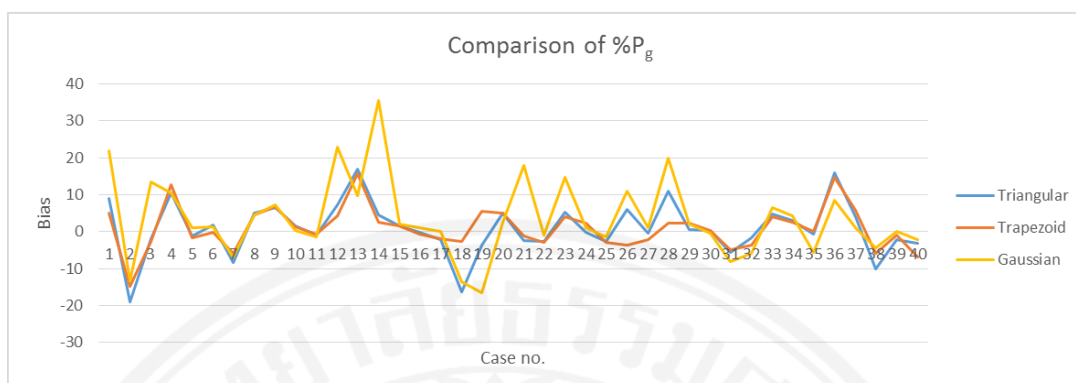
ตารางที่ 4.13 แสดงตารางตัวคูณเพื่อการปรับปรุงค่าของเงื่อนไขพิเศษด้าน Low

		Data confident input				
		VH	H	M	L	VL
Juxtaposition & SSF & Offset well input	MLH				1.00	1.00
	MLM			1.00	1.00	0.95
	MLL			0.95	0.86	0.81
	LMH				0.71	0.62
	LMM		0.67		0.57	0.52
	LML			0.57	0.52	0.43
	LLH				0.62	0.62
	LLM	0.57	0.57	0.52	0.19	0.10
	LLL	0.48	0.38	0.29	0.19	0.05

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของระบบที่ออกแบบไว้

เพื่อการทดสอบความถูกต้องในการประเมินค่าของระบบฟิชซีลอจิก ผู้วิจัยจึงทำการสุ่มค่าอินพุตของแต่ละตัวแปรโดยใช้ฟังก์ชัน RANDBETWEEN() ในโปรแกรม Microsoft Excel เป็นจำนวนทั้งหมด 40 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ ก.2 เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการให้ความเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญ และทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ เพื่อทำการปรับปรุง หรือคัดเลือกรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบที่ได้ทำการออกแบบ

เมื่อทำการป้อนค่าอินพุตเข้าไปในระบบฟิชซี จะได้ผลลัพธ์จากการอนุมานจำนวน 40 ค่า ต่อฟังก์ชันสมาชิก 1 แบบ ดังแสดงในตารางที่ ก.3 และเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดที่ผู้วิจัยสามารถยอมรับได้ที่ไม่เกิน 5 % ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผู้วิจัยจึงแปลงค่า $\%P_g$ เอาต์พุตของฟังก์ชันสมาชิกแบบต่างๆ ให้อยู่ในค่าความผิดพลาดเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการให้ความเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งผลลัพธ์ได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.8 แสดงค่าความผิดพลาดของเอ้าท์พุทที่ได้จากการทดสอบระบบพีซีซี

จากกราฟแสดงให้เห็นถึงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่แตกต่างกัน ในกรณีศึกษาพบว่า ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ให้ค่าความผิดพลาดที่ต่ำที่สุดคือฟังก์ชัน Trapezoid ซึ่งให้ค่าที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า 5% จำนวน 30 ครั้งจากตัวอย่าง 40 ตัวอย่าง ในขณะที่ Triangular และ Gaussian นั้นให้ค่าที่อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ จำนวน 24 และ 20 ครั้งตามลำดับ และฟังก์ชัน Gaussian นั้นมีการให้ค่าที่มีความผิดพลาดสูงที่สุด

อย่างไรก็ตาม ยังคงมีค่าเอ้าท์พุทบางค่า จะมีค่าเท่ากับขอบเขตบน และขอบเขตล่างของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ของระบบ ในกรณีนี้จึงเข้าใจของการใช้เงื่อนไขพิเศษในการประมาณค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะแสดงให้เห็นถึงการเลือกใช้ตัวคูณจากตารางที่ทำการออกแบบไว้ ในกรณี que เลือกพิจารณาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบ Trapezoid

การเลือกตัวคูณจากจาก Multiplier Matrix ทำได้โดยแบ่งตัวแปรออกเป็นสองกลุ่มย่อย กลุ่มแรกประกอบด้วย Juxtaposition, Shale smear factor และ Offset well และกลุ่มที่สองคือ Data confident โดยในการเลือกตัวคูณนั้น จะพิจารณาโดยให้กลุ่มของตัวแปรกลุ่มที่ 1 อยู่ทางด้านซ้ายของตาราง และกลุ่มตัวแปรกลุ่มที่ 2 อยู่ทางด้านบนของตาราง

ตารางที่ 4.14 แสดงตารางของกฎที่ให้ค่าเอาต์พุตตรงกับการใช้เงื่อนไขพิเศษ

case	Juxtaposition	SSF	Offset well	Data confident	Expert opinion
2	79	83	85	90	
	H	H	H	VH	H
4	18	21	19	26	
	L	L	L	L	L
7	81	83	82	80	
	M	H	H	H	H
13	22	21	15	14	
	L	L	L	VL	L
32	85	83	81	55	
	M	M	H	M	H
36	22	21	15	8	
	M	L	L	VL	L
37	19	21	16	50	
	M	L	L	M	L
38	79	83	85	96	
	L	H	H	VH	H

ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ค่าอินพุตของระบบฟuzzyอยู่ในช่วงขอบเขตดังนี้

- Juxtaposition = H
- Shale smear factor = M
- Offset well = M
- Data confident = M

จะได้ว่า ตัวแปรกลุ่มแรกคือ Juxtaposition/Shale smear factor/Offset well จะมีค่าเท่ากับ HMM ซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายของตาราง และตัวแปรกลุ่มที่สองคือ Data confident จะมีค่าเท่ากับ M ซึ่งอยู่ด้านบนของตาราง เมื่อนำไปพิจารณากับตารางเงื่อนไขพิเศษจะได้ว่า ตัวคูณที่เหมาะสมคือ 1.01 ดังแสดงในตารางที่ 4.15 ดังนั้น ผลลัพธ์ในกรณีดังกล่าว จึงมีค่าเท่ากับ $83 \times 1.01 = 84\%$

ตารางที่ 4.15 แสดงตัวอย่างการใช้งานตารางเงื่อนไขพิเศษ

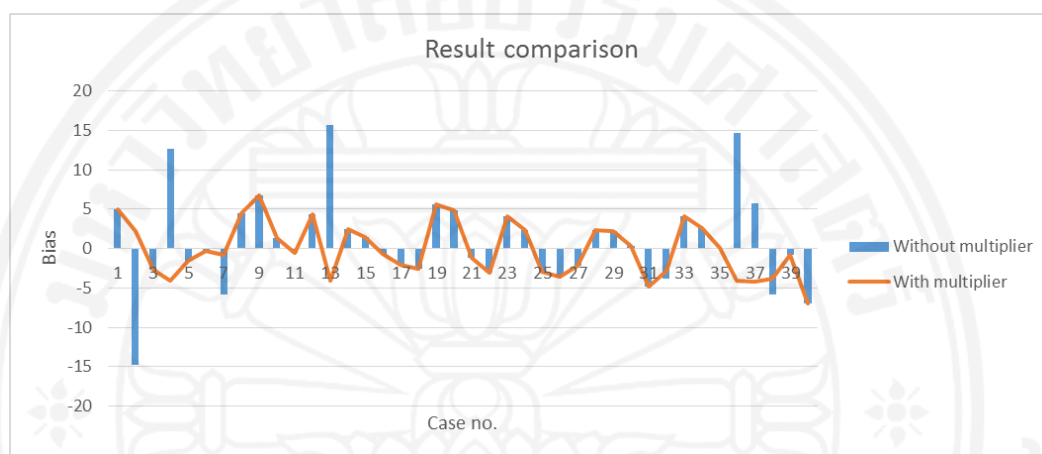
		Data confident input			
		H	M	L	VL
Juxtaposition & SSF & Offset well input	HHH	1.20	1.19	1.08	1.02
	HHL	1.02	1.02		
	HHM	1.07	1.06	1.01	
	HLH	1.05	1.01	1.01	
	HMH	1.17	1.14	1.01	1.01
	HMM	1.05	1.01	1.01	
	LHH	1.02	1.00	1.00	
	MHH	1.14	1.13	1.04	1.01
	MHM	1.04	1.01	1.01	
	MMH	1.00	1.00		
	MMM	1.00	1.00		

เมื่อทำการตรวจสอบกฎที่เข้าข่ายการใช้งานเงื่อนไขพิเศษข้ออื่นๆ จะสามารถแสดงผลลัพธ์ของการเลือกใช้ตัวคูณ และผลลัพธ์ภายหลังการปรับปรุงค่าได้ดังนี้

ตารางที่ 4.16 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้เงื่อนไขพิเศษของแต่ละกฎ

case	Group 1	Group 2	Multiplier	Update output
2	HHH	VH	1.20	100
4	LLL	L	0.19	4
7	HHM	H	1.06	88
13	LLL	VL	0.05	1
32	MHM	M	1.01	84
36	LLM	VL	0.10	2
37	LLM	M	0.52	11
38	HHL	VH	1.02	85

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เงื่อนไขพิเศษ กับค่าที่ได้จากการประเมิน โดยผู้เชี่ยวชาญในตอนแรกพบว่า การใช้เงื่อนไขพิเศษนั้นส่งผลให้จำนวนครั้งที่เอาท์พุทที่ได้จากการ อนุमानจะมีความผิดพลาดน้อยกว่า 5% นั้นเพิ่มขึ้นจาก 30 ครั้ง กลายเป็น 37 ครั้งจากการสุ่ม ตัวอย่างอินพุต 40 ครั้ง ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบของค่าความผิดพลาดของเอาท์พุทก่อนและหลังการใช้ตัวคูณเพื่อปรับปรุงค่า

จากผลการปรับปรุงค่าข้างต้น สามารถประมาณช่วงความเชื่อมั่นโดยใช้ z-test โดยการคำนวณค่าความผิดพลาด จากตารางที่ ก.4 ได้ดังนี้

ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง = 40 ชุดตัวอย่าง

ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดของกลุ่มตัวอย่าง = 2.91

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความผิดพลาดของกลุ่มตัวอย่าง = 1.73

ค่าระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการ = 95%

จะข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า การประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาโดยการใช้ฟิชชีลจิกบนฟังก์ชันสมาชิกแบบ Trapezoid นั้น ให้ค่าที่มีความผิดพลาดระหว่าง 2.37% – 3.44% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป และอภิปรายผลการวิจัย

ในบทที่ 4 ผู้วิจัยได้นำเสนอกรณีศึกษาในการใช้กรอบแนวคิดในการออกแบบระบบ ฟัชซีเพื่อการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาในปัจจุบันของ Fault seal ซึ่งเป็นชนิดของการ ปิดกั้นที่พบมากสำหรับแหล่งสัมปทานอาทิตย์ โดยมีการทดลองใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก 3 รูปแบบ คือ Triangular, Trapezoid และ Gaussian เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการประเมิน โดยมี เป้าหมายที่กำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยา โดยอนุญาตให้ค่าเอาต์พุตผิดพลาดได้ไม่เกิน 5% ที่ ระดับความมั่นใจ 90% ซึ่งผลจากการทดสอบระบบ โดยการสุ่มค่าอินพุตจำนวน 40 ค่า และพิจารณา เทียบผลที่ได้จากการอนุมานฟัชซี กับผลที่ได้จากการให้ความเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ

1. ฟังก์ชัน Triangular ให้ค่าที่มีความผิดพลาดระหว่าง 2.81% – 4.83 % ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95%
2. ฟังก์ชัน Trapezoid ให้ค่าที่มีความผิดพลาดระหว่าง 2.37% – 3.44% ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%
3. ฟังก์ชัน Gaussian ให้ค่าที่มีความผิดพลาดระหว่าง 4.44 % – 9.37% ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%

จึงสามารถสรุปได้ว่าในกรณีศึกษานี้ ฟังก์ชันสมาชิกที่ให้ค่าที่มีความแม่นยำสูงที่สุด คือ ฟังก์ชัน Trapezoid ซึ่งให้ค่าที่มีความผิดพลาดระหว่าง 2.37% – 3.44% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากข้อสรุปนี้ แสดงให้เห็นว่า การเลือกใช้ฟัชซีลอจิกเพื่อการสร้างแบบจำลองฟัชซี เพื่อ ประกอบการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญนั้นเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ โดยแบบจำลองฟัชซีลอจิกจะถูก นำไปใช้งานในส่วนของรอยต่อระหว่างขั้นตอนการศึกษาข้อมูลทางธรณีวิทยาของแหล่งสำรวจ และ ขั้นตอนการตัดสินใจเลือกค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา ภายหลังจากพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จาก การศึกษาข้อมูลทั้งหมดแล้ว เพื่อช่วยแก้ไขเรื่องความคลุมเครือในการประเมิน และทำให้ผู้มีหน้าที่ ตัดสินใจ สามารถเห็นภาพของปัญหาที่มีความชัดเจนยิ่งขึ้นได้

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อประโยชน์ต่อผู้ใช้งานวิจัย

จากงานวิจัยซึ่งได้ทำการศึกษาคำแนะนำแนวคิดเพื่อการประยุกต์พีชคณิตเชิงเส้น เพื่อการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา ได้แสดงถึงขั้นตอนการศึกษา ขั้นตอนการออกแบบ แสดงให้เห็นถึงวิธีการใช้งาน และผลลัพธ์ที่แสดงให้เห็นว่ากรอบแนวคิดในงานวิจัยฉบับนี้นั้นสามารถใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยยังคงมีประเด็นที่จะนำเสนอเพื่อให้ผู้ที่ต้องการใช้งานวิจัยฉบับนี้ในอนาคตสามารถพัฒนาตัวแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น ดังนี้

5.2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ มีการกล่าวถึงตัวแปรที่สำคัญเกี่ยวกับข้อมูลทางธรณีวิทยา เพื่อทำการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา ซึ่งการเลือกใช้งานตัวแปรนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาของแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน ผู้วิจัยไม่จำเป็นที่จะต้องใช้งานตัวแปรทั้งหมด หรืออาจจะไม่จำเป็นต้องทำการประเมินเลยในกรณีที่มีข้อมูลมากพอแล้ว หรือในบางกรณี ตัวแปรบางตัวอาจจะมีน้ำหนักมากกว่าตัวแปรอื่นๆ ซึ่งสามารถประเมินได้โดยอาศัยความเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางธรณีวิทยา

5.2.2 แนวทางในการแก้ไขข้อจำกัดของการคำนวณโดยวิธีคำนวณจุดศูนย์กลาง

งานวิจัยฉบับนี้ เลือกใช้การสร้างเงื่อนไขพิเศษเพื่อการปรับปรุงค่าเอาท์พุท ให้มีความครอบคลุมผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ เนื่องจากมีอินพุตเพียง 4 ค่า และเอาท์พุทเพียงค่าเดียว ทำให้การสร้าง matrix เพื่อการใช้งานทำได้ไม่ยาก ซึ่งการใช้วิธีนี้จะมีข้อจำกัดในกรณีที่ตัวแปรอินพุตมีจำนวนมาก จะทำให้ตัวแบบมีความซับซ้อน และไม่สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ซึ่งทางเลือกในการใช้เครื่องมืออื่นเพิ่มเติมอาจจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า เช่น การใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมช่วยในการกำหนดค่าน้ำหนักของกฎ เป็นต้น

สำหรับวิธีการเพิ่มจำนวนฟังก์ชันสมาชิกนั้น ควรทำในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดกฎ และการคำนวณเอาท์พุท ซึ่งการเพิ่มจำนวนฟังก์ชันสมาชิกที่ละเอียดมากเกินไป อาจจะเป็นอุปสรรคในการออกแบบระบบ ซึ่งการใช้เครื่องมือชนิดอื่นในการทำงานอาจจะทำได้มีประสิทธิภาพมากกว่า

5.2.3 การปรับค่าของฟังก์ชันสมาชิกให้มีความแม่นยำมากขึ้น

โดยปกติแล้ว การออกแบบระบบฟัซซีนั้น อาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงฟัซซีเซต และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกซ้ำอีกหลายครั้ง หลังจากได้ตัวแบบเบื้องต้นแล้ว โดยเฉพาะระบบที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น ระบบควบคุมทางวิศวกรรม เนื่องจากระบบฟัซซีนั้น ออกแบบโดยอาศัยการจำลองตรรกะ ถ้า-แล้ว โดยอาศัยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งในบางครั้ง การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในครั้งแรก อาจจะยังไม่ใช้ค่าที่เหมาะสมที่แท้จริงของระบบ จึงต้องผ่านขั้นตอนการปรับแต่งโดยละเอียดก่อนจะสามารถใช้งานจริงได้



รายการอ้างอิง

- Zadeh, L. 1965. "Fuzzy sets", *Information and Control*, 8(3), 338–353.
- Macmillan, Thomas T. 1971. "The Delphi Technique", Monterey, California.
- Mamdani, E. H., 1974, Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proc. IEE*, 121(12).
- Turban, E., 1990, *Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems*, Macmillan: New York.
- Rose, P.R., 1992, Chance of Success and Its Use in Petroleum Exploration: Chapter 7: Part II. Nature of the Business in the Business of Petroleum Exploration: AAPG Treatise of Petroleum Geology, p. 71 – 86.
- Intharawijitr, K. and Triamwichanon, H. 1998. "Stratigraphy Review of Block 14A, 15A, and 16A: North Malay Basin (Project Arthit)". PTT Exploration and Production Public Company Limited internal report. p. 13.
- Pandian V., Arijit B., Ajith A. 2004. "Meta-Learning Evolutionary Artificial Neural Networks". *Neurocomputing Journal*. Elsevier Science. Netherlands. Vol. 56c.
- Kachi, T., H. Yamada, K. Yasuhara, M. Fujimoto, S. Hasegawa, S. Iwanaga, and R. Sorkhabi. 2005. Fault-seal analysis applied to the Erawan gas-condensate field in the Gulf of Thailand, in R. Sorkhabi and Y. Tsuji, eds., *Faults, fluid flow, and petroleum traps: AAPG Memoir 85*, p. 59– 78.
- J. Eric Bickel, James E. Smith, Jennifer L. Meyer. 2008. "Modeling Dependence Among Geologic Risks in Sequential Exploration Decisions".
- Khaled Elleithy. 2008. *Innovations and Advanced Techniques in Systems, Computing Sciences and Software Engineering*. Springer.
- ใจทิพย์ เชื้อรัตน์พงษ์. 2552. การวิจัยด้วยเทคนิคเดลฟาย. "การลำดับความสำคัญของข้อมูลพื้นฐานเพื่อการพัฒนาหลักสูตรโดยใช้เทคนิคเดลฟาย". *สารพัฒนาหลักสูตร*, 13(117) : 23-39.
- พยุ่ง มีสีจ. 2553. "ระบบฟัชซีและโครงข่ายประสาทเทียม". *คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*

Kevin McCarthy, Katherine Rojas, Martin Niemann, Danial Palmowski, Kenneth Peter, Artur Stankiewicz. 2011. "Basic Petroleum Geochemistry for Source Rock Evaluation". Oilfield Review Summer, 23(2).

นันทชัย กานตานั้นทะ. 2555. "การพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ". วารสาร วิศวกรรมศาสตร์, 4(1), 37 - 47.

Maurizio Cirrincione, Marcello Pucci, Gianpaolo Vitale. 2012. "Power Converters and AC Electrical Drives with Linear Neural Networks". New York: CRC Press.
Gentry Braswell, Artificial Intelligence Comes of Age in Oil and Gas. Journal of Petroleum Technology, Issues 2013-01, 2013.

Genetic algorithm. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559, จาก http://www.ro.feri.uni-mb.si/predmeti/int_reg/Predavanja/Eng/3.Genetic%20algorithm/_18.html

ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems : ES). สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559, จาก <https://www.gotoknow.org/posts/353661>

กำเนิดปิโตรเลียม. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2559. <http://www.vcharkarn.com/varticle/43165>



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบฟิชซี

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการออกแบบกฎของฟิชซีสำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัย

Case	Similarity	Data confident	Juxtaposition	Smear	%P _s
1	H	VH	H	H	H
2	H	H	H	H	H
3	H	M	H	H	H
4	H	L	H	H	H
5	H	VL	H	H	H
6	H	VH	H	M	H
7	H	H	H	M	H
8	H	M	H	M	H
9	H	L	H	M	H
10	H	VL	H	M	H
11	H	VH	H	L	H
12	H	H	H	L	H
13	H	M	H	L	H
14	H	L	H	L	H
15	H	VL	H	L	H
16	H	VH	M	H	H
17	H	H	M	H	H
18	H	M	M	H	H
19	H	L	M	H	H
20	H	VL	M	H	H
21	H	VH	M	M	H
22	H	H	M	M	H
23	H	M	M	M	H
24	H	L	M	M	M
25	H	VL	M	M	M
26	H	VH	M	L	L
27	H	H	M	L	L
28	H	M	M	L	L
29	H	L	M	L	M
30	H	VL	M	L	M
31	H	VH	L	H	H
32	H	H	L	H	H
33	H	M	L	H	H
34	H	L	L	H	H

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการออกแบบกฎของฟuzzy สำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัย (ต่อ)

Case	Similarity	Data confident	Juxtaposition	Smear	%P _g
35	H	VL	L	H	H
36	H	VH	L	M	L
37	H	H	L	M	L
38	H	M	L	M	L
39	H	L	L	M	M
40	H	VL	L	M	M
41	H	VH	L	L	L
42	H	H	L	L	L
43	H	M	L	L	L
44	H	L	L	L	L
45	H	VL	L	L	M
46	M	VH	H	H	H
47	M	H	H	H	H
48	M	M	H	H	H
49	M	L	H	H	H
50	M	VL	H	H	H
51	M	VH	H	M	H
52	M	H	H	M	H
53	M	M	H	M	H
54	M	L	H	M	H
55	M	VL	H	M	H
56	M	VH	H	L	H
57	M	H	H	L	H
58	M	M	H	L	H
59	M	L	H	L	H
60	M	VL	H	L	H
61	M	VH	M	H	H
62	M	H	M	H	H
63	M	M	M	H	H
64	M	L	M	H	H
65	M	VL	M	H	H
66	M	VH	M	M	H
67	M	H	M	M	H
68	M	M	M	M	H
69	M	L	M	M	M
70	M	VL	M	M	M
71	M	VH	M	L	L
72	M	H	M	L	L
73	M	M	M	L	L

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการออกแบบกฎของฟuzzy สำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัย (ต่อ)

Case	Similarity	Data confident	Juxtaposition	Smear	%P _g
74	M	L	M	L	L
75	M	VL	M	L	L
76	M	VH	L	H	H
77	M	H	L	H	H
78	M	M	L	H	H
79	M	L	L	H	H
80	M	VL	L	H	H
81	M	VH	L	M	L
82	M	H	L	M	L
83	M	M	L	M	L
84	M	L	L	M	L
85	M	VL	L	M	L
86	M	VH	L	L	L
87	M	H	L	L	L
88	M	M	L	L	L
89	M	L	L	L	L
90	M	VL	L	L	L
91	L	VH	H	H	H
92	L	H	H	H	H
93	L	M	H	H	H
94	L	L	H	H	H
95	L	VL	H	H	M
96	L	VH	H	M	H
97	L	H	H	M	H
98	L	M	H	M	H
99	L	L	H	M	H
100	L	VL	H	M	H
101	L	VH	H	L	H
102	L	H	H	L	H
103	L	M	H	L	H
104	L	L	H	L	M
105	L	VL	H	L	M
106	L	VH	M	H	H
107	L	H	M	H	H
108	L	M	M	H	H
109	L	L	M	H	H
110	L	VL	M	H	H
111	L	VH	M	M	H

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการออกแบบกฎของฟuzzy สำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัย (ต่อ)

Case	Similarity	Data confident	Juxtaposition	Smear	%P _g
112	L	H	M	M	H
113	L	M	M	M	M
114	L	L	M	M	M
115	L	VL	M	M	M
116	L	VH	M	L	L
117	L	H	M	L	L
118	L	M	M	L	L
119	L	L	M	L	L
120	L	VL	M	L	L
121	L	VH	L	H	H
122	L	H	L	H	H
123	L	M	L	H	H
124	L	L	L	H	M
125	L	VL	L	H	M
126	L	VH	L	M	L
127	L	H	L	M	L
128	L	M	L	M	L
129	L	L	L	M	M
130	L	VL	L	M	M
131	L	VH	L	L	L
132	L	H	L	L	L
133	L	M	L	L	L
134	L	L	L	L	L
135	L	VL	L	L	L

ตารางที่ ก.2 แสดงผลการสุ่มค่าอินพุตจำนวน 40 ค่า เพื่อการทดสอบระบบ

case	Juxtaposition	Smear	Similarity	Data confident
1	0.14	4	48	37
2	0.02	2	90	90
3	0.2	3	45	40
4	0.28	5	13	26
5	0.07	6	65	56
6	0.2	2	30	60
7	0.04	1	60	80
8	0.19	6	51	49
9	0.18	2.5	45	60
10	0.14	6	74	27
11	0.26	5	21	23
12	0.25	4	89	42
13	0.26	6	15	14
14	0.15	3	57	10
15	0.1	4	79	70
16	0.07	3	75	28
17	0.19	2	57	84
18	0.12	4	70	90
19	0.11	6	7	50
20	0.3	5	46	3
21	0.12	2	13	3
22	0.13	1	74	32
23	0.16	3	51	77
24	0.04	2	35	81
25	0.26	1	81	46

ตารางที่ ก.2 แสดงผลการสุ่มค่าอินพุตจำนวน 40 ค่า เพื่อการทดสอบระบบ (ต่อ)

case	Juxtaposition	Smear	Similarity	Data confident
26	0.18	3	80	78
27	0.04	4	65	64
28	0.12	4	92	29
29	0.21	2	46	82
30	0.02	5	34	37
31	0.15	5	20	42
32	0.19	1	70	55
33	0.21	1	85	13
34	0.24	1	76	43
35	0.25	6	77	39
36	0.26	6	61	8
37	0.3	5	60	50
38	0.02	2	25	96
39	0.26	1	31	83
40	0.19	4	57	34

ตารางที่ ก.3 แสดงผลการอนุมานฟัซซีจากตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มค่าอินพุต

case	Triangular	Trapezoid	Gaussian
1	55	51	67.91
2	79	83	85
3	44	43	60
4	18	21	19
5	79	78	81
6	83	81	82
7	81	83	82
8	22	22	21
9	81	81	81
10	33	32	31
11	22	22	21
12	46	43	62
13	22	21	15
14	61	59	93
15	81	80	81
16	80	79	81
17	79	79	81
18	33	46	36
19	31	41	18
20	24	24	21
21	65	66	85
22	79	79	81
23	71	70	81
24	80	82	81
25	81	81	83
26	57	47	62

ตารางที่ ก.3 แสดงผลการอนุมานพีชซีจากตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มค่าอินพุต (ต่อ)

case	Triangular	Trapezoid	Gaussian
27	85	83	86
28	76	67	85
29	80	81	81
30	21	21	21
31	22	23	20
32	85	83	81
33	83	82	85
34	80	80	81
35	21	22	16
36	22	21	15
37	19	21	16
38	79	83	85
39	79	80	81
40	39	35	40

ตารางที่ ก.4 แสดงผลการคำนวณค่าความผิดพลาด จากการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา ด้วยฟัซซีลอจิก และการให้ความเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญ

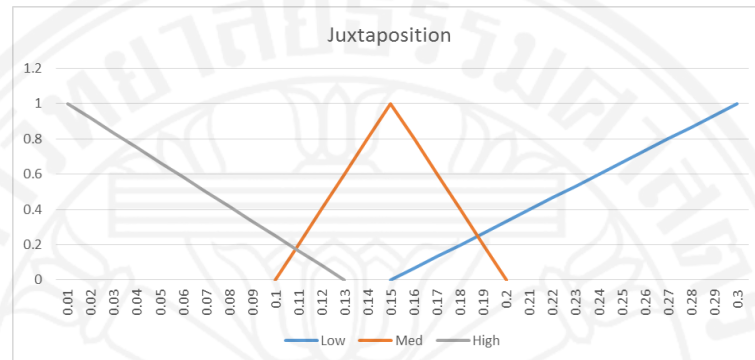
Case	Fuzzy result	User result	Bias
1	50.98	46	4.98
2	100.26	98	2.26
3	43.36	46	2.64
4	3.94	8	4.06
5	78.39	80	1.61
6	80.71	81	0.29
7	88.22	89	0.78
8	21.51	17	4.51
9	80.71	74	6.71
10	32.39	31	1.39
11	22.39	23	0.61
12	43.36	39	4.36
13	0.98	5	4.02
14	59.44	57	2.44
15	80.46	79	1.46
16	79.33	80	0.67
17	78.98	81	2.02
18	46.43	49	2.57
19	40.60	35	5.60
20	23.89	19	4.89

ตารางที่ ก.4 แสดงผลการคำนวณค่าความผิดพลาด จากการประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยา ด้วยฟัซซีลอจิก และการให้ความเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญ (ต่อ)

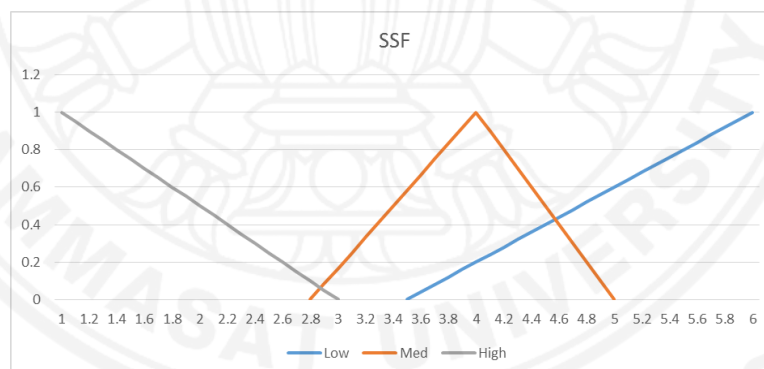
Case	Fuzzy result	User result	Bias
21	65.80	67	1.20
22	78.98	82	3.02
23	70.04	66	4.04
24	82.28	80	2.28
25	81.00	84	3.00
26	47.42	51	3.58
27	82.76	85	2.24
28	67.36	65	2.36
29	81.25	79	2.25
30	21.37	21	0.37
31	23.20	28	4.80
32	84.21	87	2.79
33	82.04	78	4.04
34	79.58	77	2.58
35	22.06	22	0.06
36	1.97	6	4.03
37	10.83	15	4.17
38	85.22	89	3.78
39	80.15	81	0.85
40	35.03	42	6.97

ภาคผนวก ข
รูปภาพที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการออกแบบระบบพีซีซี

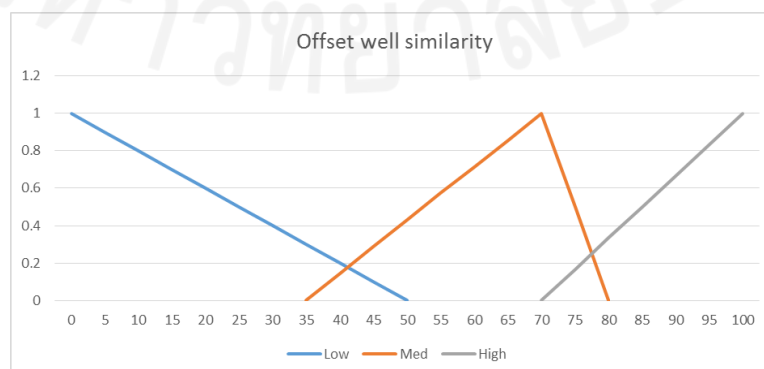
ฟังก์ชันสมาชิกแบบ Triangular ของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง



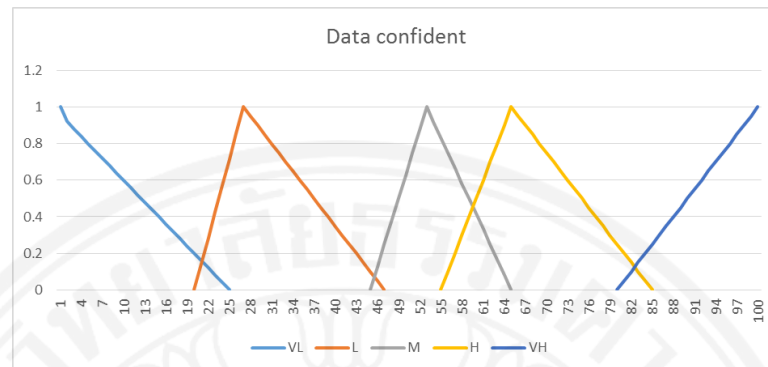
ภาพที่ ข.1.1 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Triangular ของตัวแปร Juxtaposition



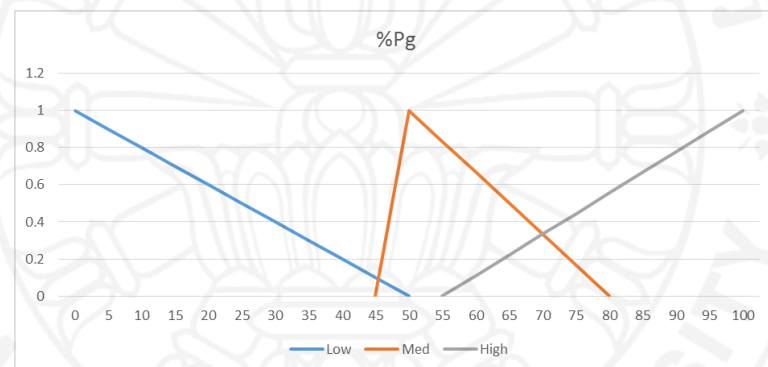
ภาพที่ ข.1.2 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Triangular ของตัวแปร Shale smear factor



ภาพที่ ข.1.3 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Triangular ของตัวแปร Offset well similarity

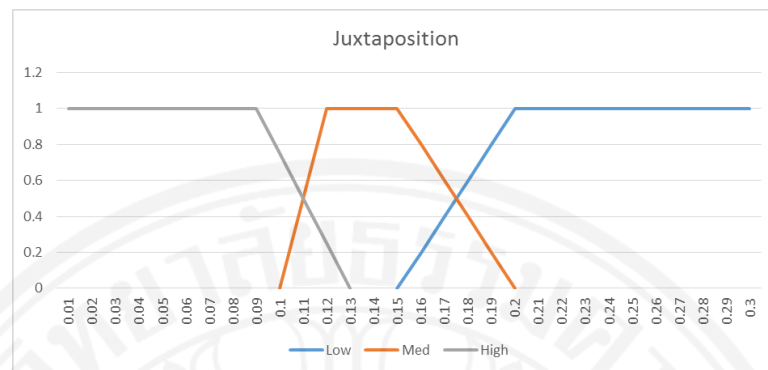


ภาพที่ ข.1.4 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Triangular ของตัวแปร Data confident

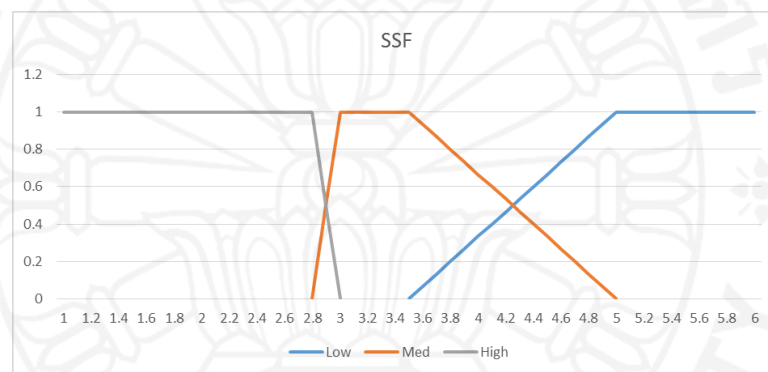


ภาพที่ ข.1.5 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Triangular ของตัวแปร %P_g

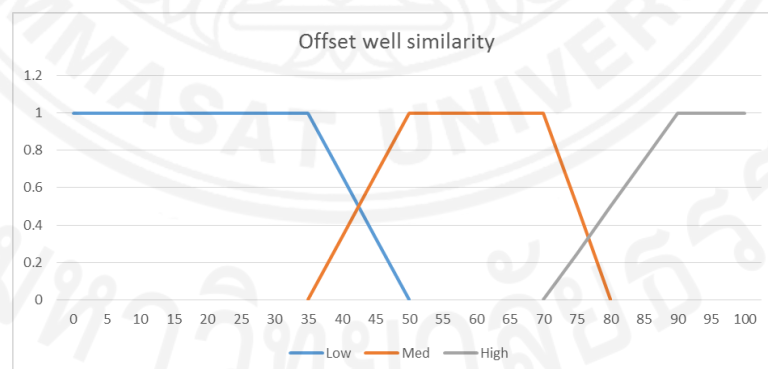
ฟังก์ชันสมาชิกแบบ Trapezoid ของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง



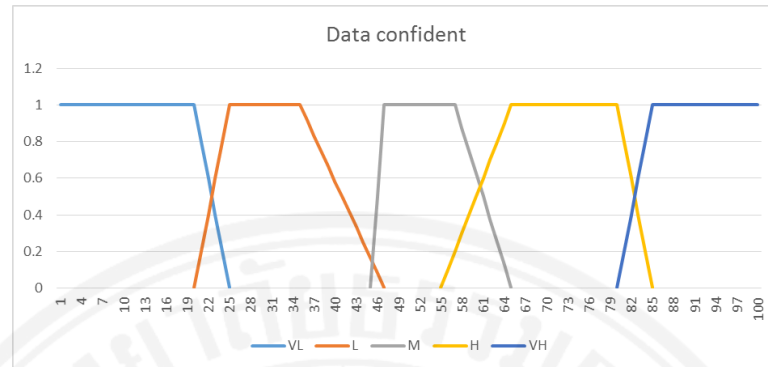
ภาพที่ ข.2.1 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Trapezoid ของตัวแปร Juxtaposition



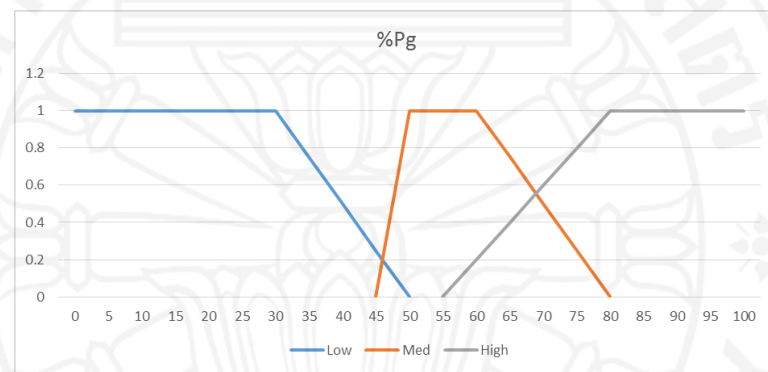
ภาพที่ ข.2.2 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Trapezoid ของตัวแปร Shale smear factor



ภาพที่ ข.2.3 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Triangular ของตัวแปร Offset well similarity

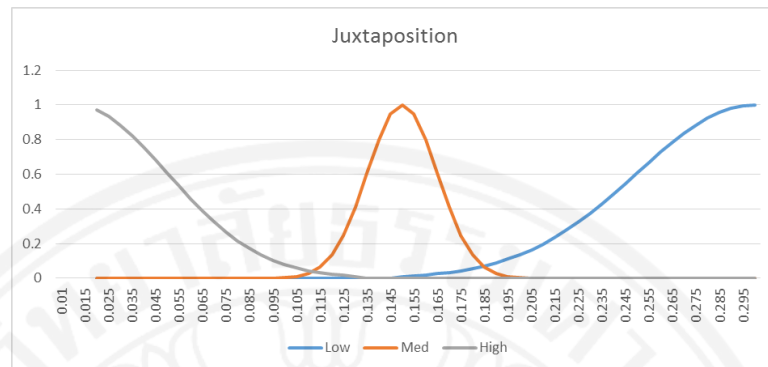


ภาพที่ ข.2.4 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Trapezoid ของตัวแปร Data confident

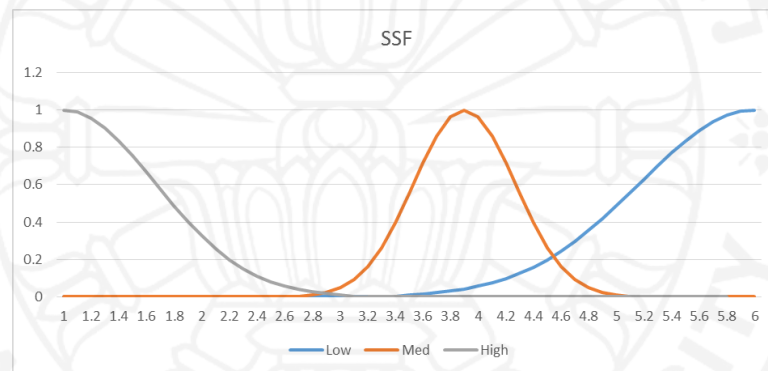


ภาพที่ ข.2.5 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Trapezoid ของตัวแปร %Pg

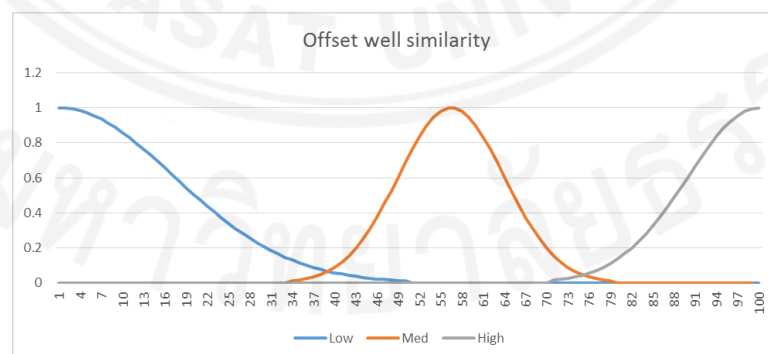
ฟังก์ชันสมาชิกแบบ Gaussian ของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง



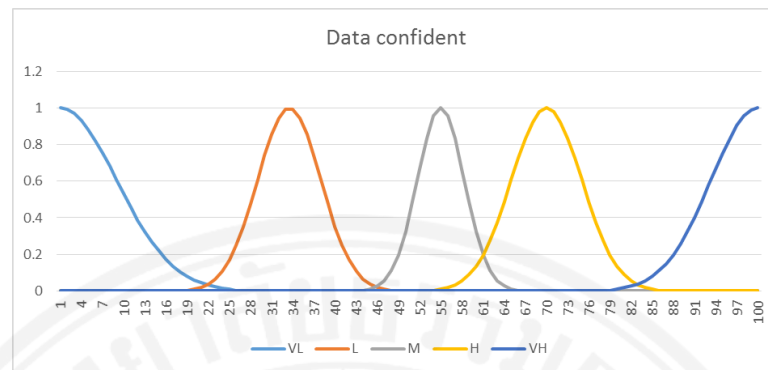
ภาพที่ ข.3.1 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Gaussian ของตัวแปร Juxtaposition



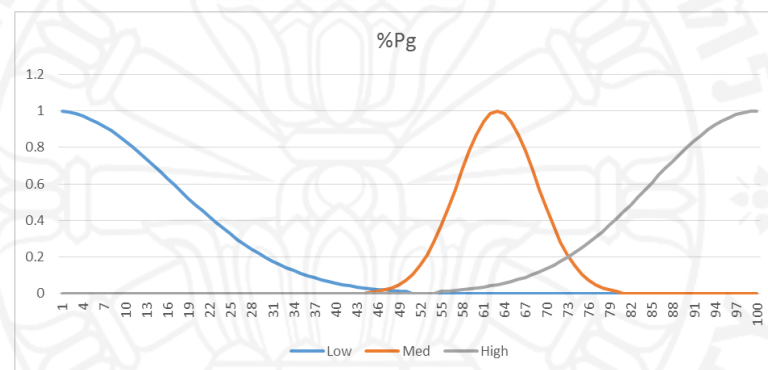
ภาพที่ ข.3.2 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Gaussian ของตัวแปร Shale smear factor



ภาพที่ ข.3.3 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Gaussian ของตัวแปร Offset well similarity



ภาพที่ ข.3.4 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Gaussian ของตัวแปร Data confident



ภาพที่ ข.3.5 แสดงฟังก์ชันสมาชิกแบบ Gaussian ของตัวแปร %Pg

ภาคผนวก ค

นิยาม และทฤษฎีเกี่ยวกับธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้อง

ค่าความพรุนของหิน (Porosity)

ค่าความพรุน หมายถึง จำนวนช่องว่างที่มีอยู่ในหินทั้งหมด โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมดของหินนั้น ตัวอย่างเช่น หินทรายก้อนหนึ่งมีปริมาตร 100 ลบ.นิ้ว มีช่องว่างคิดเป็น 20 ลบ.นิ้ว หินทรายก้อนนี้ก็จะมีความพรุนเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยความพรุนของหินตะกอนจะขึ้นอยู่กับ

1. รูปร่างและการเรียงตัวของเนื้อหิน
2. การเชื่อมประสานกันของเนื้อหินในขณะที่เกิดและหลังการสะสมตัว
3. การละลายออกของแร่บางชนิดจากหิน
4. รอยแตกของหินทั้งแนวเอียงและแนวนอน

ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของหิน (Permeability)

ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ หมายถึง ความสามารถในการยอมให้ของเหลวไหลผ่านของวัตถุเรียกว่า โดยนอกจากขึ้นอยู่กับค่าความพรุนของชั้นหินแล้ว ยังขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างและความต่อเนื่องระหว่างช่องว่างด้วย อย่างเช่นในกรณีของดินเหนียว ซึ่งมีค่าความพรุนสูงมาก แต่น้ำเดินทางผ่านไปได้ยาก เนื่องจากขนาดของช่องว่างที่เล็กมาก ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างเม็ดดินกับน้ำสูง ในขณะที่ตะกอนทรายซึ่งมีค่าความพรุนที่ต่ำกว่า แต่ช่องว่างมีขนาดใหญ่ แรงดึงดูดระหว่างเม็ดทรายกับน้ำจึงมีน้อย ทำให้การเคลื่อนที่ของเหลวเป็นไปได้โดยสะดวก

สัมประสิทธิ์ของการซึมขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของชนิดของเม็ดดินอย่างมาก โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมขึ้น ขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบดังนี้

1. ความหนืดและความหนาแน่นของของเหลวที่ไหล
2. ขนาดและความต่อเนื่องของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน
3. การต่อเนื่องและการเป็นเนื้อเดียวกันของชนิดของดินที่ยังในธรรมชาติ

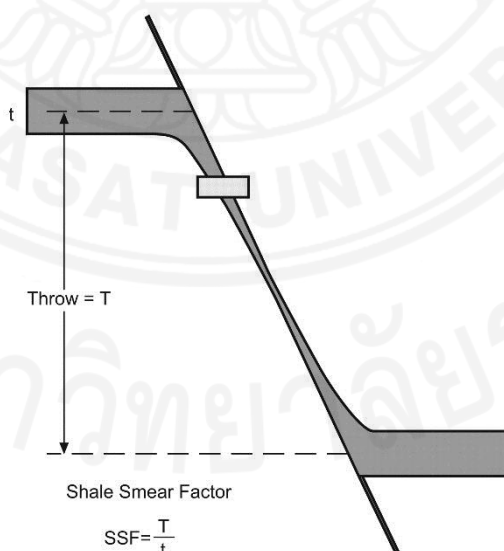
ความสัมพันธ์ระหว่าง Juxtaposition และ อัตราส่วน Net to gross (N/G)

อัตราส่วน Net to gross สามารถคำนวณได้จาก การหาอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของชั้นดินในส่วนที่เป็นทราย ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม และปริมาตรของชั้นหินที่ทำหน้าที่ปิดกั้นให้เกิดแหล่งกักเก็บ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการพิจารณาผลของการยั้งธรณีของหลุมสำรวจ ส่วน Juxtaposition นั้น เป็นการเปรียบเทียบชั้นหินที่อยู่ข้างเคียงกัน เพื่อพิจารณาโอกาสในการเกิดแหล่งกักเก็บ เนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ซึ่งค่า Net to gross นั้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินโอกาสที่รอยเลื่อนของเปลือกโลกนั้น จะส่งผลให้ชั้นทรายเคลื่อนที่ไปชนกับชั้นหินที่อยู่ฝั่งตรงข้ามของรอยเลื่อน ส่งผลให้เกิดการปิดกั้นชั้นได้

Shale smear factor

ค่า Shale smear factor เป็นค่าที่แสดงแนวโน้มที่จะเกิดความต่อเนื่องของ Shale smear ในระนาบรอยเลื่อนจนทำให้กลายเป็นแหล่งกักเก็บได้ สามารถคำนวณได้จากสูตร

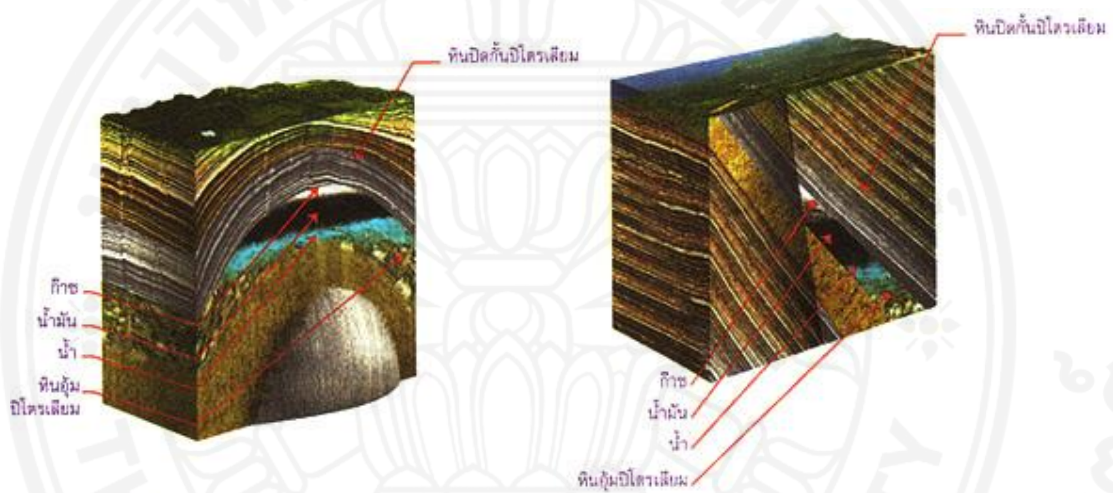
$$SSF = \frac{\text{fault throw}}{\text{shale layer thickness}}$$



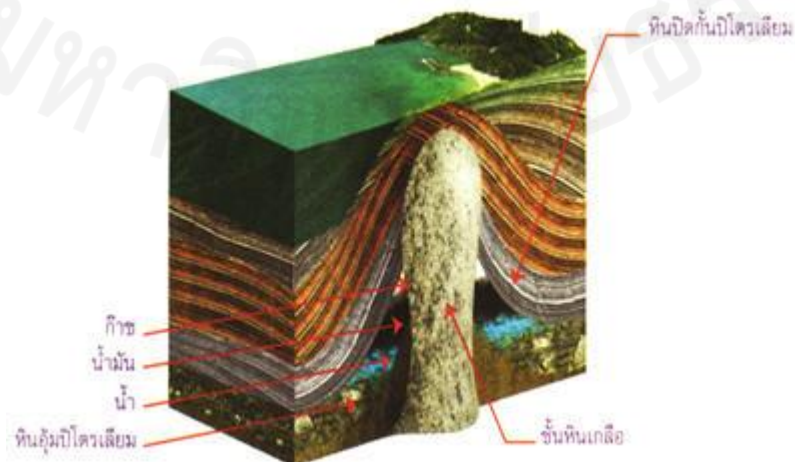
ภาพที่ ค.1 แสดงแผนภาพประกอบการคำนวณหาค่า Shale smear factor

ประเภทของแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม (<http://www.vcharkarn.com/varticle/43165>)

1. แหล่งกักเก็บปิโตรเลียมที่เกิดจากโครงสร้างทางธรณีวิทยา (Structural Trap) - เป็นลักษณะโครงสร้างที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปของชั้นหิน เช่น การพับ (Folding) หรือการแตก (Faulting) หรือทั้งสองอย่างที่เกิดขึ้นกับหินอุ้มปิโตรเลียม (Reservoir Trap) และหินปิดกั้นปิโตรเลียม (Cap Rock) ที่มักจะสะสมน้ำมันไว้ ได้แก่



1.1 ชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมโครงสร้างรูปโค้งประทุนคว่ำ (Anticline Trap) เกิดจากการหักงอของชั้นหิน ทำให้ชั้นหินมีรูปร่างโค้งคล้ายกระทะคว่ำหรือหลังเต่า น้ำมันและก๊าซธรรมชาติจะไหลขึ้นไปสะสมตัวอยู่บริเวณจุดสูงสุดของโครงสร้างและมีหินปิดกั้นวางตัวทับอยู่ด้านบน โครงสร้างแบบนี้ถือว่ามีประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันได้ดีที่สุด จากสถิติทั่วโลกพบว่า กว่า 80% ของน้ำมันดิบทั่วโลกถูกกักเก็บอยู่ภายใต้โครงสร้างแบบกระทะคว่ำนี้



1.2 ชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมโครงสร้างรูปรอยเลื่อนของชั้นหิน (Fault Trap) เกิดจากการหักงอของชั้นหิน ทำให้ชั้นหินเคลื่อนไปคนละแนว ซึ่งทำหน้าที่ปิดกั้นการเคลื่อนตัวของปิโตรเลียมไปสู่ที่สูงกว่า แหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติในประเทศไทยมักพบในโครงสร้างกักเก็บชนิดนี้

1.3 ชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมโครงสร้างรูปโดม (Salt Dome Trap) เกิดจากชั้นหินถูกดันให้โค้งตัวด้วยแรงเกลือจนเกิดลักษณะคล้ายกับโครงสร้างกระทะคว่ำอันใหญ่ และปิโตรเลียมจะมาสะสมตัวในชั้นหินกักเก็บๆ บริเวณรอบๆ โครงสร้างรูปโดม ตัวอย่างเช่น แหล่งน้ำมันในอ่าวเปอร์เซียและตอนกลาง ของประเทศโอมาน เป็นต้น

2. แหล่งกักเก็บปิโตรเลียมแบบเนื้อหินเปลี่ยนแปลง (Stratigraphic Trap) - โดยอาจเป็นการเปลี่ยนแปลงของหินอุ้มน้ำมันปิโตรเลียมเสียเอง ซึ่งเกิดขึ้นในลักษณะที่แนวหินอุ้มน้ำมันปิโตรเลียมดันออกไปเป็นแนวขนานเข้าไปแนวหินที่บด ทำให้เกิดเป็นแหล่งกักเก็บ หรืออาจเกิดขึ้นจากหินอุ้มน้ำมันปิโตรเลียมเปลี่ยนสภาพและองค์ประกอบกลายเป็นหินที่บดขึ้นมาก และหุ้มส่วนที่เหลือเป็นแหล่งกักเก็บไว้

ตัวอย่างลักษณะโครงสร้างของแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม

	4 way dip closure
	3 way dip closure
	2 way dip closure

โครงสร้างแบบ 4 ways dip closure เป็นโครงสร้างที่มีโอกาสพบปิโตรเลียมสูงกว่าโครงสร้างแบบอื่นๆ เนื่องจากไม่มีรอยเลื่อนวางตัวผ่านแหล่งกักเก็บ ซึ่งต่างจากโครงสร้างแบบ 3 ways dip closure และ 2 ways dip closure โดยข้อเสียของการมีรอยเลื่อนพาดผ่านแหล่งกักเก็บคือ อาจทำให้ชั้นหินปิดกั้น สูญเสียความสามารถในการปิดกั้น และเป็นการเพิ่มช่องทางในการเคลื่อนที่ให้กับปิโตรเลียม ทำให้มีโอกาสสูญเสียปิโตรเลียมออกจากแหล่งกักเก็บมากยิ่งขึ้น

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายธนกร ตั้งพีรชัยกุล
วันเดือนปีเกิด	29 สิงหาคม พ.ศ. 2526
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2548: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เครื่องกล) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตำแหน่ง	วิศวกรชุดเจาะ บริษัท ปตท.สผ. จำกัด(มหาชน)
ประสบการณ์ทำงาน	พ.ศ. 2557 – ปัจจุบัน: วิศวกรชุดเจาะ บริษัท ปตท.สผ. จำกัด(มหาชน) พ.ศ. 2552 – 2557: วิศวกรน้ำโคลน Halliburton Energy Services (ประเทศไทย) จำกัด พ.ศ. 2549 – 2552: วิศวกรการพิมพ์ Sirivatana Interprint Public Company Limited.