

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณและออกแบบการแตกด้วย
แรงดันไฮดรอลิกในชั้นถ่านหินของแอ่งฝาง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2557

**COMPUTER PROGRAM FOR HYDRAULIC
FRACTURING CALCULATION AND DESIGN
IN COAL BED OF FANG BASIN**

Kritsun Souchatchawan



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Geotechnology
Suranaree University of Technology
Academic Year 2014**

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณและออกแบบการแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกในชั้น
ถ่านหินของแอ่งฝาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น ส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ศ. ดร.กิตติเทพ เพ็ญขจร)

ประธานกรรมการ

(ศศ. ดร.อัมพรศักดิ์ วรรณโกมล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. เกรียงไกร ไตรสาร)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กฤตย์สันต์ เสาร์ชัชวาลย์ : โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณและออกแบบการแตก
ด้วยแรงดันไฮโดรลิกในชั้นถ่านหินของแอ่งฝาง (COMPUTER PROGRAM FOR
HYDRAULIC FRACTURING CALCULATION AND DESIGN IN COAL BED OF
FANG BASIN) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัมพรศักดิ์ วรรณโกมล, 103 หน้า

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยในการคำนวณ
และออกแบบการแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกในชั้นถ่านหินของแอ่งฝาง โปรแกรมนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้น
บน MICROSOFT VISUAL BASIC.NETVERSION 6.0 การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลจากหลุมผลิต
ในแหล่งน้ำมันบ้านไร่ซึ่งตั้งอยู่ที่แอ่งฝาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วย
5 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ 1) ส่วนของการคำนวณแรงดันที่ต้องใช้เพื่อให้ชั้นหินเกิดรอยแตก 2) ส่วนการ
คำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตกที่เกิดขึ้น 3) ส่วนการคำนวณประสิทธิภาพของการทำให้
เกิดรอยแตก 4) ส่วนของการคำนวณพื้นที่ของรอยแตก และ 5) ส่วนของการเปรียบเทียบอัตราส่วน
การผลิตของของไหลตามลำดับ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องของโปรแกรมค่าที่
คำนวณได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณและออกแบบ
ด้วยวิธีการคำนวณด้วยมือ ผลการเปรียบเทียบได้แสดงให้เห็นว่าผลการคำนวณจากทั้งสองวิธีการมี
ค่าความแตกต่างกันเพียงร้อยละ 1.67 ดังนั้นจากผลที่น่าพอใจดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมที่
พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำให้ชั้นถ่านหินแตกด้วยแรงดัน
ไฮโดรลิกของพื้นที่ศึกษาหรือแหล่งน้ำมันใดๆ ที่มีสภาพทางธรณีวิทยาที่คล้ายคลึงกันได้
นอกจากนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณและออกแบบนี้อาจสามารถนำมาใช้สำหรับวางแผนการ
ผลิตก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหินของพื้นที่ศึกษาในอนาคตได้

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

KRITSUN SOUCHATCHAWAN : COMPUTER PROGRAM FOR
HYDRAULIC FRACTURING CALCULATION AND DESIGN IN COAL
BED OF FANG BASIN. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. AKKHAPUN
WANNAKOMOL, Ph.D., 103 PP.

HYDRAULIC FRACTURING/FANG COAL BED/COMPUTER PROGRAM/

The objective of the study is to develop a computer program for hydraulic fracturing calculation and design in coal bed of Fang Basin. This computer program was developed on the Microsoft Visual Basic.Net Versions 6.0 software. This study used required data from Banrai oil field which is located in the Fang basin, Chiang Mai province. The developed program comprised of 5 modules; 1) hydraulic fracturing pressure calculation module, 2) fracture width and fracture radius calculation module, 3) fracture efficiency calculation module, 4) fracture area calculation module, and 5) productivity ratio calculation module, respectively. To examine the efficiency and accuracy of the developed program, results from the developed program calculation were compared to the results which were calculated from the manual calculation method. Result of the comparison indicated that results from both methods gave a few difference only of 1.67 percent. Therefore, this satisfied results indicated that the developed program is capable for the coal bed fracturing calculation and design of the study area or any oil field where it has a similar geological condition. Moreover, the results from this calculation and design might be used for the coal bed methane production planning of the study area in the future.

School of Geotechnology

Academic Year 2014

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านดำเนินงานวิจัย ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัมพรรค์ วรรณโกมล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คณาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาในการเอื้อเฟื้อข้อมูล นายทหารสัญญาบัตรประจำกองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม ศูนย์พัฒนาปิโตรเลียม ภาคเหนือ กรมการพลังงานทหาร ที่กรุณาให้คำปรึกษาในด้านวิชาการและเอื้อเฟื้อในการจัดหาและรวบรวมข้อมูลเจ้าหน้าที่ประจำแผนกธรณีวิทยาและเจ้าหน้าที่ประจำแผนกผลิตปิโตรเลียม ศูนย์พัฒนาปิโตรเลียมภาคเหนือ กรมการพลังงานทหาร ที่กรุณาเอื้อเฟื้อในการจัดหาและรวบรวมข้อมูล คุณอรธฤดี เชื้อฐากร นักเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้โดยถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีงามให้มาโดยตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ ทำให้ผู้วิจัยได้รับความก้าวหน้าทางการศึกษา มีความรู้ ความสามารถ และประสบความสำเร็จในชีวิต

กฤตย์สันต์ เสาร์ชัชวาลย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐานของการศึกษาวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	2
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แหล่งน้ำมันฝาง.....	4
2.1.1 ลักษณะทั่วไป.....	4
2.1.2 ลักษณะทางธรณีวิทยา.....	6
2.2 ก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหินของแอ่งฝาง.....	12
2.2.1 ก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหิน.....	12
2.2.2 ชั้นถ่านหินที่ใช้ทดสอบการคำนวณ.....	14
2.3 การทำให้ชั้นหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิก.....	16

สารบัญ (ต่อ)

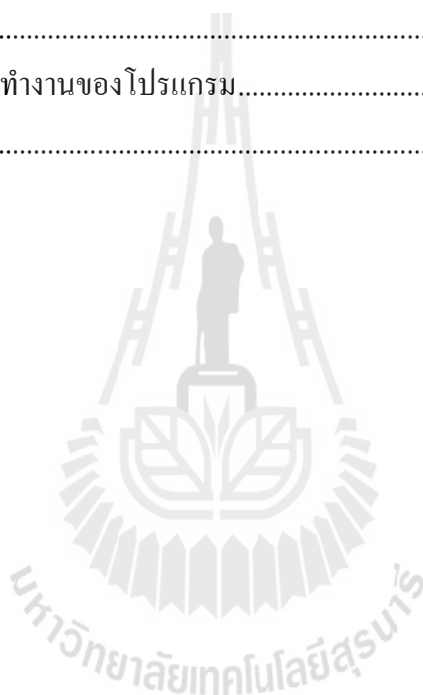
หน้า

3	การพัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณรอยแตกด้วยแรงไฮโดรลิก	27
3.1	การพัฒนาระบบและการเขียนโปรแกรม	27
3.2	การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	27
3.3	การวิเคราะห์ปัญหา	28
3.3.1	ความต้องการของโปรแกรม	28
3.3.2	การนำเข้าข้อมูล	28
3.3.3	ข้อมูลที่ได้	30
3.3.4	การประกาศตัวแปร	30
3.3.5	กระบวนการทำงานและการทดสอบโปรแกรม	30
3.4	ผังงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	30
3.4.1	ผังงานของการคำนวณแรงดันของรอยแตก	32
3.4.2	ผังงานของการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก	35
3.4.3	ผังงานของการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก	36
3.4.4	ผังงานของการคำนวณพื้นที่รอยแตก	38
3.4.5	ผังงานของการคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บ หลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก	40
4	ผลลัพธ์และอภิปราย	43
4.1	หน้าหลักและหน้าจอของโปรแกรมที่พัฒนา	43
4.2	ขั้นตอนและวิธีการใช้โปรแกรม	46
4.3	ขั้นตอนและวิธีการการคำนวณแบบปกติ	63
4.4	การตรวจสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องของโปรแกรม	68

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	71
5.1	สรุปผลการศึกษา	71
5.2	ข้อเสนอแนะการศึกษาวิจัย.....	72
	รายการอ้างอิง	73
	ภาคผนวก ก. ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม.....	77
	ประวัติผู้เขียน	103



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณสมบัติทางกายภาพของแท่งตัวอย่างถ่านหินที่นำมาใช้ในการศึกษา 15
2.2	ลักษณะความพรุนและความสามารถในการซึมผ่านของชั้นหินตัวอย่าง FA-BR-49-02..... 15
3.1	แสดงข้อมูลนำเข้าของการคำนวณแรงดันของรอยแตก 28
3.2	แสดงข้อมูลนำเข้าของการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก 29
3.3	แสดงข้อมูลนำเข้าของการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก..... 29
3.4	แสดงข้อมูลนำเข้าของการคำนวณพื้นที่รอยแตก..... 29
3.5	แสดงข้อมูลนำเข้าของการคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลัง การทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก 30
4.1	ผลการคำนวณค่าต่างๆด้วยวิธีปกติ 68
4.2	ความแตกต่างระหว่างการคำนวณและออกแบบจากวิธีปกติกับการคำนวณและออกแบบ โดยใช้โปรแกรม..... 69
4.3	ผลเปรียบเทียบผลการคำนวณจากวิธีปกติกับการคำนวณจากการใช้โปรแกรม โดยการ เปลี่ยนค่าตัวแปร Young's modulus (E) = 1,000,000.00 psi. 69
4.4	ผลเปรียบเทียบผลการคำนวณจากวิธีปกติกับการคำนวณจากการใช้โปรแกรม โดยการ เปลี่ยนค่าตัวแปร Poisson's ratio (V) = 0.37 70

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่.....	5
2.2	ธรณีวิทยาของอำเภอฝาง	7
2.3	โครงสร้างช่วงชั้นที่ 1 (Horizon 1 ; H1).....	8
2.4	แสดงความสัมพันธ์ของก๊าซมีเทนในถ่านหินแต่ละชนิด	13
2.5	แสดงลักษณะการสะสมตัวของก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหิน	13
2.6	แสดงลักษณะการทำให้ชั้นหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิก.....	17
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความลึก ค่าระดับความดันของชั้นปิดทับด้านบนต่อระดับความลึก ค่าระดับความดันที่ทำให้ชั้นหินแตกต่อความลึก และค่าระดับความดันปกติของชั้นหินรูพรุนต่อความลึก.....	19
2.8	แสดงลักษณะรอยแตกประเภทในแนวราบ.....	20
2.9	แสดงลักษณะรอยแตกประเภทในแนวตั้ง.....	20
3.1	แสดงกระบวนการทำงานของโปรแกรม	32
3.2	แสดงการคำนวณแรงดันของรอยแตก	34
3.3	แสดงการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก	36
3.4	แสดงการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก	38
3.5	แสดงการคำนวณพื้นที่รอยแตก	40
3.6	แสดงการคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก	42
4.1	หน้าหลักของโปรแกรม	43
4.2	หน้าจอของโปรแกรมสำหรับการคำนวณแรงดันของรอยแตก	44
4.3	หน้าจอของโปรแกรมสำหรับการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก.....	44
4.4	หน้าจอของโปรแกรมสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก.....	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5	หน้ารองของโปรแกรมสำหรับการคำนวณพื้นที่รอยแตก..... 45
4.6	หน้ารองของโปรแกรมสำหรับการคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก..... 46
4.7	ที่อยู่ของ โปรแกรม..... 46
4.8	แสดงการเริ่มทำงานของ โปรแกรม 47
4.9	แสดงการกรอกข้อมูล Input การคำนวณแรงดันของรอยแตก..... 48
4.10	แสดงผล Output ของการคำนวณแรงดันของรอยแตก..... 48
4.11	ตัวอย่างการคำนวณแรงดันของรอยแตก 49
4.12	แสดงการกรอกข้อมูล Input การคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก 50
4.13	แสดงผล Output ของการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก 51
4.14	ตัวอย่างการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก..... 52
4.15	แสดงการกรอกข้อมูล Input การคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก 53
4.16	แสดงผล Output ของการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก 54
4.17	ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก..... 55
4.18	แสดงผล Output ของการคำนวณพื้นที่รอยแตก..... 57
4.19	ตัวอย่างการคำนวณพื้นที่รอยแตก..... 58
4.20	แสดงการกรอกข้อมูล Input การคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก..... 60
4.21	แสดงผล Output ของการคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก..... 61
4.22	ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก 62
4.23	แสดงการหาค่า $erfc(x)$ (Gaussian Error Functions)..... 66



$\sqrt{\text{min}}$

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

P_R	=	อัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก (Productivity ratio, >1)
P_R	=	ความดันในแหล่งกักเก็บ (Reservoir pressure, psi.)
q_i	=	อัตราการอัดของไหล (The injection rate, bbl/min.)
r_e	=	รัศมีนอกสุดของพื้นที่ระบายของไหลในแหล่งกักเก็บ (Drainage radius, ft.)
r_f	=	รัศมีของรอยแตก (Radius of fracture, ft.)
r_w	=	รัศมีของหลุมเจาะ (Radius of the well, ft.)
t	=	เวลาในการอัดของเหลว (Total pumping time, min.)
V	=	ปริมาตรของของไหลที่อัด (Volume, gal.)
W_w	=	ความกว้างของรอยแตกที่มากที่สุด (The maximum width, in)
x	=	ค่าความเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์การซึมหายของของไหลที่เกิดขึ้นต่อความกว้างของรอยแตกที่มากที่สุด (Variable x)
μ_R	=	ความหนืดของของไหลในชั้นกักเก็บ (Reservoir fluid viscosity, cp.)
μ_f	=	ความหนืดของของไหลในรอยแตก (Fracturing fluid viscosity, cp.)
μ	=	ความหนืดของของไหลที่อัด (The fluid viscosity, cp.)
ν	=	อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio)
ΔP	=	ความดันที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้ารอยแตก (Differential pressure across, the face of the fracture, psi.)
ϕ_e	=	ความพรุนของชั้นกักเก็บ (Effective formation porosity, %)
ρ_c	=	ความหนาแน่นในชั้นกักเก็บ (Density, g./cc.)
θ	=	มุมของรอยแตกที่ทำกับแนวระดับ (Angle from horizontal)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษา

ในช่วงเวลาประมาณ 150 ปีที่ผ่านมา ก๊าซธรรมชาติได้เข้ามามีบทบาทต่อการพัฒนาของประเทศในทุก ๆ ด้านมากขึ้น โดยเฉพาะการนำมาใช้แทนที่ถ่านหินและน้ำมันจากคุณสมบัติที่แตกต่างจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมอื่น ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ทั้งความร้อนและแสงสว่าง ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการคมนาคมขนส่ง ภาคอุตสาหกรรมเกษตรกรรม หรือใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม ปิโตรเคมี ฯลฯ และยังสามารถนำมาใช้ในระบบทำความเย็นได้ด้วย (บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2554ก) ก๊าซธรรมชาติที่เราใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ จัดอยู่ในก๊าซประเภทก๊าซธรรมชาติที่อยู่ในแหล่งกักเก็บที่สามารถผลิตขึ้นมาได้ง่าย (Conventional gas) ซึ่งเป็นการรวมตัวของก๊าซที่อยู่ในช่องหรือโพรงภายในชั้นหินชั้นดินลึกลงไปในพื้นที่ผิวโลก โดยสามารถที่จะขุดเจาะขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ได้ แต่เนื่องจากก๊าซธรรมชาติในรูปแบบดังกล่าวหายาก

มากขึ้น ขณะนี้จึงได้มีการศึกษาเพื่อหาแหล่งก๊าซธรรมชาติเพิ่มเติมโดยพบว่ามีก๊าซธรรมชาติในอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งเกิดและถูกกักเก็บอยู่ในแหล่งกักเก็บที่สามารถทำการผลิตขึ้นมาได้ยาก (Unconventional gas) โดยก๊าซประเภทดังกล่าวนี้ถูกกักเก็บอยู่ในชั้นหินชั้นดินที่มีความหนาแน่นมากกว่าและกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้าง อีกทั้งความสามารถในการให้ก๊าซไหลผ่านต่ำมาก จึงต้องมีกรรมวิธีที่ยากขึ้นในการนำก๊าซขึ้นมาใช้งาน โดยก๊าซเหล่านี้มีหลายรูปแบบ ได้แก่ ก๊าซที่เกิดอยู่ในชั้นหินดินดาน (Shale gas) ก๊าซมีเทนที่เกิดอยู่ในชั้นถ่านหิน (Coal Bed Methane หรือ CBM) และก๊าซที่เกิดอยู่ในชั้นหินทรายที่มีเนื้อแน่น (Tight sand gas) เป็นต้น

กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติในชั้นถ่านหินที่ใช้ในปัจจุบันก็คือ การทำให้ชั้นหินแตกด้วยแรงดันไฮดรอลิก (Hydraulic Fracturing) การทำให้ชั้นหินแตกโดยแรงดันไฮดรอลิกอาศัยหลักที่ว่า แรงดันภายในหลุมเจาะที่เกิดจากน้ำหนักของของไหลภายในหลุมเจาะนั้นถ้าหากมีค่ามากกว่า

ค่าระดับความดันที่ชั้นหินจะสามารถทนทานได้ ชั้นหินในบริเวณนั้นก็เกิดการแตกได้โดยบริเวณผนังหลุมที่มีการแตกเหล่านี้จะเป็นช่องทางให้ก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหินไหลเข้ามายังภายในหลุมเจาะได้ในประเทศไทยนั้นแหล่งสำคัญที่มีก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหินอยู่ได้แก่ แอ่งฝาง ซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่และน่าจะมีปริมาณของก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหินมากพอที่จะผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ได้ การศึกษาวิจัยนี้จึงได้เกิดขึ้นเพื่อที่จะทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถช่วยในการคำนวณและออกแบบในการทำให้ชั้นถ่านหินของแอ่งฝางแตกได้สะดวกรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายก่อนการลงมือปฏิบัติงานจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

สำหรับวัตถุประสงค์ในการศึกษาวิจัยนี้ก็เพื่อทำการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการคำนวณและออกแบบในการทำให้ชั้นถ่านหินของแอ่งฝางแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิก พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการคำนวณและออกแบบในการทำให้ชั้นถ่านหินของแอ่งฝางแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีปกติและวิธีการใช้โปรแกรม

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาวิจัยจะมีขอบเขตของการศึกษาวิจัยจำกัดอยู่ในบริเวณกลุ่มแอ่งฝาง โดยข้อมูลที่น่ามาใช้ศึกษาและจำลองในการคำนวณจะมาจากแหล่งน้ำมันฝางซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่

1.4 สมมติฐานของการศึกษาวิจัย

สำหรับสมมติฐานในการศึกษาวิจัยมีดังนี้

1. ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาและข้อมูลการเจาะพิสูจน์พบปริมาณก๊าซธรรมชาติ ในชั้นถ่านหินมากเพียงพอที่จะทำการผลิตและมีคุ่มค่าในทางเศรษฐศาสตร์
2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ จะสามารถช่วยในการคำนวณและออกแบบในการทำให้ชั้นถ่านหินของแอ่งฝางแตก โดยใช้ข้อมูลจริงและข้อมูลที่ประมาณการได้

1.5 ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

สำหรับขั้นตอนในการศึกษาวิจัยมีดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางธรณีวิทยาและข้อมูลการเจาะพิสูจน์พบปริมาณก๊าซธรรมชาติในชั้นถ่านหินของแอ่งฝาง จากแหล่งอ้างอิงหรืองานวิจัยที่เคยมีผู้ศึกษาวิจัยมาแล้ว

2. วิเคราะห์ข้อมูลและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์
3. ทำการประมวลผลและทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์
4. เขียนวิทยานิพนธ์และนำเสนอการศึกษาวิจัย

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 5 บท บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึง วัตถุประสงค์ ขอบเขต และข้อจำกัด สมมติฐาน และลำดับขั้นตอนของการศึกษาวิจัย บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึง ข้อมูลทางด้านธรณีวิทยาและวิศวกรรมปิโตรเลียมของแหล่งน้ำมันฝาง ก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหิน และการทำให้ชั้นถ่านหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิก บทที่ 3 การพัฒนาโปรแกรม กล่าวถึง ลำดับขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรมรวมทั้งรายละเอียดของแต่ละลำดับขั้นตอนของการพัฒนาโปรแกรม บทที่ 4 ผลการคำนวณ กล่าวถึง ผลที่ได้จากการคำนวณและออกแบบโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ผลการคำนวณโดยใช้สมการ และผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและจากการคำนวณด้วยสมการ และบทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ กล่าวถึง ผลสรุปที่ได้จากการศึกษาและข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไปในอนาคตตามลำดับ



บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

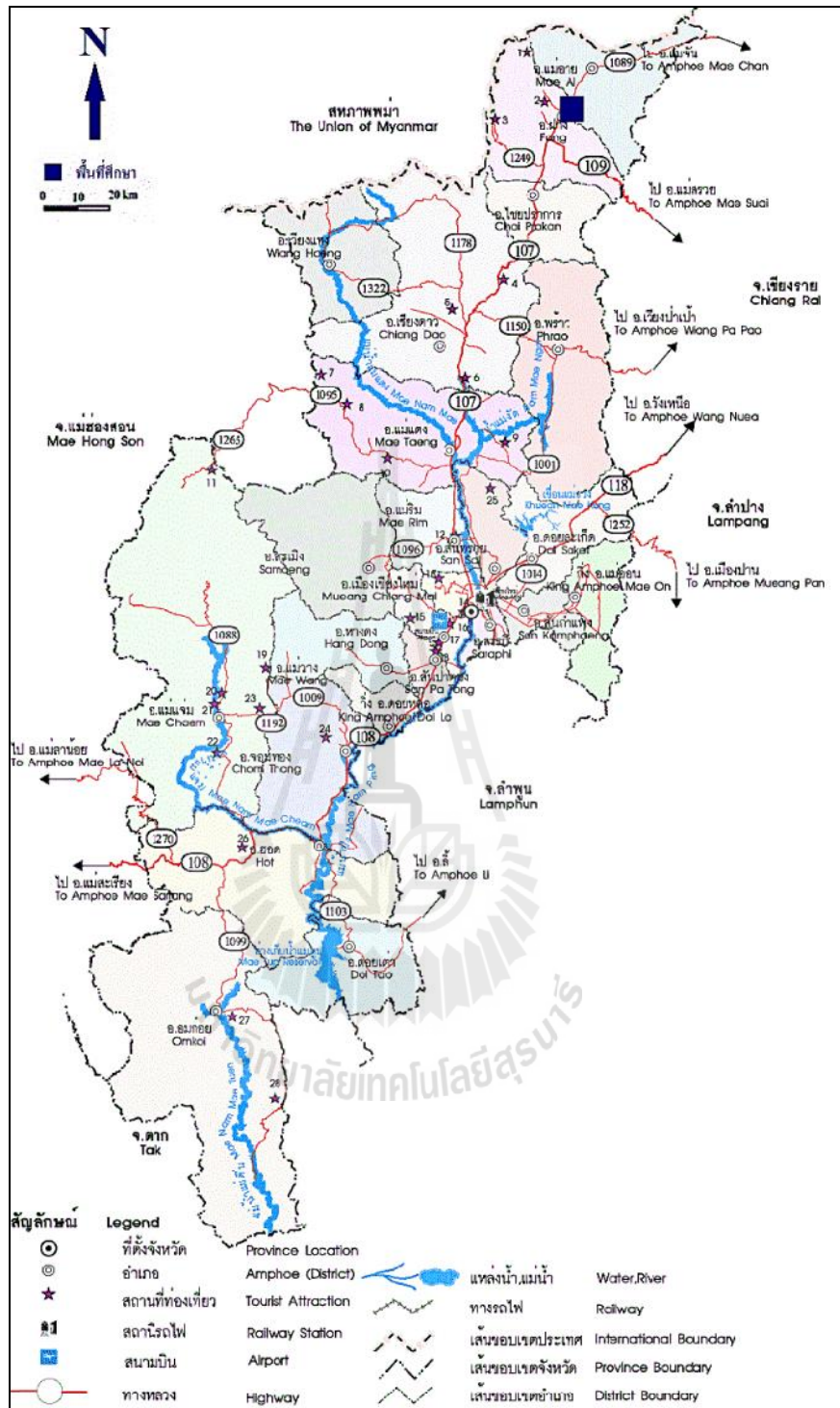
2.1 แหล่งน้ำมันฝาง

2.1.1 ลักษณะทั่วไป

แหล่งน้ำมันฝาง เป็นแหล่งน้ำมันที่มีขนาดเล็ก โดยตั้งอยู่ในแอ่งฝาง บริเวณอำเภอฝาง อำเภอแม่สายและอำเภอไชยปราการ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย แหล่งน้ำมันฝางตั้งอยู่ห่างจากจังหวัดเชียงใหม่ประมาณ 148 กิโลเมตร ไปตามถนนสายเชียงใหม่-ฝาง-แม่จัน (ทางหลวงหมายเลข 107) ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทำการเกษตรกรรม แหล่งน้ำมันฝางมีเนื้อที่ประมาณ 600 ตารางกิโลเมตร มีพื้นที่ส่วนใหญ่สูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 500 เมตร (รูปที่ 2.1) แต่เดิมแหล่งน้ำมันฝางมีชื่อเรียกว่า บ่อน้ำมันฝาง จัดเป็นแหล่งผลิตปิโตรเลียมที่มีประวัติยาวนานมากกว่า 100 ปี ถือเป็นแหล่งปิโตรเลียมแห่งแรกของประเทศไทย เนื่องจากในอดีตมีการค้นพบน้ำมันดิบที่แทรกตัวขึ้นมาบนพื้นผิว (Oil seepage) และต่อมามีการนำน้ำมันดิบนั้นมาใช้ประโยชน์โดยหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งในปัจจุบันแหล่งน้ำมันฝางจึงได้รับการดูแลและจัดการโดยศูนย์พัฒนาปิโตรเลียมภาคเหนือ กรมการพลังงานทหาร กระทรวงกลาโหม ซึ่งหน้าที่หลักของแหล่งน้ำมันฝาง ถือเป็นแหล่งทรัพยากรทางด้านพลังงานแก่กองทัพไทย เพื่อไว้ใช้ประโยชน์เมื่อมีภาวะฉุกเฉินเกิดขึ้น จากข้อมูลของกรมการพลังงานทหาร ทำให้ทราบว่าแหล่งน้ำมันฝางได้รับการพัฒนาโดยมีหน่วยงานต่าง ๆ มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2464 จนถึงปัจจุบัน ดังนี้

1. กรมรถไฟ ระหว่างปี พ.ศ. 2464 ถึง พ.ศ. 2465
2. กรมทางหลวง เข้ามาจัดการดูแลในปี พ.ศ. 2475
3. กรมเชื้อเพลิงทหารบก เข้ามาจัดการดูแลในปี พ.ศ. 2480
4. กรมโลหกิจ ระหว่างปี พ.ศ. 2497 ถึง พ.ศ. 2499
5. กรมการพลังงานทหาร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2499 จนถึงปัจจุบัน

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการตรวจพบแหล่งน้ำมันที่อยู่ในโครงสร้างปลึกย่อยในบริเวณแอ่งฝางหลายโครงสร้าง และทำการเจาะหลุมสำรวจและหลุมผลิตปิโตรเลียมมากกว่า 100 หลุม ซึ่งในปัจจุบันอัตราการผลิตน้ำมันดิบจากแอ่งน้ำมันฝางมีประมาณ 700 บาร์เรลต่อวัน โดยทำการก่อกันจากโรงกลั่นขนาดเล็กที่จัดตั้งและดูแลโดยกรมการพลังงานทหารเช่นเดียวกับการสำรวจและผลิตปิโตรเลียม



รูปที่ 2.1 แผนที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ (คัดลอกและดัดแปลงจาก <http://www.novabizz.com/Map/img/map-2changmai.gif>)

2.1.2 ลักษณะทางธรณีวิทยา

สำหรับลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งน้ำมันฝางจะเป็นแอ่งตะกอนที่เกิดจากการทับถมเนื่องจากทางน้ำและทะเลสาบ โดยจากข้อมูลการแปลความหมายจากการสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยใช้วิธีการวัดคลื่นไหวสะเทือน (Seismic exploration) (รูปที่ 2.2) และข้อมูลจากหลุมเจาะสำรวจสามารถแบ่งชั้นหินออกเป็น 5 ช่วงชั้น (Horizon) โดยอาศัยคุณสมบัติการสะท้อนของคลื่นที่เด่นชัดระหว่างรอยต่อของหิน 2 ชั้น ที่แตกต่างกันซึ่งส่วนมากจะเป็นลักษณะเด่นของรอยชั้นหินไม่ต่อเนื่อง (Unconformity) และจากการศึกษาของ ถวัลย์ ชื่นชม (2534) ได้ทำการแบ่งชั้นหินในบริเวณแอ่งฝางได้ดังนี้

- ช่วงชั้นที่ 1 (Horizon 1 ; H1)
- ช่วงชั้นที่ 2 (Horizon 2 ; H2)
- ช่วงชั้นที่ 3 (Horizon 3 ; H3)
- ช่วงชั้นที่ 4 (Horizon 4 ; H4)
- ช่วงชั้นที่ 5 (Horizon 5 ; H5)

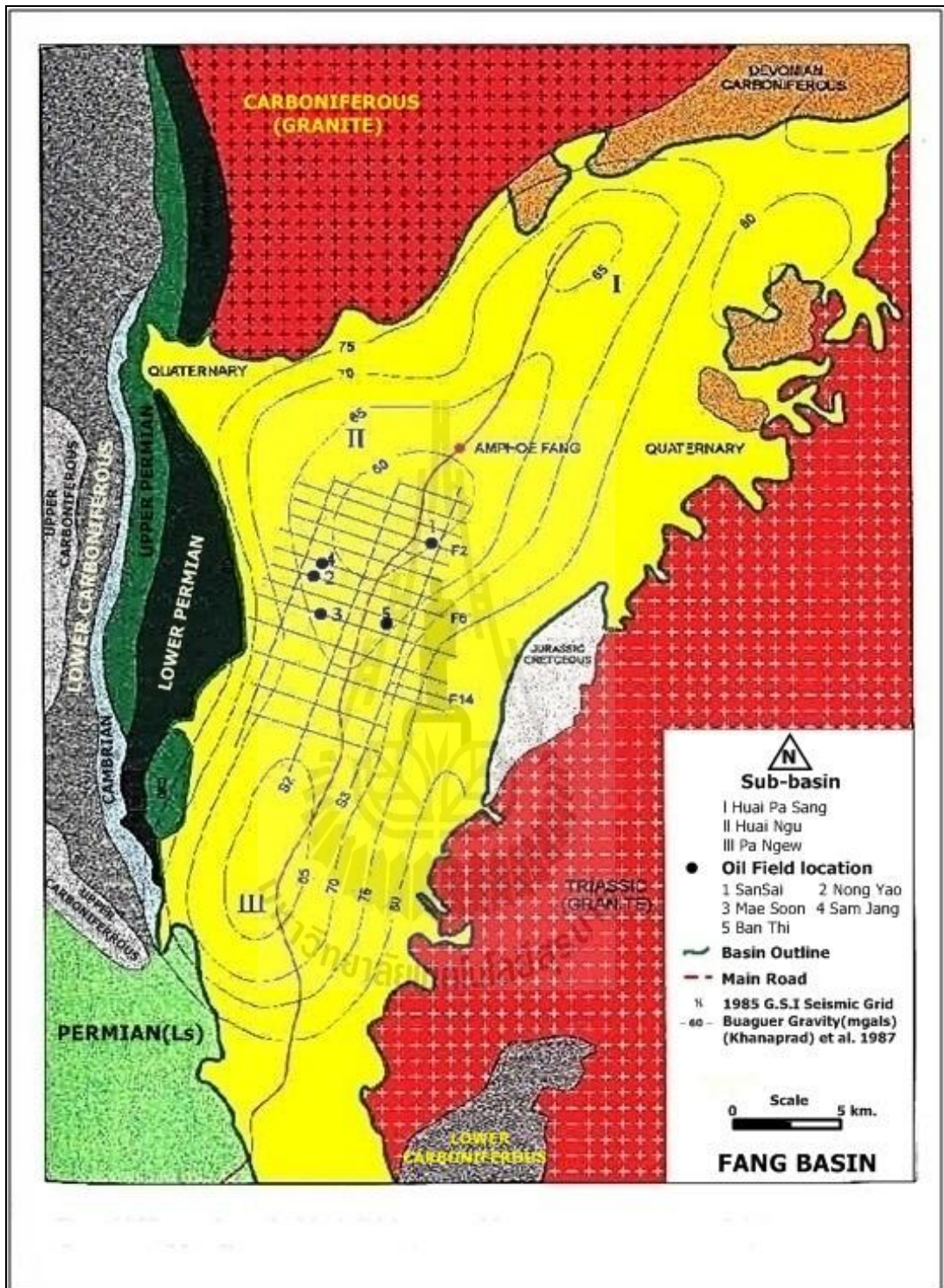
โดยรายละเอียดของช่วงชั้นต่าง ๆ มีดังนี้

ช่วงชั้นที่ 1 (Horizon 1 ; H1) (รูปที่ 2.3) จัดเป็นชั้นหินที่เกิดก่อนยุคเทอร์เชียรี (Pre-Tertiary) หินส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยหินตะกอน (Sedimentary rock) หินแปร (Metamorphic rock) และหินอัคนี (Igneous rock) กระจายอยู่ทั่วแอ่ง บริเวณขอบแอ่งด้านตะวันตกพบหินยุคแคมเบรียน (Cambrian) จนถึงยุคเพอร์เมียน (Permian) และพบหินแกรนิต (Granite) ที่เกิดในยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous) นอกจากนี้ในบริเวณขอบแอ่งทางด้านทิศตะวันออกจะพบหินยุคจูแรสสิก ไชลูเลียน จนถึงดีโวเนียน และยังพบหินแกรนิตที่เกิดในยุคไทรแอสสิก โดยหินส่วนใหญ่จะเป็นหินฐานของแอ่งฝางและจากโครงสร้างของช่วงชั้นที่ 1 ทำให้สามารถแบ่งลุ่มแอ่งฝางได้เป็น 3 แอ่งย่อย คือ

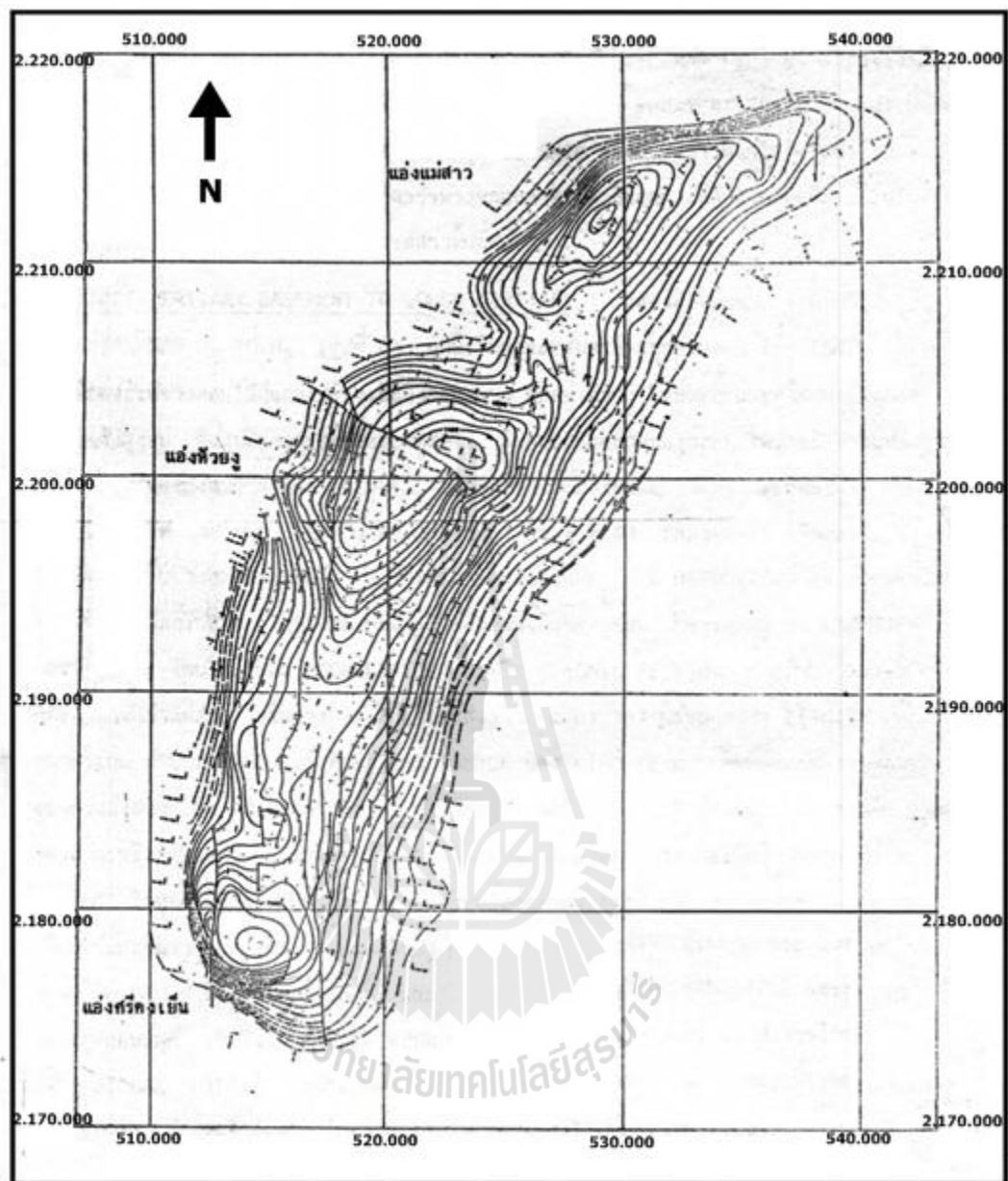
1. แอ่งแม่สาว อยู่บริเวณตอนเหนือของแอ่งฝาง มีความลึกประมาณ 1,800 เมตร ในบริเวณนี้จะไม่มีการสะสมตัวของช่วงชั้นที่ 2

2. แอ่งห้วยงู อยู่บริเวณตอนกลางของแอ่ง โดยจะมีรอยเลื่อนแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NNW-SSE) แบ่งแอ่งเป็น 2 ส่วน ด้านเหนือมีความลึกประมาณ 2,400 เมตร ส่วนด้านใต้จะมีความลึกประมาณ 3,000 เมตร

3. แอ่งศรีดงเย็น จะต้องอยู่ในบริเวณพื้นที่ทางทิศใต้ของแอ่งฝาง มีความลึกประมาณ 2,400 เมตร มีลักษณะเป็นแอ่งที่แคบชันทางด้านทิศตะวันตกและทิศใต้ นอกจากนี้ยังพบรอยเลื่อนในแนวเหนือ-ใต้ ขนาบอยู่ทางด้านทิศตะวันตกและตะวันออก



รูปที่ 2.2 ธรณีวิทยาของแอ่งฝาง (คัดลอกและดัดแปลงจาก กรมการพลังงานทหาร, 2547)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างช่วงชั้นที่ 1 (Horizon 1; H1) (คัดลอกและดัดแปลงจาก กรมการพลังงานทหาร, 2547)

ช่วงชั้นที่ 2 (Horizon 2 ; H2) ส่วนใหญ่เป็นหินที่เกิดจากการสะสมตัวในยุคเริ่มแรกของยุคเทอร์เชียรี (Early Tertiary) ซึ่งจะเป็นการสะสมของตะกอนชุดแรก โดยมีขอบเขตจากตอนใต้คืออ่างศรีควงเย็นถึงตอนกลางคืออ่างห้วยงู ในขณะที่บริเวณตอนเหนือคืออ่างแม่สาวยังมีระดับสูง จึงไม่มีการสะสมของตะกอนในชุดนี้ (ถวัลย์ ชื่นชม, 2534) ซึ่งลักษณะการสะสมของตะกอนในช่วง

ต้นของยุคนี้จะมีอิทธิพลมาจากแม่น้ำลำธาร (Fluvial deposits) มีทิศทางการไหลจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ ซึ่งทางน้ำจะอยู่ทางด้านตะวันออกของแอ่ง และในเวลาต่อมาแอ่งศรีดงเย็นได้ทรุดตัวลง ส่วนเทือกเขาทางด้านทิศใต้ได้ถูกยกตัวขึ้นทำให้ลุ่มแอ่งถูกปิดกั้น น้ำและตะกอนถูกขังอยู่ทำให้เกิดการสะสมตัวแบบทะเลสาบ (Lake deposits) มีใจกลางแอ่งอยู่ก่อนไปทางทิศตะวันออก และในช่วงปลายของยุคนี้ได้เกิดการสะสมของถ่านหินลิกไนต์ค่อนข้างหนา ทราบได้จากข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ และข้อมูลดังกล่าวไม่พบในแอ่งแม่สาวซึ่งอยู่บริเวณตอนเหนือของแอ่งฝาง ทำให้ทราบถึงการแผ่ขยายของถ่านหินลิกไนต์ว่าน่าจะหยุดอยู่บริเวณรอยเลื่อนใหญ่ที่พบในแอ่งห้วยงู และจากข้อมูลของการเจาะสำรวจในแหล่งน้ำมันโป่งนก ทำให้ทราบถึงความหนาของตะกอนในแอ่งศรีดงเย็นและแอ่งห้วยงูซึ่งมีความหนาประมาณ 900 เมตรและ 500 เมตร ตามลำดับ ลักษณะของหินที่พบในช่วงชั้นที่ 2 จะประกอบไปด้วยหินดินเหนียวสีน้ำตาลแดง (Reddish brown claystone) หินดินดานและหินทรายแทรกสลับกันไป และมีชั้นถ่านหินลิกไนต์ที่มีความหนาค่อนข้างมากอยู่ตอนบนสุด ซึ่งทำให้คาดคะเนได้ว่าหินต้นกำเนิดของแหล่งน้ำมันฝางควรจะเป็น สารอินทรีย์ที่อยู่

ในชั้นถ่านหินลิกไนต์ดังกล่าวหรือมาจากชั้นของหินดินดานที่มีสารอินทรีย์ปะปนอยู่

ช่วงชั้นที่ 3 (Horizon 3 ; H3) ในช่วงชั้นนี้ ชั้นหินที่เกิดในยุคนี้จะเป็นการสะสมตัวของตะกอนชุดที่สองของยุคเทอร์เชียรี (Middle Tertiary) โดยมีขอบเขตทางทิศเหนือ-ใต้ เหมือนกับตะกอนในชุดที่ผ่านมาคือช่วงชั้นที่ 2 แต่ในช่วงชั้นที่ 3 นี้จะมีขอบเขตมากกว่า และมีลักษณะการสะสมของตะกอนเป็นแบบการทับถมของทะเลสาบ ซึ่งแอ่งศรีดงเย็นจะมีพื้นที่ของการสะสมตะกอนที่กว้างขึ้น เช่นเดียวกับแอ่งห้วยงู โดยมีความหนาของตะกอนทั้งสองแอ่งประมาณ 750 เมตร ลักษณะของหินที่พบในช่วงชั้นนี้จะประกอบด้วยหินดินดานสีเทาถึงน้ำตาล และหินดินเหนียว ซึ่งจะมีถ่านหินลิกไนต์ชั้นบางๆ แทรกสลับอยู่ทั่วไป ส่วนบริเวณตอนล่างของหินชุดนี้หรือช่วงแรกของการสะสมของตะกอนชุดนี้จะมีถ่านหินลิกไนต์ค่อนข้างมาก แต่เกิดเป็นบริเวณแคบ ซึ่งถ้าพิจารณาถึงหินต้นกำเนิดน้ำมันของแหล่งน้ำมันฝางแล้วคาดว่าชุดหินที่เกิดในช่วงแรกจะมีความเป็นไปได้สูงที่จะเป็นหินต้นกำเนิดน้ำมันของแหล่งน้ำมันฝาง โดยจะมีอาณาบริเวณตั้งแต่แอ่งห้วยงูจนถึงแอ่งศรีดงเย็น และก่อนมาทางด้านทิศตะวันออก มีความลึกอยู่ที่ประมาณแนวของหินชุดที่ 2 ทั้งตอนบนและตอนล่าง

ช่วงชั้นที่ 4 (Horizon 4 ; H4) ในช่วงชั้นนี้จะเป็นการสะสมตัวของตะกอนในชุดที่ 3 ของยุคเทอร์เชียรี (Upper Tertiary) จะมีขอบเขตที่ลุ่มแอ่งฝาง และมีความกว้างของแอ่งใกล้เคียงกับชุดที่สอง แต่แนวแกนของแอ่งจะเริ่มขยับไปทางด้านตะวันตก โดยแอ่งศรีดงเย็นยังมีการสะสมตะกอนอยู่ในบริเวณเดิม มีความหนาของตะกอนประมาณ 600 เมตร ส่วนบริเวณแอ่งห้วยงูจะมีการทับถมเป็นบริเวณกว้างและหนาที่สุดประมาณ 750 เมตร มีความลึกและชันไปทางด้านทิศตะวันตก ซึ่งใน

หินชุดนี้จะมีการสะสมตัวของตะกอนในบริเวณตอนเหนือของแอ่งแม่สาวด้วย โดยมีความหนาประมาณ 300 เมตร และเกิดขึ้นเป็นบริเวณไม่กว้างนัก ซึ่งลักษณะของการสะสมของตะกอนจะเป็นแบบการทับถมในทะเลสาบ และเกิดในช่วงต้นของการสะสมตะกอนเท่านั้น ในช่วงปลายของยุคการทับถมของตะกอนที่เกิดขึ้นจะได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำลำธารเข้ามาเกี่ยวข้องกับการทับถมของตะกอน ลักษณะของหินที่พบในช่วงชั้นที่ 4 นี้จะเป็นหินดินดานสีน้ำตาลแทรกสลับกับหินทราย หินทรายแป้งและหินดินเหนียว โดยจะมีถ่านหินลิกไนต์บาง ๆ แทรกอยู่ และตะกอนชุดนี้ยังคงมีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณที่สูงและเป็นชั้นที่น่าจะเริ่มมีการสะสมตัวของไฮโดรคาร์บอนที่มีสภาพเป็นน้ำมัน จากผลการเจาะสำรวจในแหล่งน้ำมันสันทรายจะพบชั้นน้ำมันที่ระดับความลึก 3,650 ฟุต และ 4,250 ฟุต ซึ่งเป็นระดับที่อยู่ใต้ของช่วงชั้นที่ 4 (Line F-2, SP 1270)

ช่วงชั้นที่ 5 (Horizon 5 ; H5) ในช่วงชั้นนี้ ชั้นหินจะเป็นการสะสมตัวของตะกอนในชุดสุดท้ายของยุคเทอร์เชียรีและต่อเนื่องไปจนถึงยุคปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่จะมีตะกอนหนาบริเวณแอ่งห้วยงู มีความหนาประมาณ 750 เมตร นอกจากนี้บริเวณด้านเหนือและด้านใต้จะมีตะกอนบางและแคบ ซึ่งแสดงถึงการสะสมตัวแบบทะเลสาบ ในช่วงต้นจะเกิดการทับถมในบริเวณของแอ่งห้วยงูเพียงแอ่งเดียว ต่อมาในช่วงปลายของยุคจะได้รับอิทธิพลจากการสะสมของตะกอนจากแม่น้ำลำธาร ซึ่งได้พัดพาตะกอนพวกดินทรายลงมาในทะเลสาบมากขึ้น ทำให้แอ่งห้วยงูมีตะกอนหนา ลักษณะของหินที่พบในช่วงชั้นนี้จะเป็นหินดินดานสีเทา และดินเหนียวสลับกับตะกอนทรายที่ยังไม่แข็งตัว และหินทรายแป้ง โดยจะมีกรวดขนาดต่าง ๆ ปะปนอยู่ แสดงถึงลักษณะของชายฝั่งที่มีระดับน้ำขึ้นลงอยู่ตลอดเวลา พร้อมกับมีกระแสน้ำค่อนข้างแรงจึงสามารถพัดพาพวกกรวดที่มีขนาดใหญ่ได้เป็นระยะทางไกล โดยหินในช่วงชั้นที่ 5 นี้เป็นอีกชุดที่สามารถกักเก็บน้ำมันไว้ได้

เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ที่กล่าวมากับข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจสามารถสรุปลักษณะของธรณีวิทยาบริเวณแหล่งน้ำมันฝางแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้ดังนี้

1. ตะกอนยุคก่อนเทอร์เชียรี (Pre-Tertiary Sediments) เป็นชั้นหินที่เกิดจากการทับถมหรือสะสมตัวของตะกอนที่เกิดก่อนยุคเทอร์เชียรี จัดอยู่ในหินช่วงชั้นที่ 1 โดยชั้นหินส่วนใหญ่ในยุคนี้จะเป็นหินฐานของแอ่งฝาง ซึ่งจะประกอบไปด้วยหินแกรนิตที่เกิดในยุคไทรแอสสิก และหินทรายที่เกิดในยุคจูแรสสิกถึงยุคเทอร์เชียรี โดยจะพบในบริเวณทิศตะวันออกของแอ่ง ส่วนทางด้านทิศตะวันตกจะพบหินแปรที่เกิดในยุคแคมเบรียนถึงยุคคาร์บอนิเฟอรัส

2. ตะกอนยุคเทอร์เชียรี (Tertiary Sediments) หรือเรียกอีกชื่อว่าหมวดหินแม่สอด (Mac-Sod Formation) จะเป็นชั้นหินที่เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนที่เกิดในยุคเทอร์เชียรี จัดเป็นหินในช่วงชั้นที่ 2 ถึงช่วงชั้นที่ 4 โดยหินชุดแม่สอดส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยหินดินดาน หินดินเหนียว และหินทรายแป้ง แทรกสลับด้วยหินทราย ซึ่งจะมีความหนาประมาณ 1-30 ฟุต โดยชั้น

ทรายที่พบในหมวดหินแม่สอดจัดเป็นแหล่งสะสมของน้ำมันที่สำคัญของแอ่งฝาง และหมวดหินแม่สอดจะแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ

- หมวดหินแม่สอดตอนบน (Upper Mae Sod)

สำหรับหมวดหินแม่สอดตอนบนจะสะสมตัวอยู่ในระดับความลึก 2,500-4,500 ฟุต ประกอบด้วยหินทรายหนา 5-30 ฟุต แทรกสลับหินดินดานสีเทาเข้มและน้ำตาลเข้ม ไม่มีส่วนประกอบของแร่แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) โดยลักษณะการตกตะกอนจะเป็นแบบการทับถมในสภาพแวดล้อมที่เป็นทะเลสาบ (Lacustrine depositional environments) และมีตะกอนที่เกิดจากการทับถมในสภาพแวดล้อมของทางน้ำ (Fluvial) ปนแทรกเป็นบางช่วง โดยพบหลักฐานของตะกอนภาคพื้นทวีป (Terrestrial material) ได้แก่ สปอริไนต์ (Sporinite) และคิวติไนต์ (Cutinite)

- หมวดหินแม่สอดตอนกลาง (Middle Mae Sod)

สำหรับหมวดหินแม่สอดตอนกลางจะสะสมตัวอยู่ในระดับความลึก 4,500-6,700 ฟุต มีลักษณะที่สำคัญคือ มีส่วนประกอบของแร่แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ปนอยู่ในชั้นหิน ได้แก่ หินดินดานเป็นส่วนใหญ่ และจะมีหินทรายและหินทรายแป้งแทรกสลับเป็นช่วง ๆ และยังพบว่ามีชั้นของถ่านหินแทรกบาง ๆ อยู่ในบางช่วง โดยลักษณะของชั้นหินจะแข็งมากกว่าหมวดหินแม่สอดตอนบน และลักษณะการตกตะกอนจะเป็นแบบการทับถมในสภาพแวดล้อมที่เป็นทางน้ำ (Fluvial) และการทับถมของตะกอนภาคพื้นทวีป (Continental environment) โดยมีลักษณะการตกตะกอนจะเป็นแบบการทับถมในสภาพแวดล้อมที่เป็นทะเลสาบ (Lacustrine environments) เป็นบางช่วง โดยพบหลักฐาน ได้แก่ คิวติไนต์ (Cutinite) สปอริไนต์ (Sporinite) และสาหร่าย (Algal) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเศษหิน

- หมวดหินแม่สอดตอนล่าง (Lower Mae Sod)

สำหรับหมวดหินแม่สอดตอนล่างจะสะสมตัวอยู่ในระดับความลึก 6,700 ฟุตลงไปจนถึงบริเวณฐานของแอ่งฝาง โดยช่วงบนของหมวดหินแม่สอดตอนล่างจะพบชั้นถ่านหินหนาประมาณ 100 ฟุต ซึ่งเป็นชั้นถ่านที่มีการสำรวจพบในแหล่งน้ำมันต่าง ๆ ในแอ่งฝาง ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำมันโป่งนกหรือแหล่งน้ำมันบ้านธิ และนอกจากนั้นยังพบหินดินดานสีดำ (Carbonaceous shale) และหินทรายสีเทา โดยในบริเวณช่วงล่างของหมวดหินชุดนี้ จะพบการทับถมของหินดินดานและหินทรายสีแดงน้ำตาล และลักษณะการตกตะกอนจะเป็นแบบการทับถมในสภาพแวดล้อมที่เป็นการทับถมของตะกอนภาคพื้นทวีปที่มีพลังงานในการกระทำต่ำ (Low energy continental environment) โดยตะกอนส่วนใหญ่จะเป็นตะกอนจากทะเลสาบ (Lake sediment) แต่บริเวณตอนล่างตะกอนจะเกิดจากการพัดพาของสภาพแวดล้อมที่มีพลังงานในการกระทำสูง (High energy) ได้แก่ สภาพแวดล้อมที่เป็นที่ราบตะกอนน้ำพา (Alluvial plain) ถึงพวกส่วนล่างของพวกตะกอนน้ำพารูป

พัด (Lower alluvial fan) โดยมีพวกทางน้ำประสานสาย (Braided stream), ล้นทราย (bars) และกองทรายบริเวณปลายตะกอนน้ำพารูปพัด (Distal fan lobes) นอกจากนั้นยังพบหินกรวดมน (Conglomerate) แทรกเป็นช่วง ๆ

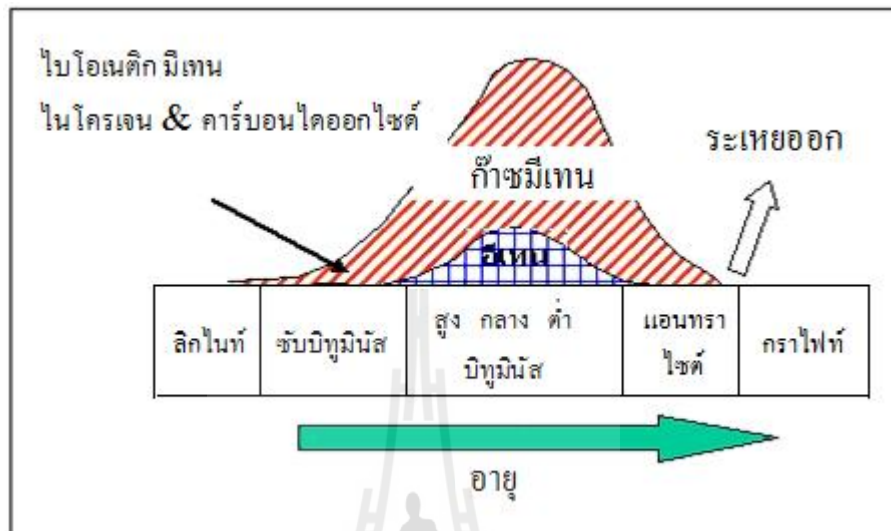
3. ตะกอนยุคควอเทอร์นารีและตะกอนยุคปัจจุบัน (Quaternary and Recent Sediments)
หรือเรียกว่าหมวดหินแม่ฝาง (Mae-Fang Formation) จัดเป็นชั้นหินในช่วงชั้นที่ 5 โดยตะกอนที่พบจะสะสมตัวตั้งแต่ผิวดินจนถึงที่ระดับความลึก 2,500 ฟุต ซึ่งหมวดหินแม่ฝางตอนบนจะเป็นพวกดิน (Soil), ทรายจากศิลาแดง (Lateritic sand) หนาประมาณ 20 ฟุต ถัดลงมาพบทรายที่จับตัวกันหลวม ๆ (Loose sand) ปนด้วยกรวด ขนาดตั้งแต่เพบเบิล (Pebble) จนถึงคอบเบิล (Cobble) โดยในทรายที่พบจะมีแร่เฟลสปา (Feldspar) ปนอยู่ประมาณ 5% มีเศษของไม้กลายเป็นถ่าน (Carbonized wood) กระจายอยู่เป็นระยะ โดยตะกอนส่วนใหญ่จะประกอบด้วยทรายขนาดหยาบถึงหยาบมากเป็นส่วนใหญ่ มีดินเหนียวสีเหลืองแทรกสลับเป็นระยะ บางครั้งพบดินเหนียวสีเทาแกมฟ้าแทรกอยู่ด้วย และมีการจัดขนาดของทรายไม่ดี (Poor sorted) และจากการลำดับชั้นหินจากชนิดของหิน (Lithostratigraphy) ของหมวดหินแม่ฝาง แสดงว่าตะกอนตอนบนจัดเป็นตะกอนที่เกิดจากการทับถมในสภาพแวดล้อมที่เป็นตะกอนน้ำพาที่มีพลัง (Energetic alluvial) และตะกอนที่ทับถมตามทางน้ำไหล (Fluvial deposits) เพราะพบกลุ่มอยู่ตลอดกลุ่มแอ่งฝาง และสำหรับตะกอนตอนล่างเป็นตะกอนที่เกิดในสภาพแวดล้อมที่เป็นทางน้ำที่ไหลลงสู่ทะเลสาบ (Fluviolacustrine sequence) ในลุ่มแอ่งเล็ก ๆ บนทวีปในบรรยากาศชื้นของเขตร้อน (Tropical zone) และลุ่มแอ่งดินที่มีออกซิเจนทำปฏิกิริยาร่วมด้วย (Oxidizing facies)

2.2 ก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหิน (Coal Bed Methane) ของแอ่งฝาง

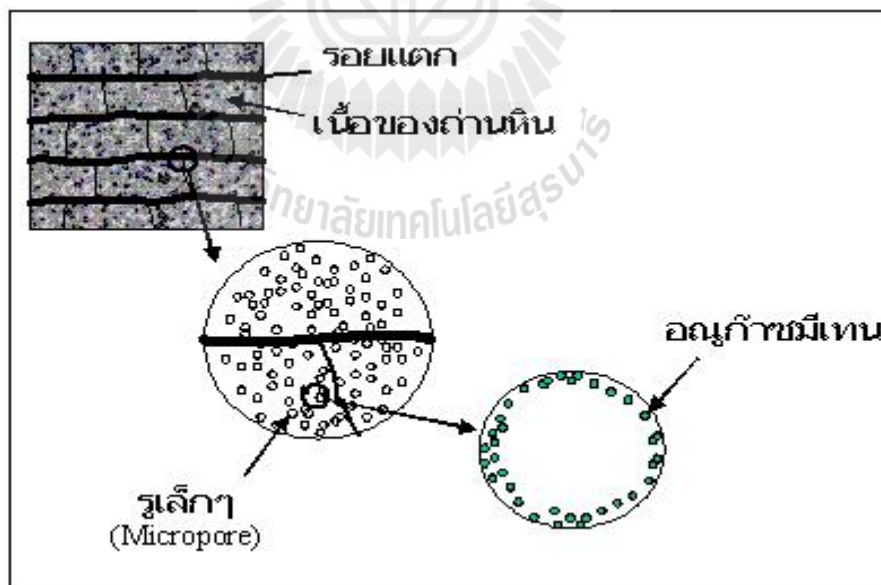
2.2.1 ก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหิน (Coal bed methane)

จากกระบวนการเกิดถ่านหิน (Coalification) ทำให้เกิดการสะสมตัวของไฮโดรคาร์บอนในสภาพของก๊าซภายในโครงสร้างของถ่านหิน ซึ่งก๊าซที่เกิดในชั้นถ่านหินจะมีสัดส่วนของก๊าซมีเทน (CH_4) สูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ (กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554) เมื่อมีการทับถมกันเป็นเวลานานที่ระดับความลึกมากขึ้นอิทธิพลของความร้อนและความกดดันภายในเปลือกโลกทำให้ถ่านหินลึกในดักถูกแปรสภาพเป็นถ่านหินชนิดซับบิทูมินัส บิทูมินัส และแอนทราไซต์ตามลำดับ ทำให้เกิดก๊าซมีเทนเพิ่มมากขึ้น แต่ถ่านหินชนิดที่ดีที่สุดที่ให้ก๊าซมีเทนคือถ่านหินบิทูมินัส และพบว่าถ่านหินที่เพิ่งเกิดไม่สามารถให้ก๊าซมีเทนได้ ส่วนถ่านหินที่มีอายุมาก

ก๊าซมีเทนก็จะหนีหายไป ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของก๊าซมีเทนในถ่านหินแต่ละชนิดในถ่านหินแต่ละชนิด



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของก๊าซมีเทนในถ่านหินแต่ละชนิด (คัดลอกและดัดแปลงจากกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการสะสมตัวของก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหิน (คัดลอกจากกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)

ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะสะสมตัวและกักเก็บอยู่ในช่องว่างขนาดเล็กๆ (Micropore) ในเนื้อถ่านหิน ดังรูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการสะสมตัวของก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหิน โดยจะมีแรงดันของน้ำในรอยแตกกุดันไว้ ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนในถ่านหินจะขึ้นอยู่กับ ส่วนประกอบ อายุ สภาพแวดล้อมการกำเนิดภายใต้ความร้อนและความกดดันใต้ผิวดิน

จากข้อมูลที่ได้คาดว่าก๊าซมีเทนสะสมอยู่ในแหล่งถ่านหินหลายแหล่งทั่วทั้งประเทศ แต่ไม่ได้หมายความว่าจะมีอยู่ในแหล่งถ่านหินทุกแห่ง ถ่านหินที่ให้ก๊าซจะต้องมีความลึกอยู่ในช่วง 150 เมตร ถึง 1,500 เมตร ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากชั้นถ่านหินในประเทศไทยทั้งแหล่งบนบกและในอ่าวไทย พบว่ามีปริมาณสำรองโดยประมาณ 12 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต (กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)

กระบวนการผลิตก๊าซมีเทนจากชั้นถ่านหิน สามารถทำได้โดยทำการเจาะในลักษณะเดียวกันกับการเจาะบ่อน้ำบาดาลลึกหรือในการเจาะบ่อน้ำมันไปจนถึงชั้นถ่านหิน เมื่อความดันอยู่ในระดับเหมาะสม ก๊าซมีเทนก็จะไหลออกจากชั้นถ่านหิน โดยอัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับปริมาณสำรองของก๊าซที่มีอยู่ และส่วนประกอบของเนื้อถ่านหิน ก๊าซมีเทนที่ได้จากชั้นถ่านหินสามารถนำขึ้นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อม ในกรณีที่น่านำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนการใช้ถ่านหินโดยตรง เนื่องจากก๊าซมีเทนเป็นเชื้อเพลิงที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ และจะเป็นการนำทรัพยากรที่มีอยู่ในระดับลึกขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้อย่างสูงสุด

2.2.2 ชั้นถ่านหินที่ใช้ทดสอบการคำนวณ

ข้อมูลของถ่านหินที่นำมาใช้ทำการทดสอบการคำนวณในการศึกษาครั้งนี้ได้นำข้อมูลมาจากการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติ ของหลุม FA-BR-49-02 ที่ระยะความลึกที่ 1,721 ฟุต ถึง 1,811 ฟุต

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแท่งตัวอย่างถ่านหินที่นำมาใช้ในการศึกษา (บริษัท ACS Laboratories Pty จำกัด, 2549)

Core Number	Core Depth, ft	Length of Core Cut, ft	Length of Core Recovered, ft	Percentage Recovery, %
1	1721 to 1751	30	29	96.7
2	1751 to 1781	30	5	16.7
3	1781 to 1811	30	6	20.0

ตารางที่ 2.2 ลักษณะความพรุนและความสามารถในการซึมผ่านของแท่งหินตัวอย่างของ หลุม FA-BR-49-02 (คัดลอกจาก บริษัท ACS Laboratories Pty จำกัด, 2549)

Sample Number	Depth (ft)	Helium Porosity (percent)	Grain Density (g/cm ³)	Air Permeability (md)	Remarks
FA 1	1722'1" - 1722'6"	18.7	2.08	0.46	
FA 2	1725'4" - 1725'8"	18.4	2.07	0.31	
FA 3	1748'0" - 1748'7"	14.4	1.92	0.12	
FA 4	1748'11" - 1749'4"	13.2	1.61	0.02	Frac

จากการทดสอบและวิเคราะห์แท่งหินที่จะใช้ทำการทดสอบ ชั้นหินที่ทำการทดสอบนี้จะประกอบไปด้วยชั้นหินที่มีคาร์บอนอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น ลิกไนต์ (lignite) และ

ชั้นบิทูมินัส (sub-bituminous) ตามลำดับ ซึ่งชั้นถ่านนี้จะอยู่ที่ระดับความลึกที่ 1,722 ฟุตถึง 1,749 ฟุต โดยมีค่าคุณสมบัติต่างๆดังต่อไปนี้

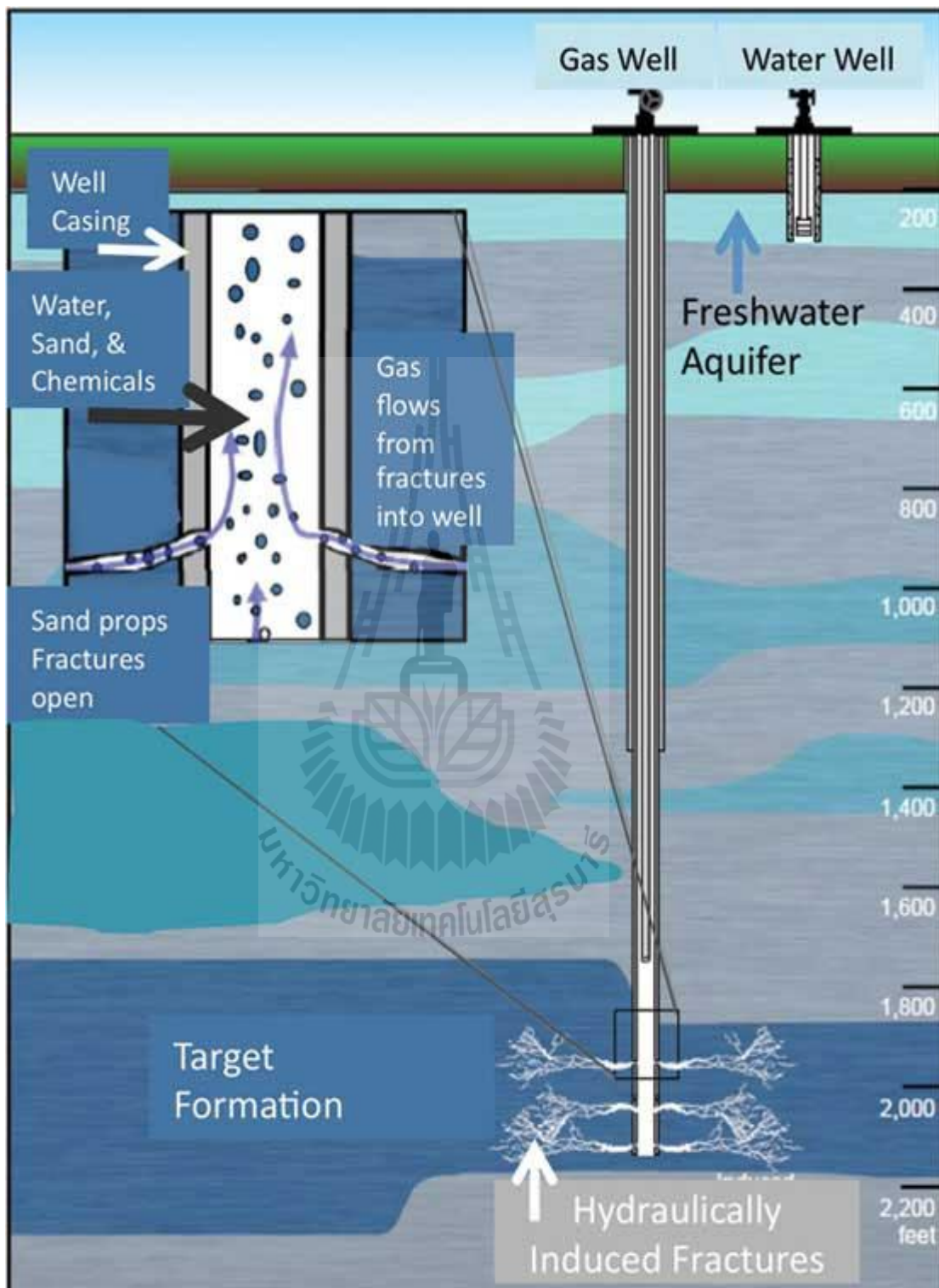
ความหนาของชั้นกักเก็บ (Formation thickness; h)	= 27 ft
ความพรุนของชั้นกักเก็บ (Effective formation porosity; ϕ_e)	= 13.4 %
ความหนาแน่นในชั้นกักเก็บ (Density; ρ_o)	= 1.60 g/cc
มอดูลัสของยัง (Young's modulus; E)	= 100,000 psi
อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio; ν)	= 0.34
ความหนืดของของไหลในชั้นกักเก็บ (Reservoir fluid viscosity; μ_r)	= 0.0092 cp

อย่างไรก็ตามชั้นถ่านหินที่ทำการทดสอบนี้วางอยู่ใต้ชั้นหินทราย ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 g/cc ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงต้องใช้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยที่เกิดจากชั้นของหินทรายและชั้นของถ่านหินมาใช้ในการคำนวณค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของชั้นหินปิดทับ (Overburden average density) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Overburden average density} = ((1,722 \text{ ft.} \times 2.5 \text{ g/cc}) + (27 \text{ ft.} \times 1.6 \text{ g/cc})) / 1,749 \text{ ft.} = 2.486 \text{ g/cc}$$

2.3 การทำให้ชั้นหินแตกด้วยแรงดันไฮดรอลิก (Hydraulic Fracturing)

การทำให้ชั้นหินแตกด้วยแรงดันไฮดรอลิก คือ การทำให้ผนังรอบๆ หลุมผลิตแตกออกโดยอาศัยความดันจากของไหล (fluid) ที่ถูกอัดลงไปหลุม เพื่อให้บริเวณรอบๆ หลุมผลิตมีช่องว่างมากขึ้น มักจะทำกับชั้นหินแข็งแต่เปราะ เช่น ชั้นหินหรือแหล่งกักเก็บที่เป็นหินทราย (Sandstone reservoir) หรือหินปูน (Limestone reservoir) เพื่อเพิ่มความสามารถในการให้ของไหลไหลผ่านได้ง่ายและมากขึ้น ลักษณะภาพตัดขวางการทำให้ชั้นหินแตกด้วยแรงดันไฮดรอลิกดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 การทำให้ชั้นหินแตกด้วยแรงดันไฮดรอลิกจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการผลิตให้กับหลุมผลิตได้โดยการทำให้เกิดช่องทางให้ของไหลภายในแหล่งกักเก็บสามารถไหลเข้ามาที่หลุมผลิตได้โดยสะดวก โดยจะอาศัยวัสดุ (เม็ดทราย) เพื่อช่วยค้ำยันโพรงหรือรอยแตกเพื่อเปิดช่องเหล่านี้ไว้ ภายหลังจากการทำให้ชั้นหินแตกจากแรงดันของรอยแตกที่เกิดจากของไหลที่ใช้ในการทำให้ชั้นหินแตก (Fracturing fluid) ในขั้นตอนแรก



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการทำให้ชั้นหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิก (คัดลอกจาก

<http://www.kgs.ku.edu/Publications/PIC/pic32.html>)

เมื่อภายในหลุมเจาะเกิดแรงดันขึ้นมากกว่าแรงดันที่หินจะคงสภาพอยู่ได้โดยไม่แตกหัก จะเกิดรอยแตก (Fracture) ขึ้นในชั้นหินบริเวณรอบๆหลุมเจาะในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของแนวแกนที่เกิดแรงอัด (Compressive stress) ที่น้อยที่สุด และรอยแตกนี้จะขนานไปกับระนาบของแนวแกนที่เกิดแรงอัดมากที่สุด (Maximum compressive stress) และแนวแกนที่เกิดแรงอัดปานกลาง (Intermediate compressive stress) การทำให้ชั้นหินเกิดการแตกโดยใช้ความดันจากของไหลจะอยู่บนสมมุติฐานที่ว่า การพัฒนาของรอยแตกของหินจะเกิดทั้งสองด้านของหลุม โดยมีความยาวของปีกทั้งสองข้าง (Fracture length หรือ Fracture radius) เท่าๆกัน

การเกิดรอยแตกภายในชั้นหินสามารถแยกตามชนิดของลักษณะการแตกของชั้นหิน ได้ดังนี้ (Bradley H., 1987)

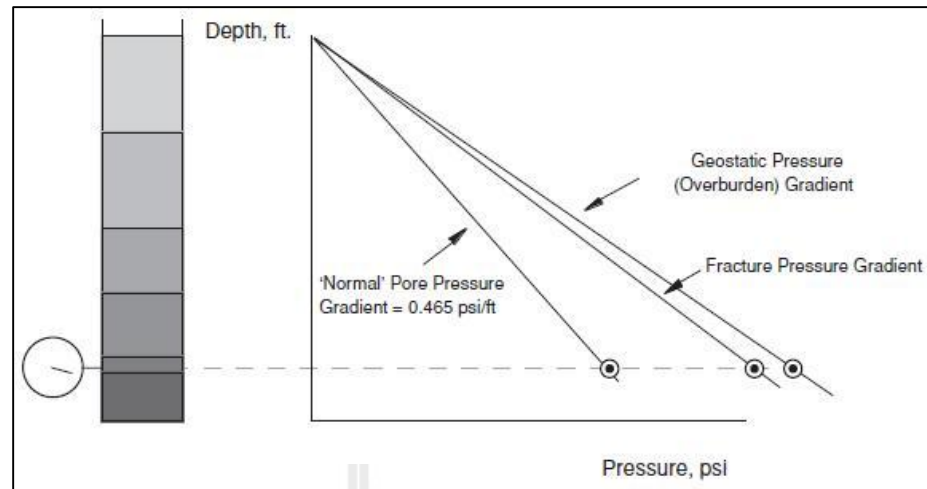
- แตกในแนวราบ (Horizontal fracture) จะเกิดในชั้นหินตื้นๆ ที่ระดับความลึกน้อยกว่า 2,000 ฟุต
- รอยแตกประเภทแบบมุม (Angle Fracturing) จะเกิดในช่วงระดับความลึกระหว่าง 2,000 ถึง 4,000 ฟุต
- แตกในแนวตั้ง (Vertical fracture) จะเกิดในชั้นหินลึกๆ ที่ระดับความลึกมากกว่า 4,000 ฟุต

สำหรับการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำให้ชั้นหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกนั้น สามารถคำนวณลักษณะการแตกของชั้นถ่านหินได้จากสมการดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของการแตกในชั้นหิน

- รอยแตกประเภทในแนวราบ (Horizontal Fracturing)

จากการศึกษาของ Nguyen T. (2013) พบว่าค่าระดับความดันของชั้นวัสดุปิดทับด้านบนต่อความลึก (Overburden หรือ Geostatic pressure gradient) มีค่าใกล้เคียงกันในระดับความลึกไม่มากนักจากผิวดิน ดังแสดงความสัมพันธ์ไว้ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความลึก ค่าระดับความดันของชั้นปิดทับด้านบนต่อระดับความลึก ค่าระดับความดันที่ทำให้ชั้นหินแตกต่อความลึก และค่าระดับความดันปกติของชั้นหินรูพรุนต่อความลึก (คัดลอกจาก [infohost.nmt.edu/~petro/faculty/Nguyen/PE413/C1/2_Fracture Pressure.ppt](http://infohost.nmt.edu/~petro/faculty/Nguyen/PE413/C1/2_Fracture%20Pressure.ppt))

ดังนั้นจึงอาจพออนุมานได้ว่าค่าความดันในหลุมเจาะที่จะต้องใช้ในการทำให้เกิดการแตกของหินในหลุมเจาะในแนวราบ (P_{fr}) ในระดับตื้นจะมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าความดันเนื่องจากน้ำหนักกดทับของวัสดุปิดทับด้านบน (P_{ob}) ดังแสดงไว้ในสมการที่ 1 (Crittendon B., 1959) และลักษณะของรอยแตกในแนวราบดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.8

$$P_{fr} = P_{ob} \quad (2.1)$$

โดย P_{fr} คือ ความดันในหลุมเจาะที่ทำให้เกิดรอยแตกในแนวราบ (Borehole pressure required to induce horizontal fracture; psi)

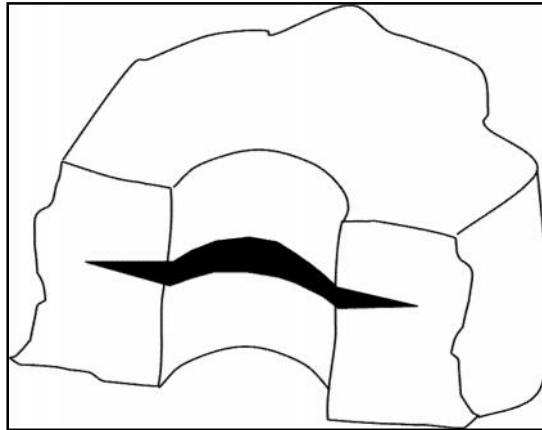
P_{ob} คือ ความดันที่เกิดจากน้ำหนักกดทับด้านบน (Overburden pressure; psi)

และ
$$P_{ob} = g_{ob} D$$

เมื่อ Overburden gradient (g_{ob}) = Rock pressure gradient + Fluid pressure gradient

โดย Rock gradient pressure = $(0.433 \text{ psi/ft})(\rho_c)(1-\phi_c)$

Fluid pressure gradient = $(0.433 \text{ psi/ft})(\rho_{fluid})(\phi_c)$



รูปที่ 2.8 ลักษณะรอยแตกประเภทในแนวราบ

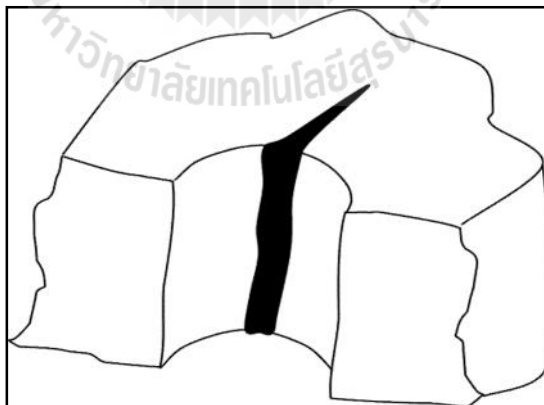
- รอยแตกประเภทในแนวตั้ง (Vertical Fracturing)

ค่าระดับความดันที่ใช้เพื่อที่จะทำให้หินในหลุมเจาะมีการแตกในแนวตั้ง (รูปที่ 2.9) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 (Crittendon B., 1959)

$$P_{fr} = \frac{2\epsilon}{1-\epsilon} P_{ob} \quad (2.2)$$

โดย P_{fr} คือ ความดันในหลุมเจาะที่ทำให้เกิดรอยแตกในแนวตั้ง (Borehole pressure required to induce vertical fracture; psi)

ν คือ อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio)



รูปที่ 2.9 ลักษณะรอยแตกประเภทในแนวตั้ง

- รอยแตกประเภทแบบมุม (Angle fracturing)

ค่าระดับความดันที่ใช้เพื่อที่จะทำให้หินในหลุมเจาะมีการแตกในแนวทำมุมกับแนวระดับสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 (Crittendon B., 1959)

$$P_{fr} = \frac{P_{ob}}{2} \left[\left(1 + \frac{2\epsilon}{1-\epsilon} \right) + \left(1 - \frac{2\epsilon}{1-\epsilon} \right) \cos 2\theta \right] \quad (2.3)$$

โดย P_{fr} คือ ความดันในหลุมเจาะที่ทำให้เกิดรอยแตกแบบมุม (Borehole pressure require to induce angle fracture; psi)

θ คือ มุมของรอยแตกที่ทำกับแนวระดับ (Angle from horizontal)

ν คือ อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio)

ทั้งนี้ค่าระดับความดันที่ใช้เพื่อทำให้ชั้นหินแตก (Fracture pressure; psi) อาจหาได้จากกรทดสอบการรั่วของหลุมเจาะ (Leak-off test; LOT)

2. ความกว้างของรอยแตก (Fracture width; W_w)

ความกว้างของรอยแตกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4 (Perkins and Kern, 1961)

$$W_w = 2.17 \left[\frac{\sim^2 q_i^3}{E'^2} \right]^{1/9} t^{1/9} \quad (2.4)$$

3. รัศมีของรอยแตก (Fracture radius; r_f)

รัศมีของรอยแตกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 (Perkins and Kern., 1961)

$$r_f = 0.52 \left[\frac{E' q_i^3}{\sim} \right]^{1/9} t^{4/9} \quad (2.5)$$

โดยที่

$$E' = \frac{E}{1-\nu^2} \quad (2.6)$$

เมื่อ W_w คือ ความกว้างของรอยแตกที่มากที่สุด (The maximum width; in)

r_f คือ รัศมีของรอยแตก (Fracture Radius; ft)

\sim คือ ความหนืดของของไหลที่อัด (The fluid viscosity; cp)

q_i คือ อัตราการอัดของไหล (The injection rate; bbl/min)

E' คือ มอดุลัสในแนวราบ (The plane stain modulus; psi)

E คือ โมดูลัสของยัง (Young's modulus; psi)

t คือ เวลาในการอัดของเหลว (Total pumping time; min)

4. พื้นที่ที่เกิดการแตก (Fracture area; A_f)

พื้นที่ที่เกิดจากการทำให้เกิดรอยแตกโดยแรงดันที่เกิดจากของไหลที่ฉีดอัดเข้าไป ในหลุมเจาะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7 (Howard G. and Fast C., 1957)

$$A_f = \frac{q_i W_w}{4fK^2} \left[e^{x^2} \cdot \operatorname{erfc}(x) + \frac{2x}{\sqrt{f}} - 1 \right] \quad (2.7)$$

โดย A_f คือ พื้นที่ทั้งหมดบนผิวหน้ารอยแตกด้านหนึ่งในช่วงของการอัดของไหล เพื่อให้เกิดการแตกของหิน (Total area of one face of the fracture at time during injection; ft²)

q_i คือ อัตราการอัดฉีดของไหล (Constant injection rate; ft³/min)

K คือ สัมประสิทธิ์การซึมหายของของไหลที่ใช้ทำให้หินแตก (Fracturing fluid coefficient; ft/ $\sqrt{\text{min}}$)

t คือ เวลาในการอัดของเหลว (Total pumping time; min)

ทั้งนี้ผลจากการทำให้ชั้นหินเกิดรอยแตกนั้นจะสามารถวัดผลสำเร็จได้ จากการเปรียบเทียบ ปริมาตรของรอยแตกของหินกับปริมาตรของของไหลที่ฉีดเข้าไป ในทางอุดมคติ ถ้าของไหลที่ใช้ ทำให้เกิดรอยแตกที่ฉีดเข้าไปในชั้นหินไม่มีการรั่วไหลหรือมีการซึมหายเข้าไปในผนังหินรอบๆ หลุมเจาะควรจะได้อัตราของรอยแตกของที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของของไหลที่ใช้ทำให้เกิด รอยแตกที่ฉีดเข้าไป แต่ในทางปฏิบัติหรือความเป็นจริงไม่มีทางเป็นไปได้ ดังนั้นจึงต้องมีการ ประเมินประสิทธิภาพของการแตกของหินที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำให้ชั้นหินเกิดรอยแตก (Fracturing efficiency, Eff.) โดยจะคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 8 (Main M.A., 1992)

$$\operatorname{Eff} = \frac{V_{\text{fracture}}}{V_{\text{inject}}} = \frac{1}{x^2} \left[e^{x^2} \cdot \operatorname{erfc}(x) + \frac{2x}{\sqrt{f}} - 1 \right] \quad (2.8)$$

เมื่อ
$$x = \frac{2K\sqrt{ft}}{W_w} \quad (2.9)$$

โดย Eff คือ ประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก (Fracturing Efficient; %)

K คือ สัมประสิทธิ์การซึมหายของของไหลที่ใช้ทำให้หินแตก (Fracturing fluid coefficient; $\text{ft}/\sqrt{\text{min}}$)

t คือ เวลาในการอัดของไหล

W_w คือ ความกว้างของรอยแตกที่มากที่สุด

โดยอัตราที่รั่วไหลของของไหลที่ใช้ทำให้เกิดรอยแตกจะถูกควบคุมโดย (Howard G. and Fast C., 1957)

- ค่าการซึมหายหรือรั่วไหลที่เกี่ยวข้องกับค่าความหนืด (viscosity) และ ค่าแรงอัด (compressibility) ของของไหลภายในแหล่งกักเก็บ (reservoir fluid) ซึ่งแทนค่าด้วยค่าสัมประสิทธิ์ K_C

$$K_C = 0.0374 \Delta P \sqrt{\frac{k_e W_e C_R}{\sim R}} \quad (2.10)$$

- ค่าการซึมหายหรือรั่วไหลที่เกี่ยวข้องกับค่าความหนืดของของไหลที่ใช้ทำให้เกิดรอยแตก ซึ่งแทนค่าด้วยค่าสัมประสิทธิ์ K_V

$$K_V = 0.0469 \sqrt{\frac{k_e \Delta P W_e}{\sim f}} \quad (2.11)$$

- ค่าการซึมหายของน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมของของไหลที่ใช้ทำให้เกิดรอยแตกในขณะที่เกิดการสร้างผนังของน้ำโคลน (mud cake) ซึ่งแทนค่าด้วยค่าสัมประสิทธิ์ K_w

โดยในห้องปฏิบัติการจะหาค่าสัมประสิทธิ์นี้ได้จากสมการที่ 12

$$K_w = 0.0328 \frac{m}{2A} \quad (2.12)$$

แต่ถ้าจะมีการนำไปใช้ในภาคสนามจริงต้องมีการแปลงค่าสัมประสิทธิ์ K_w นี้ เป็น K_w^{actual} โดยคำนวณได้จากสมการที่ 13

และ
$$K_w^{actual} = K_w \sqrt{\frac{\Delta P_{frac}}{\Delta P_{Lab}}} \quad (2.13)$$

เมื่อ
$$\Delta P_{frac} = (g_f D) - P_R \quad (2.14)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 3 ค่านี้ นำมารวมกันและเรียกว่า “สัมประสิทธิ์การซึมหายของของไหลที่ใช้ทำให้หินแตก (Fracturing fluid coefficient, K)” ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 15

$$\text{เมื่อ} \quad \frac{1}{K} = \frac{1}{K_C} + \frac{1}{K_V} + \frac{1}{K_{W_{actual}}} \quad (2.15)$$

โดย ΔP_{frac} คือ ความแตกต่างกันของความดันที่ทำให้ชั้นหินแตกและความดันของชั้นหินกักเก็บบริเวณผิวหน้าของรอยแตก (Differential pressure across the face of the fracture; psi)

ΔP_{Lab} คือ ค่าความดันที่ใช้ในห้องทดลองของชุดทดสอบวัดค่าการรั่วไหลของเหลวที่ใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำโคลน (Filtrate test pressure; psi)

P_R คือ ความดันในแหล่งกักเก็บ (Reservoir pressure; psi)

D คือ ความลึกของหลุม (Depth of well; ft)

g_f คือ ค่าระดับความดันที่ทำให้หินแตกต่อความลึก (Fracture gradient; psi/ft)

P_{fr} คือ ความดันที่ทำให้เกิดรอยแตก (Fracture pressure; psi)

k_e คือ ความซึมผ่านได้ในชั้นหินกักเก็บ (Effective formation permeability; Darcy)

w_e คือ ความพรุนของชั้นกักเก็บ (Effective formation porosity; %)

\sim_R คือ ความหนืดของของไหลในชั้นกักเก็บ (Reservoir fluid viscosity; cp)

\sim_f คือ ความหนืดของของไหลในรอยแตก (Fracturing fluid viscosity; cp)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของกระดวยกรองในชุดอุปกรณ์ทดสอบการซึมผ่าน (Cross-section area of the filter press; cm^2)

m คือ ความชันของกราฟในชุดทดสอบการรั่ว (Slope of the fluid loss curve; $\text{mL}/\sqrt{\text{min}}$)

C_R คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของของไหลในแหล่งกักเก็บที่อุณหภูมิคงที่ (Coefficient of isothermal compressibility of the reservoir fluid; psi^{-1})

$$\text{โดยที่} \quad C_R = C_g S_g + C_o S_o + C_w S_w \quad (2.16)$$

เมื่อ C_g = ค่าการอัดตัวของก๊าซ (Gas compressibility; psi^{-1})

C_o = ค่าการอัดตัวของน้ำมัน (Oil compressibility; psi^{-1})

C_w = ค่าการอัดตัวของน้ำ (Water compressibility; psi^{-1})

C_g = ค่าการอิ่มตัวของก๊าซ (Gas saturation; ร้อยละ)

C_o = ค่าการอิ่มตัวของน้ำมัน (Oil saturation; ร้อยละ)

C_w = ค่าการอิ่มตัวของน้ำ (Water saturation; ร้อยละ)

และทำให้สามารถคำนวณเปรียบเทียบอัตราการผลิตก่อนและหลังการทำให้ชั้นหินแตกได้จากอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก (Productivity ratio, PR) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 17 และสมการที่ 18 ตามลำดับ (Howard G. and Fast C., 1957)

- รอยแตกในแนวราบ

$$PR = \left[\frac{k_f W_w}{kh} \right] \left[\frac{\left(\frac{kh}{k_f W_w} + 1 \right) \ln(r_e/r_w)}{\left(\frac{k_f W_w}{kh} + 1 \right) \ln(r_e/r_f) + \ln(r_f/r_w)} \right] \quad (2.17)$$

- รอยแตกในแนวตั้ง

$$PR = \frac{\ln(r_e/r_w)}{\ln(r_e/r'_w) - s} \quad (2.18)$$

เมื่อ

$$r'_w = \frac{R}{2(r+1)}$$

$$r = \frac{fkR}{2k_f W_w}$$

$$s = \left[\frac{r_w}{100R} \right]^{0.3} [\ln(r+1)]^2$$

โดย PR คือ อัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก (Productivity ratio)

k_f คือ ความซึมผ่านได้ในช่องหินที่แตกที่เต็มไปด้วยวัสดุค้ำยัน (Permeability of fracture filled with propping agent; md)

- k คือ ความซึมผ่านได้ในแนวราบของชั้นกักเก็บ (Horizontal permeability of formation; md)
- h คือ ความหนาของชั้นกักเก็บ (Formation thickness; ft.)
- r_f คือ รัศมีของรอยแตก (Radius of fracture; ft.)
- r_e คือ รัศมีนอกสุดของพื้นที่ระบายของไหลในแหล่งกักเก็บ (Drainage external radius; ft.)
- r_w คือ รัศมีของหลุมเจาะ (Radius of the well; ft.)
- W_w คือ ความกว้างของรอยแตกที่มากที่สุด (The maximum width; in)



บทที่ 3

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณรอยแตกด้วยแรงดันไฮดรอลิก

3.1 การพัฒนาระบบและการเขียนโปรแกรม

การพัฒนาระบบและการเขียนโปรแกรมของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ได้ทำการพัฒนาบนโปรแกรมไมโครซอฟวิซวลเบสิก (Microsoft Visual Basic) ซึ่งข้อดีของโปรแกรมนี้อีกคือ 1) ได้รับการติดตั้งมาพร้อมกับส่วนการติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้ภาพและสัญลักษณ์ทางกราฟิก (Graphic user interface, GUI) 2) เป็นแอปพลิเคชันที่ง่ายและสะดวก 3) สนับสนุนต่อระบบการบริหารจัดการฐานข้อมูลและ 4) แปลและรวบรวมด้วยการคำนวณที่ซับซ้อนได้

3.2 การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้สามารถช่วยในการคำนวณและออกแบบในการทำให้ชั้นถ่านหินของแอ่งฝางแตกด้วยแรงดันไฮดรอลิก โดยใช้ข้อมูลจริงและข้อมูลที่ประมาณการได้ หลังจากใส่ข้อมูลที่โปรแกรมต้องการเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าผลลัพธ์ออกมา โดยการทำงานของโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนย่อยและมีการคำนวณเป็นลำดับดังต่อไปนี้

1. การคำนวณแรงดันที่ต้องใช้เพื่อให้ชั้นวัสดุเกิดการรอยแตก (Fracture pressure, P_f)
2. การคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก (Fracture width and Fracture radius)
3. การคำนวณปริมาตรของรอยแตกของหินหารกับปริมาตรของของไหลที่ฉีดเข้าไป (Fracture efficiency, Eff.)
4. การคำนวณพื้นที่รอยแตก (Fracture area, A_f)
5. การคำนวณอัตราส่วนของอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก (Productivity ratio, PR)

โดยการคำนวณในแต่ละขั้นตอนสามารถแสดงการคำนวณในรูปแบบของเอกสารของไมโครซอฟท์เวิร์ด (Microsoft Word) ซึ่งสะดวกต่อการใช้งานและสามารถพิมพ์ออกมาเป็นเอกสารเพื่อการใช้งานต่อไปในอนาคตได้สะดวกอีกด้วย

3.3 การวิเคราะห์ปัญหา

การวิเคราะห์ปัญหาถือเป็นขั้นตอนแรกของการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดสถานะของปัญหา ผลลัพธ์และการแก้ปัญหา กระบวนการและผลที่ได้ โดยที่กระบวนการวิเคราะห์และแก้ปัญหาของโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ข้อย่อยกล่าวคือ 1) ความต้องการของโปรแกรม 2) การนำเข้าข้อมูล 3) ข้อมูลที่ได้ 4) การประกาศตัวแปรและ 5) กระบวนการทำงานและการทดสอบโปรแกรมตามลำดับ

3.3.1 ความต้องการของโปรแกรม

ความต้องการเบื้องต้นของโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะประกอบด้วย จอแสดงรายละเอียดโปรแกรม การออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกและข้อมูลรายละเอียดที่จำเป็นสำหรับทำการบันทึกเก็บและพิมพ์ออกมาในรูปแบบของดิจิทัลไฟล์และไฟล์เอกสาร

3.3.2 การนำเข้าข้อมูล

โปรแกรมจะทำการบันทึกพารามิเตอร์ที่ต้องการทั้งหมดลงในส่วนโปรแกรมไฟล์ของใคร่ที่ทำการติดตั้งโปรแกรมอยู่ จากนั้นโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์และประมวลผลโดยข้อมูลนำเข้าทั้งหมดจะแสดงผลในรูปแบบของตารางบนหน้าจอแสดงข้อมูลโดยอัตโนมัติข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการประมวลผลและคำนวณแรงดันของรอยแตก ความกว้างและรัศมีของรอยแตกประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก พื้นที่ของรอยแตก และอัตราส่วนของอัตราการผลิตก่อนและหลังการเกิดรอยแตก ดังแสดงสรุปไว้ในตารางที่ 3.1 ถึง 3.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลนำเข้าของการคำนวณแรงดันที่ใช้ทำให้เกิดรอยแตก (Fracture pressure)

ลำดับ	ชื่อการนำเข้าข้อมูล	หน่วย
1	ความดันในแหล่งกักเก็บ (P_R)	psi
2	ความลึกของหลุม (D)	ft
3	ความหนาแน่นในชั้นกักเก็บ (ρ_c)	g/cc
4	ความพรุนของชั้นกักเก็บ (ϕ_c)	%

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลนำเข้าของการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก (Fracture width and Fracture radius)

ลำดับ	ชื่อการนำเข้าข้อมูล	หน่วย
1	มอดูลัสของยัง(E)	psi
2	อัตราส่วนปัวซอง(V)	ไม่มีหน่วย
3	ความหนืดของของไหลที่อัด (μ)	cp
4	อัตราการอัดของไหล(q_i)	bbl/min
5	ปริมาตรของของไหลที่อัด (V)	gal

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลนำเข้าของการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก (Fracture efficiency)

ลำดับ	ชื่อการนำเข้าข้อมูล	หน่วย
1	ความกว้างของรอยแตกที่มากที่สุด(W_w)	in
2	ความดันในแหล่งกักเก็บ(P_R)	psi
3	สัมประสิทธิ์การซึมหายของของไหลที่ใช้ทำให้หินแตก(K)	md
4	ความพรุนของชั้นกักเก็บ (ϕ_c)	%
5	ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของของไหลในแหล่งกักเก็บที่อุณหภูมิคงที่(C_R)	psi ⁻¹
6	เวลาในการอัดของเหลว(t)	min
7	ความหนืดของของไหลในชั้นกักเก็บ (μ_r)	cp

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลนำเข้าของการคำนวณพื้นที่รอยแตก (Fracture area)

ลำดับ	ชื่อการนำเข้าข้อมูล	หน่วย
1	ความกว้างของรอยแตกที่มากที่สุด(W_w)	in
2	ปริมาตรของของไหลที่อัด (V)	gal
3	ประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก(Eff.)	จำนวนเท่า

ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลนำเข้าของการคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก(Productivity ratio)

ลำดับ	ชื่อการนำเข้าข้อมูล	หน่วย
1	ความซึมผ่านได้ในช่องหินที่แตก(k_p)	md
2	ความหนาของชั้นกักเก็บ(h)	ft
3	รัศมีของรอยแตก (r_p)	ft
4	พื้นที่ทั้งหมดบนผิวหน้ารอยแตกด้านหนึ่งในช่วงของการอัดของไหลเพื่อให้เกิดการแตกของหิน(A_p)	ft ²
5	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะ (OD.)	in
6	ความซึมผ่านได้ในแนวราบของชั้นกักเก็บ(k)	md
7	ความกว้างของรอยแตกที่มากที่สุด (W_w)	in

3.3.3 ข้อมูลที่ได้

เมื่อกระบวนการคำนวณผลแล้วเสร็จ ผลการคำนวณจะถูกส่งไปยังหน้าจอแสดงผลในสองหน้ากล่าวคือ หน้าจอแสดงผลการคำนวณและหน้าจอแสดงผลรายการคำนวณ โดยหน้าจอแสดงผลการคำนวณจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ การนำเข้าพารามิเตอร์แต่ละค่ารูปภาพประกอบการคำนวณและแสดงผลการคำนวณจากนั้นจะพบปุ่มรายงานเพื่อรายงานผลและรายการคำนวณในรูปแบบของเอกสารไมโครซอฟเวิร์ดได้

3.3.4 การประกาศตัวแปร

พารามิเตอร์ที่นำเข้า ข้อมูลที่ได้ การคำนวณและกระบวนการประมวลผลสัญลักษณ์ที่ใช้ในโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนานี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

3.3.5 กระบวนการทำงานและการทดสอบโปรแกรม

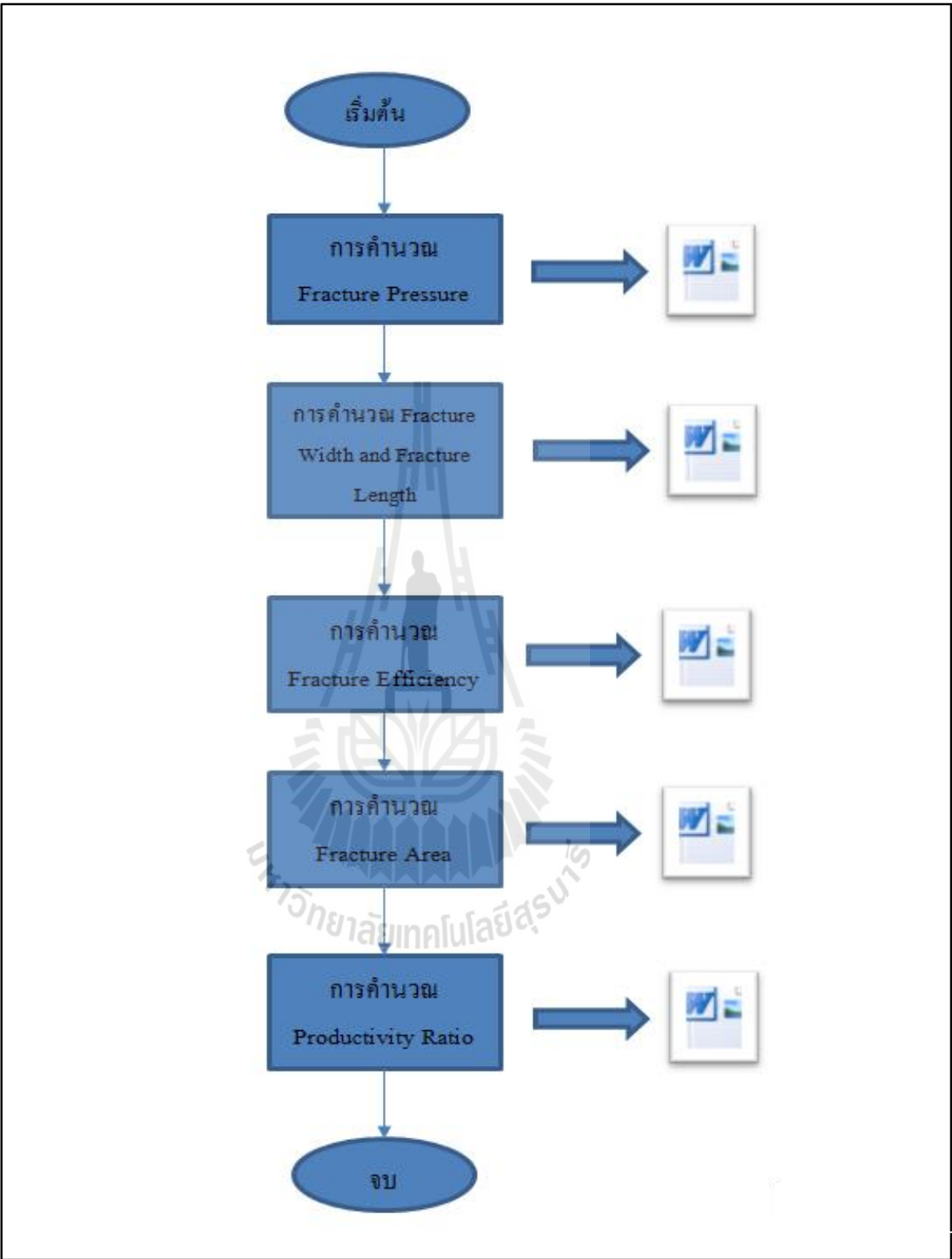
ขั้นตอนและวิธีการใช้โปรแกรมในการใช้โปรแกรมที่ได้รับการพัฒนานี้ได้แสดงไว้ในบทที่ 4

3.4 ฝั่งงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องมีการวางแผนลำดับการทำงาน เพื่อให้เข้าใจในระบบการประมวลผลของโปรแกรม ดังนั้นกระบวนการเหล่านี้จึงถูกอธิบายในรูปของผังงานที่ต้องประกอบไปด้วยการป้อนข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลที่นำเข้า การคำนวณ และการ

แสดงผลโดยผังงานในภาพรวมของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการช่วยการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำให้ชั้นถ่านหินของแอ่งฝางแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังแสดงในหัวข้อในลำดับถัดไปตามลำดับ และผลจากการศึกษาปริทรรศน์วรรณกรรมพบว่าชั้นถ่านหินของแอ่งฝางเป็นชั้นถ่านหินที่อยู่ในระดับตื้น (ลึกน้อยกว่า 2,000 ฟุต) ดังนั้นในการพัฒนาโปรแกรมครั้งนี้จึงได้ใช้สมการการคำนวณต่างๆ สำหรับการเกิดรอยแตกในแนวระนาบ (Horizontal fracturing) เป็นหลัก เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพเงื่อนไขจริงของแหล่งถ่านหินในพื้นที่ศึกษานี้





ผังการทำงานของกรคำนวณแรงดันเพื่อทำให้เกิดรอยแตก (Fracture Pressure)(รูปที่ 3.2) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กรอกข้อมูล Input สำหรับการคำนวณแรงดันเพื่อทำให้เกิดรอยแตก(Fracture pressure) โดยกรอกข้อมูลดังต่อไปนี้
 - ความดันในแหล่งกักเก็บ (P_R)(psi)
 - ความลึก (D) (ft)
 - ความหนาแน่นของชั้นหิน(ρ_c) (g/cc)
 - ความพรุนของชั้นกักเก็บ (ϕ_c) (%)

หลังจากนั้น คลิกปุ่ม “Calculate” เพื่อทำการคำนวณค่า Output

2. เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำให้ชั้นถ่านหินของแอ่งฝางซึ่งเป็นชั้นถ่านหินที่วางตัวอยู่ในระดับตื้น (ที่ระดับความลึก 1,749.40 ฟุต) จึงอนุมานว่า ค่าของระดับความดันต่อความลึกที่จะต้องใช้ในการทำให้ชั้นหินในหลุมเจาะแตก (Fracture gradient; psi/ft) นั้นมีค่าเท่ากับค่าระดับความดันที่เกิดจากน้ำหนักกดทับของวัสดุด้านบนต่อความความลึก (Overburden gradient; psi/ft) ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ดังนั้น โปรแกรมจะคำนวณค่าความดันเพื่อทำให้เกิดรอยแตกโดยเรียงลำดับจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Overburden gradient } (g_{ob}) = \text{Rock pressure gradient} + \text{Fluid pressure gradient}$$

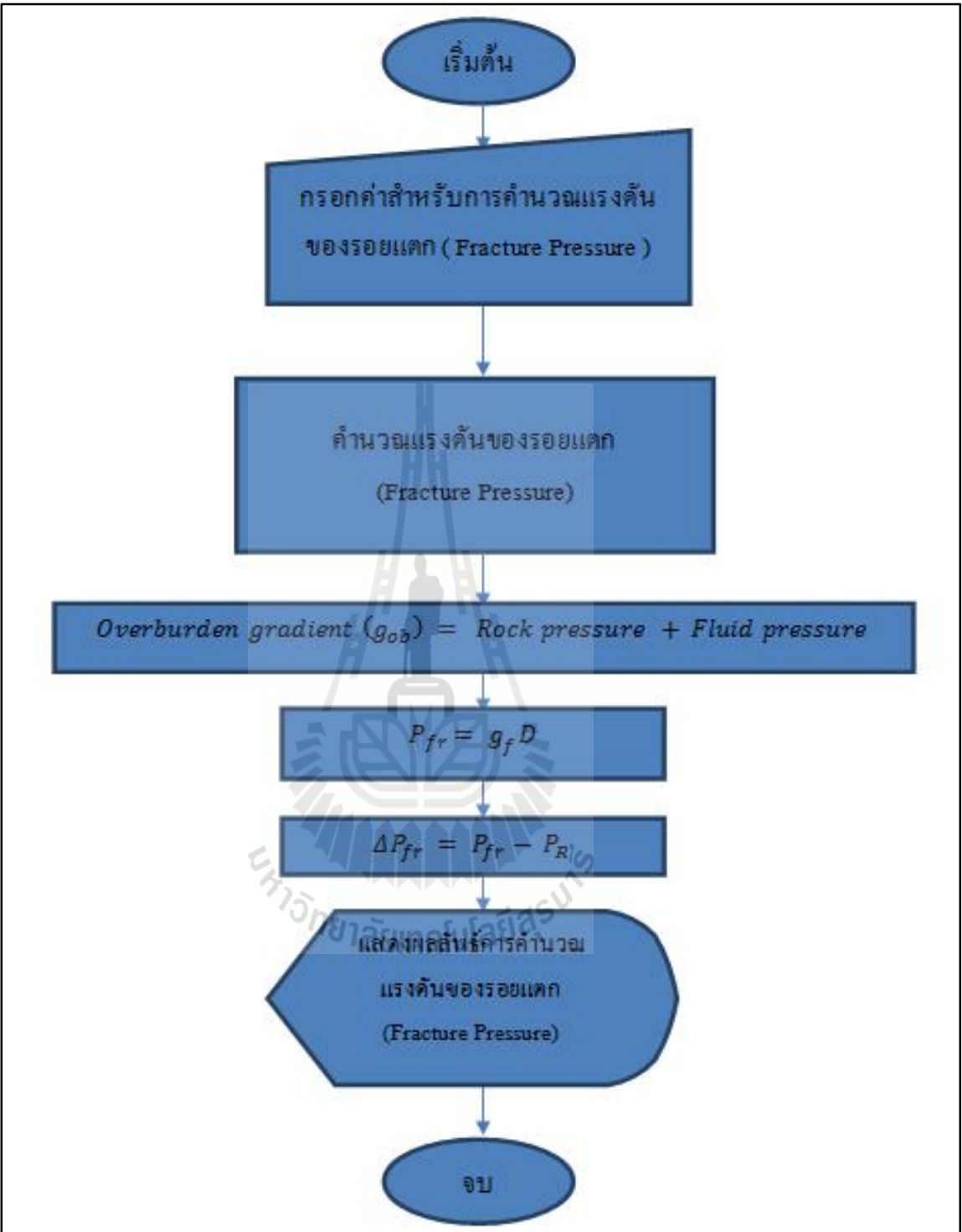
$$\text{เมื่อ } \text{Rock pressure gradient} = (0.433 \text{ psi/ft})(\rho_c)(1-\phi_c)$$

$$\text{Fluid pressure gradient} = (0.433 \text{ psi/ft})(\rho_{\text{fluid}})(\phi_c)$$

$$\text{และ } P_{fr} = g_f D$$

$$\Delta P_{fr} = P_{fr} - P_R$$

3. กดปุ่ม “Preview” เพื่อแสดงการคำนวณค่าของ “Output”



3.4.2 ฟังก์ชันของการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก(Fracture width and fracture radius)

ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก(Fracture width and fracture radius) (รูปที่ 3.3) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กรอกข้อมูล Input สำหรับการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก (Fracture width and fracture radius) โดยกรอกข้อมูลดังต่อไปนี้
 - โมดูลัสของยัง(E)(psi)
 - อัตราส่วนปัวซอง(v)
 - ความหนืดของของไหลที่อัด(μ)(cp)
 - อัตราการอัดของไหล(q_i)(bbl./min)
 - ปริมาตรของของไหลที่อัด (V)(gal)

หลังจากนั้น คลิกปุ่ม “Calculate” เพื่อทำการคำนวณค่า Output

2. โปรแกรมจะคำนวณค่าความกว้าง(Fracture width)และรัศมีของรอยแตก (Fracture radius) โดยเรียงลำดับตามสมการต่อไปนี้

$$E' = \frac{E}{1 - \nu^2}$$

$$t = \frac{V}{42q_i}$$

$$W_w = 2.17 \left[\frac{\mu^2 q^3}{E'^2} \right]^{\frac{1}{9}} t^{\frac{1}{9}}$$

$$r_f = 0.52 \left[\frac{E' q_i^3}{\mu} \right]^{\frac{1}{9}} t^{\frac{4}{9}}$$

3. กดปุ่ม “Preview” เพื่อแสดงการคำนวณค่าของ “Output”

เริ่มต้น

กรอกค่าสำหรับปริมาณความ
กว้างและรัศมีของรอยแตก
(Fracture Width and Fracture)

คำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก
(Fracture Width and Fracture Length)

$$E' = \frac{E}{1 - \nu^2}$$

$$t = \frac{V}{42q_i}$$

$$W_w = 2.17 \left[\frac{\mu^2 q^3}{E'^2} \right]^{\frac{1}{9}} t^{\frac{1}{3}}$$

$$r_f = 0.52 \left[\frac{E' q^3 t^3}{\mu} \right]^{\frac{1}{9}} t^{\frac{1}{4}}$$

แสดงผลลัพธ์การคำนวณความกว้าง
และรัศมีของรอยแตก (Fracture Width
and Fracture Length)

จบ

ผังการทำงานของกรคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก(Fracture efficiency) (รูปที่ 3.4) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กรอกข้อมูล Input สำหรับการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก(Fracture efficiency) โดยกรอกข้อมูลดังต่อไปนี้
 - สัมประสิทธิ์การซึมหายของของไหลที่ใช้ทำให้หินแตก(K) (md)
 - ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของของไหลในแหล่งกักเก็บที่อุณหภูมิคงที่(C_R) (psi^{-1})
 - ความหนืดของของไหลในชั้นกักเก็บ (μ_R) (cp)

หลังจากนั้น คลิกปุ่ม “Calculate” เพื่อทำการคำนวณค่า Output

2. โปรแกรมจะคำนวณค่าประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก(Fracture Efficiency) โดยเรียงลำดับตามสมการต่อไปนี้

$$K_c = 0.0374 \Delta P \sqrt{\frac{k_e \phi_e C_R}{\mu_R}}$$

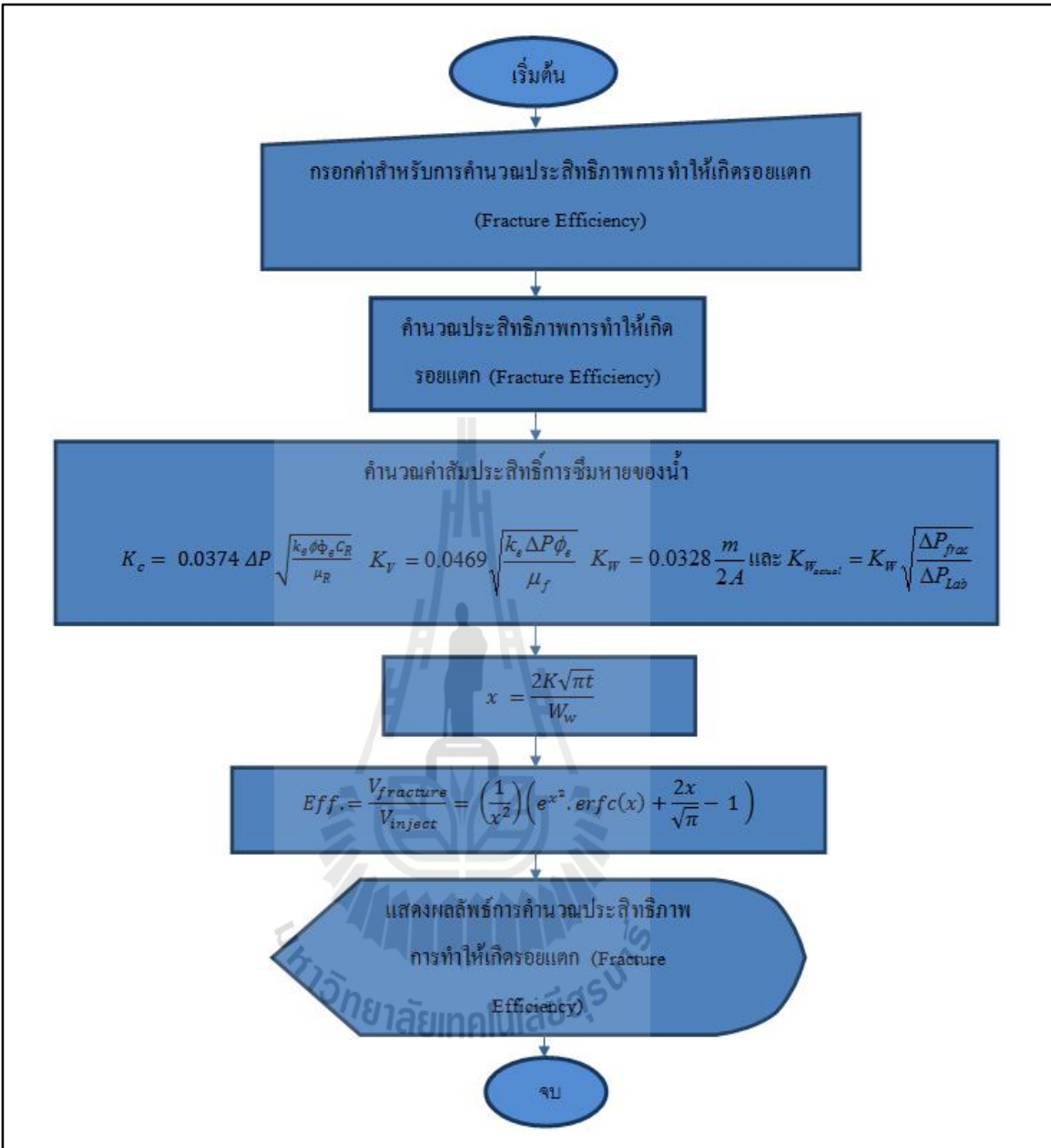
$$K_v = 0.0469 \sqrt{\frac{k_e \Delta P W_e}{\mu_R}}$$

$$K_w = 0.0328 \frac{m}{2A} \text{ และ } K_{w_{actual}} = K_w \sqrt{\frac{\Delta P_{frac}}{\Delta P_{Lab}}}$$

$$x = \frac{2K\sqrt{\pi t}}{W_w}$$

$$Eff. = \frac{V_{fracture}}{V_{inject}} = \left(\frac{1}{x^2} \right) \left(e^{x^2} \cdot \text{erfc}(x) + \frac{2x}{\sqrt{\pi}} - 1 \right)$$

3. กดปุ่ม “Preview” เพื่อแสดงการคำนวณค่าของ “Output”



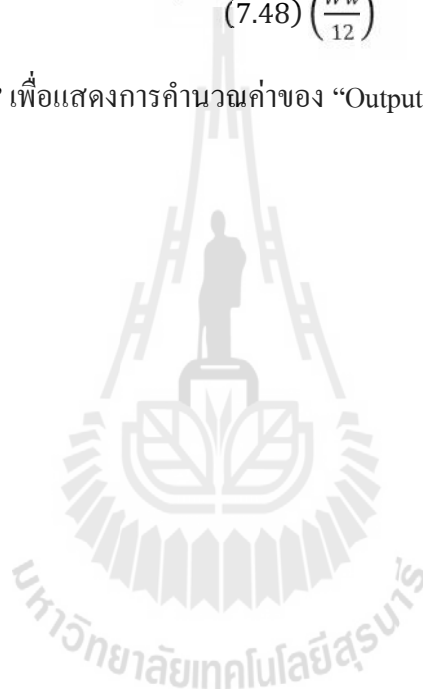
- ความกว้างของรอยแตกที่มากที่สุด(W_w)(in)
- ปริมาตรของของไหลที่อัด (V)(gal)
- ประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก(Eff.)

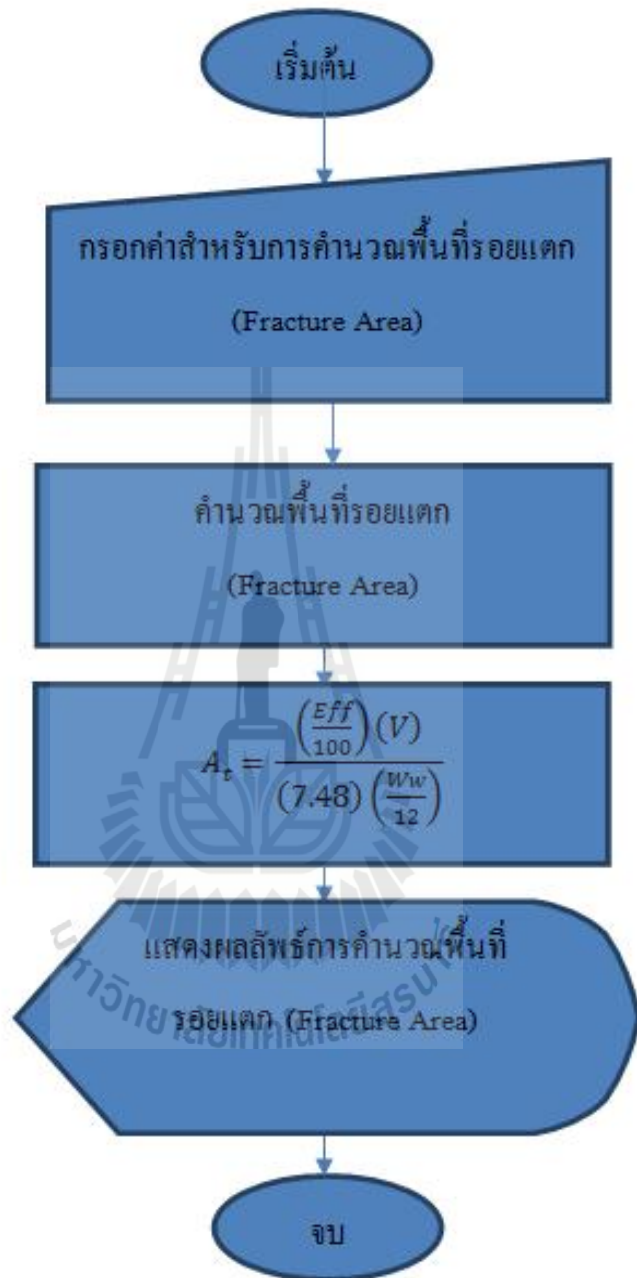
หลังจากนั้น คลิกปุ่ม “Calculate” เพื่อทำการคำนวณค่า Output

2. โปรแกรมจะคำนวณค่าพื้นที่รอยแตก (Fracture area) จากสมการต่อไปนี้

$$A_t = \frac{\left(\frac{Eff}{100}\right) (V)}{(7.48) \left(\frac{W_w}{12}\right)}$$

3. กดปุ่ม “Preview” เพื่อแสดงการคำนวณค่าของ “Output”





ผังการทำงานของกรคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก(Productivity ratio)(รูปที่ 3.6)มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กรอกข้อมูล Input สำหรับการคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก(Productivity ratio) โดยกรอกข้อมูลดังต่อไปนี้

- ความซึมซาบได้ในช่องหินที่แตก(k_p)(md)
- ความหนาของชั้นกักเก็บ (h)(ft)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะ (OD)(in)

หลังจากนั้น คลิกปุ่ม “Calculate” เพื่อทำการคำนวณค่า Output

2. โปรแกรมจะคำนวณค่าอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก(Productivity ratio) จากสมการต่อไปนี้

$$r_e = \sqrt{\frac{4A_t}{\pi}}$$

$$r_w = \frac{OD}{2}$$

$$PR = \left[\frac{k_f W_w}{kh} \right] \left[\frac{\frac{kh}{k_f W_w} + 1}{\frac{k_f W_w}{kh} + 1} \times \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_f}\right) + \ln\left(\frac{r_f}{r_w}\right)} \right]$$

3. กดปุ่ม “Preview” เพื่อแสดงการคำนวณค่าของ “Output”

เริ่มต้น

กรอกค่าสำหรับการคำนวณอัตราส่วนการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนการทำให้เกิดการแตก (Productivity Ratio)

คำนวณอัตราส่วนการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนการทำให้เกิดการแตก

$$r_e = \sqrt{\frac{4A_f}{\pi}}$$

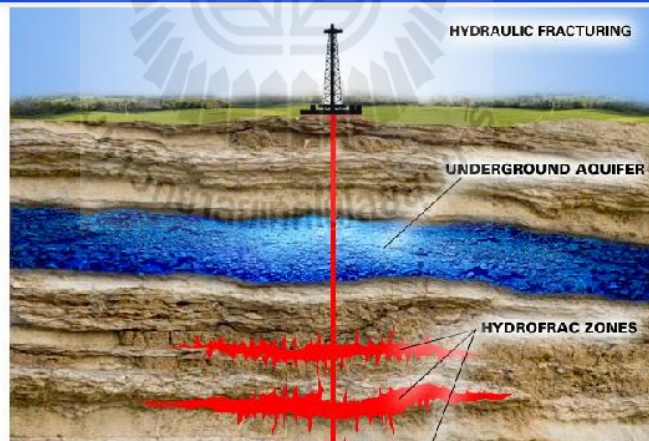
$$r_w = \frac{OD}{2}$$

$$PR = \left[\frac{k_f W_w}{kh} \right] \left[\frac{\frac{kh}{k_f W_w} + 1}{\frac{kh}{k_f W_w} + 1} \times \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_f}\right) + \ln\left(\frac{r_f}{r_w}\right)} \right]$$

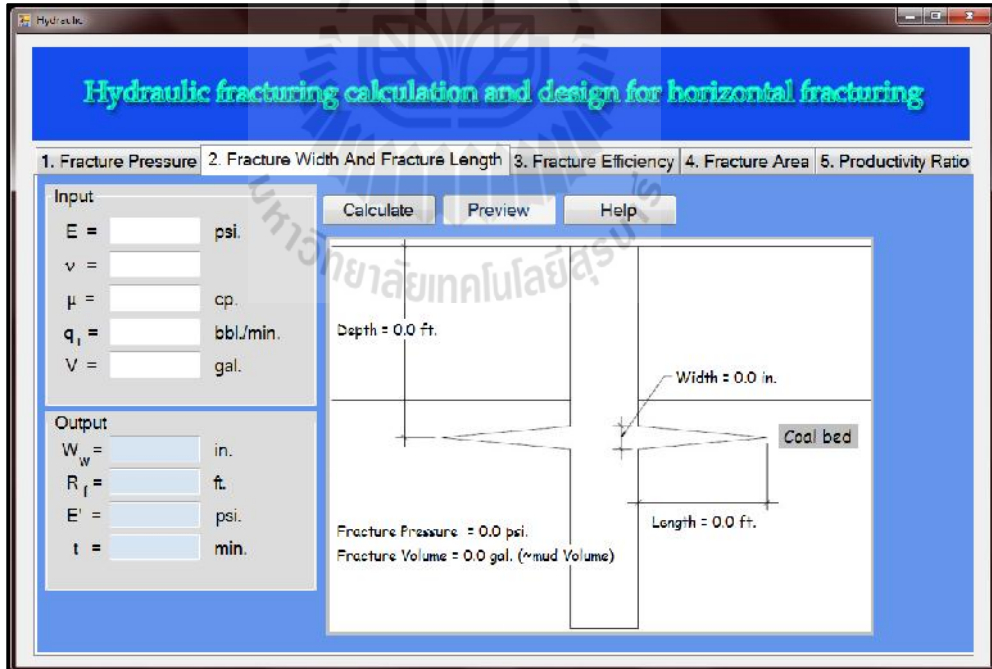
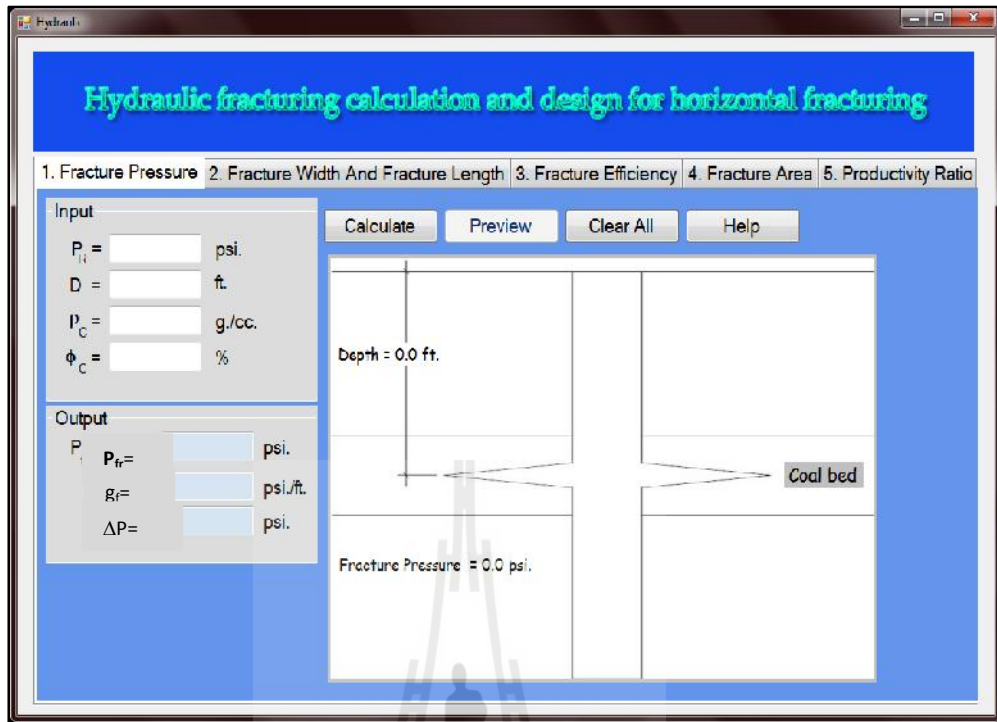
แสดงผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนการทำให้เกิดการแตก (Productivity Ratio)

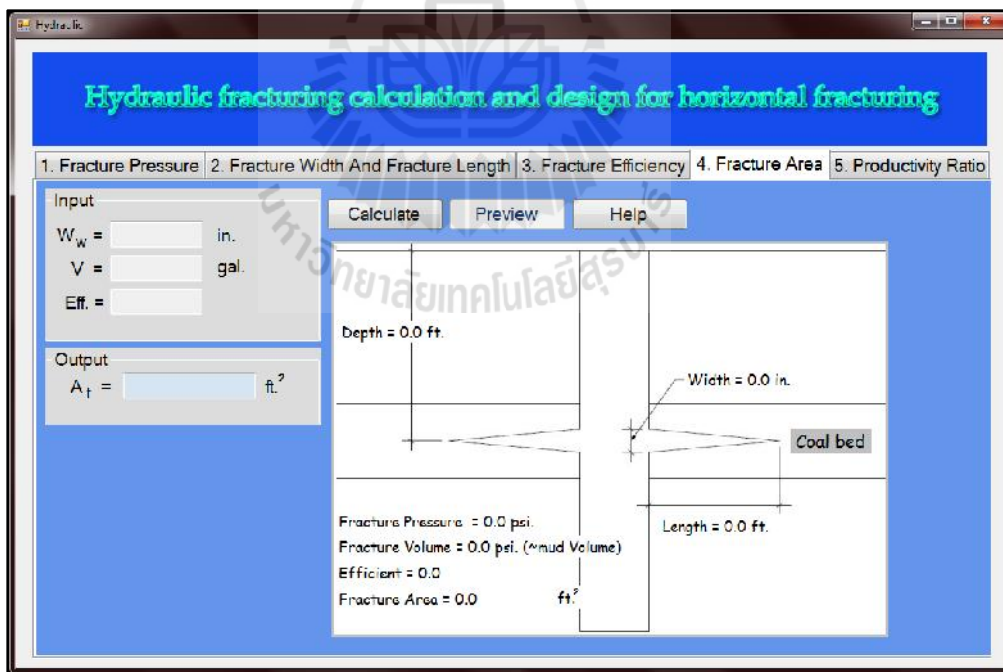
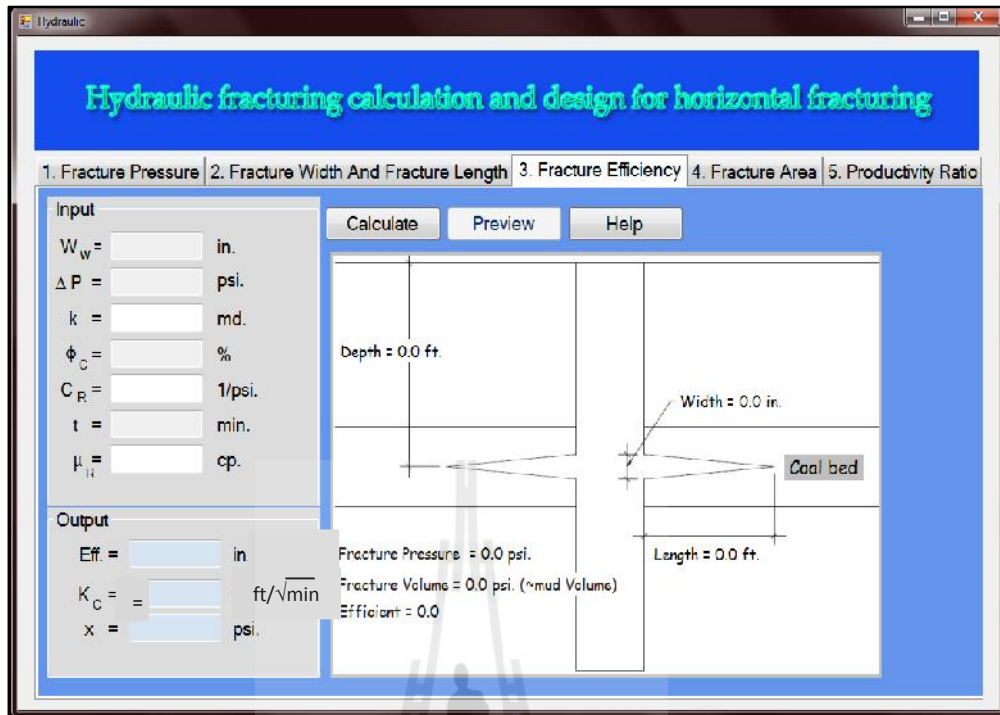
จบ

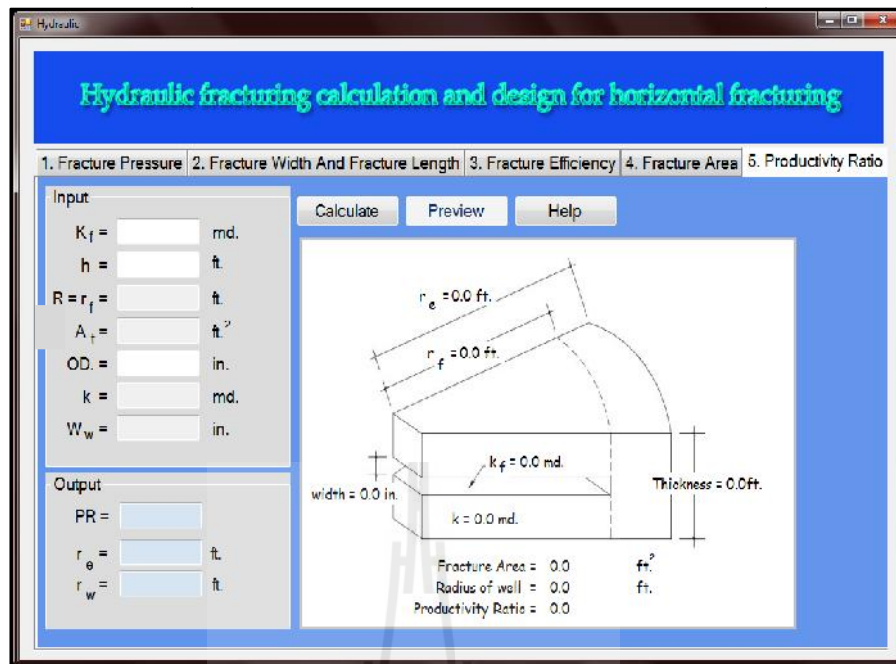
Hydraulic fracturing calculation and design for horizontal fracturing



Start Program



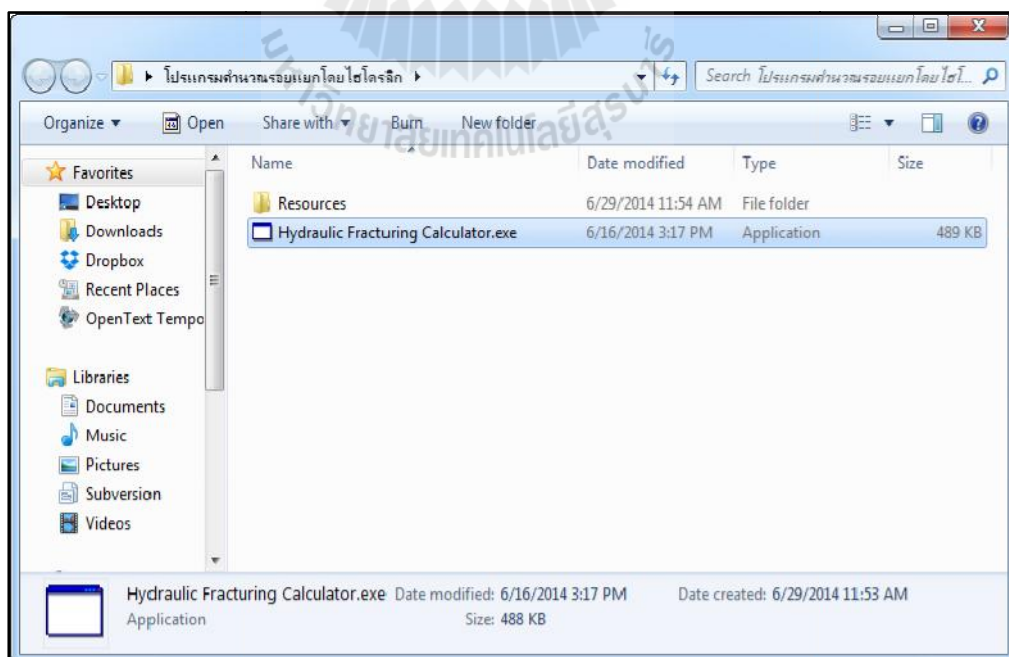




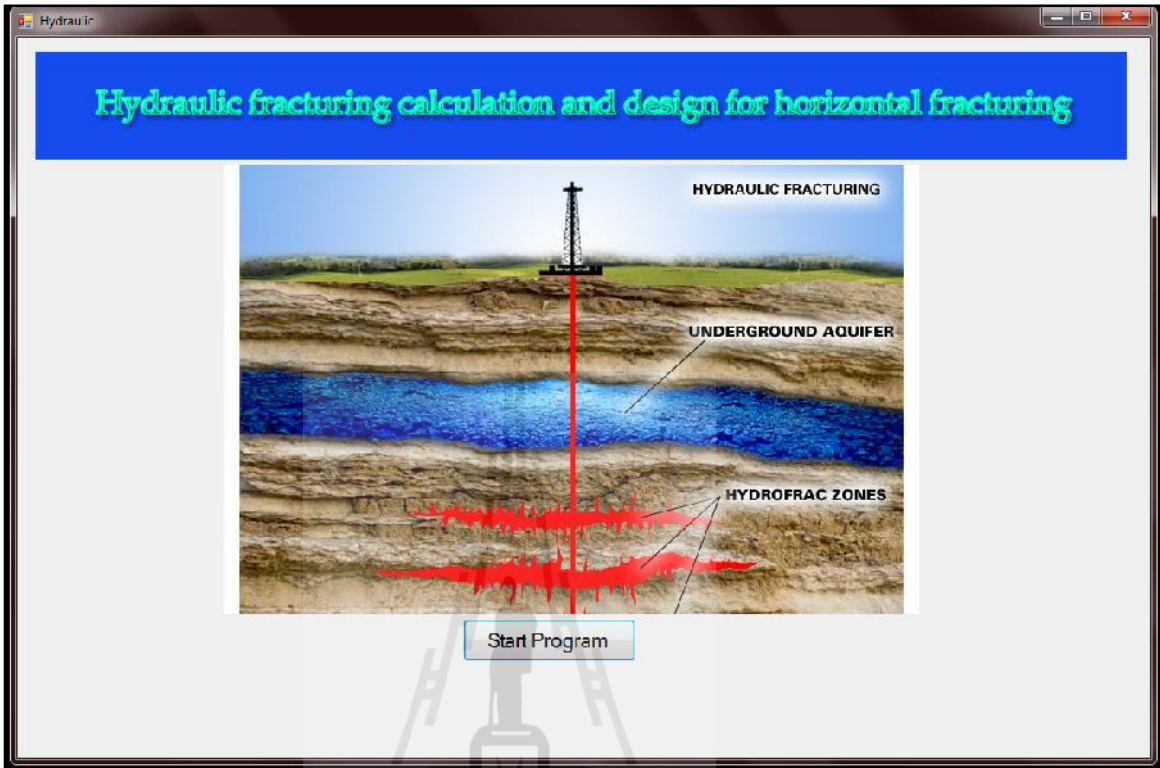
รูปที่ 4.6 หน้ารองของโปรแกรมสำหรับการคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก

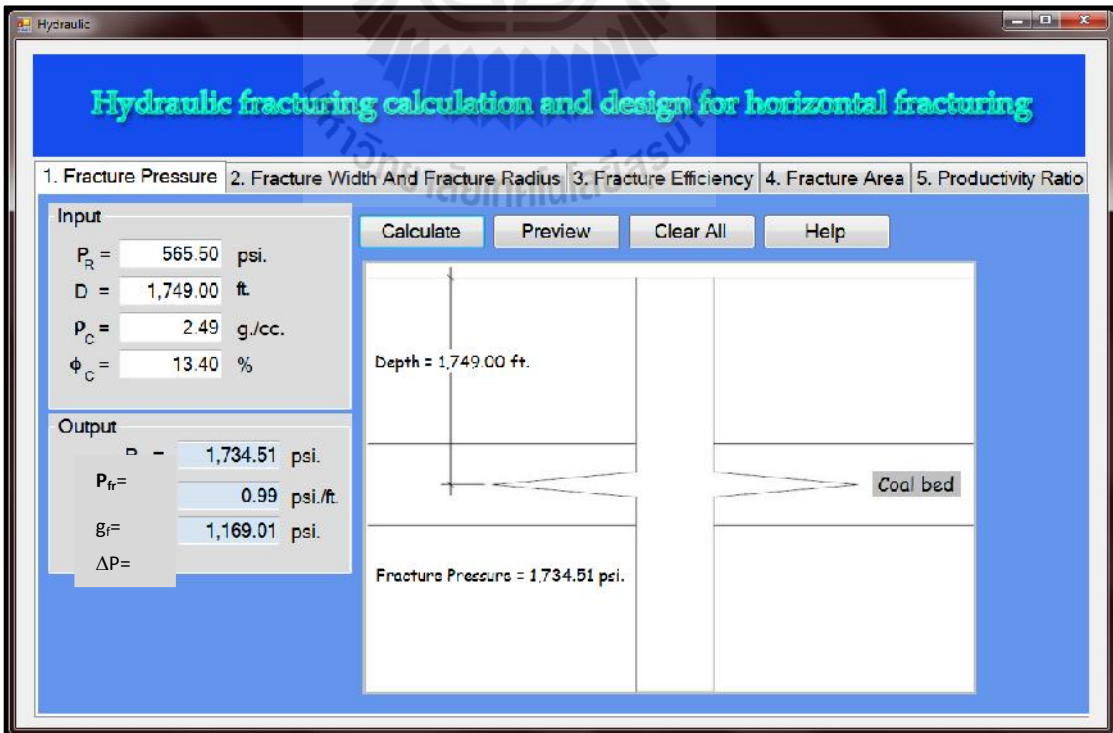
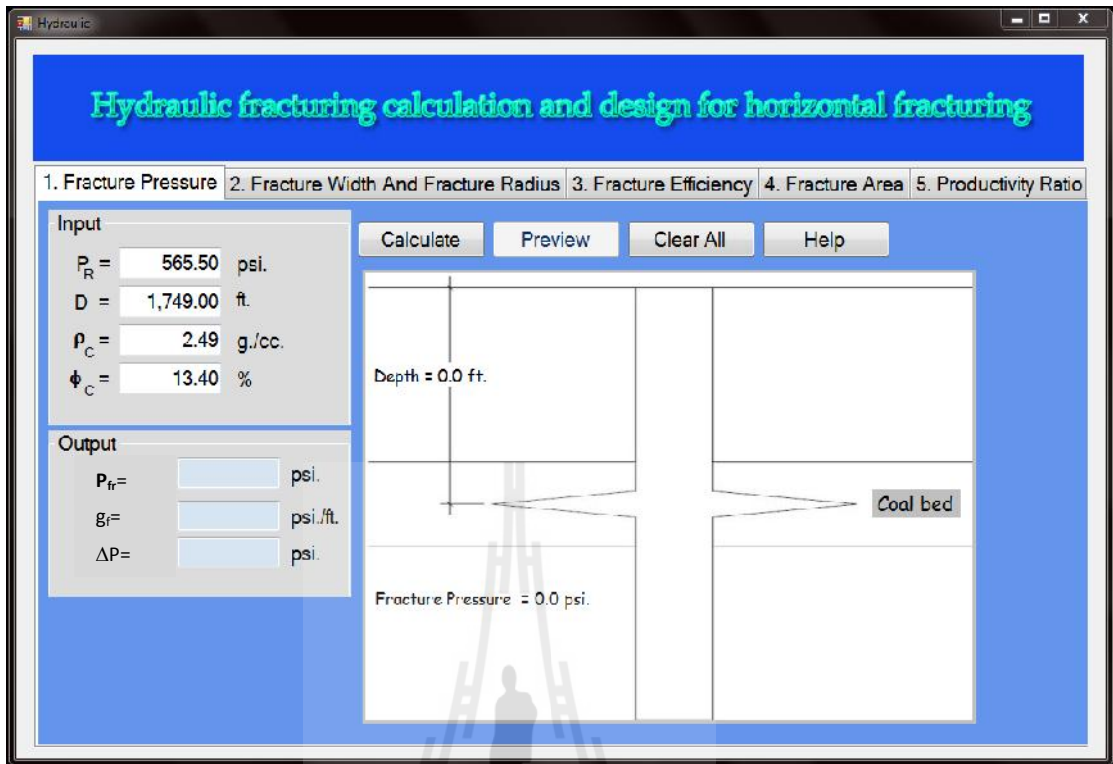
4.2 ขั้นตอนและวิธีการใช้โปรแกรม

ขั้นตอนที่ 1: เปิดโปรแกรม Hydraulic Fracturing Calculator.exe ตามรูปที่ 4.7

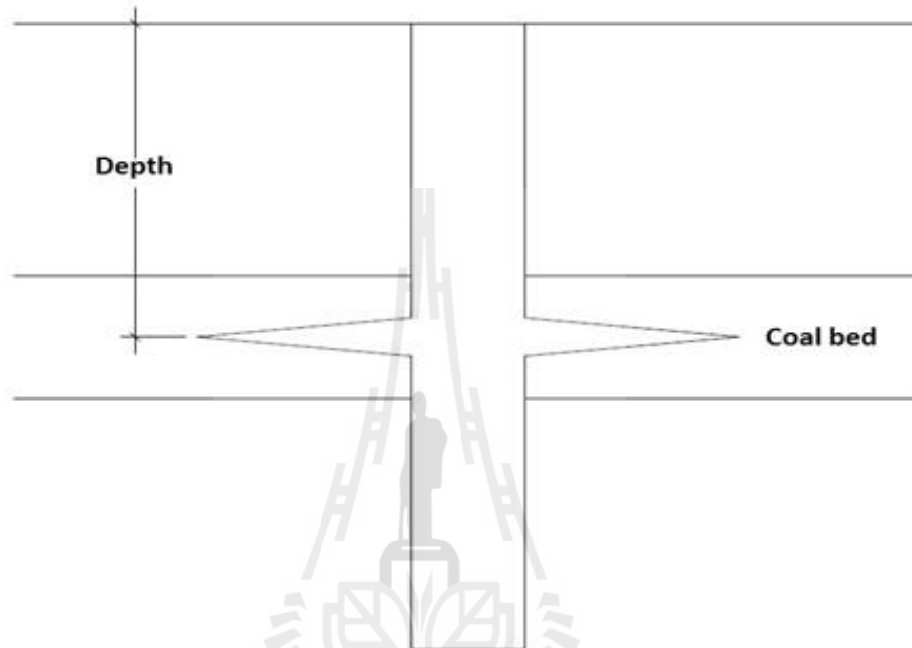


รูปที่ 4.7 ที่อยู่ของโปรแกรม





Fracture Pressure



$P_* = 565.50 \text{ psi.}$	$\phi_c = 13.40 \%$
$D = 1,749.00 \text{ ft.}$	$\rho_c = 2.486 \text{ g./cc.}$

Assume :

Hydrostatic pressure = 0.433 psi./ft.

$\rho_w = 1.00 \text{ g./cc.}$

$$e_w = 1 - e_c = 1 - 0.13 = 0.87$$

$$\begin{aligned} \text{Overburden gradient } (g_f) &= \text{Rock pressure gradient} + \text{Fluid pressure gradient} \\ &= \left(0.433 \frac{\text{psi.}}{\text{ft.}} \times 1.6 \times 0.87 \right) + \left(0.433 \frac{\text{psi.}}{\text{ft.}} \times 1.0 \times 0.13 \right) = 0.99 \frac{\text{psi.}}{\text{ft.}} \end{aligned}$$

$$P_f = g_f D = 0.99 \frac{\text{psi.}}{\text{ft.}} \times 1,749.00 \text{ ft.} = 1,734.51 \text{ psi.}$$

$$\Delta P = P_f - P_* = 1,734.51 - 565.50 = 1,169.01 \text{ psi.}$$

Hydraulic fracturing calculation and design for horizontal fracturing

1. Fracture Pressure 2. Fracture Width And Fracture Radius 3. Fracture Efficiency 4. Fracture Area 5. Productivity Ratio

Input

E = 100,000.00 psi.
ν = 0.34
μ = 100.000000 cp.
q_i = 35.00 bbl./min.
V = 50,000.00 gal.

Output

W_w = in.
r_f = ft.
E' = psi.
t = min.

Calculate

Preview

Help

Depth = 1,749.00 ft.

Width = 0.0 in.

Coal bed

Fracture Pressure = 1,734.51 psi.

Fracture Volume = 0.0 gal. (mud Volume)

Radius = 0.0 ft.

Hydraulic

Hydraulic fracturing calculation and design for horizontal fracturing

1. Fracture Pressure 2. Fracture Width And Fracture Radius 3. Fracture Efficiency 4. Fracture Area 5. Productivity Ratio

Input

E = 100,000.00 psi.

ν = 0.34

μ = 100.000000 cp.

q_i = 35.00 bbl./min.

V = 50,000.00 gal.

Calculate Preview Help

Depth = 1,749.00 ft.

Width = 2.2 in.

Coal bed

Radius = 17.81 ft.

Fracture Pressure = 1,734.51 psi.

Fracture Volume = 50,000.00 gal. (mud Volume)

Output

W_w = 2.2 in.

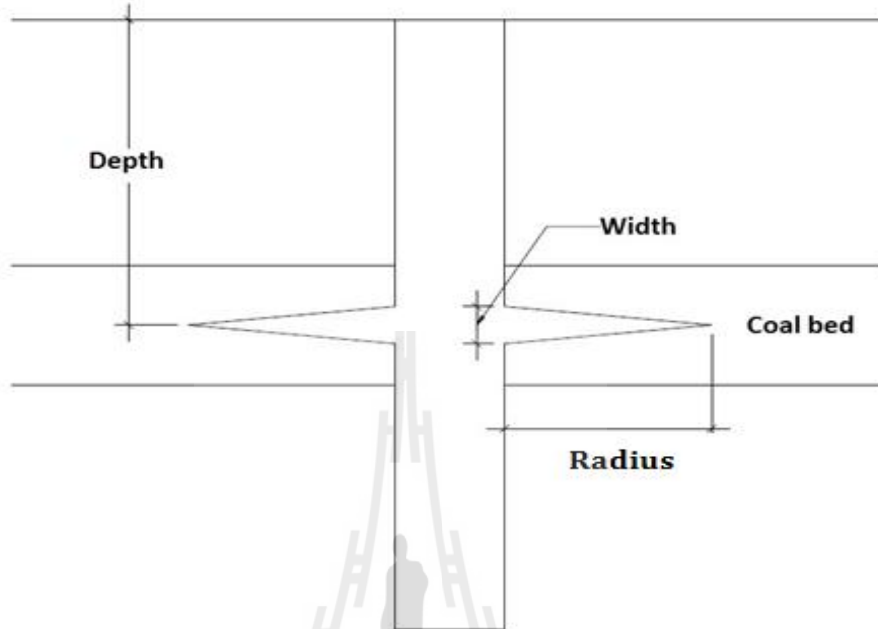
r_t = 17.81 ft.

E' = 113,071.01 psi.

t = 34.01 min.



Fracture Width And Fracture Radius



Assume :

$E = 100,000.00$ psi.

$\nu = 0.34$

$\mu = 100$ cp.

$q_i = 35.00$ bbl./min.

$V = 50,000.00$ gal.

$$E' = \frac{E}{1 - \nu^2} = \frac{100,000.00}{1 - 0.34^2} = 113,071.01 \text{ psi.}$$

$$t = \frac{V}{42q_i} = \frac{50,000.00}{42 \times 35.00} = 34.01 \text{ min.}$$

$$W_w = 2.17 \left[\frac{\mu^2 q_i^3}{E'^2} \right]^{\frac{1}{9}} t^{\frac{1}{9}} = 2.17 \left[\frac{100^2 \times 35.00^3}{100,000.00^2} \right]^{\frac{1}{9}} \times 34.01^{\frac{1}{9}} = 2.20 \text{ in.}$$

$$r_f = 0.52 \left[\frac{E' q_i^3}{\mu} \right]^{\frac{1}{9}} t^{\frac{4}{9}} = 2.17 \left[\frac{113,071.01 \times 35.00^3}{100} \right]^{\frac{1}{9}} \times 34.01^{\frac{4}{9}} = 17.81 \text{ ft.}$$

Hydraulic fracturing calculation and design for horizontal fracturing

1. Fracture Pressure 2. Fracture Width And Fracture Radius 3. Fracture Efficiency 4. Fracture Area 5. Productivity Ratio

Input

$W_w =$ in.

$\Delta P =$ psi.

$k =$ md.

$\phi_c =$ %

$C_R =$ psi.⁻¹

$t =$ min.

$\mu_R =$ cp.

Output

Eff. =

$K =$ ft/ $\sqrt{\text{min}}$

$x =$ psi.

Calculate Preview Help

Depth = 1749.00 ft.

Width = 2.2 in.

Coal bed

Fracture Pressure = 1,734.51 psi.

Fracture Volume = 50,000.00 gal. (~mud Volume)

Efficient = 0.0

Radius = 17.81 ft.

Hydraulic

Hydraulic fracturing calculation and design for horizontal fracturing

1. Fracture Pressure 2. Fracture Width And Fracture Radius 3. Fracture Efficiency 4. Fracture Area 5. Productivity Ratio

Input

$W_w = 2.2$ in.

$\Delta P = 1,169.01$ psi.

$k = 2.0000$ md.

$\phi_c = 13.40$ %

$C_R = 0.00001000$ psi.⁻¹

$t = 34.01$ min.

$\mu_H = 0.009200$ cp.

Output

Eff. = 31.12

$K = 0.02359742$ ft/ $\sqrt{\text{min}}$

$x = 2.66$ psi.

Calculate Preview Help

Depth = 1,749.00 ft.

Width = 2.2 in.

Coal bed

Radius = 17.81 ft.

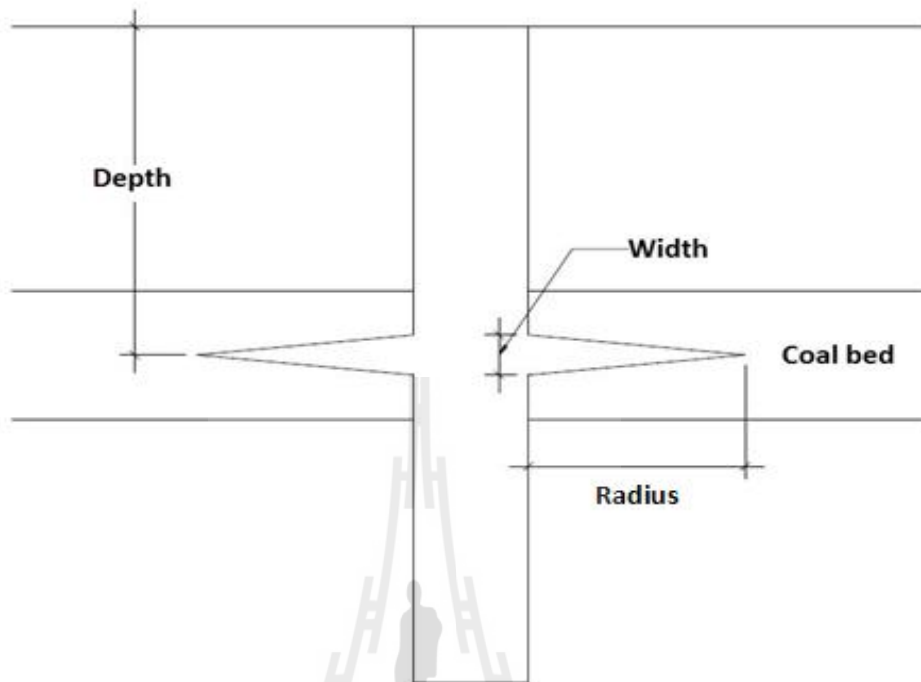
Fracture Pressure = 1,734.51 psi.

Fracture Volume = 50,000.00 gal. (~mud Volume)

Efficient = 31.12



Fracture Efficiency



$P_* = 565.50$ psi.	$\mu_* = 0.0092$ cp.
$D = 1,749.00$ ft.	$\phi_c = 13.40$ %
$\rho_c = 2.486$ g./cc.	

Assume :

$$q_i = 35.00 \text{ bbl./min.}$$

$$E = 100,000.00 \text{ psi.}$$

$$V = 50,000.00 \text{ gal.}$$

$$\nu = 0.34$$

$$C_* = 1 \times 10^{-5} \text{ psi}^{-2}$$

$$\rho_w = 1.00 \text{ g./cc.}$$

$$\text{Hydrostatic pressure} = 0.433 \text{ psi./ft.}$$

$$k = 2.00 \text{ md.}$$

Ignoring the frictional pressure losses and using the following addition information

$$\phi_w = 1 - \phi_c = 1 - 0.13 = 0.87$$

$$\text{Overburden gradient } (g_f) = \text{Rock pressure gradient} + \text{Fluid pressure gradient}$$

$$= \left(0.433 \frac{\text{psi.}}{\text{ft.}} \times 2.486 \times 0.87 \right) + \left(0.433 \frac{\text{psi.}}{\text{ft.}} \times 1.0 \times 0.13 \right) = 0.99 \frac{\text{psi.}}{\text{ft.}}$$

$$P_f = g_f D = 0.99 \frac{\text{psi}}{\text{ft.}} \times 1,749.00 \text{ ft.} = 1,734.51 \text{ psi.}$$

$$\Delta P = P_f - P_R = 1,734.51 - 565.50 = 1,169.01 \text{ psi.}$$

$$K_c = 0.0374 \Delta P \sqrt{\frac{k_a \phi_a C_R}{\mu_R}} = (0.0374)(1,169.01) \sqrt{\frac{\left(\frac{2.00}{1000}\right)(0.13)(1 \times 10^{-5})}{0.0092}} = 0.023597 \frac{\text{ft.}}{\sqrt{\text{min.}}}$$

$$t = \frac{V}{42q_i} = \frac{50,000.00}{42 \times 35.00} = 34.01 \text{ min.}$$

$$E' = \frac{E}{1 - \nu^2} = \frac{100,000.00}{1 - 0.34^2} = 113,071.01 \text{ psi.}$$

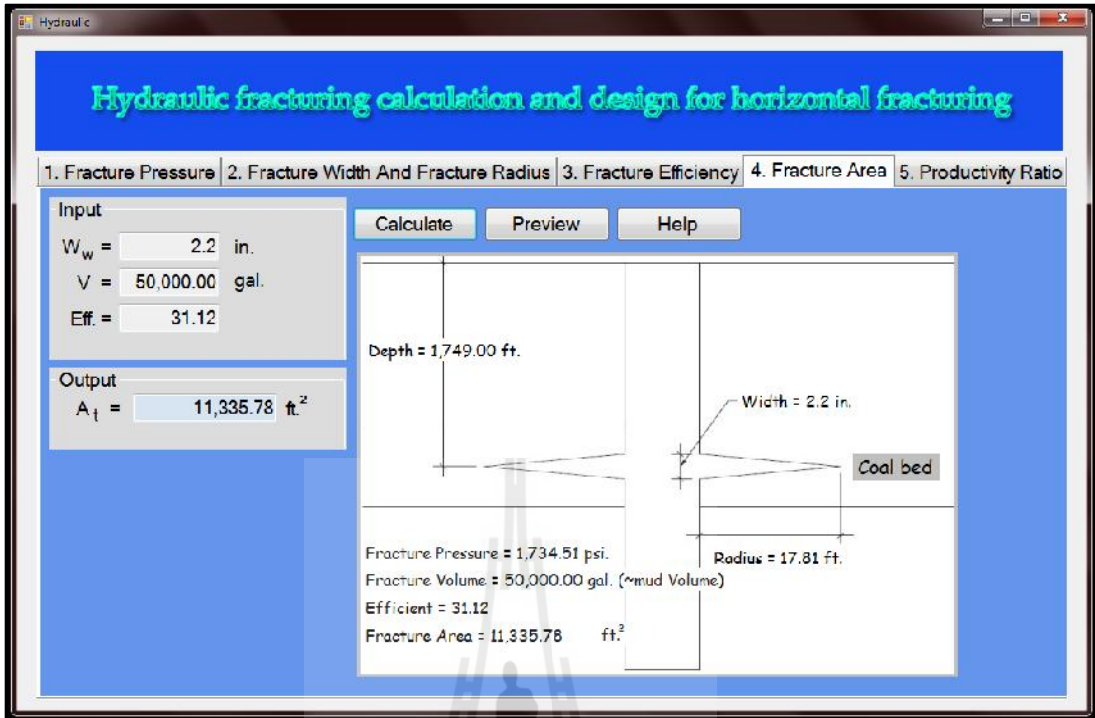
$$W_w = 2.17 \left[\frac{\mu^2 q^3}{E'^2} \right]^{\frac{1}{9}} t^{\frac{1}{9}} = 2.17 \left[\frac{100^2 \times 35.00^3}{113,071.01^2} \right]^{\frac{1}{9}} \times 34.01^{\frac{1}{9}} = 2.20 \text{ in.}$$

$$x = \frac{2K_c \sqrt{\pi t}}{W_w} = \frac{2(0.023597) \sqrt{\pi(34.01)}}{\frac{2.20}{12}} = 2.66$$

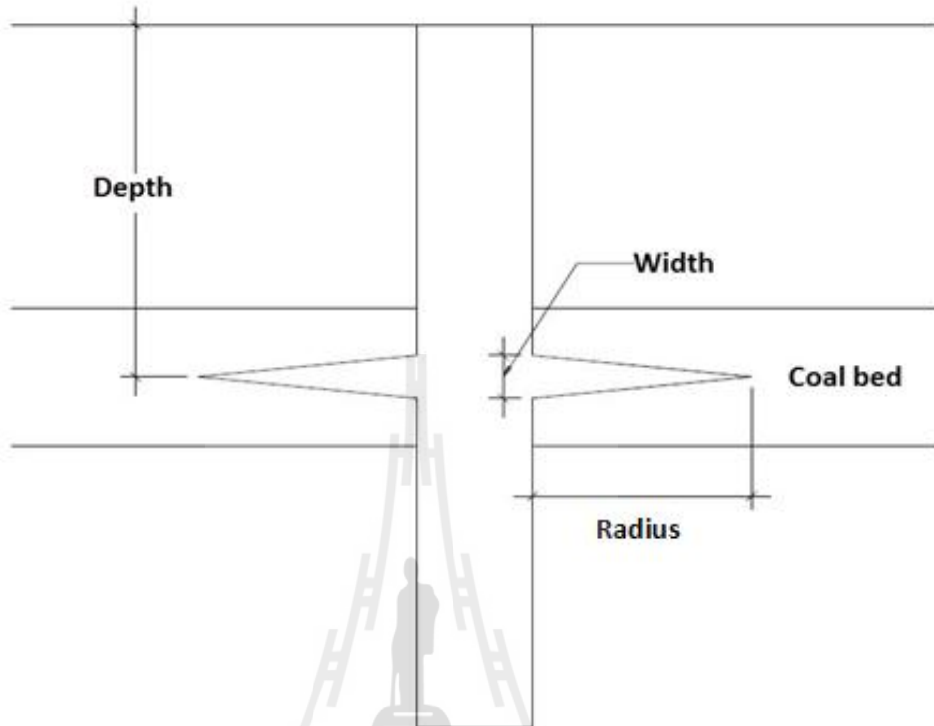
$$\text{erfc}(2.66) = 0.00$$

$$\begin{aligned} \text{Eff.} &= \frac{V_{\text{fracture}}}{V_{\text{inject}}} = \left(\frac{1}{x^2} \right) \left(e^{x^2} \cdot \text{erfc}(x) + \frac{2x}{\sqrt{\pi}} - 1 \right) \\ &= \left(\frac{1}{2.66^2} \right) \left(e^{2.66^2} \cdot \text{erfc}(2.66) + \frac{2(2.66)}{\sqrt{\pi}} - 1 \right) = 31.12 \end{aligned}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Fracture Area



Assume :

$$q_i = 35.00 \text{ bbl./min.}$$

$$E = 100,000.00 \text{ psi.}$$

$$V = 50,000.00 \text{ gal.}$$

$$\nu = 0.34$$

$$C_x = 1 \times 10^{-5} \text{ psi}^{-1}$$

$$\mu = 100 \text{ cp.}$$

$$k = 2.00 \text{ md.}$$

$$\phi_c = 13.40 \%$$

Ignoring the frictional pressure losses and using the following addition information

$$t = \frac{V}{42q_i} = \frac{50,000.00}{42 \times 35.00} = 34.01 \text{ min.}$$

$$E' = \frac{E}{1 - \nu^2} = \frac{100,000.00}{1 - 0.34^2} = 113,071.01 \text{ psi.}$$

$$W_w = 2.17 \left[\frac{\mu^2 q^3}{E'^2} \right]^{\frac{1}{9}} t^{\frac{1}{9}} = 2.17 \left[\frac{100^2 \times 35.00^3}{113,071.01^2} \right]^{\frac{1}{9}} \times 34.01^{1/9} = 2.20 \text{ in.}$$

$$K_c = 0.0374 \Delta P \sqrt{\frac{k_e \phi_s C_R}{\mu_R}} = (0.0374)(1,169.01) \sqrt{\frac{\left(\frac{2.00}{1000}\right)(0.13)(1 \times 10^{-5})}{0.0092}} = 0.023597 \frac{\text{ft.}}{\sqrt{\text{min.}}}$$

$$x = \frac{2K_c \sqrt{\pi t}}{W_w} = \frac{2(0.023597) \sqrt{\pi(34.01)}}{\frac{2.20}{12}} = 2.66$$

$$\text{erfc}(2.66) = 0.00$$

$$\begin{aligned} \text{Eff.} &= \frac{V_{\text{fracture}}}{V_{\text{inject}}} = \left(\frac{1}{x^2} \right) \left(e^{-x^2} \cdot \text{erfc}(x) + \frac{2x}{\sqrt{\pi}} - 1 \right) \\ &= \left(\frac{1}{2.66^2} \right) \left(e^{-2.66^2} \cdot \text{erfc}(2.66) + \frac{2(2.66)}{\sqrt{\pi}} - 1 \right) = 31.12\% \end{aligned}$$

$$A_t = \frac{\left(\frac{\text{Eff}}{100}\right)(V)}{(7.48) \left(\frac{W_w}{12}\right)} = \frac{\left(\frac{31.12}{100}\right)(50,000.00)}{(7.48) \left(\frac{2.20}{12}\right)} = 11,335.78 \text{ ft}^2$$



Hydra .li

Hydraulic fracturing calculation and design for horizontal fracturing

1. Fracture Pressure | 2. Fracture Width And Fracture Radius | 3. Fracture Efficiency | 4. Fracture Area | 5. Productivity Ratio

Input

$k_f =$ md.

$h =$ ft.

$r_f =$ ft.

$A_f =$ ft.²

OD. = in.

$k =$ md.

$W_w =$ in.

Calculate Preview Help

Fracture Area = 0.0 ft.²
 Radius of well = 0.0 ft.
 Productivity Ratio = 0.0

Output

PR =

$r_e =$ ft.

$r_w =$ ft.

Hydraulic

Hydraulic fracturing calculation and design for horizontal fracturing

1. Fracture Pressure | 2. Fracture Width And Fracture Radius | 3. Fracture Efficiency | 4. Fracture Area | 5. Productivity Ratio

Input

$k_f = 100.000$ md.
 $h = 27.00$ ft.
 $r_i = 17.81$ ft.
 $A_t = 11,335.78$ ft.²
 OD. = 5.50 in.
 $k = 2.0000$ md.
 $W_w = 2.2$ in.

Output

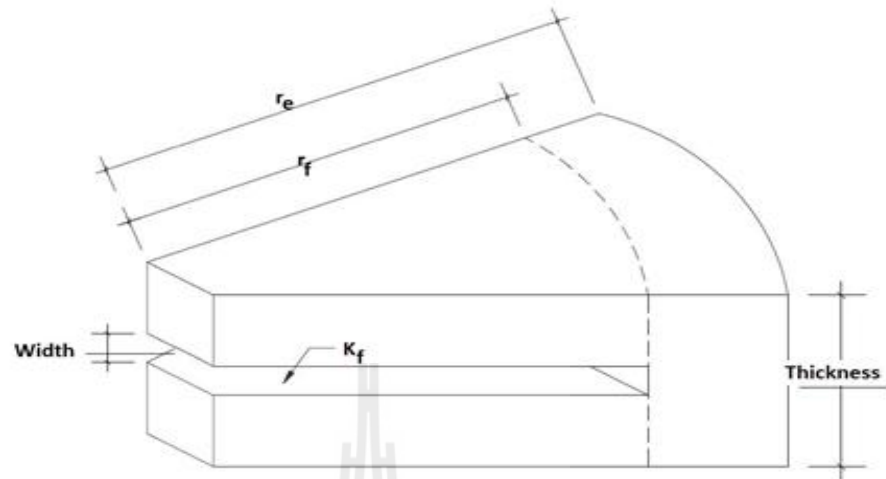
PR = 2.69
 $r_e = 60.07$ ft.
 $r_w = 0.23$ ft.

Calculate Preview Help

Fracture Area = 11,335.78 ft.²
 Radius of well = 0.23 ft.
 Productivity Ratio = 2.69



Productivity Ratio



$h = 27.00$ ft.	$r_e = 60.07$ ft.
$r_f = 17.81$ ft.	$r_w = 0.23$ ft.
$\phi_c = 13.40$ %	$A_c = 11,335.78$ ft ² .
$W_w = 2.20$ in.	

Assume :

$$q_i = 35.00 \text{ bbl./min.}$$

$$k = 2.00 \text{ md.}$$

$$V = 50,000.00 \text{ gal.}$$

$$\text{OD.} = 5.50 \text{ in.}$$

$$C_* = 1 \times 10^{-5} \text{ psi}^{-2}$$

$$E = 100,000.00 \text{ psi.}$$

$$k_f = 100.00 \text{ md.}$$

$$\mu = 100 \text{ cp.}$$

$$v = 0.34$$

Ignoring the frictional pressure losses and using the following addition information

$$t = \frac{V}{42q_i} = \frac{50,000.00}{42 \times 35.00} = 34.01 \text{ min.}$$

$$E' = \frac{E}{1 - \nu^2} = \frac{100,000.00}{1 - 0.34^2} = 113,071.01 \text{ psi.}$$

$$W_w = 2.17 \left[\frac{\mu^2 q^3}{E'^2} \right]^{\frac{1}{9}} t^{\frac{1}{9}} = 2.17 \left[\frac{100^2 \times 35.00^3}{113,071.01^2} \right]^{\frac{1}{9}} \times 34.01^{\frac{1}{9}} = 2.20 \text{ in.}$$

$$K_c = 0.0374 \Delta P \sqrt{\frac{k_e \phi_e C_R}{\mu_R}} = (0.0374)(1,169.01) \sqrt{\frac{\left(\frac{2.00}{1000}\right)(0.13)(1 \times 10^{-5})}{0.0092}} = 0.023597 \frac{\text{ft.}}{\sqrt{\text{min.}}}$$

$$x = \frac{2K_c \sqrt{\pi t}}{W_w} = \frac{2(0.023597) \sqrt{\pi(34.01)}}{\frac{2.20}{12}} = 2.66$$

$$\text{erfc}(2.66) = 0.00$$

$$\begin{aligned} \text{Eff.} &= \frac{V_{\text{fracture}}}{V_{\text{inject}}} = \left(\frac{1}{x^2} \right) \left(e^{x^2} \cdot \text{erfc}(x) + \frac{2x}{\sqrt{\pi}} - 1 \right) \\ &= \left(\frac{1}{2.66^2} \right) \left(e^{2.66^2} \cdot \text{erfc}(2.66) + \frac{2(2.66)}{\sqrt{\pi}} - 1 \right) = 31.12 \end{aligned}$$

$$A_t = \frac{\left(\frac{\text{Eff.}}{100}\right)(V)}{(7.48) \left(\frac{0.28}{12}\right)} = \frac{\left(\frac{31.12}{100}\right)(50,000.00)}{(7.48) \left(\frac{2.20}{12}\right)} = 11,335.78 \text{ ft}^2$$

$$r_e = \sqrt{\frac{4A_t}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(11,335.78)}{\pi}} = 60.07 \text{ ft.}$$

$$r_w = \frac{OD}{2} = \frac{5.50}{2} = 0.23 \text{ ft.}$$

$$\begin{aligned} PR &= \left[\frac{k_f W_w}{kh} \right] \left[\frac{\frac{kh}{k_f W_w} + 1}{\frac{k_f W_w}{kh} + 1} \times \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_f}\right) + \ln\left(\frac{r_f}{r_w}\right)} \right] \\ &= \left[\frac{(100.00)(2.20)}{(2.00)(27.00)} \right] \left[\frac{\left(\frac{(2.00)(27.00)}{(100.00)(2.20)} + 1\right)}{\left(\frac{(2.00)(27.00)}{(2.00)(27.00)} + 1\right)} \times \frac{\ln\left(\frac{60.07}{0.23}\right)}{\ln\left(\frac{60.07}{17.81}\right) + \ln\left(\frac{17.81}{0.23}\right)} \right] = 2.69 \end{aligned}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สำหรับการคำนวณแรงดันเพื่อทำให้เกิดรอยแตก(Fracture pressure) นำข้อมูลดังต่อไปนี้

- ความดันในแหล่งกักเก็บ (P_R)(psi)
- ความลึก (D) (ft)
- ความหนาแน่นของหินในชั้นกักเก็บ (ρ_c) (g/cc)
- ความพรุนของชั้นกักเก็บ (ϕ_c) (%)

แทนค่าลงในสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Overburden gradient } (g_{ob}) = \text{Rock pressure gradient} + \text{Fluid pressure gradient}$$

เมื่อ $\text{Rock pressure gradient} = (0.433 \text{ psi/ft})(\rho_c)(1-\phi_c)$

$$\text{Fluid pressure gradient} = (0.433 \text{ psi/ft})(\rho_{\text{fluid}})(\phi_c)$$

และ

$$P_{fr} = g_f D$$

$$\Delta P_{fr} = P_{fr} - P_R$$

ขั้นตอนที่ 2: การคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก (Fracture width and fracture radius)

สำหรับการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก (Fracture width and fracture radius)

นำข้อมูลดังต่อไปนี้

- โมดูลัสของยัง(E)(psi)
- อัตราส่วนปัวซอง(ν)
- ความหนืดของของไหลที่อัด(μ)(cp)
- อัตราการอัดของไหล(q_i)(bbl/min)
- ปริมาตรของของไหลที่อัด (V) (gal)

แทนค่าลงในสมการต่อไปนี้

$$E' = \frac{E}{1 - \nu^2}$$

$$t = \frac{V}{42q_i}$$

$$W_w = 2.17 \left[\frac{\mu^2 q^3}{E'^2} \right]^{\frac{1}{9}} t^{\frac{1}{9}}$$

$$r_f = 0.52 \left[\frac{E' q_i^3}{\mu} \right]^{\frac{1}{9}} t^{\frac{4}{9}}$$

ขั้นตอนที่ 3: การคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก(Fracture efficiency)

สำหรับการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก(Fracture efficiency)นำข้อมูลดังต่อไปนี้

- สัมประสิทธิ์การซึมหายของของไหลที่ใช้ทำให้หินแตก (K) (md)
- ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของของไหลในแหล่งกักเก็บที่อุณหภูมิคงที่(C_R) (psi^{-1})
- ความหนืดของของไหลในชั้นกักเก็บ (μ_R) (cp)

แทนค่าลงในสมการต่อไปนี้

$$K_C = 0.0374 \Delta P \sqrt{\frac{k_e \phi_e C_R}{\mu_R}}$$

$$K_V = 0.0469 \sqrt{\frac{k_e \Delta P W_e}{\mu_R}}$$

$$K_W = 0.0328 \frac{m}{2A}$$

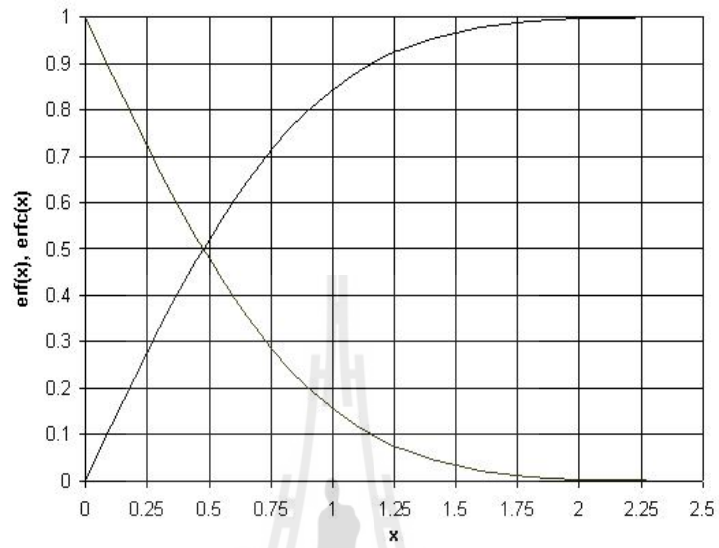
$$K_{W_{actual}} = K_W \sqrt{\frac{\Delta P_{frac}}{\Delta P_{Lob}}}$$

$$x = \frac{2K_C \sqrt{\pi t}}{W_W}$$

$$Eff. = \frac{V_{fracture}}{V_{inject}} = \left(\frac{1}{x^2} \right) \left(e^{x^2} \cdot erfc(x) + \frac{2x}{\sqrt{\pi}} - 1 \right)$$

หาค่า $erfc(x)$ ได้จากรูปที่ 4.25

Gaussian Error Functions in Graphical Format



Gaussian Error Functions in Table Format

x	erf(x)	erfc(x)	x	erf(x)	erfc(x)
0	0.000	1.000	1.3	0.934	0.066
0.1	0.112	0.888	1.4	0.952	0.048
0.2	0.223	0.777	1.5	0.966	0.034
0.3	0.329	0.671	1.6	0.976	0.024
0.4	0.428	0.572	1.7	0.984	0.016
0.5	0.520	0.480	1.8	0.989	0.011
0.6	0.604	0.396	1.9	0.993	0.007
0.7	0.678	0.322	2	0.995	0.005
0.8	0.742	0.258	2.1	0.997	0.003
0.9	0.797	0.203	2.2	0.998	0.002
1	0.843	0.157	2.3	0.999	0.001
1.1	0.880	0.120	2.4	0.999	0.001
1.2	0.910	0.090	2.5	1.000	0.000

erfc(x) (Gaus

แทนค่าลงในสมการต่อไปนี้

$$A_t = \frac{\left(\frac{Eff}{100}\right) (V)}{(7.48) \left(\frac{0.29}{12}\right)}$$

ขั้นตอนที่ 5: การคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก(Productivity ratio)

สำหรับการคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังการทำให้เกิดการแตกต่อก่อนทำให้เกิดการแตก(Productivity ratio) นำข้อมูลดังต่อไปนี้

- ความซึมซาบได้ในช่องหินที่แตก(k_p)(md)
- ความหนาของชั้นกักเก็บ (h)(ft)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะ (OD)(in)

แทนค่าลงในสมการต่อไปนี้

$$r_e = \sqrt{\frac{4A_t}{\pi}} \cdot \frac{1}{2}$$

$$r_w = \frac{OD}{2}$$

$$PR = \left[\frac{k_f W_w}{kh} \right] \left[\frac{\frac{kh}{k_f W_w} + 1}{\frac{k_f W_w}{kh} + 1} \times \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_f}\right) + \ln\left(\frac{r_f}{r_w}\right)} \right]$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีปกติในส่วนต่างๆ ดังรวบรวมและแสดงไว้ในตารางที่

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณค่าต่าง ๆ ด้วยวิธีปกติ

รายการคำนวณ	วิธีปกติ
ความดันที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้ารอยแตก (P_p)	1,736.76 psi
ความกว้างของรอยแตก (W_w)	2.20 in
รัศมีของรอยแตก (r_p)	17.81 ft
ประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก (Eff.)	30.41
พื้นที่ที่มีการแตก (A_p)	11,076.97 ft ²
อัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังต่อก่อนทำให้เกิดการแตก (PR)	2.64

4.4 การตรวจสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องของโปรแกรม

ในการตรวจสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องแม่นยำในการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำให้ชั้นถ่านหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกจากโปรแกรมพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมกับค่าที่คำนวณได้จากวิธีปกติ ผลของความแตกต่างได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยระหว่างวิธีการทั้งสอง โดยมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 0.0167 ดังนั้นการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำให้ชั้นถ่านหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกจากโปรแกรมถือว่าเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือและสามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากวิธีปกติได้และยังช่วยลดเวลาในการคำนวณอีกด้วย เนื่องจากโปรแกรมจะสามารถคำนวณค่า $\text{erfc}(x)$ ให้ โดยผู้ใช้ไม่ต้องทำการหาค่าจากตารางและกราฟและเมื่อทำการทดสอบเปลี่ยนค่าตัวแปร 2 ตัว คือ ค่าโมดูลัสของยัง (Young's modulus) และอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) พบว่าค่าที่คำนวณได้ทั้งจากวิธีการคำนวณโดยใช้การคำนวณตามปกติและการคำนวณโดยใช้โปรแกรมฯ ที่พัฒนาขึ้นนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันดังแสดงผลการคำนวณและการเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 4.3. และ 4.4 ก็พบว่ามียุทธศาสตร์ความแตกต่างของผลลัพธ์เพียงแค่อ้อยู่ที่ 0.0178 และ 0.0149 ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวนี้อาจเป็นข้อพิสูจน์และทำให้มั่นใจได้ว่าการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำให้ชั้นถ่านหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกโดยใช้โปรแกรมสามารถนำมาใช้ได้อย่างมั่นใจในแง่ต่าง ๆ ใดก็ตามที่ตามความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับแง่ต่าง ๆ เท่านั้นเนื่องจากแหล่งข้อมูลและลักษณะทางธรณีวิทยาจะเป็นของพื้นที่การศึกษานี้เท่านั้น

ตารางที่ 4.2 ความแตกต่างระหว่างการคำนวณและออกแบบจากวิธีปกติกับการคำนวณและออกแบบโดยใช้โปรแกรม

รายการ	วิธีปกติ	ใช้โปรแกรม	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
ความดันที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้ารอยแตก (P_R)	1,736.76 psi	1,734.51 psi	0.13
ความกว้างของรอยแตก (W_w)	2.20 in	2.20 in	0.00
รัศมีของรอยแตก (r_p)	17.81 ft	17.81 ft	0.00
ประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก (Eff.)	30.41	31.12	2.33
พื้นที่ที่มีการแตก (A_p)	11,076.97 ft ²	11,335.78 ft ²	2.34
อัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังต่อก่อนทำให้เกิดการแตก (PR)	2.64	2.69	1.89
ค่าเฉลี่ย			1.67

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณจากวิธีปกติกับการคำนวณจากการใช้โปรแกรม โดยการเปลี่ยนค่าตัวแปร Young's modulus (E) = 1,000,000 psi

รายการ	วิธีปกติ	ใช้โปรแกรม	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
ความดันที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้ารอยแตก (P_R)	1,736.76 psi	1,734.51 psi	0.13
ความกว้างของรอยแตก (W_w)	1.32 in	1.32 in	0.00
รัศมีของรอยแตก (r_p)	23.00 ft	23.00 ft	0.00
ประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก (Eff.)	20.45	20.99	2.64
พื้นที่ที่มีการแตก (A_p)	12,425.22 ft ²	12,754.89 ft ²	2.65
อัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังต่อก่อนทำให้เกิดการแตก (PR)	2.35	2.39	1.70
ค่าเฉลี่ย			1.78

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณจากวิธีปกติกับการคำนวณจากการใช้โปรแกรม โดย
การเปลี่ยนค่าตัวแปร Poisson's ratio (ν) = 0.37

รายการ	วิธีปกติ	ใช้โปรแกรม	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
ความดันที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้ารอยแตก (P_u)	1,736.76 psi	1,734.51 psi	0.13
ความกว้างของรอยแตก (W_w)	2.19 in	2.19 in	0.00
รัศมีของรอยแตก (r_p)	17.86 ft	17.86 ft	0.00
ประสิทธิภาพในการทำให้เกิดรอยแตก (Eff.)	30.29	31.00	2.34
พื้นที่ที่มีการแตก (A_c)	11,093.51 ft ²	11,353.13 ft ²	2.34
อัตราส่วนของอัตราการผลิตของไหลในแหล่งกักเก็บหลังต่อก่อนทำให้เกิดการแตก (PR)	2.65	2.68	1.13
ค่าเฉลี่ย			1.49



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการช่วยการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำให้ชั้นถ่านหินของแอ่งฝางแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิก โดยการพัฒนาโปรแกรมนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลมาจากแอ่งฝางโดยตรงมาประกอบการคำนวณและพัฒนาโปรแกรม โดยมุ่งหวังว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้อาจจะถูกนำไปใช้เพื่อช่วยลดเวลาในการคำนวณและออกแบบรอยแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกของชั้นถ่านหินของแอ่งฝางได้ในอนาคต โดยเมื่อเกิดรอยแตกขึ้นในชั้นถ่านหินมากขึ้นก็เพื่อให้เกิดเป็นช่องทางให้ก๊าซธรรมชาติที่แทรกอยู่ตามเนื้อของชั้นถ่านหินในแอ่งฝางนั้นเกิดการไหลได้สะดวกมากขึ้นและไหลเข้าสู่หลุมผลิตได้มากขึ้นด้วย

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นประกอบด้วยส่วนของการคำนวณแรงดันที่ต้องใช้เพื่อให้ชั้นหินเกิดรอยแตก ส่วนการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตกที่เกิดขึ้น ส่วนการคำนวณประสิทธิภาพของการทำให้เกิดรอยแตก ส่วนของการคำนวณพื้นที่ของรอยแตก และส่วนของการเปรียบเทียบอัตราส่วนการผลิตของไหลหลังการทำให้เกิดรอยแตกต่อก่อนการทำให้เกิดรอยแตกตามลำดับในการตรวจสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องแม่นยำในการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำให้ชั้นถ่านหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกจากโปรแกรมพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมกับค่าที่คำนวณได้จากวิธีปกติ ผลของความแตกต่างได้แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยระหว่างวิธีการทั้งสอง โดยมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 1.67 เท่านั้น ดังนั้นการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำให้ชั้นถ่านหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกจากโปรแกรมถือว่าเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือและสามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากวิธีปกติได้และยังช่วยลดเวลาในการคำนวณอีกด้วย เนื่องจากโปรแกรมจะสามารถคำนวณค่า $\operatorname{erfc}(x)$ ให้ โดยผู้ใช้ไม่ต้องทำการหาค่าจากตารางและกราฟได้อีกด้วย

แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อมูลทางปิโตรเลียมที่ได้รวบรวมจากแอ่งฝางนั้นมีความสมบูรณ์ของข้อมูลที่ค่อนข้างจำกัด จึงอาจทำให้ความสามารถในการช่วยการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำให้ชั้นถ่านหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกของโปรแกรมมีความถูกต้องลดน้อยลง ถ้าหากในอนาคตได้มีการบันทึกข้อมูลเพิ่มเติมมากขึ้น ก็จะสามารถนำมาทำการปรับปรุงโปรแกรมเพื่อทำ

ให้เกิดการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำชิ้นถ่านหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกให้มีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะการศึกษาวิจัย

1. การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการคำนวณและออกแบบเพื่อการทำชิ้นถ่านหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกโดยใช้ข้อมูลเก่าที่ถูกรันทึกไว้ เนื่องจากยังขาดซึ่งข้อมูลใหม่และเป็นข้อมูลที่ไม่ได้รับการเปิดเผย ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมนี้อาจเป็นข้อมูลที่ไม่เป็นปัจจุบันมากนัก และถ้าเป็นไปได้หากมีการศึกษาข้อมูลดังกล่าวนี้ในอนาคตเพื่อทำการทดสอบ โปรแกรมหรือเพื่อทำการพัฒนาโปรแกรมใหม่ๆ ควรเลือกใช้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำมากกว่า

2. การคำนวณและออกแบบเพื่อการทำชิ้นถ่านหินแตกด้วยแรงดันไฮโดรลิกถือเป็นเรื่องยากและซับซ้อนมากเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของการนำเข้าข้อมูลที่มีได้มีการบันทึกหรือมีการทดสอบค่า และข้อมูลนำเข้าบางค่าอาจจะต้องสมมุติค่าขึ้นมา เนื่องมาจากข้อจำกัดของข้อมูลนำเข้าดังกล่าวจึงมีผลต่อการคำนวณและออกแบบบรรอยแตกๆและเป็นผลทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนขึ้นได้ซึ่งข้อมูลนำเข้าของการคำนวณโดยโปรแกรมของแองฟางควรมีการรวบรวมและวิเคราะห์ให้ครบถ้วนมากที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ก่อนนำมาใช้ในการคำนวณ โดยโปรแกรมฯ จากนั้นหากมีการปฏิบัติการที่ทำให้เกิดรอยแตกขึ้นในชิ้นถ่านหินของแองฟางจริงควรทำการรวบรวมข้อมูลที่ได้ใช้หรือปฏิบัติการจริงนั้นไว้เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากวิธีปกติกับค่าที่ได้คำนวณจากโปรแกรมเพื่อนำมาปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรมฯ ให้ดียิ่งขึ้นในลำดับต่อไป

รายการอ้างอิง

กรมการพลังงานทหาร กองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม (2535). เอกสารบรรยายสรุปผลงานการสำรวจและพัฒนาปิโตรเลียมของกองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม ศูนย์พัฒนาปิโตรเลียมภาคเหนือ กรมพลังงานทหาร. กรมการพลังงานทหาร.

(เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

กรมการพลังงานทหาร กองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม (2543). เอกสารบรรยายสรุปผลงานการสำรวจและพัฒนาปิโตรเลียมของกองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม ศูนย์พัฒนาปิโตรเลียมภาคเหนือ กรมพลังงานทหาร. กรมการพลังงานทหาร. (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554). ก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหิน (Coal Bed Methane).

[On-line].

Available:

http://www.dmf.go.th/dmfweb/index.php?option=com_content&view=article&id=40&Itemid=83&lang=th

ชุติมา พิษิตพรธม (2554). ก๊าซธรรมชาติจากหินดินดาน (Shale Gas). [On-line]. Available:

https://pttweb.pttplc.com/cscind_internet/Files/Attach/JOURNALS/JOURNALS_2019.pdf

นพรัตน์ เศรษฐกุล (2528). ธรณีวิทยาน้ำมัน แอ่งฝาง ตอนที่ 1. กองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม กรมการพลังงานทหาร. (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

พินิจ กุลสิงห์ (2533). **Petroleum Geology of Thailand**. กองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม กรมการพลังงานทหาร. (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

A.D. Alexeer, E.P. Feldman, T.A.Vasilenko (2007). Methane desorption from a coal-bed. In

Fuel Vol. 86. Issue 16: 2574-2580

Abbie W, Layne (1988). Analysis of Coalbed Methane Stimulations in the Warrior Basin,

Alabama. SPE paper 15218. **SPE Formation Evaluation**. SPE. U.S. DOE Morgantown Energy Technology Center

Amer Syed, Ji-Quan Shi, Sevkett Durucan (2011). Permeability and injectivity improvement in

CO₂ enhanced coalbed methane recovery. Thermal stimulation of the near wellbore region. In **Sciencedirect**. Elsevier Science Ltd.

- Anthony W, Gorody (2012). Factors affecting the variability of stray gas concentration and composition in groundwater. **The American Association of Petroleum Geologists/Division of Environmental Geosciences**. Environmental Geosciences. v. 19. no. 1 (March 2012): 17–31
- B.C. Crittendon (1959). The Mechanics of Design and Interpretation of Hydraulic Fracturing Treatments. **J. Pet, Tech, Trans. AIME. Vol.11:** 21-29
- B. Goktas (1999). A Comparative Analysis of the Production Characteristics of Cavity Completions and Hydraulic Fractures in Coalbed Methane Reservoirs. SPE paper 55600. **Society of Petroleum Engineers Inc**, SPE. The Pennsylvania State University, University Park, PA.
- B.W. McDaniel (1990). Hydraulic Fracturing Techniques Used for Stimulation of Coalbed Methane Wells. SPE paper 21292. **Society of Petroleum Engineers Inc**. SPE Eastern Regional Meeting held in Columbus, Ohio
- C.M. Boyer H (1986). Measurement of Coal bed Properties for Hydraulic Fracture Design and Methane Production. SPE paper 15258. **Unconventional Energy Group**. L.J.S.SteelCorp. and P.B. Stubbs and F.C. Schwerer
- Ching H. Yew (1997). Fracturing of a Wellbore and 2-D Fracture Models. **In Mechanics of Hydraulic Fracturing:** pp.1-27. Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- Christine A, Ehlig-Economides and Michael J. Economides (2000). Well and Reservoir Testing. **In Reservoir Stimulation:** pp.1-21. John Wiley & Sons, ltd.
- Defence Energy Department (2006). Coal Bed Methane Analysis. In **Final Report:**pp.1-42. ACS Laboratories Pty Ltd.
- G.S. Penny and M.W. Conway (1991). Laboratory Tests To Determine Parameters for Hydraulic Fracturing of Coalbed Methane. SPE paper 21812. **SPE Member**. prepared for presentation at the Rocky Mountain Regional Meeting and Low-Permeability Reservoirs Symposium held in Denver, Colorado
- Gao Di, Qin Yong, Yi Tong-sheng (2009). CBM geology and exploring-developing stratagem in Guizhou Province, China. In **Sciencedirect**. Elsevier Science Ltd.

- H. H. Vaziri, X. Wang, I. D. Palmers, M. Khodaverdian, J. McLennant (1997). Back Analysis of Coalbed Strength Properties from Field Measurements of Wellbore Cavitation and Methane Production. In **Sciencedirect**. Elsevier Science Ltd.
- Hongchao Wei, Lianggang Li, Xiaoming Wu, Yule Hu (2011). The Analysis and Theory Research on the Factor of Multiple Fractures During Hydraulic Fracturing of CBM Wells. In **Sciencedirect**. Elsevier Science Ltd.
- Jean Desroches and Tom Bratton (2000). Well Logs. In **Reservoir Stimulation**: pp.1-24. John Wiley & Sons, Ltd.
- Jinzhou Zhao (1997). Hydraulic Fracturing Technique for Low Permeability Coalbed Methane Gas Reservoirs. SPE paper 38095. **Society of Petroleum Engineers Inc.** SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference held in Kuala Lumpur, Malaysia
- K.L.Valencia (2005). Design and Evaluation of Hydraulic Fracture Stimulation of Gas and Coalbed Methane Reservoirs Under Complex Geology and Stress Conditions. IPTC paper 10795. **International Petroleum Technology Conference**. in Doha, Qatar
- L.D. Connell (2011). History matching of enhanced coal bed methane laboratory core flood tests. In **International Journal of coal Geology Vol. 87**. Issue 2.: 128-138
- Leonid N, Germanovichl, Dmitriy K, Astakhovl, Michael J, Mayerhofer, Jacob Shlyapobersky, Lev M. Ring (1997). Hydraulic Fracture With Multiple Segments I. Observation And Model Formuration. In **Sciencedirect**. Elsevier Science Ltd.
- M.A. MIAN (1995). Well Stimulation-Hydraulic Fracturing. In **Petroleum Engineering Handbook for the Practicing Engineering Vol.2**: pp. 465-485. Penn Well Books 1995. Tulsa, Oklahoma, USA.
- M.B. Smith and J.W. Shlyapobersky (2000). Basics of Hydraulic Fracturing. In **Reservoir Stimulation** : pp.1-27. John Wiley & Sons, Ltd.
- M.C. Thiercelin and J.-C. Roegiers (2000). Rock Mechanics. In **Reservoir Stimulation**: pp.1-34. John Wiley & Sons, Ltd.
- Mark G. Mack, and Norman R. Warpinski (2000). Mechanics of Hydraulic Fracturing. In **Reservoir Stimulation**: pp. 1-48. John Wiley & Sons, Ltd.

- Michael D. Zuber (1990). Optimizing Well Spacing and Hydraulic-Fracture Design for Economic Recovery of Coalbed Methane. SPE paper 17726. **SPE Formation Evaluation**, SPE. Mathematical & Computer Services.
- Michael J. Economides and Curtis Boney (2000). Reservoir Stimulation in Petroleum Production. In **Reservoir Stimulation**: pp. 1-18. John Wiley & Sons, Ltd.
- P.A. Fokker (2004). The injectivity of coalbed CO₂ injection wells. In **Sciencedirect**. Elsevier Science Ltd.
- Pramod C. Thakur, Harold G. Little, and William G. Karis (1996). Global Coalbed Methane Recovery And Use. In **Sciencedirect**. Elsevier Science Ltd.
- Ramond L (2002). Improving Results of Coalbed Methane Development Strategie by Intergrating Geomechsnics and Hydraulic Fracturing Technologies. SPE paper 77824. **Society of Petroleum Engineers Inc.** SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition held in Melboume, Australia
- Richard W. Davis (2010). Deriving geothermal parameters from bottom-hole temperatures in Wyoming., **The American Association of Petroleum Geologists**, AAPG Bulletin, v. 96, no. 8 (August 2012): pp. 1579–1592
- S. J. Jiu (1988). Exploitation of Deeply Buried Coalbed Methane Usin Different H draulic Fracturing Techniques in the Piceance Basin, Colorado and San J'uan Basin New Mexico. SPE paper 18253. **Society of Petroleum Engineers**
- Sattakul, N: Defense Energy Department. (2002). Fang Basin: The First Oilfield in Thailand. In **Proceedings of Thailand Petroleum Conference 2002, 30 years Experience: Opportunities and Challenges**. Bangkok.
- Xingpeng Jing (2011). An Experimental Method on Hydraulic Fracturing of Coalbed Reservoir. In **Sciencedirect**. Elsevier Science Ltd.

ภาคผนวก ก

ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. การคำนวณแรงดันของรอยแตก (Fracture Pressure)

ชื่อฟังก์ชัน	btnCalcFracturePressure_Click
คำอธิบาย	ฟังก์ชันสำหรับการคำนวณค่า Fracture Pressure
ซอร์สโค้ด (source code)	<pre> PrivateSub btnCalcFracturePressure_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnCalcFracturePressure.Click If txtFPPr.Text <>""And txtFPQc.Text <>""And txtFPPc.Text <>""And txtFPD.Text <>""Then oPr = Double.Parse(txtFPPr.Text) oOc = Double.Parse(txtFPQc.Text) / 100 oPc = Double.Parse(txtFPPc.Text) oD = Double.Parse(txtFPD.Text) oGf = GetGf() oPf = GetPf() oDelP = GetDeltaPresure() txtDeltaP.Text = GetDoubleFormat(Math.Round(oDelP, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString) txtFEDeltaP.Text = txtDeltaP.Text txtFPGf.Text = Math.Round(oGf, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString txtFPPf.Text = GetDoubleFormat(Math.Round(oPf, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString) txtFEQc.Text = txtFPQc.Text lblFPDepth.Text = "Depth = " + GetDoubleFormat(Math.Round(oD, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString) + " ft." lblWLDepth.Text = lblFPDepth.Text lblFADepth.Text = lblFPDepth.Text lblFEDepth.Text = lblFPDepth.Text </pre>

	<pre> lblFP.Text = "Fracture Pressure = " + GetDoubleFormat(Math.Round(oPf, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString) + " psi." lblWLPressure.Text = lblFP.Text lblFAPressure.Text = lblFP.Text lblFEPressure.Text = lblFP.Text btnPressurePvw.Enabled = True EndIf EndSub </pre>
--	---

2. การคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก (Fracture Width and Fracture Length)

ชื่อฟังก์ชัน	btnCalcWidthAndLength_Click
คำอธิบาย	ฟังก์ชันสำหรับการคำนวณ Fracture Width และ Fracture Length
ซอร์สโค้ด (source code)	<pre> PrivateSub btnCalcWidthAndLength_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnCalcWidthAndLength.Click If txtWLE.Text <>"" And txtWLWV.Text <>"" And txtWLU.Text <>"" And txtWLQ.Text <>"" And txtWLVV.Text <>"" Then oE = Double.Parse(txtWLE.Text) ov = Double.Parse(txtWLWV.Text) oU = Double.Parse(txtWLU.Text) oqi = Double.Parse(txtWLQ.Text) oVol = Double.Parse(txtWLVV.Text) oEdash = GetEDash() ot = GetTime() oWw = GetWw() oRf = GetRf() txtFAVolume.Text = txtWLVV.Text </pre>

	<pre> txtWLWw.Text = Math.Round(oWw, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString txtFEWr.Text = txtWLWw.Text txtFAWw.Text = txtWLWw.Text txtPRWw.Text = txtWLWw.Text txtWLRf.Text = GetDoubleFormat(Math.Round(oRf, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString) txtPRR.Text = txtWLRf.Text txtWLt.Text = GetDoubleFormat(Math.Round(ot, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString) txtFETime.Text = txtWLt.Text txtWLEi.Text = GetDoubleFormat(Math.Round(oEdash, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString) Dim len As Double len = oRf / 2 lblWLWidth.Text = "Width = " + Math.Round(oWw, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString + " in." lblFEWidth.Text = lblWLWidth.Text lblFAWidth.Text = lblWLWidth.Text lblWLLen.Text = "Length = " + Math.Round(oRf, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString + " ft." lblFELen.Text = lblWLLen.Text lblFALen.Text = lblWLLen.Text lblWLVVolume.Text = "Fracture Volume = " + GetDoubleFormat(Math.Round(oVol, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString) + " gal. (~mud Volume)" lblFEVVolume.Text = lblWLVVolume.Text lblFAVVolume.Text = lblWLVVolume.Text btnWidthAndLengthPvw.Enabled = True EndIf </pre>
--	---

	EndSub
--	--------

3. การคำนวณปริมาตรของรอยแตกของหินหกรกับปริมาตรของของไหลที่ฉีดเข้าไป (Fracture Efficiency)

ชื่อฟังก์ชัน	btnCalcEfficiency_Click
คำอธิบาย	ฟังก์ชันสำหรับคำนวณFracture Efficiency
ซอร์สโค้ด (source code)	<pre> PrivateSub btnCalcEfficiency_Click (ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button6.Click If txtFEDeltaP.Text <>"" And txtFEk.Text <>"" And txtFEQc.Text <>"" And txtFECr.Text <>"" And txtFEU.Text <>"" And txtFETime.Text <>"" And txtFEWr.Text <>"" Then ok = Double.Parse(txtFEk.Text) oCr = Double.Parse(txtFECr.Text) oUr = Double.Parse(txtFEU.Text) oKc = GetKc() ox = Getx() oEff = GetEff() txtPRk.Text = txtFEk.Text txtFEx.Text = Math.Round(ox, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString txtFEEff.Text = Math.Round(oEff, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString txtFAEff.Text = txtFEEff.Text txtFEKc.Text = Math.Round(oKc, 8, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString lblFEEff.Text = "Efficient = " + Math.Round(oEff, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString lblFAEff.Text = lblFEEff.Text </pre>

	<pre> btnEffPvw.Enabled = True EndIf EndSub </pre>
--	--

4. การคำนวณพื้นที่รอยแตก (Fracture Area)

ชื่อฟังก์ชัน	btnFractureArea_Click
คำอธิบาย	ฟังก์ชันสำหรับคำนวณFracture Area
ซอร์สโค้ด (source code)	<pre> PrivateSub btnFractureArea_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnFractureArea.Click If txtFAEff.Text <>""And txtFAVolume.Text <>""And txtFAWw.Text <>""Then oAt = GetArea() txtFAA.Text = GetDoubleFormat(Math.Round(oAt, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString) txtPRA.Text = txtFAA.Text lblFArea.Text = "Fracture Area = " + txtFAA.Text btnAreaPvw.Enabled = True EndIf EndSub </pre>

5. การคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตหลังต่อก่อนการทำ (Productivity Ratio)

ชื่อฟังก์ชัน	btnPRatio_Click
คำอธิบาย	ฟังก์ชันสำหรับการคำนวณ Productivity Ratio
ซอร์สโค้ด (source code)	<pre> PrivateSub btnPRatio_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnPRatio.Click If txtPRA.Text <> "" And txtPRKf.Text <> "" And txtPRk.Text <> "" And txtPRWw.Text <> "" And txtPRR.Text <> "" And txtPROD.Text <> "" And txtPRh.Text <> "" Then okf = Double.Parse(txtPRKf.Text) oOD = Double.Parse(txtPROD.Text) oh = Double.Parse(txtPRh.Text) oRe = GetRe() oRw = GetRw() oPRo = GetPR() txtPR.Text = Math.Round(oPRo, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString txtPRRe.Text = GetDoubleFormat(Math.Round(oRe, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString) txtPRRw.Text = Math.Round(oRw, 2, MidpointRounding.AwayFromZero).ToString lblPRRe.Text = txtPRRe.Text + " ft." lblPRRf.Text = txtPRRw.Text + " ft." lblPRArea.Text = txtPRA.Text lblPRRradius.Text = txtPRRw.Text lblPRRatio.Text = txtPR.Text lblPRk.Text = "k = " + txtPRk.Text + " md." lblPRKf.Text = "k = " + txtPRKf.Text + " md." lblPRWidth.Text = "width = " + txtPRWw.Text + " in." lblPRThickness.Text = "Thickness = " + txtPRh.Text + " ft." </pre>

	<pre> btnProdRatioPvw.Enabled = True btnExport.Enabled = True EndIf EndSub </pre>
--	--

6. การแสดงการคำนวณแรงดันของรอยแตก (Fracture Pressure)

ชื่อฟังก์ชัน	FracturePressure
คำอธิบาย	แสดงค่าหลังจากการคำนวณในโปรแกรม Microsoft word
ซอร์สโค้ด (source code)	<pre> Sub FracturePressure(ByRef odoc As Word.Document) 'Horizontal fracturing pressure Dim oTable As Word.Table Dim oPressure As Word.Paragraph Dim FracPressure As Word.Paragraph FracPressure = odoc.Content.Paragraphs.Add FracPressure.Range.Text = "Fracture Pressure" FracPressure.Range.Font.Bold = True FracPressure.Format.SpaceAfter = 4 FracPressure.Range.InsertParagraphAfter() FracPressure.Format.SpaceAfter = 4 FracPressure.Range.Font.Bold = False InsertPhoto(odoc, "tab1.jpg") oTable = odoc.Tables.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range, 2, 2) oTable.Cell(1, 1).Range.Text = "PR = " + ShowStr(oPr, 2) + " psi." oTable.Cell(1, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTable.Cell(2, 1).Range.Text = "D = " + ShowStr(oD, 2) + " ft." oTable.Cell(1, 2).Range.Text = ChrW(632) + "c = " + ShowStr(oOc * 100, 2) + " %" </pre>

	<pre> oTable.Cell(1, 2).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTable.Cell(2, 2).Range.Text = ChrW(961) + "c = " + "1.60" + " g./cc." oTable.Cell(2, 2).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTable.Borders.Enable = True oPressure = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oPressure.Range.Text = "Assume : " oPressure.Range.InsertParagraphAfter() oTable = odoc.Tables.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range, 2, 1) oTable.Cell(1, 1).Range.Text = "Hydrostatic pressure = " + "0.433" + " psi./ft." oTable.Cell(2, 1).Range.Text = ChrW(961) + "w = " + "1.00" + " g./cc." oTable.Cell(2, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTable.Range.InsertParagraphAfter() oPressure = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oPressure.Range.Text += ChrW(632) + "_w = 1 - " + ChrW(632) + "_c = 1 - " + ShowStr(oOc, 3) + " = " + ShowStr(GetQ(), 3) odoc.OMaths.Add(oPressure.Range).OMaths(1).BuildUp() oPressure.Range.InsertParagraphAfter() oPressure = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oPressure.Range.Text += "Overburden gradient (g_f) = Rock pressure + Fluid pressure = (0.433 (psi.)/(ft.) x 1.6 x (1-" + ShowStr(GetQ(), 3) + ")) + (0.433 (psi.)/(ft.) x 1.0 x " + ShowStr(oOc, 3) + ") = " + ShowStr(GetGf(), 3) + " (psi.)/(ft.)" odoc.OMaths.Add(oPressure.Range).OMaths(1).BuildUp() oPressure.Range.InsertParagraphAfter() oPressure = </pre>
--	---

	<pre> odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oPressure.Range.Text += "P_f = P_ob = g_f D = " + ShowStr(oGf, 3) + " (psi.)/(ft.) x " + ShowStr(oD, 2) + " ft. = " + ShowStr(GetPf(), 3) + " psi." odoc.OMaths.Add(oPressure.Range).OMaths(1).BuildUp() oPressure.Range.InsertParagraphAfter() oPressure = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oPressure.Range.Text += ChrW(916) + "P = P_f - P_R = " + ShowStr(GetPf(), 2) + " - " + ShowStr(oPr, 2) + " = " + ShowStr(GetDeltaPresure(), 2) + " psi." odoc.OMaths.Add(oPressure.Range).OMaths(1).BuildUp() oPressure.SpaceAfter = 20 oPressure.Range.InsertParagraphAfter() EndSub </pre>
--	---

7. การแสดงการคำนวณความกว้างและรัศมีของรอยแตก (Fracture Width and Fracture Length)

ชื่อฟังก์ชัน	FractureWidthAndLength
คำอธิบาย	แสดงค่าหลังจากการคำนวณ ใน โปรแกรม Microsoft word
ซอร์สโค้ด (source code)	<pre> Sub FractureWidthAndLength(ByRef odoc As Word.Document) 'The maximum width (Ww) and Radius (R) Dim widthAndRadius As Word.Paragraph widthAndRadius = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) widthAndRadius.Range.Text = "Fracture Width And Fracture Length" widthAndRadius.Range.Font.Bold = True widthAndRadius.Range.InsertParagraphAfter() </pre>

	<pre> InsertPhoto(odoc, "tab2.jpg") widthAndRadius.Format.SpaceAfter = 4 widthAndRadius.Range.Font.Bold = False widthAndRadius.Range.Font.Underline = False Dim oRadiusTable As Word.Table 'oRadiusTable = odoc.Tables.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range, 3, 1) 'oRadiusTable.Cell(1, 1).Range.Text = "E = " + ShowStr(oE, 2) + " psi." 'oRadiusTable.Cell(2, 1).Range.Text = ChrW(957) + " = " + ShowStr(ov, 2) 'oRadiusTable.Cell(3, 1).Range.Text = ChrW(956) + " = " + ShowStr(oU) + " cp." 'oRadiusTable.Range.InsertParagraphAfter() widthAndRadius = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) widthAndRadius.Range.Text = "Assume :" widthAndRadius.Range.InsertParagraphAfter() oRadiusTable = odoc.Tables.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range, 5, 1) oRadiusTable.Cell(1, 1).Range.Text = "E = " + ShowStr(oE, 2) + " psi." oRadiusTable.Cell(2, 1).Range.Text = ChrW(957) + " = " + ShowStr(ov, 2) oRadiusTable.Cell(3, 1).Range.Text = ChrW(956) + " = " + ShowStr(oU) + " cp." oRadiusTable.Cell(4, 1).Range.Text = "qi = " + ShowStr(oqi, 2) + " bbl./min." oRadiusTable.Cell(4, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oRadiusTable.Cell(5, 1).Range.Text = "V = " + ShowStr(oVol, 2) + " gal." oRadiusTable.Range.InsertParagraphAfter() widthAndRadius = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) </pre>
--	---

	<pre> widthAndRadius.Range.Text = "E' = E/(1-" + ChrW(957) + "^2) =" + ShowStr(oE, 2) + "/(1 -" + ShowStr(ov, 2) + "^2) = " + ShowStr(GetEDash(), 2) + " psi." odoc.OMaths.Add(widthAndRadius.Range).OMaths(1).BuildUp() widthAndRadius.Range.InsertParagraphAfter() widthAndRadius = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) widthAndRadius.Range.Text = "t = V/42q_i =" + ShowStr(oVo1, 0) + "/(42x" + ShowStr(oqi, 2) + ") =" + ShowStr(GetTime(), 2) + " min." odoc.OMaths.Add(widthAndRadius.Range).OMaths(1).BuildUp() widthAndRadius.Range.InsertParagraphAfter() widthAndRadius = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) widthAndRadius.Range.Text = "W_w = 2.17[" + ChrW(956) + "^2 q^3/E'^2]^(1/9) t^(1/9) =2.17[" + ShowStr(oU) + "^2 x " + ShowStr(oqi, 2) + "^3)"/ + ShowStr(oE, 2) + "^2]^(1/9) x " + ShowStr(ot, 2) + "^(1\9) = " + ShowStr(GetWw(), 2) + " in." odoc.OMaths.Add(widthAndRadius.Range).OMaths(1).BuildUp() widthAndRadius.Range.InsertParagraphAfter() widthAndRadius = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) widthAndRadius.Range.Text = "R = 0.52[E'q_i^3/" + ChrW(956) + "]^(1/9) t^(4/9) =2.17[" + ShowStr(oEdash, 2) + " x " + ShowStr(oqi, 2) + "^3)"/ + ShowStr(oU) + "]^(1/9) x " + ShowStr(ot, 2) + "^(4\9) =" + ShowStr(GetRf(), 2) + " ft." odoc.OMaths.Add(widthAndRadius.Range).OMaths(1).BuildUp() widthAndRadius.Range.InsertParagraphAfter() widthAndRadius.Format.SpaceAfter = 4 widthAndRadius.Range.InsertParagraphAfter() EndSub </pre>
--	--

8. การแสดงการคำนวณปริมาตรของรอยแตกของหินหกรกับปริมาตรของของไหลที่ฉีดเข้าไป (Fracture Efficiency)

ชื่อฟังก์ชัน	FractureEfficiency
คำอธิบาย	แสดงค่าหลังจากการคำนวณในโปรแกรม Microsoft word
ซอร์สโค้ด (source code)	<pre> Sub FractureEfficiency(ByRef odoc As Word.Document) 'Fracturing Efficient (Eff.) Dim oEffP As Word.Paragraph oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = "Fracture Efficiency" oEffP.Range.Font.Bold = True oEffP.Format.SpaceAfter = 14 oEffP.Format.SpaceAfter = 4 oEffP.Range.InsertParagraphAfter() oEffP.Range.Font.Bold = False InsertPhoto(odoc, "tab2.jpg") Dim tableEff As Word.Table tableEff = odoc.Tables.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range, 3, 2) tableEff.Cell(1, 1).Range.Text = "PR = " + ShowStr(oPr, 2) + " psi." tableEff.Cell(1, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True tableEff.Cell(1, 2).Range.Text = ChrW(956) + "R = " + ShowStr(oUr) + " cp." tableEff.Cell(1, 2).Range.Characters(2).Font.Subscript = True tableEff.Cell(2, 1).Range.Text = "D = " + ShowStr(oD, 2) + " ft." tableEff.Cell(2, 2).Range.Text = ChrW(632) + "c = " + ShowStr(oOc * </pre>

	<pre> 100, 2) + " %" tableEff.Cell(2, 2).Range.Characters(2).Font.Subscript = True tableEff.Cell(3, 1).Range.Text = ChrW(961) + "c = " + "1.60" + " g./cc." tableEff.Cell(3, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True tableEff.Borders.Enable = True tableEff.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = "Assume :" oEffP.Range.InsertParagraphAfter() tableEff = odoc.Tables.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range, 4, 2) tableEff.Cell(1, 1).Range.Text = "qi = " + ShowStr(oqi, 2) + " bbl./min." tableEff.Cell(1, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True tableEff.Cell(1, 2).Range.Text = "E = " + ShowStr(oE, 2) + " psi." tableEff.Cell(2, 1).Range.Text = "V = " + ShowStr(oVol, 2) + " gal." tableEff.Cell(2, 2).Range.Text = ChrW(957) + " = " + ShowStr(ov, 2) tableEff.Cell(3, 1).Range.Text = "CR = " + ShowStr(oCr, -1) + " (1/psi.)" tableEff.Cell(3, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True tableEff.Cell(3, 2).Range.Text = ChrW(961) + "w = " + "1.00" + " g./cc." tableEff.Cell(3, 2).Range.Characters(2).Font.Subscript = True tableEff.Cell(4, 1).Range.Text = "Hydrostatic pressure = " + "0.433" + " psi./ft." tableEff.Cell(4, 2).Range.Text = "k = " + ShowStr(ok, 2) + " md." tableEff.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = "Ignoring the frictional pressure losses and using the following addition information" oEffP.Range.InsertParagraphAfter() </pre>
--	---

	<pre> oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = ChrW(632) + "_w = 1 - " + ChrW(632) + "_c = 1 - " + ShowStr(oOc, 3) + " = " + ShowStr(GetQ(), 3) odoc.OMaths.Add(oEffP.Range).OMaths(1).BuildUp() oEffP.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = " Overburden gradient (g_f) = Rock pressure + Fluid pressure = (0.433 (psi.)/(ft.) x 1.6 x " + ShowStr(GetQ(), 3) + ") + (0.433 (psi.)/(ft.) x 1.0 x " + ShowStr(oOc, 3) + ") = " + ShowStr(oGf, 3) + " (psi.)/(ft.)" odoc.OMaths.Add(oEffP.Range).OMaths(1).BuildUp() oEffP.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = "P_f = P_ob = g_f D = " + ShowStr(oGf, 3) + " (psi.)/(ft.) x " + ShowStr(oD, 2) + " ft. = " + ShowStr(oPf, 2) + " psi." odoc.OMaths.Add(oEffP.Range).OMaths(1).BuildUp() oEffP.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = ChrW(916) + "P = P_f - P_R = " + ShowStr(oPf, 2) + " - " + ShowStr(oPr, 2) + " = " + ShowStr(oDelP, 2) + " psi." odoc.OMaths.Add(oEffP.Range).OMaths(1).BuildUp() oEffP.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = "K_c = 0.0374 " + ChrW(916) + "P " + ChrW(8730) + "(k_e " + ChrW(632) + "_e C_R/" + ChrW(956) + "_R) = </pre>
--	---

	<pre> (0.0374)(" _ + ShowStr(oDelP, 2) + ")" + ChrW(8730) + "(" + ShowStr(ok, 2) + "/1000)(" + ShowStr(oOc, 3) + ")" + ShowStr(oCr, -1) + ")" + ShowStr(oUr) + ") = " _ + ShowStr(oKc) + " (ft.)/(" + ChrW(8730) + "(min.)" odoc.OMaths.Add(oEffP.Range).OMaths(1).BuildUp() oEffP.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = "t = V/42q_i =" + ShowStr(oVol, 2) + "/(42x" + ShowStr(oqi, 2) + ") =" + ShowStr(ot, 2) + " min." odoc.OMaths.Add(oEffP.Range).OMaths(1).BuildUp() oEffP.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = "E' =E/(1-" + ChrW(957) + "^2) =" + ShowStr(oE, 2) + "/(1-" + ShowStr(ov, 2) + "^2) =" + ShowStr(oEdash, 2) + " psi." odoc.OMaths.Add(oEffP.Range).OMaths(1).BuildUp() oEffP.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = "W_w = 2.17[" + ChrW(956) + "^2 q^3/E'^2]^(1/9) t^(1/9) = 2.17[(" + ShowStr(oU) + "^2 x " + ShowStr(oqi, 2) + "^3)/" + ShowStr(oEdash, 2) + "^2]^(1/9) x " + ShowStr(ot, 2) + "^(1\9) =" + ShowStr(oWw, 2) + " in." odoc.OMaths.Add(oEffP.Range).OMaths(1).BuildUp() oEffP.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) </pre>
--	---

	<pre> oEffP.Range.Text = "x = 2K_c " + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) +)t/W_w = 2(" + ShowStr(oKc) + ")" + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) + (" + ShowStr(ot, 2) + ")/(" + ShowStr(oWw, 2) + "/12) = " + ShowStr(ox, 2) odoc.OMaths.Add(oEffP.Range).OMaths(1).BuildUp() oEffP.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = "erfc (" + ShowStr(ox, 2) + ") = " + ShowStr(Meta.Numerics.Functions.AdvancedMath.Erfc(ox), 2) odoc.OMaths.Add(oEffP.Range).OMaths(1).BuildUp() oEffP.Range.InsertParagraphAfter() oEffP = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oEffP.Range.Text = "Eff. = V_fracture/V_inject = (1/(x^2))(e^(x^2) .erfc(x) + 2x/" + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) + ") - 1) = (1/(" + ShowStr(ox, 2) + "^2))(e^(" + ShowStr(ox, 2) + "^2) .erfc(" + ShowStr(ox, 2) + ") + 2(" + ShowStr(ox, 2) + ")/" + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) + ") - 1) = " + ShowStr(oEff, 2) + "%" odoc.OMaths.Add(oEffP.Range).OMaths(1).BuildUp() oEffP.Range.InsertParagraphAfter() EndSub </pre>
--	---

9. การแสดงการคำนวณพื้นที่รอยแตก (Fracture Area)

ชื่อฟังก์ชัน	FractureArea
คำอธิบาย	แสดงค่าหลังจากการคำนวณในโปรแกรม Microsoft word
ซอร์สโค้ด	<pre> Sub FractureArea(ByRef odoc As Word.Document) 'Area Dim oArea As Word.Paragraph </pre>

(source code)	<pre> Dim oTableArea As Word.Table oArea = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oArea.Range.Text = "Fracture Area" oArea.Range.Font.Bold = True oArea.Range.InsertParagraphAfter() oArea.Range.Font.Bold = False InsertPhoto(odoc, "tab2.jpg") 'oTableArea = odoc.Tables.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range, 3, 2) 'oTableArea.Cell(1, 1).Range.Text = "E = " + ShowStr(oE, 2) + " psi." 'oTableArea.Cell(1, 2).Range.Text = ChrW(632) + "c = " + ShowStr(oOc * 100, 2) + " %" 'oTableArea.Cell(1, 2).Range.Characters(2).Font.Subscript = True 'oTableArea.Cell(2, 1).Range.Text = ChrW(957) + " = " + ShowStr(ov, 2) 'oTableArea.Cell(3, 1).Range.Text = ChrW(956) + " = " + ShowStr(oU) + " cp." 'oTableArea.Cell(3, 2).Range.Text = "k = " + ShowStr(ok, 2) + " md." 'oTableArea.Borders.Enable = True 'oTableArea.Range.InsertParagraphAfter() oArea = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oArea.Range.Text = "Assume : " oArea.Range.InsertParagraphAfter() oTableArea = odoc.Tables.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range, 4, 2) oTableArea.Cell(1, 1).Range.Text = "qi = " + ShowStr(oqi, 2) + " bbl./min." oTableArea.Cell(1, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTableArea.Cell(2, 1).Range.Text = "V = " + ShowStr(oVol, 2) + " gal." oTableArea.Cell(3, 1).Range.Text = "CR = " + ShowStr(oCr, -1) + " </pre>
---------------	--

	<pre> (1/psi.)" oTableArea.Cell(3, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTableArea.Cell(1, 2).Range.Text = "E = " + ShowStr(oE, 2) + " psi." oTableArea.Cell(2, 2).Range.Text = ChrW(957) + " = " + ShowStr(ov, 2) oTableArea.Cell(3, 2).Range.Text = ChrW(956) + " = " + ShowStr(oU) + " cp." oTableArea.Cell(4, 1).Range.Text = "k = " + ShowStr(ok, 2) + " md." oTableArea.Cell(4, 2).Range.Text = ChrW(632) + "c = " + ShowStr(oOc * 100, 2) + " %" oTableArea.Cell(4, 2).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTableArea.Range.InsertParagraphAfter() oArea = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oArea.Range.Text = "Ignoring the frictional pressure losses and using the following addition information" oArea.Range.InsertParagraphAfter() oArea = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oArea.Range.Text = "t = V/42q_i = " + ShowStr(oVol, 2) + "/(42x" + ShowStr(oqi, 2) + ") = " + ShowStr(ot, 2) + " min." odoc.OMaths.Add(oArea.Range).OMaths(1).BuildUp() oArea.Range.InsertParagraphAfter() oArea = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oArea.Range.Text = "E' =E/(1-" + ChrW(957) + "^2) = " + ShowStr(oE, 2) + "/(1-" + ShowStr(ov, 2) + "^2) = " + ShowStr(oEdash, 2) + " psi." odoc.OMaths.Add(oArea.Range).OMaths(1).BuildUp() oArea.Range.InsertParagraphAfter() </pre>
--	---

	<pre> oArea = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oArea.Range.Text = "W_w = 2.17[" + ChrW(956) + "^2 q^3/E'^2]^(1/9) t^(1/9) = 2.17[" + ShowStr(oU) + "^2 x " + ShowStr(oqi, 2) + "^3)"/ + ShowStr(oEdash, 2) + "^2]^(1/9) x " + ShowStr(ot, 2) + "^(1/9) = " + ShowStr(oWw, 2) + " in." odoc.OMaths.Add(oArea.Range).OMaths(1).BuildUp() oArea.Range.InsertParagraphAfter() oArea = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oArea.Range.Text = "K_c = 0.0374 " + ChrW(916) + "P " + ChrW(8730) + "(k_e " + ChrW(632) + "_e C_R/" + ChrW(956) + "_R) = (0.0374)(" _ + ShowStr(oDelP, 2) + ")" + ChrW(8730) + "(" + ShowStr(ok, 2) + "/1000)(" + ShowStr(oOc, 3) + ")(" + ShowStr(oCr, -1) + ")" + ShowStr(oUr) + ") = " _ + ShowStr(oKc) + " (ft.)/" + ChrW(8730) + "(min.)" odoc.OMaths.Add(oArea.Range).OMaths(1).BuildUp() oArea.Range.InsertParagraphAfter() oArea = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oArea.Range.Text = "x = 2K_c " + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) + "t)/W_w = 2(" + ShowStr(oKc) + ")" + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) + ("(" + ShowStr(ot, 2) + "))/(" + ShowStr(oWw, 2) + "/12) = " + ShowStr(ox, 2) odoc.OMaths.Add(oArea.Range).OMaths(1).BuildUp() oArea.Range.InsertParagraphAfter() oArea = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oArea.Range.Text = "erfc (" + ShowStr(ox, 2) + ") = " + </pre>
--	--

	<pre> ShowStr(Meta.Numerics.Functions.AdvancedMath.Erfc(ox), 2) odoc.OMaths.Add(oArea.Range).OMaths(1).BuildUp() oArea.Range.InsertParagraphAfter() oArea = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oArea.Range.Text = "Eff. = V_fracture/V_inject = (1/(x^2))(e^(x^2) .erfc(x) + 2x/" + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) + ") - 1) = (1/(" + ShowStr(ox, 2) + "^2))(e^(" + ShowStr(ox, 2) + "^2) .erfc(" + ShowStr(ox, 2) + ") + 2(" + ShowStr(ox, 2) + ")/" + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) + ") - 1) = " + ShowStr(oEff, 2) + "%" odoc.OMaths.Add(oArea.Range).OMaths(1).BuildUp() oArea.Range.InsertParagraphAfter() oArea = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oArea.Range.Text = "A_t = ((Eff/100)(V))/((7.48)(0.28/12)) = ((" + ShowStr(oEff, 2) + "/100)(" + ShowStr(oVol, 2) + "))/((7.48)(" + ShowStr(oWw, 2) + "/12)) = " + ShowStr(oAt, 2) + " ft^2" odoc.OMaths.Add(oArea.Range).OMaths(1).BuildUp() oArea.Range.InsertParagraphAfter() EndSub </pre>
--	--

10. การแสดงการคำนวณอัตราส่วนของอัตราการผลิตหลังจากก่อนการทำ (Productivity Ratio)

ชื่อฟังก์ชัน	FractureProductivityRatio
คำอธิบาย	แสดงค่าหลังจากการคำนวณในโปรแกรม Microsoft word
ซอร์สโค้ด	Sub FractureProductivityRatio(ByRef odoc As Word.Document) 'Productivity ratio (PR)

(source code)	<pre> Dim oProd As Word.Paragraph Dim oTableProd As Word.Table oProd = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oProd.SpaceBefore = 15 oProd.Range.Text = "Productivity Ratio" oProd.Range.Font.Bold = True oProd.Range.InsertParagraphAfter() oProd.Range.Font.Bold = False InsertPhoto(odoc, "tab5.jpg") oTableProd = odoc.Tables.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range, 4, 2) oTableProd.Cell(1, 1).Range.Text = "h = " + ShowStr(oh, 2) + " ft." oTableProd.Cell(1, 2).Range.Text = "re = " + ShowStr(oRe, 2) + " ft." oTableProd.Cell(1, 2).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTableProd.Cell(2, 1).Range.Text = "rf = " + ShowStr(oRf, 2) + " ft." oTableProd.Cell(2, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTableProd.Cell(2, 2).Range.Text = "rw = " + ShowStr(oRw, 2) + " ft." oTableProd.Cell(2, 2).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTableProd.Cell(3, 1).Range.Text = ChrW(632) + "c = " + ShowStr(oOc * 100, 2) + " %" oTableProd.Cell(3, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTableProd.Cell(3, 2).Range.Text = "At = " + ShowStr(oAt, 2) + " ft2." oTableProd.Cell(3, 2).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTableProd.Cell(3, 2).Range.Characters(9 + ShowStr(oAt, 2).Length).Font.Superscript = True oTableProd.Cell(4, 1).Range.Text = "Ww = " + ShowStr(oWw, 2) + " in." oTableProd.Cell(4, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True oTableProd.Borders.Enable = True oTableProd.Range.InsertParagraphAfter() </pre>
---------------	---


```

oProd =
odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range)
oProd.Range.Text = "Assume : "
oProd.Range.InsertParagraphAfter()
oTableProd =
odoc.Tables.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range, 5, 2)
oTableProd.Cell(1, 1).Range.Text = "qi = " + ShowStr(oqi, 2) + " bbl./min."
oTableProd.Cell(1, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True
oTableProd.Cell(2, 1).Range.Text = "V = " + ShowStr(oVol, 2) + " gal."
oTableProd.Cell(3, 1).Range.Text = "CR = " + ShowStr(oCr, -1) + " (1/psi.)"
oTableProd.Cell(3, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True
oTableProd.Cell(4, 1).Range.Text = "kf = " + ShowStr(okf, 2) + " md."
oTableProd.Cell(4, 1).Range.Characters(2).Font.Subscript = True
oTableProd.Cell(5, 1).Range.Text = ChrW(957) + " = " + ShowStr(ov,
2)
oTableProd.Cell(1, 2).Range.Text = "k = " + ShowStr(ok, 2) + " md."
oTableProd.Cell(2, 2).Range.Text = "OD. = " + ShowStr(oOD, 2) + " in."
oTableProd.Cell(3, 2).Range.Text = "E = " + ShowStr(oE, 2) + " psi."
oTableProd.Cell(4, 2).Range.Text = ChrW(956) + " = " + ShowStr(oU) +
cp."
oTableProd.Range.InsertParagraphAfter()
oProd =
odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range)
oProd.Range.Text = "Ignoring the frictional pressure losses and using
the following addition information"
oProd.Range.InsertParagraphAfter()
oProd =
odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range)
oProd.Range.Text = "t = V/42q_i = " + ShowStr(oVol, 2) + "/(42x" +
ShowStr(oqi, 2) + ") = " + ShowStr(ot, 2) + " min."

```

	<pre> odoc.OMaths.Add(oProd.Range).OMaths(1).BuildUp() oProd.Range.InsertParagraphAfter() oProd = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oProd.Range.Text = "E' =E/(1-" + ChrW(957) + "^2) = " + ShowStr(oE, 2) + "/(1-" + ShowStr(ov, 2) + "^2) = " + ShowStr(oEdash, 2) + " psi." odoc.OMaths.Add(oProd.Range).OMaths(1).BuildUp() oProd.Range.InsertParagraphAfter() oProd = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oProd.Range.Text = "W_w = 2.17[" + ChrW(956) + "^2 q^3/E'^2]^(1/9) t^(1/9) = 2.17[" + ShowStr(oU) + "^2 x " + ShowStr(oqi, 2) + "^3)"/ + ShowStr(oEdash, 2) + "^2]^(1/9) x " + ShowStr(ot, 2) + "^(1\9) = " + ShowStr(oWw, 2) + " in." odoc.OMaths.Add(oProd.Range).OMaths(1).BuildUp() oProd.Range.InsertParagraphAfter() oProd = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oProd.Range.Text = "K_c = 0.0374 " + ChrW(916) + "P " + ChrW(8730) + "(k_e " + ChrW(632) + "_e C_R"/ + ChrW(956) + "_R) = (0.0374)(" _ + ShowStr(oDelP, 2) + ")" + ChrW(8730) + "(" + ShowStr(ok, 2) + "/1000)(" + ShowStr(oOc, 3) + ")" + ShowStr(oCr, -1) + ")" + ShowStr(oUr) + ") = " _ + ShowStr(oKc) + " (ft.)/" + ChrW(8730) + "(min.)" odoc.OMaths.Add(oProd.Range).OMaths(1).BuildUp() oProd.Range.InsertParagraphAfter() oProd = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oProd.Range.Text = "x = 2K_c " + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) + </pre>
--	--

	<pre>)t/W_w = 2(" + ShowStr(oKc) + ") + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) + "(" + ShowStr(ot, 2) + ")/(" + ShowStr(oWw, 2) + "/12) = " + ShowStr(ox, 2) odoc.OMaths.Add(oProd.Range).OMaths(1).BuildUp() oProd.Range.InsertParagraphAfter() oProd = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oProd.Range.Text = "erfc (" + ShowStr(ox, 2) + ") = " + ShowStr(Meta.Numerics.Functions.AdvancedMath.Erfc(ox), 2) odoc.OMaths.Add(oProd.Range).OMaths(1).BuildUp() oProd.Range.InsertParagraphAfter() oProd = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oProd.Range.Text = "Eff. = V_fracture/V_inject = (1/(x^2))(e^(x^2) .erfc(x) + 2x/" + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) + ") - 1) = (1/(" + ShowStr(ox, 2) + "^2))(e^(" + ShowStr(ox, 2) + "^2) .erfc(" + ShowStr(ox, 2) + ") + 2(" + ShowStr(ox, 2) + ")/" + ChrW(8730) + "(" + ChrW(960) + ") - 1) = " + ShowStr(oEff, 2) + "%" odoc.OMaths.Add(oProd.Range).OMaths(1).BuildUp() oProd.Range.InsertParagraphAfter() oProd = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oProd.Range.Text = "A_t = ((Eff/100)(V))/((7.48)(0.28/12)) = ((" + ShowStr(oEff, 2) + "/100)(" + ShowStr(oVol, 2) + "))/((7.48)(" + ShowStr(oWw, 2) + "/12)) = " + ShowStr(oAt, 2) + " ft^2" odoc.OMaths.Add(oProd.Range).OMaths(1).BuildUp() oProd.Range.InsertParagraphAfter() oProd = odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range) oProd.Range.Text = "r_e = " + ChrW(8730) + "((4A_t)/(" + ChrW(960) </pre>
--	--

```

+ ") / 2) = " _
      + ChrW(8730) + "((4(" + ShowStr(oAt, 2) + ")) / (" + ChrW(960) +
") / 2) = " + ShowStr(oRe, 2) + " ft."
      odoc.OMaths.Add(oProd.Range).OMaths(1).BuildUp()
      oProd.Range.InsertParagraphAfter()
      oProd =
      odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range)
      oProd.Range.Text = "r_w = OD/2 = " + ShowStr(oOD, 2) + "/2 = " +
ShowStr(oRw, 3) + " ft."
      odoc.OMaths.Add(oProd.Range).OMaths(1).BuildUp()
      oProd.Range.InsertParagraphAfter()
      oProd =
      odoc.Content.Paragraphs.Add(odoc.Bookmarks.Item("\endofdoc").Range)
      oProd.Range.Text = "PR = [(k_f W_w) / (kh)] [(kh) / (k_f W_w) +
1) / ((k_f W_w) / (kh) + 1) x (ln(r_e / r_w)) / (ln(r_e / r_f) + ln(r_f / r_w))] = [((
      + ShowStr(okf, 2) + ") (" + ShowStr(oWw, 2) + ")) / (( " + ShowStr(ok,
2) + ") (" + ShowStr(oh, 2) + "))] [((( " + ShowStr(ok, 2) + ") (" _
      + ShowStr(oh, 2) + ") / (" + ShowStr(okf, 2) + ") (" + ShowStr(oWw,
2) + ") + 1) / ((( " + ShowStr(okf, 2) + ") (" + ShowStr(oWw, 2) + ")) / (" _
      + ShowStr(ok, 2) + ") (" + ShowStr(oh, 2) + ") + 1) x (ln(" +
ShowStr(oRe, 2) + "/" + ShowStr(oRw, 2) + ")) / (ln(" _
      + ShowStr(oRe, 2) + "/" + ShowStr(oRf, 2) + ") + ln(" +
ShowStr(oRf, 2) + "/" + ShowStr(oRw, 2) + "))] = " + ShowStr(oPro, 2)
      odoc.OMaths.Add(oProd.Range).OMaths(1).BuildUp()
      oProd.Range.InsertParagraphAfter()
EndSub

```

ประวัติผู้เขียน

นายกฤตย์สันต์ เสาร์ชัชวาลย์ เกิดเมื่อวันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดนราธิวาส เริ่มเข้าศึกษาที่โรงเรียนอนุบาลรังผึ้งในชั้นอนุบาลและประถมศึกษา จากนั้นได้ศึกษาต่อในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนจุฬารัตนราชวิทยาลัย จังหวัดสตูล และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ภายหลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกร บริษัท เพาเวอร์ไลน์ เอ็นจิเนียริง จำกัด มหาชน หลังจากนั้นในปี พ.ศ. 2553 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทในสาขา สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

